

## Lastentransport im Limonadenglas

H. Joachim Schlichting

### Das Phänomen

Ich werfe eine Rosine ins Limonadenglas. Sie sinkt auf den Boden. Sie bleibt dort aber nicht inaktiv, sondern umgibt sich mit kleinen durchsichtig weiß, fast silbern schimmernden Bläschen, beginnt ein wenig hin und herzutorkeln um schließlich in Bläschen gekleidet, viel imposanter, größer als beim Abstieg mit majestätischer Behäbigkeit an die Oberfläche des Getränks aufzusteigen. Hier verweilt sie eine Weile, sich hin und herwälzend, wie um die Bläschen abzuschütteln. Unter mikroskopisch feinem Knall zerplatzen einige der Bläschen und senden Miniaturfontänen aus, die sich zuweilen wie kleine erfrischende Nadelstiche auf der Haut bemerkbar machen. Nachdem die Rosine sich auf diese Weise etwas von ihrer "Last" entledigt hat und wieder merklich schlanker geworden ist, sinkt sie betont langsam wieder hinab. Aber nein, nicht ganz, auf halber Höhe hat sie es sich anders überlegt. Sie vervollständigt erneut ihr Bläschenkleid und steigt erst einmal wieder an die Oberfläche, wo sie sich abermals dreht und wendet, um schließlich erneut abzutauchen. Diesmal geht sie bis auf den Grund. Dort scheint sie jedoch nichts zu halten. Erneut bewegt sie sich mit zahlreichen Bläschen umgeben nach oben. Die Rosine ist von auffälliger Ruhelosigkeit und Unschlüssigkeit. Diesmal bleibt sie länger oben. Sie scheint nicht nur Bläschen loswerden, sondern gleichzeitig Bläschen einsammeln zu wollen. Dann ist sie aber auf einmal wieder genügend von Bläschen befreit und kann einem erneuten Tauchgang unternehmen.

Bei aller Unvorhersagbarkeit bleibt es beim Auf- und Abtauchen. Wie besessen von der Aufgabe, die Limonade von Gas zu befreien, transportiert die Rosine unablässig Gasbläschen von unten nach oben, um sie dort, wo sie hingehören, an die Luft abzugeben.

Oder ist es vielleicht umgekehrt? Bringt das zögerliche, chaotische Verhalten der Rosine nicht vielmehr zum Ausdruck, daß sie alles andere als zielstrebig verfährt? Überläßt sie sich nicht eher lustlos dem Spiel der Gasbläschen, von denen sie getrieben und gewissermaßen als Taxi mißbraucht wird, damit diese schneller aus der beengenden Dichte der Flüssigkeit in die luftige Freiheit ihrer

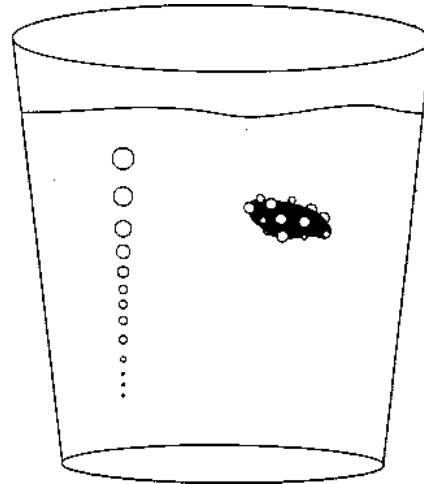


Abb. 1: Glas mit Limonade, in dem die blasenbesetzte Rosine aufsteigt

angestammten Umgebung entkommen können? Und entspräche es der Rosine nicht vielmehr, träge auf dem Grund des Wassers liegenzubleiben und sich zu einer prall gefüllten Traube zu entfalten?

### Rosinen im Unterricht

Diese und ähnliche anthropomorphe Gedanken mögen jemanden kommen, der sich frei fühlt vom Zwang, die Welt physikalisch zu sehen.

