Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte = Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie = Annuario della Società Svizzera di Preistoria e d'Archeologia

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte

Band: 72 (1989)

Artikel: Die Bodenkunde im Dienst der Archäologie

Autor: Bühl, Herbert / Sticher, Hans / Barmettler, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-117205

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Herbert Bühl, Hans Sticher und Kurt Barmettler

Die Bodenkunde im Dienst der Archäologie

1. Einleitung

Seit längerer Zeit werden bei archäologischen Untersuchungen auch die geologischen Aspekte berücksichtigt und in die Auswertung der Siedlungsfragen einbezogen. In der Schweiz beschränkten sich bisher die quartärgeologischen und sedimentologischen Forschungen im Zusammenhang mit der Archäologie vor allem auf Grabungsstellen prähistorischer Ufersiedlungen und vereinzelt auch auf Höhlenstationen (Joos 1976a; 1976b; 1980; 1987; Brochier und Joos 1982; Wohlfarth 1987; Amman et al. 1988). Bodenkundliche Analysen wurden – soweit uns bekannt ist – in der Schweiz noch nirgends durchgeführt. Wenn in Zug seit drei Jahren die Bodenkunde als archäologische Hilfsdisziplin beigezogen wird, so entspricht dies einer anderswo bereits geübten Praxis. In Schleswig-Holstein beispielsweise sind verschiedentlich anthropogen beeinflusste, teilweise fossile Böden untersucht und auch bodenchemisch kartiert worden (Gebhardt 1982; Zölitz 1982; Lienemann und Gebhardt 1985).

Bodenkundliche Untersuchungen leisten Beiträge zu Fragen wie etwa

- Abgrenzung und Definition schwer unterscheidbarer Schichten
- Bodenentwicklung bis zum Einsetzen anthropogener Tätigkeiten
- Rekonstruktion fehlender Böden und damit Rekonstruktion des ursprünglichen Terrains
- Bodenchemische Siedlungsnachweise
- Bodenchemische Differenzen innerhalb des Siedlungsbereiches als Folge bestimmter anthropogener Tätigkeiten
- Unterscheidung verschiedener Siedlungsschichten mit unterschiedlicher Zeitstellung

An drei ausgewählten terrestrischen und limnischen Ausgrabungsorten wurden bodenkundlich-geologische Untersuchungen durchgeführt. Neben Profilansprachen im Feld nach bodenkundlichen und quartärgeologischen Kriterien setzten wir auch bodenkundliche und bodenchemische Labormethoden ein (Arbeitsgruppe Bodenkunde 1982). Diese Begleituntersuchungen brachten Klarheit in archäologisch schlecht fassbare Schichtverhältnisse und Schichtinterpretationen (Steinhausen, St. Mathias; Abb. 4). Sie bestätigten die archäologischen Befunde (Steinhausen, Sennweid; Abb. 2) und bereicherten die historisch überlieferten Kenntnisse (Zug, Sust, siehe Abschnitt 4).

1.1. Einführung in die Bodendynamik

Unter dem Einfluss und durch das Zusammenwirken der Umweltfaktoren Muttergestein, Klima, Relief und Lebewesen (Flora, Fauna, Mikroorganismen) laufen an der Erdoberfläche komplexe Vorgänge ab, welche im Laufe von langen Zeiträumen zu einer breiten Palette verschiedenster Bodentypen führen.

- Das Muttergestein wird mechanisch und chemisch zerkleinert, abgebaut und umgewandelt; es verwittert.
- Abgestorbene Lebewesen pflanzlicher und tierischer Herkunft werden von Bodentieren, Pilzen und Mikroorganismen zersetzt, umgewandelt und dem Boden einverleibt; sie werden zu Humus.
- Ausgangsstoffe und Produkte der Verwitterung und Humusbildung werden in und auf dem Boden, in Lösung oder als Partikel verlagert.
- Im Kontakt miteinander werden die Bodenbestandteile durch Kittstoffe, welche teilweise biologischen Ursprungs sind, miteinander verbunden; im Nahbereich bildet sich eine neue Anordnung, ein bodeneigenes Gefüge.

Durch das Zusammenwirken aller Bodenbildungsvorgänge entsteht eine charakteristische Abfolge von mehr oder weniger scharf voneinander abgegrenzten Schichten, welche man als Bodenhorizonte bezeichnet. Horizonte werden nach den kennzeichnenden Bodenbildungsvorgängen und dem entsprechenden Aufbau unterschieden und mit Buchstabensymbolen gekennzeichnet. Die typische Abfolge in einem durchlässigen Boden auf Silikatunterlage lässt sich folgendermassen beschreiben:

A-Horizont	Oberboden, humusreich, dunkel, belebt, meist gut gekrümelt; Hauptwurzelraum.
B-Horizont	Unterboden, humusarm, hell bis rostfarbig, in Verwitterung begriffen.
C-Horizont	Muttergestein, von der Bodenbildung noch nicht erfasst.

Für eine tiefergreifende pedologische Beschreibung des Bodens werden die Horizonte nach morphologischen und chemischen Kriterien in Subhorizonte unterteilt. Die Horizontsymbole werden dazu mit Indices versehen, z.B. Ah, Bv, Ck usw. (vgl. Arbeitsgruppe Bodenkunde 1982). Horizonte mit besonderen bodenprägenden Merkmalen, z.B. Vernässung, werden mit eigenständigen Symbolen gekennzeichnet:
S-Horizont Stauwasserbeeinflusster Horizont,
G-Horizont Grundwasserbeeinflusster Horizont.

Die ganze Abfolge der Horizonte von der Oberfläche bis zum unzersetzten Muttergestein nennt man Bodenprofil. Dieses reicht als Einzelboden in der lateralen Ausdehnung so weit, als sich die Bedingungen der Bodenbildung gleichbleiben.

Je nach Vorhandensein, Mächtigkeit und Abfolge der Horizonte im Profil unterscheidet man verschiedene Bodentypen. So findet man im Jura auf Kalkstein die Rendzina, bei welcher wenige Dezimeter neutraler, humoser Oberboden direkt auf dem Kalkschutt oder Kalkfels aufliegt. Auf den Moränen und Schottern des Mittellandes herrschen Braunerden und Parabraunerden vor, bei welchen unter dem schwach sauren, humosen Oberboden eine bis 1 m mächtige rostfarbige Verwitterungsschicht folgt. Und schliesslich finden wir im Alpenraum, meist unter Nadelwäldern, das Podzol mit einer mehr oder minder mächtigen Auflage von stark saurem, wenig zersetztem Rohhumus.

Der gesamte Boden besteht aus der Bodenmatrix (fester Anteil) und einem komplexen Hohlraum- und Porensystem, in welchem Wasser (Bodenlösung) und Luft zirkulieren. Je nach Alter und Verwitterungszustand besteht der mineralische Anteil der Bodenmatrix aus petrogenen, d.h. aus dem Muttergestein ererbten Mineralkörnern und/oder aus pedogenen, d.h. durch die Verwitterung neu gebildeten Mineralien. Zu letzteren gehören vor allem Tonmineralien und Rost (Eisenoxide verschiedener Ausprägung). Da der Boden von oben nach unten verwittert, nimmt der Anteil der petrogenen Mineralien von der Oberfläche gegen das Muttergestein zu, während der Anteil der pedogenen Mineralien abnimmt. Natürliche oder anthropogene Überschüttungen lassen sich dadurch ohne weiteres erkennen. Zu den am schnellsten verwitternden Gesteinen gehört der Kalk. Im Gegensatz zu den Silikaten, welche bei der Verwitterung im Boden allmählich in neue Mineralien umgewandelt werden, löst sich der Kalk vollständig auf und wird in gelöster Form aus dem Boden ausgewaschen. Aus der Kalkverteilung im Profil lassen sich daher Hinweise zur Verwitterungsdynamik des Bodens ableiten.

