

**KERBWIRKUNG
IN TECHNIK UND WISSENSCHAFT
KERBWIRKUNG IN DER GEOLOGIE.**

VON
ERICH SEIDL.

**SONDER-ABDRUCK AUS DER
ZEITSCHRIFT DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT,
BAND 77, JAHRGANG 1925, ABHANDLUNGEN Nr. 3.**

Kerbwirkung
in Technik und Wissenschaft
Kerbwirkung in der Geologie

*

Vortrag,
gehalten in der Sitzung der Deutschen
Geologischen Gesellschaft am 3. Juni 1925

*

Von
ERICH SEIDL
Berlin

Mit 35 Textabbildungen

*

I N H A L T.

	Seite
I. Einführung	5
A. Begriff Kerb und Kerbwirkung	5
B. Beseitigung von Kerben und Kerbwirkung	6
II. Kerbwirkung in Technik und Wissenschaft	8
A. Erstes Stadium der Kerbwirkung — Konzentration von Spannungen im Kerbgrunde	8
B. Zweites Stadium der Kerbwirkung — Auslösung der Spannungen des Kerbgrundes	12
1. Stoffe im Falle spröder Reaktion	12
a) Beispiele aus Praxis und Wissenschaft	12
a) Metalle. β) Mineralien und Gesteine	12
b) Technische und molekulare Festigkeit; Bruchtheorie rücksichtlich der Kerbwirkung	23
2. Stoffe im Falle plastischer Reaktion	24
C. Ergebnis	26
III. Kerbwirkung in der Geologie, ermittelt durch Analogieschluß in Verbindung mit anderen Kriterien	27
1. Untersuchungsmöglichkeiten	27
2. Kerbwirkung bei verschiedenen Gesteinsarten; ihre Beseitigung durch mechanische und chemische Einwirkung auf die Oberfläche	28
a) Gletscherwirkung	28
b) Wasserwirkung — Karren, Höhlen	32
3. Kerbwirkung bei zelligen Gesteinen und in Trümmerzonen; ihre Beseitigung durch Kompression, durch Einpressung oder Ausfällung von Mineralsubstanz	38
4. Kerbwirkung als Teilkraft tektonischer Erscheinungen, insbesondere von autotektonischen Wirkungen in Salzstörungszonen	40
a) Tektonische Erscheinungen	40
b) Autotektonische Erscheinungen	43
5. Anregungen	46
a) Erosionskerben	46
b) Schichtflächenkerben und Aufblätterungskерben	47
c) Kerbwirkungen von Grubenbauen	47
d) Kerbwirkung und Großtektonik	50
IV. Ausblick	50

I. Einführung.

A. Begriff Kerb und Kerbwirkung.

Unter „Kerben“ versteht man Einschnitte verschiedener Art und Größe, die an der Oberfläche oder im Innern von Materialien (Metallen, Gesteinen) auftreten (Abb. 1). Im weiteren Sinne versteht man darunter sowohl Haarrisse als auch unvermittelte Abstufungen des Querschnittes (Abb. 1e).

Erfahrungsgemäß beeinflussen derartige Kerbe im Falle der Beanspruchung der Materialien den Spannungszustand im Innern in der Weise, daß eine Konzentration der Spannungen im „Kerbgrunde“ stattfindet. Sie führen z. T. auch zu einer Veränderung der Widerstandsfähigkeit („Festigkeit“) der Materialien.

Diese „Kerbwirkung“ spielt in der Technik wie in der Geologie eine wichtige Rolle.

In der Technik schenkt man ihr aufmerksame Beachtung. Man kennt die „Herabsetzung der Festigkeit“ durch Kerbwirkung; und man beabsichtigt, mit der Beseitigung der Kerben und der Kerbwirkung durch mechanische oder chemische Behandlung die „Festigkeit zu erhöhen“.

Die wissenschaftliche Erforschung dieses Problems erstreckt sich auf die Feststellung der Beeinflussung des Spannungszustandes von Materialien durch Kerbe; sie erreichte durch Experimentieren eine gewisse Klärung des Festigkeits- und Bruchproblems, für das sich die richtige Erkenntnis der Kerbwirkung als förderlich ergibt.

In der Geologie muß sich die Kerbwirkung als tektonischer Vorgang äußern. Wenn man sie unter den andern tektonischen Kräften mit in Rechnung stellt, so finden manche bisher teils unbeachteten, teils unerklärten Erscheinungen eine einleuchtende Erklärung.

Faßt man den Zustand eines gekerbten Stabes, der einer Beanspruchung ausgesetzt ist, ins Auge, so wird durch den

Kerb der Spannungszustand des Stabes in folgender Weise beeinflusst.

Durch den Kerb ist an sich der „nutzbare Querschnitt“ des Stabes vermindert. Die Wirkung, die diese Veränderung des Querschnitts auf den Spannungszustand und auf die Beanspruchbarkeit des Materials ausübt, bleibe hier jedoch völlig außer Betracht.

Eine weitere Veränderung des Spannungszustandes des Materials und seiner Widerstandsfähigkeit gegen Formänderung ergibt sich durch die spezielle Wirkung, die von dem Kerb als solchem ausgeht. Nur diese sei unter dem Begriff „Kerbwirkung“ verstanden.

Man kann diese Kerbwirkung in zwei Stadien betrachten, die scharf auseinandergehalten werden sollten.

Zunächst entsteht im Grunde des Kerbs eine Konzentration von Spannungen. Erst in einem weiteren Stadium, bei anhaltender Beanspruchung, wirken sich diese Spannungen in einer „bleibenden Formänderung“ aus.

Diese Einwirkung der Spannungen äußert sich in verschiedener Weise bei dem Material, je nachdem es gegenüber der Beanspruchung „spröde“ oder „plastisch“ reagiert.

Wie eine Kerbwirkung zustandekommt, könnte man sich durch folgendes Bild veranschaulichen.

Stellt man sich vor, daß die Linien der Spannungen, die in dem Stoff durch die Beanspruchung erzeugt werden, fließen wie die „Fäden“ einer Flüssigkeit, so unterbricht die Einkerbung den glatten Fluß der Strömung; die „Stromlinien“ drängen sich scharf um die Spitze des Kerbs herum unter starker Einwirkung auf das Material in der Nähe der Spitze¹⁾.

B. Beseitigung von Kerben und Kerbwirkung.

Auch die Beseitigung der Kerben spielt in der Technik und in der Geologie eine bedeutsame Rolle.

Oberflächen-Kerbe.

Bei Oberflächen-Kerben kommen meiner Meinung nach hauptsächlich folgende Möglichkeiten der Beseitigung durch mechanische oder chemische Einwirkungen in Frage (Abbildungen 2 a bis d).

- a) Ausfräsung des Kerbs und Plombierung der Höhlung derart, daß die alte Oberfläche des Materials wiederhergestellt wird.

¹⁾ Angeregt durch Herrn G. SACHS.

Diese Behandlung dürfte, abgesehen von der Verringerung oder Beseitigung des Kerbs insofern die günstigste Wirkung erzielen, als der alte Querschnitt des Materials wieder hergestellt wird und unvermittelte Querschnittsübergänge so gut wie völlig vermieden sind. Doch muß naturgemäß die Kerbfüllmasse dem Material des Mutterkörpers (in ihren elastischen Eigenschaften) gleichen und mit ihm (durch Verknüpfung, Verschweißung) zu einer Einheit verbunden werden — andernfalls kann wohl die Kerbwirkung nur zum Teil aufgehoben werden (siehe die Bedeutung von Zonen der Inhomogenität, Abschnitt II B, 1 α , β , Mineralien und Gesteine, Seite 21.

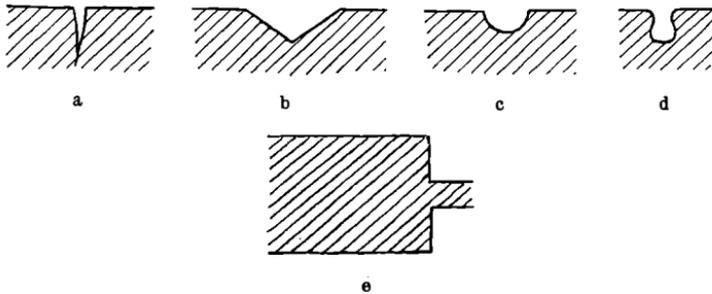


Abb. 1. Kerbe.

a) u. b) spitze Kerbe; a) als Haarriß endigend; c) u. d) gerundete Kerbe
 e) unvermittelte Änderung des Querschnitts (Kerb mit rechtem Winkel z. B. Welle)

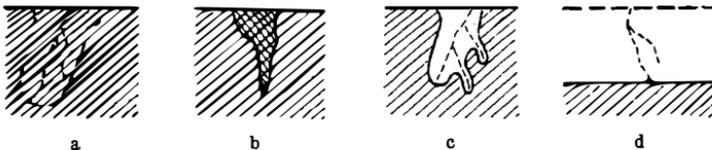


Abb. 2. Beseitigung der Kerben; Aufhebung der Kerbwirkung.
 a) Austräsung und Plombierung des Kerbs; b) Plombierung des Kerbs ohne vorhergehende Austräsung; c) Ausätzung der Kerbstelle; d) Beseitigung des Kerbs durch Abhoblung der Oberflächenschicht.

b) Plombierung des Kerbs, ohne daß der Kerbgrund vorher ausgefräst worden ist.

In diesem Falle ist zwar auch der alte Querschnitt des Materials wieder hergestellt, doch erscheint, wofern nicht eine restlose Ausfüllung der äußersten in Haarrisse auslaufenden Endigung des Kerbs erzielt wird, die Beseitigung der Kerbwirkung als sehr unvollständig.

- c) Beseitigung der scharfen Kerbspitzen und damit Milderung des Kerbs durch mechanische Behandlung oder durch Ätzen.
 d) Beseitigung der ganzen die Oberflächen-Kerben enthaltenden Zone.

In diesem Falle würde das Material eine Verminderung des Querschnitts erleiden, ohne daß sich immer eine völlig kerbfreie neue Oberfläche ergibt, da unter Umständen innere Fehlstellen bloßgelegt werden.

Innen-Kerbe.

Auch die im Innern mancher Stoffe auftretenden Kerbe lassen sich schließen.

In der Technik kann bei einem Material, das sich gegenüber Druckbeanspruchung plastischer als gegen Zug verhält, durch Kompression eine Abschwächung der inneren Kerbwirkung erzielt werden. Hierauf beruht möglicherweise auch die Bedeutung der mechanischen Bearbeitung in der Technik durch Walzen, Pressen, Schmieden usw. In der Geologie kommt außerdem vielfach eine Ausfüllung von Höhlungen durch Einpressen plastischer Massen oder durch Ausfällung von Mineralsubstanz aus Lösungen vor.

II. Kerbwirkung in Technik und Wissenschaft.

Über Kerbe und Kerbwirkung — womit zugleich Festigkeits-, Bruch- und Plastizitätsprobleme angeschnitten werden — habe ich mir auf Grund der vorliegenden umfangreichen Literatur und durch eigene Anschauung, unterstützt durch wertvolle Unterhaltungen mit meinen wissenschaftlichen Freunden²⁾, folgendes Urteil gebildet.

A. Erstes Stadium der Kerbwirkung — Konzentration von Spannungen im Kerbgrunde.

Die Spannungen, die bei der Beanspruchung von Materialien auftreten, vermag man bei durchsichtigen Stoffen (Glas, Zelluloid, Zellon, Steinsalz) durch Betrachtung der Stoffe im polarisierten Licht festzustellen.

Die Doppelbrechung, die beobachtbar ist und die sich in einer verschiedenartigen Tönung äußert, ist je nach der Stärke der Beanspruchung verschieden.

Die Einwirkung von Einkerbungen bei der Biegung auf den Verlauf der „spannungsfreien Linie“ ersieht man aus den Abbildungen zweier verschieden geformter Zelluloid-

²⁾ Dr. ing. GEORG SACHS, Mitarbeiter am Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung Berlin, Dr. ERNST SCHIEBOLD, Mitarbeiter am Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung Berlin, Bergrat KURT SEIDL, Carlshof O.-S.

Bügel, die auf Biegung beansprucht sind³⁾. Bei dem rechtwinklig geschnittenen Bügel (Abb. 3 a) sieht man, daß an allen Stellen der rechtwinkligen Einkerbung die spannungsfreie Linie dicht an die Kerbspitze herangeht. Es bedeutet dies, daß dort die Spannungen besonders hoch sind.

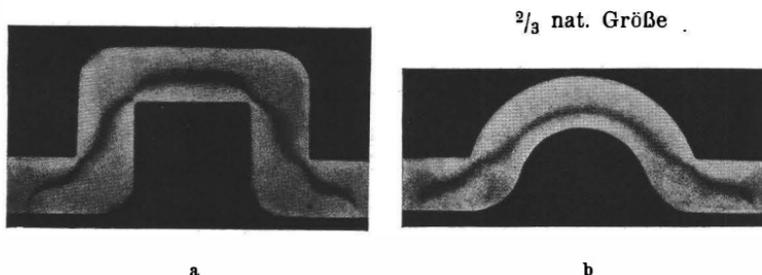


Abb. 3. Spannungszustand eines auf Biegung beanspruchten Zelluloidbügels.

Gekennzeichnet durch photographische Aufnahme der Interferenzfarbenunterschiede im polarisierten Licht. Unterbrechung der „spannungsfreien Linie“, die in der Abbildung dunkel erscheint, bei dem rechtwinklig geschnittenen Bügel a; ruhiger Verlauf derselben bei dem gerundeten Bügel b.

