

# Biomasseproduktion, Wasser- und Mineralstoffhaushalt der *Empetrum*-Heiden auf Norderney

Peter Janiesch und Focko Penon

Abstract: The present study discusses the question of how far the water uptake from the freshwater lens influences the development and stability of wet heath lands on the island. The biomass production, the organic layer, and the mineral supply of two characteristic stands, at different distances from the water works, dominated by *Empetrum nigrum* and *Salix repens*, were investigated. The comparison of biomass production and mineral supply of the two stands shows significant influence of the water works on the stability of the communities.

## 1. Einleitung

Die Ostfriesischen Inseln sind eines der letzten großräumigen naturnahen Ökosysteme Mitteleuropas. Dieser einmalige Naturraum hat in den letzten Jahrzehnten infolge hoher Attraktivität einen Massentourismus ausgelöst, der die begrenzten natürlichen Ressourcen dieser Inseln stark strapaziert. Ein Problem ist die je nach Jahreszeit z.T. erhebliche Entnahme von Trinkwasser aus der Süßwasserlinse, die zu einer Gefährdung wertvoller Ökosysteme der Insel führen kann. Besonders betroffen ist die grundwasserabhängige Vegetation der Hygroserie der Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler (PETERSEN 2000). Auf Norderney befinden sich in den Dünentälern Feuchtheiden, wie sie in der Größe auf keiner anderen Insel zu finden sind. Allerdings findet in den letzten Jahrzehnten eine steigende Verdrängung durch Birkenbuschwälder statt (PETERSEN 2000, RINGER 1994, НОВОМ 1993). In der vorliegenden Untersuchung wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Biomasseproduktion und der Mineralstoffhaushalt ausgewählter Gesellschaften der *Empetrum*-Heiden durch die Entnahme von Grundwasser in ihrer natürlichen Entwicklung beeinflusst werden. Dazu werden Standorte außerhalb und innerhalb des Einzugsbereiches des Wasserwerkes untersucht.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Die Standorte

Für die vorliegenden Untersuchungen werden repräsentative Flächen von Heidestandorten auf Norderney ausgewählt. Dabei werden die dominierende Krähenbeere (*Empetrum nigrum*) und die stark verbreitete Kriechweide (*Salix repens*) als charakteristische Pflanzenarten berücksichtigt. Des Weiteren sollen ein vom Wasserwerk beeinflusster und ein unbeeinflusster Standort verglichen werden. Untersucht werden Probeflächen an zwei verschiedenen Standorten im Bereich grundwasserbeeinflusster Dünentäler der Hygroserie. Der erste befindet sich im Großen Dünental der Oase (53° 42' 51"; 7° 13' 09"), der zweite im Gebiet südöstlich des Wasserwerkes (53° 42' 56"; 7° 13' 54"). Für jeden Standort werden jeweils zwei 25 m<sup>2</sup> große Probeflächen ausgewählt.

### 2.2 Die Vegetation

Zur Charakterisierung des Pflanzenbestandes der Probeflächen wird von jeder Probefläche eine vegetationskundliche Aufnahme mit pflanzensoziologischer Zuordnung angefertigt. Dazu werden für die Kraut- und Moosschicht eines 25 m<sup>2</sup> großen Areals jeder Probefläche Artenlisten erstellt. Die Gesamtbedeckung der Vegetationsschicht wird in Prozent, der Deckungsgrad jeder Art wird gemäß der Skala von BRAUN-BLANQUET geschätzt. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Abundanz und Dominanz wird die Artmächtigkeit jeder Art angegeben.

## 2.3 Die Biomasse

Unter dem Begriff „Biomasse“ werden in Anlehnung an die Definition von PERKINS et al. (1978) „*biomass includes all living and dead plant material together with litter on the soil surface*“, der pflanzliche Bestandesvorrat (standing crop) und die lose aufliegende Streu zusammengefasst. Es wird auf eine Unterscheidung in lebende und tote Biomasse (auch Nekromasse, standing dead) verzichtet.

## 2.4 Die Organische Auflage

Der Begriff „Organische Auflage“ wird in dieser Arbeit in einer ganz eigenen Weise gebraucht und ist nicht gleichzusetzen mit den Begriffen O-Horizont oder „Organische Substanz“, wie sie in den Lehrbüchern der Bodenkunde (z. B. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998) verwendet werden. Dies hängt mit methodischen Schwierigkeiten zusammen, die sich aus dem feinen Wurzelwerk und dem verzigten Wachstum der Vegetation der Probeflächen ergeben. Dadurch wird eine exakte Trennung von abgestorbenem organischem Material, Humus, Wurzelgeflecht und Sand unmöglich. Im Rahmen dieser Untersuchung gehören deshalb zur Organischen Auflage:

- lose aufliegende Streustoffe, die nicht bei der Ernte erfasst worden waren,
- Humus als Gesamtheit der festen organischen Substanz des Bodens (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998), bestehend aus dem Humus, der bereits im Boden mit dem Mineralkörper vermischt war, und dem Auflagehumus,
- alle lebenden und abgestorbenen Pflanzenwurzeln,
- Mikroorganismen (Bakterien und Pilze), die sich im Material befinden.

## 2.5 Probennahme

**Der Untersuchungszeitraum:** Für die Untersuchungen sind drei Probennahmen vorgesehen.

- 5. Mai., 16. Juni, 3. August.

**Die Erntetechnik:** Vorrat und Zuwachs der oberirdischen Biomasse werden durch periodisches Abernten von Teilproben bestimmt. Dies erfolgt mit Hilfe eines 1000 cm<sup>2</sup> großen Stechrahmens. Sämtliche darin enthaltene oberirdische Biomasse wird abgeerntet. Auch die aufliegende Streu wird aufgesammelt. Zum jeweiligen Erntezeitpunkt werden von jeder Probefläche drei Teilproben entnommen. Diese werden nach dem Zufallsprinzip in der entsprechenden Vegetationseinheit festgelegt. Eine höhere Anzahl an Parallelen ist aus Naturschutzgründen nicht möglich. Die organische Auflage wird unter Verwendung eines Stechrohrs mit einem Durchmesser von 4,7 cm gewonnen. Dabei wird für jede abgeerntete Stechrahmenfläche der Inhalt von drei Stechrohrproben zusammengefasst. Das so gewonnene Bodenmaterial wird vor Ort grob vom Dünsand getrennt und in Polyethylenbeutel verpackt.

## 2.6 Die Laboruntersuchungen

**Probenverarbeitung:** Der geerntete Inhalt eines Stechrahmens wird im Labor in folgende fünf Fraktionen sortiert: Holz, Blätter, Moos, Gras und Streu.

**Bestimmung der Trockenmasse:** Die Fraktionen jeder Probe werden im Trockenschrank für mindestens 48 Stunden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wird das Trockengewicht (TG) der einzelnen Fraktionen jeder Probefläche als Mittelwert aus den drei Parallelen in g·m<sup>-2</sup> sowie die zugehörige Standardabweichung berechnet.

**Bestimmung des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes:** Zur Bestimmung der C- und N-Gehalte werden 5 mg des fein gemahlten Pflanzenmaterials bzw. 10 mg der Organischen Auflage im C/N-Auto-Analyser NA 2000 (Fisons Instruments) durch Verbrennung und anschließende gaschromatographische Analyse bestimmt.

**Bestimmung des Phosphor-Gehaltes:** Der Phosphor-Gehalt wird kolorimetrisch im Shimadzu Photometer des Typs UV-1202 als Phosphormolybdänblau gemessen (modifiziert nach ALLEN 1989).

**Bestimmung der Vorräte:** Die Trockenmasse der einzelnen Fraktionen wird in g·m<sup>-2</sup>, der Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor in g·kg<sup>-1</sup> berechnet. Mithilfe des Trockengewichtes und der Gehalte werden die Vorräte der zu untersuchenden Mineralstoffe in g·m<sup>-2</sup> ermittelt. Die Vorräte in der Biomasse ergeben sich aus der Summe der Elementvorräte der einzelnen Fraktionen, die zur Biomasse gehören.

3.1 Heiden auf den Ostfriesischen Inseln

Heiden können dann entstehen, wenn eine Besiedlung durch Bäume verhindert wird. In Mitteleuropa ist es besonders seit dem frühen Mittelalter unterhalb der klimatischen Waldgrenze zu einer anthropozoogenen Heideentstehung gekommen (HÜPPE 1993). Im Gegensatz dazu hat auf den Ostfriesischen Inseln eine intensive Nutzung der nur spärlich zur Verfügung stehenden Flächen (Ackerbau auf Hellerflächen und in den Dünentälern, Viehweide und Vertritt) die natürliche Weiterentwicklung der Vegetation zum Heidestadium lange Zeit verhindert (MÜHL 1994). Auf den Ostfriesischen Inseln ist die Krähenbeere als charakteristische Art der Heideflächen zuerst auf Norderney im Jahr 1832 von Bley (VAN DIEKEN 1970) in den feuchten Dünentälern gefunden worden. Die Ausbreitung ist jedoch relativ langsam erfolgt, so dass auf den meisten Inseln erst Mitte des letzten Jahrhunderts eine flächenhafte Ansiedlung zu beobachten gewesen ist. Inzwischen bildet die Heide an windexponierten Stellen sogar das Endstadium der Dünenentwicklung (POTT 1995a). In den feuchten Dünentälern tritt besonders auf Norderney die Krähenbeere, oft in Verbindung mit der Glockenheide (*Erica tetralix*), als Dauergesellschaft auf. Wie aus Tab. 1 zu entnehmen ist, besitzt Norderney von allen Ostfriesischen Inseln die größten Bestände an Heide- (25 ha) und Kriechweidengesellschaften (145 ha). Allein Borkum besitzt Heide-Flächen in ähnlicher Größenordnung. Allerdings ist die Größe der beiden Inseln und ihrer Tertiärdünenbereiche zu berücksichtigen. Denn im Gegensatz zu den absoluten Flächengrößen nehmen *Empetrum*-Heiden nach MÜHL (1994) auf Spiekeroog mit ca. 18 % und auf Langeoog mit ca. 10 % deutlich mehr Flächenanteile der Tertiärdünenvegetation ein als auf Norderney. Die feuchten Heidebereiche sind auf Norderney von allen Ostfriesischen Inseln am stärksten ausgeprägt und überwiegen mit einer Fläche von 25 ha die Fläche der trockenen Heiden bei weitem.