Der organische Anteil der Bodenmatrix umfasst abgestorbene und in Zersetzung begriffene Lebeweisen (Wurzeln, Bodentiere, Mikroorganismen) als Humusbildner sowie die Endprodukte der Abbau- und Umwandlungsvorgänge, die Huminstoffe. In Äckern und Wiesen des Mittellandes beträgt dieser Anteil im Oberboden etwa 2–6 Gewichtsprozent. Da die Huminstoffe gegenüber einem weiteren Abbau äusserst stabil sind, lässt sich ein fossiler, humoser Oberboden auch nach lange dauernder Überdeckung (z.B. Überschüttung durch Kulturschichten) noch als solcher erfassen.

Die feinstdispersen Bestandteile des Bodens (Tonmineralien, Huminstoffe, Tonhumuskomplexe) sind Ionentauscher, welche Pflanzennährstoffe und Spurenelemente zu binden, zu speichern und wieder abzugeben vermögen. Durch das verzweigte Wurzelwerk nehmen die Pflanzen die Nährstoffe, auch aus tieferen Schichten des Bodens, auf und verlagern sie in die oberirdischen Teile (Stengel, Stamm, Blätter, Früchte). Da die abgestorbenen Pflanzenteile vorwiegend in den obersten Bodenschichten zersetzt, mineralisiert und humifiziert werden, kommt es mit der Zeit zu einer Anreicherung gewisser Elemente im Oberboden. Dies betrifft wegen ihrer starken Affinität zu den Kolloidoberflächen vor allem Phosphat und die Schwermetalle.

Die kurze Darstellung der Bodendynamik zeigt, dass eine noch so umfassende und exakte Analyse der Einzelprobe aus einem Profil kaum eine aussagekräftige Interpretation einer Grabung erlaubt. Allein die Analyse des gesamten Profils lässt anhand der schichtweisen Abfolge der physikalischen, chemischen und biologischen Merkmale gesicherte Schlüsse auf die Geschichte des Bodens zu.

Sollen mehrere Standorte miteinander verglichen werden, kommt eine weitere Erschwernis dazu. Jeder Boden weist bezüglich der meisten Eigenschaften in seiner lateralen Ausdehnung eine bestimmte Schwankungsbreite auf, d.h. die Eigenschaften unterliegen einer mehr oder weniger stark ausgeprägten räumlichen Variabilität (vgl. Abb. 1). Analysedaten verschiedener Grabungsstellen dürfen daher, auch wenn der Abstand noch so gering ist, nicht in ihrer Absolutheit miteinander verglichen werden. Eine saubere Interpretation ist in einem solchen Fall nur auf der Basis geeigneter geostatistischer Methoden möglich (vgl. dazu Perrier et al. 1986; Trangmar et al. 1985).

2. Methoden

2.1. pH-Wert

Das pH wird bei Bodenuntersuchungen üblicherweise in einer salzhaltigen Suspension bestimmt, da Bodenlösungen naturgemäss elektrolythaltig sind. Eine 0,01 molare $CaCl_2$-Lösung entspricht den Verhältnissen in der Bodenlösung am ehesten, weil auch dort die Ca-Ionen vorherrschen (Scheffer und Schachtschabel 1982). Die Messung erfolgt, indem eine pH-Elektrode in eine Suspension (Boden:Flüssigkeit = 1:2,5) eingetaucht wird.

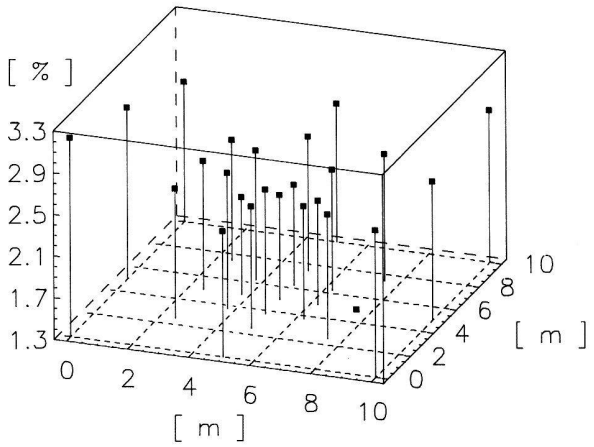

Abb. 1. Wallisellen ZH. Räumliche Variabilität des Gehaltes an organischem Kohlenstoff im Oberboden einer Wiesenparzelle bei Wallisellen ZH; Grundfläche 10 × 10 m (aus Federer 1988).

2.2. Bodenart

Die Kennzeichnung der Bodenart stützt sich auf die Bodenkundliche Kartieranleitung der Arbeitsgruppe Bodenkunde (1982). Bei der Beschreibung der Bodenart wird zwischen Feinboden (Durchm. <2 mm) und Grobboden (Bodenskelett, Durchm. >2 mm) unterschieden. Für die Definition der einzelnen Bodenarten des Feinbodens sind die Anteile der drei Fraktionen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) entscheidend. Sand-Ton-Schluff-Gemenge mit wesentlichen Anteilen aller Fraktionen werden als Lehme (L) bezeichnet.

Die Bestimmung der Bodenart erfolgt im Feld mittels Fingerprobe. Im Labor muss die Korngrössenanalyse an der humusfreien und dispergierten Feinerde vorgenommen werden; z.B. mittels kombiniertem Pipett-Nassiebverfahren.

2.3. Bodenfarbe

Die Subjektivität der Farbwahrnehmung lässt sich bei der Bodenuntersuchung durch die Verwendung von Farbtafeln überwinden. In den Munsell-Farbtafeln (USA) und den Standard Soil Color Charts (Japan) werden die Farben mit Symbolen aus Buchstaben und Zahlen festgelegt, wobei Farbe (hue), Helligkeit (value) und Intensität (chroma) berücksichtigt sind.

2.4. Kohlenstoff und Stickstoff

Im C,H,N-Analysator (Heraeus) werden kleine Einwaagen gemahlener und homogenisierter Bodenproben bis maximal 200 mg einem Sauerstoffstrom bei 1150° C ausgesetzt. Nach der Zersetzung der Proben lassen sich die Totalgehalte von Kohlenstoff und Stickstoff im Gasstrom als CO_2 und N_2 sequentiell messen. Zur Ermittlung des anorganischen Kohlenstoffs (Karbonatgehalt) wird die eingewogene Bodenprobe (1–10 g) mit Schwefelsäure zersetzt. Das freigesetzte CO_2 lässt sich im Absorptionsverfahren gravimetrisch bestimmen (Methode Laboratorium für Bodenchemie, ETHZ). Aus der Differenz C-total–C-anorganisch kann der Gehalt an organischem Kohlenstoff errechnet werden.

2.5. Phosphat

Der Phosphatgehalt ist deshalb ein wichtiger Indikator für die anthropogene Überprägung eines Bodens, weil der in den Boden gelangende Phosphor, z.B. über Exkremente und über pflanzliche und tierische Abfälle, zum grössten Teil in sorbierter oder mineralisierter Form im Oberboden verbleibt. Die natürliche Phosphatauswaschung ist nur in Sandböden und Hochmooren mit geringem P-Adsorptionsvermögen von Bedeutung (Scheffer und Schachtschabel 1982).

