

# Akustik, Perzeption, Soziologie und Quantenmechanik – Versuch eines philosophischen Brückenschlags

Oliver Wolff

GEBERIT International AG, CH-8645 Jona, E-Mail: Oliver.Wolff@geberit.com

## Einleitung

Akustik ist Information. Wie diese Information wahrgenommen wird, ist eine Frage der Perzeption. Perzeption ist subjektiv, erfolgt oft unbewusst, ist kulturabhängig und unterliegt verschiedenen Kontextsituationen. Die Perzeption steuert bei Menschen wichtige Beurteilungs- und Entscheidungsprozesse. Soziologische Faktoren spielen hierbei eine zentrale Rolle.

Anhand von „La Ola“-Wellen in Stadien kann mit Hilfe von Analogiebetrachtungen beispielsweise der Wellencharakter von sozialen Phänomenen auf physikalische Grundgrößen zurückgeführt und die soziale zwischenmenschliche Kopplungsstärke quantitativ ermittelt werden. Die so bestimmte „soziale Kraft“ zwischen den Zuschauern ist, wenn man sie als rein physisch wirkende Kraft versteht, mit über 1000 Newton erstaunlich hoch und zeigt das grosse Potential soziologischer Einflussgrößen.

Die „Materialkonstante“ der Menschenmenge, die sich aufgrund dieses Beispiels berechnen lässt, entspricht, rein physikalisch betrachtet, der eines sehr weichen Schaumes.

Bei der „La Ola“-Welle gibt es nur zwei diskrete mögliche Zustände, „aufstehen“ und „sitzenbleiben“. Eine ähnliche Quantisierung von Zuständen existiert im Bereich der Quantenmechanik. Entscheidend für das Auftreten von Quanteneffekten ist das sogenannte „Plancksche Wirkungsquantum“. Basierend auf Analogiebetrachtungen kann ein entsprechendes „Soziales Wirkungsquantum“ für soziale Phänomene eingeführt und quantitativ bestimmt werden. Der relativ grosse Zahlenwert des „Sozialen Wirkungsquantums“ deutet auf die Relevanz sozialer Quanteneffekte in unserer Alltagswelt hin.

Es gibt in unserer Alltagswelt Dinge, die wir nicht gleichzeitig mit beliebiger Intensität betreiben können, das sind Gegensatzpaare wie z.B. „Flexibilität“ und „Fokus“. Was bedeutet es eigentlich, wenn wir annehmen, dass diese Gegensatzpaare durch eine Fourier-Transformation mit einander verbunden sind? Was bedeutet das für das Gegensatzpaar „Schallschutz“ und „Schalldämmung“?

## La Ola Welle

Die La Ola Welle in einem Stadion sieht rein optisch betrachtet wie eine normale Welle aus. Wellen lassen sich physikalisch mathematisch beschreiben. So hängt die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  mit der Masse der schwingenden Teilchen pro Streckenelement  $\mu$  und der Spannkraft zwischen den Teilchen  $F$  wie folgt zusammen:

$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

Angenommen, die La Ola Welle breitet sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 50 km/h bzw. 14 m/s aus, und das durchschnittliche Gewicht der Menschen, die in einem Abstand von 1 m voneinander getrennt sitzen, beträgt 80 kg.

Aus diesen Angaben lässt sich die „Spannkraft“ zwischen den Menschen ausrechnen. Sie errechnet sich für die gewählten Grössen zu 15'680 N. Die während der Welle auf eine einzelne Person senkrecht nach oben wirkende Kraft ergibt sich somit zu:

$$F_{\text{senkrecht}} = F \cdot \sin(\text{Winkel zum Nachbarn ca. } 5^\circ) = \\ = 15'680 \text{ N} \cdot \sin 5^\circ = 1'366 \text{ N}$$

Das entspricht umgerechnet einer Gewichtskraft von

$$1'366 / 9.81 \text{ [kg]} = 139 \text{ kg}$$

Die so ermittelte zwischenmenschliche „Spannkraft“ kann man auch als „soziale Kraft“ interpretieren, die zwischen den Menschen wirkt.

Das Rechenbeispiel ist natürlich nur als Analogie zu verstehen. Kein physikalisches Mess-System kann die soziale Kraft zwischen Menschen wirklich messen. Dennoch ist die Grössenordnung der so ermittelten Wechselwirkung erstaunlich hoch.

