

Zerkleinerung von Vorthail, indem die zu zerkleinernden Körper selten in ausgedehnteren Flächen, sondern meistens nur in einzelnen hervorragenden Punkten angegriffen werden.

Aus den wenigen vorstehenden Bemerkungen geht hervor, daß die zum Zerkleinern verschiedener Stoffe dienenden Maschinen und Werkzeuge ihrer Einrichtung und Wirksamkeit nach sehr verschieden sein müssen, und daß für die Auswahl der einen oder anderen Maschine zu einem bestimmten Zwecke vornehmlich die Beschaffenheit des zu zerkleinernden Materials maßgebend sein wird, indem dieselbe Maschine, welche beispielsweise für ein sprödes Material ausgezeichnete Dienste leistet, möglicherweise für einen zähen dehnbaren Körper ganz unbrauchbar ist. In dieser Hinsicht wird nur an der Hand der Erfahrung die geeignete Wahl zu treffen sein.

§. 2. **Zerkleinerungsarbeit.** Die Ermittlung der zu einer gewissen Zerkleinerung einer bestimmten Materialmenge erforderlichen mechanischen Arbeit ist nur in den seltensten Fällen auf dem Wege der Rechnung vorzunehmen. Die Vorgänge bei der Zerkleinerung sind so verwickelte, sowohl von der Beschaffenheit des zu zerkleinernden Stoffes, wie von der Art des Zerkleinerungsverfahrens abhängige, daß man sich zur Bestimmung der in einem vorliegenden Falle erforderlichen Arbeit vorzugsweise auf etwa vorliegende Erfahrungen wird stützen müssen. Leider sind entsprechende, der Erfahrung entnommene Angaben nur in verhältnißmäßig geringem Umfange zu finden, und in vielen Fällen ist die Brauchbarkeit der bekannt gewordenen Angaben eine sehr beschränkte, insofern meistens nicht angegeben ist und oft auch nicht genau angegeben werden kann, bis zu welchem Grade die Zerkleinerung vorgenommen wurde.

Daß die zur Zerkleinerung einer gewissen Menge eines bestimmten Stoffes erforderliche Arbeit wesentlich von dem Grade der Zerkleinerung, d. h. also von der Feinheit des erzielten Erzeugnisses abhängt, darf als selbstverständlich angesehen werden. In Bezug auf diese Abhängigkeit hat man bisher vielfach angenommen, daß die aufzuwendende Arbeit im geraden Verhältniß zu der Größe der Trennungsfläche stehe, welche bei der Zerkleinerung auftritt.

Dieses Gesetz, welches von v. Rittinger<sup>1)</sup> für die Zerkleinerung als maßgebend und u. A. auch von Fink<sup>2)</sup> als gültig angesehen wird, beruht also auf der Annahme, daß bei der Zerkleinerung irgend eines bestimmten Stoffes für jede Einheit der Trennungsfläche eine bestimmte mechanische Arbeit aufgewendet werden müsse.

1) Lehrbuch der Aufbereitungskunde von P. Ritter von Rittinger.

2) „Theorie der Walzwerke“ von Prof. Fink, Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, 1874, S. 200.

Es ist das Verdienst *Rick's*<sup>1)</sup>, durch umfangreiche Versuche nachgewiesen zu haben, daß dieses Gesetz nicht zutreffend ist, daß mit der Trennungsfläche zwar die Größe der die Trennung hervorrufenden Kraft proportional ist, die Arbeit aber, welche unter gleichen Umständen zur Zerkleinerung verschieden großer Mengen desselben Körpers erforderlich ist, mit dem Volumen oder Gewicht dieser Mengen im geraden Verhältniß steht. Das betreffende Gesetz drückt *Rick* folgendermaßen aus:

„Die Arbeitsgrößen, welche zu übereinstimmender Formänderung zweier geometrisch ähnlicher und materiell gleicher Körper erfordert werden, verhalten sich wie die Volumen oder Gewichte dieser Körper.“

Dieses Gesetz kann als eine Erweiterung der in Th. I bei der Betrachtung der absoluten Stoßfestigkeit gefundenen Beziehung angesehen werden, welcher zufolge die von verschiedenen Körpern aufgenommenen mechanischen Arbeiten bei gleicher Anspannung der Fasern mit den Volumen oder Gewichten dieser Körper im geraden Verhältnisse stehen. Dieses Verhalten wurde an gedachter Stelle nur für Beanspruchungen innerhalb der Elasticitätsgrenze als gültig erkannt; nach den Versuchen von *Rick* erstreckt sich die Gültigkeit auch über die Elasticitätsgrenze hinaus bis zum Bruche, wenn die ausgesprochene einschränkende Bedingung erfüllt ist, daß die in Vergleich gebrachten Körper geometrisch ähnlich sind und die Formänderungen übereinstimmend, d. h. mit geometrisch ähnlichen Werkzeugen und annähernd gleicher Geschwindigkeit vorgenommen werden.

