

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Kommission V der DBG – Paläoböden, Pedochronosequenzen, Archäopedologie  
 Titel der Tagung: Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fitmachen  
 Veranstalter: DBG, 03.-09.09.2011 in Berlin  
 Berichte der DBG (nicht begutachtete Online-Publikation), <http://www.dbges.de>

## Paläopedologie des Quartärs auf den Balearen

Stephen Wagner<sup>1\*</sup>, Eileen Eckmeier<sup>1</sup>, Norbert Günster<sup>2</sup>, Armin Skowronek<sup>1</sup>

### Einführung

Die paläoklimatische Entwicklung im Quartär zeichnet sich durch den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten aus, die vornehmlich auf astronomisch bedingten Änderungen der Insolation beruhen. Diese Klimazyklizität wird auf dem Festland durch alternierende Abtragung/Aufschüttung (trockenes Klima ohne Vegetation) und Bodenbildung (feuchtes Klima mit Vegetationsdecke) nachvollzogen. Das aktuelle Klima der Balearen ist warmtemperiert mit trockenen Sommern und feuchten Wintern (Csa nach Köppen/Geiger, IV1 nach Troll/Paffen), die Böden besitzen ein sog. „xeric soil moisture regime“ und ein „thermic soil temperature regime“.

**Schlüsselworte:** Pedostratigrafie, Bodenprozesse, Mikromorphogenese

### Material und Methoden

Das überwiegend biostratigrafisch definierte Quartär der Balearen (Mallorca, Menorca, Ibiza, Formentera) wird pedologisch durch reliktsche Verwitterungsböden und durch fossile Böden bzw. Bodenkomplexe in (Küsten-)Schwemmfächern charakterisiert (28 Standorte, 216 Böden).

Die hier vorgestellten Kliffprofile El Toro/SW Mallorca (28 m Höhe) und Colonia de Sant Pere/NE Mallorca (8 m Höhe) wurden zusammen mit anderen Profilen von Rohdenburg und Sabelberg 1973 nach Feldaufnahmen grundlegend geomorphologisch-pedologisch interpretiert. El Toro befindet sich in

(distal-)medialer Position eines ehemals wesentlich größeren und auch vertikal degradierten Schwemmfächers. Colonia de Sant Pere besteht aus Sedimenten und Böden des letzten Warmzeit-Kaltzeit-Zyklus (Eem-Würm), in dem terrestrische und marine Geomorphodynamik interagiert (echter Küstenschwemmfächer).

Ziel unserer Arbeit ist die Rekonstruktion ausgewählter pedogenetischer Prozesse und die Interpretation des zugehörigen Bildungsklimas.

### Pedostratigrafie

Die fossilen Böden von El Toro („*Ses Penyes Roges*“) lassen sich nach Rohdenburg und Sabelberg (1973) sechs Warmzeit-Kaltzeit-Zyklen zuordnen. Sie bestehen aus Sedimentzyklen (A-F), welche ihrerseits in Bodenkomplexe (z.B. c1-c4, Abb. 1) untergliedert sind. Vor Zyklus Z (Oberpliozän/Unterpleistozän) ist keine Bodenbildung überliefert.

