

H E L M U T S T A P F



Baumeister

KALK

Karrenbildungen

Höhlenbildungen

Korallen

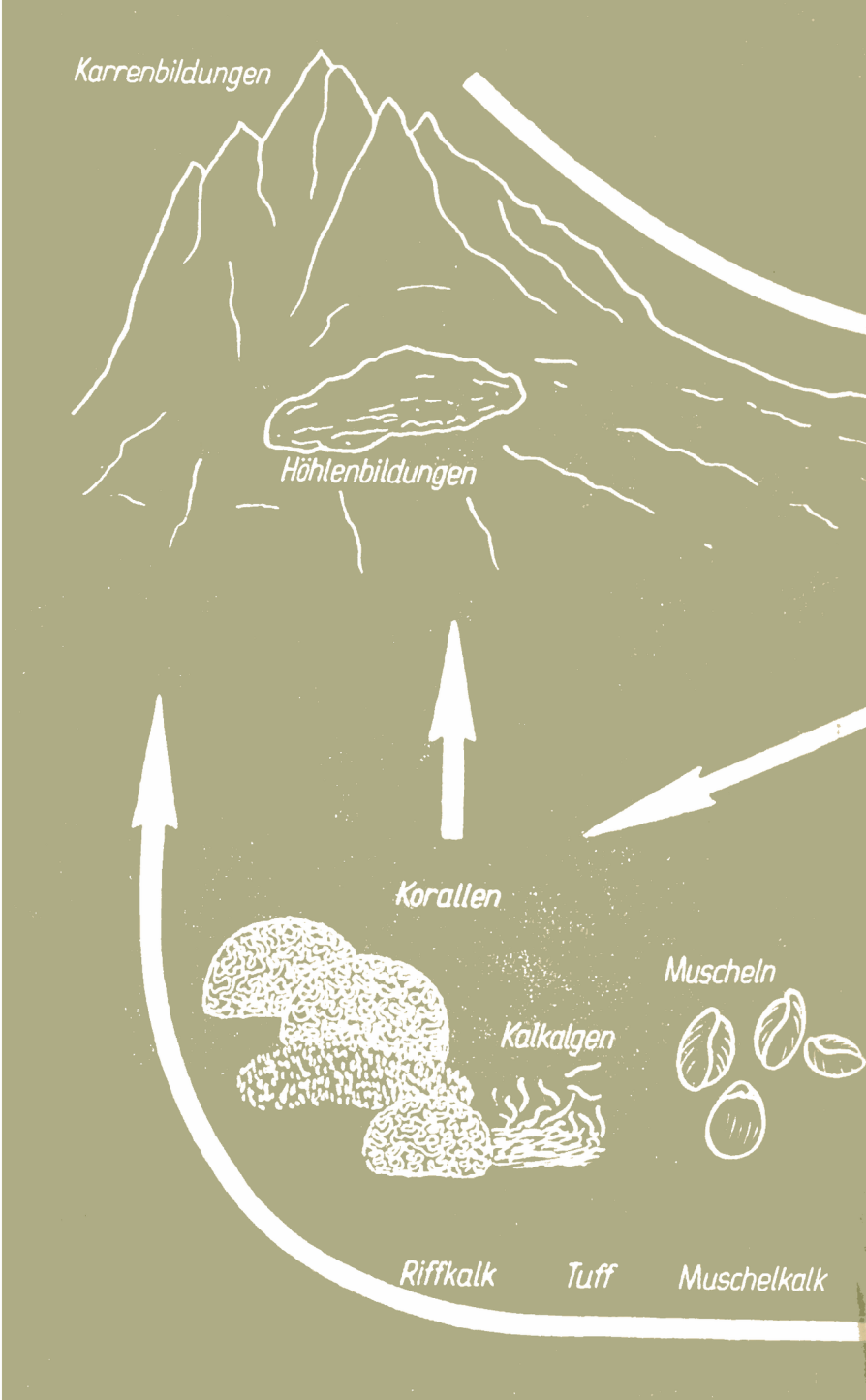
Kalkalgen

Muscheln

Riffkalk

Tuff

Muschelkalk



Natürlicher Kalkkreislauf

Kalkhaltiges Wasser



Meer

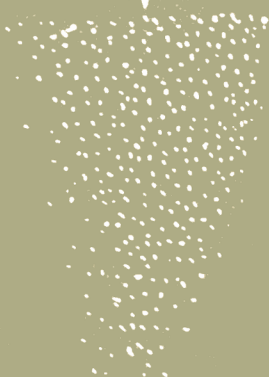


Seelilien

Ammoniten



bilden



Globigerinen
im Plankton

Krinoidenkalk

Ammonitenkalk

Globigerinen-
schlamm

Kreidefelsen



HELMUT STAPF
BAUMEISTER KALK

HELMUT STAPF

Baumeister Kalk

*Mit 40 Abbildungen auf Tafeln
und 30 technischen Zeichnungen*

JUGENDBUCHVERLAG ERNST WUNDERLICH

Lizenz Nummer 359-425/27/53

1.-10. Tausend

Alle Rechte der Übersetzung, Dramatisierung, Verfilmung,
Rundfunk- und Fernsehbearbeitung vorbehalten

Satz und Druck in Borgis Mediäval-Antiqua

IV/2/14 - VEB Werkdruck Gräfenhainichen - 308

Druck der Tafeln Hallberg & Büchting, Leipzig

INHALT

	Seite
<i>Im Reich der Mineralien</i>	
Wie die Gesteine zerstört werden	7
Hartes Wasser	11
In der Wunderwelt der Tropfsteinhöhlen . . .	15
Von Sinterterrassen und Sprudelstein	20
<i>Im Pflanzen- und Tierreich</i>	
Pflanzen bauen mit	23
Die kleinsten Baumeister der Welt	24
Korallenriffe der Südsee und unserer Heimat .	32
<i>Kalk und Marmor</i>	
Mineralische und organogene Kalkbildungen .	43
Was uns die Gesteine erzählen	47
Ein Fenster im Gesteinsmantel der Erde . . .	56
Im Tiefbau des Alvenslebenbruches	62
Die Wand wird gesprengt	66
<i>Im Kalkwerk und in der Zementfabrik</i>	
Im Brecher und in der Sortierung	70
Im Kalkwerk	74
In einer modernen Schachtofenanlage mit Sack- kalkfabrik	78
Kalkringöfen für Großbetriebe	82
Im Zementwerk	88
<i>Auf der Baustelle</i>	
Kalk als Luftmörtel.	97
Gipsmörtel und Anhydritbinder	104
Wassermörtel und Beton	107
Kalk als Düngemittel in der Landwirtschaft .	110
Kalk überall	114
<i>Stichwortverzeichnis</i>	116

IM REICH DER MINERALIEN

Wie die Gesteine zerstört werden

„Felsenfest“ nennt man ein Vertrauen, das durch nichts erschüttert werden kann, und ein „steinernes Herz“ läßt sich nicht erweichen. Die Begriffe „Stein“ und „Fels“ sind in Redewendungen und Sprichwörtern Symbole des Unzerstörbaren und Festen geworden. Aber auch die härtesten Gesteine sind nicht unvergänglich. „Steter Tropfen höhlt den Stein“, und überall „verwittern“ Gesteine.

Woran liegt das?

Häufig sind Gesteine nicht einheitlich aufgebaut. Sie sind Gemische verschiedener Stoffe. Das zeigt zum Beispiel der Granit (Bild 5).

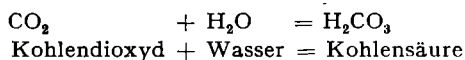
An regennassen Granitplatten unserer Bürgersteige erkennen wir besonders deutlich seine drei Bestandteile. Wir sehen einzelne große Feldspatkristalle, die grünlich oder rötlich gefärbt sind. Sie sind in eine durchscheinende, milchige Grundmasse aus fettglänzenden Quarzkristallen eingebettet. Die Einzelkristalle sind meist untereinander verwachsen. Dazwischen glitzern silberhelle oder schwarze Glimmerblättchen. Bei starker Sonnenbestrahlung wird nun schon die Mischung aus dunklen und hellen Bestandteilen dem Gestein zum Verhängnis. Der schwarze Glimmer des Granits nimmt die Sonnenwärme viel rascher auf als die hellen Bestandteile. Beim Nachlassen der Bestrahlung kühlen sich die dunklen Teile auch wieder schneller ab und ziehen sich dabei kräftiger zusammen. So entstehen Spannungen im Gestein. Das Gefüge wird gelockert, und es bilden sich Haarrisse. In diese Risse dringen Regen- und Schmelzwässer ein. Gefriert das Wasser, so dehnt es sich aus, erweitert die Risse und zersprengt dann schließlich das Gestein. Aus den Granitfelsen entstehen im Laufe

langer Zeiten Felsenmeere, und diese zerfallen allmählich zu feinem Gesteinsgrus, der sich als lockerer Schutt am Fuß der Felsen ansammelt. Er ist das Ergebnis der physikalischen Verwitterung der Gesteine.

Hand in Hand damit geht die chemische Verwitterung. Aus den Feldspatkristallen bilden sich wasserlösliche Verbindungen von Natrium, Kalium und Kalzium. Sie werden durch das Wasser fortgeschafft, während das Aluminium als Tonerde, eine unlösliche Aluminiumverbindung, zurückbleibt. Die gelösten Kalziumverbindungen der Feldspatkristalle aber gelangen in die Grund- und Oberflächenwässer; aus ihnen kann Kalk entstehen.

Der Kalkstein besteht im wesentlichen aus Kalziumkarbonat. Das ist eine Verbindung des Leichtmetalls Kalzium mit Kohlensäure, chemisch gesprochen, das Kalziumsalz der Kohlensäure. Kalziumkarbonat setzt sich zusammen aus Kalzium (Ca), Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O). Es hat die chemische Formel CaCO_3 .

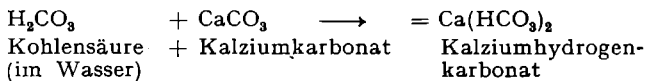
Kalziumkarbonat ist in reinem Wasser nahezu unlöslich, aber völlig rein kommt Wasser in der Natur nicht vor. Schon das Wasser der Wolken nimmt auf dem Weg zur Erde aus der Luft Kohlendioxyd auf. Das Gas löst sich im Wasser und bildet mit diesem Kohlensäure:



Das Wasser wird kohlensäurehaltig.

Die Grundwässer aber durchströmen Schichten des Erdbodens, in denen Überreste von Pflanzen und Tieren verwesen. Bei der Verwesung bildet sich viel Kohlendioxyd, das von den Grundwässern aufgenommen wird und sie noch stärker kohlensäurehaltig macht als die Niederschlagswässer. Wenn das nun mit Kohlensäure beladene Wasser an den unlöslichen Kalkstein herangeführt wird, entsteht daraus eine neue chemische Verbindung: Kalziumhydrogenkarbonat. Diese Umwandlung können wir uns

leicht durch eine Gleichung veranschaulichen:



Dieses Kalziumhydrogenkarbonat aber ist in Wasser löslich. Das Wasser nimmt es auf und trägt es davon. Das ist chemische Verwitterung, und ganze Kalkgebirge werden auf diese Weise zerstört.

Das Ergebnis der physikalischen Verwitterung bleibt stofflich unverändert am Ort; es sind die Schutthalden am Fuße der Felsen. Das Ergebnis der chemischen Verwitterung ist eine Stoffumwandlung. Es entstehen neue Stoffe mit neuen Eigenschaften. Aus unlöslichem Kalziumkarbonat wird lösliches Kalziumhydrogenkarbonat, das vom Wasser gelöst und fortgeschwemmt wird.

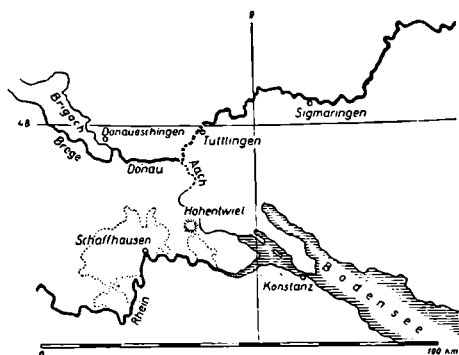
Die lösenden Wässer bilden in den Schichtenlagern des Kalksteins Risse und Spalten, die mit dem Fortschreiten der Verwitterung ständig erweitert und vertieft werden. Stehen wir zum Beispiel auf dem Kalkplateau des Steineren Meeres südlich von Berchtesgaden hoch über dem Königssee, so sehen wir vor uns wild zerklüftete Gesteinsmassen. Zwischen tief eingegrabenen Furchen erheben sich messerscharfe Grate, und das Ganze gleicht einem wogenden, versteinerten Meere. Karrenfelder nennt man derartige Bildungen. Sie sind charakteristisch für den Karst. Weite Gebiete Jugoslawiens sind typische Karstlandschaften. Da das Wasser in den Furchen und Rissen sehr rasch versickert, ist das Karstland eine trostlose Öde. Nur in muldenförmigen Vertiefungen, die durch das Zusammenbrechen unterirdischer Höhlen entstanden sind, hat sich Erde gesammelt. Nur dort können Pflanzen gedeihen (Bild 6).

Wo der Kalk steile Gebirgsformen bildet, wie zum Beispiel in den Nördlichen Kalkalpen, haben die Gebirgswässer ein besonders starkes Gefälle, und entsprechend groß ist ihre Wirkung. Die Risse und Spalten werden zu gewaltigen

Schluchten vertieft. Bekannt sind die Partnach- und die Höllentalklamm, in denen tosende Wassermassen vom Zugspitzmassiv herabschäumen. Zu der lösenden Wirkung der Sturzbäche gesellt sich dann noch häufig die mahlende, mechanische Schleifwirkung mitgeführter Steine. Sie werden in Tobeln und Strudeln wie Mühlsteine gedreht und erweitern die Klüfte. Die Klammbildungen sind großartige Beispiele der gesteinszerstörenden Wirkung fließender Gebirgswässer (Bild 7).

Im Karst versickern oft große Flußläufe vollständig. Sie durchheilen kilometerlange unterirdische Spaltensysteme, weiten diese allmählich aus und treten an andern Stellen als breite Ströme wieder zutage. Lange blieb uns der Zusammenhang dieser Flußsysteme unbekannt, bis man auf den Gedanken kam, dem versickernden Wasser Anilinfarben zuzusetzen. Die Farben wurden bald darauf an andern Orten in Quellflüssen wieder nachgewiesen. Damit war der unterirdische Zusammenhang geklärt. Bekannt ist ein Karstfluß, der unter dem Namen „Poik“ zunächst oberirdisch dahinfließt, bis seine Wassermassen in der Adelsberger Grotte in die Tiefe sinken. Als „Unz“ treten sie aus den Spaltensystemen wieder zutage und versickern nach einem oberirdischen Lauf von zehn Kilometern abermals. Dann treten sie plötzlich als schiffbarer Fluß aus den Felsen und bilden als „Laibach“ einen rechtsseitigen Nebenfluß der Save.

Auch aus dem Quellgebiet der Donau ist uns die Bildung unterirdischer Flußläufe bekannt. Da entspringen an den Hängen des Schwarzwaldes die Brigach und Brege. Als muntere Gebirgsbäche schäumen sie durch vielgewundene Täler bergab und vereinigen sich bei Donaueschingen zur Donau. Doch nicht lange fließen ihre Wässer nach Osten. Schon oberhalb Tuttlingen versinken sie in Spalten des Kalkgebirges. Nur in regenreichen Zeiten fließt ein Teil des Wassers oberirdisch weiter. Die Hauptmenge hingegen strömt unterirdisch zur Aach ab, die in einem großen



Donau-Versickerung oberhalb Tuttlingen

Quelltopf im Hegau zutage tritt. Mit der Aach gelangt Donauwasser in den Bodensee und damit in den Rhein.

An anderer Stelle, in Blaubeuren am Fuße der Rauhen Alb, entspringt unvermittelt aus den Kalkfelsen ein stattlicher Fluß, die Blau.

All diese überraschenden Erscheinungen sind auf die gesteinslösende Wirkung kohlensäurehaltiger Wässer zurückzuführen. Es sind Folgen chemischer Verwitterung.

Hartes Wasser

Das mit Kalziumsalzen beladene Wasser gleicht äußerlich dem reinen Wasser, aber in seiner Wirkung unterscheidet es sich ganz auffällig von ihm. Da wollen wir uns in irgendeinem Fluß des Kalkgebirges die Hände waschen. Die Seife versagt ihren Dienst. Immer wieder tauchen wir sie ins Wasser, reiben und bürsten. Sie schäumt nicht! Wir verbrauchen immer mehr Seife, aber es gelingt uns nicht, Ruß und andere festsitzende Schmutzteilchen zu entfernen. Anders ist das Bild, wenn wir gleiches Wasser in eine Waschschüssel tun. Dann kann nicht ständig neues Wasser nachströmen. Wenn wir nun die Hände waschen, dann setzt sich zunächst eine beträchtliche Menge gelber

Flocken zu Boden. Sie trüben das Wasser und bilden an der Schüssel einen graugrünen Schmutzrand. Aber nach längerem vergeblichen Bemühen bildet sich doch endlich Seifenschaum.

Die wasserlösliche Kernseife ist eine Verbindung von Fettsäuren und Natrium. Sie tauscht das Natrium gegen das Kalzium des kalkhaltigen Wassers aus. Dadurch entsteht wasserunlösliche Kalkseife, die keine Reinigungskraft besitzt. Das sind die gelblichen Flocken, die zu Boden sinken und auch an der Waschschüssel den schmutziggrauen Rand bilden. Durch die im Wasser gelösten Kalziumsalze wird also die Seife in eine unwirksame Verbindung verwandelt. Es ist dieselbe, die entsteht, wenn wir in eine klare Seifenlösung etwas Kalkwasser gießen. Sofort trübt sich das Gemisch. Die Trübe flockt aus, und allmählich setzt sich die gebildete Kalkseife zu Boden. Erst wenn die im Wasser gelösten Kalksalze chemisch in Kalkseife verwandelt und dann als Flocken ausgefällt sind, kann unsere Seife schäumen. Der Seifenschaum hüllt die Schmutzteile auf der Hand oder den Geweben ein und nimmt sie mit sich fort; dadurch trägt er wesentlich zur Reinigung bei.

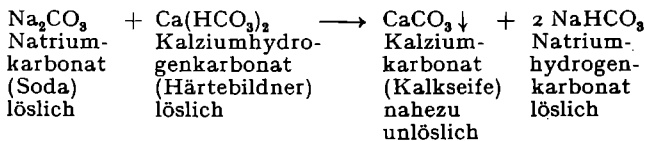
Kalkhaltige Wasser bezeichnet man als h a r t e W ä s s e r. Ihr Kalkgehalt wird in Graden angegeben. Ein Härtegrad bedeutet, daß in hundert Litern Wasser so viel Härtebildner gelöst sind, wie in ihrer Wirkung insgesamt einem Gramm Kalziumoxyd CaO entsprechen. Je härter ein Wasser ist, desto mehr Seife wird beim Waschen nutzlos vergeudet (siehe Tabelle Seite 13!).

Um Seifenverluste und unnötige Geldausgaben zu vermeiden, wird deshalb das Wasser enthärtet. Man setzt ihm Soda zu, das Natriumsalz der Kohlensäure, das ist Na_2CO_3 . Das Natrium der Sodamoleküle wird nun gegen das Kalzium der Verbindungen ausgetauscht, die die Wasserhärte bewirken. Es bilden sich Flocken von nahezu unlöslichem Kalziumkarbonat, die sich zu Boden setzen.

Wasserhärte

Wasser- härte in deutschen Härte- graden	Kalk- gehalt in 100 Litern Wasser	von 100 g Seife werden ausgefällt:	Beispiele
1 bis 7°	bis 5 g	15 g	Chemnitz, Plauen, Zwickau
8 bis 12°	bis 10 g	30 g	Dessau, Dresden Ro- stock, Frankfurt (Oder)
13 bis 17°	bis 15 g	45 g	Berlin, Magdeburg, München, Regensburg Ulm
18 bis 22°	bis 20 g	60 g	Frankfurt (Main), Heidelberg, Karlsruhe
23° und mehr	25 g und mehr	75 g und mehr	Erfurt, Halle (Saale), Hannover, Jena Leipzig, Stuttgart, Würzburg

Das sieht in der chemischen Gleichung so aus:

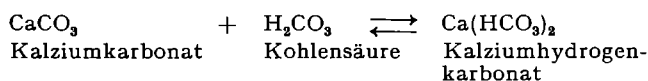


Der nach abwärts gerichtete Pfeil sagt, daß dieser Stoff ausfällt und sich niederschlägt. Neu entstanden ist außerdem Natriumhydrogenkarbonat, ein Salz, das leicht löslich ist und nicht mit den Seifenmolekülen reagiert. Bei genügendem Sodazusatz wird das Wasser vollkommen enthärtet, und die Seife kann ihre reinigende Wirkung voll entfalten.

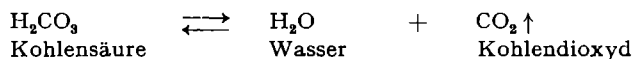
Wird das Wasser vorher nicht enthärtet, so bildet sich Kalkseife. Sie setzt sich auf den Fasern der Gewebe fest. Es entsteht ein Kalkschleier, der sich bei jedem Waschvorgang verstärkt. Die Wäsche wird unansehnlich grau und schwer.

Die Zunahme des Gewichts beträgt bis zu zehn Prozent. Die Wäsche riecht muffig. Verstopft sind die Poren der Gewebe. Handtücher saugen nicht mehr genügend, Hemden nehmen die Schweißabsonderungen des Körpers nicht mehr auf. Und außerdem läßt die Festigkeit der Gewebe außerordentlich nach.

Von größter Bedeutung ist die Enthärtung des Speisewassers für Dampfkessel. In kohlensäurehaltigem Wasser finden dauernd Stoffumsetzungen statt. Immer von neuem wird Kalziumkarbonat von Kohlensäure gelöst und Kalziumhydrogenkarbonat wieder in die ursprünglichen Verbindungen zurückverwandelt. Kalkbildung und Kalklösung sind entgegengesetzt verlaufende chemische Reaktionen, die im Wasser ein chemisches Gleichgewicht entstehen lassen. Das drückt man in der Gleichung durch einen Doppelpfeil aus. In der Zeiteinheit löst sich dann ebensoviel Kalk auf, wie unter Rückbildung von Kohlensäure aus Kalziumhydrogenkarbonat wieder rückläufig entsteht:



Die Kohlensäure, die sich bildet, ist sehr unbeständig und zerfällt sofort weiter in Wasser und Kohlendioxyd:



Wird das Wasser erwärmt, so vermindert sich seine Lösungsfähigkeit für Gase, und das Kohlendioxyd entweicht. Der Kohlensäuregehalt des Wassers wird geringer und damit auch seine Fähigkeit, Kalziumhydrogenkarbonat in Lösung zu halten. Es geht wieder in Kalziumkarbonat über. Dieses setzt sich als Kesselstein auf den Kesselblechen ab und haftet dort sehr fest.

Kesselstein ist ein schlechter Wärmeleiter. Er hindert die Übertragung der Verbrennungswärme vom Kesselblech auf das Wasser. Dadurch entstehen große Verluste an Heizmaterial. In der Hitze der Feuerung werden die

Kesselbleche infolge der Wärmestauung übermäßig erhitzt. Sie dehnen sich viel stärker aus als der Kesselstein. So müssen sie sich ausbeulen, erhalten kleine Risse und platzen. Auch in den Rohrleitungen setzt sich natürlich Kesselstein ab. Er verkrustet die Rohre und verstopft sie. Der Kesselstein gefährdet also den Betrieb.

In Gegenden mit sehr hartem Wasser weiß auch jede Hausfrau ein Lied vom Kesselstein zu singen. Es ist ihr kaum möglich, ihre Wassertöpfe, Tee- und Kaffeekeessel davon freizuhalten.

Eine ganz besonders unangenehme Form des Kalkabsatzes ist der poröse *Zahnstein* in der Wärme der Mundhöhle. Er entsteht an den Zähnen. In seinen Poren finden Bakterien und Krankheitserreger Unterschlupf. Ihre Stoffwechselprodukte greifen den Zahnschmelz schnell an und lösen ihn auf. Regelmäßige Beseitigung des Zahnsteins durch den Zahnarzt verhindert am besten die Ausbreitung der Zahnzerstörer.

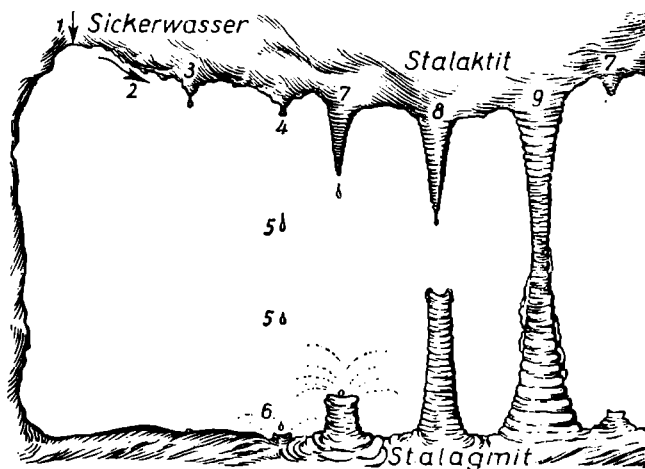
In unserem Munde, im Kochtopf und in den Kesseln und Rohrleitungen der Fabriken ist Baumeister Kalk sehr unerwünscht; seine verhängnisvolle Bautätigkeit muß durch Enthärten des Wassers verhindert werden. In der Natur übt er unter ähnlichen Bedingungen eine gleiche Bautätigkeit aus. Hier aber erfreuen uns seine Bauwerke durch ihre Formenmannigfaltigkeit und glitzernde Pracht.

In der Wunderwelt der Tropfsteinhöhlen

Wir wandern am Ufer eines Flusses entlang, der in vielen Windungen träge durch die Aue fließt. Eine alte Steinbrücke führt über seinen Lauf. Sie wölbt sich auch über unseren Weg. Von der Decke ihres gemauerten Gewölbes hängen dünne, grauweiße Zäpfchen herab. Sie haben die halbe Dicke eines Bleistiftes und sind etwa acht bis zehn Zentimeter lang. Wie sind die schlanken Bildungen entstanden?

Durch die Fugen des Mauerwerks ist Regenwasser herabgesickert. Dabei hat es ein wenig vom Kalk des Mörtels in Kalziumhydrogenkarbonat verwandelt und dieses in gelöstem Zustande mitgeführt. An vorspringenden Stellen der Gewölbedecke bildet das kalkbeladene Wasser kleine Tropfen. Sie bleiben längere Zeit hängen, bis sie durch weiteren Wasserzufluß so groß werden, daß sie herabfallen. Solange sie unbewegt hängen, verdunstet Wasser, und Kohlendioxyd entweicht. Daher kann eine kleine Menge Kalk nicht mehr in Lösung bleiben und setzt sich an dem Vorsprung ab. Jeder neue Tropfen an der gleichen Stelle läßt etwas Kalk zurück. Es bildet sich allmählich ein Zäpfchen.

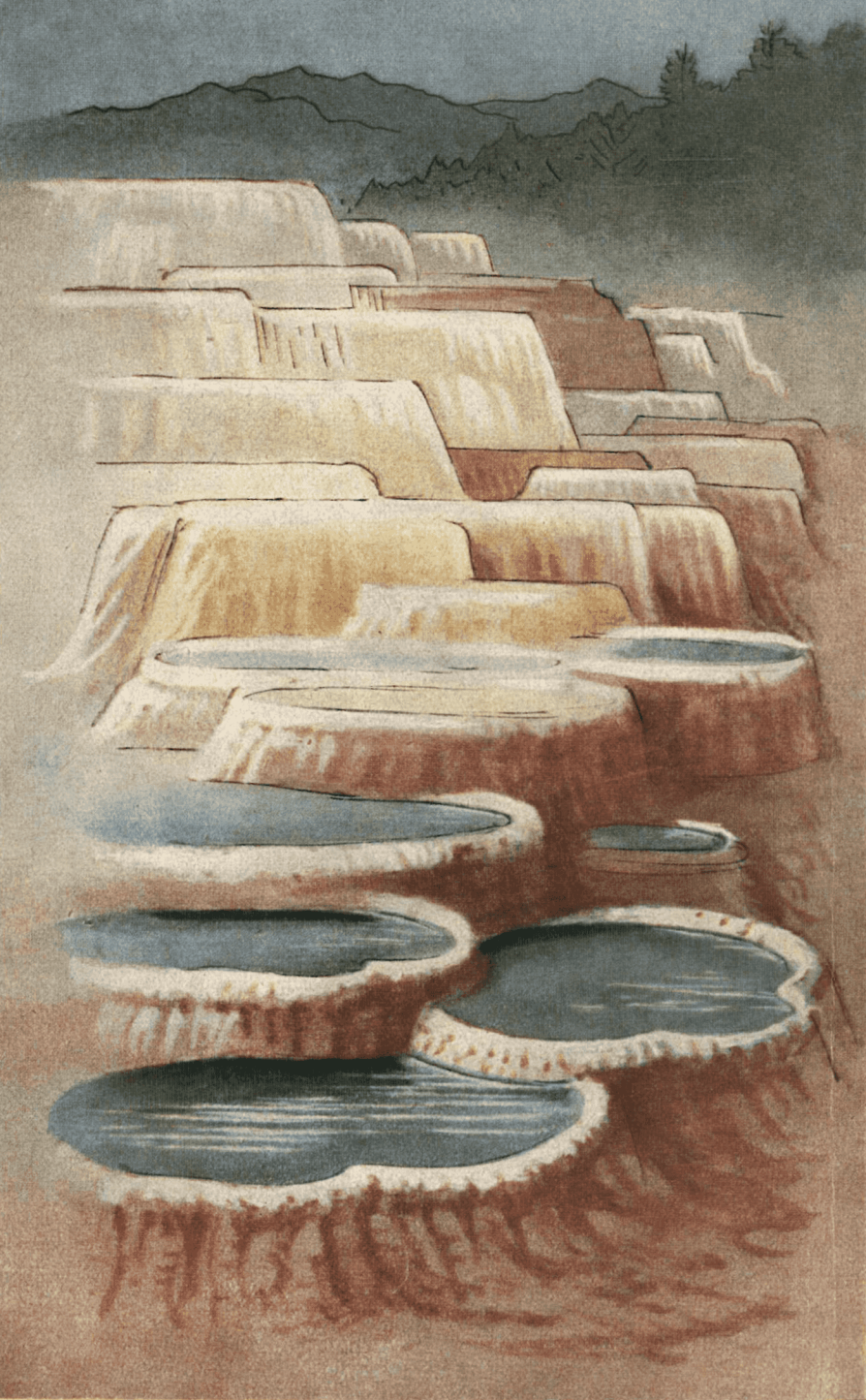
Was wir hier im Kleinen beobachten, hat sich im Großen im Dunkel zahlreicher Höhlen unserer Kalkgebirge abgespielt. Das durch den porösen Kalk sickernde Wasser



Wie die Tropfsteine entstehen

Bild 1. Feengrotten bei Saalfeld, die Gralsburg





ist mit gelöstem Kalziumhydrogenkarbonat beladen. Es tritt an der Höhlendecke hervor, rinnt so weit wie möglich an einem Vorsprung des Höhlengewölbes nach unten und bleibt als Wassertröpfchen hängen. Wenn die Höhlenluft genügend trocken ist, verdunstet ein Teil des Wassers, und das darin gelöste Kohlendioxyd entweicht.

Das Wasser verdunstet in der Außenzone des Tropfens, und nun setzt sich ein winziger, dem Auge nicht sichtbarer Kalkring rund um das Wassertröpfchen an. Dies wiederholt sich bei jedem nachfolgenden Wassertropfen. Kristall setzt sich an Kristall, und es entstehen zarte Kalkröhrchen, die den Spaghetti und Makkaroni ähnlich sehen (Bild 1). Wird der am Ende des Röhrchens sitzende Tropfen zu groß, so fällt er ab. Beim Aufschlagen auf den Höhlenboden spritzt der Tropfen unter weiterer Wasserverdunstung auseinander, und den eiszapfenähnlichen Bildungen an der Decke, den Stalaktiten, wachsen vom Boden die Stalagmiten entgegen. Nach langen Zeiten ungestörten Wachstums vereinigen sich beide zu Säulen aus kristallinem Kalziumkarbonat. Auch aus dem Wasser, das die Wände benetzt, setzen sich Kalkspatkristalle ab. Sie überziehen schließlich das Gestein mit weißschimmerndem Kalksinter. An den Rippen und vorstehenden Kanten der Decke und der Wände setzt sich der Kalksinter leisten- und brettförmig an und bildet bald hauchdünne, durchscheinende Gardinen, bald massive Vorhänge aus glitzerndem Gestein. Schlägt man mit einem Holzstock dagegen, so klingen sie auf wie Glocken. Laut hallt das Klingen in den Gewölben nach.

Tropfsteinbildungen dieser Art finden sich in der Baumannshöhle und der Hermannshöhle bei Rübeland im Harz, in der Drachenhöhle von Syrau im Vogtland, der Teufelshöhle bei Pottenstein im Fränkischen Jura, in den

Bild 2. Sinterterrasse der Mammutquellen
im Yellowstonepark (USA)

Feengrotten bei Saalfeld und in andern Höhlen (Bild 1 und 8).

Die größte und schönste Tropfsteinhöhle, die Adelsberger Grotte nördlich Triest, wollen wir besuchen. Sie liegt weit ab vom Verkehr im unzugänglichen Karst. Die schäumende Poik fließt neunzehn Meter unter dem Höhleneingang in ein wahres Labyrinth von unterirdischen Gängen und Spalten, die sich dreiundzwanzig Kilometer lang hinziehen. Bald weiten sie sich zu großen Hallen, und tief unter uns schäumen die Wildwässer dahin, bald verengen sie sich zu Spalten und Schluchten, in denen tosende Wässer den Weg versperren. Wir weichen ihnen aus durch düstere Gänge und weiträumige Trockenhöhlen. Und schließlich gelangen wir in eine Wunderwelt, die nicht mit Worten zu schildern ist. Bald treten wir in Gewölbe, von deren Decke unübersehbare Mengen dünner spaghettiartiger Zapfen herabhängen, wie im „Makkaronisaal“, übrigens beispielsweise auch im Märchendom der Saalfelder Feengrotten. Dann wieder bilden die Tropfsteine stützende Säulen bis 15 Meter Höhe und 1,5 Meter Durchmesser, die das Gewölbe zu tragen scheinen (Bild 10).

Auf unsrer Wanderung gelangen wir durch die von Riesensäulen flankierte „Vorhöhle“ und die mit prachtvollen Tropfsteinen ausgestattete „Brillantgrotte“ über den „Kalvarienberg“ in die alles andere übertreffende „Paradiesgrotte“. Das ist ein Flimmern und Funkeln, ein Blitzen und Gleißeln an Decke und Wänden, die ganz mit blendend weißem Kalksinter überzogen sind! In immer wechselnden Formen hängen die Stalaktiten von der Decke herab, und schlanke, säulenförmige Stalagmiten steigen vom Boden empor. Sinterbildungen wirken oft wie feines Filigranwerk aus schimmerndem Kristall. An wechselnden Formen märchenhafter Gestalten vorüber führt unser Weg in Hallen, die mit den Faltenwürfen prächtiger Sintervorhänge geschmückt sind. Bald glänzen sie in schneeigem Weiß, bald in warmem Gelb und in rötlichen Tönen. Zwi-

schen aufstrebenden Säulen hindurch erblicken wir Becken mit klarem Wasser, die mit schimmernden Kalkspatkristallen ausgekleidet sind. Blinde Grottenolme tummeln sich in der Flut. Das Auge kann die Fülle der Erscheinungen nicht mehr fassen (Bild 9, 11, 12, 13, 17).

