

Wasserstein, B. (1933): Zur Petrogenesis des Burgsandsteins zwischen Nürnberg und Weißenburg i. B. mit besonderer Berücksichtigung der selteneren Bestandteile. — N. Jb. Min. Geol. Pal. Beil., B 70: 335-392, 2 Abb., 9 Tab., 43 Taf.; Stuttgart.

# Zur Petrogenesis des Burgsandsteins zwischen Nürnberg und Weißenburg i. B. mit besonderer Berücksichtigung der selteneren Bestandteile.

Von

**Benno Wasserstein** aus Lüderitzbucht.

Mit 2 Textabbildungen, 9 Tabellen im Text und Taf. XII—XIII.

(Aus dem Institute für allgemeine und angewandte Geologie  
der Universität München.)

<b>Inhalt.</b>	<b>Seite</b>
Einleitung . . . . .	336
I. Der Burgsandstein (Auftreten, Zusammensetzung, besonders Geröllführung) . . . . .	338
II. Methodik . . . . .	344
1. Die Probe-Entnahme . . . . .	344
2. Das Zerkleinern der Probe . . . . .	344
3. Das Sieben . . . . .	345
4. Das Schlämmen . . . . .	346
5. Trennung nach dem spezifischen Gewicht . . . . .	348
6. Qualitative Untersuchungen von A . . . . .	350
7. Quantitative Untersuchungen von B . . . . .	353
Fehler . . . . .	355
III. Die schweren Mineralien . . . . .	356
Zirkon 357, Turmalin 364, Monazit 365, Rutil 366, Anatas 367, Brookit 368, Staurolith 369, Dumortierit 369, Glimmer 370, Ilmenit 370, Magnetit 371, Leukoxen 371, Limonit 371, Baryt 371, Apatit 373, Granat 373, Bleiglanz 374.	
IV. Die Beobachtungen und ihre Auswertung . . . . .	374
V. Zusammenfassung . . . . .	386
Literatur . . . . .	388

### Einleitung.

Das Arbeitsgebiet liegt gleich westlich des Frankenjura zwischen Nürnberg und Weißenburg i. B. Es ist eine flache, sandige, eintönige Gegend, aus der wenige niedrige Zeugenberge, die teils vom Lias, teils vom Rhät gekrönt sind, von der Erosion herausgearbeitet sind (Absberg, Mäbenberg, Kammerstein). Von der festen Kappe befreit, werden auch sie der Einebnung verfallen.

Am geologischen Aufbau beteiligen sich vorherrschend der Blasensandstein — er ist einer eingehenden Beobachtung selten zugänglich — und der daraufliegende Burgsandstein. Beide Stufen, vorwiegend wohl der Burgsandstein, fallen leicht der Verwitterung anheim; sie haben ausgedehnte und mächtige Sandmassen geliefert, die in zahlreichen Sandgruben aufgeschlossen sind. Diese Sandmassen, die vielfach noch eluvial sind, zeigen sich in den weiten, fast ebenen, bewaldeten Strecken, besonders östlich von Schwabach und Roth. Sie erschweren sehr eine nähere Erkenntnis des Untergrundes.

In dieser Arbeit ist dem Burgsandstein allein eine genauere Untersuchung gewidmet und zwar ist er auf seine selteneren Bestandteile, die „schweren Mineralien“, bearbeitet worden. Die „schweren Mineralien“ des Rhätsandsteins wurden zum Vergleich herangezogen.

Es wurde versucht, diese selteneren Komponenten in verwendbaren Mengen zu erhalten, um sie genauer beurteilen zu können; hierbei hofft man neue ergänzende Gesichtspunkte zu gewinnen, die im Gelände oder im Dünnschliff übersehen werden. MILNER's Lehrbuch „Sedimentary Petrography“ enthält am besten die Leitgedanken dieser Arbeitsmethode; es wurde vielfach für diese Arbeit benutzt.

Unter den selteneren Komponenten oder „schweren Mineralien“, wie sie gewöhnlich bezeichnet werden, versteht man seit SCHRÖDER VAN DER KOLK (1896) die Mineralien, deren spezifisches Gewicht größer als Bromoform (etwa 2,9) ist — dieses dient meistens zur Trennung der gewünschten Mineralien von der Grundsubstanz. Erst in letzter Zeit werden diese „heavy concentrates“ der englischen Literatur gebührend beachtet, denn sie liefern, da sie die verschiedensten Mineralien umfassen können, eine Fülle von An-

gaben über Herkunft, Klima der Abtragungszeit, Transport und Aufbereitung.

EDELMANN (Auszug 1930, S. 471) hat den Zweck dieser Arbeitsrichtung klar hervorgehoben; er sagt, daß die schweren Mineralien, die zweifellos „noch wenig bekannten Grundsätzen“ folgen, „ein immer variierendes Element in die sonst etwas monotonen klastischen Gesteine“ bringen, und daß die Ergebnisse ihrer Untersuchung „detail-stratigraphisch, geologisch-paläogeographisch, mineralogisch und petrographisch“ sein könnten.

In diesem Sinne wurde die Arbeit ausgeführt in der Hoffnung, daß weitere Arbeiten in den Nachbargebieten folgen, die eine Auswertung der gefundenen Tatsachen weiterhin ermöglichen. Eines soll noch betont werden: es ist nötig, daß mehr rezente Sedimente und Aufbereitungsprodukte verschiedenster Art auf diese Weise untersucht werden, entsprechend der Untersuchung der Tessin-Sande von BURRI (1930), ehe wir genauere geologisch-paläogeographische Schlüsse aus den fossilen Sedimenten ziehen dürfen.

Zuerst finden wir reichliche Arbeiten über die „schweren Mineralien“ und deren Benutzung zur Sedimentpetrogenese in der holländischen Literatur, dann beschäftigt sich in neuerer Zeit besonders die englische und amerikanische Literatur mit vielen Arbeiten auf diesem Gebiete. In England konnten die „heavy concentrates“ zur Klärung vieler stratigraphischer und petrogenetischer Probleme herangezogen werden und in neuerer Zeit werden Eruptivmassen analog den Sedimentgesteinen durchforscht. Die Amerikaner haben ähnliche Arbeiten geliefert und haben auch die Methodik praktisch verwerten können, nämlich bei Ölbohrungen, wovon MILNER einige Beispiele angibt. Die deutsche Literatur deutet auf ein größeres Interesse auf diesem Gebiet am Schluß des letzten Jahrhunderts hin und nach langer Pause scheinen in letzter Zeit neue Forscher in den schweren Mineralien Anregungen zu finden. Eine Arbeit sei hier besonders erwähnt: THÜRACH (1884), „Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titan-Mineralien in den Gesteinen“. Er hat hierin sehr viel Material gesammelt, das im Laufe der Zeit wohl gebührend beachtet wird. THÜRACH erkannte, daß es mit der Bestimmung und Beschreibung der Mineralien allein nicht getan sei, denn er befaßt sich mit der Bildung einiger Mineralien, auch das Mengenverhältnis fand er für wichtig

und sein Schlußsatz lautet: „... verdient der Staurolith für Schlüsse auf die Abstammung dieser Gesteine aus den verschiedenen Urgebirgsgesteinen besondere Berücksichtigung“.

### Liste der untersuchten Proben.

#### Burgsandstein:

- Nr. 1: Alter Steinbruch im Blasen-Holz nördlich von Ellingen.
- „ 2: Ungefähr  $2\frac{1}{2}$  km nördlich von Ellingen; hier zweigt ein Fuhrweg nach Ottmarsfelden von der Landstraße ab.
- „ 3: Am Nordostende des Pleinfelder Bahnhofs.
- „ 4: Im NW vom Dorfe Ramsberg bei Pleinfeld.
- „ 5: Bei Birkenmühle, bei Pleinfeld.
- „ 6: Bei Altenheideck im NO von Pleinfeld.
- „ 7: Im Steinbruch zwischen Hagsbronn und Spalt.
- „ 8: Bei der Schießbude von Mäbenberg, 5 km nördlich von Georgensgmünd.
- „ 9, 10 u. 11: Steinbrüche bei Kammerstein.
- „ 12: In Uegenau, südlich von Schwabach.
- „ 13: Wendelstein s.ö. von Nürnberg.
- „ 14: Schmausenbuck bei Nürnberg.
- „ 15: Alte Veste bei Nürnberg.
- „ 16: Ungefähr 2 km westlich von Cadolzburg bei Nürnberg.
- „ 17: Bei Spardorf im NO von Erlangen.

#### Rhätsandstein:

- Nr. 18:  $\frac{1}{2}$  km südlich von Weiboldshausen bei Weißenburg.
- „ 19: Steinbruch nördlich von Höttingen bei Weißenburg.
- „ 20: Ofenplatte südöstlich von Kammerstein.
- „ 21: Bei Pyrbaum, ungefähr 15 km nordöstlich von Roth.

Eine Probe aus der Nähe von Bayreuth wie auch von Bamberg und Schwandorf.

### I. Der Burgsandstein.

(Auftreten, Zusammensetzung, besonders Geröllführung.)

Die Burgsandsteinstufe gehört dem Oberen Bunten (oder Mittleren) Keuper an, welcher von den roten Zancloclodon-Letten nach oben abgeschlossen wird — darüber liegt der helle Rhätsandstein, der mit seinen kohligen Einschlüssen (z. B. bei Höttingen bei Weißenburg) auf humides Klima des Abtragungsgebietes schließen läßt. Er zeigt meistens eine schöne Tigerung, gleichmäßige Kornverteilung und hat einen ziemlich niedrigen Feldspat- bzw. Kaolin-gehalt. Diese Stufe liefert einen vortrefflichen Bausandstein. Seltener (nördlich von Höttingen) ist er grob und geröllführend.

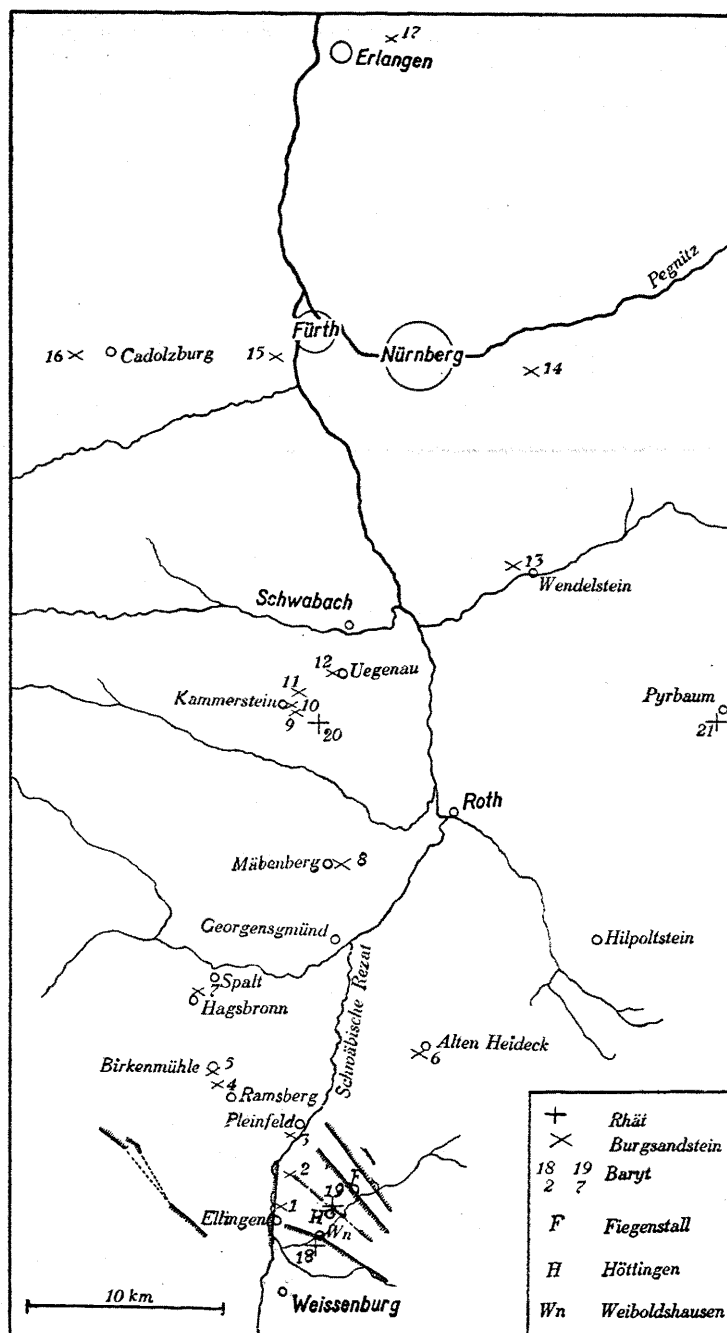


Abb. 1. Übersicht über das untersuchte Gebiet. (Verwerfungen nach PICARD.)

Im Liegenden des Burgsandsteins ist der Blasensandstein in wenigen Aufschlüssen — die bloß vorübergehend zugänglich sind — in seinem charakteristischen Gepräge zu finden. Meist ist er bräunlich gefärbt, oft quarzitisch verkittet, andererseits auch locker gebunden (bei Georgensgmünd), führt grüngefärbte Tongallen und zeigt öfters eine Tigerung durch Manganflecken.

Der Burgsandstein, mit dem wir uns zu beschäftigen haben, stellt eine etwa 60—70 m mächtige Arkosenschicht dar, die in die „randliche Zone“ THÜRACH'S (1888) fällt. Soweit man von Schichtung reden kann, liegen die Sandsteine horizontal. Eine Dreiteilung der Stufe ist hier ebensowenig durchführbar wie in den gleichen Ablagerungen der Oberpfalz (KNETSCH, S. 112). Ich möchte gleich vorausschicken, daß ich mich den Ansichten von KNETSCH eng anschließe, dessen Gebiet und der Nachbargegend ich ein gründliches Begehen widmete.

Der Burgsandstein besteht zumeist aus mürben, rot und braun, seltener violett getönten feldspatreichen Sandsteinen mit meist grobem Korn; die Kornverteilung ist im allgemeinen ziemlich unregelmäßig und ist zur Einteilung des Burgsandsteins unbrauchbar. Gerölle sind fast überall anzutreffen. Ihre Verteilung ist verschieden; oft sind kleine (1—2 cm) einzeln oder in geringen Mengen verstreut, aber meistens haben sie sich auf den Flächen der Kreuzschichtung, die überall vorhanden ist, in dünnen Lagen angereichert und diese enthalten dann wenig feines Material, so daß man glauben dürfte, es läge ein Deflationsrückstand im Sinne von E. KAISER vor. Der Durchmesser dieser Gerölle schwankt zwischen 1 und 4 cm — eine gewisse Tendenz zu einer bestimmten Größenordnung ist in vielen Geröllagern zu beobachten. Es ergibt sich, daß die Gerölle in der Mitte des Gebiets, bei Mäbenberg und Kammerstein, kleiner sind, als die im N (Nürnberger Gegend) und im S bzw. SO (Ellingen, Heideck und Hilpoltstein). Gerölle mit einem Durchmesser größer als 4 cm sind nicht häufig. Das größte Geröll (Quarz) fand ich bei Altenheideck mit einem Durchmesser von 7,7 cm.

Dünne Lettenlagen kommen wenig vor — was dazu beiträgt, den Sandflächen ihren monotonen Charakter aufzuprägen. Größere, braune oder rote Tonbutzen, oft glimmerreich, haben manchmal ihre primäre Form durch den Druck des Hangenden eingebüßt; andererseits haben sie einen annähernd ellipsoidischen Querschnitt.

Sie haben nur eine lokale Bedeutung und können wohl als Ablagerungen in kleinen Wassertümpeln, die sich zeitweilig bildeten, gedeutet werden.

Fast überall im Gelände (bei Spalt, Heideck usw.) fällt das starke Glitzern der Sandsteine in der Sonne auf — es erinnerte mich sehr an die Molteno Sandstones der Karroo-Formation Südafrikas, die den Namen „glittering sandstones“ ganz zu Recht führen. Makroskopisch kann man auch vielfach etwa 2 mm große scharfkantige Quarzkristalle, die oft nur von Pyramidenflächen begrenzt sind, erkennen; mit der Lupe und u. d. M. sieht man Quarzkörnchen, an denen mehrere kleine Ansätze vorhanden sind (vgl. Abb. 107, Storz 1931). Es handelt sich zweifellos um ergänzende Kieselsäure, die im Gerüst wanderte, dort zum Absatz gelangte und die Quarzkörnchen zum Weiterwachsen veranlaßte. Das Gestein ist sehr porös und so ist dem zirkulierenden Wasser, das auch die färbenden Bestandteile verfrachtete, ein günstiger Wirkungskreis geschaffen. Hier darf bemerkt werden, daß die Verwitterung dieser Stufe seit ihrer Sedimentation viel dazu beiträgt, den Einblick in diese Ablagerungen weiter zu erschweren.

Die Quarzkörnchen zeigen meist wenig Rundung, auch wenn man das Weiterwachsen, welches mehr eckige Formen schafft, in Betracht zieht. Die Feldspäte sind stets kantengerundet und lassen oft noch eine Idiomorphie erkennen; sie können in den geröllführenden Partien des Sandsteins einen Durchmesser von 0,5 cm haben. Die Form ist seit der Ablagerung gut erhalten geblieben; unter dem Mikroskop sieht man nur wenige ganz frische Feldspäte; meistens sind sie mehr oder weniger angegriffen und viele sind schon in Kaolin und Sericit umgewandelt. Unter den frischen Feldspäten treffen wir vorwiegend Orthoklas und Mikroklin; Plagioklas, teils unter dem Mikroskop kenntlich an der spärlichen Bildung von Calcit, kommt sehr wenig und fast immer verwittert vor. Hauptsächlich (90 %) handelt es sich um Orthoklas und sonst kommt nur dem Mikroklin, der in allen Proben zu finden ist, noch eine Bedeutung zu. Die Verwitterung der Feldspäte fand meist nach der Sedimentation statt; die hermetisch verschlossenen frischen Feldspäte der bekannten Wendelstein-„Quarzite“ dürfen hierzu herangezogen werden, denn sie stellen eine lokale Silifizierung des Burgsandsteins dar; die gut erhaltene Form wie auch die Beobachtung im Dünnschliff, daß wenige Quarzkörnchen in den verwitterten Feldspat hineingepreßt sind, bestätigen weiter diese wichtige Tatsache — es muß nochmals an die Porosität erinnert werden, die zusammenwirkend mit einer Klüftung noch heute die Verwitterung fördert.

