

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

Quo vadis Phosphatprospektion? – Bodenkundlicher Kenntnisstand trifft geoarchäologische Methodik

C. Weihrauch¹, C. Opp¹

Zusammenfassung

Geoarchäologische Phosphatprospektionen beruhen auf der Annahme, Phosphat bzw. Phosphor (P) werde mit zunehmender Verweilzeit im Boden immer stärker gebunden. Daher sei archäologisch relevanter P noch heute analytisch nachweisbar. In der Bodenkunde ist jedoch inzwischen bekannt, dass P in Böden auch wieder mobilisiert werden kann, ohne dass es dazu azonaler Standortbedingungen bedarf. Folglich ist die archäologische Aussagekraft von Phosphatprospektionen differenzierter und kritischer zu bewerten, als bislang angenommen. Auch die Durchführung der Methode bedarf größerer Reflexion und mehr Aufwand.

Schlüsselworte: Phosphatprospektion, Phosphor, Geoarchäologie

Einleitung

In den 1920er Jahren entdeckte O. Arrhenius, dass archäologische Fundstätten häufig erhöhte P-Gehalte im Boden aufwiesen [17, 26]. Er führte das auf den in menschlichen Nutzungsflächen räumlich

konzentriert auftretenden Eintrag P-haltiger Substanzen (v. a. Fäkalien, organische Abfälle, Asche) in die Böden zurück [15, 17]. Aus der systematischen Erforschung dieses Befundes entwickelte sich die geoarchäologische Phosphatprospektion. Hierbei schließt man vom analytisch bestimmten P-Gehalt des Bodens auf seine vormalige anthropogene Nutzung zurück [21, 22]. Die Methode kam besonders bei der Lokalisierung und Abgrenzung von Siedlungen und Ackerfluren, bei der funktionalen Gliederung von Gebäudegrundrissen sowie vereinzelt auch bei der Untersuchung von Bestattungen, Grabhügeln und Gruben zum Einsatz [z. B. 10, 11, 23, 25, 26, 29].

Konzeptioneller Wandel

Phosphatprospektionen beruhen auf zwei wesentlichen Prämissen, die den bodenkundlichen Kenntnisstand der 1930-90er Jahre widerspiegeln: 1) P wird im Boden immer schwerer löslich, je länger er sich dort befindet [10, 13, 17, 26]. Je schwerer löslich P also ist, umso größer ist demnach seine archäologische Aussagekraft. 2) Da archäologisch relevanter P schwer löslich ist und die partikuläre Verlagerung in Bodenprofilen lange als gering betrachtet wurde, findet keine nennenswerte unterirdische P-Verlagerung statt [1, 3, 17, 23]. Archäologisch relevanter P erhält sich also nicht nur sehr lange, sondern ist auch ortstet und bildet trennscharfe Phosphatbefunde im Boden [23, 25, 28].

In den letzten beiden Dekaden vollzog sich in der bodenkundlichen P-Forschung ein grundlegender konzeptioneller Wandel. Von statischen Ansätzen, die einen einbahnstraßenartigen Zusammenhang zwischen der Löslichkeit und der Verweilzeit von P im Boden annahmen, geht man zunehmend zu dynamischen Konzepten über. Diese begreifen die verschiedenen P-Formen im Boden als Kontinuum abnehmender Löslichkeit, Bioverfügbarkeit bzw.

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

Mineralisierbarkeit. Die Kontinuen bestehen theoretisch aus Fraktionen unterschiedlicher Löslichkeit, welche jeweils ein Gleichgewicht miteinander anstreben. Diese Gleichgewichte werden dynamisch, also in beide Richtungen reguliert [5, 7, 19]. So wird bspw. bei Zuführung von gelöstem P (z. B. Gülle) vermehrt P an die Bodenmatrix adsorbiert, um das Gleichgewicht zwischen beiden Fraktionen wiederherzustellen. Umgekehrt wird bei Zuführung von schwach gebundenem P (z. B. Mineraldünger) vermehrt P gelöst, damit sich das Gleichgewicht wieder einstellt.

