

Pegelmanntelle zur Planung von (Betriebs-)Restaurants

Alexander M. Dickschen¹, Benjamin Müller²

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: alexander.dickschen@ibp.fraunhofer.de

² Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: benjamin.mueller@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Menschen besuchen Restaurants normalerweise zur Nahrungsaufnahme und um soziale Kontakte zu pflegen. Wenige Menschen essen gerne alleine oder schweigen beim Essen. Neben dem Essen, freundlichem Service und Ambiente prägen anregende Tischgespräche maßgeblich das Erlebnis eines Abends im Restaurant. In Unternehmen gehört der Gang ins Betriebsrestaurant für viele Beschäftigte zu den festen Ritualen, er dient dem Austausch und der Erholung. Gerade für informelle Gespräche, zum Netzwerken mit Kollegen anderer Abteilungen und zum besseren Kennenlernen von Vorgesetzten bieten sich Betriebsrestaurants an. Kurzum, neben gutem Essen bieten Restaurants idealerweise einen Raum zur ungestörten Kommunikation.

Warum findet man selbst in neu gebauten Restaurants oft eine unbefriedigende Akustik vor? Dieser Frage geht dieser Beitrag nach. Auf Basis physikalischer Zusammenhänge wird ein einfaches Modell erstellt und die wesentlichen Einflussfaktoren aufgezeigt. An einem Beispiellojekt werden die Einflussfaktoren diskutiert, mit Normanforderungen verglichen und bewertet.

Sprachverständlichkeit auf Cocktailparties, Lombardeffekt und Pegelmanntelle

Akustiker beschäftigen sich schon lange mit der Hörwahrnehmung von Sprache unter sprachlichem Umgebungslärm. Ein wichtiger Beitrag dazu wurde von Cherry 1953 [1] veröffentlicht, worauf seither viele bis heute valide Untersuchungen folgten. Der damals geprägte Begriff *Cocktailpartyeffekt* bezeichnet die Herausforderung, einem Sprecher bei Lärmeinwirkung vieler störender Gespräche zu folgen. Gerade für Menschen mit Hörbeeinträchtigung sind Umgebungen mit Sprachlärm eine kaum bewältigbare Herausforderung. Die Sprachverständlichkeit lässt sich grob aus dem Sprachsignal relativ zum Störgeräusch vorherbestimmen.

Eine andere Reaktion von vielen menschlichen Sprechern in einem Raum ist, dass Menschen ihre Stimmintensität so weit anheben, dass Sie voraussichtlich verstanden werden. Das bedeutet, dass die Sprachintensität in Abhängigkeit des Hintergrundgeräusches gewählt wird. Dieser Effekt wurde von Lombard 1911 veröffentlicht [2] und seither als *Lombardeffekt* bezeichnet. Eine Zusammenfassung von Untersuchungen durch Lane und Tranel [3] zeigt, dass pro Decibel Hintergrundgeräusch die Stimme um etwa 0,5 dB angehoben wird. Bei hohen Personenzahlen führt das zu einer Anhebung des Pegels im Raum und damit zu weiterer Erhöhung der Stimmintensität. Der Pegel im Raum steigt, bis die Stimme physiologisch an ihre Grenze kommt. Dieses Aufschaukeln der Pegel

auf Cocktailpartys wurde bereits 1959 in [4] modelliert.

Die Idee, die Sprachverständlichkeit in Räumen mit vielen Personen aus raumakustischen Formeln und dem Lombard-Effekt vorherzusagen, ist also nicht neu. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse dieser Prozesse haben jedoch kaum Verbreitung in der Planungspraxis. Neuere Veröffentlichungen, z.B. [5] zielen darauf ab, die verwendeten Formeln zu vereinfachen und so für die Planungspraxis verständlicher und leichter anwendbar zu machen. Auch dieser Beitrag richtet sich an Praktiker: Anhand von Formeln sollen die physikalisch wichtigen Designparameter diskutiert werden, die zur Gestaltung von Akustik in Restaurants zur Verfügung stehen. Eine Gegenüberstellung zur in Deutschland oft eingesetzten DIN 18041:2016 soll zeigen, welches Niveau die Raumakustiknorm in Restaurants realisiert.

