



Fakultät I – Geisteswissenschaften  
Institut für Sprache und Kommunikation  
Fachgebiet Audiokommunikation

Exposé

# Masterarbeit

## Schaltungsentwurf einer Oktopuszelle in einem FPGA

vorgelegt von:

Alexej Tschumak 397077

Betreuung:

Prof. Dr. Stefan Weinzierl

Dr. Andreas Kortke

Fachliche Beratung:

Dr. Frank Klefenz (Fraunhofer IDMT)

Frank Feldhoff (TU Ilmenau)

Technische Universität Berlin, Fakultät I – Institut für Sprache und  
Kommunikation,  
Fachgebiet Audiokommunikation  
Berlin, 31. Januar 2023

# Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Einleitung	2
3	Oktopuszelle	2
4	Aufgabenstellung	3
5	Zeitplan	4
	Literatur	5

# 1 Abstract

Neuromorphe Computermodelle des auditorischen Systems simulieren mehrere Teilverarbeitungsstufen, um die Tonhöhenwahrnehmung nachzuempfinden. Auditorische Modelle erzeugen Cochleagramme, die das Schalleingangssignal in eine Spikeverteilung im auditorischen Nerv wandeln. Die Cochleagramme sind Eingangsrepräsentationen für höhere Verarbeitungsstufen im auditorischen System. Die Tonhöhe wird am Stufenende als eine Sinneskategorie wahrgenommen. Ein für die Tonhöhenwahrnehmung bedeutender Teil in der Signalkette ist die Oktopuszelle, die sich im Cochlear Nucleus befindet. Ihre Funktion konnte in vorangegangenen Studien erfolgreich für periodische Signale wie kurze Passagen gesungener Vokale oder Töne von eingespielten Instrumenten simuliert werden. Eine Nachahmung des Verhaltens der Oktopuszelle zeigte in den Studien auch die Möglichkeit auf, diese in einer Hardwareumgebung zu realisieren. Das Ziel dieser Arbeit soll es sein, aufbauend auf den vorherigen Studien, das Schalt- und Lernerhalten der Oktopuszelle mit einem Schaltungsentwurf auf einem handelsüblichen FPGA (Field Programmable Gate Array) nachzuempfinden.

## 2 Einleitung

Hörimpulse wie z. B. Sprache können auf spektraler (Grundton mit Obertönen) wie auch zeitlicher Ebene (Periodizität) analysiert werden. Im menschlichen Gehör findet beides statt: die Frequenzanalyse im Innenohr und die Periodizitätsanalyse im Hirnstamm (Langner, 2014). Zunächst soll der Weg der Hörinformation beschrieben werden. Die Ohrmuschel bündelt den Schall trichterförmig zum Trommelfell, das in Schwingungen versetzt wird. Das Trommelfell überträgt die Schwingungen auf Hammer, Amboss und Steigbügel, die ihren mechanischen Schwingungen hydromechanisch in die mit Flüssigkeit gefüllte Cochlea einkoppeln und Stoßwellen auslösen (Ellermeier & Hellbrück, 2008). Der Steigbügel zerrt an der Cochlea und löst Basilmembranschwingungen aus, die sich in einer Wanderwellenbewegung entlang der Basilmembran ausbreiten. Die entlang der Basilmembran aufgereihten inneren Haarzellen registrieren die Relativbewegungen durch die Auslenkungen ihrer Stereozilien. Jede Signaleingangsfrequenz regt Haarzellen an dem Ort maximal an, an dem sich die Basilmembran am höchsten aufschaukelt. Die inneren Haarzellen sind mit Spiralganglienzellen verbunden, deren Axonbündel den auditorischen Nerv (AN) bilden. Die neuronal kodierte Hörinformation wird im sich im Hirnstamm befindlichen Nucleus cochlearis, auch erste Hörbahnstation genannt, verarbeitet. Ab hier werden diese Informationen von verschiedenen Zellen mit besonderen Kodierungseigenschaften verarbeitet und leiten die Periodizitätsanalyse ein (Langner, 2014). Die Oktopuszellen tragen zur Tonhöhenwahrnehmung bei, da ihr Lern- und Schaltverhalten so ausgelegt ist, dass sie auditorische Events aus den AN-Spikemustern herausfiltern können.

