

## Wieviel Schall schluckt Goethe?

Hier geht es nicht um Absorption meiner 24-bändigen Gesamtausgabe von Goethes Werken, also der von Büchern. Nein, die Fragestellung ist ganz anders:

*Nach der Nachhallzeit-Messung habe ich die Klassenleitung wie immer gefragt, wie viele Schüler und wie viele Erwachsene sich während des Unterrichts dauerhaft im Raum aufhalten. Die Rückfrage der Lehrkraft, wozu ich das wissen müsse, konnte ich mit der zusätzlichen Schallabsorptionsfläche der Anwesenden beantworten. Aber wie ist das jetzt mit Goethe? Goethe ist ein Irish Terrier, Schulterhöhe ca. 40 cm, Gewicht ca. 13 kg. Goethe ist von Beruf Schulhund und dauerhaft im Unterricht anwesend. Vermutlich könnte ich ihn einfach vernachlässigen, aber ich will mir ja nicht nachsagen lassen, dass ich ungenau arbeite. Und spannend finde ich es auch.*

Diese Frage ist zwar umfangreich und auch „genau genug“ zu beantworten, aber dennoch nicht mathematisch streng.



Kurz nachdem W. C. Sabine<sup>1</sup> 1915 seine Arbeiten zu den wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik abgeschlossen hatte, wollte Prof. Dr. med. vet. William Bell-Mann<sup>2</sup> nach der von Sabine entwickelten Art und Weise die Schallabsorption<sup>3</sup> von Hunden untersuchen. Im Bestreben, eine möglichst hohe – und damit messtechnisch gut nachweisbare – äquivalente Schallabsorptionsfläche der „elementierten Einzelabsorber“ zu erhalten, wählte er Neunfundländer, weiblich, langhaarige Ausführung<sup>4</sup> <sup>5</sup>. Für eine sachgerechte Messung im Hallraum benötigt man 12 Elemente, deren Beschaffung sich aber als schwierig erwies.<sup>6</sup>

Damals verwendete man weder Sweep noch Rauschen für die Anregung des Schallfeldes, sondern eine Früh-Form von Dirac-Impulsen<sup>7</sup>, nämlich Pistolenknalle. Während B. noch

<sup>1</sup> [Wallace Clement Sabine](#) (\* 13. Juni 1868; † 10. Januar 1919) war ein amerikanischer Physiker und Pionier auf dem Gebiet der Raumakustik.

<sup>2</sup> Nachfahre von [Alexander Graham Bell](#), Sohn von Dezi Bell, seine genauen Lebensdaten sind unbekannt. Dem Vernehmen nach soll er mit einer Mann-Schwester bzw. einer Mann-Tochter verheiratet gewesen sein?

Schweizerische Versuche, auch eine Verwandtschaft zu ihrem Nationalhelden herzustellen, scheiterten bisher, weil noch keine T-B-Lautverschiebung nachweisbar ist.

<sup>3</sup> ISO 354 Messung der Schallabsorption in Hallräumen

<sup>4</sup> Sonderform der Neunfundländer mit neun Pfund Fell/Wolle

<sup>5</sup> Die Abbildung des Neunfundländers, links, hatte die Fa. Ecophon noch in ihrem Archiv, aber männlich, kurzhaarig.

<sup>6</sup> Hier handelt es sich nachweislich um den ersten Versuch, durch eine „utopische Messanordnung“ für Einzelabsorber möglichst hohe Messwerte zu erhalten. Heute sind ähnliche Verfahren vielerorts in den Prüflaboren üblich.

<sup>7</sup> Weitere Verwirrung findet man unter [Delta-Distribution](#)

auf der Suche nach geeigneten Test-Hunden war, brachte diese Messmethode schon Tier-  
schützer auf den Plan, welche um die Hörgesundheit der empfindsamen (und damit emp-  
findlichen) Hundehoren fürchteten. Die Zusicherung von B., die Ohren der Hunde würden  
während der Messungen mit Ohropax<sup>8</sup> verschlossen, wurden beiseite gewischt mit dem  
Argument, die hörgeschädigten Tiere könnten anschließend in der Hundeschule nicht  
mehr gut aufpassen. (Heute weiß man: Hunde haben zwar ein extrem feines Gehör, aber  
in der Hundeschule wird ohnehin vorrangig in Gebärdensprache kommuniziert.)

