

TELMA	Band 39	Seite 27 - 44	8 Abb., 3 Tab.	Hannover, November 2009
-------	---------	---------------	----------------	-------------------------

Pedologische Untersuchungen an verschiedenen genutzten Mooren in Borgarfjörður – West-Island

Pedological field research on cultivated Peatsoils in the Borgarfjörðurregion- Westiceland

ANNEKE BLIX und JUTTA ZEITZ

Zusammenfassung

Der Wissensstand zu den Moorböden Islands ist gering. Eine bekannte Eigenschaft ist jedoch der außergewöhnlich hohe Gehalt vulkanischer Asche in den Torfen. Die Entwässerung und Nutzung der Moore begann in Island im Vergleich zu anderen Ländern Europas erst spät und die durch Entwässerung und Nutzung hervorgerufenen pedogenetischen Veränderungen sind weitgehend unerforscht. Die Untersuchung entwässerter und verschieden genutzter Moorböden in West Island ergab, dass Gefüge und Zersetzungsgrade der Torfe durch die Entwässerung und Durchlüftung bereits verändert wurden. Aufgrund der hohen Anteile vulkanischer Asche war die Analyse und Interpretation von Rohascheanteilen oder Trockenrohdichten allerdings nur eingeschränkt möglich.

Abstract

Little is known of the characteristics of Icelandic peat soil – one major aspect that is known, though, is that Icelandic peat soil tend to contain high amounts of volcanic ash. The agricultural use of organic soils in Iceland began quite recently relative to other European countries. Pedogenetic changes that have come about through drainage and cultivation have not been investigated as far as possible. Through the investigation of pedogenetic transformations in cultivated peat soils in Westiceland higher degrees of decomposition and textural changes were identified resulting from artificial drainage and aeration. Due to the high amounts of volcanic ash the interpretation and analysis of soil properties like the bulk density or ash contents of the dry matter was rather difficult.

1. Einleitung

Island zählt zu einer der vulkanisch aktivsten Regionen der Welt. Es kommt im Durchschnitt alle 4 bis 5 Jahre zu größeren vulkanischen Eruptionen (ARNALDS 2003) und zu einer weitflächigen Ablagerung vulkanischer Aschen. Die isländischen Moore stellen aufgrund der Anreicherung vulkanischer Aschen in den Torfen eine Sonderform der subpolaren Moortypen dar. Die Kenntnis ihrer Eigenschaften ist gering. Sie werden nach ARNALDS (1998, 2003) den Histosols oder Histic Andosols zugeordnet.

Bei Veröffentlichung der ersten Bodenkarte im Maßstab 1:750.000 definierte JÓHANNES-SON 1959 mit den „Flóis“ (*Isl.*: Sumpf) und „Hallamýris“ (*Isl.*: schräges Moor) zwei genetische Moortypen. Die „Flói“-Moore bilden sich in topogenen Depressionen und Verebnungen über wasserstauenden Deckenbasalten und werden maßgeblich durch hohe Grundwasserstände bestimmt. Torfbildner sind hauptsächlich Seggen und Wollgräser, wie *Eriophorum angustifolium*, *Carex rostrata*, *Carex lyngiby* und *Carex chordorrhiza*. Die „Hallamýri“-Moore dagegen entstehen an Hängen. Vergleichbar mit bekannten europäischen Hangmooren werden sie sowohl von Regenwasser als auch von mineralreichem Boden- und Hangsickerwasser gespeist, wodurch ihre Torfe vergleichsweise hohe Nährstoffgehalte aufweisen. Aufgrund der topografischen Gegebenheiten ist dieser Moortyp auf Island sehr weit verbreitet.

In der aktuellen Bodenkarte (AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE RALA 2001) (siehe Abb.1) im Maßstab 1 : 500.000 werden die Moorböden den Histosolen (H) und Histic Andosolen (HA) zugeordnet. Das diagnostische Klassifikationskriterium für Torf ist ein Kohlenstoffgehalt von $> C_{org} 12-20\%$.

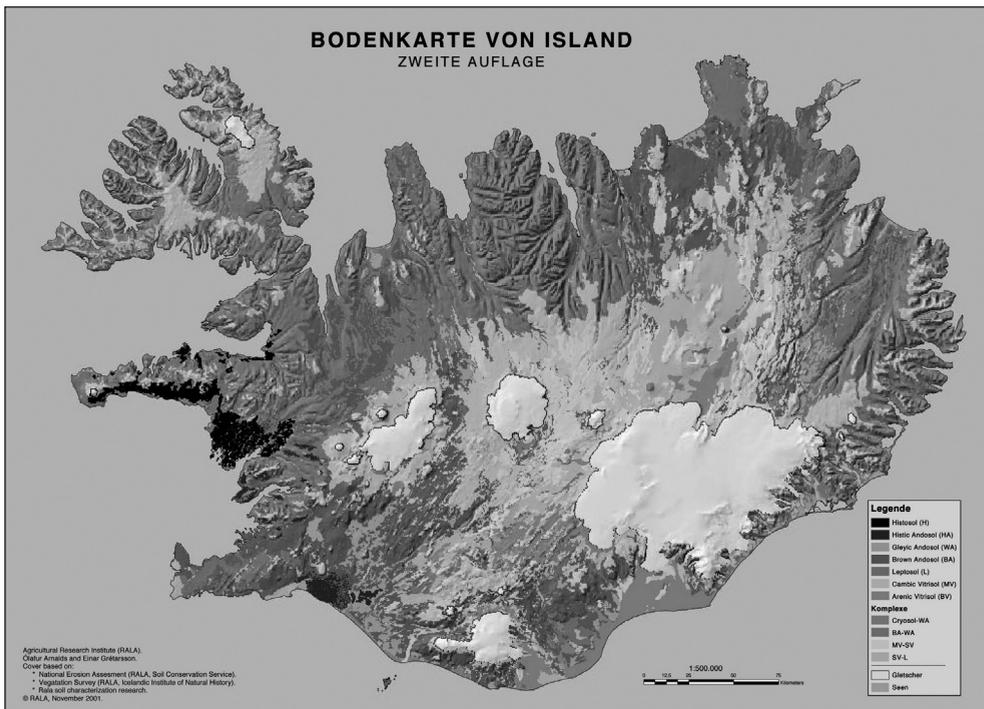


Abb. 1: Bodenkarte von Island - mit deutscher Legende (verändert, nach AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE RALA 2001)

Soil map of Iceland (AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE RALA 2001)

Verbreitung

Mit einer Ausdehnung von 10.000 km² nehmen Mooregebiete 10% der Landesfläche ein und dominieren damit rund zwei Drittel der von Vegetation bedeckten Fläche des Landes (RUTHSATZ et al. 1989, OSKARSSON 1998, ARNALDS 2003). Die Hauptverbreitungsgebiete der Histosole liegen vor allem im Süden und Westen des Landes entlang des ebenen Küstenstreifens (Abb. 1). In den steilen Tälern der West- und Ostfjorde und den vegetationslosen Regionen des zentralen Hochlandes fehlen Moore weitgehend.