„Wieviel Jahrhunderte mögen die Tropfsteinsäulen zu ihrem Wachstum gebraucht haben?“ fragen wir unsern Grottenführer. Der Alte schüttelt den Kopf. Er führt uns zu einer entlegenen Stelle des Spaltensystems. Dort ragt ein etwa meterhoher baumstarker Stalagmit aus dem Boden. Über ihm hängt ein mächtiger Stalaktit an der Decke. „Mein Vater war schon weit über die Sechzig und nahm mich als Jungen oft mit in die Höhle. Wir standen hier an dieser Stelle. Wie heute, so fiel Tropfen nach Tropfen von dem Stalaktiten herab in die schüsselförmige Vertiefung des Stalagmiten. Damals stellte ich dieselbe Frage. Mein Vater sagte: ‚Ich habe noch nicht gesehen, daß er gewachsen ist.‘ Er griff in die Tasche, nahm sein Trinkglas, das er immer bei sich hatte, und stülpte es in die Vertiefung. Jetzt klatschten die Tropfen aufs Glas, wie heute noch.“ Mit diesen Worten nahm er das Glas auf, reichte es uns, und wir hielten es gegen das Licht. Ein zarter, kristalliner Belag, kaum ein Millimeter stark, hatte sich auf der Außenseite gebildet und machte das Glas blind. „Das ist“, sagte der Führer, „das Wachstum eines Tropfsteins in einem Menschenalter.“ Stumm gaben wir ihm das Glas zurück, und er setzte es wieder auf seinen Platz.

Klick-klack, Klick-klack tropfte es weiter. Wir hatten einen Blick in geologische Zeiträume getan, die wir nicht nach Jahren messen können. Meterstarke Säulen liegen zerschmettert am Boden; vor undenklichen Zeiten sind sie durch Bewegungen in der Erdkruste umgestürzt. Auf ihren Trümmern sind wieder meterstarke Tropfsteinsäulen bis zur Decke emporgewachsen (Bild 14). In welchen Zeiträumen sie entstanden sein mögen? Wir fragten

nicht mehr; niemand kann uns Antwort geben. Hier ist ein Baumeister am Werk, der langsam arbeitet. Geduldig setzt er Kristall an Kristall. Er kennt nicht Plan und Zeit, nicht Lineal und Zirkel. Die Formen ergeben sich von allein, und gerade das macht seine Werke so vielgestaltig und reizvoll. Immer schafft er Neues, nirgends wiederholt er sich. Nur die Bildungsgesetze, nach denen er arbeitet, sind immer die gleichen. Es sind die Gesetze der Kristallisation aus gesättigten und übersättigten Lösungen. Und nach diesen Gesetzen schmückt er unablässig die Höhlen und Grotten, die Gänge und Labyrinth im Dunkel der Erde mit den phantastischen Formen seiner Tropfsteine und der glitzernden Pracht seiner Sintervorhänge.

Von Sinterterrassen und Sprudelstein

In den Tropfsteinhöhlen beobachten wir vielfach die Bildung von Kalksinter an Höhlenwänden. Er entsteht fast ausschließlich in relativ trockenen Höhlen, in denen die Wasserverdunstung groß genug ist.

Besonders große und eindrucksvolle Sinterbildungen aber treffen wir an den heißen Quellen, den Thermen. Die Quellen entströmen dem Boden in vulkanischen Gegenden oder in Gebieten früherer vulkanischer Tätigkeit. Es sind verschiedene Ursachen, die hier den Kalkabsatz herbeiführen. Die erste ist die Wasserverdunstung. Sie wird durch das Zerstäuben der Wassermassen beträchtlich vergrößert. Springt außerdem das Wasser unter Druck aus der Erde, wie zum Beispiel bei den Geysiren, so wird der größte Teil des im Wasser enthaltenen Kohlendioxyds bei der Entspannung als Gas abgegeben, so wie es im kleinen beim Öffnen einer Flasche Selterswasser geschieht. Es muß sich dann zwangsweise auch der größte Teil des gelösten Kalziumhydrogenkarbonats als Kalk absetzen. Die dritte ist die hohe Temperatur der Thermen. Sie sind heiß gesättigte Lösungen. Beim Abkühlen an der Erdoberfläche

nimmt ihr Lösungsvermögen für Salze beträchtlich ab, und die in der Hitze im Überschuß gelösten Salze setzen sich ab.

Am bekanntesten sind die großen Sinterbildungen im Naturschutzgebiet des Yellowstone-Nationalparkes. Bis zu einer Höhe von dreißig Metern bauen sich die Sinterterrassen der siebenzig Mammutquellen auf. Sie bedecken zusammen ein Gebiet von achtzig Quadratkilometern. Wie zu Eis erstarrte Wasserfälle funkeln sie bald blendend weiß, bald überwiegen gelbliche und rötliche Färbungen. An ihren Hängen finden sich zahllose schüsselförmige Riesenbecken mit breit aufgewulsteten Rändern, und im kristallklaren Wasser spiegeln sich die Sinterhänge und der blaue Himmel. Von urwüchsigen Wäldern sind sie umrahmt und von den hohen Gipfeln des Felsengebirges überragt. Es gibt aber nicht nur Kalksinter. Am Aufbau dieser großen Terrassen ist sogar überwiegend Kiesel-sinter beteiligt (Bild 2).

Die Sinterterrassen der Geysire Neuseelands sind den nordamerikanischen an Schönheit und Ausdehnung ebenbürtig. An den Thermen von Hierapolis in Kleinasien sind Sinterterrassen entstanden, die sich vier Kilometer hinziehen und hundert Meter Höhe erreichen. Blendend weiß wie eine Schneelandschaft liegen sie vor uns. Auch die Terrassen der Thermen von Hammâm Meskutîn in Algerien haben riesige Ausmaße. Mit diesen Großformen können sich die Sinterbildungen in den Tropfsteinhöhlen unserer Heimat nicht messen, aber in ihren dunklen Höhlen entfalten sie einen intimen und eigentümlichen Reiz, der jenen großen Leistungen der erdaufbauenden Kräfte abgeht.

Der Kalk setzt sich nicht immer in gleichförmigen Schichten ab. Bisweilen reißt ein Quell Sandkörnchen mit, die im sprudelnden Wasser auf und nieder bewegt werden, wie zum Beispiel in Karlovy Vary (Karlsbad, Tschechoslowakei). Dann setzen sich auf den Körnchen konzentrische

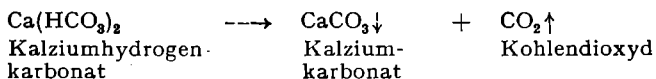
Kalkschichten ab. Sie werden immer größer und schließlich so schwer, daß sie auch im Sprudel zu Boden sinken. Dort werden sie durch neue Mineralabscheidungen zum „Erbsenstein“ verkittet. Besonders, wenn man den Anschliff eines Erbsensteins betrachtet, erkennt man recht deutlich seinen Aufbau. Die Menge an Kalziumkarbonat, die der Karlsbader Sprudel bildet, ist recht beträchtlich. Es sind jährlich mehr als fünfhundert Tonnen. Hängt man in das Sprudelwasser Blumen, Tannenzapfen oder andere Gegenstände, so werden sie ziemlich rasch von Kalk überkrustet. Dann tragen sie einen Kalkpanzer, der sich der äußeren Form genau anschmiegt. Erbsen- und Sprudelstein setzen sich viel rascher ab als Kalksinter und Tropfstein. Aber sie sind auch viel weniger dicht und fest als diese, bei denen ein sehr langsames und stetiges Kristallwachstum stattfindet (Bild 15).

Steine bilden sich nicht nur in heißen Quellen. Der Mineralabsatz geht hier jedoch besonders rasch vonstatten. So können wir zum Beispiel im Pennickental bei Jena beobachten, daß kalkhaltige Quellwässer normaler Temperatur Gräser und Moose, Hölzer und Blätter überspülen und auf ihnen ganz allmählich Kalk absetzen. Die harten Gesteinskrusten überziehen nun die vergänglichen Pflanzenteile. Dazu dringen die Minerallösungen in die Gewebe ein. Mineralien setzen sich in ihnen ab und vollenden die von außen begonnene Versteinerung. Alles überkrusten die Wässer, was in ihren Bereich kommt, und verkitten die Einzelteile durch nachträgliche Kalkabscheidung. So gelangen in den sich bildenden Süßwasserkalk Schnecken- schalen und andere zufällig vorhandene Dinge. Wir erleben durch direkte Beobachtung, wie Versteinerungen entstehen und beurteilen danach die Versteinerungen, die in den Gesteinsschichten der Erde gefunden werden und uns Kunde geben von den Pflanzen und Tieren früherer Erdperioden (Bild 16).

IM PFLANZEN- UND TIERREICH

Pflanzen bauen mit

Pflanzen brauchen zu ihrer Ernährung Kohlendioxyd. Die Landpflanzen entnehmen es der Luft. Bei seiner Assimilation wird Sauerstoff frei. Dieser wird an die Luft abgegeben. Tiere hingegen nehmen aus der Luft Sauerstoff auf und geben Kohlendioxyd ab; sie atmen. Der Gasstoffwechsel der Pflanzen ist also im wesentlichen dem der Tiere entgegengesetzt, und beide ergänzen einander. Auch die Algen im Wasser brauchen zur Ernährung Kohlendioxyd. Da sie nicht in direkte Berührung mit der Luft kommen, nehmen sie das im Wasser gelöste Kohlendioxyd auf. Sie zwingen dadurch das im Wasser ebenfalls gelöste Kalziumhydrogenkarbonat, neues Kohlendioxyd zu bilden und in unlösliches Kalziumkarbonat überzugehen:



Das bedeutet, es wird Kalk ausgeschieden. Der ausfallende Kalk setzt sich auf der Oberfläche der Pflanzen ab und überkrustet sie. Die Algen versteinen schon, während sie noch am Leben sind. Nach dem Absterben sinken dann die überkrusteten Pflanzenteile zu Boden. Weitere Kalkabscheidungen am Grunde der Gewässer verkitten sie miteinander. Es entsteht ein meist sehr poröser Kalkstein, der Kalktuff. In bestimmten Fällen erreicht er allerdings auch eine solche Festigkeit, daß er einen guten Baustein ergibt. Ein Beispiel ist der Travertin, der bei Rom gewonnen wird, und aus dem zahlreiche öffentliche Gebäude Roms, unter anderem auch die Peterskirche, erbaut worden sind (Bild 16).

Kalktuff ist ein Kalkgestein, dessen Bildung durch Pflanzen verursacht wird; er gehört zu den phytogenen, das heißt

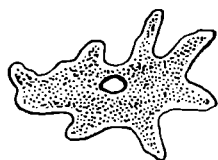
von Pflanzen gebildeten Gesteinen. Teilweise helfen Pflanzen auch beim Aufbau des Sprudelsteins in den heißen Quellen mit. Selbst Wasser, die nach unserer Ansicht kochend heiß sind, können noch Lebewesen beherbergen. So hat man in Springquellen des Yellowstone-Parkes, die eine Temperatur von 80° C haben, noch lebende Algen gefunden, die durch ihre Stoffwechseltätigkeit zur Kalkabscheidung beitragen und gesteinsbildend wirken.

Von dem gewaltigen Ausmaß, das die gesteinsaufbauende Tätigkeit der Pflanzen annimmt, bekommt jeder ein Bild, der mit offenen Augen durch die Natur geht. Südlich von Garmisch-Partenkirchen erhebt sich das Wettersteingebirge mit der Zugspitze als höchstem Felsgipfel bis zu 2963 Metern über dem Meeresspiegel. Es wurde in wesentlichen Teilen von der Alge *Diplopora* aufgebaut, deren röhrenförmige Kalkkrusten zu dem festen Wettersteinkalk verwachsen sind. In den Talgründen der Schwäbischen Alb finden wir verschiedentlich acht bis zehn Meter mächtige Ablagerungen von Kalktuff, die sich in relativ kurzer Zeit gebildet haben. So fand man bei Urach in solchem Kalktuff in einer Tiefe von vier Metern die Überreste eines Kindes. Nach den Schmucksachen, die es bei sich trug, konnte man das Alter der Ablagerung bestimmen. Die Schmucksachen gehörten der Merowingerzeit an. Seit dem sechsten Jahrhundert nach der Zeitwende, also in etwa eintausendvierhundert Jahren, haben sich die Kalktuffe an dieser Stelle vier Meter hoch abgelagert. Bei Weimar fand man in Travertinen Werkzeuge der Steinzeit eingebettet. Sie beweisen, daß auch die Travertine von Ehringsdorf bei Weimar recht neuzeitliche Bildungen sind.

Die kleinsten Baumeister der Welt

Wir erinnern uns gegenüber dieser aufbauenden Wirkung noch einmal der „stillen Gewalt“, die das auflösende Wasser entfaltet. Allein dem Teutoburger Walde werden

jährlich Kalkmengen entzogen, die zusammen einen Kalkwürfel von dreiunddreißig Metern Kantenlänge ergeben. Die Wassermassen der Elbe führen jährlich etwa zweihundertfünfzigtausend Tonnen Kalk aus dem Böhmischem Mittelgebirge mit sich und tragen diese gewaltige Menge

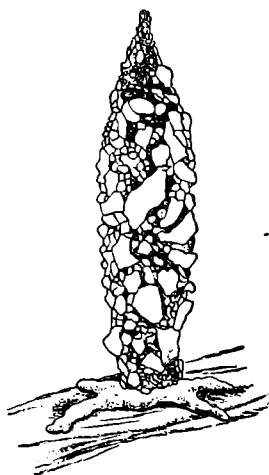


Süßwasseramöbe

in die Nordsee. Als Folge der ständigen Kalkzufuhr müßte sich, so möchten wir meinen, der Kalkgehalt des Meerwassers beträchtlich vergrößern. Aber er nimmt nicht zu. Im Gegenteil, er bleibt überraschend niedrig. Der Kalk nimmt unter allen im Meerwasser gelösten Salzen einen der letzten Plätze ein. In hundert Gramm Meerwasser sind zwar 3,5 Gramm Salze gelöst, darunter befinden sich aber nur 0,112 Gramm Kalziumkarbonat. Wohin ist der Kalk gekommen?

Im Meere leben unzählige Tierarten, die den Kalk aus dem Wasser aufnehmen und daraus Schutzpanzer und Skelette aufbauen. Zu den größten Kalkverbrauchern der Weltmeere gehören die Kleinstlebewesen aus der Gruppe der Wurzelfüßler unter den Einzellern.

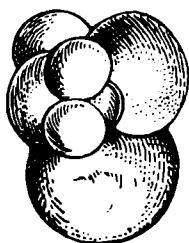
Wir kennen die Amöben des Süßwassers. Ihr Körper ist ein nacktes Schleimklümpchen,



Diffugia

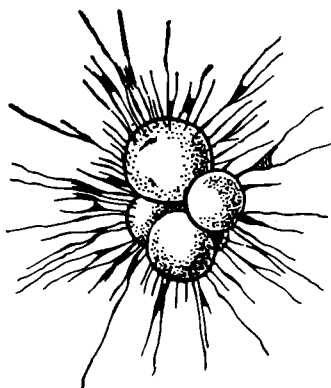
dessen Ausläufer, die Scheinfüßchen, bald hierhin, bald dorthin kriechen und durch Umfließen ihre Nahrungsstoffe aufnehmen. Schon bei solchen einfachsten Tierformen neigen einige dazu, dem Körper eine feste Schutzhülle zu geben.

So nimmt die Diffugia mit den Scheinfüßchen Sandkörnchen oder kleine Panzer auf, die sich Kieselalgen gebildet haben. Sie verlagert die Fremdkörper an die äußere Umgrenzung ihres Körpers und baut sie in die klebrige Außenhülle ein. Auf diese Weise schützt sie ihren zarten Leib mit einem Panzer von Fremdkörpern.



Gehäuse
der Globigerina

Andere Einzeller schützen sich auf andere Weise. Sie nehmen zunächst die im Meerwasser gelösten Kalksalze auf, scheiden dann Kalk aus und bauen daraus zierliche Gehäuse. Wird das Gehäuse für die wachsende Zelle zu eng, so fließt der größte Teil des Protoplasmas aus der Endöffnung hervor, und eine neue Kalkkammer wird an die ursprüngliche angesetzt. Die Tierchen bauen Kammer an Kammer, und der Protoplasmaleib dieser Einzeller erfüllt schließlich eine große Zahl von einzelnen Wohnkammern. Um den Freßvorgang zu erleichtern, sind die Gehäuse von zahllosen Poren durchbrochen. Nach dieser Eigentümlichkeit des Schalenbaus nennt man die Tierchen



Globigerina,
das Kugeltierchen

Foraminiferen (lat. forāmen = Loch, lat. féro = ich trage) oder mit deutscher Bezeichnung Lochschalen träger.

Durch die Poren der Schalen fließen strahlenförmige Protoplasmastränge nach außen. Sie verändern ständig ihre Form. Bald fließen sie zu Netzen zusammen, bald umfließen sie Nahrungsstoffe, verdauen sie und

kehren mit Nährstoffen beladen in den schützenden Panzer zurück.

Die Foraminiferen sind sehr vielgestaltig. Es gibt Kleinformen, die wir mit dem unbewaffneten Auge nicht mehr erkennen können, und Riesenformen, die im äußersten Ausmaß einen Durchmesser von zehn Zentimetern erreichen. Sie bewohnen vor allem die warmen Meere. Viele leben in der Nähe der Küsten und kriechen auf dem Meeresboden, auf Tangen, Steinen und Felsen umher. Sterben die Einzeller ab, dann mischen sich ihre Schalen mit dem Meeressand, der meist in der Küstenregion abgelagert wird. An der italienischen Küste im Golfe von Gaeta fand man in einem Gramm Meeressand nicht weniger als fünfzigtausend Foraminiferenschalen.

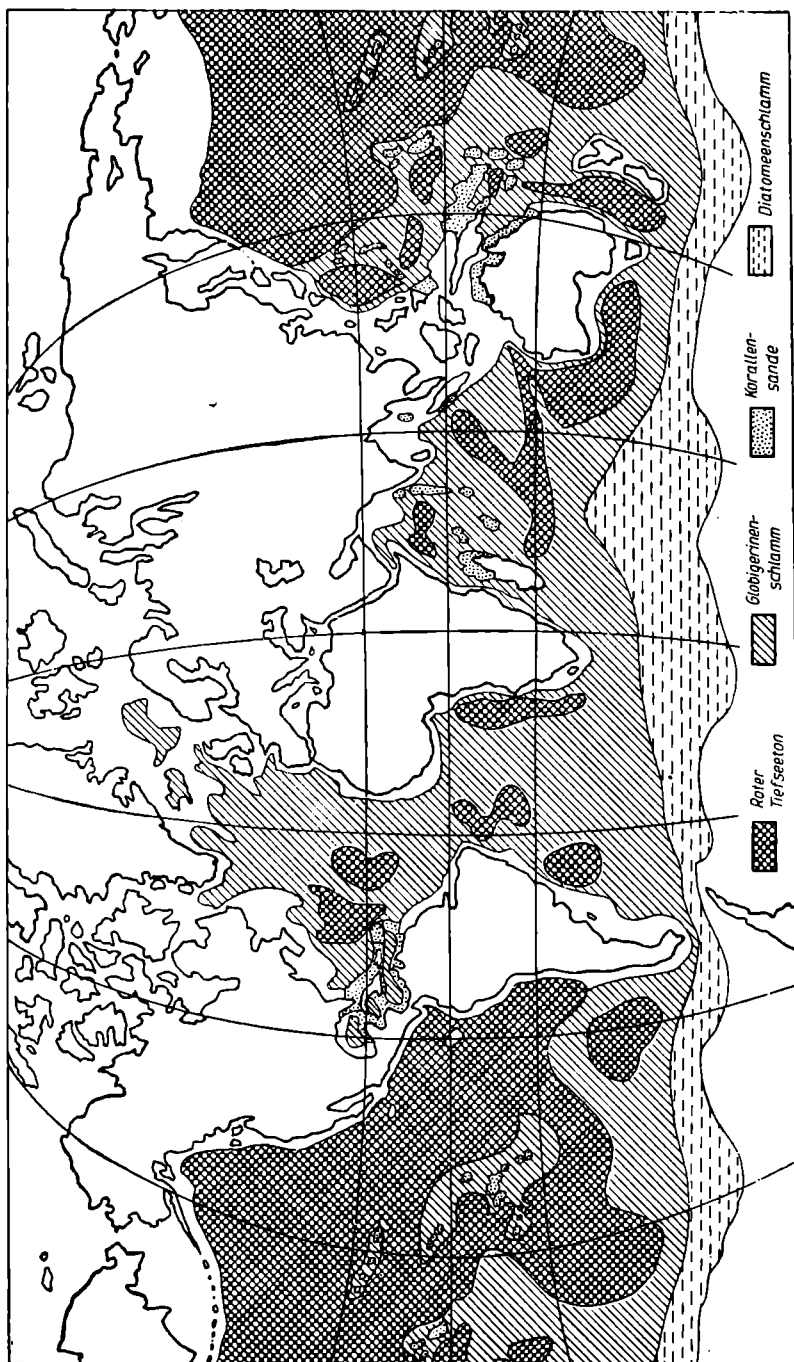
Aber die Foraminiferen besiedeln nicht nur die Küstenregion. Zahlreiche Formen schweben in den Oberflächenschichten der Hochsee und bilden zusammen mit kleinsten Krebstieren, Flügelschnecken und vielen anderen Lebensformen das Plankton des Meeres, das ist die Gesamtheit der Lebewesen, die im Wasser schwebend treibt. Diese kleinsten Lebewesen sind die wichtigste Nahrungsquelle für zahllose Meerestiere. Zum Beispiel lebt das größte Säugetier der Erde, der Blauwal, fast ausschließlich vom Meeresplankton. Die Tiere des Planktons bewegen sich nicht selbständig von Ort; sie werden willenlos umhergetrieben. Manche werden durch einen entsprechenden Gehalt an Luft, Öl oder Wasser in der Schwebelage gehalten, andere haben an ihren Gehäusen Fortsätze und Schwebevorrichtungen, die sie vorm Untersinken bewahren. Bei den Foraminiferen im Plankton wirken außerdem die nach allen Seiten des Raums ausstrahlenden Protoplasmastränge als zusätzliche Schwebeeinrichtungen mit.

Die wichtigste der heute im Meeresplankton lebenden Foraminiferengattungen ist die Globigerina. Sie bildet ein Haufwerk zusammenhängender Kugeln, die in der Reihenfolge der Abscheidung immer größer werden.

Ständig vermehren sich die Planktontierchen, und ständig sterben unzählige Einzeltiere ab. Die Zahl der absterbenden Lebewesen ist unvorstellbar groß. Wie ein unaufhörlicher Regen sinken ihre Gehäuse Tag für Tag und Stunde für Stunde in die Tiefe. Schalen mit einem Durchmesser von 0,75 Millimetern erreichen dabei in etwa vierundzwanzig Stunden eine Tiefe von viertausend Metern. Kleinere Schalen mit einem Durchmesser von nur 0,1 Millimeter brauchen zu dieser Reise bereits eine volle Woche. Auf dem Meeresgrund sammeln sich die Globigerinenschalen an und bilden den Globigerinenschlamm. Anlässlich einer Tiefsee-Expedition zählte man in einer Probe von Globigerinenschlamm aus der Gegend von Neu-Amsterdam in einem Kubikzentimeter

- 5 000 größere Foraminiferenschalen,
- 200 000 kleinere Foraminiferenschalen,
- 220 000 Bruchstücke von Foraminiferenschalen,
- 7 000 000 Kokkolithen, das sind die Reste kleiner treibender Geißelinfusorien, die erst bei tausendfacher Vergrößerung unter dem Mikroskop sichtbar werden,
- 150 000 Reste von Schwammtieren und
- 100 000 Panzer von Strahlentierchen (Radiolarien) und Kieselalgen (Diatomeen), die beide aus der Kieselsäure des Meeres ihre Gehäuse aufbauen.

Der Globigerinenschlamm findet sich nun vorwiegend in wärmeren Meeren. Seine größte Verbreitung besitzt er im Atlantik, wo er achtundfünfzig Millionen Quadratkilometer Meeresboden bedeckt. Auch im Indischen Ozean und im Gebiete der polynesischen Inseln ist er weit verbreitet. Insgesamt deckt er eine Fläche von 128 Millionen Quadratkilometern auf dem Boden der Tiefsee. Welch unvorstellbare Zahl von Einzeltieren hat zum Aufbau dieser riesigen Ablagerungen beigetragen! In den kälteren Breiten wird er vom Diatomeenschlamm abgelöst, der aus den Panzern von Kieselalgen besteht. Merkwürdigerweise hören die



Globigerinenablagerungen aber auch in den warmen Meeren in Tiefen unter viertausend Metern vollkommen auf, und wir finden dort nur noch die Kieselpanzer der Kieselalgen. Im Plankton sind aber beide Formen enthalten, und die Kalkpanzer der Foraminiferen sinken zusammen mit den Kieselpanzern der Diatomeen in die Tiefe.

In großen Meerestiefen enthält das Wasser viel Kohlendioxyd. Es löst die allmählich niedersinkenden Kalkschalen auf, und nur die Kieselschalen bleiben erhalten. Deshalb können sich keine Kalkablagerungen in Meerestiefen unter viertausend Metern bilden.

Der Globigerinenschlamm ist eine neuzeitliche Tiefseeablagerung, die sich eben erst bildet. Aber seit undenklichen Zeiten hat es schon auf der Erde Foraminiferen gegeben, allerdings in früheren Erdperioden andere Formen. Ihre Gehäuse lagerten sich in der gleichen Weise, wie es heute geschieht, am Boden der Tiefsee ab. Die Einzelgehäuse wurden im Laufe langer Erdperioden durch Minerallösungen verkittet und dann durch darübergelagerte Gesteinsschichten und durch Bewegungen in der Erdrinde zusammengepreßt. Aus den lockeren Absätzen bildeten sich mehr oder weniger feste Gesteine. Das lehren uns bei genauen Untersuchungen die zierlichen Schalen von Foraminiferen in Meeresablagerungen früherer Erdperioden. Als die großen Steinkohlenlager entstanden, also im sogenannten Karbon, bildeten sich die Fusulinenkalke, die im wesentlichen aus den Schalen der Foraminifere *Fusulina* bestehen. Man findet sie sowohl in der Sowjetunion als auch in Japan und an den großen Seen in Nordamerika.

Ebenso sind die Kreidefelsen von Rügen und von Dover Foraminiferenkalke. Wir erkennen noch die einzelnen Tiergehäuse, wenn wir die Kreide zerstoßen und unter dem Mikroskop untersuchen.

Da finden wir schnecken-, kugel- und stabförmige Schalen und besonders häufig die spitzen Formen der *Textularia*,



Kreidefelsen an der Ostküste Rügens

deren Gehäuse meist aus zwei Reihen von Kammern bestehen. Die hohen Kreidefelsen an der Ostküste der Insel Rügen, die bis hundert Meter hoch steil aus der Ostsee aufragen, sind also von den kleinsten Baumeistern der Welt, den einzelligen Foraminiferen erbaut worden. Aus ihren winzigen, weißglänzenden Kalkpanzern bestehen die Schreibkreide und auch der Kreidestrich an der Wandtafel. Sie sind der wesentlichste Bestandteil der Zahnpasta und der Tünche, mit der Decken und Wände geweißt werden.

Die größten Formen unter den Foraminiferen sind die Nummuliten der Tertiärzeit. Ihre flachen, münzenförmigen Gehäuse waren linsen- bis talergroß und erreichten in Einzelfällen sogar einen Durchmesser von zehn Zentimetern. Sie erhielten ihren Namen nach ihrer auffälligen runden und flachen Form. Das lateinische Wort „numma“ bedeutet „Münze“, und „Münzsteine“ oder „Nummulitenkalke“ nennt man die Ablagerungen, in denen sich ihre Versteinerungen finden. Wir kennen die tertiären Nummulitenkalke aus dem Pariser Becken und aus den Voralpen, aus den Karpaten und von der Krim, aus der Türkei, aus Persien, Ostindien und Japan.

Foraminiferenkalke bilden oft mehrere tausend Meter hohe Gebirge, und würde man nicht überall darin die Gehäuse ihrer Erbauer finden, so käme wohl nicht leicht jemand auf den Gedanken, daß es sich um Bildungen der Tiefsee handelt.

Zwischen den zierlichen Schalen der Einzeller finden wir im Gestein auch Reste anderer Meerestiere, Schalen von Muscheln und Meeresschnecken, Skeletteile von Schwämmen und Stachelhäutern und schließlich bei den jüngsten Bildungen auch die Zähne von Wirbeltieren des Meeres. Diese Gesteine zeigen uns mit aller Deutlichkeit, daß die Oberfläche der Erde großen Veränderungen unterworfen ist. Ablagerungen der Tiefsee früherer Erdperioden wurden im Laufe geologischer Zeiträume zu festen Gesteinen. Auffaltungen der Erdrinde hoben sie über den Meeresspiegel, und als hohe Gebirge ragen sie heute auf dem festen Lande empor. Hier üben physikalische und chemische Verwitterung allmählich wieder ihre zerstörende und abtragende Wirkung aus. Gebirgswässer rollen den Gesteinsschutt in die Täler und Ebenen. Lösliche Stoffe entstehen und werden ins Meer gebracht. Und so vollendet sich ein Kreislauf der Stoffe: Zerstörung und Abtragung in den Gebirgen, im Meere Neubildung von Gesteinen, die später gebirgsbildend wieder zutage treten. Neben den Pflanzen arbeiten auch Tiere gesteinsbildend. Die Foraminiferenkalke sind ein Beispiel solcher zoogener, das heißt von Tieren aufgebauten Gesteine.

Korallenriffe der Südsee und unserer Heimat

Nicht nur Einzeller, auch zahlreiche andere Meerestiere haben Gesteine aufgebaut. Die bekanntesten und wichtigsten sind die riffbildenden Steinkorallen. Auf einem

Bild 3. Korallenriff der Südsee bei Ebbe





Felsblock nicht weit unterhalb des Meeresspiegels setzt sich ein Einzeltier nieder und scheidet zunächst an der Unterseite seines zylindrischen Körpers eine Kalkplatte ab. Mit ihrer Hilfe verwächst das Tier fest mit dem Untergrund.

Bald wachsen von dieser Grundplatte Kalkwände empor, die den Innenraum des Tieres in einzelne Kammern zerlegen und den Weichteilen des Körpers Stütze und Halt gewähren.



Skelettbildung
der Korallen

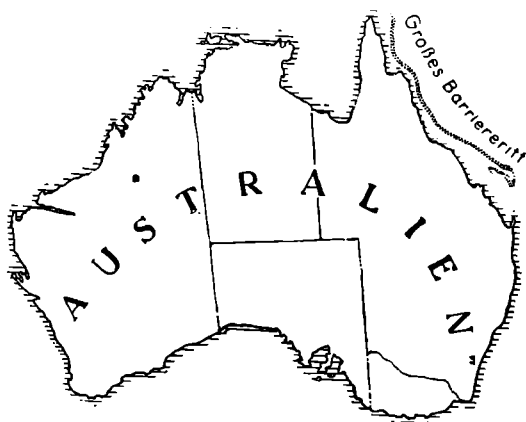
Nicht lange lebt der Polyp als Einzeltier. Bald bilden sich Knospen an seinem Körper. Sie wachsen zu neuen Polypen heran, aber sie lösen sich nicht los, sondern bleiben mit dem Muttertier verwachsen. Bald beginnen sie, sich in der gleichen Weise durch Knospung ungeschlechtlich zu vermehren, und ein verzweigter Korallenstock wächst empor. Viele solcher Stöcke bilden zusammen ein Riff. So fand man Einzelstöcke, die sich auf untergegangenen Schiffen angesiedelt hatten. Man beobachtete sie viele Jahre hintereinander und stellte an ihnen fest, wie schnell Korallen wachsen. Verzweigte Stöcke wachsen jährlich im Durchschnitt acht bis zehn Zentimeter empor, Stöcke mit gedrungenem Wuchs entsprechend weniger. Vom Wachstum schloß man auf das Lebensalter und kam zu der Annahme, daß der Stammpolyp eines Tierstockes ein Lebensalter von mehreren hundert Jahren erreicht.

Korallen gedeihen nur in den warmen Meeren zu beiden Seiten des Äquators, deren Temperatur nicht unter 20°C absinkt. Dort leben sie unmittelbar unter der Wasseroberfläche und bis in Tiefen von dreißig bis vierzig Metern.

Das durch kräftigen Wellenschlag stark bewegte Wasser ist ihr Lebenselement. Es bringt ihnen ständig gelöste Kalksalze und dazu große Mengen kleinster Meerestiere, die ihnen als Nahrung dienen. An den Westküsten der Südkontinente freilich, an denen kalte Meeresströmungen aus polaren Gegenden weit äquatorwärts vordringen, würden wir Korallen vergeblich suchen.

Die Stammpolypen eines Korallenstocks siedeln sich meist in der Nähe der Küste auf dem seichten Schelfrand an, der die Landmassen umgibt. Dort wachsen die Stöcke rasch heran und bilden oft lange Küstenriffe, die den Schiffen den Zutritt zum Lande verwehren. Meist reichen die Riffe bis dicht unter den Meeresspiegel, und der Seefahrer wird ihrer nur durch die Brandungswelle gewahr und muß sehr auf der Hut sein. Nur dort, wo die Brandungswelle unterbrochen ist, findet er eine Durchfahrt, eine Lücke im Riff, weil ein Fluß das Wasser aussüßt oder mit Flußtrübe erfüllt. Und in süßem oder trübem Wasser gedeihen die Korallenstöcke nicht. Hat der Seefahrer erst die Durchfahrt durchs Riff glücklich hinter sich, dann befindet er sich im ruhigen Lagunenwasser zwischen Riff und Küste und braucht kaum noch Gefahren zu befürchten (Bild 20).

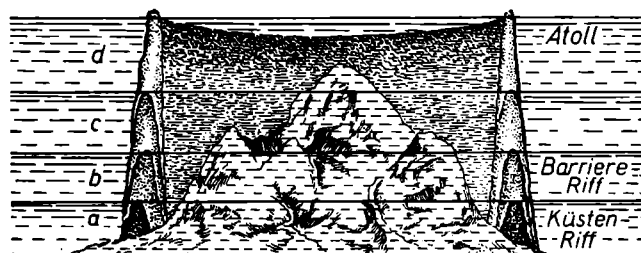
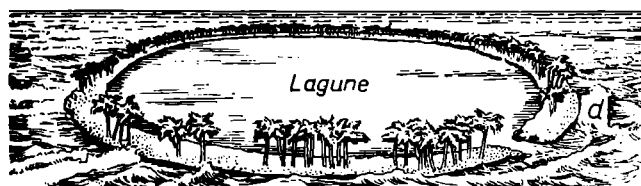
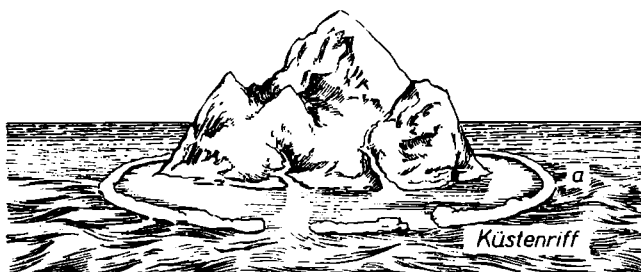
Korallenstöcke wachsen dort am stärksten, wo durch Wellenschlag ständig neue Wassermassen mit gelösten Kalksalzen, genügend Sauerstoff und vielen Kleinlebewesen herangeführt werden. Daher wachsen die Stöcke vorwiegend nach außen. Die Polypen nehmen Kalk und Sauerstoff aus dem Wasser auf und zehren vom Meeresplankton. Das Wasser, das über die Riffe hinweggebrandet ist, muß daher arm an Kalksalzen, an Sauerstoff und an Plankton sein. Dagegen hat es sich mit Kohlendioxyd beladen, das von den Myriaden Polypenköpfchen ausgeatmet worden ist. Nun sterben auf der Landseite die Stöcke allmählich aus Kalk- und Sauerstoffmangel ab, und gleichzeitig wirkt das Wasser infolge des erhöhten Kohlen-



Das Barriereriff an der Nordostküste Australiens

dioxydgehaltenes stärker lösend auf die Stöcke ein. So wachsen die Riffe kontinuierlich seewärts. Aus einem Küstenriff wird ein Barriere-Riff. Das größte liegt vor der nordöstlichen Küste des australischen Kontinents. Es folgt dem Küstenverlauf in einer Länge von etwa zweitausend Kilometern, und die Randlagune dahinter erreicht eine Breite von achtzig bis hundert und stellenweise sogar von hundertfünfzig Kilometern. Ähnliche Korallenriffe sind in wesentlich kleinerer Ausdehnung vielen Südseeinseln vorgelagert. Meist bleiben sie unter dem Wasser und werden der Küstenschifffahrt sehr gefährlich. Nur manche ragen zur Ebbe aus dem Wasser heraus. Ihre Tiere schützen sich dann durch ihre Schleimhülle vor der austrocknenden Kraft der Tropensonne (Bild 3 und 20).

