



Lehr- und Forschungszentrum  
Landwirtschaft  
[www.raumberg-gumpenstein.at](http://www.raumberg-gumpenstein.at)

**Universität für Bodenkultur Wien**

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau

**Bewertung der Niedermoore im Steirischen Salzkammergut  
hinsichtlich ihres Nährstoffzustandes und  
Eutrophierungsrisikos und Möglichkeiten der  
Beeinflussung durch landwirtschaftliche Maßnahmen**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Ingenieurin  
an der Universität für Bodenkultur Wien

Eingereicht von  
**Romana Berger, BSc**

Studienrichtung Nutzpflanzenwissenschaften

Betreuer: Bohner Andreas, Mag. Dr.  
Liebhard Peter, Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.

Wien, April 2015

# Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt insbesondere Herrn Mag. Dr. Andreas Bohner (Abteilung Umweltökologie, HBLFA Raumberg-Gumpenstein) für die kompetente Betreuung der Masterarbeit sowie für die kollegiale Zusammenarbeit und die stetige Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit. Die Daten für die Erstellung der Masterarbeit wurden aus einem internen Projekt des Lehr- und Forschungszentrums Raumberg-Gumpenstein zur Verfügung gestellt.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard (Department für Nutzpflanzenwissenschaften, BOKU) für die Hilfestellung während der Erstellung der Arbeit.

Ein besonderes Danke geht an Tobias, meine Eltern Gertrude und Leopold Berger, meine Geschwister, meine Freundinnen und Freunde für den Beistand und den Rückhalt während meiner Studienzeit.

## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt den Nährstoffzustand und das Eutrophierungsrisiko von Niedermooren im Steirischen Salzkammergut auf. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist einerseits zu beurteilen, ob die Bewertungskriterien des Eutrophierungsgrades mithilfe des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses (C/N) im obersten Bodenhorizont nach SUCCOW und STEGMANN (2001) auch auf die Niedermoore im Steirischen Salzkammergut zutreffen. Andererseits soll geklärt werden, durch welchen Pflanzennährstoff das Pflanzenwachstum der Niedermoore im Steirischen Salzkammergut limitiert wird. Die objektive Beurteilung des Nährstoffzustandes sowie des Eutrophierungsrisikos der Niedermoore ist die Voraussetzung, um landwirtschaftliche Maßnahmen für die Erhaltung der typischen Moorvegetation und Artenvielfalt zu entwickeln.

Die Untersuchungen wurden im moorreichen Steirischen Salzkammergut, Österreich, durchgeführt. Bei den untersuchten Niedermooren handelt es sich um Kalkflachmoore, die mit den Pflanzengesellschaften *Caricetum davallianae* (Davallseggengesellschaft) und *Schoenetum ferruginei* (Gesellschaft der Rostroten Kopfbirse) besiedelt sind. Im Untersuchungsgebiet wurden 79 Bodenproben zur Bewertung der Nährstoffversorgung im Boden gezogen und im Labor analysiert. An allen Beprobungsstandorten erfolgten vegetationskundliche Aufnahmen nach BRAUN-BLANQUET (1951). Zusätzlich wurden 45 Proben von Gefäßpflanzen und 27 Proben von Moosen bezüglich der Elementkonzentration und der Inhaltsstoffe analysiert. Die Daten wurden statistisch verrechnet.

Die Analysenergebnisse der Bodenproben zeigen, dass die C/N-Bewertungskriterien nach SUCCOW und STEGMANN (2001) für die Beurteilung des Eutrophierungsgrades von österreichischen Kalkflachmooren nicht geeignet sind. Die gefundenen C/N-Verhältniswerte in den Bodenproben von etwa 17 weisen nicht auf eutrophe Moorstandorte hin, da sämtliche Untersuchungsstandorte typische Pflanzengesellschaften für ungestörte Niedermoore aufweisen. Zur Beurteilung des limitierenden Nährstoffes wurden das Phosphor-Stickstoff-Verhältnis nach WASSEN et al. (1995) sowie das Stickstoff-Phosphor-Verhältnis nach KOERSELMAN und MEULEMAN (1996) als Indikatoren herangezogen. Aufgrund der Analysen der Gefäßpflanzen ist anzunehmen, dass Phosphor der primär limitierende Nährstoff in den untersuchten Kalkflachmooren ist. Daher ist der Eintrag von Phosphor in Niedermoorökosysteme zu vermeiden, wenn die bestehenden typischen Pflanzengesellschaften ungestörter Niedermoore im aktuellen Zustand erhalten werden sollen. Der Futterwert der untersuchten Moorgefäßpflanzen war sehr gering. Daraus folgt, dass naturnahe Niedermoore nur als Streuwiesen genutzt werden können.

## Abstract

In the present study, the nutritional status and the risk of eutrophication of fens in the Styrian Salzkammergut in Austria was investigated. The aim of this work was on the one hand to find out whether the evaluation criteria for assessing the level of eutrophication using the carbon-nitrogen ratio (C/N) in the uppermost soil horizon after SUCCOW and STEGMANN (2001) also applies to the calcareous fens in the Styrian Salzkammergut. On the other hand, was investigated which plant nutrient primary limits plant production in calcareous fens. The evaluation of nutritional status and the risk of eutrophication of fens is important to develop agricultural measures for conservation of typical fen vegetation and biodiversity.

The study area was the Styrian Salzkammergut in Austria. The studied fens were calcareous fens covered by the plant communities *Caricetum davallianae* and *Schoenetum ferruginei*. In the study area, a total of 79 soil samples were taken to assess the nutritional status in the soil. At all sampling sites vegetation surveys were made according to the method of BRAUN-BLANQUET (1951). In addition, 45 samples of vascular plants and 27 samples of bryophytes were analyzed in respect of mineral element concentrations and forage quality parameters. The data were statistically analyzed using correlation analysis.

The results of this study show that the C/N criteria are not suitable for the evaluation of the level of eutrophication of calcareous fens in the study area. C/N ratios in the soil samples around 17 do not indicate eutrophic fens, as all study sites have typical plant communities for undisturbed fens. The phosphorus-nitrogen ratio after WASSEN et al. (1995) and the nitrogen-phosphorus ratio after KOERSELMAN and MEULEMAN (1996) in the plant material were used as indicators to assess the limiting nutrient. Based on the analysis of vascular plants, phosphorus seems to be the primary limiting nutrient in the studied calcareous fens. Therefore, the discharge of phosphorus in fen ecosystems must be avoided if the existing plant community typical of undisturbed fens should be obtained. The feeding value of the examined vegetation was very low. It follows that undrained fens can only be used as litter meadows.

**ERFOLG HAT  
DREI BUCHSTABEN:**

**TUN**

*Goethe*

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	II
Kurzfassung .....	III
Abstract.....	IV
<b>1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Einleitung.....	1
1.2. Problemstellung.....	1
1.3. Zielsetzung .....	2
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>4</b>
2.1. Untersuchungsgebiet.....	4
2.2. Untersuchungsflächen .....	5
2.3. Methoden.....	6
2.4. Niedermoor-Pflanzengesellschaften .....	8
2.5. Statistische Analysen.....	8
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>9</b>
3.1. Niedermoor-Pflanzengesellschaften im Steirischen Salzkammergut.....	9
3.2. Pflanzenartenvielfalt .....	9
3.3. Nährstoffkonzentrationen im Pflanzenmaterial.....	10
3.4. Analysenergebnisse der Bodenproben .....	15
3.5. Ergebnisse der Korrelationsanalysen.....	19
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>29</b>
4.1. Aktuelle Nährstoffsituation der Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut ..	29
4.2. Bewertung der Nährstoffkonzentrationen im Pflanzenmaterial .....	34
4.3. Beurteilung der Korrelationsanalysen auf die Zusammenhänge der Nährstoffkonzentrationen.....	39
<b>5. Schlussfolgerungen.....</b>	<b>41</b>
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>42</b>
Literaturverzeichnis .....	44
Abbildungsverzeichnis.....	48
Tabellenverzeichnis .....	48

# 1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

## 1.1. Einleitung

Moore stellen weltweit eine für den Menschen vielfältig nutzbare und für den Stoffhaushalt bedeutsame Ressource dar. Eine wachsende Bedeutung haben Moore einerseits für die land- und forstwirtschaftliche Flächennutzung, Rohstoff- und Wasserwirtschaft, andererseits für den Ressourcenschutz, Umweltschutz und Naturschutz sowie für ur- und frühgeschichtliche Fragestellungen. Die Moorlandschaften werden weltweit durch fortschreitende Entwässerung und Torfabbau massiv bedroht (SUCCOW, 2001a). Tiefgreifende Entwässerungen führen zur Degradierung der Moorstandorte, zum Erlöschen als Zentren der Biodiversität, zu gravierenden Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt, zu unbeherrschbaren Stoffströmen und damit zu Umweltbelastungen (SUCCOW, 2001b).

Moore lassen sich allgemein als wassergesättigte, vegetationsbedeckte Landschaften, in denen Torf akkumuliert wird, umschreiben (JOOSTEN und SUCCOW, 2001). Das abgestorbene Pflanzenmaterial wird aufgrund von Sauerstoffmangel und anderen Faktoren nur wenig zersetzt, humifiziert und als Torf abgelagert. Torfanreicherung findet unter der Voraussetzung eines Wasserüberschusses am Standort statt, wenn intakte Moore mehr organische Substanz produzieren, als abgebaut wird. Moore sind Ökosysteme mit einer langfristigen positiven Stoffbilanz (KOPPISCH, 2001c). Während Hochmoore nur aus der Atmosphäre Wasser und Nährstoffe erhalten, werden Niedermoore zusätzlich von Grund- und Oberflächenwasser gespeist (JOOSTEN und SUCCOW, 2001).

Die Nährstoffversorgung der Moorpflanzen lässt sich anhand von mehreren chemischen Gradienten charakterisieren. Dazu zählen vor allem die Versorgung mit Stickstoff und Phosphor, der pH-Wert, der Elektrolytgehalt des Moorwassers, die Basensättigung und die Kalium- und Kalzium-Versorgung (WASSEN und JOOSTEN, 1996, OKLAND et al., 2001, HAJEK et al., 2006).

## 1.2. Problemstellung

Etwa drei Prozent der Landfläche der Erde sind von Mooren bedeckt. Mitteleuropa gehört mit fünf Prozent der Fläche zu den relativ moorreichen Gebieten (JOOSTEN und SUCCOW, 2001, DIERSSEN und DIERSSEN, 2001). Die mitteleuropäischen Moore sind physiognomisch und floristisch außergewöhnlich mannigfaltig (ELLENBERG und LEUSCHNER, 2010). In Österreich gibt es von der ehemaligen 3000 km<sup>2</sup> großen Moorfläche nur noch 300 km<sup>2</sup>. Der Großteil der Moore wurde entwässert, um landwirtschaftliche Nutzfläche zu gewinnen oder um Torf abzubauen (JOOSTEN und COUWENBERG, 2001).

Menschen beeinflussen Moore nicht nur direkt durch deren unmittelbare Nutzung, sondern auch indirekt. Anthropogene Stoffeinträge über die Luft oder mittels Grund- und Oberflächenwasser verändern die Zusammensetzung der Vegetation und die Eigenschaften der Torfe. Es besteht die Gefahr einer „schleichenden Eutrophierung“ vieler Moorstandorte

(JASNOWSKI, 1972). In Mitteleuropa gibt es aufgrund der durch menschliche Aktivität verursachten Stoffeinträge keine unbeeinflussten Moorstandsorte (KOWARIK, 1988). In den letzten Jahrzehnten nahm auf allen Pfaden die Nährstofffracht, die in Moore gelangt, in Mitteleuropa deutlich zu. Während lebende Moore Senken für Kohlenstoff und Nährstoffe sind, entwickeln sich entwässerte und degradierte Moore zu Quellen von Kohlenstoff und Nährstoffen. Lebende Moore haben eine bedeutende Rolle bei der globalen Klimaregulierung. Eine Gesamtbilanzierung der globalen Kohlen- und Nährstoffgehalte kann nur durch Schätzwerte erfolgen, daher sind eindeutige Prognosen zur Klimawirksamkeit von Mooren kaum möglich. Im Naturschutz ist eine Bewertung der Moorstandorte notwendig. Es werden Bewertungskriterien benötigt, um den Zustand eines Ökosystems und um die Gefahr von negativen Veränderungen abschätzen zu können. Dazu wurden bisher auch in Österreich die Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis-Bewertungskriterien nach SUCCOW und STEGMANN (2001) verwendet. Da diese Bewertungskriterien in einem anderen Naturraum entwickelt wurden, ist deren Gültigkeit für Mitteleuropa umstritten (DIERSSEN und DIERSSEN, 2001).

### 1.3. Zielsetzung

Die nördliche Obersteiermark ist ein moorreiches Gebiet und besitzt große Moorkomplexe. Der starke Einfluss der eiszeitlichen Vergletscherung in diesem Gebiet sowie hohe jährliche Niederschlagsmengen begünstigten die Moorbildung (MATZ und GEPP, 2008). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Nährstoffzustand von Niedermooren im Steirischen Salzkammergut. Untersucht wurden die Nährstoffkonzentrationen im Boden, also im Torf, sowie in den Moosen und Gefäßpflanzen. Unter Gefäßpflanzen versteht man höhere Pflanzen, die für den Stofftransport Leitbündel besitzen. SUCCOW und STEGMANN (2001) beschreiben die trophischen Verhältnisse (=Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen) eines Moorstandortes mithilfe des Verhältnisses der Kohlenstoffkonzentration zur Stickstoffkonzentration (C/N) im obersten Bodenhorizont aufgrund von Studien in norddeutschen Mooren. Es werden acht Trophiestufen unterschieden, die zu den vier Trophiegruppen oligotroph, mesotroph, eutroph und polytroph zusammengefasst werden. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war zu beurteilen, ob diese Bewertungskriterien zur Nährstoffversorgung auch auf die Niedermoore im Steirischen Salzkammergut zutreffen.

Des Weiteren wurde untersucht, durch welchen Pflanzennährstoff die pflanzliche Produktion limitiert wird. In Düngungsexperimenten haben KOERSELMAN und MEULEMAN (1996) gezeigt, dass Stickstoff neben Phosphor das Pflanzenwachstum in Mooren am häufigsten einschränkt. Sie stellten fest, dass das Massenverhältnis von Stickstoff zu Phosphor (N/P) im Pflanzengewebe ein Indikator für den limitierenden Nährstoff darstellt. Daher wurden die Nährstoffkonzentrationen in der Biomasse der Moose und Gefäßpflanzen analysiert.

Etwas mehr als die Hälfte der untersuchten Niedermoore im Steirischen Salzkammergut wird nicht bewirtschaftet. Rund je ein Viertel der Untersuchungsflächen wird landwirtschaftlich extensiv als Hutweide bzw. als einschnittige Mähwiese genutzt. Durch Vergleich der landwirtschaftlichen Maßnahmen kann eine Bewertung der landwirtschaftlichen Nutzung und

des Eutrophierungsrisikos erfolgen. Mit der Kenntnis über den Nährstoffzustand der Niedermoore im Steierischen Salzkammergut kann auch eine Einschätzung über deren Eutrophierungsrisiko erfolgen. Im Weiteren werden Möglichkeiten der Beeinflussung durch landwirtschaftliche Maßnahmen aufgezeigt.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Untersuchungsgebiet

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Niedermoore liegen zum überwiegenden Teil im Steirischen Salzkammergut, im nahen Umkreis von Bad Mitterndorf (Steiermark, Österreich). Einige wenige Proben stammen aus dem nahe gelegenen Steirischen Ennstal (Wörschach). Auch die Proben aus dem Steirischen Ennstal sind inkludiert, wenn nachfolgend Proben aus dem Untersuchungsgebiet Steirisches Salzkammergut angeführt sind. Im langjährigen Mittel (1971-2000) liegt in Bad Mitterndorf die Juli-Temperatur bei 15.7 °C, die Jänner-Temperatur bei -4.2 °C und die Jahresmittel-Temperatur bei 5.9 °C (Abb. 1). Der Jahresniederschlag erreicht im Durchschnitt 1222 mm. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis Oktober) fallen etwa 65% des Jahresniederschlags. Der Juli ist im langjährigen Mittel der niederschlagsreichste Monat, im Februar fallen die geringsten Niederschlagsmengen (Tab. 1). Eine Schneedecke gibt es im langjährigen Mittel 127 Tage im Jahr. Im Untersuchungsgebiet herrscht ein relativ winterkaltes, sommerkühles, niederschlags- und schneereiches, ozeanisch beeinflusstes Klima vor.

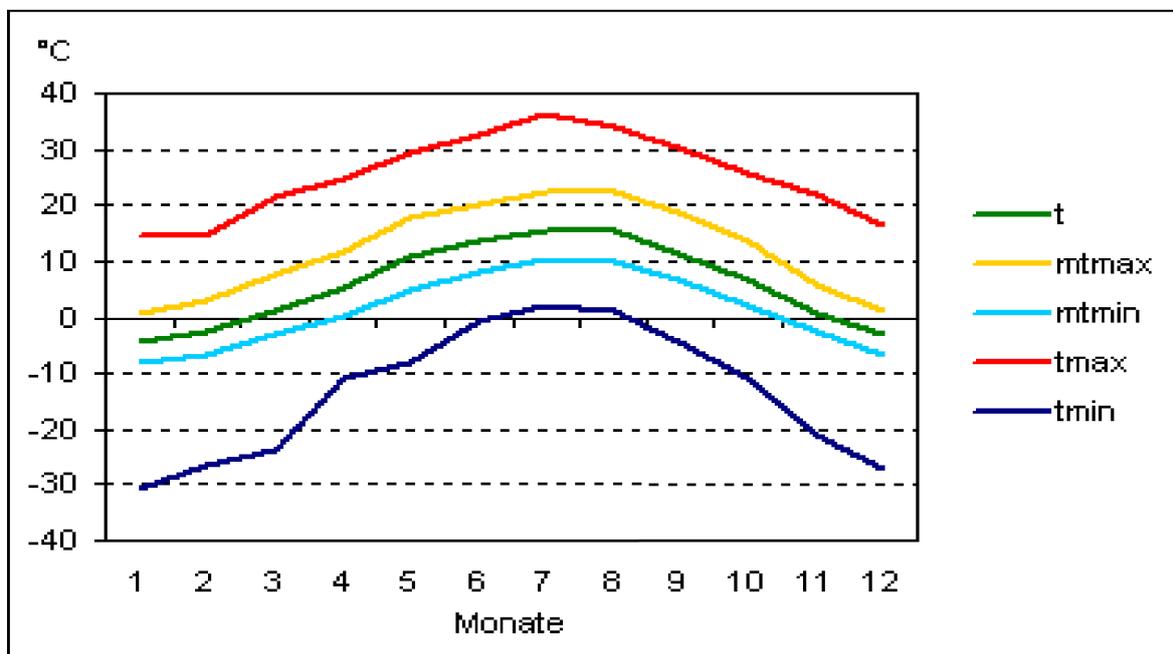


Abbildung 1: Monatsmittel der Lufttemperatur (in °C) in den Jahren 1971-2000 an der Messstation Bad Mitterndorf (803 m Seehöhe); t = Tagesmittel, mtmax = Mittel aller tägl. Maxima, mtmin = Mittel aller tägl. Minima, tmax = absolutes Maximum, tmin = absolutes Minimum; ZAMG (2002)

Für die Vegetation sind vor allem die Temperatur und die Länge der Vegetationsperiode die begrenzenden Wachstumsfaktoren. Das kühle, niederschlagsreiche Klima und die relativ kurze Vegetationsperiode begünstigen die Grünlandwirtschaft mit Viehhaltung. Dauergrünland und Wald prägen das Landschaftsbild im Steirischen Salzkammergut, Ackerflächen fehlen. Fichten-Tannen-Buchenwälder bilden in der montanen Höhenstufe die Klimaxvegetation (KILIAN et al., 1994).

