

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission V

Titel der Tagung: Unsere Böden – Unser Leben

Veranstalter: DBG

Termin und Ort: 5. – 10. September 2015, München

Berichte der DBG

(nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

Ein Konzept zur Genese von Marschböden an der Deutschen Nordseeküste

S. Witte¹, L. Giani¹

Zusammenfassung

Die Marschengenese wird häufig anhand der genetischen Sequenz Rohmarsch, Kalkmarsch, Kleimarsch dargelegt. Unberücksichtigt bleibt vielfach, dass die rezente Marschengenese durch den Deichbau nachhaltig verändert worden ist. In der offenen, unbedeichten Landschaft wurden die Böden stark durch Faktoren und Prozesse der geo-pedogenen Initialphase geprägt. Unterschiedliche Faktorenkonstellationen in unterschiedlichen Sedimentationsräumen führten zu unterschiedlichen genetischen Sequenzen. Vier verschiedene Sequenzen, die sich hinsichtlich der Sedimentationsrate, der Intensität der Schwefeldynamik und der Ionenzusammensetzung im Sedimentationsraum unterscheiden, werden vorgestellt.

Marschen, Genese, marine Sedimente

Einleitung

Die „klassische Marschenserie“, wie sie heute in Lehrbüchern (z.B. Stahr et al (2008)) dargestellt wird, zeigt in einer genetischen Sequenz die Entwicklung von der Rohmarsch über die Kalkmarsch zur Kleimarsch. Dieses Modell beruht auf Untersuchungen von Brümmer (1968), der insbesondere die Bedeutung der

Schwefeldynamik für die Marschengenese herausstellte.

Unbeachtet bleibt bei dieser vereinfachten Betrachtung jedoch, dass die rezente Marschengenese nicht auf die ursprüngliche, unbedeichte Landschaft übertragbar ist, da sich die Sedimentationsbedingungen durch den Deichbau grundlegend verändert haben (Flemming and Nyandwi 1994, Dellwig et al. 2000). In der unbedeichten Landschaft führte ein großer Gradient in den Ablagerungsbedingungen zur Ausbildung unterschiedlicher Sedimentationsräume, die sich hinsichtlich ihrer Gehalte an Sand, Ton, Carbonat und organischem Material unterscheiden (Dellwig 1999). Diese räumlichen Unterschiede haben wesentliche Auswirkungen auf die Prozesse der geopedogenen Initialphase, in der geogene und pedogene Prozesse zeitgleich oder alternierend auftreten, und somit auch auf die weitere Genese der Marschböden. Für die Erstellung eines umfassenden Konzeptes zur Marschengenese ist es somit unerlässlich die Bedingungen während der Geopedogenese zu berücksichtigen. Wir stellen daher im folgenden vier mögliche Entwicklungssequenzen von Marschböden vor, die auf unterschiedliche Entwicklungen bereits während der Geopedogenese zurückzuführen sind.

Vier unterschiedliche Entwicklungssequenzen von Marschböden

Kalkhaltiges Sediment mit geringer synsedimentärer Entkalkung

Rezente Rohmarschen sind überwiegend carbonathaltig, unabhängig davon, ob sie unter brackischen oder marinen Bedingungen entstehen (Schroeder und Brümmer 1969, Giani und Landt 2000). Eine Entkalkung erfolgt über die Bildung von H_2SO_4 und H_2CO_3 . H_2SO_4 entsteht durch die Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen. Die Säure, die durch die Oxidation von 1 % Pyrit-S erzeugt wird, kann durch die Lösung von etwa 3 % $CaCO_3$ neutralisiert werden (Langenhoff 1986). Bei einem mittleren Gehalt an reduziertem Schwefel von 6 g kg^{-1} (Brümmer et al. 1971) bedingt eine einmalige Oxidation somit die Lösung von 18 g kg^{-1} Carbonat. Setzt man dies ins Verhältnis zu mittleren Carbonatgehalten von 50 g kg^{-1} im Norden (Schroeder and

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, sarah.m.witte@uni-oldenburg.de

Brümmer 1969) und 90 g kg^{-1} im Süden (Giani 1991), so führt eine einmalige Oxidation zur Lösung von 20-36 % des ursprünglichen Carbonatgehalts. Folglich bedingt eine einmalige Oxidation bei mittleren Gehalten an reduziertem Schwefel und mittleren Carbonatgehalten rezenter Rohmarschen keine vollständige Carbonatzehrung.

Die zweite Säurequelle, die Bildung von H_2CO_3 durch die Produktion von CO_2 ist in jedem Boden präsent. Untersuchungen der Harlebucht, für die die Eindeichungszeitpunkte sehr gut dokumentiert sind, zeigen, dass die Entkalkung über die Bodenatmung ein sehr langsamer Prozess ist, der sich bei einer mittleren Entkalkung im Oberboden von etwa 8 mg g^{-1} pro Jahrhundert über mehrere Jahrhunderte erstreckt (Abb. 1).