Bei geoarchäologischen Untersuchungen in der Schweiz führten Imhof et al. (1977), Joos (1976a; 1976b; 1980), Brochier und Joos (1982), Jagher und Joos (1985), Wohlfarth-Meyer (1987) Phosphatbestimmungen an Profilkolonnen limnischer und terrestrischer Sedimente durch. Bei all diesen Arbeiten fällt die Mühe der Autoren auf, die sehr oft indifferenten Phosphatverteilungskurven sinnreich zu interpretieren. Der Grund hierfür dürfte methodischer Art sein. Die auf Lorch (1940) zurückgehende und bei diesen Arbeiten angewandte Methode (siehe auch Schmid 1958) benützt verdünnte Schwefelsäure als Phosphatextraktionsmittel. Mit der Methode von Lorch wird,

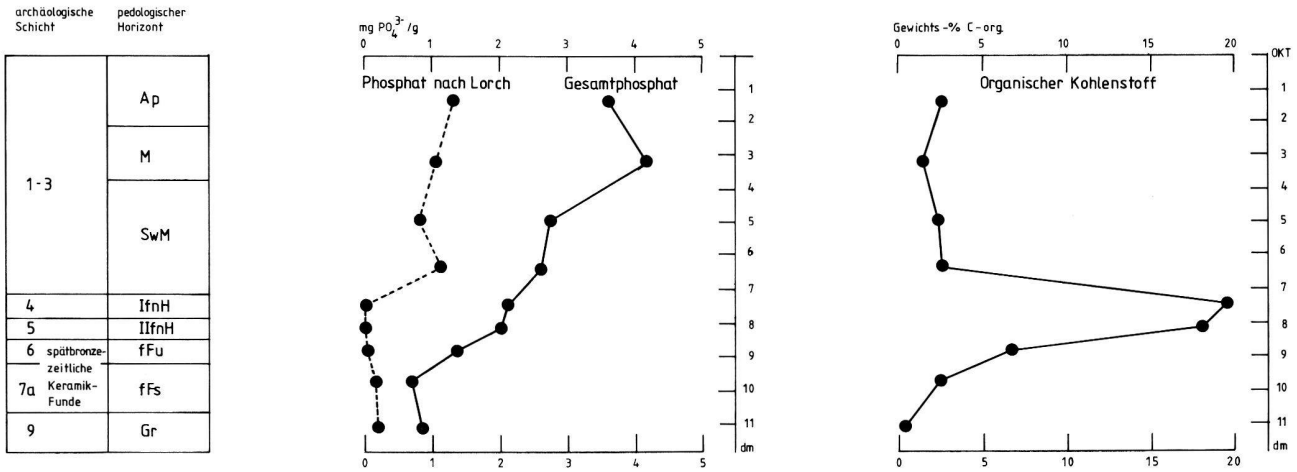

Abb. 2. Steinhausen ZG-Lorzeschwemmebene. Verteilung des Gesamtphosphates, der Phosphatfraktion nach Lorch und des organischen Kohlenstoffs in einem Bodenprofil Brauner Auenboden–Auenpseudogley (Ap-M-SwM) über fossilem Niedermoorgley (IfnH-IIfnH-fFu-fFs-Gr).

wie auch mit dem ältesten in der archäologischen Bodenkunde angewandten Verfahren von Arrhenius (1931), nur ein Teil des im Boden gebundenen Phosphates erfasst. Dies bestätigt ein von uns durchgeführter methodischer Vergleich. Wir bestimmten an einem kombinierten limnisch-terrestrischen Bodenprofil in der Lorze-Schwemmebene bei Steinhausen ZG die Gesamtphosphatkonzentration mit der Methode von Bohne et al. (1958) und den Phosphatgehalt nach der Methode von Lorch (1940) (vgl. auch Sticher et al. 1988 und Abb. 2). Die Tabelle 1 gibt neben dem Zusammenhang zwischen archäologischen, stratigraphischen und pedologischen Einheiten eine analytische Kennzeichnung des Profils. In den archäologischen Schichten Nrn. 6 und 7, d.h. dem von uns als Mudde interpretierten Profilabschnitt, wurden im Verlauf einer archäologischen Kampagne im Sommer 1987 Streufunde spätbronzezeitlicher Scherben behändigt. Der Phosphatgehalt nach Lorch beträgt zwischen 0% und 43% der Gesamtphosphat-Konzentration. In den stark organischen Mudde- und Torfschichten (Schichten 4–6) mit 7–20 Gew.-% organischem Kohlenstoff sinkt der Phosphatgehalt nach Lorch in den Bereich der Nachweisgrenze von 10 ppm oder darunter ab. Dies kann als Hinweis dafür angesehen werden, dass sich mit der Methode von Lorch (1940) organisch gebundenes Phosphat nur sehr schlecht erfassen lässt, zumindest im schwach sauren bis neutralen pH-Bereich. Dies ist insofern von Bedeutung, als archäologische Fundschichten sowohl von Seeuferstationen wie von terrestrischen Stationen nicht selten erhöhte Gehalte an organischer Substanz aufweisen.

Lienemann und Gebhardt (1985) schliessen eine Zuordnung anthropogen eingebrachter Phosphate zu einer bestimmten Phosphatbindungsform aus. Die anthropogene Überprägung eines Bodens lässt sich nur durch die Ermittlung der Gesamtphosphatbelastung richtig erfassen (Eckelmann 1980; Gebhardt 1982). Die Phosphormineralisierung im Boden hat eine Verteilung des anthropogen eingetragenen Phosphors auf verschiedene Phosphat-Bindungsformen zur Folge. Da anthropogen eingetragener Phosphor praktisch ausschliesslich in organischer Bindungsform in den Boden gelangt, erstaunt es daher nicht, dass sich in anthropogen beeinflussten Böden hohe Korrelationen zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und der Gesamtphosphatkonzentration feststellen lässt (vgl. Abb. 3). Die Anteile der einzelnen P-Fraktionen am Gesamtphosphatgehalt werden wesentlich vom pH-Wert des Bodens bestimmt. In stark sauren Böden überwiegen beim anorganischen Phosphat Eisen- und Aluminiumphosphate, während in neutralen und basischen Böden Calciumphosphate vorherrschen (Lindsay 1979; Scheffer und Schachtschabel 1982). Daher ist es plausibel, dass Lienemann und Gebhardt (1985) an früh- und hochmittelalterlichen, sauren Kultosolen Norddeutschlands feststellten, dass das Phosphat grösstenteils mineralisiert in Form schwerlöslicher Fe-Al-Orthophosphate auftrat.

Für die Erfassung des anthropogen eingetragenen und im Boden verbliebenen Phosphors sollten folglich nur Extraktionsmethoden zum Zuge kommen, die das gesamte im Boden akkumulierte Phosphat erfassen, unabhängig von der Phosphatbindungsform, zumal das pH in ein und demselben Bodenprofil erhebliche Unterschiede aufweisen kann.

