

## **FID Biodiversitätsforschung**

## Decheniana

Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens

Bildung und Regelung von Kalkknollengefügen - Untersuchungen im Oberdevon des Rheinischen Schiefergebirges : mit 47 Abbildungen (im Text und auf Tafeln I-IV)

## Weber, Peter

1965

Digitalisiert durch die Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main im Rahmen des DFG-geförderten Projekts FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)

Weitere Informationen

Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im: Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten Identifikator:

## urn:nbn:de:hebis:30:4-170151

Visual Library

DFG

# Bildung und Regelung von Kalkknollengefügen

## Untersuchungen im Oberdevon des Rheinischen Schiefergebirges

## Von Peter Weber, Bonn

### Mit 47 Abbildungen (im Text und auf Tafeln I-IV)

(Manuskript eingereicht am 7. 12. 1964)

#### INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
	Ergebnisse	56
1	Einleitung	56
	1.1 Erforschungsgeschichte	57
	1.2 Problemstellung und Arbeitsmethoden	57
2	Petrographie der Kalkknollengesteine	59
3	Bildung der Kalkknollengesteine	60
	3.1 Sedimentäre Kalkknollenbildung	60
	3.11 durch Subsolution	60
	3.12 Knollenkalk als Resediment	60
	3.2 Frühdiagenetische Kalkknollenbildung	61
	3.21 durch Stoffwanderung	62
	3.22 durch Schrumpfung	62
	3.3 Spätdiagenetische Kalkknollenbildung	62
	3.31 durch Tektonik (Klüftung, Boudinage, Schieferung)	63
	2.4. Zucammenfossung	63
	5.4 Zusammemassung	64
4	Regelung von Kalkknollengerugen	04
	4.1 Sedimentäre Kalkknollengefuge	05
	4.2 Frühdiagenetische Kalkknollengefüge	05
	4.3 Spätdiagenetische Kalkknollengefüge	69
	4.31 durch Drucksuturen	69
	4.32 durch Tektonik (Kluttung und Schererung)	76
	4.4 Uberprägte Kalkknollengeruge	70
	4.5 Kegionale verteilung der Achsengeruge in Kaikkhollengesteilten	20
	4.6 Zusammentassung	80
	Literaturverzeichnis	81
	Aufschlußverzeichnis	83

IJ

#### ERGEBNISSE

Für die Untersuchung der bislang unterschiedlich gedeuteten Kalkknollengesteine bot der Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges die Möglichkeit, alle Arten und Stufen der Ausbildung und Regelung von Kalkknollengefügen zu erfassen. Die Untersuchungen ergaben, daß die Kalkknollengefüge sedimentär, frühdiagenetisch oder spätdiagenetisch gebildet sein können. Die spezifischen Bildungsvorgänge sind selten rein entwickelt, polygene Kalkknollenbildung ist häufig.

- A. Sedimentäre Kalkknollengesteine treten gelegentlich als poly- oder monomikte. durch Anlagerungsgefüge gekennzeichnete Geröllhorizonte auf.
- B. Frühdiagenetische Kalkknollengefüge beschränken sich auf kalkärmere Gesteine. Die Knollen entstanden konkretionär unter Sedimentbedeckung. Die statistisch 3achsigen, länglichen bis gedrungenen Ellipsoide liegen entweder parallel oder quer zur Schichtung. Innerhalb der Schicht sind ihre Langachsen teils ungeregelt, teils treten gewisse paläogeographisch oder auch tektonisch bedingte Vorzugsrichtungen auf.
- C. Die spätdiagenetische Knollenkalkbildung vollzieht sich nach der Gesteinsverfestigung durch Zerlegung ursprünglich zusammenhängender Kalklagen.
  - 1. Schichtparallele Drucksuturen bedingen zweigipflige L<sub>ac</sub>- und L<sub>be</sub>-Achsenmaxima sowie eine gedrungene elliptische Form der Knollenquerschnitte in ab.
  - Tektonische Trennfugen erzeugen Kalkknollengefüge, bei denen Lage des größten Knollenschnittes und Knollenform von der Klüftungs- und Schieferungsintensität sowie von der Mächtigkeit der zerscherten Kalklagen abhängen.
    - a) Durch Klüftung gebildete Kalkknollengefüge zeigen breit gestreute L<sub>ab</sub>-Maxima, die der Q- oder D-Klüftung folgen.
    - b) Entstand das Kalkknollengefüge durch Schieferung, so liegen die  $L_{ab}$ -Achsen stets in der  $\delta$ -Richtung. Der größte Knollenschnitt lenkt mit zunehmender Schieferungsintensität in die s<sub>1</sub>-Ebene ein. Ist ein älteres Gefüge durch die Schieferung überprägt worden, so macht sich dies durch asymmetrische Achsenverteilung bemerkbar.

Form und Regelung der Knollen sind die Folge gerichteter Lösungsvorgänge. Faltung allein bewirkt keine Regelung des Kalkknollengefüges. Mechanische Deformation der Knollen tritt erst in intensiv geschieferten Gefügen auf. Eine Rotation der Knollen ging nur in einzelnen Fällen vor sich.

#### 1 EINLEITUNG

Vorliegende Arbeit sucht die Entstehung der Knollenkalke (Kramenzelkalke) und die Rolle der Tektonik bei ihrer Bildung vornehmlich mit den Methoden der Gefügemessung und -statistik zu klären. Die Untersuchungen werden im Oberdevon am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges ausgeführt.

Die Anregung zu diesen Untersuchungen gab im Sommer 1960 mein verehrter Lehrer, Professor Dr. R. BRINKMANN, dem ich für seine Unterstützung bei der Durchführung danken möchte.

#### 1.1 Erforschungsgeschichte

Die Knollenkalke bestehen aus einem schichtigen Wechsel von Kalk- und Tonbänken. Dabei sind die kalkigen Lagen in Knollen aufgelöst, die von einer tonreichen Matrix umgeben sind. In Anlehnung an BORN (1925) und GRÜNDEL & RÖSLER (1963) wurden folgende Arten von Kalkknollengesteinen unterschieden:

Kalkknollenschie	fer: Karbonat $<$ 50 %, Knollenform i. A. regelmäßig, Umrisse $\pm$
	glatt, Knollen lagenweise oder verstreut im Tonstein.
Knollenkalk:	Karbonat um 50 %, Knollenform oft unregelmäßig, überwie-
	gend lagenweise, in stärkeren Bänken dicht gepackt, selten in

Tonstein verstreut.

Flaserkalk:

Karbonat überwiegt, dünne Tonbestege trennen die teils regelmäßig, teils unregelmäßig geformten Kalkknollen.

Die Entstehung dieser Gesteine fand bislang eine recht unterschiedliche Deutung. Reinh. RICHTER (1848), H. B. GEINITZ (1852), C. W. GÜMBEL (1863) und O. TIETZE (1871) faßten die oberdevonischen Knollenkalke als Resedimente auf. GEINITZ zog daneben auch syn- bis diagenetische Knollenbildung in Betracht. Diese Ansicht wurde später insbesondere von ZIRKEL (1894), H. SCHMIDT (1920), SCHINDEWOLF (1921), HILDEBRAND (1928) und LUCAS (1955) verfochten, wobei nach SCHINDEWOLF Knollenkalke in Einzelfällen auch durch Bildung von Drucksuturen entstanden. Eine gegenteilige Meinung vertritt FALKE (1949), der der konkretionären Knollenbildung nur untergeordnete Bedeutung beimißt und die weitaus meisten Kalkknollengesteine, wie schon vor ihm WEBER (1911) und BORN (1925), als Tektonite deutet. Schließlich unterschied jüngst HOLLMANN (1962) in Malm der südlichen Kalkalpen zwischen "Knollenkalk s. str.", entstanden durch teilweise Subsolution (Wiederauflösung auf dem Meeresboden) kalkpelitischer Absätze, und den "unechten Knollenkalken" mit Flaserkalkgefüge, die durch Drucksuturen bedingt sein sollen.

#### 1.2 Problemstellung und Arbeitsmethoden

Will man die Bildung der Kalkknollengesteine verstehen, so ist einmal die Ursache der regelmäßigen Kalk-Ton-Wechsellagerung, zum anderen die Bildung der Knollen zu erklären. Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt auf dem Problem der Knollenbildung. Dabei geht es vor allem darum, ob und inwieweit die tektonische Gefügeformung knollenbildend bzw. knollenregelnd wirksam war. Die Ursachen der Wechselfolge kalkiger und toniger Lagen wurde dagegen nicht eingehend untersucht. Bei der tektonischen Beanspruchung war sie jedenfalls bereits vorhanden.

Untersuchungen mit ähnlicher Zielsetzung hat BORN (1925) in den oberdevonischen Knollenkalken der Lahn-Dill-Mulde ausgeführt. Er erkannte, daß sich die Knollen in die Schieferungsebene einregeln, wobei die Intensität der Regelung vom Winkel ss/s<sub>1</sub> abhängt. Daraus schloß er, daß die Knollenbildung durch Zerlegung von Kalkbänken beim Schieferungsprozeß erfolgte. Besser als die Lahn-Dill-Mulde ist der Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges (einschließlich des Warsteiner Sattels und der Attendorn-Elsper-Doppelmulde) für solche Zwecke geeignet, da er tektonisch unterschiedlich beanspruchte Gebiete enthält. Hier bestand daher die Möglichkeit, alle Übergänge und Stadien der Bildung und Regelung von Kalkknollengefügen zu erfassen.

7)=(6

Das Beobachtungsmaterial wurde aus 88 Aufschlüssen zusammengetragen; aus 56 von ihnen wurden orientierte Proben entnommen und 43 Aufschlüsse gefügestatistisch ausgewertet. Zur Vermessung von Form und Symmetrie der Knollen, sowie zur näheren Untersuchung des Gefüges wurden rund 1200 Anschliffe und 70 Dünnschliffe angefertigt. Nach Möglichkeit erhielten die Anschliffe eine Mindestgröße von 10 x 15 cm, um eine genügende Anzahl von Messungen für die statistische Auswertung zu gewährleisten. Besonders stark geschieferte und zerklüftete Proben wurden vor dem Schneiden mit stark verdünnter Kunstharzlösung getränkt oder mit konzentriertem Kunstharz bestrichen, um ein Auseinanderbrechen zu vermeiden. Ein Teil der Schnitte wurde mit Methylenblaulösung angefärbt, um die Verteilung von Kalk- und Tonsubstanz deutlicher hervorzuheben. Dabei war es zuweilen vorteilhaft, die Schnittfläche vorher mit einer stark verdünnten HCI-Lösung aufzurauhen, um die Anfärbung kleiner Tonsteininseln zu ermöglichen. Die geschnittenen Platten wurden gelackt.

Die Kalkknollen sind unregelmäßig, zumeist jedoch  $\pm$  spindelförmig gestaltet, so daß sie statistisch als 3-achsige Ellipsoide behandelt werden dürfen. In drei senkrecht zueinander liegenden Schnitten wurden jeweils Richtung und Länge der Langachse L, d. h. der größte auf der Schnittfläche sichtbaren Knollendurchmesser, sowie der Kurzachse K — der senkrecht auf L stehende Durchmesser — vermessen. Dabei geben die Indizes von L und K an, auf welche Schnittfläche die Werte bezogen sind.