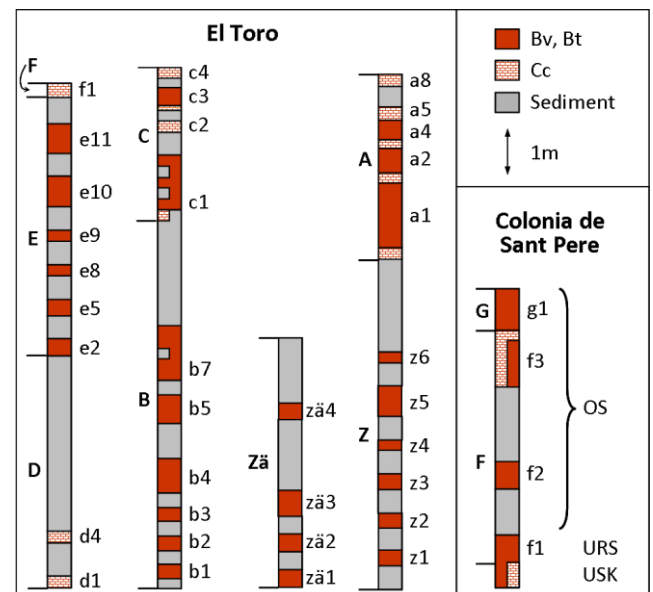


Abb. 1. Pedostratigrafie von El Toro und Colonia de Sant Pere. Sedimentzyklen (Z, A-F) und Bodenkomplexe (z.B. c1-c4) nach Rohdenburg und Sabelberg (1973). Neu: Zä (zä1-zä4) (Ältere Dünenserie); F (f1-f3) (Eem + Würm), G (g1) (holozäner Boden).

Im eem-würmzeitlichen Schwemmfächer Colonia de Sant Pere stellt die Untere Rote Serie URS (s. Rohdenburg und Sabelberg, 1973, Fig. 6) Bodensedimente des im Einzugsgebiet abgetragenen Eem-Bodens (Terra rossa?) dar, die über grobkörnige und carbonatreiche Sande (USK) geschüttet wurden. In der aus Schottern, Abspülsedimenten und Dünen bestehenden Oberen

<sup>1</sup>INRES-Bodenwissenschaften, Universität Bonn, Nussallee 13, 53115 Bonn, <sup>2</sup>Bergstraße 26, 51503 Rösrath, \*stephen.wagner@uni-bonn.de

Serie (OS) sind Bodenbildungen (f2, f3) nur schwach ausgeprägt.

An beiden Standorten überwiegt Verbraunung/Verlehmung sowie sekundäre Aufkalkung. Lessivierung tritt nur in El Toro vereinzelt auf (Abb. 3b, 3d). Stellenweise ist Vertisolierung erkennbar, die aber nicht primär merkmalsprägend ist.

### Rotfärbung und Eisen-Umkristallisation

Entwicklungsgrade von Böden werden häufig durch das  $Fe_d/Fe_t$  oder  $(Fe_d-Fe_o)/Fe_t$  Verhältnis wiedergegeben und bilden tendenziell den summierten Anteil von Goethit und Hämatit am Gesamt-Eisen ab (z.B. Arduino et al., 1986). Weil deren Gehalte jedoch eng an die Tonfraktion gebunden sind und eine hohe Eisendynamik mit ausgeprägter Verwitterung und Pedogenese vortäuschen können, erscheint es sinnvoller,  $Fe_t$  direkt auf den Tongehalt zu beziehen. Daraus ergibt sich der in Abb. 2 dargestellte Eisen-Index  $[(Fe_d-Fe_o) / (Fe_t/Ton)]$ , der das

Ausmaß der Vorverwitterung in älteren Substraten erfasst, darüber hinaus aber auch Unterschiede im Ausgangsmaterial und damit Schichtungsverhältnisse widerspiegelt. In El Toro sind bereits die fluvialen Ablagerungen in Z stark verwittert, A ist pedogenetisch noch weiter entwickelt. Der Eisen-Index nimmt in den jüngeren Bodenkomplexen wieder ab, tritt jedoch stärker hervor als in Dünensediment Zä (Abb. 2a). Er erreicht innerhalb der Bodenkomplexe in den untersten Horizonten von Z, C und E deutlich größere Werte als in den jeweils höheren Horizonten, variiert sonst jedoch unabhängig von der Position der Bv- bzw. Bt-Horizonte. Bei Colonia de Sant Pere nimmt der Eisen-Index deutlich von f1 (in USK) nach f1 (in URS) zu (Abb. 2b), allmählich auch innerhalb f1 (in URS, 3 Proben). f2, f3 und g1 (alle in OS) sind wesentlich schwächer verwittert. f3 (3 Proben) zeigt zur Oberfläche hin eine schwach steigende, g1 (2 Proben) eine abnehmende Tendenz.

