

# Inhalt

**Vorwort — IX**

**Danksagung — XVII**

**Notation — XIX**

**Sätze, Lemmata, Korollare und Trivialitäten — XXI**

**Arithmetische Vorrangregeln — XXIII**

<b>1</b>	<b>Einleitung — Moderne Mobilkommunikation und die innere physikalische Schicht im Transceiver — 1</b>
1.1	Von Systemen und Signalen — 1
1.2	Warum noch ein Buch über Mobilkommunikation? — 5
1.3	Struktur dieses Buchs — 6
1.3.1	Kapitel 1: Einleitung — Moderne Mobilkommunikation und die innere physikalische Schicht — 6
1.3.2	Kapitel 2: Abtastung — Abtastsatz — 6
1.3.3	Kapitel 3: Mehrantennentechniken — 10
1.3.4	Kapitel 4: Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) — 12
<b>2</b>	<b>Abtastung — Abtastsatz — 14</b>
2.1	Einführung — 14
2.2	Von zeitdiskret zu zeitstetig — 16
2.3	„Satz I“ und „Satz II“ in [1] von 1933 — 53
2.4	„Satz 13“ aus [2] von 1948 — 57
2.5	„Satz 1“ in [3] von 1949 — 77
2.6	Integration und Riemann'sches Integral — 78
2.7	Algebra, Maß und einfache Funktionen — 84
2.8	Einschränkungen des Riemann'schen Integrals — 86
2.9	Lebesgue-Integral — 86
2.10	Riemann-Stieltjes-Integral — 89
2.11	Fourier-Reihe — 91
2.12	Fourier-Transformation und Spektrum — 97
2.13	Beweis des Abtastsatzes — 114
2.14	Zwei einfache Beispiele — 117
2.14.1	Monochromatisches Signal mit der natürlichen Frequenz $W/2$ — 117
2.14.2	Monochromatisches Signal mit der natürlichen Frequenz $W$ — 121
2.15	Wichtige Eigenschaften der Dirac'schen Delta-Distribution — 125
2.15.1	Distributionen — 125

2.15.2	Dirac'sche Delta-Distribution — <b>129</b>
2.15.3	Funktionsfolgen, die zur Delta-Distribution konvergieren — <b>136</b>
2.15.4	Fourier-Transformation zum Zweiten — <b>143</b>
2.15.5	Dirac-Kamm — <b>149</b>
2.16	Abtastsatz 2.21 zum Zweiten — <b>157</b>
2.17	„Aliasing“ — <b>160</b>
2.18	Abtastsatz im Frequenzbereich — <b>164</b>
2.19	Abtastung im Bandpassbereich — <b>166</b>
2.19.1	Bandpasssignal — <b>166</b>
2.19.2	Bandpasssystem — <b>170</b>
2.19.3	Abtastsatz für Bandpasssignale — <b>171</b>
2.20	Bandbreite eines Signals — <b>183</b>
2.20.1	Bandbreiten-Dilemma — <b>183</b>
2.20.2	Sieben gängige Definitionen der Bandbreite — <b>185</b>
2.21	Klassische Unschärferelation — <b>186</b>
2.21.1	Betrachtetes Signal — <b>186</b>
2.21.2	Spektrum — <b>190</b>
2.21.3	Resultierende klassische Unschärfe — <b>193</b>
2.22	Was die Welt jetzt braucht, ist ... die mehrdimensionale Fourier-Reihe (MFS) und die mehrdimensionale Fourier-Transformation (MFT) — <b>194</b>
2.22.1	Schauplatz der Ereignisse — <b>194</b>
2.22.2	Mehrdimensionale Fourierreihen und mehrdimensionale Fourier-Reihen (MFS) — <b>198</b>
2.22.3	Mehrdimensionale Fourier-Transformation (MFT) und mehrdimensionale inverse Fourier-Transformation (MIFFT) — <b>200</b>
2.23	Mehrdimensionaler Abtastsatz — <b>204</b>

### **3 Mehrantennentechniken — 207**

3.1	Einführung — <b>207</b>
3.2	Krummlinige Koordinatensysteme — <b>222</b>
3.2.1	Koordinatentransformationen — <b>222</b>
3.2.2	Tangentialvektoren in krummlinigen Koordinatensystemen — <b>223</b>
3.2.3	Normale Einheitsvektoren in krummlinigen Koordinatensystemen — <b>225</b>
3.2.4	Kontravariante und kovariante Vektoren — <b>226</b>
3.2.5	Koordinatentransformationsgesetz für kontravariante Komponenten — <b>227</b>
3.2.6	Koordinatentransformationsgesetz für kovariante Komponenten — <b>230</b>
3.2.7	Orthogonale krummlinige Koordinaten — <b>232</b>
3.2.8	Beispiel 1: Zylindrische Koordinaten — <b>235</b>
3.2.9	Beispiel 2: Kugelkoordinaten — <b>237</b>
3.2.10	Divergenz, Rotation und Laplace-Operator — <b>238</b>
3.3	Tensoren — <b>239</b>
3.3.1	Bedeutung des Begriffs Tensor — <b>239</b>