Tabelle 1: Monats- und Jahressumme der Niederschläge (in mm) in den Jahren 1971-2000 an der Messstation Bad Mitterndorf (803 m Seehöhe); ZAMG (2002)

Monate												Jahres- summe	Summe IV-IX
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
92	62	86	74	96	147	168	132	102	74	89	101	1222	719

127 Tage mit Schneebedeckung

Die Seensenke des Salzkammerguts erstreckt sich von Goisern aus über die Pötschenhöhe (993 m) in das Beckengebiet um Bad Aussee. Das Becken von Mitterndorf (um 850 bis 800 m) ist über die Talwasserscheide zwischen der Traun und der Salza an das Ennstal bei Irdning angeschlossen. Es liegt in einem Ausraum, in einer annähernd westöstlich streichenden Mulde, aus der nach Norden die Dachsteinkalke des Toten Gebirges, nach Süden die Dachsteinkalke des Grimmings heraustauschen. Die Beckensohle ist mit pleistozänen Moränen und Schottern bedeckt (DONGUS, 2003).

Der Großteil der Moore im Steirischen Salzkammergut ist in ihrer Entstehung auf die Eiszeit zurückzuführen. Während der Würm-Eiszeit schob sich ein Zweig des Ennsgletschers von Trautenfels nordwärts in die Bad Mitterndorfer Senke vor. Die Bad Mitterndorfer Senke ist ein von Moränen-Serien geformtes Becken (MATZ und GEPP, 2008). Ennstaleis besetzte ostwärts des Tennengebirges zusammen mit einem Teil des Dachsteingletschers das Salzkammergut. Über dem Salzkammergut erreichte die Gletscheroberkante noch 1500 m (DONGUS, 2003). Durch Gletscher entstanden mehrere flache Mulden, in denen sich Seen bildeten. Das war die Ausgangsbasis für die Bildung von zahlreichen Mooren, die zum Teil durch Verlandung der Seen entstanden (MATZ und GEPP, 2008).

Geologisch wird das Steirische Salzkammergut den Nördlichen Kalkalpen zugeordnet. Die Nördlichen Kalkalpen sind ein größerer Komplex von ostalpinen Decken und liegen nördlich des Tauernfensters auf einem Kissen von penninischen Decken. Schon in der Kreidezeit wurden die Nördlichen Kalkalpen zu einem Deckenkomplex zusammengeschoben, wobei die Überschiebungen in westlicher Richtung stattfanden (PFIFFNER, 2009). Die Nördlichen Kalkalpen sind überwiegend Meeressedimente aus dem Erdmittelalter (Mesozoikum). Die wichtigsten Gesteinstypen sind Dachsteinkalk und Fleckenmergel (FLÜGEL und NEUBAUER, 1984).

Das Untersuchungsgebiet ist repräsentativ für Niedermoore mit ähnlicher Entstehungsgeschichte im Berggebiet, da es sich einerseits um eines der moorreichsten Gebiete in Österreich handelt. Andererseits sind die klimatischen, geologischen, geomorphologischen und lithologischen Bedingungen typisch für das Berggebiet.

## 2.2. Untersuchungsflächen

Die Seehöhe der Untersuchungsflächen liegt zwischen 640 und 1049 Meter. Der Großteil der Probenahmeflächen befindet sich am ebenen Talboden. Die übrigen Flächen sind in

Richtung SSO, W, SSW, NO, NNW, NW, WNW, S, N und SO mit einer Neigung von 1 bis 12 Grad exponiert. Alle Probenahme­flächen sind nach vegetations- und feldbodenkundlichen Kriterien weitgehend homogen. Der geologische Untergrund aller Untersuchungsflächen besteht aus Kalk.

Untersucht wurden fast ausschließlich Probenahme­flächen mit dem Bodentyp carbonathaltiges Niedermoor und der Humusform Niedermoor-Torf. Die Untersuchungsflächen werden der Wasserstufe nass zugerechnet. Nur drei Untersuchungsflächen werden dem Bodentyp Hanggley bzw. Gley zugeordnet. An diesen Standorten überwiegen die Bodenarten grusiger, lehmiger Sand und lehmiger Schluff und der Humus liegt in Form von Feucht-Mull vor. Diese drei Probenahme­flächen wurden der Wasserstufe mäßig nass zugeschrieben. In dieser Arbeit sind sämtliche Untersuchungsflächen im Ausdruck „Niedermoore im Steirischen Salzkammergut“ zusammengefasst. Die Bodengründigkeit beträgt an allen untersuchten Standorten mehr als 100 cm.

Die untersuchten Niedermoore wurden größtenteils nicht entwässert. Etwas mehr als die Hälfte der Probenahme­flächen wird nicht bewirtschaftet. Etwa ein Viertel der Untersuchungsflächen wird landwirtschaftlich extensiv als Hutweide genutzt. Die übrigen Probenahme­flächen werden jährlich einmal, im Sommer, gemäht, wobei das Erntegut abgeführt wird. Sämtliche Probenahme­flächen werden – ausgenommen der Kot- und Harnabgabe durch die weidenden Rinder – nicht gedüngt.

### 2.3. Methoden

Insgesamt wurden im Untersuchungsgebiet 79 Bodenproben zur Bewertung der Nährstoffversorgung im Boden gezogen. Die Bodenansprache erfolgte aus dem Bohrstock und durch Spatendiagnose. Die Bezeichnung der Humusformen und Bodentypen erfolgte nach NESTROY et al. (2000). Die Bodenart wurde mit der Fingerprobe bestimmt. Zur vegetationsökologischen Charakterisierung und zur Ermittlung der Nährstofffreisetzung der Niedermoore wurden Bodenanalysen durchgeführt. In Graslandökosystemen sind vor allem die Nährstoffgehalte im Oberboden entscheidend, denn in den obersten 10 cm befinden sich durchschnittlich 80 % der unterirdischen Phytomasse der Graslandpflanzen (BOHNER und HERNDL, 2011). Die Bodenproben für die Laboranalysen wurden daher aus dem T-Horizont bzw. A-Horizont (0 bis 10 cm Bodentiefe) gemäß ÖNORM L 1056 (Probennahme von Dauergrünland) in Form einer repräsentativen Mischprobe von den Untersuchungsflächen gezogen. Die Bodenproben wurden luftgetrocknet, homogenisiert und bei 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Analysemethoden richteten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0.01 M CaCl<sub>2</sub>-Lösung gemäß ÖNORM L 1083; organischer Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoff durch trockene Verbrennung mittels Elementaranalyse gemäß ÖNORM L 1080 und ÖNORM L 1095; Phosphor und Kalium mittels Calcium-Acetat-Lactat [CAL] – Methode gemäß ÖNORM L 1087; Phosphor im Wasserextrakt 1:20 gemäß ÖNORM L 1092; austauschbare mineralische Kationenbasen, Kationensäuren und effektive Kationenaustauschkapazität durch Extraktion mit einer 0.1 M BaCl<sub>2</sub>-Lösung gemäß ÖNORM

L 1086-1). Gesamt-Phosphor wurde nach Mikrowellenaufschluss mit Königswasser bestimmt. Der anorganische Phosphor wurde nach Extraktion mit 0.1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ermittelt. Der organische Phosphor wurde als Differenz aus Gesamt-Phosphor und anorganischem Phosphor errechnet. Die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) wurden nach ECKHARDT und LEINWEBER (1997) berechnet:

$$\text{PSC (in mmol/ kg)} = 0.5 \times (\text{Al}_{\text{ox}} + \text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Mn}_{\text{ox}})$$

$$\text{DPS (in \%)} = 100 \times \text{P}_{\text{ox}} \times \text{PSC}^{-1}.$$

Die Konzentrationen an oxalatlöslichem Phosphor, Aluminium, Eisen und Mangan (P<sub>ox</sub>, Al<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub>) wurden nach SCHWERTMANN (1964) ermittelt. Der Kernbereich der Untersuchungen lag auf den Phosphor-Fractionen, weil Phosphor einerseits hauptverantwortlich für die Eutrophierung von Grundwasser und Oberflächengewässer (SHARPLEY et al., 1994; KUMMERT und STUMM, 1992) und somit auch von Niedermooren ist. Andererseits ist Phosphor neben Stickstoff an vielen Niedermoorstandorten der limitierende Nährstoff für das Pflanzenwachstum (KOERSELMAN und MEULEMAN, 1996).

An allen Beprobungsflächen erfolgten vegetationskundliche Aufnahmen nach der Methode BRAUN-BLANQUET (1951). Zusätzlich wurden 45 Proben von Gefäßpflanzen und 27 Proben von Moosen analysiert. Zu den Gefäßpflanzen zählen Farn- und Samenpflanzen, die für den Assimilationstransport Leitbündel besitzen und in Wurzel, Sprossachse und Blätter gegliedert sind. Moose werden aufgrund einer anderen Organisationsstruktur einer eigenen Gruppe zugeordnet (BALTISBERGER et al., 2013). Zur Bestimmung des Trockenmasse-Gehalts und der Nährstoffkonzentrationen im Pflanzenmaterial wurden die Gefäßpflanzen von einer repräsentativen Fläche über der Bodenoberfläche abgeschnitten. Die Erntefläche betrug 3 x 1 m<sup>2</sup>. Die Probenahme erfolgte im September 2011. Die Moosproben wurden repräsentativ auf der gesamten Aufnahmefläche gesammelt. Für jeden beprobten Standort wurde so eine repräsentative Mischprobe erstellt. Die Moos- und Gefäßpflanzenproben wurden 48 Stunden bei 50 °C getrocknet. Nach der Vermahlung kam das Pflanzenmaterial erneut für 4 Stunden bei 105 °C in den Trockenschrank. Die Konzentrationen an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel im Pflanzenmaterial wurden mithilfe der CNS-Elementaranalyse ermittelt. Phosphor-, Kalzium-, Magnesium-, Kalium-, Eisen-, Mangan-, Zink- und Kupfer-Konzentrationen wurden nach dem Aufschluss mit Salzsäure mittels ICP-OES gemessen. Rohprotein, Rohfaser, Rohfett und Rohasche wurden nach den üblichen Methoden (ALVA, 1983) bestimmt.

Die vegetationskundlichen Aufnahmen wurden in der Hauptvegetationsperiode (Mai bis Juli 2009, 2010 bzw. 2011) jeweils auf einer Beprobungsfläche von 50 m<sup>2</sup> durchgeführt. Die Vegetationsaufnahmeflächen sind nach feldbodenkundlichen Kriterien weitgehend homogen und repräsentativ für den jeweiligen Pflanzenbestand. Die Aufnahme der Artmächtigkeit richtete sich nach der Methode BRAUN-BLANQUET (1951). Der Deckungsgrad wurde nach einer leicht abgeänderten Skala geschätzt. Die BRAUN-BLANQUET Klassen 1-5 wurden in drei Subklassen unterteilt: 1a = 1,0-1,9 % Deckung; 1 = 2,0-3,9 % Deckung; 1b = 4,0-5,0 %. Die Taxonomie und Nomenklatur der Gefäßpflanzen richteten sich nach FISCHER et al. (2008)

und die der Moose nach KÖCKINGER et al. (2008). Die einzelnen Vegetationsaufnahmen können bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden.

#### **2.4. Niedermoor-Pflanzengesellschaften**

Die untersuchten Pflanzenbestände werden dem Verband *Caricion davallianae* (Kleinseggengesellschaft basenreicher Niedermoore) und den Assoziationen *Caricetum davallianae* (Davallseggengesellschaft) und *Schoenetum ferruginei* (Gesellschaft der Rostroten Kopfbirse) zugeordnet. Der Verband *Caricion davallianae* tritt bis zur subalpinen Höhenstufe auf und enthält 11 Assoziationen. STEINER (1993) ordnet den Verband *Caricion davallianae* der Ordnung *Caricetalia davallianae* zu. Die Ordnung setzt sich aus den Pflanzengesellschaften baumfreier, basenreicher Niedermoore und Feuchtwiesen zusammen und kommt häufig im mitteleuropäischen Gebirge vor (STEINER, 1993). Die Grundeinheit der Pflanzengesellschaften ist die Assoziation. Eine Assoziation ist durch eine Kombination von bestimmten Arten definiert und zeigt eine bestimmte Kombination von Standortfaktoren an. Ähnliche Assoziationen werden zu Verbänden zusammengefasst und ähnliche Verbände zu Ordnungen (BALTISBERGER et al., 2013).

#### **2.5. Statistische Analysen**

Die Daten wurden statistisch mithilfe Microsoft Excel 2013 (Median, arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung, Variabilitätskoeffizient) und der Statistik Software SPSS Statistics 21 (Mann-Whitney-U-Test, Spearmans Rangkorrelationskoeffizient (SPEARMAN, 1910)) ausgewertet. Die Ergebnisse wurden als statistisch signifikant bezeichnet, wenn  $p > 0.05$  bzw.  $p > 0.01$ .

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Niedermoor-Pflanzengesellschaften im Steirischen Salzkammergut

Bei den vegetationskundlichen Aufnahmen wurden auf den Niedermooren im Steirischen Salzkammergut nur die Assoziationen *Caricetum davallianae* (Davallseggengesellschaft) und *Schoenetum ferruginei* (Gesellschaft der Rostroten Kopfbinse) gefunden. Die Kennart der Assoziation *Caricetum davallianae* (Davallseggengesellschaft) ist *Carex davalliana*. Als dominante und konstante Begleiter treten *Carex panicea*, *Molinia caerulea*, *Potentilla erecta*, *Briza media*, *Campylium stellatum*, *Carex flava*, *Drepanocladus revolvens*, *Equisetum palustre*, *Eriophorum latifolium*, *Juncus alpinoarticulatus*, *Leontodon hispidus*, *Parnassia palustris*, *Tofieldia calyculata* und *Valeriana dioica* auf. Das *Caricetum davallianae* ist die Moorpflanzengesellschaft, die in Mitteleuropa auf mesotroph-subneutralen bis kalkreichen Niedermoorstandorten in mittleren Lagen am häufigsten auftritt. Die Assoziation ist nach großen Moorflächenverlusten auf extensiv genutzte Streuwiesen mit ausreichender Wasserversorgung ausgewichen (STEINER, 1993).

Als Kennart der Assoziation *Schoenetum ferruginei* (Gesellschaft der Rostroten Kopfbinse) wird *Schoenus ferrugineus* angegeben. Als dominante und konstante Begleiter treten *Molinia caerulea*, *Campylium stellatum*, *Drepanocladus revolvens*, *Potentilla erecta*, *Equisetum palustre*, *Eriophorum latifolium*, *Parnassia palustris*, *Primula farinosa* und *Succisa pratensis* auf. Das *Schoenetum ferruginei* besiedelt subneutrale bis basenreiche Hangmoore, kann aber auch auf mäßig sauren Standorten von Verlandungsmooren wachsen. Häufig kommt diese Pflanzengesellschaft auch auf extensiv genutzten Streuwiesen als Ersatzstandort vor. In Übergangsbereichen können das *Schoenetum ferruginei* und das *Caricetum davallianae* gemeinsam auftreten. In höheren Lagen dominiert das *Caricetum davallianae* (STEINER, 1993).

Die erhobenen Pflanzenbestände waren typisch ausgebildete Pflanzengesellschaften. Es wurden keine deutlichen Anzeichen einer Störung oder Eutrophierung der Pflanzenbestände gefunden. Die dominierenden Moosarten in den untersuchten Niedermooren waren: *Tomentypnum nitens*, *Scorpidium cossonii*, *Campylium stellatum*, *Fissidens adianthoides*, *Calliergonella cuspidata*, *Philonotis calcarea*, *Bryum pseudotriguetrum* und *Aulacomnium palustre*.

### 3.2. Pflanzenartenvielfalt

Die  $\alpha$ -Diversität oder Artendichte ist ein Maß für die Pflanzenartenvielfalt. Die  $\alpha$ -Diversität (Anzahl an Gefäßpflanzen pro 50 m<sup>2</sup> Aufnahmefläche) ist in Tab. 2 angeführt. Die hohe Phytodiversität der beprobten Flächen drückt sich im Median, der bei 56 Gefäßpflanzenarten lag, aus.

Tabelle 2: Anzahl an Gefäßpflanzenarten pro 50 m<sup>2</sup> Aufnahme­fläche

<b>Diversität an Gefäßpflanzenarten (n= 79)</b>					
<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Median</b>	<b>MW</b>	<b>STABW</b>	<b>V%</b>
27	76	56	<b>53.9</b>	11.9	22.0

n = Anzahl der Stichproben; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; STABW = Standardabweichung; V% = Variabilitätskoeffizient

### 3.3. Nährstoffkonzentrationen im Pflanzenmaterial

In Tab. 3 sind die Analysenergebnisse der Gefäßpflanzen von den untersuchten Niedermooren angeführt. Die durchschnittliche Trockenmasse in den Gefäßpflanzen betrug 931 g/kg. Sehr starke Schwankungen zwischen den Stichproben ergaben sich bei den Natrium-, Mangan- und Eisenkonzentrationen sowie beim Trockenmasse-Gehalt in kg/ha. Der Trockenmasse-Ertrag lag zwischen 408 und 6580 kg/ha. Mittelhohe Schwankungen in den Gefäßpflanzen ergaben sich in der Magnesium-, Phosphor- und Schwefelkonzentration.

