

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Kommission V der DBG

Titel der Tagung: Horizonte des Bodens
DBG, 02.-07.09.2017, Göttingen

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

Chronosequentielle Initialentwicklung junger Dünenböden am Beispiel der Insel Spiekeroog

¹Pollmann, T, ¹Giani, L., ²Frechen, M.

Zusammenfassung

Anhand einer mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) datierten Bodenchronosequenz wurde die Initialentwicklung junger Dünenböden der Insel Spiekeroog untersucht. Nach einer raschen Entkalkung und Versauerung der Böden nimmt mit zunehmendem Alter der Eisenoxidegehalt zu. Im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium tritt eine Podsolierung ein, wobei schwach kristallisierte Eisenoxide eine vollständige Aufzehrung im Eluvialhorizont erfahren, die nur durch eine der Eisenverlagerung vorausgehenden Reduktion der Oxide erklärbar ist. Unabhängig vom Bodenalter kommt es zur keiner Assoziierung der mineralischen und organischen Bodenphase. Eine gefundene Diskrepanz zwischen kartierten Dünenaltern und datierten Bodenausgangssedimenten verdeutlicht die Notwendigkeit einer standortscharfen Altersdatierung von Böden zur Etablierung einer verlässlichen Chronosequenz in äolischen Sedimenten.

Schlüsselworte

Chronosequenz, Dünen, Podsolierung, Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL)

Einleitung

Für Küstendünen des gemäßigten Klimaraums ist die initiale Bodenentwicklung nicht hinreichend bekannt. Nur wenige chronosequentielle Untersuchungen, die auf indirekt ermittelten Bodenaltern basieren, liegen dazu vor (z.B. Salisbury, 1922; Stützer 1998; Wilson, 1960). Aufgrund des holozänen Alters und ihrer fortschreitenden Entstehung bieten Küstendünen einen geeigneten Landschaftsraum, um initiale Entwicklungsprozesse naturnaher Böden über die Zeit zu studieren. Die quarzreichen und meist schwach carbonathaltigen Dünensedimente unterliegen im Verlauf der Pedogenese einer Entkalkung, Verbraunung und Podsolierung, wobei das Einsetzen und die Intensität dieser Prozesse regional in Abhängigkeit vom Bodenausgangssediment, der mittleren Jahrestemperatur und des mittleren Jahresniederschlages variieren (Sauer et al., 2008). Zusätzlich können auf lokaler Ebene gegensätzlich geprägte Mikroklimata der Dünenhänge (Nord: kühlfeucht, Süd: warmtrocken) die Bodenbildung kleinräumig beeinflussen (z.B. Hunckler & Schaetzl, 1997).

Im aktuellen Forschungsprojekt wird die initiale Entwicklung von Dünenböden einer mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) datierten Chronosequenz auf der Insel Spiekeroog untersucht. Ziel dabei ist es, das Einsetzen bodenbildender Prozesse zeitlich zu fassen und Prozessintensitäten nachzuvollziehen. Eine Analyse pedogener Eisenoxide soll Aufschluss über das Ausmaß der Bodenentwicklung und die eisenmobilisierenden Prozesse bei der Podsolierung geben. Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund des Dissenses in der Diskussion über Theorien zum eisenmobilisierenden Prozess bei der Podsolierung eingeordnet. Zudem soll die Wechselwirkung zwischen organischer und mineralischer Bodenphase über die Zeit erfasst werden. Hinsichtlich der zwei Phasen soll überprüft werden, i) ob

¹Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften (IBU), Ammerländer Heerstraße 114-118, 26129 Oldenburg.