Obwohl eindeutig festliegt, daß Korallen nur in der Nähe der Wasseroberfläche kräftig gedeihen können, findet man in der Südsee Korallenriffe, die hunderte, ja über tausend Meter in die Tiefe reichen und als steil aufgerichtete Pfeiler vom Grunde der Tiefsee aufsteigen. Ihre Entdeckung veranlaßte Darwin zur Aufstellung seiner Rifftheorie,



Die Atollbildung nach der Rifftheorie Darwins

die gleichzeitig die Entstehung der kranzförmigen Koralleninseln, der Atolle, erklären soll. Nach seiner Meinung haben sich die Stammpolypen auf dem seichten Küstenstreifen einer Vulkaninsel angesiedelt. Im Laufe langer Zeiträume senkte sich der Meeresboden, und die Korallenstöcke wuchsen in dem Maße weiter empor, daß sich ihr Wachstum und das Absinken des Untergrundes die Waage hielten. Die Folge war, daß die Riffe immer tiefer in die See hinabreichten und, da immer neue Gebiete der Insel unter Wasser gerieten, sich auch immer weiter von der Küste entfernten. Schließlich ragte nur die höchste Erhebung der Insel noch aus dem Wasser und war von einem ringförmigen Riff umzogen. Im Endstadium sank auch der Rest der Vulkaninsel unter den Meeresspiegel, und übrig blieb das Atoll, das ringförmige Riff. Wind und Wellen häufen darauf losgerissene Korallentrümmer und anderes loses Material an, und schließlich ragt es als ringförmige, mit Kokospalmen bestandene Insel flach aus dem Wasser auf. Nur bei Sturmflut schlägt die Brandungswelle darüber hinweg bis in die ruhige Lagune im Innern des Atolls.

Diese Rifftheorie Darwins mag für einzelne Atolle zutreffen, sie darf aber nicht verallgemeinert werden. Vielfach hat man Koralleninseln gefunden, bei denen die Korallenkalke nur eine geringe Mächtigkeit besitzen und als dünne Kappe einem vulkanischen Gestein oder den Foraminiferensanden der Tiefsee aufsitzen. In diesen Fällen, nimmt der kanadische Naturforscher Murray an, siedelten sich die Stammpolypen der Korallenstöcke auf unterseeischen Vulkankegeln an. Diese ragten entweder bis nahe zum Meeresspiegel empor oder waren durch Ablagerungen des Meeres, wie Sande und Foraminiferenschichten, so weit erhöht worden, daß sie in den Lebensbereich der Korallen rückten. Auf den unterseeischen Sockeln entstanden dann Korallenriffe. Da die Korallen vorwiegend nach außen wachsen, wo die günstigsten Le-

bensbedingungen für sie herrschen, erweitert sich das Riff ständig, während die mittleren Partien wegen der Ungunst der Lebensbedingungen absterben. Das mit Kohlendioxyd beladene Wasser wäscht schließlich den Lagunensee aus, der durch die Gezeitenströmungen noch vergrößert wird.

Die Anschauung Murrays hält auch vor der Tatsache stand, daß sich der Meeresgrund der Südsee an einzelnen Stellen in jüngster Zeit beträchtlich gehoben hat, während Darwins Theorie hier versagt. Bei den Salomoninseln zum Beispiel sind Korallenriffe, deren Tierwelt der heutigen weitestgehend gleicht, trockengelegt und befinden sich in Höhen bis zu zweihundertsiebzig Metern über dem Meeresspiegel. Die Riffe sind vierzig Meter mächtig und sitzen Foraminiferenkalken auf, die typische Meeresbildungen sind.

Die Korallenriffe sind die Zaubergärten der Südsee. Ihre Farbenpracht und Formenfülle sind nicht zu überbieten. Die blauen und grünlichen Wasser werfen einen unwirklichen Schein auf die in satten tropischen Farben aufleuchtenden Stöcke der „Blumen“tiere. Jede Tierart baut nach eigenen Bildungsgesetzen ihre Stöcke auf. Bald sind es runde Polster und Kissen, bald pilzförmige Stöcke, bald ist es weitverzweigtes Geäst. Hier sind die Stöcke derb und massiv und dort sparrig und zart. Die einen leuchten in sattem Rot, die andern schimmern in Smaragdtönen, wieder andere in hellem Orange. Lassen wir einen Forscher sprechen, der die Korallenriffe Javas persönlich besuchte (Bild 4):

„Hellgrün schimmert das Wasser. Ein Blick über Bord bringt uns in wonnigste Aufregung. Da sind sie, die Wunder der See, die Blumen des Meeres — so weit unser Auge das seichte Element durchdringt, liegt auf seinem weißen Kalksandboden Block neben Block, bald rund wie ein meterdicker Riesenbovist, bald becherförmig oder flach wie ein Tisch, und mit jeder Bewegung des Bootes werden andere sichtbar, tauchen

neue Schönheiten auf. Tausende von riffbildenden Steinkorallen bedecken greifbar nahe den Meeresgrund... Die gewaltigsten Blöcke erscheinen von den an ihren zahlreichen Windungen kenntlichen Mäandrinen, von Favien und Tubiporen gebildet, welche letztere dunkelroten, regelrecht aufgestellten Orgelpfeifen gleichen. Dazwischen liegen pilzförmige Fungien und knollige Asträen, während bunte Straußkorallen ganze Büsche entfalten und stacheliges Gezweige von Porites wie ein kleiner Wald stellenweise den Boden bedeckt... Überall strecken die zierlichen blumenförmigen Polypen ihre Fangarme hervor und überziehen ihre Kalkgerüste mit schimmernden Tönen. Grasgrün wogt es über dem dunklen Purpur der Orgelkorallen, violett leuchten die Wabenkorallen und Sternkorallen, gelblich die Acroporen, grün die scharf brennenden Milleporen, blau die Poriten, und alle diese so verschiedenartigen Farben sind durch das feine Medium des bläulichgrünen Seewassers zu einem Gesamtbilde abgestimmt, dessen Zartheit noch kein Maler erreicht hat.“

Die Korallenriffe sind keine toten Gebilde. Es sind Lebensgemeinschaften der verschiedensten Tiere und Pflanzen des Meeres. In den unzugänglichen, sparrigen Riffen finden zahlreiche Meeresformen willkommenen Unterschlupf und natürlichen Schutz. Bricht man Teilstücke eines Korallenstockes ab und bringt sie in ein mit Seewasser gefülltes Aquarium, so wimmelt dieses bald von seltsam geformten und auffällig bunten Tieren, die man vorher im Meere nie zu Gesicht bekam. Sie hielten sich in dem Geäst verborgen und wurden durch die Nesselkapseln der Polypen vor ihren natürlichen Feinden geschützt.

Aber die Korallengärten des Meeres, die anderen Tieren Schutz und Unterschlupf bieten, werden auch selbst in ihrem Dasein bedroht. Die Korallenäste werden von zahlreichen Tierarten zernagt, wie zum Beispiel von bunt-

farbigen Seeigeln und den Eichelwürmern (*Balanoglossus*). Diese Meerestiere zermahlen losgelöste Teile der Korallenstöcke und verdauen die Weichteile als Nahrung. Viel gefährlicher noch sind die Bohrschwämme, denen kein Kalk zu fest ist. Sie treiben ihre Ausläufer weit ins Innere der Stöcke vor und unterminieren den starren und festen Bau. Zerstörend wirkt auch die Bohrmuschel *Lithodomus*, die nach der Dattelform ihrer Schalen als Meerdattel bezeichnet wird. Sie bohrt sich sowohl in die weit verästelten Korallenstöcke wie auch in festen Kalkstein ein und bildet unzählige Bohrlöcher mit einem Durchmesser von etwa zwölf Millimetern und einer Länge bis zu dreißig Zentimetern. Tritt sie in Mengen auf, dann sind die massiven Stockteile bald in allen Richtungen von ihren Bohrgängen durchzogen. Wasserstrudel wühlen in ihnen, und beim Einfallen von Fremdkörpern werden diese vom Wasser der Brandung stark bewegt und schleifen die Hohlräume weiter aus (Bild 21).

Borstenwürmer und vor allen Dingen kleinste Pilze (*Achlya*) und Algen vollenden das Zerstörungswerk. Zum Teil bringen sie die Polypen zum Absterben, zum Teil zerstören sie deren Kalkskelette. Und dann reißen die Brandungswellen an den geschwächten Riffbauten kleine Stockteile ab und bringen ganze Aufbauten zum Einsturz. Aber das vielgliedrige, sparrige Korallenriff gibt die entstehenden Trümmer nicht frei. Sie werden gegen andere Äste geworfen und setzen das Zerstörungswerk weiter fort. Gleichzeitig werden sie selbst noch mehr zertrümmert, und die Bruchstücke setzen sich in den Hohlräumen und zwischen den Ästen der noch lebenden Stockteile ab. Eine Folge der Zerstörungen ist also, daß der Kalk verlagert und der ursprünglich lockere Bau verdichtet wird. Zahlreiche Hohlräume in den Stöcken werden durch die Hartteile anderer Meerestiere ausgefüllt, die zur Vermehrung der Kalksubstanz des Riffes beitragen; man findet in ihnen die Schalen vieler Muscheln und Schnecken, die

Kalkskelette von Seeigeln, Seesternen und Schlangensteinen.

Auch Moostierchen und Schwämme siedeln sich auf den Korallenstöcken an und tragen zur Vermehrung der Kalksubstanz bei. Ganz besonders erheblich ist der Beitrag der Lithothamnien unter den Kalkalgen, die an der Basis der Riffe oft in großen Massen wuchern. Durch ihre Lebens-tätigkeit zwingen sie den Kalk des Meerwassers zur Abscheidung. Er überkrustet die Algen, die sich sowohl auf den Korallenstöcken wie auch zwischen ihnen und in deren Hohlräumen ansetzen. Lücken und Spalten werden durch die Kalkablagerungen ausgefüllt und die einzelnen Stockteile miteinander verkittet. So ergänzen sich nicht nur die einzelnen Tiergruppen in ihrer gesteinsbildenden Tätigkeit, sondern es vereinigen sich auch tierische (zoogene) und pflanzliche (phytogene) Kalkbildungen schließlich zu einem einheitlichen Ganzen, dem zu Stein gewordenen Riff. Hinzu kommt die Tätigkeit des Meerwassers, das an einzelnen Stellen Kalk löst und an anderen Stellen in veränderter Form wieder absetzt. Die ursprünglichen Korallenkalken werden im Laufe der Zeit vielfach umkristallisiert und strukturell verändert. Mit dem Fortschreiten dieser Umsetzungen wird ihr ursprünglicher Aufbau immer mehr und im Endstadium bis zur Unkenntlichkeit verwischt.

Auch in früheren Erdperioden haben die Korallen gewaltige Riffe gebaut. Aber nur in wenigen günstigen Fällen ist der strukturelle Aufbau des Riffs so eindeutig und klar erhalten geblieben wie in dem Korallenriff bei Gerolstein in der Eifel (Bild 22).

Riffe der Vorzeit, die von der Gebirgsbildung erfaßt und hoch emporgehoben wurden und die durch die Härte ihres Gesteins der lösenden Wirkung der Gebirgswässer wesentlich besser widerstanden als die weniger festen Gesteine ihrer Umgebung, ragen heute als harte Steilstufen aus dem Landschaftsbild auf, wie zum Beispiel die devonischen Riffkalke bei Gerolstein, die Jurariffe bei Streitberg und



Die Fünffingerspitze in den Dolomiten,
ein Korallenriff der Vorzeit

das wildzerklüftete Korallenriff der Fünffingerspitze in den Dolomiten.

Kalkalgen und Foraminiferen, Schwammtiere und Moostierchen, Muscheln und Schnecken, ja selbst Krebse nahmen in großer Zahl teil am Aufbau der Korallenriffe. Daneben kennen wir aber auch Kalkablagerungen, die vorwiegend von anderen Tieren gebildet wurden. Im Altertum und Mittelalter der Erdentwicklung traten zum Beispiel die Seelilien oder Krinoiden in solcher Menge auf, daß sie als Wälder oder Rasen den Boden des Meeres bedeckten. Nach dem Absterben zerfielen die langen Stengel der festgewachsenen Tiere in einzelne zylindrische Glieder. Sie häuften sich am Grunde an. Aus ihnen gingen schließlich die Krinoidenkalke hervor. In anderen Kalkschichten finden wir zahlreiche Haarsterne. Als schließlich im Mittelalter die Ammonshörner eine unendliche Formfülle erreichten und in großen Mengen die Meere bevölkerten,

lagerten sich ihre Schalen zusammen, und es entstanden die Ammonitenkalke der Jurazeit. Muschelschalen setzten die Austernbänke und schließlich die Muschelkalke zusammen, die in weiten Teilen Thüringens zutage treten. Trotz den manchmal imponierend hervortretenden Gebirgsbildungen bleibt doch die Bedeutung dieser Schichten weit hinter derjenigen zurück, die die Kalkablagerungen der niederen Tiere, der Korallen und der Einzeller haben (Bild 19, 23, 24, 25, 26).

KALK UND MARMOR

Mineralische und organogene Kalkbildungen

Vielseitig in seinen Erscheinungsformen ist das Kalziumkarbonat. Seiner Entstehung nach ist es bald mineralischen Ursprungs und bald organogenes Gestein, das heißt unter Mitwirkung von Lebewesen gebildet. Die Kalksinterterrassen des Yellowstone-Parkes, die Tropfsteine in den Höhlen unserer Kalkgebirge und der Karlsbader Sprudelstein sind rein mineralische Bildungen, die im Reiche der leblosen Natur, im Reich der Gesteine, entstehen.

Organischen Ursprungs hingegen sind die meisten Kalkablagerungen der Meere, die Riffbildungen der Korallen, die Austern- und Muschelbänke, die Krinoiden- und Ammonitenkalke und die Kalktuffe. Sie entstanden teils unter aktiver, teils unter passiver Mitwirkung von Tieren und Pflanzen. Die Korallen bauen aktiv das Korallenriff als Stützskelett ihres Weichkörpers auf; das Riff ist ein Bestandteil ihres Körpers; es wächst durch vieltausendfache Knospung aus dem Stammpolypen zusammen mit den Weichteilen empor. Sind auch die Weichkörper längst abgestorben, so erkennen wir doch an der Struktur der Riffkalke noch deutlich ihren organischen Ursprung. Auf passivem Wege hingegen sind die Krinoiden- und Ammonitenkalke, der Muschelkalk und der Globigerinenkalk zustandegekommen. Zwar wurden die Schalen ebenfalls

von Tieren erbaut, aber erst die Schalen der abgestorbenen Tiere häuften sich auf dem Meeresgrund zu mehr oder weniger mächtigen Ablagerungen. In den folgenden geologischen Zeiträumen wurden diese allmählich verdichtet und zu einem einheitlichen Gestein umgeformt. Ebenso sind die Kalktuffe rein passive Bildungen. Die kalkablagernden Algen brauchen das im Wasser gelöste Kohlendioxyd; sie gewinnen daraus den Kohlenstoff und bauen mit seiner Hilfe die Kohlehydrate Zucker, Stärke und Zellulose auf. Indem sie dem Wasser Kohlendioxyd entziehen, zwingen sie sekundär das im Wasser gelöste Kalziumhydrogenkarbonat, sich in unlösliches Karbonat umzubilden. Es setzt sich an der Stelle ab, an der das Kohlendioxyd verbraucht wird. Es inkrustiert damit die Pflanzenzelle selbst und bildet schließlich das steinerne Grab seiner Baumeister.

Den Kalk erkennt man als organogenes Gestein an Pflanzen- und Tierresten, die in Form von Versteinerungen die Jahrhundertaufende und Jahrtausende überdauert haben. Das Fehlen organischer Reste allerdings beweist nicht schon den mineralischen Ursprung eines Gesteins. Erinnern wir uns doch, wie leicht der Kalk durch kohlenstoffhaltiges Wasser in Lösung gebracht werden kann! Globigerinen-schalen, die in Tiefen von mehr als viertausend Metern gelangen, werden schon während des Absinkens vom Wasser gelöst. Auch im Muschelkalk treffen wir häufig nicht mehr die Schalen der Muscheln an, die einst zu seiner Bildung führten. Sie sind durch kohlendioxydhaltige Wässer aufgelöst worden, die den Kalk an irgendeiner anderen Stelle und in anderer Form wieder ausschieden. Wir finden dann nur noch die unlöslichen Steinkerne; sie kommen dadurch zustande, daß sich feinstes Meereston in den Schalen der abgestorbenen Tiere angehäuften hat und später verfestigt worden ist. Die Tone als Abkömmlinge der Kieselsäure wurden vom Wasser nicht aufgelöst. In den Steinkernen hat sich wie in einem Gipsausguß das Relief

der umgebenden Schalen derart gut erhalten, daß man mit ihrer Hilfe noch genau die Tierart bestimmen kann. Größer und bedeutender als die lösende Kraft des Wassers waren die umformenden Kräfte innerhalb der Erdrinde. Die Kalkablagerungen des Meeres sind Absatzgesteine oder Sedimente. Als geschichtete Ablagerungen bildeten sie sich auf dem Meeresboden. Häufig wurden dann die ungestörten Gesteinsschichten durch nachträgliche Auffaltungen der Erdrinde zu Gebirgen aufgetürmt. Dabei wurden die einzelnen Schichten teils unmäßig gedehnt, teils mit unvorstellbarem Druck zusammengestaucht und zerbröckelt. Das Gefüge der Gesteine ist dabei gewaltsam verändert worden, und die in ihnen lagernden Versteinerungen wurden häufig deformiert. Wir sehen auch, wie sich in langen geologischen Perioden der Überflutung die Kalkablagerungen zu mächtigen Schichtenpaketen auftürmten. Dann lastet auf dem untersten, zuerst abgelagerten Material das Gewicht der darüber abgelagerten Gesteinsschichten. Kein Wunder also, daß dünne Schalen zerdrückt und die Weichkörper abgestorbener Tiere oft in ihrer Form so verändert werden, daß man sie nicht wiedererkennt. Was dem Gebirgsdruck und den Bewegungen innerhalb der Erdkruste standhielt, wurde schließlich häufig durch das glutflüssige Magma ausgelöscht. Aus großen Tiefen der Erde stieg es in Rissen und Spalten der Erdkruste empor. Teils erstarrte es innerhalb der Erdkruste und bildete die Tiefengesteine, wie zum Beispiel den Granit. Teils gelang es dem Magma auch, die deckenden Gesteinsschichten aufzuschmelzen und zur Erdoberfläche durchzubrechen. Dort ergoß es sich als breiter Lavastrom über das Land, bis es sich endlich so weit abgekühlt hatte, daß die glutflüssige Masse zu poröser Lava erstarrte. In weitem Umkreis der Magmadurchbrüche wurde das anstehende Gestein aufgeschmolzen und umkristallisiert. Dämpfe und heiße Minerallösungen drangen außerdem in das umgebende Gestein ein und veränderten es. So entstand aus den Kalksedimenten des Meeres

nachträglich unter höherem Druck und hoher Temperatur der kristalline Marmor.

Blendend weiß ist der Marmor von Carrara in Italien. Er ist ein sehr wertvoller Stein für Bildhauerarbeiten und Prunkbauten. Enthält Marmor geringe Mengen von Eisenverbindungen, so nimmt er im Laufe der Zeit einen warmen, goldigbraunen Ton an, wie der Pentelische Marmor aus Griechenland. Bei höherem Gehalt an Eisenoxyd entsteht der gelbe Marmor von Florenz und der rote Marmor, der Rosso antico, von Tenedos. Wirkt Kohlenstoff mit, so entsteht der schwarze Marmor, der Nero antico des Peloponnes, und durch Einlagerung von Serpentin oder Chlorit erhält der Marmor eine grüne Farbe. Der Marmor kann feinkörnig oder grobkristallinisch sein. Oft ist er bunt und zeigt die verschiedensten Strukturen. Oder er besteht aus eckigen Bruchstücken verschiedener Färbung, die nachträglich wieder durch Auskristallisation von Füllmasse in den Zwischenräumen zu einem einheitlichen Ganzen verwachsen sind. Allerdings deckt sich hierbei die handelsübliche Bezeichnung „Marmor“ nicht mehr mit der Bezeichnung durch den Mineralogen, der in seinen Benennungen genauer ist.

Vor allem die Härte eines Gesteins bestimmt weitgehend seine Verwendbarkeit. Man hat deshalb die Mineralien ihrer Härte nach in eine Stufenfolge eingegliedert, die mit Ziffern bezeichnet wird. Die Härtestufe 1 umfaßt die weichsten Mineralien, wie zum Beispiel den Graphit, den färbenden Bestandteil unserer Bleistifte, und den Talk, den wir als Schneiderkreide verwenden. Wir können beide mit dem Fingernagel ritzen. Steinsalz, Gips und Alabaster, die mit einer Kupfermünze geritzt werden können, gehören zur Härtestufe 2. Die folgenden Stufen 3 und 4 können nicht mehr mit Kupfer geritzt werden; sie umfassen den Kalk in seinen verschiedenen Ausbildungsformen; als Kalkspat hat er die Härte 3, als Marmor die Härte 3,5. Sie sind fest genug, um der Verwitterung lange zu wider-

stehen. Und dennoch können sie leicht mit dem Stahlmeißel behauen werden, der eine Härte von über 6 aufweist. Kalk ist daher ein ausgezeichneter Baustein. Quarz mit der Härte 7 ritzt bereits den Stahl. Korund (Härte 9), Bor (Härte 9,5), Borkarbid (Härte 9,8) und Diamant mit der Härte 10 sind die härtesten Mineralien. Sie dienen als Schleifmittel und zum Bearbeiten besonders harter und widerstandsfähiger Gesteine.

Im Kalksteinbruch hingegen kommt es mengenmäßig weniger auf die Gewinnung von Bausteinen als von Gesteinschutt an, der in Kalkbrennereien und Zementwerken weiterverarbeitet wird.

Im Kalksteinbruch wendet man Sprengstoffe an, die das Gestein vollkommen zertrümmern, während man sich im Marmorbruch solcher Sprengstoffe bedient, die langsam drückend und schiebend wirken und größere Blöcke von der Wand lösen. Die Blöcke werden an Ort und Stelle behauen und in die gewünschte Größe gebracht.

Was uns die Gesteine erzählen

Wie wir sahen, ist der Marmor durch Umkristallisation von Kalkstein in unmittelbarer Nähe von aufsteigendem Magma im Gesteinsmantel der Erde entstanden. Viel häufiger sind die schichtenweise abgelagerten Kalksteine als Meeressedimente, wie zum Beispiel die Ammoniten- und Krinoidenkalke und der Muschelkalk. Derartige Ablagerungen sind nahezu in allen Erdperioden an den Stellen der Erde abgelagert worden, die von Wasser überflutet waren. Ihr relatives Alter zueinander ergibt sich aus der Schichtenfolge der Gesteine. Denn naturgemäß ist eine Ablagerung um so früher entstanden, je tiefer sie liegt, und alle über ihr abgelagerten Gesteinsschichten sind jüngeren Datums.

Die Erfassung der Schichtenfolge ist mit Schwierigkeiten verbunden, denn wir können immer nur die zu oberst

liegende Schicht sehen. Künstliche Aufschlüsse, wie Kiesgruben und Steinbrüche, angeschnittene Berghänge an Straßen, Bahnen und Autobahnen helfen uns manchmal weiter und lassen uns etwas tiefer blicken. Im Bergwerk endlich lernen wir zahlreiche untereinanderliegende Schichten kennen, und Bohrlöcher vermitteln uns ebenfalls einen Einblick in den Aufbau der Erdrinde. Da nicht überall Bergwerke angelegt werden, müßte unsere Kenntnis von der Schichtenfolge aber sehr lückenhaft sein, wenn uns die Natur nicht selbst weitergeholfen hätte.

Nur in begrenzten Bezirken ist die ursprüngliche Horizontalschichtung ungestört erhalten geblieben. Große Gebiete, die einst von Meeren überflutet waren, wurden im Laufe der Erdgeschichte zu hohen Gebirgen aufgefaltet. Nun liegt der ursprüngliche Meeresgrund trocken, und die Kämme der Gebirge sind der Verwitterung ausgesetzt. Am stärksten verwittern die höchsten Teile der Gebirge. Dort haben die Gebirgswässer das größte Gefälle und damit auch die größte abtragende Kraft. So werden die Faltensättel relativ rasch abgetragen, und der Verwitterungsschutt füllt die Mulden zwischen den Falten aus. Allmählich gleichen sich die Höhenunterschiede aus, und das Land wird eingeebnet. Wandern wir über einen solchen Gebirgsstock, bei dem die Faltensättel abgetragen sind, so sehen wir zu unserer Überraschung das gleiche, was wir sonst nur in einem Bergwerke studieren können. Bei der Auffaltung sind die einst horizontal gelagerten Schichten steil aufgerichtet worden. Nun, wo die Faltensättel durch die Verwitterung gewissermaßen abgeschnitten sind, laufen wir horizontal quer durch die obersten, jüngsten Schichten. Was wir an der Wand der Sandgrube übereinander liegen sehen, ist nun vor uns säuberlich nebeneinander ausgebreitet. Und, nehmen wir einmal an, daß wir im Schacht eines Bergwerks ein Schichtenpaket von fünf Schichten durchfahren, von denen jede fünfhundert Meter mächtig ist, so bietet sich uns jetzt folgendes Bild:

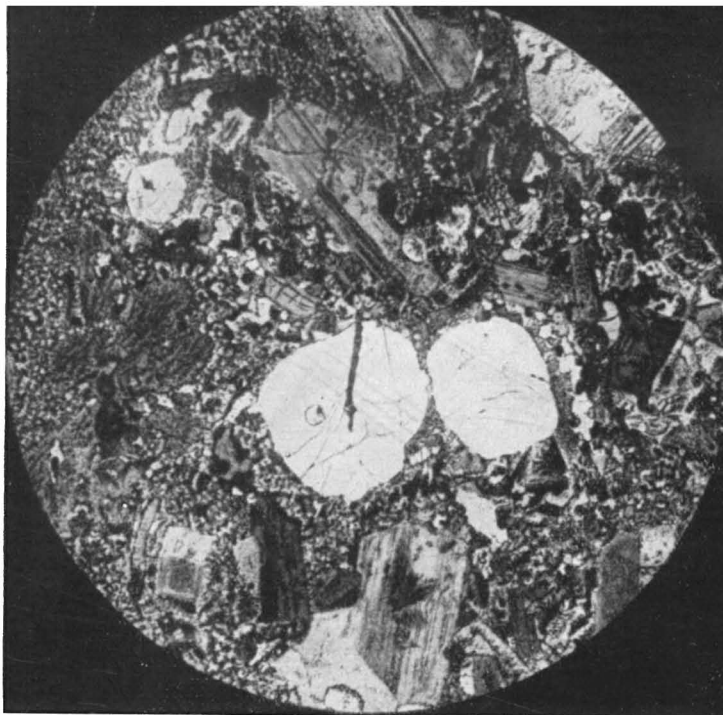


Bild 5 Granitporphyr von Ernstshofen (Odenwald), Schliff 20fach vergrößert. Große Kalknatronfeldspate, helle runde Quarzkörner, dunkle Glimmertäfelchen

Bild 6 Hvar, Karstinsel vor der jugoslawischen Küste



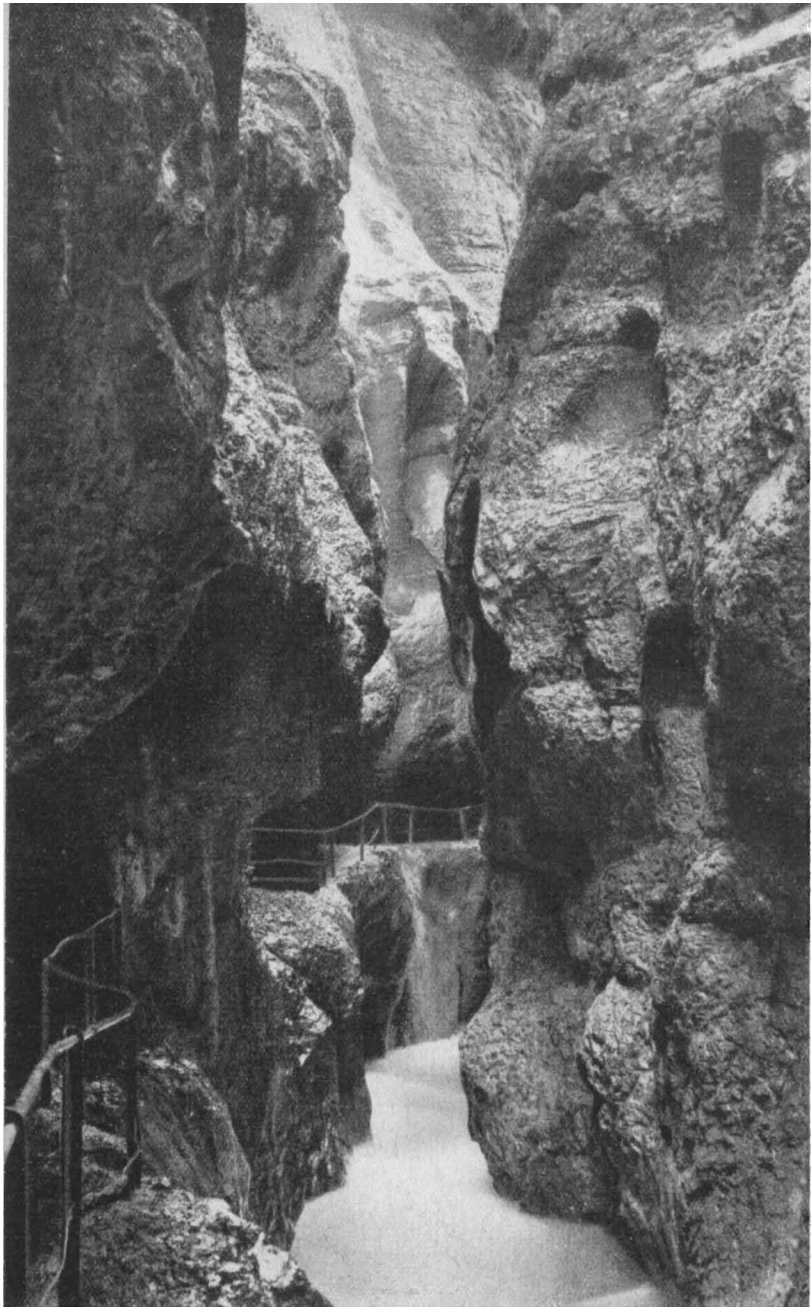


Bild 7 Partnackklamm (Wettersteingebirge), eine nahezu 150 m tiefe Erosionsschlucht in dunklen Kalkschichten

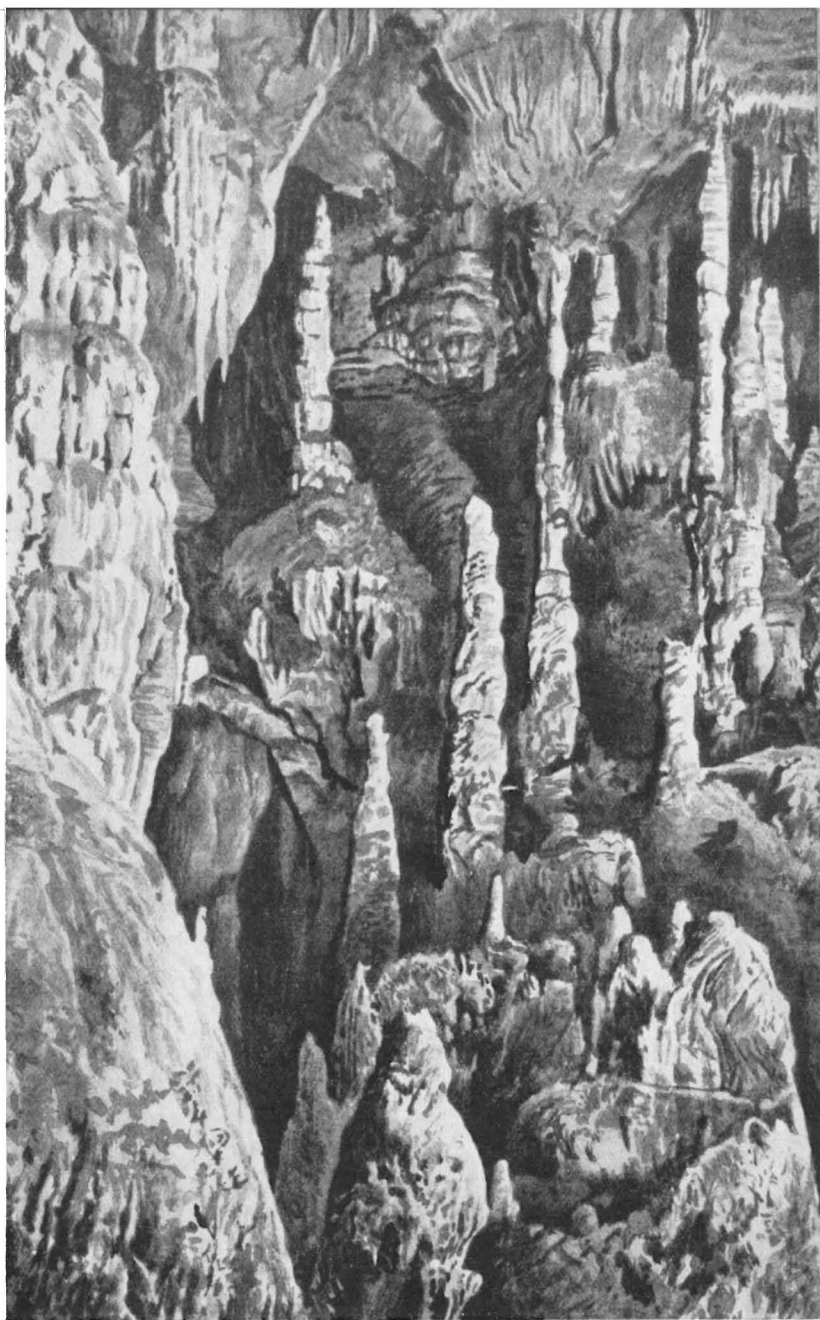


Bild 8 Blick in die Säulenhalle der Baumannshöhle in Rübeland (Harz)

