

Zur Entstehung von Gehniveaus in sandig-lehmigen Ablagerungen – Experimente und archäologische Befunde

Philippe Rentzel und Gesa-Britt Narten

Schlüsselwörter

Basel (BS), Gasfabrik, Latènezeit, Mikromorphologie, trampling-Experiment, Schichtbildungsprozesse, Gehniveau, Kompaktionsspuren, Lehmboden, sandig-lehmige Substrate, siltige Einschaltungen in Polygonform.

mots clef

Bâle (ville), Gasfabrik, époque de La Tène, micromorphologie, expérience de piétinement, genèse d'une couche d'occupation, niveau de circulation, traces de compaction, sol de terre battue, substrat limono-sableux, intercalations silteuses en polygones.

key-words

Basle (city of), Gasfabrik, La Tene period, micromorphology, trampling-experiment, site formation processes, occupation level, traces of compaction, earthen floor, sandy-loamy sediments, polygonal silty intercalations.

Zusammenfassung

Ausgehend von zwei Experimentalreihen werden zuerst die Auswirkungen menschlicher Begehung auf sandig-lehmige Oberflächen vorgestellt. Die naturwissenschaftliche Auswertung der Versuche gestattet dabei Aussagen über Art, Intensität und Tendenz der Gefügeveränderungen in feuchten und trockenen Sedimenten. Untersuchungen mittels Bodendünnschliffen belegen, dass sich die mikroskopisch nachweisbaren Begehungsphänomene auf oberflächennahe, bis maximal 3 cm tief reichende Zonen konzentrieren. Unter trockenen Bedingungen beschränken sich die Auswirkungen von *trampling* auf die obersten Millimeter unterhalb des Gehniveaus, wobei sich im Vergleich zu feuchten Sedimenten eine etwas stärkere Fragmentierung der Bestandteile abzeichnet. Die Gefügeveränderungen in feuchtem Substrat sind durchwegs stärker ausgeprägt und reichen allgemein etwas tiefer. Ein sechs Wochen dauernder Feldversuch auf dem intensiv begangenen Ausgrabungsgelände von Basel-Gasfabrik führte zu einer 5–8 cm mächtigen Akkumulation von umgelagertem, durch *trampling* eingebrachtem Bodenmaterial.

Der zweite Teil der Arbeit behandelt gut konservierte archäologische Gehniveaus, deren Merkmale mit den Resultaten aus den Experimentalreihen verglichen werden. Für die einzelnen archäologischen Befunde wird versucht, die laut Gé et al. (1993) auf ein Gehniveau einwirkenden Prozesse von Anreicherung, Verlust, Umwandlung und Neuverteilung näher zu identifizieren.

Experimente, archäologische Belege und Literaturrecherchen machen deutlich, dass sich die mikroskopisch fassbaren Merkmale für *trampling* im Gefüge (Typ, Porosität, Porenraumverteilung und Porentyp), im Auftreten von horizontalen Rissen und eingeregelteten Bestandteilen, in der Bildung von Krusten, von Deformations- und Entmischungserscheinungen sowie

in mechanischer Beanspruchung (Verrundung, Zerkleinerung oder Zerstörung von Komponenten) äussern können. Unsere Beobachtungen decken sich hierbei mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen von Courty et al. (1994). Zusätzlich erbringen sie mit dem Nachweis von sog. siltigen Einschaltungen in Polygonform ein wenig bekanntes, ebenfalls auf *trampling* hindeutendes Gefügemerkmal.

abstract

Activity surfaces in sandy-loamy deposits Experiments and archaeological examples

The effects of human *trampling* on sandy-loamy surfaces are presented, based on two experimental series. The scientific analysis of the experiments allows statements on type, intensity and tendency of the changes of microstructure in humid and dry sediments. Micromorphological analyses prove that the *trampling* phenomena which can be detected microscopically are concentrated in zones near the surface or up to a depth of 3 cm at the most. In dry conditions the effects of *trampling* are limited to a few millimetres just below the activity surface, while compared to humid sediments, a stronger fragmentation of the components becomes apparent. The microstructural changes in humid sediments are more significant and generally reach somewhat deeper. A field test on the intensively trodden excavation site of Basel-Gasfabrik over a six week period resulted in an accumulation of 5 to 8 cm of reworked soil material brought in by *trampling*.

The second part of the paper deals with well preserved archaeological occupation surfaces, comparing their characteristics with the results obtained from the experimental series. The processes defined by Gé et al. (1993), that have an effect on an

activity surface, such as accumulation, depletion, transformation and redistribution, were qualified for each archaeological feature.

Experiments, archaeological evidence and literature research prove that the microscopically detectable characteristics of *trampling* can manifest themselves in microstructure, in the occurrence of horizontal cracks and horizontally oriented components, in crust formation, in deformation and reorganisation phenomena and in the results of mechanical influences (rounding, crushing or destruction of components). In this, our observations correspond with the results of former analyses by Courty et al. (1994). In addition, with the evidence of interlaced silty intercalations they provide a little known microstructural characteristic which also indicates *trampling*.

Sandy Hämmerle

Résumé

Formation d'un niveau de circulation sur substrat sablo-limoneux.

Expérimentations et comparaisons avec des structures archéologiques

Les effets du piétinement sur des sédiments sablo-limoneux sont caractérisées à l'aide de deux séries expérimentales. L'analyse géoarchéologique de ces expérimentations effectuées sur substrats humides et secs conduit à des interprétations concernant le type, l'intensité et les tendances des modifications structurales. L'étude micromorphologique met en évidence que les indices de piétinement se concentrent sur les zones superficielles, soit sur une épaisseur maximale de 3 cm sous le niveau de circulation. En milieu sec, les effets du tassement se limitent à quelques millimètres sous ce dernier, mais par comparaison avec les sédiments humides, on observe une fragmentation plus forte des composants du niveau piétiné. Sur substrat humide, les modifications de la microstructure sont mieux et plus profondément exprimées. Des expériences menées pendant six semaines sur un chantier de fouilles, dans un secteur intensément piétiné, révèlent une accumulation de 5 à 8 cm de sédiment sablo-limoneux, remanié par la circulation des travailleurs.

La deuxième partie de la contribution concerne des structures archéologiques comprenant des niveaux de circulation bien préservés. Les traits de ces derniers sont ensuite comparés avec les résultats de nos séries expérimentales. En outre, pour chaque structure archéologique, on a essayé d'identifier les différents processus tels qu'accumulation, érosion, transformation et redistribution qui, selon Gé et al. (1993), peuvent contribuer à la genèse d'un niveau de circulation. L'expérimentation, l'analyse des structures archéologiques et des recherches bibliographiques montrent que les traits microscopiques dus au piétinement peuvent se marquer au niveau de la microstructure (type, porosité, distribution et type de pores) par l'apparition de fentes horizontales et de composants allongés posés « à plat », par des phénomènes de déformation et de réorganisation, par des effets mécaniques sur les composants, mais aussi par la for-

mation de croûtes. Nos observations sont en accord avec les résultats de Courty et al. (1994). De plus, notre contribution a permis la mise en évidence d'intercalations silteuses en polygones, un trait micromorphologique méconnu qui signale également un tassement dû au piétinement.

Michel Guélat

Inhalt

108	Einführung
109	1. Material und Methoden
109	2. Experimentelle Beobachtungen
109	2.1 Laborversuche
113	2.2 Feldversuche
118	2.3 Diskussion und Schlussfolgerungen
119	3. Ausgewählte archäologische Befundsituationen
119	3.1 Basel-Gasfabrik, Fabrikstrasse 5
120	3.2 Basel, Bäumleingasse 14
120	3.3 Basel, Spalenberg 53
120	3.4 Kaiseraugst, Kastellthermen
120	3.5 Kaiseraugst, Restaurant Löwen
121	3.6 Kaiseraugst, Im Sager
121	3.7 Ergebnisse
122	4. Fazit
124	Literatur
125	Abbildungsnachweise
126	Anmerkungen

Einführung

Im Rahmen naturwissenschaftlicher Analysen an archäologischen Sedimenten und Befunden gilt ein Hauptaugenmerk jeweils dem Verständnis derjenigen Prozesse, die bei der Schichtbildung eine entscheidende Rolle gespielt haben. Nicht selten stellt sich im Verlauf solcher Untersuchungen die Frage nach der Lokalisierung der archäologischen Gehhorizonte, die sich – als ehemals begangene und verhärtete Oberflächen – bei entsprechender Konservierung über sehr lange Zeiträume erhalten können.

Während sich im Grabungsbefund das an der Oberkante von Strassenbelägen, von Mörtel- oder eindeutigen Lehmböden befindliche Gehniveau meist ohne Mühe erkennen und interpretieren lässt, sind die diskreten Gehhorizonte, beispielsweise solche, die nicht an konstruierte Böden gebunden sind, ungleich schwieriger auszumachen¹. Um auf archäologischen Ausgrabungen diesem methodischen Problem begegnen zu können, bediente sich Bordes der makroskopisch sichtbaren Artefaktverteilung und definierte ein Gehniveau einschränkend als «eine erkennbare Oberfläche, auf welcher der (jungpaläolithische) Mensch während einer Zeitspanne lebte, die so lange angedauert haben muss, dass aufgrund des Verteilungsmusters der Artefakte eine Rekonstruktion der menschlichen Aktivitäten möglich ist»².

Erst in jüngerer Zeit wurde es dank mikromorphologischer Sedimentuntersuchungen möglich, durch *trampling*³ bedingte

Kompaktionsspuren innerhalb von archäologischen Sedimenten sicher nachzuweisen, wobei die theoretischen, d. h. die die veränderte Bodenstruktur betreffenden Grundlagen unter anderem aus dem Forschungsbereich der Agrarpedologie stammen⁴. Wesentliche Erkenntnisse über Merkmale und Auswirkungen von Begehungsspuren in archäologischen Sedimenten sowie Bildungsbedingungen von *trampling*-Niveaus legten Gé et al. (1993) und Matthews (1995) vor. Ihre Informationen bezogen sie dabei aus mikroskopischen Beobachtungen an einer Vielzahl gut erhaltener archäologischer (Lehmboden-) Befunde, vorab von ariden Gebieten. In ihrer Arbeit definierten Gé et al. das Gehniveau allgemein gültig, als eine zwischen Lithos-/Biosphäre und Atmosphäre liegende Grenzfläche, die durch menschliche Einwirkungen sowie weitere, interne und externe Faktoren beeinflusst wird⁵. Zu diesen, auf einen Gehhorizont einwirkenden Einflüssen werden von denselben Autoren die vier folgenden Prozesse gezählt:

- Anreicherung
- Verlust
- Neuverteilung
- Umwandlung

Auch in Fundstellen auf Basler Stadtgebiet erbrachten mikromorphologische Sedimentuntersuchungen mehrfach den Nachweis von Kompaktionsspuren, die als Hinweise auf menschliche Begehung gedeutet wurden⁶.

Um die teilweise komplexen archäologischen Befunde in Basel-Gasfabrik hinsichtlich allfälliger *trampling*-Spuren besser zu verstehen, entschlossen wir uns, eine kleine Versuchsreihe zu diesem Problemkreis durchzuführen. Ziel der Untersuchungen war die mikroskopische Charakterisierung der Veränderungen in sandig-lehmigen Sedimenten unter Einfluss effektiver sowie simulierter Begehung. Über diese, trotz fehlender statistischer Basis, doch recht aufschlussreichen Ergebnisse wird im Folgenden berichtet. Im anschliessenden Auswertungsteil (Kap. 3) werden die experimentell gewonnenen Resultate einigen ausgewählten archäologischen Befunden mit erhaltenen Begehungsspuren gegenübergestellt und kommentiert.

1. Material und Methoden

Um die Auswirkungen der modern erzeugten Begehungsspuren an sandig-lehmigen Sedimenten zu studieren, haben wir insgesamt neun mikromorphologische Bodenproben auf der Ausgrabung im Gelände der spätlatènezeitlichen Fundstelle Basel-Gasfabrik entnommen⁷.

Für die Herstellung der simulierten Kompaktionsspuren sind sieben Sedimentblöcke mit Hilfe von Eisenrahmen aus einem kalkfreien, sandigen Lehm herausgestochen und ins Labor gebracht worden⁸. Hier ist eine erste Serie von drei Proben in angetrocknetem Zustand⁹ unverändert belassen (Blindprobe To, Kompaktion während 0 Minuten), beziehungsweise während 5 Minuten (T5) und 15 Minuten (T15) mit einem Eisenstempel von oben her kontinuierlich bestossen worden¹⁰.

Drei weitere Proben haben wir zu Beginn der nächsten Versuchsreihe mit je 0,1 Liter Wasser benetzt und über die gleichen

Zeiträume kompaktiert (Proben Fo, F5 und F15). Sedimentblock FH wurde in der Mitte waagrecht halbiert und auf der entstandenen Grenzfläche mit ausgesiebten Holzkohlen von 1–4 mm Durchmesser belegt. Danach hat man den leicht befeuchteten Block wieder zusammengesetzt und während 5 Minuten von oben her bestossen¹¹.

Im Gegensatz zur simulierten Kompaktion unter Laborbedingungen stammten die Proben einer zweiten Experimentreihe aus einem tatsächlich, von den Ausgräbern begangenen Bereich. Die Entnahme von zwei Sedimentblöcken erfolgte dort nach sechswöchiger Versuchsdauer und betraf je eine begangene Zone sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Grabungszeltes.

