

Bewertung der mechanischen Aufhängung der Schwingspule bei großen Signalamplituden

Messtechnik für die Lautsprecherentwicklung

Die Klippel GmbH wurde 1997 von Prof. Dr. Wolfgang Klippel gegründet und entwickelt seitdem innovative Tools zur Messung, Simulation und Steuerung von Lautsprechertreibern und kompletten Audiosystemen. Prof. Dr. Wolfgang Klippel beschreibt die Messverfahren und die grundlegenden Veränderungen in der Lautsprecherentwicklung.

Text Prof. Dr. Wolfgang Klippel, Elke Wisse

— Was verbirgt sich hinter der Klippel GmbH?

Ich stamme aus Dresden und habe an der Technischen Universität Dresden studiert, die eine lange Tradition im Fachbereich Elektroakustik hat. Aus politischen Gründen durfte ich nicht als Doktorand an der Universität bleiben. Zu diesem Zeitpunkt hat man in der DDR versucht, Lautsprecher für Westdeutschland zu bauen. Dafür wurde eine Forschungsgruppe an der Universität aufgebaut, die von der Industrie bezahlt wurde. Es wurde an innovativen Ideen geforscht und da durfte ich mich wiederum einbringen. Nach der Wende habe ich an den Themen weitergearbeitet und im Jahr 1997 habe ich meine eigene Firma, die Klippel GmbH, gegründet, die mittlerweile 40 Mitarbeiter beschäftigt.

Wir bauen weder Lautsprecher noch Kopfhörer und auch keine anderen elektroakustischen Endprodukte. Wir sind Zulieferer für Hersteller von Einbaulautsprecher (Chassis) und für Hersteller fertiger Lautsprecher, Kopfhörer und anderer Audiogeräte für Zuhause, im Auto, auf der Bühne, im Studio, im Smartphone usw.

In den letzten Jahren haben wir uns spezialisiert auf elektroakustische Messgeräte, Simulations- und Steuer-Software für moderne Audiogeräte. Denn mein Ziel war und ist es, Lautsprecher durch gezieltes und nachvollziehbares Design sowie Steuerungsalgorithmen aktiv zu verbessern.

— Welche Produkte bieten Sie an?

Wir unterscheiden zwischen drei Produktgruppen. Zum einem gibt es das konventionelle Tool für die Entwicklung: Das Klippel

R&D System, das den Hardware Klippel Analyzer (KA3) beinhaltet, die Projekt Management Software dB-Lab und viele Module für verschiedene Messverfahren.

Zum zweiten gibt es das Quality Control System, eine vereinfachte Oberfläche mit auf Zeit getrimmten Algorithmen für die Produktion, so dass man in kürzester Zeit den Lautsprecher in der Produktionsphase messen kann.

Die dritte Säule heißt KCS, Klippel Controlled Sound, das sind Algorithmen, die in einen Verstärker integriert werden. Diese Algorithmen basieren auf elektroakustischer Modellierung und kombinieren die Echtzeitüberwachung der Parameter, den aktiven Schutz vor thermischer und mechanischer Überlastung, nichtlineare Verzerrungskompensation sowie die Stabilisierung der Schwingspulenposition.

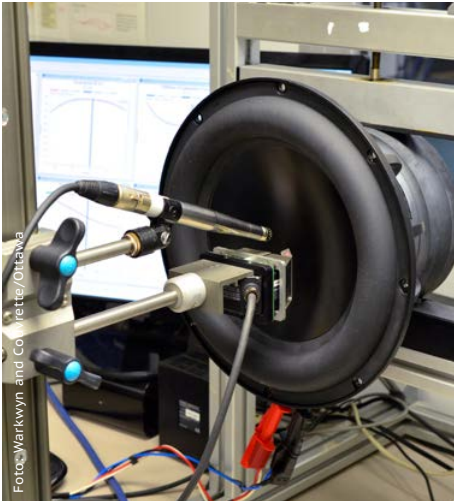


Abb. 1: Messung der Nichtlinearitäten und Signalverzerrungen eines Lautsprecherchassis mit dem Klippel Analyzer, Triangulationslaser und Mikrofon



