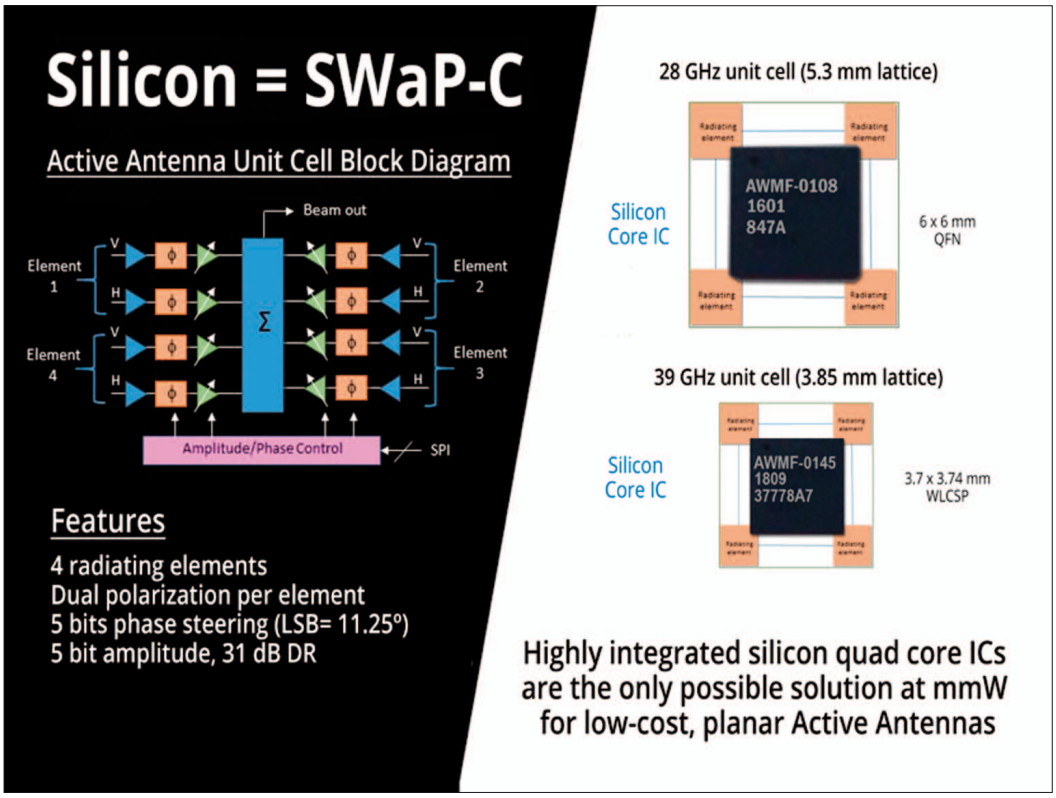
Grundlagen der aktuellsten Antennentechnik

Beamforming und Phased-Arrays für 5G



Die Aktivantennen-Beamforming-Technologie für die Millimeterwellenbänder ist eine der Schlüsseltechnologien für 5G. Während im Teil 1 dieses zweiteiligen Artikels die grundlegenden Beamforming-Konzepte vorgestellt wurden, geht dieser Teil 2 näher auf die Steuerungs-Halbleitertechnik in solchen aktiven Antennen ein.

Quelle: Millimeter-Wave 5G Beamforming and Phased Array Basics, by David Corman, Anokiwave, Inc., 2019, www.anokiwave.com übersetzt von FS

Genutzt werden hochintegrierte Silizium-ASICs auf der selben Fläche, auf der sich auch die Antennelemente befinden. Wie das Aufmacherbild verdeutlicht, ist ein Vierelement-IC optimal für das Signalrouting und weitere Funktionen.

Basics zu Beamforming-Konzepten

Drei generelle Beamforming-Architekturen sind möglich: analog, digital und hybrid. Welche Vor- und Nachteile gibt es dabei? Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf den Empfangsfall, im Sendefall kehrt sich nur die Energieflussrichtung um und statt ADCs werden DACs genutzt.

