

Z 81/36

MITTEILUNGEN

der

**DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**



Band 36

1983

I S S N - 0343-107X

Schriftleitung: P. Hugenroth, Göttingen

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Referate
gemeinsame Sitzung
der
Kommissionen II und VII
am 18. und 19.3.1983
FREISING-WEIHENSTEPHAN

Referate
Sitzung der Arbeitsgruppe Informationssysteme in der Bodenkunde
"Probleme und quantitative Verfahren der Bodenregionalisierung"

am 11. und 12.4.1983
KIEL

VORKOMMEN, BILDUNG UND ABBAU DER MINERALE DES
EISENS UND MANGANS UND IHRE WECHSELWIRKUNG
MIT WICHTIGEN BESTANDTEILEN DER BODENLÖSUNG.

WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN TON- UND ANDEREN
MINERALEN UND DEN KATIONEN K^+ , NH_4^+ UND Mg^{++}

gemeinsame Sitzung
der
Kommissionen II und VII

der
Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft

in
FREISING-WEIHENSTEPHAN

am
18. u. 19. März 1983

I N H A L T

	<u>Seite</u>
SCHWERTMANN, U., N. KÄMPF u. R.W. FITZPATRICK:	5
Eisenoxide als Indikatoren pedogene- tischer Bedingungen	
LICHTFUSS, R.u. H.U. ANDRESEN:	7
Vertikale und laterale Variabilität der Eisen- und Mangangehalte in Böden einer jungpleistozänen Kleinlandschaft Ostholsteins	
BLUME, H.-P. u. H. MESHREF:	13
Verhalten von Eisen und Mangan in Braun- erden bei Abwasserverrieselung	
BOCHTER, R.:	19
Fc-Fraktionen und mobile organische Substanz in unterschiedlichen alpinen Bodenformen	
SCHWERTMANN, U., D.G. SCHULZE u. E. MURAD:	25
Neuere Verfahren zur Bestimmung von, Eisenoxiden in Böden	
KOENIGS, F.F.R.:	27
The cation- and anion-exchange characteristics of soils with a large sesquioxide surface area .	
BLANKENBURG, J., B. SCHEFFER u. U. HERMS:	31
Zur Wechselwirkung zwischen Phosphat und Rotschlamm-Grünsalz	
VOGL, W.:	35
Veränderungen von K-Ca-Austauschkurven- parametern durch Düngung und Pflanzen- entzug	

Eisenoxide als Indikatoren pedogenetischer Bedingungen

von

Schwertmann, U.* , Kämpf, N.** , Fitzpatrick, R.W.***

Zusammenfassung

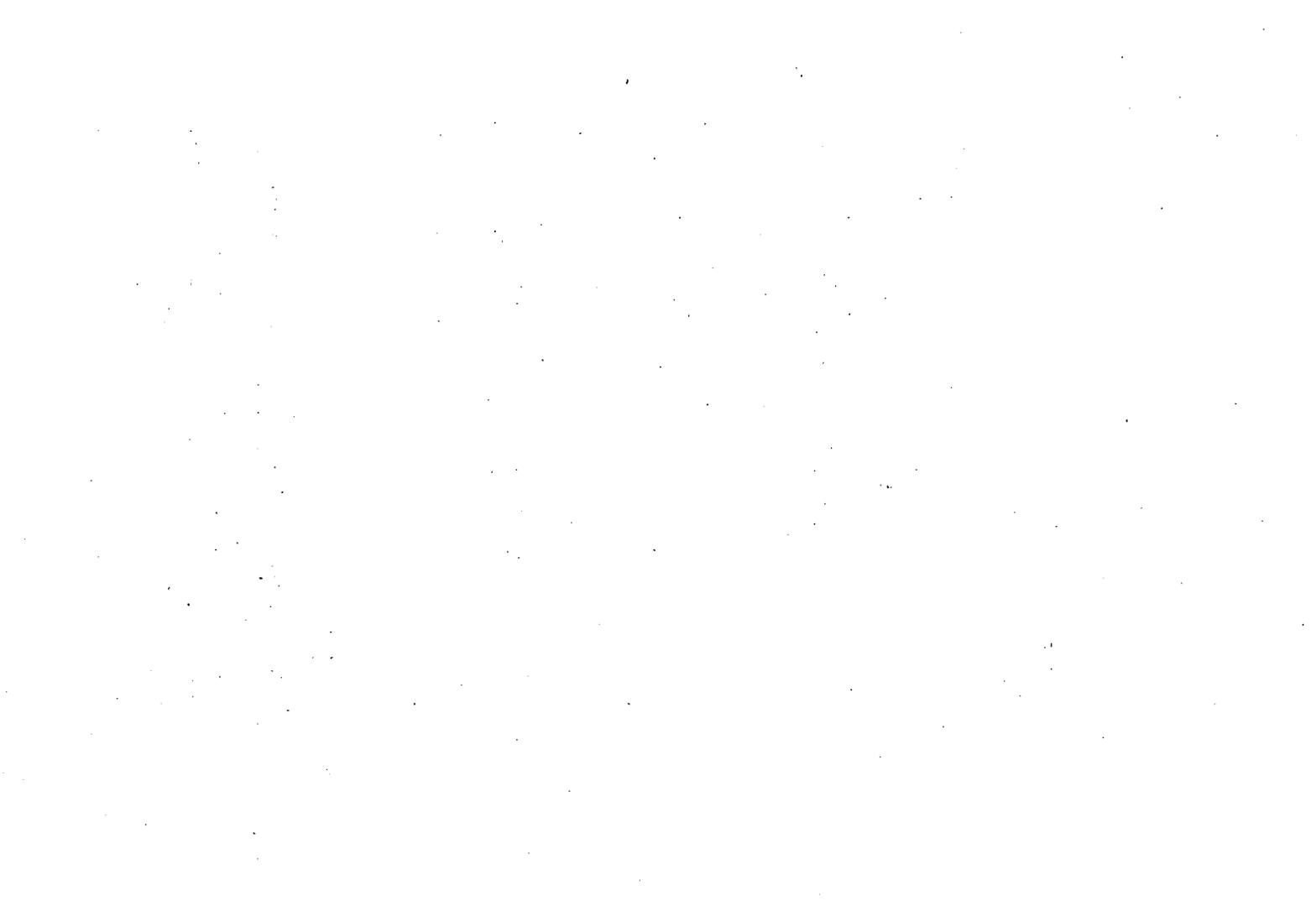
Eisenoxide vermögen pedoenvironments durch Mineralform, Kristallinität und Al-substitution anzuzeigen und lassen daher auf pedogenetische Bedingungen schließen, was im Syntheseexperiment überprüft werden kann.

Es werden zahlreiche Beispiele hierfür entlang einer Skala vom Makro- zum Mikrobereich gegeben: Laterale und vertikale Klimasequenzen sowie Toposequenzen mit systematisch variierenden Goethit/Hämatitverhältnis in Brasilien, Australien und im Alpenvorland, Goethit/Hämatit-Variationen als Tiefenfunktion im Profil, Vergesellschaftung von Ferrihydrit mit FeOOH-Formen, Lepidokrokit/Goethit-Variation im Bereich der Rhizosphäre, Variation der Al-substitution als Ausdruck für die Al-Verfügbarkeit, Variation der Kristallinität als Ausdruck für die Rate der O₂-Zufuhr, Variation des Maghemit-Gehaltes als Folge der Bodenerhitzung. Wachsendes Bodenalter wirkt sich vermutlich nur dann auf variierendes Goethit/Hämatitverhältnis aus, wenn sich die pedoklimatischen Bedingungen ändern.

*Institut für Bodenkunde, T.U. München, 8050 Freising-Weihenstephan,

** MEC - UFRGS - Fac. de Agronomia, Departamento de Solos, Av. Bento Gonçalves, 7712, C. Postal 776, 90000 - Porto Alegre - RS - Brazil

***Department of Agriculture and Fisheries Soil and Irrigation Research Institute, Private Bag X79, Pretoria 0001, South Africa.



Vertikale und laterale Variabilität der Eisen-
und Mangangehalte in Böden einer jungpleisto-
zänen Kleinlandschaft Ostholsteins

von

LICHTFUSS, R. und ANDRESEN, H. U. ⁺)

Die relativ kurze Zeit der Genese von Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel hat im ostholsteinischen Hügelland zu einer Vielfalt von Bodentypen geführt (SCHLICHTING, 1960). Flächendeckend dominieren die Subtypen von Braunerde, Lessivé und Pseudogley (MUTERT, 1978), auf engem Raum vergesellschaftet mit Gleyen und Niedermooren im Senkenbereich oder Stagno- bzw. Hanggleyen im Hangbereich. Diese engräumige reliefbedingte Variabilität der Böden wird durch eine Vielzahl von Merkmalen widergespiegelt, unter anderem auch durch die Variabilität der Fe- und Mn-Gehalte.

An 15 Böden von zwei benachbarten Relief-Catenen unterschiedlicher Nutzung (W1-W8: Wald, A1-A7: Acker) aus dem Bereich der kuppigen Grundmoräne nahe dem Selenter See wurden die Fe_t - und Fe_d - sowie die Mn_t - und Mn_d -Gehalte und andere Kenngrößen untersucht. Für 6 typische Waldprofile und ein Ackerprofil sind die Analysenergebnisse in Tab. 1 dargestellt.

Sowohl zwischen den Horizonten eines Bodens als auch zwischen den verschiedenen Böden treten z.T. beträchtliche Variabilitäten der einzelnen Merkmale auf. So steigt z.B. der pH-Wert im Kuppenboden W1 von 3,4 im A_h -Horizont kontinuierlich mit der Tiefe auf 7,6 im C-Horizont an. Andererseits ist in den A_h -Horizonten aller Waldböden hangabwärts eine mehr oder weniger kontinuierliche Zunahme der pH-Werte vom stark sauren in den neutralen Bereich festzustellen. Durch lateral fließendes Hangzugwasser transportierte sowie aus dem Grundwasser aufsteigende basische Kationen haben eine verstärkte Versauerung der Unterhang- und Senkenböden verhindert.

Die Fe- und Mn-Gehalte aller Horizonte der Waldböden (N=74) schwanken zwischen 7,4 und 31,4 g Fe/kg bzw. 92 und 693 mg Mn/kg Boden. Eine Anhäufung besonders niedriger Mn-Gehalte ist in den

⁺) Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel 1

Tab.1: Gehalte an Ton¹⁾, org.Subst.und Carbonaten, Körnungsquotient PS/MS, pH-wert (CaCl₂) und Gehalte an Gesamt- und bilanzier-tem²⁾sowie %-Anteil des dithionitlöslichen Fe und Mn in der Fein-erde von 6 Böden der Wald(w)- und einem Boden der Acker(A)-Catena

	TON F/MS		OS	CARR	PH	FE _t +- FE _t		FED	MN _t +- MN _t		MND	
	CM	%SIF ³⁾				%	%		G/KG	%FE _t		MG/KG
W1 KUPPE (0;58) ³⁾ SCHWACH PSEUDOVERGLEYT UND LESSIERT												
AH ⁴⁾	10	11.7	1.22	6.46	0.00	3.4	13.0	-2.5	38	202	-179	63
AHBV	30	10.0	1.17	2.52	0.00	3.7	16.1	0.6	36	370	-29	64
BVS	55	13.7	1.21	0.48	0.00	3.9	17.3	-1.0	33	388	-41	84
SBV1	80	16.7	1.05	0.32	0.00	4.5	21.1	0.8	32	560	118	80
SBV2	130	19.4	1.35	0.30	0.00	4.8	21.9	0.1	35	499	40	77
ELC	160	12.9	1.18	0.16	17.1	7.6	17.3	2.4	37	374	25	46
W2 OBERER MITTELHANG (54;54) MAESSIG PSEUDO-UND HANGVERGLEYT												
AH	8	9.1	1.40	4.54	0.00	3.5	11.5	-2.5	46	311	-59	70
BVAH	30	8.5	1.50	2.48	0.00	3.5	11.5	-2.5	42	424	44	80
AHBV	50	8.0	1.24	1.28	0.00	4.0	13.9	-0.3	40	683	307	75
SB1	65	6.5	1.16	0.26	0.00	4.1	14.4	1.1	39	639	168	86
SB2	75	7.4	1.37	0.18	0.00	4.6	13.2	-1.0	34	336	-169	66
SBV1	115	17.7	1.37	0.26	0.00	4.3	22.1	1.5	34	446	33	68
SBV2	190	16.3	1.15	0.30	0.00	4.8	23.4	4.1	35	525	116	65
ELC	220	12.1	1.36	0.14	11.3	7.6	16.7	1.1	39	438	55	65
W4 UNTERHANG (112;50) LESSIERT, PSEUDOVERGLEYT												
AH	10	17.0	2.93	5.30	0.00	4.6	15.7	-3.4	39	496	-56	83
AHBV	30	20.2	2.04	1.26	0.00	5.9	21.7	-0.8	36	392	-99	68
SBV(T)	43	21.6	2.22	0.60	0.00	6.0	23.8	0.0	35	446	63	81
SBT	60	33.3	1.62	0.38	0.00	6.1	31.4	-0.8	30	598	-7	82
SB1	92	21.3	2.07	0.24	0.00	7.0	21.5	-1.8	33	429	-69	66
SB2	130	18.1	2.26	0.20	0.23	7.2	20.3	-0.5	31	412	-69	76
SB1.1	160	17.9	1.13	0.18	0.19	7.7	19.1	-0.8	30	411	-71	72
SB1.2	180	19.6	1.95	0.18	0.23	7.5	19.7	-1.4	30	477	-7	77
ELC	230	21.3	1.95	0.08	19.3	7.7	18.3	-1.6	37	407	-33	60
W6 OBERE SENKE (141;47) KOLLUVIERT, VERGLEYT												
WMAH	3	10.3	1.62	7.00	0.00	4.4	12.6	-2.1	38	219	-171	66
WMAHBV	30	10.3	1.76	4.46	0.00	4.0	18.8	-1.5	40	203	-206	69
WMGOBV	50	11.3	1.60	0.93	0.00	4.3	16.4	-1.0	40	398	33	73
WMGO	80	16.3	1.66	0.89	0.00	5.0	18.3	-0.3	39	463	33	83
WMGR1	95	13.5	1.73	1.08	0.00	6.3	10.8	-0.3	32	119	-330	27
WMGR2	116	14.1	1.73	1.08	0.00	6.3	10.8	-0.3	32	119	-330	27
FF1	130	19.8	3.73	6.70	0.00	4.4	10.6	-1.0	10	113	334	23
FF2	140	19.8	3.62	4.14	0.02	4.4	10.6	-0.8	10	123	330	11
FF3	150	23.3	3.03	6.30	0.00	4.4	13.7	-1.1	11	139	419	16
FF4	158	33.6	3.97	5.52	0.07	4.4	17.7	-1.6	10	146	518	28
FF5	160	37.7	3.63	14.6	0.06	6.6	16.0	-1.4	16	128	457	29
FFGR	180	22.0	3.39	3.84	0.14	6.6	16.4	-1.4	8	141	420	12
FF6	200	24.9	3.85	14.5	0.57	7.8	14.3	-0.8	11	149	367	24
FF7	214	18.7	2.14	3.14	7.78	7.6	13.6	-0.3	10	179	277	21
IIELC	340	22.3	1.69	0.54	22.8	7.7	16.2	-2.5	23	370	-30	55
W7 OBERE SENKE (146;47) STARK VERGLEYT												
AHO	16	17.1	1.78	5.66	0.00	5.4	15.4	-3.7	31	238	-199	66
GOAH	27	18.8	1.62	3.06	0.00	5.9	15.6	-3.6	28	207	-270	55
AHGO	50	19.1	1.49	1.58	0.00	6.3	16.7	-3.3	26	184	-309	49
GO	90	19.5	1.81	0.42	0.11	6.6	22.3	-0.2	25	195	-306	36
GOR	105	23.2	1.75	0.40	0.07	6.9	23.1	-0.2	24	179	-364	31
GR	130	17.0	2.19	0.30	0.09	7.3	15.0	-0.2	9	119	-367	20
ELGO	177	15.9	2.02	0.38	15.2	7.7	17.7	-0.2	20	239	-184	35
ELGR	277	19.2	2.19	0.40	20.4	7.7	13.6	-3.6	20	306	-71	45

Tab. 1 (Fortsetzung)

	TON F/MS		OS CARB		PH	FE +-FE		FED	MN +-MN		MND	
	CM	%SIF	%	%		G/KG	%FE		MG/KG	%MN		
WB SENKE (185;46) KOLLUVIERT, STARK VERGLEYT												
WMAH(O	10	34.3	1.81	11.3	0.12	6.7	17.3	-12	23	345	-235	86
WMAHGO	32	34.9	1.81	7.74	0.16	6.6	18.0	-13	19	242	-363	63
WMGR	40	37.1	1.92	11.6	0.09	6.6	17.4	-14	16	241	-389	62
FF1	49	42.8	1.69	14.5	0.06	6.6	20.1	-14	14	250	-400	75
FF2	56	39.6	5.91	7.26	0.07	7.0	23.5	-13	11	273	-464	53
FF3	64	21.8	1.45	10.8	0.08	6.9	12.6	-18	7	136	-337	22
FFGR1	79	8.2	1.07	0.62	0.09	6.9	7.4	-9	8	92	-214	15
FFGR2	90	15.6	1.91	0.42	5.64	7.6	13.1	-9	8	193	-256	22
IIFLGR	150	15.1	1.66	0.34	17.1	7.7	12.3	-4	24	223	-165	26
IIFLCL	190	16.5	1.50	0.32	19.3	7.8	14.1	-2	36	442	47	60
A2 OBERER MITTELHANG (36;54) LESSIVIERT, HANGVERGLEYT												
AP	30	12.0	1.28	2.86	0.00	5.6	15.0	-1.7	39	883	457	80
BSV	42	27.0	1.85	0.68	0.00	5.6	27.7	-1.2	41	1029	402	92
BS	50	31.4	2.67	0.66	0.00	5.6	43.9	-2	50	2623	1980	88
BS1	60	42.4	3.87	0.66	0.00	5.6	37.6	-3	34	486	269	70
BS2	84	36.9	3.97	0.74	0.00	5.6	44.4	-1	33	761	49	76
BS3	130	36.7	1.84	0.34	0.56	5.6	37.4	-0	31	485	16	85
BS4	145	16.4	1.40	0.20	0.07	5.6	34.4	-0	27	453	3	68
CLC	205	14.7	1.52	0.16	18.4	7.7	37.5	-0	28	346	-38	61

- 1) bezogen auf silicat. Feinerde
- 2) +-Fe = Fe - Fe (mineralogen), s. Text
- 3) Entfernung von der Kuppe, Höhe über NN (m)
- 4) H=h, P=p, V=v, T=t, E=e, L=l, W=w, R=r, O=o, FF=fF;
bei Profil A2: BS=Bs

Tab. 2: Fe- und Mn-Profilbilanzen des Solums, Gewinne in % vom Ist-Wert, Verluste in % vom Soll-wert

	Wald		Acker		
	Fe	Mn	Fe	Mn	
Kuppe	W1	+0	+3		
Mittel/Ober-	W2	+9	+18	A1	+15 +18
Mittelhang	W3	+1	+27	A2	+1 +29
Unterhang	W4	-7	-11	A3	-5 -6
"	W5	-12	-24	A4	-29 -29
Senke	W6	-30	-52	A5	-19 -28
"	W7	-15	-63	A6	-15 -32
"	W8	-40	-60	A7	+14 -23

Tab. 3: Korngrößenverteilung sowie Fe_t- und Mn_t-Gehalte in den silicatischen Korngrößenfraktionen einer Geschiebemergelprobe

	Gew.%	Fe _t (g/kg TS)	Mn _t (mg/kg TS)
Ton	17.5	76.1	949
Feinschluff	5.9	32.9	1307
Mittelschluff	7.5	19.8	873
Grobschluff	13.0	9.5	445
Feinsand	31.0	4.9	199
Mittelsand	19.9	5.3	163
Grobsand	5.2	12.0	334
Gesamte Probe		20.8	460
(Gew.%*Gehalt): 100		21.2	478
		=102%	=104%

Böden der Senke festzustellen. Noch größere Unterschiede treten innerhalb des Bodens A2 (Tab.1) der Acker-Catena auf mit Fe-Gehalten zwischen 15 und 44 g/kg und Mn-Gehalten zwischen 346 und 2623 mg/kg. Diese vertikale und laterale Variabilität der Fe- und Mn-Gehalte ist das Gesamtergebnis vorwiegend folgender möglicher Prozesse:

1. Geogenetische Körnungs- und damit Mineralsortierung
 - bei der Ablagerung des Geschiebemergels
 - durch aquatische und äolische Translokation
 - Lithofluktion, -turbation
2. Pedogenetische Körnungs- und Mineralsortierung
 - durch Erosion, Kolluviation
 - Solifluktion, Pedoturbation
 - Tonverlagerung
3. Verringerung des Bodenraumgewichtes durch Humusakkumulation
4. Relative An- oder Abreicherung von Fe und Mn durch Weg- oder Zufuhr von CaCO₃
5. Atmosphärischer und anthropogener Eintrag
6. Translokation von Fe und Mn in gelöster Form, einschließlich der Verlagerung als dispers-gelöste Oxide und durch die Vegetation sowie mit organischen Substanzen.

Von pedo- und ökologischem Interesse ist vor allem das Ausmaß der Verlagerung von Fe und Mn in gelöster Form sowie der anthropogene Eintrag dieser Elemente, d.h. Gewinn oder Verlust an Fe und Mn, der nicht auf die unter Punkt 1 und 2 aufgeführten Korngrößen-sortierungsprozesse zurückzuführen ist. Aufgrund z.T. starker Inhomogenitäten ist eine herkömmliche Bilanzierung bei den meisten Pro-

filen nicht möglich. Im allgemeinen bestehen in chemisch nicht veränderten Sedimenten jedoch enge Beziehungen zwischen den Schwermetallgehalten und der Korngrößenverteilung (LICHTFUSS und BRÜMMER, 1981). Es wurde deshalb aus den Fe- und Mn-Gehalten von Korngrößenfraktionen einer pedogen weitgehend unbeeinflussten Geschiebemergelprobe (Tab. 3) und den Gehalten der verschiedenen Körnungsfractionen der einzelnen Proben für jeden Horizont der sogenannte mineralogene Soll-Gehalt an Fe und Mn errechnet.

Die Berechnungen basieren auf der Annahme, daß Fe und Mn im Geschiebemergel nur in unbedeutenden Mengen als Carbonat vorliegen. Sie können zunächst nur als halbquantitativ angesehen werden; zur Absicherung sind weitere Untersuchungen erforderlich. Systematische Fehler bei diesem Verfahren infolge möglicher pedogener Veränderungen der Körnung z.B. durch Tonbildung oder -zerstörung sind vernachlässigbar klein (SCHLICHTING und BLUME, 1961). Die Differenz zwischen Gesamt- und Soll-Gehalt ist in Tab. 1 als $+Fe_t$ und $+Mn_t$ aufgeführt. Zusätzlich zu diesen Horizontbilanzen sind in Tab. 2 die %-ualen Profilbilanzen dargestellt.

Zusammenfassend könnten die in Tab. 1 u. 2 dargestellten Ergebnisse folgende Prozesse erklären:

1. In den Kuppen-, Ober- und Mittelhangböden haben die starke Versauerung der oberen Horizonte und eine beginnende Podsolierung zu einer Verlagerung von Fe und Mn in die unteren Horizonte geführt. Die positive Gesamtbilanz in diesen Böden vor allem an Mn kann einerseits eine relative Anreicherung infolge Erosion von verarmtem Oberbodenmaterial sein, andererseits ist ein Redoxpotential-abhängiger Aufstieg aus dem Geschiebemergel denkbar. Die besonders starke Akkumulation in den Ober- und Mittelhangböden ist sicher z.T. auf eine laterale Verlagerung von Fe und Mn mit dem Hangzugwasser zurückzuführen. Allerdings ist auch eine hangaufwärts gerichtete Wanderung dieser Elemente bis zum Mittelhang entlang von Redoxgradienten in Zeiten hoher Bodenfeuchtigkeit aber geringer Hangzugwasserbewegung nicht ganz auszuschließen. Merkmale der Hangvergleyung mit charakteristischen Anreicherungs- und Verarmungshorizonten sind insbesondere für Mn bei den Profilen W2 und A2 ausgeprägt.

2. Der Anreicherung von Fe und Mn in den höher gelegenen Böden steht eine Verarmung der Böden des Unterhangs und der Senke gegenüber. In den Unterhangböden, die z.T. visuell typische

Pseudogley-Merkmale aufweisen, sind daher offenbar auch Prozesse der Hangvergleyung durch Hangzugwasser abgelaufen (vgl. SCHWEIKLE, 1971). Mit Ausnahme eines Bodens (A7, Tab. 2) sind die Grundwasserböden z.T. bis zu 40 % an Fe und 60 % Mn verarmt. Relativ hohe Humusgehalte und lange Phasen mit hohem Grundwasserstand haben eine Akkumulation von Fe und Mn offenbar verhindert. Der Austrag erfolgte wahrscheinlich weniger vertikal als vielmehr lateral in die Oberflächengewässer. In den Sedimenten von Fließgewässern ist deshalb Mn vor allem im Einzugsbereich hydromorpher Landschaften angereichert (LICHTFUSS, 1977).

Literatur

- LICHTFUSS, R. (1977): Schwermetalle in den Sedimenten schleswig-holsteinischer Fließgewässer - Untersuchungen zu Gesamtgehalten und Bindungsformen. Diss. Univ. Kiel
- LICHTFUSS, R. und BRÜLLER, G. (1981): Natürlicher Gehalt und anthropogene Anreicherung von Schwermetallen in den Sedimenten von Elbe, Eider, Trave und Schwentine. CATEMA 9, 251-264
- KUBERT, E. (1978): Untersuchungen zur regionalen Gruppierung von Böden - durchgeführt an einer Kleinlandschaft im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. Diss. Univ. Kiel
- SCHLICHTING, E. (1960): Typische Böden Schleswig-Holsteins. Schriftenreihe Landw. Fak. Univ. Kiel, Heft 26
- SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P. (1961): Art und Ausmaß der Veränderung des Tonmineralbestandes typischer Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel und ihrer Horizonte. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 95, 227-239
- SCHWEIKLE, V. (1971): Die Stellung der Stagnogleye in den Bodengesellschaften der Schwarzwaldhochfläche auf So-Sandstein. Diss. Univ. Hohenheim.

Verhalten von Eisen und Mangan in Braunerden bei Abwasserverrieselung

von

Blume, H.-P.⁺⁾ und H. Meshref

Der Fe- und Mn-Status einer sandigen Braunerde und einer lehmigen Parabraunerde, Berlin-Gatows, auf denen seit ca. 100 Jahren Abwässer der Berliner Mischkanalisation verrieselt werden, wurde untersucht (Einzelheiten der Methodik und der Bodenverhältnisse s. Blume u.a. 1980, Horn u.a. 1982, Meshref 1981).

Die ursprünglichen Fe-, Mn- und Zn-Mengen beider Böden sowie vergleichbaren sandigen Rostbraunerde unter Wald und einer lehmigen Parabraunerde unter Acker wurden über die Gehalte der Kornfraktion $< 10 \mu\text{m}$ der einzelnen Horizonte aufgrund straffer Beziehungen zwischen diesen und jenen im Ausgangsmaterial rekonstruiert (s. Tab. 1). Mittels genauerer Methoden ergaben sich ähnliche Tendenzen (Alaily 1983). Bei dem Waldboden hatten ca. 12000 Jahre Bodenbildung zu Fe- und Mn-Verlusten geführt. Im Ackerboden waren Gewinne durch Düngung zu verzeichnen (u.a. 180 g Fe bzw. 40 g Mn je m^2 in 50 Jahren durch jährl. 300 kg Thomasphosphat je ha). Beide Rieselböden wiesen mit 35 - 40 % deutliche Mn- und mit 10 - 15 % gewisse Fe-Verluste auf, obwohl mit dem Abwasser ca. 270 g Fe bzw. 15 g Mn zugeführt wurden. Demgegenüber wurden andere Elemente angereichert (Blume und Horn 1982), z.B. Zn.

Zur Klärung der Ursachen wurden einmal die Fe- und Mn-Bindungsformen mittels chemischer Methoden zu erfassen versucht (Tab. 2), außerdem die Fe- bzw. Mn-Dynamik einzelner Rieselereignisse (Abb. 1, 2). Die Rieselböden wiesen im Unterschied zu den Acker- und Waldböden im Ah verrostete Wurzelbahnen und einzelne weiche Fe-Konkretionen auf; ansonsten wurden mit einzelnen Rostflecken im Unterboden nur geringe reduktomorphe Merkmale festgestellt. Fe ist in den Rieselböden nicht nur im Ah sondern auch in den B- und C-Horizonten relativ stark organisch

+)

Tab. 1: Mögliche Fe- und Mn-Bilanz Berliner Böden unterschiedlicher Nutzung

Bodenform/Nutzung		g/m ² bis 130 cm Tiefe		
		Fe	Mn	Zn
Rostbraunerde Wald	ursprünglich	6300	220	52
	heute	6100	150	34
	Differenz	-200	-70	-18
Parabraunerde Acker	ursprünglich	30300	610	110
	heute	30800	910	130
	Differenz	+500	+300	+20
Braunerde Rieselfeld	ursprünglich	9600	330	80
	heute	8400	210	270
	Differenz	-1200	-120	+190
Parabraunerde Rieselfeld	ursprünglich	26100	530	97
	heute	22400	310	175
	Differenz	-3700	-220	+78
Rieselfelder	theoret. Gewinn ⁺⁾	270	15	81

⁺⁾ Annahme einer Abwasserzufuhr in 100 Jahren von 240000 l/m² der mittl. Zusammensetzung von 1978/79

Tab. 3: Wasser- und Metallumsätze während einiger Berieselungen (jeweils bis zum Beginn einer nachfolgenden Berieselung, in mg/m²)

Datum	Abwas. mm	Sickerwas. mm		Zufuhr	mg/m ² Austrag	Diff.
25.7.78	324	209	Fe	272	23	+249
			Mn	80	52	- 34
a) Braunerde						
3.7.79	220	180	Fe	282	23	+259
			Mn	10	43	- 33
b) Parabraunerde						
27.7.78	260	204	Fe	218	20	+198
			Mn	29	4	- 25
8.8.79	440	398	Fe	796	40	+746
			Mn	40	8	+ 32

Tab. 2: Fe- und Mn-Gehalte Berliner Braunerden aus Geschiebesand (Be) und Parabraunerden aus Geschiebemergel (Pb) unterschiedlicher Nutzung

(t: Gesamt-, d: dithionit-, o: oxalat-, e: EDTA-, a: NH₄-Azet.-, w: H₂O-löslich)

Be	o/oo Fe _t	in % vom Gesamt-Fe						mg/kg Mn _t	in % vom Gesamt-Mn					% C _{org.}	% Ton	pH CaCl ₂	% Kalk
		t-d sil.	d-o oxid.	o-e org.	e-a aust.	a-w was.	w		t-d sil.	d-e ox.	e-a org.	a-w aus.	w was.				
Ah Wald	5,2	52	17	14	16	0,7	,08	110	55	32	4,0	5,5	3,5	11,9	3,1	3,4	
Ah Acker	6,9	57	20	19	3,8	,08	,06	495	37	45	6,9	11	0,1	1,6	5,3	6,4	
Ah Riesel.	6,4	53	11	29	6,5	,05	,03	195	41	24	21	14	0,2	2,7	9,0	5,5	
Bv Wald	3,5	69	13	17	0,8	0,1	,03	85	72	24	1,5	1,4	1,1	1,3	1,8	4,4	
Bv Acker	4,0	71	20	8	0,5	0,2	0,3	154	48	46	4,5	1,3	0,2	0,2	2,0	6,5	
Bv Riesel.	4,2	74	13	10	2,5	,04	,05	84	81	13	3,5	2,4	0,1	0,3	7,9	5,5	
Cv Wald	3,6	72	16	11	1,0	,02	,02	72	64	33	0,6	2,0	0,4	,08	1,7	4,8	
Cv Acker	2,9	72	21	6	0,6	0,1	0,1	118	68	27	4,0	1,0	,04	0,1	1,0	6,5	
Cv Riesel.	2,9	77	17	2	3,0	,02	,01	58	95	3,0	1,5	0,4	0,1	0,1	6,0	5,9	
Pb Wald	4,7	57	14	18	9,3	1,1	,15	146	53	33	1,7	9,5	2,8	2,5	3,5	3,5	
Pb Acker	9,1	79	13	4	3,8	0,1	,05	500	37	17	25	21	0,1	1,6	7,8	6,3	
Pb Riesel.	6,7	66	12	17	4,5	,05	,03	119	71	10	8,8	10	0,2	1,4	11	5,5	
Al Wald	4,4	66	22	11	1,0	,01	0,1	250	52	34	4,0	7,0	3,0	0,3	4,4	4,0	
Al Acker	6,0	78	17	3	2,0	0,2	,01	250	38	30	31	0,8	,01	1,4	4,6	6,3	
Al Riesel.	9,0	71	15	9	5,0	0,1	,09	102	90	5,0	2,9	2,0	,02	0,2	27	5,8	
Bt Wald	20	66	30	4	0,5	,01	,01	247	39	43	8,8	9,0	0,2	0,1	23	4,0	
Bt Acker	19	67	25	7	0,3	,01	,05	450	66	24	9,0	0,7	,01	0,1	19	6,2	
Bt Riesel.	14	63	28	7	2,0	,01	,01	180	60	11	22	6,0	0,1	0,2	30	6,4	
C Wald	12	74	22	3	0,8	,01	,01	233	55	16	29	0,1	0,1	0,1	12	7,5	14
C Acker	12	79	15	4	0,4	,01	,01	265	53	14	32	0,4	,01	0,1	9,0	7,3	11
C Riesel.	8,2	75	10	11	4,0	,01	,01	158	56	12	30	2,0	,02	0,1	19	7,5	4

gebunden (e-a), außerdem sind mobile Oxide (o-e) im Ah stärker als in den Wald- und Ackerböden vertreten. Insbesondere der Bt der Parabraunerde enthält aber viele stabile Fe-Oxide (d-o), was bereits aufgrund intensiver Braunfärbung vermutet wurde. Mn silikatischer Bindung (t-d) ist in mehreren Rieselboden-Horizonten stark angereichert: die bilanzierten Verlusten betrafen demnach die übrigen Bindungsformen.

Während und nach Abwasserverrieselung wurden die Bodenlösungen 1- bis 12-stündig mittels Filterkerzen abgesaugt und u.a. deren Gehalte an Fe und Mn gemessen; gleichzeitig wurden die Wasserspannungen mit Tensiometern und die Redoxpotentiale mittels fest installierter Pt-Elektroden ermittelt. Die Abb. 1 und 2 demonstrieren 2 der 12 verfolgten Rieselereignisse. In der Braunerde ergaben sich keine Beziehungen zwischen Metallkonzentration und Redoxpotential (Abb. 1). Die Fe-Konzentration der Bodenlösung lag durchgehend niedriger als im (mit 220 mm mäßig verabreichten) Abwasser: Fe wurde mithin z.T. gefiltert. Die Mn-Konzentrationen lagen hingegen höher als im Abwasser. Die Abwasserfront verdrängte dabei Mn, das in 65 cm Tiefe zwischen 2 Rieselereignissen (wohl infolge starker pH-Erniedrigung durch HNO_3 -Bildung, Jajakody, 1981) gelöst worden war, nach unten. In der (bereits zuvor luftarmen) Parabraunerde führte eine hohe Abwassergabe von 440 mm zu starker Fe- und Mn-Mobilisierung im Oberboden (Abb. 2). Da die Bodenlösung 40 - 80 mg org. C enthielt, können die Metalle z.T. in org. Bindung vorgelegen haben. Die Metallkonzentrationen waren dabei während der (warmen) Mittagsstunden deutlich höher als während der (kühlen) Morgenstunden, was auch für die N-Konzentrationen galt (Jajakody 1981) und mit niedrigerem Redoxpotential korrespondierte: wechselnde Intensität mikrobieller Aktivität hat offenbar die Löslichkeit der Metalle beeinflusst. Bereits in 25 cm Tiefe lagen die Metallkonzentrationen im gewohnten Rahmen, muß mithin eine Immobilisierung stattgefunden haben. In 120 cm Tiefe (bzw. in der Entwässerungstiefe durch Dränrohre) lagen die Fe-Konzentrationen bei 0.04 - 0.1 mg/l, sodaß die Konzentrationen des Abwassers letztlich erniedrigt wurden. Für Mn galt Ähnliches.

