

1. Vorwort

2. Historische Entwicklung der Nachrichtenübertragung

3. Grundlagen der Pulsmodulation

3.1. Erzeugung eines PCM-Signals

3.1.1. Abtasten

3.1.2. Quantisieren

3.1.2.1. Lineare Quantisierung

3.1.2.2. Nicht-lineare Quantisierung

3.1.2.3. 13-Segment-Kennlinie

3.1.3. Codieren

3.1.3.1. Zählverfahren

3.1.3.2. Direktes Verfahren

3.1.3.3. Wägeverfahren (Iterationsverfahren)

3.2. Weiterverarbeitung eines PCM-Signals

3.2.1. Multiplexbildung

3.2.2. Das System PCM 30

3.2.2.1. Rahmenstruktur

3.2.2.2. Sender-Empfänger-Synchronisation

3.2.2.3. Kennzeichenrahmen

3.2.2.4. Zusammenstellung wichtiger PCM 30-Kennwerte

1. Vorwort

Kommunikation, d.h. Informationen zu empfangen oder weiterzugeben, ist schon seit je her ein Grundbedürfnis jedes Menschen. Eine fortlaufend größer werdende Informationsmenge in Wirtschaft und Gesellschaft stellt immer größere Anforderungen an die Technik. Höhere Erwartung an die Technik resultiert auch daraus, daß die Kommunikationstechnik in ihren vielfältigen Formen sich bisher nur auf eine Sinnesart des Menschen, das Hören oder das Sehen, beschränkt hat. Mit der heutigen Kommunikationstechnik ist gleichzeitiges Hören und Sehen aufgrund der langsamen Übertragungsgeschwindigkeiten und der unterschiedlichen Kommunikationsarten nur mit hohem technischen Aufwand möglich.

Die gebräuchlichste Nachrichtenübertragung ist das Fernsprechen. Hier fand eine starke Verbesserung der analogen Technik gegenüber dem vorigen Jahrhundert statt. Sprache wird in elektrische Schwingungen umgewandelt, die über die Fernsprechleitungen übertragen und beim Empfänger wieder in die ursprüngliche Form zurückgewandelt wird.

Aber die Einrichtungen müssen ständig an den technischen Fortschritt angepaßt werden. Dies führte zu der immer kleiner (raumparenden) und schneller werdenden Digitaltechnik.

Die nun folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Übertragung von analogen Signalen in digitaler Form. Bevor aber der wichtige Einstieg in die Welt der digitalen Übertragungstechnik gemacht wird, soll zuerst ein kurzer geschichtlicher Überblick erfolgen, der den Weg von der analogen zur digitalen Nachrichtenübermittlung aufzeigt.

2. Historische Entwicklung der Nachrichtenübertragung

Menschen hatten schon immer das Bestreben, Nachrichten untereinander auszutauschen. Wurde die Rufweite der menschlichen Stimme überschritten, so mußten Hilfsmittel verwendet werden, wie z.B. Rauch- oder Feuerzeichen. So wurden auf diese Art schon in frühester Zeit Informationen in digitaler Form übertragen (z.B. Rauchzeichen: Rauch - kein Rauch). Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bestand der Wunsch, über einen einzigen Nachrichtenweg mehr als eine Nachricht zu übermitteln.

Einen entscheidenden Anfang machte hiermit 1832 Samuel Morse, der den ersten elektromagnetischen Telegraf entwickelte. Die erste Telegrafverbindung folgte dann 1844 in den Vereinigten Staaten von Baltimore nach Washington. Die Nachrichtenübermittlung erfolgte mit Hilfe eines Zeichensatzes, dem Morse-Alphabet, das nach dem Erfinder des elektromagnetischen Telegrafs benannt wurde. 1874 erreichte der Franzose J.M.E. Baudot mit seinem Apparat die Übertragung von 4-6 Telegrafiesignalen über eine Leitung im Zeitmultiplexverfahren (siehe Abb. 2a).

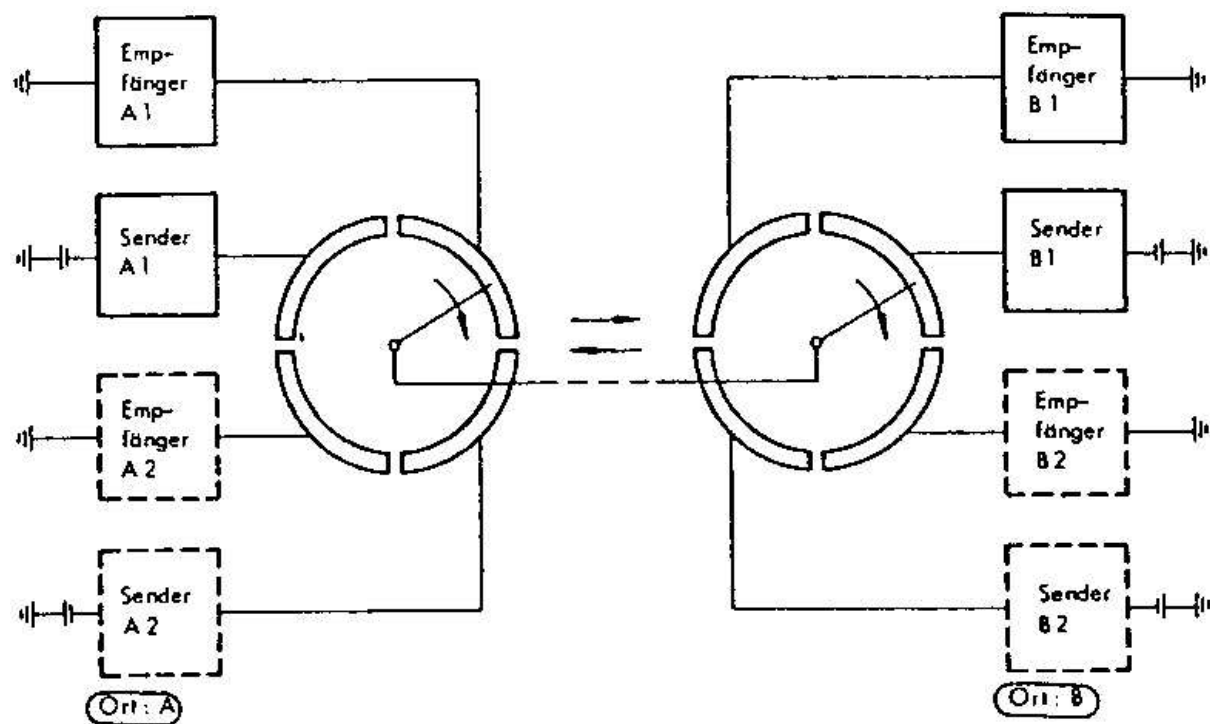


Abb. 2a: Baudot - Telegraf im Zeitmultiplexverfahren

Der Baudot-Telegraf hatte sende- und empfangsseitig synchron laufende Schalter, die die einzelnen Telegrafen zyklisch nacheinander an die Leitung legten.