Im Hinblick auf eine gefügekundliche Analyse der experimentell entstandenen Kompaktionsspuren wurden alle neun Bodenproben nach Abschluss der Versuche komplett getrocknet und mit Hilfe eines dünnflüssigen Epoxydharzes gefestigt¹². Die so gehärteten und konservierten Sedimentblöcke sind anschliessend mittels einer Diamantsäge aufgetrennt, danach zu polierten Anschliffen und zu mikroskopischen Dünnschliffen verarbeitet worden¹³. Alle weiteren optischen Untersuchungen erfolgten mit Hilfe von Binokular und Polarisationsmikroskop in einem Vergrößerungsbereich zwischen 8- und 1000-fach¹⁴.

2. Experimentelle Beobachtungen

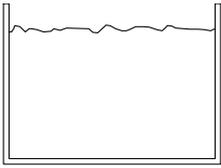
2.1 Laborversuche

Eine Auswahl der wichtigsten Ergebnisse simulierter Begehung auf angetrockneten Substraten findet sich in Abb. 1 zusammengestellt. Bei der Blindprobe To handelt es sich um einen ungeschichteten, kalkfreien, feinsandigen Lehm, der vorab aus eckigen Quarzkörnern von 0,1 bis maximal 0,4 mm Durchmesser, verwitterten Glimmerplättchen und vereinzelt Eisenauflösungen besteht. Die Porosität liegt bei 15–20% und zeichnet sich durch Kanäle und Kammern von bis 3 mm Durchmesser aus. Aus bodenkundlicher Sicht liegt ein gelbbrauner Verwitterungshorizont¹⁵ vor, der aus kalkhaltigen Hochflutsanden entstanden ist und der eine durch Verwitterung neugebildete Tonfraktion führt. Letztere findet sich sowohl in der Matrix, als auch in Form von fein geschichteten Porenbelägen entlang von Hohlräumen (Abb. 2).

Trockenes Substrat

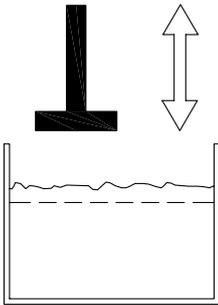
Eine 5 Minuten dauernde Bearbeitung dieses Bodenhorizontes führte in Probe T5 zu einer Gefügeveränderung der obersten 3–5 mm (Schicht a). Es fällt auf, dass in Schicht a die grossen Kanäle und Kammern weitgehend verschwunden sind und die Porosität um rund 5% abgenommen hat. Die grössten Hohlräume messen noch 0,5 mm im Durchmesser, wobei die mittlere Grösse der Poren bei 0,1–0,2 mm liegt. Ferner besitzen die in der Blindprobe To zumeist rundlichen Porenräume nach erfolgter Kompaktion vermehrt längliche oder polykonkave Formen (Abb. 3). Tendenziell ist auch eine horizontale Ausrichtung von grobsandigen Partikeln und eine leichte Fragmentierung

Probe T0 (0 min Bearbeitungszeit)



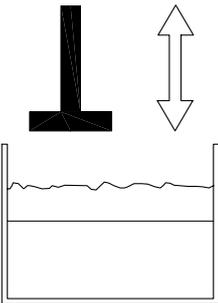
Schichtung	Gefüge	Feinanteil
Keine Schichtung.	Porosität: 15-20 %. Kammern und Kanäle bis 3 mm Durchmesser. Feinanteil nicht homogen verteilt.	Tonsubstanz ist netzstreifig in der Matrix angeordnet und als fein geschichtete Beläge in den Porenräumen vorhanden.

Probe T 5 (5 min Bearbeitungszeit)



Schichtung	Gefüge	Feinanteil
Andeutungsweise Einregelung grobsandiger Anteile.	Porosität: 10-15 %. Kammern und Kanäle bis 0,5 mm Durchmesser.	Wie T0.
a 0-5 mm	Diffuse Untergrenze.	
b > 5 mm	Keine Schichtung.	Wie T0.

Probe T 15 (15 min Bearbeitungszeit)



Schichtung	Gefüge	Feinanteil
Andeutungsweise Einregelung grobsandiger Anteile.	Porosität: 5-10 %. Die obersten 3 mm mit granulärem Gefüge.	Tonsubstanz mit kornstreifiger Anordnung, nur noch in der Matrix vorhanden.
a 0-12 mm	Diffuse Untergrenze.	
b > 12 mm	Keine Schichtung.	Wie T0.

Abb. 1 Resultate der experimentellen Kompaktion unter Laborbedingungen. Simulierte Begehung mit Hilfe eines Eisenstempels auf trockenen, sandig-lehmigen Sedimenten, während 0 Minuten (ohne Bearbeitung), während 5 und während 15 Minuten.

der Eisenausfällungen festzustellen. In einer Tiefe von mehr als 5 mm sind, mit unscharfem Übergang, kaum Veränderungen des Gefüges in Schicht b nachweisbar¹⁶. Eine Kompaktion über 15 Minuten hat eine weitere Abnahme der Porosität und die Bildung eines granulären Gefüges unter der bearbeiteten Oberfläche zur Folge. Die deutlichsten Gefügeveränderungen sind in den obersten 3 mm zu beobachten, wo sich eingeregelter Sandpartikel konzentrieren und horizontale Trockenrisse vorherrschen (Abb. 4). Mit diffus verlaufender Untergrenze treten Kompaktionsspuren nachweislich bis in eine Tiefe von 9–12 mm auf. Innerhalb dieses Bereiches lässt sich eine verstärkte mechanische Beanspruchung feststellen, die zu einer Fragmentierung der Eisenausfällungen und auch zu einer Auflösung der feingeschichteten, ehemals an die Porenräume gebundenen Tonbeläge geführt hat. Diese Tonsubstanz ist in Probe T15 recht homogen im Sediment verteilt und zeigt eine kornstreifige Ausrichtung um die Sandpartikel.

Feuchtes Substrat

Abb. 5 gibt die wesentlichsten Ergebnisse der im feuchten Zustand behandelten Sedimentblöcke wieder. Blindprobe Fo zeigt mit Ausnahme einiger oberflächlicher Trockenrisse keinen signifikanten Wandel im Gefüge. Hingegen besitzt Probe F5 schon ausgeprägte Verdichtungsspuren bis in eine Tiefe von rund 10–15 mm (Schicht a). Hier entstanden durch die fünf Minuten anhaltende Bearbeitung Zonen mit massiver Mikrostruktur und ein mehrheitlich horizontal ausgerichtetes Rissgefüge (Abb. 6). Überdies sind die feingeschichteten, tonigen Porenbeläge zerstört und in die Matrix eingearbeitet worden. Parallel ausgerichtete Sandkörner geben diffuse, teils horizontal, teils schräg verlaufende Sedimentstrukturen an. Auch in dieser Bodenprobe verläuft die Untergrenze zum nicht veränderten Substrat diffus und leicht unregelmässig. Sehr markante und auch bereits von bloßem Auge sichtbare Gefügeveränderungen besitzt die während 15 Minuten bestossene Probe F15. Die Bearbeitung hat hier

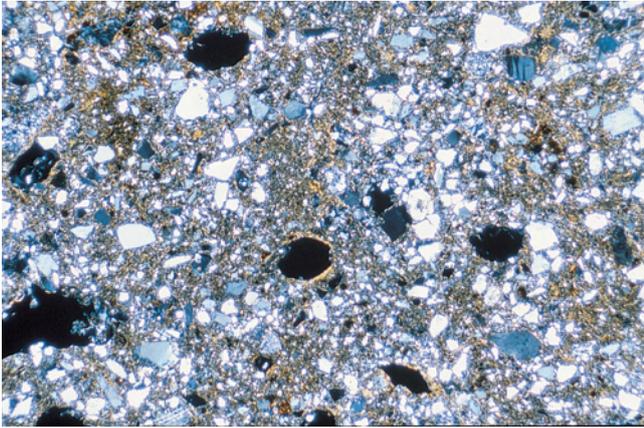


Abb. 2 Mikrofoto der Probe T0 (Ausgangssituation). Im Übersichtsbild erkennt man einen kalkfreien, sandigen Lehm mit Quarzkörnern (graublau und weisse Objekte) und gelber Ton-substanz. Letztere befindet sich sowohl in der Matrix als auch in Form von Porenbelägen entlang der (schwarzen) Hohlräume. Bildbreite 4,4 mm, gekreuzte Polarisationsfilter (XPL).

zu einem rund 20 mm mächtigen kompakten Bereich mit unregelmässiger, gewellter Oberfläche geführt. Zusätzlich zu den aus Probe F5 bekannten Merkmalen lassen sich Deformationen in Form von Mulden und Eindellungen erkennen (Abb. 7). Die Porosität ist sehr niedrig und schwankt zwischen 1–3 %, wobei die Poren meist als subhorizontale, dünne Risse vorliegen. Mikroskopische Untersuchungen belegen ausserdem eine Neuorientierung der Tonsubstanz. Letztere findet sich ausschliesslich in der Matrix und nimmt stellenweise eine parallelstreifige, dem Deformationsverlauf folgende Ausrichtung ein.

Probe FH, der man zu Beginn des Versuches eine Lage ausgesiebter Holzkohlen beigefügt hat, zeigte nach 5 Minuten dauernder Kompaktion die selben Gefügeveränderungen, wie sie von Probe F5 her bekannt sind (Abb. 8). Bezüglich des Zustan-

Abb. 4 Mikrofoto der Probe T15, Oberfläche der Schicht a. Zu-stand nach Kompaktion während 15 Minuten, trockenes Substrat. Der kompaktierte Bereich zeichnet sich durch eine sehr geringe Porosität sowie oberflächlich verlaufende, horizontale Risse ab. Weitere Merkmale sind eingeregelt Sandkörner und ein granu-läres Gefüge unter der Grenzfläche. Die gelbe Tonsubstanz ist komplett aufgearbeitet und befindet sich ausschliesslich in der Matrix. Bildbreite 2,2 mm, XPL.

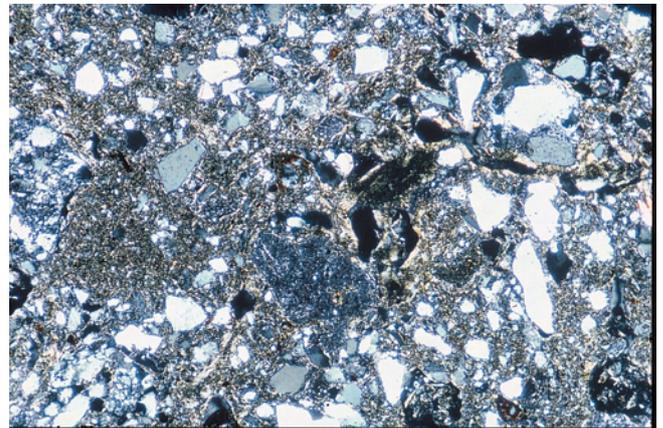
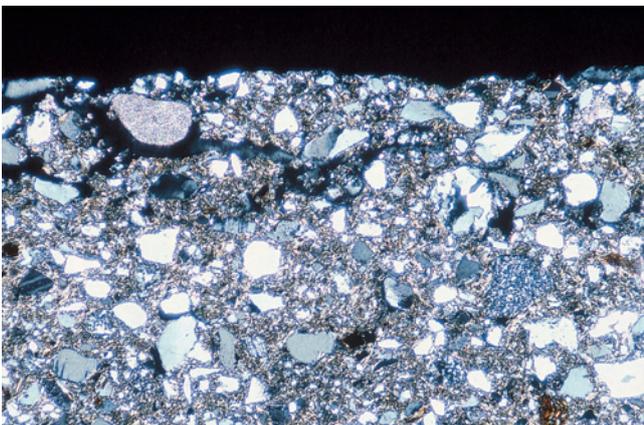


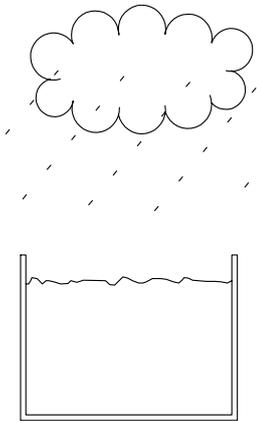
Abb. 3 Mikrofoto der Probe T5, Schicht a. Zustand nach Kompaktion während 5 Minuten, trockenes Substrat. Die Porenräume (schwarze Zonen) zeigen im Vergleich zu Probe T0 eine deutliche Abnahme des Durchmessers und neigen zu eckigen bis polykon-kaven («geschlossenen») Formen. Gelbe Tonsubstanz befindet sich in der Matrix und als Porenbeläge. Bildbreite 2,2 mm, XPL.

des und der Verbreitung der kompaktierten Holzkohle lassen sich drei Tatsachen hervorheben. Zum Einen hat eine starke Zertrümmerung stattgefunden, so dass die meisten Holzkohlepartikel nur noch zwischen 0,02–0,1 mm gross sind und lediglich in Einzelfällen eine Kantenlänge von 2 mm aufweisen (Abb. 9). Zum Andern besitzt das ursprünglich mehr oder weniger horizontale Holzkohleband nach erfolgter Kompaktion eine gewellte, unregelmässige Form. Schliesslich lässt sich auch eine Mobilisierung der Mikroholzkohlen feststellen. Letztere sind nicht nach unten eingedrückt, sondern vielmehr innerhalb des Sedimentes nach oben verlagert worden. Dies äussert sich in einer recht heterogenen, vor allem entlang von Poren erfolgten Ansammlung von Holzkohlefaltern, deren Anteil in Schicht a gesamtthaft rund 2 % beträgt¹⁷.