Ein (dennoch, aber nur) einzelner Versuch von B. brachte diesen zu der Erkenntnis, dass  
das Nachhallen bei der Messung überlagert und dominiert wird durch das „Nachbellen“ der  
Hunde nach jedem Knall. Der ganze Versuch ist also – auch ohne die Tierschützer – miss-  
glückt. Bis heute ist deshalb die Schallabsorption sowohl einzelner als auch mehrerer  
Hunde unbekannt, somit keine strenge Lösung des mathematischen Problems möglich.

Aber selbst dann, wenn man die Schallabsorption von Neunfundländern im Hallraum ken-  
nen würde, wäre die Übertragung dieser Daten auf den Irish Terrier in der Anfrage schwie-  
rig. Die Objekt-Oberflächen unterscheiden sich erheblich und auch die Position des Hun-  
des im Unterricht ist nicht definiert. Sitzt er – wie die Kinder – am Tisch, liegt er auf oder  
unter dem Tisch? Wird er gar aufgehängt wie Kugeln, Würfel oder Zylinder aus Schaum-  
stoff? Wie also wird seine Oberfläche vom Schall getroffen? Fragen über Fragen...

Mein Prof. für Theoretische Physik<sup>9</sup>, Dr.-Ing. Werner Döring<sup>10</sup>, vertrat immer die Auffas-  
sung „Man kann gern dumm sein, man muss sich nur zu helfen wissen.“ Mit dieser Einstel-  
lung brachte er uns Grenzwertbetrachtungen<sup>11</sup> und Reihenentwicklungen bei. „Nach dem  
quadratischen Glied brechen Sie ab; dann ist das „genau genug“. Dazu folgende Überle-  
gungen:

- Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines:r Hund:in ist  
einerseits sicher  $A_{\text{Hund:in}} > 0 \text{ m}^2$ .
- Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines:r Hund:in ist  
andererseits kleiner als die von Schüler:innen  $A_{\text{Hund:in}} < A_{\text{Schüler:in}}$ .
- In Schulen gibt es nicht mehr als ein:e Schulhund:in/Klasse.
- Von der Maximalbesetzung sind bei der Umrechnung<sup>12</sup> nur 80% zu berücksichtigen,  
also 0,8 Hund:in. (Welches Teil entfällt? Der Kopf mit den empfindlichen Ohren?)
- In Bezug auf mögliche Störgeräusche (einhergehend mit einer Verringerung des  $STI$ <sup>13</sup>)  
besteht die Frage, ob diese:r Hund:in während des Unterrichtes gefüttert werden darf,  
oder ob das Füttern nur während der Pausen zulässig ist.

---

<sup>8</sup> [OHROPAX® - Erfinder der Ruhe](#)

<sup>9</sup> [Manfred Heckl](#) (\* 15. Juli 1930; † 16. August 1996): Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie!

<sup>10</sup> [Werner Döring](#) (\* 2. September 1911; † 6. Juni 2006) Physiker und Prof. für Theoretische Physik, Uni Hamburg

<sup>11</sup> Weitere Verwirrung findet man unter [Limes](#)

<sup>12</sup> DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen, Anhang A.3 Nachweis durch Messung

<sup>13</sup> [Speech Transmission Index](#) Sprachübertragungsindex

Für die Grenzwertbetrachtung gibt die Tabelle A.1 in <sup>12</sup> Hilfestellung (Zeilen 1 bis 4):