Gebhardt (1982) konnte mittels Salpetersäureextraktion (Methode nach Bleck 1965), nach vorherigem Glühen

archäologische Schichtnummer	Stratigraphische Einheit	Pedologischer Horizont	Bodentyp	Bodenprobe	Bodenart (>2mm)	Gesamtphosphat nach Bohne et al. mg PO4 3- / g	Phosphat nach Lorch mg PO4 3- / g	CaCO3 Gew.-%	C-organisch Gew.-%	pH 0.01m CaCl2
1 - 3	Auenlehm	Ap	Brauner Auenboden - Auenpseudogley	417.27 - 417.40 (OKT)	uL	3.60	1.31	1.25	2.75	7.1
		M		417.11 - 417.20	uL	4.19	1.06	0.29	1.46	6.9
		SwM		416.94 - 417.04	uL	2.75	0.83	0.26	2.34	6.3
				416.77 - 416.94	uL	2.63	1.13	0.39	2.58	6.5
4	Torf	IfnH	Fossiler Niedermoorgley	416.70 - 416.77	stL	2.13	0.01	0.46	19.62	6.2
5		IIfnH		416.64 - 416.70	tL	2.03	<0.01	0.46	18.14	6.3
6 spätbronze-zeitliche	Mudde	fFu		416.57 - 416.64	slU	1.37	0.04	0.36	6.82	6.4
7a Keramik		fFs		416.44 - 416.57	uS	0.72	0.17	2.22	2.53	6.8
9	sandige Seeablagerung, seekreidehaltig	Gr		416.32 - 416.42	S	0.85	0.22	5.19	0.46	7.2

Tab. 1. Steinhausen ZG-Sennweid, Profil N15/E17. Beziehung der archäologischen, stratigraphischen und pedologischen Einheiten und analytische Kenndaten.

des Feinbodens <2 mm bei 800° C mehr als 95% des im Boden angereicherten Phosphors aufschliessen. Die von uns durchgeführte Perchlorsäureextraktion nach Bohne, Gröpler und Dittmer (1958) dient ebenfalls der Gesamtphosphatbestimmung. Die Konzentration kann im Extrakt fotometrisch bei einer Wellenlänge von 436 nm als Vanadat-Molybdat-Komplex (Eberhardt 1960) gemessen werden. Die Konzentrationsangabe erfolgt in mg PO_4^{3-}/g trockener Feinerde.

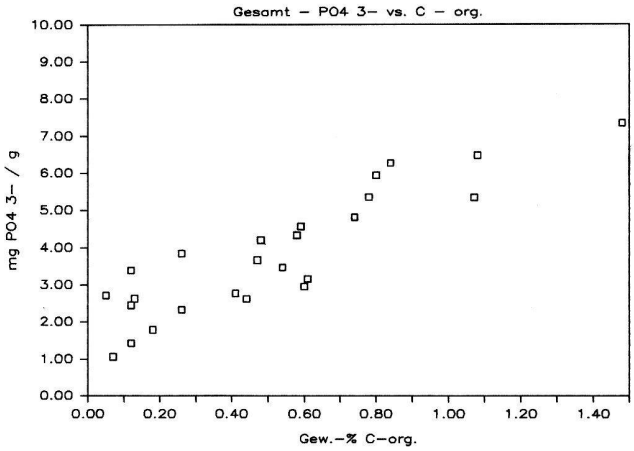

Abb. 3. Zug-Dorfstrasse 8. Beziehung zwischen dem Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtphosphat im Unterboden, Oberboden und in minerogenen Kulturschichten. Produktmoment-Korrelationskoeffizient r=0.89 (aus Sticher, Bühl und Barmettler 1987a).

2.6. Austauschbar gebundene Kationen

Die Bestimmung von im Boden austauschbar gebundenen Kationen gehört zu den bodenchemischen Untersuchungen, die der Charakterisierung des Bodens als Ionentauscher dienen. Sie spielt insbesondere bei der Ermittlung der Nährelementversorgung in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden eine wichtige Rolle (Rehfuess 1981; Scheffer und Schachtschabel 1982; Zöttl 1985). Von indikativer Bedeutung ist dabei die prozentuale Basensättigung des Bodens, d.h. der Anteil der Ionen Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium am Kationenbelag.

Das methodische Prinzip zur Ermittlung der Austauschkapazität eines Bodens und der prozentualen Basensättigung geht auf Mehlich (1953) zurück. Es beruht auf dem Austausch der in einer Bodenprobe absorbierten Kationen durch die Kationenart einer Austauschlösung, z.B. durch Ba^{2+} oder NH_4^+. Die vom Boden in die Austauschlösung übergegangenen Ionen lassen sich in dieser z.B. mittels Atomabsorptions-Spektroskopie (AAS) messen. Die Austauschkapazität eines Bodens und auch die einzelnen Gehalte austauschbar gebundener Ionen werden in Milliäquivalent/100 g trockener Feinerde (Fraktion <2 mm) angegeben. Eingehende methodische Hinweise zur Untersuchung der Austauschkapazität von Böden und der einzelnen austauschbaren Kationen gaben Schlichting und Blume (1966) und Meiwes et al. (1984).

3. Vergleich einer fossilen, anthropogen überprägten mit einer rezenten Braunerde auf Grundmoräne in Steinhausen ZG

Die Böden, die anlässlich von Ausgrabungen terrestrischer Stationen angetroffen werden, sind in der Regel nicht nur anthropogen überprägt, sie sind häufig auch fossil. Das heisst, sie wurden bei der Anlage einer Station, während deren Betrieb oder nach deren Aufgabe mit Kulturschichten, Alluvium oder Kolluvium überdeckt. Die Überbauung eines Bodens entzieht diesen der natürlichen Bodenbildungsdynamik. Bereits die Überschüttung eines Bodens mit – natürlichen oder künstlichen – durchlässigen Materialien verändert die Entwicklungsdynamik. Die Fossilisierung eines Bodens kann als das Abklingen der bodenbildenden, also auch der bodenchemischen, Prozesse verstanden werden. Der chemische Bodenzustand eines fossilen Bodens ist folglich gegenüber dem rezenten Boden, aus dem er hervorgegangen ist, verändert.

Die vergleichende Untersuchung von fossilen und rezenten Böden kann heute gleichermassen archäologischen wie umweltwissenschaftlichen Fragestellungen nützlich sein. Für die Archäologie lassen sich Hinweise über Art und Ausmass prähistorischer oder historischer, anthropogener Bodenüberprägungen bzw. Bodennutzungen gewinnen (Gebhardt 1982; Lienemann und Gebhardt 1985). Das Interesse der Umweltwissenschaften leitet sich z.B. aus der Möglichkeit her, die moderne atmosphärische Schadstoffeinwirkung auf rezente Böden im Vergleich mit fossilen Böden zu quali- und quantifizieren (Thomas et al. 1988).

Der Vergleich von rezenten mit fossilen Böden lässt anthropogene Überprägungen am ehesten dann bewerten, wenn sich die Böden bei gleichen äusseren Bedingungen gleich entwickelt hätten. Gleiche äussere Bedingungen, d.h. gleicher geologischer Untergrund, gleiche Exposition, gleiches Klima und gleiche Vegetation sowie gleichzeitiger Beginn der Bodenbildung.

Eine bodenkundliche Begleituntersuchung zu den Ausgrabungen in der Pfarrkirche St. Mathias, Steinhausen ZG (Sticher et al. 1987a; Bühl et al. 1988), sollte generelle Hinweise zur pedologischen Vorgeschichte des Kirchenstandortes bringen. Zu diesem Zweck wurde ein Profil zwischen dem gotischen und barocken Kirchengrundriss und ein rezentes Profil im Steinhauserwald (1,5 km NNE der Pfarrkirche) vergleichend untersucht.

