

# Diplomarbeit: Akustisch-klangliche Optimierung digitaler Audio-Kompandersysteme für drahtlose Mikrofonanlagen

Daniel Schleef

Oktober 2004

Eine Zusammenarbeit zwischen dem Erich-Thienhaus-Institut der Hochschule für Musik Detmold und der Firma Sennheiser electronic, Wedemark, ermöglichte diese Diplomarbeit, in deren Rahmen neuartige Kompandersysteme für drahtlose Mikrofonanlagen systematischen und ausführlichen Hörvergleichen unterzogen wurden. Die genaue Problemstellung, der gewählte Lösungsansatz und die daraus resultierenden Ergebnisse sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Die analoge Audiotechnik hat prinzipbedingt immer mit bei der Übertragung auftretendem Störrauschen zu kämpfen. Schon zu Zeiten analoger Tonbandaufzeichnungen stellte das Eigenrauschen der Magnettonbänder besonders bei niedrigen Signalpegeln ein großes Problem dar: Laute Signale, die in ihrer Dynamik deutlich über dem Rauschteppich lagen, konnten ohne Probleme übertragen werden; leise Signale hingegen wurden vom Rauschen stark in Mitleidenschaft gezogen oder sogar vollständig verdeckt. Im Bereich der Hochfrequenz-Übertragungstechnik stellt sich das Problem noch heute: Da die Funkübertragung bei drahtlosen Mikrofonanlagen bisher fast ausschließlich analog realisiert wird, gibt es auch hier das Phänomen eines je nach Empfangsqualität mehr oder weniger ausgeprägten Störrauschens, das die nutzbare Dynamik auf dieselbe Art und Weise wie bei analogen Tonbändern einschränkt.

Daher sind Rauschunterdrückungssysteme nicht nur im Zusammenhang mit analoger Schallaufzeichnung – wo sie unter Namen wie *Dolby* oder *Telcom* bekannt wurden – von Bedeutung; auch im Bereich drahtloser Mikrofonübertragungstechnik spielen sie eine wichtige Rolle. Der technisch präzisere Begriff *Kompander* ist eine Zusammensetzung der beiden Begriffe *Kompressor* und *Expander*, was sich durch die Funktionsweise einer solchen Rauschunterdrückung erklärt: Vor der Übertragung wird das Audiosignal dynamisch eingeeignet, leise Signale werden also verstärkt und laute abgeschwächt; dies entspricht dem Verhalten eines *Kompressors*. Nach erfolgter Übertragung dieses komprimierten Signals erfolgt durch einen *Expander* die genau entgegengesetzte Bearbeitung: Leise Passagen werden im Pegel noch weiter abgesenkt, laute hingegen verstärkt, so dass die Originaldynamik des Ursprungssignals wiederhergestellt ist. Durch das Absenken der leisen Signalanteile im Expander wird jedoch auch das mittlerweile hinzugekommene Störrauschen im Pegel reduziert und das Signal so gewissermaßen über den Rauschteppich der Übertragungstrecke „hinweggehoben“, wie Abbildung 1 veranschaulicht.

Obwohl so trotz Rauschunterdrückung die originale Dynamik des zu übertragenden Ursprungssignals erhalten bleibt, entstehen bei allen Kompandersystemen prinzipbedingte Artefakte: Der Kompressor vor der Übertragungstrecke und der Expander dahinter arbeiten zwar im Idealfall einander exakt entgegengesetzt („komplementär“); das Audiosignal vor und hinter der Übertragungstrecke unterscheidet sich jedoch durch das mittlerweile hinzugekommene Störrauschen. Dies führt unweigerlich zu Fehlern bei der Expandierung, die beispielsweise als hintergründige Rausch-Modulationen, als Verzerrungen oder „Pumpen“ des Audiosignals hörbar werden können. Diese Artefakte gilt es durch geschickte Wahl der verschiedenen Kompander-Parameter zu minimieren.

