

# Zur Paläopedologie pliozäner Schwemmfächersedimente im Becken von Granada (Hochandalusien)\*

NORBERT GÜNSTER, ARMIN SKOWRONEK, LOTHAR PFEIFFER,  
SIEGFRIED STEPHAN & MICHAEL VEERHOFF\*\*

Fossil soils, alluvial fan, Pliocene, palaeoclimatology, Western Mediterranean

**Kurzfassung:** Eine Boden-Sediment-Abfolge pliozäner Schwemmfächersedimente mit 24 fossilen Böden im nordöstlichen Flügel des Beckens von Granada wurde laboranalytisch untersucht. Die rötlich braunen bis roten Böden und die (Boden-)Sedimente belegen ein mehrfaches Alternieren von Aufschüttung und (unterschiedlich intensiver) Bodenbildung. Akkumulation fand während trockener und morphodynamisch aktiver Phasen ohne schützende Vegetationsdecke, Bodenbildung während feuchter und morphodynamisch stabiler Phasen mit Vegetationsbedeckung statt. Für diesen, zeitlich noch nicht eingrenzenden Abschnitt des Pliozäns muß daher eine entsprechend hohe Anzahl von Klimawechseln postuliert werden.

## [Palaeopedology of Pliocene alluvial fan sediments in the Granada basin (High Andalusia)]

**Abstract:** A Pliocene alluvial fan sequence of soils and sediments with 24 fossil soils in the northeastern part of the Granada Basin was investigated. The reddish brown to red soils and the (soil-)sediments substantiate a multiple alternation of sedimentation and (differently intensive) soil formation. Accumulation took place during dry and morphodynamic active periods without vegetation cover and soil formation during wet and morphodynamic stable periods with vegetation. Hence a high number of climatic changes has to be postulated to this - still not defined - part of the Pliocene.

## [Paleopedología de sedimentos pliocenos de abanicos aluviales en la cuenca de Granada (Andalusia Alta)]

**Resumen:** Se estudia una secuencia de suelos y sedimentos derivados de abanicos aluviales pliocenos con 24 suelos fósiles en la parte noreste de la cuenca de

Granada. Los suelos rojizos pardos a rojos y los (suelo-)sedimentos deducen una frecuente alternación de sedimentación y (diferentemente intensiva) formación de suelos. Acumulación se formaba durante períodos secos y morfodinámicos activos sin cubierta vegetal en vez que los suelos se formaban durante períodos húmedos y morfodinámicos estables con vegetación. Por lo tanto para una - ya indefinida - etapa del Plioceno una gran cantidad de cambios climáticos tienen que ser postulados.

## 1 Einleitung

Das postorogene Becken von Granada ist Teil der Binnenbeckenflucht der Betischen Kordillere (SANZ DE GALDEANO & VERA 1991). Seine Anlage fällt zeitlich in das Tortonium, welches ausschließlich marin geprägt ist. Die terrestrische Entwicklung beginnt nach GONZALEZ DONOSO (1970) im Messinium mit der „Formación de Pinos Genil“, die auch unter der Bezeichnung „Blockformation“ bekannt ist. Diese besteht aus kristallinen Abtragungsprodukten der Sierra Nevada (Betikum) und enthält zahlreiche rote Fossilböden, die ORTEGA HUERTAS & AGUILAR RUIZ (1980) im südöstlichen Flügel des Beckens untersuchten. Das Pliozän steht weitflächig mit mehreren Dekameter mächtigen Konglomeraten und roten schluffigen Tonen oberflächlich an, die sich im Untersuchungsgebiet aus mesozoischen Mergeln, Kalken und Dolomiten der angrenzenden Sierra Arana und Sierra Cogollos (Subbetikum) ableiten. Die neue Ausgabe des Blattes Granada der Geologischen Karte von Spanien 1:50 000 weist die Ablagerungen genetisch als Schwemmfächersedimente bzw. als Paläoböden aus (IGME 1988: 49).

Im folgenden werden pliozäne Schwemmfächersedimente vorgestellt, die an einem Prallhang des Rio Bermejo mit einer Mächtigkeit von ca. 40 m aufgeschlossen sind und 24 fossile Böden führen. Diese Boden-Sediment-Abfolge haben bereits ROHDENBURG & SABELBERG (1973: 88 u. Photo 3) im Rahmen ihrer umfassenden Forschungen zur quartären Relief- und Bodenentwicklung des

\*) Erweiterte Fassung eines Vortrages des Erstautors am 19. September 1996 in Gmunden/Österreich anlässlich der 28. Jahrestagung der Deutschen Quartärvereinigung.

\*\*) Anschriften der Verfasser: Dipl.-Geogr. N. GÜNSTER, Prof. Dr. A. SKOWRONEK und Dr. S. STEPHAN, Institut für Bodenkunde, Universität Bonn, Nußallee 13, D-53115 Bonn; Dr. L. PFEIFFER, Alte Straße 20, D-53840 Troisdorf; Dr. M. VEERHOFF, Geologisches Institut, Universität Bonn, Nußallee 8, D-53115 Bonn.

westlichen Mittelmeergebiets erwähnt. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Böden zu beschreiben und ihre Genese aufzuhellen, das Verhältnis von Aufschüttung/Abtragung zu Bodenbildung auf einem Schwemmfächer zu charakterisieren, sowie einen Beitrag zum Klimaverlauf des Pliozäns zu liefern.

**2 Lage und Aufbau der Boden-Sediment-Serie**

Der natürliche Aufschluß befindet sich ca. 15 km nordnordwestlich Granada (s. Abb. 1) unmittelbar vor der Mündung des Rio Bermejo in den aufgestauten Rio Cubillas (3°39'48" W u. 37°16'25" N). Die Profilwand ist nach Norden exponiert, ihre Oberkante liegt bei 674 m üNN. Die Lokalität ist von Granada aus über die Nationalstraße N-323 nach Abzweigung zwischen km 420 und 419 in Richtung Estación de Calicasas direkt vor der kleinen Brücke über den Rio Bermejo zu erreichen. Der untere Teil des Aufschlusses ist über eine Halde zugänglich, der obere dagegen nur über die steile Westflanke. Weitere Einblicke in den inneren Aufbau der pliozänen Schwemmfächer-sedimente erhält man durch wenige hundert Meter weiter östlich gelegene Einschnitte der Eisenbahn und der neuen Autobahn Granada-Jaén. Die rötlich braunen bis roten Paläoböden besitzen unterschiedliche Mächtigkeit und morphologische Ausprägung. Die Sedimente sind etwas heller und überwiegend feinkörnig, lediglich un-

ter dem sechsten fossilen Boden existiert ein ca. 8 m mächtiges Konglomerat aus Kalkgeröllen. Darüber hinaus sind an einer Stelle die obersten drei Paläosole durch eine - nachträglich mit Schottern und Sanden verfüllte - Fließrinne ausgeräumt worden (vgl. ROHDENBURG & SABELBERG 1973: Photo 3). Dieser Aufbau spiegelt die Sedimentationsverhältnisse im distalen Bereich eines Schwemmfächers wider. Die Mächtigkeit der pliozänen Ablagerungen muß geologischen Angaben zufolge hier etwa 150 Meter betragen haben, welche durch die pleistozäne Abtragung z. T. erheblich reduziert wurde. Die Ausräumung erfolgte dabei flächenhaft unter Bildung einer sechsstufigen Pediment-Terrassen-Treppe.

