

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG, Kommission II  
Titel der Tagung: Horizonte des Bodens  
Veranstalter: DBG, 02.-07. September  
2017, Göttingen  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
Online-Publikationen)  
<http://www.dbges.de>

## **Zur räumlichen Verteilung und Dynamik von Phosphor in drei Hangtransekten Mitteldeutschlands**

*C. Opp<sup>1</sup>, C. Weihrauch<sup>1</sup>*

### **Zusammenfassung**

Die räumliche Verteilung von Phosphor (P) an Hängen wird oft durch Erosion und Akkumulation erklärt. Die unterirdische P-Verlagerung wird dagegen meist als vernachlässigbar betrachtet. Um das zu hinterfragen, wurden drei Hangtransekte aus Bodenprofilen angelegt und auf ihre vertikale und laterale P-Verteilung untersucht. In jedem Transekt findet man die höchsten P-Gehalte am Unterhang, allerdings nicht nur in Kolluvien, sondern in allen Schichten. Leicht lösliche P-Formen nehmen dabei von den Oberhängen zu den Unterhängen sukzessive zu und sind an den Unterhängen in allen erfassten Tiefen relativ häufig. Dies zeigt, dass in Hanglagen neben Verlagerungen an der Oberfläche auch P-Verlagerungen mit dem Gefälle und zunehmender Bodentiefe stattfinden. Erosion allein bildet also keine hinreichende Erklärung für die räumliche P-Verteilung an den drei Hängen. Stattdessen sollten unterirdische Transportwege und -arten stärker in den wissenschaftlichen Fokus gerückt werden.

**Schlüsselworte:** Phosphor, P-Fraktionierung, P-Verlagerung, P-Mobilisierung

### **Einleitung**

Im Kontext der befürchteten „P-Krise“ [6, 5] nahm das Interesse an P-relevanten Fragen in der Bodenforschung in den letzten Dekaden zu [4, 12]. Man beschäftigte sich dabei vermehrt mit alternativen P-Quellen für die Landwirtschaft [8, 13, 14], während die räumliche P-Verteilung selten untersucht wurde. P-Verlagerungen werden i. d. R. als eher außergewöhnliche Prozesse betrachtet, die sich vor allem an der Geländeoberfläche im Zuge von Erosion und von durch Stürme beschleunigtem Oberflächenabfluss ereignen [1, 2, 3, 7, 11, 17]. Unterirdische P-Verlagerungen werden dagegen als vernachlässigbar erachtet, da Bodenlösung und Grundwasser oft nur geringe P-Konzentrationen aufweisen [9, 10, 16]. Dennoch zeigten kürzlich verschiedene Autoren die Auswirkungen von P-Verlagerungen durch präferentiellen Fluss [2, 3, 15, 18]. Da solche Aspekte lange vernachlässigt wurden, bestehen Wissenslücken bezüglich unterirdischer P-Verlagerungen und der dabei entstehenden räumlichen Verbreitungsmuster des Nährstoffs in Böden und Landschaften.

### **Material und Methoden**

Es wurden drei Transekte aus Bodenprofilen an Hängen in Hessen und Thüringen angelegt (Burgwald/Hessen, Milseburg/Hessen, Mihla/Thüringen). Ihr Aufbau, die Standorteigenschaften sowie die Charakteristika der insgesamt 45 Bodenprofile werden an anderer Stelle erläutert [20, 21, 22]. Jedes Profil wurde vertikal in 5-cm-Schritten beprobt (706 Proben). Das Bodenmaterial wurde luftgetrocknet, gemörsert und gesiebt (2 mm). Pro Probe wurden drei P-Fraktionen unterschiedlicher Löslichkeit bestimmt (2.090 Analysen). Leicht löslicher

---

<sup>1</sup> Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Geographie,  
Deutschhausstraße 10, 35037 Marburg;  
christoph.weihrauch@geo.uni-marburg.de

$P_{VHCl}$  wurde mit 0,1 M Salzsäure (HCl) extrahiert, schwer löslicher  $P_{KHCl}$  mit 12,1 M HCl und schwerstlöslicher  $P_{KöWa}$  mit Königswasser [19, 22]. Das Orthophosphat in den HCl-Extrakten wurde am Spektralphotometer gemessen, die P-Konzentration in den Königswasseraufschlüssen per ICP-MS. Die Daten wurden abschließend in mg P/kg Boden konvertiert [22].