Hunderte von Geröllen wurden aus anstehendem Gestein gesammelt und hinsichtlich ihrer Form betrachtet. Diese Gerölle sind hauptsächlich gelbe, weiße, rötliche und dunkle Quarze; verkieselte Gesteine, Aplite, Granitfragmente treten im Mengenverhältnis weit zurück — einmal wurde ein Serpentin-schiefer gefunden. Keines dieser Gerölle möchte ich als sicheren Windkanter ansprechen (im Gegensatz zu KNETSCH S. 114). Typische Windkanter sind vielfach in den Sandflächen (z. B. bei Heideck und Hilpoltstein) zu finden; diese verdanken aber ihre Form wohl jungen diluvialen oder alluvialen Vorgängen an den aus dem Gesteinsverbande herausgelösten Geröllen. Die wenigen dieser Gerölle könnten als fragliche Windkanter gelten. Ein Drittel etwa zeigt eine ziemlich gute Rundung, die aber immer verschiedene Formen aufweist. Viele Gerölle sind kantengerundete Bruchstücke, die oft flach sind: diese sehen Windkantern sehr ähnlich, vielleicht stellen sie werdende oder gewesene Windkanter dar, die durch den Transport verändert wurden. Viele dieser kantengerundeten Formen zeigen auf ihrer größten Fläche eine flache Einsenkung; eine ganze Reihe der Gerölle sind unregelmäßig polygonal umgrenzt und besitzen im Verhältnis zum Durchmesser eine geringe aber ziemlich gleichbleibende Dicke — solche Formen könnten leicht durch Abspringen, bewirkt durch die Insolation, und nachträglichen Transport hervorgerufen werden. Sicher kann man von den Geröllen sagen, daß sie nicht sehr weit transportiert worden sind.

Aus der gegebenen Beschreibung ist zu ersehen, daß wir es mit derselben Bildung zu tun haben, wie sie KNETSCH in der Oberpfalz und bei Nürnberg beschreibt und dessen Erklärungen ich zustimme. In dem untersuchten Gebiet, auch einem Randgebiet, wurden die „Übergangsbildungen“ der Fanglomerate zu den Arkosen, im Sinne von KAISER (1927, 1929), abgelagert. Die Sedimente haben einen unreifen Charakter — sie sind „embryonal“ (WALTHER, 1924, S. 267) — da wir so nahe am Gebirgsrand sind: das zusammen mit einem ziemlich trockenen Klima erklärt die Grobheit des Materials, die unbestimmten nichtssagenden Formen der Gerölle, das eckige Gepräge der Komponenten und die Frische der Feldspäte, wenn man von der sicherlich späteren Verwitterung derselben absieht. Episodische Regengüsse, wie aus den Trockengebieten bekannt (KAISER, 1926, II, S. 249), verursachten das



„Abkommen der Reviere“ (ebenda, S. 13). Sie stellen die Haupttransportkraft dar, die das Material eine Strecke rasch verfrachtet — dem Winde eine Zeitlang preisgibt — teils anschneidet, teils weiter befördert. Dabei kann die Richtung im kleinen verschieden gewesen sein, obwohl die Tendenz die gleiche blieb. Das Fehlen von typischen Windkantern in diesem Gebiet kann in dem stetigen Wechselspiel von Wasser und Wind und in dem relativ raschen Sedimentationsvorgang, wobei viele Gerölle oft sofort zugedeckt wurden und nicht an der Oberfläche lagen, eine Erklärung finden.

Das starke Zurücktreten von Glimmer, das auffällt, muß mit Vorsicht beurteilt werden: erstens kann er chemisch während und nach der Sedimentation und Aufbereitung verwittert sein — KNETSCH erklärt die Färbung (S. 120) der Keupersandsteine in der randlichsten Zone für primär, dann hat er Recht, daß der Glimmer (er sagt „Glimmer und Amphibole“) das färbende Eisengeler lieferte; zweitens kann der Glimmer ausgeblasen worden sein: sicher treffen beide Fälle zu. Dem Wind kommt sonst, außer seiner Beteiligung an den Geröllagen, die Deflationsrückstände sein können, die Fähigkeit zu, örtliche Umlagerungen zu bewirken.

Das Fehlen von Ein- und Verkieselungserscheinungen läßt kaum auf eine extreme Aridität schließen. Nach KNETSCH (S. 107) stellt die Burgsandsteinstufe eine Zeit dar, die niederschlagsreicher war als die mehr aride Blasensandsteinperiode und wohl zwischen arid und semiarid liegt.

Dünnschliffe zeigen, daß die Sandsteine meistens durch Sericitschüppchen, die sich tangential an die Körnchen legen, verkittet sind. Der Sericit ist aus der Verwitterung der Feldspäte hervorgegangen und von Eisengelen durchtränkt. Radialfaseriger Kaolin, oft in schönen Rosetten und in deren Bruchstücken, ist allenthalben vorhanden und übt auch eine Bindewirkung aus. — Zusammengesetzte Körnchen, die aus Graniten, Apliten und Quarziten stammen mögen, wurden in den meisten Schliffen beobachtet. — Die Quarze sind meistens sehr reich an Einschlüssen: dünne Nadeln sind zu sehen, aber hauptsächlich sind es winzige Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse; letztere enthalten manchmal eine Libelle, die die Brown'sche Bewegung zeigt, und sie sind meistens reihenförmig angeordnet. Diese Einschlüsse können so häufig sein, daß der Quarz trüb erscheint; die vielen dunklen bis schwarzen Quarze im Burgsandstein verdanken sicherlich dieser Tatsache ihre Farbe. In einer oft zitierten Arbeit von MACKIE (1897) über Einschlüsse meint er, daß Quarze aus Graniten hauptsächlich nadelige, Gas-, Glas- und Flüssigkeitseinschlüsse aufweisen, während der Quarz aus Gneisen und jüngeren Schiefen vorherrschend Mineralien mit guter kristallographischer Form enthält. GILLIGAN (1920, S. 261) in seiner Arbeit, die aus der englischen Literatur der Sediment-

petrographie besonders hervorsteicht, findet eine Bestätigung in bezug auf die Quarze, die aus Gneisen stammen. Obwohl Verf. dieser allgemeinen Auffassung ein wenig skeptisch gegenübersteht, ist eine größere Zufuhr von Material aus Graniten in diesem Falle sehr wahrscheinlich, da die eintönigen Sedimente ein großes einheitliches Lieferungsgebiet bedingen; auch das Fehlen von Mineralien, die für metamorphe Gesteine charakteristisch sind, und ebenso das seltene Vorkommen im Dünnschliff von undulöser Auslöschung und Mylonitisierung im Quarz scheinen MACKIE's Behauptung hier zu unterstützen. Der granitische Charakter des Lieferungsgebietes zur Burgsandsteinzeit kann angenommen werden — zweifelhaft bleibt es, ob das Gestein hauptsächlich Granit oder Gneis war, das das Material für die Sedimente lieferte.

Von den schweren Mineralien, wie sie in den Konzentraten zu finden sind, ist im Dünnschliff außer seltenen Glimmer- und Barytfitzen nichts zu sehen. Man darf aber nicht vergessen, daß der Gehalt an schweren Mineralien im Burgsandstein unter 0,05 % schwankt.

## II. Methodik.

### 1. Die Probe-Entnahme.

Zwei Möglichkeiten kommen hier in Betracht: erstens die Probe stammt nur von einem Punkte des Horizontes — man nimmt dann nur einen Gesteinsbrocken als Untersuchungsmaterial; zweitens die Probe ist ein Durchschnitt von Material mehrerer nahe liegender Punkte — man schlägt mit dem Hammer hier und dort Material ab.

Beide Methoden haben gewisse Vorteile. Erstere ist in diesem Falle wohl besser geeignet; die zweite Methode läßt sich im Gebiet schlecht durchführen, denn sie setzt gute Aufschlüsse voraus, wenn man möglichst frisches Material sammeln will. Im untersuchten Gebiet ist der Burgsandstein mit wenig guten Aufschlüssen bedacht, Steilwände und Steinbrüche sind das Gegebene für die zweite Methode. Auch sollte der Hammer bei der Probe-Entnahme so wenig wie möglich benutzt werden, da es darauf ankam, die Komponente nicht unnötig zu beanspruchen.

Der Burgsandstein ist sehr porös, was die Frische der Probe stark beeinträchtigt, sogar Proben, die aus den Kellern der Anwesen stammen, sind angegriffen. Handstücke von  $1\frac{1}{2}$  bis 2 kg wurden gesammelt.

### 2. Das Zerkleinern der Probe.

Um die Proben miteinander vergleichen zu können, ist es wünschenswert, bei allen dieselbe Zerkleinerungsmethode an-

zuwenden. Da es sich um mürbe Sandsteine handelt, ist dies nicht so schwierig; es gilt hier die beste Methode zu finden, durch die die Körnchen am wenigsten beansprucht werden. Das Zerreiben mit der Hand und das wiederholte Aufkochen in Wasser erwiesen sich als ungeeignet. Schließlich wurde das Gestein mit der Hand (mit einem Holzstößel wurde nachgeholfen) in kleinere Stücke zerbrochen. Auf einem Brett, das noch mit hartem weißem Papier belegt war, wurden die Proben weiter behandelt, wobei sie mit dem Holzstößel ganz vorsichtig zerdrückt wurden. Wenn etwa 50 g zerkleinertes Material vorlagen, wurde es entfernt, um es nicht unnötig der weiteren Einwirkung des Stößels auszusetzen. Nachdem die Fraktion ( $< 0,2$  mm), die für die schweren Mineralien in Betracht kommt, durch Sieben getrennt war, wurde das Größere wieder leicht mit dem Stößel bearbeitet und wieder gesiebt. Das Ganze wurde wiederholt, bis sich unter der Lupe nur noch wenige zusammengesetzte Körnchen erkennen ließen.

### 3. Das Sieben.

Die Praxis hat gezeigt, daß die geeignete Fraktion zur Untersuchung der seltenen Bestandteile der Sedimente zwischen den Korngrößengrenzen 0,25 mm und 0,05 mm liegt. ZERNDT (1924, S. 203) empfiehlt die Fraktion von 0,3 bis 0,05 mm.

Die Wahl dieser Größenordnung ist bedingt dadurch, daß die seltenen Bestandteile sich in dieser Fraktion anreichern, während viele der akzessorischen Mineralien schon primär dieser Größenordnung angehören. Aus einer Arbeit SMITHSON's (1928) wie aus seinen Skizzen kann man entnehmen, daß die Längen der meisten Körnchen der verschiedenen Mineralien (Zirkon, Rutil, Granat, Anatas, Turmalin, Monazit, Leukoxen usw.) in der Nähe von 0,2 mm liegen. BOSWELL's (1924) Angaben und Skizzen deuten auf eine etwas geringere durchschnittliche Korngröße der Mineralien, unter denen sich auch solche wie Disthen, Staurolith, Titanit usw. befinden. Viel mehr ähnliche Daten sind aus den anderen hier zitierten Arbeiten zu entnehmen. Größere Körner der schweren Mineralien finden sich auch, sie treten aber in den meisten Sandsteinen, wie auch in den untersuchten Proben, im Mengenverhältnis stark zurück. Ausnahmen hierzu sind nicht selten, haben jedoch meist nur lokale Bedeutung (Seifen, Strandablagerungen usw.). Im allgemeinen befindet sich der größte Teil der schweren Mine-

ralien in der Siebfraction  $< 0,25$  mm, wo sie selten noch an anderen Mineralien haften. Diese letztere Tatsache ist von Bedeutung, da sonst eine Trennung nach dem spezifischen Gewicht, wie auch die Bestimmung der Körnchen oft nicht durchführbar ist. Weiter sind Körnchen, deren Größenordnung nicht zwischen  $0,25$  und  $0,05$  liegt, für optische Untersuchungen vielfach nicht geeignet. Eine Vergrößerung von 42 wurde bei der ersten Untersuchung und beim Zählen verwendet — diese ermöglicht eine Erkennung gewisser Kriställchen (Anatas, Zirkon), die Durchmesser von nur  $0,015$  mm hatten, aber die Sicherheit in der Bestimmung fällt bei solchen Größen fort; auch können solche Körnchen bei der Zählung nicht berücksichtigt werden. Wiederum sind die Körnchen größer als  $0,25$  selten monomineralisch oder erscheinen opak (Turmalin, Rutil, Staurolith), so daß die Bestimmung nicht einwandfrei ist. Einzelne Körnchen können zerdrückt werden, um passende Fragmente zur Bestimmung zu liefern; dieses drastische Verfahren ist bei der Zählung ungeeignet.

In dieser Arbeit wurde durchweg ein Sieb mit  $0,2$  mm Maschenweite statt  $0,25$  mm benutzt. Dieser Umstand ist hier nicht als ein Nachteil zu betrachten, denn in den untersuchten Sandsteinen liegt die durchschnittliche Länge etwas unter  $0,2$  mm. Obwohl die Angaben meistens in bezug auf die Länge gemacht werden, muß beachtet werden, daß die Größe des Querschnitts beim Sieben maßgebend bleibt. Die Hauptsache ist, daß Fraktionen der gleichen Korngrößen in allen Proben getrennt wurden. Es ist aber doch wünschenswert, daß in diesem Forschungsgebiet dieselben Korngruppen untersucht werden.

Das zerkleinerte Material wurde zugleich durch Maschenweiten  $0,5$  und  $0,2$  mm gesiebt, um das feinere Material wie auch das im  $0,2$ -Sieb möglichst zu schonen. Mengen von je  $50$  g wurden versiebt, bis etwa  $70$  bis  $100$  g das  $0,2$ -Sieb passiert hatten. Es wurde versucht, die Zeit des Siebens so kurz wie möglich zu halten.

#### 4. Das Schlämmen.

Um möglichst genau nach dem spezifischen Gewicht zu trennen, war eine vorherige Konzentration notwendig — dabei ist ein Sparen mit der teuren Trennungsfüssigkeit ermöglicht. Es galt, die gesiebte Fraktion von dem „Staub“ und „Feinem“, besonders dem letzteren, zu befreien, da diese stark störend wirken. Das Schlämmen

mittels eines KRAUSS'schen Apparates ist zu zeitraubend. Das weitere Sieben ist unbefriedigend, da es sich herausstellte, daß die Körnchen mit einem staubigen Überzug belegt waren, der bei der Schwere-Trennung störte; aber was wichtiger war — es hatte eine *Auslese* stattgefunden: die prismatischen Mineralien (Zirkon hauptsächlich, aber auch Rutil und Turmalin) waren vielfach mit dem „Staub“ und „Feinem“ gewandert. So ist man gezwungen, das Schlämmen in der später angeführten Weise anzuwenden. Es bringt zwar Fehler mit sich, aber bleibt immer noch das beste Verfahren. Bemerkenswert ist, daß diese Art des Schlämmens in solchen Fällen in einem neuen Lehrbuch der Sedimentpetrographie wieder Beifall findet (siehe Kritik über „The Examination of Fragmental Rocks“ im Geol. Mag. 1931, S. 478), und auch EWING (1931, S. 140), der die Fehlerquellen kritisch behandelt, hält das Schlämmen vor der Bromoform-Trennung für notwendig. Vielleicht werden die Trennungen mittels der Zentrifuge über diese Schwierigkeit hinweghelfen.

Das gesiebte Material wurde in eine 10 cm hohe Porzellanschüssel von etwa 35 cm Durchmesser gebracht und dort mit destilliertem Wasser versetzt. Das Ganze wurde ähnlich wie beim „Sichern“ mit der Prospektierschüssel in schwenkende Bewegung gebracht, einige Sekunden innegehalten und dann das meiste Wasser vorsichtig über den Rand abgegossen; dabei wurde die Schüssel derartig gedreht, daß das Wasser immer an einer anderen Stelle des Randes überlief. Eine Fangrinne am Rande ist sehr angebracht. Die Körnchen wurden mit einer Spritzflasche vom Rande zur Mitte gewaschen, der Vorgang wurde, nachdem das Material gründlich aufgerührt war, einige Male wiederholt. Destilliertes Wasser wurde benutzt, um der Fällung der Gele entgegenzuwirken und um auch später eine einwandfreie chemische Untersuchung zu ermöglichen. Sobald das ablaufende Wasser klar ist, wäscht man die Probe in einer kleineren Porzellanschüssel, bedeckt sie etwa 1 cm tief mit destilliertem Wasser und kocht für einige Minuten. Dabei trennten sich die Eisengele, wie auch andere feinere Bestandteile von den Körnern und der Schlammprozeß wurde wiederholt. Das abwechselnde Schlämmen und Kochen wurde etwa dreimal ausgeführt; somit war es nicht nötig, den Burgsandstein, der oft ziemlich stark von Eisengelen imprägniert war, mit Säuren oder Alkalien zu behandeln. Auf diese Weise wird die

Probe auf etwa zwei Drittel der Originalmenge konzentriert. Die Probe wurde bei 100° im Trockenschrank getrocknet und im Exsikkator aufbewahrt.

Eine Untersuchung des abgeschlammten Materials zeigte: es wurden sehr wenige der schweren Mineralien mitentfernt; diese, welche größer waren als etwa 0,05, in denselben relativen Mengen entfernt, wie sie vorhanden waren, also daß keine Auslese stattfindet. Eine Ausnahme jedoch macht der Glimmer, aber auch er ist im abgeschlammten Material nicht stark angereichert. Die schweren Mineralien, die kleiner als 0,05 mm sind, setzen sich hauptsächlich aus Anatas-Täfelchen, dünnen Zirkon-Nädelchen und ferritischem Material zusammen. Das hier angewandte Schlämmverfahren findet seine Rechtfertigung darin, daß eben keine Auslese in der untersuchten Fraktion der schweren Mineralien stattfindet. Es muß aber betont werden, daß größte Vorsicht und eine gewisse Geschicklichkeit Voraussetzung sind.

### 5. Trennung nach dem spezifischen Gewicht.

Bromoform wurde als geeignete Flüssigkeit gewählt; das verhältnismäßig niedrige spezifische Gewicht (s. KAISER in KEILHACK, 2, S. 257) erwies sich hier nicht als Nachteil, denn die Hauptbestandteile der Proben konnten restlos entfernt werden. Diese Flüssigkeit wird in letzter Zeit bevorzugt — es wäre auch angebracht, daß sie wenigstens für Sandsteine immer Verwendung findet (SIMON und WEYL gebrauchten Thoulet's Lösung, andere, z.B. OCKERMAN, Azetylentetrabromid), um die Methodik wenigstens in dieser Richtung auf eine Norm zu bringen. Weitere Trennungen mit schweren Flüssigkeiten und Schmelzen könnten an den Konzentraten selbst, wenn nötig, ausgeführt werden. Natürlich muß die allgemeine Methodik dem Material angepaßt sein, aber hier ließe sich eine Vereinbarung treffen.

Um die Zersetzung durch Sonnenlicht zu behindern, wurde meistens gegen Abend getrennt. Lästige Konvektionsströme können der schweren Fraktion leichte Mineralien in verhältnismäßig beträchtlichen Mengen beimischen und schuppige Mineralien (Glimmer, Baryt) entführen. Gewisse Vorsichtsmaßregeln können dieses Übel fast beseitigen; es wurde im zugfreien Zimmer, soweit es ging, gearbeitet und das Bromoform dem Einfluß der Handwärme so wenig wie möglich ausgesetzt, indem der Trennungs-

apparat nur für kurze Zeit an geeigneten Stellen angefaßt wurde.