²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Stilleweg 2, 30655, Hannover.

und wann es zum Aufbau mineralkornumschließender Humushüllen kommt und ii) ob diese in vorangeschrittenen Bodenentwicklungsstadien durch Podsolierung einem Abbau unterliegen, infolge dessen eine Kornpodsoligkeit innerhalb der Oberböden entsteht. Durch einen Vergleich von nord- und südexponierten Böden wird der Einfluss der Hangexposition auf das Ausmaß der Bodenbildung untersucht.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist die westliche Dünenlandschaft der Nordseeinsel Spiekeroog. Spiekeroog ist als eine Barriereinsel dem Festland ca. 5 km vorgelagert. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 777 mm und die Jahresmitteltemperatur 9,8 °C (Station Norderney, 1985-2015, DWD Climate Data Center, 2017). Die Dünenlandschaft besteht aus unterschiedlich alten Dünengenerationen, deren Entstehungsalter anhand von Altkarten (Sindowski, 1970) eingegrenzt werden kann (s. Abb. 1).

Probenahme

In einer Weißdüne (WD), Graudüne (GD) und drei Braundünen (BD) wurden jeweils ein Bodenprofil am Nord- und Südhang einen Meter unterhalb des Dünentops angelegt (Abb.1). Die Profile wurden horizontweise beprobt. Für eine Altersdatierung wurden zusätzlich Proben der Bodenausgangssedimente aus den Nordprofilen entnommen.

Laborarbeiten

Oxidisches Eisen wurde extrahiert (Fe_d : Mehra und Jackson, 1960; Fe_o : Schwertmann, 1964; Fe_p : McKeague, 1967) und die Eisenkonzentrationen mittels Atomabsorptionsspektrometrie bestimmt. Für drei Oxidgruppen wurde die Eisenkonzentration horizontweise unter Berücksichtigung der Lagerungsdichte ermittelt:

- gut kristallisierte Oxide (Fe_d minus Fe_o),
- schwach kristallisierte (Fe_o minus Fe_p),
- Oxide assoziiert mit organischer Substanz (Fe_p).

Die optische Dichte der Oxalatrextrakte wurde als Maß für die Fulvosäurenkonzentration in einem Boden:Lösungsverhältnis von 1:40 nach Daly (1982) gemessen.

