Münster. Forsch. Geol. Paläont.	69	261–289	12 Abb. 2 Tab.	Münster November 1989

Holozäne Süßwasserkalke im Alme- und Aftetal südlich von Büren (Kreis Paderborn, Nordrhein-Westfalen)

von

CHRISTOPH HARTKOPF-FRÖDER, MARTIN HISS & REINHOLD R. LEINFELDER*

Schlüsselworte: Profil, Travertin (Sinterkalk), Onkoid, Cyanobacteria, Holozän, Karstquelle, Rheinisch-Westfälische Senke, Rheinisches Schiefergebirge, Sauerland, Nordrhein-Westfalen, TK 25: Nr. 4417, 4517.

Keywords: Geological section, travertine (tufa), oncoids, Cyanobacteria, Holocene, exsurgence, Rhenish-Westphalian Basin, Rhenish Massif, Sauerland, North Rhine-Westphalia, TK 25: Nr. 4417, 4517.

Zusammenfassung: Im Grenzbereich zwischen dem nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge und dem Münsterländer Kreidebecken sind im Alme- und Aftetal sowie in deren Seitentälern holozäne Süßwasserkalke verbreitet. Die Vorkommen sind an Karstquellen gebunden. Neben lockerem, bis zu 6 m mächtigem Sinterkalk kommt auch Sinterkalkstein vor. Damit vergesellschaftet sind Onkoide, die jedoch insgesamt seltener und nur in einem Vorkommen (Hohenroden) massenhaft verbreitet sind.

Sinterkalke und Sinterkalksteine sind fast immer in Quellnähe entwickelt. Sinterkalke nehmen bevorzugt größere Flächen in breiteren Talböden ein. Sinterkalksteine treten häufig dort auf, wo die Bäche ein stärkeres Gefälle in Kaskaden oder Wasserfällen überwinden. Solche Geländefaktoren begünstigen eine abiogene Sinterkalkbildung aufgrund der CO_2-Evasion. Dagegen tragen temperaturbedingte Kalkfällungen oder die CO_2-Assimilation von Cyanobakterien, Algen und Pflanzen vermutlich nur wenig zur Bildung der Sinterkalke bei.

---

* Adressen der Autoren: Dipl.-Geol. Chr. Hartkopf-Fröder, Dr. M. Hiß, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Str. 195, D-4150 Krefeld
Dr. R. R. Leinfelder, Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, Saarstr. 22, D-6500 Mainz

An der Bildung von Onkoiden sind Cyanobakterien maßgeblich beteiligt. Die Onkoide im Vorkommen Hohenroden, die aufgrund ihrer Größe, der geringen Quellschüttung und des geringen Gefälles im Bach sicherlich nicht gedreht wurden, können nur durch in-situ-Wachstum entstanden sein. Hierfür reicht das auf die Unterseite der Onkoide gelangende Streulicht aus.

Nach pollenanalytischen Untersuchungen begann die Sinterkalkablagerung im ausgehenden Präboreal, erreichte ihren Höhepunkt im späten Boreal bis Atlantikum und dauert noch heute an.

Summary: In the Alme and Afte valley and its side valleys located at the southeastern margin of the Westphalian Cretaceous Basin, Holocene tufa deposits are widespread. Tufa develops only in hard-water creeks and small streams close to karstic springs. In wide valleys unconsolidated, chalky tufa accumulations reach up to 6 m thickness and may cover an area of up to 80 000 m^2. Laterally, the carbonate sediments interfinger with fluviatile clastic and sometimes also with paludal deposits. However, hard but nevertheless highly porous tufa bodies commonly develop in small creeks with steep gradients. Due to turbulent flows or thin water films, evasion of dissolved CO_2 is effectively accelerated thus resulting in predominantly inorganic calcium carbonate precipitation. Hence, fast flowing creeks, cascades and waterfalls show high tufa accretion rates. The decrease in dissolved CO_2 as a result of increasing water temperature or photosynthetic activity of cyanobacteria, algae and plants seem to play a minor role in the precipitation of calcite.

Together with the tufa deposits oncoids occur in some creeks, sometimes lying close to one another. In the main site they develop by accretion around a nucleus e.g. plant derived fragments and pebbles up to a diameter of 25 cm. Considering the gentle slope of the creek and the low water discharge it is obvious that large oncoids were never overturned. Consequently, an in-situ growth of at least part of the oncoid population is suggested. Due to the coarse-grained substrate, sufficient diffuse light reaches the undersurface, thus allowing for continuous cyanobacterial growth.

Pollen analysis of organic rich horizons intercalated in the calcareous deposits reveals a late Preboreal beginning of the tufa precipitation. Probably, the main deposition took place during the late Boreal and Atlantic stage. However, tufa formation is still in process.

* * * * *

1. Einleitung

Quartärzeitliche Süßwasserkalke wurden bereits von vielen Lokalitäten Mitteleuropas beschrieben, so zum Beispiel aus der Tschechoslowakei, aus Jugoslawien, dem Bayerischen Voralpenland, der Schwäbischen Alb, der Eifel und auch aus Westfalen. Eine Reihe von Autoren beschäftigte sich mit Fragen der

Genese und Altersstellung solcher Süßwasserkalkvorkommen. Exemplarisch seien hier die Veröffentlichungen von EMEIS et al. (1987), GOLUBIC (1973, GROSCHOPF (1952, 1969), GRÜNINGER (1965), HERMANN (1957), PENTECOST & RIDING (1986), PIA (1933), REIFF (1955) und STIRN (1964) genannt.

Aus Westfalen wurden bereits einige Süßwasserkalke bekannt gemacht und als „Quellkalk" oder „Kalktuff" beschrieben. Hierzu zählen beispielsweise die Quellkalke von Bad Laer (HILTERMANN & LÜTTIG, 1960; HILTERMANN, 1988), der Kütfelsen von Salzkotten (MICHEL, in SKUPIN, 1985), ein Quellkalk zwischen Bad Westernkotten und Lippstadt (ARNOLD, 1977), weitere Quellkalke von verschiedenen Lokalitäten im Teutoburger Wald (z. B. FARRENSCHON, 1986; THIERMANN, 1970, 1973; WEGNER, 1926) und Kalktuffe im Bereich von Alme- und Aftetal (SCHULTE, 1937; PAECKELMANN & KÜHNE, 1936).

Bei der geologischen Aufnahme des Blattes 4417 Büren (Bearbeitung durch HISS, Karte und Erläuterungen im Druck) wurden die Süßwasserkalkvorkommen in den Tälern und Nebentälern von Alme und Afte geologisch kartiert und neu bearbeitet. Sie sind von besonderem Interesse, da hier Süßwasserkalke zum Teil in beträchtlichen Mächtigkeiten und vor allem in verschiedenen Faziesvarietäten auftreten. Zudem sind einige der Vorkommen gut aufgeschlossen, so daß sich die Gelegenheit bot, Fragen der Genese und Altersstellung nachzugehen. Wie von anderen Süßwasserkalkvorkommen bekannt, zeichnen sich auch diese im Gegensatz zu nichtkarbonatischen Talablagerungen durch ihren Fossilreichtum und ihr hohes Überlieferungspotential aus (vgl. SCHNEIDER, 1977). Sie sind daher für litho- und biostratigraphische sowie paläoklimatologische Untersuchungen von besonderer Bedeutung (vgl. KOVANDA, 1983). Am Hangfuß der Baumberge und des Schöppinger Berges (zentrales Münsterland) beobachtete ähnliche Süßwasserkalke lassen die Vermutung zu, daß die an den Vorkommen von Alme und Afte gewonnenen genetischen und stratigraphischen Erkenntnisse exemplarische Bedeutung haben und auch für andere westfälische Lokalitäten gelten können.

Die Süßwasserkalke im Blattbereich Büren sind durch Karbonatausfällungen aus calcium- und hydrogenkarbonatreichem Wasser entstanden. Sie sind an Karstquellen gebunden, die an der Kreide-Basis austreten. Es kommen zum Teil nebeneinander, zum Teil räumlich getrennt lockere, hochporöse Kalkablagerungen („Kalktuff"), feste, travertinartige Sinterkalksteine sowie Onkoidanreicherungen vor. In die Betrachtung wird ein Süßwasserkalkvorkommen im Almetal unterhalb Niederalme (Blatt 4517 Alme) mit einbezogen, das die gleichen Faziestypen zeigt. Dieses Vorkommen ist allerdings nicht an eine Karstquelle der Kreide, sondern an die Almequellen gebunden, die den devonischen Massenkalk der Briloner Hochfläche entwässern.

Eine allgemein anerkannte Klassifikation terrestrischer Süßwasserkalke liegt bisher nicht vor. Statt dessen sind zahlreiche, nicht eindeutig definierte Begriffe in Gebrauch, die auf unterschiedlichen Einteilungskriterien basieren. Wichtige Merkmale sind die Dichte und die Porosität (vgl. FLÜGEL, 1982), die inkrustierten und an der Bildung der Kalke beteiligten Organismen, die geomorphologische Position, in der die Karbonate entstehen (CHAFETZ & FOCK, 1984), und ihre Autochthonie bzw. Allochthonie (JULIA, 1983). Letzteres wird von JULIA (1983) und PENTECOST & RIDING (1986) als entscheidend erachtet.

Entsprechend den geogenetischen Definitionen von HINZE et al. (1989) werden die im folgenden beschriebenen Süßwasserkalke unter dem Oberbegriff „Sinterkalk/Sinterkalkstein" zusammengefaßt. Hierunter sind lockere oder feste, oft zellig-poröse Kalkablagerungen zu verstehen, die an Quellen und in Fließgewässern abiogen oder durch die assimilierende Tätigkeit von Cyanobakterien, Algen und Moosen ausgefällt wurden. Dabei gibt es fließende Übergänge zu der im limnischen Milieu gebildeten Seekreide und zum Wiesenkalk (= Alm, vgl. JERZ, 1983), der im wesentlichen durch Karbonatausfällung aus Grundwasser entsteht. Die auf Blatt Büren kartiertechnisch bedingte Zusammenfassung aller Süßwasserkalkvorkommen im Alme- und Aftetal unter dem Oberbegriff „Sinterkalk/Sinterkalkstein" bietet den Vorteil, alle auftretenden Faziesvarianten gesammelt beschreiben zu können und die Begriffsvielfalt, die es für solche Kalkabscheidungen gibt, zu umgehen.

Eine weitere Unterteilung von Sinterkalken und Sinterkalksteinen erfolgt nach ihrem Gefüge oder ihrer Genese. So schlagen IRION & MÜLLER (1968) eine detaillierte Klassifikation unter Berücksichtigung der inkrustierten Organismen vor, da diese das Sedimentgefüge wesentlich bestimmen. Ohne einheitliche Definition finden außerdem Begriffe wie Kalktuff (z.B. GROSCHOPF, 1969; SCHULTE, 1937; WEGNER, 1926), Kalksinter (PIA, 1933), Travertin (GROSCHOPF, 1969; MICHEL, in SKUPIN, 1985), Dauch (KOVANDA, 1983) oder Quellkalk (HILTERMANN & LÜTTIG, 1960) Verwendung.