Daraus ergeben sich wesentliche Konsequenzen für geoarchäologische Phosphatprospektionen: 1) Die Reaktionen von P im Boden sind generell reversibel. Folglich können auch schwer(st)lösliche, vermeintlich archäologisch relevante P-Formen wieder gelöst werden und ihre archäologische Aussagekraft verlieren. 2) Solche Veränderungen der P-Löslichkeit werden durch Verschiebungen im Gleichgewichtsstatus der P-Fraktionen angetrieben. Diese geschehen im Zusammenhang mit standörtlicher Variabilität (z. B. Witterung, Vegetation, Edaphon) und bilden keine exzeptionellen Vorgänge. 3) Aufgrund der dynamischen Equilibration existieren in Böden, zumindest theoretisch, immer gewisse Mengen an leicht mobilisierbarem und mobilem P. Diese Fraktionen sind anfällig für Verlagerungen im Bodenwasser.

Beschränkungen der Phosphatprospektion

Phosphatbefunde sind nicht datierbar und zudem kumulativ [15, 24]. Wird ein Standort zu verschiedenen Zeiten mehrfach genutzt, so ergibt sich in der Phosphatprospektion ein summarischer P-Gehalt. Dieser spiegelt die Summe aller anthropogenen P-Einträge wider, ohne dass diese zeitlich zuordenbar sind. Bedacht werden muss zudem, dass manche Nutzungen mit P-

Entzügen einhergehen (z. B. Arten des Ackerbaus) und archäologisch relevante Phosphatanreicherungen wieder abbauen können. Dieser Aspekt wurde bei älteren Phosphatprospektionen häufig vernachlässigt, ist aber im Kontext der oben besprochenen dynamischen Gleichgewichte zwischen den P-Fraktionen bedeutsam. Die Interpretation summarischer P-Gehalte gestaltet sich dadurch sehr komplex und erfordert profunde Kenntnis der jeweiligen Standortgeschichte.

Eine weitere Beschränkung der Methode ergibt sich daraus, dass P im Boden heute nicht mehr generell als unverlagerbar gilt. Seine oberirdische Umverteilung in Landschaften durch Erosion und Akkumulation wurde bereits in älteren Arbeiten reflektiert [z. B. 15, 26]. Sein unterirdisches Migrationsverhalten in Bodenprofilen wurde jedoch lange als vernachlässigbar erachtet [1, 10, 12, 17]. Die bodenkundliche P-Forschung belegte inzwischen allerdings, dass P keineswegs so ortstet ist, wie vormals angenommen. Stattdessen kann er, sowohl gelöst als auch partikulär, vertikal und lateral bspw. im Sickerwasser, Haftwasser und im präferentiellen Fluss bewegt und umverteilt werden [z. B. 6, 8, 18]. Archäologisch relevante Phosphatbefunde können dadurch verlagert, sukzessive abgebaut, sogar vollständig zerstört werden. Der Anspruch, bei Prospektionen trennscharfe Phosphatbefunde zu entdecken, kann sich folglich nur unter günstigen Bedingungen erfüllen. Zudem muss die stratigraphische Aussagekraft von Phosphatanreicherungen kritisch bewertet werden: Der heute P-reichste Horizont eines Bodenprofils muss ursprünglich keine archäologisch relevante Schicht (z. B. Laufhorizont) gewesen sein. Weitere Unschärfen bestehen im Bereich des analytischen Vorgehens. Bei Phosphatprospektionen wurde i. d. R. eine Extraktion pro Bodenprobe durchgeführt [9, 21]. Da die P-Formen im Boden entsprechend ihrer Löslichkeit ein Kontinuum bil-

den, erfasst eine solche Extraktion, abhängig von der dabei genutzten Chemikalie, summarisch stets mehrere P-Fractionen verschiedener Löslichkeit. So würde man bspw. mit 12,1 M Salzsäure zwar sowohl schwer löslichen, archäologisch möglicherweise relevanten P erfassen. Darüber hinaus würden jedoch auch leicht lösliche P-Fractionen mitbestimmt, deren archäologische Aussagekraft gering ist. Folglich könnte man einen summarischen P-Gehalt schnell falsch interpretieren, wenn dieser einen hohen Anteil an leicht löslichem P enthielte. Da P im Boden, wie bereits erwähnt, nicht mit der Zeit immer schwerer löslich wird, ist der Anteil von gelöstem und leicht löslichem P nicht generell gering und vernachlässigbar. Dem sollte die analytische Methodik bei Phosphatprospektionen Rechnung tragen.

