Ber. naturhist. Ges. Hannover	130	161 - 175	Hannover 1988

Untersuchungen zum Pufferungsvermögen von Böden aus Dünenökotopen ostfriesischer Inseln - Das Beispiel Baltrum -

von

Jörg-Friedhelm VENZKE

mit 6 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung: Es wurden unterschiedliche Böden im Dünenbereich der Ostfriesischen Insel Baltrum bezüglich der aktuellen Azidität, des Kalkgehalts, des Gehalts an organischer Substanz und des Pufferungsvermögens gegenüber anthropogen verursachten Säureeinträgen untersucht. Als Ergebnis läßt sich festhalten, daß bei einem insgesamt sehr niedrigen Pufferungsvermögen der Substrate noch relativ hohe Pufferungsraten in den kalkreichen, jedoch humusarmen und alkalisch reagierenden Weißdünen erreicht werden. Die noch kalkreicheren Strand- und Vordünenbereiche weisen dieses Pufferungsvermögen wegen der Kalkform als noch nicht angelöster Muschelschill nicht auf. Die geringsten Pufferungsraten und damit auch die größte Gefährdung gegenüber Säureeinträgen zeigen die vollständig entkalkten, z.T. humusreichen und stark sauren Graudünenstandorte und hier besonders diejenigen mit mehrstöckig entwickelter Gehölzvegetation.

Summary: Studies on the buffering capacity of soils from dune ecotopes of East Frisian Islands. The Baltrum example. - Different soils from the dune area of the East Frisian island of Baltrum were investigated with respect to actual acidity, lime content, organic matter and the buffering capacity in relation to anthropogenically caused acid input. The results show that with a usually very low buffering capacity, relatively high buffering rates are reached in the alkaline lime-rich white dunes which, however, have a low humus content. The lime-rich beach and primary dune areas do not show this extent of buffering because the lime exists as undissolved shell lime. The lowest buffering rates and therewith the greatest danger due to acid input are shown by the completely lime-free, partly rich in humus and most acidic grey dune sites, in this case especially those with several stories of woodland vegetation.

1. Einführung

Den Böden kommt in ihrer Funktion als Speicher und Filter im Wasserkreislauf, im biogeochemischen Kreislauf und im Wärmefluß in ökologischen Systemen eine entscheidende Bedeutung zu (vgl. HARTGE 1983). Vor allem im Zusammenhang mit der Diskussion über die Belastung, Gefährdung und ggfs. Zerstörung von terrestrischen und aquatischen Ökosystemen durch vom Menschen verusachte Stoffeinträge ist die Betrachtung des Bodens als "ökologischem Puffer und Regler" (BLÜMEL 1986) zu einem Schwerpunkt ökosystemarer Forschung geworden (vgl. z.B. BENECKE 1987, GIESSÜBEL 1985, KNABE 1982 und 1985, KUTTLER 1982, ULRICH 1982 und 1986, VON ZEZSCHWITZ 1982). Dabei wird fast ausschließlich Bezug genommen auf das Ausmaß der Bodenversauerung und die dadurch verursachten Veränderungen des chemischen Zustandes und des Pufferungsvermögens in **Waldböden der Mittelgebirgsregion.**

Viel weniger Beachtung fand bislang die Frage, wie sich das Pufferungsvermögen von Böden gegenüber natürlichen, d.h. ökosystemimmanenten, und anthropogen bedingten Säureeinträgen während der Pedogenese entwickelt. Diesem Problem will die hier vorgelegte Arbeit am Beispiel von Böden aus Dünenökotopen der Ostfriesischen Insel Baltrum nachgehen.

Unter dem Pfufferungsvermögen eines Bodens versteht man seine Fähigkeit, natürlich oder künstlich durch Säuren in ihn hineingetragene Wasserstoffionen zumindest z.T. in verschiedene Verbindungen einzubauen und so der Bodenlösung zu entziehen. Diese Pufferung wird durch verschiedene Substanzen in bestimmten pH-Bereichen bewirkt: im **Calciumcarbonat**-Pufferbereich (pH 8.6 - 6.2) ist es Kalk ($CaCO_3$), im **Silikat**-Pufferbereich (pH 6.2 - 5.0) sind es primäre Silikate wie Feldspäte, Glimmer und Hornblenden, im sog. **Austauscher**-Pufferbereich (pH 5.0 - 4.2) sind es verbliebene Restminerale und vor allem sekundäre Tonminerale, und im **Aluminium**-Pufferbereich (pH 4.2 - 3.8) sind es Aluminium-Hydroxide und verbliebene Tonminerale, die durch ihren Austausch Wasserstoffionen demobilisieren und dafür in der Bodenlösung abgeführt werden können. Dadurch kommt es u.a. zur Entkalkung, zur Mobilisierung von Nährstoffen und - im entsprechenden pH-Bereich - zur Freisetzung toxisch wirkender Aluminiumionen (vgl. BLÜMEL 1986, S. 313). Hier soll vor allem die Abhängigkeit des Pufferungsvermögens von der aktuellen Azidität des Substrates und den in diesem Milieu bedeutenden bodenbildenden Prozessen, nämlich der Entkalkung und der Humusanreicherung, dargestellt werden. Es kamen sowohl Vor- und Weißdünenrohböden, Weiß- und Graudünenranker als auch Braunerde-Ranker bzw. initiale Braunerden zur Untersuchung. Studien an anderen Bodentypen aus Dünenökotopen, z.B. Gleyen und Pseudogleyen, sind am Beispiel der Ostfriesischen Inseln Borkum und Spiekeroog in Bearbeitung.