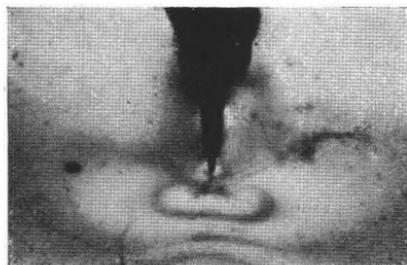
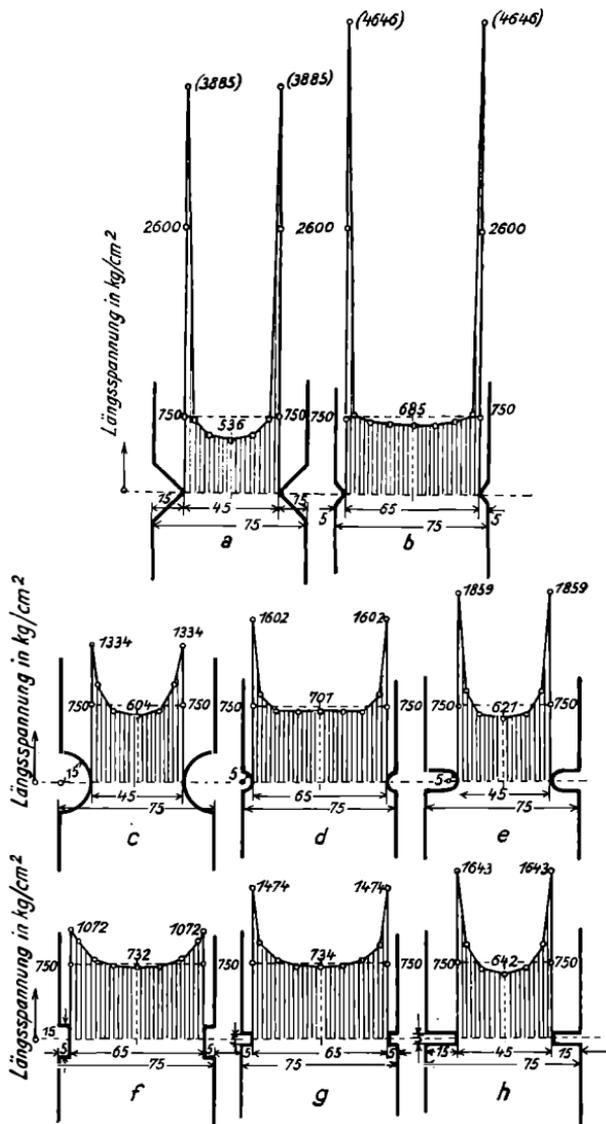


Abb. 4. Spannungszustand an der Kerbspitze eines eingerissenen Zellonplättchens. (30 mal vergrößert.)

Gekennzeichnet durch photographische Aufnahme der Interferenzfarbenunterschiede im polarisierten Licht.

Im Gegensatz hierzu verläuft bei dem gerundeten Bügel (Abb. 3 b) die neutrale Linie — außer an den beiden noch verbliebenen rechtwinkligen Kerbstellen — annähernd in der Mittellinie des Querschnitts, eine gleichmäßige Verteilung der Spannungen kennzeichnend.

³⁾ Nach O. HÖNIGSBERG: Unmittelbare Abbildung der neutralen Schichten bei Biegung durchsichtiger Körper in zirkularpolarisiertem Licht. Internationaler Verband für die Materialprüfung der Technik, Brüsseler Kongreß 1906.



Nach G. Sachs. Mech. Techn. d. Met. Akad. Verlagsges., Leipzig.

Abb. 5. Spannungsstörungen durch Kerbe in elastisch gedehnten Zugstäben. Nach Versuchen von Preuß.

Ein weiteres anschauliches Beispiel der Beeinflussung der inneren Spannungen eines Zellonplättchens durch einen Kerb zeigt die in gleicher Weise hergestellte photographische Aufnahme, die Abbildung 4 wiedergibt⁴⁾.

Gleiche Schattierungen der Abbildung zeigen gleichartige Interferenz-Tönungen an und bedeuten also annähernd gleiche Werte des Spannungszustandes.

Im Maschinenbau werden neuerdings in dieser Weise an Zelluloidmodellen die in Maschinenteilen zu vermutenden Spannungen beobachtet⁵⁾.

Die Verteilung der Spannungen in gekerbten Metallstäben ist verschiedentlich durch Messung ihres elastischen Verhaltens festgestellt worden. Die von PRÆUSS unter Anwendung von Meßspiegeln bei Kerben verschiedener Tiefe und verschiedener Ausrundung des Kerbgrundes erzielten Ergebnisse veranschaulicht Abbildung 5⁶⁾.

Über jeder Stelle des engsten Querschnitts der einzelnen dem Versuch dienenden eingekerbten Flachstäbe (Flußeisen) ist die Größe der Längsspannung graphisch aufgetragen.

Man sieht, daß die Spannung am Kerbgrunde erheblich größer ist, als in der Mitte des Stabes. Man sieht ferner, daß es nicht die Tiefe des Kerbs ist, welche die größten Spannungsunterschiede hervorruft, sondern daß diese besonders von dem Grad der Zuspitzung (Verhältnis zwischen Breite und Tiefe des Kerbs) abhängen. Insbesondere fällt auf, daß ein runder Kerb eine geringere Wirkung als ein spitzer ausübt. Es vermindert also die Ausrundung eines spitzen Kerbs die Kerbwirkung.

Exakter ausgedrückt bedeutet dies nach den zusammenfassenden Betrachtungen von SACHS folgendes⁷⁾:

Der Unterschied zwischen der Spannung im Kerbgrunde und der mittleren Spannung des Stoffs bei sonst unveränderten Abmessungen wächst

- a) mit der Verkleinerung des Abrundungsradius;
- b) mit der Zunahme des Verhältnisses von Kerbtiefe zur Stärke des übrigen ungestörten Querschnitts;
- c) mit der Verringerung der Abmessungen eines Kerbs einer bestimmten Form.

⁴⁾ Untersuchung von Herrn E. SCHIEBOLD.

⁵⁾ W. BIRNBAUM: Optische Untersuchung des Spannungszustandes in Maschinenteilen mit scharfen und abgerundeten Ecken. Zeitschr. f. techn. Physik, 1924, S. 143.

⁶⁾ Vgl. G. SACHS: Grundbegriffe der mechanischen Technologie der Metalle. Akad. Verlagsges., Leipzig 1925, S. 85.

⁷⁾ G. SACHS: a. a. O S. 86 in etwas anderer Fassung.

B. Zweites Stadium der Kerbwirkung — Auslösung der Spannungen des Kerbgrundes.

1. Stoffe im Falle spröder Reaktion.

Materialien, welche unter der ihnen auferlegten Beanspruchung spröde reagieren, reißen, wenn die Anhäufung der Spannungen im Grunde eines Kerbs ein gewisses Maß überschreitet, ein und brechen daher bei Anwesenheit von Kerben leichter als ungekerbte Proben.

a) Beispiele aus Praxis und Wissenschaft.

Erfahrungen der Praxis und Versuche mit spröde reagierenden Stoffen — Metallen und Gesteinen — die Kerben verschiedener Art enthalten, besagen im einzelnen folgendes:

α) Metalle.

Sichtbare Risse in Maschinenteilen muß man ausbessern, wenn man vorzeitigen Brüchen vorbeugen will. Es geschieht dies bei Gußeisen in der Weise, daß die Rißzone ausgemeißelt und die Höhlung mit Metall der gleichen Art zugeschweißt wird.

Abbildung 6 zeigt die Aufblätterung eines Kesselblechs aus Schweißeseisen (mit ausgeprägter Schichtung infolge unterschiedlichen Phosphorgehalts) auf Schichtfugen, die sich durch Einreißen bei fehlerhaftem abscherschendem Zerschneiden ergab.

Abbildung 7a zeigt einen von einer schadhafte Oberflächenstelle ausgehenden Querriß einer Flußeisenstange, der zum Bruch führte, während die daneben befindliche Schweißstelle unversehrt blieb. Die vergrößerte Aufnahme des Risses (Abb. 7b) läßt erkennen, wie dieser als Haarriß fortschreitet, indem er, z. T. den Schichtflächen des Materials folgend, treppenförmig absetzt.

Die Gefährlichkeit von Haarrissen (Abb. 8) hat man früher unterschätzt.

Bei der Bearbeitung von Edelstahlblöcken gab es infolgedessen anfangs übermäßig viel Ausschuß. Die meisten vorgewalzten Blöcke zerspleißten beim Weiterwalzen, ausgehend von langen Haarrissen (die mit dem bloßen Auge nicht zu sehen, aber 5—20 cm lang und $\frac{1}{2}$ —1 cm tief waren). Die Blöcke mußten daher einer Vorbehandlung unterworfen werden. Die Risse wurden zunächst (durch Beizen) sichtbar gemacht und dann mit Preßluftmeißeln so lange bearbeitet, bis der Span nicht

mehr aufplatzte. Das dann verwalzte Material ergab einwandfreien Edelstahl.

Selbst hochglanz-polierete Wellen, von denen man lange Zeit annahm, daß sie wirksame Risse nicht mehr enthalten, werden neuerdings geätzt. Man erreichte dadurch oft

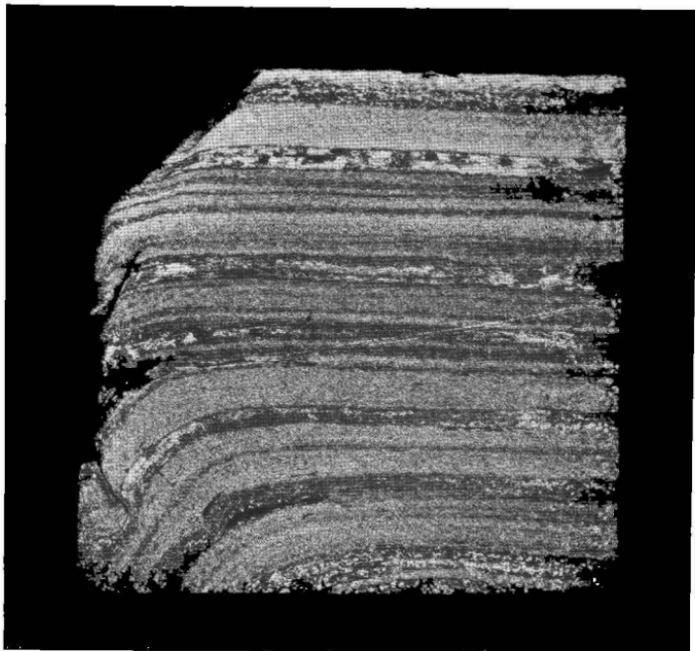


Abb. 6. Einreißen — Aufblättern — eines schweißeisernen Kesselblechs längs zu stark phosphorhaltigen Schichten. 4 mal vergrößert.

Ausgehend von Störungsstellen, die durch fehlerhaftes Abscheren entstanden sind.

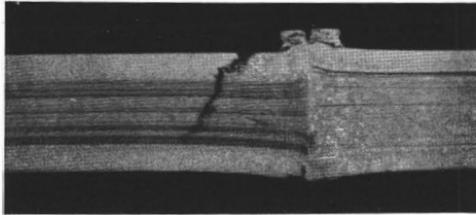
die erstaunliche Wirkung, daß, als Folge der Ausrundung der Haarrisse, die „Festigkeit“ um 30% „erhöht“ wurde⁸⁾.

Analoge Wirkungen von Haarrissen, die von schadhafte Oberflächenstellen, insbesondere von den Korngrenzen ungünstig gelagerter, spröde reagierender Kristalle ausgehen, sind u. a. beim Kaltwalzen von Aluminium und von Kupfer beobachtet⁹⁾.

⁸⁾ Briefliche Mitteilung von Direktor E. RORH, Lautawerk, Lausitz.

⁹⁾ E. SEIDL, E. SCHIEBOLD: Das Verhalten inhomogener Aluminium-Gußblöckchen beim Kaltwalzen. Makroskopische Beobachtung der

Ein besonders eindrucksvolles Zeichen von Korb-
wirkung bietet das als „season cracking“ in der Metallkunde
bekannte spontane Aufreißen gezogenen oder gepreßten Me-
talls unter Knall, das infolge des Verarbeitungsprozesses



a

Abb. 7a. Oberflächenfehler, der bei normaler Beanspruchung des
Materials (Flußeisen — Stange) neben einer Schweißstelle zum
Bruch führte. (Vergr. Aufnahme s. Bild 7b).

Reißzone unter einem Winkel von 50–60° zur inneren Struktur.

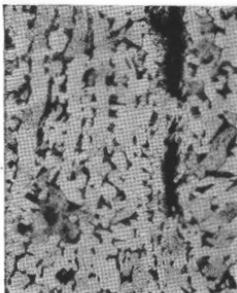
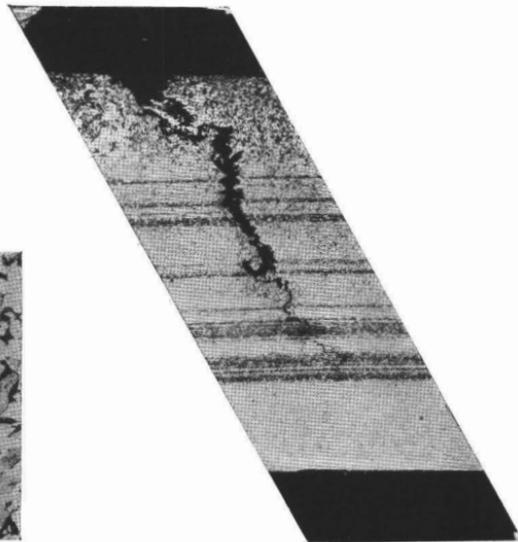


Abb. 8.
Haarriß (innere
Fehlstelle im Guß-
material: Flußeisen).



b

Abb. 7 b. Fortschreiten des
Kerbs (Bild 7a) als Haar-
riß in Absätzen, z. T.
längs der Schichtung.

Einstellung einer Walztextur (Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-
Institut für Metallforschung). Zeitschr. f. Metallk. 1925, S. 226 ff.

unter starken inneren Spannungen steht (Abb. 9)^{9a)}. Es genügt schon die scheinbar geringe — tatsächlich aber konzentrierte — Spannung kleiner Kerbe, um plötzlich die zerstörende Entspannung hervorzurufen.



Verl. Jul. Springer, Berlin.

Abb. 9. Preßbarren aus α -Messing, der beim Herausnehmen aus dem Rezipienten infolge innerer Spannungen aufblätterte. (Lin. Vergr. 0,17).

Eine unvermittelte Änderung des Querschnitts beanspruchter Materialteile sucht man möglichst zu vermeiden. Bei Wellen (Abb. 1e) führt sie erfahrungsgemäß an der Stelle des scharfen Übergangs vom größern zum kleinern

^{9a)} Bild aus J. CZOCHRALSKI: Moderne Metallkunde. 1924, S. 279, Abb. 294.

Durchmesser im Betriebe zum Bruch. Wellen, die vollständig im kleineren Durchmesser ausgeführt sind (die also die früher sogenannte „Verstärkung“ nicht erfahren haben) halten die gleiche Beanspruchung aus, ohne zu brechen.

In der Maschinentechnik ist man nunmehr planmäßig bemüht, „Wege zur Herabsetzung der Kerbwirkung“¹⁰⁾ zu finden. So hat H. KÄNDLER Stäbe aus Stahl mit Rund- und Spitzkerben nach verschiedener mechanischer und chemischer Bearbeitung auf ihre „Dauerfestigkeit“ (d. i. oftmals wiederholte Beanspruchung mit einer Last, die einen gewissen Betrag unter der einmalig getragenen Höchstlast liegt) geprüft.