2. Geologische und hydrogeologische Situation

Alme- und Aftetal liegen im Grenzbereich zwischen nordöstlichem Rheinischem Schiefergebirge im Süden und Münsterländer Kreidebecken im Norden (Abb. 1). Gesteine der Kreide lagern diskordant, mit einer weitgehend ebenen, schwach nach Norden einfallenden Basisfläche auf gefaltetem Paläozoikum. Sie bilden eine Schichtstufenlandschaft mit einer ersten Schichtstufe im Cenoman und einer zweiten im Turon. Entsprechend dem Schichteinfallen sind nach Süden gerichtete Steilstufen und nach Norden flach geneigte Plateauflächen

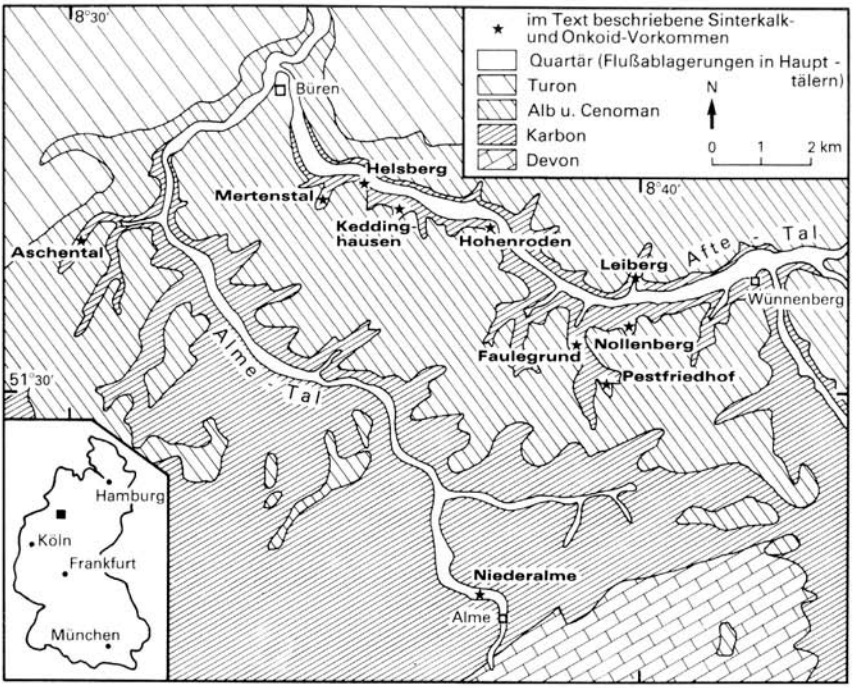

Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des Gebietes südlich von Büren mit Lage der im Text beschriebenen Sinterkalk-/Sinterkalkstein- und Onkoidvorkommen.

ausgebildet (Paderborner Hochfläche). Hier hinein haben sich Alme und Afte mit steilflankigen Tälern eingeschnitten. Südlich von Büren hebt sich die Kreide-Auflagerungsfläche über die Erosionsbasis hinaus, so daß paläozoische Schichten zutage treten. Zunächst sind diese auf den unteren Abschnitt der Talflanken beschränkt. Nach Süden nehmen sie aber immer breiteren Raum ein.

Der paläozoische Festgesteinsuntergrund des Untersuchungsgebietes wird weitestgehend von den Arnsberger Schichten des Namur (Oberkarbon) eingenommen, einer Folge von Ton- und Schluffsteinen mit zwischengeschalteten Sandsteinbänken. Erst weiter südlich, im Raum Alme, kommen unterkarbonische Gesteine vor. Die Kreide-Schichtenfolge beginnt mit teilweise nur lückenhaft überlieferten, maximal 10–15 m mächtigen Sandsteinen des Alb. Darüber folgen im Cenoman Mergelsteine, Mergelkalksteine und Kalksteine mit einer Gesamtmächtigkeit um ca. 50–60 m. Gesteine des Turon stehen erst nördlich von Büren an und sind für die zu beschreibenden Sinterkalke nicht mehr von Bedeutung. Die Kreide dünnt hier zunehmend aus und löst sich schließlich in inselartige Erosionsrelikte auf.

Alb und Cenoman bilden gemeinsam einen Kluftgrundwasserleiter, der zum Liegenden hin gegen die als Grundwassernichtleiter wirkenden Arnsberger Schichten abgegrenzt ist. Die Karbonatgesteine des Cenoman sind stark verkarstet. In der Regel sind Klüfte zu schmalen, jedoch oftmals weit durchhaltenden Karstspalten erweitert (Spaltenkarst). Die Grenze zwischen dem grundwasserstauenden Untergrund und dem Karstgrundwasserleiter der Kreide ist durch einen bedeutenden Quellhorizont gekennzeichnet. Die zahlreichen Quellen in den Seitentälern von Alme und Afte sind nahezu ausschließlich diesem Horizont zuzuordnen. Ebenso sind die hier beschriebenen Süßwasserkalkvorkommen an diesen Quellhorizont oder an die Oberläufe der dort beginnenden Fließgewässer gebunden.

Hydrochemisch ist das zutage tretende Grundwasser ein Calcium-Hydrogenkarbonat-Wasser, wie es für Karbonatgebiete typisch ist. Die Gesamthärte liegt zwischen 14° und 20° dH, der Anteil der Karbonathärte schwankt um 12° dH. Neben Calcium- und Hydrogenkarbonationen sind Chlor- und Sulfationen in nennenswerter Menge vorhanden. Nitrat wurde mit Anteilen bis über 65 mg/l bestimmt. Es ist ein Indiz für die starke Beeinflussung des Grundwassers durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung der oberhalb der Quellen gelegenen Plateauflächen. Eine typische Grundwasseranalyse zeigt Tabelle 1 (Analyse: Dr. H. PIETZNER, Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.).

Eine etwas andere hydrogeologische Situation liegt dem Süßwasserkalkvorkommen bei Niederalme zugrunde. Es befindet sich im Almetal nur wenige hundert Meter unterhalb der Almequellen, einer Gruppe von Karstquellen am Rande des Briloner Massenkalkplateaus. Im Unterschied zu den Quellen am Kreide-Rand schütten die Almequellen mit 0,93 m^3/s ungleich stärker (langjähriges Mittel des Mittelwassers am Pegel Niederalme, nach KOCH, 1984). Dementsprechend nehmen auch die Süßwasserkalke im oberen Almetal ein vergleichsweise großes Areal ein (s. PAECKELMANN & KÜHNE, 1936; Geologische Karte 1 : 25000, Blatt 4517 Alme).

Die Almequellen weisen gegenüber den Quellen am Kreide-Rand einen erhöhten Anteil an Natrium- und Chloridionen auf. Dies führt KOCH (1984) auf höher mineralisierte Wässer aus größeren Tiefen des Karstkörpers zurück, die abhängig vom hydrologischen Jahreszyklus in unterschiedlichen Mengen in den Quellen mit ausfließen. Eine bei KOCH (1984) veröffentlichte Grundwasseranalyse aus den Almequellen wird in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Grundwasseranalysen

Entnahmestelle:	**Quelle bei Hegensdorf-Hohenroden**	**Almequellen, Almeteich Quelle 28 (aus KOCH, 1984)**
Lage:		
Top. Karte:	4417 Büren	4517 Alme
Rechtswert:	34 73780	34 73815
Hochwert:	57 10580	57 01910
NN-Höhe:	263 m	322 m
Entnahmedatum:	29.5.1988	7.6.1972
Temperatur:		
Luft:	19,9° C	14,2° C
Grundwasser:	9,1° C	11,2° C
pH-Wert:	7,6	7,5
Leitfähigkeit:	665 µS/cm	keine Angabe
Gesamthärte:	19,4° dH	15,0° dH
Karbonathärte:	12,3° dH	13,2° dH
Na^+	3 mg/l	88 mg/l
K^+	1 mg/l	4 mg/l
Mg^{2+}	1 mg/l	8 mg/l
Ca^{2+}	137 mg/l	96 mg/l
Mn, gesamt	in Spuren nachgewiesen	–
Fe, gesamt	in Spuren nachgewiesen	–
Cl^-	26 mg/l	150 mg/l
NO_3^-	37 mg/l	13 mg/l
HCO_3^-	269 mg/l	286 mg/l
SO_4^{2-}	45 mg/l	20 mg/l

3. Beschreibung der Süßwasserkalktypen

Sinterkalke und Sinterkalksteine kommen im untersuchten Gebiet an zahlreichen Lokalitäten vor. Die Mehrzahl der an der Kreide-/Karbon-Grenze entspringenden Bäche zeigt entweder bereits im Quellbereich oder wenig unterhalb

Tabelle 2

Koordinaten der Süßwasserkalkvorkommen

Vorkommen	Topographische Karte	Rechtswert	Hochwert
Aschental	4417 Büren	34 65500	57 10295
Mertenstal	4417 Büren	34 70305	57 11060
Keddinghausen	4417 Büren	34 71850	57 10850
Leiberg	4417 Büren	34 76660	57 09550
Pestfriedhof	4417 Büren	34 76130	57 07500
Faulegrund	4417 Büren	34 75300	57 08165
Nollenberg	4417 Büren	34 76500	57 08500
Helsberg	4417 Büren	34 71180	57 11450
Hohenroden	4417 Büren	34 73780	57 10580
Niederalme	4517 Alme	34 73540	57 03280

Bei Vorkommen mit großer Flächenausdehnung ist eine zentrale Koordinate angegeben.

Kalkausfällungen. Diese sind oftmals nur unscheinbar, geringmächtig und auf ein kleines Areal beschränkt, manche können aber auch ganze Talböden ausfüllen. Besonders eindrucksvoll ist die große Zahl der Sinterkalkvorkommen an den südlichen Zuflüssen der Afte und hier vor allem im Waldgebiet südlich von Leiberg. Die Abb. 1 gibt nur eine kleine Auswahl davon wieder. Dargestellt sind die im weiteren Text beschriebenen Vorkommen. Ihre genaue Lage ist der Koordinatenauflistung in Tabelle 2 zu entnehmen.