Tab. 1: Biotopgrößen im Heidebereich der Ostfriesischen Inseln (mit Memmert und Mellum) in ha (+ = kleinflächig vorhanden, angenäherte Werte nach BRÖRING 1991, verändert).

	BO	MT	JU	NO	BA	LA	SP	WA	ML
<b>Heidebereiche trocken</b>	20	—	+	+	+	+	5	10	—
<b>Heidebereiche feucht</b>	+	—	—	25	—	+	—	—	—
<b>Kriechweidenbereich trocken</b>	50	—	+	120	+	+	+	+	+
<b>Kriechweidenbereich feucht</b>	50	5	5	25	10	50	+	5	—

3.2 Das Klima des Untersuchungsjahres

Das Wachstum der Pflanzen wird in starkem Maße von den jeweiligen Klimabedingungen beeinflusst. Daher ist es wichtig, die Klimabedingungen des jeweiligen Untersuchungsjahres zu erfassen. Das Jahr 2000 hatte auf Norderney mit 16,6 °C im August seinen wärmsten und mit 3,3 °C im Januar seinen kältesten Monat. Mit 9,8 °C wird eine über-

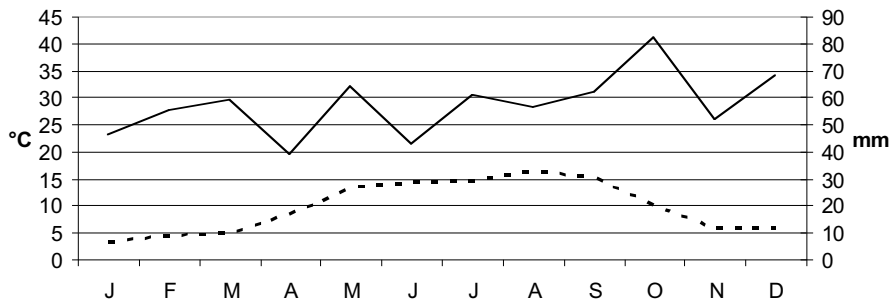


Abb. 1: Monatlicher Niederschlag und mittlere Tagestemperatur auf Norderney im Jahr 2000 (- - - = Temperatur, — = Niederschlag).

durchschnittliche Jahrestemperatur gegenüber den Mittelwerten aus den Jahren 1989 – 1994 erreicht. Grund dafür sind vor allem die Temperaturen im Mai und die ungewöhnlich warmen Wintermonate Januar, Februar und Dezember, die deutlich (1,8 – 2,9 °C) über den langjährigen Mittelwerten liegen. Der Sommer ist dagegen kühler als in anderen Jahren (Abb. 1). Die Niederschlagskurve für das Jahr 2000 zeigt einen ungewöhnlich ausgeglichenen Verlauf. Auf der einen Seite sind die sonst niederschlagsarmen Monate Februar, März und Mai von relativ hohen Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Auf der anderen Seite hat die sonst regenreiche Spätsommer-Herbst-Zeit geringere Niederschläge als im langjährigen Mittel. Ausgenommen ist nur der Oktober (mit 82 mm den höchsten) und der April (mit 39 mm den niedrigsten Niederschlagsmengen).

### 3.3 Der Boden

Der Standort Oase ist gekennzeichnet durch hoch anstehendes Grundwasser, das bis weit ins Frühjahr hinein über der Bodenoberfläche liegt. In dieser Zeit ist dieser Bereich kaum zugänglich (Abb. 2). Außerdem wird deutlich, dass der Standort Wasserwerk (WW) ebenfalls hohe, im Vergleich zum Standort Oase aber während des ganzen Jahres etwas niedrigere Grundwasserstände aufweist.

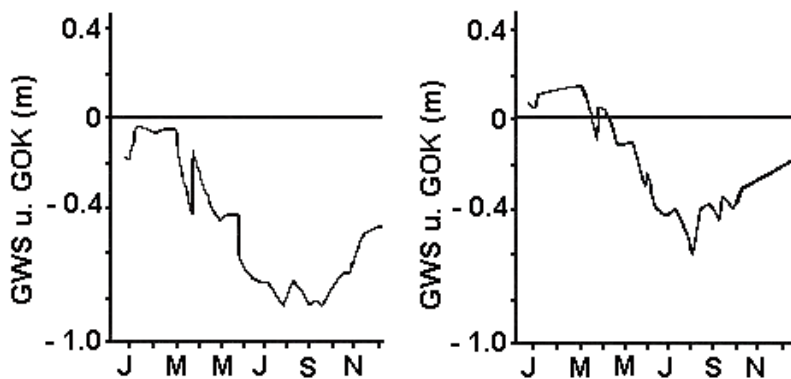


Abb. 2: Verlauf der Grundwasserstände in unmittelbarer Nähe der Standorte WW (links) und Oase (rechts) (GWS: Grundwasserstand, GOK: Geländeoberkante) (aus ARMBRÜSTER & JANIESCH 2003).

Anhaltspunkte zur Bodenbeschaffenheit liefern die Stechrührprofile, die zur Gewinnung der Organischen Auflage erstellt werden. Sie deuten bei den *Empetrum*-Probeflächen auf einen mäßig humosen Regosol hin, dessen Organische Auflage eine Dicke von 4 – 7 cm aufweist. Während bei den Stechrührprofilen der *Empetrum*-Flächen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Standorten auszumachen sind, weichen sie bei den *Salix*-Flächen leicht voneinander ab. Die Organische Auflage ist mit 14 – 18 cm am Standort Oase etwas mächtiger als im WW-Bereich, wo eine Dicke von 12 – 15 cm vorgefunden wird. Die Zahlen belegen einen wesentlich ausgeprägteren Humusanteil im Vergleich zu den *Empetrum*-Flächen. Zudem deutet sich auf den *Salix*-Flächen eine beginnende Podsolierung an, die durch die kühl-feuchten sowie sauren Bedingungen gefördert wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Inwieweit der Boden Anzeichen einer Gley-Bildung besitzt, ist aufgrund der geringen Tiefe der Profile nicht zu entscheiden (alle Werte nach ARMBRÜSTER & JANIESCH 2003).

### 3.4 Die Vegetation

Alle Untersuchungsflächen haben eine hohe Gesamtbedeckung sowohl der Krautschicht (90 – 95 %) wie auch der Moosschicht (80 – 85 %) gemeinsam (Tab. 2). Die Kombination der Küsten-Feuchtheide-Arten *Salix repens*, *Empetrum nigrum* und *Erica tetralix*, als Aspekt bildendes Taxon, lässt beim Untersuchungsstandort Oase-*Salix* auf ein Empe-

tro-Ericetum typicum als zugehörige Pflanzengesellschaft schließen (PETERSEN 2000). Sie weist, unterstützt durch das Auftreten von *Juncus conglomeratus* und *Phragmites australis* (vgl. MÜHL 1993), auf die beschriebenen hohen Grundwasserstände dieses Standortes hin. Man unterscheidet weiter eine feuchte und eine trockene Ausbildung dieser Gesellschaft, wobei in diesem Fall das Auftreten von *Sphagnum squarrosum* als Kennzeichen der feuchten Ausbildung angeführt wird. Ein weiterer Hinweis auf feuchte Bodenverhältnisse ist auch der hohe Deckungsgrad der Mooschicht. Im tiefer gelegenen Abschnitt der Untersuchungsfläche Oase-*Salix* dominiert dagegen die Kriechweide, die hier Wuchshöhen von bis zu 70 cm erzielt.

Bei geringerer Feuchte kann sich die *Erica*-Feuchtheide zu einer *Empetrum*-Trockenheide weiterentwickeln. Letztere schließt sich am Standort Oase südöstlich und etwas höher gelegen neben der *Salix*-Fläche an. Hier befindet sich die Untersuchungsfläche Oase-*Empetrum*. Die anstehende Pflanzengesellschaft stimmt in Artenanzahl, Wuchshöhe und Deckungsgrad weitgehend mit der auf der Probefläche WW-*Empetrum* überein. Auch die Arten mit ihren jeweiligen Deckungsgraden sind vergleichbar. Die Krähenbeere ist als teppichbildender, immergrüner Zwergstrauch (Wuchshöhe > 40 cm) auf beiden Probeflächen die dominierende und namensgebende Charakterart der Gesellschaft, dem Hieracio-*Empetretum*. Aufgelockert werden beide Bestände durch Gräser (vor allem *Carex arenaria* und *Calamagrostis canescens*) sowie durch Laubmoose (vor allem *Hypnum cupressiforme* und *Pleurozium schreberi*), die unterhalb der Krähenbeere mit hoher Deckung zu finden sind. Das Hieracio-*Empetretum* kennzeichnet eigentlich trockenere Standorte der Braundünen.

Die höchste Artenanzahl (10) wie auch Wuchshöhe (90 cm) findet man auf der Probefläche WW-*Salix*. Das Auftreten der Klassencharakterart *Carex nigra* und des dominierenden „Dünen-Ubiquisten“ *Salix repens* (PETERSEN 2000) führt hier zur Vegetationseinheit des Caricetum trinervi-nigrae.

Tab. 2 Vegetation an den Probestellen Oase und Wasserwerk.

