

## Zur Durchführung von Phosphatuntersuchungen an Grundrissbefunden

Christoph Weihrauch

<http://www.landesarchaeologen.de>  
(21.01.2015)

*Will man als Ausgräber Grundrissbefunde durch eine Phosphatprospektion untersuchen, tauchen viele Fragen zum Vorgehen auf. Der folgende Text sammelt die wichtigsten Antworten und gibt weitere praxisnahe Hinweise für eine sinnvolle und systematische Anwendung der Methode. Der Fokus liegt dabei auf der Entnahme von Bodenproben im Gelände. Abschließend werden kurz die Wahl geeigneter Laborverfahren, die Auswertung der Messdaten sowie die grundsätzlichen Möglichkeiten ihrer Deutung thematisiert.*

### 1. Einleitung

Bei ungünstiger Fund- und Befundlage lässt sich über die Nutzung vorgeschichtlicher Gebäude oft nur spekulieren. Phosphatuntersuchungen können bei der Deutung helfen und werden seit den 1950er Jahren mit diesem Zweck durchgeführt (z.B. Arrhenius 1955, Sauter 1959, Zölitz 1983, Heinrich 1986, Ethelberg 2008). Man geht dabei davon aus, dass jeder Raum eines Gebäudes anders genutzt wurde, so dass unterschiedliche Mengen an Phosphat in den Boden gelangten (z.B. durch Nahrungs- und Werkstoffreste, Abfälle, Fäkalien – Lorch 1940, 637; Bakkevig 1980, 74; Zölitz 1980, 51). Phosphat bildet rasch sehr schwer lösliche chemische Verbindungen und wird daher im Boden angereichert. Solche Phosphatanreicherungen kann man noch heute analytisch nachweisen. Darum ist es laut Theorie möglich, von den unterschiedlichen Bodenphosphatgehalten einzelner Grundrissbereiche auf die vormalige Funktion der entsprechenden Räume zurückzuschließen (z.B. Voigt 1951-54, Steenbeek 1982, Ramqvist 1983, Zimmermann 1992).

Die Ergebnisse und Interpretationen von Phosphatprospektionen sind jedoch in hohem Maße verfahrensabhängig (Jakob 1955, 82). Daher erscheint gerade für Grabungstechniker eine kurze, praxisbezogene Anleitung für ein einheitliches und wissenschaftlich vertretbares Vorgehen wünschenswert. Auf der Grundlage eingehender Literaturrecherche und eigenen Forschungserfahrungen werden im Folgenden die wichtigsten Punkte zusammengefasst.

## 2. Vorgehensweise

Phosphatprospektionen bestehen aus vier Arbeitsphasen: 1. Planung, 2. Entnahme von Bodenproben im Gelände, 3. Laboranalysen, 4. Aufbereitung, Auswertung und Deutung der Ergebnisse. Der vorliegende Text beschäftigt sich im Schwerpunkt mit der Probenentnahme. Tab. 1 fasst die wichtigsten Informationen zusammen.

### 2.1 Probenentnahme

#### 2.1.1 Witterungsbedingungen

Damit Phosphat nicht ungewollt von einer Bodenprobe auf die nächste übertragen wird, empfiehlt es sich grundsätzlich die Entnahmegерäte nach jeder Probe beispielsweise mit einem trockenen Tuch gründlich abzuwischen.

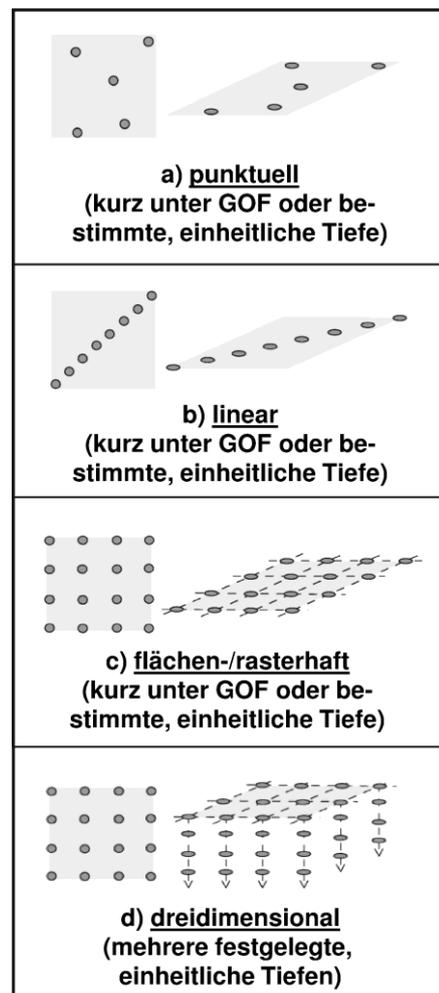
Die Beprobung für eine Phosphatprospektion sollte zudem möglichst bei trockenen Witterungs- und Bodenbedingungen geschehen. Zu viel Feuchtigkeit fördert das Verschmieren der Arbeitsgeräte und damit die Verunreinigung der Proben. Gegen leichten Niesel kann man sich ggf. mit einem Schirm oder einer Überdachung schützen. Ist der Boden allerdings durchfeuchtet, verhindern solche Maßnahmen ungewollte Verunreinigungen nicht mehr. Es sollte auch bedacht werden, dass bindigere Böden (z.B. Tone, tonige Lehme) anders auf Feuchtigkeit reagieren und diese länger speichern können als grobkörnige Böden (z.B. Sande).

Falls die Bodenproben mithilfe eines Bohrstocks entnommen werden, können auch zu trockene Bedingungen nachteilig sein. Wenig bindige Böden (z.B. Sande) verrutschen und verrieseln mitunter im Bohrstock, so dass die sichere Stratifizierung der Proben nicht mehr möglich ist. Ebenso besteht das Risiko, dass der vollständige Bohrkern beim Entnahmeversuch herausfällt (Kernverlust).

