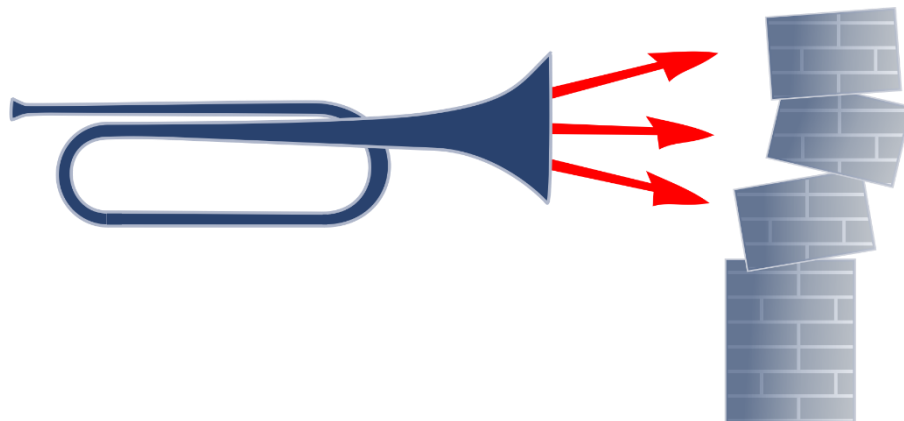


Jericho

Über Trompeten, Mauern und
Schallstrahlungsdruck



Kennung: kwhdba.13.01
Datum: 20.05.2019
Status: Konzept

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Prolog.....	3
1.2	Einführung	3
1.3	Mauern	4
1.4	Vom Alltagsgeschäft.....	4
2	Der Schallstrahlungsdruck.....	5
2.1	Impuls der Schallwelle.....	5
2.2	Hinweise aus ausgewählter Literatur	5
3	Berechnung des Schallstrahlungsdrucks in Luft	7
3.1	Grundlage.....	7
3.2	Grenzbetrachtung	9
3.3	Kommunikation mit dem Schallstrahlungsdruck.....	9
3.4	Knalle.....	9
3.4.1	Schätzung des Schallstrahlungsdrucks einer 50-g-TNT-Sprengung.....	9
3.4.2	Schalldruckpegel einer Sprengung mit dem Sprengkörper DM 54	10
3.4.3	Schätzung des Überdrucks	13
4	Wie viele Trompeten braucht man für die Mauern von Jericho	14
5	Verweise	16
6	Zur biblischen Geschichte von den Trompeten von Jericho	17
7	Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“	18

1 Einleitung

1.1 Prolog

Dieser Aufsatz gehört nicht zu denen, die alle Fragen beantworten. Die Beschäftigung mit dem Schallstrahlungsdruck war ‚easy‘. Wer mit physikalischer Akustik im Ultraschallbereich seinen akustischen Werdegang begonnen hat, hat diesen Druck erfahren, gehört und mit ihm gespielt. Sei es mit Wassersprudeln, mit dem Kerzenausblasen oder mit dem Positionieren und wegschleudern von Styropor-Kügelchen. (Was heute von wissenschaftlichen Youtubern in kleinen Filmchen stolz in Szene gesetzt wird, war 1975 Stand der Ultraschall-Praktika.) Professor Pohlman war ein unerreichter Meister der theatralischen Vorführung der wundersamen Kräfte in einem Schallfeld. Im Laboratorium für Ultraschall der RWTH Aachen haben wir den Schallstrahlungsdruck sogar zur Kalibrierung von Mikro- und Hydrophonen genutzt, in Luft und im Wasser.

Der Aufsatz hat ganz woanders Probleme aufgezeigt: Der Autor konnte massive Widersprüche zwischen den akustischen Modellen und den Modellen der Explosion nicht auflösen. Eine 50 g Sprengung zeigt wohl klar auf, dass ich noch nicht Alles verstanden habe. Die Messungen unterstützen die akustischen Modelle. Aber die Tabellen und Diagramm der Überdruckerzeugung in Abhängigkeit von der Menge Sprengstoff sind mit Sicherheit auch nicht falsch. Vielleicht kann ein wohlwollender Leser hier Aufklärung beisteuern. Ich würde mich darüber sehr freuen. Und er geht weiter der ‚Bellum Acusticum‘ ...

1.2 Einführung

Jeder, der in einem Smalltalk sich als Akustiker outet, hört sie irgendwann. Die Frage, kann es sein, dass man mit Trompetenklängen Mauern zum Einsturz bringen kann. Die Bibel behauptet so etwas immerhin für die Mauern von Jericho.

Beim Smalltalk wird nicht wissenschaftliche Abhandlung sondern „quick and dirty“ aber amüsan erwartet. Meine Antwort ist nie „nein“, weil diese Antwort physikalisch falsch wäre. Mit einem Nein wäre ja auch dieses spannende akustisch-theologische Thema beendet und es ging wieder um’s leidige Wetter oder die Welt der Schönen und Berühmten. Und dann fragt mich keiner mehr, weil mir bekanntermaßen Expertise fehlt.

Meine Antwort ist also wahrheitsgemäß jedes Mal „im Prinzip ja“, verbunden mit dem Zusatz: Ich weiß nur nicht wie viele Trompeten man braucht und welche Kräfte solche Mauern aushalten. Die Antwort hat Kalkül. Erstens folgt sie dem Grundsatz der Wissenschaftler: Beantworte die Fragen deines Auftraggebers wahrheitsgemäß aber schließe deine Antwort stets

mit einer neuen interessanten Frage, um den Folgeauftrag einzuwerben. Und zweitens, das Thema lebt und geht entweder in Richtung Schätzung der Anzahl der Trompeten oder in Richtung ‚die Wunder der Bibel im Lichte der Physik‘. Beides ist besser Regenwetter und Filmstars.

Hier sind nun die Zeit und der Ort, das Ja physikalisch zu begründen und tatsächlich die Zahl der benötigten Trompeten zu schätzen. Nach COUCHEPIN reichten die Trompeten übrigens nicht. Die Soldaten mussten zusätzlich brüllen. Lesen Sie im Anhang, Kapitel 6, seinen Beitrag in der Zeitung „Blick“ im Vollzitat und es öffnet sich eine neue Sicht auf diese biblische Geschichte.