2. Probenstandorte und Methodik

Die für diese Studie untersuchten Proben wurden auf der Nordseeinsel Baltrum, der kleinsten der ostfriesischen Küste vorgelagerten Düneninseln, genommen. Dabei wurde - wie die Karte der Probennahmestandorte (Abb. 1) zeigt - ein 500 bis 700 m breites Profil durch das Zentrum der Insel östlich des Ostdorfes vom Strand bis zu dem Heller aufgelagerten Schilddünen beprobt und - mit Ausnahme des stark vernäßten Dünenlängstals im Bereich des Naturschutzgebietes - alle charakteristischen Ökotope

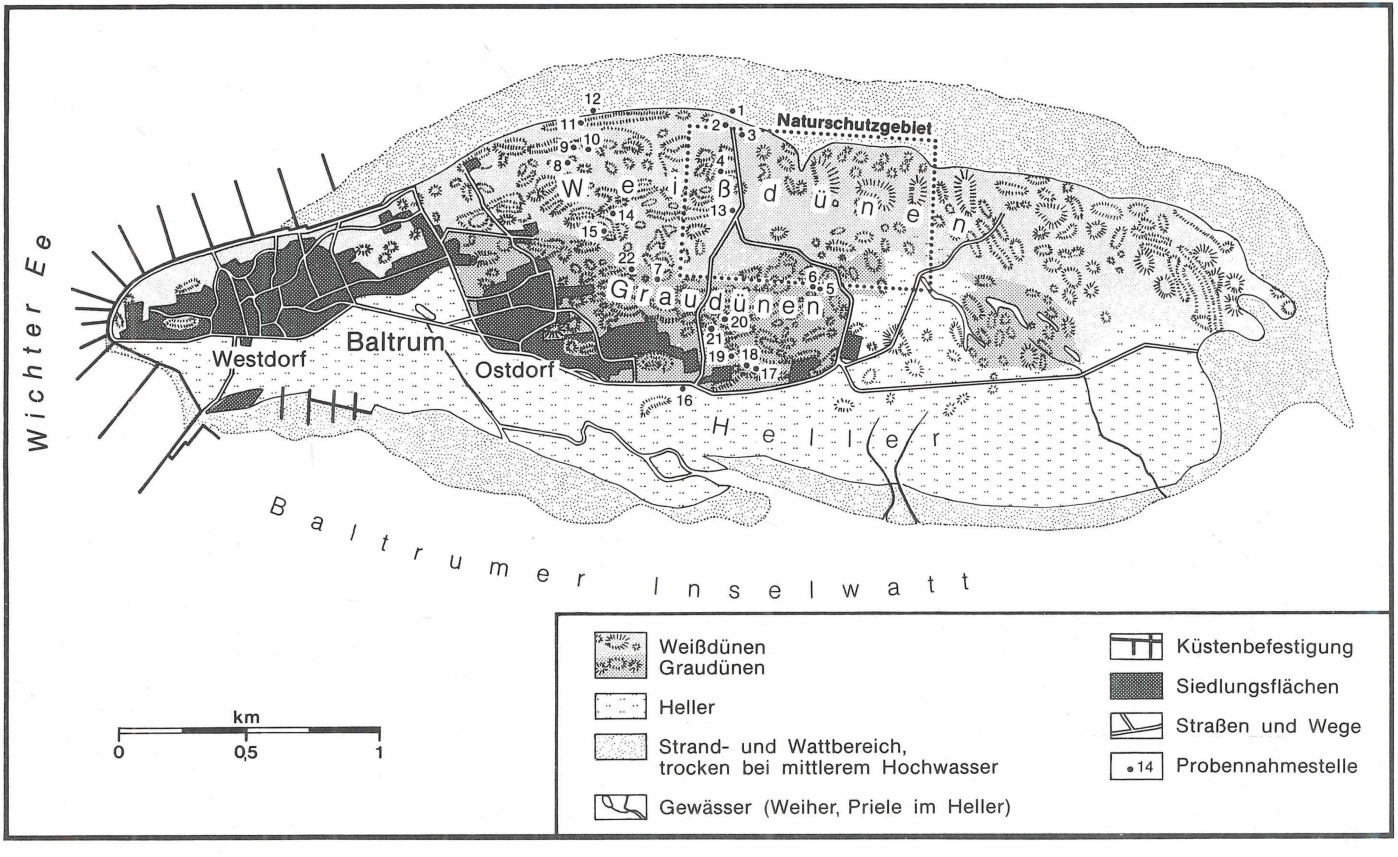


Abb. 1: Karte von Baltrum mit der Lage der Probennahmestandorte

erfaßt. Diese lassen sich u.a. mit Hilfe der Vegetationskarte von TÜXEN (1956) kurz wie folgt beschreiben:

Vordünen mit Binsenquecke (*Agropyron junceum*) (Bodenprofile **1** u. **12**), vordere Weiß- und Helmdünenzüge mit Strandhafer (*Ammophila arenaria*) und Strandroggen (*Elymus arenarius*) (**2, 3** u. **11**), hintere Weißdünenzüge mit Schillergras-Rasen (*Koeleria albescens*) und Sanddorn-Gebüschen (*Hippophae rhamnoides*) (**4, 9, 10** u. **13**), Dünental im Weißdünenbereich mit Grauweiden-Gehölz (*Salix cinerea*) (**8**), Graudünen mit Silbergras-Fluren (*Corynephorus canescens*) (**6, 17, 18, 20** u. **21**), Senken und Talungen im Graudünenbereich mit z.T. holunder- (*Sambucus nigra*) - reichen Grauweiden-, Birken- (*Betula pubescens*) - und Schwarzerlen- (*Alnus glutinosa*) - Gehölzen (**5, 7, 14, 19** u. **22**), Kiefernaufforstungen im Graudünenbereich (**15**) und junge Schilddünen auf dem Heller mit Silbergras (**16**).

Die näheren Angaben zu den einzelnen Bodenprofilen sind der Tab. 1 zu entnehmen, in der auch die Meßergebnisse zur aktuellen Azidität, Kalkgehalt und Gehalt an organischer Substanz aufgeführt sind. In Abb. 2 ist die landschaftscharakteristische Abfolge der Bodentypen dargestellt.