Genese

Aufgrund der kurzen Vegetationsperiode und ganzjährig niedriger Temperaturen ist die jährliche Biomasseproduktion in Island gering. Aufgrund dessen weisen die Moore Akkumulationsraten zwischen 0,02-0,45 mm/Jahr sowie durchschnittliche Torfmächtigkeiten von 2,5 m auf (GUÐMUNDSSON 1978). Nach BJARNASON (1968) und OSKARSSON (1998) liegen die Moormächtigkeiten zwischen 1-7 m. In Ausnahmefällen wurden maximale Mächtigkeiten bis zu 10 m festgestellt.

Alter

Das Alter der isländischen Torfe wird in Anbetracht der pleistozänen und holozänen Klimaentwicklung auf 9000 bis 13.000 Jahre B.P. datiert. Sowohl der Datierung der Torfe als auch Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Akkumulationsraten dient die Tephrochronologie. Zur Datierung werden in den Böden eingelagerte Schichten vulkanischer Aschen mit bekanntem Entstehungsalter verwendet. Dabei eignen sich die rhyolithischen Tephraschichten des Hekla-Vulkans besonders gut, weil sie im gesamten Land abgelagert wurden und aufgrund ihrer hellen Färbung leicht in den dunklen Andosol- und Histosolböden erkennbar sind. Das Alter der Hekla-Tephrenlagen ist mit H1= 866 a B.P., H3= 2855 a B.P., H4= 4500 a B.P. und H5= 6100 a B.P. datiert worden (THORARINSSON 1949, 1961, 1981, HAFLIDASON et al. 2000). Nach GUÐMUNDSSON (1978), THORARINSSON (1981) und ÓLAFSDÓTTIR & GUÐMUNDSSON (2003) liegen in vielen Moorböden die H4-Tephrahorizonte in einer Tiefe von 40-60 cm, in Ausnahmefällen auch in 100 cm uGOK. Dies verdeutlicht die geringe jährliche Torfakkumulation in Island.

Chemische und physikalische Eigenschaften

Das wohl prägnanteste Merkmal der isländischen Torfe ist der ausgesprochen hohe Gehalt an vulkanischem Tephramaterial. Nicht selten liegen in natürlich belassenen Moorböden **Aschegehalte** zwischen 20 und 85 Masse% vor (EINARSSON 1963, HELGASON 1968, BJARNASON 1968, GUÐMUNDSSON 1978, GUÐBERGSSON & THORLEIFUR 1998). Die Aschen gelangen einerseits nach Vulkanausbrüchen durch Ascheregen in die Moore, werden aber auch kontinuierlich äolisch eingetragen. Nicht selten sind auch Raseneisenerze, deren Ent-

stehung auf Mineraleintrag mit dem Grund- und Hangsickerwasser zurückzuführen ist (JÓHANNESSON 1959, ARNALDS et al. 2001). Auffällig ist, dass Torfe, die vor der Besiedlung Islands (874 v.Chr.) entstanden sind, Aschegehalte von 10-20 % besitzen, wohingegen jüngere Torfe Werte um 50 % aufweisen. Es ist anzunehmen, dass dies auf erhöhter Bodenerosion beruht, bedingt durch Überweidung mit Schafen (ÓLAFSDÓTTIR et al. 2001, ARNALDS 2003, 2004, OSKARSSON et al. 2004).

Tab. 1: Vergleich von C/N-Verhältnissen der Torfe verschiedener Länder (Quelle: OTABBONG & LINDÉN 1993. Ergänzt durch Informationen von SUCCOW & STEGMANN 2001, HELGASON 1968 und OSKARSSON 1998, eigene Zusammenstellung)
Comparison of carbon-nitrogen ratios of peat from different countries (Source: OTABBONG und LINDÉN 1993. Additional Informations from SUCCOW & STEGMANN 2001, HELGASON 1968 and OSKARSSON 1998)

Region	Ct (%)	Nt (%)	C/N	Quelle
Kanada	12-17	0,5-2,5	23	OTABBONG 1998
Deutschland	14-57	1,9-4,0	10-40	SUCCOW & STEGMANN 2001
Irland	28-35	1,0-2,0	14-35	OTABBONG 1998
Russland	36	2,8	13	OTABBONG 1998
Island	19-31	0,8-2,2	10,8-37,7	OSKARSSON 1998
Island	10-25	n.d.	15	HELGASON 1968

Hohe Anteile vulkanischer Aschen verursachen hohe Trockenrohdichten sowie geringe Kohlenstoffgehalte. Wie in Tabelle 1 erkennbar, zeigt der Vergleich der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte naturnaher Moore unterschiedlicher Länder, dass die isländischen Torfe vergleichsweise geringe Kohlenstoffgehalte, sowie damit einhergehend enge C/N-Verhältnisse besitzen.

JÓHANNESSON (1959), GUÐMUNDSSON (1978) und OSKARSSON (1998) geben für Torfe natürlich belassener Moore in Island **Trockenrohdichten** von 0,18 g/cm³ bis 0,38 g/cm³ an. Diese relativ hohen Werte verdeutlichen den Einfluss der Aschen. OSKARSSON'S (1998) Untersuchungen an entwässerten Moorböden lieferten Werte zwischen 0,29-0,54 g/cm³, wobei er höchste Werte in den mineralstoffreichen „Hallamýri“-Mooren feststellen konnte. Der Zersetzungsgrad ist wichtig zur Klassifikation von Torfen. Die Zersetzung der organischen Substanz ist in Island aufgrund subpolarer Klimaverhältnisse verlangsamt (OSKARSSON 1998). In naturnahen Mooren hat GUÐMUNDSSON (1978) mit zunehmender Profiltiefe eine Abnahme der Zersetzungsgrade gemessen, womit seine Ergebnisse allgemeinen Beobachtungen entsprechen (EDOM 2001). Die Profile entwässerter Standorte weisen aufgrund der oxidierenden Bedingungen im Oberboden die höchsten Zersetzungsgrade im oberen Profilibereich auf.

