

Thoughts about Optimization with Subjective Design Goals (with Examples from Acoustics)

Überlegungen zur Optimierung mit subjektiven Zielfunktionen (mit Beispielen aus der Akustik)

Peter Költzsch¹, Volker Bormann²

Technische Universität, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, D-01062 Dresden, Deutschland,

¹ Email: peter.koeltzsch@ias.et.tu-dresden.de, ² Email: volker.bormann@mailbox.tu-dresden.de

Problemstellung

Ein Beispiel für eine mehrkriterielle Optimierung im technischen Bereich ist die Entwicklung eines Motors. Hier sind z. B. folgende Kriterien von Bedeutung:

- Hoher Wirkungsgrad, niedriger Brennstoffverbrauch
- Geringer Schadstoffausstoß, geringe Lärmemission
- Geringe Masse (Leichtbauweise), niedriger Preis
- Recyclebar (Stoffkreislauf) u. a.

Diese Kriterien sind objektiv bewertbar, meist auch direkt messbar. Um zu einem insgesamt optimalen Motor zu kommen, müssen diese Kriterien vergleichend bewertet werden. Zum Beispiel kann mit Bewertungsfaktoren für die Einzelkriterien (Kostenfunktionen) ein Gesamtkriterium konstruiert werden. Auch eine Pareto-Optimierung wäre ein denkbarer Weg. Schließlich kann die Entscheidung für den optimalen Motor zum Beispiel im Hinblick auf den Anwendungszweck fallen. Bei all diesen Verfahren spielen jedoch auch subjektive Bewertungen eine bestimmte Rolle. Somit wird der Abwägungsprozess über die Einzelkriterien bzw. das Gesamtkriterium unterschiedlich ausfallen, je nachdem, wer die Entscheidung trifft, der Ingenieur, der Ökonom, der Manager, der Kunde.

Neben diesen objektiven technischen Optimierungen (mit gewissen subjektiven Aspekten im Entscheidungsprozess) gibt es Optimierungen mit (fast) reinen subjektiven Zielfunktionen. Hierzu zählen viele Optimierungsprozesse, bei denen die menschlichen Sinne eine entscheidende Rolle spielen, z. B. die Herstellung einer Kaffeemischung mit optimalem Geschmack und Geruch, die Entwicklung "optimaler" Parfüme, Wurst- oder Käsesorten. Zu dieser Kategorie von subjektiven Optimierungen gehören auch zahlreiche Probleme aus dem Bereich der Akustik.

Für Optimierungen mit sogenannten subjektiven Zielfunktionen ist charakteristisch, dass das Optimierungsziel

- meist mehrkriteriell ist,
- eine erhebliche Unschärfe besitzt,
- von der beurteilenden Personengruppe entscheidend beeinflusst wird,
- der Anwendung von Methoden der begrenzten Rationalität offen ist und
- Grenzen der Objektivierbarkeit besitzt.

Diese Aspekte gewinnen zunehmendes Interesse bei der Gestaltung von Optimierungsprozessen mit subjektiven Zielfunktionen, einerseits aus psychologischem und psychoakustischem Erkenntnisdrang, andererseits von der Zielvorstellung ausgehend, zunehmend mit objektiven Verfahren (und damit physikalisch messbaren Größen) anstelle mit subjektiven Bewertungstests zu urteilen.

Optimierung mit subjektiven Zielfunktionen im Fachgebiet Akustik

Dazu zählen z.B.:

- Akustische Qualität („Gute Akustik“) eines Raumes
- Anpassung von Hörgeräten an das Resthörvermögen
- Optimierung der Qualität sprachlicher Kommunikation
- Optimierung moderner Fußböden hinsichtlich Gehschallbelastung in Gebäuden
- Subjektive Optimierung der akustischen Qualität von Lautsprechern, Musikinstrumenten, Glocken
- Sound Design bzw. Sound Quality als akustische Visitenkarte bestimmter technischer Produkte.

Bei allen diesen Beispielen ist das Bestreben zu beobachten, subjektiv empfundene Klangqualitäten durch objektive und damit in der Regel messbare Kriterien zu beurteilen, um die sehr zeitaufwendigen und für die Testpersonen häufig hoch beanspruchenden Bewertungen schrittweise abzulösen bzw. zumindest einzugrenzen. Eine wahrgenommene akustische Qualität, also der Gesamteindruck eines Klanges, ist jedoch von sehr komplexer Natur und zudem stark von subjektiven Faktoren, wie individuelle Idealvorstellungen, Hörgewohnheiten u. v. a. m., abhängig. Somit lässt sich ein Höreindruck nicht einfach durch die messbare Lautstärke und durch die Tonhöhe (Klangfarbe) sowie ggf. den Nachhall beschreiben, sondern bedarf zahlreicher weiterer Bewertungsfaktoren.

