

Zeitschrift: Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst
Herausgeber: Augusta Raurica
Band: 32 (2011)

Artikel: Aktuelle Korrosionsgefahr? Nachweis von Düngerresten im Boden von Augusta Raurica
Autor: Gruber, Christian / Bahrig, Björn / Furger, Alex R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-395737>

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: 29.01.2026

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

Aktuelle Korrosionsgefahr?

Nachweis von Düngerresten im Boden von Augusta Raurica

Christian Gruber¹, Björn Bahrig² und Alex R. Furger³

Zusammenfassung

Bei archäologischen Ausgrabungen in Augusta Raurica wurde in den letzten Jahren und Jahrzehnten festgestellt, dass die geborgenen Funde, insbesondere aus Kupferlegierungen und Eisen, weniger deutlich jene aus Glas, in einem schlechteren Zustand sind als die früher geborgenen Stücke. Aus Untersuchungen in anderen Gebieten ist bekannt, dass der Grund dafür die Veränderung des Bodenchemismus u. a. infolge eines übermässigen Düngereinsatzes sein kann. Dies sollte für das Gebiet von Augusta Raurica überprüft werden. – Die Untersuchung der Bodenbelastung durch Düngestoffe an sechs ausgewählten Stellen ergab, dass heute keine klaren Hinweise auf eine erhöhte Korrosivität unter landwirtschaftlich genutzten Flächen im Vergleich zu ungenutzten Flächen (mehr) bestehen. Es ist vielmehr anzunehmen, dass die beobachteten Korrosionsschäden in den letzten Jahrzehnten entstanden sind, die heutige zurückhaltendere Düngepraxis aber nicht mehr zu einer bedeutenden Gefährdung von archäologischen Funden in Augusta Raurica führt. Nach wie vor ein grosses Problem ist das Pflügen, durch das im Boden verborgene Mauerkrönen und Kulturschichten zerstört und Funde an die Oberfläche gerissen werden.

Schlüsselwörter

Altlasten, Augusta Raurica, Bodenkunde, Dünger, Korrosion (Bronze, Eisen, Glas), Kulturschichten, Landwirtschaft, Pflugschäden.

Abstract

During the archaeological excavations carried out in Augusta Raurica over the past number of decades, it was noticed that the finds recovered, in particular those made of copper alloys and iron, and to a lesser extent those made of glass, were in a poorer condition than those finds recovered prior to that. It is known from studies in other regions that this can be caused by a change in the chemical composition of the soil, among other things by the overuse of fertiliser. It was decided to determine whether this was the case in Augusta Raurica. – An analysis of the soil contamination due to the use of fertiliser carried out on samples from six selected locations revealed that today there is no (longer any) clear evidence of an increased corrosivity in the soil beneath farmed land compared to that beneath untilled areas. One may assume then that the corrosion damage observed occurred over the past number of decades but that today's more guarded use of fertiliser no longer poses a significant threat to the archaeological finds in Augusta Raurica. Ploughing, on the other hand, does remain a considerable problem because it can destroy wall crowns and cultural layers below the surface and rip finds out of the ground.

Fragestellung aus archäologischer Sicht

Seit rund 20 Jahren wird bei archäologischen Ausgrabungen in Augusta Raurica (Abb. 1) festgestellt, dass die geborgenen Funde in einem schlechteren Zustand sind als früher. Dies betrifft offenbar vor allem Objekte aus Kupferlegierungen (Abb. 2)⁴, Eisen und Glas (Abb. 3). In einer Zone in Kaiseraugst, in der bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts Klärschlamm⁵ ausgebracht wurde, sind sogar Auslaug-Schäden an römischer Keramik beobachtet worden⁶.

Die Archäologen/-innen und die Restauratoren/-innen von Augusta Raurica führten diese jungen Korrosionsschäden an Metall- und Glasfunden eher auf die Düngung der landwirtschaftlich genutzten Böden als auf den sauren Regen oder andere atmosphärische Umweltveränderungen zurück.

Nach Aussagen von Augster Landwirten war die Düngung besonders in den 1960er-Jahren extrem intensiv. Ob der gegenwärtige, stark reduzierte Düngereinsatz auch heute noch Schäden an den Funden anrichtet, ist Gegenstand dieser Untersuchung. Gleichzeitig gehen wir der Frage nach,

- 1 magma AG, Geologie Umwelt Planung, Spitalstrasse 27, CH-8200 Schaffhausen; www.magma-ag.ch; c.gruber@magma-ag.ch (Auftragsnummer 10341, 2010/2011).
- 2 Sachverständigenbüro für Boden- und Grundwasserschutz, Mettnaublick 17, D-78476 Allensbach; b.bahrig@boden-grundwasserschutz.de.
- 3 Augusta Raurica, Giebenacherstrasse 17, CH-4302 Augst; alex.furger@bl.ch.
- 4 Zum Beispiel auch die Siegelkapseln aus Bronze und Messing: «... die ab der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts aufgefundenen Kapseln [sind] deutlich stärker korrodiert und demnach auch fragiler in ihrer Metallschubstanz» (M. Wartmann, Restaurierung der Siegelkapseln. In: A. R. Furger/M. Wartmann/E. Riha u. a., Die römischen Siegelkapseln aus Augusta Raurica. Forsch. Augst 44 [Augst 2009] 145). – Zusammenfassend: A. R. Furger, Ausschreibungsunterlagen und Projektbeschreibung, internes Schreiben vom 15.04.2010.
- 5 Klärschlamm ist vor allem wegen Giftstoffen und Schwermetallen berüchtigt. Das sehr nährstoffreiche Gemisch enthält aber auch beträchtliche Anteile an Magnesium-Ammonium-Phosphat. Ein Zusammenhang zwischen dem Ausbringen von Klärschlamm auf Feldern und Korrosionsschäden an dort eingelagerten archäologischen Funden ist unseres Wissens noch nicht untersucht worden.
- 6 Darauf machen Sandra Ammann und Urs Müller aufmerksam, die sich mit dem römischen Gräberfeld von Kaiseraugst-Im Sager befassen.

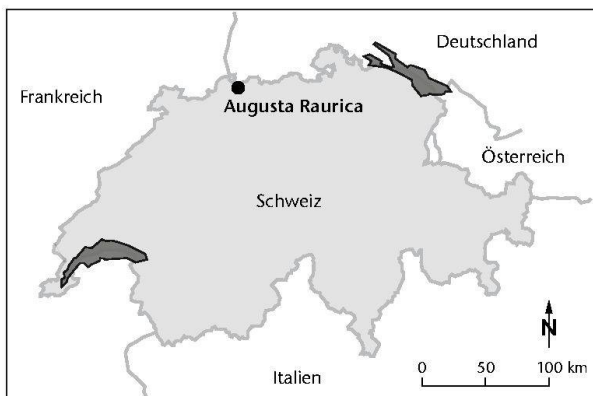


Abb. 1: Geografische Lage von Augusta Raurica.

ob sich heute noch erhöhte Werte der intensivsten Düngungsperiode des mittleren 20. Jahrhunderts, welche allenfalls immer noch als «Altlasten» auf die archäologischen Objekte im Boden einwirken, im Boden nachweisen lassen.

Das Archäologiegesezt des Kantons Basel-Landschaft⁷ gäbe den Verantwortlichen die Möglichkeit, Nutzungsbe-

schränkungen zu erlassen: «Der Regierungsrat nimmt nach Anhören der Einwohnergemeinde archäologische Stätten und Zonen in das Inventar der ortsfesten Schutzobjekte auf und ordnet die nötigen Schutzvorkehrungen und Nutzungsbeschränkungen an.» (§ 71). Bei allfälligen Nutzungsbeschränkungen ist nicht nur an die Korrosionsschäden durch Düngestoffe zu denken, sondern auch an die mechanischen Zerstörungen durch das Pflügen (Abb. 27). Solche schwerwiegenden Eingriffe in die landwirtschaftliche Nutzung möchten die Augster Archäologen allerdings nur dann erwägen, wenn einerseits die Pflüfung auch weiterhin bis in die Kulturschichten hinunter erfolgt und/oder andererseits eine Fortsetzung des Zerfalls von Metallfunden und Glas durch im Boden enthaltene Düngestoffe nachgewiesen werden kann.

Die Frage lautete bei der Auftragserteilung demzufolge: Ist die chemische Bodenbelastung heute nachweislich (noch) so hoch, dass der beobachtete Zerfall am archäologischen Fundmaterial durch Korrosion und andere chemi-

7 www.baselland.ch/793-0-htm.294398.0.html.



◀ Abb. 2: Sechs Münzen aus Augusta Raurica. Die Düngungseuphorie in der Landwirtschaft zwischen etwa 1960 und 1990 hatte verheerende Folgen für die römischen Fundobjekte im Boden von Augusta Raurica. Die damals in grossen Mengen ausgebrachten Hofdünger und chemischen Dünger enthalten Chemikalien, welche die archäologischen Fundgegenstände aus Metall und Glas im Boden angreifen. Im Bild sind links drei vorzüglich erhaltene Münzen abgebildet, wie sie besonders aus alten Ausgrabungen – vor der Zeit der intensiven Düngungen – in Augusta Raurica bekannt sind (es gibt bisweilen auch gut erhaltene Neufunde). Dank optimaler lokaler Bodenverhältnisse sind sie – auch nach 1600–1900 Jahren im Boden – kaum korrodiert. Die drei anderen Beispiele – aus Grabungen der letzten zwei Jahrzehnte – sind von der Lagerung in einem aggressiven Bodenmilieu stark zerfressen und können deshalb nicht mehr genau bestimmt und datiert werden: Die historische Information ist verloren! Alle Beispiele bestehen aus Kupferlegierungen (die viel selteneren Gold- und Silbermünzen sind in der Regel besser erhalten).

► Abb. 3: Exemplarische Beispiele von Glasfunden aus Augusta Raurica: links in guter Oberflächenerhaltung, rechts von der Lagerung im Boden matt, irisierend oder brüchig geworden. Ähnlich wie die Eisen- und Bronzefunde (Abb. 2) können auch Glasfunde in korrosivem Bodenmilieu Schaden nehmen. Dies kann zu einer starken Irisbildung (rechts, Mitte), zum Mattwerden der Glasoberfläche (rechts oben) oder zu feinsten Abplatzungen führen. Bei Glasfunden ist der Trend jedoch weniger offensichtlich als bei Metallobjekten, denn auch unter Altfunden finden sich bisweilen Oberflächenschäden und viele Neufunde sind nach wie vor gut erhalten.



sche Prozesse im Boden anhält? Oder ist die Gefahr inzwischen gebannt, weil heute viel weniger gedüngt wird und der Chemismus der Augster Böden durch Auswaschung in den letzten Jahrzehnten unbedenklich geworden ist?

Auswärtige Beobachtungen und Untersuchungen

Die in Augusta Raurica gemachten Beobachtungen wurden auch andernorts gemacht und beklagt: «Empirical evidence has shown that industrialization and changes in agricultural practices have caused worldwide dramatic changes in the burial conditions of the archaeological remains»⁸ oder: «The results showed that the condition of excavated bronzes had greatly deteriorated during the last 50–60 years»⁹.

In verschiedenen naturwissenschaftlichen Arbeiten wurde das Phänomen der zunehmenden Korrosion von archäologischen Funden im Boden untersucht, einerseits generell¹⁰,

- 8 H. Kars, Preserving our in situ archaeological heritage: a challenge to the geochemical engineer. *Journal Geochemical Exploration* 62, 1998, 139–147, bes. 139.
- 9 I. Ullén/A. G. Nord/M. Fjaestad/E. Mattsson/G. Ch. Borg/K. Tronner, The degradation of archaeological bronzes underground: evidence from museum collections. *Antiquity* 78, Nr. 299, 2004, 380–390, bes. 380.
- 10 R. F. Tylecote, The effect of Soil Conditions on the Long-term Corrosion of Buried Tin-bronzes and Copper. *Journal Arch. Scien.* 6, 1979, 345–368 (S. 352 auch im Vergleich mit Eisen); W. Gerwin/W. Scharff/R. Baumhauer, Corrosive decay of archaeological metal finds from different soils and effects of environmental pollution. In: W. Mourey/L. Robbiola (Hrsg.), *Metal 98. Proceedings of the International Conference on Metals Conservation*. Draguignan-Figanières, France, 27–29 May 1998 (London 1998) 100–105, bes. Abb. 1; W. Scharff u. a., Schutz archäologischer Funde aus Metall vor immisionsbedingter Schädigung. *Materialh. Arch. Baden-Württemberg* 57 (Stuttgart 2000); D. A. Davidson/C. A. Wilson, An assessment of potential soil indicators for the preservation of Cultural Heritage (Stirling 2006), bes. 22; H. Huisman (Hrsg.), *Degradation of archaeological remains* (Den Haag 2009) (diesen Literaturhinweis verdanken wir Florence Cattin, Leuven/B); M. Strobel/Th. Westphalen, Archäologische Denkmalpflege vs. moderne Landwirtschaft? *Arch. Deutschland* 2011, Nr. 3 Mai–Juni, 44 f. (diesen Literaturhinweis verdanken wir Werner Scharff).

aber auch spezifisch bezüglich Funden aus Eisen¹¹ resp. aus Kupfer/Bronze¹², Glas¹³ und Knochen¹⁴. Die meisten Untersuchungen beschreiben die Phänomene an den Objekten und nennen als Ursachen recht generell verschiedene Umwelteinflüsse oder die Übersäuerung. So vergleicht Werner Scharff eiserne Alt- und Neufunde aus Beckum/D etwa so: «Die Altfunde von 1863 sind stabil, die Funde von 1959 wurden durch Sulfate aus dem Regenwasser zerstört.»¹⁵ Nur ein Teil der Autoren und Autorinnen kommt explizit zum Schluss, dass der Zerfall von archäologischen Fundstücken im Untergrund durch übermäßigen Düngereinsatz¹⁶ an der Oberfläche beschleunigt wird.

Werner Gerwin, Werner Scharff und Klaus Menzel führten sogar Auslagerungsversuche mit Proben aus Eisen, Kupfer, Messing, Bronze, Zinn, Blei und Silber durch. Sie vergruben die band-, blech- und drahtförmigen Metallstücke für 2½ Jahre auf dem Fürstenberg bei Xanten/D: je eine Serie in einem naturbelassenen Waldgebiet, in einem gekalkten Waldboden, auf einem ungedüngten Acker und in einer gedüngten Ackerfläche. Nach Analyse der im Boden entstandenen Oberflächenveränderungen an den wieder gehobenen Objekten kommen sie zum Schluss: «Ein Vergleich der im Wald und im ungedüngten beziehungsweise gedüngten Acker-

land ausgelagerten Proben ergab, dass im gedüngten Ackerland alle Materialien zum Teil deutlich stärker korrodierten; die Proben aus Blei und Zinn hatten sogar Lochfrass. Bei den Buntmetallen scheint die Objektoberseite im Wald stärker korrodiert zu werden als die Unterseite. Im Ackerland deutet sich eine Umkehr dieser Tendenz an. Auffällig ist, dass die Messingproben sogar im Wald der Spannungsrisskorrosion unterlagen, die nach der Lehrmeinung vor allem auf Nitrat und Ammoniak und seine Verbindungen zurückgeht.»¹⁷

Auftrag

Um Ursachen und Gefahrenpotenzial abzuklären, wollten wir eine Serie von Bodenanalysen im Perimeter der römischen Oberstadt von Augusta Raurica durchführen. In *sechs Arealen* (Abb. 4,1–6) sollten je zwei benachbarte Bohrungen angebracht werden: eine im permanent landwirtschaftlich genutzten Gebiet (auf den folgenden Planausschnitten und Fotos mit «A» bezeichnet) und eine möglichst nahe davon an einer Stelle, die seit Jahrzehnten nicht mehr oder gar nie beackert und gedüngt worden ist (mit «B» bezeichnet).