1.3 Mauern

Die Frage, wann und warum eine Mauer einstürzt, ist nicht leicht zu beantworten. Aber es gibt anschauliche Beispiele: Ein Erdbeben schafft es offensichtlich durch mehr oder weniger periodische Schwingungen der Erdoberfläche, also mit elasto-dynamischen Oberflächenwellen, also eben mit Schallwellen. Eine Explosion ausreichender Stärke schafft es auch, millionenfach bewiesen. Und es geht mit einem Hammer, wenn man beständig durch massive Schläge die Mauer sozusagen ‚abträgt‘. Statt Hammer kann man auch Stoßwellen nehmen, zumindest bei Nierensteinen geeigneter Konsistenz; wieder Schall. Im Prinzip kann man also mit Schall

1.4 Vom Alltagsgeschäft

Mit dem was man in der Regel unter Schall versteht kann man das natürlich alles nicht. In der alltäglichen Vorstellung besteht Schall aus Wellen mit nullsymmetrischem Wechseldruck und nullsymmetrischem Wechselschnelle. Was vor geht, geht auch zurück! Und das im Millisekundenbereich, wenn man bei Trompeten Töne in der Nähe von 500 Hz unterstellt. Man kann so feste blasen, wie man will, die Mauer steht.

Aber das gilt eben nur ‚in der Regel‘. Es ist aber unsere Regel: Wir stellen uns Schall so vor, und machen ein physikalisches Modell, in dem nichts anderes vorkommt als die Phänomene unserer Vorstellung. Das Modell ist im Alltagsgeschäft sehr erfolgreich, aber eben auch unvollständig. Und Mauern-Einstürzen-Lassen ist kein Alltagsgeschäft.

2 Der Schallstrahlungsdruck

2.1 Impuls der Schallwelle

Schall sind Wellen. Und Wellen transportieren Energie und gehorchen dem Energiesatz. Weil Wellen Energie transportieren, müssen sie aber auch Impuls transportieren und natürlich dabei dem Impulssatz gehorchen. Wenn ein Knall oder Ton (ich vermeide in diesem Kontext zunächst den üblichen Begriff ‚Schallimpuls‘) auf eine Wand trifft, wird er reflektiert und - wie bei einer Billardkugel an der Bande des Tisches - wird der Impuls umgekehrt und die Wand - bzw. die Bande - erhält einen Stoß, um dem Impulssatz Genüge zu tun.

Das hat nichts mit der Frequenz zu tun, nichts mit dem Schall(wechsel)druck oder der Schnelle, sondern ausschließlich mit dem Energietransport in der Schallwelle. Dieser Schallstrahlungsdruck ist deshalb kein Effekt, der etwas mit der Nicht-Linearität der Luft zu tun hat. Und es ist schon gar nicht ein Effekt ‚zweiter Ordnung‘. Wer wollte schon dem Impulssatz diese Geringschätzung entgegenbringen.

Dieses Phänomen wird aus historischen Gründen als LANGEVINScher Schallstrahlungsdruck bezeichnet: Eine grundsätzlich falsche Bezeichnung, es handelt sich nicht um einen Druck, sondern eigentlich um eine Kraft, die die Schallwelle durch ihren Impuls ausübt. Der LANGEVINScher Schallstrahlungsdruck ist ein Vektor, der in Richtung des Energieflusses zeigt. Aber immerhin, sein Betrag hat die Einheit Pa.

2.2 Hinweise aus ausgewählter Literatur

In [2] erläutert und diskutiert Bergman in seinem klassischen Lehrbuch „Der Ultraschall“ den LANGEVINSchen und den RAYLEIGHschen Schallstrahlungsdruck. Die hier zitierte 4. Auflage aus dem Jahr 1944 spiegelt die damals noch nicht abgeschlossene wissenschaftliche Diskussion wider. Bergmann zeigt Original-Messungen, in denen LANGEVIN nachweist, dass ‚sein‘ Schallstrahlungsdruck nur von der Energiedichte abhängt. Im gleichen Buch werden auch Messungen von HERTZ und MENDE dargestellt, die die Wirkung des Schallstrahlungsdrucks an der Grenzfläche von geschichteten Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten darstellen.

Bergman zeigt, dass der RAYLEIGH’sche Schallstrahlungsdruck die Nicht-Linearität benötigt. In Flüssigkeiten gibt es ihn deshalb nicht.

Aus [3] reicht der Abstract dieser Veröffentlichung, der hier im Wortlaut zitiert wird, um die Bedeutung des LANGAVINSchen Schallstrahlungsdruck herauszustreichen.

Zitat Abstract, [3]

„The physical origin of the radiation force exerted by an ultrasonic beam on an absorbing target is explained. It is shown that the force may have two sources—a nonzero time-averaged sound pressure in the ultrasonic beam, and the momentum transported by the beam—but that there is a movement of material out of the ultrasonic beam to prevent a nonzero time-averaged sound pressure from being established. Consequently, the transfer of wave momentum is the sole cause of the force. The assumptions made in evolving this explanation are discussed, and the resulting change in mean density within the ultrasonic beam is considered. It is pointed out that the acoustic radiation force is but one example of a universal phenomenon associated with all forms of wave motion.“

Der vorliegende Aufsatz beschäftigt sich ausschließlich mit LANGEVINSchen Schallstrahlungsdruck. Wir bleiben also bei linearen Effekten. Im Folgenden ist stets der LANGEVINSche Schallstrahlungsdruck gemeint, wenn allein von Schallstrahlungsdruck die Rede ist.

Interessant als tieferen Einstieg in das Thema und in die Geschichte des Strahlungsdrucks und seiner Interpretation ist auch [4].

Anmerkung

Man hört häufig den Hinweis, dass der Schallstrahlungsdruck bei Ultraschall eine Rolle spielt, nicht aber im Hörbereich. Das ist insoweit verständlich, als ein nennenswerter – was immer auch nennenswert ist - Schallstrahlungsdruck nur dann entsteht, wenn Schallwellen in Luft einen Schalldruckpegel von 100 dB erreichen, s. Abbildung 1. Wenn man mit dem Schallstrahlungsdruck in Luft experimentiert, tut man gut daran, einen Frequenzbereich zu wählen, bei dem das menschliche Ohr unempfindlich ist. Grundsätzlich aber ist der Schallstrahlungsdruck frequenzunabhängig.

