Naturschutz Burgenland

Renaturierung ausgewählter Salzlacken des burgenländischen Seewinkels





LW 621
Endbericht

Ein Projekt im Rahmen des „Österreichischen Programms
für die Entwicklung des Ländlichen Raumes – Sonstige Maßnahmen“
April 2004 – Juli 2007

Naturschutzbund Burgenland

ISBN 978-3-902632-03-6

lebensministerium.at

DIESES PROJEKT WIRD VON DER EUROPÄISCHEN UNION, VON BUND UND LAND BURGENLAND KOFINANZIERT

IMPRESSUM

„Renaturierung ausgewählter Lacken des burgenländischen Seewinkels“, Endbericht

Ein Projekt im Rahmen des „Österreichschen Programms für die Entwicklung des Ländlichen Raumes – Sonstige Maßnahmen“, Laufzeit: April 2004 – Juli 2007

Auftraggeber: Naturschutzbund Burgenland, Esterhazystraße 15, 7000 Eisenstadt, www.naturschutzbund-burgenland.at

Eigentümer, Herausgeber und Bezugsquelle: Dr. Alexander Kirschner, Dr. Regina Krachler, Dr. Rudolf Krachler, Dr. Ingo Korner und Naturschutzbund Burgenland

Texte: Dr. Alexander Kirschner, Dr. Regina Krachler, Dr. Rudolf Krachler & Dr. Ingo Korner

Verleger, Produktion, Layout: Nöhrer Verlag und Promotion, Wolfau

Urheberrechtlich geschützt, jede Form der Vervielfältigung zu gewerblichen Zwecken ohne Zustimmung des Herausgebers ist verboten.

„Mit Unterstützung des Umweltdachverbandes / Lebensministeriums“

ISBN 978-3-902632-03-6

Vorwort

Naturjuwele erhalten



Die Salzlacken des burgenländischen Seewinkels gehören zu den großen Naturjuwelen unseres Landes. Nirgendwo in Österreich gibt es eine vergleichbare Ansammlung kleinräumig angeordneter Flachgewässer, die zwar alle salzigen Charakter besitzen, aber dennoch Unterschiede aufweisen. Jede dieser Lacken ist ein einzigartiger Lebensraum, mit eigenem Chemismus und einer ganz spezifischen und erhaltenswerten Tier-, Pflanzen- und Mikroorganismenwelt. Aber auch international ist der Seewinkel mit seinen Lacken von herausragender Bedeutung als größtes Vogelschutzgebiet Mitteleuropas, wo die Hauptrouten der Zugvögel von Nord/Süd und Ost/West zusammentreffen. Daraus ergibt sich auch die besondere Anziehungskraft für naturinteressierte Besucher.

Leider ist es in den letzten Jahrzehnten aufgrund verschiedener Ursachen zu einem massiven Rückgang der Anzahl und Flächen der Lacken gekommen. Von ursprünglich über 120 Lacken zu Beginn des vorigen Jahrhunderts sind heute nur mehr rund 35 ökologisch völlig intakt. Das Ziel des vorliegenden Projektes war es deshalb, erstmals Wege aufzuzeigen, ob und wie bereits stark beeinträchtigte Lacken bzw. völlig verschwundene ehemalige Lackenflächen wieder renaturiert, also quasi „wiederbelebt“ werden können. Die Ergebnisse dieser Studie lassen uns große Hoffnung schöpfen, dass dies unter Miteinbeziehung aller Interessengruppen gelingen kann. Gemeinsam mit den Verantwortungsträgern vor Ort wird das Land jedenfalls alles daran setzen, diese Naturjuwele, auch im Sinne internationaler Verpflichtungen, für die Zukunft zu erhalten.

Landesrat
DI Niki Berlakovich

Autoren

Dr. Mag. Alexander Kirschner



Ökologe und Mikrobiologe
Schwerpunktgebiet: Aquatische Mikrobiologie
Beschäftigt sich seit 1999 im Rahmen verschiedener Projekte mit den Lacken des Seewinkels. Den Ausgangspunkt bildeten zwei Studien über Vogelbotulismus. Dafür erhielt er zusammen mit seinen Mitarbeitern den burgenländische Umweltpreis 2003. Eine weitere international veröffentlichte Arbeit über die mikrobiologisch-hygienischen Zusammenhänge in den Lacken wurde 2005 mit dem österreichischen Hygienepreis ausgezeichnet. Die Ergebnisse wurden national und international publiziert und 2004 mit dem Verbund-WasSerleben Preis geehrt.

Medizinische Universität Wien, Klinisches Institut für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie
Abteilung für Wasserhygiene, Kinderspitalgasse 15, 1095 Wien
e-mail: alexander.kirschner@meduniwien.ac.at

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Regina Krachler



Studium der Chemie und der Physik an der Universität Wien
Habilitation für das Fachgebiet „Anorganische Chemie“ an der Universität Wien
Leiterin der Arbeitsgruppe Umweltchemie am Institut für Anorganische Chemie der Universität Wien

Institut für Anorganische Chemie, Universität Wien, Währingerstraße 42, A-1090 Wien
E-Mail: regina.krachler@univie.ac.at

Prof. Mag. Dr. Rudolf Krachler



Studium der Chemie und der Physik an der Universität Wien
Professor an einer Wiener AHS
Interdisziplinäre Dissertation zu den Problemen der Salzlacken und Salzwiesen im Burgenländischen Seewinkel
Lektor an der Universität Wien
Div. Forschungsprojekte und Expertisen am Neusiedler See und an den Salzfluren und Sodalacken des Seewinkels

E-mail: rudolf.krachler@univie.ac.at

Dr. Ingo Korner



Nach dem Studium der Biologie an der Universität Wien und einer 2-jährigen Anstellung bei der Akademie der Wissenschaften von 1992 an freiberuflich tätig und seit 2006 einer der beiden Geschäftsführer der AVL GmbH.
Arbeitsschwerpunkte: Vegetationsökologisches Monitoring, Natura 2000-Kartierungen und Managementpläne, Landschaftskonzepte, Projektmanagement, UVEs und NVEs.
Durchführung von Forschungsprojekten im Seewinkel seit 1990 (Beweidungsmonitoring).

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung 7

2. Einleitung 9

3. Ergebnisse der chemischen Untersuchung 13
Rudolf Krachler und Regina Krachler

3.1 Zusammenfassung 13
3.2 Einleitung 14
3.3 Problemstellung 18
3.4 Methodik 18
3.5 Ergebnisse 20
3.5.1 Bestimmung der Sedimentationsrate 20
3.5.2 Mögliche Zustände des intakten Lackensediments 21
3.5.3 Ursachen des „Lackensterbens“ 24
3.5.4 Andere Formen der Lackendegradation 31
3.6 Laborversuche zur Entwicklung einer Renaturierungsmethode 32
3.7 Maßnahmen im Freiland 33
3.7.1 Kleine Neubruchlacke 34
3.7.2 Nördliche Martinhoflacke 36
3.7.3 Krautingsee 38
3.8 Diskussion 40
3.9 Ausblick 42
Literatur 43

4. Vergleichende Mikrobiologie ökologisch intakter und degradierter Lacken – Bakterien als Indikatoren 44
Alexander Kirschner

4.1 Verlandung 44
4.2 Die Rolle der Bakterien 44
4.3 Vergleich zwischen degradierten und nicht degradierten Lacken 2004 – 2006 47
4.4 Schlussfolgerung 49
Literatur 51

5. Ergebnisse der vegetationsökologischen Untersuchungen 2004 – 2007

Ingo Korner 52

5.1 Einleitung 52

5.1.1 Salzpflanzen 52

5.1.2 Salzlackengesellschaften 52

5.1.3 Verteilung von Salzpflanzen im Untersuchungsgebiet 53

5.1.4 Standortbedingungen für Salzpflanzen 53

5.1.4.1 Ernährungsfrage 54

5.1.4.2 Osmotische Frage 54

5.2 Ziele des Projektes 55

5.3 Erhebungsdesign 55

5.4 Kleine Neubruchlacke 56

5.4.1 Vegetationszonierung 57

5.4.2 Auswirkungen der Salzausbringung 57

5.4.3 Trends der Untersuchungsfläche 1 58

5.4.4 Trends der Untersuchungsfläche 2 59

5.4.5 Unbeeinflusste Referenzfläche (Zone 3) 61

5.4.6 Entwicklungstrend der Zone 2b 61

5.4.7 Entwicklung der Knollenbinse 62

5.4.8 Entwicklung im Bereich des Lackenbodens 63

5.5 Kleine Martinhoflacke 65

5.5.1 Vegetationszonierung 65

5.5.2 Auswirkungen der Salzausbringung 66

5.5.3 Veränderung der Artenzusammensetzung 66

5.5.4 Veränderungen der Salzfläche 1 67

5.5.5 Entwicklungstrends beim Straußgras 68

5.5.6 Entwicklung in Zone 3 der Kleinen Martinhoflacke 71

5.5.7 Entwicklung in Zone 6 der Kleinen Martinhoflacke 72

5.6 Krautinglacke 72

5.6.1 Vegetationszonierung 73

5.6.2 Entwicklung der Zone 6 des zweiten Transektes 75

5.6.3 Entwicklung der Zone 5 des zweiten Transektes 76

5.6.4 Entwicklung der Zone 4 des zweiten Transektes 76

5.6.5 Entwicklung der Zone 2 des zweiten Transektes 77

5.6.6 Sukzession im Bereich des Lackenbodens (Zone 0 und 1) 78

5.6.7 Entwicklung der Zone 2 des ersten Transektes 79

5.6.8 Entwicklung der Zone 3 des ersten Transektes 80

5.6.9 Entwicklung der Zone 4 des ersten Transektes 80

5.7 Zusammenfassung der Entwicklungstrends 81

5.8 Abbildungen 83

Literatur 84

6. Danksagung 85

1. Zusammenfassung

Der burgenländische Seewinkel leidet seit Jahrzehnten an einem dramatischen Rückgang seiner einzigartigen Salzlacken (Lackensterben). Als Hauptursachen dafür konnten Salz- und Wasserentzug über ein verzweigtes Kanalsystem, Grundwasserabsenkung sowie künstliches Einpumpen von Grundwasser verantwortlich gemacht werden. In der Folge kam und kommt es zu einem Rückgang der natürlichen Salznachlieferung aus dem Grundwasser in den Lackenstauhorizont und damit zu dramatischen Veränderungen des Lackenbodens und zum Einwandern einer dichten, standortfremden Vegetation (Verlandung).

In einem Pilotprojekt wurde erstmalig versucht, drei bereits degradierte Salzlacken mit verschiedenen Managementmaßnahmen zu renaturieren. Die Maßnahmen reichten dabei von Vegetations- und Humusentfernung über Salzeinbringung bis zu einem Beweidungsmanagement und wurden für jede der drei Lacken individuell erstellt. Auf die bereits völlig verlandete Nördliche Martinhoflacke (MHL) wurde nach der Mahd in drei aufeinander folgenden Jahren (2005 bis 2007) großflächig Salz (Soda und Glaubersalz) aufgebracht, wobei 2005 auf einer kleineren Testfläche außerdem die Vegetation und die oberste Humusschicht abgetragen wurden. Die Kleine Neubruchlacke (KNB) wurde im Jahr 2005 nach der Mahd großflächig mit Salz bestreut, während am Krautingsee (KS) versucht wurde, mittels Beweidung mit Rinderherden den massiven Schilfbestand zurückzudrängen. Parallel zu den Behandlungen wurden chemische, mikrobiologische und vegetationsökologische Analysen durchgeführt, um die Auswirkungen der Maßnahmen zu dokumentieren. An der MHL lag 2004 noch eine weitgehend geschlossene Vegetationsdecke mit wiesenähnlichem Charakter und wenig Lebensraum für typische Salzpflanzen vor. Nach den Maßnahmen kam es bereits innerhalb weniger Monate zu einer starken Reduktion der Vegetation auf nur mehr 10 % der ursprünglichen Deckung sowie zur Wiederansiedelung typischer Salzpflanzen. Die freien Flächen führten auch erstmals seit Jahren wieder Wasser, was durch die chemischen und strukturellen Veränderungen des Bodens ermöglicht wurde. Die Zugabe der beiden Salze Soda und Glaubersalz führte mit Hilfe der aktiven Bakterienflora innerhalb von 1 bis 2 Jahreszyklen zur vollständigen Veratmung der Vegetation und Humusdecke, ohne dass eine vorherige großflächige mechanische Entfernung nötig war. Die Anhebung des pH-Wertes auf 9 bis 10 schuf optimale Bedingungen für die Remineralisierung des organischen Materials im Wasserkörper und im feuchten Gewässerboden. Wie mikrobiologische Untersuchungen zeigten, war das Verhältnis der aktiven Bakterien im Wasserkörper im Vergleich zum Lackenboden in ökologisch intakten Lacken signifikant höher als in nicht intakten Lacken, was die entscheidende Rolle einer aktiven Mikroorganismenflora im Wasser für die Funktionstüchtigkeit einer gesunden Lacke unterstreicht. Je mehr organisches Material effektiv unter aeroben Bedingungen im Wasserkörper abgebaut wird, desto weniger reichert sich am Lackenboden an – ein Prozess, der die Verlandung dieser flachen Gewässer seit Jahrtausenden verhindert. Konstante pH-Werte in den obersten Zentimetern der Sedimente spiegeln diese günstigen Verhältnisse in gesunden Lacken deutlich wider. Der erhöhte Salzgehalt führte auch zu einem Wiederanstieg der Feinstfraktionen der Bodenpartikel und damit zu einem Abdichten des Lackenbodens. Ganz ähnliche Beobachtungen konnten auch bei der noch weniger beeinträchtigten KNB gemacht werden, wo es nach der Salzung zu einem Rückeinwandern von Salzpflanzen in die offenen, teilweise wieder unter Wasser stehenden, behandelten Flächen kam. Am KS führte die Beweidung durch eine Rinderherde zu einem starken Rückgang des Schilfs von ca. 70 % auf nur mehr 30% Deckung, sowohl durch Entzug an Biomasse als auch durch Schädigung der Schilfrhizome. Gleichzeitig konnten typische Salzpflanzenarten gefördert werden.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen also erstmals eindeutig, dass der Degradationsvorgang der Salzlacken durch geeignete Managementmaßnahmen reversibel sein dürfte und die Möglichkeit besteht, große bereits verloren gegangene Lackenflächen wieder zu gewinnen. Allerdings ist ein längerfristiges Überleben der renaturierten als auch der noch vorhandenen Lacken unmittelbar an eine Anhebung des Grundwasserspiegels in und an das Verhindern des Abflusses von salzreichem Wasser aus dem Seewinkel geknüpft. Dies kann aber nur dann erreicht werden, wenn alle beteiligten Interessensgruppen sowie die politisch Verantwortlichen den gemeinsamen Willen und die nötigen Mittel aufbringen, alles zu tun, um das Naturjuwel Seewinkel mit seinen Salzlacken auch für die Zukunft zu erhalten.

Summary

The lake district in Eastern Austria („Seewinkel“) has been afflicted for the past decades with a dramatic decrease of its unique shallow saline lakes (“lake die-off”). The main reasons are drainage of water and salts across a branched system of channels, groundwater drawdown and artificial piping of groundwater into the lakes. As a consequence, the natural salt delivery from the groundwater up into the lake bottom has been reduced, leading to drastic changes of the lake bottom and to the invasion of a dense foreign vegetation (terrestrialization).

Within a first-time pilot study the restoration of three already degraded saline lakes was tested. The measures, individually established for each of the three lakes, ranged from the removal of the vegetation and uppermost humus layer to the addition of salts and to a pasturing management. At the completely terrestrialized Northern Martinhoflacke (MHL) salt (soda and Glaubers salt) was dispersed in three consecutive years (2005 – 2007) over a large area after mowing. From a smaller area the vegetation and the humus layer were additionally removed. A large area of the small Neubruchlacke (KNB) was also bespreaded with salt in 2005, at the Krautingsee (KS) pasturing with cattle was chosen to reduce the massive reed stock. In parallel, chemical, microbiological and botanical analyses were performed to document the effects of the applied measures.

In 2004, the MHL was dominated by a nearly completely closed vegetation cover with a meadow like character and only little space for typical halophytes. Already a few months after the measures a strong reduction of the vegetation to only 10% of the original coverage was observed as well as the re-establishment of halophytes. The vegetation free areas were covered with water for the first time since many years, which was due to the chemical and structural changes of the bottom of the former lake. Within 2 years, the addition of salt led with the aid of an active bacterial community to the complete respiration of the vegetation and humus layer, without the need for its prior mechanical removal. The concomitant increase in pH to values between 9 and 10 created optimal conditions for the remineralisation of the organic material in the water body and in the moist lake bottom. Microbiological analyses revealed that the ratio of active bacteria in the water body in comparison to the lake sediment was significantly higher in ecological intact lakes than in degraded lakes, demonstrating the overwhelming importance of an active aquatic microorganism flora for the ecological functionality of healthy shallow saline lakes. The more organic material is effectively degraded under aerobic conditions in the water body, the less material accumulates at the lake bottom, a key process, which has been responsible for the prevention of terrestrialization of these shallow waters for several thousands of years. Constant pH values across the upper centimetres of the sediments mirror such beneficial conditions in healthy lakes. The increased salt content also led to an increased proportion of ultrafine soil particles and to the sealing of the lake bottom. Similar observations were made for the less degraded KNB, where halophytes recaptured the open and partially flooded salted areas. At the KS the pasturing measures resulted in a marked reduction of the reed from 70% to 30% coverage both through the withdrawal of biomass and through the damage of the reed rhizomes. Concomitantly, typical halophytes were promoted.
The results of this study demonstrate for the first time, that the degradation process of the shallow saline lakes in Eastern Austria may be reversible through the application of appropriate management measures and that there is a chance to regain already lost former lake areas.

However, a long term survival of the restored as well as of the existent ecologically intact lakes is unequivocally directly linked with a lifting of the groundwater level in the region and with the prevention of salt water loss from the region. This can only be achieved when all communities of interest and the politically responsible persons raise their common will and the necessary funds to do everything for a future conservation of the nature jewel “Seewinkel” and its shallow saline lakes.

2. Einleitung

Neusiedler See und Seewinkel liegen am Westrand der Kleinen Ungarischen Tiefebene und werden stark vom kontinentalen Steppenklima mit geringen Niederschlägen (Jahresmittel um 600 mm – in den letzten Jahren sogar deutlich darunter), heißen Sommern und kalten, meist schneearmen Wintern beeinflusst. Ständiger Wind und hohe Temperaturen im Sommer und Herbst führen in der relativ langen Vegetationsperiode (250 Tage) zu zeitweise „semiariden" Bedingungen. Der Nationalpark Neusiedler See-Seewinkel ist das bedeutendste Vogelschutzgebiet Mitteleuropas und neben dem See selbst besonders durch seine flachen Salzlacken international bekannt. Diese Lacken sind es, die jedes Jahr hunderttausenden von Zugvögeln Brut- und Rastplätze auf ihren langen Reisen bieten und dadurch auch für viele Touristen große Anziehungskraft besitzen. Neben der Bedeutung für die Vogelwelt sind diese Salzlacken aber besonders durch ihre spezielle mineralische Zusammensetzung (hoher Sodagehalt mit hohen basischen pH-Werten bis 11!) als in Österreich einzigartige Ökosysteme zu betrachten, die auch einer ganz speziellen und seltenen Pflanzen-, Tier- und Mikroorganismenwelt Lebensraum bieten. Der Seewinkel ist durch ein Mosaik aus flachen Salzlacken mit gürtelartiger Zonation halophytischer Lackenrandgesellschaften gekennzeichnet. Eng benachbart liegen Halbtrockenrasen, die aufgrund weniger Dezimeter Bodenauflage nicht mehr salzbeeinflusst sind. Der Wasserstand in den Lacken unterliegt einer jahreszeitlich starken Pegelschwankung, im Frühjahr sind die Lacken in der Regel gefüllt. Im Sommer kommt es zu einer starken Wasserstandsenkung durch Verdunstung und zum Austrocknen mancher Lacken, die Salze kristallisieren an der Bodenoberfläche aus und schaffen dadurch Bedingungen, die für die meisten Pflanzen äußerst lebensfeindlich sind. Diese extremen Standortbedingungen haben daher zur Entwicklung einer eigenständigen Salzvegetation geführt, die sich aus wenigen hoch spezialisierten Arten zusammensetzt, die man Halophyten nennt.

Die überwiegende Zahl der Salzlacken sind Sodagewässer, die sich äußerlich gleichen, doch hinsichtlich ihres Chemismus, des Sedimentes und ihrer Lebewelt ist jede einzigartig und von den anderen verschieden. Der Wechsel der Perioden der Überflutung und der Trockenheit, dem die Lacken ausgesetzt sind, ist nicht zuletzt eine der Voraussetzungen dafür, dass sich hier bestimmte Tier-, Pflanzen- und Mikroorganismenarten etablieren konnten, die innerhalb Österreichs ausschließlich im Seewinkel vorkommen.

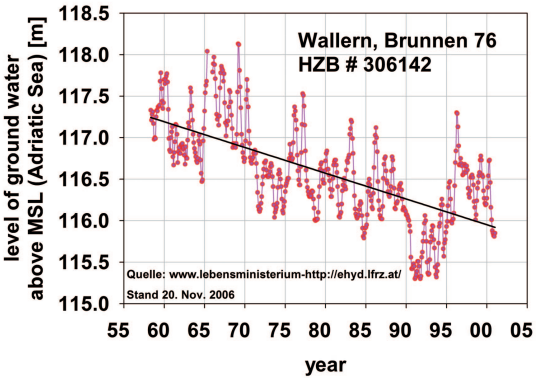
Leider ist es in den letzten Jahren zu einem dramatischen Rückgang der Lacken von 139 im Jahr 1855 auf nur mehr 36 im Jahr 1993 gekommen (**„Lackensterben"**). Heute können davon wahrscheinlich nur mehr 24 als ökologisch völlig intakte Lacken angesehen werden. Sogar die Lange Lacke, das Aushängeschild des Nationalparks, ist vom „Aussterben" massiv bedroht. Wenn man den damit verbundenen Flächenverlust betrachtet, dann erscheint die Situation noch viel dramatischer: von einstmals 3.615 Hektar offener Lackenfläche waren Anfang der 1990er Jahre nur mehr 755 ha übrig (KOHLER ET AL 1994). Somit ist von der ursprünglich reichen Gewässerausstattung des Seewinkels nur mehr ein Fünftel übrig geblieben, wobei in den angegebenen Zahlen die Sumpfflächen, zeitweise überschwemmte Alkalisteppen und andere Feuchtgebietstypen im Lackenumfeld gar nicht berücksichtigt sind. Als Ursachen für das Lackensterben sind mehrere durch den Eingriff des Menschen bedingte Veränderungen im Seewinkel zu nennen. Die Feuchtgebiete des Seewinkels sind seit mehr als 100 Jahren mit massiven Eingriffen in ihren Wasserhaushalt konfrontiert. Hauptziel dieser Eingriffe war zunächst die Gewinnung von Landwirtschaftsflächen, später kamen Infrastrukturausbau und Siedlungserweiterung als ergänzende Motive hinzu. In jedem Fall ging das Vorrücken der Nutzflächen in ehemalige Überschwemmungsräume mit einem verstärkten Bedürfnis nach Hochwasserschutz einher, was zum Anlass für eine sorgfältige Instandhaltung und weitere Ausbaumaßnahmen wurde. In jüngster Zeit hat sich der Druck auf die Feuchtgebiete noch einmal erhöht, freilich nicht aufgrund eines Überangebotes an Wasser, sondern wegen zunehmenden Wassermangels! Diesem wird mit massiven Grundwasserentnahmen zu Bewässerungszwecken begegnet, was wiederum entsprechend negative Rückwirkungen auf die in ihrer Funktion stark grundwasserabhängigen und ohnedies „angeschlagenen" Feuchtgebiete hat. Den Ausgangspunkt dieser Eingriffe bildete der Bau des Einserkanals (1895-1910). Er ermöglichte ab den 1920er Jahren die Schaffung eines umfangreichen Netzwerkes von Entwässerungskanälen im Seewinkel und im Hanság, mit dem Oberflächenwasser in bisher nie da gewesenem Ausmaß abgeführt werden konnte

(**Abb. 2.1**). Bereits in den 1940er Jahren hatte das Kanalnetz eine Gesamtlänge von 189 km erreicht, bis in unsere Zeit wurde es auf mindestens 224 km verlängert, wobei unscheinbare, aber dennoch wirksame Nebenkanäle gar nicht enthalten sind (HERZIG 1994). Ab den 1970er Jahren ist die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems durch die Inbetriebnahme von Pumpwerken an den Hauptkanälen weiter erhöht worden; bis in die Gegenwart wird die Funktionstüchtigkeit der Gräben durch regelmäßige Räumungsaktionen aufrecht erhalten – am Zweierkanal noch in der Hochwasserperiode 1996-1999. Zwischen 1955 und 1988 ist der Grundwasserspiegel in weiten Teilen des Gebiets um fast einen Meter abgesunken (HAAS ET AL 1992), dieser negative Trend hat sich nach 1990 weiter intensiviert, denn die letzten 15 Jahre waren durch zwei ausgeprägte Dürreperioden gekennzeichnet (1990-1994 und 2001-2005), in denen auch jene Gewässer trocken lagen, die vor 1990 über einen Zeitraum von mindestens 40 Jahren ununterbrochen Wasser geführt haben. Die Dürre ist zwar durch ein markantes Hochwasserereignis 1996 etwas gemildert worden (erhöhte Wasserstände waren danach bis 1999 zu verzeichnen), der allgemeine Abwärtstrend ist aber unverkennbar (**Abb. 2.2**). Das Hochwasser 1996-1999 hatte leider auch zur Folge, dass Rückstauversuche, die während der ersten Dürreperiode initiiert worden sind, rückgängig gemacht oder nicht in vollem Umfang weiterbetrieben wurden. Erst in allerjüngster Zeit gibt es wieder verstärkte Anstrengungen zum Wasserrückhalt, die sich vorerst aber nur auf den Hanság konzentrieren.



Rudolf Krachler

Abb. 2.1: Entwässerungssystem im Seewinkel nach HAAS ET AL (1992), verändert. Die rosa Linien zeigen die Hauptentwässerungskanäle.



Rudolf Krachler

Abb. 2.2: Vom Hydrographischen Dienst des Landes Burgenland aufgezeichnete Brunnenpegeldaten wie hier von einem Brunnen bei Wallern zeigen ein stetiges Absinken des Grundwasserspiegels im zentralen Seewinkel, im Mittel um mehr als 1 m.

An dieser Stelle muss aber erwähnt werden, dass der Wasserrückgang im Seewinkel nicht allein für das weiträumige Verschwinden der Lacken verantwortlich ist. Die Wasserführung der Salzlacken ist im Unterschied zu Schotterteichen von der Pegelganglinie des darunter liegenden Grundwassers entkoppelt, also unabhängig. Die Lacken des Seewinkels werden daher als astatische Systeme bezeichnet (KRACHLER 1993). Mittels Isotopenanalysen wurde bewiesen, dass die Lacken fast ausschließlich von Niederschlagswasser gespeist werden und ihr Wasserhaushalt durch Niederschlag und Verdunstung reguliert wird (BELOCKY 1991). Dieser Befund deutet auf eine wichtige Eigenschaft des Stauhorizonts hin, nämlich seine perfekte Wasserundurchlässigkeit, welche verhindert, dass bei tiefem Grundwasserspiegel das Lackenwasser in den Untergrund infiltriert. Diese Eigenschaft wurde lange als unveränderliches Merkmal des geologischen Untergrundes betrachtet. Wie eingehende Untersuchungen aber zeigten, ist die Staueigenschaft des Lackensediments keine vorgegebene konstante Größe, sondern bleibt nur unter ganz bestimmten und eng begrenzten Bedingungen erhalten. Das Lackensediment ist zwar im Regelfall völlig wasserdicht, es kann aber auch, als Antwort auf den Wechsel der Umweltbedingungen bei Austrocknung der Lacke, seine Eigenschaften relativ rasch verändern und wasserdurchlässig werden. Dies geschieht in intakten Lacken reversibel, d.h. der Stauhorizont kehrt, sobald sich die Lacke mit Niederschlagswasser zu füllen beginnt, automatisch in den ursprünglichen wasserdichten Zustand zurück. Im Zuge des Lackensterbens kommt es jedoch zu irreversiblen Veränderungen des Stauhorizonts. In diesem Fall findet man, als erstes Alarmzeichen, versickertes Lackenwasser im Grundwasserstrom (Belocky 1991).

Hauptursache für diese Veränderungen des Lackenstauhorizontes ist die Tatsache, dass mit den abgeführten Wassermengen über Drainagekanäle den Lacken auch massiv Salz entzogen wurde, sodass die Salzgehalte in vielen Lacken deutlich zurückgingen („Aussüßung“). Dies führte dazu, dass große Lackenbereiche aussüßten, was zu den

beschriebenen Veränderungen des Lackenbodens führte. Damit einhergehend kam es auch zu völligen Veränderungen der Vegetation durch das Einwandern von Nicht-Halophyten in ursprünglich nur von Salzpflanzen besiedelten freien Lackenflächen, was zu einer vermehrten Anhäufung organischen Materials führte und zur völligen Veränderung des Lackenbodens (**„Verlandung“**). In einer intakten Lacke kommt es während der Austrocknungsperioden bei genügend hohem Grundwasserspiegel zum kapillaren Aufwärtstransport der Salze aus dem Grundwasser, was an den **Salzausblühungen** an den Lackenrändern oft schon im Frühjahr schön zu beobachten ist. Durch den zu niedrigen Grundwasserspiegel bzw. durch die veränderten Bodenbedingungen hingegen kam es dazu, dass viele Lacken sich nicht mehr selbst durch jährliche Salznachlieferung aus dem Grundwasser regenerieren konnten und somit ohne gezielte Renaturierungsmaßnahmen unwiederbringlich verloren sind. Als weiterer besonders schädlicher Eingriff, der an mehreren Lacken, darunter an zwei der im Projekt untersuchten, vorgenommen wurde, erwies sich das Einpumpen von Grundwasser, um den Wasserstand für Jagdzwecke künstlich hochzuhalten. Was von den Betreibern ursprünglich als ökologisch harmlos eingestuft wurde, erwies sich als besonders rasch wirkender Dolchstoß. Durch diese Art von „By-pass“ wurde das natürliche kapillare Hinaufsaugen von salzhaltigem Wasser, bei dem es zu für den Lackenboden günstigen chemischen Veränderungen kommt, umgangen und der Lackenboden geschädigt. Als Folge kam es rasch zum Einwandern von Fremdvegetation, vor allem von Schilf, welches in dichten Beständen nur mehr schwer zu beseitigen ist.



Alexander Kirschner

Abb. 2.3: Nördliche Martinhoflacke 2004. Die gesamte ehemalige Lackenfläche ist von Wiesenvegetation bedeckt.

Durchgeführte Maßnahmen

Das ehrgeizige Ziel des Projektes (Laufzeit 2004 - 2007) war es, an ausgewählten Lacken unterschiedlichen Degradierungszustandes verschiedene Renaturierungsmaßnahmen zu testen, um so die Basis für ein umfassendes Renaturierungs- und Erhaltungskonzept für alle Lacken im Seewinkel zu schaffen. Dieses entstand in Abstimmung mit allen involvierten Fachgruppen sowie der Nationalparkverwaltung und der biologischen Station Illmitz. Gleichzeitig wurden chemische, botanische und mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt, um Ist-Zustände zu erheben und die Auswirkungen der Maßnahmen zu dokumentieren. Als Versuchsflächen wurden die völlig verlandete nördliche Martinhoflacke (**MHL, Abb. 2.3**) und die massiv durch Verlandung bedrohte Kleine Neubruchlacke (**KNB, Abb. 2.4**) in der Gemeinde Apetlon sowie der durch invasive Verschilfung bedrohte Krautingsee (**KS, Abb. 2.5**) in der Gemeinde Illmitz ausgewählt.



Alexander Kirschner

Abb. 2.4: Kleine Neubruchlacke 2004. Nur noch ein schmaler Streifen mit offener Wasserfläche ist zu sehen. Die Knollenbinse (Bolboschoenus maritimus) dringt rasch ein.



Alexander Kirschner

Abb. 2.5: Krautingsee 2004. Bis auf eine kleine zentrale Wasserfläche ist die gesamt Lacke mit einem dichten Schilfbestand bedeckt.

Rudolf Krachler



Abb. 2.6: Händische Aufbringung einer Mischung von 4 kg/m² einer Mischung von 3:1 Teilen Soda und Glaubersalz auf einer Testfläche im Oktober 2004.

An der **MHL** wurden 2004 auf 2 Testflächen á 10 m² die Vegetations- und Humusschicht händisch entfernt und 4 kg/m² Salz aufgebracht (**Abb. 2.6**), wobei auf einer Fläche eine 3:1 Mischung aus Natriumcarbonat /Natriumsulfat zur Anwendung kam, auf der zweiten Fläche nur Natriumcarbonat. Beide Salze bilden die Hauptbestandteile in den Sodalacken. Im Februar 2005 wurde dann zum Großversuch übergegangen. Auf einer Versuchsfläche von ca. 600 m² wurden die oberste 5 cm der Vegetations- und Humusschicht maschinell mit einem Gräder entfernt (**Abb. 2.7**) und anschließend mit Salzstreumaschinen 2 kg/m² einer 3:1 Mischung aus Natriumcarbonat/Natriumsulfat auf eine Gesamtfläche von 3000 m² aufgebracht. Da der Boden zu dieser Zeit stark durchgefroren war, konnte dies ohne Probleme durchgeführt werden. Bei der KNB wurde ebenfalls bei gefrorenem Boden praktisch der gesamte Westrand der Lacke (ca. 5000 m²) mit der gleichen Mischung maschinell bestreut. Im Februar 2007 wurde bei der MHL dieser Versuch auf ein noch größeres Gebiet ausgedehnt (ca. 6000 m²) und die Salzkonzentration auf 4 kg/m² erhöht. Die Ausstreuung erfolgte hier händisch unter der Mitwirkung zahlreicher Helfer (**Abb. 2.8**). Am KS wurde 2005 mit einem Beweidungsmanagement mit einer Rinderherde auf der gesamten Lackenfläche begonnen (**Abb. 2.9**), das auch in den nächsten Jahren fortgesetzt wird. Durch Huftritt und Fraß sollte hier vor allem ein Zurückdrängen des dichten Schilfbestandes erreicht werden.

Ingo Korner



Abb. 2.7: Entfernung der Wiesenvegetation mittels eines Gräders (Firma Alois Steiner, Illmitz) auf einer Versuchsfläche von 600 m² in der Kleinen Martinhoflacke bei gefrorenem Boden im Februar 2005.

Alexander Kirschner



Abb. 2.8: Händische Ausbringung von 4 kg/m² Soda auf einer Testfläche von 6000 m² in der Kleinen Martinhoflacke im Februar 2007.

Ingo Korner



Abb. 2.9: Beweidungsmanagement am Krautingsee zur Reduktion des dichten Schilfbestandes im Sommer 2005.

3. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen 2004 – 2007

Rudolf Krachler und Regina Krachler

3.1 Zusammenfassung

- Ausgetrocknete Bereiche der Sodalacken neigen generell zur Besiedlung mit Vegetation. Diesem Prozess der Verlandung hat die betroffene Lacke ausschließlich die Anreicherung von Salzen an der Oberfläche entgegenzusetzen. Salzanreicherungen an der Oberfläche erfordern einen nach oben gerichteten vertikalen Wasserstrom, der ebenso viel Wasser aus dem Untergrund nachzuliefern vermag, wie durch Verdunstung in die Atmosphäre übertritt. Bei niedrigeren Temperaturen und damit einhergehenden geringeren Verdunstungsraten im Frühling und Herbst führen daher bereits größere Flurabstände des Grundwassers zu Salzausblühungen, während die oft extreme Verdunstung der Sommermonate auch größere kapillare Ströme und somit weitaus höhere Grundwasserstände verlangt, um Salzausblühungen zu zeitigen. Im weiträumig grundwasserabgesenkten Seewinkel beobachten wir daher die Salzausblühungen bevorzugt im Frühling und im Herbst, weniger zur Zeit extremer Verdunstungsraten in den Sommermonaten.

- Soda und Glaubersalz sind die Garanten für die vollständige Mineralisierung und somit Entfernung des gesamten pflanzlichen Materials in den an sich extrem produktiven Lacken. Die beiden Salze verhinderten erfolgreich durch die Jahrtausende ein Akkumulieren des abgestorbenen pflanzlichen Materials und damit das Verlanden der Lacken durch Bildung von Niedermooren.

Der Schlüsselprozess ist somit die Versorgung der Lacken mit Salzen durch Verdunstung aus dem Grundwasserkörper, ein Vorgang, der bereits durch geringfügige Absenkung des Grundwasserpegels zum Erliegen kommen kann.

- Insbesondere die Profile des im Porensystem des Salzführenden Horizontes gelösten Calciums und Natriums zeigen deutlich, dass die in diesem Horizont enthaltenen Salze vertikalen Transportprozessen unterliegen. Eine langfristige Speicherung der Salze ohne ständige Ergänzung der Verluste ist daher undenkbar. Der Salzführende Horizont einer Lacke ist als Speicher für Salze zu verstehen, dessen Salzaufkommen einer deutlichen Dynamik einerseits aus Verlusten durch Deflation, Reinfiltration und oberflächlichem Abfluss im Zuge von sehr hohen Wasserständen und andererseits aus der Anreicherung durch Verdunstung von Grundwasser unterliegt. Die eigentliche Quelle der Salze ist das Grundwasser.

- Sämtliche gezogene Cores zeigen eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Anteil der Feinstfraktion (Korngrößen Ø<40 µm) und dem Gehalt an extrahierbarem Natrium: Je höher der Natriumgehalt, desto größer ist auch der Anteil der Feinstfraktion (Korngrößen Ø<40 µm) im Sediment. Stagniert durch Austrocknen des Salzführenden Horizontes der kapillare Vertikalstrom an die Oberfläche und damit auch der Nachschub von Natriumsalzen, führt dies automatisch auch zum Verlust der für die Dichtheit der Lackenwanne unverzichtbaren Feinstfraktion des Sedimentes.

- Die an der Oberfläche angereicherten und ausgeblühten Salze sind von wechselnder Zusammensetzung, für die Freihaltung der Lackenwanne von Vegetation und zum Schutz vor Akkumulation abgestorbenen Pflanzenmaterials (Detritus) sind die Carbonate und Sulfate des Natriums von essentieller Bedeutung. Die Carbonate heben den pH auf 9.0 bis 10.0 und schaffen damit optimale Bedingungen (Detritus bleibt suspendiert, Anhebung des Redoxpotentials) für die Remineralisierung der organischen Materials in der freien Wassersäule. Die Sulfate oxidieren insbesondere in

den obersten Schichten des Stauhorizontes eingebettetes organisches Sediment unter niedrigem Redoxpotential, wobei neues Natriumcarbonat (Soda) gebildet wird.
Solange die Lacken über hinreichend Soda und Glaubersalz verfügen, schützt sie dieses Instrumentarium äußerst wirksam vor Verkrautung und Akkumulation von Detritus.

- Renaturierung verkrauteter Lacken ist in vielen Fällen möglich. Dazu ist die Vegetationsdecke kurz zu mähen. Eine mechanische Abtragung der Vegetationsnabe ist nicht erforderlich. Durch Aufbringung einer Mischung aus Glaubersalz und Soda wird das organische Material innerhalb von ein bis zwei Jahreszyklen rückstandslos remineralisiert. Mengen und Mischungsverhältnis der beiden Salze sind an Hand sorgfältiger Bodenanalysen zu ermitteln.
  Daneben haben die aufgebrachten Salze die wichtige Funktion, den in degradierten Lacken zu geringen Anteil an Feinstfraktion zu erhöhen sowie den durch das Wirken der Vegetation koagulierten Tonmineralkomplex zu regenerieren, d.h., die Calciumbeladung bzw. in sehr fortgeschrittenem Stadium der Degradierung die saure Beladung des Tonmineralkomplexes durch Natrium zu ersetzen. Auf diese Weise geben die aufgebrachten Natriumsalze der obersten Sedimentschicht den erforderlichen Feinsedimentgehalt und damit die Staufähigkeit für Niederschlagswasser zurück.
  Die Aufbringung von Salzen ist zur Initialisierung der Lackenrenaturierung erforderlich. Das dauerhafte Fortbestehen einer renaturierten Lacke ist nur möglich, wenn gleichzeitig der Grundwasserspiegel soweit angehoben wird, dass in Phasen des Trockenfallens die Wassersättigung des Salzführenden Horizontes gewährleistet bleibt, damit die Lacke selbst hinreichende Salzmengen zum Schutz vor Vegetation an die Oberfläche fördern kann.

- Die Renaturierung sehr lange degradierter Lacken kann am gänzlichen Fehlen der Feinstfraktion scheitern.

3.2 Einleitung

Der Seewinkel ist jene etwa 420 km² umfassende Landschaft, welche im Westen vom Neusiedler See, im Süden von der Senke des Hansag, im Norden vom Terrassenrand der Parndorfer Platte und im Osten von der Österreichischen Staatsgrenze abgeschlossen wird. Hydrologisch ist der Seewinkel sehr gut definiert (**Abb. 3.2**). Der quartäre Grundwasserkörper des Seewinkels bildet eine zungenförmige Einheit, deren Zentrum der Neubildung mit etwa 120 müA im Raum Frauenkirchen liegt. Auf Grund höherer Flurabstände sind hier Verdunstungsvorgänge von untergeordneter Bedeutung. Nach Westen zum Neusiedler See (115 müA), nach Süden in die Senke des Hansag (113 müA) sowie nach Osten gegen die Kleine Ungarische Tiefebene (114 müA) fällt der Grundwasserspiegel um mehrere Meter ab. Gleichzeitig werden die Flurabstände gegen die Randbereiche sehr gering, sodass entlang des Ostufers des Neusiedler Sees und südlich der Linie Podersdorf – St. Andrä Verdunstungsprozesse die Anreicherung von Salzen in oberflächennahen Bodenschichten begünstigen.

Als Folge dieser außerordentlichen hydrologischen Voraussetzungen und der dadurch bedingten Salzanreicherung in Böden sowie der daraus resultierenden besonderen Staufähigkeit für Niederschlagswasser konnten sich in den erwähnten Bereichen des Seewinkels etwa 140 flache Gewässer, sogenannte Lacken etablieren. Von der Struktur des Untergrundes bzw. von der geographischen Verteilung und bezüglich des Alters, nicht aber aus der Sicht der ökologischen Funktionalität, unterscheiden wir zwei Gruppen von Salzlacken:

- Die sehr jungen Seerandlacken finden wir entlang des Ostufers des Neusiedler Sees von den Zitzmannsdorfer Wiesen im Norden, z.B. Legerilacke, bis Sandeck westlich von Apetlon mit dem Herrnsee als bekanntem Vertreter. Diese Lacken werden als haffähnliche Abschnürungen des Neusiedler Sees angesehen, wobei sich der Seedamm im Sinn einer Nehrung zwischen den Neusiedler See und die neu gebildeten Lacken schob. Ihr Alter wird auf Grund archäologischer Funde bei Podersdorf mit 1500 Jahre vor heute angegeben (Häusler 2007).
  Der von den Lacken des zentralen Seewinkels bekannte quartäre Schotterhorizont fehlt unter den Seerandlacken.

Bei Handbohrungen am Nordwestufer des Oberen Stinkersees wurden bis in 5 m Tiefe ausschließlich Tone angetroffen.

- Die Lacken des zentralen Seewinkels, der von den Gemeinden Podersorf, Illmitz, Apetlon, St. Andrä und Frauenkirchen eingegrenzt wird, sind nach übereinstimmender Ansicht älter. Der von Franz (1937) beschriebene Salzführende Horizont mit einer Mächtigkeit von etwa 1 m und mehr bildet die Basis der Lackenwannen und dichtet unter geeigneten Bedingungen das gestaute Niederschlagswasser gegen den darunter liegenden Schotterhorizont sehr gut ab. Seine Entwicklung wird heute ins Mindel/Riß Interglazial gestellt Häusler (2007, S 48).

In den letzten hundert Jahren sind ca. 75 % der Lacken verschwunden („Lackensterben"). Viele der Sodalacken des Seewinkels begannen sich – scheinbar ohne menschliche Eingriffe – zurückzuziehen und bedeckten sich innerhalb weniger Jahre mit Schilf- und Wiesenflächen (**Abb. 3.1 a, Abb. 3.1 b, Abb. 3.1 c**). Nur ein geübtes Auge erkennt heute, wo die Lackenwannen liegen und wo sich die Ufer der ehemaligen Lacken erstrecken.



Heinz Löffler

Abb. 3.1 a: Die Gansellacke bei St. Andrä/Zicksee zeigt beispielhaft die Entwicklung der Salzlackendegradation: Vor ihrer Degradation war sie eine der salzreichsten Lacken. (Löffler 1982)



Rudolf Krachler

Abb. 3.1 b: Gansellacke Mai 2007: Die Degradation ist so weit fortgeschritten, dass die Lacke nicht mehr erkennbar ist. Statt von typischen Salzpflanzen wird der Lackenboden fast völlig von Ölweiden dominiert.



Rudolf Krachler

Abb 3.1 c: Von der Langen Lacke glaubte bis vor kurzem niemand, dass sie je verloren gehen könnte. Seit sie im Sommer 1990 zum ersten mal austrocknete, hat sie bis heute nicht mehr den ursprünglichen Wasserstand erreicht. Statt dessen beginnen, ähnlich wie an der Gansellacke, Ölweiden vom Lackenbecken Besitz zu ergreifen.

Die Ursache des „Lackensterbens“ war lange unklar (Dick et al., 1994). Die Absenkung des Grundwasserhorizonts schien eher nicht beteiligt zu sein, denn die Lacken zeichnen sich dadurch aus, dass jede von ihnen ihren eigenen Stauhorizont besitzt. Die Wasserführung der Sodalacken ist anders als jene von Schotterteichen oder Brunnenschächten von der Pegelganglinie des darunter liegenden Grundwassers entkoppelt, also unabhängig. Die Sodalacken des Seewinkels werden daher als astatische Systeme bezeichnet (Krachler 1993).

In der Folge von Land-Drainagierung und Wasserentnahmen ist der Grundwasserhorizont im zentralen Seewinkel seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts an vielen Messstellen um 100 cm und mehr gefallen (**Abb. 2.2**: Brunnenpegeldaten).

Belocky (1991) bestätigte mittels Isotopenanalysen, dass die Lacken von Niederschlagswasser gespeist werden und ihr Wasserhaushalt durch Niederschlag und Verdunstung reguliert wird. Dieser Befund deutet auf eine wichtige Eigenschaft des Stauhorizonts hin, nämlich seine perfekte Wasserundurchlässigkeit, welche verhindert, dass bei tiefem Grundwasserspiegel das Lackenwasser in den Untergrund infiltriert. Die Eigenschaft der Wasserundurchlässigkeit wurde als unveränderliches Merkmal des geologischen Untergrundes betrachtet.



Rudolf Krachler

Abb. 3.2: Die Linien gleicher GW Pegelstände (Isohypsen) definieren den Seewinkel als eine auch nach Osten zur Kleinen Ungarischen Tiefebene hin geschlossene landschaftliche Einheit (nach HAAS ET AL (1992), bearbeitet)

Vielfach wurde der Klimawandel mit tendenziell höherer Verdunstung und geringeren Niederschlägen mit dem „Lackensterben“ in Verbindung gebracht. Eine geeignete Maßnahme zur Erhaltung von Lacken schien dementsprechend die künstliche Bewässerung mit Grundwasser zu sein.
Aber gerade mit Grundwasser dotierte Lacken zeigten verstärkt Anzeichen des Verfalls wie den Verlust der salzliebenden Flora an ihren Ufern („Aussüßung“) und beschleunigte Verschilfung und Verkrautung.
Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Stauhorizonte diverser intakter und degradierter Lacken untersucht.