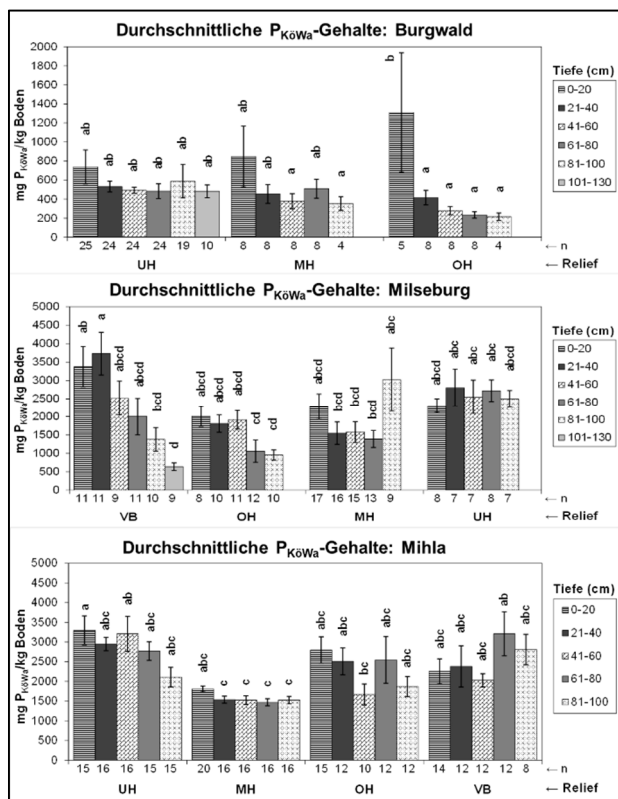


Abb. 1: Durchschnittliche  $P_{KöWa}$ -Gehalte in den drei Transekten nach Hanglagen in 20-cm-Tiefenstufen. Mittelwerte mit Standardfehlern; unterschiedliche Buchstaben drücken signifikante Unterschiede aus ( $p < 0,05$ ). (VB = Verebnungsbereich, OH = Oberhang, MH = Mittelhang, UH = Unterhang.)

## Ergebnisse und Diskussion

In jedem Untersuchungsgebiet findet man die höchsten durchschnittlichen Gesamt-P-Gehalte ( $P_{KöWa}$ ) am Unterhang (Abb. 1). Dieser Effekt ist im Burgwald nur wenig, auf der Milseburg und in Mihla hingegen deutlich ausgeprägt. Die P-Anreicherung der Unterhänge betrifft in keinem Transekt nur die oberflächennahen, kolluvialen Schichten, sondern stets die vollständigen

Profile. Daher können Erosionsprozesse allein dieses räumliche Verbreitungsmuster nur schwer erklären. Stattdessen müssen auch unterirdische Verlagerungsvorgänge stattgefunden haben. Präferenzierter Fluss erscheint dabei von untergeordneter Bedeutung, weil er Stoffe eher vertikal in Böden umverteilt. Zudem ist es unwahrscheinlich, dass alle untersuchten Profile unbeabsichtigt präferenziale Fließwegschnitten.

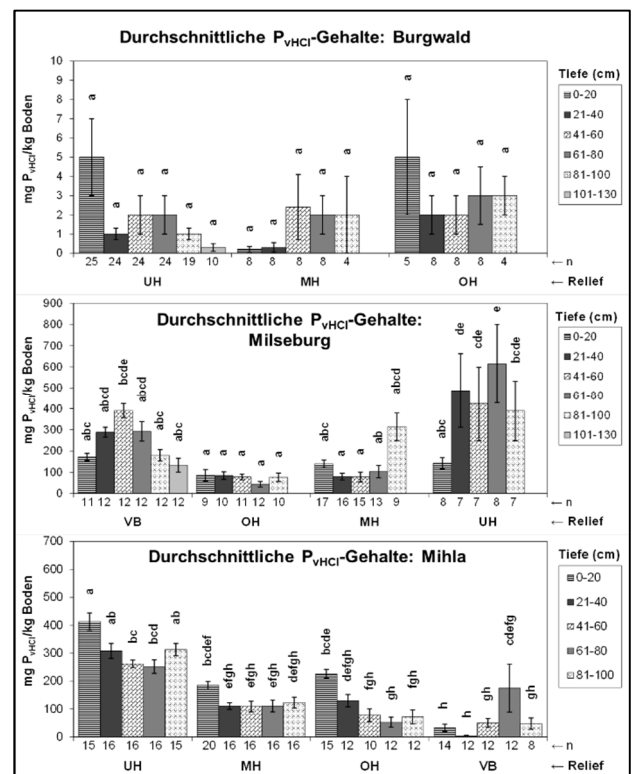


Abb. 2: Durchschnittliche  $P_{VHCl}$ -Gehalte in den drei Transekten nach Hanglagen in 20-cm-Tiefenstufen. Mittelwerte mit Standardfehlern; unterschiedliche Buchstaben drücken signifikante Unterschiede aus ( $p < 0,05$ ). (VB = Verebnungsbereich, OH = Oberhang, MH = Mittelhang, UH = Unterhang.)

