

Habt ihr schon gewusst - 509 Turbulenzen

Unter Turbulenzen versteht man die ungeordnete Bewegung von Fluiden; das sind Medien, deren Teilchen gegeneinander beweglich sind – also Flüssigkeiten und Gase.

Turbulenzen findet man in unserer Atmosphäre – sie bestimmen unter anderem das Wettergeschehen in der Tropopause (Wetterzone der Atmosphäre), den Energietransport in der Sonne – vor allem auch auf ihrer Oberfläche oder die Milchverteilung in unserer Kaffeetasse beim Umrühren.

In der Ausgabe 14 2010/2011 der Beilage „TechMax“ der Max-Planck-Gesellschaft findet man folgenden Text über das Umrühren:

A: „Eine Kraft beschleunigt die Flüssigkeit. So bringt das anfängliche Umrühren mit dem Löffel oder das Aufsteigen des heißen Kaffees Bewegungsenergie (kinetische Energie) ins Fluid. Dem wirkt eine zweite Kraft entgegen – die Reibungskraft. Sei bremst die Bewegung wieder aus und verwandelt deren Energie letztlich in Wärme.“

B: „... wie wir am Kaffee beobachten, bleibt der große Wirbel nach dem Umrühren nicht stabil. Er zerfällt schnell in kleinere Wirbel. ... Erst für die kleinsten Wirbel wird die Reibung riesengroß ... Es ist schlussendlich die Reibung zwischen den Molekülen, die die Bewegungsenergie in Wärmeenergie umwandelt. E

C: „... je schneller ein Fluid an einer Stelle strömt, etwa in einem Wirbel, desto stärker sinkt dort der Druck. Je höher der Druck ist, desto mehr Energie speichert das Fluid in sich. Das Fluid verhält sich wie eine Feder. Entspannt es sich, dann verwandelt sich „potenzielle“ Speicherenergie in „kinetische“ Bewegungsenergie – und umgekehrt. Überall dort wo das Fluid schnell strömt, fällt somit der Druck im Vergleich zu den ruhigeren Stellen ab.

Arbeitsauftrag zu Turbulenzen

- Welche Ursachen führen zu einer Turbulenz?
- Den Begriff „Wärme“ kennen wir aus dem Alltag und dem Physikunterricht in verschiedenen Bedeutungen.

Im **Alltag** beschreiben die Menschen mit dem Begriff „Wärme“ meist die physikalische Größe, die in der Physik „Entropie“ genannt wird.

In der **Hochschulphysik** ist die Wärme eine sogenannte Prozessgröße. Sie tritt immer nur dann auf, wenn Energie unter bestimmten Bedingungen durch eine Systemgrenze geht. Von „Wärme“ spricht immer nur dann, wenn eine bestimmte Menge an Energie (dort ΔQ bezeichnet) aus einem System A (das auf einer höheren Temperatur liegt) durch die Systemgrenze zu einem System B geht (das auf einer tieferen Temperatur liegt) UND wenn das zusammen mit der Entropie ΔS erfolgt. So grotesk das klingen mag: Die Wärme im Sinne der Hochschulphysik kann in ein System zusammen mit Entropie eintreten, ist dann aber in dem System nicht mehr vorhanden – die „übergetretene“ Wärme führt in dem System dann zu einer Erhöhung der sogenannten „inneren Energie“.

Welcher Teil des Textes in A ist sowohl Umgangssprachlich als auch mit Blick auf die exakte Hochschuldefinition des Wortes „Wärme“ falsch. Formulieren Sie diesen Satzteil exakt.

- Welcher Teil im Text B ist aus physikalischer Sicht falsch formuliert. Wie könnte man es fachsystematisch korrekt ausdrücken?
- Welche Formel beschreibt den Zusammenhang, der im Textteil C verbal formuliert ist?