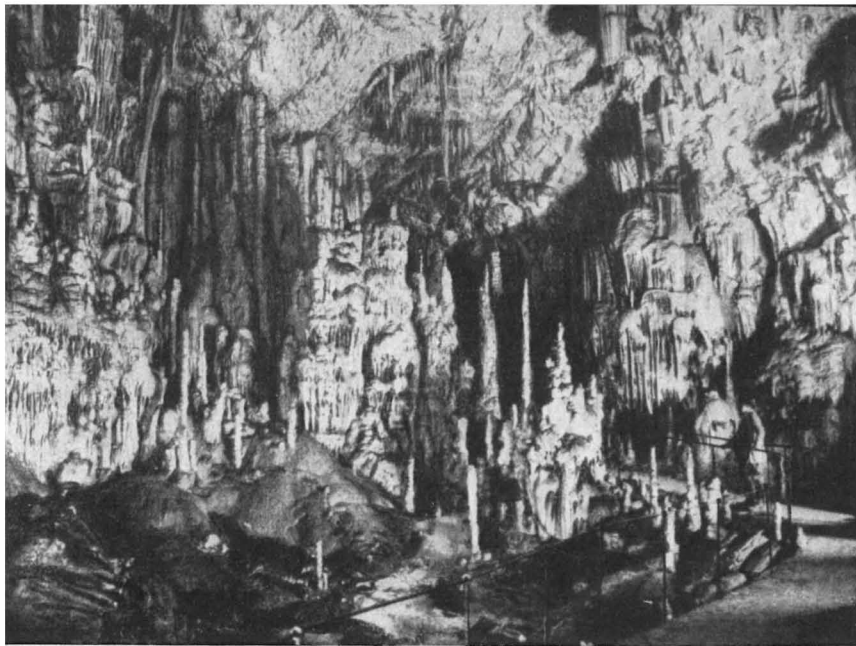


Bild 9

In der Adelsberger Grotte:
Saal der Stickereien

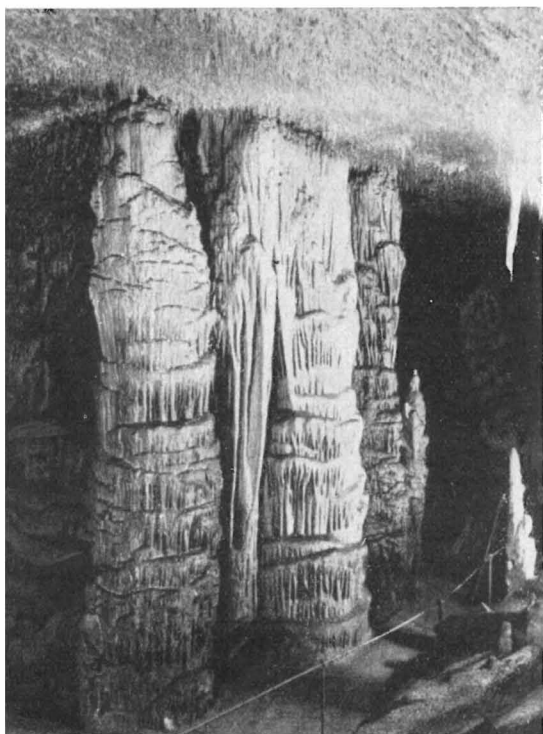
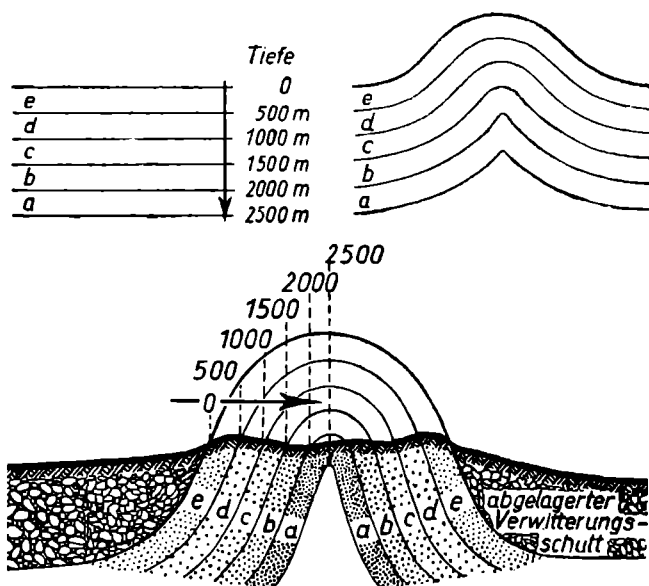


Bild 10

Die Zwillinge;
mächtige Säulenbildungen
aus glitzerndem Tropfstein



Die Schichtfolge
Horizontalschichtung von Sedimentgesteinen; Auffaltung
abgetragener Faltensattel

Indem wir etwa fünfhundert Meter geradeaus laufen, erreichen wir die untersten Lagen der jüngsten Schicht *c*. Nun gelangen wir in die Gesteine der zweitjüngsten Schicht *d* und nach weiteren etwa fünfhundert Metern in die Schicht *c*. Haben wir dann zweitausendfünfhundert Meter zurückgelegt, so haben wir die tiefste Stelle, die Schicht *a* in dem oben angenommenen Bergwerk, durchstoßen. Wir befinden uns zwar noch auf der Erdoberfläche, aber wir stehen auf den Gesteinsschichten, die bei ungestörter Lagerung in zweitausendfünfhundert Meter Tiefe anzutreffen wären. Wandern wir weiter horizontal und geradeaus, so „klettern“ wir dabei gleichsam in den Gesteinsschichten wieder in die Höhe und kommen nach weiteren zweitausendfünfhundert Metern wieder auf der

Die Erdzeitalter

Erdzeitalter	Jahre (Schätzwerte)	Periode	Epoche	bei uns vor- herrschender Charakter
Neuzeit (Känozoikum)	0 bis 60 Millionen Jahre	Quartär	Alluvium	Land
		Tertiär	Diluvium	Eiszeit Verlandung
Mittelalter (Mesozoikum)	60 bis 200 Millionen Jahre	Kreide		Meer
		Jura		Meer
		Trias	Keuper Muschelkalk Buntsandstein	Verlandung Überflutung Verlandung
Altertum (Palaeozoikum)	200 bis 540 Millionen Jahre	Perm	Zechstein	Überflutung
			Rotliegendes	Wüsten Verlandung
		Karbon		
		Devon		vorwiegend Meer
		Silur		Meer
		Kambrium		Urmeer
Urzeit (Archaeo- zoikum)	540 bis 2000 Millionen Jahre	Präkam- brium		
Azoikum Kosmische Zeit		Archaikum		

„Erdoberfläche“ an. Die Verwitterung hat also beim Abtragen der Faltensättel gleichsam ein Fenster im Gesteinsmantel der Erde aufgebrochen, durch das wir bequem in die Tiefe schauen können.

Dabei finden wir in den einzelnen Schichten häufig auch versteinerte Reste von Pflanzen und Tieren. Es sind aber

und die Entwicklung der Lebewesen

Entwicklung der Pflanzen	Entwicklung der niederen Tiere	Entwicklung der Wirbeltiere
		Kulturmensch
Blütenpflanzen	Nummuliten, Insekten	Mensch Riesensäugtiere; Urmensch
Laubbölzer, Palmen	Viele Foraminiferen	Zahntragende Vögel
	Ammoniten, Belemiten	Erste Knochenfische; große Meeresreptilien und Flugsaurier
Cycadeen	Ceratites	Lungenfische; Ur-Säugetiere Dinosaurier
Nadelbäume, Palmenfarne		Erste Reptilien
Höchste Entwicklung d. Bärlappgew., Farne, Schachtelh.		Erste luftatmende Amphibien
Verwandte der heutigen Nadelhölzer	Korallen, Hauptentwicklung der Graptolithen	Panzerfische
Erste blütenlose Landpflanzen	Hauptentwicklg. d. Trilobiten, Brachiopoden	Erste Wirbeltiere: Panzerfische
Meeresalgen		
Meeresalgen	wirbellose Meerestiere	

nicht immer die gleichen Formen, denn in jedem Erdzeitalter haben andere Tiere und Pflanzen die Erde bevölkert. Unter ihnen fallen uns einzelne Formen auf, die eine besonders charakteristische Form haben und in einer Schicht besonders häufig anzutreffen sind. Sie sind für diese Gesteinsschicht so charakteristisch, daß man überall, wo man

sie antrifft, mit Sicherheit sagen kann: Das ist die gleiche Gesteinsschicht; sie ist zur gleichen Zeit und im gleichen Erdzeitalter entstanden. Die charakteristische Versteinerung leitet uns beim Erkennen der einzelnen Gesteinshorizonte; man bezeichnet sie daher als Leitform oder Leitfossil für die betreffende Schicht.

So helfen uns die Versteinerungen als Leitfossilien, die Gesteinsschichten einem bestimmten Erdzeitalter und in diesem wieder einem ganz bestimmten Horizont zuzuordnen, auch wenn die Lagerung völlig gestört ist. Sie helfen uns gleichzeitig, unser Wissen von der Entwicklung der Pflanzen- und Tierwelt zu vervollständigen. Nur die Uranfänge der Entwicklung können durch Versteinerungen nicht belegt werden. Denn die ältesten Gesteine, diejenigen der Urzeit, sind derart stark verändert, daß in ihnen keine Reste von Lebewesen mehr erkennbar sind.

Im Altertum der Erde, das mit den Tonschiefern des Kambriums beginnt, sind schon alle Stämme der wirbellosen Tiere entwickelt. Benannt ist diese Schichtenfolge nach Cambria, dem keltischen Namen für Wales, wo sie besonders viel vertreten ist. Krebsähnliche Trilobiten und Brachiopoden unter den Armfüßlern haben in dieser Zeit ihre höchste Entwicklung. In den Tonschiefern des folgenden „Silurs“ treffen wir vor allem polypenähnliche schwimmende Tierkolonien, die Graptolithen, an. Diese und die folgenden Schichten des Devons sind wieder nach englischen Vorkommen benannt; die Silurer sind ein alter Volksstamm in England, und Devonshire ist eine englische Grafschaft.

Das Karbon ist nach den Steinkohlenflözen benannt, die in dieser Frühzeit der Erde vor rund dreihundert Millionen Jahren entstanden. Große Landmassen hatten sich gebildet, und in dem feuchten, tropischen Klima der Küstensümpfe entfalteten sich Baumfarne, Schachtelhalme und unter den Bärlappgewächsen die Schuppen- und Siegel-

bäume zu Riesenformen. In den blütenlosen Wäldern der Steinkohlenzeit begegnen uns die Dachschrädel als die ersten Lurche, während im Silur bereits die ersten Fische aufgetreten waren. Mit dem Perm, benannt nach einem russischen Gouvernement, geht das Altertum der Erde zu Ende. Neben den Schachtelhalmen zeigten sich die ersten Nadelgewächse und neben den Lurche die ersten Kriechtiere.

Das Mittelalter wird durch die dreigeteilte Trias eingeleitet. Aus den Ablagerungen eines wüstenartigen Trockengebietes entstand der Buntsandstein, der vom Muschelkalk überlagert ist. Ein flaches Binnenmeer hatte inzwischen das Land überflutet. Seine Tierwelt ist zwar arm an Arten, aber diese kommen in unvorstellbaren Mengen vor. Unter den Ammonshörnern ist es besonders *Ceratites nodosus*, unter den Armfüßlern die *Terebratula vulgaris*, deren Schalen mächtige Ablagerungen bilden. Korallen bauen große Riffe, Kalkalgen bilden Kalktuff, und Seelilien sind so häufig, daß ihre Stengelglieder allgemein unter dem Namen „Bonifatiuspfennige“ bekannt sind. Die vorübergehende Verlandung der Keuperzeit, die nach Sandsteinschichten in der Nähe von Koburg benannt ist, wird durch das große Jurameer abgelöst (Bild 18).

Das ist die Blütezeit der Ammoniten, der Belemniten und Seelilien. Die Beherrscher aller Lebensbereiche waren die Reptilien. Teils in Fischgestalt wie der *Ichthyosaurus*, teils in seltsamen und abenteuerlichen Formen, wie der *Plesiosaurus*, bevölkerten sie das Meer. Die landbewohnenden Dinosaurier waren die größten Tierformen, die je auf der Erde lebten; der größte unter ihnen war mit fünfunddreißig Metern Länge der *Atlantosaurus*. Zur gleichen Zeit bevölkerten die Reptilien als Flugsaurier die Luft. In der Kreidezeit starben diese Riesenformen aus. Im Kreidemeer treten die Foraminiferen in ungeheurer Zahl auf; ihre Ablagerungen bilden die Kreidefelsen. Auf dem Lande zeigen sich die ersten Laubbölzer.

Die Neuzeit der Erde ist das Zeitalter der Insekten und Säugetiere, von denen die letzteren im Tertiär Riesenformen entwickelten. Im Diluvium trat dann der Mensch auf.

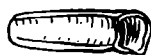
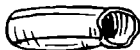
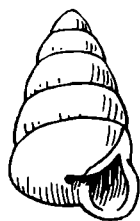
Zahlreiche Tierformen, die uns die allmählich und stufenweise erfolgte Höherentwicklung des Tierstammes zeigen, sind uns in den Kalkablagerungen aller Erdzeitalter erhalten geblieben. Besonders wichtig unter ihnen sind die Sammeltypen, die noch die Merkmale verschiedener Tierklassen in sich vereinigen und den Verzweigungsstellen des Stammbaumes nahestehen. Zu ihnen gehört eine primitive Vogelform, die noch zahlreiche Merkmale des Kriechtierstammes besitzt. Man fand sie im Solnhofener



Archäopteryx, der Urvogel aus dem Solnhofener Plattenschiefer

Plattenschiefer, einem schieferig entwickelten Kalk. Er entstand zwischen den Riffen aus feinstem tonhaltigen Kalkschlamm und dient infolge seiner feinen plattigen Struktur zur Gewinnung von Lithographiesteinen. In dem feinkörnigen Schlamm waren diese seltsamen Vögel einst versunken. Der Schlick bettete sie ein, und heute können wir an den Versteinerungen alle Einzelheiten des Körperbaus studieren. Federn, Flügel und Steuerschwanz kennzeichnen das Tier als typischen Vogel. Aber die Schwanzfedern sitzen noch an einem langen Reptilienschwanz; an den Flügeln befinden sich Eidechsenkrallen, und der Vogelschnabel ist mit spitzen Zähnen besetzt. Es ist ein Zwischenglied zwischen Kriechtier- und Vogelstamm. Urvogel hat man es daher genannt, und die Wissenschaftler bezeichnen es als *Archaeopteryx lithographica*, weil es in dem Gestein gefunden wird, aus dem die Lithographiesteine gewonnen werden.

Solche Zwischenglieder sind uns ein Beweis für die Abstammungslehre. Sie zeigen, wie sich die höheren Tierformen allmählich aus den niederen entwickelt haben. Das setzt voraus, daß die einzelne Tierform wandlungsfähig ist und sich weiterentwickeln kann. Auch hierfür hat uns der Kalk eines der markantesten und deutlichsten Beispiele erhalten.



Entwicklungsreihe der *Planorbis multiformis* aus den Süßwasserkalken des Steinheimer Beckens

In einem begrenzten Seebecken bei Steinheim in Württemberg haben sich zur Tertiärzeit Süßwasserkalke abgelagert. Sie schließen zahllose Gehäuse einer Süßwasserschnecke ein, die wegen ihrer Vielgestaltigkeit von den Wissenschaftlern *Planorbis multiformis* genannt wurde. In den unteren Lagen der ungestörten Schichtenfolgen finden wir sie mit flachen, tellerförmigen Gehäusen. Darüber folgen Schichten, in denen sich eine Windung über die anderen Umgänge des Schneckenhauses emporhebt, darüber solche, bei denen sich bereits ein zweiter Umgang aus dem anfangs ebenen Hause löst. Je höher wir in der Schichtenfolge aufsteigen, desto kegelförmiger werden die Gehäuse. So haben sich schließlich aus den tellerförmigen Gehäusen turmförmige Schneckenhäuser entwickelt. Hier, im Nördlinger Ries, hat uns die Natur einmal eine ganze Entwicklungsreihe vollständig erhalten, weil sich die einzelnen Entwicklungsstadien ungestört ablagern konnten und dann durch heiße Quellwässer zu einem lockeren Süßwasserkalk zusammengebacken wurden. Auch die anderen Tierformen haben sich im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung umgebildet, doch nur sehr selten und zufällig ist eine Entwicklungsreihe so lückenlos erhalten geblieben wie die der vielgestaltigen *Planorbis*.

Ein Fenster im Gesteinsmantel der Erde

Abgetragene Faltensättel gewähren uns Einblick in den Bau der Erdkruste und in die Schichtenfolge der Gesteine. Ein solches Fenster im Gesteinsmantel finden wir auch an einer Stelle, an der wir es nicht erwartet hätten, nämlich fünfundzwanzig Kilometer östlich vom Stadtkern Berlins. Es liegt inmitten der Norddeutschen Tiefebene. Auch diese war ursprünglich ein vielgegliedertes Berg- und Hügelland. Nach Westen ging es in eine große tertiäre Sammelmulde und nach Osten in die russische Platte über, die aus horizontalen Tafeln aufgebaut ist. Dann rückten

in der Diluvialzeit die nordischen Eismassen nach Süden. Bald überdeckten sie Norddeutschland bis an die Hänge unserer heutigen Mittelgebirge mit einer etwa tausend Meter mächtigen Eisdecke. Die Eismassen führten den Verwitterungsschutt mit, der sich seit langen Erdperioden auf der skandinavischen Halbinsel angehäuft hatte, und verteilten ihn auf die ganze Fläche Norddeutschlands. So wurde das ursprüngliche hügelige Schollenland tief unter den abgelagerten Grundmoränen und den aufgeschütteten Endmoränenwällen der Eiszeit begraben. Riesige Schmelzwasserrinnen durchfurchten das Land und gaben ihm ein neues Relief.

Nur an wenigen Stellen, an denen Bodenerhebungen aus härterem Gestein der abtragenden Schleifwirkung des Eises größeren Widerstand entgegensetzten, tritt der alte Untergrund durch die mächtige diluviale Schotterdecke inselgleich zutage. Zu diesen Ausnahmererscheinungen im norddeutschen Untergrund gehört die *Muschelkalkinsel von Rüdersdorf bei Berlin*. Sie ist von einer zweihundertzwanzig Meter mächtigen Kalkdecke gebildet, die im Mittelalter der Erdgeschichte als Ablagerung des Triasmeers entstand.

Zahlreiche Tiefbohrungen in unmittelbarer Nähe des Kalksattels wurden in die Gesteinsschichten niedergetrieben, die unter den Kalkschichten liegen. Diese Bohrlöcher vermitteln uns Einblicke in die Tiefe. Da liegt zu oberst der eiszeitliche Schutt. Er überlagert teilweise den Kalkhorizont. Unter ihm folgen dem Alter nach Tone, Fasergips und Buntsandstein. Der oberste Buntsandstein wird auch Röt genannt. Seine rötlich und gelb gefärbten Schichten stehen am Kesselsee noch an und werden in den Röt-Tongruben abgebaut. Weiter dringen die Bohrlöcher in rote Zechsteinletten ein, unter denen von 633 bis 855 Meter Tiefe die Schichten des Jüngeren Steinsalzes und bis 883 Meter Tiefe Zechsteinkalke folgen. Darunter befindet sich ein mächtiges Lager von Älterem Steinsalz, das vom

tiefsten Bohrloch bei 1181 Meter Tiefe noch nicht durchstoßen ist. Was darunter folgt, entzieht sich unserer unmittelbaren Kenntnis und kann nur aus anderen Schichtenfolgen erschlossen werden, die unter ähnlichen Ablagerungsbedingungen entstanden und durch natürliche oder künstliche Aufschlüsse freigelegt sind.

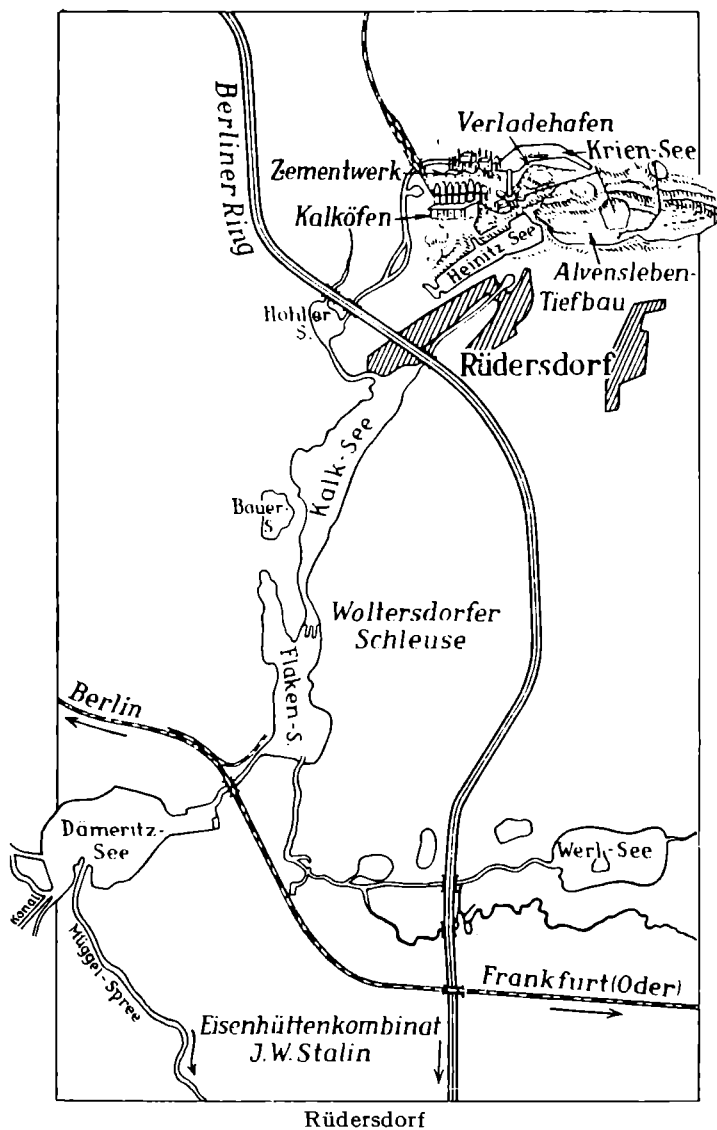
Ein großer Teil des Kalksattels ist noch vom eiszeitlichen Moränenschutt überlagert. An der Nordwand ist die Oberfläche der Kalkberge stellenweise geglättet, und die Oberfläche weist zahlreiche in gleicher Richtung verlaufende tiefe Schrammen auf. Es sind die Spuren der Eiszeit. Die Eismassen liegen nicht still; sie drängen und schieben unaufhörlich vorwärts. Dabei schleifen sie den anstehenden Fels und glätten seine Oberfläche. Das Eis führt auch zahlreiche Steine als Geschiebe mit. Ein Teil von ihnen wird unter starkem Druck über die geglättete Oberfläche der Felsen geschoben. Sind es harte Gesteine, so schrammen sie den Felsen, und da sie alle in der gleichen Richtung geschoben werden, entstehen gleichmäßig verlaufende Kratzer und Rillen. Neben diesen Gletscherschliffen und Gletscherschrammen wurden auch Gletschermühlen gefunden. Es sind Strudellöcher. Die hinabstürzenden Schmelzwässer drehten in ihnen Gesteinsblöcke gegen den felsigen Untergrund. Als Mahl- und Schleifstein weiteten sie das Strudeloch aus und vertieften es. Diese Schliffe, Schrammen und Strudeltöpfe beweisen, daß sich die Gletscher der Eiszeit über den Kalksattel hinweg nach Süden schoben.

Das Rüdersdorfer Vorkommen ist ein eng begrenzter Kalksattel, der in einer Breitenausdehnung von etwa zweitausenddreihundert Metern und in einer Längenausdehnung von etwa dreitausendvierhundert Metern aus der diluvialen Decke emporragt, die selbst hundertachtundsiebzig Meter mächtig ist. Schon seit dem Jahre 1254 ist das Kalklager von Rüdersdorf bekannt. In dem kalkarmen Tieflande fand es sehr bald größte Beachtung, denn Kalk ist seit alten Zeiten ein geschätzter Bau- und Werkstein,

da er leicht zu bearbeiten ist. In großen Brüchen wurde besonders die siebzig Meter mächtige Schaumkalkbank abgebaut.

Wenn wir heute nach Rüdersdorf kommen, sehen wir das charakteristische Bild des dicht bevölkerten und industrialisierten mitteleuropäischen Raumes. Landwirtschaft und industrielle Produktion sind eng miteinander verflochten. Der Bauer pflügt den Acker im Anblick großer Industriewerke. Mit Bahnlinien, Straßen, Autobahnen und Kanälen ist das Land in jeder Richtung erschlossen. Damit sind die Voraussetzungen für eine großzügige industrielle Produktion geschaffen (Bild 27).

Der Heinitzstraße folgend, betreten wir das Werkgelände der Rüdersdorfer Kalkwerke mit seinen langgestreckten Arbeitersiedlungen. Auf der gegenüberliegenden Seite der Talung erfüllen die Schornsteine des Zement- und Betonwerkes die Luft mit schwarzem Rauch. In farbigem Kontrast hierzu hüllen weiße Wolken von Kalkstaub vor uns das Kalkwerk ein. Dann breitet sich unvermittelt unter uns der weite, blaue Wasserspiegel des Heinitzsees aus. Er ist von hellen Kalkwänden umgeben, wie man sie inmitten der Mark nicht vermuten würde. Doch der Waldstreifen, der die Ufer des Heinitzsees in der Nähe des Kalkwerkes säumt, unterscheidet sich sehr von den grünen Wäldern der Mark. Kalkstaub deckt in dicken Schichten Baum und Strauch, Blume und Gras. Das Laub der Bäume, die zarten Gräser am Waldboden, Beifuß, Nachtkerze und Ochsenzunge, sie alle tragen hier das gleiche grauweiße Kleid, und bei der Schafgarbe fließt die Farbe der Blätter und Blüten in dem gleichen grauweißen Tone zusammen. Wir glauben uns in eine versteinerte Pflanzenwelt versetzt. Aber die unter unseren Schritten leicht aufwirbelnden Staubwolken weisen darauf hin, daß die nächste Regenflut all diese Gewächse in frischem Grün wieder erstehen läßt. Lange Zeit war der Heinitzbruch der große Tiefbaubetrieb der Rüdersdorfer Kalkwerke. Bis zu sechzig Metern Tiefe



Die Rüdersdorfer Schichtenfolge

Erdzeitalter	Ablagerungen	Mächtigkeit	Erdtiefe
Alluvium	Sand, Kalktuff	16 m	0 m
Diluvium	Sande, Kiese, Geschiebemergel	106 m	16 m
Trias	Keuper	blaue Schieferletten mit Kalk	9 m
	oberer	Ceratites-nodosus-Schichten	33 m
		glaukonitischer Kalkstein	8 m
		Myophoria-transversa-Schichten	8 m
	mittlerer	dolomitische Kalke	
			80 m
	unterer	Myophoria-orbicularis-Schichten	8 m
		Schaumkalk (Weißer Kalkstein)	70 m
		Wellenkalk (Blauer Kalkstein)	75 m
		Myophoria-vulgaris-Schichten (Mergelschiefer)	23 m
	Bunt-sandstein	Kalkmergel, Schieferletten, Sandstein	158 m
Dyas oder Perm	Zechstein	Zechsteinletten	39 m
		Jüngeres Steinsalz	222 m
		Zechsteinkalk	28 m
		Älteres Steinsalz	

122 m
131 m
180 m
260 m
436 m
594 m
633 m
855 m
883 m

hat man hier Kalkstein gebrochen. Heute ist er von den Wassern des Heinitzsees erfüllt, und man gewinnt dort keinen Kalk mehr.

Im Jahre 1901 begann man mit der Anlage des Alvenslebenbruches; zunächst wurde eine 15-Meter-Sohle ausgeschachtet. Heute arbeitet man dort auf der 30-Meter-Sohle, und der Bruch hat eine Länge von 1700 Metern und eine Breite von 500 Metern erreicht. Dieser gewaltige künstliche Einbruch in die Landschaft zeigt die Bedeutung der Rüdersdorfer Kalkwerke für Mitteldeutschland und für Berlin. Zahlreiche öffentliche und private Gebäude der Hauptstadt, wie zum Beispiel auch das Berliner Stadion, sind aus Rüdersdorfer Kalkstein erbaut.

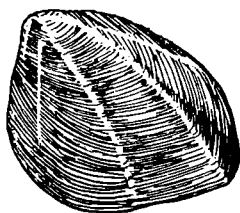
Im Tiefbau des Alvenslebenbruches

Vergegenwärtigen wir uns an Hand der beigefügten Übersicht die Abbauverhältnisse in den Rüdersdorfer Kalkbrüchen! Da treffen wir zu Beginn des Erdmittelalters auf die Ablagerungen der dreigeteilten Triaszeit. In der ersten Periode, der Buntsandsteinzeit, hatte Mitteleuropa Festlandcharakter und ein wüstenhaftes Klima. Als Festlandbildung dieses großen Wüstengebietes entstanden vorwiegend rötlich gefärbte Sandsteine, die man als Buntsandstein bezeichnet. Dann rückte von Südosten her das Muschelkalkmeer nach Mitteleuropa vor und überflutete weite Ländermassen. Es war ein flaches Binnenmeer. In den Aufschlüssen in der Tongrube am Kesselsee sehen wir denn auch unmittelbar über den farbigen Letten des Buntsandsteins grünlichgraue tonhaltige Kalksteinschichten, die man als Mergel bezeichnet. Wir erkennen diese Grenzschicht an der Muschel *Myophoria vulgaris* als Leitfossil, die oft in großen Mengen auftritt. Häufig sind ihre Schalen nachträglich wieder aufgelöst worden, und wir finden nur die tonigen Steinkerne, die sich innerhalb der Schalenhälften gebildet hatten, und die als Sili-

kate der lösenden Wirkung des Wassers widerstanden.

Über diesen Mergelschiefern, mit denen die Muschelkalkzeit eingeleitet wird, findet sich Kalkstein, der nach der Farbe als blauer Kalkstein oder nach der wellenförmigen Lagerung als Wellenkalk bezeichnet wird. Er erreicht eine Mächtigkeit von fünfundsiebzig Metern. Darüber lagert weißer Kalkstein mit körnig-schaumigem Aufbau, der Schaumkalk. Er ist wesentlich fester als der Wellenkalk. Seine Struktur kommt durch die innige Verfilzung unzähliger kleinerer Muschelschalen, Stielglieder von Seelilien und vieler anderer Kleinformen zustande. Auch der Schaumkalk weist eine Mächtigkeit von etwa siebenzig Metern auf. Es folgt eine nur acht Meter mächtige Schicht mit der Muschel *Myophoria orbicularis* und schließlich der mittlere Muschelkalk. Er enthält bis vierzig Prozent Magnesiumkarbonat, das mit dem Kalziumkarbonat des Kalkes zu einem Doppelsalz vereinigt ist. Dieses Beieinander von Kalzium und Magnesium bezeichnet man als Dolomit, und die Chemiker geben ihm die Formel $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Infolge der Dolomitbildung sind die Versteinerungen dieser Schichtenfolge nur sehr mangelhaft erhalten. Den Beginn des oberen Muschelkalkes zeigt als Leitfossil die Muschel *Myophoria transversa* an, und das Ende der Schichtenfolge der Kopffüßler *Ceratites nodosus*. Darüber lagern die Schichten der Endperiode der Trias, die Keuper-schichten. Während der Keuperzeit ziehen sich die Wassermassen wieder zurück, und Festland tritt an die Stelle des Meeres. Nur noch die Wellenkalke und die Schaumkalke haben heute für den Abbau Bedeutung.

Wir betreten den Alvenslebenbruch in einem überdachten hölzernen Treppengang. Dach und Wände schützen uns vor Steinsplittern, die während der Sprengungen umher-



*Myophoria
vulgaris*

liegen. Die Kalkwände sind uneinheitlich aufgebaut. An der einen Wandflucht werden die wellenförmig gelagerten, stark geschieferten Wellenkalke abgebaut. Sie sind stark mit tonigen Lagen durchsetzt und dienen zur Herstellung von Zement. An der Stirnwand des Bruches sehen wir vor allem die qualitativ höherwertigen, helleren Schaumkalke, die wesentlich fester sind, das Baumaterial für Hausfundamente, Treppenstufen und Fußböden liefern und zu Bausteinplatten und Grabdenkmälern verarbeitet werden. Die gebrochenen Schaumkalke werden in Mahlanlagen weiter zerkleinert und als Naturkalk abgegeben oder in Kalkbrennereien auf Branntkalk und anschließend auf Löschkalk verarbeitet. Beachtliche Mengen Schaumkalke wandern in Zuckerfabriken, Papierfabriken und in Eisengießereien.

Es könnte die Frage auftauchen, warum man den Kalkstein überhaupt in einem Tiefbau gewinnt und sich nicht auf den Abbau der obersten Schichten beschränkt. Da müssen wir uns daran erinnern, daß das Rüdersdorfer Kalkvorkommen der aus der Tiefe aufsteigende Sattelpf einer Gebirgsfalte ist und daher auch nur eine begrenzte Längen- und Breitenausdehnung hat. Seit Jahrhunderten bereits hat man die obersten Schichten abgebaut, so daß man nunmehr in die Tiefe gehen muß.

Dabei stößt man sehr schnell auf das Grundwasser, das nahezu auf dem Scheitel des bis zur Erdoberfläche emporreichenden Kalksattels steht. Um den Abbau trocken zu halten, läßt man die Wassermassen auf die Bruchsohle laufen und sammelt sie dort in Entwässerungsgräben. Sie führen in einen achtzig Meter tief in den Fels gehauenen Stollen. Aus ihm werden in jeder Minute zweitausendvierhundert bis zweitausendachthundert Liter Wasser durch Druckpumpen zutage gefördert und dann dem Heinitzsee zugeleitet.

Der Bruch liegt nicht genau auf dem Faltensattel, sondern auf einer Flanke. Daher liegen die Schichten schräg; sie

Bild 11

In derAdelsberger
Grotte:
Die Glucke

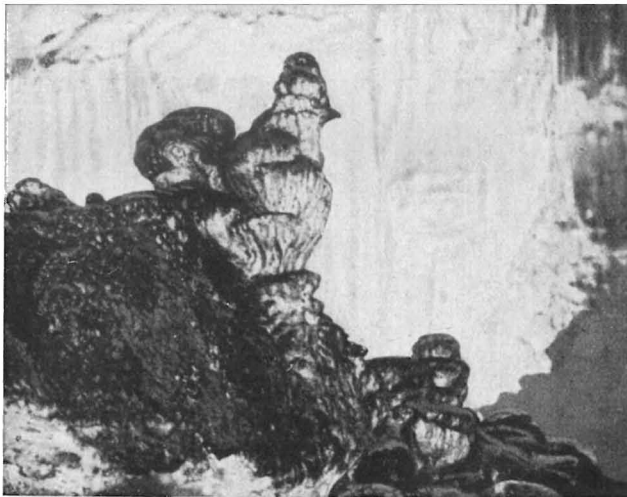


Bild 12 Die Madonna

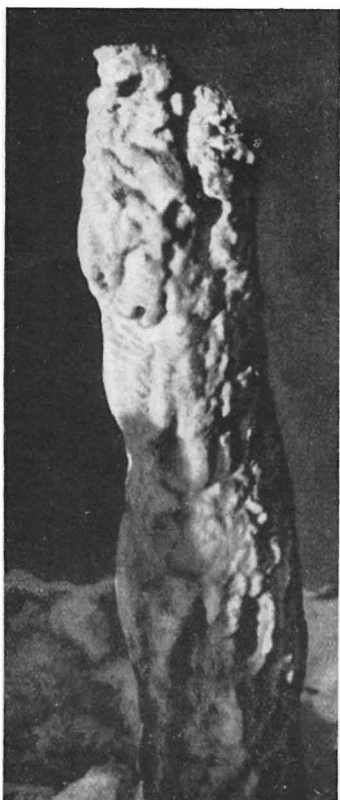


Bild 13 Der Papagei



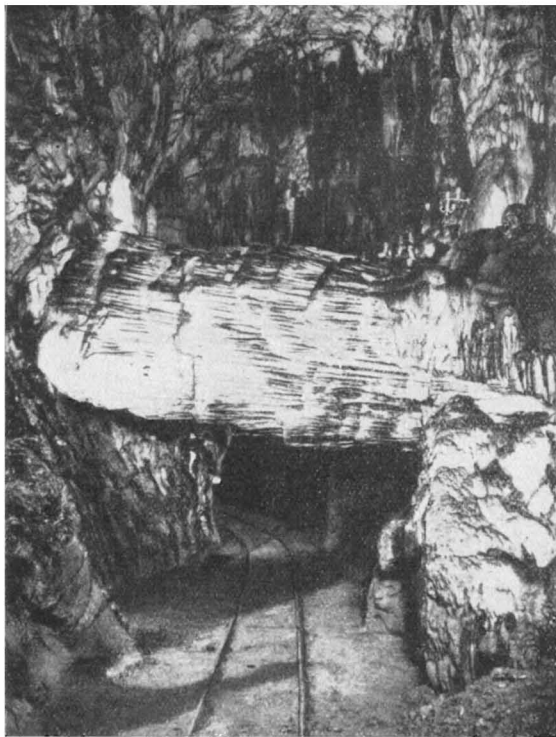


Bild 14

Adelsberger Grotte:
Die Grottenbahn fährt
durch Tore aus gestürz-
ten Tropfsteinsäulen

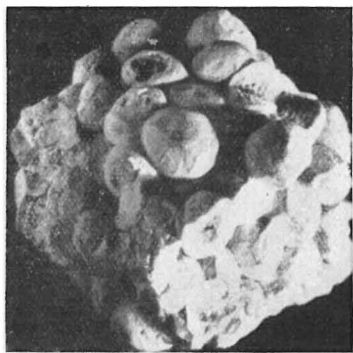


Bild 15 Karlsbader Erbsenstein

Bild 16 Travertin mit Blatt,
ein Süßwasserkalk der Tertiärzeit
(Cannstatt)

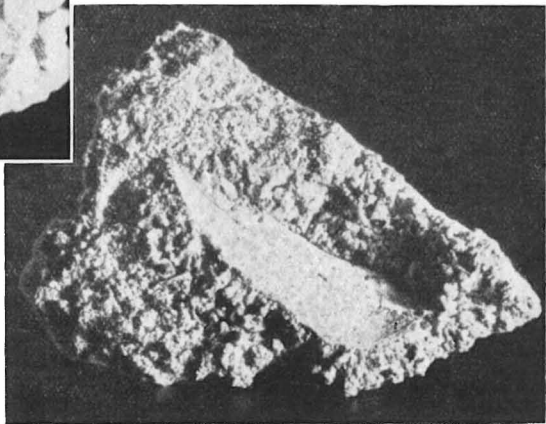


Bild 17

Gesteinsrose aus
blätterigem Kalk-
spat (Schneeberg
in Sa.)