Nutzung

Im Vergleich zu anderen Ländern Europas begann die landwirtschaftliche Nutzung der organischen Böden in Island erst spät. Erst ab 1945 begann mit staatlicher Hilfe und mit der Festlegung des „Land Cultivation and Farm Building Act of 1945“ die weitflächige Entwässerung, Kultivierung und agrarische Nutzung der Moorböden, was bis zum Jahr 1987 subventioniert wurde. (GEIRSSON 1975, OSKARSSON 1998). Landwirtschaftliche Nutzflächen sind aufgrund der klimatischen und topographischen Charakteristika Islands nur begrenzt verfügbar. Durch ein rasantes wirtschaftliches Wachstum in den letzten Jahrzehnten wurden großflächig Moore entwässert und unterliegen seit dem intensiver Wiesen- als auch extensiver Weidenutzung als Niedermoorschwarzkulturen. Aus Untersuchungen OSKARSSONS (1998) geht hervor, dass die Vegetation von 60-80% der Fläche ehemaliger wachsender Moore durch systematische Entwässerung erheblich gestört oder bereits vernichtet wurde. Ihre pedologischen Veränderungen durch die Entwässerung und Nutzung sind unbekannt und wurden deshalb untersucht.

2. Methodik

2.1 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Borgarfjördurregion im Westen Islands zwischen $64^{\circ}29'$ und $64^{\circ}35'$ Nord und $21^{\circ}08'$ W bis $21^{\circ}41'$ W. Den Borgarfjord umrahmen ausgedehnte vermoorte Ebenen entlang des Küstenstreifens, welche entwässert und intensiv landwirtschaftlich genutzt werden. Landeinwärts fächern lang gestreckte, weite Täler vom Fjord aus hinauf in die Hochgebirgsregionen zum Arnarvatnsgebirge, mit dem Langjökull-Gletscher.

Böden wurden auf kultivierten Mooren entlang des Lundarreykjadalur-Tals und der angrenzenden Küstenebene untersucht. Dieses lange und weite Trogtal erstreckt sich von Nordwesten nach Südosten über eine Gesamtlänge von 35 km von der flachen Küstenebene bis auf 450 m Höhe. In Abbildung 2 sind die Standorte der Bohrungen entlang des Lundarreykjadalur-Tals zu sehen.

2.2 Geologie und Geomorphologie

Im Untersuchungsgebiet gibt es neben anstehenden tertiären Flutbasalten und jüngeren Aschesedimenten auch pleistozäne glazifluviale und marine Sedimentablagerungen, anhand derer postglaziale Meeresspiegelanstiege zwischen 60-80 m über dem heutigen Stand nachgewiesen werden konnten (ASHWELL 1975, INGÓLFSSON 1991, EINARSSON 1994). In der flachwelligen, glazial überprägten Landschaft kommt es seit dem Rückzug des Weichseises in vielen Senken und Becken sowie an den sanft ansteigenden Hängen der Trogtäler zur Torfbildung.

Zur Veranschaulichung der morphologischen Verhältnisse im Lundarreykjadalur-Tal dient das digitale Geländemodell in Abbildung. 3. Ebenfalls deutlich erkennbar wird, dass eine intensive Flächennutzung vorliegt und sämtliche Wiesen im Talgrund von Entwässerungsgräben umrahmt sind.

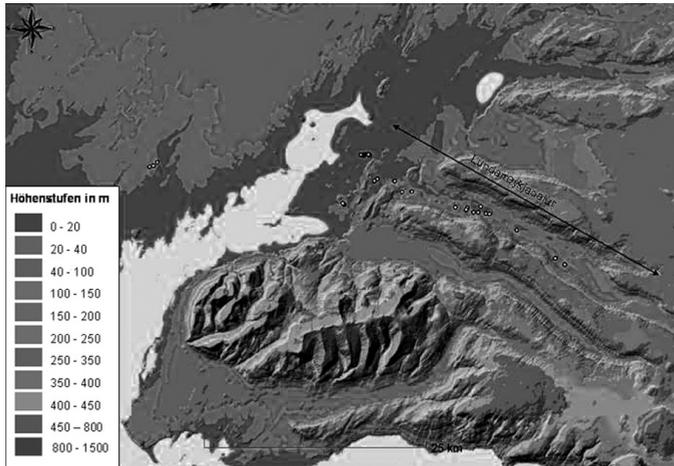


Abb. 2: Standorte der Bohrungen und Höhen im Arbeitsgebiet (Quelle: Eigene, Kartengrundlage: SPOT 5 Image von Borgarfjörður)
 Sampling points and altitude in the survey area (Source: own, Digital base map: SPOT 5 Image of Borgarfjörður)



Abb. 3: Digitales Geländemodell des Lundarreykjadalur-Tals (Quelle: Metúsalemsson, Sigmar, AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE RALA 2006)
 Digital terrain model of the Lundarreykjadalur valley (Source: Metúsalemsson, Sigmar, AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE RALA 2006)

2.3 Böden

Laut Bodenkarte (Abb. 1) dominieren Histosole (HS) mit den Subtypen Folic-Histosole oder abhängig von Vererdung und Vermulmung Folic Histosole (Drainic). Böden mit hohen Gehalten vulkanischer Aschen werden trotz genetisch hydromorpher Entstehung vom AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE als Histic Andosol (HA) bezeichnet.

2.4 Klassifizierung der Landnutzung

Drei Standorttypen Landnutzungsklassen wurden ausgewiesen und untersucht.

- **N: Naturnahe Moorstandorte** mit sehr hohen GW-Ständen, ohne Entwässerung. Die natürliche Vegetation ist erhalten.
- **E: Extensiv genutzte Moore** deren Eigenschaften durch eine deutliche Absenkung der GW-Flurabstände verändert sind. Unter extensiver Grünlandnutzung häufig gedüngt (N-,P-,K- Dünger). Die GW-Flurabstände liegen in der Vegetationszeit nicht tiefer als 40 bis 60 cm uGOK, außerhalb der Vegetationsperiode oberflächennah. Durch tiefe GW-Flurabstände kommt es zur Vegetationssukzession.
- **K: Entwässerte und kultivierte Moore** werden als Niedermoorschwarzkultur mit einer dauerhaften Absenkung der GW-Flurabstände auf >1 m uGOK intensiv als Wiesen genutzt und gedüngt. Die natürliche Vegetation ist vollständig vernichtet.

Im Folgenden wird diese Klassifizierung zur Darstellung der Ergebnisse im Kapitel 3 verwendet.

2.5 Methodik

Die Auswahl der Standorte erfolgte mittels Satellitenbildern. An 25 repräsentativen Standorten im Lundarreykjadalur-Tal wurde gebohrt und Oberbodenproben in 0-30 cm Tiefe entnommen, was 75 Einzelproben (aus gleich bleibenden Bodentiefen von 0-10 cm, 10-20 cm und 20-30 cm) ergab.