#### Es bezeichnet:

a die Richtung des Schichtfallens b die Richtung des Schichtstreichens c die Richtung senkrecht zur Schichtfläche, so daß die Schnitte in Richtung ab // ss

bc  $\perp$  ss, // zum Streichen

ac  $\perp$  ss, // zum Schichtfallen

liegen. Gemessen wurden ferner

im ab-Schnitt der Winkel zwischen Knollenlangachse und Streichrichtung sowie im bc-Schnitt und ac-Schnitt der Winkel zwischen Knollenlangachse und Schichtung. Streichen und Fallen wurden im Aufschluß ermittelt und auf das Handstück übertragen. Bei unebenen Schichtflächen wurden jeweils mehrere Streich- und Fallwerte gemittelt.

Die Messungen sind graphisch veranschaulicht und zwar auf dreierlei Weise (Abb. 25-46):

1. Im Schmidt'schen Netz ist die gegenwärtige Lagerung dargestellt. Liegen die gemittelten Richtungswerte von  $L_{ab}$ ,  $L_{ac}$  und  $L_{bc}$  auf einem Großkreis, so gibt dieser die statistische Lage des größtmöglichen Knollenschnittes F wieder. Ferner sind die im Aufschluß ermittelten Schicht- und Schieferungsflächen eingetragen. Der Durchstichpunkt der  $\delta$ -Achse erscheint zweimal; einmal, wie er im Aufschluß gemessen, zum anderen, wie er aus dem ss und s<sub>1</sub> des Handstücks ermittelt worden ist.

2. Das Würfeldiagramm stellt die Richtungsverteilung der Langachsen in ab, ac und be sowie die Lage der Schieferungsfläche dar, wie sie sich nach der Rückkippung in die Horizontale (durch Drehung um die Streichrichtung) ergibt.

3. Schließlich sind die absoluten Einzelmaße von L und K samt den zugehörigen Mittelwerten in jeweils drei Punktdiagrammen wiedergegeben.

Wenn die Untersuchungen auch auf eine möglichst quantitative Basis gestellt wurden, so muß man doch mit gewissen Fehlern rechnen. Bei der orientierten Probenahme und der Anfertigung der Schnitte können Abweichungen um einige Grad auftreten. Die Vermessung der Schliffe erreicht der Richtung nach eine Genauigkeit

von 1°, der Länge nach von 0,5 mm, sofern es sich um scharf abgegrenzte Knollen handelt. Der unterschiedliche Kompetenzgrad in Kalk- und Tonwechselfolgen bedingt ferner häufig, daß die im Aufschlußbereich ermittelten  $\delta$ -Achsen von den am Handstück gemessenen abweichen. Aus diesem Grunde stimmen die L<sub>ab</sub>-Maxima zahlreicher Diagramme nicht genau mit den  $\delta$ -Achsenrichtungen der Aufschlüsse überein.

### 2 PETROGRAPHIE DER KALKKNOLLENGESTEINE

Die petrographische Zusammensetzung der Kalkknollengesteine ist, bis auf das Karbonat-Ton-Verhältnis, annähernd gleichartig und wird daher im folgenden gemeinsam für alle Arten beschrieben.

Die Knollen bestehen vorwiegend aus feinkristallinem Karbonat, dem Quarz, Ton und Glimmer beigemengt sind. Die Quarzkörner sind innerhalb der Knollen zumeist deutlich angelöst. In den Knollen der karbonatärmeren Gesteine ist oft Ton von der Zusammensetzung der Matrix in stecknadelkopfgroßen Nestern angereichert (Abb. 8, 9). Fossile Hartteile sind in den Knollen durchweg selten, doch nehmen sie mit dem Kalkgehalt zu. Stets werden die Fossilreste an der Grenze zur Matrix scharf abgeschnitten.

Knolle und Matrix sind allgemein gleich gefärbt und unterscheiden sich nur in der Farbtönung. Meist sind die Knollen heller, so daß hellrote bzw. hellgrau-grüne Knollen in einer dunkelroten bzw. dunkelgrau-grünen Matrix schwimmen. Häufig treten in den Knollen grau-grünliche Verfärbungshöfe auf (Abb. 1), die oft an Pyritkristalle gebunden sind (Abb. 7).

Die Matrix setzt sich aus dem gleichen Material zusammen wie die Knollen, nur überwiegen hier die klastischen Bestandteile. Das Karbonat ist zumeist schlierig verteilt. Die Quarzkörner sind überwiegend eckig und weniger angelöst als in den Knollen. Häufig sind sie in der Umgebung der Knollen, vorwiegend an deren Oberund Unterseite angereichert. Fossilien sind noch seltener als in den Knollen. Die Glimmer liegen überwiegend in der Schichtung, die gemeinhin noch durch einen leichten Wechsel im Mineralbestand zum Ausdruck kommt; nur auf den Schieferungsflächen und Klüften sind die Glimmer diesen parallel gerichtet. Ob es sich dabei um neugebildete oder mechanisch eingeregelte Glimmer handelt, ließ sich nur selten entscheiden.

Der Kontakt von Knolle und Matrix ist nicht immer scharf. In ungeschieferten oder nur schwach geschieferten Gefügen sind lediglich Knollenober- und -unterseite deutlich begrenzt (Abb. 1, 3). Hier sind Quarze und Glimmer, wohl durch diagenetische Lösungsvorgänge angereichert, so daß die Schichtung gut kenntlich ist. Seitlich läßt sich das Schichtgefüge zuweilen noch in die Knollen hineinverfolgen (Abb. 3), zumeist stößt es aber an den Knollen ab (Abb. 8). Werden die Knollen in stärker beanspruchten Gefügen durch Schieferungsflächen begrenzt, so sind Quarze und Glimmer in s<sub>1</sub> eingeregelt und die Matrix ist nahezu kalkfrei (Abb. 21). Im schieferungsarmen Hof dagegen gehen infolge von Stoffverschiebungen Knolle und Matrix häufig ineinander über (Abb. 21). Allseitig scharf ist die Begrenzung in Kalkknollengefügen, die durch Zerklüftung oder bei der Durchschieferung mächtiger Kalkbänke entstanden, d. h. in Flaserkalken (Abb. 24). Hier sind die trennenden Tonsteinbestege oft nur Bruchteile von mm mächtig.



Als Neubildungen treten in den Kalkknollengesteinen Pyritkristalle sowie faserige Kristalle von Kalzit, Quarz und Chlorit auf. Letztere sind auf tektonisch stärker beanspruchte Gefüge beschränkt. Der Pyrit ist in grau-grünen Knollenkalken häufiger, in den roten dagegen sehr selten.

Sehr schön sind Pyrite mit strahlig aufgewachsenem Quarz und Chlorit in einer Tonsteinlage der Probe 16 (vgl. Aufschlußverzeichnis) ausgebildet. In den Kalken sind sie seltener und kleiner. Die ac- und bc-Schnitte zeigen, daß das Wachstum der Faser zunächst in a erfolgte und erst später in die Richtung der Schieferung einlenkte (Abb. 4). Meist knickt die Wachstumsrichtung nur einmal ab, selten auch mehrmals, dann aber stets gleichsinnig. Auch in stark geschieferten Gefügen sind immer beide Richtungen entwickelt (Abb. 5). Die anfangs bevorzugte Wachstumsrichtung in a widerspricht ebenso wie das Fehlen von Quarzfasern in b der üblichen Deutung als Neusprossung im Schieferungsschatten (Mügge 1928, PABST 1931). Man muß vielmehr annehmen, daß die Fasern bereits vor der Durchschieferung in a zu sprossen begannen; später wuchsen sie in der Schieferungsrichtung weiter. Die Orientierung der neugesproßten Quarz- und Chloritfasern zeigt, daß die Richtungsänderung ohne Rotation der Pyritkristalle erfolgte.

Der Faserkalzit an den Knollenenden wurde nach BORN (1925) während oder nach der Schieferung gebildet. In den untersuchten Proben sproßt der Faserkalzit entweder parallel zur Schichtung oder parallel zur Schieferung; gelegentlich ließ sich auch beobachten, daß der ss-parallele Faserkalzit an Schieferungsflächen annähernd s<sub>1</sub>-parallel abgebogen ist (Abb. 6). Der Kalzit verhält sich damit ganz ähnlich wie der Faserquarz und -chlorit. Die Faserkalzitbildung setzte ebenfalls bereits vor der Schieferung ein und könnte als Folge einer Boudinage im Sinne L. U. DE SITTER's und H. G. WUNDERLICH's gedeutet werden. Faserkalzit parallel der Schieferung tritt als Merkmal starker Streckung im Druckschatten der Knollen auf. Bei solch intensiver Beanspruchung wird häufig auch das Interngefüge der Knollen von der Schieferung erfaßt.

#### 3 BILDUNG DER KALKKNOLLEN

Eigene Beobachtungen und eine kritische Auswertung der Literatur führten zu folgenden Möglichkeiten der Bildung von Kalkknollengesteinen:

#### 3.1 Sedimentäre Kalkknollenbildung

#### 3.11 Kalkknollenbildung durch Subsolution

Für die Bildung von Kalkknollengefügen durch die submarine Anlösung von Kalkabsätzen unter Hinterlassung pelitischer Lösungsrückstände (HOLLMANN, 1962) fanden sich im Oberdevon des Rheinischen Schiefergebirges keine sicheren Hinweise.

#### 3.12 Knollenkalk als Resediment

Im Steinbruch nördlich Dorlar (Aufschluß Nr. 28) wurde in Knollenkalken der Hembergstufe ein 10–15 cm mächtiger Horizont gefunden, dessen Gefüge von dem der übrigen Knollenkalke stark abweicht. Dachziegelartig stecken in einem gradierten Sandstein langgestreckte, wenig abgerollte Kalkkörper, die sich in Farbe und Zusammensetzung von denen der Knollenkalke der Liegend- und Hangendschichten

TIR

nicht unterscheiden. Die Liegendschichten bestehen aus rotem Tonstein mit Kalkknollen und -linsen. Der Tonstein ist von mm mächtigen Sandsteinlinsen durchsetzt, die zuweilen Tropfenform haben und an "load casts" erinnern. Im Hangenden folgt eine weitere gradierte und kreuzgeschichtete Sandsteinlage, die jedoch von Knollen frei ist (Abb. 10). Die Dachziegellagerung spricht für ein Resediment. Die Kalkgerölle zeigen, daß sich die Erhärtung des Karbonats und die Bildung der Knollen bereits sehr früh und unter nur geringer Sedimentbedeckung vollzogen hatte.

Ein anderer Horizont mit Geröllen unterschiedlicher Farbe und Größe tritt innerhalb der Kalkknollengesteine der Adorfstufe im Hönnetalprofil (Bl. Balve, südl. Oberrödinghausen, Straßeneinschnitt) auf (Abb. 11 b). Die Probe zeigt zwei im cm-Abstand übereinanderfolgende, geringmächtige Geröllhorizonte. Das unmittelbar Hangende und Liegende ist reich an Kalkdetritus.

Ein drittes Vorkommen, daß auf Grund seiner polymikten Zusammensetzung ebenfalls ein Resediment sein dürfte, befindet sich auf Blatt Velbert in den Mantagneschichten (Aufschluß NE Kostenberg, R 71480, H 88040). Die Kalkgerölle sind unregelmäßig geformt und dicht gepackt. Das ursprüngliche Gefüge ist wegen starker Überprägung nicht mehr zu erkennen (Abb. 11 a).

