

BERICHTE UND MITTEILUNGEN

EIN KARSTPHÄNOMEN IM HEILIGTUM VON DELPHI (GRIECHENLAND)

Mit 1 Abbildung und 3 Photos

FRIEDRICH SAUERWEIN

Summary: A karst phenomenon in the sanctuary of Delphi (Greece)

In the sanctuary of Delphi an interesting karst phenomenon has been discovered at the northern retaining wall behind the Temple of Apollo. It is a sinter curtain of porous tufaceous limestone, 8 m wide and up to 59 cm deep. Since historical and archeological observations in the sanctuary provide very precise dates this lime precipitation must have developed within the period between 392 A. D. and 1892, a rather short period of only 1500 years. As the formation of this phenomenon must be attributed to running water, a careful investigation of springs in the area of the sanctuary was carried out. It was shown that, due to the hypsometric situation at the time of the existence of Kastri, a mediaeval village, the Kerna spring at the foot of the phaedriadic rocks must have supplied the water for Delphi – as it continues to do at a rate of 40 m³ per day. At any rate the Mediterranean climate, the relief and the SSE exposition all served to favour precipitation of lime by raising the temperature of the running water, dispersion in the atmosphere and diffusion of the CO₂ at varying partial pressure. In the Mediterranean these conditions combine to bring about sintering processes in the karst within a very short space of time, an aspect which might also be of interest to related disciplines for dating purposes.

Für wohl alle Reisenden von PAUSANIAS (2. Jh. n. Chr.) bis heute dürfte der Besuch von Delphi in der Landschaft Phokis einen Höhepunkt in ihrem Griechenland-Erlebnis darstellen. Mit dem Wissen um die religiös-mythische, historische und politische Bedeutung dieses Ortes, aber auch um die kunsthistorischen Werte, betritt man das Heiligtum des Apollon Pythios, den „Nabel der Welt“, in einer gewissen Ehrfurcht und konzentriert sich auf die baulichen Reste, die der Archäologe mit seinem Spaten freigelegt und mit Hilfe seiner Methode der Restaurierung zusammengefügt hat. Zugleich aber ist man fasziniert von der landschaftlich einmaligen Lage der Orakelstätte am Fuße des Steilabfalles der Phädraden über dem von Itea in das Pleistostal und nach Amfissa hineinwachsenden, fast endlosen Ölbaumwald.

Daß Geowissenschaftler trotz kulturhistorischer Interessen eine fachspezifisch geprägte Beobachtungsgabe nicht verleugnen können, ist bezeichnend. So soll auch im folgenden ein karstmorphologisch auffälliges Phänomen beschrieben und analysiert werden, dessen Betrachtung für Karstmorphologen einige nachdenkenswerte Ergebnisse enthält. Hierbei befindet sich der Autor in guter Gesellschaft etwa mit BÜDEL (1965), der Olympia nicht ohne morphologische Fragestellungen betrachten wollte, oder mit WUNDERLICH (1972), der seine geologisch fundierten Bedenken in der Interpretation minoischer Palastanlagen auf Kreta artikulieren mußte.

1. Darstellung des Karstphänomens

Das Heiligtum von Delphi liegt auf einem relativ steilen Hang mit wenigen terrassenähnlichen Verebnungen. Deshalb war es erforderlich, den Baugrund für die Errichtung der Gebäude künstlich durch Planieren und durch die Anlage von Stützmauern vorzubereiten. Für das zentrale und größte Bauwerk, den Apollon-Tempel, bedurfte es besonders mächtiger Abstütungen. Im Süden der Tempelterrasse wurde die wegen ihrer Inschriften und der Bautechnik berühmte polygonale Mauer angelegt, der Umgang auf der Nordseite des Tempels wurde durch ein Mauerwerk aus Quadern gegen den Hang hin geschaffen.

An dieser nördlichen Stützmauer befindet sich das Karstphänomen. Es handelt sich um einen Kalksintervorhang in recht erheblichen Dimensionen, der die etwa 2,50 m hohe Mauer in 8 m Breite überzieht und an manchen Stellen eine Dicke von 40–50 cm besitzt (Photos 1–3). Die Sinterung beginnt 6 m östlich von der Nische, in der ein Weihgeschenk zum Andenken an die Rettung Alexanders des Großen auf einer Löwenjagd aufgestellt war, und das als Alexander-Jagd bezeichnet wird (Abb. 1). Es ist in etwa der Ort, an dem der Wagenlenker von Delphi unter dem Schutt gefunden wurde (KIRSTEN u. KRAIKER 1956, 167).