Die analoge Nachrichtenübermittlung gewann durch den Schotten Alexander Graham Bell 1876 immer mehr an Bedeutung. Graham Bell stellte fest, daß Sprachsignale analoge Signale sind, die man ohne zusätzliche Umwandlung in der Originalform übertragen konnte. Die entscheidende Grundlage, um analoge Signale in digitale umzuwandeln, lieferte der Engländer Allen H. Reeves 1939 mit seinem

Patent für ein neuartiges Modulationsverfahren: der Pulsmodulation (PCM).

Leider waren zu dieser Zeit noch nicht die technischen Voraussetzungen für die Übertragung digitalisierter Sprachsignale gegeben. Die PCM-Technik ist ein Beispiel dafür, daß eine Erfindung aus Mangel an technischen und wirtschaftlichen Realisierungsmöglichkeiten erst nach vielen Jahren die ihr zukommende Bedeutung finden konnte.

1948 wurde von Walter Brattain und William Shockley in den Bell-Laboratorien der Transistor erfunden. 1962 wurde erstmalig ein PCM-System von der American Telephone and Telegraph-Company (AT&T) zur Anwendung gebracht, bei dem über ein Aderpaar die Übertragung von 24 Fernsprechanalängen möglich war.

In Europa begann das Zeitalter der digitalen Übertragungstechnik mit der Normung des Systems PCM 30 durch die Gremien CEPT (Europ. Zusammenschluß der Postverwaltungen) und CCITT (Internationaler beratender Ausschuß für den Telegraf- und Fernsprekdienst). Kurz darauf (1971) wurden in Deutschland die ersten PCM-Systeme (Vorläufer der heutigen PCM 30/32-Systeme) im Bereich der damaligen Deutschen Bundespost (heute: Deutsche Telekom AG) eingesetzt. Auf regionaler Ebene wurden die digitalen Übertragungssysteme im Bereich der Deutschen Bundespost 1982 als Regeltechnik eingeführt. Ab diesem Zeitpunkt geschah eine rasche Entwicklung der digitalen Kommunikationstechnik, die sich durch immer komplexere und verbesserte Anlagen präsentiert, denn die Forderung ist, immer größere Daten- und Informationsmengen über eine Leitung zu übertragen.

Im folgenden soll eine Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Pulsmodulation (PCM) erfolgen, um die Abläufe und Arbeitsweise der PCM-Technik besser zu verstehen.

3. Grundlagen der Pulsmodulation (PCM)

Zunächst stellt sich die Frage: Warum digitale Übertragungstechnik? Zur Veranschaulichung soll ein Vergleich zwischen analoger und digitaler Technik gezogen werden.

Bei der analogen Übertragungstechnik (Abb. 3a) speist ein Sender ein Signal mit einem bestimmten Pegel in die Übertragungsstrecke ein. Je weiter das Signal übertragen wird, desto schwächer wird es. Gleichzeitig entstehen Störungen, die sich dem Nutzsignal überlagern. Damit das Signal nicht zu schwach wird, muß es verstärkt werden. Bei der Verstärkung werden allerdings die Störungen ebenfalls verstärkt. Der Abstand zwischen dem Nutzsignal und dem Störpegel wird immer kleiner und die Übertragungsgüte wird mit zunehmender Entfernung schlechter. Die Übertragungsgüte muß durch komplizierte und aufwendige Filtertechniken ausgeglichen werden, um einen störungsfreien Informationsaustausch (z.B. Gespräch) vornehmen zu können.