**3 Die Untersuchungsbefunde**

Die Darstellung der Ergebnisse der Gelände- und Laboruntersuchungen dient der pedologischen bzw. sedimentologischen Kennzeichnung der einzelnen Schwemmfächerablagerungen sowie der Beschreibung ihres Stoffbestandes und ihrer Struktur.

**3.1 Allgemeine Boden- und Sedimentbeschreibung**

Die Probenahme erfolgte an visuell (farblich und morphologisch) unterscheidbaren Lagen, sie war jedoch erst ab 6,50 m unter Geländeoberkante

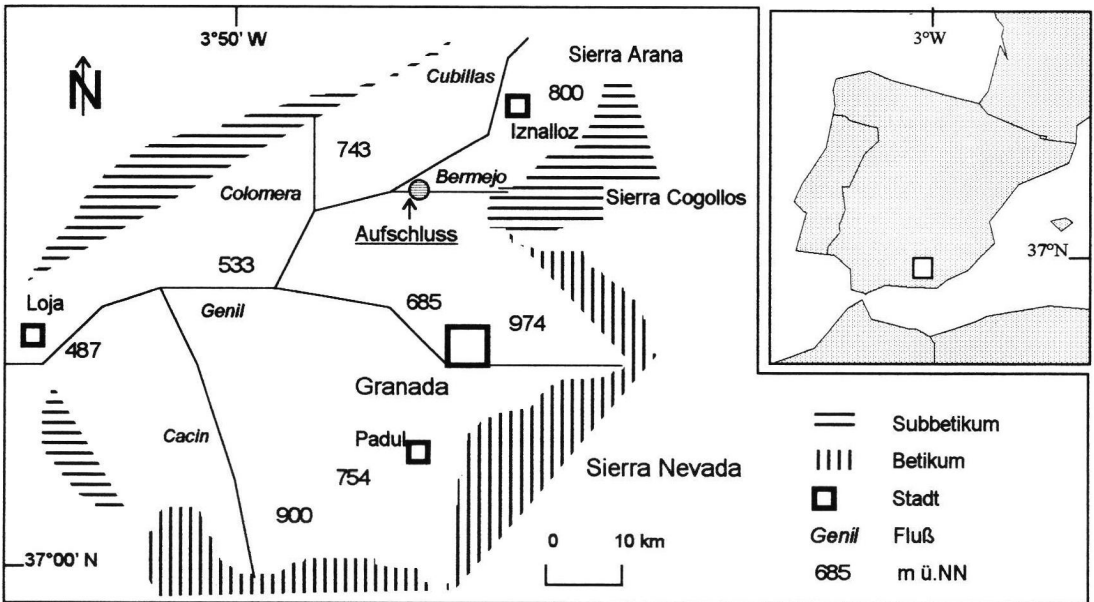


Abb. 1: Becken von Granada mit Lage der untersuchten Boden-Sediment-Abfolge.  
 Fig. 1: The Granada Basin with location of the investigated soil-sediment-sequence.

kontinuierlich möglich. Die Boden- und Sedimentansprache sowie die Horizontbezeichnungen wurden weitgehend nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994) vorgenommen. Die Bestimmung der Bodenfarbe mit MUNSSELL-Werten erfolgte an luftgetrockneten Proben. Unter den Horizontbezeichnungen Bc und Cc sollen im folgenden kalkhaltige bis kalkreiche Böden bzw. Sedimente verstanden werden, ein Kalkanreicherungshorizont im Sinne eines (petro-)calcic horizon" (FAO-Unesco-ISRIC 1990: 25-26) konnte lediglich unter dem 14.fBt identifiziert werden. Eine mehr oder weniger starke Anreicherung mit Ton wurde mit dem Symbol Bt gekennzeichnet, wobei deutliche Anzeichen einer Lessivierung in Form von makroskopisch sichtbaren Toncutanen lediglich im 14.fBt ausgemacht werden konnten. In allen weiteren - als Bt bezeichneten - Böden (3.fBtcv, 8.fBtv, 9.fBtcv1, 9.fBtcv2, 15.fBtcv, 18.fBtcv, 22.fBtcv) war eine Tonmobilisierung nur mikroskopisch sichtbar (siehe Kap. 3.6).

Es ergab sich nachstehende Aufgliederung der Schwemmfächersedimente:

Tiefe (m)	Horizont	Kurzbeschreibung
-17,10	8. fBtv	schwach kiesiger, stark sandiger Lehm; kohärent bis subpolyedrisch
-18,00	IICc	roter (2.5YR 5/6), carbonatfreier, sehr schwach kiesiger, mittel toniger Lehm; subpolyedrisch
-19,40	9. fBtcv 1	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, schwach sandiger Lehm; kohärent bis subpolyedrisch
	fBtcv 2	rötlich brauner (2.5YR 5/4), carbonatreicher, schwach kiesiger, sandig toniger Lehm; subpolyedrisch
-19,70	10. fBcv	roter (2.5YR 5/6), mittel carbonathaltiger, sehr schwach kiesiger, stark lehmiger Sand; Kittgefüge
-20,90	11. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), sehr carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, mittel toniger Lehm; subpolyedrisch
-21,60	IICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), sehr carbonatreicher, schwach kiesiger, schwach toniger Lehm; kohärent bis subpolyedrisch
0 -1,60	IICc	nicht zu beproben
-2,10	1. fB(rot)	nicht zu beproben
-3,80	IICc	nicht zu beproben
-4,20	2. fB(rot)	nicht zu beproben
-4,80	IICc	nicht zu beproben
-5,50	3. fBtcv	roter (2.5YR 4/6), mittel carbonathaltiger, schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; stellenweise Scherflächen; subpolyedrisch bis polyedrisch
-6,10	4. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), sehr carbonatreicher, schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; kohärent bis subpolyedrisch
-6,50	5. fB(rot)	nicht zu beproben
-6,80	IICc	rosa grauer (7.5YR 7/2), sehr carbonatreicher, schwach kiesiger, mittel lehmiger Sand; Einzelkorngefüge
-7,30	6. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), sehr carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, schwach sandiger Lehm; subpolyedrisch
-10,40	IIC	Kalkgerölle (nicht beprobt)
-14,90	IIIC	Kalkgerölle (nicht beprobt)
-15,30	7. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; subpolyedrisch bis polyedrisch
-16,80	IICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), sehr carbonatreicher,
-22,60	12. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), mittel carbonathaltiger, sehr schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; Scherflächen; kohärent
-25,10	13. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, schwach kiesiger, schwach toniger Lehm; kohärent
-25,25	14. fBt	roter (2.5YR 4/6), carbonatfreier, sehr schwach kiesiger, reiner Ton; Toncutanen; subpolyedrisch bis polyedrisch
-25,35	Cc	leicht rötlich braune (5YR 6/4) Kalkkruste (nicht analysiert)
-25,65	15. fBtcv	rötlich brauner (5YR 5/3), carbonatreicher, schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; kohärent bis subpolyedrisch
-25,85	IICc	rötlich brauner (5YR 5/4), stark carbonathaltiger, schwach kiesiger, schluffiger Lehm; kohärent
-27,45	IIICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, schwach kiesiger, mittel sandiger Lehm; kohärent
-28,85	16. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, mittel schluffiger Ton; kohärent bis subpolyedrisch

-29,25	IICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/3), sehr carbonatreicher, mittel kiesiger, stark lehmiger Sand; kohärent
-29,75	17. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, mittel schluffiger Ton; subpolyedrisch bis polyedrisch
-29,95	IICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, mittel kiesiger, schwach sandiger Lehm; kohärent bis subpolyedrisch; Mn-Überzüge
-30,75	18. fBtcv	rötlich brauner (2.5YR 5/4), stark carbonathaltiger, sehr schwach kiesiger, mittel toniger Lehm; subpolyedrisch bis polyedrisch
-31,75	19. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, schwach kiesiger, schwach toniger Lehm; subpolyedrisch bis polyedrisch
-32,45	20. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, stark schluffiger Ton; subpolyedrisch bis polyedrisch
-33,05	IICc	rötlich brauner (2.5YR 5/3), stark carbonathaltiger, schwach kiesiger, stark sandiger Lehm; kohärent
-33,75	21. fBcv	rötlich brauner (2.5YR 5/3), mit tel carbonathaltiger, schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; subpolyedrisch bis polyedrisch
-34,15	IICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, schwach kiesiger, stark sandiger Lehm; kohärent
-35,45	22. fBtcv	roter (2.5YR 4/6), schwach carbonathaltiger, schwach kiesiger, mittel toniger Lehm; subpolyedrisch bis polyedrisch
-35,95	IICc	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), carbonatreicher, mittel kiesiger, stark lehmiger Sand; Kittgefüge
-36,45	23. fBcv	rötlich brauner (5YR 5/4), carbonatreicher, sehr schwach kiesiger, schwach schluffiger Ton; kohärent bis subpolyedrisch
-38,15	24. fBcv	leicht rötlich brauner (5YR 6/4), sehr carbonatreicher, schwach kiesiger, schwach toniger Lehm; subpolyedrisch bis polyedrisch

Die Differenzierung in Boden und Sediment erwies sich oft als schwierig, weil die farblichen und strukturellen Unterschiede gering sind. Hilfreich für die Entscheidung war u. a. die Beobachtung, daß die Fraktion über 2 mm Ø nur in den

B-Horizonten (=autochthone Böden) fast ausschließlich aus lösungsgerundeten Kalksteinbruchstücken besteht, während die C-Horizonte (=Sedimente) in dieser Kornfraktion überwiegend frisches Gesteinsmaterial enthalten. Die meisten C-Horizonte scheinen ihrem Habitus nach Bodensedimente zu sein, bei den autochthonen B-Horizonten ist makroskopisch nicht mehr zu ermitteln, aus welchem Substrat sie hervorgegangen sind. Nach KUBIENA (1954: 536) ist folgender paläopedologischer Modus möglich:

- „Fossiler Boden“ aus lithogenem, d. h. nicht pedogen verändertem, Material
- „Fossiler Boden auf Bodensediment“ oder
- „Fossiler Boden aus älterem fossilen Boden“.

### 3.2 Korngrößenzusammensetzung

Der Grobboden ( $\varnothing > 2$  mm) wurde samt Carbonaten nach vorsichtigem Zerkleinern der Aggregate abgeseibt. Die Fraktionen und Unterfraktionen des Feinbodens wurden in einer kombinierten Sieb- und Schlämmanalyse nach Carbonat- und Humuszerstörung ermittelt (Tab. 1). Ihr prozentualer Anteil bezieht sich auf den Feinboden, der des Grobbodens auf die Gesamteinwaage. Äquivalentdurchmesser und Bezeichnung der einzelnen Fraktionen entsprechen der in Deutschland üblichen Einteilung (vgl. AG BODEN 1994: 132).

Die hauptsächlich aus gerundeten, bis 2 cm großen Kalken bestehende Grobbodenfraktion schwankt anteilmäßig zwischen 0,02 % (7.fBcv) und 14 % (22.fIICc). Die Gehalte sind dabei in den C-Horizonten bzw. (Boden-)Sedimenten generell höher als in den Böden. Auch die Sandanteile ( $\varnothing 2000 - 63 \mu\text{m}$ ) wechseln unregelmäßig, wobei in den Unterfraktionen häufig eine gleichsinnige Zunahme von grob nach fein zu erkennen ist. Allerdings gibt es auch gegenläufige Tendenzen, sowohl in Böden als auch in Sedimenten. Auffällig ist die große Schwankung zwischen maximal 75,9 % (22.fIICc) und minimal 1,5 % (7.fBcv) in der Gesamtfraktion. Der Schluffanteil ( $\varnothing 63 - 2 \mu\text{m}$ ) variiert relativ stark (57,8 % bis 11,3 %) und beträgt durchschnittlich 37 %, wovon etwa die Hälfte auf den Grobschluff ( $\varnothing 63 - 20 \mu\text{m}$ ) entfällt. Nimmt man den Ton hinzu, so reicht die Bodenart des Feinbodens von mittel lehmigem Sand (5.fIICc) bis zu reinem Ton (14.fBt). Der gemittelte Tonanteil aller einundzwanzig (untersuchten) B-Horizonte ist mit rund 43% mehr als doppelt so hoch wie der der elf C-Horizonte (20%). Geht