Bilanz

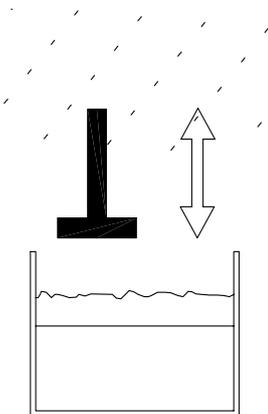
Zusammenfassend können wir festhalten, dass sich anhand von sieben Proben der Laborreihe einige Tendenzen hinsichtlich der Reaktion von sandig-lehmigen Ablagerungen bei simulierter Begehung aufzeigen liessen. So waren die Gefügeveränderungen in feuchtem Substrat durchwegs stärker ausgeprägt und reichten allgemein etwas tiefer. Demgegenüber reduzierten sich die Auswirkungen von *trampling* bei trockenen Bedingungen auf die obersten Millimeter, wobei aber offenbar eine vermehrte Fragmentierung der weniger harten Bestandteile – darin eingeschlossen auch die sandig-lehmigen Bodenaggregate – erfolgte.

Aufgrund der Anordnung dieser ersten Versuchsreihe liessen sich von den vier theoretisch auf einen Gehhorizont einwirkenden Prozesse (Anreicherung, Verlust, Umwandlung und Neuverteilung) nur zwei feststellen. Umwandlungen betrafen dabei vorab das Gefüge, während eine Neuverteilung vermehrt bei der Organisation der Bestandteile und bei der Anordnung der Tonmatrix gewirkt hat. Insgesamt liess sich also dokumentieren, dass die Auswirkungen einer nicht lang anhaltenden Be-



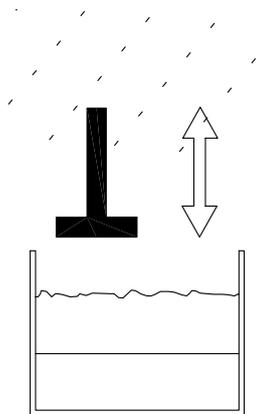
Probe F0 (keine Bearbeitung)

Schichtung	Gefüge	Feinanteil
Keine Schichtung.	Oberste 2-3 mm mit horizontalen Rissen. Porosität: 15-20 %. Kammern und Kanäle bis 3 mm Durchmesser. Feinanteil nicht homogen verteilt.	Tonsubstanz ist netzstreifig angeordnet, vorhanden in der Matrix und entlang von Hohlräumen.



Probe F 5 (5 min Bearbeitungszeit)

Schichtung	Gefüge	Feinanteil
Grobsandige Bestandteile meist parallel eingeregelt. Diffuse Untergrenze.	Oberste 2-3 mm mit horizontalen Rissen. Porosität: 1-4 %. Massive Mikrostruktur, längliche Porenräume.	Tonsubstanz zur Hauptsache in der Matrix vorhanden.
a 0-10 mm		
b > 10 mm	Wie F0.	Wie F0.



Probe F 15 (15 min Bearbeitungszeit)

Schichtung	Gefüge	Feinanteil
Grobsandige Bestandteile meist parallel eingeregelt. Diffuse Untergrenze.	Oberste 2-3 mm: horizontale Risse, Deformationsspuren, Entmischungerscheinungen. Porosität: 1-3 %. Längliche Risse, streifiges Gefüge mit horizontaler Ausrichtung.	Tonsubstanz nur noch in der Matrix vorhanden.
a 0-20 mm		
b > 20 mm	(Dünnschliff teilweise ausgebrochen.)	

Abb. 5 Resultate der experimentellen Kompaktion unter Laborbedingungen. Simulierte Begehung mit Hilfe eines Eisenstempels auf feuchten, sandig-lehmigen Sedimenten während 0 Minuten (ohne Bearbeitung), während 5 und während 15 Minuten.

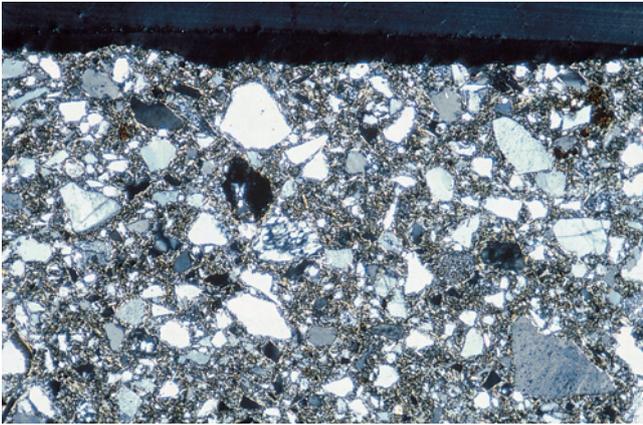


Abb. 6 Mikrofoto der Probe F5, Oberfläche der Schicht a. Zustand nach Kompaktion während 5 Minuten, feuchtes Substrat. Der kompaktierte Bereich zeigt eine massive Mikrostruktur (Porosität < 2%) und eine homogen in der Matrix neuverteilte Tonsubstanz. Bildbreite 2,2 mm, XPL.

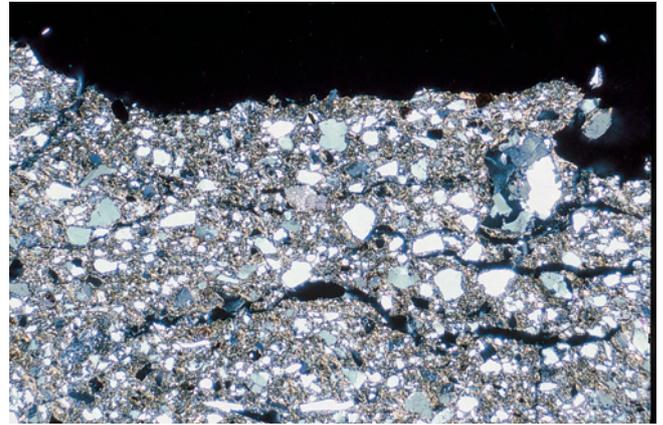


Abb. 7 Mikrofoto der Probe F15, Oberfläche der Schicht a. Zustand nach Kompaktion während 15 Minuten, feuchtes Substrat. Die Kompaktionsspuren äussern sich in gewellter, unregelmässiger Oberfläche, massiver Mikrostruktur und ausgeprägtem horizontalem Rissgefüge. Bildbreite 4,4 mm, XPL.

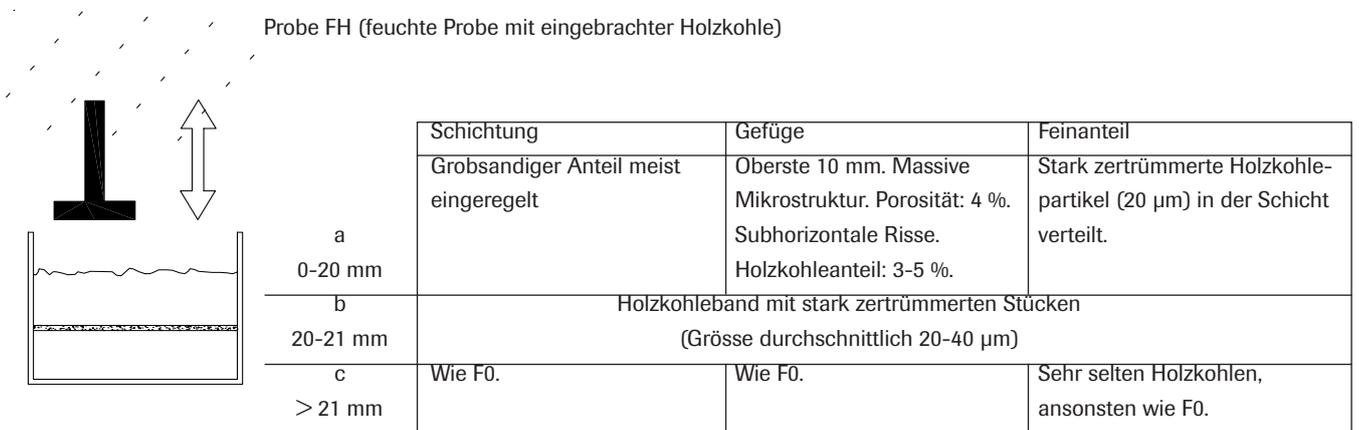


Abb. 8 Resultate der experimentellen Kompaktion unter Laborbedingungen. Simulierte Begehung eines feuchten, sandig-lehmigen Sedimentes mit zentraler Holzkohleschicht, während 5 Minuten.

gehung – bei fehlender Akkumulation von (unter den Sohlen) eingebrachtem Fremdmaterial – auf die obersten 2–3 cm unterhalb des Laufniveaus beschränkt bleiben.

2.2 Feldversuche

Während der archäologischen Ausgrabungen in Basel-Gasfabrik wurde am Rande des Grabungszeltes ein zwischen 1 m bis maximal 2,5 m breiter Streifen bis auf den fundleeren grauen Hochflutsand abgetragen. Die dadurch entstandene, leicht reliefierte Oberfläche lag sowohl ausserhalb als auch innerhalb des überdachten Areals und wurde in den folgenden 6 Wochen von mehreren Ausgräbern täglich betreten (Abb. 10).

Anreicherung und Neuverteilung

Im begangenen Bereich sammelte sich während der Dauer des Experimentes über der ursprünglichen Oberfläche stellenweise bis zu 8 cm eingetragenes und kompaktiertes Feinsediment an (Abb. 11). Dieses auffällige und in seiner Form nicht vorbehaltslos

Zur Entstehung von Gehniveaus in sandig-lehmigen Ablagerungen

auf einen archäologischen Befund übertragbare Resultat erklärt sich durch die Tatsache, dass die intensiv betretene Versuchsfläche unmittelbar neben einem 80 cm hohen Sedimentblock mit intakter archäologischer Schichtenfolge lag. Letzterer wurde im Verlauf des Experimentes von Hand schichtweise abgebaut, was zu einem zusätzlichen – und unerwarteten – Eintrag von Erdmaterial auf den anfänglichen Gehhorizont führte. Aus diesem Grund lag bei Abschluss des Versuches das zuletzt begangene Gehniveau gegenüber der Ausgangssituation zwischen 5 cm bis maximal 8 cm höher.

Unterschiedliche geologische Substrate

Die Versuchsanordnung hatte zur Folge, dass sich die Auswirkungen von Kompaktion an verschiedenen und teils auch miteinander vermischten Sedimenttypen studieren liess. Wie das schematische Profil zeigt (Abb. 11), bildete sich der initiale Gehhorizont in Schicht I, einem kalkhaltigen Feinsand mit hohem Siltanteil und sehr spärlicher Tonfraktion. Im nachfolgend akku-

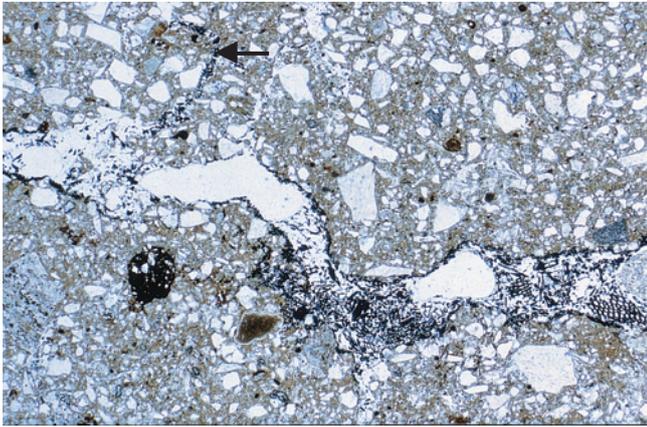


Abb. 9 Mikrofoto der Probe FH, Schichten a, b und c. Zustand nach Kompaktion während 5 Minuten, feuchtes Substrat mit Holzkohleschicht. In der Bildmitte erkennt man, wie die Kompaktion zu sehr starker Fragmentierung der Holzkohlen in Schicht b geführt hat. Entlang vertikaler Risse sind Mikroholzkohlen intra-sedimentär auch nach oben gewandert (Pfeil). Bildbreite 4,4 mm, parallele Polarisationsfilter (PPL).

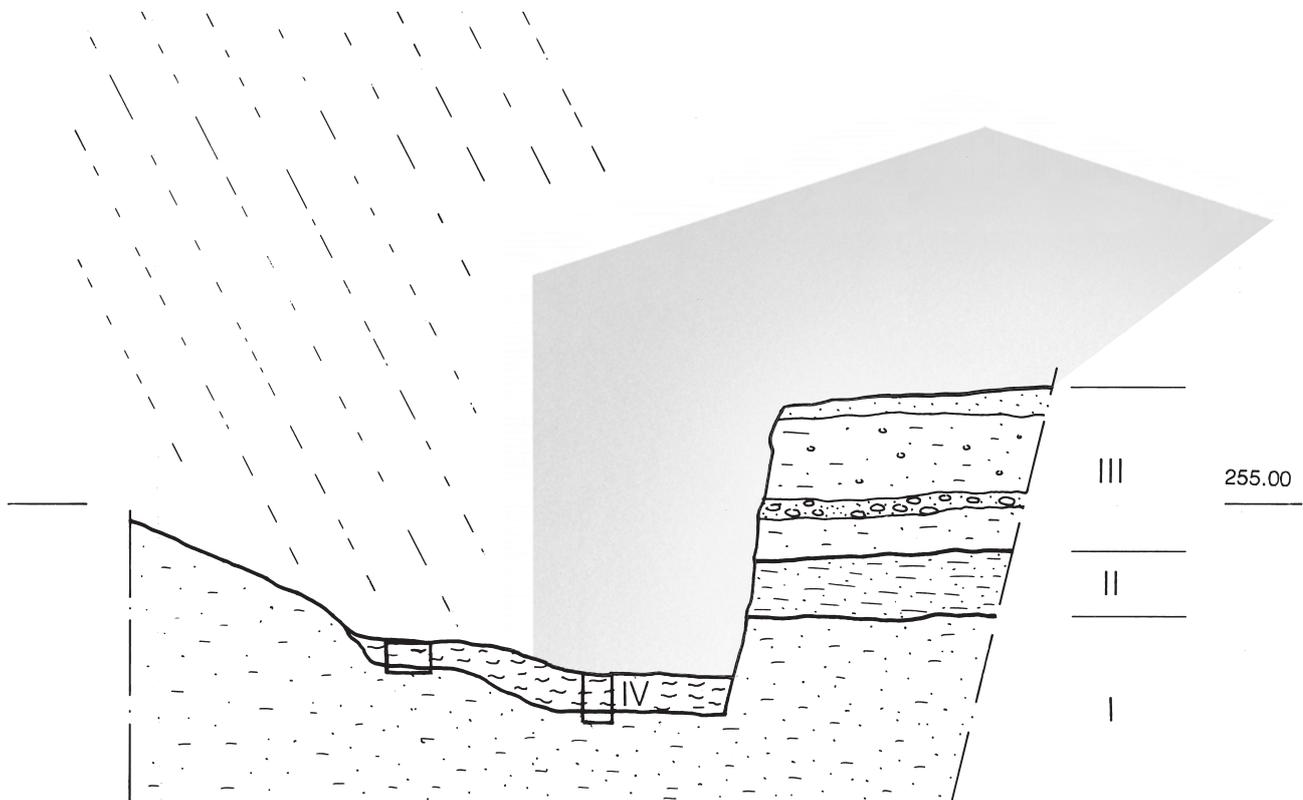


Abb. 10 Basel-Gasfabrik, Grabung 1996/7. Feldexperiment zur Entstehung von modernen Gehnniveaus, Zustand nach Abschluss des Experimentes. Die während 6 Wochen begangene Versuchsfläche erstreckt sich entlang des linken und unteren Bildrandes. Im Bildzentrum erkennt man das Endplanum der archäologisch untersuchten Fläche. Zur Lage der Bodenproben vgl. auch Abb. 11.