Tabelle 3: Nährstoffkonzentrationen und ausgewählte Inhaltsstoffe in den Gefäßpflanzen in g/kg bzw. mg/kg sowie Trockenmasse in g/kg und kg/ha

<b>Gefäßpflanzen (n=45)</b>						
	Min	Max	Median	MW	STABW	V%
<b>TM</b> g/kg	924.40	937.90	932.00	<b>931.27</b>	3.98	0.43
<b>RP</b> g/kg T	76.25	104.87	88.54	<b>89.11</b>	8.16	9.16
<b>RFA</b> g/kg T	276.53	354.49	306.44	<b>307.85</b>	20.83	6.77
<b>RFE</b> g/kg T	14.82	26.86	19.69	<b>19.25</b>	2.87	14.89
<b>Asche</b> g/kg T	36.51	90.93	53.32	<b>55.78</b>	12.80	22.94
<b>Ca</b> g/kg T	6.19	14.13	7.89	<b>8.45</b>	1.90	22.53
<b>Mg</b> g/kg T	1.08	3.30	1.58	<b>1.77</b>	0.53	30.08
<b>K</b> g/kg T	8.11	19.82	11.29	<b>11.34</b>	1.99	17.51
<b>P</b> g/kg T	0.48	1.44	0.71	<b>0.79</b>	0.23	29.75
<b>N</b> g/kg T	12.20	16.76	14.22	<b>14.25</b>	1.31	9.17
<b>C</b> g/kg T	456.57	525.57	478.01	<b>485.24</b>	18.37	3.79
<b>S</b> g/kg T	0.55	2.68	1.27	<b>1.38</b>	0.40	28.67
<b>Na</b> mg/kg T	16.21	238.76	53.62	<b>78.71</b>	56.77	72.13
<b>Zn</b> mg/kg T	24.98	57.74	34.89	<b>36.62</b>	7.41	20.23
<b>Mn</b> mg/kg T	30.05	323.36	101.27	<b>113.79</b>	61.13	53.72
<b>Cu</b> mg/kg T	1.95	4.73	3.21	<b>3.28</b>	0.74	22.65
<b>Fe</b> mg/kg T	80.61	811.51	151.22	<b>211.53</b>	161.94	76.56
<b>TM</b> kg/ha	406.80	6579.64	1609.32	<b>2308.88</b>	1596.50	6914.60

n = Anzahl der Stichproben; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; STABW = Standardabweichung; V% = Variabilitätskoeffizient; TM = Trockenmasse; RP = Rohprotein; RFA = Rohfaser; RFE = Rohfett; Asche = Aschegehalt; Ca = Kalzium; Mg = Magnesium; K = Kalium; P = Phosphor; N = Stickstoff; C = Kohlenstoff; S = Schwefel; Na = Natrium; Zn = Zink; Mn = Mangan; Cu = Kupfer; Fe = Eisen; g/kg T = g pro kg Trockenmasse; mg/kg T = mg pro kg Trockenmasse

Die Nährstoffkonzentrationen in den Gefäßpflanzen waren Basis für die Ermittlung der Nährstoffgehalte. Die Nährstoffgehalte in kg/ha sind in Tab. 4 angeführt. Auffallend sind die sehr hohen Variabilitätskoeffizienten, was auf die stark schwankenden Trockenmasse-Gehalte zurückzuführen ist.

Tabelle 4: Nährstoff- und Elementgehalte in kg/ha in den Gefäßpflanzen

<b>Gefäßpflanzen (n=45)</b>						
	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Median</b>	<b>MW</b>	<b>STABW</b>	<b>V%</b>
<b>TM</b> kg/ha	406.80	6579.64	1609.32	<b>2308.88</b>	1596.50	69.15
<b>RP</b> kg/ha	40.22	516.13	136.95	<b>197.67</b>	125.02	63.25
<b>RFA</b> kg/ha	116.59	2288.57	475.46	<b>733.60</b>	549.75	74.94
<b>RFE</b> kg/ha	9.26	127.46	28.67	<b>43.06</b>	28.88	67.08
<b>Asche</b> kg/ha	22.57	282.37	98.95	<b>117.13</b>	63.20	53.96
<b>Ca</b> kg/ha	3.45	57.00	13.03	<b>19.15</b>	13.20	68.93
<b>Mg</b> kg/ha	1.09	9.04	2.69	<b>3.65</b>	2.04	55.78
<b>K</b> kg/ha	5.37	57.77	17.55	<b>24.22</b>	13.54	55.89
<b>P</b> kg/ha	0.43	3.77	1.30	<b>1.61</b>	0.85	52.81
<b>N</b> kg/ha	6.42	82.88	21.86	<b>31.62</b>	20.00	63.24
<b>C</b> kg/ha	207.33	3286.26	743.91	<b>1130.83</b>	807.65	71.42
<b>S</b> kg/ha	0.45	7.69	2.32	<b>2.98</b>	1.87	62.54
<b>Na</b> kg/ha	0.03	0.94	0.11	<b>0.18</b>	0.19	105.97
<b>Zn</b> kg/ha	0.02	0.24	0.06	<b>0.09</b>	0.06	73.36
<b>Mn</b> kg/ha	0.06	0.48	0.18	<b>0.21</b>	0.10	49.13
<b>Cu</b> kg/ha	0.00	0.02	0.01	<b>0.01</b>	0.00	51.28
<b>Fe</b> kg/ha	0.04	1.32	0.40	<b>0.41</b>	0.27	65.55

n = Anzahl der Stichproben; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; STABW = Standardabweichung; V% = Variabilitätskoeffizient; TM = Trockenmasse; RP = Rohprotein; RFA = Rohfaser; RFE = Rohfett; Asche = Aschegehalt; Ca = Kalzium; Mg = Magnesium; K = Kalium; P = Phosphor; N = Stickstoff; C = Kohlenstoff; S = Schwefel; Na = Natrium; Zn = Zink; Mn = Mangan; Cu = Kupfer; Fe = Eisen

Zu der typischen Vegetation von Niedermooren zählen neben vielen Gefäßpflanzen auch zahlreiche Moosarten. An 27 Standorten wurden Proben von Moosen entnommen. Tab. 5 zeigt die Nährstoffkonzentrationen der analysierten Moosproben. Die durchschnittliche Trockenmasse in den Moosen lag bei 926 g/kg. Die Konzentrationen der Elemente Natrium, Mangan und Eisen wiesen eine hohe Variabilität auf.

Tabelle 5: Nährstoffkonzentrationen und ausgewählte Inhaltsstoffe in den Moosen in g/kg bzw. mg/kg sowie Trockenmasse in g/kg

<i>Moose (n=27)</i>						
	Min	Max	Median	MW	STABW	V%
<b>TM</b> g/kg	907.60	949.20	914.90	<b>925.73</b>	16.71	1.81
<b>Asche</b> g/kg T	43.48	83.87	64.32	<b>65.05</b>	10.42	16.02
<b>HCl-unl.A.</b> g/kg T	3.05	8.57	4.32	<b>5.02</b>	1.73	34.37
<b>Ca</b> g/kg T	9.90	23.99	17.36	<b>17.16</b>	3.40	19.83
<b>Mg</b> g/kg T	1.55	3.10	2.02	<b>2.12</b>	0.35	16.53
<b>K</b> g/kg T	5.59	8.77	7.33	<b>7.17</b>	0.82	11.44
<b>P</b> g/kg T	0.53	0.86	0.67	<b>0.68</b>	0.09	12.77
<b>N</b> g/kg T	10.88	14.94	11.99	<b>12.45</b>	1.44	11.60
<b>C</b> g/kg T	459.51	496.85	475.08	<b>475.68</b>	8.47	1.78
<b>S</b> g/kg T	1.01	2.02	1.30	<b>1.33</b>	0.25	0.25
<b>Na</b> mg/kg T	67.00	323.89	129.10	<b>146.24</b>	68.62	46.92
<b>Zn</b> mg/kg T	29.74	29.74	38.21	<b>38.27</b>	6.96	18.17
<b>Mn</b> mg/kg T	97.79	533.06	159.00	<b>193.39</b>	95.83	49.55
<b>Cu</b> mg/kg T	2.96	6.16	4.01	<b>4.01</b>	0.65	16.14
<b>Fe</b> mg/kg T	247.08	1662.27	568.87	<b>719.47</b>	395.82	55.02

n = Anzahl der Stichproben; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; STABW = Standardabweichung; V% = Variabilitätskoeffizient; TM = Trockenmasse; Asche = Aschegehalt; HCl-unl.A. = in Salzsäure unlösliche Asche; Ca = Kalzium; Mg = Magnesium; K = Kalium; P = Phosphor; N = Stickstoff; C = Kohlenstoff; S = Schwefel; Na = Natrium; Zn = Zink; Mn = Mangan; Cu = Kupfer; Fe = Eisen; g/kg T = g pro kg Trockenmasse; mg/kg T = mg pro kg Trockenmasse

Neben den absoluten Konzentrationswerten sind auch die Verhältnisse der einzelnen Nährstoffe zueinander für die Abschätzung des Versorgungszustandes relevant. In Tab. 6 sind ausgewählte Nährstoffverhältnisse in den Gefäßpflanzen und in den Moosen angeführt. Das durchschnittliche C/N-Verhältnis in den Gefäßpflanzen lag bei 34, in den Moosen war es mit 39 weiter. Das P/N-Verhältnis war im Durchschnitt in den Moosen und in den Gefäßpflanzen mit 0.055 gleich hoch.

Tabelle 6: Nährstoffverhältnisse in den Gefäßpflanzen (n=45) und in den Moosen (n=27)

	Min		Max		Median		MW		V%	
	Gefäß- pflanzen	Moose	Gefäß- pflanzen	Moose	Gefäß- pflanzen	Moose	Gefäß- pflanzen	Moose	Gefäß- pflanzen	Moose
<b>C:N</b>	28.8	31.9	41.0	43.3	34.2	39.9	<b>34.3</b>	<b>38.7</b>	10.0	10.8
<b>N:S</b>	6.2	5.4	27.1	11.3	10.9	9.7	<b>11.0</b>	<b>9.6</b>	28.4	13.7
<b>N:P</b>	11.3	14.0	26.8	26.3	19.0	17.9	<b>19.2</b>	<b>18.6</b>	20.6	16.7
<b>P:N</b>	0.037	0.038	0.088	0.072	0.053	0.072	<b>0.055</b>	<b>0.055</b>	22.7	15.3
<b>N:Ca</b>	1.1	0.5	2.7	1.4	1.7	0.7	<b>1.7</b>	<b>0.8</b>	19.6	26.5
<b>N:Mg</b>	5.0	3.5	12.5	8.2	8.9	6.0	<b>8.5</b>	<b>6.0</b>	20.5	19.1
<b>N:K</b>	0.8	1.4	1.6	2.6	1.3	1.6	<b>1.3</b>	<b>1.8</b>	11.5	20.7
<b>N:Na</b>	54.5	39.0	773.3	223.0	252.1	89.9	<b>260.7</b>	<b>101.9</b>	55.5	44.8
<b>N:Mn</b>	50.3	20.4	413.7	119.6	130.4	72.5	<b>158.4</b>	<b>74.7</b>	49.4	32.5
<b>N:Fe</b>	18.3	7.6	200.0	45.9	90.4	20.2	<b>97.2</b>	<b>22.6</b>	51.1	50.2
<b>N:Cu</b>	3363.6	1948.3	7315.8	4592.6	4411.8	3290.3	<b>4505.7</b>	<b>3182.0</b>	18.5	20.3
<b>N:Zn</b>	226.1	258.5	570.8	379.4	402.3	334.3	<b>401.4</b>	<b>329.5</b>	17.8	9.7

n = Anzahl der Stichproben; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; V% = Variabilitätskoeffizient; C:N = Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis; N:S = Stickstoff-Schwefel-Verhältnis; N:P = Stickstoff-Phosphor-Verhältnis; P:N = Phosphor-Stickstoff-Verhältnis; N:Ca = Stickstoff-Kalzium-Verhältnis; N:Mg = Stickstoff-Magnesium-Verhältnis; N:K = Stickstoff-Kalium-Verhältnis; N:Na = Stickstoff-Natrium-Verhältnis; N:Mn = Stickstoff-Mangan-Verhältnis; N:Fe = Stickstoff-Eisen-Verhältnis; N:Cu = Stickstoff-Kupfer-Verhältnis; N:Zn = Stickstoff-Zink-Verhältnis

Die Unterschiede in den Nährstoffkonzentrationen zwischen den Gefäßpflanzen und Moosen wurden mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests auf statistische Signifikanz geprüft. In Tab. 7 sind die Ergebnisse des statistischen Tests angeführt. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gefäßpflanzen und den Moosen auf einem Signifikanzniveau von 0.05 wurden bei folgenden Inhaltsstoffen gefunden: Stickstoff, Asche, Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Mangan, Kupfer und Eisen. Während die Stickstoff- und Kaliumkonzentration in den Gefäßpflanzen höher war, wiesen die Moose höhere Konzentrationen an Asche, Kalzium, Magnesium, Natrium, Mangan, Kupfer und Eisen auf. Bei den übrigen untersuchten Inhaltsstoffen (Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor und Zink) traten zum Teil Tendenzen auf, diese sind aber statistisch nicht unterschiedlich hoch.

Tabelle 7: Vergleich der Nährstoffkonzentrationen in den Gefäßpflanzen und in den Moosen (Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests)

		<i>Mean Rank</i>	<i>Sum of Ranks</i>	<i>Mann-Whitney U</i>	<i>Z</i>	<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>
<b>TM</b>	Gefäßpflanzen	39.00	1755.0	495.0	-1.309	.191
	Moose	32.33	873.0			
<b>N</b>	Gefäßpflanzen	44.60	2007.0	243.0	-4.240	.000*
	Moose	23.00	621.0			
<b>C</b>	Gefäßpflanzen	39.51	1778.0	427.0	-1.886	.059
	Moose	29.92	778.0			
<b>S</b>	Gefäßpflanzen	37.04	1667.0	583.0	-.285	.776
	Moose	35.59	961.0			
<b>Asche</b>	Gefäßpflanzen	30.30	1363.5	328.5	-3.061	.002*
	Moose	45.87	1192.5			
<b>Ca</b>	Gefäßpflanzen	23.42	1054.0	19.0	-6.845	.000*
	Moose	58.30	1574.0			
<b>Mg</b>	Gefäßpflanzen	29.57	1330.5	295.5	-3.630	.000*
	Moose	48.06	1297.5			
<b>K</b>	Gefäßpflanzen	49.80	2241.0	9.0	-6.963	.000*
	Moose	14.33	387.0			
<b>P</b>	Gefäßpflanzen	39.81	1791.5	458.5	-1.734	.083
	Moose	30.98	836.5			
<b>Na</b>	Gefäßpflanzen	27.02	1189.0	199.0	-4.680	.000*
	Moose	50.63	1367.0			
<b>Zn</b>	Gefäßpflanzen	34.36	1546.0	511.0	-1.123	.262
	Moose	40.07	1082.0			
<b>Mn</b>	Gefäßpflanzen	28.73	1293.0	258.0	-4.065	.000*
	Moose	49.44	1335.0			
<b>Cu</b>	Gefäßpflanzen	29.24	1316.0	281.0	-3.802	.000*
	Moose	48.59	1312.0			
<b>Fe</b>	Gefäßpflanzen	24.87	1119.0	84.0	-5.980	.000*
	Moose	55.27	1437.0			

Mean Rank = Mittlerer Rang; Sum of Ranks = Rangsumme; Mann-Whitney U = Mann-Whitney-U-Teststatistik; Z = kritischer z-Wert; Asymp.Sig. (2-tailed) = p-Wert als asymptotischen Signifikanz (2-seitig); \* = signifikant auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha=0,05$ ; TM = Trockenmasse; N = Stickstoff; C = Kohlenstoff; S = Schwefel; Asche = Aschegehalt; Ca = Kalzium; Mg = Magnesium; K = Kalium; P = Phosphor; Na = Natrium; Zn = Zink; Mn = Mangan; Cu = Kupfer; Fe = Eisen

### 3.4. Analysenergebnisse der Bodenproben

Ausgewählte Analysenergebnisse aus der Bodentiefe 0 bis 10 cm sind in Tab. 8 angeführt. Im Durchschnitt wiesen die untersuchten Böden einen Gehalt an organischem Kohlenstoff

von 45 % auf. Die Spannweite beim organischen Kohlenstoff lag zwischen 14 und 55 %. Der durchschnittliche Gesamt-Stickstoff lag bei 2.6 %. Der Gesamt-Schwefel schwankte zwischen 0.1 und 1.5 %. Der Mittelwert der Konzentration an CAL-löslichem Kalium betrug 231 mg/1000 g. Der Boden-pH-Wert lag zwischen 4.9 und 7.3.

Tabelle 8: Ausgewählte bodenchemische Kennwerte der untersuchten Niedermoore (0 bis 10 cm Bodentiefe)

		<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>MW</i>	<i>STABW</i>	<i>V%</i>
<b>C<sub>org</sub></b> n=79	%	14.13	55.06	46.69	<b>45.15</b>	7.72	17.10
<b>N<sub>t</sub></b> n=79	%	0.79	3.44	2.67	<b>2.62</b>	0.45	17.28
<b>C:N</b> n=79		13.06	24.40	16.91	<b>17.38</b>	2.34	13.47
<b>S<sub>t</sub></b> n=25	%	0.12	1.51	0.45	<b>0.49</b>	0.28	57.33
<b>C:S</b>		28.76	167.64	107.02	<b>104.46</b>	31.09	29.76
<b>N:S</b>		1.62	11.13	5.96	<b>6.07</b>	1.97	32.45
<b>C:P<sub>o</sub></b>		184.96	1310.21	546.97	<b>607.39</b>	244.78	40.30
<b>C:P<sub>t</sub></b>		172.93	1073.31	502.77	<b>548.83</b>	215.94	39.34
<b>K<sub>CAL</sub></b> n=79	mg/1000 g	53.00	442.00	235.00	<b>231.59</b>	86.67	37.42
<b>pH</b> n=79	CaCl <sub>2</sub>	4.92	7.30	5.89	<b>5.89</b>	0.44	7.47

Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; V% = Variabilitätskoeffizient; n = Anzahl der Bodenanalysen; C<sub>org</sub> = organischer Kohlenstoff; N<sub>t</sub> = Gesamt-Stickstoff; C:N = Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis; S<sub>t</sub> = Gesamt-Schwefel; C:S = Kohlenstoff-Schwefel-Verhältnis; N:S = Stickstoff-Schwefel-Verhältnis; C:P<sub>o</sub> = Verhältnis Kohlenstoff zum organischen Gesamt-Phosphor; C:P<sub>t</sub> = Verhältnis Kohlenstoff zum Gesamt-Phosphor; K<sub>CAL</sub> = CAL-lösliches Kalium; pH = Boden-pH-Wert in CaCl<sub>2</sub>

Die Kationenaustauschkapazität, die absoluten Konzentrationswerte sowie die Anteile der einzelnen Kationen aus der Bodentiefe 0 bis 10 cm sind in Tab. 9 aufgelistet. Die Kationenaustauschkapazität lag im Durchschnitt bei 93 cmol+/1000 g, wobei der Schwankungsbereich zwischen 41 und 119 cmol+/1000 g lag. Den größten Anteil an der Kationenaustauschkapazität wies Kalzium, mit 93 % im Mittel, auf. Der absolute Konzentrationswert an Kalzium betrug durchschnittlich 87 cmol+/1000 g. Während Magnesium einen durchschnittlichen Anteil an der Kationenaustauschkapazität von 5 % aufwies, lag der Anteil von Kalium, Natrium, Eisen, Mangan, Aluminium und Wasserstoff unter 1 %. Der durchschnittliche Sättigungsgrad betrug 99.7 %. Der Kalzium-Basensättigungsgrad von 93 % zeigt, dass es sich bei den Untersuchungsflächen um echte Kalkflachmoore handelt.