Tab. 1 Korngrößenverteilung der Böden und (Boden-)Sedimente [Gew.-%]

Tab.1 Grain size distribution of the soils and (soil-)sediments [weight-%]

Horizont	Grobboden	gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T
3.fBtcv	0,4	2,5	4,4	10,6	17,5	19,9	9,1	6,9	35,9	46,8
4.fBcv	4,6	1,5	2,2	4,0	7,7	19,7	13,6	13,1	46,4	46,0
5.fllCc	6,5	49,8	18,1	7,3	75,2	6,3	3,9	5,5	15,7	9,1
6.fBcv	0,09	2,0	10,2	25,4	37,6	24,8	12,4	6,2	43,4	19,2
7.fBcv	0,02	0,3	0,6	0,6	1,5	13,5	23,5	14,7	51,7	52,0
llCc	3,6	11,0	12,7	26,9	50,6	13,1	8,7	7,9	29,7	22,9
8.fBtv	1,1	1,0	5,7	17,5	24,2	19,7	9,1	7,4	36,2	39,7
llCc	0,6	2,2	13,3	20,5	36,0	31,3	6,0	4,5	41,8	22,4
9.fBtvc1	2,1	3,5	6,7	15,2	25,4	18,9	8,3	5,3	32,5	42,2
fBtvc2	2,0	5,1	16,2	23,9	45,2	14,2	3,9	4,9	23,0	32,0
10.fBcv	1,3	13,3	45,7	12,2	71,2	9,2	1,9	2,5	13,6	15,9
11.fBcv	0,1	0,4	3,0	18,4	21,8	20,5	9,9	11,8	42,2	36,4
llCc	4,9	5,9	11,7	17,1	34,7	19,7	9,3	5,1	34,1	31,5
12.fBcv	0,5	0,5	1,9	7,8	10,2	21,7	11,3	11,3	44,3	45,7
13.fBcv	6,4	3,7	6,0	17,4	27,1	22,6	15,1	6,7	44,4	28,7
14.fBt	0,8	1,7	3,3	7,1	12,1	11,3	5,4	5,1	21,8	66,3
15.fBtvc	2,0	1,7	3,4	10,9	16,0	15,6	10,6	5,7	31,9	52,3
llCc	5,4	1,4	2,2	10,0	13,6	26,3	22,6	8,9	57,8	28,7
lllCc	3,8	7,6	15,8	18,9	42,3	17,7	11,7	7,9	37,3	20,5
16.fBcv	0,8	1,8	3,7	11,0	16,5	21,3	18,0	11,6	50,9	32,6
llCc	11,5	15,5	17,0	21,7	54,2	10,9	12,0	8,5	31,4	14,7
17.fBcv	1,0	1,1	2,2	5,4	8,7	26,6	15,4	15,5	57,5	36,9
llCc	10,2	7,4	10,1	16,1	33,6	23,0	16,5	7,7	47,2	19,3
18.fBtvc	0,2	2,8	4,7	9,2	16,7	17,5	13,0	10,6	41,1	42,3
19.fBcv	5,8	5,6	6,9	11,1	23,6	15,1	15,3	12,0	42,4	34,3
20.fBcv	0,3	0,0	1,3	10,8	12,1	26,0	18,5	10,9	55,4	32,7
llCc	8,0	17,6	24,1	20,3	62,0	8,2	4,3	3,9	16,4	21,7
21.fBcv	2,1	3,0	6,2	12,6	21,8	16,0	8,8	7,4	32,2	46,2
llCc	5,0	23,2	16,7	10,0	49,9	14,8	6,2	5,8	26,8	23,5
22.fBtvc	2,0	5,6	6,6	10,8	23,0	17,3	9,4	6,1	32,8	44,4
llCc	14,0	27,5	33,0	15,4	75,9	4,3	4,0	3,0	11,3	13,0
23.fBcv	0,1	1,7	2,6	6,9	11,2	15,6	15,4	12,5	43,5	45,4
24.fBcv	2,2	5,3	7,8	10,8	23,9	19,8	16,9	10,1	46,8	29,5

man von der Annahme aus, daß die Substrate der autochthonen Böden eine ähnliche Körnung besaßen wie die (Boden-)Sedimente, dann muß in jenen eine mehr oder weniger starke pedogene Tonbildung stattgefunden haben.

### 3.3 Bodenchemische Kennzeichen

Die Boden- und Sedimentproben ( $\emptyset < 2$  mm) wurden folgenden pedochemischen Standardanalysen unterzogen: Carbonatgehalt gasvolumetrisch nach SCHEIBLER, pH-Wert potentiometrisch in Salzlösung, organischer Kohlenstoff mit der Lichterfelder-Methode, oxalatlösliches Eisen nach SCHWERTMANN (1964), dithionitlösliches Eisen nach MEHRA & JACKSON (1960) und Gesamteisen röntgenfluoreszenzanalytisch an Presstabletten (Tab. 2).

Die  $\text{CaCO}_3$ -Konzentration erreicht maximal 42 % (11.fllCc); zwei Bodenhorizonte (8.fBtv, 14.fBt) sind völlig kalkfrei. Die unterschiedliche Rotfärbung der Böden und (Boden-)sedimente könnte auf eine „Entkalkungsrotung“ detritischer Carbonate i. S. MEYER'S (1979) zurückgeführt werden, was auch die Koinzidenz der kräftigsten Farben (2.5YR) mit den niedrigsten Kalkgehalten (unter 10%) nahelegt. Die pH-Werte liegen im sehr schwach alkalischen bis mittel alkalischen Bereich, wobei die carbonatfreien Böden die niedrigsten Werte aufweisen. Die organische Substanz fällt mengenmäßig nicht ins Gewicht.