Tab. 1

AZIDITÄT, KALKGEHALT UND GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ VON BODENPROFILEN AUS DÜNENÖKOTOPEN DER OSTFRIESISCHEN INSEL BALTRUM (Standorte vgl. Abb. 1)

Nr.	Standort und Bodenhorizont	Tiefe [cm]	pH-Wert (H_2O)	Kalkgehalt ($CaCO_3$) [% Tr.Gew.]	Gehalt an org. Subst. [% Tr.Gew.]
1.1	Vordüne	5-10	9.2	0.20	0.4
1.2	Vordüne	30	7.8	0.17	
2.1	Helmdüne	0-5	7.0	0.18	0.22
2.2	Helmdüne	50	8.8	0.22	
2.3	Helmdüne, Deflationsgasse	10	8.4	0.31	
3.1	Weißdüne, algenstabilis. Oberfl.	0	7.1	0.04	0.06
3.2	Weißdüne	1-5	8.2	0.18	
3.3	Weißdüne	50	7.6	0.09	
3.4	Weißdüne, Deflationswanne	30	9.4	0.12	
4.1	luvseitige Weißdüne	0-3	7.4	0.01	0.19
4.2	luvseitige Weißdüne	10	6.5	0.01	
4.3	luvseitige Weißdüne	30	7.3	0	
5.1	holunderbewachs. Graudünental, A_h	2	4.5	0	8.6
5.2	holunderbewachs. Graudünental, C^h	10	5.1	0	
5.3	holunderbewachs. Graudünental, C	30	5.2	0	
6.1	leeseitige Graudüne, A_h	2	5.3	0	12.1
6.2	leeseitige Graudüne, A^h/C	10	5.4	0	
6.3	leeseitige Graudüne, C^h	50	5.8	0	
7.1	Birkenwald in Graudünental, A_h	2	4.9	0	23.3
7.2	Birkenwald in Graudünental, A^h/C	10	5.1	0	
7.3	Birkenwald in Graudünental, C^h	30	5.6	0	

Tab. 1 (Fortsetzung)

Nr.	Standort und Bodenhorizont	Tiefe [cm]	pH-Wert (H_2O)	Kalkgehalt ($CaCO_3$) [% Tr.Gew.]	Gehalt an org. Subst. [% Tr.Gew.]
8.1	Weißdünental, (A_h)	2	7.1	0.07	7.93
8.2	Weißdünental, C	10	7.7	0.06	
8.3	Weißdünental, C	30	7.3	0.10	
9.1	leeseitige Weißdüne, (A_h)	2	6.7	0.06	2.44
9.2	leeseitige Weißdüne, C	10	7.2	0.11	
9.3	leeseitige Weißdüne, C	30	8.1	0.12	
10.1	Weißdüne, Deflationsgasse	20	8.6	0.17	0.23
11.1	Weißdünentop	10	7.6	0.14	0.66
11.2	Weißdünentop	30	7.1	0.16	
12.1	Vordüne	15	8.9	0.23	
13.1	leeseitige Weißdüne, (A_h)	2	6.4	0.03	6.47
13.2	leeseitige Weißdüne, C	10	6.1	0.03	
13.3	leeseitige Weißdüne, C	30	7.8	0.01	
14.1	Graudüne, A_h	2	5.9	0	20.0
14.2	Graudüne, (B_v)	10	6.5	0	
14.3	Graudüne, C	30	6.7	0	
15.1	kiefernaufgeforst. Graudüne, A_h	2	4.4	0	36.4
15.2	kiefernaufgeforst. Graudüne, A_h/C	5	5.4	0	
15.3	kiefernaufgeforst. Graudüne, C	30	6.3	0	
16.1	Jungdüne auf Heller	10	6.5	0.01	0.99
16.2	Jungdüne auf Heller	40	6.7	0.01	
17.1	luvseitige Graudüne, A_h	2	5.3	0.02	9.49
17.2	luvseitige Graudüne, (B_v)	10	5.2	0.02	
17.3	luvseitige Graudüne, C	30	6.1	0.03	
18.1	luvs. Graudüne, Deflationsbereich	10	5.8	0.01	3.19
18.2	luvs. Graudüne, Deflationsbereich	30	5.7	0	
19.1	Graudünental mit Birkenwald, Auflagehumus	4	4.7	0	72.9
20.2	leeseitige Graudüne, (A_h)	10	5.5	0.03	
20.3	leeseitige Graudüne, C	30	5.8	0.03	
21.1	flacher Graudünenbereich, A_h	3	5.7	0.02	4.1
21.2	flacher Graudünenbereich, (B_v)	8	4.8	0.02	
21.3	flacher Graudünenbereich, C	25	5.5	0.06	
22.1	Graudünental mit Erlenbruch, A_h	4	4.5	0.03	35.37
22.2	Graudünental mit Erlenbruch, C	10	4.7	0	
22.3	Graudünental mit Erlenbruch, C	30	4.6	0	