Abschließend soll auch hervorgehoben werden, dass Phosphatbefunde stets interpretationsoffen sind. Durch standörtliche Dynamiken zwischen den P-Fractionen im Boden muss archäologischer P heute zum einen nicht schwer löslich vorliegen, wie es ältere Arbeiten implizieren [z. B. 12, 13, 15, 17]. Zum anderen kann daher kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem P-Gehalt des Bodens und einer anthropogenen Nutzung einer bestimmten Zeitstellung zugrunde gelegt werden. Insbesondere durch Verlagerungen können bestimmte Bereiche (z. B. Senken) sekundär mit P angereichert worden sein, ohne dass sich dort gezielte menschliche Nutzungen ereigneten. Die Interpretation von Phosphatbefunden bedarf daher der eingehenden fachlichen Einschätzung von lokalen Boden- und Standortbedingungen.

Dabei sollte auch die Interpretationsgrundlage vieler Prospektionen einer kritischen Reflektion unterzogen werden. So basiert etwa die Untersuchung von Bestattungen auf der Prämisse, den meisten P finde man im menschlichen Körper im Kopf- und im Bauchbereich [4, 12, 27]. Die Deutung des

Phosphatbefundes einer Körperbestattung auf dieser Grundlage kann nur dann richtig sein, wenn die zugrundeliegende Prämisse korrekt ist. Vor diesem Hintergrund sind qualitative Fragestellungen bei Phosphatprospektionen im Allgemeinen heikel. Sie erfassen nicht nur den (vielleicht anthropogen) erhöhten P-Gehalt des Bodens, sondern spekulieren auch darauf, wie dieser genau zustande gekommen sein mag. Diese inhaltliche Ebene kann nur mittels einer Phosphatprospektion nicht geklärt werden.

Ausblick: Grenzen und Möglichkeiten

Trotz der genannten Einschränkungen zeigen zahlreiche Studien, dass sich mittels Phosphatprospektionen Aussagen zur Nutzungsgeschichte eines Standortes ableiten lassen [z. B. 12, 13, 15, 17, 26, 27]. Die Qualität dieser Aussagen wird jedoch mitunter davon kompromittiert, dass der Methode ein veraltetes konzeptionelles Fundament zugrunde gelegt wird. Ein inhaltliches Umdenken ist daher erforderlich. Dieses sollte sich einerseits auf die konkrete Vorgehensweise bei Phosphatprospektionen niederschlagen. Der in der älteren Literatur proklamierte geringe Aufwand und die entsprechend niedrigen Kosten der Methode [13, 14, 16, 26] sollten keine bestimmenden Kriterien für ihre Durchführung sein. Stattdessen muss der Komplexität P-relevanter Reaktionen in Böden mit aufwändigerem und systematischerem Vorgehen bei Phosphatprospektionen begegnet werden. Zum einen bedeutet das, dass Bodenproben in ausreichender, an den jeweiligen archäologischen Befund angepasster Menge entnommen werden sollten, um den untersuchten Raum möglichst detailliert zu repräsentieren [20]. Dabei ist es ratsam, nicht nur innerhalb einer Fläche lateral Bodenmaterial zu bergen, sondern auch die vertikale Dimension zu berücksichtigen. So können eventuelle Verlage-

zungstendenzen des Phosphats am jeweiligen Standort nachgezeichnet werden [20, 22]. Heikel ist generell die Untersuchung von Oberböden. Durch ihre hohe edaphische Aktivität und die Nähe zur Atmosphäre werden die Gleichgewichte zwischen den P-Fractionen hier potentiell am häufigsten und am stärksten verschoben. Das Reaktionsverhalten gestaltet sich hier folglich dynamischer als im weiteren Untergrund. Die Erhaltung archäologisch relevanter Phosphatbefunde ist daher in Oberböden vermutlich gering.