Standort	Oase		Wasserwerk	
	Empetro-Ericetum	Hieracio-Empetretum	Caricetum trinervi-nigrae	Hieracio-Empetretum
Gesellschaft				
Exposition	NW	NO		NW
Neigung %	15	10	0	15
Fläche m <sup>2</sup>	25	25	25	25
Bedeckung %	80-90	85-95	80-95	85-95
Artenzahl	11	10	15	10
<i>Salix repens</i>	3	r	5	+
<i>Empetrum nigrum</i>	+	5	r	5
<i>Erica tetralix</i>	2	+		1
<i>Vaccinium uliginosum</i>	4	r		
<i>Carex arenaria</i>	2	2	+	1
<i>Calamagrostis canescens</i>	1	1	2	+
<i>Juncus conglomeratus</i>	1		+	
<i>Festuca ovina</i>		+		
<i>Holcus lanatus</i>			+	+
<i>Phragmites australis</i>	+			
<i>Nardus stricta</i>			+	
<i>Ammophila arenaria</i>			r	
MOOSE				
<i>Calliargon cuspidatum</i>	3			
<i>Spagnum squarrosum</i>	3			
<i>Hypnum cupressiforme</i>		3	1	3
<i>Pleurozium schreberi</i>		3	1	4
<i>Dicranum scoparium</i>		2	3	+
<i>Carex nigra</i>			2	+
<i>Aulacomnium palustre</i>			2	
<i>Pseudoscleropodium purum</i>			2	
<i>Drepanocladus aduncus</i>	+			
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>			+	

## 3.5 Die Entwicklung der Biomasse

Bei der Trockenmasse der Biomasse sind zwei unterschiedliche Entwicklungen zu erkennen. Auf den *Salix*-Flächen der beiden Standorte kommt es im Verlauf der Vegetationsperiode zu einer Zunahme der Trockenmasse, während die Biomasse auf den *Empetrum*-Flächen nach dem Erreichen eines Maximums im Juni wieder abnimmt (Abb. 3).

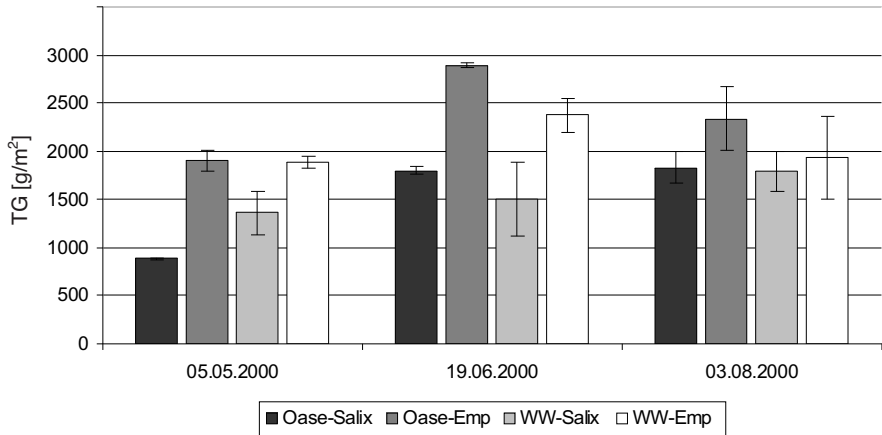


Abb. 3: Entwicklung der Trockenmasse der Biomasse in  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Untersuchungszeitraum 2000 (Übersicht über alle Standorte).

Die Trockenmasse der Biomasse der Probefläche Oase-*Salix* beträgt bei der ersten Probenahme  $888,56 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Das ist das absolute Minimum aller gemessenen Werte. Allerdings ist der prozentuale Zuwachs der Biomasse bis zum Juni mit  $102,9 \%$  ( $+914,34 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) auf dieser Fläche auch der höchste überhaupt festgestellte Wert.

Tab. 3: Biomassezuwachs zwischen den Probenahmen in  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  sowie prozentual.

	OASE-SALIX	OASE-EMP	WW-SALIX	WW-EMP
<b>O5.05.2000 – 19.06.2000</b>	+914,34 +102,9 %	+991,05 +52,1 %	+150,88 +11,1 %	+489,12 +25,9 %
<b>19.06.2000 – 03.08.2000</b>	+26,32 +1,5 %	-555,49 -19,2 %	+278,59 +18,4 %	-437,72 -18,4 %

Somit weist die Biomasse zur zweiten Probenahme schon  $1802,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  Trockensubstanz auf. Bis zur letzten Ernte steigt die Trockenmasse dieser Probefläche nur noch unwesentlich um  $1,5 \%$  auf  $1829,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  an. Sie liegt damit  $40,15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  über der zuletzt gemessenen Trockenmasse von  $1789,07 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  der Probefläche WW-*Salix*. Auch auf dieser Fläche ist während der gesamten Vegetationsperiode eine Zunahme der Biomasse zu verzeichnen. Während am Standort WW auf der *Salix*-Fläche somit ein relativ kontinuierlicher Zuwachs vorliegt, erfolgt er auf der entsprechenden Fläche an der Oase fast ausschließlich vom Mai bis Juni.

Anders sieht es bei den *Empetrum*-Flächen aus, die während der gesamten Vegetationsperiode am jeweiligen Standort höhere Biomasse als ihre benachbarten *Salix*-Flächen aufweisen (Tab. 3). Dabei stellt die Untersuchungsfläche Oase-*Empetrum* zu jeder Probenahme die höchste Biomasse. Bei der ersten Probenahme befindet sich auf beiden *Empetrum*-Flächen zwar noch eine annähernd gleiche Menge an Biomasse. Der Zuwachs bis zum Juni ist am Standort Oase mit  $991,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $+52,1 \%$ ) aber in etwa doppelt so hoch wie im gleichen Zeitraum auf der *Empetrum*-Fläche am Standort WW ( $489,12 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ;  $+25,9 \%$ ). Es ist zugleich der höchste absolute Zuwachs an Biomasse zwischen zwei Probenahmen. Folglich wird auf der *Empetrum*-Fläche des Standortes Oase bei der zweiten Messung mit  $2892,16 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auch das absolute Maximum an Biomasse-Trockensubstanz dieser Untersuchung erzielt. Zum gleichen Zeitpunkt wird auf

der Fläche WW-*Empetrum* eine Trockenmasse von 2375,49 g·m<sup>-2</sup> ermittelt. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode kommt es auf den *Empetrum*-Flächen zur bereits erwähnten Abnahme der Biomasse (Oase-*Empetrum*: - 19,2 %; WW-*Empetrum*: - 18,4 %). So beträgt die Trockenmasse am Standort Oase im August nur noch 2336,67 g·m<sup>-2</sup>, am Standort WW lediglich 1937,77 g·m<sup>-2</sup>.

**Zusammensetzung der Biomasse der *Empetrum*-Flächen:** Exemplarisch wird hier nur die Zusammensetzung der *Empetrum*-Flächen gezeigt. Angaben zu den anderen Standorten finden sich bei PENON (2001). Es dominiert in der Biomasse der Holzanteil, der während der gesamten Vegetationsperiode zwischen 68 % und 72 % schwanken kann (Abb. 4). Der Anteil der Fraktion der Blätter an der Biomasse steigt gleichmäßig von 11 % im Mai bis auf 20 % im August. Der Moos-Anteil erfährt zunächst eine Abnahme von 6 % bei der ersten Probennahme auf 3 % bei der zweiten, nimmt aber bis August erneut auf 5 % zu. Die Gras-Fraktion zeigt keine nennenswerten Veränderungen. Sie wächst von 1 % zu Beginn der Messungen auf 2 % am Ende an. Der Streu-Anteil fällt kontinuierlich von zuerst 12 % auf 5 % im August (Abb. 4).

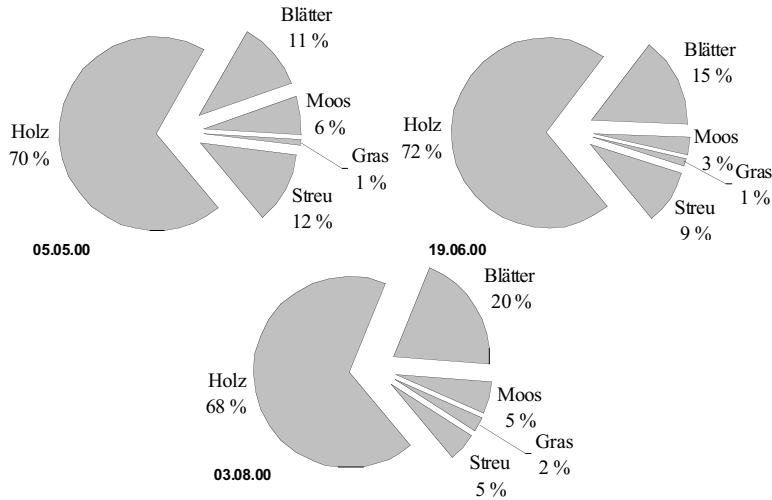


Abb. 4: Fraktionen der Biomasse der Probefläche Oase-*Empetrum* im Untersuchungszeitraum 2000.

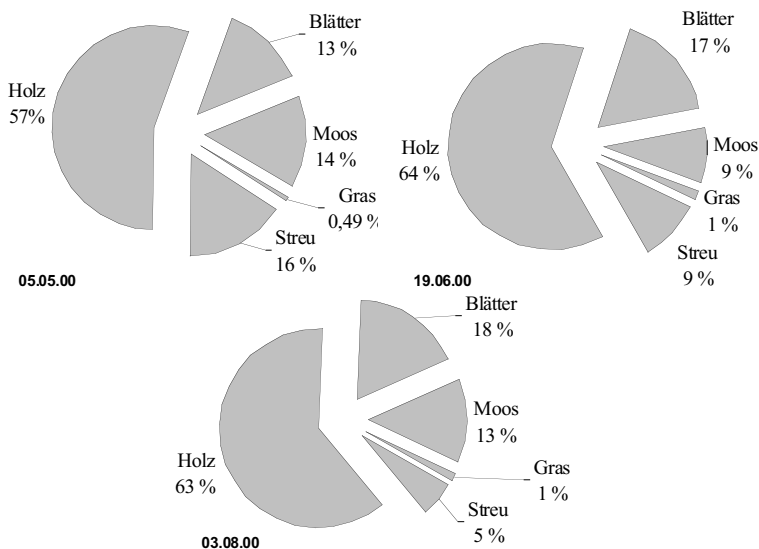


Abb. 5: Fraktionen der Biomasse der Probeflächen WW-*Empetrum* im Untersuchungszeitraum 2000.