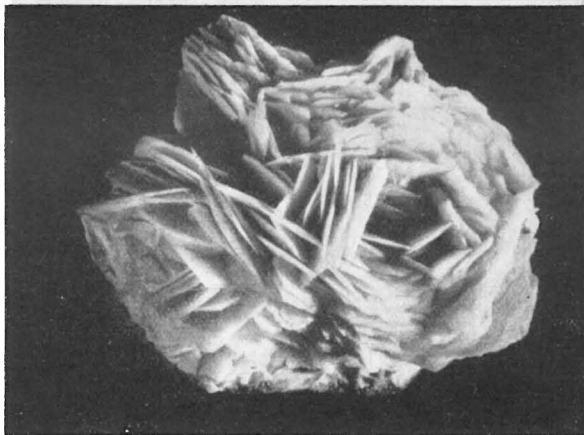


Bild 18

Ceratites nodosus
(buckliges Ammons-
horn), Leitfossil
aus dem Oberen
Muschelkalk

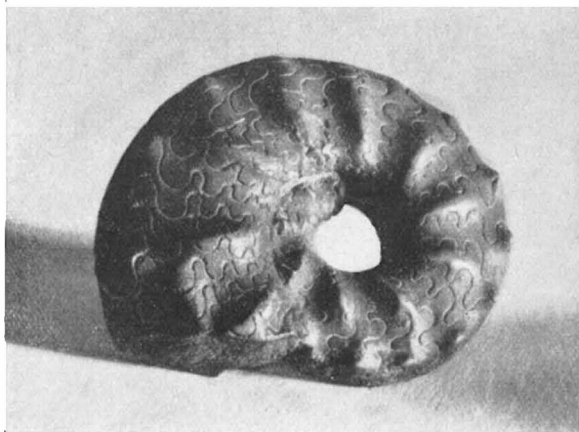


Bild 19

Muschelkalk
(Thüringen)

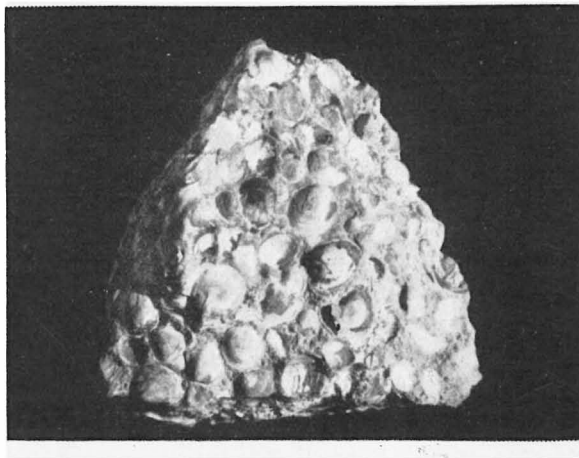




Bild 20

Küstenriff der Südsee bei Ebbe;
im Hintergrund ein kleines Atoll

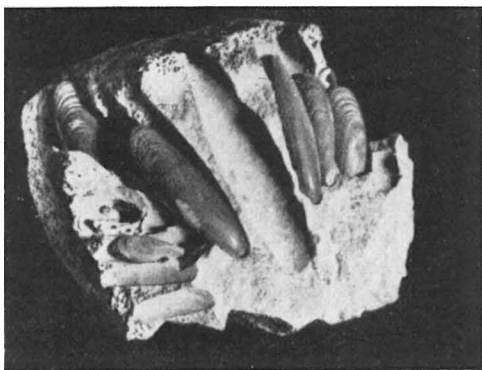


Bild 21

Massiver Kalkstein, von der Meer-
dattel (Lithodomus) ausgehöhlt
(Dalmatien)

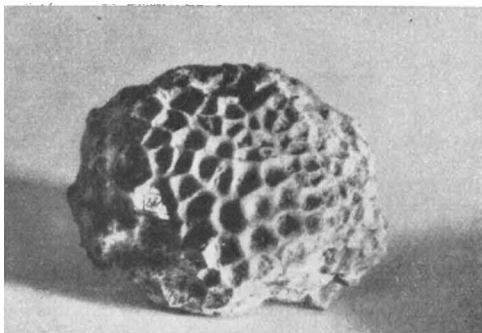
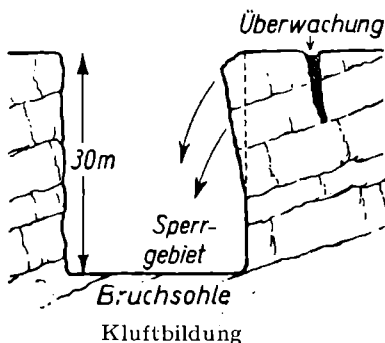


Bild 22

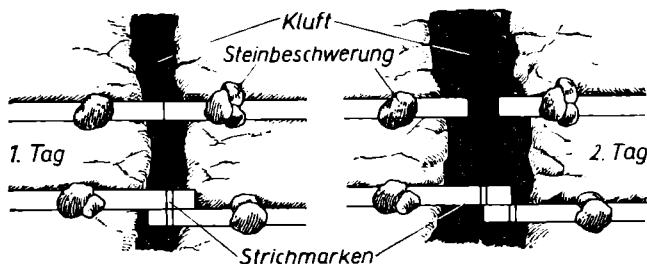
Korallenstock (Cyatophyllum
quadrignonium) aus dem Korallen-
riff bei Gerolstein (Eifel)

sind gegenüber der Horizontale um einen Winkel von 18° geneigt. Die Gesteinsbänke weisen senkrecht zur Schichtung verlaufende Gesteinsklüfte auf. Im Winter gefrieren die Sickerwässer in ihnen, und das Eis, das einen größeren Raum als



das Wasser einnimmt, treibt die Klüfte auseinander. Durch die Klüfte werden die Schichten unterbrochen, und die dem Bruch benachbarten Teile lösen sich allmählich ab. Daher bilden sich an der Erdoberfläche in der Nähe der dreißig Meter hohen Bruchwand häufig Erdrisse. Sie verbreitern sich im Laufe der Zeit, bis endlich eine ganze Wandflucht in die Tiefe stürzt.

Darum muß die von Einstürzen bedrohte Flanke des Bruches ständig überwacht werden: Der mit dieser Aufgabe betraute Arbeiter legt in geringen Abständen Latten über die Kluft. In der Mitte sind sie durch Sägeschnitt geteilt. Die Teilstücke werden an der Schnittfuge über der Kluft



Mit Meßplatten beobachtet man das Anwachsen der Kluft

zusammengepaßt und an den aufliegenden Enden mit Steinen beschwert. Am Auseinanderrücken der Teilstücke an der Schnittfuge erkennt man das Breiterwerden der Kluft. Oder es werden jeweils zwei Latten mit Strichmarken derart nebeneinander gelegt, daß die Strichmarken übereinstimmen. Bei einer Verbreiterung der Kluft verschieben sich die Strichmarken und weichen auseinander.

In regelmäßigen Kontrollgängen überwacht der Arbeiter das Wachsen der Randkluft (Bild 28). Nimmt es bedrohliche Maße an, so daß mit einem Wandsturz gerechnet werden muß, wird der gefährdete Teil des Bruches für den Abbau und für jede Begehung gesperrt.

Die Wand wird gesprengt

Wie in allen Steinbruchsbetrieben, so ist auch im Kalksteinbruch der Abbau vollkommen mechanisiert worden. Da wird nicht mehr mit Spitzhacke und Meißel gearbeitet, sondern das Gestein wird durch Sprengen gelöst. Eine besonders wirkungsvolle Form dieses modernen Abbaus ist die Wandsprengung. Am Fuße der Gesteinswand treibt man auf der 30-Meter-Sohle zahlreiche Stollen in Abständen von wenigen Metern in den Felsen. In jedem Stollen arbeiten drei Mann. Mit Gesteinsbohrern, die fünfzig Zentimeter bis vier Meter lang sind, und mit Preßluftschlämmern rücken sie dem Gestein zu Leibe. Zunächst bohren sie tiefe Sprenglöcher in den Kalk, setzen Sprengladungen ein und treiben in mühevoller Kleinarbeit die Strecke Meter um Meter vor. Das Schlagen der Preßluftschlämmer, das Surren der Bohrer und der dumpfe Knall kleiner Sprengungen, das ist das Lied der Arbeit in der Wand. Bei jeder Schicht wird die Strecke um etwa 0,9 Meter vorgetrieben. Alle Arbeiter sind darauf bedacht, ihre Strecke unter einer festen, tragfähigen Deckschicht vorzutreiben, um sich und ihre Kameraden nicht durch niederbrechendes Gestein zu gefährden. Entsprechend den

Sicherheitsvorschriften werden die Stolleneingänge mit Überdachungen aus rohen Stämmen gegen Steinschlag gesichert.

Im Abstand von je vier Metern werden die Stollen durch Querstollen verbunden, die dem Steilabbruch der Wand parallel verlaufen. So entstehen unter Tage in einer Tiefe von dreißig Metern weite Säulengalerien. Die gesamte Last der hohen Gesteinswand ruht nur noch auf den stehengebliebenen Pfeilern.

Nun werden in jeden Pfeiler achtzehn bis fünfundzwanzig Sprenglöcher gebohrt und mit Sprengladungen gefüllt. Jede Ladung enthält eine Sprengkapsel. Nach dem Anbringen der Ladung werden die Löcher „verdämmt“, das heißt zugestopft. Nun laufen die Leitungsdrähte am Pfeiler von Sprengladung zu Sprengladung. Ein Kabel verbindet sie mit dem Glühzündapparat (Bild 29 und 30).

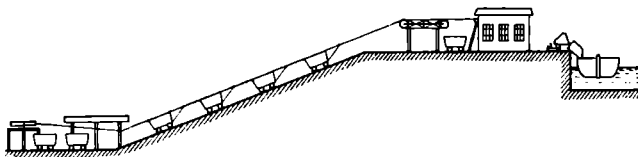
Sprengwarnung heult durch den Bruch, und das Echo klingt von den Wänden wider. Die Arbeiter verlassen ihre Arbeitsstätte und ziehen sich zurück. Der Lärm im Bruch verstummt. Die Loks stampfen nicht mehr, und die Loren holpern nicht mehr klappernd die Schienenstränge entlang. Erstorben scheint alles Leben. Unheimliche, atemberaubende Stille! In sicherer Entfernung steht der Schießmeister am Glühzündapparat. Noch ein prüfender Blick über den Bruch, dann setzt er den Schlüssel an. Eine Drehung, und im gleichen Augenblick löst ein elektrischer Stromstoß die Zündung aus. Das dumpfe Brüllen der Detonationen, durch vielfältiges Echo verstärkt, erfüllt die Luft. Krachend stürzen die Gesteinspfeiler der vordersten Galerie in sich zusammen. Die unmittelbar darüber befindlichen Gesteinsschichten brechen nach und hüllen den gesamten unteren Teil der Wand in Rauch und dichte Staubwolken. Nun ist kein Halten mehr. Langsam neigt sich der oberste Teil der Steilwand, der noch immer seinen Zusammenhang wahrt, nach vorn. Schließlich bricht er, aller Stützen beraubt, mit Getöse in die Tiefe. Während

sich das allseitige Echo mit dem Donner des berstenden Gesteins vereint, liegt die Wand in undurchdringliche Gesteinsnebel gehüllt. Ganz allmählich zerflattern die Rauchschwaden, werden lichter und durchsichtiger. Und wie sich die letzten Schleier verlieren, steht eine neue, senkrecht aufragende Wandflucht vor uns, die auf der nächsten Pfeilergalerie ruht. An ihr wölbt sich bis zur halben Wandhöhe ein steiler Schuttkegel aus geborstenem Gesteinsmaterial empor. Bis zu zwei Millionen Zentner Kalkstein sind in einem einzigen Bruchsturz in die Tiefe gegangen. Entwarnung gellt durch den Bruch, und neues Leben regt sich auf der 30-Meter-Sohle. Abbaubrigaden, die aus je zwei Mann bestehen, rücken mit ihren Geräten heran. Loren klappern. Preßluftschlämmer werden wieder in Tätigkeit gesetzt. In wenigen Minuten gleicht der neu entstandene Schuttkegel einem Ameisenhaufen. Er soll abgetragen werden. Arbeiter füllen das Gestein in Loren. In einer Schicht bewältigen je zwei Arbeiter etwa zehn Kubikmeter Gestein. Jedes Kubikmeter wiegt achtundzwanzig bis zweiunddreißig Zentner. Die gelb gefärbten Schaumkalke sind im allgemeinen leichter als die blaugrauen Wellenkalke. Die Arbeiter legen auf die mit Gestein gefüllten Loren obenauf je ein Holz, das eine Kennnummer trägt. Die Arbeiter des Abbaus haben andere Kennhölzer als die des Streckenvortriebes, die das Gestein vor dem Verladen erst brechen müssen; die einen haben arabische, die anderen römische Ziffern.

Wenige Meter hinter den Arbeitern sitzen die Warner und beobachten aufmerksam die Wand. Löst sich irgendwo ein Stein, so schrillen ihre Warnsignale auf, damit die Arbeitskameraden zur rechten Zeit zur Seite springen. Da sie alle an der soeben gesprengten Wand arbeiten, sind sie ständig durch lockere Gesteinsbrocken gefährdet, die in der Wand hängengeblieben sind. Um diese Gefahr möglichst auszuschalten, werden Arbeiter als Wandreiniger eingesetzt. Sie stehen auf der Höhe des Schutt-

kegels an der Wand und lenken eine Stange, die an einem Galgen über der Wand hängt, und deren Grundrichtung und Höhe von oben einreguliert wird. Mit der Stangenspitze stoßen die Wandreiniger gegen vorspringende Gesteinspartien und tasten Meter um Meter der Wand ab, bis alle lockeren Brocken zu Fall gebracht sind. So begegnet man auch hier den Gefahren des Tiefbaus durch erhöhten Unfallschutz.

Beim Füllen der Loren wird das Gesteinsmaterial von Hand grob sortiert. Große, glatte Platten verladet man auf gesonderte Loren, die beim Anfordern von Bauplatten von den Loks abgeholt und zur Verladeeinrichtung gebracht werden. Oft werden sie noch im Bruch maßgerecht gesägt, behauen und zugerichtet. Dann erhalten die einzelnen Blöcke und Platten Nummern, nach denen sie beim Bau passend zusammengefügt werden können. So vorbereitet, gelangen die Bauplatten über eine schiefe Ebene



Auf der schiefen Ebene gelangt der gebrochene Kalkstein zur Erdoberfläche empor und zur Verladung

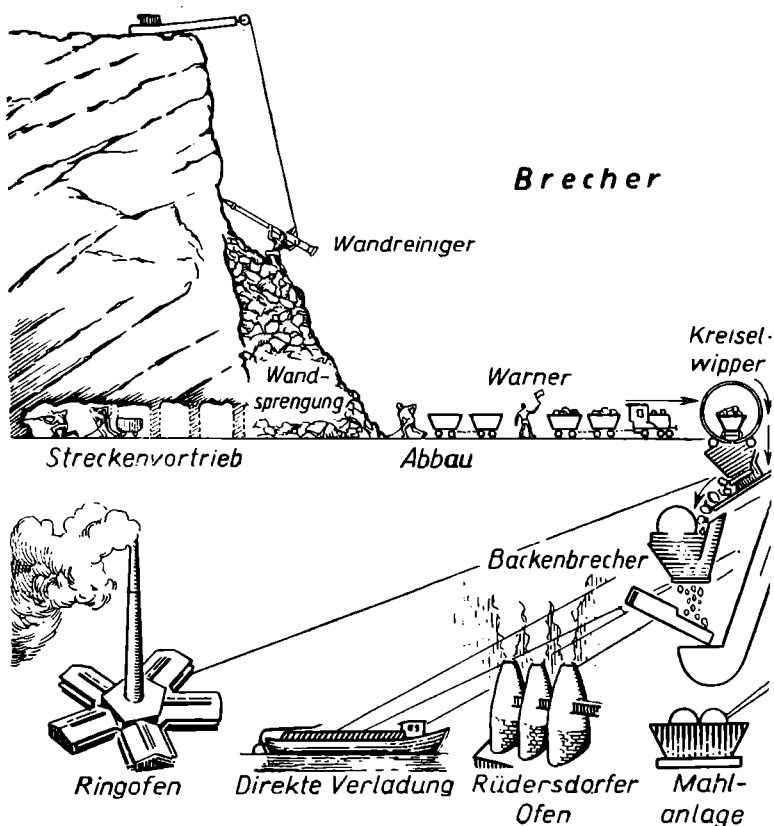
zum Verladehafen Kriensee. Auf dem Wasserweg passieren sie dann den Kalksee, die Woltersdorfer Schleuse, den Flaken- und Dämeritzsee und gelangen schließlich in die Spree und durch deren Vermittlung in das Wasserstraßennetz Mitteldeutschlands. Neben dem Hafen finden sich die Gleisanschlüsse der Bahn. Nach Möglichkeit vermeidet man allerdings die höheren Frachtkosten, die der Bahntransport nun einmal mit sich bringt.

Nur ein kleiner Teil des gebrochenen Materials wird direkt als Baustein verwendet. Die Hauptmenge gelangt in die Kalkbrennereien und Zementfabriken.

IM KALKWERK UND IN DER ZEMENTFABRIK

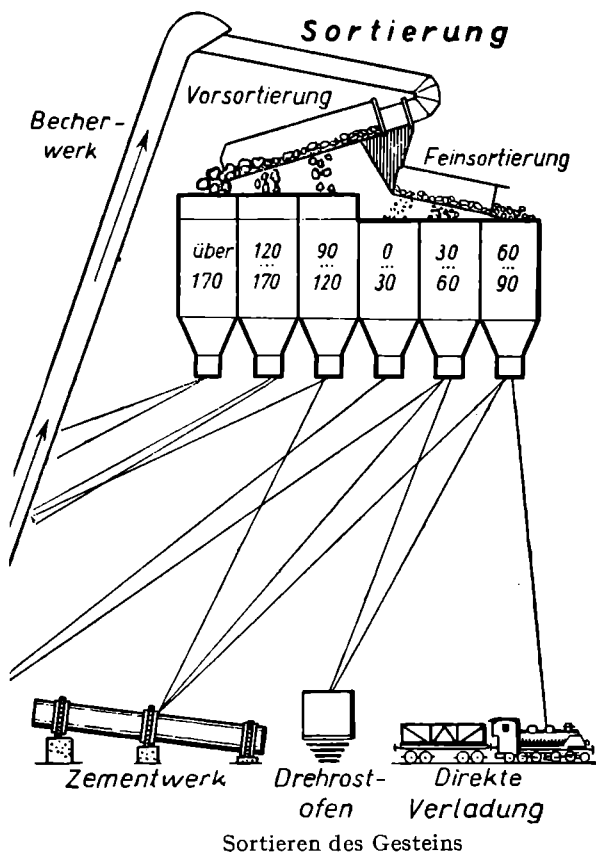
Im Brecher und in der Sortierung

Überall regen sich geschäftige Hände, um die niedergegangenen Gesteinsmassen der Weiterverarbeitung zuzuführen. Zum Teil wird mit der Hand verladen, zum Teil



Brechen und

mit Löffelbaggern. Die gefüllten Loren, deren jede drei Kubikmeter Gestein enthält, werden zu Zügen zusammengestellt und von den Loks in die Mitte des Bruches gezogen. Dort entnimmt man ihnen zunächst die Kennhölzer und schichtet sie, nach Ziffern sortiert, auf den Sammelplatz. Die Zahl der gesammelten Kennhölzer gibt die Zahl der Loren an, die von den Arbeitstrupps beladen wurden. Ihre Menge zeigt daher die Arbeitsleistung während der



Schicht an, und diese wieder ist maßgebend für die Entlohnung. Von da geht's in den tunnelförmigen Kreiselwipper. Er dreht sich mit den Loren um die waagerechte Achse und stellt sie auf den Kopf. Ihr Inhalt fällt krachend in einen Stahltrichter.

Das Gestein rutscht in einen Backenbrecher. Wir erinnern uns, daß bereits beim Beladen der Loren die großen Gesteinsbrocken herausgesucht werden, die man direkt zu Bausteinen verarbeiten will. Die Rohstoffe für die Zementwerke dürfen eine Korngröße von zwölf Zentimetern Durchmesser nicht überschreiten. Auch in den Kalkbrenneien kann man die Steine nicht in beliebigen Größen verwenden, damit sie außen und auch im Innern gleichmäßig gebrannt werden. Der Brecher hat die Aufgabe, zu große Blöcke zu zermalmen. Sie geraten in ihm zwischen einen beweglichen und einen feststehenden Backen, die erhabene Stahlleisten tragen. Unter dem Druck der Eisenbacken zerfällt das von zahllosen Klüften durchzogene und oft schieferige Gestein in kleinere Teilstücke. Auch diese verwendet man nicht wahllos, sondern nach der Korngröße sortiert. Daher wird das gebrochene Gestein von einem Becherwerk aufgenommen und in die Sortierung gehoben.

Dort sehen wir mehrere Siebtrommeln, Stahlzylinder, deren Wandung siebartig durchbrochen ist. Sie sind schräg gelagert und werden durch Zahnradkränze ständig um ihre Längsachsen gedreht. Das Gesteinsmaterial gelangt am höher gelegenen Ende in die Trommel und rutscht dann allmählich abwärts. Am Anfang hat die Trommel nur feine Löcher; dort wird der feine Gesteinsschutt abgesiebt. Je tiefer die Steine in der Trommel rutschen, desto größere Löcher finden sie vor, und desto größer ist auch das durchfallende Material. Am Ende rutschen die größten Brocken aus der Trommel, die durch keine Lochreihe hindurchpaßten. Unter den Siebtrommeln werden die einzelnen Korngrößen von Stahlblechtrichtern aufgefangen und in

getrennten Schächten nach unten geleitet. Die Gesteinsbrocken, die in den Trommeln nach unten kollern und durch die Stahlblechschächte herabfallen, verursachen einen Höllenlärm. Der Bau vibriert unter den polternden Schlägen und ist von dichtem Gesteinsstaub erfüllt. Aber das Ergebnis ist ein scharf sortiertes Material in Korngrößen von 0—30, 30—60, 60—90, 90—120, 120—170 und mehr als 170 Millimetern Durchmesser. Es fällt direkt in Kipploren, die von den Loks zu der schiefen Ebene des Tiefbaus gezogen werden. So werden in einer Schicht etwa achthundert Kubikmeter Gestein verladen, gebrochen, sortiert und abgefahren. Fünfzig Prozent davon gelangen in die Zementfabriken und fünfzig Prozent in die Kalkbrennereien.

Auf der schiefen Ebene läuft ein endloses Stahlseil über Rollenlager und zieht die Loren zur Erdoberfläche empor. Eine kurze Stahlkette hakt in die Öse jeder Lore ein und wird mit einem Schloß in das Seil geklemmt. Bei Zug verklemmt sich das Schloß immer stärker und kann sich nicht wieder lösen. In Abständen von etwa zwanzig Metern sind in die Fahrbahn Haltevorrichtungen eingebaut. Sie werden selbsttätig ausgelöst, wenn Loren mit zu großer Geschwindigkeit passieren. Unglücksfälle durch Losreißen von Loren werden damit unmöglich gemacht. So begegnen wir im Tiefbau auf Schritt und Tritt vorbeugendem und sicherndem Unfallschutz. Er beginnt mit dem Überdachen der Eingangstreppe und der Stolleneingänge und führt zu Wandwächtern, Warnern und Wandreinigern. Er ist bis in kleinste technische Einzelheiten jedes Fabrikationsganges durchgebildet, und wenn die unerläßlich strengen Betriebsvorschriften eingehalten werden, ist jeder Arbeiter vor Unfällen sicher.

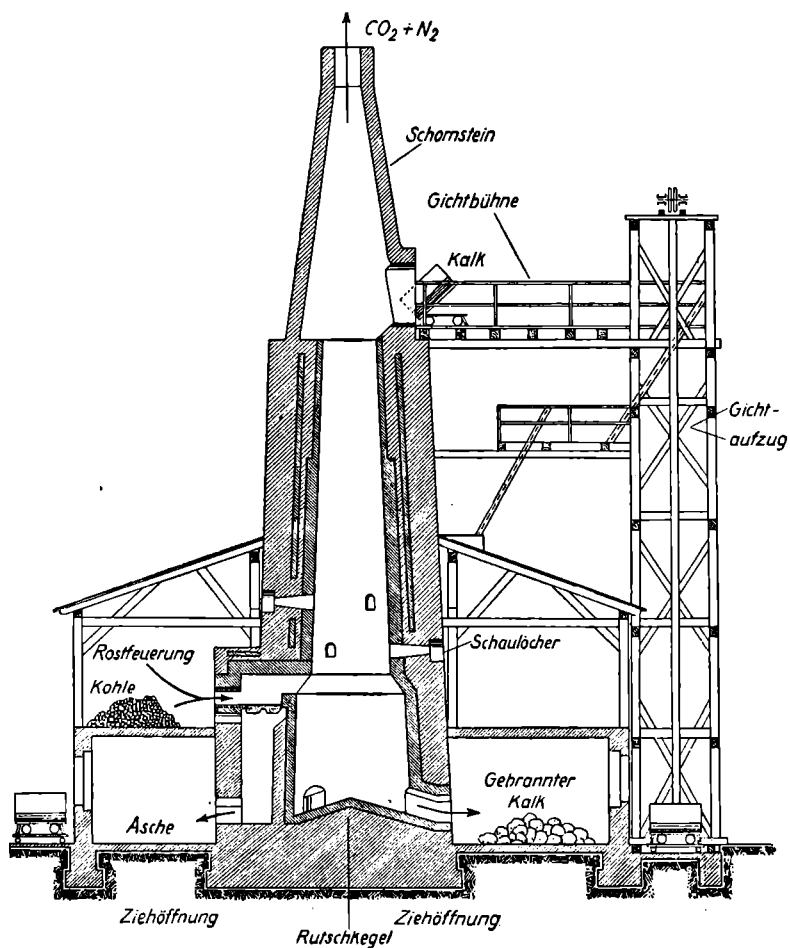
Wir verlassen jetzt den Tiefbau und folgen dem Rohstoff in die Kalkbrennerei. Unser Führer, der Werkmeister P., begleitet uns nach oben. Wie die meisten Arbeiter des Tiefbaus, so gehört auch er schon lange Jahre dem Werke an

und ist an seiner Arbeitsstätte ergraut. Im Jahre 1904 nahm er, damals kaum 22 Jahre alt, auf der 15-Meter-Sohle des Tiefbaus seine Arbeit auf und leitete noch 1949 als 67jähriger die Lehrlingsausbildung im Tiefbau. Sein ganzes Leben ist aufs engste mit dem Betrieb verbunden, und so ist es bei vielen Arbeitern im Werk.

Im Kalkwerk

Den gefüllten Loren folgend, gelangen wir vom Alvenslebenbruch direkt in das Kalkwerk. In Kleinbetrieben wird der Kalk in Schachtöfen gebrannt, in Großbetrieben auch in Ringöfen oder Drehrohröfen. Unter den Schachtöfen unterscheiden wir die alten, aus Ziegeln gemauerten Rüdersdorfer Öfen und die modernen Konstruktionen aus Stahlblech (Bild 31).

Beide Öfen sind innen mit feuerfesten Schamottesteinen ausgekleidet. Man unterscheidet Öfen mit Innenfeuerung und solche mit Außenfeuerung. Bei der Innenfeuerung werden die Öfen abwechselnd mit Kalkstein und kurzflämmigem Koks beschickt. Der Koks brennt ab und liefert die Wärme zum Brennen des Kalkes; seine Überreste, die Aschebestandteile, bleiben im Schacht zurück und mischen sich mit dem Branntkalk. Das Endprodukt ist also stets mit Asche verunreinigt und sieht grau aus. Bei Öfen mit Außenfeuerung werden langflämmige Brennstoffe auf Rosten abgebrannt, die sich außen am Ofen befinden. Die heißen Feuergase schlagen durch das Brenngut und erhitzen es auf die Brenntemperatur. Die gemauerten Rüdersdorfer Öfen sind zwar die Veteranen unter den Kalkbrennöfen, doch bietet ihre Verwendung auch heute noch mancherlei Vorteile. Sie liefern täglich drei bis zehn Tonnen Branntkalk und sind besonders dort in Betrieb, wo man fortlaufend kleinere Mengen für den Absatz braucht. Bei ihnen ist der Materialverschleiß sehr gering. Ist die Ofenmauerung einmal schadhaft geworden, so kann

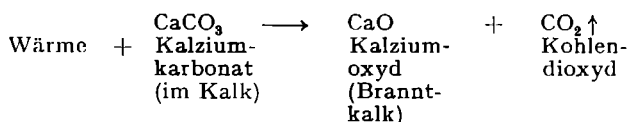


Schnitt durch den Rüdersdorfer Kalkofen

sie mit geringen Hilfsmitteln und vor allem ohne wesentlichen Metallverbrauch ausgebessert werden. Im übrigen laufen die Öfen glatt.

Eben zieht die Lok einen neuen Lorenzug direkt auf die Beschickungsbühne der Kalköfen. Die Loren sind mit Gestein gefüllt, das einen Durchmesser von etwa neun bis siebzehn Zentimetern hat. Die Schachtöfen liegen nun unter uns. Rechts und links von der Bühne ragen nur noch die Essen auf, die den Zug im Ofen verbessern und das beim Brennen entstehende Kohlendioxyd ableiten. Arbeiter nehmen die mit Rohstoffen beladenen Loren in Empfang, rollen sie vom Hauptgleis auf die Drehscheibe und über diese zum Nebengleis ihres Ofens. Dann öffnen sie die Ofentür und kippen den Kalkstein in den Schacht. Leichte Rauchfahnen von Abgasen und entweichendem Kohlendioxyd schlagen ihnen entgegen. Nun ist der Schacht bis obenan mit stückigem Kalkstein gefüllt, und die Ofentür wird rasch verschlossen (Bild 32, 33, 35).

Im oberen Teil des Schachtes wird der kalte Kalkstein durch die emporsteigenden heißen Abgase vorgewärmt und seine Feuchtigkeit als Wasserdampf ausgetrieben. Blicken wir von der Beschickungsbühne herab, so sehen wir direkt auf das Dach der Feuerungshalle. Dort sind auf einem Drittel der Schachthöhe rings um den Schacht drei Rostfeuerungen verteilt. Auf einer Abwurframpe rollen die Kohlen bis zu den Feuerungen. Die Roste werden mit langflammiger Kohle beschickt. Die Flammen des Feuers schlagen in den Schacht. Unmittelbar darüber ist die heißeste Zone des Schachtes, die Brennzone. Dort wird der Kalkstein bei etwa neunhundert bis tausend Grad Celsius gebrannt. Er zerfällt in Kalziumoxyd oder gebrannten Kalk CaO und Kohlendioxyd CO_2 :



Die heißen Abgase steigen zusammen mit dem gebildeten Kohlendioxyd nach oben und wärmen das neu eingefüllte

Brenngut vor. Man muß den Schacht möglichst hoch bauen, um die Hitze der Abgase voll auszunutzen. Durch kleine Fenster in der Ofenwand, die Schaugläser, kann man den Brennvorgang überwachen und in die Feuerglut des Schachtes blicken. Diese kleinen Lücken im Mauerwerk haben noch eine zweite Aufgabe zu erfüllen. Wenn der Kalk einmal nicht glatt nach unten rutscht, kann man an diesen Stellen mit Brechstangen etwas nachhelfen und den Ofengang regulieren.

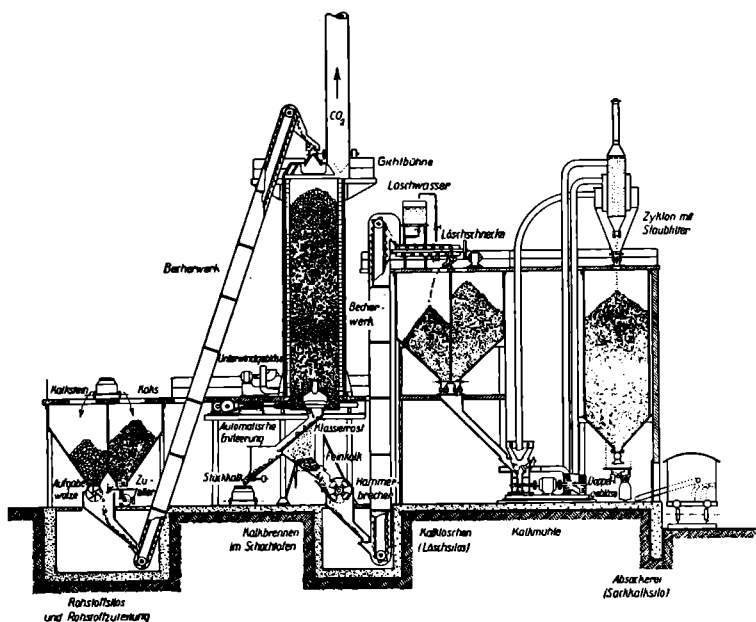
Je tiefer wir am Schacht heruntersteigen, desto umfangreicher wird der Ofen und desto stärker wird sein Mauerwerk; zur ebenen Erde ist es 2,5 Meter dick. Der Bodenstein des Ofens ist in der Mitte kegelförmig erhöht und der untere Teil des Schachtes gleichzeitig etwas erweitert. Hierdurch wird das Niedersinken des Branntkalkes erleichtert, denn er rutscht auf der kegelförmigen Erhebung nach den Seiten ab. Dann ziehen ihn die Arbeiter mit Kratzern durch die drei Ziehöffnungen zu ebener Erde aus dem Schacht, und nun kann er auf die vorgefahrenen Eisenbahnloren oder Lastautos verladen werden.

Die Wartung der Rüdersdorfer Öfen ist auf drei Schichten zu je acht Stunden verteilt, denn sie müssen Tag und Nacht bedient werden. Zu Beginn jeder Schicht wird das Brenngut der vorhergehenden Schicht weggeräumt und in die vorgefahrenen Loren gefüllt. Inzwischen darf die Feuerung nicht vernachlässigt werden. Man muß also ständig Kohle nachlegen und den Ofengang überwachen. Dann müssen die Aschenkammern geleert und die Asche beseitigt werden. Während des Brennens sinkt die Beschickung allmählich und gleichmäßig nach unten. In regelmäßigen Abständen schieben die Arbeiter neue mit Kalk beladene Loren heran und füllen den Schacht wieder mit Kalk nach. Gegen Ende ihrer Schicht ziehen sie den fertig gebrannten Kalk aus dem Schacht. Dann ist ihr Tagewerk getan. Das Wegräumen des Branntkalkes überlassen sie der folgenden Schicht (Bild 34).