Tabelle 9: Austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität und Basensättigungsgrad in BaCl<sub>2</sub>-Extrakt (0 bis 10 cm Bodentiefe) in den untersuchten Niedermooren

		<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>MW</i>	<i>STABW</i>	<i>V%</i>
<b>K<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	0.12	1.11	0.55	<b>0.56</b>	0.24	42.21
<b>K<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	0.16	1.92	0.60	<b>0.63</b>	0.30	48.05
<b>Ca<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	36.10	113.56	87.60	<b>86.72</b>	14.68	16.93
<b>Ca<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	82.05	97.80	93.65	<b>93.47</b>	2.88	3.08
<b>Mg<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	1.30	14.50	4.22	<b>4.81</b>	2.44	50.68
<b>Mg<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	1.75	16.69	4.98	<b>5.26</b>	2.75	52.30
<b>Na<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	0.09	1.64	0.25	<b>0.35</b>	0.28	77.68
<b>Na<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	0.10	1.83	0.28	<b>0.39</b>	0.31	80.23
<b>Fe<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	0.00	0.40	0.01	<b>0.02</b>	0.05	211.48
<b>Fe<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	0.00	0.53	0.01	<b>0.03</b>	0.07	235.30
<b>Mn<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	0.01	0.71	0.12	<b>0.18</b>	0.16	89.31
<b>Mn<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	0.01	1.46	0.12	<b>0.21</b>	0.24	113.11
<b>Al<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	0	0.13	0.00	<b>0.013</b>	0.02	171.47
<b>Al<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	0	0.22	0.00	<b>0.02</b>	0.04	219.07
<b>H<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	0.002	0.050	0.002	<b>0.003</b>	0.005	207.10
<b>H<sub>kak_pro</sub></b> n=79	%	0.002	0.078	0.002	<b>0.003</b>	0.008	267.37
<b>Sum<sub>kat</sub></b> n=79	cmol+/ 1000 g	41.05	119.25	94.23	<b>92.67</b>	14.95	16.13
<b>BS-Wert</b> n=79	%	98.27	99.98	99.86	<b>99.74</b>	0.31	0.31

Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; V% = Variabilitätskoeffizient; n = Anzahl der Bodenanalysen; K<sub>kat</sub>, Ca<sub>kat</sub>, Mg<sub>kat</sub>, Na<sub>kat</sub>, Fe<sub>kat</sub>, Mn<sub>kat</sub>, Al<sub>kat</sub> und H<sub>kat</sub> = Konzentration an austauschbarem Kalium, Kalzium, Magnesium, Natrium, Eisen, Mangan, Aluminium und Wasserstoff (Protonen); K<sub>kak\_pro</sub>, Ca<sub>kak\_pro</sub>, Mg<sub>kak\_pro</sub>, Na<sub>kak\_pro</sub>, Fe<sub>kak\_pro</sub>, Mn<sub>kak\_pro</sub>, Al<sub>kak\_pro</sub> und H<sub>kak\_pro</sub> = prozentueller Anteil an Kalium, Kalzium, Magnesium, Natrium, Eisen, Mangan, Aluminium und Wasserstoff (Protonen) an der Kationenaustauschkapazität; Sum<sub>kat</sub> = Kationenaustauschkapazität; BS-Wert = Basensättigungsgrad

In Tab. 10 sind Gesamt- sowie oxalateextrahierbares Eisen, Mangan und Aluminium aus der Bodentiefe 0 bis 10 cm angeführt. Sämtliche Werte streuten in weiten Grenzen. Der Median und das arithmetische Mittel lagen weit auseinander. Im Mittel wies Eisen die höchste

Konzentration auf. Mangan wies mengenmäßig gegenüber Eisen und Aluminium einen niedrigeren Wert auf.

Tabelle 10: Gesamt- sowie oxalatextrahierbares Eisen, Mangan und Aluminium und Verhältnisse (0 bis 10 cm Bodentiefe)

		<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>MW</i>	<i>STABW</i>	<i>V%</i>
<b><math>Fe_t</math></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	1778.43	67660.92	10351.72	<b>14906.79</b>	14992.96	100.58
<b><math>Fe_{ox}</math></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	1403.45	37075.08	6825.00	<b>9673.94</b>	8727.86	90.22
<b><math>Fe_t: Fe_{ox}</math></b>		1.09	2.25	1.42	<b>1.46</b>	0.27	18.25
<b><math>Mn_t</math></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	32.67	1599.51	257.00	<b>346.94</b>	326.09	93.99
<b><math>Mn_{ox}</math></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	22.41	1265.14	222.88	<b>284.85</b>	250.77	88.03
<b><math>Mn_t: Mn_{ox}</math></b>		1.00	1.69	1.18	<b>1.20</b>	0.14	11.51
<b><math>Al_t</math></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	694.33	27005.83	3181.70	<b>4645.20</b>	4565.72	98.29
<b><math>Al_{ox}</math></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	189.36	3807.48	898.24	<b>1053.32</b>	687.63	65.28
<b><math>Al_t: Al_{ox}</math></b>		1.56	7.09	3.72	<b>3.94</b>	1.33	33.72

Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; V% = Variabilitätskoeffizient; n = Anzahl der Bodenanalysen;  $Fe_t$ ,  $Mn_t$  und  $Al_t$  = Gesamt-Eisen, Mangan und Aluminium;  $Fe_{ox}$ ,  $Mn_{ox}$  und  $Al_{ox}$  = oxalatextrahierbares Eisen, Mangan und Aluminium;  $Fe_t:Fe_{ox}$  = Verhältnis Gesamt-Eisen und oxalatextrahierbares Eisen;  $Mn_t:Mn_{ox}$  = Verhältnis Gesamt-Mangan und oxalatextrahierbares Mangan;  $Al_t:Al_{ox}$  = Verhältnis Gesamt-Aluminium und oxalatextrahierbares Aluminium

Die unterschiedlichen Phosphor-Fraktionen, die Phosphor-Speicherkapazität und der Phosphor-Sättigungsgrad für die Bodentiefe 0 bis 10 cm sind in Tab. 11 angeführt. Mit Ausnahme des Anteils an organisch gebundenem Phosphor am Gesamt-Phosphor, der im Median bei 91% lag, streuten die Werte in sehr weiten Grenzen. Der wasserlösliche Phosphor lag zwischen 2 und 132 mg/1000 g. Der CAL-lösliche Phosphor variierte in den untersuchten Böden zwischen 1 und 143 mg/1000 g. Die Phosphor-Speicherkapazität lag zwischen 19 und 19026 mmol/ 1000 g. Die große Schwankungsbreite ist auf die stark streuenden Konzentrationswerte an oxalatlöslichem Eisen, Aluminium und Mangan, von welchen die Phosphor-Speicherkapazität abhängt, zurückzuführen.

Tabelle 11: Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0 bis 10 cm Bodentiefe)

		<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>MW</i>	<i>STABW</i>	<i>V%</i>
<b><i>P<sub>H2O</sub></i></b> <i>n=79</i>	mg/1000 g	2.20	131.70	17.20	<b>35.35</b>	35.37	100.04
<b><i>P<sub>CAL</sub></i></b> <i>n=79</i>	mg/1000 g	1.00	143.00	41.00	<b>45.62</b>	31.19	68.38
<b><i>P<sub>t</sub></i></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	446.89	1937.08	842.27	<b>905.50</b>	279.36	30.85
<b><i>P<sub>ox</sub></i></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	53.76	743.08	172.12	<b>197.49</b>	120.85	61.19
<b><i>P<sub>i</sub></i></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	26.37	194.02	73.37	<b>83.90</b>	35.82	42.70
<b><i>P<sub>o</sub></i></b> <i>n=52</i>	mg/1000 g	366.09	1743.05	766.78	<b>821.61</b>	258.89	31.51
<b><i>P<sub>org</sub></i></b> <i>n=52</i>	%	79.59	97.82	90.81	<b>90.59</b>	3.14	3.47
<b><i>PSC</i></b> <i>n=52</i>	mmol/ 1000 g	18.65	19026.27	294.34	<b>3079.88</b>	4419.04	143.48
<b><i>DPS</i></b> <i>n=52</i>	%	0.79	15.44	5.26	<b>6.19</b>	3.54	57.19

Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; V% = Variabilitätskoeffizient; n = Anzahl der Bodenanalysen; P<sub>H2O</sub> = wasserlöslicher Phosphor; P<sub>CAL</sub> = CAL-löslicher Phosphor; P<sub>t</sub> = Gesamt-Phosphor; P<sub>ox</sub> = oxalateextrahierbarer Phosphor; P<sub>i</sub> = anorganischer Phosphor; P<sub>o</sub> = organischer Phosphor; P<sub>org</sub> = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Gesamt-Phosphor, PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad;

### 3.5. Ergebnisse der Korrelationsanalysen

In den Tabellen 12 bis 19 sind Rangkorrelationen nach SPEARMAN (1910), die ein Maß für die Stärke eines Zusammenhangs sind, angeführt. Generell gilt, der Korrelationskoeffizient kann Werte von -1 bis +1 annehmen. Je stärker der Zusammenhang ist, desto näher liegt der Korrelationskoeffizient bei -1 bzw. +1. Bei einem Korrelationskoeffizient von Null liegt kein Zusammenhang vor. Während ein negativer Wert einen negativen Zusammenhang ausdrückt, steht ein positiver Wert für einen positiven Zusammenhang. In den Tabellen wird bei jedem horizontal angeführten Nährstoff in der oberen Zeile der Korrelationskoeffizient angegeben. In der jeweils zweiten Zeile befindet sich die Signifikanz (2-seitig).

Bei den Korrelationen der vorliegenden Bodendaten in den Tabellen 12 bis 17 wurden vielfach starke Zusammenhänge gefunden. In dunkelbraun wurden die Korrelationen der Phosphorfractionen mit einem Korrelationskoeffizient über 0.5 markiert. Die markierten Korrelationen sind auf einem Signifikanzniveau von 0.01 statistisch signifikant.

Der CAL-lösliche Phosphor korreliert gut mit dem wasserlöslichen Phosphor, der Phosphor-Speicherkapazität und dem Phosphor-Sättigungsgrad. Ausgeprägte Korrelationen ergab der Gesamt-Phosphor mit dem oxalatlöslichen Phosphor, dem organischen und dem anorganischen Phosphor, sowie mit dem C/N-Verhältnis. Mittlere Zusammenhänge

bestanden zwischen der Phosphor-Speicherkapazität und dem CAL-löslichen, dem wasserlöslichen und dem oxalatlöslichen Phosphor, sowie dem Phosphor-Sättigungsgrad. Der Phosphor-Sättigungsgrad war mäßig von dem CAL-löslichen, dem wasserlöslichen und dem anorganischen Phosphor, sowie der Phosphor-Speicherkapazität und dem C/N-Verhältnis abhängig.

1	4
2	5
3	6

Tabelle 12: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 1/6)

	<b>P<sub>CAL</sub></b>	<b>K<sub>CAL</sub></b>	<b>P<sub>H2O</sub></b>	<b>pH</b>	<b>N<sub>t</sub></b>	<b>C<sub>org</sub></b>	<b>C:N</b>	<b>S<sub>t</sub></b>	<b>P<sub>t</sub></b>	<b>Al<sub>t</sub></b>	<b>Fe<sub>t</sub></b>	<b>Mn<sub>t</sub></b>
<b>P<sub>CAL</sub></b>		.439**	.640**	-.203	.640**	.395**	-.219	.372	.067	-.268	-.660**	-.356**
<b>K<sub>CAL</sub></b>	.439**		.074	-.184	.224*	.438**	.214	.216	.077	-.331*	.041	-.113
<b>P<sub>H2O</sub></b>	.640**	.074		-.250*	.438**	.427**	-.053	.092	-.060	-.317*	-.755**	-.153
<b>pH</b>	-.203	-.184	-.250*		-.044	-.313**	-.259*	-.115	-.069	.036	-.125	.233
<b>N<sub>t</sub></b>	.640**	.224*	.438**	-.044		.350**	-.462**	.621**	.109	-.377**	-.519**	-.180
<b>C<sub>org</sub></b>	.395**	.438**	.427**	-.313**	.350**		.566**	.409*	-.473**	-.639**	-.376**	-.299*
<b>C:N</b>	-.219	.214	-.053	-.259*	-.462**	.566**		.057	-.522**	-.291*	.159	-.194
<b>S<sub>t</sub></b>	.372	.216	.092	-.115	.621**	.409*	.057		.160	-.286	-.297	-.205
<b>P<sub>t</sub></b>	.067	.077	-.060	-.069	.109	-.473**	-.522**	.160		.484**	.358**	.185
	.000	.000	.000	.072	.000	.000	.053	.067	.637	.055	.000	.010
	.000	.517	.105	.026	.047	.000	.058	.300	.586	.016	.771	.425
	.000	.517	.026	.000	.000	.000	.645	.663	.675	.022	.000	.278
	.072	.105	.026	.701	.005	.021	.584	.628	.800	.378	.096	
	.000	.047	.000	.701	.002	.000	.001	.441	.006	.000	.203	
	.000	.000	.000	.005	.002	.000	.042	.000	.000	.006	.031	
	.053	.058	.645	.021	.000	.000	.785	.000	.037	.260	.169	
	.067	.300	.663	.584	.001	.042	.785		.445	.166	.150	.325
	.637	.586	.675	.628	.441	.000	.000	.445		.000	.009	.190

\*\* Die Korrelation ist hochsignifikant bei  $p > 0.01$  (2-seitig).

\* Die Korrelation ist signifikant bei  $p > 0.05$  (2-seitig).

Tabelle 13: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 2/6)

	P <sub>CAL</sub>	K <sub>CAL</sub>	P <sub>H2O</sub>	pH	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	C:N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>
Al <sub>t</sub>	-.268	-.331*	-.317*	.036	-.377**	-.639**	-.291*	-.286	.484**		.431**	.431**
	.055	.016	.022	.800	.006	.000	.037	.166	.000		.001	.001
Fe <sub>t</sub>	-.660**	.041	-.755**	-.125	-.519**	-.376**	.159	-.297	.358**	.431**		.284*
	.000	.771	.000	.378	.000	.006	.260	.150	.009	.001		.042
Mn <sub>t</sub>	-.356**	-.113	-.153	.233	-.180	-.299*	-.194	-.205	.185	.431**	.284*	
	.010	.425	.278	.096	.203	.031	.169	.325	.190	.001	.042	
P <sub>ox</sub>	-.262	-.075	-.305*	.056	-.267	-.587**	-.399**	-.238	.771**	.684**	.580**	.360**
	.060	.598	.028	.692	.056	.000	.003	.251	.000	.000	.000	.009
Al <sub>ox</sub>	-.167	-.375**	-.279*	-.083	-.260	-.661**	-.403**	-.238	.509**	.942**	.378**	.341*
	.238	.006	.046	.557	.062	.000	.003	.252	.000	.000	.006	.013
Fe <sub>ox</sub>	-.647**	.060	-.761**	-.158	-.458**	-.301*	.187	-.107	.335*	.373**	.979**	.247
	.000	.674	.000	.264	.001	.030	.184	.612	.015	.007	.000	.077
Mn <sub>ox</sub>	-.321*	-.106	-.123	.227	-.133	-.281*	-.212	-.142	.191	.432**	.245	.992**
	.020	.453	.387	.106	.349	.044	.132	.499	.174	.001	.080	.000
P <sub>i</sub>	.077	-.010	.037	.286*	-.084	-.452**	-.333*	-.069	.600**	.228	.048	.161
	.589	.946	.796	.040	.552	.001	.016	.745	.000	.104	.737	.254
P <sub>o</sub>	.063	.081	-.057	-.108	.142	-.437**	-.517**	.208	.986**	.493**	.368**	.209
	.659	.568	.688	.448	.315	.001	.000	.318	.000	.000	.007	.137

\*\* Die Korrelation ist hochsignifikant bei  $p > 0.01$  (2-seitig).

\* Die Korrelation ist signifikant bei  $p > 0.05$  (2-seitig).

Tabelle 14: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 3/6)

	<b>P<sub>CAL</sub></b>	<b>K<sub>CAL</sub></b>	<b>P<sub>H2O</sub></b>	<b>pH</b>	<b>N<sub>t</sub></b>	<b>C<sub>org</sub></b>	<b>C:N</b>	<b>S<sub>t</sub></b>	<b>P<sub>t</sub></b>	<b>Al<sub>t</sub></b>	<b>Fe<sub>t</sub></b>	<b>Mn<sub>t</sub></b>
<b>P<sub>org</sub></b>	-.018	.097	-.107	-.469**	.148	.136	-.009	.201	.041	.172	.215	-.018
	.898	.494	.449	.000	.295	.337	.949	.335	.771	.224	.126	.899
<b>PSC</b>	-.545**	-.152	-.540**	-.085	-.345*	-.190	.093	-.134	.216	.552**	.686**	.444**
	.000	.282	.000	.550	.012	.176	.510	.522	.125	.000	.000	.001
<b>DPS</b>	.590**	-.040	.656**	.227	.326*	-.129	-.520**	-.098	.217	-.095	-.683**	-.102
	.000	.776	.000	.105	.019	.364	.000	.642	.123	.505	.000	.470
<b>C:P<sub>o</sub></b>	0.179	0.172	0.231	-0.095	0.187	.775**	.630**	0.331	-.845**	-.668**	-.415**	-.330*
	0.204	0.224	0.099	0.502	0.185	.000	.000	0.106	.000	.000	0.002	0.017
<b>C:P<sub>t</sub></b>	0.163	0.165	0.210	-0.121	0.176	.780**	.644**	0.318	-.851**	-.652**	-.391**	-.337*
	0.247	0.241	0.135	0.394	0.213	.000	.000	0.121	.000	.000	0.004	0.015

\*\* Die Korrelation ist hochsignifikant bei  $p > 0.01$  (2-seitig).

\* Die Korrelation ist signifikant bei  $p > 0.05$  (2-seitig).