3 Berechnung des Schallstrahlungsdrucks in Luft

3.1 Grundlage

Der Schallstrahlungsdruck \underline{P}_L ist die Energieflussdichte. Die wiederum ist die Intensität \underline{I} geteilt durch die Schallgeschwindigkeit c in dem Medium.

$$\underline{P}_L = \frac{\underline{I}}{c} \quad \text{Gl. 1}$$

Nehmen wir eine ebene Schallwelle an, die sich in Richtung \underline{r} ausbreitet, lässt sich die Intensität durch den Schalldruck p und die Schnelle \underline{v} der Welle ausdrücken.

$$\underline{I} = p\underline{v} \quad \text{mit} \quad \underline{v} \parallel \underline{r} \quad \text{Gl. 2}$$

Da für ebene Wellen die Beziehung in Gl. 3 gilt, folgt für den Schallstrahlungsdruck die Beziehung in Gl. 4.

$$\underline{I} = p\underline{v} \quad \text{mit} \quad \underline{v} \parallel \underline{r} \quad \text{Gl. 3}$$

$$\underline{P}_L = \frac{1}{c} \frac{p^2}{\rho c} \frac{\underline{r}}{|\underline{r}|} \quad \text{Gl. 4}$$

In Gl. 3 und Gl. 4 ist ρ die Dichte des Mediums.

Man überzeugt sich leicht, dass die Einheit des Betrags von \underline{P}_L tatsächlich Pa ist, also die des Drucks, auch wenn der Schallstrahlungsdruck eine vektorielle Größe ist. Der Schallstrahlungsdruck ist also ein „gerichteter Druck“.

Es ist offensichtlich, dass der Schallstrahlungsdruck quadratisch vom Schalldruck abhängt und so leicht in den Verdacht gerät, ein Effekt zweiter Ordnung zu sein und irgendetwas mit Nichtlinearität zu tun zu haben.

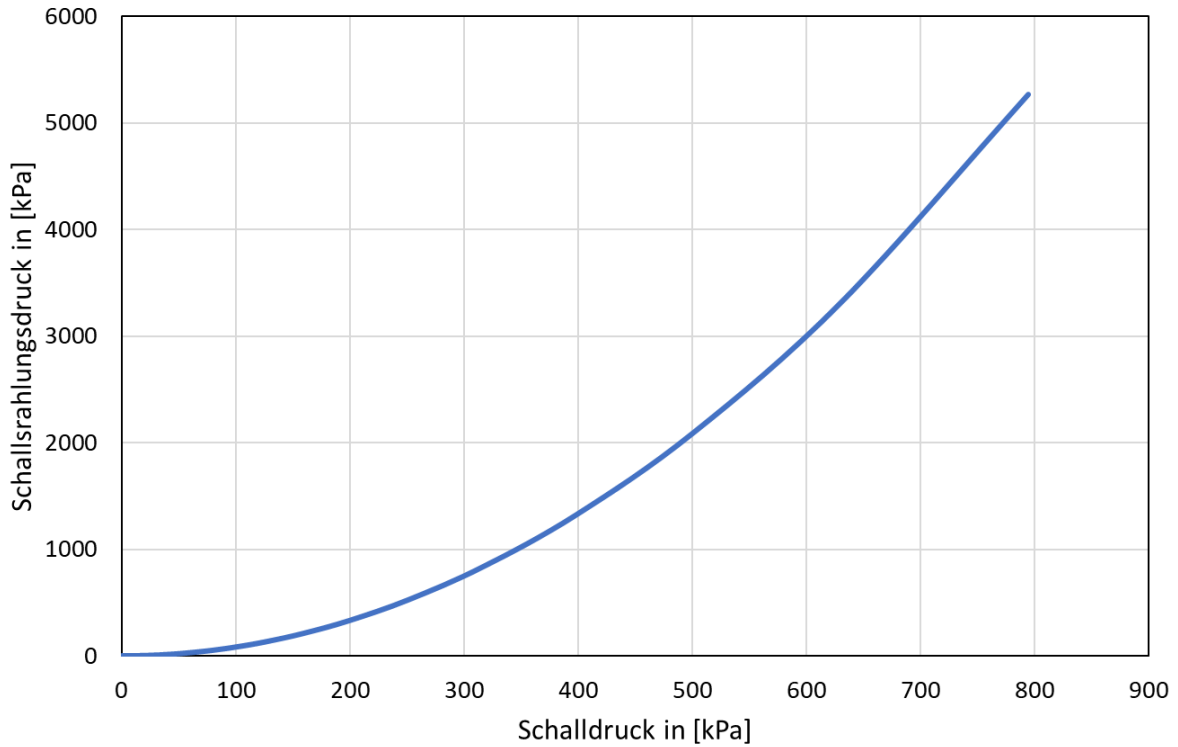


Abbildung 1 Schallstrahlungsdruck in Abhängigkeit von der Schallwechseldruckamplitude