Der benutzte Apparat, mit dem wirklich einwandfreie Trennungen erzielt wurden, ist der von E. KAISER (KEILHACK, S. 271 u. Abb. 114). Das Material zur Trennung wurde aus dem Exsikkator genommen, auf ein Glanzpapier gestreut und gründlich gemischt, indem es erst in Viertel geteilt wurde; je zwei gegenüberliegende Viertel wurden vermischt und dann die zwei so entstandenen Hälften. Das Ganze wurde einige Male wiederholt. Dieses Mischen ist notwendig, da gewöhnlich nicht das ganze Material getrennt wurde und es darauf ankommt, die schweren Mineralien in den Proportionen zu gewinnen, in denen sie vorhanden sind.

Das Trockenhalten des Apparates wie auch der Probe scheint die Trennung zu erleichtern.

Der Apparat wurde auf ein Blatt Papier gestellt und die Substanz in kleinen Portionen in das obere Gefäß (A) (KEILHACK, Abb. 114) mittels eines kleinen Trichters gebracht, bis der „Kuchen“ der leichten Fraktion, der sich dort bildete, etwa 3 bis 4 mm dick war. Danach wurde er entfernt und frisches Material getrennt, bis etwa 0,05—0,1 g von schweren Mineralien vorhanden waren. Ehe die leichte Fraktion entfernt werden konnte, mußte folgendes beachtet werden: nach der Zugabe jeder kleinen Portion wurde der Apparat gründlich geschüttelt und zwar geschah dies, indem er mit beiden Händen am Hahn (C) und an der Auffangrinne (D) senkrecht gehalten und einer krampfhaft zitternden Bewegung ausgesetzt wurde, wodurch der Kuchen zerfiel und die Körnchen im oberen Gefäß herumgewirbelt wurden. Nun wurde der Apparat für einige Minuten stehengelassen — dann wurde er, nach jeder neuen Portion, abermals abwechselnd geschüttelt und hingestellt, bis der Kuchen die genannte Dicke erreichte. Jetzt wurde der Hahn (C) geschlossen und der Apparat hin und her geschüttelt; hierauf stellte man ihn hin und drehte sofort den Hahn langsam auf. Nach einer Pause wiederholte man diesen Vorgang einige Male. Jetzt erst wurde der Kuchen entfernt. Dieses gründliche Schütteln ist wesentlich, nicht nur um alle schweren Mineralkörnchen zu trennen, sondern auch um eine Auslese der Mineralien zu verhindern, deren spezifisches Gewicht wenig über dem des Bromoform liegt; denn Zirkon (4,5), Baryt (4,5), Monazit (5,0) usw. werden leichter getrennt als Turmalin (3,1), Biotit (3,0),

Apatit (3,2), — dabei spielt die Form der Körnchen auch eine sehr wichtige Rolle. Das gründliche Mischen ist mit Hilfe des hier gebrauchten Apparates eher möglich als bei dem einfacheren von MILNER (siehe sein Lehrbuch, Fig. 2).

Eine Menge von 0,05 bis 0,1 g reichte meistens für die qualitativen und quantitativen Untersuchungen aus. Wenn aber Erze oder Bindemittel (Baryt, Limonit) die Probe stark „verdünnten“, wurde mehr Material getrennt.

Die schwere Fraktion wurde mit Aceton aus einer kleinen Spritzflasche auf ein Filter gewaschen und dort restlos von Bromoform befreit. Danach wurde bei 50° für eine halbe Stunde getrocknet und die Körnchen mit einem kleinen Pinsel vorsichtig auf ein Uhrglas gebracht, auf dem eine gründliche Mischung, ähnlich wie beim Ausgangsmaterial, vorgenommen wurde, da es besonders bei der Zählung darauf ankommt, wirkliche Durchschnittswerte zu erhalten.

Die schwere Fraktion wurde halbiert und in zwei etikettierten Uhrgläsern bewahrt: der Teil A dient der qualitativen Untersuchung, während der andere Teil B zur Feststellung der quantitativen Daten herangezogen wurde.

## 6. Qualitative Untersuchungen von A.

Zuerst wurden etwa 1000 Körnchen magnetisch in vier Fraktionen getrennt. Diese Menge reicht meistens aus. Die magnetische Trennung ist recht langwierig. Um möglichst sauber zu trennen, ist es angebracht, nicht über diese Ziffer hinauszugehen. Die Körnchen (nach etwas Übung kann man ungefähr 1000 leicht schätzen) wurden auf ein Papier gestreut und mit einem Handmagneten, der mit dünnem Papier überzogen war (RAEBURN und MILNER, 1927, S. 238), leicht berührt. Der Papierüberzug erleichtert das Freimachen der angezogenen Körnchen, diese können Magnetit, Eisen oder Magnetkies (Fraktion I) sein; letzterer ist durch seine Farbe leicht kenntlich, aber kommt in den untersuchten Proben nicht vor. Es gilt hier den Magnetit zu erkennen. Einige der Körnchen wurden auf einen Objektträger gebracht und mit einem Tropfen Kupfersulfatlösung benetzt. U. d. M. sah man, wie das Eisen — das wohl vom Hammer stammt — durch einen Kupferüberzug rot erschien, während der Magnetit seine schwarze Farbe beibehielt. Nochmaliges Nachprüfen des Magnetismus der getrennten



Körner ist selbstverständlich, da die getrennte Fraktion durch Feuchtigkeit und sonstige mechanische Ursachen andere Mineralien beigemischt bekommt.

Nachdem Fraktion I entfernt worden war, benutzt man einen Elektromagneten zur weiteren Trennung. Auf Trockenheit der Pole und Körnchen wurde hierbei geachtet. Ein Streifen Papier wurde in der Mitte gefaltet, so daß eine längliche V-förmige Rinne entstand. In diese Rinne wurden die Körnchen gestreut. Zuerst wurde ein schwaches magnetisches Feld benutzt, die verschiebbaren Pole waren 6 cm voneinander entfernt. Die Körnchen wurden vorsichtig gegen eine Polschneide gestreift.

Nachdem auf diese Weise Fraktion II entfernt war, wurde das magnetische Feld so stark wie möglich gemacht und Fraktionen III und IV getrennt, letztere enthält nur unmagnetische Mineralien. Genau sind diese Trennungen nicht, denn Einschlüsse und andere Faktoren beeinflussen das Ergebnis. Gewisse Mineralien werden in den Fraktionen angereichert; ein Übersehen von Mineralien, die nur in ganz geringen Mengen vorhanden sind (z. B. Brookit, Dumortierit, Staurolith), wird beinahe ausgeschaltet. Die Hauptkomponenten der Fraktionen in den untersuchten Proben waren:

Fraktion I: Magnetit.

Fraktion II: Ilmenit, Magnetit (oft teils verwittert) und in den Rhätproben auch Granat (das meiste).

Fraktion III: Turmalin, Monazit, limonitisches Material, Leukoxen, Anatas auf verwittertem Ilmenit, Granat (im Rhät), Staurolith (wenig).

Fraktion IV: Zirkon, Rutil, Anatas, Leukoxen, Baryt, Bleiglanz (in einer Probe).

(Vgl. Fraktionen von HAWKES und SMYTHE, 1931, S. 355.)

In Fraktion III finden sich oft Zirkon und Rutil, die magnetische Einschlüsse enthalten, oder auch Quarz und Feldspat, die an frischem oder verwittertem Ilmenit oder Magnetit haften und diese zuweilen einschließen.

In Fraktion IV findet man auch Quarz, Feldspat und besonders toniges Material. Diese Bestandteile haben sich während der Bromoformtrennung an schwere Mineralien irgendwie angeheftet und sich darnach wieder losgelöst, oder sie haben sich kapillarisch mit Bromoform vollgesogen und sind gesunken.

Konvektionsströmungen während der Bromoformtrennung haben auch „leichte“ Mineralien hinzugeführt, die sich dann in einer der

Fraktionen, je nach der Stärke der Durchtränkung mit Eisengelen, anreichern können.

In Fraktion II sucht man jetzt Ilmenit festzustellen — die verwitterten Körnchen sind oft an den typischen Verwitterungsprodukten (Anatas, Limonit und Leukoxen) erkennbar. Einige der glänzenden schwarzen Körnchen wurden auf einen Objektträger gebracht — das Ganze von einer kleinen Bunsenflamme erwärmt, um die Feuchtigkeit zu vertreiben — dann u. d. M. gebracht und versucht, die Körnchen mittels einer magnetisierten Nadel in Bewegung zu bringen; falls dies gelingt, haben wir Magnetit, wenn nicht, dann ist es Ilmenit, wenn es zu der Fraktion II gehört, was am einzelnen Körnchen nachgeprüft werden muß. Eine weitere Bestätigung wird in anderen Eigenschaften der zwei Mineralien gesucht, aber die Bestimmung kann selten einwandfrei sein, da sie gesetzmäßige Verwachsungen miteinander bilden.

Die erhaltenen Fraktionen wurden in kleinen zugedeckten Uhrgläsern, die etikettiert waren, aufbewahrt. Diese Fraktionen dienen jetzt dazu, Körnchen für die spezielle Untersuchung zu liefern.

Jede Fraktion wird jetzt u. d. M. betrachtet. Körnchen, die irgendwie auffallen, wurden mit einer angehauchten Präpariernadel einzeln herausgenommen und auf einen Objektträger gelegt und am besten sofort untersucht. Erst betrachtet man das Körnchen bei reflektiertem Licht und dann wird eine allgemeine Beschreibung und Skizze des Körnchens gegeben. Die durchsichtigen Körnchen wurden von einem etwa  $3 \times 3$  mm Deckgläschen bedeckt und darunter ein Tropfen einer Flüssigkeit mit bekanntem Brechungsindex gegeben. Jetzt wurden die Eigenschaften des Körnchens näher bestimmt, öfters Messungen der Größe gemacht, besonders bei den Zirkonen. Die Lichtbrechung wurde nach der BECKE'schen Methode bestimmt; Körnchen, die sich wenig dazu eigneten, wurden zerdrückt, um passende Kanten zu erhalten. Nachdem die Haupteigenschaften des Körnchens völlig festgelegt waren, wurde erst mit der Bestimmung der Lichtbrechung begonnen, denn hier besteht die größte Möglichkeit, das Körnchen zu verlieren. Es konnte oft mittels einer Nadel herumgewendet und so in einer anderen optischen Lage betrachtet werden. Wenn man die Lichtbrechung so weit wie möglich bestimmt hatte, schlägt man in Tabellen nach. Gewöhnlich wurde dann das Körnchen

getrocknet und der Magnetismus nachkontrolliert; zuletzt wurde eine einfache chemische bzw. mikrochemische Reaktion (z. B. für Pb, Ca,  $\text{PO}_4$ ) ausgeführt oder die Härte mit der des Glases verglichen. Am einfachsten macht man dies, indem man das Körnchen zwischen zwei sauberen ungekratzten Objektträgern zerreibt. Diese rauhe Methode kann, mit Vorsicht angewandt, oft zur Bestimmung der Mineralien herangezogen werden. Die Körnchen können auch, mit der Spitze eines Bleigriffels (6 cm lang und Durchmesser 0,5 cm) festgehalten, über Glas gerieben werden. — Jedoch ist die erste Methode besser. RAEBURN und MILNER (1927, S. 195) empfehlen Siegellack dafür.

Durch Kombination der hier angeführten Untersuchungen ist eine eindeutige Bestimmung der Mineralien möglich.

Jetzt wurde ein Teil, etwa ein Drittel, jeder Fraktion genommen, in eine passende Flüssigkeit eingebettet und mit Deckglas versehen. Mehrere Körnchen wurden wieder bestimmt und Mineralien, die noch nicht beobachtet waren, wurden aus der geeigneten Fraktion genommen und bestimmt.

Als alle vorhandenen Mineralien bekannt erschienen, wurden provisorische Präparate, die je 200–300 Körnchen enthielten, auf noch nicht gefundene Mineralien hin untersucht; diesmal liefert der Rest A die Körnchen. Als Einbettungsflüssigkeit diente Nitrobenzol oder in Xylol gelöster Kollolith. Einzelne beachtenswerte Körnchen wurden eingebettet und zum Vergleich oder für photographische Zwecke behalten. Die Fraktionen, wie auch Teile des Restes A können jetzt besonderen chemischen Reaktionen unterworfen werden, z. B. in Probe 2 gelang der  $\text{SO}_4$ -Nachweis wie auch die Flammenfärbung des Bariums (Fraktion IV).

Nach all diesen Untersuchungen scheint eine einwandfreie mineralogische Bestimmung der vorhandenen Mineralien gewährleistet und damit ist erst die Grundlage für die nachfolgende quantitative Beurteilung geschaffen.

## 7. Quantitative Untersuchungen von B.

Es schien wünschenswert, die gefundenen schweren Mineralien in ihren relativen Mengen etwas genauer zu beschreiben, damit könnte vielleicht einmal ein stratigraphischer Horizont näher gekennzeichnet werden oder man könnte im günstigsten

Fälle: Aufschluß über den Vorgang der Sedimentation gewinnen (OCKERMAN, 1930, S. 353).

Die Methode des Zählens bleibt, obwohl sie sehr umständlich ist, die einzig wirklich brauchbare: sie wurde von BURRI (1930) benutzt, ist in Amerika allgemein üblich geworden, verdrängt jetzt auch die bisher in England übliche Methode, nach der konventionelle Zahlen für die Begriffe „viel“, „sehr wenig“, „häufig“ usw. gesetzt werden. MILNER meint, daß diese letztere Methode in vielen Fällen nicht umgangen werden könne, wenn — wie bei manchen Ölbohrungen — täglich viele Proben gezählt werden müssen (sein Lehrbuch, S. 385); er hält diese Methode als ausreichend, wenn zwei Horizonte verschiedene schwere Mineralgruppen besitzen. Im Falle der Ölbohrungen könnte er Recht haben, aber beim zweiten Fall wäre doch zu bedenken, daß eine Zählung, also eine genauere prozentuale Darstellung, weiteres über Transport und Aufbereitung sagen würden, wenn wir genau unterrichtet wären, wie diese Faktoren in den verschiedenen Klimaten die einzelnen Mineralien beanspruchen.

Es wurden 700 bis 900 Körnchen gezählt und die erhaltene Zahl in Prozenten ausgedrückt. In den Proben, die starke Anreicherung an opakem Material oder Baryt hatten, wurden etwa 500 Körnchen gezählt, um ihre prozentuale Beteiligung in der Fraktion festzustellen, dann konnte man die anderen Bestandteile quantitativ bestimmen. Etwa 500 Körnchen waren notwendig, ohne dabei das schon untersuchte Mineral zu berücksichtigen. Hierbei kann die Folge der Häufigkeiten der verschiedenen Mineralien, deren Mengen starke „Verdünnung“ erlitten haben, genauer entschieden werden, es ergeben sich zuverlässige Zahlen, die verwendbar sind, wenn nur einige der Mineralien (z. B. Zirkon, Turmalin, Monazit und Rutil) auf 100 % umgerechnet werden.

Für jede Zählung wurden 200—300 Körnchen aus B entfernt und drei solcher Zählungen pro Probe ergaben die gesuchten Zahlen; PETTIJOHN (1931, S. 436) zählte 500—1000 Körnchen. Wenn manchmal die drei erhaltenen Werte nicht gut übereinstimmten, mußte eine vierte und fünfte Portion von 200—300 Körnchen gezählt werden, bis das Resultat in Prozenten ausgedrückt werden konnte. Zum Entfernen der Körnchen aus B darf kein Eisengegenstand gebraucht werden; ein kleiner Pinsel kann auch eine gewisse Auslese bewirken, da gewisse Körnchen (von bestimmter

Form?) leicht abgestoßen werden oder daran haften bleiben; zweifellos spielt hier die geringe elektrische Ladung des Pinsels auch herein; am geeignetsten schien die Ecke eines trockenen Deckglases, womit die Körnchen auf einen Objektträger gestreut wurden. Wenn kein Kreutztisch vorhanden ist, wird der Objektträger in der Weise markiert, wie nachfolgende Skizze zeigt:

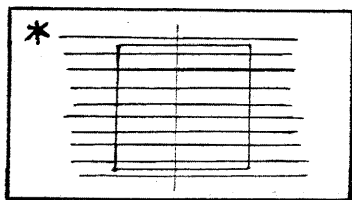


Abb. 2.

Die 10—12 Linien auf dem Objektträger wurden mit einem Diamanten gekritz — sie sind etwa 2 mm voneinander entfernt, diese Entfernung kann bei einer linearen Vergrößerung von 42 noch gut unter dem Mikroskop beherrscht werden, obwohl ein Teil gerade noch aus dem Gesichtsfeld fällt. Man muß beim Zählen immer dieselbe Methode beibehalten, um Fehler zu vermeiden. Das Einbettungsmittel war Nitrobenzol (1,55), mit dieser Flüssigkeit kann man die Quarz- und Feldspatkörnchen leicht erkennen, die oft die schwere Fraktion verunreinigen. Diese Flüssigkeit wurde gewählt, da ihr Brechungsindex nahe an den des Kanadabalsams herangeht; sie wird dem Nelkenöl (1,54) vorgezogen, da ihre Eigenfärbung weniger stark ist und hat dem Äthylenbromid (1,538) gegenüber den Vorteil, daß sie nicht so rasch verdunstet. Auch ist reines Nitrobenzol viel billiger als die anderen zwei Flüssigkeiten.

Es ist durchaus notwendig, die Körnchen beim Zählen eingebettet zu haben, da gefärbte Mineralien, z. B. Rutil und Turmalin, sonst opak erscheinen können und nicht erkannt werden, auch kann etwas rascher gezählt werden, denn die Bestätigung der erkannten Mineralien durch optische Eigenschaften ist bei den eingebetteten Körnchen erleichtert. Die Kontrolle der bestimmten Körnchen wurde stetig geübt, dabei ist reflektiertes Licht oft sehr nützlich.

Fehler: Gewisse Fehlerquellen sind äußerst schwer zu umgehen, einmal variieren die Mineralkörnchen in ihrer Größe innerhalb

der Fraktion; das Auszählen ergibt nur genauere Resultate, wenn die Körnchen von gleicher Größe sind; zugleich muß betont werden, daß diese relativen Mengen nicht ohne weiteres als gravimetrische Mengen angesprochen werden dürfen. Wie schon erwähnt, wurden Körnchen  $< 0,05$  mm nicht in Betracht gezogen, während diejenigen, deren Durchmesser etwa zwischen 0,08 und 0,05 mm lag, zu klein schienen, um als Einheit zu gelten und deshalb erst je zwei als Einheit gewertet wurden. Diese Korrektur war nicht oft erforderlich. Die zweite Schwierigkeit ergab sich bei den verwitterten Ilmenit- und Magnetitkörnchen. Man mußte von vornherein die Entscheidung treffen, ob die Körnchen nur einen leichten Überzug von Verwitterungsprodukten zeigten, sie wurden dann zum Magnetit oder Ilmenit gezählt, oder ob die Verwitterung mehr als die Hälfte des Körnchens angegriffen hatte, solche wurden dem Limonit, Leukoxen oder Anatas zugerechnet.