Leicht lösliche P-Formen ( $P_{VHCl}$ ) nehmen in Richtung der Unterhänge relativ betrachtet am stärksten zu (Abb. 2). Die unterirdischen Verlagerungen betreffen demnach vor allem gelöstes P, der bis zur Analyse wieder schwach adsorbiert wurde. Gelöstes P kann also offenbar dynamischer in Landschaften umverteilt werden, als vielfach angenommen. Daher sind leichter lösliche P-

Formen vermutlich oft heterogener verbreitet als schwerer lösliche (Abb. 3, 4).

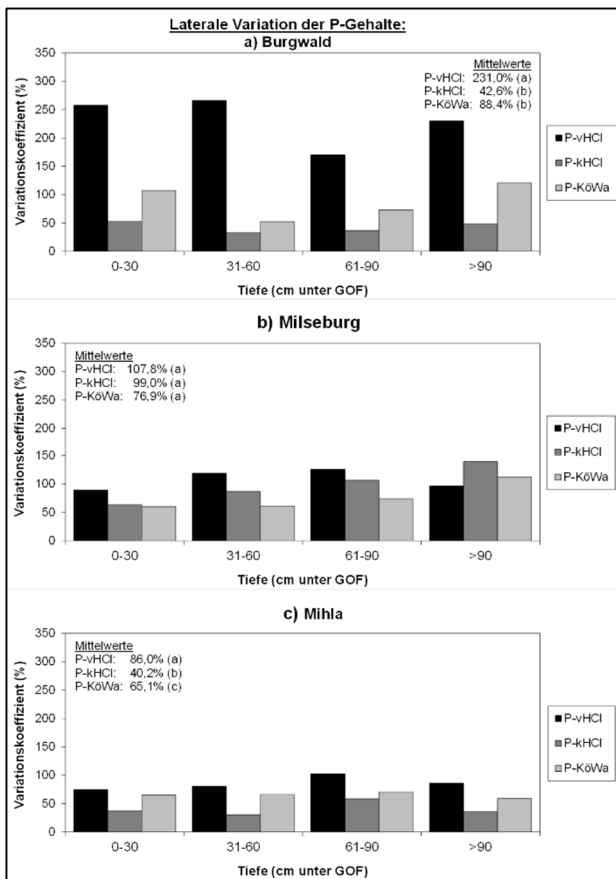


Abb. 3: Variation vom mittleren P-Gehalt aller Bodenprofile in 30-cm-Tiefenstufen für jedes Untersuchungsgebiet. Unterschiedliche Buchstaben drücken signifikante Unterschiede aus ( $p < 0,05$ ).

Der räumlichen Umverteilung geht offenbar die P-Mobilisierung voraus. Anhand der Analysedaten scheint diese in Böden bedeutsamer zu sein, als bisher vermutet. Von besonderer Relevanz könnte in diesem Kontext das Bodenfeuchteregime sein. In länger verweilendem Bodenwasser werden zunehmend diffusive Prozesse bestimmend, durch die P homogener verteilt werden kann. Vertikal bewegtes Bodenwasser scheint hingegen Gradienten zwischen oberen und unteren Profilabschnitten und eine insgesamt heterogenere P-Verteilung zu bewirken (Abb. 5).