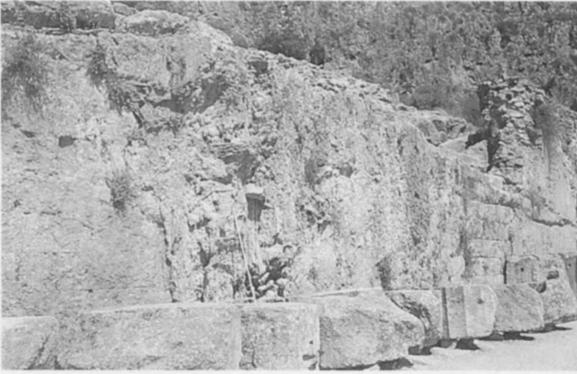


Photo 1: Die nördliche Stützmauer des Apollon-Tempels mit dem Sinterüberzug. Aufnahme: F. SAUERWEIN, 14. 9. 1984

The northern retaining wall of the Temple of Apollo with its sinter curtain

Der Sinterüberzug der Mauer hatte sich früher weiter nach Westen ausgedehnt; denn man sieht deutlich, daß dort der Kalktuff mit Steinmetzwerkzeugen beseitigt wurde, um die glatte Oberfläche der Quadern wieder herzustellen. Warum die Sinterfahnen insgesamt nicht abgetragen wurden, ist unbekannt. Auch hatte die Sinterung über der jetzigen Mauerkrone eingesetzt, da dort nach der Entnahme von Schutt der Sinteransatz stehen blieb und die letzte Quaderreihe überragt.

Die Sinterdecke selbst ähnelt in ihrer Struktur dem Bild, das sich an dem bekannten Wasserfall von Edessa in Makedonien beobachten läßt. Dort führt die Kalkausfällung wie an den Plitvicer Seen über eine „Barrenbildung quer zum Flußverlauf“ (LOUIS u. FISCHER 1979, 412 ff.) zu dem morphogenetischen Aufbau einer Stufe. In Delphi ist lediglich die Barre

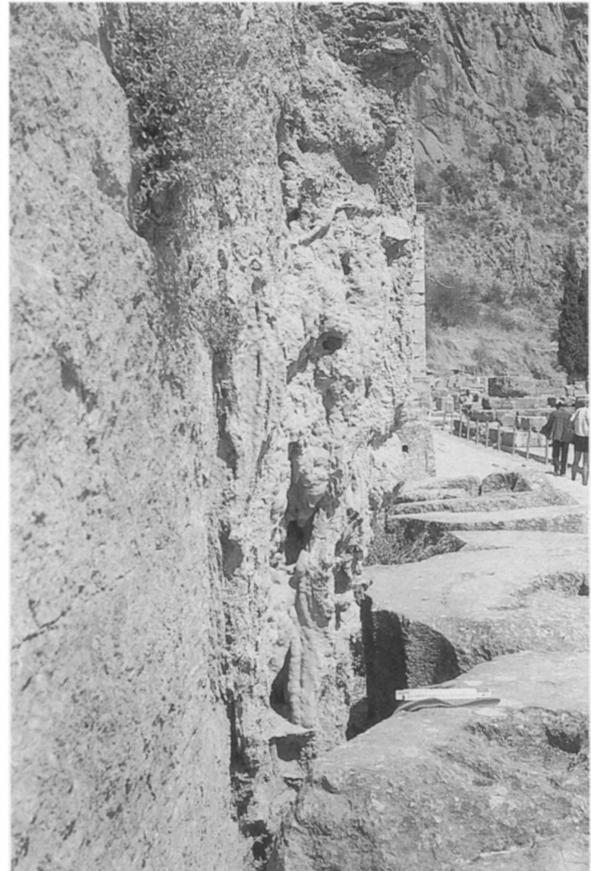


Photo 3: Sinterfahne in der seitlichen Ansicht mit eingebackenen kantigen Schuttbrocken und ausgeprägtem Wulst in der oberen Region. Aufnahme: F. SAUERWEIN, 14. 9. 1984

Side view of the sinter curtain with encrusted angular rubble fragments and well marked bulge in the upper region



Photo 2: Außenstalaktiten in der westlichen Ablaufrinne und inkrustierte Pflanzenreste. Aufnahme: F. SAUERWEIN, 14. 9. 1984

External stalactites in the western drain and encrusted plant remains

anthropogenen Ursprungs. Der starke Gefällsknick aber bewirkt, auch bei geringerer oder evtl. periodischer/episodischer Wasserführung die von PFEFFER (1978, 51) beschriebenen Prozesse verstärkter Kalkausscheidung durch CO_2 -Abgabe infolge Temperaturerhöhung des Wassers, seiner Zerstäubung im Kontakt mit der atmosphärischen Luft und durch Diffundierung des CO_2 bei verändertem Partialdruck.

Man muß daher das durch Ausfällung entstandene Sintermaterial als Kalktuff bezeichnen. Es zeigt keine eindeutige Schichtung und besitzt eine starke Porosität. Außerdem sind inkrustierte Pflanzen an der Sinter- und Hohlraumausbildung beteiligt (vgl. LOUIS u. FISCHER 1979, 414), und auch gegenwärtig ist ein kümmerliches Pflanzenwachstum aus den Porenräumen zu beobachten. Zeitweise muß ein tur-

bulenter Gewässerzufluß erfolgt sein, da grobe und kantige Gesteinsbrocken in die Sintermasse eingebunden wurden.