Dabei zeigte sich, dass das Lackensediment keineswegs unter allen Umständen wasserundurchlässig und daher staufähig ist, sondern diese Staufähigkeit nur unter ganz bestimmten, genau definierten und eng begrenzten Bedingungen annimmt.

Im Regelfall ist das Lackensediment zwar völlig wasserdicht, es kann aber auch, als Antwort auf den Wechsel der Umweltbedingungen bei Austrocknung der Lacke, seine Eigenschaften rasch verändern und wasserdurchlässig werden. Dieser bei intakten Lacken saisonal bedingte Vorgang ist reversibel, d.h. der Stauhorizont kehrt, sobald sich die Lacke mit Niederschlagswasser zu füllen beginnt, automatisch in den ursprünglichen wasserdichten Zustand zurück. Im Zuge des Lackensterbens kommt es jedoch zu irreversiblen Veränderungen des Stauhorizonts.

In allen untersuchten degradierten Lacken wurde in der obersten Schicht des Salzführenden Horizonts ein ungewöhnlich geringer Salz- und Feinsedimentgehalt festgestellt. Am Beginn des Projekts stand daher die Hypothese, dass das optimale Funktionieren des Stauhorizonts an bestimmte hydrogeochemische Randbedingungen geknüpft ist.
Im Zuge der Untersuchungen stellte sich heraus, dass der Vorgang der Degradierung des Salzführenden Horizontes im Prinzip reversibel ist und dass durch Ersatz des verloren gegangenen Soda- und Glaubersalzgehalts in einem Zeitraum von ca. 12 Monaten eine weitgehende Regeneration des Stauhorizontes erzielt werden kann. Dabei spielt eine Reihe komplizierter vernetzter Vorgänge im Sediment eine Rolle, wie Gel-Sol Übergänge der Mineralkomponenten der Feinfraktion, Ausfällung von feinkörnigem Magnesium-Calcit, mikrobieller Abbau organischen Materials unter Sauerstoffzutritt, Anreicherung von Huminstoffen, kapillarer Auf- und Abwärtstransport gelöster Salze sowie mikrobielle Sulfatreduktion und andere anaerobe Vorgänge mit entsprechenden Änderungen des Redoxpotentials und des pH-Werts im Sediment-Porenwasser.

Mit Hilfe von Labor-Modellversuchen wurde ein Lacken-Renaturierungskonzept auf Basis des Ersatzes der natürlichen Salzausblühungen durch Aufbringen der wichtigsten Salzkomponenten auf das trockene oder gefrorene Lackensediment ausgearbeitet, und dieses wurde im Freiland zunächst an zwei 3 x 3 m Versuchsflächen im Bereich der seit Jahrzehnten degradierten Nördlichen Martinhoflacke getestet. Im September 2004 wurde wasserfreie Soda bzw. eine Mischung von Soda und Glaubersalz (Massenverhältnis 3:1) auf den ehemaligen Lackenboden aufgebracht (4 kg/m²), wobei vorher die standortfremde Vegetation vorsichtig abgetragen wurde. Die Regeneration des im degradierten Zustand koagulierten (krümeligen), wasserdurchlässigen Sediments zu einem funktionierenden Stauhorizont erfolgte im Freiland rascher als unter Laborbedingungen. Bereits im März 2005 wurde eine Wassersäule von ca. 3 cm gemessen, in der sich Zooplankton entwickelte und Limicolen nach Nahrung suchten. Die Methode erwies sich demnach als schonend und ökologisch gut verträglich.

Großflächige Salzausbringungen auf Untersuchungsflächen im Bereich des ehemaligen Lackenbodens der Kleinen Neubruchlacke und der Nördlichen Martinhoflacke im Februar 2005, Februar 2006 (nur Nördliche Martinhoflacke) und Februar 2007 (nur Nördliche Martinhoflacke) waren ebenfalls sehr erfolgreich (**Abb. 3.3**: Versuchsfläche Nördliche Martinhoflacke a) September 2004, b) März 2007).

Anja Stojanovic



Regina Krachler



a) September 2004 *b) März 2007*

Abb.3.3: Versuchsfläche Nördliche Martinhoflacke vor und nach den Salzausbringungen.

Die Salzausbringung im Februar 2005 erfolgte maschinell, nach Abtragung der organischen Bodenschicht durch einen Gräder, zum Vergleich wurde jedoch auf einen Teil der Versuchsfläche der Nördlichen Martinhoflacke sowie im degradierten Randbereich der Kleinen Neubruchlacke die Salzmischung direkt auf die Vegetationsschicht aufgetragen. Diese vergleichenden Untersuchungen ergaben, dass das Abtragen der standortfremden Vegetation für die Renaturierung der Lacke keinen Vorteil brachte, da sowohl die Vegetationsschicht als auch der durch die Vegetation entwickelte organische Boden (Humus) durch die im Sediment vorhandenen alkaliphilen Mikroorganismen, die nun wieder ausreichend mit den geeigneten Salzen versorgt waren, sehr rasch und vollständig abgebaut wurden.
Da die maschinelle Salzausbringung teilweise die Sedimentoberfläche veränderte (Radspuren), wurden die weiteren Salzausbringungen im Februar 2006 und Februar 2007 manuell durchgeführt.
Die im Rahmen dieses Projekts ausgearbeitete Methode der schonenden Salzaufbringung könnte im Prinzip zur Renaturierung und Stabilisierung aller gefährdeten oder degradierten Seewinkellacken angewendet werden. Bedingt durch die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Lacken sind allerdings hinsichtlich Menge und Zusammensetzung der verwendeten Salze individuelle Konzepte zu erstellen. Die Salzung ist außerdem nur in Kombination mit anderen – auf Erhaltungszustand und Eigenart der jeweiligen Lacke sorgfältig abgestimmten – Pflege- und Renaturierungsmaßnahmen sinnvoll.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen zeichnen ein klares Bild von der Ursache des Lackensterbens im Seewinkel. Sie beweisen, dass die Seewinkellacken nicht durch einen Mangel an Niederschlägen, sondern durch den Verlust ihrer charakteristischen Salze degradieren, eine unausbleibliche Konsequenz der großflächigen Entwässerung (Drainage) des Seewinkels. Die wichtigste empfohlene Managementmaßnahme ist demnach der Stopp der Salzverluste durch Anheben des Grundwasserspiegels (Nachhaltiger Umgang mit den Grundwasserressourcen: Erstellen von Flächenwidmungsplänen unter Einbeziehung der Salzböden; Erstellen eines zeitgemäßen Grundwasser-managementkonzeptes unter Berücksichtigung der Erfordernisse der Salzböden; untergeordnete und angepasste Entwässerung).

3.3 Problemstellung

a) Voruntersuchungen: Aufklärung des detaillierten Mechanismus der Lackendegradation.

b) Quantifizierung des Einflusses der künstlichen Grundwasserabsenkung. Wie weit darf der mittlere Grundwasserstand unterhalb einer Lacke maximal abgesenkt werden, ohne dass die Lacke ihre ökologische Funktionsfähigkeit verliert?

c) Auf der Basis von Punkt a): Beantwortung der Frage, ob eine Renaturierung degradierter Seewinkellacken unter Wiederherstellung ihrer vollen ökologischen Funktionsfähigkeit theoretisch möglich ist.

d) Entwicklung eines konkreten Renaturierungskonzepts mit Hilfe von Labormodellversuchen.

e) Auf der Basis von Punkt d): Austestung des Renaturierungskonzepts im Rahmen von Freilandstudien an den drei ausgewählten Lacken Kleine Neubruchlacke, Nördliche Martinhoflacke und Krautingsee.

3.4 Methodik

Die Karte in **Abb. 3.4** zeigt die für die Renaturierungsversuche ausgewählten Lacken.

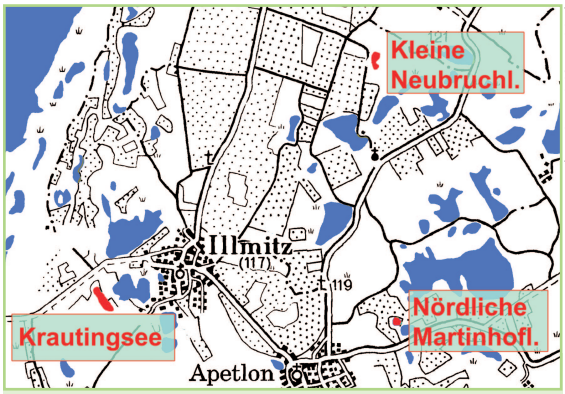


Abb. 3.4: Die drei für die Renaturierungsversuche ausgewählten Lacken.

Insgesamt wurden 9 Lacken bzw. degradierte Lacken in die Studie einbezogen: Gansellacke bei St. Andrä am Zicksee, Ochsenbrunnlacke, Südliche Martinhoflacke, Nördliche Martinhoflacke, Große Neubruchlacke, Kleine Neubruchlacke, Lange Lacke, Darscho, Krautingsee.

Probennahme:
Sedimentbohrkerne wurden mittels eines Edelmann-Bohrers (Ejkelkamp Inc.) jeweils aus dem Randbereich und dem Zentrum der Lacken entnommen. So wurden bis 3 m lange Bohrkerne gewonnen, die in Schichten von 5 cm Dicke geteilt wurden.
Für die radiochemischen Analysen wurden 50 cm lange kompakte Cores mittels eines Kunstoffrohres (10 cm Durchmesser) entnommen, im Labor tiefgefroren und in 0,5 cm Scheiben geschnitten.

Sedimentanalysen:

Die Korngrößeverteilung wurde durch nasses Sieben bestimmt. Dafür wurde ein "Siebturm" aus vier Sieben mit unterschiedlichen Maschenweiten (40 µm, 50 µm, 315 µm und 1000 µm) aufgebaut. 10 g getrocknete Probe wurden eingewogen, mit Wasser aufgeschlämmt und in die Siebkonstruktion geleert. Die Probe wurde dann mehrmals mit destilliertem Wasser (insgesamt ca. 1 l) ausgespült. Die Rückstände auf den Sieben wurden danach für einige Stunden bei 80° C getrocknet und gewogen. Aus der Differenz zwischen Einwaage und Summe der Rückstände auf den Sieben konnte die Masse des Feinsediments (Ø< 40 µm) berechnet werden.

Die Probe wurde mit destilliertem Wasser aufgeschlämmt und der pH-Wert mit der Glaselektrode gemessen. Das Redoxpotential wurde möglichst kurz nach der Probennahme direkt im feuchten Sediment gegen die Ag/AgCl Elektrode gemessen. Für die Bestimmung des Wassergehaltes wurden die Proben in Kristallisierschalen eingewogen, 24 Stunden bei 80° C getrocknet und ausgewogen.

Um die Konzentrationen der wasserlöslichen Ionen im Bohrkern zu bestimmen, wurden wässrige Extrakte in folgender Weise vorbereitet: Je 50 g getrockneter Probe wurden in eine 250 ml Weithals-Plastikflasche mit O-Ring-Dichtung eingewogen, anschließend wurde die sechsfache Menge an destilliertem Wasser zugegeben. Die Flaschen wurden fest geschlossen und 24 Stunden geschüttelt. Danach wurde dekantiert und bei 2000 rpm zentrifugiert. Die Natrium- und Kaliumkonzentration in den wässrigen Auszügen wurde mittels Flammen-Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS) bestimmt. Die Konzentration an Calcium- und Magnesiumionen wurden mittels komplexometrischer Titration mit EDTA ermittelt. Die Konzentrationen an Sulfat- und Chlorid wurde mittels Ionenchromatographie (ICS 1000) mit geeigneter Säule (IonPac® AS15, analytisch, 4 x 250 mm) bestimmt. Die Konzentration an Carbonat- und Hydrogencarbonationen wurde über potentiometrische Titration ermittelt. Die Probelösung (25 ml) wurde mittels einer automatischen Bürette („Dosimat", Metrohm Inc.) mit 0,1 N HCl titriert. Der Endpunkt der Titration wurde mit Hilfe der Gran-Funktion berechnet. Für die Bestimmung des Gehalts an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) wurde ein automatisch arbeitendes Gerät (Skalar® Inc.) verwendet. Im Rahmen dieses Prozesses wurde die Probe zuerst mit Schwefelsäure angesäuert, dann wurde das Verdauungsreagenz (Lösung von Kaliumperoxodisulfat und Borax) zugesetzt und das Gemisch wurde unter UV-Strahlung verdaut. Die Menge an produziertem CO_2 wurde mittels IR-Detektor gemessen.

Sediment-Altersdatierung mit der ^{210}Pb-Methode:

^{210}Pb ist ein natürliches Radionuklid der ^{238}U-Zerfallsreihe mit einer Halbwertszeit von 22,26 Jahren. Die Messergebnisse wurden für 600 mm mittleren Jahresniederschlag interpretiert sowie unter der Annahme, dass jährlich 130 Bq (^{210}Pb) pro m^3 Niederschlagswasser deponiert werden. Es wurde das CRS-Modell (Constant Rate of Supply) verwendet. Um die ^{210}Pb-Aktivität im Bohrkern bestimmen zu können, wurde die γ-Aktivität von ^{210}Pb (46,5keV) gemessen, verwendet wurde ein reverse electron Ge-Detektor (Irlweck und Hedrich, 1983).

^{137}Cs - Sedimentprofile:

^{137}Cs kommt in der Natur nicht vor. Es ist ein künstliches Radionuklid, ein β-Strahler mit einer Halbwertszeit von 30,17 Jahren. Bei der Explosion von Block IV des Ukrainischen Atomkraftwerks Chernobyl am 26. April 1986 wurde auch ^{137}Cs freigesetzt, 2 % der Gesamtmenge wurde in Österreich deponiert, im Mittel 23,4 kBqm^2, wobei die regionale Verteilung sehr stark variierte, in Abhängigkeit von den Regenfällen im April und Mai 1986 (Bossow et al., 1996, Irlweck und Hedrich, 1983).

^{137}Cs erreichte die Erdoberfläche bzw. die Lackenoberfläche mit dem Niederschlag, wurde sehr rasch an feinkörnige Tonmineralpartikel adsorbiert und in den Prozess der Sedimentation mit eingebunden. Da ^{137}Cs sehr fest an die Feinstfraktion Ø<40 µm bindet, kann es (in Kombination mit der Sedimentdatierung nach der ^{210}Pb Methode) als Indikator für das unterschiedliche Schicksal der Feinstfraktion in intakten und degradierten Lacken verwendet werden. Zur Bestimmung der ^{137}Cs Aktivität im Bohrkern wurde die γ-Aktivität (662 keV) gemessen, unter Verwendung eines coaxialen Ge-Detektors.

Genauigkeit:

Die analytische Genauigkeit, mit der die Messergebnisse angegeben werden, ist naturgemäß von der verwendeten Methode abhängig. Eine Streuung von ±5 % wird nicht überschritten.

Graphiken:
Um die Interpretation der Graphiken zu erleichtern, ist es zweckmäßig, die Punkte eines Cores optisch sichtbar durch eine Linie zusammenzufassen.

- Sofern die einzelnen Messpunkte einen glatten Verlauf erkennen lassen und sich Trends in mehreren Parametern wieder finden, wurde durch die Punkte eine Spline-Funktion gelegt.
- Erlaubt eine zu hohe Streuung der Punkte eines Cores eine strenge Interpretation nicht, wurden geeignete Ausgleichsfunktionen (Trendlinien) durch die Schar der Messpunkte gelegt.

3.5 Ergebnisse

Der Vergleich von Sedimentprofilen intakter und degradierter Lacken in Kombination mit Grundwasseruntersuchungen und mit der Bestimmung der Sedimentationsrate in einer intakten und einer degradierten Lacke ermöglichte die Aufklärung des Mechanismus des „Lackensterbens“ und anderer – langsamer voranschreitender – Formen der Lackendegradation.

3.5.1 Bestimmung der Sedimentationsrate

Das ^{137}Cs Profil im ufernahen Bereich der Kleinen Neubruchlacke in **Abb. 3.5** zeigt, dass das an die Feinsediment-Fraktion gebundene Radiocäsium seit 1986 nicht nennenswert mobilisiert wurde. Aus der Datierungskurve (^{210}Pb Methode) desselben Bohrkerns in **Abb. 3.7** ist zu erkennen, dass die im Jahr 1986 an der Oberfläche liegende Schicht heute in ca. 1,7 cm Tiefe zu finden sein sollte, der ^{137}Cs Peak in **Abb. 3.5** liegt in etwa 2,5 cm Tiefe, hat sich demnach nur um 0,8 cm nach unten verlegt. Das durch ^{137}Cs „markierte“ Feinsediment ist also praktisch an Ort und Stelle verblieben. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die kleine Neubruchlacke nicht von Feinsedimentverlusten betroffen ist.

Rudolf Krachler

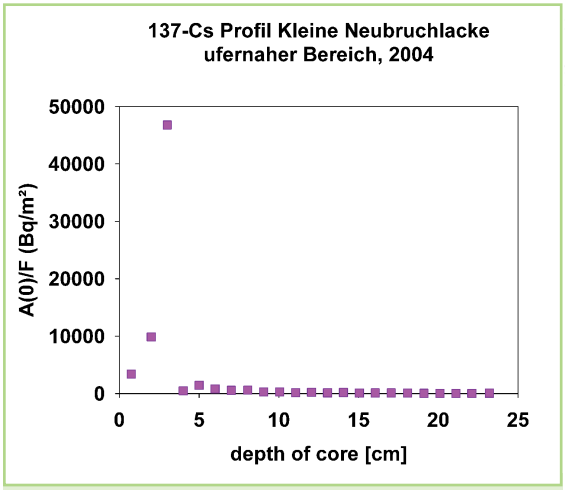


Abb. 3.5: ^{137}Cs Profil im westlichen ufernahen Bereich der Kleinen Neubruchlacke, 7. 3. 2004. Der ausgeprägte Peak in 2.5 cm Tiefe ist eine Folge der Chernobyl-Katastrophe.

Andererseits zeigt das Profil, dass im Uferbereich der Kleinen Neubruchlacke in 20 Jahren rund 1,7 cm Material abgelagert worden sind, die Lackenwanne verliert also rasch an Volumen.

Rudolf Krachler

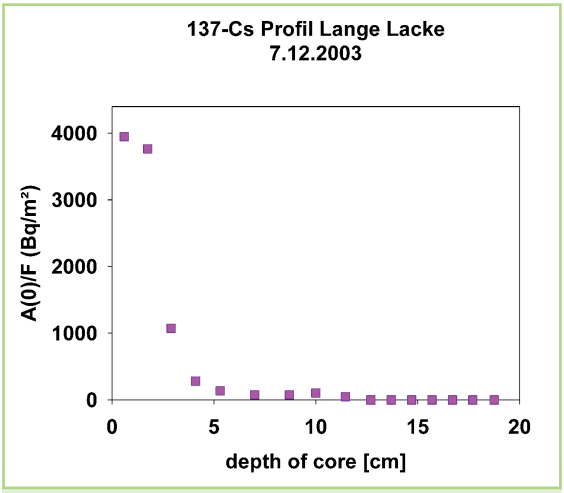
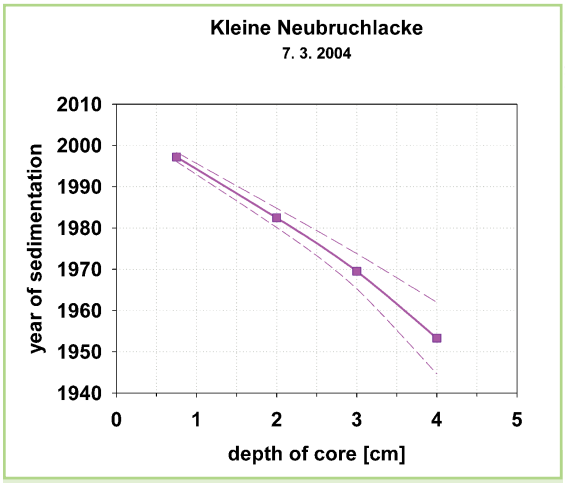


Abb. 3.6: ^{137}Cs Profil der Langen Lacke im Dezember 2003. Der Bohrkern wurde in der ausgetrockneten Lacke nahe beim Pegel gezogen. In der obersten Sedimentschicht ist daher in diesem Core auch die „Lackentrübe“ mit enthalten, welche den größten Teil des ^{137}Cs enthält.

Zum Vergleich ein ^{137}Cs Profil aus dem intakten Teil der Langen Lacke (beim Pegel) (**Abb. 3.6**). Hier ist keine Tiefenverlagerung des ^{137}Cs Peaks feststellbar. Es hat also in der Zeitspanne 1986-2003 keine messbare Sedimentation stattgefunden, der größte Teil des im Mai 1986 in der Langen Lacke deponierten ^{137}Cs befindet sich noch immer in der suspendierten Trübe der Wassersäule. Die ^{137}Cs-Belastung ist hier wesentlich geringer als in der Kleinen Neubruchlacke. Dies könnte auf Ausblasung von Feinsediment aus der Langen Lacke hinweisen, da diese bei relativ hohem Grundwasserstand im Jahr 1990 trocken lag. Es waren intensive

Salzausblühungen und Verwehungen des „Sodaschnees“ zu beobachten. Dass zu diesem Zeitpunkt Feinsediment mitausgeblasen worden ist, erscheint möglich. Durch die überaus geringe Sedimentationsrate und – in Phasen des Trockenfallens – die Ausblasung von Feinsediment bleiben die flachen Lackenwannen intakter Seewinkellacken über sehr lange Zeiträume erhalten.



Rudolf Krachler

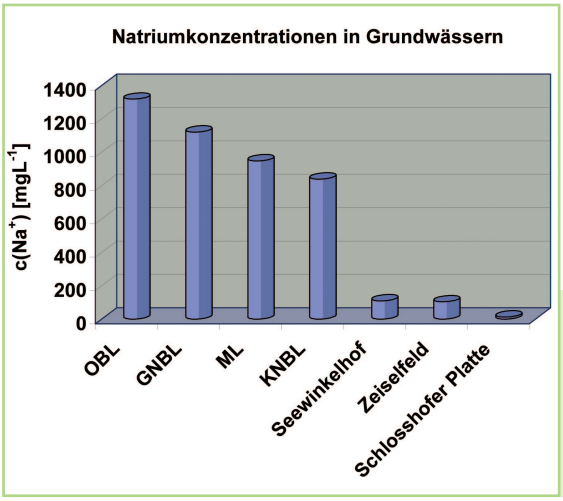
Abb. 3.7: Ergebnis der ^{210}Pb Datierung eines Bohrkerns aus dem ufernahen Bereich der Kleinen Neubruchlacke, März 2004.

Abb. 3.7 zeigt das Ergebnis der ^{210}Pb Datierung eines Bohrkerns aus dem ufernahen Bereich der Kleinen Neubruchlacke im März 2004. Diese Kurve verläuft in größerer Tiefe steiler als in geringerer Tiefe, d.h. die Sedimentationsrate nimmt gegenüber früheren Jahren zu. Dies lässt sich dahingehend interpretieren, dass durch die fortschreitende Degradierung in steigendem Maße organisches Material mit abgelagert wird. Die fehlende Nachlieferung von Salzen aus dem Grundwasser führt zu einem Mangel an Carbonat und Sulfat, wodurch die mikrobiellen Abbauvorgänge massiv gehemmt werden.

Die langsame Verlandung der Lacken durch Sedimentation ist neben dem „plötzlichen“ Lackensterben als eine weitere ernste Bedrohung dieser Ökosysteme anzusehen.

3.5.2 Mögliche Zustände des intakten Lackensediments

Saline, alkaline Seen erhalten ihre Salze gewöhnlich durch Zuflüsse, deren gelöste Salzfracht sich im abflusslosen Becken durch Verdunstung aufkonzentriert. Nicht so die Seewinkellacken. Diese besitzen keine Zuflüsse und erhalten ihre Salze ausschließlich aus dem Grundwasser. Die Salzverluste, die sie regelmäßig erleiden, können nur durch Nachlieferung aus dem Grundwasser kompensiert werden, wobei das Grundwasser in temporär trocken gefallenen Lackenbereichen in feinen Kapillaren des noch feuchten Sediments hochsteigt und sich dabei in charakteristischer Weise chemisch verändert.



Rudolf Krachler

Das Grundwasser im Seewinkel allgemein, aber insbesondere in der Nähe bzw. unterhalb der Lacken ist außergewöhnlich reich an Mineralsalzen, vor allem an Soda (Natriumcarbonat) und Glaubersalz (Natriumsulfat). In **Abb. 3.8** sind die Natriumgehalte verschiedener Grundwässer des Seewinkels mit dem Natriumgehalt eines durchschnittlichen Grundwassers im Marchfeld (Schlosshofer Platte) verglichen.

Abb. 3.8: Natriumionen-Konzentration im Grundwasser unterhalb von Seewinkellacken (Ochsenbrunnlacke (OBL), Große Neubruchlacke (GNBL), Südliche Martinhoflacke (ML), Kleine Neubruchlacke (KNBL)) sowie abseits von Lacken (in der Nähe des Seewinkelhofs und im Zeiselfeld bei Podersdorf), verglichen mit dem Natriumgehalt eines durchschnittlichen österreichischen Grundwassers (Schlosshofer Platte im Marchfeld).

Die Wanne jeder Seewinkellacke ist mit einer ein bis mehrere Meter dicken Feinsedimentschicht ausgekleidet, die über grundwasserführenden Schottern und Sanden liegt. Diese Feinsedimentschicht wird als Salzführender Horizont der Lacke bezeichnet und besteht aus allochthonem Material (Feinsande unterschiedlicher Körnung bis zu Kiesen), die von Flüssen (Donau, Rabnitz) abgelagert wurden und in die autochthones Feinsediment eingelagert ist. Das Feinsediment hat sich durch Übersättigung des Grundwassers infolge intensiver Verdunstung gebildet und besteht aus Carbonaten

(Calcit, Magnesiumcalcit und Protodolomit) sowie aus Silikaten (Schichtsilikate wie Smektite und Kaolinit). Sowohl die Körnung der allochthonen Komponente sowie deren Gehalt an autochthonem Feinsediment zeigen sehr starke vertikale Schwankungen ebenso wie der Chemismus des Feinsediments und der Porenlösung starken vertikalen und zeitlichen Änderungen unterliegt. Dennoch sind, wie **Abb. 3.16** zeigt, innerhalb des Stauhorizontes funktionierender Lacken generelle Trends vorhanden: Der Natriumgehalt des Salzführenden Horizontes steigt von der Basis zur Oberfläche stark an, während gleichzeitig der Gehalt an löslichen Calciumsalzen signifikant sinkt. Deutlich spiegelt sich hier der Prozess der Anreicherung der löslichen Natriumsalze (Soda und Glaubersalz) aus dem Grundwasser in Richtung zur Oberfläche, während die Calciumsalze des im Stauhorizont aufsteigenden Grundwassers mit zunehmendem Sodagehalt immer weniger löslich und mit geringer werdendem Abstand zur Oberfläche als Calcit deponiert werden.
Der Salzführende Horizont übernimmt daher die Aufgabe, das Grundwasser chemisch aufzubereiten, das heißt in eine für die Lacke verträgliche Form zu bringen, indem er insbesondere das gelöste Ca^{2+} hindert, in die Lackenwanne zu gelangen. Dies ist wichtig, weil Ca^{2+} die Dichtheit der obersten Sedimentschicht beeinträchtigt.

Zustand 1 (Solonetz)

Der obersten 5 cm bis 10 cm mächtigen Schicht des Salzführenden Horizonts kommt eine besondere Aufgabe zu: Sie ist dafür zuständig, die (fast ausschließlich durch Niederschläge gespeiste) Lacke gegen den Untergrund vollkommen abzudichten, sodass das Lackenwasser auch über Monate nicht versickert (**Zustand 1** des Sediments). Dieser **Zustand 1**, der durch die Eigenschaft „wasserdicht unter Wassersäule“ am besten beschrieben werden kann, ist der Normalzustand einer wasserführenden Lacke. Die elektrische Leitfähigkeit des Lackenwassers beträgt dann 2-20 mS/cm. Unsere (dem vorliegenden Projekt zugrunde liegende) Hypothese ist, dass für **Zustand 1** ein ausreichender Gehalt an sehr feinkörnigen Bestandteilen des Sediments (Ø<40 µm Fraktion, der mit Na^{+} gesättigte Tonmineralkomplex) eine ebenso wichtige Rolle spielt wie eine ausreichend hohe Konzentration der Natrium-Salze des mit dem Tonmineralkomplex im Gleichgewicht stehenden Porenwassers, und dass darüber hinaus mikrobiologische Prozesse im Sediment eine tragende Funktion besitzen. Im wassergesättigten Zustand schließen sich die Kapillaren des Sediments und Wasser kann dann weder versickern noch von unten in die Wanne gedrückt werden, noch kapillar hoch befördert werden. Die Lacken sind vom Grundwasser abgekoppelt (astatisch) und werden nur von Niederschlagswasser gespeist. Dieser oft von September bis Mai vorherrschende **Zustand 1** des Lackensediments ist auch durch eine besonders stabile Trübe in der Wassersäule begleitet.

Zustand 2 (Natronsolontchak)

Intensive Verdunstung kann zum Absinken des Pegelstandes der Lacke führen, dabei konzentrieren sich die gelösten Salze im Wasser sehr stark auf. Im Zustand sehr hoher Salzkonzentration (spezifische elektrische Leitfähigkeit bis 60m S/cm) ändert die mineralische Trübe des Lackenwassers ihr Verhalten. Sie wird instabil, koaguliert und setzt sich ab und das sonst trübe Wasser wird klar. In Wechselwirkung mit dem hochkonzentrierten Lackenwasser verändert sich auch das Sediment: Es bildet schon vor dem gänzlichen Trockenfallen im Bereich der dichtenden Sedimentschicht ein Netz von Rissen (Schwundrisse). Diese Beobachtung weist darauf hin, dass das Sediment **Zustand 2** („Wasserdurchlässigkeit infolge sehr hoher Salzkonzentration im Porensystem“) erreicht hat. In **Zustand 2** versickert das restliche, trübefreie, durch Huminstoffe braun gefärbte, hochkonzentrierte Lackenwasser durch die bis zu 15 cm tiefen Schwundrisse. (**Abb. 3.9** zeigt Schwundrisse im Sediment der Ochsenbrunnlacke kurz nach dem Trockenfallen.) Die Salze wandern in tiefere Schichten des Sediments, wo sie gespeichert bleiben. **Zustand 2** führt infolge Eindringens der hochkonzentrierten Salzlösung in das geöffnete Porensystem des koagulierten Tonmineralkomplexes zum raschen Trockenfallen der Lacke.



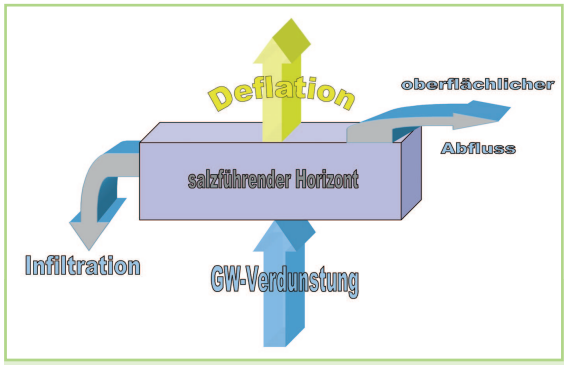
Regina Krachler

Abb. 3.9: Schwundrisse (hier im Sediment der Ochsenbrunnlacke) entstehen bei hohen Salzkonzentrationen im Zuge des Trockenfallens einer intakten Seewinkellacke.

Zustand 3

Nach dem Trockenfallen übernimmt der Salzführende Horizont eine weitere Aufgabe. Er schaltet auf **Zustand 3** um –„begrenzte

Wasserdurchlässigkeit“ – und befördert mit Hilfe des Kapillareffekts in einem vertikalen Strom große Mengen Grundwassers an die Oberfläche. Dort verdunstet das Grundwasser durch die Einwirkung der Sonnenstrahlung und des Windes. Dadurch reichern sich die in der Tiefe gespeicherten, mit dem Grundwasser hoch transportierten Salze an der Oberfläche des Sediments an. Gleichzeitig können Salzverluste aus dem Salzgehalt des Grundwassers ausgeglichen werden. **Abb. 3.10** zeigt eine schematische Darstellung des Salzführenden Horizonts als Salzspeicher der Lacke. An manchen



Rudolf Krachler

Abb. 3.10: Schematische Darstellung des Salzführenden Horizonts einer Seewinkellacke als Salzspeicher der Lacke. Salzverluste durch Versickern (Infiltration), Windverblasung (Deflation) sowie durch oberflächlichen Abfluss bei Hochwasser werden durch Salznachlieferung aus dem Grundwasser kompensiert.

Regina Krachler



Abb. 3.11 a: Natürliche Salzausblühungen Mai 2007.

Regina Kohlbauer



Abb. 3.11 b: Natürliche Salzausblühungen Mai 2007.

Regina Kohlbauer



Abb. 3.11 c: Natürliche Salzausblühungen Mai 2007.

Tagen sind an der Oberfläche auskristallisierte Salze („Sodaschnee“, Salzausblühungen) zu beobachten. Dabei handelt es sich um Minerale wie Thenardit Na_2SO_4, Mirabilit $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, Thermonathrit $Na_2CO_3 \cdot H_2O$, Natron $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, Trona $Na_3(CO_3)(HCO_3) \cdot 2H_2O$, Nahcolit $NaHCO_3$, oder Wegscheiderit $Na_5(CO_3)(HCO_3)_3$ (Joeckel and Ang Clement, 2005). **Abb. 3.11 a)** zeigt an Schilfhalmen hoch kriechende natürliche Salzausblühungen in der Legerilacke bei Podersdorf, **Abb. 3.11 b)** und **Abb. 3.11 c)** Salzausblühungen an der Legerilacke und am Oberen Stinkersee, Anfang Mai 2007.

Abb. 3.12 zeigt am Beispiel der im September 2003 trocken gefallenen Östlichen Wörthenlacke die charakteristische Windverwehung (Deflation) von Salzausblühungen. **Abb. 3.13** – chemische Zusammensetzung von Salzausblühungen am Ufer des Darscho im September 2005: In dieser Probe war der Gehalt an Natriumsulfat besonders hoch, jedoch variiert das Verhältnis von Soda und Glaubersalz in den Salzausblühungen in sehr weiten Grenzen.

Regina Krachler



Abb. 3.12: Vom Wind hochgewirbelter „Sodaschnee“, östliche Wörthenlacke, September 2003.

Jakob Geiger

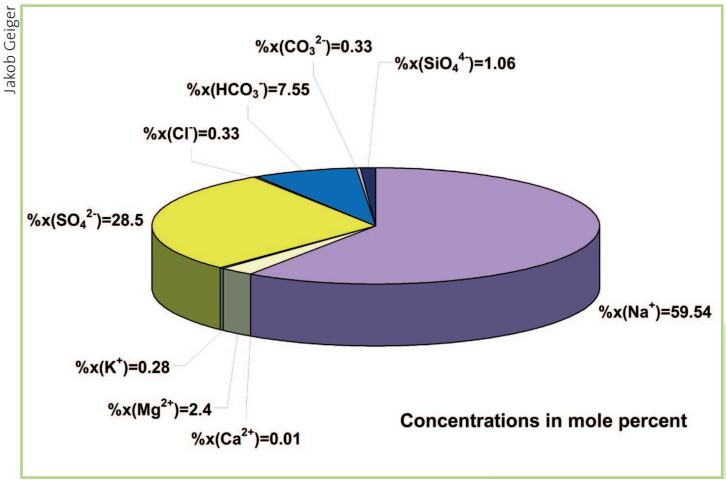


Abb. 3.13: Chemische Zusammensetzung von natürlichen Salzausblühungen am Ufer des Darscho, September 2005. Dargestellt ist der Gehalt an Kationen Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, und Anionen SO_4^{2-}, HCO_3^-, CO_3^{2-}, Cl^- in Mol%.

In **Tabelle 3.1** sind die ökologisch relevanten Zustände des Lackensediments zusammengefasst. Die Zustände des intakten Sediments sind reversibel ineinander umwandelbar, d.h. das Sediment übernimmt die Funktion eines durch Umweltfaktoren geregelten Ventils und steuert wirkungsvoll die aufwärts und abwärts gerichteten Wasser- und Salzflüsse.

Zustand	Lacke führt Wasser	Salzkonzentration im Lackenwasser	Wasserdurch-lässigkeit	kapillarer Aufstieg von Grundwasser	pH Wert im Sediment	Feinsediment-gehalt (Ø<40µm Fraktion)
1 intakt	ja	2-20gL^{-1}	vernachlässigbar	nein	10.0-10.5	60-90%
2 intakt	ja	40-70gL^{-1}	hoch (durch Schwundrisse)	nein	10.0-10.5	60-90%
3 intakt	nein	_____	gering	ja	9.5-10.0	60-90%
4 degradiert	nein	_____	hoch	nein	7.5-8.5	<60%

Tabelle 3.1: Die wichtigsten Zustände des Lackensediments.

3.5.3 Ursachen des „Lackensterbens“

In der Phase des Trockenfallens befinden sich die Lacken prinzipiell in einem labilen und kritischen Zustand: Die Vegetation ergreift jede Gelegenheit, neue Flächen, so genannte Ruderalflächen, zu besiedeln, wobei die Besiedlung durch Vegetation ein mehrjähriger Prozess einer Sukzession von salztoleranten Pionieren zu weniger salztoleranten Gemeinschaften ist, wie im Projektteil „Vegetationsökologische Untersuchungen“ ausführlich beschrieben.
Einzig und allein durch sehr hohe Salzkonzentrationen an der Oberfläche vermag sich die Lacke vor der Besiedlung durch standortfremde Vegetation zu schützen. Da jede Salzanreicherung einen nach oben gerichteten vertikalen Wasserstrom voraussetzt (**Abb. 3.16**), ist es für die Lacke in diesem Stadium eine absolute Überlebensfrage, dass der Salzführende Horizont mit dem Grundwasser in Kontakt steht (**Abb. 3.14**). Das Schema eines vertikalen Schnitts durch eine trocken-gefallene Seewinkellacke bei unterschiedlichen Grundwasserspiegel-Lagen in **Abb. 3.14** soll dies veranschaulichen.
Dem kapillaren Vertikalstrom an die Oberfläche sind nicht nur im grobkörnigeren Material, sondern auch innerhalb des feinkörnigen Salzführenden Horizonts Grenzen gesetzt. Obwohl im Idealfall der kapillare Hub im Salzführenden Horizont bis zu mehrere Meter beträgt, darf in der Praxis der Grundwasserstand nicht sehr weit unter die Sedimentoberfläche absinken, weil mit zunehmender kapillarer Steighöhe der erzielte Fluss rasch zu gering wird, um ausreichend Salze an die Oberfläche zu befördern. Es war Aufgabe des vorliegenden Projekts, zu quantifizieren, wie weit der Grundwasserstand absinken darf, ohne dass die Salzversorgung der Lacke zum Erliegen kommt.

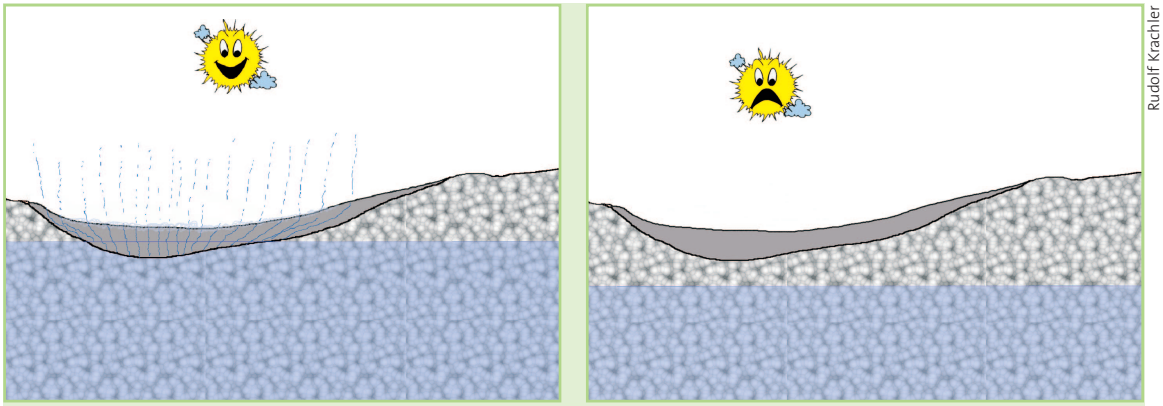


Abb.3.14: Vertikaler Schnitt durch eine trocken gefallene Seewinkellacke a) mit und b) ohne Grundwasserkontakt des Salzführenden Horizonts. Im Fall a) findet kapillarer Aufstieg und Verdunstung von Grundwasser statt, im Fall b) ist der Kontakt zum Grundwasser unterbrochen. Dunkelgrau: Salzführender Horizont. Hellgrau: wasserungesättigter Bereich des Aquifers. Blau: wassergesättiger Bereich des Aquifers.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts durchgeführte Labor-Modellversuche (siehe **Abb. 3.15**, Foto eines Labormodells) zeigten, dass der Zustand des trocken gefallenen Sediments durch eine äußerst empfindliche Balance zweier dynamischer Prozesse geregelt wird. Diese Prozesse sind die Verdunstung durch Sonneneinstrahlung und Wind sowie der kapillare Aufstieg von Grundwasser durch die feinkörnige Sedimentschicht. Ausschlaggebend sind dabei die Geschwindigkeit der Verdunstung an der Sedimentoberfläche einerseits und die Geschwindigkeit, mit der durch kapillaren Hub Grundwasser nachgeliefert werden kann, andererseits. Erfolgen Verdunstung und Nachschub von Grundwasser im Wesentlichen gleich schnell, so kann es zu bedeutenden Salzanreicherungen an der Oberfläche kommen. **Abb. 3.16 a** und **b**, Sedimentprofile der wasserlöslichen Natrium-Ionen, zeigen die charakteristische Anreicherung von Natriumsalzen an der Oberfläche des Sediments bei Trockenfallen intakter Seewinkellacken unter aufrechtem Grundwasserkontakt (Große Neubruchlacke und Kleine Neubruchlacke im Juli 2006). In **Abb. 3.16** ist auch das Profil der wasserlöslichen Calcium-Ionen gezeigt. Der Gehalt an löslichem Ca^{2+} des Grundwassers auf dem Weg an die Oberfläche nimmt stetig ab (durch die Fällung von Calciumcarbonat in der Tiefe) und Ca^{2+} erreicht daher die Oberfläche nur in äußerst geringen Konzentrationen. Die geringe Calciumionenkonzentration ist gemeinsam mit der hohen Natriumionenkonzentration im Porenwasser des oberflächlichen Sediments daran beteiligt, dass der Tonmineralkomplex bei Übergang in **Zustand 1** (unter Wassersäule) einen kolloid-dispersen Zustand annimmt. Dieser kolloid-disperse Zustand ist dafür verantwortlich, dass sich keine Poren und Kanäle ausbilden können, sodass das Sediment staufähig wird.

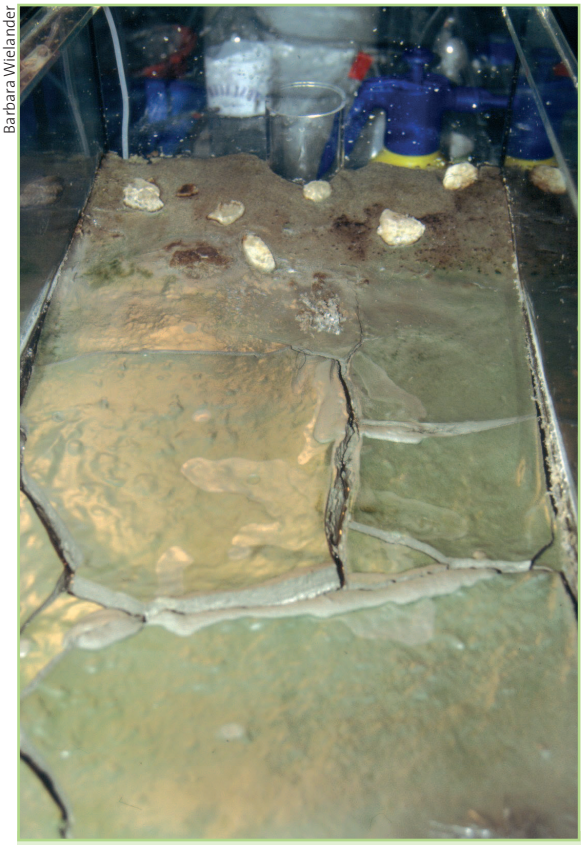
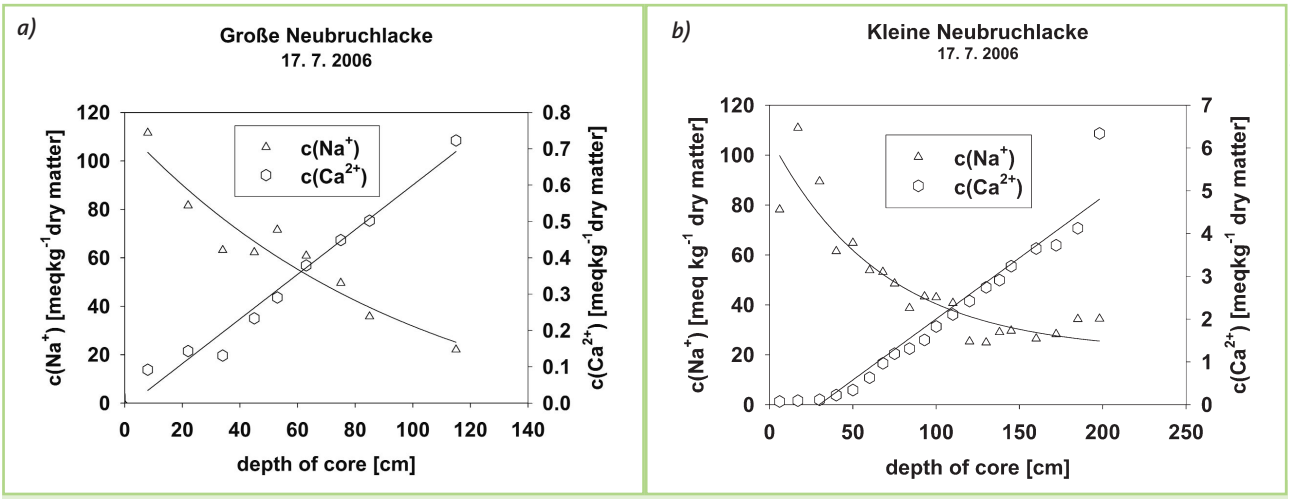


Abb 3.15: Labormodell zur Untersuchung der Wechselwirkung von Grundwasser und Salzführendem Horizont.

Die in **Abb. 3.16 a** und **Abb. 3.16 b** dargestellten Ergebnisse stammen von Bohrkernen aus den zentralen Bereichen der beiden Lacken. Die Große Neubruchlacke ist vollkommen intakt, die Kleine Neubruchlacke zeigt hingegen, beginnend mit 2005, eine massive Ausbreitung der Knollenbinse im Lackenboden (**Abb. 3.17**).

Das für eine intakte Lacke mit Grundwasserkontakt charakteristische Sedimentprofil vom Juli 2006 in **Abb. 3.16 b** lässt darauf schließen, dass die Kleine Neubruchlacke (im zentralen Bereich) trotz des Knollenbinsenbestandes zum Zeitpunkt der Probennahme aus 170 cm Tiefe Grundwasser kapillar hochbefördern konnte.