Von dem erzielten Zahlenmaterial dürfte folgendes interessieren: Die Bruchschlagzahl wurde bei abgedrehten und bei polierten Stäben aus Stahl mit Rundkerben nach Behandlung mit verdünnter Säure um 40% bzw. um 27% erhöht. Bei Proben, die Spitzkerben enthielten, ergab sich nach längerem Ätzen mit konzentrierter Säure eine Erhöhung der Dauerschlagszahl bis zu 116%.

Bemerkenswert erscheint mir, daß dabei, wie aus Abb. 10a u. b hervorgeht, die Aufrundung und Verbreiterung des Kerbgrundes weit energischer als das Abrunden von Erhöhungen erfolgt.

Ich vermute jedoch, daß eine besonders schädliche Kerbwirkung eintritt, wenn der Winkel des Einschnitts die inneren Strukturflächen des Materials zerschneidet, wie dies z. B. bei unsachgemäß gestanzten Messingkörpern der Fall ist.

Hingegen dürfte in dem durch Abb. 11 gekennzeichneten Falle, wo ein Flußeisenstäbchen in glühendem Zustand zu einer Niete geformt wurde, wobei das innere Gefüge des Metalls sich der Einkerbung anpassen konnte, die Kerbwirkung geringer sein.

β) Mineralien und Gesteine.

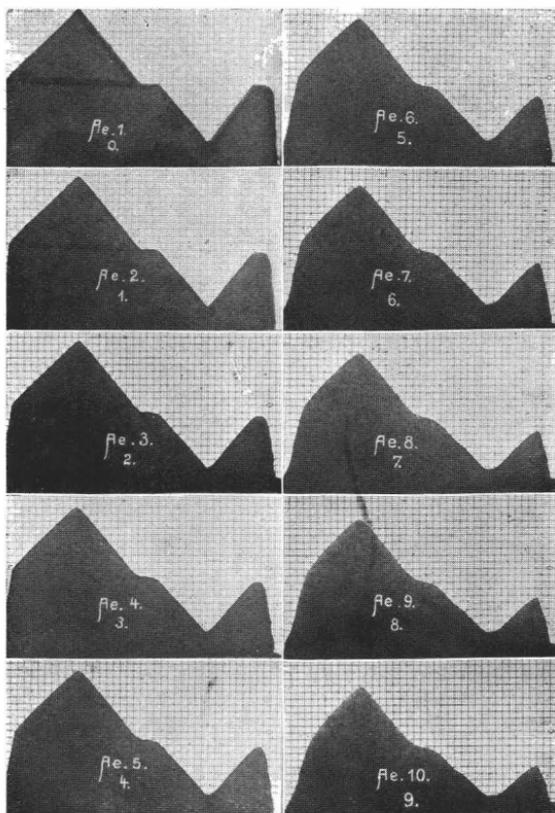
Unter den Erfahrungen, die mit Mineralien und Gesteinen verschiedener Art gemacht wurden, dürften folgende von besonderem Belang sein.

Bei natürlichen oder künstlichen Gesteinen, die als Baumaterial dienen, gehen Brüche infolge von Überlastung erfahrungsgemäß von Kerbstellen aus¹¹⁾.

¹⁰⁾ H. KÄNDLER: Neue Wege zur Herabsetzung der Kerbwirkung. Zeitschr. f. techn. Physik, 1924, S. 150. Abb. 3 u. Tafel VI, Abb. 1.

¹¹⁾ A. HÄNISCH: Resultate der Untersuchungen mit Bausteinen der österreichisch-ungarischen Monarchie. Wien 1892.

M. GARY: Mitt. a. d. Kgl. Techn. Versuchsanstalten. Berlin 1897, 1898 u. 1900.



Verl. Joh. Ambr. Barth, Leipzig.

Abb. 10a. Verschiedene Stufen der Ätzwirkung einer mit scharfkantigen Buckel und mit Kerb versehenen Metalloberfläche. 0. Ausgangsstadium, 9. Endstadium. Auffällig starke Ausrundung des Kerbgrundes gegenüber nur geringer Rundung der Buckelspitze.

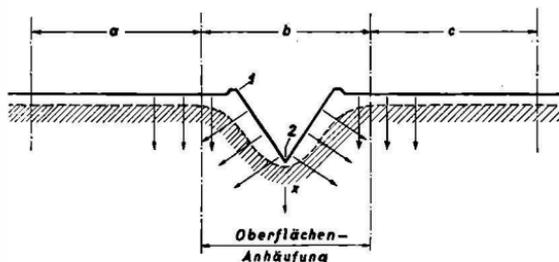


Abb. 10b. Theoretischer Ätzzvorgang bei einer Kerbfurche. Punktirierte Linie: Vermuteter Verlauf der Kerbfurche nach erfolgter Ätzung. 1. Aufgeschmierte Randwulste.

Durch Verputzen poröser Gesteine oder durch Polieren dichter Bausteine läßt sich deren ~~Beständigkeit~~ erheblich erhöhen. Diese Wirkung ist naturgemäß, abgesehen von der Beseitigung der mechanischen Kerbwirkung, auch darauf zurückzuführen, daß eine glatte Oberfläche den Atmo-

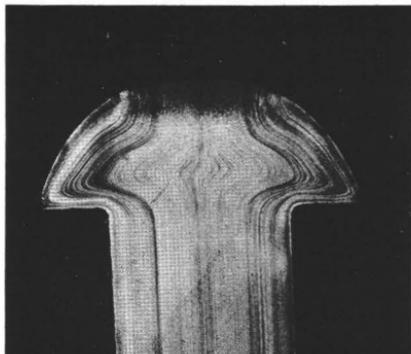


Abb. 11. Kopf einer Niete als Beispiel für die homogene Formung der inneren Struktur gegenüber der äußeren Gestalt. Die unvermittelte Änderung des Querschnitts dürfte, da die innere Struktur sich ihr anpaßt, nicht in vollem Maße als Kerb wirken.

sphärlilien und Flüssigkeiten nur eine geringe Angriffs-möglichkeit bietet.

Bei Steinbruchsarbeiten erzielt man bekanntlich überraschende Erfolge mit verhältnismäßig kleinen Kerben, in die man Keile treibt.

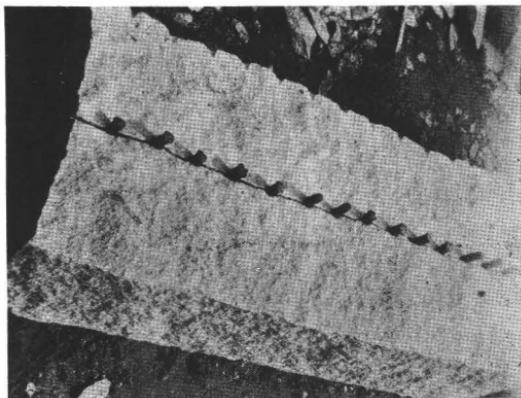
Da die Wirkung vielfach auf „innere Spannungen“ zurückgeführt wird, die angeblich das bearbeitete Gestein enthalten soll, so sah ich mir u. a. die Bearbeitung von Blöcken in einigen Granitbrüchen an¹²⁾. Ich hatte den Eindruck, daß die bloßliegenden Gesteinspartien schon entspannt seien, auch wurde mir von dem langjährigen Werkführer versichert, daß bergschlagähnliche Entspannungen in diesen Brüchen nicht beobachtet worden seien.

Der in Abb. 12 wiedergegebene bearbeitete Gesteinsblock bestand aus Granit von feinem, sehr gleichmäßigem Korn und hatte die Abmessungen von 1,5 m × 0,6 m × 0,3 m. Auf der breiten Oberfläche waren in regelmäßigen Abständen von 10 cm 14 Kerbe von 3,5 cm Tiefe und 1,2 cm oberer Breite der aus Abb. 13 ersichtlichen Form mit einem scharf zugespitzten „Spitzeisen“ hergestellt.

¹²⁾ Granitbrüche der Reut bei Schamles-Gottesberg und am Luisenberg bei Wunsiedel (Fichtelgebirge).

Es genügte zwei leichte Schläge auf jeden Keil mit einem Hammer von $50 \times 50 \text{ mm}^2$ Grundfläche, um den 30 cm dicken Block mit scharfer Fläche zu zerspalten. Die Zerteilung fand in diesem Falle nicht in einer der „bevorzugten“ Richtungen des Granitmassivs statt.

Mit Kerbwirkung kann man sich dieses überraschende Ergebnis leichter erklären als bisher.



Phot. Stud. Thieling.

Abb. 12. Zerspaltung eines Granitblocks durch Kerbe von 3 cm Tiefe.

Größe des Blocks $1,5 \times 0,6 \times 0,3 \text{ m}$; Abstand der 14 Kerben je 10 cm. An der oberen Kante des Blocks sieht man, daß dieser von einem größeren Granitstück durch ebensolche Kerbe abgetrennt ist.

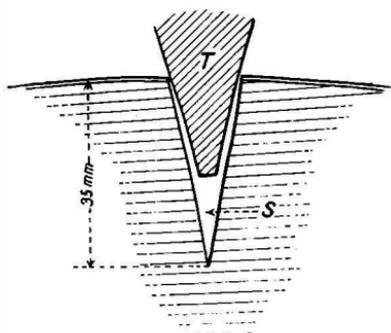


Abb. 13. Mit Spitzkeil ausgearbeiteter Kerb (S), in dem der Treibkeil (T) sitzt ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.).

Die Bedeutung der Kerbwirkung für die natürliche Zerspaltung zugate tretender Granitmassen kann man sich folgendermaßen klarmachen.



a Phot. Stud. Kobold



b

Phot. Stud. Kobold

Abb. 14. Granitblock (4 m hoch), zerspalten durch einen Saum von Kerben, die mit Werkzeugen (10 cm tief) ausgearbeitet sind. Über diesem Block ein etwa ebenso großer Block (scheinbar kleiner, weil weiter entfernt), der wahrscheinlich durch natürliche Zerspaltung eines größeren Blocks in derselben — bevorzugten — Richtung des Granitmassivs zerspalten ist.

In den Abb. 14 a und b sieht man einen durch 10 cm tiefe Kerben zerspaltenen Granitblock von 4 m Höhe, der in einer der Hauptspaltrichtungen durch Einkerbung der Randzone (Kerbtiefe 10 cm) zerspalten wurde. Im Hintergrund erkennt man einen andern durch natürliche Zerspaltung in derselben Hauptspaltrichtung zerteilten Granitblock, der unmittelbar unter der Tagesoberfläche liegt. Die ehemals wohl glatte Spaltfläche ist inzwischen durch Verwitterung etwas gerundet¹³⁾. Es geht daraus hervor, daß in diesem Falle verhältnismäßig geringe Kräfte dazu gehörten, um die natürliche Zerspaltung zu bewirken.

Höchst bemerkenswert erscheint das unterschiedliche

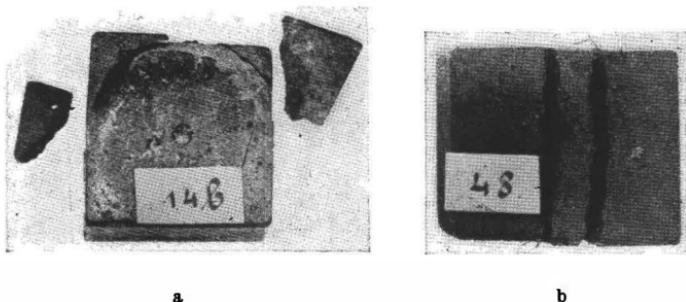


Abb. 15. Unterschiedliches Verhalten dichter und geschichteter Gesteine unter allseitigem Flüssigkeitsdruck.

a) Dichter Zement (2000 atm.) unversehrter Kern nur die Ecken sind abgetrennt.

b) Geschichteter Sandstein (3455 atm.) Zerteilung längs der Schichtflächen.

Verhalten geschichteter gegenüber homogenen Gesteinen bei derselben Beanspruchung unter allseitigem (Flüssigkeits-) Druck.

A. FÖPPL¹⁴⁾ hat festgestellt, daß homogene Gesteine und Zement in diesem Falle im Innern völlig unversehrt blieben, während geschichteter Sandstein längs den Schichtflächen in Scheiben zerbrach (Abb. 15).

¹³⁾ H. CLOOS: Einführung in die tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen (Granittektonik) I. Spez. Teil: Das Riesengebirge in Schlesien, Bau, Bildung und Oberflächengestaltung; GEBR. BORNTRÄGER, Berlin 1925, enthält interessante Abbildungen derselben Erscheinung.

¹⁴⁾ A. FÖPPL: Druck- und Umschlingungsdruck. Mitt. d. mech.-techn. Laboratoriums, München H. 27, 1900 S. 20 ff. Abb. Tafel II. J. BAUSCHINGER: Mittel. a. d. mechan.-techn. Laboratorium München, Heft 4, 1874.

Faßt man den Begriff Kerb sehr weit und versteht darunter auch Grenzzonen des Wechsels der Homogenität des betreffenden Stoffs, so erklärt sich dieses Verhalten des Sandsteins ohne weiteres durch die von diesen — Inhomogenitätszonen, also Kerben darstellenden — Schichtflächen ausgehende Kerbwirkung.

Schließlich gehören hierher die Zugversuche mit Glasmasse, auf denen GRIFFITH seine „Theorie des Bruches“ aufgebaut hat¹⁵⁾, und die im Anschluß daran von JOFFÉ angestellten Zugversuche mit Steinsalzkristallen.

Die beobachtete Festigkeit bei Glas war in diesem Falle:

wenn es sichtbare Risse nicht zeigte	17,4 kg/mm ²
bei einem sichtbaren Riß von 3,8 mm	0,607 „
bei einem sichtbaren Riß von 22,6 mm	0,257 „

Dünne Glasfäden auf hohe Temperaturen angelassen und schnell abgekühlt, hatten eine bleibende Zugfestigkeit von:

in einem Falle	370 kg/mm ²
in einem anderen Falle	600 „

(doch hielt dieser Zustand im letzteren Falle nur kurze Zeit an und die Festigkeit des Glases ging wieder herab).
Die theoretisch auf Grund molekularer Betrachtungen errechnete Festigkeit von Glas beträgt 2000 „

Planmäßige Zugversuche, die JOFFÉ¹⁶⁾ mit Steinsalzkristallen vornahm, haben folgendes ergeben: Steinsalzkristalle, die im ursprünglichen Zustand eine Zugfestigkeit von 0,45 kg/mm² hatten, wiesen, bei hohen Temperaturen verformt, die 12fache Festigkeit und unter Wasser zerrissen angeblich sogar eine Zugfestigkeit von 160 „
Die theoretisch errechnete Festigkeit von Steinsalz beträgt 200 „

JOFFÉ führt diese Annäherung der gemessenen an die theoretische Festigkeit auf die stetige Ablaugung feiner Kerben, die sich bei der Zugbeanspruchung auf der Oberfläche bilden sollen, durch das Wasser, zurück.