Der großflächig über die Stützmauer verlaufende Sinterungsprozeß läßt zwei maximal beanspruchte Ablaufrinnen erkennen. Die östliche zeigt markant die soeben beschriebenen Erscheinungsformen. Davon hebt sich die westliche Ablaufrinne ab. Hier treten Formenbilder auf, wie sie aus Halbhöhlen und Korrosionsnischen in Steilwänden bekannt sind, z. B. in der Nedonschlucht im Taygetos am Wege von Sparta nach Kalamata oder in der Vicosschlucht im Epirus. Es sind Formen, die eher den Sinterungsvorgängen in Tropfsteinhöhlen zuzuordnen sind. Nur sind es keine echten Stalaktiten- und Stalagmitenbildungen, sondern an der Höhlenwand direkt ablaufende wulstige Halbsäulen (Außenstalaktiten). Photo 2 zeigt solche Gebilde. Hier lagen andere Fließbedingungen vor, die eine gewisse Stetigkeit über eine längere Phase hinweg dokumentieren. Allgemein ist für den gesamten Sinterungsvorgang zu bemerken, daß er durch ein stark lehmhaltiges Gewässer ausgelöst wurde, da alle Kalkspatkristalle von einer trüb-braunen Masse überzogen sind.

2. Historische und archäologische Befunde im Heiligtum

Da eine interdisziplinäre Darstellung der Beobachtungen zu dem Karstphänomen vorgesehen ist, soll hier eine Beschränkung auf wenige Fakten erfolgen (obwohl die Diskussion um die für das Ritual wichtigen Quellen und Brunnen in Delphi nicht abgeschlossen ist).

Als Eckdaten ergeben sich (KIRSTEN u. KRAIKER 1956, WEIDUSCHAT 1962, MEHLING 1982, LÖWE u. STOLL 1976, *Griechenland Brockhaus* 1983):

- Die nördliche Stützmauer muß spätestens bei dem Bau des dritten Tempels vor 330 v. Chr. errichtet worden sein.
- Das heidnische Heiligtum wurde um 392 n. Chr. geschlossen.
- Im Mittelalter entstand auf den Trümmern von Delphi das Dorf Kastri.
- Dieses wurde 1892 zu Beginn der französischen Grabung abgetragen und im Westen des Heiligtums neu aufgebaut.

Da für die Entstehung der Kalksinterung nur ein Fließgewässer in Frage kommt, ist es naheliegend, die im Heiligtum vorhandenen Quellen und ihre Abflüsse ins Auge zu fassen. Die berühmteste ist die Kastalische Quelle. Sie kann aber das Karstphänomen nicht verursacht haben, da sie am Fuße der Phädradenschlucht außerhalb des Adyton entspringt und hypsometrisch tiefer liegt als das Niveau des Apollon-Tempels. Ihr Überlauf bildet einen Zufluß zum Pleistos. Im Heiligtum selbst traten nur die Kassotis zutage und oberhalb der Mauer um das Aller-

heiligste unter dem großen Felsen in der östlichen Serpentine am jetzigen Fußpfad zum Stadion die Kerna, identisch mit der Delphusa, dem „Stadtbrunnen der alten Delpher“ (BURSIAN 1862, 178).

Teilweise widersprüchliche Angaben bewogen zu einer Nachforschung für die antike Situation in dem französischen Grabungsbericht, der in der Arbeit von POUILLOUX (1960) vorliegt. Er lokalisiert die Kassotis gegenüber der Nordostecke des Tempels. Der Plan 22 verzeichnet zugleich eine „Adduction d'eau“ der Quelle Kerna mit Pfeil und vermerkt daran etwas östlich des Theaters in Klammern „Ancienne fontaine du village de Castri“ (vgl. Abb. 1).

Demnach blieb der Name der Kassotis im Mittelalter erhalten. Nur war die antike Kassotis in die Stützmauer einbezogen, die Kassotis des Dorfes Kastri befand sich infolge einer Ablenkung des Wasserstromes von der „Ancienne fontaine“ etwa 30 m im Nordwesten oberhalb der damaligen Kirche Agios Nikolaos. Beide Wasserstellen waren keine Quellen, sondern Brunnenhäuser (vgl. TÖLLE-KASTENBEIN 1985), die von der Kerna gespeist wurden.

Diese Kerna versorgt noch heute die Siedlung Delphi mit Trinkwasser. Sie wurde 1898 gefaßt und ihr Wasser durch eine neue Leitung in das verlagerte Dorf geführt. An dieser Leitung wurden 1986 von der Quellfassung ausgehend Erneuerungsarbeiten durchgeführt. Die Kerna besitzt nach Auskunft des Rohrmeisters von Delphi (1986) eine sehr beständige Wasserführung und liefert pro Tag 40 m³ Wasser.

Der Atlas der *Fouilles de Delphes* erbrachte in dem Plan 17 nach der Neuvermessung von G. ALGREEN-USSING und A. BRAMSNAES 1:100 sogar die Überraschung, daß dort der Sintervorhang in der Aufsicht vermessen und eingetragen wurde.