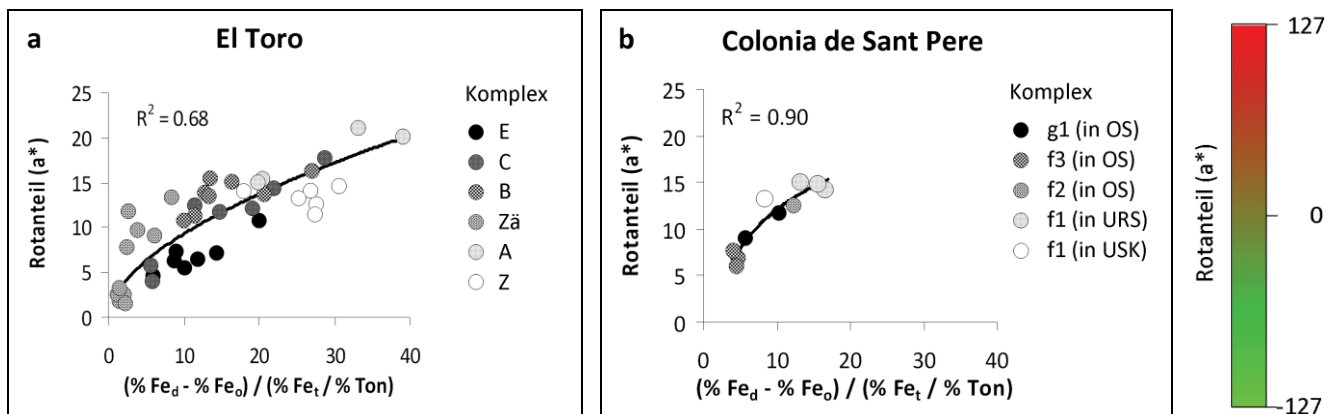


Abb. 2. Verhältnis des Rotanteils ( $a^*$ ) zum Eisen-Index  $(Fe_d-Fe_o)/(Fe_t/Ton)$  in den Böden von a) El Toro (gegliedert nach Sedimentzyklen) und b) Colonia de Sant Pere (gegliedert nach Bodenkomplexen).

Die spektrofotometrisch ermittelte Rotfärbung der Böden und Sedimente wird anhand des Rotanteils im Grün-Rot-Spektrum ( $a^*$ ) des  $L^*a^*b^*$  Farbsystems dargestellt (Abb. 2). Er nimmt in El Toro insbesondere von Z nach A stark zu und variiert beträchtlich innerhalb des Dünensediments Zä. Auch in B und C ist er vergleichsweise gut ausgeprägt, nimmt in E aber deutlich ab. Erkennbar ist auch eine nur geringe Variation des Rotanteils innerhalb der Komplexe (Abb. 2a).

In Colonia de Sant Pere fallen f1 (in USK) und insbesondere f1 (in URS) durch deutliche

Rotfärbung auf (Abb. 2b), welche auch im unteren g1 (in OS) relativ stark ist.

An beiden Standorten korreliert der Rotanteil außerdem mit dem Eisen-Index (El Toro:  $R^2 = 0.68$ , Colonia de Sant Pere:  $R^2 = 0.90$ ). Diese Beziehung ist innerhalb der Bodenkomplexe noch enger. Rotfärbung in Böden des Eem ist nach Füllner et al. (2005) polygenetisch bedingt. Danach setzt dieser Prozess nicht nur wechselfeuchtes Klima, sondern auch (mehrfachen) Wechsel von Pedogenese und (partieller) Abtragung voraus. Die verbrauchten/verlehmten holozänen Böden sind hingegen monogenetisch entstanden.