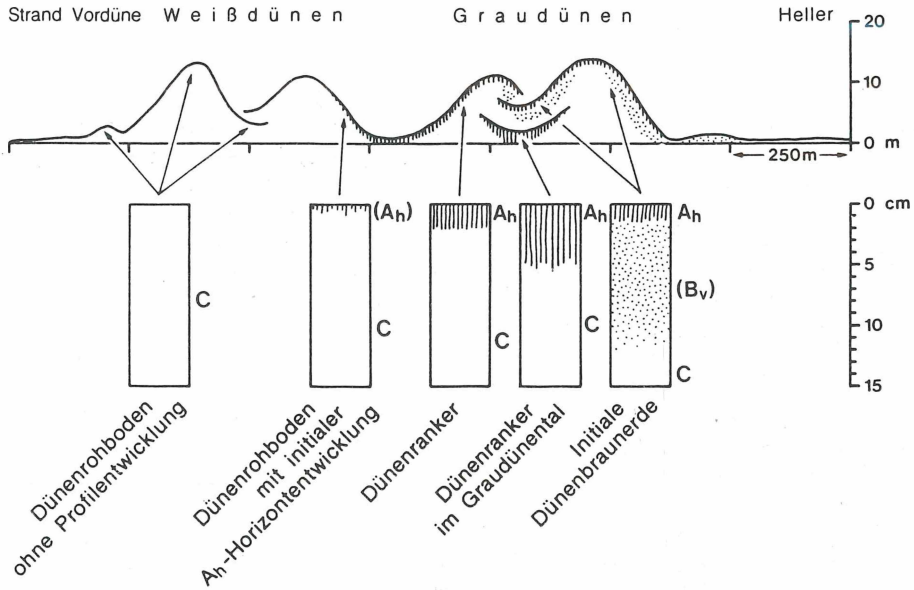


Abb. 2: Schematische Abfolge der Bodentypen auf einem Profil durch Baltrum. Es finden sich Dünenrohböden ohne Profilentwicklung (Profile 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 16 und 18),Dünenrohböden mit initialer A_h-Horizontentwicklung (Profile 8, 9, 13 und 20), Dünenranker (Profile 5 und 15), Dünenranker in Graudünentälern (Profile 6, 7, 19 und 22) und initiale Dünenbraunerden (Profile 14, 17 und 21).

Die Proben wurden im Oktober 1986 genommen und anschließend im Institut für Geographie der Universität Essen GHS analysiert.[1]

Die Messungen des pH-Wertes wurden in wäßriger Lösung elektrolytisch vorgenommen, weil sie mehr der aktuellen natürlichen Azidität entsprechen (vgl. STEUBING 1965, S. 180 ff.). Die hier genannten pH-Werte dürften nach Vergleich mit Reaktions-Bestimmungen von MANSHARD (1952) (vgl. auch WIEMANN & DOMKE 1967) in ähnlichen Ökotopen der Insel Spiekeroog deshalb um einige Zehntel pH-Einheiten höher als in einer KCl-Aufschlämmung liegen. Der Kalkgehalt wurde gasvolumetrisch nach Zugabe von Salzsäure nach der Methode von SCHEIBLER (vgl. LESER 1977, S. 278 ff.) bestimmt. Der Gehalt an organischer Substanz wurde durch Glühen der Probe bei Rotglut unter Berücksichtigung des Kalkgehaltes ermittelt. Die Pufferungskurven der Proben wurden nach dem bei STEUBING (1965, S. 183 ff.) beschriebenen Verfahren gewonnen; aus Platzgründen können allerdings nicht alle Pufferungskurven zur Darstellung kommen.

---

[1] Die Laborarbeiten wurden durchgeführt von Frau Jutta Pfützenreuter, der ich hier für ihre Unterstützung danken möchte.

3. Präsentation der Ergebnisse

Die i.w. für die Beurteilung des Pufferungsvermögens bedeutsamen Faktoren wie aktuelle Azidität, Kalkgehalt und Gehalt an organischer Substanz sollen in ihrer räumlichen Verbreitung zunächst kurz erörtert werden.

3.1 Räumliche Verbreitung der pH-Werte

In den Dünenökotopen Baltrums lassen sich bezüglich der oberflächennahen Boden-pH-Werte und ihrer Veränderungen in der Profiltiefe die folgenden Bereiche feststellen:

In den strandnahen Vordünen treten sehr alkalische Profile auf. Die pH-Werte liegen oberflächennah um pH 9. Hier und in den mit etwa pH 7.5 - 8.5 ebenfalls noch alkalisch reagierenden Übersandungsstandorten der Weißdünen liegen Profile vor, in denen der pH-Wert mit der Tiefe abnimmt. Dies geht auf die in der Bilanz größere Akkumulation von Muschelkalkresten an der Oberfläche gegenüber der geringeren Auswaschung durch Regenwasser und im Strandbereich auch direkt unter der Oberfläche existierenden süßen Grundwasserströme zurück.

In allen übrigen Standorten, wo die äolische Nachführung kalkhaltiger Substrate aus dem Strandbereich nur noch geringfügig oder überhaupt nicht mehr vorkommt, liegen Profile mit einer stärkeren oberflächennahen Versauerung als in der Tiefe vor. In den Weißdünen liegen die Oberflächen-pH-Werte bei pH 6.5 - 7.0. Bis in eine Tiefe von 30 cm können sie dann bis auf pH 8.0 ansteigen. Dies gilt auch für die Talungen im Weißdünengürtel.

In den Graudünen treten oberflächennahe pH-Werte zwischen pH 5.0 und 6.0 auf; das Profil wird in die Tiefe von 30 cm bis zu 1 pH-Einheit alkalischer.

In den Senken und Talungen des Graudünenbereiches sinken die pH-Werte des oberflächennahen Untergrundes auf etwa pH 4.5 - 5.0 ab, allerdings teilweise mit Anstiegen in 30 cm Tiefe um über 1 pH-Einheit. Die Versauerung dieser Standorte ist vor allem auf die größere Streuproduktion der Gehölzvegetation zurückzuführen.

Die relativ jungen Aufwehungen auf dem Heller liegen mit etwa pH 6.5 zwischen den Werten der Weiß- und Graudünenareale.

Diese ermittelten ökotoptypischen Werte liegen deutlich - z.T. bis zu 1.5 pH-Einheiten – höher als die an vergleichbaren Standorten auf Spiekeroog 1948 von MANSHARD (1952) gefundenen Aziditäten. MANSHARD fand dort auch nirgendwo Dünenböden mit alkalischer Reaktion (pH > 7.0).

3.2 Räumliche Verbreitung der Kalkgehalte

Bei der räumlichen Verbreitung der Kalkgehalte der Dünensande fällt zunächst auf, daß die Graudünenbereiche in den oberen 30 - 50 cm bereits fast gänzlich entkalkt sind. Lediglich an einigen Überwehungsstellen, an denen über größere Distanz auch kalkreicherer Strandsand eingebracht wird, liegen die Kalkgehalte bei bis zu 0,06 % $CaCO_3$. Dies gilt auch für die Wehsandauflagerungen auf dem Heller.