#### 3.2 Frühdiagenetische Kalkknollenbildung

## 3.21 Kalkknollenbildung durch Stoffwanderung

In ungeschieferten Knollenkalken können zwei Gefügetypen unterschieden werden. Die Knollen verteilen sich entweder regellos über mächtigere Bänke (Abb. 2) oder sind in Lagen angeordnet (Abb. 12). Im ersten Falle sind Form und Größe der Knollen unregelmäßig und die Knollenlangachsen weichen häufig aus der Schichtebene ab. Im zweiten Falle zeigen die Knollen i. allg. gleichmäßiger ellipsoidische Formen mit glatten, im ab-Schnitt jedoch oft auch unregelmäßig begrenzten Umrissen .Horizontal- und Vertikalabstand der Knollen wechseln mit dem Gesamtkalkgehalt des Gesteins. Bei Kalkarmut ist der Horizontalabstand meist größer als der Vertikalabstand (Abb. 1). Mit zunehmendem Kalkgehalt wird dagegen der Horizontalabstand kleiner, während der Vertikalabstand in der Regel geringen Schwankungen unterliegt (Abb. 12). Die häufig fehlende Regelung der Knollen innerhalb der Bänke spricht dafür, daß die Knollen in einem frühen Zeitabschnitt der Diagenese entstanden, als tektonische Vorgänge noch nicht wirksam waren.

Anknüpfend an ILLIES' Untersuchungen zur Konkretionsbildung deuten GRÜNDEL & RÖSLER (1963) die Kalkknollen des thüringischen Oberdevon als oberflächennahe Ausscheidungen aus kontinuierlichen Porenwässerströmen, die Karbonat aus der Reduktionszone in die Oxydationszone emporbrachten. Auf diese Weise erklären sie auch eine andere von ihnen als regelmäßig betrachtete Erscheinung. Bei geringer Karbonatzufuhr stellt sich die zur Karbonatfällung notwendige Kalkkonzentration erst im höheren Teil der Oxydationszone ein; die Knollen werden größer, da sie längere Zeit im Bildungsmilieu verbleiben, bis ihr Wachstum bei Eintritt in die Reduktionszone unterbrochen wird; umgekehrt verhält es sich bei verstärkter Karbonatzufuhr; die Knollen bleiben kleiner und sind dichter gepackt.

Hiernach sollten die Knollenkalkhorizonte, die zwischen kalkarmen, knollenfreien Sedimenten lagern, mit großen Knollen beginnen und enden, im übrigen aber kleine Knollen aufweisen. Derartige Rhythmen ließen sich weder in den Aufschlüssen noch in den Anschliffen beobachten.

Eine weitere Bestätigung ihrer Ansicht sehen GRÜNDEL & RÖSLER darin, daß unmittelbar im Hangenden von Sandsteinbänken die Kalkknollen fehlen; hier reichte der Karbongehalt für eine Knollenbildung noch nicht aus. Die hierzu notwendige Konzentration wurde erst in einigem Abstand über der Sandsteinbank erreicht. Im Untersuchungsgebiet setzen die Knollen jedoch häufig unmittelbar

über den Sandsteinlagen ein. Im übrigen macht auch die streng schichtige und, soweit beobachtet wurde, horizontbeständige Wechselfolge von Kalk und Ton Fällungsvorgänge aus aufsteigenden Porenwässerströmen unwahrscheinlich. Sie spricht vielmehr für primäre Unterschiede im Karbonatgehalt. Schließlich bleibt der Karbonatgehalt nicht, wie GRÜNDEL & RÖSLER fanden, über größere Mächtigkeiten (mehrere Zehnermeter) hinweg konstant. In dichter Folge wechseln im Untersuchungsgebiet kalkarme Lagen, die nur vereinzelt Knollen enthalten, mit kalkreichen und dichtgepackten Knollenhorizonten oder  $\pm$  zusammenhängenden Kalklagen ab. Ein derartig rascher Wechsel des Karbonat-Ton-Verhältnisses kann m. E. nicht auf kontinuierliche Porenwässerströme in Sedimentfolgen mit ursprünglich mehrere zehnermeter konstantem Kalkgehalt zurückgeführt werden. Der enge Wechsel von Kalk und Ton läßt sich einfacher durch primäre Schwankungen in der Material-zufuhr erklären.

Trotz dieser Einwände teilen wir die Ansicht GRÜNDEL & RÖSLER's, daß frühdiagenetische Vorgänge an der Knollenbildung starken Anteil hatten. Die Differenzierung von Karbonat und Ton sowie die lokale Konzentration des Karbonats zu Knollen fand jedoch innerhalb eines Sediments statt, das von Anfang an aus unterschiedlich karbonatreichen Lagen bestand. Hierfür sprechen einmal — wie Wasserwaagen eindeutig beweisen — primär vertikal zur Schichtung stehende Knollenlangachsen. Zum anderen läßt sich teilweise noch das Schichtgefüge des umgebenden Tonsteins in die Knolle hineinverfolgen, wo es als Reliktstruktur erhalten ist und somit bei der Knollenbildung bereits vorhanden war. Die Knollen weisen im Gegensatz zu den echten Konkretionen allerdings keinen konzentrischen Bau auf, zeigen i. allg. unregelmäßigere Formen und besitzen keinen auffälligen Kern. Die Armut der Knollen an fossilen Hartteilen macht es unwahrscheinlich, daß solche als Ansatzpunkte dienten; nur vereinzelt fanden sich in den Knollen Pyrite als mögliche Kristallisationskeime (Abb. 7).

#### 3.22 Kalkknollenbildung durch Schrumpfung

Untergeordnet kann auch eine frühdiagenetische Zerlegung von Kalklagen durch Schrumpfrisse zur Knollenbildung führen. Die Risse entstanden bei der Sedimentverfestigung infolge der gegenüber dem Ton rascheren Entwässerung des Kalkes. Die Risse sind meist mit Kalzit verheilt und setzen sich nicht in den umgebenden Tonstein fort (Abb. 15).

#### 3.3 Spätdiagenetische Kalkknollenbildung

#### 3.31 Kalkknollenbildung durch Drucksuturen

Nach abgeschlossener Verfestigung des Gesteins bildeten sich stellenweise Drucksuturen, an denen bevorzugt Karbonatlösung stattfand. Auf diese Weise können zusammenhängende Kalklagen und -linsen ein knolliges Gefüge erwerben, wie in Probe 3 (Abb. 16) besonders deutlich wird. Die Kalkkbänke sind schichtparallel geklüftet und von  $\pm$  horizontal verlaufenden Suturen durchzogen. Vertikalklüfte sind von untergeordneter Bedeutung. Im Gegensatz zu den primären Tonsteinlagen, die gleichmäßig sind, zeigen die Suturnähte unregelmäßigen Verlauf und sind mit Residualton gefüllt. Im Tonstein sind wolkig verteiltes Karbonat und unregelmäßig geformte Kalkkörper sehr unterschiedlicher Größe bei der Lösung als Restkörper zurückgeblieben. Das Anschliffbild zeigt in den Zwickeln auch gröbere, wohl neugebildete Karbonataggregate.

Mächtigere Kalkbänke sind gegen die Suturbildung i. allg. widerstandsfähiger, die Knollenbildung bleibt unvollständig und auf die unmittelbar an die Tonstein-

DFG

Tafeln I–IV Abb. 1–24





- Abb. 1 Kalkknollenschiefer der Hembergstufe mit lagenweise geordneten Knollen. Links oben setzt die Schichtung der Matrix durch die Knolle fort. Knollenober- und -unterkante sind deutlich gegen die Matrix abgesetzt, seitlich teilweise diffuse Begrenzung. Die helleren Partien der Knollen sind grau-grüne Verfärbungshöfe. ac-Schnitt, 0,55 x. Lok.: Bl. Hohenlimburg: Henkhausen, Dachsweg 1. R 99500, H 94000.
- Abb. 2 Kalkknollenschiefer der Hembergstufe. Unregelmäßig in der Tonsteinmatrix verteilte Kalkknollen. ac-Schnitt, 0.65 x. Lok.: Bl. Menden; Straßeneinschnitt der B 7 in Öse. R 15700, H 97100.
- Abb. 3 Kalkknollenschiefer der Hembergschichten. Das Schichtgefüge der Tonsteinmatrix setzt seitlich in die Knolle hinein. Knollenober- und -unterkante sind deutlich gegen die Matrix abgesetzt. ac-Schnitt, 1,35 x. Lok.: Wie bei Abb. 1.
- Abb. 4 Pyrit mit Faserquarz und -chlorit in der Tonsteinmatrix eines Knollenkalkes der Hembergstufe. Die Faserminerale sprossen zunächst in a, ihre Enden wachsen in der Schieferungsrichtung weiter. ac-Schnitt, 20 x.
  Lok.: Bl. Eversberg; Stbr. a. d. Straße Nuttlar-Rüthen zw. km 0,7–1,2. R 60050, H 93400.
- Abb. 5 Pyrit mit Faserquarz und -chlorit in stark geschiefertem Gefüge. Zunächst erfolgte das Wachstum in a. erst die Enden des Faseraggregates sprossen in der Schieferungsrichtung weiter. ac-Schnitt, 45 x. Lok.: Wie in Abb. 4.
- Abb. 6 Faserkalzit an den Knollenenden in einem Knollenkalk der Hembergstufe. Der Kalzit sproßt zunächst // zur Schichtung; in der Nähe einer s<sub>1</sub>-Fläche (unten rechts) verlaufen die Kalzitfasern // der Schieferung. ac-Schnitt, 20 x. Lok.: Bl. Meschede; Lagerstraße, Meschede. R 49700, H 90900.

Decheniana, Bd. 118, Heft 1

Weber, Tafel I



Abb.1



АЬЬ.2



Abb. 3



Abb.4



Abb.5



Abb.6



Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

- Abb. 7 Kalkknollenschiefer der Nehdenstufe. Knollen mit Pyriten, die eventuell als Kristallisationskeime dienten. bc-Schnitt, 0,65 x. Lok.: Bl. Mettmann; Hellenbrucher Mühle, Weg hinter dem Altenheim. R 87750, H 85800.
- Abb. 8 Kalkknollenschiefer der Hembergstufe. Das Schichtgefüge der Matrix stößt an der Knolle ab. In den Knollen Tonsteinnester der gleichen Zusammensetzung wie die Matrix (dunkle Punkte). ac-Schnitt, 2,15 x. Lok.: Bl. Arnsberg S; SSW Wenigshausen am Feldweg. R 33900, H 8200.
- Abb. 9 Kalkknollenschiefer der Hembergstufe. Knollenlangachsen stehen teilweise senkrecht zur Schichtung. In den Knollen Tonsteinnester der gleichen Zusammensetzung wie die Matrix (dunkle Punkte).
   Lok.: Bl. Elberfeld; Elberfeld, August-Bebel-Straße, Siedlung Unterer Dörrenberg. R 79400, H 87100.
- Abb. 10 Resediment in Knollenkalk der Hembergstufe. Übereinander folgen Kalkknollenschiefer Aufarbeitungshorizont mit Anlagerungsgefüge und gradierter Sandsteinmatrix – kreuzgeschichtete knollenfreie Sandsteinlage, ebenfalls mit gradierter Schichtung. Strömungsrichtung von links nach rechts. bc-Schnitt, 0,55 x. Lok.: Bl. Eslohe: Stbr. a. d. Straße Dorlar-Eslohe bei km 19,7. R 46050, H 77200.
- Abb. 11a Polymiktes Resediment in Knollenkalken der Adorfstufe (Mantagneschichten). ac-Schnitt, 0,45 x.