Rudolf Krachler



Rudolf Krachler

Abb. 3.16: Tiefenprofile der wasserlöslichen Calcium- und Natrium-Ionen, Juli 2006. Die beiden Lacken waren trocken gefallen. Der Anstieg der Natriumkonzentration bis zur Oberfläche zeigt, dass in beiden Fällen zum Zeitpunkt der Probennahme der kapillare Aufstieg von Grundwasser funktionierte.
a) Große Neubruchlacke, Grundwasserspiegel in 90 cm Tiefe, b) Kleine Neubruchlacke, Grundwasserspiegel in 170 cm Tiefe.

Nach dem Trockenfallen einer intakten Lacke (Zustand 3) beginnt der kapillare Aufstieg zunächst mit großer Intensität und führt innerhalb einiger Schönwettertage zu dem in **Abb. 3.16 a** und **Abb. 3.16 b** zu erkennenden exponentiellen Anstieg der Natriumsalzkonzentration zur Oberfläche hin. Das im Grundwasser in höherer Konzentration enthaltene gelöste Calcium wird dagegen während des kapillaren Aufstieges durch die nach oben zunehmenden Carbonatkonzentrationen als Calcit gefällt, und es kommt zu einem annähernd linearen Abfall der Konzentration des mit Wasser extrahierbaren Calciums zur Oberfläche hin.



Barbara Wielander

Abb. 3.17: Kleine Neubruchlacke, September 2005. Die Lacke führte Wasser mit stabiler Trübe, obwohl ihre gesamte Fläche von der Knollenbinse besiedelt wurde. Diese Aufnahme belegt auch eindrucksvoll, dass für den hohen Gehalt an Trübe keinesfalls nur die Windarbeit verantwortlich ist, sondern vielmehr die chemischen Verhältnisse es sind (Natriumsalze, geringe Ca2+-Konzentration, pH um 9.5), die "suspended matter" stabilisieren.

Bei sehr hohen Temperaturen, wie sie in den Sommermonaten im kontinental beeinflussten äußersten Osten Österreichs die Regel sind, erfolgt die Verdunstung tendenziell rascher als die Nachlieferung von Wasser aus dem Aquifer. Der Wassergehalt des oberflächlichen Sediments nimmt dadurch nach und nach ab. Die Geschwindigkeit, mit der Wasser hoch transportiert werden kann, ist nicht konstant, sondern vom Wassergehalt des Sediments abhängig. Bei geringem Wassergehalt wird das Wasser nur mehr über dünne Wasserfilme transportiert, welche die Wände der Poren überziehen. Ab einem gewissen Grad der Austrocknung des Sediments reißt der kontinuierliche Wasserstrom gänzlich ab. Wasser wird dann nicht in flüssiger Form nach oben geführt, sondern diffundiert nur mehr in Form von Wasserdampf durch das System ungesättigter Poren an die Oberfläche (Sumner 2000). Der Flurabstand jener Ebene, in der Verdunstung und kapillarer Strom im Gleichgewicht sind, ist abhängig vom Strom der Verdunstung und vom kapillaren Vertikalstrom. Je größer die Verdunstung wird, desto weiter nach unten verlagert sich diese Ebene, d.h. die „trockene", nicht mehr Wasser, sondern nur Wasserdampf leitende Sedimentschicht wird mächtiger, das Sediment trocknet nach unten hin immer mehr aus, ein Prozess, der im Extremfall erst knapp vor dem Erreichen des Grundwasserspiegels zum Stillstand kommt (Tiefen-Austrocknung des Sediments).
Salzausblühungen können nur dann entstehen, wenn die Ebene, in der der kontinuierliche Wasserstrom abreißt, sehr

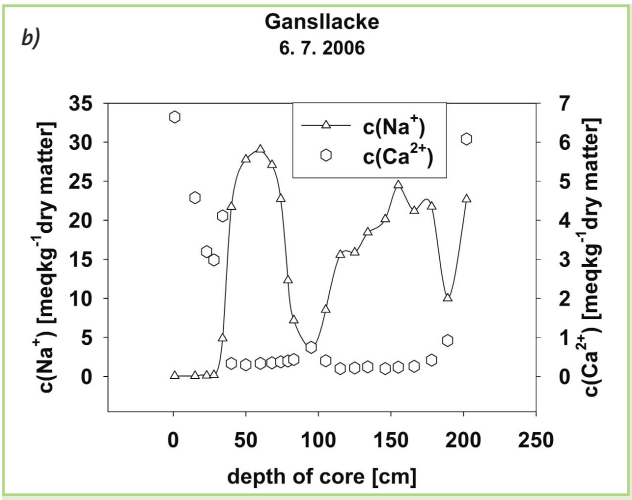
nahe der Oberfläche liegt (in 0.5-1.5 cm Tiefe). Sie werden infolgedessen im Hochsommer seltener beobachtet und treten vor allem im Herbst und Frühjahr auf, wenn die Temperaturen und damit verbunden die Verdunstungsraten niedriger sind. Bei tief liegender Verdunstung werden Salze in jener Ebene innerhalb des Salzführenden Horizonts angereichert, in der der Wasserstrom abreißt. In den Bohrprofilen degradierter Lacken treten daher charakteristische Konzentrationsmaxima weit unterhalb der Oberfläche auf.

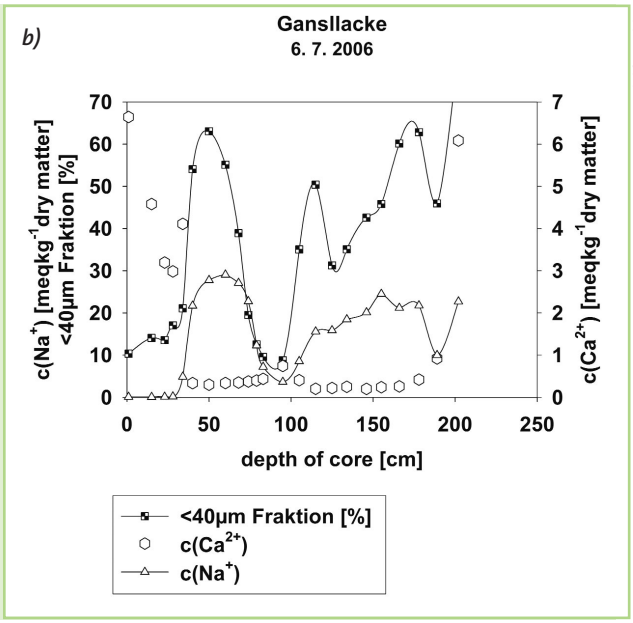
Die Wahrscheinlichkeit der Tiefen-Austrocknung des Sediments steigt mit dem Abstand der Sedimentoberfläche vom Grundwasserspiegel.

Das Einwandern der Knollenbinse in den zentralen Bereich der an sich heute noch intakten Kleinen Neubruchlacke ist auf langfristige Tiefenaustrocknungen in früheren Jahren zurückzuführen. Der in die Tiefe ausgetrocknete Stauhorizont verhinderte die Kompensation oberflächlicher Salzverluste, sodass der Salzgehalt der obersten Sedimentschicht kontinuierlich abnahm, bis eine Besiedlung durch die Knollenbinse möglich wurde. In den kommenden Jahren wird die Knollenbinse das derzeit noch intakte Lackensediment zweifellos in den Zustand der Degradation überführen und damit den Lackenboden für eine Wiesenvegetation vorbereiten. Die einzige Möglichkeit, dies zu verhindern, wäre ein rechtzeitiges Anheben des Grundwasserspiegels.

Abb. 3.18 bringt ein Beispiel für das Verhalten vollständig degradierter Lacken. Die in **Abb. 3.18 a** gezeigten Tiefenprofile der Konzentration wasserlöslicher Calcium- und Natrium-Ionen in der bereits seit mehreren Jahrzehnten degradierten Gansellacke bei St. Andrä verlaufen sehr charakteristisch. Die Na^+-Oberflächenkonzentration bis in 40 cm Tiefe ist sehr gering, denn die Natriumsalze sind oberflächlich weitgehend ausgewaschen. Das Profil löslicher Calcium-Ionen zeigt demgegenüber einen (in allen degradierten Lacken zu beobachtenden) umgekehrten Verlauf, mit hohen Konzentrationen an der Oberfläche, eine natürliche Folge der Aufbereitung des mineralischen Bodenkomplexes durch die sauren Wurzelexsudate. Die im Feinsediment jeder Seewinkellacke enthaltenen Carbonate (Calcit, Magnesiumcalcit, Protodolomit) bilden, unter Einwirkung von Säuren, wasserlösliche Calciumsalze. Auch die silicatischen Bestandteile der Feinfraktion (der Tonmineralkomplex) verwittern, lösen sich auf und werden anschließend ausgewaschen, dementsprechend reichert sich die Feinstfraktion (Ø<40 µm) an der Oberfläche massiv an (siehe **Abb. 3.18 b**. Das oberflächliche Sediment der Gansellacke besitzt bis in 40 cm Tiefe einen äußerst niedrigen Gehalt an Natriumsalzen sowie an der für die Wasserdichtheit so wichtigen Feinstfraktion Ø<40 µm. Das Sediment hat dem Versickern des Niederschlagswassers nichts mehr entgegenzusetzen (Sedimentzustand 1 ist nicht mehr möglich). Dort, wo in der Tiefe von 50 cm noch ein ausgeprägter Natriumpeak vorhanden ist, also noch Natriumcarbonat im Sediment gespeichert ist, welches die mit dem versickernden Niederschlagswasser eindringenden Säuren abpuffern kann, ist auch der ursprüngliche Gehalt an

Rudolf Krachler



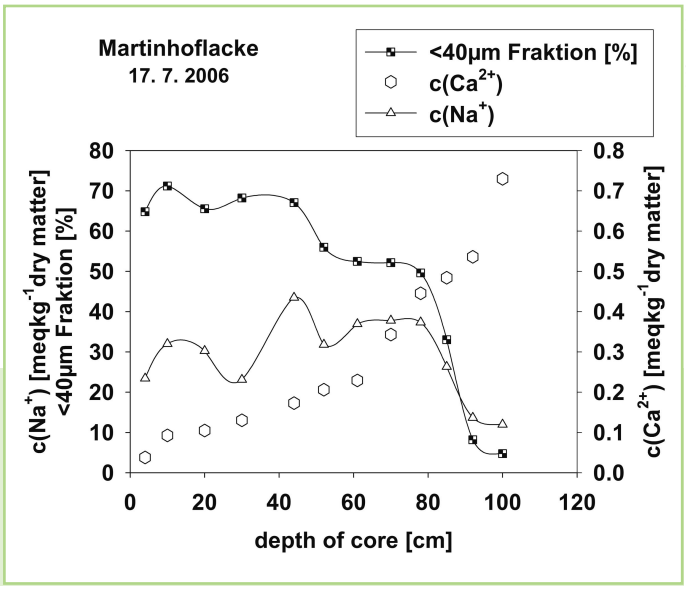


Rudolf Krachler

Abb. 3.18: Tiefenprofile a) wasserlöslicher Calcium- und Natrium-Ionen sowie b) des Anteils an Sediment-Feinstfraktion Ø<40 µm (in Massen%) im Juli 2006 in der seit Jahrzehnten degradierten Gansellacke bei St. Andrä

Feinfraktion erhalten geblieben. Die hohen Natrium- und Feinsedimentgehalte in der Tiefe unterhalb 100 cm lassen erkennen, dass die Gansellacke eine der wichtigen großen Sodalacken des Seewinkels gewesen ist. Zur Zeit der Probennahme wurde das Grundwasser in ca. 220 cm Tiefe angetroffen (im Diagramm am plötzlichen Anstieg der Calcium-Konzentration erkennbar). Diese sehr sodareiche Seewinkellacke, die stark wechselnde Klimabedingungen mit tausenden Austrocknungsphasen unbeschadet überstanden hatte, konnte einen derart großen Flurabstand des Grundwassers durch mehrere aufeinander folgende sommerliche Austrocknungsphasen hindurch nicht überleben.

Ein Abreißen des vertikalen Grundwasserstroms macht die Anreicherung von Salzen an der Oberfläche unmöglich. In diesem Zustand werden - sogar in einer völlig intakten Lacke – durch schwache Niederschläge (wechselnde Phasen der Befeuchtung und Wiederaustrocknung) die oberflächlichen Salze ausgewaschen. **Abb. 3.19** zeigt das Natriumprofil eines sommerlichen Bohrkerns der vollkommen intakten, zum Zeitpunkt der Probennahme trocken gefallenen Südlichen Martinhoflacke in einer vorübergehenden Phase mit oberflächlichem Salzmangel. Der hohe oberflächliche Feinstsedimentgehalt (Ø<40 µm Fraktion) und die Form der Ca^{2+}-Kurve lassen eindeutig erkennen, dass es sich um eine intakte Lacke handelt. Der Vergleich mit den **Abb. 3.16** (Große und Kleine Neubruchlacke) zeigt, dass an der trocken gefallenen Martinhoflacke im Juli 2007 bis etwa 30 cm Tiefe ein akutes Defizit an Natriumsalzen eingetreten ist. Die Grundwasseroberfläche befand sich zur Zeit der Probennahme in ca. 90 cm Tiefe.



Rudolf Krachler

Abb. 3.19: Sedimentprofile eines im Randbereich der intakten Südlichen Martinhoflacke in einer Phase der Tiefen-Austrocknung im Juli 2006 gezogenen Bohrkerns. Auffällig ist der oberflächliche Natriummangel, der darauf hinweist, dass der kapillare Aufstieg zum Zeitpunkt der Probennahme zum Stillstand gekommen war.

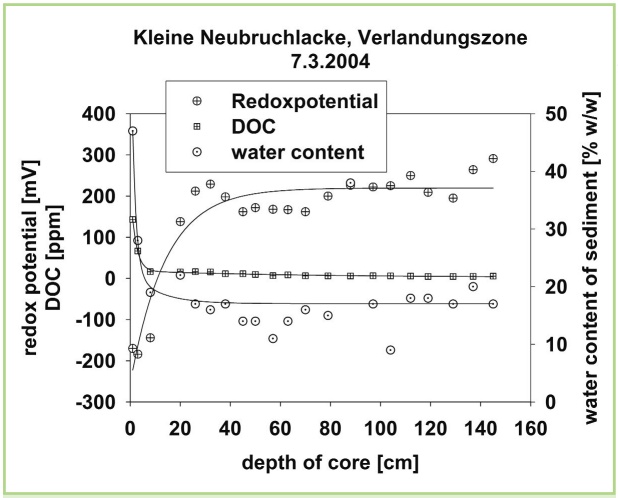
Rückzug der Lacke

Die Grenzen der Salzlacken sind stets durch scharfe, oft mehr als 1 m hohe Uferkanten sehr genau definiert und im Gelände gut erkennbar. Dennoch ist die freie Wasserfläche vieler heute noch existierender Lacken von dieser Uferkante deutlich in das Zentrum der Lackenwanne zurückgezogen, umgeben von einem breiten Gürtel aus Pflanzengesellschaften, deren Salztoleranz in Richtung zum Lackenzentrum ausgeprägter ist. In Nähe der Uferstufe konnten sich bereits oftmals weniger salztolerante Pflanzengesellschaften etablieren. Der Prozess der Degradation vollzieht sich also in vielen Fällen nicht schlagartig, sondern über längere Zeiträume hinweg konzentrisch von der Uferstufe Richtung tiefstem Punkt der Lackenwanne. Genaue Vermessung zeigt, dass die Lackenwannen keinesfalls völlig eben sind, sondern sich wie ein sehr flacher Trichter von der Uferstufe gegen den tiefsten Punkt hin neigen. In der Endphase der Austrocknung ist dieser tiefste Punkt jeder Lacke leicht als die letzte noch wasserführende Stelle erkennbar.

Infolge dieses Gefälles innerhalb der Lacke liegt bei niedrigem Pegel des Lackenwassers eine generelle Strömungstendenz des Niederschlagswassers von den Lackenrändern zum tiefsten Punkt der Lackenwanne vor, die Lackenränder werden zu einer Art Mikro-Einzugsgebiet für die Lacke. Mit dem Niederschlagswasser werden aber auch die Salze aus den peripheren Bereichen in Richtung der Restlacke verlagert. Damit erhält die Lacke wenigstens im Zentrum einen Mindestsalzgehalt aufrecht, der bei ungünstiger Salzversorgung für eine gewisse Zeit ihren Fortbestand ermöglicht. Bei wieder ansteigendem Grundwasserstand und damit einhergehender besserer Salzversorgung können ausgesüßte Lackenrandbereiche von der Lacke gleichsam wieder „zurückerobert“ werden.

Auch bei der tiefen-ausgetrockneten Lacke bewirken sehr starke Niederschläge ein Umschalten auf **Zustand 1**, vorausgesetzt, dass das Sediment noch intakt ist. Die Staufähigkeit der Oberfläche stellt sich sehr rasch wieder ein, und die Lacke füllt sich mit Wasser. Dies geschieht auch dann, wenn das Sediment in der Tiefe nach wie vor ausgetrocknet ist. **Abb. 3.20 a** zeigt das Tiefenprofil des Redoxpotentials der wasserführenden Kleinen Neubruchlacke im März 2004. Das Redoxpotential ist ein Maß für den Sauerstoffgehalt und damit für den Grad der Durchtrocknung des Salzführenden Horizonts. Stark positive Werte des Redoxpotentials zeigen an, dass das Sediment einen geringen Wassergehalt besitzt, stark negative Rexpotentiale treten im wassergesättigten Sediment auf. Der Salzführende Horizont war zum Zeitpunkt der Probennahme bis in mehr als 190 cm Tiefe durchgetrocknet, der vertikale Grundwasserstrom war unterbrochen. Ein Starkregenereignis hatte die Lacke „umgeschaltet", sodass eine dünne, weitgehend wasserdichte Schicht (im Diagramm erkennbar durch das negative Redoxpotential sowie den hohen Wassergehalt) das Lackenwasser vor dem Versickern schützte. Man kann aus diesem Diagramm folgendes erkennen: Die abdichtende Schicht muss nicht dicker als 15 cm sein. Sie steht in Wechselwirkung mit der Wassersäule, und es finden darin sauerstoffzehrende Prozesse statt. In **Abb. 3.20 a** ist auch das Tiefenprofil des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) dargestellt. Der Anstieg des DOC gegen die Oberfläche hin weist auf die Anwesenheit größerer Mengen sedimentierten organischen Materials hin.

Da der Kontakt mit dem Grundwasser zum Zeitpunkt der Probennahme verloren gegangen war, war auch die Salzversorgung zum Stillstand gekommen, und es gab daher keine erhöhten Salzkonzentrationen oder Salzausblühungen am Ufer. Der ökologische Zustand der Kleinen Neubruchlacke war dadurch sehr beeinträchtigt, dies war der Startpunkt ihrer Destabilisierung durch die Knollenbinse.

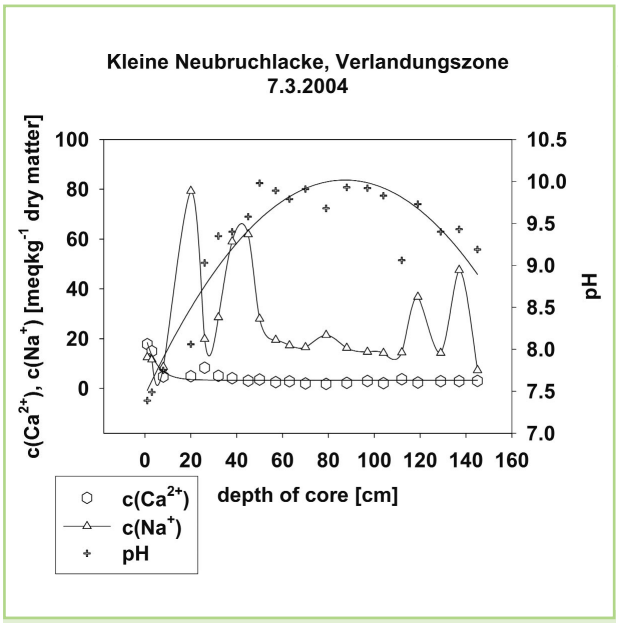


Rudolf Krachler

Abb. 3.20 a: Tiefenprofile Redoxpotential, gelöstes organisches Material und Wassergehalt, Kleine Neubruchlacke, Randbereich unter 1 cm Wassersäule, März 2004.

Abb. 3.20 b zeigt die Tiefenprofile von Na^+, Ca^{2+} und des pH-Werts in demselben Core. An diesen Profilen ist zu erkennen, dass die Lacke zu diesem Zeitpunkt schon wochenlang den Kontakt zum Grundwasser verloren hatte. Absinken des pH, Ansteigen der Ca^{2+}-Konzentration gemeinsam mit dem Absinken der Na^+-Konzentration zur Oberfläche hin sind deutliche Anzeichen der Degradation. Ein weiteres charakteristisches Verhalten des vom Grundwasser abgekoppelten Sediments sind Peaks der Na^+-Konzentration in der Tiefe. Solche kommen in einem ordnungsgemäß funktionierenden Sediment nicht vor.

Ungünstige Werte, wie hier in der oberflächlichen Sedimentschicht im ufernahen Bereich einer degradierenden Lacke, also hoher DOC-Wert, niedriger pH, hohe Calciumkonzentration und geringe Natriumkonzentration, machen eine vollkommene Wasserdichtheit des Sediment unmöglich. Eine Probe dieses oberflächlichen Sediments aus 0-10 cm Tiefe wurde im Labor mit einer 0.1 M Natriumcarbonatlösung behandelt und konnte innerhalb von drei Monaten in den wasserdichten Zustand übergeführt werden (siehe Kapitel 3.6 Laborversuche).



Rudolf Krachler

Abb. 3.20 b: Tiefenprofile der löslichen Natrium- und Calciumionen und des pH-Werts, Kleine Neubruchlacke, Randbereich unter 1 cm Wassersäule, März 2004.

Wichtig ist die Feststellung, dass die Anreicherung von Natriumsalzen an der Oberfläche des trockengefallenen Sediments für die Erhaltung der Lacken unbedingt nötig ist, da nur dadurch das Einwandern einer standortfremden Vegetation verhindert wird. Wie im vorliegenden Projekt gezeigt werden konnte, ist als die Ursache des „plötzlichen Lackensterbens" (Dick et al., 1994) das Einwandern von Vegetation in die sommerlich trocken gefallene, zu diesem Zeitpunkt noch intakte Lacke zu betrachten. Das Einwandern der standortfremden Vegetation ist in allen Fällen die Folge eines länger andauernden temporären Salzmangels an der Sedimentoberfläche in 0-15 cm Tiefe.

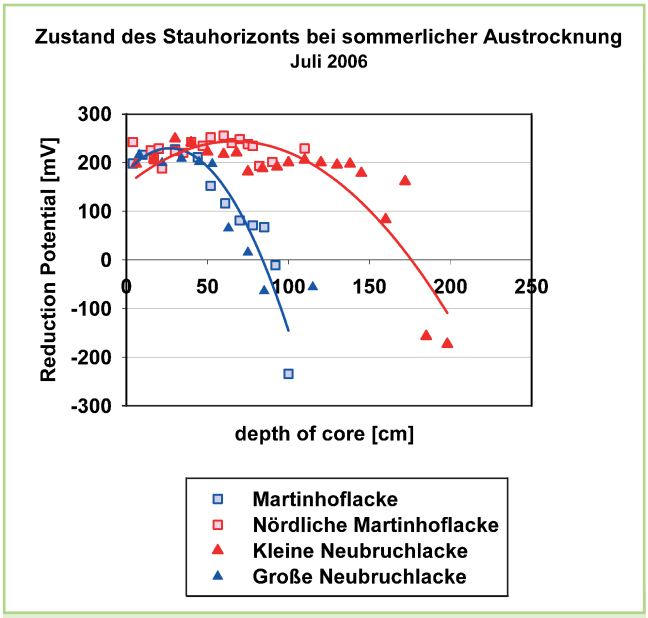
Zustand 4: Vollständige Degradation

Unter einer Pflanzendecke ist das Feinstsediment nicht vor weiterer nachteiliger Veränderung geschützt, die degradierte Lacke befindet sich nicht in einem stationären Zustand, die Vegetation beschleunigt die Degradation, indem sie an den Boden Säuren abgibt. Die für das ordnungsgemäße Funktionieren des Sediments bedeutsame feinkörnige Sedimentfraktion (Ø<40 µm) wird durch die Säuren angegriffen. Dies betrifft sowohl Calcium- und Magnesium-Carbonatpartikel, die ja aufgrund der Löslichkeit der Erdalkali-Hydrogencarbonate in Säuren gut löslich sind, als auch Natrium und Kalium enthaltende Silicatpartikel. Unter dem Einfluss saurer Lösungen ersetzen H^+ Ionen die Na^+ und K^+ Ionen im Kristallgitter der Silicatpartikel, dadurch ändern sich die Gitterkonstanten, und die Partikel zerfallen schließlich (Ramirez et al., 2005), ihre Bruchstücke werden durch Hydrolyse weiter zerlegt. Mit dem Verlust der Feinstfraktion wird das Sediment zunehmend durchlässiger, die infiltrierenden Niederschläge spülen Salze und Verwitterungsprodukte immer rascher in den Grundwasserstrom. Der Feinsedimentverlust schreitet im Laufe der Jahre und Jahrzehnte immer weiter in die Tiefe fort. Das Lackensediment befindet sich nun im degradierten **Zustand 4**: „Zu geringer Gehalt an Feinstfraktion Ø<40 µm" (siehe **Abb. 3.18**, Gansellacke). In diesem Zustand fortgeschrittener Degradation ist die Renaturierung einer Sodalacke sehr wahrscheinlich nicht mehr möglich.

Je früher daher Renaturierungsmaßnahmen in Angriff genommen werden, desto einfacher und kostengünstiger sind sie durchführbar, und desto größer ist die Chance, dass sich bleibender Erfolg einstellt. Eine Lacke degradiert zwar sehr plötzlich, d.h. sie verliert innerhalb einiger Monate oder Jahre ihre vielfältigen Funktionen als saliner, alkaliner aquatischer Lebensraum (die sie zuvor Jahrtausende lang erfüllt hat), der eigentliche „Lackentod" findet aber erst später statt, wenn sich der Zustand des Sediments im Laufe von Jahrzehnten unter der Pflanzendecke zunehmend verschlechtert und eine erfolgreiche Renaturierung immer unwahrscheinlicher wird.

Quantifizierung des Einflusses der künstlichen Grundwasserabsenkung

Tiefen-Austrocknung verursacht (wie oben schon gesagt) temporäre Salzmangelzustände an der Oberfläche des Bodens der sommerlich trocken gefallenen Lacke, sogar wenn diese noch vollkommen intakt ist. Schwache Niederschläge können die Salzkonzentration an der Oberfläche vor allem deswegen so rasch verringern, weil im trockenen Sediment ein „verkehrter Kapillareffekt" wirksam wird: Das trockene, oberflächlich durch den schwachen Regen angefeuchtete Sediment saugt das Niederschlagswasser vertikal nach unten und dadurch verlagern sich die Salze in 10-50 cm Tiefe in einen „Auswaschungspeak" (siehe **Abb. 3.19**, Südliche Martinhoflacke), wo sie das Keimen standortfremder Pflanzen nicht mehr verhindern können. Kommt es in der Folge immer wieder zu schwachen Niederschlägen, so finden die jungen Pflanzen ausreichend Feuchtigkeit und salzarme Bedingungen, um sich entwickeln zu können, und die Lacke, obwohl eigentlich vollkommen lebensfähig, verschwindet unter einer



Rudolf Krachler

Abb. 3.21: Sommerlicher Zustand des Sediments trocken gefallener Lacken (Randbereiche).

Pflanzendecke. Je tiefer der Grundwasserspiegel im Mittel liegt, desto gefährdeter ist eine Lacke in Bezug auf derartige Vorgänge.

Abb. 3.21 zeigt, dass bei sommerlich heißem Wetter im Juli 2006 die Randbereiche der vollkommen intakten Lacken Südliche Martinhoflacke und Große Neubruchlacke bis in etwa 70 cm Tiefe durchgetrocknet waren, die der seit Jahrzehnten degradierten Nördlichen Martinhoflacke und der Kleine Neubruchlacke, die im Projektzeitraum bereits deutliche Anzeichen von Instabilität aufwies (fortschreitende Besiedlung mit Knollenbinse), jedoch bis in 170 cm.

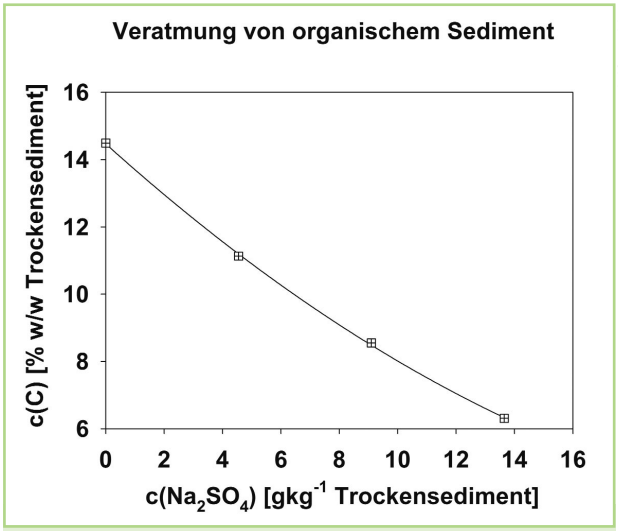
Daraus ist zu schließen, dass der Grundwasserspiegel in der Periode sommerlicher Grundwasser-Tiefststände nicht tiefer als 70 cm unter Sedimentoberfläche absinken sollte.

3.5.4 Andere Formen der Lackendegradation

Auch die besonders tief eingesenkten Lacken, die infolge ihrer relativ günstigen Lage zum (abgesenkten) Grundwasserhorizont selten austrocknen (zB. Darscho), können problematische Entwicklungen nehmen, wenn die Salzversorgung stagniert, weil die Salzausblühungen im Uferbereich über längere Zeiträume ausbleiben. Besonders ungünstig wirkt sich in diesem Fall der Mangel an Natriumsulfat im wasserdichten Sediment (in **Zustand 1**) unter der Wassersäule aus.

Die Seewinkellacken gehören zu den produktivsten Gewässern der Erde (Eiler et al., 2003). Das bedeutet, dass hier eine vielfältige Fauna Nahrung findet. Es hat aber auch zur Folge, dass jährlich große Mengen abgestorbenen organischen Materials abgebaut werden müssen. Ohne den raschen vollständigen Abbau organischer Reste könnten diese flachen Becken über längere Zeiträume nicht bestehen bleiben, da sie sich mit organischem Schlamm auffüllen würden. Der Abbau erfolgt teilweise in der sauerstoffreichen Wassersäule. Ein Teil des organischen Materials gelangt jedoch unweigerlich ins Sediment und muss dort durch die Tätigkeit anaerober Mikroorganismen remineralisiert werden. Im Rahmen des vorliegenden Projekts konnten wir anhand eines Laborversuchs zeigen, dass hohe Sulfatkonzentrationen für den Abbau des organischen Materials im Sediment unbedingt erforderlich sind.

Sedimentproben aus der Ochsenbrunnlacke (oberste Sedimentschicht aus 0-8 cm Tiefe) wurden in 4 Versuchsreihen auf die Bedeutung der dissimilatorischen Sulfatreduktion für den Abbau organischen Materials unter reduzierenden Bedingungen untersucht (Grant and Tindall, 1986). Die Proben wurden in offenen 800 ml Bechergläsern (10 cm Durchmesser) als 8 cm dicke Sedimentschicht unter einer Schicht von Lackenwasser bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Es wurde durch regelmäßiges Hinzufügen von destilliertem Wasser dafür gesorgt, dass das Sediment auch oberflächlich niemals austrocknete. Versuchsdauer: 1 Jahr. Das Diagramm in **Abb. 3.22** zeigt den organischen Gehalt im Sediment nach Abbruch des Versuchs.



Rudolf Krachler

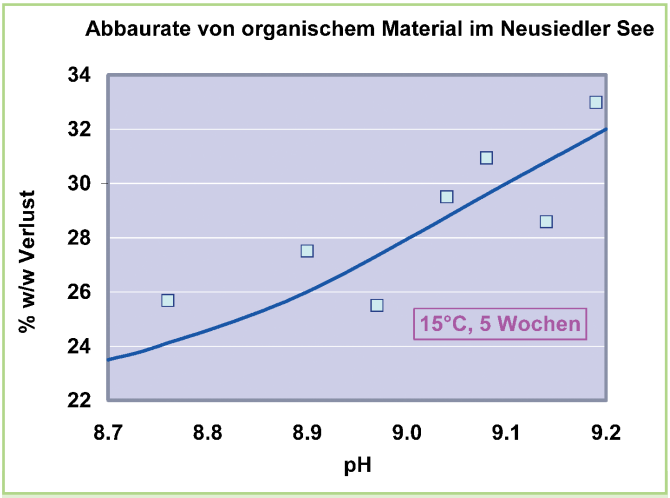
Abb. 3.22: Abbau organischen Materials im wassergesättigten Sediment einer Seewinkellacke (Ochsenbrunnlacke) nach Zusatz von Sulfat, Versuchsdauer 12 Monate. Redoxpotential – 400±20mV; pH 9.0±0.2

Probe 1 (Referenz): Ursprüngliche Probe, homogenisiert.
Probe 2: Zu Probe 1 wurden vor Beginn des Versuchs 4 g/kg Natriumsulfat hinzugefügt und homogenisiert.
Probe 3: Zu Probe 1 wurden vor Beginn des Versuchs 8 g/kg Natriumsulfat hinzugefügt und homogenisiert.
Probe 4: Zu Probe 1 wurden vor Beginn des Versuchs 12 g/kg Natriumsulfat hinzugefügt und homogenisiert.

Zur Auswertung wurden aus jedem Becherglas räumlich verteilt 6 Proben entnommen, jede dieser Proben wurde in 3 Teile geteilt und getrennt analysiert. Der organische Gehalt wurde mittels Thermogravimetrie bestimmt (Masseverlust bei 500 °C der bei 110 °C getrockneten

Probe). Das Diagramm in **Abb. 3.22** zeigt die Mittelwerte (arithmetische Mittel) aus allen Messungen.
Schlussfolgerung: In Abhängigkeit von der Sulfatversorgung erfolgt ein rascher Abbau der im Sediment unter reduzierenden Bedingungen abgelagerten Pflanzen-, Cyanobakterien- und Algenreste und anderer organischer Rückstände. Die Sulfatreduktion im Sediment ist also ein wichtiger Faktor, der die Verlandung von Seewinkellacken wirksam verhindern kann. Was auffällt ist, dass nicht nur leicht abbaubare organische Substrate abgebaut wurden, sondern auch große, feste Partikel wie Pflanzenwurzeln sowie Stängel und Blätter von Gräsern ihre Masse stark verringerten.
Es handelt sich dabei um ein allgemeines Prinzip für das langfristige Überleben flacher Sodagewässer: Die mikrobielle Sulfatreduktion ermöglicht unter basischen Bedingungen den vollständigen Abbau organischen Materials im anaeroben Sediment.
Natriumsulfat ist ein wichtiger Bestandteil der Salzausblühungen (**Abb. 3.13**) und wird, wie die anderen Salze der Lacken, regelmäßig aus dem Grundwasser nachgeliefert. Nur eine ausreichende Sulfatversorgung aus dem Grundwasser kann die Verlandung der Sodalacken durch das Sedimentieren organischen Materials auf Dauer verhindern.

Eine weitere Form der Verlandung ist an vielen Lacken und auch am Neusiedler See zu beobachten. Ufervegetation, vor allem Schilfbestände, können mächtige Torfhorizonte ausbilden, die sich in die Lackenwannen vorschieben und diese nach und nach auffüllen. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden Abbauversuche mit zerkleinerten (1 mm) und vorsichtig bei 30 °C getrockneten Schilfresten des Neusiedler Sees in Abhängigkeit von der Sodakonzentration durchgeführt. Die Versuche fanden im Dunklen statt, mittels einer Luftpumpe wurden die Proben gut mit Luftsauerstoff versorgt. **Abb. 3.23** zeigt Ergebnisse dieser Experimente. Steigende Sodakonzentrationen erhöhen den pH-Wert und beschleunigen dadurch den Abbau.



Rudolf Krachler

Abb. 3.23: Abbaurate von abgestorbenen Schilfblättern in Neusiedler See-Wasser in Abhängigkeit vom pH-Wert.

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die (durch die Absenkung des Grundwassers) sehr verringerte Tendenz zu Sodaausblühungen an den Ufern der Lacken den aeroben Abbau des Schilfmaterials und anderen Pflanzenmaterials der Ufervegetation verlangsamt. Hohe Sodakonzentrationen und entsprechend hohe pH-Werte verhindern dagegen wirkungsvoll die Anhäufung von Torf innerhalb der Lackenwannen. Für den Abbau von Schilfresten im Neusiedler See sind marine Bakterien zuständig, die an extrem hohe Salzgehalte und pH-Werte angepasst sind und nur unter diesen Bedingungen optimal arbeiten (Borsodi et al., 2005). Es ist anzunehmen, dass auch in den Lacken spezialisierte Bakterien vorhanden sind, die für ihre optimale Abbauleistung sehr hohe Sodakonzentrationen benötigen.

3.6 Laborversuche zur Entwicklung einer Renaturierungsmethode

Laborversuche mit oberflächlichem Sediment aus dem Uferbereich der Kleinen Neubruchlacke zeigten, dass sich das Sediment innerhalb von 3 Monaten durch regelmäßiges Behandeln mit einer Natriumcarbonatlösung in den wasserdichten Zustand zurückführen ließ (**Abb. 3.24**). Wenige Stunden zuvor aus der Natur entnommenes, wassergesättigtes, homogenisiertes Sediment wurde in einem Filtriergerät (Ø 10 cm) auf eine Fritte gelegt, sodass eine 8 cm dicke Sedimentschicht entstand, die mit der Gefäßwand dicht abschloss. Das Sediment wurde ständig mit 7±2 cm 0.1 M Natriumcarbonatlösung überschichtet. Die die Sedimentschicht durchdringenden Wassermengen wurden aufgefangen und gemessen.

Die ermutigenden Ergebnisse dieses Versuchs ließen hoffen, dass auch im Freiland das Hinzufügen von Soda zu einem an Soda verarmten Sediment dessen Staufähigkeit wiederherstellen würde.

Weitere Versuche wurden unter freiem Himmel durchgeführt. Im verlandeten westlichen Teil der Ochsenbrunnlacke wurden „Rasenziegel" der Größe 40 x 80 cm ausgestochen, wobei die Vegetationsschicht samt dem darunter liegenden Torf und Lackensediment bis in 30 cm Tiefe erfasst wurde, und ohne weitere Veränderung in 40 cm hohe Kunststofftröge verpflanzt. Die „Niedermoorstücke" wurden nicht bewässert oder entwässert, nur die Niederschläge (Wien, 9. Bezirk) speisten das System. Durch das Aufbringen von Soda oder Mischungen von Soda und Glaubersalz starb die Vegetation ab. Die Torfschicht und Pflanzenreste wurden innerhalb von 12 Monaten vollständig oxidiert, sodass das darunter liegende Sediment sichtbar wurde. Bei diesen Versuchen erwies sich eine Mischung von wasserfreier Soda und Glaubersalz 3:1 (4 kg/m²) als besonders wirksam.

Rudolf Krachler

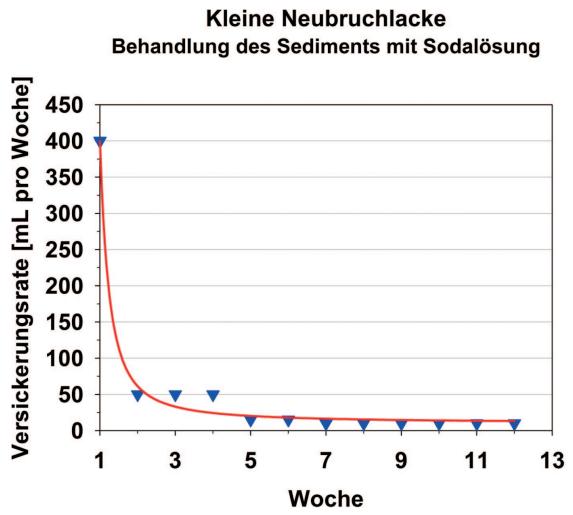


Abb. 3.24: Laborversuch: Das degradierte oberflächliche Sediment aus dem Uferbereich der Kleinen Neubruchlacke ließ sich im Labor durch Behandeln mit einer Natriumcarbonatlösung in den wasserdichten Zustand zurückführen.

3.7 Maßnahmen im Freiland

Regina Krachler



Abb. 3.25: Entnahme eines Cores aus einer der 9 m² Versuchsflächen.

An der degradierten Nördlichen Martinhoflacke wurden 2004 bei 2 Testflächen à 9 m² die Vegetations- und Humusschicht händisch entfernt und 4 kg/m² Salz aufgebracht, wobei auf einer Fläche eine 3:1 Mischung aus Natriumcarbonat/Natriumsulfat (wasserfrei) zur Anwendung kam, auf der zweiten Fläche nur Natriumcarbonat (wasserfreie Soda). Aus diesen Flächen wurden über den gesamten Zeitraum des Projekts regelmäßig Proben entnommen und analysiert (**Abb. 3.25** zeigt die Entnahme eines Bohrkerns). Kurz nach dem Ausbringen der Salzmischung lag der pH an der Oberfläche der Versuchsfläche erwartungsgemäß sehr hoch (bei pH = 11.35). Innerhalb weniger Tage sank (infolge der Reaktion mit dem CO_2 der Luft, aber auch infolge chemischer Reaktionen mit dem Sediment) der pH auf den für (intakte) Lacken üblichen Wert von 9,5 (**Abb. 3.26**: Zeitliche Veränderung des pH).

Im Februar 2005 wurden im zentralen Bereich der Nördlichen Martinhoflacke, die seit Jahrzehnten trocken gelegen war, auf einer Versuchsfläche von 600 m² die obersten 5 cm der Vegetations- und Humusschicht maschinell mit einem Gräder entfernt und anschließend mit Salzstreumaschinen 2 kg/m² einer 3:1 Mischung aus Natriumcarbonat/Natriumsulfat (wasserfrei) auf eine Gesamtfläche von 3000 m² aufgebracht. Da der Boden zu dieser Zeit stark durchgefroren war, konnte dies ohne Probleme durchgeführt werden. Bei der Kleinen Neubruchlacke wurde ebenfalls bei gefrorenem Boden praktisch der gesamte degradierte, trocken liegende Westrand der Lacke (ca. 5000 m²) mit der gleichen Mischung maschinell bestreut. Im Februar 2006 wurde auf einer Fläche von ca. 300 m² in der zentralen Schilfzone der Nördlichen

Rudolf Krachler

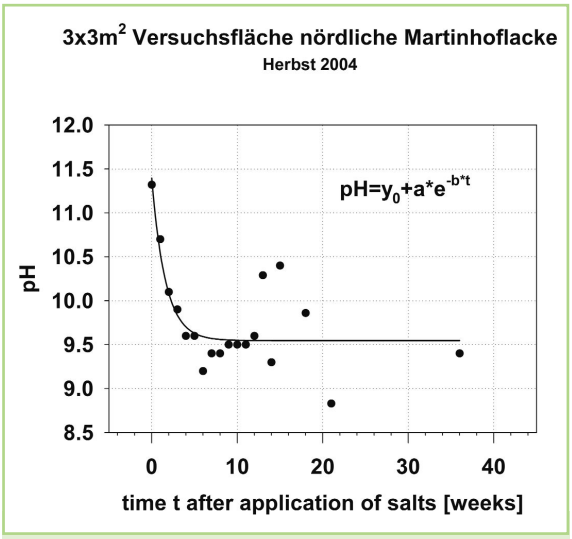


Abb. 3.26: Nach dem Ausbringen der Salzmischung lag der pH-Wert an der Sedimentoberfläche erwartungsgemäß sehr hoch. Aufgrund chemischer Reaktionen mit dem Sediment und dem Pflanzenmaterial sank der pH jedoch innerhalb weniger Tage auf für Sodalacken normale Werte.

Mihai Odoleanu



Abb. 3.27: Vor der Sodaausbringung, Nördliche Martinhoflacke.

Martinhoflacke 1000 kg wasserfreie Soda auf die nun bereits vorhandene, gefrorene Wasserfläche ausgebracht. 2007 wurde bei der Nördlichen Martinhoflacke dieser Versuch auf ein noch größeres Gebiet ausgedehnt (ca. 6000 m²) und die Salzkonzentration auf 4 kg/m² erhöht (**Abb. 3.27**: Vor der Sodaausbringung). Der Boden war zu diesem Zeitpunkt nicht gefroren. Die Ausstreuung erfolgte hier händisch, ohne vorherige Entfernung der Vegetations- und Humusschicht.

Am Krautingsee wurde 2005 mit einem Beweidungsmanagement mit einer Rinderherde auf der gesamten Lackenfläche begonnen.

3.7.1 Kleine Neubruchlacke

Im Gegensatz zum Lackenzentrum, wo im Juli 2006 ein völlig intaktes Sedimentprofil mit Grundwasserkontakt vorgefunden wurde (**Abb. 3.16**), beweisen die Tiefenprofile in demjenigen Bohrkern, der zeitgleich in der Zone der Salzausbringung (in der Salzasternzone, Foto **Abb. 3.28**) gezogen wurde, dass der Grundwasserkontakt zum Zeitpunkt der Probennahme an dieser Stelle (welche ca. 30 cm höher liegt als das Lackenzentrum) bereits abgerissen war. Wie aus dem Diagramm in **Abb. 3.29** (Tiefenprofil des extrahierbaren Gesamt-Carbonats = Carbonat plus Hydrogencarbonat) zu erkennen ist, kam es (1,5 Jahre nach der Salzausbringung) im Juli 2006 zu einer oberflächlichen Abreicherung der aufgebrachten Soda, wobei allerdings der Sodagehalt an der Oberfläche mit 70 meq/kg noch immer sehr hoch war. Ein kleiner Peak in 20 cm Tiefe ist vermutlich auf den „verkehrten Kapillareffekt" zurückzuführen. Das Carbonat verteilte sich ziemlich gleichmäßig über den Salzführenden Horizont bis in 200 cm Tiefe, wie der Vergleich mit dem im September 2005 gefundenen Tiefenprofil erkennen lässt: Die ausgebrachten Salze befanden sich im September 2005 noch an der Oberfläche, im Juli 2006 waren sie teilweise in die Tiefe gewandert und hatten den Salzvorrat im Salzführenden Horizont erhöht. Es besteht bei Grundwasser-Tiefständen im Prinzip die Gefahr der Auswaschung der ausgebrachten Salze ins Grundwasser. Andererseits ist anzunehmen, dass ein

Ingo Korner



Abb. 3.28: Zone der Salzausbringung, Kleine Neubruchlacke, September 2005.

Rudolf Krachler

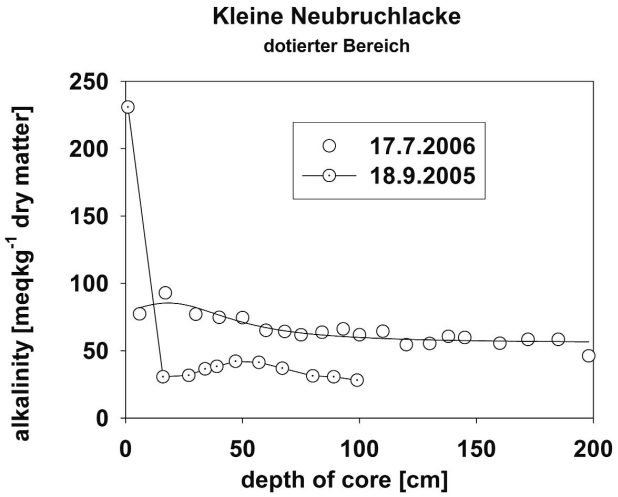


Abb. 3.29: Kleine Neubruchlacke, Zone der Salzausbringung. Tiefenprofil des extrahierbaren Gesamt-Carbonats (Carbonat plus Hydrogencarbonat) im Juli 2006, verglichen mit der Situation im September 2005, sieben Monate nach der Salzaufbringung). Die ausgebrachten Salze befanden sich im September 2005 noch an der Oberfläche, im Juli 2006 waren sie in die Tiefe gewandert.