Tabelle 15: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 4/6)

	<b>P<sub>ox</sub></b>	<b>Al<sub>ox</sub></b>	<b>Fe<sub>ox</sub></b>	<b>Mn<sub>ox</sub></b>	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>o</sub></b>	<b>P<sub>org</sub></b>	<b>PSC</b>	<b>DPC</b>	<b>C:P<sub>o</sub></b>	<b>C:P<sub>t</sub></b>
<b>P<sub>CAL</sub></b>	-.262	-.167	-.647**	-.321*	.077	.063	-.018	-.545**	.590**	.179	.163
	.060	.238	.000	.020	.589	.659	.898	.000	.000	.204	.247
<b>K<sub>CAL</sub></b>	-.075	-.375**	.060	-.106	-.010	.081	.097	-.152	-.040	.172	.165
	.598	.006	.674	.453	.946	.568	.494	.282	.776	.224	.241
<b>P<sub>H2O</sub></b>	-.305*	-.279*	-.761**	-.123	.037	-.057	-.107	-.540**	.656**	.231	.210
	.028	.046	.000	.387	.796	.688	.449	.000	.000	.099	.135
<b>pH</b>	.056	-.083	-.158	.227	.286*	-.108	-.469**	-.085	.227	-.095	-.121
	.692	.557	.264	.106	.040	.448	.000	.550	.105	.502	.394
<b>N<sub>t</sub></b>	-.267	-.260	-.458**	-.133	-.084	.142	.148	-.345*	.326*	.187	.176
	.056	.062	.001	.349	.552	.315	.295	.012	.019	.185	.213
<b>C<sub>org</sub></b>	-.587**	-.661**	-.301*	-.281*	-.452**	-.437**	.136	-.190	-.129	.775**	.780**
	.000	.000	.030	.044	.001	.001	.337	.176	.364	.000	.000
<b>C:N</b>	-.399**	-.403**	.187	-.212	-.333*	-.517**	-.009	.093	-.520**	.630**	.644**
	.003	.003	.184	.132	.016	.000	.949	.510	.000	.000	.000
<b>S<sub>t</sub></b>	-.238	-.238	-.107	-.142	-.069	.208	.201	-.134	-.098	.331	.318
	.251	.252	.612	.499	.745	.318	.335	.522	.642	.106	.121
<b>P<sub>t</sub></b>	.771**	.509**	.335*	.191	.600**	.986**	.041	.216	.217	-.845**	-.851**
	.000	.000	.015	.174	.000	.000	.771	.125	.123	.000	.000

\*\* Die Korrelation ist hochsignifikant bei  $p > 0.01$  (2-seitig).

\* Die Korrelation ist signifikant bei  $p > 0.05$  (2-seitig).

Tabelle 16: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 5/6)

	<b>P<sub>ox</sub></b>	<b>Al<sub>ox</sub></b>	<b>Fe<sub>ox</sub></b>	<b>Mn<sub>ox</sub></b>	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>o</sub></b>	<b>P<sub>org</sub></b>	<b>PSC</b>	<b>DPC</b>	<b>C:P<sub>o</sub></b>	<b>C:P<sub>t</sub></b>
<b>Al<sub>t</sub></b>	.684** .000	.942** .000	.373** .007	.432** .001	.228 .104	.493** .000	.172 .224	.552** .000	-.095 .505	-.668** .000	-.652** .000
<b>Fe<sub>t</sub></b>	.580** .000	.378** .006	.979** .000	.245 .080	.048 .737	.368** .007	.215 .126	.686** .000	-.683** .000	-.415** .002	-.391** .004
<b>Mn<sub>t</sub></b>	.360** .009	.341* .013	.247 .077	.992** .000	.161 .254	.209 .137	-.018 .899	.444** .001	-.102 .470	-.330* .017	-.337* .015
<b>P<sub>ox</sub></b>		.667** .000	.550** .000	.357** .009	.519** .000	.728** .000	-.025 .862	.596** .000	.040 .777	-.833** .000	-.843** .000
<b>Al<sub>ox</sub></b>	.667** .000		.331* .016	.347* .012	.244 .081	.510** .000	.189 .180	.494** .000	-.035 .807	-.657** .000	-.649** .000
<b>Fe<sub>ox</sub></b>	.550** .000	.331* .016		.216 .123	.031 .826	.341* .013	.209 .136	.705** .000	-.723** .000	-.346* .012	-.324* .019
<b>Mn<sub>ox</sub></b>	.357** .009	.347* .012	.216 .123		.163 .249	.215 .126	-.008 .954	.441** .001	-.081 .566	-.317* .022	-.325* .019
<b>P<sub>i</sub></b>	.519** .000	.244 .081	.031 .826	.163 .249		.497** .000	-.715** .000	-.116 .412	.522** .000	-.550** .000	-.603** .000
<b>P<sub>o</sub></b>	.209 .137	.728** .000	.510** .000	.341* .013	.215 .126	.497** .000	1,000 .240	.166 .240	.232 .098	-.828** .000	-.823** .000

\*\* Die Korrelation ist hochsignifikant bei  $p > 0.01$  (2-seitig).

\* Die Korrelation ist signifikant bei  $p > 0.05$  (2-seitig).

Tabelle 17: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 6/6)

	<b>P<sub>ox</sub></b>	<b>Al<sub>ox</sub></b>	<b>Fe<sub>ox</sub></b>	<b>Mn<sub>ox</sub></b>	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>o</sub></b>	<b>P<sub>org</sub></b>	<b>PSC</b>	<b>DPC</b>	<b>C:P<sub>o</sub></b>	<b>C:P<sub>t</sub></b>
<b>P<sub>org</sub></b>	-.025	.189	.209	-.008	-.715**	.166		.306*	-.451**	-.006	.057
	.862	.180	.136	.954	.000	.240		.028	.001	.968	.688
<b>PSC</b>	.596**	.494**	.705**	.441**	-.116	.232	.306*		-.606**	-.309*	-.286*
	.000	.000	.000	.001	.412	.098	.028		.000	.026	.04
<b>DPS</b>	.040	-.035	-.723**	-.081	.522**	.161	-.451**	-.606**		-.206	-.248
	.777	.807	.000	.566	.000	.254	.001	.000		.143	.077
<b>C:P<sub>o</sub></b>	-.833**	-.657**	-.346*	-.317*	-.550**	-.828**	-0.006	-.309*	-0.206		.995**
	0	0	0.012	0.022	0	0	0.968	0.026	0.143		.000
<b>C:P<sub>t</sub></b>	-.843**	-.649**	-.324*	-.325*	-.603**	-.823**	0.057	-.286*	-0.248	.995**	
	0	0	0.019	0.019	0	0	0.688	0.04	0.077	.000	

\*\* Die Korrelation ist hochsignifikant bei  $p > 0.01$  (2-seitig).

\* Die Korrelation ist signifikant bei  $p > 0.05$  (2-seitig).

Tab. 18 zeigt die Korrelationen der Phosphor-Bodenkennwerte mit der Phosphorkonzentration in den Gefäßpflanzen. Deutliche Zusammenhänge ergaben sich zwischen der Phosphorkonzentration im Pflanzenmaterial und der Phosphor-Speicherkapazität, dem Gesamt-Phosphor, dem oxalatlöslichen und dem organischen Phosphor im Boden. Diese Zusammenhänge waren auf einem Signifikanzniveau von 0.01 statistisch signifikant.

Tabelle 18: Phosphorkonzentration in den Gefäßpflanzen korreliert mit ausgewählten Phosphor-Fractionen und bodenchemischen Kennwerten im Boden (SPEARMANS Rangkorrelation)

	<i>PSC</i>	<i>DPS</i>	<i>P<sub>H2O</sub></i>	<i>P<sub>CAL</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>P<sub>ox</sub></i>	<i>P<sub>i</sub></i>	<i>P<sub>o</sub></i>	<i>C:P<sub>o</sub></i>	<i>C:P<sub>t</sub></i>
<b><i>P - Gefäßpflanzen</i></b>	.587**	-.225	-.147	-.236	.522**	.644**	.064	.514**	-,548*	-,560*
<b><i>Sig. (2-seitig)</i></b>	.000	.194	.335	.119	.001	.000	.713	.002	.012	.010
<b><i>n</i></b>	35	35	45	45	35	35	35	35	20	20

*PSC* = Phosphor-Speicherkapazität; *DPS* = Phosphor-Sättigungsgrad; *P<sub>H2O</sub>* = wasserlöslicher Phosphor; *P<sub>CAL</sub>* = CAL-löslicher Phosphor; *P<sub>t</sub>* = Gesamt-Phosphor; *P<sub>ox</sub>* = oxalatretrahierbarer Phosphor; *P<sub>i</sub>* = anorganischer Phosphor; *P<sub>o</sub>* = organischer Phosphor; *C:P<sub>o</sub>* = Verhältnis Kohlenstoff zum organischen Phosphor; *C:P<sub>t</sub>* = Verhältnis Kohlenstoff zum Gesamt-Phosphor; *P - Gefäßpflanzen* = Phosphorkonzentration in den Gefäßpflanzenproben; *Sig. (2-seitig)* = Signifikanz (2-seitig); *n* = Anzahl der Stichproben; \*\* = signifikant auf einem Signifikanzniveau  $\alpha = 0.01$

Die Korrelation der Stickstoffkonzentration in den untersuchten Gefäßpflanzen mit dem Gesamt-Stickstoff und dem C/N-Verhältnis in den Bodenproben ergab hingegen keine statistisch signifikanten Zusammenhänge (Tab. 19).

Tabelle 19: Stickstoffkonzentration in den Gefäßpflanzen korreliert mit dem Gesamt-Stickstoff und dem C/N-Verhältnis im Boden (SPEARMANS Rangkorrelation)

	<i>N<sub>t</sub> - Boden</i>	<i>C:N - Boden</i>
<b><i>N - Gefäßpflanzen</i></b>	-.197	.120
<b><i>Sig. (2-seitig)</i></b>	.195	.432
<b><i>n</i></b>	45	45

*N<sub>t</sub> - Boden* = Gesamt-Stickstoff in den untersuchten Bodenproben; *C:N - Boden* = C/N-Verhältnis in den untersuchten Bodenproben; *N - Gefäßpflanzen* = Stickstoffkonzentration in den Gefäßpflanzen; *Sig. (2-seitig)* = Signifikanz (2-seitig); *n* = Anzahl der Stichproben;

In Tab. 20 sind die Zusammenhänge zwischen der Pflanzenartenvielfalt (Anzahl an Gefäßpflanzen pro 50 m<sup>2</sup> Aufnahmefläche) und ausgewählten Bodenkennwerten angeführt. Es ergaben sich positive Korrelationen zwischen der Phytodiversität und dem anorganischen, organischen, oxalatlöslichen und Gesamt-Phosphor. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Phosphoranreicherung im Boden eine Erhöhung der Pflanzenartenzahl bewirkt, weil Nährstoffzeiger einwandern. Im Weiteren gab es einen negativen Zusammenhang zwischen der Artenzahl und dem organischen Kohlenstoff und dem C/N-Verhältnis im Boden.

Tabelle 20:  $\alpha$ -Diversität korreliert mit ausgewählten Bodenkennwerten (SPEARMANS Rangkorrelation)

	<i>PSC</i>	<i>DPS</i>	<i>P<sub>H2O</sub></i>	<i>P<sub>CAL</sub></i>	<i>P<sub>i</sub></i>	<i>P<sub>o</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>P<sub>ox</sub></i>	<i>N<sub>t</sub></i>	<i>C<sub>org</sub></i>	<i>C:N</i>	<i>pH</i>
<b><math>\alpha</math>-Diversität</b>	.237	.105	.162	-.135	.285*	.441**	.444**	.585**	-.207	-.405**	-.237*	-.198
<b>Sig. (2-seitig)</b>	.091	.459	.154	.237	.040	.001	.001	.000	.067	.000	.036	.080
<b>n</b>	52	52	79	79	52	52	52	52	79	79	79	79

*PSC* = Phosphor-Speicherkapazität; *DPS* = Phosphor-Sättigungsgrad; *P<sub>H2O</sub>* = wasserlöslicher Phosphor; *P<sub>CAL</sub>* = CAL-löslicher Phosphor; *P<sub>i</sub>* = anorganischer Phosphor; *P<sub>o</sub>* = organischer Phosphor; *P<sub>t</sub>* = Gesamt- Phosphor; *P<sub>ox</sub>* = oxalatrehabrierbarer Phosphor; *N<sub>t</sub>* = Gesamt-Stickstoff; *C<sub>org</sub>* = organischer Kohlenstoff; *C:N* = Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis; *pH* = Boden-pH-Wert in CaCl<sub>2</sub>;  $\alpha$ -Diversität = Anzahl an Gefäßpflanzenarten pro 50 m<sup>2</sup> Aufnahmefläche; Sig. (2-seitig) = Signifikanz (2-seitig); n = Anzahl der Stichproben; \* = signifikant auf einem Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$ ; \*\* = signifikant auf einem Signifikanzniveau  $\alpha = 0.01$

## 4. Diskussion

Die Analysenergebnisse der Boden- und Pflanzenproben aus dem Untersuchungsgebiet – Steirisches Salzkammergut – stimmen größtenteils mit Werten aus der Literatur überein (WASSEN et al., 1995; WASSEN et al., 1998; KOPPISCH, 2001a; FEIGE, 1977). Die Bodenkennwerte schwankten in den untersuchten Niedermoorböden teilweise in weiten Grenzen. Die hohen Schwankungen ergaben sich vor allem aus den unterschiedlichen Anteilen an mineralischen Bestandteilen im Niedermoor-Torf. Außerdem wurden neben den organischen Niedermoorböden auch mineralische Gley-Böden in die Untersuchungen einbezogen. Das Eutrophierungsrisiko der untersuchten Niedermoore für Grundwasser, die Oberflächengewässer und angrenzende Ökosysteme wird als gering eingeschätzt, da die Niedermoorböden zumindest in den obersten 10 cm eine hohe Phosphor-Speicherkapazität und einen niedrigen Phosphor-Sättigungsgrad (Tab. 11) aufweisen. Der durchschnittliche Phosphor-Sättigungsgrad der untersuchten Böden lag bei 6 %. Für saure, sandige und mineralische Böden wird in der Literatur angeführt, dass ein Boden Phosphor gesättigt ist, wenn der Phosphor-Sättigungsgrad einen Wert von 30 % annimmt (SCHOETERS et al., 1995; DE SMET et al., 1996; LEINWEBER et al., 1997). Die untersuchten Böden im Steirischen Salzkammergut erreichen diese kritische Grenze nicht.

### 4.1. Aktuelle Nährstoffsituation der Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut

SUCCOW und STEGMANN (2001) bewerten den Eutrophierungsgrad von Moorstandorten anhand des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses im Oberboden. Das C/N-Verhältnis ist kein direktes Maß für den Nährstoffgehalt im Boden, kann aber als Indikator für das Angebotsniveau von Stickstoff gelten, da Stickstoff im Humifizierungsprozess in der organischen Substanz fest gebunden wird (KOSKA, 2001). Je weiter das C/N-Verhältnis im Boden ist, desto weniger Stickstoff ist für Pflanzen verfügbar. Es werden acht Trophiestufen unterschieden, die vier Trophiegruppen oligotroph, mesotroph, eutroph und polytroph ergeben (Tab. 21). Der Begriff Trophiestufen beschreibt eine mengenmäßige Abstufung der Pflanzenverfügbarkeit der Hauptnährstoffe, welche die Produktivität zu einem wesentlichen Anteil bestimmt (KOSKA, 2001). Nach SUCCOW und STEGMANN (2001) sind der Großteil der Torfe in Deutschland den Trophiestufen „ziemlich arm“ und „mittel“ zuzuordnen. Es handelt sich dabei um mesotrophe, rasch wachsende Moorstandorte mit einem C/N-Verhältnis von 20 bis 33. Torfe der eutrophen Trophiegruppe (C/N-Verhältnis 10 bis 20) treten in naturnahen Mooren selten auf. Sehr nährstoffreiche Torfe unterliegen häufig anthropogenen Einflüssen. Auch DIERSSEN und DIERSSEN (2001) beschreiben den überwiegenden Anteil der Moorstandorte als nährstoffarm, weil ein beträchtlicher Anteil der mit dem Grund-, Oberflächen- oder Niederschlagswasser zugeführten Ionen im Torf festgelegt wird und daher kaum pflanzenverfügbar ist. Die daraus resultierende Oligotrophierung schränkt bei mangelnder Mineralstoff-Nachlieferung die Produktivität der Vegetation weiter ein.

Tabelle 21: Trophiestufen der Moorstandorte aufgrund des Verhältnisses des Kohlenstoffs zum Stickstoff im Torf (nach SUCCOW und STEGMANN, 2001)

Trophiestufen	C/N	Trophiegruppen
sehr arm	>40	Oligotroph (nährstoffarm)
arm	33-40	
ziemlich arm	26-33	Mesotroph (mäßig nährstoffarm)
mittel	20-26	
kräftig	13-20	Eutroph (nährstoffreich)
reich	10-13	
sehr reich	7-10	Polytroph (nährstoffüberlastet)
extrem reich	<7	

Die C/N-Verhältnisse der untersuchten Niedermoortorfe im Steirischen Salzkammergut lagen bei 13 bis 24. Der Median sowie der Mittelwert der C/N-Verhältnisse aller Beprobungsstandorte lag bei etwa 17 (Tab. 8). Den Trophiestufen nach SUCCOW und STEGMANN (2001) zufolge sind 68 der 79 beprobten Flächen der Trophiestufe „kräftig“ und der Trophiegruppe „eutroph“ zuzuordnen. Die übrigen 11 Beprobungsflächen liegen im Bereich der Trophiestufe „mittel“ und der Trophiegruppe „mesotroph“. Die Vegetationsaufnahmen der Beprobungsstandorte im Steirischen Salzkammergut ergaben allerdings typische Pflanzengesellschaften für ungestörte Niedermoore (*Caricetum davallianae*, *Schoenetum ferrugineum*). Nährstoffzeiger treten im Pflanzenbestand nicht oder nur mit sehr geringem Deckungsgrad auf. Die Ernährungsbedingungen an einem Standort spiegeln sich im Vorkommen bestimmter Pflanzenarten bzw. in der Artenkombination wider, denn die Pflanzen weisen unterschiedliche Nährstoffbedürfnisse auf und ihre Konkurrenzkraft hängt maßgeblich vom Versorgungsgrad ab (KOSKA, 2001). Daher ist davon auszugehen, dass in den beprobten Flächen keine Eutrophierung stattgefunden hat, was auf geringe anthropogene Einflüsse schließen lässt. Daraus folgt, dass C/N-Verhältnisswerte um 17 in österreichischen Kalkflachmooren keine eutrophen Moorstandorte anzeigen. Diese Untersuchungsergebnisse im Steirischen Salzkammergut untermauert die Kritik an der Bewertung des Eutrophierungsgrades in Kalkflachmooren anhand der C/N-Verhältnisse nach SUCCOW und STEGMANN (2001). Das ist nicht überraschend, denn die Charakterisierung der Trophiestufen für naturnahe Moorstandorte (Tab. 21) geht auf Untersuchungen von Mooren in Nordostdeutschland durch SUCCOW (1981, 1982, 1988) zurück. Die untersuchten Moore in Nordostdeutschland haben einerseits eine andere Entstehungsgeschichte als die Moore im Steirischen Salzkammergut. Andererseits ist der Naturraum an den beiden Standorten sehr verschieden.