Andere Forscher, deren Auffassung ich teile, erblicken darin nur eine Teilerscheinung verschiedener zusammenwirkender Einflüsse¹⁷⁾.

Diese im Deutschen Salzbergbau übrigens seit alters bekannte Eigenschaft der sonst so spröden Steinsalz-

¹⁵⁾ A. A. GRIFFITH: The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A. 221, 163—198, 1920.

¹⁶⁾ A. JOFFÉ in Gemeinschaft mit M. W. KIRPITSCHewa und M. A. LEWITZKI: Deformation und Festigkeit der Kristalle. Zeitschr. f. Physik 22, 1924, Nr. 5, S. 286—302.

¹⁷⁾ W. EWALD und M. POLANYI: Plastizität und Festigkeit von Steinsalz unter Wasser. Zeitschr. f. Physik, Bd. 28 (1924), S. 29—50.

kristalle, sich unter Wasser schmiegsam formen zu lassen, wird von Bergleuten dazu verwertet, um Gegenstände für den Verkauf an Besucher der Bergwerke herzustellen.

b) Technische und molekulare „Festigkeit“; Bruchtheorie rücksichtlich der Kerbwirkung.

Die technische und geologische Forschung interessiert Kerb und Kerbwirkung besonders auch unter dem Gesichtspunkt der „Festigkeit“ der beanspruchten Stoffe. Doch ist Festigkeit, wie sie sich bei technischen Versuchen bisher ergab, nicht ein den beanspruchten Materialien an sich eignender Begriff, sondern eine von der Art der Beanspruchung und andern Faktoren abhängige, für verschiedene Zustände ein und desselben Stoffes verschiedene Größe.

Es sei daher hier auf die hoch bedeutsamen Gedankengänge hingewiesen, mittels deren GRIFFITH¹⁸⁾ — bei Betrachtung spröde reagierender Stoffe — das Problem der Kerbwirkung in das Bruchproblem einzufügen sucht, wodurch beide Probleme einer exakten Lösung näher gebracht werden.

Die als „technische Festigkeit“ bezeichnete Festigkeit der in der Technik verwendeten Materialien hat GRIFFITH u. a. durch die oben mitgeteilten Versuche an Glas zu ermitteln gesucht.

Aus molekularen und thermischen Betrachtungen schließt er, daß die molekulare Festigkeit etwa 20 bis 100 mal größer sei als die beobachteten Werte der „technischen Festigkeit“.

Der geringe Wert dieser technischen Festigkeit erscheint ihm nur dann erklärbar, wenn in dem festen Körper im Augenblick des Bruchs große lokale Anreicherungen von Energie (Spannungsenergie) vorhanden sind.

Dieses Erfordernis molekularer und thermisch-energetischer Überlegungen begegnet sich mit der Tatsache, daß bei der Kerbwirkung eine Konzentration von Energien im Grunde des Kerbs festgestellt ist.

Die Kerbwirkung ist also, das geht aus diesen Überlegungen überzeugend hervor, eine derjenigen Wirkungen,

¹⁸⁾ A. A. GRIFFITH: Zur Theorie des Bruches. Internationaal Congres voor Technische Mechanica. Delft (Holland).

A. SMEKAL: Technische Festigkeit und molekulare Festigkeit. Naturwissenschaften 1922, S. 799.

K. WOLF: Zur Bruchtheorie von A. GRIFFITH. Zeitschr. f. angewandte Mathematik, Bd. 3, 1923, S. 107 ff.

welche — wohl in Verbindung mit anderen — die molekulare, einem Stoff tatsächlich eignende Festigkeit herabsetzt und bald diese, bald jene technische „Festigkeit“ vortäuscht.

2. Stoffe im Falle plastischer Reaktion.

Auch über den Einfluß von Kerben auf Stoffe, die bei der Beanspruchung plastisch reagieren, liegen wertvolle Beobachtungen vor.

Die Erfahrungen mit Steinsalzkristallen, die im trockenen Zustand sich spröde, benetzt jedoch plastisch verhalten, sind schon erwähnt.

Planmäßige Studien, die NÁDAI „Über die unter einer Belastung sich bildenden Gleitflächen der festen Körper“ in exakter Weise durchgeführt hat¹⁹⁾, bezeugen u. a., wie aus Abb. 16 a und b augenscheinlich hervorgeht, daß bei Versuchskörpern, die gelocht oder gekerbt sind, von diesen Schwächezonen Gleitflächen ausgehen.

Äußerst anschaulich sind auch die Abbildungen, die HARTMANN seinem grundlegenden Werk über „Fließfiguren“ (Gleitzonen) in beanspruchten Metallen beigegeben hat²⁰⁾.

Die einfachste Deutung dieser Erscheinung erscheint mir die, daß man sie als einen Sonderfall der als allgemein gültig angesehenen Tatsache hinstellt, daß wenn die Beanspruchung plastisch reagierender Materialien ein gewisses Maß überschreitet, das Material in erster Linie an der Einwirkungsstelle der größten Energien zum Gleiten kommt.

Besonders einleuchtend erscheint mir die schon von E. HEYN²¹⁾ getroffene Feststellung, daß „bei geschmeidigen Materialien, z. B. bei Bleiprobe... das Material seine Formänderung so herbeizuführen sucht, daß der Kerb in seinem Grunde stärker abrundet, die Kerbwirkung also vermindert wird“.

Im vorliegenden Falle ist die Einwirkungsstelle der Energien der Grund des Kerbs; dieser paßt sich dem Zwang der Energien schmiegsam an oder mit anderen Worten: der Kerbgrund stumpft ab, weitere Kerbwirkung vermindert.

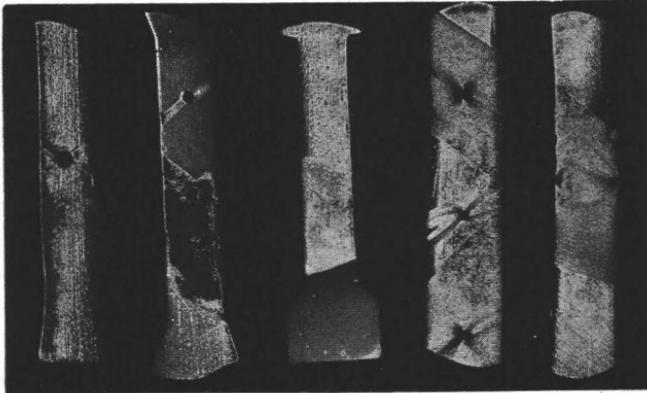
¹⁹⁾ A. NÁDAI: Über die unter einer Belastung sich bildenden Gleitflächen der festen Körper. Zeitschr. f. techn. Physik, 1924, S. 369, Abb. Tafel IX, Abb. 2 bis 6 und Tafel XI, Abb. 20.

²⁰⁾ E. HARTMANN: Distribution des Déformations dans les Métaux soumis à des Efforts. BERGER-LEVRAULT & CIE, Libraires-éditeurs, Paris-Nancy 1896.

²¹⁾ E. HEYN: Handbuch der Materialienkunde Bd. 2 A, Berlin 1913.

Es ruft also das Wegfließen an der Stelle der stärksten Energieanhäufung einen weitgehenden Ausgleich der Spannungen hervor.

Schließlich ist durch planmäßige Versuche an Metallen (eisernen Stäben und Klötzen) erwiesen, daß Ein-



a Verl. Joh. Ambr. Barth, Leipzig

Abb. 16a. Fließfiguren auf gelochten und gekerbten Zugstäben aus Eisen.



b

Verl. Joh. Ambr. Barth,
Leipzig

Abb. 16b. Wirkung eines zufälligen Bläschens in der Oberflächenschicht eines gedrückten Paraffinprismas.

kerbungen im Bereich des durch die Einkerbung verminderten Querschnitts des Materials eine Erhöhung des Widerstandes gegenüber Zug- (LUDWIK-SCHEU)²²⁾ wie auch

²²⁾ P. LUDWIK und R. SCHEU: Über Kerbwirkungen bei Flußeisen. Stahl und Eisen, Bd. 43. 1923, S. 999/1001.

gegenüber Druckbeanspruchung (SACHS)²³⁾, und zwar unter begleitenden Wirkungen verschiedener Art herbeiführen, die gleichbedeutend mit einer Erschwerung der Fließbewegung sind.

C. Ergebnis.

Das Ergebnis dieser Betrachtungen ist folgendes:

1. Die Wirkung von Kerben, die in Stoffen verschiedener Art auftreten, spielt für ihr physikalisch-mechanisches Verhalten im Falle einer Beanspruchung eine bedeutende Rolle.

2. Die Kerbwirkung erfolgt in zwei Stadien; zunächst findet eine Konzentration der durch die Beanspruchung geweckten Energien im Grunde des Kerbs statt; sodann erfolgt, bei Erreichen einer gewissen Beanspruchung, eine Auslösung der angesammelten Energiemengen.

3. Die Konzentration von Spannungen im Kerbgrunde ist von der Art und Form des Kerbs abhängig; sie erfolgt am stärksten bei Kerben mit feinsten Spitze.

4. Die Auslösung der Spannungen vollzieht sich in verschiedener Weise, je nachdem das Material — unter den sonst vorliegenden [durch seine Beschaffenheit, durch Temperatur, Druck (Durchtränkung mit Flüssigkeiten bei Salz und Eis), Tempo des Vorgangs bedingten] spröden oder plastischen Umständen — auf die Beanspruchung hin reagiert.

5. Bei spröde reagierenden Materialien bewirkt die Auslösung der im Kerbgrunde konzentrierten Spannungen ein weiteres Aufreißen des Kerbs, das vorzeitig zu einem Bruch des Materials führen kann.

In diesem Falle bedeutet also die Auslösung der Kerbwirkung eine „Herabsetzung der Festigkeit“ des Materials.

6. Bei plastisch reagierenden Materialien verursachen die im Kerbgrunde konzentrierten Spannungen ein Fließen des Materials im Kerbgrunde. Dadurch entsteht, unter Abrundung des Kerbs, ein Ausgleich der Spannungen. Der Widerstand des Materials gegen Formänderung — in dem durch den Kerb geschwächten Querschnitt — ist infolge der Gegenwirkung der benachbarten Materialteilchen erhöht.

7. Die Kerbwirkung läßt sich dadurch abschwächen, daß dem Kerbgrund eine weniger spitze Form gegeben

²³⁾ G. SACHS: Über Kerbwirkungen beim Stauchversuch. Stahl und Eisen, Bd. 43. 1922, S. 1587.

wird. Sie läßt sich durch annähernde oder völlige Beseitigung des Kerbs (die auf mechanischem oder chemischem Wege erfolgt) zum großen Teil — vielleicht auch ganz — beseitigen.

8. Die Kerbwirkung hebt sich gewissermaßen selbst auf, wenn im zweiten Stadium der Wirkung durch Auslösung der Spannungen im Kerbgrunde spröde Stoffe zu zerbrechen oder plastische (unter Ausrundung des Kerbgrundes) zu fließen anfangen.

9. Ein „Kerb“ liegt meiner Auffassung nach nicht nur im Falle einer kerbartigen Unterbrechung der Homogenität eines Materials vor, sondern sinngemäß auch dann, wenn der sonst leere Raum mit einer die Homogenität störenden Masse ausgefüllt ist, also überhaupt bei Materialien, die aus verschiedenartigen Stoffen bestehen, längs der Grenzzone der verschiedenartigen Bestandteile.

III. Kerbwirkung in der Geologie, ermittelt durch Analogieschluß in Verbindung mit andern Kriterien.

1. Untersuchungs-Möglichkeiten.

Bedeutungsvolle Beispiele über Kerbwirkung bei Gesteinen und Mineralien und ihre Beseitigung sind oben schon angeführt. Ob die tektonische Zerstörung von Gebirgsmassen unter Mitwirkung von Kerben sich durch Experimente in einer den natürlichen Verhältnissen tatsächlich entsprechenden Weise nachahmen läßt, steht dahin. Bisher haben sich geologisch-tektonische Laboratoriumsversuche nur in wenigen Fällen als fruchtbringend erwiesen.

Denn bei den Apparaturen, welche bisher angewendet wurden, ließ sich die vielfach weitgehende Anpassung der natürlichen, geologischen „Apparatur“ an die Formung der beanspruchten Massen nicht erreichen; auch spielten sich alle Versuche im Vergleich mit den geologischen Zeitverhältnissen viel zu schnell ab.

Doch erscheint die Anwendung der in der Technik und durch wissenschaftliche Untersuchungen des Kerbproblems gewonnenen Erfahrungen auf geologische Verhältnisse durch Analogieschluß und durch Gegenüberstellung der verschiedenen Beschaffenheit, die die Ge-

steine und Gesteinszonen je nach der Art und dem Grade ihrer tektonischen Beanspruchung zeigen, möglich.

Denn die Beanspruchung geologischer Schichtenverbände und Gesteinsmassen unter tektonischen Einwirkungen unterscheidet sich nur der Größenordnung nach von den einer technischen Beanspruchung unterworfenen Körpern; sie muß sich nach den nämlichen physikalisch-mechanischen Gesetzmäßigkeiten vollziehen.

Bei manchen autotektonischen Ereignissen, die sich zur Zeit und verhältnismäßig schnell abspielen, und bei Störungen, die durch Eingriffe von Menschenhand hervorgerufen sind, vermag man das Arbeiten der Gebirgsmassen sogar unmittelbar zu verfolgen.

2. Kerbwirkung bei verschiedenen Gesteinsarten; ihre Beseitigung durch mechanische und chemische Einwirkung auf die Gesteins-Oberfläche.

a) Gletscherwirkung.

Die Oberfläche anstehender Gesteine und von Gesteinschutt, der am Rande von Gebirgen lagert, pflegt zahlreiche Sprünge und Risse zu enthalten; nur manche Kalksteinarten machen eine Ausnahme (s. Abschnitt III, 2, b). Man nimmt allgemein an, daß der Zerfall dieser Gesteine durch Einwirkung der Vegetation und der Atmosphärien stattfindet, welche von der Oberfläche über die Risse allmählich bis tief ins Innere der Gesteine vordringt („Verwitterung“).

Eiszeitliche Geschiebe, also Teile von Schuttmassen, welche bei dem Transport, den sie durch das Wandern eines Gletschers erlitten haben, von allen Seiten bestoßen, abgeschliffen und von ätzendem Eiswasser gespült worden sind, kennzeichnen sich durch eine Glättung der Oberfläche, die vielfach einer Politur gleichkommt. Bei schärfer eingeschnittenen Vertiefungen, die als letzte Reste ehemaliger Kerben erscheinen, fällt die Ausrundung im Grunde der Vertiefung und die offenbar chemisch, wie durch Aetzung beeinflusste Beschaffenheit der Oberfläche auf. Haarrisse vermag man auch mit dem Mikroskop nicht festzustellen.

