

Hintergrundinformationen zu Phosphor und Phosphaten

Phosphor

Die in der Archäologie angewendete Prospektionsmethode „Phosphatkartierung“ ist eigentlich eine Phosphorkartierung, zumindest was das Ergebnis betrifft. Denn dort steht in einer Tabelle oder optisch dargestellt das Ergebnis als ppm P oder mg P pro kg Boden, also Phosphor.

Zu diesem chemischen Element nun einige wenige Bemerkungen. Der Name Phosphor kommt vom griechischen phoshoros und bedeutet „Lichtträger“, was sich auf eine Eigenschaft des weißen Phosphors bezieht. Dieser Stoff bzw. dieses Element wurde (wahrscheinlich) 1669 vom Hamburger Alchemisten Henning Brand entdeckt. Dieser suchte aber kein einzelnes chemisches Element, sondern wie zu seiner Zeit durchaus üblich, einmal mehr den „Stein der Weisen“, der dazu dienen sollte, aus unedlen Metallen Gold und Silber herzustellen. Brand dampfte menschlichen Harn ein, erhitze die übrig gebliebene Substanz und erhielt damit einen leuchtenden und hoch entzündlichen Stoff, den weißen Phosphor. Erst 1743 entdeckte Andreas Sigismund Marggraf, daß es sich dabei um ein chemisches Element handelt und zwar um ein Element mit zunächst sehr unangenehmen Eigenschaften: Weißer Phosphor leuchtet bei Zimmertemperatur, ist hochentzündlich und sehr giftig. Schon 50mg reichen aus, um einen Menschen sofort oder innerhalb weniger Tage zu töten.

Neben dem weißen Phosphor gibt es z.B. noch den roten, blauen und schwarzen Phosphor. Diese Stoffe lassen sich aus weißem Phosphor durch verschiedene chemische und thermische Behandlungen gewinnen, spielen aber in diesem Kontext keine Rolle

Mit Wasserstoff und Sauerstoff bildet Phosphor Phosphorsäure (H_3PO_4). Die Salze der Phosphorsäure nennt man Phosphate. Phosphate haben gänzlich andere Eigenschaften als Phosphor und spielen im Organismus von Pflanzen, Tieren und Menschen eine sehr wichtige Rolle. Heute können Phosphate auch technisch hergestellt werden, was aber in diesem Zusammenhang nicht von Bedeutung ist.

Phosphor als reines Element ist auf der Erde sehr selten, in seinen verschiedenen Verbindungen aber durchaus nicht. Es steht an 12. Stelle der Elementenhäufigkeit in der Erdhülle und kommt in geologischen Lagerstätten und im Boden vorwiegend in Form von Calciumphosphaten vor, die man auch als Apatite bezeichnet. Weitere Bindungsformen des Phosphor sind Eisen- und Aluminiumphosphate, sorbierte Phosphate, organische Phosphate etc. Apatit ist im Boden nur bei pH-Werten > 7 vorhanden. In sauren Böden zerfällt Apatit und es entsteht überwiegend Eisen- und Aluminiumphosphat. Phosphor kommt im Boden auch in organischen Verbindungen vor. Überwiegend sind das Phytate, die Salze der Inosithexaphosphorsäure

Obwohl Phosphat ein Anion ist, also negativ geladen, ist es anders als andere Anionen wie zum Beispiel Chlorid, im Boden sehr fest gebunden und damit schwer verlagerbar. Diese Eigenschaft ist entscheidend dafür, dass sich Phosphat im Gegensatz zu fast allen anderen Verbindungen im Boden als Zeigerwert für die Archäologie gut eignet. Denn man findet Phosphat am Ort des Eintrags in den Boden auch nach sehr langer Zeit noch in erheblichem Umfang wieder.

Die Bedeutung des Phosphats für Pflanzen und Tiere

Phosphat (P) ist neben Stickstoff und Kalium einer der drei Hauptnährstoffe der Pflanzen (P, N, K). Pflanzen nehmen Phosphat (wie alle anderen Nährstoffe auch) aus der Bodenlösung als anorganische Verbindung auf. Rein stöchiometrisch kann man diese Verbindung als H_2PO_4^- oder HPO_4^{2-} bezeichnen.