Abb. 11 Basel-Gasfabrik, Grabung 1996/7. Feldexperiment zur Entstehung von modernen Gehnniveaus. Schematischer Querschnitt mit rechts intakter archäologischer Schichtenfolge und links dem begangenen Bereich mit akkumuliertem Bodenmaterial. – Massstab 1:20. Schicht IV hat sich im Verlauf des Abbaus der daneben liegenden Schichtenfolge gebildet. Probe 96/7/11 stammt aus dem witterungsgeschützten Bereich innerhalb des Zeltes, Probe 96/7/12 ausserhalb. Vgl. auch Abb. 10.

Legende

- I Siltiger, leicht lehmiger Feinsand, archäologisch steril. Hochflutsand, leicht verwittert.
- II Gelbbrauner, lehmiger Sand, archäologisch steril. Verwitterter Hochflutsand, B-Horizont.
- III Dunkelbraune, sandige Lehme mit variablem Kies- und Steinanteil, holzkohlehaltig. Latènezeitliche Schichten.
- IV Gemisch aus Schichten I, II und III. Während des Abbaus der archäologischen Fläche durch Begehung eingetragenes und umgelagertes Sediment. Das initiale Gehnniveau liegt auf der Grenzfläche von Schicht I zu IV.



mulierten und durch die Begehungen umgelagerten Sediment (Schicht IV) dominierte hingegen zur Hauptsache Material aus dem archäologischen Schichtkomplex (Schicht III), der sich aus einem braunen, feinsandigen Lehm mit variablem Kiesanteil und diversen anthropogenen Komponenten wie Holzkohlen, Knochen oder Keramik zusammensetzt. In Schicht IV fanden sich zudem Aggregate aus dem verwitterten, gelblichen Hochflutsand der Schicht II, bei der es sich aus bodenkundlicher Sicht um einen kalkfreien Tonanreicherungshorizont mit feinsandiger, tonig-lehmiger Textur handelt¹⁸. Die durch Verwitterung neugebildete Tonsubstanz befindet sich – im natürlichen Befund – sowohl in der Matrix, als auch in den Porenräumen, wo sie in Form orientierter, fein geschichteter Tonbeläge vorliegt.

Ergebnisse

Mikroskopische Beobachtungen an Probe 96/7/11, die dem überdachten Bereich entstammt, lassen folgende Schlüsse zu (Abb. 12a):

Die Begehungsspuren der Schicht I sind von der Oberkante bis in eine Tiefe von rund 10 mm zu verfolgen (Schicht Ia), wobei die Untergrenze zum nicht kompaktierten Sediment diffus verläuft. Gegenüber dem natürlichen Hochflutsand der Schicht Ib erkennt man in der begangenen Zone Ia ein verändertes Bodengefüge mit geschlossenen, teilweise «eingedrückten» (polykonkaven) Porenräumen. Ferner lässt sich auch eine Abnahme der Grösse sowie des prozentualen Anteils der Hohlräume festhalten (Abb. 13). Sehr vereinzelt liegen zudem schlecht ausgebildete siltige Einschaltungen in Polygonform vor, was auf eine markante Kompaktion hinweist¹⁹. Die auffallend deutliche Obergrenze von Schicht Ia verläuft nahezu horizontal. In diesem obersten Abschnitt von Schicht Ia konzentrieren sich feinst fragmentierte Holzkohlepartikel, die ursprünglich aus dem archäologischen Schichtpaket stammen und unter den Schuhen der Ausgräber verschleppt wurden.

Fast identische Angaben zum Gefüge gelten auch für die durch *trampling* akkumulierte und kompaktierte Schicht IVb, die im Unterschied zu Schicht Ia Feinkies und einen etwas höheren Tonanteil führt. Die Porosität ist mit rund 3% sehr niedrig, und es treten Zonen mit massiver Mikrostruktur, d. h. Bereiche ohne Porenräume auf. Anhand der polierten Bodenprobe (Abb. 12a) lässt sich makroskopisch eine Schichtung erahnen, die auf der Präsenz von undeutlichen Holzkohlestraten gründet.

Auch in der darüber liegenden Schicht IVa lassen sich die selben Merkmale beobachten: Geringe Porosität, massive Mikrostruktur und polykonkave Hohlräume sind deutliche Anzeiger für *trampling*. Es zeigt sich ferner, dass die einzelnen, aus der Grabungsfläche eingetragenen Bodenbrocken nicht komplett homogenisiert, sondern nur schwach miteinander vermischt wurden. So liegen in mehreren Fällen linsenförmige, «ausgequetschte» und ineinander verzahnte Aggregate von feinsandig-lehmiger Textur vor (Abb. 14). Zusammen mit den horizontal verlaufenden Rissen markieren sie eine undeutliche Schichtung.

Die zweite, ausserhalb des Grabungszeltes geborgene Bodenprobe 96/7/12 weist Kompaktionsspuren auf, die, wiederum

ausgehend von der Oberfläche der Schicht I, wenig über 20 mm tief ins Sediment hinabreichen (Abb. 12b)²⁰. Vergleicht man diese durch *trampling* hervorgerufenen Verdichtungsspuren mit denjenigen der witterungsgeschützten Probe 96/7/11, so fallen mehrere Unterschiede auf: In den obersten Millimetern von Schicht Ia treten hier horizontal ausgerichtete Komponenten, plastische Verformungen des Feinanteils (Eindellungen, Einwölbungen) sowie eingearbeitete Holzkohlesplitter auf. Zusätzlich lassen sich auch ausgeprägte siltige Einschaltungen in Polygonform beobachten (Abb. 15). Hierbei handelt es sich um Gefügeveränderungen, bzw. strukturelle Neubildungen, die sich als Feinsedimentanreicherungen um eine saubere, zumeist sandige Kernzone abzeichnen.

Die darüber liegende, knapp 6 cm mächtige Schicht IV resultiert wiederum aus Akkumulation und Umlagerung von Sediment während der sechswöchigen Versuchsdauer. In allen Abschnitten (IVa–IVd) überwiegt ein porenarmes Gefüge mit massiver, teils auch kaverner²¹ Mikrostruktur sowie gelegentlichen polykonkaven Poren. Auch siltige Einschaltungen in Polygonform treten auf. Im Vergleich zur Probe 96/7/11 beobachten wir hier eine markant stärkere Durchmischung, was in einzelnen Schichten eine komplette Homogenisierung der drei unterschiedlichen Sedimenttypen (aus Schicht I–III) zur Folge haben kann. Insbesondere beim Material aus dem Verwitterungshorizont (II) sind die ehemals fein geschichteten und an die Porenräume gebundenen Tonbeläge zerstört und in die Sedimentmatrix eingearbeitet worden. Obschon Schichtungen nicht oder nur andeutungsweise erkennbar sind, vermitteln die häufigen horizontalen Risse den Eindruck einer insgesamt stratifizierten und sukzessiv gewachsenen Ablagerung. Hingegen finden sich keine Hinweise auf tiefgründige, d. h. mehrere Zentimeter hinabreichende Deformationen oder Vermischungen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die beiden Proben makroskopisch sehr ähnlich sind, aus mikroskopischer Sicht jedoch leichte Differenzen bezüglich der Ausprägung und Stärke der Begehungsspuren zeigen. Die Tatsache, dass diese Unterschiede nicht allzu stark ausgefallen sind, dürfte vermutlich im ähnlichen Feuchtegehalt der beiden Proben zu suchen sein, denn auch das im überdachten Bereich begangene und aufgetragene Sediment war während des Experimentes nicht komplett ausgetrocknet, sondern enthielt immer eine gewisse Restfeuchte. Somit sind unsere Ergebnisse aus der witterungsgeschützten Zone nicht direkt mit den beispielsweise für aride Gebiete geltenden *trampling*-Merkmalen vergleichbar²².

2.3 Diskussion und Schlussfolgerungen

Vergleicht man die Ergebnisse der Feld- mit denjenigen der Laborversuche, so ergeben sich einige Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede. So haben sowohl die effektiven, als auch die simulierten Begehungen in allen Proben zu Veränderungen im sandig-lehmigen Sediment geführt. Diese Modifikationen können das Gefüge, die Schichtung und die Zusammensetzung betreffen. Anhand der Versuche wurde zudem klar, dass die *trampling*-Erscheinungen sich auf eine oberflächennahe, zwischen 5 mm und wenig über 20 mm mächtige Zone beschrän-



Schicht	Zusammensetzung	Gefüge	Schichtung
IVa	Gemisch aus kalkhaltigem, siltigem Feinsand (aus C-Hor.) und kalkfreiem sandigem Lehm (aus B-Hor.) sowie Material aus der archäologischen Schicht. Längliche linsenförmige Bodenaggregate, z. T. als ineinander verzahnte Fladen.	An der Oberkante zeichnet sich eine diffuse horizontale Schichtung ab.	Variable Porosität, zwischen 2-5%. Horizontal verlaufende, längliche Poren, teils massive Mikrostruktur und polykonkave Poren.
IVb	Wie Schicht IVa, jedoch mit wenig Feinkies und etwas mehr Tonsubstanz (Material aus B-Horizont).	Andeutungsweise Schichtung erkennbar, diffuse Holzkohlelagen mit deutlichen Grenzen.	Porosität um 3%, massive Mikrostruktur und polykonkave Poren.
Ia	Kalkhaltiger, siltiger Feinsand (aus C-Hor.) mit sehr scharfer Obergrenze. Wenig Mikroholzkohle an Oberkante.	Ungeschichtet, flachliegende Feinsandkörner.	Porosität, zwischen 2-5%, kavemöses Gefüge mit polykonkaven Feinporen (0,1-0,2 mm). Seltene siltige Einschaltungen in Polygonform, Entmischungserscheinungen.
Ib	Kalkhaltiger, siltiger Feinsand. Hochflutsand, C-Horizont.	Ungeschichtet.	Porosität um 15-20%, Kanäle und Kammern, Porengröße bis über 1 mm Durchmesser. Keine Veränderung infolge Begehung.

Abb. 12a Basel-Gasfabrik, Resultate der Feldversuche zur Entstehung von modernen Gelniveaus. Das Foto links zeigt die mit Kunstharz gefestigte Bodenprobe 96/7/11 aus dem witterungsgeschützten Bereich, daneben die Resultate der mikromorphologischen Beobachtungen. Die Oberkante von Schicht I entspricht dem ursprünglichen Gelniveau, wobei die Begehung zu Gefügeveränderungen in Schicht Ia geführt hat. Darüber finden sich die durch Begehung akkumulierten Sedimente (Schicht IV a und IVb). Höhe der Bodenprobe: 13 cm.

Probe 96/7/12

Schicht	Zusammensetzung	Gefüge	Schichtung
IVa	Kalkhaltiger, feinsandiger Lehm mit wenig Feinkies und etwas Holzkohle. Material aus dem B- und C-Horizont sowie aus der archäologischen Schicht.	Andeutungsweise erkennbar.	Porosität zwischen 2-5%, massive Mikrostruktur, seltener kavernös, teils mit polykonkaven Poren. Wenige, horizontal verlaufende Risse.
IVb	Kalkhaltiger, siltiger Feinsand mit etwas Feinkies. Linsenförmige, lehmige Brocken.	Unregelmässige Horizontalschichtung, wellenförmig, Deformationen.	Porosität um 3%, massive Mikrostruktur, horizontale, längliche Risse.
IVc	Gemisch aus kalkfreiem, sandigem Lehm und siltigem Feinsand. Etwas Holzkohle, bis 2 mm Durchmesser, eckige Partikel.	Ungeschichtet.	Porosität zwischen 2-5%, massive Mikrostruktur, horizontal verlaufende Risse. Vereinzelte siltige Einschaltungen in Polygonform.
IVd	Wie darüberliegende Schicht IVc, jedoch mit etwas Feinkies. Diffus verteilte Mikroholzkohle. Holzkohlepartikel sind gerundet.	Undeutliche, mehr oder weniger horizontale Niveaus, Kieslagen.	Porosität um 2%, massive Mikrostruktur, horizontal verlaufende Risse, polykonkave Poren.
Ia	Kalkhaltiger, siltiger Feinsand, an der Oberkante sehr wenig Mikroholzkohle.	Ungeschichtet. An der Oberfläche leichte horizontale Einregelung und Deformationen. Konzentration von Sand in dünnen Bändern.	Porosität zwischen 2-5%, teils massive Mikrostruktur, teils kavernös. Siltige Einschaltungen in Polygonform, ca. 1 cm unter dem Gelniveau. An der Basis: leichte Zunahme der Porosität (bis 7%, Kammern). Kompaktionsspuren bis 2 cm tief reichend.