Die Versuche *Rick's* ergaben u. A., daß die Arbeit, welche zum Zerschlagen eines auf fester Unterlage ruhenden Körpers durch einen fallenden Hammer ausgeübt werden muß, auch genau gleich derjenigen Arbeit ist, welche der fortgeschleuderte Körper in Form von lebendiger Kraft in sich enthalten muß, um bei dem Anprallen gegen eine feste Fläche zu zerschellen. Kennt man mit *Rick* diejenige Arbeit  $A$ , welche ein aus bestimmtem Stoffe und in bestimmter Form (Kugel) hergestellter Körper von dem Gewichte 1 kg zur Zertrümmerung gebraucht, den Bruchmodul dieses Körpers, so erfordert nach dem aufgestellten Gesetze ein geometrisch ähnlicher Körper gleichen Materials von dem Gewichte  $G$  kg, bei übereinstimmender Inangriffnahme zur Zertrümmerung die mechanische Arbeit:

$$A G \text{ Meterkilogramm.}$$

Man kann sich die Maßzahl  $A$  auch als diejenige Höhe in Metern denken, von welcher der Körper vom Gewichte gleich einem Kilogramm herabfallen muß, um beim Aufschlagen auf eine feste Platte zu zerschellen, diese Höhe nennt *Rick* die Bruchhöhe des Körpers. Aus dem angeführten Gesetze folgt, daß diese Bruchhöhe für alle geometrisch ähn-

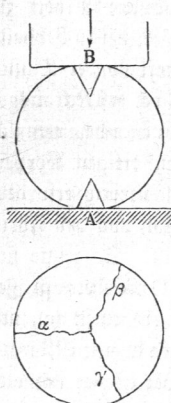
<sup>1)</sup> *Rick*, Gesetz der proportionalen Widerstände, 1885.

lichen Körper aus demselben Stoffe dieselbe ist. Wenn sich daher bei den Versuchen gezeigt hat, daß z. B. gußeiserne Kugeln von einem gewissen Durchmesser bei der einer Bruchhöhe  $A = 200$  m zugehörigen Fallgeschwindigkeit  $v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 200} = 62,6$  m zerschellten, so genügt diese Geschwindigkeit auch, um jede beliebig große gußeiserne Kugel in derselben Weise ebenfalls zu zerschellen.

Man erkennt die Wichtigkeit dieses Ergebnisses für den Fall, in dem es sich darum handelt, durch Versuche an kleinen Probestücken ein Urtheil über die zum Zerkleinern größerer Massen erforderliche Arbeit zu gewinnen.

Das vorstehend über die Bruchhöhe Angeführte ist auch geeignet, die Unzulässigkeit der oben erwähnten älteren Annahme zu erhärten, der zufolge

Fig. 1.



die aufzuwendende Arbeit proportional mit der Größe der Trennungsfläche sein soll. Nach den Versuchen Ric's zerbricht nämlich eine durch Schlag zertrümmerte Kugel regelmäßig in drei Stücke, nach Fig. 1, indem der Druck von den beiden Angriffsstellen A und B aus sich in das Innere der Kugel durch zwei sich bildende Druckkegel fortpflanzt, welche nach der Art von Keilen die Kugel aus einander sprengen, so daß dieselbe ziemlich regelmäßig nach den Flächen  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  zerbricht. Gesezt, es sei die Größe dieser Bruchflächen zusammen für eine Kugel von 1 cm Durchmesser zu  $F$  qcm bestimmt, und es möge  $h$  die Bruchhöhe sein, von welcher die Kugel herabfallen muß, um beim Aufschlagen zu bersten, so daß also die zur Zertrümmernng erforderliche Brucharbeit durch  $G h$  mkg dargestellt ist, wenn  $G$  das Gewicht der Kugel bedeutet.