#### 2.1.2 Entnahmesystem

Bodenproben für Phosphatprospektionen sollten systematisch entnommen werden. Für bestimmte Fragestellungen eignet sich evtl. ein punktuell oder lineares Entnahmesystem (Abb. 1a, b). Das kann der Fall sein, wenn man nur einzelne Bereiche oder Befunde in einem Grundriss untersuchen will. Um Aussagen über die vormalige Nutzung von Gebäuden zu treffen, sollte jedoch stets die gesamte Grundrissfläche bearbeitet werden. Dazu eignet sich am besten ein Probenraster (Abb. 1c) mit regelmäßigen Abständen zwischen den Entnahmestellen (z.B. Lienemann 1994, 1; Zimmermann 2001b, 70). Auf diese Weise wird die untersuchte Fläche am Ende vollständig und gleichmäßig durch Analysedaten repräsentiert.

Manche Forscher (z.B. Zimmermann 2001b, 75; Ethelberg 2008, 58) fordern, dass Probenraster parallel zu Grundrissen orientiert sein sollen. Einen Vorteil bringt das aber nur, wenn man die Analysedaten am

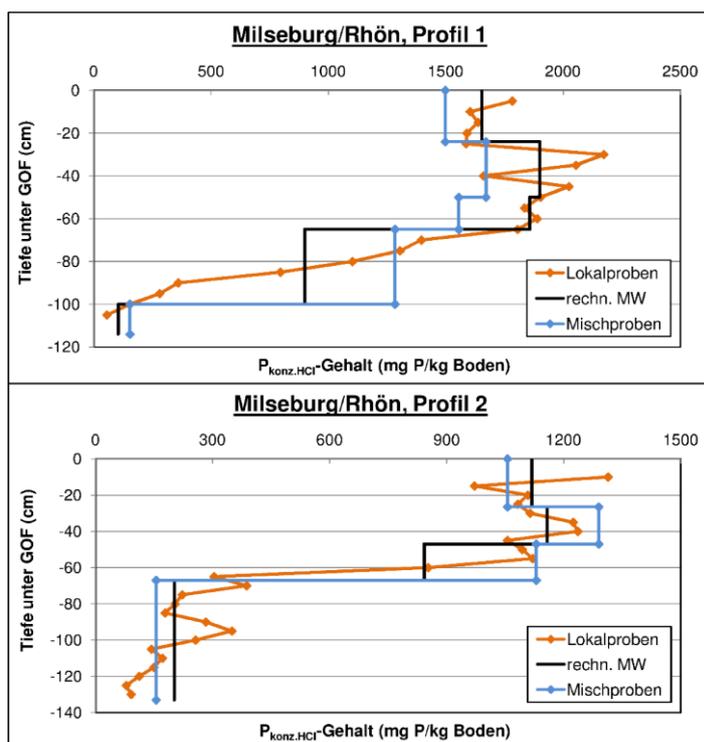


**Abb. 1** Verschiedene Möglichkeiten der Probenentnahme bei Phosphatprospektionen, GOF = Geländeoberfläche (C. Weihrauch).

Ende in einer Flächenkarte mit Phosphat-Isolinien (Linien gleichen Phosphatgehalts) darstellen will (siehe Kapitel 2.3.3). Nicht parallel zum Grundriss entnommene Proben könnten dann nämlich bewirken, dass die abgebildeten Phosphatbefunde nicht der Gebäudegliederung entsprechen. Da sich diese Darstellungsart aber schlecht für die Ergebnisse von Phosphatprospektionen eignet, kann das Probenraster über einem Grundriss frei orientiert werden. Denn auch wenn die Entnahmelinien nicht parallel zu den Grundrissgrenzen verlaufen, wird man erhöhte Phosphatgehalte feststellen können.

Zwingend notwendig ist es jedoch, das Entnahmeraster ausreichend weit über den Grundriss hinaus zu erweitern (Zimmermann 2001a, 42; Zimmermann 2001b, 72). Drei bis vier Proben sollten mindestens an jeder Seite außerhalb des Befundes entnommen werden. So wird aus den Analysedaten ersichtlich, ob Phosphatanreicherungen an den Grundrissgrenzen enden und somit die vormalige Nutzung des Gebäudes widerspiegeln (Zimmermann 2001b, 72; Zimmermann 2008, 124; Ethelberg 2008, 64).

Für Phosphatprospektionen empfiehlt es sich übrigens nicht, Mischproben zu entnehmen (z.B. in gewissem Radius um den eigentlichen Rasterpunkt herum). Sie erbringen nicht den durchschnittlichen Phosphatgehalt für bestimmte Bodenbereiche, sondern einen „künstlichen“ Wert (Abb. 2). Das Argument, Mischproben würden verhindern, dass einzelne lokale Werte die Gesamtergebnisse verzerren, ist bei Phosphatprospektionen strittig. In der Tat können Mischproben lokale Besonderheiten nivellieren. Diese Heterogenitäten sind allerdings keine Fehler, sondern aussagekräftige und vermutlich nutzungsbedingte Abweichungen im Phosphatgehalt, die man genau verorten möchte. Darum sollte man Bodenmaterial möglichst ortstreu entnehmen (Punkt-, Lokalproben). Besonderheiten, die hohe oder niedrige Phosphatmengen erwarten lassen, notiert man sicherheitshalber in einem Entnahmeprotokoll (z.B. Baumwürfe, Tiergänge und -bauten, Gruben und andere Befundstrukturen).



**Abb. 2** Vergleich der vertikalen Entwicklung von Phosphorgehalten bei unterschiedlicher Probenentnahme an zwei Beispielpprofilen, nach Extraktion mit konzentrierter Salzsäure (HCl). Lokalproben wurden alle fünf Vertikalzentimeter entnommen, Mischproben den Bodenhorizonten entsprechend. Aus den Phosphorgehalten der Lokalproben wurde der mittlere Phosphorgehalt (MW) für jeden Horizont berechnet (C. Weihrauch).

### **2.1.3 Entnahmeabstände**

Schon bei der Planung einer Phosphatprospektion sollte man sich darüber klar werden, was man mit der Methode herausfinden will. Davon leitet sich ab, welche Fläche und welche Tiefe(n) untersucht werden müssen.