Weiter ist beim Zählen die Unterscheidung von frischem Magnetit und Ilmenit selten möglich, deshalb sind beide hier zusammengefaßt, ebenso von Leukoxen und Limonit. Da diese Mineralien ähnliche Vorkommen und Eigenschaften haben, ist ihre Zusammenfassung für unsere Zwecke wohl gerechtfertigt.

### III. Die schweren Mineralien.

In diesem Kapitel ist eine Beschreibung der gefundenen Mineralien des Burgsandsteins und des Rhätsandsteins gegeben, worin ihre Merkmale vielfach mit anderen Vorkommen verglichen sind. Es ist auch angedeutet, wie weit die Körnchen zur Petrogenese herangezogen werden können. Das Fehlen oder Vorhandensein, das stärkere quantitative Hervor- oder Zurücktreten verschiedener Merkmale der schweren Mineralien erlauben es, feinere Eigentümlichkeiten der Sedimente wie auch des Abtragungsgebietes zu erfassen. Damit ist eine Grundlage zur Petrogenese geschaffen (s. auch S. 357). Die verschiedensten Merkmale können von Wichtigkeit sein: Kristallform (Zirkon), Erhaltungszustand (Ilmenit), Pleochroismus (Rutil), Spaltbarkeit (Granat), Umgrenzung (Baryt, Turmalin), Einschlüsse (Baryt) usw. Solche Beobachtungen finden in ihrer Gesamtheit ihre wahre Bedeutung, denn erst hier wird der Zufall mehr und mehr ausgeschaltet. — Außer den angeführten Mineralien wurden im Burgsandstein einzelne Körnchen von Korund und dunkelgrüner Hornblende gefunden. Bei den

Proben von Nürnberg und Erlangen wurden wenige zackige, grüne isotrope Körnchen gefunden mit einer Lichtbrechung von etwa 1,8; es handelt sich um einen Spinell oder Granat.

### Zirkon.

Die mikroskopischen Zirkone weisen eine ausgezeichnete Idiomorphie auf. Diese wie auch die Tatsache, daß er überall anzutreffen ist, veranlaßte schon in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts THÜRACH, VON CHRUSTSCHOFF und andere zu einer genaueren Untersuchung dieses Minerals.

Neuerdings gehen verschiedene Forscher, ZERNDT (1927), GROVES (1930 usw.), BRAMMALL (1928) und andere so weit, daß sie dem Zirkon eine gewisse Wichtigkeit für einzelne örtliche Vorkommen zusprechen und so den Gedankengang der älteren Arbeiten wieder aufgreifen. WELLS (1931, S. 255) widerspricht den Arbeiten von GROVES, welcher die Zirkone heranzieht, um zu beweisen, daß gewisse Granitmassen „comagmatisch“ sind; er gibt aber zu, daß Sedimente mit ihren akzessorischen Mineralien verglichen werden können, da das Grundprinzip einfach und umfassend ist: „... a certain suite (determined by the rocks undergoing destruction at the time), will characterize a certain distributive province“ (S. 262).

Sicher ist das Vorkommen der Zirkone mit einer Reihe von offenstehenden Fragen mit geologischer Zielsetzung verknüpft: ist der Zirkon als „Leitmineral“ überhaupt verwendbar, wie ZERNDT (1927) es deuten will; ist nach den englischen Autoren sein zonarer Bau als spezifisches unterscheidendes Merkmal (varietal feature) zu verwerten; ist der Zirkon aus Gneisen von den aus Graniten unterscheidbar, was von CHRUSTSCHOFF (S. 440—441) behauptet; was für Veränderungen im Habitus und in bezug auf Einschlüsse erfährt er, wenn wir ihn vom Zentrum eines Granitvorkommens gegen den Kontakt hin verfolgen; sind diese Beobachtungen auch auf andere Erstarrungsgesteine übertragbar?

Die Lösung dieser und ähnlicher Fragen, die eigentlich außerhalb des Bereiches des Sedimentpetrographen liegen, könnten wichtige Aufschlüsse zur Deutung der Sedimente liefern. — Solchen Gedankengängen folgend wurden in dieser Arbeit die Zirkone etwas eingehender berücksichtigt und zur Deutung petrogenetischer Fragen herangezogen; dabei wurde versucht, möglichst solch auffallende Merkmale, wie Verhältnis von Länge zur Breite (s. Taf. XII, Abb. 1—4), schaligen Bau (Abb. 5—7), Erhaltungszustand usw. zu verwerten. Das Verhältnis zwischen Länge und Breite wurde

mittels eines Index ausgedrückt, der  $\frac{\text{größte Länge des Kristalls}}{\text{größte Breite des Kristalls}}$  darstellt. Dieser Index (I), der durch den Habitus bestimmt ist, erlaubt eine etwas präzisere Beschreibung der Gedrungenheit oder Länglichkeit, wenn nötig, obgleich seine Einführung nicht rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten entspricht.

Um die Kristalle zu beschreiben, wurden die statistischen Methoden nach NIGGLI und GOLDSCHMIDT, wie ZERNDT (1927) sie brauchte, angewandt, da darin der persönliche Faktor größtenteils ausgeschaltet ist und ein direkter Vergleich mit anderen Arbeiten möglich wird. Hierbei leisteten die ZERNDT'schen Abbildungen besonders gute Dienste.

Der Zirkon ist manchmal in gerundeten Körnchen vertreten (Abb. 14), die in den nördlichen Proben, etwa in der Nähe von Nürnberg, erst auffallen. Zahlreicher waren sie in einer Probe bei Erlangen; jedoch ist ihre Menge im Burgsandstein stets sehr gering, im Rhät sind sie etwas häufiger. Etwa  $\frac{2}{3}$  der Zirkonkörnchen im Burgsandstein und im Rhät stellen Kristallbruchstücke dar.

Der Zirkon ist meistens farblos, grüne und rosa Töne wurden auch beobachtet, aber häufiger erscheint er grau, was auf Risse oder zonaren Bau, seltener auf Einschlüsse zurückzuführen ist. Die meisten Zirkone sind klar durchsichtig. Die größte gemessene Länge betrug 0,41 mm; die größte Breite 0,18 mm; die Mittelwerte eines Kristalls sind 0,19 mm lang und 0,07 mm breit. Diese Größenordnung deckt sich gut mit ähnlichen Vorkommen und da die größte Breite des Körnchens beim Sieben maßgebend ist, ist klar zu erkennen, daß alle Zirkone sich in der Siebfraction < 0,2 mm einfinden.

Die Prismenflächen zeigen manchmal eine Splitterung nach der Längsachse, ähnlich wie beim Rutil, die offensichtlich mit der Spaltbarkeit nach (110) zusammenhängt. Die Spaltbarkeit ist selten zu erkennen; die nach (110) ist etwas besser entwickelt als die nach (111) — beide sind in der Abb. 8 erkennbar, während die nach (111), wahrscheinlich begünstigt durch den schaligen Bau, in der Abb. 5 angedeutet ist. Risse sind öfters vorhanden — sie können in einem Individuum so zahlreich sein, daß der Kristall trüb erscheint. Diese Risse können von der Spaltbarkeit beeinflusst sein (Abb. 3, 5 u. 7); aber häufiger finden sich Querrisse



(Abb. 13), die annähernd senkrecht zur Längsrichtung liegen und damit hängen die meisten zerbrochenen Zirkone zusammen (Abb. 11 u. 12).

Einschlüsse sind in allen Zirkonen vorhanden, aber meistens nicht in großen Mengen. Kristalle mit vorherrschendem (110)-Prisma und deren „Längen-Breiten-Index“ (I) gewöhnlich größer als 3,0, sind reicher an Einschlüssen (Abb. 8 u. 10), obwohl viele Ausnahmen vorhanden sind. Die zonaren Zirkone, deren Index auch selten über 3,0 liegt, sind im allgemeinen viel ärmer an Einschlüssen, was auch ZERNDT (1924, S. 224) feststellte und was im Gegensatz zu den Zirkonen des Dartmoor-Granits ist (BRAMMALL u. HARWOOD, 1923). — Die Einschlüsse können selbst wieder welche enthalten und sind meistens ellipsoidische Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse (Abb. 1), nadlige Kriställchen von Rutil und Apatit (Abb. 8); negative Kristalle, meistens von prismatischem Habitus und nach der Längsachse orientiert, sind nicht selten; Libellen und schlauchartige Formen (Abb. 11) wurden nur einige Male beobachtet. Die Anordnung der Einschlüsse zeigt meistens eine Tendenz der Richtung nach der Längsachse. Die Einschlüsse konnten zur Charakterisierung der Zirkone nicht verwertet werden.

**Zonare Struktur** findet man bei den Zirkonen aus dem Bursandstein in 11 % der Fälle; im Rhät steigt diese Zahl auf 23 %; im ersten Falle wurden etwa 1800, im zweiten 400 Körnchen auf dieses Merkmal hin untersucht: die Werte sind bei der in dieser Arbeit angewandten Zählmethode leicht erhältlich. ZERNDT (1924, S. 224) schreibt: „Im Gegensatz zu den Beobachtungen der genannten Autoren (BRAMMALL und HARWOOD) muß ich bemerken, daß die Schalenbau besitzenden Zirkone aus dem Cieszkowicer Sandstein nur einen geringen Teil (etwa 10 %) der Gesamtmenge der im Sandstein vorhandenen Zirkone bilden.“ Dieser schalige Bau der Zirkone scheint in den untersuchten Sandsteinen an die gute Ausbildung der Formen (110) und (111) geknüpft zu sein (Abb. 5—7), wobei der Index etwa 2,0 beträgt, obwohl die anderen Formen manchmal auch stärker beteiligt sind (Abb. 2). Im Rhät-sandstein, im Gegensatz zum Bursandstein, ist bei den zonaren Zirkonen meistens (100) auch deutlich ausgeprägt, was aus den Zahlen der Kombinationspersistenz (siehe unten) ersichtlich ist. Mit der stärkeren Ausbildung von (100) und (311) liegt der Index etwa bei 2,7. Es soll hier nur hervorgehoben werden, daß die zonaren Zirkone eher unter den relativ gedrungenen Formen zu finden waren als unter denen, deren Index über 3,0 liegt. Der höchste beobachtete Index an einem zonaren Zirkon war 3,4. Wenn man die Abbildungen solcher Zirkone aus anderen Gebieten betrachtet, scheint die ge-

drungene Form auch vorherrschend zu sein, z. B. Abbildungen von ZERNDT; GROVES (1931).

Als Kristallflächen treten (111), (311), (110) und (100) auf; einige Male wurden schwach entwickelte Flächen beobachtet, die hier nicht unterzubringen waren. Asymmetrisch ausgebildete Formen wurden äußerst selten gefunden; pyramidale Zirkone, die nur aus (111) mit oder ohne ganz untergeordneten Prismenflächen (ZERNDT, 1927, Taf. 4, Nr. 24) wurden nicht gesehen. Korrodierte und gerundete Formen kommen vor; selten scheinen auch Parallelverwachsungen aufzutreten (vgl. LEWIS, 1931, Fig. 11 B, C).

Um die Zirkone näher zu bezeichnen, sind die gefundenen Persistenzzahlen angegeben, diese unterscheiden sich ziemlich deutlich von den Werten, die ZERNDT (1927, Tab. I) angibt.

Tabelle 1.

	Trachtpersistenz				Häufigkeitspersistenz				Zonare Struktur
	p (111)	m (110)	a (100)	x (311)	p (111)	m (110)	a (100)	x (311)	
Burgsandstein	48	84	71	60	89	100	90	91	11
Rhät.....	61	89	76	51	96	100	100	90	23

Tabelle 2.

	Kombinationspersistenz						
	pm	pma	pmx	pax	pmax	ax	max
Burgsandstein . . .	6	5	2	2	70	3	11
Rhät . . . . .	—	12	—	—	85	—	4

Diese Zahlen zeigen, daß die Zirkone der beiden Stufen ziemlich ähnlich sind, doch bestehen kleinere, aber deutliche Unterschiede. Die verschieden starke Beteiligung der zonaren Struktur ist im untersuchten Gebiet unterscheidend: es sei hier bemerkt, daß die meisten Proben wenig vom Mittelwert ihres Horizontes abweichen. — Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal

findet sich in den Trachtpersistenzen: die Prismenflächen haben ungefähr den gleichen Wert behalten, die Pyramidenflächen nicht; im Burgsandstein kommt (311) eine größere Bedeutung zu wie (111); im Rhät ist das Umgekehrte der Fall.

Oben wurde bemerkt, daß zonare Struktur meistens mit dem Vorherrschen der Formen (111) und (110) verbunden war: scheinbar bedingt im Rhätsandstein die größere Anzahl der zonaren Zirkone den höheren Trachtenwert von (111) gegenüber (311); zweifellos liegt hier ein gewisser Zusammenhang zwischen der stärkeren Entwicklung von (111) und dem zonaren Bau vor; ob dieser Zusammenhang einer lokalen Bedeutung zuzuschreiben ist, müssen weitere Arbeiten in dieser Richtung zeigen.

Im Rhätsandstein fand sich immer eine deutliche Entwicklung von (100) bei den zonaren Zirkonen, mit vorherrschender Ausbildung von (111) und (110), das erklärt das Fehlen der pm-Kombination: daher ist es interessant, daß die Kombinationen pm und pma im Burgsandstein zusammen beinahe denselben Wert ergeben wie pma im Rhätsandstein.

Die Kombinationspersistenzen zeigen deutlich die große Ähnlichkeit der Zirkone der beiden Stufen. Da hauptsächlich ein Granitgebiet, wie später gezeigt wird, dem Burgsandstein Material zuführte, wären die kleineren Unterschiede, die das ziemlich gleiche Gepräge der Zirkone stören, durch eine Tieferlegung der Erosionsbasis zu erklären.

In den verschiedenen Tiefen eines intrudierten Magmas sind die chemischen und physikalischen Faktoren nicht gleich, so daß die Zirkone aus verschiedenen Tiefen Unterschiede aufweisen können; solche Unterschiede im Erstarrungsgestein spiegeln sich in den Sedimenten wieder. Diese Erklärung erscheint in diesem Falle noch wahrscheinlicher, da die Rhätproben sich im Mineralgehalt von denen des Burgsandsteins nur durch das Vorhandensein von Granat unterscheiden (siehe S. 381 u. 382).

Anwendung des Längen-Breiten-Index. Von dem Gedankengang ausgehend, daß langprismatische Formen beim Transport eher brechen als kurzprismatische, wurde der Versuch gemacht, den Index petrogenetisch zu verwerten. In einer und derselben Probe wurde der durchschnittliche Index für die unbeschädigten Zirkone bestimmt und dann der Index von den zerbrochenen, denen nur eine Pyramide fehlte. — Die meisten beschädigten

Zirkone gehören hierher, aber die gerundeten sind dabei ausgeschaltet, da Korrosion im Magma auch eine Rundung des Zirkons herbeiführen kann.

Es ist möglich einen Korrekturfaktor zu errechnen, um den kleinsten Wert des Index zu erhalten, der den zerbrochenen Zirkonen zukam, als sie noch vollständig waren; dabei denkt man sich die Bruchstücke nur durch die flache Pyramide (111) ergänzt. Darnach ist die kleinste Korrektur (der Länge)  $\frac{1}{2}$  (Achsenverhältnis des Zirkons)  $d = 0,3 d$  ungefähr, wo  $d$  die größte gemessene Breite des Kristalls ist.  $I_1$  = Index der zerbrochenen Zirkone.

$I$  = Index der unbeschädigten Zirkone.

Der Längen-Breiten-Index  $I_1 = \frac{1}{d}$ , wo  $I$  die größte gemessene Länge ist.

Der ergänzte Index  $I_2 = \frac{1 + 0,3 d}{d} = I_1 + 0,3$ .

$I_2$  wurde in einigen Proben errechnet und mit dem Index der unbeschädigten Zirkone,  $I$ , verglichen.

Tabelle 3.

Probe	$I_1$	$I_2$	$I$
4	2,3	2,6	2,5
14	2,3	2,6	2,6
15	3,1	3,4	2,9

Da die Proben vorsichtig zerkleinert wurden, so daß solche zerbrechliche Körnchen, wie die Abbildungen 37 und 38 zeigen, unbeschädigt blieben, kann man annehmen, daß der Transport hauptsächlich die Ursache des Zerbrechens der Zirkone war. Aus den Zahlen, da  $I_2$  sicherlich viel höher liegt, erkennt man, daß die zerbrochenen Formen einem stärker prismatischen Habitus angehören wie die unbeschädigten; diese Tatsache ergibt sich aus dem Vergleich von  $I$  und  $I_2$ . — Angenommen, daß die Mengen der verschiedenen Zirkontypen im Abtragungsgebiet ziemlich gleich blieben — was anzunehmen ist, da die kristallographischen Daten und prozentuale Beteiligung von zonarem Bau in den einzelnen Proben ziemlich konstant ist — muß der Index der unbeschädigten Zirkone in der Transportrichtung sinken. Beim Burgsandstein ergaben sich folgende Zahlen; die Gegenden sind N—S geordnet,

die Zahlen in Klammern geben die Anzahl der untersuchten Proben jeder Gegend an.

		Index der unbeschädigten Zirkone
N ↑ ↓ S	Erlangen (1) . . . . .	2,9
	Nürnberg (3) . . . . .	2,7
	Kammerstein (3) . . . . .	2,5
	Mäbenberg (1) . . . . .	2,5
	Birkenmühle (2) . . . . .	2,5
	Ellingen (2) . . . . .	3,0

Der Index zeigt kein deutliches Bild, was bei der Art der Sedimentation des Burgsandsteins auch kaum zu erwarten war. Wenn ein Schluß gezogen werden kann, so könnte man mehr als ein Lieferungsgebiet vermuten. Es wäre interessant, diese Methode z. B. bei rezenten Flußsanden anzuwenden.

Wenn man die Prozente der vorhandenen unbeschädigten Zirkone von N—S ordnet, erhält man folgende Reihe:

N ↑ ↓ S	Erlangen (1) . . . . .	24	Nördlicher Mittelwert <b>25</b>
	Nürnberg (3) . . . . .	27	
	Uegenau (1) . . . . .	25	
	<hr/>		
	Kammerstein (2) . . . . .	40	Südlicher Mittelwert <b>37</b>
	Mäbenberg (1) . . . . .	31	
	Spalt (1) . . . . .	42	
	Birkenmühle (2) . . . . .	32	
	Pleinfeld (1) . . . . .	42	
	Ellingen (2) . . . . .	36	

Die fünf nördlichen Proben zeigen eine viel stärkere mechanische Beanspruchung der Zirkone wie die südlichen, auch ist es bezeichnend, daß die Rundung der Zirkone erst bei Nürnberg auffällt (S. 358), in den südlichen Proben sie dagegen viel seltener ist. Diese Tatsachen zusammengenommen, deuten auf einen Transport nach N hin. Man kann in einem Randgebiet wohl kaum deutlichere Hinweise erwarten.