Abbildung 17 zeigt das Geschiebe eines porphyrtigen Eruptivgesteins, das mir die erste Anregung gab, mich mit der Kerbwirkung in der Geologie zu beschäftigen.

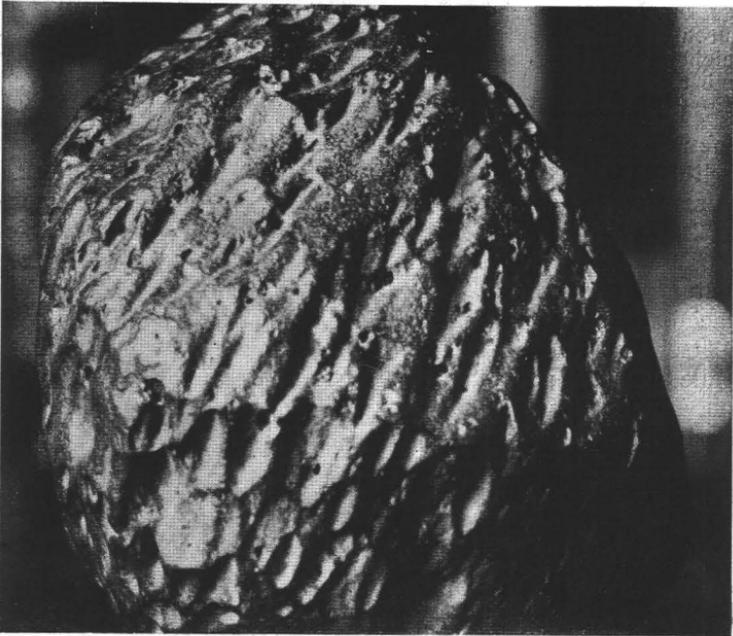


Abb. 17. Durch Gletscherschleifung gerundetes und poliertes porphyrtartiges Eruptivgestein.
Die Feldspat-Einsprenglinge sind ausgelaugt und die Höhlungen durch ätzendes Schmelzwasser ausgerundet.

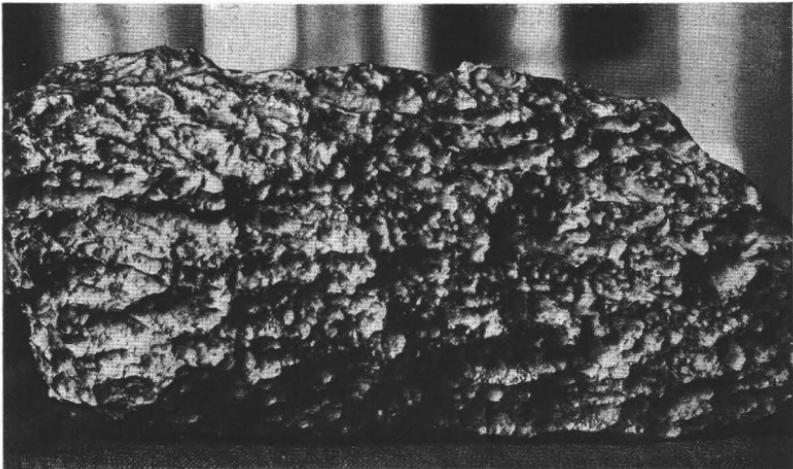


Abb. 18. Durch Flugsand polierte Lava mit narbiger Oberfläche (Windschliff). Südseite der Insel Vulkano. Sammlung d. T. H. Charlottenburg.

Die großen Narben, die man sieht, entstanden anscheinend durch Herauslösung und Ätzung der Feldspatkristalle; die zahlreichen kleinen Vertiefungen sind Ätzstellen in der Gesteinsmasse selbst.

Diese Geschiebe kennzeichnen sich gegenüber anderen Schuttmassen durch den frischen Erhaltungszustand. Die Politur, die Aetznarben und Gleitstriemen beweisen, daß dieser Schutt jetzt noch ebenso aussieht wie in dem Augenblick, als er beim Abtauen des Gletschers abgesetzt wurde.

Wahrscheinlich ist also der Unterschied, die der Erhaltungszustand ein und derselben Gesteinsart zeigt, je nachdem sie an Ort und Stelle liegen geblieben oder von Gletschern verarbeitet ist, dadurch bedingt, daß im einen Falle Kerben die Einwirkung von Atmosphärien bis tief ins Innere des Gesteins ermöglichen und daß außerdem Kerbwirkung als zersprengende Kraft hinzutritt, während im andern Falle, wo die Kerben beseitigt sind, diese Wirkungen ganz wegfallen.

Auf eine analoge, Kerben mechanisch und chemisch beseitigende Bearbeitung ist wohl auch die eigentümliche Beschaffenheit von Bachgeröll, Strandgeröll, von Konglomeraten, polierten Breccien in Störungszonen, Mahlsteinen in Gletschertöpfen und dergleichen zurückzuführen.

Abbildung 18 zeigt eine durch Flugsand polierte Lava („Windschliff“), deren ursprünglich zelliges Gefüge nun zu einer narbigen Oberfläche umgestaltet ist.

Auch der gute Erhaltungszustand abgeschliffener Schichten-Oberflächen dürfte auf die Beseitigung von Kerben, auf Politur und Ätzung derselben zurückzuführen sein.

In Steinkohlen-, Salz- und Erzbergwerken werden ferner Harnischzonen und „Blätter“ als standfeste Wände geschätzt, es sei denn, daß längs der Blätter Gebirgsbewegungen stattfinden. Unter anderm sind solche Blätter von mehreren 1000 m Länge und einigen 100 m Höhe in dem bekannten Erzbergwerk von Raibl aufgeschlossen²⁴⁾.

Auch Gleitbahnen von Gletschern pflegen jetzt noch in der ehemaligen Beschaffenheit erhalten zu sein, während sonst alte Gebirgsoberflächen, auch wenn sie durch Ueberlagerung von Schottermassen der unmittelbaren Einwirkung

²⁴⁾ M. KRAUS: Das staatliche Blei-, Zinkerz- Bergbauterrain bei Raibl in Kärnten; Berg- und Hüttenm. Jahrb. Bd. LXI, 1. u. 2. Heft. Wien 1913 enthält Abbildungen der bekannten „Blätter“, längs denen die reichen Erze des Raibler Blei-Zinkerzbergbaues auftreten, Abb. 10, 11 Abendblatt, Abb. 12 Aloisblatt.



Abb. 19. Gleitbahn eines Gletschers mit starker Politur, Gleitstriemen und Auskehlungen.

Verl. v. Chr. H. Tauchnitz, Leipzig.

der Atmosphärlinien entzogen scheinen, in der Regel stark verwittert sind.

Besucher der Schweizer Alpen können sich von der eindrucksvollen Erscheinung einer jetzt freigelegten Gletscherbahn, die Abb. 19 wiedergibt, im „Gletschergarten“ von Luzern^{24a)} leicht überzeugen.

b) Wasserwirkung — Karren, Höhlen.

Fließendes Wasser, insbesondere das chemisch reine, höchst lösefähige Schmelzwasser vermag bekanntlich in Kalk- oder Dolomitgesteinen mit einem geringen Tongehalt Rillen auszuwaschen und Unebenheiten zu glätten; bevorzugte Wege des Wassers pflegen vorhandene Schnitte in der Gesteinsmasse zu sein.

Diese Auswaschungen nennt man „Karren“; manche derartigen Gesteine werden als „Schratten“-Kalk bezeichnet. Größere verschrattete Gebiete nennt man „Karrenfelder“.

Für die Bildung von Karren und Karrenfeldern sind verschiedene Erklärungen gegeben worden, ohne daß bislang eine Übereinstimmung erzielt und das Eigentümliche der Erscheinung in jeder Beziehung befriedigend gedeutet worden wäre. Die Einen stellen die Wirkung von Gletschern und von Schmelzwässern, die Andern die Erosionswirkung von Gewässern in den Vordergrund; untergeordnet nur wird manchmal ein tektonischer Anlaß für die Entstehung von Karren erzeugenden Schnitten hervorgehoben.

Unter dem Gesichtspunkt des „Kerbs“ betrachtet, kommt man gerade bei manchen schwerer erklärbaren Karrenbildungen zu einer recht einfachen Deutung.

Einen bezeichnenden Eindruck eines von tektonisch entstandenen Schnitten kreuz und quer eingekerbten Stücks Kalkstein, das vom fließenden Wasser bearbeitet worden ist, gibt Abbildung 20.

Die Schnitte sind durch das Wasser zu Rinnsalen ausgearbeitet; auch die Kanten der dazwischen verbleibenden, durch diese abgegrenzten Gesteinstrümmen sind gerundet. Unwillkürlich wird man an die oben mitgeteilte Abbildung eines Metalls erinnert, dessen ursprünglich scharf hervortretende Erhöhungen und Einkerbungen durch Aetzung gerundet sind (Abschnitt B, 1, a, α Metalle. Abb. 10 a, b).

^{24a)} ALB. HEIM, Geologie der Schweiz, Leipzig 1919, Bd. I, Tafel IX.

Bei der Untersuchung von Karrenfeldern in den Nördlichen Kalkalpen gelingt es meist, eine tektonische Ursache für die Entstehung der Karren festzustellen, wofern es



Abb. 20. Kalkstück von Rissen kreuzweise durchzogen, die im Grunde ausgerundet sind (wie Karren); auch die Oberflächen-teile sind gerundet. (3 mal vergr.)

möglich ist, das Karrengebiet im Rahmen der größeren tektonischen Einheit, der es angehört, aufzunehmen. Diese Karren sind an sich von Rinnsalen, die nur durch Wasser-

wirkung entstanden sind, kaum zu unterscheiden. Sie kennzeichnen sich durch die glatten Wände der Schnittzonen und durch Ausrundung des Grundes und der Enden derselben.

Es sei hier jedoch die Mitteilung eigener Beobachtungen zurückgestellt, und nur auf das Material Bezug genommen, welches von dritter Seite unter andern Gesichtspunkten — also ohne Voreingenommenheit für die Erklärung mittels Kerbwirkung — gesammelt ist.

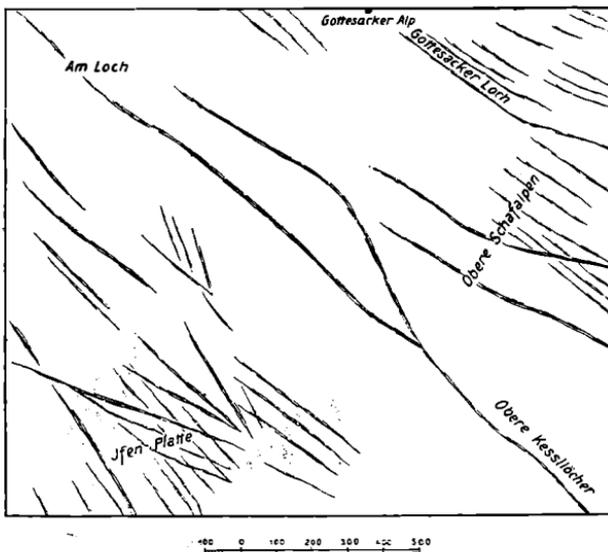


Abb. 21. Hauptsächliche tektonische Linien, denen die Karren folgen, im Karrenfeld des Gottesackerplateaus.
Herausgearbeitet von M. Eckert durch Aufnahmen des Karrenfeldes.

In der hervorragenden Darstellung, die ECKERT²⁵⁾ vom Gottesacker-Plateau, einem Karrenfeld im Allgäu^{25a)}, im Rahmen einer Studie zur Lösung des Karrenproblems gegeben hat, sind u. a. folgende anschaulichen bildlichen Darstellungen gegeben:

Die grundrißliche Darstellung des Gottesackerplateaus, die auf Grund einer Aufnahme des Gebiets erfolgte (Skizze derselben siehe Abb. 21) ergibt unzweifelhaft die tektonische Entstehung dieses Karrenfeldes.

²⁵⁾ M. ECKERT: Das Gottesackerplateau, ein Karrenfeld im Allgäu. Studie zur Lösung des Karrenproblems. Zeitschr. d. D. u. Österr. Alpenv. Wissensch. Erg.-Hefte, Bd. I, 3. H.

^{25a)} Nördliche Kalkalpen, Bayern.

Der Grundriß Abb. 22 gibt einen kleinen Ausschnitt aus einem System sich kreuzender Spalten, die sich schon auf verhältnismäßig kurze Erstreckung auskeilen, um an anderer Stelle fortzusetzen. Es ist dies insofern von Bedeutung, als eine Kerbwirkung nur an den Endigungen von Anschnittzonen und nicht bei völliger Zerteilung des Gesteinsmaterials entstehen kann.

Der Vertikalschnitt Abb. 23 zeigt verschiedene Stadien der Ausrundung einzelner Karren; bei manchen ist noch die feine Spitze im Grunde des Kerbs erhalten. Charakteristisch erscheint, daß die Schnitte als nicht durchgehend gezeichnet sind, obwohl sie als tektonisch entstanden geschildert werden.

Abb. 24 zeigt eine Ansicht, aus der in höchst anschaulicher Weise die tektonische Entstehung und die Herausbildung von Karren im Anschluß an tektonische Schnitte erläutert sind.

Diese Beobachtungen decken sich völlig mit meinen in anderen Karrenfeldern vorgenommenen Untersuchungen.

Aus dieser durch die Abbildungen belegten geologischen Situation geht bezüglich der Entstehung des Karrenfeldes im Kalkplateau des Gottesackers offensichtlich folgendes hervor:

Zunächst entsteht ein Netz tektonischer Schnitte. In diesen übt das Wasser, indem es bei Ausarbeitung der zerschnittenen Kalkmasse seinen Weg zunächst den Schnittzonen entlang nimmt, nicht vorwiegend die zerstörende Wirkung aus, die man seinen erosiven Eigenschaften zuschreibt; vielmehr wirkt es hier sozusagen heilend. Es rundet die klaffenden Schnitte seitlich, an den Enden und im Grunde so aus, daß Wannen entstehen. So erzeugt es aus dem tektonischen Schnitt den Karren und verwischt damit zugleich den Eindruck seiner tektonischen Entstehung.

Soweit also in diesen Gebieten eine Zerteilung der Gesteinsmassen, ausgehend von Kerben, erfolgt, wird die Kerbwirkung durch Ausarbeitung der Kerben zu Karren abgeschwächt, wenn nicht ganz behoben; und damit wird ein maßgebendes Moment der Zerstörung ausgeschaltet.

Findet trotzdem eine weitere scheinbar selbsttätige Zerteilung solcher Karrenfelder statt, so darf dies als ein Zeichen für besonders stark wirkende autotektonische Kräfte angesehen werden (Karstgebiete).

Haarrisse, die am Grunde von Karren etwa dann noch verbleiben, pflegen durch Ausfällung von Kalksubstanz, aus dem nunmehr mit dieser beladenen kohlenensäurehaltigen Wasser völlig auszuheilen.