3. Räumliche, zeitliche und genetische Einordnung der Kalktuffbildung

Eine geologisch-morphologische Bestandsaufnahme soll in Anlehnung an PHILIPPSON (1950, 404-413) erfolgen. Er gliedert in die landschaftsräumlichen Großeinheiten des Hoch-Parnaß im Norden und des Nieder-Parnaß im Süden, der aus den Rücken von Kutsuras, Neraïdolakkoma und Xerovuni aufgebaut ist, zwischen die sich der Talzug von Delphi, das Pleistostal, einschleibt. Diesen von West nach Ost verlaufenden Talzug hat er als eine Schieferfurche zwischen den beiderseits anstehenden Kalke charakterisiert und durch die Beobachtung des Einfallens der Kalke an beiden Flanken als ein Antiklinaltal mit erosiv aufgerissenem Schichtgewölbe, dem ehemaligen Faltenattel, beschrieben.

Durch die Tiefenerosion des Pleistos wurden die Schieferreste im Bereich von Delphi zwischen einem „oberen“ (dem Massenkalk der Phädraden) und einem „unteren“ Rudistenkalk als Verwitterungs-

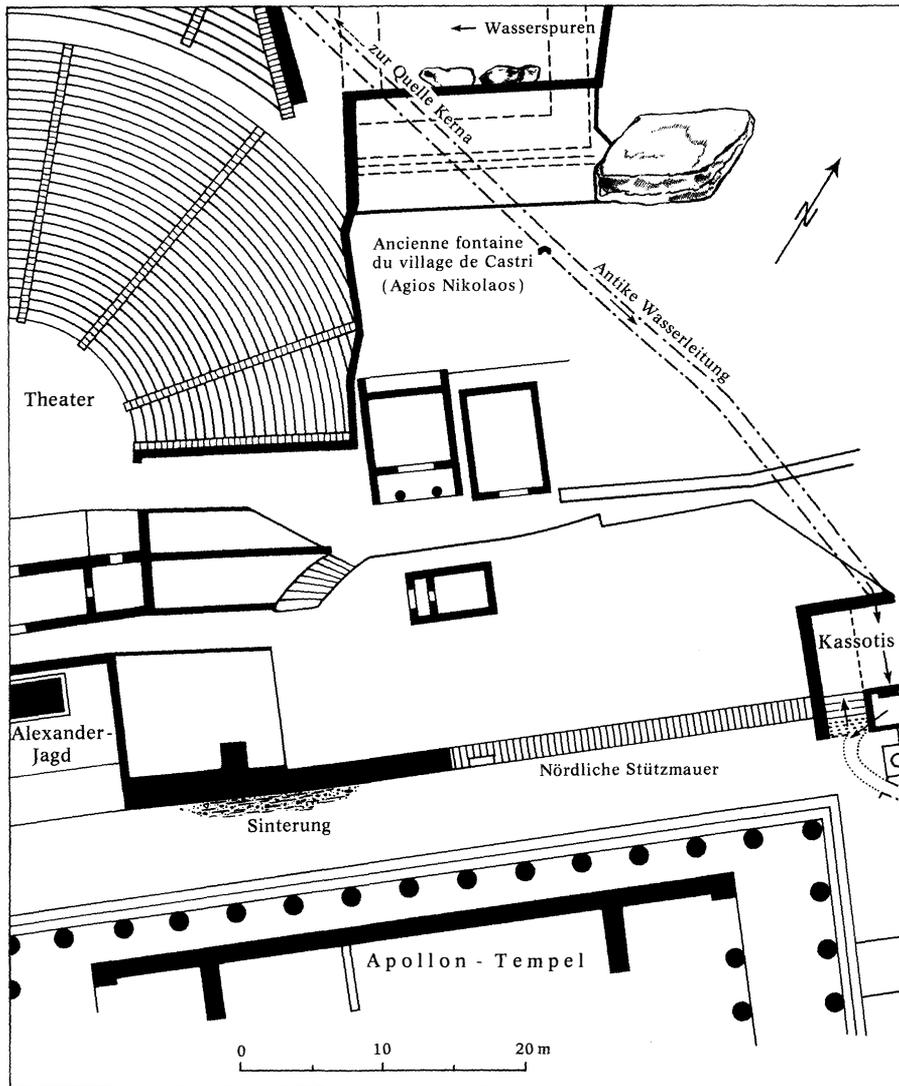


Abb. 1: Ausschnitt aus dem Lageplan von Delphi
 Quelle: POUILLOUX 1960, überarbeitet und ergänzt
 Detail of the plan of Delphi

terrasse erhalten. Sie bestehen nach seiner Auffassung aus unterschiedlichen Materialien: Sandsteinen, flyschartigen graugrünen Tonschiefern und Plattenkalken, so daß er schließlich den Begriff „Schiefer“ selbst in Anführungszeichen setzt.