Die Abstände zwischen den Entnahmepunkten sollten sowohl dem Standort (Relief, Boden) als auch dem Befund (Art, Größe) angepasst sein. Grundsätzlich sind desto aussagekräftigere Ergebnisse zu erwarten, je dichter und je mehr Proben man systematisch entnimmt. Allerdings steht die Anzahl der Proben auch in direktem Zusammenhang mit dem Zeit- und Kostenaufwand einer Prospektion (Lienemann 1994, 2).

Für die flächenhafte Untersuchung von großen Gebäuden und Langhäusern empfiehlt Zimmermann (2001a, 42) einen Probenabstand von 1 m. Bei kleinen Gebäuden und Grubenhäusern rät er zu 30-50 cm.

Das Bodenmaterial sollte an jedem Rasterpunkt in derselben Tiefe entnommen werden (Zimmermann 2001a, 42). Wenn nur ein Planum beprobt wird, ist es ratsam, dieses möglichst nah zum vormaligen Laufhorizont anzulegen. Das Bodenmaterial entnimmt man dann wegen möglicher Kontaminationen am besten nicht aus dem Planum selbst, sondern z.B. mit einem Messer oder Spatel wenige Zentimeter darunter (Lorch 1940, 633).

Wünschenswert wäre es, mehrere Niveaus an jedem Rasterpunkt zu beproben (z.B. mit dem Bohrstock; Abb. 1d). Es sollte sich dabei an jedem Punkt um dieselben Tiefen handeln. So könnte man eventuelle verlagerungsbedingte „Phosphatschleier“ unter dem Gebäude erfassen. Diese lassen ggf. Rückschlüsse auf die Infiltrationsbedingungen des Phosphats zur Nutzungszeit zu (unterschiedlich verdichtete Böden), können aber auch ganz andere Aussagen zu den insgesamt eingetragenen Phosphatmengen ermöglichen. Die Probenentnahme in Tiefenstufen kann bei infiltrationsfreudigen Böden (z.B. Sanden), aber auch bei abwechslungsreicherem Relief sinnvoll sein. Wenn die Phosphatanreicherungen unterschiedlich weit unter der Geländeoberfläche liegen, würden sie in nur einem Niveau nämlich möglicherweise nicht flächenhaft erfasst.

### **2.1.4 Umgang mit Befunden und Bodenstörungen**

Es kann vorkommen, dass eine dem Raster entsprechend geplante Entnahmestelle im Bereich eines sichtbaren Befundes oder einer Bodenstörung (z.B. Baumwürfe, Wurzel-, Tiergänge) liegt. In solchen Fällen brechen einige Forscher aus ihrem Entnahmesystem aus (z.B. Lienemann 1994, 2; Zimmermann 2001a, 42; Zimmermann 2001b, 75). Sie verschieben die betreffende Entnahmestelle oder lassen sie ganz aus, um Phosphatquellen mit anderer Zeitstellung als der des Grundrisses zu meiden.

Die Erkennbarkeit von den Phosphatgehalt beeinflussenden Bodenstörungen ist allerdings von vielen Faktoren abhängig. Dazu gehören auch die Geländesituation (z.B. Lichtverhältnisse, Trockenheit des Bodens) sowie Kenntnisstand und subjektive Einschätzung des Probennehmers. Gerade chemische Bodenveränderungen lassen sich selten gut erkennen oder scharf abgrenzen. Phosphateinträge können durch Verlagerungsvorgänge über ihre sichtbaren Grenzen hinaus nachweisbar sein. Es erscheint daher am sinnvollsten, im Gelände nicht vom geplanten Entnahmesystem abzuweichen. Etwaige Auffälligkeiten sollte man in jedem Fall auch im Entnahmeprotokoll notieren.

### **2.1.5 Probenmenge**

Beim Abschätzen der Probenmenge sollte man nur mineralisches Bodenmaterial berücksichtigen. Sichtbare Laub- und Nadelstreu, Pflanzen, Wurzeln, Bodenlebewesen, Steine o.Ä. werden möglichst entfernt.

Die meisten Phosphatextraktionen im Labor arbeiten mit einem Gramm getrocknetem Mineralboden. Aus der Anzahl der pro Probe geplanten Extraktionen kann man also grob die benötigte Menge abschätzen (1 g für jede Extraktion pro Probe).<sup>1</sup> Etwa 3-5 g wären das Minimum. Allerdings sollte man im Gelände besser etwas mehr entnehmen, da die Proben beim Trocknen noch Gewicht verlieren. Außerdem könnten aufgrund von Arbeits- oder Messfehlern Nachanalysen nötig werden.

### **2.1.6 Probenbehandlung**

Das Probenmaterial wird nach der Entnahme möglichst luftleer und luftdicht verpackt (z.B. in Gefrierbeuteln) und nach eigenem Ermessen oder den Vorgaben des bearbeitenden Labors beschriftet.

Die frischen Proben sollten kühl und trocken gelagert werden, damit sie nicht schimmeln. Das würde zu ungewolltem Phosphateintrag führen. Man sollte die Proben daher auch keiner direkten Sonnen- oder Wärmeeinwirkung aussetzen.

Vor den Laboranalysen muss das Bodenmaterial getrocknet, gemörsert und gesiebt werden (bei 2 mm Maschenweite). Es ist vorteilhaft, diese Probenvorbereitung zeitnah nach der Entnahme durchzuführen. Wurde das Material erst getrocknet, besteht kein Risiko mehr, dass es schimmelt. Natürlich sollten die Probenbehälter auch dann verschlossen und nicht in feuchtem Raumklima aufbewahrt werden.

### **2.1.7 Referenzprofile**

Bei den wenigsten publizierten Phosphatprospektionen wurden Referenzprofile angelegt. Diese helfen aber dabei, die Bodenbedingungen am jeweiligen Standort und damit auch die lokalen Phosphatdynamiken zu beurteilen. Damit eignen sie sich gut, um den Aussagegehalt der systematisch entnommenen Bodenproben einzuschätzen.