Auch auf der Probefläche Wasserwerk überwiegt der Holzanteil eindeutig (Abb. 5). Er liegt im Mai bei 57 %, steigt bis zum Juni auf 64 % an und fällt bis zum August unwesentlich auf 63 % ab. Vergleichbar ist der Verlauf der Anteile der Blätter-Fraktion. Er nimmt zunächst ebenfalls von 13 % im Mai auf 17 % im Juni zu und ändert sich nur noch gering auf 18 % zum Ende der Messungen. Der Moosanteil beginnt mit 14 % bei der ersten Probennahme. Im Juni sinkt er auf 9 %, erhöht sich jedoch bis August wieder bis auf 13 %. Der Gras-Anteil beläuft sich während der Vegetationsperiode 2000 höchstens auf 1 % der Trockensubstanz der Biomasse, im Mai sogar auf noch weniger (0,49 %).

### 3.5.1 Die Kohlenstoff-Vorräte in der Biomasse

In jeder Probe beider Standorte ist der C-Vorrat in der Biomasse der *Empetrum*-Flächen höher als in der Biomasse der *Salix*-Flächen (Abb. 6). So findet man im Mai das absolute Minimum an gemessenem C-Vorrat mit  $479,87 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auch in der Biomasse der Probefläche Oase-*Salix*. Hier steigt er im weiteren Verlauf zunächst bis zum Juni stark auf  $891,81 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , danach allerdings deutlich langsamer auf  $957,77 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im August an. Auch auf der Untersuchungsfläche WW-*Salix* steigt der Kohlenstoff-Vorrat während der gesamten Vegetationsperiode kontinuierlich an, jedoch fallen die Zuwächse hier deutlich geringer aus. Nachdem der Kohlenstoff-Vorrat der Biomasse bei der ersten Messung mit  $657,58 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  noch über dem der Probefläche Oase-*Salix* liegt, weist die Biomasse der *Salix*-Fläche des Standortes WW schon bei der zweiten Probennahme mit  $706,58 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  und letztlich auch bei der Schlussuntersuchung im August mit  $915,16 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  geringere Kohlenstoff-Vorräte als die Biomasse auf der *Salix*-Fläche an der Oase auf.

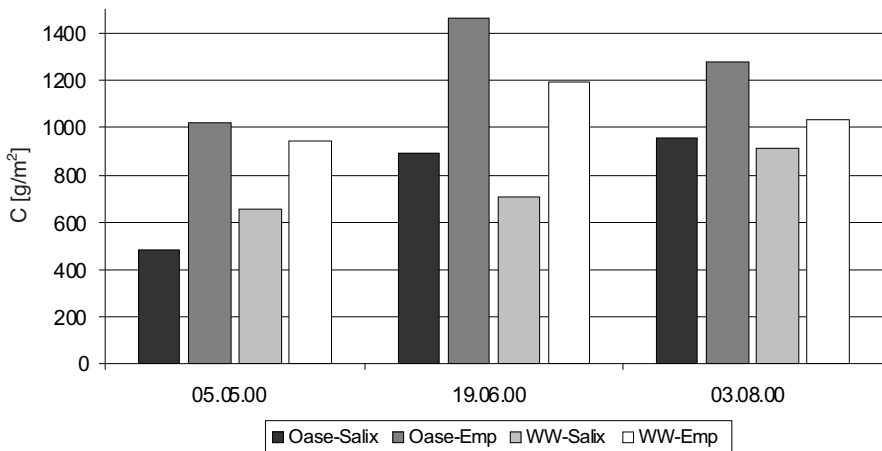


Abb. 6: Entwicklung der C-Vorräte in der Biomasse im Verlauf des Untersuchungszeitraumes 2000.

Bei den *Empetrum*-Flächen besitzt ebenfalls die Biomasse des Standortes Oase durchgehend die höheren Kohlenstoff-Vorräte. Damit lässt sich für die Probefläche Oase-*Empetrum* im Juni mit  $1466,89 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auch das absolute Maximum aller gemessenen Kohlenstoff-Vorräte dieser Untersuchung feststellen. Im Mai beträgt der Vorrat hier  $1019,34 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , zum August sinkt er jedoch vom genannten Maximum auf  $1280,47 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Parallel zu dieser Entwicklung steigt der Kohlenstoffvorrat in der Biomasse der Fläche WW-*Empetrum* von  $944,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  bei der ersten Probennahme auf  $1196,91 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni an und fällt danach bis zur letzten Untersuchung wieder auf  $1032,94 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

### 3.5.2 Die Stickstoff-Vorräte in der Biomasse

Die Stickstoff-Vorräte der Biomasse entwickeln sich je nach Probefläche während des Jahres 2000 auffallend unterschiedlich (Abb. 7). So nimmt er nur auf der Fläche Oase-*Salix* von  $9,17 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Mai über  $17,01 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni auf  $20,67 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im August zu. Damit weist diese Probefläche sowohl das absolute Minimum als auch das absolute Maximum aller gemessenen Stickstoff-Vorräte auf.



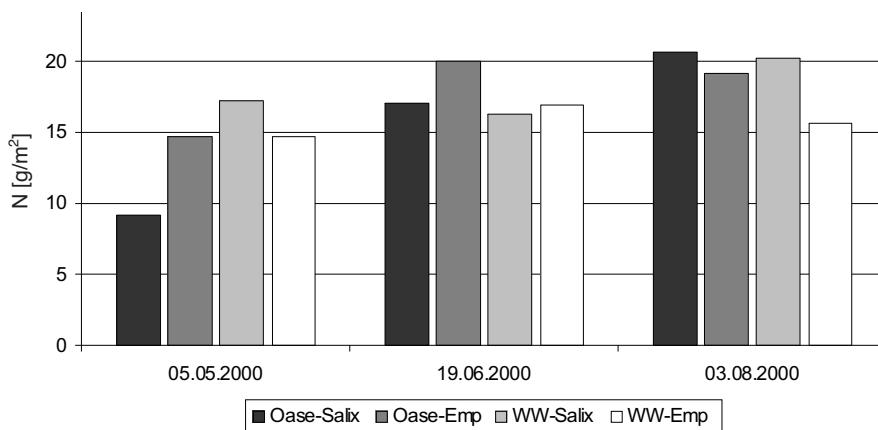


Abb. 7: Entwicklung der N-Vorräte in der Biomasse im Verlauf des Untersuchungszeitraumes 2000.

Im Vergleich dazu verändern sich die Werte der übrigen Untersuchungsflächen nur wenig. Für die Fläche WW-Salix ist nach einer zwischenzeitlich geringen Abnahme um  $0,94 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni insgesamt nur eine leichte Zunahme von  $17,22 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Mai auf  $20,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im August festzustellen.

Die *Empetrum*-Gesellschaften weisen in ihrer Biomasse zu Beginn der Untersuchung einen identischen Stickstoff-Vorrat von  $14,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auf (Abb. 7). Während er auf der Probe-*fläche WW-Empetrum* im weiteren Verlauf nur schwach zunimmt ( $16,9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni), steigt der Stickstoff-Vorrat der Biomasse auf der Fläche Oase-Empetrum bis zur zweiten Probenahme auf  $20,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  an. Anschließend sinkt er bis August sowohl am Standort Oase ( $19,11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) als auch am Standort WW ( $15,64 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) noch leicht.

### 3.5.3 Die Phosphor-Vorräte in der Biomasse

Die Phosphor-Vorräte in der Biomasse weisen nur geringe Werte auf, so dass sie insgesamt relativ eng beieinander liegen (Abb. 8). Dadurch zeigt auch zum Schluss der Untersuchung die Biomasse auf allen Probenflächen mit Phosphor-Vorräten von  $1,93 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  bis  $2,13 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ähnlich hohe Werte. Am stärksten differieren sie dagegen im Mai, wo die Probe-*fläche Oase-Salix* das absolute Minimum der Messung mit  $1,17 \text{ g}$  Phosphor in der Biomasse pro  $\text{qm}$  erreicht. Bis zum Juni steigt hier der Phosphor-Vorrat auf  $2,23 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  an und fällt schließlich wieder unwesentlich auf  $2,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  bei der letzten Probenahme.

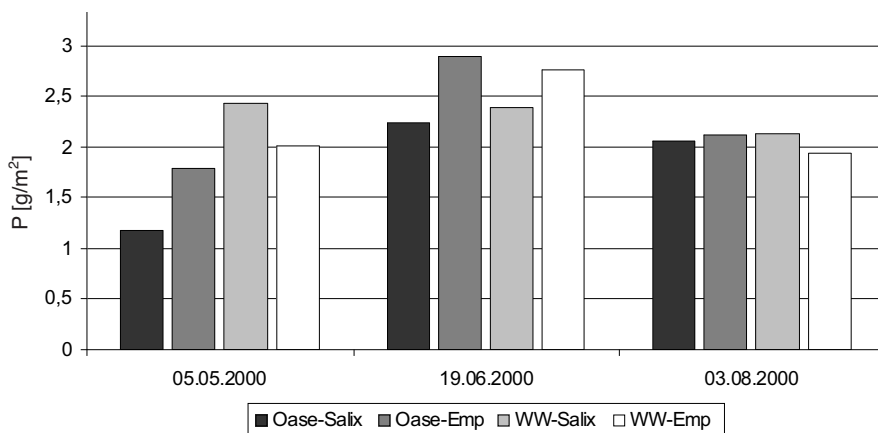


Abb. 8: Entwicklung der P-Vorräte in der Biomasse im Verlauf des Untersuchungszeitraumes 2000.

Auf der Untersuchungsfläche *WW-Salix* sinkt der Phosphor-Vorrat der Biomasse, aber nicht signifikant von  $2,43 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  zu Beginn auf letztlich  $2,13 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im August ab.

Nachdem die Biomasse der Probefläche *WW-Empetrum* von Mai bis Juni einen leichten Anstieg des Phosphor-Vorrates um  $0,75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auf  $2,76 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  verzeichnet, fällt dieser bis zur abschließenden Messung wieder auf  $1,93 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Ähnlich verhält es sich auf der Fläche *Oase-Empetrum*, wo ebenfalls zuerst eine Zunahme des Phosphor-Vorrates von  $1,78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Mai auf  $2,89 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni beobachtet wird. Dieser Wert stellt zugleich das absolute Maximum aller gemessenen Phosphor-Vorräte dar.