Lok.: Bl. Velbert: Aufschluß NE Kostenberg. R 71480, H 88040.

- Abb. 11b Polymiktes Resediment in Kalkknollenschiefern der Adorfstufe. bc-Schnitt, 0,35 x. Lok.: Bl. Balve; Hönnetalprofil durch das Oberdevon im Straßeneinschnitt S Oberrödinghausen.
- Abb. 12 Kalkknollenschiefer der Hembergstufe. In Lagen mit höherem Kalkgehalt bilden sich ± zusammenhängende Kalklagen oder -linsen, die durch Klüftung, Boudinage und Schieferung Knollengefüge erhalten. Polygene Kalkknollenbildung. ac-Schnitt, 0,55 x. Lok.: Bl. Eslohe; Stbr. a. d. Straße Dorlar-Eslohe, km 19,7. R 46050, H 77200.

Decheniana, Bd. 118, Heft 1

Weber, Tafel II











Abb.9



Abb.10





Abb. 11 b



Abb.12



Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

Knollenkalk der Hembergstufe. Unregelmäßig verteilte Knollen innerhalb einer mächtigen Abb. 13 Kalklage. Mit steigendem Karbonatgehalt beginnt die Bildung geschlossener Kalkbänke. Schieferung ist angedeutet und verläuft  $\pm$  // der Schichtung. Die Probe stammt aus einem überkippten Nordflügel. ac-Schnitt, 0,75 x.

Lok.: Bl. Madfeld; kleiner Stbr. am NE-Hang des Burgberges. R 80150, H 98000.

- Knollenkalk der Hembergstufe. Mit zunehmenden Karbonatgehalt bilden sich zusammen-Abb. 14 hängende Kalkbänke, die ihr Knollengefüge vorwiegend der Q- und D-Klüftung verdanken. ac-Schnitt, 0,95 x. Lok.: Bl. Balve; neue Straße Balve-Mellen, 500 m W des Borketales. R 21750, H 88650.
- Knollenkalk der Hembergstufe. Untergeordnet tragen mit Kalzit verheilte Schrumpfrisse Abb. 15 (vgl. Schrumpfungssprünge bei Septarien) zur Knollenbildung bei. ac-Schnitt, 0,95 x. Lok.: Bl. Balve; Stbr. am Effenberg. R 27800, H 95600.
- Knollenkalk der Adorfstufe. Durch Lösung erweiterte schichtparallele Suturen bedingen Abb. 16 das Knollengefüge. Vertikalklüftung ist von untergeordneter Bedeutung. ac-Schnitt, 0,85 x. Lok.: Bl. Barmen; Carnap, im Bach. R 82500, H 83 500.
- Abb. 17 Knollenkalk der Hembergstufe. In mächtigeren Kalklagen bleibt die Knollenbildung an Drucksuturen auf die unteren Teile der Kalkbänke beschränkt. Lokale Knollenbildung innerhalb der Bänke ist an Klüfte gebunden (Bildmitte rechts). bc-Schnitt, 0,25 x. Lok.: Bl. Rüthen; Stbr. Kattensiepen. R 59 300, H 03700.
- Abb. 18 Knollenbildung durch Boudinage. Links im Bild beginnende, rechts im Bild fortgeschrittene und in der Mitte des Bildes fast vollendete Gefügelockerung. ac-Schnitt, 2,15 x. Lok.: Bl. Eslohe; Stbr. a. d. Straße Dorlar-Eslohe, km 19,7. R 46050, H 77200.

Decheniana, Bd. 118, Heft 1

Weber, Tafel III



Abb.13



Abb.14



Abb.15



Abb.16



Abb.17



Abb.18

Abb. 19	Fortgeschrittene Gefügelockerung bei	Boudinage.	Grobkristallines	Karbonat	deutet	Re-	
	kristallisation an. ac-Schnitt, 15 x.						
	Lok.: Wie in Abb. 18.						

Abb. 20 Kalkknollenschiefer der Hembergstufe. Kalkknollenbildung durch Schieferung. ac-Schnitt. 0,65 x.

Lok.: Bl. Madfeld; Straße Bredelar-Padberg in der Spitzkehre, R 84100, H 97200.

- Abb. 21 Dünnschliff durch zerscherte Kalkbank. Im schieferungsarmen Hof diffuser Übergang Knolle-Matrix. ac-Schnitt, 1,85 x. Lok.: Wie in Abb. 20.
- Abb. 22 Knollenkalk der Hembergstufe. Knollenbildung durch Schieferung mächtigerer Kalklagen. Ein Vergleich mit Abb. 20 zeigt die Abhängigkeit der Lage des größten Knollenschnittes von der Schieferungsintensität und Bankmächtigkeit. ac-Schnitt, 0,55 x. Lok.: Bl. Balve; Bergrücken SW Melscheder Mühle. R 23750, H 90400.
- Abb. 23 Knollenkalk der Hembergstufe. Stark geschiefertes Knollenkalkgefüge; Die Wasserwaagen behalten ihre Lage in der Schichtung bei. ac-Schnitt, 1,15 x. Lok.: Bl. Rüthen; Provinzialstbr. Drewer, R 55500, H 06700.
- Abb. 24 Flaserkalk der Adorfstufe. Intensive Durchschieferung mächtiger Kalkfolgen führt zur Bildung von Flaserkalken. ac-Schnitt, 0,65 x.
   Lok.: Bl. Endorf: Stbr. nördlich der Paßhöhe der Straße Kobbenrode-Obermarpe. R 74200. H 40000.

Decheniana, Bd. 118, Heft 1

Weber, Tafel IV





Abb. 20





Abb.21



Abb.22



Abb. 23





lage grenzenden Teile der Kalkbank beschränkt. Knollenzonen innerhalb kompakter Bänke sind an Vertikal- und Horizontalklüfte gebunden, an denen Lösung stattfinden konnte (Abb. 17). Die Form der Knollen ist hier, wie in Probe 3, sehr unregelmäßig.

#### 3.32 Tektonisch gebildete Kalkknollengefüge

In diagenetisch bereits verfestigten Kalk-Ton-Wechselfolgen werden Kalkknollengefüge häufig von Trennfugen erzeugt, die symmetrisch zum tektonischen Bau ausgerichtet sind.

a) Knollenbildung bewirken einmal senkrecht zur Schichtung stehende Klüfte. Ihre unterschiedliche Orientierung in verschieden mächtigen Kalklagen bedingt häufig eine unregelmäßige Form und Lage der Knollen. Die meisten dieser Klüfte entstanden, als die Schichten noch flach lagerten oder kaum gefaltet waren (HOEPPE-NER, 1953). Im Gegensatz zu den frühdiagenetischen Schrumpfrissen sind die Klüfte mit Tonstein gefüllt (Abb. 14), der als Residualton bei der Klufterweiterung entstand.

b) An der Zerlegung von zusammenhängenden Kalkklagen und -linsen war ferner die Boudinage beteiligt. Sie läßt sich oft nur schwer von der Vertikalklüftung unterscheiden. Zuweilen kann man alle Stadien der Gefügelockerung bis zur völligen Abschnürung beobachten (Abb. 18), wobei sich im Druckschatten durch Rekristallisation gröbere Karbonataggregate bilden (Abb. 19). Derartige Erscheinungen wurden an Klüften nicht beobachtet.

c) Knollenbildend wirkt schließlich vor allem die Schieferung der Kalkbänke. In welcher Weise sie sich mit zunehmendem Kalkgehalt und gesteigerter Durchschieferung ausprägt, zeigen die Abb. 12 und 20 bis 24. Bei der Schieferung wird an den  $s_1$ -Flächen bevorzugt Karbonat gelöst und häufig in situ als Faserkalzit abgeschieden. Sind die Schieferungsflächen sehr engständig, zerscheren auch mächtige Kalklagen in flachellipsoidische Kalkkörper und es kommt zur Flaserkalkbildung. Die trennenden Tonsteinbestege bestehen aus Lösungsresiduen und sind oft kaum mm mächtig (Abb. 24).

#### 3.4 Zusammenfassung

Die Kalkknollengesteine sind sehr verschiedener Art und Entstehung. Mindestens sieben Gefügetypen lassen sich auf spezifische Bildungsvorgänge zurückführen.

A. Manche Kalkknollengesteine sind als monomikte Aufbereitungshorizonte oder als polymikte geringmächtige Geröllagen sedimentär entstanden.

B. Bei einer zweiten Gruppe bilden sich die Kalkknollen während der Epoche der Frühdiagenese im noch unverfestigten Sediment durch Stoffwanderung. Dabei entstanden in kalkarmen Horizonten Einzelknollen, in karbonatreichen dagegen Kalklinsen und  $\pm$  zusammenhängende Kalklagen.

C. Schließlich ist auch spätdiagen verbreitet. Diese erfolgte teils an Drucklegung von bereits verfestigten Kalklagen verbreitet. Diese erfolgte teils an Drucksuturen und Horizontalklüften, die durch Lösung erweitert wurden, teils durch Vertikalklüftung, Boudinage und Schieferung, wobei ebenfalls Lösungsvorgänge die Trennfugen erweiterten. Intensive Durchschieferung mächtiger Kalkbänke führt zur Entstehung der Flaserkalke.

Die geschilderten Typen sind jedoch selten rein entwickelt. Polygene Kalkknollenbildung ist verbreitet und tritt bevorzugt in den Übergangsgefügen von

5

Decheniana Bd. 118, Heft 1



Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

64

Einzelknollen zu zusammenhängenden Kalklagen auf. Innerhalb einer Knollenkalkfolge können die verschiedenen Arten der Knollenkalkentstehung in der Horizontalen und der Vertikalen miteinander wechseln.

Die oben aufgeführten Bildungsvorgänge können den eingangs unterschiedenen Kalkknollengesteinen wie folgt zugeordnet werden:

.....

Kalkknollenschiefer:	netisch bei der Durchschieferung von Kalk-Ton-Wechselfolgen, untergeordnet als Resediment.
Knollenkalk:	Frühdiagenetische und spätdiagenetische (Klüftung, Schieferung,
	Boudins) Bildungen überwiegen. Drucksuturen sind selten, untergeordnet treten Resedimente auf.
Flaserkalk:	Überwiegend spätdiagenetisch gebildet. Bei Suturbildung und Klüftung sind die Knollenformen i. allg. unregelmäßig, bei in- tensiver Durchschieferung mächtiger Kalkfkolgen dagegen meist regelmäßig geformt.

In karbonatarmen Kalkknollengesteinen überwiegen demnach sedimentäre und frühdiagenetische, in kalkreichen spätdiagenetische, vor allem tektonisch entstandene Kalkknollengefüge.

#### 4 REGELUNG VON KALKKNOLLENGEFÜGEN

Im vorigen Abschnitt wurden die im Untersuchungsgebiet auftretenden Kalkknollengesteine auf Grund ihrer stofflichen Zusammensetzung und Knollenform genetisch unterteilt. Wenn wir nunmehr die Gefügestatistik ergänzend hinzuziehen, so geschieht dies aus zwei Gründen. Einmal fragt sich, ob auf diesem Wege die



Die in den Diagrammen aufgeführten Probenummern stimmen mit denen im Aufschlußverzeichnis und in der Übersichtskarte überein.