Abb. 2: Holographische Messung des vom Lautsprecher erzeugten Schallfeldes mit Hilfe eines Nahfeldscanners

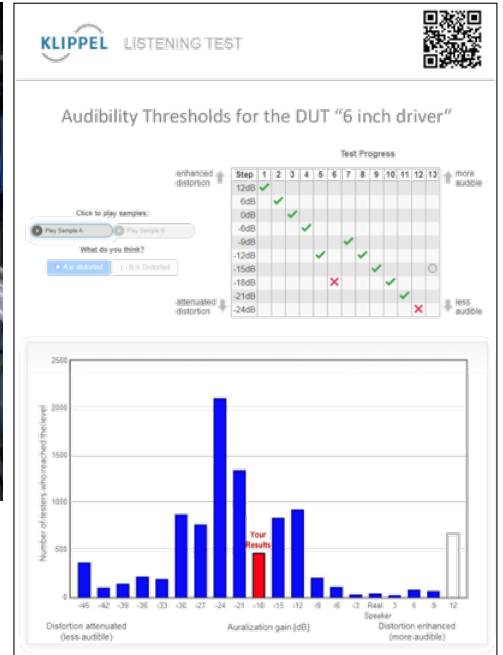


Abb. 3: Online Hörtest für die Bewertung der nicht-linearen Signalverzerrungen von Lautsprechern mit Hilfe der Auralisierung

Wir haben uns intensiv mit dem Abstrahlverhalten bzw. mit dem Schallfeld, das außerhalb des Lautsprechers liegt, beschäftigt. In der Vergangenheit hat man sich nie das Nahfeld angeschaut, sondern häufig nur das Fernfeld.

Das Nahfeld ist aber nicht nur für den Tonmeister im Studio relevant, sondern für jeden Anwender, der über Smartphone oder Laptop hört. Die Messung des komplexen Nahfeldes erfordert einen akustischen Abtastvorgang, wobei sich ein Mikrofon auf einer Hüllfläche um den Lautsprecher bewegt. Mit Hilfe der Messdaten wird ein Kugelwellenmodell erstellt, das den vom Lautsprecher abstrahlten Direktschall an jedem Punkt des Raumes beschreibt. Auch hier waren wir die Ersten, die ein solches holografisches Messverfahren entwickelt haben. Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt auf der Hand: Man kann in jedem Raum und in jeder Umgebung einen Lautsprecher viel exakter messen als im sogenannten schalltoten Raum. Diese Räume haben zwei entscheidende Nachteile: Sie sind teuer und nicht mobil.

Die letzte Phase bei der Lautsprecherentwicklung ist die Produktionstestung. Auch hier haben wir überlegt, wie man komplizierte Defekte, die bei der Produktion entstehen können, schnell erkennt, so dass die Ausschussrate vermindert werden kann und die Qualität in der Produktion schnell und zuverlässig gesichert ist.

Zusammenfassend kann man sagen: Unsere Messgeräte liefern schnell objektive Werte, die den Zusammenhang zwischen Entwurf, Form und Materialien und speziellen Eigenschaften beschreiben. Die Messungen nutzen

physikalische Modelle, die die verschiedenen Signalverzerrungen des Lautsprechers erklären.

— Wie entstehen Signalverzerrungen?

Vergleicht man das Eingangssignal mit dem Ausgangssignal des Lautsprechers, also mit dem reproduzierten Schalldrucksignal, so sind diese beiden Signale nicht identisch. Der Lautsprecher erzeugt verschiedene Signalverzerrungen, die das ursprüngliche Audiosignal verfälschen. Bei kleinen Signalamplituden entstehen lineare Verzerrungen im Frequenzgang, die die Amplitude und Phase der Töne verändern. Nicht nur der Lautsprecher, sondern vor allem die akustische Umgebung können erhebliche Verzerrungen erzeugen. Diese sind allerdings relativ harmlos und wir gewöhnen uns durch einen Adaptionsvorgang schnell daran. Auch können diese linearen Verzerrungen durch einen Equalizer an einem Beobachtungspunkt kompensiert werden. Leider funktioniert dies nicht für das gesamte Schallfeld.