Tab. 3 enthält die Wasser- und Metallumsätze mehrerer Rieselereignisse. Fe wurde in keinem Fall mobilisiert sondern im Boden angereichert, Mn in 3 Fällen mobilisiert (im 4. Fall ev. durch Sulfidbildung kurzfristig angereichert, da Eh-Werte sehr niedrig). Die Umsatzmessungen haben demnach weitgehend die bilanzierten Mn-Verluste durch Abwasserverrieselung bestätigt, was wohl durch mikrobielle Mobilisierung sowie Säure-

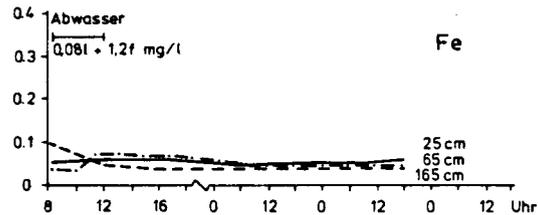
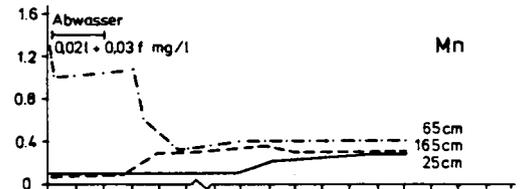
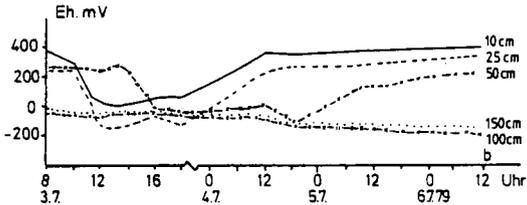
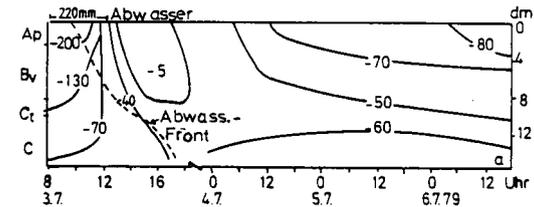


Abb. 1: Wasserspannungen (a, in cm WS), Redoxpotentiale (b, in mV), Mn- und Fe- Konzentrationen der Bodenlösung (in mg/l) einer Braunerde während und nach Abwasser-Berieselung (l: gelöstes, f: festes Fe bzw. Mn)

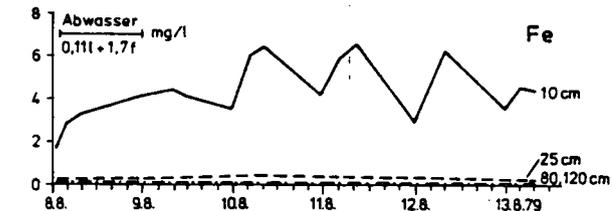
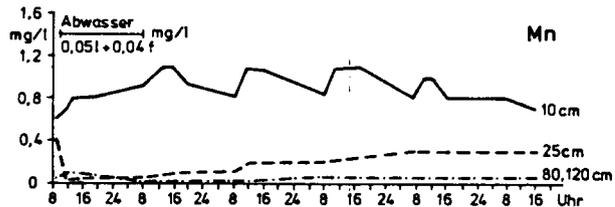
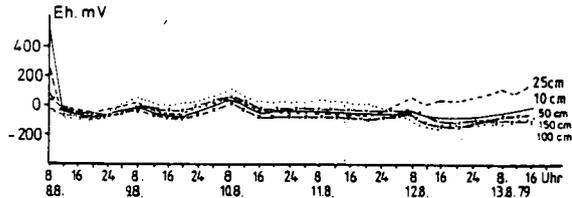
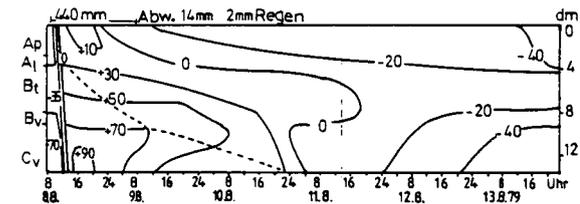


Abb. 2: Wasserspannungen (in cm WS), Redoxpotentiale (in mV), Mn- und Fe- Konzentrationen der Bodenlösung (in mg/l) einer Parabraunerde während und nach Abwasser-Berieselung (l: gelöstes, f: festes Fe bzw. Mn)

schübe (infolge starker Nitrat- und Kohlensäurebildung) zwischen den Rieselereignissen verursacht sein dürfte. Bei Pariser Rieselfeldern hat das zu Mn-Mangel geführt (Trocné u.a. 1950), vermutlich mit verursacht durch einen Zn-Antagonismus bei der Mn-Aufnahme (Stelly u.a. 1977). Fe wurde hingegen während unserer 2-jährigen Beobachtungen angereichert. Möglicherweise sind stärkere Abwassergaben während der zwanziger bis vierziger Jahre (bis 6000 mm pro Jahr gegenüber unter 2000 nach dem Krieg) sowie geringere Fe-Konzentrationen der damaligen Abwässer für die bilanzierten Verluste verantwortlich zu machen.

Wir danken den Herren F. Alaily, R. Horn, N. Jajakody und R. Wemken für wertvolle Hilfe und den Berliner Entwässerungswerken für das Bereitstellen von Versuchsflächen.

Literatur

- Alaily, F. (1983): Rekonstruktion des Ausgangszustandes und Bilanzierung von Böden einer Moränenlandschaft. Z. Pflanzenern., Bodenkd. 146, 72-88.
- Blume, H.-P., R. Horn, F. Alaily, A. Jayakody u. H. Meshref (1980): Sandy Cambisol functioning as a filter through long-term irrigation with wastewater. Soil Sci. 130, 186-192.
- Blume, H.-P. und R. Horn (1982): Belastung und Belastbarkeit Berliner Rieselfelder nach einem Jahrhundert Abwasserrieselung. Z. Kulturtechn. 23, 236-248.
- Horn, R., H.-P. Blume, A. Jayakody, H. Meshref, F. Alaily und R. Wemken (1982): The ecological effects of long-term waste-water irrigation. in R. Bornkamm u.a.: Urban Ecology, Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Jayakody, A. (1981): Stickstoffdynamik Berliner Böden unter Wald-, Acker- und Rieselnutzung. Diss. TU Berlin
- Meshref, H. (1981): Schwermetалldynamik Berliner Böden unter Wald-, Acker- und Rieselnutzung. Diss. TU Berlin
- Stelly, M (Ed., 1977): Soils for management of organic wastes and waste waters. Soil Sci. Soc. of America, Madison.
- Trocné, S., G. Barbier und H. Chabannes (1950): Chlorosis, caused by lack of manganese, of crops irrigated with filtered water from Paris sewers. Ann. Agr. 1, 663-668.

Fe-Fractionen und mobile organische Substanz
in unterschiedlichen alpinen Bodenformen

von
Bochter, R.*

1. Einleitung und Problemstellung

In O-C-, O-A-C- und O-A-B-C-Böden, die von mir in der montanen und subalpinen Stufe im Alpenpark Berchtesgaden untersucht werden, stellt man je nach Bodentyp in O-, A- oder B-Horizonten Maxima an "mobilen" = Oxalat-extrahierbaren organischen Substanzen fest (Tab. 1). Erklärungsmöglichkeiten für diesen Befund sollen hier aufgezeigt werden.

2. Material und Methoden

Die Ableitung der Horizontnomenklatur und der Bezeichnung der Böden erfolgt an anderer Stelle (BOCHTER, 1983 a, b). $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$; C_{org} (Wösthoff); Oxalatextrakt nach Schlichting und Blume (1966), darin: C_O (photometrisch, 472 nm), Fe_O und Al_O (AAS); EDTA-Extrakt nach Farmer et al. (1980), darin Fe_E , Al_E , Ca_E (AAS) Extrakt mit 0,1 m BaCl_2 -Lösung, darin Fe_{Ba} , Al_{Ba} , Ca_{Ba} (AAS).

3. Ergebnisse und Diskussion

Eine Kurzbeschreibung von 4 charakteristischen Profilen mit den wichtigsten analytischen Kenndaten gibt Tabelle 1. O-C-Böden auf Kalk (Profil 1) und Gneis (Profil 2) zeigen C_O -Maxima (Zusatzsymbol m = mobile organische Substanz) im organischen Kontakthorizont zum anstehenden Gestein, Rendzinen (Profil 3) im A-Horizont, Podsole (Profil 4) im B-Horizont. Zur Erklärung dieser Befunde dient folgende Hypothese: Mobile organische Substanzen, reich an Carboxyl-

*) Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth, Postfach 3008, D-8580 Bayreuth

Funktionen bilden sich in L- und O-Lagen und werden vom Sickerwasser durch die Profile transportiert. Bei Kontakt mit anorganischer Substanz greifen sie primäre und sekundäre Minerale an, setzen Kationen frei oder schaffen zumindest freie Valenzen. Insbesondere durch mehrwertige Kationen oder an deren freien Valenzen werden die organischen Stoffe reversibel gefällt.

Aufgrund ihrer Häufigkeit können an diesen Prozessen in den vorgestellten Profilen nur Fe, Al und Ca beteiligt sein. Durch unterschiedliche Extraktionsverfahren lassen sich mehrere Fraktionen dieser Kationen gewinnen. Es gilt angenähert folgende Regel: BaCl_2 extrahiert die austauschbare Fraktion, EDTA zusätzlich den in organischen Komplexen gebundenen Anteil, während Oxalat auch noch die reaktionsfähigen Oxide und Hydroxide miterfaßt. Im O-C- und im O-A-C-Boden auf Kalk (Profil 1 und 3, Tab. 1) spielen Fe_{Ba} und Al_{Ba} keine Rolle bei der reversiblen Fällung organischer Substanzen in der Ohdm, Ca- bzw. der Ahm, Ca-Lage; Ca, das man in gleichen Ausbeuten mit BaCl_2 und EDTA extrahieren kann, dominiert. Wohl aber findet man beträchtliche Anteile von Fe und Al im EDTA-Extrakt und noch höhere, insbesondere im Ahm, Ca der Rendzina im Oxalatextrakt.

Im O-C-Boden auf Gneis (Profil 3) hingegen tritt im Ohdm, Al, Fe fast kein extrahierbares Ca auf; die Tiefenfunktionen von Fe_{Ba} und Al_{Ba} durchlaufen hier jedoch ausgeprägte Maxima, ebenso Fe_{E} und Al_{E} sowie Fe_{O} und Al_{O} . Ein ähnliches Bild bietet das Podsolprofil (Profil 4): Ca ist unbedeutend; im Bhm, Al, Fe zeigen sich klare Maxima von Fe_{Ba} und Al_{Ba} , sowie von Fe_{E} und Al_{E} ; das Fe_{O} -Maximum liegt dagegen im Bs, das Al_{O} -Maximum erst im folgenden Bv.

In O-C-Böden, die definitionsgemäß keine mineralischen A- und B-Horizonte enthalten, werden mobile organische Substanzen offenbar in der O-C-Kontaktzone gefällt; u.z. auf Kalken durch Ca, das in ionischer Bindung vorliegt und leicht austauschbar ist ($\text{Ca}_{\text{Ba}} = \text{Ca}_{\text{E}}$) auf sauren Substraten hingegen erfolgt diese Fällung durch Fe und Al. Es gilt durchwegs: $\text{Al}_{\text{Ba}} < \text{Al}_{\text{E}}$. Al ist ionisch bis kovalent gebunden und liegt z. T. auch in Komplexen vor - und $\text{Fe}_{\text{Ba}} \lll \text{Fe}_{\text{E}}$, d.h. Fe wird vorwiegend komplex gebunden.

Unabhängig vom Substrat befindet sich jedoch ein Teil des reaktionsfähigen Fe und Al immer in oxidischer bzw. hydroxidischer Bindung ($\text{Fe}_{\text{E}} < \text{Fe}_{\text{O}}$, $\text{Al}_{\text{E}} < \text{Al}_{\text{O}}$).

Literatur:

BOCHTER, R., 1983 a: Vorschläge zur Gliederung von Humusprofilen unter besonderer Berücksichtigung von O-C-Böden; Z. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde (eingereicht)

BOCHTER, R., 1983 b: Bodenbildung auf Kalk- und Gneisbergsturzböcken unter subalpinem Fichtenwald; Z. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde (eingereicht)

FARMER, RUSSEL, BERROW, 1980: Imogolit and proto-imogolite allophane in spodic horizons. J. Soil. Sci. 31, 673 - 684

Tabelle 1: Profilkurzbeschreibungen (analytische Kenndaten der wichtigsten Lagen)

Lage	Mächtigkeit cm	pH	C _{org} (%)	C _o (ABS x 1000)	Ca _{Ba=E} mg/g	Al _{Ba}	Al _E µg/g	Al _o	Fe _{Ba}	Fe _E	Fe _o
<p><u>Profil 1</u>: Klasse Tangelpetrosole; Bodenform: Calciumpetrosol auf Dachsteinkalk mit Tangelrohhumus unter subalpinem Fichtenwald. Lage: Berchtesgadener Alpen; 1470 m über NN Gesamtmächtigkeit der organischen Lagen: 60 cm</p>											
Ohd 4	10	3,1	51	23	10,9	115	300	350	15	420	250
Ohdm, Ca	4	3,7	46	764	26,0	90	1300	1700	17	1400	1400
R = anstehender Dachsteinkalk (99 % CaCO ₃)											
<p><u>Profil 2</u>: Klasse Tangelpetrosole, Bodenform: Eisen-Aluminiumpetrosol auf Zentralgneis mit Tangelrohhumus unter subalpinem Fichtenwald. Lage: Hohe Tauern; 1500 m über NN Gesamtmächtigkeit der organischen Lagen: 60 cm</p>											
Ohd 2	12	2,6	53	16	0,6	500	710	1400	50	430	600
Ohdm, Al,Fe	4	2,9	33	268	0,2	1400	2800	4700	220	1600	3300
R = anstehendes Zentralgneis (quarzreiches Orthogneis)											

Profil 3: Klasse: Rendzinen; Bodenform: Rendzina aus Kollikum über Dachsteinkalk mit Tangelroh-
humus unter subalpinem Fichtenwald. Lage: Berchtesgadener Alpen; 1360 m über NN
Gesamtmächtigkeit der organischen Lagen: 40 cm

Ohd 3	10	3,2	45	44	11,3	260	680	1200	46	900	1100
Ahm,	20	6,3	9	656	15,3	-	1900	3200	-	2500	7000
Ca											
R = anstehender Dachsteinkalk											

Profil 4: Klasse: Podsole, Bodenform: Eisenhumuspodsol aus Kieselschiefern mit Rohhumus unter
subalpinem Fichtenwald. Lage: Berchtesgadener Alpen; 1400 m über NN; Gesamtmäch-
tigkeit der organischen Lagen: 15 cm

Ohd	4	2,7	43	9	1,4	1360	1630	2800	132	600	900
Ae,Ohd	3	2,9	20	15	0,8	860	1120	1750	60	450	600
Ae	8	3,4	2	49	0,4	600	660	1000	23	180	300
Bhm,	4	3,5	5	566	0,3	1810	2500	4400	170	5300	12950
Al,Fe											
Bs	8	3,9	3	149	0,2	1140	1240	4400	45	2300	19400
Bv	20	4,4	1	59	0,3	360	1200	5500	9	410	7800
Cv	Solifluktionsschutt aus Kieselschiefern										



Neuere Verfahren zur Bestimmung von Eisenoxiden in Böden

von

Schwertmann, U.*, Schulze, D.G.**, Murad, E.*

Zusammenfassung

Wegen ihres hohen pedogenetischen Indikatorwertes lohnt sich die qualitative und quantitative Bestimmung der Fe-oxide in Böden besonders. Neuere Methoden machen dies leichter. Der Bestimmung voraus und sie erleichternd können Anreicherungsverfahren eingesetzt werden, nämlich Kornfraktionierung, magnetische Anreicherung und Beseitigung der Tonminerale, insbes. Kaolinit und Gibbsit durch NaOH.

Zur Bestimmung selbst können folgende Methoden verwendet werden: Oxalatmethode trennt Ferrihydrit von anderen Fe-oxiden, wenn auch nicht besonders scharf, Röntgenographie und - bei geringen Konzentrationen - Differentielle Röntgenographie (DXRD) sowie Mößbauerspektrometrie insbesondere bei tiefen Temperaturen. Beispiele werden gegeben. Die Richtigkeit der quantitativen Bestimmung läßt sich am Fe_d kontrollieren.

*Institut für Bodenkunde, T.U. München, 8050 Freising-Weihenstephan,

**Agronomy Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907 USA.



The cation- and anion, exchange characteristics
of soils with a large sesquioxide surface area

von
Koenigs, F.F.R. ⁺⁾

Zusammenfassung des obigen Beitrags:

An der Oberfläche der Eisenoxide können Protonen assoziieren (positive Ladung) oder dissoziieren (negative Ladung).

Zeichen und Grösse des Oberflächenpotentials sind also pH-bedingt. Die adsorbierte Menge ist daher von $\text{pH}_0 - \text{pH}_a$ abhängig und von der Salzkonzentration. Eigene Untersuchungen und Litteraturangaben bestätigten dieses für die AAK, aber auch für die KAK.

Mit der Formel: $\text{AAK} (\text{Salz}, \text{pH}) = a \text{N}_0^b + b. \text{pH} + c$, konnten die Ergebnisse genügend genau beschrieben werden.

Ergänzungen: Konsequenzen für die Mineralogie.

Wie die Daten von Breeuwsma (1972) in Fig. 1 und 2 für Hematit zeigen nimmt die Austauschkapazität, bei steigendem pH und steigender Salzkonzentration, für kleine Kationen viel stärker zu als für grosse. Es scheint dass bei erhöhter Salzkonzentration die kleinen Kationen leicht dehydrieren und dann in das Innere der Kristalle eindringen können. Diese Eigenschaft könnte zur Differenzierung der Eisenoxide herangezogen werden. Bei Böden ist das wahrscheinlich nicht möglich, da die Adsorption an Tonen gerade bei den grössten Kationen am stärksten ist.

Zu der Charakterisierung der Sesquioxide im Boden kommt daher nur die AAK als Funktion des pH und der Salzkonzentration in Frage. Die Mineralogie würde dadurch ihre Bedeutung für Bodenchemie und Düngerlehre vergrössern, denn das AAK-Betragen ist nicht nur spezifisch sondern auch wichtig.

Wie die Daten von van Ray und Peech (1972) zeigen, Fig. 3, ist auch die KAK in den humöseren Oberböden von der Salzkonzentration abhängig. Es scheint dass der Humus die positiven Ladungen der Sesquioxide inaktiviert hat.

⁺⁾ Fachgruppe für Boden und Düngung, L.H., Wageningen, NL.

Es ist nicht ausgeschlossen dass auch die humosen Böden der gemässigten Zone eine stark Abhängigkeit der Salzkonzentration der KAK aufzeigen. Vorläufige Untersuchungen an Holländischen Böden weisen aber auf eine Linearität zwischen KAK und $N_0^{\frac{1}{2}}$.

Konsequenzen für die Bodenstabilität.

Es ist anzunehmen dass die grosse Stabilität der Böden mit Eisenoxiden und Kaolinit auf der gegenseitigen Anziehung zwischen positivem Eisenoxid und negativem Ton beruht.

Bei einer Kalkdüngung, die das pH erhöht und den Ionenbelag der Eisenoxide nach $M^{++}R_2^-$, $pH_0 = 6.5$, verschiebt, Fig. 1 Koenigs e.a. (1980), wird die positive Ladung stark reduziert. Die Stabilität dieser Böden nimmt daher bei Bekalkung ab, Schuffelen & Middelburg (1954).

Falls die Böden nur mehr Sesquioxide enthalten, also positiv- positiv-, verkleinert die Bekalkung das Oberflächenpotential und erhöht daher die Stabilität.

Der Paleudult "Ragunan", Na-belegt, zeigte bei zunehmender Salzkonzentration eine abnehmende Stabilität; erst bei einer Erhöhung des pH's auf 10 kehrte sich diese Betragen um, wie folgende Tabelle zeigt, Koenigs (1962)

Normalität	Stabilität		Die Abnahme der Stabilität bei zunehmenden Salzgehalt wäre darauf zurückzuführen, dass die + und - Ladungen durch die Salzionen von einander abgeschirmt werden. Also auch das normale Verhalten der Tonböden in Bezug auf die Salzkonzentration wird durch die Eisenoxide umgekehrt.
	pH		
NaCl	8.2	10	
10^{-1}	6.7	1.45	
10^{-2}	9.2	0.42	
10^{-3}	10.8	0.06	
10^{-4}	11.3	0.11	

Konsequenzen für die Landwirtschaft.

Das AAK-betragen wird zumindest stark verzögernd auf die Ausspülung der Anionen wirken und ist daher von grosser Wichtigkeit. Ausserdem wird die Konzentration der Düngersalze durch das ähnliche Verhalten von AAK und KAK stark herabgedrückt. Im Unterschied zu den Tonen mit Substitutionsladungen, kommen ja mit wachsender Konzentration Ladungen hinzu. Mittels einer Wiederholungsberechnung ist die Endkonzentration, für zunehmende Werte des Faktors a aus der Gleichung $-AK(pH\ x) = a \cdot N_0^{\frac{1}{2}} + c$, errechnet unter der Annahme dass dieser Faktor für KAK und AAK gleich ist. Man sieht in Fig. 4 einerseits die Konzentration schon bei kleinen Werten des Faktors a stark zurückgehen sodass die

Verbrennungsgefahr abnimmt, andererseits könnten hohe a-Werte die Konzentration in dem Masse erniedrigen dass das Potentials des Düngers zu stark herabgesetzt wird. In letzterem Fall wäre Platzierung des Düngers angebracht.

Litteratur.

- Breeuwsma, A. , 1973. Adsorption of ions on hematite.
Comm. Agr. Uni. Wageningen 73-1
- Koenigs, F.F.R., 1961. The mechanical stability of clay soils etc.
V.L.O. No. 67.7 PUDOC publ. Wageningen.
- Koenigs, F.F.R., P.A. Leffelaar, T. Breimer, F.A. Vollenbroek, 1980.
The cation- and anion exchange characteristics of soils
with a large sesquioxide surace area.
Zeitschr. Pflanzenern. Bodenk. 144, He 1, Seite 87-100
- Ray, B. van and M. Peech, 1972. Electrochemical properties of some oxisols
and alfisols of the tropics.
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:587-593
- Schuffelen, A.C. and H.A. Middelburg, 1954. Structural deterioration of late-
ritic soils through liming.
Trans. 5th Int. Cong. Soil Sci. II:158-165

Fig 1

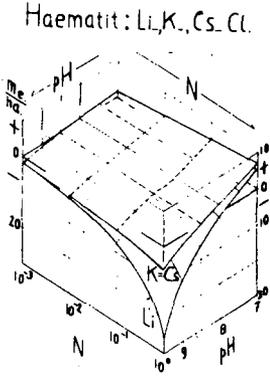
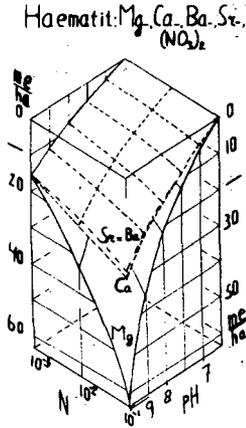


Fig 2

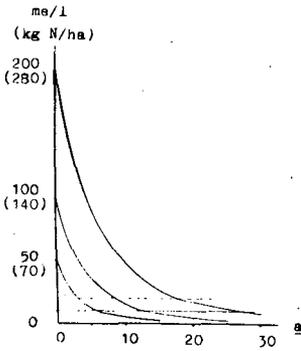


Adsorption der K-, Cs-, und Li-Chloride an Hematit

Adsorption der Mg-, Ca-, Ba-, und Sr-Nitrate an Hematit

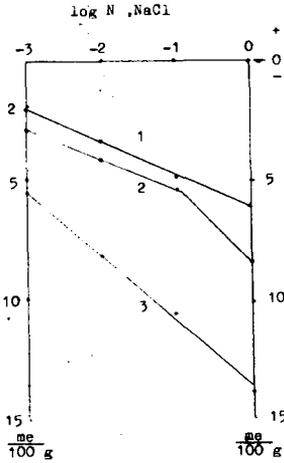
(Breeuwsma, 1973)

Fig 3



Konzentration und Ladung von Oberböden, pH 6.1, Acrohumox, 1.9 %C; 2, Acrorthox, 2.5 %C; 3, Tropudalf, 2.3 %C. (v. Ray & Peech 1972)

Fig 4



Einfluss des Faktors a auf die Konzentration der Bodenlösung. ($a_{KAK} = a_{AAK}$; $\epsilon = 0.5$; $\theta = 0.2$)

$\rho_s = 2.8 \text{ tM}^{-3}$ $d = 0.05 \text{ m}$

Zur Wechselwirkung zwischen Phosphat und
Rotschlamm-Grünsalz*

von

Blankenburg, J.⁺, B. Scheffer⁺ u. U. Herms⁺

1. Einleitung

Über die hohe Phosphatverfügbarkeit in einem sauren Hochmoorboden wurde bereits ausführlich berichtet (SCHEFFER u. BLANKENBURG, 1978; KUNTZE u. SCHEFFER, 1979). Dabei wurde die dominierende Wirkung des Eisens auf die Phosphatmobilität und damit auch auf den Phosphorausstrag herausgestellt. Modell-, Gefäß- und Feldversuche (BLANKENBURG u. SCHEFFER, 1981; SCHEFFER, FEIGE u. BLANKENBURG, 1981) ergaben, daß mit Zugaben von Rotschlamm, ein eisenhaltiges Abfallprodukt der Aluminiumindustrie und/oder Grünsalz (Eisen(II)sulfat), ein Nebenprodukt der Stahl- bzw. Titandioxidindustrie, ebenfalls der Phosphorausstrag um bis zu 70 % gedrosselt werden kann.

2. Ergebnisse

Bei der Anwendung von Rotschlamm und Grünsalz interessiert die Frage der Fällung bzw. Sorption des Phosphates unter dem Einfluß des pH-Wertes und der organischen Substanz des Bodens. Daher wurden Bodenproben (0-10 cm) aus einem Kleinparzellenversuch in Königsmoor bei Tostedt (nähere Versuchsbeschreibung: siehe BLANKENBURG, 1983) u.a. auf Fe_0 , Fe_d und Gesamteisen analysiert. Im

* Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Förderung des Landes Niedersachsen durchgeführt.

⁺ Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Bodentechnologisches Institut Bremen, Friedrich-Mißler-Str. 46-50, 2800 Bremen 1.

ersten Jahr nach der Anlage wurden in 0-10 cm folgende oxalatlöslichen Eisengehalte gemessen:

- Variante O: 330 mg Fe/100 g Boden (= 75 % des Fe_t)
- Variante 0,5 % Fe: 660 mg Fe/100 g Boden (= 73 % des Fe_t)
- Variante 1,0 % Fe: 1040 mg Fe/100 g Boden (= 72 % des Fe_t)

Der oxalatlösliche Eisenanteil nimmt bei den Eisenvarianten in den nächsten Versuchsjahren leicht ab, und zwar um ca. 10 %, er liegt aber noch deutlich höher als theoretisch zu erwarten wäre.

Zusätze von 0,5 % Fe entsprechen Zugaben von 250 mg Fe als Rotschlamm, dessen Eisen nicht oxalatlöslich ist, und 250 mg Fe als Grünsalz, das zunächst wasserlöslich ist. Der Hochmoortorf muß demnach einen Teil des Eisens aus dem Rotschlamm in eine amorphe, also oxalatlösliche Form überführt haben. Die dadurch relativ langsamere Alterung der Eisenformen dürfte durch das Einwirken der organischen Substanz bedingt sein.

Im Mittel der 3 ersten Versuchsjahre ist der oxalatlösliche Eisenanteil am dithionitlöslichen mit ca. 90 % als sehr hoch anzusprechen (Tabelle 1). Mit Dithionit werden ca. 80 % des Gesamteisens sowohl in den Nullvarianten als auch in den Eisenvarianten erfaßt. Das oxalatlösliche Eisen ist aber nicht wasserlöslich, da eine Tiefenwanderung bisher nicht festgestellt wurde.

Tab. 1: Fe_o und Fe_d in 0-10 cm eines Hh (FV 88)

	(Mittelwerte 1979-1981)		
	0 % Fe	0,5 % Fe	1 % Fe
Fe_o (mg Fe/100 g Bd.)	358	620	959
Fe_d "	327	680	1078
$Fe_o : Fe_d$	1	0,91	0,89

Im Gegensatz zu diesen Daten aus dem Feldversuch ergeben Fe_o - und Fe_d -Bestimmungen an Bodenproben eines Modellversuches (BLANKENBURG u. SCHEFFER, 1981) nach 9 Wochen Versuchsdauer deutlich niedrigere Fe_o -Gehalte im Verhältnis zum Fe_d , und zwar sind hier nur ca. 58-67 % des dithionitlöslichen Eisens oxalatlöslich. Hier deutet

sich aber auch an, daß die Alterungsgeschwindigkeit der Eisenoxide in diesem sauren Hochmoorboden pH-abhängig ist.

3. Diskussion

Die Phosphatdynamik saurer Hochmoorböden läßt sich durch Zufuhr von Eisenoxiden in Form von Rotschlamm und Grünsalz beeinflussen, meßbar an den Phosphorgehalten im Dränwasser und den $P(H_2O)$ -gehalten in 0-10 cm wie auch in tieferen Bodenschichten.

Phosphate können sowohl sorptiv an Eisenoxide bzw. -oxidhydrate gebunden, aber auch als definierte Eisenphosphate gefällt werden. Diesen Bindungsmechanismen wirkt die organische Substanz durch ihre chelatisierende Wirkung entgegen. Erst mit der Erhöhung des Eisengehaltes im Boden - in unseren Versuchen mit 0,5 % bzw. 1,0 % Fe zur Bodentrockenmasse - steht besonders im Jahr der Anwendung ein ausreichender Eisenvorrat zur Bindung bzw. Sorption von Phosphaten zur Verfügung.

Die $P(DL)$ -Werte werden in dem beschriebenen Feldversuch in den 4 Versuchsjahren durch Rotschlamm-Grünsalz nicht, die $P(H_2O)$ -Werte dagegen deutlich verringert. Dies läßt den Schluß zu, daß die P-Bindung an die Eisenoxide aus Rotschlamm und Grünsalz reversibel ist, was vermutlich auch dadurch bedingt ist, daß der Alterungsprozeß der Eisenkomponenten verzögert wird. Möglicherweise trägt der hohe oxalatlösliche Anteil zu dieser guten Phosphormobilität bei. Immerhin ist aber die P-Fe-Bindung so fest, daß die Phosphorverlagerung und -auswaschung vermindert ist.

Neben dem Anteil an oxalatlöslichem Eisen spielt auch die Menge der organischen Substanz eine entscheidende Rolle. Die geringen Eisengehalte im unbehandelten sauren Hochmoorboden, die zu ca. 70 % oxalatlöslich sind, sind von der organischen Substanz vollständig als Chelate gebunden und können daher keine Phosphate mehr sorbieren.

Die vorgestellten Ergebnisse sind als Einstieg zur Klärung der Frage der Phosphatbindung an Rotschlamm-Grünsalz unter dem Einfluß der organischen Substanz gedacht. Weitere Untersuchungen sind noch notwendig.

4. Zusammenfassung

Mit Rotschlamm- und Grünsalzgaben auf sauren Hochmoorböden kann der Phosphorausstrag um ca. 60-80 % reduziert werden. Die mit der Düngung ausgebrachten Phosphate werden an Eisenoxidhydrate gebunden, bleiben aber pflanzenverfügbar. Da unter Freilandbedingungen die Alterung der Eisenoxidhydrate aus Rotschlamm und Grünsalz in diesen organischen Böden behindert ist, dürfte die Fe-P-Bindung zunächst reversibel bleiben.

5. Literatur

- BLANKENBURG, J., 1983: Untersuchungen zur Phosphatdynamik saurer organischer Böden im Hinblick auf die Reduzierung des Phosphorausstrages und der Gewässer-eutrophierung durch boden- und düngetechnische Maßnahmen. - Diss. Uni. Göttingen.
- BLANKENBURG, J. u. B. SCHEFFER, 1978: Löslichkeit und Wanderung von Phosphaten im sauren Hochmoorboden. - *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesell.*, 27, 271-280.
- KUNTZE, H. u. B. SCHEFFER, 1979: Die Phosphatmobilität im Hochmoorboden in Abhängigkeit von der Düngung. - *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkunde*, 142, 155-168.
- BLANKENBURG, J. u. B. SCHEFFER, 1981: Modellversuche zum Phosphorausstrag aus mit Rotschlamm und Grünsalz behandeltem Hochmoorboden. - *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesell.*, 32, 779-784.
- SCHEFFER, B., W. FEIGE u. J. BLANKENBURG, 1981: Gefäßversuche zum Einsatz von Rotschlamm und Grünsalz auf Hochmoorböden. - *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesell.*, 32, 773-778.

Veränderungen von K-Ca-Austauschkurvenparametern durch Düngung und Pflanzentzug.

von
Vogl, W. *)

An 4 repräsentativen Böden der Hallertau läuft seit 1974 ein P-K-Steigerungs- bzw. Verarmungsversuch (Nährstoffpotentialversuch Hallertau) mit dem Ziel, das P- bzw. K-Nachlieferungsvermögen typischer Böden der Hallertau zu ermitteln (s.a. Übersicht 1).

Übersicht 1:

Standortseigenschaften des Nährstoffpotentialversuches Hallertau

Standort:	Eichelberg	Kreithof	Kreutenbach	Gröben
Bodenform	Sand-Bänderparabraunerde	Sand-Parabraunerde	Löss-Pseudogley-Parabraunerde	Tonmergel-Pseudogley-Braunerde-Pelosol
Ausgangsmaterial	Sand	kiesige Sande	Löß	Kalkmergel
Niederschläge (mm)	800	750	750	750
Tonanteil Krume (%)	3	8	20	28
Tonanteil 50-60cm Tiefe	3	18	28	40
Bodenschätzung	28	50	73	54

Von diesen Böden wurden für jede Düngungsvariante in jedem Versuchsjahr die K-Entzüge, die K-Bilanz, CAL-K und K-Ca-Austauschkurven (Beckett 1964) ermittelt.

Mit steigender K-Düngung nahmen die K-Entzüge zu und zwar umso mehr, je niedriger die Tongehalte in der Krume waren.

Die K-Pufferkapazität (BCKe) ist bei den Sandböden nicht von der K-Bilanz abhängig. Bei den tonigeren Böden besteht zwar ein signifikanter Zusammenhang zwischen K-Bilanz und der K-Pufferkapazität, jedoch ändert sie sich sehr wenig (Tab 1).

*) Institut für Bodenkunde der TU München 8050 Freising Weihenstephan.

In einem weiten Bereich der K-Bilanz kann daher angenommen werden, daß die K-Pufferkapazität eine Standortskonstante ist.

Die sandigen Böden Eichelberg und Kreithof haben niedrige BCKe, so daß sich die AR_0 durch K-Düngung oder durch K-Entzug der Pflanzen sehr stark ändern. (Tab.1). Die tonreicheren Böden Kreutenbach und Gröben haben höhere K-Pufferkapazitäten, bei ihnen ändert sich AR_0 in Abhängigkeit der K-Bilanz wesentlich weniger (Tab 1).

Das labil gebundene Kalium ist mit $r = 0.95$ sehr eng mit dem CAL-K korreliert. Die Steigung der Regressionsgleichung entspricht dem Umrechnungsfaktor der Meßgrößen (Faktor = 0.0212).

Die Menge des labil gebundenen Kaliums (kg lab. K/ha) ist mit der K-Bilanz (kgK/ha) mit $r > 0.8$ sehr eng korreliert. Die Steigungen der Regressionsgleichungen betragen im Mittel aller Standorte 0.35. Die K-Bilanz wird demnach nur zu ca. 1/3 vom labil gebundenem K wiedergespiegelt. Dies deutet darauf hin, daß bei negativer K-Bilanz aus den Mineralen K freigesetzt wird und den Pflanzen zur Aufnahme zur Verfügung steht. Bei positiver K-Bilanz dagegen wird über dem Pflanzenentzug gedüngtes K in nicht austauschbarer Form gebunden. Dieses, in nicht austauschbarer Form gebundene K wird beim Kurzzeitaustausch nicht erfaßt, ist aber dennoch pflanzenverfügbar.

Tabelle 1:

Abhängigkeit der K-Pufferkapazität (BCKe / mvalK/100g mol^{1/2}) und des K-Ca-Aktivitätenverhältnisses im Umtauschgleichgewicht (AR_0 / mol^{1/2}) von der K-Bilanz (kgK/ha).

Standort:	Eichelberg	Kreithof	Kreutenbach	Gröben
r (K-Pufferkapazität)	0.31		0.58	0.43
BCKe bei 0-K-Bilanz	9.69		37.4	63.7
Δ BCKe/kg K-Bilanz	-0.0026		-0.0077	-0.0093
r (AR_0)	0.74	0.77	0.85	0.78
AR_0 bei 0-K-Bilanz	0.026	0.032	0.010	0.0026
Δ AR_0 /kg K-Bilanz	2.22	2.82	0.66	0.40

Literatur:

Beckett, H.P.T. (1964): Studies on soil potassium II. The immediate Q/I-relations of labile potassium in the soil J.Soil Sci.15, 19-23.

PROBLEME UND QUANTITATIVE VERFAHREN
DER BODENREGIONALISIERUNG

Sitzung des Arbeitskreises
Informationssysteme in der Bodenkunde
der
Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft
in
KIEL
am
11. u. 12. April 1983



I N H A L T

		<u>Seite</u>
LAMP, J.:	Informationssysteme und numerische Verfahren der Klassifizierung und Regionalisierung in der Bodenkunde - ein Überblick	41
OELKERS, K.-H.u. W. ECKELMANN:	Das Auffinden und Abgrenzen bodenkundlicher Kartiereinheiten bei der Landesaufnahme und ein Vorschlag zur Beschreibung der Flächeninhalte	47
GRENZIUS, R. u. H.-P. BLÜME:	Aufbau und ökologische Auswertung der Bodengesellschaftskarte Berlins	57
KNEIB, W.D.:	Bodenregionalisierung aus Vorinformationen und durch Modellierung zur Feststellung der Bodeneignung für Winterroggenertrag	63
FRÜCHTENICHT, K.:	Möglichkeiten des ADV-Einsatzes aus der Sicht einer LUFA	71
HOFFMANN, D.:	Gruppierung geopedologischer Merkmale im Rahmen umweltchemischer Belastbarkeitsanalysen	77
HEINEKE, H.-J.:	Regionalisierung von Bodendaten mit Hilfe von nominalskalierten Variablen	85
MICH, N.:	Zur Auswertung von Bodendaten mittels Clusteranalyse und Biplot	91
ZÖLITZ, R.:	Beispiele zur Anwendung der Variogrammanalyse auf flächenhaft erhobene Bodendaten	97
HATJE, J., F. KNOOP u. J. LAMP:	TEMAKART, ein rasterorientiertes Auswerteprogramm für multivariate Karteninhalte - Einsatzmöglichkeiten und erste Erfahrungen	103
ROHDENBURG, H., H. HENSEL, H.-R. BORK u. U. SABELBERG:	Arbeiten an einem Dreidimensionalen Gelände- und Substratmodell für ein bodenhydrologisches Forschungsprojekt	109
ECKELMANN, W. u. I. BENNE:	DV-Einsatz bei der Herstellung bodenkundlicher Kartenwerke in den Maßstäben 1:5 000 und 1:25 000	115

		<u>Seite</u>
MIEHLICH, G. u. T. KLEINEIDAM:	Beschreibung des räumlichen Aufbaus holozäner Elbsedimente durch EDV- erzeugte Horizontalschnitte	121
DITTEL, R.H.:	Möglichkeiten der quantitativen Fern- erkundung für die Bodenregionalisierung	127

Informationssysteme und numerische Verfahren
der Klassifizierung und Regionalisierung in der
Bodenkunde - ein Überblick

von

LAMP, J. ⁺)

1. Informationssysteme in der Bodenkunde

Mit der Gründung der Arbeitsgruppe "Informationssysteme in der Bodenkunde" auf der bodenkundlichen Tagung in Berlin und dem ersten Treffen dieser Gruppe in Kiel folgt die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft nicht nur formal dem internationalen Vorbild. Sie ergänzt und vertieft damit Aktivitäten einer von der DFG unterstützten fachübergreifenden Forschergruppe ("Neue Kommunikationswege in den Geowissenschaften ...") und antwortet auf technische und methodische Entwicklungen der Informatik, die nahezu alle Gesellschaftsbereiche und so auch die Bodenkunde in der Bundesrepublik Deutschland in besonderem Maße herausfordern.