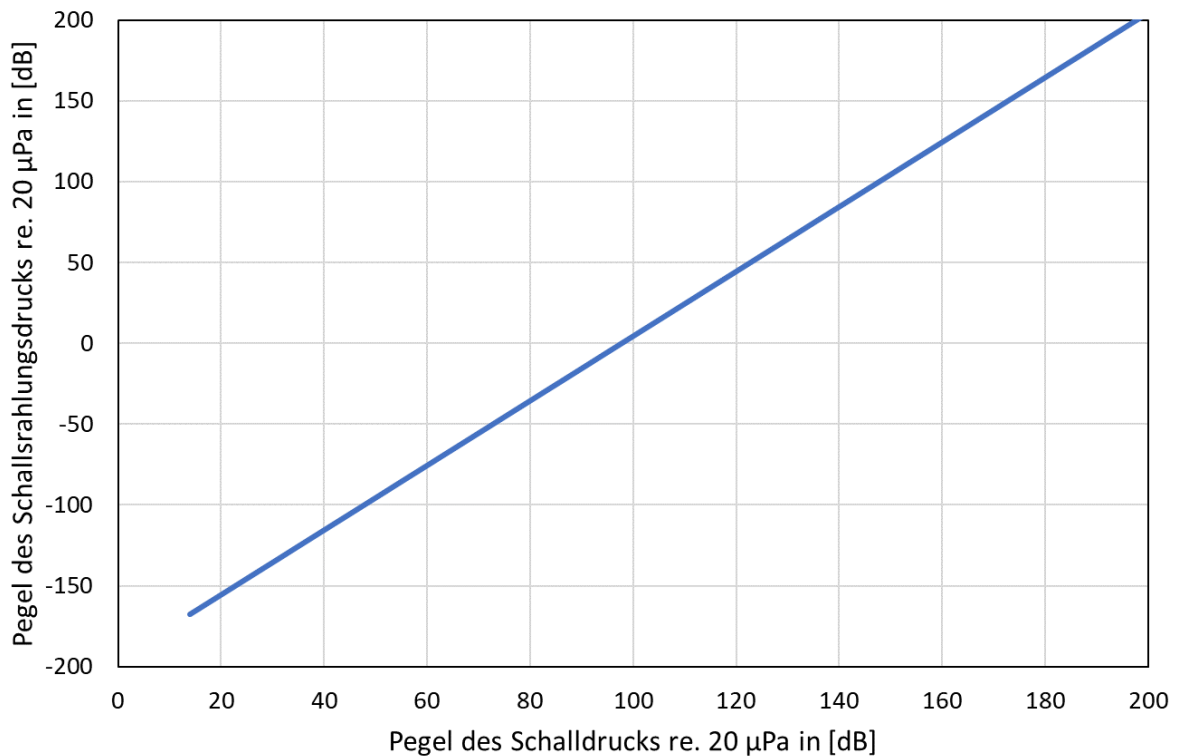


Abbildung 2 Schallstrahlungsdruckpegel in Abhängigkeit von der Schalldruckpegel beide Pegel bezogen auf 20 µPa

Bei der Annahme $\rho = 1,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und $c = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ lässt sich der Zusammenhang zwischen dem Schallstrahlungsdruck und dem Schalldruck direkt oder als Pegel in Dezibel auftragen.

3.2 Grenzbetrachtung

Der Pegel des Schallstrahlungsdrucks ist gerade gleich dem Pegel des Schalldrucks, wenn der Schalldruck gerade ρc^2 ist. Bei der hier gewählten Vorgabe der Kenngrößen gerade 1190,79 hPa oder 195,55 dB. Eine solche ebene Welle transportiert dann ca. 15 MWs pro Sekunde durch einen Quadratmeter. Das ist immerhin die Energie von drei modernen Windenergieanlagen unter Vollast.

Bevor also der Schallstrahlungsdruck in den Bereich des Schallwechseldrucks kommt, muss der Schallwechseldruck alle sachgerechten Grenzen sprengen. Der Schallwechseldruck müsste größer sein als der Luftdruck, der in Dezibel re. 20 μ Pa ca. 194 dB beträgt.

3.3 Kommunikation mit dem Schallstrahlungsdruck

Abbildung 2 sagt aber auch, dass man ca. 118 dB (bzw. 135 dB) Schalldruck benötigt, um einen Schallstrahlungsdruck von 40 dB (bzw. 74 dB) zu erzeugen. Dies eröffnet eine interessante Anwendung bei der Kommunikation. Man kann den Schalldruck von 118 dB bis 135 dB in einem Frequenzbereich erzeugen, den der Mensch nicht hört, z. B. bei 30 kHz, also im Ultraschallbereich. Wenn man die Amplitude des Ultraschalls mit einer Sprachaufnahme moduliert, dann hört der Mensch den Schallstrahlungsdruck als Tonsignal. Man hört also das Sprachsignal. Da man den Ultraschall stark bündeln und richten kann, kann man das Sprachsignal nur in einem kleinen Raumbereich anbieten, in dem gerade Platz ist für einen Kopf. Nur der, der dort steht, hört die Durchsage. Andere, die danebenstehen, werden nichts hören.

Anmerkung

Die Fa. Sennheiser hat sich dieses Prinzip zunutze gemacht. Die wissenschaftlichen Grundlagen zu dieser technischen Anwendung sind in [5] nachzulesen

Anmerkung

Glücklicherweise sind die Schalldrücke im Ultraschallbereich noch gerade unterhalb der zulässigen Grenzwerte nach dem Arbeitsschutzgesetz. Dort sind 135 dB der untere Auslösewert, ab dem Gehörschutz vom Arbeitgeber bereitgestellt werden muss, weil sonst Gehörschäden nicht auszuschließen sind.

3.4 Knalle

3.4.1 Schätzung des Schallstrahlungsdrucks einer 50-g-TNT-Sprengung

Bisher wurden ebene Wellen betrachtet. Ein eher theoretischer Ansatz, wenn man die zugehörigen Energien betrachtet. Bei Knallen, die von Explosionen stammen, geht das alles einfacher. Wir betrachten im Folgenden eine Explosion von 50 g TNT-Äquivalent, eine durchaus überschaubare Sprengmittelmenge, die militärisch zu den ‚kleinen Waffen‘ zählt. Die

Normenserie DIN EN ISO 17201, die sich vordringlich mit Schießgeräuschen von Handfeuerwaffen beschäftigt, zieht gerade dort ihre obere Gültigkeitsgrenze.

Anmerkung

*Bei Silvester-Feuerwerkskörpern liegen die 50 g im hohen Bereich von Nettoexplosivstoffmassen (NEM).
Bei Profi-Feuerwerkskörpern liegen die NEM deutlich höher.*

TNT hat eine Energiedichte von ca. 4500 kJ/kg: 50 g TNT hält also ein Energiedargebot von 225 kJ bereit. Wir nehmen weiter an, dass diese Energie durch die Kugeloberfläche der Einheitskugel (1 m Abstand) über 1 ms mit einer Geschwindigkeit von 330 m/s tritt. Dann ist die relevante radial gerichtete Intensität: $225 \text{ kJ}/12,5 \text{ m}^2/0,001 \text{ s} = 18 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{s})$. Der Schallstrahlungsdruck ist also $18000 \text{ kJ}/330 \text{ ms}^{-1} \approx 54,5 \text{ kPa}$ oder 188,7 dB re. 20 μPa .