Neben der Probenentnahme sollte auch dem analytischen Vorgehen bei Phosphatprospektionen mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Um die chemische Dynamik der P-Fractionen in Böden widerzuspiegeln, ist eine größere analytische Auflösung bei den durchgeführten Extraktionen nötig. Wie bereits besprochen, erscheint es dabei generell ungünstig, wenn nur ein Extrakt pro Probe erstellt wird. Sinnvoller wäre die Durchführung von P-Fraktionierungen, bei denen mehrere Extraktionen mit Chemikalien aufsteigender Aggressivität zum Einsatz kommen. Durch die kombinierte Bestimmung leicht und schwer löslicher P-Fractionen lässt sich bspw. die rezente Überprägung und archäologische Aussagekraft von Phosphatbefunden abschätzen [21]. Sollte dennoch nur eine Extraktion pro Probe möglich sein (z. B. aus Kapazitätsgründen), empfiehlt sich die Nutzung aggressiverer Chemikalien für die Erfassung schwer löslicher, archäologisch potentiell relevanter P-Fractionen. Die alleinige Verwendung von Extraktionen, die für landwirtschaftliche Fragestellungen genutzt werden (z. B. Zitronensäure, Calcium-Acetat-Lactat), sollte hingegen vermieden werden [2]. Dabei werden bioverfügbare, eher rezente Bedingungen widerspiegelnde P-Formen erfasst.

Jenseits solcher methodischen Anpassungen bedarf es vor allem der gesteigerten

Reflektion beim Interpretieren von Phosphatbefunden. Der Wandel in den konzeptionellen Grundlagen der Methode erhöht die Schwierigkeit bei ihrer Deutung. Die jeweiligen Boden- und Standorteigenschaften dürfen dabei nicht ausgeblendet werden. Folglich ist generell eine hohe bodenkundliche Expertise bei der Auswertung von Phosphatprospektionen vonnöten. Jedoch sind Versuche vom Phosphatgehalt des Bodens auf konkrete vormalige Nutzungen zu spekulieren selbst dann heikel. Derart komplexe Fragestellungen können, entgegen der älteren Literatur [z. B. 11, 12, 26], durch eine Phosphatprospektion allein nicht hinreichend geklärt werden [3]. Die Verzahnung mit anderen Methoden ist hierfür ratsam. Wesentlich für den sinnvollen und zielführenden Einsatz ist schließlich in jedem Fall die forcierte Methodenforschung, bei der die Eignung von Phosphatprospektionen unter verschiedenen Umweltbedingungen und für unterschiedliche Fragestellungen erprobt und ausgelotet werden kann.

Literatur

- [1] Amberger, A. (1996): Pflanzenernährung. Ökologische und physiologische Grundlagen, Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. (4. Auflage.) Ulmer, Stuttgart. 319 S.
- [2] Bakkevig, S. (1980): Phosphate analysis in archaeology – problems and recent progress. Norwegian Archaeological Review 13, S. 73-100.
- [3] Bleck, R.-D. (1976): Anwendungsmöglichkeiten phosphatanalytischer Untersuchungen im Bereich der Ur- und Frühgeschichte. Ausgrabungen und Funde 21, S. 259-268.

