

Simulation / Modeling

J. Gebhardt

Einführung

Das Thema Simulation bzw. Modeling, wie es meist genannt wird, im Bereich der E-Gitarre befasst sich mit der Nachbildung der Klangeigenschaften von Instrumenten, Verstärkern und Effektgeräten. Diese Nachbildung wird meistens digital in Form von Software realisiert, die dann auf geeigneten Prozessoren, z.B. digitalen Signalprozessoren (DSP) betrieben wird. Man spricht dann von digitalen Modellen. Sie kann aber auch durch analoge Schaltungstechnik erfolgen, wenn z.B. das typische Verzerrungsverhalten von Röhren durch MOS-FET-Transistoren nachgebildet wird, die über ähnliche Kennlinien verfügen (Ein Beispiel ist der kürzlich vorgestellte „Blues-Cube“ der Firma Roland, der auf reiner Transistortechnik beruht und versucht, wie ein Röhrenverstärker zu klingen).



Abb. 1: Hardware- und Software-Simulationen der Firma Line 6

Warum Modeling, wenn man doch die (geil klingenden) Originale hat? Nun, die Original-Verstärker haben verschiedene Eigenschaften, die sie für den regelmäßig (live oder im Studio) praktizierenden Musiker unpraktisch machen. Als wesentliche Aspekte wären zu nennen:

- die Kosten (Röhrenverstärker kosten oft ein Vielfaches von Transistorgeräten),
- Größe und Gewicht (ein Modeling-Gerät wie z.B. der POD von Line6 wiegt deutlich unter 1 kg und passt in jede Tasche, während ein Marshall-Combo mit 2 x 12“ Speaker locker über 40 kg auf die Waage bringt),
- Vielseitigkeit (ein typischer „Vintage-Amp“ von Fender hat i. W. einen Sound, während die Simulation zwischen nahezu beliebig vielen Modellen von Verstärkern umschalten kann),
- Zuverlässigkeit (Röhren sind elektromechanische Gebilde die einem Verschleiß unterliegen, der bei den im Rock ´n` Roll üblichen Betriebsweisen erheblich sein kann. Nach jedem Röhrenwechsel (Kosten!) stellt sich erneut die Frage nach der richtigen Biaseinstellung, usw., ganz zu schweigen von der Frage nach der richtigen Röhre (russisch, chinesisch oder NOS?!),
- Reproduzierbarkeit (der Modeling-Amp klingt immer gleich),
- Einfachheit in der Praxis (die übliche Praxis der Mikrofonierung von Gitarren-Amps auf der Bühne bringt eine Menge technische Unwägbarkeiten und Risiken mit sich,

während der Techniker am Mischpult mit einem symmetrischen, potentialfreien Signal auf Line-Pegel aus einem Modeling-Verstärker glücklich ist)

Nicht zuletzt muss sich jeder Gitarrist überlegen, ob er tatsächlich seinen 59er Tweed Bassman transportieren und auf die Bühne stellen will, oder ob er seinen Lieblings-Sound nicht einfach per Computer-Emulation auf den Monitor und die PA bringt.

Die Vorteile der Modeling-Technologie erscheinen überwältigend. Warum stehen dann immer noch so viele Gitarristen der Sache so skeptisch gegenüber? Da ist als wichtigster Grund das Misstrauen zu nennen. Kann es sein, dass die kleinen „elektronischen Kistchen“ wirklich denselben Sound produzieren, wie die großen, schweren und teuren Originale? Für die meisten Gitarristen ist auch nicht der Sound alleine entscheidend, sondern zusätzlich das sog. „Look and Feel“. Das Glühen der Röhren und der Geruch von verbranntem Staub sind Aspekte, die der „kühlen“ Digitaltechnik abgehen. Auch die komplexen Wechselwirkungen zwischen einem aufgerissem Marshall-Stack und einer Gitarre (Feedback,...) werden bei einer „lautlosen“ Übertragung der Gitarrensingale in eine digitale Aufnahmemaschine oder ein Mischpult nicht reproduziert. Nicht zuletzt spielt auch die Psychologie eine große Rolle: Es ist einfach schön zu wissen, dass das Gitarrensingal direkt in einen handverdrahteten Verstärker auf „Vollröhrenbasis“ geht, ohne dass ein geheimnisvoller Chip den Klang verändert. Die Gitarristen sprechen gerne von einem „ehrlichen Klang“.