- 11 W. Scharff, Tresor Boden nicht mehr sicher. Umweltschäden an archäologischen Funden. In: G. Graichen/H. H. Hillrichs (Hrsg.), C14 – Die Gebeine des Papstes. Neue archäologische Entdeckungen in Deutschland (München 1993) 217–232, bes. 218–226; K. Tronner/A. G. Nord/G. Ch. Borg, Corrosion of archaeological bronze artefacts in acidic soil. Water, Air and Soil Pollution 85/4, 1995, 2725–2730; W. Gerwin/R. Baumhauer, Effect of soil parameters on the corrosion of archaeological finds. Geoderma 96, 2000, 63–80; W. Gerwin/W. Scharff/K. Menzel, Präventive Bodendenkmalpflege – Entwicklung eines Monitoring-Konzeptes zum Schutz archäologischer Bodenfunde *in situ*. In: R. Baumhauer/B. Schütt (Hrsg.), Beiträge zu aktuellen Forschungen aus dem Fach Physische Geographie der Universität Trier. Trierer Geogr. Stud. 23, 2000, 7–30, bes. 24 (Test mit ausgelagerten Proben aus Bandstahl); Scharff u. a. (Anm. 10) 26–30; A. G. Nord/K. Tronner/I. Ullén, On the deterioration of archaeological iron artefacts in soil. Fornvännen 97, 2002, 298–300, bes. 299 Tabelle 1.
- 12 Scharff (Anm. 11) 226–228; Scharff u. a. (Anm. 10) 30–36; D. A. Scott, Copper and Bronze in Art. Corrosion, colorants, conservation (Los Angeles 2002) 41; A. M. Pollard/L. Wilson/A. S. Wilson/A. J. Hall/R. Shiel, Assessing the influence of agrochemicals on the rate of copper corrosion in the vadose zone of arable land. Part 1: field experiments. Conservation and Management of Archaeological Sites 6, 2004, 363–376. – Ullén u. a. (Anm. 9) berücksichtigen bei ihrer Untersuchung prähistorischer Bronzefunde zwar die regional unterschiedliche Umweltverschmutzung, leider aber nicht den Einfluss der Düngung landwirtschaftlich genutzter Böden auf die Bronzekorrosion. Ihre Abbildungen 6 und 7 (S. 386 f.) illustrieren jedoch deutlich, dass nach der Mitte des 20. Jhs. ausgegrabene Bronzeobjekte schlechter erhalten sind als Altfunde. Die Autorinnen und Autoren nennen als Grund der zugenommenen Bodenbelastung die Übersäuerung durch die Umweltverschmutzung und erwägen keine landwirtschaftlichen Ursachen infolge allfälliger Überdüngung. Als zusätzliche mögliche Ursachen vermehrter Bronzekorrosion werden hingegen Grundwasserabsenkungen und stärkere Bodendurchlüftung, Strassen-Winterdienst mit Salz und Wiederaufforstung genannt (S. 388). – Auch Scharff (Anm. 11) 225 weist

auf die Korrosionsauslöser Schwefel- und Salpetersäure im (sauren) Regen und auf den Strassen-Salzdienst hin.

- 13 «Die üblichen Alkali-Kalk-Gläser, zu denen alle alten Gläser zu zählen sind, verwittern mehr oder weniger schnell und stark durch die Einwirkung von Luftfeuchtigkeit bzw. Wasser, Kohlendioxyd und anderen im Wasser gelösten Salzen anorganischer und auch organischer Natur.» (W. Geilmann, Beiträge zur Kenntnis alter Gläser IV. Die Zersetzung der Gläser im Boden. Glastechn. Berichte 29, 1956, 156–168, bes. 145). Leider finden sich bei Geilmann keine Hinweise auf die allenfalls beschleunigende Wirkung von Dünger auf die Korrosionsprozesse an Glasfunden, ebenso wenig bei D. J. Huisman/S. Pols/I. Joosten/B. J. H. van Os/A. Smit, Degradation processes in colourless Roman glass: cases from the Bocholtz burial. Journal Arch. Science 35/2, 2008, 398–411 (freundlicher Hinweis von Florence Cattin, Leuven/B).
- 14 Es ist längst bekannt, dass saure Böden zu sehr raschem Zerfall von Tier- und Menschenknochen führen können und entsprechend schlecht bis gar nicht erhalten sind diese organischen Reste in gewissen Ausgrabungsarealen. Dazu Kars (Anm. 8) 142 f.; 146.
- 15 Scharff (Anm. 11) Bildlegende S. 219. Scharff weist u. a. auch auf einen Zusammenhang zwischen erhöhter Fundkorrosion und Braunkohleheizungen als Sulfatquellen hin (S. 224).
- 16 Scharff u. a. (Anm. 10) 46–50 (mit Dünger-Statistik für Deutschland 1950–1996: S. 48); Gerwin/Scharff/Menzel (Anm. 11) 7 mit älterer Lit.; Pollard u. a. (Anm. 12). – So auch Scharff (Anm. 11) 224 f.: «Dass Chloride archäologische Funde im Erdreich angreifen, ist seit dem letzten Jahrhundert bekannt ... Als Chloridquelle kommen allerdings weniger Luftschadstoffe und saurer Regen in Betracht als vielmehr Düngemittel ... Entsprechendes gilt auch für Gülle, die als sehr korrosiv eingestuft wird, denn neben einem beträchtlichen Elektrolytgehalt gelangen mit der Gülle zahlreiche Bakterien und organische Substanzen in den Boden, wodurch unter anderem die durch Mikroben verursachte Korrosion gefördert werden kann. Ausserdem wirkt Gülle deutlich versauernd.»
- 17 Gerwin/Scharff/Menzel (Anm. 11) 17 f. Wir danken an dieser Stelle Werner Scharff für seine Auskünfte (vom 02.04.2001 in Augst).

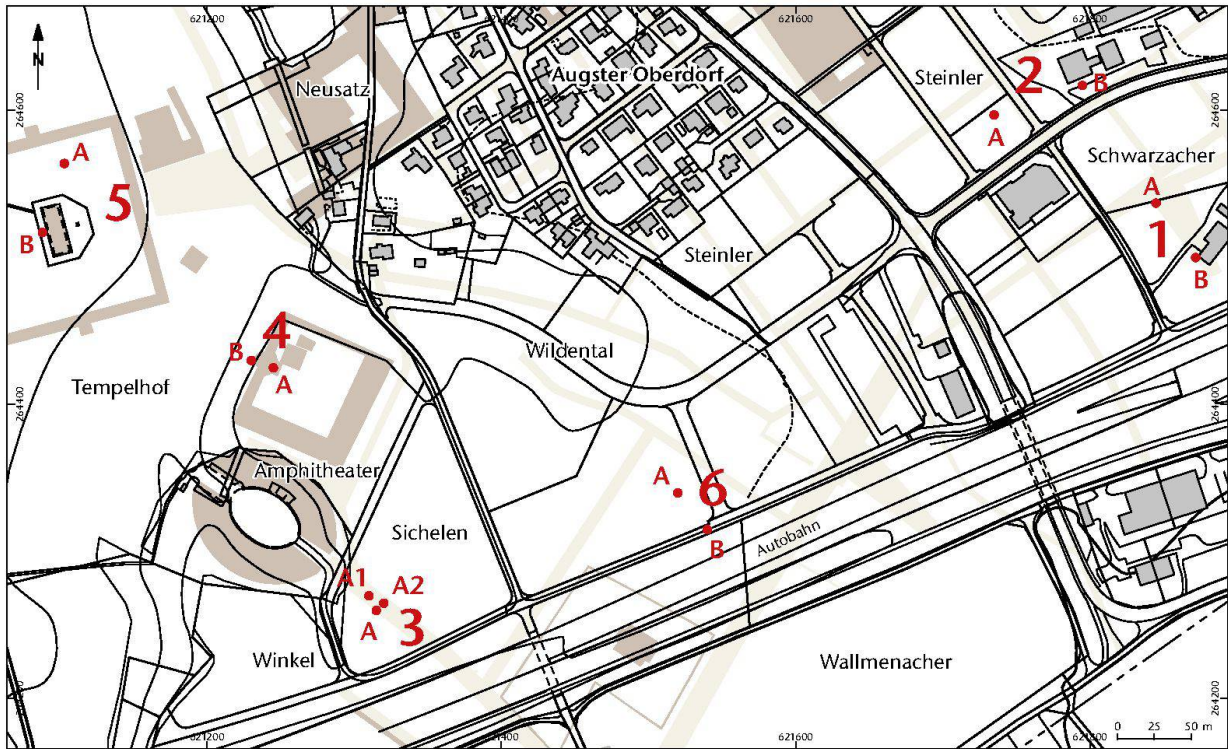


Abb. 4: Augst/BL, römische Oberstadt mit den öffentlichen Monumenten (beige) und der modernen Überbauung. Rot: Lage der Entnahmestellen 1–6 für die analysierten Bodenproben. M. 1:5000.

Von jeder Bohrung sollten *drei Proben* in drei verschiedenen Höhen entnommen und analysiert werden:

- eine obere ca. 20 cm unter der Oberkante des heutigen Terrains (= ca. Unterkante der modern durchpflügten Humusschicht),
- eine weitere in der Mitte der Bohrtiefe (= mitten im archäologischen Kulturschichtpaket)
- und eine untere an der Basis der Bohrtiefe (= etwa im Bereich Unterkante Kulturschichten resp. Oberkante anstehender Boden).

Die Bohrtiefen sind unterschiedlich und richten sich nach der Tiefe der untersten archäologischen Kulturschicht.

Vonseiten der Augster Restauratorinnen Maya Wartmann und Maria-Luisa Fernández wurde die Analyse der folgenden Parameter in allen Bohrproben gewünscht: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Karbonat, Nitrat, Stickstoff, Sulfate, Sulfide und Phosphat. Von der Firma magma AG wurden die zusätzlichen Parameter organischer und anorganischer Kohlenstoff (TOC, TIC), Ammonium, Säurekapazität, ortho-Phosphat, Calcium und Magnesium vorgeschlagen.

18 Mit Eluat bezeichnen Bodenkundler und Chemiker das Gemisch aus Lösungsmitteln (im Labor zugesetzt) und gelösten Substanzen (aus der Bodenprobe).

Ausgangslage und Grundlagen

Vorgehen

Mit den nachfolgend dargestellten Arbeiten sollte abgeklärt werden, ob die Belastung des Bodens durch Düngestoffe im Bereich von landwirtschaftlich genutzten Böden heute noch signifikant höher liegt als in benachbarten, anders genutzten Bereichen. Von besonderem Interesse ist die Nährstoffbelastung in der Tiefe der archäologischen Fundschichten. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten als Grundlage für die Entscheidung dienen, ob im Bereich von archäologischen Stätten die landwirtschaftliche Nutzung eingeschränkt werden muss.

Der Auftrag an die magma AG umfasste demnach die folgenden Arbeiten:

- 13 Sondierbohrungen an sechs Lokalitäten (Abb. 4) bis max. 2,7 m Tiefe, Entnahme von Bodenproben *aus drei Tiefenbereichen* pro Bohrung: Oberkante der römischen Kulturschichten (Unterkante Humus, ca. –0,2 m); Mitte der Kulturschichtpakete; Unterkante der Kulturschichten (ca. –1,2 bis –2,7 m).
- Chemische Analyse von 39 Bodenproben (Feststoffe und Eluat¹⁸) gemäss vereinbartem Analysenprogramm;
- Dokumentation der Arbeiten und Ergebnisse (Profilbeschreibung, tabellarische und grafische Darstellung der Analysenresultate, kurzer Auswertungsbericht).

Für die Ausarbeitung des Untersuchungsprogramms und die Auswertung der Resultate wurden insbesondere die in Anmerkung 10 zitierte sowie weitere Literatur und Standards verwendet¹⁹.

Ausgeführte Arbeiten

Vorbereitung

Anlässlich einer Startsituation am 28.09.2010 in Augst wurden die betroffenen Grundeigentümer und landwirtschaftlichen Pächter von Augst über die Problematik des Düngens und Pflügens auf archäologischen Fundstellen (s. Abb. 2; 3; 27) sowie über die konkret geplanten Sondierarbeiten informiert. Gleichzeitig wurde das Untersuchungsprogramm leicht angepasst und ergänzt. Die Grundeigentümer resp. Landwirte wurden unmittelbar vor Ausführung der Sondierungen nochmals kontaktiert.



Abb. 5: Leichtes Kleinrammkern-Bohrgerät. Mit dem Einsatz eines solchen tragbaren Geräts entsteht kaum Flurschaden, wenn mitten in einem Acker eine Proben-Bohrung vorgenommen wird.

Sondierungen

Am 17.11.2010 wurden die Sondierungen durch Björn Bahrig und Eike Kreikenbaum der magma AG ausgeführt. Zum Teil mussten die Sondierstandorte wegen unklarer Leitungsverläufe oder zu hartem Untergrund verschoben oder mehrfach angesetzt werden. Am Standort 3 (Amphitheater Ost) wurden die Sondierungen nach drei Versuchen abgebrochen, da kein Fundhorizont angetroffen wurde und wegen des harten und kiesigen Materials keine Probenahme möglich gewesen wäre. An den übrigen Standorten wurden die Sondierungen wie geplant durchgeführt.

Die Bohrungen wurden als *Rammkernsondierungen* mit einem handgeführten Bohrhammer (Abb. 5) und einem Sondendurchmesser von 60/50 mm ausgeführt. Die Bohrstellen mussten für die Probenahme nicht befahren werden. Die Bohrungen wurden vor Ort geologisch aufgenommen. Die Sondierprofile sind gemäss DIN 4023 dargestellt (Abb. 8 usw.). Die Proben wurden mit einem Edelstahlspatel aus den Sonden entnommen (Stellen «■» in Abb. 8 usw.) und in Kunststoffbehälter abgefüllt. Dabei wurde jeweils eine Probe über, aus und unter dem römischen Kulturschichten-Paket entnommen.

Analysen

Die Bodenproben wurden auf die relevanten Parameter analysiert²⁰. Das Analysenprogramm ist aus den Resultatetabellen 1–5 und in den Abbildungen 28–32 im Anhang ersichtlich. Untersucht wurden:

- pH, organischer Kohlenstoff (TOC), anorganischer Kohlenstoff (TIC), S, N, P, Nitrat und Ammonium in der Originalprobe;
- pH, Leitfähigkeit, Säurekapazität, Chlorid, Sulfat, Nitrat, ortho-Phosphat, Ca und Mg im Eluat.

Die Analysenmethoden entsprechen den DIN-Methoden, was den Vergleich mit den vor allem in der Fachliteratur in Deutschland publizierten Resultaten vereinfacht. Da es im aktuellen Projekt um einen Vergleich zwischen bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Flächen geht, ist es vor allem wichtig, dass innerhalb dieser Untersuchungen die gleichen Methoden verwendet werden.