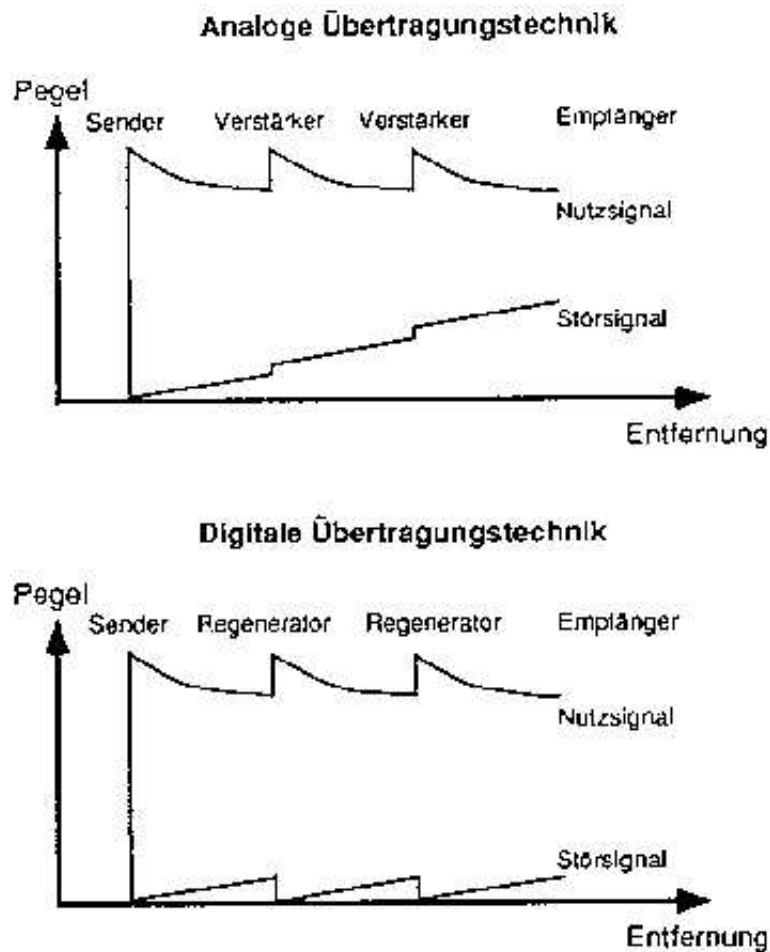


Abb. 3a: Unterschied zwischen analoger und digitaler Übertragungstechnik

Genauso wie bei der analogen Technik wird das Signal bei der digitalen Signalverarbeitung immer schwächer, je weiter es übertragen wird. Es entstehen ebenfalls Störungen, die sich dem Nutzsignal überlagern (Abb. 3a). Da das Nutzsignal aus fest definierten Zeichen (digitalen Zeichen) besteht, unterscheidet es sich von den Störungen so stark, daß man die Störsignale vollständig beseitigen kann. Diesen Vorgang nennt man Regenerieren. Dadurch wird erreicht, daß der Abstand zwischen Nutzsignal und Störpegel wieder den ursprünglichen Wert annimmt. Man gewinnt den Vorteil, daß die Übertragungsgüte von der Entfernung unabhängig wird.

3.1. Erzeugung eines PCM-Signals

Nachfolgend wird die Erzeugung eines PCM-Signals dargestellt. Hier hat Allen Reeves einen entscheidenden Schritt durch die Beschreibung der Umwandlung eines analogen Signals in ein digitales mit den drei Schritten Abtasten - Quantisieren - Codieren vollzogen.

3.1.1. Abtasten

Mit Hilfe eines rhythmischen Schalters wird gezeigt, wie aus einem sinusförmigen Signal (einfaches Sprachsignal) ein Abtastsignal entsteht.

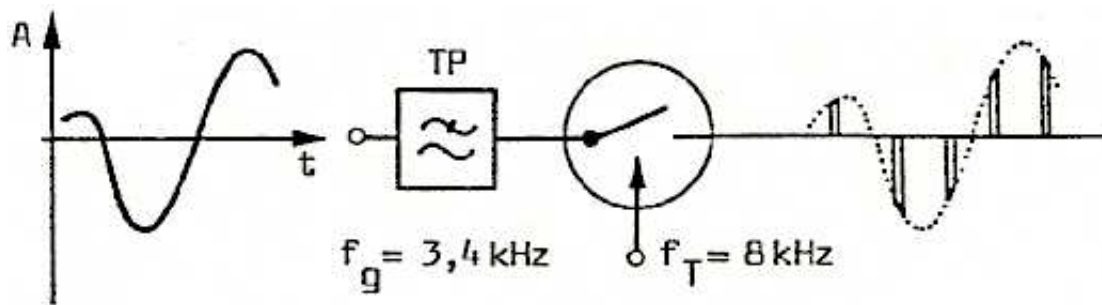


Abb. 3.1a: Prinzip des Abtastvorgangs

Das Ursprungssignal kann durch gedankliche Verbindung der Amplitudenproben wiedererkannt werden (Abb. 3.1a). Daraus folgt also, daß ein Fernsprechsinal nicht in seiner ursprünglichen Signalform übertragen wird, sondern nur einzelne Proben daraus. Die Anzahl der Probenentnahmen spielt eine wesentliche Rolle bei der Erkennung des ursprünglichen Signals. Wenn die Anzahl der Proben immer weiter verringert wird, kann man ab einem gewissen Punkt nur mit Phantasie und Glück auf die vorherige Signalform schließen. Ziel jeder Übertragung ist der möglichst unverfälschte Transport von Signalen vom Ort der Entstehung bis zum Bestimmungsort. Die Übertragung wäre demnach sinnlos, wenn das Signal nicht wiedererkannt werden kann. Aus diesem Grund benötigt man eine Gesetzmäßigkeit, die die richtigen Werte für das Abtasten liefert. Dies führt zum Lehrsatz von Shannon, der die Forderung enthält, daß die Abtastfrequenz zu jeder Zeit mindestens doppelt so hoch sein muß, wie die höchste im Ursprungssignal enthaltene Frequenz.

Das bedeutet für ein Fernsprechsinal, das ein Frequenzgemisch mit einer Bandbreite von 300 Hz bis 3400 Hz enthält, eine Abtastfrequenz von mindestens 6800 Hz (2×3400 Hz) notwendig wird. Die Mindestanforderung wäre hiermit erfüllt, man hat sich aber international bei Fernsprechsinalen auf eine Abtastfrequenz von 8 kHz geeinigt, d.h. alle 125 μ s wird eine Probe entnommen.

Das abgetastete Signal wird auch pulsamplitudenmoduliertes Signal (PAM-Signal) genannt, denn durch den Abtastvorgang hat eine Modulation stattgefunden. Dies wird bei einer Betrachtung im Zeit- und Frequenzbereich deutlicher (Abb. 3.1b).

Beim Abtastvorgang entsteht eine Pulsfolge, die nach der Fourieranalyse durch einen Gleichanteil und eine Summe von sinusförmigen Spannungen, die ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind, dargestellt werden kann. Im Frequenzspektrum sind demnach enthalten:

- Gleichspannungsanteil
- das NF-Band (300 Hz - 3400 Hz)
- ganzzahlige Vielfache der Pulsfrequenz
- obere und untere Seitenbänder

Die Rückgewinnung der gesamten Information könnte aus jedem einzelnen Seitenband erfolgen. Die einfachste und wirtschaftlichste Lösung ist ein Tiefpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von 3400 Hz, da so keine Umsetzung auf das NF-Band mehr erfolgen muß (siehe auch 4.3.2.4).