Beim Kirchenprofil (Tab. 2; Abb. 4) war der natürlich gewachsene Boden von zwei Kulturschichten überdeckt, wovon die obere, mörtelhaltige Schicht dem Bau- oder Abbruchniveau der gotischen Kirche (Weihejahr 1462) entsprach. Die endgültige Überdeckung des Profils fiel mit dem Bau der barocken Kirche (Weihejahr 1701) zusammen. Im Untersuchungszeitpunkt lag eine fossile, neutrale Braunerde aus Grundmoräne mit der Horizontfolge Kulturschicht 1 (mörtelhaltig) – Kulturschicht 2 (minerogen) – fAh – fBv – fCv – C vor (f bedeutet «fossil»). Auf einem entsprechenden Substrat und in gleicher Exposition liegt der Standort des rezenten Vergleichsprofils im Steinhauserwald. Es wurde eine saure Braunerde mit der Horizontfolge O – Ah – Bv – Cv – C angetroffen (Tab. 3; Abb. 4; Taf. 1). Der Beginn der Bodenentwicklung fällt bei beiden Profilen mit dem Zurückschmelzen des Reussgletschers aus dem Gisikon-Honau-Stadium zusammen (Hantke 1980). Für eine vergleichende Untersuchung von Interesse sind die Mineralerde-Horizonte Ah, Bv, Cv und C, für die Beantwortung der Fragestellung aber auch die minerogene Kulturschicht 2. Organische Auflagehorizonte, für das Profil Steinhauserwald mit O zusammengefasst, lassen sich bei fossilen, terrestrischen Böden in aller Regel nicht mehr feststellen, da sie im Ver-

Taf. 1. Steinhauserwald ZG. Rezentes Braunerde-Profil (vgl. Abb. 4 und Tab. 3).

Horizont	Tiefe cm	Probentiefe cm	Bodenart	Farbe SSCC	CaCO3 Gew.-%	C-org. Gew.-%	C-org./N	Gesamt-Phosphat mg PO4 3- / g	Austauschbare Kationen (0.1m BaCl2 ungep.) Mg	Ca	Na	K	Al	H	KAK eff.	pH (CaCl2)
									mäq. / 100 g							
Kultursch. 2	> 20															
Kultursch. 1	20 - 0	20 - 10	tL	10YR 3/3	5.58	1.35	9	2.27	0.77	24.42	0.04	0.09	0.04	0.25	25.60	7.3
		10 - 0	sL	2.5Y 3/3	4.52	1.26	10	2.24	0.73	25.50	0.05	0.11	0.04	0.70	27.13	7.2
fAh	0 - 15	4 - 10	sL	10YR 3/3	1.28	0.93	9	1.80	0.68	23.03	0.06	0.12	<0.03	0.75	24.65	7.2
		15 - 30	sL	10YR 4/4	0.5	0.44	9	1.37	0.66	19.45	0.04	0.13	<0.03	0.50	20.80	7.1
fBv	15 - 50	30 - 40	sL	10YR 4/3	0.25	0.40	10	1.62	0.55	15.69	0.03	0.13	<0.03	0.35	16.78	7.1
		40 - 50	sL	10YR 4/4	5.28	0.31	8	1.66	0.47	16.78	0.03	0.12	0.11	0.00	17.50	6.9
fCv	> 50	50 - 60	lS	2.5Y 4/3	27.09	0.09		1.35	0.34	16.18	0.02	0.11	0.07	0.00	16.71	6.6

Tab. 2. Steinhausen ZG-St. Mathias. Analytische Kenndaten des Bodenprofils. Fossile Braunerde aus Grundmoräne unter Kulturschichten (Koord. 679 300/227 750. 427.65 m ü.M.).

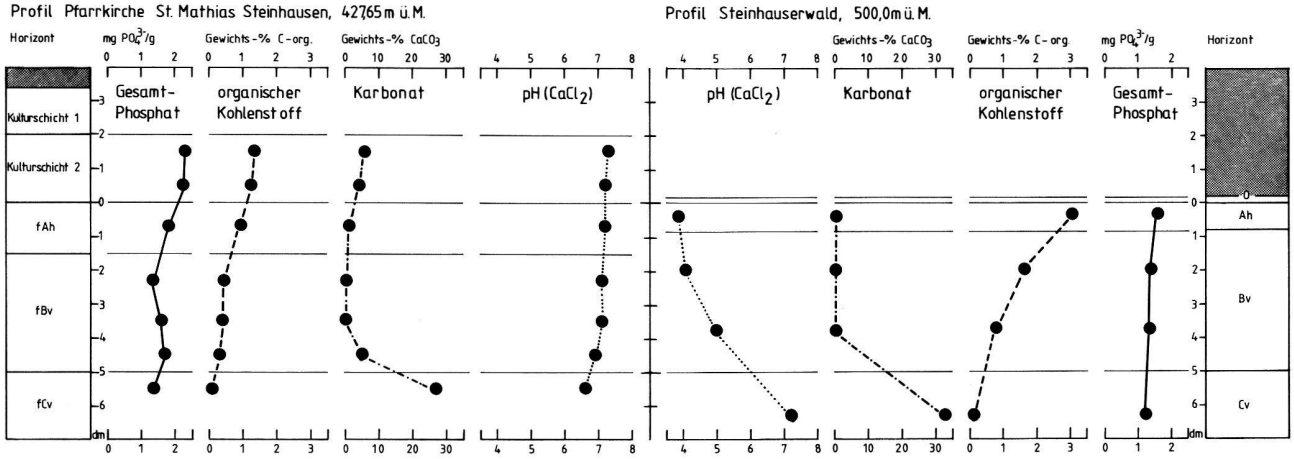

Abb. 4. Stoff-Verteilungen an einem fossilen Braunerde-Profil in der Pfarrkirche St. Mathias, Steinhausen ZG und an einem rezenten Braunerdeprofil im Steinhauserwald ZG.

Horizont	Tiefe cm	Probentiefe cm	Bodenart	Farbe SSCC	CaCO3 Gew.-%	C-org. Gew.-%	C-org./N	Gesamt-Phosphat mg PO4 3- / g	Austauschbare Kationen (0.1m BaCl2 ungep.) Mg	Ca	Na	K	Al	H	KAK eff.	pH (CaCl2)
									mq. / 100 g							
O	2 - 0															
Ah	0 - 8	0 - 8	slU	10YR 3/2	0.00	3.04	13	1.57	0.51	3.51	0.01	0.09	4.68	9.65	18.45	3.9
Bv	8 - 50	15 - 25	tL	10YR 3/3	0.00	1.64	11	1.37	0.49	3.64	0.02	0.06	3.41	6.88	14.49	4.1
		30 - 45	usL	10YR 3/4	0.00	0.78	10	1.36	0.48	9.36	0.02	0.07	0.42	3.08	13.41	5.0
Cv	> 50	55 - 70	usL	2.5Y 4/3	32.80	0.17		1.24	0.21	19.44	0.02	0.10	<0.03	0.00	19.79	7.2

Tab. 3. Steinhauserwald ZG. Analytische Kenndaten des Bodenprofils. Braunerde aus Grundmoräne unter Fichte (Koord. 679 800/229 250. 500.0 m ü.M.).

laufe der Fossilisation mineralisiert wurden. Im folgenden werden die entsprechenden Horizonte der beiden Profile vergleichend besprochen.

3.1. C-Horizont

Bei beiden Bodenprofilen liegt die Obergrenze des C-Horizontes, also die Grenze zum unverwitterten Muttergestein, unterhalb der Profilbasis. Beim Muttergestein, das in diesem Fall ein Lockergestein ist, handelt es sich um eine vorbelastete, würmeiszeitliche Grundmoräne von sandig-lehmiger Körnung mit einem Grobbodenanteil (Kies, Steine und Blöcke) von weniger als 10 Volumen-%. Der Karbonatgehalt, ausgedrückt als $CaCO_3$, beträgt über 30 Gew.-%.