Regina Krachler

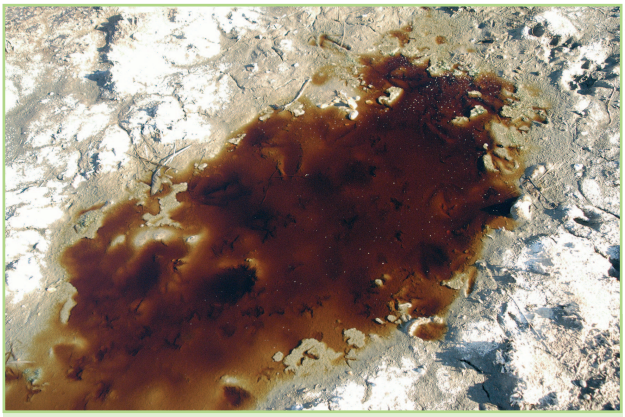


Abb. 3.30: Im Zuge des mikrobiellen Abbaus von Pflanzenmaterial nach der Salzausbringung entstehen hohe Konzentrationen an gelösten Huminstoffen (braun gefärbt).

Rudolf Krachler

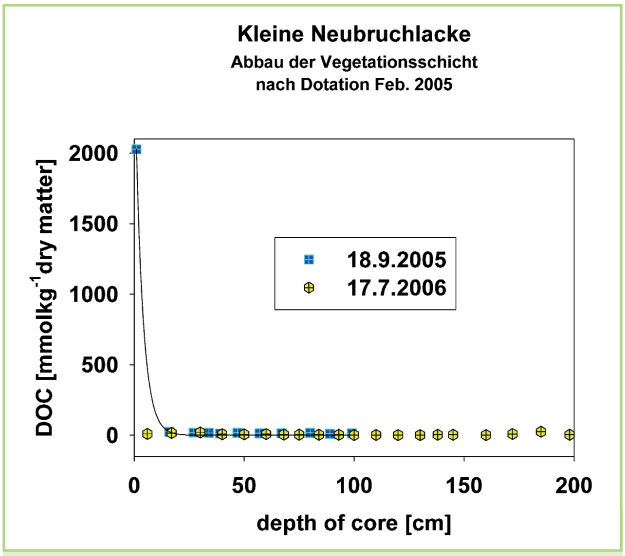


Abb. 3.31: Tiefenprofile des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) im Bereich der Salzausbringung, Kleine Neubruchlacke. Die hohen Werte an der Oberfläche im September 2005 sind auf die Entstehung von Huminstoffen während des Abbaus von Pflanzenmaterial zurückzuführen. Im Juli 2006 war das organische Material bereits vollständig abgebaut und der DOC auch an der Oberfläche auf einen sehr geringen Wert abgesunken.

bedeutender Anteil der ausgebrachten Salze im Zuge des nächsten Grundwasser-Hochstandes wieder an die Oberfläche zurückkehren wird.

Während des aeroben mikrobiellen Abbaus der Vegetationsschicht in Gegenwart von Soda entstanden sehr hohe Huminstoffkonzentrationen. Dies geschieht auch im Bereich natürlicher Salzausblühungen an Lackenrändern, wo immer wieder dunkelbraun gefärbte Pfützen mit hohem Sodagehalt zu beobachten sind (Foto **Abb. 3.30**). Aber auch die Huminstoffe werden letztendlich abgebaut. Im September 2005 wurde im Bereich der Salzausbringungen überall ein hoher Oberflächen-Gehalt an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) gefunden, der im Juli 2006 bereits verschwunden war (**Abb. 3.31**: Tiefenprofile des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) im Bereich der Salzausbringung). Die hohen Huminstoffkonzentrationen, welche phytotoxisch wirken können (Steinberg et al., 2006), scheinen im Areal der Salzausbringung das Keimen standortfremder Pflanzen zu verhindern und damit die Renaturierung des Sediments zu unterstützen. Die Wiederbesiedelung durch Pflanzen blieb bevorzugt in den Bereichen aus, wo die beobachteten Huminstoffkonzentrationen am höchsten waren.

3.7.2 Nördliche Martinhoflacke

Abb. 3.32 zeigt die degradierte Nördliche Martinhoflacke vor Projektbeginn 2004 mit einer geschlossenen Vegetationsdecke nach der Mahd. Nach Entfernen der dünnen Vegetationsschicht wird der mit Humus angereicherte Salzführende Horizont (in Zustand 4, nicht staufähig) sichtbar.
Abb. 3.33 – dieselbe Stelle nach dem Renaturierungsversuch, Anfang Mai 2007. Der Humus im Lackensediment ist bereits weitgehend abgebaut, auch an den Stellen, wo die oberste Bodenschicht nicht entfernt worden ist. Das Sediment liegt zu diesem Zeitpunkt trocken, nach ca. 10 cm Wasserführung im Februar – April 2007.
Das Schilf wurde durch die hohen Salz- und Huminstoffkonzentrationen in seiner Entwicklung nicht wesentlich gehemmt (**Abb. 3.34**).

Im Sediment der Nördlichen Martinhoflacke waren die Voraussetzungen, bedingt durch den hohen Grundwasserstand im Frühjahr 2006, äußerst günstig, sodass im Zentrum des renaturierten Lackenteils der kapillare Hochtransport von Grundwasser wieder einsetzte und im Juli dieses Jahres noch immer vorhanden war. **Abb. 3.35** zeigt die Tiefenprofile der löslichen Calcium- und Natrium-Ionen.

Regina Krachler



Abb. 3.32: Die degradierte Nördliche Martinhoflacke vor Projektbeginn 2004 mit geschlossener Vegetationsdecke. Nach Entfernen der Vegetationsschicht wird der mit Humus angereicherte Salzführende Horizont (in Zustand 4, nicht staufähig) sichtbar.

Regina Krachler



Abb. 3.34: April 2007. Schilf innerhalb der Zone der Salzausbringung, Nördliche Martinhoflacke.

Regina Krachler



Abb. 3.33: Nach dem Renaturierungsversuch, Anfang Mai 2007: Schwundrisse im abgetrockneten Lackenboden nach ca. 10 cm Wasserführung im Frühjahr 2006 und im Februar – April 2007. Der Humus im Lackensediment ist weitgehend abgebaut, auch an den Stellen, wo die oberste Bodenschicht nicht entfernt worden ist.

Rudolf Krachler

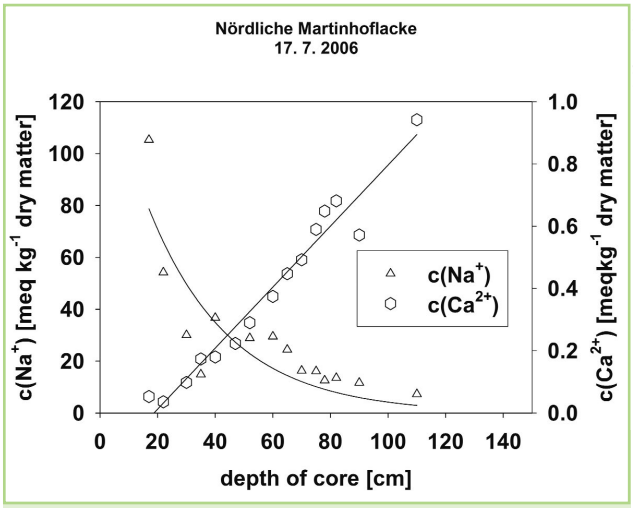
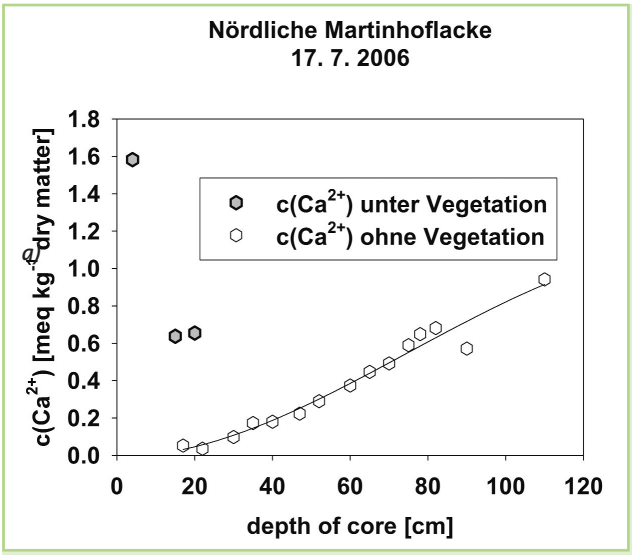


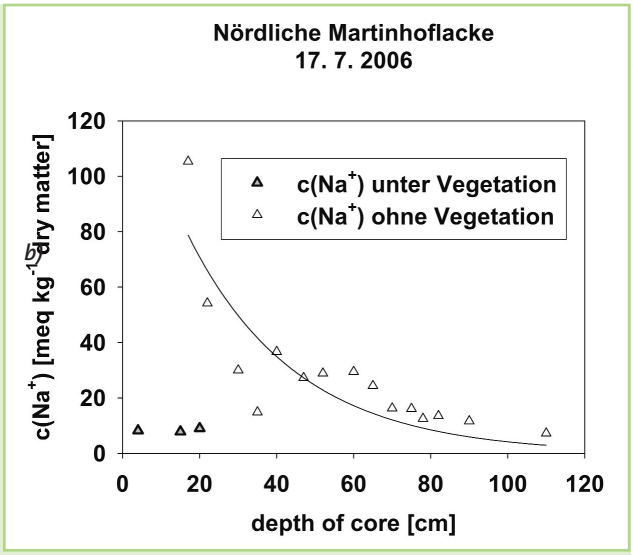
Abb. 3.35: Nördliche Martinhoflacke, renaturierter Teil im Juli 2006, trockengefallen. Die für intakte Lacken charakteristischen Tiefenprofile der Calcium- und Natriumkonzentration zeigen an, dass das Sediment zum Zeitpunkt der Probennahme in Zustand 1 einer intakten Lacke war (vertikaler Transport von Grundwasser an die Oberfläche).

Die nahezu lineare Abnahme der Calciumkonzentration in Richtung Oberfläche steht einer exponentiellen Zunahme der Natriumkonzentration gegenüber. Solche Profile sind für intakte Lacken mit Grundwasserkontakt charakteristisch.
An dieser Stelle der Nördlichen Martinhoflacke ist die Renaturierung also als vorläufig gelungen zu bezeichnen, denn die ausgebrachte Soda- und Glaubersalzmenge vermehrte sich selbstständig aus dem Grundwasser. Das Sediment war trotz oberflächlicher Austrocknung bis zur Grundwasseroberfläche in ca. 170 cm Tiefe wasserhaltig genug, um den kapillaren Transport aufrecht halten zu können. Dieser Erfolg war vor allem auf die vollständige Entfernung der Vegetationsdecke durch die Tätigkeit von halophilen, alkaliphilen Mikroorganismen zurückzuführen.

Eine Vergleichsbohrung im Zentrum der Lacke, aber unter einer Pflanzenschicht außerhalb der Zone der Salzausbringungen, musste wegen der extremen Trockenheit des Sediments nach 20 cm abgebrochen werden. Die Ergebnisse dieser Bohrung für wasserlösliches Calcium und Natrium sind in **Abb. 3.36 a** und **b** dargestellt, zusammen mit den Ergebnissen der Bohrung im renaturierten Teil der Lacke. Diese Daten beweisen, dass das Sediment unter der Vegetationsschicht nach wie vor degradiert ist. Es gibt also eine scharfe Grenze zwischen der renaturierten und der nicht renaturierten Zone. Außerhalb der Zone der Salzausbringungen ist das Sediment unverändert degradiert geblieben, mit für degradierte Lacken üblichen hohen Ca^{2+}- und niedrigen Na^{+}-Konzentrationen in den obersten 20 cm.

Rudolf Krachler





Rudolf Krachler

Abb. 3.36: Nördliche Martinhoflacke, Juli 2006. Tiefenprofile der Konzentration an extrahierbarem Calcium (a) bzw. extrahierbarem Natrium (b) unter Vegetation (im Bereich ohne Salzausbringung) und ohne Vegetation (im Bereich der Salzausbringung).

Torfschichten und Vegetation behindern die Verdunstung von der Sedimentoberfläche und machen daher die kapillare Aszension von Grundwasser unmöglich.

3.7.3 Krautingsee

Die Salzversorgung dieser – dem Neusiedler See nahen – Lacke ist, ebenso wie die der Lacken im zentralen Seewinkel, vom Grundwasserstand abhängig. **Abb. 3.37** zeigt eine Probennahmesituation bei tiefem Grundwasserspiegel im Juni 2005. Der ausgetrocknete Lackenboden hatte sich zu diesem Zeitpunkt begrünt.

Zu Projektbeginn im November und Dezember 2004 wurden zwei ca. 2,5 m lange Cores vom östlichen Schilfbereich und aus dem Zentrum der Lacke entnommen.



Regina Krachler

Abb. 3.37: Krautingsee, Probennahme Juni 2005.

Abb. 3.38 zeigt das Bohrprofil aus dem zentralen Teil der Lacke im Spätherbst 2004. Die extrem hohen Natriumsalzkonzentrationen ab 70 cm Tiefe setzen sich in die Tiefe bis 250 cm und vermutlich noch sehr weit darüber hinaus fort. Ab etwa 130 cm Tiefe macht sich Grundwassereinfluss bemerkbar, erkennbar an der mit zunehmender Tiefe ansteigenden Konzentration wasserlöslichen Calciums. Ab einer Tiefe von 70 cm besteht das Sediment zu mehr als 90% aus Partikeln der Feinstfraktion Ø<40 µm. Die sehr geringe Natriumkonzentration und sehr geringe Feinsedimentkonzentration an der Sedimentoberfläche sowie der Ca^{2+}-Anstieg in Richtung Oberfläche sind Kennzeichen der beginnenden Degradation und weisen darauf hin, dass zum Zeitpunkt der Probennahmen im Spätherbst 2004 im Krautingsee seit Monaten kein Grundwasserkontakt mehr vorhanden gewesen war.

Durch die Einwirkung des Schilfes, welches bei seiner Zersetzung organische Säuren und Komplexbildner freisetzt, waren in der Schilfzone des Krautingsees im Spätherbst 2004 (**Abb. 3.39**) sehr hohe, nach oben zunehmende Calcium-Konzentrationen vorhanden. Unter diesen Bedingungen ist das Feinstsediment (Ø<40 µm) nicht stabil, es koaguliert und zeigt dementsprechend bis in 100 cm Tiefe nur sehr geringe Konzentrationen. Die Lacke war in diesem Zustand keinesfalls mehr wasserdicht. In der Tiefe ab 110 cm bestand das Sediment allerdings wie im Lackenzentrum zu mehr als 90 % aus der Feinstfraktion Ø<40 µm-Fraktion. Die Natrium-Konzentration unterschied sich in der Tiefe nicht von der im

Rudolf Krachler

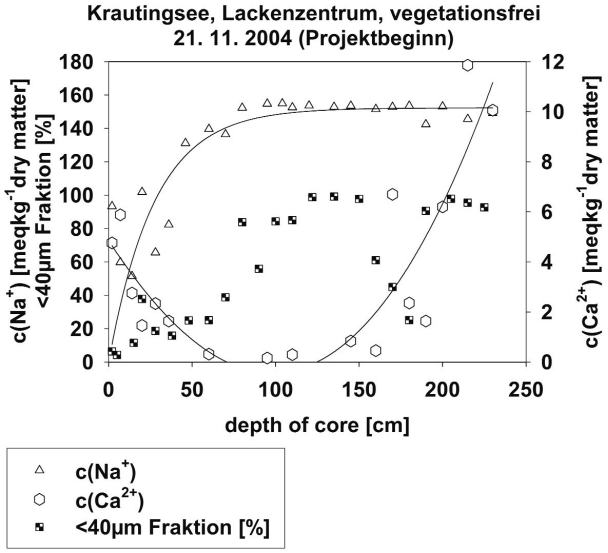


Abb. 3.38: Aus dem Zentrum des Krautingsees gewonnener Bohrkern zu Projektbeginn im November 2004. Tiefenprofil der löslichen Natrium- und Calcium-Ionen sowie des Feinsedimentanteils.

Rudolf Krachler

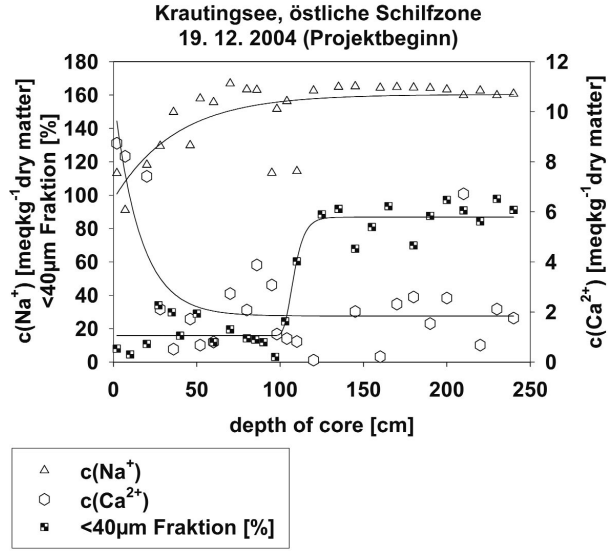


Abb. 3.39: Krautingsee, östliche Schilfzone zu Projektbeginn im Dezember 2004. Tiefenprofile von Feinsediment, gelösten Calcium- und gelösten Natrium-Ionen.

Zentrum der Lacke. Hier in der Schilfzone fanden wir aber im Gegensatz zum Lackenzentrum auch an der Oberfläche noch sehr hohe Natriumkonzentrationen, die vermutlich durch Evapotranspiration entstanden waren. In dieser extrem sodareichen Lacke wäre ein Einbringen von Natriumsalzen wenig sinnvoll gewesen, und es wurde daher keine Salzung durchgeführt.

Abb. 3.40 und **Abb. 3.41** zeigen Bohrprofile aus dem Lackenzentrum und aus der östlichen Schilfzone nach Beweidung im September 2005. Die Lacke war trockengefallen. Das Grundwasser befand sich in 150 cm Tiefe. Es gab, wie die Bohrprofile erkennen lassen, im Lackenzentrum auch im September 2005 keine aufwärtsführende Grundwasserbewegung. Die oberflächliche Natriumkonzentration im Zentrum der Lacke war aber gegenüber dem Spätherbst 2004 höher geworden. In der Schilfzone beeinflussten nach wie vor die wachsenden und absterbenden Pflanzen die Ionenprofile. Ein extremer Natriumpeak an der Oberfläche zeigt, dass eine deutliche Tendenz zu Salzausblühungen bestand.

Rudolf Krachler

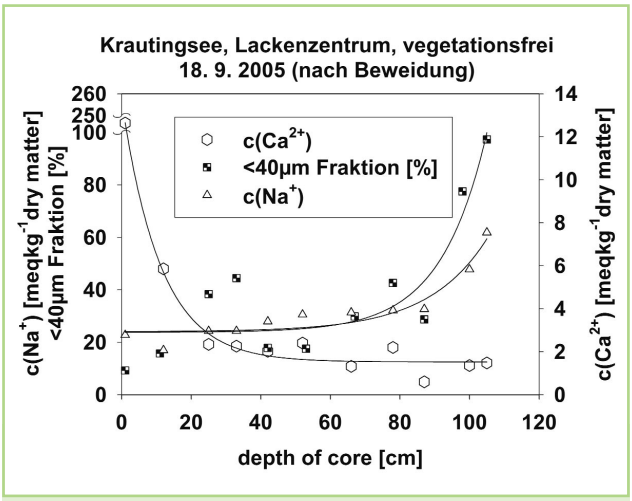


Abb. 3.40: Krautingsee, das Lackenzentrum im September 2005, trockengefallen, nach Beweidung.

Rudolf Krachler

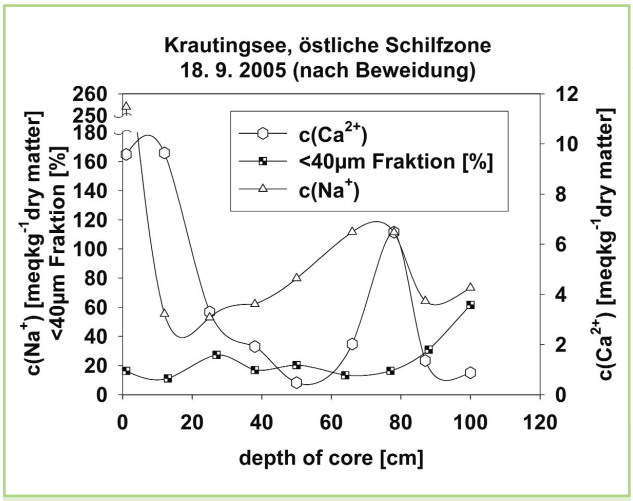


Abb. 3.41: Krautingsee, östliche Schilfzone im September 2005, trockengefallen, nach Beweidung.

Im Jahr 2006 war der Grundwasserstand wesentlich höher und der Krautingsee dementsprechend wasserführend, ebenso im Frühjahr 2007. Der Schilfbestand war bereits stark zurückgedrängt, es entwickelte sich daher wieder eine größere offene Wasserfläche. Das Management durch gezielte Beweidung und Schilfschnitt erwies sich als ideale Maßnahme zur Erhaltung des Krautingsees (**Abb. 3.42**: Beweidung des Krautingsees).

Anja Stojanovic



Abb. 3.42: Beweidung des Krautingsees.

3.8 Diskussion

Bezüglich der Interaktion mit dem Grundwasser und dem Niederschlagswasser unter sich stark wandelnden saisonalen hydrologischen Bedingungen ergibt sich aus den vorliegenden Befunden der untersuchten Profile für den Salzführenden Horizont folgendes Bild, wobei zwischen intakter und degradierter Lacke zu unterscheiden ist:

Intakte Lacken

- Über den gesamten Jahreszyklus summiert überwiegt ein größtenteils auf hydrostatischen Druckdifferenzen beruhender, teils kapillar bedingter Wasserstrom aus dem basalen Schotteraquifer an die Oberfläche. Hydrostatisch deshalb, weil das Grundwasser unter dem Salzführenden Horizont aller intakten Lacken stets, also auch zur Zeit des sommerlichen bzw. herbstlichen Tiefststandes, subartesisch gespannt angetroffen wurde. Mit diesem generellen Grundwasserstrom werden die im Grundwasser enthaltenen gelösten Salze in den Salzführenden Horizont importiert und reichern sich in ihm als Folge der oberflächlichen Verdunstung an. Innerhalb des Salzführenden Horizonts finden wir in Übereinstimmung mit der Richtung des Wasserstromes einen Vertikalgradienten der löslichen Natriumsalze mit dem Maximum an der Oberfläche. Im Porensystem an der Basis des Salzführenden Horizontes finden sich die gleichen Konzentrationen löslicher Natriumsalze wie im angrenzenden Schotteraquifer.

- Innerhalb des Salzführenden Horizonts verändert sich die chemische Zusammensetzung des hochsteigenden Grundwassers, wobei insbesondere die Ausfällung von Calcit und verwandten Carbonaten und der damit einhergehende Verlust an Ca^{2+} hervorsticht: Dies ist eine Folge der zur Oberfläche hin steigenden Konzentrationen der Carbonate des Natriums und des geringen Löslichkeitsproduktes von Calcit. Der ausgefällte Calcit findet sich in den Profilen als autochthone carbonatische Komponente der Feinstfraktion (Ø<40 µm) und ist damit maßgeblich am Aufbau des Salzführenden Horizonts beteiligt und bestimmt wesentlich dessen Eigenschaften.

- Die silikatische Komponente der autochthonen Feinstfraktion (Ø<40 µm) des Salzführenden Horizonts besteht aus amorpher Kieselsäure, Resten der Panzer abgestorbener Kieselalgen (**Abb. 3.43**) und mit der übersättigten Porenlösung im inkongruenten Gleichgewicht stehenden Schichtsilikaten, wie Smektiten oder Kaolinit. Insbesondere die Smektite spielen für die Fähigkeit des Sediments, Wasser zu stauen oder hindurch zu lassen, eine ganz entscheidende Rolle. Smektite sind Dreischichtsilikate und zeichnen sich als Alumosilikate durch eine besondere Fähigkeit, Kationen zu binden bzw. gegen andere in der Lösung enthaltene Kationen zu tauschen (Ionenaustauschfähigkeit) aus.

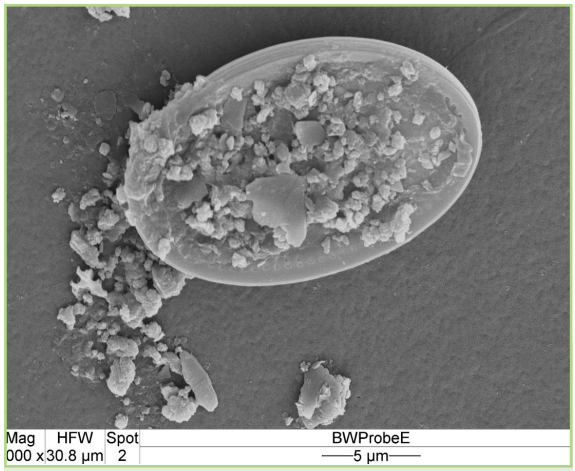


Abb. 3.43: Reste der Panzer abgestorbener Kieselalgen sind ein bedeutender Bestandteil der Sedimentfeinstfraktion.
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: Waltraud Klepal.

- Eine geringmächtige Schicht von wenigen Zentimetern an der Oberfläche des Salzführenden Horizonts steht unter dem direkten Einfluss der darüber ruhenden, stark niederschlagsbetonten Wassersäule, deren Na^+-Konzentration deutlich kleiner ist, als in der darunter liegenden Porenlösung. Dieser Unterschied in der Na^+-Konzentration veranlasst den Austauschkomplex zu dispergieren. Die einzelnen Partikel, deren Korngrößendurchmesser oft weniger als 1 µm beträgt, stoßen einander auf Grund ihrer negativen elektrischen Ladung ab, sodass die Porenräume zwischen den Partikeln so klein werden, dass ein Hindurchströmen von Wasser im Einfluss der Schwerkraft (Versickern) nicht mehr möglich ist. Die Lackenwanne ist dicht! In diesem Zustand befindet sich der Salzführende Horizont ab der Wiederbefüllung der ausgetrockneten Lackenwanne Mitte August bis etwa Mitte Juni.

- In der Regel hat die Verdunstung mit fortschreitendem Jahreszyklus ab Mitte Juni die Na^+-Salze so weit angereichert, dass bei spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten der freien Wassersäule ab etwa 30 $mScm^{-1}$ auch die dichtende Oberflächenschicht des Sediments koaguliert. Oft zeigen sich die Schwundrisse bereits unter einem dünnen, hoch konzentrierten Wasserfilm, also schon einige Tage, bevor die Wassersäule zur Gänze verdunstet ist.

- In dieser kritischen Phase kommt dem Flurabstand des Grundwassers eine entscheidende Rolle für das weitere Schicksal der Lacke zu:
  Bei hinreichend hohem Grundwasserstand fördert die Verdunstung und der dadurch aufrecht erhaltene Grundwasserstrom große Mengen von Salzen an die Oberfläche der trockengefallenen Lacke (Salzausblühungen, Sodaschnee) und verhindert damit das Vordringen der Vegetation in das Lackenbecken.

- Eine Sodalacke beeinflusst den Chemismus des lokalen Grundwassers, mit dem es in Kontakt steht, durch Verdunstung aus dem Grundwasser einerseits und Infiltration von Lackenwasser andererseits. Unterhalb der Lacken finden wir mit Salzen und Huminstoffen angereichertes Grundwasser, eine „Lacke unter der Lacke". Dieses sehr salzreiche Grundwasser ist integrierender Bestandteil des Lackenökosystems und für das ordnungsgemäße Funktionieren der Sodalacke von großer Bedeutung. Belocky (1991) hat darauf hingewiesen, dass durch die Entwässerungsmaßnahmen im Einzugsbereich der Lacken von diesen beeinflusstes Grundwasser abgezogen wird und sich in Abströmrichtung des Grundwassers unterirdisch entfernt.

- Die Rolle von Soda und Glaubersalz für die Mineralisation:
  Soda und Glaubersalz verhindern nicht nur durch oberflächliche Anreicherung und Ausblühung das Besiedeln der trocken gefallenen Lackenwanne mit Vegetation, sie spielen auch eine entscheidende Rolle für die Mineralisation und damit die Entfernung des abgestorbenen organischen Materials aus der Lackenwanne.
  - o Soda hebt den pH des Lackenwassers auf ca. 9,5 und schafft damit optimale Bedingungen für die oxidative Mineralisation des abgestorbenen Pflanzenmaterials.
  - o Unter den reduzierenden Verhältnissen des Sediments mineralisiert Glaubersalz das in den Salzführenden Horizont eingebettete pflanzliche Material.

  Wir verstehen daher, dass sich Lacken, die aus Salzmangel infolge temporär niedrig stehenden Grundwassers einen Vegetationsgürtel entwickelt haben, diesen bei Normalisierung der Salzversorgung und günstiger Niederschlagssituation mineralisieren und sich ohne Maßnahmen aus eigenem wieder über die gesamte Lackenwanne ausbreiten können.
  Soda und Glaubersalz verhindern somit nicht nur die Ausbreitung einer Vegetationsschicht auf der trockengefallenen Lacke, sie bewahren auch die flachen Lackenwannen vor der Verlandung durch Akkumulation von abgestorbenem pflanzlichen Material.

Gefährdete und degradierte Lacken

- Je tiefer der Grundwasserstand in der Phase der Austrocknung, desto tiefer trocknet der Salzführende Horizont durch. Tiefenaustrocknung des Salzführenden Horizonts führt zur Anreicherung von Salzen nicht an der Oberfläche, sondern innerhalb des Salzführenden Horizonts. Die tief liegenden Salzmaxima zahlreicher Profile gefährdeter und degradierter Lacken belegen dies eindrucksvoll.

- Ohne den Schutz der Salzschicht an der Oberfläche überzieht sich der Lackenboden rasch mit Vegetation, welche durch die Abscheidung saurer Wurzelexsudate Calcit in Lösung bringt. Das dadurch freigesetzte Ca^{2+} verdrängt im Austauschkomplex das Na^+ , sodass eine Dispersion des Feinsediments nicht mehr möglich wird. In weiterer Folge verlagert das nun ungehindert versickernde Niederschlagswasser das Na^+ in die Tiefe des Salzführenden Horizonts. Der beschriebene Prozess der Degradation des Salzführenden Horizonts erfasst im Lauf der Zeit fortschreitend immer tiefere Schichten.

- Aus dem Zustand der Degradation kann sich die Lacke selbst nicht mehr befreien, auch nicht bei etwa wieder höher steigendem Grundwasser, weil durch die Vegetationsschicht die Verdunstung in einem Ausmaß beeinträchtigt wird, dass die erforderliche Salzanreicherung an der Oberfläche nicht erfolgen kann.

  Aus den vorangestellten Befunden leiten sich folgende Maßnamen zur Renaturierung von Salzlacken ab:
  - Kurzmähen der Vegetationsschicht
  - Aufbringung von Soda und Glaubersalz zum Entfernen der Vegetationsschicht sowie zur Regenerierung des Austauschkomplexes, um der obersten Sedimentschicht die Möglichkeit zur Dispersion und damit zur Abdichtung der Lackenwanne zu verleihen.
  - Weitest mögliches Anheben des Grundwasserspiegels. Verlangsamung des Grundwasserstroms in unmittelbarer Umgebung jeder Lacke.

3.9 Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse der chemischen Untersuchungen zeigen, dass der Vorgang der Degradierung reversibel ist und durch rechtzeitige schonende Managementmaßnahmen, wie Beweidung, Mahd und Ausbringen von Salzen, der wasserdichte Zustand des Sediments damit wieder hergestellt werden kann (und auch die Funktionsfähigkeit des Lackenökosystems). Einmal renaturiert, ist eine Lacke imstande, selbsttätig ihre Salzvorräte aus dem Grundwasser zu ergänzen. Ein bleibender Erfolg ist jedoch nur in Kombination mit einer gezielten Anhebung des Grundwasserspiegels im Einzugsbereich der Lacke zu erwarten. Insbesondere sollte in der Zeit der sommerlichen und herbstlichen Grundwasser-Tiefstände die Grundwasseroberfläche nicht tiefer als 70 cm unter der Sedimentoberfläche liegen.

Um eine nachhaltige Renaturierung größerer Sodalacken durchführen zu können, wäre es notwendig, vorab mit Hilfe eines Geländemodells und auf der Basis von limnologischen, chemischen, vegetationsökologischen, mikrobiologischen und hydrologischen Untersuchungen für jede Lacke individuell eine Reihe von Fragen zu beantworten:

1. Wahl der Dimensionen aufgrund der Kenntnis der Form des Beckens: Wo ist der tiefste Punkt?
   Wie groß soll die renaturierte Fläche sein? Die Dimensionen sollten so gewählt werden, dass eine Mindest-Wassertiefe erreichbar ist, die 10 Zentimeter deutlich übersteigt.
   Der renaturierte Lackenteil sollte in der Lage sein, sich in Richtung der ursprünglichen Ufer auszudehnen, sodass die Lacke selbsttätig ihr Becken zurück erobern kann.
2. Sind mächtige Torfschichten vorhanden, die aus dem Lackenbecken mechanisch entfernt werden müssen?
3. Planung von Beweidungsmaßnahmen, Mahd und Schilfschnitt.
4. Planung der Salzausbringung. Ist diese nötig oder nicht? Menge und Zusammensetzung der Salzmischung.
5. Welche hydrologischen Maßnahmen sind zur lokalen Anhebung des Grundwasserspiegels und zur Verlangsamung des Grundwasserstroms unterhalb der Lacke notwendig?

Literatur

BELOCKY R, *Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Lacken- und Grundwasser im Seewinkel auf der Basis von Isotopenanalysen* (1991) - Bericht. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien.

BORSODI AK, MICSINAI A, RUSZNYAK A, VLADAR P, KOVACS G, TOTH EM, MARIALIGETI K. 2005. *Diversity of alkaliphilic and alkalitolerant bacteria cultivated from decomposing reed rhizomes in a Hungarian soda lake*. Microbial Ecology 50 (1), 9-18.

BOSSOW P ET AL. (1996): *Cäsiumbelastung der Böden Österreichs*. Umweltbundesamt, Monographien, Band 60.

DICK G, DVORAK M, GRÜLL A, KOHLER B, RAUER G (1994): *Vogelparadies mit Zukunft? Ramsar-Gebiet Neusiedler See – Seewinkel*. Umweltbundesamt, Wien.

EILER A; FARNLEITNER A H; ZECHMEISTER T C; HERZIG A; HURBAN C; WESNER W; KRACHLER R; VELIMIROV B; KIRSCHNER A K T. *Factors controlling extremely productive heterotrophic bacterial communities in shallow soda pools*. Microbial Ecology (2003), 46(1), 43-54.

FRANZ H, HÖFLER K, SCHERF E (1937). *Zur Biosoziologie des Salzlachengebietes am Ostufer des Neusiedlersees*. – Verh. der zoologisch-botanischen Ges. in Wien, 1936/1937, 297–364, Wien.

GRANT WD, TINDALL BJ. 1986. *The alkaline, saline environment.* In: RA HERBERT, GA CODD (eds): *Microbes in Extreme Environments.* Academic Press, London, pp 22-54.

HÄUSLER H (2007): *Geologische Karte der Republik Österreich*. Erläuterungen zu den Blättern 79 Neusiedl am See, 80 Ungarisch-Altenburg, 109 Pamhagen. Geologische Bundesanstalt, A 1030 Wien, Neulinggasse 38

HAAS P, HAIDINGER G, MAHLER HD, REITINGER J, SCHMALFUSS R (1992): *Grundwasserhaushalt Seewinkel*. – Forschungsbericht. Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der TU Wien.

IRLWECK K, HEDRICH E (1983): *Möglichkeiten zur Datierung von Seesedimenten durch Bestimmung des Polonium-210 (Blei-210) Gehaltes.* BFB-Bericht 47, Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz.

JOECKEL RM, ANG CLEMENT BJ: *Soils, surficial geology, and geomicrobiology of saline-sodic wetlands, North Platte River Valley, Nebraska, USA*. 2005. Catena 61, 63-101.

KRACHLER R (1993): *Beitrag zum Wasserhaushalt der Lacken des Seewinkels*. – BFB-Bericht 79, 63-82, Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz.

LÖFFLER H., *Der Seewinkel, die fast verlorene Landschaft*, Niederösterreichisches Pressehaus, St. Pölten 1982.

RAMIREZ S, RIGHI D, PETIT S, *Alteration of smectites induced by hydrolytic exchange*. Clay minerals (2005) 40, 15-24.

STEINBERG C ET AL., *Dissolved humic substances – ecological driving forces from the individual to the ecosystem level?* Freshwater Biology (2006) 51, 1189–1210.

SUMNER MALCOM E (Ed.), *Handbook of Soil Science* (2000), CRC Press Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.

4 Vergleichende Mikrobiologie ökologisch intakter und degradierter Lacken – Bakterien als Bioindikatoren

Alexander Kirschner

4.1 Verlandung

Jeder Süßwassersee wird im Laufe seiner Entwicklung mit organischem und anorganischem Material aufgefüllt, sodass seine freie Wasserfläche immer kleiner wird, bis zum völligen Verschwinden. Dieser Vorgang wird Verlandung genannt, wobei die Dauer und Geschwindigkeit des Vorganges von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Die wichtigsten sind Tiefe und Größe des Sees, die seeinterne Produktivität (autochthone Primärproduktion) sowie die Menge des zugeführten (allochthonem) organischen und anorganischen Materials aus Zuflüssen und Oberflächenabfluss. So wurde zum Beispiel für den Bodensee berechnet, dass allein durch die Sedimentfracht der Bregenzer Ache der See in etwa 12.000 Jahren verschwunden sein wird (LAMPERT & SOMMER 1999). Im Fall des Chiemsees hat dessen Größe in den letzten 10.000 Jahren von 300 km^2 auf 80 km^2 und dessen Tiefe von 250 m auf 73 m abgenommen. In der letzten Eiszeit noch vorhandene Seen wie der Rosenheimer und der Salzburger See sind inzwischen völlig verlandet.
Erstaunlicherweise existierten der Großteil der burgenländischen Salzlacken in etwa genauso lange, obwohl diese Gewässer nur eine maximale Tiefe von 1 m aufweisen und in ihrer Ausdehnung mit maximal 10 km^2 (Lange Lacke) deutlich kleiner sind. Da die Lacken keine Zuflüsse und steile Ufer besitzen, macht die interne Produktion (vor allem einzellige Algen und Röhrichtpflanzen) den größten Teil des sich potenziell ansammelnden Materials aus. In manchen Lacken (z.B. Zicklacke) tragen Algenmatten am Gewässerboden (Biofilm, "Meteorpapier") den Großteil zur Produktion bei. Aufgrund ihrer geomorphologischen Situation und der landwirtschaftlichen Nutzung der unmittelbar an die Lacken angrenzenden Flächen besitzen die Lacken extrem hohe Nährstoffkonzentrationen (bis 12 mg L^{-1} Totalphosphor im Oberstinker; EILER ET AL. 2003) und können daher alle als hypertrophe, hochproduktive Ökosysteme eingestuft werden. Dennoch ist es den Lacken gelungen, mit Hilfe eines „ausgeklügelten" Mechanismus Jahrtausende zu überleben und nicht zu verlanden. Die Basis dafür sind die hohen Salzkonzentrationen, die spezielle Salzzusammensetzung und der hohe pH-Wert in den Gewässern. Süßgewässer mit vergleichbarer Tiefe und Hydrologie, deren Materialanhäufung ebenfalls vor allem von der autochthonen Primärproduktion abhängig ist, wie zum Beispiel die Altarme der Lobau bei Wien, akkumulieren pro Jahr mehrere Millimeter Sediment am Gewässerboden und würden innerhalb von 80 bis 100 Jahren verlanden (KIRSCHNER ET AL 2001).

4.2 Die Rolle der Bakterien

Das Salz in den Lacken hingegen verhindert einerseits das Einwandern üppiger Fremdvegetation, während die angepassten Salzpflanzen nur geringe Deckungen und Biomassen aufbauen können, andererseits führen der hohe pH-Wert und die hohe Salzkonzentration zu einer Stabilisierung der anorganischen Trübe im Wasserkörper (Krachler et al 2000). Dadurch bleibt auch das organische Material in Schwebe und kann durch die äußerst aktive Bakterienflora effektiv unter Anwesenheit von Sauerstoff abgebaut werden. Der Wasserkörper des Oberen Stinkers weist dabei die höchsten Bakterienzahlen und Produktionsraten auf, die je für ein natürliches Ökosystem berichtet wurden (Kirschner et al. 2002, Eiler et. al 2003). Die Ausbildung einer wachsenden organischen Sedimentschicht, wie sie in Süßwasserseen natürlicherweise vorkommt, wird damit verhindert. In einer solchen Schicht entstehen ab einer Tiefe von wenigen Millimetern anaerobe Zustände und der weitere Abbau der organischen Substanz wird verlangsamt.
Durch die Akkumulation organischen Materials im Sediment von Süßwasserseen ist das Verhältnis der bakteriellen Zellzahlen und Aktivitäten im Sediment im Vergleich zum Wasserkörper in etwa 1000 : 1. Zellzahlen im Wasserkörper von Seen liegen in der Größenordnung von 0,4 – 34 x 10^9 Zellen L^{-1} (SANDERS ET AL 1992), im Sediment hingegen in der

Größenordnung von 0,6 – 25 x 10^{12} Zellen L^{-1} (SCHALLENBERG & KALFF 1993). Bakterielle Produktionswerte liegen im Wasser bei 0,02 – 40 µgC L^{-1} h^{-1} (SIMON 1987, THEIL-NIELSEN & SÖNDERGAARD 1999), im Sediment bei 1 - 10000 µgC L^{-1} h^{-1} (KIRSCHNER & VELIMIROV 1999, SANDER & KALFF 1993).

In einer in den Jahren 2000 – 2001 durchgeführten Studie an fünf verschiedenen Lacken des Seewinkels zeigte sich, dass einerseits das Verhältnis der Zellzahlen und Produktionsraten im Sediment : Wasser in allen Lacken deutlich geringer war als 1000 und andererseits ein signifikanter Zusammenhang mit dem ökologischen Zustand der Lacken bestand (**Abb. 4.1**). Es ist deutlich zu sehen, dass in den ökologisch intakten Lacken Oberer Stinker **(OS)** und Unterer Stinker **(US)** das Verhältnis deutlich niedriger ist als in der Langen Lacke **(LL)** und Wörthenlacke **(WL)**, auch wenn in den beiden letzteren Lacken das Verhältnis auch weit unter 1000 : 1 liegt.

Alexander Kirschner

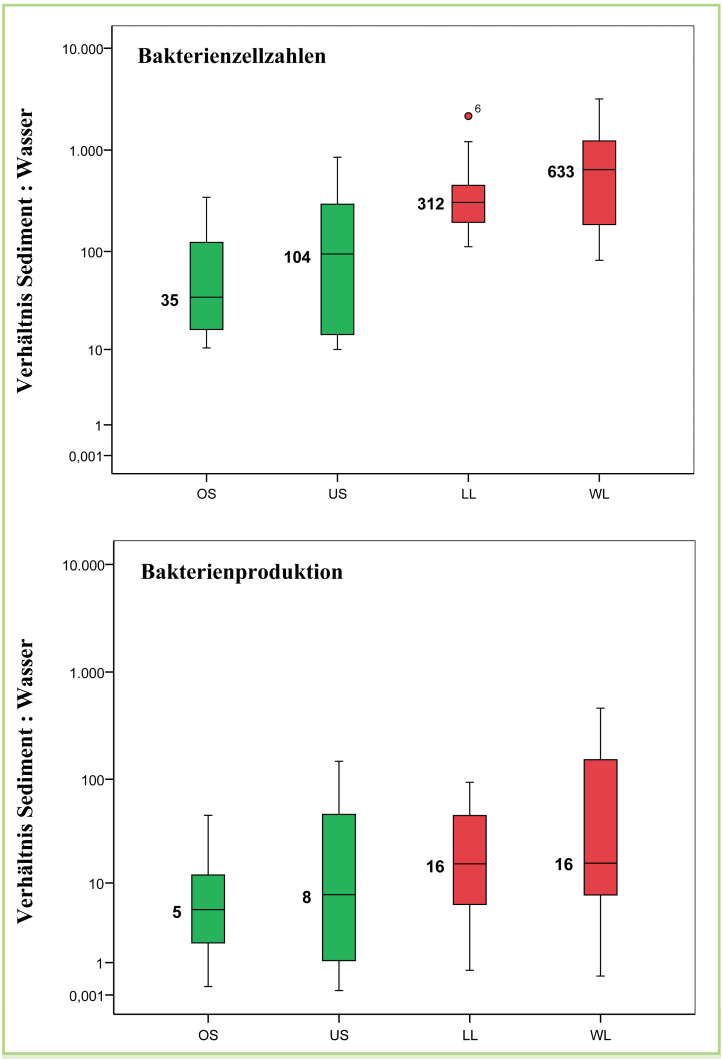


Abb. 4.1: Verhältnis der Bakterienzahlen (BN) und -Produktion (BP) pro Volumseinheit in Sediment : Wassersäule in den Lacken Oberer Stinker (OS), Unterer Stinker (US) und Lange Lacke (LL) in den Jahren 2000 – 2001. Box-Whisker Plots zeigen Median, 50 % und 75 % Quartile von 16 Messwerten.