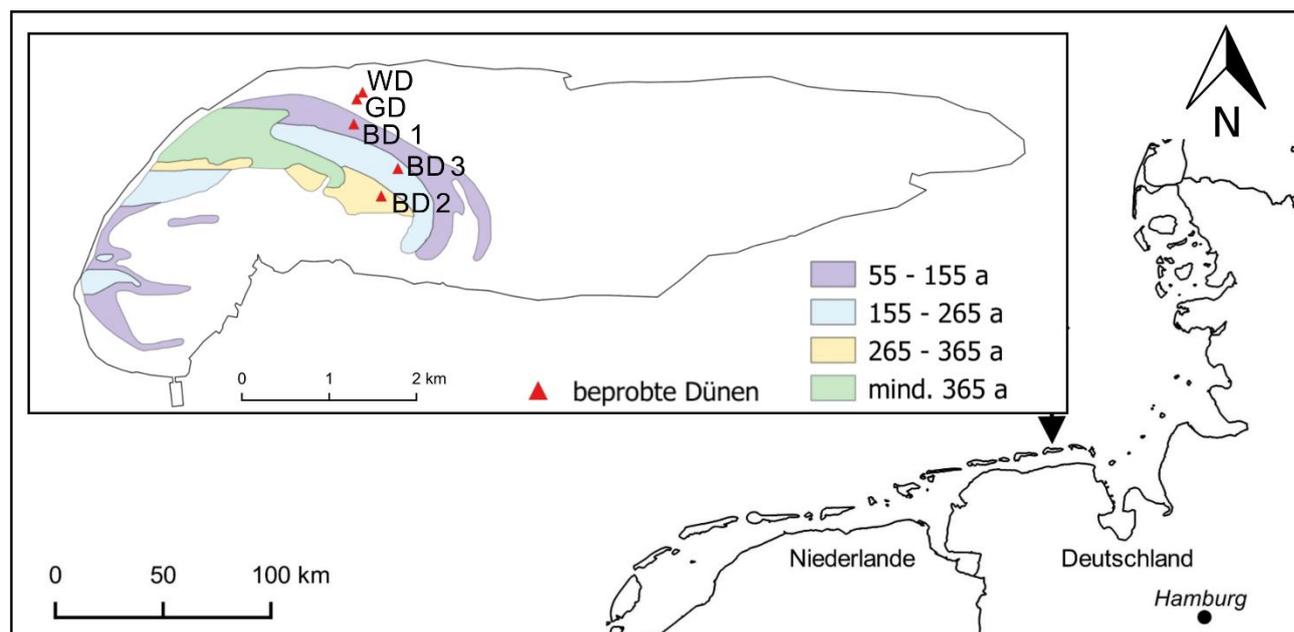


Abb.1. Lage der untersuchten Dünen auf der Nordseeinsel Spiekeroog (Dünenalter nach Sindowski (1970) in Jahren vor 2016). WD = Weißdüne, GD = Graudüne, BD = Braundüne. Kartengrundlage: Landesamt für Geoinformation und Landvermessung Niedersachsen (LGLN).

Bodenkohlenstoff wurde mittels Dichtentrennung mit Natrium-Polywolframat (1.8 g cm^{-3}) fraktioniert. Dabei wurde freie, partikuläre organische Substanz von mineralisch-gebundener organischer Substanz getrennt. Die Fraktionen wurden durch Nasssiebung weiter unterteilt und deren totale Kohlenstoffgehalte mit einem CN-Analyser bestimmt.

Der Gehalt an organischer Bodensubstanz wurde durch Glühverlust (430 °C , nach Carbonatzerstörung mit Salzsäure) ermittelt. Das pH (CaCl_2) wurde in einem 1:2.5 Boden:Lösungsverhältnis mit einer Glaselektrode gemessen.

Das Alter der Bodenausgangssedimente wurde mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) unter Verwendung eines SAR-Protokolls (Murray und Wintle, 2000) bestimmt.

Ergebnisse

Böden

Die Böden der Chronosequenz stellen eine Abfolge von Lockersyrosem und Regosolen über Braunerden, bis hin zu mäßig podsolierten Braunerden dar. Gemäß World reference base for soil resources (IUSS Working Group WRB, 2015) wurden sie als Protic Arenosols und Brunic Arenosols klassifiziert. Exemplarisch sind die Nordprofile der Weißdüne und Braundüne 3 abgebildet (Abb. 2).

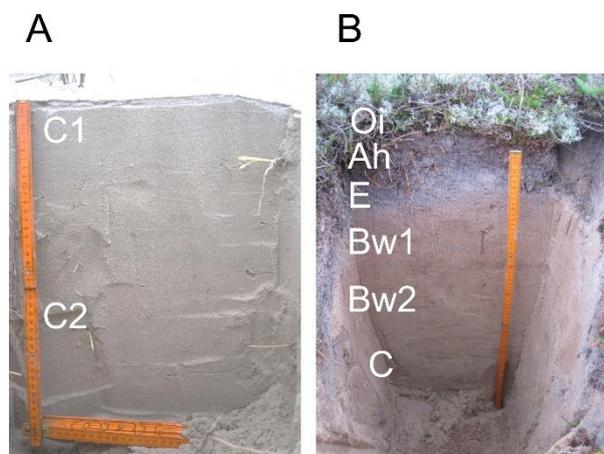


Abb. 2. Lockersyrosem (WRB: Protic Arenosol) der Weißdüne (A) und mäßig podsolierte Braunerde (WRB: Brunic Arenosol) der Braundüne 3 (B) jeweils am Dünenordhang. Horizontsymbole nach FAO (2006).