Der Anteil des amorphen Eisens ( $\text{Fe}_a$ ) ist sehr gering und schwankt zwischen 0,012% (16.fllCc) und 0,075% (14.fBt). Auch die Werte des kristallinen Eisens ( $\text{Fe}_d$ ) sind für rötlich braune bis rote

Tab. 2: CaCO<sub>3</sub>, pH-Wert, organischer Kohlenstoff und Eisen  
 Tab. 2: Calcium carbonate, pH-Value, organic matter and iron

Horizont	CaCO <sub>3</sub> [%]	pH <sub>KCl</sub>	C <sub>org</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> [%]	Fe <sub>d</sub> [%]	Fe <sub>t</sub> [%]	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /T	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>
3.fBtcv	6,3	7,7	0,14	0,041	2,02	4,99	0,020	0,030	0,40
4.fBcv	30,7	7,6	0,30	0,028	0,78	3,83	0,035	0,011	0,20
5.fllCc	31,0	8,1	0,11	0,016	0,56	3,05	0,028	0,042	0,18
6.fBcv	25,9	7,7	0,16	0,018	0,95	3,16	0,018	0,034	0,30
7.fBcv	20,7	7,5	0,21	0,049	n.b.	5,29	n.b.	n.b.	n.b.
llCc	28,7	7,8	0,17	0,032	1,46	3,08	0,021	0,044	0,47
8.fBtv	0,0	7,3	0,07	0,070	1,81	4,43	0,039	0,031	0,41
llCc	22,0	7,8	0,10	0,032	0,99	2,76	0,032	0,056	0,31
9.fBtcv1	10,3	7,5	0,05	0,063	0,95	4,29	0,066	0,015	0,22
fBtcv2	16,4	7,6	0,05	0,044	1,29	3,21	0,034	0,028	0,40
10.fBcv	6,4	7,8	0,03	0,030	1,13	2,62	0,026	0,049	0,43
11.fBcv	33,2	7,6	0,09	0,024	1,01	3,46	0,023	0,019	0,29
llCc	42,0	7,8	0,09	0,016	0,76	2,35	0,021	0,016	0,32
12.fBcv	6,6	7,6	0,07	0,071	1,39	5,09	0,051	0,021	0,27
13.fBcv	12,0	7,7	0,05	0,021	1,23	3,66	0,017	0,029	0,34
14.fBt	0,0	7,2	0,10	0,075	2,86	6,98	0,026	0,030	0,41
15.fBtcv	25,9	7,7	0,13	0,038	1,61	4,37	0,023	0,021	0,37
llCc	9,6	7,7	0,06	0,021	1,30	4,41	0,016	0,031	0,29
lllCc	17,7	7,8	0,07	0,030	1,08	3,83	0,027	0,036	0,28
16.fBcv	18,3	7,8	0,09	0,037	1,27	4,02	0,029	0,027	0,32
llCc	35,2	7,8	0,09	0,012	0,81	2,81	0,014	0,038	0,29
17.fBcv	18,9	7,7	0,09	0,027	1,31	5,00	0,020	0,024	0,26
llCc	15,9	7,9	0,08	0,021	1,26	3,82	0,016	0,045	0,33
18.fBtcv	9,8	7,8	0,09	0,048	1,41	4,60	0,034	0,023	0,31
19.fBcv	23,1	7,8	0,09	0,037	1,14	3,86	0,032	0,023	0,30
20.fBcv	22,8	7,8	0,27	0,039	1,44	3,87	0,027	0,030	0,37
llCc	7,6	8,0	0,06	0,028	1,16	3,46	0,024	0,037	0,34
21.fBcv	6,6	7,7	0,07	0,037	1,41	4,71	0,026	0,021	0,30
llCc	12,7	8,0	0,08	0,031	1,19	4,01	0,026	0,035	0,30
22.fBtcv	2,1	7,6	0,09	0,054	1,64	5,38	0,032	0,025	0,30
llCc	23,3	8,3	0,09	0,037	0,95	3,61	0,038	0,050	0,26
23.fBcv	12,5	7,6	0,08	0,038	1,52	4,96	0,025	0,023	0,31
24.fBcv	33,8	7,8	0,18	0,051	1,07	3,32	0,047	0,025	0,32

Böden relativ niedrig (0,78 bis 2,86%), wenn man sie z. B. mit den fossilen Böden der miozänen Blockformation vergleicht, in denen zwischen 2,78 und 5,43% „freies“ Eisen (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) gemessen wurden (s. ORTEGA HUERTAS & AGUILAR RUIZ 1980: Tab. 1). Rote Oberflächenböden auf konglomeratischen Substraten im Becken von Granada zeigen allerdings mit zunehmender Profiltiefe eine deutliche Abnahme des „Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> libre“, das von 3,52% (25-55 cm) auf 0,54% (85-100 cm) absinken kann (s. ALIAS & PEREZ PUJALTE 1969: Tab. IV).

Danach könnte man die autochthonen Fossilböden des pliozänen Schwemmfächers als erodierte Bodenreste deuten oder auf einen geringeren chemischen Stoffumsatz schließen. Der sehr niedrige Aktivitätsgrad des Eisens (Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>) geht auf eine Alterung (Kristallisation) der amorphen Fe-Oxide zurück, was in Paläosolen häufig beobachtet wird (z. B. BLUME & SCHWERTMANN 1969,

BRONGER 1974). Das auf den Ton bezogene Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fe<sub>d</sub>[%] x 0,6975/Ton[%]) spiegelt den generell niedrigeren Fe<sub>d</sub>-Gehalt der (Boden-)Sedimente und den höheren Tongehalt der autochthonen Böden, aber eine relativ schwache pedogene Eisenfreisetzung in letzteren wider.

Der pedogene Fe-Anteil an der Gesamteisenkonzentration (Fe<sub>d</sub>/Fe<sub>t</sub>) beträgt in den Böden durchschnittlich 32 % und in den (Boden-)Sedimenten 30 %. Das könnte bedeuten, daß die (Boden-)Sedimente vor ihrer Abtragung/Ablagerung ähnlichen bioklimatischen Bedingungen der Pedogenese ausgesetzt waren wie die autochthonen Böden des Schwemmfächers.