Gemessene Klangkriterien und subjektiv beurteilte Klangeindrücke korrelieren in vielen Fällen gut. Dennoch können objektive Bewertungsverfahren das subjektive Urteil nur in Ausnahmefällen ersetzen, wie dies auch bei nichtakustischen Optimierungsproblemen, die stark von individuellen Idealvorstellungen geprägt sind, der Fall ist. Häufig werden auch subjektive Optimierungsziele durch die Erfüllung objektiver Teilkriterien in messbarer Form gestützt.

In diesem Zusammenhang spielen noch zwei weitere Faktoren eine entscheidende Rolle. Einerseits nimmt der Mensch in komplexen Situationen Sinneseindrücke selten separiert auf, d. h. beim akustischen Empfinden sind auch nichtakustische Einflüsse seiner Umgebung integriert. Andererseits ist das Urteil auch von der Zielgruppe bzw. der Art der Testhörerguppe abhängig. Zum Beispiel steht die Frage, ob eher Laien oder Experten, trainierte oder untrainierte Hörer, aktiv oder nur passiv am Prozess Beteiligte das Bewertungsurteil abgeben sollten. Wenngleich die Urteile in der Tendenz meist in die gleiche Richtung gehen, unterscheiden sie sich zum Teil erheblich in der Urteilsschärfe, in der Streubreite der Urteile, in der Reliabilität (zwischen den Gruppen sowie inter- und intrapersonell) u. a. m.

Während Laien aufgrund der Unkenntnis spezieller Fachtermini und Urteilkriterien i.d.R. Gesamturteile (angenehmer – unangenehmer) abgeben, die z.T. einer erheblichen Streubreite unterliegen, sind die Experten in der Lage, einzelne Klangkriterien genauer zu beschreiben und schärfer zu skalieren. Jedoch ist dabei nicht auszuschließen, dass Experten ggf. durch ein vorangegangenes, gezieltes Training nicht unbefangene an die Beurteilung herangehen und auch nicht immer die Gruppe der potentiellen Käufer repräsentieren. Es gibt aber auch Beispiele dafür, dass die Urteile der Experten große Streubreiten aufweisen und dass die Aussagen der Laiengruppen ein gleichartiges Optimum wie das der Expertengruppe zeigen. Das führt zu Fragen wie z. B.: Wissen die Experten zu viel von den Details des Prozesses? Können Laien mit begrenzter Einsicht und dem "gesunden Menschenverstand" für ein bestimmtes Problem relativ gut ein Optimum finden? Können Methoden der begrenzten Rationalität dafür angewandt werden?

Ausgewählte Optimierungsbeispiele aus dem Fachgebiet der Akustik

Die **akustische Gestaltung eines Raumes** oder Saales für Musikaufführungen erfolgt mit objektiven Methoden unter Einbeziehung objektiver Kriterien sowie mit begleitender subjektiver Bewertung. Zur Berechnung bzw. Messung objektiver Kriterien kommen dabei die Computersimulation (gegebenenfalls mit angeschlossener Auralisation und subjektiver Beurteilung), die messtechnische Modelluntersuchung, eventuell auch die Anwendung synthetischer Schallfelder zum Einsatz. Objektive Maße für die Beurteilung sind dabei z. B. die Nachhallzeit, das Hallmaß, das Klarheitsmaß, der Seitenschallgrad, das Raumeindrucksmaß.

Die subjektive Beurteilung der akustischen Güte erfolgt mit einer Gruppe von Testhören an mehreren ausgewählten repräsentativen Platzbereichen. Die Testhörer haben einen unterschiedlichen Bezug zur Akustik und Musik, wie z.B. Raum- und Elektroakustiker, Tonmeister, Musiker, musikininteressierte Konzertbesucher, Laien. Mittels einer Schätzskala werden Urteile über die als besonders wichtig erachteten Kriterien wie z. B. Lautstärke, Nachhalldauer, Durchsichtigkeit und Raumeindruck erfragt. Hieraus werden Schlussfolgerungen zur raumakustischen Qualität abgeleitet.