19 H.-P. Blume u. a. (Bearb.), F. Scheffer, Lehrbuch der Bodenkunde (Heidelberg 2010¹⁶); DIN 50929-3: Korrosion der Metalle. Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äusserer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern, Beuth-Verlag, Ausgabe 09.1985.

20 Durch das Analysenlabor EUROFINS Umwelt Sales, Eurofins Umwelt Ost GmbH Freiberg, D-09633 Halsbrücke; www.eurofins.de (Prüfbericht zu Auftrag 11008277 vom 02.12.2010).

Resultate

Allgemeine Bemerkungen

An jeder Bohrstelle wurden zwei Sondierungen durchgeführt und aus jeder Sondierung wurden drei Proben aus verschiedenen Tiefen entnommen. Die Sondierungen mit der Bezeichnung A liegen in landwirtschaftlich bewirtschafteten Bereichen, die Sondierungen B in seit Längerem *nicht bearbeiteten* Flächen.

Analysiert wurden einerseits Gesamtgehalte und andererseits die Gehalte in wässrigen Eluat. Jeweils am Schluss der Tabellen 1–5 (im Anhang) sind einige berechnete Grössen aufgeführt, welche folgende Bedeutung haben:

- **S1** ist eine Funktion von Säurekapazität, Chlorid- und Sulfatgehalt; Mulden- und Lochkorrosion, falls $S1 > 1$.

- **S2** ist eine Funktion von Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalt; selektive Korrosion von Verzinkungen falls $S2 > 2$. Dieser Parameter ist für archäologische Fragestellungen nur für zinkhaltige Legierungen (Messing²¹) relevant.
- **S3** ist eine Funktion von Säurekapazität und Sulfatgehalt; Korrosion von Kupfer in warmem Wasser falls $S3 < 2$.
- Hohe Gehalte an Sulfat und Nitrat erhöhen die Korrosionswahrscheinlichkeit für Kupfer.

Diese Parameter sind der DIN 50929 (Anm. 19) entnommen und dienen als Orientierungsgrössen zur Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit²². Generell gelten erhöhte Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalte sowie ein saurer pH als korrosionsfördernd, hoher pH und erhöhte Phosphatgehalte als stabilisierend für Metalllegierungen²³. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Resultate kurz zusammengefasst und kommentiert. In den Spalten der Tabellen 1–5 ist jeweils die mittlere Probe (in der Regel Probe 2) dem rō-

- 21 Zur Häufigkeit von Messing unter den Produkten römischer Buntmetallgiesser und -schmiede: A. R. Furger/J. Riederer, *Aes und aurichalcum*. Empirische Beurteilungskriterien für Kupferlegierungen und metallanalytische Untersuchungen an Halbfabrikaten und Abfällen aus metallverarbeitenden Werkstätten in Augusta Raurica. Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 16, 1995, 115–180.
- 22 Nachtrag Christian Gruber (24.05.2011): Die Parameter S1–S3 sind aus technischen Normen entnommen und dienen als *Orientierung*. S1 ist in allen Fällen kleiner als 1, S3 immer grösser als 2. Diese beiden Parameter weisen also in keinem Fall auf eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit hin. Einzig S2, der für Verzinkungen (und zinkhaltige Legierungen) relevant ist, liegt häufig über 2, die höchsten Werte in nicht bewirtschafteten Flächen. Die hohen Werte für S2

hängen eigentlich immer mit einem tiefen Nitratgehalt zusammen (die Nitratkonzentration ist im Nenner der Berechnungsformel). Bei sehr tiefen Nitratgehalten erhält man deshalb schnell sehr hohe Werte für S2, was bei den allgemein eher tiefen Konzentrationen im Eluat ein verfälschtes Bild ergibt. Die hohen Werte für S2 sind also mindestens zum Teil ein Effekt der tiefen Konzentrationen im Eluat. Die Werte sehen also wahrscheinlich «schlimmer» aus, als sie sind.

- 23 Auch antike Gläser können durch korrosive Schadstoffe im Boden stark beeinträchtigt sein. Es fällt auf, dass Glasfunde aus Landwirtschaftsflächen, die zuvor stark mit Gülle gedüngt wurden, extreme Oberflächen-Abplatzungen aufweisen können (freundliche Mitteilung Beat Rütli, Augusta Raurica).

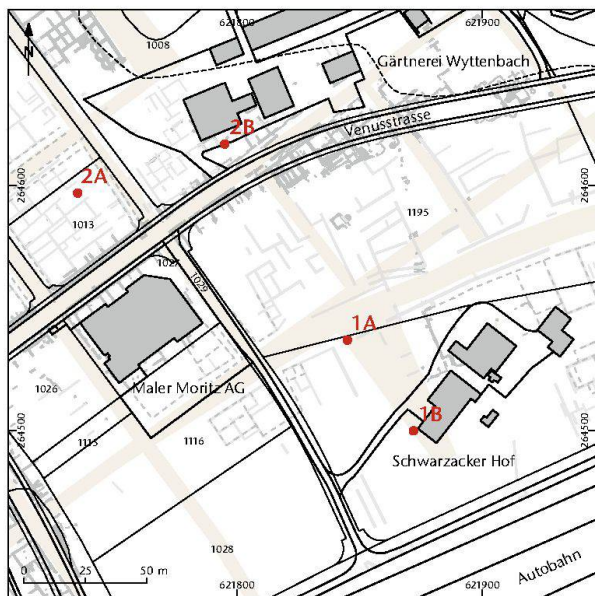


Abb. 6: Augst/BL, römische Oberstadt mit der römischen Bebauung (graue Mauerfluchten und beige Strassen) und der modernen Situation (schwarz). Rot: Lage der Proben-Bohrungen 1A und 1B bei der Gärtnerlei Wytttenbach (südlich an der Venusstrasse) sowie 2A und 2B in den Insulae 44 und 45 (nördlich der Venusstrasse). M. 1:3000.



Abb. 7: Augst/BL. Proben-Bohrungen 1A südlich an der Venusstrasse bei der Gärtnerlei Wytttenbach (links) resp. 1B im Vorgarten des Hofes Schwarzwacker (rechts). Blick von Südwesten.

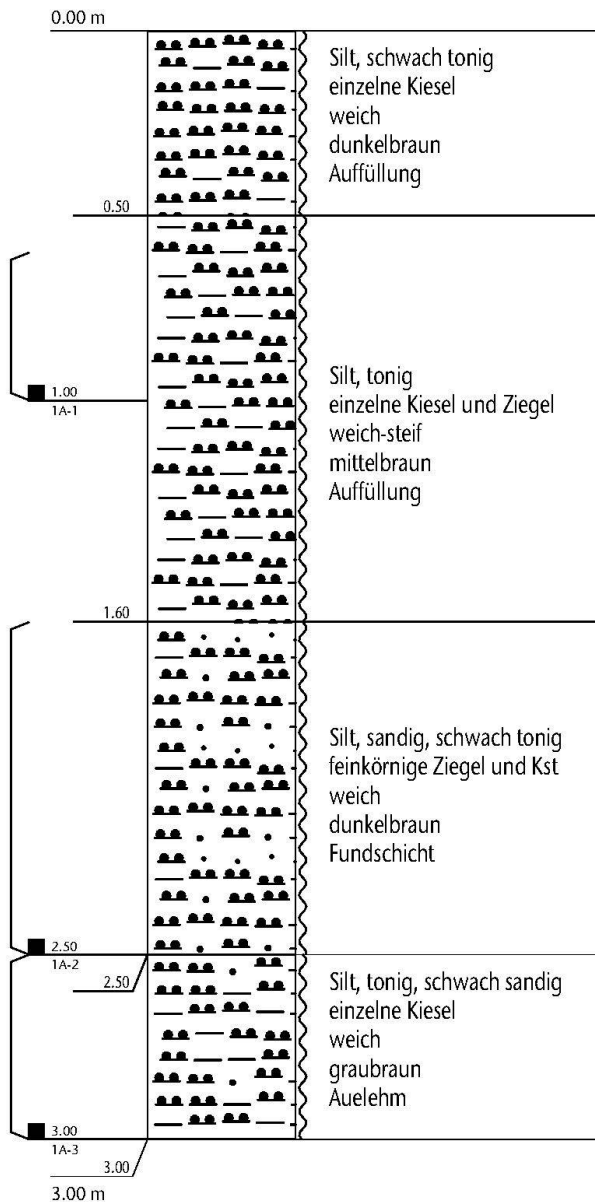


Abb. 8: Augst/BL, Gärtnerei Wytttenbach, südlich an der Venusstrasse (Lage: Abb. 6, 1A), Bohrprofil 1A mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

mischen Kulturschichtpaket zuzuordnen. Die grafisch dargestellten Resultate befinden sich ebenfalls im Anhang (Abb. 28–31).

Untersuchungsergebnisse

Bohrstelle 1 (Gärtnerei Wytttenbach; Schwarzacker-West)

Die beiden Bohrstellen 1A und 1B liegen im Südostquartier von Augusta Raurica am Rand der römischen Osttorstrasse (Abb. 6; 7). Sie wurden ausgewählt, weil bei 1A in den letzten Jahrzehnten in intensiver Bewirtschaftung Schnittblumen produziert wurden und nach Auskunft des Pächters in

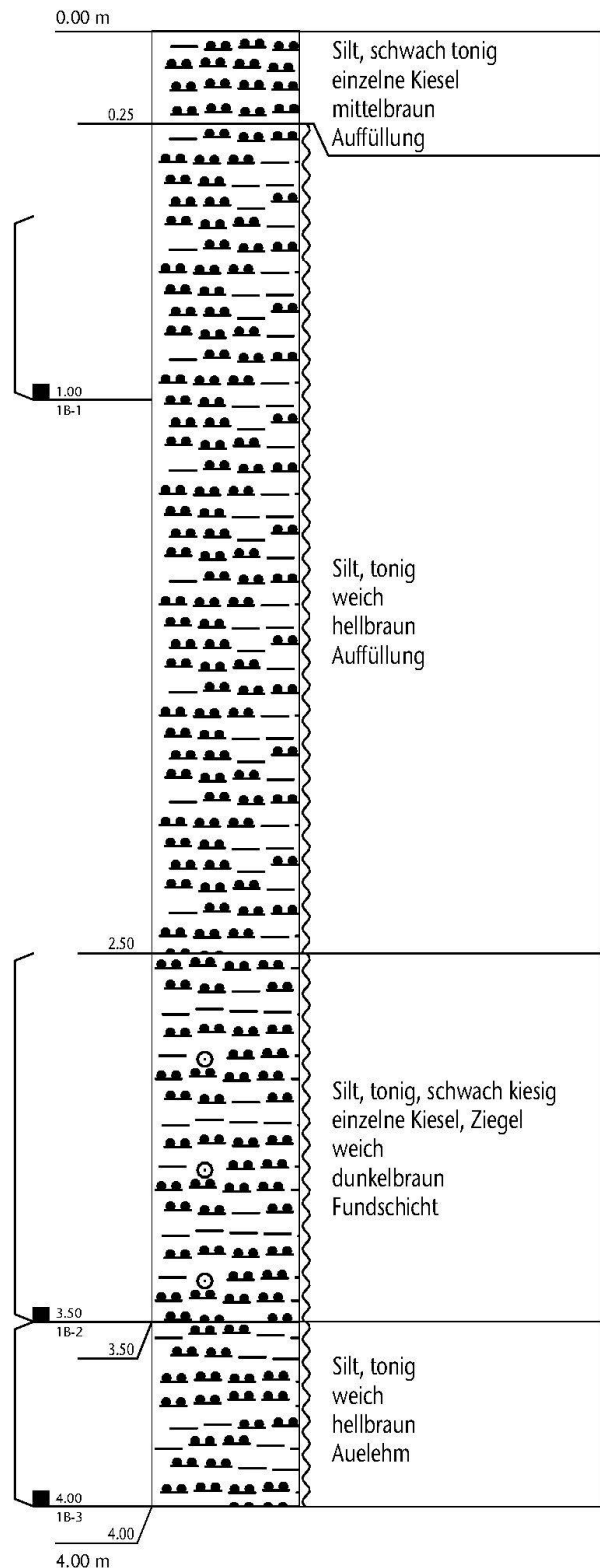


Abb. 9: Augst/BL, Garten des Hofes Schwarzacker, südlich der Gärtnerei Wytttenbach (Lage: Abb. 6, 1B), Bohrprofil 1B mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

den 1960er-Jahren sehr viel gedüngt wurde: «Vater düngte nach der Überzeugung, je mehr desto besser». Die «Gegenprobe» 1B legten wir in den mit Gras bepflanzten Sitzplatz eines nahen Gartens, der seit Generationen nicht mehr landwirtschaftlich bebaut ist.

Der Untergrund besteht aus feinkörnigem, siltig-tonigem Auffüllmaterial mit einzelnen Kieselsteinen und Ziegelbruchstücken (Abb. 8; 9). Der Untergrund in den beiden Sondierungen 1A und 1B ist vergleichbar.

Die Analysenresultate (Tabelle 1; Abb. 28) zeigen in den Proben aus der Sondierung 1A gegenüber 1B generell eher höhere Gehalte an Nitrat (Gesamt und im Eluat), Gesamt-Phosphor sowie ortho-Phosphat im Eluat. Die Unterschiede sind nicht sehr gross, zeigen aber einen Einfluss der Düngung. Die berechneten Parameter weisen nicht auf eine markant erhöhte Korrosivität im landwirtschaftlich genutzten Bereich hin. Die Unterschiede zwischen den beiden Sondierungen sind für die meisten Parameter nicht sehr ausgeprägt.

Bohrstelle 2 (Steinler; Insulae 44 und 45)

Ziel der Bohrstelle 2A war die Untersuchung eines intensiv als Acker – oft mit Mais – bewirtschafteten Bereichs in der antiken Insula 44 auf Düngerrückstände (Abb. 6; 10). Auch hier gilt – wie überall – seit einigen Jahren die gesetzliche Beschränkung auf das Einbringen eines Minimums an Düngemitteln, die gerade noch von den Pflanzen aufgenommen werden können, ohne dass Überschüsse im Boden versickern und diesen belasten. Die «ungedüngte Gegenprobe» wurde im Eingangsbereich der nahen Gärtnerei genommen, der seit Jahren mit einem Zufahrtsweg, Rabatten und Hecken versehen ist.

Der Untergrund in der Sondierung 2A besteht aus feinkörnigem, siltig-tonigem Auffüllmaterial mit einzelnen Kieselsteinen, Kalksteinen und Ziegelbruchstücken (Abb. 11). In der Sondierung 2B wurde zwischen 1,00 und 2,00 m Tiefe eine Kiesschicht angetroffen (Abb. 12). Der Aufbau des Untergrundes in den beiden Sondierungen ist deutlich unterschiedlich, was die Vergleichbarkeit der Messwerte einschränkt.

Die Analysenresultate (Tabelle 2; Abb. 29) zeigen in den Proben aus der Sondierung 2A gegenüber 2B generell eher tiefere Gehalte an Ammonium und höhere Gehalte an Gesamt-Phosphor sowie ortho-Phosphat im Eluat. Die Phosphorgehalte zeigen einen Einfluss der Düngung. Die berechneten Parameter weisen nicht auf eine markant erhöhte Korrosivität im landwirtschaftlich genutzten Bereich hin. Die Unterschiede zwischen den beiden Sondierungen sind insgesamt nicht sehr ausgeprägt.