Alexander Kirschner

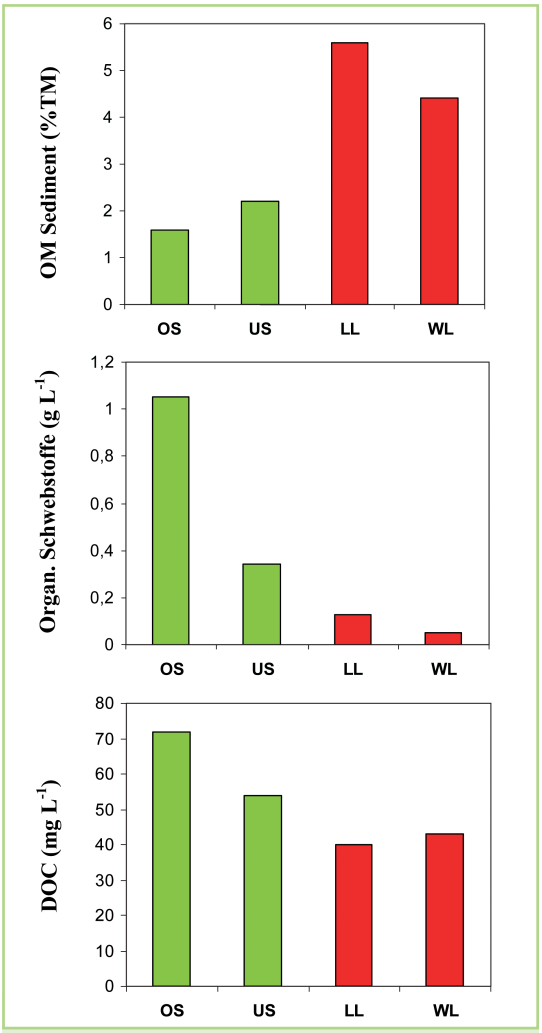
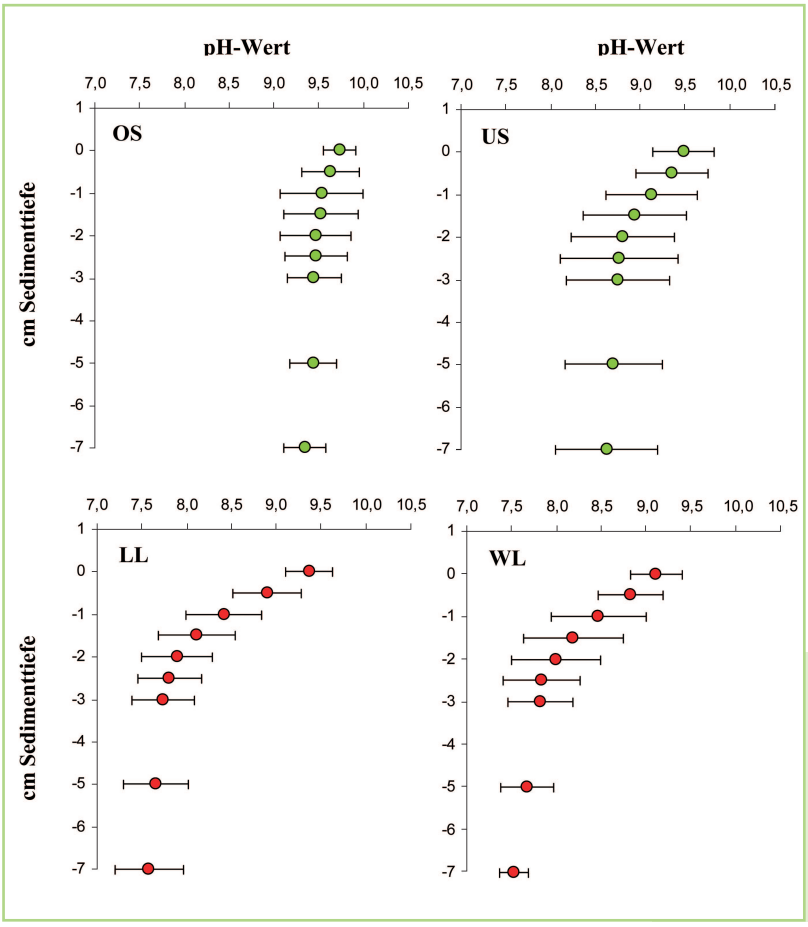


Abb. 4.2: Verteilung organischen Materials in den Lacken OS, US, WL und LL in den Jahren 2000 – 2001. Mitte: organische Schwebstoffkonzentration. oben: organisches Material (OM) im Sediment in % der Trockenmasse. unten: gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) im Wasserkörper. Daten repräsentieren den Median von 23 Messwerten.

Bei Betrachtung der Verteilung des organischen Materials in den Kompartimenten Sediment und Wassersäule ergibt sich folgendes Bild. In den ökologisch intakten Lacken OS und US ist der organische Anteil im Sediment deutlich geringer als in den bereits stark gefährdeten Lacken WL und LL (**Abb. 4.2**). Die Konzentrationen der Gesamtschwebstoffe, der organischen Schwebstoffe sowie des DOC ist im Wasserkörper von OS und US hingegen deutlich höher als in WL und LL.

Mit der Verfügbarkeit des organischen Materials und der Aktivität von Mikroorganismen im Zusammenhang stehende chemische Parameter sind einerseits der pH-Wert im Sediment sowie das Redox-Potenzial. Durch die geringere mikrobiologische Aktivität im Sediment

Alexander Kirschner



ökologisch intakter Lacken ist die Abnahme des pH-Werten und des Redox-Potenzials in den oberen Zentimetern des Sedimentes deutlich geringer als in degradierten Lacken, die aufgrund des höheren organischen Materials höhere mikrobielle Aktivität und Biomasse besitzen. Dies konnte im Zeitraum 2000/2001 für die ökologisch intakten Lacken OS und US im Vergleich zu den bereits stark beeinträchtigten Lacken LL und WL gezeigt werden (**Abb. 4.3**). Im OS und US fiel der pH nie unter 9 bzw. 8, während LL und WL pH-Werte von knapp über 7 aufwiesen. Beim Redoxpotenzial fielen die Werte im OS nie unter +50, im US nie unter –80, während in LL und WL Werte unter –100 immer zu beobachten waren (**Abb. 4.4**).

Abb. 4.3: pH-Profile in den Sedimenten der Lacken OS, US, LL und WL in den Jahren 2000 – 2001. Die Daten repräsentieren den Mittelwert und die Standardabweichungen der pH-Werte jeder Tiefe.
Nur Profile von April – Oktober wurden berücksichtigt (n = 32).
y-Achse in cm Sedimenttiefe.

Alexander Kirschner

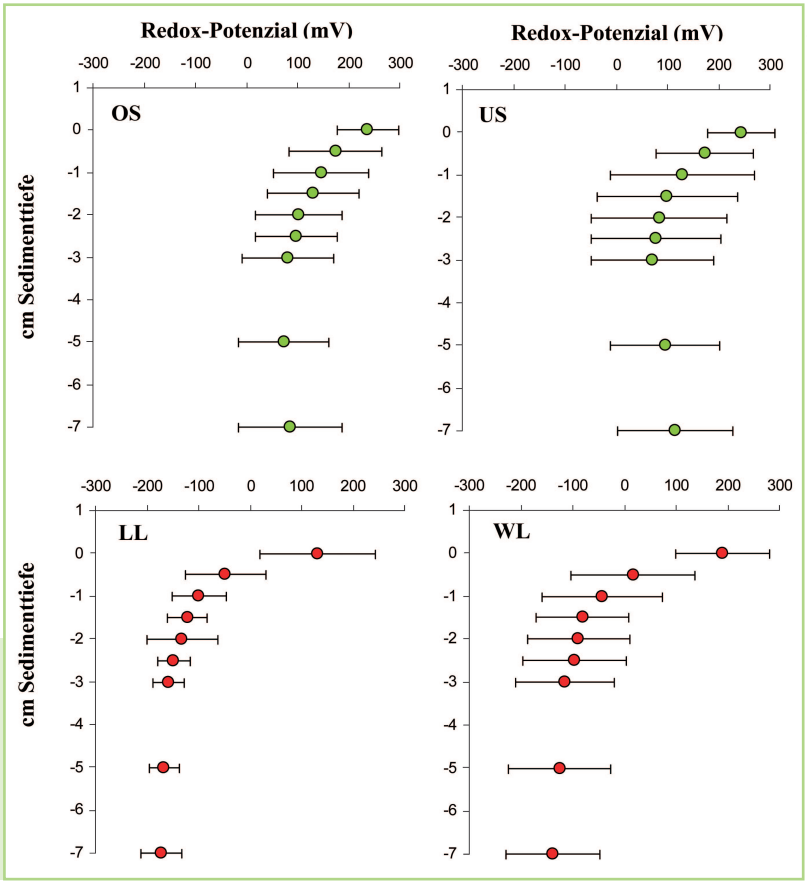
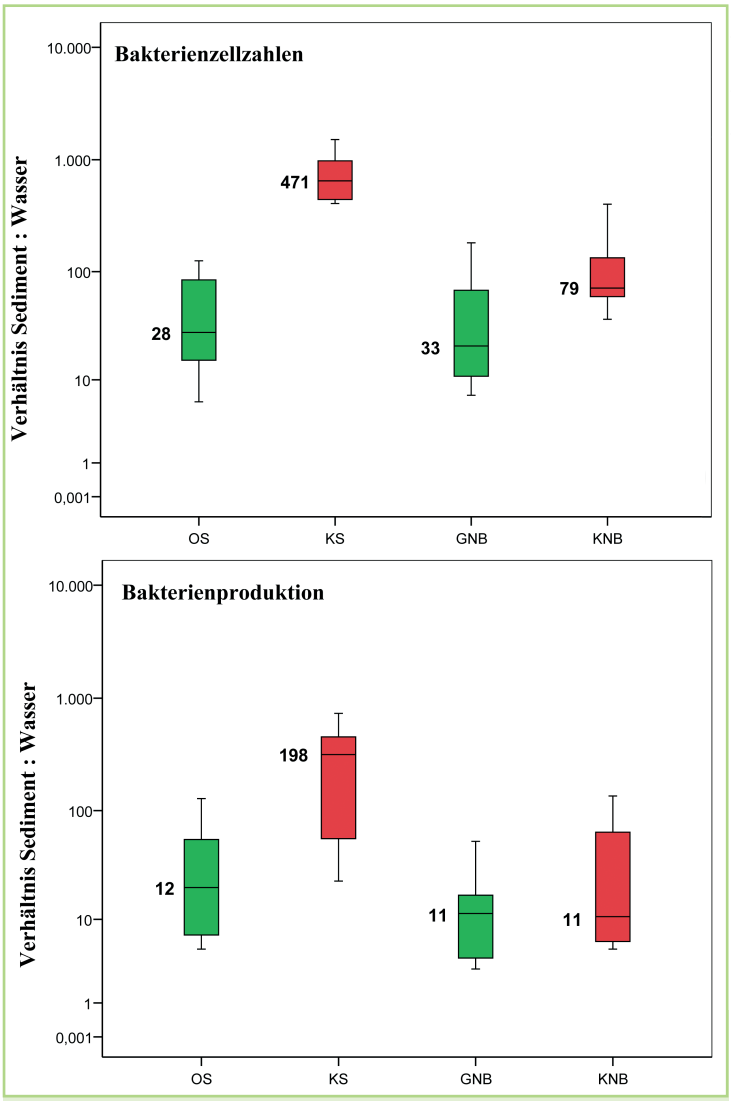


Abb. 4.4: Redox-Profile in den Sedimenten der Lacken OS, US, LL und WL in den Jahren 2000 – 2001. Die Daten repräsentieren den Mittelwert und die Standardabweichungen der Redox-Werte jeder Tiefe. Nur Profile von April – Oktober wurden berücksichtigt (n = 32). y-Achse in cm Sedimenttiefe.

4.3 Vergleich zwischen degradierten und nicht degradierten Lacken 2004-2006

Im vorliegenden Lackenrenaturierungsprojekt wurden diese Zusammenhänge für zwei der behandelten degradierten Lacken, die im zentralen Seewinkel liegende Kleine Neubruchlacke und die Seerandlacke Krautingsee, bestimmt und mit ihren jeweiligen ökologisch intakten Referenzlacken Große Neubruchlacke (**GNB**, zentraler Seewinkel) und Oberer Stinker (Seerandlacke) verglichen.



Alexander Kirschner

Abb. 4.5: Verhältnis der Bakterienzahlen und Produktion pro Volumseinheit in Sediment : Wassersäule in den Lacken Oberer Stinker (OS), Krautingsee (KS), Große Neubruchlacke (GNB) und Kleine Neubruchlacke (KNB) in den Jahren 2004 – 2006 (jeweils Mai bis September). Box-Whisker Plots zeigen Median, 50 % und 75 % Quartile von 12 Messwerten.

Bakterienzellzahlen und Produktion: Bei den Bakterienzellzahlen war das Verhältnis Sediment : Wasser im KS mit einem Median von 471 signifikant höher ($p < 0.01$) als in der Referenzlacke OS, wo der Median bei 28 lag (**Abb. 4.5**). Auch in der KNB lagen die Werte mit einem Median von 79 über dem der Vergleichslacke GNB, die einen Median von 33 aufwies, jedoch war dieser Unterschied nicht signifikant. Im Fall der Bakterienproduktion lagen die Verhältniswerte wie schon bei den in den Jahren 2000-2001 untersuchten Lacken generell unter denen der Bakterienzellzahlen. Zwischen KS und OS konnte auch hier ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p < 0,05$), wobei der Median im KS um das 16,5 fache höher lag. Die Mediane in der KNB und GNB waren vergleichbar niedrig bei 11, die KNB zeigte aber einen Trend zu etwas höheren Werten.

pH-Wert: Ein ausgezeichneter Zeiger für den Unterschied zwischen degradierter und nicht degradierter Lacke war auch der pH-Wert im Sediment, der nicht nur von der Salzzusammensatzung an sich, sondern auch von der bakteriellen Aktivität abhängig ist. Unter anaeroben Bedingungen wird organisches Material nicht vollständig zu CO_2 veratmet, sondern zu intermediären Stoffwechselprodukten, hauptsächlich zu organischen Säuren, die den pH beeinflussen. Bei hohem organischem Gehalt und hoher mikrobieller Aktivität kommt es schon in geringen Sedimenttiefen zu einem Verbrauch des Sauerstoffs und zur Säureproduktion und somit zu einer starken Absenkung des pH-Wertes. Bei niedrigem organischem Gehalt und niedriger bakterieller Aktivität ist dieser Effekt weniger deutlich, außerdem kann es bei Vorhandensein von ausreichend Sulfat durch die Tätigkeit sulfatreduzierender Bakterien zu einer Erhöhung des pH-Wertes kommen, da hierbei OH--Ionen gebildet werden. Wie die Vergleiche zwischen den intakten und degradierten Lacken zeigten, waren ab einer Sedimenttiefe von 0,5 cm zwischen OS und KS höchst signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) zu beobachten (**Abb. 4.6**). Von den 12 Messwerten pro Tiefe wurde am OS nur ein Mal eine Abnahme des pH-Wertes mit der Tiefe boebachtet, wo die Werte auf 8,3 absanken. Im Median blieben die Werte deutlich über 9,5. Im Unterschied dazu lagen die pH-Werte im KS ab einer Tiefe von 3 cm immer unter 8,0 und sanken im Extremfall sogar auf 7,1 ab. Zwischen GNB und KNB wurden ebenfalls signifikante Unterschiede beobachtet (**Abb. 4.6**), wobei der Unterschied in 0,5 cm Tiefe signifkant ($p < 0,05$), in 1 und 1,5 cm

Alexander Kirschner

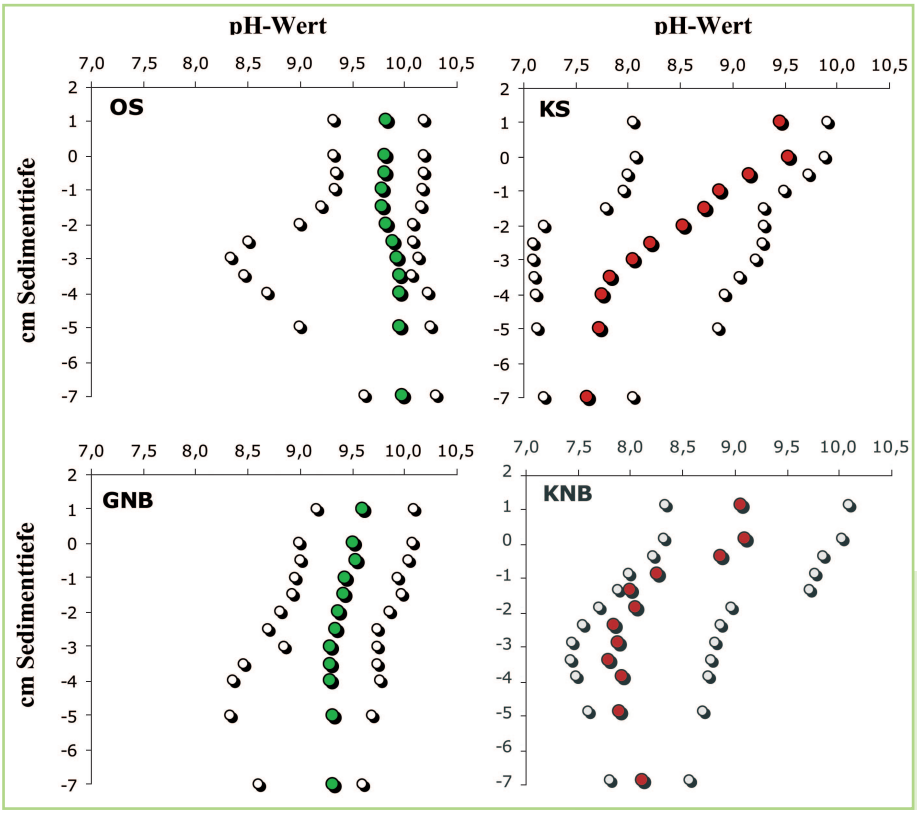


Abb. 4.6: pH-Profile in den Sedimenten der Lacken OS, KS, GNB und KNB in den Jahren 2004 – 2006 (jeweils Mai bis September). Die Daten repräsentieren Median, Minimal- und Maximalwert in jeder Tiefe (n = 12).

Tiefe hoch signifikant ($p < 0{,}01$) und ab 2 cm höchst signifikant ($p < 0{,}001$) war. Die Mediane in der KNB lagen durchwegs über 9.2, während sie in den tieferen Schichten an der KNB unter 8,0 lagen.

Redox-Potenzial: Im Gegensatz zum pH-Wert waren die Unterschiede beim Redox-Potenzial zwischen degradierten und intakten Lacken deutlich weniger ausgeprägt. Auch hier wäre bei höherem organischen Gehalt und höherer bakterieller Aktivität ein Absinken des Redox-Potenzials zu erwarten, da starker Abbau von organischem Material Elektronen verbraucht und das Potenzial absenkt. Zwischen OS und KS waren zwar hoch signifkante Unterschiede ($p < 0{,}01$) ab einer Tiefe von 1 cm zu verzeichnen – das mittlere Potenzial am OS sank nie unter 46 mV, während am KS mittlere Werte von -90 verzeichnet wurden (**Abb. 4.7**) – zwischen KNB und GNB hingegen wurden keine

Alexander Kirschner

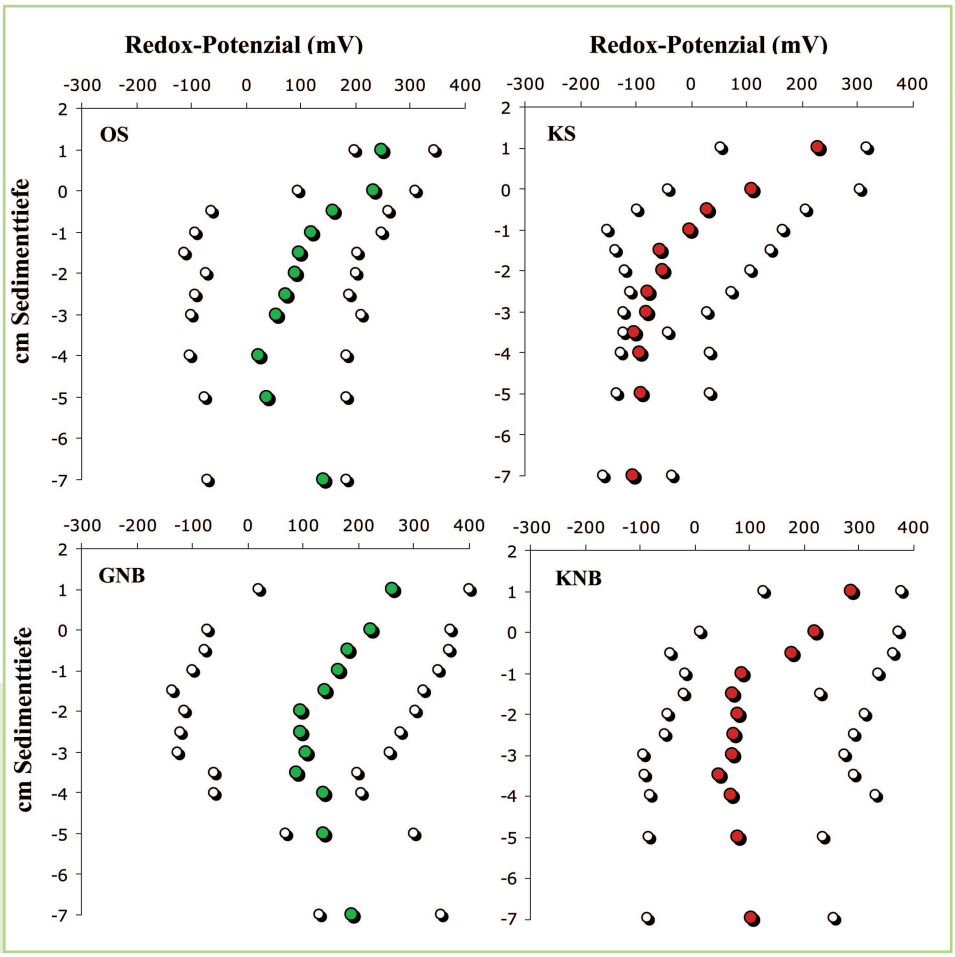
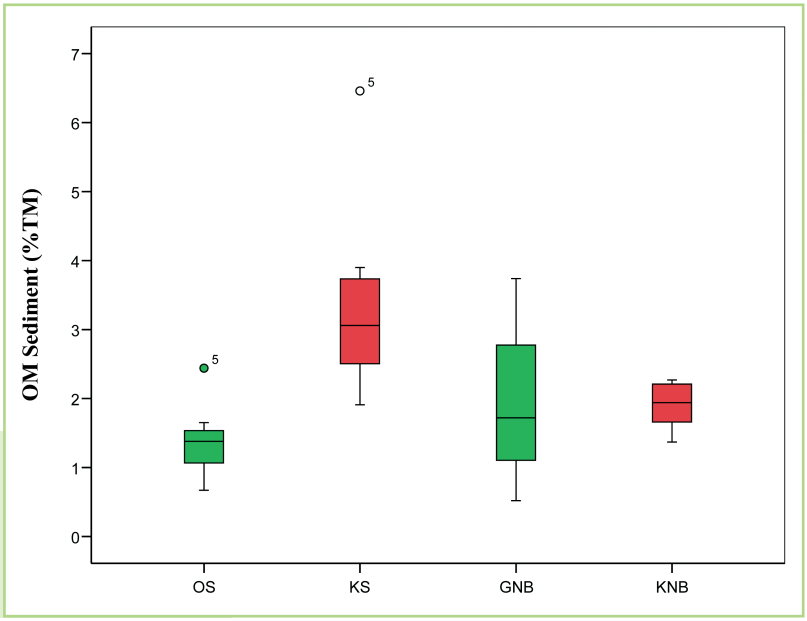


Abb. 4.7: Redox-Potenzial-Profile in den Sedimenten der Lacken OS, KS, GNB und KNB in den Jahren 2004 – 2006 (jeweils Mai bis September). Die Daten repräsentieren Median, Minimal- und Maximalwert in jeder Tiefe (n = 12).

signifkanten Unterschiede festgestellt. Im Mittel lagen die Werte zwischen 70 und 105 mV bei der GNB sowie zwischen 90 und 140 mV bei der KNB (**Abb. 4.7**).

Organischer Gehalt: Ähnlich lagen die Verhältnisse beim organischen Material, wo zwischen OS (Median: 1,2 %) und KS (3,0 %) ein hoch signifikanter Unterschied war ($p < 0{,}01$). Kein signifkanter Unterschied fand sich hingegen bei GNB und KNB, im Median lagen hier die Werte bei 1,6 bzw. 1,8 %, wobei die Werte bei der GNB hohe Schwankungen aufwiesen (**Abb. 4.8**).



Alexander Kirschner

Abb. 4.8: Organisches Material im Sediment der Lacken OS, KS, GNB und KNB in den Jahren 2004 – 2006 (jeweils Mai bis September). Box-Whisker Plots zeigen Median, 50 % und 75 % Quartile von 12 Messwerten.

4.4 Schlussfolgerung

Sowohl die Verhältniswerte der Bakterienzahlen und Produktionswerte im Sediment zu Wasser als auch mit der bakteriellen Aktivität in direktem Zusammenhang stehende Parameter (pH, Redox-Potenzial, organisches Material) können als Zeiger für den ökologischen Zustand der untersuchten Lacken herangezogen werden. Dies ließ sich einerseits für die in den Jahren 2000-2001 untersuchten gesunden Lacken OS und US (Seerandlacken) im Gegensatz zu den ökologisch beeinträchtigten Lacken WL und LL (beide zentraler Seewinkel) zeigen. Ein Teil der LL (Gebiet um den sogenannten Sauspitz) ist ja in den letzten wenigen Jahren völlig verlandet und weist Wiesencharakter auf. Außerdem waren es in den vergangen Jahren besonders die LL und auch die WL, die massiv von Vogelbotulismusausbrüchen betroffen waren, ein Umstand, der auch bereits mit dem verschlechterten ökologischen Zustand dieser beiden Lacken in Zusammenhang gebracht wurde (FARNLEITER ET AL 2002, ZECHMEISTER ET AL 2007). Andererseits konnte anhand der in den Jahren 2004-2006 erhobenen Daten, wo Lacken des selben Gebietes verglichen wurden (zentraler Seewinkel: GNB – KNB; Seerand: OS – KS), gezeigt werden, dass entsprechende Unterschiede auch hier gefunden wurden. Die degradierten Lacken wiesen signifikant höhere Verhältniswerte auf, welche deutlich die Verlagerung der Stoffflüsse aus dem Wasserkörper ins Sediment anzeigen. Bei der bakteriellen Produktion waren die Unterschiede im Fall der KNB zur GNB nicht so deutlich, was ein Indiz dafür sein könnte, dass diese Lacke noch nicht so weit von ihrem ursprünglichen guten ökologischen Zustand entfernt ist, wie zum Beispiel der KS.

Wie sehr das vorgestellte Bioindikator-Modell für alle Lacken des Seewinkels zutrifft, müsste erst in weiteren Untersuchungen festgestellt werden. Vor allem Lacken, die einen ausgesprochen intensiv entwickelten Biofilm (Assoziation aus Algen und Bakterien) am Lackenboden aufweisen (wie z.B. die Illmitzer Zicklacke), könnten davon eine Ausnahme bilden. Hier ist aufgrund des Biofilms in der obersten Sedimentschicht (0,5 – 1 cm) ein extrem hoher organischer Gehalt zu finden und eine extrem hohe bakterielle Aktivität, während die Wassersäule trotz hoher DOC-Werte nur geringe Trübe und Zellzahlen aufweist (FARNLEITER ET AL 2002). Allerdings wird in diesem Fall der Biofilm bei Austrocknen der Lacken von starkem Wind leicht verblasen („Meteorpapier"!) und das organische Material reichert sich nicht in der Lacke an.

Interesanterweise erwies sich vor allem der mit der bakteriellen Aktivität direkt in Zusammenhang stehende pH-Wert in den obersten 7 cm des Sedimentes als aussagekräftiger Surrogatparameter für den ökologischen Zustand der Lacken und könnte zukünftig als einfach zu messende Variable herangezogen werden. Da der pH-Wert im Sediment nicht nur von der bakteriellen Aktivität, sondern auch von der Salznachlieferung „von unten“ abhängig ist, würden hiermit zwei entscheidende Faktoren auf einmal in einem leicht zu messenden Parameter Berücksichtigung finden. Die zusätzliche Messung des Redoxpotenzials bzw. des organischen Gehaltes könnten ohne großen Aufwand zusätzliche Information liefern.

Literaturberzeichnis

BELOCKY R (1991) *Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Lacken- und Grundwasser im Seewinkel auf der Basis von Isotopenanalysen* - Bericht. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien.

EILER A, FARNLEITNER AH, ZECHMEISTER TC, HERZIG A, HURBAN C, WESNER W, KRACHLER RE, VELIMIROV B & KIRSCHNER AKT (2003) *Factors controlling extremely active procaryotic communities in shallow soda pools*: Microb. Ecol. 46: 43-54

FARNLEITNER AH, ZECHMEISTER TC, KIRSCHNER AKT (2002) *Vorkommen und Abschätzung des Botulinum-Neurotoxin-Giftbildungspotenzials und dessen Zuordnung zu ökologischen Parametern in den Lacken des Nationalparks Neusiedler See – Seewinkel*. BFB-Bericht Nr 91, ISSN: 0257-3105; Biologisches Forschungsinstitut Burgenland, 43pp

HAAS P, HAIDINGER G., MAHLER H., REITINGER J., SCHMALFUß R. (1992): *Grundwasserhaushalt Seewinkel*; Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der TU Wien, Forschungsbericht 14, Beitrag zum Forschungsprogramm Hydrologie Österreichs

HERZIG, A. (1994): *Fischbiologische Untersuchung des Neusiedler Sees*. Biologisches Forschungsinstitut Burgenland Bericht 81: Seite 1–125

KIRSCHNER AKT, VELIMIROV B (1999) *Benthic bacterial secondary production measured via simultaneous 3H-thymidine and 14C leucine incroporation, and its implication for the carbon cycle of a shallow macrophyte dominated backwater system*. Limnol. Oceanogr. 44: 1871-1881

KIRSCHNER AKT, RIEGL B, VELIMIROV B (2001) *Degradation of emergent and submerged macrophytes in an oxbow lake of an embanked backwater system: implications for the terrestrialization process*. Int. Rev. Hydrobiol. 86: 555-571

KIRSCHNER AKT, EILER A, ZECHMEISTER TC, VELIMIROV B, HERZIG A, MACH R & FARNLEITNER AH (2002) *Extremely productive microbial communities in shallow saline pools respond immediately to changing meteorological conditions*. Environ. Microbiol. 4: 546-555

KOHLER B, RAUER G, WENDELIN B (1994) LANDSCHAFTSWANDEL. In: Dick G et al: *Vogelparadies mit Zukunft*? Ramsar Bericht 3, Neusiedler See-Seewinkel, Umweltbundesamt Wien: 4-34

KRACHLER R (1993): B*eitrag zum Wasserhaushalt der Lacken des Seewinkels*. – BFB-Bericht 79, 63-82, Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz.

KRACHLER RU, KRACHLER RE, MILLERET E & WESNER W (2000) *Limnochemische Untersuchungen zur aktuellen Situation der Salzlacken im burgenländischen Seewinkel*. Burgenländische Heimatblätter 62:3-49

LAMPERT W, SOMMER U (1999) *Limnoökologie*. 2. Auflage, Thieme, Stuttgart, 489 pp

SANDER BC, KALFF J (1993) *Factors controlling bacterial production in marine and freshwater sediments*. Microb. Ecol. 26: 79-99

SANDERS RW, CARON DA, BERNINGER UG (1992) *Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters*: an interecosystem comparison. Mar. Ecol. Prog. Ser. 86: 1-14

SCHALLENBERG M, KALFF J (1993) *The ecology of sediment bacteria in lakes and comparisons with other aquatic ecosystems*. Ecology 74: 919-934
SIMON M (1987) *Biomass and production of small and large free-living and attached bacteria in Lake Constance*. Limnol. Oceanogr. 32: 591–607

THEIL-NIELSEN J, SÖNDERGAARD M (1999) *Production of epiphytic bacteria and bacterioplankton in three shallow lakes*. Oikos 86: 283–292

ZECHMEISTER TC, KIRSCHNER AKT, FARNLEITNER AH (2007) *Drei-Jahres-Monitoring von Vogelbotulismustoxin im Nationalpark Neusiedler See – Seewinkel*. BFB-Bericht 93, ISSN:

5 Ergebnisse der Vegetationsökologischen Untersuchungen 2004 – 2007

Ingo Korner

5.1 Einleitung

5.1.1 Salzpflanzen

Eine funktionsfähige, intakte Lacke weist eine typische Zonierung der Vegetation vom Randbereich der Lacke bis ins Zentrum auf. Große Flächen der nur kurz überschwemmten Uferbereiche werden von den wiesenartigen Zickgrasfluren eingenommen. In sehr niederschlagsreichen Jahren können die Lacken jedoch während des ganzen Jahres überstaut bleiben, sodass es unter Umständen zu einem großflächigen Absterben der Zickgrasfluren kommen kann, die an eine allzu lang anhaltende Überschwemmung nicht optimal angepasst sind. Die beiden wichtigsten Pflanzenarten dieser Zickgrasfluren sind der Neusiedlersee-Salzschwaden (*Puccinellia peisonis*), auch „Zickgras" genannt, sowie die Salz-Aster (*Aster tripolium ssp. pannonicus*). Sie stellen gleichzeitig auch gute Beispiele für heimische halophile Pflanzensippen dar, welche maritimer Herkunft sind, sich jedoch durch räumliche Isolation von den Stammsippen am Meeresstrand (*Puccinellia maritima* und *Aster tripolium*) bereits als eigene Art bzw. Unterart („Subspecies") differenziert haben (*P. peisonis* bzw. *A. tripolium ssp. pannonicus*). Beide Arten sind ausdauernd und eigentlich nur mäßig salztolerant, sodass sie eher auf die äußeren, salzärmeren Bereiche des flachen Ufers von Salzlacken beschränkt bleiben. Von beiden Arten ist bekannt, dass sie als konkurrenzschwache Arten die offenen Flächen der Salzstandorte zur Entwicklung benötigen, nicht aber das Bodensalz selbst. Kürzere Perioden der Überstauung übersteht die Salz-Aster durch Luftkammern in Wurzeln, Stängel und Blättern, wie sie auch Sumpfpflanzen aufweisen. Der Salzschwaden blüht im Frühsommer und ist an seinen eingerollten Blättern und ausgebreiteten Rispen gut erkennbar. Die Rollblätter sorgen für einen sparsamen Wasserumsatz und damit für eine nur mäßig passive Salzeinschwemmung. Wie die meisten Astern hat unsere Salz-Aster dagegen erst im Herbst ihr Entwicklungsoptimum und überzieht dann die Lackenränder mit einem lila Blütenteppich. Gegen Versalzung wehrt sie sich durch Sukkulent-werden ihrer Blätter und Blattwurf. Als weitere Arten der Zickgraswiesen findet man gelegentlich noch die Flügel-Schuppenmiere (*Spergularia maritima*) und – etwas seltener – die nah verwandte Salz-Schuppenmiere (*S. salina*), zwei Nelkengewächse mit kleinen, länglichen und stark sukkulenten Blättchen sowie kleinen lila Blüten. Ansonsten begegnen uns hier immer wieder auch Arten der angrenzenden Standortkomplexe.

5.1.2 Salzlackengesellschaften

Mit zunehmendem Salzgehalt gegen das Zentrum der Salzlacken löst sich die geschlossene „Salzwiese" rasch auf, und die Abstände zwischen den Pionierexemplaren vergrößern sich. Dafür findet eine der charakteristischen Halophytenarten, die Strand-Salzmelde (*Suaeda maritima*), gerade hier optimale Lebensbedingungen. Die völlig kahle Pflanze hat am Boden ausgestreckte, zum Teil aber auch sparrig abstehende Äste, die kleine, längliche und stark sukkulente Blätter tragen. Wie schon ihr Name andeutet, liegt ihr Hauptverbreitungsgebiet an den europäischen Meeresküsten. Als einjährige, salzspeichernde und entsprechend sehr salztolerante Pflanze nutzt sie das kurze Zeitfenster, das vom Sommer bis zum Spätherbst zur Verfügung steht. Im Herbst überzieht die durch den Farbstoff Betalain knallrot gefärbte Salzmelde weite Bereiche der Salzlacken wie mit einem roten Teppich. Die Samen können im Schlick der Lacke auch mehrere Jahre bis Jahrzehnte überdauern.

In manchen Bereichen, insbesondere am Illmitzer Kirchsee, taucht neben der Salzmelde eine weitere höchst auffällige Salzpflanze auf, die im Herbst ebenfalls knallrot gefärbt ist - der gleichfalls der Gänsefußfamilie angehörende einjährige Queller (*Salicornia prostrata*), eine extreme Lebensform innerhalb dieser Familie: Blätter fehlen gänzlich, an ihrer Stelle übernehmen die rundlichen, sukkulenten („fleischigen") und verzweigten Stämmchen die Aufgabe der Photosynthese.

Nächste verwandte Sippen dieser bei uns nicht allzu häufigen Art bedecken als „Quellerfluren“ die ausgedehnten Schlickbereiche an allen europäischen Meeresküsten.
Das Zentrum der Salzlacken schließlich ist der Lebensraum einer der interessantesten Salzpflanzen-Arten, des Niedrigen Dorngrases (*Crypsis aculeata*) mit mediterran-östlicher Herkunft. Ihr Zeitfenster, in dem sie als ebenfalls einjährige Pflanze ihren Entwicklungszyklus durchlaufen muss, engt sich in feuchten Jahren oft bis auf wenige Wochen ein: Nach Austrocknung der Lackenzentren, gelegentlich erst im Spätsommer, beginnen die zahlreichen Samen zu keimen, und rasch entfaltet sich ein Reinbestand dieses niederliegenden Grases mit kurzen, sparrigen Blättern.
Der für das Pflanzenleben sehr „riskante“ Standortkomplex am Lackenboden kann von Jahr zu Jahr eine so unterschiedliche Wasserstandsdynamik aufweisen, dass hier grundsätzlich nur einjährige Pflanzen gedeihen können. Die Samen dieser Arten überdauern im Schlamm so lange in „Warteposition“, bis günstige Temperatur- und Feuchteverhältnisse auftreten. Im Regelfall kommt es erst im Sommer nach dem Zurückweichen des Wassers zur Keimung und zur kontinuierlichen Besiedlung riesiger Flächen, wobei die Pflanzendecke oft nur eine Höhe von 10 cm erreicht. Einjährige sind ganz allgemein außerordentlich flexibel. Geht es ihnen gut, bilden sie mächtige, im Falle der Salzmelde bis zu 30 cm hohe vielästige und langblättrige Exemplare; bei extremem Bodensalzgehalt und Wassermangel erreichen sie eine Größe von nur wenigen Zentimetern und können ihren Entwicklungszyklus in kurzer Zeit durch Notreife der Samen abschließen. So ist garantiert, dass auch in einer Abfolge von ungünstigen Jahren die Samenbank im Substrat laufend ergänzt wird. Es gibt aber immer wieder auch extrem niederschlagsreiche Jahre, in denen die Lacken überhaupt nicht austrocknen, sodass die Samen gar nicht zur Keimung gelangen können. Aber auch umgekehrte Klima-Extreme können sich ereignen: Trocknet die Lacke bereits im zeitigen Frühjahr aus, wenn die tiefen Temperaturen bzw. die geringe Tageslänge (die neben Temperatur und Feuchtigkeit das Keimungsverhalten von Pflanzen maßgeblich mitsteuert!) für eine Keimung noch nicht ausreichen, so müssen die Samen ein weiteres Jahr auf optimale Keimungsbedingungen warten. Das Vorkommen bzw. umgekehrt das Fehlen bestimmter Salzpflanzen an den Lacken scheint ein guter Indikator für die Intaktheit der Lacken zu sein – dieser Umstand soll in einem Folgeprojekt untersucht werden.

5.1.3 Verteilung von Salzpflanzen im Untersuchungsgebiet

Eine der auffälligsten Beobachtungen bei der Erfassung der Vegetation der Lacken ist die Tatsache, dass sich bei allen drei Lacken zwar auf höheren Niveaus, meist weiter entfernt vom Lackenrand, durchaus kleinere Zickstellen nachweisen lassen. Es handelt sich dabei entweder um kleinere Bestände der Salz-Kresse (*Lepidium cartilagineum*) als typischer Art der Zickstellen mit Salzausblühungen sowie Bestände von Zick-Gras (*Puccinellia peisonis*), bis hin zu Übergängen zu den kleinflächig ausgebildeten echten Wermutsteppen, in denen *Festuca pseudovina* und *Artemisia santonicum* die Gesellschaft dominieren.
Im eigentlichen Lackenbereich konnten hingegen sowohl bei der Krautinglacke, bei der Kleinen Neubruchlacke als auch bei der Kleinen Martinhoflacke keine ausgesprochenen Salzspezialisten nachgewiesen werden, hier tritt als einzige Art, die auf (zwar geringere) Salzvorkommen hinweist, nur das Dorn-Gras (*Crypsis aculeata*) auf.

5.1.4 Standortbedingungen für Salzpflanzen

Die Salzvegetation ist in erster Linie durch die speziellen salzhaltigen Böden bedingt. Neben einem hohen pH-Wert sind Salzböden auch noch schlecht durchlüftet. Beim Austrocknen wird durch das Aufreißen des Bodens ein starker mechanischer Druck auf die Wurzeln ausgeübt. Für die Pflanzen wirft der Salzüberschuss im Boden eine Reihe schwerwiegender Probleme auf, die im Laufe der Evolution durch spezielle Anpassungen gelöst werden mussten.

5.1.4.1 Ernährungsfrage

Da die lebenswichtigen Nährstoffionen im Vergleich zum Überschuss an Salz (-ionen) in verhältnismäßig geringen Konzentrationen vorliegen, mussten in den Wurzeln selektive Ionenpumpen entwickelt werden, um die Nährstoffionen ohne Vergiftungserscheinungen aufnehmen zu können und dabei nicht von den Salzionen überschwemmt zu werden (**Abb. 5.1**).



Ingo Korner

Abb. 5.1: Salzausblühungen.

5.1.4.2 Osmotische Frage

Der Salzboden hält aufgrund der osmotischen Saugwirkung das Wasser im Boden zurück, obwohl die Pflanzen dieses in dem hier vorherrschenden warmen und trockenen Klima dringend benötigen würden. Die Pflanzen laufen Gefahr zu „verdursten“, obwohl sie mit ihren „Füßen“ im Wasser stehen. Um den Wasserhaushalt dennoch zu regeln, haben die Salzpflanzen unterschiedliche Strategien entwickelt. Da Wasser immer vom niedrig konzentrierten in das höher konzentrierte Medium fließt, wäre es für die Pflanze sinnvoll, möglichst viele Salzionen aufzunehmen und so einen höheren osmotischen Wert als die Bodenlösung zu erlangen. Hohe Salzkonzentrationen in der Pflanzenzelle sind jedoch giftig. Es gilt also, eine Balance zwischen „Verdursten“ und „Vergiften“ zu halten. Einkeimblättrige Pflanzen (z.B. Gräser) können ihre Wurzeln vor den Salzionen abschirmen. Um dennoch einen hohen osmotischen Wert in der Zelle zu erzielen, der es ermöglicht, Wasser aus dem Boden aufzunehmen, speichern sie ungiftige Ionen aus dem eigenen Stoffwechsel. Zweikeimblättrige Pflanzen müssen jedoch die schädlichen Salze mit dem Wasser aufnehmen und versuchen die Salze entweder rasch wieder aus der Pflanze zu entfernen oder sie stark mit Wasser zu verdünnen. Strategien zur Entfernung des Salzes aus der Pflanze sind das Abwerfen von salzhaltigen Blättern (*z.B. Plantago maritima, Salicornia europaea*), das Ausscheiden mittels Salzdrüsen oder das chemische Ausfällen und Unschädlichmachen des Salzes. Eine wesentlich andere Strategie verfolgen hingegen die Gänsefußgewächse. Sie nehmen hohe Salzkonzentrationen mit dem Wasser auf und scheiden diese über spezielle Drüsen- oder Blasenhaare wieder aus. Viele Rosettenpflanzen wie der Salz-Dreizack (*Triglochin maritimum*), die Salz-Aster (*Aster tripolium*) oder die Salz-Schwarzwurzel (*Scorzonera parviflora)* lagern das Salz in die Blätter ein und werfen diese ab, um den Salzhaushalt zu regulieren. Ähnlich wie bei Kakteen werden dickblättrige Speicherorgane ausgebildet, in denen mit dem Salz auch Wasser in großen Mengen gespeichert wird, wodurch sich die Salzkonzentration im Zellsaft reduziert. Ein gutes Beispiel dafür ist die Salz-Kresse (*Lepidium cartilagineum*). Nährstoffreiche und gut wasserversorgte Standorte werden von meist hochwüchsigen, konkurrenzstarken Pflanzen besiedelt. Arten mit geringer Wuchsleistung und Höhe können sich an diesen Standorten kaum durchsetzen. Sie suchen sich daher so genannte „ökologische Nischen“, in denen sie vor Konkurrenzarten geschützt sind. Die Anpassung an die extremen Anforderungen, die Salzstandorte für Pflanzen bedeuten, bietet daher die Möglichkeit, diesen konkurrenzarmen Standort zu besiedeln (**Abb. 5.2**).



Ingo Korner

Abb. 5.2: Blühaspekt der Salz-Kresse (Lepidium cartilagineum) – die verdickten Blätter dienen zur Regulierung des Salzhaushaltes.

5.2 Ziele des Projektes

Im gegenständlichen Projekt wird exemplarisch für Lacken, die seit 2003 keiner negativen künstlichen Bewässerung mehr unterliegen, aber starken Salzentzug aufweisen und in den letzten Jahrzehnten durch anthropogene Einflüsse starken Veränderungen unterworfen waren, ein Renaturierungskonzept entwickelt. Dieses entstand in Abstimmung mit allen involvierten Fachgruppen sowie der Nationalparkverwaltung und der Biologischen Station Illmitz.

Folgende Maßnahmen werden durchgeführt und dokumentiert:

- schonende Entfernung der Schilfbestände durch Schilfschnitt im Winter und/oder kontrolliertes Abbrennen als Vorbereitung für eine Beweidung
- intensive Beweidung der verschilften Lackenränder, um Biomasse zu entziehen, das Schilf zu reduzieren und somit die standorttypische, niedrigwüchsige Vegetation zu fördern
- versuchsweise kleinflächiges Abschieben der obersten Bodenschichten zur Entfernung der Vegetation samt Humusschicht (die obersten 3-5 cm werden entfernt) bei gefrorenem Boden im Winter
- Ausbringen von kristallinem Soda zur Wiederherstellung der ursprünglichen Salzkonzentrationen

Dadurch sollen der saline Charakter und als längerfristiges Ziel auch die ursprüngliche Vegetation der Lacken wieder hergestellt werden. Um den Prozess der Veränderung zu verstehen und dokumentieren zu können, werden die Vegetation der Lacken genau untersucht und die Veränderungen über ein Monitoringprogramm dokumentiert. Die Detailuntersuchungen werden an der Krautinglacke in Illmitz; an der Kleinen Neubruchlacke sowie der Kleinen Martinhoflacke (bei Apetlon) durchgeführt.

5.3 Erhebungsdesign

Das gegenständliche Projekt beruht auf dem System des „Hierarchischen Monitoring“. Die Monitoringflächen werden auf unterschiedlicher Maßstabsebene angelegt. Im konkreten Fall sind das 2 x 2 m oder 5 x 5 m große Quadrate für Details bestimmter Pflanzenbestände und die Vegetationskartierung entlang von Transekten für Veränderungen auf der Ebene der Pflanzengesellschaften. Dadurch können genaue Ergebnisse, die auf Kleinstflächen erzielt werden, besser auf das ganze Projektgebiet übertragen werden.
In repräsentativen Testgebieten der drei Lacken wurde daher ein System von Monitoringflächen und Transekten entlang eines Gradienten geschaffen, das die wichtigsten Vegetationstypen der Lacken und deren Ränder wie offene Salzvegetation, Brackröhrichte, wechselfeuchte Weiderasen und Halbtrockenrasen umfasst.

Aufnahmeflächen
Während der Vegetationsperiode 2004 wurden mehrere Dauerflächen eingerichtet, um einen Ist-Zustand für später einsetzendes Management zu dokumentieren. Die Aufnahmeflächen sind im Gelände durch vier Markierungspunkte gekennzeichnet. In jeder der 2 x 2 m großen Dauerflächen, die im Gelände dauerhaft vermarkt sind, wurden in 1 mÇ großen Schätzflächen (Subplots) folgende Parameter erhoben:

- Strukturdaten (Vegetationshöhe, -dichte)
- Deckungsschätzung in Dezimalskala (1%-Schritte)
- Phänologische Daten
- Standardisierte fotografische Dokumentation

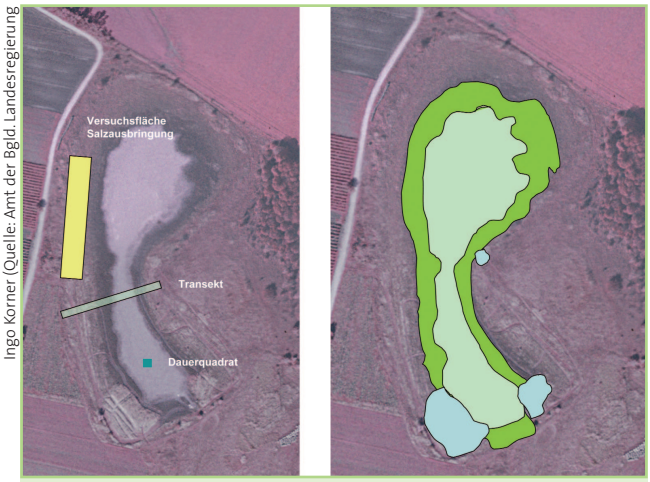
Die Dauerflächen stellen ein wesentliches Kernstück des Projektes dar, weil hier einerseits grundlagenwissenschaftliche Daten über die jährlichen Fluktuationen und Sukzessionen in den Lackenrandgesellschaften gewonnen werden, andererseits aber auch die Wirksamkeit der gesetzten Maßnahmen überprüft wird.