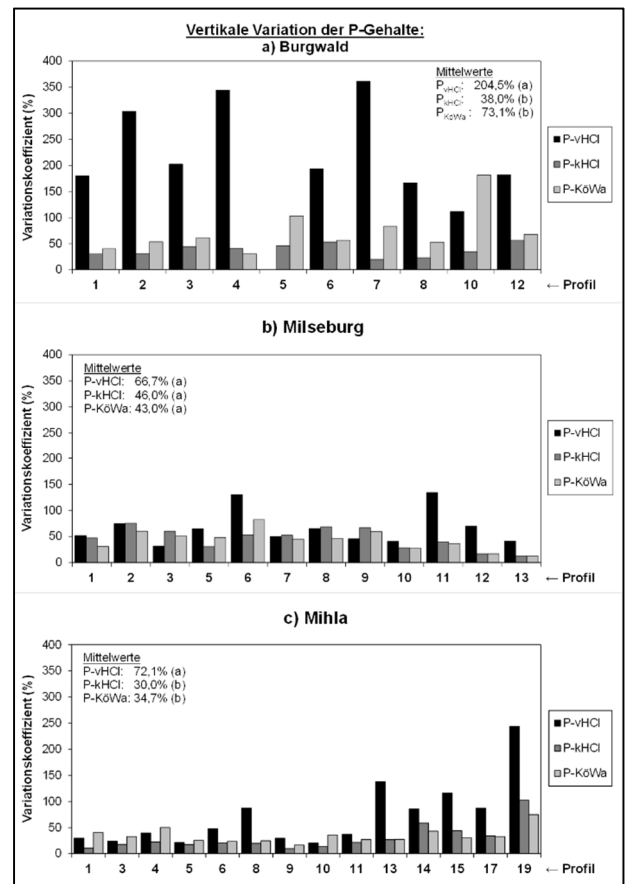


Abb. 4: Variation vom mittleren P-Gehalt jedes Bodenprofils in jedem Untersuchungsgebiet. Unterschiedliche Buchstaben drücken signifikante Unterschiede aus ( $p < 0,05$ ).

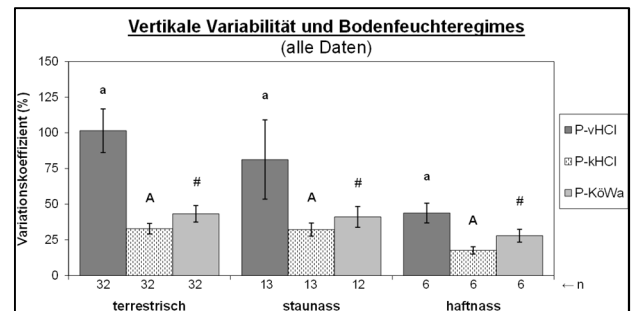


Abb. 5: Mittlere Variationskoeffizienten vom mittleren P-Gehalt einzelner Profilabschnitte, nach Bodenfeuchteregimes differenziert; Balken repräsentieren Standardfehler der Mittelwerte; unterschiedliche Buchstaben/Zeichen im selben Schreibstil drücken signifikante Unterschiede zwischen Mittelwerten aus ( $p < 0,05$ ).

## Fazit

Die Daten zeigen, dass P vertikal und lateral nicht homogen in Bodenprofilen und Landschaften verteilt ist. Sie deuten darauf hin, dass Ausgangsgestein/Substrat und

Landnutzung nicht primär über die Verbreitung des Nährstoffs bestimmen. Stattdessen kommt Verlagerungsvorgängen offenbar ein großer Stellenwert zu. Gerade die untersuchten Unterhänge waren stark mit P angereichert, was vermutlich größtenteils auf die unterirdische Verlagerung von gelöstem P mit dem Gefälle zurückgeht. Gerade leicht lösliche P-Fraktionen zeigten dabei vertikal und lateral die heterogenste Verbreitung. Die räumliche P-Umverteilung scheint daher im Zusammenhang mit Mobilisierungsprozessen stattzufinden. Dabei spielt das Bodenfeuchteregime möglicherweise eine große Rolle.

## Literatur

[1] Andersson, H., Bergström, L., Djodjic, F., Ulén, B. & H. Kirchmann (2013): Topsoil and subsoil properties influence phosphorus leaching from agricultural soils. *Journal of environmental quality* 42, S. 455-463.

[2] Bergström, L., Kirchmann, H., Djodjic, F., Kyllmar, K., Ulén, B., Liu, J., Andersson, H., Aronsson, H., Börjesson, G., Kynkäänniemi, P., Svanbäck, A. & A. Villa (2015): Turnover and losses of phosphorus in Swedish agricultural soils: long-term changes, leaching trends, and mitigation measures. *Journal of environmental quality* 44, S. 512-523.

[3] Bol, R., Julich, D., Brödlin, D., Siemens, J., Kaiser, K., Dippold, M. A., Spielvogel, S., Zilla, T., Mewes, D., von Blanckenburg, F., Puhmann, H., Holzmann, S., Weiler, M., Amelung, W., Lang, F., Kuzyakov, Y., Feger, K.-H., Gottselig, N., Klumpp, E., Missong, A., Winkelmann, C., Uhlig, D., Sohrt, J., von Wilpert, K., Wu, B. & F. Hagedorn (2016): Dissolved and colloidal phosphorus fluxes in forest ecosystems – an almost blind spot in ecosystem research. *Journal of plant nutrition and soil science* 179, S. 425-438.