UB

ÐFG

oben gewonnene genetische Einteilung erhärtet werden kann. Sodann geht es darum, ob und in welcher Weise die Anordnung der Kalkknollen mit der regionalen Tektonik und Paläogeographie in Beziehung steht.

#### 4.1 Sedimentäre Kalkknollengefüge

Die statistische Vermessung von Knollenform und -regelung in Resedimenten war nur bei einer Probe (Abb. 26) möglich, dem bereits erwähnten Aufarbeitungshorizont im Steinbruch nördlich Dorlar (vgl. S. 9 und Abb. 10). Er läßt im Gegensatz zu den hangenden und liegenden Knollenkalken, deren größte Knollenschnitte F in ss



Resedimentgefüge in einem Knollenkalk. Die Strömung ist nach SE gerichtet

liegen, keine Schieferung erkennen. Die  $L_{ac}$ - und  $L_{bc}$ -Achsen liegen weder in der Schichtung noch in der Schieferung. F veranschaulicht die Dachziegellagerung der Knollen, die einen nach SE gerichteten Transport entspricht. Form und Größe der kantengerundeten Knollen variieren in der Längsrichtung (L), während die Kurzachsen (K) nahezu konstant bleiben. Sie wurden durch die ursprüngliche Mächtigkeit der aufbereiteten Kalklagen vorgezeichnet. Die übereinstimmende Knollenform im Resediment und den umgebenden Knollenkalken zeigt, daß der Transportweg kurz und die Abnutzung dementsprechend gering war.

### 4.2 Frühdiagenetische Kalkknollengefüge

Abb. 27 und 28 beziehen sich auf Kalkknollenschiefer, in denen die Knollen nicht schichtig verteilt sind. Die Schieferung ist in beiden Fällen am Entnahmepunkt nur schwach entwickelt. Die Knollenlangachsen des ac-Schnittes sind breit gestreut, die Maxima liegen jedoch nahezu auf dem Schichtungsgroßkreis, während in der Schichtebene die Langachsenrichtungen statistisch gleichmäßig verteilt sind. F liegt

DEG

66



Gefüge eines Kalkknollenschiefers. Schieferung ist kaum entwickelt. F<br/> schwankt um s<br/>s, eine $\rm L_{ab}$ -Achsenregelung ist nur angedeutet.



Gefüge eines Kalkknollenschiefers mit nicht schichtig verteilten Knollen. Schieferung ist kaum entwickelt. Lab-Achsen bleiben ungeregelt, Lac- und Lbe-Achsen pendeln um ss.

**DFG** 

somit annähernd in der Schichtung. Die durchschnittliche Knollengestalt stellt, wie sich aus den Punktdiagrammen ergibt, angenähert ein abgeflachtes Ellipsoid dar, dessen mittleres Achsenverhältnis im ab-Schnitt > ac-Schnitt > bc-Schnitt ist.

Demgegenüber sind in den Kalkknollenschiefern der Abb. 29 die L<sub>ab</sub>-Achsen der ebenfalls nicht schichtig verteilten Knollen deutlich in a und die L<sub>ac</sub>-Achsen schwach in die Schieferungsebene eingeregelt. Die L<sub>ab</sub>-Achsen sind auch hier, wie in den be-



Kalkknollenschiefer mit geregelten  $L_{ab}$ -Achsen und schwach in  $s_1$  rotierten  $L_{ac}$ -Achsen. Die Schieferung ist kaum entwickelt.

reits besprochenen Proben (Abb. 27, 28) breit gestreut. Die Lage der Wasserwaagen in den Knollen deckt sich mit der Lage der Lac-Achsen, so daß die Knollen offenbar entsprechend rotiert sind (Abb. 30). Im ab-Schnitt sind Kalkknollengefüge gemeinhin nur bei fehlender Schieferung ungeregelt. Mit wachsender Schieferungsintensität regeln sich die Knollenlangachsen zunehmend in die δ-Achsen ein. Im vorliegenden Falle steht das NW-SE-gerichtete Maximum der Lab-Achsen nahezu senkrecht auf der δ-Richtung. Es muß also bereits frühzeitig vorgezeichnet worden sein, sei es sedimentär auf Grund der paläogeographischen Konfiguration, sei es durch gerichtete früdiagenetische Lösungsdeformation. So könnte etwa durch Strömungen ein Sedimentgefüge mit bevorzugter Wegsamkeit entstehen, das ein gerichtetes Wachstum der Kalkknollen zur Folge hätte. In dieser Hinsicht ist bemerkenswert, daß die Lab-Achsen teilweise mit den von Plessmann (1962) in Oberdevonsandsteinen ermittelten, ungefähr N-S gerichteten Strömungen übereinstimmen (Iserlohn-Hohenlimburg, Attendorn-Elsper-Doppelmulde). Aber auch Setzungen und Gleitungen des Sediments könnten Risse und damit Richtungen bevorzugter Migration erzeugen. Schließlich muß man an eine frühe Anlage tektonischer Richtungen (Q- und D-Klüfte) sowie an das Biegungsfließen zu Beginn der Faltung denken.

Letzteres ist allerdings unwahrscheinlich, da die L<sub>ab</sub>-Achsen selbst in steil gestellten und überkippten Faltenflügeln fast immer ungeregelt bleiben.

Das Gefüge lagenweise geordneter Kalkknollenschiefer zeigt Abb. 31. Schieferung ist im engeren Aufschlußbereich kaum entwickelt. Die  $L_{ae^-}$  und  $L_{be}$ -Achsen liegen im Unterschied zu den vorher besprochenen Proben streng in der Schichtung und streuen nur wenig. Die breit gestreuten  $L_{ab}$ -Achsen weisen lediglich in NE-SW-







Gefüge eines Kalkknollenschiefers mit lagig angeordneten Knollen. F liegt in ss.

DFG

P

UB

68

Richtung eine schwache Häufung auf. Die Knollengestalt ähnelt der in den zuvor beschriebenen Proben, ist aber gleichförmiger ausgebildet, wie die geringe Streubreite der K/L-Werte in den Punktdiagrammen verdeutlicht.

#### 4.3 Spätdiagenetische Kalkknollengefüge

## 4.31 Durch Drucksuturen gebildete Kalkknollengefüge

Kalkknollengefüge, die an schichtparallelen Drucksuturen (SEIBOLD, 1953) gebildet wurden, sind stets von jüngeren Vertikalklüften begleitet. Rein durch spätdiagenetische Lösungsvorgänge gebildete Knollengefüge kommen daher nicht vor.

Abb. 32 zeigt einen Knollenkalk, in dem die einzelnen Kalklagen ursprünglich zusammenhingen. Die Knollenbildung erfolgte vorwiegend durch schichtparallele Drucksuturen; die Vertikalklüftung ist von untergeordneter Bedeutung. Die Suturnähte sind durch Lösung erweitert und zeigen einen unregelmäßigen, welligen Verlauf. Dadurch wird einmal die charakteristische Zweigipfligkeit der  $L_{ao}$ - und  $L_{ab}$ -Achsen, zum anderen der gedrungene elliptische Querschnitt der Knollen im ab-Schnitt erzeugt. Die NNW-SSE-Richtung der  $L_{ab}$ -Achsen ist eine Folge der Querklüftung. Die Achsenverteilung um das Maximum ist asymmetrisch und bevorzugt Richtungen in a.

#### 4.32 Tektonische Kalkknollengefüge

Bei tektonisch gebildeten Kalkknollen sind die durch Diagonal- und Querklüftung entstandenen Gefüge von den durch Schieferung gebildeten zu unterscheiden. In beiden Fällen sind fast immer schichtparallele Drucksuturen und Boudinage an der Knollenbildung beteiligt.



Gefüge eines spätdiagenetisch durch Drucksuturen gebildeten Knollenkalks. Charakteristisch sind die zweigipfligen Lae- und Lbe-Achsenmaxima.

DFG

70



Knollenkalk, entstanden durch die Zerklüftung (Q- und D-Klüfte) geringmächtiger Kalklagen.  $L_{\rm ac}$ - und  $L_{\rm bc}$ -Achsen liegen in ss.



Knollenkalk. entstanden durch Zerklüftung zusammenhängender Kalkbänke. Die  $L_{ab}$ -Achsen sind asymmetrisch verteilt, da D-Klüftung bevorzugt. Die Lage der  $L_{ac}$ - und  $L_{bc}$ -Achsen wird von der Klüftung beeinflußt (vgl. Abb. 14, 35).

DFG

a) Knollenkalke, die durch Querklüftung entstanden, sind durch  $120^{\circ}-130^{\circ}$  gerichtete L<sub>ab</sub>-Maxima ausgezeichnet. Die L<sub>ab</sub>-Werte können jedoch in den einzelnen Proben beträchtlich streuen, so daß die Maxima nur angedeutet sind. Abb. 33 und 34 stellen Gefüge von Kalkknollen dar, die bei der Zerklüftung geringmächtiger Kalkbänke (etwa 0,5 cm) entstanden. Die Knollenquerschnitte sind hier rauten- bis trapezförmig und durch Lösung kantengerundet. Die statistische Knollenform ist ein abgeflachtes 3achsiges Ellipsoid mit größtem Querschnitt in ab, dessen längste Achse NW-SE gerichtet ist. Kluftmessungen im Aufschlußbereich der Probe 12 bestätigen die richtungsmäßige Übereinstimmung von Klüftung und Lage der Knollenlangachsen (vgl. Abb. 34 und 35). Die asymmetrische Verteilung der L<sub>ab</sub>-Achsen ist durch N-S streichende Diagonalklüfte (Abb. 35) bedingt. Die verschiedenen Kluftrichtungen dürften gleichzeitig entstanden sein; die asymmetrische Langachsenverteilung wäre in diesem Fall bereits vor der Schieferung angelegt. Das vorwiegende NE-Abtauchen und das SW-tauchende Nebenmaximum der L<sub>be</sub>-Achsen entsprechen dem bevorzugten E-Einfallen der Klüftung.



Kluftdiagramm aus dem Aufschlußbereich der in Abb. 34 beschriebenen Probe. Auffällig ist die Übereinstimmung von Lab-Achsenrichtung und Kluftrichtung.

In mächtigeren Kalklagen (etwa 2–3 cm) sind die  $L_{ab}$ -Achsen ähnlich verteilt, die  $L_{ac}$ - und  $L_{bc}$ -Achsen weichen dagegen erheblich aus der Schichtebene ab (Abb. 36). Der Vertikalklüftung entsprechend stehen die Knollenlangachsen des ac- Schnittes fast senkrecht zur Schichtung, streuen aber wie im bc-Schnitt erheblich. Die Knollengestalt ist ein 3achsiges Ellipsoid, dessen längste Achse NW-SE gerichtet ist. Allgemein zeigt sich, daß in Gefügen, die durch Klüftung entstanden, die Regelung der  $L_{ac}$ - und  $L_{bc}$ -Achsen sowie die Knollenform von der Mächtigkeit der Kalklagen und der Intensität der Klüftung abhängen. Aus diesem Grunde ergeben Kalkknollengefüge, die bei der Durchschieferung ursprünglich zusammenhängender Kalklagen und -linsen entstanden nur dann vergleichbare Gefügebilder, wenn man Schichtfolgen mit Kalkbänken gleichbleibender Mächtigkeit untersucht.

72



Knollenkalk, entstanden durch Zerklüftung mächtiger Kalklagen (2–3 cm). Bezeichnend ist die Lage der Lac-, Lbe-Achsen und F.