Bohrstelle 3 (Amphitheater Ost)

Mit den Bohrungen 3A und 3B wollten wir eigentlich den Acker östlich oberhalb des Sichelengrabens (Amphitheater) untersuchen. Bereits die erste Bohrung 3A (Abb. 13; 14) scheiterte: Durch eine im Vorfeld nicht beachtete römische Strasse (mit Kieskoffer; Abb. 15) war ein tieferes Bohren trotz mehrerer Versuche (Abb. 13, 3A.3A1.3A2) leider nicht möglich



Abb. 10: Proben-Bohrungen 2A nördlich der Venusstrasse in der Insula 44 (Vordergrund) und 2B in der Insula 45 (rechts ausserhalb des Bildausschnittes). Blick von Süden.

und so wurde auch auf eine Vergleichsbohrung 3B am Waldrand verzichtet.

Der Untergrund in der Sondierung 3A besteht ab 1,00 m Tiefe aus hart gelagertem Kies und Sand (Abb. 15), der mit der angewendeten Bohrmethode wie erwähnt nicht durchstossen werden konnte. Auf eine Probenahme musste deshalb verzichtet werden.

Bohrstelle 4 (Sichelen Nord, Tempel Sichelen 1)

Mit der Bohrung 4A sollte der Acker nördlich oberhalb des Sichelengrabens (Amphitheater; Abb. 13; 16) untersucht werden. Auch hier wird – trotz der 1958 hier festgestellten Tempelanlage «Sichelen 1» – intensiv geackert und bisweilen auch Mais angepflanzt (zur Dünger-Reduktion siehe Bohrstelle 2). Trotz der Ausgrabungen sind grosse Teile des Tempelbezirks noch nicht ausgegraben und enthalten viele Metallfunde²⁴. Die «ungedüngte Gegenprobe» 4B wurde an der westlichen Hangkante zur Talaue Tempelhof/Grienmatt auf einem nicht gepflügten Gras- und Baumstreifen genommen (Abb. 16).

Der Untergrund in der Sondierung 4A besteht bis 2,00 m Tiefe aus feinkörnigem, siltig-tonigem Auffüllmaterial (Abb. 17). Darunter folgt natürlicher Schotter (Kies und Sand). In

24 A. R. Furger/Ch. Schneider, Die Bronzeglocke aus der Exedra des Tempelareals Sichelen 1. Jahresber. Augst u. Kaiseraugst 14, 1993, 159–172. – Leider mussten wir hier auch wiederholt das gesetzswidrige, zerstörerische Werk von Metalldetektorgängern feststellen.

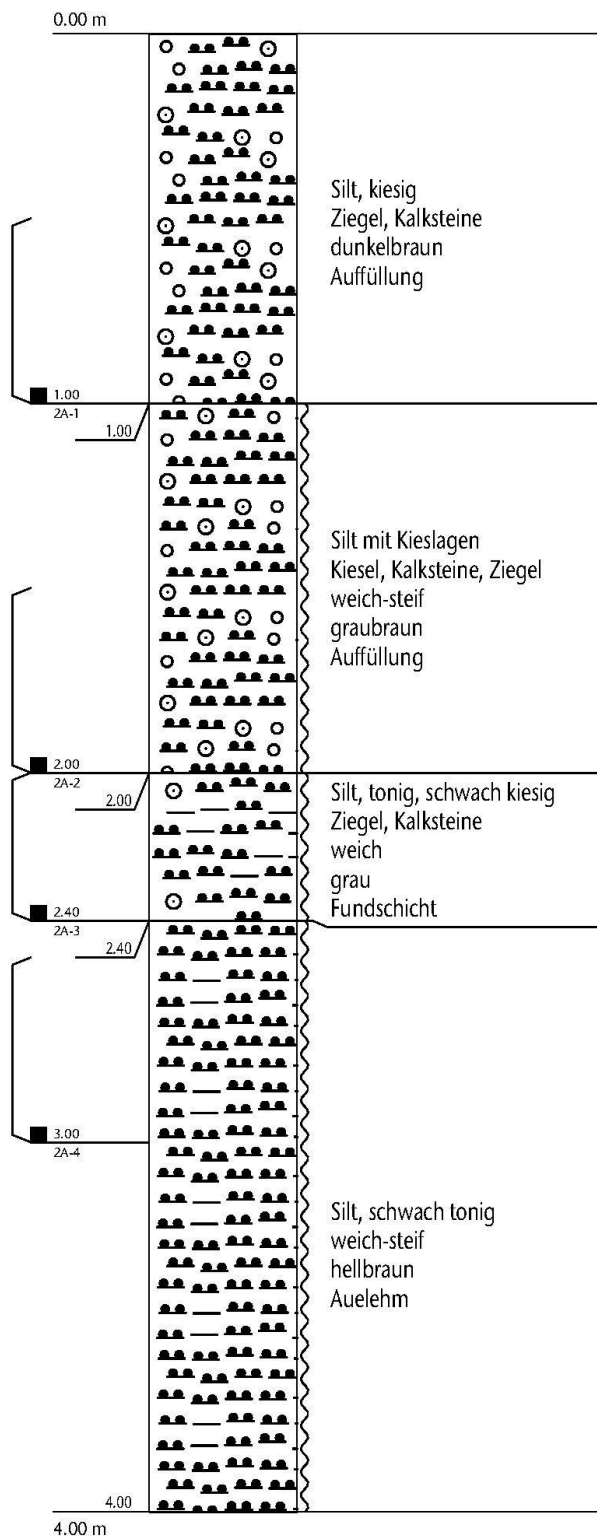


Abb. 11: Augst/BL-Steinler, Insula 44 (Lage: Abb. 6,2A), Bohrprofil 2A mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

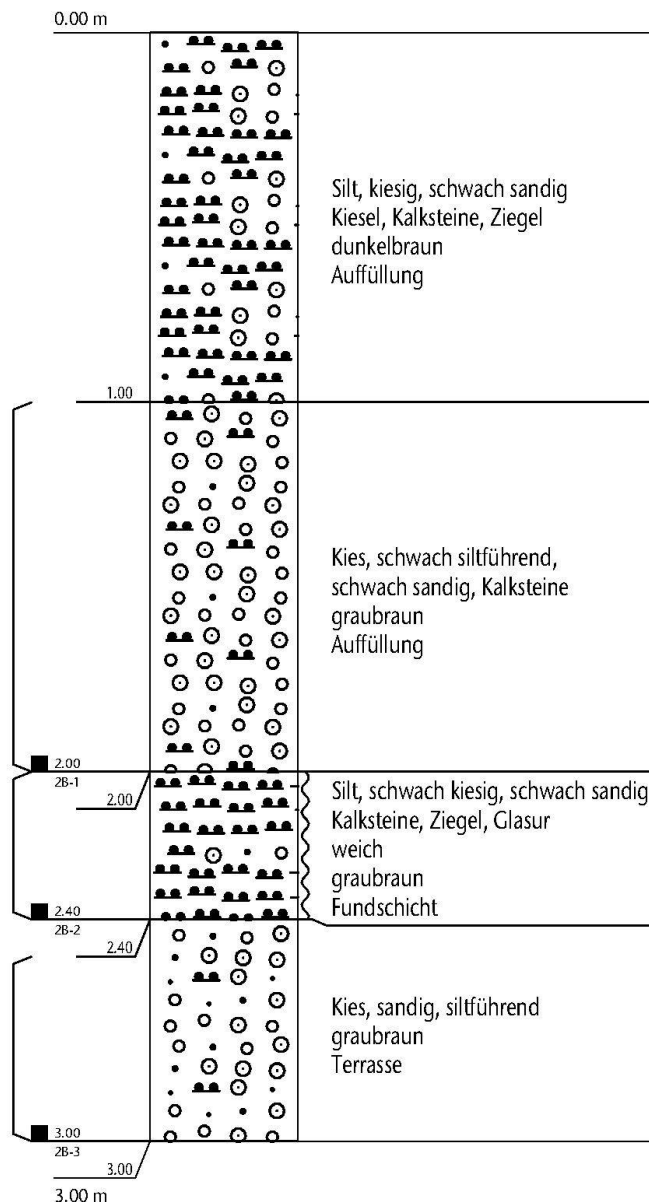


Abb. 12: Augst/BL-Steinler, Insula 45 (Lage: Abb. 6,2B), Bohrprofil 2B mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

der Sondierung 4B wurden zwischen 0,40 und 1,00 m Tiefe eine Schicht aus siltigem Kies mit Ziegelbruchstücken angetroffen (Abb. 18). Der natürliche Untergrund unterhalb 2,00 m besteht hier aus tonigem Silt mit Kies. Der Aufbau des Untergrundes in den beiden Sondierungen ist deutlich unterschiedlich, was die Vergleichbarkeit der Messwerte einschränkt.

Die Analysenresultate (Tabelle 3; Abb. 30) zeigen in den Proben aus der Sondierung 4A gegenüber 4B generell etwas tiefere Gehalte an ortho-Phosphat im Eluat. Die Messwerte der beiden Sondierungen unterscheiden sich aber nur sehr wenig und eher zufällig voneinander. Ein klarer Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung ist nicht erkennbar.



Abb. 13: Augst/BL, römische Oberstadt mit der römischen Bebauung (graue Mauerfluchten und beige Strassen) und der modernen Situation (schwarz). Rot: Lage der Proben-Bohrungen 3A, 3A1 und 3A2 östlich oberhalb des Amphitheaters sowie 4A und 4B nördlich des Amphitheaters bei der Tempelanlage «Sichelen 1». M. 1:3000.



Abb. 14: Die Situation der erfolglosen Proben-Bohrungen 3A östlich oberhalb des Amphitheaters. Blick von Süden.

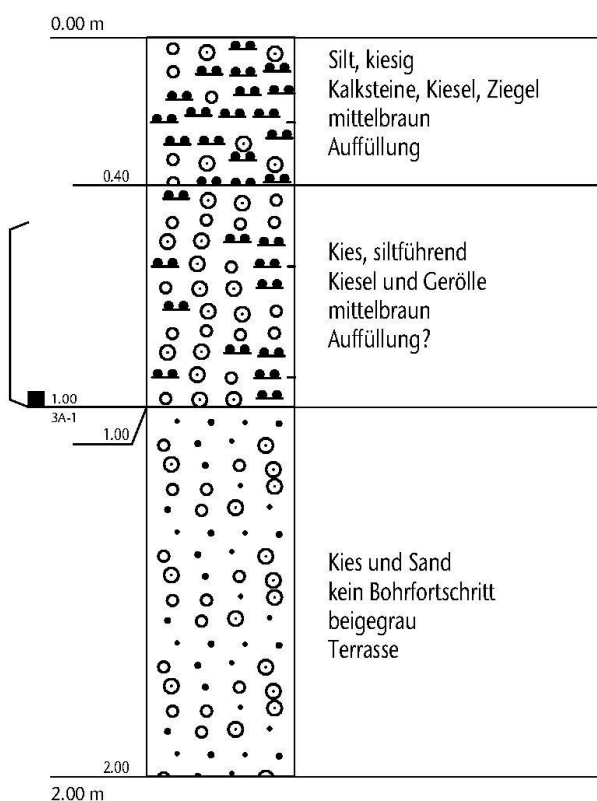


Abb. 15: Augst/BL-Amphitheater Ost, auf dem Plateau (Lage: Abb. 13,3A), Bohrprofil 3A mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.



Abb. 16: Proben-Bohrungen 4A und 4B nördlich des Amphitheaters bei der Tempelanlage «Sichelen 1». Blick von Osten.

Bohrstelle 5 (Grienmatt/Tempelhof; Heiligtum)

Die Tempelanlage in der Grienmatt liegt auf einem niedrigeren Gelände als das Plateau der Flur «Steinler» mit der einstigen antiken Oberstadt von Augusta Raurica. In der Talauae Grienmatt kennen wir bisher nur eine grosse Tempelanlage mit grossem Hof und umlaufender Säulenhalle (Abb. 19) und einen kleinen Vierecktempel. Das Gebiet wird seit

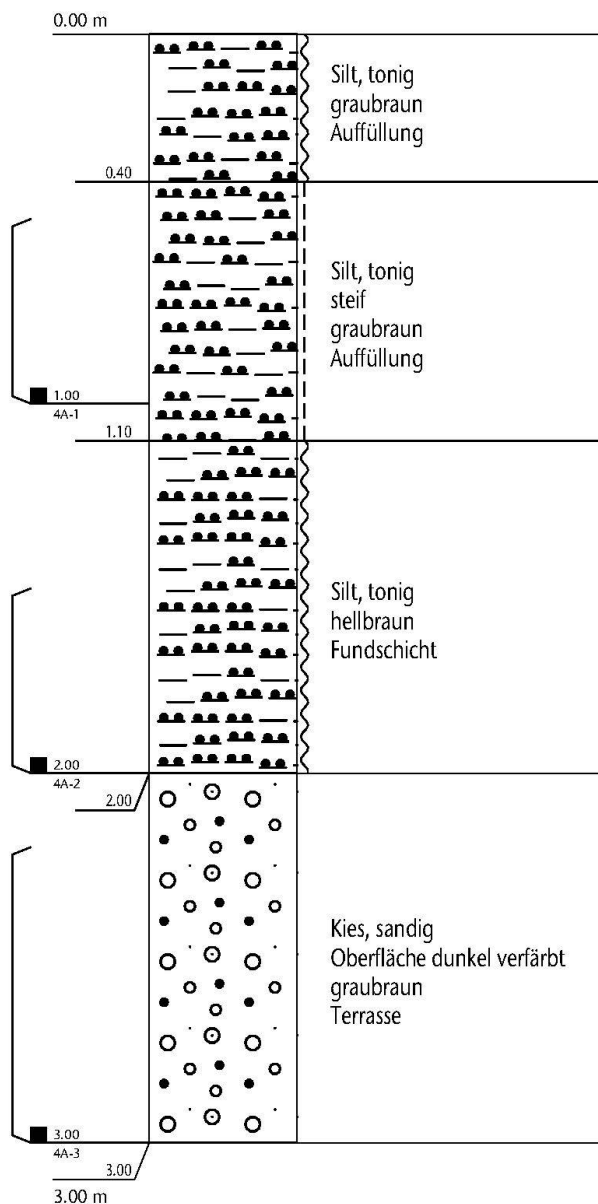


Abb. 17: Augst/BL-Sichelen Nord, Tempel Sichelen 1 (Lage: Abb. 13, 4A), Bohrprofil 4A mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

Jahrzehnten als Wiesland genutzt, aber auch gedüngt (zur Dünger-Reduktion siehe Bohrstelle 2). Die Bohrproben 5A entnehmen wir mitten in diesem Wiesland im Temenosbereich der grossen Tempelanlage, während die «ungedüngte Gegenprobe» 5B direkt am Podium des Zentralbaus genommen wurde, wo seit Langem ein Weg²⁵ um die Ruine herumführt (Abb. 19; 20).