Untersucht wurden Kohlenstoff- (C_t %) und Stickstoffgehalte (N_t %), (nach DIN ISO 10694 im Elementar-Analysator), Rohaschegehalte % (Glühverlust bei 500°C), sowie pH-Werte (im Wasserextrakt, DIN ISO 10390) und Trockenrohdichten. Zur Bestimmung der Trockenrohdichten wurden Stechzylinderproben in den Bodentiefen von 4-9 cm und 12-17 cm entnommen und anschließend in den Laboren der Landwirtschaftlichen Universität Island nach DIN ISO 11 272 bestimmt.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurden aus allen Wertegruppen arithmetische Mittelwerte gebildet und entsprechend der Landnutzungsklassen (N= naturnah, E= extensive Nutzung, K= intensive Nutzung) miteinander verglichen.

Im natürlich belassenen Heggstaðir-Moor (Flói Moortyp) wurden drei Leitprofile angelegt. Einige Bereiche am östlichen Rand des Moores sind durch offene Gräben in Abständen von 200 bis 50 m stark entwässert und werden sowohl als Weide als auch intensiv als Wiese genutzt. Damit gibt es in diesem Moor für alle Nutzungen repräsentative Standorte für Bodenprofile. Ein Vergleichsprofil wurde auf einer Wiese in einem großen Moor bei Hestur angelegt, welches großflächig durch Gräben sehr stark entwässert ist und intensiver, landwirtschaftlicher Nutzung unterliegt, wodurch es besonders repräsentativ für die Standortklasse K, kultivierte Moore, ist.

Die Profilanlage erfolgte gemäß den Vorgaben der WRB (FAO 2006b) und den „Guidelines for Soil Descriptions“ (FAO 2006a). Aus jedem Horizont wurden Mischproben von 500 g Torfmasse entnommen und anschließend bei 4°C in Kühlräumen eingelagert. Die Zersetzungsgrade der Torfe wurden entsprechend der von von Post entwickelten Hand-Quetschmethode determiniert.

3. Ergebnisse

Aufgrund der hohen natürlichen Aschegehalte der isländischen Moorböden stellt sich in Hinblick auf den angestrebten Landnutzungsvergleich die Frage, ob und inwiefern pedogenetische Veränderungen trotz ihrer besonderen Charakteristika feststellbar sind.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Profilsprachen und die Ergebnisse der Bohrungen vorgestellt.

3.1 Profilaufbau

Die Analyse der Bodenprofile ergab, dass pedogenetische Veränderungen in den entwässerten Böden sowohl anhand textueller, als auch chemisch-physikalischer Veränderungen der Torfe festgestellt werden konnten. Jedoch wurde auch deutlich, dass der Eintrag äolischer Aschesedimente einen signifikanten Einfluss auf chemische und physikalische Eigenschaften der Böden hat und sich vertikale Profildifferenzierungen der Moore verschiedener Nutzungen dadurch in vielen Aspekten ähneln, so dass die Ermittlung einzelner Parameter für die Feststellung nutzungsbedingter, pedogenetischer Veränderungen oft nicht ausreichend ist. So zeigte z. B. ein Vergleich der Trockenrohdichten von natürlichen und entwässerten Moorböden wenig voneinander abweichende Werte. Der textuell-morphologischen Ansprache der Torfe kommt also eine zentrale Rolle zu.

Histosol

Wenig zersetzter Torf, über zwischengelagerter Schicht vulkanischer Asche, über sehr gering zersetztem Torf.

Alle Torf-Horizonte des Profils bestehen aus Großseggen mit einer Hauptkomponente von Radizellen. Der unterste H-Horizont enthält geringe Anteile Birkenbruchtorf (<10 % Vol.). Die Laboruntersuchung ergab eine Anreicherung von Asche in den oberen Horizonten, welche äolisch eingetragen wurde. Mit der Tiefe nehmen die Aschegehalte um 39 % ab sowie der Kohlenstoffgehalt um 25 % zu (Tab. 2).

Tab. 2: Physikochemische Kennwerte und Zersetzungsgrade des Histosols
Physicochemical properties and degrees of decomposition of the Histosol

Horizont	Tiefe (in cm)	Ct (%)	Nt (%)	C/N	pH (H ₂ O)	Asche (%)	TRD (g/cm ³)	Zersetzungsgrad (vPOST)
Hi1	0-17	24,80	1,55	16,0	4,33	53,2	0,311	H2-H3
Hi2	17-57	35,98	1,74	20,7	4,44	34,6	0,267	H2-H3
vu-T	57-64	21,36	1,01	21,2	4,64	60,4	0,387	n.d.
H	64-115	50,21	2,38	21,1	4,35	14,5	0,193	H2

In der Literatur (SCHÄFER 1996) werden in ungestörten Niedermoorböden Trockenrohdichten zwischen 0,14-0,18 g/cm³ zitiert. Im Zuge einer Zersetzung der Torfe steigt sie auf Werte zwischen 0,2 und 0,3 g/cm³. Der untersuchte Histosol besitzt trotz der geringen Zersetzung und der sehr lockeren Lagerung der Pflanzenreste in den oberen Horizonten des Profils Trockenrohdichten zwischen 0,27 und 0,32 g/cm³ (vgl. Tab. 2).

Folic Histosols (Drainic)

Gut durchlüftete Oberbodenhorizonte innerhalb der obersten 40 cm des Profils, welche weniger als 30 Tage im Jahr wassergesättigt und sehr stark zersetzt sind - mit zwischengelagerten Schichten vulkanischer Aschen des Holozän - über marinen Feinsanden des Spätpleistozän und ohne periglazialen Einfluss. Die unteren Torf-Horizonte sind mäßig bis wenig zersetzt.

Sämtliche Horizonte des Profils sind aus Großseggen- und *Betula*-Torfen aufgebaut und besitzen Kohlenstoffgehalte > 20 %. Der Profilaufbau zeichnet sich vor allem durch den stark ausgetrockneten folic-Horizont im obersten Profilbereich sowie durch darunter liegende stark zersetzte histic-Horizonte aus.

Der Folic Histosol (drainic) weist unter dem Einfluss langjähriger Grundwasserabsenkung und intensiver Nutzung als Wiese (Landnutzungsklasse K) deutliche Verdichtungen der stark zersetzten Torfe auf. Durch Vererdung und Vermulmung besitzen die obersten Torf-Horizonte Aggregatgefüge. Solche textuellen Veränderungen sind nach BRANDYK et al. (2003) und ILNICKI & ZEITZ (2003) charakteristisch für vermulmte Torfe. Im Profil wurden nach unten zunehmende Durchfeuchtung, eine deutliche Abnahme der Zersetzung und damit einhergehend eine Abnahme der anorganischen Bestandteile festgestellt.

