

## Relief und Textur als Steuergrößen für die räumliche Verteilung von Phosphor im Boden

Christoph Weihrauch<sup>1</sup> & Christian Opp<sup>2</sup>

### Einleitung

Menschliche Nutzungen (Siedeln, Landwirtschaft etc.) können zu Phosphatanreicherungen im Boden führen. Wegen des chemischen Verhaltens von Bodenphosphaten sind solche erhöhten Werte in vielen Böden noch lange analytisch nachweisbar. Bei geoarchäologischen Phosphatprospektionen macht man sich das zunutze, um auf menschliche Aktivitäten in der Vergangenheit zu schließen. (Vgl. bspw. Zölitz 1983.) Dabei können rezente Einflüsse (Düngung, Ernte etc.) sowie verschiedene physikalische und chemische Dynamiken des Bodenphosphors (Verlagerung, Auswaschung etc.) die Aussagen einer Phosphatprospektion verzerren.

Die Verlagerbarkeit von Phosphor (P) im Boden wurde bisher kaum erforscht, oft sogar bestritten (z. B. Lorch 1955:201, Kiefmann 1978:64, Gebhardt 1982:7). Sie hat Implikationen für die Durchführung geoarchäologischer Phosphatprospektionen und die Deutung ihrer Ergebnisse. Darum wurde nun der Einfluss von Bodentextur und Relief auf die vertikale und laterale Phosphatverlagerung im Boden untersucht.

### Untersuchungsgebiete

Untersuchungsgebiet 1 (Abb. 1) ist ein Acker mit durchschnittlich 6° Neigung an der NO-Flanke eines Muschelkalkberges bei Mihla (Wartburgkreis). Die lokalen Kolluvisol- und Pseudogley-Varietäten sind

geprägt durch Tongehalte bis zu 60 Masse-%, Carbonatgehalte bis 75 Masse-%, Hang-/Haftwasserdynamik mit schwacher Hydromorphie im Untergrund sowie durch Erosion und Akkumulation.

Untersuchungsgebiet 2 (Abb. 1) im Bereich um Sievern (Lkr. Cuxhaven) ist durchschnittlich <2° geneigt. Es teilt sich in Marsch (Westen; Äcker) und einen Geestrücken (Osten; Forste). Die Böden, Kolluvisole und Braunerden (lokal pseudovergleyt oder podsoliert), enthalten 60 bis >90 Masse-% Sand, sind entkalkt und an einigen Standorten tiefgründig humos.



Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete.

### Material und Methoden

Pürckhauer-Profile (Mihla: 8/1 Transekt; Sievern: 15/3 Transekte) wurden in 5-cm-Schritten beprobt, die Proben getrocknet, gemörsert und auf 2 mm gesiebt. Pro Probe wurden zwei Aufschlüsse mit je 1 g Boden erstellt:

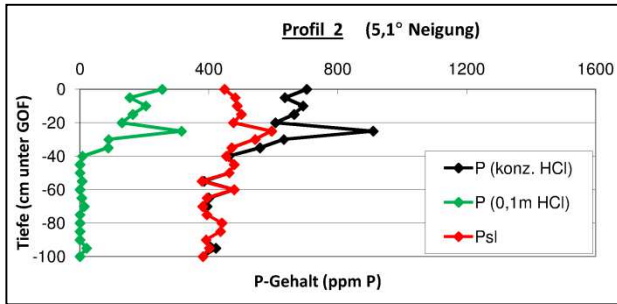
- 1 d anfeuchten mit 25 ml 0,1 m HCl ( $P_{0,1m\ HCl}$ ; leichter löslicher Phosphor =  $P_{II}$ )
- 2 h bei 60°C mit 37%-HCl kochen ( $P_{konz.\ HCl}$ ; großer Teil des Gesamt-P) ( $P_{konz.\ HCl} - P_{II}$  = schwerer löslicher P =  $P_{SI}$ )

Die Aufschlüsse wurden mit Ammoniummolybdat blau angefärbt und ihr Phosphatgehalt bei 700 nm am Photometer gemessen.

### Ergebnisse

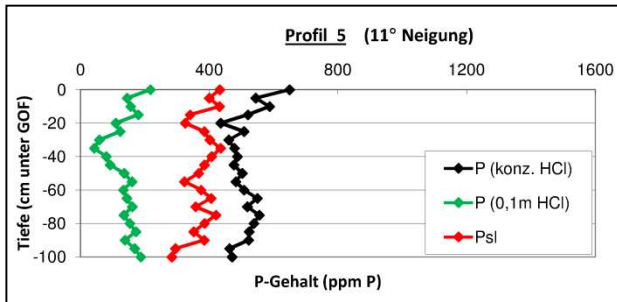
Die lokalen Böden im Untersuchungsgebiet Mihla haben hohe Feinkorn-, Ca-, Fe- und Al-Gehalte. Sie sind sehr aufnahmefähig für P. Mit konz. HCl konnten aber nur relativ geringe P-Mengen extrahiert werden (MW: 549,5 ppm P). Vermutlich

besteht die Tendenz zur P-Fixierung in für konz. HCl zu schwer löslichen Formen.