Kalkknollenschiefer, entstanden durch Schieferung geringmächtiger Kalklagen. Die Lab-Achsen folgen der  $\delta$ -Richtung, die Lac- und Lbe-Achsen liegen in ss.



Kalkknollenschiefer, entstanden durch Schieferung geringmächtiger Kalklagen. Die Schieferung ist intensiver als in Abb. 37. Das Nebenmaximum zeigt beginnende Einregelung der Lac-Achsen in s<sub>1</sub>.



Kalkknollenschiefer, entstanden durch intensive Schieferung geringmächtiger Kalklagen. Die  $L_{ac}$ -Achsen lenken in die s<sub>1</sub>-Ebene ein (vgl. Abb. 20).

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg UB | Frankfurt am Main

73

DFG

b) Abb. 37, 38 und 39 zeigen Gefügebilder mit zunehmender Schieferungsintensität. Auffällig ist die schon bei mäßiger Schieferung auftretende scharfe Einregelung der  $L_{ab}$ -Achsen in die  $\delta$ -Achsen (Abb. 37). Während die  $L_{bc}$ -Achsen kaum aus der Schichtebene abweichen, lenken die  $L_{ac}$ -Achsen mit wachsender Schieferungsintensität in die Schieferungsebene ein, d. h. F verlagert sich aus der Schichtebene in die Schieferungsebene. Das Gefüge in Abb. 38 zeigt bei mäßiger Schieferung lediglich eine Teilregelung (Nebenmaximum) der  $L_{ac}$ -Achsen, von der bevorzugt die kleineren Knollen betroffen wurden. Bei intensiver Schieferung (Abb. 39) liegt F fast in der Schieferungsebene. Da Geopetalgefüge fehlen, ist die Entscheidung schwierig, ob der Achsenverlagerung Rotation oder gerichtete Lösung zu Grunde liegt. Allgemein sind die Knollenquerschnitte im ac-Schnitt rauten- bis trapezförmig, im bc-Schnitt dagegen sind sie länglich bis elliptisch.

Abb. 40 verdeutlicht das Gefüge eines Flaserkalkes mit spitzem Winkel ss/s<sub>1</sub>. Hieraus resultiert das breitgestreute und senkrecht zur  $\delta$ -Richtung liegende L<sub>ab</sub>-Maximum; die L<sub>ac</sub>- und L<sub>be</sub>-Achsenpole gruppieren sich um die  $\delta$ -Achse. F liegt statistisch zwischen ss und s<sub>1</sub>, wobei die Abweichungen aus der Schieferungsebene auf den unregelmäßigen Verlauf der s<sub>1</sub>-Flächen in Kalken zurückzuführen sind.

In Gefügen, deren Knollen erst bei der Durchschieferung entstanden, entspricht die Knollengestalt einem 3achsigen Ellipsoid, dessen längste Achse schieferungsparallel verläuft. Ihre Lage innerhalb der s<sub>1</sub>-Fläche hängt vom Winkel ss/s<sub>1</sub> ab. Ist der Winkel spitz, liegt das L<sub>ab</sub>-Achsenazimut in a und geht mit zunehmend stumpfem Winkel in die  $\delta$ -Achsenrichtung über.



Flaserkalkgefüge. F liegt in s<sub>1</sub>. Bezeichnend ist die Regelung der L<sub>ab</sub>-Achsen bei spitzem Winkel ss/s<sub>1</sub> (vgl. Abb. 24).

UB

74

75



Durch Schieferung überprägtes Kalkknollengefüge in einem überkippten Nordflügel.  $s_1 \pm // ss$  (vgl. Abb. 13). Die Lab-Achsen bleiben ungeregelt. F liegt in ss.



Durch Schieferung überprägtes Kalkknollenschiefergefüge. Die Schieferung ist schwach. Die Lab-Achsen sind asymmetrisch verteilt, die Lae- und Lbe-Achsen behalten ihre Lage in ss annähernd bei.



DFG

76

#### 4.4 Überprägte Kalkknollengefüge

Im vorigen Abschnitt wurden die Gefügemerkmale der spezifischen Bildungsvorgänge dargestellt. Die folgenden Ausführungen dienen der Analyse solcher Kalkknollengesteine, in denen die Knollenbildung bereits vor der Schieferung abgeschlossen war und diese lediglich ein vorhandenes Gefüge überprägte.

Abb. 41 stellt ein frühdiagenetisch gebildetes Kalkknollengefüge in einem überkippten Nordflügel mit  $\pm$  schichtungsparalleler Schieferungsebene dar (vgl. Abb. 13); in ihr liegt auch F. Die L<sub>ab</sub>-Achsen sind nur schwach in a geregelt. Die wellig verlaufende Schnittlinie s<sub>1</sub>/bc bedingt die angedeutete Zweigipflichkeit des L<sub>be</sub>-Maximums (vgl. auch Abb. 32, wo Zweigipfligkeit die Folge schichtparalleler Drucksuturen ist).

Abb. 42 bezieht sich auf einen frühdiagenetisch gebildeten Knollenkalk mit schichtig geordneten Knollen und deutlicher Schieferung. Die Knollengestalt ist ein 3achsiges Ellipsoid, dessen längste Achse in der Schichtung liegt und NNE-SSW gerichtet ist. Die L<sub>ab</sub>-Achsen verteilen sich asymmetrisch um diese Richtung mit einem deutlichen Übergewicht nach a, die L<sub>ac</sub>- und L<sub>be</sub>-Achsen bleiben ungeregelt. Ähnliche Regelung der Knollenlangachsen im ab-Schnitt zeigt das polygen (vgl. S. 14) gebildete, geschieferte Kalkknollengefüge der Abb. 43. Auch hier bleiben die L<sub>ae</sub>- und L<sub>be</sub>-Achsen ungeregelt. Den dünnen Kalklagen entsprechend herrschen längliche Knollenformen vor.

Mit wachsender Schieferungsintensität (Abb. 44) drehen die  $L_{ab}$ -Achsen zunehmend in die  $\delta$ -Achsenrichtung, doch bleibt die asymmetrische  $L_{ab}$ -Achsenverteilung noch erhalten. Auch im ac- und bc-Schnitt deutet sich trotz breitgestreuter Achsenwerte eine Regelung in die Schieferungsebene an. Fast vollständige Einregelung der



Durch Schieferung überprägtes polygenes Kalkknollengefüge. Die Schieferung ist schwach entwickelt. Die L<sub>ab</sub>-Achsen sind asymmetrisch verteilt. Eine Regelung der L<sub>ae</sub>- und L<sub>be</sub>-Achsen in s<sub>1</sub> ist nur angedeutet (vgl. Abb. 12).

Knollenlangachsen in die Schieferungsebene findet schließlich bei intensiver Durchschieferung statt (Abb. 45). Ältere knollenbildende Vorgänge werden dann vollständig verwischt. Die Verteilung der Knollenlangachsen in einem intensiv geschieferten, frühdiagenetisch entstandenen Kalkknollenschiefer ist in Abb. 46 dargestellt. Die Vermessung konnte hier wegen der vorzüglichen Herauswitterung der



Durch Schieferung überprägtes Kalkknollengefüge bei gut entwickelter Schieferung. Das Lab-Achsenmaximum liegt in der  $\delta$ -Richtung. Die Lae-Achsen lenken in die s<sub>1</sub>-Ebene ein. Die Ursache für die breite Streuung der Lae- und Lbe-Achsen dürfte in polygener Entstehung des Kalkknollengefüges liegen.



Vollständig durch Schieferung überprägtes Kalkknollengefüge. F liegt  $\pm$  in s<sub>1</sub>.



Frankfurt am Main

einzelnen Knollen im Aufschluß ausgeführt werden. Auf diesen Gefügetyp, der in der tektonisch stark beanspruchten Lahn-Dill-Mulde verständlicherweise vorherrscht, gründete Born (1925) seine Deutung der Knollenkalkbildung.

Eine Überprägung ursprünglich ungeregelter Achsen sollte immer zu einem symmetrischen Verteilungsbild führen. Die häufig deutliche asymmetrische Achsenverteilung in geschieferten Gefügen zeigt daher, daß mehrere Regelungsvorgänge einander überlagerten, zumeist derart, daß eine ältere Ausrichtung der Knollen vom Regelungsprozeß der Schieferung nur allmählich erfaßt wurde. Eine asymmetrische Achsenverteilung läßt daher Rückschlüsse auf eine vor der Überprägung vorhandene Regelung zu. In den untersuchten Beispielen (Abb. 42, 43, 44) geht die bevorzugte a-Richtung auf eine frühdiagenetisch oder teilweise durch Vertikalklüfte angelegte Lab-Achsenrichtung zurück.

Aufschluß über den Vorgang der Knollenregelung geben auch die in den Knollen erhaltenen Geopetalgefüge. Oben (Abb. 29, 30) stellten wir bereits fest, daß in einem schwach geschieferten Kalkknollenschiefer eine Rotation der Knollen aus der Schichtung um etwa 10° in Richtung der Schieferung eingetreten war. Das ist aber nicht die Regel. Normalerweise behalten selbst in extrem durchschieferten Gefügen die fossilen Wasserwaagen ihre Lage in der Schichtung bei. Die Regelung vollzog sich also meist ohne Rotation der Knollen. Das ungeregelte Interngefüge der Knollen und die darin erhaltenen, nicht deformierten Fossilien zeigen, daß die Formveränderung und Regelung der Kalkknollen eine Folge gerichteter Lösungsvorgänge sind. Nur bei extremer Schieferung wird auch das Interngefüge der Knollen mechanisch deformiert.

## 4.5 Regionale Verteilung der Achsengefüge in Kalkknollengesteinen

In der Übersichtskarte (Abb. 47) sind die Sammeldiagramme aus 33 Aufschlüssen unrotiert in ihrer natürlichen Lage dargestellt. Eingetragen wurden die  $L_{ab}$ -Achsenrichtung, die Fläche des größten Knollenschnittes, die durchschnittliche Lage der



Vollständig von der Schieferung überprägtes Kalkknollengefüge. Die Knollenlangachsen wurden im Aufschluß eingemessen, ihre Lage stimmt gut mit der  $\delta$ -Richtung überein.

Schichtungs- und Schieferungspole, sowie die daraus ermittelte  $\delta$ -Achse. Der Grad der Übereinstimmung von L<sub>ab</sub>- und  $\delta$ -Achsenrichtung bzw. von F und Schieferungsebene gibt die Intensität der Regelung wieder.

Im Untersuchungsgebiet können nach dem Achsenverhalten mehrere Bereiche ausgeschieden werden:

## a) Attendorn-Elsper-Doppelmulde

Die Knollen- und  $\delta$ -Achsen weisen im ganzen Gebiet einheitliche Streich- und Abtauchrichtungen auf. Im intensiv geschieferten und gefalteten SW-Teil der Mulde sind die L<sub>ab</sub>-Achsen annähernd parallel den  $\delta$ -Achsen eingeregelt. Entsprechend liegt auch F fast in der Schieferungsebene. Im tektonisch schwächer beanspruchten NE-Teil der Mulde behalten dagegen die Knollen ihre schichtungsparallele Lage im ac- und bc-Schnitt bei. Deutlich zu erkennen ist das gemeinsame Abtauchen der  $\delta$ -Achsen nach Westen, das von dem im übrigen Untersuchungsgebiet bevorzugten östlichen Achsenfallen abweicht. Das Azimut der  $\delta$ -Achsen schwankt um die 55°-Richtung, das der L<sub>ab</sub>-Achsen zwischen 35° und 55°. Die trotz intensiver Schieferung quer zu der  $\delta$ -Achse liegenden L<sub>ab</sub>-Achsen im Sammeldiagramm 29 sind die Folge des spitzen Winkels ss/s<sub>1</sub>. Die Richtung der L<sub>ab</sub>-Achsen ist durchweg über die  $\delta$ -Achse hinaus zum Schichtfallen hin verschoben; erstere tauchen mithin etwas steiler ab.