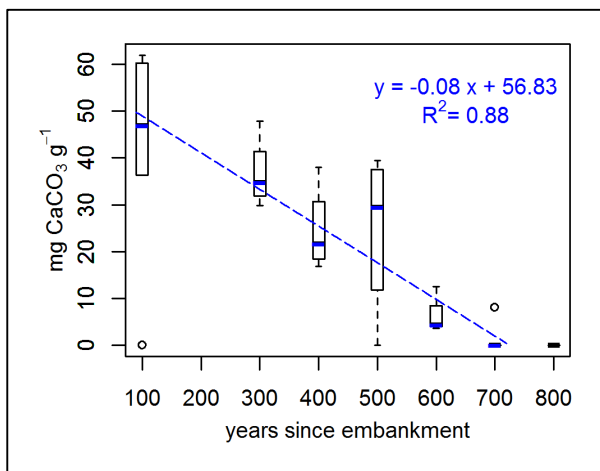


Abb. 1: Kalkgehalte im Oberboden von in verschiedenen Jahrhunderten eingedeichten Marschen der Harlebucht

Dass rezente Rohmarschen überwiegend kalkhaltig sind, ist vor allem auf den Deichbau zurückzuführen. Hohe Sedimentationsraten von 1-2 cm (Giani et al. 1994) oder 2 cm (Grothjahn et al. 1982) vor dem Deich führen zu einer ausreichenden Carbonatnachlieferung um eine Säurebildung durch alternierende Redox-Prozesse zu kompensieren. Zudem bedingt eine überwiegend moderate Schwefeldynamik, die durch eine geringe Verfügbarkeit organischer Substanz limitiert ist, eine geringe H_2SO_4 -Produktion (Bloem et al. 1995, Giani et al. 2003).

Kalkmarschen sind binnendeichs daher überwiegend dort zu finden, wo aktiv Landgewinnung betrieben wurde und im

Bereich wieder eingedeichter mittelalterlicher Buchten.

Kalkhaltiges Sediment mit erheblicher synsedimentärer Entkalkung

In der offenen Landschaft vor dem Deichbau wurden weite Bereiche nur sehr unregelmäßig überflutet und erhielten somit eine geringe Sediment- und Carbonatnachlieferung. Zudem traten durch unregelmäßige Überflutungen wechselnde Redoxbedingungen auf. Verschiedene Untersuchungen rezenter Marschen (Ahrens et al. 2001, Giani et al. 2003) zeigen, dass unter diesen Bedingungen eine vollständige Entkalkung von ursprünglich kalkhaltigem Sediment bereits während der Geo-Pedogenese erfolgen kann.

Insgesamt wird die synsedimentäre Entkalkung gesteuert durch die Sedimentationsrate, die Intensität der Schwefeldynamik und die Dauer der Geo-Pedogenese. So kann eine intensive Schwefeldynamik durch die Produktion von großen Mengen H_2SO_4 zu einer vollständigen Entkalkung des Sediments führen. Ebenso kann eine moderate Schwefeldynamik zusammen mit langanhaltenden geringen Sedimentationsraten, die eine geringe Carbonatnachlieferung bedingen, zu einer langfristigen synsedimentären Entkalkung führen, da der Carbonatverbrauch nicht durch eine ausreichende Carbonatnachlieferung kompensiert wird (Ahrens et al. 2001, Giani et al. 2003).

Eine Rekonstruktion der Paleo-Bedingungen und der Geo-Pedogenese von niedersächsischen Böden verdeutlicht, dass eine synsedimentäre Entkalkung sehr wahrscheinlich ist für die Entstehung carbonatfreier Böden (Duntze et al. 2005).

In einem kürzlich ausgedeichten Gebiet erfasste Kolditz et al. (2012) Sedimentationsraten von $0,38\text{-}0,75 \text{ cm a}^{-1}$ und folgerte, dass diese Raten vergleichbar mit Transgressionsphasen des späten Holozäns sind. Da Giani et al. (2003) bereits bei Sedimentationsraten von $0,2\text{-}0,5 \text{ cm a}^{-1}$ in Kombination mit einer moderaten Schwefeldynamik die Entstehung carbonatfreier Rohmarschen beobachtetete, liegt die Vermutung nahe, dass in der offenen Landschaft sogar während vorherrschender Transgressionsphasen die Sedimente überwiegend synsedimentär entkalkten.