Eine Übersicht über mögliche Problemfelder, mit denen sich die Arbeitsgruppe jetzt und in Zukunft zu beschäftigen hat, sind in Abb. 1 stichpunktartig aufgeführt, ohne sie im Detail diskutieren zu können. Dabei sei ein (Boden-) Informationssystem als "ein planvoller und zweckgerichteter Verbund von Menschen und Institutionen mit Techniken und Methoden zur Erfassung, Verarbeitung und Verteilung von (bodenkundlichen) Daten" definiert (LAMP, 1977).

Die Arbeitsformen der Gruppe können Treffen mit Referaten zu allgemeinen und speziellen Fragen sein, wie jetzt zum Thema "Bodenregionalisierung", in Zukunft verstärkt aber auch intensivere Diskussionen und gemeinsame Erarbeitungen von Problemen sowie Demonstrationen von Methoden und Geräten am praktischen Beispiel einschließen. Wichtig ist auch ein reger Informationsaustausch innerhalb der Gruppe, zu allen Mitgliedern der Bodenkundlichen Gesellschaft und zu ähnlichen Arbeitsgruppen benachbarter Fachgebiete. Von der internationalen Arbeitsgruppe 'Soil Information Systems' wurden für die

⁺) Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der C.A. Universität
Olshausenstr.40, 2300 Kiel

internationale Tagung 1986 in Hamburg als Schwerpunktthemen "Integrierte raumbezogene Informationssysteme", "Mikroprozessoren in der Bodenkunde" und "Raum-Variabilität physikalischer Bodenmerkmale" (gemeinsam mit entsprechenden Arbeitsgruppe in Kommission II) bisher vorgeschlagen.

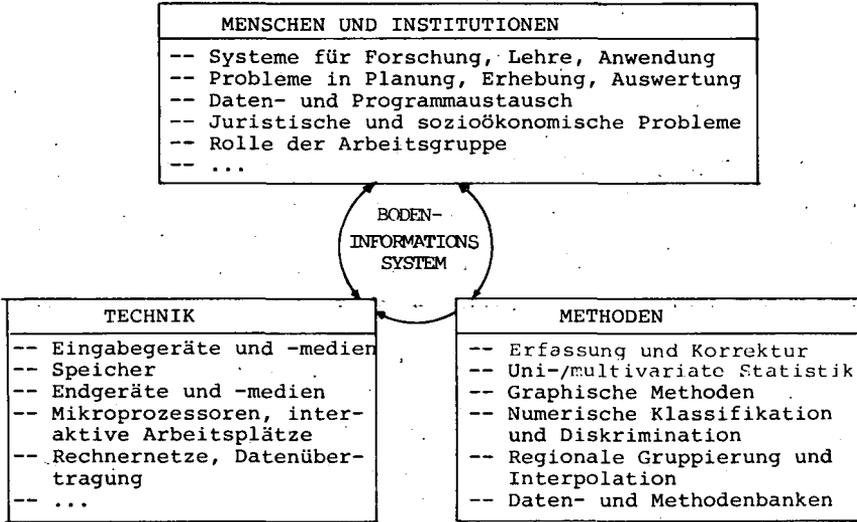


Abb.1: Problemfelder der Arbeitsgruppe "Informationssysteme in der Bodenkunde"

2. Numerische Verfahren der Klassifikation von Böden

Das Hauptthema des Treffens sind Prinzipien und numerische Verfahren der Bodenregionalisierung, d.h.sowohl die Interpolation von punktuellen Daten (Stichproben) der Bodenerkundung, als auch die quantitative und qualitative Kennzeichnung der Variabilität von Flächeninhalten (s. nächstes Kap. und Referate MUTERT, OELKERS/ECKELMANN).

Eng verbunden mit der Regionalisierung ist häufig die Klassifikation von Böden, die bereits bei der Bodenerkundung durch Zuweisung (Identifikation) von Einzelböden zu Bodentypen (Peda zu Taxa) aufgrund externer Regeln und pedogenetischer Modellvorstellungen vor oder gemeinsam mit der Interpolation im Gelände erfolgt (s.Abb. 2). Quantitative Zuweisungsregeln können mit der Diskriminanzanalyse berechnet werden.

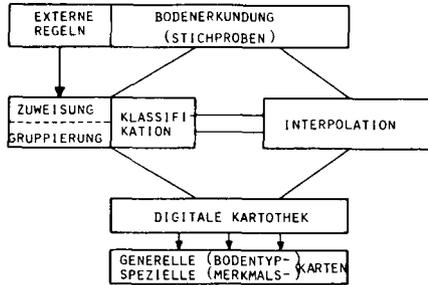


Abb.2: Möglichkeiten der Klassifikation und Interpolation auf dem Wege von der Bodenerkundung zur Bodenkarte

Bei nicht typisierten Bodendaten, z.B. aus der Bodenschätzung, können diese durch Gruppierungsverfahren der 'Numerischen Taxonomie' automatisch klassifiziert werden (s. Referate HEINECKE, MICH). Eine Übersicht über verschiedene Ansätze gibt Abb. 3: z.B. Clusteranalysen mit agglomerativer Dendrogramm-Bildung aufgrund einer Q-Ähnlichkeitsmatrix oder Projektionen auf reduzierte (2-dimensionale) Merkmalsräume durch Auswertung einer R-Korrelationsmatrix (Hauptkomponenten, Biplot).

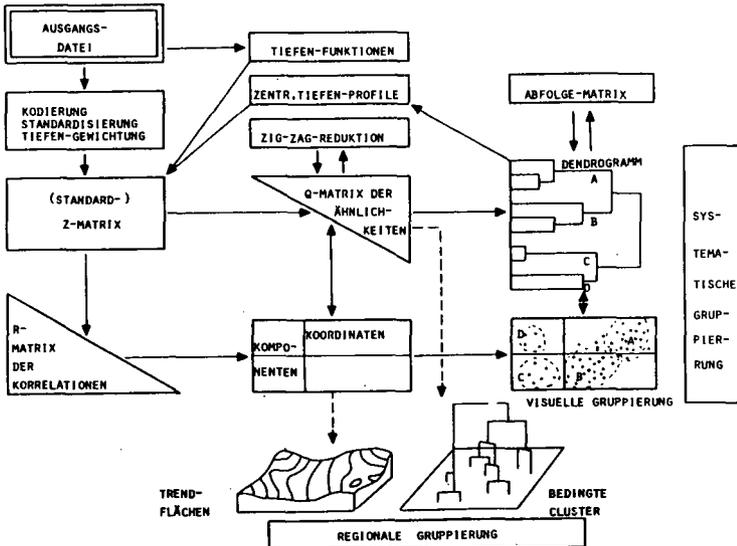


Abb. 3: Ablaufschema numerischer Gruppierungserfahren

3. Regionale Gruppierungen und Interpolationsmethoden

Nach der konventionellen oder numerischen Klassifikation können punktuelle Bodendaten als diskrete Variable interpoliert werden (s. Abb. 4, Tessellation und Thiessen-Polygone) und dann mit Hilfe graphischer Datenbanken in Polygon- oder Rasterform in digitalen Kartotheken gespeichert bzw. mit Hilfe der automatischen Kartographie als generelle (Bodentypen-)Karten ausgegeben werden (s. Abb.2).

Die Bodenklassifikation ist im allgemeinen mit hohen Informationsverlusten hinsichtlich spezieller Merkmale verbunden (LAMP, 1983), so daß sich die Möglichkeit einer kombinierten Merkmals- und Abstandsgruppierung oder der Weg anbietet, zunächst zu interpolieren und dann - falls überhaupt notwendig - zu klassifizieren.

Für die Interpolation kontinuierlicher Boden-Punktdaten stehen eine Reihe von Verfahren zur Verfügung: von der einfachen Triangulation über Splines und Trendflächen (lokal-gleitende oder globale Polynome) bis zum geostatistischen "Kriging" aufgrund einer (Semi-) Variogrammanalyse (s. Abb. 4 und auch Referate ROHDENBURG, SABELBERG und ZÖLITZ). Da der geographische Abstand von Punktdaten gegenüber der gegebenen lateralen Variabilität von Bodenmerkmalen häufig sehr groß ist, verdient die geostatistische Interpolation mit Hilfe von flächenintensiven Stützvariablen zukünftig verstärkte Beachtung (Co-Kriging, z.B. Interpolation von Humus- oder Tongehalten mit Hilfe von Reliefparametern und Fernerkundungsdaten; s. auch KNEIB und DITTEL).

4. Schlußfolgerungen

Bei der Bodenregionalisierung und der EDV-gestützten Herstellung von Bodenkarten müssen - je nach Ausgangsdaten, möglichen Informationsverlusten und der jeweiligen Zielsetzung - die Verfahren der numerischen Gruppierung und Interpolation sehr unterschiedlich und flexibel miteinander verknüpft werden. Dazu ist die Erprobung verschiedener Verarbeitungswege (vgl. Referate ROHDENBURG, ECKELMANN/OELKERS, SABELBERG und MIEHLICH/KLEINEIDAM) und der Aufbau von interaktiven graphischen Arbeitsplätzen mit entsprechenden Programmsystemen erforderlich (s.a. HATJE/KNOOP/LAMP). Für Regionalisierungen mit ökologischen Auswertungszielen (s. GRENZIUS/BLUME, KNEIB, FRÜCHTENICHT und HOFFMANN) und Interpolationen mit Hilfe von Stützinformationen sind gleichermaßen die Verknüpfung verschiedener Datenbestände und ihre rechnerische Überlagerung eine wichtige Voraussetzung.

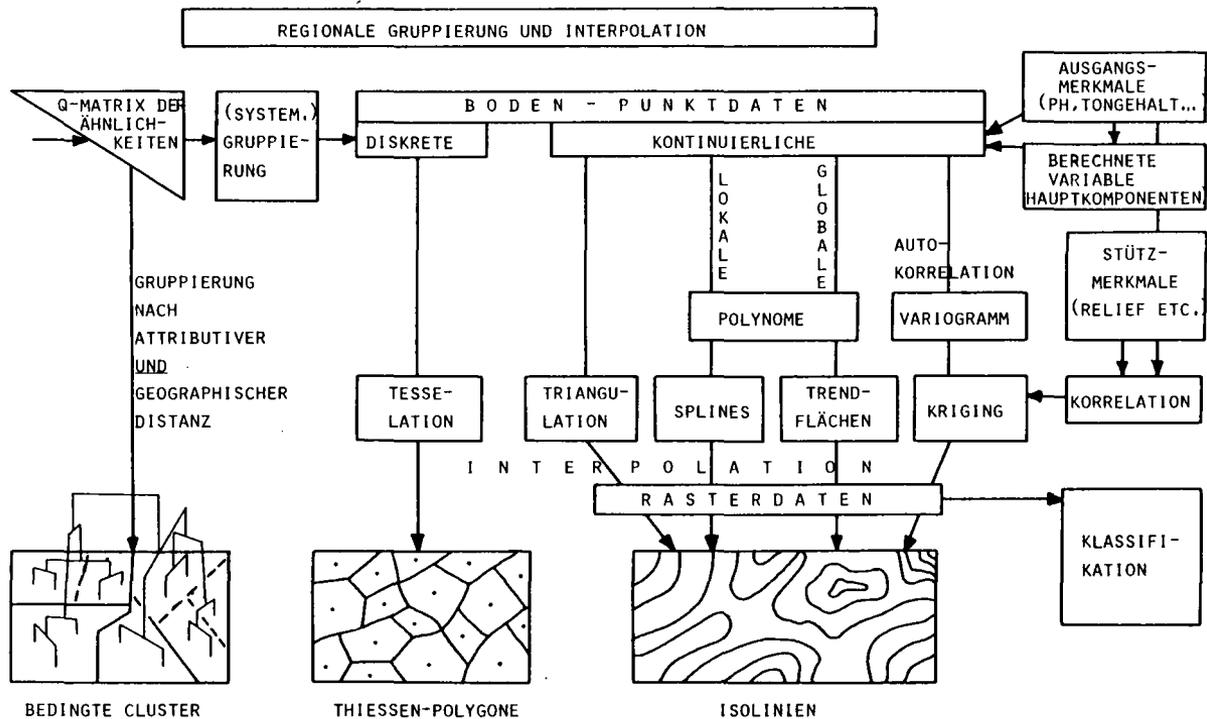


Abb.4: Übersicht über Verfahren der regionalen Gruppierung und Interpolation

Literatur

LAMP, J. (1977): Zur Entwicklung und Anwendung von Informationssystemen in der Bodenkunde.
Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 25, 453-458.

LAMP, J. (1983): Boden-Informationssysteme und Pedometrie - zur Anwendung neuer Techniken und Methoden in der Bodenkunde. Habilitationsschrift, Agrarwiss. Fakultät, Kiel.

Das Auffinden und Abgrenzen bodenkundlicher Kartier-
einheiten bei der Landesaufnahme und ein Vorschlag
zur Beschreibung der Flächeninhalte.

von
Oelkers, K.-H. u. W. Eckelmann *)

I Zielsetzung

Die Zielsetzung der bodenkundlichen Landesaufnahme wird durch die Wünsche der Kartenbenutzer bestimmt. Die Benutzer bodenkundlicher Karten erwarten im wesentlichen die Darstellung von Flächen, die hinsichtlich ihrer Nutzungsmöglichkeiten in sich möglichst homogen sind bzw. einen vergleichbaren Aufbau haben. Das Kartierziel der bodenkundlichen Landesaufnahme ist deshalb die Abgrenzung von Flächen (Kartiereinheiten), die entweder eine dem Kartiermaßstab angepaßte Zusammenfassung von Böden bzw. Bodengesellschaften mit ähnlichen Nutzungseigenschaften oder - falls das nicht möglich ist - eine durch den Kartiermaßstab notwendige Zusammenfassung von Böden mit unterschiedlichen Nutzungseigenschaften in typischer Vergesellschaftung darstellt.

II Konzept der Flächenfindung bei der bodenkundlichen Landesaufnahme in
Niedersachsen

1. Erarbeitung der Konzeptkarte

Das Vorgehen bei der bodenkundlichen Landesaufnahme in Niedersachsen wird anhand eines Arbeitsflußplanes von ECKELMANN, W. und I. BENNE (in diesem Band) vorgestellt.

Sinn der Konzeptkarte (Ergebnis des ersten Abschnitts im Arbeitsflußplan) ist es, durch Auswertung der vorhandenen Unterlagen die Flächenfindung im Gelände durch einen Grenzentwurf vorzubereiten. Die Konzeptkarte soll alle verfügbaren Faktoren berücksichtigen, die Einfluß auf die Bodenentwicklung und die Nutzungseigenschaften haben. Durch Zusammenordnung und Wichtung dieser Faktoren wird angestrebt, Böden bzw. Bodengesellschaften mit gleichen oder ähnlichen Eigenschaften

*) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Stilleweg 2, 3000 Hannover 51

vorweg zu erkennen und vorläufig auszugrenzen. Das Ergebnis der Konzeptkarte geht damit über eine einfache Auflistung der verfügbaren Unterlagen hinaus. Die mit dem Grenzentwurf dargestellten Flächen gleicher Faktorenkombination sind Schwerpunkte der Untersuchungen bei der Erarbeitung der Feldreinkarte.

Im einzelnen soll die Konzeptkarte folgenden Zwecken dienen:

- erschöpfende Auswertung aller vorhandenen Unterlagen,
- Schaffung der Voraussetzung für eine gezielte Geländearbeit,
- Erhöhung der Vergleichbarkeit der Kartiererergebnisse,
- Verkürzung der Aufnahmedauer,
- Erhöhung der Aufnahme Genauigkeit.

2. Erarbeitung der Feldkarte

Bei der Geländearbeit werden die in der Konzeptkarte zusammengestellten Informationen überprüft, ggf. korrigiert und ergänzt. Ist das Ziel der Abgrenzung einer Kartiereinheit entsprechend der oben gegebenen Definition erreicht, so muß dem Kartierer die Möglichkeit einer vollständigen bodenkundlichen Flächeninhaltsbeschreibung gegeben werden. Diese Beschreibung muß sofort nach der Flächenschließung im Gelände erfolgen, da in diesem Augenblick die Meinungsbildung des Kartierers seinen vorläufigen Abschluß findet. Ein einheitliches Konzept für eine solche Beschreibung liegt noch nicht vor. Zur Zeit ist nur die Normierung der bodenkundlichen Profilbeschreibung mit dem Datenschlüssel Bodenkunde erreicht (BENNE et al. 1982, OELKERS 1983). Auf diesen Schlüssel baut das im nachfolgenden Abschnitt vorgestellte Konzept zur bodenkundlichen Flächeninhaltsbeschreibung auf.

III Konzeption zur Beschreibung bodenkundlicher Flächeninhalte

Der Datenschlüssel Bodenkunde wurde im Rahmen des DFG-Projektes "Neue Kommunikationswege in den Geowissenschaften" entwickelt, um eine Normierung der zu verarbeitenden Daten zu erreichen. Der Datenschlüssel sollte zunächst nur die Erfassung von Punktdaten ermöglichen, weil die Verarbeitung von neu aufzunehmenden Profilen im Gelände, von Labordaten und die Übernahme zu übersetzender alter bodenkundlicher Profilaufnahmen in die Testdateien als erstes Problem anstand.

Für die Erfassung bodenkundlicher Flächeninhalte reichen die im Datenschlüssel Bodenkunde gegebenen Möglichkeiten nicht aus. Da im genannten Forschungsvorhaben auch angestrebt wird, bodenkundliche Flächen zu beschreiben und zu erfassen, wurde eine entsprechende Erweiterung des vorliegenden Datenschlüssels in Angriff genommen. Dabei wurde genauso vorgegangen, wie bei der Entwicklung des Datenschlüssels zur Profilbeschreibung auch:

- Sammlung der Begriffe
- Strukturierung der Begriffe
- Symbolisierung der Begriffe.

Hier soll nur den ersten beiden Punkten nachgegangen werden. Bevor auf den Entwurf im einzelnen eingegangen wird, sollen die entwickelten Vorstellungen zunächst an einer schematischen Darstellung erläutert werden.

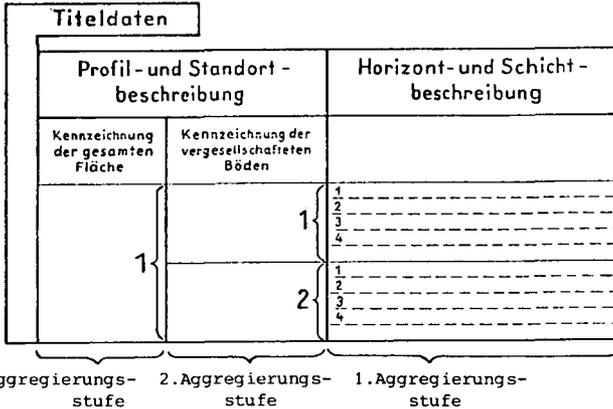


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau des Formblattes zur Erfassung bodenkundlicher Flächeninhalte.

Die Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des entwickelten Erfassungsformblattes. Dieses entspricht in seiner Struktur dem Erfassungsformblatt zur Aufnahme bodenkundlicher Profile. Es gliedert sich in:

- Titeldaten
- Profil- und Standortbeschreibung
- Horizont- und Schichtbeschreibung.

Im ersten Schritt der Flächenbeschreibung (Spalte "Horizont- und Schichtbeschreibung") werden die bei der Profilaufnahme ermittelten Daten aufgelistet. Alle Profile einer Fläche mit gleicher Abfolge der wichtigsten, die Nutzungseigenschaften kennzeichnenden Daten werden in einer Profilbeschreibung zusammengefasst. Da die Abfolgen wenigstens in ihrer Mächtigkeit variieren, stellt dieser Schritt bereits eine erste Aggregation dar. Treten mehrere Folgen in einer Fläche auf, so sind diese im einzelnen aufzulisten.

Im nächsten Schritt (Spalte "Kennzeichnung der vergesellschafteten Böden") werden die beschriebenen Abfolgen typisiert und damit die Flächenbeschreibung weiter aggregiert. So werden z.B. bestimmte Bodenhorizontfolgen zu Bodentypen, bestimmte bodenartige Abfolgen zu bodenartigen Profiltypen und bestimmte geologische Abfolgen zu geologischen Profiltypen zusammengefasst. Treten in einer Fläche mehrere Typen auf, so ist das das Ergebnis der Flächenbeschreibung einer Typengesellschaft. Der strukturelle Aufbau dieser Typengesellschaft ist in diesem Schritt besonders zu beschreiben.

Im letzten Schritt (Spalte "Kennzeichnung der gesamten Fläche") soll versucht werden, das Ergebnis der systematischen Inventarisierung der ersten beiden Schritte in einer allgemein vergleichbaren Form zu beschreiben und zu ordnen. Eine Beschreibung in allgemein vergleichbarer Form ermöglicht den Benutzern von Kartenwerken die blattübergreifende Auswertung; das Erkennen einer Ordnung der Bodenvergesellschaftung erleichtert bei einer landesweiten Bestandsaufnahme das Erkennen von Zusammenhängen, die Flächenabgrenzung und ihre Kennzeichnung.

Anhand der relativ einfachen Bodenschätzungsdaten, die bei der bodenkundlichen Landesaufnahme in Niedersachsen in starkem Maße zur Flächeninhaltsbeschreibung herangezogen werden, soll die Aggregierung bodenkundlicher Daten nochmals kurz demonstriert werden. Die Profilbeschreibung der Bodenschätzung ist der ersten Aggregierungsstufe zuzuordnen; es sind flächentypische Grablöcher mit gewissen Streubreiten, die auf mehreren Bohrungen beruhen. Die Klassenzeichen der Bodenschätzung sind, weil Vergesellschaftungen in der Regel nicht beschrieben wurden, gleichzeitig der ersten und zweiten Aggregierungsstufe zuzuordnen. Durch diese allgemein vergleichbare Form der Flächenbeschreibung ist z.B. die bundesweite Anwendung eines Schätzungsrahmens zur Ermittlung von Bodenwertzahlen möglich.

Eine allgemein vergleichbare Form der Flächenbeschreibung der heute erstellten Kartenwerke besteht in der Regel nicht. Allerdings ist bei der bodenkundlichen Standortkarte von Niedersachsen i.M. 1 : 200 000 (BSK 200) eine Ordnung und Beschreibung der Flächen in diesem Sinne gelungen (LÜDERS 1979). Bodenlandschaften verschiedener Ordnungen wurden für das ganze Kartenwerk in vergleichbarer Form beschrieben. In der Bodenkarte von Niedersachsen i.M. 1 : 25 000 (BK 25) werden nur die Kartiereinheiten einer Rahmenkarte zu vergleichbar beschriebenen bodensystematischen Einheiten zusammengefaßt; eine Generalisierbarkeit über das ganze Kartenwerk ist nicht möglich. Ein erster Entwurf einer Auflistung, Definition und Systematisierung von Bodenlandschaften für die BK 25 könnte sich auf die Einheiten der BSK 200 stützen. Eine Fortentwicklung dieses Entwurfes würde die laufende Kartierung ergeben.

Im Anschluß an diese Arbeit sind die Begriffseinheiten (Felder), die u.E. für eine vollständige bodenkundliche Flächeninhaltsbeschreibung benötigt werden, in strukturierter Form aufgelistet.

Bei der ersten Aggregierungsstufe (Horizont- und Schichtbeschreibung) treten gegenüber dem Datenschlüssel Bodenkunde als zusätzliche Felder nur die mit Angaben über Tiefenbereiche von Profilen einer Abfolge auf. Es ist vorgesehen, die variierenden Mächtigkeiten einer Abfolge durch Angabe der Mittelwerte und der äußersten Werte zu beschreiben.

Bei der zweiten Aggregierungsstufe (Kennzeichnung der vergesellschafteten Böden) sind als zusätzliche Felder nur die zur Beschreibung der Flächenstruktur vorgese-

hen, Die Flächenanteile der vergesellschafteten Profiltypen sollen geschätzt und durch Angabe von %-Klassen gekennzeichnet werden.

Das Verbreitungsmuster der begleitenden Profiltypen soll zunächst durch die Verbreitungsform beschrieben werden, wo nach vorgegebenen Definitionen (vgl. z.B. I.SCHMITT 1975) Aussagen gemacht werden sollen, wie die Verbreitung ist.

Als nächstes sollen Angaben zum Verteilungscharakter gemacht werden, in dem versucht werden soll zu beschreiben, wo die begleitenden Profiltypen zu erwarten sind (soweit das nicht aus der Reliefform hervorgeht).

Außerdem ist die Möglichkeit vorgesehen, etwas über die Flächengröße auszusagen (geschätzte Größenklassen bzw. bei langgestreckten Verteilungsformen geschätzte Breitenklassen).

Eine plastische Beschreibung der Verbreitungsmuster läßt sich durch die beschriebene Weise noch nicht erreichen. Bei Darstellungen in zu publizierenden Karten werden solche Beschreibungen durch graphische Darstellungen (idealisierte Geländeschnitte) ergänzt werden müssen (vgl.z.B. BLUME 1979).

Die Begriffseinheiten der dritten Aggregierungsstufe (Kennzeichnung der gesamten Fläche) sind mit Ausnahme des Klimaraumes nicht im Datenschlüssel Bodenkunde vorhanden, weil eine allgemein vergleichbare Form der Flächeninhaltsbeschreibung nicht sein Ziel war.

Mit der Reliefformengesellschaft soll eine generalisierbare Kennzeichnung der Reliefsituation der Gesamtfläche vorgenommen werden. Die vorliegenden Begriffslisten (STÄBLEIN 1978) bedürfen allerdings für eine vollständige Beschreibung noch der Ergänzung.

Aussagen zur Flächenstruktur beschränken sich hier auf die Kennzeichnung der Flächenhomogenität in klassifizierter Form (5 Klassen). Die eigentliche Zusammensetzung der Bodengesellschaft wird durch Gesellschaftsklassen der Profiltypen zum Ausdruck gebracht.

Die Kennzeichnung der Typengesellschaft greift auf die Profiltypen (bodensystematische Einheit, bodenartlicher Profiltyp, geologischer Profiltyp) der zweiten Aggregierungsstufe zurück. Die Profiltypen mit den höchsten Flächenanteilen (Leittypen) werden als erste Flächenkennzeichnung benutzt. Da Flächen mit gleichen Leittypen sehr unterschiedliche Typenvergesellschaftungen beinhalten können, ist eine weitere Untergliederung der mit Leittypen gekennzeichneten Flächen durch Gesellschaftsklassen vorgesehen.

Die Generalisierung von der Profilaufnahme bis zur dritten Aggregierungsstufe der Flächeninhaltsbeschreibung ist zwangsläufig mit einem Informationsverlust verbunden. Es ist jedoch vorgesehen, alle Informationen in digitaler Form vorzuhalten. Damit stehen dem Kartenbenutzer alle Informationsebenen zur Verfügung.

Mit diesem ersten Vorschlag soll versucht werden, die Flächeninhalte mehrerer bodenkundlicher Testkarten in digitaler Form zu erfassen. Der Entwurf wird bereits in einem frühen Entwicklungsstadium zur Diskussion gestellt, um - wie bei der Entwicklung des Datenschlüssels Bodenkunde auch - eine möglichst umfassende Abstimmung zu erreichen.

Literatur

- BAILLY, F. (1972): Die Problematik der Reinheit von Kartiereinheiten, dargestellt an einem Beispiel aus der hannoverschen Lößbörde. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 16, 71-78, Göttingen.
- BLUME, H.-P. (1979): Bodenkarte des Nordschwarzwaldes i.M. 1 : 25 000. - Freiburg (unveröffentlicht).
- DIEMAN, R. (1978): Grundlage der Rahmenlegende der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung im nördlichen Tiefland der DDR. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., 22, 8, 471-482, Berlin.
- DESAULES, A. (1979): Zur Methodik der Bodenkartierung im mittleren Maßstabsbereich am Beispiel der Region Bautinger. - Bodenkundl. Gesellsch. der Schweiz, 3-16, Bulletin 3, Zürich.
- DÜRR, H. (1971): Boden- und Sozialgeographie der Gemeinden um Jesteburg / nördliche Lüneburger Heide. Ein Beitrag zur Methodik einer planungsorientierten Landesaufnahme in topologischer Dimension. - Hamburger geographische Studien, H. 26, Hamburg.
- ECKELMANN, W. u. I. BENNE (1983): DV-Einsatz bei der Herstellung bodenkundlicher Kartenwerke in den Maßstäben 1 : 5 000 und 1 : 25 000. - Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., Göttingen (in diesem Band).
- HAASE, G. (1978): Struktur und Gliederung der Pedosphäre in der regionalen Dimension. - Beiträge zur Geographie, H. 1-3, Akademie-Verlag, Berlin.
- HAASE, G. u. R. SCHMIDT (1970): Die Struktur der Bodendecke und ihre Kennzeichnung. - Albrecht-Thaer-Archiv., 14, 5, 399-412, Berlin.
- KNEIB, W. (1979): Untersuchungen zur Gruppierung von Böden als Grundlage für die Bodenkartierung. - Diss., Kiel.
- LIEBEROTH, J., R. SCHMIDT (1982): Überblick über die Verbreitung der Standortgruppen und Standorttypen in der DDR. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., 26, 1, 1-8, Berlin.
- LÜDERS, R. (1979): Die bodenkundlichen Kartenwerke des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung. - N. Arch. f. Nds., 28, 237-240, 1 Blattübersicht, Göttingen.
- MUTERT, E. (1978): Untersuchungen zur regionalen Gruppierung von Böden - durchgeführt an einer Kleinlandschaft im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. - Diss., Kiel.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1982): Die Bodenkunde, 2. Aufl. - DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- MÜLLER, S. (1983): Geomorphologisch-pedologische Landschaftsgliederung als Hilfsmittel angewandter Boden- und Standortkartierungen. - Mitt. d. Vereins. f. Forstl. Standortkde. u. Forstpflanzenzüchtung, Nr. 30, 14-20, Stuttgart.
- OELKERS, K.-H. (1983): Datenschlüssel Bodenkunde. - Geol. Jb., Hannover (im Druck).
- REENTS, H.-J. (1982): Die Abgrenzung von Bodengesellschaften aufgrund funktioneller Beziehungen zwischen Böden - dargestellt an zwei Beispielen aus der Nordwestdeutschen Geestlandschaft. - Diss., Bonn.

- ROESCHMANN, G. (1972): Zur Problematik der Reinheit von Kartiereinheiten auf Bodenkarten aus der Sicht der systematischen bodenkundlichen Landesaufnahme. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch., 16, 79-88, Göttingen.
- SCHLICHTING, E. (1970): Bodensystematik und Bodensoziologie. - Z.Pflanzenern., Bodenkde 127, 1, 2-9, Weinheim/Bergstraße.
- SCHLICHTING, E. (1972): Bodengesellschaften als Grundlage der Landschaftsplanung. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch., 16, 30-36, Göttingen.
- SCHMIDT, J. (1975): Physiotopegefüge und ihre Interpretation für Meliorationen - dargestellt am Beispiel des Ostlausitzer Berglandes. - Abhandlungen u.Berichte d.Naturkundemuseums Görlitz, 49, 2, Görlitz.
- SCHMIDT, R. (1971): Ergebnisse und Fortschritte in der Erforschung der Struktur der Bodendecke für die Charakterisierung heterogener Standorte. - Arch.Bodenfruchtbarkeit u.Pflanzenprodukt. 15, 1, 5-21, Berlin.
- SCHMIDT, R. u. G.HAASE (1980): Die Heterogenität der Bodendecke und ihr Einfluß auf Bodenfruchtbarkeit, Melioration und Landeskultur. - Peterm.Geogr.Mitt. 124, 1. 11-18, Leipzig.
- STÄBLEIN, G. (1978): Geomorphologische Detailaufnahme. - Berliner Geographische Abhandlungen, H.30, 63-78, Berlin.
- SCHROEDER, D. (1969): Bodenkunde in Stichworten. - Verl.Ferdinand Hirt, Kiel.
- SCHWERDTFEGER, G. (1981): Die Assoziation als Grundeinheit eines Systems der Bodengesellschaften. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch., 32, 689-694, Göttingen.

Auf Beschluß des Arbeitskreises wird das in vorangegangener Arbeit besprochene "Formblatt zur Erfassung bodenkundlicher Flächeninhaltsbeschreibungen" mit zwei Beispielen abgedruckt. Aus Platzgründen ist das Formblatt in zwei Teilen dargestellt; es kann durch Zusammenkleben an den kenntlich gemachten Stellen auf die ursprüngliche Form gebracht werden.

Aufbau und ökologische Auswertung
der Bodengesellschaftskarte Berlins

von
Grenzius, R.⁺⁾ und H.-P. Blume⁺⁺⁾

Bodenkarten werden seit langem erstellt, beschränken sich bisher jedoch weitgehend auf außerstädtische Bereiche. In Auftrag gegebene Gutachten an das Institut für Ökologie - Bodenkunde - in den letzten Jahren zeugen jedoch von der Notwendigkeit ökologischer Untersuchungen auch im innerstädtischen Raum. Dabei zeigt sich, daß auf Aufschüttungsflächen, die in der Innenstadt Berlins vorherrschen, Bodenentwicklungen ablaufen und es sich deshalb auch um Böden handelt.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen eines Interdisziplinären Forschungsprojektes eine Bodenkarte von Berlin (West) im Maßstab 1 : 50 000 erstellt. Grundlage dafür sind, unter Zuhilfenahme einer großen Anzahl von Grundlagenkarten (Tab. 1), über das gesamte Stadtgebiet verteilte Aufgrabungen und Kartierungen, die zuerst in den Forsten und auf landwirtschaftlichen Flächen ohne besondere Schwierigkeiten durchgeführt wurden.

Anders sieht es jedoch bei bodenkundlichen Arbeiten im eigentlichen Siedlungsgebiet aus, da umfangreiche Vorarbeiten notwendig sind. Es tritt eine Vielzahl von Möglichkeiten auf, die Kartierungsarbeiten verhindern kann. So hängt die Arbeit von Genehmigungen und Vorsichtsmaßnahmen ab, z. B. von der Einsicht in die Leitungspläne.