— Was passiert bei großen Signalamplituden?

Bei großen Signalamplituden wird der Lautsprecher weitaus kreativer und erzeugt wie ein Musikinstrument neue Töne, die als Klirprodukte, Intermodulationen, und andere nichtlineare Verzerrungen gemessen werden können. Nur wenige der nichtlinearen Verzerrungen klingen interessant und können, sparsam dosiert, als Klangeffekt genutzt werden. Zum Beispiel eine nichtlineare Federsteifigkeit der mechanischen Aufhängung

kann die Wahrnehmung des Basses verbessern. Allerdings erzeugen nichtlineare Intermodulationen der menschlichen Stimme, Violine oder Flöte eine unangenehme Rauigkeit im Klang, die, wenn sie hörbar werden, kaum erträglich ist. Im Allgemeinen versucht man die nichtlinearen Verzerrungen so klein zu halten, dass sie nicht wahrnehmbar werden.

Wir sind über 20 Jahre immer noch die einzigen Anbieter eines dynamischen Messverfahrens, das alle relevanten Nichtlinearitäten des Lautsprechers bei Wiedergabe eines normalen Audiosignales (Musik) oder eines breitbandigen Testsignales bestimmt. Hierfür spielt die Messung des elektrischen Eingangsstroms eine wesentliche Rolle, wobei der Testlautsprecher selber als Sensor für die mechanischen Nichtlinearitäten genutzt werden kann. Die Messergebnisse sind krumme Kurven, aus denen man die eigentlichen physikalischen Ursachen der Verzerrungen erkennen und den Lautsprecher optimieren kann.

— Welche Rolle spielen das menschliche Ohr und praktische Erfahrungen bei der Lautsprecherentwicklung?

Hören und Messen ergänzen sich bei der Lautsprecherentwicklung. Das Hören geht ganzheitlicher an die Problematik heran und ist somit letztendlich die ultimative Bewertung des Lautsprechers bei der Wiedergabe von Musik und Sprachsignalen. Hierbei gibt es komplizierte Wechselwirkungen zwischen Stimulus, Lautsprecher, Raum, Hörvermögen



Foto: Klippel GmbH

Abb. 4: Subjektive und objektive Bewertung der Klangqualität eines Lautsprechers mit Hilfe der Auralisierung auf der jährlichen Blockvorlesung von Dr. Klippel

und unseren Idealvorstellungen. Die Sache wird sehr schnell recht komplex, subjektiv und sehr zeitintensiv. Die Auralisierung (Hörbarmachung) der Signalverzerrungen löst dieses Problem mit systematischen Hörtests.

— Wie laufen solche systematischen Hörtest ab?

Die Auralisierung kann anhand von beliebigen Audiosignalen durchgeführt werden. Zunächst werden die verschiedenen Signalverzerrungen im Schalldruck gemessen oder mit Hilfe eines Lautsprechermodells simuliert. Danach werden die Verzerrungen gewichtet und dem unverzerrten Audiosignal zugemischt.

So kann ein Entwickler über das Gehör herausfinden, welchen Einfluss Verzerrungen auf die Klangqualität haben. Das heißt, er hat einen Regler in der Hand, mit dem er den Verzerrungsanteil erhöhen oder vermindern kann. Somit können sogar Verzerrungen, die im realen Lautsprecher kaum wahrnehmbar sind, hörbar gemacht und ihr Einfluss auf die Klangqualität bewertet werden. Müssen beispielsweise die Verzerrungen um 12 dB angehoben werden, um sie überhaupt hörbar zu machen, ist das ein gutes Qualitätsmerkmal für den Lautsprecher.