Pflanzen benötigen Phosphat zum Aufbau ihrer Substanz und zur Bildung diverser Boten- und Trägerstoffe. Im Energiehaushalt der Zelle spielt Phosphat in Verbindung mit der Phosphorylierung eine sehr wichtige Rolle. P ist auch Bestandteil der DNA und damit Teil des Erbgutes. Der Anteil von Phosphor an der Pflanzentrockenmasse beträgt etwa 0,2%.

Bei Mensch und Tier als Konsumenten pflanzlicher Nahrung liegt der P-Anteil in der Trockenmasse bei etwa 4 %. Wie bei den Pflanzen, spielt auch bei Mensch und Tier P als Steuer- und Botenstoff im Erbgut und in der Physiologie eine ebenso wichtige und vergleichbare Rolle. Die größte Menge von Phosphat im Körper von Menschen und anderen Säugetieren findet sich allerdings in Zähnen und den Knochen. Das menschliche Skelett besteht zum Beispiel zu 17% aus Calciumphosphat. Insgesamt beträgt der Anteil von Phosphor an der Masse eines erwachsenen Menschen etwa 1 % und liegt damit nach Stickstoff (3%) und Calcium (1,5%) auf Rang drei.

Die Phosphatbindungsformen im Boden

Phosphor und Phosphat ist somit ein unverzichtbarer Bestandteil von Pflanzen und Tieren. Im Boden findet man es dort in besonders hohen Konzentrationen, wo diese Organismen konzentriert aufgetreten sind, zum Beispiel bei Ackerbau und Viehhaltung, Siedlungen und auch Friedhöfen.

Wird Phosphor oder Phosphat als organischer Dünger oder organischer Abfall bewusst oder unbewusst den Boden gebracht, bildet sich dort in basischen Böden überwiegend Calciumphosphat, in geringen Anteilen auch Eisen- und Aluminiumphosphat. In sauren Böden, und diese überwiegen in Mittel- und Nordeuropa, wandelt sich fast alles Phosphat in Eisen- und Aluminiumphosphat um.

Bei der Wahl der Bestimmungsmethode bzw. des Aufschlusses ist diese Tatsache von größter Wichtigkeit. Man kann anthropogen in den Boden gebrachtes Phosphat keiner einzelnen Phosphatfraktion zuordnen. Das bedeutet, daß selektiv wirkende Methoden für archäologische Zwecke nicht geeignet sind. Nur eine Methode, die das gesamte Phosphat im Boden erfasst, eignet sich für archäologische Zwecke.

Diese sehr kurze Auflistung des Vorkommens, der Eigenschaften und Funktionen von Phosphaten im Boden und in tierischen wie menschlichen Körpern sowie deren Überresten und Ausscheidungen soll zeigen, daß es sich hierbei um ein sehr komplexes Thema handelt, dessen vielschichtige Aspekte bei der sogenannten „Phosphatkartierung“ zu berücksichtigen sind. Das heißt, ohne Kenntnisse von Physik, Chemie, Biologie, Geologie und Bodenkunde ist das Ergebnis einer Phosphatkartierung für archäologische Zwecke in Frage gestellt.

Die Phosphatanalyse als Prospektionsmethode

Der erste Schritt einer P-Kartierung ist die feldbodenkundliche Profilsprache der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Böden. Sie muß Auskunft geben, ob eine Probennahme sinnvoll ist, d.h. ob die Bodenverhältnisse noch eine Antwort auf archäologische Fragestellungen zulassen.

Anthropogene Eingriffe wie Auftrag, Abtrag, Tiefpflugmaßnahmen und ähnliches, aber auch natürliche Massenverlagerungen im Gelände wie Erosion, Sedimentation, Solifluktion etc., bringen oft Veränderungen mit sich, die eindeutige Aussagen zur ehemaligen P-Verteilung unmöglich machen, weil die rezenten Veränderungen zu stark ausgeprägt sind.

