

Glockenklang im Weinglas

H. Joachim Schlichting

Das Phänomen

Die Verkäuferin schnippt kurz mit dem Finger an jedes Weinglas bevor sie es sorgfältig für den Transport verpackt. Ich möchte wissen, warum sie das tut. Um ihren grauen Alltag durch einen Wohlklang aufzulockern? Um diskret auf die akustische Dimension der Weingläser aufmerksam zu

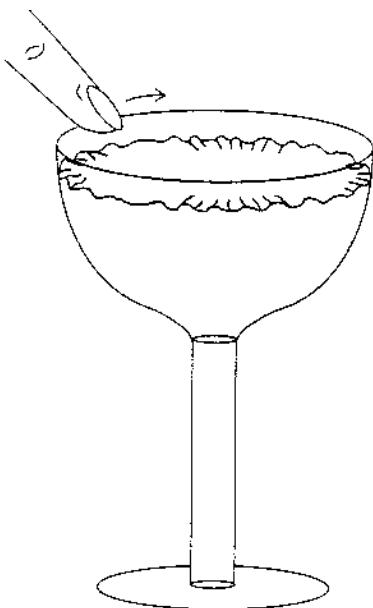


Abb. 1: Karreeartige Wellenmuster laufen am Glasrand auf der Oberfläche der Flüssigkeit um, wenn man mit dem Finger über den Rand streicht.

machen? Sie erklärt mir, der Klang verrate ihr, ob das Glas in Ordnung sei. Wenn es einen Sprung habe, klinge es nicht, sondern gäbe nur ein schäperndes Geräusch von sich. Sie demonstriert es an einem zuvor aussortierten, defekten Glas, dessen Defekt kaum zu sehen, aber deutlich zu hören ist.

Auf einer Familienfeier möchte jemand das Wort ergreifen. In Ermangelung einer Glocke, schlägt er mit einem Löffel leicht gegen sein Weinglas. Der feine aber durchdringende Klang bringt die Gesellschaft sofort zum Verstummen.

Auf einem Klassenfest wird plötzlich das laute Stimmengewirr durch einen langgezogenen feinen Glockenklang durchdrungen. Die Aufmerksamkeit richtet sich auf jenen Schüler, der langsam mit

seinen Finger auf dem Rand seines Trinkglasses entlangfährt. Das hätte er nicht machen sollen, denn kurze Zeit später ist der Raum erfüllt von Trinkglasklängen; und bekanntlich kann, was in Maßen schön ist, im Übermaß zu einer Tortur werden.

Obwohl die Tonhöhe in etwa dieselbe ist wie bei den Klängen, die wir den Trinkgläsern mit dem Löffelschlag entlocken, fasziniert uns der mit dem Finger hervorgerufene Klang ungleich stärker. Was spricht uns hier an? Ist es der langanhaltende, durchdringende Ton, der in seltsamer Weise abgekoppelt erscheint von den Fingerbewegungen? Oder ist es nur die ungewöhnliche Art, durch die der Ton erzeugt wird?

Diese ungewöhnliche Art, Töne zu erzeugen ist nicht neu. Schon Galileo Galilei bewundert in seinem *Saggiatore* (1623) jemanden, "der, mit der Fingerkuppe den Rand eines Glases reibend, ihm einen wunderbar zarten Ton entlockte" und Benjamin Franklin erfand sogar ein Musikinstrument, das aus rotierenden Gläsern unterschiedlicher Größe bestand, deren Rand automatisch feucht gehalten wurde. So genügte es, die Gläser dieser sogenannten Armonica zu berühren um Töne zu erzeugen und ganze Melodien zu spielen.

Weingläser im Physikunterricht

Die Schüler hatten nach dem Klassenfest angefragt, die tönenden Gläser einmal zum Gegenstand des Physikunterrichts zu machen. Da in der Klassenstufe die Akustik lehrplanmäßig nicht vorgesehen war, konnte die Verwirklichung dieses Vorschlags nur eine Art Exkurs darstellen, in dem allenfalls einige qualitative Erklärungen zu erreichen waren. Ich wählte dazu eine Doppelstunde aus.

Die Schüler wurden reichlich mit verschiedenen Gläsern (und Inhalt) versorgt. Zunächst wurde die Technik der Tonerzeugung vermittelt: Der angefeuchtete Finger muß langsam, mit mäßigem Druck über den Rand des Glases geführt werden. Nach einigen leichtläufigen Gleitversuchen spürt man bald, wie der Finger gewissermaßen "einrastet". Obwohl der Druck nicht stark ist, muß eine gewisse Kraft aufgewandt werden, so als

würde man "etwas hinter sich herziehen" (Schüleräußerung).