Sein sehr kritisch diskutiertes Problem der Altersdatierung bzw. der Tektonik (Überschiebung?) soll hier nicht weiter interpretiert werden, da die Geologische Karte 1:50 000 Blatt Delphi (1964) seine Erkenntnisse im wesentlichen bestätigt (ebenso JACOBSEN (1986) mit moderner Terminologie wie Parnaß-Zone oder KEUPP (1978) mit Flysch-Depression). Sie ordnet die Steilabfälle der Phädraden als Massenkalken in die zeitliche Stufe der Oberkreide (Turon-

Senon) ein. Die überlagernden Kalke des Hoch-Parnaßhanges gehören dem oberen Jura (Kimmeridge) und der unteren Kreide (Tithon-Cenoman) an. Unterhalb der Phädraden folgt eine Schicht, die in das Senon bis in das Paläogen gestellt wird, und diese wird von paläogenem Flysch überlagert. Daraus ergibt sich das aus Faltungen und Verwerfungen gestaltete typische Bild der Parnaß-Giona-Serie. Die in der Karte vermerkte Störungszone verläuft unterhalb des Heiligtums fast im Niveau der Straße Arachova-Delphi, das Nordwärts-Einfallen der Schichten ist eingetragen. Am Fuße des fast senkrechten Abbruches der Phädraden ist das stark ansteigende Gelände im Heiligtum mit mächtigen Blöcken aus

Felsstürzen (Erdbeben) und Schuttmateriale überdeckt.

Die geologische Karte verzeichnet nur die Kastalische Quelle durch den Namenseindruck, ohne den Quellaustritt zu lokalisieren. Eine hydrogeologische Kartenbeilage 1:50 000 von Delphi–Amfissa–Itea der FAO (1964) setzt die Signatur dieser Quelle genau an die Grenze oberhalb des Flyschs und benennt ihn in der Legende als wasserstauende, die darüber anstehenden Kalke als wasserführende Schicht. Grundwasserströme verlaufen nach jener Karte aus dem Hoch-Parnaß zur Phädiadenschlucht (Kastalia) und westlich davon im Bereich der Kerna in Richtung auf das Heiligtum von Delphi.

Eine hypsometrische Bestimmung der Wasseraustritte ergibt folgendes Bild (Angaben aus *Fouilles de Delphes*, Atlas. 21, 1897, Pl. XIV/XV):

Kerna	625,8 m NN
Ancienne fontaine	> 585,7 m NN
Mittelalterl. Kassotis Agios Nikolaos	585,7 m NN
Antike Kassotis	ca. 575,0 m NN
Tempelfundament	ca. 574,0 m NN
Obergrenze der Stützmauer + 2,5 m	576,5 m NN
Kastalia	538,0 m NN

Danach ist nur von dem byzantinischen Brunnenhaus der Kassotis vor der Kirche Ag. Nikolaos oder der „Ancienne fontaine du village de Castri“ vom Relief her ein Wasserabfluß zu der versinterten Partie der nördlichen Stützmauer möglich. Weil beide Wasseraustritte nach der französischen Vermessung von der Kerna gespeist werden, kann nur sie der Wasserlieferant gewesen sein!

Diese Auffassung wird gestützt durch eine Geländebegehung im September 1984. Nach gründlicher Untersuchung des oberhalb der Sinterung liegenden Gebietes konnten in einem archäologisch nicht näher interpretierten Gebäude östlich des oberen Theaterandes (damals noch begehbar) die ersten Wasser Spuren entdeckt werden. Der Raum selbst ist tief in den anstehenden Kalk eingearbeitet, der Boden hervorragend geglättet. Es befinden sich darin Brocken von einem Felssturz in Kubikmetergröße. Im Niveau des Bodens tritt am hinteren Rand zum Anstehenden ein spärlich fließendes Gewässer aus, das auf dem Boden eine Pfütze bildet und eine schwache Vegetation von Gräsern in frischem Grün zu ernähren vermag. Immerhin ist die Wasserzufuhr so stark, daß sie an dieser Stelle die hohe Verdunstungsrate überwiegt, sonst wäre die Pfütze ausgetrocknet. Unter dem Gebäude verläuft die alte Wasserleitung zur Kassotis.

Die nächste Austrittsstelle von Wasser konnte erst oberhalb im Bereich der gefaßten Quellschicht der Kerna beobachtet werden. Auch dort fiel grüner Grasbewuchs auf. Die Quellschicht war – wie beim Besuch 1986 – durch einen Wasserschlauch angezapft, der die Wächter der Grabung mit Trinkwasser versorgt. Es ist denkbar, daß sein beständiger Über-

lauf in dem Gebäude östlich des Theaters ausfließt. Gerade diese Zwischenetappe von der Kerna zur Sinterung markiert damit einen karsthydrographischen Weg, dem das Wasser der Kerna gefolgt sein kann.