Signal-Rausch-Abstand SNR

Um ein Restaurant hinsichtlich seiner Akustik bewerten zu können, ist es hilfreich, eine treffende Zielsetzung zu formulieren. Da in Restaurants ungestört kommuniziert werden soll, halten wir es für sinnvoll, sich an der Sprachverständlichkeit an einem Tisch zu orientieren. Dazu bietet der Signal-Rausch-Abstand $SNR = L_{p,A,S} - L_{N,A}$, basierend auf dem Sprachpegel $L_{p,A,S}$ und dem Hintergrundgeräusch $L_{N,A}$ einen gut untersuchten Wirkungszusammenhang. In Abbildung 1 ist die Sprachverständlichkeit mit Begriffen den SNR -Werten zwischen -10 dB und $+10$ dB gegenüber gestellt.

Der Signal-Rauschabstand ist außerdem definiert als

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{Signal}}{\text{Störgeräusch}} \right). \quad (1)$$

In einem Restaurant kann nun vereinfachend angenommen werden, dass das Signal hauptsächlich auf dem Direktchalldruck

$$\text{Signal} = p_{\text{direkt}}^2 = \frac{W \rho_0 c_0 Q_0}{4\pi r^2} \quad (2)$$

besteht. Dabei ist W die Schalleistung der Quelle, ρ_0 die Dichte der Luft, c_0 die Schallgeschwindigkeit, Q_0 der Direktionalitätsfaktor des menschlichen Sprechers und r der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger. Das Störgeräusch wird durch die anderen N_s sprechenden Personen im Raum als Diffusschalldruck verursacht. Unterstellt man, dass die Entfernung zwischen den Tischen deutlich größer ist als der Hallradius ($d \gg r_H$), so ist der Diffusschalldruck

$$\text{Störgeräusch} = p_{\text{diffus}}^2 = \frac{4N_s W \rho_0 c_0 (1 - \bar{\alpha})}{S \bar{\alpha}}. \quad (3)$$

Sprachverständlichkeit



Abbildung 1: Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Abstand SNR in dB nach [6].

Dabei ist N_s die Anzahl der Störsprecher im Raum, $\bar{\alpha}$ der gemittelte Absorptionsgrad und S die Fläche aller Oberflächen. Auf die oft verwendete Vereinfachung dieser Formel $(1 - \bar{\alpha}) \approx 1$, da $\bar{\alpha} \ll 1$ wird hier verzichtet, da der Absorptionsgrad selbst in halligen Restaurants über $\bar{\alpha} = 0,1$ liegt, was als Grenze dieser Näherung betrachtet werden kann.

Setzt man Gl. 2 = Gl. 3 und löst nach r auf, so erhält man den Hallradius r_H bzw. die Entfernung, in der $SNR = 0$ dB beträgt. Dort wäre die Sprachverständlichkeit befriedigend bis ausreichend, siehe Abbildung 1.

Setzt man Gl. 2 und Gl. 3 nun in Gl. 1 ein, so ergibt sich

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S \bar{\alpha} Q_0}{16 \pi r^2 N_s (1 - \bar{\alpha})} \right), \quad (4)$$

unter der Annahme, dass die Schalleistung aller Quellen im Raum gleich groß ist. Diese Annahme ist plausibel, da alle Personen dem gleichen Hintergrundgeräusch und Lombardeffekt unterworfen sind, wodurch die gleiche Steigerung der Stimmintensität vorliegt. Mit der Schalleistung W der Sprecher entfällt implizit auch der Lombardeffekt, der die Steigerung der Stimmintensität verursacht. Aus Gl. 4 lässt sich lesen, dass der SNR und damit die Sprachverständlichkeit im wesentlichen durch