Einsatzmöglichkeiten der Phosphatkartierung

Historische Ackerfluren

Mit der Phosphatkartierung können unter bestimmten Bedingungen historische Ackerfluren gefunden und eingegrenzt werden. Voraussetzung dafür ist, daß der alte Ackerboden nicht vollständig im heutigen Acker aufgegangen, d.h. nicht völlig aufgepflügt worden ist. Sehr günstig sind die Voraussetzungen auch, wenn die alten Äcker oder Siedlungen nach der Aufgabe bewaldeten und der Wald bis heute erhalten geblieben ist

Man nimmt dann mit dem Spaten oder dem Bohrstock aus der Bodentiefe eine Probe, bei der man eine Beeinflussung durch neuzeitliche Düngung ausschließen kann. Dabei ist sehr genau auf die richtige Entnahmetiefe zu achten. Fehler bei der Probennahme machen leicht das gesamte Verfahren nutzlos.

Um schnell große Flächen bearbeiten zu können, geht man dabei in einem 50m-Raster vor, d.h. man nimmt 6 Proben pro ha. Dabei kann man bei günstigen Bedingungen mit 2 bis 3 Personen etwa 15-20 ha pro Tag bearbeiten. Entdeckt man durch die Analyse Flächen mit besonders hohen P-Gehalten, wird an diesen Stellen das Raster der Beprobung auf 10m verdichtet, um die „Verdachtsflächen“ weiter einzugrenzen.

Eine großflächige P-Kartierung zur Abgrenzung von historischen Ackerfluren und der Lokalisierung von Siedlungsflächen ist zum Beispiel von H. Gebhardt (1982) auf der Geestinsel Flögeln durchgeführt worden. Eine ähnliche Kartierung hat J. Lienemann 1998/99 bei Sievern im Landkreis Cuxhaven durchgeführt. Hier wurden umfangreiche Flächen zwischen und um die historischen Anlagen Pipinsburg, Heidenschanze und Heidenstatt beprobt.

Siedlungen und Häuser

Noch deutlicher als die alten Äcker, bei denen der P-Gehalt durch die ehemalige Düngung erhöht wurde, heben sich Siedlungen und oft auch einzelne Häuser, je nach ihrer Funktion, durch ihren erhöhten P-Gehalt von der Umgebung ab. Innerhalb der Siedlungen kommt es in und um die Häuser durch die menschlichen Aktivitäten immer zu einem Eintrag P-haltiger Stoffe in den Boden. Die wichtigste Quelle ist die Haltung von Klein- und Großvieh. Ställe, Pferche, Gatter, Misthaufen und Viehtriften bringen bei längerer Nutzung sehr viel Phosphat in den Boden. Aber auch Abfallgruben und häusliche organische Abfälle aller Art erhöhen den natürlichen P-Gehalt des Bodens oft deutlich.

In diesem Fall werden die Proben im 10-, 2-, oder 1m-Raster genommen. Bei sehr kleinen Häusern benutzt man zweckmäßigerweise ein 0.5m-Raster, um eine ausreichende Datengrundlage zu erhalten. Die eindeutigsten Aussagen bekommt man, wenn das gesamte Siedlungsareal mit einem abgestuften Probennetz überzogen wird.

Die Funktion von Gebäuden

Eine wichtige Frage der Archäologie ist immer wieder die nach der Funktion einzelner Häuser bzw. Hausteile, speziell der Viehhaltung innerhalb oder außerhalb des Hauses.

Nach allen bisher gemachten Erfahrungen hebt sich ein (genutzter) Stall oder ein Stallteil innerhalb eines Hauses immer sehr deutlich in der P-Konzentration hervor. Aber auch im Aussenbereich um den Stall herum findet man viel Phosphat, das mit der ausfließenden Jauche dorthin gelangte. Deutlich wird auch oft der Stalleingang und die angrenzende Hoffläche, die von den Tieren durchtreten worden ist. Hohe P-Werte an Häusern werden oft als Plätze der Kleintierhaltung gedeutet oder als ehemaligen Misthaufen.