3.1. Sinterkalk

Lockere, unverfestigte Sinterkalkablagerungen sind der am häufigsten zu beobachtende Faziestyp. Sie bauen z. B. die Vorkommen im Aschental (s. Profil I), Mertenstal, bei Keddinghausen, Leiberg und am Pestfriedhof nahezu ausschließlich auf. Im Faulegrund und am Nollenberg ist lockerer Sinterkalk mit anderen Kalkausfällungen vergesellschaftet. In Niederalme kommt dieser im oberen Profilabschnitt zusammen mit Onkoiden vor (vgl. Profil II und Abb. 2), zeigt hier allerdings eine deutliche Schichtung sowie Korngrößensortierung und dürfte somit fluviatil umgelagert sein. Lockere Sinterkalke erreichen teilweise eine beachtliche Verbreitung. Das neben dem von Niederalme flächenmäßig größte

Profil I, Bachanschnitt im Aschental ca. 1 km nordöstlich von Meiste

Blatt 4417 Büren, R 34 65500 H 57 10295, ca. 270 m ü. NN; Aufschlußaufnahme im Mai 1986 durch HISS

Tiefe unter Gelände (m)	
- 1,40	Kalk, unverfestigt, locker gelagert, weiß bis gelblichweiß; oberste ein bis zwei Dezimeter humos, weißgraubraun; bei 0,60 m zentimeterdicker, weißbrauner, humoser Horizont; einzelne schwach humose Streifen bei ca. 1,0 m Probe 5 bei 0,60 m Probe 4 bei 1,00 m
- 1,65	Kalk, unverfestigt, locker gelagert, zum Teil grusig, zum Teil weich bis schmierig, gelblichweiß; einzelne dünne humose Einlagerungen, hellgraubraun Probe 3 bei 1,50 m
- 1,95	Kalk, unverfestigt, locker gelagert, zum Teil grusig, zum Teil schmierig, weiß bis gelblichweiß
- 2,00	Kalk, unverfestigt, stark humos, hellgraubraun Probe 2 bei 1,95–2,00 m
- 2,60	Kalk, unverfestigt, locker gelagert, zum Teil grusig, zum Teil schmierig, weiß bis gelblichweiß; im unteren Teil schwach humos und braunweiß, zum Teil durchwurzelt; bei 2,60 m Grundwasser Probe 1 bei 2,50–2,60 m

Die Basis des Sinterkalks ist nicht aufgeschlossen. Sie liegt vermutlich aber wenige Dezimeter unter der Aufschlußsohle. Die Proben 1–5 wurden palynologisch untersucht (s. Kap. 5).

Vorkommen in Keddinghausen nimmt ein Areal von etwa 8 ha ein. Durch Sondierungen oder Aufschlüsse nachgewiesene Mächtigkeiten betragen im Aschental bis zu 6 m, im Mertenstal mindestens 4 m, in Keddinghausen mehr als 3 m und in Leiberg 5 m. Alle Vorkommen stellen ebene oder schwach konvex gewölbte Sedimentkörper dar, die die Talböden unmittelbar unterhalb der Quellen auffüllen.

Die nicht verfestigten Sinterkalke und die sehr porösen Sinterkalksteine unterliegen bei Hochwasserereignissen, wie sie auch auf der Paderborner Hochfläche gelegentlich auftreten (vgl. KARRENBERG, 1968), starker Erosion (SLACK,

Profil II, Niederalme, Baugrube der Kläranlage der Gemeinde Alme

Blatt 4517 Alme, R 34 73540 H 57 03280, ca. 301 m ü. NN; Baugrube ca. 6,2 m tief, Kulturboden abgetragen, Aufschlußaufnahme am 11.03.86 durch HISS und HARTKOPF-FRÖDER

Nr. in Abb. 2	Tiefe unter Gelände (m)	
1	- 2,50	Onkoide, rundlich oval, schalig strukturiert, bis 20 mm Durchmesser, und Sinterkalkgrus, gelbweiß; geschichtet im 5-cm-Bereich mit deutlicher Korngrößenklassierung; weitgehend unverfestigt; Onkoide teilweise zu größeren Aggregaten vereinigt
2	- 3,00	Sinterkalkstein, weißbraun bis rostbraun, fest, porös; Netzwerk aus feinen Kalkröhren; z. T. feingeschichtete Lagen und unregelmäßig geformte große Onkoide
3	- 3,80	Sinterkalkstein wie vor, grauweiß bis grau; Netzwerk aus Kalkröhren; eingelagert Nester unregelmäßig geformter Onkoide
4	- 3,90	Torf und humose Pflanzenreste Probe 3 bei 3,85 m
5	- 4,40	Ton- und Schluffsteingerölle, fein- und mittelkiesig, plattig, kantengerundet, dunkelgrau; undeutlich geschichtet; z. T. mit dünnen Kalkkrusten; an der Basis mit Einlagerungen von rundlich-ovalen Onkoiden bis 5 cm Durchmesser und einigen unregelmäßig geformten Onkoiden bis 20 cm Durchmesser
6	- 4,65	Ton, schluffig, stark humos, Pflanzenreste, dunkelbraun; einzelne Tonsteinstückchen, wenige Sinterkalksteinbröckchen Probe 2 bei 4,70 m
7	- 4,80	Onkoide, rundlich-oval, schalig strukturiert, bis ca. 6 cm Durchmesser, in sandiger Matrix, graubraun; fliessend überleitend zu
8	- 5,60	Kies aus Tonstein (wie weiter oben beschrieben), zuoberst Feinkies, übergehend in Mittelkies; an der Basis Einlagerungen von unregelmäßig geformten großen Onkoiden; lokal humoses Material eingelagert Probe 1 bei 5,20 m
9	- 6,20	Grobkies und Steine, grau; aus Grauwacke und Massenkalk, kantengerundet (Niederterrasse)

Die Proben 1–3 wurden palynologisch untersucht (s. Kap. 5).

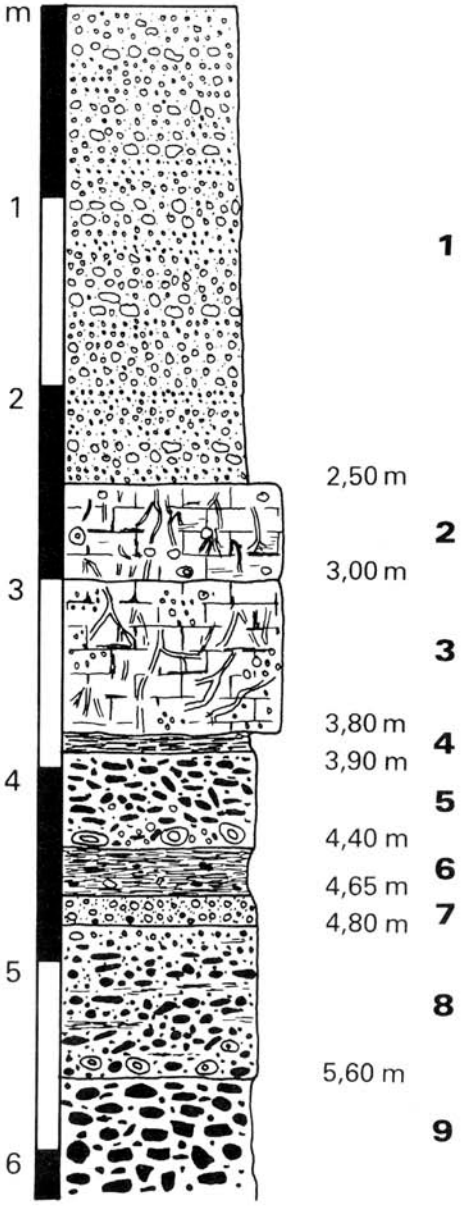

Abb. 2: Profil II, Niederalme, Baugrube der Kläranlage der Gemeinde Alme.

1967: PENTECOST, 1981, 1985). Vor allem in die lockeren Sinterkalke haben sich in jüngster Zeit die Bäche zum Teil recht steilflankig eingeschnitten. Solche Erosionsformen sind besonders deutlich im Aschental zu beobachten. Der Sinterkalk wurde dabei fluviatil umgelagert, mit karbonatfreiem Sedimentmaterial vermengt und erneut abgelagert. So finden sich unterhalb von Sinterkalkvorkommen regelmäßig karbonathaltige, schluffige Talablagerungen, die Sinterkalkgrus enthalten und deren Karbonatgehalt auf fein zerriebene Sinterkalkanteile zurückgeführt werden kann. Der Übergang von autochthonem zu umgelagertem Sinterkalk ist dabei nicht immer scharf zu erkennen.

Der meist braunweiße oder grauweiße bis weiße Sinterkalk besitzt Karbonatgehalte zwischen 90 % und 98 %. Er ist schluffig bis grusig, feinporös und läßt sich zwischen den Fingern zu einem weichen, schmierigen Brei zerreiben. Grusige Komponenten lassen mitunter einen schwach ausgeprägten, mehr oder weniger konzentrischen Lagenbau erkennen. Sie erinnern so an einige der weiter unten beschriebenen Onkoide, die jedoch einen viel deutlicheren Lagenbau aufweisen und wesentlich stärker verfestigt sind. Nur untergeordnet enthält der lockere Sinterkalk schwach oder stärker verfestigte Partien. Es kommen bis zu kopfgroße Aggregate ohne fest definierte Form und nur selten durchhaltende Bänke mit unregelmäßigen oder diffusen Grenzflächen vor. Insbesondere in den härteren Bänken sind längliche Hohlräume zu beobachten. Sie stammen von umkrusteten Pflanzenresten, die von dichten, mikrosparitischen Lagen umgeben sind. Selten sind hingegen spongiöse Bereiche, in denen mitunter fragliche Cyanobakterien-Filamente erhalten sind. Außer den verfestigten Partien können den Sinterkalken auch humose Horizonte oder dünne Torflagen eingeschaltet sein. Humose Horizonte zeigt z. B. das Profil I aus dem Aschental. Für die palynologische Datierung der Vorkommen haben sie eine große Bedeutung.