Obwohl die Untersuchungen des Index und der relativen Beteiligung der unbeschädigten Zirkone hier keine einwandfreien Ergebnisse lieferten, muß nicht vergessen werden, daß der Burgsandstein kein allmähliches Ablagerungsprodukt darstellt und daß eine Reihe von Fehlerquellen unvermeidlich bleibt. Erst weitere

Untersuchungen und die Anwendung dieser Methoden an rezenten Sedimenten werden uns sichere Anhaltspunkte liefern, um eine gründlichere Beurteilung zu erlauben.

### Turmalin.

Die Farben sind sehr verschieden, grünbraune Varietäten herrschen bei weitem vor. Diese zeigen sehr starken Pleochroismus; dagegen ist blauer bis grünblauer Turmalin mit schwächerem Pleochroismus immer in untergeordneten Mengen (8 %) vorhanden. Der letztere zeigt oft grüne oder farblose Partien, äußerst scharfe und spitze Umrandung und enthält fast niemals Einschlüsse. Anomale zweiachsige Achsenbilder kommen manchmal vor, besonders beim blauen Turmalin. Die Intensität der Farbe kann so stark werden, daß man die Körner für opak hält und bei flüchtiger Durchsicht beim Auszählen mit Erz verwechselt.

Die Formen fallen in zwei Gruppen:

1. Prismatische Formen (vgl. Abb. 35), die terminal noch oft Pyramidenflächen erkennen lassen (wie MÜLLER, 1931, S. 288 angibt), solche idiomorphe Formen können reich an schwarzen punktähnlichen Einschlüssen sein.
2. Meistens sind es ganz unregelmäßig, oft spitz begrenzte, teils schuppige Bruchstücke, deren Dicke nach den Rändern zu abnimmt (vgl. Abb. 36).

Bei reflektiertem Licht ist ein starker Glasglanz sichtbar, wie auch die bekannte Streifung auf den meisten prismatischen Körnern (MILNER, 1922, S. 358; REYNOLDS, 1928, S. 453). Die Kornformen sind von der Spaltbarkeit wenig abhängig, eine gute Absonderung nach der Basis (vgl. MILNER, 1922, S. 361) scheint einen größeren und charakteristischeren Einfluß zu haben, denn nicht selten liegen die Körnchen so, daß sie nur schwachen oder keinen Pleochroismus zeigen, aber sehr gute Achsenbilder. Einschlüsse sind oft erkennbar: Rutilnadelchen (Abb. 36), Zirkon, Apatit wurden erkannt, während helle isotrope (Flußspat?) (Abb. 35) und dunkle unbestimmbare Flecke beobachtet wurden. Die Anordnung ist in seltenen Fällen nach der Längsrichtung.

Mechanisch gerundete Körnchen (PETTJOHN, 1931, S. 441; GILLIGAN, 1920, S. 267; Abbildungen in MILNER's Lehrbuch), wie sie z. B. Verf. im Tafelberg-Sandstein bei Kapstadt beobachten

konnte, kommen nicht vor; die schneideförmigen unregelmäßigen Umrandungen sind, wie die gute Erhaltung aller Körnchen, kennzeichnend. Man kann daraus entnehmen, daß der Turmalin keinen größeren Transport mitgemacht hat.

### Monazit.

Die Farbe ist meist gelb (mit einem Stich ins Grüne) bis hellbraun, seltener beinahe farblos oder orange. Meist sind die Körner durchsichtig bis durchscheinend, während der Glanz glasähnlich bis harzig ist; das letztere ist bedingt durch eine rauhe Oberfläche. Die Farbe kann bis dunkel rotbraun werden und hat dann nur einen matten Schimmer, es scheint dies durch die Verwitterung hervorgerufen zu sein: solche Körnchen, die sehr gerundet sind, zeigen unter gekreuztem Nicol einen opaken Kern, an dessen äußerstem Rande die typischen hohen Interferenzfarben des Monazits auftreten, welche der Form des Kornes entsprechend konzentrisch angeordnet sind. Es scheint hier eine Umwandlung von innen nach außen vorzuliegen. Rundliche, amorphe, rotbraune Einschlüsse (vgl. BRAMMALL, 1928, S. 29—30; GILLIGAN, 1920, S. 268) sind nicht selten, oft mit radialverlaufenden faserigen Armen versehen, die wohl mit der Spaltbarkeit zusammenhängen. Solche Einschlüsse können sich in einem Kristall häufen, bis sie das ganze Körnchen opak erscheinen lassen. Dies trifft nicht sehr oft zu. Bisweilen kommen Rutilnadelchen (Abb. 19) als Einschlüsse vor, ohne eine bestimmte Anordnung in den Körnern aufzuweisen, manchmal auch unbestimmbare dunkle Punkte (Abb. 20); alle Körner besitzen Einschlüsse, die Mengen sind verschieden.

Deutliche Spaltbarkeit ist selten zu beobachten, zweifellos ist die optische Lage der meisten Körnchen durch die Spaltbarkeit nach (001) bedingt. Pleochroismus war nicht zu sehen.

Die Form weist im allgemeinen eine gute Rundung auf (Abb. 20), obwohl idiomorphe Ausbildung mit 6- und 8eckiger Umgrenzung keine Seltenheit ist. Charakteristisch liegen die Körner so, daß sie einen Quadranten eines scheinbaren positiven, einachsigen Achsenbildes mit vielen Interferenzringen liefern. (Diese Erscheinung verführte wohl THÜRACH, 1884, S. 51, das damals unbekannte Mineral als einachsigt zu beschreiben, denn zweifellos sind die gelben Körner, die er beschreibt, aber nicht bestimmen konnte, Monazit!) Sehr wenige Körnchen zeigen ein

vollständiges Achsenbild, welches zweiachsig ist mit kleinem Achsenwinkel und positivem Charakter.

Die Körnchen, in einer Flüssigkeit von 1,81 eingebettet, zeigen einen Brechungsexponenten, der größer ( $\gamma$ ) und einen, der kleiner ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) ist als die Flüssigkeit. Das Mineral wird ziemlich leicht vom Elektromagneten angezogen. Die geringere Härte und die Tatsache, daß Monazit kristallographisch eine gedrungene Form aufweist, warnt dagegen, der Rundung einen allzu großen petrogenetischen Wert zuzuschreiben, also schon eine geringe Beanspruchung führt hier zu gerundeten Körnern; letztere können schon im Muttergestein auftreten (GILLIGAN, 1920, nach MACKIE, S. 271).

### Rutil.

Die Farbe ist fast immer das bekannte typische dunkel rotbraun — das „foxy-red“ von englischen und amerikanischen Arbeiten — (im Gegensatz dazu vgl. BOSWELL, 1924, S. 253: Vorherrschen der gelben Varietät). Der deutliche Pleochroismus ist immer zu erkennen (MILNER, 1922, S. 359: Beschreibung von foxy-red Rutil ohne Pleochroismus).

Die Form ist prismatisch. Die gute Idiomorphie ist noch meist erkennbar. Prismenflächen zeigen oft Splitterung nach der Längsachse, so daß die Umgrenzung der Körner teils zackig, teils wellig verläuft. Die sonst angegebene deutliche Spaltbarkeit ist in meinen Präparaten kaum zu erkennen, doch muß die Splitterung mit jener Spaltbarkeit nach (110), bzw. (100) zusammenhängen. Körnchen, die diese Absonderung zeigen, haben einen hohen Glanz, während andere, die nicht sehr häufig sind, nur einen matten Glanz aufweisen, hervorgerufen durch eine rauhe feingekörnte Oberfläche: verbunden hiermit sind die Kanten der Körnchen vielfach gerundet. Eigenartige zahnförmige Aussplitterungen von außen oft gut gerundeten Körnern weisen ebenfalls auf den Einfluß jener Spaltbarkeit hin; ebenso kann das Herausfallen eines Einschlusses zur Erklärung solcher Formen herangezogen werden (Abb. 17). Kniezwillinge (Abb. 18) wie auch polysynthetische Zwillingsstreifen (Abb. 16), die schief zu einer manchmal vorhandenen Längsstreifung liegen, treten als große Seltenheiten auf (Abb. 11, 12, 13, Taf. XXXI in THOMAS, 1902); diese Erscheinung kann für ein Gebiet typisch sein (ebenda, S. 622).



Chemische Umwandlungen sind hier fraglich; ab und zu findet man gelbliche Anatas-Täfelchen auf sonst frischem Rutil haftend. Ob sie aus letzterem hervorgegangen sind, ist nicht mit Sicherheit zu sagen. Wiederum gibt es manchmal gelbliche bis orangefarbige Aggregate, bestehend aus vielen nach der Längsrichtung gestreiften Nadelchen, zusammen mit Anatas oder Leukoxen; es handelt sich hier vielleicht um Neubildung von Rutil nach Anatas (vgl. BOSWELL, 1924, S. 258).

Der Rutil scheint in den von mir untersuchten Sedimenten mehr physikalisch als chemisch angegriffen zu sein. Der Abnutzung kommt keine größere Bedeutung zu.

### Anatas.

Der Anatas ist immer gefärbt, meistens hellblau; gelbliche und bräunliche Farben findet man mehr bei den Aggregaten. Eine fleckige Verteilung der Farben, die unregelmäßig zonar ist, kommt bisweilen vor: innen gelb und blau am Rande der Kristalle ist die Regel. Einzelne Kristalle sind in vielen Proben nicht so häufig wie Parallelverwachsungen von winzigen Kriställchen.

Die Bildung aus verwittertem Ilmenit, der teils oder ganz von Leukoxen bedeckt war, konnte vielfach beobachtet werden (Abb. 37 u. 38) (vgl. auch THOMAS, Taf. XII Nr. 7; GILLIGAN, 1920, S. 267). Zuweilen bedecken die kleinen Anatas-Täfelchen den Ilmenit gänzlich, so daß man meint, ein opakes Mineral mit Diamantglanz läge vor; solche Körnchen werden sehr leicht vom Elektromagneten angezogen, denn sie enthalten vielfach noch einen ziemlich frischen Kern von Ilmenit.

Die Kristalle bestehen nur aus (001) und (111) (THÜRACH gibt mehrere an, S. 22 u. 23) und dabei ist (001) maßgebend (Abb. 39) (vgl. BOSWELL, 1924, S. 254; THOMAS, 1902, Taf. XXXII): gute Achsenbilder sind daher häufig. Selten ist (111) stärker entwickelt (Abb. 40). Ganz vereinzelt wurde das Mineral, nur von (111)-Flächen begrenzt, angetroffen (octahedrite der englischen Literatur); solche erscheinen durch eine Streifung fast opak (vgl. THÜRACH, Abb. 11; THOMAS, 1909, Taf. XII Nr. 3). Sonst sind die Flächen spiegelglatt.

Die ausgeprägte idiomorphe Ausbildung mit scharfen Kanten, wie auch eine fast immer vorhandene „Anwachsstelle“ (Abb. 39) sind charakteristisch. Körnchen, wie in den Abb. 37 u. 38, können

als solche den Transport nicht mitgemacht haben, zugleich liefern sie einen Beweis, daß das Zerkleinern die Komponente wenig beeinflußt. Zweifellos liegt hier ein epigenetisch gebildetes Mineral vor, das „in situ“ entstanden ist (hierüber vgl. MILNER's Lehrbuch, S. 445—446; THÜRACH, S. 31 ff.). Diese Bildung von Anatas in Sandsteinen ist nichts Neues, sie wird durch die Porosität der hier untersuchten Sedimente sogar begünstigt. Als große Seltenheit findet man Anatas-Täfelchen auf Rutil; vielleicht hat der Rutil auch etwas Anatas geliefert (vgl. THÜRACH, S. 34). Die Anatas-Aggregate sind vielfach an Quarzkörnchen, viel seltener an Chaledon, gebunden; ob es sich hier um einen Zufall oder um einen paragenetischen Zusammenhang handelt, ist fraglich. Die Körnchen sind oft durch Risse und amorphe Substanz stark getrübt.

### Brookit.

Die Farbe ist hellgelb, seltener kommen grüngelbe bis grünbraune Körner vor. Der Glanz ist diamantähnlich. Pleochroismus ist sehr selten zu beobachten. Die wichtigsten diagnostischen Merkmale sind:

1. die Streifung auf (100) — nach dieser Fläche ist der Brookit immer tafelig ausgebildet (vgl. THOMAS, 1902, S. 625);
2. seine partielle Idiomorphie (Abb. 15);
3. eine typische indigoviolette Interferenzfarbe (vgl. THÜRACH, S. 38), wenn die Streifung in der Diagonalstellung ist;
4. das Fehlen der Auslöschung;
5. das gute Achsenbild mit außerordentlich starker Dispersion, welche zusammen genommen mit der Streifung für die Bestimmung wichtig ist (MILNER's Lehrbuch, S. 143).

Meist gelbliche Aggregate, teils erdig, teils kristallin, kommen in und auf den Körnern vor; es handelt sich hier wohl um Anatas- und Leukoxenbildungen, aus denen der Brookit hervorgehen scheint. Daß der Vorgang nicht in entgegengesetzter Richtung verläuft, ist offensichtlich dadurch bestätigt, daß jedes Körnchen eine scharfe kristallographische Umgrenzung aufweist, während die andere Grenze die Anwachsstelle darstellt, ähnlich wie es beim Anatas zu beobachten war (vgl. BOSWELL, S. 258). Die Bildung hat wohl nach der Sedimentation stattgefunden und ist zur genetischen Deutung wenig geeignet. Die wenigen etwas gerundeten Körner sind vielleicht während des Transports oder schon im Lieferungsgebiet entstanden.

**Staurolith.**

- Die Farbe ist braun bis gelb, Pleochroismus ist deutlich, aber nicht stark. Die Spaltbarkeit ist gut entwickelt (Abb. 32, 33) (vgl. THOMAS, 1909, Taf. XII Nr. 4 c) und führt durchwegs zu charakteristisch stark gezahnten Formen. Das Achsenbild ist meist undeutlich. Die Lichtbrechung ist sehr nahe an 1,74. Die typischen unbestimmbaren Einschlüsse des Stauroliths (Abb. 34) fehlen nur in den wenigen goldgelben idiomorphen Körnern (vgl. THOMAS, 1909, Taf. XII Nr. 4 a u. b), die als Seltenheit in einigen Proben gefunden wurden. Die Körner sind stets sehr gut erhalten. Da durch den Transport gerundeter Staurolith schon mehrmals beschrieben worden ist (z. B. MILNER, 1922, S. 361), kann er hier nicht weit verfrachtet worden sein.

**Dumortierit.**

Die Farbe hängt hier von dem außerordentlich stark entwickelten Pleochroismus ab, der das sicherste diagnostische Merkmal liefert; eine deutliche Spaltbarkeit in der Längsrichtung der fast rechteckigen Körner dient zur Orientierung. In der maximalen Absorptionsstellung (die rechtwinklig zu der des Turmalins ist) ist ein sattes Indigoviolett zu beobachten; diese Farbe findet sich auch beim Dumortierit von Clip, Yuma County, Arizona (ein Pulverpräparat davon befindet sich im Petrographischen Institut, München). Um 90° gedreht ist er farblos oder etwas bläulich.

Da hier ein kleiner Achsenwinkel vorhanden ist, bekommt man manchmal auch ein partielles, scheinbar einachsiges Achsenbild mit vielen Interferenzringen und negativem Charakter. Eingebettet in einer Flüssigkeit von 1,68 ist eine Brechung größer und eine ( $\alpha$ ) kleiner als die Flüssigkeit.

Die Körnchen sind gut erhalten, die Kanten etwas gerundet. Er wurde nur in wenigen Proben in ganz geringen Mengen gefunden. Diese Proben weisen eine deutliche Anreicherung von Turmalin auf: mehr pegmatitisches Material ist daher hier geliefert worden.

Die Seltenheit dieses Minerals auf primärer Lagerstätte wird, wenn weitere Beobachtungen vorliegen, zur Lösung petrogenetischer Probleme von Wichtigkeit sein.

In Deutschland ist Dumortierit auf sekundärer Lagerstätte, soweit es Verf. bekannt ist, noch nicht beobachtet worden. Er wurde in Kaolinsandsteinen bei Pilsen von RÖSLER beobachtet (1902, S. 367).

### Glimmer.

Er tritt fast immer unter den schweren Mineralien in untergeordneten Mengen auf.

Wenige farblose Muscovit-Schüppchen mit wenigen Rutil- und Zirkon-Einschlüssen wurden beobachtet.

Etwas häufiger kommt brauner Biotit, manchmal mit pleochroitischen Höfen, seltener mit vielen Rutil-Nädelchen, die sich unter  $60^\circ$  kreuzen, vor. Das Achsenbild ist schwer von einem einachsigen zu unterscheiden. Die Formen sind vergleichbar mit den Abbildungen in MILNER's Lehrbuch (S. 141, 216).

Eingrüner Glimmer kommt in den meisten Proben in geringer Menge vor und hat eine hohe Lichtbrechung, welche zwischen 1,63 und 1,64 liegt. Die lappigen Schüppchen sind selten ohne kleine opake „Einschlüsse“ (Abb. 41); diese scheinen durch die Verwitterung hervorgerufen zu werden, denn sie häufen sich in den stärker verwitterten Körnchen an (Abb. 42). Die Zwischenmasse besteht aus Faserquarz bzw. Chalcedon und weißlichen bis bläulichen Aggregaten, die wohl ein Gemisch von Leukoxen (?) und Anatas (?) darstellen; das Ganze kann von Eisengelen durchsetzt sein. Allerlei Zwischenstadien konnten in einer Probe von Uegenau (Nr. 12) beobachtet werden.

Es handelt sich um einen weitgehenden Zerfall eines scheinbar titanreichen Glimmers, womit die höhere Lichtbrechung wohl zusammenhängt. Die Möglichkeit besteht also, daß der Glimmer Quarz, Limonit und Anatas liefern konnte. „Saure“ Wasser sind eine Bedingung für diesen Zerfall (BRAMMALL u. HARWOOD, 1923, S. 24). Es handelt sich hier wiederum um eine Verwitterung „in situ“, denn die verwitterten Glimmerschüppchen hätten den Transport kaum mitmachen können.