### 3.6 Die Organische Auflage

#### 3.6.1 Die Entwicklung der Organischen Auflage

Offensichtlich bestehen grundsätzliche Unterschiede zwischen den sich entsprechenden Probeflächen beider Standorte (Abb. 9). So erreicht die Organische Auflage am Standort Oase im Vergleich mit der *Salix*-Fläche eindeutig die höhere Trockenmasse. Am Standort WW verhält es sich entgegengesetzt. Hier weist die Organische Auflage der *Empetrum*-Fläche die größere Trockenmasse auf. Auf allen vier Probeflächen nimmt allerdings die Trockenmasse der Organischen Auflage während der Vegetationsperiode zu.

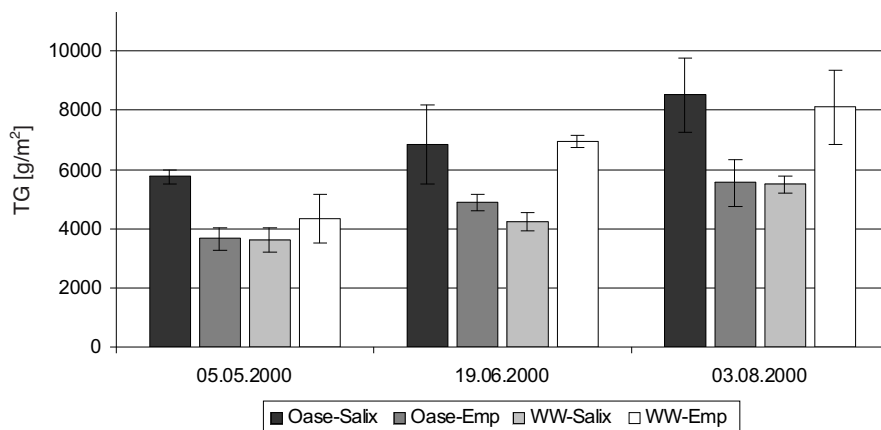


Abb. 9: Entwicklung der Trockenmasse der Organischen Auflage in  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Verlauf des Untersuchungszeitraumes 2000 (Übersicht über alle Standorte).

Während auf den *Empetrum*-Flächen die Trockenmasse der Organischen Auflage besonders zwischen Mai und Juni ansteigt (*Oase-Empetrum*: + 33,4 %; *WW-Empetrum*: + 59,9 %), verzeichnen die *Salix*-Flächen zwischen Juni und August den Hauptzuwachs (*Oase-Salix*: + 24,1 %; *WW-Salix*: + 33,4 %) (Tab. 4).

Tab. 4: Zuwachs der Organischen Auflage zwischen den Probenahmen in  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  sowie prozentual.

	OASE-SALIX	OASE-EMP	WW-SALIX	WW-EMP
<b>05.05.2000 – 19.06.2000</b>	+1102,18 + 19,1 %	+1220,02 +33,4 %	+599,44 +16,5 %	+2600,15 +59,9 %
<b>19.06.2000 – 03.08.2000</b>	+1650,39 +24,1 %	+ 667,33 +13,7 %	+1278,94 +30,2 %	+1165,58 +16,8 %

Die Organische Auflage der Untersuchungsfläche *WW-Salix* stellt zu jeder Probenahme das Minimum an Trockenmasse. Hier finden sich im Mai  $3631,24 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  Trockensubstanz. Bis zum Juni nimmt die Trockenmasse auf  $4230,68 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  zu. Damit lässt sich auf dieser Fläche mit  $599,44 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auch der geringste absolute Zuwachs, der zwischen zwei Probenahmen ermittelt wird, feststellen. Im August steigt die Organische Auflage schließlich auf  $5509,62 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  an.

Fast parallel verläuft die Entwicklung der Organischen Auflage auf der Probefläche Oase-*Empetrum*, wo mit  $3656,86 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  nur ein geringfügig höherer Anfangswert als auf der *Salix*-Fläche am Standort WW ermittelt wird. Nach einem starken Zuwachs bis zur zweiten Probennahme auf  $4876,88 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  erreicht die Organische Auflage auch auf dieser Probefläche mit einer Trockenmasse von  $5544,21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ihr Maximum an Organischer Auflage zum Ende des Untersuchungszeitraumes.

Wesentlich höhere Werte verzeichnen die Probeflächen Oase-*Salix* und WW-*Empetrum*. Zu Beginn beträgt auf der Probefläche WW-*Empetrum* die Trockenmasse der Organischen Auflage  $4342,76 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Bis zum Juni erfolgt hier mit  $2600,15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  sowohl die höchste absolute als auch prozentuale (+ 59,9 %) Zunahme, die während der Untersuchung ermittelt wird. Dadurch stellt die Organische Auflage dieser Probefläche mit  $6942,91 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  sogar das Maximum an Trockenmasse des zweiten Erntetermins. Bis zum Ende der Untersuchung wächst die Organische Auflage weiter auf  $8108,49 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  Trockensubstanz an.

Auf der Probefläche Oase-*Salix* analysiert man mit  $5756,19 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  den höchsten Wert an Organischer Auflage bei der ersten Messung und mit  $8508,76 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im August auch das absolute Maximum aller ermittelten Trockenmasse der Organischen Auflage.

### 3.6.2 Die Kohlenstoff-Vorräte in der Organischen Auflage

Die Messungen zeigen, dass auf allen vier Probeflächen der Kohlenstoff-Vorrat der Organischen Auflage ansteigt (Abb. 10). Während am Standort Oase der Kohlenstoff-Vorrat der Organischen Auflage auf der *Salix*-Fläche durchgehend höher ist als auf der *Empetrum*-Fläche, verhält es sich am Standort WW genau umgekehrt. Hier erreicht immer die Organische Auflage der *Empetrum*-Fläche die eindeutig höheren Werte. Folglich ergab sich auf der Probefläche WW-*Empetrum* bei der dritten Probennahme mit  $4318,68 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auch das absolute Maximum an Kohlenstoff-Vorrat in einer Organischen Auflage. Der Kohlenstoff-Vorrat der Organischen Auflage der Untersuchungsfläche Oase-*Empetrum* verzeichnet seine stärkste Zunahme ebenfalls vor allem von Mai mit  $1895,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  bis Juni mit  $2924,82 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Danach nimmt er nur noch geringfügig auf  $2963,38 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  zu.

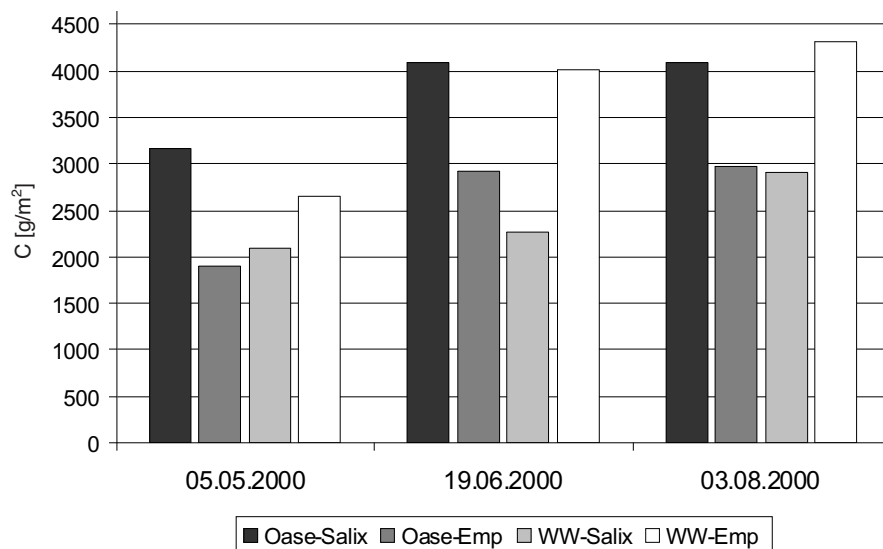


Abb. 10: Entwicklung der C-Vorräte in der Organischen Auflage im Untersuchungszeitraum 2000.

Auf ähnlichem Niveau verläuft im Untersuchungszeitraum der Kohlenstoff-Vorrat der Organischen Auflage der Probefläche WW-*Salix*. Er wächst hier von anfänglich  $2094,35 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  über  $2269,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni auf zuletzt gemessene  $2900,53 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  an. Hier liegt der

stärkere Zuwachs allerdings erst zwischen der zweiten und dritten Probennahme. Dieser befindet sich bei dem Kohlenstoff-Vorrat der Fläche Oase-Salix eindeutig zwischen den ersten beiden Messungen. Von Mai bis Juni nimmt er hier in der Organischen Auflage von  $3157,63 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auf  $4083,47 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  zu und erhöht sich anschließend bis zum August nur noch unwesentlich auf  $4088,47 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

### 3.6.3 Die Stickstoff-Vorräte in der Organischen Auflage

Die N-Vorräte nehmen auf allen Probeflächen während des Untersuchungszeitraumes kontinuierlich zu (Abb. 11). Daher finden wir den niedrigsten Stickstoff-Vorrat dieser Untersuchung mit  $58,91 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  auch zum ersten Erntetermin auf der Probefläche Oase-Empetrum. Nachdem er bis zum Juni stark angewachsen ist ( $88,52 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), nimmt er bis zum August nur noch leicht zu und liegt schließlich bei  $92,31 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Damit weist diese Fläche über den gesamten Untersuchungszeitraum den niedrigsten Stickstoff-Vorrat auf. Auf der Probefläche WW-Empetrum beginnt die Messung des Stickstoff-Vorrats der Organischen Auflage mit einem Wert von  $81,14 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Durch eine Zunahme auf  $114,04 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  liegt er ab der zweiten Probennahme über dem Stickstoff-Vorrat der benachbarten Probefläche WW-Salix. Zum Schluss der Untersuchung beträgt der Vorrat schließlich  $133,66 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Folglich besitzt die Organische Auflage der Empetrum-Flächen des Standortes WW die höheren Stickstoff-Vorräte (Abb. 11).