Die höchsten Kalkgehalte von über 0,2 % $CaCO_3$ finden sich in den strandnahen Vordünen und den Aufsandungsbereichen der Weißdünen. Sie liegen damit deutlich unter

den seinerzeit für die Ökotope Baltrums gefundenen Kalkgehalte von SCHUCHT (1912). Für vergleichbare Standorte z.B. Spiekeroogs allerdings geben WIEMANN & DOMKE (1967) ähnlich hohe $CaCO_3$ - Gehalte an.

In den weitestgehend stabilisierten Weißdünen fällt der Kalkgehalt unter 0,2 % $CaCO_3$; der Oberboden ist immer deutlich kalkärmer als Horizonte in 30 - 50 cm Tiefe. Einige wenige hundert Meter vom Dünenkliff binnenwärts abgesetzte Weißdünen weisen sogar nur Kalkgehalte von 0,03 % $CaCO_3$ und weniger auf.

Die durch das Niederschlagswasser verursachte Entkalkung der Dünenstandorte beginnt also bereits - anders als z.B. bei ELLENBERG (1978, S. 493) dargestellt - im Weißdünenbereich und hat in den Graudünen meist die vegetationsökologisch relevante Durchwurzelungstiefe, die in den Schiller- und Silbergrasfluren geringer ist als in den vom Strandhafer bestimmten Weißdünen, vollständig erfaßt.

3.3 Räumliche Verbreitung der Humusgehalte im Boden

In den Rohböden der Weißdünenbereiche befindet sind i.a. keine sichtbare oder analytisch nachweisbare organische Substanz (deshalb auch der Name "Weißdüne" von nicht durch Humus grau gefärbtem, reinem Dünensand). Es können allerdings lokal allochthones organisches Material aus dem Strandgetreibsel eingeweht sein oder sich stellenweise unter Strandhafer - oder Schillergrasvegetation ein substratdeckender Algenflor entwickelt haben, die einen geringfügigen Gehalt an organischer Substanz erbringen.

In den Talungen des Weißdünenbereiches und auf dem Graudünen hat sich mit der Entwicklung eines Dünenrankers - z.T. sogar einer initialen Braunerde - ein deutlich feststellbarer, stellenweise einige cm mächtiger A_h-Horizont eingestellt, dessen Gehalt an organischer Substanz durchaus bis 10 % des Trockengewichts des Bodens (ggfs. sogar noch darüber) ausmachen kann. In den Senken und Talungen des Graudünenbereichs, in denen eine aus mehreren Stockwerken bestehende Vegetation vorkommt, kann es zu Rohhumusakkumulationen oder Moderauflagen und einem an organischer Substanz sehr reichen A_h-Horizont kommen. Dies gilt vor allem für vernäßte Standorte mit Birkenwald und Erlenbruch, wo sogar Vertorfungen festzustellen sind. Die Horizonte unter dem A_h-Horizont sind i.a. ohne Spuren von verlagerter organischer Substanz.

Die Deflationsareale sowohl in den Weiß- als auch in den Graudünen weisen niemals mehr als 0.5 - 1.0 % organische Substanz auf. Dies gilt auch für die jungen Sandaufwehungen auf dem Heller, die noch keine Bodenentwicklung aufweisen.

3.4 Erläuterung der charakteristischen Pufferungskurven

Von allen genommenen Proben wurden nach dem genannten Verfahren (vgl. STEUBING 1965) die Pufferungskurven ermittelt; aus Platzgründen können hier allerdings nur einige ausgewählte, charakteristische vorgestellt werden (Abb. 3, 4 u. 5). Dabei wurden sie differenziert nach den spezifischen Pufferungsbereichen, in denen der Ausgangs-pH-Wert und - meist - die pH-Wertserniedrigung nach Hinzugabe von 1 ml 0.1 n HCl liegen.

In allen drei vorkommenden Pufferungsbereichen (Calciumcarbonat-P., Silikat-P., Austauscher-P.) ist auffällig, wie sehr stark die Kurve bereits nach Zugabe von nur 1 ml 0.1 n HCl ansteigt. Darin wird die generell sehr geringe Fähigkeit der Substrate zur Abpufferung von Säureeinträgen deutlich. Würde man einen Vergleich mit den Pufferungs-

kurven höher entwickelter Böden z.B. aus den Mittelgebirgsregionen (Braunerden, Parabraunerden) anstreben, so würde der extrem steile Anstieg dieser Kurven zum noch nach mehreren ml Säurezugabe verhältnismäßig flachen Verlauf jener Kurven ganz offensichtlich sein (vgl. z.B. GIESSÜBEL 1985). Bei STEUBING (1965, S. 184) ist im Gegensatz zu den Pufferungskurven verschiedener Horizonte eines *Querceto-Betuletum molinietosum* die eines "völlig ungepufferten Seesandes" (bei ELLENBERG 1939 entnommen) als steil ansteigende Gerade, die durch den Nullpunkt geht, aufgezeichnet.

Neben dieser allgemeinen Feststellung des insgesamt sehr geringen Pufferungsvermögens lassen sich jedoch für die initialen Bodenbildungen der Baltrumer Dünenökotope, die sich entweder aufgrund ihres jungen Alters noch nicht bis zum Klimaxzustand entwickelt haben oder denen dies wegen ihrer Lage in einem geomorphodynamisch instabilen Milieu nie möglich sein wird, einige bemerkenswerte Charakteristika entdecken.