Die bevorzugte Nordrichtung der L<sub>ab</sub>-Achsen gegenüber dem  $\delta$ -Achsenazimut in den frühdiagenetischen (Proben 32, 33) sowie in polygenen (Probe 27) Kalkknollengesteinen stimmt annähernd mit den Strömungsrichtungen PLESSMANN's (1962) überein (s. S. 17). Dies zeigt im Verein mit der asymmetrischen L<sub>ab</sub>-Achsenverteilung, daß ein älteres, möglicherweise sedimentär vorgezeichnetes Gefüge von der Schieferung überprägt wurde.

## b) Nordrand und Ostabfall des ostsauerländer Hauptsattels

Hier liegen Proben sowohl aus flachen Südflügeln als auch aus steilen bis überkippten Nordflügeln vor. Fast überall stimmt das Maximum der  $L_{ab}$ -Achsen mit dem der  $\delta$ -Achse überein. Lokal treten jedoch Abweichungen bis zu  $15^{\circ}$  auf, die sich durch den unregelmäßigen Verlauf der Schieferungsflächen in den kompetenten Kalklagen erklären. Das Azimut der  $L_{ab}$ - und  $\delta$ -Achsen schwankt zwischen Schichtungsund Schieferungsebene.

c) Warsteiner Sattel, Nehdener Sattel, Oberdevon am Effenberg (Bl. Balve) und SE-Flanke des Remscheid-Altenaer Sattels

Die Proben entstammen im wesentlichen den Oberdevonaufbrüchen, die den Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges begleiten. Das Azimut der  $L_{ab}$ -Achsen liegt hier zwischen 85° und 100° und stimmt mit der  $\delta$ -Richtung gut überein.  $L_{ab}$ und  $\delta$ -Achsen tauchen meist gemeinsam nach E, seltener nach W ab; nur in Einzelfällen weisen sie entgegengesetzte Neigung auf. Abweichend verhalten sich die  $L_{ab}$ -Achsen im Aufschluß 12. Ihre Richtung wird durch die Q- und D-Klüfte bedingt und folgt der Regelung im Gebiet von Hohenlimburg-Iserlohn.

#### d) Hohenlimburg-Iserlohn

Frankfurt am Main

ΠB

Die Schieferung ist hier undeutlich. Das Azimut der Lab-Achsen weicht, wie auch die Lage von F, in den kalkreichen Knollenkalken beträchtlich von der allgemeinen

7) 2 6

Streichrichtung im Rheinischen Schiefergebirge ab und schwankt zwischen 90° und 155°. Die  $L_{ab}$ -Achsen folgen also den Quer- und Diagonalklüften und bleiben von der Schieferung unbeeinflußt. Das fast senkrecht zur Schichtung gelagerte F (Aufschl. 6) beruht auf der Knollenbildung in mächtigeren Kalklagen infolge engständiger Klüftung. Dagegen liegt F der Kalkknollenschiefer in der Schichtung und bleibt i. allg. ungeregelt; eine NE-SW-Richtung ist in Aufschluß 5 angedeutet. Die letzten Aufschlüsse leiten schon in das Gebiet von Barmen-Elberfeld-Mettmann über.

#### e) Barmen-Elberfeld-Mettmann

Die Schieferung ist hier allg. gut entwickelt und die  $L_{ab}$ -Achsenrichtungen gleichen sich wieder der  $\delta$ -Richtung an. Ihr Azimut liegt zwischen 60° und 70°, das der  $L_{ab}$ -Achsen dagegen um 40°-45°. Deutlich tritt die bevorzugte Nordrichtung der  $L_{ab}$ -Achsen hervor. Die Regelung ähnelt stark derjenigen in der Attendorm-Elpser-Doppelmulde. Die  $L_{ab}$ -Achsen in ungeschieferten Kalkknollenschiefern sind etwa 125° gerichtet und entsprechen somit teilweise der Regelung im Gebiet Hohen-limburg-Iserlohn.

#### 4.6 Zusammenfassung

A. Sed im en tär gebildete Knollenkalke (Resedimente) zeigen Anlagerungsgefüge, die Rückschlüsse auf die Transportrichtung zulassen. Ein geröllmorphologischer und petrographischer Vergleich mit den hangenden und liegenden Kalkknollen gibt Hinweise auf Transportweite und Abnutzung bei der Aufarbeitung des Sediments.

B. Die L<sub>ab</sub>-Achsen frühdiagen etisch gebildeter Kalkknollengesteine sind selbst in steilgestellten Faltenflügeln ungeregelt geblieben. Bei nicht schichtiger Verteilung der Knollen streuen die L<sub>ac</sub>- und L<sub>bc</sub>-Achsen, dagegen liegen sie bei lagiger Anordnung streng in der Schichtebene. Die Faltung allein bewirkt also keine Regelung. Treten in ungeschieferten Kalkknollengefügen geregelte L<sub>ab</sub>-Achsen auf, so dürften sie auf Strömungen, Setzung oder früh angelegte tektonische Gefüge zurückzuführen sein, die eine bevorzugte Wegsamkeit von Lösungen im Sediment bedingten.

C. In spätdiagenetischen, durch Drucksuturen gebildeten Gefügen sind die  $L_{ac}$ - und  $L_{bc}$ -Achsenmaxima zweigipflig um die Schichtebene angeordnet. Charakteristisch ist ferner der gedrungen elliptische Knollenquerschnitt in ab. In Kalkknollengefügen, die durch Q- und D-Klüftung oder bei der Schieferung entstanden sind, ist die Lage von F und den Knollenlangachsen von der Mächtigkeit der zerklüfteten bzw. zerscherten Bänke, ferner von der Klüftungs- bzw. Schieferungsintensität sowie endlich vom Winkel ss/s<sub>1</sub> (BORN, 1925) abhängig. Die  $L_{ab}$ -Achsen folgen in geklüfteten Kalkknollengefügen der Q- und D-Klüftung.

In Gefügen dagegen, die bei der Schieferung entstanden, sind die L<sub>ab</sub>-Achsen streng in  $\delta$  geregelt. Bei spitzem Winkel ss/s<sub>1</sub> können die L<sub>ab</sub>-Achsen auch quer zur  $\delta$ -Richtung liegen; F liegt aber auch dann in der Schieferungsebene. Im Gegensatz zu den L<sub>ab</sub>-Achsen lenken die L<sub>ae</sub>- und L<sub>be</sub>-Achsen erst bei gesteigerter Schieferungsintensität in die Schieferungsebene ein.

#### Legende zu Abbildung 47:

Lage und Verteilung der Knollenlangachsen, des größten Knollenschnittes und der  $\delta$ -Achsen im Untersuchungsgebiet.

7) <u>(</u> (

80

Decheniana, Bd. 118, Hel

Weber, Abbildung 47



DFG

Decheniana, Bd. 118. Heft 1

A Constant of the service of the ser	Et Contraction of the second o
Faltenbau und Kalkknollengefüge	ALLE PER AULOE
am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges	A CARE LOPE
Zechstein Karbon Mitteldevon u.A.	Attended The Attended to Atten
San trades and a constant strate and the san Last Last T	



Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main Weber, Abbildung 4?









Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main





Wird ein vorhandenes Gefüge lediglich von der Schieferung überprägt, so bleibt die Neuregelung zunächst unvollkommen und die  $L_{ab}$ -Achsenverteilung um das Maximum ist asymmetrisch. Erst bei intensiver Durchschieferung greift die Einregelung in die  $\delta$ -Richtung vollständig durch. Weniger deutlich ist die asymmetrische Achsenverteilung überprägter Gefüge in ac- und im bc-Schnitt. Doch tritt auch in Kalkknollengefügen, die durch Q- und D-Klüftung entstanden, asymmetrische Achsenverteilung bei bevorzugter Ausbildung einer der Kluftrichtungen auf.

Regelung und Formänderung sind, wie die Lage fossiler Wasserwaagen, das Fehlen tektonischer Fossildeformation und das ungeregelte Interngefüge der Knollen zeigen, die Folge gerichteter Lösungsvorgänge. Eine Rotation der Knollen bildet die Ausnahme. Mechanische Deformation der Knollen tritt nur bei intensiver Schieferung auf.

Die  $L_{ab}$ -Achsen ordnen sich im Untersuchungsgebiet in manchen Fällen Richtungen unter, die teils quer, teils diagonal zum allg. Streichen liegen und paläogeographisch oder tektonisch bedingt sein mögen. Die Richtungen decken sich z. T. mit den von PLESSMANN (1962) ermittelten Strömungsrichtungen. In anderen Fällen folgen die  $L_{ab}$ -Achsen der  $\delta$ -Achsenrichtung; so herrscht in der Attendorn-Elpser-Doppelmulde die NE-Richtung, an der Nordflanke und am Ostende des Ostsauerländer Hauptsattels die ENE-Richtung und in den Oberdevonaufbrüchen am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges die E-W-Richtung vor.

#### LITERATURVERZEICHNIS

#### Ein ausführliches Verzeichnis der vor 1921 erschienenen Arbeiten ist in SCHINDEWQLF (1921) enthalten.

- Born, A.: Gefügestudien an Gesteinen des variskischen Gebirges. Neues Jb. Mineral., Abt. B, 52, S. 123–161, Stuttgart 1925.
- Breddin, H.: Die tektonische Deformation der Fossilien. Z. deutsch. geol. Ges., 106, S. 227 –305, Hannover 1954.
- Cloos, E.: Boudinage. Trans. Amer. Geophys. Un., 28, S. 625-632, Washington 1947.
- De Sitter, L. U.: Boudins and Parasitic Folds in Relation to Claevage and Folding. Geol. Minjb., 20, S. 277—286, 'S Gravenhage 1958.
- Ebert, A.: Übersicht über die Geologie des östlichen Sauerlandes. Geol. Jb., 72, S. 435—438, Hannover 1957.
- Falke, H.: Zur Entstehung oberdevonischer Knollen- und Flaserkalke. Geol. Rdsch., 37, S. 88–89, Stuttgart 1949.
- Gallwitz, H.: Stratigraphische und tektonische Untersuchungen an der Devon-Karbongrenze des Sauerlandes. Ib. preuß. geol. L.-A., 48, S. 487–527, Berlin 1927.
- Gründel, J. & Rösler, H. J.: Zur Entstehung der oberdevonischen Kalkknollengesteine Thüringens. – Geologie, 12, S. 1009–1038, Berlin 1963.
- Henke, W.: Untersuchung über die Faziesverhältnisse im Unter-, Mittel- und Oberdevon des nördlichen Sauerlandes. Z. deutsch. geol. Ges., 77, S. 246–250, Berlin 1926.
- Hildebrand, F.: Über die chemisch-physikalischen Bedingungen der Knollenkalkbildung. Z. deutsch. Geol. Ges., **80**, S. 308–342, Berlin 1929.
- Hoeppener, R.: Faltung und Klüftung im Nordteil des Rheinischen Schiefergebirges. Geol. Rdsch., 41, S. 128—144, Stuttgart 1953.
- Tektonik im Schiefergebirge. Geol. Rdsch., 44, S. 26-58, Stuttgart 1955.
- Zum Problem der Bruchbildung, Schieferung und Faltung. Geol. Rdsch., 45, S. 247–283, Stuttgart 1956.
- Hollmann, R.: Über Subsolution und die Knollenkalke des Calcaire Ammonitico Rosso Superiore im Monte Baldo (Malm: Norditalien). – Neues Jb. Geol. Paläontol. Mh., S. 163–179, Stuttgart 1962.