Der Verfasser dieses Beitrags möchte sich nicht auf das Minenfeld der Diskussion begeben, welche Technik nun „besser“ oder „schlechter“ ist. Diese Frage soll jeder Gitarrist für sich selbst klären, weil es gar keine endgültige oder „wahre“ Antwort darauf geben kann. Wenn man die üblichen Foren im Internet besucht wird man schnell feststellen, dass bzgl. der Modeling-Frage teilweise sehr intensiv und verbissen, ja geradezu religiös diskutiert wird. Das Anliegen dieses Beitrags ist es, ganz nüchtern und sachlich die technischen Möglichkeiten und Grenzen der Modeling-Technologie für Anwender aufzubereiten. Dabei sollen nur die Aspekte betrachtet werden, die sich auf den Klang („Sound“) auswirken. Aussehen, Geruch und Psychologie bleiben in dieser Betrachtung außen vor, obwohl auch das sehr interessante Betätigungsfelder sind, die auch teilweise in anderen Gitec-Beiträgen beleuchtet werden.

Was befähigt nun den Verfasser dazu, zu diesem Thema zu schreiben? Von der Ausbildung her Physiker und seit vielen Jahren praktizierender Amateur-Gitarrist in verschiedenen Rock und Soul-Bands war das Thema Simulation bereits im Studium ein wichtiges Betätigungsfeld. Das begann in Zeiten, als es noch keine PC's gab und die „Mikro-Rechner“ auf selbst gebauter Hardware und selbstgeschriebenen Betriebssystemen beruhten. Auch wurden keine Gitarrenverstärker sondern physikalische Experimente simuliert. Aber der Anfang war gemacht. Nach langjähriger Tätigkeit in der Automatisierungs-Industrie erfolgte im Jahr 2005 die Gründung der Firma aquatune, deren Geschäftsinhalt die Simulation und Optimierung umwelttechnischer Prozesse ist. Dabei kommen innovative Software-Technologien wie Künstliche Neuronale Netze (KNN) und Genetische Algorithmen (GA) zum Einsatz. Als im Jahre 1998 die Firma Line6 den ersten POD heraus brachte war sofort klar: Diese Technik musste sofort getestet werden. Damit nahm die Geschichte ihren Lauf. Ein ähnliches Initial-Ereignis war 2011 die zufällige Entdeckung des Werks „Physik der Elektrogitarre“ von Manfred Zollner. Hier hatte jemand mit unglaublicher Akribie die Grundlagen der Elektrogitarre und ihrer Verstärkung in der Sprache der Physik formuliert. Zahlreiche Workshops und Treffen später erfolgte dann im Jahr 2014 die Gründung der Gitec. In diesem Rahmen sollen nun die Erkenntnisse bzgl. der Modeling-Technologie kommuniziert werden

Grundlagen

Inhalt der Modeling-Technologie ist die Erstellung möglichst „naturgetreuer“ Modelle. Wenn im industriellen Umfeld Modelle erstellt werden, wie z.B. bei der Simulation verfahrenstechnischer Prozesse, dann muss selbstverständlich die Qualität der Modelle überprüft werden. Das erfolgt mit der sogenannten Validierung. Bei der Validierung werden die Ergebnisse von Modellrechnungen (Simulationen) mit den Ergebnissen von Messungen verglichen. Bewegen sich die Abweichungen der Modelle von den Ergebnissen innerhalb eines definierten Fehlerrahmens, dann spricht man von „validen Modellen“, die für die Anwendung in der Simulation oder Optimierung zugelassen werden. Wie könnte nun eine Validierung im Bereich der Modeling-Technik aussehen? Auch hier müsste in geeigneter Weise ein Vergleich zwischen Original und Modell erfolgen.

Validierung

Zunächst muss man dafür sorgen, dass das Original (z.B. ein bestimmter Röhrenverstärker) mit demselben Eingangssignal versorgt wird, wie das Modell. Dabei reicht es nicht, dass ein Gitarrist dasselbe Riff einmal durch den Original-Amp und einmal durch die Emulation spielt, weil schon kleinste Unterschiede in der Spielweise (Anschlagstechnik, Lautstärke,...) zu Klangunterschieden führen können, die messbar und hörbar werden, aber nichts mit der Modellqualität zu tun haben. Das kann man z.B. durch Re-Amping oder Re-Guitaring (siehe Zollner []) lösen.

Die schwierigere Frage ist nun: Wie vergleicht man die Ausgangssignale des Modells mit den Ausgangssignalen des Originals? Dazu muss zunächst klar sein, welcher Teil der gesamten „Klangkette“ denn überhaupt simuliert werden soll. Die Klangkette (siehe **Abb. 1**) erstreckt sich vom Ort der Klangerzeugung (Finger des Gitarristen, schwingende Saiten) über den Tonabnehmer, das Kabel, den Verstärker (Pre-Amp, Tone-Stack, Phasensplitter, Endstufe) über die Box bis hin zum abnehmenden Mikrophon, den klangverändernden Eigenschaften des Raums zum Ohr des Zuhörers und dessen klangverarbeitende Tätigkeiten seines Gehirns.