Wie auch in einigen vergleichbaren Vorkommen im süddeutschen Raum (z. B. DEHM, 1951) führen die lockeren Sinterkalke teilweise eine ausgesprochen reiche Gastropodenfauna. In dem Vorkommen im Mertenstal wurden folgende Arten nachgewiesen (freundliche Bestimmung durch Dr. H. SCHÜTT, Düsseldorf):

Carychium minimum O. F. MÜLLER 1774, wenige
Carychium tridentatum (RISSO 1826), sehr häufig
Succinea putris (LINNAEUS 1758), selten
Cochlicopa lubrica (O. F. MÜLLER 1774), häufig
Cochlicopa lubricella (PORRO 1838), mäßig
Columella edentula (DRAPARNAUD 1805), häufig
Vertigo pusilla O. F. MÜLLER 1774, häufig
Vertigo substriata (JEFFREYS 1833), selten
Vertigo parcedentata (SANDBERGER 1875), selten
Vertigo moulinsiana (DUPUY 1849), sehr selten

Vertigo angustior JEFFREYS 1830, häufig
Vallonia costata (O. F. MÜLLER 1774), sehr häufig
Acanthinula aculeata (O. F. MÜLLER 1774), häufig
Ena obscura (O. F. MÜLLER 1774), sehr selten
Punctum pygmaeum (DRAPARNAUD 1801), häufig
Discus rotundatus (O. F. MÜLLER 1774), häufig
Arion sp. (rudimentäre Innenkalkplatte), selten
Phenacolimax major (FERUSSAC 1807), selten
Vitrea crystallina (O. F. MÜLLER 1774), häufig
Aegopinella nitidula (DRAPARNAUD 1805), häufig
Euconulus fulvus (O. F. MÜLLER 1774), häufig
Macrogastra plicatula (DRAPARNAUD 1801), selten
Clausilia dubia DRAPARNAUD, 1805, sehr selten
Trichia hispida (LINNAEUS 1758), häufig
Helicodonta obvoluta (O. F. MÜLLER 1774), mäßig
Arianta arbustorum (LINNAEUS 1758), selten
Cepaea hortensis (O. F. MÜLLER 1774), selten
Galba truncatula (O. F. MÜLLER 1774), sehr selten

Detaillierte stratigraphische Aussagen sind mit dieser bemerkenswert artenreichen Gastropodenfauna nicht möglich, da alle vorkommenden Arten eine weite stratigraphische Verbreitung besitzen. Typische Quartäranzeiger sind *Columella edentula* und *Vertigo parcedentata*. Die Fauna ermöglicht jedoch interessante palökologische Aussagen. Sie besteht fast ausschließlich aus Landschnecken verschiedener ökologischer Ansprüche. Es kommen Waldbewohner mäßig feuchter bis nasser Standorte, Bewohner feuchter bis nasser Wiesen und Sümpfe, Schilfstengelbewohner aber auch solche von ausgesprochen trockenen Standorten vor (vgl. KERNEY et al., 1983). Die einzige Süßwasserschnecke ist die sehr seltene *Galba truncatula*, die aber auch an Land in bemoosten, nassen Biotopen lebt. Damit unterscheidet sich diese Fauna deutlich von derjenigen, die SKUPIN (1985: 73) aus lithologisch ähnlichen Wiesenkalken in der Hellwegniederung auf Blatt 4317 Geseke beschreibt oder von der, ebenfalls aus Wiesenkalk stammenden Fauna des Blattgebietes 3710 Rheine (THIERMANN, 1973). Auch KOVANDA (1983: 288) weist auf das Übergewicht terrestrischer Molluskenarten gegenüber einer armen aquatischen Fauna im „Dauch" der Tschechoslowakei hin. Die Zusammensetzung der Molluskenfauna kann damit ein wichtiges Merkmal bei der Unterscheidung von Sinterkalk, Wiesenkalk und Seekreide sein, die makroskopisch oft nur schwer zu trennen sind.

3.2. Sinterkalkstein

Sinterkalkstein, also ein verfestigter Sinterkalk, tritt am Helsberg, im Faulegrund und am Nollenberg auf (vgl. Abb. 1 und Tab. 2). Auch im Profil Niederalme in der Baugrube der dortigen Kläranlage (s. Profil II und Abb. 2) ist insbesondere im mittleren Profilabschnitt Sinterkalkstein entwickelt. Die beiden erstgenannten Vorkommen liegen kurz unterhalb von Quellen, dort wo der Bach ein starkes Gefälle in einem kleinen Wasserfall überwindet. Am Helsberg hat sich ein kleiner Sinterkalksteinfelsen aufgebaut, der eine Breite von ca. 6 m und eine Höhe von mehr als 3 m erreicht. Ähnliche Verhältnisse bestehen im Faulegrund, wo der Sinterkalksteinfelsen allerdings kleinere Ausmaße hat. Hier sowie am Nollenberg sind etwas weiter talabwärts innerhalb der flachen und schmalen Bäche noch mehrere kleine, wenige Dezimeter hohe Sinterkaskaden entwickelt. Bei beiden Vorkommen ist das Bachbett von lagigem oder porösem Sinterkalkstein überzogen, mitunter treten aber auch Onkoide auf (s. Kap. 3.3.).

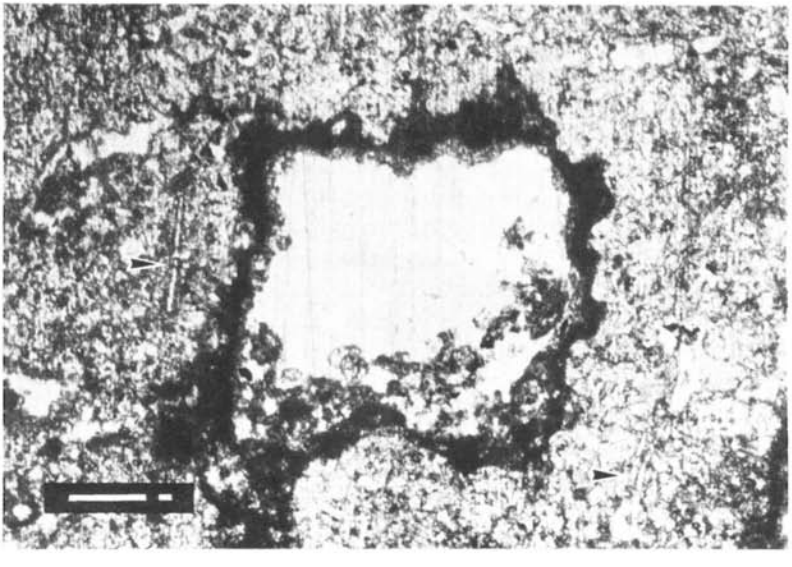

Abb. 3: Mikritischer Saum um einen Hohlraum, der von einem Pflanzenrest gebildet wurde. Der Pfeil weist auf dünne Wurzelhaare hin. Fundort: Sinterkalkstein vom Helsberg. Balkenlänge: 0,5 mm.

Der Sinterkalkstein ist in der Regel weißbraun oder auch weißgrau, überweigend sehr stark porös mit Hohlräumen von mehreren Millimetern bis zu

wenigen Zentimetern Durchmesser. Er enthält Pflanzen- und Holzreste. Charakteristisch sind Moose, die nur bei unvollständiger Wasserbedeckung wachsen und von Sinterablagerungen überzogen werden. Nach dem Absterben umkrusteter Pflanzenteile bleiben Hohlräume zurück, die ein Netzwerk aus Kalkröhren bilden. In ihnen leben zahlreiche Insekten. Daneben treten untergeordnet auch feste, lagig ausgebildete Bereiche auf. Im Kalkstein sind häufig bis zu mehrere Zentimeter große Ton-, Schluff- und Sandsteinbruchstücke verbacken, die aus den Arnsberger Schichten der unmittelbaren Umgebung stammen. Dagegen sind Glaukonitkörner und auch Kalksteinbruchstücke auf die weiter hangaufwärts anstehenden kretazischen Sedimente zu beziehen.

Die von abgestorbenen Pflanzenresten stammenden Hohlräume im Sinterkalkstein von Hohenroden sind vielfach von mikritischen Krusten umgeben, die sich im Dünnschliff als dunkle Säume zu erkennen geben (Abb. 3). Sie sind möglicherweise von Cyanobakterien gebildet worden. Da deren Filamente jedoch nicht eindeutig nachzuweisen waren, läßt sich auch eine nachträgliche Mikritisierung als Ursache für die dunklen Säume nicht ausschließen.

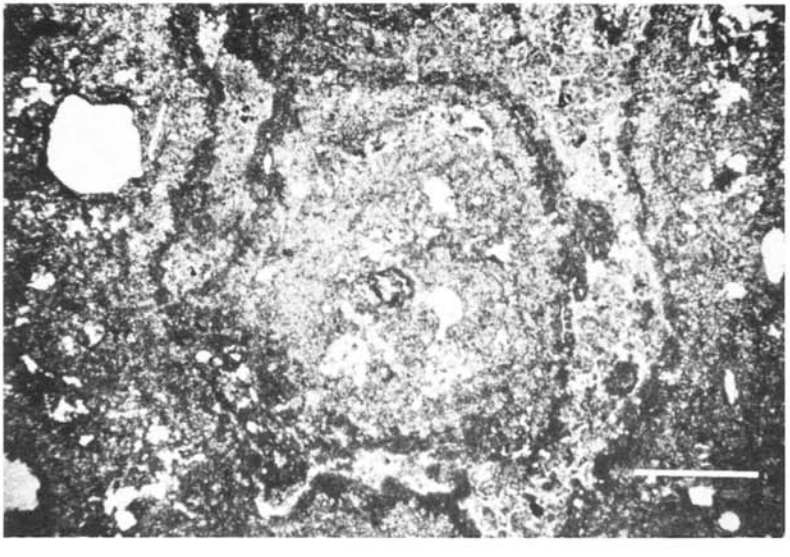

Abb. 4: Pedogenes Pisoid mit undeutlichem mikritischen und mikrosparitischen Lagen. Fundort: Sinterkalkstein vom Helsberg. Balkenlänge: 1 mm.

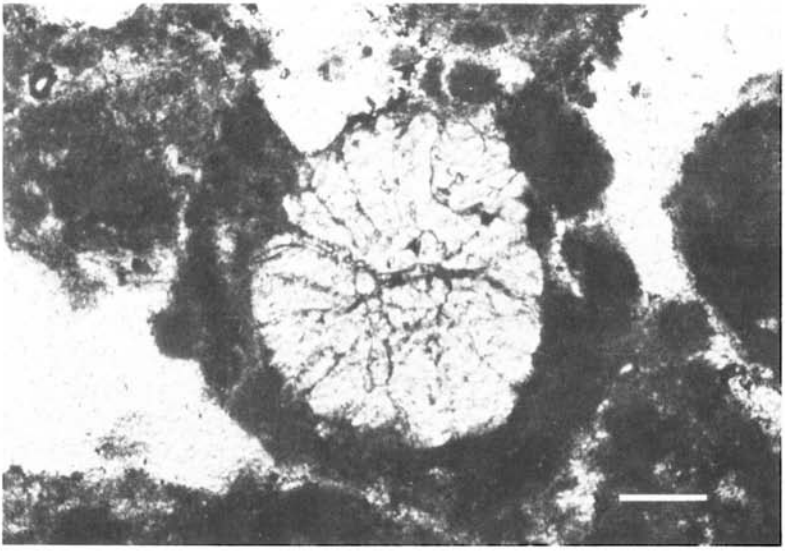

Abb. 5: Querschnitt von *Microcodium*. Fundort: Sinterkalkstein vom Helsberg. Balkenlänge: 0,2 mm.

Feinstrukturen wie beispielsweise die erwähnten Filamente können durch den bakteriellen Abbau von organischem Material und eine damit verbundene Karbonatlösung schon früh zerstört werden. Dieser Vorgang ist für Sinterkalksteine typisch und trägt zu ihrer hohen Porosität bei (GOLUBIC, 1962, 1973). Mikritische Lagen sind häufig untereinander verbunden und umgeben zum Teil mit grobsparitischem Zement gefüllte Poren. Sie bilden so ein unregelmäßiges Netzwerk, das Alveolarstrukturen ähnelt (vgl. ESTEBAN & KLAPPA, 1983). Außerdem kommen Pisoide vor, Komponenten aus mikritischen bis mikrosparitischen Lagen bis zu 1,5 cm Durchmesser (Abb. 4). Darüber hinaus sind vereinzelt rundliche, aus Calcitprismen mit hexagonaler Basis bestehende Aggregate zu beobachten. Es sind Querschnitte von *Microcodium* (Abb. 5). Nach KLAPPA (1978) stellen diese Strukturen verkalkte Mycorrhizen dar, eine Symbiose zwischen Pilzen und den Wurzelrinden höherer Pflanzen.