Der Untergrund in der Sondierung 5A besteht bis 1,20 m Tiefe aus feinkörnigem, siltig-tonigem Auffüllmaterial mit einzelnen Kieselsteinen (Abb. 21). Darunter folgt der natürliche Schotter (Kies und Sand). In der Sondierung 5B besteht das Auffüllmaterial oberhalb der Fundschichten durchgehend aus Kies und Sand (Abb. 22; siehe Anm. 25). Der na-

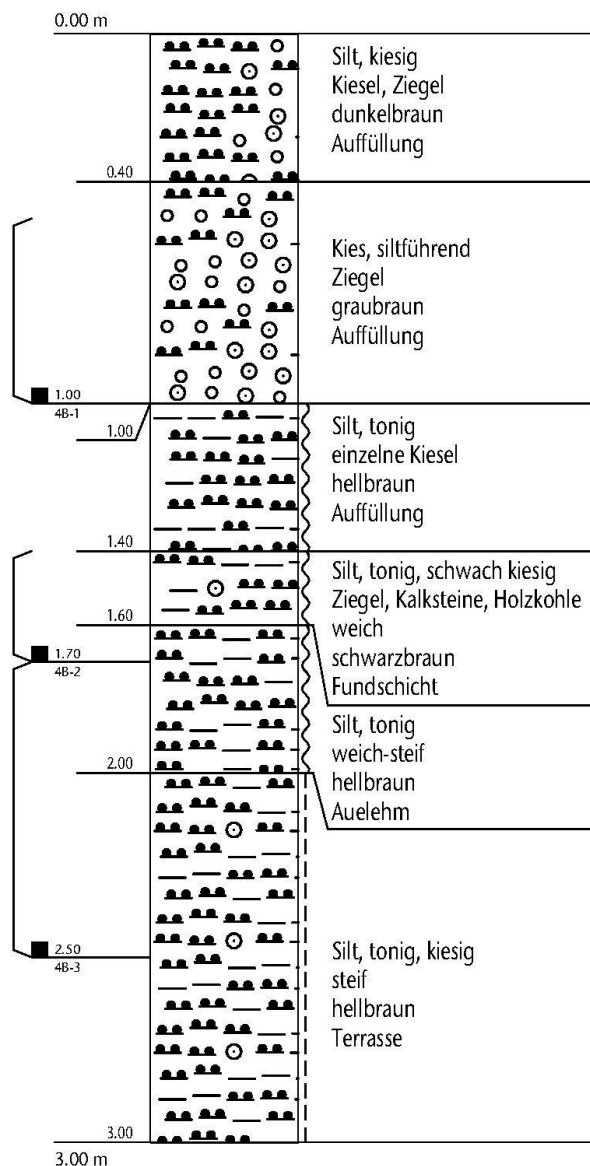


Abb. 18: Augst/BL-Sichelen Nord, Tempel Sichelen 1 (Lage: Abb. 13, 4B), Bohrprofil 4B mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

türliche Schotter folgt vermutlich in 1,30 m Tiefe. Der Aufbau des Untergrundes oberhalb und in den Fundschichten unterscheidet sich in den beiden Sondierungen deutlich, was die Vergleichbarkeit der Messwerte einschränkt.

Die Analysenresultate (Tabelle 4; Abb. 31) zeigen in den Proben aus der Sondierung 5A gegenüber 5B generell eher höhere Gehalte an Phosphor, Nitrat, Ammonium, TOC und eine etwas höhere Säurekapazität und Calciumgehalte im

25 Es handelt sich dabei um den modernen Kiesbelag, der zur bequemen Begehung für die Besucher angelegt worden ist.

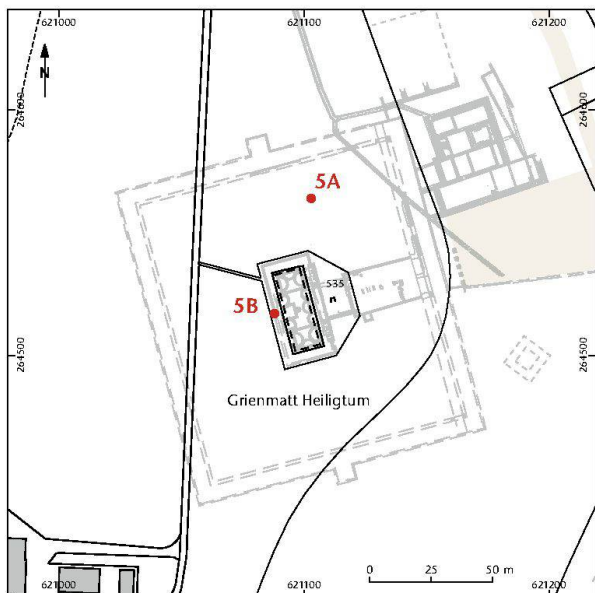


Abb. 19: Augst/BL, römische Oberstadt mit der römischen Bebauung (graue Mauerfluchten und beige Strassen) und der modernen Situation (schwarz). Rot: Lage der Proben-Bohrungen 5A und 5B im Heiligtum in der Grienmatt. M. 1:3000.

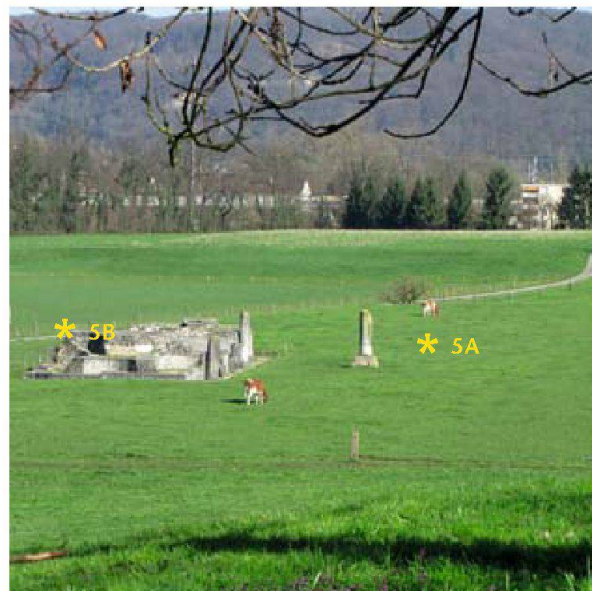


Abb. 20: Proben-Bohrungen 5A und 5B im Heiligtum in der Grienmatt. Blick von Südosten.

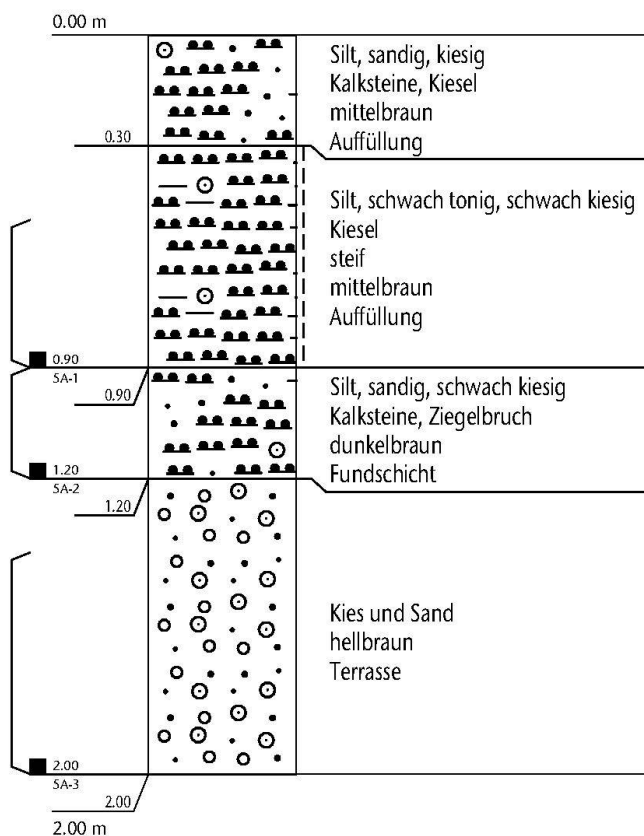


Abb. 21: Augst/BL-Grienmatt/Tempelhof, Grienmattheiligtum, Innenhof im Temenosbereich (Lage: Abb. 19, 5A), Bohrprofil 5A mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

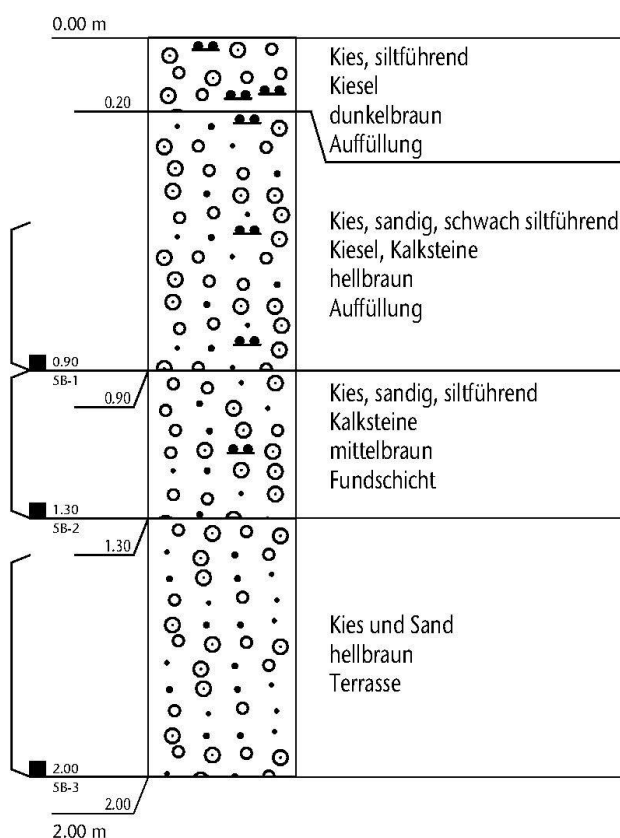


Abb. 22: Augst/BL-Grienmatt/Tempelhof, Grienmattheiligtum, Westfuss des Tempelpodiums (Lage: Abb. 19, 5B), Bohrprofil 5B mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

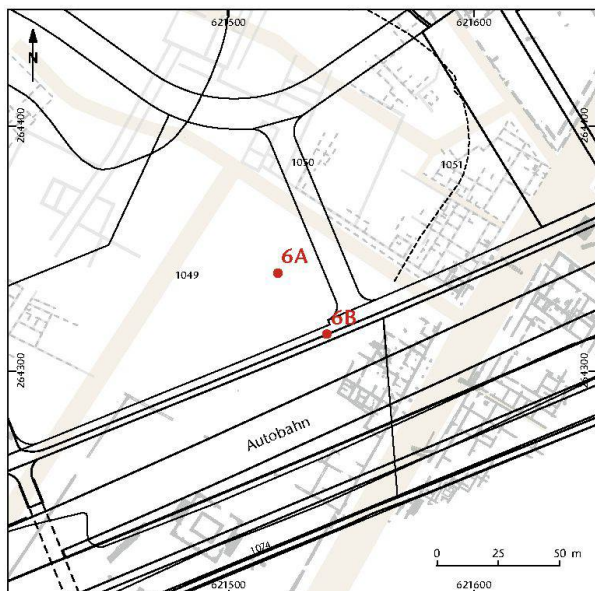


Abb. 23: Augst/BL, römische Oberstadt mit der römischen Bebauung (graue Mauerfluchten und beige Strassen) und der modernen Situation (schwarz). Rot: Lage der Proben-Bohrungen 6A und 6B im Wildental am Nordrand der Autobahn. M. 1:3000.



Abb. 24: Proben-Bohrungen 6A und 6B im Wildental am Nordrand der Autobahn (links). Am linken Bildrand sind die Infotafeln und Zeit-Schilder des «römischen Geschichtspfads» zu sehen.

Eluat. Ein Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung ist erkennbar, die berechneten Parameter weisen jedoch nicht auf eine erhöhte Korrosionsgefährdung im bewirtschafteten Bereich hin.

Bohrstelle 6 (Wildental, Nordrand Autobahn)

Die letzte Probenentnahme legten wir in das Gebiet der römischen Südwestvorstadt, das anlässlich des Autobahnbaus archäologisch untersucht worden ist. Die beprobten Stellen 6A und 6B liegen nördlich ausserhalb dieser Grabungen (Abb. 23; 24). Der Acker bei unserer Bohrstelle 6A wird regelmässig landwirtschaftlich genutzt (zur Dünger-Reduktion siehe Bohrstelle 2), während die «ungedüngte Gegenprobe» 6B am südlichen Rand des Feldwegs liegt, der als «Römischer Geschichtspfad» ausgestaltet ist (Abb. 24, links). Es ist nicht bekannt, ob hier am oberen Rand des Autobahneinschnitts die Schichtenfolge durch die Strassenbauarbeiten der 1960er-Jahre gestört ist.

Der Untergrund in der Sondierung 6A besteht bis 1,60 m Tiefe aus feinkörnigem, siltig-tonigem Auffüllmaterial mit einzelnen Kieselsteinen und Ziegelbruchstücken (Abb. 25). Zwischen 1,60 und 2,60 m Tiefe folgen ein siltiger Sand mit Kieselsteinen, Ziegelbruchstücken, Holzkohle und Kalksteinen. Darunter liegen die natürlichen feinkörnigen Lockergesteine (toniger Silt). In der Sondierung 6B ist das Auffüllmaterial deutlich grobkörniger und besteht vorwiegend aus Kies und Steinen (Abb. 26). Der natürliche Schotter folgt vermutlich in 2,00 m Tiefe. Der Aufbau des Untergrundes unterscheidet sich in den beiden Sondierungen deutlich, was die Vergleichbarkeit der Messwerte einschränkt.

Die Analysenresultate (Tabelle 5; Abb. 32) zeigen in den Proben aus der Sondierung 6A gegenüber 6B generell einen tieferen pH und tiefere Sulfatgehalte im Eluat. Die berechneten Parameter weisen nicht auf eine markant erhöhte Korrosivität im landwirtschaftlich genutzten Bereich hin. Die Unterschiede zwischen den beiden Sondierungen sind auch hier insgesamt nicht sehr ausgeprägt oder haben ihre Ursache eher in der unterschiedlichen Lockergesteinszusammensetzung als in der landwirtschaftlichen Nutzung.

Einfluss von Tiefenlage und Materialart

Aufgrund der oben geschilderten Resultate liegt die Vermutung nahe, dass die Art des Lockergesteins (vorwiegend Silt oder vorwiegend Kies) einen grossen Einfluss auf die Messwerte haben kann. Tatsächlich zeigt ein Vergleich der Resultate der feinkörnigen Proben mit den kiesreichen Proben, dass die Silte höhere Gehalte an Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat im Eluat aufweisen. Dieses Material kann das durch die Düngung eingebrachte überschüssige Phosphat besser zurückhalten als kiesreiche Schichten, aus denen Phosphat ausgewaschen wird.

Eine ausgeprägte Anreicherung von als aggressiv bekannten Chlorid- und Sulfat-Salzen in bestimmten Tiefenbereichen ist dagegen nicht erkennbar.