### Ilmenit.

Der Ilmenit tritt oft angereichert in frischen, glänzenden, wenig gerundeten Formen auf, ähnlich wie der Magnetit, andererseits kann er mit Leukoxen und Anatas überzogen sein (u. a. BOSWELL, 1924, S. 253). Der matte rote Glanz (MILNER's „dull reddish“, 1922, S. 358) ist nur selten erkennbar und kein gutes diagnostisches Merkmal. Vielleicht könnte auffallendes, stark gefärbtes Licht von Nutzen sein, um die Erze zu unterscheiden (MILNER's Lehrbuch, S. 103).

### Magnetit.

Meistens findet man ihn als schwarze unregelmäßige, wenig gerundete Körnchen; seltener ist er vollständig idiomorph (glänzende Oktaeder wurden angereichert in der Wendelstein-Probe gefunden). Ziemlich oft ist er in Limonit mehr oder weniger umgewandelt, Pseudomorphosen sind öfters anzutreffen. Magnetit und Ilmenit können am besten mit einem Handmagnet getrennt werden, solange der Magnetit noch frisch ist.

### Leukoxen.

Die Farbe ist mattweiß, aber vielfach durch Eisengele verunreinigt, so daß die Unterscheidung von Limonit nicht immer möglich ist. Manchmal sieht man leistenförmige Partien von dem frischen, darunter liegenden Ilmenit. Die Formen sind teils abhängig von diesem.

Öfters sind die Leukoxen-Körnchen mit Anatas-Aggregaten verbunden, seltener haften sie an Quarz und Chalcedon; ob diese Vergesellschaftung paragenetisch bedingt ist, ist nicht sicher zu sagen.

### Limonit.

Die Farbe ist braun und ockerähnlich. Sein Vorkommen ist ähnlich wie das des Leukoxens. Er findet sich manchmal in gerundeten Formen und als Pseudomorphose nach Magnetit (sicherlich als Bildung „in situ“ zu deuten). Auch kommen unregelmäßig begrenzte Fragmente vor, die im Gestein als Bindemittel dienen und noch deutlich Eindrücke anderer Körnchen zeigen. Vielfach ist Limonit an Quarz, Chalcedon und radiaalfaserigen Kaolin gebunden.

### Baryt.

Die von der sehr gut entwickelten Spaltbarkeit nach (001) herrührenden glimmerähnlichen Schüppchen sind farblos; aufgelagerte Eisengele können gelbliche Farben vortäuschen. Alle Körnchen liegen auf (001) und zeigen den Austritt der zweiten Bisektrix. Die Interferenzfarben sind die der ersten Ordnung.

Eine Trübung wird oft durch die Einschlüsse verursacht, welche massenhaft vorhanden sein können. Die oft unregelmäßig langgestreckten, schlauchartigen Einschlüsse sind vielfach nach (100) und (010) angeordnet (Abb. 29), seltener nach der Spaltbarkeit (110). Zwischen dieser und der Umgrenzung der Einschlüsse

besteht eine Formabhängigkeit, so daß viele rautenähnliche Formen bei etwa 800facher Vergrößerung wahrgenommen werden. Die Einschlüsse sind durchwegs Flüssigkeitseinschlüsse, die nicht immer, aber vielfach Libellen haben, welche oft eine Verlagerung nach der Schwerkraft zeigen; auch die BROWN'sche Bewegung wurde mehrmals beobachtet.

Die deutliche Spaltbarkeit nach (110), die auch bei diesen Spaltbruchstücken nicht so gut ausgebildet wie die nach (001) ist, bedingt eine zackige Umgrenzung der Blättchen im Burgsandstein (Abb. 31; im Gegensatz vgl. Abbildungen in MILNER's Lehrbuch, Fig. 26). Die phantastischsten Umrandungen können durch diese Spaltbarkeit hervorgerufen werden. Im Rhätsandstein sind diese Zacken vielfach abgerundet und idiomorphe Ausbildung (teils oder vollständig) ist viel häufiger vorhanden (Abb. 29, 30). Zerlappte Formen (Abb. 30) sind charakteristisch für die Rhätsandstein-Proben, während die Spaltbarkeit dem Baryt im Burgsandstein meistens ein etwas anderes Gepräge verleiht, was aus den Abbildungen zu ersehen ist.

Wenige der Körnchen konnten mit einer Nadel umgedreht werden, so daß man ein positives zweiachsiges Achsenbild mit kleinem Achsenwinkel bekam. Mit heißer Schwefelsäure behandelt lieferten die Körnchen winzige Kriställchen, welche u. d. M. als die von Bariumsulfat oder Strontiumsulfat erkannt wurden (BEHRENS-KLEY, S. 58).

Die Unterscheidung zwischen Baryt und Cölestin ist nicht einfach: da die zweite Bisektrix austritt, mißt man  $\beta$  und  $\gamma$ , diese waren beide größer als 1,634 ( $\alpha$ -Monochlornaphthalin); für Cölestin sind beide kleiner (LARSEN, S. 218). Ausschlaggebend blieb die Flammenfärbung, die man aber erst dann ausführen konnte, nachdem man einige Körnchen am Ende eines schmalen Platinbleches angehäuft und diese für wenige Minuten in eine kleine reduzierende Flamme gebracht hatte. In einer Merkuro-Nitrat-Schmelze, spez. Gew. 4,3 (MILNER's Lehrbuch, S. 63) reicherte sich der Baryt (4,5) unten stark an (Cölestin = 4,00). Die Härte konnte als geringer wie Glas festgestellt werden.

Der Baryt wurde in zwei Proben des Burgsandsteins (Nr. 2 u. 7) und in zwei des Rhätsandsteins (Nr. 18 u. 19) gefunden, jedesmal in ziemlichen Mengen im Vergleich zu den anderen schweren Mineralien; im Dünnschliff ist er kaum zu sehen. Es handelt

sich hier um ein typisches epigenetisches Vorkommen auf einer Spaltenzone, welche zu einer hydrothermalen Zufuhr von Baryt Veranlassung gab (vgl. Karte).

#### Apatit.

Das Mineral wurde nur in wenigen Proben (Rhät) in geringen Mengen vorgefunden. Die etwas länglich gerundeten farblosen Körnchen zeigen eine rauhe Oberfläche. Kristallform ist nicht zu sehen. Die Körnchen sind meistens klein (0,1 mm). Einschlüsse sind wenig vorhanden; negative Kristalle, orientiert nach der Längsrichtung, wurden einige Male beobachtet. Irgendwelche Eigentümlichkeiten konnten an den wenigen untersuchten Körnchen nicht festgestellt werden. Die optischen Bestimmungen konnten durch die einfachen mikrochemischen Reaktionen für Calcium und Phosphorsäure ergänzt werden.

#### Granat.

Die Körnchen sind blaßrosa bis farblos, seltener sind sie dunkler rot oder hellviolett. Der Glanz ist sehr lebhaft und die Körner sind klar-durchsichtig. Idiomorphie ist nicht zu beobachten, ausgenommen, daß die Spaltformen als Parallelverwachsung gedeutet werden. Charakteristisch ist die hier vollkommene Spaltbarkeit nach (110) (Abb. 21—24); im Gegensatz hierzu ist (111) als Spaltfläche von BOSWORTH (1912, S. 289) angegeben, während GILLIGAN (1920, S. 265) die außerordentliche Vollständigkeit der hier beobachteten Spaltbarkeit beschreibt. Diese allein bedingt öfters die äußeren Umgrenzungen, wobei scharfe zackige und stachelige Formen entstehen. Die Oberfläche ist vielfach treppenstufenartig begrenzt. Am gleichen Korn kann man oft neben diesen Spaltflächen auch eine Rundung als Begrenzung antreffen. Die Rundung zeigt sich besonders in den zwei nördlicheren Proben des Rhätsandsteins (Abb. 25—27); Formen wie in Abb. 21 bis 23 sind typisch für die südlichen Proben. Die Form, wie in Abb. 24, ist häufig in allen vier Proben. Abb. 28 zeigt eines der gefundenen Granatkörnchen aus dem Burgsandstein bei Erlangen.

Vielfach sind rhomboedrisch oder rundlich begrenzte kleine Grübchen auf den Oberflächen der Körnchen zu sehen (Abb. 25 u. 26), scheinbar natürliche, mechanische „Ätzfiguren“. Ihre Ent-

stehung wie auch ihre Anordnung sind von der Spaltbarkeit beeinflusst; auch diese Erscheinung ist viel häufiger in den nördlichen Proben; die Erklärung für die Rundung und die Entstehung der Grübchen liegt sicherlich in dem Transport von S nach N. Selten können Spaltbarkeit und diese Grübchen sich vereinen; es bilden sich dann schmale, beinahe gerade Rinnen (Abb. 27); wir haben in diesem Granatvorkommen wohl „pitting, grooving, spotting“ (MILNER's Lehrbuch, S. 181), die zusammen mit der Spaltbarkeit dazu beitragen, dem Granat hier ein besonderes Gepräge zu verleihen, so daß er als ein ausgezeichnetes „Leitmineral“ benutzbar ist. Die Lichtbrechung variiert ein wenig und hängt nicht von der Farbe ab; sie liegt nahe 1,81. Die Körnchen werden leicht vom Elektromagneten angezogen; es liegen danach hauptsächlich isomorphe Mischungen der Komponenten Almandin und Spessartin vor (ROSENBUSCH-WÜLFING, Bd. 1, S. 42—43).

Anomale Interferenzfarben kommen nicht vor. Einschlüsse in geringen Mengen sind öfters zu beobachten: Rutil-, Zirkon- und Apatitnadelchen, seltener Quarz und nur einmal wurden sechseckige gelbe Monazitkriställchen beobachtet. Gerundete Zirkone von etwa 0,04 mm Länge wurden einige Male bemerkt.

#### Bleiglanz.

Dieser tritt bloß in den Formen von Spaltstücken auf (Abb. 43), welche auch als Würfel in Parallelverwachsung gedeutet werden können. Gerundete Körner wurden nicht beobachtet. Die Flächen erscheinen zum größten Teil mattgrau, wenige zeigen den typischen Metallglanz. Der Bleiglanz findet sich in der Siebfraction < 0,2 mm in nur einer der Burgsandstein-Proben (Nr. 6), welche viel frischen Feldspat führt; Adsorption im Sinne von KOHLER (1903, S. 49) fand hier wohl nicht statt.

Zweifellos ist es ein epigenetisches Vorkommen, ähnlich wie beim Baryt (vgl. S. 373).

#### IV. Die Beobachtungen und ihre Auswertung.

Qualitativ betrachtet zeigt die Tabelle Nr. 4 ein ziemlich einheitliches Bild der einzelnen Proben, hie und da wurden spärlich vorhandene Mineralien, wie Staurolith und Brookit nicht gefunden, das aber liegt innerhalb der Fehlergrenzen. Niemals fehlt einer der „Hauptbestandteile“ der schweren Fraktion, die ihr ein charakteristisches Gepräge verleihen. Äußerst selten und dann nur in



geringen Mengen tritt der Dumortierit, ein typisches Pegmatit-mineral, welches nach seinem Auftreten im Lieferungsgebiet auch sporadisch in den Sedimenten sich wiederfindet. In drei Proben (Nr. 2, 6, 7) treten Mineralien (Baryt und Bleiglanz) auf, die epigenetischer Natur sind und zweifellos mit den Verwerfungen zusammenhängen, die PICARD (1923, siehe seine tektonische Karte, S. 66) verfolgte. Diese laufen im Jura bei Weißenburg meistens hercynisch, ihre Verfolgung im Gelände des Burgsandsteins ist wohl kaum möglich. Zufällig wurden Proben von der Nähe der Verwerfungen untersucht. (Als Verf. die Proben verarbeitete, war ihm allerdings die PICARD'sche Arbeit unbekannt.)

Tabelle 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Magnetit und Ilmenit....	14	2	1	14	23	4	20	12	16	8	10	31	25	4	5	37	34
Limonit und Leukoxen .	37	5	23	38	23	10	10	55	25	24	35	45	57	50	28	14	39
Anatas .....	12	3	13	6	13	34	5	7	13	21	10	5	5	13	16	7	2
Zirkon .....	13	6	27	20	20	16	18	10	20	18	19	9	7	13	23	17	12
Turmalin....	7	2	14	7	7	8	7	8	6	15	12	5	2	8	18	12	4
Mönazit .....	5	1	9	8	8	6	5	4	11	6	7	4	2	6	8	5	3
Rutil .....	3	2	7	3	2	5	3	2	4	3	5	1	1	6	3	5	3
Staurolith ...	4	Sp.	2	1	1	1	Sp.	Sp.	1	0	Sp.	Sp.	0	Sp.	Sp.	Sp.	1
Brookit .....	1	Sp.	1	Sp.	1	0	Sp.	Sp.	1	1	Sp.	1	0	1	Sp.	?	Sp.
Glimmer ....	2	2	2	1	2	Sp.	0	0	2	2	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	0	Sp.	Sp.
Dumortierit..	—	Sp.	1	—	—	—	—	?	—	Sp.	—	—	—	—	—	Sp.	—
Baryt .....	—	75	—	—	—	—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Chlorit (?) ...	1	2	—	—	—	—	—	—	Sp.	1	—	—	—	—	—	—	—
Bleiglanz ....	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Das Baryt-Vorkommen bei Hagsbronn (Nr. 7) deutet sicherlich auf eine Fortsetzung der Verwerfungszone nach NW hin (s. Karte). Das Auftreten von Bleiglanz bei Alten Heideck (Nr. 6) ist zweifellos mit einer Spalte bzw. Verwerfung verbunden, die aber noch nicht festgelegt ist. Vom Standpunkt der Paragenese aus ist es interessant, daß Bleiglanz ohne Baryt und letzterer ohne den Bleiglanz auftritt. Es sei hier hervorgehoben, daß makroskopisch und im Dünn-

schliff kaum eine Spur dieser Mineralien vorhanden war; nur Probe Nr. 2 erschien gebleicht und stärker kaolinisiert. Es ist hier ein treffendes Beispiel gegeben, um die Brauchbarkeit der angewandten Methoden zu unterstreichen. Diese spärlichen lokalen Vorkommen sind wohl die letzten Ausklänge eines tiefliegenden Ursprungs. Die Frage der Barytvorkommen wird im Laufe der Arbeit nochmals aufgegriffen (S. 386).

Wenn wir von nachträglichen Mineralbildungen absehen, finden wir, daß die gleichen und nur diese schweren Mineralien sich im Horizont über ein Gebiet von mindestens 1000 km<sup>2</sup> verfolgen lassen. Diese Mineralien, ausgenommen die Verwitterungsprodukte: Limonit, Leukoxen, Anatas, Chlorit (?) und vielleicht Brookit, kommen auf primärer Lagerstätte, insbesondere in folgenden Gesteinen vor:

Magnetit:	Erstarrungsgesteine (meist basisch); kristalline Schiefer.
Ilmenit:	Erstarrungsgesteine (meist basisch); kristalline Schiefer.
Zirkon:	saure und intermediäre Eruptivgesteine; Pegmatite; Kontaktgesteine; Gneise und andere kristalline Schiefer.
Rutil:	Pegmatite; saure Eruptivgesteine; kristalline Schiefer.
Monazit:	Granite; Pegmatite.
Turmalin:	Granite; Pegmatite.
Glimmer:	Pegmatite; Granite; Syenite; Diorite; kristalline Schiefer.
Dumortierit:	Pegmatite; Aplite.
Staurolith:	Kontaktgesteine; kristalline Schiefer.

Die gleichbleibende mineralogische Zusammensetzung des Burgsandsteins in einer beträchtlichen Ausdehnung bedingt ein größeres Lieferungsgebiet von ziemlich einheitlichem Charakter. Darnach verdanken die Sandsteine ihre Herkunft hauptsächlich granitischen Gesteinen, mit welchen Pegmatite und Aplite (Turmalin, Dumortierit, Monazit) und untergeordnet kristalline Schiefer (Magnetit, Ilmenit, Staurolith) vergesellschaftet waren. Den Pegmatiten darf keine allzu große Rolle zugeschrieben werden, da meistens solche Mineralien, wie Zirkon, Rutil, Monazit und seltener auch der Turmalin, in mikroskopischen Kristallen oder in Bruchstücken davon, auftreten, während sie in Pegmatiten gewöhnlich zu großen Individuen ausgebildet sind.

Nach ROSENBUSCH-MÜGGE (Bd. I, zweite Hälfte, S. 106) sind Zirkone aus Schiefen „oft bis zur Kugel- und Eiform gerundet“; nach v. CHRUSTSCHOFF (1886, S. 427 u. 440) sind gerundete Zirkone typisch für Gneise; nach THÜRACH (S. 13) tritt der Zirkon

in „schiefrigen, glimmerreichen Gneisen“ auch meistens gerundet auf; da solche gerundete Zirkone im Burgsandstein sehr selten sind, kommt diesen Gesteinen als Lieferungsmaterial eine geringere Beachtung zu; darnach könnten Granite vorherrschend das Material geliefert haben.

Den Kontaktschiefern kommt auch keine größere Bedeutung zu, da der Staurolith, trotzdem er ein sehr widerstandsfähiges Mineral ist, nur in ganz geringen Mengen vorkommt. Wir kommen hiermit zum selben Schluß wie nach der makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung der „leichteren“ Bestandteile (S. 344) und glauben dadurch, daß dieser dadurch sichergestellt ist.

Die Decke des granitischen Massivs, und es ist wohl anzunehmen, daß es sich nur um eines handelt, war zur Burgsandsteinzeit längst abgetragen. Der einheitliche Kern war der vorherrschend physikalischen Verwitterung preisgegeben. Letzteres kann besonders aus der guten Erhaltung der Mineralien, gestützt auf die Tatsache, daß die Verwitterung des Ilmenits und Magnetits (Pseudomorphosen) erst nach der Sedimentation erfolgte, entnommen werden. Wenige Schiefer waren noch vorhanden und mengten vorwiegend den Staurolith, Magnetit und Ilmenit den anderen Mineralien bei.

Die eckigen Formen verschiedener Komponenten (s. Abschn. III) lassen auf einen kürzeren Transport schließen. Es sind dies gerade Mineralien, die eine gute Rundung infolge ihres hohen spezifischen Gewichtes zeigen könnten. Gerundete Körnchen der beschriebenen Mineralien sind in der Literatur vielfach angegeben und verwertet, und zwar in derselben Größenordnung wie sie hier auftritt. Die schuppige, splittrige Form des Turmalins (Abb. 36) ist hier besonders hervorzuheben. Der Monazit allein zeigt meistens eine gute Rundung, er ist aber von den transportierten Mineralien das am wenigsten widerstandsfähige. FREISE (1931) hat neuerdings, gestützt auf seine Beobachtungen über die Seifen von Südamerika, folgende (u. a.) „relative Transport-Widerstand“-Faktoren für den Wassertransport von Mineralien experimentell festgestellt (siehe Tabelle 5 S. 378).