Wie sieht es mit den „Materialeigenschaften“ der betrachteten Menschenmenge aus? Die Analogie zeigt folgendes:

Der E-Modul  $E$  ist definiert als das Verhältnis zwischen Spannung  $\sigma$  (Kraft pro Fläche) und Dehnung  $\varepsilon$  (Auslenkung)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

Angenommen die betrachtete Fläche beträgt 1 m<sup>2</sup> und die Höhenänderung einer Person beim Aufstehen ist 1 m (1 m sitzend, 2 m stehend), dann errechnet sich der E-Modul zu 0.001366 MPa. Das entspricht in etwa dem E-Modul eines sehr weichen Schaumstoffes.

Fazit der Analogiebetrachtung: Die soziale Kopplung zwischen den Menschen ist erstaunlich hoch, gleichzeitig ist es relativ einfach, die Menschenmenge in ihrer Gesamtheit zu bewegen.

## Soziales $\hbar$

Im Folgenden wird eine Analogie zwischen den diskreten Zuständen der La Ola Welle und diskreten Zuständen in der

Quantenmechanik hergestellt. Die Bezeichnung „soziales  $\hbar$ “ (gesprochen „h quer“) wird in Anlehnung an die Quantenmechanik gewählt. Bei der La Ola Welle gibt es nur zwei diskrete Zustände, entweder Aufstehen oder Sitzenbleiben, gebückte Haltungen sind bei der La Ola Welle eher selten anzutreffen.

Das Auftreten diskreter Energiezustände ist ein wichtiges Merkmal der Quantenmechanik.

Konkret zeigt sich die Quantenmechanik z.B. bei der Entstehung von Hautkrebs. Hochfrequentes, unsichtbares UV-Licht kann Hautkrebs auslösen, wenn das Lichtquant die Energiehürde  $E$  zur Auslösung einer Zellmutation überwindet, niederfrequentes, sichtbares Licht kann das nicht, egal wie intensiv das Licht ist. Es kommt bei der schädigenden Wirkung nicht auf die Anzahl der Lichtquanten sondern nur auf deren Frequenz an. In Formeln ausgedrückt heisst das für die Energie  $E$  und die Frequenz  $\omega$  eines Lichtquants, das eine Zellmutation auslösen kann:

$$E = \hbar_{QM} \cdot \omega \quad [\text{Nm}] \quad (3)$$

Die Grösse  $\hbar_{QM}$  ist das Plancksche Wirkungsquantum. Der Wert beträgt  $1,054 \cdot 10^{-34}$  Nms. Die Energie  $E$  des Lichtquants hängt also nur von seiner Frequenz  $\omega$  ab.

Stellen wir nun die Analogie zur La Ola Welle her. Angenommen wir können für die Energie schreiben

$$E = \hbar_{sozial} \cdot \omega_{sozial} \quad [\text{Nm}] \quad (4)$$

dann können wir aus der für das Aufstehen benötigten Energie und der Annahme, dass für das Auslösen einer La Ola Welle ca. 50 Personen pro Sekunde notwendig sind, d.h. eine soziale Frequenz von  $\omega_{sozial} = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz}$  wirkt, auf die Grössenordnung des  $\hbar_{sozial}$  schliessen.

$$E = F \cdot Weg = 1'366 \text{ N} \cdot 1\text{m} = 1'366 \text{ Nm}$$

$$\omega_{sozial} = 314 \text{ Hz}$$

Es folgt

$$\hbar_{sozial} \approx 4 \text{ Nms}$$

Selbst vor dem Hintergrund der sehr vereinfachten und groben Annahmen wird ersichtlich, wie extrem der Unterschied zwischen dem «sozialen Wirkungsquantum» und dem quantenmechanischen «Planckschen Wirkungsquantum» ist, er beträgt 34 Zehnerpotenzen!

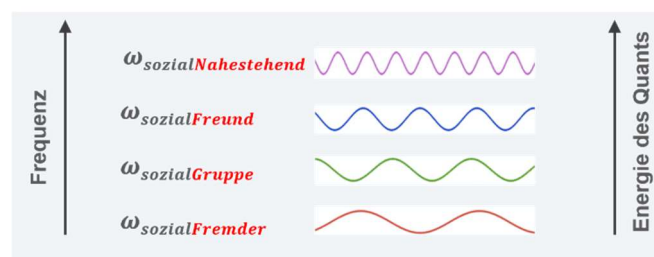
Soziologische Wirkungen sind nach dieser Analogiebetrachtung daher nicht wie bei der Quantenmechanik auf den Mikrokosmos beschränkt, sondern müssen sich im sozialen makroskopischen Alltag zeigen.

