

Zum Selbststudium Kapitel 5.1.

5.1.1. Einleitung

Die Aufgabe der **Trägerfrequenztechnik** ist es, Nachrichten aus dem Basisband mittels Modulation auf einen oder mehrere HF-Träger zu bringen, über die Funkstrecke zu transportieren und unter Wahrung der Signalintegrität möglichst ungestört am Empfangsort für die Demodulation zurück ins Basisband bereit zu stellen.

In **Einzelträgersystemen** (ehem. analoges Radio, ehem. analoges TV, GSM, DECT, TETRA, Frequency-Hopping-WLAN, Spread-Spectrum-WLAN, UMTS) genügt eine Trägerschwingung, die Spektren der Nutzdaten finden sich in den Seitenbändern der Trägerfrequenz.

In **Vielträgersystemen** (DAB, DVB-T, OFDM-WLAN, LTE, 5G) wird der (digitale) serielle Datenstrom in viele parallele Datenströme aufgeteilt, jeder der Einzelträger nimmt einen dieser Datenströme auf.

***Anmerkung:** Davon nicht ursächlich abhängig ist die absolute Bandbreite eines Mobilfunkkanals! (Ein UMTS-Kanal mit einem Träger hat vergleichbar große Bandbreite wie ein DVB-T Kanal mit bis zu 6.000 Einzelträgern!)*

5.1.2 HF-Hüllkurve, Trägerfrequenztechnik

Abgesehen von ganz wenigen Modulationsverfahren ist die Augenblicksamplitude eines modulierten Einzelträgers zeitlich nicht konstant. Bei Mehrträgerverfahren genügt bereits die Addition zweier (unmodulierter !!) HF-Schwingungen gleicher Amplitude und unterschiedlicher Frequenz um eine Schwebung zu erzeugen deren Größe theoretisch zwischen Null und der doppelten Amplitude schwankt, und zwar mit der Differenzfrequenz der beiden beteiligten Trägerfrequenzen.

Der Zeitverlauf (die zeitliche Dynamik) der HF-„Augenblicks“leistung/HF-Leistungsdichte, bzw. der elektrischen „Augenblicks“-Feldstärke an einem Mess-Ort ist von zentraler Bedeutung für die Expositionsbeurteilung und wird **HF-HÜLLKURVE (RF-envelope) genannt.**

Für die Expositionsbeurteilung gilt eine Mittelung über einen bestimmten Zeitraum (siehe ICNIRP, 6 Minuten)

Modulation analog - digital:

Das Modulationsverfahren ist eine Ursache nicht konstanter Hüllkurven, aber im Allgemeinen nicht die alleinige. Die Hüllkurve wird nämlich auch **durch die zeitlichen Strukturen des Kommunikationsprotokolls des Funkkanals, sowie durch die Anwendung von Vielträgerverfahren** beeinflusst!

***Hinweis:** Bezüglich der Vielfalt analoger und digitaler Modulationsverfahren möchte ich auf die **Bachelor-LVA „Telekommunikation“** verweisen. Es ist im*

Rahmen unserer LVA nicht erforderlich alle genannten Verfahren zu beschreiben, sie sind nicht Teil des Prüfungsstoffs.

Anmerkung: *Alle Modulationsverfahren lassen sich auf die sogenannte I/Q-Darstellung zurückführen (In Phase/Quadraturphase), egal ob „constant envelope“ oder „non constant envelope“. Im Zeigerdiagramm wird ein modulierter Trägerzeiger durch die vektorielle Addition zweier um 90° phasenverschobener Träger der selben Frequenz modelliert, die ihrerseits mit Basisbandsignalen multipliziert werden um schließlich die entsprechende Trajektorie der HF-Summenzeiger-Spitze zu ergeben.*

5.1.4 Kontinuierlich – Gepulst

Die Zeitsignale fast aller digitaler Kommunikationsdienste sind keine CW-Signale!

Mehrfachzugriffsverfahren / Multiplex

Um die begrenzten Ressourcen eines Dienstes für mehr Teilnehmer verfügbar zu machen gibt es unterschiedliche Methoden: FDMA, TDMA, CDMA, Mischungen und neuerdings SDMA. Alle diese Methoden tragen zur Hüllkurvendynamik bei! So ist z.B. bei FDMA ein Frequenzwechsel i.A. mit einer kurzen Nulltastung der HF-Leistung verbunden. TDMA zeigt innerhalb bestimmter Zeitrahmen eine Zeitschlitzstruktur, auch in diesem Fall können sich kurze Austastungen der Augenblicksleistung ergeben.