Diese Zahlen wurden scheinbar für Körnchen mit einem Durchmesser von 2–5 mm berechnet (nähere Angaben sind leider nicht angeführt), da es aber relative Zahlen sind, können wir sie hier verwerten. Daraus ist ersichtlich, daß Turmalin mit scharfen

Tabelle 5 (nach FREISE).

Mineral	Faktor
dicht. Roteisen . . . . .	100
Monazit . . . . .	105—130
Quarz . . . . .	245
Zirkon . . . . .	265
Titaneisen . . . . .	325
Almandin . . . . .	375
Magnetit . . . . .	380
Staurolith . . . . .	420
Rutil . . . . .	455
Turmalin . . . . .	650—950

Kanten neben stark gerundetem Monazit, wie es in den Proben meistens der Fall ist, nach kurzem Transport zu erwarten ist. Die geringe Beanspruchung des Quarzes wurde schon vorher erwähnt (S. 341); parallel dazu kann nur eine geringere Rundung der Zirkone, deren Faktor beinahe mit dem von Quarz zusammenfällt, erkannt werden. Also können wir mit Hilfe der untersuchten schweren Mineralien auf die Nähe des Lieferungsgebietes schließen. Die Rundung des Monazits muß mit Vorsicht betrachtet werden, da schon im Muttergestein gerundete Körner auftreten können (S. 366).

Die häufigen Absplitterungsformen, die an den verschiedenen Mineralien (Turmalin, Rutil, Zirkon) beobachtet wurden, könnten durch die Art der Aufbereitung, wie im Abschnitt über den Burgsandstein (S. 342 u. 343) geschildert wurde, erklärt werden. Die Windtätigkeit hat hier wenig zur Form der Körnchen beigetragen, ihre Wirkung wird sich wohl weiter „draußen“ im Sedimentationsraum geltend gemacht haben. Auf der Höhe von Nürnberg etwa scheint dies schon der Fall zu sein, denn die Zunahme von gerundeten Zirkonen kann hier nicht auf Korrosion im Magma zurückzuführen sein (S. 358).

Die vollständige Entfernung des Apatits, der zweifellos vorhanden war, fällt wohl hauptsächlich in die Zeit nach der Sedimentation, als zirkulierende Lösungen außer den Feldspäten die Glimmer und Erze angriffen, wobei sich auch der Anatas und vielleicht der Brookit bildeten. Die Pseudomorphosen des Magnetits und Ilmenits, oft noch gut erhalten, die Bildung von Anatas aus Ilmenit

bezw. Leukoxen (Abb. 37 u. 38), die stark angegriffenen Glimmerschüppchen, die den Transport sicherlich nicht mitgemacht haben, alles zeugt dafür, daß diesen zirkulierenden Lösungen eine wichtige Rolle zukommt (vgl. S. 341). Die Eisengele stammen darnach aus den Erzen und den Glimmern, dieser Vorgang fing schon im Abtragungsgebiet an; wie weit die Färbung der Gesteine als primär aufzufassen ist, läßt sich hier nicht feststellen.

Wir sehen, daß die qualitativen Daten der schweren Mineralien unsere früheren Ansichten stützen und sie vervollständigen.

Was nun die quantitativen Ergebnisse betrifft, so ist zweierlei auffallend (Tab. 4): erstens das Variieren der Mengen von Magnetit und Ilmenit und deren Verwitterungsprodukte; zweitens die fast immer gleichbleibende abnehmende Häufigkeitsreihe: Zirkon, Turmalin, Monazit, Rutil, Staurolith und Brookit mit oder ohne etwas Glimmer. Diese Mineralienreihe ist typisch für den Bursandstein. Bedenkt man, daß die Proben ziemlich weit verteilt und daß diese akzessorischen Mineralien in ganz geringen Mengen nur vorhanden sind, so muß man EDELMANN (1930, S. 472) recht geben, wenn er betont, „daß die Verbreitung der schweren Mineralien logisch vor sich geht und bestimmten, wenn auch noch wenig bekannten Grundsätzen unterliegt“. Falls die Zahlen, die aus der Zählung selbst erhalten wurden, nur für die Mineralien Zirkon, Turmalin, Monazit, Rutil, Staurolith auf 100 % umgerechnet werden, sehen wir die merkwürdige Konstanz deutlicher:

Tabelle 6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Zirkon .....	41	54	45	50	53	44	55	39	50	41	44	47	54	39	43	43	55
Turmalin ....	23	17	23	17	19	22	20	33	13	37	28	26	18	25	34	31	17
Monazit .....	16	11	15	20	21	16	15	18	27	14	16	19	18	17	16	13	15
Rutil .....	6	13	13	10	5	14	9	10	8	8	12	5	9	19	7	12	12
Staurolith ...	13	6	4	3	2	4	1	Sp.	3	Sp.	1	2	0	Sp.	1	1	2

Der Glimmer ist ausgelassen, weil seine Verteilung durch eine Reihe von nicht kontrollierbaren Faktoren beeinflusst wird; der Brookit, weil er vielleicht erst später im Sediment gebildet wurde

und die Erze und deren Verwitterungsprodukte, weil ihre Mengen zu stark von der Verwitterung nach der Sedimentation beeinflußt sind. Die genannten 5 Mineralien, man könnte sie als die „allochthonen Hauptbestandteile der schweren Mineralien-Fraktion“ bezeichnen, erlauben ein weiteres Definieren des Sandsteins, der dadurch von ähnlichen Sedimenten unterschieden werden kann.

Die größte Konstanz zeigt der Zirkon: weil er verhältnismäßig reichlich und gleichmäßig im Lieferungsgebiet verteilt war; die größte Variation zeigt der Turmalin: weil seine Verteilung nicht so gleichmäßig ist, denn er reichert sich gern in „Sonnen“ und in den verstreuten Pegmatiten an. Gleichmäßige und ungleichmäßige Verteilung im Lieferungsgebiet spiegeln sich deutlich in den Sedimenten wieder, besonders kann man das in den Randgebieten erwarten.

Im Dartmoor-Granit, der wohl am gründlichsten auf Akzessorien untersucht ist, ist die Reihenfolge etwas anders: Turmalin, Zirkon und Monazit = Rutil, in seinen abgeleiteten Sedimenten: Zirkon, Turmalin, Rutil, Monazit (s. Tabellen GROVES, 1931). Leider sind die Mengenverhältnisse nicht prozentual ausgedrückt. Die Reihenfolge dieser 4 Mineralien ist unterschiedlich in verschiedenen Graniten (s. Angaben von GILLIGAN, 1920, S. 274; GROVES, 1930, S. 232 u. a.), aber gewöhnlich sind Zirkon und Turmalin stärker vertreten wie Rutil und Monazit, was auch hier der Fall ist; dadurch wird der granitische Charakter des Materials abermals unterstrichen. Die noch verhältnismäßig starke Vertretung des Monazits kann auch mit dem geringen Transport zusammenhängen.

Es scheint ein merkwürdiger Zufall zu sein, daß beim Staurolith die größten Werte den südlicheren Proben (Tab. 6, Nr. 1—6) angehören, sicherlich ein Hinweis auf einen Transport nach N.

Eines ist noch zu erwähnen: der Gehalt an blauem Turmalin beträgt etwa 8 % des gesamten Turmalingehalts. GROVES (1931, S. 64) sagt, daß beim Dartmoor-Granit der blaue Turmalin in der Kontaktzone vorherrscht; in den abgeleiteten Sedimenten ist er darnach in den älteren Sedimenten stärker vertreten. Falls dem blauen Turmalin im Burgsandstein eine ähnliche Bedeutung zukommt, wäre seine geringe Menge ein Beweis für die Annahme, daß zur Burgsandsteinzeit der Kern des Massivs hauptsächlich der Aufbereitung ausgesetzt war (vgl. S. 376).

Um nochmals auf den ersten Punkt zurückzukommen, finden wir, daß die opaken Mineralien und der Anatas für die Sandsteine charakteristisch sind. Die Bestimmung der Mengenverhältnisse ist sehr schwierig und mit einer Reihe von unumgehbaren Fehlern verknüpft, doch geben die Zahlen die relativen Mengen ungefähr wieder; sie zeigen, daß die Verwitterung nach der Sedimentation nicht überall gleichmäßig gewirkt hat. Die verschiedenen Verwitterungsstadien sind unter anderem bedingt durch die verschiedenen Korngrößen der Proben, durch die Lage im Horizont, durch das zirkulierende Wasser und zuletzt durch die Dauer, während der die Sandsteine der verschiedenen Gegenden der Verwitterung ausgesetzt waren. Der zuletzt angegebene Grund, verursacht durch die fortschreitende Erosion der hangenden Schichten, könnte das Nichtübereinstimmen der Werte jener relativ leicht chemisch angreifbaren Mineralien und ihrer Produkte zumeist erklären. Es besteht aber auch kein bestimmtes reziprokes Verhältnis, obwohl es in manchen Proben (Nr. 3, 6, 10, 15, 16) vermutet werden kann. Das Wandern der Eisen- (und Titan-) Gele im Gerüst, eine sporadische Verteilung der Erze im Ursprungsgebiet, ähnlich wie beim Turmalin, und die unvermeidlichen Fehlerquellen tragen dazu bei, ein verwirrtes Bild wiederzugeben.

Da das Zählen der opaken Körner sehr zeitraubend und nicht genau durchführbar ist und sich, wie hier, wenig lohnt, wäre es im allgemeinen angebracht, nur die durchsichtigen Mineralien in ihren relativen Mengen festzustellen. Der Glimmer ist bei der Zählung nicht zu beachten, seiner Natur nach kann er uns in genaueren statistischen Daten wenig helfen.

Als die Untersuchungen soweit waren und die Burgsandstein-Proben immer wieder dieselben qualitativen und quantitativen Ergebnisse lieferten, schien es angebracht, diese schweren Mineralien mit denen des Rhätsandsteins im selben Gebiet zu vergleichen, da sich dieser klimatologisch scharf vom älteren Sandsteinhorizont unterscheidet. Ein Blick auf die Rhät-Tabellen (Tab. 7) zeigt uns etwas Unerwartetes: ein neuer „allochthoner Hauptbestandteil“ tritt zu den übrigen hinzu und zwar in erheblichen Mengen. Obwohl nur 4 Rhätsandsteine untersucht wurden, bin ich fest überzeugt, daß analog dem gleichbleibenden Mineralgehalt des Burgsandsteins, innerhalb des Gebietes, welches diese Punkte einschließt (etwa 300 km<sup>2</sup>), der Granat vorhanden ist oder war,

Tabelle 7.

	18	19	20	21
	%	%	%	%
Magnetit und Ilmenit . . . .	Sp.	Sp.	7	16
Limonit und Leukoxen . . . .	16	18	29	8
Anatas . . . . .	7	1	9	8
Zirkon . . . . .	10	2	12	27
Turmalin . . . . .	4	1	9	4
Monazit . . . . .	3	Sp.	3	7
Rutil . . . . .	3	1	4	6
Staurolith . . . . .	1	Sp.	1	1
Brookit . . . . .	Sp.	0	1	2
Granat . . . . .	23	2	27	18
Glimmer . . . . .	Sp.	Sp.	Sp.	2
Apatit . . . . .	3	Sp.	Sp.	Sp.
Dumortierit . . . . .	—	—	—	—
Baryt . . . . .	31	75	0	0

denn die Rhätsedimente sind im untersuchten Gebiet zum größten Teil schon abgetragen. Somit kann man im engeren Gebiet zumindest die zwei Stufen auf Grund ihrer schweren Mineralien unterscheiden. Zweifellos ist das Gebiet, innerhalb dessen die Unterscheidung möglich ist, viel größer als die angegebene Mindestzahl; dadurch könnte die stratigraphische Anwendung dieser Methodik speziell für Bohrproben unter dem Jura von Wichtigkeit sein. Der Granat ist infolge seiner besonderen Merkmale (s. Beschreibung) hier ein ausgezeichnetes Leitmineral. Er kommt im Burgsandstein eigentlich nicht vor; zwei Körnchen, eines ist abgebildet (Abb. 28), wurden bei Erlangen unter etwa 1200 untersuchten Körnchen gefunden; sonst, obwohl eifrig darnach gesucht wurde, war er in keiner anderen Probe anzutreffen.

Den Apatit können wir infolge seiner Instabilität und geringen Mengen hier weniger zur Unterscheidung der Horizonte verwerten; aber er betont die Verschiedenheit der Mineralgruppen der beiden Stufen.

Wenn man die prozentualen Durchschnittswerte von Zirkon, Turmalin, Monazit, Rutil und Staurolith der beiden Horizonte vergleicht, ist eine auffallende Ähnlichkeit zu erkennen:



Tabelle 8.

	Burgsandstein	Rhätsandstein
	%	%
Zirkon . . . . .	47	47
Turmalin . . . . .	23	23
Monazit . . . . .	19	12
Rutil . . . . .	10	16
Staurolith . . . . .	2	2

Ein Zurücktreten des Monazits zugunsten des Rutil hat im Rhätsandstein stattgefunden; diese Tatsache zusammengenommen mit der Beobachtung, daß die Rundung der Zirkone im Rhätsandstein häufiger ist als im Burgsandstein (S. 358), läßt auf einen weiteren Transport des Rhätsandsteinmaterials (im Vergleich zum Burgsandstein) schließen, wenn beide Horizonte dasselbe Lieferungsgebiet hatten. Das letztere ist anzunehmen nach der Übereinstimmung der qualitativen und quantitativen Ergebnisse, die, bis auf Granat und Apatit, in beiden Stufen herrscht.

Das Auftreten des Granats ohne weitere Begleitmineralien, mit denen eine paragenetische Verbindung bestehen könnte, die beinahe gleichen relativen Mengen und gleichen Merkmale der Hauptbestandteile beider Horizonte — sogar bis auf das Vorhandensein von wenig grünem Glimmer und Brookit — weisen darauf hin, daß das alte granitische Massiv auch zur Rhätzeit hauptsächlich die Sedimente lieferte. Das Vorkommen des Granats hängt zweifellos mit den tieferen granatführenden Partien (Granulit-Fazies?) des granitischen Kerns zusammen. Man braucht zur Erklärung des Granats kein weiteres Lieferungsgebiet annehmen. Dieser Schluß findet eine Stütze in den Untersuchungen der Zirkone (S. 360 u. 361).

Der oben erwähnte weitere Transport des Rhätmaterials beruht auf der Hineinverlegung der Grenzlinie des Sedimentationsraumes in das Abtragungsgebiet, welche Wanderung durch die bis zur Rhätzeit im Trockenraume erfolgende Aufschüttung des Sedimentationsbeckens bedingt war.

PICARD (1923, S. 9) schreibt über das Gebiet bei Weißenburg: „Ich halte das Material des Rhätsandsteins sowie des Unteren Lias für umgelagerten Stubensandstein bzw. Burgsandstein.

Beide treten oft so täuschend ähnlich auf, daß eine Unterscheidung nur auf Grund der Lagerungsverhältnisse zu machen ist.“ Danach müßte der Burgsandstein Granat führen, was nicht zutrifft. Weiter ist zu erwähnen, daß eine viel stärkere Rundung der schweren Mineralien des Rhätsandsteins zu erwarten wäre, wenn es sich um umgelagerte Sedimente handeln würde (vgl. GRAWE und CULLISON, 1931, S. 328; OCKERMAN, 1930, S. 352 u. a.). Es ist kaum wahrscheinlich, daß der Monazit nach einer solchen Umlagerung noch in fast denselben relativen Mengen vorhanden sein könnte wie vor der Umlagerung; ein viel stärkeres Zurücktreten des Monazitgehalts hätte — speziell im humiden Klima — stattgefunden (FREISE, 1931, Taf. 2). Das („täuschend ähnliche“) Auftreten kann petrographisch auseinandergehalten werden. Aus diesen Gründen kann Verf. die PICARD'sche Auffassung nicht teilen. Weiterhin muß auf das Beweismaterial, wie es aus den Tabellen 1 und 2 ersichtlich ist, verwiesen werden.

Die schweren Mineralien des Burgsandsteins bilden in der Fraktion  $< 0,2$  mm etwa 0,05 %; im Rhätsandstein sind es etwa 0,3 %, also 6mal soviel: diese Tatsache könnte für eine Umlagerung sprechen, aber eine bessere Erklärung liegt wohl in dem klimatologischen Unterschied. In letzter Hinsicht haben die Zahlen uns wenig gesagt: wir sind zu nahe am Gebirgsrand, wo deutliche Unterschiede in den Sedimenten noch nicht herausmodelliert sind.

Tabelle 9.

	Bamberg	Bayreuth	Schwandorf
	%	%	%
Magnetit und Ilmenit . . . . .	30	16	6
Limonit und Leukoxen . . . . .	22	20	24
Anatas . . . . .	8	11	11
Zirkon . . . . .	29	14	51
Turmalin . . . . .	3	30	1
Monazit . . . . .	5	3	4
Rutil . . . . .	4	4	1
Staurolith . . . . .	0	1	0
Brookit . . . . .	1	1	1
Glimmer . . . . .	Sp.	1	Sp.
Dumortierit . . . . .	0	Sp.	0

Der Frage nachgehend, ob der Granat hier regional als Leit-mineral dienen könnte, wurden drei Stichproben des Rhätsandsteins, von Bamberg, Bayreuth und Schwandorf, untersucht — in diesen ist Granat nicht vorhanden.

Diese wenigen Proben von weit voneinanderliegenden Punkten erlauben zunächst keine sicheren Schlüsse, deuten aber auf eine südliche oder westliche Herkunft des Granats im untersuchten Gebiet. Eine südliche Herkunft wurde durch die stärkere Rundung der Granate im N vermutet (Abb. 21—24 sind aus dem S, Abb. 25 bis 27 aus dem N des Gebiets, siehe auch S. 374). Darnach dürfen wir wohl die Vindelizische Masse als wahrscheinlichstes Lieferungsgebiet ansprechen.

Die drei Proben sind interessant, da sie sonst dieselben Mineralien vergesellschaftet haben wie in den übrigen untersuchten Proben (außer Baryt, Bleiglanz und Apatit, die die Horizonte nicht charakterisieren); sogar Dumortierit findet sich in einer Probe. Die Mengenverhältnisse sind aber anders: die starke Anreicherung von Turmalin in der Probe von Bayreuth ist wohl zufällig, da er sich öfters lokal anreichert, andererseits kann es charakteristisch für jene Gegend sein. Das starke Hervortreten des Zirkons, eines chemisch stabilen Minerals, und das Fehlen von Staurolith in den anderen zwei Proben finden ihre Erklärung in einer intensiven Aufbereitung oder einem längeren Transport; aber wie weit spätere Verwitterung hier mitgespielt hat, liegt außerhalb des Rahmens dieser Arbeit.

Wir sehen also, daß dem Granat als Leitmineral nur ein beschränkter Wirkungskreis zukommt.