• Analoges Beamforming (Bild 10)

Alle bisherigen Betrachtungen bezogen sich darauf. Das System setzt auf einen geeigneten Frequenz-Downconverter und einen ADC. Vorteile: einfachste Hardware-Implementation, Hardware lässt sich in der Antennenstruktur unterbringen, Beam entsteht durch den vollen Arraygewinn, geringster DC-Leistungsbedarf, Nachteile: Single Beam, Anzahl der Beams ist durch die Hardware festgelegt und lässt sich nicht ändern.

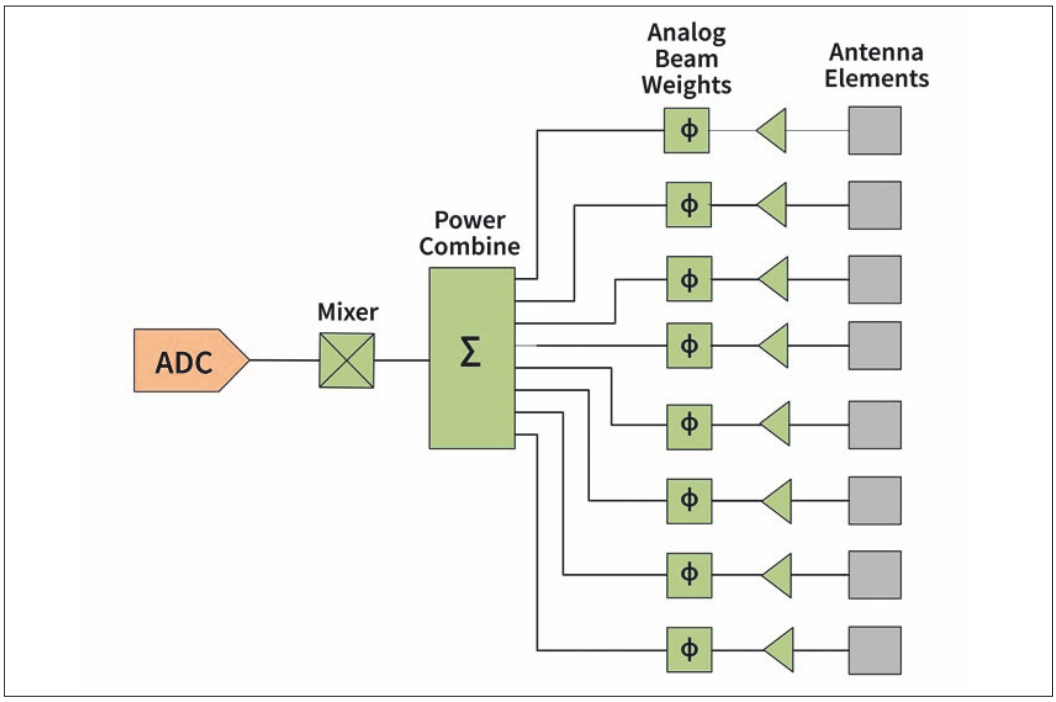


Bild 10: Analoges Beamforming, Blockdarstellung

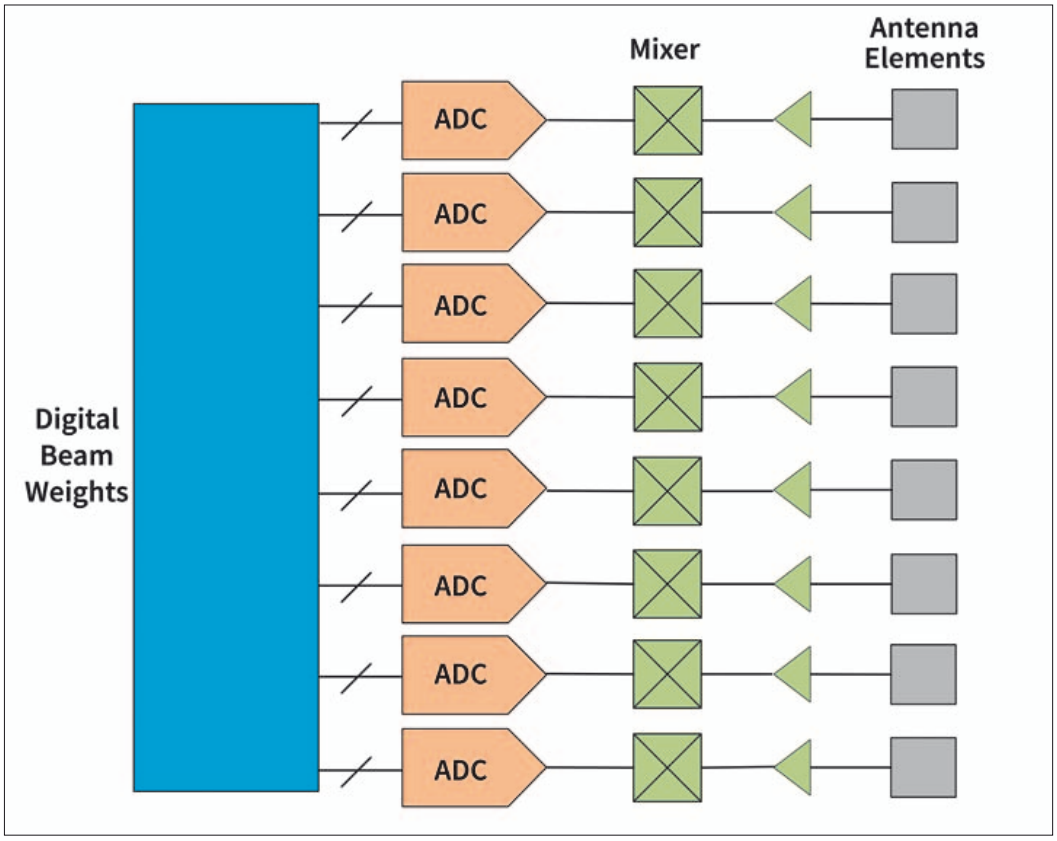


Bild 11: Digitales Beamforming, Blockdarstellung

- **Digitales Beamforming (Bild 11)**

Die Beams werden durch Nutzung von komplexen digitalen Gewichtungen geformt und nicht durch analoge Phasenschieber. Dazu ist eine vollwertige Signalverarbeitungskette zwischen jedem Antennenelement und der digitalen Ebene erforderlich. Dies ist nur bei geringen Frequenzen praktikabel, etwa im S-Band. Eine weitere praktische Einschränkung ist der hohe DC-Leistungsverbrauch besonders bei hohen Bandbreiten. Weiter von Nachteil ist die hohe Signalrouting-Komplexität, wobei z.B. 8 Bits des I- und Q-Signals vom Array zum digitalen Signalprozessor geführt werden müssen, und auch das LO-Signal muss innerhalb des Arrays geroutet werden. Andererseits ist diese Architektur sehr flexibel und dynamisch.

- **Hybrides Beamforming (Bild 12, 13)**

Die Kombination von analogem und digitalem Beamforming teilt das Array in Subarrays auf, die im Prinzip wie beim analogen Beamforming verschaltet sind (vgl. die Bilder 10 und 12), allerdings nun mit digitaler Beam-Gewichtungs-Ansteuerung. In Bild 13 repräsentiert der breite, schwarz gezeichnete Beam den Gewinn jedes embedded Elements und der schmale, rot gezeichnete Beam ist der analoge Subarray-Beam. Durch die Überlagerung solcher Beams ergeben sich z.B. die beiden noch schmäleren, blau gezeichneten digitalen Beams. Normalerweise lassen sich deutlich mehr als zwei digitale Beams formen.

Dieses Konzept lässt sich auch auf mmWave-Frequenzen gut praktizieren und verbindet Vorteile des analogen und des digitalen Ansatzes. So ist es flexibel und kann dynamisch mehrere Beams als auch Nullstellen formen, ohne dass die Hardware geändert werden muss. Ein komplexes Signalrouting wird vermieden. Daher ist dies der populärste Beamforming-Weg in den sich entwickelnden 5G-Kommunikationssystemen.