↑ Abb. 2

↓ Abb. 3



$P_{II}$  tritt v. a. in den Ap-Horizonten auf (Abb. 2), in einigen Profilen aber auch vermehrt in der Tiefe (Abb. 3). Wegen der hohen Tongehalte sind die meisten Böden im Untergrund hydromorph. Vermutlich wird dort bei periodischer Vernässung, evtl. auch durch organische Säuren (Pflanzenwurzeln), ein Teil des Boden-P in leichter lösliche Formen überführt.

Die in der Tiefe sehr vertikalen Kurven sprechen gegen intensive vertikale P-Verlagerung. Vermutlich verhindern das die hohen Tongehalte. Begrenzte  $P_{II}$ -Verlagerung zeigt sich aber in den Ap-Horizonten (Abb. 2): Größere  $P_{II}$ -Mengen finden sich oft bei -20 cm, was nicht genau den Pflugsohlen entspricht.

Obwohl Profil 8 am Unterhang den meisten  $P_{II}$  aufweist, wird umfangreiche laterale Verlagerung den Hang hinab ausgeschlossen. Profil 8 befindet sich nahe der Ecke des Ackers und wird vermutlich direkt mit mehr  $P_{II}$  versorgt, wenn die Landmaschinen wenden.

Betrachtet man die laterale Entwicklung der P-Werte den Hang hinab, zeigt sich eine Tendenz zu mehr  $P_{SI}$  im Oberboden am Oberhang und mehr  $P_{II}$  im Unterboden am Unterhang. Allerdings ist der Muschelkalkeinfluss am Oberhang größer und damit vermutlich die Menge schwer löslicher Ca-Phosphate. Am Unterhang im

Unterboden schlägt dagegen die tonbedingte Feuchtedynamik mehr durch. Intensive P-Verlagerung den Hang hinab ist nicht nachweisbar.

Auch Neigung und Relief der Standorte haben keinen merklichen Einfluss auf die P-Verteilung. Die P-Kurven in den am stärksten geneigten Lagen (Abb. 3) zeigen aber keinen deutlichen Peak im Ap-Horizont. Möglicherweise ist hier der Oberflächenabfluss größer und die Infiltration geringer, so dass oberflächennahe Vertikalverlagerung von  $P_{II}$  weitgehend ausbleibt.

**Fazit:** Durch gehemmte Infiltration ist die P-Verlagerung in Tonböden auch bei geneigtem Terrain gering. Jedoch fördern Tone temporäre Vernässung durch Haftwasser im Untergrund und damit scheinbar eine gewisse Mobilisierung, Resorption und Umverteilung von P. Bei zu hohem Tongehalt ist das aber nicht mehr gegeben (Abb. 2: ab -40 cm).

Im Untersuchungsgebiet Sievern liegt der natürliche, nicht anthropogen erhöhte P-Gehalt sowohl bei den Sanden der Geest als auch bei den Sandlehmen der Marsch <230 ppm P. Die grobkörnigen Böden enthalten hier von Natur aus weniger P als die Tonböden bei Mihla. Sie sind ärmer an potenziellen P-Sorbenten. Zudem enthalten sie wenig Ca, was P für den Aufschluss mit konz. HCl zu schwer löslich binden könnte.

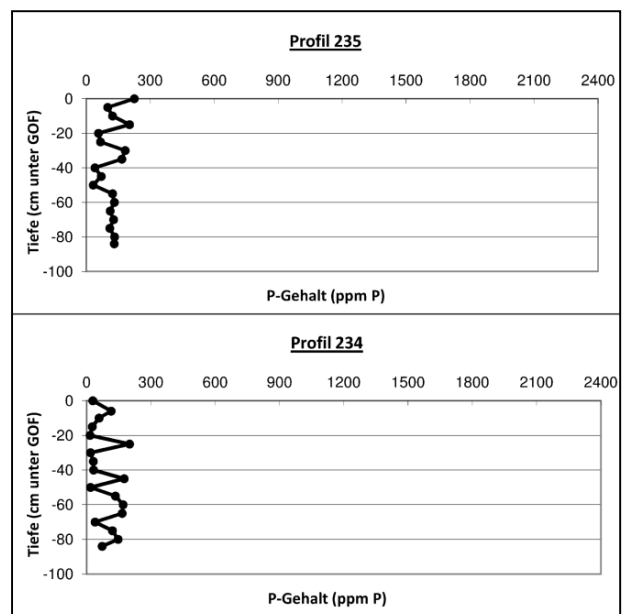


Abb. 4: P-Kurven unter Wald.