Nach der Auswertung von Grundlagenkarten , Kartierungsergebnissen, Aufgrabungen, Laboranalysen läßt sich die Bodenkarte erstellen, deren Aufbau sich wie folgt gestaltet:

Mehrere Böden werden wie in diesem Maßstab auch üblich gruppiert, da auf einer kleinmaßstäblichen Karte (1 : 50 000) eine Darstellung von Einheiten einzelner Bodentypen nur noch selten möglich ist. Dabei werden räumlich zusammenhängende Böden, die eine funktionale Einheit bilden, zu Bodengesellschaften zusammengefaßt (Schlichting, 1970). Bei ihnen wird die Zusammengehörigkeit durch eine Interdependenz der bodenbildenden Prozesse begründet, d. h. die Glieder einer

⁺⁾ Institut für Ökologie - Bodenkunde - Englerallee 19/21, 1000 Berlin 33

⁺⁺⁾ Institut für Pflanzenernährung u. Bodenkunde, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel 1

GRUNDLAGENKARTEN zur Auswahl von Kartierungsgebieten, -punkten und zur Abgrenzung auf Bodenkarten
 + flächendeckend für das Stadtgebiet vorhanden

Karten	Maßstab	Verwendung bei der Kartierung u. Erstellung der BK 50	Grundlage für die Erfassung	
Geologische Karte +	1 : 50 000	Auswahl von Kartierungsgebieten u. Abgrenzung von Bodenlandschaften	<u>Stadttrandbereich:</u>	<u>Siedlungsbereich:</u>
Geologische Karten +	1 : 25 000	Auswahl von Kartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodenformen und -landschaften	Forsten	Parks
Geologische Karten	1 : 10 000	Auswahl von Kartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodenformen und -landschaften	Landschaftsparks	Grünanlagen
Geomorphologische Karte + (Deutscher Planungsatlas - Atlas von Berlin)	1 : 100 000	Benennung natürlicher Formen der Geomorphologie Berlins	Rieselfelder	Kolonien
Standortformenkarte der Forsten	1 : 25 000	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodentypen, Bodenlandschaften	Ackerflächen	Friedhöfe
Agrargeognostische Karten	1 : 25 000	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodenformen, Bodenlandschaften	Gärtnereien	Freibäder
Topografische Karten +	1 : 25 000	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodenformen, Bodenlandschaften	Baumschulen	Straßenränder
Topografische Karten +	1 : 4 000	Auswahl von Kartierungspunkten, Abgrenzung von Bodentypen		Flughäfen
Karten der GW-Höhenkurven von Mai u. Nov. + (Gewässerkundlicher Jahresbericht)	1 : 50 000	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Benennung GW-naher Bereiche mit vermutetem Anschluß von Bäumen		Sportanlagen
Karten der GW-Höhenkurve vom 15.10.1945 sowie September 1870	1 : 50 000	Rekonstruktion von ehemaligen GW-Ständen sowie Bestimmung reliktsicher, hydromorpher Böden		Wohnsiedlungen
Historische Karten	unterschiedl.	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Darstellung von ehemaligen Standortverhältnissen		Innenstadtgebiete
Karte der Flächennutzung + (Übersichtskarte) des Senators für Bau- u. Wohnungswesen)	1 : 50 000	Auswahl von Kartierungsgebieten der Innenstadt, Abgrenzung von Bodentypengruppen (Innenstadt) und -landschaften		Industrieflächen
Karte der Freiflächenversorgung (SenBauWohn)	1 : 50 000	Abschätzung des Versiegelungsgrades		Truppenübungsplätze
Gebäudeschädenkarten von 1945 +	1 : 25 000	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodentypengruppen der Innenstadt		Gleisanlagen
Luftbilder	1 : 4 000	Abschätzung des Versiegelungsgrades		Mülldeponien
außerdem Liste der Aufschüttungen in Berlin	-	Auswahl von Detailkartierungsgebieten, Abgrenzung von Bodentypengruppen		Trümmerberge

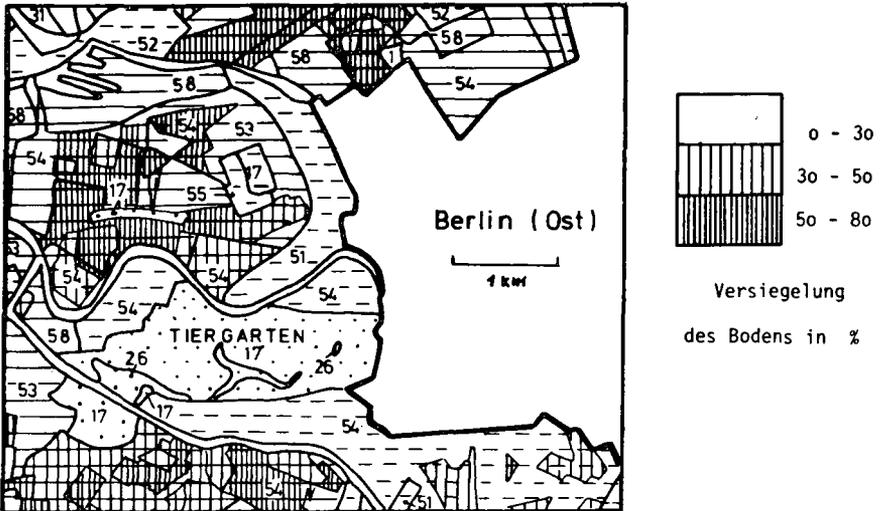


Abb.1: Ausschnitt aus der BK 50 von Berlin (West) (verkleinert)

Einheit	Bodengesellschaft	Geomorphologische Einheit, Nutzung
17	vgBe - GlBe	Periglazial-fluviale Talsande
26	BeGl - Gl	Humid-fluviale Talsande
51	LSy + Re + Pr	Gleisanlagen
52	Re + Pr + Ho	Siedlungsflächen, Straßen
53	LSy+HoRe + Pr	Dichte, Innenstadtbebauung, im Krieg nicht zerstört
54	LSy + Re + Pr	Innenstadt, Straßen der Innenstadt
55	Pr + KRe + LSy	Trümmerberg
58	LSy + Re + Pr	Industrieflächen

Kurzbezeichnungen der Böden:

vgBe	vergleyte Braunerde	KRe	Kalkregosol
HoBe	Hortisolbraunerde	HoRe	Hortisolregosol
GlBe	Gleybraunerde	Ho	Hortisol
BeGl	Braunerdegley	Pr	Pararendzina
Gl	Gley	LSy	Lockersyrosem
Re	Regosol		

Abstufungen verschiedener Landnutzungsformen nach dem Grad des Kultureinflusses auf den Boden (nach Blume und Sukopp 1976)

	α - euhemerob	- Kolonie, Friedhof, Park (Wechsel von Aufschüttung und natürlichem Boden), Flughäfen
	polyhemerob	- Kolonie auf Aufschüttung, Kolonie in Kiesgrube, Park vorwiegend auf Aufschüttung, Trümmerberg, Siedlung, Aufschüttung Toteissenke, Wiese auf Aufschüttung, Gleisanlagen, Acker auf Aufschüttungsanden, Truppenübungsgebiete, Kiesgrube, Straßen im Siedlungsgebiet
	metahemerob	- Industrieflächen, Innenstadtbebauung in geschlossener Bauweise, Straße der Innenstadt

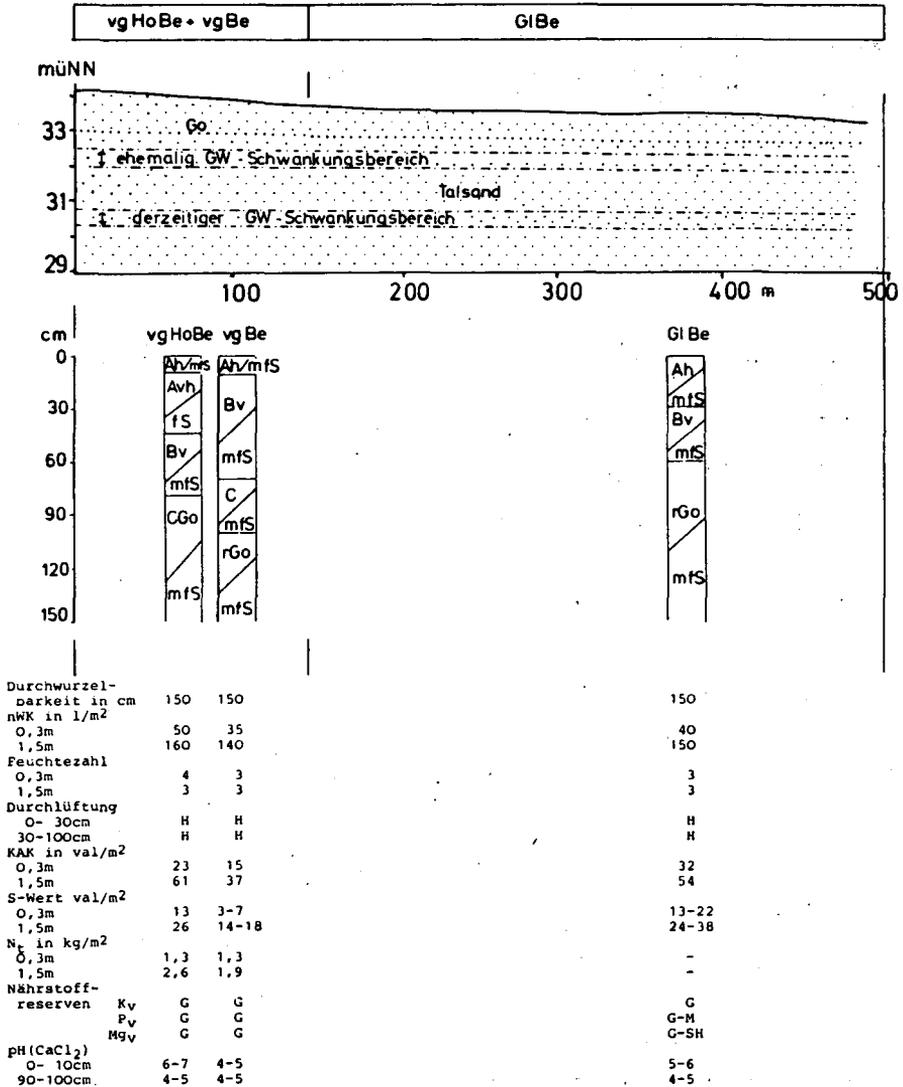


Abb. 2: Aufbau und ökologische Eigenschaften einer α -euhemeroben, kaum versiegelten, vergleyten Braunerde-Gley Braunerde-Bodenschicht periglazial-fluvialer Talände Berlins (Einheit 17; Lage u. Abkürz. s. Abb. 1; G:gering, M:mittel, SH:sehr hoch bzw. -stark)

Bodengesellschaft bilden ein Wirkungsgefüge. Somit werden dann auch Informationen über den stofflichen Transport zwischen den Böden verfügbar, so zum Beispiel von der Hochfläche zur Senke.

Auf der Bodenkarte sind demnach Bodenlandschaften, nach Schlichtung, die flächen-

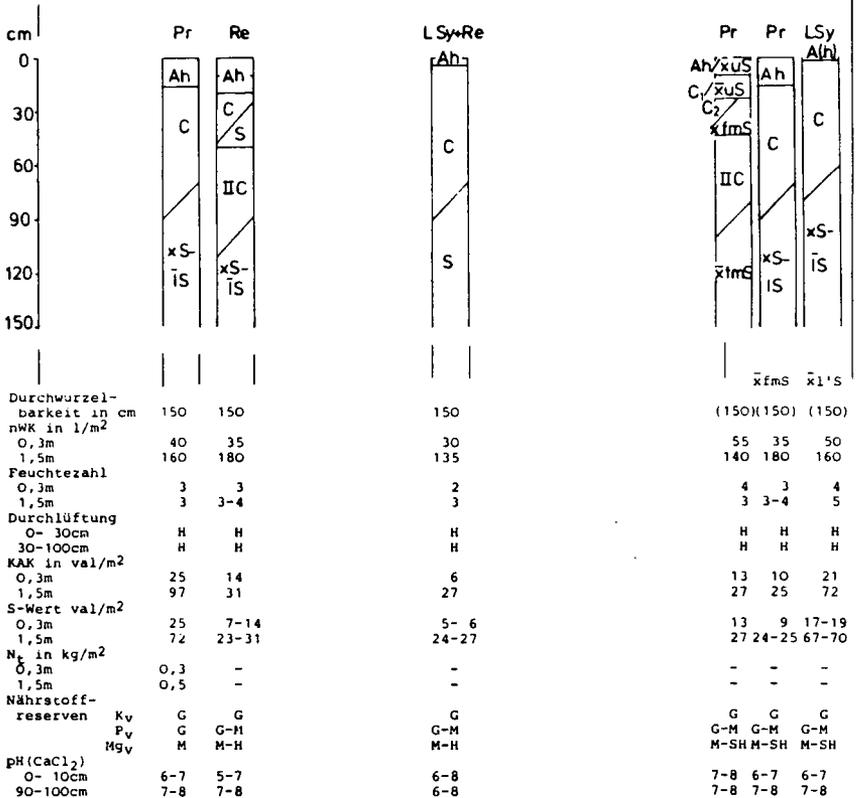
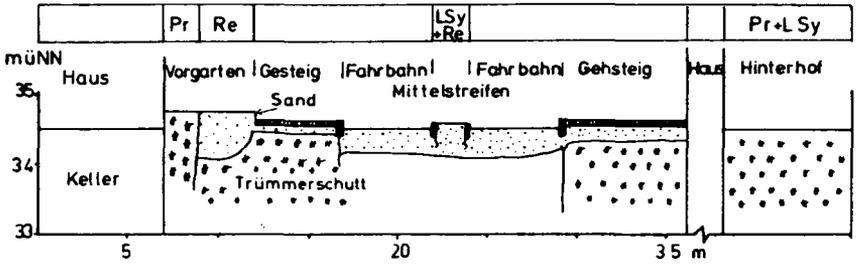


Abb.3: Aufbau und ökologische Eigenschaften einer poly- bis metamerenen, zu 20-80 % versiegelten Bodenschicht mit Regosolen aufgeschütteter Sande und Lockersyrosomen bzw. Pararendzinen aus Trümmerschutt der Innenstadt Berlin (Einheit 54; Lage s. Abb. 1; Abkürz. s. Abb. 1,2)

haften Abbildungen von Bodengesellschaften dargestellt. In einzelnen Fällen können sie zur Erhöhung der Genauigkeit auf der Karte in Bodengruppen aufgeteilt werden. Die Grenzziehung zwischen Bodengesellschaften erfolgt im Wasserscheidenbereich und in Senken. Benachbarte Einheiten können somit gleiche Anfangs- oder Endglieder aufweisen. In Ebenen kann das Wirkungsgefüge durch GW bestimmt sein,

auf den Grundmoränenplatten aus Geschiebemergel durch das Sandkeilmuster. Die Benennung einer Bodengesellschaft in der Legende erfolgt verkürzt durch das Wirkungsgefüge charakterisierende Böden, wobei Anfangs- und Endböden der Gesellschaft und meist ein den stofflichen Transport wiedergebender Boden angegeben sind.

Die Böden Berlins sind jedoch unterschiedlich stark vom Menschen verändert bzw. in unterschiedlichem Ausmaß durch andere ersetzt worden. Wo anthropogene Böden dominieren, ist der Bodenaufbau und sind die Bodengesellschaften nicht vom Relief und im Falle Berlins selten vom GW-Stand bestimmt, sondern durch die Nutzungsart und vom Auftreten sowie der Zusammensetzung von Aufschüttungen. Die Innenstadt läßt sich somit in unterschiedliche Bodentypengruppen, unter Verwendung der Flächennutzungskarte, der Gebäudeschädenkarte von 1945 und unter Berücksichtigung der Bauweise und des Versiegelungsgrades (Tab. 1) gliedern.

Die Bodenkarte hat neben der Funktion, einen Überblick über die Bodengesellschaften der Stadt zu verschaffen (Abb. 1), auch die Aufgabe, über ein Erläuterungsheft Detailkenntnisse von der Lage der Böden im Gelände über deren ökologische Eigenschaften Auskunft zu geben. Aus diesem Grund ist für jede in der Legende aufgeführte Einheit ein Landschaftsschnitt erstellt worden, der das vollständige Bodengefüge der Einheit zeigt, das auf der Legende nur verkürzt durch diagnostische Böden dargestellt ist.

Im folgenden werden zwei Beispiele aufgeführt, die die Böden und ihre ökologischen Eigenschaften im Landschaftsschnitt demonstrieren. Ein Großteil des zentral gelegenen Stadtparks Tiergarten ist durch Einheit 17 (Abb. 1 und 2) wiedergegeben. Der ursprüngliche Bodenaufbau der Talsandfläche ist trotz anthropogener Veränderungen der oberen Dezimeter, charakterisiert durch die Hortisolbraunerde, noch zu erkennen.

Demgegenüber haben sich in der Umgebung, beispielsweise Flächen der Einheit 54 (Abb. 1 und 3), auf Trümmerschutt des 2. Weltkrieges und aufgeschütteten Sanden andere Böden entwickelt. Auf Brachflächen, in Vorgärten und auf Hinterhöfen haben sich Pararendzinen, Lockersyroseme und Regosole herausgebildet. Sie weisen andere ökologische Eigenschaften als die ursprünglich vergleyten Braunerden und Gleybraunerden auf.

Literatur

- Blume, H.-P. u. H. Sukopp: Schriften f. Vegetationskunde 10 (1976) 75-89.
Schlichting, E.: Z. Pflanzenern. Bodenkunde 127 (1970) 1-9.

Bodenregionalisierung aus Vorinformationen und
durch Modellierung zur Feststellung der Boden-
eignung für Winterroggenertrag

von
Kneib, W.D.⁺)

Mit dem Begriff "Bodenregionalisierung" werden Verfahren zusammengefaßt, die aus der punktuellen Erfassung bodeneigener Merkmale eine Aussage auf Flächen ähnlichen bodenkundlichen Inhalts ermöglichen. Unter "Vorinformationen" werden Flächeninformationen verstanden, die in Beziehung zur Struktur der Bodendecke stehen. Das Ergebnis einer Bodenregionalisierung wird in der Regel durch Bodenkarten wiedergegeben. Ihre funktionale Anwendbarkeit hängt wesentlich von einer zweifelsfreien Definition der auftretenden Einheiten ab. Dies gilt sowohl für die regionale und inhaltliche Abgrenzung als auch für die funktionale Bewertung.

Untersuchungen zur kleinräumigen Variabilität (KNEIB, 1979) haben für die Vorgeest in Schleswig-Holstein folgende Grundsätze ergeben:

1. Die kleinräumige Variabilität auf Bodentyp- und Subtypebene ist mit den herkömmlichen Profildichten nicht erfaßbar, eine Darstellung von Pedotopen oder Bodeneinheiten (SCHROEDER, 1978) in Karten daher nicht möglich.
2. Isotope Karteneinheiten (als Voraussetzung für eine Anwendbarkeit der Bodenkarte) sind nur durch Bodenformengesellschaften zu definieren. Die Verteilung innerhalb einer solchen Einheit ist nur über statistische Verfahren zu sichern.

Karten, die Einheiten größter Homogenität ausweisen sollten (Pedotop-Niveau), sind daher nur in Maßstäben größer als 1:5000 zu produzieren. Zu allen anderen Maßstäben ist es anzustreben, die Karteneinheiten durch eine definierte Heterogenität inhaltlich zu beschreiben. Die regionale Abgrenzung der Einheiten kann zum einen aus der Lage der Profile konstruiert werden, zum anderen bietet die Kausalkette der Pedogenese die Möglichkeit, aus gleicher Faktorenkonstellation auf gleiche Struktur der Bodendecke zu schließen. Sind die Faktoren flächendeckend erfaßbar, dann ist auch eine Abgrenzung von Einheiten gleicher bodenkundlicher Ausstattung zu erwarten.

⁺Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Olshausenstr.40-60, 2300 Kiel 1

Dieses Verfahren wird auch von der traditionellen Bodenkartierung benutzt, ohne jedoch oftmals im Einzelfall die Kriterien der Abgrenzung offenzulegen und damit eine reproduzierbare Kartierung zu ermöglichen. Der statistische Ansatz im Kartierprinzip bietet eine repräsentative Stichprobe, die es gestattet, Gebiete gleicher Faktorenausprägung über eine Bodenformen-Verteilung zu kennzeichnen (s.a. KNEIB, 1979).

Am Beispiel des Hauptuntersuchungsgebietes Neumünster-Nortorf wurden die digitalisierten Vorinformationen Relief, Vorflutsystem, Bodenart (Reichsbodenschätzung, RBS) und der langjährige Nutzungswandel (seit 1790) für jedes Bodenprofil ausgewertet und deren Trennfähigkeit für eine bestimmte Bodentypenverteilung für zwei Stichprobengrößen getestet. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 wiedergegeben. Die Auswahlkriterien, die aus den Vorinformationen abgeleitet wurden, ergeben sehr unterschiedliche Gesamtheiten, die zwischen 1 und 65 % der Profile (weitgehend auch der Fläche) entsprechen. Bei der Zusammenfassung dieser Verteilung wurde von der Annahme ausgegangen, daß etwa 70 % Häufigkeit benachbarter Böden erreicht werden sollte: Es wird deutlich, daß kein einzelner Bodentyp in dieser Häufigkeit innerhalb einer vorabdefinierten regionalen Einheit allein auftritt. Unter dem Gesichtspunkt der geringsten Variabilität (möglichst wenige Bodentypen) bei gleichen prozentualen Häufigkeiten besitzen die Reliefangaben "Rücken (mit aufgesetzter Kuppe)" und die RBS-Angabe "Moor" die beste Trennfähigkeit.

Bei der Zusammenfassung von drei Typen bzw. Sub-Typen erreichen mehrere Kriterien über 75 %. Es sind dies z.B. die Bereiche mit anlehmigem Sand (RBS) als Braunerde-Pseudogley-Gebiet und die Moor/Sand-Flächen als Moor-Gley-Gebiete, die auch durch die Dauergrünlandfläche (zu 80 %, basierend auf historischen Karten) abgetrennt werden können. Es ist zu erkennen, daß Bereiche starker Grundwasser-Hydromorphierung im Untersuchungsgebiet ebenso klar abgegrenzt werden können wie Bereiche zunehmender Staunässe-Hydromorphierung. Die verbleibenden Bodentypen PG-P lassen sich

Tab.1: Beziehungen zwischen Faktoren (Vorinformationen) und Bodentypenverteilungen im Hauptuntersuchungsgebiet Neumünster-Nortorf
Abkürzungen: MO=Moor, AG=Anmoor-Gley, G=Gley, P-G=Podsol-Gley, G-P=Gley-Podsol, P=Podsol, B=Braunerde, PS=Pseudogley

Vorinformationen +)	Bodentypen											Σ	%
	Σ	MO	AG	G	PG	GP	P	B	PS -B	PS	Σ		
Senke	76			XX	XX	XX	XX					71	65
Kleine Kuppe in Senke	62				XX	XX	XX					60	2
Flacher Hang	32° 47°			32°/32° XX	XX				47°/51° XX	XX	XX	32° 51°	19
Steiler Hang	72							XX	XX	XX		72	2
Rücken (Plateau)	65								XX	XX		65	9
Rücken (Kuppe)	50								XX	XX		75	1
Kuppe	100							XX	XX	XX		80	1
Sand	82			XX	XX	XX	XX					79	59
Anlehm. Sand	80							XX	XX	XX		80	17
Lehmiger Sand	50° 50°			50°/59° XX	XX				50°/41° XX	XX	XX	59° 41°	2
Moor/ Sand	76	XX	XX	XX								77	15
Moor	80	XX	XX									76	6
Vorflutsyst. eng	66	XX	XX	XX								71	10
Vorflutsyst. weit	67						XX	XX	XX	XX		63	25
Dauergrünland	78	XX	XX	XX								80	18
Altes Grünl., heute verändert	60				XX	XX	XX					57	19
Heide, verändert	67				XX	XX	XX					65	20
Daueracker	31° 49°			31°/31° XX	XX				49°/47° XX	XX	XX	31° 47°	39
Zahl	311	MO	AG	G	PG	GP	P	B	PS -B	PS		621	

+) in Karten vorliegend oder durch Parameter reproduzierbar regional definiert

▲ Prozent der Profile
 ■ Gesamtprobe
 * Prozent der angetesteten Bodentypen
 □ Teststichprobe

sehr viel schwerer über die Vorinformationen regional herausarbeiten. Alte Heideflächen geben für diese Bodentypenverteilung eine Häufigkeit von 65 %. Die Reliefeinheit "kleine Kuppen im Senkenbereich" diskriminieren sie zu 60 %. Mit Ausnahme von Kriterien, die ohnehin nur unter 2 % auftreten, liegt die Übereinstimmung der Test- mit der Gesamt-Stichprobe bei \pm 3 %, d.h. bereits mit einer Sondierung von 10 Profilen/100 ha als Zufallsstichprobe können bei Gebieten ähnlicher Struktur sowohl die Trennfähigkeit von Vorinformationen als auch die Kennzeichnung der Verteilung von Bodentypen innerhalb definierter regionaler Einheiten beschrieben werden.

Bei einer hierarchischen Verknüpfung mehrerer Auswahlkriterien (s. Tab. 2) können zwar nicht die Verteilungen verengt (mit Ausnahme bei den Moor-Böden), die Prozentanteile jedoch z.T. deutlich erhöht werden. Die Interkorrelation innerhalb der Vorinformationen läßt hier keine höheren Quoten zu. Sie soll nur am Beispiel der Reliefeinheiten mit der Bodenart demonstriert werden (Tab. 3). Der Einfluß des Reliefs ist in zweierlei Hinsicht erkennbar: Erwartungsgemäß in der Zunahme des Grundwassereinflusses mit abnehmender Höhenlage und zum anderen in der eindeutigen Reliefabhängigkeit der Substrate, die bedingt, daß nur 3 % im Senkenbereich als lehmig angesehen werden können, auf den Höhenlagen dagegen 82 %. Daraus folgt, daß die Reihung der Bodentypen vom Moor bis zum Pseudogley (Tab. 1 u. 2) eine kontinuierliche Skala benachbarter Böden darstellt, die über die Faktoren Relief-Substrat-Wasserhaushalt regional verknüpft sind.

Dieser Tatbestand macht es möglich, bei der Regionalisierung der Böden im Untersuchungsgebiet zwei Wege zu beschreiten:

1. Wie bereits im Konzept dargelegt, wird die systematische Zufallsstichprobe dazu benutzt, den regionalen Vorinformationen im einzelnen oder in einer hierarchischen Verknüpfung Bodentypenverteilungen zuzuordnen. Die Umsetzung dieser Befunde führt zu Karten, deren Grenzen auf den regionalen Vorinformationen beruhen und deren Einheiten durch spezifische Bodentypenverteilungen definiert sind. Eine solche Entwurfskarte kann sowohl die Basis für kleinräumige Kartierungen bieten als auch generalisiert direkt als mittelmaßstäbige Bodenkarte (M 1:25000, 1:50000) Verwendung finden.
2. Abweichend vom Verfahren unter 1 bietet die beschriebene kontinuierliche Nachbarschaft der Böden im Untersuchungsgebiet die Möglichkeit, sie auf einer Distanzskala aufzutragen und jedem Bodentyp damit einen festen Wert zuzuordnen. Moorböden erhalten den Wert 1, Pseudogleye den Wert 9, Podsole den Wert 5. Da sich Relief und Substrat als entscheidende Faktoren im vorliegenden Fall kontinuierlich verändern, ergibt sich die

Tab. 2: Beziehungen zwischen Faktorenkombinationen (Vorinformationen) und Bodentypenverteilungen

Vorinformationen (hierarch.)			Bodentypen									
Relief	Bodenart	Nutzung/ Vorflut	MO	AG	G	PG	GP	P	B	B- PS	PS	%
Senke	Sand	Altes Grünl., später Änd.			XX	XX	XX					74
Senke	Sand	Heide, später Änd.				XX	XX	XX				75
Senke	Mo/S		XX	XX	XX							75
Senke	Mo/S	Dauergrün- land		63/ XX	27 XX	XX						90
Senke	Moor		XX									85
Senke	Moor	Vorflut eng	XX									100
Hang	Anlehmiger Sand								XX	XX	XX	83
Hang	Anlehmiger Sand	Altes Grünl., später Änd.								XX	XX	100
Hang	Sand				XX	XX	XX	XX	XX			84
Rücken										XX	XX	75

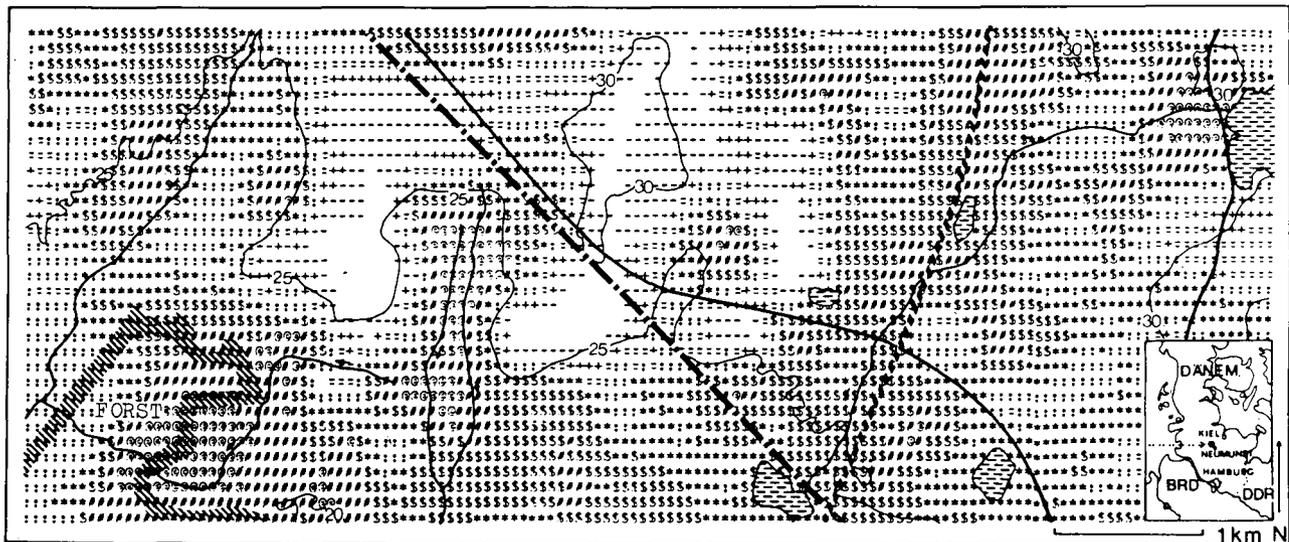
Tab. 3: Beziehungen zwischen Relief und Bodenart (nach der Reichsbodenschätzung)

% Gesamtzahl		Bodenart (RBS) %				
		1S, S1	S	Mo/S	Mo	Summe
Senke	65	3	66	24	7	100
Hang	24	36	61	2	1	100
Rücken	11	82	18	0	0	100

Möglichkeit einer mathematischen Regionalisierung. Mit Hilfe der EDV wurden aus der Gesamt-Stichprobe, die auf ein Raster im M 1:25000 bezogen wurde (Rastergröße 2,54x4,2 mm = 63x105m), für jeden Rasterpunkt der Bodentyp aus den sechs am nächsten gelegenen extrapoliert. Das heißt, von 621 Punkten wird auf 4500 geschlossen; die mittlere Distanz, über die extrapoliert wird, beträgt 124 m. Relief-Substrat-Einheiten, die diese Distanz in ihrer räumlichen Ausdehnung unterschreiten, werden nicht berücksichtigt. Eine Zuweisung einzelner Bodentypen zu Rastern der angegebenen Größe ist aufgrund kleinräumig gemessener Variabilität mit etwa 75 % Sicherheit im Bereich der Vorgeest Schleswig-Holsteins möglich (KNEIB, 1979). Das heißt, daß jede mit einem Bodentyp bezeichnete Rasterfläche zu 75 % den angegebenen Typ enthält, 25 % entfallen auf benachbarte Bodentypen. Auch bei diesem Vorgehen werden also nur Karteneinheiten definierter Heterogenität ausgewiesen.

Im Vergleich zur Entwurfskarte aus Vorinformationen kann in diesem Untersuchungsgebiet durch die mathematische Regionalisierung eine sehr viel präzisere Darstellung der Struktur der Bodendecke erfolgen (s. Darstellung 1). Eine Verbesserung der Vorinformations-Karte mit Hilfe der Luftbildauswertung ist generell nicht zu erwarten. Nach JAKOB (1981) haben Luftbildinterpretationseinheiten in Gebieten ähnlicher Struktur auch nur eine Reinheit von 60-80 % bei annähernd gleicher Assoziation von Bodentypen und Subtypen. Im Detail könnte eine bessere Reliefgliederung durch die stereoskopische Luftbildauswertung erfolgen, die aber im M 1:25000 weitgehend generalisiert werden müßte. Die in Darstellung 1 vorliegende Bodenkarte kann als eine für das Untersuchungsgebiet optimale Regionalisierung auf der Basis von ca. 20 Profilen/100 ha angesehen werden. Sie ist zugleich eine Bodenformenkarte, da eine sehr hohe Korrelation zwischen Bodentypen und Substraten besteht.

Um eine Inwertsetzung dieser Bodenkarte für eine spezifische Pedofunktion zu erreichen (in diesem Fall Winterroggen als Hauptanbauart) wurden an 100 Standorten 140 Ertragsangaben für Winterroggen der Jahre 1974-1978 erfaßt und die den Schlägen zugehörigen Bodenformenverteilungen aus Darst. 1 ermittelt (Einzelheiten dazu s. KNEIB/LAMP, 1981). Die Ergebnisse dieser Untersuchung, angegeben als Prozentsatz des schleswig-holsteinischen Höchstetrags des genannten Zeitraums sowie Streuung und Schiefe der jeweiligen Verteilung der Erträge als Maß für Ertragssicherheit und Trend der Variabilität lassen sich wie folgt zusammenfassen:



	MOOR/ANMOOR ungeeignet		G - P 65% * / -		BRAUNERDE (B) 71% + / *
	GLEY (G) ungeeignet		PODSOL (P) 63% * / --		PS - B 74% - / ++
	P - G 70% * / +		B - P / P - B 68% + / *		PSEUDOGLEY (PS) 66% -- / +

Darst.1: Böden und Nutzungseignung für Winterroggen in % des schleswig-holsteinischen Höchstsertrages. Dahinter Rangskala für Ertragssicherheit/
Trend der Ertragsvariabilität

++ sehr hoch + hoch * mittel - niedrig -- sehr niedrig/
++ sehr positiv + positiv * mittel - negativ -- sehr negativ

1. Die Nutzungseignung für Winterroggen ist im Bezirk Neumünster-Nortorf langjährig deutlich durch die Bodenformenverteilung differenzierbar. Dies wird sowohl in den Spannweiten als auch in den Mittelwerten deutlich.
2. Höchstertragsstandorte sind Pseudogley-Braunerden aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm mit 74 % des Höchstertrages, niedrigste sind die Podsole aus Flug- und Talsanden mit 63 %. Grundwassernähe der Podsol-Gleye kann zu einem mittleren Ertragsanstieg auf 70 % des Höchstertrages führen. Staunässeeinfluß in Pseudogleyen aus Geschiebelehm bewirkt Ertragsdepressionen etwa gleicher Größe (66 %) gegenüber den Pseudogley-Braunerden-Bereichen. Die Ertragssicherheit kann durch die Streuung definiert werden. Sie ist besonders hoch für das B-FS Gebiet, am geringsten für die B-1/P-B-Bereiche. Der Trend in der Variabilität der Ertragsschwankung ist durch die Schiefe der Verteilung zu schätzen. Die linksschiefe Häufigkeitsverteilung für die Erträge in den Podsolgebieten deutet auf einen negativen Trend bei Abweichungen vom langjährigen Mittel hin, für das Pseudogley-Braunerde-Gebiet zeigt die rechtschiefe Verteilung einen positiven Trend der Ertragshöhen (Zusammenfassung in Darst.1).
3. Die entsprechenden Ackerzahlen des Untersuchungsgebietes zeigen insgesamt eine sehr viel schlechtere Bewertung, sowohl Grundwasser- als auch Staunässeeinfluß sind nicht ausreichend berücksichtigt.

Das NATÜRLICHE ERTRAGSPOTENTIAL von winterroggen ist demnach über eine Bodenformenverteilung deutlich besser zu differenzieren als über die Bewertung der Reichsbodenschätzung.

Mit diesen Ergebnissen kann im Untersuchungsgebiet Neumünster-Nortorf die aktuelle Pedofunktion "Nutzungseignung für Winterroggenanbau" regional nachgewiesen und für eine Nutzungsplanung bereitgestellt werden.

Als Vorteile einer so erarbeiteten Bodenkarte sind zu nennen:

1. Der bodentypologische Inhalt der Karteneinheiten ist repräsentativ erfaßt und statistisch sicherbar.
2. Die Wahrscheinlichkeit "homogener" Kartiereinheiten wird ebenso angegeben wie die in ihnen zu erwartende Heterogenität.
3. Die Flächeninhalte werden quantitativ beschrieben: damit ist eine wesentliche Voraussetzung für eine regionale pedofunktionale Bewertung erfüllt.
4. Die Kriterien der Abgrenzung sind reproduzierbar, ihre Übertragbarkeit kann getestet werden, empirisch ermittelte Beziehungen können fixiert und so allen nachfolgenden Bearbeitern zugänglich gemacht werden.
5. Die pedofunktionale Bewertung basiert auf einer quantifizierten Nutzungseignung, die vom Anwender direkt als Maßeinheit benutzt werden kann.

Literatur: JAKOB, J.: Zur Anwendbarkeit der konventionellen Fernerkundung von Böden in norddeutschen Landschaften. Diss. Kiel, 1981. KNEIB, W.: Untersuchungen zur Gruppierung von Böden als Grundlage für die Bodenkartierung. Diss. Kiel, 1979. SCHROEDER, D.: Bodenkunde in Stichworten. Kiel, 1978.

Möglichkeiten des ADV-Einsatzes aus der
Sicht einer LUFA

von
Früchtenicht, K.⁺

Die LUFAN gehören zum Kreis der Massenproduzenten und -benutzer von Bodendaten. Alle Institute bedienen sich mittlerweile der ADV. Die Ergebnisse werden automatisch gespeichert und zumindest in einfacher Form statistisch ausgewertet. Verknüpfung dieser Datenbestände mit anderen Datenbeständen, insbesondere denen der bodenkundlichen Landesaufnahme, zum Zweck intensiverer Auswertung rückt in greifbare Nähe. Dieser Beitrag schildert, wie die LUFA Oldenburg, als Beispiel, die ADV zur Zeit nutzt und welche Zukunftsperspektiven sich ergeben.

Umfang der Bodenuntersuchung

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich ca. 500.000 Bodenproben auf pH und Nährstoffe untersucht, an der LUFA Oldenburg jährlich ca. 80.000. In Weser-Ems besteht ein Bodenuntersuchungsdienst, dem 14.000 Betriebe fest angeschlossen sind. Ein Stab von 5 Bezirksveratern mit 50 Probenehmern sorgt dafür, daß in jedem angeschlossenen Betrieb alle 3 Jahre Bodenproben gezogen werden. Auf diese Weise werden ca. 50 % der landwirtschaftlichen Fläche regelmäßig untersucht.

Die Grunduntersuchung, der jede Probe unterzogen wird, umfaßt pH, P, K, Mg, Cu. Bei einem kleineren Teil der Proben finden je nach Wunsch der Einsender Untersuchungen auf Spurennährstoffe, Körnung, Humus, Stickstoff und anderes statt.

⁺ Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt der
Landwirtschaftskammer Weser-Ems
Mars-la-Tour-Str. 4, 2900 Oldenburg

Organisatorischer Ablauf

Die Proben werden in der Regel von Probenehmern gezogen, deren Einsatz von den 5 Bezirksberatern gesteuert wird. Die Bezirksberater versorgen die Probenehmer mit den nötigen Unterlagen. Ganz besonderen Wert legen wir auf eine eindeutige und auch nach Jahren reproduzierbare Kennzeichnung der Parzellen. Aus diesem Grund fertigen die Bezirksberater Kartenskizzen an. Dabei hat sich der Maßstab 1 : 10.000 am besten bewährt, weil er zuläßt, daß einerseits die zu einem Betrieb gehörigen Ländereien in der Regel auf ein DIN A4- oder A3-Blatt passen und andererseits die einzelne Parzelle hinreichend klar dargestellt wird. In der für jeden Betrieb gesondert hergestellten Kartenskizze werden die einzelnen Probenahme-parzellen (im Mittel 2 ha, bei großen Schlägen mehrere je Schlag) farbig hervorgehoben und deutlich lesbar nummeriert. Die Nummern bleiben den Parzellen fest zugeordnet, d.h. auch nach 3, 6, 9 u.s.w. Jahren tragen die Parzellen die gleiche Nummer. Diese Konstanz ist un-abdingbare Voraussetzung für jede wiederholte Nutzung von Daten.

Die Parzellennummern erscheinen auf den Proben-tüten, in der Bodenprobenliste, die die Proben begleitet und im Untersuchungs-befund, den der Landwirt später erhält. Der Landwirt erhält zusammen mit dem Befund eine Kopie der Karte. Die in die Bodenprobenliste einzutragenden parzellenbezogenen Daten sind Bezeichnung (Nr.), Nutzung (Acker, Grünland), Bodentyp (zur Zeit nur Marsch, Moor-marsch, Sandmischkultur jünger als 10 Jahre), Bodenart (Körnung und Humus) sowie die gewünschten Analysen.

Bei der Annahme im Institut erhalten die Proben eine laufende Analysennummer, die sowohl auf die Schachteln als auch in die Bodenprobenlisten geschrieben wird. Es besteht also ein betriebs-bezogenes und ein laborbezogenes Nummernsystem. Während die Proben zum Trocknen und Mahlen gehen, kommen die Listen ins Büro zur Eingabe der Auftragsdaten in die ADV-Anlage. Nach Eingabe der Auftragsdaten druckt die Anlage 4 verschiedene Arten von Labor-listen für die verschiedenen Laborbereiche. Diese Laborlisten er-sparen viel Schreibarbeit und ermöglichen auch ein gewisses

feed back, wie weiter unten dargelegt wird. Nach dem Ausfüllen der Laborlisten mit Analysendaten mit anschließender Kontrolle durch den Laborleiter erfolgt die Eingabe der Daten in die ADV-Anlage und danach das automatische Auswerten und Drucken der Befunde. Die Befunde enthalten nicht nur die Analysenergebnisse, sondern auch den Kalkbedarf und für die Nährstoffe die Gehaltsklassen. Die von den Gehaltsklassen abzuleitenden Düngungsempfehlungen stehen auf einem gedruckten Beiblatt.