- Erwachsene Person sitzend auf ungepolsterter Bestuhlung .....  $A_m \approx 0,40 \text{ m}^2$
- Schüler:in in Sekundarstufe, sitzend an Tischen.....  $A_m \approx 0,35 \text{ m}^2$
- Schüler:in in Primarstufe, sitzend an Tischen.....  $A_m \approx 0,25 \text{ m}^2$
- Kind in Vorschuleinrichtungen .....  $A_m \approx 0,20 \text{ m}^2$
- Schulhund:in, Neunfundländer:in (geschätzt).....  $A_m \approx 0,15 \text{ m}^2$
- Schulhund:in, Irish Terrier, frei herumlaufend (geschätzt).....  $A_m \approx 0,10 \text{ m}^2$
- Schulhund:in, Irish Terrier, sitzend am Tisch (geschätzt).....  $A_m \approx 0,05 \text{ m}^2$
- kein:e Schulhund:in (Grenzwert) .....  $A_m = 0,00 \text{ m}^2$

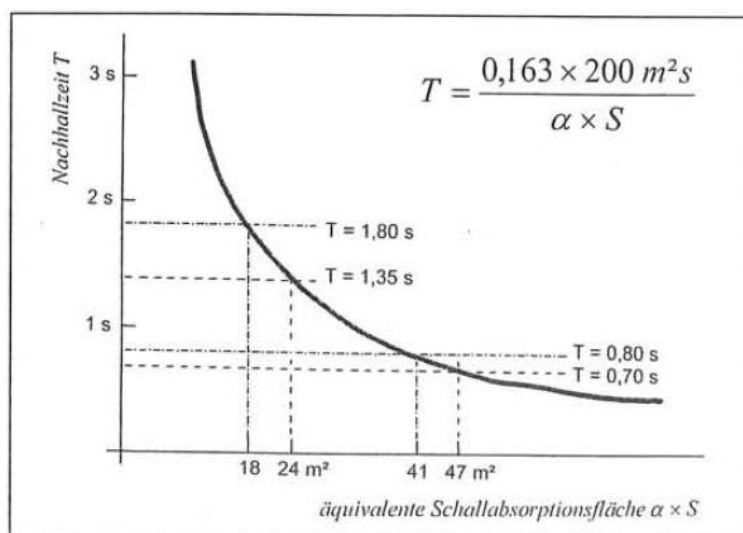
Eine weitere Grenzwertbetrachtung ergibt sich aus der nach W. C. Sabine<sup>1</sup> benannten „Sabineschen Nachhallgleichung“:

$$T = 0,16 \times V / A.$$

Weil das Raumvolumen  $V$  für den betrachteten Klassenraum ebenso konstant ist wie der Wert  $0,16^{14}$ , kann man für den Zusammenhang zwischen der Nachhallzeit  $T$  und der Absorptionsfläche  $A$  auch schreiben:

$$T \sim 1 / A.$$

Der Graph dieser Funktion (aus der Schule noch immer un-bekannt als  $y = 1 / x$ ) ist die Hyperbel mit zwei ganz extremen Grenzwerten, denn für  $x \rightarrow 0$  strebt  $y \rightarrow \infty$  und für  $x \rightarrow \infty$  strebt  $y \rightarrow 0$ . Den mittleren Abschnitt vom Graphen dieser Funktion zeigt – mit Bezug auf einen etwa  $V = 200 \text{ m}^3$  umfassenden Klassenraum – mit „genügend guter Genauigkeit“ die folgende Abbildung<sup>15 16</sup>.



Gemessen wurde im Klassenraum eine Nachhallzeit von  $T_m = 1,80 \text{ s}$ , das dreifache der damals geltenden Anforderung<sup>17</sup>  $T_{\text{soll}} = 0,60 \text{ s}$ . Man wollte durch Montage eines  $S = 6,5 \text{ m}^2$  großen Standard-Wandpaneels den Raum sanieren. Mit einem Schallabsorptionsgrad  $\alpha_w = 0,95$  ergibt sich eine äquivalente Schallabsorptionsfläche von  $A = \alpha_w \times S = 6 \text{ m}^2$ . Auf dem steilen Ast der Hyperbel (schon nahe bei  $A = 0$ ) verkürzt sich die Nachhall-

zeit rechnerisch zwar um beachtliche  $0,45 \text{ s}$ ; man erreicht aber bei weitem noch nicht den

<sup>14</sup> Genau genommen ist auch die  $0,16$  keine Konstante, denn Sabine hatte (richtig)  $0,163$  ermittelt. Ingenieurmäßig „genau genug“ ist aber auch  $0,16$ . Das vermeidet Differenzen bei Verwendung unterschiedlicher Rechenschieber.