Referenzprofile können durch Bodenaufschlüsse oder Schnitte, evtl. auch durch Bohrungen angelegt werden. Sie sollten an der gegenwärtigen Geländeoberfläche beginnen und nicht mit der archäologisch untersuchten Schicht enden. Die Profile werden horizontweise bodenkundlich angesprochen. Man kann sie zudem horizontweise beproben (Mischproben), um im Labor ihre Phosphatgehalte und phosphatrelevante Bodeneigenschaften zu bestimmen (z.B. Korngrößenverteilung, pH-Wert, Humus-, Carbonatgehalt). Dafür sollten mindestens 50 g Boden entnommen werden.

Zudem könnte man ein bis zwei dieser Profile durchgängig in vertikalen Abständen von 5-10 cm beproben. Aus dem Bodenmaterial werden dann im Labor verschiedene Phosphatfraktionen extrahiert (siehe Kapitel 2.2.2). Das ermöglicht einen genaueren Einblick in die Zusammensetzung und Geschichte des Bodenphosphats am Standort.

Ebenfalls lässt sich abschätzen, ob, wie intensiv und in welchen Tiefen Phosphat verlagert wurde. Bei Böden mit Tendenz zur Phosphatverlagerung (z.B. Pseudogleye, evtl. Podsole, Parabraunerden; grobkörnige und kiesige, staunasse sowie ggf. sehr saure Böden) könnten die Aussagegehalte für Proben aus bestimmten Tiefen eingeschränkt sein. Auch bei gedüngten Äckern wäre es ungünstig, wenn man Tiefen beprobt, in denen sich Düngerphosphate anreichern. Anhand von Referenzprofilen lässt sich also beurteilen, ob Phosphatanreicherungen in einem untersuchten Grundriss überhaupt aussagekräftig in Bezug auf die frühere Nutzung des Gebäudes sind.

---

<sup>1</sup> Es kann vorteilhaft sein pro Probe mehrere Extraktionen mit verschiedenen Reagenzien durchzuführen (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.2).

**Tab. 1** Kurzhinweise zur Beprobung von Gebäudebefunden bei Phosphatprospektionen (C. Weihrauch).

<b>Geräte, Materialien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messer/Spatel (bei Probenentnahme kurz unterhalb von Plana/Geländeoberflächen)</li> <li>• Bohrstock und Messer/Spatel (bei Entnahme aus der Tiefe mithilfe des Bohrstocks)</li> <li>• ggf. Zollstock/Maßband (zum Feststellen der Entnahmetiefe und -abstände)</li> <li>• ggf. fusselfreies trockenes Tuch o.Ä. (zum Abwischen des Entnahmegeräts)</li>   <li>• Gefrierbeutel, 1 Stk. pro Probe (1 Liter, mit Verschlussdrähten; Druckverschluss o.Ä. wenig geeignet)</li> <li>• Folienstift (zur Beschriftung der Probentüten)</li>   <li>• Tachymeter, GPS (zum Einmessen der Entnahmestellen)</li> <li>• Feldbuch, Stift (zum Führen eines Entnahmeprotokolls)</li> <li>• ggf. Kamera (zur Dokumentation, bspw. besonderer Entnahmestellen/-bedingungen)</li> </ul>
<b>Entnahmebedingungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proben nicht verunreinigen, darum Entnahme wenn                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boden trocken bis maximal leicht feucht</li> <li>- möglichst kein Regen (ggf. Schirm, Überdachung)</li> </ul> </li> <li>• Gerät nach jeder Probe reinigen (z.B. mit trockenem Tuch)</li> </ul>
<b>Entnahmesystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entnahme im Raster mit festen Abständen (für manche Fragestellungen evtl. lineares/punktueller Entnahmesystem)</li> <li>• Raster muss nicht mit dem Grundriss orientiert sein</li> <li>• ausreichend weit über den Grundriss hinaus beproben (mindestens drei bis vier Proben auf jeder Entnahmelinie und an jeder Seite des Befundes)</li>   <li>• Punkt-/Lokalproben (ortstreu am Rasterpunkt entnommen; möglichst keine Mischproben)</li>   <li>• Entnahme aus einem oder mehreren Niveaus</li>   <li>• ggf. zusätzlich Referenzprofile anlegen (zur Aufnahme der lokalen Bodenbedingungen; für eventuelle Boden-Standardanalysen, bspw. zum Abschätzen der Phosphatverlagerung am Standort)</li> </ul>
<b>Entnahmeabstand</b>  in der Fläche  in der Tiefe	ggf. aussagekräftigere Ergebnisse bei mehr und enger entnommenen Proben <ul style="list-style-type: none"> <li>• möglichst einheitliche Abstände                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- große Gebäude, Langhäuser: maximal 1 m</li> <li>- kleine Gebäude, Grubenhäuser: 0,30-0,50 m</li> </ul> </li>   <li>• einheitliche Entnahmetiefe</li> <li>• bei Entnahme aus nur einem Niveau                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- möglichst kurz unter der alten Lafoberfläche</li> <li>- nicht direkt aus angelegtem Planum, sondern wenige cm darunter (wegen möglicher Verunreinigungen)</li> </ul> </li> <li>• bei Entnahme aus mehreren Niveaus                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- an jedem Entnahmeort gleiche Tiefen beproben</li> </ul> </li> </ul>
<b>Umgang mit Befundstrukturen, Bodenstörungen etc.</b>	chemische Bodenveränderungen sind optisch schlecht zu erkennen, darum <ul style="list-style-type: none"> <li>• möglichst strikt nach Entnahmeraster beproben</li> <li>• liegen Rasterpunkte im Bereich sichtbarer Befunde/Störungen                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- Probe entnehmen und im Entnahmeprotokoll notieren <i>oder</i></li> <li>- Entnahmestelle auslassen <i>oder</i></li> <li>- Entnahmestelle in ungestörten Bereich verschieben und dort einmessen</li> </ul> </li> </ul>
<b>Probenmenge</b>	beim Abschätzen der Probenmenge beachten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Analysen verwenden Mineralboden (keine Steine, Pflanzenteile, Funde etc.)</li> <li>• mindestens 3-5 Gramm pro Probe (1 Gramm für jede Laboranalyse; eventuelle Nachanalysen einplanen)</li> </ul>
<b>Probenbehandlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probentüten möglichst luftleer und luftdicht verschließen, beschriften</li> <li>• kühl und trocken lagern, keine direkte Sonnen-/Wärmeeinwirkung</li> <li>• Proben vor der Analyse trocknen, mörsern und sieben (2 mm fein)</li> </ul>

## 2.2 Laboranalysen

Auch wenn Grabungstechniker die zu einer Phosphatprospektion gehörenden Laboranalysen nicht selbst durchführen, ist es nützlich einige Hintergründe zu kennen. So kann man Labore gezielt beauftragen und ggf. Vorgaben zur Form der Ergebnisse machen.

