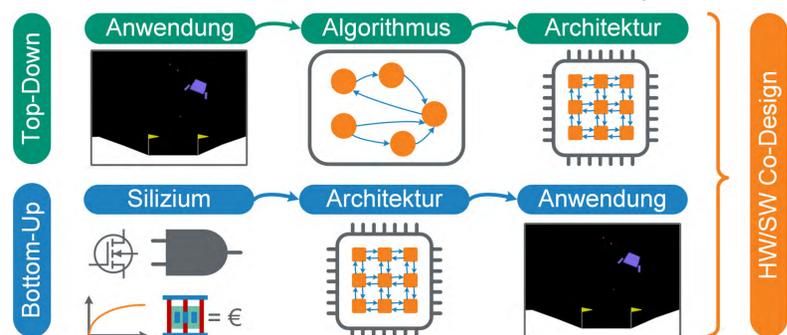


Biologisch inspirierte Systeme in Silizium

Neuromorphe Hardware Architekturen und deren Entwurf

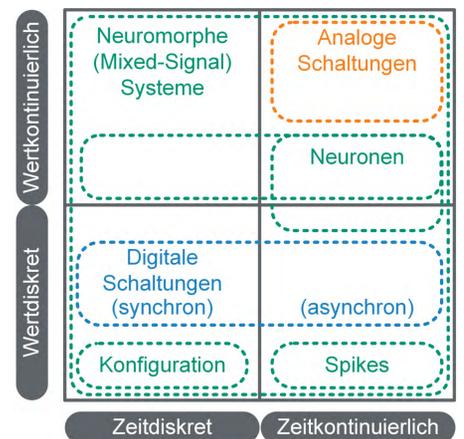
1 Bottom-Up oder Top-Down

- **Top-Down:** Implementierung eines für eine oder mehrere Anwendungen optimierten Algorithmus in Hardware
- **Bottom-Up:** Architektur und Algorithmus Entwurf inspiriert durch effiziente und skalierbare Hardware Implementierungen

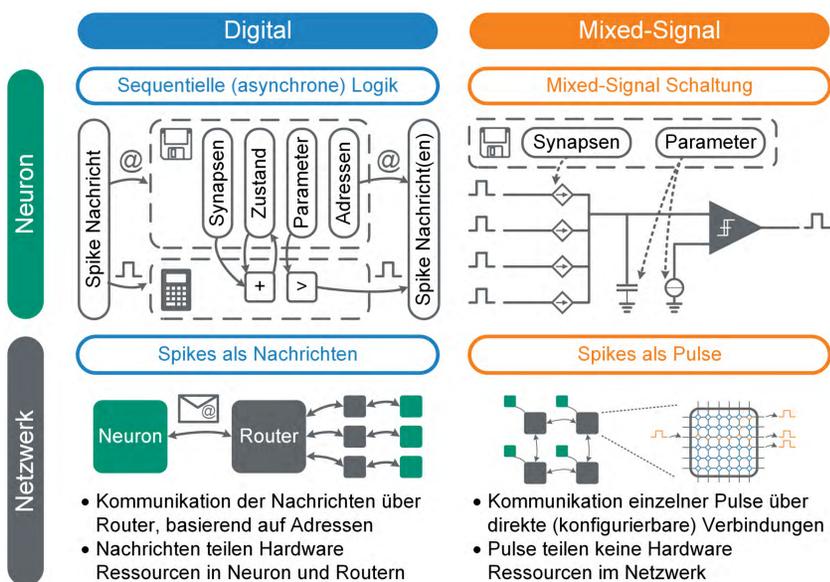


2 Signal Domänen

- Biologische Neuronen sind Mixed-Signal
- Kommunikation über Signalkategorie "Spikes"
- Spike orientierte Sensoren, Front-Ends und ganze Systeme
- **Erweiterung des synchronen digitalen Design Flows** für Systeme mit allen Domänen erforderlich für skalierbare Implementierung



3 Neuromorphe Architekturen



4 Skalierung und KPIs

Skalierung von neuromorpher Hardware über

- **Fläche:** mehr Durchsatz durch **mehr Parallelisierung**, dafür größere maximale Delays zwischen einzelnen Neuronen möglich
- **Speicher:** größere Netze teilen Hardware Ressourcen zwischen mehr Neuronen oder Synapsen durch **zeitliches umschalten**
 - einzelner Neuronen oder Synapsen (digital)
 - ganzer Teilnetze von Neuronen oder Synapsen (analog)

KPIs neuromorpher Hardware sind idealerweise datenunabhängige **physische Indikatoren**, welche die Kosten der Implementierung **neuromorpher Algorithmen** bewerten, z.B.

- Energie pro erzeugtem Spike oder Multiply-Accumulate (MAC)
- Fläche pro Neuron oder Synapse
- Mögliche Verbindungen: maximale Anzahl, fan-out und fan-in
- minimale und maximale Zeitkonstanten und Latenz

5 Mixed Timing und Mixed Signal Architekturen

Neuromorphe Hardware erfordert ein hohes Maß an **HW/SW Co-Design**. Gute Hardware Architekturen berücksichtigen sowohl welche neuromorphen Algorithmen zu welcher Anwendung passen, als auch welche grundlegenden Rechen- und Kommunikationseinheiten sich effizient in einer vorliegenden Technologie implementieren und skalieren lassen. Konventionelle Design Flows sind nicht für die skalierbare Realisierung von Architekturen ausgelegt, welche mit **allen Signal Domänen** arbeiten, lassen sich aber für deren Implementierung erweitern.