### 3.4 Schwerminerale des Feinsandes

Die Gewinnung der Feinsandfraktion (Ø 63 - 200 µm) erfolgte nach Dispergierung mit Natriumpyrophosphat und anschließender Siebung, Verun-

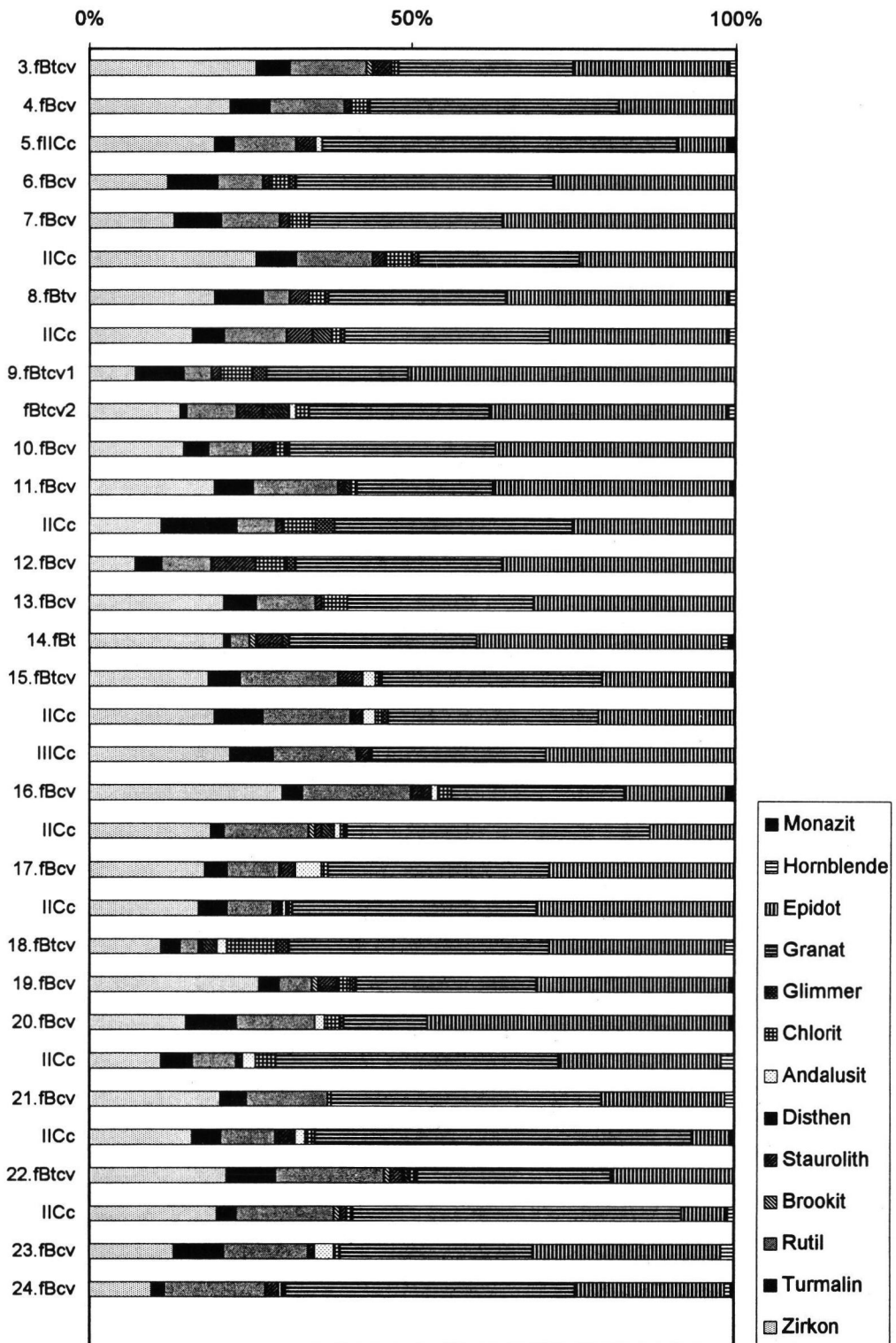


Abb. 2 Schwermineralgehalte des Feinsandes [Korn-%]

Fig. 2 Heavy mineral contents of the fine sand fraction [grain-%]

reinigungen wurden mittels 15-minütigem Kochen in technischer HCl (25%) entfernt. Zur Schwereretrennung wurde Bromoform (2,84 [2,89] g/cm<sup>3</sup>) verwandt. Je Präparat wurden 200 Körner entlang von Schnittlinien mit Hilfe des Kreuztisches unter dem Polarisationsmikroskop ausgezählt, der Opakanteil ist dabei nicht bestimmt. Die Schwermineralgehalte sind in Kornprozent dargestellt (Abb. 2).

Der Schwermineralanteil war mit durchschnittlich 0,16 und maximal 0,5 Gewichtsprozent ausgesprochen niedrig. Den größten Anteil (in Korn-%) nehmen Granat und Epidot, den geringsten die Gruppe der metamorphen Minerale Staurolith, Disthen, Andalusit, Chlorit und Glimmer ein. Der mechanische Aufbereitungsgrad der Minerale ist mäßig bis gering, da die Rundungsklasse idiomorph/angular mehr als die Hälfte ausmacht. Stärkere Zurundung tritt nur vereinzelt und dann bei den extrem stabilen Mineralen Zirkon bzw. Turmalin auf. Alle Körner zeigen Merkmale einer vorangegangenen chemischen Verwitterung, die sich in deutlichen Ätzspuren der wenig stabilen Schwerminerale, insbesondere der Granate und Epidote manifestiert. Sowohl die Gehalte von Zirkon, Turmalin und Rutil als auch von Granat und Epidot variieren einzeln und als Gruppe in den Schwemmfächersedimenten z. T. so stark, daß die Werte nicht generell im Sinne einer pedogenen Anreicherung bzw. Verarmung gedeutet oder als Maß für die Intensität bodenbildender Prozesse herangezogen werden können, was bei der Analyse des Mineralbestandes normalerweise angestrebt wird (vgl. BLUME & RÖPER 1977). Das bedeutet, daß die autochthonen Böden (B-Horizonte) aus eigenen, stofflich nicht mehr rekonstruierbaren Substraten hervorgegangen sind, und daß die C-Horizonte als (Boden-)Sedimente ebenfalls geologisch selbständige Körper darstellen.

### 3.5 Tonminerale

Die Identifizierung der Tonminerale erfolgte an glyzeringesättigten Texturpräparaten der Rohstofffraktion ( $\varnothing < 2 \mu\text{m}$ ) mittels Röntgenbeugungsanalyse nach vorheriger Humus- und Carbonatzerstörung sowie Entfernung der Eisenoxide. Die semiquantitative Auswertung der Röntgendiffraktogramme (Tab. 3) basiert auf der Berechnung von Intensitätsverhältnissen nach LAVES & JAHN (1972). Die höchsten Anteile an der Tonmineralzusammensetzung besitzen Illit (58-83%) und Smectit (5-26%). Hohe Illitgehalte korrespondieren dabei mit niedrigen Smectitgehalten, niedrigere Illitge-

Tab. 3: Tonmineralgehalte [%]  
Tab. 3 Clay mineral contents [%]