## 3 Oktopuszelle

Die Oktopuszellen sind tonotopisch entlang der Frequenzachse des AN angeordnet (Golding & Oertel, 2012). In ihren lokalen, rezeptiven Feldern erfolgt eine zeitliche Kodierung (Langner, 2014), indem die von breitbandigen Signalen hervorgerufenen hyperbolisch geformten Delaytrajektorien von den Oktopuszellen erfasst und durch ein ausgelöstes Aktionspotential ereignisorientiert signalisiert werden. Bei bestimmten zeitlichen Anregungsmustern löst die Oktopuszelle ein Aktionspotential aus, weil nur für diese Konstellationen dendritische Ströme synchron am Soma (der Zellkörper) zusammenlaufen, akkumulieren und den Auslöseschwellwert überwinden. Im Verbund mehrerer Oktopuszellen wird so Tonhöhe erkannt (Harczos & Klefenz, 2018). Mit der Aufstellung einer neuen Backpropagation-Lernregel konnte gezeigt werden, dass die Oktopuszelle bei Anliegen des Reizmusters das entsprechende Template abrufen und somit selektiv auf unterschiedliche Muster anspricht. Des Weiteren wurden hardwarefreundliche, numerische

Modelle für das Verhalten der Oktopuszelle erstellt (Feldhoff, Toepfer, Harczos & Klefenz, 2022).

## 4 Aufgabenstellung

Das Fraunhofer IDMT, für das diese Arbeit geschrieben werden soll, bearbeitet im frisch aufgelegten Landesförderprojekt »Quantum Hub Thüringen« die Aufgabe, Sinneswahrnehmungen zu modellieren. Die schaltungstechnischen Eigenschaften der Oktopuszelle wurden in einem Python-Programm vorab simuliert. Im Rahmen dieser Arbeit soll an ein Modell angeknüpft werden, das oben bereits erwähnt wurde (Feldhoff et al., 2022), und im Kern ein neuromorpher Schaltkreis einer einzelnen Oktopuszelle erstellt werden. Diesen gilt es als Schaltungsentwurf auf einem FPGA (Field Programmable Gate Array) auszuarbeiten. Die Vorzüge eines FPGAs sind die veränderbare Schaltarchitektur, die gerade sinnvoll für den Entwicklungsprozess von Prototypen ist. Außerdem eignet es sich für Echtzeitanwendungen durch seine auf seine Anwendung zugeschnittene Abarbeitung einer möglichen Vielzahl paralleler Prozesse.

Es sind folgende Aufgabenpunkte vorgesehen:

1. Programmierung einer Oktopuszelle in einer Hardwarebeschreibungssprache und Verifikation durch Simulationen. Hierbei bietet sich das weit verbreitete VHDL/Verilog und Vivado als Entwicklungsumgebung an.

2. Synthese des Modells und Testen des Modells auf einem FPGA. Das Fraunhofer IDMT stellt ein Xilinx- UL\_PYNQ-Z2 Advance Kit.

3. Speisung des FPGAs mit Echtzeit-Datenströmen auditorischer Front-End-Modelle. Als Input könnten Teile des SAM (Stimulation based on Auditory Modeling) des Fraunhofer IDMT benutzt werden. Es erzeugt Cochleagramme aus Audio-Dateien.

Das Proof of Concept, dass die Oktopuszelle in ihrem lokalen rezeptiven Feld Eingangsdatenströme aus einem auditorischen Modell verarbeitet und daraus das erlernte Template bei Vorliegen matcht, ist Sinn und Zweck der Arbeit.

## 5 Zeitplan

Die geplanten Arbeitsschritte sollen wie folgt zeitlich strukturiert werden:

<b>Zeitraum</b>	<b>Aufgabe</b>
Januar	Exposé
Februar	Recherche, Übersichtsarbeit, Programmierung & Simulation der Oktopuszelle
März	Programmierung & Simulation der Oktopuszelle
April	Synthese des Modells, Übertragung der programmierten Schaltung auf das FPGA
Mai	Prüfen des FPGAs mit verschiedenen auditorischen Inputs
Juni-Juli	Schriftliche Ausarbeitung

## Literatur

- Ellermeier, W. & Hellbrück, J. (2008). Hören – Psychoakustik – Audiologie. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (S. 41 - 86). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Feldhoff, F., Toepfer, H., Harczos, T. & Klefenz, F. (2022, 03). Periodicity Pitch Perception Part III: Sensibility and Pachinko Volatility. *Frontiers in Neuroscience*, *16*, 736642. doi: 10.3389/fnins.2022.736642
- Golding, N. L. & Oertel, D. (2012). Synaptic Integration in Dendrites: Exceptional Need for Speed. *The Journal of Physiology*, *590* (22), 5563-5569. Zugriff auf <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1113/jphysiol.2012.229328> doi: 10.1113/jphysiol.2012.229328
- Harczos, T. & Klefenz, F. M. (2018). Modeling Pitch Perception with an Active Auditory Model Extended by Octopus Cells. *Frontiers in Neuroscience*, *12*. Zugriff auf <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2018.00660> doi: 10.3389/fnins.2018.00660
- Langner, G. (2014). Teil I: Klang und Kognition. In W. G. Schmidt (Hrsg.), *Faszinosum 'Klang': Anthropologie - Medialität - kulturelle Praxis* (S. 9–86). De Gruyter. Zugriff auf <https://doi.org/10.1515/9783110256772.9> doi: 10.1515/9783110256772.9