3.1.2. Quantisieren

Der nächste Schritt zum PCM-Signal ist das Quantisieren. Der Begriff Quantisieren ist ein anderer Ausdruck für Wertezuordnung. Das PAM-Signal besitzt zum Abtastzeitpunkt exakt den Wert, den das Sprachsignal in diesem Moment hat. PAM-Signale sind immer noch eine analoge Form des Fernsprechsinalen, die Proben können jeden Wert innerhalb des Aussteuerbereiches annehmen. Die

Abtastproben lassen sich aber besser in digitaler Form verarbeiten und übermitteln. Jedem analogen Wert muß demnach ein digitaler Wert zugeordnet werden. Die Folge wäre, daß es unendlich viele digitale Werte gäbe. Es gibt aber keine Unterscheidung der verschiedenen kleinen Amplitudenstufen durch das menschliche Ohr. Dies führt zu einer Begrenzung der möglichen Spannungswerte auch aus übertragungstechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Noch einmal zur Zusammenfassung: Quantisieren ist der Vorgang, der den PAM-Signalen eine begrenzte Anzahl von Amplitudenstufen (Werten) zuordnet.

Es gibt zwei Arten von Quantisierung, die lineare und die nichtlineare Quantisierung.

3.1.2.1 Lineare Quantisierung

Bei der linearen Quantisierung (Abb. 3.1c) wird der maximale Amplitudenbereich in eine vorgegebene Anzahl gleich großer Amplitudenbereiche (Quantisierungsintervalle) unterteilt und jedem dieser Bereiche wird ein Wert zugeordnet (Quantisierungsstufe).

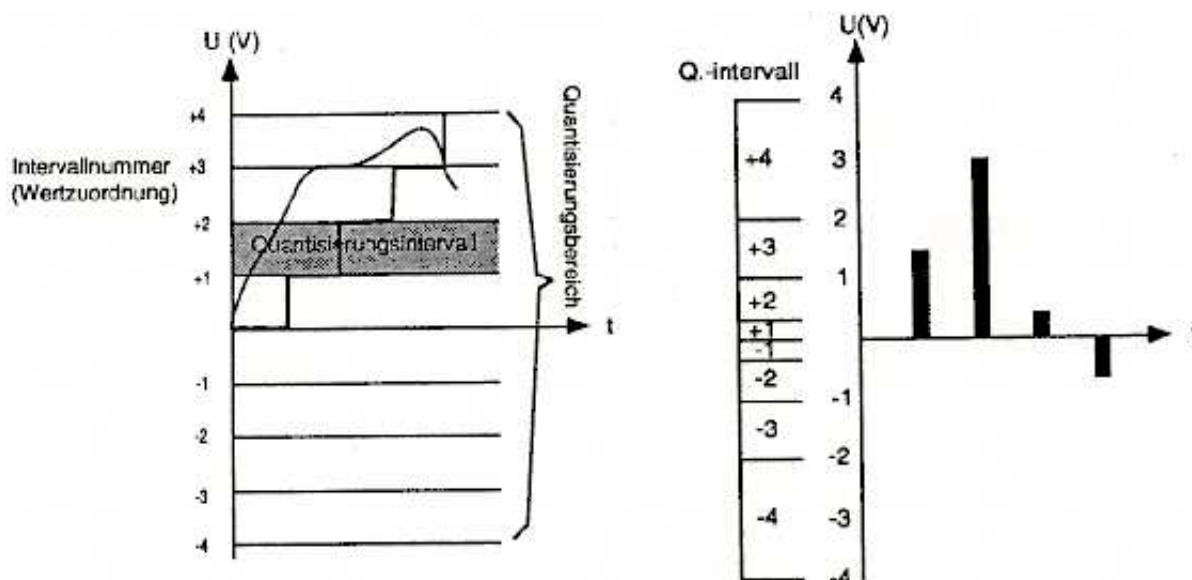


Abb. 3.1c: Lineare und nichtlineare Quantisierung

Da der Empfänger den exakten Spannungswert niemals wieder herstellen kann (er weiß nur, daß der Wert in einem bestimmten Intervall lag), liegt bei der Rückumwandlung der maximale Fehler in der Mitte des Quantisierungsintervalls. Der durch die Quantisierung entstandene Fehler verursacht auf der Empfangsseite ein Geräusch, das dem Nutzsignal überlagert ist. Je größer der Fehler, desto größer das Geräusch. Bei linearer Quantisierung gilt: Wenn ein Teilnehmer leise spricht, entstehen relativ große Abweichungen. Das Signal verschwindet nahezu im Geräusch. Laut sprechende Teilnehmer heben sich vom Geräusch ab (Abb. 3.1d). Damit die Signalqualität für kleinere Signalaussteuerungen ausreichend ist, muß der Fehler kleiner werden. Dies fordert einen konstanten Signal-Geräusch-Abstand, unabhängig von der Lautstärke der Teilnehmer.