Die Arbeiter treten hinaus in die frische Luft der Rüdersdorfer Berge. Wie weiten sich ihre Lungen, wenn sie die staubige Atmosphäre des Kalkwerkes hinter sich lassen!

In einer modernen Schachtofenanlage mit Sackkalkfabrik

Eleganter als die Rüdersdorfer Kalköfen sehen die hohen Stahlzylinder der modernen Schachtofen aus, von denen meist zwei zu einem Zwillingsofen vereinigt sind. Die Handarbeit beim Beschicken und Entleeren fällt bei ihnen weg. Alles ist hier maschinell gelöst. Das spart Zeit und Arbeitskraft. Kalk und Koksgrus werden aus den Loren in große Aufgabebunker gekippt. Aufgabewalzen und Zuteiler lassen die Rohstoffe in den erforderlichen Mengen



Schnitt durch eine moderne Schachtofenanlage
mit Sackkalkfabrik

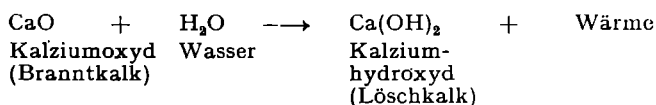
in ein Becherwerk gleiten, das sie auf die Gichtbühne des Schachtofens hebt.

Wir steigen auf eisernen Leitern an den hohen, schlanken Öfen empor. „VORSICHT! KOHLENOXYDGAS!“ warnt uns ein großes Schild beim Betreten der Gichtbühne in luftiger Höhe. Dort poltern die Rohstoffe aus dem Becherwerk auf ein Verteilerband. Es bringt bald Kalkstein, bald Steinkohlengrus zu den Öfen. Auf sechs Teile Kalk kommt ein Teil Kohle. Durch eine Gichtglocke ist der Schacht oben möglichst gasdicht verschlossen. Zunächst fallen die Rohstoffe in Aufgabeschüsseln. Wenn sich der kegelförmige Bodenteil senkt, fällt die Beschickung nach unten und wird durch maschinelle Einrichtungen so verteilt, wie es für einen guten Ofengang erforderlich ist. Dabei fallen zum Beispiel die kleinen Kalksteine durch Randsiebe in die Randpartien des Schachtes, während die größeren Brocken auf den Rosten in die Schachtmitte rutschen. Kontinuierlich rutscht die Beschickung tiefer und gelangt in immer heißere Zonen des Schachtes. Nach dem Vorwärmen im oberen Teile findet in der Brennzone die chemische Umwandlung statt. Unten ist der Schacht mit einem Drehrost abgeschlossen. Durch seine ständigen langsamen Umdrehungen sorgt er dafür, daß der fertig gebrannte Kalk selbständig aus dem Ofen gleitet.

Wir steigen wieder herab und treten unter den Schachtofen. Dort geht es sehr eng zu. Wir stehen in einem Gewirr von Leitungen, die den Stofffluß regeln. Da ist zunächst der zentrale Antrieb für den Drehrost des Ofens. Seitlich davon sehen wir einen Einkreis-Ventilator, der die Gebläseluft von unten durch den Drehrost in den Ofen bläst. Sie kühlt im unteren Teil des Schachtes den fertig gebrannten Kalk ab und wird dabei selbst vorgewärmt. In erhitztem Zustande gelangt sie in die Brennzone des Ofens. Dort brennt der Koks im Heißwind unter starker Hitzeentwicklung ab. In der Hitze wird der Kalk zersetzt, und es entstehen Branntkalk und Kohlendioxyd. Der Brannt-

kalk des Schachtofens enthält daher mehr Aschebestandteile als derjenige der Rüdersdorfer Schachtöfen mit Außenfeuerung; er sieht ziemlich grau aus. Unter dem Drehrost sehen wir auch die Rohre des Kalkfanges. Sie fangen, wie ihr Name sagt, den gebrannten Kalk ab und leiten ihn zu einer Entnahmestelle. Ein moderner Einzelofen liefert täglich sechzig Tonnen Branntkalk, die vier Schachtöfen des Rüdersdorfer Werkes erzeugen insgesamt hundertsechzig Tonnen täglich.

Vielfach wird der gebrannte Kalk in einer Sackkalkfabrik weiter verarbeitet. Auf einem Klassierrost siebt man den Feinkalk vom groben Stückkalk ab. In einem Hammerbrecher wird der Feinkalk weiter zerkleinert, in einem Elevator emporgehoben, und schließlich auf eine Löschnschnecke geworfen. Dort berieselt man ihn mit feinstverteiltem Wasser. Der Fachmann spricht hierbei von einem „Ablöschen des Branntkalkes“.



Beim Kalkbrennen müssen wir durch Befeuern den Ofen Wärme zuführen. Beim Ablöschen hingegen wird Wärme frei. Da hierdurch ein Teil des Wassers verdampft, muß dieses im Überschuß zugesetzt werden: Rühharme bewegen den Kalk während des Löschens, damit die gesamte Masse gleichmäßig mit dem Wasser reagieren kann. Da der Kalk beim Löschen häufig zusammenklumpt, wird er in einer Mühle noch einmal staubfein gemahlen und dann sorgfältig abgesiebt. Größere Bestandteile gelangen in die Mühle zurück und werden weiter zerkleinert (Bild 36).

Von weitem schon fällt uns die Kalkmühle auf. Sie ist über und über mit weißem Kalkstaub bedeckt. Fast könnte man meinen, daß Rauhreif den Gebäudekomplex überzuckert habe, doch paßt dazu nicht das sommerliche Wetter. Die Kalkmühle ist auch die Ursache der weißen Staub-

Bild 23

Krinoidenkalk mit Stengelteilen
und Kelchen von Seelilien

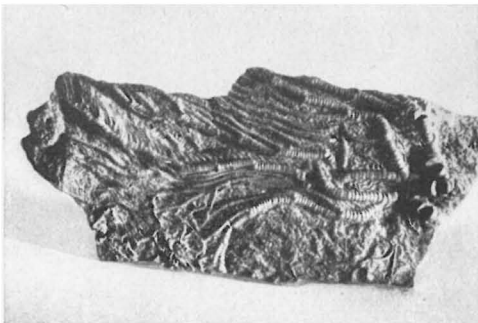


Bild 24

Liasmergel mit dem Haarstern
Ophioderma Egertoni



Bild 25

Ammonitenkalk
mit *Ammonites obtusus*
aus dem Lias



Bild 26

Schliff durch einen Ammoniten-
kalk aus dem Malm mit
Ammoniten (links) und einem
Belemniten (rechts) mit aufge-
setztem Kalkstachel

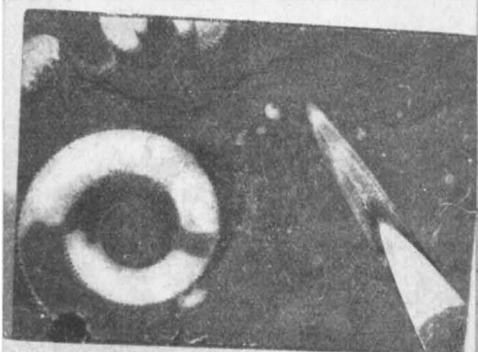




Bild 27 Landwirtschaft und industrielle Produktion sind im Rüdersdorfer Raum eng miteinander verflochten

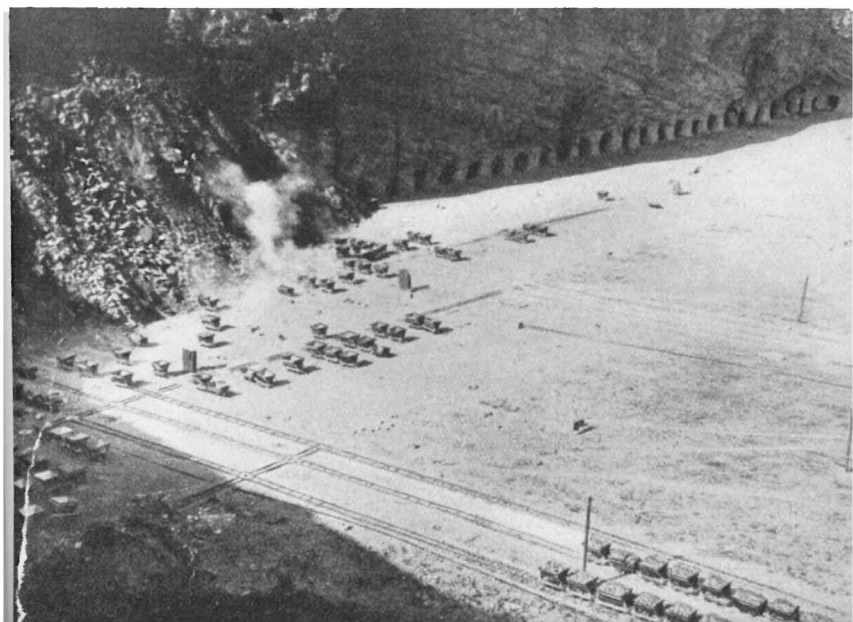


Bild 28
Arbeiter kontrolliert an
ausgelegten Meßplatten das
Anwachsen der Kluft



Bild 29 Wandsprengung im Alvenslebenbruch. Die 30 m hohe Wand stürzt zusammen

Bild 30 Nach dem Bruchsturz. Zwei Millionen Zentner Kalkstein liegen an der Steilwand. Rechts die Säulengalerie, die für die nächste Sprengung vorbereitet wird



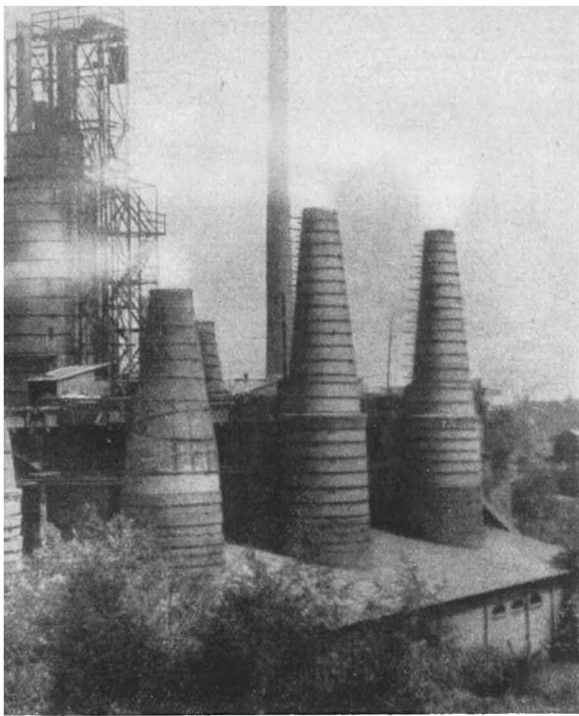


Bild 31
Gemauerte Kalköfen
und ein Schachtofen
älterer Bauart

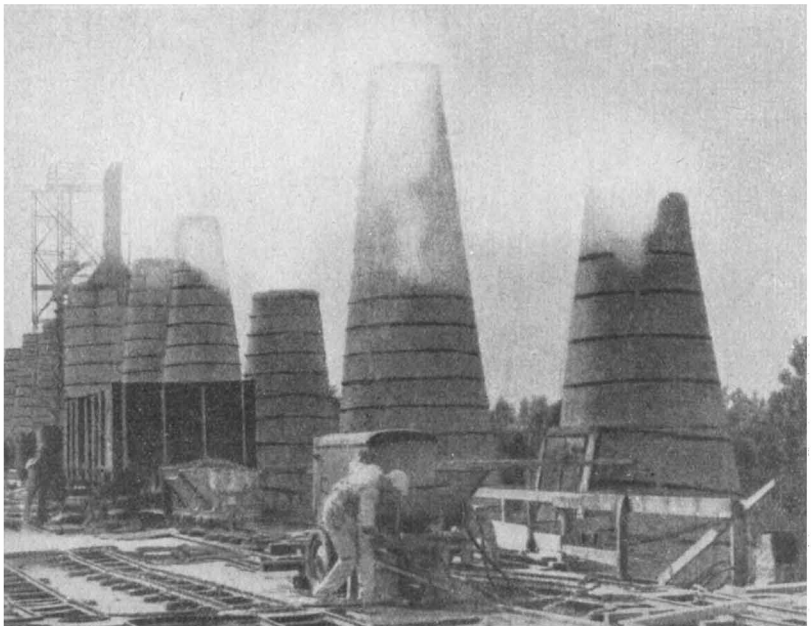


Bild 32
Auf der Gichtbühne

ablagerungen, die sowohl Landschaft als auch Pflanzenwelt ihrer Umgebung gleichmäßig überdecken. Die dicke Staubschicht auf Bäumen und Gräsern, auf Wegen und Feldern fiel uns bereits auf, als wir das Werkgelände betraten und zum Heinitzsee und zum Alvenslebenbruch gingen. Und so viel Kalk schwirrt noch umher, obwohl alle technischen Möglichkeiten zum Entstauben der Luft eingesetzt werden! Hieraus allein ersehen wir schon, wie mehlartig fein der Kalkstaub ist. Der größere Teil von ihm wird im Zyklon niedergeschlagen. Das ist ein Stahlblechzylinder mit kegelförmig vertieftem Boden. Beim Einblasen staubhaltiger Luft werden die festen Teilchen infolge der Fliehkraft nach außen geworfen. Sie prallen gegen die Zylinderwand, fallen auf den konischen Boden und rutschen dort in die Spitze.

Diese Entstaubung ist wohl der wichtigste Teil der Kalkmühle. Ohne sie wären der Aufenthalt und das Arbeiten in der Mühle überhaupt kaum denkbar. Selbst bei einwandfrei arbeitender Entstaubung muß die Decke über den Bunkern jeden vierten Tag von Kalkstaub freigelegt werden, damit sie nicht unter der Last der Staubablagerungen zusammenbricht. Ist die Entstaubung einmal gestört, dann ist in der gesamten Sackkalkfabrik „dicke Luft“. Es ist nichts mehr zu erkennen. Die Arbeiter tapfen mühsam vorwärts; sie können ihre Maschinen nicht mehr überblicken, und einer sieht nicht mehr den andern. Und diese Belästigung des arbeitenden Menschen durch die Staubmassen ist viel schwerwiegender als der hohe Verlust an Kalk, der sich durch die Staubbildung einstellt.

Aus dem Zyklon rutscht das staubfeine Pulver in die Fertigsilos und die Gesamtmenge aus diesen in die Packmaschine. Dort wird es mit Hilfe der Absackwaage gewogen und in Säcke verpackt. Auf Fließbandstraßen rollen die Säcke zur Verladerampe und gelangen in die bereitstehenden Eisenbahnloren, oder sie rollen zum Werkhafen am Kriensee

und rutschen dort in die großen Frachtschiffe, die das mitteldeutsche Wasserstraßennetz befahren.

Wesentlich ungünstiger gestaltet sich eine direkte Verladung des losen Löschkalkes in Lastzüge und Waggon. Dann wirbelt der Kalkstaub wieder auf, und man muß mit hohen Kalkverlusten rechnen.

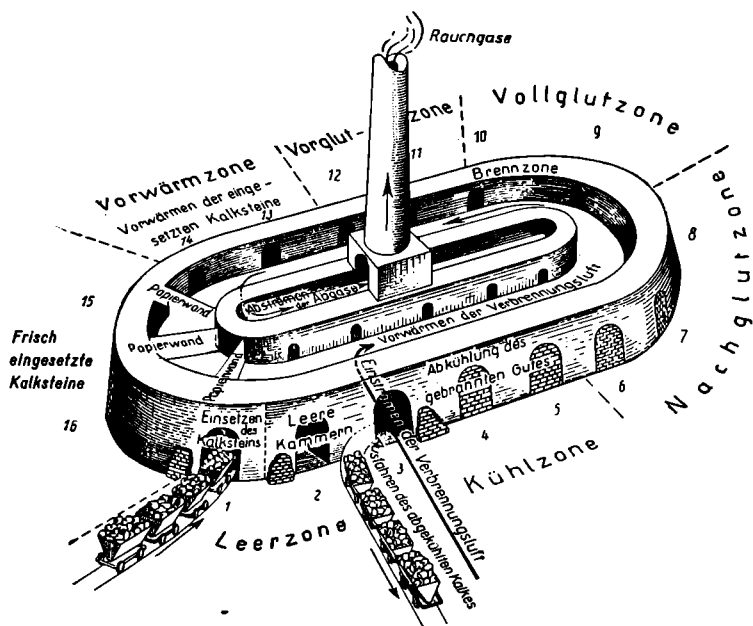
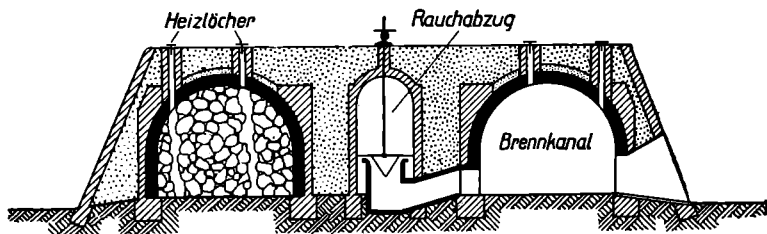
Die Hauptverwendung findet der gelöschte Kalk zur Bereitung des Mörtels, der zum Mauern und als Putz verwendet wird. Die Landwirtschaft bedient sich seiner in großer Menge als Düngekalk.

In anderen Kalkmühlen wird auch ungebrannter Kalk zerkleinert. Das Gestein gelangt zunächst in den Hammerbrecher, in dem es durch ein schweres Schlagwerk in immer kleinere Bruchstücke zerschlagen wird. Hat es die vorgesehene Korngröße erreicht, so wird es von den zurückbleibenden gröberen Bestandteilen abgesiebt und kommt in einen Vorratsbunker. Über einen Aufgabeteller wird das Material dann in eine Feinmühle abgezogen, in der mehrere Walzen drehbar auf einem sich ebenfalls drehenden Teller angeordnet sind. Heißluft strömt von unten in die Mahlanlage und reißt den feinen Gesteinsstaub nach oben. In einem Zyklon wird die Luft entstaubt. Der staubfeine Kalk sinkt zu Boden, und die Luft kehrt in den Zyklon zurück, bis sie weitestgehend von Kalkstaub befreit ist. Mit Hilfe einer Absackwaage wird der Staubkalk in Säcke verpackt und verladen. Er wird als Düngekalk in der Landwirtschaft verbraucht. Mit einem Zusatz von Branntkalk ergibt er einen wertvollen Mischkalkdünger. Außerdem wird er als Rohstoff in den verschiedensten chemischen Betrieben verwendet.

Kalkringöfen für Großbetriebe

Neben den modernen Schachtofenanlagen wurde in den Großbetrieben der Kalkringofen entwickelt. Sein Betrieb lohnt jedoch nur, wenn die Produktionsfähigkeit des Ofens

vollkommen ausgenutzt wird. Wichtigste Voraussetzung für den Betrieb ist, daß die Anlieferung der Rohstoffe nicht stockt. Im Schachtofen gleitet das zu brennende Material durch Vorwärm-, Brenn- und Abkühlzone, indem es im Schachte allmählich von oben nach unter rutscht.



Ringofen

oben im Vertikalschnitt, unten im Horizontalschnitt

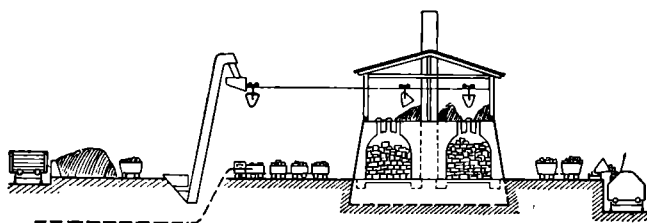
Im Ringofen hingegen bewegt sich nicht der Stoff, sondern die Feuerzone wandert dem Brennmaterial entgegen. So wird schließlich durch eine Umkehr der Verhältnisse der gleiche Endeffekt einer möglichst rationellen Wärmenutzung erreicht.

Der Ringofen besitzt einen tunnelförmigen Kanal. Er ist aus Ziegelsteinen gemauert und innen mit feuerfester Schamotte ausgekleidet. Er besteht aus etwa sechzehn Kammern, die durch ebensoviele Türen in der Außenwand markiert sind. Aber es fehlen die trennenden Wände zwischen ihnen, so daß sie alle zusammen einen ring- oder schleifenförmigen Brennkanal bilden. Wir sehen ihn im unteren Bilde, in dem das Deckgewölbe entfernt ist, um einen Einblick in den Brennkanal zu geben. Wie im Schachtofen, so folgen auch im Ringofen Begichtung, Vorwärmzone, Brennzone, Kühlzone und Entleerung aufeinander. Sie liegen aber hier nicht senkrecht untereinander, sondern räumlich hintereinander.

In unserem Bild ist Kammer 2 leer. Aus Kammer 3 wird der Brantkalk ausgekarrt. Die Kammern 4 bis 8 sind mit fertig gebranntem Kalk gefüllt. Die zum Brennen erforderliche Außenluft strömt durch 3 ein und kühlt den heißen Brantkalk ab. Dabei wird der Brantkalk kalt und die Luft heiß. Die Brennzone der Kammern 9 und 10 steht unter Vollglut. Dort wird der Kalk gebrannt. Die folgenden Kammern 11 bis 16 sind mit rohem, plattigem Kalkstein gefüllt, wie er aus dem Steinbruch angeliefert wird. Die heißen Abgase strömen über ihn hinweg und wärmen ihn vor, ehe sie durch den Schornstein in die Luft entweichen. Eben wird die Kammer 1 mit frischem Kalkstein belegt. Zwei sehnige, junge Burschen schieben eine mit Kalkplatten beladene Lore in den Brennkanal. Wie schnell ihnen die Arbeit von der Hand geht! Sie schichten die schweren Kalkplatten vom Boden bis zur Gewölbedecke auf. Durch reihenförmig in der Decke angeordnete Löcher ragen lange Knüppel in den Brennkanal herein. Beim Aufschichten

des Kalkes bleiben dort Hohlräume frei. Wir sehen sie in der linken Kammer des Bildes, das den Brennkanal im Vertikalschnitt zeigt. Nun ist der Raum von Kammer 1 gefüllt. Es fehlt nur noch die Begrenzungswand. Und da geschieht etwas Überraschendes. Man verschließt die noch offene Seite mit einer Wand aus Papier. Sie wirkt geradezu grotesk inmitten der schweren Gesteinsbrocken und in dem fest gemauerten Gewölbe. Was es mit dieser Papierwand auf sich hat, werden wir sehr bald sehen. Während nun die leere Kammer 2 mit Kalkstein beschickt wird, setzt ein Arbeiter die Außentür der Kammer 1 mit Ziegeln zu.

Inzwischen klettern wir auf die Decke des Ringofens. Hängeloren bringen dort die Kohle zum Beheizen des Ofens heran. Eben soll die Brennzone aus Kammer 10 in Kammer 11 vorverlegt werden, da die Steine in Kammer 9



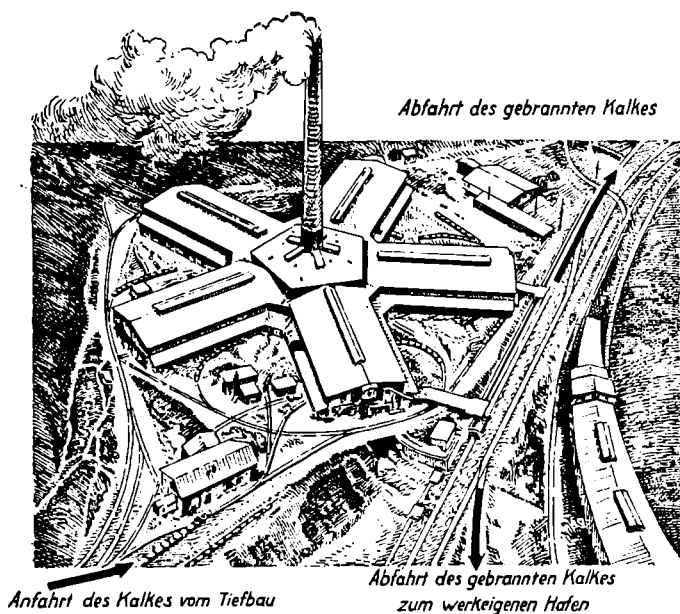
Stofffluß am Ringofen

fertig gebrannt sind. Auf der Ofendecke sind die Heizlöcher in Reihen zu je fünf Stück angeordnet. Dabei stehen die Löcher in den einzelnen Reihen auf Lücke, so daß sie untereinander einen Abstand von je einem Meter haben. Die Löcher sind mit eisernen Kappen verschlossen. Eben nehmen die Heizer die Kappen einer Lochreihe ab und füllen Kohle in die Heizlöcher. Sie fällt nach unten und verteilt sich zwischen den aufgeschichteten Kalksteinen. Jetzt wissen wir, warum während des Einkarrens Knüppel durch die Heizlöcher gesteckt wurden. Wenn der Heizer das

Feuer gut in Ordnung hält, lassen sich übrigens beträchtliche Mengen Kohlen einsparen. Dann kann er einzelne Heizzüge überspringen und das Heizmaterial sogleich in die nächste Reihe füllen. Sofort nach dem Füllen der Heizzüge werden die Eisenkappen wieder aufgesetzt. Die Flammenglut der Brennzone schlägt mit den Abgasen herüber und bringt die neu eingefüllte Kohle zur Glut. Durch die Verbrennungswärme wird der Kalk wie in der Brennzone des Schachtofens zersetzt. Durch Einfüllen der Kohle in die nächste Lochreihe wird automatisch die Brennzone wieder um etwa einen Meter vorverlegt.

Zu einem ordnungsgemäßen Brennen gehört, daß der Ofen gut zieht. Also werden die warmen Abgase, nachdem sie in der Vorwärmzone das Brenngut angewärmt haben, durch den Rauchabzug in den zentral gelegenen Schornstein geleitet. Zum sachgemäßen Ableiten der Rauchgase sind die Papierwände notwendig. Wären sie nicht vorhanden, würden die giftigen und erstickenden Abgase nicht in den Schornstein abströmen. Sie würden in die zur Zeit leerstehenden Kammern eindringen, in denen gearbeitet werden muß, und eine Arbeitsunterbrechung darf es im Ringofen nicht geben. Die Papierwände haben also eine doppelte Aufgabe. Sie dienen zum Ableiten der Abgase und geben beim Vorrücken des Feuers automatisch den Weg in die nächste Kammer frei, wenn die Abgase so heiß sind, daß sie die Papierwand durchbrennen. So ist Papier hier die einzig richtige Lösung.

In den größten Kalkwerken ist man dazu übergegangen, den Ringofen zu mehrstrahligen Formen weiterzuentwickeln. Wir kennen dreistrahlig Typen, und im Kalkwerk Rüdersdorf können wir auch einen Fünfschenkelringofen in Betrieb sehen. Er hat den Grundriß eines fünfstrahligen Sterns, in dessen Zentrum sich der Schornstein erhebt. In dem Fünfschenkelringofen laufen gleichzeitig mehrere Brennzonen um, denn jeder Schenkel ist eigentlich eine Ofeneinheit mit sechzehn Kammern für sich. Hier-



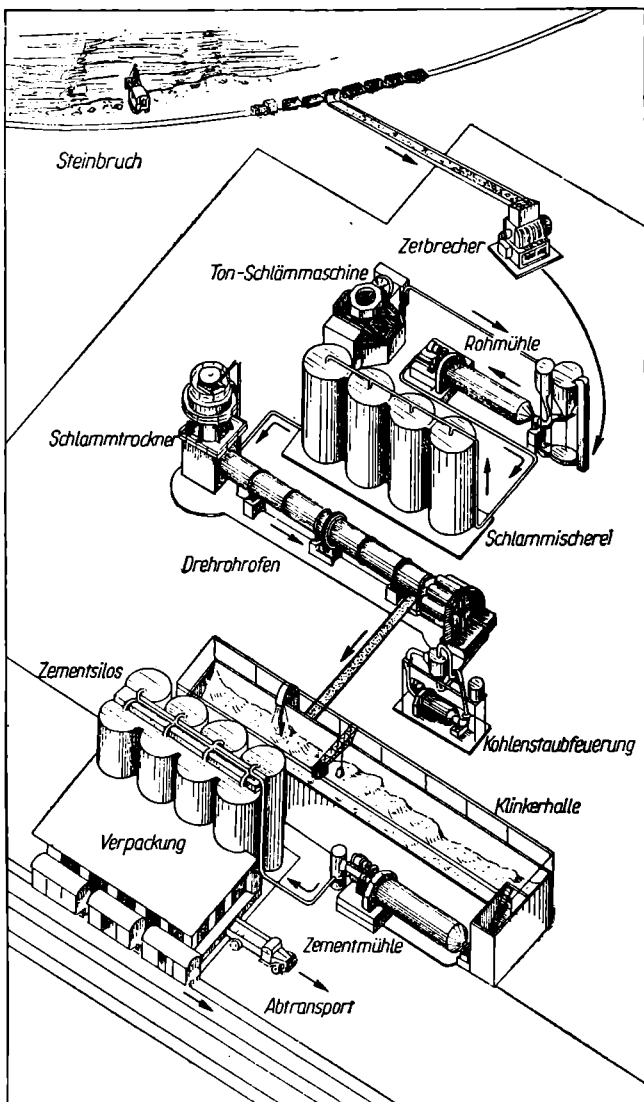
Der Fünfschenkelringofen von Rüdersdorf

durch ist das Kalkwerk besonders leistungsfähig. Die Kapazität des Ofens kann selbstverständlich nur ausgenutzt werden, wenn die Rohstoffe, Kalk und Kohle, stets in ausreichender Menge anrollen. Und ebenso setzt der Betrieb einer großen Ofeneinheit den laufenden Absatz der großen Mengen Branntkalk voraus, die erzeugt werden. Denn Branntkalk ist sehr wasserempfindlich. Im Freien kann er nicht gelagert werden. Durch Wasser, ja selbst durch Luftfeuchtigkeit wird er chemisch verändert; er wird gelöscht, wie wir das in der Sackkalkfabrik beobachten konnten. Der entstehende Löschkalk klumpt zusammen und ist für viele Zwecke nicht mehr verwendbar. Beim Planen eines Kalkwerks sind daher Rohstoffanlieferung und Absatz der Fertigfabrikate genau in Rechnung

zu stellen. Nun liegt das Rüdersdorfer Kalkwerk in dem Riesengebiet der norddeutschen Tiefebene, das nur über sehr spärliche Kalkvorkommen verfügt, und außerdem im Zentrum einer regen Bautätigkeit, nämlich in unmittelbarer Nähe der Hauptstadt Berlin. Infolgedessen hat man sich dort zum Bau dieses Riesen unter den Ringöfen entschlossen. Nebenbei gesagt, ist der Ringofen durchaus nicht auf die Kalkwerke beschränkt. Wir können ihn vielfach auch in den Ziegeleien sehen. Dort werden an Stelle der plattigen Kalke Formlinge aus Ton in dem Brennkanal aufgeschichtet und zu Ziegelsteinen gebrannt. Der fertige Branntkalk wird von großen Lastzügen oder auf den Gleisanlagen der Bahn von Eisenbahnloren aufgenommen. Oder er wird im Werkhafen auf Frachtkähne geladen, die ihn über die Spree in das mitteldeutsche Wasserstraßennetz leiten (Seite 60).

Im Zementwerk

In unmittelbarer Nähe des Alvenslebenbruches liegen neben dem Kalkwerk auch große Zementwerke. Sie gehen ebenfalls vom Kalk als Rohstoff aus. Man vermischt ihn mit tonigen Bestandteilen und brennt das Gemisch. Durch Art und Eigenschaften der verwendeten Rohstoffe wird das Verfahren der Zementherstellung festgelegt. Sind die Ausgangsmaterialien hart und kristallinisch, wie zum Beispiel der harte Kalkstein und der feste Tonschiefer, so werden sie nach dem Trockenverfahren verarbeitet. Weiche Rohstoffe, die schon von Natur aus einen hohen Feuchtigkeitsgehalt haben, wie zum Beispiel Kreide und plastische Tone, verarbeitet man nach dem Naßverfahren. Zunächst werden die Rohstoffe zerkleinert und dann in den erforderlichen Mengen aufs feinste vermischt. Bei etwa 1200° C brennt man das Mischmehl zu festen, steinartigen Zementklinkern. Sie sind, wie der Name sagt, so hart gebrannt, daß sie beim Abschlagen einen hellen, klingenden Ton

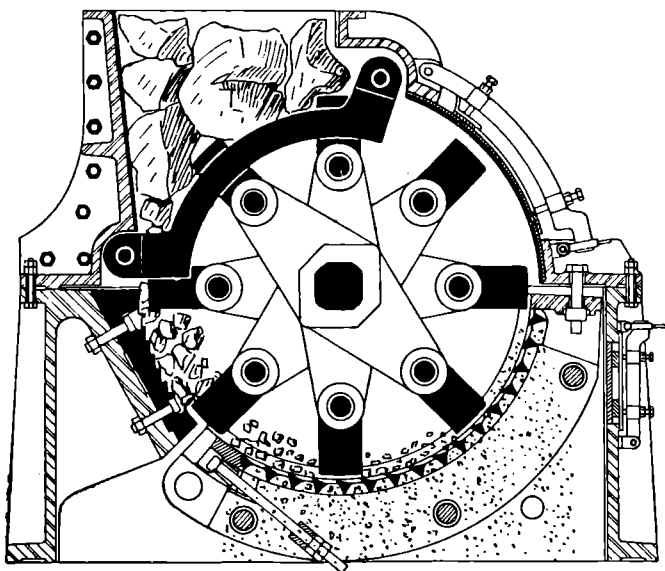


Das Naßverfahren in der Zementherstellung

Das Zementwerk

geben. Sie werden schließlich zu staubfeinem Zement vermahlen. Da man von fein zerkleinertem Rohmaterial ausgeht, verwendet man in den Zementfabriken auch den feinen Gesteinsschutt, während man das grobstückige Material den Kalkbrennereien überläßt.

Im Trockenverfahren wird das gebrochene Gestein in Hammerbrechern zerkleinert. Da dreht sich zum Beispiel in dem viel verwendeten Zetbrecher eine kräftige

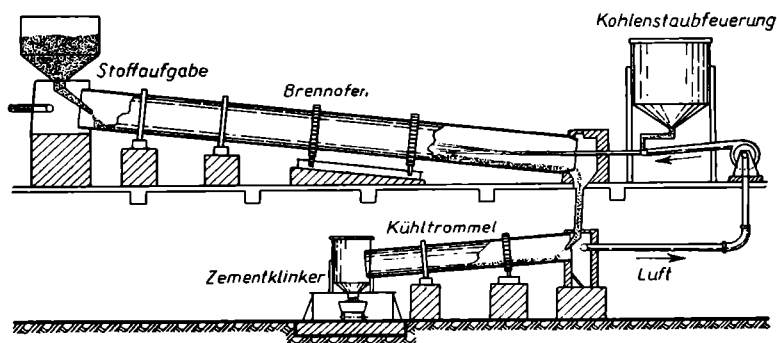


Der Zetbrecher (Schnitt)

Vierkantwelle aus Siemens-Martin-Stahl innerhalb eines fest gepanzerten Stahlgehäuses. Auf der Welle sitzen zahlreiche Schläger. Sie zertrümmern das Gestein, das in den Aufgabetrichter geschüttet wird, durch elastische Schläge. Zunächst schlagen sie Stück um Stück von den großen Blöcken ab, die von einem groben Rost zurückgehalten

werden. Die kleinen Teilstücke fallen durch den Aufgabero-
st in das Innere des Brechers und sind dann der vollen
Schlagwirkung des Hammerwerks ausgesetzt. Sie fallen
erst aus dem Brecher, wenn die Teilchengröße unter die
Größe der Zwischenräume des abschließenden Rostes
gesunken ist.