Die Dauerflächen wurden hochredundant vermarkt (eingemessene Lageskizze, oberirdische Markierung, eingesenkte metallene Vermessungspflöcke) und mittels GPS genau verortet, so dass das Auffinden auch nach Jahrzehnten notfalls mit Metalldetektor noch möglich ist.
Die Aufnahme der Dauerflächen erfolgte mit einer Prozentskala anstatt der sonst für Vegetationsaufnahmen üblichen Braun-Blanquet-Methode. Da die Deckungssprünge in der Braun-Blanquet-Skala (Ordinalskala) im oberen Bereich bis 25% betragen, können geringere Deckungsveränderungen nicht dokumentiert werden. Aus diesem Grund wurde die Prozentskala gewählt, da sie den Vorteil von metrisch erhobenen Daten bietet und die Möglichkeit, sehr kleine Deckungsveränderungen zu erfassen.

Transekte
Für alle drei untersuchten Lacken wurde jeweils zumindest ein Transekt vom Lackenrand (meist höher gelegene Niveaus mit Ruderalvegetation oder Halbtrockenrasen) bis ins Zentrum der Lacke (annähernd in Richtung der tiefsten Stelle) angelegt und die Zonen der Vegetation dokumentiert. Die Beschreibung dieser Zonen erfolgte durch die Auflistung der häufigsten Arten und deren Deckungswerte. Jede Zonengrenze wurde eingemessen. Durch Vermarkung der Anfangs- und Endpunkte der Transekte ist eine Reproduzierbarkeit der Aufnahmen in den nächsten Jahren gewährleistet und liefert so Informationen über Verschiebungen von Vegetationsgrenzen oder Veränderungen der Pflanzengesellschaften.

5.4 Kleine Neubruchlacke

Die Kleine Neubruchlacke ist eine der kleinsten perennierenden Lacken des zentralen Seewinkels und liegt nordwestlich der wesentlich ausgedehnteren Fuchslochlacke und nördlich der Großen Neubruchlacke. Die Lacke befindet sich inmitten eines intensiv bewirtschafteten Abschnittes der Seewinkler Kulturlandschaft, in dem Weinbau (westlich der Lacke) und Intensivlandwirtschaft (Maisanbau mit Bewässerung durch große Sektorenregner) dominieren. Die teilweise massive Entnahme von Grundwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung ist einer der Gründe für den schlechten ökologischen Zustand der Lacke. Ein weiterer Grund liegt in der mehrere Jahre zurückliegenden künstlichen Dotierung der Lacke mit Grundwasser aus jagdlichen Gründen. Dadurch sank der Sodagehalt drastisch ab, der somit nicht mehr dichte Lackenboden ist die Hauptursache für den aktuellen, kritischen Zustand. Die Bestandsaufnahme des Ist-Zustandes der Lackenrandvegetation erfolgte in der Vegetationsperiode 2004. Die Vegetationsaufnahmen verlaufen entlang eines standörtlichen Gradienten, der von den trockenen Standorten mit ruderalisierten Halbtrockenrasen über die bereits dicht bewachsenen, wechselfeuchten Lackenränder bis hin zu den zeitweise überstauten Knollenbinsen-Beständen an der Wasseranschlagslinie und dem eigentlichen Lackenboden reicht (**Abb. 5.3**).



Ingo Korner (Quelle: Amt der Bgld. Landesregierung

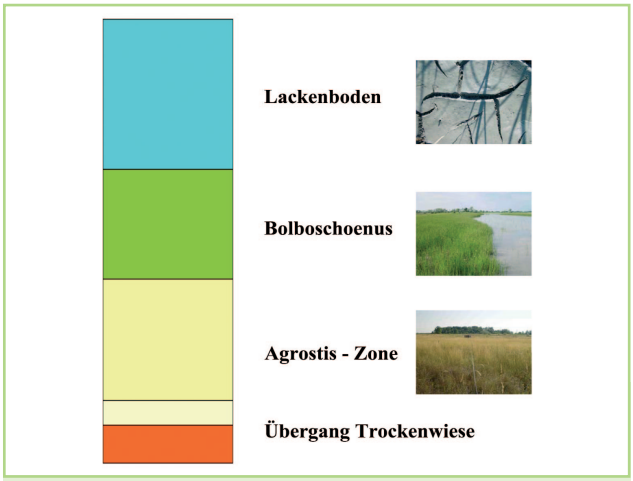
Abb. 5.3: Falschfarbeninfrarotbild der Kleinen Neubruchlacke mit Untersuchungsflächen und Zonation des Lackenufers.

Im Winter 2004/2005 wurde auf einem streifenförmigen Versuchsareal (gelblichbraune Fläche) an der Kleinen Neubruchlacke parallel zur Uferlinie in der Straußgras-Zone Soda in einer Konzentration von ca. 1 kg/mÇ ausgebracht. Durch das Ausbringen des Salzes, das bei oberflächlich gefrorenem Boden erfolgte, wurden einige Fahrspuren in das Gelände gezogen, diese haben jedoch den Vorteil, dass sich in ihnen das Niederschlagswasser hält und auch die Vegetationsdecke dadurch partiell entfernt wurde. Aufgrund der hohen Bodenfeuchte und Winterniederschläge konnte hier das Salz bis auf jene Bereiche, in denen es auf der Vegetation zu liegen kam, bis Ende März 2005 bereits in wässrige Lösung übergehen.

Durch den Einfluss der hohen Sodakonzentrationen und das Aufreißen der vorher geschlossenen Vegetationsdecke lagen zu Beginn der Vegetationsperiode 2005 Standortbedingungen vor, die den Verhältnissen an einer intakten Lacke entsprachen. Der offene Boden begünstigte die Keimung salzliebender Pflanzenarten, die hohe Ionenkonzentration im Substrat verhinderte das Aufkommen konkurrenzstarker Arten wie des vorher dominanten Straußgrases.
Die Vegetationszonierung des unmittelbar von den wechselnden Wasserständen beeinflussten Bereichs umfasste 2004 einige Schilfbestände (türkisgrün), einen rings um die Lacke verlaufenden Gürtel der Knollenbinse (olivgrün) und den Lackenboden selbst, der nach dem Austrocknen nur vom Dorngras (*Crypsis aculeata*) bewachsen war. 2005 und 2006 machte sich der fehlende Salzgehalt in der Lacke stark bemerkbar, die Bestände der Knollenbinse haben sich seither nicht nur innerhalb der schon 2004 vorhandenen Zone verdichtet, sondern auch in Richtung Lackenboden ausgeweitet. Damit ist eine weitere Phase der Degradation der Lacke eingeleitet worden, der den Verlust des offenen Lackenbodens und die Ausbildung eines dichten Bestandes der Knollenbinse zur Folge hat. Hauptursache ist das Fehlen von Soda und der dadurch bedingte undichte Lackenboden.

5.4.1 Vegetationszonierung

Die Grafik zeigt die Abfolge der Vegetationseinheiten von den höher gelegenen Niveaus in Richtung Lackenboden. Unmittelbar nach den Übergängen der Trockenwiesen bzw. ruderalisierten Halbtrockenrasen wird das Substrat bereits wesentlich feuchter, der Boden ist stark durchnässt und wird von Straußgras dominiert, etwas weiter Richtung Lackenzentrum treten bereits einzelne Exemplare von Bolboschoenus maritimus auf. Diese Zone ist ca. 23 bis 25 m breit. Erst dort, wo das Wasser fast ständig einige Zentimeter hoch steht, beginnt die eigentliche Zone der Knollenbinse (*Bolboschoenus maritimus*). Sie stellt hier einen Reinbestand dar, in den kaum Schilf eindringt. Das Schilf trat 2004 nur in einzelnen Herden auf, bildete jedoch durchaus geschlossene Bestände von mehreren hundert Quadratmetern. Diese befinden sich am südlichen und teilweise auch am östlichen Lackenrand. Große Teile des Lackenufers sind jedoch von Bolboschoenus dominiert und weitgehend schilffrei. In den Jahren 2005 und 2006 haben sich jedoch auch am westlichen Lackenufer lockere Schilfbestände etabliert, die allmählich dichter wurden. Nach der Zone mit Knollenbinse beginnt der eigentliche Lackenboden, der bei einer intakten Lacke aufgrund der langen Überstauung frei von permanentem Bewuchs ist und nach dem Austrocknen nur von einjährigen Arten besiedelt werden kann, die ihren Entwicklungszyklus binnen weniger Wochen von der Keimung bis zur Samenreife durchlaufen. Im Herbst 2004 trat am Lackenboden nur spärlicher Bewuchs des Dorngrases auf, 2005 und 2006 drang jedoch die Knollenbinse bis ins Zentrum der Lacke vor (siehe Entwicklung im Bereich Lackenboden – **Abb. 5.4**).



Ingo Korner

Abb. 5.4: Zonierung des Transektes vom Lackenrand bis zum Lackenboden

5.4.2 Auswirkungen der Salzausbringung

Im Herbstaspekt 2005 konnten die Auswirkungen der Salzausbringung im Uferbereich der Kleinen Neubruchlacke sehr gut dokumentiert werden. Vor allem die Salzaster breitete sich stark aus und bot einen sehr eindrucksvollen Blühaspekt. Die Zone der Salzausbringung grenzt sich seither sehr klar von den angrenzenden unbehandelten Bereichen ab. Es kommen zwar auch in den benachbarten Flächen, in denen das Straußgras und der Weiden-Alant (*Inula salicina*) dominieren, zahlreiche Exemplare der Salzaster vor, sie erreichen jedoch deutlich geringere Deckungswerte als in der Untersuchungsfläche.

Ingo Korner



Abb. 5.5: Blühaspekt der Salz-Aster im Versuchsfeld der Salzausbringung an der Kleinen Neubruchlacke im Herbst 2005.

Am westlichen Ufer der Kleinen Neubruchlacke wurde im Winter 2005/2006 eine kleine Fläche abgebrannt, in erster Linie die Niveaus der Halbtrockenrasen bis hinunter an die Grenze der Versuchsfläche. Die Wasseranschlagslinie reichte im Frühjahr 2006 bis ca. 10 m an die Geländekante heran, die zu den Niveaus der Weingärten bzw. Ackerstilllegungsflächen reichte. In den Senken stand das Wasser bzw. teilweise noch das Eis. In Bereichen mit größerer Wassertiefe, wie etwa in den Fahrspuren durch die Salzausbringung, betrug die Wassertiefe bis 25 cm, am südwestlichen Markierungspunkt der 5 x 5 m großen ersten Untersuchungsfläche noch 9 cm. Am Endpunkt des Vegetationstransektes, das vom Lackenrand bis fast in die Lackenmitte reicht, betrug die Wassertiefe direkt am Messpunkt 25 cm. An der tiefstgelegenen Stelle und auch am südöstlichen Rand der Lacke lag noch eine fast geschlossene Eisdecke vor, mit einer Wassertiefe von ca. 26 cm im Durchschnitt.

Im Sommer 2006 breitete sich das Straußgras, das die Fläche vor der Salzausbringung dominiert hatte, wieder stärker aus. Sehr auffallend dabei war der scharfe Übergang zur Fläche ohne Salzausbringung, der durch eine schmale Zone von Wilder Karotte (*Daucus carota*) geprägt ist. Unmittelbar dahinter schloss die homogene, artenarme und stark von Reitgras dominierte Zone an **(Abb. 5.5**).

Die Keimbedingungen waren 2006 aufgrund des noch immer relativ hohen Anteils offenen Bodens relativ gut, jedoch werden seither die Konkurrenzverhältnisse immer eindeutiger zu Gunsten des Straußgrases (und teilweise auch der Knollenbinse) verschoben. Im Nordwestteil des Versuchsfeldes, dort wo der Boden am stärksten bei der Salzausbringung aufgerissen wurde, war auch 2006 die Vegetation noch am offensten, hier lag die Deckung von *Aster tripolium* nach wie vor relativ hoch. Die Deckungswerte waren nach dem sehr günstigen Herbst 2005 (über 40 %) auf ca. 25 % abgesunken, lagen aber verglichen mit der unbehandelten Referenzfläche nach wie vor hoch (2004 – 2,5 %, 2005 – 1 % und 2006 1,5 %).
Zudem fanden sich auch bereits größere Exemplare des Dorngrases (*Crypsis aculeata*), die auf dem Offenboden keimen konnten. Bemerkenswerterweise traten auch hier so wie auf der Martinhoflacke 2006 erstmals Exemplare des Neusiedlersee-Schwadens (*Puccinellia peisonis*) auf. Ebenso sind hier seit 2005 die Spieß-Melde (*Atriplex hastata* bzw. nach neuer Nomenklatur *A. prostrata*), die als gefährdet eingestuft ist, und der Graugrüne Gänsefuß (*Chenopodium* glaucum) vertreten (**Abb. 5.6**).

Ingo Korner



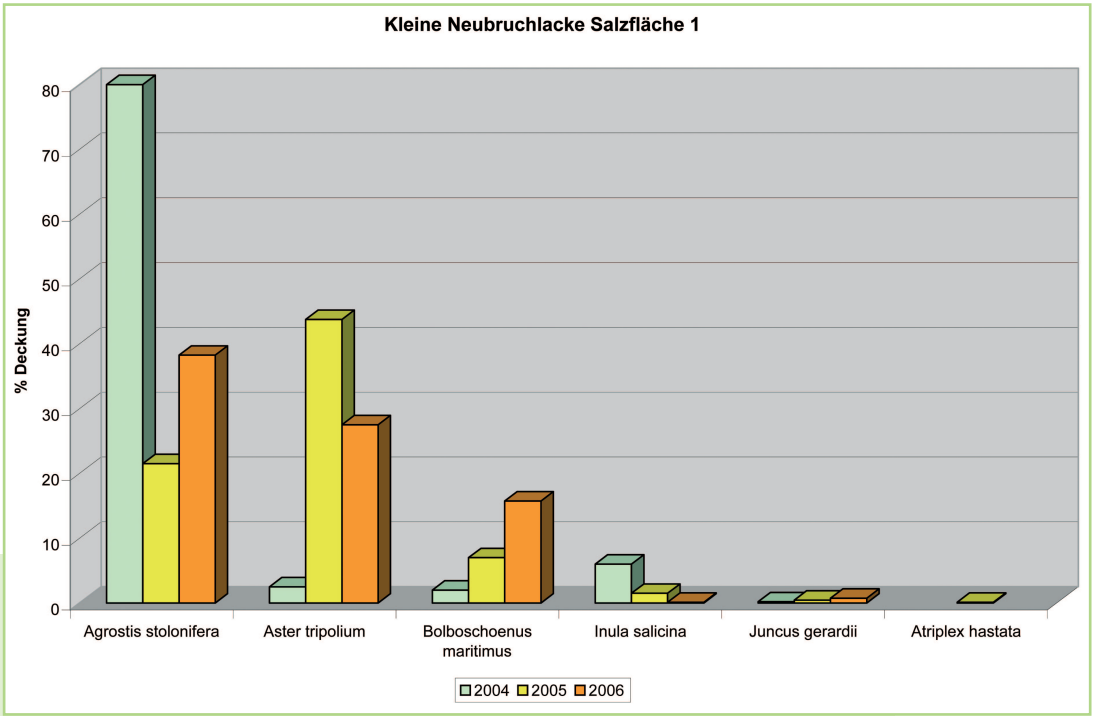
Abb. 5.6: Versuchsfeld der Salzausbringung an der Kleinen Neubruchlacke im Sommer 2006, die blühenden Exemplare der Wilden Karotte in der Bildmitte kennzeichnen den Rand der Testfläche. Die Salz-Aster ist zum Zeitpunkt der Aufnahme noch nicht in Blüte, die Fläche wird zunehmend wieder vom Straußgras „rückerobert", was auf die Auswaschung des ausgebrachten Sodas in tiefere Bodenschichten hindeutet.

5.4.3 Trends der Untersuchungsfläche 1

Ausgangspunkt für den Versuchsansatz war 2004 eine von Straußgras dominierte Fläche, in der nur wenige halophile Arten wie die Salz-Aster und die Salz-Simse (*Juncus gerardii*) enthalten waren. Die Gesamtdeckung der Vegetation von 90 % im Sommer 2004 hat sich bedingt durch das Ausbringen der Salze (Soda) vorerst stark verringert, stieg aber durch

die Massenkeimung der Salz-Aster bis zum Herbst 2005 wieder auf ca. 75 % an und erreichte 2006 knapp über 80 %. Der Anteil der Arten, die zum Bestandesaufbau beitrugen, hat sich jedoch deutlich verschoben, so ist der Anteil des Straußgrases 2005 mehr als geviertelt worden, wobei 2006 wieder ein leicht steigender Trend bemerkbar war. Das Straußgras ist nur bei sehr hohen Salzkonzentrationen nicht konkurrenzfähig, sobald sich ein Verdünnungseffekt einstellt, kann sich diese Art wieder ausbreiten. Dieser Effekt konnte sowohl an der Kleinen Neubruchlacke, als auch im Versuchsfeld an der Martinhoflacke beobachtet werden. Wesentlich weniger salztolerant ist hingegen der Weiden-Alant (*Inula salicina*), dessen Deckungswerte nach der Salzzugabe sehr stark abgesunken sind (2004 – 6 %, 2005 – 1,5 % und 2006 0,2 %) und bisher sehr niedrig geblieben sind. Dem allgemeinen Trend an der Kleinen Neubruchlacke folgt die Knollenbinse (*Bolboschoenus maritimus*), die sich deutlich ausbreiten konnte. Die Art ist relativ salztolerant und nutzt die veränderten Konkurrenzverhältnisse bzw. wird durch die günstigeren Wasserstandsverhältnisse als Art der Salzsümpfe gefördert.

Ebenso gefördert (wenn auch auf niedrigem Niveau) wird die Salz-Simse (*Juncus gerardii*), welche namensgebend für das Juncetum gerardii ist, eine typische Gesellschaft der Lackenränder. Diese Charakterart ist wenig wuchskräftig und kann in dichten Vegetationsbeständen nur schwer überdauern. Durch den Rückgang der Gesamtdeckung auf der Fläche konnte sich die Salz-Simse stärker ausbreiten. Ob sich dieser Trend weiter fortsetzt, wird in den Folgejahren zu überprüfen sein. Die Spieß-Melde (*Atriplex hastata* bzw. nach neuer Nomenklatur *A. prostrata*), ein Gänsefußgewächs, ist typisch für leicht ruderale, nährstoffreiche Spülsäume der Lacken. Sie kam 2005 in der Untersuchungsfläche als Offenbodenpionier auf, konnte sich jedoch nicht halten und verschwand 2006 wieder.



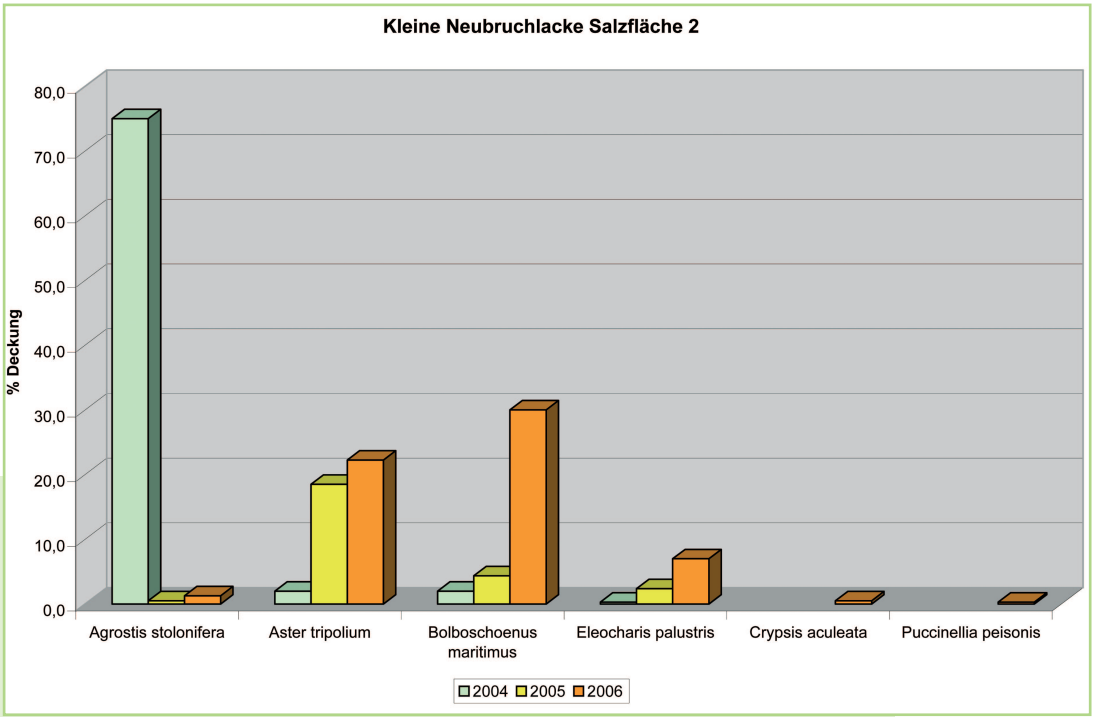
Ingo Korner

Abb. 5.7: Entwicklung typischer Arten von 2004 – 2006

5.4.4 Trends der Untersuchungsfläche 2

Auch für diese Untersuchungsfläche lag als Ausgangspunkt 2004 eine von Straußgras dominierte Fläche vor, in der nur wenige halophile Arten enthalten waren. Die Gesamtdeckung der Vegetation von 85 % im Sommer 2004 hat sich bedingt durch das Ausbringen der Salze (Soda) und die mechanische Bodenverletzung extrem stark verringert, stieg bis zum Herbst 2005 nur auf ca. 25 % an und erreichte 2006 knapp über 60 %. Im Unterschied zur Fläche 1 konnte sich das Straußgras nicht so schnell regenerieren, was indirekt auch die Ausbreitung der Salz-Aster begünstigte, deren Deckungswerte auch 2006 noch weiter anstiegen. Überproportional stark entwickelte sich allerdings auch die Knollenbinse, was darauf zurückzuführen ist, dass Fläche 2 etwas feuchter als Fläche 1 ist. Der auch 2006 noch

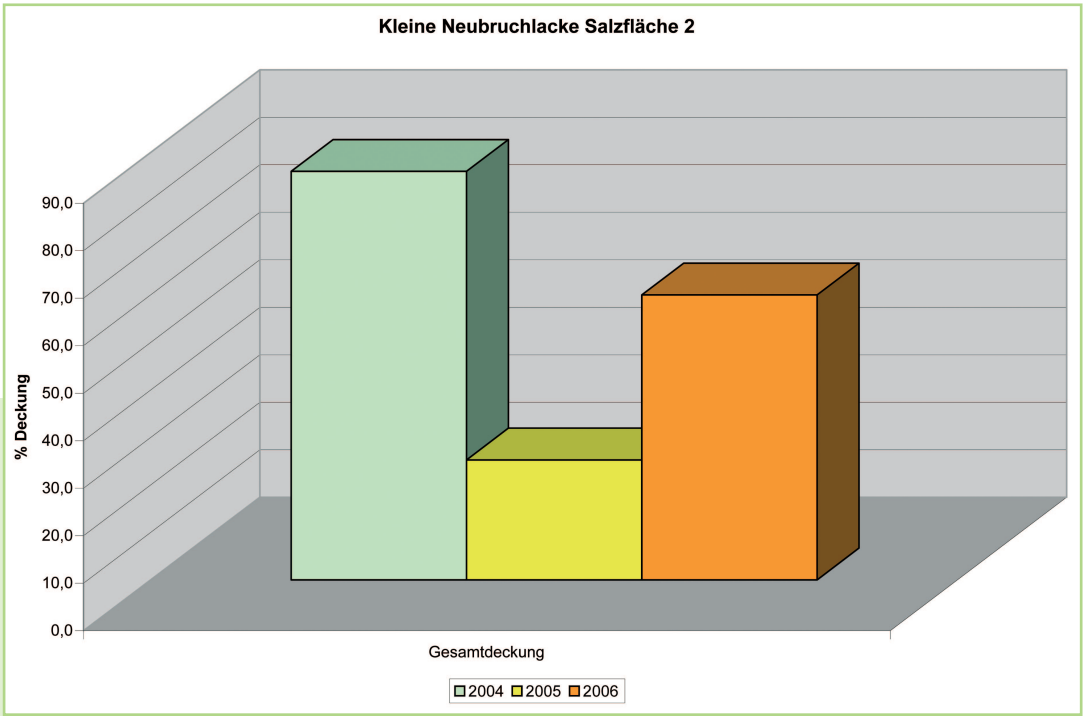
weitgehend offene Boden stellte auch den Grund für das Auftreten von zwei typischen Halophyten, dem Dorngras (*Crypsis aculeata*) und dem Neusiedlersee-Schwaden (*Puccinellia peisonis*), dar. Während das Dorngras in anderen Flächen bereits 2005 zu beobachten war, konnte sich der Neusiedlersee-Schwaden allgemein erst 2006 etablieren. Der Grund dafür liegt weniger in der abnehmenden Sodakonzentration, als vielmehr in den günstigen Wasserstandsverhältnissen, die dazu führten, dass im Frühjahr 2006 sehr viele Wasservogelarten und Limikolen diese Flächen frequentierten und damit für eine Verbreitung der Samen sorgten.



Ingo Korner

Abb. 5.8: Entwicklung typischer Arten von 2004 bis 2006, starker Rückgang des Straußgrases.

Bemerkenswert ist auch die Veränderung der Gesamtdeckung der Untersuchungsfläche 2, die von 86 % im Jahr 2004 auf 25 % im Jahr 2005 absank und in erster Linie durch die Zunahme der Deckungswerte der Salz-Aster und der Knollenbinse im Jahr 2006 wieder auf ca. 60 % anstieg. Mit dieser Entwicklung wurde ein wichtiger Schritt zur Restaurierung einer offenen, von salztoleranten Arten dominierten Lackenufervegetation vollzogen. Die weiteren Untersuchungen sollen zeigen, wie weit von einer nachhaltigen Maßnahme gesprochen werden kann.

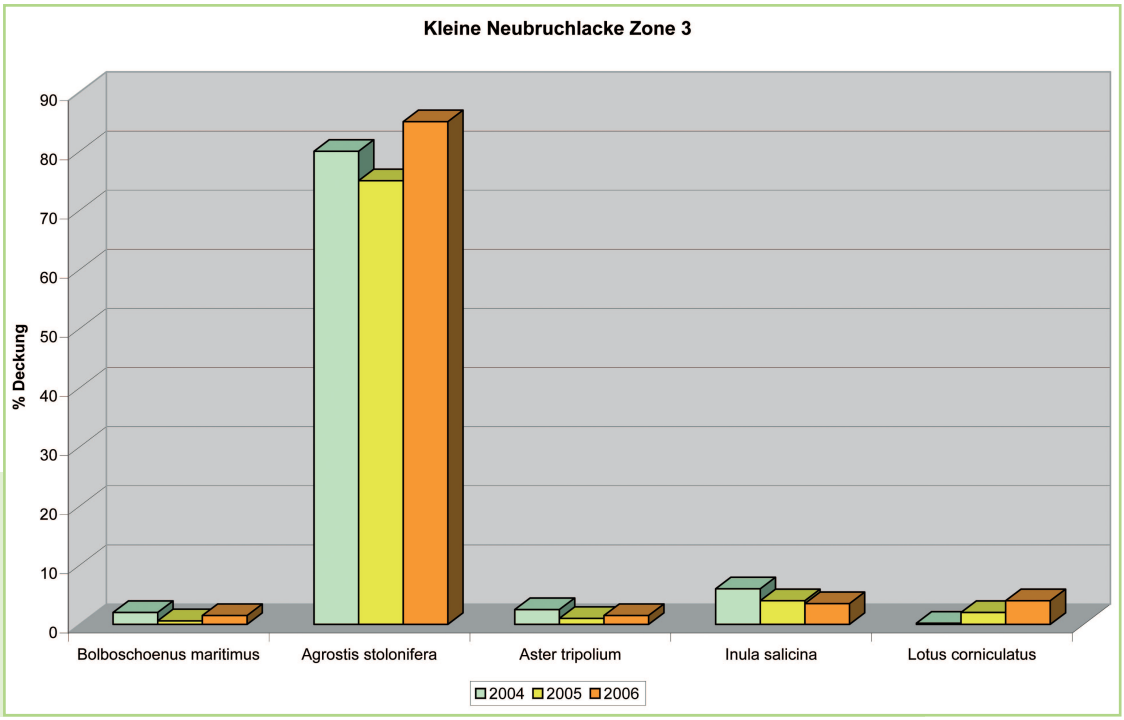


Ingo Korner

Abb. 5.9: Starker Rückgang der Gesamtdeckung nach der Salzausbringung 2005, anschließend wieder Zunahme der Deckungswerte im Sommer 2006.

5.4.5 Unbeeinflusste Referenzfläche (Zone 3)

Um die Abfolge der Vegetationseinheiten des Lackenufers von den Trockenrasenniveaus bis zum Lackenboden und deren Veränderung dokumentieren zu können, wurden jeweils entlang einer Transektlinie Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Die Aufnahmen der Zone 3 dienen als Referenz für die Untersuchungsfläche, in der Soda ausgebracht wurde, da diese exakt in der selben Zone (allerdings etwas weiter nordwestlich) positioniert ist.
Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Zone 3 von einem Straußgrasbestand dominiert wird, in dem die namensgebende Hauptart in den drei Beobachtungsjahren sehr konstant bei 80 % der Gesamtdeckung liegt. In diesem sehr geschlossenen Bestand (90 bis 95 % Deckung) sind kaum Lücken vorhanden, in denen sich konkurrenzschwache Arten etablieren können. Selbst die konkurrenzstarke Knollenbinse erreicht nur wenige Prozent Deckung. Die Salz-Aster kann sich gerade noch durchsetzen, schwankt jedoch auf einem sehr niedrigen Niveau von wenigen Prozenten und nimmt 2006 sogar etwas ab. Etwas höhere Deckungswerte erreicht der Weiden-Alant (*Inula salicina*), der aber auch von ca. 5 % im Jahr 2004 auf ca. 3 % im Jahr 2006 abnimmt. Etwas zulegen konnte hingegen der Salz-Hornklee (*Lotus corniculatus ssp. tenuis*, rechter Balken in der Grafik), der von den feuchteren Standortbedingungen profitierte.

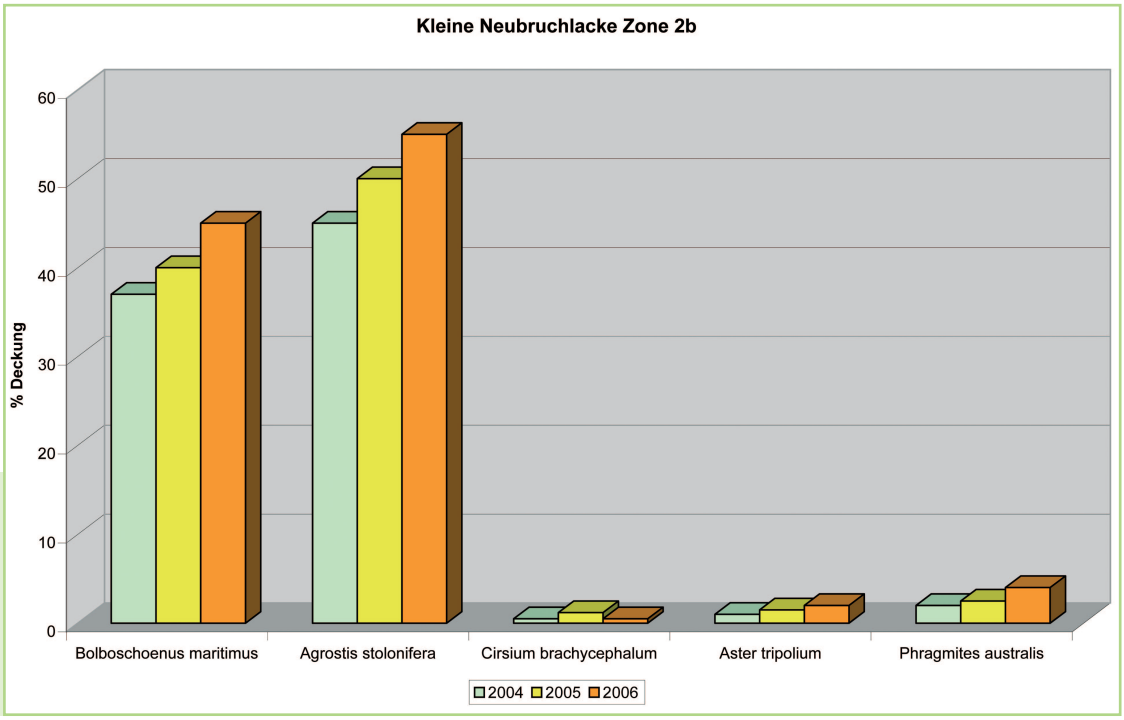


Ingo Korner

Abb. 5.10: Geringe Veränderungen in der unbeeinflussten Referenzfläche in der Zone 3 .

5.4.6 Entwicklungstrend der Zone 2b

Auch die Zone 2b spiegelt die natürliche, unbeeinflusste Entwicklung wider und umfasst den Übergang vom Wasserkörper zur Verlandungsvegetation, die hier in erster Linie von der Knollenbinse und dem Straußgras gebildet wird. Beide Hauptbestandesbildner zeigen einen leichten, aber stetigen Trend zur Ausbreitung, wodurch sich die Bestände stark verdichten und offene Stellen im Bestand, die für die Neukeimung halophiler Arten erforderlich sind, weitgehend verschwinden. Die bereits vorhandenen Exemplare der Salzaster können zwar an Deckung zunehmen, aber sich nicht generativ vermehren. Bedenklich ist vor allem die Zunahme des Schilfs (rechter Balken), das mittelfristig (ohne Maßnahmen) sicherlich einen starken Konkurrenzdruck ausüben wird.



Ingo Korner

Abb. 5.11: Geringe Veränderungen in der unbeeinflussten Referenzfläche in der Zone 2b.

5.4.7 Entwicklung der Knollenbinse

Für die gesamte Kleine Neubruchlacke konnte seit dem Beginn des Monitoringprogrammes im Sommer 2004 eine massive Ausbreitung der Knollenbinse (*Bolboschoenus maritimus*) beobachtet werden. Diese Art ist salztolerant, findet sich an den Lacken meist im Übergangsbereich zum Schilfröhricht, allerdings selten im eigentlichen Lackenboden. Schon im ersten Jahr war erkennbar, dass sich die Knollenbinse auch in Richtung Lackenboden ausbreitet, 2005 konnte auf allen Beobachtungsflächen eine starke Zunahme der Art beobachtet werden, dieser Trend setzte sich auch 2006 weiter fort. Diese Entwicklung ist auf den niedrigen Wasserstand bzw. die nur kurz andauernde Wasserführung der Lacke zurückzuführen. Ebenso ist dieser Trend ein Indiz für einen generell niedrigen Salzgehalt im Lackenwasser bzw. -boden. Dieser Entwicklung kann wahrscheinlich nur durch eine Salz(Soda)zufuhr in größerem Ausmaß gegengesteuert werden (**Abb. 5.12, Abb. 5.13, Abb. 5.14**).

Ingo Korner



Abb. 5.12: Bolboschoenus-Bestand am Lackenboden 2004.

Ingo Korner



Abb. 5.13: verdichteter Bestand 2005.

Ingo Korner



Abb. 5.14: Weitere Zunahme der Knollenbinse während der Vegetationsperiode 2006.
Dass diese Situation auch bei anderen Untersuchungsflächen bemerkbar war, zeigt die nachfolgende Darstellung.

Die Grafik (**5.15**) enthält Dauerbeobachtungsflächen der Kleinen Neubruchlacke (NBL) sowie im rechten Teil auch Flächen der Kleinen Martinhoflacke (MHL). Der Trend zur Ausbreitung der Knollenbinse zieht sich durch alle Flächen, mit Ausnahme von Zone 2a der Kleinen Neubruchlacke, in welcher diese Art offensichtlich eine gewisse „Sättigung" erreicht hat und sich aufgrund der Standortsbedingungen vorerst nicht weiter ausbreitet. Annähernd stabil ist die Knollenbinse an der Martinhoflacke in den Zonen 3 und 4, wo ungünstige (zu trockene) Standortbedingungen eine Ausbreitung verhindern. Die stärkste Zunahme ist bei den durch Maßnahmen beeinflussten Flächen der Kleinen Martinhoflacke (MHL) zu verzeichnen, wo durch das Ausschalten der Konkurrenz und die Salzausbringung in Kombination mit günstigen Wasserstandsverhältnissen optimale Bedingungen für die Knollenbinse geschaffen wurden.

Ingo Korner

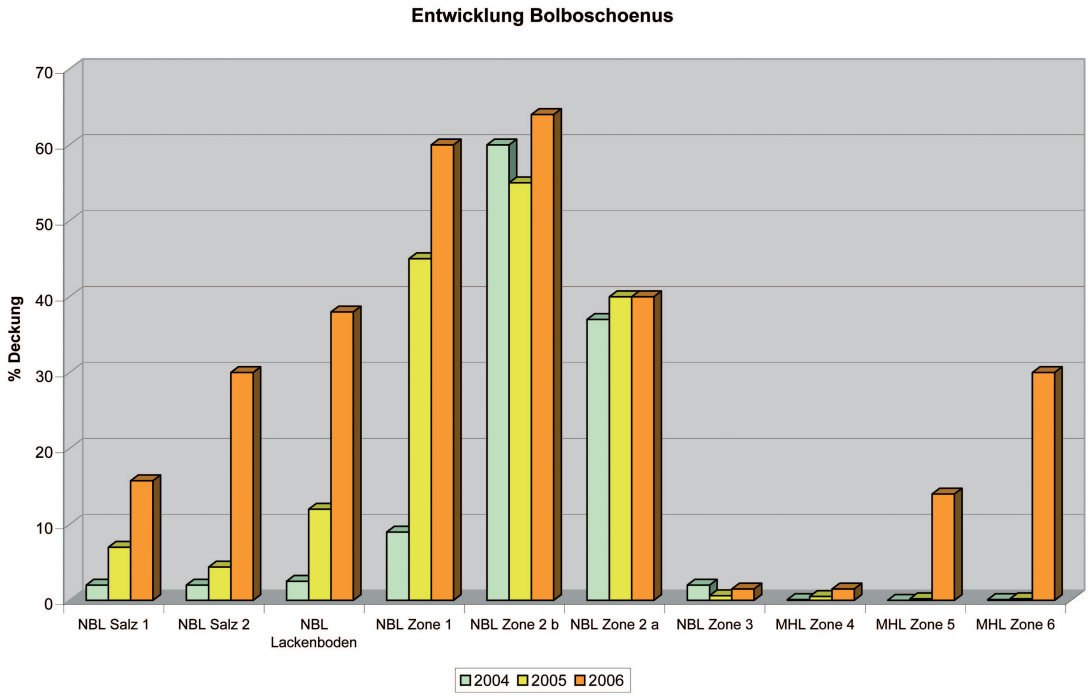
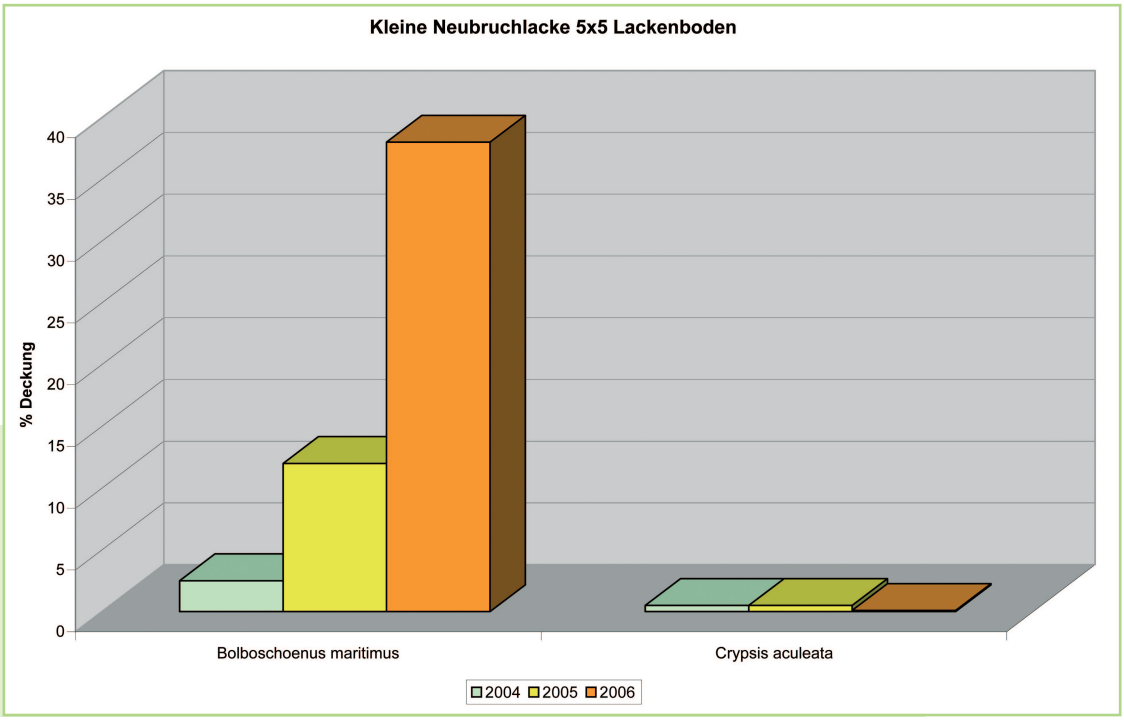


Abb. 5.15: Trends der Entwicklung der Knollenbinse an verschiedenen Standorten.

5.4.8 Entwicklung im Bereich des Lackenbodens

Im Südteil der Kleinen Neubruchlacke wurde an der tiefsten Stelle der Lacke am Lackenboden eine 5 x 5 Meter große Dauerbeobachtungsfläche angelegt. Auch hier spiegelt sich die Verschlechterung der Standortbedingungen und des Lackenchemismus drastisch wider. Betrugen die Deckungswerte der Knollenbinse im Sommer 2004 nur 2,5 %, so stiegen die Werte 2005 bereits auf 12 % an, um 2006 den bisher höchsten Wert von 38 % zu erreichen. Daran ist ablesbar, dass sich die Salzkonzentrationen und Wasserstandsverhältnisse in den drei Beobachtungsjahren weiter verschlechtert haben, da die Knollenbinse normalerweise nur im Uferbereich vorkommt, in die Lacken selbst jedoch nicht vordringen kann (**Abb. 5.17, Abb. 5.18, Abb. 5.19**).



Ingo Korner

Abb. 5.16: Starke Zunahme der Knollenbinse am Lackenboden, das Dorngras tritt nur 2004 und 2005 auf.



Ingo Korner

Abb. 5.17: Dauerfläche im Sommer 2004.



Ingo Korner

Abb. 5.18: Dauerfläche im September 2005.



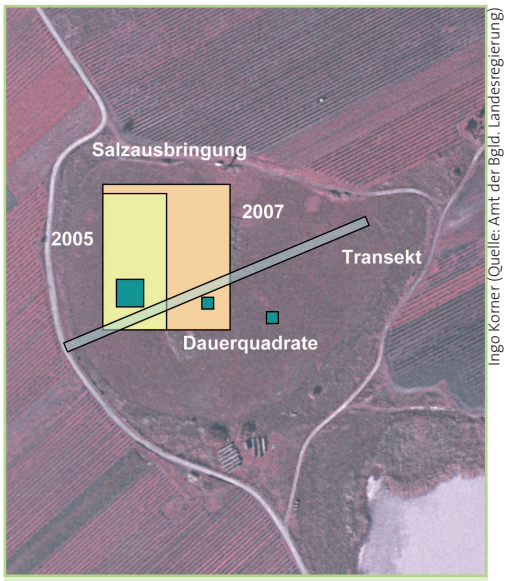
Ingo Korner

Abb. 5.19: Dauerfläche im Juli 2006, Ausbreitung der Knollenbinse.

5.5 Kleine Martinhoflacke

Die Kleine Martinhoflacke (oder auch als Martenhoflacke bezeichnet) liegt im Gemeindegebiet von Apetlon südwestlich der Langen Lacke innerhalb der von Weinbau dominierten Kulturlandschaft. Im Ausschnitt des Infrarot-Falschfarbenbildes ist in der rechten unteren Ecke noch ein Teil der Großen Martinhoflacke zu erkennen, die meist bis weit in den Sommer hinein Wasser führt. Im Unterschied dazu ist die Kleine Martinhoflacke fast das ganze Jahr trocken und nur für kurze Zeit an den tiefsten Stellen von Niederschlagswasser überstaut. Die Kleine Martinhof-Lacke liegt etwas höher und hat daher kaum Anschluss an den Grundwasserhorizont.

Die Untersuchungsflächen sind in grün dargestellt, grau hinterlegt ist die Transektlinie, entlang der die Zonierung der Vegetation aufgenommen wurde. In hellbrauner Farbe dargestellt ist das Versuchsfeld, in dem Salz ausgebracht wurde (**Abb. 5.20**).



Ingo Korner (Quelle: Amt der Bgld. Landesregierung)

Abb. 5.20: Falschfarbenluftbild mit Lage der Untersuchungsflächen und des Transektes.

5.5.1 Vegetationszonierung

Wie auch bei den anderen untersuchten Lacken verläuft die eingemessene Transektlinie entlang eines standörtlichen Gradienten von den ehemaligen Trockenrasenniveaus (die in Weingärten umgewandelt wurden) bis zum tiefsten Punkt des Lackenbodens.

Die Vegetationsdecke der Kleinen Martinhoflacke ist 2004 weitgehend geschlossen, nur im Zentrum etwas lückiger. Hauptbestandesbildner sind der Weiden-Alant (*Inula salicina*) und die Große Sumpfbinse (*Eleocharis palustris*). Aufgrund der hier bereits dauerhaft etablierten Vegetationsdecke ist nur mehr wenig Lebensraum für einjährige Salzpflanzen vorhanden. So kommt das Dorngras, eine typische Pionierart der abgetrockneten Lackenböden, in kleinräumigen Nischen wie Fahrspuren landwirtschaftlicher Maschinen (Wiesenmahd) vor.

Nach dieser stellenweise lückigen Vegetation im Zentrum schließt eine relativ breite Zone an, die vor allem vom Straußgras (*Agrostis stolonifera*) dominiert wird. Diese Grasart ist typisch für die Lackenränder, weist jedoch auf keinen Salzeinfluss hin. Die Vegetationsdecke in dieser Zone ist extrem dicht. Gegen die Ränder der Lacke schließt eine Zone an, in der die anthropogene Nutzung (Weingärten, Äcker) zu Störeffekten bzw. Nährstoffeintrag führt. Hier setzt sich die Quecke als Hauptbestandesbildner durch.