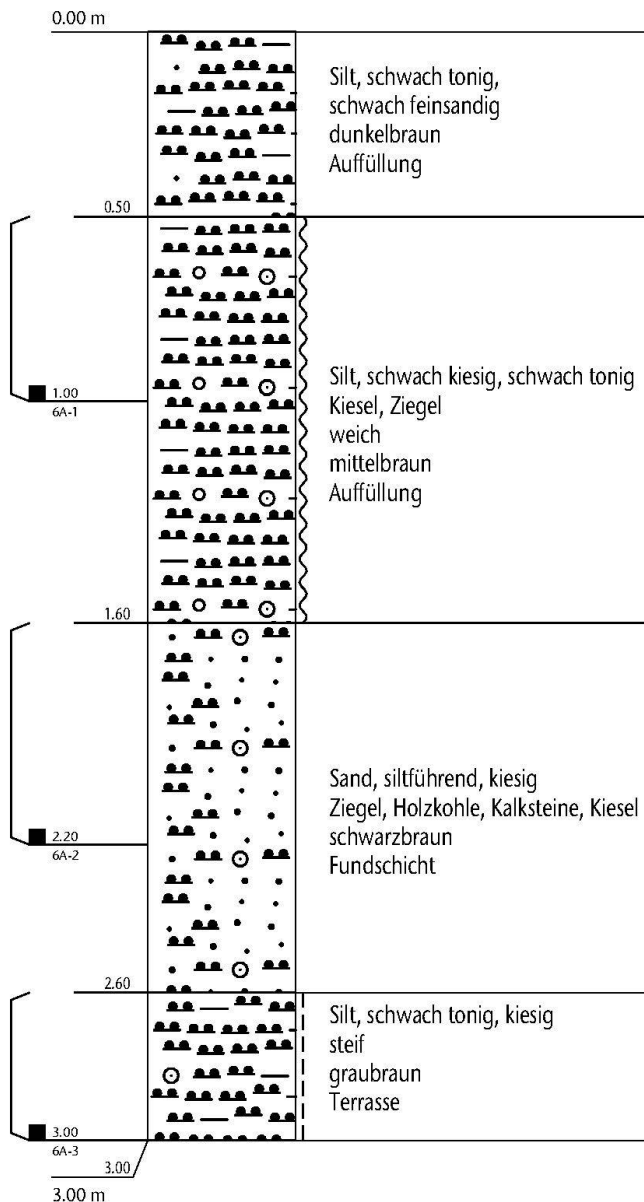


Abb. 25: Augst/BL-Wildental, Nordrand Autobahn, in der offenen Feldfläche (Lage: Abb. 23,6A), Bohrprofil 6A mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

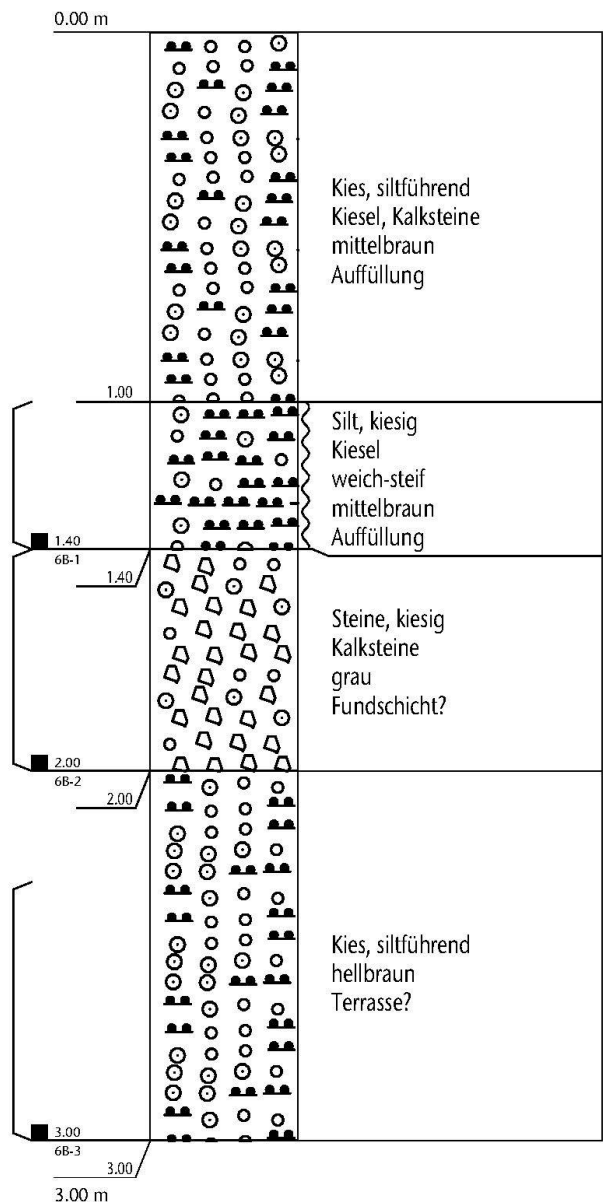


Abb. 26: Augst/BL-Wildental, Nordrand Autobahn, an der Böschung des Feldwegs («Römischer Geschichtspfad») entlang der Autobahn (Lage: Abb. 23,6B), Bohrprofil 6B mit den Schichten und Sedimenten im 5-cm-Bohrkern in schematischer Darstellung. Die Vierecke (■) zeigen die Lage der Entnahmestellen der Proben für die chemischen Analysen. M. 1:20.

Kommentar

Bei den vorliegenden Untersuchungsergebnissen handelt es sich um eine Momentaufnahme vom 17.11.2010, also nach Abschluss der Wachstumsperiode. Diese zeigt insgesamt keine sehr ausgeprägten Unterschiede zwischen den bewirtschafteten und den nicht bewirtschafteten Vergleichsflächen. Ein Einfluss der Düngung ist in Form von erhöhten Phosphorgehalten in einigen Proben allerdings sichtbar. Dies hat keinen direkten negativen Einfluss auf die Korrosion von Fundstücken, ist aber ein deutlicher Indikator für die landwirtschaftliche Nutzung.

Eine gegenüber den Vergleichsflächen erhöhte Korrosivität ist in den bewirtschafteten Flächen zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht oder nur vereinzelt erkennbar²⁶. Die bei den Ausgrabungen beobachtete stärkere Korrosion von Fundstücken ist mit den vorliegenden Resultaten allein nicht erklärbar. Eine absolute Bewertung der Korrosivi-

²⁶ Zu einem ähnlichen Resultat – rasche Verringerung vieler der Düngersalze durch schnelle Auswaschung und Aufnahme durch die Nutzpflanzen – kommen Scharff u. a. (Anm. 10) 356.

tät ist nur beschränkt möglich. Soweit dies beurteilt werden kann, ist die Bodenkorrosivität nach DIN 50929 insgesamt als neutral zu bezeichnen, auch der hohe pH > 7,0 weist eher auf gute Erhaltungsbedingungen hin.

Es ist jedoch bekannt, dass der Gehalt korrosionsfördernder Stoffe in der Bodenlösung starken räumlichen und zeitlichen *Schwankungen* unterliegt. Diese hängen vor allem mit der Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Düngung, Ernte) und dem Wetter (Regen, Schneeschmelze) zusammen. Ausserdem werden als Dünger bevorzugt Verbindungen eingesetzt, die sich schnell lösen und gut von den Wurzeln aufgenommen werden. Solche kurzfristigen Schwankungen könnten nur mit einem Bodenmonitoring, das eine praktisch kontinuierliche Beprobung der Bodenlösung umfasst, beobachtet werden.

Ob die Bewirtschaftung der Böden die Korrosion heute noch negativ beeinflusst oder ob die Schäden vor allem in den letzten Jahrzehnten entstanden sind, lässt sich mit den vorliegenden Resultaten nicht abschliessend entscheiden. Klare Hinweise auf eine erhöhte Korrosivität aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung bestehen aufgrund unserer Momentaufnahme jedenfalls nicht. Damit besteht zurzeit auch kein Anlass bzw. keine hinreichende Begründung für Nutzungseinschränkungen. Gleichzeitig ist aber auch klar, dass die Düngung einen Einfluss auf die Bodenlösung hat und Spuren hinterlässt, im vorliegenden Fall in Form von Phosphatrückständen im Untergrund.

Fazit aus archäologischer und restauratorischer Sicht

Die in dieser Gemeinschaftsarbeit aufgezeigten Werte verschiedenster Substanzen in den Bodenschichten in der Oberstadt von Augusta Raurica (Augst/BL) haben wesentliche Erkenntnisse erbracht:

1. Zum einen ist die *Schadstoffbelastung im Boden* an allen überprüften Stellen (Abb. 4) heute relativ gering, sodass die unausgegrabenen archäologischen Metall- und Glasobjekte in den Schichten nicht aktuell durch aggressive Korrosionsprozesse gefährdet scheinen.
2. Zum anderen legen die *Vergleiche zwischen den heute gedüngten Stellen und benachbarten Punkten ohne Düngung* (Abb. 28–32) nahe, dass die landwirtschaftlich besonders intensiv genutzten Flächen mehr Nitrate enthalten als die direkt benachbarten ungedüngten Bohrstellen. Dies zeigt sich besonders innerhalb der Kulturschichten (d. h. in der mittleren Probe) in den Arealen der Gärtnerei Wytenbach im Schwarzsacker (1A und 1B; Abb. 28), im südlichen Steinler bei den Insulae 44 und 45 (2A und 2B; Abb. 29) und im Heiligtum Grienmatt (5A und 5B; Abb. 31). Diese auch heute in mittlerer Schichttiefe noch nachweisbaren erhöhten Nitratgehalte sind möglicherweise auf die Blumenzucht resp. die Gülle-Austragung zurückzuführen. Die zum Teil

schwer löslichen Phosphate sind in den gedüngten Flächen meist präsenter als an den ungedüngten Stellen.

3. Drittens fallen die *Vergleiche zwischen den oberen, den mittleren und den unteren Proben* an den verschiedenen Bohrstellen (Tabellen 1–5; Abb. 28–32) erstaunlich unterschiedlich aus; ein Trend an allen beprobten Stellen in die eine oder andere Richtung zeigt sich gar nicht. Einige markante Unterschiede fallen auf: In Oberflächennähe direkt unter dem Humus zeigt nur das Gärtnereiareal (1A) deutlich höhere Nitratwerte als der benachbarte ungedüngte Sitzplatz (1B; Abb. 28). Der oben erwähnte Effekt des höheren Phosphatgehaltes in landwirtschaftlichen Nutzflächen zeigt sich jedoch an den verschiedenen Bohrstellen in unterschiedlichen Tiefen ausgeprägt.
4. Aus den unter 3. genannten Beobachtungen lässt sich nicht ableiten, dass «alte», schwer lösliche Düngerreste (z. B. aus den 1960er-Jahren)²⁷ oben infolge der heutigen restriktiven Düngung ausgewaschen und nur noch in den tieferen Schichten angereichert sind. Die beobachteten Unterschiede dürften zu einem erheblichen Teil auf die unterschiedlichen Bodenprofile zurückzuführen sein.
5. Ammoniumhaltige Dünger können bodenversauernd und damit korrosionsfördernd wirken, da bei der natürlichen Umwandlung von Ammonium zu Nitrat Säure freigesetzt wird. In gut belüfteten und nicht überdüngten Böden sollten deshalb die Ammonium- wie auch die Nitratgehalte nicht stark erhöht sein. Beide Parameter zeigten insgesamt keine ausgeprägt stärkere Belastung der landwirtschaftlich genutzten gegenüber den nicht bewirtschafteten Bereichen.

Wir können anlässlich der heute sehr zurückhaltenden Düngung der Böden mit Hof- und Kunstdünger²⁸ diesbezüglich vorsichtig «Entwarnung» geben. Etwas konsterniert müssen wir dabei feststellen, dass die Korrosionsschäden in den letzten fünf Jahrzehnten irreversibel geschehen sind. Wir können aber immerhin vermuten, dass der Zerfallsprozess heute wieder verlangsamt abläuft.

Ungelöst ist jedoch weiterhin das Problem mit den nach wie vor entstehenden mechanischen und «stratigrafischen» Schäden an der archäologischen Substanz durch das *Pflügen* (Abb. 27).

- 27 Besonders hohe Sulfat- und Phosphatgehalte bewirken eine beschleunigte Eisenkorrosion. Auch übersäuerte sandige Böden können als besonders korrosiv für Eisenobjekte und ungünstig für die (brüchige) Patinabildung auf Bronze ausgemacht werden. In einem sauren Milieu kann eine bereits gebildete Patina (auf Bronze) wieder aufgelöst werden (Gerwin/Scharff/Baumhauer [Anm. 10]).
- 28 Die Untersuchungen von Gerwin/Baumhauer (Anm. 11) zeigen, dass städtische Böden (urban soils) mehr korrosive Schadstoffe enthalten können als landwirtschaftlich genutzte und den archäologischen Eisenobjekten dort mehr Schaden zufügen.



Abb. 27: Nicht allein übermässige Düngung vermag die archäologischen Fundschichten und die römischen Objekte zu zerstören, sondern auch das Pflügen. Immer wieder muss beobachtet werden, dass die landwirtschaftliche Bebauung tiefer als die oberste Humusschicht greift und dass heute noch mit dem Pflug Fundstücke, Dachziegel, Keramikscherben, Münzen, Säulenteile, Mauersteine und sogar Mosaiksteinchen hervorgerissen werden. Damit wird es unmöglich, diese historischen Quellen nach archäologischen Kriterien und Beobachtungen zu interpretieren, weil sie aus dem Schichtzusammenhang herausgerissen worden sind (Beispiele aus Augusta Raurica von 2003 und 2010).

Abbildungsnachweis

Abb. 1:

Grafik Augusta Raurica.

Abb. 2:

Linke Kolonne, von oben: Inv. 1985.19406 (Dupondius des Antoninus Pius, 145–161 n. Chr.), Inv. 2001.051.E04596.1 (As des Vespasian, 72–73 n. Chr.), Inv. 2001.001.E04000.2 (Bronze des Gratian, 367–378 n. Chr.); rechte Kolonne: Inv. 2001.051.E04715.1 (As des Antoninus Pius, 138–161 n. Chr.), Inv. 2001.055.E01484.1 (As des Hadrian, 125–128 n. Chr.), Inv. 1999.001.E03542.2 (Bronze aus constantinischer Zeit, 335–341 n. Chr.); Bestimmung und Dokumentation Markus Peter; Foto Ursi Schild.

Abb. 3:

Linke Kolonne, von oben: Inv. 1963.2900, Inv. 1937.45, Inv. 1939.1956; rechte Kolonne: Inv. 1998.007.D07149.42, Inv. 1998.060.D08875.288 und Inv. 1999.060.D09122.12; Foto Susanne Schenker.

Abb. 4; 6; 13; 19; 23:

Einmessungen magma AG, Schaffhausen/SH; Pläne Ausgrabungen Augst/Kaiseraugst (Urs Brombach).

Abb. 5:

Foto Björn Bahrig, Sachverständigenbüro für Boden- und Grundwasserschutz, Allensbach/D.

Abb. 7; 10; 14; 16; 20; 24:

Fotos Alex R. Furger.

Abb. 8; 9; 11; 12; 15; 17; 18; 21; 22; 25; 26:

Materialaufnahme und Dokumentation Björn Bahrig, Sachverständigenbüro für Boden- und Grundwasserschutz, Allensbach/D.

Abb. 27:

Fotos Donald F. Offers und Markus Schaub (2003 und 2010).

Abb. 28–32:

Grafiken magma AG, Schaffhausen/SH.

Tabellen 1–5:

Tabellen magma AG, Schaffhausen/SH.

