

# **Diplomarbeit Nathanael Gubler**

# **Management Summary**

**Juventus Technikerschule HF**

# 1 Management Summary

## 1.1 Projektübersicht

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Entwicklung und Herstellung eines Beam-Steering-fähigen Line-Array-Systems. Die Grundlage bildete die Frage, ob ein Beam-Steering-fähiges Saiteninstrument entwickelt und hergestellt werden konnte, welches Schall gezielt in eine bestimmte Richtung abstrahlen kann.

Das Projekt umfasste die komplette Entwicklung von der Konzeptphase über das System Engineering, Simulationen Bauteilevaluation, PCB-Design bis zur Herstellung und (teilweisen) Inbetriebnahme. Der Fokus lag dabei auf einer praktischen Umsetzung innerhalb von 14 Wochen. Bereits früh in der Projektphase zeigte sich, dass eine Umsetzung mittels einer Saite enorm umständlich und einige Risiken bot. Daher musste das namensgebende Konzept abgeändert werden, da auf fixfertig verfügbare Exciter umgeschwenkt wurde. Leider konnte die Inbetriebnahme des kompletten Systems wegen Lieferverzögerungen eines MILAN-Moduls nicht mehr innerhalb der gegebenen Zeit realisiert werden.

## 1.2 Methodisches Vorgehen

Die Entwicklung begann mit den Methoden des System Engineering. Nach einer SWOT- und Ishikawa-Analyse wurden zehn Projektziele definiert und gewichtet. Die Primärziele wurden wie folgt definiert:

- Reduziertes Brandrisiko
- Mobilität bezüglich Dimensionen
- Direktionale Abstrahlung

Mittels eines morphologischen Kastens wurden nun fünf Systemvarianten generiert und anhand einer Nutzwertanalyse sowie Kosten-Nutzen-Analyse bewertet. Die Variante "Einfache Anwendung, Plug'n'Play" erwies sich als optimal und wurde zur Umsetzung ausgewählt.

## 1.3 Umsetzung

Das entwickelte System basierte auf folgenden Hauptkomponenten:

**Exciter:** Sechs DAEX25-Exciter (5W cont., 8Ω) von Dayton Audio wurden auf Plexiglasplatten montiert und diese mittels Schraubentüllen auf ein MDF-Gehäuse befestigt. Diese Anordnung bildete ein Line-Array mit einer Gesamtlänge von 121cm und ermöglichte (zumindest theoretisch) das Beam-Steering im Frequenzbereich von 567-850 Hz.

**Elektronik:** Das entwickelte Driverboard enthielt sechs TAS5720 Class-D Endstufen mit integriertem DAC und I2S/TDM- sowie I2C-Eingängen. Die Speisung wurde mit einem LT8650S Dual-Output Schaltregler erzeugt, welcher aus 24V (aus einem externen Netzteil) eine 15V-Treiberspannung für die Endstufen sowie 5V für das MILAN-Modul und eine weitere 3.3V-Speisung erzeugt. Das 4-Lagen-PCB wurde mit besonderem Augenmerk auf Signalreflektionen entwickelt.

**Signalübertragung:** Das MILAN-Modul ermöglichte die Übertragung von bis zu 16x16 Audiokanälen über ein einzelnes Ethernet-Kabel. Dies erfüllte das Ziel einer Plug'n'Play-Lösung mit minimaler Steckerzahl.

## 1.4 Besondere technische Herausforderungen

**Leistungsbudget und Entkopplung:** Simulationen in Multisim zeigten, dass bei Leistungstransienten mit Spitzenströmen von bis zu 9A zu rechnen war. Durch passive Entkopplung mit 150µH-Induktivitäten und 350µF-Kapazitäten pro Kanalpaar konnte der Speisungsstrom auf unter 2.11A begrenzt und die Spannungsstabilität auf ±0.2V verbessert werden.