... Reynoldssche Zahl

Naheliegender sind folgende Frage, mit denen man im Unterricht rechnen muss:

- Warum können viele der Insekten fliegen?
- Warum kann eine Ameise aus einem Hochhaus fallen, ohne dass ihr etwas passiert?
- Warum kann sich der Staub in der Luft halten und fällt nicht zu Boden?
- Warum sehen Papierflieger ganz anders aus als „richtige Flieger“?
- Warum verhalten sich Modellflieger anders als „richtige Flieger“?

Es liegt auf der Hand, dass die Luft für eine Biene „dichter“ erscheint als für einen Menschen. Vermutlich fühlt sich eine Biene in der Luft, wie wenn ein Mensch in Honig schwimmt. Je kleiner das Objekt im Vergleich zur „Teilchengröße“ der Umgebung, umso „zäher“ wirkt diese Umgebung auf das Objekt. Luft, Wasser, Honig haben ganz unterschiedliche „Zähigkeiten“.

Die so genannt Reynoldssche Zahl beschreibt genau diesen Zusammenhang. Diese Reynoldssche Zahl berechnet sich nach folgender Formel:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\eta}$$

ρ - Luftdichte in kg/m^3 ,
 η - dynamische Viskosität (dyn. Zähigkeit) in kg/s/m
 L - charakteristische Länge in m
 v - charakteristische Geschwindigkeit in m/s

Für verschiedene Objekte ergeben sich im Vergleich folgende Reynoldszahlen

○ Schneeflocke	$R_e = 1 \dots 10$
○ Insekten	$R_e = 100 \dots 10\,000$
○ Papierflieger	$R_e = 20\,000 \dots 80\,000$
○ Düsenjet	$R_e = 10\,000\,000 \dots 100\,000\,000$

ab einer kritischen Reynoldszahl kippt eine laminare Strömung in eine turbulente Strömung um.¹

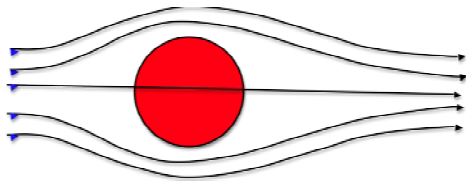


(c) Kranzinger

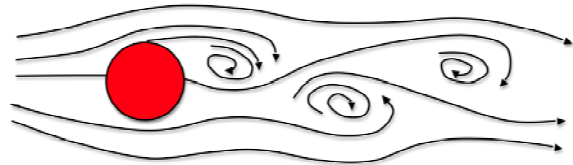


(c) Kranzinger

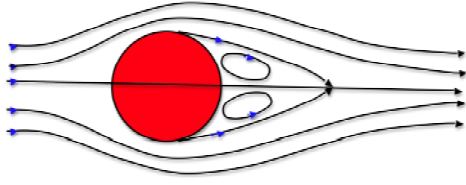
¹ ... für $Re > 10^6$ bildet sich hinter dem Gegenstand in einer Strömung eine volle Turbulenz aus ... bei Re in der Größenordnung von 0,01 haben wir eine laminare Strömung.



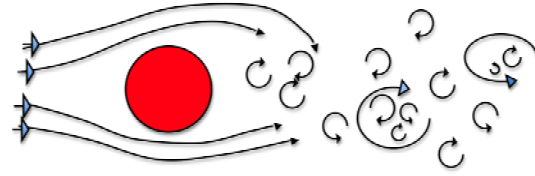
Re = 0,01



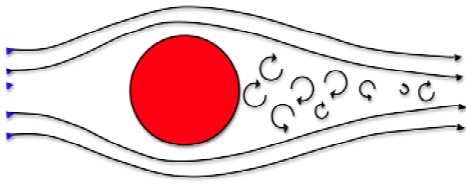
Re = 100



Re = 20



Re = 10 000



Re = 1 000 000

Druckgetriebene Strömungen um einen Zylinder verändern bei wachsenden Reynoldszahlen Re ihren Charakter. Bei steigenden Reynoldszahlen entstehen Wirbel, die zunehmend in kleinere Wirbel zerfallen. Bei einer Reynoldszahl von einer Million und größer haben wir eine voll ausgebildete Turbulenz