Auch wenn eine vollständig digitale - und damit rauschfreie - Signalübertragung derzeit nur mit sehr großem Aufwand zu realisieren und daher nicht sinnvoll ist, ergeben sich bereits durch die digitale Realisierung der Kompander-Elemente eine Vielzahl von Vorteilen. Beispielsweise entfallen so

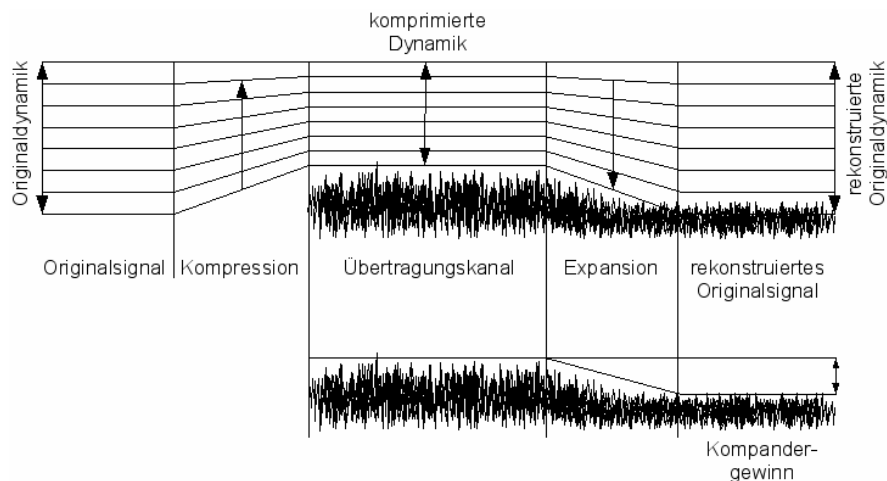


Abbildung 1: Funktionsweise der Kompander-Rauschunterdrückung

sämtliche Probleme, die mit Parameterschwankungen und Bauteiltoleranzen der bisherigen analogen Schaltung zusammenhängen; außerdem lassen sich auf der digitalen Ebene dank hochentwickelter DSP-Technologie besonders problemlos verschiedenste Voreinstellungen und Parameter definieren. Die Vielzahl der so verfügbaren Parameter und die Verschiedenartigkeit der in der Praxis auftretenden Audiosignale erfordern allerdings ausführliche Untersuchungen und systematische Klangvergleiche.

Auditive Bewertungen jeglicher Art sind allerdings grundsätzlich sehr subjektiv geprägt: Die gehörmäßige Vorbildung sowie die Schulung und Sensibilisierung des Gehörs auf bestimmte Kriterien spielen eine ebenso große Rolle wie die unterschiedlichen Testumgebungen. Um dennoch ein repräsentatives und aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, basierten die Hörvergleiche auf einem zweigeteilten Konzept:

Im ersten Abschnitt wurden zunächst verschiedene Audiomaterialien erzeugt und auf ihre Eignung für einen Kompander-Hörvergleich untersucht. Die Vielzahl der Parameter multipliziert mit der Anzahl der verschiedenen Hörbeispiele hätte Hunderte von Kombinationen ermöglicht, deren Vergleich weder mit vertretbarem Aufwand durchführbar noch sinnvoll gewesen wäre. Daher erfolgte zunächst mit Hilfe der ausgewählten Audiobeispiele eine erste Sichtung und Einordnung der verschiedenen Parameter nach ihrer klanglichen Relevanz und schließlich eine Vorauswahl geeigneter Einstellungen. Ein ergänzender Hörvergleich am Erich-Thienhaus-Institut der Hochschule für Musik Detmold bildete den zweiten Abschnitt der klanglichen Untersuchungen. Hier wurde eine vertiefende Auswahl zwischen den im ersten Abschnitt erarbeiteten Kompandereinstellungen zur Disposition gestellt und so die bereits grob definierten Parameter weiter eingegrenzt und optimiert.

Als Ergebnis der Untersuchungen sind konkrete Parameter-Empfehlungen entstanden, welche die Konstruktion klanglich hervorragender Kompandersysteme für verschiedenartiges Audiomaterial und unterschiedliche Empfangsbedingungen ermöglichen.