- [4] Bleck, R.-D. (1965): Zur Durchführung der Phosphatmethode. Ausgrabungen und Funde 10, S. 213-218.
- [5] Chen, L., Zhang, C. & W. Duan (2016): Temporal variations in phosphorus fractions and phosphatase activities in rhizosphere and bulk soil during the development of *Larix olgensis* plantations. *Journal of plant nutrition and soil science* 179, S. 67-77.
- [6] Christianson, L.E., Harmel, R.D., Smith, D., Williams, M.R. & K. King (2016): Assessment and synthesis of 50 years of published drainage phosphorus losses. *Journal of environmental quality* 45, S. 1467-1477.
- [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] Glæsner, N., Kjaergaard, C., Rubæk, G.H. & J. Magid (2011): Effect of irrigation regimes on mobilization of nonreactive tracers and dissolved and particulate phosphorus in slurry-injected soils. *Water resources research* 47, S. 1-11.
- [9] Holliday, V.T. & W.G. Gartner (2007): Methods of soil P analysis in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 34, S. 301-333.
- [10] Jungmann, W.W. (2002): Geochemische Prospektion früh- bis spätmittelalterlicher Siedlungsflächen in der Holzheimer Gemarkung. In: Wand, N. (Hrsg.): Holzheim bei Fritzlar. Archäologie eines mittelalterlichen Dorfes. *Kasseler Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte* 6, S. 485-490.
- [11] Kampffmeyer, U. (1979): Das Hügelgräberfeld auf dem Fuchsberg bei Desingerode/Werxhausen, Kreis Göttingen. *Neue Ausgrabungen in Niedersachsen* 13, S. 1-95.
- [12] 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 Wachholtz, Neumünster. 127 S.
- [13] Kiefmann, H.-M. (1975): Die Phosphatmethode – neue Erkenntnisse über eine Prospektionsmethode der Siedlungs- und Kulturlandschaftsforschung. *Informationsblätter zu Nachbarwissenschaften der Ur- und Frühgeschichte* 6, S. 1-16.
- [14] Lorch, W. (1951): Die Entnahme von Bodenproben und ihre Einsendung zur Untersuchung mittels der siedlungsgeschichtlichen Phosphatmethode. *Die Kunde (neue Folge)* 2/3, S. 21-23.
- [15] Lorch, W. (1940): Die siedlungsgeographische Phosphatmethode. *Die Naturwissenschaften* 40/41, S. 633-640.
- [16] Lorch, W. (1939): Methodische Untersuchungen zur Wüstungsforschung. *Gustav Fischer, Jena*. 91 S.
- [17] Provan, D.M.J. (1971): Soil phosphate analysis as a tool in archaeology. *Norwegian Archaeological Review* 4, S. 37-50.
- [18] 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). 331 S. S. 23-42.
- [19] Syers, J.K., Johnston, A.E. & D. Curtin (2008): Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *Reconciling changing con-*

cepts of soil phosphorus behavior with agronomic information. FAO fertilizer and plant nutrition bulletin 18. FAO, Rom. 108 S.

[20] Weihrauch, C. (2015): Zur Durchführung von Phosphatuntersuchungen an Grundrissbefunden. Netzpublikationen zur Grabungstechnik 5, S. 1-13.

[21] 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.

[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.

[23] Zimmermann, W.H. (2008): Phosphate mapping of a Funnel Beaker Culture house from Flögeln-Eekhöltjen, district of Cuxhaven, Lower Saxony. *Analecta Praehistorica Leidensia* 40, S. 123-129.

[24] Zimmermann, W.H. (2001): Fosfatanalyse – et vigtigt bebyggelsarkæologisk redskab. *Arkæologiske udgravninger i Danmark 2000*, S. 21-43.

[25] Zimmermann, W.H. (1986): Zur funktionalen Gliederung völkerwanderungszeitlicher Langhäuser in Flögeln-Eekhöltjen, Kr. Cuxhaven. *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet* 16, S. 55-86.

[26] Zölitz, R. (1983): Bodenchemische Untersuchungen im Bereich vor- und frühgeschichtlicher Siedlungen. *Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein* 53, S. 33-57.

[27] Zölitz, R. (1980): Bodenphosphat als Siedlungsindikator. Möglichkeiten und Grenzen der siedlungsgeographischen und archäologischen Phosphatmethode. *Offa-Ergänzungsreihe* 5. Karl Wachholtz, Neumünster. 91 S.

[28] Zölitz, R. & U. Heinrich (1990): Methodische Anmerkungen zur siedlungsarchäologischen Phosphatanalyse. *Archäo-Physika* 12, S. 383-408.

[29] Zölitz, R. & U. Heinrich (1987): Siedlungsprospektion mit Hilfe der Phosphatanalyse in der Gemarkung Hollingstedt. *Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu* 25, S. 141-146.