Auf der Suche nach einer Erklärung für diese ungewöhnliche (ungehörlich?) Art einen Ton zu erzeugen kam uns der Zufall zu Hilfe. Einer der Schüler hatte eine weitere nicht akustische aber mit der Tonerzeugung eng zusammenhängende Entdeckung gemacht. Er beobachtete, daß das Wasser im Glas feine Wellenmuster aufwies: Der Ton erzeugt Wellen. Wie kann er das? Es muß sich etwas bewegen, schwingen! Was kann hier nur schwingen? Die Wand des Glases! Der langsam über den Rand des Glases fahrende Finger mußte also in irgendeiner Weise das Glas in Schwingung versetzt haben.

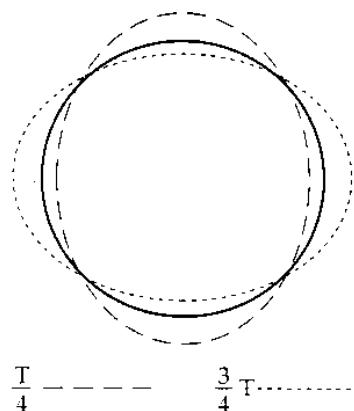


Abb. 2: Grundschwingungen des Glases ($T =$ Schwingungsdauer)

Die stehenden Wasserwellen interessierten uns nur insofern als sie uns vielleicht Aufschluß über die Art der Schwingung des Glases geben konnten. Genauere Untersuchungen zeigten, daß die Wellenmuster dem streichenden Finger folgten. Es war deshalb schwer, die Art des Musters zu identifizieren. Es gelang durch kurzes Anstreichen des Glases an einer Stelle (Das muß man ein wenig üben!), eine Art Karree zu erkennen. Zwischen den vier angeregten Stellen lagen unbewegte Gebiete (Abb. 1). Es lag nahe, diese Erscheinung so zu deuten, daß das Glas an den Stellen hin- und herschwingt, an denen die Wellen auftreten und dazwischen in Ruhe bleibt: Wellenbüche und Wellenknoten. Weiterhin erschien es plausibel, daß dieses zwar hinter dem Finger herlaufende, in sich aber gleichbleibende Schwingungsmuster Ausdruck ein und desselben Tones ist. Lediglich die Füllhöhe der Flüssigkeit ändert die Tonhöhe, nicht aber die Struktur des Musters.

Die Glasschwingung konnte noch auf eine andere Weise sichtbar gemacht werden. Hielt man einen leichten Gegenstand locker an den Rand des schwingenden Glases, so vibrierte dieser sehr schnell hin- und her.

Nach diesen mechanischen Visualisierungen der am Rand des Weinglases entstehenden Wellen brauchte nur noch darauf hingewiesen werden, daß die Schwingungen des Glases auf die das Glas umgebende Luft übertragen und in Form von sich abwechselnden Luftverdichtungen und Luftverdünnungen, als Longitudinalwellen also, an unser Ohr gelangen und dort registriert und unter Beteiligung des Gehirns als Ton empfunden werden.

Den Schülern leuchtete ein, daß man durch Anschlagen des Weinglases eine Schwingung erzeugen kann: Durch das Anschlagen wird das Glas an einer Stelle etwas ausgelenkt, bis es durch elastische Rückstellkräfte veranlaßt wird, in die Ausgangslage zurückzugehen. Dabei schießt es - aus Trägheit - über das Ziel hinaus, bewegt sich wieder zurück usw. Die Ausbuchtung an einer Stelle, hat eine entsprechende Einbuchtung an einer anderen Stelle zur Folge, weil "man das Glas nicht wie ein Gummi auseinanderziehen" (Schüleräußerung) kann. Daß sich dadurch ein so regelmäßiges Karreemuster bildet wie in Abb. 1, kann man daraus zwar nicht direkt herleiten, es ist aber mit dieser Erklärung in Einklang. Mit der Einsicht, daß sich auf diese Weise ein Karreemuster bildet, konnte dann plausibel gemacht werden, weshalb immer ein und derselbe Ton, d.h. ein und dieselbe Schwingung entsteht: Weil auf diesem Glas mit dieser Randlänge und Wanddicke nur dieses Karree Platz hat. Ein anderes Glas mit einem längeren Rand oder einer dickeren Wand kann daher nur einen anderen, nämlich "seinen" Ton hervorbringen.

Natürlich sind weitere auf den Glasrand passende Muster denkbar und - so konnte ich den Schülern mitteilen - solche Muster können auch tatsächlich auftreten. Sie stellen die sogenannten Oberschwingungen derselben Karree-Grundschwingung (Abb. 2) dar und komplettieren diese zu dem charakteristischen Klang des geriebenen Weinglases. Das Karreemuster ist gewissermaßen das einfachste Muster, das sich auf einem Glasrand ausbilden kann. (Wenn man mehr Zeit zur Verfügung hat, beispielsweise im Rahmen einer Unterrichtseinheit Akustik, dann bietet es sich geradezu an, die Randlänge des Glases in Analogie zur Saitenlänge eines dann bereits behandelten Saiteninstrumentes (z.B. Monochord) zu diskutieren).