Diese Technik verbindet nicht nur das Hören mit dem Messen, sondern zeigt auch, welche Testsignale, Musikausschnitte oder andere Audiosignale besonders kritisch sind für die Erzeugung und Wahrnehmung der Verzerrungen.

— Welche Anforderungen werden neben der Klangqualität an moderne Lautsprecher gestellt?

Lautsprecher sind hinsichtlich ihrer Größe immer viel zu leise. Das gilt ganz besonders für die Wiedergabe von tiefen Frequenzen. Zum Beispiel ein 20 Hz Ton mit einem

Schalldruckpegel von 94 dB wird von vielen Mitmenschen als nicht besonders laut empfunden. Dennoch muss der Lautsprecher in 3 Meter Abstand 1 Liter Luft 20 mal in der Sekunde komprimieren. Bei tiefen Frequenzen stoßen alle technischen Lösungen an physikalische Grenzen.

— Kann man den erforderlichen Schalldruck nicht mit leistungsfähigen Verstärkern erzielen?

Theoretisch ja, praktisch nur für eine kurze Zeit. Lautsprecher haben in der Regel einen sehr geringen Wirkungsgrad und nahezu die gesamte elektrische Eingangsleistung führt zu einer starken Erwärmung der Schwingspule und thermischen Überlastung des Lautsprechers. Es gibt nur eine Lösung für dieses Problem: Die Erhöhung des Wirkungsgrades des Lautsprechers.

— Brauchen wir ein neues Wandlerprinzip?

Gegenwärtig erscheint der elektrodynamische Antrieb mit Schwingspule für große Lautsprecher alternativlos. Gerade durch den Einsatz von modernen Magnetmaterialien (Neodym) wurde der Wirkungsgrad für gleiches Bauvolumen erheblich gesteigert. Vielversprechender sind viele kleine Verbesserungen durch Optimierung des Designs, neue Materialien und Einsatz der digitalen Signalverarbeitung.

— Wie kann die digitale Signalverarbeitung den Wirkungsgrad des Lautsprechers verbessern?

Direkt natürlich nicht, da diese Verarbeitung im DSP vor dem Verstärker geschieht. Eine Verbesserung kann vielmehr durch Verwendung von hocheffizienten Antriebstrukturen, die allerdings nichtlinear sind und starke Signalverzerrungen erzeugen, erzielt werden. Diese Wandler wurden bisher nur für geringwertige Konsumgüter verwendet, bei

denen die Kosten und maximaler Schalldruck wichtiger waren als die Klangqualität. Heute kann dieser Nachteil durch eine aktive Linearisierung einfach und kostengünstig kompensiert werden.

— Sehen Sie weitere Veränderungen am Lautsprecher in den nächsten Jahren?

Ja, der Lautsprecher wird zunehmend intelligenter durch den Einsatz von preiswerten Sensoren und kleinen Prozessoren für die Kompensation von Produktionsvarianzen, Alterungsvorgängen und Umwelteinflüssen und die Erkennung und Vermeidung von thermischen und mechanischen Überlastungen.

Wahrscheinlich wird er beispielsweise die Produktionsmessung autark übernehmen. Das heißt, er misst sich in Zukunft selbst, so dass manche Messgeräte gar nicht mehr notwendig sein werden.

DSP, Leistungsverstärker mit Strommessung und elektroakustisches Chassis werden zu einem aktiven Lautsprechermodul verschmelzen, das sich selbständig an das gewählte Lautsprechergehäuse anpasst und ein gewünschtes Übertragungsverhalten erzeugt.

Die Auralisierung kann jeder ausprobieren. Hier geht es zum Hörtest.



🔗 <https://www.klippel.de/listeningtest/?v=3>



Prof. Dr. Ing. Wolfgang Klippel ist Gründer, ehemaliger Geschäftsführer und technischer Leiter der Klippel GmbH. Seit 2007 ist er Honorarprofessor für Elektroakustik an der TU Dresden.