**Endstufen:** Die Auswahl der Endstufe erfolgte nach umfangreichen Vergleichen. Der TAS5720 wurde dem leistungsstärkeren TAS2781 vorgezogen, da letzterer mit 156 Konfigurationsregistern einen deutlich höheren Programmieraufwand bedeutet hätte, ohne dass klar war, welchen Mehrwert diese Funktionen tatsächlich geboten hätten.

**Signalintegrität:** Die TDM-Signale mit bis zu 25MHz Taktfrequenz mussten über das gesamte PCB in S-Form geführt werden. Mittels Transmission-Line-Simulationen in LTSpice wurde eine optimale Terminierung mit zusätzlichen Serienwiderständen pro Signalpfad ermittelt, welche Reflektionen und Überschwinger minimierten.

**Speisung:** Die Möglichkeiten eines Schaltreglers vs. Eines uModules für miteinander Verglichen. Insbesondere wurden der TPSM64406 und der LT8650S genauer angesehen.

## 1.5 Simulation und Verifikation

Eine 2D-Simulation visualisierte das Beam-Steering-Verhalten bei verschiedenen Frequenzen. Die Simulation zeigte den erwarteten Übergang von eher omnidirektionaler zu stark direktonaler Abstrahlung sowie das Auftreten von Side-Lobes bei höheren Frequenzen.

Die PCB-Simulation mit dem LT8650S bestätigte eine Gesamteffizienz von 97.81% und ein stabiles Aufstartverhalten. Die thermische Analyse ergab eine Junction-Temperatur von 36.7°C bei 0.5W Verlustleistung, womit kein Kühlkörper erforderlich war.

## 1.6 Herstellung und Tests

Das Gehäuse wurde mittels CO2-Lasercutter des Fablab Winterthur aus 8mm MDF in acht Schichten hergestellt und zusammengeleimt. Die PCB-Fertigung und Bestückung erfolgte bei AISLER. Nach Behebung eines Polaritätsfehlers der TVS-Diode zeigten die Funktionstests folgende Resultate:

- Korrekte Spannungsregelung (24V auf 15V/5V)
- Stabiles Aufstartverhalten ohne Überschwinger
- Erfolgreiche I2C-Kommunikation mit allen sechs Endstufen
- Stromaufnahme im Leerlauf: 5-8mA (Burst Mode)

## 1.7 Herausforderungen und Abweichungen

Eine wesentliche Herausforderung stellte die Lieferverzögerung des MILAN-Moduls dar. Die ursprünglich für Ende November 2025 angekündigte Lieferung verzögerte sich bis zum 18. Dezember 2025. In Kombination mit den Schlusskorrekturen der Arbeit war es nicht mehr möglich, die Programmierung der XMOS-Firmware, den kompletten Zusammenbau und die finalen Funktionstests zu dokumentieren.

Die DAEX19QLP4-Exciter wurden durch DAEX25-Modelle ersetzt, da erstere nicht lieferbar waren.

## 1.8 Fazit und Ausblick

Das Projekt erreichte trotz der Lieferverzögerung einen sehr vielversprechenden Stand. Alle Hardwarekomponenten wurden erfolgreich entwickelt, hergestellt und so weit es halt ging getestet. Die Primärziele wurden weitgehend umgesetzt:

- Das Brandrisiko wurde durch die Wahl von Plexiglas statt MDF minimiert
- Die Mobilität ist mit den kompakten Dimensionen von 121cm × 20cm gegeben
- Die direktionale Abstrahlung war theoretisch möglich, musste jedoch noch in der Praxis verifiziert werden
- Das System bietet erhebliches Potential zur Weiterentwicklung. So könnte die Signalverarbeitung für Beam-Steering direkt auf dem XMOS-Chip implementiert werden. Zudem wäre eine Erweiterung auf leistungsstärkere Exciter mit minimalen Anpassungen möglich.
- Somit bietet der aktuelle Stand einen soliden Rahmen für die Fertigstellung und zukünftige Erweiterungen des Systems.