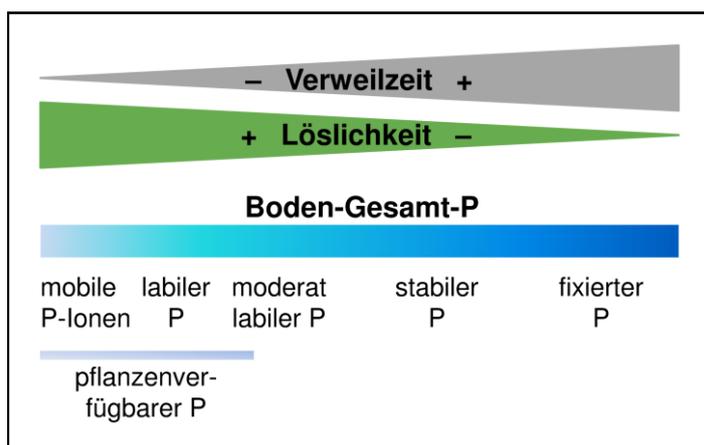
### 2.2.1 Hintergrund

Die Löslichkeit von Phosphatverbindungen sinkt unter „normalen“ terrestrischen Bedingungen, je länger sie sich im Boden befinden (Holliday/Gartner 2007, 307). Durch Extraktionen mit verschiedenen Reagenzien können Phosphate unterschiedlicher Löslichkeit (und ggf. Zeitstellung) erfasst werden.

Die chemische Mobilität und Verfügbarkeit von Phosphaten im Boden kann vereinfacht durch ein Löslichkeitsspektrum dargestellt werden (Abb. 3). In dessen linkem Bereich findet man aktivere, mobile und leicht mobilisierbare Phosphate. Diese sind tendenziell eher rezenten Ursprungs und archäologisch kaum relevant (Provan 1971, 40; Holliday/Gartner 2007, 307). Sie können aber anzeigen, ob und wie stark ein Standort durch jüngere Phosphateinträge (z.B. Dünger) überprägt worden ist. Dazu eignen sich Extraktionen für sogenanntes „pflanzenverfügbares Phosphat“ (z.B. mit Calcium-Acetat-Laktat, Zitronensäure) oder solche mit verdünnten Säuren (Holliday/Gartner 2007, 310-312).

Weiter rechts im Löslichkeitsspektrum liegen schwer lösliche Phosphate. Sie befinden sich meist schon länger im Boden und sind für archäologische Untersuchungen interessant.<sup>2</sup>

Ganz rechts im Löslichkeitsspektrum nähert man sich dem Gesamtphosphat eines Bodens. Hierin sind auch schwerstlösliche Verbindungen (z.B. Apatit) enthalten, die häufig aus den anstehenden Gesteinen stammen. An manchen Standorten (z.B. auf Carbonatgesteinen) können diese Phosphatmengen so hoch sein, dass archäologisch interessante Anreicherungen nicht mehr deutlich auffallen.



**Abb. 3** Löslichkeitsspektrum des Bodenphosphats (schematisch). Der Zusammenhang zwischen Verweilzeit und Löslichkeit gilt für chemisch ungeschädigte terrestrische Böden. „P“ steht hier vereinfacht für verschiedene Phosphorverbindungen (C. Weihrauch).

### 2.2.2 Extraktionen

Archäologisch relevante Phosphatgehalte sollte man stets im Labor bestimmen. Geländeverfahren (Teststreifen/-stäbchen, portable Photometer) sind dafür zu ungenau. Sie wurden ursprünglich für Gewässeruntersuchungen und darin bereits gelöste Stoffe entwickelt. Überträgt man sie auf Bodenproben, muss das Phosphat daraus erst noch extrahiert werden. Durch

<sup>2</sup> Entsprechende Extraktionen verwenden z.B. konzentrierte Salz-, Salpeter- oder Schwefelsäure (Provan 1971, 40; Lienemann 1994, 1; Holliday/Gartner 2007, 312).

ungünstige Umweltbedingungen, zu kurze Reaktionszeiten und Reagenzien mit relativ geringer Lösungskraft können oft nur leichter lösliche, archäologisch wenig relevante Phosphate erfasst werden (Holliday/Gartner 2007, 313).

Die im Grundriss systematisch entnommenen Bodenproben sollte man standardmäßig einer Extraktion im rechten Bereich des Löslichkeitsspektrums unterziehen. An Standorten mit rezenten Phosphateinträgen kann eine zusätzliche Extraktion leichter löslicher Phosphate sinnvoll sein. Eine solche Kombination empfiehlt sich generell für die Bodenproben der Referenzprofile, denn man erfasst archäologisch interessante Verbindungen und kann auch deren rezente Überprägung abschätzen. Extraktionen ganz links oder weit rechts im Löslichkeitsspektrum eignen sich dagegen schlecht für Phosphatprospektionen mit archäologischen Fragestellungen.

### 2.3 Aufbereitung der Ergebnisse

Die Form der Laboregebnisse entscheidet über ihre Deutbarkeit und die Vergleichbarkeit mit anderen Phosphatprospektionen.

#### 2.3.1 Einheiten

Die Messwerte der einzelnen Proben sollten in absolute Phosphatgehalte, bezogen auf die untersuchte Bodenmenge, umgerechnet werden (z.B. mg Phosphat/kg Boden). Relative Einheiten (z.B. am Photometer gemessene Extinktionen, Phosphatkonzentrationen der Laboraufschlüsse in ppm oder mg/L) sind ungeeignet. Sie werden durch die bei der Laborarbeit verwendeten Mengen- und Konzentrationsverhältnisse verzerrt.