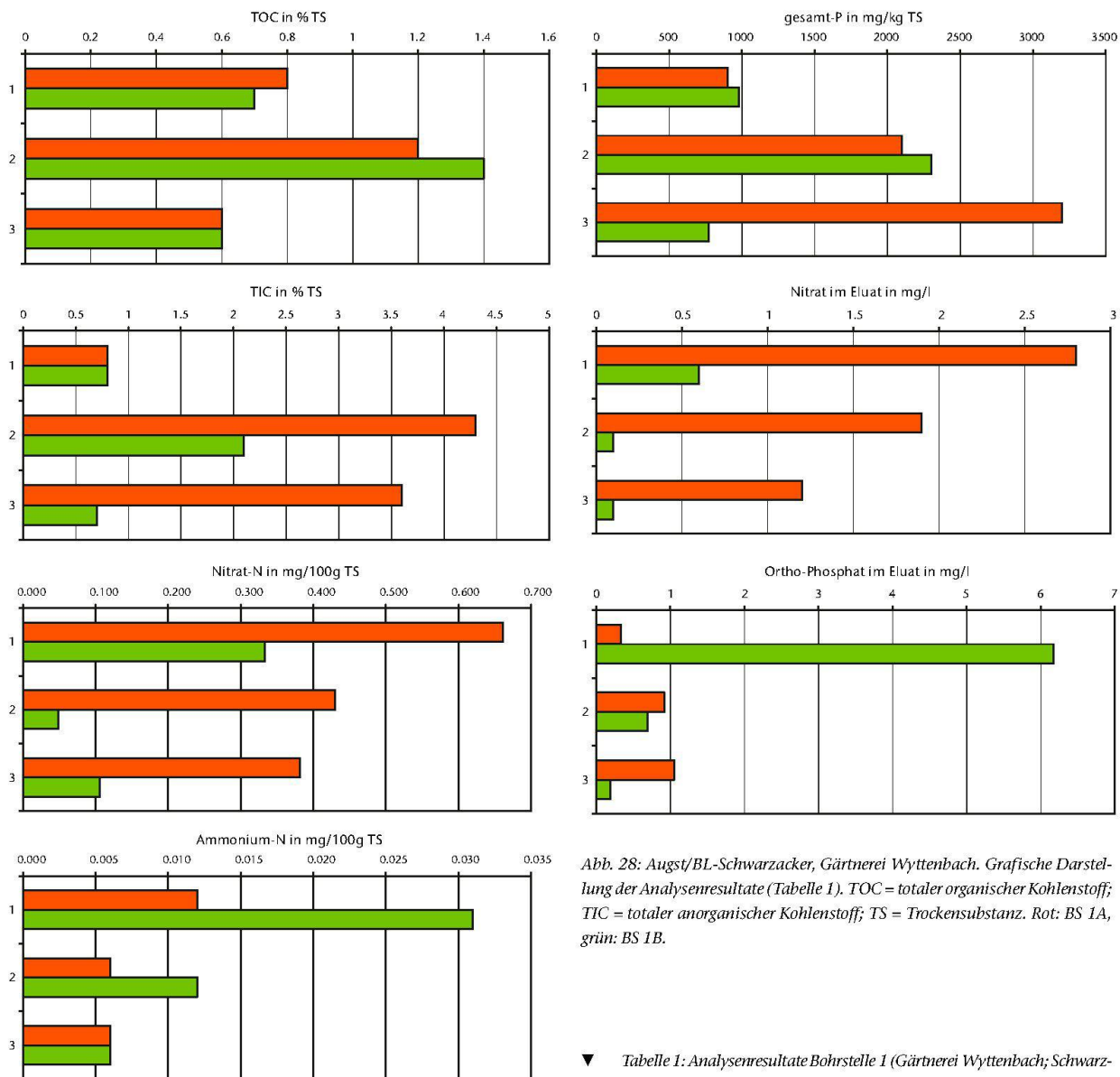
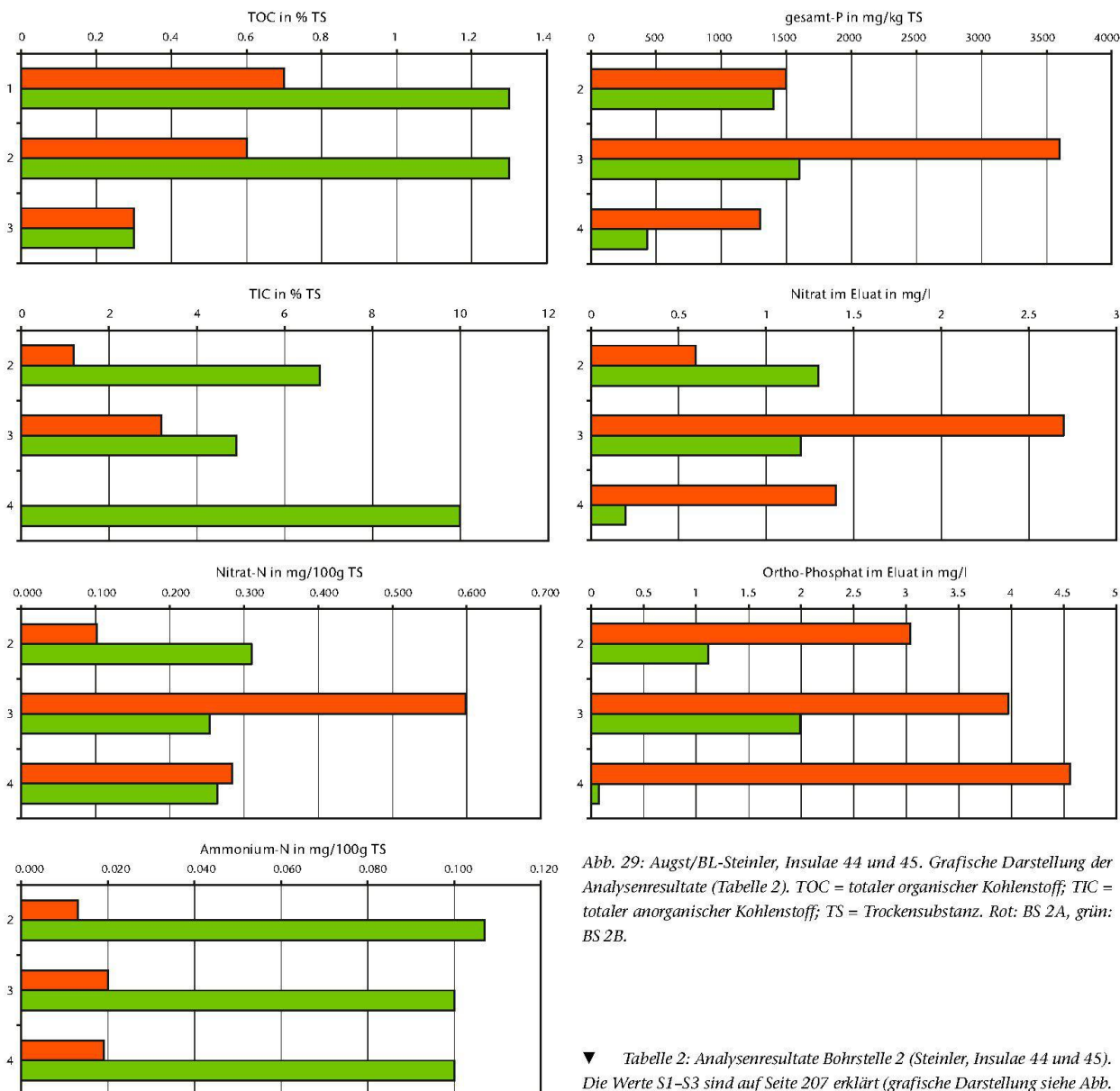


Abb. 28: Augst/BL-Schwarzacker, Gärtnerei Wytenbach. Grafische Darstellung der Analyseergebnisse (Tabelle 1). TOC = totaler organischer Kohlenstoff; TIC = totaler anorganischer Kohlenstoff; TS = Trockensubstanz. Rot: BS 1A, grün: BS 1B.

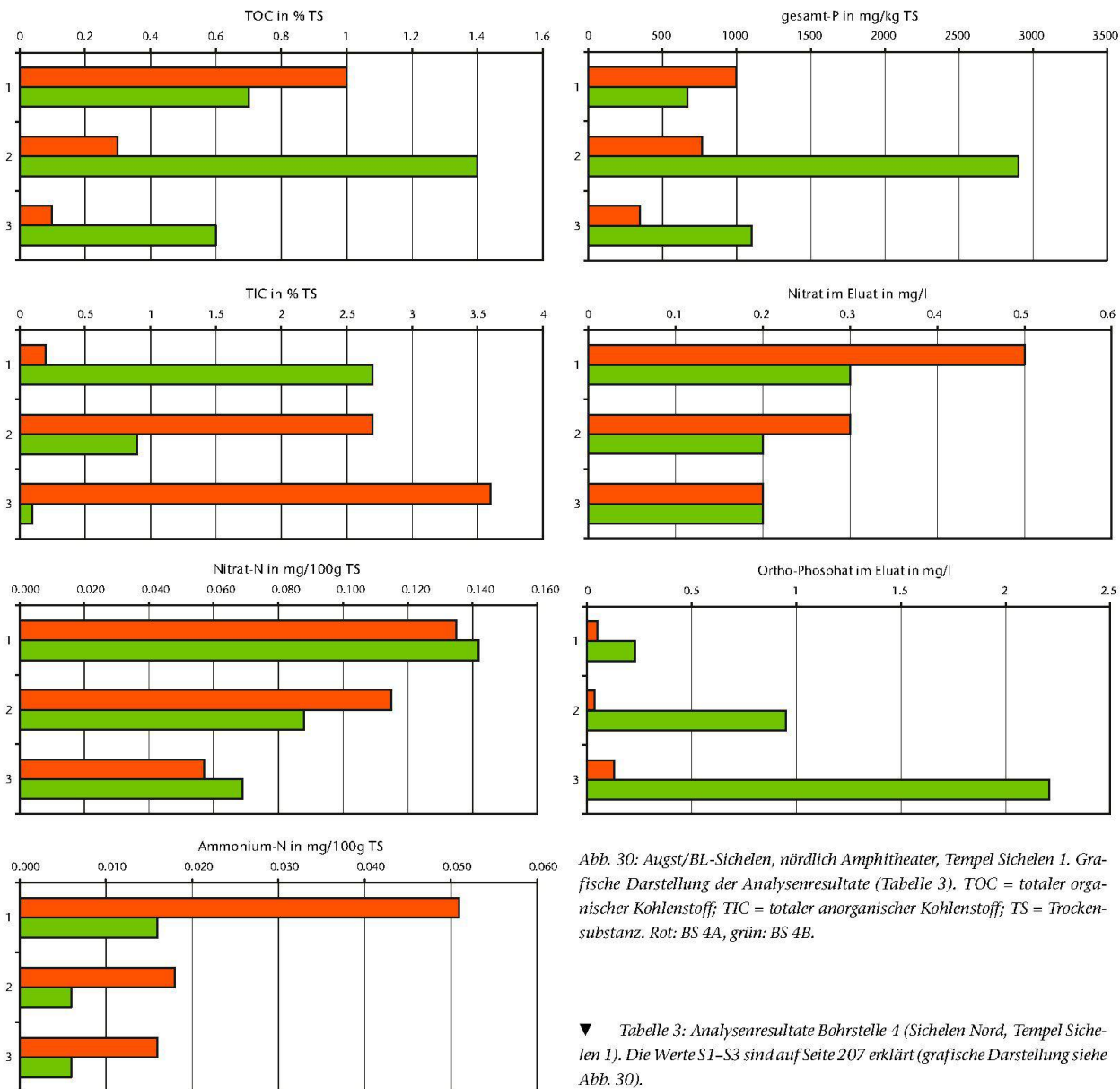
▼ Tabelle 1: Analyseergebnisse Bohrstelle 1 (Gärtnerei Wytenbach; Schwarzacker). Die Werte S1–S3 sind auf Seite 207 erklärt (grafische Darstellung siehe Abb. 28).

Parameter	Einheit	1A (bewirtschaftet)			1B (nicht bewirtschaftet)		
		1	2	3	1	2	3
Bodenart		U,t	U,t,s	U,t,s	U,t	U,t-g	U,t
Tiefe		0,6–1,0	1,6–2,5	2,5–3,0	0,5–1,0	2,5–3,5	3,5–4,0
Originalsubstanz							
pH		8,2	8,2	8,0	7,8	8,1	8,0
TOC	% TS	0,8	1,2	0,6	0,7	1,4	0,6
TIC	% TS	0,8	4,3	3,6	0,8	2,1	0,7
S (ges.)	% TS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
N (ges.)	% TS	0,054	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,061	< 0,05
NO ₃ -N	mg/100g TS	0,661	0,430	0,381	0,333	0,049	0,106
NH ₄ -N	mg/100g TS	0,012	0,006	0,006	0,031	0,012	0,006
P (ges.)	mg/kg	900	2100	3200	980	2300	770
Eluat							
pH		8	8	8,1	7,4	8	8
Leitfähigkeit	µS/cm	96	100	103	89	106	98
Säurekap. pH 4,3	mmol/l	0,87	0,94	0,99	0,80	1,04	0,95
Säurekap. pH 8,2	mmol/l						
Cl	mg/l	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	0,1	< 0,1
SO ₄	mg/l	1,9	1,5	2,4	1,5	2,4	1,2
NO ₃	mg/l	2,8	1,9	1,2	0,6	0,1	0,1
o-PO ₄	mg/l	0,33	0,92	1,05	6,17	0,69	0,19
Ca	mg/l	19	19	21	17	21	18
Mg	mg/l	1,2	1,2	1,1	1,9	1,4	1,8
Rechengrößen							
S 1		0,05	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03
S 2		1,00	1,07	2,87	3,37	32,75	16,37
S 3		43,96	60,16	39,60	51,20	41,60	76,00
Summe Nitrat + Sulfat		4,7	3,4	3,6	2,1	2,5	1,3



▼ Tabelle 2: Analysenresultate Bohrstelle 2 (Steinler, Insulae 44 und 45). Die Werte S1–S3 sind auf Seite 207 erklärt (grafische Darstellung siehe Abb. 29).