Besonderes Kennzeichen des entwässerten Moorbodens ist, dass im oberen Profil die höchsten Gehalte an Asche mit 52-57 % gemessen wurden (Tab. 3). Die Aschegehalte sinken zum untersten Horizont des Profils auf 14 %. Die Anreicherung des anorganischen Materials ist vermutlich primär auf eine erhöhte Zersetzung zurückzuführen und damit Anzeichen eines dauerhaften Wasserentzugs. Dementsprechend sind im oberen Profilbereich auch die höchsten Zersetzungsgrade (H8-H9 nach von Post, vgl. Tab. 3) sowie auffällige Gefügeveränderungen, wie trockenes, staubiges Krümelgefüge und hohe Trockenrohdichten festzustellen. Im vertikalen Profilverlauf zeigen die **Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte** eine deutliche Korrelation. Mit der Tiefe verzeichnen Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte einen deutlichen Anstieg. Das **C/N-Verhältnis** liegt in den oberen Horizonten zwischen 14 und 18 und weist damit auf eine stärkere Durchlüftung und günstige Bedingungen für mikrobiellen Abbau und Nährstoffreichtum hin. Alle **pH-Werte** liegen zwischen 4,1-4,6 im sauren Bereich. Im unteren Profil wurde ein tendenzieller Anstieg der pH-Werte beobachtet.

Tab. 3: Physikochemische Kennwerte und Zersetzungsgrade des Folic Histosol (Drainic)
Physicochemical properties and degrees of decomposition of the Folic Histosol (Drainic)

Horizont	Tiefe (in cm)	Ct (%)	N t (%)	C/N	pH (H ₂ O)	Asche (%)	TRD (g/cm ³)	Zersetzungsgrad (vPOST)
Oa	0-12	21,87	1,57	14,0	4,09	57,0	0,347	H9
Ha	12-23	25,06	1,67	15,0	4,05	52,9	0,113	H8-H9
He1	23-26	35,42	2,07	17,2	4,07	36,5	0,238	H3
He2	26-52	19,84	1,11	17,9	4,45	62,0	0,234	H6
Hi1	52-64	38,62	1,87	20,7	4,49	31,3	0,169	H4
vu-T	64-68	12,12	0,54	22,5	4,63	76,8	0,447	n.d.
Hi2	68-132	49,58	2,21	22,4	4,64	14,4	0,270	H2-H3

Die zwischengelagerte Asche in 64-68cm Tiefe unterscheidet sich von den Torfen im Profil sowohl durch höhere Trockenrohdichte als auch durch deutlich geringere Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte.

Es zeigt sich, dass anhand der chemischen als auch der physikalischen Parameter die pedogenetische Veränderung der Torfe festgestellt werden kann. Sehr deutlich ist der anthropogene Einfluss jedoch durch die Gefügeveränderungen in den oberen Profilbereichen.

3.2 Ergebnisse der C, N- und Reingewichtsanalysen

Kohlenstoffgehalte

Ein wichtiges Maß zur Bestimmung der Veränderung von Moorböden im Zuge von Entwässerung und Nutzung ist der Kohlenstoffgehalt eines Moorbodens. Wie aus Abbildung 4 hervorgeht, ist eine tendenzielle Abnahme der Kohlenstoffgehalte als Folge von Entwässerung und Nutzungsintensivierung festzustellen. Maximale Kohlenstoffgehalte in Böden der naturnahen Moorstandorte betragen durchschnittlich 31,2 %, der extensiv genutzten Moore demgegenüber nur 25,4 %. Den geringsten Kohlenstoffgehalt besitzen die Böden der intensiv landwirtschaftlich genutzten Moorböden mit durchschnittlich 24 %. Besonders auffällig ist eine starke Abnahme der Kohlenstoffgehalte extensiv genutzter Böden in der Tiefe von 0-10 cm, bedingt durch verstärkte Durchlüftung und damit oxidativem Torfabbau.

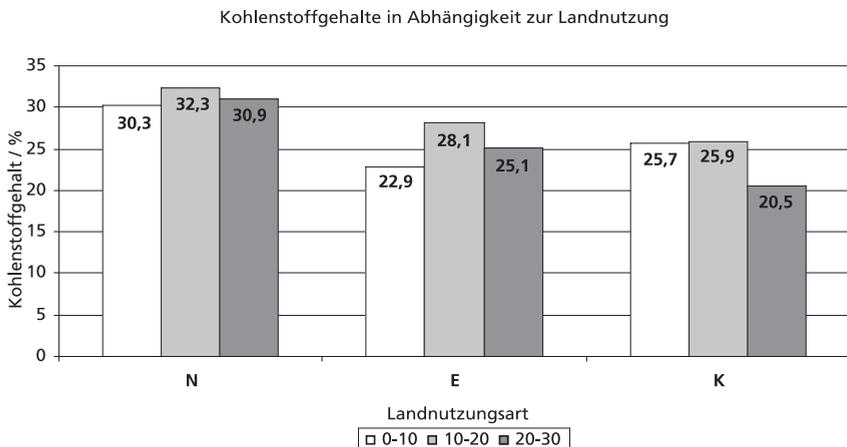


Abb. 4: Mittlere Kohlenstoffgehalte ($C_t\%$) verschieden genutzter Moorböden in Abhängigkeit zur Tiefe im Boden (N: natürliche, E: extensiv genutzte, K: entwässerte und kultivierte Moorböden)
 Mean carbon concentrations ($C_t\%$) of Icelandic peat soils under different land use intensities and at different depths (N: natural, E: extensively utilised, K: drained and cultivated peats)

Stickstoffgehalte

Die Stickstoffgehalte der Moorböden sind wie die Kohlenstoffgehalte abhängig von der Torfart sowie von der Intensität der Stickstoffumsetzung in den Böden.

Durch Entwässerung mit Mineralisation wie Nitrifikation und Denitrifikation kommt es unter aeroben Bedingungen in Moorböden zur Mobilisierung des Stickstoffs, was zur Auswaschung von Nitraten und zur Freisetzung klimarelevanter Treibhausgase führt.