Bodenalter

Die Chronosequenz umfasst eine Zeitspanne von 43 ± 7 bis 279 ± 26 Jahren vor 2016 (Tab.1). Bei Berücksichtigung der Unsicherheiten der OSL-Alter decken sich mit Ausnahme der Graudüne und Braundüne 1 die datierten Alter mit den kartierten Bildungszeiträumen der Dünen. Braundünen 2 und 3 besitzen ein ähnliches OSL-Alter, obwohl Braundüne 2 einer älteren Dünengeneration angehört (s. Abb.1.). Die Diskrepanz zwischen kartierten und datierten Alter kann auf eine Sedimentüberwehung einer ehemaligen Bodenoberfläche in jüngere Zeit zurückgeführt werden, die durch einen begrabenen A-Horizont in 60 cm Tiefe im Nordprofil der Braundüne 2 nachweisbar ist (nicht dargestellt).

Tab.1. OSL-Alter der Bodenausgangssedimente in Jahren (vor Probenahme im Jahr 2016) und Bildungszeitraum der Dünen nach Altkarten (Sindowski, 1970). WD = Weißdüne, GD = Graudüne, BD = Braundüne.

	WD	GD	BD1	BD2	BD3
	Jahre vor 2016				
OSL-Alter	43 ± 7	74 ± 11	205 ± 23	238 ± 26	279 ± 26
Alter nach Karte	<55	<55	55-155	265-365	155-265

pH-Wert

Die Böden der Weißdüne sind schwach carbonathaltig (0.5 - 1 Masse-%). Aufgrund des aktiven Carbonatpuffers liegen die pH-Werte im neutralen Bereich (Abb. 3). In den Graudünenböden sind die pH-Werte um bis zu 2 Einheiten niedriger. Die Böden der Graudüne sind über die gesamte Aufschlusstiefe (55 cm) carbonatfrei. Die pH-Werte der Braundünenböden liegen mit Werten zwischen 3.5 und 4 im stark sauren Bereich. Die nordexponierten Böden weisen mit Ausnahme der Weißdüne um ca. 0.5 Einheiten niedrigere pH-Werte als die südexponierten Böden auf.

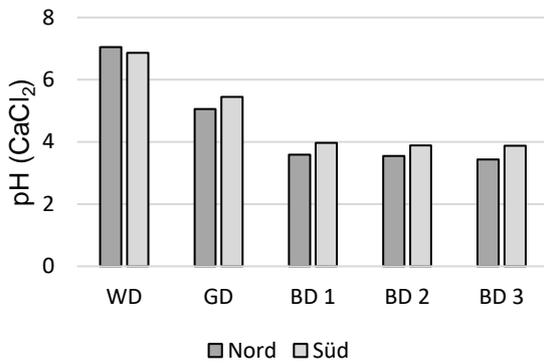


Abb. 3. Gewichteter Mittelwert des pH-Wertes (CaCl₂) für 0 - 20 cm in den Böden der Weißdüne (WD), Graudüne (GD) und Braundünen (BD).

Vegetation und organische Bodensubstanz

Die mit Strandhafer (*Ammophila arenaria*) bewachsenen Weißdünen weisen keine humusangereicherten Oberböden auf. Die Weißdünen unterliegen aufgrund ihrer Nähe zum Strand einer fortlaufenden Sandakkumulation. Die Übersedimentation der anfallenden Streu begünstigt eine rasche Mineralisierung (Gerlach et al. 1994). Der gemittelte Gehalt von ca. 0.4 Masse-% wird durch Wurzelmaterie und im geringeren Maße durch oberflächlichen Algenbewuchs bedingt (Abb. 4).

In den Böden der Nordhänge steigt der Anteil der organischen Substanz mit zunehmenden Bodenalter. Im Nordprofil der Graudüne wird ein erstes Maximum mit 1.5 Masse-% erreicht. Der höchste Gehalt von 2.4 Masse-% besitzt der nordexponierte Boden in Braundüne 3. In den Böden der Südhänge bleibt der Gehalt an organischer Substanz unter 0.5 Masse-% auf niedrigem Niveau.