Die  $P_{\text{konz. HCl}}$ -Kurven der Waldstandorte im Geestgebiet (Abb. 4) verlaufen im Trend nahezu senkrecht und weitgehend im nativen P-Bereich. Signifikante anthropogene Nährstoffeinträge und P-Verlagerung sind nicht fassbar. Darum wurde  $P_{\text{II}}$  hier nicht mitbestimmt.

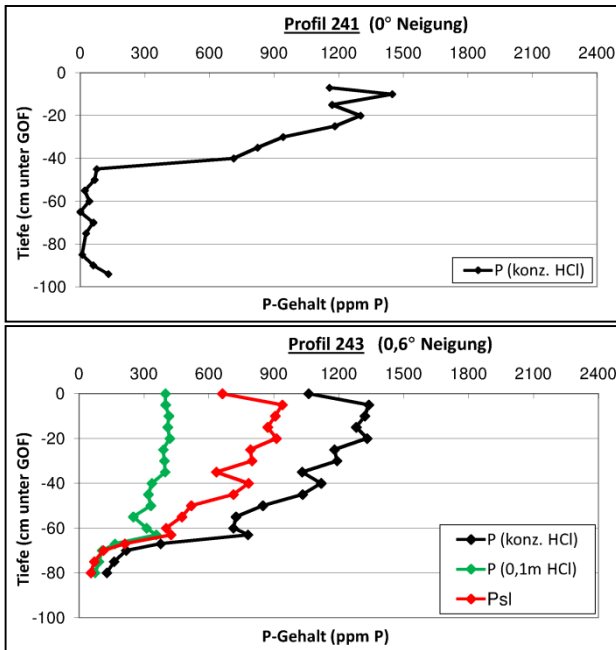


Abb. 5: P-Kurven auf Agrarstandorten.

Ganz anders verlaufen die P-Kurven der Landwirtschaftsflächen in der Marsch (Abb. 5). Durch Dünger und Ernterückstände wurden die Böden in den oberen Profildezimetern stark mit P angereichert. Die P-Kurven zeigen standorttypische Ausgleichstiefen, wo die künstlich erhöhten P-Gehalte auf natürliche Werte absinken. Vermutlich kann Dünger- $P_{\text{II}}$  per Infiltration bis in diese Tiefen gelangen. Sie befinden sich meist deutlich unter den Pflugsohlen (lokal mehr als 60 cm unter GOF).

Offenbar wurden die Marschäcker lange intensiv gedüngt, so dass die P-Gehalte heute stellenweise bis auf das Zehnfache der natürlichen Werte erhöht sind. Das zeigt sich besonders bei  $P_{\text{sl}}$ . Vermutlich wurden über Jahre größere Mengen von überschüssigem Dünger- $P_{\text{II}}$  in solche schwerer löslichen P-Formen überführt. Darum weisen einige Profile in der Tiefe Peaks in den P-Kurven sowie den natürlichen Gehalt übersteigende Mengen an  $P_{\text{sl}}$  auf.

Archäologische Befunde zeichnen sich in den P-Kurven ab, wirken aber durch den großen rezenten P-Eintrag dramatischer,

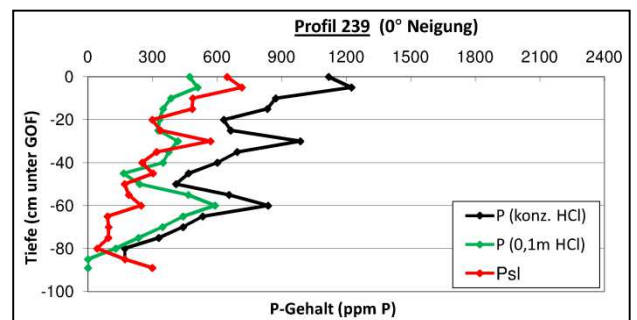
als sie sind (Abb. 6: -30, -60 cm; Abb. 7: um -40, -60 cm). Scheinbar beeinflussen sie die P-Verteilung im Boden noch lange nach ihrer Entstehung, womöglich über Verdichtungs- und Texturunterschiede sowie geändertes Infiltrationsverhalten.

**Fazit:** Die Sandböden bei Sievern zeigen großes Potenzial für vertikale P-Verlagerung (teils bis mehr als 60 cm unter GOF). Anders als im Untersuchungsgebiet Mihla befinden sich durch Agrardüngung sehr hohe P-Mengen in den Böden bei Sievern. Obwohl diese Böden wenig aufnahmefähig für P sind, werden große Mengen an künstlich eingebrachtem P in schwerer lösliche P-Formen überführt ( $P_{\text{Senke}}$ ).