Diese allgemein bekannte Erscheinung wird durch die Abbildung 25 erläutert, aus der man den überzeugenden Ein-

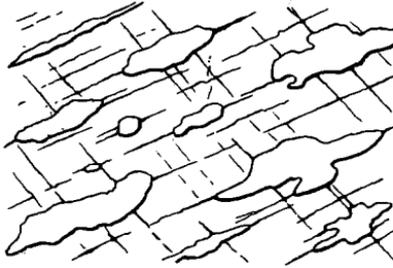


Abb. 22. Grundriß einiger kreuzweis angeordneter tektonischer Risse, die sich in der einen Richtung zu Karren ausrunden.
(Nach Eckert.)

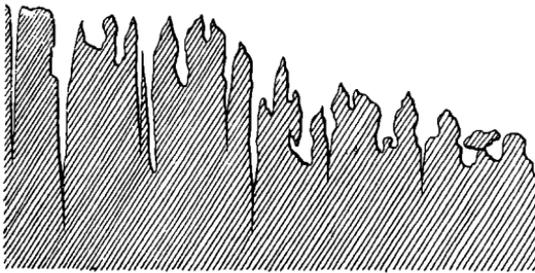


Abb. 23. Vertikalschnitt durch mehrere hintereinander auftretende Karren.

Einige der tektonischen Schnitte sind noch nicht zu Karren ausgerundet, sie laufen spitz als Kerbe aus. (Nach Eckert.)

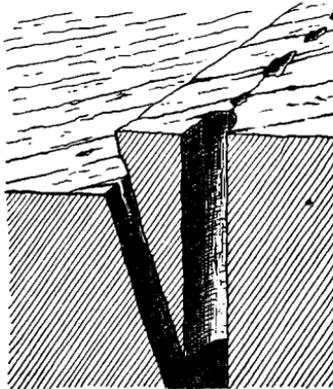
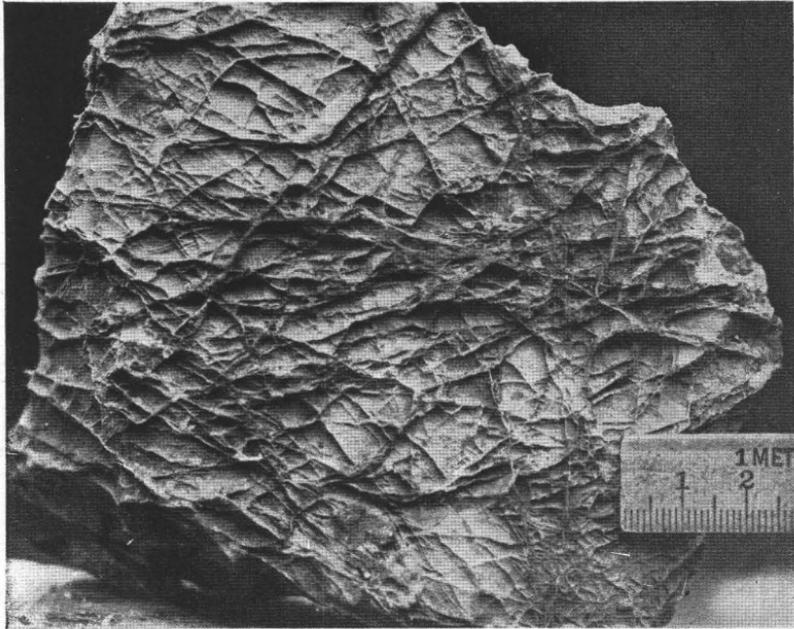


Abb. 24. Keilförmig längs einer Verwerfung abgespaltenes Gesteinsstück mit eben beginnender Karrenbildung.

(Nach Eckert)

druck gewinnt, daß die Trümmereigenschaft des ursprünglich bis ins Kleinste zertrümmerten Gesteins nunmehr völlig aufgehoben ist.

Da die Beseitigung von Kerben erfahrungsgemäß eine „Erhöhung der Festigkeit“ der beanspruchten Materie zur Folge hat, so erklärt sich nunmehr auch die dem Bergsteiger bekannte Eigenheit, daß die Kalkmassen der Karrenfelder eine größere Widerstandsfähigkeit besitzen und eine bessere



Phot. König, Hallstatt.

Abb. 25. Zertrümmerter Kalkstein; Risse mit Kalkmasse ausgefüllt, die — härter als der Kalkstein — als Rippen hervortreten.

Stütze bieten als Kalkmassen, die von tektonischen, nicht zu Karren ausgebildeten Schnitten durchsetzt sind.

Einer Betrachtung unter den gleichen Gesichtspunkten wären Höhlenbildungen im Kalkgebirge wert, deren auffällige Bergfestigkeit bisher nicht erklärt ist, und deren Stabilitätsverhältnisse man bisher vornehmlich unter dem Gesichtspunkt von Gewölben und Spitzbogen zu betrachten pflegte. Die meisten durch Höhlenforscher aufgenommenen

Höhlen haben, auch wenn der sie erzeugende Wasserlauf tektonischen Schnitten folgt, jetzt gerundete und geglättete, z. T. durch Sinterbildung überkleidete Wandungen²⁶⁾.

3. Kerbwirkung bei zelligen Gesteinen und in Trümmerzonen; ihre Beseitigung durch Kompression, durch Einpressung oder Ausfällung von Mineralsubstanz.

Nimmt man Kerbwirkung an, so erklärt sich das vielfach beobachtete unterschiedliche Verhalten zelliger gegenüber dichten Gesteinen und von Trümmerzonen mit loser Lagerung der Breccien-Masse gegenüber verfestigten Trümmernmassen.

Zellige Gesteinsbildungen gibt es in verschiedenen Formationen. Am besten ist mit die als „Hauptanhydrit“ bezeichnete (über 40 m mächtige) Anhydritbank abgeschlossen, die im germanischen Zechsteinsalzlager (an der Grenze des Älteren und Jüngeren Steinsalzes) das Ältere Kaliflöz überlagert²⁷⁾. Dieser Anhydrit ist unter einfachen Lagerungsverhältnissen sehr zerklüftet und zerbrochen; er ist daher (vorwiegend im Staßfurter Gebiet) als Wasserbringer gefürchtet. Bergwerksstrecken lassen sich darin nur mittels starken Ausbaus offenhalten. Auch dann noch finden sichtlich Bewegungen und plötzlich Auslösungen von Spannungen, die oftmals zu Brüchen führen, statt.

Dasselbe Anhydritgestein tritt jedoch auch — manchmal in demselben Bergwerk — zu Tauchfalten geformt, auf. In diesen ist es völlig dicht und rißlos und kann ohne weiteres mit Grubenbauen durchfahren werden. Nur muß man, wenn man sich nicht der Gefahr von „Bergschlägen“ aussetzen will, es vermeiden, einen noch unter Falten-Spannung stehenden Falteanteil anzuschneiden. Das Anhydritgestein ist in diesem Falle, wie an anderer Stelle dargelegt ist²⁸⁾, aus dem zelligen Muttergestein dadurch entstanden, daß es durch den unter

²⁶⁾ Vergl. die Schriften des Verbandes für Höhlenkunde in Österreich.

²⁷⁾ E. SEIDL: Die Permische Salzlagerstätte im Graf Moltke-Schacht und in der Umgebung von Schönebeck a. d. Elbe; Beziehung zwischen Mechanismus der Gebirgsbildung und innerer Umformung der Salzlagerstätte; Archiv für Lagerstättenforschung, Heft 10, 1914, Tafel IX enthält eine bezeichnende Abbildung dieses Gesteins.

²⁸⁾ E. SEIDL: Beiträge zur Morphologie und Genesis der permischen Salzlagerstätten Mitteldeutschlands. Diese Zeitschr. Bd. 65, Jahrg. 1913, Abhandlg. Heft 1/2.

fast allseitigem Druck stattfindenden Faltungsvorgang komprimiert und sozusagen plastiziert wurde.

Das unterschiedliche Verhalten eines und desselben Gesteinsmaterials in beiden Fällen erklärt sich also zwanglos, wenn man als eine der mitwirkenden Kräfte Kerbwirkung berücksichtigt. In dem einen Falle wirken die Spalten und Klüfte wie Kerbe und führen zur Zerstörung des Gesteins; im andern ist durch Verdichtung des Gesteins die Kerbwirkung aufgehoben.

Analoge Verhältnisse liegen in Trümmerzonen vor, die durch Steinbrüche oder durch Bergbau aufgeschlossen sind. Es sind besonders in Marmor-Brüchen, soweit sie Breccienmassen betreffen und in Erzbergwerken Trümmerzonen zu beobachten, aus denen durch eine — meist unter allseitigem Druck — erfolgte Kompression der Trümmerstücke ein fast homogenes Gestein entstanden ist. Bergwerkstrecken und Tunnelbauten pflegen darin ohne Ausbau zu stehen, während sie in den — manchmal angrenzenden — Zonen mobiler Trümmerstücke selbst durch starken Ausbau meist nicht offengehalten werden können.

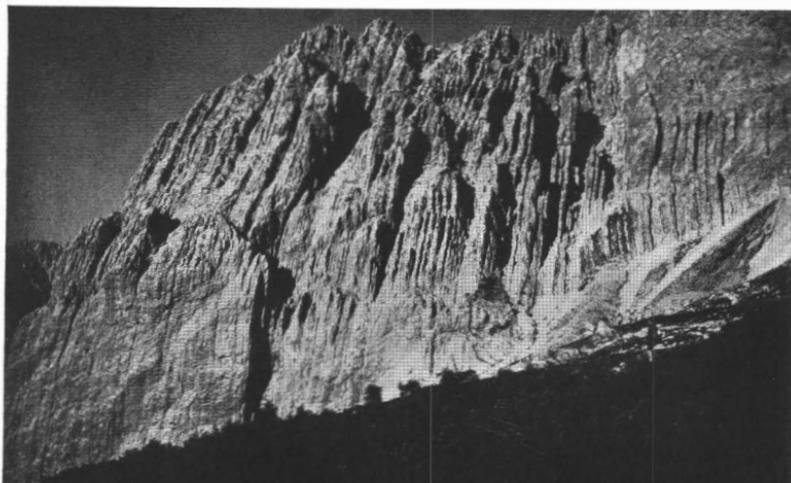
Mineralsubstanzen, die aus Lösungen ausgefällt werden, pflegen auch die kleinsten noch übrigbleibenden Hohlräume zu schließen.

Bei manchen „Salzstöcken“ im norddeutschen Zechsteinkaligebiet hat man die Grenzzone des den Salzkörper flankierenden Deckgebirges mit Grubenbauen aufgeschlossen und festgestellt, daß sie durch und durch zerspalten und zertrümmert ist. Doch sind sämtliche Spalten durch eingepreßte Salzmasse so fest verknetet, daß merkbare Bewegungen der Trümmer nicht stattfinden; daher standen die in dieser Zone angelegten Grubenbaue jahrelang ohne besondern Ausbau.

Sämtliche Grubenbaue der Salzbergwerke der Nördlichen Kalkalpen befinden sich seit Jahrhunderten in einem derartigen Trümmerhorizont. Durch Verknetung der großen und kleinen Breccien des Deckgebirges mit Salzmasse ist das „Haselgebirge“²⁹⁾, eine fast homogene Gesteinsmasse, entstanden, die — im trockenen Zustand — die Auf- fahrung und Erhaltung von Strecken ohne Ausbau gestattet.

²⁹⁾ Die von E. SEIDL Anfang 1926 erscheinenden Monographien über die durch Bergbau aufgeschlossenen Salzlagerstätten der Nördlichen Kalkalpen enthalten die eingehende Begründung der Auffassung, daß „Haselgebirge“ eine durch Salzmasse verkittete Breccie des Deckgebirges sei.

Auf dieselbe Weise ließe sich auch besser als auf Grund der bisherigen Deutungen die günstige Wirkung der „Torkretierung“ von Stollenwänden unmittelbar nach dem Auffahren erklären. Durch dichtes Zementieren all der Fugen, welche schon im Gestein vorhanden waren und derjenigen, welche sich durch die Sprengarbeit neu bildeten, werden die zerteilten Gesteinsstücke gehindert, sich so zu bewegen, daß eine Ansammlung besonders starker Spannungen im Grund der Kerben möglich ist.



Phot. A. Stockhammer, Hall.

Abb. 26. Starke Zerspleißung dünnplattiger, steilgestellter Kalksteinschichten längs der Schichtfugen.

Zunehmend vom Innern der Gebirgsmasse (rechts) nach außen (links). Das Endstück (links) s. Abb. 27. Wand am Lafatscherjoch, Karwendelgebirge.

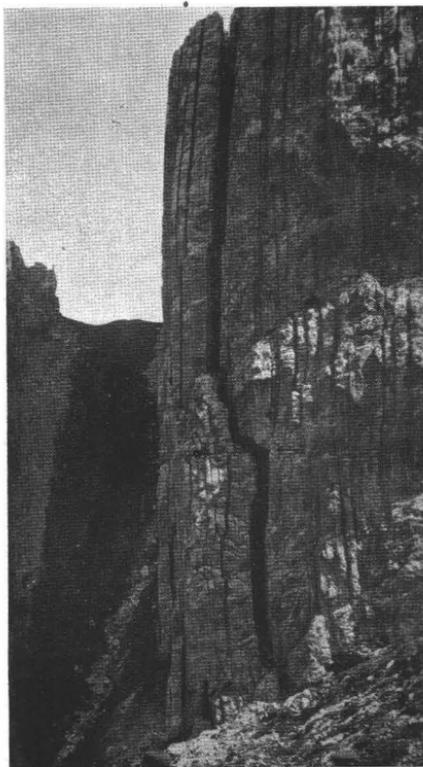
4. Kerbwirkung als Teilkraft tektonischer Erscheinungen insbesondere von autotektonischen Wirkungen in Salzstörungszone.

a) Tektonische Erscheinungen.

Inwieweit Kerbwirkung bei der Zerteilung von Gebirgsmassen durch großtektonische Vorgänge von Bedeutung gewesen ist, läßt sich jetzt kaum mehr feststellen.

Doch ist Bergsteigern, die z. B. in den Alpen dasselbe Gebiet wiederholt aufsuchen, das von Kerbspalten ausgehende Arbeiten verborgener Kräfte sicherlich schon aufgefallen. Es seien hier aus den bekannteren Gebieten nur zwei Beispiele angeführt.