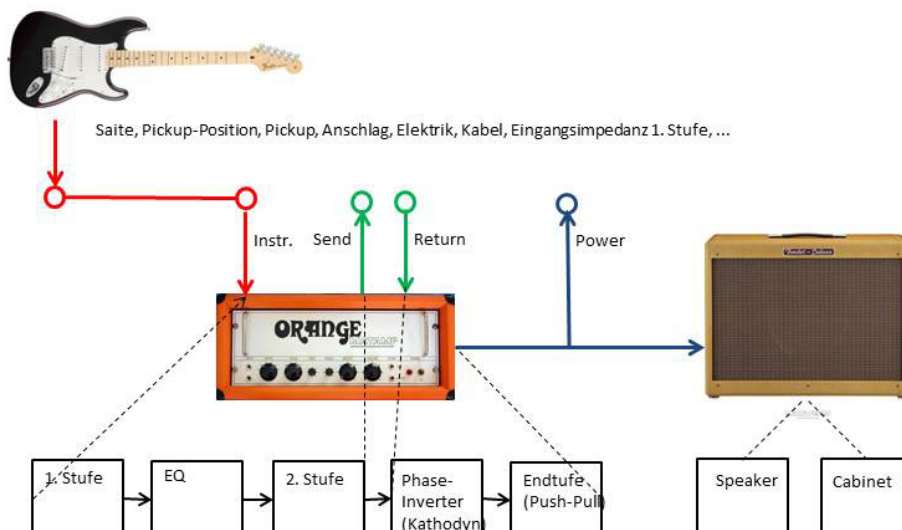


Abb. 2: Klangkette

Ein typisches Szenario ist in Abbildung 2 dargestellt: Modelliert wird von der Eingangsstufe des Verstärkers bis zum elektrischen Signal des Abnahme-Mikrofons:

Abb. 3: Modeling des Verstärkers + Box + Mikro

In diesem Szenario sollen die erzeugten Signale (Mikrofon bzw. Ausgang des Modells) mit einander verglichen werden. Das hört sich jedoch einfacher an, als es in der Praxis ist, weil die praxisrelevanten Signale recht komplex sein können. Im einfachsten Fall wird der Vergleich mit einem Sinussignal durchgeführt. Dann kann man eindeutig messen, wie es mit Eigenschaften wie Signaltreue (Verzerrung des Signals durch Vorbild und Modell) und Verstärkungsfaktor aussieht. Ein solcher Test würde aber die Gemeinde der Gitarristen kaum zufriedenstellen. Die Frage ist ja: wie klingen die beiden Kandidaten im Vergleich bei typischer Verwendung und nicht bei einem künstlich synthetischen Sinuston. Ein echtes Gitarrensinal, z.B. ein Riff oder eine typische Abfolge von Power-Chords hat es jedoch in sich. Schon eine einzelne angeschlagene Gitarrensaite hat mit einer Sinusschwingung so gut wie nichts zu tun. Erst recht das komplexe Gewebe mehrerer schwingender Saiten (Darüber gibt es ein eigenes Kapitel in der Physik der Elektrogitarre). Wie charakterisiert man so etwas messtechnisch? Welche messtechnischen Parameter geben Auskunft über hörbare Klangunterschiede? Beispiel: Wir stellen messtechnisch fest, dass der Originalverstärker die dritte Harmonische mit einem Pegel von -25 dB gegenüber dem Grundtonpegel erzeugt, während das Modell die gleiche Harmonische mit einem Pegel von -28 dB erzeugt. Messtechnisch ist das ein klarer Unterschied von 3 dB, aber kann man das hören?

Wir stellen fest: messtechnische Unterschiede und hörbare Unterschiede sind zwei völlig verschiedene Dinge. Während messtechnische Unterschiede bei klar definierten Messbedingungen und bekannten Messgenauigkeiten eine eindeutige Sache sind, die keiner Diskussionen mehr bedarf, stellt sich die Frage der Hörbarkeit schwieriger dar. Hier kann es große individuelle Unterschiede geben. Z.B. hat das Gehör des Verfassers (nach 30 Jahren Rock 'n' Roll) insbesondere bei den höheren Frequenzen sicher nicht mehr die Empfindlichkeit, wie das Gehör seiner Enkel. Aber auch die Wahrnehmungspsychologie hängt von der Person ab. Das Ganze ist der Forschungsgegenstand der Psychoakustik.