1. die Schallabsorptionsfläche S ,
2. den mittleren Absorptionsgrad $\bar{\alpha}$,
3. der Direktionalitätsfaktor des Sprechers Q_0 ,
4. den Abstand zwischen Sprecher und Empfänger r sowie
5. die Anzahl der sprechenden Personen N_s

entsteht. Daraus wird klar, dass die äquivalente Absorptionsfläche $A = S \cdot \bar{\alpha}$ im Zähler zwar wichtig ist, die Anzahl der sprechenden Personen im Raum sowie deren Abstand zueinander mindestens genauso wichtig sind.

Für den Abstand r zwischen Personen ist die Sitzanordnung wichtig: Die Tischgröße entscheidet darüber, wer miteinander sprechen kann. Bei formalem Setting (z.B. Hochzeit) mit runden Tischen (z.B. Durchmesser 1,8 m) sind Gesprächsrunden oft auf die Personen links und rechts eines Sitzplatzes beschränkt, außer es ist sehr ruhig im Raum. Bei Tafeln stehen i.d.R. 5 Personen als Gesprächspartner zur Verfügung, außer der Platz befindet sich am Ende der Tafel. Diese Betrachtung legt nahe, dass die Tischform ausschlaggebend ist und Tische so klein wie möglich und so groß wie für ihren Zweck nötig gewählt werden sollten. Dieser Zweck richtet sich nach der Lokalität: In Betriebsrestaurants muss der Tisch für

Tablets groß genug sein, sodass Tische mindestens 0,7 m tief sein müssen (typische Tablets entsprechen Gastornorm GN 1/1, 53 cm x 32,5 cm). Die Annahme, $r = 1$ m als Sprecher-Empfänger-Distanz zu wählen, findet sich in zahlreichen Veröffentlichungen, ist auf der sicheren Seite gewählt und wird hier angewendet.

Nicht berücksichtigt wird in Gl. 4 die Schallabsorption der anwesenden Personen. Ein stationäres Hintergrundgeräusch, z.B. der Lüftung wird in der folgenden Betrachtung nicht berücksichtigt.

Beispielrestaurant und SNR

Als Anwendungsbeispiel zu Gl. 4 dient ein Betriebsrestaurant mit Abmessungen $L = 25,2$ m, $B = 17,1$ m und $H = 4,6$ m. Daraus ergibt sich $S = 1251,0$ m² und $V = 1982,2$ m³. Die gemittelte Schallabsorptionsfläche aller Oberflächen beträgt $\bar{\alpha} = 0,26$ oder damit die äquivalente Absorptionsfläche 325 m². Der SNR aus Gl. 4 wird außerdem mit [5, Gl. 9] verglichen. In Abbildung 2 sieht man, dass die beiden Modelle sich leicht unterscheiden. Die Überprüfung der Formeln ergibt, dass in [5, Gl. 9] die Näherung $(1 - \bar{\alpha}) \approx 1$ gesetzt wird, woraus die Differenz resultiert.

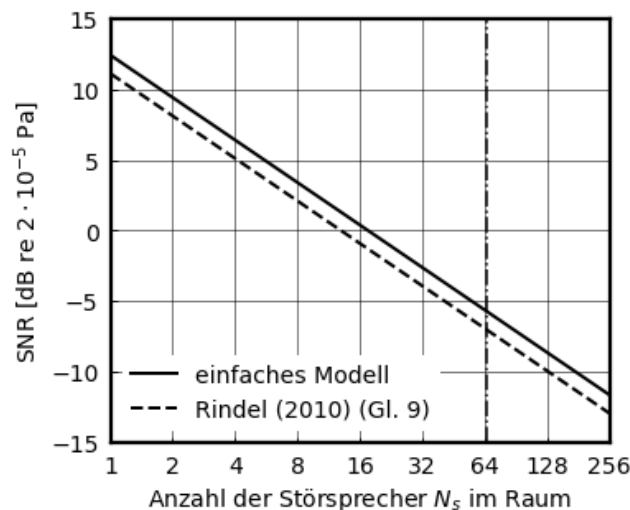


Abbildung 2: Signal-Rausch-Abstand bei Anzahl der Störsprecher im Raum.