Abb. 12b Basel-Gasfabrik, Resultate der Feldversuche zur Entstehung von modernen Gelniveaus. Das Foto links zeigt die mit Kunstharz gefestigte Bodenprobe 96/7/12 aus dem der Witterung ausgesetzten Bereich, daneben die Resultate der mikromorphologischen Beobachtungen. Das ursprüngliche Gelniveau befindet sich an der Oberkante von Schicht Ia, die durch trampling eine markante Gefügeveränderung erfahren hat. Schicht IV entspricht dem während des Versuchs akkumulierten Bodenmaterial. Höhe der Bodenprobe: 8,5 cm.

ken. Erwartungsgemäss sind Tiefe und Intensität der strukturellen Veränderungen in trockenen Proben aufgrund der geringeren Reaktivität des Sedimentes weniger stark ausgeprägt als in feuchten Substraten²³.

Akkumulation durch trampling

Ein wesentlicher Gegensatz zwischen den beiden Experimentaltreihen liegt im Umstand, dass im Feldversuch die Prozesse von Akkumulation, Umlagerung und Neuverteilung sehr stark gewirkt haben, ohne dass ein markanter Verlust von Sediment infolge Begehung nachweisbar wäre. Wie bereits eingangs erwähnt, handelt es sich bei den zwei Feldversuchen um Situationen mit eher speziellen Rahmenbedingungen im Sinne ei-

ner überdurchschnittlichen Sedimentansammlung. Dadurch wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf einen archäologischen Gehhorizont-Befund etwas erschwert, wenngleich die einzelnen, experimentell erzeugten Kompaktionspuren auch archäologisch nachgewiesen sind²⁴. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass hohe Sedimentationsraten im archäologischen Kontext ein nicht unbekanntes Phänomen darstellen. So liefern unter anderem Stratigraphien in urbanen Verhältnissen oder innerhalb von antiken Bauplätzen immer wieder Belege für – durch *trampling* mitbeeinflusste – massive Sedimentakkumulationen. Letztere können beispielsweise im Zusammenhang mit handwerklichen Aktivitäten oder mit Baumassnahmen wie Aushub und Planierungen stehen²⁵.

Siltige Einschaltungen in Polygonform

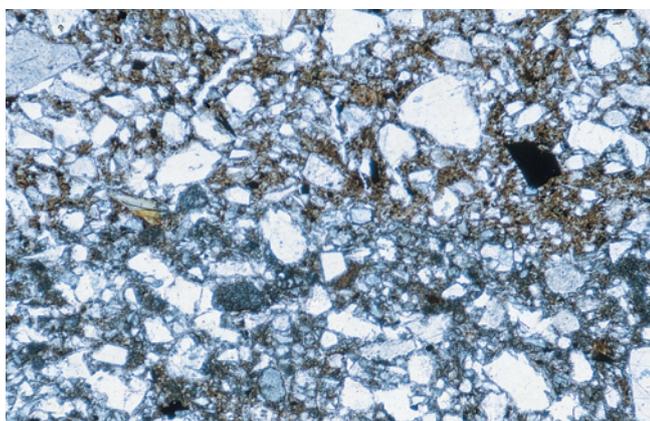


Abb. 13a Mikrofoto der Bodenprobe 96/711, Übergang von Schicht Ia zu IVb. Der durch die Begehung kompaktierte, graue Feinsand der Schicht Ia wird überlagert von durch *trampling* akkumuliertem, gelbem Lehm der Schicht IVb. Bildbreite 2,2 mm, PPL.

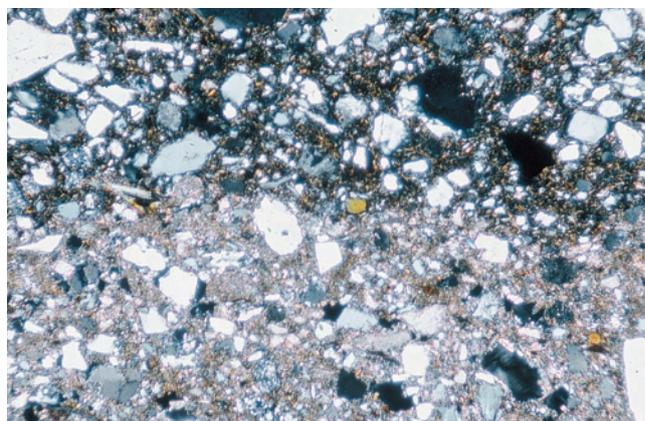


Abb. 13b Mikrofoto der Bodenprobe 96/711, gleicher Ausschnitt wie Abb. 13a. Man beachte die scharfe Grenze sowie die in beiden Schichten niedrige Porosität. Bildbreite 2,2 mm, XPL.

Abb. 14 Mikrofoto der Bodenprobe 96/711, Schicht IVa. Durch Begehung akkumuliertes und kompaktiertes Sediment mit heterogener Zusammensetzung. Im Bildzentrum erkennt man zusammengepresstes Bodenmaterial, das ursprünglich aus Schicht I stammt, inmitten von umgelagertem, gelbem Lehm aus Schicht II. Bildbreite 4,4 mm, PPL.

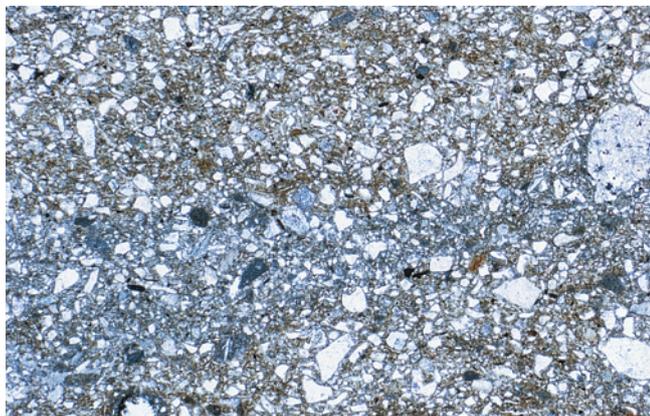
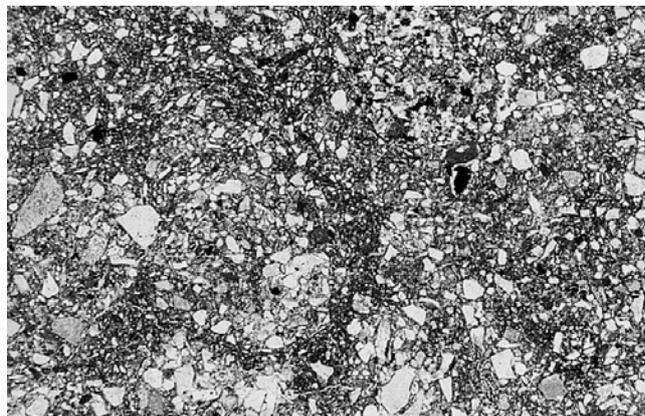


Abb. 15 Mikrofoto der Bodenprobe 96/712, Schicht Ia. Durch die moderne Begehung des feuchten Sedimentes entstanden markante Gefügeveränderungen und Entmischungserscheinungen in Form sog. siltiger Einschaltungen in Polygonform. Dabei gruppieren sich netzförmige, feinmaterialreiche Zonen um sandige Kernbereiche. Bildbreite 4,4 mm, PPL.



In der geoarchäologischen Literatur existieren etliche Arbeiten, die sich mit den Merkmalen und Auswirkungen von *trampling* auseinandersetzen²⁶. In allen diesen Publikationen betreffen die bekannten Begehungsmerkmale eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften:

- Gefügetyp, Gesamtporosität, Porenraumverteilung und Porentyp²⁷
- Auftreten von horizontalen Rissen und eingeregeltten Bestandteilen
- Bildung von Krusten oder auch Deformationserscheinungen
- allgemeine mechanische Beanspruchung, die zu Verrundung, Zerkleinerung oder Zerstörung von Bodenaggregaten oder Bestandteilen führt

Praktisch alle der genannten Auswirkungen liessen sich denn auch in unseren experimentellen Proben dokumentieren. Ein weiteres, in der Literatur nur selten besprochenes Kriterium war in unseren Dünnschliffen ebenfalls deutlich ausgebildet. Dabei handelt es sich um eine Strukturveränderung, die wir als siltige Einschaltungen in Polygonform bezeichnet haben²⁸. Bei diesen, von Bullock et al. auch als «interlaced silty intercalations» benannten Strukturen²⁹, liegt eine regelmässige, gitterartige Anordnung der Ton- und Siltfraktion vor. Im fortgeschrittenen Stadium lassen sich so zusammenhängende, polygonförmige Netze mit dominantem Feinanteil beobachten (Abb. 15). Die einzelnen, im Durchmesser bis 2 mm grossen Polygone gruppieren sich jeweils um sandige, offensichtlich an Feinsubstanz verarmte Kernbereiche und treten immer gekoppelt mit einem schwach porösen Gefüge auf³⁰. Aufgrund der Experimente wurde deutlich, dass das Auftreten von solchen siltigen Einschaltungen durch ein feuchtes Milieu begünstigt wird, wobei es sich vermutlich um Entmischungs- bzw. Reorganisationserscheinungen als Folge von kräftiger und lang anhaltender Überlast handelt.

3. Ausgewählte archäologische Befundsituationen

Die nachfolgend aufgeführten Belege sollen einen Einblick in die Vielfalt der mikroskopisch nachgewiesenen *trampling*-Spuren innerhalb von gut konservierten archäologischen Schichten geben. Mit Ausnahme des spätlatènezeitlichen Lehmbodens handelt es sich um nicht-konstruierte Oberflächen, also um solche, die keine spezielle Bodenbefestigung aufweisen. Gemäss der Ausgrabungsbefunde scheinen die nicht-konstruierten Böden allesamt der Witterung ausgesetzt und somit periodisch durchfeuchtet gewesen zu sein. Ferner wurden bewusst Grabungsbefunde ausgesucht, bei denen der «human impact» klar über die natürlichen sedimentbildenden Prozesse dominiert³¹. So ist beispielsweise allen Befunden ihre relativ mächtige und vermutlich rasch erfolgte Überdeckung durch jüngere Sedimente gemeinsam. Dies führte zu weitgehendem Schutz vor unerfreulichen postsedimentären Prozessen, die auf eine Verwischung der durch *trampling* verursachten, zumeist reversiblen Veränderungen hinauslaufen³². Ein weiterer gemein-

samer Punkt der ausgewählten Proben liegt in der Tatsache, dass sich die Kompaktionsspuren, bzw. die Lage der jeweiligen Gehniveaus im Feldbefund nur sehr vage oder meist gar nicht abzeichneten.

In den nachfolgenden Beispielen findet sich ein Kurzbeschrieb der archäologischen Befunde und der vermuteten Benutzungsdauer der Strukturen. Ein zweiter Abschnitt gibt jeweils die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen in knapper Form wieder, inklusive eines Rekonstruktionsversuches der ehemals auf die Gehniveaus einwirkenden Prozesse. Signaturen: 0 = fehlend, –=gering, +/–=mässig, +=stark

3.1 Basel-Gasfabrik, Fabrikstrasse 5 (1992/34)

Archäologische Situation: Lehmboden, direkt über anstehendem Verwitterungshorizont³³. Überdeckung durch eine sandige, verwitterte Planieschicht, die vorab aus aufgelöstem Wandlehm besteht.

Dazugehörige Baustrukturen: Vermutete Lehmbaubefunde.

Zeitstellung: Spätlatènezeit.

Nutzungsdauer: Unbekannt (mehrere Jahre ?).

Mikromorphologische Interpretation: Stampflehm Boden, von Phosphaten imprägniert, ohne erkennbare Benutzungsschicht. Zu einer vermutlich überdachten Baustruktur gehörig (Abb. 16).

Durch Begehung verursachte Prozesse:

Anreicherung: – Verlust: vermutet

Neuverteilung: – Umwandlung: +/–

3.2 Basel, Bäumleingasse 14 (1992/20)

Archäologische Situation: Graue sandige Schicht mit 2 mm mächtigem, gelblichem Gehniveau von über 20 m² Ausdehnung. Überdeckt durch mächtige Kiesschüttungen.

Dazugehörige Baustrukturen: Hinterhofbereich, ohne Baubefunde. Vermutlich nicht überdacht.

Zeitstellung: Spätromisch.

Nutzungsdauer: Unbekannt.

Mikromorphologische Interpretation: Gehniveau eines Platzes mit sandig-lehmiger Oberfläche, stark mit phosphatreichen Fäkalien durchsetzt (Abb. 17).

Prozesse:

Anreicherung: +/– Verlust: vermutet

Neuverteilung: +/– Umwandlung: +/–

3.3 Basel, Spalenberg 53 (1997/4)

Archäologische Situation: Sehr dünne Gehniveaus über Planieschichten. Überdeckt durch Fachwerk-Brandschutt.

Dazugehörige Baustrukturen: Hofzone, neben Mauerbefunden. Vermutlich nicht überdacht³⁴.