Denkt man jetzt eine Kugel aus demselben Material von dem  $n$ fachen Durchmesser, also dem Gewichte  $n^3 G$  kg, so wird die Bruchfläche derselben gleich  $n^2 F$  sein, und es müßte daher jener Annahme zufolge zur Zertrümmernng dieser Kugel eine Arbeit von  $n^2 G h$  mkg erforderlich sein. Da nun aber das Eigengewicht dieser Kugel durch  $n^3 G$  kg

ausgedrückt ist, so genügte hierzu eine Fallhöhe von  $\frac{n^2 G h}{n^3 G} = \frac{h}{n}$  m.

Hiernach würde man zu dem ganz unwahrscheinlichen Ergebnisse gelangen, daß, wenn z. B. eine Gußeisenkugel von 1 cm Durchmesser bei einer Fallhöhe von 200 m zerschellt, die hierzu erforderliche Fallhöhe bei einem Durchmesser von 10 cm nur 20 m und bei einem Durchmesser von 1 m gar nur 2 m betragen dürfte, wenn die gedachte Annahme zutreffen sollte, wonach der Arbeitsaufwand im geraden Verhältnisse zur Bruchfläche steht.

Diese Annahme wird daher nicht zulässig sein, man wird vielmehr mit *Rick* voraussetzen müssen, daß der Arbeitsaufwand mit dem Gewichte oder Rauminhalte des zerkleinerten Körpers proportional ist, eine Unterstellung, welche sich übrigens auch, abgesehen von den Ergebnissen der *Rick'schen* Versuche, aus allgemeinen Betrachtungen als sehr wahrscheinlich ergibt. Bei jeder Zerkleinerung eines Körpers wird nämlich immer eine gewisse Kraft die Zerstörung des Zusammenhanges hervorrufen, sei dies nun eine Druckkraft bei dem Zerschlagen oder eine Zugkraft beim Zerreißen des Körpers. Diese Kraft wird, bis die Zerstörung erfolgt, auf einem gewissen Wege wirksam sein, welcher von der bis dahin stattgehabten Formänderung abhängt, also etwa der linearen Zusammendrückung oder Ausdehnung des Körpers entspricht. Sei der mittlere Werth dieser Kraft für einen gewissen Körper von bestimmten Abmessungen durch  $Pkg$  ausgedrückt, und bezeichne  $s$  den gedachten Weg, so kann man die erforderlich gewesene Arbeit zu  $Ps mkg$  annehmen. Für einen geometrisch ähnlichen Körper, dessen Dimensionen die  $n$ fachen sind, folgt dann eine mittlere Druckkraft von  $n^2 P$  und ein Weg derselben von  $ns$ , so daß hierfür die Arbeit durch  $n^3 Ps$  ausgedrückt ist, d. h. die in beiden Fällen aufzuwendenden Arbeiten verhalten sich wie die Rauminhalte  $1 : n^3$  oder wie die Gewichte der gleichartigen Körper.

Die Versuche haben übrigens ergeben, daß die zur Zerkleinerung erforderliche Arbeit wesentlich von der Art des Angriffs, namentlich von der Form des Körpers und des angreifenden Werkzeuges abhängig ist. So zeigte sich z. B. bei dem Zerschlagen von Kugeln, daß die erforderliche Arbeit viel größer ausfiel, sobald der aufschlagende Hammer anstatt mit einer ebenen Bahn, mit einer geringen Vertiefung versehen war, so daß die Kugel nicht in einem Punkte, sondern in einer gewissen Kreisfläche getroffen wurde. Man kann sich dies etwa dadurch erklären, daß die Druckkegel in Fig. 1 in Folge der gedachten Angriffsweise stumpfer ausfallen und daher weniger leicht ein Zersprengen der Kugel bewirken. Es ist hieraus ersichtlich, wie wichtig es ist, die Werkzeuge der durch Stoß oder Druck zerkleinernden Maschinen, z. B. die Backen der Steinbrecher und die Schuhe von Erzstampfern, aus möglichst hartem Material herzustellen, weil sich bei weicherem Material leicht durch die Wirkung selbst geringe Vertiefungen herstellen, welche eine unnöthige Vergrößerung der Arbeit veranlassen, ganz abgesehen davon, daß natürlich auch die Abnutzung dieser Werkzeuge um so größer ausfällt, je weicher das Material ist, aus welchem sie gefertigt wurden.

Würde anstatt einer Kugel ein Würfel durch den Schlag auf eine Seitenfläche zerschlagen, so ergab sich der Bruchmodul des Gußeisens gegen 40 mal so groß, wie der für Kugeln gefundene, ein Beweis dafür, daß die Form der zu zerkleinernden Körper für die zum Zerdrücken derselben erforderliche Arbeit von ganz erheblichem Einflusse ist.