Ingo Korner

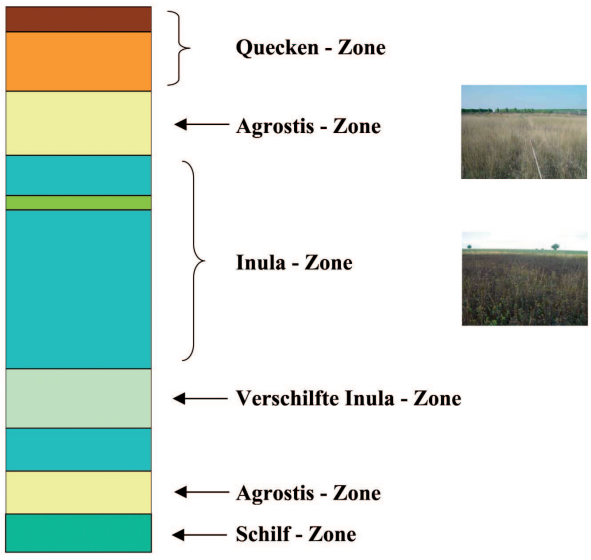


Abb. 5.21: Zonierung der Vegetation entlang des Transektes.

Am Rande der Kleinen Martinhoflacke, bereits auf etwas höherem Niveau, finden sich einige Salzstandorte mit Salz-Kresse (*Lepidium cartilagineum*) sowie einem kleinflächigen Rasen des Neusiedler See-Schwadens (*Puccinellia peisonis*). Gegen die ehemalige Lackenmitte hin treten großflächige Bereiche mit Salz-Simse (*Juncus gerardii*) auf. Erst direkt im Zentrum findet sich ein kleiner verschilfter Bereich, das Schilf erreicht jedoch nur geringe Höhe (1 m). Im Bereich des *Juncetum gerardii* wurde ein Bodenprofil untersucht, hier liegt eine dünne Humusschicht, die stark mit Moosen durchsetzt ist, dem eigentlichen Lackenboden auf. Salze sind hier nicht mehr festzustellen, d.h. die Lacke dürfte schon seit längerer Zeit ausgesüßt sein (**Abb. 5.21**).

Salzausbringung und mechanische Entfernung des Oberbodens

Ingo Korner



Abb. 5.22: Abschieben des humusreichen Oberbodens bei starkem Frost.

Ca. auf der Hälfte des festgelegten Versuchsfeldes wurde vor der Ausbringung von Soda die oberste Bodenschicht im Winter (bei gefrorenem Boden, -15° C) mit einem Gräder abgeschoben, um Nährstoffe und den entstandenen Humus zu entfernen. Diese Maßnahme stellt zwar einen massiven Eingriff dar, es sollte jedoch untersucht werden, ob dieser Eingriff überhaupt notwendig ist (**Abb. 5.22**).

Durch das Soda kam es zu einer starken Verschiebung der Artenzusammensetzung. Im Sommer 2004 war hier noch eine Wiesenvegetation anzutreffen, die auf ein langes Trockenfallen der Lacke, fehlenden Grundwasseranschluss und eine allmähliche Anreicherung des Bodens mit Humus schließen ließ.

Am 9.2.2006 erfolgte eine neuerliche Ausbringung von Soda mit einer Menge von 1.000 kg. Diese Sodamenge wurde im Bereich des Schilfröhrichts im Zentrum der Lacke verteilt, um nachfolgend zu überprüfen, ob sich eine derartige Sodakonzentration schädigend auf das Schilfröhricht auswirkt. Die Lacke war zum Zeitpunkt der Ausbringung jedoch zugefroren, sodass sich das Soda nach dem Schmelzen des Eises wieder nahezu über die gesamte Lacke verbreitet hat. Anfang März 2006 war die Lacke im Zentrum ca. 10 cm überstaut.

Am 5. Februar 2007 wurde eine weitere Sodaausbringung von insgesamt 23 Tonnen auf einer Fläche von ca. 6000 m² durchgeführt.

5.5.2 Auswirkungen der Salzausbringung

Nach dem Grädern und der darauf erfolgten Sodaausbringung konnten hier 2005 erstmals wieder typische Salzpflanzen beobachtet werden. Wie auch an der Kleinen Neubruchlacke zu beobachten war, traten zuerst zwei Gänsefußgewächse, die Spieß-Melde (*Atriplex hastata*), die als gefährdet eingestuft ist, und der Graugrüne Gänsefuß (*Chenopodium glaucum*) auf der Probefläche auf. Die vorher vorhandenen Süßgräser ließen sich bei den nun vorherrschenden Salzkonzentrationen auf der Fläche nicht mehr halten (**Abb. 5.23**).

Ingo Korner



Abb. 5.23: Chenopodium glaucum.

5.5.3 Veränderung der Artenzusammensetzung

Die drastischen Änderungen, die sich aufgrund der Salzausbringung ergaben, können über die Veränderungen der Artenzusammensetzung eines Standortes sehr plakativ abgebildet werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt den „turnover" von einer Feuchtwiese zu einem von Soda beeinflussten Standort, wie er an intakten Lacken anzutreffen wäre.

Die Tabelle zeigt den linken Artenblock, der den Ausgangspunkt für den Versuch der Salzausbringung darstellt (mintgrün). Die Veränderungen zeichnen sich nicht nur auf der Artebene, sondern extrem stark auch auf der Ebene der Gesamtdeckung der Vegetation ab, die von 80 % im Jahr 2004 auf 15 % im Jahr 2005 und nach einer weiteren Zugabe von Soda während der Vegetationsperiode 2006 weiter absank und nur mehr 10 % betrug. Der erste Block umfasst mit dem Weiden-Alant (*Inula salicina*), dem Salz-Hornklee (*Lotus corniculatus ssp. tenuis*) sowie weiteren Wiesenarten und Brachzeigern jene Arten, die symptomatisch für das Degradationsstadium der Lacke waren und den Mangel an Soda

erkennen ließen. Alle diese Arten sind nach der Sodaausbringung gänzlich verschwunden, da der salzhaltige Boden für sie toxisch wirkt. Der mittlere (gelbe) Block umfasst eine Artengruppe, die das Salz nicht unbedingt liebt, aber dennoch in gewissen Konzentrationen toleriert. Dazu zählen die Sumpfbinse (die zwar stark an Deckung abgenommen hat, aber sich noch halten konnte) und die relativ salztoleranten Arten wie Straußgras und Knollenbinse. Ab dem Jahr 2005 treten in diesem Block in erster Linie Gänsefußgewächse (*Chenopodium-Arten*), aber erstmals auch eine der Zielarten, die Salz-Aster, auf. Diese Arten haben sich auch 2006 – nach der zweiten Salzzugabe – durchgesetzt. Naturschutzfachlich höchst bemerkenswert ist schließlich der Block rechts unten (orange), bei dem es sich um typische Vertreter salzbeeinflusster Standorte der Lacken handelt. Während das Dorngras (*Crypsis aculeata*) und der Neusiedlersee-Schwaden (*Puccinellia peisonis*) im Bereich des abtrocknenden Lackenbodens und Lackenrandes vorkommen, tritt der homogene Bestände ausbildende, silbrig-graue Salz-Wermut (*Artemisia santonicum*) auf höher gelegenen Niveaus auf. Er ist das namengebende Element der „Wermutsteppe“ und zeigt typische Solonetz-Böden an. An der Kleinen Martinhoflacke kommt er nur im Übergangsbereich zur Großen Martinhoflacke vor und ist 2006 erstmals auf der Untersuchungsfläche aufgetreten. Die Verbreitung dieser „neuen“ Arten erfolgte vermutlich durch Wasservögel und Limikolen, die im Frühjahr (als die Lacke Wasser führte) häufig anzutreffen waren.

species turnover			
Zone 4 (37- 69m)	2004	2005	2006
Gesamtdeckung	80	15	10
Inula salicina	55		
Lotus tenuis	10		
Erigeron annuus	0,2		
Epilobium sp.	0,2		
Cichorium intybus	0,5		
Melilotus albus	0,5		
Eleocharis palustris	5	6	0,5
Agrostis stolonifera	6	7	8
Bolboschoenus maritimus	0,1	0,5	1,5
Chenopodium botryodes		1	0,3
Atriplex hastata		1	0,3
Chenopodium glaucum		0,7	0,3
Aster tripolium		0,2	0,3
Crypsis aculeata			0,1
Puccinellia peisonis			0,3
Artemisia santonicum			0,5

Abb. 5.24: Trends innerhalb der drei Untersuchungsjahre.

5.5.4 Veränderungen der Salzfläche 1

Die erste der beiden Daueruntersuchungsflächen innerhalb der Versuchsfläche wurde mit Salzfläche 1 bezeichnet und umfasst vier jeweils 1 m² große Quadrate. Sie liegt unmittelbar an die Transektlinie angrenzend bei 80 m, vom südwestlichen Rand der Lacke aus gemessen. Der Bestand war 2004 vom Weiden-Alant mit über 50 % Deckung, vom Straußgras und der Sumpf-Binse mit jeweils über 7 % sowie etwas Knollenbinse geprägt. Auf den beiden unteren Fotos sind die diagonal angebrachten Vermarkungspunkte (rote Quadrate) erkennbar. Die **Abb. 5.26** zeigt die Situation nach der Salzausbringung 2005, als kaum Bewuchs vorhanden war. Erst mit abnehmender Salzkonzentration an der Oberfläche drang die Vegetation von den Rändern her in die Fläche ein (Sommer 2006, **Abb. 5.25, Abb. 5.26, Abb. 5.27**).

Ingo Korner



Abb. 5.25: Dauerbeobachtungsfläche vor der Salzausbringung.

Ingo Korner



Abb. 5.26: Dauerbeobachtungsfläche nach der Salzausbringung 2005.

Ingo Korner



Abb. 5.27: Dauerbeobachtungsfläche nach der Salzausbringung 2006.

Von den bereits 2004 vorhandenen Arten nahmen alle stark an Deckung ab – bis auf die Knollenbinse, die einem allgemeinen Trend folgend zunehmen kann. Als neue Art trat nach der Salzausbringung nur der Dickblatt-Gänsefuß (*Chenopodium botryodes*) 2006 erstmals auf.

Ingo Korner

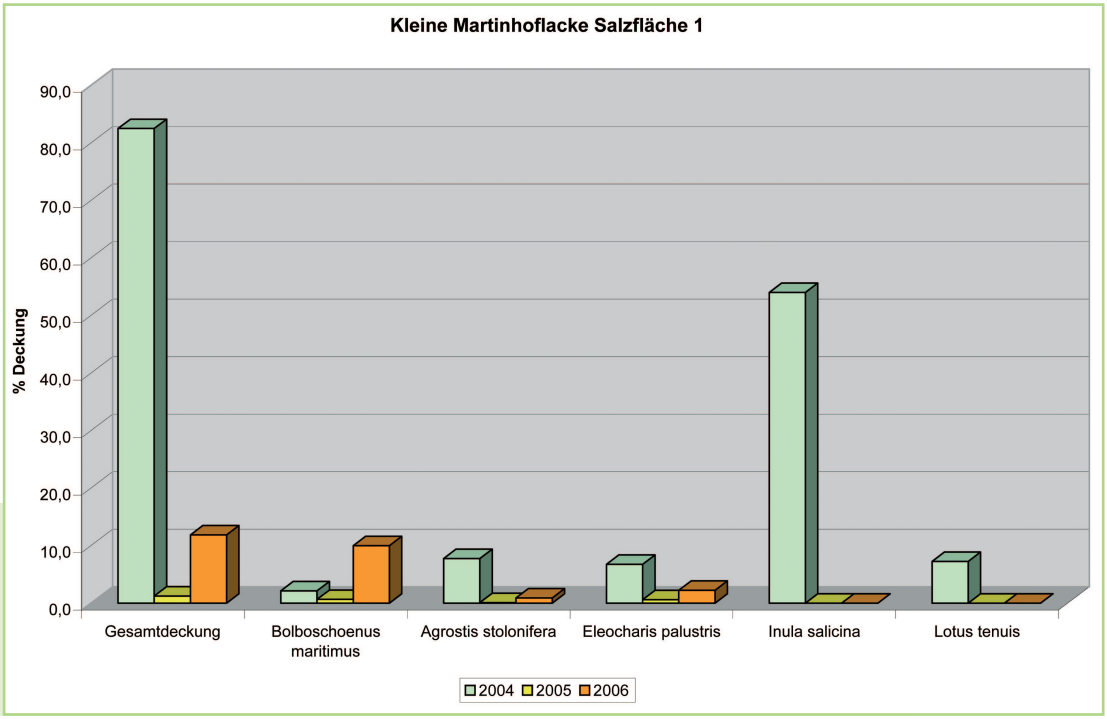
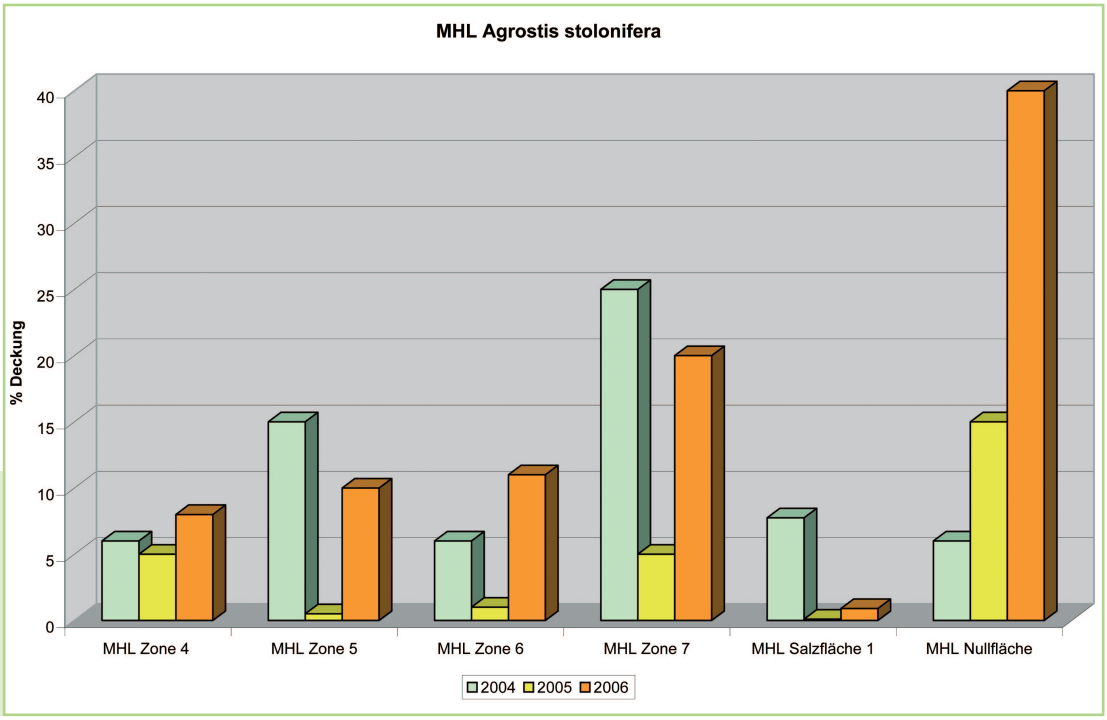


Abb. 5.28: Starke Veränderungen der Deckungswerte bei nicht salztoleranten Arten.

5.5.5 Entwicklungstrends beim Straußgras

Das Straußgras ist eine typische Art nasser Wiesen, Uferzonen und Röhrichte und kommt auch als Pionierart auf Schlickböden an Gewässern vor. Im Seewinkel besiedelt sie schwach von Salz beeinflusste Böden an den Lackenrändern. Ihre Entwicklung an der Martinhoflacke (und an anderen Lacken) ist von zwei Hauptkomponenten geprägt. Wie die Entwicklung auf unbeeinflussten Standorten zeigt (Balken rechts außen – Nullfläche), profitierte das Straußgras stark von den günstigen Wasserstandsverhältnissen im Winter und Frühjahr 2006, die Deckungswerte stiegen von 6 % im Jahr 2004 auf 15 % im Jahr 2005 bis auf 40 % im Jahr 2006 an. Bei allen von der Salzausbringung beeinflussten Untersuchungsflächen war ein extrem starker Rückgang erkennbar (ausgenommen in Zone 4), der direkt mit den hohen Sodakonzentrationen zusammenhing. 2006 kam es offensichtlich durch die Winterniederschläge zu einem Verdünnungseffekt, zudem wurde das Soda (siehe Ergebnisse im Bericht Bodenchemie) in tiefere Bodenschichten ausgeschwemmt. Dieser Effekt führte gemeinsam mit den günstigen Feuchtebedingungen und den weitgehend von

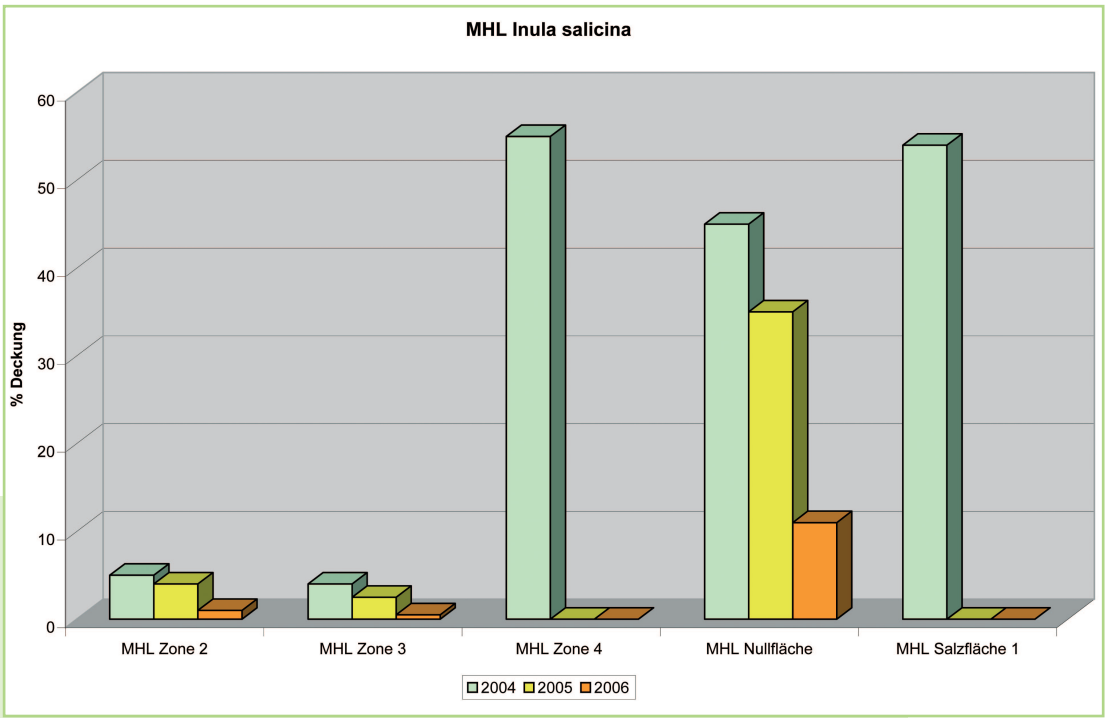
Konkurrenz befreiten Standorten zu einer massiven Zunahme der Deckungswerte beim Straußgras. Während die Werte 2006 meist unter den Ausgangswerten des Jahres 2004 lagen, wurden diese in einem Fall – bei der Zone 6 – sogar überschritten. Das Straußgras profitierte also von der Sodaausbringung indirekt, da es als salztoleranter Offenbodenpionier die nach der Salzausbringung fast vegetationsfreien Standorte besiedeln konnte.



Ingo Korner

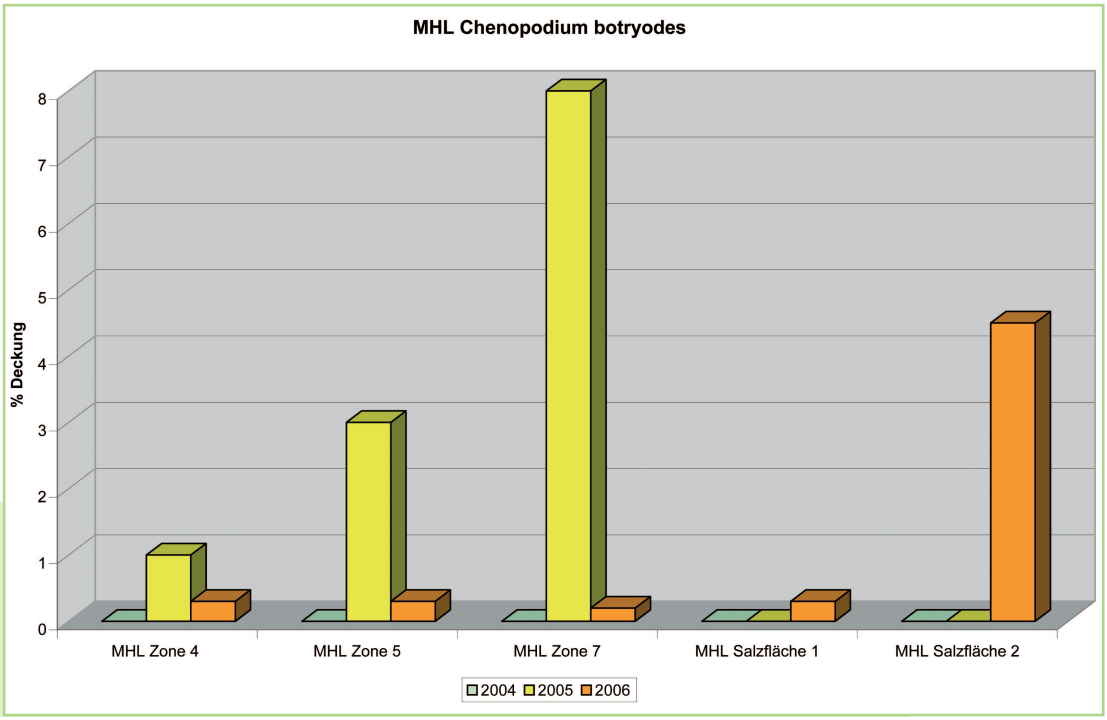
Abb. 5.29: Selektive Analyse der Veränderung der Deckungswerte beim Straußgras an der Martinhoflacke.

Völlig konträr verlief die Entwicklung für den Weiden-Alant (*Inula salicina*), der typisch für wechselfeuchte Wiesen, Flachmoore und sonnige Waldsäume ist. Er reagierte sehr empfindlich auf die Salzzugabe. In der Zone 2, die außerhalb der Versuchsfläche liegt, sank die Deckung des Weiden-Alants vorerst nicht bzw. nur geringfügig ab (linker Balken). Auch in der näher zur Versuchsfläche gelegenen Zone 3 verringerte sich die Deckungswerte 2005 nur wenig, ebenso in der



Ingo Korner

Abb. 5.30: Massiver Rückgang des Weiden-Alants nach der Salzausbringung.



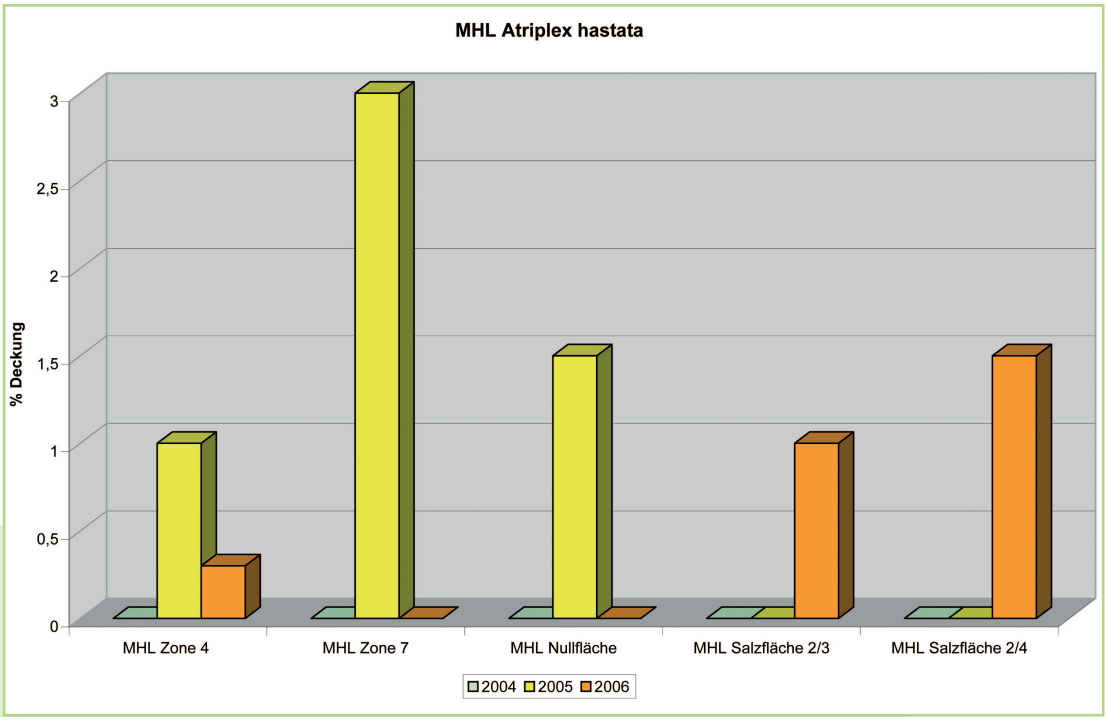
Ingo Korner

Abb. 5.31: Starke Förderung beim Dickblatt-Gänsefuß nach der Salzausbringung.

Nullfläche. Erst 2006, als das Soda durch die Wasserführung in der Kleinen Martinhoflacke verteilt wurde und die Standorte zumindest im Frühjahr leicht überstaut waren, trat ein stärkerer Rückgang auf.

Bei den „Salzflächen" in Zone 4 und Salzfläche 1 machte sich der Salzeinfluss sofort bemerkbar. Die Deckungswerte sackten in beiden Fällen von ca. 55 % auf Null ab, da die Art nicht salztolerant ist und an den intakten Sodalacken nicht oder nur im äußersten, nicht mehr vom Salz beeinflussten Randbereich vorkommt.

Eine Art, die von den vegetationsfreien Standortbedingungen profitiert, ist ein einjähriges Gänsefußgewächs: der als gefährdet eingestufte Dickblatt-Gänsefuß (*Chenopodium botryodes* bzw. nach neuer Nomenklatur *Ch. chenopodioides*). Die Art ist an wechselfeuchte, salzhaltige Böden gebunden und war 2004 in den dichten, wiesenartigen Beständen der Kleinen Martinhoflacke nicht vorhanden und konnte sich erst ab 2005 auf den offenen, salzhaltigen Versuchsflächen



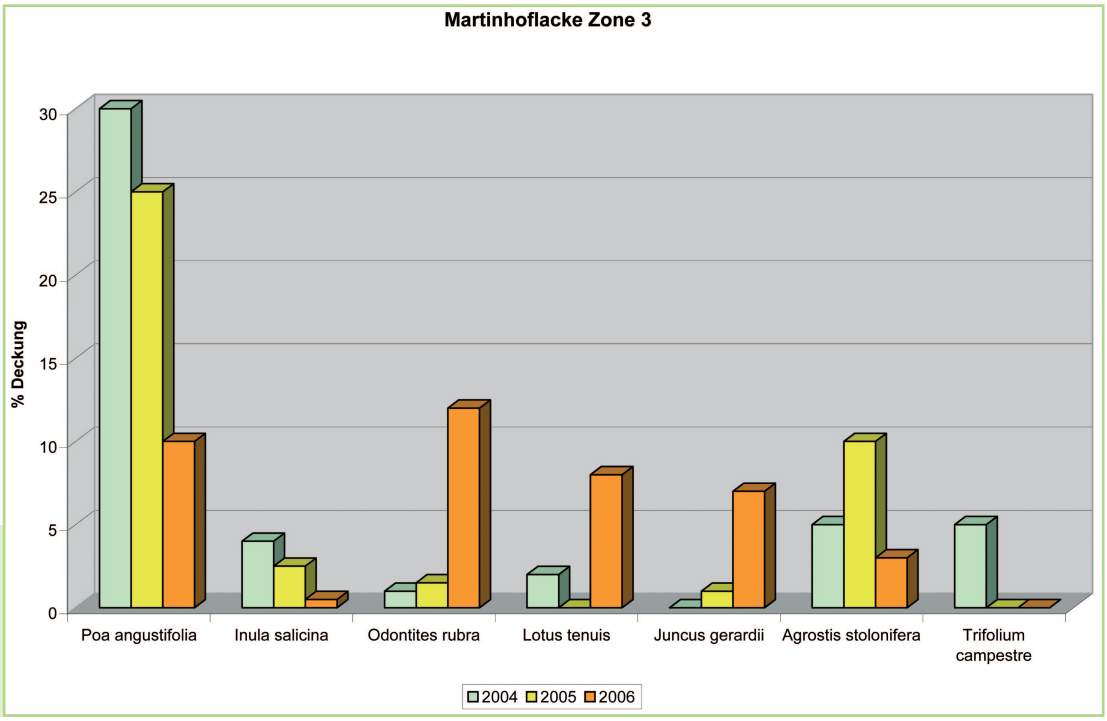
Ingo Korner

Abb. 5.32: Starke Förderung der Spieß-Melde nach der Salzausbringung.

etablieren. Interessanterweise erzielte die Art die höchsten Deckungswerte jeweils am Rande der Versuchsfläche, wo die Salzkonzentrationen nicht ganz so hoch waren. Direkt auf der Versuchsfläche kam die Art nicht vor. Nach einer Initialphase 2005 sanken die Deckungswerte 2006 wieder ab, hingegen kam der Dickblatt-Gänsefuß erst in der Vegetationsperiode 2006 erstmals auch auf den Versuchsflächen vor. Auch dies ist ein Indikator für das Abnehmen der Salzkonzentrationen durch das Einschwemmen in den Boden.
Eine sehr ähnliche Entwicklung zeigt die Spieß-Melde (*Atriplex hastata*, nach neuer Nomenklatur *A. prostrata*). Sie besiedelt feuchte, nährstoffreiche und auch salzhältige Lehm- und Schlammböden und kommt sehr oft im „Spülsaum" der Lacken und am Neusiedler See vor.
Ebenso wie der Dickblatt-Gänsefuß hatte die Spieß-Melde 2005 einen Höhepunkt der Entwicklung am Rande der Versuchsfläche, innerhalb derselben kam sie erst 2006 vor.

5.5.6 Entwicklung in Zone 3 der Kleinen Martinhoflacke

Die Zone 3 liegt nahe dem Lackenrand, der wiesenartige Bestand wurde 2004 vom Schmalblättrigen Wiesen-Rispengras (*Poa angustifolia*) und der Quecke (*Elymus repens*) mit jeweils 30 % Deckung dominiert. Innerhalb der Zone traten Arten, die typisch für Sodalacken sind, nur mit sehr niedrigen Deckungswerten auf, wie etwa der Zahntrost (*Odontites rubra*), der Salz-Hornklee (Lotus tenuis) und die Salz-Simse (*Juncus gerardii*). Das Vorkommen typischer Wiesen- und Ruderalarten wie Feld-Klee (*Trifolium campestre*), Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) und Wegwarte (*Cichorium intybus*) wies auf eine stark degradierte und nicht von Salz beeinflusste Lackenrandvegetation hin. Während die letzte Artengruppe von der Salzausbringung, die unmittelbar an diese Zone angrenzt, stark beeinträchtigt wurde (Balken rechts außen), kam es für die nur mehr mit wenigen Exemplaren vertretenen Arten der Lackenränder zu einer starken Förderung. Sowohl Zahntrost, Salz-Hornklee und Salz-Simse konnten sich besser durchsetzen und vervielfachten ihre Deckungswerte.

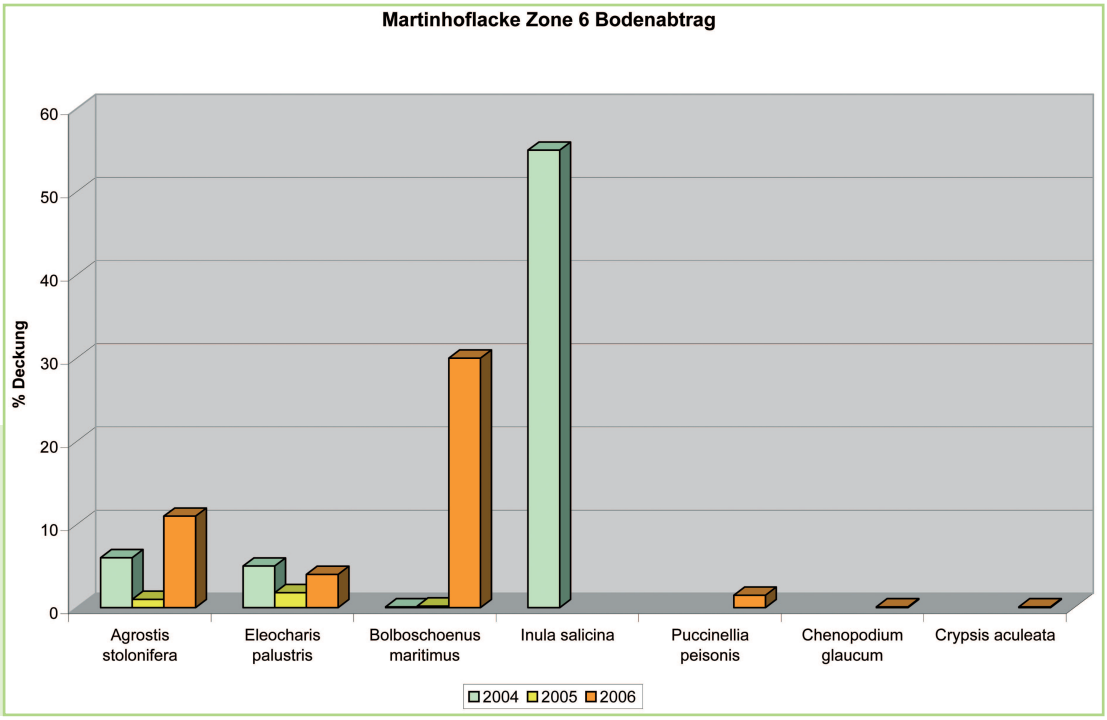


Ingo Korner

Abb. 5.33: Starke Förderung halophiler Arten nach der Salzausbringung.

5.5.7 Entwicklung in Zone 6 der Kleinen Martinhoflacke

In dieser Zone erfolgte der versuchsweise Abtrag der obersten Bodenschichten sowie das Ausbringen von Soda im Februar 2005. Die Änderungen der Deckungsverhältnisse der einzelnen Arten sind auf beide Faktoren zurückzuführen. Die stärksten Veränderungen waren beim Weiden-Alant (*Inula salicina*) zu verzeichnen, der vollständig aus der Untersuchungsfläche verschwand. Bei den anderen Arten wie Straußgras und Sumpfbinse kam es zu einem vorübergehenden Einbruch bei den Deckungswerten im Jahr 2005, der sich 2006 wieder ausglich. Einen Sonderfall stellt die Knollenbinse dar, die von 0,1 % im Jahr 2004 auf 30 % buchstäblich „explodierte". Diese Art profitierte von den geänderten Konkurrenzverhältnissen und wurde sowohl vom erhöhten Wasserstand im Winter und Frühjahr 2006 als auch von den angehobenen Salzkonzentrationen gefördert. Äußerst positiv ist das erstmalige Auftreten von drei typischen Arten der Sodalacken, dem Neusiedlersee-Schwaden (Puccinellia peisonis), dem Graugrünen Gänsefuß (*Chenopodium glaucum*) sowie dem Dorngras (*Crypsis aculeata*). Mit dem Auftreten dieser Arten kann von einem erfolgreichen Schritt in Richtung Wiederherstellung einer Sodalacke gesprochen werden.

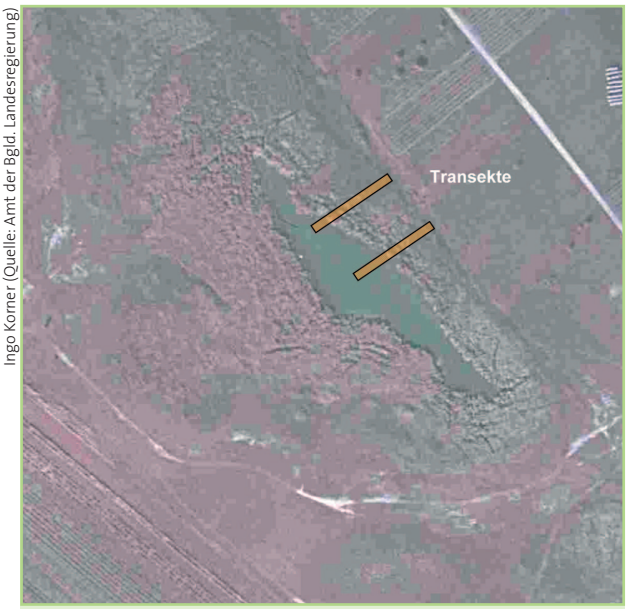


Ingo Korner

Abb. 5.34: Starke Förderung halophiler Arten nach der Salzausbringung, Neukeimung von Halophyten im Sommer 2006.

5.6 Krautinglacke

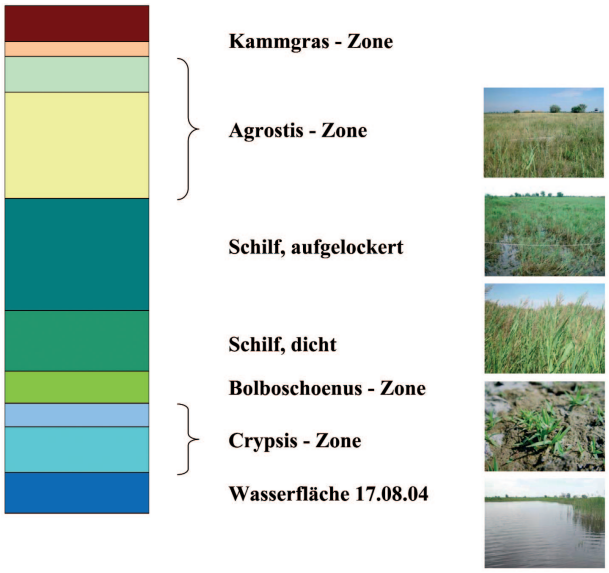
Die Krautinglacke ist eine periodisch austrocknende Lacke westlich des Illmitzer Kirchsees und war noch vor wenigen Jahrzehnten ein beliebter Badeplatz für die Dorfjugend. Mit dem Einstellen der Bewirtschaftung der Lackenränder setzte eine starke Verschilfung ein, die Wasserfläche war vom Weg her betrachtet nicht mehr als solche erkennbar und das Ufer für Watvögel (*Limikolen*), aber auch Gänse nicht mehr als Lebensraum nutzbar. Aktuell sind der gesamte Lackenrand und auch die Übergangsbereiche zu den Trockenrasen verschilft (siehe Infrarot-Luftbild). Die Schilfbestände sind jedoch bis auf das sogenannte „Uferschilf" im Inneren der Lacke an der Wasseranschlagslinie des Frühsommers stark aufgelichtet und erreichen durchschnittliche Höhen von 1 bis 1,5 Meter. Es handelt sich um Schilfbestände, die mangels Konkurrenz bzw. regelmäßiger Nutzung diese Sekundärstandorte „erobert" haben. Daher wurden an dieser Lacke die Managementmaßnahmen wie Winterschnitt des Schilfs und eine anschließende Beweidung ab 2005 begonnen.
Wie auf dem Infrarot-Falschfarbenbild zu erkennen, ist die Krautinglacke von einem dichten Schilfgürtel umgeben,



Ingo Korner (Quelle: Amt der Bgld. Landesregierung)

Abb. 5.35: Falschfarbenluftbild der Krautinglacke vor der Beweidung, Lage der Transekte.

welcher die Ausbildung einer natürlichen Lackenrandvegetation verhindert. Die Lacke zählt zu den so genannten Seerandlacken, die durch Abschnürung aus dem Neusiedler See entstanden sind und denen die sonst verbreitete quartäre Sedimentauflage fehlt. Ihr Wasserhaushalt ist sehr stark von Stand des Neusiedler Sees abhängig. Vom Typ her kann sie als wenige salzbeeinflusste Schwarzwasserlacke bezeichnet werden. Halophytenfluren finden sich halbkreisförmig rings um das Südost-, Süd- und Südwestufer, allerdings auf höheren Standorten, den so genannten Zickstellen. Sie liegen außerhalb des Lackenwasserstands- bzw. Grundwasserschwankungsbereiches (**Abb. 5.35**).



Ingo Korner

Abb. 5.36: Zonierung der Vegetation vom Lackenufer zum Lackenboden zum Zeitpunkt der Erstaufnahme 2004.

5.6.1 Vegetationszonierung

Um die Vegetation der Krautinglacke zu dokumentieren, wurden 2 Transekte mit einer Länge von 50 Metern angelegt, die von den Niveaus der Trockenrasen (bzw. Brachen der ehemaligen Weingärten) bis ins Zentrum reichen. Die nachfolgende Grafik gibt die erfasste Vegetationszonierung entlang des Standortgradienten wieder (**Abb. 5.36**).

Von oben beginnend stellt die braun gefärbte Zone das Niveau der Trockenrasen dar, gefolgt von der Agrostis-Zone (türkis und gelbbraun). Unmittelbar daran schließt die Schilfzone mit unterschiedlichen Dichten an. Als Saum vorgelagert findet sich die Zone mit Bolboschoenus (braungrün), die den Übergang zum Lackenboden darstellt. Der Uferbereich war bereits längere Zeit trocken, daher konnte sich hier früh Crypsis etablieren, das sich im Herbst auch auf die Wasserfläche (dunkelblau) ausbreitete.

Die Krautinglacke führte Ende Juni 2004 noch relativ viel Wasser, im Zentrum befand sich eine schilffreie Wasserfläche mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von 25 cm. Bis Mitte August 2004 stand zumindest in den tiefsten Senken am Lackenboden noch etwas Wasser, der größte Teil war jedoch bereits abgetrocknet.

Die Randbereiche der Lacke sind sehr stark verschilft, das Schilf wird jedoch im Winter teilweise genutzt. Dieser Umstand wäre für eine beginnende Beweidung optimal, damit im Frühjahr das frisch austreibende Jungschilf von den Kühen gefressen wird. Der Lackenboden steigt gegen die ehemaligen Weingartenflächen zuerst langsam, dann aber relativ stark mit einer ca. einen halben Meter hohen Böschung steil an. Im Übergangsbereich befindet sich eine typische Salzsumpfwiese mit der Strand-Simse *(Bolboschoenus maritimus*) und der Salz-Aster (Aster tripolium). Seit Aufgabe der Beweidung in den letzten 50 Jahren wurde für das *Scorzonero-Juncetum gerardii* (Salzsumpfwiesen) eine deutliche Zunahme der Röhrichtarten *Phragmites australis* (Schilfrohr) und *Bolboschoenus maritimus* (Strandsimse) nachgewiesen. Am Krautingsee ist dieser Bereich durch die Entfernung des Altschilfes relativ lichtreich, so dass auch anspruchsvollere Arten wie die Aster noch aufkommen können. Die Zone ist gut durchnässt, aber nicht mehr überstaut. Die Breite dieser

Zone am Ostufer des Krautingsees beträgt ca. 10 bis max. 15 m. Nach weiteren 10 m, die von *Agrostis stolonifera*, mit Aster und der Drüsenlosen Acker-Gänsedistel (*Sonchus arvensis ssp. uliginosus*) geprägt werden, steigt das Gelände nunmehr stark an. Hier befanden sich früher Weingärten, die bereits seit mehreren Jahrzehnten brach gefallen sind.
Vom Niveau der stillgelegten Weingartenflächen bis zum Lackenboden wurden 2 Transekte angelegt. Transekt 1 ist durch die beiden nachfolgenden Bilder dokumentiert. Die linke Aufnahme wurde am 17. August 2004 angefertigt, die rechte am 21. Dezember 2004 – zu diesem Zeitpunkt fand bereits der Schnitt des Schilfrohrs statt (**Abb. 5.37, Abb. 5.38, Abb. 5.39, Abb. 5.40**). Im Übergangsbereich finden sich zahlreiche Bulte von *Schoenus nigricans*, die man auch rings um alle anderen Lacken, wie etwa dem Zicksee, vorfindet. Die höheren Niveaus werden von Halbtrockenrasenarten und Brachezeigern dominiert. Jene Teile des Lackenbodens, die im August bereits einige Wochen trocken gelegen sind, wurden vom Dorngras (*Crypsis aculeata*), das aus im Boden ruhenden Samen relativ rasch keimt, besiedelt. Das Dorngras ist zwar salztolerant, es treten jedoch keine weiteren typischen Salzarten auf. Dieser Umstand spricht sehr stark für einen nicht mehr intakten Salzhaushalt dieser Lacke. In den trockenen Jahren 2003 und 2004 setzten sich die problematische Ausbreitung des Schilfbestandes in Richtung Lackenboden sowie eine Verschilfung der Übergangsbereiche zu den höher gelegenen Trockenrasen weiter fort. Im Frühsommer 2004 begann daher eine intensive Beweidung durch die Aberdeen-Angus-Herde (ca. 120 Mutterkühe und 80-100 Jungtiere). Ab 2005 wurde die Beweidung von der zweiten Illmitzer Herde, die aus traditionellem Fleckvieh besteht, fortgeführt. Als Instrument für das Nationalparkmanagement wird der Hutweidebetrieb als traditionelle Wirtschaftsform seit 1987 wieder im Raum Illmitz eingesetzt, ein begleitendes vegetationsökologisches Monitoringprogramm überprüft die ökologischen Auswirkung der Beweidung. Die traditionelle Hutweide, in der die täglichen Weidegänge von Witterung,

Ingo Korner



Abb. 5.37: Vegetationsfreier Lackenboden am Endpunkt des Transektes.

Ingo Korner



Abb. 5.38: Gemähte Schilfzone im Winter 2004.

Ingo Korner



Abb. 5.39: Abgestorbene Exemplare des Dorngrases im Winter 2004.

Ingo Korner

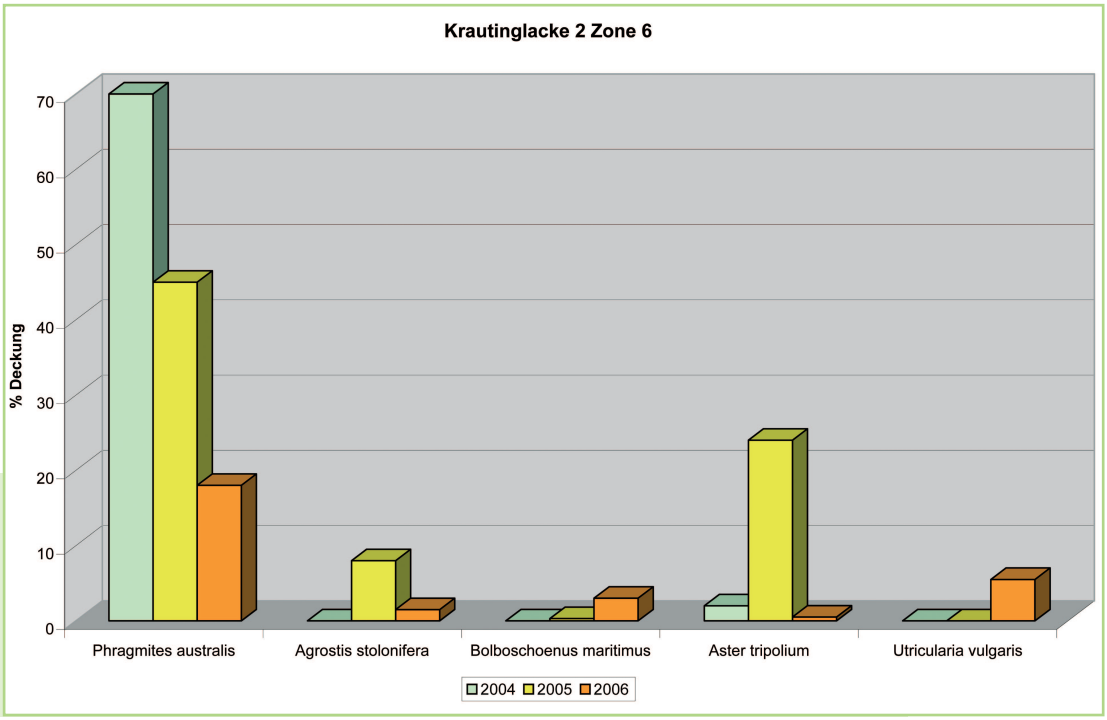


Abb. 5.40: Neu gekeimte Exemplare des Dorngrases im Sommer 2004.