Insbesondere in den Braundünen spiegeln die Gehalte der org. Substanz die expositionsbedingten Standortunterschiede wider, welche maßgeblich durch gegensätzliche Hangmikroklimata beeinflusst werden. Die wärmeren und trockeneren Südhänge sind mit trockenresistenten Arten der Xeroserie wie Silbergras (*Corynephorus canescens*), Moose und Flechten bewachsen. Infolge höherer Sonneneinstrahlung und Bodentemperaturen wird die anfallende Streu an den Südhängen schneller mineralisiert als an den Nordhängen, wo das kühlfeuchtere Mikroklima

den mikrobiellen Abbau hemmt (Gerlach et al., 1994). Mit Ausnahme von Braundüne 2 sind die Nordhänge der Braundünen mit schwarzer Krähenbeere (*Empetrum nigrum*) bewachsen, dessen stark ligninhaltige Streu organische Auflagen bildet.

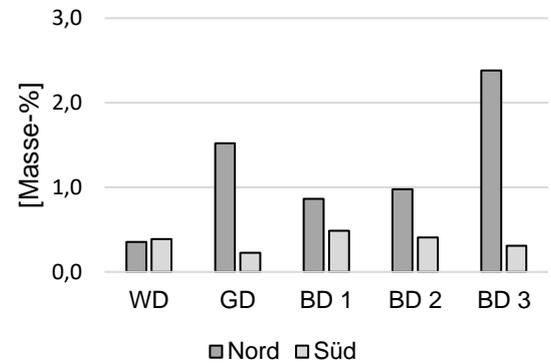


Abb. 4. Gewichteter Mittelwert der org. Substanz [Masse-%] für 0-20 cm in den Böden der Weißdüne (WD), Graudüne (GD) und Braundünen (BD).

Kohlenstofffraktionen

Der im Oberboden akkumulierte Kohlenstoff (SOC) der nordexponierten Böden der Graudüne und der drei Braundünen liegt in freier, partikulärer Form vor (Abb. 5). Die gemessenen Gehalte der mineralisch-gebundenen Fraktionen sind Artefakte. Das Ergebnisse der Kohlenstofffraktionierung bestätigt die Geländebeobachtung, dass unabhängig vom Bodenalter keine Assoziierung von organischer und mineralischer Bodenphase vorliegt.

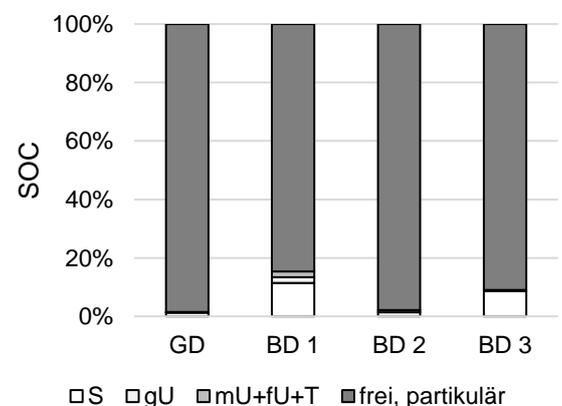


Abb. 5. Prozentualer Anteil am gesamten Bodenkohlenstoff (Soil Organic Carbon, SOC) für die mineralisch-gebundenen Fraktionen Sand (S), Grobschluff (gU), Mittelschluff bis Ton (mU+fU+T) und freie, partikuläre organische Substanz (frei, partikulär) der nordexponierten Profile der Graudüne (GD) und Braundünen (BD).

Fulvosäuren

Der Gehalt an Fulvosäuren in den humuslosen Weißdünen ist äußerst gering (Abb. 6). Die gemessenen Absorptionen liegen nur minimal über dem Blindwert (0.058 %). In den humusreicheren Böden der Braundüne 3 hingegen ist eine Zunahme zu verzeichnen. Höchste Konzentrationen finden sich im Boden des Nordprofils, der eine 4 cm mächtige organische Auflage unter Krähenbeerenbewuchs trägt. Im Vergleich zum auflagenfreien und organikärmeren Südprofil ist in ihm die Fulvosäurenkonzentration deutlich erhöht und eine Anreicherung der Säuren im Unterboden erkennbar.