Rohmarschen mit intensiver Schwefeldynamik

Die Schwefeldynamik in den Marschen der deutschen Nordseeküste ist aufgrund geringer Gehalte an organischer Substanz überwiegend moderat (Bloem et al. 1995). Eine intensive Schwefeldynamik tritt nur auf, wenn große Mengen an organischem Kohlenstoff vorliegen (Giani und Giani 1990). In der offenen Landschaft konnte das Meerwasser bei Hochwasser ungehindert bis in Moor- und Sumpfbereiche vordringen. Eine intensive Schwefeldynamik dieser Böden führt zur vollständigen Sulfatzehrung und einer Schwefelakkumulation mit Schwefelgehalten $> 15 \text{ mg g}^{-1}$ (Giani und Giani 1990). Die Akkumulation von Schwefel in Form von Pyrit kann zur Ausbildung von potentiell sulfatsauren Böden führen, wenn nicht genügend Carbonat im Boden vorliegt, um die durch die Oxidation anfallende Schwefelsäure zu neutralisieren. Die Oxidation dieser Böden führt somit zu einer extremen Versauerung und zur Bildung von Jarosit, das nur unter $E_h > 400 \text{ mV}$ und $\text{pH} < 4$ stabil ist. Erst durch einen pH-Anstieg wird das Jarosit zu Goethit hydrolysiert, was zur Ausbildung von eisenangereicherten, rostbraunen Böden führt. Diese typischen "Rhodoorn"-Böden wurden in Deutschland bisher noch nicht nachgewiesen (Müller-Ahlten 1994). Es wurden jedoch in lagunären Sedimenten der niedersächsischen Marsch deutlich höhere Gehalte an dithionitlöslichem Eisen festgestellt, als in anderen Sedimentationsräumen (Gehrt et al. 2015).

Synsedimentäre Entkalkung und dispergiertes feinkörniges Sediment

Unter bestimmten Bedingungen entstanden Knickmarschen, die sehr hohe Bodendichten und geringe Wasserleitfähigkeiten $< 1 \text{ cm d}^{-1}$ aufweisen (Müller 1954, Ad-hoc-AG Boden 2005). Der Knick ist häufig gekennzeichnet durch ein Ca/Mg-Verhältnis < 1 und Na-Sättigungen von 5-10 % (bei Tongehalten von 35-45 %), 10-15 % (bei Tongehalten von 45-55 %) und 15 % (bei Tongehalten > 55 %) (Müller 1954). Diese hohen Na-

Sättigungen weisen auf eine unvollständige Entsalzung hin, was vermutlich geringe Perkolationsraten zurückzuführen ist. In carbonathaltigen Marschen folgt auf eine rasche Entsalzung normalerweise die Entkalkung, die zu einem Anstieg der Ca-Sättigung und zu einer Gefügestabilisierung führt. Da diese Prozesse in Knickmarschen nicht beobachtet werden können, wird angenommen, dass diese Böden mehr oder weniger die Ionenzusammensetzung im Sedimentationsmilieu widerspiegeln (Müller, 1954).

Verschiedene Simulationsexperimente zeigen, dass die K-Sättigung entlang eines Salz-Süßwasser-Gradienten nur geringe Schwankungen aufweist, Na von ungefähr 10 auf 60 % steigt, Ca von 70 auf 15% sinkt und Mg von 10 auf 30 % steigt, um dann wieder auf 15% zu fallen (Gebhardt et al. 1965, Schroeder and Brümmer 1969, Giani 1983). Die Brackwasserbehandlung wies die höchsten Mg-Anteile, geringe Ca/Mg-Verhältnisse und hohe Na-Anteile von $> 15\%$ auf. Aufgrund des geringeren Salzgehaltes unter brackischen Bedingungen unterdrücken dispergierend wirkende Na- und Mg-Ionen die Ausflockung von Tonmineralen (Veenenbos 1955). Eine Entwässerung führt zu einer Dichtlagerung dieser Sedimente, die dann aufgrund des hohen Anteils an austauschbarem Na die Anforderungen an einen natric-Horizont nach WRB erfüllen (IUSS working group WRB 2006). Dies wird bestätigt durch Beobachtungen von Müller (1954), Müller-Ahlten (1994) und Veenenbos (1955), die Knickmarschen als solonetzartig beschreiben.

Da diese genetische Sequenz bisher nur auf Laborexperimenten, wenigen Profilbeschreibungen und theoretischen Überlegungen basiert, besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Schlussfolgerung

Marschböden werden durch Faktoren und Prozesse der geo-pedogenen Initialphase stark geprägt. In der offenen, unbedeckten Landschaft schafften unterschiedliche Sedimentationsräume verschiedene Bedingungen während der Geo-Pedogenese. Aufgrund dieser unterschiedlichen Vorpägung durchlaufen die Böden unterschiedliche Entwicklungen. Die Marschengenese kann daher nur anhand

mehrerer genetischer Sequenzen umfassend dargelegt werden.

Grundsätzlich sind diese genetischen Sequenzen nicht auf die Deutsche Nordseeküste beschränkt, da anzunehmen ist, dass unter ähnlichen Faktorenkonstellationen weltweit vergleichbare Entwicklungen ablaufen.