Decheniana Bd. 118, Heft 1

6

Hückel, B. & Jakobshagen, V.: Geopetale Sedimentgefüge im Hauptdolomit und ihre Bedeutung für die tektonische Analyse der nördlichen Kalkalpen. – Z. deutsch geol. Ges., 113, S. 305–310, Hannover 1962.

- Kegel, W.: Sedimentation und Tektonik in der Rheinischen Geosynklinale. Z. deutsch. geol. Ges., 99, S. 267–289, Hannover 1947.
- Korn, H.: Schichtung und Absolute Zeit. Neues Jb. Mineral., Abt. A, Beil. Bd. 74, S. 50– 188, Stuttgart 1938.
- Lucas, G.: Caractères petrographique de calcaires nouduleux à facies ammonitico rosso de la region méditerranéenne. C. R., 240, S. 1909—1911, Paris 1955.
- Caractère geochemique et mécanique du millieu gènerateur de calcaire nouduleux ammonitico rosso. — C. R., 240, S. 2000–2002, Paris 1955.

Mügge, O.: Über die Entstehung faseriger Minerale und ihre Aggregationsformen. — Neues Jb. Mineral., Abt. A, Beil. — Bd. 58, S. 303—348, Stuttgart 1928.

Müller, A. H.: Diagenetische Untersuchungen in der obersenonen Schreibkreide von Rügen. – Abh. Geol. Dienst, N. F., 228, 29 S., Berlin 1951.

- Pabst, A.: Pressure Shadows and the Maesurement of the Orientation of Minerals in Rocks. Amer. Mineralog., 16, S. 55–70, Visconsin 1931.
- Paeckelmann, W.: Über eine geologisch-tektonische Übersichtskarte des Rheinischen Schiefergebirges. – Z. deutsch. geol. Ges., 78, S. 8–51, Berlin 1927.
- Über Beziehungen zwischen Fazies und Tektonik im Devon des Sauerlandes. Z. deutsch. geol. Ges., 82, S. 590–598, Berlin 1930.
- Plessmann, W.: Über Strömungsmarken in Oberdevonsandsteinen des Sauerlandes. Geol. Jb., 79, S. 387–398, Hannover 1962.

 Turbidite in der rechtsrheinischen Geosynkline. – Aus: Developments in Sedimentology 3, Turbidities; von BOUMA, A. H. & BROUWER, A.; Amsterdam etc. 1964.

Potter, P. E. & Pettijohn, P.: Paleocurrents and Basin Analysis. - 296 S., Berlin 1963.

Ruchin, L. B.: Grundzüge der Lithologie. - 806 S., Berlin 1958.

S c h i n d e w o l f, O. H.: Beiträge zur Kenntnis der Kramenzelkalke und ihrer Entstehung. – Geol. Rdsch., 12, S. 20–35, Leipzig 1921.

- Nochmals zur Kramenzelkalkfrage. - Geol. Rdsch., 14, S. 151-154, Leipzig 1923.

- Einige Bemerkungen über die Entstehung der oberdevonischen Knollenkalke. Cbl. Mineral., Abt. B, S. 405–411, Stuttgart 1925.
- Schmidt, H.: Das Oberdevon-Kulmgebiet von Warstein und Belecke. Jb. preuß. geol. L.-A., 41, S. 225–338, Berlin 1920.
- Schwellen- und Beckenfazies im ostrheinischen Paläozoikum. Z. deutsch. geol. Ges., 77, S. 226 bis 234, Berlin 1925.
- Die bionomische Einteilung der fossilen Meeresböden. Fortschr. Geol. Paläont., 12, (38), 148 S., Berlin 1935.
- Schmidt, H. & Plessmann, W.: Sammlung geologischer Führer Sauerland. 151 S., Berlin 1961.
- Seibold, E.: Fiederspalten und Drucksuturen. Beispiele aus der helvetischen Kreide Vorarlberg. Neues Jb. Geol. Paläontol., Abh. 96, (3), S. 357–374, Stuttgart 1953.
- Kalkkonkretionen und karbonatisch gebundenes Magnesium. Geochim. et Cosmochim. Acta, 26, S. 899–909, Belfast 1962.
- V o i g t , E.: Frühdiagenetische Deformation der turonen Plänerkalke bei Halle/Westfalen als Folge einer Großgleitung unter besonderer Berücksichtigung des Phacoidproblems. — Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, 31, S. 146–257, Hamburg 1962.
- Wunderlich, Die Entstehung der Boudins und Parasitärfalten. Neues Jb. Geol. Paläont., Mh., S. 132-137, Stuttgart 1959.

#### Karten

I. Geologische Meßtischblätter mit Erläuterungen:

Menden (4512), Neheim (4513), Alme (4517), Madfeld (4518), Kettwig (4607), Velbert (4608), Hattingen (4609), Hagen (4610), Hohenlimburg (4611), Iserlohn (4612), Balve (4613), Arnsberg S (4614), Brilon (4617), Adorf (4618), Mettmann (4707), Elberfeld (4708), Barmen (4709), Endorf (4714), Attendorn (4813), Altenhundem (4814); – Herausgegeben von der Preuß. Geol. L.-A. Berlin.

DFG

82

Illies, H.: Über die erdgeschichtliche Bedeutung der Konkretionen. – Z. deutsch. geol. Ges., 101, S. 95–98, Hannover 1949.

Eversberg (4616); - Herausgegeben vom Geol. L.-A. Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1961.

II. Geologische Übersichtskarte des nördlichen Sauerlandes und des Bergischen Landes, 1 : 100 000. — A. Fuchs, herausgegeben von der Preuß. Geol. L.-A., Berlin 1928.

III. Geologische Übersichtskarte des Sauerlandes, 1:200 000. – Von P. KRONENBERG, A. PILGER, A. SCHERP und W. ZIEGLER; aus Fortschr. Geol. Rheinl. Westf., 3, Krefeld 1960.

#### AUFSCHLUSSVERZEICHNIS

Probe Nr.	Meßtisch- blatt	Lokalität	Rechts- u. Hochwert	Kalkknollengestein; Bildungsweise
		I. Knollenkalke der 1	Adorfstufe	and the second second
3	Barmen	Carnap, im Bach	R 82500 H 83500	Knollenkalk: Suturen untergeordnet Klüftung.
29	Endorf	Paßhöhe Straße Kobben- rode-Obermarpe, Stbr. am Feldweg n. N.	R 40000 H 74200	Flaserkalk.
		II. Knollenkalke de	s Nehden	
1	Mettmann	Hellenbrucher Mühle, Weg hinter Altenheim	R 87750 H 85800	Kalkknollenschiefer ; Stoffwanderung.
25	Adorf	Arolser Straße, Adorf	R 87500 H 92400	Kalkknollenschiefer; polygen.
		III. Knollenkalke der H	lembergstufe	
2	Elberfeld	August-Bebel-Str., Siedlung Unterer Dörren- berg, Elberfeld	R 79400 H 87100	Kalkknollenschiefer; Stoffwanderung.
4	Barmen	Sportplatz am Riescheid. Barmen	R 83350 H 84700	Kalkknollenschiefer; Stoffwanderung.
5	Hohenlimburg	Henkhausen, Dachsweg 1	R 99500 H 94000	Kalkknollenschiefer; Stoffwanderung.
6 7	Iserlohn	Straße Iserlohn-Duingsen. Stbr. hinter Whs. a. d. Araltankstelle	R 07000 H 96100	Knollenkalk; Q- und D-Klüfte, polygen.
8 9	Menden	Straßeneinschnitt der B 7 in Öse	R 15700 H 97100	Knollenkalk; Q- und D- Klüfte. Kalkknollenschiefer; Stoffwanderung.
10	Balve	Stbr. am Effenberg	R 27800 H 95600	Knollenkalk; polygen.
11	Balve	Bergrücken SW Melscheder Mühle	R 23750 H 90400	Knollenkalk; Schieferung.
12	Balve	Neue Str. Balve-Mellen, 500 m W Borketal	R 21750 H 88650	Knollenkalk; Q- und D-Klüfte.
13	Arnsberg S	SSW Wenigshausen am Feldweg	R 33900 H 86200	Kalkknollenschiefer; Stoffwanderung.
14 15	Meschede	Meschede Lagerstr.	R 49700 H 90900	Knollenkalke, Kalkknollen- schiefer; polygen.
16	Eversberg	Str. Nuttlar-Rüthen, km 0,7–1,2	R 60050 H 93400	Knollenkalk; überw. Schieferung, polygen.

83

Probe Nr.	Meßtisch- blatt	Lokalitär	Rechts- u. Hochwert	Kalkknollengestein; Bildungsweise
17 18	Rüthen	Stbr. Drewer	R 55500 H 06700	Knollenkalke; polygen. Flaserkalke.
19	Rüthen	Stbr. Kattensiepen	R 59300 H 03700	Knollenkalke; Suturen, Q- und D-Klüfte, Schieferung, Flaserkalke,
20 21	Rüthen	Stbr. Eulenspiegel	R 61400 H 04300	Knollenkalke; polygen. Flaserkalke.
22	Alme	Immental bei Nehden	R 76050 H 00400	Knollenkalke; polygen, Flaserkalke
23	Madfeld	Kl. Stbr. am NE-Hang des Burgberges	R 80150 H 98000	Knollenkalke; Stoffwanderung, polygen
24	Madfeld	Str. Bredelar-Padberg, in der Spitzkehre	R 84100 H 97200	Kalkknollenschiefer;
26	Adorf	Osthang des Heimberges bei Adorf	R 86800 H 91500	Knollenkalke;
27	Eslohe	Stbr. a. d. Straße Dorlar-Eslohe, km 19.7	R 46050 H 77200	Knollenkalke;
28	Eslohe	Stbr. a. d. Straße Dorlar-Eslohe, km 19.7	R 46050 H 77200	Aufarbeitungshorizont im Knollenkalk
30 31	Altenhundem	Trockenbrück, Stbr. der Straßenmeisterei	R 31900 H 68700	Flaserkalk. Knollenkalk; Schieferung.
32 33	Attendorn	Grevenbrück. Pfefferburg	R 30750 H 68100	Knollenkalke ; polygen.

Anschrift des Verfassers: Dr. Peter Weber, 5912 Hilchenbach, Heinsbergerstr. 44.

84

DFG

# **ZOBODAT - www.zobodat.at**

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Decheniana

Jahr/Year: 1965-1967

Band/Volume: 118

Autor(en)/Author(s): Weber Peter

Artikel/Article: <u>Bildung und Regelung von Kalkknollengefügen - Untersuchungen im</u> <u>Oberdevon des Rheinischen Schiefergebirges 55-84</u>