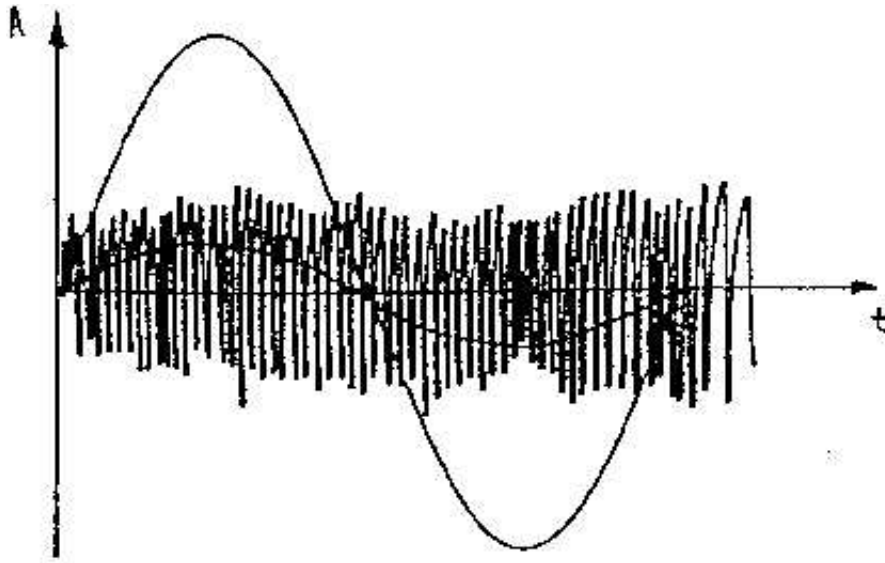


Abb. 3.1d: Signalerkennung im Rauschen

3.1.2.2. Nichtlineare Quantisierung

Hier erfolgt eine Unterteilung des maximalen Amplitudenbereiches in Intervalle, deren Größe nicht mehr konstant ist (Abb. 3.1c). Kleinere Spannungsproben aus einem Fernsprechsinal werden mit einem kleineren Fehler zurückgebildet, d.h. auch Signale mit kleinen Amplituden heben sich noch deutlich vom Geräusch ab. Hieraus resultiert, daß die Signalqualität nicht mehr amplitudenabhängig ist. Diesen Vorteil macht man sich bei der Übertragung von Fernsprechsinalen zunutze. Die Größe jedes einzelnen Quantisierungsintervalls wird hier durch Übertragungskennlinien dargestellt. Auf Empfehlung der CCITT wird in Europa die 13-Segment-Kennlinie für PCM 30 verwendet, die im nachfolgenden Kapitel näher vorgestellt wird.

3.1.2.3. Die 13-Segment-Kennlinie

Für die Quantisierung stehen insgesamt 256 Quantisierungsstufen zur Verfügung. Damit der Signal-Geräusch-Abstand immer konstant bleibt, muß sich die Größe der einzelnen Quantisierungsintervalle immer verkleinern.

Das bedeutet: Bei großen Amplitudenproben hat man große Intervalle, bei kleinen Amplitudenproben kleine Intervalle und bei kleinsten Amplitudenproben kleinste Intervalle. Wegen der leichteren technischen Realisierung wurden die 256 Stufen nicht unterschiedlich groß gewählt, sondern es werden Abschnitte definiert, innerhalb derer die Quantisierungsintervalle gleich groß sind. Diese Abschnitte nennt man Segmente. Der gesamte Amplitudenbereich besteht wiederum aus mehreren Segmenten innerhalb derer die Quantisierungsintervalle aber von Segment zu Segment unterschiedlich groß sind.

Beispiel für die Berechnung des maximalen Fehlers eines Quantisierungsintervalls:

z.B. Segment Nr. 7

$$\text{Größe des Segments: } U_{\max} - U_{\min} : 2 = U_{\max} : 2$$

unterteilt in 16 gleich große Intervalle: Größe eines Intervalls: $U_{\max} : 2 : 16 = U_{\max} : 32$

maximaler Fehler: $U_{\max} : 32 : 2 = U_{\max} : 64$ (Mittelwertbildung)

Eine bessere Übersicht bietet die Übertragungskennlinie (Abb. 3.1e). Man erkennt die Einteilung der Segmente 2 bis 7 in geradlinige Kurvenstücke; und die Unterteilung des Segments Nr.1 in 32 Quantisierungsintervalle, die alle gleich groß sind. Der maximale Fehler im Segment Nr.1 beläuft sich äquivalent zu obiger Rechnung auf $U_{\max} / 4098$.

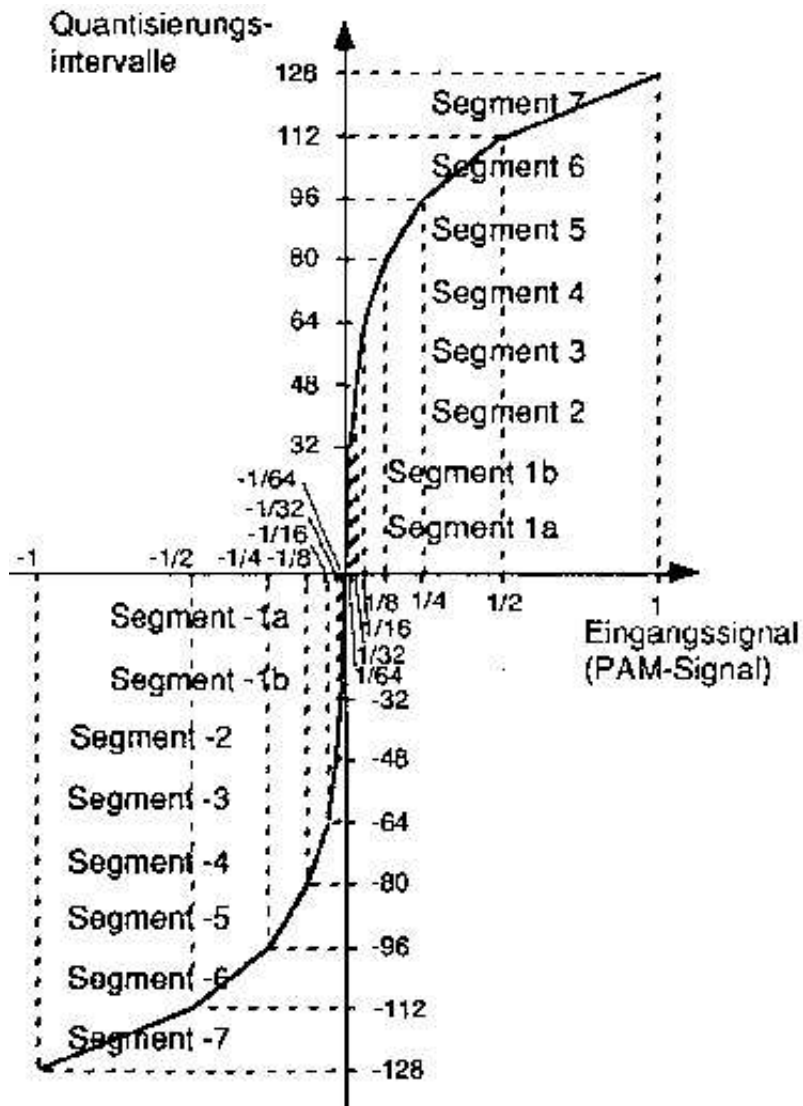


Abb. 3.1e: 13-Segment-Kompanderkennlinie

Segment Nr.1 unterteilt man in zwei Gruppen und versieht sie mit unterschiedlichen Etiketten. So gehören die Intervalle 0-15 dem Segment 1a und die Intervalle 16-31 dem Segment 1b. Damit beinhalten alle Segmente 16 Quantisierungsintervalle. Der Begriff 13-Segment-Kennlinie entsteht folgendermaßen:

Segmente -2 bis -7 + Segmente 2 bis 7 + Segment Nr. 1 (-1a, -1b, 1a, 1b) = 13 Segmente.