## Mikromorphogenese von Böden und Bodensedimenten

Bodenbildende Prozesse können mikromorphologisch gut rekonstruiert werden. Für El Toro und Colonia de Sant Pere liegt eine erste Interpretation vor (Wagner et al. 2011, eingereicht).

In El Toro wechseln sich Sedimente carbonatreichen Materials mit überwiegend entkalkten, verbraunten und teils sekundär aufgekalkten Böden ab. Dies trifft insbesondere auf Z zu (Abb. 3a). Bereits hier deuten Schrumpfrisse auf wechselfeuchtes Klima hin. Die Basis von A zeichnet sich durch teils stark verfestigte Sekundärcarbonate (Cc4) aus. Nachfolgend zeigen intensive Rotfärbung und Toncutane (Abb. 3b) Polygenese (incl. Lessivierung) an. Hinzu kommt eine nach oben zunehmende Vertisol-Dynamik mit gut erkennbaren Quellungs-/Schrumpfsmerkmalen und Eisen-/Manganoxid-Hypo-Belägen (Abb. 3c). Dies weist auf ein schon im frühen Quartär herrschendes mediterranes Klima hin. Vereinzelt kann anhand weiterer Tonhäutchen entlang von Poren anhaltende Lessivierung nachgewiesen werden (Abb. 3d). Nach oben schließt A mit verfestigten Sekundärkalken in Cc ab. Im Gegensatz zu A enthält die zwischen A und B eingebettete ältere Dünenserie Zä nur wenig Feinmaterial. Hier unterstreicht die Anwesenheit mariner Fauna (Abb. 3e, Ovale) die bereits von Rohdenburg und Sabelberg (1973) attestierte unmittelbare Küstennähe und Ablagerung durch gleichzeitige Regression. Die für A geschilderte Abfolge wiederholt sich im Wesentlichen auch in allen folgenden Sedimentzyklen. Erkennbar ist auch hier eine im Vergleich zu A abnehmende Bodenbildungsintensität, was sich in der nur stellenweise nachweisbaren Tonverlagerung (anhand von Toncutanen) und überwiegender Verbraunung niederschlägt. Die Vertisol-Dynamik bleibt hingegen erhalten. Zuletzt sei noch das in E nach oben abschließende Dünensediment genannt, welches den Übergang zu ariderem Klima bei nur geringer oder fehlender Vegetation repräsentiert. Die dadurch hervorgerufene Erosion/Sedimentation kann anhand von Toncutan-Fragmenten rekonstruiert werden (Abb. 3f). Letztere können aber auch durch Kristallisation kalkreichen Materials unter zunehmender Trockenheit entstehen. Bioturbate Zer-

störung und Kryoturbation können wegen Fehlens entsprechender Merkmale wohl ausgeschlossen werden.