Warum gibt nur ein Teil des Glases und nicht etwa das Glas als Ganzes der durch den Schlag ausgeübten Kraft nach? Aus Gründen der Trägheit. Bevor das Glas als Ganzes etwas von dem Schlag "merkt", ist bereits der unmittelbar getroffene Bereich zurückgewichen (vgl. [1]). Er kann dies, weil er mit den Nachbarbereichen nicht starr, sondern elastisch verbunden ist.

Schwieriger war es hingegen, verständlich zu machen, wie man durch das sanfte Reiben des Glasrandes mit einem leicht befeuchteten Finger Töne derselben Frequenz hervorrufen konnte, wie durch Anschlagen des Glases. Ich mußte mich darauf beschränken, den Schülern mitzuteilen, daß in einem subtilen Wechselspiel von Gleiten und Hafthen der über den Glasrand geschobene Finger gewissermaßen ins "Stottern" und schließlich in eine regelmäßige Schwingung gerät, die sich auf das Glas überträgt. (Eine bis in Einzelheiten gehende Erklärung dieses sogenannten Slip- and- Stick-Mechanismus würde Detailwissen aus der Schwingungslehre voraussetzen und meines Erachtens eine nähere Untersuchung an einem mechanischen Modell erforderlich machen). Mit dem Hinweis, daß sich auch das von den Schülern so gefürchtete Quietschen von Kreide auf der Wandtafel, das Knarren und Quietschen nicht geölter Türangeln, aber auch das Anstreichen der Geigensaiten mit dem Geigenbogen demselben Mechanismus verdankt, konnte die weite Verbreitung dieses Phänomens im Alltag unterstrichen werden.

Wie kommt es aber, daß der Finger eine genau zum Glas (Umfang des Randes, Glasstärke u.ä.) passende Frequenz hervorruft? Er tut dies gar nicht, sondern erzeugt Schwingungen verschiedenster Frequenzen. Während sich jedoch fast alle Schwingungen im Glase totlaufen, bringen nur die zum Glas passenden Schwingungen, das oben beschriebene radiale Mitschwingen des Glasrandes hervor und werden auf diese Weise bis zur Hörbarkeit verstärkt. Man sagt auch: die Resonanzfrequenz des Weinglases wird ausgewählt.

Die Schüler experimentierten mit den unterschiedlichsten Gläsern (unterschiedliche Wandstärke, Flüssigkeitsfüllhöhe, Durchmesser). Nicht immer war es leicht, sie durch Reiben zum Ertönen zu bringen. Ziel war es, Regelmäßigkeiten in den "Tonsalat" zu bringen, der durch die verschiedenenartigen Gläser hervorgerufen wurde. Im einzelnen wurde erkannt:

Gläser mit etwa gleicher Wandstärke, tönen umso höher, je kleiner ihr Durchmesser ist. Die Glasrandhöhe spielt dabei kaum eine Rolle. Der Umfang des Glasrandes kann mit der Länge einer schwingenden Saite verglichen werden.

Gläser tönen umso tiefer, je höher sie mit Flüssigkeit gefüllt sind. Da Flüssigkeit mitbewegt werden muß, wird durch sie die Trägheit erhöht. Das Glas hat es "schwerer", den Auslenkungen zu folgen. Die Frequenz wird also erniedrigt.

Merkwürdigerweise klingen Gläser gleichen Durchmessers aber unterschiedlicher Wanddicke umso höher, je dicker sie sind. Man könnte mei-

nen, mit wachsender Dicke nehme ähnlich wie bei der Füllung mit einer Flüssigkeit die Trägheit zu. Dies ist auch gewiß der Fall. Außerdem nimmt aber mit der Dicke auch die Steifheit des Glases zu. Zunehmende Steifheit erhöht aber ähnlich wie die zunehmende Spannung einer Saite die Frequenz. Dieser Effekt der Frequenzerhöhung durch zunehmende Steifheit überwiegt offenbar den Effekt der Frequenzabnahme durch zunehmende Trägheit.

Man muß es vom konkreten Unterrichtsverlauf abhängig machen, inwieweit diese Probleme angesprochen werden können. Im vorliegenden Fall war das Bedürfnis der Schüler sehr groß, Ordnung in das Klangverhalten der verschiedenen Gläser zu bringen.

Literatur

- [1] Schlichting, H.J.: Die List der Trägheit (im vorliegenden Heft).