Literatur

Ad-hoc-AG Boden (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Aufl, Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

Ahrens V, Duntze O, Fichs B, Giani L (2001) Untersuchungen zur Entwicklung kalkfreier, initialer Rohmarschen auf Spiekeroog. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 96:463-464

Bloem E, Lüttmann B, Giani L (1995) Jahreszeitliche Schwefeldynamik semi-subhydrischer Salzmarschen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 158:251-256

Brümmer G (1968) Untersuchungen zur Genese der Marschen. Diss., Christian-Albrechts-Universität, Kiel

Brümmer G, Grunwaldt H-S, Schroeder D (1971) Beiträge zur Genese und Klassifizierung der Marschen II. Zur Schwefelmetabolik in Schlicker und Salzmarschen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 128:208-220

Dellwig O (1999) Geochemistry of Holocene coastal deposits (NW Germany): Palaeoenvironmental reconstruction. Diss, Carl-von-Ossietzky University, Oldenburg

Dellwig O, Hinrichs J, Hild A, Brumsack HJ (2000) Changing sedimentation in tidal flat sediments of the southern North Sea from the Holocene to the present: a geochemical approach. Journal of Sea Research 44:195-208

Duntze O, Watermann F, Giani L (2005) Rekonstruktion des Paläomilieus und der Geopedogenese kalkfreier Marschböden Niedersachsens. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168:53-59

Flemming BW, Nyandwi N (1994) Land reclamation as a cause of fine-grained sediment depletion in backbarrier tidal flats (Southern North Sea). Netherland Journal of Aquatic Ecology 28:299-307

Gebhardt H, Meyer B, Scheffer F (1965) Ionenverhältnisse und Sedimentstruktur in den gegenwärtigen Schlickabsätzen des Sedimentationsraumes der heutigen Emsmündung. (Mit Bemerkungen zur Kationen-Bindungsselektivität und zur Korngrößenfunktion des Sedimentvolumens). Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 111:168-181

Gehrt E, Giani L, Eilers R, Donnerhack O (2015) Prinzipien der Landschafts- und Bodengenese der niedersächsischen Marsch. Jahrestagung der DBG, Kommission V, 3.-9. September 2015, Berlin

Giani L (1983) Pedogenese und Klassifizierung von Marschböden. Diss., Carl-von-Ossietzky-Universität, Oldenburg

Giani L (1991) Entwicklung und Eigenschaften von Marschböden im Deichvorland der südlichen Nordseeküste. Habil, Carl-von-Ossietzky Universität, Oldenburg

Giani L, Giani D (1990) Characteristics of a marshland soil built up from marine and peat material. Geoderma 47:151-157

Giani L, Henken R, Schröder H (1994) Schwermetallanreicherungen in Salzmarschen der südlichen Nordseeküste. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157:259-264

Giani L, Landt A (2000) Initiale Marschbodenentwicklung aus brackigen Sedimenten des Dollarts an der südwestlichen Nordseeküste. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163:549-553

Giani L, Ahrens V, Duntze O, Irmer SK (2003) Geopedogenese mariner Rohmarschen Spiekeroogs. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166:370-378

Grothjahn M, Michaelis H, Obert B, Stephan H-J (1982) Höhenentwicklung, Sediment, Vegetation und Bodenfauna in den Landgewinnungsfeldern beiderseits des Cappeler Tiefs. Jahresbericht der Forschungsstelle Küste für Insel- und Küstenschutz 44:64-92

IUSS working group WRB (2006) World reference base for soil resources 2006. FAO, Rome

Kolditz K, Dellwig O, Barkowski J, Badewien T, Freund H, Brumsack H-J (2012) Geochemistry of salt marsh sediments deposited during simulated sea-level rise and consequences for recent and Holocene coastal development of NW Germany. Geo-Marine Letters 32:49-60

Langenhoff R (1986) Distribution, mapping, classification and use of acid sulphate soils in the tropics: a literature study. Soil Survey Institute, Wageningen

Müller-Ahlten W (1994) Zur Genese der Marschböden. I. Der Einfluß von Sediment- und Bodengefüge. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157:1-9

Müller W (1954) Untersuchungen über die Bildung und die Eigenschaften von Knickschichten in Marschböden. PhD-thesis, Justus Liebig-Hochschule, Giessen

Schroeder D, Brümmer G (1969) Beiträge zur Genese und Klassifizierung der Marschen. I. Problematik der Marschen-Genese und -Klassifizierung und Untersuchungen zum Ca/Mg-Verhältnis. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 122:228-249

Stahr K, Kandeler E, Herrmann L, Streck T (2008) Bodenkunde und Standortlehre – Grundwissen Bachelor, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Veenenbos JS (1955) Gedanken zum Knickproblem. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 68:141-158