

### 1.1.1 Warum klappern die Gläser auf dem Klavier (s.u.)

Was ist eine erzwungene Schwingung

Bisher wurden ausschließlich freie Schwingungen behandelt. Bei diesen wird das schwingende System einmal angestoßen und dann sich selbst überlassen. Im Alltag kommen aber meistens erzwungene Schwingungen vor, bei denen auf einen Körper eine periodische Kraft einwirkt.

Beispiele für erzwungene Schwingungen

- Die frei schwingenden Klaviersaiten übertragen diese Schwingungen auf das Gehäuse. Gläser, die auf dem Klavier stehen erfahren dadurch eine periodische Kraft mit der Frequenz der schwingenden Klaviersaite.
- Soldaten, die im Gleichschritt über eine Brücke marschieren erzeugen eine periodische Kraft auf die Brücke.
- Das periodische Auf und Ab der Kolben eines Automotors bewirkt eine periodische Kraft auf die gesamte Karosserie.
- Regelmäßige Bodenwellen erzeugen eine periodische Kraft auf das Fahrgestell eines Autos.
- Ein schaukelndes Kind erzeugt durch die Körperbewegung eine periodische Kraft auf die Schaukel.

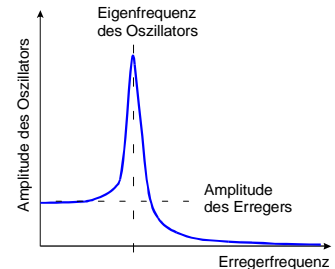
Warum klappern die Gläser auf dem Klavier nur bei einem bestimmten Ton?

Der Klavierdeckel ist ebenfalls ein (zumindest halbwegs) schwingfähiges System. Die Frequenz, mit der der Klavierdeckel frei schwingt, wenn man ihn anstößt (z.B. durch darauf klopfen), heißt seine Eigenfrequenz. Die Amplitude der Schwingung des Klavierdeckels lässt sich beträchtlich erhöhen, wenn man ihn nicht nur einmal, sondern immer wieder anstößt. Dieser Anstoß muss allerdings im geeigneten Moment, d.h. in der richtigen Phase der Schwingung erfolgen. Dies ist über viele Perioden hinweg nur dann möglich, wenn der periodische Anstoß genau mit der Eigenfrequenz des Deckels erfolgt. Daher hüpfen die Gläser nur bei einer bestimmten Frequenz, d.h. einem bestimmten Ton

Was geschieht bei einem anderen Ton?

Das lässt sich schwer sagen, da es auf viele Einzelheiten ankommt.

• Bei einer Kraft mit sinusförmigem Zeitverlauf kommt der Oszillator bei sehr kleinen Anregungsfrequenzen nicht zum Schwingen, da er vom Erreger "festgehalten" wird. Er bewegt sich daher genau mit der Amplitude des Erregers. Ist die Anregungsfrequenz sehr viel größer als die Eigenfrequenz des Oszillators, dann kann der Oszillator der Anregung nicht folgen, er bleibt wo er ist, die Amplitude ist Null.



• Handelt es sich bei der periodischen Kraft hingegen um sehr kurze Pulse, so genügt ein Stoß bei jeder zweiten, dritten, vierten,... Periode. D.h. auch Stöße mit der halben, drittel, viertel,... Eigenfrequenz des Oszillators sorgen für Energiezufuhr im rechten Moment.

Merke

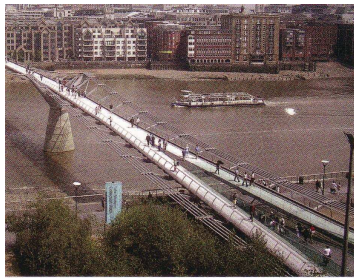
Resonanz tritt auf, wenn ein schwingfähiges System mit der Eigenfrequenz  $\omega$  durch eine periodische Kraft mit der Frequenz  $\omega$  angeregt wird. Dem schwingenden System wird so ständig Energie zugeführt, die Amplitude wird ständig größer. Ohne hinreichend starke Dämpfung besteht die Gefahr, dass der Oszillator zerstört wird.

Anwendung

Konstrukteure von Bauwerken, Fahrzeugen oder Maschinenteilen legen größten Wert darauf, dass die Eigenfrequenz stets weit weg von möglichen Anregungsfrequenzen (z.B. Umdrehungszahl des Motors) liegt.

## 1.1.2 Synchronisation

*Die Millenium-Bridge in London*



Am 10.6.2000 wurde in London die Millenium-Bridge, eine neue Fußgängerbrücke des Star-Architekten Norman Foster eröffnet. Nach zwei Tagen musste sie aber bereits gesperrt werden, da die Brücke von den Fußgängern in Schwingungen mit sehr großen Amplituden versetzt wurde. Eine anschließende Untersuchung zeigte, dass ab einer Mindestzahl von ca. 150 Fußgängern durch zufälligen Gleichschritt einiger Fußgänger kleinere Schwingungen auftraten. Die anderen Fußgänger versuchten (unbewusst) dem entgegenzuwirken und passten ihren Gang der Frequenz dieser Schwingung an. Dadurch wurden aber die Schwingungen noch größer, was eine stärkere Gegenreaktion der Fußgänger hervorrief usw. Nach dem Einbau von Dämpfungselementen konnte die Brücke am 22.2.2002 wieder eröffnet werden.

*Weitere Beispiele für spontane Synchronisation*

- Blinken von Glühwürmchen
- Menstruationszyklen von dicht zusammenlebenden Frauen (z.B. Heim, Gefängnis)
- Rhythmisches Klatschen nach einem Konzert