Die Herkunft des Wassers aus der Kerna für die Sinterbildung darf deshalb mit Sicherheit angenommen werden. Selbst wenn ein durch Erdbeben verstärkter tieferer Quellaustritt vermutet werden müßte, handelt es sich um das gleiche Karstsystem, dessen Austritt dann hangaufwärts verlagert wäre.

Für die Entwicklung eines derartigen Karstphänomens ergibt sich wohl selten eine so eindeutig gesicherte Zeitspanne zur Datierung. Es muß sich zwischen 392 n. Chr. und 1892 gebildet haben. Das ist ein Zeitraum von maximal 1500 Jahren! Denn es darf als unwahrscheinlich angesehen werden, daß der Sinterungsprozeß schon eingesetzt hatte, solange das Heiligtum als Kultplatz genutzt wurde. Ebenso waren mit dem Beginn der Grabung (Wasserleitung 1898) die Voraussetzungen für eine Weiterbildung der Kalktuffe nicht mehr gegeben.

Nach PFEFFER (1978, 50) sind aufgrund verschiedener Untersuchungen die Abscheidungen der Kalktuffe „im südlichen Mittelmeergebiet quartären Alters“. Er verweist lediglich auf eine Arbeit, die „rezente Entstehung ermittelt“ hat im Bereich der Plitvicer Seen. Das Beispiel Delphi besitzt durch die gesicherten Fixpunkte seiner zeitlichen Limitierung eine besondere Aussagekraft, weil es präzise die erstaunliche Kürze erfaßt, in der ein solcher Vorgang ablaufen kann. Dazu müssen aber auch extrem günstige Bedingungen vorhanden gewesen sein.

Sie sind neben der ausreichenden Zufuhr kalkgesättigten Wassers in der Klimasituation zu sehen. Leider gibt es infolge fehlender Wetterstationen keine zuverlässigen Angaben. Die FAO-Studie entwickelt deshalb die Niederschlagskarte des Raumes Delphi–Amfissa–Itea 1:50 000 durch Interpolation der wenigen Daten über das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Höhe und Niederschlagsmenge. Danach verläuft die 1100 mm-Isohyete im Heiligtum entlang der Phädiaden. Im Hoch-Parnaß wird ein Wert von > 1500 mm erreicht. Diese Niederschlagsmengen fallen zwar überwiegend in der winterlichen Regenzeit, aber da der Schnee im Parnaß (2457 m) bis in den Juni hinein liegen bleibt, ist eine perennierende Quellschüttung gewährleistet.

Eine enorme Erosionsleistung am Abhang des Parnassos vollbringen die Gewitter. KIRSTEN u. KRAIKER (1956, 161) berichten von dem Eingang in das Heiligtum: „Ein großer Teil der Denkmäler an der linken Straßenseite ist im Laufe der Zeit durch die Wirkung der hier herunterkommenden Gießbäche zerstört worden.“

Mächtige Regenfluten müssen neben dem Kerna-Wasser zeitweise an der Entstehung der Kalktuffe beteiligt gewesen sein; denn die eingeschwemmten kantigen Schuttbrocken (Photo 3) konnten nur durch

Sturzfluten transportiert werden. Sie geben sogar einen zusätzlichen Hinweis auf die besondere Raumsituation bei der Sinterung. Vor der Stützmauer muß ein mächtiger Schuttwall gelegen haben, der durch eine sich nach unten verengende Spalte von der Mauer getrennt war, da der Sinterwulst oben stark ausgebildet ist und sich gleichfalls nach unten verjüngt. In dieser Spalte blieben die Felsbrocken stecken und wurden eingebacken. Auch die Lehmüberkrustung weist auf derartige Vorgänge hin.

Noch spärlicher als die Niederschlagsdaten sind die Temperaturwerte, da sich keine meteorologische Station in der Nähe befindet. Ein Vergleich der Werte von Tripolis in Arkadien (664 m) bei analoger Höhenlage ist der einzige unvollkommene Ersatz. Dort liegt nach MARIOLOPOULOS (1960, 38) das Jahresmittel der Temperatur bei 13,9°C, der kälteste Monat ist der Januar mit 5,0°C, der wärmste der August mit 23,5°C; es treten in beiden Monaten die Extremwerte von -17,0°C und 41,0°C auf (Periode 1901-1930).

Da die Gebirgsregionen Griechenlands in den Sommermonaten viel stärker in den vollmediterranen Witterungsablauf eingegliedert sind als im Winter (SAUERWEIN 1968, 151), stellt die sommerliche Trockenzeit mit ihren hohen Temperaturen die Phase intensiver Kalkausfällungen dar. Hier sind es nicht die Schattentemperaturen der Hütte, die die Abscheidungen steuern, sondern die wesentlich höheren Bodentemperaturen, die aber nirgends registriert sind. Durch die SSE-Exposition des Heiligtums erhöhen sich zusätzlich die Stunden intensiver Sonneneinstrahlung, durch die Hangneigung kommt es sogar jahreszeitlich bedingt zu deren senkrechtem Einfallen.

