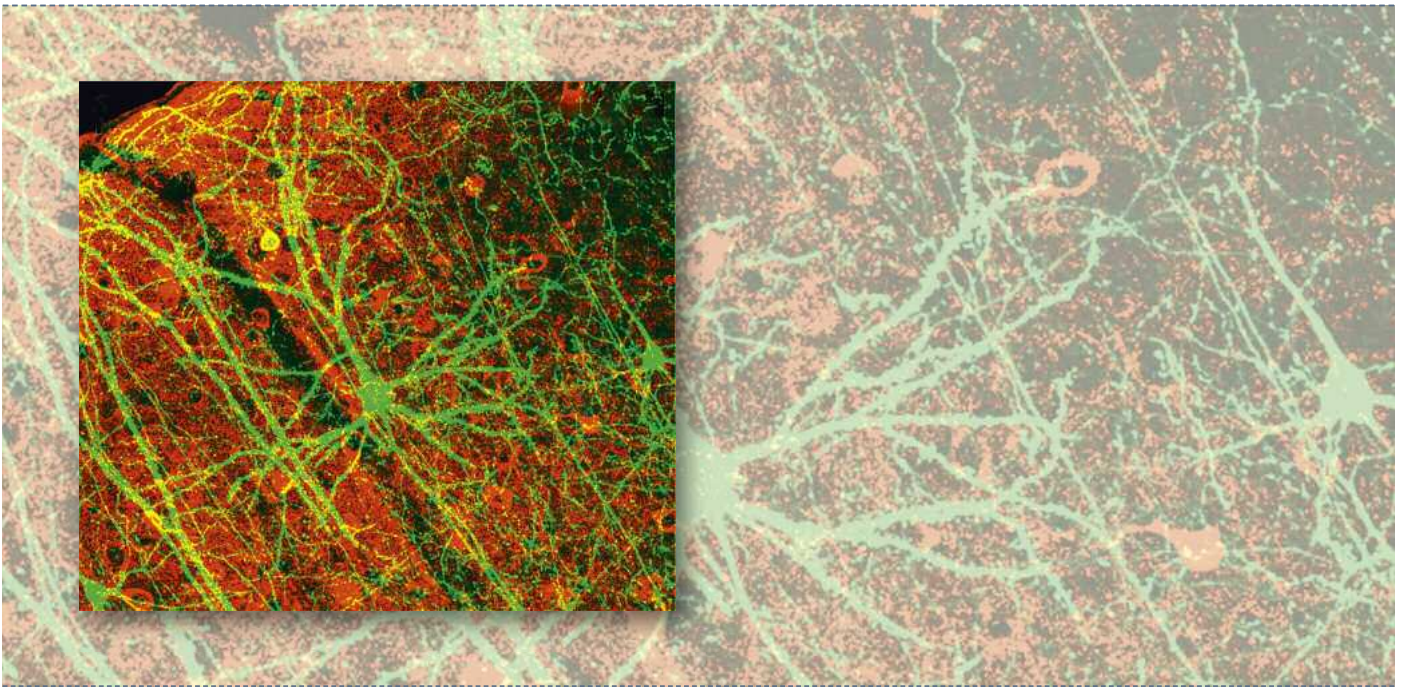


FPGA-basierter Neuronen-Rechnerkern



Das Hodgkin-Huxley-Neuronenmodell ist ein leitfähigkeitsbasiertes Neuronenmodell und hat durch seine detaillierte Beschreibung des Membranpotentialverlaufs über spannungsabhängige Ionenkanäle in der Physiologie große Popularität erlangt. Es besteht aus einem System gekoppelter nichtlinearer Differentialgleichungen, dessen detaillierte Berechnung zeit- aufwändig ist und damit in Computersimulationen nur die Modellierung einzelner Neuronen zulässt. Die hier vorgestellte anwendungsspezifische Rechnerarchitektur basiert auf hoher Parallelität sowie Pipelining und ermöglicht eine sehr viel schnellere Simulation bei einer hohen numerischen Genauigkeit. Der auf der Hannover-Messe gezeigte Demonstrator zeigt die tatsächlichen Reaktionen eines einzelnen Neurons auf Temperaturänderungen sowie durch Rauschen modellierte externe Reize. Eine ASIC-Implementierung dieser Architektur erlaubt die Simulation von bis zu 400 Neuronen auf einem Chip und

damit den Einsatz leitfähigkeitsbasierter Modelle auch bei größeren neuronalen Netzwerken. Damit lassen sich beispielsweise Untersuchungen von Vernetzungsmechanismen in der Physiologie sowie Attraktorberechnungen durchführen.

Model

Zum Einsatz kommt das sog. Huber-Braun-Modell, welches in Erweiterung des Hodgkin-Huxley-Modells zwei Ionenkanäle für unterschwellige Membranpotentiale aufweist (Abb. 1). Hinzu kommen noch ein additiv überlagerter Rauschanteil sowie die Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Membranpotentials. Das Aktionspotential ist insgesamt von den folgenden drei Parametern abhängig:

- Injektionsstrom
- Rauschparameter
- Temperatur

Der Injektionsstrom ist der Strom, der zur Depolarisation des Membranpotentials in die Zelle injiziert wird und damit den synaptischen Prozess ersetzt. Geht man von einer konstanten Betriebstemperatur des Neurons von 25°C aus, dann hat bei zu geringem Injektionsstrom der überlagerte Rauschanteil kein Aktionspotential zur Folge, weil die unterschweligen Membranpotential-Oszillationen noch nicht in der Nähe des Schwellwertes liegen. Mit steigendem Injektionsstrom nehmen auch die Amplituden dieser Oszillationen zu und bewegen sich in der Nähe des Schwellwertes, so dass nun der Rauschanteil über die Anzahl der generierten Aktionspotentiale pro Zeitintervall entscheidet. Die Temperaturabhängigkeit äußert sich dadurch, dass bei zu geringer bzw. zu hoher Temperatur die Zelle ihre Funktion einstellt, d.h. es werden keine Aktionspotentiale mehr generiert (Abb. 2)