3.2. fCv-/Cv-Horizont

Bei einer Braunerde entspricht der Cv-Horizont einem dünnen, wenige Zentimeter bis Dezimeter mächtigen Übergangsbereich zwischen dem unverwitterten Muttergestein und dem in der Feinerde praktisch vollständig entkalkten und durch die Silikatverwitterung verbraunten Bv-Horizont. Sowohl im fCv-Horizont des Profils Pfarrkirche St. Mathias wie im Cv-Horizont des Profils Steinhauserwald (Abb. 4) ist der aus Kies und vereinzelt aus Steinen bestehende Grobboden frisch oder nur oberflächlich leicht angewittert. Einzig die weichen Komponenten aus Molassesandsteinen haben durch die beginnende Auflösung des kalkigen Bindemittels ihre Festigkeit teilweise eingebüsst. Der fCv-Horizont mit 27 Gewichts-% $CaCO_3$ und der Cv-Horizont mit 33 Gewichts-% sind sehr karbonatreich. Gegenüber der unverwitterten Grundmoräne darf eine nur geringfügige Kalkauswaschung angenommen werden. Chemisch sind sich der Cv- und fCv-Horizont sehr ähnlich. Sie weisen in den untersuchten Parametern typische, anthropogen unbeeinflusste Werte auf.

3.3. fBv-/Bv-Horizont

Die Horizontgrenzen fCv-fBv bzw. Cv-Bv sind an den beiden Profilen durch einen deutlichen Farbwechsel und eine sprunghafte Änderung des Karbonatgehaltes gekennzeichnet. Die Farbe von fBv und Bv ist braun (10YR, Chroma 3–4), während fCv und Cv mehr gelb erscheinen (2.5Y, Chroma 3). Der fBv- und der Bv-Horizont unterscheiden sich deutlich in den pH-Werten und den Gehalten an austauschbar gebundenen Kationen. Der rezente Bv-Horizont ist stark versauert. Dementsprechend fällt der Anteil der austauschbar gebundenen Ionen Mg, Ca, Na und K an der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK eff.) gering aus. In ungedüngten Böden nimmt der Anteil von H und Al unter den austauschbaren Kationen im allgemeinen von unten nach oben zu und derjenige von Ca und Mg ab, verbunden mit einer in derselben Richtung verlaufenden pH-Abnahme. Zu einer zusätzlichen Versauerung am Profilstandort Steinhauserwald trug zudem die forstliche Nutzungsänderung bei, als im letzten Jahrhundert der ursprüngliche Buchenmischwald durch eine Fichtenpflanzung abgelöst wurde.

Im fossilen fBv-Horizont des Profils St. Mathias ist der pH-Wert nahezu neutral und der Anteil von Mg, Ca, Na und K an der effektiven Kationentauschkapazität beträgt annähernd 100%. Dieser augenfälligste Unterschied zwischen dem fossilen und dem rezenten Bv-Horizont hat anthropogene Ursachen. Der neutrale pH-Wert und die hohe Basensättigung im praktisch karbonatfreien fBv-Horizont lässt sich nur mit einer «Düngung», d.h. einer Nährstoffzufuhr oder einer internen Nährstofffreisetzung erklären. Als Ursache dafür genügt die Überschüttung bzw. Überdeckung des natürlich gewachsenen Bodens. Die bei der Mineralisierung von Vegetationsrückständen freigesetzten Nährstoffe werden dann nicht mehr für das pflanzliche Wachstum benötigt. Das bedeutet, dass die Gehalte von Ca, Mg und andern Nährstoffkationen in den oberen Bodenhorizonten wiederum zunehmen können, verbunden mit einem Anstieg des pH-Wertes. Dies scheint uns ein charakteristischer Effekt bei der Fossilisierung eines Bodens zu sein.

3.4. fAh-/Ah-Horizont

Der Ah-Horizont ist der mineralische Oberboden eines Bodenprofils. Der fossile fAh-Horizont ist mit 15 cm nahezu doppelt so mächtig wie der rezente Ah-Horizont. Im rezenten Ah ist der Gehalt an organischem Kohlenstoff mit 3,04 Gew.-% deutlich höher als im fossilen fAh mit 0,93 Gew.-%. Ebenfalls liegt das C/N-Verhältnis der organischen Substanz im rezenten Ah-Horizont über demjenigen des fAh-Horizontes. Diese Unterschiede sind ein Ausdruck für eine abgelaufene starke Humusdesintegration im fossilen fAh-Horizont, mutmasslich ausgelöst von der Überschüttung des gewachsenen Terrains. Bezüglich der Unterschiede des Boden-pH und des sorbierten Kationenbelages sei auf die Ausführungen im vorherigen Abschnitt verwiesen.

Der $CaCO_3$-Gehalt nimmt in einem ungedüngten, anthropogen nicht überprägten Bodenprofil von unten nach oben ab. Bei Braunerden ist die Feinerde des Ah-Horizontes diagnostischerweise karbonatfrei und der Grobboden ist ebenfalls entkalkt. Dies trifft für das Profil Steinhauserwald zu, nicht aber für das Profil in der Pfarrkirche St. Mathias, wo im fossilen fAh-Horizont 1,28

Gew.-% $CaCO_3$ gemessen werden. Dieser Anstieg des Kalkgehaltes lässt sich nur mit einem anthropogenen Kalkeintrag zu dem Zeitpunkt erklären, als der fAh-Horizont den rezenten Oberboden bildete. Die Gesamtphosphat-Konzentration ist im fossilen fAh-Horizont nur geringfügig höher als im rezenten Ah des Profils Steinhauserwald. Von einer eigentlichen Phosphatanreicherung kann nicht gesprochen werden.

3.5. Kulturschicht 2

Über einer sehr undeutlichen, horizontalen Schichtgrenze folgt am Profil Pfarrkirche St. Mathias über dem fAh-Horizont die Kulturschicht 2, die ältere von zwei am Profil angetroffenen Kulturschichten. Es handelt sich um einen von der Bodenart und der Farbe dem fAh-Horizont ähnlichen Mineralbodenhorizont mit einer Stärke von 20–30 cm. Diagnostische Kulturschichtmerkmale sind das Vorkommen von Ziegelresten, von unverwittertem oder lediglich angewittertem, kalkhaltigem Kies sowie die gegenüber dem fAh-Horizont höheren Werte für organischen Kohlenstoff, $CaCO_3$ und Gesamtphosphat. Aufgrund des ähnlichen Kationenbelages und der granulometrischen und farblichen Entsprechung des fAh-Horizontes und der Kulturschicht 2 stellt letztere möglicherweise den anthropogen stärker gestörten oberen Abschnitt eines ursprünglich mächtigeren Ah-Horizontes dar. Dies bedeutete, dass die anthropogene Überprägung des gewachsenen Bodens bis zum Bau oder Abbruch der gotischen Kirche am Profilstandort lediglich den obersten Bereich des damals rund 30 cm mächtigen Oberbodens stärker betroffen hätte. Aufgrund der undeutlichen Schichtuntergrenze und der Ähnlichkeit mit dem fAh-Horizont scheint es uns weniger wahrscheinlich, dass die Kulturschicht 2 über dem fAh-Horizont als Sand-Schluff-Kies-Gemisch (Moränenmaterial und Kulturresten) künstlich angeschüttet worden war und dann in situ verwitterte. Wir sehen die Kulturschicht 2 vielmehr als Gehhorizont oder als landwirtschaftlichen Bearbeitungshorizont an. Während diese Schicht die Terrainoberfläche bildete, wurden neben Ziegelresten auch frische Kieskomponenten und kalkhaltige Feinerde in sie eingearbeitet. Auf diese Weise lässt sich der höhere Karbonatgehalt von rund 5 Gew.-% in der Feinerde sowie das Vorkommen unverwitterter und leicht angewitterter Kieskörner erklären. Den Anstieg des Gehaltes an organischem Kohlenstoff vom fAh-Horizont zur Kulturschicht 2 und das gehäufte Auftreten von inkohlten Pflanzenresten werten wir als Hinweis, dass die Kulturschicht 2 zum Zeitpunkt ihrer Überschüttung mit der vorwiegend aus Mörtelmaterial bestehenden Kulturschicht 1 vegetationsbedeckt war. Erst der künstliche Auftrag der Mörtelschicht wird die Fossilisierung des Braunerdeprofils eingeleitet haben.