Zeitstellung: Mittelalter, 11./12. Jh.

Nutzungsdauer: Unbekannt.

Mikromorphologische Interpretation: Hofbereich, oberflächlich mit Asche, organischem Material und Fäkalien durchsetzt (Abb.



Abb. 16 Basel-Gasfabrik, Fabrikstrasse 5 (1992/34). Mit Kunstharz gefestigte Bodenprobe 92/34/3. In der Bildmitte ist ein dünner, oberflächlich abgewitterter Stampflehmboden erkennbar, dessen gelbbraune Färbung auf eine Durchtränkung durch Phosphate hindeutet. Über diesem latènezeitlichen Hausboden lässt sich keine durch trampling bedingte Akkumulation von Stoffen feststellen. Bei den überlagernden Sedimenten handelt es sich um Planieschichten aus verwitterten, unverbrannten Lehmwänden und umgelagerten archäologischen Funden. Breite der Bodenprobe 6,3 cm.

18).

Prozesse:

Anreicherung: +/- Verlust: vermutet

Neuverteilung: + Umwandlung: +/-

3.4 Kaiseraugst, Kastellthermen (1994.02)

Archäologische Situation: «Natürlich anstehender» sandiger Lehm, mit Bausteinsplintern durchsetzt. Überdeckt durch einen Mörtelmischplatz³⁵.

Dazugehörige Baustrukturen: Bauplatzbereich, neben Mauerfundamenten.

Zeitstellung: Römisch, 3. Jh.

Nutzungsdauer: Vermutlich kurzfristig (< 1 Jahr ?).

Mikromorphologische Interpretation: Bauplatz, stark verdichtet. Feuchtes Milieu (Abb. 19).

Prozesse:

Anreicherung: +/- bis + Verlust: -

Neuverteilung: +/- Umwandlung: +/-

3.5 Kaiseraugst, Restaurant Löwen (1997.04)

Archäologische Situation: «Natürlich anstehender» sandiger Lehm. Überdeckt durch Planieschichten (Aushub).

Dazugehörige Baustrukturen: Bauplatzbereich, neben Mauergruben³⁶.

Zeitstellung: Römisch, 1. Jh. / frühes 2. Jh.

Nutzungsdauer: Vermutlich kurzfristig.

Mikromorphologische Interpretation: Bauplatz. Umgelagerter und stark verdichteter sandiger Lehm. Feuchtes Milieu (Abb. 20).



Abb. 17 Basel, Bäumleingasse 14 (1992/20). Fotogramm der Bodenprobe 92/20/7. Im unteren Bild Drittel erscheint eine festgetretene, siltig-sandige Schicht mit Asche und viel Mikroholzkohle. Darüber markiert eine gelbliche, stark fäkalienhaltige Lage ein Gehniveau im Hinterhofbereich. Dieses Niveau wird überdeckt durch einen ebenfalls kompaktierten, holzkohlehaltigen Sand mit horizontal ausgerichteten Feinkies. Bildbreite 47 mm, Durchlicht.

Prozesse:

Anreicherung: + Verlust: (?)

Neuverteilung: + Umwandlung: +/-

3.6 Kaiseraugst, Im Sager (1994.13)

Archäologische Situation: Füllung von rechteckigen Gruben, die zur Entnahme, Aufbereitung und Lagerung von Lehm dienten (Ziegelherstellung?). Keine dazugehörigen Baustrukturen bekannt³⁷.

Zeitstellung: Römisch, 1.-2. Jh.

Nutzungsdauer: Unbekannt.

Mikromorphologische Interpretation: Stark durchgewalkte, wassergesättigte Lehmmischung (Abb. 21).

Prozesse:

Anreicherung: (+) Verlust: (0)

Neuverteilung: + Umwandlung: +

3.7 Ergebnisse

Die Auswahl der oben dargestellten Beispiele mag veranschaulichen, dass bei entsprechender Konservierung und durch die Wahl von geeigneten Untersuchungsmethoden der Nachweis von Kompaktionsspuren innerhalb von archäologischen Schichtabfolgen sehr wohl möglich ist. Zu diesen unterschiedlichen Belegen lässt sich Folgendes bemerken:

Als Vertreter einer an sich recht häufigen archäologischen Befundgattung weisen die konstruierten Lehm Böden aus der Fundstelle Basel-Gasfabrik einige auffallende Besonderheiten auf. So lässt sich in den bisher bekannten Fällen jeweils eine, von der verhärteten Oberfläche ausgehende Durchtränkung

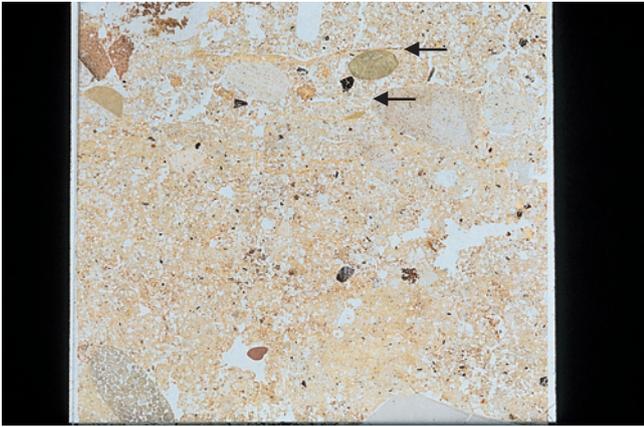


Abb. 18a Basel, Spalenberg 53 (1997/4). Fotogramm der Bodenprobe 97/4/1. Im obersten Abschnitt zeichnen sich mehrere übereinanderliegende Gelniveaus eines Platzes ab (Pfeile), der vermutlich zu einem Innenhof gehörte. Es lässt sich eine deutliche Akkumulation von grauen Holzaschen, Kies, Holzkohlen und gelblichen Phosphaten feststellen. Bildbreite 47 mm, Durchlicht.

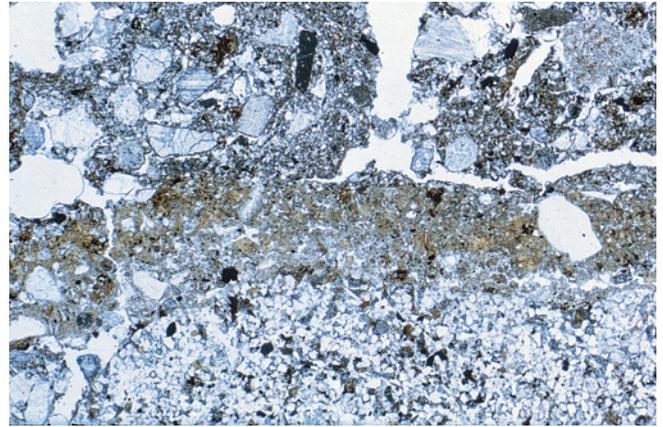


Abb. 18b Basel, Spalenberg 53 (1997/4). Mikrofoto der Bodenprobe 97/4/1. Die Detailansicht zeigt das obere, gelbliche Gelniveau (Abb. 18a) mit deutlicher, krustenartig ausgeprägter Schicht aus Fäkalien, Lehm und Mikroholzkohle. Bildbreite 4,4 mm, PPL.

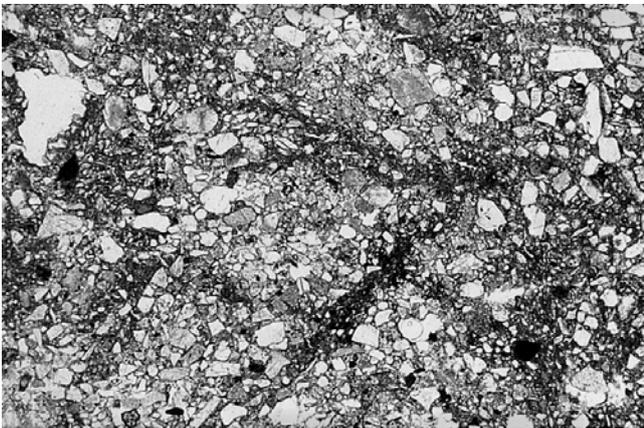


Abb. 19 Kaiseraugst, Kastellthermen (1994.02). Mikrofoto der Bodenprobe K94.02 M1. Die menschlichen Aktivitäten auf dem Bauplatz führten im Oberboden zur Ausbildung einer massiven Mikrostruktur und siltigen Einschaltungen in Polygonform. Es handelt sich um eine sehr starke Kompaktion unter feuchten Bedingungen. Bildbreite 4,4 mm, PPL.

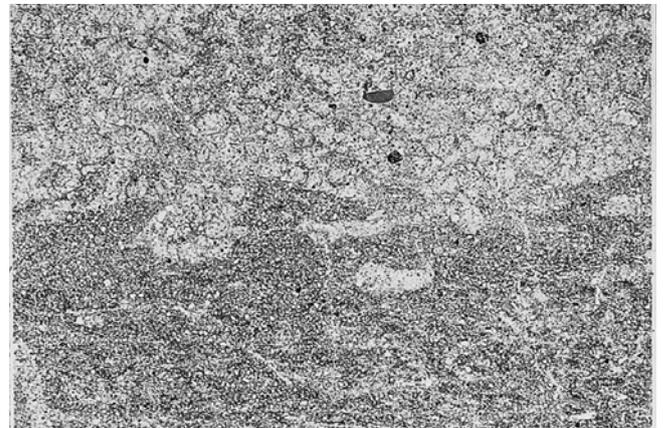


Abb. 20 Kaiseraugst, Restaurant Löwen (1997.04). Fotogramm der Bodenprobe K97.04 M3. Bauplatz mit künstlich gekapptem Bodenhorizont. Beim braunen Lehm handelt es sich um ein intensiv durch trampling überprägtes Sediment mit gewellter, unregelmäßiger Oberfläche und horizontalem Rissgefüge. Die darüberliegende, helle Ablagerung – umgelagerter Aushub – zeigt ebenfalls starke Kompaktionsspuren. Bildbreite 47 mm, Durchlicht.

des Bodens durch Phosphate feststellen, was als Indiz für eine längerfristige Begehung gedeutet werden kann³⁸. In die gleiche Richtung weisen auch Beobachtungen zur Mächtigkeit der Böden. Aufgrund ihrer eher geringen Dicke von stellenweise unter 5 mm erscheinen sie durch die Benutzung abgewittert und ausgedünnt. Bemerkenswert ist ferner, dass sich auf der Bodenoberfläche der vorgestellten Probe 92/34/3 weder Sediment noch Fundmaterial aus der Zeit der (letzten) Begehung erhalten haben. Mikromorphologische Untersuchungen belegen hingegen eine Überdeckung durch verwitterten Wandlehm, was als Indiz für eine Planierung der Struktur durch Bauschutt und umgelagerte archäologische Funde gewertet wird³⁹.

Auch die Befunde von der Bäumleingasse und vom Spalenberg, als zwei Beispiele für nicht konstruierte Böden, verdanken ihre vorzügliche Erhaltung primär mächtigen Überschüttungen,

die den Abbau und die Verwitterung der zuletzt abgelagerten, feinen Bestandteile weitgehend verhinderten. Mikroskopische Beobachtungen an den im Feldbefund ebenfalls nicht sehr augenfälligen Schichten zeigen, dass auf den im Freien liegenden Bodenoberflächen eine Ansammlung, Zerkleinerung und Umlagerung von Material stattgefunden hat. Die Auswirkungen von *trampling* äussern sich vor allem in einer horizontalen Ausrichtung der Bestandteile, Krustenbildung und allgemeiner Fragmentierung. Eine sehr deutliche Kompaktion mit Verhärtung der Oberflächen oder gar Deformationen scheint nicht stattgefunden zu haben. Im Gegensatz zu den experimentellen Proben stellt man nicht nur eine Anreicherung von mineralischen, sondern auch von organischen sowie phosphathaltigen Stoffen fest, die koprogenen⁴⁰ Ursprungs sind und auf nahe gelegene Latrinen (Bäumleingasse) bzw. auf die Präsenz von Haustieren/

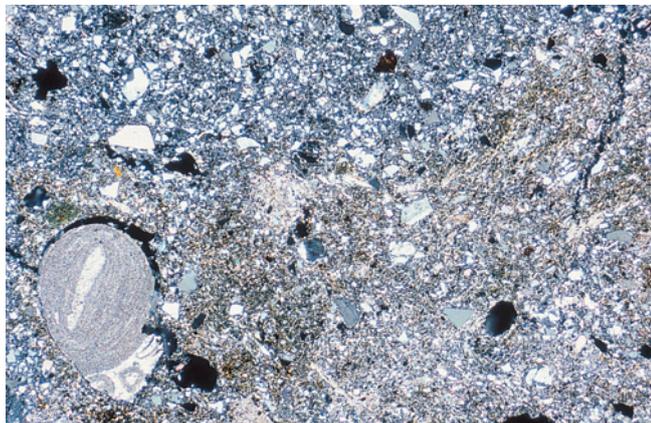


Abb. 21 Kaiseraugst, Im Sager (1994.13). Mikrophoto der Bodenprobe K94.13 M3. Ansicht aus dem unteren Bereich einer Tonaufbereitungsgrube mit durchgewalkter und deformierter Lehmmischung. Diese zeigt eine heterogene petrographische Zusammensetzung mit Kalkkies, sowie Material aus Bt- und Al-Horizont. Bildbreite 4,4 mm, PPL.

Kleinvieh im Hofbereich (Spalenberg) hinweisen. Es ist ferner zu vermuten, dass auf solchen Plätzen nicht nur eine Akkumulation, sondern auch ein erheblicher Verlust von Material durch *trampling* stattgefunden hat. Eine nähere Bilanzierung dieser Prozesse ist jedoch aus unserer Sicht nicht möglich.