Das **Optimierungsziel bei sprachlicher Kommunikation** ist ein höchster Grad an Sprachverständlichkeit. Diese hat zum Beispiel einen erheblichen Einfluss auf den Lernerfolg in Schulen, auf Aspekte der Arbeitssicherheit in Betriebsstätten, aber auch auf das gesamte psychische Befinden.

Quantifizierbare und somit messbare Kriterien sind dabei Raumgeometrie, Nachhallzeit, Signal-Rausch-Abstand, Art des Störgeräusches, Sprecher-Hörer-Abstand, Sprechpegel, Sprachspektrum und Sprechgeschwindigkeit.

Subjektive, nicht messbare Kriterien und Einflussfaktoren sind hier Sprechqualität, Sprachmelodie, Akzente bzw. Dialekte, eventuelle Hörbeeinträchtigungen, Vertrautheit mit dem Sprachwortschatz u. a.

Unter dem Schlagwort **“Sound Quality”** bzw. **„Sound Design“** wird bei einer Reihe von Erzeugnisgruppen der

emittierte Schall als ein Qualitätsmerkmal und damit als ein Verkaufsargument mit großer Bedeutung betrachtet. Dabei wird von Herstellern bzw. von Käufern ein typischer marken- oder produktspezifischer Klang angestrebt bzw. erwartet (auch suggeriert). Es ist festzustellen, dass von zahlreichen Bevölkerungsgruppen die Struktur des Emissionsgeräusches von untergeordneter Bedeutung ist und eher leise Erzeugnisse bevorzugt werden, dass aber andere auf lautere und erzeugnistypische Geräusche setzen.

Von Bedeutung ist aber auch, dass das Geräusch einen gewissen Informationsgehalt besitzt, dass es einen Sicherheitsfaktor darstellt (z. B. herannahendes Fahrzeug), dass es Informationsträger zum Betriebszustand, zum Werkzeugverschleiß, zur Reparaturnotwendigkeit ist. Wo liegt also für den konkreten Fall das Optimum zwischen subjektiven und objektiven Zielen sowie erforderlichen Grenzwerten? Das Ziel liegt in der Ableitung empirisch basierter Regeln für eine sinnvolle Gestaltung von Produktgeräuschen.

Schlussfolgerungen

Zweifellos stößt in vielen Bereichen die Objektivierbarkeit subjektiver Zielfunktionen derzeit an Grenzen, wenngleich Teilaspekte subjektiver Zielfunktionen durch einen Satz objektiver Kriterien gestützt werden kann. Somit steht z. B. die Frage, ob der „Differenz“-Betrag zwischen objektiven Kriterien und subjektiver Zielfunktion formuliert werden kann ("Was muss da eigentlich noch gemessen werden?"). Lässt sich die Vermutung, dass Optimierungen mit subjektiven Zielfunktionen noch nicht zu Ende geführte wissenschaftliche Erkenntnisprozesse mit klar formulierbaren objektiven Kriterien sind, widerlegen oder bestätigen?

Das Ziel sind Verallgemeinerungen für empirisch basierte Regeln für subjektive Zielfunktionen bei Optimierungsproblemen, die Berücksichtigung von Personengruppen, die in unterschiedlicher Weise am Optimierungsprozess beteiligt sind und die weitere Entwicklung der Modellierung bzw. der Ausweitung der Objektivierbarkeit bei Optimierungsfällen mit subjektiven Zielfunktionen.

Die Autoren danken der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) für die Unterstützung des Vorhabens.

Literatur

- [1] Klippel, W.: Zusammenhang zwischen objektiven Lautsprecherparametern und subjektiver Qualitätsbeurteilung. In: Kraak, W.; Schommartz, G. (Hrsg.): Angewandte Akustik, Band 1. Verlag Technik, Berlin 1988, S. 46-101.
- [2] Olive, S.E.: Differences in Performance and Preference of Trained versus Untrained Listeners in Loudspeaker Tests: A Case Study. J. Audio Eng. Soc. 51 (2003) 9, S. 806-825.
- [3] Gigerenzer, G.; Selten, R. (Hrsg.): Bounded rationality: The adaptive toolbox. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
- [4] Reichardt, W.: Gute Akustik – aber wie? VEB Verlag Technik Berlin, 1. Auflage. 1979.
- [5] Ziegenhals, G.: Vergleich von Hörtests aus Spieler- und Hörerperspektive. Fortschritte der Akustik - DAGA 1995