Diese Freiheit empfanden meine Schüler jedoch nicht, als ich ihnen am letzten Schultag vor den Osterferien statt des gewohnten Versuchsaufbaus ein Trinkglas auf den Platz gestellt und - einen Kasten Limonade (durchsichtig, mit Geschmack) hochhebend- eröffnete hatte, ich würde eine Runde ausgeben. Verdächtig war ihnen sofort die Rosine, die dort im Glas lag und sich nach dem Einschütten des Getränks bald anschickte, jene ungewöhnlichen Bewegungen auszuführen. Die einhellige Meinung: Hier wird kein neuer Drink kreiert, sondern eine physikalische Aufgabe gestellt. Recht hatten sie. Aber eine lustige Stunde wurde es trotzdem.

## Warum bilden sich überhaupt Blasen?

Der "Geist" der Limonade, der dem Getränk seinen erfrischend prickelnden Geschmack verleiht, ist ein in der Flüssigkeit gelöstes Gas: Kohlendioxid. Es wird mit einem Druck von etwa 3 Atmosphären in die saftartige Grundsubstanz hineingepreßt. Sobald die Limonadenflasche geöffnet wird, tritt eine Druckminderung auf: Die Limonade steht nunmehr nur unter Atmosphärendruck, dem eine sehr viel geringere Menge gelösten Kohlendioxids entspricht. Das Gas beginnt die Flüssigkeit zu verlassen. Das ist jedoch nur möglich, wenn sich die winzigen Gaspartikel zusammen tun und Blasen bilden.

## Wo bilden sich die Blasen?

Die Schüler erkannten sehr schnell, daß die Blasenbildung nur an bestimmten Stellen des Glases oder an der Rosine stattfindet. Offenbar müssen diese Stellen günstiger für die Blasenbildung sein als andere Stellen in der Flüssigkeit. Einer der Schüler erinnerte sich in diesem Zusammenhang an eine Erscheinung, die in gewisser Weise invers zur Blasenbildung ist: die Nebelbildung, also die Kondensation von Wasser in der Luft. Auch diese Bildung von Wassertröpfchen erfolgt nur an bestimmten Stellen, sogenannten Keimen, die durch Verunreinigungen in der Luft, z.B. Staubkörnchen gegeben sind. In der Tat sind es auch im Glas Verunreinigungen, feine Verletzungen des Glases, die als Keim für die Gasblasenbildung dienen. Anschaulich betrachtet stellen diese Keime den Ausgangspunkt für die Oberfläche der späteren Blase dar, die durch Anlagerung von Gasparkeln sukzessive vergrößert wird. Der Keim, beispielsweise ein kleiner Sprung im Glas, ist also zunächst in die Oberfläche der Blase integriert, welche dadurch ihrerseits zunächst an dieser Stelle fixiert bleibt. Mit wachsender Größe wird die mit der Blasengröße zunehmende Auftriebskraft jedoch so groß, daß die am Keim haftende Blase abgerissen wird, zur Oberfläche der Flüssigkeit aufsteigt und sich dort dem gasförmigen "Element" der Luft übergibt. Dieser Vorgang: Anlagerung von Gas an die Störstelle, Entstehen und Wachstum einer Blase bis zu einer kritischen Größe, Ablösen der Blase, läuft mit großer Regelmäßigkeit ab. Das kann man daran erkennen, daß der Abstand zwischen der sich gerade ablösenden Blase und ihrer bereits etwas aufgestiegenen Vorgängerin stets konstant bleibt.

Die Rosine stellt offenbar eine besonders wirkungsvolle Verunreinigung im Limonadenglas dar. Aufgrund zahlreicher Falten und Fältchen ist ihre gesamte Oberfläche von Keimen übersät, an denen sich Blasen bilden können.

## Wie kommt es zum Rosinenlift?

Auch die zahlreichen Blasen an der Rosine stehen unter dem Einfluß der Auftriebskraft, die mit wachsender Blasengröße zunimmt. Bevor jedoch die Auftriebskraft groß genug geworden ist, Blasen von der Rosine abzureißen, übersteigt die Summe der Auftriebskräfte aller an der Rosine haftenden Blasen die (um die eigene Auftriebskraft verminderte) Schwerkraft der Rosine. Daher kommt es zum Aufsteigen der in Blasen gehüllten Rosine bis an die Oberfläche der Flüssigkeit.