Horizont	Kaolinit	Illit	Chlorit und Vermiculit	Smectit
3.fBtev	6	68	7	19
4.fBcv	6	64	9	21
5.fllCc	7	66	6	21
6.fBcv	8	63	10	19
7.fBcv	7	67	8	18
llCc	7	65	9	19
8.fBtv	5	83	7	5
llCc	7	71	7	15
9.fBtev1	6	80	4	10
fBtev2	6	75	7	12
10.fBcv	6	73	9	12
11.fBcv	6	58	12	24
llCc	9	58	9	24
12.fBcv	6	59	9	26
13.fBcv	7	67	8	18
14.fBt	6	78	7	9
15.fBtev	6	74	5	15
llCc	6	73	6	15
lllCc	6	68	6	20
16.fBcv	6	63	6	25
llCc	5	65	6	24
17.fBcv	6	66	6	22
llCc	6	69	6	19
18.fBtev	5	81	4	10
19.fBcv	5	70	8	17
20.fBcv	6	67	8	19
llCc	6	77	6	11
21.fBcv	3	76	6	15
llCc	5	64	11	20
22.fBtev	3	81	6	10
llCc	5	61	12	22
23.fBcv	7	72	8	13
24.fBcv	5	65	10	20

halte entsprechend mit höheren Gehalten an Smectit. Der Anteil der Chlorite und Vermiculite liegt bei 4 bis 12%, der von Kaolinit bei 3 bis 9%. Besonders häufig schwanken die Illit- und Smectitgehalte, sowohl zwischen den autochthonen Böden als auch zwischen den (Boden-)Sedimenten. Entweder ist die jeweilige Tonmineralparagenese vererbt oder Ausdruck unterschiedlicher Bodenbildungsintensität bzw. unterschiedlicher Bodenbildungsdauer.

### 3.6 Mikromorphologie

Grundlage für die Beschreibung und Auswertung der Dünnschliffpräparate war das Handbuch von BULLOCK et al. (1985). Bei den autochthonen Bö-



den konnten drei Arten von doppelbrechender Tonmatrix („b-fabric“) unterschieden werden:

- In den hell rötlich braunen Böden (5YR) treten lediglich vereinzelte, schwach orientierte Bereiche doppelbrechenden Tons auf („crystallitic“).
- In den rötlich braunen Böden (2.5YR 5/4 u. 2.5YR 5/3) sind diese zu größeren zusammenhängenden Bezirken verwachsen („stipple-speckled“).
- Die roten Böden (2.5YR 4/6 u. 2.5YR 5/6) zeigen eine intensive Einregelung orientierten Tons entlang von Fließbahnen („striated“) und in einigen Fällen (3.fBtvc, 8.fBtvc, 9.fBtvc, 14.fBtvc, 15.fBtvc, 18.fBtvc, 22.fBtvc) eine mehr oder weniger starke Tonverlagerung.

Eine „crystallitic b-fabric“ ist gekennzeichnet durch Carbonat-Ton-Plasma, in dem die Carbonatkristalle eine Mobilität des Tons verhindern. „Stipple-speckled b-fabric“ und „striated b-fabric“ sind dagegen Anzeiger einer moderaten bzw. hohen Mobilität der Tonsubstanz in kalkfreien Böden (vgl. z. B. GERASIMOVA & GUBIN & SHOBA 1996: 45). Dies bedeutet, daß die teilweise erheblich carbonatangereicherten autochthonen Böden vor der Tonwanderung weitgehend entkalkt und relativ stark rufefiziert waren. Demnach sind die roten Böden am weitesten entwickelt. Eine nachträgliche Recarbonatisierung manifestiert sich vor allem in mikritischen und sparitischen Porenfüllungen.

#### 4 Schlußfolgerungen

Die pliozänen, hell rötlich braunen bis roten Paläoböden im Becken von Granada sind unterschiedlich stark entwickelt, wobei ihr Entwicklungszustand - als Funktion des Klimas oder der Zeit - vergleichsweise niedrig ist. So sind die roten Fossilböden der miozänen Blockformation chemisch intensiver umgesetzt und stärker lessiviert (ORTEGA HUERTAS & AGUILAR RUIZ 1980). Diese pedologischen Unterschiede lassen sich gut mit einer nachweisbaren Klimaänderung an der Wende Miozän/Pliozän (vgl. WIEGANK 1993: 173) vereinbaren. Abtragung/Aufschüttung erfolgte sowohl im Messinium als auch im Pliozän jedoch unter (semi-)ariden Klimabedingungen, welche nach BLISSENBACH (1954: 175) die Ausbildung von Schwemmfächern begünstigen.

Nach Mc CRAW (1968: 631) werden auf einem Schwemmfächer drei Zonen der Bodenbildung unterschieden:

- Schwemmfächerkopf mit steinig lehmigen Sanden auf grobkörnigen porösen Schotterlagen
- Mittlerer Schwemmfächer mit sandigen Lehmen auf Schotterrücken und mit feinkörnigen Böden zwischen Schotterrücken
- Schwemmfächerfuß mit schluffigen oder feinsandigen Lehmen auf Schluffen und feinen Sanden.

In Granada entspricht danach die Korngrößenzusammensetzung der Böden mit überwiegend schluffigen Tonen und tonigen Lehmen und die der (Boden-)Sedimente mit überwiegend lehmigen Sanden und sandigen Lehmen den Verhältnissen auf einem Schwemmfächerfuß. Bodenbildung fand während feuchter Phasen mit mehr oder weniger geschlossener Vegetationsdecke und Abtragung/Sedimentation während trockener Phasen ohne schützende Vegetation statt (vgl. ROHDENBURG 1970). Daß der Wechsel von morphodynamischer Aktivität und Stabilität auch hier Gültigkeit besitzt, haben bereits GILE & HAWLEY (1966: 261) an einem Schwemmfächer mit 4 fossilen Böden in New Mexico nachgewiesen: Während Zeiten der Instabilität gab es schmale Gürtel mit Erosion und Sedimentation („channel zones“) sowie ausgedehnte Bereiche mit gleichmäßiger Aufschüttung und relativ geringer Abtragung. In Zeiten der Stabilität bildeten sich außerhalb der Tiefenlinien auf allen Oberflächen Böden. Dies bedeutet, daß Abtragung/Aufschüttung und Bodenbildung gegen sich auch auf einem Schwemmfächer gegenseitig ausschließen.

Eine kritische Bestandsaufnahme zur Klimastratigraphie des Pliozäns auf der Basis palynologischer Untersuchungen an marinen sowie kontinentalen südeuropäischen Profilen belegt für das gesamte Pliozän „ständige klimatische Wechsel mit größerer oder kleinerer (klimatischer) und mit kürzerer oder etwas längerer (Zeit-)Amplitude“ (KRUTZSCH 1988: 45). Dies kann mit den vorliegenden paläopedologischen Untersuchungsergebnissen im Becken von Granada voll bestätigt werden. Demnach ist auch im Pliozän mit einer hohen Anzahl pedogenetisch wirksamer Klimawechsel zu rechnen.