Diese Schätzung muss zumindest in zwei Aspekten bezweifelt werden. Die Dauer der Passage der Energie von 1 ms ist eine kaum begründbare Annahme. Die Geschwindigkeit ist vermutlich signifikant zu klein. Würde man die Dauer und die Geschwindigkeit verdoppeln, ist der Strahlungsdruck nur ein Viertel zu hoch.

3.4.2 Schalldruckpegel einer Sprengung mit dem Sprengkörper DM 54

Der Simulator Explosion DM54 der Bundeswehr enthält Sprengmittel von etwas weniger als 50 g, der in Styropor und Papier eingebettet ist. Bei der Schätzung des Energiedargebot dieser Sprengung ist zu berücksichtigen, dass die Sprengung mechanische leisten muss, um die Einbettung aufzubrechen zu beschleunigen. Eine sachgerechte Annahme ist deshalb 150 kJ.

Für die DM54 liegen Messungen des Autors aus den 1990er Jahren vor, die für einen Überblicksbeitrag zu Waffenknallen aufbereitet wurden [6]. Zweck dieser Messung war die Bestimmung der Eindringung von hochenergetischen Schallimpulsen in Absorber. Diese Absorber wurden in den aus Beton-Ringelementen bestehenden Zylinder eingefüllt. Abbildung 3 stellt die Ergebnisse der Nullmessung dar: Der Zylinder war leer und wurde durch den Erdboden abgeschlossen.

Die Matrix der mit Piezo-Mikrofonen aufgenommenen Schalldruckzeitverläufe wird unten dargestellt. Dabei stellt die linke Spalte die horizontal angeordneten Vergleichsmessorte dar; die rechte Spalte sind die übereinander angeordneten Messorte für die Messung der Reaktion der Schallimpulse auf Reflexionen.

Man kann den Messungen entnehmen, dass sich die Spitzenpegel um 6 dB reduzieren, wenn sich der Abstand (hier jeweils 1,5 m) jeweils verdoppelt. Die Bodenreflexion im Zeitverlauf rechts unten überlagert den hinlaufenden Impuls.

Links oben ist in dem kleinen Fenster, das mit „Weber-Modell“ gekennzeichnet ist, der nach dem Weber-Modell zu erwartende Zeitverlauf des Schalldrucks dargestellt. Eine wichtige Information sind die eingetragenen Zeitdifferenzen. Die Abbildung bestätigt, dass die erste Überdruckphase ca. 1,5 ms dauert. Man muss nun lediglich noch eine Geschwindigkeit von 500 ms der Schockwelle der Explosion annehmen, um bei der Berechnung des Schallstrahlungsdrucks 171,0 dB zu erhalten.

Natürlich ist diese Übereinstimmung nicht widerspruchsfrei abgeleitet: Beim Schallstrahlungsdruck handelt es keineswegs um einen Spitzendruck. Man vergleicht also „Äpfel mit Birnen“, um umgangssprachlich zu werden. Auf der anderen Seite wurden die Mikrophone auch für streifenden Schalleinfall ausgerichtet. Inwieweit der ja gerichtete Schallstrahlung überhaupt aufgenommen wurde, ist nicht zu sagen.

Es bleibt aber festzustellen, dass bei einer solchen Sprengung mit einem Schallstrahlungsdruck zu rechnen ist, der in der ähnlichen Größenordnung liegt, wie der Schalldruck selbst.

Anmerkung

Der Verfasser ist unsicher! Und er hofft, dass das textlich zum Ausdruck kommt. Es ist weniger die Frage, was der Schallstrahlungsdruck ist, sondern eher, was ist der Schalldruck. Das WEBER-Modell basiert auf einer so einfachen Vorstellung und liefert so zuverlässige Vorhersagen über den Zeitverlauf des Drucks, dass man sich den Vorgang der Schallentstehung tatsächlich so vorstellen kann: Die Druckfront breitet sich kugelförmig aus. Zunächst mit Überschallgeschwindigkeit (re. Schallgeschwindigkeit in ruhender Umgebungsluft). Bei einer bestimmten Größe der Kugel, charakterisiert durch den WEBER-Radius, erreicht die Druckfront die Schallgeschwindigkeit und strahlt als Kugelquelle mit einer Schnelle, die gerade der Schallgeschwindigkeit entspricht, den Schall ab. Das Ergebnis ist die Signalform und die Signalthöhe in Abbildung 3. Genau dieses Signal messen die Mikrophone, also die „Schallabstrahlung“ einer Kugelschallquelle.

Kapitel 3.4.3 scheint dazu nicht zu passen!