### Soziale Frequenz $\omega_{sozial}$

Die in (4) definierte soziale Frequenz hängt von der Kategorie der persönlichen Bindung ab. Die Frequenz fremder Personen ist tiefer als die einer Gruppe (Gruppenzwang), eines Freundes oder einer nahestehenden Person.

Die Frequenz definiert die Energie des sozialen Quants. Für eine soziale Entscheidung reicht ein einzelnes soziales Quant der passenden Energie aus. Die Quantität zählt beim Auslösen von Entscheidungen nicht. (Es ist egal, wie oft eine fremde Person einem etwas sagt.) Ein einzelnes Quant kann unterschiedliche Energiebarrieren überwinden, je nachdem aus welcher Kategorie es stammt.

So hat der Wunsch einer nahestehenden Person eine grössere Wirkung als der Wunsch einer beliebigen, fremden Person.



**Abbildung 1:** Beispiel für verschiedene mögliche Sozialkategorien und den zugehörigen sozialen Quanten gemäss Gleichung (4).

### Beispiele für getriggertes Sozialverhalten

Abhängig von der zu leistenden physikalischen Energie des zu initiiierenden sozialen Verhaltens ist ein soziales Quant von fremden Personen, einer Gruppe, eines Freundes oder einer nahestehenden Person notwendig.

Beim „spontanen Blick nach oben“, reicht eine einzige fremde Person aus, um bei anderen Personen die Energiebarriere für das „Kopf in den Nacken legen“ zu überwinden.



**Abbildung 2:** Eine fremde Person initiiert den „spontanen Blick nach oben“ bei anderen Personen.

Gleiches gilt für das „Klatschen bei einem Konzert“. Es reicht eine fremde, auslösende Person, um die Energiebarriere für das „Händeklatschen“ bei anderen Personen zu überwinden und eine Handlung zu initiieren.

Bei „stehenden Ovationen“ reicht eine fremde Person nicht aus. Die physikalisch aufzuwendende Energie des Aufstehens ist höher als beim Klatschen. Die Initiierung muss

entweder vom sozialen Quant einer Gruppe oder von einer nahestehenden Person kommen.

Beim „bei Rot über die Strasse gehen“ reichen die sozialen Quanten einzelner, fremder Personen auch nicht aus, um andere Personen dazu zu verleiten, bei Rot über die Strasse zu gehen. Der physikalische Energieaufwand für das Gehen ist höher als beim „Blick nach oben“. Die sozialen Quanten eines Freundes, einer nahestehenden Person oder einer Gruppe sind hierfür nötig.

Beim „Nutzen des Internets“ ist der physikalische Aufwand so gering, dass selbst fremde Personen eine Handlung initiieren können. Bei sozialen Medien oder bei Suchmaschinen kommt noch ein weiterer Effekt hinzu. Die sozialen Quanten, die zu einer Handlung bewegen, sorgen für Feedback Quanten, die sich selbst verstärken. Man könnte dies auch als „sozialen Laser“ bezeichnen. Ein analoges Prinzip tritt beim physikalischen Laser auf. Auf das optische Pumpen (Überwindung der Energiebarriere und Füllen einer Energiestufe mit Lichtteilchen) folgt die Entladung über halbdurchlässige Spiegel, was die Lichtteilchen in Resonanz bringt und einen Laserstrahl erzeugt. Im Internet spricht man analog von „Echokammern“.

Das optische Pumpen entspricht in dieser Analogie in etwa dem Kauf eines Computers oder Handys bzw. dem Abschluss eines Online Vertrages. Das ist der Initialaufwand, der geleistet werden muss, die Resonanz in der Echokammer kommt dann von ganz allein, ohne grosse Energiebarriere.

### Gegensatzpaare

Was geht verloren, wenn ich etwas mit Übereifer betreibe? Die Frage stellt sich z.B. bei den folgenden Gegensatzpaaren:

- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| • Yin und Yang                   | • Freiheit und Verbindlichkeit        |
| • Urlaub und Gehalt              | • Ich und das Gesamte                 |
| • Verstand und Intuition         | • Spass und Nachdenklichkeit          |
| • Flexibilität und Fokus         | • Plan und Opportunität               |
| • Übersicht und Detail           | • Leistungssport und Gesundheit       |
| • Sparsamkeit und Grosszügigkeit | • Klarheit und Kompromissbereitschaft |
| • Jugend und Reife               | • etc. ...                            |
| • Weisheit und Zauber            |                                       |

Abbildung 3: Beispiele für Gegensatzpaare. Übermass des einen Pols beeinflusst den entsprechenden Gegensatz-Pol.