In Feinmühlen wird das Gemisch zu einem einheitlichen,
feinen Mehl zerkleinert und gleichzeitig scharf getrocknet.
Druckluft bringt die Einzelbestandteile gründlich durch-
einander, und es entsteht eine völlig gleichmäßig zusam-
mengesetzte Pulvermasse. Sie gelangt in den Drehrohröfen.
Das ist ein Stahlblechzylinder, der bis hundert Meter lang
sein kann, und innen mit feuerfesten Schamottesteinen
ausgekleidet ist. Der Zylinder ist leicht geneigt gelagert



Lepolofen mit Kühltrommel und
Kohlenstaubfeuerung

und trägt Zahnradkränze. Sie werden durch einen An-
trieb bewegt und drehen den Ofen langsam um seine Längs-
achse. Vom tiefer liegenden Ende aus wird er mit Kohlen-
staub befeuert, und die Kohlenstaubflamme schlägt weit
in das Rohr.

Am höher gelegenen Ende gelangt das Rohstoffgemisch in
den Ofen und rutscht infolge der Drehbewegungen des

Rohres allmählich abwärts. Die heißen Abgase strömen nach oben ab, wärmen im oberen Teil das Brenngut vor und trocknen das vor der Aufgabe leicht angefeuchtete Gesteinsmehl. Es rutscht in immer heißere Zonen des Ofens, wo ihm im Brennraum schließlich die Kohlenstaubflamme entgegenschlägt. Meist ist der Ofen in der Brennzone erweitert, damit das Brenngut hier länger verweilt. Bei 900°C wird der Kalk in der gleichen Weise zerlegt wie im Kalkbrennofen. Aus Kalziumkarbonat CaCO_3 entstehen also Branntkalk CaO und Kohlendioxyd CO_2 . Vorher schon hat der Ton Wasser abgegeben, und es entstehen als Restkörper Sauerstoffverbindungen oder Oxyde des Siliziums, Aluminiums und Eisens, nämlich SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 . Mit jedem dieser Bestandteile kann sich der Branntkalk verbinden, und es ergeben sich Kalziumsilikate, Kalziumaluminat und Kalziumferrite. Sie schmelzen nicht auf, sondern es erweichen nur die Oberflächenschichten der einzelnen Körnchen, und sie verschweißen an den Berührungsstellen. Dieses Zusammenschweißen bezeichnet man als Sintern. So entstehen bei 1400 bis 1450°C harte, grünlichgraue Brocken, die Zementklinker.

Im Solo-Ofen, der aus einem einzigen sich drehenden Stahlzylinder besteht, werden die heißen Klinker in der Endzone des Rohres, der Kühlzone, abgekühlt. Sie geben ihre Wärme an Wärmeaustauschkörper ab, die ihrerseits die durchströmende Verbrennungsluft erhitzen. Damit wird die Temperatur der Endprodukte nutzbringend verwertet, und man braucht weniger Kohle. Am Ende fallen die gekühlten Zementklinker aus dem Ofen.

Beim Lepol-Ofen hingegen fallen die noch heißen Zementklinker in eine Kühltrommel, die unter dem Brennrohr angeordnet ist und ebenfalls durch Zahnradkränze bewegt wird. Sie werden in dieser Trommel durch die ihnen entgegenströmende Verbrennungsluft gründlich gekühlt. Die Endprodukte speichert man in der Klinkerhalle. Zuletzt

gelangen sie in die Zementmühle. Zusammen mit geringen Zusätzen von Rohgips werden sie staubfein gemahlen und in den Zementsilos gelagert. Durch automatisch arbeitende Ventilsack-Packmaschinen füllt man sie zu je fünfzig Kilogramm in Papiersäcke ab.

Im Naßverfahren geht man meist von weichem Material aus, das oft einen hohen Prozentsatz Erdfeuchtigkeit enthält und auch sonst beim Zerkleinern die Maschinen verschmieren und unwirksam machen würde. Während der Kalkstein im Hammerbrecher vorgebrochen wird, schlämmt man den Ton in der Schlämmaschine. Den Tonschlamm, der etwa sechzig Prozent Wasser enthält, zerkleinert man in besonders konstruierten Mühlen zusammen mit den anderen Rohstoffen und erhält einen Feinschlamm, der in Mischsilos durch Einblasen von Druckluft gleichmäßig durchmischt wird. Im Schlammtrockner nehmen stark bewegte Ketten den Schlamm auf, und die darüberstreichenden Abgase des Drehrohrofens trocknen ihn rasch. In trockenem Zustande platzt er von den Ketten ab und rollt in den Drehrohrofen. Das Gemisch wird gebrannt, und in der gleichen Weise wie beim Trockenverfahren entstehen die Zementklinker.

Nicht jede Mischung von Kalk und Ton gibt einen brauchbaren Zement. Im einfachsten Falle geht man von einem Gestein aus, das schon beide Bestandteile enthält, dem Kalkmergel. Er ist aber nur dann ohne weiteres zur Zementfabrikation verwendbar, wenn er sechsundsiebzig bis achtundsiebzig Prozent Kalk enthält. Das ist in der Natur selten der Fall. Beim Brennen solchen Kalkmergels erhält man den Naturzement. Da in den natürlichen Vorkommen die Zusammensetzung der einzelnen Gesteinschichten ziemlich wechselt, schwanken die Eigenschaften des Naturzementes natürlich entsprechend. Man kann ihn daher nicht anwenden, wenn zum Beispiel besonders hohe Festigkeitsansprüche gestellt werden müssen. Es kann besonders leicht vorkommen, daß der Kalkgehalt im Natur-

zement das zulässige Höchstmaß überschreitet. Dann zeigen sich im erhärteten Zement die gefürchteten Treibrisse, und das Gefüge wird zerstört. Genormte Zemente hingegen haben eine bestimmte Zusammensetzung und demzufolge auch unveränderliche Eigenschaften und ganz bestimmte Festigkeitswerte.

Ein in Zusammensetzung und Eigenschaften genormter Zement ist der Portlandzement. Er ist nach dem in England als Baustein viel verwendeten Portlandstein benannt worden, dem er in der Farbe ähnelt. Zusammengesetzt ist er aus

58—66 % Kalziumoxyd CaO ,

18—26 % Siliziumdioxid SiO_2 ,

4—12 % Aluminiumoxyd Al_2O_3

und 2—5 % Eisen(III)-oxyd Fe_2O_3 .

Diese immer beibehaltene Zusammensetzung sichert ihm genormte zuverlässige Festigkeitswerte.

Eine ähnliche Zusammensetzung wie der Zement hat ein technisches Abfallprodukt; das ist die Hochofenschlacke. Sie bildet sich im Hochofenprozeß aus der Gangart der Erze und den Zuschlagstoffen.

Die Hochofenschlacke besteht aus

44—52 % Kalziumoxyd,

27—35 % Siliziumdioxid,

und 8—20 % Aluminiumoxyd + Eisen(III)-oxyd.

Geringer als beim Portlandzement ist also der Gehalt an Kalk. Wenn man diese Hochofenschlacke, die in glühendem Zustande aus dem Hochofen fließt, in kaltes Wasser strömen läßt, so wird sie abgeschreckt und bildet glasig-sandige Massen, die Schlackensande. Man setzt sie bis zu 30 % den Portlandzementklinkern zu und vermahlt beide sehr fein zu Eisenportlandzement.

Der Eisenportlandzement besteht aus

54—60 % Kalziumoxyd,

20—26 % Siliziumdioxid,

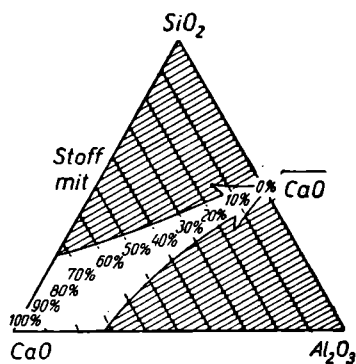
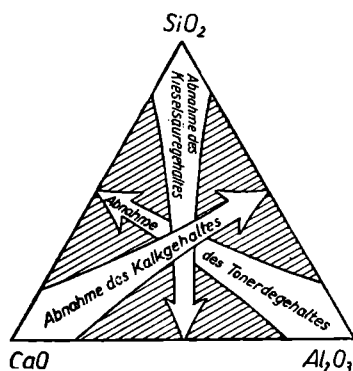
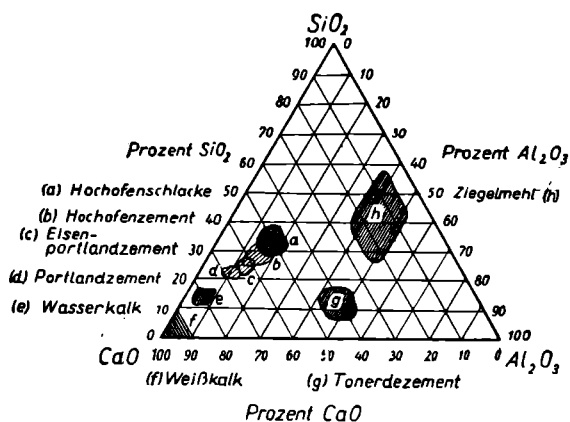
und 9—15 % Aluminiumoxyd.

Sein Name erinnert daran, daß er aus einem Abfallprodukt der Eisenverhüttung gewonnen wird. Man gibt ihm, wie auch dem Portlandzement, einige Prozente Gips zu, die das Abbinden verzögern sollen. In seinen Eigenschaften und in seiner Anwendbarkeit gleicht er dem Portlandzement.

Die Schlacke ist für sich allein kein Mörtelstoff. Dazu enthält sie zu wenig Kalk. Erst in der Mischung mit den kalkreichen Zementklinkern nimmt sie die Eigenschaften eines Mörtelstoffes an.

Übersteigt der Schlackenanteil des Zementes 30 Prozent, so bezeichnet man ihn als Hochofenzement. Er kann bis 85 Prozent Schlacke enthalten. Nicht jede Schlacke ist hierfür gleich gut verwendbar. Das weiße Roheisen, das weiter zu Stahl verarbeitet wird, liefert eine kalkärmere, das graue Roheisen für Grauguß eine kalkreichere Schlacke mit 40 bis 48 Prozent Kalziumoxyd CaO . Diese kalkreichere Schlacke wird bevorzugt für die Zementfabrikation verwendet.

Um die Zusammensetzung der Bindemittel und auch anderer Stoffe klar zu erfassen, wenden die Techniker graphische Darstellungen an. Die Bindemittel bestehen im wesentlichen aus drei Stoffen, nämlich Kalziumoxyd, Siliziumdioxid und Aluminiumoxyd; es sind Dreistoffsysteme. Man zeichnet also ein gleichseitiges Dreieck, dessen Seiten eine fortlaufende Einteilung von 0 bis 100 erhalten. Die Eckpunkte des Dreiecks stellen die reinen Stoffe CaO , SiO_2 und Al_2O_3 dar. An den gegenüberliegenden Seiten des Dreiecks sind sie nicht mehr vertreten. Dort besteht das System nur noch aus den beiden Stoffen, die an den



Das Dreistoffsystem Kalziumoxyd — Aluminiumoxyd — Siliziumoxyd und seine Erläuterung

Endpunkten der Seite verzeichnet sind; es sind Zweistoffsysteme.

Betrachten wir ein praktisches Beispiel. Im linken Eckpunkt des Dreiecks besteht der Stoff aus 100 Prozent CaO ; es ist reines Kalziumoxyd. An der gegenüberliegenden Seite ist kein CaO im Stoff enthalten. Das Zweistoffsystem

Bild 33

Kalköfen in Betrieb

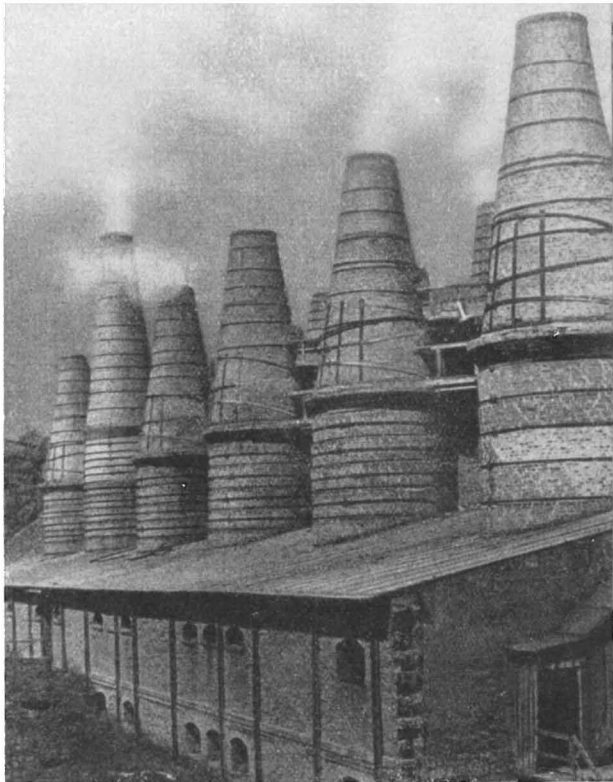


Bild 34 Verladen des Branntkalkes in gedeckte Loren



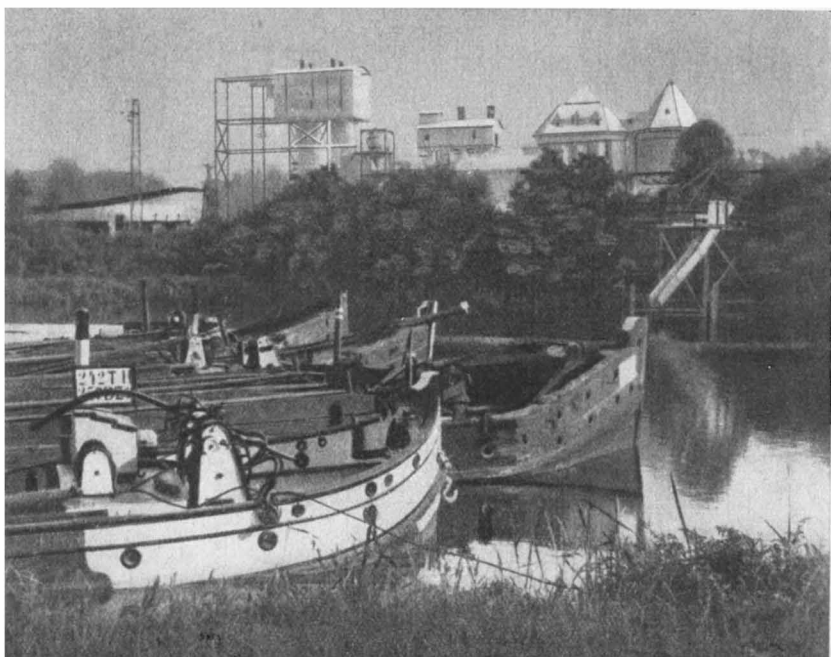


Bild 35

Begichtung der Öfen

Bild 36

Kalkmühle am Verladehafen
Kriensee



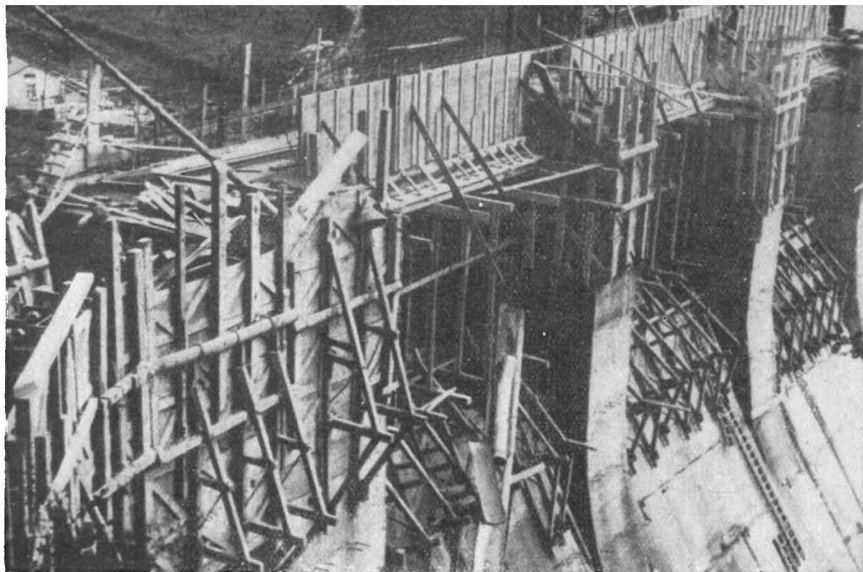


Bild 37 Staumauer Burgkhammer (Saaletal) im Bau

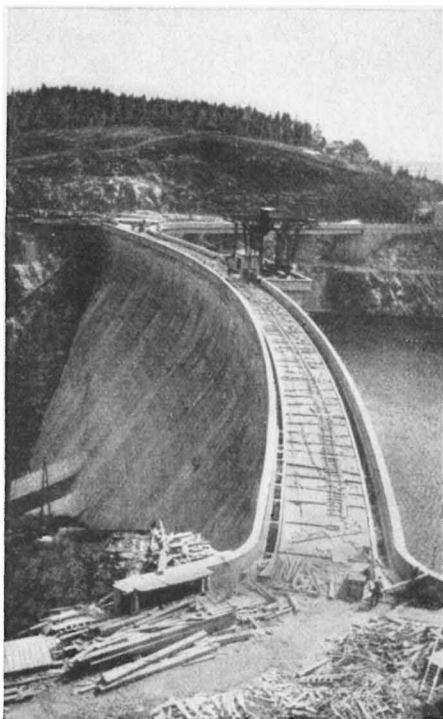


Bild 38

Die 65 m hohe Bleiloch-Sperrmauer
(Saaletal). Rechts der Stausee,
links die Turbinenausläufe

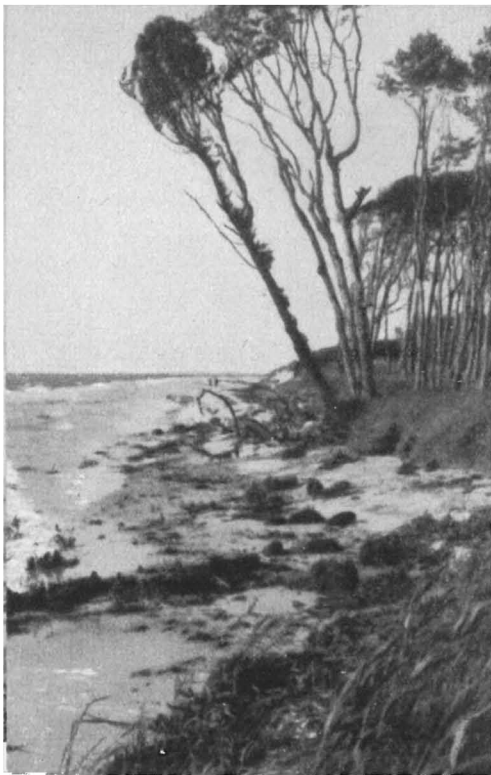


Bild 39

Darßer Weststrand,
eine Beute des Meeres

Bild 40 Buhnen aus Betonklötzen schützen das Land



enthält $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$. Die Zahlen der rechten Seite geben den Prozentgehalt Al_2O_3 an. Die parallelen Linien zur rechten Seite geben den Prozentgehalt CaO in den Dreistoffsystemen an, die im Innern des Dreiecks liegen.

Für den Hochofenzement sind die beiden Linien 50 ... 60 die Grenzwerte des CaO -Gehaltes; die Linien 10 ... 20 begrenzen den Al_2O_3 -Gehalt und die Linien 35 ... 45 den SiO_2 -Gehalt; das heißt: Hochofenzement besteht aus etwa

50 ... 60 % CaO ,
35 ... 45 % SiO_2 ,
10 ... 20 % Al_2O_3 .

Alle Punkte der Dreiecksfläche sind Dreistoffsysteme, deren Zusammensetzung durch die Lage genau festgelegt ist. Die Flächen der eingezeichneten Produkte werden durch Linien begrenzt, die zugleich die Grenzlinien ihrer stofflichen Zusammensetzung sind. Die basischen, also besonders kalkhaltigen Stoffe sind in der linken unteren Ecke zusammengedrängt. Alle Zemente und die Hochofenschlacken enthalten nur wenig Aluminiumoxyd, liegen also in der Nähe der linken Dreiecksseite. Der Tonerdezement, der nur wenig Siliziumdioxid enthält, liegt an der unteren, das Ziegelmehl mit wenig Kalziumoxyd an der rechten Dreiecksseite. So ist die graphische Darstellung ein einfaches und übersichtliches Schaubild, aus dem die Zusammensetzung dieser Dreistoffsysteme klar zu erkennen ist.

AUF DER BAUSTELLE

Kalk als Luftmörtel

Kalk und Zement verwenden wir auf der Baustelle als Mörtelstoffe. Sie verbinden die Steine des Mauerwerks und dienen zum Verputzen der Wände. Da gibt es Mörtel-

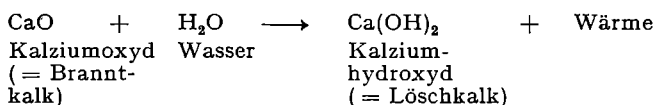
stoffe, die an der Luft erhärten; man nennt sie Luftmörtel. Ihr wichtigster Vertreter ist der Kalkmörtel. Andere, wie zum Beispiel der Zement, erhärten nicht nur an der Luft, sondern auch im Wasser. Man bezeichnet sie als Wassermörtel oder hydraulische Mörtel. Zwischen beiden Gruppen gibt es Übergangsstufen mit halbhydraulischen Eigenschaften.

Anfangs standen dem Menschen nur die großen Feldleesteine zum Aufführen von Mauerwerk zur Verfügung. Zwar wurden die Steine sorgsam ausgewählt und ineinandergepaßt, aber die Fugen zwischen ihnen mußten mit Hilfsmitteln ausgestopft werden, damit der Wind- und Wetterschutz der Bauten vervollkommenet wurde. Auch mit Wasser durchgekneteter Lehm oder Ton ließ sich zum Ausfüllen der Zwischenräume verwenden. Aber in der Hitze des Sommers trockneten diese Bindemittel ein und bröckelten ab, so daß die Dichtung ständig erneuert werden mußte. Schließlich lernte man dann durch Brennen und Löschen des Kalkes den starren Kalkstein der Natur in eine plastische Masse zu verwandeln. Mit ihr strich man die Fugen des Mauerwerks aus. Dieser Kalkbinder erhärtete im Laufe der Zeit, indem er sich in Kalziumkarbonat zurückverwandelte. Dann bildete er eine starre, feste Verbindung zwischen den Mauersteinen. Damit setzte der Mensch dem Kalkkreislauf in der Natur einen künstlichen Kalkkreislauf gegenüber, den wir nunmehr genauer kennenlernen wollen.

Das Löschen von Kalk ist an jeder Baustelle zu beobachten. Dort wird zunächst der Branntkalk mit Wasser angerührt und die Aufschwemmung durch Siebe in die Kalkgrube gegeben. In ihnen bleiben die größeren, ungelöschten Teile zurück. Beim Kalklöschten verdunstet sehr viel Wasser. Die aufsteigenden Wolken von Wasserdampf zeigen, daß es sich nicht um einen einfachen Lösungsvorgang handelt, sondern daß die Stoffe chemisch aufeinander einwirken. Bei dieser chemischen Reaktion entsteht

Wärme. Da ein beträchtlicher Teil verdampft, muß man Wasser in Überschuß zusetzen.

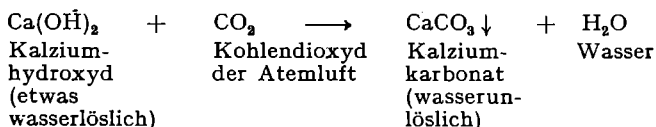
Das Wasser wird von Kalziumoxyd chemisch gebunden, und es entsteht Kalziumhydroxyd oder Löschkalk:



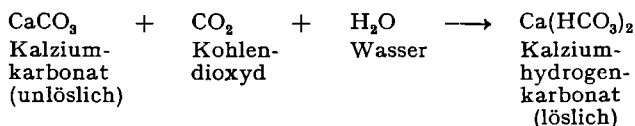
Je nach der Menge des beim Löschen zugesetzten Wassers erhält man verschiedene Endprodukte. Setzt man wenig Wasser zu, wie beim Ablöschen in der Sackkalkfabrik (Seite 80), so entsteht Kalziumhydroxyd Ca(OH)_2 als feines Pulver. Verwendet man allerdings zu wenig Wasser beim Löschen, so zerfällt das Endprodukt zu einem griesig-sandigen Pulver, das mit Wasser nicht mehr abbindet und daher technisch kaum zu verwenden ist. Der Fachmann sagt dann: Der Kalk verbrennt. Wird zu viel Wasser zugegeben, so ersäuft der Kalk. Er kann dann nicht mehr zum Abbinden dienen, sondern bildet die Kalkmilch. Ihren Namen erhielt sie nach dem milchigen Aussehen. Sie ist die billigste Base der chemischen Großindustrie. Man weißt damit die Zimmerdecken, und man weißt zur Desinfektion auch die Ställe. Im Obstbau bestreicht man die Baumstämme mit Kalkmilch, um das Ungeziefer zu vernichten, das in den Rissen der Rinde Unterschlupf sucht.

Kalkmilch ist eine Aufschwemmung von Kalziumhydroxyd in Wasser. Läßt man sie absetzen und gießt die überstehende klare Flüssigkeit ab, so enthält diese Kalziumhydroxyd gelöst. Die klare Lösung bezeichnet man als Kalkwasser. Es dient im chemischen Laboratorium zum Nachweis von Kohlendioxyd. Wir können das leicht selbst einmal nachprüfen. In einem Trinkglas blasen wir mit Hilfe eines Strohhalmes Atemluft durch klares Kalkwasser. Dieses trübt sich sofort. Die Atemluft enthält Kohlen-

dioxyd. Es bildet mit dem Kalziumhydroxyd praktisch unlösliches Kalziumkarbonat:



Das feinverteilte Kalziumkarbonat flockt zu weißen Klümpchen zusammen, und diese setzen sich zu Boden. Fahren wir mit dem Einblasen der Atemluft fort, so schlägt sich immer mehr Kalk nieder. Nach längerem Blasen allerdings nimmt die Trübung des Wassers wieder ab, und der Bodensatz löst sich auch wieder auf. Scheinbar ist der Ausgangszustand wieder hergestellt. Aber der Schein trügt. Das ausgeflockte Kalziumkarbonat wird durch das im Überschuß vorhandene Kohlendioxyd in lösliches Kalziumhydrogenkarbonat verwandelt:



Wir begegnen immer wieder denselben chemischen Gleichungen, einmal lesen wir sie von links nach rechts und dann wieder von rechts nach links. Das Auftauchen von festen Stoffen in klaren Lösungen und das Verschwinden eben dieser Stoffe ist uns kein Geheimnis mehr, wenn wir solche chemischen Gleichungen verstehen. Hier entstand zuerst durch chemische Umsetzung mit Kohlendioxyd aus einem wasserlöslichen Stoff ein unlöslicher, der sich niederschlagen mußte. Und dann setzte sich der Niederschlag mit Kohlendioxyd zu einer Verbindung um, die in Lösung geht.

Wird reines Kalziumkarbonat, zum Beispiel Marmor, gebrannt, so löscht der entstandene Branntkalk rasch ab, und wir erhalten einen Kalkbrei von schlüpfriger Beschaffen-

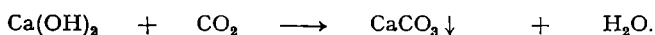
heit, den Fettkalk. Ist der zum Brennen verwendete Kalk unrein oder ist er zu stark gebrannt, so löscht er nur unvollständig und sehr langsam ab. Man erhält dann den pulverig-schlammigen Magerkalk, der eine wesentlich geringere Festigkeit beim Erhärten erreicht. Ganz besonders die unreinen Kalksteine, die Aluminiumoxyd Al_2O_3 , Siliziumdioxid SiO_2 und Eisen(III)-oxyd Fe_2O_3 enthalten, dürfen nicht zu hoch gebrannt werden. Denn deren Verbindungen mit dem Kalzium, die Kalziumaluminat-, -silikat- und -ferrite schmelzen viel leichter als das Kalziumoxyd CaO , dessen Schmelzpunkt 2576°C beträgt. Bei zu hohen Brenntemperaturen sintern die genannten Verbindungen zu einem Produkt zusammen, das sich mit Wasser nur noch schwer umsetzt, und das man als totgebrannten Kalk bezeichnet. Reines Kalziumkarbonat hingegen sintert wegen des hohen Schmelzpunktes von Kalziumoxyd nicht und liefert in jedem Falle ein lockeres, weißes Pulver, das mit Wasser leicht Löschkalk bildet.

Um sicher zu sein, daß der Kalk vollständig abgelöscht ist, läßt man den Kalkbrei vor der Verwendung einige Zeit stehen; man sumpft den Löschkalk ein. Dann setzt man dem Kalkbrei reinen, scharfkantigen Sand zu, und zwar dem Fettkalk drei Teile Sand, dem Magerkalk weniger. Dieses Gemisch aus gelöschtem Kalk und Sand ist der Mörtel. Es ist der in eine plastische, anschniegsame Masse verwandelte Kalkstein der Natur. Er dient zum Ausfüllen der Fugen im Mauerwerk und als Verputz. Die unbehauenen Lesesteine und auch die in Normgröße gelieferten und regelmäßig geformten Ziegelsteine würden nie lückenlos aneinanderpassen. Beim Mauern taucht der Maurer die porösen Ziegelsteine zunächst in Wasser, damit sie sich vollsaugen können und der Mörtel nicht zu schnell austrocknet. Dann umgibt er den Stein an den Seitenflächen mit Hilfe der Mauerkelle mit einer Mörtelschicht und setzt ihn auf die bereits zusammengefügte Steine. Der Mörtel als plastische Masse paßt sich der

Form des Steins gut an und füllt die Fugen vollkommen aus.

Der Sand erfüllt im Mörtel zwei wichtige, aber rein mechanische Aufgaben. Er verhindert, daß der Mörtel beim Erhärten so stark zusammengeht, daß Schwindrisse entstehen. Dort wäre das Mauerwerk weniger fest, und der Putz würde sich von der Mauer ablösen. Und außerdem macht er den Mörtel porös und luftdurchlässig. Die Luft und mit ihr das Kohlendioxyd dringen tief in das Innere des Mörtels ein und lassen ihn erhärten.

Dieses Erhärten vollzieht sich in zwei Stufen. Zunächst zieht der Mörtel einige Zeit nach dem Mauern an; durch Eintrocknen gewinnt er Zusammenhang, und der größte Teil des Wassers entweicht dampfförmig. Nachdem der Wassergehalt auf 5 bis 2 % gesunken ist, setzt die zweite Stufe, der eigentliche Erhärtungsvorgang, lebhaft ein. Der Löschkalk bildet in wäßriger Lösung mit dem Kohlendioxyd das unlösliche Kalziumkarbonat:



Hierbei entsteht gleichzeitig wieder Wasser, und das ist sehr wesentlich für den Fortgang der chemischen Umwandlung. Das entstehende Wasser löst wieder geringe Mengen Kalziumhydroxyd auf, das sich auch wieder mit neuem Kohlendioxyd umsetzen und in Kalziumkarbonat und Wasser übergehen kann. So erhärtet der Mörtel ganz allmählich von außen nach innen monate-, ja selbst jahrelang, und in dickem Mauerwerk ist die Erhärtung oft erst nach Jahrhunderten abgeschlossen. Da gleichzeitig der Kalk im Laufe langer Zeiträume grobkristallinisch wird, gewinnt das Mauerwerk bedeutend an Festigkeit.

Das Wasser, das frei wird, empfindet man bisweilen in Neubauten recht störend. Da bei der menschlichen Atmung und auch bei Verbrennungsprozessen zusätzlich Kohlendioxyd entsteht, ist die Luft in bewohnten Räumen kohlendioxydhaltiger als in unbewohnten. Daher läuft auch die

Stoffumsetzung rascher ab, und die Wasserbildung wird verstärkt. Bald triefen die Wände vor Feuchtigkeit, und man spricht vom „Trockenwohnen“ der Neubauten. Um diesen Übelstand zu verhindern, stellt man vielfach in Neubauten Kokskörbe auf. Sie bestehen aus einem Gitterwerk von Stahlblech, in dem Koks abgebrannt wird. Das Kohlendioxyd, das dabei entsteht, soll den Erhärtungsvorgang im Mörtel beschleunigen. Diese Maßnahme ist aber nicht unbedenklich. Infolge von ungenügendem Luftzutritt entsteht häufig bei unvollständiger Verbrennung das giftige Kohlenmonoxyd. Beim Betreten so austrocknender Neubauten ist also Vorsicht geboten, denn Kohlenmonoxyd CO ist ein heimtückisches Giftgas. Wir nehmen es mit unsern Sinnesorganen nicht wahr, da es farblos und geruchlos ist und auch nicht sofort betäubend wirkt. Erst, nachdem wir es längere Zeit eingeatmet haben, setzen die Vergiftungserscheinungen schlagartig ein. Inzwischen hat es sich fest mit dem roten Blutfarbstoff, dem Hämoglobin, zu ebenso rotem Kohlenoxydhämoglobin verbunden. Das Hämoglobin erfüllt seine Aufgabe, die Übertragung von Luftsauerstoff in die Gewebe, nicht mehr, und der Mensch erstickt innerlich. Kohlenmonoxyd ist auch der giftige Bestandteil des Stadtgases. Also Vorsicht beim Umgang mit Gaskochern und beim Betreten von Neubauten, in denen Kokskörbe aufgestellt sind! Da beim Abbrennen des Kokes gleichzeitig Wärme entsteht, führt diese zu einer vergrößerten Wasserverdunstung. Hierdurch wird häufig der Erhärtungsvorgang im Mörtel vorzeitig unterbrochen, da zu viel Wasser verdunstet und nicht genügend Wasser als Lösungsmittel für das Kalziumhydroxyd zur Verfügung steht. Dann erhärten nur die Außenpartien des Mörtels, und die Innenpartien bleiben ein mehr oder weniger lockeres Pulver.

Beim Hartwerden des Mörtels hat sich wieder Kalziumkarbonat gebildet. Als kristalline Masse umgibt es die Sandkörnchen und verbindet die Bausteine starr mitein-

ander. Damit hat der künstliche Kalkkreislauf seinen Abschluß gefunden. Es ist wieder das Kalziumkarbonat entstanden, von dem wir beim Brennen des Kalkes ausgingen. Allerdings liegt es jetzt nicht mehr in ziemlich reiner Form vor, wie im Kalkstein, sondern umschließt die zahlreichen Sandkörnchen.

Wenn man den Mörtel zum Verputzen des Mauerwerks verwendet, setzt man ihm weniger Sand zu. Dann bildet er auf dem porösen Ziegelstein eine relativ dicht schließende Kalziumkarbonatdecke. Sie verhindert ein zu starkes Einsickern von Regenwasser und schützt die Bausteine vor dem Verwittern.

Gipsmörtel und Anhydritbinder

Ein zweites Kalziumsalz, das Kalziumsulfat, ist die Grundlage des Gipsmörtels. Wir finden es in der Natur teils als wasserfreies Salz, den Anhydrit CaSO_4 , und teils als kristallwasserhaltiges Salz, den Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Besonders im südlichen Harzvorland bildet der Gips große Bergzüge. Im Verhältnis zu seinem ausgebreiteten Vorkommen wird er noch relativ wenig genutzt.

Gips hat die Eigentümlichkeit, beim Erhitzen auf 100°C drei Viertel seines Kristallwassers abzuspalten. Es bildet sich dann das „Halbhydrat“ $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, das auch als gebrannter Gips bezeichnet wird. Man entwässert den Gips technisch durch Erhitzen in Eisenkesseln, den Gipskochen, auf 120 bis 180°C . Dabei bildet sich Stuckgips, der noch etwas wasserärmer als das Halbhydrat ist. Brennt man ihn hingegen bei 800°C in Schächtföfen, so entsteht der noch wasserärmere Estrichgips.