Dort zerplatzen zunächst die auf der Oberfläche der Rosine haftenden Blasen, die als erste in Berührung mit der Luft geraten.

## Warum zerplatzen die Blasen?

Eine Schülerin machte eine interessante Beobachtung, die schließlich zur Beantwortung dieser Frage führte: Der Abstand zwischen den sich im regelmäßigen Rhythmus von der Störstelle am Glas ablösenden Blasen vergrößert sich mit zunehmender Aufstiegshöhe: Die Blasen werden also beschleunigt. Es erschien plausibel, daß sie unter dem Einfluß der Auftriebskraft genauso "nach oben fallen" wie ein Stein unter dem Einfluß der Schwerkraft nach unten. Ich mußte allerdings die Schüler darauf hinweisen, daß diese naheliegende Erklärung nicht ganz korrekt ist. Denn aufgrund der großen Reibung zwischen Gas und Limonade, (Im Vergleich zur Limonade besitzt das Kohlendioxid sowohl eine kleine Viskosität als auch eine geringe Dichte) "fällt" die Blase nicht wie ein Stein sondern eher wie eine Flaumfeder. Sie erreicht also fast unmittelbar nach ihrer Entstehung die Endgeschwindigkeit, weil die innere Reibungskraft sehr schnell auf den Wert der Auftriebskraft anwächst.

Eine weitere Entdeckung führte zum Ziel: Die Blasen werden mit zunehmender Höhe größer. Daraus folgt, daß die Auftriebskraft und damit die Aufstiegsgeschwindigkeit wächst. Warum werden die Blasen größer? Naheliegend ist zunächst, davon auszugehen, daß die Blasen auch noch während ihres Aufstiegs Gasmoleküle "einsammeln" und entsprechend zunehmen. Vor allem aber beruht das Wachstum auf der Ausdehnung der Blasen: Dadurch daß die über einer Blase lastende und die Blase elastisch zusammendrückende Wasserschicht mit zunehmender Höhe immer kleiner wird, kann die Blase sich dem verminderten Druck entsprechend entspannen. Diese Entspannung führt schließlich dazu, daß bei Erreichen der Oberfläche, wenn der hydrostatische Druck verschwindet, die Blase platzt. Warum platzt die Blase? Wäre es nicht denkbar, daß wie bei einer Seifenblase, die Wasserhaut um das Gas bestehen

bleibt und die Blasen an der Oberfläche treiben wie Seifenblasen in einer Seifenlauge? Nein, denn Blasen mit einer Haut aus reinem Wasser sind offenbar ziemlich unbeständig und kurzlebig.

### Es müssen nicht immer Rosinen sein

Auch andere Gegenstände können im Limonadenglas gehoben werden. Bedingung ist, daß ihre Dichte nicht sehr viel größer ist als die der Limonade. Dem Experimentiergeist sind hier keine Grenzen gesetzt. Mit jedem neuen Objekt offenbaren sich fast immer auch neue Varianten des Aufstiegs.

Erwähnt sei hier nur noch, daß ein im Limonadenglas schwimmender Pfirsich (er ragt nur wenig aus der Flüssigkeit heraus) durch die anhaftenden Blasen in eine dauernde Drehbewegung versetzt werden kann ("Kullerpfirsich"). Interessant ist hier vor allem die Tatsache, daß der Zufall, mit dem der Auftrieb zu Beginn an einer Hälfte des Pfirsichs überwiegt und dadurch eine Drehung in einer bestimmten Richtung in Gang setzt, gewissermaßen konserviert wird: Die einmal eingeschlagene Drehrichtung bleibt erhalten. Die Diskussion dieses Verhaltens wirft einige weitere interessante physikalische Probleme ab, die hier nicht mehr diskutiert werden sollen.