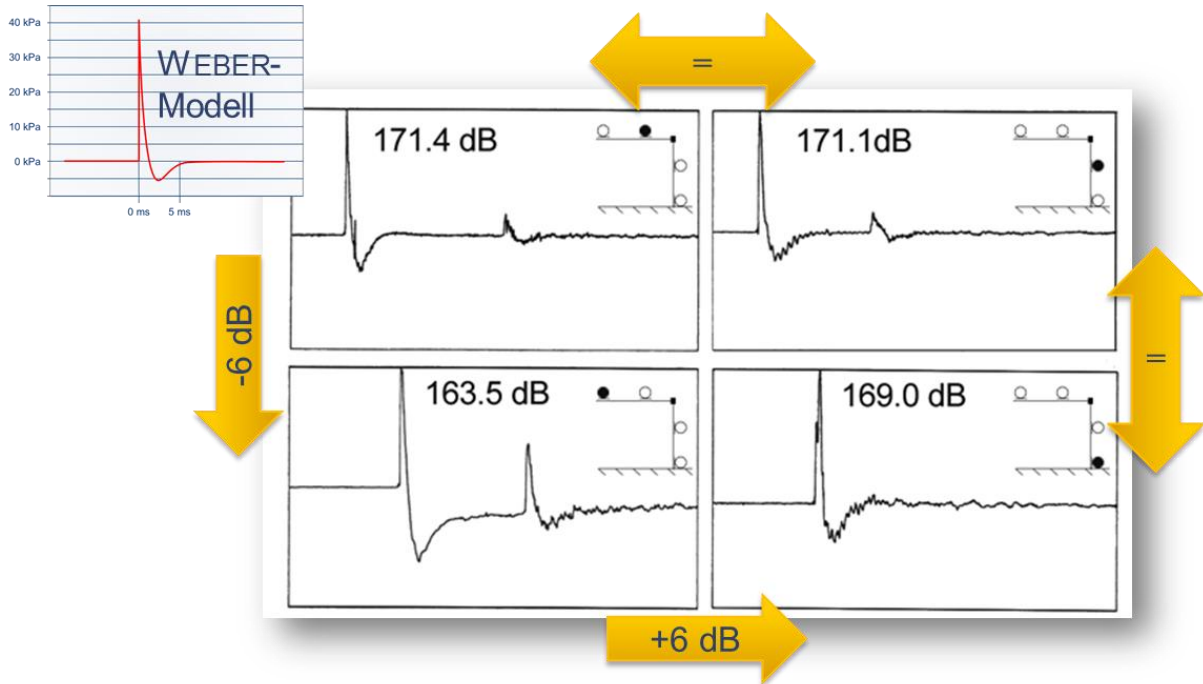
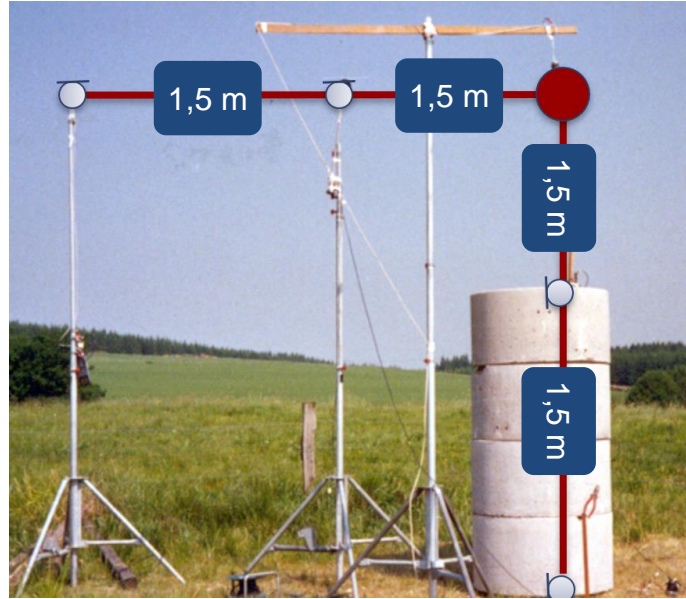


Abbildung 3 Messung mit dem Sprengsimulator DM54 nach [6]
oben: Skizze
unten: Ergebnisse für den Schalldruckzeitverlauf in den jeweils markierten Messorten,
die Werteangaben in Dezibel sind der $L_{p,Zpeak}$

3.4.3 Schätzung des Überdrucks

Es gibt eine Fülle von Literatur zur Schätzung des Überdrucks einer Explosion. Hier wird eine verbreitete Methode benutzt, um den Spitzendruck einer 50 g TNT Explosion abzuschätzen.

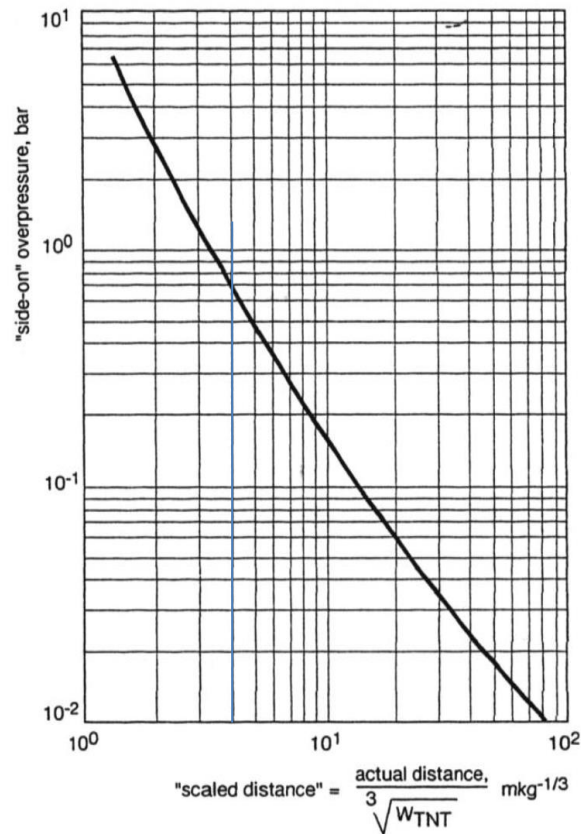


Abbildung 4 Überdruck als Funktion des reduzierten Abstands, nach [10], entnommen aus [9, Figure 3]

Abbildung 4 ist [9] entnommen. Sie erlaubt ein direktes Ablesen des Spitzen(über)drucks, wenn der skalierte Abstand nach Gl. 5 bekannt ist.

In Gl. 5 ist s_d der skalierte Abstand, d der tatsächliche Abstand und W_{TNT} die TNT-Äquivalenz der Sprengladung.

$$s_d = \frac{d}{\sqrt[3]{W_{TNT}}} \quad \text{Gl. 5}$$

Der ‚skalierte Abstand‘ der 50 g Sprengung in 1,5 m Abstand ist nach Gl. 5 ca. 4 m. Dafür entnimmt man aus Abbildung 4 ca. 700 mbar oder 70 kPa also ca. 191 dB.

Warum sich eine solche Diskrepanz zwischen den verschiedenen Ansätzen ergibt, ist dem Verfasser nicht klar.

4 Wie viele Trompeten braucht man für die Mauern von Jericho

Klären wir zunächst, wie laut eine Trompete ist

Zitat (https://www.thomann.de/de/onlineexpert_page_trompeten_wie_sie_klingt.html,
abgerufen am 2019-05-13)

Man glaubt es kaum: Der Schalldruck einer Trompete am Ohr kann bis zu 140 Dezibel betragen und ist damit lauter als ein Düsenjet beim Start. Das heißt natürlich nicht, dass auf einer Trompete immer „volles Rohr“ geblasen werden muss. Faszinierend unterschiedliche Klänge können dem gebogenen Messingrohr entlockt werden.