Blindtests

Eine Methode, mit welcher man versucht, Hörerfahrungen objektivierbar zu machen, ist die Durchführung von Blindtests oder Doppelblindtests. Dabei sollen die Probanden z.B. Aussagen über Hörunterschiede machen, wobei Ihnen jedoch nicht bekannt ist, welches Signal sie gerade hören (Original oder Simulation). Vom Doppelblindtest spricht man, wenn auch der Durchführende des Tests, der z.B. die Umschaltung macht, nicht weiß, welches der zu vergleichenden Signale er da gerade einschaltet (um jede noch so subtile Beeinflussung der Testkandidaten auszuschließen). Diese Tests werden mit möglichst großen Zielgruppen durchgeführt, um hinterher eine statistische Aussage machen zu können, die einigermaßen signifikant (im wissenschaftlich-statistischen Sinne) ist. Ein schönes Beispiel hierzu ist der von der Computerzeitschrift *c't* (Heise Verlag) durchgeführte Doppelblindtest zum Thema Klangunterschied zwischen CD und MP3 [1].

Wir von der Gitec haben uns vorgenommen, zu einigen interessanten Fragestellungen solche Tests durchzuführen. Man kann solche Dinge auch über das Internet durchführen, indem man z.B. Testsignale (in guter Qualität) per Download zusammen mit einer Fragestellung zur Verfügung stellt, die Antworten der Teilnehmer einsammelt und die Ergebnisse nach einer

gewissen Laufzeit auswertet und den Test auflöst. Ein interessantes Beispiel dazu wurde im Internet durchgeführt zum Klangunterschied zwischen einem Fender Deluxe und einer Emulation der Firma Line 6 [].

Fragestellungen

Wie gesagt, das Ziel des Beitrags bezieht sich hauptsächlich auf die Ergründung von Unterschieden zwischen Originalen und Simulationen, die sich klangtechnischen wahrnehmen lassen. Gibt es grundsätzliche Grenzen bei der modelltechnischen Abbildungen bestimmter Verstärker (Effektgeräte, ..)? Gibt es Dinge, die sich (in absehbarer Zeit) nicht abbilden lassen? Welche technischen Methoden gibt es und wie unterscheiden sie sich hinsichtlich Aufwand und Reproduktionsgenauigkeit?

In Manfred Zollner's Werk „Die Physik der Elektrogitarre“ werden die technischen Grundlagen der Originale (z.B. Röhrenverstärker) ausführlich und detailliert dargestellt. Es gibt viele Diagramme mit Messkurven und die messtechnischen Unterschiede zwischen einzelnen Bauteilen (z.B. Röhren, Ausgangsübertrager, ..), Baugruppen (Vorstufe, Phasensplitter, Endstufe, ..) und ganzen Verstärkern (Fender, Marshall, Vox, ..) werden gründlich beleuchtet. Inwiefern die herausgearbeiteten Unterschiede hörtechnisch relevant sind wird im vorliegenden Teil des Werks noch nicht behandelt. Ausführungen zur Psychoakustik und Hörtests sind Gegenstand des nächsten Teils der „Physik der Elektrogitarre“. An einigen wenigen Stellen im vorliegenden Werk wird auch auf das Thema Modeling hingewiesen. Meistens dann, wenn es um Sachverhalte geht, die möglicherweise schwierig oder gar nicht detailgetreu abbildbar sind. Genau diese Aspekte sollen im vorliegenden Beitrag beleuchtet werden, und zwar vor allem mit dem Fokus auf die Frage: Sind die Unterschiede hörbar oder vernachlässigbar? Dabei wollen wir uns vom Eingang der Modelle (Wechselwirkung Tonabnehmer – Vorstufe) durch den Verstärker durch bis ans Ende der Kette vorarbeiten. Zunächst werden die Unterschiede physikalisch begründet, und anschließend daraufhin untersucht, ob sie deutlich, geradeso oder gar nicht mit den Ohren wahrnehmbar sind. Es soll also zwischen signifikanten und vernachlässigbaren Unterschieden differenziert werden. Es wird dabei versucht, die physikalischen Befunde möglichst verständlich ohne viel Mathematik darzustellen.

Wechselwirkung Tonabnehmer – Verstärkereingang

Simulation von Röhren (von Kennlinien und Kennfeldern)

Wie funktionieren Röhren?

Eigene Versuche zur Modellierung von Röhren mittels Künstlicher Neuronaler Netze

Verzerrungen – gerade Harmonische vs. Ungerade Harmonische

Verzerrungen – Das Problem der Rückfaltung

Hochohmige vs. Niederohmige Lautsprecheransteuerung

Die Praxis - bekannte Anwender von Modeling-Technik

Wie bereits gesagt: Die Frage der Anwendbarkeit von Modeling-Techniken im Studio oder bei Live-Auftritten spaltet die gitarristische Gemeinde in zwei Lager, die einander fast unversöhnlich gegenüber stehen. In diesem Kapitel sollen einige bekannte Künstler vorgestellt werden, die die Vorteile der Modeling-Technik nutzen. Anhand einiger Audio-Schnipsel kann man sich ein Bild vom Sound der simulierten Verstärker machen.

Pete Anderson

Garbage

Pretenders

Wird fortgesetzt (bitte regelmäßig checken)...