Neben den trophischen Verhältnissen an einem Moorstandort hat die Bodenreaktion (pH-Wert) eine große Bedeutung für die Ökologie und die Vegetation (SUCCOW und STEGMANN, 2001). Die Nährstoffversorgung der Pflanzen hängt maßgeblich vom Boden-pH-Wert ab (DIERSSEN und DIERSSEN, 2001). Nahezu alle untersuchten Niedermoore liegen im Bereich

der Säure-Basen-Stufe subneutral (schwach sauer; pH-Bereich 4.8 bis 6.4) (SUCCOW und STEGMANN, 2001), da es sich um Kalkflachmoore handelt.

Der Gesamt-Stickstoff der untersuchten Böden im Steirischen Salzkammergut lag im Durchschnitt bei 2.6 % (Min: 0.79 %, Max: 3.44 %; Tab. 8). Ähnliche Ergebnisse erhielt FEIGE (1977). FEIGE (1977) gibt den Bereich des Gesamt-Stickstoffs von 1.3 bis 3.5 % und des Phosphors von 0.02 bis 0.12 % in Niedermoortorfen an.

In Niedermoortorfen liegt die Kaliumkonzentration zwischen 0.04 und 0.35 %. Die Kaliumkonzentration ist in Torfen im Vergleich zu Mineralböden sehr gering. Bei intensiver Schnittnutzung an Moorstandorten ohne entsprechender Kaliumdüngung kommt es daher rasch zu einer Verarmung der Böden. In naturnahen, nicht gemähten Mooren ist durch die natürliche Rückführung der oberirdischen Biomasse ein geschlossener Kaliumkreislauf gegeben, wodurch es zu keinem Kaliummangel kommt (KOPPISCH, 2001a). In den untersuchten Böden im Steirischen Salzkammergut lag das CAL-lösliche Kalium im Median bei 0.024 %.

Die effektive Kationenaustauschkapazität in Torfen liegt in einem Bereich von 50 bis 450 mequiv/ l (KOPPISCH, 2001a). Die gemessene Kationenaustauschkapazität in den untersuchten Böden im Steirischen Salzkammergut lag zwischen 41 und 119 cmol+/ 1000 g. Diese Werte sind vergleichbar mit den Angaben von KOPPISCH (2001a). Der Kationenaustausch findet in mineralstoffarmen Torfen vor allem an organischen Substanzen statt. Organische Böden binden  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  und  $\text{NH}_4^+$  nur relativ locker, das führt zu einer raschen Auswaschung dieser Ionen aus Moorökosystemen.  $\text{Ca}^{2+}$  wird besser adsorbiert und verdrängt daher Kalium und Ammonium von den Austauschplätzen (KOPPISCH, 2001a). Dies zeigt sich auch in den Untersuchungen im Steirischen Salzkammergut an der hohen Kalzium-Sättigung und dem hohen Basensättigungsgrad. Die Kalzium-Sättigung lag im Mittelwert bei 93.5 % und der Basensättigungsgrad bei 99.7%. Diese Werte zeigen deutlich, dass es sich um typische Kalkflachmoore handelt.

Die Konzentrationswerte der Phosphor-Fraktionen, die Phosphor-Speicherkapazität und der Phosphor-Sättigungsgrad in den untersuchten Böden zeigen deutliche Unterschiede im Vergleich zu terrestrischen Böden. BOHNER et al. (2014) untersuchten österreichische Böden des Dauergrünlandes und verwendeten zur Bodenanalyse die gleichen Methoden wie in der vorliegenden Arbeit. Bei nahezu gleicher Boden-Reaktion wiesen die untersuchten Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut im Vergleich zu den terrestrischen Talböden im Median eine deutlich höhere Konzentration an wasserlöslichem Phosphor und an CAL-löslichem Phosphor auf (Tab. 22). Die Konzentration an oxalatlöslichem Phosphor war in den Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut im Vergleich zu den terrestrischen Talböden sehr niedrig. Beachtliche Unterschiede gab es bei der Phosphor-Speicherkapazität. In terrestrischen Talböden lag die Phosphor-Speicherkapazität im Median bei 102 mmol/ 1000 g und in den untersuchten Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut lag sie bei 294 mmol/ 1000 g. Der Phosphor-Sättigungsgrad war in den terrestrischen Talböden deutlich höher.

Tabelle 22: Vergleich Boden-pH-Wert, organischer Kohlenstoff, ausgewählte Phosphor-Fraktionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad in terrestrischen und hydromorphen Böden (0 bis 10 cm Bodentiefe)

		<b>Terrestrische Talböden</b> nach BOHNER et al. (2014) Mediane (n = 106)	<b>Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut</b> Mediane (n = 79)
<b>pH</b>	CaCl <sub>2</sub>	5.6	5.9
<b>C<sub>org</sub></b>	%	4	47
<b>P<sub>H2O</sub></b>	mg/ 1000 g	7	17
<b>P<sub>CAL</sub></b>	mg/ 1000 g	21	41
<b>P<sub>ox</sub></b>	mg/ 1000 g	540	172
<b>PSC</b>	mmol/ 1000 g	102	294
<b>DPS</b>	%	20	5

pH = Boden-pH-Wert in CaCl<sub>2</sub>; C<sub>org</sub> = organischer Kohlenstoff; P<sub>H2O</sub> = wasserlöslicher Phosphor; P<sub>CAL</sub> = CAL-löslicher Phosphor; P<sub>ox</sub> = oxalateextrahierbarer Phosphor; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad

Für die höhere Konzentration an oxalatlöslichem Phosphor und für den höheren Phosphor-Sättigungsgrad in terrestrischen Grünlandböden ist die regelmäßige Düngung hauptverantwortlich (BOHNER et al., 2014). Der niedrige Phosphor-Sättigungsgrad der untersuchten Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut zeigt deutlich, dass die Flächen nicht gedüngt wurden. Die Ursache für die hohe Konzentration an wasserlöslichem Phosphor in den untersuchten Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut liegt an den häufigen und länger andauernden reduzierenden Bedingungen in den nicht entwässerten Niedermoorböden. Unter reduzierenden Bedingungen steigt die Phosphor-Konzentration in der Bodenlösung infolge reduktiver Auflösung von Phosphor-haltigen Eisen(III)-Oxiden an (HOLFORD und PATRICK, 1979, WELP et al., 1983). Insbesondere Moorböden mit niedrigen pH-Werten weisen häufig hohe wasserlösliche Phosphor-Konzentrationen auf (SCHEFFER, 1977). Häufige und länger andauernde reduzierende Bedingungen (niedriges Redoxpotential) und niedrige Boden-pH-Werte begünstigen die Löslichkeit von Phosphaten und somit deren Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002). Zusätzlich sind die Phosphor-Entzüge durch die Moorpflanzen durch landwirtschaftliche extensive Nutzung sehr gering. An einigen Beprobungsstandorten gibt es keine Phosphor-Entzüge durch Moorpflanzen, da diese Flächen nicht landwirtschaftlich genutzt werden.

Die extrem hohe Phosphor-Speicherkapazität in den untersuchten Böden im Steirischen Salzkammergut ist vor allem durch die sehr hohe Konzentration an oxalateextrahierbarem Eisen bedingt (Tab. 23). Nach BOHNER et al. (2014) lag die Konzentration an oxalateextrahierbarem Eisen in terrestrischen Talböden im Median bei 5885 mg/ 1000g. Die Untersuchungen im Steirischen Salzkammergut ergaben Konzentrationswerte an oxalateextrahierbarem Eisen von 6825 mg/ 1000 g. Diese hohen Werte deuten darauf hin,

Tabelle 23: Vergleich der Konzentrationswerte an oxalatrehabierbarem Aluminium, Eisen und Mangan in terrestrischen und hydromorphen Böden in mg/ 1000g (0 bis 10 cm Bodentiefe)

		<b>Terrestrische Talböden nach BOHNER et al. (2014) Mediane (n = 106)</b>	<b>Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut Mediane (n = 79)</b>
<b>Al<sub>ox</sub></b>	mg/ 1000 g	2103	898
<b>Fe<sub>ox</sub></b>	mg/ 1000 g	5885	6825
<b>Mn<sub>ox</sub></b>	mg/ 1000 g	590	223

Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub> und Al<sub>ox</sub> = Gehalt an oxalatrehabierbarem Eisen, Mangan und Aluminium

dass Eisen unter reduzierenden Verhältnissen nicht ausgewaschen wird, sondern dass in carbonathaltigen Niedermooren durch Reoxidationsprozesse reichlich amorphe Eisen-Oxide gebildet werden, die Phosphor sehr gut speichern können. Auch die starke Komplexbildung von Eisen und Aluminium mit der organischen Bodensubstanz dürfte zur Phosphor-Bindung beitragen (RICHARDSON, 1985). Die Konzentration an oxalatrehabierbarem Aluminium war in den untersuchten Böden im Steirischen Salzkammergut im Vergleich zu den terrestrischen Böden deutlich niedriger, da in den Torfen wenig Mineralsubstanz vorhanden ist. Ebenso ergaben sich niedrigere oxalatrehabierbare Mangankonzentrationswerte, das dürfte an den reduzierenden Verhältnisse liegen, wodurch Mangan gelöst und ausgewaschen wird.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bodendichte in terrestrischen und hydromorphen Böden ergibt sich eine andere Situation in Bezug auf die Unterschiede im Nährstoffangebot (Tab. 24). Für die Berechnungen der Nährstoffgehalte in kg/ ha bezogen auf die obersten 10 cm wurde für terrestrische Böden die Lagerungsdichte 1 g/ cm<sup>3</sup> und für hydromorphe Böden 0.5 g/ cm<sup>3</sup> angenommen. Die Unterschiede in den Nährstoffgehaltswerten minimieren sich vor allem bei den Phosphor-Fractionen, sodass terrestrische und hydromorphe Böden ähnliche Gehalte an wasserlöslichem und CAL-löslichem Phosphor in kg/ ha enthalten. Dadurch wird aber auch deutlich, dass terrestrische Talböden in kg/ ha wesentlich mehr oxalatrehabierbares Eisen enthalten als hydromorphe Böden. Bei der Interpretation und beim Vergleich von Bodendaten ist die Bezugsgröße (volumensbezogen oder gewichtsbezogen) sehr wichtig.

Tabelle 24: Vergleich der Gehaltswerte an ausgewählten Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität, Phosphor-Sättigungsgrad sowie oxalatrehabierbarem Aluminium, Eisen und Mangan in terrestrischen und hydromorphen Böden in kg/ ha (0 bis 10 cm Bodentiefe)

		<b>Terrestrische Talböden</b> nach BOHNER et al. (2014) Mediane (n = 106)	<b>Niedermoorböden im</b> <b>Steirischen Salzkammergut</b> Mediane (n = 79)
<b>P<sub>H2O</sub></b>	kg/ ha	7	9
<b>P<sub>CAL</sub></b>	kg/ ha	21	21
<b>P<sub>ox</sub></b>	kg/ ha	540	86
<b>PSC</b>	mol/ha	102000	147000
<b>Al<sub>ox</sub></b>	kg/ ha	2103	449
<b>Fe<sub>ox</sub></b>	kg/ ha	5885	3413
<b>Mn<sub>ox</sub></b>	kg/ ha	590	112

P<sub>H2O</sub> = wasserlöslicher Phosphor; P<sub>CAL</sub> = CAL-löslicher Phosphor; P<sub>ox</sub> = oxalatrehabierbarer Phosphor; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad; Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub> und Al<sub>ox</sub> = oxalatrehabierbares Eisen, Mangan und Aluminium

#### 4.2. Bewertung der Nährstoffkonzentrationen im Pflanzenmaterial

In Düngungsexperimenten erzielten WASSEN et al. (1995) kritische Werte für die Nährstoffkonzentration in Gefäßpflanzen. Eine Nährstoffkonzentration im Pflanzenmaterial unter dem kritischen Wert deutet auf eine Mangelsituation des betreffenden Nährstoffes im Boden hin. Für den Stickstoff im Pflanzenmaterial liegt der kritische Wert bei 13 bis 14 mg je g Trockenmasse (mg/ g TM) und für Phosphor bei 0.7 mg/ g TM. Liegen die absoluten Konzentrationswerte unter dem kritischen Wert, sind die Relationen der Nährstoffe im Pflanzenmaterial (P/N-Verhältnis) zueinander aussagekräftig für die Trophie. Bei einem P/N-Verhältnis von größer gleich 0.07 wird von einer Stickstoff-Limitierung ausgegangen. Ein P/N-Verhältnis unter 0.04 bis 0.05 deutet auf eine Phosphor-Limitierung hin. Bei Werten zwischen den Grenzwerten ist das Wachstum durch beide Nährstoffe, N und P, begrenzt. Die P/N-Verhältnis-Methode zur Bestimmung des limitierenden Nährstoffes im Boden gilt nur, wenn die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen unter dem kritischen Wert liegen (WASSEN et al., 1995).

In den untersuchten Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut lagen auf 7 Beprobungsstandorten die absoluten Stickstoff- und die Phosphorkonzentrationen unter dem nach WASSEN et al. (1995) jeweiligen kritischen Wert. An allen 7 Beprobungsstandorten kann von einer Phosphor-Limitierung ausgegangen werden, da das P/N-Verhältnis unter 0.047 lag. An den übrigen 42 Beprobungsstandorten herrscht nach dieser Methode kein Nährstoffmangel vor. Der Median und der Mittelwert des P/N-Verhältnisses aller Analyseergebnisse lag bei 0.055. Daraus folgt, dass die Vegetation an den

Untersuchungsstandorten im Steirischen Salzkammergut **nicht von Stickstoff limitiert ist, sondern dass tendenziell eine Phosphor-Limitierung vorliegt.**

WASSEN et al. (1995) untersuchten zwei Niedermoorstandorte im Nordosten von Polen. Die untersuchten Niedermoore liegen in einem sehr großen Flusstal entlang der Biebrza. Das Untersuchungsgebiet beherbergt unzählige naturnahe Moore. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 583 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 6.8 °C. Die untersuchten Niedermoore hatten einen pH-Wert von 7.2 und die Ca<sup>2+</sup>-Konzentration lag bei 56 mg/ l. Die Pflanzenbestände der Untersuchungsstandorte wurden den zwei Unterassoziation *Caricetum limoso-diandrae A* und *Caricetum limoso-diandrae B* zugerechnet. Es handelte sich um eine artenreiche Vegetation mit wenigen Seggen. Bei den Moosen war die Familie *Hypnaceae* stark vertreten. WASSEN et al. (1995) analysierten die Nährstoffkonzentrationen im Aufwuchs. Die Konzentrationswerte sind in Tab. 25 angeführt. Die aufwachsende Vegetation weist aufgrund des P/N-Verhältnisses tendenziell eine Phosphorlimitierung auf. Die Nährstoffkonzentrationen in den Gefäßpflanzen waren durchwegs höher im Vergleich zu den Moosen.

Die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationswerte in den Gefäßpflanzen im Steirischen Salzkammergut ergaben im Vergleich mit den Ergebnissen von WASSEN et al. (1995) ähnliche Werte. Die Kaliumkonzentration in den Gefäßpflanzen der vorliegenden Arbeit war deutlich höher. Die Stickstoff- und Phosphorkonzentration in den Moosen lagen unter den Werten von WASSEN et al. (1995), während die Kaliumkonzentration auch in den Moosen deutlich höher war. Das P/N-Verhältnis in den Moosen befand sich in einem ähnlichen Bereich. In Tab. 25 sind die erwähnten Konzentrationswerte sowie die Analyseergebnisse nach WASSEN et al. (1998) angeführt. Mit Ausnahme von den Kaliumkonzentrationen in den untersuchten Gefäßpflanzen und Moosen im Steirischen Salzkammergut sind die Werte sehr ähnlich. Die höheren Kaliumkonzentrationswerte sind auf den höheren Mineralanteil im Torf der untersuchten Flächen zurückzuführen.

Tabelle 25: Mittlere Konzentrationswerte von N, P, K in mg/ g TM sowie P/N-Verhältnis in der Vegetation von Niedermooren nach WASSEN et al (1995) und WASSEN et al. (1998) sowie im Steirischen Salzkammergut

	Gefäßpflanzen					Moose				
	Nach WASSEN et al. (1995)		Nach WASSEN et al. (1998)		Steirisches Salzkammergut	Nach WASSEN et al. (1995)		Nach WASSEN et al. (1998)		Steirisches Salzkammergut
N	15.2	12.6	12.6	14.3	14.3	17.2	18.6	14.1	15.2	12.5
P	0.7	0.6	0.9	1.0	0.8	1.0	0.8	0.6	0.9	0.7
K	8.5	7.7	7.2	11.2	11.3	4.0	3.4	3.7	3.6	7.2
P:N	0.05	0.04	0.07	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.06	0.06
N:P	20.6	22.2	14.5	13.5	19.2	17.3	23.8	22.7	16.2	18.6

Eine geringfügig abgeänderte Methode zur Bestimmung der Nährstofflimitierung erfolgt Mithilfe des N/P-Verhältnisses im Pflanzenmaterial. Ein N/P-Verhältnis größer 16 lässt auf eine Limitierung durch Phosphor schließen. Ein N/P-Verhältnis kleiner 13.5 zeigt eine Stickstoff-Limitierung an. Liegt das N/P-Verhältnis zwischen den kritischen Werten, wird das Pflanzenwachstum durch die Nährstoffe N und P gleichermaßen limitiert bzw. co-limitiert (KOERSELMAN und MEULEMAN, 1996; GÜSEWELL und KOERSELMAN, 2002; WASSEN et al., 2005). GÜSEWELL und KOERSELMAN (2002) fanden in ihren Untersuchungen, dass die Art der Limitierung nur wenig von dem absoluten Stickstoffkonzentrationswert in der oberirdischen Biomasse abhängt. Es wurde festgestellt, dass bei einer Stickstoffkonzentration unter 9.5 mg/ g TM im Pflanzenmaterial immer eine N-Limitierung der Vegetation vorliegt. Bei einer höheren N-Konzentration ist jede Art der Limitierung möglich. Die absoluten N-Konzentrationen sagen wenig über die Art der Limitierung aus. Bei der P-Konzentration konnten zwei kritische Werte gefunden werden. Bei P-Konzentrationen unter 0.5 mg/ g TM im Pflanzenmaterial liegt eine P-Limitierung vor. Bei P-Konzentrationen über 1 mg/ g TM liegt keine P-Limitierung vor. Zwischen den beiden Grenzwerten ist jede Art der Limitierung möglich. Die angeführten Arbeiten zeigen, dass die N/P-Verhältnisse über die Limitierung einen höheren Informationsgehalt aufweisen als die absoluten Konzentrationswerte im Pflanzenmaterial. Die kritischen Werte für das N/P-Verhältnis gelten sowohl für Gefäßpflanzen als auch für Moose (GÜSEWELL und KOERSELMAN, 2002).