Anhand geoarchäologischer Untersuchungen an antiken Bauplätzen, wie beispielsweise dem spätlatènezeitlichen *murus gallicus* von Basel oder dem römischen Theater von Augusta Raurica liess sich aufzeigen, dass diese Areale aufgrund der hohen Sedimentationsrate meist ideale Bedingungen im Hinblick auf die Erhaltung von Begehungsspuren liefern⁴¹.

In den beiden hier vorgestellten Beispielen aus Kaiseraugst fassen wir vermutlich kurzfristig benutzte und im feuchten Zustand begangene Gehniveaus. Sie sind nach dem Entfernen des lockeren, humosen Oberbodens entstanden, höchstwahrscheinlich in Verbindung mit Aushubarbeiten an nahen Fundamentgruben. Im Fall der Bodenprobe aus den Kastellhermen hat die darauf folgende Anlage eines flächigen Mörtelmischplatzes zu einer Versiegelung der Stratigraphie durch eine bis 10 cm mächtige, harte Mörtelschicht geführt. Die zweite Bodenprobe (Restaurant Löwen) mit analogen *trampling*-Befunden zeigt eine – ebenfalls festgetretene – Überdeckung aus Material, das tieferen geologischen Horizonten entstammt und anscheinend auch im Zusammenhang mit Arbeiten an Fundamentgräben entstanden ist. Beiden Proben gemeinsam sind sehr deutlich ausgeprägte Kompaktionsspuren in Form siltiger Einschaltungen, massiver Mikrostruktur sowie auch mehrere Zentimeter tief eingetretener Hausteinsplitter. Diese *trampling*-Befunde antiker Bauplätze stehen den in Kapitel 2.2 beschriebenen Feldexperimenten allem Anschein nach am nächsten.

Ein Spezialfall im Hinblick auf die Entstehung von *trampling*-Phänomenen stellen die Kompaktionsspuren im Lehmabbaugebiet von Kaiseraugst «Im Sager» dar. Hier zeichneten sich

im archäologischen Feldbefund rechteckig abgestochene, in den anstehenden Lehm eingetiefe Wannen ab, die mit einem durchgearbeiteten, aus drei verschiedenen Bodenhorizonten stammenden Lehmgemisch verfüllt waren. Die nachgewiesenen Verdichtungsspuren, die höchstwahrscheinlich in Zusammenhang mit der handwerklichen Tonaufbereitung stehen, waren im untersten Teil der Becken besonders gut konserviert. Diese Kompaktionsphänomene sind auf Grund des Gefüges nachweislich in wassergesättigten Ablagerungen entstanden und dürften durch direktes Begehen und/oder durch Stampfen mittels eines entsprechenden Gerätes erzeugt worden sein. Eigentliche Gehniveaus lassen sich jedoch innerhalb dieser homogenen, vermutlich intensiv durchgewalkten Mischungen nicht mehr individualisieren.

4. Fazit

Die hier vorgestellten Auswertungen und Interpretationen zu Fragen betreffend der Bildung von Gehniveaus beruhen auf folgenden Eckpfeilern:

- Experimente unter Feld- und Laborbedingungen
- Belege aus archäologischen Befundzusammenhängen
- Referenzen aus mikromorphologischen Publikationen⁴²

Im Hinblick auf das Verständnis der durch *trampling* ausgelösten Prozesse erwiesen sich die beiden Experimentalreihen unter Feld- und Laborbedingungen als sehr hilfreich. Trotz geringer Probenanzahl erlaubten sie qualitative und tendenzielle Aussagen zu Art und Intensität der Modifikationen. Dabei wurde unter anderem klar, dass in unseren Versuchsanordnungen die mikroskopisch nachweisbaren Begehungsphänomene auf oberflächennahe, bis wenig über 2 cm tief ins Sediment hineinreichende Zonen beschränkt blieben. Ferner liessen sich, abgestützt durch eine Auswahl ausgezeichnet überlieferter archäologischer *trampling*-Befunde, die damit einhergehenden Veränderungen an der Bodenstruktur und an den Bestandteilen des Sedimentes dokumentieren. Unsere diesbezüglichen Beobachtungen deckten sich hierbei weitgehend mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen von Courty et al. (1994), steuerten aber im Detail mit dem Nachweis von sogenannten «siltigen Einschaltungen in Polygonform» ein zusätzliches Kriterium bei.

Die drei oben aufgelisteten Referenzgruppen (Experimente, archäologische Belege, publizierte Befunde) dienen darüber hinaus als Ansatzpunkt, um schlechter konservierte Gehniveaus – die im allgemeinen das Gros der archäologischen Befunde ausmachen – einzuordnen und anzusprechen⁴³.

Wie bereits in Kapitel 3 ausführlich dargestellt, hängt das Vorkommen von Kompaktionsspuren in archäologischen Ablagerungen von verschiedenen Rahmenbedingungen ab, die während und nach der Schichtbildung gewirkt haben. Dazu zählen unter anderem ein möglichst starker «human impact», der sich idealerweise in einer lang andauernden und intensiven Begehung einer Stelle äussert. Ferner spielen die mechanischen Eigenschaften des begangenen Sedimentes eine wichtige Rolle.

So bringen zum Beispiel reine Sande oder lockere Kiese ungünstige Voraussetzungen im Hinblick auf eine Konservierung von Begehungsspuren mit sich, im Gegensatz etwa zu Ablagerungen mit einem deutlichen Feinanteil, der die Gefügeveränderungen in der Regel gut nachzeichnet. Ein weiterer wesentlicher Parameter liegt im Wassergehalt des Substrates, was in feuchten Sedimenten zu rascher, tiefer reichender und deutlicher Ausprägung der *trampling*-Spuren führt. Schliesslich kommt auch den Überlieferungsbedingungen eine zentrale Bedeutung zu. Wie auch bei den ausgewählten archäologischen Befundsituationen ersichtlich, stellt eine schnelle und mächtige Überdeckung – ohne nachträgliche Modifikation durch anthropogene oder natürliche Prozesse – eine weitere Grundvoraussetzung für die Erhaltung eines Gehhorizontes dar.

Im Rahmen archäologischer Ausgrabungen kann hin und wieder die Schwierigkeit der makroskopischen Lokalisierung von Gehniveaus auftauchen, dies vor allem bei Strukturen ohne konstruierte Bodenoberflächen. Mikromorphologische Analysen an entsprechenden Befunden haben aufgedeckt, dass solche diffusen Gehhorizonte nicht zwingend mit Schichtwechselln zusammenfallen oder sich ausschliesslich im obersten Bereich einer archäologischen Schicht verbergen. Ähnliches gilt auch bezüglich der Fundverteilung, wobei Profilabschnitte mit der höchsten Artefaktkonzentration nicht immer zugleich den ehemaligen Gehniveaus entsprechen müssen⁴⁴.

Ziel dieser Arbeit war es, aufzuzeigen, dass sich ein fossil vorhandenes Gehniveau – nebst den direkten und indirekten archäologischen Evidenzen – mit Hilfe geoarchäologischer Untersuchungen relativ gut nachweisen lässt⁴⁵. Allerdings sollten je nach Befundsituation die mikromorphologischen Kriterien für *trampling* nach Möglichkeit an Blind- und Referenzproben überprüft werden. An dieser Stelle seien *pro memoria* die wichtigsten mikroskopischen – und teils auch makroskopisch sichtbaren – Merkmale, die auf Begehung hindeuten können, nochmals aufgeführt.

- eine gegenüber dem Ausgangsgestein veränderte Mikrostruktur, was sich in spezifischen Poren- und Gefügetypen äussert
- die interne Organisation der Ablagerung; unter anderem ausgerichtete Bestandteile, fein geschichtete Krusten oder horizontale Risse
- Deformationsphänomene und Entmischungerscheinungen
- eine Anreicherung und Umlagerung von mineralischen und organischen (inklusive phosphathaltigen) Stoffen
- eine allgemeine mechanische Beanspruchung, mit Verdrückung und Fragmentierung der Komponenten (z. B. Keramik, Knochen, Holzkohle, Lehmbrocken)

Wir sind uns bewusst, dass im Rahmen einer archäologischen Befundaufarbeitung der Gehhorizont in vielen Fällen nur einen momentanen, teilweise sicher auch kurzlebigen und zufälligen Ausschnitt innerhalb von dynamischen Vorgängen rund

um die vielfältigen Schichtbildungsprozesse darstellen mag. Unter diesem Aspekt darf ein Gehniveaubefund, falls nur auf der mikroskopischen Diagnose gründend, in seiner Bedeutung nicht überinterpretiert werden. Dennoch fassen wir mit dem Nachweis von *trampling*-Spuren innerhalb archäologischer Schichtabfolgen ein nicht unwesentliches Merkmal einer Befundgattung, die zumindest primär in nahezu allen Siedlungsstellen vorhanden war. Die Dokumentation von Gehhorizonten kann dabei weiterführende Aussagen zur Geschichte einer Fundstelle, aber auch zu allgemeinen taphonomischen Fragen bezüglich des Fundmaterials ermöglichen. Eine solche, auf mikromorphologischen Resultaten beruhende Schichtinterpretation hat indes in engem Zusammenhang mit der Auswertung der archäologischen Strukturen und des Fundmaterials zu geschehen.

Literatur

AG Bodenkunde 1982

Arbeitsgruppe Bodenkunde, Bodenkundliche Kartieranleitung (Hannover 1982).

Bertran et Raynal 1991

Pascal Bertran et Jean-Paul Raynal, Apport de la micromorphologie à l'étude archéologique du village médiéval de Saint-Victor-de-Massiac (Cantal). *Revue Archéologique du Centre de la France*, 30, 1991, 137–150.

Boiffin et Bresson 1987

J. Boiffin et L.M. Bresson, Dynamique de formation des croûtes superficielles: l'apport de l'analyse microscopique. In: N. Fedoroff, L.M. Bresson and M.-A. Courty (eds.), *Soil Micromorphology*. Association Française pour l'Etude du Sol (Paris 1987) 393–399.

Bordes 1975

François Bordes, Sur la notion de sol d'habitat en préhistoire paléolithique. *Bulletin de Société Préhistorique Française* 1975, 72, 139–144.

Bresson and Zambeaux 1990

L.M. Bresson and C. Zambeaux, Micromorphological study of compaction induced by mechanical stress for a dystrochreptic fragiudalf. In: Lowell Douglas (ed.), *Soil micromorphology: a basic and applied science*. Proceedings of the VIIIth International Working Meeting of Soil Micromorphology, San Antonio, Texas – July 1988 (Amsterdam 1990) 33–40.

Bullock et al. 1985

P. Bullock, N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina, *Handbook for soil thin section description* (Wolverhampton 1985).

Cammas 1994

Cécilia Cammas, Approche micromorphologique de la stratigraphie de Lattes. Premiers résultats. Lattara 7. Exploration de la ville portuaire de Lattes. Edition de l'Association pour la Recherche Archéologique en Languedoc Oriental 1994, 181–202.

Courty et al. 1989

Marie-Agnès Courty, Paul Goldberg, Richard Macphail, Soils and micromorphology in archaeology (Cambridge 1989).

Courty et al. 1994

Marie-Agnès Courty, Paul Goldberg, Richard Macphail, Ancient People-Lifestyles and Cultural Patterns. Transaction of the 15th World Congress of Soil Science, International Society of Soil Science, Mexico, 1994, Vol 6a, 250–269.

Davidson et al. 1992

D. Davidson, S. Carter, T. Quine, An evaluation of micromorphology as an aid to archaeological interpretation. Geoarchaeology 1992, 7, 55–65.

Gé et al. 1993

T. Gé, M.-A. Courty, W. Matthews and J. Wattez, Sedimentary formation processes of occupation surfaces. In: P. Goldberg, D. Nash and M. Petraglia (eds.) Formation Processes in Archaeological Context. Monographs in World Archaeology, No. 17 (Madison, Wisconsin 1993) 149–163.

Guélat et al. 1998

Michel Guélat, Olivier Paccolat et Philippe Rentzel, Une bergerie d'époque gallo romaine à Brig-Glis Waldmatte. Evidences architecturales et micromorphologiques. Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte 1998, 81, 171–182.

Guélat, Federici-Schenardi 1999

Michel Guélat, Maruska Federici-Schenardi, Develier-Courte-telle (Jura). L'histoire d'une cabane en fosse reconstituée grâce à la micromorphologie. Helvetia archaeologica 1999, 118/119, 58–63.

Hufschmid 1998

Thomas Hufschmid, Das römische Theater von Augst. Sanierungs- und Forschungsarbeiten 1997. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 1998, 19, 93–110.

Jongerijs 1983

A. Jongerijs, The role of micromorphology in agricultural research. In: P. Bullock and C.P. Murphy (eds.) Soil Micromorphology (Berkhamsted 1983) 111–138.

Jud, Spichtig 1992

Peter Jud, Norbert Spichtig, Vorbericht über die Grabungen 1992 in der spätkeltischen Siedlung Basel-Gasfabrik. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung des Kantons

Basel-Stadt 1992, 19–35.

Kooistra 1987

M.J. Kooistra, The effects of compaction and deep tillage on soil structure in dutch sandy loam soil. In: N. Fedoroff, L.M. Bresson and M.-A. Courty (eds.), Soil Micromorphology. Association Française pour l'Etude du Sol (Paris 1987) 445–450.

Lassau 1995

Guido Lassau, Die Grabung 1994.13 im Gräberfeld Kaiseraugst «Im Sager». Ein Vorbericht. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 1995, 16, 79–90.

Matt 1998

Christoph Matt, Basel, Spalenberg 53. Leonhardsgraben 15 (1997/4). Fundbericht. Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte 1998, 81.