Probleme bei der Berücksichtigung von Körnung und Humusgehalt

Körnung und Humusgehalt spielen eine wichtige Rolle bei der Auswertung der Analysenergebnisse. So nehmen z.B. die Aufkalkungsziele mit zunehmendem Humusgehalt von pH 5,5 bei schwach humosem Sand auf pH 4,0 bei Moorboden an. Mit zunehmendem Tongehalt steigen sie von pH 5,5 bei Sand auf pH 7,0 bei Ton. Aus unterschiedlichen Aufkalkungszielen resultieren außerordentlich große Unterschiede beim Kalkbedarf. Auch die Grenzwerte der Nährstoffgehaltsklassen werden in Abhängigkeit vom Ton- und Humusgehalt verschieden noch angesetzt.

Leider werden Körnung und Humus in der Regel nur durch Fingerprobe geschätzt. Der stoßartige Probeneingang im Herbst, Raum- und Personal-mangel lassen in Oldenburg zur Zeit nur eine Schätzung im getrockneten Zustand zu. Schätzfehler sind unvermeidlich, besonders beim Humusgehalt schwerer Böden. Es kommt vor, daß z.B. ein Moormarschboden nicht als anmooriger Ton, sondern als humoser Ton eingeschätzt wird, mit der Folge, daß der Landwirt eine weit überzogene Kalkempfehlung erhält. An dieser Stelle suchen wir dringend nach Abhilfe. Die perfekte Lösung wäre die Untersuchung jeder Probe auf Körnung und Humus. Dies lassen die begrenzte Laborkapazität und die Kosten nicht zu.

Um die Fehleinschätzungen wenigstens teilweise zu reduzieren, haben wir folgenden Weg beschritten: Wir lassen für alle Proben, an denen Körnungs- oder Humusgehaltsanalysen stattfinden, die Körnungs- und Humusgehaltsklasse automatisch durch die ADV speichern. Die Daten bleiben im direkten Zugriff, sie sind über Betriebs-Nr. und Parzellen-Nr. jederzeit wieder abrufbar. Wenn eine Probe aus dem gleichen Betrieb und von der gleichen Parzelle wieder zur Untersuchung kommt, werden Körnung und Humus vom System automatisch abgerufen. In der vom Computer erstellten Laborliste erscheinen dann diese Daten an Stelle der eventuell abweichenden Angaben des Probenehmers oder Landwirts. Neben die aus dem Speicher abgerufene Bodenart setzt der Computer eine Kennziffer. Dadurch weiß der Laborant, der die Fingerprobe macht, daß diese Angabe auf einer früheren

Analyse beruht und daher besonders verlässlich ist.

Die Bodendatei, die sich im Lauf der Jahre füllt, ist ein winzig kleiner Anfang in Richtung auf eine umfassende Bodendatenbank. Wir haben dabei die Erfahrung gemacht, daß der Abruf gespeicherter Daten in der Routine möglich ist und wertvolle Dienste leistet.

Nutzungsmöglichkeiten eines bodenkundlichen Informationssystems

Ein Informationssystem kann Daten bereithalten, die zur Verbesserung der Treffsicherheit der Düngebedarfsermittlung für die einzelnen Parzellen nötig sind und andererseits die in der LUFA anfallenden Analyseergebnisse zum Zweck vielseitiger Auswertung aufnehmen.

Die insgesamt für die Ermittlung des Düngebedarfs benötigten Daten lassen sich wie folgt gruppieren (unterstrichen: für die Gewinnung aus Datenbank geeignet):

Für die Ermittlung des Düngebedarfs benötigte Daten

1. Daten der eingesandten Bodenproben:
an jeder Probe untersucht: pH, P, K, Mg, Cu
seltener untersucht: Mikronährstoffe, Krönung, Humus, KAK u.a.
2. Bodendaten, die nicht im Labor zu gewinnen sind:
geologisches Ausgangsmaterial
Profilmerkmale; Bodentyp
Durchwurzelbarkeit
Wasserhaushalt (Grundwasser, Stauwasser, NFK, effekt. Wurzelraum)
3. Andere kartierbare Daten:
Ertragspotential
Klima
4. Betriebliche, ständig wechselnde Daten:
Pflanzenart, Vorfrucht, Anbaumassnahmen, Mäh- oder Weidenutzung beim Grünland

Ein wesentlicher Teil der Daten läßt sich in der erforderlichen Menge und Geschwindigkeit nur mittels Datenverarbeitung aus einer Datenbank gewinnen.

Die noch zu schaffenden Voraussetzungen für die Nutzung solcher Daten sind:

- Eine flächendeckende Datenbank muß vorhanden sein.
- Eine Verknüpfung zwischen Bodenprobe und Datenbank muß z.B. über Digitalisiergeräte leicht herstellbar sein.
- Der Einfluß der Daten auf den Düngebedarf muß quantifiziert sein.
Hierzu sind weit mehr Düngungsversuche erforderlich, als bisher durchgeführt wurden.

Der Weg bis zum Ziel ist langwierig und enorm kostenaufwendig. Dennoch wird der Nutzen die Kosten voraussichtlich weit übertreffen. Die statistische Auswertung der bei der Bodenuntersuchung anfallenden Ergebnisse kann mit Hilfe einer Bodendatenbank weit intensiver und vielseitiger erfolgen als bisher. Die üblichen Bodenuntersuchungsstatistiken enthalten Häufigkeitsverteilungen der Nährstoffgehaltssklassen, gruppiert nach Landkreisen und allenfalls nach Bodenarten. Wie aufschlußreich wäre eine differenzierte Verknüpfung mit bodenkundlichen Daten sowie eine kartografische Auswertung!

Seit einigen Jahren finden in zunehmender Zahl Schwermetalluntersuchungen statt. Auch diese Daten könnten mit Hilfe eines Informationssystems weitaus umfassender und schneller ausgewertet und kartografiert werden als dies zur Zeit möglich ist.

Der Weitergabe von Analysendaten an ein öffentlich zugängliches Informationssystem setzt der Datenschutz bestimmte Grenzen. Die Institute sind den Einsendern von Proben gegenüber zur Verschwiegenheit verpflichtet. Auswertungen sind nur als anonyme Statistik ohne Bezug zum einzelnen Auftraggeber bzw. Grundstück statthaft. Die Belange des Datenschutzes sind um so sorgfältiger zu berücksichtigen, je leistungsfähiger ein Informationssystem ist.

Zusammenfassung

Bei der routinemäßigen Bodenuntersuchung wird jährlich eine sehr große Zahl von Proben zum Zweck der Düngebedarfsermittlung untersucht. Zur Zeit ist es nicht möglich, alle den Düngebedarf beeinflussenden Daten zu messen bzw. berücksichtigen. Ein Informationssystem könnte viele dieser Daten bereitstellen und so zu einer großen Verbesserung der Düngebedarfsermittlung beitragen. Voraussetzung sind neben einer flächendeckenden Da-

tenbank die entsprechende Eichung, wofür wesentlich mehr Feldversuche als bisher nötig sind. Ein Informationssystem eröffnet auch die technische Möglichkeit der Einspeisung von Analysendaten mit sehr aufschlußreichen Auswertungsmöglichkeiten. Dabei ist es notwendig, die durch den Datenschutz gesetzten Grenzen äußerst sorgfältig zu beachten.

Literatur

Vetter, H. und Früchtenicht, K.: Wege zur Ermittlung des Düngedarfs mit größerer Treffsicherheit. Landwirtsch. Forsch., Sdh. 31, 290-320, 1975

Vetter, H. und Früchtenicht, K.: Untersuchungen zur Ermittlung des Phosphatdüngedarfs. Landwirtsch. Forsch. Sdh. 33/I 134-168, 1977

Vetter, H. und Mitarbeiter: Wieviel düngen? DLG-Verlag, Frankfurt/M. 1977

Vetter, H. und Früchtenicht, K.: Berücksichtigung von Standort, Bodenzustand und Wirtschaftsbedingungen bei der Auswertung der Bodenuntersuchung. Landwirtsch. Forsch. Sdh. 36, 438-451, 1980

Gruppierung geopedologischer Merkmale im Rahmen
umweltchemischer Belastbarkeitsanalysen*

von
Hoffmann, D.[†]

Einleitung

Die im folgenden vorzulegende Untersuchung beschäftigt sich am Beispiel des Meßtischblattes (1924) Hennstedt mit dem Aussagewert geowissenschaftlichen Kartenmaterials für eine Belastbarkeitsabschätzung von Böden in bezug auf Umweltchemikalien. Das Gefährdungspotential einer Chemikalie ergibt sich dabei aus den durch physikalisch-chemische Substanzeigenschaften abzuleitenden Interaktionen mit dem hochkomplexen Wirkungsgefüge des Ökosystemkompartimentes Boden. Die systemare Erfassung der das Chemikalienverhalten maßgeblich steuernden Parameter bildet die Grundlage einer Belastbarkeitsvorhersage.

Ökosystemare Beziehungsstrukturen

Der Chemikalienverbleib im Boden wird im wesentlichen durch die Prozesse der Verteilung, Sorption und Dekomposition gesteuert. Die direkten Beziehungsstrukturen zwischen diesen werden durch pedologische Parameter mehr oder weniger modifiziert, wie aus einer Matrixdarstellung in Tabelle 1 hervorgeht. Die Beschreibung der Interaktionen ist hier durchgehend qualitativer Art, da es aufgrund der raum-zeitlichen Variabilität des Systems häufig noch nicht möglich ist, quantitative Abhängigkeiten eindeutig zu definieren. Bislang durchgeführte Versuche an isolierten Bodenkomponenten sind nur mit großen Einschränkungen auf natürliche Systeme übertragbar. Der mögliche Einfluß von stoffspezifischen Eigenschaften der in die Umwelt eingebrachten Chemikalie auf Verteilungs-, Sorptions- und Dekompositionsprozesse wird in Tabelle 2 dargestellt.

* Auszug aus einer mit Unterstützung des Bundesministeriums des Innern/ Umweltbundesamt durchgeführten Studie (FRÄNZLE 1982).

† Geographisches Institut der Universität Kiel
Olshausenstr. 40, 2300 Kiel

Tab. 1 Beziehungsstrukturen zwischen pedologischen Parametern und Chemikalienverhalten

	V*	S*	D*
Gefüge	x	o	o
mineral. Zus.	o	x	x
Temperatur	x	x	x
Bodenluft/Redox.	x	x	x
biot. Aktivität	o	o	x
org. Substanz	o	x	x
Bodenwasserhaushalt	x	x	x
pH-Wert	x	x	x

Tab. 2 Beziehungsstrukturen zwischen PC-Eigenschaften und Chemikalienverhalten

	V	S	D
Strukturformel	x	x	x
Molekulargewicht	x	x	x
Verteilungskoeffizient	x	x	x
Wasserlöslichkeit	x	x	x
Dissoziationskonstante	o	x	x
Dampfdruck	x	o	o
Schmelzpunkt	x	o	o
Siedepunkt	x	o	o
Biodegradation	o	o	x
Dichte	x	o	o
Spektren	o	o	x
Photodegradation	o	o	x

* V= Verteilung, S= Sorptionsprozesse, D= Dekomposition

Während die PC-Daten von Chemikalien, deren Produktion 1 Tonne/Jahr übersteigt, nach dem Chemikaliengesetz von 1980 vom Hersteller anzugeben sind, stehen entsprechende flächendeckende Bodendaten als Grundlage einer Belastbarkeitsabschätzung im allgemeinen nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung.

Kartenanalyse

Das zur schleswig-holsteinischen Geest gehörende Untersuchungsgebiet verfügt über eine umfangreiche Kartierung. Die Basis aller Kartenblätter bildet die Topographische Karte 1:25 000. Sie wird ergänzt durch die Biotopkartierung zur Erfassung biologisch-ökologisch wertvoller Lebensräume. Darüberhinaus stehen eine Geologische, Petrographische und eine Bodenkarte, sowie eine Höhengschichtenkarte zur Verfügung. Der Informationsgehalt der thematischen Karten ist zum Teil überaus stark differenziert, so daß eine Zusammenfassung einzelner Variablen unter anwendungsbezogenen Gesichtspunkten nötig ist. Über die Karten wird ein Raster mit 361 Quadraten, deren Fläche $2,4 \times 2,4 \text{ cm} = 600 \times 600 \text{ m}$ beträgt, gelegt. Zur Objektivierung der Datenaufnahme wird darauf ein Punkteraster mit einem konstanten Punktabstand von $0,8 \text{ cm} = 200 \text{ m}$ projiziert, so daß das 130 km^2 große Untersuchungsgebiet mit 3249 Informationsstellen belegt ist.

Die Daten der Topographischen, Geologischen, Petrographischen und der Bodenkarte werden pro Rasterpunkt, die der Höhengschichtenkarte pro Rasterquadrat erhoben. Insgesamt werden 56 Variablen, die aufgrund ihres qualitativen Charakters in Binärdaten transformiert werden müssen, aufgenommen und digitalisiert.

Die anschließend durchgeführte Häufigkeitsauszählung und Kreuztabelleierung ermöglichen eine genaue Landschaftsanalyse, die von großer Bedeutung ist, da der Grad der naturräumlichen Differenzierung das Ausmaß der Aggregation von Variablen mitbestimmt.

Zur Klassifizierung der binären Merkmale bietet sich hier das Verfahren der Entropieanalyse, wegen des hohen Rechenaufwandes auf der Basis der 361 Quadratmittelpunkte, an. Es handelt sich dabei um ein Centroid Sorting mit Entropiezuwachs als Fusionskriterium und Entropiemaß als Abstandskriterium. Das Ergebnis des hierarchisch strukturierten Fusionsprozesses wird iterativ verbessert, um Fehlentscheidungen auf dem nächstfolgenden Niveau zu vermeiden.

Die größten Schwierigkeiten bei der Klassifikation ergeben sich aus der Bestimmung der Gruppenzahl. Es kann einerseits der Entropiezuwachs, der hier eine Gruppenzahl von 10, 7 oder 5 Gruppen als sinnvoll erscheinen läßt, herangezogen werden, andererseits bestimmen Differenzierung des Untersuchungsraumes und gewählter Maßstab ebenso die Gruppenzahl wie das substanzspezifische Verhalten der Referenzchemikalie und der generelle Anwendungszweck. Im Rahmen dieser Thematik scheint die Anzahl von 7 Gruppen optimal, weil 10 Grup-

pen die anwendungsbezogene Übersichtlichkeit des Kartenblattes nicht mehr gewährleisten und 5 Gruppen eine Belastbarkeitsabschätzung erbringen würden, die das Gefährdungspotential der Umweltchemikalie nicht adäquat berücksichtigt.

Das Klassifizierungsergebnis aller Merkmale in 7 Gruppen geht aus Tabelle 3 hervor. Durch den Fusionsprozeß rücken die im Datensatz als Hauptmerkmale erscheinenden Variablen in den Vordergrund; dementsprechend erfolgt die Beschreibung der Gruppen durch das jeweils dominante Merkmal eines jeden Kartenblattes, die restlichen Merkmale gehen ebenfalls in die Bewertung ein.

Tab. 3 Struktur der 7 geopedologischen Gruppen

- 1) Podsol und (Feuchtpodsol)*
reiner Sand; Moräne, sandig; Geländeanstieg; starke-sehr starke Neigung; W- u. SE-Exposition; Ackerflächen u. Laubwald
- 2) Podsol und (Feuchtpodsol)
reiner Sand; Moräne, sandig u. (Fluvioglazigene Sedimente)
Geländeanstieg u. Kuppen; mittlere Neigung; NE-E- u. W-Exposition; Ackerflächen
- 3) Pseudogley und Podsol (Parabraunerde)
Ton, sandig - Sand, tonig; Moräne, tonig; Geländeanstieg;
mittlere - starke Neigung; NW- - SW-Exposition; Ackerflächen-
u. Grünland
- 4) Mooreerde
Substrat: Mooreerde; Geologie: Niedermoortorf; Tal; schwache
Neigung der Hänge; NW-Exposition; Grünland u. Ackerflächen
- 5) Feuchtpodsol und Mooreerde
reiner Sand u. Mooreerde; Fluviogl. Sed. u. Ortstein; Ebene;
keine Neigung; keine Exposition; Grünland u. Ackerflächen
- 6) Feuchtpodsol (anmooriger Feuchtpodsol) und Podsol
reiner Sand; Fluviogl. Sed.; Geländeanstieg u. Täler; schwache
Neigung; keine differenzierte Exposition; Ackerflächen
- 7) Podsol und (Eisenpodsol)
reiner Sand; Moräne, sandig; Kuppen u. Täler; starke Neigung;
Exposition stark wechselnd; Ackerflächen u. Grünland

* Die Klammer zeigt, daß dieser Bodentyp geringeren Anteil hat.

Belastbarkeitsabschätzung

Die Belastbarkeit der auf diese Weise gebildeten geopedologischen Gruppen wird im folgenden theoretisch für die Referenzchemikalie 2,4-Dichlorphenoxyethansäure (2,4-D) ermittelt. Die aus einer umfangreichen Literaturlauswertung abgeleiteten Verhaltensmuster der Chemikalie werden durch Freiland- und Laborversuche an ungestörten

Bodenproben aus dem Untersuchungsgebiet (FRÄNZLE 1982) gestützt. Auf der Grundlage der in Tabelle 4 dargestellten Matrix werden für jede der 7 geopedologischen Gruppen die potentiell möglichen Interaktionen mit der Chemikalie in Abhängigkeit von pedologischen und stoffspezifischen Parametern abgeschätzt. Die für die Erstellung einer Belastbarkeitskarte erforderliche qualitative Bewichtung erfolgt unter dem Aspekt einer potentiell gefährlichen Grundwasserkontamination. Der Einfluß wird als positiv (+)= vermindernd bzw. verhindernd, negativ (-)= verstärkend bzw. beschleunigend oder nicht erkennbar (o) eingestuft. In Grenzfällen wird die geomorphologische Gesamtsituation als Zusatzinformation in die Auswertung einbezogen. Daraus folgt, daß die Belastbarkeit der geopedologischen Gruppen gegenüber der Agrochemikalie 2,4- D in der Reihenfolge 3>1>2>7>6>5>4 abnimmt.

Während die dichte Lagerung des Unterbodens der höher gelegene Standorte des Moränenkomplexes einnehmenden Gruppe 3 (vgl. Tab.4) eine schnelle Chemikalienverteilung verhindert, sowie pH-Wert und Sesquioxide eine Adsorption der anionisch reagierenden 2,4- D ($pK_a = 2,73$) bewirken, fördert das Gefüge der auf sandigem Substrat entwickelten Böden der Gruppen 1 und 2 eine schnelle Verteilung. Die Sorptions-

Tab. 4 Beziehungen zwischen pedologischen Parametern der 7 geopedologischen Gruppen und dem Chemikalienverhalten

	1	2	3	4	5	6	7
	V S D	V S D	V S D	V S D	V S D	V S D	V S D
Gefüge	-	-	+	+	+	-	-
mineralische Zusammensetzung	+ -	+ -	++	--	+ -	+ -	- -
Temperatur	0 + +	0 + +	0 + +	0 - -	0 - -	0 - -	0 - +
Luft/Redox.	0 + +	0 + +	0 + +	0 - -	0 - -	0 + -	0 + +
biot. Aktivität	-	-	-	-	-	-	-
org. Subst.	+ -	+ -	+ -	++	++	++	+ -
Bodenwasser	- - -	- - -	- - +	- - -	- - -	- - -	- - -
pH-Wert	+ + -	+ + -	+ + -	0 + -	+ + -	+ + -	+ + -
geomorph. Sit.	+	-			-	+	
positiv	8(9)	8	12	4	6	6(7)	7
Gesamt 0	2	2	2	3	2	2	2
negativ	8	8(9)	4	11	10(11)	10	9
Belastbarkeitsklasse	6	5	7	1	2	3	4

kapazität beider Gruppen hat auch hier einen positiven Einfluß. Da aber die Böden der Gruppe 2 z.T. auf Sander entwickelt sind, muß diesen eine geringere Belastbarkeit zugesprochen werden. Während die Gruppe 7, da sie auf Sander über Moränenmaterial entwickelt ist, eine Übergangstellung einnimmt, sind die Gruppen 6, 5 und 4 auf tiefer gelegenen Geländestellen gegenüber der 2,4-D geringer belastbar. Hohe Grundwasserstände und damit verbunden niedrige Redoxpotentiale sowie das Gefüge dieser Böden führen u.a. zu der Annahme. Die Belastbarkeitsabstufung ergibt sich aus der Bodenzusammensetzung und der Geländesituation.

Abbildung 1 zeigt die Belastbarkeit des Blattes Hennstedt gegenüber der Referenzchemikalie 2,4-D, wobei 1 die geringste und 7 die höchste Belastbarkeit impliziert. Die auf Ordinalskalenniveau angeordneten Gruppen können der Bewertung entsprechend zu Arealen zusammengefaßt werden. Ein Vergleich dieser Abbildung mit den Basis-karten läßt die geologisch-morphologische Zweiteilung des Gebietes in Sander und Altmoräne auch in bezug auf die approximierete Belastbarkeit erkennen, es wird jedoch ebenso deutlich, daß diese Zweigliederung nur in den Grundzügen vorhanden ist. Der Vergleich von Belastbarkeits- und Bodenkarte ergibt, daß die Vorhersage der Umweltchemikaliendynamik im Boden nicht auf der alleinigen Grundlage bodentypologischer Differenzierungen erfolgen darf.

Literatur

- DIEGUEZ-CARBONELL, D. & RODRIGUEZ PASCUAL, C. (1975): Adsorption of the Herbicide 2,4-D by Montmorillonite. - Pesticides. Suppl. Vol. 3, 3. Int. Cong. Pestic. Chem., Helsinki.
- FRÄNZLE, O. (1982): Modellversuche über die Passage von Umweltchemikalien und ihrer Metaboliten durch die ungesättigte Zone natürlicher Bodenprofile sowie durch Bodenschlämme in Laborlysimetern und im Freiland. - Forschungsbericht 106 02 005/02 im Umweltforschungsplan des Bundesministeriums des Innern.
- SPÄTH, H. (1975): Cluster-Analyse-Algorithmen. - München, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1980): Umweltchemikalien - Prüfung und Bewertung von Stoffen auf ihre Umweltverträglichkeit im Sinne des Chemikaliengesetzes. - Berlin.
- VOGEL, F. (1975): Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation. - Göttingen.

Abb. 1 Darstellung der 7 Belastbarkeitsklassen für das Blatt Hennstedt

6	5	7	1	6	2	2	1	2	2	2	2	7	2	5	5	3	2	1
6	6	6	7	8	1	2	1	2	2	7	5	7	5	3	5	3	2	2
6	6	6	6	2	2	2	2	7	7	7	7	3	6	1	3	3	3	
6	7	5	5	2	2	2	7	6	6	5	5	5	7	1	3	2	2	2
7	6	6	1	2	5	6	6	6	6	6	6	6	7	3	3	3	3	2
7	4	6	2	2	4	4	4	4	6	7	6	6	6	7	3	3	3	3
6	6	1	2	7	4	4	6	6	4	4	4	4	7	5	2	1	2	2
1	3	2	2	6	6	6	4	4	4	6	4	4	4	5	3	3	1	2
4	5	1	4	7	6	4	4	4	6	4	4	4	4	6	3	2	1	2
6	6	1	4	7	6	6	5	6	4	4	4	4	1	4	6	2	1	3
1	3	4	4	4	6	5	7	5	6	7	1	1	4	6	5	3	2	2
5	5	6	4	4	4	4	5	7	6	5	1	4	4	6	5	3	2	2
3	7	7	7	5	5	1	5	6	4	7	6	4	5	6	5	2	2	2
2	5	5	5	5	7	1	6	7	6	6	7	4	7	4	6	2	2	3
3	1	5	5	5	6	1	7	7	4	5	7	1	5	6	7	2	3	2
3	5	5	2	5	5	7	6	7	6	1	5	5	7	6	5	2	3	2
3	5	5	5	6	7	7	5	6	4	5	1	5	7	6	3	2	1	2
5	1	3	6	7	5	7	5	7	5	1	5	7	7	1	3	2	3	2
6	3	5	5	5	7	6	5	5	5	1	5	3	5	3	3	2	2	2

Regionalisierung von Bodendaten mit
Hilfe von nominalskalierten Variablen

von

Heineke, H.-J.⁺)

1. Einleitung

Im Rahmen der ökologischen Planung wird oftmals der Mangel an problemorientiert aufgebaute Information aus dem Bereich Boden bedauert (vergl. a. KRAUSE & RAINER, 1977). Um diesen Zustand zu beheben, wird in letzter Zeit intensiv an der Entwicklung von Informationssystemen gearbeitet, die in der Lage sein sollen, u.a. Bodendaten in der geeigneten Form zur Verfügung zu stellen (LAMP, 1977; HEINEKE, 1981). Soll ein Informationssystem in diesem Bereich flexibel und flächendeckend arbeiten, so muß es eine Vielzahl von Primärinformationen enthalten. Eine geeignete Basis, diesem Anspruch gerecht zu werden, bieten z. Zt. nur die Daten der Reichsbodenschätzung. Ihr Informationsgehalt kann zum einen viele gestellte Forderungen erfüllen, zum anderen liegt sie - für die landwirtschaftlich genutzte Fläche - flächendeckend vor.

Eine zunehmende Bedeutung erfährt in diesem Zusammenhang die Gruppierung und damit die Typisierung und Regionalisierung von Böden, insbesondere, wenn an die Darstellung von Bodeneinheiten gleicher Ökofunktion in Karten gedacht ist. Ein Problem ergibt sich jedoch hinsichtlich des Skalenniveaus der in der Bodenschätzung niedergelegten Variablen. Es handelt sich um eine Nominalskala, deren Anwendung, auf Grund der jeder Kartierung innewohnenden Subjektivität, zu Profilbeschreibungen führt, die untereinander nur schwer vergleichbar sind. Daher erbrachten frühere Untersuchungen zur Regionalisierung von Böden, die sich auf die gleiche Datenbasis stützten, allerdings Kardinalskalen verwendeten, nur z.T. befriedigende Ergebnisse (HEINEKE et. al., 1979).

Durch ein in der letzten Zeit entwickeltes Homogenisierungskonzept (BENNE et. al., 1983) konnte dieser Zustand jedoch behoben werden. Dadurch wurde es möglich, taxonomische Verfahren auf Nominalskalenniveau anzusetzen. Im folgenden sollen die Verfahren kurz beschrieben und die Ergebnisse vorgestellt werden.

⁺Institut für Geographie, Lehrstuhl Landschaftsökologie
4400 Münster, Robert - Koch - Straße 26

2. Methoden

Grundsätzlich hängt der Ablauf der Aggregationsprozesse bei Clusteranalysen entscheidend von der Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen einzelnen Taxa ab. Als Beispiel für die Berechnung solcher sog. Distanzen auf dem Kardinalskalenniveau seien hier genannt:

- a) Euklidische und Quadrierte Euklidische Distanz,
- b) City-Block-Metrik und
- c) Minkowski r-Metrik

Im vorliegenden Fall sollen aber binär codierte Variable betrachtet werden, die nur die Werte 0 (Eigenschaft nicht vorhanden) und 1 (Eigenschaft vorhanden) annehmen können.

Das Auftreten der möglichen Kombinationen der Variablenwerte läßt sich dabei in sog. 4-Felder Tafeln notieren. Für 2 Variable v_i und v_j ergibt sich das in Abbildung 1 dargestellte Bild.

	v_i		
v_j	1	0	
1	a	c	a+c
0	b	e	b+e
	a+b	c+e	a+b+c+e

Abb.: 1 4-Feldertafel für Variable v_i und v_j mit den Auftretungshäufigkeiten a, b, c und e

Da nun die Clusteralgorithmen auf Distanzmaße d zurückgreifen, werden aus den 4-Feldertafeln die Distanzen berechnet nach:

$$d = 1 - s \quad (1)$$

wobei s die Ähnlichkeitsfunktion darstellt.

Für die durchgeführten Untersuchungen standen vier Funktionen zur Berechnung von s zur Verfügung.

$$a) s = \frac{a}{a + b + c} \quad (2)$$

Es handelt sich hier um das Verfahren nach TANIMOTO, bei dem der relative Anteil gemeinsam vorhandener Eigenschaften, bezogen auf die Variablen mit mindestens einer 1, berücksichtigt wird.

$$b) s = \frac{a}{a + 2(b + c)} \quad (3)$$

Dieser Algorithmus ist nach SOKAL & SNEATH benannt. Er berücksichtigt die Eigenschaften wie bei (2), jedoch werden nicht gemeinsam vorhandene Eigenschaften doppelt gewichtet.

$$c) s = \frac{a + e}{a + b + c + e} \quad (4)$$

Dieses Verfahren, genannt SIMPLE MATCHING, berücksichtigt den Relativanteil gemeinsamer Positionen, bezogen auf die Gesamtausprägung.

$$d) s = \frac{a + e}{a + e + 2(b + e)} \quad (5)$$

Diese Ähnlichkeitsfunktion nach ROGERS & TANIMOTO nimmt eine Berechnung wie (4) vor, jedoch mit einer doppelten Gewichtung nicht gemeinsam vorhandener Merkmale.

Der nächste Schritt liegt in der Aufdeckung einer möglichen Gruppenstruktur der untersuchten Stichprobe. Für die Lösung dieses Problems existieren verschiedene Strategien, die sich hinsichtlich der Qualität der Ergebnisse zum Teil erheblich unterscheiden (THOLE et. al., 1980).

Auf Grund der Erfahrungen aus früheren Untersuchungen wird zur Lösung das Verfahren nach WARD favorisiert. Es fusioniert Gruppen nicht einfach nach Distanzen, sondern nur dann, wenn der Zuwachs zu einem Fehlermaß minimiert ist. Als Heterogenitätsmaß wird dabei das Varianzkriterium verwendet. Die Berechnung kann nach einer von LANCE & WILLIAMS (1966) entwickelten Rekursionsformel vorgenommen werden und soll hier nicht näher erläutert werden. Näheres zur gesamten Methodik kann u.a. bei STEINHAUSEN & LANGER (1977) entnommen werden.

3. Variablenauswahl

Auf Grund der mittlerweile fertiggestellten Homogenisierungsschlüssel für die Daten der Bodenschätzung, konnten bei den durchgeführten Analysen nachfolgend aufgeführte Größen berücksichtigt werden.

- a) Titeldaten:
Entstehungsarten (D, Lo, Al, Ma, V, Mo, X) und Zustandsstufen 1 bis 3. Dabei wurden alle Zustandsstufen höher als 3 in die Gruppe 3 integriert.
- b) schichtbezogene Daten:
Es wurden, um die Variablenzahl nicht zu groß werden zu lassen, bis zu 4 Schichten einer Profilbeschreibung berücksichtigt. Die Erfahrung zeigt, daß damit in der Regel die Beschreibung einer Bodenschätzungsbohrung abgedeckt werden kann. Im einzelnen gingen ein:
Schicht vorhanden (ja/nein), Horizontbezeichnungen, Skelettanteile, Bodenarten, Humusgehalte, Farbangaben, Eisen- und Manganengehalte, Kalkgehalte und sog. "sonstige" Angaben.
Darüber hinaus fanden die Kationenaustauschkapazität, Lagerungsdichte und die nFK Berücksichtigung.

Diese Größen wurden für jede Schicht getrennt ermittelt, so daß insgesamt 206 Variable Eingang in die Untersuchungen fanden. In die Klassifizierung gingen 141 Objekte ein, alle aus dem Gebiet einer DGK 5 Bo -Blatt: 3508 5814 Silberberg- .

Es fällt auf, daß früher aufgestellte Forderungen (HEINEKE et. al., 1979) hinsichtlich der Redundanzfreiheit vernachlässigt wurden. Die Ursache für diese Entscheidung liegt in der Annahme, die Ergebnisse der Clusteranalyse

auf Grund des Einflusses der so eingehenden Variablengruppen besser interpretierbar zu machen; eine Gewichtung wurde also bewußt in Kauf genommen. Zum Problem interkorrelierter Variablen s.a. de LANGE (1981).

4. Ergebnisse

Im Vergleich aller Methoden (2) - (5) zur Ähnlichkeits- und Distanzberechnung brachten die Verfahren nach SOKAL & SNEATH (3), SIMPLE MATCHING (4) und ROGERS & TANIMOTO (5) die besten Ergebnisse. Die Gruppen waren gut getrennt und ließen eine sinnvolle Interpretation zu. Der Algorithmus nach TANIMOTO (2) scheidet aus, da in dieser Untersuchung keine ausreichende Trennschärfe erreicht wurde. Die Clusteranalyse wurde nach Zusammenlegung aller Objekte in 5 Klassen, bei einem Generalisierungsgrad von 14,5, abgebrochen. Im Verlauf der Gruppierung konnte in 7 Fällen das Minimum der Zielfunktion nicht eindeutig bestimmt werden, was aber bezüglich der Einflußnahme auf das Endergebnis vernachlässigt werden kann.

Grundlage der folgenden Gruppenbeschreibungen ist die Ähnlichkeitsfunktion nach ROGERS & TANIMOTO (5).

Die 1. Klasse ist geprägt durch einen 3-Schicht Aufbau der Profile (bis 1m Tiefe). Es handelt sich ausschließlich um Diluvialböden, vorwiegend der Zustandstufe 2, aus Mittel- bis Feinsand, der mindestens 1m mächtig ist. Die Lagerungsdichte ist durchgängig gering. Der Oberboden weist teilweise Podsolierungserscheinungen auf, die sich aber in den tieferen Schichten nicht fortsetzen, bzw. dort überprägt sein können. In dieser Gruppe finden sich die meisten der durch Verbraunung gekennzeichneten Profile. Anzeichen von Grundwasserbeeinflussung sind ab der 2. Schicht vorhanden und nehmen mit der Tiefe zu. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) der Böden ist sehr gering; sie liegt bei <10mm/dm. Die entsprechenden Flächen sind in Trockenperioden bei fehlendem Grundwasseranschluß vermutlich trockengefährdet. Auch der Nährstoffhaushalt ist nicht gut ausgeprägt; das hierfür verwendete Maß, die Kationenaustauschkapazität (KAK), liegt bei <10 mval/100 g. Bodentypologisch handelt es sich in dieser Gruppe um Braunerden und Podsole mit vorwiegendem Übergang zum Gley.

Die 2. Gruppe ist bezüglich der Zustandstufen und der Entstehungsart identisch mit der Gruppe 1. Die Böden sind hier aber, wie in allen anderen Gruppen auch, in ihrer Mehrzahl aus mehr als 3 Schichten aufgebaut. Sie bestehen nicht einheitlich aus Sand, sondern der Tongehalt nimmt in der 2. und 3. Schicht zu, während die 4. Schicht wieder aus Mittel- bis Feinsand besteht. Darüber hinaus sind die Profile durch Humus- und Eisenverlagerung gekennzeichnet, jedoch nur in der ersten Schicht. Der Grundwassereinfluß erreicht hier nur den Unterboden (4. Schicht). Auf Grund dieses Aufbaues

finden sich leicht erhöhte nFK-Werte. Die KAK bleibt aber unverändert. Es handelt sich vorwiegend um gut ausgeprägte Gley-Podsole und einige Gleybraunerden. In diesem Cluster sind nur 12 Objekte enthalten; es wäre im nächsten Clusterschritt mit dem ersten fusioniert worden.

Die Zusammensetzung des 3. Clusters ist bezüglich der Entstehungsarten und der Zustandstufe unverändert. Die Böden bestehen jedoch aus lehmigem Sand. Bestimmend sind die bis in den Oberboden reichenden Gleymerkmale. Auf Grund des bodenartlichen Aufbaues sind leicht erhöhte nFK-Werte (10 - 20 mm/dm) festzustellen. Die Lagerungsdichte ist trotz des leicht erhöhten Tongehaltes noch gering. Auch der Mineralstoffhaushalt ist nach wie vor vermutlich nicht gut ausgeprägt. In dieser Gruppe finden sich fast ausschließlich reine Gleye und einige Braunerde-Gleye.

In Gruppe 4 sind Diluvial-, und zu geringen Teilen (13%), Verwitterungsböden enthalten. Die Zustandsstufe 3 nimmt gegenüber den Gruppen 1-3 stark zu. Die Profile sind aus lehmigem Sand bis sandigem Lehm aufgebaut. Der Anteil an schwach schluffigem Ton nimmt im Unterboden stark zu. Daher steigen mit zunehmender Tiefe die Lagerungsdichte und die KAK; die nFK fällt. Wasser- und Nährstoffhaushalt sind also vermutlich besser als in den Gruppen 1-3. In geringem Maße treten aber, zusammenhängend mit der Zunahme des Tongehaltes im Unterboden, Verdichtungen und Staunässe auf. Wegen des Vorhandenseins bestimmter horizontkennzeichnender Merkmale, z.B. der kartierbaren Humusgehalte, lassen sich hier die meisten Esche und Gley-Esche erkennen. Ebenso sind Braunerden und Pelosole, in einigen Fällen mit Übergängen zum Pseudogley, festzustellen.

Der Anteil der Verwitterungsböden ist in der 5. und letzten Klasse mit 29% am höchsten. Die Zustandsstufen 1 und 3 überwiegen. Hier finden sich die Böden mit den höchsten Tongehalten; die Lagerungsdichte ist in den meisten Fällen hoch. Die hohen Tongehalte im Unterboden sind nicht auf Verlagerungsprozesse, sondern auf Kalksteinverwitterung zurückzuführen. KAK und nFK erreichen in dieser Gruppe hohe Werte (40 mval/100 g bzw. 40 mm/dm). Die Wasserversorgung ist jedoch nicht immer günstig, da in vielen Fällen stauende Bedingungen eintreten können. Entsprechend der horizontkennzeichnenden Merkmale sind hier hauptsächlich Pseudogleye und Pelosole mit Übergängen vertreten.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß durch die neu entwickelten Homogenisierungskonzepte und die so erreichte hohe Variablenzahl eine deutliche Trennung der einzelnen Cluster und eine recht gute Beschreibung der jeweils zusammengefaßten Objekte erreicht werden kann. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen (HEINEKE et. al., 1979) lassen

sich die Ergebnisse, durch Einbeziehung einer höheren Zahl ökologisch relevanter Merkmale, besser interpretieren. Die Repräsentation der einzelnen Objekte durch die Vielzahl der horizontkennzeichnenden Variablen ermöglicht auch eine differenzierte Beschreibung des vertikalen Aufbaues der in den Clustern zusammengefaßten Profile. So betrachtet könnte diesen Verfahren also durchaus eine Bedeutung hinsichtlich der Unterstützung der Erstellung von kleinmaßstäblichen Bodenkarten zufallen. Dieses sollte durch geeignete Untersuchungen, z.B. differenzierterer Variablenfilterung, weiter geprüft werden.