Die beschriebene Methode deutet darauf hin, dass die Vegetation im Steirischen Salzkammergut Phosphor-limitiert ist, da sowohl der Median als auch der Mittelwert des N/P-Verhältnisses in den Gefäßpflanzen und auch in den Moosen über 16 liegen. Auch die Gefäßpflanzen in den untersuchten Niedermooren nach WASSEN et al. (1995) sind nach dieser Methode Phosphor-limitiert. Die Gefäßpflanzen der untersuchten Niedermoore nach WASSEN et al. (1998) sind N-P-co-limitiert (Tab. 25).

Wie die angeführten Ergebnisse zeigen, sind die beiden Methoden zur Bestimmung der Nährstofflimitierung nicht zur Ermittlung von absoluten Aussagen geeignet, sondern zeigen nur Trends an (PAWLIKOWSKI et al., 2013). Im Gegensatz zu GÜSEWELL und KOERSELMAN (2002) wiesen PAWLIKOWSKI et al. (2013) daraufhin, dass die N/P-Verhältnisse nicht für Moose gelten, denn bei diesen liegen die kritischen Werte viel höher.

Der Trend zur Phosphor-Limitierung von Feuchtwiesen und Mooren wurde in mehreren Stellen der Literatur bereits beschrieben. EGLOFF (1982) führte Düngungsexperimente in Streuwiesen in der Schweiz durch, um den limitierenden Nährstoff festzustellen. Er stellte fest, dass Phosphor und nicht Stickstoff der primär limitierende Nährstoff in Streuwiesen ist. Daher empfahl er der Naturschutzpraxis, besonders Phosphor von Streuwiesen fernzuhalten.

Die vorliegenden Ergebnisse zur Vegetation von Niedermooren im Steirischen Salzkammergut (Tab. 7) zeigen, dass in den Moosen im Vergleich zu den Gefäßpflanzen signifikant höhere Konzentrationswerte bei Asche, Kalzium, Magnesium, Natrium, Mangan, Kupfer und Eisen vorliegen. Der höhere Aschegehalt in den Moosen liegt vermutlich an der verstärkten Verschmutzung der kleinen und bodennahen Moospflanzen. Die erhöhten

Mineralstoffkonzentrationen in den Moosen liegen wahrscheinlich daran, dass Moose Mineralstoffe mit ihrer gesamten Oberfläche absorbieren (DIERSSEN und DIERSSEN, 2001). Signifikant niedrigere Konzentrationen in den Moosen traten bei Stickstoff und Kalium auf. In der Phosphorkonzentration konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Gefäßpflanzen und Moosen festgestellt werden. Diese Analysenergebnisse stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen von PAWLIKOWSKI et al. (2013). PAWLIKOWSKI et al. (2013) untersuchten braunmoosreiche Niedermoore im Nordosten Polens, im nördlichen Teil der nemoralen Waldzone. Die durchschnittliche Jahrestemperatur betrug im langjährigen Mittel (1971-2000) 6.3°C und der durchschnittliche Jahresniederschlag lag im langjährigen Mittel bei 591 mm. Die untersuchten Niedermoore wurden nach den vorherrschenden Pflanzenbeständen in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe setzte sich aus Niedermooren zusammen, die von zahlreichen Arten der Ordnung *Caricetalia davallianae* besiedelt waren. Vertreten waren hauptsächlich folgende Arten: *Scorpidium cossonii*, *Campylium stellatum*, *Carex lepidocarpa* und *Eriophorum latifolium*. Weiters traten die Moose *Philonotis fontana* und *Aneura pinguis* auf. Die Vegetation der ersten Gruppe von Niedermooren war Phosphor-limitiert und war gekennzeichnet durch eine höhere Produktivität der Moose. Der zweiten Gruppe wurden Niedermoore zugeordnet, in denen nur wenige Arten der Ordnung *Caricetalia davallianae* auftraten. Als kennzeichnende Arten waren hauptsächlich *Hamatocaulis vernicosus*, *Marchantia polymorpha*, *Plagiomnium ellipticum*, *Carex rostrata*, *Eriophorum angustifolium* und *Carex diandra* vertreten. Die Vegetation der Niedermoore der zweiten Gruppe war Stickstoff-limitiert. PAWLIKOWSKI et al. (2013) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der P- und K-Konzentration in Gefäßpflanzen und in Moosen besteht. Keinen Zusammenhang fanden sie in der Stickstoff-Konzentration. Einen nicht-linearen Zusammenhang erhielten sie im N/P-Verhältnis.

Die Niedermoorvegetation im Steirischen Salzkammergut weist im Vergleich zu Kulturgrasland deutlich niedrigere Nährstoffkonzentrationen in der oberirdischen pflanzlichen Biomasse auf. Besonders auffällig sind die niedrigen Rohprotein- und Rohfett-Gehalte, bei extrem hohen Rohfaser-Gehalten im Vergleich zu verschiedenen Stellen in der Literatur (Tab. 26; z.B. GRUBER et al., 1994; RESCH et al., 2006). Die Phosphor-, Kalium- und Natriumkonzentrationen sind in den untersuchten Moor-Gefäßpflanzen deutlich niedriger (Tab. 27). Die Kalzium- und Magnesiumkonzentrationen, sowie Mangan- und Zinkkonzentrationen liegen in der gleichen Größenordnung wie bei den Pflanzen des Kulturgraslandes. Bei Kupfer und Eisen weisen die untersuchten Moor-Gefäßpflanzen deutlich niedrigere Konzentrationswerte auf. Das ist überraschend, da bei reduzierenden Verhältnissen Eisen und Mangan leichter löslich sind. Naturnahe, nicht entwässerte Niedermoore wurden schon vor Jahrzehnten als Streuflächen genutzt, weil sie keine guten Futterqualitäten aufweisen.

Tabelle 26: Vergleich ausgewählter Inhaltsstoffe in Niedermoor-Gefäßpflanzen und in der Vegetation des Kulturgraslandes (Mittelwerte)

	n	TM	XP	XL	XF	XA
		g/ kg	g/ kg TM			
<b>Zweischnittwiese, 1. Aufwuchs, Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	13	258	144	22	232	100
<b>Zweischnittwiese, 2. Aufwuchs, Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	90	219	163	23	218	103
<b>Dreischnittwiese, 1. Aufwuchs, Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	88	203	147	23	228	95
<b>Dreischnittwiese, 2. und Folgeaufwüchse, Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	265	188	162	23	218	107
<b>Moor-Gefäßpflanzen im Steirischen Salzkammergut</b>	45	931	89	19	308	56

n = Anzahl der Stichproben; TM = Trockenmasse; XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Aschegehalt

Tabelle 27: Vergleich der Nährstoff- und Elementkonzentrationen in Niedermoor-Gefäßpflanzen und in der Vegetation des Kulturgraslandes (Mittelwerte)

	n	Ca	P	Mg	K	Na	n	Mn	Zn	Cu	Fe
		g/ kg TM					mg/ kg TM				
<b>Zweischnittwiese 1. Aufwuchs Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	13	8.5	2.6	2.9	19.1	0.13	12	124	38	7.2	415
<b>Zweischnittwiese 2. Aufwuchs Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	88	11.1	3.2	3.4	19.5	0.22	68	154	40	8.3	518
<b>Dreischnittwiese, 1. Aufwuchs, Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	73	9.3	3.0	2.7	22.5	0.22	36	87	36	7.6	396
<b>Dreischnittwiese, 2. und Folgeaufwüchse, Grünfutter Ährenrispenschieben</b> (RESCH et al., 2006)	248	12.0	3.7	3.4	21.6	0.32	120	119	41	9.4	441
<b>Moor-Gefäßpflanzen im Steirischen Salzkammergut</b>	45	8.5	0.79	1.8	11.3	0.079	45	113.8	36.6	3.3	211.5

### 4.3. Beurteilung der Korrelationsanalysen auf die Zusammenhänge der Nährstoffkonzentrationen

Die Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten zeigen einige signifikante Zusammenhänge auf. Es konnte signifikant nachgewiesen werden, dass die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) in einem negativen Zusammenhang mit dem wasserlöslichen und dem CAL-löslichen Phosphor im Boden steht (Tab. 14). Das bedeutet, je geringer die Phosphor-Speicherkapazität eines Bodens ist, desto mehr Phosphor befindet sich in Lösung und desto höher ist die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser. Signifikante und positive Zusammenhänge bestehen zwischen dem Phosphor-Sättigungsgrad (DPC) und der wasserlöslichen sowie der CAL-löslichen Phosphorkonzentration im Boden. Daraus lässt sich schließen, je höher der DPC, desto mehr Phosphor befindet sich in Lösung und desto höher ist das Auswaschungsrisiko. Ein hohes Phosphor-Austragspotential besteht entweder bei einer geringen Phosphor-Speicherkapazität oder bei einem hohen Phosphor-Sättigungsgrad, was beispielsweise bei einer intensiven Düngung der Fall ist. Dies führt zur Eutrophierung von Grundwasser, Oberflächengewässer oder benachbarten Ökosystemen.

Es zeigte sich auch, dass die **Konzentration an oxalateextrahierbarem Eisen** in den Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut hauptverantwortlich für die hohe Phosphor-Speicherkapazität im Oberboden ist. Es bestehen einerseits positive Zusammenhänge zwischen der PSC und dem oxalateextrahierbarem Eisen sowie dem Gesamt-Eisen, andererseits auch zwischen der PSC und dem oxalateextrahierbarem Aluminium und Mangan sowie dem Gesamt-Aluminium und -Mangan. Dieser positive Zusammenhang ergibt sich aus der Berechnungsmodalität der Phosphor-Speicherkapazität (siehe Kapitel 2.3). Des Weiteren steht die PSC in einem negativen Zusammenhang mit dem Phosphor-Sättigungsgrad (DPC). Das bedeutet, je mehr Phosphor-Speichervermögen ein Boden besitzt, desto kleiner ist der Anteil des belegten Speichers. Das trifft nur auf die ungedüngten Niedermoorböden im Steirischen Salzkammergut zu.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit (Tab.18) zeigen, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der Phosphorkonzentration in den analysierten Gefäßpflanzen und der Phosphor-Speicherkapazität, dem Gesamt-Phosphor, dem oxalatlöslichen Phosphor und dem organischen Phosphor im Boden besteht. BOLLENS et al. (2001) erhielten bei Untersuchungen an Niedermooren in der Schweiz eine positive Korrelation zwischen den Phosphorkonzentrationswerten im Pflanzenmaterial und dem Gesamt-Phosphor sowie dem Anteil an austauschbarem Phosphor ( $\text{PO}_4$ ) im Boden. Ein positiver Zusammenhang ergab sich auch zwischen der Stickstoffkonzentration im Pflanzenaufwuchs und der wasserlöslichen N-Fraktion ( $\text{NO}_3$ ) im Boden. Kein Zusammenhang bestand zwischen dem N/P-Verhältnis in der oberirdischen pflanzlichen Biomasse und dem N/P-Verhältnis im Boden (BOLLENS et al., 2001). In der vorliegenden Arbeit wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Stickstoffkonzentration im Pflanzenmaterial und dem Gesamt-Stickstoff im Boden gefunden (Tab. 19). Die Annahme, je enger das C/N-Verhältnis im Boden, desto mehr Stickstoff ist pflanzenverfügbar und desto höher ist die Stickstoffkonzentration in der

oberirdischen Biomasse, wurde nicht bestätigt. Niedermoore weisen hohe Konzentrationen an Gesamt-Stickstoff auf, diese sind aber zum überwiegenden Teil nicht pflanzenverfügbar.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Analysenergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis-Bewertungskriterien nach SUCCOW und STEGMANN (2001) für die Beurteilung des Eutrophierungsgrades von Kalkflachmooren im Steirischen Salzkammergut nicht geeignet sind. Die C/N-Verhältniswerte in den Bodenproben im Steirischen Salzkammergut von etwa 17 weisen nicht auf eutrophe Moorstandorte hin, da sämtliche Untersuchungsstandorte typische Pflanzengesellschaften für ungestörte Niedermoore repräsentieren. Dieser Wert ist nur für Kalkflachmoore mit ähnlicher Entstehungsgeschichte und in einem ähnlichen Klimaraum anwendbar. Um den Eutrophierungsgrad von weiteren Moortypen in unterschiedlichen Naturräumen anhand von C/N-Verhältnissen bewerten zu können, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich. Dazu sind in speziellen Naturräumen der Boden und die Vegetation von sauren Mooren, Übergangsmooren, Hochmooren jeweils in typischer und gestörter Ausprägung zu analysieren. Eine vollständige und geeignete Bewertungsskala über den Eutrophierungsgrad von Moorstandorten in den einzelnen Naturräumen dient vor allem dem Naturschutz.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse der Untersuchungen im Steirischen Salzkammergut ist anzunehmen, dass Phosphor der primär limitierende Nährstoff in Kalkflachmooren ist. Daher ist der Eintrag von Phosphor in Niedermoorökosysteme zu vermeiden, wenn die bestehende typische Pflanzengesellschaft ungestörter Niedermoore erhalten werden soll. Um diese Ergebnisse abzusichern, sind auf Niedermoorstandorten weiterführende Arbeiten, z.B. Düngungsexperimente mit Stickstoff und Phosphor, notwendig.

Der Futterwert der untersuchten Moorvegetation war sehr gering. Daraus folgt, dass naturnahe Niedermoore nur als Streuwiesen genutzt werden können. Auch in den zurückliegenden Jahrzehnten wurden sie nur als Streuwiesen genutzt. Extensive Bewirtschaftung ohne Düngung hat keinen negativen Einfluss auf die typische Moorvegetation. Im Gegenteil, um Sukzessionen (Verbuschung, Verwaldung) zu verhindern, ist eine Mahd im Herbst unbedingt erforderlich.

Die Phosphor-Speicherkapazität ist vom Standort vorgegeben. Durch landwirtschaftliche Maßnahmen kann der Phosphor-Sättigungsgrad beeinflusst werden. Regelmäßige Düngung erhöht den Phosphor-Sättigungsgrad und damit das Phosphor-Auswaschungsrisiko. Die untersuchten ungedüngten Kalkflachmoore weisen aufgrund der hohen Phosphor-Speicherkapazität und des niedrigen Phosphor-Sättigungsgrades ein geringes P-Auswaschungspotential mit dem Sickerwasser auf. Die Eutrophierungsgefährdung für das Grundwasser, die Oberflächengewässer und angrenzenden Ökosysteme wird als gering geschätzt.

## 6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt die Nährstoffsituation und das Eutrophierungsrisiko von Niedermooren im Steirischen Salzkammergut auf. Während Hochmoore nur aus der Atmosphäre Wasser und Nährstoffe erhalten, werden Niedermoore zusätzlich von Grund- und Oberflächenwasser gespeist (JOOSTEN und SUCCOW, 2001). Die Moore werden nicht nur direkt durch die unmittelbare Nutzung, sondern auch indirekt beeinflusst. Anthropogene Stoffeinträge über die Luft oder mit dem Grund- und Oberflächenwasser verändern die Zusammensetzung der Vegetation und die Eigenschaften der Torfe. Es besteht die Gefahr einer „schleichenden Eutrophierung“ vieler Moorstandorte (JASNOWSKI, 1972). Das Ziel der vorliegenden Arbeit war einerseits herauszufinden, ob die Bewertungskriterien zur Beurteilung des Eutrophierungsgrades mithilfe des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses (C/N) im obersten Bodenhorizont nach SUCCOW und STEGMANN (2001) auch auf die Niedermoore im Steirischen Salzkammergut zutreffen. Andererseits sollte geklärt werden, durch welchen Pflanzennährstoff die pflanzliche Produktion limitiert wird. Eine objektive Bewertung des Nährstoffzustandes sowie des Eutrophierungsrisikos der Niedermoore ist die Voraussetzung, um landwirtschaftliche Maßnahmen für die Erhaltung der typischen Moorvegetation und Artenvielfalt zu entwickeln.

Die nördliche Obersteiermark ist ein moorreiches Gebiet und besitzt große Moorflächen. Der starke Einfluss der eiszeitlichen Vergletscherung in diesem Gebiet sowie hohe jährliche Niederschlagsmengen begünstigten die Moorbildung (MATZ und GEPP, 2008). Das Steirische Salzkammergut wird geologisch den Nördlichen Kalkalpen zugeordnet (PFIFFNER, 2009). Die wichtigsten Gesteinstypen sind Dachsteinkalk und Fleckenmergel (FLÜGEL und NEUBAUER, 1984). Bei den untersuchten Niedermooren handelt es sich um Kalkflachmoore, die mit den Pflanzengesellschaften *Caricetum davallianae* (Davallseggengesellschaft) und *Schoenetum ferruginei* (Gesellschaft der Rostroten Kopfbinse) besiedelt sind. Dominierende Moosarten in den untersuchten Niedermooren waren: *Tomentypnum nitens*, *Scorpidium cossonii*, *Campylium stellatum*, *Fissidens adianthoides*, *Calliergonella cuspidata*, *Philonotis calcarea*, *Bryum pseudotriquetrum* und *Aulacomnium palustre*. Im Untersuchungsgebiet wurden 79 Bodenproben zur Bewertung der Nährstoffversorgung im Boden gezogen und analysiert. An allen Beprobungsstandorten erfolgten vegetationskundliche Aufnahmen nach BRAUN-BLANQUET (1951). Zusätzlich wurden 45 Proben von Gefäßpflanzen und 27 Proben von Moosen bezüglich der Mineral- und Inhaltsstoffe analysiert. Die Daten wurden mithilfe Microsoft Excel 2013 (Deskriptive Statistik) und der Statistik Software SPSS Statistics 21 (Mann-Whitney-U-Test, Spearmans Rangkorrelationskoeffizient) statistisch ausgewertet.

Die Nährstoffkonzentration der untersuchten Böden, Gefäßpflanzen und Moosen sind größtenteils mit Werten aus der Literatur vergleichbar. Die untersuchten Böden zeichnen sich durch eine sehr hohe Konzentration an organischem Kohlenstoff, Gesamt-Stickstoff, oxalateextrahierbaren Eisen, eine hohe Phosphor-Speicherkapazität, eine hohe Basensättigung, eine hohe Kalzium-Sättigung und durch einen niedrigen Phosphor-Sättigungsgrad aus. Aufgrund der hohen Phosphor-Speicherkapazität und des geringen Phosphor-Sättigungsgrades besteht eine geringe Gefahr für eine Phosphor-Auswaschung.