Matthews 1995

Wendy Matthews, Micromorphological characterisation and interpretation of occupation deposits and microstratigraphic sequences at Abu Salabikh. In: Anthony Barham and Richard Macphail (eds.), Archaeological Sediments and Soils. Analysis, Interpretation and Management. Institute of Archaeology, University College, (London 1995) 41–74.

Moor et al. 1994

Beatrice Moor, Philippe Rentzel, Kaspar Richner, Der Murus Gallicus auf dem Basler Münsterhügel, Grabung 1990. In: P. Jud (Hrsg.), Die spätkeltische Zeit am südlichen Oberrhein, Kolloquium Basel, 17./18. Oktober 1991 (Basel 1994) 22–28.

Müller 1995

Urs Müller, Ausgrabungen in Kaiseraugst im Jahre 1994. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 1995, 16, 65–78.

Müller 1998

Urs Müller, Ausgrabungen in Kaiseraugst im Jahre 1997. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 1998, 19, 53–70.

Nicholson 1992

Rebecca Nicholson, Bone Survival: the effects of sedimentary abrasion and trampling on fresh and cooked bone. International journal of Osteoarchaeology 1992, 2, 79–90.

Rentzel 1994

Philippe Rentzel, Geologisch-bodenkundliche Untersuchungen an den Niederterrassenfeldern bei Basel unter besonderer Berücksichtigung der spätlatènezeitlichen Fundstelle Basel-Gasfabrik. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt 1994, 31–52.

Rentzel 1997

Philippe Rentzel, Geologisch-bodenkundliche Untersuchungen in der Grabung Süd. In: Hanspeter Spycher und Caty Schucany (Hrsg.). Die Ausgrabungen im Kino Elite im Rahmen der bisherigen Untersuchungen der Solothurner Altstadt. Antiqua 29 (Basel 1997) 23–32.

Rentzel (in Vorb.)

Philippe Rentzel, Mikromorphologische Untersuchungen. Ein Beitrag zur Quartärgeologie, zur Bodenkunde und zur Interpretation der archäologischen Strukturen. In: Kaspar Richner et al., Ausgrabungen am Basler Murus Gallicus 1990–1993, Teil 1, Die späteltischen bis neuzeitlichen Befunde (Textband). Materialhefte zur Archäologie in Basel 12A (Basel, in Vorbereitung).

Stoops 1990

Georges Stoops, Multilingual translation of the terminology used in the «Handbook for soil thin section description». In: Lowell Douglas (ed.), Soil micromorphology: a basic and applied science. Proceedings of the VIIIth International Working Meeting of Soil Micromorphology, San Antonio, Texas – July 1988 (Amsterdam 1990) 705–716.

Wood and Johnson 1982

Raymond Wood and Donald Lee Johnson, A survey of disturbance processes in archaeological site formation. In: Michael B. Schiffer (ed.), Advances in archaeological method and theory (New York 1982) 539–607.

Abbildungsnachweise

Abb. 1, 5, 8, 11 – Zeichnungen: Catrin Glaser

Abb. 1, 5, 8 – Tabellen: Gesa-Britt Narten und Philippe Rentzel

Abb. 10 – Foto: Philipp Tröster

Abb. 12a, 12b – Tabellen: Philippe Rentzel

Abb. 12a, 12b, 16, 17, 18a, 20 – Fotos: Thomas Kneubühler

Abb. 2, 3, 4, 6, 7, 9, 13a, 13b, 14, 15, 18b, 19, 21 – Fotos: Philippe Rentzel

Anmerkungen

- 1 Unter dem Begriff «konstruierte» Böden verstehen wir absichtlich durch den Menschen hergestellte Bodenbeläge wie Lehm- oder Mörtelböden, die meist aus einem angeführten und speziell verarbeiteten Material bestehen. Siehe dazu auch Courty et al. 1989, 124.
- 2 Bordes 1975, 139.
- 3 trampling = Begehung.
- 4 Jongerius 1983, Boiffin et Bresson 1987, Kooistra 1987, Bresson and Zambeaux 1990.
- 5 Gé et al. 1993, 151.

6 Rentzel 1997, 46; Rentzel, in Vorb.

7 Als Sedimenttypen für unsere Untersuchungen wurden sandige Lehme, bzw. siltige Sande sowie deren Gemische gewählt. Diese Art von Ablagerungen stellen nach unserer Kenntnis eines der häufigsten Substrate in archäologischen Fundstellen der Region Basel dar. – Für die Experimentalreihen erfolgte die Probenentnahme im Mai 1996 an der Voltastrasse 30 (Grabung 1996/7). Nebst den dort geborgenen neun Sedimentblöcken der zwei Experimentalreihen standen uns aus diversen, natürlichen Bodenprofilen über 20 weitere Dünnschliffe als Blindproben für nicht kompaktierte Sedimente zur Verfügung. An dieser Stelle sei Norbert Spichtig und Philipp Tröster für ihre Hilfe bei den Feldversuchen von 1996 bestens gedankt.

8 Die Ausmasse der Eisenrahmen, bzw. der Sedimentblöcke betragen 8/11/6 cm (b/h/t, Kubienabox), was einem Volumen von etwas mehr als 0,5 Liter entspricht.

9 Die Probe wurde 1 Woche im Trockenschrank bei 40 °C getrocknet.

10 Gewicht (8 kg) und Oberfläche (22,5 cm²) des Eisenstempels wurden so gewählt, dass sie dem Druck eines durchschnittlichen (Platt-) Fusses (ca. 200 cm²) bei einem Körpergewicht von 70 kg entsprachen. Die Bearbeitung der Proben erfolgte in den Kubienaboxen.

11 Der Sedimentblock wurde mit 50 ml Wasser befeuchtet.

12 Zur Vorgehensweise bei der Präparation der mikromorphologischen Bodenproben siehe beispielsweise Courty et al. (1989, 57 ff.). Die Harzmischung bestand aus 40 % Laro-

- min und 60% Araldit.
- 13** Als Dünnschliffe bezeichnet man 30 Mikron dicke, auf Glasplättchen geklebte Gesteinsschnitte von 47/47 mm Kantenlänge. Für deren Herstellung haben wir Thomas Beckmann, Braunschweig, zu danken.
 - 14** Beim Beschrieb der mikroskopischen Merkmale haben wir uns an die Vorschläge von Bullock et al. (1985) sowie Courty et al. (1989, 63) gehalten, jedoch so weit wie möglich auf den Fachjargon verzichtet. Bei Übersetzungen der zumeist englischen Fachausdrücke fand die Arbeit von Stoops (1990) Verwendung.
 - 15** Btv-Horizont aus kalkhaltigen, siltig-sandigen Hochflutablagerungen des Rheins.
 - 16** Die simulierte Kompaktion des Sedimentes erfolgte innerhalb des 6 cm hohen Metallrahmens. Durch diese Versuchsanordnung ergaben sich jedoch auch Verdichtungs Spuren im basalen Teil des Sedimentblockes. Diese ungewollten und artifiziiellen Spuren, die quasi das Resultat eines contre-chocs darstellen, traten bei allen Laborproben auf und werden im Folgenden nicht weiter beschrieben, da sie keinen Einfluss auf die Bildung des Gehnieveaus ausüben. Bei zukünftigen Versuchen ist jedoch darauf zu achten, dass simulierte Begehungen auf möglichst grossen Sedimentblöcken erfolgen können.
 - 17** Dass sich die Mikroholzkohlen vorab auf Bereiche entlang von Porenräumen konzentrieren, dürfte mit Entmischungserscheinungen, bzw. mit aufsteigendem Porenwasser im Zusammenhang stehen.
 - 18** Nach Arbeitsgruppe Bodenkunde (1982) handelt es sich um einen Verwitterungshorizont einer Braunerde-Parabraunerde (Btv-Horizont) aus Hochflutsanden. Siehe dazu auch Kap. 2.1 Laborversuche, und Rentzel 1994, 42, bes. Abb. 8b.
 - 19** Zu den siltigen Einschaltungen in Polygonform vgl. auch Kap. 2.3.
 - 20** An der Basis der Bodenprobe 96/7/12 ist eine allmähliche Abnahme der Kompaktionsanzeiger feststellbar. Dennoch wurde der natürliche, unveränderte Hochflutsand nicht erreicht, was durch die zu geringe Probetiefe bedingt ist.
 - 21** Kavernös = Schwammartig.
 - 22** Matthews 1995; Courty et al. 1994, 255.
 - 23** Gé et al. 1993, 156.
 - 24** Siehe hierzu auch Kap. 3. – Im Rahmen eines Feldversuches für *trampling* auf feuchter Seekreide liessen sich in der Fundstelle Risch (ZG) ähnliche Beobachtungen wie in den hier vorgestellten Feldexperimenten machen. Nach 4 Wochen dauernder Begehung durch die Ausgräber entstand eine 19 mm mächtige, durch *trampling* akkumulierte Schicht. Siehe dazu Philippe Rentzel, Gillian Wallace, Risch-Oberrisch 1997 (7-628-97), Mikromorphologische Untersuchungen. Zweiter Vorbericht, August 1999. Unpubl. Bericht zu Handen Kantonsarchäologie Zug, 19.
 - 25** Von hohen Sedimentationsraten ist beispielsweise auf dem antiken Bauplatz des Theaters von Augst (BL) auszugehen. Siehe hierzu auch Hufschmid 1998, 97 ff. sowie Philippe Rentzel, Augst, Theatersanierung, Mikromorphologische Untersuchungen an den archäologischen Strukturen aus Fläche 6 (römischer Bauplatz). Unpublizierter Vorbericht 1998, 27.
 - 26** Genannt seien etwa die Beschreibungen von Davidson et al. (1992), Courty et al. (1989, 124), Bertrand et Raynal (1991, 141), Nicholson (1992), Cammas (1994) sowie zusammenfassend auch Courty et al. (1994).
 - 27** Merkmale: geringe Porosität, massive Mikrostruktur und Rissgefüge, kavernoöses Gefüge, längliche, horizontal verlaufende Porenräume, polykonkave Poren, Vesikel etc.
 - 28** Ein den siltigen Einschaltungen ähnliches Merkmal wird auch bei Courty et al. (1989, 320) erwähnt, jedoch nicht primär mit Kompaktion in Verbindung gebracht. – Archäologische Befunde und experimentelle Bodenproben haben uns bereits 1994 anlässlich der Ausgrabungen in Brig-Glis Waldmatte (VS) auf das Problem der siltigen Einschaltungen in Polygonform aufmerksam gemacht. Für diesbezügliche Informationen möchten wir Michel Guélat herzlich danken. Siehe dazu auch Michel Guélat et Philippe Rentzel, Brig-Glis Waldmatte, Bâtiment B852. Analyse micromorphologique, rapport ARIA BW94/5, non publié, 18.
 - 29** Bullock et al. 1985, 106.
 - 30** Ähnliche polygonförmige Strukturen können auch in stark bioturbirten, porösen Sedimenten vorkommen. Hierbei dürfte es sich nicht um Kompaktionsspuren handeln, sondern um Phänomene, die auf die Aktivität der Bodenfauna zurückgehen (Bioturbation). Freundlicher Hinweis von Richard Macphail vom 23. 8. 1997.
 - 31** Gé et al. 1993, 151.
 - 32** Wood and Johnson 1982.
 - 33** Dieser Lehmboden war im Feldbefund nicht sichtbar. Zum archäologischen Befund siehe Jud, Spichtig 1992, 21 sowie Rentzel 1994, 46.
 - 34** Zum archäologischen Befund siehe Matt 1998.
 - 35** Zum archäologischen Befund siehe Müller 1995, 72.
 - 36** Zum archäologischen Befund siehe Müller 1998, 63 ff., bes. Abb. 18.
 - 37** Zum archäologischen Befund siehe Lassau 1995, 85, bes. Abb. 2.
 - 38** Es scheint sich um in den Lehmboden eingesickerte Phosphate (Urin, Mist) zu handeln. Aufgrund der u.a. fehlenden Mistschicht kommt jedoch eine Nutzung als Stall hier nicht in Betracht. – Zum Nachweis eines gestampften Lehmbodens innerhalb eines römischen Stalles siehe auch Guélat et al. 1998, 176. – Auch in eisenzeitlichen Befunden von Lehmboden aus Lattes (F) gibt es vergleichbare Hinweise auf Phosphatimprägnationen. Siehe dazu auch Cammas 1994, 194.
 - 39** Siehe hierzu auch Rentzel 1994, 49.
 - 40** Von Fäkalien stammend.
 - 41** Bezüglich der Kompaktionsspuren an der Basis der Schüttungen des Murus gallicus vergleiche auch Moor et al. 1994, 23 sowie Rentzel (in Vorb.). Zu den Kompaktionsspuren in den Sedimenten der römischen Bauplätze des Theaters von Augst: Ph. Rentzel, Augst, Theatersanierung, Mikromorphologische Untersuchungen an den archäologischen Strukturen aus Fläche 6 (römischer Bauplatz). Unpubli-

zierter Vorbericht 1998, 27.

- 42** Siehe hierzu die Arbeiten von Davidson et al. (1992), Courty et al. (1989, 124), Bertrand et Raynal (1991), Nicholson (1992), Cammas (1994) oder Courty et al. (1994).
- 43** In der Arbeit von Gé et al. (1993, 161 ff.) werden diese schlechter konservierten *trampling*-Befunde auch als «relictual structured micro-facies» bezeichnet.
- 44** Siehe zum Beispiel Rentzel 1994, 48; Rentzel 1997, 31 oder Guélat, Federici-Schenardi 1999.
- 45** Zu den direkten und indirekten Evidenzen für den Nachweis eines Gelniveaus zählen solche, die aus dem unmittelbaren Grabungsbefund respektive aus der Auswertung des archäologischen Gesamtbefundes stammen.