Eine Reihe von merkwürdigen Zufällen sei hier zusammengefaßt:

1. das Abfallen und Wiedersteigen des Zirkonindex im S und im N des untersuchten Gebietes (S. 363);
2. die analoge Erscheinung bei den Geröllen (S. 340);
3. die größere Zahl der beschädigten Zirkone liegt im N (S. 363);
4. die Rundung der Zirkone im Burgsandstein wird bei einer S—N Verfolgung erst bei Nürnberg auffallend (S. 358); auch ist die Anzahl der beschädigten Zirkone im N größer (S. 363).
5. die größten Staurolith-Werte liegen im S (Tabelle 6, S. 379);
6. das Vorkommen von Granat im Rhätsandstein, vielleicht nur in diesem Gebiet mit einem sicherlich südlichen Ursprung.

BRAMMALL (Referat in Geol. Mag. 1928, S. 95) sagt über die Auswertung solcher Resultate, daß mehrere Zufälle auf eine Wahrscheinlichkeit deuten, und daß diese zur Überzeugung wird, sind mehrere Zusammentreffen (coincidences), wie hier, nötig; danach erlauben diese sechs „Zufälle“ den Schluß, daß für das untersuchte Gebiet das Lieferungsgebiet hauptsächlich im S lag, und daß auf der Höhe von Nürnberg etwa, wenigstens zur Burgsandsteinzeit, der Einfluß eines anderen Lieferungsgebietes, zweifellos der Böhmisches Masse, sich geltend macht.

Das Vorkommen von Baryt und Apatit im Rhätsandstein (s. Tab. 7) ist noch zu erwähnen. Letzterer kann hier durch die geringere Porosität des Rhätsandsteins erhalten geblieben sein, die anderen drei Proben (Bamberg, Bayreuth, Schwandorf) sind mehr porös und diesen fehlt der Apatit. Eine befriedigende Lösung konnte nicht gefunden werden.

Die Probe Nr. 19 ist ganz dicht an der Verwerfung entnommen worden, diese hat einen viel höheren Barytgehalt wie die Probe Nr. 18, die etwas weiter entfernt von einer Verwerfung lag; das beweist, daß ein Zusammenhang zwischen Barytgehalt und Verwerfung besteht. Das Fehlen des Baryts in den zwei anderen Proben, also ein lokales Vorkommen wie im Burgsandstein, wie auch die Anordnung des Auftretens in beiden Horizonten (s. Karte), das Fehlen von Baryt in den Proben Nr. 1, 3, 4 und 5 des Burgsandsteins — Punkte, die ziemlich weit entfernt von den verlängert gedachten Spalten liegen —, diese Tatsachen beweisen die epigenetische Natur des Baryts. Die laterale Verbreitung, welche durch den verschiedenen Kaolingehalt (KÖHLER, 1903, S. 49) wie auch die Porosität beeinflußt wird, kann nicht sehr groß gewesen sein, wie das Fehlen in den oben genannten Proben zeigt. Eine Verlängerung der Verwerfungszone nach NW ist anzunehmen.

## V. Zusammenfassung.

Hauptsächlich stellt diese Arbeit einen Versuch dar, eine Methodik systematisch anzuwenden, die bisher von Sedimentpetrographen nicht genügend beachtet wurde. Der Versuch hatte insofern Erfolg, als die hier gewonnenen Ergebnisse in Einklang mit der Bildungsweise des Burgsandsteins (Abschnitt I) zu bringen sind, auch konnte manches bestätigt und ergänzt werden. Eine vollständige Auswertung der Beobachtungen wird erst möglich

sein, wenn weitere Arbeiten vorliegen. Es ergab sich hauptsächlich folgendes:

Der Burgsandstein südlich Nürnberg ist als die gleiche Bildung anzusehen, wie die von KNETSCH beschriebenen Vorkommen in der Oberpfalz.

Eine Beschreibung der verschiedenen schweren Mineralien, wie sie in diesen Proben vorkommen, ist gegeben; dabei sind typische und auffallende Merkmale hervorgehoben, die vom petrogenetischen Standpunkt wichtig sein könnten. Die Zirkone eignen sich zur Unterscheidung und Charakterisierung der behandelten Stufen, mindestens im engeren Gebiet. Hierin findet der ZERNDTsche Gedankengang, daß dem Zirkon eine gewisse Bedeutung als „Leitmineral“ zukomme, seine Bestätigung. Weiter wurde gezeigt, daß der Zirkon zur Lösung spezieller petrogenetischer Fragen verwertet werden kann.

Zuletzt ist der starken qualitativen und quantitativen Konstanz der Zusammensetzung der selteneren Komponenten des Burgsandsteins über ein ziemlich weites Gebiet Rechnung getragen; eine ähnliche Konstanz findet sich auch bei den „leichteren“ Bestandteilen (Abschnitt I). Das ziemlich einheitliche Bild der Tab. 4, 6 und 7 deutet auf eine Regelung in der Verteilung der schweren Mineralien; gleichmäßiges und ungleichmäßiges Gepräge im Herkunftsgebiet spiegelt sich klar in der Zusammensetzung der schweren Fraktion, d. h. schließlich im Sediment, wieder; darnach ist es erlaubt Rückschlüsse zu ziehen.

Die oben angeführte Konstanz bedingte ein granitisches Abtragungsgebiet — bestehend wohl eher aus Graniten wie Gneisen —, welches mindestens bis zum Ende der Rhät-Zeit ziemlich einheitliches Material lieferte. Dieses kam scheinbar von S und vermischte sich etwa bei Nürnberg mit Material, das einen anderen aber ähnlichen Ursprung hatte. Nach dem Stand unserer jetzigen Kenntnisse wäre die einfachste Erklärung, daß südlich Nürnberg das Vindelizische Gebirge die Sedimente lieferte, und daß bei Nürnberg die Böhmisches Masse erst ihren Einfluß bemerkbar machte.

In einem kleineren Gebiet konnten die zwei Stufen, Burgsandstein und Rhätsandstein, auf Grund ihrer selteneren Komponenten auseinandergehalten werden; da der qualitative Unterschied nicht regional ist, wird sich auch unter den schweren Mineralien der Begriff „Fazies“ geltend machen.

Nach dem vorhandenen Beweismaterial wird dasselbe Lieferungsgebiet für den Burg- und Rhätsandstein angenommen. Die PICARD'sche Anschauung, daß der Rhätsandstein umgelagerten Burgsandstein darstelle, wird für das untersuchte Gebiet abgelehnt.

Die angewandten Methoden erlauben die Auffindung von Spalten bzw. Verwerfungen, die in einem flacheren Gelände leicht übersehen werden. Hinweise auf die Notwendigkeit und Art der statistischen Daten sind gegeben worden; diese sollen keine übertriebene mathematische Genauigkeit aufweisen, sondern nur Richtungen der Einflüsse erfassen.

Unter den schweren Mineralien sind Beweise von nachträglicher Verwitterung (in situ) zu finden, überhaupt lassen sie wohl alle geologischen Faktoren der Aufbereitung und der Sedimentation erkennen.

### Literatur.

- BEHRENS-KLEY: Mikrochemische Analyse 1. Teil. Leipzig 1921.
- BOSWELL, P. G. H.: The Petrography of the Sands of the Upper Lias and Lower Inferior Oolite in the West of England. *Geol. Mag.* **61**. 1924. S. 246—264.
- BOSWORTH, T. O.: Keuper Marls around Charnwood. *Q. J. G. S.* **68**. 1912. S. 281—294.
- BRAMMALL, A. u. HARWOOD, H. F.: The occurrence of rutile, brookite, and anatase on Dartmoor. *Min. Mag.* **20**. 1923. S. 20—26.
- — Occurrences of zircon in the Dartmoor granite, Ebenda. S. 27—31.
- BRAMMALL, A.: Dartmoor Detritals. *Proc. Geol. Assoc.* **39**. 1928. S. 27—48.
- BURRI, C.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an alpinen Flußsanden. I. Die Sande des Tessin. Schweiz. Min.-Petrograph. Mitteilungen. **9**. Heft 2. 1930. S. 205—240.
- CHRUSTSCHOFF, K. v.: Beitrag zur Kenntnis der Zirkone in Gesteinen. *Min. u. petrogr. Mitteilungen (TSCHERMAK)*. **7**. 1886. S. 423—442.
- EDELMANN, C. H.: Mineralogische Untersuchungen von Sedimentgesteinen. *Fortschr. d. Min., Krist. u. Petrogr.* **15**. Teil I. 1931. S. 59—61. — *Cbl. f. Min. etc. Abt. A*. 1930. S. 471—473.
- EWING, C. J. C.: A Comparison of the Methods of Heavy Mineral Separation. *Geol. Mag.* **68**. 1931. S. 136—140.
- FLEET, W. F.: Petrological Notes on the Old Red Sandstone of the West Midlands. *Geol. Mag.* **63**. 1926. S. 505—516.

- FREISE, F. W.: Untersuchung von Mineralien auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung im Wasser. Min. u. petrogr. Mitteilungen (TSCHERMAK). 41. Heft 1. 1931. S. 1—7.
- GILLIGAN, A.: The Petrography of the Millstone Grit of Yorkshire. Q. J. G. S. 75. 1920. S. 251—294.
- GRAWE, O. R. and CULLISON, J. S.: A Study of Sandstone Members of the Jefferson City and Cotter Formations at Rolla, Missouri. Journ. of Geol. 39. 1931. S. 305—330.
- GROVES, A. W.: The unroofing of the Dartmoor Granite and the Distribution of its Detritus in the Sediments of Southern England. Q. J. G. S. 87. 1931. S. 62—96.
- The heavy Mineral Suites and Correlation of the Granites of Northern Brittany, the Channel Islands and the Continent. Geol. Mag. 67. 1930. S. 218—240.
- HAWKES, L. and SMYTHE, J. A.: Garnet-bearing Sands of the Northumberland Coast. Geol. Mag. 68. 1931. S. 345—361.
- KAISER, E.: Geologische Darstellung des Nordabfalles des Siebengebirges. Verh. d. naturhist. Ver. Bonn 1897. 54. S. 77—203. Wichtige Angaben zur Methodik.
- Die Diamantenwüste Südwestafrikas. Bd. II. Verlag Dietrich Reimann, Berlin 1926.
- Über Fanglomerate besonders im Ebrobecken. Sitz.-Ber. B. Ak. d. Wiss. München. Math.-naturw. Abt. 1927. S. 17—28.
- Die junge terrestre Sedimentation in Süd- und Südwestafrika. Zs. f. prakt. Geol. 37. 1929. S. 116—124.
- KEILHACK, K.: Lehrbuch der praktischen Geologie. 2. Verlag von Ferd. Enke, Stuttgart. Hieraus hauptsächlich die Zusammenstellung „Mineralogisch-petrographische Untersuchungsmethoden“ von ERICH KAISER.
- KNETSCH, G.: Der Keuper in der bayerischen Oberpfalz. Dies. Jb. Beil.-Bd. 61. B. 1928. S. 83—150.
- KOHLER, E.: Adsorptionsprozesse als Faktoren der Lagerstättenbildung und Lithogenesis. Zs. f. prakt. Geol. 1903. S. 49—58.
- LARSEN, E. S.: The Microscopic Determination of the nonopaque Minerals. U.S.G.S. Bull. 679. Washington 1921.
- LEWIS, H. P.: A Sandstone with Fluorspar Cement and other Sandstones from West Cumberland. Geol. Mag. 68. 1931. S. 543—557.
- MACKIE, W.: Transactions of the Edinburgh Geological Society. 7. 1897. S. 148—172.
- MILNER, H. B.: Sedimentary Petrography. (Thomas Murby and Co., London 1929. 2. Edition.)
- The Nature and Origin of the Pliocene Deposits of the County of Cornwall and their bearing on Pliocene Geography of the South West of England. Q. J. G. S. 78. 1922. S. 348—377.
- MÜLLER, H.: Über die quantitative mineralogische Zusammensetzung tertiärer Sande im Untergrund von Hamburg und Umgebung. Cbl. f. Min. etc. Abt. A. 1931. S. 278—296.

- OCKERMAN, J. W.: A Petrographic Study of the Madison and Jordan Sandstones of Southern Wisconsin. *Journ. of Geol.* **38**. 1930. S. 346—353.
- PETTIJOHN, F. J.: Petrography of the Beach Sands of Southern Lake Michigan. *Journ. of Geol.* **39**. 1931. S. 432—455.
- PICARD, L.: Die Fränkische Alb von Weissenburg i. B. und Umgebung. Inaugural-Diss. Freiburg i. B. 1923.
- RAEBURN, C. and MILNER, H. B.: Alluvial Prospecting. Thomas Murby and Co., London 1927.
- REYNOLDS, D. L.: The Petrography of the Triassic Sandstone of N. E. Ireland. *Geol. Mag.* **65**. 1928. S. 448—473.
- RÖSLER, H.: Beitrag zur Kenntnis einiger Kaolinlagerstätten. *Dies. Jb.* 1902. Beil.-Bd. **15**. S. 231—393.
- SCHRÖDER VAN DER KOLK, J. L. C.: Beiträge zur Kartierung der quartären Sande. *Zs. d. Deutsch. Geol. Ges.* **48**. 1896. S. 773—807.
- SIMON, W. G.: Eine neue einfache sedimentpetrographische Methode und ihre Anwendung auf die Schichtenfolge des nordwestdeutschen Miocän. *Cbl. f. Min. etc. B.* 1931. S. 461—476.
- SMITHSON, F.: Geological Studies in the Dublin District. I. The Heavy Minerals of the Granite and the Contiguous Rocks in the Ballycorus District. *Geol. Mag.* **65**. 1928. S. 12—25.
- STORZ, M.: Die sekundäre authigene Kieselsäure in ihrer petrogenetisch-geologischen Bedeutung. Monographien zur Geol. u. Palaeont. Verlag von Gebr. Borntraeger, Berlin 1931.
- THOMAS, H. H.: The Mineralogical Constitution of the Finer Material of the Bunter Pebble Beds in the West of England. *Q. J. G. S.* **58**. 1902. S. 620—632.
- A Contribution to the Petrography of the New Red Sandstone in the West of England. *Q. J. G. S.* **65**. 1909. S. 229—245.
- THÜRACH, H.: Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanmineralien in den Gesteinen. *Verh. d. phys.-mediz. Ges. zu Würzburg.* Nr. 10. 1884.
- Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken. *Geogn. Jahreshfte* 1888.
- WALTHER, J.: Das Gesetz der Wüstenbildung. Berlin 1924.
- WELLS, A. K.: The Heavy Mineral Correlation of Intrusive Igneous Rocks. *Geol. Mag.* **68**. 1931. S. 255—262.
- WEYL, R.: Studien zur vergleichenden Sedimentpetrographie der norddeutschen Tertiärmeere. *Cbl. f. Min. etc.* 1932. B. S. 157—163.
- ZERNDT, J.: Petrographische Studien über Karpathensandsteine der Umgegend von Ciekowice. *Bull. Intern. Acad. polon. A.* 1924. S. 195—218.
- Über mikroskopische Zirkone aus den Karpathensandsteinen der Umgegend von Ciekowice. *Ebenda.* S. 219—229.
- Mikroskopische Zirkone als Leitmineralien. *Ebenda.* 1927. S. 363—377.



Die Arbeit wurde ausgeführt im Institut für allgemeine und angewandte Geologie der Universität München. Ein mehrmonatiges Begehen des untersuchten Gebietes wie auch der Nachbargebiete gaben den Anlaß dazu, eine etwas andere Methodik einzuschlagen.

Es sei mir gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Geheimrat Professor Dr. ERICH KAISER, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab, für die vielseitige Förderung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Herrn Professor Dr. M. STORZ und Herrn Dr. J. NOTHHAFT danke ich für manchen fördernden Gedankenaustausch. Endlich bin ich Herrn Dr. F. NEUMAYER für die freundliche Hilfe bei der Herstellung der Mikroaufnahmen zu Dank verpflichtet.

Nicht zuletzt möchte ich Herrn Professor Dr. ANDREW YOUNG, University of Cape Town, herzlichst danken, der mich zuerst in das Gebiet der „schweren Mineralien“ einführte.

Bei der Redaktion eingegangen am 29. Juli 1932.

---

### Erklärungen zu Tafel XII—XIII.

1. Zirkon mit Kombination pmax; Index 4,9. Vergr. 120 ×.
2. Zirkon; Kombination pmax mit zonarem Bau. Index 2,6. 115 ×.
3. Zirkon; Kombination pmax; Index 2,0. 130 ×.
4. Zirkon; Kombination pmax; Index 1,3. 115 ×.
5. Zirkon mit zonarem Bau; Kombination pm; zeigt die Gedrungenheit, die oft unter den zonaren Zirkonen vorkommt. 130 ×.
6. und 7. Zirkone mit zonarem Bau, welche die gute Ausbildung von (111) und (110) zeigen. 6. 100 ×; 7. 130 ×.
8. bis 11. Zirkone mit Rissen und Einschlüssen. 8. 110 ×; 9. 120 ×; 10. 140 ×; 11. 80 ×.
12. Gebrochener Zirkon mit negativem Kristalleinschluß.
13. Gebrochener Zirkon; etwas gerundet, mit Querrissen. 80 ×.
14. Gerundete Zirkone. 140 ×.
15. Brookit mit Streifung und „Anwachsstelle“ (?). 155 ×.
16. Rutil mit Zwillingstreifung. 140 ×.
17. „Zahnförmiger“ Rutil. 110 ×.
18. Rutil: Kniezwilling — das eine Individuum zeigt maximale Absorption. 120 ×.
19. Monazit mit Rutilnadeln. 75 ×.
20. Gerundete Monazitkörnchen mit Einschlüssen. 70 ×.
21. bis 24. Eckige Granate aus Proben Nr. 18 und 19 (Süden) mit deutlicher Spaltbarkeit. 125 ×.
25. bis 27. Granat, mehr gerundet, aus Proben Nr. 20 und 21 (Norden). 25. 105 ×; 26. 150 ×; 27. 115 ×, zeigt „Rinnen“.
28. Granat, gerundet, aus dem Burgsandstein bei Erlangen. 135 ×.
29. und 30. Baryt, typisch für den Rhätsandstein, mit kristallographischen Umgrenzungen und zerlappten Formen. 29. 100 ×; 30. 70 ×.
31. Baryt, typisch für den Burgsandstein, mit deutlicher Spaltbarkeit. 115 ×.
32. bis 34. Staurolith, mit Spaltbarkeit und Einschlüssen. 32. 120 ×; 33. und 34. 100 ×.
35. Turmalin, prismatisch. 140 ×.
36. Turmalin als Bruchstück mit Rutilnadeln. 135 ×.
37. und 38. Autochthoner Anatas aus Ilmenit bezw. Leukoxen. 37. 145 ×; 38. 110 ×.
39. Anatas-Täfelchen. 80 ×.
40. Anatas mit Vorherrschen von (111). 80 ×.
41. und 42. Verwitterter grüner Glimmer. 115 ×.
43. Bleiglanz. 90 ×.