Die Wassertemperatur der Kastalia wurde am 14.9.1984 um 14⁴⁵h mit 15,0°C bestimmt. Ein Wert für die verkapselte Kerna konnte nicht gemessen werden; er dürfte ähnlich sein. Aus der Diskrepanz zwischen Wasser- und atmosphärischer bzw. Bodentemperatur aber entstehen für die oben erläuterten Ursachen einer Sinterung optimale Bedingungen.

Ein Blick auf die Ergebnisse einer chemischen Analyse*) von Wasserproben aus Kerna und Kastalia soll die Betrachtungen abschließen:

	Kerna	Kastalia
Gesamthärte	15 °dH	14 °dH
Carbonathärte	11 °KH	9 °KH
Gesamtsalzgehalt	150 mg/l	310 mg/l
Nitrat	-	< 5 ppm
Sulfat	qual. neg.	qual. neg.
Chlorid	qual. neg.	qual. neg.
Ammonium	neg.	neg.
pH-Wert	7,7	7,4
Leitfähigkeit	0,6 mS	0,55 mS
Magnesium qual.	pos. +	pos. +
Phosphat	neg.	neg.

Gesamthärte, Carbonathärte, Magnesium und pH-Wert des sehr reinen Wassers enthalten den eindeutigen Hinweis auf eine für die Sinterung ausreichende Menge an gelösten Stoffen unter den skizzierten klimatischen Bedingungen.

Somit erklärt sich die außergewöhnliche Geschwindigkeit in der Bildung des lokal beobachteten Sinterungsphänomens innerhalb historisch faßbarer Eckdaten. Das sollte bei der Beurteilung oberflächlich ablaufender karstmorphologischer Prozesse im mediterranen Raum hilfreich sein. Der Hinweis auf einen solchen Vorgang scheint aber auch geeignet, für Nachbarwissenschaften neue Datierungsmöglichkeiten zu eröffnen.

Literatur

- BÜDEL, J.: Aufbau und Verschüttung Olympias. Mediterrane Flußstätigkeit seit der Frühantike. In: 34. Dt. Geographentag Heidelberg 1963. Wiesbaden 1965, 179-183.
- BURSIAN, C.: Geographie von Griechenland. Band I. Leipzig 1862, Nachdruck Hildesheim 1977.
- École Française d'Athènes (Hrsg.): Fouilles de Delphes. Tome II. Topographie et Architecture. Atlas. Paris 1975.
- FAO (Hrsg.): Karst Groundwater Investigations. Greece. (FAO/SF: 2 GRE). Rom 1964.
- Griechenland Brockhaus: Griechenland von A-Z. Wiesbaden 1983.
- JACOBSHAGEN, V. (Hrsg.): Geologie von Griechenland. Berlin, Stuttgart 1986.
- KEUPP, H.: Tektonik und präorogene Stratigraphie der Flysch-Depression von Delphi-Arachova (Parnass-Kiona-Zone, Mittelgriechenland). In: Z. dt. geol. Ges. 127, 1976, 399-415.
- KIRSTEN, E. u. KRAIKER, W.: Griechenlandkunde. Heidelberg 1956.
- LÖWE, G. u. STOLL, H.: Die Antike in Stichworten. Leipzig, Wiesbaden 1976.
- LOUIS, H. u. FISCHER, K.: Allgemeine Geomorphologie. Berlin 1979.
- MARIOLOPOULOS, H.: *KAIMATIKA ETOIXEIA TOY EΛΛΗΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΟΥ*. Athen 1960.
- MEHLING, F. (Hrsg.): Knaurs Kulturführer Griechenland. München, Zürich 1982.
- PAUSANIAS: Beschreibung Griechenlands. Neu übersetzt und hrsg. von ERNST MEYER. Zürich 1967.
- PFEFFER, K.-H.: Karstmorphologie. Darmstadt 1978.
- PHILIPPSON, A.: Die griechischen Landschaften. Bd. I. Frankfurt 1950.
- POUILLOUX, J.: Fouilles de Delphes. Tome II. Topographie et Architecture. La Région Nord du Sanctuaire. Paris 1960.
- SAUERWEIN, F.: Landschaft, Siedlung und Wirtschaft Innermesseniens (Griechenland). Frankfurter Wirt-

*) Herrn Prof. Dr. BÜTTNER und dem Laboranten, Herrn KUNZE, vom Fach Chemie an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg sei für die Durchführung der Analyse herzlich gedankt.

- schafts- u. Sozialgeogr. Schriften, Heft 4. Frankfurt 1968.
- TÖLLE-KASTENBEIN, R.: Der Begriff Krene. In: Archäol. Anzeiger 30a, 1985, 451-470.
- WEIDUSCHAT, W.: Griechenland. Stauffacher-Reiseführer. Zürich 1962.
- WUNDERLICH, H.-G.: Wohin der Stier Europa trug. Hamburg 1972.