[4] Cordell, D. (2010): The story of phosphorus. Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security. Linköping University Press, Linköping. 220 S.

[5] Cordell, D., Drangert, J.-O. & S. White (2009): The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global environmental change* 19, S. 292-305.

[6] Cordell, D. & S. White (2011): Peak phosphorus: clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability* 3, S. 2027-2049.

[7] Delgado, A. & R. Scalenghe (2008): Aspects of phosphorus transfer from soils in Europe. *Journal of plant nutrition and soil science* 171, S. 552-575.

[8] Eichler-Löbermann, B., Köhne, S. & D. Köppen (2007): Effect of organic, inorganic, and combined organic and inorganic P fertilization on plant P uptake and soil P pools. *Journal of plant nutrition and soil science* 170, S. 623-628.

[9] Fisher, M. (2015): Subsoil phosphorus loss. A complex problem with no easy solutions. *CSA news magazine* 60, S. 4-9.

[10] Heathwaite, A.L. (1997): Sources and pathways of phosphorus loss from agriculture. In: Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C. & A.E. Johnston (Hrsg.): Phosphorus loss from soil to water. CAB International, Wallingford/Oxon (UK). S. 205-223.

[11] Kleinman, P.J.A., Smith, D.R., Bolster, C.H. & Z.M. Easton (2015): Phosphorus fate, management, and modeling in artificially drained systems. *Journal of environmental quality* 44, S. 460-466.

[12] Kruse, J., Abraham, M., Amelung, W., Baum, C., Bol, R., Kühn, O., Lewandowski, H., Niederberger, J., Oelmann, Y., Rüger, C., Santner, J., Siebers, M., Siebers, N., Spohn, M., Vestergren, J., Vogts, A. & P. Leinweber (2015): Innovative methods in soil phosphorus research: a review.

Journal of plant nutrition and soil science 178, S. 43-88.

[13] Liu, R. & R. Lal (2017): Enhancing efficiency of phosphorus fertilizers through formula modifications. In: Lal, R. & B.A. Stewart (Hrsg.): Soil phosphorus. CRC Press, Boca Raton/Florida (USA). S. 225-245.

[14] Qayyum, M.F., Ashraf, I., Abid, M. & D. Steffens (2015): Effect of biochar, lime, and compost application on phosphorus adsorption in a Ferralsol. Journal of plant nutrition and soil science 178, S. 576-581.

[15] Sharpley, A.N., Jarvie, H.P., Buda, A., May, L., Spears, B. & P. Kleinman (2014): Phosphorus legacy: overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment. Journal of environmental quality 42, S. 1308-1326.

[16] Stewart, B.A., Pokhrel, P. & M. Bhandari (2017): Positive and negative effects of phosphorus fertilizer on U. S. agriculture and the environment. In: Lal, R. & B.A. Stewart (Hrsg.): Soil phosphorus. CRC Press, Boca Raton/Florida (USA). S. 23-42.

[17] Tunney, H., Coulter, B., Daly, K., Kurz, I., Coxon, C., Jeffrey, D., Mills, P., Kiely, G. & G. Morgan (2000): Quantification of phosphorus loss from soil to water. End of project report, ARMIS 4365. Teagasc, Dublin. 83 S.

[18] Ulén, B., Eriksson, A.K. & A. Etana (2013): Nutrient leaching from clay soil monoliths with variable past manure inputs. Journal of plant nutrition and soil science 176, S. 883-891.

[19] Weihrauch, C., Brandt, I. & C. Opp (2016): Die archäologische Aussagekraft von Phosphatprospektionen auf gedüngten landwirtschaftlichen Nutzflächen – eine Fallstudie im Gebiet Sievern (Ldkr. Cuxhaven). Archäologische Informationen 40 (EarlyView), S. 1-12.

[20] Weihrauch, C. & C. Opp (2018): Phosphor-Gehalte und -Dynamiken in

versauerten Waldböden im Burgwald, Ldkr. Marburg-Biedenkopf. Geologisches Jahrbuch Hessen 139 (im Druck).

[21] Weihrauch, C. & C. Opp (2017): Soil phosphorus dynamics along a loess–limestone transect in Mihla, Thuringia (Germany). Journal of plant nutrition and soil science 180 (in press).

[22] Weihrauch, C., Makowski, V., Söder, U. & C. Opp (2016): Eine fraktionierte Phosphatprospektion im Bereich der vorgeschichtlichen Siedlung auf der Milseburg (Lkr. Fulda). Archäologisches Korrespondenzblatt 46, S. 183-199.