Im Karwendelgebirge (Nördliche Kalkalpen) kann man, insbesondere an steilgestellten Wänden (z. B. Lafatscher Joch) die starke Zerspleissung dünnplattiger (Wetterstein-) Kalksteinschichten allenthalben sehen (Abb. 26). Infolge der Steilstellung der z. T. nur im labilen Gleichgewicht

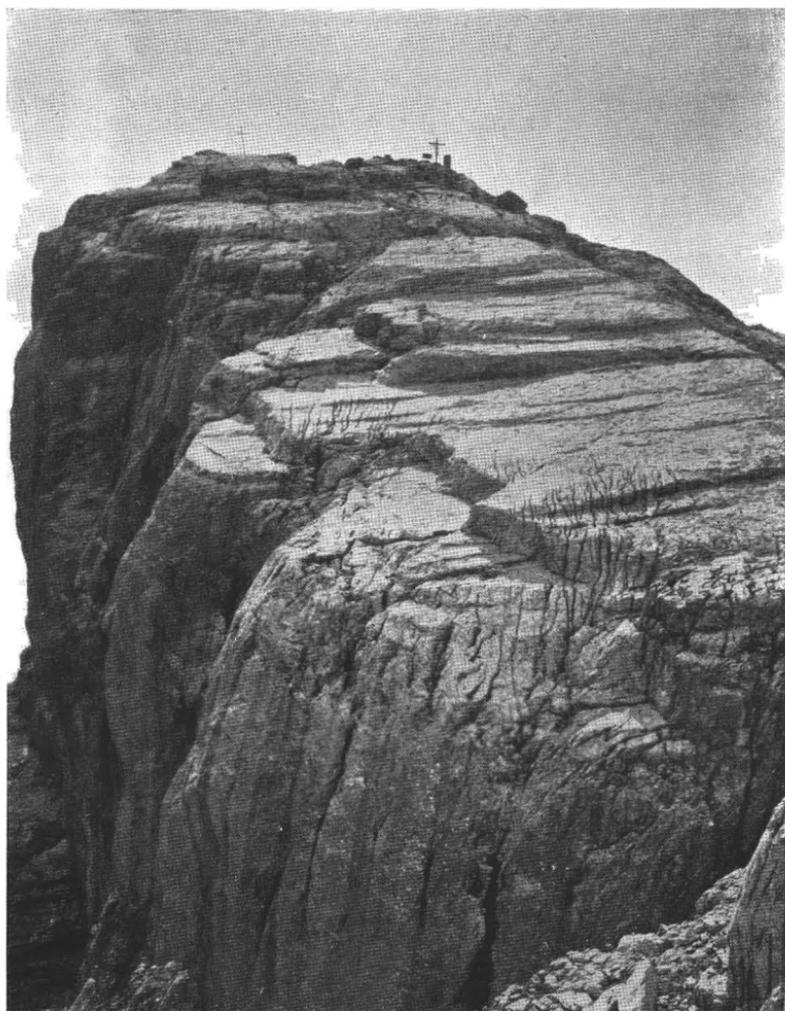


Phot. A. Stockhammer, Hall.

Abb. 27. Eine stark erweiterte Schichtfuge, die wahrscheinlich als spitzer Kerb endet.

Die abgetrennte Platte befindet sich wahrscheinlich im labilen Gleichgewicht. Am Lafatscherjoch, östlich Speck-Kar, Karwendelgebirge.

befindlichen Gesteinsplatten ergeben sich starke Hebelwirkungen, die für den Fall der kerbförmigen Gestaltung der Grenzonen aufgespleißter Schichten (Abb. 27) bedeutende Kerbwirkungen hervorrufen müssen. Die besonders starke Zerrüttung und der starke Steinfall, die sich in solchen Gebirgen auf Grund dieser und anderer Kraftwirkungen (Subrosion s. den folgenden Abschnitt) ergeben, ist bekannt.



Phot. Würthle & Sohn, Salzburg.

Abb. 28. Dickbankige Kalkschichten in flacher Lagerung; zerteilt durch Vertikal-Schnitte, die gegen das Innere der Gesteinsmasse (in der Abbildung von vorn gegen die Mitte zu) in Haarrisse übergehen.

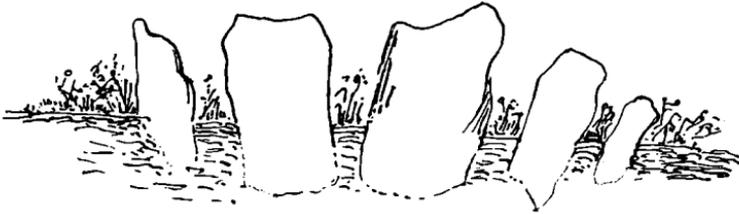
Watzmann-Hocheck

Aus Abbildung 28 ersieht man andererseits, wie in einem Gebirgstheil mit nur schwach geneigten dickbankigen Schichten (Hauptdolomit, Watzmann - Hocheck) vertikale von der Außenseite ins Berginnere vordringende Spalten sich mittels eines Gezweiges von Haarrissen fortarbeiten.

b) Autotektonische Erscheinungen.

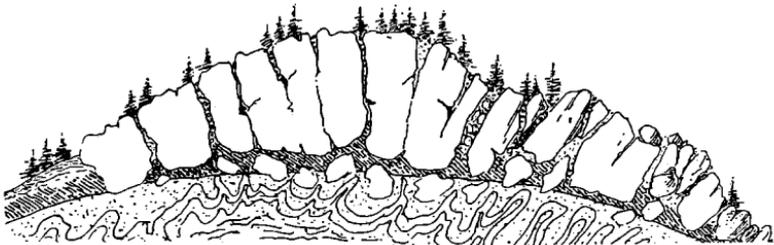
In Gebirgen, die sich zurzeit unter der Wirkung autotektonischer Vorgänge sichtlich zerteilen, insbesondere bei spröden Gesteinsmassen, welche auf einer beweglichen, relativ plastischen Unterlage ruhen, steht man oft unter dem lebhaften Eindruck, daß Kerbwirkung unter den zerrüttenden Kräften mit einer maßgebenden Rolle spielt.

Abbildung 29 erläutert den oft beobachtbaren Zerfall einer von dem benachbarten Gebirgsrand abgestürzten Kalk-



gez. Romed Plank

Abb. 29. Zerteilung eines auf sumpfigem Boden liegenden Kalkblocks unter Kerbwirkung.



gez. Romed Plank

Abb. 30. Zerteilung einer großen Kalkplatte, die auf den ein Salzlager bedeckenden Rückstandsbildungen liegt, unter Kerbwirkung.

Profil durch den Hahnrainberg (300×1200 m² Umfang) über dem durch Bergbau aufgeschlossenen Salzlager von Dürnberg (angrenzend an das Bergbaugebiet von Berchtesgaden).

platte, die auf sumpfigem Boden lagert. Man sieht, wie der Zerfall von vertikalen Spalten in der Weise fortschreitet, daß sich an der Peripherie Platten des Gesteins lösen.

Im großen ist Kerbwirkung am besten in Verbindung mit den von einer „Subrosion“ ausgehenden Kraftwirkungen in Salzstörungsgebieten nachweisbar. Durch Unterlaugung der Randzonen des Deckgebirges, die die in der Salzstörungszone aufgepreßten und mit leicht auflösbaren

Rückstandsbildungen (durch die diesen der feste Boden entzogen wird) bedeckten Salzmassen begrenzen, entstehen Spalten, die in unter hohen Spannungen stehenden Kerben endigen.

Das autotektonische Arbeiten läßt sich als solches zum Unterschied von den Zerstörungen und Zerspaltungen, die die ursprüngliche Großtektonik verursachte, am ehesten erkennen, wenn die die Salzmasse bedeckenden Schollentrümmer annähernd horizontal liegen. Daher sind unter den zahlreichen Salzstörungszonen hier nur Beispiele aus dem Salzkammergut und Berchtesgadener Land (Gebirgstteilen der Nördlichen Kalkalpen, die durch derartige Lagerungsverhältnisse ausgezeichnet sind) angeführt.

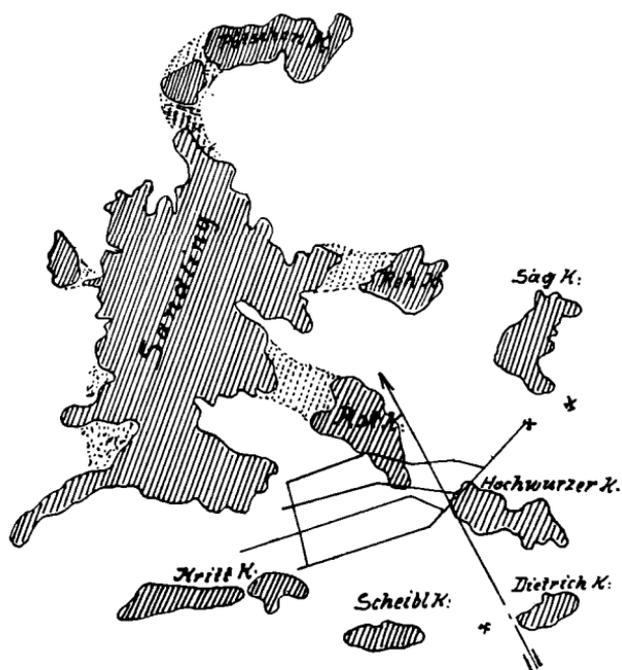
Man beobachtet dort allenthalben ganz die nämliche Zerteilung der in Salzmasse eingebetteten Schollentrümmer, wie sie oben im Kleinen geschildert wurde, mögen die Trümmerstücke nur wenige Meter messen oder einen Umfang von einigen hundert oder tausend Quadratmetern haben.

Abbildung 30 zeigt den Zerfall einer heute noch 600×1200 m² messenden Kalkmasse (Hahnrain), die auf der durch den Salzbergbau bei Dürnberg (östlich Berchtesgaden) erschlossenen Salzmasse lastet. Durch markscheiderische Aufnahmen unter- und übertage ist eine Zerteilung der ehemals plattenförmigen Kalkmasse durch meist vertikale Spalten, die sich z. T. unter kleinen Katastrophen vollzieht, und eine Abwanderung der abgespaltenen Schollenteile in der durch die Skizze gekennzeichneten Weise festgestellt.

Das durch die Grundrißskizze Abbildung 31 erläuterte Beispiel betrifft den „Sändling“, eine der rings von Salzmasse umgebenen Berginseln bei Aussee im Salzkammergut, deren Randgebiete durch Salzbergbau besonders gut aufgeschlossen sind³⁰⁾.

Die markscheiderische Aufnahme des Bergbaugesbiets und des Sändlings, sowie eine sich über mehrere Jahre erstreckende Beobachtung der ihn vertikal zerteilenden Störungszonen hat ergeben, daß die Schnitte, unter sichtlichem Arbeiten der Gebirgsmasse, das sich durch rieselndes Gestein und Frische des Gesteinsschutts kennzeichnet, von Jahr zu Jahr weiter nach dem Innern des Bergmassivs aufreißen. Auch bei dem seit Jahrhunderten längs des

³⁰⁾ Entnommen den Monographien E. Seidl laut Anm. 26.



Gez. Romed Plank

Abb. 31. Zerteilung einer großen in Salzmasse eingebetteten Gebirgsscholle unter Kerbwirkung.

Grundriß des Sandlings 5 (1000×2000 qm Umfang) bei Aussee im Salzkammergut: am S.O.-Rand das Salzbergbau-Gebiet, am S.W.-Rand (punktiert) Bergstürze in Einschnitten des Berges.

Innerer Kranz von Halbinseln, die allmählich abgespalten werden (Roter-Kogel, Reh-K., Pötschen-K.). Äußerer Kranz völlig abgetrennter Inseln (Sag-Kogel, Hochwurzer-K., Dietrich-K., Scheibl-K., Kritt-K.).

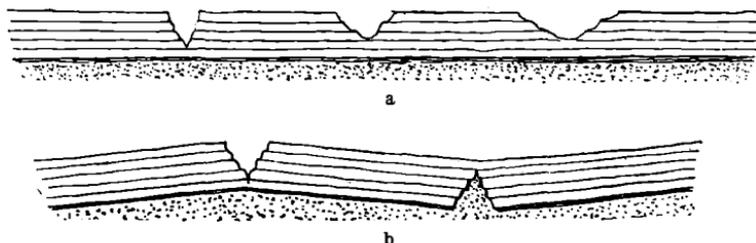


Abb. 32. a) Erosions-Kerbe. b) Tektonische Kerbe.

Sändlings (teils im Grunde solcher Kerben) geführten Salzbergbau, hat man hohe Spannungen der Gebirgsmassen und stete, dem Bergbau recht gefährliche Bewegungen festgestellt.

Besonders heftig arbeitet derzeit die S. W. Ecke, an der in größeren Zeitabständen (zuletzt im 16. Jahrhundert und im Jahre 1920) große Bergstürze niedergehen.

Auf diese Weise ist im Lauf der Zeit der Sändling durch Abspaltung seiner Randteile infolge von Subrosion in Verbindung mit Kerbwirkung immer kleiner geworden. Er ist jetzt von einem Kranz von halbinselförmig abgeteilten und von völlig losgelösten Teilstücken, die wie Inseln aus der sie rings umgebenden Salzmasse aufragen, umgeben.

Der Sändling seinerseits hat ehemals mit der benachbarten Großscholle, dem Toten Gebirge, zusammengehangen. Längs der Randzone dieser Gebirgsmasse sieht man jetzt wiederum andere Randteile, die, jetzt schon durch scharfe Einbuchtungen abgegrenzt, im Laufe der Zeit offensichtlich durch große, kerbartig wirkende Störungszonen abgetrennt werden.

Schließlich führe ich die Zerteilung der ehemals offenbar zusammenhängenden Kalkgebirgsmasse des Berchtesgadener Landes (Untersberg, Reiteralp, Lattengebirge) vornehmlich auf Subrosion in Verbindung mit Kerbwirkung zurück.

4. Anregungen.

Es sei schließlich — um weitere Untersuchungen, die aussichtsreich erscheinen, anzuregen — noch auf einige Erscheinungen hingewiesen, bei denen die durch Analogieschluß anzunehmende Kerbwirkung in einem Komplex anderer zum Teil in gleicher Richtung wirkender Erscheinungen auftritt.

a) Erosionskerbe.

Die durch Erosion entstandenen Einkerbungen in Schichtenfolgen (Abb. 32) müssen eine Kerbwirkung ausüben, und es ist auch in diesem Falle anzunehmen, daß der spitzeste Kerb der wirkungsvollste ist, während ein flacher oder ausgerundeter Kerb nur geringe Spannungen in seinem Grunde konzentriert enthalten kann.

Es wäre also in den Fällen, wo ein Streit darüber besteht, ob Täler tektonisch angelegte Erosionstäler sind oder nur durch Erosion entstanden sind, zu untersuchen, ob

vielleicht in letzterem Falle im Talgrunde tektonische Wirkungen — die auf Kerbwirkung zurückzuführen wären — feststellbar sind.

b) Schichtflächenkerben und Aufblätterungskerbten.