Diese Aussage kann sich schwerlich auf das Ohr des Bläusers selbst beziehen. Nehmen wir an, es handelt sich um das Ohr des Musikers, der eine Reihe davor im Orchester sitzt und dass dieser in einem Abstand von 1 m von der Trompete hat.

Nun ja - wie oben schon gesagt - ich weiß nicht, was Mauern aushalten, schon gar nicht die Mauern von Jericho. Eine Hilfestellung erhält man aus [8]. Dort findet sich eine Tabelle, die Spitzendrücke mit Schäden in Verbindung bringt. Bei 2 psi werden dort, vgl. Abbildung 5, ‚*Partial collapse of walls and roofs of houses*‘ erwartet. 2 psi entsprechen ungefähr 14 kPa. Wir brauchen nach Gl. 4 ca. 40 kPa Schallwechseldruck oder 186 dB, um solch einen gerichteten Druck zu erreichen.

In welchem Abstand von den Mauern haben die Trompeten überhaupt geblasen? Einfache Setzung 7 m, um eine magische Zahl aus der Bibel zu nehmen. Es bleibt also noch eine kleine Rechnung übrig. Oben wurde abgeschätzt, dass der Schalldruckpegel in 1 m Abstand 140 dB beträgt. Dann ist der Pegel in 7 m Abstand ca. 17 dB kleiner, also 123 dB.

Wir brauchen also die Differenz von 63 dB als Anzahl der Trompeten. Das sind gerade 2 Millionen Trompeten.

Anmerkung

Akustiker – auch ich – haben Dezibilitis; die zwanghafte Vorstellung, alles in Dezibel auszudrücken.

Endlich mal eine Zahl, mit der sich beim Smalltalk argumentieren lässt.

Auch eine Zahl, die den Anhang Kapitel 6 doch in den Vordergrund schiebt.

Table 15-1. Estimated Damage Attributable to Explosive Overpressure (Clancey, 1972)

Overpressure* (psig)	Expected Damage
0.03	Occasional breaking of large windows that are already under strain.
0.04	Glass failure caused by loud noises (143 dB) or sonic booms.
0.10	Breaking of small windows under strain.
0.15	Typical glass failure.
0.40	Some damage to house ceilings; 10% window glass breakage.
0.40	Limited minor structural damage.
0.50–1.0	Windows usually shattered; some damage to window frames.
0.7	Minor damage to house structures.
1.0	Houses made uninhabitable by partial demolition.
1.0–2.0	Failure and buckling of corrugated metal panels; housing wood panels are blown in.
1.0–8.0	Slight to serious injuries (e.g., skin lacerations from flying glass and other missiles).
Overpressure* (psig)	Expected Damage
1.3	Slight distortion of the steel frames of clad buildings.
2.0	Partial collapse of walls and roofs of houses.
2.0–3.0	Shattering of non-reinforced concrete or cinder block walls.
2.3	Lower limit of serious structural damage.
2.4–12.2	Up to 90% eardrum rupture among exposed populations.
2.5	50% destruction of home brickwork.
3.0	Distortion of steel frame buildings; may pull away from their foundations.
3.0–4.0	Ruin of frameless steel panel buildings.
4.0	Rupture of cladding of light industrial buildings.
5.0	Snappy of wood utility poles.
5.0–7.0	Nearly complete destruction of houses.
7.0	Overturning of loaded train cars.
7.0-8.0	Shearing of flexure causes failure of 8–12-inch thick non-reinforced brick.
9.0	Demolition of loaded train cars.
10.0	Probable total destruction of building.
0.10	Up to 99% fatalities among exposed populations as a result of direct blast effects.
* These are the peak pressures formed (in excess of normal atmospheric pressure) by blast and shock waves. For SI units, 1 psi = 6.894757 kPa.	

Abbildung 5 Auflistung der Wirkung von Sprengknallen in Abhängigkeit vom Spitzendruck
 Angaben in der linken Spalte in psi (1 psi ≈ 6,9 kPa), nach [8]
 Die Abbildung wurde als Scan der entsprechenden Tabellen in [8] gewonnen.

5 Verweise

- [1] Couchepin, P.: "Zur biblischen Geschichte von den Trompeten von Jericho", Tageszeitung Blick, Ausgabe 02.02.2007, Herausgeber Ringier AG, Zofingen, Schweiz, angerufen am 11.05.2019 unter <https://www.blick.ch/news/schweiz/wie-war-das-mit-den-trompeten-von-jericho-id126088.html>
- [2] Bergmann, L.: "Der Ultraschall", DW 927 – 06443,5, 4. Auflage, VDI Verlag, 1944
- [3] Urban, A. W., Fatemi, M., Greenleaf, J. M.: "Modulation of ultrasound to produce multifrequency radiation force", JASA 2010, 127(3): Seiten 1228–1238
- [4] Beyer, R., T.: "Radiation pressure – the history of a mislabeled tensor", JASA 63(4), App. 1978, S. 1025-1030
- [5] Olszewski, D.: „Stark gerichtete Audiobeschallung mit parametrischen Ultraschall-Lautsprechern“, Dissertation EIM-E/237, Universität Paderborn
- [6] Hirsch, K.-W.: "Akustik der Waffenknalle", Fortschritte der Akustik, DAGA 2017, Kiel
- [7] Ngo, T.; Mendis, P.; Gupta, A.; Ramsay, J.: "Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview", EJSE Special Issue: Loading on Structures (2007)
- [8] Iqbal, N.; Salley, M. H.: "Fire Dynamic Tools (FDT[®]): Quantitative Fire Hazard Analysis Method for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program", Final Report NUREG-1805, 2004
- [9] Sochet, I.: "Blast effects of external explosions. Eighth International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions, Sep 2010, Yokohama, Japan. fihal-00629253
- [10] CPR, Committee for the Prevention of disaster. Yellow Book, Methods for the calculation of physical effects, Part 2, CPR 14E, Chap. 5, 3rd edition, 1997.
- [11] Clancey, V. J.: "Diagnostic Features of Explosion Damage", 6th International Meeting of Forensic Science, Edinburgh, England, 1972

6 Zur biblischen Geschichte von den Trompeten von Jericho

Pascal Couchepin, Bundesrat und Kultusminister der Schweiz, schreibt am 2.2.2007 in der Zeitung ‚Blick‘, [1]

Zitat

Josua ist der Nachfolger von Moses. Er führt die Stämme Israels Richtung Gelobtes Land. Als guter Kriegsherr schickt er Spione nach Jericho, das er in Kürze angreifen will. Aber der Landeskönig misstraut diesen Fremden.