Ähnlich verhält es sich mit dem Gegensatzpaar Zeit  $t$  und Frequenz  $f$ . Beide Grössen kann man nicht gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit bestimmen.

$$\Delta f * \Delta t \geq 1 \tag{5}$$

Die Zeit-Frequenz-Unschärferelation ist eine Folge der Fourier-Transformation.

In der Quantenmechanik gibt es eine analoge Unschärferelation zwischen der Orts-  $\Delta x$  und Impulsbestimmung  $\Delta p$  eines Teilchens.

$$1/\Delta x * 1/\Delta p \leq \frac{2}{h} \tag{6}$$

Graphisch ausgedrückt heisst das:

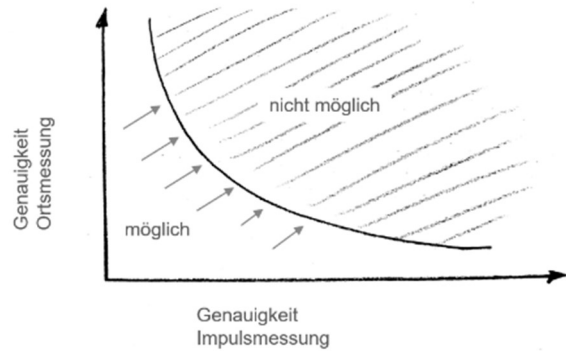


Abbildung 4: Das schraffierte Gebiet ist nicht möglich gemäss Unschärferelation. Die Randkurve zwischen beiden Bereichen stellt das Optimum (Gleichheitszeichen) dar.

Angenommen die Gegensatzpaare sind, wie das Paar Zeit und Frequenz oder Ort und Impuls, ebenfalls durch eine Fourier-Transformation miteinander verbunden. Dann muss für dieses Gegensatzpaar zwingend auch eine Unschärferelation gelten.

Für das Gegensatzpaar „Sicherheit“ und „Profit“ ergibt sich die Unschärfe zwischen „Sicherheitsspanne“  $\Delta S$  und „Profitspanne“  $\Delta P$  zu

$$\Delta S * \Delta P \leq \text{Konstante} \tag{7}$$

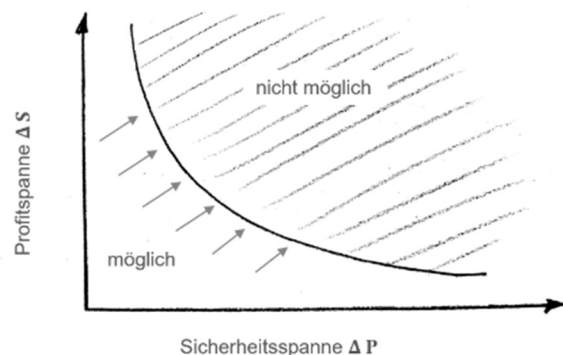


Abbildung 5: Anwendung der Unschärferelation auf das Gegensatzpaar „Profit“ und „Sicherheit“.

Die optimale Kurve (Randkurve zwischen beiden Bereichen) wird genau dann erreicht, wenn die Fourier-Transformierten (Gegensatzpaare) eine Gaussverteilung (Glockenkurve) aufweisen.

## Mensch und Bauteil

Kommen wir zur Akustik. Was ist wichtiger, Mensch (Schallschutz) oder Bauteil (Schalldämmung)?

Diese Frage beschäftigt auch Normenausschüsse. Während die DIN 4109 durch die Wahl der bauteilspezifischen Beurteilungsgrößen  $R'_w$  oder  $L_{AFmax}$  eher das Bauteil in den Vordergrund stellt, nutzt die VDI 4100 nachhallzeitbezogene Größen wie  $D_{nTw}$  oder  $L_{AFmax,nT}$  und fokussiert auf den Schallschutz und den Menschen.

Nehmen wir an, dass es sich auch in diesem Falle um ein Gegensatzpaar handelt, das durch eine Fourier-Transformation miteinander verknüpft ist und betrachten die beiden Pole:

Extremer Fokus auf den Pol „Mensch“:

Wenn man den personalisierten Schallschutz und die Individualisierung der persönlichen Befindlichkeiten bei der Perception extrem genau nimmt, wird die Realisierung durch reale Bauteile unglaublich aufwendig, unpraktikabel, teuer und einfach nicht umsetzbar.