Allerdings kann es infolge von starker und langfristiger Entwässerung in vermulmten Torfen durch die schwere Zersetzbarkeit von organischen Stickstoffverbindungen zu einer relativen Anreicherung von Stickstoff in den oberen Profilmereichen stark degradierter Moorböden kommen (OKRUSZKO 1993), wie Abbildung 5 zeigt. Weiterhin sind Stickstoffeinträge durch Düngemittel und Tierhaltung zu berücksichtigen. Alle beprobten Wiesen werden nach Auskunft der Landbesitzer jährlich gedüngt.

Die Stickstoffgehalte der Torfe aller drei Nutzungsklassen sind mit 1,70 bis 1,09 % verhältnismäßig gering (Abb. 5) bedingt durch die hohen Vulkan-Aschegehalte.

C/N-Verhältnisse

Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden dient als grobes Maß für die Einstufung der Nährstoffversorgung in Böden und ermöglicht eine indirekte Aussage zum Grad der Zersetzung der organischen Substanz.

Natürliche Moore haben C/N-Verhältnisse zwischen 18,3 und 19,7. Naturnahe Moore weisen gegenüber entwässerten und intensiv bewirtschafteten Böden höhere C/N-Verhältnisse auf (Abb. 6). Im Zuge der Entwässerung ist eine Verringerung der C/N-Verhältnisse auf Werte zwischen 15,3 und 17,8 zu beobachten.

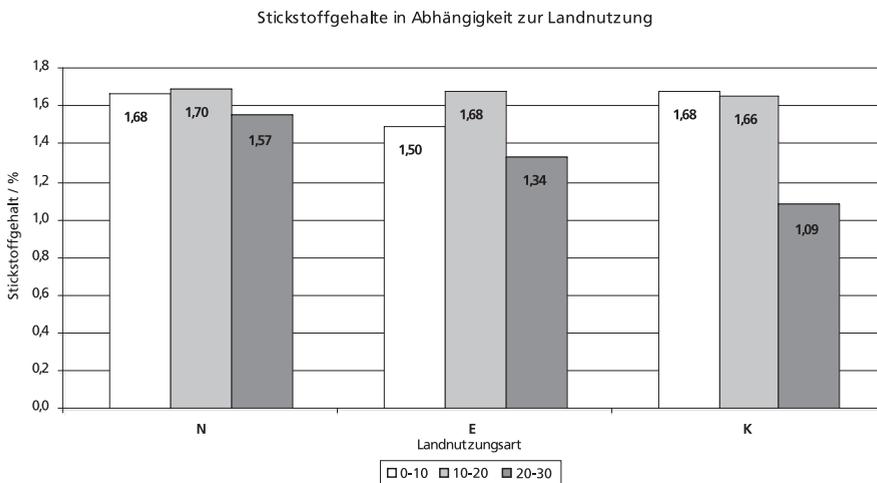


Abb. 5: Mittlere Stickstoffgehalte ($N_t\%$) verschieden genutzter Moorböden in Abhängigkeit zur Tiefe im Boden. (N: natürliche, E: extensiv genutzte, K: entwässerte und kultivierte Moorböden)
 Mean nitrogen concentrations ($N_t\%$) of Icelandic peat soils under different land use intensities and at different depths (N: natural, E: extensively utilised, K: drained and cultivated peats)

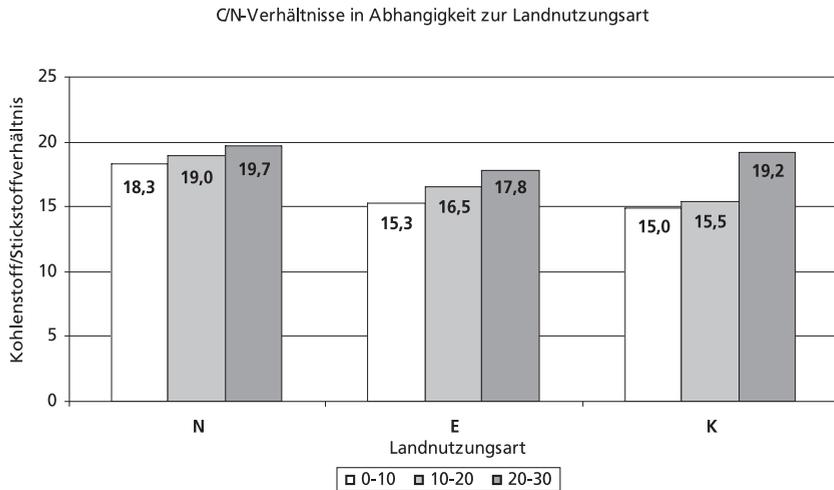


Abb. 6: Mittlere C/N-Verhältnisse verschieden genutzter Moorböden in Abhängigkeit zur Tiefe im Boden. (N: natürliche, E: extensiv genutzte, K: entwässerte und kultivierte Moorböden)
 Mean carbon-nitrogen ratios of Icelandic peat soils under different land use intensities and at different depths (N: natural, E: extensively utilised, K: drained and cultivated peats)

Glührückstand

In entwässerten Moorböden kommt es im Laufe der Zersetzung zur relativen Zunahme der nicht abbaubaren anorganischen Komponenten (OKRUSZKO 1993, IŁNICKI & ZEITZ 2003). Wie zuvor beschrieben sind die Aschegehalte der isländischen Moore unter natürlichen Verhältnissen mit Werten von 20 bis 85 % weitaus höher als die der meisten aus der europäischen Literatur bekannten Torfe. Abbildung 7 zeigt, dass die Aschegehalte der naturnahen Moore von 41,9 bis 44,6 % in einem für Island zu erwartenden Bereich liegen.

Die Aschegehalte der entwässerten Standorte betragen maximal 56,2 %, die der tiefgründig entwässerten und landwirtschaftlich genutzten Standorte bis zu 60,1 % in einer Tiefe von 20-30 cm.

Trockenrohdichten

Wie Abbildung 8 zeigt, betragen die Trockenrohdichten der naturnahen Moorböden 0,236 bis 0,228 g/cm³ und sind damit im Vergleich zu Trockenrohdichten von natürlichen Torfen anderer Länder vergleichsweise hoch.

Jedoch sind die Trockenrohdichten landwirtschaftlich genutzter Torfe um 44,7 % höher.