Der Wohnraum ist meist durch ein buntes Gemisch von hohen, mittleren und höheren Werte gekennzeichnet, die jedoch nur sehr vereinzelt das Niveau des Stallteils erreichen. Erkennbar wird meist auch der Eingang zum Wohnteil und die Koch- bzw. Feuerstelle. Gab es in dem Haus einen extra Lagerraum wie zum Beispiel einen Speicher, weist dieser kaum erhöhte P-Konzentrationen, was verständlich ist, denn hier gab es kaum Vorgänge, die Phosphat in den Boden gelangen ließen.

Neben diesen „Standarduntersuchungen“ gibt es noch einige spezielle Fragestellungen, bei denen man die P-Analyse für archäologische Zwecke nutzen kann. Fragen zu Gräbern, Gruben, Plätzen der Leichenverbrennung, Nutzung von Burganlagen, Lokalisierung alter Oberflächen, Abgrenzung alter Äcker auch in vertikaler Richtung etc. seien nur als einige Beispiele genannt.

Neben manchen anderen naturwissenschaftlichen Methoden wie z.B. die 14-C-Methode, die Pollenanalytik, die Dendrochronologie, die Bestimmung von Holzmakroresten, ist die Phosphatkartierung inzwischen auf vielen archäologischen Grabungen zur Standardmethode geworden, um zusammen mit der Archäologie und den genannten anderen Methoden ein möglichst umfassendes Bild der historischen Gegebenheiten liefern zu können.

Die Phosphatkartierung in der Praxis

Neben den mehr oder weniger theoretischen Darstellungen der Hintergründe und Möglichkeiten der Phosphatkartierung soll in diesem Abschnitt auf die praktische Anwendung dieser Methode im „archäologische Alltag“ und deren Ergebnisse eingegangen werden..

Den ersten Kontakt mit dieser bodenkundlichen Methode bekam der Autor 1975 als wiss. Hilfskraft von H. Gebhardt im Siedlungskammerprojekt Flögel unter der Leitung von H.W. Zimmermann. Die dortigen Kartierungen waren sehr erfolgreich und haben entscheidend zur (Wieder-) Einführung dieser Prospektionsmethode beigetragen. Welche Möglichkeiten man mit dieser Methode hat, wurde bereits dargestellt.

Seither wurden zahlreiche P-Kartierungen an verschiedensten Objekten vor allem in Deutschland durchgeführt. Aber auch in Tschechien, Russland, Frankreich, den Niederlanden, Schweden und Norwegen wurde und wird diese Methode angewandt.

Beispiele für Phosphatkartierungen

Am Beginn der (Wieder-) Einführung dieser Methode im Jahre 1975 stand die großräumige Geländekartierung von Flögeln und Dalem. In mehreren Jahren wurden dort ausgedehnte Acker- und Waldflächen im 50m-Raster beprobt. Mit den Ergebnissen dieser Kartierung konnten Siedlungsflächen und historische Ackerfluren eingegrenzt werden. Der Erfolg dieser Arbeit veranlasste den Archäologen H.W. Zimmermann, den Bodenkundler H. Gebhardt zu ermuntern, auch ergrabene Hausgrundrisse zu beproben, um auf diese Weise die Art der Nutzung von Gebäuden und Gebäudeteilen zu ermitteln. Der Erfolg dieser Anwendung schien aus bodenkundlicher Sicht zunächst recht unsicher. Geht man von der Immobilität des Phosphats im Boden aus, dürfte man unterhalb der alten Oberflächen, und da befindet man sich in den aller meisten Fällen mit dem Planum, eigentlich kein oder nur sehr wenig anthropogen in die alte Oberfläche eingebrachtes Phosphat finden. Es wurde jedoch gefunden. Dabei handelt sich aber nicht um verlagertes Phosphat, sondern um Phosphat, das mit einer Flüssigkeit in den Boden gesickert ist und dort unterhalb der alten Oberfläche gebunden wurde.

Phosphatkartierungen in und um Häuser sind seither in sehr großer Zahl durchgeführt worden. Nicht alle haben ein bewertbares Ergebnis gebracht, aber in den meisten Fällen hat die Phosphatkartierung und deren Auswertung wichtige, zusätzliche Erkenntnisse für die Archäologie erbracht.