Jahreszeit, Nahrungsangebot, u.a. bestimmt werden, schafft eine Vielfalt an Weidewirkungen wie unterschiedlich räumlich verteilte Vegetationsnischen in großen Weideflächen. Dieses kleinräumige Nutzungsmosaik charakterisiert den Wert des Hutweidebetriebes, der nicht mit einer Koppelhaltung vergleichbar ist. Das Management von verschilften Lackenrändern durch gezielte Beweidung und bedarfsweise Zusatzmahd führt sukzessive zum Verschwinden oder zu einem starken Rückgang der Verschilfung. Die so stark verbesserten Lebensraumbedingungen führen zu einer Förderung seltener Salzpflanzen im Bereich des Lackenrandes und Lackenbodens. Aus diesem Grund wurde 2004 mit einer intensiven Beweidung des Krautingsees begonnen.

5.6.2 Entwicklung der Zone 6 des zweiten Transektes

Durch die Biomasseentnahme sowie die Auflichtung der Vegetation wurden vor allem im Randbereich des Krautingsees, in dem die so genannte Zone 6 situiert ist, lichtliebende Arten gefördert. So konnten 2005 deutlich mehr Arten beobachtet werden, die typisch für die Lackenrandzone sind, aber vorher vom Schilf verdrängt wurden. Ab dem Frühjahr 2006 wurde die intensive Beweidung durch eine Fleckviehherde fortgesetzt, um die Lacke in Richtung niedrigwüchsiger Vegetation am Lackenrand (Richtung Leitbild) zu entwickeln.



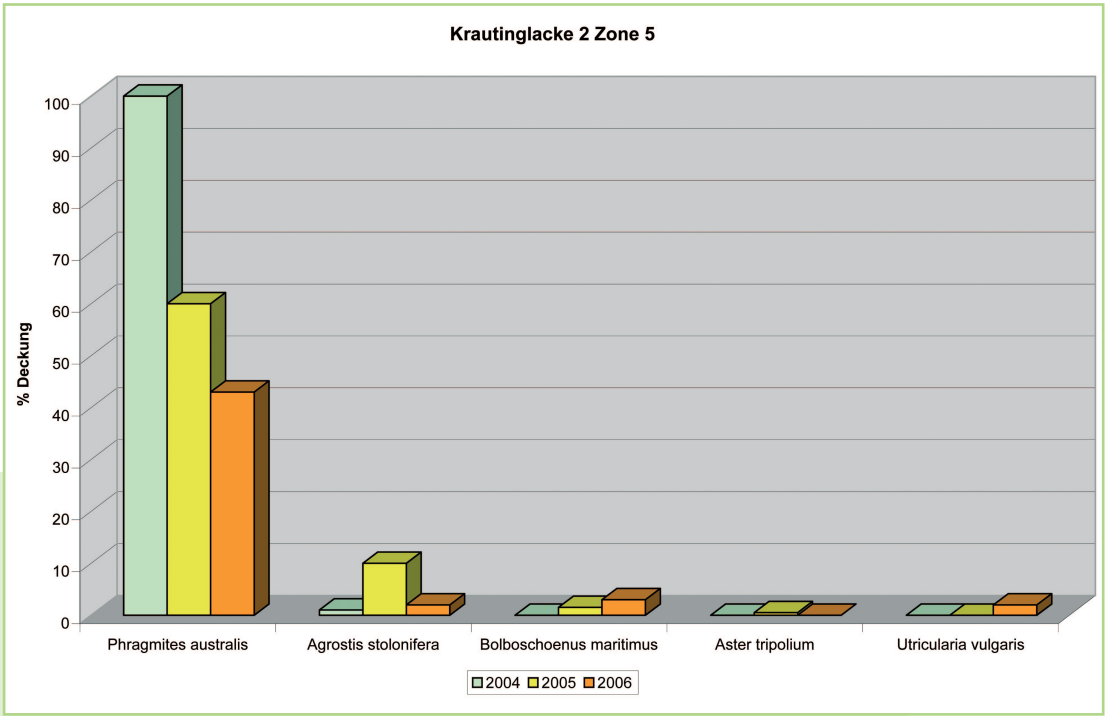
Ingo Korner

Abb. 5.41: Abnahme der Deckungswerte beim Schilf, Förderung der Salz-Aster durch die Beweidung.

Durch die Beweidung nahmen bereits im ersten Jahr (2005) die Deckungswerte des Schilfröhrichts (*Phragmites australis*) stark ab, während jene der Zielarten wie Salz-Aster (*Aster tripolium*) zunahmen. Diese positiven Entwicklungen wurden jedoch durch die geänderten hydrologischen Verhältnisse des Jahres 2006 drastisch verändert. Die Zone stand das gesamte Jahr unter Wasser, so dass die Salz-Aster vorübergehend ganz verschwunden und an ihre Stelle eine Wasserpflanzengesellschaft mit dem Gewöhnlichen Wasserschlauch (*Utricularia vulgaris*) getreten ist. Diese rasche Abfolge verschiedener Pflanzengesellschaften zeigt deutlich, wie anpassungsfähig die Arten der Seewinkler Lacken sind. Die deutliche Reduktion der Gesamtdeckung der Vegetation von ca. 70 % im Jahr 2004 über 65 % im Jahr 2005 auf nur mehr 30 % im Jahr 2006 wurde sowohl durch den Entzug von Biomasse durch das Weiden der Rinder, aber auch durch die Trittwirkung erzielt. Letzterer Effekt ist durchaus erwünscht, da durch den Rindertritt die Schilfrhizome geschädigt werden und offene Stellen entstehen. Im Spätsommer 2006 kamen nach dem Absinken des Wasserspiegels und dem Trockenfallen der Uferzone wieder zahlreiche Aster-Keimlinge auf, die auf den von den Rindern beweideten Flächen sehr gute Keimbedingungen (offener Boden, wenig Konkurrenz durch andere Arten wie z.B. Schilf) vorfanden.

5.6.3 Entwicklung der Zone 5 des zweiten Transektes

Hier setzt sich der positive Trend, der sich in Zone 6 erkennen lässt, fort und wird durch ein starkes Absinken der Deckungswerte des Schilfs charakterisiert. Der Effekt der Beweidung war bereits 2005 sehr gut erkennbar, da diese Zone im Frühjahr stärker überstaut war und das Schilfrhizom durch die Trittwirkung mit anschließender Überstauung stärker geschädigt wurde. Aufgrund der Nähe zum Lackenzentrum ist der Anteil der Salz-Aster hier sehr gering und nimmt durch die offeneren Bodenverhältnisse nicht merklich zu.

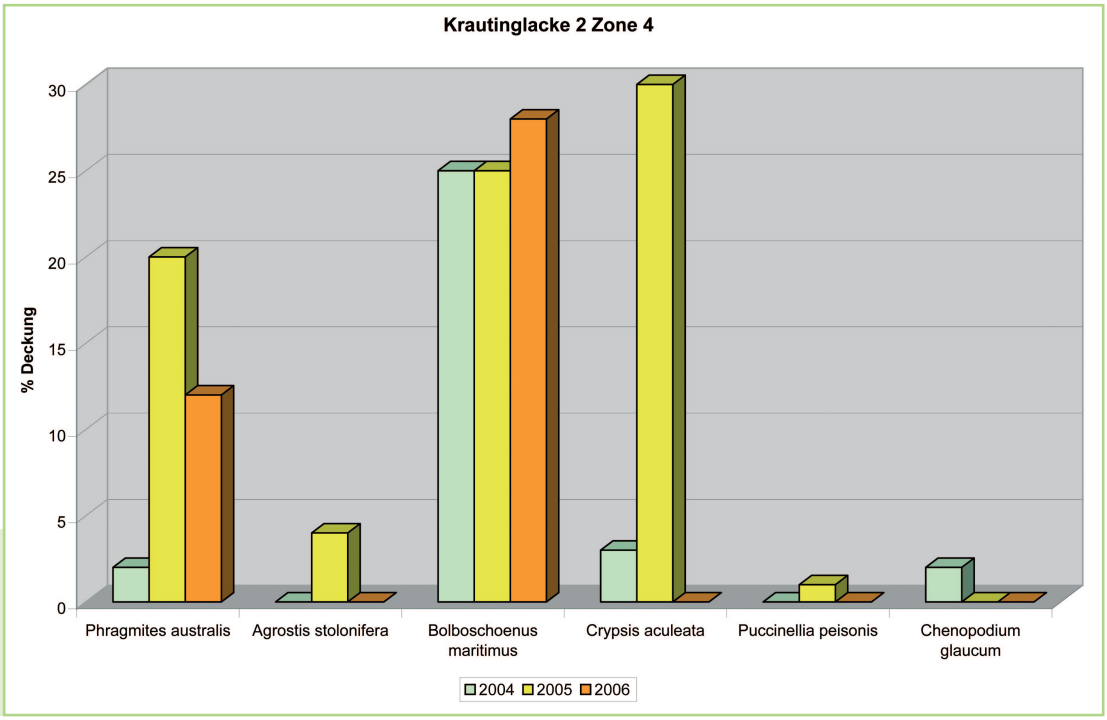


Ingo Korner

Abb. 5.42: Abnahme der Deckungswerte beim Schilf.

5.6.4 Entwicklung der Zone 4 des zweiten Transektes

Interessanterweise trat hier ein gegenläufiger Trend auf, das Schilf nahm 2005 stark zu und erst mit der Intensivierung der Beweidung 2006 wieder ab, blieb jedoch noch immer über dem Ausgangswert. Hier zeichnete sich das Phänomen der raschen Ausbreitung des Schilfs in Richtung Lackenboden in trockenen Phasen ab. Durch Ausläuferbildung war es dem Schilf rasch möglich, die ansonst ungünstigen Bedingungen am Lackenboden zu kompensieren. Fällt eine Lacke für einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren trocken, so kann es zu einer schwer reversiblen Ausbreitung des Schilfs kommen, die nur durch intensive Beweidung in den Griff zu bekommen ist. Wie die hohen Werte der Knollenbinse zeigen, umfasste diese Zone den vorgelagerten Bereich des eigentlichen Schilfgürtels. Die Knollenbinse selbst zeigte nur geringe Schwankungen, bemerkenswert ist vielmehr das massive Auftreten des Dorngrases im Jahr 2005, als die Lacke austrocknete. Zu diesem Zeitpunkt konnte sich auch der Neusiedlersee-Schwaden (*Puccinellia peisonis*) in dieser Zone kurzfristig etablieren, was auf eine enorme Sukzessionsgeschwindigkeit innerhalb dieses Lebensraumes hinweist.

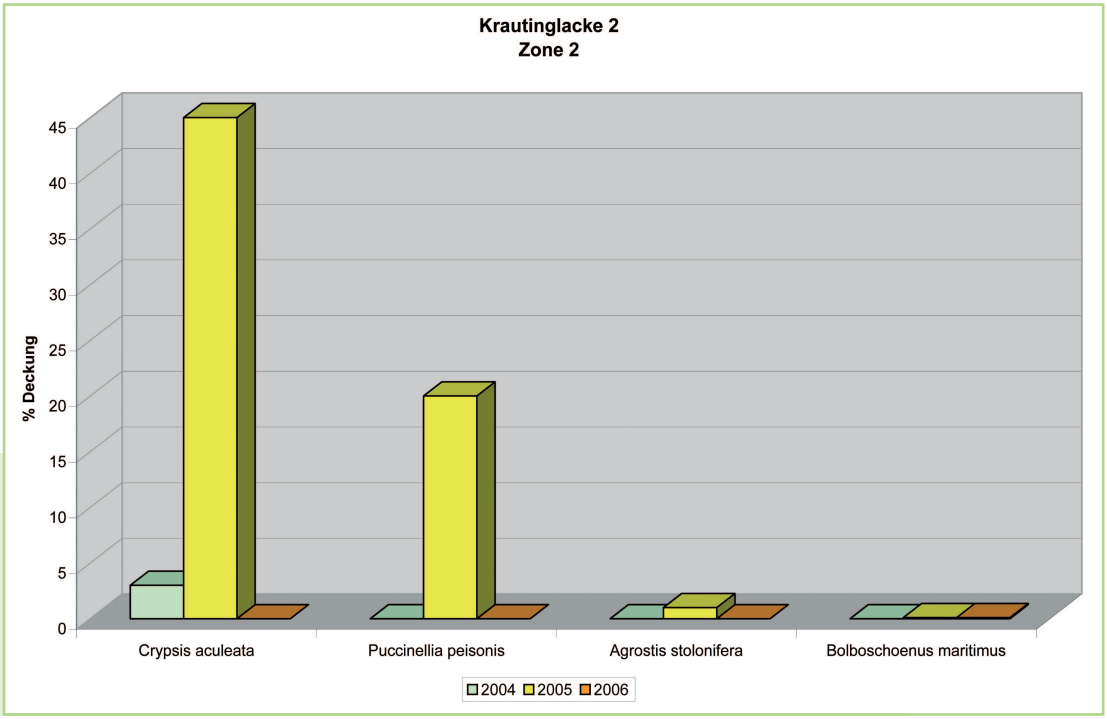


Ingo Korner

Abb. 5.43: Starke Förderung von halophilen Arten im Herbst 2005.

5.6.5 Entwicklung der Zone 2 des zweiten Transektes

Noch deutlicher zeigte sich die rasche Sukzession im Übergangsbereich zum Lackenboden, in dem die einjährigen Arten eine bedeutende Rolle spielen. Die Deckungswerte des Dorngrases als Pionierart auf den abtrocknenden Lackenböden lagen fast bei 50 %, das Dorngras benötigt nur wenige Wochen von der Keimung bis zum Abschluss der Samenreifung. Mit fast 20 % war das Zickgras (Neusiedlersee-Schwaden) die zweithäufigste Art auf den vorerst konkurrenzfreien Standorten. Straußgras und Knollenbinse konnten sich hier nicht durchsetzen und kamen nur mit wenigen Exemplaren vor (**Abb. 5.44, Abb. 5.45**).



Ingo Korner

Abb. 5.44: Starke Förderung von halophilen Arten im Herbst 2005, geringe Veränderungen beim Straußgras.



Ingo Korner

Abb. 5.45: Massive Ausbreitung des Dorngrases am Lackenboden in einer Trockenphase 2005 – Beweidung, Lage der Transekte.

5.6.6 Sukzession im Bereich des Lackenbodens (Zone 0 und 1)

Wie schnell die natürliche Sukzession ablaufen kann, zeigen die nachfolgenden Bilder des Lackenbodens der Krautinglacke – eine Zeitreihe, die 3 Jahre umfasst (**Abb. 5.46, Abb. 5.47, Abb. 5.48**).

Bedingt durch die Niederschlagsverhältnisse trocknete die Lacke im Sommer 2004 gänzlich aus. Diese Trockenphase, die bis 2005 reichte, wurde von der Vegetation genutzt, um sich vorerst als Initialen und schließlich fast flächig zu etablieren.

Bei Transekt 1 ist die Ausbreitung der Vegetationsdecke in erster Linie auf das Dorngras (erster Balken links) und den Neusiedler See-Schwaden zurückzuführen. Während das Dorngras nur wenige Wochen braucht, um sich zu etablieren, braucht der Neusiedler See-Schwaden eine länger andauernde Trockenphase ohne Überstauung. Beide Arten sind jedoch typisch für periodisch austrocknende Lacken und führen aufgrund ihrer Kurzlebigkeit zu keiner Humusanhäufung. Problematischer wird es jedoch, wenn Arten wie das Straußgras den Lackenboden dauerhaft besiedeln. In Folge der Niederschläge des Winters 2005 auf 2006 füllte sich der noch dichte Lackenboden wieder



Ingo Korner

Abb. 5.46: Nahezu vegetationsfreier Lackenboden im Sommer 2004.



Ingo Korner

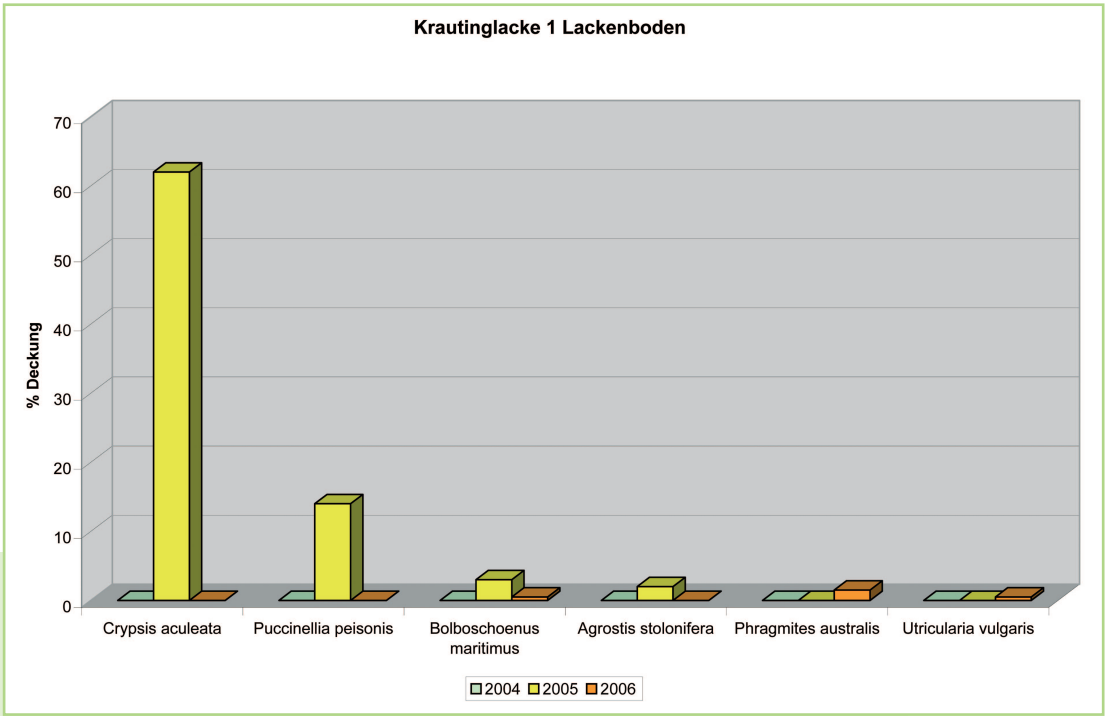
Abb. 5.47: Starke Ausbreitung der Vegetation am Lackenboden im Sommer 2005.



Ingo Korner

Abb. 5.48: Hoher Wasserstand in der Lacke durch die Niederschläge 2006.

mit Wasser (Niederschläge + Anstieg des Grundwasserspiegels), wodurch die Sukzession unterbrochen wurde, die bisher angesiedelten Arten abstarben und bis zum Sommer 2006 sogar Wasserpflanzen wie der Wasserschlauch aufkamen (rechter Balken – *Utricularia vulgaris*).

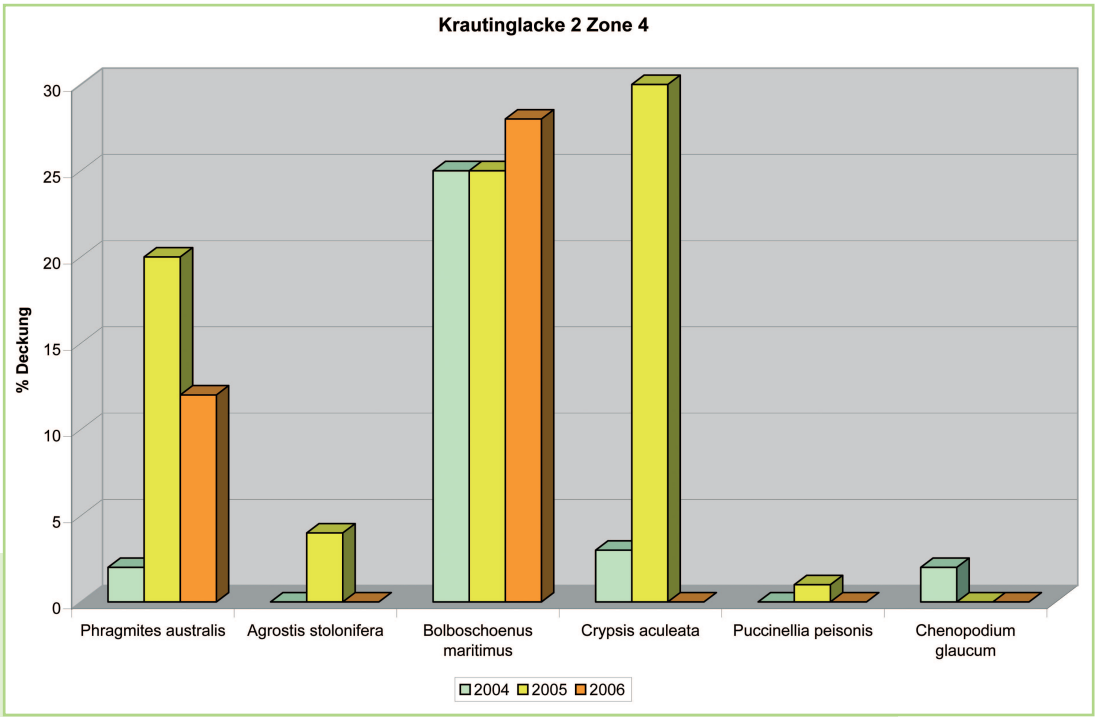


Ingo Korner

Abb. 5.49: Entwicklung der Vegetation beim Transekt 1.

5.6.7 Entwicklung der Zone 2 des ersten Transektes

Auch beim ersten Transekt lassen sich die Entwicklungstrends, die bereits am Beispiel des zweiten Transektes beschrieben wurden, feststellen. Die Deckungswerte des Dorngrases als Pionierart auf den abtrocknenden Lackenböden lagen fast bei 40 %, allerdings nahmen hier der Neusiedlersee-Schwaden nur geringe Anteile an der Gesamtdeckung ein. Wesentlich stärker breitete sich hier das Schilf aus, was dem Trend in der Zone 4 des zweiten Transektes entsprach.

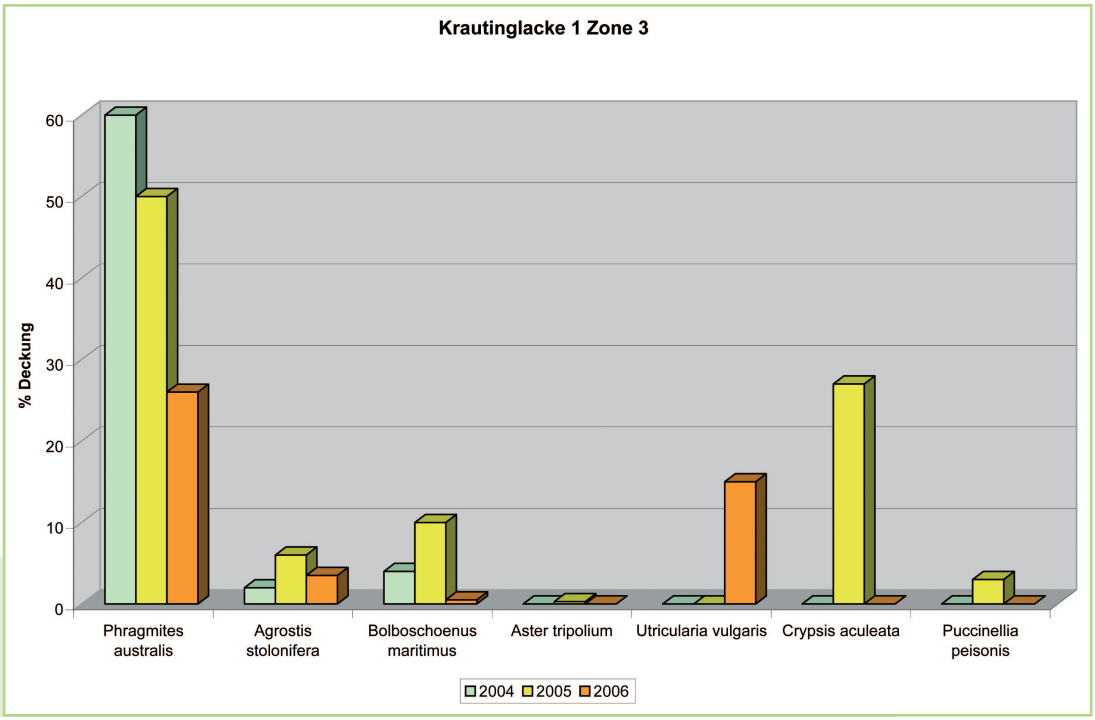


Ingo Korner

Abb. 5.50: Entwicklung der Vegetation beim Transekt 1, Zone 2.

5.6.8 Entwicklung der Zone 3 des ersten Transektes

Diese Zone wurde vor dem Beginn der Beweidung von Schilf dominiert (60 % Deckung), als Begleitarten kamen nur die Knollenbinse und das Straußgras vor. Erst mit der Reduktion des Schilfanteils konnten sich die typischen Arten der Sodalacken wie Dorngras und Neusiedlersee-Schwaden etablieren. Bedingt durch den hohen Wasserstand wurden die beiden Arten 2006 jedoch überstaut, an ihrer Stelle kam eine typische Wasserpflanze, der Wasserschlauch (*Utricularia vulgaris*), auf.

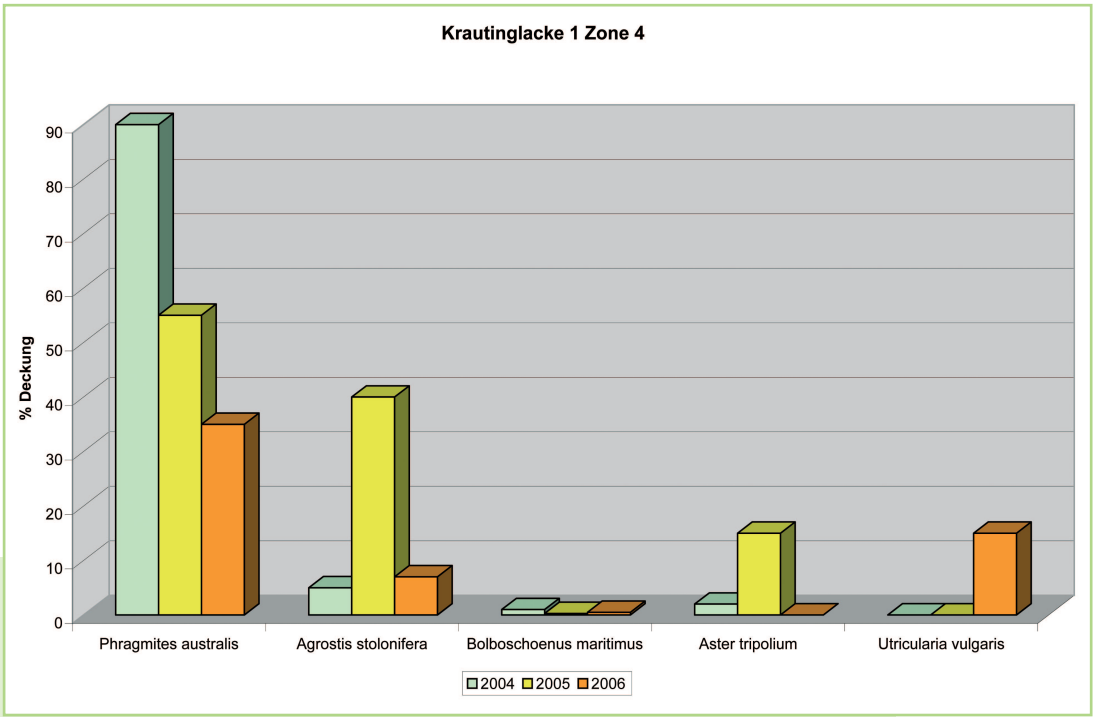


Ingo Korner

Abb. 5.51: Entwicklung der Vegetation beim Transekt 1, Zone 3.

5.6.9 Entwicklung der Zone 4 des ersten Transektes

Die Zone 4 war zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme vor Einsetzen der ersten Maßnahmen von einem ca. 2 bis 2,5 Meter hohen Schilfbestand (annähernd an der Uferlinie der offenen Wasserfläche der Krautinglacke) dominiert, die Deckungswerte lagen bei fast 90 %. Durch die intensive Beweidung konnte der Schilfbestand auf fast ein Drittel des Ausgangswertes reduziert werden. Im Jahr 2005, als der Lackenboden trocken fiel, drangen sowohl das Straußgras, als auch die Salz-Aster in die frei gewordenen Flächen ein. Damit war ein erster Schritt zur Förderung der Arten des Lackenrandes und zur Verringerung der Schilfbestände getan. Erleichtert wurde die Reduktion des Schilfs vor allem durch das einmalige, vorbereitende Abbrennen im Winter sowie durch einen Winterschnitt. Durch den Rückgang des Schilfs wurde das Straußgras in seiner Ausbreitung begünstigt und konnte seine Deckungswerte vervielfachen. Diese Art stellt zwar keine Zielart dar, jedoch konnte derselbe Effekt auch bei der Salz-Aster beobachtet werden, die 2005 fast 13 % Deckung erreichte. Wie bei den anderen Vergleichsstandorten sank dieser Wert 2006 stark ab, was jedoch ausschließlich auf den hohen Wasserstand zurückzuführen war. Die Zonen, in denen die Salz-Aster vorkam, waren 2006 lange Zeit (bis in den Frühsommer) überstaut, erst nach dem Abtrocknen der Standorte etablierte sich die Aster wieder durch zahlreiche Keimlinge und einige Adultpflanzen aus dem Vorjahr, die den hohen Wasserstand überdauerten. In dieser Phase der kontinuierlichen Bespannung der Lacke traten zahlreiche Exemplare des Wasserschlauchs (*Utricularia vulgaris* – rechter Balken im Diagramm) auf, der sich aus über mehrere Jahre im Boden ruhenden Samen entwickelte.



Ingo Korner

Abb. 5.52: Entwicklung der Vegetation beim Transekt 1, Zone 4.

4.7 Zusammenfassung der Entwicklungstrends

An der Kleinen Martinhoflacke lag 2004 eine weitgehend geschlossene Vegetationsdecke mit wiesenähnlichem Charakter und jährlicher Mahd vor. Hauptbestandesbildner waren Weiden-Alant (*Inula salicina*), Große Sumpfbinse (*Eleocharis palustris*) und Straußgras (*Agrostis stolonifera*), die, bis auf letztere Art, nicht an intakten Sodalacken vorkommen. Aufgrund der dauerhaft etablierten Vegetationsdecke war nur mehr wenig Lebensraum für einjährige Salzpflanzen wie das Dorngras (*Crypsis aculeata* - eine typische Pionierart der abgetrockneten Lackenböden) oder die Salz-Aster (*Aster tripolium*) vorhanden. Nach dem Grädern und der Sodaausbringung wurden hier 2005 erstmals wieder typische Salzpflanzen beobachtet, die vorher vorhandenen Süßgräser konnten sich bei den nun vorherrschenden Salzkonzentrationen auf der Fläche nicht mehr halten. Die Veränderungen zeichneten sich nicht nur auf der Artebene, sondern extrem stark auch hinsichtlich der Gesamtdeckung der Vegetation ab, die von 80 % im Jahr 2004 auf 15 % im Jahr 2005 und nach einer weiteren Zugabe von Soda während der Vegetationsperiode 2006 weiter absank und nur mehr 10 % betrug. Der Weiden-Alant (*Inula salicina*) sowie weitere Wiesenarten und Brachezeiger, die symptomatisch für das Degradationsstadium der Lacke waren und den Mangel an Soda erkennen ließen, verschwanden nach der Sodaausbringung gänzlich. Der salzhaltige Boden wirkt für sie toxisch. Ab dem Jahr 2005 traten in erster Linie Gänsefußgewächse (*Chenopodium*-Arten), aber erstmals auch eine der Zielarten, die Salz-Aster, auf. Diese Arten haben sich auch 2006 – nach der zweiten Salzzugabe – durchgesetzt. Naturschutzfachlich höchst bemerkenswert ist schließlich das erstmalige Auftreten typischer Vertreter salzbeeinflusster Standorte der Soda-Lacken. Während das Dorngras (*Crypsis aculeata*) und der Neusiedlersee-Schwaden (*Puccinellia peisonis*) im Bereich des abtrocknenden Lackenbodens und Lackenrandes vorkommen, tritt der homogene Bestände ausbildende, silbrig-graue Salz-Wermut (*Artemisia santonicum*) auf höher gelegenen Niveaus auf. Er ist das namengebende Element der „Wermutsteppe“ und zeigt typische Solonetz-Böden an. Die Verbreitung dieser „neuen“ Arten erfolgte vermutlich durch Wasservögel und Limikolen, die im Frühjahr 2006 (als die Lacke Wasser führte) häufig anzutreffen waren.

Auch im Versuchsfeld an der Kleinen Neubruchlacke war die Vegetation 2004 von einem wiesenähnlichen Bestand dominiert, in dem das Straußgras hohe Deckungswerte erreichte. Nach der Salzausbringung konnte sich schon im Herbst

2005 die Salzaster stark ausbreiten und bot einen sehr eindrucksvollen Blühaspekt. Die Keimbedingungen für Salzpflanzen waren 2006 aufgrund des noch immer relativ hohen Anteils offenen Bodens relativ gut, jedoch verschoben sich die Konkurrenzverhältnisse immer eindeutiger wieder zu Gunsten des Straußgrases (und auch der Knollenbinse). Die Deckungswerte der Salz-Aster sind nach dem sehr günstigen Herbst 2005 (über 40 %) auf ca. 25 % abgesunken, liegen aber verglichen mit der unbehandelten Referenzfläche nach wie vor hoch (2004 – 2,5 %, 2005 – 1 % und 2006 1,5 %). Zudem finden sich auch bereits größere Exemplare des Dorngrases (*Crypsis aculeata*), die auf dem Offenboden keimen konnten. Bemerkenswerterweise traten auch hier so wie auf der Martinhoflacke 2006 erstmals Exemplare des Neusiedlersee-Schwadens (*Puccinellia peisonis*) auf. Ebenso gefördert wurde die Salz-Simse (*Juncus gerardii*), eine typische Art der Lackenränder. Die Entwicklung im Jahr 2006 zeigt aber deutlich, dass durch die Sodazugabe zwar ein positiver Impuls zur „Sanierung" einer Lacke gesetzt werden konnte, die Wiederherstellung eines hohen Grundwasserspiegels jedoch unumgänglich ist.

Die Krautinglacke ist eine periodisch austrocknende Lacke westlich des Illmitzer Kirchsees und war noch vor wenigen Jahrzehnten ein beliebter Badeplatz für die Dorfjugend. Mit dem Einstellen der Bewirtschaftung der Lackenränder setzte eine starke Verschilfung ein, die Wasserfläche war vom Weg her betrachtet nicht mehr als solche erkennbar und das Ufer für Watvögel (*Limikolen*) und Gänse nicht mehr als Lebensraum nutzbar.

Das Management von verschilften Lackenrändern durch gezielte Beweidung und bedarfsweise Zusatzmahd führten sukzessive zum Verschwinden oder zu einem starken Rückgang der Verschilfung. Die so stark verbesserten Lebensraumbedingungen führten zu einer Förderung seltener Salzpflanzen im Bereich des Lackenrandes und Lackenbodens. Durch die Beweidung nahmen bereits 2005 die Deckungswerte des Schilfröhrichts (*Phragmites australis*) stark ab, während jene der Zielarten wie Salz-Aster (*Aster tripolium*) zunahmen. Diese positiven Entwicklungen wurden jedoch durch die geänderten hydrologischen Verhältnisse des Jahres 2006 drastisch verändert. Die Zone stand das gesamte Jahr unter Wasser, sodass die Salz-Aster vorübergehend ganz verschwunden und an ihrer Stelle eine Wasserpflanzengesellschaft mit dem Gewöhnlichen Wasserschlauch (*Utricularia vulgaris*) getreten ist. Diese rasche Abfolge verschiedener Pflanzengesellschaften zeigt deutlich, wie anpassungsfähig die Arten der Seewinkler Lacken sind. Die deutliche Reduktion der Gesamtdeckung der Vegetation von ca. 70 % im Jahr 2004 und über 65 % im Jahr 2005 auf nur mehr 30 % im Jahr 2006 wurde sowohl durch den Entzug von Biomasse durch die Weidetätigkeit der Rinder, aber auch durch die Trittwirkung erzielt (Schädigung der Schilfrhizome, offene Stellen entstehen). Im Spätsommer 2006 kamen nach dem Absinken des Wasserspiegels und dem Trockenfallen der Uferzone wieder zahlreiche Aster-Keimlinge auf, die auf den von den Rindern beweideten Flächen sehr gute Keimbedingungen (offener Boden, wenig Konkurrenz durch andere Arten wie z.B. Schilf) vorfanden. Bei einer konsequenten Weiterführung der Beweidung können das Schilf also nachhaltig zurückgedrängt und die Salzpflanzen gefördert werden, wobei auch hier ein regelmäßig auftretender hoher Wasserstand die wesentlichste Voraussetzung für die Intaktheit der Lacke darstellt.

Insgesamt konnte durch das Ausbringen von Soda auf den Versuchsflächen eine Änderung der Vegetationszusammensetzung erreicht werden. Von wiesenähnlichen Beständen wurde eine Entwicklung in Richtung standorttypischer, salzbeeinflusster Vegetationseinheiten initiiert. Durch die hohen Salzkonzentrationen waren viele Arten nicht mehr imstande, sich am Standort zu halten. Der Deckungsgrad der Vegetation sank stark ab. Während der Vegetationsperiode 2006 traten erstmals typische Salzpflanzen auf, die von den geänderten Konkurrenzverhältnissen profitierten (offener Boden). Im Herbst 2006 war jedoch auch erkennbar, dass salztolerierende Arten wie das Straußgras und die Knollenbinse wieder im Zunehmen begriffen sind – ein Indiz für die Auswaschung des Salzes in den Boden. Diese Vermutung wurde durch die Befunde der bodenchemischen Untersuchungen bestätigt. Somit ist die Ausbringung von Salz (in den bisher verwendeten Konzentrationen) zwar eine probates Mittel, um eine standortstypische Vegetation wiederherzustellen, ohne die Anhebung des Grundwasserspiegels und der damit ermöglichten Nachlieferung von Salzen aus dem Untergrund scheint jedoch eine nachhaltige Sanierung nicht möglich zu sein. Genauere Aussagen können allerdings erst nach einer längeren Beobachtungsperiode getroffen werden.

5.8 Abbildungen

Die nachfolgenden Fotos zeigen eine Zeitreihe von der Ist-Zustandsaufnahme über die durchgeführten Maßnahmen bis zur Dokumentation der Auswirkungen in der Vegetationsperiode 2006. Ab Beispiel der Kleinen Martinhoflacke lässt sich der Einfluss der Salzausbringung sehr plakativ darstellen, da hier aus geschlossenen, wiesenähnlichen Vegetationsbeständen eine lückige, von Salz beeinflusste Vegetation hervorging, wie sie typisch an intakten Lacken ist. Zu überprüfen ist jedoch die Nachhaltigkeit dieses Erfolges, da der Beobachtungszeitraum nach der Salzausbringung nur 2 Vegetationsperioden umfasste.

Ingo Korner



Abb. 5.53: Abschieben des Oberbodens mit dem Gräder.

Ingo Korner



Abb. 5.54: Versuchsfläche nach Bodenabtrag und Salzausbringung.

Ingo Korner



Abb. 5.55: Versuchsfläche nach Bodenabtrag und Salzausbringung im Sommer 2005.

Ingo Korner



Abb. 5.56: Versuchsfläche nach Bodenabtrag und Salzausbringung im Sommer 2005 – halophile Arten breiten sich aus.

Ingo Korner



Abb. 5.57: Manuelle zweite Salzausbringung im Winter 2005/2006.

Ingo Korner



Abb. 5.58: Vordringen der Vegetation in die Versuchsfläche im Sommer 2006 nach Auswaschung des Salze in den Boden.

Literatur

DICK, G. (1994): *Vogelparadies mit Zukunft? Ramsar – Gebiet Neusiedler See – Seewinkel*. Umweltbundesamt Wien: 356 pp.

FALLER, W. (1999): *Pflanzensoziologische Kartierung des Seevorgeländes Illmitz (Neusiedler See)*. Diplomarbeit am Inst. F. Botanik und Geobotanik der Universität für Bodenkultur Wien: 214 pp.

P. HAAS, G. HAIDINGER, H. MAHLER, J. REITINGER, R. SCHMALFUß (1992): *Grundwasserhaushalt Seewinkel*; Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der TU Wien, Forschungsbericht 14, Beitrag zum Forschungsprogramm Hydrologie Österreichs

HERZIG, A. (1994): *Fischbiologische Untersuchung des Neusiedler Sees*. Biologisches Forschungsinstitut Burgenland, Bericht 81: Seite 1–125

KORNER, I., TRAXLER, A., (1997): *Ökologische Erfolgskontrolle durch Monitoring.* Perspektiven, Heft 5-6/1997

KORNER, I., TRAXLER, A., WRBKA, T., (1998): *Die Hutweide als Managementinstrument im Nationalpark Neusiedlersee-Seewinkel*. Zolltexte Nr. 1/98

KORNER, I., TRAXLER, A., WRBKA, T. (1998): *Herbivore-introduced niches in saline vegetation – a long term study at Seewinkel (Austria).*Studies in Plant Ecology, Vol. 20, Uppsala, Sweden

KORNER, I., TRAXLER, A., WRBKA, T. (1999): *Trockenrasenmanagement und –restituierung durch Beweidung im Nationalpark Neusiedlersee-Seewinkel*. Verhandlungen der Zoologisch-botanischen Gesellschaft Österreich, Nr. 136. S 181-212

KORNER, I., TRAXLER, A., WRBKA, T., (2000): *Vegetationsökologisches Beweidungsmonitoring im Nationalpark Neusiedlersee-Seewinkel 1990-1998*. Burgenländische Forschungsberichte Nr. 88

KORNER, I. ET AL. (2000): *Beweidungsmonitoring im Nationalpark Neusiedlersee-Seewinkel*. in: „Geschnatter" – Nationalparkzeitung Neusiedler See - Seewinkel

MILASOWSKY, N. UND ZULKA, K.P. (1994): *Arthropodenzönosen der Salzlacken im Seewinkel.* Unpublizierte Studie des BMWF und der Bgld Landesregierung

KOHLER, B.; RAUER, G. & WENDELIN, B. (1994): *Landschaftswandel*. In: DICK, G. et al.: *Vogelparadies mit Zukunft? Ramsar-Bericht 3, Neusiedler See – Seewinkel*;. Umweltbundesamt, Wien: 4-34.

RAUER, G. & KOHLER, B. (1990): *Schutzgebietspflege durch Beweidung*. Wiss. Arbeiten aus dem Burgenland 82: 221.

WEISSER, P. (1970): *Die Vegetationsverhältnisse des Neusiedlersees.* Wiss. Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 45: 83 pp.

WENDELBERGER, G. (1943): *Die Salzpflanzengesellschaften des Neusiedler Sees*. Wiener Botanische Zeitschrift, H.3/Bd.92: 124-143.

WENDELBERGER, G. (1950): *Zur Soziologie der kontinentalen Halophytenvegetation Mitteleuropas.* Denkschriften d. Akademie d.Wiss. ,Bd.108 (5.Abhdlg.): 5-165.

WENDELBERGER, G. (1954): *Steppen, Trockenrasen und Wälder des pannonischen Raumes.* In Kärnt. Landesinst. f. angewandte Pflanzensoz. Klagenfurt, Angewandte Pflanzensoziologie (Sonderdruck) Festschrift Aichinger, 1.Band: 573-634.

WENDELBERGER, G. (1959): *Die Vegetation des Neusiedler See - Gebietes.* Sitzungsber. d. österr. Ak. d. Wiss, Math. naturwiss. Kl.I, Bd.168 (H.4u.5.): 21-41.

WENDELBERGER, G. (1964): *Sand- und Alkalisteppen im Marchfeld.* Jb.f.Landeskunde v. NÖ ,XXXVI (Sonderdruck): 942-963.

WENDELBERGER, G. (1969): *Steppen und Trockenrasen des pannonischen Raumes.* Acta Botanica Croatica, XXVIII: 387- 390.

ZULKA, K. P.; MILASOWSZKY, N. & LETHMAYER, C. (1997): *Spider biodiversity potential of an ungrazed and a grazed inland salt meadow in the National Park 'Neusiedler See-Seewinkel' (Austria)*: Implications for management (Arachnida: Araneae). Biodiversity and Conservation 6(1): 75-88.

6 Danksagung

Das Projekt wurde unter Förderung und Mitarbeit der folgenden Personen und Institutionen durchgeführt, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

Amt der burgenländischen Landesregierung: Für die Bereitstellung der Fördermittel sei Herrn *LR Nikolaus Berlakovich* und seinem Vorgänger *Herrn LR Paul Rittsteuer* sowie für die Kommunikation mit dem Büro des Landesrates sei Herrn *DI Martin Burian* herzlich gedankt. Dank auch der Naturschutzabteilung (*Dr. Anton Hombauer, Mag. Anton Koo*) für die rasche Abwicklung der naturschutzrechtlichen Genehmigung für die Managementmaßnahmen. Wir danken außerdem Herrn *Dr. Karl Maracek*, Hydrographischer Dienst des Landes Burgenland, für die freundliche Überlassung von Grundwasserpegeldaten.

Österreichischer Naturschutzbund – Landesgruppe Burgenland: Dem Geschäftsführer *Dr. Thomas Zechmeister* und dem Obmann *Dr. Ernst Breitegger* sei für die klaglose finanzielle und organisatorische Abwicklung gedankt.

Biologische Station Illmitz: Herrn *Univ. Prof. Dr. Alois Herzig* sowie Herrn *Dr. Alfred Grüll* sei für die fachkundige Beratung herzlichst gedankt.

Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel: Herrn *Dir. Kurt Kirchberger*, Herrn *Viktor Reinprecht* sowie den Gebietsbetreuern des Nationalparks (allen voran *Walter Tschida, Dieter Hämmerle*) herzlichen Dank für die tatkräftige Unterstützung bei allen Mangamentmaßnahmen.

Informationszentrum des Nationalparks, Illmitz: Dem Leiter *Michael Groiss* und seinen Mitarbeitern vielen Dank für die Bereitstellung der Räumlichkeiten für die Pressekonferenzen und Publikumsvorträge.

Firma Alois Steiner: Herrn *Ing. Alois Frank* für die günstige Bereitstellung des Gräders.

Firma Walter Payer: Herrn *Payer* und seinen *Kollegen* für ihren Einsatz bei der maschinellen Salzausbringung.

Medizinische Universität Wien, Zentrum für Anatomie und Zellbiologie, AG Mikrobiologie: Die Erhebung der mikrobiologischen Daten erfolgte unter kräftiger Mithilfe von *Mag. Martin Krammer* und *Gabriele Schwammel* in den Labors von *Univ. Prof. Dr. Branko Velimirov*.

Universität Wien, Institut für Anorganische Chemie, Arbeitsgruppe für Umweltchemie: Für die tatkräftige Unterstützung bei den Salzungen sowie bei der Probenaufarbeitung sei *allen Mitarbeitern* der Arbeitsgruppe größter Dank ausgesprochen, besonders Frau *Mag. Anja Stojanovic*, Herrn *Ottfried Horn*, Herrn *Dr. Shahram Ayromlou* und Frau *Mag. Barbara Wielander.*