Der letzte Schritt zum PCM-Signal wäre jetzt nur noch das Codieren, das im nun folgenden Abschnitt erklärt wird.

3.1.3. Codieren

Jeder der abgetasteten und quantisierten Proben wird ein Digitalwort zugeordnet. Von Vorteil ist hier eine Umwandlung der Quantisierungsintervallnummern in zweiwertige Elemente (Bits). Bei der Quantisierung nach der 13-Segment-Kennlinie werden nach CCITT 256 Quantisierungsintervalle definiert, d.h. 256 Zeichen können auftreten. Daraus ergibt sich dann ein Codewort mit acht Stellen ($2^8 = 256$).

Zur Codewortermittlung werden

- der Aussteuerbereich (negativ = 0, positiv = 1),
- die Segmente (Segment 1a = 000, Segment 1b = 001, ... , Segment 7 = 111),
- die Quantisierungsintervalle (Intervall 1 = 0000, ... , Intervall 16 = 1111)

berücksichtigt.

Für die Angabe des Aussteuerbereiches ist ein Bit vorgesehen, für die Segmente jeweils drei Bit und für die Quantisierungsintervalle sind jeweils vier Bit belegt. Daraus ergibt sich dann das zu übertragende Codewort, ein sogenanntes 8-Bit-Wort.

Zur Verdeutlichung soll nun als Beispiel das Codewort einer positiven Amplitudenprobe im Quantisierungsintervall Nr.16 und im Segment Nr.4 bestimmt werden.

Das Codewort wird lauten: **1 1 0 0 1 1 1 1**

Alle in PCM-Technik verwendeten Codierverfahren können auf drei grundsätzliche Verfahren zurückgeführt werden:

- das Zählverfahren
- das direkte Verfahren
- das Wägeverfahren (Iterationsverfahren)

In den folgenden Abschnitten sollen nun diese unterschiedlichen Verfahren anhand eines 3-Bit Codewortes erklärt werden.

3.1.3.1. Zählverfahren

Beim Zählverfahren wird ein Spannungsnormal (Referenzspannung) so oft aufaddiert, bis das Quantisierungsintervall erreicht ist, in das die Amplitude fällt (Abb. 3.1f). Ein Dualzähler zählt mit wie oft man das Normal addieren muß, um den Wert der Quantisierungsstufe zu erreichen.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß ein geringer technischer Aufwand notwendig wird, da man nur ein Spannungsnormal zur Verfügung stellen muß. Nachteilig wirkt sich die relativ hohe Zählfrequenz aus, da der Zählvorgang in der kurzen Zeitdauer abgeschlossen sein muß, in der die Amplitudenprobe ansteht.

3.1.3.2. Das direkte Verfahren

Hier ist für jede der Quantisierungsstufen ein Spannungsnormal erforderlich. In einem einzigen Schritt wird durch Spannungsvergleich festgestellt, welches Normal der Quantisierungsstufe entspricht in die die PAM-Probe fällt (Abb. 3.1f).

Das direkte Verfahren hat also den Vorteil das Codewort in einer sehr kurzen Zeit (ein einziger Schritt) zu ermitteln, was aber mit dem Nachteil behaftet ist, daß man durch die große Anzahl von Spannungsnormalen einen sehr viel höheren technischen Aufwand gegenüber dem Zählverfahren betreiben muß.

3.1.3.3. Das Wägeverfahren (Iterationsverfahren)

Bei dieser letzten Art von Codierverfahren ist für 2^n Quantisierungsstufen ein "Gewichtssatz" von n -Normalen erforderlich, die sich jeweils um den Faktor zwei ändern. Mit anderen Worten wird mit Hilfe einer Kombination aus Basiswerten die Vergleichsspannung zusammengestellt. Die Basiswerte sind Spannungsnormale, die den Wertigkeiten aus dem Codewort entsprechen. Im Beispiel (Abb. 3.1f) sind acht Stufen zu codieren. Man benötigt also drei Normale mit den Wertigkeiten: 4 - 2 - 1. Nacheinander werden die Normale, mit dem größten beginnend, mit der Amplitudenprobe verglichen. Die Amplitudenprobe ist größer als das erste Normal, somit wird die Wertigkeit 2^2 auf '1' gesetzt. Jetzt wird das zweite Normal hinzugeschaltet und wieder mit der Amplitudenprobe verglichen. Die Referenzspannung aus den beiden Normalen ist nun größer als die Probe, damit wird die Wertigkeit 2^1 auf '0' gesetzt. Im dritten Schritt wird das dritte Normal zum ersten hinzugefügt. Der Vergleich ergibt, daß die Wertigkeit 2^0 auf '1' gesetzt wird. Somit erhält man das Codewort 101, das genau der Quantisierungsstufe entspricht. Dieses Verfahren stellt eine Art Mittelweg zu den vorher erläuterten Verfahren dar, da hier eine geringere Anzahl von Spannungsnormalen erforderlich ist und relativ wenig Codierschritte notwendig sind bis das Ergebnis feststeht. Dieses Verfahren findet in der Praxis heute am häufigsten Anwendung, da es einen guten Kompromiß bietet zwischen technischem Aufwand und Codiergeschwindigkeit.