Die kalkreichen Substrate des Vordünenbereichs und den mit frischem Strandsand versorgten Windgassen im Weißdünenbereich weisen hohe pH-Werte auf und befinden sich im Calciumcarbonat-Pufferbereich. Das Abpuffern eingetragener Säuren ist allerdings außerordentlich niedrig (vgl. den extrem steilen Anstieg der Pufferungskurven der Probe **1.2** und **4.1** in Abb. 3). Geringes Pufferungsvermögen und hohe Kalkgehalte lassen sich hier durch die Form des Kalkes erklären. Er liegt als Muschelschill vor und weist eine relativ kleine Oberfläche auf; es können folglich nur kleine Mengen Calciumcarbonat zur Säurepufferung zur Wirkung kommen. In den vorderen Weißdünen ist dies u.U. schon anders: in geomorphodynamisch stabileren Positionen wird der Muschelschill durch Regenwasser abgelöst und z.T. ausgewaschen, allerdings z.T. auch wieder auf den Quarzsandkörnern ausgeschieden. Damit kann der Kalk dort pufferungswirksamer werden (vgl. die anfänglich flacher verlaufenden Kurven **2.1** und **2.2** in Abb. 3). Dies gilt in abgeschwächter Weise auch für die bereits stärker entkalkten Weißdünentalungen (vgl. die Kurve **8.1** in Abb. 3). In manchen Graudünenstandorten, in denen die Entkalkung im Oberboden vollständig abgeschlossen ist, ist die Versauerung noch nicht so weit fortgeschritten. Die Pufferung dieser Standorte ist demzufolge - ähnlich wie die Vordünensande - außerordentlich niedrig verglichen mit Substraten gleicher aktueller Azidität (vgl. die Kurve **14.2** in Abb. 3).

Diese Probe (**14.2**) aus dem Graudünenbereich gehört jedoch im Prinzip bereits zu den hier typischerweise auftretenden, vollständig entkalkten und stärker versauerten Standorten, bei denen der Grad des Pufferungsvermögens - zumindestens z.T. - von der hier im Solum angereicherten organischen Substanz gestuert wird. Unter der Silbergrasvegetation der Dünenhänge ist ein A_h-Horizont von 1 - 3 cm Mächtigkeit mit entsprechendem Humusgehalt entwickelt. An der durch die Humuspartikel, die stellenweise in geringem Maße auch unterhalb des A_h-Horizontes auftreten können, vergrößerten austauschenden Oberfläche können geringe Säureeinträge gebunden werden (vgl. dazu den Unterschied zwischen Kurve **6.1** [12 % Gehalt an organischer Substanz] und **14.1** [20 % Gehalt an organischer Substanz] in Abb. 4). Im wesentlichen werden diesem Pufferungsbereich Säureeinträge allerdings durch primäre Silikate abgepuffert, die bei diesen Substraten - wenig angewitterte Quarzsande ohne bedeutenden Schluff- oder gar Tonanteil - nur sehr geringe austauschende Oberfläche aufweisen.