4. Die Sust an der Untergasse 20 in Zug: ein ehemaliges Speisesalzlager

Anthropogene Überprägungen von Böden können sich bodenchemisch auch in Veränderungen des Kationenbelags zeigen, beispielsweise hervorgerufen durch die Versickerung von Salzlösungen. Eine gegenüber dem natürlichen Zustand veränderte Zusammensetzung des Ionenbelages erhält sich langfristig nur dann, wenn der Boden vor der weiteren Perkolation (= Versickerung) geschützt bleibt. Anthropogene Auftragshorizonte oder Überdachungen des Bodens vermögen den erforderlichen Schutz zu bieten.

Die Tabelle 4 enthält neben den Schicht- und Horizontbezeichnungen auch die analytischen Kenndaten des untersuchten Profils in der Sust an der Untergasse 20 in Zug (Sticher et al. 1986). Zum Zeitpunkt der Feldaufnahmen und der Probenentnahme im Januar 1986 waren die mittelalterlichen Kulturschichten durch die damals laufende archäologische Untersuchung bereits abgetragen. Zuvor hatten mittelalterliche Hüttenlehm- und Brandschichten eine ca. 20 cm mächtige Decke über einer Akkumulationsschicht aus wahrscheinlich abgeschwemmtem Solummaterial gebildet. Aus dieser rund 60 cm starken Schicht wurden im Verlaufe der Grabung Streufunde späthallstättischer Keramik geborgen (Kantonsarchäologie des Kantons Zug 1986). Unter der Akkumulationsschicht lag ein fossiler terrestrischer Oberboden, der ein Verlandungssediment überprägt hatte, welches das Ende der nacheiszeitlichen Deltaablagerungen des Bohlbaches in den Zugersee markierte.

An vier Bodenproben aus verschiedenen Profiltiefen (Tabelle 4) wurden der Gehalt der austauschbaren Ionen Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium in einer Bariumchlorid-Triäthanolamin-Austauschlösung (pH 8,1) ermittelt. Da bei allen Bodenproben der pH-Wert, gemessen in 0,01 molarer $CaCl_2$-Lösung, im leicht basischen Bereich lag, kann eine 100%ige Basensättigung angenommen werden. Das heisst, der Kationenbelag besteht praktisch ausschliesslich aus K-, Na-, Ca- und Mg-Ionen, und die Summe dieser Kationen entspricht annähernd der potentiellen Austauschkapazität der Bodenprobe.

Die prozentuale Natrium-Sättigung am Austauscher erreicht maximal 18% (3,3 mäq), die Kalium-Sättigung gar 31% (5,7 mäq). Eine derart hohe Natrium- und Kalium-Belegung des Austauschers kommt im humiden Klimabereich natürlicherweise nur in versalzten Böden des Küstenbereichs vor (Scheffer und Schachtschabel 1982). Als Ursache der Bodenversalzung im Profil an der Untergasse 20 kann nur die frühere Lagerung von Salz in der Sust in Betracht kommen.

Tatsächlich regelte bereits eine Sustordnung von 1452 u.a. die Lagerung des für die Stadt Zug bestimmten Salzes

Schicht	Horizont	Schichtgrenzen	Bodenart	CaCO3	C-org.	austauschbare Kationen					pH
						K	Na	Ca	Mg	KAK pot.	
		m über Meer		Gew.-%	Gew.-%	mäq./100g Boden					CaCl2
mittelalterliche Kulturschichten		> 418.83									
Akkumulations - Schicht aus Solummaterial, mit späthall- städtischen Keramikfragmenten	fyM	418.20–418.33	sL	0.09	0.69						7.1
		418.10–418.20	sL	0.09	0.72	5.67	3.33	7.99	1.04	18.03	7.2
		418.00–418.10	sL	0.08	0.78						7.3
		417.90–418.00	sL	0.09	0.85						7.4
		417.80–417.90	suL	0.15	0.97	4.95	1.37	11.95	2.23	20.50	7.5
		417.68–417.80	suL	0.36	1.01						7.6
		417.59–417.68	suL	0.10	1.06						7.6
Verlandungssediment	frFAh	417.46–417.59	stL	0.10	1.40						7.5
	fCvAh	417.35–417.46	lS	0.10	0.61	2.30	0.69	5.94	0.92	9.85	7.4
Uebergussschichten der Deltaablagerungen des Bohlbachs	Cv	417.20–417.35	lS	3.38	0.27						7.5
		417.05–417.20	uS	27.61	0.28						7.5
	C	417.00–417.05	uS	58.06	0.06	0.48	0.08	3.83	0.25	4.64	7.6

Tab. 4. Zug-Untergasse 20, Sust. Analytische Kenndaten des Bodenprofils 8.3/107.6.

(Weber 1886). Aufgrund dieser Quelle konnte bisher angenommen werden, dass in der Sust Salz gelagert worden war. Die bodenchemische Untersuchung liefert dafür heute den Nachweis. Sie erlaubt sogar einen Rückschluss auf die Qualität des gelagerten Salzes. Bei diesem handelte es sich nicht allein um Kochsalz (NaCl). Die hohe prozentuale Kalium-Sättigung des Austauschers weist darauf hin, dass auch Kalisalz in der Sust eingelagert worden war. Die leicht basischen pH-Werte von wenig über 7 und die gleichzeitig sehr tiefen Karbonatgehalte lassen zudem annehmen, dass keine Soda (Na_2CO_3) gelagert wurde. In einem solchen Fall müsste nämlich ein deutlich höherer Boden-pH erwartet werden (Scheffer und Schachtschabel 1982).

Die Tiefenverlagerung der leicht löslichen Salze reichte mindestens bis in die obersten Übergussschichten hinunter. Die Anzahl von nur vier Bodenproben über eine Profiltiefe von 1,3 m erlaubte es allerdings nicht, die Tiefenlage einer durch die Versickerung allfällig ausgebildeten Salzfront exakt festzuhalten.

Verdankungen

Wir danken dem Amt für Denkmalpflege und Archäologie des Kantons Zug für die Unterstützung dieses Beitrages. Ein spezieller Dank geht an Frau Dr. B. Keller, von der die Initiative für die Durchführung bodenkundlich-geologischer Begleituntersuchungen bei den Grabungen im Kanton Zug ausgegangen ist.

Zusammenfassung

Die Bodendynamik ist ausschlaggebend für die Methodenwahl bei der archäologisch ausgerichteten Bodenuntersuchung. Bodenkundliche und bodenchemische Untersuchungsverfahren, welche archäologischen Fragestellungen dienstbar sein können, werden allgemein vorgestellt und diskutiert: pH, Bodenart, Bodenfarbe, Kohlenstoff und Stickstoff, Phosphat, austauschbar gebundene Kationen. Phosphatbestimmungen liefern nur dann interpretierbare Ergebnisse, wenn die Gesamtphosphat-Konzentration ermittelt wird.

Anhand zweier Beispiele aus dem Kanton Zug werden Möglichkeiten der pedologischen Interpretation archäologischer Grabungen aufgezeigt: Der Vergleich (Abb. 4) eines fossilen Bodenprofils in der Pfarrkirche St. Mathias, Steinhausen ZG, mit einem rezenten Bodenprofil auf dem gleichen geologischen Untergrund geht auf die Veränderung des chemischen Bodenzustandes bei der Fossilisierung eines Bodens ein und liefert eine bodenkundliche Interpretation der minerogenen Kulturschicht, die das Profil überlagert.