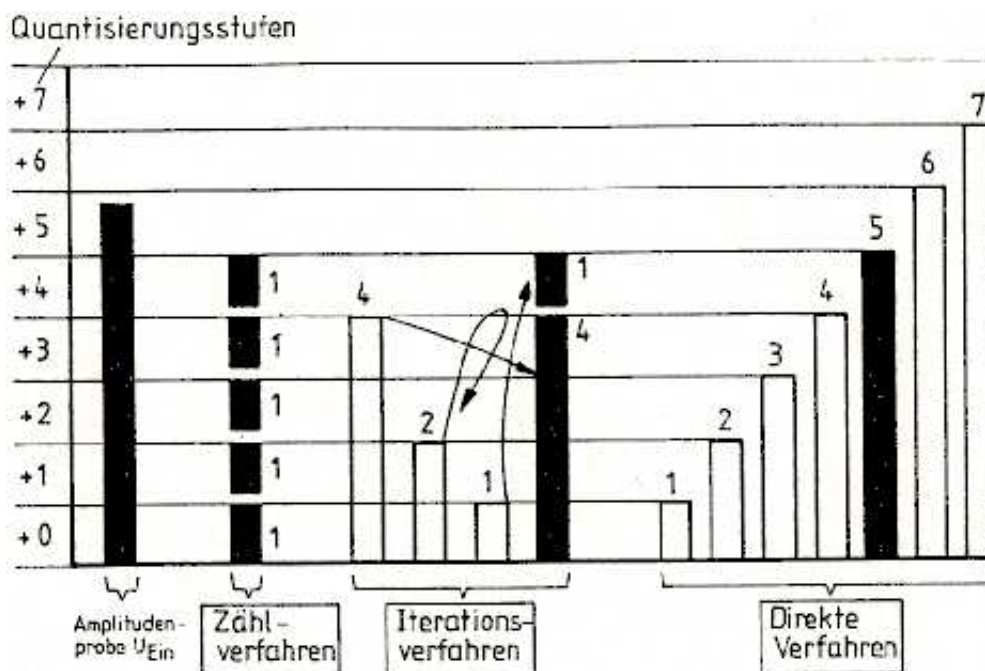


Abb. 3.1f: Die Grundverfahren der Codierung

3.2. Weiterverarbeitung eines PCM-Signals

3.2.1. Multiplexbildung

Im Abschnitt 3.1. wurde die Erzeugung eines PCM-Signals durch die drei charakteristischen Schritte ABTASTEN - QUANTISIEREN - CODIEREN dargestellt. Da nach dem SHANNONSchen Abtasttheorem für einen Sprachkanal (300Hz - 3,4kHz) eine Abtastfrequenz von 8kHz eingesetzt wird, erfolgt eine Abtastung nur alle 125 μ s. Die dazwischen liegende Zeit wird nicht benutzt und kann für weitere Kanäle verwendet werden.

Aus wirtschaftlichen Gründen sollen pro Leitung möglichst viele Nutzkanäle geschaffen werden, so daß die zur Verfügung stehenden 125 μ s bis zur nächsten Abtastung optimal ausgenutzt werden. Dies geschieht mittels Multiplexbildung:

Abbildung 3.2a zeigt dieses Verfahren anhand von vier Kanälen. Nach dem Prinzip eines rotierenden Zeigers werden umlaufend alle einzelnen PCM-Kanäle innerhalb der zur Verfügung stehenden 125 μ s abgetastet und auf nur einen PCM-Zeitmultiplexkanal geschachtelt. Dieser leitet die PCM-Wörter aller Kanäle zusammen zum Empfänger, der nach dem gleichen Prinzip und im gleichen Takt die Informationen wieder exakt den einzelnen PCM-Kanälen zuweist.

Hierbei entspricht das Abtasten und Schachteln der PCM-Wörter dem Multiplexen und das Aufsplittern und Zuweisen dem Demultiplexen.

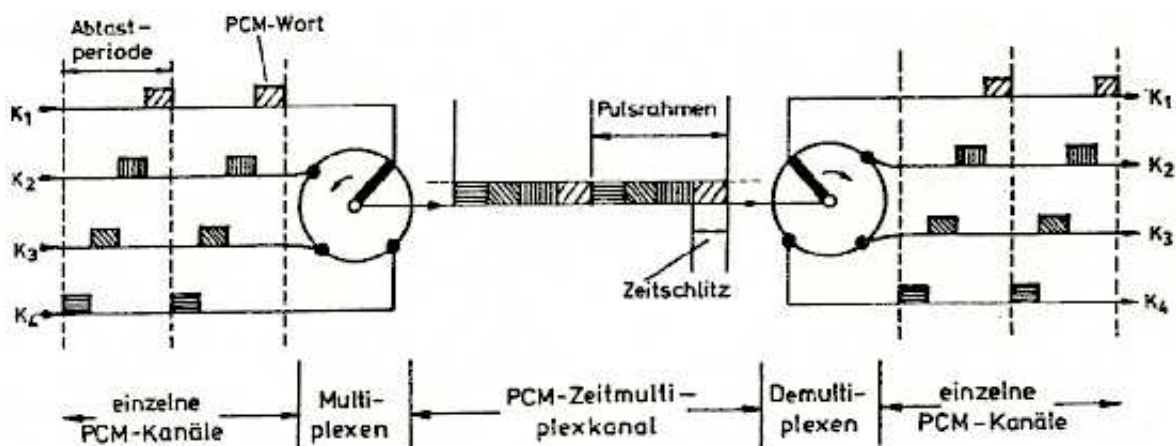


Abb. 3.2a: Multiplexen / Demultiplexen von PCM-Kanälen (Prinzipdarstellung)

Im PCM-Zeitmultiplexkanal bezeichnet man die Zeitspanne, die ein PCM-Wort einnimmt, als Zeitschlitz und den Zeitabstand zweier PCM-Wörter des gleichen Einzelkanals als Pulsrahmen. Innerhalb eines Pulsrahmens wird also genau ein PCM-Wort jedes Einzelkanals übertragen (\rightarrow 3.2.2.1.).

Abbildung 3.2b zeigt nochmals die Multiplexbildung im Gesamtzusammenhang anhand des PAM-Signals. Nach den bei PCM 30 ([IMAGE] 3.2.2.) üblichen dreißig Sprachkanälen befindet sich jeweils ein Tiefpaß, der die Eingangssignale für die Abtastfrequenz vorbereitet. Nach dem Multiplexen wird das Signal digitalisiert und dem Empfänger über den Übertragungsweg zugeleitet. Auf die

zentrale Taktversorgung von Sender und Empfänger sei bereits an dieser Stelle hingewiesen, da sie für die Synchronisation ([IMAGE] 3.2.2.2./4.5.2.1.) von Sender und Empfänger von zentraler Bedeutung ist.