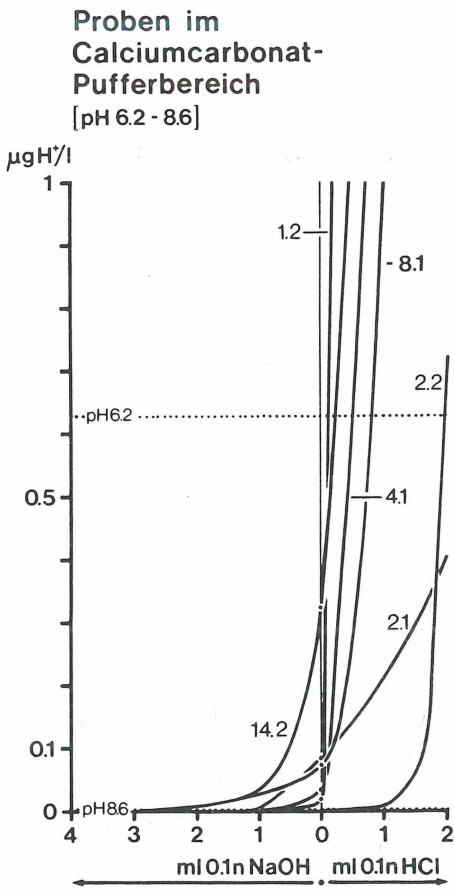


Abb. 3:
Ausgewählte Pufferungskurven im Calciumcarbonat-Pufferbereich

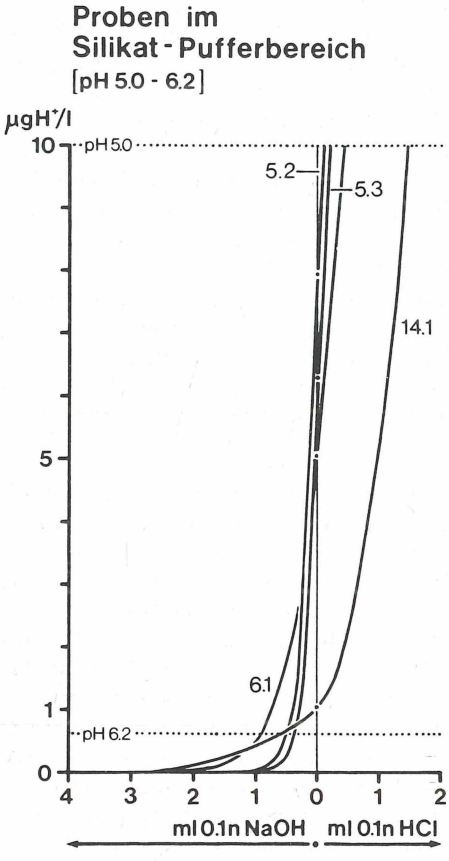


Abb. 4:
Ausgewählte Pufferungskurven im Silikat-Pufferbereich

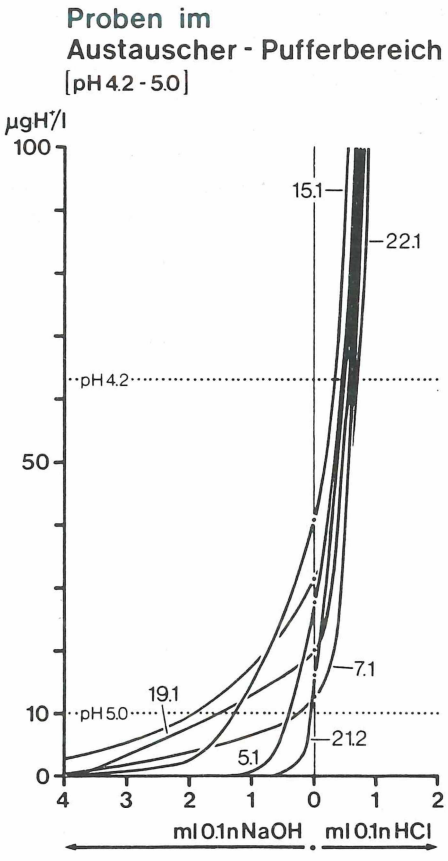


Abb. 5:
Ausgewählte Pufferungskurven im Austauscher-Pufferbereich

Die Pufferungskurven von Proben aus vollständig entkalkten Graudünenbereichen mit mehrstöckiger Gehölzvegetation, relativ hohem Streuanfall, Rohhumusakkumulation und mächtigerer A_h-Horizontausbildung sowie z.T. hohem Grundwasserstand liegen i.a. mit aktuellen Aziditäten im stark sauren Bereich im Austauscher-Puffersystem. Hier ist die Pufferungsrate besonders niedrig (vgl. BLÜMEL 1986) und verbunden mit einem Aufbrauch der angewitterten primären Silikate und der Freisetzung von Aluminiumionen aus Tonmineralen (soweit vorhanden), die ggfs. zu einer Aluminium-Toxizität führen kann. Die Pufferungsbilanz zeigt, daß in diesem Pufferungsbereich von der Zugabe von 1 ml 0.1 n HCl (=0.1 g H^+/l oder 100.000 µg H^+/1) bis zu 2.000 µg H^+/1 in die Bodensuspension übergehen, während dies bei Baltrumer Dünenböden im Calciumcarbonat-Pufferbereich nur z.T. deutlich unter 1 µg H^+/1 sind (vgl. Tab. 2).

Der sehr steile Anstieg der Pufferungskurven in diesem Bereich (Austauscher-Pufferbereich; vgl. Abb. 5) zeigt an, daß letztlich der Anstieg der organischen Substanz im A_h- und im stellenweise initial ausgebildeten B_v-Horizont meist keinen Einfluß auf die Pufferungsfähigkeit besitzt. Dagegen wirkt der Eintrag der natürlich im Ökosystem produzierten, organischen Säuren stark bodenversauernd. Es existiert demzufolge bezogen auf alle untersuchten oberflächennahen Substrate mit visuell vermutetem und anschließend

quantifiziertem Humusgehalt auch fast keine Übereinstimmung zwischen Gehalt an organischer Substanz und Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration in der Bodensuspension nach Säurezugabe; der Korrelationskoeffizient läßt sich auf nur 0,395 berechnen. Demgegenüber kann man eine deutlich engere Beziehung zwischen dem Kalkgehalt und der Wasserstoffionenkonzentrationserhöhung feststellen; der Korrelationskoeffizient beträgt 0,769. Damit erscheint allerdings der Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen auch nicht sonderlich zwingend, was - wie bereits erwähnt - vor allem auf die Form und somit Pufferungsfähigkeit des Kalkes zurückzuführen ist.

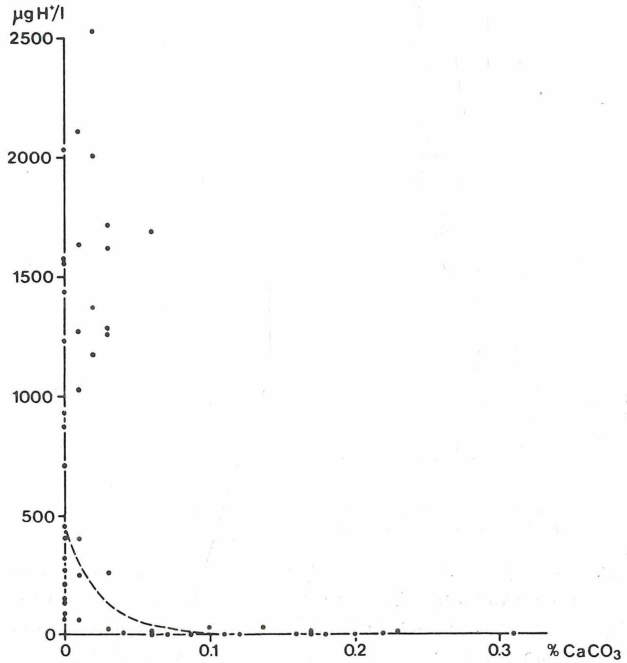


Abb. 6: Beziehung zwischen der Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration in der Bodensuspension nach Zugabe von 1 ml 0.1 n HCl (in µg H^+/l) und dem Kalkgehalt (in % $CaCO_3$ des Bodentrockengewichts)
Regressionskurve: $W = 444\ e^{-40\ K}$ [W = Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration, K = Kalkgehalt]

Abschließend bleibt herauszustellen, daß von den Bodenentwicklungsprozessen die Entkalkung der Dünensubstrate einen verhältnismäßig deutlich ansteigenden Verlust an Pufferungsvermögen in den noch nicht verwitterten Quarzsanden bewirkt, wohingegen eine Zunahme des Humusgehalts in den A_h-Horizonten keine - wie vielleicht zu vermuten gewesen wäre - Steigerung des Pufferungsvermögens zur Folge hat, so daß die stark sauren Graudünenranker und initialen - braunerden die geringsten Pufferungsraten aufweisen.