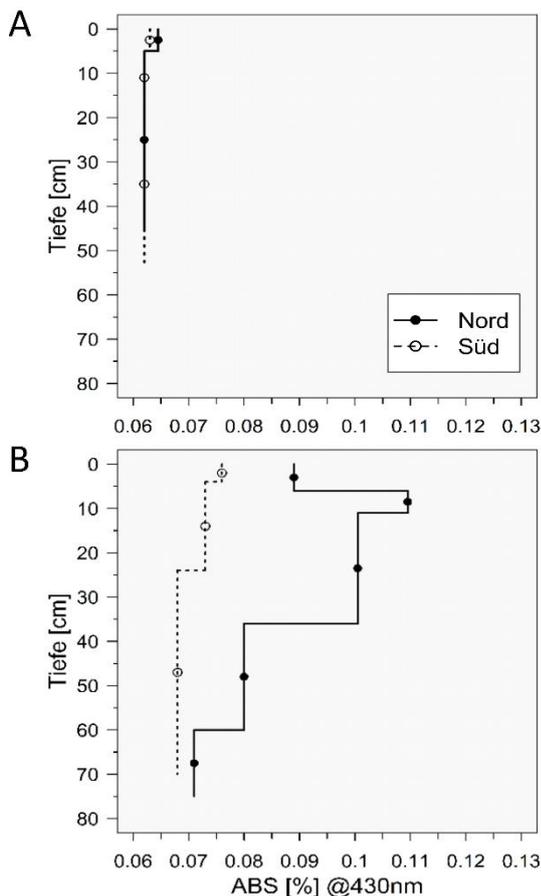


Abb. 6. Tiefenverläufe der Fulvosäurenkonzentration ausgedrückt durch die optische Dichte der Oxalatrekte der nord- und südexponierten Profile der Weißdüne (A) und Braundüne 3 (B).

Eisenoxide

Die Weißdünenböden weisen mit $0,2 \text{ kg m}^{-2} \text{ Fe}_d$ die niedrigsten Eisenoxidgehalte auf (Abb. 7). Mit zunehmenden Bodenalter steigen die Eisenoxidgehalte bis auf ein Maximum von ca. $0,6 \text{ kg m}^{-2}$ im Nordprofil der Braundüne 2. Das kühlfeuchte Bodenregime der Nordhänge fördert die Silikatverwitterung und die daraus resultierende Bildung von Eisenoxid. Mit Ausnahme der Weißdüne ist der Eisenoxidgehalt in den nordexponierten Böden höher als in den trockeneren und weniger sauren Böden der Südhänge.

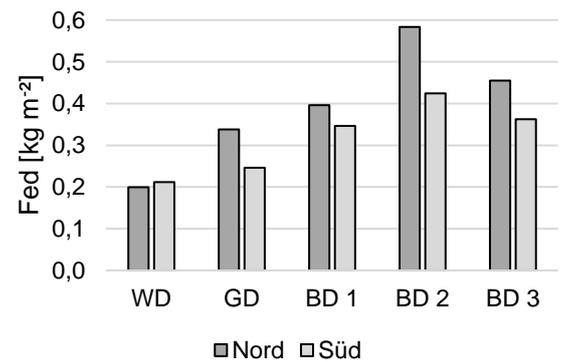


Abb. 7. Summe des gesamten oxidischen Eisens (Fe_d) [kg m^{-2}] bis 80 cm Tiefe. WD = Weißdüne, GD = Graudüne, BD = Braundüne.