3.3.2	Einstein'sche Summenkonvention — <b>240</b>
3.3.3	Kontravariante Tensoren — <b>241</b>
3.3.4	Kovarianter Tensor — <b>242</b>
3.3.5	Levi-Civita (Pseudo)-Tensor — Epsilon-Tensor — <b>243</b>
3.3.6	Rotation der Rotation eines Vektorfeldes — <b>253</b>
3.4	Elektromagnetische Wellen im Vakuum — <b>256</b>
3.5	Ebene Welle im freien Raum — <b>260</b>
3.6	Einfache Gruppenantenne — <b>264</b>
3.6.1	Phasenunterschiede einer empfangenen ebenen Welle — <b>264</b>
3.6.2	Wahl des Abstands benachbarter Antennenelemente — räumlicher Abtastsatz — <b>267</b>
3.6.3	Antennendiagramm einer Gruppenantenne — <b>270</b>
3.7	Beugung in der Optik — ein kleiner Exkurs — <b>285</b>
3.7.1	Beugung am Einzelpalt — <b>285</b>
3.7.2	Beugung am optischen Gitter — <b>294</b>
3.8	Kurzer Überblick über die Wahrscheinlichkeitsrechnung — <b>299</b>
3.8.1	Stochastik, Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik — <b>299</b>
3.8.2	Permutation, Variationen und Kombinationen — <b>300</b>
3.8.3	Endliche Wahrscheinlichkeitsfelder — <b>305</b>
3.8.4	Borelsche Wahrscheinlichkeitsfelder — <b>330</b>
3.8.5	Zufallsvariablen und Verteilungsfunktionen — <b>334</b>
3.8.6	Mathematische Erwartung — <b>339</b>
3.8.7	Funktionen von Zufallsvariablen und „Simulationslemma“ — <b>341</b>
3.8.8	Bedingte Wahrscheinlichkeit und Satz von Bayes in borelschen Wahrscheinlichkeitsfeldern — <b>354</b>
3.8.9	Mehrdimensionale Zufallsvariablen — <b>357</b>
3.8.10	Stochastische Prozesse — <b>379</b>
3.9	Diversität mit mehreren Empfangsantennen — <b>468</b>
3.9.1	Systemmodell — <b>468</b>
3.9.2	Likelihood-Funktion — <b>527</b>
3.9.3	Hinreichende Statistik — <b>543</b>
3.9.4	Signalangepasst gefiltertes Rauschen — <b>547</b>
3.9.5	Dekorrelieren des signalangepasst gefilterten Rauschens: Cholesky-Zerlegung — <b>550</b>
3.9.6	Dekorrelieren des signalangepasst gefilterten Rauschens: Diskrete Karhunen-Loève-Transformation — <b>551</b>
3.9.7	Optimale Empfänger — <b>553</b>
3.9.8	Optimale Detektion übertragener komplexer Datenfolgen — <b>578</b>
3.9.9	Empfänger mit Maximum-Likelihood-Folgendetektion — <b>581</b>
3.9.10	Anschauliche Betrachtung des Viterbi-Algorithmus — <b>588</b>
3.9.11	Maximum-Likelihood-Folgendetektion mit dem Viterbi-Algorithmus — <b>596</b>

## **XXVIII — Inhalt**

3.9.12	Leistungsanalyse des Viterbi-Algorithmus — <b>601</b>
3.9.13	Soft Output Viterbi-Algorithmus — „SIMPLE RULE“ — <b>619</b>
3.9.14	Soft Output Viterbi-Algorithmus — „HUBER RULE“ — <b>624</b>
3.9.15	Soft Output Viterbi-Algorithmus — „BATTAIL RULE“ — <b>627</b>
3.9.16	Empfänger mit Maximum-a-posteriori-Wahrscheinlichkeit-Symboldetektion — <b>633</b>
3.10	Diversität mit mehreren Sendeantennen — <b>666</b>
3.11	Kurzer Überblick über die Informationstheorie — <b>678</b>
3.11.1	Information — <b>678</b>
3.11.2	Entropie — <b>682</b>
3.11.3	Kanalkapazität — <b>696</b>
3.11.4	Komplexe zirkularsymmetrische Normalverteilung — <b>699</b>
3.12	Raummultiplex — <b>703</b>
<b>4</b>	<b>Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) — 713</b>
4.1	Einführung — <b>713</b>
4.2	Zeitstetige Modellierung — <b>715</b>
4.2.1	OFDM-Signal — <b>715</b>
4.2.2	Leistungsdichtespektrum — <b>722</b>
4.3	Zeitdiskrete Modellierung — <b>734</b>
4.4	Diagonalisierung von zirkulanten Matrizen — <b>736</b>
4.5	Übertragung und Empfang über Mehrwegekanäle — <b>743</b>
4.6	Kanalkapazität — <b>755</b>
4.7	Einträger-Frequenzvielfachzugriff (SC-FDMA) — <b>762</b>
<b>Literatur</b>	<b>769</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>781</b>