Die bodenchemischen Untersuchungen in einer Sust in der Zuger Altstadt belegen die frühere Einlagerung von Salz und weisen auf die Qualität des gelagerten Salzes hin.

Résumé

La dynamique des sols est déterminante lors du choix des méthodes d'études des sols en contexte archéologique. Les méthodes d'investigations pédologiques et pédochimiques pouvant être utiles dans la problématique archéologique sont présentées et discutées dans leurs grandes lignes: pH, nature du sol, sa couleur, carbone, azote, phosphate, cations échangeables. Les déterminations de taux de phosphates ne sont interprétables que si ceux-ci concernent l'ensemble des phosphates.

Les possibilités de l'interprétation pédologique de fouilles archéologiques sont démontrées à partir de deux exemples du canton de Zoug. La comparaison d'un profil pédologique fossile de l'église de St Mathias, Steinhausen ZG avec un profil récent sur même substrat montre les transformations chimiques d'un sol lors de la fossilisation et permet une interprétation pédologique de la couche d'abitat minérogène surmontant la séquence.

L'analyse pédochimique d'un relais de la vieille ville de Zoug permet de démontrer la présence d'un ancien dépôt de sel et donne des indications sur la qualité de ce sel.

Traduction: Ph. Morel

Herbert Bühl
Büro für Umweltgeologie und Archäogeologie
Vorstadt 28
8200 Schaffhausen

Hans Sticher
Kurt Barmettler
Labor für Bodenchemie
ETH Zentrum
8092 Zürich

Bibliographie

Amman, B., Bandi, H.G., Buser, M., Chaix, L., Joos, M., Mäglin, T., Riesen, T., Schibler, J., Schoch, W.H., Sedelmeier, J., Stampfli, H.R. und Wohlfarth-Meyer, B. (1988) Neue Untersuchungen am Kesslerloch bei Thayngen/SH. Antiqua 17, Basel.

Arbeitsgruppe Bodenkunde, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (1982) Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart.

Arrhenius, O. (1931) Die Bodenanalyse im Dienst der Archäologie. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, Teil B, 10, 427.

Bohne, H., Gröpler, P. und Dittmer, M. (1958) Beitrag zur Bestimmung der Gesamtphosphorsäure im Boden mit Überchlorsäure. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 127, 42–46.

Brochier, J.L. et Joos, M. (1982) Un élément important du cadre de vie des Néolithiques d'Auvernier-Port: le lac. Approche sédimentologique. Dans: La station littoral d'Auvernier-Port. Cadre et évolution. Auvernier 5. CAR 25, Lausanne.

Bühl, H., Sticher, H. und Barmettler, K. (1988) Pfarrkirche St. Mathias, 6312 Steinhausen, Bodenkundlich-geologische Untersuchung. Unpubl. Manuskript.

Federer, P. (1988) Räumliche Variabilität von Bodenkennwerten im Wurzelbereich von 2 landwirtschaftlichen Standorten (Diplomarbeit ETHZ, Labor für Bodenchemie, 84 S.).

Gebhardt, H. (1982) Phosphatkartierung und bodenkundliche Geländeuntersuchungen zur Eingrenzung historischer Siedlungs- und Wirtschaftsflächen der Geestinsel Flögeln, Kreis Cuxhaven. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet, Bd. 14.

Imhof, B., Jacomet, S., Joos, M., Kissling, H.R., Ritter, B. und Schibler, J. (1977) Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Spätlatène-Siedlung Basel-Gasfabrik. Regio Basiliensis 18/1, 91–134.

Jagher, R. und Joos, M. (1985) Geoarchäologische Untersuchungen an Profil 17 in Kaiseraugst/Schmidmatt. Jahresbericht aus Augst und Kaiseraugst 5, 227–232.

Joos, M. (1976a) Zur Sedimentologie von Châble-Perron II (Gemeinde Cheseaux-Noréaz). JbSGUF 59, 31–34.

– (1976b) Geologische und sedimentologische Aspekte von Yverdon – Garage Martin. In: Kaenel, G., La fouille du «Garage Martin 1973», 131–142. CAR 8, Lausanne.

– (1980) Die Profilkolonne X/42. Die neolithischen Ufersiedlungen von Twann 6, 69–112, Bern.

Joos, M. (1987) Zur Sedimentanalyse des neolithischen Profilabschnitts S/28 in Delley/Portalban II. Archéologie Fribourgeoise/Freiburger Archäologie, Chronique Archéologique/Archäologischer Fundbericht 1984, 77–85.

Kantonsarchäologie des Kantons Zug (1986) Tugium 2, 71f.

Lienemann, J. und Gebhardt, H. (1985) Phosphatgehalte und P-Bindungsformen in anthropogenen Böden Nordwestdeutschlands. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 43/I, 63–70.

Lindsay, W.L. (1979) Chemical equilibria in soils. New York.

Lorch, W. (1940) Naturwissenscahften 28, 633.

Mehlich, A. (1953) Rapid determination of cation and anion exchange properties and pHe of soils. J. Ass. Off. Agric. Chem. 36, 445–457.

Meiwes, K.-J., König, N., Khanna, P.K., Prenzel, J. und Ulrich, B. (1984) Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben 7, Göttingen.

Perrier, E.R. and Wilding, L.P. (1986) An evaluation of computational methods for field uniformity studies. Advances in Agronomy 39, 265–312.

Rehfuess, K. (1981) Waldböden. Hamburg und Berlin.

Scheffer, F. und Schachtschabel, P. (1982) Lehrbuch der Bodenkunde.[11] Stuttgart.

Schlichting, E. und Blume, H.P. (1966) Bodenkundliches Praktikum. Berlin.

Schmid, E. (1958) Höhlenforschung und Sedimentanalyse. Schriften des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Schweiz 13, Basel.

Sticher, H., Bühl, H., Presler, J. und Barmettler, K. (1986) Untergasse 20, 6300 Zug, Bodenkundlich-geologische Untersuchung. Untersuchungsbericht vom 28.2.86, unpubl.

Sticher, H., Bühl, H. und Barmettler, K. (1987a) Dorfstrasse 8, 6300 Zug, Bodenkundlich-geologische Untersuchung. Untersuchungsbericht vom 25.3.1987, unpubl.

– (1987b) Pfarrkirche St. Mathias, 6312 Steinhausen, Bodenkundlich-geologische Untersuchung. Untersuchungsbericht vom 5.10.1987, unpubl.

– (1988) Industriegebiet Sennweid, 6312 Steinhausen, Bodenkundlich-geologische Untersuchung. Untersuchungsbericht vom 15.6.1987, unpubl.

Thomas, J., Thibodeaux, L.J., Ramenofsky, A.F., Field, S.P., Miller, B.J. and Whitmer, A.M. (1988) Archaeological chemistry. The long-term migration of metals from archaeological contexts affects the movement of hazardous wastes. Environ. Sci. Technol. 22, No. 5.

Trangmar, B.B., Yost, R.S. and Uehara, G. (1985) Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy 38, 45–94.

Weber, A. (1886) Die Sihl- und Horgenerstrasse und die Sust in Zug. Zuger Neujahrsblatt, 3–16.

Wohlfarth-Meyer, B. (1987a) Geologische Aspekte bei der Interpretation archäologischer Fundstellen. JbSGUF 70, 159–170.

– (1987b) Etude géologique du cordon littoral III à Yverdon-les-Bains. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. 78, 3, 321–347.

Zölitz, R. (1982) Geographische Siedlungsprospektion in Schleswig-Holstein. Archäologisches Korrespondenzblatt 12, 517–533.

Zöttl, H.W. (1985) Waldschäden und Nährelementversorgung. Düsseldorfer Geobot. Kolloq. 2, 31–41.