## Diskussion

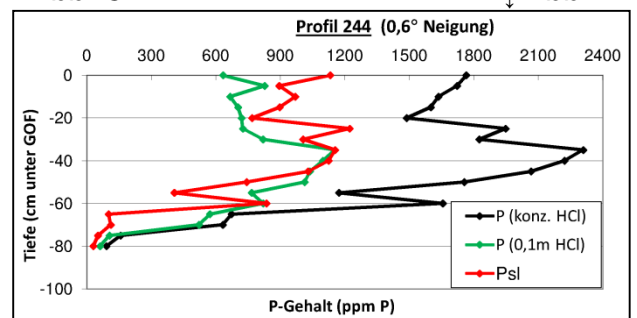
Um den Einfluss von Boden-P-Dynamiken auf geoarchäologische Phosphatprospektionen zu verdeutlichen, ist die gewählte Methodik in Aussagegehalt, Aufwand und Kosten geoarchäologischen Fragestellungen angepasst. Unter mehr boden- oder düngerkundlichen Gesichtspunkten hätte man den Proben-P sequentiell fraktionieren können (z. B. Hedley et al. 1982).

Ungleichmäßiges Düngen, schwankender Verbrauch und P-Verlagerungen können kleinräumige Unterschiede in der P-Verteilung bewirken. Auf Agrarflächen muss bezüglich des  $P_{\text{II}}$  auch der Wuchs-



↑ Abb. 6

↓ Abb. 7



status berücksichtigt werden. In Mihla wurde bei Rapsstand beprobt (Juli 2012), in Sievern nach der Ernte (Oktober 2011).

Für beide Untersuchungsgebiete wurden Referenzprofile erbohrt, um die standorttypischen P-relevanten Bodeneigenschaften zu bestimmen (pH, Korngrößen, Humus-, Kalkgehalt). Die Analysen dazu stehen noch aus.

Auswirkungen von Relief und Hangneigung auf die P-Verlagerung in Sandböden konnten in Sievern nicht untersucht werden. Ebenso wenig die vertikale P-Verlagerung in Tonböden in ebenem Gelände. In weiteren Arbeiten soll das an anderem Standort nachgeholt werden.

## **Zusammenfassung**

Die chemische Tendenz vieler Böden zur Fixierung des P bedeutet keine physikalische Tendenz zum Am-Ort-Bleiben. Physikalische P-Verlagerungen finden nicht nur im Zuge von Erosionsprozessen statt. Sie hängen dann besonders von der Korngröße und die Infiltration beeinflussenden Boden- und Standorteigenschaften ab (z. B. Gefüge, Verdichtung, untergeordnet auch Relief). Beim Gesamt der P-Verlagerung an einem Standort spielen physikalische und chemische Faktoren (z. B. pH, Menge an P-Sorptionsstellen) zusammen. Letztere wurden hier nicht untersucht.

Es konnte gezeigt werden, dass P-Verlagerungen komplexe Prozesse sind, die geoarchäologische Phosphatprospektionen beeinflussen können. Das ist bei der Durchführung und der Deutung der Ergebnisse zu berücksichtigen. Referenzprofile können etwa helfen das standorttypische Ausmaß der P-Verlagerung abzuschätzen.

## **Schlüsselworte:**

Bodenphosphor, Phosphatlöslichkeit, Phosphatverlagerung, geoarchäologische Phosphatprospektion

## **Literatur**

Gebhardt, H. (1982): „Phosphatkartierung und bodenkundliche Geländeuntersuchungen zur Eingrenzung historischer Siedlungs- und Wirtschaftsflächen der Geestinsel Flögeln, Kreis Cuxhaven.“ Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 14/1982, S. 1 – 9.

Hedley, M. J., Stewart, J. W. B. & B. S. Chauhan (1982): „Changes in inorganic and organic soil phosphorus induced by cultivation practices and by laboratory incubations.“ Soil Science Society of America 46/1982, S. 970 – 976.

Kiefmann, H.-M. (1978): „Bosau. Untersuchung einer Siedlungskammer in Ostholstein unter Leitung von Hermann Hinz. Band III: Historisch-geographische Untersuchungen zur älteren Kulturlandschaftsentwicklung.“ Offa-Bücher 38. Karl Wacholtz Verlag. Neumünster. 127 S.

Lorch, W. (1955): „Ergebnisse einer Untersuchung von Bodenproben aus der eisenzeitlichen Siedlung bei Farmsen (Hamburg) mit der Phosphatmethode.“ Hammaburg 10/1955, S. 197 – 204.

Zölitz, R. (1983): „Bodenchemische Untersuchungen im Bereich vor- und frühgeschichtlicher Siedlungen.“ Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein 53/1983, S. 33 – 57.