Er befiehlt, sie zu verhaften. Zum Glück für sie gewährt ihnen die Prostituierte Rahab Unterschlupf. Sie versteckt sie, sie rettet sie. Aber nicht umsonst. Sie ringt ihnen das Versprechen ab, ihre Familie im Fall der Eroberung Jerichos zu verschonen. Die Spione kehren unversehrt in Josuas Lager zurück. Sie berichten, wie es um die Moral der Bevölkerung steht.

Die Bewohner von Jericho haben Angst. Sie wissen, dass sich Spione in die Stadt eingeschleust haben. Und dass die israelitische Armee extrem stark ist und denen, die sich ihr widersetzen, nichts schenkt: Wer sich wehrt, wird getötet.

Josua überquert mit seiner Armee den Jordan. Er lagert vor Jericho. Aber statt die Stadt anzugreifen entschliesst er sich, seine gesamten Truppen an sechs aufeinanderfolgenden Tagen unter dem Klang der Kriegstrompeten um die Stadt marschieren zu lassen. In der Stadt steigt die Spannung, die Angst.

Die Leute fragen sich: Wer ist dieser selbstsichere König, der sich damit begnügt, seine Stärke zu zeigen und die Trompeten ertönen zu lassen? Wo sind die Verräter in der Stadt?

Am siebten Tag erhöht Josua den Druck. Er belässt es nicht beim Trompeten. Er lässt seine Leute alle gleichzeitig brüllen. Das gibt den Nerven der Belagerten den Rest. Laut der Geschichte sind da die Mauern Jerichos eingebrochen. Fiktion? Realität ist, dass psychologischer Druck den Widerstandswillen gebrochen hat.

Die Armeen Israels dringen in die Stadt ein. Alle werden getötet ausser Rahab, die Verräterin, und ihre Familie. Eine Warnung für alle, die Josua Widerstand leisten wollen!

Den Begriff gab es damals noch nicht, aber die Eroberung Jerichos ist ein schönes Beispiel für erfolgreiche psychologische Kriegsführung. Alles ist drin: Die Sicherheitskräfte, denen es nicht gelingt, die Spione zu fassen und den Verrat zu verhindern. Der Ruf der Brutalität, der Josua vorausleitet. Die Trompeten, die die Angst der Belagerten Tag für Tag vergrössern. Und dann das Massegebrüll, das die Stadtbewohner glauben macht, Josua habe unerwartete militärische Reserven.

Der Krieg ist verloren, bevor er begonnen hat. Wenn die Trompeten von Jericho sieben Mal in Folge erklingen, muss man die Nerven behalten oder kapitulieren. In der Politik versuchen gewisse Kreise besonders, andere einzuschüchtern. Wer dann Angst hat, der hat bereits verloren.





Die Trompeten von Jericho erschrecken nur diejenigen, die innerlich bereits kapituliert haben.

7 Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“



Eine Sammlung von Aufsätzen
zu ausgewählten Themen der Akustik
aus der ganz persönlichen Sicht des Autors

	Prolog Die Schöne und der Krieg	kwhdba.00.02 2018-10-31	E
	Dezibels Warum sich Akustiker in der Wüste am wohlsten fühlen	kwhdba.01.01 2018-10-07	E
	Bewertungen Wie die Ohren hören sollten	kwhdba.02.01 2016-11-09	E
	Zeit begreifen Zeitbegriffe	kwhdba.03.00 2016-11-12	F
	Rote Rosen Prognosen mit dem Schallwetter	kwhdba.04.00 2016-11-12	I
	Pegelsalat Zur systematischen Kennzeichnung von Schallpegeln	kwhdba.05.00 2016-11-12	F
	Vom Harten und Weichen Bodenreflexionen im Freien	kwhdba.06.00 2016-11-12	I
	Atmosphärische Störungen Über Messungen im Freien	kwhdba.07.00 2016-11-21	F
	Projectile Sound To Whom It May Concern	kwhdba.08.01 2018-08-22	E
	Überreichweiten Über Zonen abnormaler Hörbarkeit	kwhdba.09.1 2018-09-17	E
	Götzenverehrung DIN ISO 9613	kwhdba.10.01 2018-10-06	K
	Krumme Hunde Schallkreise in der Luft	kwhdba.11.02 2018-11-09	E
	Kanonische Karten Über klare Kanten in der Lärmakustik	kwhdba.12.0 2019-03-15	I

	Jericho Über Trompeten, Mauern und Schallstrahlungsdruck	kwhdba.13.0 2019-05-13	E
	Cmet Die meteorologische Korrektur der DIN ISO 9613-2	kwhdba.14.0 2020-04-19	E
	Schießlärm Immissionsschutz auf Schießplätzen für Verwaltungsakustiker	kwhdba.15.0 2020-04-17	E
	Rasterdecken Massiver baulicher Schallschutz auf Schießständen	kwhdba.16.0 2020-04-17	E

Stand	I	Idee	erste Skizze	---	E	Entwurf	kurz vor druckreif	web
	F	Fragmente	erste Abschnitte oder Kapitel	---	D	Druck	Druckversion	web
	K	Konzept	Konzept ohne Sprachprüfung	web				

Impressum

Autor
Urheberrecht
Zitierhinweis
Verfügbarkeit
Kontakt



Karl-Wilhelm Hirsch
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>
 Hirsch, K.-W.: „Bella Acustica – De Bello Acustica“, [Titel], [Kennung]
www.kwhirsch.de
post@kwhirsch.de