Zeitliche Rahmenstrukturen der Datenströme

alle modernen Mobilkommunikationssysteme zeigen zufolge der zeitlichen Struktur der Signalisierungsdaten und der Nutzdaten bestimmte Pulsformen der Augenblicksleistung/-Feldstärke (Puls: zeitlich in gewissem Rahmen periodisch, Austastlücken, Rahmenstrukturen usw.), sowie laufende Änderungen der Amplituden zufolge der Leistungsregelung.

Bidirektionale Kommunikation / Duplex

Uplink und Downlink zwischen Basisstationen und mobilen Endgeräten finden in unterschiedlichen Frequenzbereichen oder im selben Band statt.

Bandbreite:

Sie spielt bei frequenzselektiver Messung der Feldstärke bzw. der Leistungsdichte eine große Rolle, weil die richtigen Detektoren und Messverfahren eingesetzt werden müssen.

Voraussetzung einer Expositionsbewertung ist die "Effektivwertmessung" der (Ersatz-) Feldstärke. (Siehe auch Kapitel 4.3.)

Je größer die Bandbreite desto geringer ist meist die zeitliche Feldstärkedynamik an einem fixen Mess-Ort. Zuzufolge räumlicher Interferenzen bei Reflexionen/Mehrwegeempfang kommt es auch zu einer Feldstärkedynamik entlang eines Messweges, wenn die Messantenne bewegt wird. Auch hier wird diese Dynamik i.A. kleiner je größer die erfasste Bandbreite ist, bzw. je größer die Bandbreite eines einzelnen Funkkanals ist.

Achtung: *auch eine große äquivalente Antennenfläche der Messantenne "verschmiert" das interferenzbedingte sogenannte "Feldstärkegebirge".*

Achtung: *„Bandbreite“ wird sowohl absolut (in kHz, MHz, GHz) als auch relativ gebraucht. Mit Bandbreite ist die Signalbandbreite gemeint, aber auch die Beobachtungsbandbreite bei frequenzselektiver Messung (RBW bei Spektrumanalysator), oder die Messbandbreite in der Leistung oder (Ersatz-)feldstärke gemessen werden soll.*

Downlink versus Uplink:

im Downlink (Basisstation zu Mobile Device) sind meist mehrere Kanäle /Frequenzen, bzw. Frequenzbänder gleichzeitig aktiv, im Uplink meist nur eine Frequenz/ein Frequenzband.

Wahl des Frequenzintervalls:

bei frequenzselektiver Messung hat es großen Einfluss auf die Hüllkurve, gibt auch einen wesentlichen Unterschied zwischen Up- und Downlink. Wenn nicht eine dominante Frequenzkomponente einen großen Teil der Leistung am Mess-Ort enthält, ist die zeitliche Variation der Gesamt-Hüllkurve im Mittel kleiner.

5.1.5 Funk-Kommunikationssysteme, Beispiele

Überblicks-Spektren im Frequenzbereich 0 bis 3 GHz

***Hinweis:** Sie sollten die gängigsten Broadcast- und Mobilkommunikationsdienste auf einen Blick in den Spektren zuordnen können und wieder erkennen. Die Beispiele von Kommunikationssystemen werden nicht im Detail geprüft, sehen Sie dieses Unterkapitel als quasi enzyklopädische Ergänzung zum grundsätzlichen Verständnis wie HF-Hüllkurven und ihre Dynamik zustande kommen.*

5.1.6. Messbeispiele für HF-Hüllkurven (RF-envelopes) und für Spektren von Kommunikationssystemen

***Hinweis:** Auch diese Zusammenstellung ist ein grober Überblick über die Vielfalt von zeitlichen Dynamiken verschiedenster HF-Hüllkurven und wird nicht im Detail geprüft. Sie sollten jedoch erklären können, wie eine HF-Hüllkurve zustande kommt und wie sich schnelle oder langsame zeitliche Änderungen des Modulationssignals im HF-Spektrum ausdrücken. (Frequenz umgekehrt proportional zur Zeit)*

Leistungsmessung von Breitband-Signalen und Messung innerhalb von Frequenzbändern

***Hinweis:** ist mit großer Sicherheit eine Prüfungsfrage!*

Für Fragen stehe ich gerne unter walter.ehrlich-schupita@tuwien.ac.at zur Verfügung. Viel Erfolg und alles Gute!

Walter Ehrlich-Schupita, 4. Juli 2020