Das Restaurant hat $N = 260$ Sitzplätze und wird während der Mittagszeit am stärksten frequentiert. Das Feedback der Nutzer war, dass trotz vorhandener Akustikmaßnahmen gemäß DIN 18041:2016, B3, die Lärmentwicklung hoch sei und es auch nach Einbau der Maßnahmen Beschwerden von Tischgästen gebe. Der Verdacht liegt nahe, dass die Sprachverständlichkeit an den Tischen zu niedrig ist, um sich sinnvoll unterhalten zu können. Da nicht alle anwesenden N Perso-

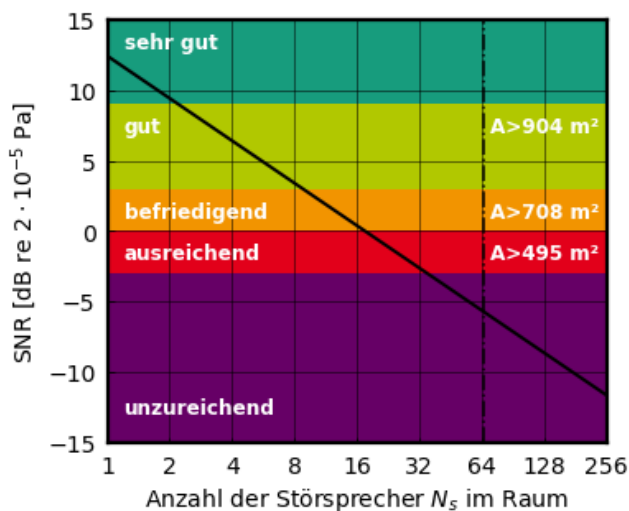


Abbildung 3: Signal-Rausch-Abstand bei Anzahl der Störsprecher im Raum mit den Sprachverständlichkeitsbereichen aus [6] mit Untergrenzen äquivalenter Absorptionsfläche A für die jeweilige Stufe.

nen gleichzeitig sprechen, ist es notwendig, eine Gesprächsgruppengröße zu bilden. Aus [5] entnehmen wir, dass für diese Art von Restaurant die typische Gesprächsgruppengröße bei $g = N/N_s = 3 \cdots 4$ liegt. Wir verwenden $g = 4$. Damit befinden sich $N_s = 65$ Störquellen im Raum bei voller Belegung. In Abbildung 3 wird ersichtlich, dass unzureichende Sprachverständlichkeit zu erwarten ist. Dazu kommen weitere Personen, die an den Ausgabetheken warten und ggf. weiter zum Störgeräuschpegel beitragen. Das bedeutet, dass die Normauslegung für die hohe Personenzahl keine zufriedenstellende Akustik herstellen kann.

Vergleich mit Norm

In DIN 18041:2016 gibt es in Gruppe B drei Nutzungsbeispiele für Nutzungsarten, die auf (Betriebs-)Restaurants angewandt werden sollen. Deren Beschreibung für das Beispielobjekt (mit äquivalenter Absorptionsfläche A für das Beispiel in Klammer) sind

- B3, **Räume zum längerfristigen Verweilen** listet *Speiseräume und Kantinen* ($A > 317 \text{ m}^2$),
- B4, **Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort** listet *Ausgabebereiche in Kantinen* ($A > 378 \text{ m}^2$) sowie
- B5, **Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort** nennt als Beispiele *Speiseräume und Kantinen in Schulen, Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kindergarten, Hort, etc.), Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen* ($A > 432 \text{ m}^2$).