FPGA-Board

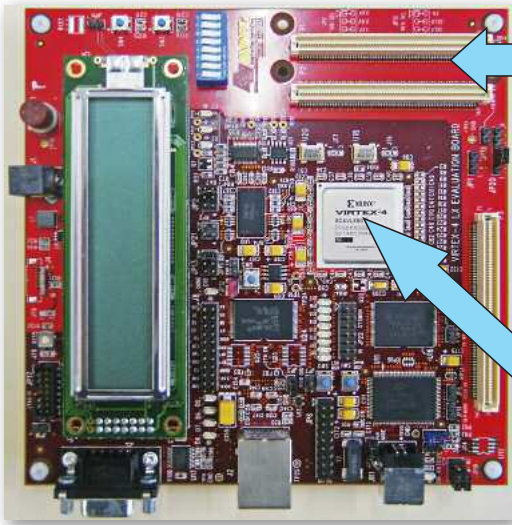
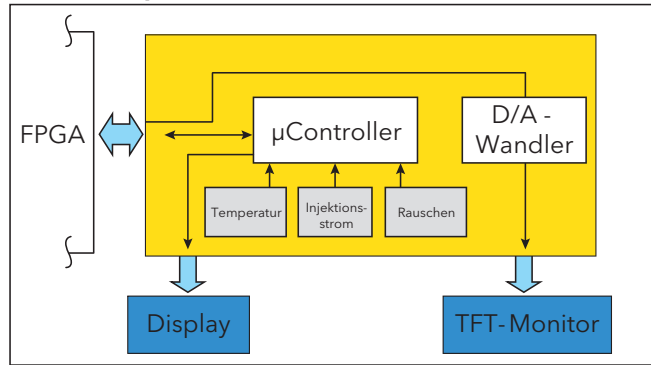
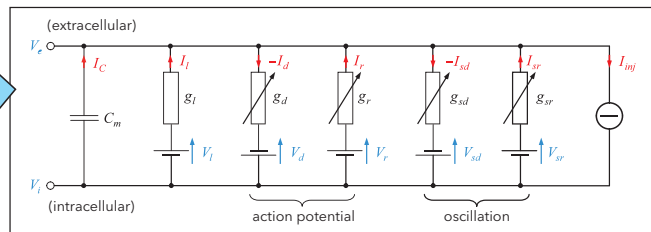


Abbildung 1: Aufbau des Demonstrationsmodells

Aufsteckplatine



Huber-Braun-Neuronenmodell



Architektur

Der Neuronen-Rechnerkern setzt sich intern aus 6 Arithmetikeinheiten zusammen, die als mehrstufige Pipeline ausgeführt sind und parallel arbeiten.

Als zentrale Komponente ist hier das CORDIC-Modul zu nennen, denn hierüber werden alle in den Modellgleichungen des Neurons auftretenden mathematischen Funktionen bestimmt. Die vorgestellte Architektur wurde auf einem Virtex-4-FPGA synthetisiert und berechnet bei 100 MHz Taktrate über 250 Mio. Operationen pro Sekunde. Ein Vergleich mit einer PC-Simulation zeigt erhebliche Geschwindigkeitsvorteile. Da alle Arithmetikeinheiten frei programmierbar sind, lassen sich die Modellgleichungen ändern bzw. in gewissem Umfang auch neue Neuronenmodelle implementieren.

Demonstrationsmodell

Die entwickelte Architektur ist zu Experimentierzwecken auf einem FPGA-Board implementiert. Eine Zusatzplatine ermöglicht die Erfassung der Umgebungstemperatur sowie die Vorgabe von Rauschparametern und Injektionsstrom. Die Reaktion des simulierten Neuronenkerns wird auf einem Oszilloskop mit angeschlossenem TFT-Monitor dargestellt.

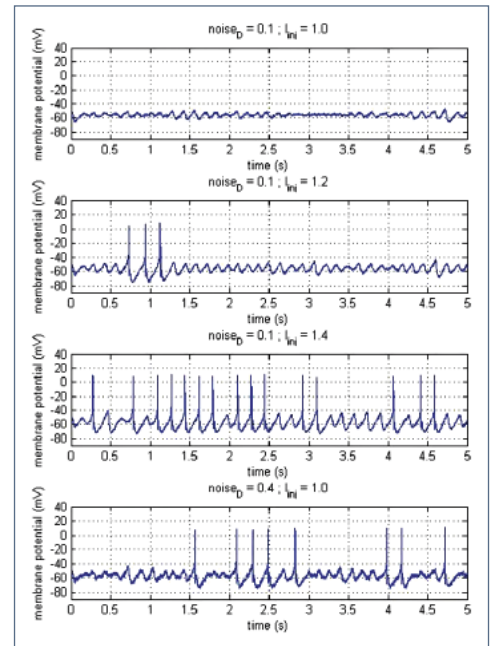


Abbildung 2: Membranpotential in Abhängigkeit der Parameter

FPGA-based neuron-core

The Huber-Braun-Model specifies the behavior of nis extreme computationally intensive and does not allow real-time simulations of large neural networks, so

that a neuron-core with a dedicate architecture for 400 neurons had been developed. To visualize its membrane potential a neuron get singled out. The param-

eter injection current, adding noise component and temperature to generate spikes can be regulated and the result can be reviewed in real-time.