Tab. 2

ERHÖHUNG DER WASSERSTOFFIONENKONZENTRATION IN DER BODENSUSPENSION NACH ZUGABE VON 1 ml 0.1 n HCL (≙ 100.000 µg H^+/l) UND AUSGANGS-pH-WERT

Probe	pH-Wert (H_2O)	$[H^+]$*	Probe	pH-Wert (H_2O)	$[H^+]$*
1.1	9.2	0.015	11.1	7.6	34.88
1.2	7.8	12.48	11.2	7.1	0.86
2.1	7.0	0.11	12.1	8.9	12.7
2.2	8.8	0.006	13.1	6.4	28.04
2.3	8.4	0.02	13.2	6.1	1284.18
3.1	7.1	9.9	13.3	7.8	1029.99
3.2	8.2	0.154	14.1	5.9	0.04
3.3	7.6	0.375	14.2	6.5	65.27
3.4	9.4	0.03	14.3	6.7	402.79
4.1	7.4	62.96	15.1	4.4	459.4
4.2	6.5	399.7	15.2	5.4	716.4
4.3	7.3	249.95	15.3	6.3	1439.48
5.1	4.5	218.5	16.1	6.5	1639.67
5.2	5.1	150.0	16.2	6.7	2109.82
5.3	5.3	873.7	17.1	5.3	2004.66
6.1	5.3	82.8	17.2	5.2	2533.6
6.2	5.4	936.6	17.3	6.1	1719.17
6.3	5.8	938.4	18.1	5.8	1268.56
7.1	4.9	320.0	18.2	5.7	1758.28
7.2	5.1	1243.3	19.1	4.7	140.0
7.3	5.6	273.4	20.2	5.5	1256.76
8.1	7.1	0.93	20.3	5.8	1618.64
8.2	7.7	0.295	21.1	5.7	1178.0
8.3	7.3	31.45	21.2	4.8	1374.0
9.1	6.7	9.82	21.3	5.5	1686.85
9.2	7.2	0.45	22.1	4.5	264.5
9.3	8.1	0.43	22.2	4.7	2029.9
10.1	8.6	0.14	22.3	4.6	1584.3

* Wasserstoffionenkonzentration $[H^+]$ in µg H^+/l

Die vollständig entkalkten und durch die Verwitterung noch nicht mit sekundären Tonmineralen ausgestatteten Böden der Graudünenökotope erscheinen nach diesen Ergebnissen gegenüber anthropogen verursachten Säureeinträgen ("Saurer Regen") besonders stark gefährdet.

Literatur:

BENECKE, P. (1987): Die Versauerung bewaldeter Wassereinzugsgebiete. Geowissenschaften in unserer Zeit **5** (1), S. 19-26

BLÜMEL, W.D. (1986): Waldbodenversauerung. Gefährdung eines ökologischen Puffers und Reglers. - Geographische Rundschau **38** (6), S. 312-320

ELLENBERG, H. (1939): Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen- und Buchen-Mischwaldgesellschaften Nordwestdeutschlands. - Mitt. Florist.-soz. Arbeitsgem. Niedersachsen 5

ELLENBERG, H. (1978): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. - 2. Aufl., Stuttgart, 981 S.

GIESSÜBEL, J. (1985): Pufferungsvermögen europäischer Waldböden in Abhängigkeit von Boden- und Reliefentwicklung. - Geoökodynamik **6**, S. 85-98

HARTGE, K.G. (1983): Böden als Teile von Systemen. - Catena **10**, S. 105-114

KNABE, W. (1982): Immisionsbelastungen von Waldökosystemen. - Sonderheft der Landesanst. f. Ökologie, Landesentw. und Forstplanung, Recklinghausen, S. 43-57

KNABE, W. (1985): Das Waldsterben aus immisionsökologischer Sicht. - Geographische Rundschau **37** (5), S. 249-256

KUTTLER, W. (1982): Belastung für den Boden. - Umweltmagazin **10**, S. 56-61

LESER, H. (1977): Feld- und Labormethoden der Geomorphologie. - Berlin, New York, 446 S.

MANSHARD, E. (1952): Bodenuntersuchungen auf der Nordseeinsel Spiekeroog. - Ztschr. Pflanzenernährg., Düngg. Bodenkde. **58** (1), S. 1-38

SCHUCHT, F. (1912): Über die Beziehungen zwischen Boden, Vegetation und Klima auf den ostfriesischen Inseln. - Intern. Mitt. f. Bodenkde. **2** (6), S. 485-532

STEUBING, L. (1965): Pflanzenökologische Praktikum. - Berlin

TÜXEN, R. (1956): Vegetationskarte der ostfriesischen Inseln: Baltrum. - Stolzenau/Weser

ULRICH, B. (1982): Gefahren für das Waldökosystem durch Saure Niederschläge. - Sonderheft der Landesanst. für Ökologie, Landesentw. u. Forstplanung, Recklinghausen, S. 9-25

ULRICH, B.- (1986): Natural and anthropogenic components of soil acidification. - Ztschr. Pflanzenernährg. Bodenkde. **149**, S. 702-717

VON ZEZSCHWITZ, E. (1982): Akute Bodenversauerung in den Kammlagen des Rothaargebirges. - Der Forst- und Holzwirt **37**, S. 275-276

WIEMANN, P. & DOMKE, W. (1967): Pflanzengesellschaften der ostfriesischen Insel Spiekeroog, I. Dünen, 1. Teil. - Mitt. Staatsinst. Allg. Botanik, Hamburg, **12**, S. 191-353

Manuskript eingegangen: 6.2.1988

Anschrift des Verfassers:

Dr. Jörg-Friedhelm Venzke
Universität Essen GHS
Institut für Geographie
Universitätsstr. 5
D-4300 Essen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: 130

Autor(en)/Author(s): Venzke Jörg-Friedhelm

Artikel/Article: Untersuchungen zum Pufferungsvermögen von Böden aus Dünenökotopen ostfriesischer Inseln - Das Beispiel Baitrum - 161-175