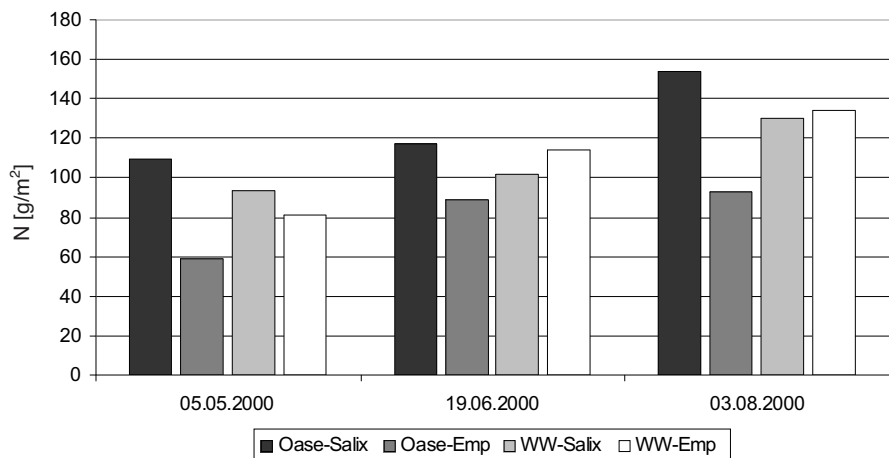


Abb. 11: Entwicklung der N-Vorräte in der Organischen Auflage im Untersuchungszeitraum 2000.

Die Organische Auflage der Probefläche WW-Salix hat zu Beginn einen Stickstoff-Vorrat von  $93,77 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , der im Untersuchungszeitraum zunächst auf  $102,19 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Juni und schließlich auf  $130,22 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im August ansteigt.

Auf der Fläche Oase-Salix besitzt die Organische Auflage bei jeder Untersuchung den höchsten Vorrat an Stickstoff. Im Mai wird ein Wert von  $109,34 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  erreicht, der bis zum August auf das absolute Maximum von  $154,06 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  steigt. Die Stickstoff-Vorräte nehmen auf den Salix-Flächen vor allem zwischen der zweiten und der dritten Probennahme zu.

### 3.6.4 Die Phosphor-Vorräte in der Organischen Auflage

Zu Beginn der Untersuchung besitzt die Organische Auflage der Probefläche WW-Salix mit  $8,13 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  den größten Vorrat an Phosphor. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode bleibt dieser Wert relativ konstant, so dass er im August bei  $8,99 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  liegt.

Im Vergleich dazu nimmt der Phosphor-Vorrat der Organischen Auflage auf der Probefläche Oase-Salix stark zu. Ausgehend von einem nahezu gleich hohen Vorrat von  $7,49 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Mai, steigt er bis zum August vor allem zwischen der zweiten und der dritten Messung auf das absolute Maximum aller ermittelten Phosphor-Vorräte von  $12,74 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

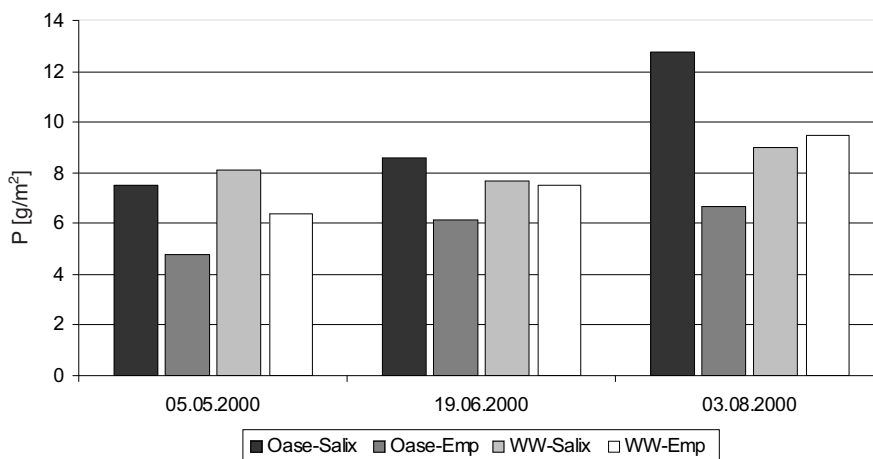


Abb. 12: Entwicklung der P-Vorräte in der Organischen Auflage im Untersuchungszeitraum 2000.

Die Organische Auflage der Untersuchungsfläche *WW-Empetrum* liefert im Mai einen Phosphor-Vorrat von  $6,38 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , der bis zum August nahezu linear auf  $9,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ansteigt. Der Phosphor-Vorrat ist damit zum Ende der Untersuchung höher als auf der neben ihr liegenden *Salix*-Fläche des Standortes WW. Der minimale Phosphor-Vorrat jeder Probenahme findet sich in der Organischen Auflage der Fläche *Oase-Empetrum*. Ausgehend vom absoluten Minimum mit  $4,75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  im Mai steigt der Vorrat bis zum August letztendlich auf  $6,66 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  an.

#### 4. Diskussion

Ziel dieser Untersuchung ist, anthropogene Einflüsse auf die Entwicklung und den Bestand von Ökosystemen in Dünentälern der Ostfriesischen Inseln zu erfassen. Dabei steht besonders der Einfluss der Grundwasserförderung im Vordergrund. Dies soll beispielhaft anhand der Erfassung quantitativer Basisdaten über Entwicklung und Mineralstoffvorräte der Biomasse und der Organischen Auflage von Heidegesellschaften gezeigt werden. Dafür ist eine umfangreiche Datenmenge zusammengestellt worden, die in dieser Abhandlung nur in Auszügen dargestellt werden kann. Eine ausführliche Behandlung der Grundwasserproblematik ist bei PETERSEN et al. (2003) veröffentlicht worden.

##### 4.1 Entwicklung der Trockenmasse der Biomasse

Die Stoffherzeugung durch die Pflanzendecke wird Bestandesstoffproduktion oder Primärproduktion (PP) genannt (LARCHER 1994). Sie ist abhängig von der Assimilationsleistung der Pflanzenarten, die in einer Pflanzengesellschaft leben. Pflanzliches Wachstum wird erst möglich, wenn die C-Assimilation die im Atmungsstoffwechsel wieder freigesetzte Kohlenstoffmenge übersteigt (FREY & LÖSCH 1998).

Die gesamte Kohlenstoffmenge, die im Verlauf eines Jahres durch die Vegetation assimiliert werden kann, wird als Bruttoprimärproduktion ( $PP_b$ ) bezeichnet. Ein Teil wird von den Primärproduzenten selbst verbraucht und geht als Bestandesatmung ( $\Sigma R$ ) verloren. Die Differenz zwischen der Bruttoprimärproduktion und der Bestandesatmung ergibt die Nettoprimärproduktion ( $PP_n$ ) (vgl. LARCHER 1994, BEGON et al. 1996).

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde ein zeitlich begrenzter Ausschnitt untersucht. Da zur Bestimmung der Nettoprimärproduktion der Untersuchungszeitraum üblicherweise ein Jahr beträgt, ist keine vollständige Produktionsbilanz erstellbar. Die angewandte Erntemethode genügt allein der Bestimmung der zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Biomasse (standing crop), wobei nach JANETSCHKE (1982) „die Biomasse als oberirdischer Trockensubstanzvorrat pro Oberflächeneinheit der genaueste Parameter zur Beschreibung der Mengenrelation in einer Pflanzengesellschaft ist“. Hiermit kann der Biomassezuwachs  $\Delta B$  in einem festgelegten Zeitraum berechnet werden.

Die Entwicklungen der Biomasse auf den *Salix*- bzw. *Empetrum*-Flächen zeigen vom Standort unabhängige Parallelen. So lässt sich für die beiden *Salix*-Flächen eine kontinuierliche Zunahme an Biomasse bis zum August feststellen, während die *Empetrum*-Flächen bereits im Juni ihr Maximum erreichen.

Hinsichtlich der Entwicklung von Biomasse und Mineralstoffvorräten von Küstenheiden wird in Tab. 5 zum Vergleich eine Zusammenstellung nach MUHLE et al. (1979) gegeben.

Tab. 5: Zusammenstellung von Vergleichsdaten für die Biomasse und die jährliche Produktion (aus MUHLE et al. 1979, verändert und ergänzt).

Autor	Jahr	Land	Alter	Biomasse g·m <sup>-2</sup>	Produktion g·m <sup>-2</sup>
ROBERTSON DAVIES	1965	England	2 15	324 2926	- -
CHAPMAN	1967	England	12 18	1400 1800	250 320
BARCLAY-ESTRUP	1970	England	6 9 17 24	889 1700 2305 1560	276 471 393 195
FORREST	1971	England	-	1030	360
TYLER et al.	1973	Schweden	15	920	310
CHAPMEN et al.	1975	England	1 - 50	140 - 2700	10 - 120
BONNEMANN	1975	Deutschland	6 6	590 636	549 117
RIECKMANN	1975	Deutschland	9 11	742 590	217 287
MUHLE et al.	1979	Deutschland	7,6 7,2 7,4 8,8	1117 727 854 771	523 91 112 181
SCHMIDT	1977	Österreich	-	799 - 1038	

Bei den untersuchten Probeflächen auf Norderney ist insgesamt ein recht hoher Bestand an Biomasse festzustellen. Dies wird durch einen Vergleich mit Werten zur Bioproduktion von *Empetrum*-Flächen auf Spiekeroog bestätigt. Hier hat MAI (1995) unter anderem Untersuchungen zur Biomasseentwicklung der von *Empetrum nigrum* besiedelten Probeflächen angestellt. Im Vergleich lassen sich auch hier deutlich höhere Trockenmassen für die untersuchten *Empetrum*-Flächen auf Norderney feststellen. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wird in Tab. 6. die Trockenmasse der Streu-Fraktion von dem Biomasse-trockengewicht abgezogen. Danach ergeben sich immer noch mehr als doppelt so hohe Werte für die Biomasse der in dieser Arbeit untersuchten *Empetrum*-Probeflächen.

Tab. 6: Vergleich der Biomasse der *Empetrum*-Flächen mit Untersuchungen von MAI (1995).