Alveolarstrukturen, Pisoide und das Vorkommen von *Microcodium* lassen vermuten, daß zeitweise die Bildung des Sinterkalksteins zum Stillstand kam und durch Bodenbildungsprozesse unterbrochen wurde. Ein Grund hierfür kann ein eventuell jahreszeitlich bedingtes Trockenfallen der Quelle sein.

3.3. Onkoide

Onkoide sind irregulär geformte, zum Teil auch mehr oder weniger rundliche bis ovale Karbonatkomponenten, bestehend aus unregelmäßig konzentrischen oder nichtkonzentrischen Lagen, die meist einen Kern umgeben und auf biogene Anlagerung zurückzuführen sind (FLÜGEL, 1982). Während Onkoide in den oben beschriebenen Vorkommen meist nur von untergeordneter Bedeutung sind, treten sie in Hohenroden, am Nollenberg und in Niederalme besonders häufig auf. In Niederalme kommen sie vor allem in den Basisschichten und – möglicherweise auf sekundärer Lagerstätte – im oberen Profilteil vor (vgl. Profil II und Abb. 2). Am Nollenberg sind sie mit Sinterkalksteinen vergesellschaftet. Nur in Hohenroden sind sie nahezu allein vorhanden. Die ersten Onkoide treten hier kurz hinter der Quelle auf, die wenige Meter unterhalb der Kreide-/Karbon-Grenze entspringt (Abb. 6). In dem zu Beginn (Abschnitt A) nur mit schwachem Gefälle verlaufenden Bachbett (maximale Breite ca. 3 m) liegen Onkoide dicht nebeneinander und in einer Schicht von bis zu 30 cm übereinander (Abb. 7). Die Schüttung der Quelle ist so gering (im Unterlauf des Baches überschlägig ermittelter Abfluß von 0,1–0,9 l/s), daß die meisten Onkoide nicht ständig von Wasser bedeckt sind. Im obersten Abschnitt des Baches erreichen Onkoide Größen bis zu 25 cm, in den tieferen Abschnitten (Abschnitte B und C) nimmt die Korngröße hingegen erheblich ab. Sie liegt hier nur noch bei maximal 6 cm. Als Kerne der Onkoide dienen Bruchstücke von Karbon- und Kreidegesteinen (Abb. 8), Teile anderer Onkoide oder Pflanzenreste wie Aststücke, Blätter, Zapfen oder Bucheckern. Als Besonderheit sind darüber hinaus ein Kronenkorken (Abb. 9) und eine leere Blechdose beobachtet worden. Die Oberfläche der Onkoide ist überwiegend glatt. Im Vorkommen Nollenberg, wo sie dauernd unter Wasserbedeckung liegen, treten auch pustulöse Onkoide mit blumenkohlartiger Oberfläche auf (Abb. 10). Die Dicke der Karbonatkrusten schwankt zwischen Bruchteilen von Millimetern bis zu einigen Zentimetern. Einige Onkoide, darunter auffallenderweise auch sehr große Exemplare, sind auf ihrer Unterseite dicker umkrustet als auf der Oberseite.

Die Onkoide werden von mikritischen, spongiösen und mikrosparitischen bis sparitischen Lagen aufgebaut, die jeweils Cyanobakterien-Filamente aufweisen (Abb. 11 a, b). In rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen sind zwischen den Filamenten nicht selten Diatomeen zu erkennen (Abb. 12). An der Bildung der Onkoide sind mindestens zwei Cyanobakterien-Arten, *Phormidium incrustatum* (NÄGELI) GOMONT sowie *Schizothrix calcicola* (AGARDH) GOMONT, beteiligt (LEINFELDER & HARTKOPF, 1988; HARTKOPF-FRÖDER & LEINFELDER, in Vorb.). Diese Organismen wurden lange Zeit als Algen („Blaugrünalgen") bezeichnet, werden jedoch heute

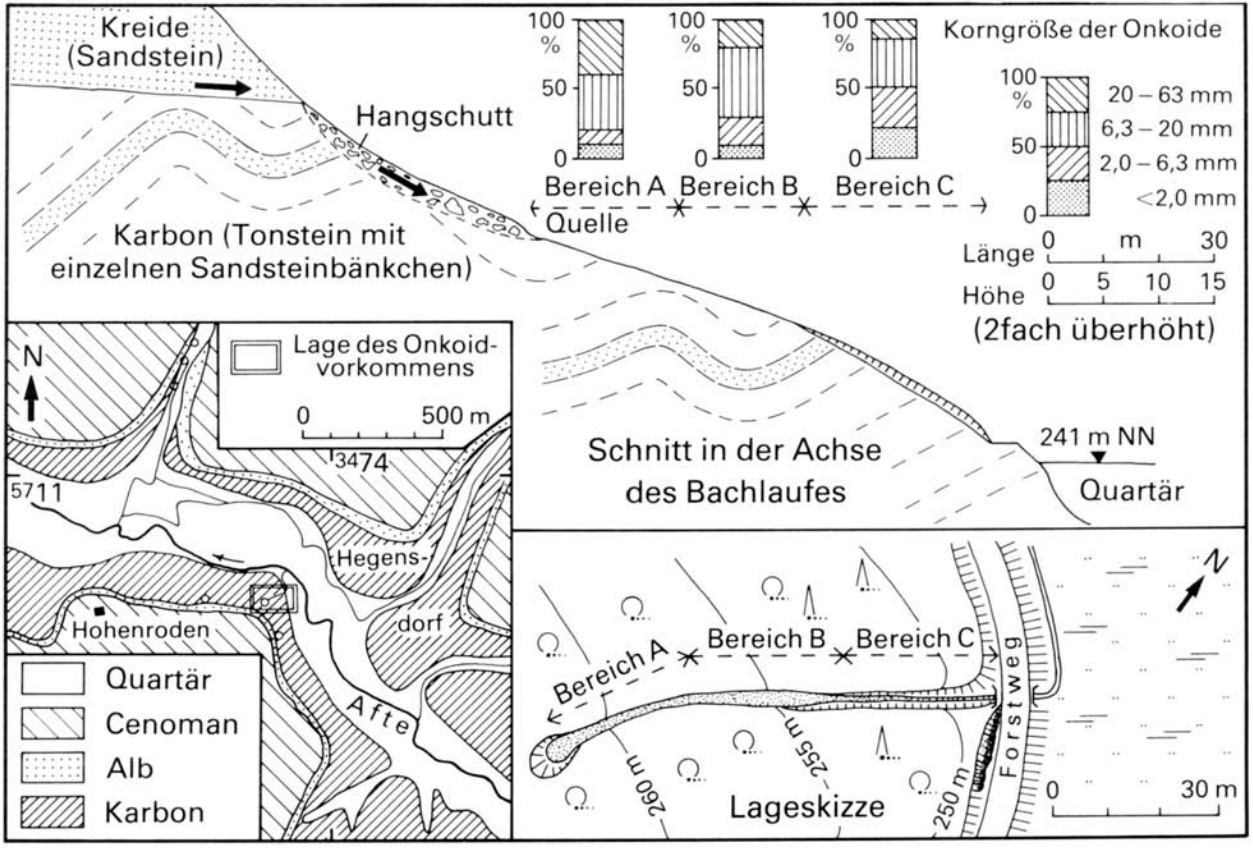

Abb. 6: Lageskizze und Schnitt durch das Onkoidvorkommen Hohenroden mit geologischer Karte der näheren Umgebung.

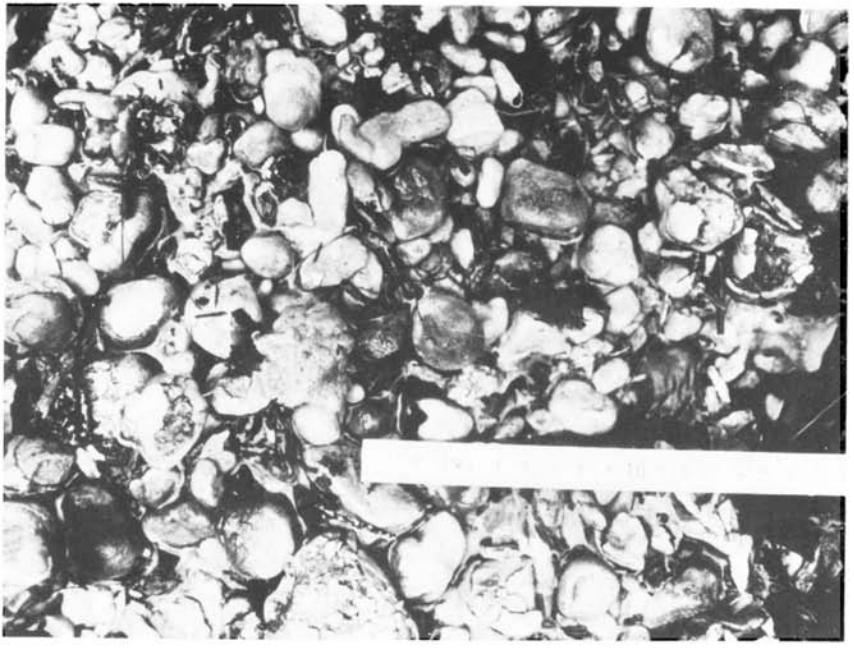

Abb. 7: Onkoide im Vorkommen Hohenroden, Detailaufnahme. Die Onkoide liegen dicht nebeneinander im Bachbett und ragen mit ihrer Oberseite aus dem Wasser heraus.

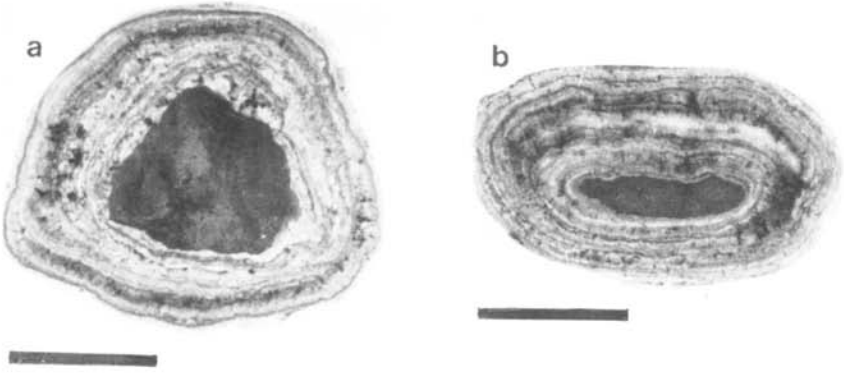

Abb. 8 a, b: Onkoide mit Bruchstücken von Karbon- und Kreidegesteinen als Kern. Fundort: Onkoidvorkommen von Hohenroden. Balkenlänge: 1 cm.

