Der Auftrieb eines eingetauchten Körpers, mit Hinweisen auf die Verhältnisse beim Gehirn[1]

Ernst-August Müller

Rudolf Steiner macht in vielen Vorträgen darauf aufmerksam, daß das Gehirn, das beim erwachsenen Menschen ca. 1400 Gramm wiegt, infolge des Auftriebs im Gehirnwasser einen großen Teil seines Gewichts verliert und nur ein Rest von ca. 50 Gramm übrig bleibt. Dieser Auftrieb, den das Gehirn erfährt, d.h. diese fast völlige Aufhebung der Schwerkraft, hängt nach *Steiner* eng damit zusammen, daß das Gehirn als Werkzeug unserer Intelligenz und überhaupt eines Teils unseres Seelenlebens dient (*Steiner* 1919): Durch das Aufheben der Schwere kann das Licht des Bewußtseins entzündet werden.

Das genannte Auftriebsphänomen hat mich bewogen, die physikalischen Verhältnisse beim Eintauchen eines festen Körpers in Wasser näher zu betrachten. (Die medizinischen Zusammenhänge hat *G. Husemann* (1998) dargestellt.) Da mir ein *starrer* Körper angesichts der inneren Verformbarkeit aller Körper, insbesondere auch des Gehirns, untauglich erschien, habe ich *Elastizität* zugrundegelegt und folgende Fragen behandelt: Verliert ein solcher Körper in jedem Fall so viel an Gewicht, wie das von ihm verdrängte Wasser wiegt (Archimedisches Prinzip)? Wie sind seine inneren Spannungsverhältnisse? Wie verändern die Formkräfte seines eigenen Gewichts und die des umgebenden Wassers seine Gestalt? Welche Unterschiede bestehen beim Eintauchen eines Körpers, dessen Dichte nur wenig größer ist als die des Wassers, wenn das vom Auftrieb übrig gelassene Restgewicht unten vom Boden oder oben durch eine Aufhängung aufgefangen wird? Die Beantwortung dieser Fragen soll es ermöglichen, mit den Formänderungen und den inneren Kraftstrukturen eines festen Körpers besser vertraut zu werden und so das Feste von innen her besser zu verstehen. Auch werden sich einige Hinweise für die Verhältnisse beim Gehirn ergeben.

Es ist klar, daß diese Fragen nicht allgemein beantwortet werden können. Ich nehme daher für das folgende einen sehr einfachen Körper als Beispiel und studiere an ihm die Tendenzen. Als Körper wähle ich einen festen, elastischen Zylinder mit kreisförmigem Querschnitt und tauche ihn mit senkrecht stehender Achse voll in das Wasser ein. Die Untersuchung erfolgt im wesentlichen mittels der Theorie der Elastomechanik; zum Teil schließe ich mich bei den Berechnungen an das Buch von *A. E. H. Love* (1927) an.

I. Berechnung

Um den genannten Vorgängen im einzelnen nachzugehen, betrachte ich einen elastischen Zylinder aus kompressiblem Material der Dichte ρ (g/cm^3). Die Höhe sei h (cm), der Radius R (cm). Er kann in ein Gefäß mit Wasser der Dichte ρ_W (g/cm^3)

---

1 Jochen Bockemühl in Dankbarkeit für die jahrzehntelange vertrauensvolle Zusammenarbeit zum 70. Geburtstag gewidmet.

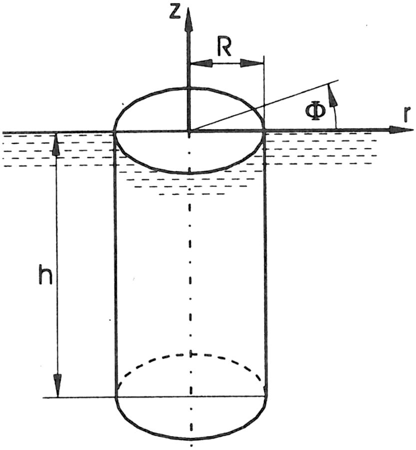

Bild 1: Koordinatensystem. z=0: Wasseroberfläche, die mit der oberen Endfläche des Zylinders zusammenfällt

eingetaucht werden. Solange der Zylinder nicht geneigt ist, ist das Problem rotationssymmetrisch, d.h. keine der Variablen hängt vom Winkel ϕ ab (Bild 1). Die Verschiebung der Materieelemente, gerechnet vom unverformten Zustand aus, sei in r-Richtung mit u (cm), in z-Richtung mit w (cm) bezeichnet. Dann sind die Dehnungen ε in radialer, tangentialer und axialer Richtung [Dehnung = (Länge einer sehr kleinen Strecke in der betreffenden Richtung *nach* der Verformung minus Länge *vor* der Verformung), geteilt durch die Länge *vor* der Verformung], wenn man alle Verschiebungen als klein gegenüber dem Radius R und der Höhe h ansieht (lineare Theorie = Theorie 1. Ordnung):

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{\partial u}{\partial r} \\ \varepsilon_t &= \frac{u}{r} \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} \quad . \end{aligned} \tag{1}$$

Die Spannungen berechnen sich aus den Dehnungen wie folgt:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 2G\left\{\varepsilon_r + \frac{\mu}{1-2\mu}\theta\right\} \\ \sigma_t &= 2G\left\{\varepsilon_t + \frac{\mu}{1-2\mu}\theta\right\} \\ \sigma_z &= 2G\left\{\varepsilon_z + \frac{\mu}{1-2\mu}\theta\right\} \end{aligned} \tag{2}$$