#### 5 Danksagung

Wir danken Herrn Oberstudienrat BERNHARD HEIM (Geslau), der den Zweitautor bei der schwierigen Probenahme am 12. April 1979 tatkräftig unterstützte. Unser Dank gilt auch Herrn M. Agr. MAR-

CELO JAHNEL (Piracicaba/Brasilien) für die Korngrößenanalyse sowie für die Ermittlung des Kalkgehaltes, des organischen Kohlenstoffs, des oxalat- und des dithionitlöslichen Eisens im Jahre 1992. Die weiterführenden Untersuchungen werden seit dem 1. April 1996 dankenswerterweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter dem Thema „Klimazyklische Sedimentation/Abtragung und Bodenbildung während des Pliozäns und Quartärs im Becken von Granada“ gefördert (Geschäftszeichen: Sk 20/3-1).

## 6 Schriftenverzeichnis

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Aufl., 392 S., 33 Abb., 91 Tab.; Hannover (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- ALIAS, L. J. & PEREZ PUJALTE, A. (1969): Suelos rojos mediterráneos de la provincia de Granada. I. Macromorfología, características analíticas generales y estudio químico. - *An. Edef. y Agrob.*, **28**: 367-387, 8 Tab.; Madrid.
- BLISENBACH, E. (1954): Geology of alluvial fans in semiarid regions. - *Bull. Geol. Soc. Am.*, **66**: 175-190, 7 Fig., 2 Plates; Boulder, CO.
- BLUME, H.-P. & RÖPER, H.-P. (1977): Der Mineralbestand als bodengenetischer Indikator. - *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, **25**: 797-822, 6 Abb., 3 Tab.; Göttingen.
- BLUME, H.-P. & SCHWERTMANN, U. (1969): Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron, and manganese oxides. - *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **33**: 438-444, 8 Fig., 3 Tab.; Madison, WI.
- BRONGER, A. (1974): Zur postpedogenen Veränderung bodenchemischer Kenndaten insbesondere von pedogenen Eisenoxiden in fossilen Lössböden. - *Trans. 10th Intern. Congr. Soil Sci. (Moskau)*, **VI**: 429-441, 1 Abb., 2 Tab.; Moskau.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & TURSINA, T.V. (1985): Handbook for soil thin section description. - 152 S., 146 Fig., 9 Tab.; Wolverhampton (Waine Research Publications).
- FAO-UNESCO-ISRIC (1990): Soil map of the world. Revised legend. Reprinted with corrections. - *World Soil Resources Report*, **60**: 119 S.; Rom.
- GERASIMOVA, M. I., GUBIN, S.V. & SHOBA, S.A. (1996): Soils of Russia and adjacent countries: Geography and micromorphology. - 204 S., 80 Fig., 30 Tab.; Moscow-Wageningen.
- GILE, L.H. & HAWLEY, J. W. (1966): Periodic sedimentation and soil formation on an alluvial-fan piedmont in southern New Mexico. - *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **30**: 261-268, 7 Fig., 2 Tab.; Madison, WI.
- GONZALEZ DONOSO, J. M. (1970): Estudio geológico de la depresión de Granada. - *Cuad. Geol.*, **1**: 5-9; Granada (Universidad de Granada).
- IGME - INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1988): Mapa Geológico de España E. 1:50.000 Granada. - 73 S.; Madrid.
- KRUTZSCH, W. (1988): Kritische Bemerkungen zur Palynologie und zur klimastratigraphischen Gliederung des Pliozäns bis tieferen Altpleistozäns in Süd-, Südwest-, Nordwest- und pro parte Mitteleuropa sowie die Lage der Pliozän/Pleistozän-Grenze in diesem Gebiet. - *Quartärpaläontologie*, **7**: 7-51, 2 Tab.; Berlin (Akademie-Verlag).
- KUBIENA, W. L. (1954): Sobre el método de la paleoedafología. - *An. Edef. y Fis.Veg.*, **13**: 523-543, 2 Fig., 1 Bildtafel; Madrid.
- LAVES, D. & JÄHN, G. (1972): Zur quantitativen röntgenographischen Bodenton-Mineralanalyse. - *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.*, **16**: 735-739; Berlin (Akademie-Verlag).
- MCCRAW, J. D. (1968): The soil pattern of some New Zealand alluvial fans. - *Trans. 9th Intern. Congr. Soil. Sci. (Adelaide)*, **IV**: 631-640, 3 Fig.; Sydney.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M. L. (1960): Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. - *Clays Clay Min.*, **7**: 317-327, 1 Fig., 6 Tab.; Elmsford, NY (Pergamon).
- MEYER, B. (1979): Die Entcarbonatierungsrotung als bodengenetischer Teilprozeß. - *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, **29**: 705-708; Göttingen.
- ORTEGA HUERTAS, M. & AGUILAR RUIZ, J. (1980): Sulla presenza di paleosuoli rossi nella depressione spagnola di Granada. - *Rendiconto dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche*, 4. Ser., **47**: 61-82, 2 Fig., 7 Tab.; Napoli.
- ROHDENBURG, H. (1970): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. - *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **21**: 81-96, 2 Fig.; Öhringen (Rau).
- ROHDENBURG, H. & SABELBERG, U. (1973): Quartäre Klimazyklen im westlichen Mittelmeergebiet und ihre Auswirkungen auf die Relief- und Bodenentwicklung vorwiegend nach Untersuchungen an Kliffprofilen auf den Balearen und an der marokkanischen Atlantikküste. - *Catena*, **1**: 71-179, 9 Fig., 2 Tab., 30 Photos; Giessen.
- SANZ DE GALDEANO, C. & VERA, J. A. (1991): Una propuesta de clasificación de las cuencas neógenas béticas. - *Acta Geol. Hisp.*, **26**: 205-227, 11 Fig., 1 Tab.; Madrid.
- SCHWERTMANN, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. - *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, **105**: 194-202, 4 Tab.; Weinheim/Bergstr. (Verlag Chemie).
- WIEGANK, F. (1993): Korrelation und Chronologie paläoklimatischer Ereignisse des Pliozäns und Pleistozäns. - *Peterm. Geogr. Mitt.*, **137**: 169-182, 1 Fig.; Gotha (Justus Perthes Verlag).

Manuskript eingegangen am 6. Januar 1997