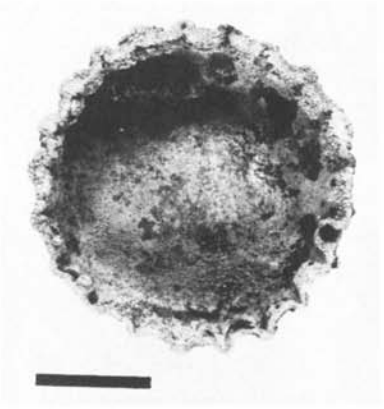

Abb. 9: Allseitig dünn umkrusteter Kronenkorken. Fundort: Sinterkalkvorkommen Mertenstal. Balkenlänge: 1 cm.

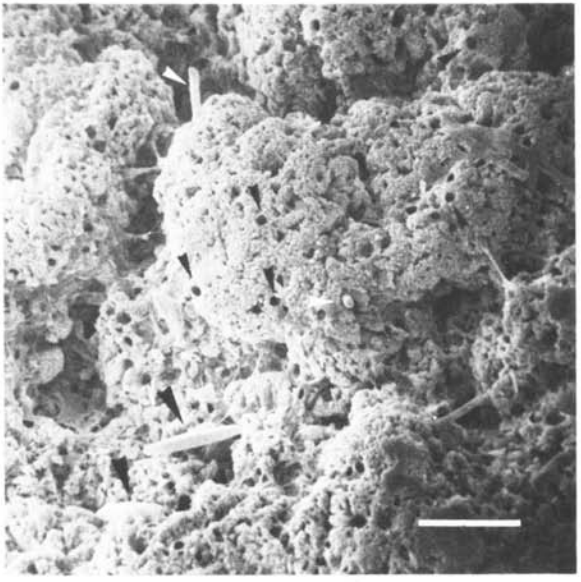

Abb. 10: Blumenkohlartige Oberfläche eines Onkoids aus dem Vorkommen Nollenberg. Die Oberfläche weist zahlreiche Löcher auf, in denen sich Cyanobakterien-Filamente befanden (schwarzer Pfeil). Einige Filamente sind noch erhalten (weißer Pfeil). In Vertiefungen liegen Diatomeen (dicker Pfeil). Balkenlänge: 50 µm. REM-Aufnahme: I. RIPPA, Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.

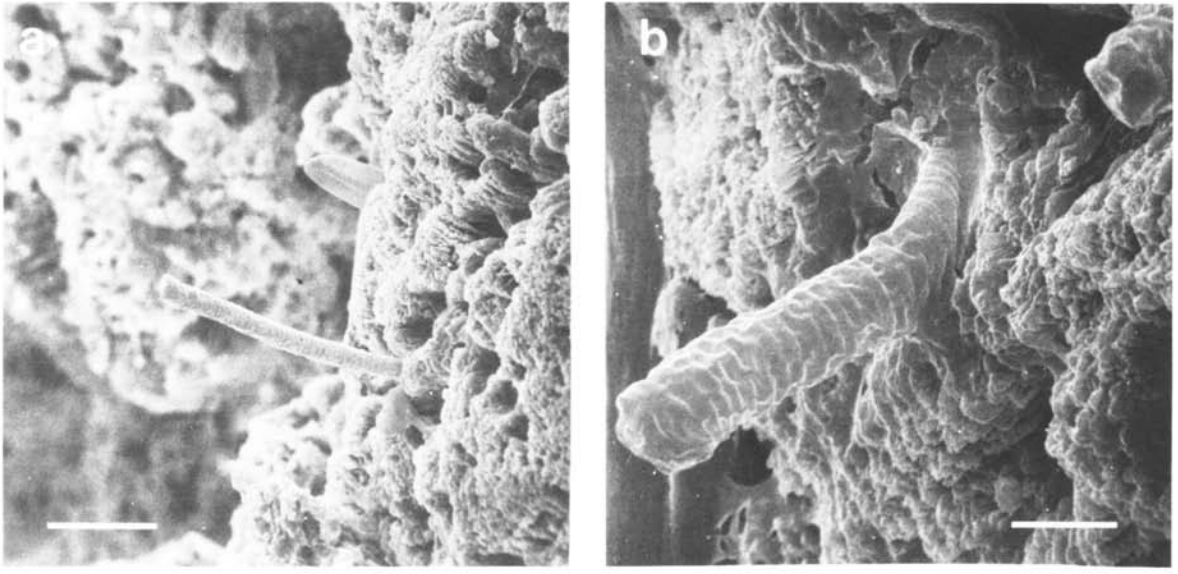

Abb. 11 a, b: Cyanobakterien-Filamente in einem Onkoid aus dem Vorkommen Nollenberg; Abb 11 a zeigt oberhalb des Filamentes einen Teil einer Diatomee. Balkenlänge 11 a: 25 μm, 11 b: 5 μm. REM-Aufnahme: I. RIPPA, Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.

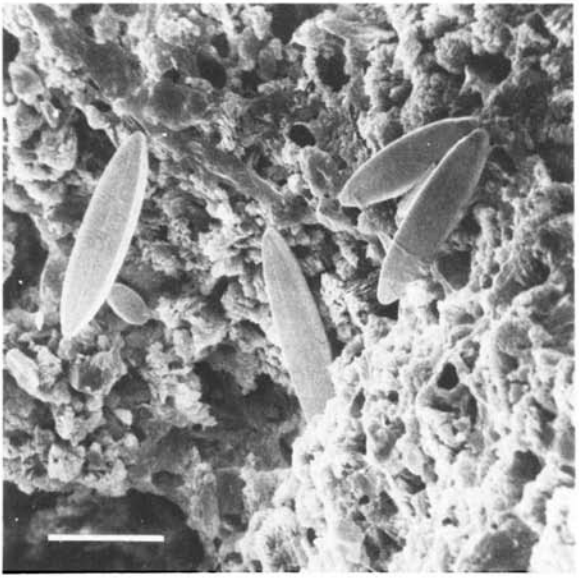

Abb. 12: Epiphyten (Diatomeen) auf der Oberfläche eines Onkoids aus dem Vorkommen Nollenberg. Balkenlänge: 25 µm. REM-Aufnahme: I. RIPPA, Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.

zu den Bakterien gerechnet (vgl. KRUMBEIN, 1983 mit weiteren Literaturangaben). Von Cyanobakterien gebildete Onkoide können im Sinne von RIDING (1983) und PENTECOST & RIDING (1986) auch als Cyanoide bezeichnet werden.

Rezente fluviatile Onkoide sind bisher aus Westdeutschland und speziell aus Nordrhein-Westfalen nur selten beschrieben worden. Vergleichbar ist etwa das von OTT (1980) aus der Amper (TK 25, Blatt 7833 Fürstenfeldbruck) bekannt gemachte Vorkommen. Es wäre daher wünschenswert, zumindest die Lokalität Hohenroden aufgrund ihrer zahlreichen und beispielhaft gut entwickelten Onkoide unter Schutz zu stellen. Sie ist in dieser Form in Westfalen einmalig. Für den Schutz der Lokalität wäre auch zu berücksichtigen, daß Cyanobakterien bestimmte Veränderungen der Wasserqualität wie pH-Absenkung oder Eutrophierung nur begrenzt tolerieren. Anthropogene Gewässerverschmutzungen können zum Absterben der Cyanobakterien-Assoziation und damit zu einer Beendigung der Onkoidbildung führen (Zusammenstellung der Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Cyanobakterien- bzw. Epiphyten-Wachstum z. B. bei EMEIS et al., 1987; WHITTON, 1987).

4. Zur Genese der Süßwasserkalke

Sinterkalke und Sinterkalksteine entstehen vor allem in Gebieten, in denen gleichzeitig eine intensive Karbonatlösung stattfindet. Da Süßwasserkalke durch biogene oder abiogene Karbonatfällung entstehen können und beide Prozesse in der Natur meist parallel ablaufen, war es lange Zeit umstritten, welcher der beiden Faktoren für die Bildung von Sinterkalken ausschlaggebend ist (vgl. SCHRÖDER, 1982).

Die Ausfällung von Calcit ist vom Lösungsgleichgewicht abhängig. Sie wird in erheblichem Maß vom CO_2-Gehalt des Wassers beeinflußt und findet immer dann statt, wenn CO_2 entzogen wird. Der CO_2-Partialdruckunterschied zwischen Wasser und Luft, eine Temperaturerhöhung und Verdunstung des Wassers sowie die CO_2-Assimilation autotropher Organismen bewirken gleichermaßen einen CO_2-Entzug und führen beim Überschreiten des entsprechenden $CaCO_3$-Sättigungswertes zur Ausfällung von Calcit (GOLUBIC, 1973; Überblick über die Karbonatchemie mit weiteren Literaturzitaten bei SCHRÖDER, 1982).

Bei der Entstehung von Sinterkalken kommt der Karbonatfällung aufgrund des CO_2-Partialdruckunterschiedes eine besondere Bedeutung zu. Die Einstellung des CO_2-Gleichgewichts zwischen Wasser und Atmosphäre ist ein relativ langsam verlaufender Prozeß, der allerdings erheblich beschleunigt wird, sobald das Wasser als dünner Film über eine breite Abflußfläche rinnt oder durch turbulentes Fließen – beispielsweise in Wasserfällen – eine CO_2-Evasion erleichtert wird. Dieser Prozeß sowie untergeordnet die langsame Erwärmung des Wassers im Bachverlauf – die Evaporation spielt im humiden Klimabereich nur eine untergeordnete Rolle (PENTECOST, 1985) – führen daher in Quellen, Wasserfällen und schnell fließenden Gewässern zur Kalkausfällung und zur Bildung von Sinterkalken bzw. Sinterkalksteinen (PENTECOST, 1981). Beispielhaft hierfür ist der Sinterkalksteinfelsen am Helsberg, über den das Wasser nur wenige Meter unterhalb der Quelle in zahlreichen kleinen und flachen Rinnsalen rieselt. Auch im Faulegrund und am Nollenberg sind Sinterkalkablagerungen an kleine Kaskaden, Wasserfälle und turbulent fließende Abschnitte gebunden. Hier werden der Bachgrund und alle Gegenstände im Bach, Steine und vor allem aber auch vom Wasser benetzte Pflanzen mit einer Kalkkruste überzogen.