Bemerkenswerte Beamforming-Features

Die Firma Anokiwave bietet ein breites Portfolio von mmW-5G-ICs für alle wichtigen Bänder und Antennenkonfigurationen. Die zweite Generation dieser 5G-ICs zeichnet sich durch 3GPP Compliance für 5G-NR aus. Diese siliziumbasierten ICs nutzen den kostengünstigsten monolithischen Prozesses in der Welt. Ein weiterer kostensenkender Faktor ist die Eliminierung der Array-Kalibrierung mithilfe von Anokiwaves Zero-Cal-Tech-

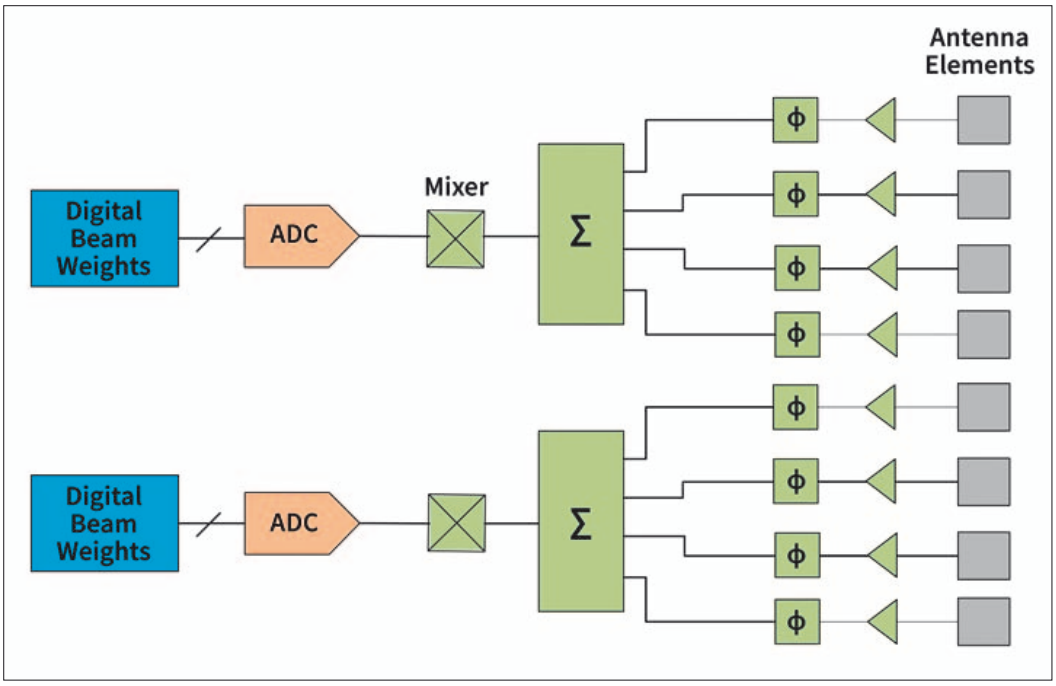


Bild 12: Hybrides Beamforming, Blockdarstellung

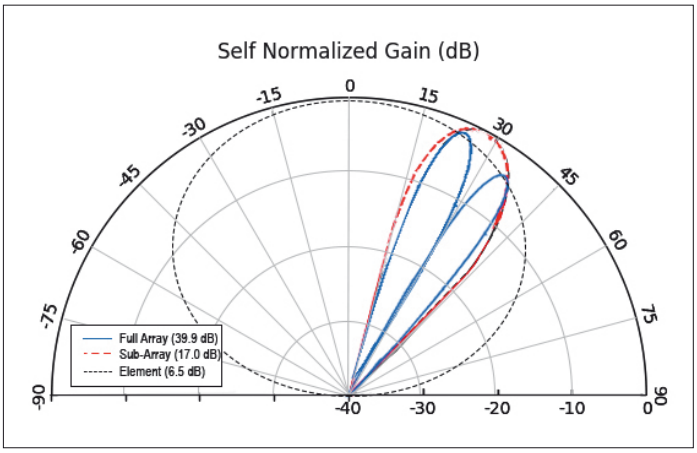


Bild 13: Hybrides Beamforming, Beam-Illustration

nologie. Zur Minimierung der DC-Leistungsaufnahme wird hingegen Anokiwaves Kinetic-Green-Funktionalität eingesetzt. Diese ermöglicht einen dynamisch gemanagerte Array-DC-Leistungsaufnahme entsprechend der verschiedenen Einsatzszenarien. Bild 14 zeigt Produktbeispiele.