Vergleicht man die äquivalente Absorptionsfläche des SNR-Pegel-Modells in Abbildung 3 mit Anforderungen der Raumakustiknorm, so zeigt sich, dass für die gegebene Personenzahl keine der Stufen B3–B5 ausreichende Sprachverständlichkeit gewährleisten kann. Möchte

man wenigstens *ausreichende* Sprachverständlichkeit erreichen, so wird $A > 495 \text{ m}^2$ äquivalente Absorptionsfläche benötigt, bei der naheliegenden Nutzung B3 sind 317 m^2 vorgesehen. Im vorliegenden Beispiel würde die Normauslegung deutlich geringere Absorptionsflächen einbringen, als auf Basis der Sprachverständlichkeit und Nutzungsintensität angebracht wäre. Weder der Normtext noch zugehöriger Kommentar [7] geben Hinweise auf die zu erwartende Qualität, die in Restaurants durch Stufen B3–B5 erreicht werden soll.

Betrachtet man den weiteren Kontext der DIN 18041:2016 und ihre Zielsetzung, auch Personen mit Hörbehinderung eine barrierefreie Hörumgebung zu gewährleisten, so wäre ein noch höheres Absorptionsniveau in (Betriebs-) Restaurants angebracht. Lazarus [8] empfiehlt als groben Anhaltspunkt, den SNR für Hörbehinderte um 3–10 dB höher zu wählen. Möchte man den SNR um 3 dB durch absorptive Maßnahmen erhöhen, so wäre eine *ausreichende* Sprachverständlichkeit nach dem SNR-Pegel-Modell ab 708 m^2 äquivalenter Absorptionsfläche gegeben. Bei 1251 m^2 Hüllfläche des Quaderbaus wären Sondereinbauten im Gastraum notwendig, um die Absorptionsfläche unterzubringen. Die andere Alternative wäre, die Sitzplatzzahl N zu limitieren und die Öffnungszeiten zu verlängern.

Fazit

Der Vorteil des vorgestellten Pegelmodells liegt darin, dass im Beratungsprozess alle wichtigen Einflüsse aufgezeigt werden können und die Sprachverständlichkeit als wesentliche Zielgröße direkt adressiert wird. Gelungene Raumakustik umfasst schallabsorbierende Maßnahmen, muss jedoch zusätzlich die geplante Personenzahl im Raum und Anordnung der Tische betrachten. Wir empfehlen, DIN 18041:2016 nicht auf (Betriebs-)Restaurants anzuwenden und stattdessen Pegelmodelle zu verwenden, die sich aus physikalischen Grundlagen und Erkenntnissen zur Sprachverständlichkeit ableiten lassen, wie das vorgestellte Modell.

Literatur

- [1] E. C. Cherry, „Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears“, The Journal of the Acoustical Society of America, Bd. 25, Nr. 5, S. 975–979, Sep. 1953.
- [2] E. Lombard, „Le signe de l’élévation de la voix“, Annales des Maladies de l’Oreille, du Larynx, du Nez et du Pharynx, Bd. 37, S. 101–119, 1911.
- [3] H. Lane und B. Tranel, „The Lombard sign and the role of hearing in speech“, Journal of Speech, Language, and Hearing Research, Bd. 14, Nr. 4, S. 677–709, 1971.
- [4] W. R. MacLean, „On the Acoustics of Cocktail Parties“, The Journal of the Acoustical Society of America, Bd. 31, Nr. 1, S. 79–80, Jan. 1959.
- [5] J. H. Rindel, „Verbal communication and noise in eating establishments“, Applied Acoustics, Bd. 71, Nr. 12, S. 1156–1161, Dez. 2010.

- [6] H. Lazarus, „Prediction of verbal communication in noise—A development of generalized SIL curves and the quality of communication (Part 2)“, *Applied Acoustics*, Bd. 20, Nr. 4, S. 245–261, 1987.
- [7] T. Kirchner u. a., *Hörsamkeit in Räumen: Kommentar zu DIN 18041*. 2018.
- [8] H. Lazarus, Hrsg., *Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation*. Berlin: Springer, 2007.