5. Literatur

- BENNE, I., HEINEKE, H.-J. und K.-H. OELKERS (1983): Überarbeiteter und erweiterter Übersetzungsschlüssel für die automatische bodenkundliche Auswertung der Bodenschätzung. - Geolog. Jb., Reihe F (i.Druck)
- HEINEKE, H.-J. (1981): Zum Aufbau eines EDV-gestützten räumlichen Informationssystems zur ökologischen Auswertung von Bodendaten. - Klagenfurter Geogr. Schriften 2, 343-351.
- HEINEKE, H.-J., SCHREIBER, K.-F. und R. THÖLE (1979): Verarbeitung der Daten der Reichsbodenschätzung mit Hilfe multivariater Verfahren für Zwecke der ökologischen Landschaftsplanung. - Mitteilgn.Dtsch. Bodenkundl.Gesellsch. 29, 857-864.
- KRAUSE, C. L. und A. RAINER (1977): Befragung von Landschaftsplanern nach dem Soll-Inhalt ökologischer Karten. - Schr.r.Landschaftspl. u. Natursch. 14, 113-134.
- LANCE, G. N. und W. T. WILLIAMS (1960): A generalized sorting strategy for computer classifications. - Nature 212, 218.
- LANGE de, N. (1981): Zum Problem interkorrelierter Variablen bei clusteranalytischen Verfahren. - Klagenfurter Geogr. Schriften 2, 167-184.
- LAMP, J. (1977): Zur Entwicklung und Anwendung von Informationssystemen in der Bodenkunde. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 25, 453-458.
- STEINHAUSEN, D. und K. LANGER (1977): Clusteranalyse. Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation. - New York - Berlin, 206 S.
- THÖLE, R., HEINEKE, H.-J. und K.-F. SCHREIBER (1980): Zur Regionalisierung von Bodendaten mit Hilfe multivariater Methoden im Rahmen ökologischer Fragestellungen. - Arb.ber.Lehrstuhl Landschaftsökologie Münster 2, 47-64.

Zur Auswertung von Bodendaten mittels
Clusteranalyse und Biplot

von
Mich. N.^{*)}

Die zunehmende Vielfalt der auch in der Bodenkunde anfallenden Datenmengen zwingt dazu, zur Strukturierung der in den Daten enthaltenen Informationen mathematische Ordnungsverfahren einzusetzen. Wenn es in erster Linie darauf ankommt, eine im Datenmaterial vermutete Gruppenstruktur aufzudecken, werden zu diesem Zweck häufig Verfahren der numerischen Klassifikation eingesetzt. Die bequeme Verfügbarkeit auf EDV-Anlagen in komfortablen Programmpaketen wie z.B. CLUSTAN ist dem Trend zur unreflektierten Anwendung dieser Verfahren nur förderlich. In diesem Beitrag sollen einige Bedenken vorgebracht werden, die gegen eine allzu schematische Verwendung dieser Verfahren sprechen. Ferner wird mit dem Biplot-Verfahren eine Methode der Datenanalyse vorgestellt, mit deren Hilfe Probleme gelöst werden können, die normalerweise bei alleinigem Einsatz von Klassifikationsverfahren nur schwer anzugehen sind, nämlich die Frage nach dem Vorhandensein von Gruppen im Datenmaterial sowie die Festlegung der Gruppenzahl.

Üblicherweise liegen für Untersuchungen des hier angesprochenen Typs Meßwerte an m Variablen für eine Anzahl n von Objekten vor, die in einer rechteckigen Datenmatrix Y angeordnet sind. Eine numerische Klassifizierung solcher Daten mit Hilfe clusteranalytischer Verfahren setzt stillschweigend voraus, daß im Datenmaterial eine Ordnung oder ein System von Ähnlichkeiten vorhanden ist. Im Idealfall ist dies ein System von Gruppen, die in sich möglichst homogen, untereinander möglichst heterogen sein sollen. Das Problem besteht darin, diese Gruppen zu finden. Die Anzahl möglicher Partitionen einer Men-

^{*)} Geographisches Institut der Universität,
Olshausenstraße 40-60, 23 Kiel

ge von n Objekten in k disjunkte Klassen ist zwar endlich, liegt jedoch bereits für kleine Werte von n und k jenseits aller Aufzählungsmöglichkeiten. Daher beschränken sich Klassifikationsverfahren darauf, eine geringe Zahl von Partitionen zu untersuchen, die nach unterschiedlichen, globalen oder lokalen Optimalitätskriterien ausgewählt und bewertet werden. Unter diesen wenigen Partitionen, die tatsächlich untersucht werden, soll nach Möglichkeit auch die gesuchte, optimale Klassifikation zu finden sein. Zumindest sollen sie jedoch eine Partition enthalten, die ihr möglichst nahekommt. Um dieses Ziel zu erreichen, werden eine Vielzahl von Klassifikationsverfahren angeboten, die mit jeweils unterschiedlichen Ähnlichkeitsmaßen, Fusionsstrategien und globalen oder lokalen Gütekriterien operieren und eine mehr oder weniger große Anzahl von Partitionen der eingegebenen Objektmenge berechnen. Die hierarchischen Verfahren liefern beispielsweise eine Hierarchie von Partitionen, die in einem Dendrogramm graphisch dargestellt werden kann. Gemeinsam ist allen Verfahren das Bestreben, Gruppen im Datenmaterial zu finden; unbestritten ist aber auch die Fähigkeit aller Verfahren, auch dann noch Gruppen aufzuspüren, wenn die Ausgangsdaten unstrukturiert sind und z.B. aus Zufallszahlen bestehen.

Die Ergebnisse von Klassifikationsverfahren können daher nicht unbesehen übernommen werden, vielmehr muß mittels unabhängiger Methoden versucht werden, einen Einblick in die Datenstruktur zu erhalten. Zu diesem Zweck soll hier das Biplot-Verfahren vorgestellt werden. Mit seiner Hilfe läßt sich die Datenstruktur zumindest approximativ inspizieren, es liefert Anhaltspunkte, ob im Datenmaterial überhaupt Gruppen vorhanden sind, wie groß die Anzahl der Gruppen sein kann, und inwieweit die Ergebnisse eines Klassifikationsversuchs mit der Datenstruktur verträglich sind.

Das Biplot-Verfahren setzt lediglich eine Datenmatrix voraus, deren Elemente auf einer Rationalskala gemessen sind. Das Biplot dieser Datenmatrix besteht aus einer graphischen Darstellung, in welche die beobachteten Variablen als Vektoren, und die beobachteten Objekte als Punkte eingetragen werden. Aus der Graphik können abgelesen werden:

- die Standardabweichung der Variablen als Länge der zugehörigen Vektoren

- der Korrelationskoeffizient zwischen je zwei Variablen als Cosinus des Winkels zwischen den zugehörigen Vektoren
- der standardisierte Abstand zwischen je zwei Objekten als Länge der Verbindungslinie der zugehörigen Punkte
- der beobachtete Meßwert eines Objekts für eine bestimmte Variable als Länge der orthogonalen Projektion des Objektpunkts auf den Vektor für die Variable.

Ist die Datenmatrix vom Rang 2, so kann sie (im Rahmen der Zeichengenauigkeit) exakt dargestellt werden. Matrizen von höherem Rang müssen zunächst durch eine Matrix vom Rang 2 approximiert werden, aus dem Biplot dieser approximierten Matrix lassen sich die obigen Größen im Rahmen der Approximationsgenauigkeit ablesen. Zur Approximation der Ausgangsmatrix kann die Hauptkomponentenzerlegung dieser Matrix benutzt werden, die eine Bestapproximation im Sinne kleinster orthogonaler Abstandsquadrate liefert. Es empfiehlt sich, bei stark differierenden Varianzen der Ausgangsvariablen diese auf vergleichbare Streuungen zu transformieren, da es sonst zu einem unerwünschten Überwiegen derjenigen Variablen mit den größten Streuungen kommt.

Das folgende Beispiel für die gemeinsame Anwendung von Biplot und Klassifikationsverfahren stammt aus FRÄNZLE et al. 1980. 45 Bodenprofile aus dem Savannengebiet Nordost-Ghanas sollen nach ihren produktionsbiologischen Eigenschaften als Pflanzenstandorte in möglichst homogene Gruppen eingeteilt werden. Beabsichtigt ist dann, jeweils einen Vertreter jeder Gruppe als repräsentativen Standort für Feldversuche auszuwählen. Als produktionsbiologisch bedeutsame Bodenmerkmale werden 38 Variable an jedem Profil gemessen:

Hangneigung	1				
A-B-Subhorizonte	2				
Horizontmächtigkeit		3	15	27	
Korngrößenfraktion größer 2 mm		4	16	28	
organischer Kohlenstoff		5	17	29	
pH		6	18	30	
Phosphor		7	19	31	
Kationenaustauschkapazität		8	20	32	
austauschbares Ca		9	21	33	
		Mg	10	22	34
		Mn	11	23	35

austauschbares K	12	24	36
Na	13	25	37
Summe austauschbarer Basen	14	26	38

Die Variablen mit den Nummern 3-14, 15-26; und 27-38 entstammen jeweils den ersten drei A-B-Subhorizonten der betreffenden Bodenprofile.

In den Ausgangsdaten vereinigen die Phosphorvariablen 6, 19 und 31 insgesamt 99.5% der Gesamtstreuung auf sich, sowohl Biplot als auch Klassifikation der nicht transformierten Daten werden nur durch diese drei Variablen geprägt, während die restlichen zur Bedeutungslosigkeit verurteilt sind.

Daher werden die Daten auf Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung s standardisiert. Das Biplot der transformierten Daten zeigt Abb. 1. Es ist keine ausgeprägte Gruppenstruktur innerhalb der Daten ersichtlich, allerdings muß auch die geringe Approximationsgüte des Biplot von nur 52.1% berücksichtigt werden. Zur genaueren Inspektion der Datenstruktur wird daher ein dreidimensionales Biplot-Modell mit etwas besserer Approximationsgüte benutzt. Mit dessen Hilfe können die Bodenprofile provisorisch in folgende fünf Gruppen eingeteilt werden:

Gruppen	Bodenprofile
I	2,8,9,11,16,18,20,23,24,25,27,30 31,32,33,34,35,37,38,41,43,44,45
II	1,13,21,28,36,46
III	4,14,19,29
IV	3,5,6,15,22
V	7,17,39,42

Nicht eindeutig zuzuordnen sind die Profile 10,12,26 und 40. In Anbetracht des Charakters des Biplot-Verfahrens als heuristisch geprägter Interpretationshilfe sind diese Gruppen nur ein möglicher Klassifikationsversuch, der aber immerhin den Vorzug besitzt, optisch nachvollziehbar zu sein.

Zur numerischen Klassifikation der transformierten Daten werden sechs verschiedene hierarchische Klassifikationsverfahren eingesetzt, deren Ergebnisse erheblich voneinander abweichen. Im Lichte der mit Hilfe des Biplot vorgenommenen Einteilung erweist sich allein die von dem Verfahren von WARD gelieferte Aufteilung in 6 Gruppen als brauchbar (vgl. Abb. 2). Die von den restlichen fünf Verfahren gelieferten Partitionen zeigen keine oder nur geringe Übereinstimmung mit der durch das

Biplot aufgezeigten Datenstruktur.

Literatur:

- ANDERBERG, M.R. (1973): Cluster analysis for applications. New York - London
- CORMACK, R.M. (1971): A review of classification. Journal of the Royal Statistical Society, Series A 134, 321-367
- FRÄNZLE, O., W. KILLISCH, A. INGENPASS & K. MICH (1980): Die Klassifizierung von Bodenprofilen als Grundlage agrarischer Standortplanung in Entwicklungsländern. Catena 7, 353-381
- GABRIEL, K.R. (1971): The biplot graphic display of matrices with applications to principal component analysis. Biometrika 58, 453-467
- GABRIEL, K.R., G. RAVE & E. WEBER (1976): Graphische Darstellung von Matrizen durch das Biplot. EDV in Medizin und Biologie 7, 1-15
- VOGEL, F. (1975): Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation. Göttingen
- WISHART, D. (1975): CLUSTAN 1C User Manual. London

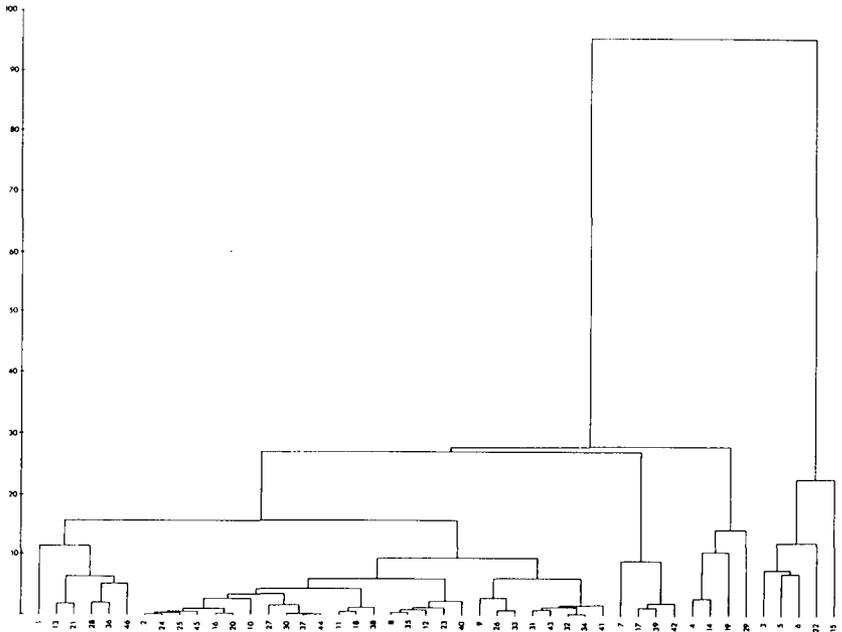


Abb. 2: Dendrogramm - Verfahren von WARD

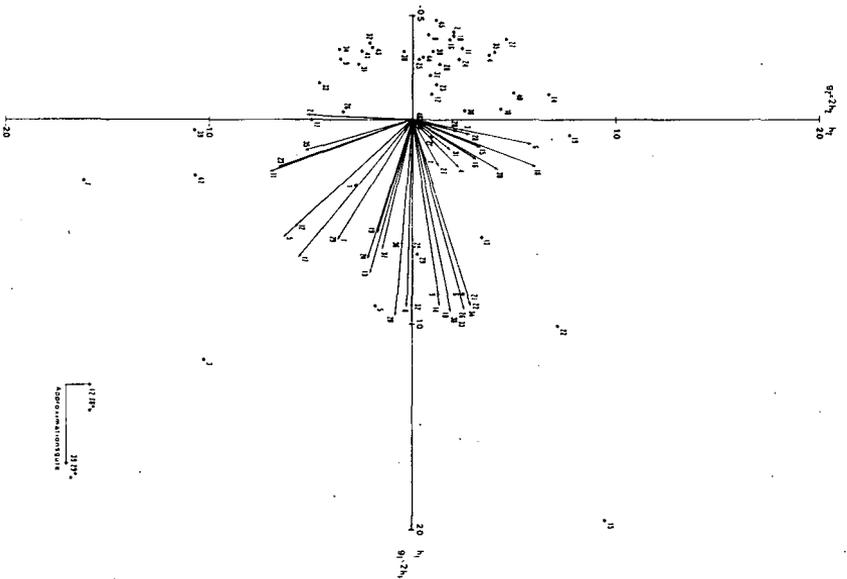


Abb. 1: Biplot der standardisierten Daten

Beispiele zur Anwendung der Variogrammanalyse
auf flächenhaft erhobene Bodendaten

von

Zölitz, R.⁺⁾

Flächenhaft erhobene Bodendaten sind das Material, mit dem Teilbereiche der physischen Geowissenschaften, in zunehmendem Maße aber auch die Bodenkunde arbeiten. Im Zentrum des Interesses stehen dabei die räumlichen - und das meint in den meisten Fällen die flächenhaften Verteilungsstrukturen ausgewählter Merkmale. Im Überschneidungsbereich von physischer Geographie und Bodenkunde handelt es sich vor allem um pedochemische und bodenphysikalische Eigenschaften von bestimmten Ausschnitten der Erdoberfläche. Soweit es sich dabei um metrische Merkmale handelt, wird die Datenvielfalt häufig in Isolinienplänen reduziert dargestellt, um so überhaupt erst räumliche Verteilungsmuster erkennen zu können.

Alle Isoliniendarstellungen metrischer Merkmale entstehen durch Interpolation zwischen den Werten einer notwendigerweise fragmentarischen räumlichen Stichprobe. Es wird dabei angenommen, daß in dem Raum zwischen den Probenpunkten, über den keine Informationen vorliegen, eine mehr oder weniger kontinuierliche Verteilungsfunktion der Meßwerte anzutreffen ist. Es bleibt jedoch zu prüfen - was bislang selten geschieht - ob der gewählte Meßpunktabstand überhaupt die Interpolation zwischen den Probenentnahmepunkten zuläßt, mit anderen Worten: ob die einzelne Probe überhaupt Repräsentant der sie umgebenden Fläche ist. Bei der Konstruktion von Isolinienplänen muß nämlich vorausgesetzt werden können, daß die räumliche Reichweite eines Wertes hinreichend groß ist, um die Interpolation zwischen benachbarten Punkten zu gestatten. Isolinienkarten auf der Grundlage von Proben, deren Distanz über der Reichweite ihrer Aussage liegt,

+) Geographisches Institut der Universität Kiel,
Olshausenstraße 40, 2300 Kiel

sind als grundsätzlich falsch und nicht nur als von minderer Qualität anzusehen.

Die Variogrammanalyse ist ein geostatistisches Verfahren, das Antwort auf die gestellte Frage gibt. Sie wurde in den 60er Jahren für die Belange der Bodenschatzsuche entwickelt und in großem Rahmen zunächst für die Prospektion im südafrikanischen Goldbergbau eingesetzt (vgl. G. MATHERON 1963; P. DELFINER 1975).

Die Variogrammanalyse geht von der Grundannahme aus, daß die punktuell gewonnenen Meßwerte nur so weitreichende Aussagekraft haben, wie die Meßwertunterschiede mit wachsender Distanz zwischen den Meßpunkten ansteigen.

Die Analyse wird folgendermaßen durchgeführt: Es werden die Meßwertvarianzen zwischen Punktepaaren zum jeweiligen Abstand zwischen diesen Punkten in Beziehung gesetzt. Im Verlauf der Analyse wird jeder Punkt mit jedem anderen einmal zu einem Punktepaar zusammengefaßt. Für beliebig zu wählende, zunehmende Entfernungen wird die mittlere Varianz berechnet und in einem Diagramm gegen die Distanz abgetragen (Abb. 1). Das Ergebnis ist

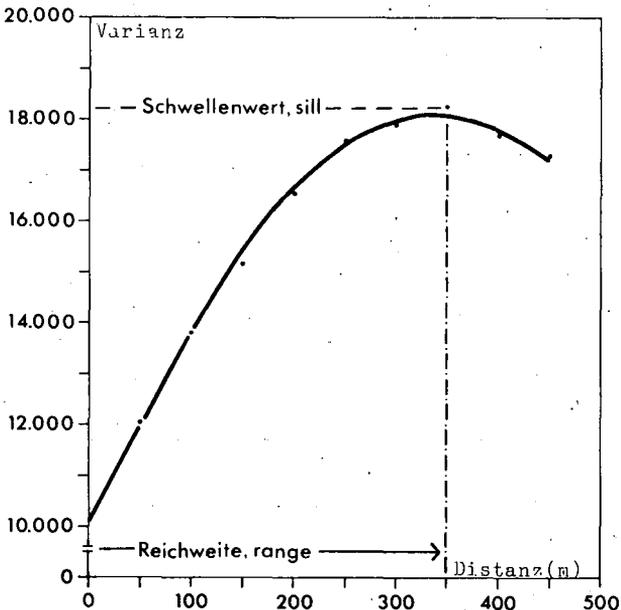


Abb. 1

dann eine Menge von Punkten im Koordinatenkreuz von Varianz und Distanz, die sich mehr oder weniger gut durch eine Kurve verbinden lassen. Solange die Varianzen nun mit wachsender Entfernung zwischen den Probenpunkten steigen, kann davon ausgegangen werden, daß die punktuell gewonnenen Meßwerte auch flächenhafte Aussagekraft haben. Diese reicht maximal bis zu der Entfernung, von welcher an die Variogrammkurve wieder abfällt oder sich asymptotisch einem Maximum nähert. Zwischen Punktepaaren, deren Distanz jenseits dieses Schwellenwertes liegt, ist prinzipiell keine Interpolation mehr möglich.

Verlauf und Eigenschaften der Variogrammkurve lassen weitere Rückschlüsse auf die räumliche Struktur der untersuchten Bodenmerkmale zu. Schneidet die Kurve die Ordinate nicht im Nullpunkt, sondern erst bei höheren Varianzwerten, so liegt der sogenannte "nugget effect" vor. Das kann grundsätzlich zwei Ursachen haben: Entweder liegen Diskontinuitäten im Nahbereich der Proben vor, oder es handelt sich um Meßfehler. Eine Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten ist nur unter Heranziehung weiterer Informationen möglich.

Ein waagerechter Kurvenverlauf deutet auf Zufallsverteilung: Die Meßwerte sind unkorreliert für Punkte mit beliebiger Entfernung, also unabhängig davon, wie dicht diese beieinander liegen.

Ist die Datenmenge hinreichend groß, so kann es sinnvoll sein, nicht nur ein richtungsunabhängiges, sondern zusätzlich verschiedene richtungsabhängige Variogramme zu erzeugen. Weichen nämlich die Richtungsvariogramme einer Untersuchungsfläche voneinander ab, so spricht man von Anisotropie. Aus anisotropen Variogrammen kann man gerichtete Strukturen ablesen.

Geschachtelte Strukturen deuten auf eine Superposition von mehreren Variabilitätsskalen hin. Die Variogrammkurve erreicht stufenweise über mehrere Niveaus ihre maximale Einflußreichweite.

Die im folgenden referierten Anwendungsbeispiele stammen teilweise aus einem für Bodenkunde und physische Geographie primär ferner liegenden Themenkreis. Es geht dabei um bodenchemische Analysen für Zwecke der Archäologie und historischen Siedlungsgeographie. Die Tatsache, daß der Boden an Orten ehemaliger Siedlungsstellen eine abnormal hohe Nährstoffzufuhr erhält, läßt sich zur Lokalisierung solcher vergangenen Siedlungen ausnutzen.

Von besonderem Interesse ist dabei der Phosphatgehalt des Bodens, weil der Phosphor relativ schnell immobilisiert und für lange Zeit festgelegt wird. Wenn Störeinflüsse ausgeschlossen werden können, liefern Isolinienkarten des P-Gehalts von siedlungsverdächtigen Arealen gezielte Hinweise zur Lokalisierung und Abgrenzung ehemaliger Siedlungen. Da die Probenentnahme und Laboranalyse bei größeren Flächen von z. B. 50-200 ha großen Aufwand erfordert, ist es hier dringend notwendig, die Probindichte zu minimieren, ohne jedoch die regionale Repräsentanz außer Acht zu lassen. Deswegen wird bei jeder Phosphatkartierung auch die räumliche Aussagereichweite der Meßwerte mit Hilfe der Variogrammanalyse überprüft.

Die ersten Beispiele stammen aus dem schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. An drei Orten wurden P-Kartierungen für die Suche und Abgrenzung wikingerzeitlicher Dörfer in der Umgebung der Schlei durchgeführt, wobei die Probenabstände 20 bzw. 50 m betragen (Abb. 2).

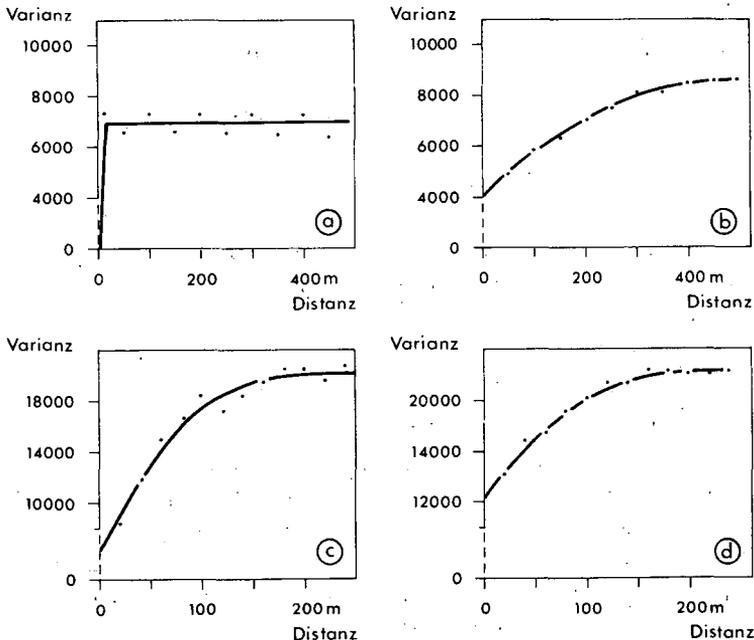


Abb. 2: Variogrammkurven: a) Zufallsverteilung b) Bienebek
c) Schuby d) Kosel

Kennzeichnend für alle drei Kartierungen ist, daß die Punkte nur wenig um die Variogrammkurve streuen, die ihre maximale Varianz erst weit jenseits der wirklichen Probenentnahmedistanz erreicht. Zugleich fällt aber auf, daß alle Variogramme einen relativ hoch ansetzenden nugget effect haben. Da Meßfehler von dieser Größenordnung ausgeschlossen werden können, ist auf Diskontinuitäten im Nahbereich der Proben zu schließen, also in dem Bereich, der unterhalb der kleinsten Entnahmedistanz liegt. Es ist anzunehmen, daß diese Erscheinung zum Teil in der besonderen Fragestellung der P-Kartierungen liegt. Die ehemaligen Siedlungen zeichnen sich durch flächige P-Maxima aus, die in ihren Randbereichen große Gradienten zur niedriger phosphatierten Umgebung hin haben. In diesen Randbereichen sind die Meßwertunterschiede auch bei geringen Entfernungen schon relativ hoch.

Ein weiteres Beispiel stammt von der dänischen Ostseeinsel Falster. Nicht nur in der Phosphatkartierung, sondern auch in einer zusätzlich erstellten Kartierung der pH-Wert-Verteilung tritt wieder der nugget effect auf. Da die pH-Werte auf dieser Fläche nachweislich nicht mit den Phosphatwerten korrelieren, liegt hier ein Hinweis auf Diskontinuitäten im Nahbereich der Proben vor, die nichts mit dem Siedlungsrandeffekt zu tun haben. Die Richtungsvariogramme für die Richtungen Ost-West und Nord-Süd zeigen Anisotropie. Das deutet auf gerichtete Strukturen, die auch auf der hier nicht abgebildeten Karte der pH-Werte zu erkennen sind.

Anisotrope Variogramme können auch auf bevorzugte Transportrichtungen und unterschiedliche Transportintensitäten hindeuten. Das ist der Fall in einem Beispiel, das mit Daten aus der Arbeit von E. MUTERT (1978) über die Böden der Hochfelder Senke (Ostholstein) gerechnet wurde. An einem Hangausschnitt am Rande der Senke verweisen die für Eisen und organischen Kohlenstoff berechneten anisotropen Richtungsvariogramme auf verschieden starke Verlagerungsvorgänge in verschiedenen Raumrichtungen. In Hangrichtung ist die Aussagereichweite der Meßwerte erheblich größer als parallel zu den Isohypsen.

Das Variogramm von einer Untersuchungsfläche in SW-Finnland zeigte deutlich geschachtelte Strukturen. Die Proben wurden hier im Abstand von 2 m entnommen. Über drei sub-sills erreicht die Kurve ihre höchste Varianz bei einer Distanz von 38 m. Hier sind stufenweise vier Variabilitätsskalen übereinander geschichtet.

Dieses Phänomen der geschachtelten Variabilitätsskalen leitet über zu einer generalisierenden Schlußbemerkung. Größere und großräumigere Strukturen sind in den vorgestellten Beispielen auch bei relativ großen Probenabständen von 50-100 m in Isolinienkarten hinreichend verlässlich darstellbar. Es ist jedoch anzunehmen, wie nugget effects und geschachtelte Strukturen andeuten, daß weitere, niedrigere Variabilitätsniveaus der Meßwerte aufgedeckt werden können, wenn man den Meßpunktabstand weiter verringert.

Die Untersuchungen zeigen, daß bei der Erfassung der flächenhaften Verteilung von bodenchemischen Merkmalen die Geostatistik nicht nur Informationen über die Frage der Zulässigkeit von Interpolationen liefert, sondern auch über die Qualität der erzeugten Isolinien Auskunft gibt. Darüberhinaus kann das in der Variogrammanalyse aufgedeckte Maß der regionalen Validität von Punktproben als Basisinformation Eingang finden in den je spezifisch zu wählenden Interpolationsalgorithmus, was besonders bei den Kriging-Verfahren auch automatisiert praktiziert wird.

Literatur:

- P. DELFINER (1975): Geostatistical Estimation of Hydrocarbon Reserves. Fontainebleau.
- G. MATHERON (1963): Principles of Geostatistics. Economic Geology 58, 1246-1266.
- E. MUTERT (1978): Untersuchungen zur regionalen Gruppierung von Böden - durchgeführt an einer Kleinlandschaft im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. Diss. Kiel.
- R. ZÜLITZ (1980): Bodenphosphat als Siedlungsindikator. Möglichkeiten und Grenzen der siedlungsgeographischen und archäologischen Phosphatmethode. Neumünster.
- R. ZÜLITZ (1982): Geographische Siedlungsprospektion in Schleswig-Holstein. Geowissenschaftliche Methoden bei der Suche und Abgrenzung wikingerzeitlicher Siedlungen im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. Archäologisches Korrespondenzblatt 12, H. 4, 517-533.

TEMAKART, ein rasterorientiertes Auswerteprogramm für multivariate Karteninhalte - Einsatzmöglichkeiten und erste Erfahrungen

von

Hatje, J., F. Knoop und J. Lamp ⁺)

Das Programmpaket TEMAKART ist innerhalb eines Projektes des Norwegischen Rates für Wissenschaft und gewerblicher Forschung zusammengestellt worden und erlaubt die rechnergestützte Konstruktion und Auswertung von thematischen Karten. Die Benutzerdokumentation ist von VOLDEN (1981) erarbeitet worden, in der die verwendeten Methoden genauer beschrieben sind (s.a. BIE, 1981).

TEMAKART enthält Programme zur

- Klassifikation
(Cluster-, Correspondence-, Discriminant Analysis)
- Interpolation
(Triangulation, Universal Kriging)
- automatische und halbautomatische Überlagerung
- interaktive Korrektur der Rasterkarten

Diese Module sind in unterschiedlichen Reihenfolgen verknüpfbar (s. Abb. 1).

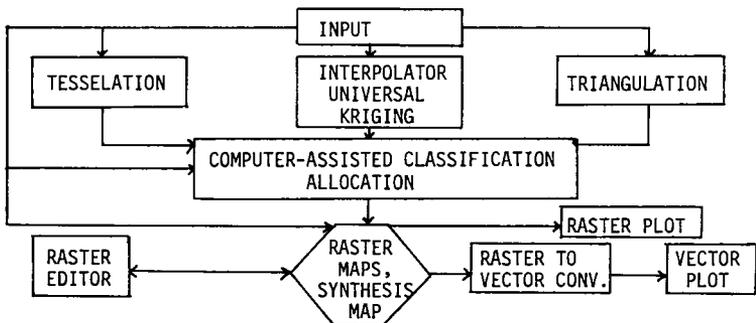


Abb. 1: Aufrufstruktur der TEMAKART-Module

⁺) Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel 1

Insbesondere können einzelne Variablen interpoliert und dann klassifiziert oder erst klassifiziert und dann interpoliert werden. Dadurch wird dem Anwender die Möglichkeit zur optimalen Kombination von Interpolations- und Klassifikationsmethoden gegeben.

In Abbildung 2 werden exemplarisch thematische Kartenkonstruktionen aus verschiedenen Datenquellen, wie Punkt-, Polygon-, Linien- und Rasterdaten, gezeigt.

Dieses soll an einem sehr einfachen Beispiel veranschaulicht werden. Aus der Karte der Reichsbodenschätzung werden die Koordinaten und die Bodenarten entnommen, digitalisiert und mit Hilfe der Tesselation (MC CULLAGH, 1980) regionalisiert (Abb. 3).

Die durch eine Kartierung ermittelten Humusgehalte werden ebenfalls interpoliert (Abb. 4) und mit der Karte der Bodenarten überlagert. Die manuelle Zuordnung der nFK-Werte erfolgte nach einem Schätzungsschlüssel (BLUME und FRIEDRICH, 1979). Schließlich wird für eine bestimmte Gruppeneinteilung die thematische Karte der nFK-Werte gezeichnet (Abb. 5).

Da die Programme von TEMAKART an unterschiedlichen Instituten entwickelt wurden, sind die Schwierigkeiten der Implementierung des sehr umfangreichen Gesamtsystems nicht zu unterschätzen. Die Programme sind in unterschiedlichen FORTRAN-Versionen (von FORTRAN 4 bis FORTRAN 77) programmiert und halten sich nicht hundertprozentig an den ANSI Standard. Außerdem gibt es einige Probleme mit der Bedienung der Programme. Einige werden über einen Dialog gesteuert, andere über Kommandos ohne begleitende Texte des Rechners und einige im Batchbetrieb gestartet. Die Vereinheitlichung des Systems soll durch Integration von TEMAKART in ein Methodenbanksystem erfolgen (HATJE und LAMP, im Druck). Durch die Kombination mit dem Datenverwaltungssystem DASP (KÖHNE, 1981) wird das ganze zu einem halbwegs portablen System ausgebaut, das, auch teilweise auf einem Mikrocomputer lauffähig, dem Geowissenschaftler interessante Möglichkeiten für die thematische Kartographie zur Verfügung stellen wird.

