

Denken wir uns ein Medium in beliebig strömender Bewegung derart, daß das Geschwindigkeitsgefälle örtlich variiert! Sobald an irgendeiner Stelle das Geschwindigkeitsgefälle den kritischen Wert übersteigt, wird dieser Bereich dynamisch viskoser als seine Umgebung. In krasser Übertreibung verhält er sich also so, als ob er fest wäre und an ihm Kräftepaare wirken. Er kommt dort in Rotation, die Wirbelung tritt ein.

Wir können den Vorgang noch in einer anderen Weise allgemein formulieren: Im Gültigkeitsbereich der Theorie der Thermodynamik der irreversiblen Prozesse besteht das allgemeine Gesetz, daß im stationären Zustand jeder dissipative Vorgang so abläuft, daß die Entropieerzeugung ein Minimum wird.

Bei laminarer Strömung ist die dissipierte Energie pro Volumeneinheit dV gegeben durch $dE = \eta \frac{dv}{dx} \cdot dV$.

Übersteigt nun das Geschwindigkeitsgefälle an irgendeiner Stelle den kritischen Wert, mit dem η nicht-linear wird, ansteigt, so wird es für die Energiedissipation (Entropieerzeugung) günstiger, wenn sich einander zugeordnete Wirbelpaare ausbilden, die Bereiche in Drehung kommen, wie es in Abb. 1 skizziert ist.

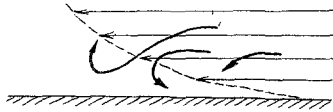


Abb. 1. Im Bereich des größten Geschwindigkeitsfalles, hier am Rande, wird dieses durch Wirbelbildung abgebaut

Zwar bedeutet die Wirbelbildung das Hinzukommen einer neuen Art Entropieerzeugung, die aber schließlich offensichtlich geringer ist als die bei Aufrechterhaltung der entsprechenden laminaren Strömung unter Berücksichtigung der Viskositäts-erhöhung durch dynamische Verfestigung: Die Wirbelbewegung erlaubt bei gleicher strömender Menge, mit kleineren relativen Geschwindigkeitsgefällen und damit geringerer durch eigentliche Reibung dissipierter Energie auszukommen.

Wenn es zunächst auch so scheint, als ob damit ein für nur sehr kleine Abweichungen vom thermodynamischen Gleichgewicht bewiesenes Grenzgesetz (Prinzip der minimalen Entropieerzeugung) in allgemeinerer Weise extrapoliert wird, so steht diese Betrachtung in Übereinstimmung mit Rechnungen, in denen gezeigt wird, daß unterhalb der kritischen Geschwindigkeit die laminare gegenüber der dorthin extrapolierten

turbulenten, oberhalb dieser die turbulente Strömung gegenüber einer extrapolierten laminaren die größere Entropie (hier nicht Entropieerzeugung) besitzt (4).

Eine Theorie der Turbulenzentstehung muß sehr allgemein sein, sie muß für alle fluiden Zustände der Materie gelten, d. h. auch für Gase, sie muß die hydrodynamischen Ähnlichkeitsgesetze verstehen lassen und die Theorie der Turbulenzentstehung nach der Prandtl'schen Grenzschichtablösung einschließen. An anderer Stelle (1) wird gezeigt, daß die Maxwell'sche Beziehung auch für Gase ihren Sinn behält und damit für größere Geschwindigkeitsgefälle gleiche Betrachtungen folgen. Auch die Ähnlichkeitsgesetze bleiben bestehen. Über die Größe und den Charakter der auftretenden Wirbel legt die Theorie nichts fest, nicht die Größe, die Häufigkeit, nur das paarweise Auftreten. Sie enthält ferner Möglichkeiten, die Unschärfe des Umklappens und die Variation der kritischen Reynoldsschen Zahl mit äußeren Bedingungen zu verstehen (Wandrauhtigkeit und Stromlinienform). Sie widerspricht nirgends den bisher vorliegenden Erfahrungen der Hydrodynamik. Sie scheint darüber hinaus auch eine erste Erklärungsmöglichkeit für das Auftreten von Tromben zu geben.

Ein in den Geschwindigkeiten nicht lineares mathematisches Modell wurde mit gewissem Erfolg in anderer Weise schon von J. M. Burgers versucht. (2). Die hier mitgeteilten Betrachtungen, die an anderer Stelle näher ausgeführt werden sollen, stellen nicht allein ein mathematisches Modell dar, sie beruhen auf sehr allgemeinen physikalischen Vorstellungen über das rheologische Verhalten der Materie. Sie besagen, daß man das Phänomen der Turbulenz offensichtlich dann verstehen kann, wenn man die hydrodynamischen Bewegungsgleichungen mit Viskositätsgliedern ergänzt, in denen der Viskositätskoeffizient abhängig vom Strömungsgefälle ist.

Anmerkung: Es sei betont, daß das hier gegebene Bild auch nicht mit der Umstätterschen Theorie (3) identisch ist, da diese von Anlaufvorgängen ausgeht und auf der Einführung von Zeittransformationen beruht.

Literatur

- 1) F. H. Müller, Z. Elektrochemie, demnächst.
- 2) A. Sommerfeld, Mechanik der deformierbaren Medien (Leipzig 1949) S. 271 ff.
- 3) H. Umstätter, Strukturmechanik (Dresden 1948).
- 4) W. Meissner u. G. U. Schubert, Ann. Phys. (6) **3**, 163 (1948); E. Maurer, Zs. f. Phys. **126**, 522 (1949).

Berichtigung

Die Solubilisation von Polyvinylazetat

Von Naoyasu Sata und Shuji Saito, Osaka (Japan)

(Kolloid-Z. 128, 154; 1952)

In der genannten Arbeit muß im Titel statt Suomi-Forschungsinstitut stehen: Siomi-Forschungsinstitut und statt Naoya Sata: Naoyasu Sata.

Auf Seite 157, rechte Spalte, 5. Zeile von unten muß es heißen: $c_p = 0,01\%$ (statt $c_p = 0,001\%$);

Auf Seite 158, linke Spalte, 15. Zeile von unten muß stehen: Cosolvency-Erscheinung (11, 12, 13) (statt: Cosolvency-Erscheinung (13)).