

Für Hadamard-Matrizen besteht der Zusammenhang

$$\mathbf{W}_{2N} = \begin{pmatrix} \mathbf{W}_N & \mathbf{W}_N \\ \mathbf{W}_N & -\mathbf{W}_N \end{pmatrix}. \quad (17.1.17)$$

Mit $\mathbf{W}_1 = (1)$ lassen sich hieraus Hadamard-Matrizen rekursiv aufbauen, deren Ordnungen auf Zweierpotenzen festgelegt sind. Daneben existieren auch Hadamard-Matrizen der Ordnungen⁵

$$2^n \cdot 12 \quad \text{und} \quad 2^n \cdot 20.$$

Gemäß (17.1.15b) besitzen die Walsh-Funktionen perfekte Orthogonalitätseigenschaften unter streng synchronen Verhältnissen – sie sind also ideal für den *Downlink* einzusetzen, falls er nicht frequenzselektiv ist. Für den Uplink eines CDMA-Systems gilt die Synchronität jedoch nicht, da die Signale der örtlich verteilten Nutzer die Basisstationen unter verschiedenen Verzögerungszeiten erreichen, so dass – auch unter nichtselektiven Kanälen – die ideale Orthogonalität der Walsh-Codes verloren geht. In **Bild 17.1.12a-d** sind die jeweils geraden Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen von 32-stufigen Walsh-Funktionen dargestellt; die Numerierung der Walsh-Funktionen wurden gemäß den korrespondierenden Zeilen der Hadamard-Matrix (beginnend mit Nr. 1) vorgenommen.

Betrachtet man z.B. Bild 17.1.12a oder b, so liegen die Werte der Kreuzkorrelierten zwischen den Walsh-Funktionen 17 und 22 bzw. 18 und 20 etwa in der Größenordnung der (geraden) KKF der Gold-Codes in Bild 17.1.9. Extrem verschlechtert werden die Kreuzkorrelationseigenschaften hingegen für die Code-Paare 11-16 und 6-8 (Bild 17.1.12c,d). Im letzteren Fall erreicht das Maximum der KKF bereits bei geringer Verschiebung ($\leq 0,1T$) den Maximalwert der AKF – unter asynchronen Verhältnissen ist damit keine sichere Nutzertrennung zu erreichen. Ungünstig sind auch die Breiten der AKF im Falle des Codes 17 oder die wiederholten Maxima bei AKF 18 und 11, wodurch bei frequenzselektiven Kanälen keine Unterdrückung benachbarter Kanäle möglich ist.

Unter frequenzselektiven Bedingungen können die Walsh-Funktionen als alleinige Nutzer-codes deshalb auch im Downlink nicht verwendet werden; man multipliziert die CDMA-Signale zusätzlich mit einem PN-Code, um das Pfadübersprechen zu unterdrücken (vgl. hierzu die Beschreibung des UMTS-Downlink-Konzeptes in Abschnitt 17.6.1).

17.1.5 CDMA: Ein Zugriffsverfahren für zellulare Netze

Die klassischen Vielfach-Zugriffsverfahren sind *Frequenzmultiplex* (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*) und *Zeitmultiplex* (TDMA, *Time Division Multiple Access*). Oftmals werden die beiden Konzepte auch miteinander verbunden wie z.B. im GSM-Standard. Im vorliegenden Kapitel tritt nun mit dem Code eine weitere Dimension hinzu, die für den Vielfachzugriff genutzt werden kann: Wir erhalten damit das Verfahren des *Code Division Multiple Access* (CDMA), das die Grundlage der Mobilfunk-Konzepte der dritten Generation bildet; der UMTS-Standard wird im Abschnitt 17.6.1 in seinen

⁵Zur Konstruktion von Walsh-Sequenzen siehe die Matlab-Routine „hadamard“.