Im Nordprofil der Braundüne 3 sind erste Kennzeichen einer Podsolierung durch einen aufgehellten und an Eisenoxiden verarmten Eluvialhorizont (E-Horizont) erkennbar (Abb. 2 B). Die Verarmung an Eisen beruht vor allem auf dem vollständigen Verlust an schwach kristallisierten Oxiden (Abb. 8 A). Als Transportmedium für das Eisen kommen Fulvosäuren in Frage, deren vertikale Verlagerung und Anreicherung im Unterboden nachweisbar (Abb. 8 B) ist.

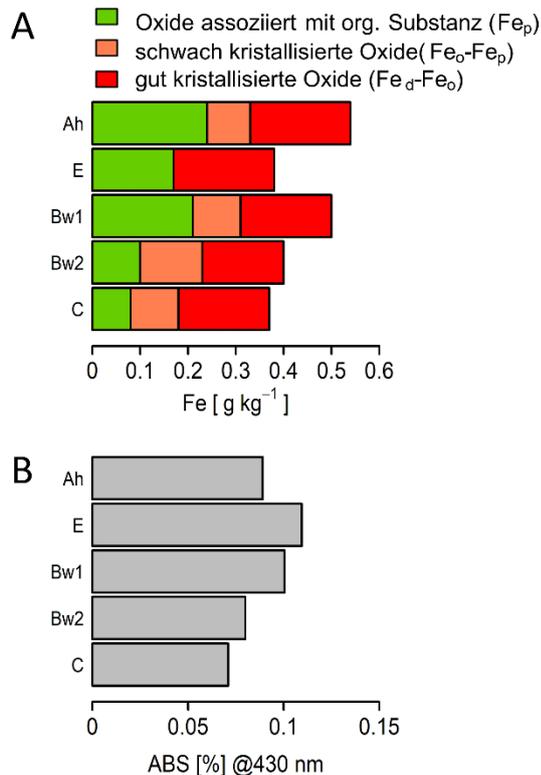


Abb. 8. Eisengehalte für drei Oxidgruppen (A) und Konzentrationsverlauf der Fulvosäuren ausgedrückt durch die optische Dichte der Oxalatrextrakte (B) des nordexponierten Profils der Braundüne 3.

Diskussion

Die Böden der untersuchten Chronosequenz durchlaufen eine schnelle Entwicklung, wie sie in quarzeichen und carbonatarmen Küstensedimenten zu erwarten ist. Entkalkung und Versauerung der Böden sind bereits in der Graudüne nach maximal 74 ± 11 Jahren nachweisbar. Nach Zerrung des geringen Carbonatpuffers sinken die pH-Werte rasch in stark saure Bereiche und eine Verbraunung des Solums setzt ein. Die Hangexposition hat einen großen Einfluss auf die Intensität der Bodenentwicklung, welche in den nordexponierten Böden höher ist. Das kühlfeuchte Mikroklima der Nordhänge fördert den Bewuchs von Krähenbeere (*Empetrum nigrum*), dessen schwer mineralisierbare Streu organische Auflagen bildet (Gerlach et al., 1994). Die aus den organischen Auflagen stammenden Fulvosäuren fungieren bei der Podsolierung als Transportmedium für Eisen. Die Abwesenheit von schwach kristallisierten Eisenoxiden im untersuchten Eluvialhorizont (E-Horizont) der Braundüne 3 verdeutlicht, dass bei der Podsolierung hauptsächlich Eisen

aus dieser Oxidgruppe mobilisiert wird. Dies wiederum setzt eine vorherige Reduktion der Eisenoxide voraus, wie sie von Bloomfield (1953, 1954) beschrieben wird. Bei dem niedrigen pH (3,3) im E-Horizont kann das Eisenoxid Goethit bereits bei einem Eh-Wert von 0.5 V reduziert werden. Ein solcher Eh-Wert ist auch in durchlässigen Sandböden nicht selten (Blume et al., 2002). Möglicherweise verursacht zusätzlich eine nachweisbar starke Hydrophobie des Bodens im trockenen Zustand (nicht dargestellt) bei auftretenden Niederschlag eine zeitweilige Minderung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens, was die Ausbildung eines temporär-reduzierenden Bodenmilieus fördern könnte (Dekker et al., 2000).