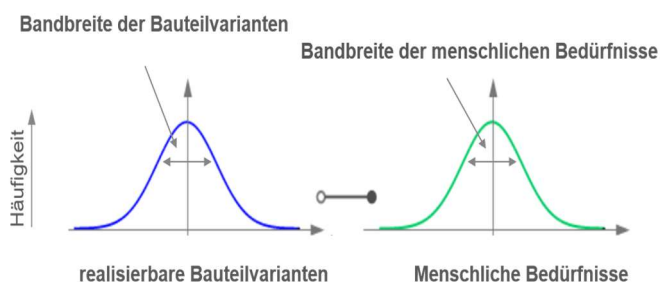
Extremer Fokus auf den Pol „Bauteil“:

Umgekehrt ist eine übertrieben industriegetriebene Bauteillösung in ihrer extremen Form für die Bedürfnisse der Menschen ungeeignet. Im Extremfall ist solch eine Lösung billig für die Industrie und teuer und alternativlos für den Kunden (Profitmaximierung, Kundenbindung).

Auch bei diesen Gegensatzpaaren lässt sich eine Unschärferelation formulieren. Dabei ist „ $\Delta$  Bauteil“ die Bandbreite realisierbarer Bauteilvarianten und „ $\Delta$  Mensch“ die Bandbreite menschlicher Bedürfnisse.

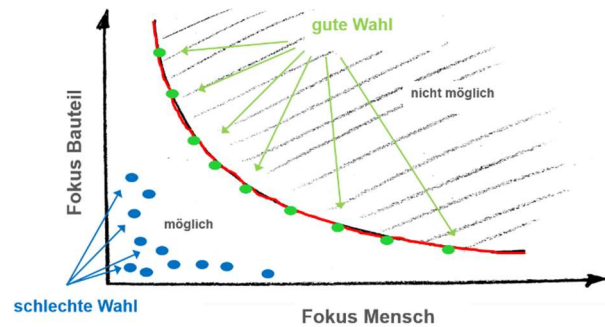
$$\Delta \text{ Bauteil} \times \Delta \text{ Mensch} \leq \text{Konst.} \quad (8)$$

Das Gleichheitszeichen gilt, wenn beide Größen eine Gaussverteilung aufweisen.



**Abbildung 6:** Minimale Unschärfe ergibt sich genau dann, wenn die Fourier-Transformierten Gaussform haben.

Graphisch dargestellt bedeutet das:



**Abbildung 7:** Graphische Darstellung der Unschärferelation zwischen den Gegensatzpaaren „Bandbreite der menschlichen Bedürfnisse“ und „Bandbreite der möglichen Bauteilvarianten“.

Die rote Grenzkurve stellt das Optimum dar. Die grünen Punkte auf der roten Kurve stellen jeweils eine gute Wahl dar. Ob der Fokus auf „Mensch“ oder auf „Bauteil“ gelegt wird ist Geschmackssache und für die Optimierung unerheblich. Wichtig ist nur, dass die Gegensatzpaare eine Gaussverteilung aufweisen, um die Unschärfe zu minimieren und das Optimum zu realisieren. Die blauen Punkte markieren eine schlechte Wahl.

## Vorschlag

Ein ideales Vorgehen, dass das Optimum zwischen den Ansprüchen an den Menschen und den Bedingungen für die Bauteile liefert, könnte wie folgt aussehen:

- 1) Die menschlichen Bedürfnisse nach ihrer statistischen Häufigkeit erfassen.
- 2) Für die menschlichen Bedürfnisse eine Gaussverteilung erstellen.
- 3) Für die gaussverteilten menschlichen Bedürfnisse ist ein Spektrum realisierbarer Bauteilvarianten zu erstellen.

Anmerkung: Das Spektrum realisierbarer Bauteilvarianten ist rein mathematisch gesehen zwingend wieder eine Gaussverteilung.

## Schlussbemerkung

Die gemachten Aussagen über Gegensatzpaare und ihre Unschärfe unterstützen das Prinzip der Ausgewogenheit und untermauern auf analytisch mathematische Weise unser Gefühl für den „gesunden Menschenverstand“.

Analogiebetrachtungen sind ein wenig wie Fabeln. Sie sind nicht absolut wörtlich zu nehmen. Jeder darf sie auf sich und seine Situation beziehen, behält aber die Freiheit, selbst zu entscheiden, ob er dies tun möchte oder eben nicht.