

# Architekturkonzepte für semi-synchrone Controller auf der Basis der Asynchronen Wave Pipeline Schaltungstechnik

Stephan Hermanns und Sorin Alexander Huss  
Integrierte Schaltungen und Systeme  
Fachbereich Informatik  
Technische Universität Darmstadt

## *Erweiterte Zusammenfassung*

Datenwellen sind die allgegenwärtigen Objekte in Wave Pipeline (WP) Architekturen. Von zentraler Bedeutung für die Bewertung der Funktionsfähigkeit derartiger Architekturen unter praxisrelevanten Arbeitsbedingungen ist die Analyse der Verteilung von Datenwellen in Raum und Zeit, d. h. die Frage, zu welchen Zeitpunkten Datenwellen an welchen Orten in einer nach WP Konzepten operierenden Architektur präsent sind. Es wird ein Modell vorgestellt, das auf der Basis von explizit postulierten, notwendigen Anforderungen an WP Architekturen die zeitliche und räumliche Verteilung von Datenwellen beschreibt. Dieses Modell wird zunächst auf Datenpfade in WP Realisierung angewendet. Es wird gezeigt, dass das Modell auch auf sequentielle Architekturen erweitert werden kann. Neuartige Architekturkonzepte für Controller, die nach dem Prinzip der Asynchronen Wave Pipeline (AWP) arbeiten, lassen sich dadurch systematisch bewerten. Dabei sind geeignete Vorgehensweisen zu entwickeln, die die notwendigen Eigenschaften hinsichtlich Konsistenz und Kohärenz der Datenwellen quantifizieren. Anwendungsbeispiele demonstrieren die Tragfähigkeit der vorgeschlagenen Methode zur Bewertung von Architekturkonzepten.

Datenwellen sind orts- und zeitabhängige Mengen semantisch korrekt belegter Signale in einer auf Gatterebene repräsentierten Architektur einer digitalen Schaltung, die Semantik ist durch die statischen Gatterfunktionen festgelegt. Aufgrund dieser Definition ergeben sich Zeitintervalle, in denen Datenwellen eines Signals örtlich vorliegen müssen - genau dann, wenn die Signalbelegungen durch die auf Eingabesignalvektoren angewandte Rechenvorschrift (modulo einer Äquivalenzrelation auf der Menge der Signalwerte) bestimmt sind. Diese Zeitintervalle werden durch die Implementierungs- und Betriebsparameter der Gatter, die zeitliche Relation und Belegung der Eingangssignale, dem internem Zustand eines jeden Gatters und die zeitlichen Eigenschaften der Signalverdrahtung quantifiziert. Ein notwendiges Kriterium für die korrekte Funktion einer Schaltung, die nach dem WP Prinzip arbeitet, ist die Datenkonsistenz. Bereits bei der Definition einer Datenwelle ist die Konsistenz zu berücksichtigen, sie ist für die Integrität der Signalbelegungen insbesondere bei mehreren, gleichzeitig vorliegenden Datenwellen unabdingbar. Ein notwendiges und ein darüber hinaus hinreichendes Kriterium für die korrekte Funktion einer jeden WP Architektur ist die Datenkohärenz: Jedem Gatter und jeder Datenwelle ist ein nicht leeres Zeitintervall zugeordnet, in dem alle Eingangssignale dieses Gatters mit semantisch korrekten Werten belegt sind. Sowohl die Existenz als auch die zeitliche Ausdehnung dieser Intervalle sind von den oben genannten Gatterparametern abhängig. Hier wird deutlich wie wichtig es ist, die Zeitintervalle genau zu kennen, in denen die Belegung eines Signals durch eine Datenwelle eindeutig bestimmt wird.

Neben der sicher zu stellenden Konsistenz der Daten ist die eindeutige Erkennbarkeit des Vorhandenseins einer Datenwelle wichtig. Hier weist die AWP Architektur einen deutlichen Vorteil auf im Vergleich zu den wohl bekannten WP Konzepten. Schaltungen, die nach dem AWP Konzept aufgebaut sind, unterstützen aufgrund einer Einführung eines Pfades für Kontrollsignale, der parallel zum Datenpfad verläuft, die Erkennung des Vorhandenseins von gültigen Datenwellen, während z. B. synchrone Wave Pipelines dies durch ein externes, Takt ähnliches Signal anzeigen müssen. Das in Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell erlaubt die Erkennung sowohl der Existenz und der Gültigkeit einer Datenwelle als auch die eindeutige Trennbarkeit zweier Datenwellen.

Erweitert man das AWP Konzept auf Schaltwerke, dann ergibt sich dabei das zentrale Problem der Synchronisation von Zustands- und von Eingabesignalen, da für den Zeitpunkt der nächsten Zustandsdatenwelle - anders als beim synchronen Arbeitsprinzip - kein Intervall mit einer zeitlichen Ausdehnung in der Größenordnung des Taktversatzes (Skew) angegeben werden kann. Bei AWP Controllern kann ein Zustandswechsel in einem Intervall auftreten, dessen Länge durch die maximale Variation der Verzögerung in der Übergangsfunktion  $\delta$  des Folgezustands gegeben ist. Zur Lösung dieses Synchronisationsproblems bei mehreren Wellen in der Berechnung des Folgezustands wird ein semi-synchroner Ansatz vorgeschlagen, der die gleiche Anzahl Datenwellen wie bei synchronem Wave Pipelining erlaubt, jedoch den Vorteil der im Mittel geringeren Latenz asynchroner Automaten besitzt. Dieser Ansatz wird anhand mehrerer Anwendungen mittels Simulation auf Gatterebene auf seine Praxistauglichkeit untersucht.