Parameter	Einheit	2A (bewirtschaftet)			2B (nicht bewirtschaftet)		
		2	3	4	1	2	3
Bodenart		U,G	U,t,-g	U,-t	G,u,s	U,-g,-s	G,s,u
Tiefe		1,5–2,0	2,0–2,4	2,5–3,0	1,0–2,0	2,0–2,4	2,5–3,0
Originalsubstanz							
pH		8,4	8,4	8,2	8,7	8,4	9,3
TOC	% TS	0,7	0,6	0,3	1,3	1,3	0,3
TIC	% TS	1,2	3,2	< 0,1	6,8	4,9	10
S (ges.)	% TS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
N (ges.)	% TS	< 0,05	0,06	0,062	0,085	< 0,05	< 0,05
NO ₃ -N	mg/100g TS	0,102	0,599	0,284	0,310	0,254	0,264
NH ₄ -N	mg/100g TS	0,013	0,020	0,019	0,107	0,100	0,100
P (ges.)	mg/kg	1500	3600	1300	1400	1600	430
Eluat							
pH		8,1	8,1	8	8,4	8,4	9,3
Leitfähigkeit	µS/cm	92	105	84	92	82	57
Säurekap. pH 4,3	mmol/l	0,84	0,87	0,73	0,95	0,83	0,54
Säurekap. pH 8,2	mmol/l				< 0,05	< 0,05	0,13
Cl	mg/l	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,7
SO ₄	mg/l	0,9	1,3	1	1,8	0,8	3,7
NO ₃	mg/l	0,6	2,7	1,4	1,3	1,2	0,2
o-PO ₄	mg/l	3,04	3,97	4,56	1,12	1,99	0,074
Ca	mg/l	19	21	17	18	15	9
Mg	mg/l	0,66	0,88	0,78	0,96	0,68	1,2
Rechengrößen							
S 1		0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,18
S 2		2,81	0,75	1,17	2,33	1,15	30,01
S 3		89,60	64,25	70,08	50,67	99,60	14,01
Summe Nitrat + Sulfat		1,5	4	2,4	3,1	2	3,9



Parameter	Einheit	4A (bewirtschaftet)			4B (nicht bewirtschaftet)		
		1	2	3	1	2	3
Bodenart		U,t	U,t	G,s	G,u	U,t-g	U,t,g
Tiefe		0,5–1,0	1,5–2,0	2,2–3,0	0,5–1,0	1,4–1,7	1,7–2,5
Originalsubstanz							
pH		8,1	8,4	8,9	8,8	8,4	8,3
TOC	% TS	1	0,3	0,1	0,7	1,4	0,6
TIC	% TS	0,2	2,7	3,6	2,7	0,9	0,1
S (ges.)	% TS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
N (ges.)	% TS	0,085	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,084	0,073
NO ₃ -N	mg/100g TS	0,135	0,115	0,057	0,142	0,088	0,069
NH ₄ -N	mg/100g TS	0,051	0,018	0,016	0,016	0,006	0,006
P (ges.)	mg/kg	1000	770	350	670	2900	1100
Eluat							
pH		8,1	8,3	8,8	8,5	8,3	8,1
Leitfähigkeit	µS/cm	117	89	60	66	92	93
Säurekap. pH 4,3	mmol/l	1,06	0,83	0,66	0,70	0,85	0,81
Säurekap. pH 8,2	mmol/l		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
Cl	mg/l	< 0,1	< 0,1	0,2	0,3	< 0,1	< 0,1
SO ₄	mg/l	1	0,7	1,2	1,1	0,2	0,6
NO ₃	mg/l	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
o-PO ₄	mg/l	0,049	0,036	0,13	0,23	0,95	2,21
Ca	mg/l	23	17	11	14	18	17
Mg	mg/l	1,3	1,2	0,87	0,47	0,8	0,92
Rechengrößen							
S 1		0,02	0,02	0,05	0,04	0,01	0,02
S 2		2,76	3,30	9,50	6,48	1,73	4,31
S 3		101,76	113,83	52,80	61,09	408,00	129,60
Summe Nitrat + Sulfat		1,5	1	1,4	1,4	0,4	0,8

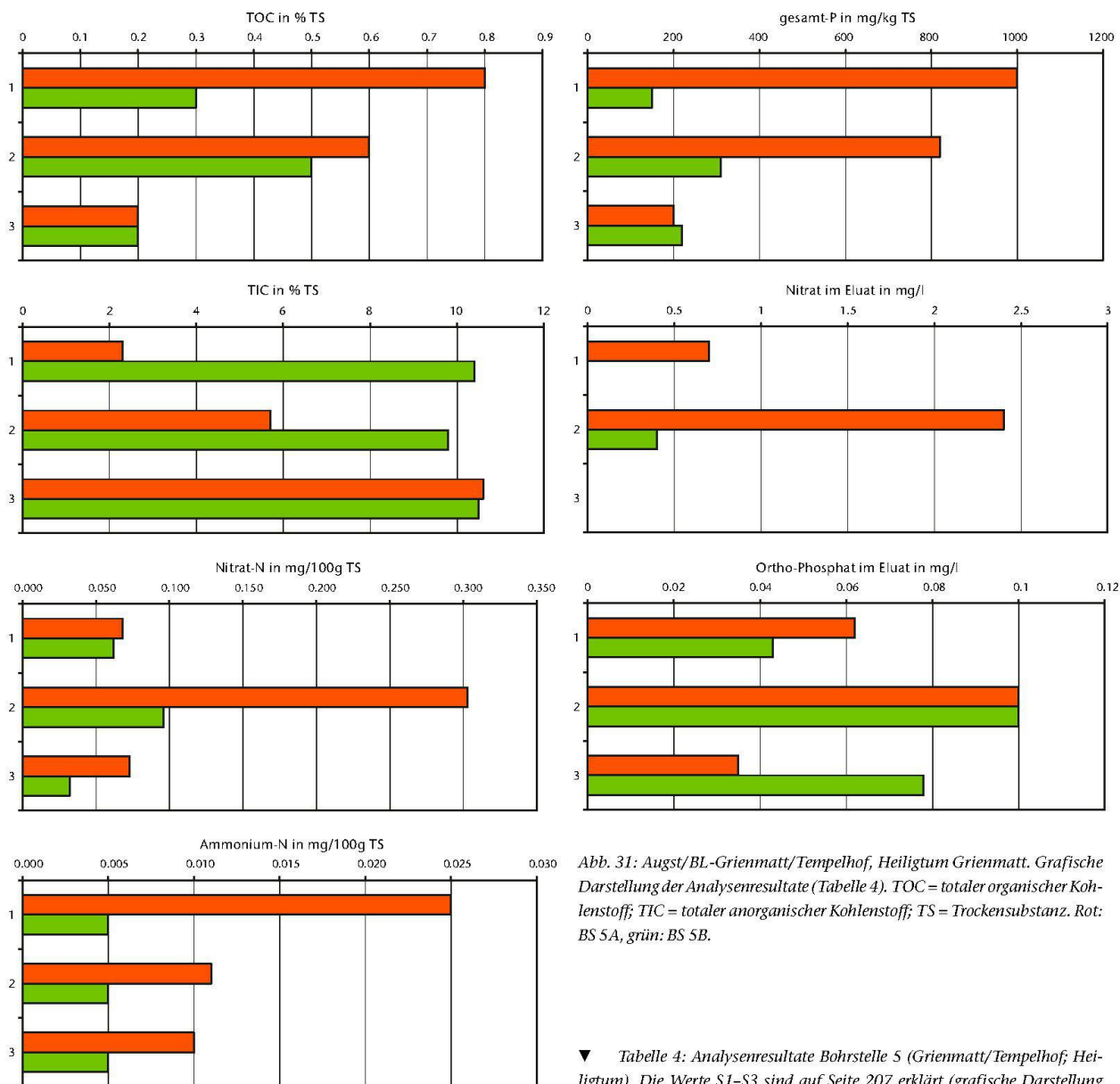


Abb. 31: Augst/BL-Grienmatt/Tempelhof, Heiligtum Grienmatt. Grafische Darstellung der Analysenergebnisse (Tabelle 4). TOC = totaler organischer Kohlenstoff; TIC = totaler anorganischer Kohlenstoff; TS = Trockensubstanz. Rot: BS 5A, grün: BS 5B.

▼ Tabelle 4: Analysenergebnisse Bohrstelle 5 (Grienmatt/Tempelhof; Heiligtum). Die Werte S1-S3 sind auf Seite 207 erklärt (grafische Darstellung siehe Abb. 31).

Parameter	Einheit	5A (bewirtschaftet)			5B (nicht bewirtschaftet)		
		1	2	3	1	2	3
Bodenart		U ₁ -g ₁ -t	U ₁ -s ₁ -g	G ₁ -s	G ₁ -s ₁ -u	G ₁ -s ₁ -u	G ₁ -s
Tiefe		0,5–0,9	0,9–1,2	1,4–2,0	0,5–0,9	0,9–1,3	1,4–2,0
Originalsubstanz							
pH		8,7	8,4	9,0	9,0	9,2	9,1
TOC	% TS	0,8	0,6	0,2	0,3	0,5	0,2
TIC	% TS	2,3	5,7	10,6	10,4	9,8	10,5
S (ges.)	% TS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
N (ges.)	% TS	0,084	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
NO ₃ -N	mg/100g TS	0,068	0,303	0,073	0,062	0,096	0,032
NH ₄ -N	mg/100g TS	0,025	0,011	0,010	0,005	0,005	0,005
P (ges.)	mg/kg	1000	820	200	150	310	220
Eluat							
pH		8,2	8,4	9,2	9,2	9,1	9,2
Leitfähigkeit	µS/cm	1,5	95	41	43	54	0,47
Säurekap. pH 4,3	mmol/l	1,01	0,93	0,48	0,50	0,59	0,52
Säurekap. pH 8,2	mmol/l	< 0,05	< 0,05	0,07	0,07	0,06	0,07
Cl	mg/l	< 0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
SO ₄	mg/l	0,3	0,7	0,9	0,9	1	0,7
NO ₃	mg/l	0,7	2,4	< 0,1	< 0,1	0,4	< 0,1
o-PO ₄	mg/l	0,062	0,1	0,035	0,043	0,1	0,078
Ca	mg/l	19	17	7,4	7,7	9,6	9,3
Mg	mg/l	0,85	0,57	0,21	0,38	0,5	0,39
Rechengrößen							
S 1		0,01	0,02	0,06	0,05	0,05	0,04
S 2		0,68	0,60	25,00	25,00	4,54	19,83
S 3		323,20	127,54	51,20	53,33	56,64	71,31
Summe Nitrat + Sulfat		1	3,1	0,95	0,95	1,4	0,75

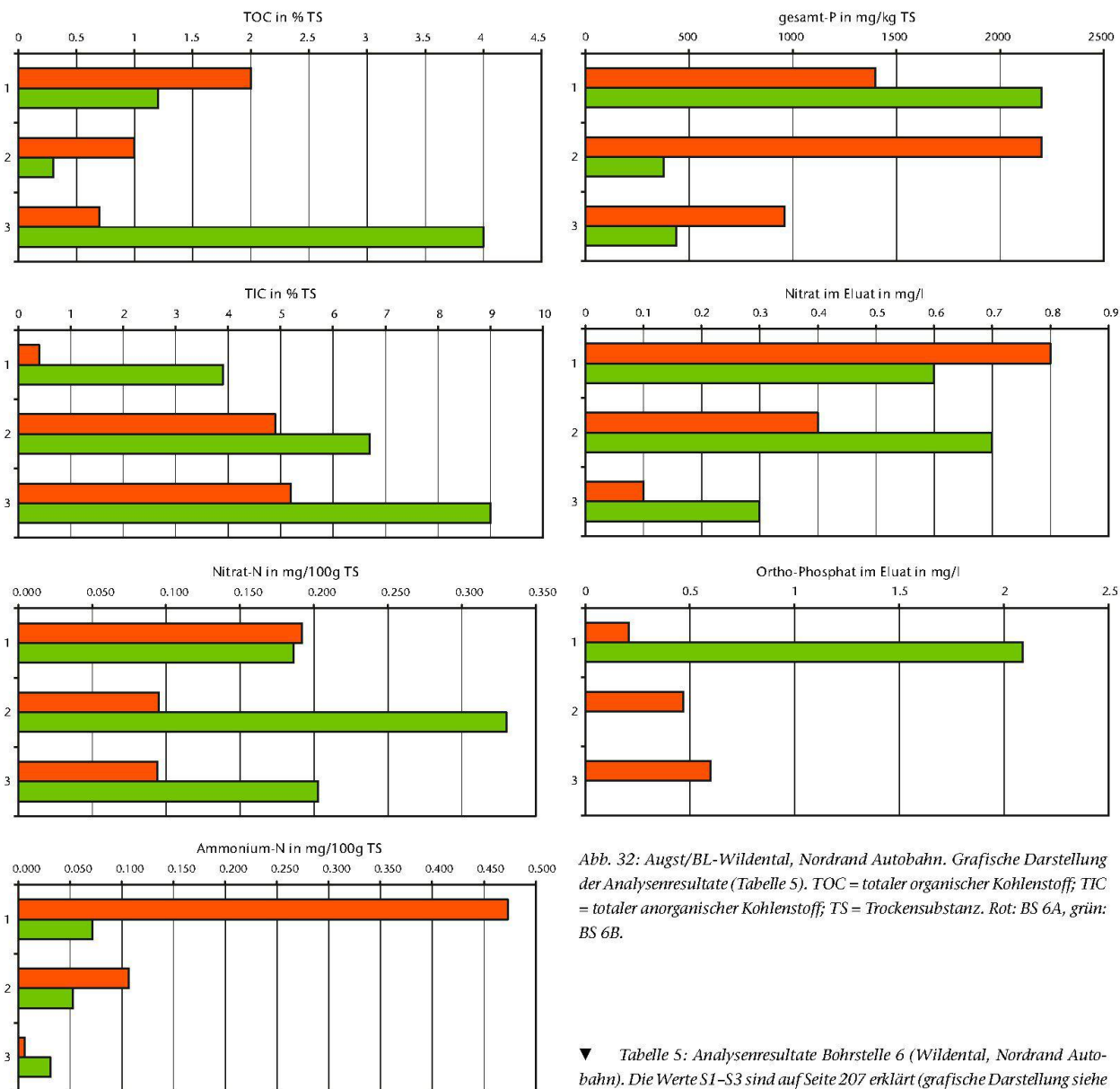


Abb. 32: Augst/BL-Wildental, Nordrand Autobahn. Grafische Darstellung der Analysenergebnisse (Tabelle 5). TOC = totaler organischer Kohlenstoff; TIC = totaler anorganischer Kohlenstoff; TS = Trockensubstanz. Rot: BS 6A, grün: BS 6B.

▼ Tabelle 5: Analysenergebnisse Bohrstelle 6 (Wildental, Nordrand Autobahn). Die Werte S1–S3 sind auf Seite 207 erklärt (grafische Darstellung siehe Abb. 32).

Parameter	Einheit	6A (bewirtschaftet)			6B (nicht bewirtschaftet)		
		1	2	3	1	2	3
Bodenart		U ₁ -g ₁ -t	S ₁ -u ₁ -g	U ₁ -t ₁ -g	U ₁ -g	X ₁ -g	G ₁ -u
Tiefe		0,5–1,0	1,6–2,2	2,6–3,0	1,0–1,4	1,4–2,0	2,3–3,0
Originalsubstanz							
pH		7,6	8,3	8,2	8,7	11,8	11,1
TOC	% TS	2	1	0,7	1,2	0,3	4
TIC	% TS	0,4	4,9	5,2	3,9	6,7	9
S (ges.)	% TS	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
N (ges.)	% TS	0,22	< 0,05	< 0,05	0,072	< 0,05	< 0,05
NO ₃ -N	mg/100g TS	0,192	0,095	0,094	0,186	0,330	0,203
NH ₄ -N	mg/100g TS	0,473	0,107	0,006	0,072	0,053	0,031
P (ges.)	mg/kg	1400	2200	960	2200	380	440
Eluat							
pH		7,9	8,1	8,3	8,4	11,7	10,6
Leitfähigkeit	µS/cm	181	118	101	90	1070	152
Säurekap. pH 4,3	mmol/l	1,55	1,04	1,01	0,84	5,20	0,95
Säurekap. pH 8,2	mmol/l		< 0,05	< 0,05	< 0,05	4,74	0,67
Cl	mg/l	0,2	0,4	< 0,1	0,4	0,9	0,9
SO ₄	mg/l	3,4	2,2	1,6	1,1	14,7	15,7
NO ₃	mg/l	0,8	0,4	0,1	0,6	0,7	0,3
o-PO ₄	mg/l	0,21	0,47	0,6	2,09	< 0,02	< 0,02
Ca	mg/l	31	20	19	16	94	21
Mg	mg/l	1,5	0,62	0,64	1,1	< 0,05	0,05
Rechengrößen							
S 1		0,05	0,05	0,03	0,04	0,06	0,37
S 2		5,93	8,85	21,54	3,53	29,37	72,84
S 3		43,76	45,38	60,60	73,31	33,96	5,81
Summe Nitrat + Sulfat		4,2	2,6	1,7	1,7	15,4	16