Pflanzen sowie verschiedene Mikroorganismen wirken als Sedimentfänger, indem sie bereits ausgefällte Calcitkristalle und andere Partikel einfangen, akkumulieren und fixieren. Die Polysaccharid-Hüllen von Cyanobakterien sind hierfür besonders geeignet (GRÜNINGER, 1965). Auf den Hüllen fixierte Partikel dienen als Keime für Calcitkristalle, wodurch die Filamente verkalken. Dagegen ist die Verkalkung innerhalb der Filamente („Imprägnierung") in Sinterkalksteinen von untergeordneter Bedeutung (PENTECOST & RIDING, 1986). Vor allem

Wassermoose sind häufig von Kalk völlig inkrustiert (z. B. am Helsberg oder im Faulegrund), da sie von sedimentbindenden Epiphyten wie Cyanobakterien sowie Diatomeen (z. B. *Phormidium incrustatum* und *Schizothrix calcicola*) überzogen werden und außerdem auch ihre reusenartigen Thalli sehr effizient Sedimentpartikel akkumulieren können (GRÜNINGER, 1965; PENTECOST & RIDING, 1986). Da Bryophyten und verschiedene Mikroorganismen bevorzugt im Bereich von Wasserfällen wachsen, wo auch die CO_2-Evasion besonders groß ist, stellt sich hier eine entsprechend sonders starke Sinterkalksteinbildung ein. Das Einfangen, Akkumulieren und Fixieren der Calcitkristalle ist daher ein wesentlicher Vorgang bei der Sinterkalksteinbildung (EMEIS et al., 1987; SCHNEIDER, 1977).

Dagegen beträgt der von Cyanobakterien durch Photosynthese gefällte Karbonatanteil am Sinterkalk wegen der geringen Assimilationsrate nur ca. 1–5% (PENTECOST, 1978, 1985). Nur wenn der Anteil der Cyanobakterien an der Biomasse extrem hoch und die Strömungsgeschwindigkeit der Gewässer gering ist, kann der CO_2-Aufnahme durch Cyanobakterien bei der Kalkfällung eine größere Bedeutung zukommen (PENTECOST & RIDING, 1986). Stromabwärts, wo das Gewässer bereits CO_2-arm ist, nimmt die nahe der Quelle überwiegende anorganische Fällung ab. Statt dessen ist die durch Bakterien hervorgerufene Calcitbildung im „distalen" Bereich wesentlicher (CHAFETZ & FOLK, 1984). Der CO_2-Entzug durch die Assimilation der Wasserpflanzen wie auch die Erwärmung des Wassers im Bachverlauf scheinen für eine Sinterkalksteinbildung weitgehend vernachlässigbar zu sein (GRÜNINGER, 1965).

Im Gegensatz zu den Sinterkalksteinen sind die Sinterkalke überwiegend an breitere Täler mit relativ flachen Talböden gebunden. Hier ist das Gefälle geringer als in den Sinterkalkstein-Vorkommen. Wahrscheinlich spielen neben der CO_2-Evasion auch andere Faktoren wie Temperaturerhöhung und Assimilation bei der Karbonatausfällung eine Rolle. Einige Sinterkalk-Vorkommen sind kleinen Quellmooren und Anmoorflächen benachbart. Auch in die Sinterkalkablagerungen sind gelegentlich dünne humose oder torfige Horizonte eingeschaltet. Es ist daher zu vermuten, daß neben einer Kalkausfällung in fließendem Oberflächenwasser auch bei der Durchsickerung des bereits abgelagerten Sinterkalkes in einem Milieu mit hoch anstehendem Grundwasser weiterer Kalk ausgefällt wird. Damit bestehen genetische Übergänge zum Wiesenkalk (Alm), dessen Bildungsmilieu im Grundwasserbereich liegt.

Für die Bildung von Onkoiden wird üblicherweise eine geringe Wasserenergie, aber zeitweilige Turbulenz angenommen, durch die die Onkoide zumindest gelegentlich gewendet werden. Dies ermöglicht den Cyanobakterien, in alle Richtungen zu wachsen. Bei dem Vorkommen von Hohenroden stößt diese klassische

Interpretation allerdings auf Schwierigkeiten. So liegen im Quelltopf Onkoide von bis zu 25 Zentimetern Durchmesser (vgl. Abb. 6, Abschnitt A), die sowohl an der Ober- als auch an ihrer Unterseite umkrustet sind. Da die Onkoide zumindest zeitweise aus dem Wasser herausragen, kann die Kruste der Unterseite teilweise dicker als die auf der Oberseite sein. In Anbetracht der geringen Quellschüttung (s. Kap. 3.3.) und des relativ geringen Gefälles des Baches gerade in seinem obersten Abschnitt (s. Abb. 6, Abschnitt A), ist eine gelegentliche Drehung der Onkoide nicht möglich. Auch sind episodische Hochwässer oder Schichtfluten, wie sie gelegentlich auf der Paderborner Hochfläche auftreten (vgl. KARRENBERG, 1968), aufgrund der morphologischen und hydrogeologischen Position des Vorkommens auszuschließen. Statt dessen ist hier ein in-situ-Wachstum anzunehmen, das bisher nur selten beobachtet wurde (LEINFELDER & HARTKOPF, 1988). Da die Onkoide meist in lockerem Verband unregelmäßig übereinander liegen, gelangt auch an ihre Unterseite ein geringer Anteil diffusen Streulichts, der für das Onkoidwachstum offensichtlich ausreicht. Vergleichbare Verhältnisse beschreiben MONTY & MAS (1981) aus einem rezenten Vorkommen in Belgien.

5. Altersstellung

Zur zeitlichen Einstufung von holozänen Sinterkalkbildungen eignen sich ^{14}C-Datierungen, pollenanalytische Untersuchungen und Fossilien wie Pflanzen, Gastropoden (z. B. KOVANDA, 1983) und Vertebraten (z. B. REIFF, 1955; ADAM et al., 1987). Auch prähistorische und historische Funde können sehr wertvolle Hinweise liefern (Zusammenstellung z. B. bei JERZ, 1983). Die Sinterkalkvorkommen Aschental und Niederalme wurden durch REHAGEN (1986 a, 1986 b) pollenanalytisch bearbeitet und datiert. Für diese Untersuchungen waren vor allem die in die Profile eingeschalteten humosen und torfigen Lagen von Bedeutung (vgl. Profil I und II).

Die unterste Probe (Probe 1) aus dem Profil Aschental (Profil I) zeigt eine deutliche *Pinus*-Dominanz, während thermophile Laubhölzer wie *Ulmus* und *Corylus* nur sporadisch vertreten sind. Die Nichtbaumpollen weisen auf Bedingungen hin, wie sie in lichten Kiefern-Birkenwäldern herrschen. Aufgrund der geringen Beteiligung thermophiler Laubhölzer ist diese Probe in das ausklingende Präboreal, d.h. in die Zone V nach OVERBECK (1950) bzw. in die Zone IV nach FIRBAS (1949, 1952) einzustufen.

Die darüber folgende Probe (Probe 2) unterscheidet sich von der basalen nur durch einen höheren *Pinus*-Anteil und eine deutliche Zunahme von *Corylus*, einem wärmeliebenden Laubholz. Dieses Pollenspektrum gehört damit zum

beginnenden Altboreal und entspricht der Zone VI nach OVERBECK (1950) bzw. der Zone V a nach FIRBAS (1949, 1952).

In den beiden folgenden Proben (Proben 3 und 4) ist eine weitere Zunahme von *Corylus* sowie das Auftreten von Komponenten des Eichenmischwaldes wie *Quercus, Ulmus, Tilia* und *Fraxinus* zu verzeichnen. *Alnus* ist in beiden Proben nur sehr schwach vertreten und wird vom *Pinus*-Anteil deutlich übertroffen. Beide Pollenspektren gehören dem Jungboreal, d.h. der Zone VII nach OVERBECK (1950) bzw. V b nach FIRBAS (1949, 1952) an. In diese Zone sind auch die beiden unteren Proben (Proben 1 und 2) aus dem Profil Niederalme (Profil II) einzustufen.

Die oberste Probe des Profils Aschental ist charakterisiert durch eine drastische Abnahme von *Corylus* und eine Eichenmischwald-Dominanz, wobei *Tilia* und *Quercus* vorherrschen. Das Pollenspektrum dieser sowie der obersten Probe aus dem Profil Niederalme (Probe 3) wird damit dem Atlantikum, d.h. der Zone VIII nach OVERBECK (1950) bzw. den Zonen VI und VII nach FIRBAS (1949, 1952) zugeordnet.

Der Beginn der Sinterkalkablagerung ist nach den palynologischen Befunden mit dem ausgehenden Präboreal anzusetzen, während der Höhepunkt im späten Boreal und Atlantikum erreicht wurde. Dieser Befund deckt sich weitgehend mit anderen Sinterkalkvorkommen etwa in Südbayern (JERZ, 1983) oder Baden-Württemberg (GROSCHOPF, 1952). Die Hauptablagerung der postglazialen Sinterkalke erfolgte in den meisten Fällen im Atlantikum (GROSCHOPF, 1969), sie dauert aber zumindest teilweise bis in die Gegenwart an. Eine rezente Sinterkalkbildung belegen z. B. einige im Juli 1987 in das Vorkommen Helsberg eingebrachte Ziegelbruchstücke, die bereits nach einem Jahr dünne Karbonatkrusten besaßen und zum Teil fest mit dem Sinterkalksteinfelsen verbacken waren. Auch die Bildung der Onkoide ist noch nicht zum Erliegen gekommen, wie die dünnen Überzüge auf Pflanzenresten und dem Kronenkorken (Abb. 9) eindrucksvoll bestätigen.

6. Literatur

ADAM, K.D., BLOOS, G. & ZIEGLER, B. (1987): Das Stuttgarter Quartär. – Stuttgarter Beitr. Naturkde., C **25**: 1–44, 44 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

ARNOLD, H. (1977), mit Beitr. von HOYER, P. & VOGLER, H.: Erläuterungen zu Blatt Gütersloh. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:100 000, Erl., C **4314**: 156 S., 31 Abb., 10 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

CHAFETZ, H.S. & FOLK, R.L. (1984): Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. – J. sediment. Petrol., **54** (1): 289–316, 32 Abb.; Tulsa/Okla.

DEHM, R. (1951): Mitteldiluviale Kalktuffe und ihre Molluskenfauna bei Schmiechen nahe Blaubeuren (Schwäb. Alb). – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **93**: 247–276, 2 Abb., 1 Tab., Taf. 16–17; Stuttgart.

EMEIS, K.-C., RICHNOW, H.-H. & KEMPE, S. (1987): Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control. – Sedimentology, **34** (4): 595–609, 11 Abb., 4 Tab.; Oxford.

ESTEBAN, M. & KLAPPA, C. F. (1983): Subaerial exposure environment. – In: SCHOLLE, P. A., BEBOUT, D. G. & MOORE, C. H. (Hrsg.): Carbonate depositional environments: 1–54, 94 Abb., 2 Tab.; Tulsa/Oklahoma.

FARRENSCHON, J. (1986), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H., MICHEL, G. & VOGLER, H.: Erläuterungen zu Blatt Detmold. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1: 25000, Erl., **4019**: 172 S., 13 Abb., 15 Tab., 3 Taf.; Krefeld.