Manche Autoren geben absolute Phosphatgehalte in „ppm“ (parts per million) an (z.B. Zölitz 1980, Zimmermann 1986, Ethelberg 2008). Da hierunter neben chemischen Stoffmengenanteilen auch Massenanteile oder Volumenkonzentrationen verstanden werden können, ist die explizite Angabe von Masseinheiten (z.B. mg Phosphat/kg Boden) konkreter.

#### 2.3.2 Bezug

Trotz der Bezeichnung „Phosphatprospektion“ werden die Ergebnisse der Untersuchungen heute oft auf elementaren Phosphor (P) bezogen (z.B. Zölitz 1986, Zimmermann 2001a/b, Ethelberg 2008). Zwischen verschiedenen, in Böden vorkommenden Phosphatformen kann man anhand konstanter Faktoren (hergeleitet aus den jeweiligen Atommassen) umrechnen (Tab. 2). Am geläufigsten sind dabei Phosphor (P) und (Ortho-)Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Gelegentlich findet man in älteren Publikationen Diphosphorpentoxid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), was heute jedoch außer in agrarkundlichen und Düngerkontexten kaum noch verwendet wird (Kreuzeder 2011, 2).

**Tab. 2** Umrechnungsfaktoren der drei geläufigsten Phosphorformen (C. Weihrauch).

	g P	g $\text{P}_2\text{O}_5$	g $\text{PO}_4^{3-}$
1 g P	1	2,2903	3,0645
1 g $\text{P}_2\text{O}_5$	0,4366	1	1,338
1 g $\text{PO}_4^{3-}$	0,3263	0,7474	1

### 2.3.3 Darstellung

Die Ergebnisse von Phosphatprospektionen sollte man so kartieren, dass sowohl die Entnahmestellen der Bodenproben als auch die gemessenen Phosphatwerte ersichtlich sind. Punktkarten sind demnach eine sinnvolle Wahl (z.B. Arrhenius 1955, 1060 Abb. 449-451; Kurzhals u.a. 1991, 71 Abb. 8). In der Literatur findet man außerdem Karten mit Phosphat-Isolinien und Karten mit Kästchensignaturen.<sup>3</sup>

Karten mit Phosphat-Isolinien bilden nicht die eigentlichen Laboregebnisse ab. Sie zeigen aus den Werten errechnete Linien bzw. Flächen, die häufig farbig abgestuft das gesamte untersuchte Gebiet überziehen. Für die nicht beprobten Bereiche werden also Phosphatgehalte extrapoliert. In menschlichen Nutzungsbereichen verändern sich die Phosphatgehalte allerdings nicht kontinuierlich und unterscheiden sich kleinräumig mitunter stark. Darum können sie nur schlecht extrapoliert werden. Isolinienkarten sind also eine ungünstige Darstellungsart, auch weil man aus ihnen nicht das Entnahmesystem der Bodenproben ablesen und beurteilen kann.

Karten mit Kästchensignaturen eignen sich ebenfalls wenig zur Veranschaulichung der Ergebnisse. Die Phosphatbefunde werden darin zu blockartigen Strukturen, deren abgebildete Grenzen nicht den realen Grenzen entsprechen. Zudem verbirgt sich hinter diesen Darstellungen häufig die oben bereits abgelehnte Entnahme von Mischproben an verschiedenen Stellen des abgebildeten Kästchens.

## 2.4 Interpretation

Durch eine Prospektion können über das natürliche Maß hinaus erhöhte Phosphatgehalte festgestellt werden, nicht aber deren Ursachen (Zimmermann 1992, 118). Abschließend versucht man daher auf den Ursprung der gemessenen Phosphatgehalte zurückzuschließen. Die eigentlichen Ergebnisse von Phosphatprospektionen sind also Interpretationen. Diese stammen vom Interpretierenden (Kenntnisstand, unbewusste Motive etc.) und sind somit subjektiv und ggf. limitiert. Damit Deutungen genauer werden, sind weitere Forschungen zur Phosphatanreicherung sowie zu phosphatrelevanten Vorgängen in Böden notwendig. Auch die Selbstreflexion der Deutenden kann die Qualität von Interpretationen verbessern helfen.

Da Phosphatgehalte gerade auf menschlich genutzten Flächen meist unterschiedlich auslegbar sind, sollte in Texten und Publikationen der interpretative Charakter der Resultate transparent gemacht werden (z.B. durch die Benennung als „Deutung“/„Interpretation“, nicht als „Ergebnisse“). Auch eine Diskussion bietet sich an, in der man verschiedene Deutungsmöglichkeiten abwägt und sich begründet für eine Variante entscheidet. Hierbei sollte auch der Einfluss des gewählten Vorgehens auf die Resultate reflektiert werden.

## 3. Grenzen und Möglichkeiten

Deutungen von Phosphatgehalten in Grundrissen geschehen meist anhand bestimmter Vorannahmen. Dabei handelt es sich um vereinfachte Vorstellungen vom Zusammenspiel aus Phosphateintrag und Phosphatanreicherung. So erwartet man beispielsweise auf ehemaligen Stallflächen hohe Nährstoffmengen wegen der Tierfäkalien (Jakob 1955, 71; Zölitz 1980, 278; Kurzhals u.a. 1991, 74; Zimmermann 2001a, 40; Ethelberg 2008, 64). Die Phosphatdynamiken dort können jedoch komplexer gewesen sein (z.B. wenig Infiltration des Phosphats durch verdichtete Böden, Entfernen von Phosphat beim Ausmisten).

Die Literaturrecherche zeigt, dass es keine Regelmäßigkeiten bezüglich der Phosphatmengen und bestimmten Raumnutzungen gibt. Weder enthalten Ställe grundsätzlich viel oder das meiste

---

<sup>3</sup> Isolinien finden sich z.B. bei Provan 1971, 42 Abb.1; Zölitz 1980, 35 Karte 4; Lienemann 1994, 2 Abb. 1; Zimmermann 1992, 125 Abb. 97; Ethelberg 2008, 60 Abb. 3. Kästchensignaturen verwenden z.B. Zimmermann 1986, 65 Abb. 5; Zölitz/Heinrich 1990, 403 Abb. 6.