Die Eutrophierungsgefährdung für Grundwasser, Oberflächengewässer und benachbarte Ökosysteme wird gering geschätzt. In der vorliegenden Arbeit wurden die Nährstoffkonzentrationen auch von Moosen analysiert. Es wurden signifikante Unterschiede zwischen den Nährstoffkonzentrationswerten in den Gefäßpflanzen und in den Moosen festgestellt. Die Stickstoff- und Kaliumkonzentrationen in den Gefäßpflanzen waren signifikant höher, die Moose hingegen wiesen signifikant höhere Konzentrationen an Kalzium, Magnesium, Natrium, Mangan, Kupfer und Eisen auf.

Die Analysenergebnisse der Bodenproben zeigen, dass die C/N-Bewertungskriterien nach SUCCOW und STEGMANN (2001) für die Bewertung des Eutrophierungsgrades von Kalkflachmooren im Steirischen Salzkammergut nicht geeignet sind. Die C/N-Verhältniswerte in den untersuchten Bodenproben von etwa 17 weisen nicht auf eutrophe Moorstandorte hin, da sämtliche Untersuchungsstandorte typische Pflanzengesellschaften für ungestörte Niedermoore aufweisen. Dieser Wert ist nur auf Kalkflachmoore mit ähnlicher Entstehungsgeschichte und mit vergleichbaren klimatischen Rahmenbedingungen anwendbar. Um eine vollständige und geeignete C/N-Bewertungsskala über den Eutrophierungsgrad von Moorstandorten in speziellen Naturräumen zu erhalten, sind weiterführende Untersuchungen von sämtlichen Moortypen (saure Moore, Hochmoore, Übergangsmoore) erforderlich.

Das Phosphor-Stickstoff-Verhältnis nach WASSEN et al. (1995) sowie das Stickstoff-Phosphor-Verhältnis nach KOERSELMAN und MEULEMAN (1996) in der Pflanzenbiomasse sind Indikatoren für den limitierenden Nährstoff. Beide Methoden wurden zur Beurteilung herangezogen, ob Stickstoff- oder Phosphormangel das Pflanzenwachstum begrenzen. Aufgrund der Analysenergebnisse der Gefäßpflanzen im Steirischen Salzkammergut ist Phosphor der primär limitierende Nährstoff in den untersuchten Kalkflachmooren. Ein Eintrag von Phosphor in Niedermoorökosysteme ist zu vermeiden, damit die bestehenden typischen Pflanzengesellschaften ungestörter Niedermoore erhalten bleiben.

Etwa die Hälfte der Untersuchungsflächen wird landwirtschaftlich extensiv als Hutweide oder als einschnittige Wiese genutzt. Der Futterwert der untersuchten Moorgefäßpflanzen ist sehr gering. Daraus folgt, dass naturnahe Niedermoore – wie in den zurückliegenden Jahrzehnten – nur als Streuwiesen genutzt werden können.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die im Naturschutz eingesetzten Bewertungskriterien über den Nährstoffzustand nicht für Kalkflachmoore im Steirischen Salzkammergut geeignet sind. Weitere Untersuchungen sind zur Beurteilung des Nährstoffzustandes und des Eutrophierungsrisikos sämtlicher Moortypen in Österreich erforderlich.

---

## Literaturverzeichnis

- ALVA (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen) (1983): Österreichisches Methodenbuch für die Untersuchung von Futtermitteln und Schadstoffen. Selbstverlag ALVA.
- BALTISBERGER, M., NYFFEDER, R. und WIDMER, A. (2013): Systematische Botanik: Einheimische Farn- und Samenpflanzen. 4. Aufl., vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- BOHNER, A. und HERNDL, M. (2011): Einfluss einer Nutzungsintensivierung auf Wurzelmasse und Wurzelverteilung im Grünlandboden. 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 35–44.
- BOHNER, A., WEIßENSTEINER, C. und FRIEDEL, J. K. (2014): Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad in österreichischen Böden des Dauergrünlandes. 4. Umweltökologisches Symposium 2014, 49–60.
- BOLLENS, U., GÜSEWELL, S. und KLÖTZLI, F. (2001): Vegetation changes in two Swiss fens affected by eutrophication and desiccation. *Botanica Helvetica*, 111, 121–137.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1951): Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. 2. Aufl., Springer, Wien.
- DE SMET, J., HOFMAN, G., VANDERDEELEN, J., VAN MEIRVENNE, M. und BAERT, L. (1996): Phosphate enrichment in the sandy loam soils of West-Flanders, Belgium. *Fertilizer Research*, 43, 209–215.
- DIERSSEN, K. und DIERSSEN, B. (2001): Moore: Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Ulmerverlag, Stuttgart.
- DONGUS, H. (2003): Das Relief der Alpen. Verlag Wenzel, Marburg.
- ECKHARDT, K.U. und LEINWEBER, P. (1997): P-Fractionen zur Vorhersage von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. *Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 85,II, 871–874.
- EGLOFF, T. (1982): Der Phosphor als primär limitierender Nährstoff in Streuwiesen (Molinion). Düngungsexperiment im unteren Reusstal. *Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel*, 50, 119–148.
- ELLENBERG, H. und LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. Aufl., Ulmerverlag, Stuttgart.

- FEIGE, W. (1977): Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen in organischen Böden. Geologisches Jahrbuch, Reihe F4, 211–228, zitiert in KOPPISCH, D. (2001a): Kationenaustauschkapazität, Umsetzungsprozesse von Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen und Einfluß des pH-Wertes. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- FISCHER, M. A., OSWALD, K. und ADLER, W. (2008): Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein, Südtirol. 3. Aufl., Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz.
- FLÜGEL, H. W. und NEUBAUER, F. (1984): Steiermark: Erläuterungen zur geologischen Karte der Steiermark, 1:200.000. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GRUBER, L., WIEDNER, G., VOGEL, A. und GUGGENBERGER, T. (1994): Nähr- und Mineralstoffgehalt von Grundfuttermitteln in Österreich. Die Bodenkultur, Band 45, Heft 1, 57–73.
- GÜSEWELL, S. und KOERSELMAN, W. (2002): Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, Vol. 5/1, 37–61.
- HAJEK, M. und HORSÁK, M. HAJKOVÁ, P., DITE, D. (2006): Habitat diversity of central European fens in relation to environmental gradients and an effort to standardize fen terminology in ecological studies. Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst. 8, 97–114, zitiert in ELLENBERG, H. und LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. Aufl., Ulmerverlag, Stuttgart.
- HOLFORD, I. C. R. und PATRICK, W. H. (1979): Effects of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil. Soil Science Society of America Journal, 43, 292–297.
- JASNOWSKI, M. (1972): Extents and directions of changes of plant cover of the bogs. Phytocoenosis 13, 193–208, zitiert in DIERSSEN, K. und DIERSSEN, B. (2001): Moore: Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Ulmerverlag, Stuttgart.
- JOOSTEN, H. und COUWENBERG, J. (2001): Bilanzen zum Moorverlust. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

- JOOSTEN, H. und SUCCOW, M. (2001): Einführung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KILIAN, W., MÜLLER, F. und STARLINGER, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA-Berichte, 82, Wien.
- KÖCKINGER, H., SUANJAK, M., SCHRIEBEL, A. und SCHRÖCK, C. (2008): Die Moose Kärntens. Sonderreihe Natur Kärnten, Band 4, Naturwiss. Ver. für Kärnten, Klagenfurt.
- KOERSELMAN, W. und MEULEMAN, A. F. M. (1996): The vegetation N:P ratio: a new toll to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 33, 1441–1450.
- KOPPISCH, D. (2001a): Kationenaustauschkapazität, Umsetzungsprozesse von Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen und Einfluß des pH-Wertes. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KOPPISCH, D. (2001b): Kohlenstoff-Umsetzungsprozesse. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KOPPISCH, D. (2001c): Torfbildung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KOSKA, I. (2001): Standortkundliche Kennzeichnung und Bioindikation. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KOWARIK, I. (1988): Zum menschlichen Einfluss auf Flora und Vegetation. *Landschaftsentwickl. Umweltf. TU Berlin* 56, zitiert in DIERSSEN, K. und DIERSSEN, B. (2001): Moore: Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Ulmerverlag, Stuttgart.
- KUMMERT, R. und STUMM, W. (1992): Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes, 3. Aufl., Verlag der Fachvereine, Zürich.
- LEINWEBER, P., LÜNSMANN, F. und ECKHARDT, K. U. (1997): Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany. *Soil Use and Management*, 13, 82–89.
- MATZ, H., und GEPP, J. (2008): Moorreiche Steiermark: 389 Moore der Steiermark. Zimmermann-Druck KG, Graz.

- NESTROY, O., DANNEBERG, O. H., ENGLISCH, M., GEßL, A., HAGER, H., HERZBERGER, E., KILIAN, W., NELHIEBEL, P., PECINA, E., PEHAMBERGER, A., SCHNEIDER, W. und WAGNER, J. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 60, 47–49 (Kap. BE).
- OKLAND, R. H., OKLAND, T. und RYDGREN, K. (2001): A Scandinavian perspective on ecological gradients in north-west european mires: reply to Wheeler and Proctor. *J. Ecol.* 89, 481–486, zitiert in ELLENBERG, H. und LEUSCHNER, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. 6. Aufl., Ulmerverlag, Stuttgart.
- ÖNORM L 1056 (2004): Probenahme von Dauergrünland. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1080 (2013): Chemische Bodenuntersuchungen: Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1083 (2006): Chemische Bodenuntersuchungen: Bestimmung der Acidität (pH-Wert). Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1086-1 (2014): Chemische Bodenuntersuchungen: Bestimmung der austauschbaren Kationen und der effektiven Kationen-Austauschkapazität (KAKeff) durch Extraktion mit Bariumchlorid-Lösung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1087 (2012): Chemische Bodenuntersuchungen: Bestimmung von "pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL) Methode. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1092 (2013): Chemische Bodenuntersuchungen: Extraktion wasserlöslicher Elemente und Verbindungen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1095 (2002). Chemische Bodenuntersuchungen: Bestimmung des Gesamt-Stickstoffgehaltes durch trockene Verbrennung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- PAWLIKOWSKI, P., ABRAMCZYK, K., SZCZEPANIUK, A. und KOZUB, L. (2013): Nitrogen : phosphorus ratio as the main ecological determinant of the differences in the species composition of brown-moos rich fens in north-eastern Poland. *Preslia* 85, 349–367.
- PIFFNER, O. A. (2009): *Geologie der Alpen*. 2. Aufl., Haupt Verlag, Stuttgart.
- RESCH, R., GUGGENBERGER, T., GRUBER, L., RINGDORFER, F., BUCHGRABER, K., WIEDNER, G., KASAL, A. und WURM, K. (2006): Futterwerttabellen für das Grünland im Alpenraum. *Der Fortschrittliche Landwirt, Sonderbeilage, Heft 24*.

- RICHARDSON, C. J. (1985): Mechanisms controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetland. *Science*, Vol. 228, 1424–1427.
- SCHEFFER, B. (1977): Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niederungsböden und Gewässerbelastung. *Geologisches Jahrbuch*, Heft F4, 203–221.
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- SCHOETERS, L., LOOKMAN, R., MERCKX, R. und VLASSAK, K. (1995): Inventorisation and evaluation of phosphate saturation in Northern Belgium: Proceedings of the International Workshop. *Phosphorus Loss to Water from Agriculture*, Wexford, 79–80.
- SCHWERTMANN, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, 105, 194–202.
- SHARPLEY, A. N., WEDEPHOL, R., SIMS, J. T., DANIEL, T. C. und REDDY, K. R. (1994): Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Waters: Issues and Options. *Journal of Environmental Quality* 23, 437–451.
- SPEARMAN, C. (1910): Correlation calculated from faulty data. *British Journal of Psychology*, 12, 271–295.
- STEINER, G. M. (1993): Scheuchzerio - *Caricetea fuscae*. In: G. GRABHERR und L. MUCINA (Hrsg.): *Die Pflanzengesellschaften Österreichs*, Gustav Fischer Verlag, Jena.
- SUCCOW, M. (1981): Landschaftsökologische Kennzeichnung und Typisierung der Moore der DDR. Diss. B, Adl der DDR, zitiert in SUCCOW, M. und STEGMANN, H. (2001): Nährstoffökologisch-chemische Kennzeichnung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SUCCOW, M. (1982): Topische und chorische Naturraumtypen der Moore. Akademie Verlag, Berlin, zitiert in SUCCOW, M. und STEGMANN, H. (2001): Nährstoffökologisch-chemische Kennzeichnung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Succow, M. (1988): *Landschaftsökologische Moorkunde*. Gustav Fischer Verlag, Jena, zitiert in SUCCOW, M. und STEGMANN, H. (2001): Nährstoffökologisch-chemische Kennzeichnung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

- SUCCOW, M. (2001a): Einführung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SUCCOW, M. (2001b): Zusammenfassende Beurteilung der Folgen tiefgreifender agrarischer Nutzungsintensivierung der letzten Jahrzehnte auf die Niedermoorstandorte Nordostdeutschlands. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SUCCOW, M. und STEGMANN, H. (2001): Nährstoffökologisch-chemische Kennzeichnung. In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- WASSEN, M. und JOOSTEN, H. (1996): In search of a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza Upper Basin (Poland). *Vegetatio* 124, 191–209, zitiert in ELLENBERG, H. und LEUSCHNER, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. 6. Aufl., Ulmerverlag, Stuttgart.
- WASSEN, M. J., OLDE VENTERINK, H. G. M. und DE SWART, E. O. A. M. (1995): Nutrient concentrations mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 6, 5–16.
- WASSEN, M. J., OLDE VENTERINK, H., LAPSHINA, E. D. und TANNEBERGER, F. (2005): Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature*, 437, 547–550.
- WASSEN, M. J., VAN DER VLIET, R. E. und VERHOEVEN, J. T. A. (1998): Nutrient limitation in the Biebrza fens and floodplains (Poland). *Acta Botanica Neerlandica*, 47, 2, 241–253.
- WELP, G., HERMES, U. und BRÜMMER, G. (1983): Einfluss von Bodenreaktion, Redoxbedingungen und organischer Substanz auf die Phosphatgehalte der Bodenlösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 146, 38–52.
- ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) (2002): Klimadaten von Österreich 1971 - 2000. Abgerufen 8. Oktober 2014, von [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm).

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Monatsmittel der Lufttemperatur (in °C) in den Jahren 1971-2000 an der Messstation Bad Mitterndorf (803 m Seehöhe) (ZAMG, 2002) .....	4
---	---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Monats- und Jahressumme der Niederschläge (in mm) in den Jahren 1971-2000 an der Messstation Bad Mitterndorf (803 m Seehöhe); ZAMG (2002) .....	5
Tab. 2: Anzahl an Gefäßpflanzenarten pro 50 m <sup>2</sup> Aufnahme­fläche .....	10
Tab. 3: Nährstoffkonzentrationen und ausgewählte Inhaltsstoffe in den Gefäßpflanzen in g/kg bzw. mg/kg sowie Trockenmasse in g/kg und kg/ha .....	11
Tab. 4: Nährstoff- und Elementgehalte in kg/ha in den Gefäßpflanzen .....	12
Tab. 5: Nährstoffkonzentrationen und ausgewählte Inhaltsstoffe in den Moosen in g/kg bzw. mg/kg sowie Trockenmasse in g/kg .....	13
Tab. 6: Nährstoffverhältnisse in den Gefäßpflanzen (n=45) und in den Moosen (n=27).....	14
Tab. 7: Unterschiede zwischen den Nährstoffkonzentrationen in den Gefäßpflanzen und in den Moosen (Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests).....	15
Tab. 8: Ausgewählte bodenchemische Kennwerte der untersuchten Niedermoore (0 bis 10 cm Bodentiefe) .....	16
Tab. 9: Austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität und Basensättigungsgrad in BaCl <sub>2</sub> -Extrakt (0 bis 10 cm Bodentiefe) in den untersuchten Niedermooren .....	17
Tab. 10: Gesamt- sowie oxalatextrahierbares Eisen, Mangan und Aluminium und Verhältnisse (0 bis 10 cm Bodentiefe) .....	18
Tab. 11: Phosphor-Frak­tionen, Phosphor-Speicher­kapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0 bis 10 cm Bodentiefe) .....	19
Tab. 12: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 1/6)	21
Tab. 13: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 2/6)	22
Tab. 14: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 3/6)	23
Tab. 15: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 4/6)	24
Tab. 16: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 5/6)	25
Tab. 17: SPEARMANS-Rangkorrelationen zwischen den vorliegenden Bodendaten (Teil 6/6)	26
Tab. 18: Phosphorkonzentration in den Gefäßpflanzen korreliert mit ausgewählten Phosphor-Frak­tionen und bodenchemischen Kennwerten im Boden (SPEARMANS Rangkorrelation).....	27
Tab. 19: Stickstoffkonzentration in den Gefäßpflanzen korreliert mit dem Gesamt-Stickstoff und dem C/N-Verhältnis im Boden (SPEARMANS Rangkorrelation).....	27
Tab. 20: $\alpha$ -Diversität korreliert mit ausgewählten Bodenkennwerten (SPEARMANS Rangkorrelation).....	28
Tab. 21: Trophiestufen der Moorstandorte aufgrund des Verhältnisses des Kohlenstoffs zum Stickstoff im Torf (nach SUCCOW und STEGMANN, 2001).....	30

---

Tab. 22: Vergleich Boden-pH-Wert, organischer Kohlenstoff, ausgewählte Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad in terrestrischen und hydromorphen Böden (0 bis 10 cm Bodentiefe).....	32
Tab. 23: Vergleich der Konzentrationswerte an oxalateextrahierbarem Aluminium, Eisen und Mangan in terrestrischen und hydromorphen Böden in mg/ 1000g (0 bis 10 cm Bodentiefe) .....	33
Tab. 24: Vergleich der Gehaltswerte an ausgewählten Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität, Phosphor-Sättigungsgrad sowie oxalateextrahierbarem Aluminium, Eisen und Mangan in terrestrischen und hydromorphen Böden in kg/ ha (0 bis 10 cm Bodentiefe) .....	34
Tab. 25: Mittlere Konzentrationswerte von N, P, K in mg/ g TM sowie P/N-Verhältnis in der Vegetation von Niedermooren nach WASSEN et al (1995) und WASSEN et al. (1998) sowie im Steirischen Salzkammergut .....	35
Tab. 26: Vergleich ausgewählter Inhaltsstoffe in Niedermoor-Gefäßpflanzen und in der Vegetation des Kulturgraslandes (Mittelwerte) .....	38
Tab. 27: Vergleich der Nährstoff- und Elementkonzentrationen in Niedermoor-Gefäßpflanzen und in der Vegetation des Kulturgraslandes (Mittelwerte).....	38