VORLIEGENDE ARBEIT (OHNE STREU)	MAI
Oase-Emp <sub>MAX</sub> : 2635,33 g·m <sup>-2</sup>	1137 g·m <sup>-2</sup>
WW-Emp <sub>MAX</sub> : 2151,22 g·m <sup>-2</sup>	1029 g·m <sup>-2</sup>

Unabhängig von der Pflanzengesellschaft lassen sich standortabhängige Entwicklungen beobachten. So wird am Standort Oase mehr Biomasse geerntet als am Standort WW. Dies zeigt sich unter anderem an der Differenz der maximalen Trockenmasse der Biomasse. Sie beträgt bei den *Empetrum*-Gesellschaften im Juni 516,67 g·m<sup>-2</sup>, bei den *Salix*-Gesellschaften im August 40,15 g·m<sup>-2</sup>.

Zu diesem Zeitpunkt zeigt die Entwicklung der Trockenmasse der einzelnen Fraktionen, dass die Differenz vor allem durch den Moos-, Gras-, und Streuanteil bewirkt wird. Die Holz-Fraktion weist zwar schon im Mai eine höhere Trockenmasse als am Standort WW auf, zeigt aber bis Juni einen doppelt so hohen relativen Zuwachs (+ 76,2 %) als auf der Probefläche WW-Salix (+ 37,2 %). Der Zuwachs, der anschließend bei der Biomasse der

Probefläche Oase-*Salix* bis Juni festgestellt werden konnte, betrifft alle Fraktionen. Es handelt sich im Übrigen um die höchste Biomassezunahme, die in dieser Untersuchung festgestellt worden ist. Offensichtlich ist die gesamte Produktion auf der Probefläche Oase-*Salix* zu Beginn der Untersuchung gehemmt. Als entscheidender Faktor ist hier das hoch anstehende Grundwasser zu nennen, zumal Teile der Untersuchungsfläche noch im Mai vom Wasser bedeckt waren.

Die Pflanzengesellschaften am Standort Oase weisen neben der höheren Biomasse auch eindeutig höhere Zuwächse auf. Sie sind mit  $940,66 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  für die *Salix*- und  $991,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  für die *Empetrum*-Gesellschaft mehr als doppelt so hoch als am Standort Wasserwerk (*Salix*:  $429,47 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , *Empetrum*:  $489,12 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Lediglich zwischen der zweiten und der dritten Probennahme nimmt die Biomasse auf den *Salix*-Flächen am Standort Wasserwerk stärker zu als an der Oase. Diese standortabhängigen Auffälligkeiten lassen vermuten, dass die Primärproduktion mit der Verfügbarkeit von Wasser korreliert ist. Wasserdefizit ist ganz eindeutig ein charakteristisches Kennzeichen von Biozönosen mit geringer Produktionsrate (BEGON et al. 1996). Die erste und sensibelste Reaktion auf Wassermangel ist eine Verlangsamung von Wachstumsvorgängen (LARCHER 1994).

Wasser wird den Pflanzen der Dünenstandorte auf zweierlei Weise bereitgestellt. Zum einen sorgen die Niederschläge für eine ständige Zufuhr von Süßwasser. Dieses kann an den Untersuchungsstandorten zum Teil von der dünnen Humusschicht der Böden gespeichert werden. Der im Untergrund anschließende Sand vermag dagegen kaum, Wasser dauerhaft zu binden. Zum anderen sorgt jedoch der hohe Grundwasserstand in den Dünentälern für eine gleichmäßige Versorgung mit Süßwasser.

Die Niederschläge im Jahr 2000 sind in den für den Untersuchungszeitraum relevanten Monaten im Mai geringfügig höher, anschließend etwas niedriger als üblich. Sie weisen keine signifikanten Abweichungen gegenüber den sonst vorherrschenden Niederschlagsmengen auf, so dass keine besondere Beeinflussung der Primärproduktion durch ungewöhnliche Nässe bzw. Trockenheit zu erwarten gewesen ist. Die Temperaturen sind zu Beginn der Untersuchung etwas wärmer, im Folgenden jedoch niedriger als sonst üblich. Eventuellen Auswirkungen durch die geringeren Niederschläge im Sommer stehen somit geringere Transpiration und Evaporation durch kühlere Temperaturen gegenüber.

Die relative Nähe der Standorte zueinander schließt zumindest große Unterschiede bezüglich der Niederschläge und Temperaturen aus. Inwieweit sich mikroklimatische Verhältnisse zwischen den beiden Standorten unterscheiden, wurde nicht untersucht. Es gibt aber keine Anhaltspunkte für große Abweichungen. Diese sind wohl eher bei einem Vergleich einer *Salix*- mit der *Empetrum*-Fläche desselben Standortes zu vermuten, da sich der dichte Bewuchs von *Empetrum nigrum* auf Faktoren wie z. B. Bodentemperatur, Lufttemperatur im Innern der Heidebestände auf Windgeschwindigkeiten und Evaporation auswirkt (vgl. LACHE 1976). Weil jedoch bei der Auswahl der Probeflächen auf vergleichbare Pflanzengesellschaften zwischen den Standorten geachtet worden ist, dürften diesbezüglich keine nennenswerten Unterschiede aufgetreten sein. So bleibt bei der Wasserverfügbarkeit der Grundwasserstand, der im Vergleich zum Standort Oase am Standort Wasserwerk während des ganzen Jahres niedriger gelegen hat, als einzig zu betrachtender Faktor übrig. Die Ergebnisse deuten demnach an, dass die Entnahme von Süßwasser im Bereich des Wasserwerkes die Hauptursache für den geringeren Biomassevorrat sowie die geringere Biomasseproduktion am Standort Wasserwerk ist. Unterstützt wird diese Annahme durch die Beobachtung, dass die Differenz zwischen den Biomassevorräten auf den *Empetrum*-Flächen größer ist als auf den *Salix*-Flächen. Dabei ist zu bedenken, dass die *Empetrum*-Flächen an beiden Standorten im Gelände etwas höher als die *Salix*-Flächen liegen. Daher könnte sich der niedrigere Grundwasserstand auf die *Empetrum*-Gesellschaft des Standortes WW stärker auswirken als auf die von *Salix repens* dominierte Pflanzengesellschaft.

Inwieweit der Standort Wasserwerk von dem umgebenden Birkenbuschwald beeinflusst wird, bleibt fraglich. Neben einem höheren Wasserverbrauch dieser Bestände ist auch eine Einflussnahme auf Licht und Temperatur möglich. Der Standort kann zudem Wasserdefizite durch eine erhöhte Transpiration der Bäume aufweisen, die zugleich aber auch vor Schädigungen durch Wind und erhöhte Evaporation schützen.

Zusammenfassend liefern die Messdaten über die Entwicklung der Biomassevorräte an den beiden Standorten Anhaltspunkte, die mit einer unterschiedlichen Wasserversorgung in Zusammenhang gebracht werden können. Diese müssen in weiteren Untersuchungen genauer geklärt werden.



Die Mineralstoffvorräte in der Biomasse sind unmittelbar von der Konzentration eines Elements in der Biomasse und der Trockenmasse der Biomasse abhängig. Das Mengenverhältnis der einzelnen Bioelemente kann je nach Pflanzenart und -familie sowie nach Organ und Alter unterschiedlich sein (LARCHER 1994). Da die Fraktionen der Biomasse nicht aus einer Pflanzenart allein bestanden haben, können unterschiedliche Mineralstoffgehalte der Vegetation auch auf sich entsprechenden Probeflächen der Standorte nicht ausgeschlossen werden. Sie sollten sich allerdings in einem engen Rahmen bewegen, da auf eine möglichst große Übereinstimmung der Vegetation bei der Probeflächenauswahl geachtet worden ist und diese besonders bei den *Empetrum*-Flächen auch gelungen ist. Die Abhängigkeit der Mineralstoffvorräte von den Biomasseerträgen zeigt sich in Form häufiger paralleler Entwicklungen. So haben die Mineralstoffvorräte auf den *Empetrum*-Flächen fast immer im Juni das Maximum erreicht. Aufgrund des geringen Bestandes, der auf der Probefläche Oase-*Salix* bei der ersten Probennahme geerntet worden ist, stellen wir hier auch minimale Mineralstoffvorräte fest.

Obwohl jedoch die *Empetrum*-Gesellschaften immer den eindeutig höheren Biomassevorrat aufwiesen, werden gelegentlich auf den *Salix*-Flächen größere Mineralstoffvorräte in der Biomasse festgestellt. So werden an beiden Standorten die maximalen Stickstoffvorräte in der im August geernteten Biomasse der *Salix*-Flächen ermittelt. Solche von den Biomassevorräten abweichenden Ergebnisse haben ihre Ursache in den Mineralstoffgehalten der Vegetation.

In der Regel haben sich für die Biomasse der *Salix*-Gesellschaften höhere Bioelementgehalte ergeben als für die der *Empetrum*-Gesellschaften. Dies kann hauptsächlich auf Differenzen im Mineralstoffgehalt zwischen den Holz- und den Blattfraktionen und somit auf Differenzen zwischen *Salix repens* und *Empetrum nigrum* zurückgeführt werden. Hier konnten zum einen häufig die höchsten absoluten Unterschiede ermittelt werden, zum anderen stellen diese beiden Fraktionen die größten Anteile an der Biomasse, so dass sich Differenzen in der Mineralstoffkonzentration stärker auf die Berechnung der entsprechenden Elementgehalte auswirken.

Ein Vergleich der gemessenen Mineralstoffgehalte mit denen der Phytomasse von Landpflanzen ergibt relativ niedrige Konzentrationen an Bioelementen (LARCHER 1994). Dies kann als Hinweis auf insgesamt eher nährstoffarme Bedingungen auf den Probeflächen angesehen werden.

Selbst ein Vergleich mit der Phytomasse von Heideflächen (GIMINGHAM 1975) belegt für die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Bestände relativ geringe Gehalte an Stickstoff.

Beim Vergleich der beiden Untersuchungsstandorte zeigen sich für die Vegetation des Standortes Wasserwerk grundsätzlich höhere Mineralstoffgehalte als am Standort Oase. Dies gilt sowohl für die *Salix*- als auch für die *Empetrum*-Gesellschaft.