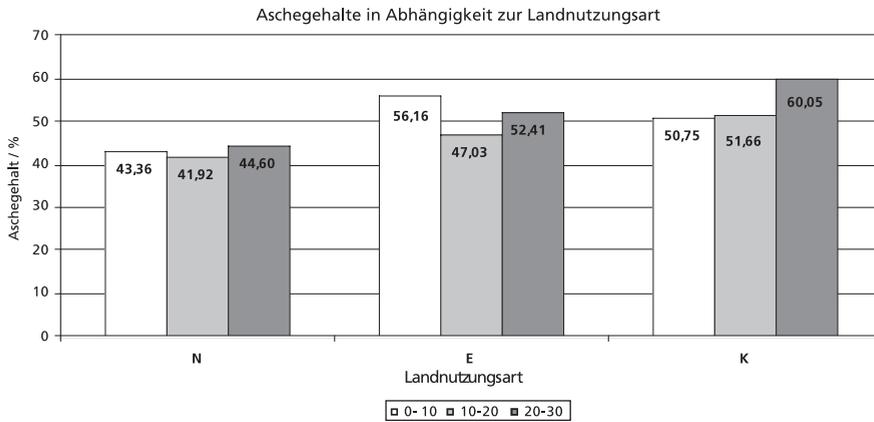


Abb. 7: Mittlere Aschegehalte verschieden genutzter Moorböden in Abhängigkeit zur Tiefe im Boden. (N: natürliche, E: extensiv genutzte, K: entwässerte und kultivierte Moorböden)
 Mean ash contents of Icelandic peat soils under different land use intensities and at different depths (N: natural, E: extensively utilised, K: drained and cultivated peats)

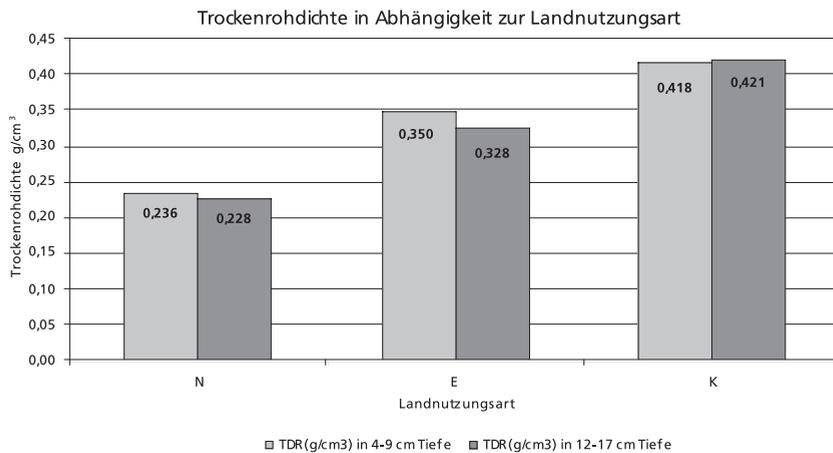


Abb. 8: Mittlere Trockenrohdichten verschieden genutzter Moorböden in Abhängigkeit zur Tiefe im Boden. (N: natürliche, E: extensiv genutzte, K: entwässerte und kultivierte Moorböden)
 Mean bulk densities of Icelandic peat soils under different land use intensities and at different depths (N: natural, E: extensively utilised, K: drained and cultivated peats)

Synthese der Ergebnisse

Durch Entwässerung und Nutzung der Moore ist es zu einer deutlichen Veränderung wesentlicher Bodeneigenschaften gekommen. Sowohl die Ergebnisse untersuchter chemischer als auch physikalischer Bodenparameter spiegeln eine Degradation der Torfe wider. Vor allem die Veränderungen der Kohlenstoff- und Aschegehalte wie auch die Analyse der C/N-Verhältnisse lassen auf eine gesteigerte Zersetzung in den entwässerten und genutzten Moorböden schließen. Anhand der Bestimmung der Trockenrohdichten ließ sich erkennen, dass vor allem die Oberböden der intensiv genutzten Wiesen von einer Verringerung der Porosität betroffen sind.

Die Analyse macht deutlich, dass die Moore hohe Aschegehalte besitzen, die tiefgründige Entwässerung und Nutzung jedoch zu einer Residualakkumulation der mineralischen Anteile in den Böden führt.

4. Diskussion

Mit Blick auf die Forschungsfrage, ob und inwiefern pedogenetische Veränderungen trotz der besonderen Charakteristika der isländischen Moore feststellbar sind, lässt sich aussagen, dass es anhand der angewandten Analysen möglich ist, Veränderungen der entwässerten und genutzten Böden nachzuweisen. Obwohl die Moore in ihrem natürlichen Zustand durch die vulkanischen Aschen in den Oberböden beeinflusst sind, war die Beurteilung anhand gängiger, o.g. Analysemethoden erfolgreich.

5. Danksagung

Unser Dank geht an die Mitarbeiter der Bodenkundlichen Abteilung des RALA-Instituts in Keldnaholt, durch deren konzeptionelle und technische Unterstützung die Umsetzung der Geländearbeiten in Island, sowie die Laboruntersuchungen vor Ort ermöglicht wurden. Besonderen Dank für zahlreiche hilfreiche Hinweise und Unterstützung während der Geländearbeiten möchten wir Herrn Dr. Thorsteinn Guðmundsson, Dr. Hlynur Oskarsson und Dr. Jón Guðmundsson aussprechen.

Zur Verwirklichung der Fertigstellung der Graduiertenarbeit trugen weiterhin finanzielle Mittel des Frauenförderungsbudgets der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät zu Berlin bei, ohne die diese Veröffentlichung nicht möglich gewesen wäre.