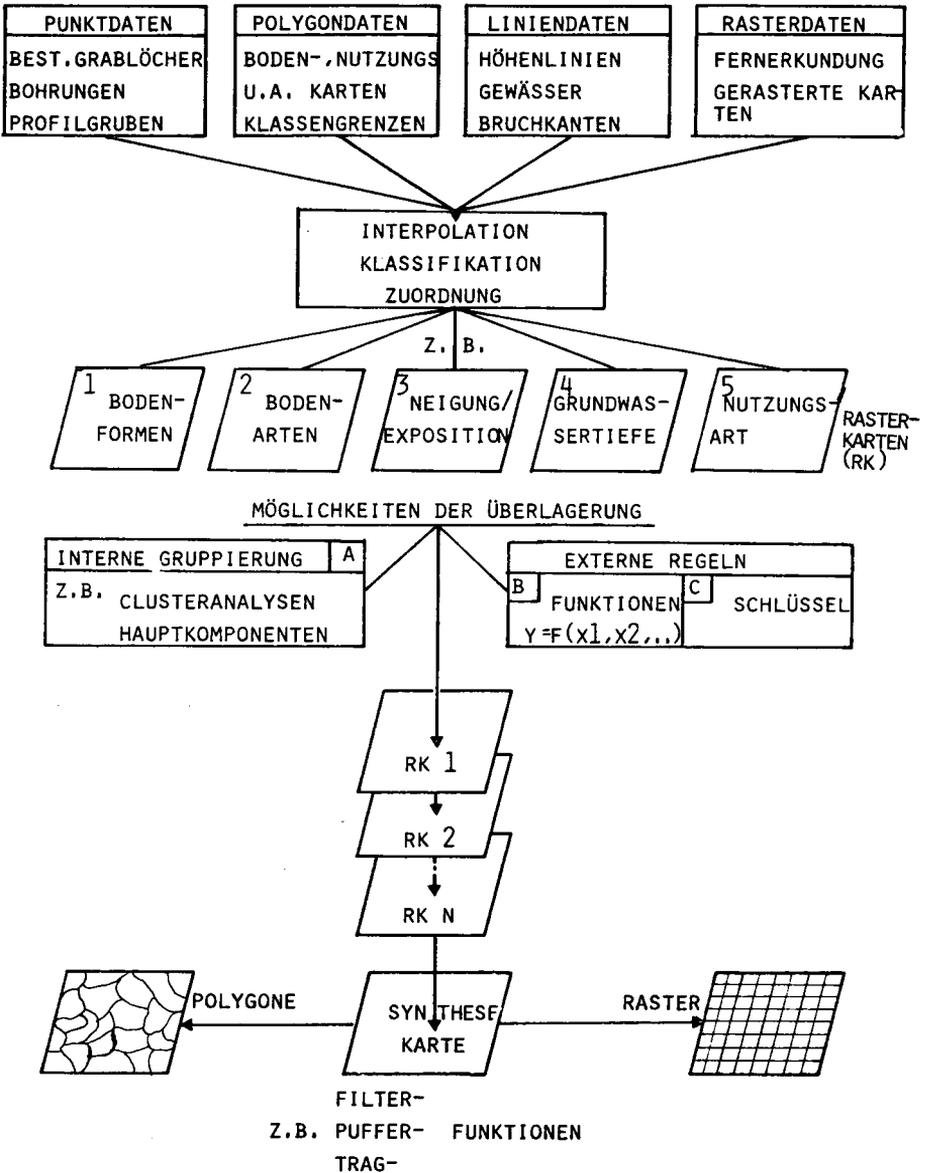


Abb. 2: Datenfluß bei der Erstellung von thematischen Karten

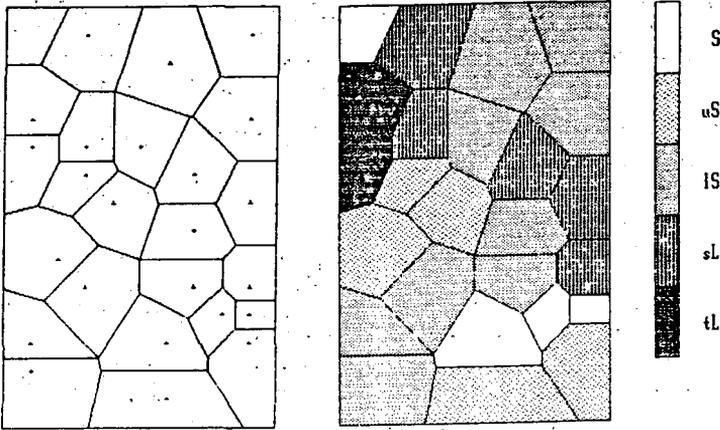


Abb. 3: Regionale Interpolation und Symbolisierung von Bodenarten

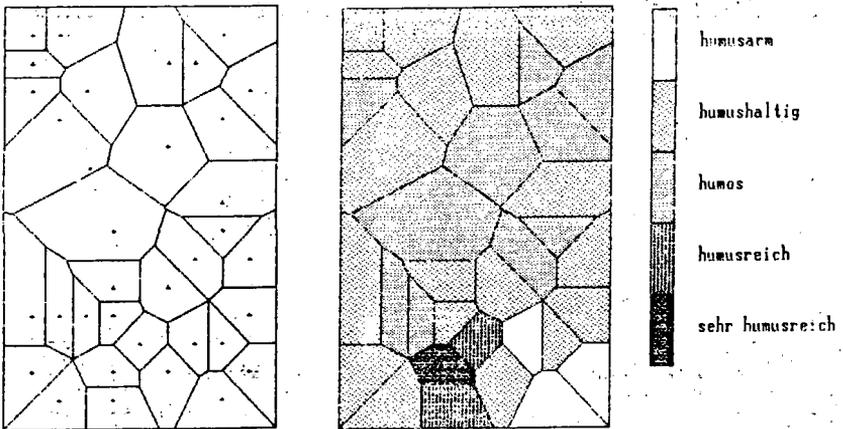


Abb. 4: Regionale Interpolation und Symbolisierung von Humusgehalt-Klassen

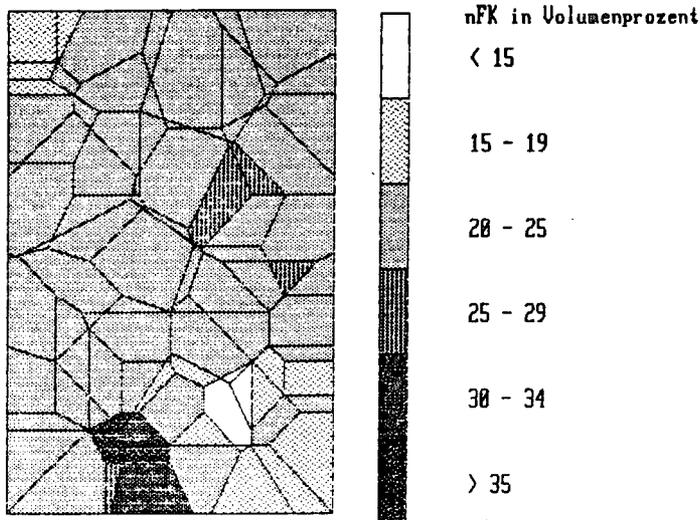


Abb. 5: Durch automatische Oberlagerung der Humus- und Bodenartenkarten abgeleitete regionale Darstellung der nFK-Klassen

Literaturverzeichnis:

- BIE, S. (1981): TEMAKART-a spatial analysis and mapping system for multivariate thematic data, 8th European Data Management Symp. 64/7, Oslo
- BLUME, H.-P. und FRIEDRICH, F. (1979): Bodenkartierung, Standortbewertung und Ökoplanung; Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie; Münster 1978 Band VII
- DORN, M. und KÖHNE, K. (1982): DASP-Benutzerhandbuch, Dokumentation und Abfrageprogramm für Schichten- und Probandaten, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover
- HATJE, J. und LAMP, J. (im Druck): Das Kieler Bodeninformationssystem - zum Aufbau eines Daten- und Methodenbanksystems -, Geologisches Jahrbuch
- MC CULLAGH, M.J. (1980): Documentation for Tessellation Module of TEMAKART; Department of Geography; Nottingham, NG7 2RD; England
- VOLDEN, R. (1981): TEMAKART Documentation and User's Guide; Norsk Regnesentral; publ. no. 690



Arbeiten an einem Dreidimensionalen Gelände- und Substratmodell für ein bodenhydrologisches Forschungsprojekt

von

Rohdenburg, H., H. Hensel, H.-R. Bork u. U. Sabelberg¹⁾

Eine Braunschweiger Forschergruppe "Wasser- und Stoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete unter besonderer Berücksichtigung von Substrataufbau, Relief und Nutzungsform" bearbeitet ein komplexes Modellsystem zur gleichzeitigen Simulation von Gerinneabfluß und Bodenwasserflüssen. Als Eingangsparameter für dieses Modell müssen an den Knotenpunkten eines regelmäßigen Gitters sowohl die Tiefenfunktionen der Porenverteilung als auch diejenigen der Wasserleitfähigkeit bekannt sein, und zwar für den gesamten Tiefenbereich, in dem mit berächtlichen und jahreszeitlich wechselnden Wasserflüssen gerechnet werden muß.

Im Untersuchungsgebiet Neuenkirchen (Gemeinde Liebenburg) liegen LÖBdecken, Schwemmschutt-LÖB-Solifluktuionsdecken, Schwemmschuttkörper und Mergelsofluktuionsdecken mit einer Durchschnittsmächtigkeit von insgesamt 5 m über weitestgehend undurchlässigen Em-schermergeln. In den Lockersedimenten besteht ganzjährig bzw. sehr lange Zeit im Jahr ein flachgründiger Grundwasserkörper, der überwiegend von den Tiefenlinien bis zu den Wasserscheiden reicht. Zu erfassen sind demnach die bodenhydrologisch wichtigen Parameter bis auf das mesozoische Anstehende. Wenn wir in erster Näherung laterale, mit der Reliefposition kovariierende Veränderungen der bodenhydrologischen Parameter außer acht lassen, müssen wir an jedem Gitterpunkt die Sedimentfolge und die darin entwickelten Bodenhorizonte bestimmen und für alle vorkommenden Sediment-Horizont-Kombinationen die Porenverteilung und Wasserdurchlässigkeit im Labor ermitteln.

In einem Teileinzugsgebiet (Pegel Nr. 5) und seiner näheren Umgebung wird eine sehr detaillierte Aufnahme mit etwa 50 m - Bohrabstand durchgeführt. Es liegen 192 Bohrungen vor, die überwiegend in Bohrreihen von der Wasserscheide bis zur Tiefenlinie angeordnet wurden. Es stellt sich die Aufgabe, sowohl die Schichtenfolge als auch die Horizonte zwischen den Bohrpunkten zu interpolieren, um eine bestmögliche Schätzung für die Knotenpunkte des Gitternetzes zu erhalten. Dafür gibt es gegenwärtig kein vollautomatisches Verfahren, so daß wir die Interpolationen lediglich "EDV-gestützt" durchgeführt haben.

Aus einem Digitalen Höhenmodell, das auf digitalisierten Höhenlinien der Topographischen Karte 1 : 5000 aufbaut, erhalten wir die Höheninformation der Bodenoberfläche an allen Gitterpunkten.

¹⁾Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Techn. Universität Braunschweig, Langer Kamp 19 c, D-3300 Braunschweig.

Das Datenaufbereitungsprogramm PROF sortiert sämtliche in den Rechner eingegebenen Bohrprotokolle so um, daß man damit im Relief beliebig angeordnete Schnitte zeichnen kann. Das Programm HQS (Zeichnen von Hang-Quer-Schnitten) ist in der Lage, zwischen den Bohrpunkten linear zu interpolieren, wenn die Reihenfolge der Schichten bekannt ist. Wir verwenden es zunächst in der Option "mit Leerflächen", d.h. das Schichten/Horizonte nur gezeichnet (schraffiert) werden, wenn sie in zwei benachbarten Bohrungen angetroffen werden (Fig. 1a).

Schichten und Horizonte werden getrennt interpoliert. Es wurden 30 Profilserien "mit Leerflächen" in Ost-West- und Nord-Süd-Richtung gezeichnet. Aufgrund geowissenschaftlicher Modellvorstellungen (Art von Diskordanzen, Grenzflächen von Schichtkörpern und Solifluktsdecken etc.) wurden die Leerflächen ausgefüllt. Dabei zeigte es sich, daß die tatsächliche Schichtenfolge im ersten Anlauf nicht vollständig bekannt war, sondern ergänzt werden mußte, was die Neuzeichnung einiger Profile erforderte.

Die so erzeugten Interpretationsskizzen wurden benutzt, um im Datensatz vorhandene Lücken zu schließen. Es wurden so viele Hilfspunkte eingegeben, daß sich mit Hilfe der HQS-Option "ohne Leerflächen" ein automatisch gezeichneter Reliefquerschnitt erstellen läßt, der der Handinterpolation im wesentlichen entspricht (Fig. 1b).

Im nächsten Arbeitsschritt werden sämtliche Schichtober- bzw. -unterflächen aufgrund der Bohrpunktinformation und der Hilfsprofile zweidimensional interpoliert, und zwar mit einem interpolierenden zweidimensionalen Spline nach AKIMA (1978), der von einem unregelmäßigen Punktraster ausgeht. Mit einem Krigingprogramm wurden sehr ähnliche Interpolationsergebnisse erzielt. Wegen des geringeren Aufwandes wurde für die praktische Arbeit der AKIMA-Spline bevorzugt. Dieser Arbeitsschritt ergibt für jede Schichtgrenzfläche Höheninformationen an jedem Gitterpunkt.

Durch ein nachgeschaltetes Isolinienprogramm können die Interpolationsergebnisse übersichtlich dargestellt werden, so daß offensichtliche Interpolationsfehler (in Gebieten mit großen Gradienten) leicht erkannt werden können. Eine weitere Kontrollmöglichkeit liefern die mit HQS automatisch erstellten Profilschnitte. Durch Eingabe von weiteren Hilfspunkten werden diese Interpolationsfehler beseitigt und die Spline-Interpolation zur Ausgabe des Endergebnisses wiederholt.

Bei der Interpolation der Horizonte des Oberflächenbodens kann man zwar davon ausgehen, daß primär keine Diskordanzen vorkommen. Aber kleinräumige Mächtigkeitsänderungen, die eine automatische Interpolation nicht erkennen kann, treten an Substratgrenzen verbreitet auf. Außerdem treten infolge der z.T. beträchtlichen Bodenerosion trotz der geringen Hangneigungen sekundäre Diskordanzen auf. Das bedeutet, daß auch für die Bodenhorizonte das HQS-Programm "mit Leerflächen" benutzt wird (Fig. 2a). Die Leerflächen werden von Hand geschlossen, es werden weitere Hilfspunkte eingegeben usw. (Fig. 2b).

Die endgültigen Substrat-Horizont-Einheiten ergeben sich schließlich durch Überlagerung ("Verschneiden") der getrennt durchgeführten Auswertungen der Substrate und Horizonte. Dabei ergeben sich Substrat-Horizont-Kombinationen, die bei der Probenahme für die bodenphysikalischen Untersuchungen nicht bekannt waren oder

aus technischen Gründen nicht berücksichtigt werden konnten. Die Zuordnung bodenphysikalischer Kennlinien (pF , Ku_s) kann dann über Regressionsmodelle vorgenommen werden. Dabei ist zu prüfen, ob der gesamte Probenumfang als eine Gesamtheit angesehen werden kann oder ob getrennte Regressionmodelle für bestimmte Substratklassen geeigneter sind. Wir streben an, nicht die einzelnen Porengrößenklassen und Wasserdurchlässigkeiten bei den wichtigsten Saugspannungen getrennt zu schätzen, sondern lediglich die 5 Parameter von Ausgleichsfunktionen, die pF - und Ku_s -Kurve gemeinsam beschreiben, entsprechend dem Ansatz nach MUALEM (1976) und VAN GENUCHTEN (1980) zu verwenden.

Bei dem vorgestellten Arbeitsplan ist sehr viel manuelle Interaktion notwendig, da in die Interpolation geowissenschaftliche Substratverbreitungsmodelle (z.B. "Flußterrasse", "Solifluktionshang") eingehen, deren Anwendung zur Zeit, und auch in nächster Zukunft, sicher auch nicht automatisierbar ist, obwohl in bestimmten Fällen schon halbautomatische Modellanwendungen (z.B. im Mesozoikum, Arbeitsgruppe SIEL, STAMM, RÜBER, Bonn) eingesetzt werden können. Unser Arbeitsverfahren lohnt sich nur dort, wo die Substrat-Horizont-Information in sehr hoher räumlicher Auflösung (Maschenweite 25 m) vorhanden sein müssen. Ziel unseres Forschungsprojektes ist es auch, Methoden anzuwenden, mit denen man größere Gebiete ohne zu großen Informationsverlust bearbeiten kann. Schon bei einer Maschenweite von etwa 100 m müssen Einzelschichten zu Schichtserien zusammengefaßt werden. Da die Raumlage von Diskordanzen bei dieser Auflösung in pleistozänen Deckschichten in der Regel nicht mehr entscheidend ist, können für die Festlegung von Substratarealen, in begrenztem Maße auch für Horizontareale, Grenzlinienprogramme eingesetzt werden, die über die Eingabe von Vorzugsrichtungen und Vorgabe von Diskordanzen einfache Modellansätze mitberücksichtigen können (PREUSS 1983). Bei komplexeren Situationen werden allerdings interaktive Eingriffe notwendig. Wenn man bei Bodeneigenschaften kontinuierliche Veränderungen interpolieren will, sollten dafür Schätzmodelle angewendet werden, die z.B. in engerem Raster erhobene Reliefeigenschaften mitberücksichtigen. Für solche Anwendungen erweitern wir das oben angesprochene Digitale Höhenmodell zu einem Digitalen Geländemodell (DGM), das die ökologisch wichtigen Parameter Hangneigung, Exposition, Vertikalkrümmung, Horizontalkrümmung, Größe und mittlere Hangneigung des Einzugsgebietes für jeden Rasterpunkt bereitstellt. Durch die Verwendung solcher "korrelativer Interpolationsverfahren", wobei die eigentliche Interpolation durch Splines oder Kriging erfolgen kann (vgl. SABELBERG u. ROHDENBURG 1983), sind wir in der Lage, auch kontinuierliche Veränderungen wichtiger Bodeneigenschaften, die z.B. zur häufigen Aufnahme von Übergangshorizonten Anlaß geben, im Raum zu berücksichtigen.

Die diskutierten Verfahren sind aus der Sicht der Bodenphysik indirekte Verfahren, da die Interpolation auf der Ebene der Sedimenteinheiten bzw. Bodenhorizonte durchgeführt wird. Zum Vergleich führen wir direkte Interpolation in dem Sinne durch, daß für jeden Bohrpunkt und für alle Tiefen aufgrund der Substrateigenschaften sofort die bodenhydrologische Bewertung durchgeführt wird, und daß anschließend diese Werte der korrelativen Interpolation für bestimmte Tiefenstufen unterworfen werden. Dieses Verfahren hat den Vorteil eines wesentlich höheren Automatisationsgrades, der allerdings durch geringere räumliche Auflösung und Ortstreue erkauft wird. Wenn, etwa für hydrologische Anwen-

dungen, die Ortstreue nicht das entscheidende Kriterium ist, sondern das Flächenmittel wichtiger wird, versprechen solche direkten Interpolationen gute und wesentlich schneller erreichbare Ergebnisse.

Wenn aber für Stoffhaushaltsuntersuchungen auch bodenchemisch relevante Substratparameter bestimmt werden müssen, ist nach wie vor die Interpolation der im Gelände erhobenen Primärinformation, also der Sediment- und Bodeneigenschaften, vorzuziehen.

Schon aus diesen Ausführungen ist ersichtlich, daß es das optimale Interpolationsverfahren sicher nicht gibt. Die Wahl der Interpolationsmethode wird vom Ziel der Arbeit, der dadurch gestellten Anforderungen hinsichtlich Ortstreue und Auflösung sowie auch parallel verlaufenden weiteren Auswertungen abhängen.

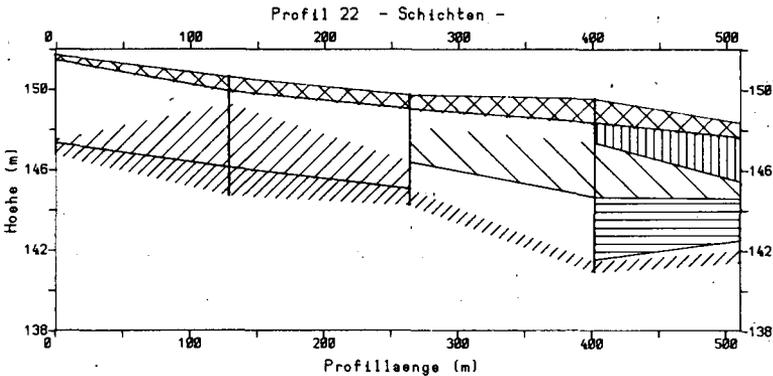


Fig. 1a: Schichtprofil mit der Option "mit Leerflächen".

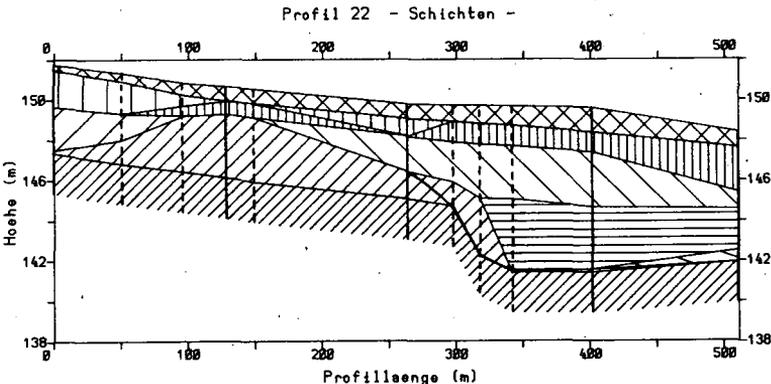


Fig. 1b: Schichtprofil mit der Option "ohne Leerflächen" (nach Handinterpolation).

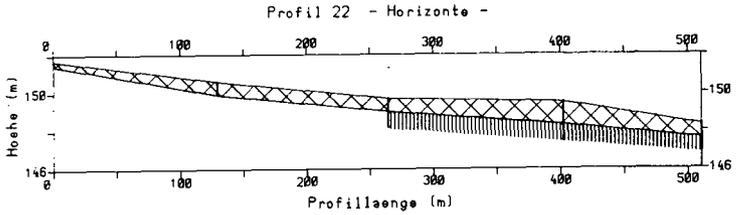


Fig. 2a: Horizontprofil mit der Option "mit Leerflächen".

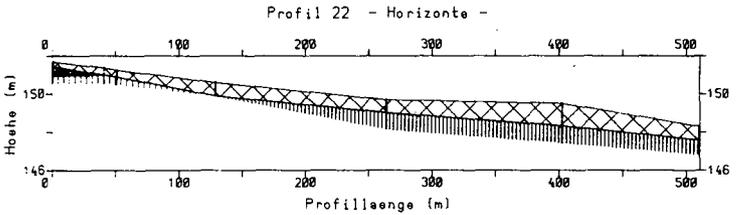


Fig. 2b: Horizontprofil mit der Option "ohne Leerflächen" (nach Handinterpolation).

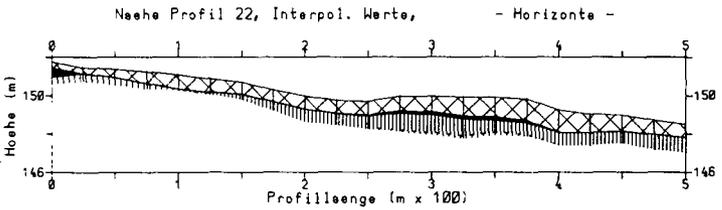


Fig. 2c: Horizontprofil. Interpolierte Werte in der Nähe von Profil 22.

Legende

Schichten



- Kolluvium
- tonarmer Loess
- nicht einzuordnender Loess
(vollständig pedogen versendert)
- tonreicher Loess
- Wechsellagerung ueber Schottern
- Sollfluktionsdecke mit geringerem Tongehalt
- Sollfluktionsdecke mit hoehere Tongehalt
- Schotter/Schwemmschutt
- Wechsellagerung unter Schottern
- allochthoner Eschermergel mit hohem Skelettanteil
- allochthoner Eschermergel
- autochthoner Eschermergel

Horizonte



- A_h-Horizont
 - B₁-Horizont
 - B_{vl}-Horizont
 - B₂-Horizont
- Diskordanzen
- | Profilpunkte
- | Hilfeprofile

Literaturverzeichnis

- AKIMA, H. (1978): A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points. ACM Transactions on Mathematical Software, Vol.4, No. 2, p. 148 -159.
- GENUCHTEN, VAN M. Th. (1980): A closed-form Equation for Predicting Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Sc. Soc. of America Journal, 44, Nr. 5, S. 892 - 898.
- MUALEM, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res. 12, 513-522.
- PREUSS, H (1983): Das Grenzlinienprogramm Geologie - ein Programm zur Konstruktion, Definition und Manipulation von geowissenschaftlichen Grenzlinien. Geol. Jahrb., Reihe A, im Druck, Hannover.
- SABELBERG, U. u. ROHDENBURG, H. (1983): Zur Ableitung von Typenarealen aus bodenkundlichen und ökologischen Primärdaten als Grundlage einer EDV-gestützten Konstruktion forstbodemkundlicher und forststandortkundlicher Arealkarten. Geol. Jahrb., Reihe A, im Druck, Hannover.
- SCHWENTKER, P., STREIT, U., WIENEKE, G. (1981): Fortran-Programme zur statistischen Bearbeitung raumbezogener Daten. Teil 1: Räumliche Autokorrelationskoeffizienten, Variogramme, Punkt-Kriging. Arbeitsberichte des Lehrstuhls Landschaftsökologie, Münster.

DV-Einsatz bei der Herstellung bodenkundlicher
Kartenwerke in den Maßstäben 1 : 5 000 und 1 : 25 000.

von

Eckelmann, W. und I. Benne *)

1. Einleitung

Die routinemäßige Herstellung von Bodenkarten erfordert den Einsatz der Datenverarbeitung, wenn große Mengen bereits vorhandener bodenkundlicher Informationen in den Herstellungsprozeß einbezogen werden sollen. Eine solche Datenfülle liefern die Archivunterlagen der Bodenschätzung. Deshalb wird beim Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) in diesem Jahr erstmals versucht, Datenverarbeitung im Rahmen der routinemäßigen bodenkundlichen Landesaufnahme einzusetzen.

Als zentrale Datenverarbeitungsanlage steht eine Siemens 7541-Anlage (BS 2000-Betriebssystem) zur Verfügung, die mit einem PDP-Rechner verbunden ist. Die Datenerfassung erfolgt mit einer Inforex-Anlage.

2. DV-gestützter Arbeitsfluß bei der bodenkundlichen Landesaufnahme des NLfB

Die bodenkundliche Kartierung beginnt mit einer Vorbereitungsphase (Abb. 1), in der alle verfügbaren Unterlagen gesichtet, ausgewertet und für die Bodenkartierung verfügbar gemacht werden. Dazu zählen

- Topographische Karten, z.B. für Aussagen zum Relief,
- Historische Karten, z.B. für den Nachweis von Plaggengesclflächen,
- ältere Bodenkarten für die Übernahme der darin bereits vorhandenen bodenkundlichen Erkenntnisse,
- Karten und Bodenprofile der Bodenschätzung,
- Geologische Karten, hier insbesondere ihre Aussagen zum bodenbildenden Ausgangssubstrat,
- Forstliche Standortkarten mit ihren ökologisch-bodenkundlichen Aussagen.

*) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
3000 Hannover 51, Stilleweg 2

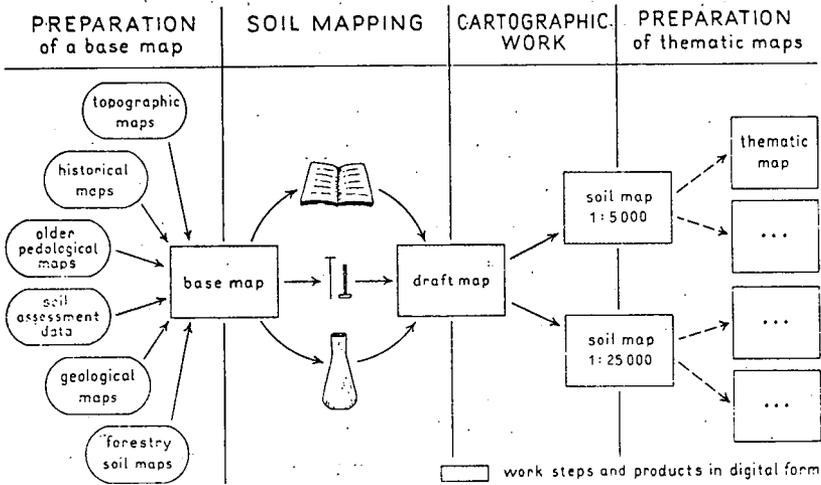


Abb. 1: Arbeitsfluß bei der bodenkundlichen Landesaufnahme im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung

Aus diesen Unterlagen werden die für die bodenkundliche Kartierung dienlichen Aussagen entnommen und auf die Konzeptkarte (base map) übertragen, die die Grundlage für die Geländearbeit darstellt.

Für die Daten der Bodenschätzung geschieht dieser Arbeitsschritt auf digitaler Wege (Abb. 2). Die Lagepunkte der flächentypischen Grablöcher werden auf der PDP-Anlage durch Digitalisierung von Hand erfaßt. Die Erfassung der Profilbeschreibungen erfolgt gleichzeitig mit einer Korrektur und Ergänzung der Daten nach einem festen Schlüssel (Benne et al., 1983) mit dem Ziel einer Datenhomogenisierung. Die Grenzen der Bodenschätzung liegen in der Form kopierfähiger Folien vor und werden ohne Veränderungen auf photographischem Wege übernommen.

Nach der Erfassung werden die Daten von den dezentralen Anlagen in den Siemens-Rechner eingelesen (tapeisamd, digiti)¹⁾, verknüpft und durchnummeriert (bundl 1).

Nach der Verknüpfung werden die Daten automatisch übersetzt (uebers): für diesen Zweck wurde der DV-gerechte bodenkundliche Sprachgebrauch in einem "Datenschlüssel Bodenkunde" (Oelkers, 1983) zusammengestellt und dem Übersetzungsprogramm (Fleischmann et al., 1979) zugrunde gelegt. Anschließend werden die Daten für das "DASP-System" (Kühne, 1983) einlagerungsgerecht umgeordnet (umord): dabei werden den schichtbezogenen Daten eines jeden Profils die dazugehörigen Titeldaten zugeordnet.

Die Einlagerung der Daten in das DASP-System ist durch eine Prozedur außerhalb

1) Kommandos für die Prozeduren, vgl. Abb. 2.

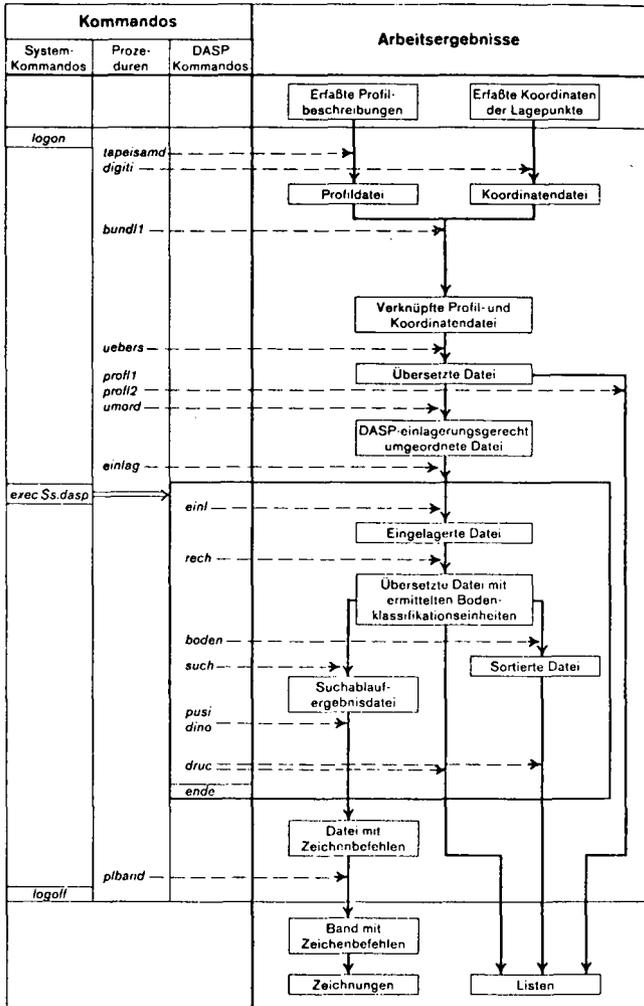


Abb. 2: Ablauforganisation bei der DV-mäßigen Bearbeitung von Profilbeschreibungen der Bodenschätzung

des DASP-Systems (*einlag*) oder durch Einlagerungsbefehl innerhalb des DASP-Systems (*einl*) möglich. Nach der Einlagerung werden durch Befehl (*rech*) für jedes Profil neben dem Bodentyp mehrere Bodeneigenschaften ermittelt, z.B. nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität, Kationenaustauschkapazität usw. Auf diese Datei greifen später alle Auswertungsprogramme zurück.

Für die Herstellung einer Teilkonzeptkarte (base map) sowie weiterer Auswertungskarten aus den Daten der Bodenschätzung können mit dem Punkt-Signatur-Programm

(pusi) (Preuss, 1979) außer den Bohrpunkten selber die folgenden Informationen an die betreffenden Bohrpunkte auf die Karte geschrieben werden:

- die Profilbeschreibung in Kurzform (Textprofilkarte)
- ausgewählte Informationen, wie Bodentyp, nFK in mm usw.
- Signaturen für auszuwählende Klassen (z.B. nFK-Klassen; Punkt-Signatur-Karte).

Mit einem weiteren Programm (dino) (Preuss, 1980) besteht die Möglichkeit, an die Stelle der Profilpunkte Profilsäulen zu zeichnen. Diese Profilsäulen können zu einer Profilleiste zusammengefaßt und als Legende am unteren Kartenrand gezeichnet werden. Die Zeichnung der Punkt-Signatur-Karte und der Profilsäulen erfolgt auf dezentralen Anlagen.

Mit dem Befehl "boden" sind Sortierungen der Dateien nach beliebigen Kriterien möglich, z.B. nach dem Bodentyp oder dem Klassenzeichen der Bodenschätzung. Eine Auslistung der Dateiinhalte ist innerhalb (druck) und außerhalb des DASP-Systems (profil 1 und 2) möglich. Der Benutzer kann zwischen einer ausführlichen Form mit sämtlichen Titel- und Schichtdaten sowie einer Kurzform mit den wichtigsten Dateninhalten wählen. Der Bezug zur Fläche wird durch eine Bohrpunktkarte hergestellt, die mit den Bodengrenzen zusammenkopiert wird.

Die oben aufgezeigten Wege bieten dem Kartierer somit verschiedene Möglichkeiten, eine Teilkonzeptkarte aus den Daten der Bodenschätzung herzustellen. Die Informationen werden mit einem Aristo-Plotter auf eine Lichtpause gezeichnet, die die Grenzen der Bodenschätzung enthält. Diese Teilkonzeptkarte muß der Kartierer nun noch manuell durch weitere Informationen z.B. aus geologischen Karten, historischen Karten usw. zu einer vollständigen Konzeptkarte mit dem bestmöglichen Informationsstand weiterentwickeln. Mit dieser dann fertiggestellten Konzeptkarte kann die Kartierarbeit in der Regel im Maßstab 1 : 5 000 beginnen.

Im Verlauf der Kartierung wird sich herausstellen, daß einige auf der Konzeptkarte enthaltene Informationen nicht richtig sind. Das trifft für etwa 10 bis 20 % der Daten zu. Deshalb werden die in der DASP-Datei gespeicherten Daten nach dem Geländebefund korrigiert. Die so korrigierten Schätzungsdaten bilden schließlich jene Datei, die für bodenkundliche Fragestellungen ständig bereitgehalten wird.

Die Herstellung von Druckvorlagen für Bodenkarten ist ebenfalls auf digitalem Wege vorgesehen. Dies ist z.Zt. allerdings nur für den Maßstab 1 : 5 000 möglich, da nur für diesen Maßstab die Grenzen vorliegen. In Anlehnung an die bislang hergestellte Deutsche Grundkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung (DGK 5 B) bietet sich für die Herstellung der Kartenlegende die oben erwähnte Profilsäulendarstellung an.

Neben dieser Grundlagenkarte im Maßstab 1 : 5 000 können Auswertungskarten mit beliebigem Karteninhalt als Druckvorlage hergestellt werden. Zur Verfügung stehen alle durch den Befehl "tech" ermittelten Bodeneigenschaften, die durch das Punkt-signaturprogramm "pusi" ausgezeichnet werden. Die Informationen können in Klartext, z.B. als Millimeterangabe für nutzbare Feldkapazität, oder sortiert nach Klassen und durch unterschiedliche Symbole am Profilpunkt gekennzeichnet werden. Durch Zusammenkopieren dieser Punkt-signaturkarten mit den Bodengrenzen läßt sich der Bezug zur Fläche herstellen. Als Folge können Flächen gleicher Signaturdarstellung zu einer großen Fläche zusammengefaßt werden. Diese Zusammenfassung muß z.Zt. allerdings noch von Hand ausgeführt werden.

Für die Herstellung von Druckvorlagen im Maßstab 1 : 25 000 ist die Zusammenfassung von ähnlichen Profilen durch Sortierprogramme erforderlich; sie werden z.Zt. erarbeitet. Als Folge können Flächen mit ähnlichen Profilbeschreibungen zu größeren Flächen zusammengefaßt werden. Der graphische Teil dieses Vorgangs muß allerdings z.Zt. noch von Hand erfolgen, da das Hantieren mit graphischen Elementen eine Datenbankorganisation erfordert, die z.Zt. noch fehlt.

Literatur

- BENNE, I., W. LAUKART, K.-H. OELKERS, U. SCHIMPF (1983): Realisierung der DV-gestützten Herstellung bodenkundlicher Karten unter besonderer Berücksichtigung der Bodenschätzung. - Geol.Jb., A. Hannover (im Druck).
- FLEISCHMANN, R., E. HACKER u. K.-H. OELKERS (1979): Erfahrungen bei der systematischen Übersetzung der Geländedaten der Bodenschätzung - eine Vorstufe zur automatischen Datenverarbeitung. - Geol.Jb., F6, 3-28, 1 Taf., Hannover.
- KÜHNE, K. (1983): DASP - ein System zur Verwaltung und Auswertung geowissenschaftlicher Daten. - Geol.Jb., A; (im Druck).
- MÜCKENHAUSEN, E. u. H. MERTEN (1966): Die Bodenkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung. - Minist.Ernährg.Landwirtsch. u. Forsten Nordrhein-Westfalen: 40 S; Düsseldorf.
- OELKERS, K.-H. (1983): Datenschlüssel Bodenkunde. - Geol.Jb. (im Druck).
- OELKERS, K.-H. u. W. ECKELMANN (1983): Das Auffinden und Abgrenzen bodenkundlicher Kartiereinheiten bei der Landesaufnahme und ein Vorschlag zur Beschreibung der Flächeninhalte. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. (im Druck in diesem Band).
- OELKERS, K.-H. u. R. VINKEN (1980): Möglichkeiten des ADV-Einsatzes in der bodenkundlichen Landesaufnahme. - Geol.Jb., F8, 23-37, 1 Taf., Hannover.
- PREUSS, H. (1980): L4DINO-Programm zur automatischen Konstruktion von Profilsäulen mit Signaturen an DIN 4220 orientiert. - Programmbibliothek von NLFb/BGR, 15 S., 4 Abb., Hannover.
- PREUSS, H. (1979): L4PUSI - Ein Graphikprogramm zur Punkt-signaturen-Darstellung. - Programmbibliothek von NLFb/BGR, 16 S., 6 Abb., Hannover.
- VOSS, H.-H. (1981): Soil data: Capture, Handling, and Display Using the System DASP. - Departement des Sols, Institut National Agronomique, 4, Paris-Grignon, 97-100.

Beschreibung des räumlichen Aufbaus holozäner Elbsedimente
durch EDV-erzeugte Horizontalschnitte.

von

Miehlisch, G. und I. Kleinedam *

Ein spezifisches Umweltproblem großer Hafenstädte ist die Unterbringung des Schlicks, der zur Aufrechterhaltung der Schifffahrt aus den Fahrrinnen und Becken gebaggert wird. Alljährlich fallen in Hamburg ca. 2,5 Mio. m³ Baggergut an, das im Verhältnis 2:3 aus Sand und Schlack besteht. Selbst wenn es gelingt, den wiederverwendbaren Sand abzutrennen und den Schlack teilweise zu entwässern, verbleiben ca. 600.000 m³ kontaminierter Schlack, die deponiert werden müssen. Daraus resultiert, bei einer Spülfeldhöhe von 5 m, ein jährlicher Flächenbedarf von ca. 15 ha. Im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung zur Grundwassergefährdung durch Hafenschlick-Spülfelder haben wir die Aufgabe übernommen, die Eignung eines sogenannten Spülfeld-Suchraums zu überprüfen.

Die Untersuchung gliedert sich in folgende Schritte:

- Beschreibung des räumlichen Aufbaus der Böden und der oberflächennahen Sedimente
- Bestimmung der Wasserleitfähigkeit und der Schadstoff-Rückhalteleistung der Horizonte/Schichten
- Gruppierung der Profile zu Wasserdurchlässigkeits/Liefrichtungstypen
- Abschätzung des Verhaltens der Sedimente unter den Bedingungen eines Spülfeldes.

Hier soll vor allem über den Arbeitsablauf und die Ergebnisse des ersten Abschnitts berichtet werden. Wir möchten damit ein Beispiel für den Einsatz der EDV zur Beschreibung des räumlichen Aufbaus eines Sedimentkörpers aus den Ergebnissen einer großmaßstäbigen Kartierung geben. Die gesamte Untersuchung ist im ersten Zwischenbericht des Projekts enthalten, der von den Verfassern teilweise zur Verfügung gestellt werden kann.