Rühren wir den gebrannten Gips mit wenig Wasser an, so erhalten wir Gipsbrei, der rasch zu einer festen Masse erhärtet. Er nimmt dabei das fehlende Kristallwasser wieder auf, und es bilden sich zahllose feinfaserige Gipskriställchen, die miteinander verfilzen. Die Erhärtung des

Gipsbrei erklärt sich aus der verschiedenen Wasserlöslichkeit des gebrannten und des kristallwasserhaltigen Gipses. Kommt der leichter lösliche gebrannte Gips mit Wasser in Berührung, so entsteht eine Lösung, die in bezug auf die kristallwasserhaltige Form übersättigt ist. Das überschüssige kristallwasserhaltige Kalziumsulfat beginnt daher auszukristallisieren. Sehr bald ist die Lösung dann in bezug auf den gebrannten Gips ungesättigt, so daß sich wiederum gebrannter Gips lösen kann. Dieses Wechselspiel zwischen beiden Formen setzt sich nun so lange fort, bis der Kristallisations- und Erhärtungsvorgang beendet ist.

Stuckgips bindet sehr rasch ab; er wird in zehn bis zwanzig Minuten fest. Er ist aber nicht wasserbeständig, sondern erweicht unter Wasser langsam wieder. Man verwendet ihn daher nur für Innenarchitekturen, wie zum Beispiel Stuckdecken, Zwischendecken und Trennwände. Dabei wird zunächst Rohr- oder Drahtgeflecht ausgespannt und dieses mit Gips beworfen. Das werden die Rabitzwände. Durch die Aufnahme des Kristallwassers dehnt er sich beim Erhärten um etwa ein Volumenprozent aus. Er füllt daher Hohlräume gut aus und dient auch zum Eingipsen von Haken. Aus dem gleichen Grunde verwendet man ihn zum Abformen von Modellen und erhält von diesen Gipsabdrücke.

Estrichgips braucht zum Abbinden längere Zeit. Er erhärtet erst in vierundzwanzig bis sechsunddreißig Stunden. Aber er ist dann auch widerstandsfähiger gegen atmosphärische Einflüsse und Wasser und nimmt schon beinahe hydraulische Eigenschaften an. Seine Oberfläche ist wesentlich dichter als die des Stuckgipses. Im Baugewerbe dient er hauptsächlich zur Herstellung von Fußböden, zum Verputz und auch als Mauermörtel.

Brennt man den Gips bei 1000 bis 1200° C, so entsteht der totgebrannte Gips. Er setzt sich nur noch sehr schwer mit Wasser um und gleicht in dieser Beziehung dem natür-

lich vorkommenden Anhydrit. Während sich unterhalb von 66° C aus wäßrigen Kalziumsulfatlösungen stets die wasserhaltige Form, der Gips, abscheidet, bildet sich über 66° C immer die wasserfreie Form, der Anhydrit. Nur bei Gegenwart größerer Mengen anderer Salze kann die Anhydritausscheidung auch bei niederen Temperaturen erfolgen.

In den letzten Jahren ist man dazu übergegangen, den Anhydrit wieder in verstärktem Umfange einzusetzen. Er wird nicht gebrannt wie der Gips, sondern nur fein gemahlen. Also spart man die Kohlen für das Brennen des Gipses oder des Kalkes. Doch setzt man dem gemahlenden Anhydrit noch 30 % Kalk als „Anreger“ zu, der dem Gemisch gute Bindemittleigenschaften verleiht, und verwendet ihn so als Mauermörtel und für Außenputz. Beim Anrühren mit Wasser bindet er äußerst langsam ab. Aber seine Oberfläche ist nach dem Erhärten besonders dicht und widersteht daher sehr gut den atmosphärischen Angriffen. Die Witterungseinflüsse wirken nicht zerstörend ein, sondern der Anhydritbinder wird im Laufe der Zeit durch Umkristallisationen immer widerstandsfähiger und fester. Er hat sich beim Wiederaufbau zahlreicher Städte sehr gut bewährt, so zum Beispiel in Nordhausen. Hier in der Nähe, in Niedersachswerfen, wurde das erste Anhydritwerk in Betrieb genommen.

Aus Anhydritbinder stellt man auch Trockenplatten als Baufertigteile her. Sie dienen als Wandverkleidung und gleichzeitig als Wärmedichtung. Mit ihnen ist es möglich, in den oberen Stockwerken die Wandstärke der Bauten auf eine Steindicke zu reduzieren und den Wärmeschutz den Anhydritbauplatten zu überlassen. Es verringert sich dann auch das Gesamtgewicht des Baus; die Wände sind rasch trocken, und die Wohnungen können schneller bezogen werden. Man stellt auch Estrich aus Anhydrit her, der fugenlose und haltbare Fußböden ergibt.

Wassermörtel und Beton

Im Gegensatz zu den Luftmörteln, die nur an der Luft erhärten, lassen sich die hydraulischen Mörtel oder Wassermörtel sowohl für Bauten an der Luft als auch im Wasser verwenden. Ihre wichtigsten Vertreter sind die Zemente. Man vermischt den Portlandzement bei Luftbauten mit drei, bei Wasserbauten mit ein bis zwei Teilen scharfkantigem reinem Sand und rührt das Gemisch mit Wasser zu einem dicken Brei an. In etwa acht bis vierundzwanzig Stunden verfestigt es sich unter Wasseraufnahme; er bindet ab. Dann beginnt die Masse zu erhärten, was auf chemische Umsetzungen zurückzuführen ist. Das Trikalziumsilikat $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ des Zements wird dabei unter Wasseraufnahme zersetzt, und es entstehen Monokalziumsilikat $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ und Kalziumhydroxyd $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Beide bilden winzig kleine Kristalle, die sich untereinander verfilzen und die Gesamtmasse immer mehr verfestigen. In der gleichen Weise werden auch die Trikalziumaluminate und -ferrite umgesetzt, und ihre Umwandlungsprodukte tragen ihrerseits zur Verfestigung der Zementmasse bei. Der Luftmörtel erhärtet nur beim Einwirken von Kohlendioxyd der Luft. Der Wassermörtel braucht dieses nicht und kann daher auch im Wasser erhärten. Der Härtebestandteil des Luftmörtels ist das Kalziumkarbonat, die Härtebestandteile des Zements sind die Silikate. Das Kalziumkarbonat wird von kohlendioxydhaltigem Wasser angegriffen und aufgelöst, die Kalziumsilikate des Zements widerstehen dem Wasser. Uferbauten, Staudämme und Unterwasserbauten erfordern daher die Anwendung von Zement und schließen die Verwendung von Kalkmörtel aus.

Durch Zumischen von grobem Kies zum Zement erhält man den Beton. Mit wenig Wasser angerührt, bildet er den Stampfbeton, der mit Stampfern in vorbereitete Holzformen gestampft wird. Er erreicht die größten

Festigkeitswerte. Das gilt ganz besonders für den Beton, der durch „Vakuumieren“ nachbehandelt ist. Die in der Masse enthaltenen Luftblasen werden abgezogen, und der Beton wird dichter und damit widerstandsfähiger. Mit größeren Wassermengen angerührt, wird er weniger dickflüssig und als Rüttel- oder Gußbeton verarbeitet. Aus Beton werden die Grundmauern von Bauten aller Art hergestellt, besonders aber Großbauten, wie Autostraßen, Brücken, Uferbauten und Staumauern.

Den Bau der Bleiloch-Talsperre, einer der bedeutendsten Sperrmauern Deutschlands, zeigt Bild 38, den der Burgkhammer-Vorsperre Bild 37. Schon sperren die Mauern den Talgrund. Die Mauer von Burgkhammer ist im obersten Drittel noch mit festen Bohlen verschalt. Sie bilden die Form, in die der Beton gestampft wird. Ständig drehen sich die Betonmischer und vermengen Zement, Kies und Wasser in den vorgeschriebenen Verhältnissen. Loks schleppen unablässig die mit neuen Rohstoffen beladenen Loren heran, um die unersättlichen Mischer zu füllen. Kipploren nehmen den fertig gemischten Beton auf, werden zum Aufzug an der Staumauer gebracht und auf die Höhe der Mauer gehoben. Nun wird die Verschalung Stück um Stück gefüllt, während andere Arbeiter an bereits erhärteten Teilen der Mauer die Balken und Verschalungen entfernen.

So wächst die Mauer zusehends empor. Wenn die Anlieferung der Rohstoffe nicht ins Stocken kommt und die maschinellen Hilfsmittel in genügender Menge eingesetzt werden können, dann ist der Betonbau einer der schnellsten im ganzen Baugewerbe. Betrug doch beim Bau der Bleiloch-Sperrmauer die mittlere Betonleistung je Tag tausend, die höchste Tagesleistung eintausendfünfhundert Kubikmeter. Kaum daß die Mauer in ganzer Höhe vollendet ist, da beginnt bereits der Aufstau der Saale. Bald füllen die Wassermassen den Talgrund auf viele Kilometer talauf, und Siedlungen und Mühlen verschwinden in den Fluten. Eine neue, fremdartige Seenlandschaft entsteht. Nun plät-

schern die Saalewässer nicht mehr ungenutzt zu Tal. Jetzt leisten sie nutzbringende Arbeit. Sie fließen durch die Druckrohre der Sperrmauern und treiben Turbinen an. So entsteht elektrischer Strom.

Oder denken wir an die sturmgepeitschte Westküste des Fischlands und des Darßer Waldes. Ständig wüten die Meeresströmungen und reißen Meter um Meter von der Küste ab. Da stemmte sich der Mensch gegen die Fluten und baute schützende Buhnen weit hinaus ins Meer. Doch die Pfähle, die er einrammte, waren sehr vergängliche Gebilde, die Sturm und Wetter, Wellen und Fäulnis nicht lange widerstanden. Heute ziehen sich an dem vielumkämpften Darßer Weststrand lange Reihen von Bretterverschalungen hin. Betonmischer drehen sich und mischen Zement mit den Zuschlagstoffen und mit Wasser. Dann werden die Formen gefüllt. Betonklotz entsteht neben Betonklotz, trocknet am Strande und wird fest und hart. Dann werden sie in die vorher eingerammten Pfahlreihen gesetzt. Nun steht die Buhne breit und fest in der Flut. Wellenbrecher schäumen über sie hinweg, hüllen sie ein in Gischt und Wasserstrudel. Aber sie widersteht dem Wogenprall. Sande des Meeres setzen sich an, und ein schützender Wall wächst um das Ufer (Bild 39, 40).

Wenn besonders hohe Festigkeit verlangt wird, setzt man Stahlgitter und Drahtgeflecht in die Formen und füllt sie schließlich mit Gußbeton. So entsteht der Stahlbeton. Das Stahlgeflecht gibt dem Beton einen äußerst festen Zusammenhalt. Es braucht vor der Anwendung nicht entrostet zu werden, da der Beton fest am Eisen haftet und dieses vor einem Weiterfressen des Rostes bewahrt. Beide Stoffe dehnen sich annähernd gleich beim Erwärmen aus, so daß sie auch bei großer Hitzewirkung fest aneinander haften. Will man Stahlbetonbauten abtragen, so muß man sie sprengen. Aber auch dann sinken die tragenden Decken und Gewölbe als Ganzes in die Tiefe. In mühseliger Kleinarbeit müssen sich Preßluftbohrer in die feste Masse ein-

fressen und die Stahlteile freilegen, die den unlösbar scheinenden Zusammenhalt geben. Im Stahlbetonbau vereinigen sich die Zugfestigkeit des Eisens mit der Druckfestigkeit des Betons zu einer nahezu unzerstörbaren Einheit, die ebenso rost- wie feuersicher ist.

Bei Talsperrenbauten, wie wir sie an der Bleilochsperre im Saaletal kennenlernten, wird dem Beton beim Anrühren häufig eine vulkanische Lava, der Traß, zugesetzt. Er enthält Kieselsäure in reaktionsfähiger Form. Sie fördert die Silikatbildung und macht den Beton geschmeidig, und der freie Kalk des Zements wirkt bei der Silikatbildung als Anreger.

In ähnlicher Weise kann man dem Zement auch Bims, ein vulkanisches Gestein, zumischen, und die Masse in Formen stampfen. Man erhält dann Formlinge, die an der Luft zu festen und dabei sehr porösen und leichten Bausteinen erhärten, den Schwemmsteinen. Sie fördern eine gute Durchlüftung der Wohnräume und verringern das Gewicht des Gesamtbaus. In ähnlicher Weise erhält man aus Hochofenschlacke und Zement oder anderen Bindemitteln die Hüttenschwemmsteine und aus den Verbrennungsrückständen von Koks und Kohle, die mit hydraulischen Bindemitteln angerührt werden, die Schlackensteine, letztere in anderen Fällen auch aus Gemischen von Ätzkalk und Schlackensanden. Oder man preßt Mischungen aus Zement und Asbest in Plattenform und erhält die Eternitplatten für Dachbedeckungen.

Kalk als Düngemittel in der Landwirtschaft

Eine der ersten Kulturtaten des Menschen war der planmäßige Anbau von Pflanzen, die ihm Nahrung und Kleidung lieferten. Der Pflanzenbau war es, der schweifende Nomaden zu sesshaften Ackerbauern machte. Zunächst wurde der Acker in der einfachsten Form bestellt. Der Boden wurde genutzt, solange er Ernten hergab, und blieb

dann für einige Zeit brach liegen. Nutzung und Brache wechselten miteinander ab.

Dann stieg die Zahl der Menschen im Laufe der Zeit stetig. Damit wurde die nutzbare Ackerfläche im Verhältnis zur Zahl der Menschen, die sie ernähren mußte, kleiner. Aber durch planmäßigen Wechsel der Feldfrucht konnte noch lange Zeit die Fruchtbarkeit des Ackerbodens erhalten werden; denn jede Pflanzenart stellt ganz besondere Bedingungen an den Boden und entzieht ihm ganz bestimmte Nährstoffe. Das Augenmerk der Landwirte nachdrücklich auf den verschiedenartigen Nährstoffbedarf der einzelnen Kulturpflanzen gerichtet zu haben, ist das große Verdienst Justus von Liebig's. In eingehenden Versuchsserien stellte er diesen Nährstoffbedarf im einzelnen fest. Seine wissenschaftlichen Erkenntnisse wurden dadurch in die breiten Massen getragen, daß er es verstand, sie in populärwissenschaftlichen Schriften und Vorträgen zu erläutern und die Bauern dafür zu gewinnen. So wurde er zum wissenschaftlichen Begründer der Chemie des Pflanzenbaus, der Agrikulturchemie, und zugleich zu ihrem ernsthaftesten Verfechter. In seinem Laboratorium bildete er eine Generation von Forschern heran, die diese neugegründete Wissenschaft mit Erfolg weiter ausbauten und festigten.

Liebig's Lehre gipfelte in der Erkenntnis, daß in den Industriestaaten eine Verschiebung des stofflichen Gleichgewichts eintritt. Früher bebaute jede Familie ihren Acker, und ein jeder Bauernhof hatte einen in sich geschlossenen Kreislauf der Stoffe. Der Bauer erntete seine Feldfrucht, die seiner Familie und seinem Viehbestand als Nahrung dienten. Die Abfallprodukte des Stoffwechsels wanderten als natürlicher Dünger zurück auf die Fluren und waren die Nährstoffe für neues Pflanzenwachstum. Durch die einseitige Zusammenballung der Menschen in Städten und vor allem in den großen Industriezentren wurde dieses natürliche Gleichgewicht empfindlich gestört. Die Agrargebiete lieferten fortan ihre landwirtschaftlichen Produkte,

Pflanzen und Schlachttiere, in die Städte. Aber die Städte lieferten nicht die natürlichen Düngestoffe an die Landwirtschaft zurück. Immer neue Pflanzengenerationen entnahmen nun dem Ackerboden die notwendigen Nährstoffe, die nur in ungenügender Weise ergänzt wurden, und so verarmte allmählich im Zeichen einer intensiven Bodennutzung die Ackerkrume an bestimmten, unentbehrlichen Stoffen, und zwar besonders an Kalium, Kalzium, Stickstoff und Phosphor.

Jeder dieser vier Stoffe hat bestimmte Funktionen zu erfüllen; daher können sie sich auch nicht wechselseitig vertreten. Ist der im Minimum vorhandene Stoff aufgebraucht, so geht die Pflanze zugrunde. Fehlt das Kalzium, so stirbt sie ab.

Aufgabe einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ist es nun, die Böden auf ihren Nährstoffgehalt zu untersuchen und die fehlenden Pflanzennährstoffe durch künstliche Düngemittel zu ersetzen.

Der Kalk hat aber im Boden, wie die moderne agrarwissenschaftliche Forschung zeigt, noch eine zweite wichtige Rolle zu erfüllen. Da gibt es zunächst saure Böden, wie zum Beispiel in den Hochmooren, deren Wasser sauer reagiert. Dieser Säuregehalt, die Bodenazidität, ist den meisten Pflanzen unzutraglich. Durch Kalkzugaben muß man die Säuren neutralisieren. Und außerdem zeigt sich heute vielfach eine schleichende Bodenversäuerung durch die künstlichen Düngemittel, so besonders durch Harnstoff und die Ammoniumsalze. Sie reagieren mit Bodenbestandteilen unter Säurebildung. Auch diese Säuren müssen durch Düngekalk unschädlich gemacht werden.

Man verwendet gemahlenen Kalkstein oder Kalkmergel, von denen der Kalk 85 bis 90 Prozent Kalziumkarbonat enthält, der Mergel, entsprechend seiner Zusammensetzung, wesentlich weniger. Daneben verwendet man Branntkalk in Stücken oder in Körnerform und Löschkalk. Auch Mischkalke aus gemahlenem Kalk und Löschkalk werden

angewendet. Wesentlich weniger wichtig ist Gipsmehl, das nur 35 Prozent Kalziumoxyd enthält. Wertvolle Kalkdünger hingegen als industrielle Abfälle sind der Scheideschlamm der Zuckerfabriken mit 25 Prozent Kalziumoxyd CaO , die Rückstände der Pottaschefabriken mit 25 Prozent CaO und 4 Prozent Kaliumoxyd K_2O , die Abfallaugen der Sodafabriken und der Papierfabriken.

Leichten Böden setzt man meist Kalkmergel, schweren Branntkalk zu. Der Kalkstein kann nur sehr langsam von der Pflanze ausgenutzt werden; denn die Pflanze besteht aus einzelnen Zellen, und jede dieser Zellen ist von einer festen Zellwand umgeben. Die Pflanze hat kein Verdauungssystem wie das Tier, sie kann durch die zartwandigen Zellen ihrer Wurzelhaare nur gelöste Nährstoffe aufnehmen. Kalk aber ist, wie wir bereits lernten, nahezu unlöslich in Wasser. Erst das Kohlendioxyd, das im Boden durch Fäulnisprozesse frei wird und sich im Bodenwasser löst, verwandelt als Kohlensäure das unlösliche Kalziumkarbonat in lösliches Kalziumhydrogenkarbonat, das nun der Pflanze als Nährstoff zugute kommt. Auch Humus-säuren führen zur Auflösung des Kalkes. In leichten Böden mit guter Durchlüftung verwittert der Kalkmergel relativ rasch, und die Pflanze kommt in den Besitz der benötigten Kalziumsalze.

Die Pflanze greift den schwerlöslichen Kalk auch selbst an. Ihre Wurzelzellen scheiden Säuren ab, die gesteinslösend wirken. Ein kleiner Versuch zeigt das sehr deutlich. Lassen wir zum Beispiel eine Pflanzenwurzel auf poliertem Marmor entlangwachsen, etwa dem Bruchstück einer Marmorplatte oder eines Briefbeschwerers, und betrachten wir diesen nach geraumer Weile, so erkennen wir auf dem Marmor die Wurzel mit ihren feinsten Verästelungen als mattiertes, eingetztes Negativ. Dort, wo sich die Zellen der Wurzel befanden, wurden Säuren abgeschieden, die zur oberflächlichen Auflösung von Kalziumkarbonat führten. Was wir hier am Versuch im Kleinen

sehen, vollzieht sich im Großen im Ackerboden und am Felsen, an dem sich eben eine anspruchslose Pflanzenwelt ankrallt.

In schweren Böden, in denen die natürliche Verwitterung der Stoffe behindert ist, streut man meist Branntkalk. Im Boden kommt er mit Wasser zusammen und bildet dann Löschkalk, der die Bodensäure neutralisiert. Branntkalk und Löschkalk sind viel leichter wasserlöslich als das gemahlene Kalziumkarbonat, so daß den Pflanzenwurzeln sofort größere Mengen gelöster Kalziumsalze für das Wachstum zur Verfügung stehen. Man verwendet diese leichter löslichen Salze mit Vorteil auch im Obstbau. Manche Obstbäume tragen zwar regelmäßig und reichlich Früchte, werfen diese aber ebenso regelmäßig schon lange vor der Reife ab. Wird der Boden gekalkt, so bringen sie ihre Früchte zur Reife.

So ist der Mensch mit Hilfe der künstlichen Düngung dazu übergegangen, die einmal erkannten Naturgesetze des Pflanzenwachstums praktisch auszuwerten und auf künstlichem Wege den Pflanzen gute Entwicklungsmöglichkeiten zu verschaffen. Er vergrößert hierdurch die Ernteerträge und erreicht, daß der vorhandene und heute nicht mehr beliebig ausweitbare Ackerboden mehr Menschen ernähren kann. Dieses Problem aber wird für künftige Generationen immer dringlicher, da die Zahl der Menschen ständig wächst.

Kalk überall

Im Dämmer der Höhlen entstanden in Kalkgebirgen riesige Tropfsteine. Aus den kalkhaltigen Wässern heißer Quellen setzten sich große Sinterterrassen ab, und in bewegtem Quellwasser bildete sich Erbsenstein. Noch viel größere Mengen von Kalkstein entstanden unter Mitwirkung von Pflanzen und Tieren. Da bildeten sich Tuffe aus den Kalkabscheidungen von Meerespflanzen, und auf-

gehäufte Muschel- und Schneckenschalen und Korallenriffe früherer Erdperioden wurden zu festem Kalkstein. Noch heute bilden sich Süßwasserkalke und Meeressedimente aus Kalk.

Den Gesteinsbildungen der Natur, die in einem natürlichen Kalkkreislauf entstehen und wieder vergehen, stehen die Kalkbildungen gegenüber, die wir Menschen in einem künstlichen Kalkkreislauf entstehen lassen. Da wird der Kalkstein gebrannt und der Branntkalk gelöscht. Löschkalk wird dem Acker zugeführt, um den Ertrag zu steigern. Aus Löschkalk und Sand bilden wir plastischen Mörtel, der als Bindemittel beim Mauern dient. Beim Erhärten bildet sich wieder Kalziumkarbonat, das die Mauersteine fest miteinander verbindet.

Zum Luftmörtel gesellte sich der Wassermörtel. Mit seiner Hilfe war es möglich, Bauten in feuchtem Untergrund, ja selbst unter Wasser auszuführen. Nun wuchsen neben den Wohnhäusern die riesigen Stahlskelettbauten unserer Hochhäuser empor.

Zement und Beton wurden die wichtigsten Baustoffe unserer Zeit. Aus ihnen wurden Brücken, Autobahnen, Rollbahnen und Hafenanlagen gebaut, die dem Verkehr zu Lande, zu Wasser und in der Luft dienen und die Völker miteinander verbinden. Aus Zement und Beton entstanden riesige Staudämme. Sie bändigen die Gewalt der Wildwässer und zwingen sie, Arbeit zu leisten und elektrischen Strom zu erzeugen. Uferschutzbauten, Molen und Buhnen aus Beton säumen das Meer und schützen das Land.

Was wären wir ohne Kalk, ohne Zement, ohne Beton?

STICHWORTVERZEICHNIS

Aach 10
 Abbinden (Zement) 107
 Ablöschchen des Branntkalkes 80
 Absatzgesteine 45
 Abtragung der Falten-sättel 49
 Achlya 40
 Adelsberger Grotte 10, 18 ff.; *Bild 9, 10, 11, 12, 13, 14*
 Alluvium 50
 Alvenslebenbuch 62 ff.
 Ammoniten 42, 53; *Bild 25 und 26*
 Ammonitenkalke 43; *Bild 25 und 26*
 Ammonshörner 42, 53; *Bild 25 und 26*
 Amöbe 25
 Anhydrit 104, 106
 Anhydritbinder 106
 Archaeopteryx 54, 55
 Atoll 36, 37
 Auffaltung von Gebirgen 48
 Austernbänke 43

 Backenbrecher 70, 72
 Balanoglossus 40
 Barriereriff 35
 Baumannshöhle (Harz) *Bild 8*
 Bauplatten 69
 Belemniten 53; *Bild 26*
 Beton 107
 Bims 110
 Blau 11
 Blaubeuren 11
 blauer Kalkstein 61, 63
 Bleiloch-Talsperre 108; *Bild 38*
 Bodenazidität 112
 Bodenversäuerung 112
 Bohrmuschel 40; *Bild 21*
 Bohrschwamm 40
 Borstenwürmer 40

Branntkalk 76, 87, 112, 113, 114; *Bild 34*
 Brechen des Gesteins 70, 72
 Brennen des Kalkes 76/77
 Bühnen 109; *Bild 40*
 Buntsandstein 50, 53, 57, 62
 Burgkhammer-Staumauer *Bild 37*

 Carrara-Marmor 46
 Ceratites 53, 63; *Bild 18*
 chemische Verwitterung 8/9

 Darßer Weststrand 109; *Bild 39*
 Darwins Rifftheorie 35, 36, 37
 Devon 50, 52
 Diatomeenschlamm 29, 30
 Diffugia 25, 26
 Diluvium 50, 54
 Dinosaurier 51, 53
 Diplopoda 24
 Dolomit 63
 Donau, Quellgebiet 10/11
 Donaueschingen 10
 Drehrohrofen 91
 Drehrostofen 79
 Dreistoffsystem 95, 96
 Düngekalk 82, 112
 Düngemittel, künstliche 112

 Eichelwurm 40
 Eingipsen 105
 Eisenportlandzement 94, 95
 Eiszeit 57
 Enthärten des Wassers 12/14
 Entwicklung der Lebewesen 51
 Entwicklungsreihe der Planorbis multififormis 55, 56
 Erbsenstein 22; *Bild 15*
 Erdzeitalter 50/51
 Erhärten des Mörtels 102
 Estrichgips 104, 105
 Eternitplatten 110

Feengrotten (Saalfeld) 18;
Bild 1

Fettkalk 101

Foraminiferen 26 ff., 51, 53

Forameniferenkalke 30, 31

Fünffingerspitze 42

Fünfschenkelringofen 86, 87

Fusulinenkalk 30

Gebannter Gips 104

gebrannter Kalk 76, 87, 112,
113, 114; *Bild 34*

Gesteinsklüfte 65

Gips 104, 112

Gipsmörtel 104

Gleichgewicht, chemisches
14

Gletscherschliffe 58

Gletscherschrammen 58

Gletschermühle 58

Globigerina 26, 27

Globigerinenschlamm 28, 29

Granit 7

Granitporphyr *Bild 5*

Grottenolm 19

Gußbeton 108

Haarstern 42; *Bild 24*

Halbhydrat 104

halbhydraulischer Mörtel
98

Hammerbrecher 82, 90

Härte der Gesteine 46

Härtegrad des Wassers 12

Hartes Wasser 11 ff.

Heinitzsee 59

Hochofenschlacke 94

Hochofenzement 95, 97

Höllentalklamm 10

Hüttenschwemmsteine 110
hydraulischer Mörtel 98,
107

Kalkalgen 41

Kalkbildung, mineralische
43

—, organogene 43

Kalkdüngung 112

Kalkgehalt des Wassers 13

Kalkgrube 98

kalkhaltiges Wasser 11 ff.

Kalkkreislauf, künstlicher
98

Kalklöschchen 80, 98

Kalkmergel 93, 112, 113

Kalkmilch 99

Kalkmörtel 98

Kalkmühle 80, 82; *Bild 32*

Kalkringofen 82 ff., 83, 85,
87

Kalksattel von Rüdersdorf
58

Kalkschleier auf Wäsche 13

Kalkseife 12, 13

Kalksinter 17, 20/21; *Bild 2*
und 8

Kalkstein 8, 47, 112

—, blauer 61, 63

—, weißer 61, 63

Kalksteinbruch 66 ff.

Kalktuff 23, 24, 44

Kalkwasser 99

Kalkwerk 74 ff., 78

Kalziumhydrogenkarbonat
8/9, 100

Kalziumhydroxyd 99

Kalziumkarbonat 8, 100

Kalziumsilikat 107

Kalziumsulfat 104

Kambrium 50, 52

Karbon 50, 52

Karrenfelder 9; *Bild 6*

Karst 9

Karstflüsse 10

Kernseife 12

Kesselstein 14

Keuper 50, 53, 63

Klamm 10

Kluftbeobachtung 65;
Bild 28

Kluftbildung 65

Kohlendioxyd, Nachweis
99/100

Kohlenmonoxyd 79, 103

Kohlensäuregehalt des Was-
sers 8

Kokskörbe 103

Korallengärten der Südsee
38; *Bild 4 und 20*

Korallenriff 32 ff., 42; *Bild* 3,
 4 und 20
 Korallenstock 33; *Bild* 22
 Kreide 30, 31, 53
 Kreidezeit 50, 53
 Kreiselwipper 72
 Krienensee 60, 69
 Krinoiden 42, 53
 Krinoidenkalke 42; *Bild* 23
 Kugeltierchen 26
 Küstenriff 34/35; *Bild* 20

Laibach 10
 Leitfossilien 52
 Lepolofen 91, 92
 Liebig 111
 Lithodomus 40; *Bild* 21
 Lithotamnienkalk 41
 Lithotamnium 41
 Lochschalenräger 26 ff.
 Löschén des Kalkes 80, 98
 Löschkalk 82, 99, 112
 Luftmörtel 98

Magerkalk 101
 Marmor 46
 Meerdattel 40; *Bild* 21
 Meeressedimente 47
 Mergel 62
 Mergelschiefer 63
 Mischkalkdünger 82, 112
 Möhringen 10
 Mörtel 101
 Mörtelstoffe 97
 Münzstein 31
 Muschelkalk 43, 50, 53, 62
 Muschelkalkinsel von Rüd-
 ersdorf 57
 Myophoria 62, 63
 Myophorienschichten 61, 62

Naturzement 93
 Naßverfahren (Zement) 89,
 93
 Nero antico 46
 Nummuliten 31
 Nummulitenkalk 31

Organogene Gesteine 43 ff.

Paradiesgrotte 18
 Partnachklamm 10; *Bild* 7
 Pennickental 22
 Pentelischer Marmor 46
 Perm 50, 53
 physikalische Verwitterung
 8/9
 phytogene Gesteine 23, 41
 Plankton 27
 Planorbis multiformis 55, 56
 Poik 10, 18
 Portlandzement 94

Rabitzwände 105
 Riffkalk 41; *Bild* 22
 Rifftheorie Darwins 35, 36,
 37
 Ringofen 82, 83, 84, 85, 86,
 87
 Rosso antico 46
 Röt 57
 Rüdgersdorf 59, 60; *Bild* 27
 — Kalköfen 74, 75; *Bild* 32,
 33 und 35
 — Kalkwerke 59, 60
 — Muschelkalk 57, 58
 — Schichtenfolge 61
 Rügen, Kreidefelsen 30, 31

Saale-Talsperren 108; *Bild*
 37 und 38
 Sackkalkfabrik 78, 80
 Sammeltypen 54
 saure Böden 112
 Schachtofen 78, 80
 Schaumkalk 61, 63, 64
 Schichtenfolge der Gesteine
 47 ff., 49
 Schiefe Ebene 69, 73
 Schlackensande 94
 Schlackensteine 110
 Schwemmsteine 110
 Sedimente 45
 Seelilien 53; *Bild* 23
 Seife, Reinigungswirkung
 11/12
 Siebtrommeln 71, 72
 Silur 50, 52
 Sintern 92

Sinterterrassen 21; *Bild 2*
 Skelettbildung der Korallen 33
 Soda 12
 Solnhofener Plattenschiefer 54/55
 Soloofen 92
 Sortierung 71, 72
 Sprengung 66/67; *Bild 29 und 30*
 Sprudelstein 22
 Stahlbeton 109
 Stalagmit 16, 17
 Stalaktit 16, 17
 Stampfbeton 107
 Staubkalk 82
 Steinernes Meer 9
 Steinheimer Becken 56
 Steinkerne 44
 Steinkohlenzeit 53
 Steinkorallen 32ff.
 Streckenvortrieb 66, 70
 Strudeltöpfe 58
 Stuckgips 104, 105
 Süßwasseramöbe 25
 Süßwasserkalke 56

 Talsperre 108; *Bild 37 und 38*
 Terebratula 53
 Tertiär 50, 54
 Textularia 30
 Thermen 20
 Tiefbau 62ff.
 totgebrannter Gips 105
 — Kalk 101
 Traß 110
 Travertin 23; *Bild 16*
 Trias 50, 53, 62
 Trockenplatten 106

Trockenverfahren (Zement) 90
 Trockenwohnen (Neubauten) 103
 Tropfstein 15ff., 16; *Bild 8, 9, 10, 11, 12, 13 und 14*
 Tropfsteinbildung 16/17
 Tropfsteinhöhle 18ff.

 Unfallschutz 65/66, 67, 69, 73
 Unz 10
 Urvogel 54, 55

 Vakuumieren (Beton) 108
 Versteinerungen 22
 Verwitterung 7/8
 —, chemische 8/9
 —, physikalische 8/9

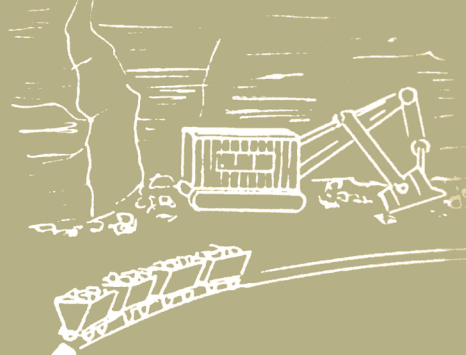
 Wandreiniger 68, 70
 Wandsprengung 66/67, 70; *Bild 29 und 30*
 Wandsturz 66
 Warner 68, 70
 Wasserenthärtung im Haushalt 12
 — in der Industrie 14
 Wasserhärte 12/13
 Wassermörtel 98, 107
 Wellenkalk 61, 63, 64
 Wettersteinkalk 24

 Zahnstein 15
 Zement 93, 98, 107
 Zementklinker 88, 92
 Zementwerk 88, 89ff.
 Zetbrecher 90
 zoogene Gesteine 32, 41
 Zyklon 81

Künstlicher

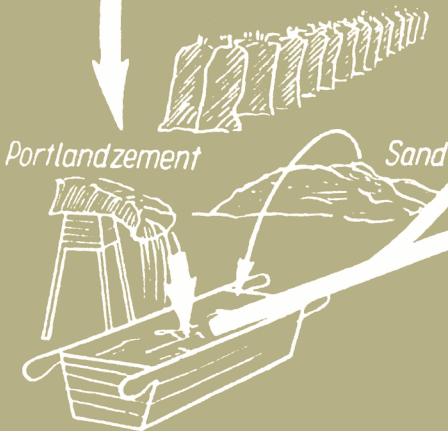


Zementwerk



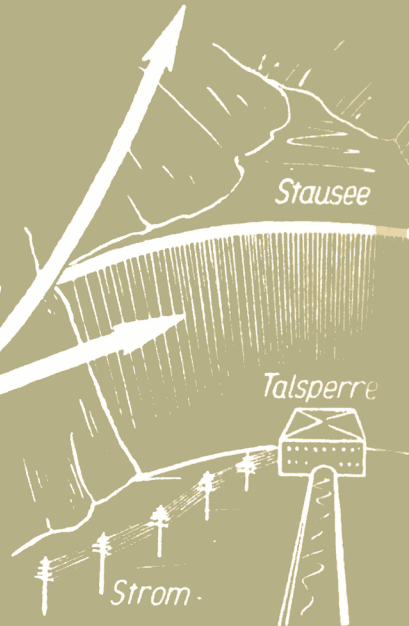
Uferschutzbauten

Hydraulische Mörtel



Portlandzement

Sand



Stausee

Talsperre

Strom

Kalkkreislauf