6. Literaturverzeichnis

- AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE RALA (2001): Soil Map of Iceland - Second Edition. Internetquelle: <http://www.rala.is/desert> (Stand: 11.2.2008).
- ARNALDS, O. (1998): Soil Survey and Databases in Iceland - European Soil Bureau, Research Report No. 9: 181-186; Wageningen.
- ARNALDS, O., THORARINSDOTTIR, E. F., METUSALEMSSON, S., JONSON, A., GREYARSSON, E., & ARNASON, A. (2001): Jarðvegsgrof á Íslandi (Bodenerosion in Island) - Soil Conservation Service and Agricultural research Institute; Reykjavik.
- ARNALDS, O. (2003): Volcanic soils of Iceland. - *Catena* **56**: 4-20; Amsterdam (Elsevier).
- ARNALDS, O. (2003): Soil erosion and land use policy in Iceland in relation to sheep grazing and government subsidies. - *Environmental Science and Policy* **6**: 105-113 (Elsevier).
- ARNALDS, O. (2004): Icelandic volcanic soils - Rala Report 214: Volcanic Soil Resources in Europe - COST action 622 final meeting. - Abstracts: 27-28; Reykjavik.
- ASHWELL, J.Y. (1975): Glacial and Late Glacial Processes in western Iceland. - *Geografiska Annaler* **57**: 225-245.
- BJARNASON, O.B. (1968): Chemical Investigation of Icelandic Peat: 2nd International Peat Congress, Vol. I: 69-73; Leningrad.
- BRANDYK, T., SZATYLOWICZ, J., OLESZCZUK, R. & GNATOWSKI, T. (2003): Water-related physical attributes of Organic Soils. - In: PARENT, L. und ILNICKI, P.: *Organic Soils and Peat Materials for sustainable Agriculture*: 33-47; USA (CRC Press LLC).
- EDOM, F. (2001): Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht. - In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H.: *Landchaftsökologische Moorkunde*: 185-228; Stuttgart (Schweizerbart).
- EINARSSON, T. (1963): On the formation and history of Icelandic peat bogs - 2nd international Peat Congress: 213-215; Leningrad.
- EINARSSON, Þ. (1994): *Geology of Iceland*; Reykjavik (Mál og menning).
- FAO, ISRIC & ISSS (1998): World reference base for soil resources. – 84. World Soil Resources Reports; Rom.
- FAO (2006a): *Guidelines for Soil Description* - 4. Auflage; Rom.
- FAO (2006b): World reference base for soil resources. - World Soil Resource Reports 103; Rom.
- GEIRSSON, Ó. (1975): Bog drainage for farming purposes. - In: Rit Votlendi: 143-154, Útgefandi Landvernd - Landverndar 4; Reykjavik.
- GUDBERGSSON, G. & THORLEIFUR, E. (1998): Flokkun og jarðvegseiginleikar mýra. - In: Íslensk Votlendi-verndun og nýtin: 79-89; Höfundar, Iceland (Háskólaútgáfan).

- GUÐMUNDSSON, TH. (1978): Pedological Studies of Icelandic Peat Soils. - Degree of Doctor of Philosophy; University Aberdeen.
- HAFLIDASON, H., EIRIKSSON, J. & VAN KREVELD, S. (2000): The tephrochronology of Iceland and the North Atlantic Region during the middle and late Quarternary - a review. - In: Journal of Quaternary Science **15**: 3-22.
- HELGASON, B. (1968): Basaltic soils of south- west Iceland. - II. Journal of Soil Science **19**: 127-134.
- ILNICKI, P. & ZEITZ, J. (2003): Irreversible Loss of Organic Soil Functions after Reclamation. - In: Parent und Ilnicki: Organic Soils and Peat Materials for sustainable Agriculture: 15-31; USA (CRC Press LLC).
- INGÓLFSSON, Ó. (1991): A review of the late Weichselian and early Holocene glacial and environmental History of Iceland - In: MAIZELS, J.K. und CASELDINE, C.: Environmental change in Iceland: Past and present: 13-29; Netherlands (Kluwer Academic Publishers).
- JÓHANNESSON, B. (1959): The soils of Iceland - University Research Institute, Reykjavik Agricultural Research Institute; Reykjavik.
- KÖPPEN, W. (1931): Grundriss der Klimakunde, 2. Aufl.; Berlin (de Gruyter).
- OKRUSZKO, H. (1993): Transformation of fen-peat soils under the impact of draining. - In: [Inst. Für Agrophysik, Lublin] Agrophysical bases of soil and cultivated plants productivity, Part 3 - Organic Soils: 7-73; Lublin.
- ÓLAFSDÓTTIR, R. & GUÐMUNDSSON, H. J. (2003): Holocene land degradation and climatic change in northeastern Iceland. - The Holocene **12**: 159-167.
- ÓLAFSDÓTTIR, R., SCHLYTER, P. & HVARALDSSON, H. (2001): Simulating Icelandic Vegetation Cover during the Holocene Implications for Long- term Land- Degradation. - In: Geografiska Annaler **83**, **4**: 203-215.
- OSKARSSON H., (1998): Icelandic Peatlands: Effect of draining on trace gas release. - Degree of Doctor of Philosophy; Athens, Georgia.
- OSKARSSON, H., ARNALDS, Ó., GUÐMUNDSSON, J. , GUDBERSSON, G. (2004): Organic Carbon in Icelandic Andosols: geographical variation and impact of erosion. - In: Catena **56**: 225-238; Amsterdam (Elsevier).
- OTABBONG, E., & LINDÈN, B. (1993): Control in cultivated organic soils- a review. - In: International Peat Journal **5**: 75-92; Jyväskylä.
- RUTHSATZ, B., MOVIA, C., NEITZKE, M., GUÐMUNDSSON, TH (1989): Vegetation patterns of three peatland landscapes in South- and West- Iceland and their main ecological indicator properties. - In: Bulletin No. **49**; Nedri Ás, Hveragerdi, Iceland.
- SCHÄFER, W. (1996): Changes in physical properties of organic soils induced by land use. - 10th International Peat Congress, Late Contributions, Vol. **4**: 77-84; Stuttgart (Schweizerbart).

- STEGMANN, H. & ZEITZ, J. (2001): Bodenbildende Prozesse entwässerter Moore. - In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H.: Landschaftsökologische Moorkunde: 47-57; Stuttgart (Schweizerbart).
- SUCCOW, M. & STEGMANN, H. (2001): Torfarten - In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H.: Landschaftsökologische Moorkunde: 58-62; Stuttgart (Schweizerbart).
- SUCCOW, M. & STEGMANN, H. (2001): Nährstoffökologisch-chemische Kennzeichnung. - In: SUCCOW, M. und JOOSTEN, H.: Landschaftsökologische Moorkunde, Kapitel 3.3: 75-85; Stuttgart (Schweizerbart).
- THORARINSSON, S. (1949): Some Tephrochronological Contributions to the Volcanology and Glaciology of Iceland - Geografiska Annaler. Glaciers and Climate: Geophysical and Geomorphological Essays Vol. **31**: 239-256.
- THORARINSSON, S. (1961): Wind erosion in Iceland. A tephrochronological study: 17-54. - In: Icelandic Forestry Society Yearbook; Reykjavik.
- THORARINSSON, S. (1981): Greetings from Iceland - Ash-Falls and Volcanic Aerosols in Scandinavia: Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography **63**: 109-118.
- ZEITZ, J. & STEGMANN, H. (2001): Moorbodenhorizonte und -typen -. In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H.: Landschaftsökologische Moorkunde: 69-75; Stuttgart (Schweizerbart).

Anschrift der Verfasser:

Dipl. Geogr. A. Blix
Oranienstraße 188
D-10999 Berlin
E-Mail: a.blix@yahoo.de

Prof. Dr. agr. J. Zeitz
Landwirtschaftlich- Gärtnerische Fakultät Berlin
Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre
Invalidenstraße 42
D-10099 Berlin
E-Mail: jutta.zeitz@agrar.hu-berlin.de

Manuskript eingegangen am 18. Juli 2009