Die dritte Generation der IC-Serie wird bei Millimeterwellen-5G neue Maßstäbe in Sachen Leistung, Kosten und Größe setzen. Etwa der AWMF-0165 von Anokiwave ist ein Tx/Rx-Beamforming-IC entsprechend 3GPP n258 (24,25...27,5 GHz), der entweder als dual polarisierter Vierkanal- oder als einfach polarisierter Achtkanal-IC arbeiten kann. Der IC ist optimiert für 5G-Applikationen und als Chip oder mit WLCSP-Gehäuse lieferbar.

Zusammenfassung

Um wirklich planare, aktive Antennen für 5G zu bauen, muss die erforderliche Beamforming/Beamsteering-Elektronik auf der Grundfläche der Antenne zwischen den Antennenelementen integriert sein.

Dies ist schwierig und herausfordernd bei 5G-mmWave-Frequenzen. Ein einziger IC mit allen Beamforming-Funktionen für mehrere Elemente ist jedoch der am meisten effiziente Weg, um die gewünschte Funktionalität auf einem sehr geringen Platz unterzubringen.

Hochintegrierte Silizium-ICs, oberflächenmontiert am Antennenelement, stellen die Schlüsseltechnologie für Arrays für die 5G-mmWave-Frequenzen dar. ◀

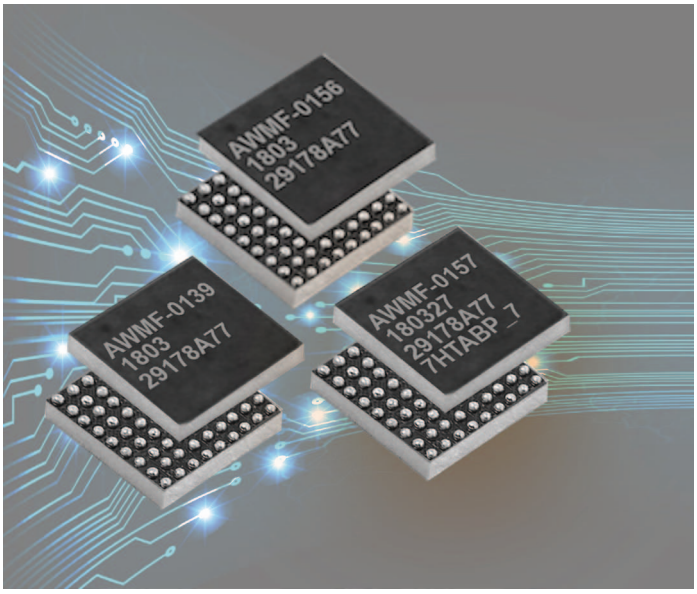


Bild 14: Drei ICs mit Zero-Cal-Funktionalität für drei Bänder

Frontend-Beamformer-MMIC für 5G & Satcom

Der ARNAFE01 von RFIC Solutions ist ein hochintegrierter Frontend-Beamformer-MMIC für 5G und Satcom mit einem Phased-Array-Antennensystem für 24...30 GHz. Der Chip ermöglicht eine volle 360°-Phasenvariation bei damit verbundender minimaler Amplitudenveränderung. Er weist als Tx 28 dB Kleinsignalverstärkung auf und ermöglicht eine Ausgangsleistung von 29 dBm. Als Empfänger bietet er 24 dB Verstärkung und 2 dB Rauschmaß. Dieser Chip setzt sich aus Pufferverstärker, Phasenschieber, variablem Dämpfungsglied, Treiberverstärker und Power-Amplifier (PA) im Tx-Pfad und aus LNA, Phaseshifter und VVA (Voltage Variable Attenuator) im Rx-Pfad zusammen. Er nimmt im Sendemodus 3,8 W und im Empfangsbetrieb 600 mW auf. Hergestellt wurde er in einem 0,1-µm-GaAs-pHEMT-Prozess und weist 5,58 x 5,58 mm Footprint seines Surface-Mount-Gehäuses auf.