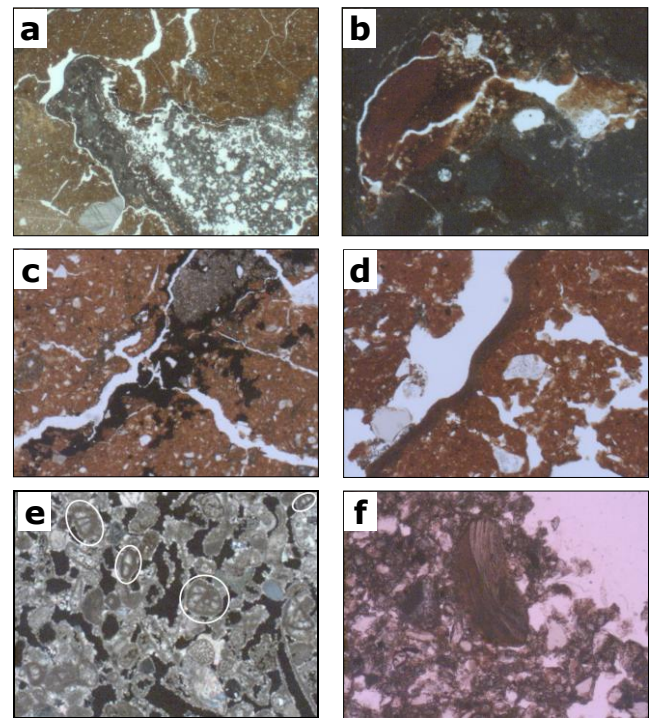


Abb. 3. Ausgewählte Dünnschliffe von Böden in El Toro: a) Komplex Z (z1), Horizont: Bt, Aufnahme: PPL, Bildbreite: 5.3 mm; b) A (unter a1), Cc, XPL, 1.33 mm; c) A (a2), Bt, PPL, 1.33 mm; d) A (a1), Bt, PPL, 1.33 mm; e) Dünensediment Z (zä0), Cc, XPL, 2.65 mm; f) E (über e11), Dünensediment, PPL, 0.9 mm. PPL = polarisiertes Licht, XPL = kreuzpolarisierendes Licht.

El Toro erfährt somit eine ausgeprägte Pedogenese in A mit abnehmenden Bildungsintensitäten in nachfolgenden Komplexen. Innerhalb der Komplexe laufen auch in den einzelnen Böden mehrere Prozesse ab, wobei vor allem (teils wiederholte) Entkalkung, Verbraunung/Verlehmung, Tonverlagerung, Rotfärbung, sekundäre Aufkalkung und Quellung/Schrumpfung in variierender Ausprägung vorkommen. Somit kann auch die von Rohdenburg und Sabelberg (1973) festgestellte Abnahme der Bodenbildungsintensität innerhalb der Sedimentzyklen mikromorphologisch bestätigt werden.

In Colonia de Sant Pere sind carbonatreiche Sedimente teilweise entkalkt und verbraunt/verlehmt. Rot-braun gefärbte Böden/Bodensedimente in F (Eem + Würm) und G (Holozän) zeigen bei korn-porenstreifigem Gefüge (Abb. 4a, 4b, 4d) einen stärkeren saisonalen Durchfeuchtungswechsel an. Die Kornstreifigkeit im Mischsediment f1 (Abb. 4a) stellt wahrscheinlich die einzige pedogene

Überprägung der eem- bzw. altwürmzeitlichen roten, tonreichen Bodensedimente dar. In Cc von f3 (Abb. 4c, Oval) belegt marine Fauna einen kurzfristigen würmzeitlichen Meeresspiegelhochstand (2,70 m ü. MW nach Rohdenburg und Sabelberg, 1973, S. 124), welcher wahrscheinlich um 81 ka BP erfolgte (vgl. Dorale et al., 2010). Der verbraunte/verlehnte Oberflächenboden g1 ist locker gelagert (Abb. 4d), er bildet die Basis des aktuellen Warmzeit-Kaltzeit-Zyklus G.

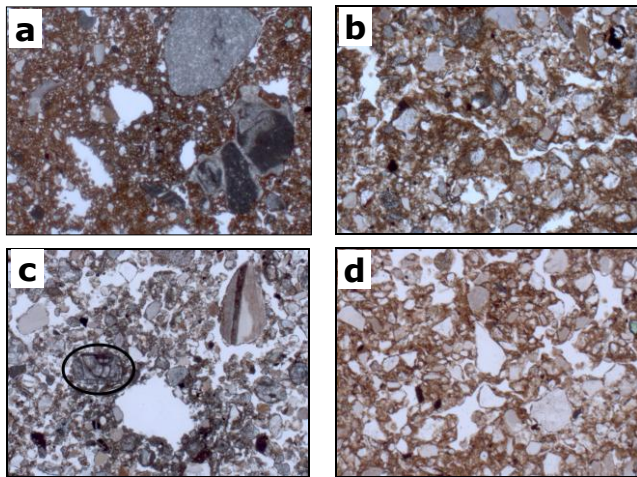


Abb. 4. Ausgewählte Dünnschliffe von Böden in Colonia de Sant Pere: a) Komplex F (f1), Horizont: IIbV3, Aufnahme: PPL, Breite: 5.3 mm; b) F (f2), Bv, PPL, 1.33 mm; c) F (f3), Cc, PPL, 2.65 mm; d) G (g1), AhBv2, PPL, 1.33 mm. PPL = polarisiertes Licht.