<sup>15</sup> Ruhe, C., Kindertagesstätte - Zu hohe Schallpegel infolge zu geringer Schallabsorption, in Bauschädensammlung Bd. 13, Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart (2001)

<sup>16</sup> Vorsicht: diese Abbildung von 2001 ist nicht mehr normen-konform, denn hier wurde noch in alter Weise mit  $0,163$  statt jetzt mit  $0,16$  gerechnet. Sie ist damit um  $0,163/0,16 = 1,8 \%$  falsch!

<sup>17</sup> DIN 18041:1968-10 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Vor-Vorgängerin der jetzigen Norm

Sollwert. Zunächst wurde deshalb die Akustikdecke vervollständigt. Die Nachhallzeit sank damit auf  $T_m = 0,80$  s und nun erwarteten die Planer, das Wandpaneel werde sie jetzt noch um – die vorher errechneten –  $0,45$  s verkürzen. Enttäuscht war man, als bei der schon kürzeren Nachhallzeit nur noch eine Wirkung um  $0,10$  s erreicht wurde. Auf dem flachen Ast der Hyperbel (somit schon weit in Richtung  $A = \infty$ ) nähert man sich aber dem anderen Grenzwert, bei dem auch große Maßnahmen nur noch relativ wenig bringen. Hier darf man nicht mehr kleckern sondern muss klotzen. „Goethe“ ist im akustischen Sinne vermutlich „nur Kleckerkram“ (wenn auch als Schulhund stubenrein). Zur genügend genauen Abschätzung ist folgende Vorgehensweise vorzuschlagen:

- Man mache eine erste Berechnung für 80% Schüler:innen und eine (ganze) erwachsene Person
- sowie eine weitere Berechnung für (80%+1) Schüler:innen und eine (ganze) erwachsene Person.
- Vermutlich sind die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungen so marginal, wie es die anfragende Person schon gemutmaßt hat.
- Der Unterschied für 0,8 Hund:in ist noch kleiner.
- Schließlich darf man nicht vergessen, di:en Schulhund:in im Messbericht auch bei der Raumausstattung/Raumbesetzung zu erwähnen.
- Vielleicht erwähnt man ergänzend, die akustische Wirkung der:s Schulhündin:es sei rechnerisch – im Gegensatz zu der pädagogischen – zu vernachlässigen?
- Vielleicht erwähnt man ebenfalls, die pädagogische Wirkung der:s Lehrerin:s sei rechnerisch – im Gegensatz zur akustischen – zu vernachlässigen?
- Man informiere sich anlässlich der Schallmessungen auch über das Geschlecht des Tieres. Damit kann man im Messbericht ganz viele „:“ vermeiden!

Da steh' ich nun, ich armer Tor, und bin so klug als wie zuvor!  
Heiße Magister, heiße Doktor gar, und ziehe schon an die zehen Jahr'  
herauf, herab und quer und krumm meine Schulhnde:innen an der Leine herum –  
und sehe, dass wir nichts wissen können!<sup>18</sup>

Dipl.-Ing. CARSTEN RUHE  
hörgerecht planen und bauen  
Beratungsbüro für Akustik

Anmerkung 1: Der Normenausschuss DIN 18041 hat diese Frage bei der Überarbeitung wohlweislich ausgeklammert. Auch im Kommentar<sup>19</sup> ist kein Hinweis dazu enthalten.

Anmerkung 2: Eine Schwimmschule hat soeben eine Abschätzung für Seehund:innen beauftragt.

---

<sup>18</sup> gut gebellt nach Goethe (\* 28. August 1749; † 22. März 1832), Faust, Der Tragödie erster Teil

<sup>19</sup> DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen, [Kommentar](#)