FIRBAS, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, **1**, Allgemeine Waldgeschichte. – VIII + 480 S., 163 Abb., 28 Tab.; Jena (Fischer).

– – – (1952): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, **2**, Waldgeschichte der einzelnen Landschaften. – II + 256 S., 18 Abb., 39 Tab.; Jena (Fischer).

FLÜGEL, E. (1982): Microfacies analysis of limestones. – XIV + 633 S., 78 Abb., 58 Tab., 53 Taf.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

GOLUBIC, S. (1962): Zur Kenntnis der Kalkinkrustation und Kalkkorrosion im Seelitoral. – Schweiz. Z. Hydrol., **24**: 229–243, 8 Abb., 1 Tab.; Basel.

– – – (1973): The relationship between blue-green algae and carbonate deposits. – In: CARR, N. G. & WHITTON, B. A. (Hrsg.): The biology of blue-green algae: 434–472, 19 Abb.; Oxford, London, Edinburgh, Melbourne (Blackwell).

GROSCHOPF, P. (1952), mit Beitr. von HAUFF, R. & KLEY, A.: Pollenanalytische Datierung württembergischer Kalktuffe und der postglaziale Klima-Ablauf. – Jh. geol. Abt. württemb. statist. L.-Amt, **2**: 72–94, 7 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.

– – – (1969): Zur Genese und Systematik limnischer Kalksedimente. – Mitt. int. Ver. Limnol., **17**: 219–225, 1 Tab.; Stuttgart.

GRÜNINGER, W. (1965): Rezente Kalktuffbildung im Bereich der Uracher Wasserfälle. – Abh. Karst- und Höhlenkde., **E2**: 113 S., 31 Abb., 11 Tab.; München.

HERMANN, H. (1957): Die Entstehungsgeschichte der postglazialen Kalktuffe der Umgebung von Weilheim (Oberbayern). – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **105** (1): 11–46, 12 Abb.; Stuttgart.

HILTERMANN, H. (1988): Kann das Travertinlager von Bad Laer T. W. direkt auf die heutige Solquelle des Quellkolkes zurückgeführt werden? – Osnabrücker naturwiss. Mitt., **14**: 41–50, 7 Abb., 1 Tab.; Osnabrück.

HILTERMANN, H. & LÜTTIG, G. (1960): Der Quellkalk von Laer (Kreis Osnabrück-Land). – Veröff. naturwiss. Ver. Osnabrück, **29**: 67–75, Abb. 21–28, 1 Kt.; Osnabrück.

HINZE, C., JERZ, H., MENKE, B. & STAUDE, H. (1989): Geogenetische Definitionen quartärer Lockergesteine für die Geologische Karte 1 : 25000. – Geol. Jb., **A 112**: 243 S., 3 Tab.; Hannover.

HISS, M. (im Druck), mit Beitr. von ERKWOH, F.-D., JÄGER, B., MICHEL, G. & VIETH-REDEMANN, A.: Erläuterungen zu Blatt Büren. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25 000, Erl., **4417**; Krefeld.

IRION, G. & MÜLLER, G. (1968): Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany. – In: MÜLLER, G. & FRIEDMAN, G. M. (Hrsg.): Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe: 157–171, 16 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

JERZ, H. (1983): Kalksinterbildungen in Südbayern und ihre zeitliche Einstufung. – Geol. Jb., A71: 291–300; Hannover.

JULIA, R. (1983): Travertines. – In: SCHOLLE, P. A., BEBOUT, D. G. & MOORE, C. H. (Hrsg.): Carbonate depositional environments: 64–72, 17 Abb.; Tulsa/Oklahoma.

KARRENBERG, H. (1968): Niederschlagsintensität und Erosion im Karstgebiet von Paderborn bei dem Unwetter vom 16. Juli 1965. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16**: 41–64, 8 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

KERNEY, M. P., CAMERON, R. A. D. & JUNGBLUTH, J. H. (1983): Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas. – 384 S., 890 Abb., 368 Kt.; Hamburg, Berlin (Parey).

KLAPPA, C. F. (1978): Biolithogenesis of *Microcodium*: elucidation. – Sedimentology, **25**: 489–522, 10 Abb., 1 Tab.; Oxford.

KOCH, M. (1984): Die Hydrologie des Briloner Massenkalkes. – Kölner geogr. Arb., **45**: 429–440, 2 Abb., 2 Tab.; Köln.

KOVANDA, J. (1983): Holozäne Süßwasserkalke und ihre Bedeutung für die Gliederung der Flußablagerungen in der Tschechoslowakei. – Geol. Jb., A71: 285–289; Hannover.

KRUMBEIN, W. E. (1983): Stromatolites – the challenge of a term in space and time. – Precambrian Res., **20**: 493–531, 16 Abb., 2 Tab.; Amsterdam.

LEINFELDER, R. R. & HARTKOPF, C. (1988): In-situ-Wachstum rezenter und tertiärer Süßwasseronkoide aus dem Münsterland und dem Mainzer Becken. – Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **29**: 113–116, 2 Abb., 1 Tab.; Bochum (Vortragskurzfassung).

MONTY, C. & MAS, J. R. (1981): Lower Cretaceous (Wealdian) blue-green algal deposits of the Province of Valencia, Eastern Spain. – In: MONTY, C. (Hrsg.): Phanerozoic stromatolites: 85–120, 27 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

OTT, E. (1980): Großonkoide und Algen-Festkalke in der Amper. – Geol. Kt. Bayern 1 : 25 000, Erl., **7833**: 37–43, Abb. 10; München.

OVERBECK, F. (1950): Moore. – In: Niedersächsisches Amt f. Landesplanung u. Statistik (Hrsg.): Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, (AI) **3**: 122 S., 56 Abb., 2 Tab.; Bremen-Horn (Dorn). 2. Aufl.

PAECKELMANN, W. & KÜHNE, F. (1936), mit Beitr. von PFEFFER, P.: Erläuterungen zu Blatt Alme. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Länder 1 : 25 000, Erl., **4517**: 61 S., 1 Abb., 1 Taf.; Berlin.

PENTECOST, A. (1978): Blue-green algae and freshwater carbonate deposits. – Proc. r. Soc. London, **B200**: 43–61, 11 Abb., 10 Tab., 1 Taf.; London.

– – – (1981): The tufa deposits of the Malham district, North Yorkshire. – Field Stud., **5**: 365–387, 14 Abb., 4 Tab.; London.

– – – (1985): Association of cyanobacteria with tufa deposits: Identity, enumeration, and nature of the sheath material revealed by histochemistry. – Geomicrobiol. J., **4** (3): 285–298, 7 Tab.; New York.

PENTECOST, A. & RIDING, R. (1986): Calcification in cyanobacteria. – In: LEADBEATER, B. S. C. & RIDING, R. (Hrsg.): Biomineralization in lower plants and animals: 73–90, 6 Abb.; Oxford (Clarendon).

PIA, J. (1933): Die rezenten Kalksteine. – Z. Kristallogr. Mineral. Petrogr., Abt. B, Ergänz. Bd., **1**: 420 S., 22 Abb., 64 Tab., 4 Taf.; Leipzig.

REHAGEN, H.-W. (1986 a): Pollenanalytische Untersuchung eines Sinterkalkprofils bei Meiste, TK 25, Blatt 4417 Büren. – 4 S.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., unveröff.).

– – – (1986 b): Pollenanalytische Untersuchung eines Torf-/Sinterkalkprofils in Alme, TK 25, Blatt 4517 Alme. – 2 S.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., unveröff.).

REIFF, W. (1955): Über den pleistozänen Sauerwasserkalk von Stuttgart-Münster – Bad Cannstatt. – Jber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver., N. F., **37**: 56–91, 6 Abb., 1 Taf.; Stuttgart.

RIDING, R. (1983): Cyanoliths (cyanoids): Oncoids formed by calcified cyanophytes. – In: PERYT, T. M. (Hrsg.): Coated grains: 276–283, 5 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

SCHNEIDER, J. (1977): Carbonate construction and decomposition by epilithic and endolithic micro-organisms in salt- and freshwater. – In: FLÜGEL, E. (Hrsg.): Fossil algae: 248–260, 4 Abb., 3 Taf.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

SCHRÖDER, H. G. (1982): Biogene benthische Entkalkung als Beitrag zur Genese limnischer Sedimente. Beispiel: Attersee (Salzkammergut; Oberösterreich). – 179 S., 45 Abb., 20 Tab., 9 Taf.; Göttingen (Diss. Univ. Göttingen).

SCHULTE, H. (1937): Die geologischen Verhältnisse des östlichen Haarstranges, insbesondere des Almegebietes. – Abh. westf. Prov.-Mus. Naturkde., **8** (1): 58 S., 2 Abb., 2 Taf.; Münster.

SKUPIN, K. (1985), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H., MICHEL, G. & WEBER, P.: Erläuterungen zu Blatt Geseke. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25 000, Erl., **4317**: 155 S., 16 Abb., 12 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

SLACK, K. V. (1967): Physical and chemical description of Birch Creek, a travertine depositing stream, Inyo County, California. – Prof. Pap. U. S. geol. Surv., **549-a**: A1–A19, 4 Abb., 7 Tab., 1 Taf.; Washington, D. C.

STIRN, A. (1964): Kalktuffvorkommen und Kalktufftypen der Schwäbischen Alb. – Abh. Karst- und Höhlenkde., **E1**: 92 S., 23 Abb., 4 Tab., 1 Kt.; München.

THIERMANN, A. (1970), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H.: Erläuterungen zu Blatt Tecklenburg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 25 000, Erl., **3712**: 243 S., 22 Abb., 10 Tab., 7 Taf.; Krefeld.

– – – (1973), mit Beitr. von DUBBER, H.-J., KALTERHERBERG, J., KOCH, M. & REHAGEN, H.-W.: Erläuterungen zu Blatt Rheine. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf., 1 : 25000, Erl., **3710**: 174 S., 16 Abb., 12 Tab., 5 Taf.; Krefeld.

WEGNER, T. (1926): Geologie Westfalens und der angrenzenden Gebiete. – 500 S., 244 Abb., 1 Taf.; Paderborn (Schöningh). 2. Aufl.

WHITTON, B. A. (1987): The biology of Rivulariaceae. – In: FAY, P. & VAN BAALEN, C. (Hrsg.): The cyanobacteria: a comprehensive review: 513–534, 3 Abb., 1 Tab.; Amsterdam, New York, Oxford (Elsevier).

Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25000, m. Erl. – Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.; Krefeld. Blatt 4417 Büren (im Druck), Bearb. HISS, M.

Geologische Karte von Preußen und benachb. dt. Länder 1 : 25000, m. Erl. – Hrsg. Preuß. Geol. L.-Anst.; Berlin. Blatt Alme (1936), Bearb. PAECKELMANN, W. & KÜHNE, F.

Manuskript eingegangen am: 09. 02. 1989