Zu keinem der untersuchten Entwicklungsstadien wurde eine Assoziierung von organischer und mineralischer Bodenphase festgestellt. Die im Nordprofil der Braundüne 3 vorhandene Kornpodsoligkeit im E-Horizont, die sich in Form heller Mineralkörner zeigt, ist ausschließlich auf den Abbau von Eisenoxidkrusten zurückzuführen. Das zeigt, dass einer Podsolierung nicht zwingend die Bildung von mineralumschließender Humushüllen vorausgehen muss.

Die gefundene Diskrepanz zwischen kartierten Dünenaltern und OSL-datierten Bodenausgangssedimenten der Dünen verdeutlicht die Notwendigkeit einer standortscharfen Datierung für die Etablierung einer verlässlichen Bodenchronosequenz.

Das Projekt wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (Projektnummer 254339073).

Literatur

- Bloomfield, C. (1953): The mobilization of iron and aluminium by the leaves and bark of *Agathis australis* (Kauri). *Journal of Soil Science* (1), 50-56.
- Bloomfield, C. (1954): Part V. The mobilization of iron and aluminium by Aspen and ash leaves. *Journal of Soil Science* (4), 5-16.
- Blume, H.-P., Brümmel, G.W., Schwertmann, U, Horn, R.,

- Kögel-Knabner, I., Stahr, K., Auerswald, K., Beyer, L., Hartmann, A., Litz, N., Scheinost, A., Stanjek, H., Welp, G., Wilke, B.-M. (2002): Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde (15. Auflage). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Daly, B.K. (1982): Identification of Podzols and Podzolised Soils in New Zealand by Relative Absorbance of Oxalate Extracts of A and B Horizons. *Geoderma*, (28), 29-38.
- Dekker, L.W., Ritsema, C.J., Oostindie, K. (2000): Extent and significance of water repellency in dunes along the Dutch coast. *Journal of Hydrology*, 112–125.
- DWD Climate Data Center (2017): Historische tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland, Version v005, 2017.
- FAO, 2006. Guidelines for soil description, 4th ed. FAO, Rome, Italy, 97 pp.
- Gerlach, A., Albers, E. A., Broedlin, W. (1994): Development of the nitrogen cycle in the soils of a coastal dune succession. *Acta Bot. Neerl.* (43) 2, 189-203.
- IUSS Working Group WRB, 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome, viii, 181.
- McKeague, J.A., Wang, C., Coen, G.M., DeKimpe, C.R., Laverdiere, M.R., Evans, L.J., Loosterman, B., Green, J.A. (1983): Testing Chemical Criteria for Spodic Horizons on Podzolic Soils in Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (47), 1061-1062.
- Mehra, O.P., Jackson, M.L. (1960): Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Proc. 7th US Conf. Clays and Clay Minerals*. 317-237.
- Murray, A.S., Wintle, A.G. (2000): Luminescence dating of quartz using improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurement* (32), 57–73.
- Salisbury, E.J. (1922): The soils of Blakeney Point: a study of soil reaction and succession in relation to the plant covering. *Ann. Bot. Lond* (36), 391-431.
- Sauer, D., Schüllli-Maurer, I., Sperstad, R., Sørensen, R., Stahr, K. (2008): Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* (171), 483-497.
- Sindowski, K.-H. (1970): Erläuterung zu Blatt Spiekeroog, Nr. 2212. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung. Hannover.
- Stützer, A. (1998): Early stages of podzolisation in young aeolian sediments, western Jutland. *Catena* (32), 115-129.
- Wilson, K. (1960): The Time Factor in the Development of Dune Soils at South Haven Peninsula, Dorset. *Journal of Ecology*. (48), 341–359.