### Fazit

Die Anwendung ausgewählter bodenkundlicher Methoden (Pedostratigrafie, Eisen-Index, Spektrofotometrie, Mikromorphologie) bei der Untersuchung des reichhaltigen paläopedologischen Archivs der Balearen erbrachte neue Erkenntnisse zur Pedogenese einzelner Fossilböden und Bodenkomplexe. Danach kann die paläoklimatische Entwicklung des Quartärs wesentlich differenzierter dargestellt werden als bisher.

El Toro und Colonia de Sant Pere belegen für die Böden ein seit dem Oberpliozän/Unterpleistozän feuchtes Mediterranklima mit abnehmender Bodenbildungsintensität – unter der Voraussetzung, dass Intensität nicht durch Dauer ersetzt wurde. Die (Boden-) Sedimente dagegen entstanden unter trockenem und teils kühlem Mediterranklima bei geöffneter bzw. fehlender Vegetation in den Abtragungsgebieten.

Colonia de Sant Pere kann sedimentologisch und pedologisch mit den gut datierten (OSL, Aminosäuren) ca. 1.5 km ENE entfernten Ablagerungen in den Talmündungen des Torrent des Cocons und des Torrent de sa Telaia Freda korreliert werden (vgl. Rose et al., 1999). OIS 5e (= Eem) indiziert dort 19.2°C (heute 17.3°C = OIS 1) Jahresmitteltemperatur, OIS 4 bzw. OIS 2 hingegen 4.9 bzw. 8.1°C.

Aufgrund von paläopedologischen Untersuchungen an mindestens 85 (!) unterschiedlich alten Paläoböden im Becken von Granada/Südspanien muss schon seit dem Beginn des Pliozäns (5.3 Ma BP) mit sehr vielen, pedo- und geomorphogenetisch wirksamen Klimazyklen vom mediterranen Typ gerechnet werden (s. Günster und Skowronek, 1999).

### Danksagung

Die Förderung erfolgte 1999-2001 dankenswerterweise durch die DFG (SK 20/5-1).

### Literatur

- Arduino, E., Barberis, E., Ajmone Marsan, F., Zanini, E. und Franchini, M. 1986. Iron oxides and clay minerals within profiles as indicators of soil age in northern Italy. *Geoderma*, 37, 45-55.
- Dorale, J.A., Onac, B.P., Fornós, J.J., Ginés, J., Ginés, A., Tuccimei, P. und Peate, D.W. 2010. Sea-level highstand 81.000 years ago in Mallorca. *Science*, 327, 860-863.
- Füllner, K., Skowronek, A und Günster, N. 2005. Zur Rubefizierung jungquartärer Böden und Bodensedimente auf den Balearen (Ibiza, Mallorca, Menorca). *Mitt. DBG*, 107, 317-318.
- Günster, N. und Skowronek, A. 1999. Is there a subtropical climate since more than 5 Ma in the western Mediterranean? *Extended Abstracts. 6<sup>th</sup> International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate*, Barcelona 1999, 574-576.
- Rohdenburg, H. und Sabelberg, U. 1973. Quartäre Klimazyklen im westlichen Mediterrangebiet 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.
- Rose, J., Meng, X. und Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, London, 156, 435-448.
- Wagner, S., Skowronek, A. und Günster, N. 2011. Aggradational surfaces and soils – Soil geomorphology of (coastal) alluvial fans in Spain (Costa Blanca, Ibiza, Mallorca). *ZfG* (eingereicht).