Zusammenhänge mit der Süßwasserentnahme am Standort Wasserwerk sind möglich. Es ist denkbar, dass der Wassergehalt in den Geweben niedriger gewesen war und daher die Konzentrationen an Mineralstoffen zugenommen haben, ohne dass mehr Nährstoffe aufgenommen worden sind.

### 4.3 Organische Auflage

#### 4.3.1 Die Trockenmasse der Organischen Auflage:

Die Organische Auflage besteht zum größten Teil aus der Rohhumusauflage. Sie nimmt im Laufe der Jahre zu, da zunächst mehr organisches Material akkumuliert als abgebaut wird (GIMINGHAM 1975, BERENDSE 1990). Ausgangsstoffe der Organischen Auflage sind:

- die durch die Photosynthese produzierte oberirdische Biomasse, die nach dem Absterben als Streu auf den Boden fällt (Blätter, Zweige, Früchte),
- abgestorbene Wurzeln,
- organische Ausscheidungsprodukte der Wurzeln und Mikroorganismen,
- Mikroorganismen und abgestorbenen Bodentiere (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998).



Ein weiterer Eintrag ist durch Ausscheidungen der Kaninchen gegeben, die lokal sehr ausgeprägt vorkommen können.

Die Organische Auflage weist sehr unterschiedliche Entwicklungen auf. Es lassen sich weder Gemeinsamkeiten zwischen den Untersuchungsstandorten noch zwischen den jeweiligen Pflanzengesellschaften erkennen (Tab. 7).

Tab. 7: Vergleich der Entwicklung der Organischen Auflage auf den Probeflächen (Angaben in g·m<sup>-2</sup>).

	MIN. (Mai)	MAX. (August)	ZUWACHS
Oase-Salix	5756,19	8508,76	2752,57
WW-Salix	3631,24	5509,62	1878,38
Oase-Emp	3656,86	5544,21	1887,35
WW-Emp	4342,76	8108,49	3765,73

Einzig die Tatsache, dass die Organische Auflage auf allen vier Probeflächen kontinuierlich zunimmt, ist festzuhalten. Gründe sind vermutlich der Übergang von Streu-Material in die Organische Auflage und eine Vergrößerung der Wurzelmasse im Laufe der Vegetationsperiode. Dabei sind übereinstimmend für die *Empetrum*-Flächen zwischen Mai und Juni, für die *Salix*-Flächen dagegen zwischen Juni und August die höchsten Zunahmen an Organischer Auflage zu beobachten. Ansonsten zeigen ungewöhnlicherweise die Probeflächen Oase-*Empetrum* und WW-*Salix* sowie zumindest in Bezug auf die Größenordnung auch Oase-*Salix* und WW-*Empetrum* weitgehend ähnliche Entwicklungen.

Der hohe Anfangswert auf der Probefläche Oase-*Salix* könnte in Zusammenhang mit dem hoch anstehenden Grundwasser stehen, das im Frühjahr einen Abbau der Organischen Substanz gehemmt haben dürfte. Dies wird durch die gemessene Mächtigkeit der Organischen Auflage bestätigt. Für die *Empetrum*-Flächen wurden annähernd gleich dicke Organische Auflagen ermittelt, so dass es noch andere Gründe für die große Differenz zwischen den Trockenmassen der Organischen Auflage geben muss. Eine Möglichkeit wäre die Ausbildung eines umfangreicheren Wurzelsystems am Standort Wasserwerk, das infolge eines Wasserdefizits entstanden sein könnte. Dies würde auch eine weitere Erklärung für die geringere Biomasseproduktion bieten. Ob dadurch allerdings eine derartige Differenz zwischen den Standorten erreicht werden kann, bleibt fraglich. Somit zeigen sich auch bei der Organischen Auflage Hinweise auf eine Beeinflussung durch die Wasserförderung. Sie sind aber nicht so zwingend wie bei der Betrachtung der Biomasse. Intensivere Untersuchungen, z. B. des Wurzelsystems auf den *Empetrum*-Flächen, sind wünschenswert.

#### 4.3.2 Die Entwicklung der Mineralstoffvorräte in der Organischen Auflage

Die Mineralstoffvorräte der Organischen Auflage sind, wie die der Biomasse auch, unmittelbar vom Gehalt der Mineralstoffe in der Organischen Auflage und der Trockenmasse abhängig. Die maximalen Vorräte waren auf der Untersuchungsfläche mit der größten Trockenmasse an Organischer Auflage korreliert. Die Mineralstoffvorräte werden auf den Probeflächen auch entscheidend von dem Gehalt der Bioelemente in der Organischen Auflage beeinflusst. Dies verdeutlicht die Probefläche WW-*Salix*. Hier lassen sich für die Organische Auflage die höchsten Konzentrationen an Stickstoff und Phosphor ermitteln. Dadurch erreicht der Vorrat der betreffenden Mineralstoffe in der Organischen Auflage dieser Fläche oft den Größenbereich ihrer benachbarten *Empetrum*-Fläche, obwohl hier ein ungleich größerer Vorrat an Organischer Auflage vorliegt.

Die Mineralstoffkonzentrationen stehen in engem Zusammenhang mit den Mineralstoffgehalten der Biomasse, da die Organische Auflage zum größten Teil aus ihr hervorgeht. Somit könnten die erhöhten Mineralstoffgehalte der Biomasse des Standortes Wasserwerk zumindest auf der *Salix*-Fläche zu den hohen Bioelementgehalten der Organischen Auflage am Standort Wasserwerk beigetragen haben.

Betrachtet man alle in dieser Arbeit gewonnenen Daten, so lassen sich trotz methodischer Probleme Hinweise finden, die eine anthropogene Beeinflussung durch die Wasserförderung wahrscheinlich machen.

## 5. Literatur

- ALLEN, S. E. (1989): Chemical analysis of ecological material. – Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- ARMBRÜSTER, N. & JANIESCH, P. (2003): Pflanzenökologie und Boden. – In: PETERSEN, J., POTT, R., JANIESCH, P. & WOLFF, J.: Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste. – Husum Verlag. p. 384
- BEGON, M.E., HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. (1996): Ökologie. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- BERENDSE, F. (1990): Organic matter accumulation and nitrogen mineralisation during secondary succession in heathland ecosystems. – *J. Ecol.* 78: 413 – 427.
- BRÖRING, U (1991): Die Heteropteren der Ostfriesischen Inseln. – Drosera '91, Beiheft 1, Oldenburg.
- DIEKEN, J. VAN (1970): Beiträge zur Flora Nordwestdeutschlands unter besonderer Berücksichtigung Ostfrieslands. – C.L. Mettcker & Söhne, Jever.
- DIERSEN, K. (1993): Binnenländische und küstengebundene Heiden im Vergleich. – *Ber. Reinhold-Tüxen-Ges.* 5: 183 – 197, Hannover.
- FREY, W. & LÖSCH, R. (1998): Lehrbuch der Geobotanik. – Fischer-Verlag, Stuttgart.
- GIMINGHAM, C.H. (1975): An Introduction to Heathland Ecology. – Oliver & Boyd, Edinburgh.
- HOBOHM, C. (1993): Die Vegetation von Norderney. – Arbeiten aus der Forschungsstelle Küste 12, Norderney.
- HÜPPE, J. (1993): Entwicklung der Tieflands-Heidegesellschaften Mitteleuropas in geobotanisch-vegetationsgeschichtlicher Sicht. – *Ber. Reinhold-Tüxen-Ges.* 5: 49-75, Hannover.
- JANETSCHKE, H. (1982): Ökologische Feldmethoden. – Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LACHE, D.-W. (1976): Umweltbedingungen von Binnendünen- und Heidegesellschaften im Nordwesten Mitteleuropas. – *Scripta Geobotanica* 11, Göttingen.
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen. – Eugen Ulmer, Stuttgart.
- MAI, C. (1995): Phytomasse-Entwicklung in einer Dünen-Chronosequenz auf Spiekeroog. – Diplomarbeit. FB 7 Biologie, C.v.O-Universität Oldenburg.
- MÜHL, M. (1994): Zum Einfluss des Wildkaninchens auf die Verbreitung von Krähenbeerheiden auf den Ostfriesischen Inseln. – *Ber. Reinhold-Tüxen-Ges.* 6: 165 – 177, Hannover.
- MUHLE, O., BONNEMANN, I. & RIECKMANN, P. (1979): Biomasse und Bioelementvorräte in Heide-Ökosystemen. – *Verh. Ges. Ökol.* 8: 287 – 294, Münster.
- PENON, F. (2001): Biomasseproduktion und Mineralstoffgehalte von Heiden der Tertiärdünen im Verlauf einer Vegetationsperiode. – Staatsarbeit. FB 7 Biologie, C.v.O-Universität Oldenburg.
- PERKINS, D.F., JONES, V., MILLAR, R. O. & NEEP, P. (1978): Primary Production, Mineral Nutrients and Litter Decompositions in the Grassland Ecosystem. – In HEAL, O.W. & PERKINS, D.F.: Production Ecology of British Moors and Montane Grasslands. – *Ecological Studies* 27. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- PETERSEN, J. (2000): Die Dünenalvegetation der Wattenmeer-Inseln in der südlichen Nordsee. Eine pflanzensoziologische und ökologische Vergleichsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzung und Naturschutz. – Husum Verlag. p. 336.
- PETERSEN, J., POTT, R., JANIESCH, P. & WOLFF, J. (2003): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste. – Husum Verlag. p. 384.
- POTT, R. (1995a): Farbatlas Nordseeküste und Nordseeinseln. – Ulmer, Stuttgart.
- POTT, R. (1995b): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. – Ulmer, Stuttgart.
- RINGER, C. (1994): Birkenbuschwälder und ihre Kontaktgesellschaften auf den Ostfriesischen Inseln Borkum und Norderney unter vorwiegend synsystematischen und syntaxonomischen Gesichtspunkten. – *Drosera '94*: 125-137.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. – Enke-Verlag, Stuttgart.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Peter Janiesch, Focko Penon,  
AG Pflanzen- u. Renaturierungsökologie, Inst. f. Biologie u. Umweltwissenschaften,  
Fakultät der Universität, D-26111 Oldenburg  
(janiesch@uni-oldenburg.de)