Phosphat, noch findet man in Wohnräumen immer die geringsten Mengen (Zölitz 1983, 50). Beim Interpretieren sollte man sich also nicht auf solche Gemeinplätze verlassen. Zudem tendiert Phosphat im Boden nicht zwingend zur Anreicherung (Scheffer 2002, 301-303; Holliday/Gartner 2007, 302, 325). Abhängig von den lokalen Bedingungen (z.B. pH-Wert, Feuchte, Vegetation) kann der Nährstoff auch gelöst und ausgewaschen werden (Lorch 1940, 637; Holliday/Gartner 2007, 325). Ebenso unterliegt er physikalischen und chemischen Verlagerungsvorgängen, beispielsweise in Abhängigkeit von der Bodentextur und dem Relief. Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe zu erkennen, ob Messwerte aus einer vorgeschichtlichen Nutzung resultieren oder ob sie durch weitere Umsetzung, Anreicherung und Verlagerung von Phosphat zwischen damals und heute entstanden oder verändert worden sind (Kieffmann/Schlede 1972, 144; Bleck 1976, 261; Zölitz 1982, 519). Auch wechselnde Erhaltungsbedingungen können bewirken, dass man bei einer Prospektion weder klare Unterschiede zwischen den Phosphatmengen innerhalb und außerhalb eines Grundrisses, noch zwischen einzelnen Gebäudebereichen vorfindet (Zölitz 1986, 459). Darum können Phosphatgehalte zwar weitere Indizien für die Interpretation vorgeschichtlicher Grundrisse liefern, sollten aber nicht als alleinige Deutungsgrundlage genutzt werden (Zölitz 1986, 461-462; Zölitz/Heinrich 1990, 404).

#### **4. Ausblick**

Trotz aller genannten Einschränkungen ist die Phosphatprospektion eine wertvolle Methode, um eine zusätzliche Informationsebene im Boden zu erschließen, die Archäologen normalerweise verborgen bleibt. Obwohl das Verfahren inzwischen auf rund 80 Jahre Nutzungsgeschichte zurückblickt, wurde seiner Schärfung und Weiterentwicklung in dieser Zeit wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Meist kamen Phosphatprospektionen an solchen Befunden zum Einsatz, die archäologisch schwer zu deuten waren. An diesen „Problemfällen“ kann die Methode allerdings nicht geeicht und ihr eigentliches Potential nicht abgesteckt werden.

Um Phosphatgehalte besser erfassen und plausibler deuten zu können, sind daher weitere, systematisch durchgeführte Phosphatprospektionen notwendig. Dabei versprechen besonders Gebäude mit guter Befunderhaltung und rekonstruierbarer Aufteilung in Nutzungsbereiche neue und differenzierte Erkenntnisse, die helfen können irreführende Pauschalisierungen aufzubrechen. Insofern sollten sich (Geo-)Archäologen in Zukunft vermehrt um gezielte Methodenforschung bemühen und erst in einem zweiten Schritt auf den jeweiligen Standort bezogene Ergebnisse erwarten. Auf Grundlage einer ausreichenden Menge solcher Forschungsbeispiele könnte man schließlich abschätzen, welche Schlussfolgerungen mit Phosphatprospektionen überhaupt möglich sind und unter welchen Standortbedingungen.

Unerlässlich für die Weiterentwicklung der Methode ist es dabei, eine zeitgemäße und reflektierte Erwartungshaltung zu entwickeln. Dazu muss man sich in einigen Punkten von den euphorischen Stimmen aus der Fachliteratur der späten 1930er bis 1950er Jahre distanzieren. Das damals geprägte Bild eines multipel einsetzbaren, feststehende Ergebnisse erbringenden Verfahrens, das zudem einfach, schnell und billig sei (Lorch 1939, 7, 24; Frauendorf/Lorch 1940, 265), verzerrt die Realität. Zwar sind Phosphatprospektionen im Vergleich zu anderen naturwissenschaftlichen Analysen unkomplizierter, schneller und preisgünstiger durchführbar. Allerdings gilt auch hier: Je weniger Aufwand man betreibt, desto weniger Qualität kann man von den Ergebnissen erwarten. Da es sich bei diesen „Ergebnissen“ um Deutungen handelt, sollte man Plausibilität anstreben, aber keine Unumstößlichkeit erwarten. Grundsätzlich hängt schließlich jede Phosphatprospektion stark von der systematischen Durchführung und den Vorannahmen und Interpretationen des Durchführenden ab. Daher sind Reflektion und Diskussion der Resultate unverzichtbar für eine transparente wissenschaftliche Praxis und sollten in fachlichen Publikationen nicht fehlen.

Anschrift des Verfassers:

Christoph Weihrauch  
Deutschhausstraße 10  
35037 Marburg

## **Literaturverzeichnis**

- Arrhenius 1955: O. Arrhenius, The Iron Age settlements on Gotland and the nature of the soil. In: M. Stenberger, Vallhagar II: A Migration Period settlement on Gotland/Sweden (Kopenhagen 1955) 1053-1064.
- Bakkevig 1980: S. Bakkevig, Phosphate analysis in archaeology – problems and recent progress. Norwegian Archaeological Review 13 (2), 1980, 73-100.
- Bleck 1976: R.-D. Bleck, Anwendungsmöglichkeiten phosphatanalytischer Untersuchungen im Bereich der Ur- und Frühgeschichte. Ausgrabungen und Funde 21 (6), 1976, 259-268.
- Ethelberg 2008: P. Ethelberg, Phosphatanalyse bei Häusern und Höfen der jüngeren Römischen Kaiserzeit und älteren Völkerwanderungszeit in Sønderjylland (Dänemark). Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 32 (Oldenburg 2008) 57-65.
- Frauendorf/Lorch 1940: E. Frauendorf/W. Lorch, Einfache Bodenuntersuchungen im Dienste der Vorzeitforschung. Nachrichtenblatt für deutsche Vorzeit 12, 1940, 265-268.
- Heinrich 1986: U. Heinrich, Ergebnisse von Phosphatuntersuchungen zur Siedlungsprospektion und Ausgrabungsbefunden bei Schuby (Kreis Schleswig-Flensburg). Bericht der Römisch-Germanischen Kommission 67 (Mainz 1986) 490-501.
- Holliday/Gartner 2007: V. T. Holliday/W. G. Gartner, Methods of soil P analysis in archaeology. Journal of Archaeological Science 34, 2007, 301-333.
- Jakob 1955: H. Jakob, Die Bedeutung der Phosphatmethode für die Urgeschichte und Bodenforschung. Beiträge zur Frühgeschichte der Landwirtschaft 2, Wissenschaftliche Abhandlungen 15, 1955, 67-85.
- Kiefmann/Schlede 1972: H.-M. Kiefmann/J. Schlede, Die Phosphatkartierung – Möglichkeiten und Methode dargestellt am Beispiel der Gemarkung Bosau (Ostholstein). Offa-Bücher 29 (Neumünster 1972) 143-156.
- Kreuzeder 2011: A. Kreuzeder, Modelling Phosphorus flows in soils (Göttingen 2011).
- Kurzhals u.a. 1991: A. Kurzhals/T. Litt/T. Weber, Zur Rekonstruktion eines frühmittelalterlichen Großhauses von Püggen, Kreis Salzwedel. In: Landesamt für archäologische Denkmalpflege Sachsen-Anhalt & Landesmuseum für Vorgeschichte Halle/Saale (Hrsg.), Frühgeschichtliche Häuser in Sachsen-Anhalt – Ausgrabungen zwischen Harz und Havel (Halle/Saale 1991) 65-75.

- Lienemann 1994: J. Lienemann, Phosphatkartierungen – Möglichkeiten und Grenzen. In: J. Biel/D. Klonk (Hrsg.), Handbuch der Grabungstechnik (Stuttgart 1994) 7.1.
- Lorch 1939: W. Lorch, Methodische Untersuchungen zur Wüstungsforschung (Jena 1939).
- Lorch 1940: W. Lorch, Die siedlungsgeographische Phosphatmethode. Die Naturwissenschaften 40/41, 1940, 633-640.
- Provan 1971: D. M. J. Provan, Soil phosphate analysis as a tool in archaeology. Norwegian Archaeological Review 4, 1971, 37-50.
- Ramqvist 1983: P. H. Ramqvist, Gene – On the origin, function and development of sedentary Iron Age settlement in Northern Sweden (Umeå 1983).
- Sauter 1959: F. Sauter, Phosphatanalytische Untersuchungen an dem Spät-Latène-Haus aus Oberbergern, p. B. Krems, N. Ö. Archaeologia austriaca 25, 1959, 107-110.
- Scheffer 2002: F. Scheffer, Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde (Heidelberg 2002).
- Steenbeek 1982: R. Steenbeek, Some aspects of the phosphate investigations at the excavation 'De Horden' (Wijk bij Duurstede, the Netherlands). RGB = Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek 32, 1982, 361-373.
- Voigt 1951-54: T. Voigt, Neue Erkenntnismöglichkeiten bei modernen Ausgrabungen, I. Teil: Die Phosphatmethode. Vorgeschichtliche Museumsarbeit und Bodendenkmalpflege 2, 1951-1954, 9-13.
- Zimmermann 1986: W. H. Zimmermann, Zur funktionalen Gliederung völkerwanderungszeitlicher Langhäuser in Flögeln-Eekhöltjen, Kr. Cuxhaven. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 16 (Hildesheim 1986) 55-86.
- Zimmermann 1992: W. H. Zimmermann, Die Siedlungen des 1. bis 6. Jahrhunderts nach Christus von Flögeln-Eekhöltjen, Niedersachsen – Die Bauformen und ihre Funktionen. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 19 (Hildesheim 1992).
- Zimmermann 2001a: W. H. Zimmermann, Fosfatanalyse – et vigtigt bebyggelsarkæologisk redskab. AUD = Arkæologiske udgravninger i Danmark 2000 (Kopenhagen 2001) 21-43.
- Zimmermann 2001b: W. H. Zimmermann, Phosphatkartierung mit großem und kleinem Probenraster in der Siedlungsarchäologie – Ein Erfahrungsbericht. In: M. Meyer (Hrsg.), '...trans albi fluvium.' Forschungen zur vorrömischen, kaiserzeitlichen und mittelalterlichen Archäologie – Festschrift für Achim Leube zum 65. Geburtstag (Rahden/Westfalen 2001) 69-79.
- Zimmermann 2008: W. H. Zimmermann, Phosphate mapping of a Funnel Beaker Culture house from Flögeln-Eekhöltjen, district of Cuxhaven, Lower Saxony. Analecta Praehistorica Leidensia 40 (Leiden 2008) 123-129.
- Zölitz 1980: R. Zölitz, Bodenphosphat als Siedlungsindikator – Möglichkeiten und Grenzen der siedlungsgeographischen und archäologischen Phosphatmethode (Neumünster 1980).

- Zölitz 1982: R. Zölitz, Geographische Siedlungsprospektion in Schleswig-Holstein. Geowissenschaftliche Methoden bei der Suche und Abgrenzung wikingerzeitlicher Siedlungen im schleswig-holsteinischen Jungmoränengebiet. Archäologisches Korrespondenzblatt 12, 1982, 517-533.
- Zölitz 1983: R. Zölitz, Bodenchemische Untersuchungen im Bereich vor- und frühgeschichtlicher Siedlungen. Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein 53, 1983, 33-57.
- Zölitz 1986: R. Zölitz, Phosphatuntersuchungen zur Siedlungsprospektion in der Gemarkung Kosel (Kr. Rendburg-Eckernförde). Bericht der Römisch-Germanischen Kommission 67 (Mainz 1986) 454-464.
- Zölitz/Heinrich 1990: R. Zölitz/U. Heinrich, Methodische Anmerkungen zur siedlungsarchäologischen Phosphatanalyse. ArchäoPhysika 12, Naturwissenschaftliche Beiträge zur Archäologie 2, 1990, 383-408.

### **Abbildungsnachweis**

Tab. 1-2, Abb. 1-3: Christoph Weihrauch