Karten

- Geologische Karte von Griechenland 1:50 000, Blatt Delphi. Hrsg. vom Institute for Geology and Subsurface Research. Athen 1964.
- Nomoskarte des Nomos Fokidos 1:200 000. Hrsg. von der ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ. Athen 1963.

BUCHBESPRECHUNGEN

MÄUSBACHER, ROLAND: Die Verwendbarkeit der geomorphologischen Karte 1:25 000 (GMK 25) der Bundesrepublik Deutschland für Nachbarwissenschaften und Planung. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm V. 97 S., 15 Abb., 31 Tab. u. 21 Karten. Berliner Geographische Abhandlungen, Heft 20. Berlin 1985

Nachdem inzwischen mehr als 20 Meßtischblätter nach der GMK-Legende kartiert und gedruckt worden sind und die Konzeption sich zumindest anfangs teilweise heftiger Kritik ausgesetzt sah, steht nun der wissenschaftliche Wert des Kartenwerkes und der zugehörigen Erläuterungshefte außer Zweifel. Wie kaum ein anderes geowissenschaftliches Vorhaben der letzten Jahre hat das sog. GMK-Projekt durch konsequente Inventarisierung des Formenschatzes die Diskussion über die Genese typischer einheimischer Landschaften neu belebt. Den praktischen Wert, den die Karten zweifellos auch besitzen, galt es bislang jedoch noch hervorzuheben.

R. MÄUSBACHER gelingt es, mit seiner Arbeit die Lücke weitgehend zu schließen. Er untersucht in der vorliegenden, breit angelegten Analyse die Aussagefähigkeit der GMK für alle etwa in Frage kommenden Benutzer. Im ersten Kapitel wird die direkte Verwendbarkeit der Karte als Ganzes bzw. der darin enthaltenen Informationsschichten für die Kartenwerke anderer Geowissenschaften, z. B. die G. K. 25 und die B. K. 25 geprüft. Das Ergebnis bestätigt, daß die GMK hier durchweg von Nutzen ist. In einem zweiten, wesentlich umfangreicheren Kapitel wird die Aussagekraft einzelner Reliefelemente, wie etwa Hangneigung, Stufen und Kanten, Substrat etc., für einen möglichen Anwender, wie z. B. Straßenbauer, Landwirt oder Stadtplaner, untersucht (indirekte Methode). Weiterhin wird auf der Basis der Reliefelemente die Möglichkeit geprüft, Auswertungskarten für spezielle Fragestellungen, beispielsweise Geländeklimatologie, potentielle Erosionsgefährdung, Hausbau, Wasserwirtschaft usw., zu erstellen. Zu diesem Zweck wurden 16 (!) Kartenproben entworfen und farbig ausgedruckt. Sie ergeben einen guten Querschnitt aus der Fülle möglicher Anwendungsbereiche. Zum Schluß wird auf die große Bedeutung der GMK für ökolo-

gische Raumanalysen verwiesen, die im Rahmen der Regionalplanung heute zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Insgesamt vermittelt die Arbeit ein gelungenes und erfreulich positives Bild von den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der GMK-Karten. Teilweise aufgekommene Kritik am praktischen Nutzen der leider sehr komplexen Karten erscheint damit widerlegt. Die klug durchdachte Arbeit schließt eine deutliche Lücke in der langen Reihe der bisherigen GMK-Publikationen.

JÖRG GRUNERT

WIESNER, KLAUS-PETER: Programme zur Erfassung von Landschaftsdaten, eine Bodenerosionsgleichung und ein Modell der Kaltluftentstehung. 83 S., 23 Abb., 20 Tab. u. 1 Karte als Beilage. Heidelberger Geogr. Arbeiten, Heft 79. Heidelberg 1986, DM 26,-

Der Band enthält in gekürzter Fassung eine Arbeit aus dem Jahre 1981, entstanden im Rahmen des Projektes „Landschaftsbelastungen im Rhein-Neckar-Raum“. Im ersten Teil ist die EDV-Speicherung von Landschaftsdaten beschrieben, wobei solche Rasterverfahren - bereits Mitte der siebziger Jahre diskutiert - vielfach von amtlichen Stellen aus Zeit- und Kostengründen nicht zum Einsatz gelangten. Insbesondere ist die Quantifizierung und Gruppenbildung von Einzeldaten des Landschaftsgefüges problematisch, worauf im Rahmen der Arbeit jedoch nicht eingegangen wird.

Die prinzipielle Anwendbarkeit der Bodenerosionsgleichung von WISCHMEIER zur Prognose von Bodenverlusten durch Starkregen unter deutschen Klima- und Anbauverhältnissen wird in Teil II der Arbeit belegt, vorausgesetzt die gebietspezifischen Regen- und Vegetationsfaktoren lassen sich hinreichend genau bestimmen. Im letzten Teil wird gezeigt, wie für windstille, klare Nächte das Volumen der entstehenden Kaltluft in den einzelnen Jahreszeiten errechnet und auf diese Weise Früh- und Spätfröste in verschiedenen Höhenlagen vorausgesagt werden können.

JÜRGEN GIESSÜBEL