* Ordinariat für Bodenkunde der Universität Hamburg, Von-Melle-Park 10,
2000 Hamburg 13

Die 156 ha große Kartierfläche liegt im E von Hamburg im Teil "Billwerder" der "Vier- und Marschlande" und gehört damit zum ehemals tidebeeinflussten Auenbereich der Elbe. Der größte Teil der Fläche liegt 20-30 cm unter NN, lediglich zur NE-Grenze steigt das Gelände in einem flachen Uferwall bis ca. 2 m NN an. Eine Vorkartierung ergab, daß das Gebiet bodensystematisch sehr einheitlich, stratigraphisch jedoch sehr kompliziert aufgebaut ist. Seit vielen Jahrhunderten wird der Grundwasserstand künstlich auf ca. -80 cm NN gehalten, so daß sich einheitlich Gleye gebildet haben, die in den höheren Lagen verbraunt sind. Die Zahl der unterscheidbaren Auensedimente ist ebenfalls begrenzt, ihr Aufbau jedoch sehr kompliziert. Aus der Zielsetzung der Arbeit ergibt sich, daß die Auswertung der Sedimentabfolgen gegenüber den Bodeneinheiten bevorzugt werden muß.

Für jeden Bohrpunkt wurden die Gauß-Krüger Koordinaten, die Höhe zu NN, die Nutzung, der Bodentyp, die Endtiefe, die Bohrrart und die Anzahl der aufgenommenen Schichten erfaßt. Für jede Lage wurden folgende Merkmale beschrieben: Unterkante, Sediment, Horizont, Farbe, Bodenart, Art, Menge und Lagerung der organischen Substanz, Form und Größe der Aggregate sowie Form, Größe und Orientierung der makroskopisch sichtbaren Poren. Die Angaben zu Gefüge und Poren konnten nur an Kernsondierungen erfaßt werden. Die Merkmale Bodenart und Gehalt an organischer Substanz wurden im Verlauf der Kartierung mehrfach im Labor überprüft.

Topographie und Geologie geben keinen Ansatz für eine Schichtung der Bohrpunkte. Es wurde daher ein systematisches Bohrraster im 50 m Abstand gewählt, das durch Zusatzbohrungen lokal verdichtet wurde. Im 150 m Raster wurden Kernbohrungen (5 cm Ø) zusätzlich zu den sonst üblichen Peilstangensondierungen durchgeführt. Insgesamt ergaben sich 777 Peilstangensondierungen und 76 Kernbohrungen. Die Bohrtiefe beträgt 2,8 m, bei der in den meisten Fällen die unterhalb der bindigen Sedimente liegenden holozänen Sande des Grundwasserleiters erreicht wurden.

Die Daten wurden kodiert und zu einer Bohrdatei vereint. Mit Hilfe von mehreren Rechenprogrammen, die zum größten Teil Herr Dr. Paluska (Geologisches Landesamt Hamburg) zur Verfügung gestellt hat, konnte die Datei benutzt werden, um Häufigkeitsverteilungen der Sedimentmerkmale zu erstellen, um Schichtabfolgetypen zu ermitteln und um Plotterkarten zu erzeugen.

Da die Lage und die Höhe zu NN für jeden Bohrpunkt bekannt ist, können in beliebiger Tiefe Horizontalschnitte über die gesamte Fläche entworfen werden. Die Plotterkarte gibt maßstabsgetreu die Lage des Bohrpunktes sowie die in

der Schnittebene angetroffene Merkmalsausprägung wieder. Bewußt ohne die Mithilfe der EDV wurden die Rasterpunkte zu Flächen zusammengefaßt. Durch eine Abfolge von Horizontalschnitten (ergänzt durch Vertikalschnitte) kann so der räumliche Aufbau eines Merkmals beschrieben werden. Dies soll für die Sedimentverteilung durch einige ausgewählte Horizontalschnitte demonstriert werden. Es muß dabei betont werden, daß es sich stets um reine Flächen, ohne Einschlüsse anderer Einheiten handelt.

In -6 dm NN (ca. -30 cm GOF, Abb. 1) liegt flächendeckend der obere Klei (ein Auenlehm), der in -10 dm NN (Abb. 2) lediglich als Rinnenverfüllung einer Schicht aus Torfen und Mudden in Erscheinung tritt. Am NE-Rand werden die hochstehenden Sande des Uferwalls angeschnitten. In 18 dm Tiefe (Abb.3) bilden Sande und der Untere Klei die dominierenden Flächen und organoklastische Sedimente sind auf Verfüllungen mäanderförmiger Rinnen beschränkt, die in den Unteren Klei eingeschnitten sind. In -28 dm NN (Abb.4) löst sich die geschlossene Fläche des Unteren Kleis zu wannenförmigen Teilflächen auf, die bis maximal -6 m NN in die holozänen Sande reichen. Bezogen auf die Fragestellung sind vor allem die relativ wasserdurchlässigen Torfschichten und die torfverfüllten Rinnen im Unteren Klei von Bedeutung, die Kontaktstellen zwischen den Torfen und dem Grundwasserleiter darstellen.

Die Auflösung der Schnitte wird durch das Bohrraster begrenzt. Bei einem Bohrabstand von 50 m können lediglich die Rinnensysteme mit einer Breite von mehr als 50 m in ihrem Verlauf sicher verfolgt werden. Untergeordnete Rinnen von 5-10 m Breite, wie sie in Detailkartierungen nachgewiesen wurden, werden unterdrückt. Sie erscheinen als isolierte Flecken, wenn ihr Verlauf einen Rasterpunkt berührt. Dies ist in Abb. 5 dargestellt. Im Standardraster A-B-C wird in einem Horizontalschnitt bei -17 dm NN die schmale Rinne vollständig unterdrückt. Läge der Rasterpunkt B auf B', so erschiene auf der Karte ein isolierter Torffleck. Erst bei einem Bohrabstand von ca. 7 m kann die Rinne sicher erfaßt werden. Dieses Bohrraster würde jedoch die Zahl der Bohrpunkte auf mehr als 20.000 anheben.

Ohne hier auf die Einzelheiten der Ableitung eingehen zu können, soll das Endergebnis der Gesamtuntersuchung kurz vorgestellt werden (Abb.6). Aus den Merkmalen Wasserleitfähigkeit der Schichten, Schichtmächtigkeit, Schichtabfolge und Lage eines Profils innerhalb des Gesamtsystems wurde eine Karte der Wasserdurchlässigkeit/Fließrichtung erarbeitet, nach der die Gesamtfläche in zwei Teilflächen unterschiedlicher Eignung zur Errichtung eines Spülfeldes untergliedert werden kann.

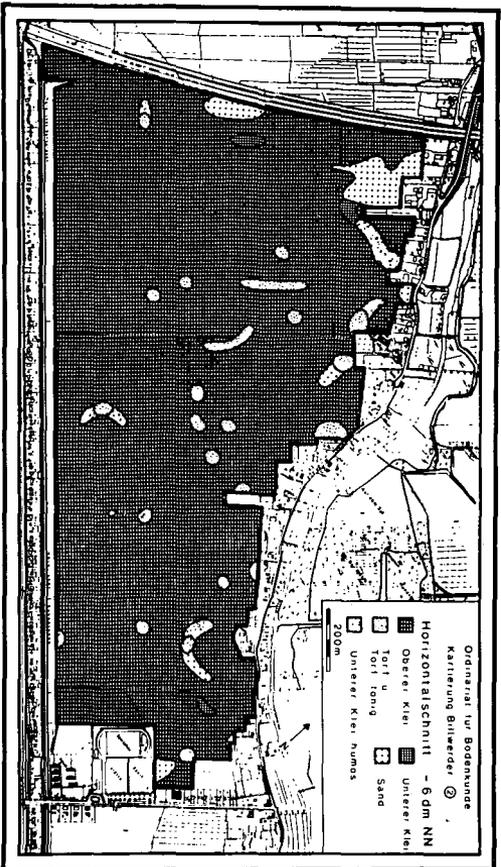


Abb. 1

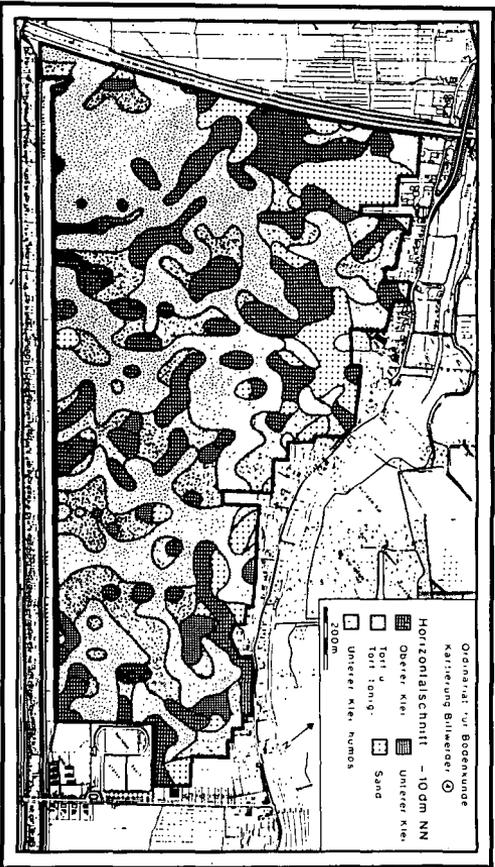


Abb. 2

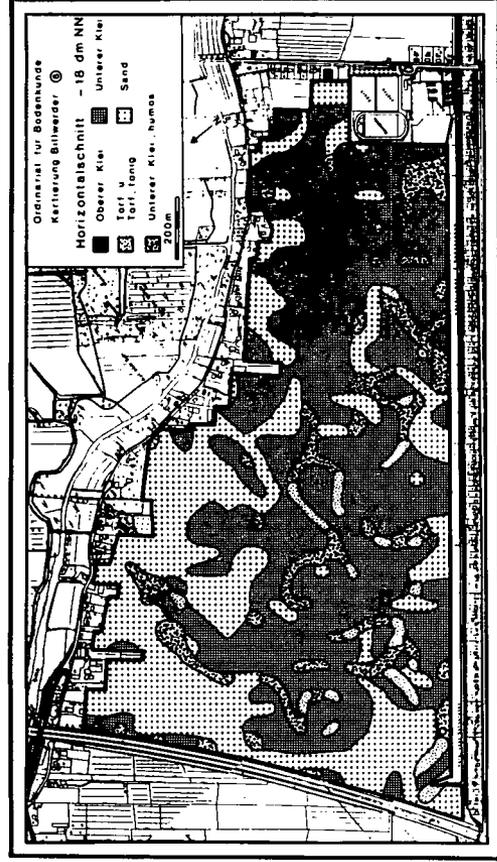


Abb. 5

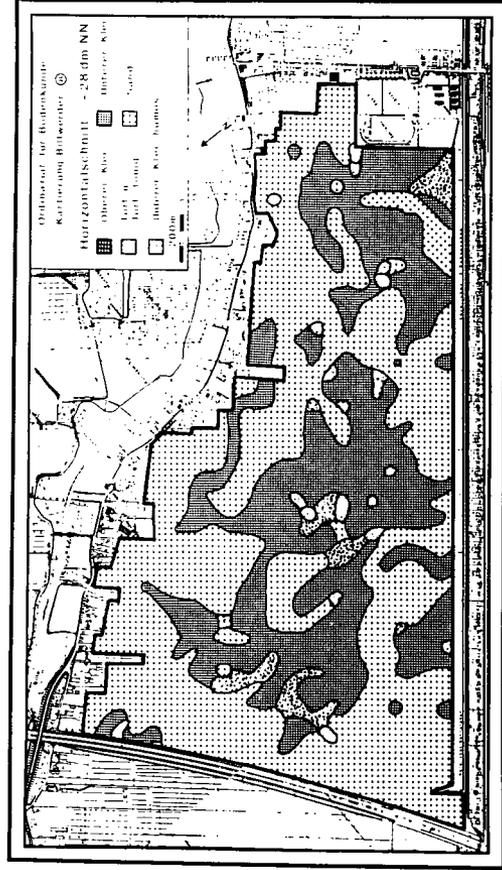


Abb. 4

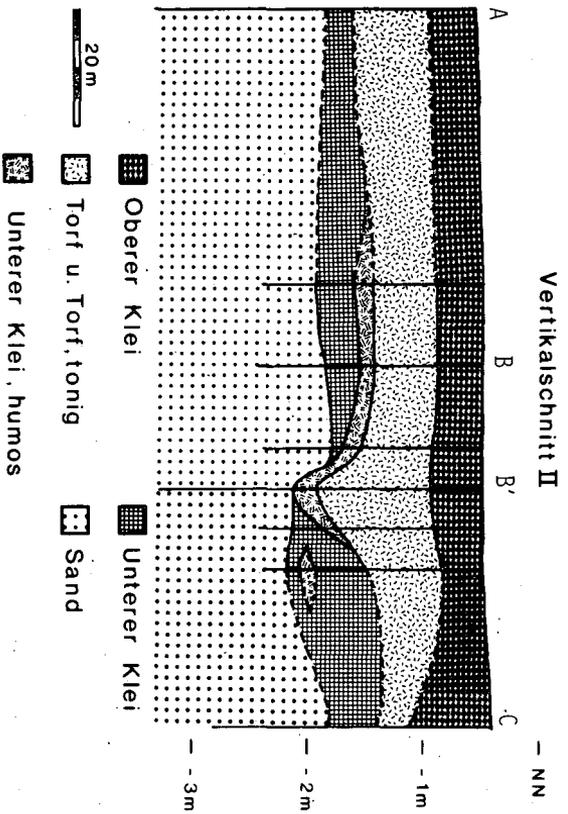


Abb. 5

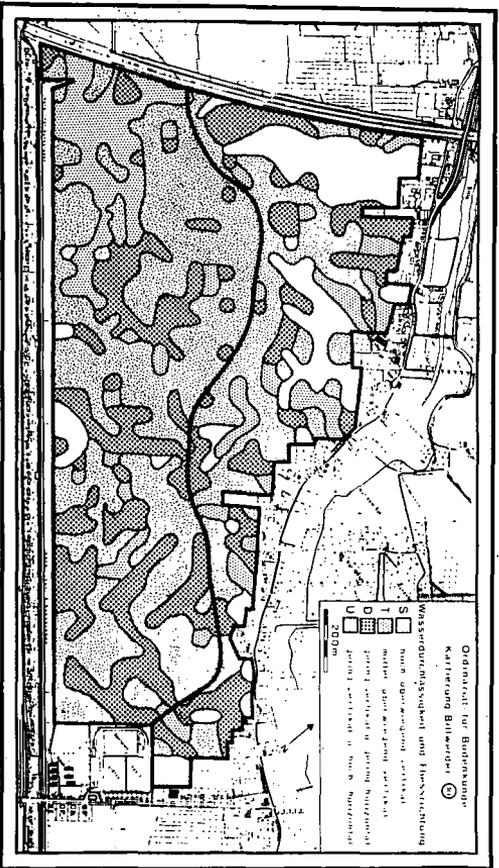


Abb. 6

Möglichkeiten der quantitativen
Fernerkundung für die Bodenregionalisierung

von

Dittel, R. H. [†])

"Das Gras ist üppig und dicht, du kannst den Boden nicht sehen." Aus der süd-afrikanischen Erzählung "Denn sie sollen getröstet werden" von Alan Paton. (Gilt derzeit auch noch für Europa.)

1. Arbeitsweise der Fernerkundung für pedologische Aufgabenstellungen

Die Fernerkundung nutzt die von einem Körper emittierte und reflektierte elektromagnetische Strahlung als Träger zur Informationsübermittlung objektspezifischer Eigenschaften mit der Zweckbestimmung einer Objektidentifizierung. Die physikalischen Parameter der emittierten Strahlung werden von der physikalischen Strahlungstemperatur T und der Oberflächeneigenschaften (vor allem der Oberflächenrauigkeit) geprägt. Diese Einflußgrößen lassen sich global durch den Emissionskoeffizienten $\epsilon(\lambda, T)$ beschreiben. Die aus dem Umfeld der Objekte mit dem Körper wechselwirkende Strahlung T_u wird dem wellenlängenabhängigen Reflexionskoeffizienten $\rho(\lambda)$ entsprechend der emittierten Strahlung überlagert. Der Grad der Reflexion hängt dabei neben der Stoffzusammensetzung in erster Linie von der Oberflächenrauigkeit ab. Die integral meßbare Gesamtstrahlungstemperaturen T_G ergibt sich damit zu

$$T_G(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) T_o + \rho(\lambda) T_u.$$

Die Abhängigkeit der optischen Parameter $\epsilon(\lambda, T)$ und $\rho(\lambda)$, die die Gesamtstrahlung T_G somit objektspezifisch und wellenlängenabhängig prägen, wird beim sogenannten Multispektralprinzip der Fernerkundung genutzt: Bestimmt man nämlich die Strahlungseigenschaften der Objekte in nur einem Spektralbereich, dann ist keine eindeutige Objektidentifizierung möglich. Durch Vermessung der Strahlungsintensität in mehreren diskreten Spektralbereichen werden die Anzahl der Unterscheidungsparameter erhöht und damit Diskriminierbarkeit verschiedener Objekte und die Wahrscheinlichkeit der Objektidentifizierung verbessert.

Für bodenkundliche Aufgabenstellungen kann man den Bereich der Spektren vom sichtbaren Lichts über das nahe Infrarot, das thermische Infrarot bis hin zur Mikrowellenstrahlung verwenden. Dabei werden für den sichtbaren Bereich und den nahen Infrarotbereich in erster Linie Reflexionsanteile, für den thermischen Infrarotbereich in erster Linie emittierte Anteile und für den Mikrowellenbereich je nach Objekteigenschaften emittierte und reflektierte Strahlung gemessen. Für den letztgenannten Spektralbereich hängen die Reflexionseigenschaften neben der Oberflächenrauigkeit auch noch vom Wassergehalt ab. Wasser wirkt dabei auf Grund seines Dipolcharakters als starker Reflektor. Dies führt dazu, daß Boden mit hohem Feuchtigkeitsgehalt an der Oberfläche wegen der für diese Wellenlängenbereiche extrem kalten Himmelshintergrundstrahlung eine erheblich niedrigere Strahlungstemperatur aufweist als der gleiche Boden in trockenem Zustand. Für Wellenlängen des sichtbaren, des nahen und des thermischen Infrarotbereichs erfolgen die wesentlichen Wechselwirkungsvorgänge in den oberen Molekular- und Millimeterschichten des Bodens, so daß die Eindringtiefe für Fragestellungen der Bodenkunde somit vernachlässigbar ist. Mit zunehmender Wellenlänge steigt jedoch die Eindringtiefe, lediglich begrenzt durch den Wassergehalt des Bodens

[†]) DFVLR, Institut für Hochfrequenztechnik, 8031 Wessling

und zunächst unabhängig von der Korngrößenverteilung. Auf diesen Sachverhalt wird weiter unten eingegangen.

Werden keine besonderen technischen Maßnahmen getroffen, dann erfolgt die Erfassung der Strahlung im allgemeinen in zufallspolarisiertem Modus, dadurch gekennzeichnet, daß jede Schwingungsebene des elektrischen Feldvektors mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftritt. Bei Bevorzugung einer bestimmten Polarisationssebene, (entweder vertikal oder horizontal zu der aus der Strahlungseinfallsrichtung und der Flächennormalen gebildeten Ebene) ergeben sich im allgemeinen verschiedene objektspezifische, wellenlängenabhängige Intensitätswerte. Diese Aussage gilt für alle hier behandelten Wellenlängenbereiche.

Für die Aufgabenstellungen der Fernerkundung liefert die Bestimmung der Polarisationserscheinungen eine einfache Möglichkeit, die Anzahl der Variablen zur Bestimmung eines Bodentyps und seiner Eigenschaften ohne großen technischen Aufwand zu erhöhen und damit die Identifizierbarkeit zu verbessern. Man kann diese Möglichkeiten für die passiven Verfahren durch Vermessung der integral empfangenen Strahlung im Horizontal- (H) und Vertikalmodus (V) und bei aktiven Verfahren durch unterschiedliche Kombination für die gesendete und empfangene Strahlung in der Form HH, HV, VV, VH nutzen. Für die aktiven Verfahren (die sich im vorliegenden Fall als Radarmethoden im wesentlichen auf den Mikrowellenbereich beschränken), erhöht sich damit die Zahl der Variablen um den Faktor 4, bei der passiven (Radiometrie-) Verfahren (die ohne Sender arbeiten) um den Faktor 2.

Ein grundlegendes Problem bei der Erfassung bodenspezifischer Eigenschaften entsteht weniger durch das radiometrische als vielmehr durch das geometrische Auflösungsvermögen. Dies führt wegen der in der Größenordnung Meter bis Zehnermeter liegenden Ausdehnung der Auflösungselemente dazu, daß einerseits die pedologischen Eigenschaften, wie z. B. Korngrößenverteilung, Humusgehalt nur indirekt und global über die optischen Eigenschaften ermittelt werden können und damit weitergehend auch Datenelement Feinsignaturen in Form von charakteristischen Mustern verborgen bleiben. Der dadurch entstehende Fehler bei der Identifizierung bestimmter Bodengesellschaften ist abhängig von den Eigenschaften des Meßsystems und vom Inhomogenitätsgrad der Szene.

2. Bestimmung bodenspezifischer Kenngrößen

In diesem Abschnitt sollen einige bodenspezifische Parameter behandelt und deren Bestimmbarkeit mit Hilfe von Fernerkundungsverfahren untersucht werden. Vorab kann festgestellt werden, daß sich die einzelnen Bodenkenngrößen dabei nicht direkt, sondern nur indirekt oder auf Grund von Sekundärindikatoren bestimmen lassen.

Aus praktischer Erfahrung folgt die Erkenntnis, daß sich Böden mit Hilfe von Fernerkundungsverfahren nur bedingt identifizieren und klassifizieren lassen. Dies ist einerseits bedingt durch das verfahrensspezifische radiometrische und geometrische Auflösungsvermögen, andererseits aber auch durch die Tatsache, daß sich das Tiefenprofil als wesentliches Charakteristikum des Boden der direkten Beobachtung entzieht. (Auf die Probleme vegetationsbedeckter Böden oder auf die Variation der optischen Erscheinungsform vergleichbarer Bodentypen unterschiedlicher Genese sei hier nur am Rande hingewiesen.)

Aus diesem Sachverhalt sollte jedoch nicht gefolgert werden, daß die Fernerkundung für die Bodenregionalisierung keine Einsatzmöglichkeit bietet. Der durch die Trägerplattform bedingt Überblick erlaubt nämlich grundsätzlich, die Grenzen von Arealen verschiedener Eigenschaften zu erkennen und diese damit exakt gegeneinander abzugrenzen. Eine derartige Abgrenzung ist mit Hilfe der konventionellen Feldmethode nur unter erheblichen Schwierigkeiten möglich.

Durch den synoptischen Überblick ergibt sich daraus als wesentliche Erleichterung bei der Bodenregionalisierung, daß der exakte Bodentyp an Hand weniger, gezielt entnommener Stichproben innerhalb des als homogen erkannten Areal bestimmt werden kann. Die sich dadurch ergebenden Vorteile für die Bodenkartierung sind offensichtlich.

Im folgenden wird ein Überblick über einige bodenspezifische Kenngrößen und deren Erfassung mit Hilfe von Fernerkundungsverfahren gegeben. Die Darstellung sollte dabei weder als vollständig noch als endgültig erachtet werden.

Ausgangsgesteine

Der Typ der Ausgangsgesteine (Magmatite, Sedimentite, Metamorphite) läßt sich auf Grund des spektralen Verhaltens, der Farbe, der Temperatur, sowie der Morphologie und der Struktur als auch durch spektroskopische Befunde eingrenzen. Dabei empfiehlt sich die Erfassung großflächiger Areale mit geringem Auflösungsvermögen in einer Übersichtsdarstellung. Als geeignet haben sich dabei multispektrale photographische und Wärmebild Darstellungen erwiesen. Aus den textuellen und strukturellen Variationen kann gegebenenfalls auf den Verwitterungsgrad geschlossen werden.

Mineralbestandteile

Abgesicherte Erkenntnisse liegen für Silikate vor. Es wurden jedoch auch Untersuchungen an Carbonaten, Sulfaten und Nitraten vorgenommen. Es empfiehlt sich, die Mineralbestimmung im Spektralbereich von 8 μm - 14 μm vorzunehmen, da hier die intermolekularen Vibrationen (z. B. bei Si-O-Ketten) mineralspezifische Ausprägung aufweisen. Eine exakte Identifizierung und Anteilsbestimmung wird dabei jedoch durch verschiedene Randbedingungen, wie z. B. Oberflächenrauigkeit, Wasseranteile, Verschmutzungen und die sich daraus ergebenden Mehrdeutigkeiten erschwert.

Bodentextur

Die Bodentextur, z. B. bedingt durch die Anteile der einzelnen Bodenkomponenten, beeinflusst das globale Spektralverhalten der Böden. Die Erfassung sollte aus Gründen der Feinunterscheidung im Multispektralmodus erfolgen, wobei der sichtbare, nahe und thermische Infrarotbereich verwendet werden können. Bei der Auswertung ist zu berücksichtigen, daß Abhängigkeiten zwischen Komponentenanteilen und Korngrößenverteilung bestehen. Für die Zwecke der Bodenregionalisierung haben sich dabei Methoden der Mustererkennung als zweckmäßig erwiesen. Bei der Auswertung ist es wegen verschiedener Einflußgrößen (z. B. Bodenfeuchtigkeit, Vorhandensein organischer Bestandteile) und der dadurch bedingten Parallelverschiebung der spektralen Intensitätskurve wichtig, nicht den Absolutwert der spektralen Intensitäten, sondern den relativen Intensitätsverlauf der Spektralkurve zugrunde zu legen. Durch Vergleich mit dem Spektralverhalten reiner Bodenkomponenten kann dabei unter Umständen auf die Ausgangsgesteine und Bodengeneese geschlossen werden.

Oberflächenrauigkeit und -struktur

Es ist schwierig, festzustellen, welche Oberflächenrauigkeit eines Bodens dessen spektrale Intensität bestimmt. Einflüsse ergeben sich dabei sowohl durch die Korngröße als auch durch Aggregatbildung. Demzufolge müßte feinkörniger Boden (z. B. Ton) eine feiner gegliederte Rauigkeitsstruktur und damit im sichtbaren Spektralbereich eine erhöhte Absorptionsfähigkeit aufweisen als grobkörniger Sand. In Wirklichkeit neigt jedoch ein Tonboden zu größerer Aggregation, und damit geschlossenerer Oberflächenstruktur als ein Sandboden mit grober Körnigkeit und der dadurch bedingten Zwischenraum- und Porenbildung. Dies führt dann in der Mehrzahl der Meßfälle zu einer Ausprägung des Reflexionsgrades in der Reihenfolge Sand < Schluff < Ton.

Schwierigkeiten ergeben sich durch die Variabilität des Reflexionsverhaltens unter wechselnden Umwelteinflüssen. So kann z. B. die Glättung der Bodenoberfläche durch Regen und die anschließende Strukturveränderung durch Austrocknung im Extremfall zu einer Umkehr der oben angegebenen Reihenfolge des Reflexionsgrades führen.

Neben der Rauigkeit beeinflusst auch die Bodenstruktur das Reflexionsverhalten und zwar über den Mineralgehalt und die örtliche Komponentenverteilung. Als Erfahrungstatsache gilt, daß strukturlöse gegenüber strukturierten Boden im allgemeinen einen größeren Reflexionsgrad aufweisen. Dies ist vermutlich auf die erhöhte Oberflächenrauigkeit bei der Einstreuung von Komponenten mit einer vom Grundkörper abweichenden Kornstruktur zurückzuführen.

Ebenso wie bei den Textureinflüssen sollte auch hier nicht der Absolutbetrag der spektralen Intensität, sondern deren Relativbetrag gewertet werden. Die Parallelverschiebung des spektralen Intensitätsverlaufs wird (bei gleicher Bodenfeuchtigkeit) durch die Korndurchmesser bestimmt. Für Korn- und Aggregatdurchmesser größer als 2 mm bleibt die Reflexion praktisch konstant.

Körnigkeit / Gefüge

Der wesentliche Einfluß auf das Reflexionsverhalten geht vom Aggregatdurchmesser und der Aggregatlagerung aus. Dabei nimmt der Reflexionskoeffizient exponential mit zunehmendem Aggregatdurchmesser, der wiederum von der Bodenrauigkeit bestimmt wird, ab.

Diese Gesetzmöglichkeit wurde für eine Vielzahl von Bodentypen festgestellt, wobei die numerische Ausprägung der Koeffizienten bodenspezifisch variiert. Charakteristisch ist hierbei die Tatsache, daß die Packungsdichte den Reflexionskoeffizienten linear ändert, während die Form des Aggregats exponentiellen Einfluß ausübt.

Organische Bestandteile/Eisen

Organische und Eisenanteile führen zu charakteristischen Veränderungen des spektralen Verhaltens von Böden. Erhöhte organische Anteile vermindern das Reflexionsvermögen im sichtbaren und nahen Infrarotbereich, während sie im thermischen Infrarotbereich wegen der erhöhten Wärmeabsorption eine Temperaturerhöhung verursachen. Da die organischen Anteile gleichzeitig auch zu einer erhöhten Wasserspeicherkapazität führen, und dies ebenfalls die Bodenhelligkeit vermindert, ist die Eindeutigkeit der Festlegung einzelner Anteile organischer Komponenten im Boden nicht immer gewährleistet und erfordert deshalb eine Verifizierung des Bodenwassereinflusses durch Messung im nahen und thermischen Infrarotbereich.

Eisenanteile führen je nach chemischer Wertigkeit zu einer charakteristischen Intensitätssteigerung im roten bzw. blau-grünen Bereich des Spektrums. Die Bestimmung eines globalen Intensitätswertes über den Gesamtbereich der sichtbaren Strahlung führt hierbei zu keiner Eindeutigkeit. Es sind deshalb zur Identifizierung des Eisentyps und Eisenanteils Multispektralmessungen für den sichtbaren Bereich notwendig.

Bodenfarbe

Die charakteristische Bodenfarbe ist durch eine Vielzahl von Einflußgrößen geprägt. Es wird jedoch eine hohe Korrelation zwischen Farbeindruck und Reflexionskoeffizient festgestellt. Er ist für den blau-violetten Bereich minimal und steigt bis zum roten Bereich generell an. Die Intensität im roten bzw. nahen Infrarotbereich hat sich daher als zweckmäßig zur quantitativen und qualitativen Diagnose verschiedener Bodentypen erwiesen. Dies ist auf die Beeinflussung der Strahlungseigenschaften durch organische Bestandteile und Bodenwasser zurückzuführen. Aus den bodenspezifischen Abweichungen der charakteristischen Abhängigkeit zwischen Bodenfarbe und Reflexionskoeffizient können Rückschlüsse auf den Bodenbildungsprozeß oder überdurchschnittliche Anteile bestimmter Komponenten (z. B. erhöhte Versalzung) gezogen werden.

Bodentemperatur

Aus der Bodentemperatur und deren zeitlichem Verlauf als Folge veränderter Wärmeeinstrahlung kann man Rückschlüsse auf die Feuchtigkeit, den Verwitterungsgrad

und dem Anteil organischer Komponenten ziehen. Unter gewissen Umständen sind dabei auch Erkenntnisse zu Suboberflächenverhältnissen zu erzielen. Bei Temperaturmessungen sind die Verfälschungen durch Vegetation und Luftfeuchtigkeit zu berücksichtigen.

Tiefenprofilbestimmung

Die Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung ist abhängig von der Wellenlänge, der Bodenzusammensetzung und dem Wassergehalt. Für den sichtbaren, nahen Infrarot- und thermischen Infrarotbereich ist die Eindringtiefe vernachlässigbar; sie zeigt erst beginnend mit dem Zentimeterwellenlängenbereich brauchbare Größenordnungen. Eine Unterscheidung der Bodenkonstitution und der Körnigkeit ist bei diesen Wellenlängen noch nicht gegeben, da die Eindringtiefe ausschließlich durch den Wassergehalt bestimmt wird. Erst bei Wellenlängen größer als etwa 10 cm wird die Eindringtiefe auch noch von der Körnigkeit bestimmt. Allgemein kann dabei für gleiche Feuchtigkeit die Eindringtiefe in der Reihenfolge Sand > Schluff > Ton angegeben werden.

Ein Problem ergibt sich infolge der Informationsmehrdeutigkeit, geprägt durch Eindringtiefe, Wassergehalt und Körnigkeit, die damit zunächst keine eindeutige Profilgliederung des Bodens zulässt. Durch Mehrfachmessung in mehreren Spektralbereichen, eventuell bei unterschiedlichen Polarisationsmoden, lassen sich mit Hilfe mathematischer Inversionsverfahren die Eigenschaften des Bodenprofils in beschränktem Maße rekonstruieren.

Ein Nachteil langwelliger Strahlung ist hierbei das abnehmende geometrische Auflösungsvermögen mit zunehmender Wellenlänge. Dies kann bei Messungen von Flugzeugen oder Satelliten aus zu Abbildungsunschärfen der erfaßten Szene und damit zur Unterdrückung von kleinflächigen Variationen der Bodeneigenschaften in den Meßdaten führen. Neuere Arbeiten auf dem Gebiet der Mikrowellenradiometrie haben jedoch die Möglichkeit einer Korrektur dieses Abbildungsfehlers und damit die Verbesserung des geometrischen Auflösungsvermögens nachgewiesen.

Die Nutzung der Eindringtiefe bei langwelliger Mikrowellenstrahlung ist bisher noch wenig für praktische Belange untersucht worden. Gerade für Wasserkapazitätsuntersuchungen und Grundwasserbilanzen ergeben sich hierbei jedoch neue Anwendungsmöglichkeiten.

Bodenwasser, Bodenfeuchtigkeit

Je nach spektralbereichabhängiger Eindringtiefe wird entweder nur die Oberflächenfeuchtigkeit oder auch die Wasserkapazität in größeren Tiefen des Bodenprofils erfaßt.

Bei Verwendung des sichtbaren und des nahen Infrarotbereichs zeigt sich erhöhte Bodenfeuchtigkeit durch niedrigere Strahlungsintensität (Farbmuster) an. Der Absolutwert der Bodenfeuchtigkeit läßt sich hierbei wegen anderer Einflußgrößen auf den Farbton nicht angeben. Es ist lediglich möglich, durch Vergleich der Intensitätswerte in einer größeren Szene Areale unterschiedlicher Oberflächenfeuchtigkeit festzustellen. Erhöhte Oberflächenfeuchtigkeit kann auch durch bevorzugte Ausprägung einer bestimmten Polarisationsrichtung der reflektierten Strahlung festgestellt werden.

Unterschiedliche Oberflächenfeuchtigkeit äußert sich auch in unterschiedlichen Oberflächentemperaturen. Auch hier können in erster Linie nur relative Feuchtigkeitswerte durch Vergleich der Oberflächentemperatur in einem großen Areal ermittelt werden. Informationen zum Tiefenprofil der Wasserspeicherkapazität lassen sich nur durch Langzeitmessung unter veränderlichen Einstrahlbedingungen erreichen. Dabei können aus den Verzögerungen des Oberflächentemperaturverlaufs in Abhängigkeit von der (durch die Sonne) eingestrahelten Energie bedingt Rückschlüsse auf die Bodenwassermenge in den obersten Bodenschichten gezogen werden. Probleme ergeben sich hierbei aus der Mehrdeutigkeit der Integralmeßwerte, bestimmt durch den Bodentyp, die Schichtdicke und den Feuchtigkeitsgehalt.

Bei den Mikrowellenverfahren ist wegen des Dipolcharakters des Wassers eine starke Abhängigkeit des Reflexionskoeffizienten vom Wassergehalt des Bodens feststellbar. Dies wirkt sich bei Mikrowellenradiometriemessungen in einer erheblichen Erniedrigung der integral erfaßten Strahlungstemperatur gegenüber jener bei gleichem Boden in trockenem Zustand aus. Verfälschungen ergeben sich durch atmosphärische Umfelleinstrahlung, Oberflächenrauigkeit und Vegetationsbedeckung. Bei den aktiven Mikrowellenverfahren wird die Stärke der Rückstreuung durch den Wassergehalt geprägt. Der Einfluß der Bodenchemie und der Mineralogie ist (gegenüber dem Einfluß auf das Signal bei den Mikrowellenradiometrieverfahren) vernachlässigbar. In beiden Fällen lassen sich durch die Nutzung der Strahlungspolarisation in gewissem Maße feuchtigkeitsfreie Einflüsse auf den Intensitätswert identifizieren und damit präzisere Aussagen zur Bodenfeuchtigkeit erzielen. In allen Fällen ist die Wellenlängenabhängigkeit der Eindringtiefe zu berücksichtigen.

Vegetationsbedeckung

Bei den bisherigen Verfahren wurde der Einfluß niederer Vegetationsbedeckung ignoriert. Lediglich bei Verwendung der Mikrowellenspektralbereiche ist hierbei eine wellenlängenabhängige Eindringung in das Vegetationspolster und in den Boden zu erwarten. Der Eindringeffekt wird jedoch empfindlich vom Einfallswinkel der Strahlung geprägt.

Im sichtbaren Bereich kann unter gewissen Umständen aus Farbnuancen der Vegetationsdecke auf Areale unterschiedlicher Bodenfeuchtigkeit geschlossen werden. Der nahe Infrarotbereich liefert indirekt über den Vegetationszustand ähnliche Hinweise. Für den thermischen Infrarotbereich wird die Temperatur der Vegetationsdecke durch die Verdunstungseinflüsse geprägt. Diese ist wiederum auch von den aktuellen Witterungsbedingungen und dem Einstrahlverhalten abhängig.

3. Zusammenfassung und Empfehlung

Praktische Erfahrungen des Einsatzes von Fernerkundungsverfahren für Aufgabenstellungen der Bodenregionalisierung wurden vor allem in vegetationsfreien Gebieten im sichtbaren und nahen Infrarotbereich gesammelt. Wegen fehlender systematischer Untersuchungen lassen sich beim derzeitigen Kenntnisstand diese Verfahren bezüglich ihrer systematischen Verwendbarkeit nicht beurteilen und damit auch nicht operationell einsetzen. Ein entsprechendes Forschungsprojekt müßte dabei auf jeden Fall interdisziplinären Charakter aufweisen. Wegen der unverzichtbaren Informationen zum Bodenprofilaufbau dürfte dabei dem langwelligen Mikrowellenbereich (trotz der Probleme der geometrischen Auflösung) besondere Bedeutung zukommen. Damit ließe sich auch die Behinderung durch Vegetationsbedeckung umgehen und damit die Verfahren auch in vegetationsbedeckten Gebieten anwenden.