Die Auffassung von Schichtflächen, d. h. Flächen der Unterbrechung der Homogenität von Gesteinsmassen, als Kerbzonen wurde oben schon mitgeteilt (S. 21 u. S. 27).

Kerbwirkung tritt sicher ein, wenn längs der Schichtgrenzen Hohlräume entstanden sind, die mit scharfer Schneide enden.

Die Ansicht des Hohen Dachsteins (Abb. 33) zeigt als eins der vielen besonders in Kalkgebirgen beobachtbaren Beispiele eine kerbartige Herausarbeitung der Schichtgrenzen infolge von Verwitterung.

Bei flözförmigen Erz- oder Salzlagerstätten, z. B. im Werra-Fulda-Kali-Gebiet kann man ausgedehnte Aufblätterungszonen beobachten³¹⁾.

Diese müssen an ihren Endigungen wie Kerben wirken und zwar besonders stark mit Rücksicht auf die im Verhältnis zur Länge außerordentlich große Schmalheit der Kerbschneide.

Besonders starke Wirkungen müssen sich in den bekannten calottenförmigen Aufblätterungszonen von Tauchfalten ergeben, da in diesem Falle Faltungs-Spannungen und Kerbspennungen sich addieren.

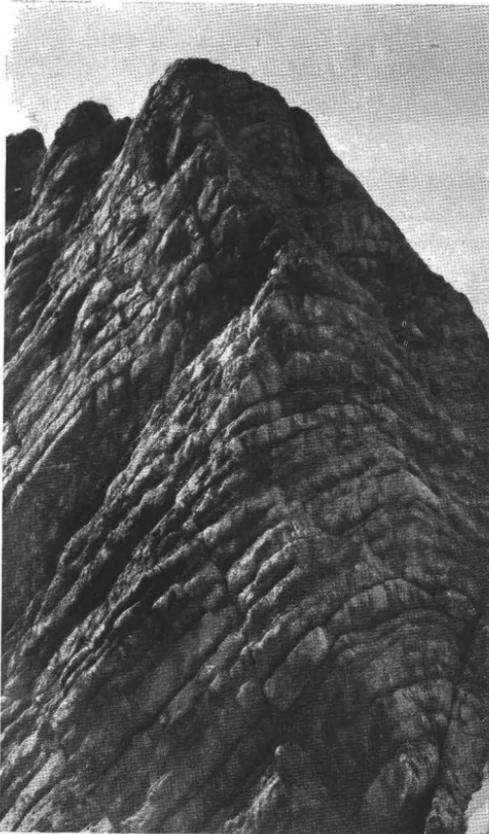
Die Erscheinungen wären auch mit Rücksicht darauf wert, genauer untersucht zu werden, daß in diesen Aufblätterungszonen besonders reiche Erze und edle Salze aufzutreten pflegen. Es liegt nahe, den konzentrierten elastischen Spannungen in Verbindung mit den dadurch beeinflussten elektrischen Spannungen gesteigerte chemische Wirkungen zuzuschreiben.

c) Kerbwirkung von Grubenbauen u. a.

Gewaltige Kraftwirkungen ergeben sich bekanntlich bei Eingriffen von Menschenhand in anstehende Gebirgsmassen. Bei Berücksichtigung von Kerbwirkung erscheinen diese, insbesondere Bergschläge, leichter erklärlich.

³¹⁾ E. SEIDL: Die geologischen Gesetzmäßigkeiten, welche im Hessisch-Thüringischen (Werra-Fulda) Gebiet für den Zechstein-Kalialzbergbau maßgebend sein müssen. Über Umformung verschieden plastischer Schichten durch Translokation und Dislokation in Verbindung mit „tektonisch-plastischer Differentiation“. Zeitschr. Kali 1923 zugleich Dissertation, Teschn. Hochsch. z. Braunschweig; Verl. W. Knapp, Halle 1923.

Jeder Tunnel, jeder Stollen und Schacht, der in eine selbst ideal homogen gedachte Gebirgsmasse getrieben



Phot. Wärthe u. Sohn, Salzburg

Abb. 33. Ausarbeitung der Schichtfugen stärker geneigter dünnbankiger Kalksteinschichten zu klaffenden Spalten, die wahrscheinlich spitz, als Kerben, enden.

Hoher Dachstein, von der Dachsteinwand aufgenommen.

wird, muß wie ein Kerb wirken.³²⁾ Eine in rechteckigem Querschnitt aufgefahrene Strecke (Abb. 34) muß dann natur-

³²⁾ F. WILLHEIM u. A. LEON: Über die Zerstörungen in tunnelartig gelochten Gesteinen. Österr. Wochenschr., öffentl. Bau-dienst, 1910.

F. WILLHEIM u. A. LEON: Über das elastische Gleichgewicht von zylindrischen Ringen und die Spannungsverteilung in einem gelochten Zugstabe von endlicher Breite. Zeitschr. f. math. Physik, 1915.

gemäß eine schärfere Wirkung haben als eine mit abgerundeten Ecken (in elliptischem oder kreisrundem Querschnitt) ausgeführte. Wenn mit einem solchen Stollen eine der zahllosen eine Gebirgsmasse durchschwärmenden tektonischen Kerben gerade an der Kerbspitze durchfahren wird (Abb. 35), so können durch Summierung dieser Spannung des Stollenkerbs selbst und der Kerbspannungen in der Spitze des tektonischen Schnitts Spannungen von solcher Konzentration eintreten, daß sie zu schlagartigen Gesteinszertrümmerungen führen.

Diese Ueberlegungen erscheinen von besönderer Bedeutung, wenn man sich vorstellt, daß der Bergmann und der Tunnelingenieur, der das Verhalten des Gebirges „vor Ort“ eines Stollens beobachtet, ja mitten im „Kerbgrund“ steht und die Kerbwirkung vor seinen Augen sich auslösen sieht — eine augenscheinliche Beobachtung mechanischer Wirkungen unter geologischen Verhältnissen — Wir-

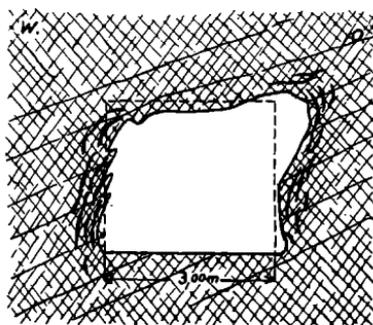


Abb. 34. Bergschlagstelle im Tauerntunnel. G. SCHMIDT: Untersuchungen über die Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel. Bern 1907 S. 39.

kungen also, bei denen man in der Technik und bei der Materialprüfung bis zu einem hohen Grade auf Schlußfolgerungen angewiesen ist.

Spannungszustände in geologischen Kerben könnte man — in unterirdischen Aufschlüssen — sehr wohl messen. Bei Tunnelbauten sind Berechnungen von Spannungen des Gebirges vor Ort auch wiederholt vorgenommen worden, ohne daß man dabei den Anteil der Kerbwirkung bisher berücksichtigt hätte.³³⁾

³³⁾ Z. B. E. v. WILLMANN: Über einige Gebirgsdruckerscheinungen in ihren Beziehungen zum Tunnelbau. Dissertation, Leipzig 1911.

d) Kerbwirkung und Großtektonik.

Tektonische Zonen, die die Erdhaut bis auf das Magma zerschneiden und in denen dieses aufgestiegen und erstarrt ist, gleichen plombierten Kerben. Ein weiteres Aufreißen, jedenfalls in der Längsrichtung, das eigentlich stattfinden und durch Kerbwirkung stark gefördert werden müßte, wird durch die Magmafällung erschwert.

Andererseits aber erscheint nach dem Bilde der auf Salzmasse schwimmenden großen Schollentrümmer vorstell-

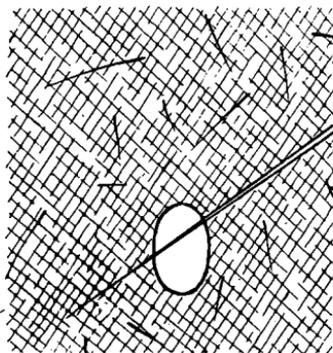


Abb. 35. Kerbspitze einer Spaltzone im Gebirge, die durch einen Stollen angeschnitten wird, der ebenfalls wie ein Kerb wirkt (Schema).

bar, welche bedeutende Rolle bei der Abspaltung von „Inselgürländern“ vom Rande der auf der plastischen Erdzone schwimmenden Kontinentalschollen³⁴⁾ auch Kerbwirkung gespielt haben muß.

IV. Ausblick.

Die Fortentwicklung der bisherigen Erfahrungen in Technik und Geologie und ihre wissenschaftliche Erklärung liegt wohl in erster Linie in zweierlei Richtung.

Einerseits erscheint der von GRIFITH gewiesene Weg, das Problem der Kerbwirkung bei spröden Stoffen unter dem Gesichtspunkt des Bruchproblems zu betrachten, aussichtsreich. Denn beide Probleme begegnen sich darin, daß ihr Wesen die Konzentration von Energiemengen ist,

³⁴⁾ A. WEGENER: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, 3. Aufl., Verl. Fr. Vieweg, Braunschweig, 1922. Die Wissenschaft, Bd. 66. 12 Kap.: Der Kontinentalrand S. 118ff.

die, im Verhältnis zur Beanspruchung des Materials, als übermäßig hoch erscheinen.

Andererseits erscheint die Erweiterung des Begriffs Kerb als unvermittelte Übergänge der unterschiedlichen Homogenität benachbarter Stoffteile und Kerbwirkung als Kraftwirkung von Inhomogenitätszonen von weittragender theoretischer und praktischer Bedeutung.

Diese Auffassung bietet insbesondere für die Geologie Anwendungsmöglichkeiten, welche mit den vorstehenden Ausführungen noch nicht einmal angedeutet sind. Es sei insbesondere an die Fälle erinnert, in welchen die Grenzflächen von Formationen zugleich Flächen tektonischer Bewegungen und chemischer Ausfällungen edler Mineralsubstanzen sind.

Sonderdruck

aus der „Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft“
Band 78, Jahrgang 1926, Monatsbericht Nr. 1/2.

.



Kerbwirkung in Technik und Wissenschaft; Kerbwirkung in der Geologie.

Von Herrn E. SEIDL in Berlin.

Herr OTTO AMPFERER, Wien, macht mich zu meiner Abhandlung „Kerbwirkung in Technik und Wissenschaft; Kerbwirkung in der Geologie“ (diese Zeitschr. Bd. 77, 1925, Abh. S. 300), darauf aufmerksam, daß er schon im Jahre 1916 den Begriff „Kerbwirkung“ in die Geologie eingeführt habe, und zwar in Anlehnung an die Experimente von A. LÉON, an denen er seinerzeit als geologischer Berater teilgenommen habe.

In der betreffenden Abhandlung „Vorläufiger Bericht über neue Untersuchungen der exotischen Gerölle und der Tektonik niederösterreichischer Gosauablagerungen“¹⁾ lautet die bezügliche Stelle:

„Die Wirkung der Pressung auf eine durch tiefe Einschnitte freigesägte Platte... tritt an der Hohen Wand hervor. Aber auch die Tafel des Geban zeigt diese als „Kerbwirkung“ zu bezeichnende Erscheinung...“

Ferner habe er im Jahre 1919 eine Arbeit „Über die Bedeutung von Kerben für den Verlauf tektonischer Gestaltungen“, Verh. der Geol. Reichsanstalt, 1919, Nr. 5, S. 133 ff., veröffentlicht. Seitdem sei dieses Erklärungsprinzip sowohl in der Tektonik als auch in der Geomorphologie von ihm in einer Reihe von Arbeiten²⁾ weiter verwendet worden.

Die betreffenden Arbeiten waren mir bei Abfassung meiner Abhandlung nicht bekannt. Auch bin ich bei Durchsicht geologischer Lehrbücher (z. B. JOSEF STINY: Technische

¹⁾ Sitz.-Ber. d. K. Akad. d. Wiss., Wien. Math.-nat. Kl., Abt. I, 125. Bd., Heft 3 bis 4, S. 225 ff.

²⁾ Insbesondere O. AMPFERER: Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen. Jahrb. d. Geol. Bundesanstalt, Bd. 73, 1923, Heft 1/2, S. 99 ff und Heft 1/2, S. 35 ff.

O. AMPFERER: Über einige Beziehungen zwischen Tektonik und Morphologie. Zeitschr. f. Geomorphologie, Bd. I, 1925, S. 83 ff.

Geologie 1922), in meinen zahlreichen Unterredungen mit Wissenschaftlern, und in Diskussionsbemerkungen zu meinen in Luzern³⁾ und Berlin⁴⁾ gehaltenen Vorträgen dem Begriff „Kerb und Kerbwirkung“ in der Geologie nicht begegnet. Auch in den in meiner Abhandlung zitierten Arbeiten von F. WILLHEIM und A. LÉON (1910 und 1915) sind Hinweise auf gemeinsame Arbeiten von Herrn LÉON mit Herrn AMPFERER nicht enthalten.

Nach eingehendem Studium der Arbeiten OTTO AMPFERERS habe ich den Eindruck, als ob darin das Hauptgewicht auf die Bedeutung der durch Einkerbungen bewirkten Verminderung des Querschnitts der beanspruchten Schichtenplatten gelegt sei.

Ich selbst habe dagegen betont, daß die Wirkung, die die Veränderung des Querschnitts auf den Spannungszustand und auf die Beanspruchbarkeit des Materials ausübt, bei meinen Untersuchungen völlig außer Betracht geblieben ist.

Die „Kerbwirkung“, auf die sich meine Untersuchungen erstrecken, betreffen vielmehr die weitere Veränderung des Spannungszustandes des Materials und seiner Widerstandsfähigkeit gegen Formänderung, die sich durch die spezielle Wirkung, die von dem Kerb als solchem ausgeht, ergibt. Das Wesentliche der von mir auf Grund der technischen Vorgänge als „Kerbwirkung“ angesehenen Erscheinung ist also die Konzentration von Spannungen im Grunde des Kerbs, deren Übertreibung die betreffenden technischen, bzw. geologischen Wirkungen hervorruft.

Abgesehen davon jedoch möchte ich ausdrücklich das Studium der Abhandlungen von OTTO AMPFERER empfehlen, da diese gerade Fälle behandeln, deren nähere Untersuchung ich in dem Abschnitt „Anregungen“ empfohlen habe, weil mir selbst für eine exakte Erfassung und Behandlung derselben es an ausreichendem Beobachtungsmaterial gebrach.

³⁾ Vortrag am 2. Oktober 1924. — Siehe Verhandlungen der Schweiz. Naturf. Ges. 105. Jahresversammlg. 1924 in Luzern, S. 155.

⁴⁾ Vortrag am 3. Juni 1925 in der Deutschen Geologischen Gesellschaft.