Im darunter liegenden Diagramm ist auszugsweise für drei Kanäle das PAM-Signal dargestellt, welches die Schachtelung der Kanalabtastwerte im zeitlichen Zusammenhang sowohl zum Ursprungssignal als auch zu den Abtastwerten der anderen Signale darstellt.

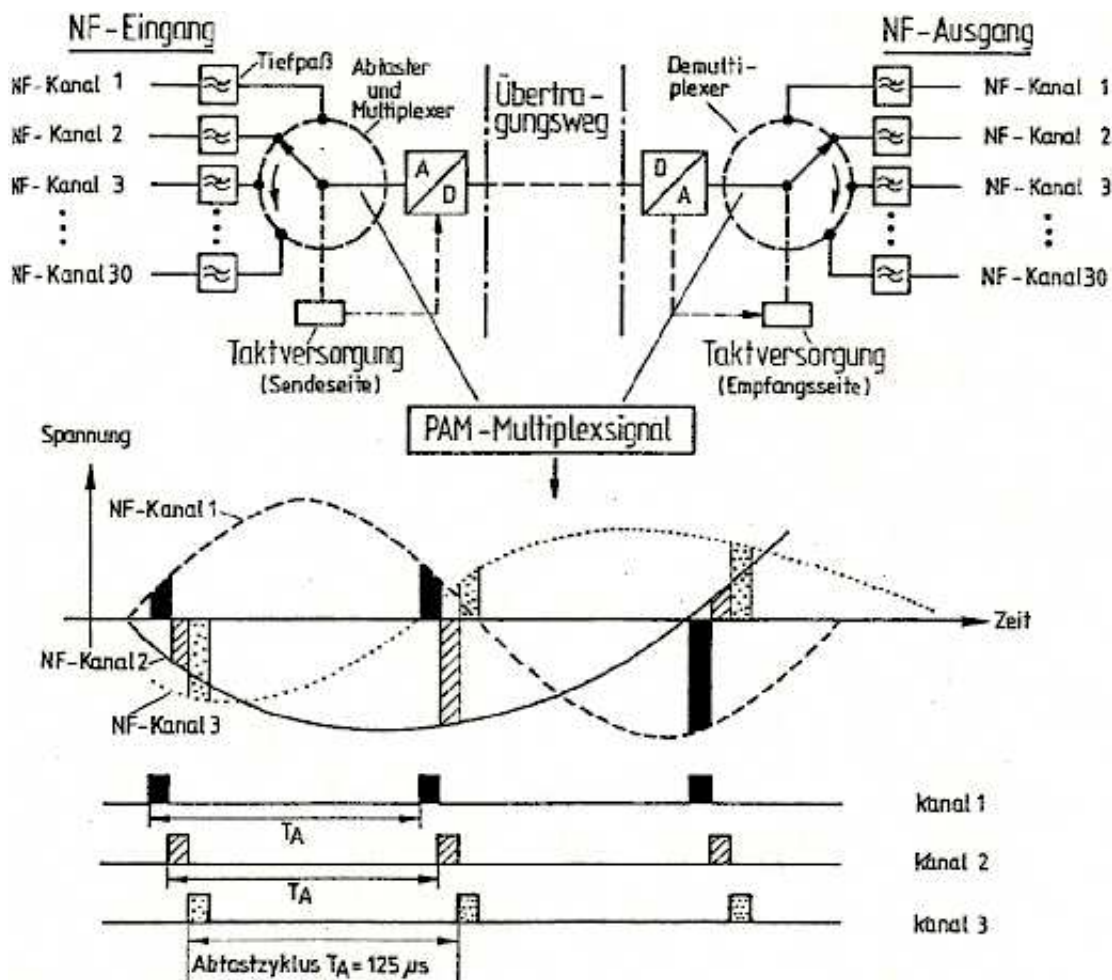


Abb. 3.2b: PAM-Multiplexbildung

3.2.2. Das System PCM 30

In Deutschland wird das PCM 30-System, ein digitales Übertragungssystem, das die gleichzeitige Übertragung von 30 Sprechkanälen gestattet, eingesetzt. Dieses System ist international genormt (Ausnahme U.S.A. mit 24 Sprechkanälen) und bildet die Grundlage für alle digitalen Übertragungssysteme höherer Kanalzahl. Aber auch die PCM-Zeitmultiplexkanäle, die innerhalb digitaler Fernsprech-Vermittlungssysteme auftreten, basieren auf den Kenndaten des PCM 30-Systems. Im folgenden werden nur die Kenndaten, die auch in der 4-Kanal-Versuchsstrecke im Praktikum prinzipiell Anwendung finden erläutert.

3.2.2.1. Rahmenstruktur

Beim PCM 30-System werden 30 Fernsprechanäle und 2 Signalkanäle zu einem Zeitmultiplexkanal zusammengefaßt. Die beiden Signalkanäle bestehen wie die Fernsprechanäle aus 8-Bit-Einheiten. Somit umfaßt der Pulsrahmen 256 Bits (32 Zeitschlitze zu je 8 Bits). Da jeder Pulsrahmen nur ein PCM-Wort jedes Fernsprechanals enthält, je Fernsprechanal aber alle 125 us ein PCM-Wort übertragen werden muß, steht für die Übertragung des gesamten Pulsrahmens auch nur diese Zeit zur Verfügung.

Daraus ergibt sich eine Bitrate von $256 \text{ Bits je } 125 \text{ us} = 2048 \text{ kbit/s} = 2.048 \text{ Mbit/s}$. Für jedes PCM-Wort (8 Bits) bleiben somit nur $3,9 \text{ us}$ Übertragungszeit.

Abbildung 3.2c zeigt diese Zusammenhänge.

Die 30 Fernsprechanäle werden in den Zeitkanälen 1 bis 15 und 17 bis 31 übertragen, während die Kanäle 0 und 16 die Signalkanäle aufnehmen. Der Aufbau von Kanal 16, der der Übertragung vermittlungstechnischer Kennzeichen dient, wird im Abschnitt 3.2.2.3. genauer beschrieben.

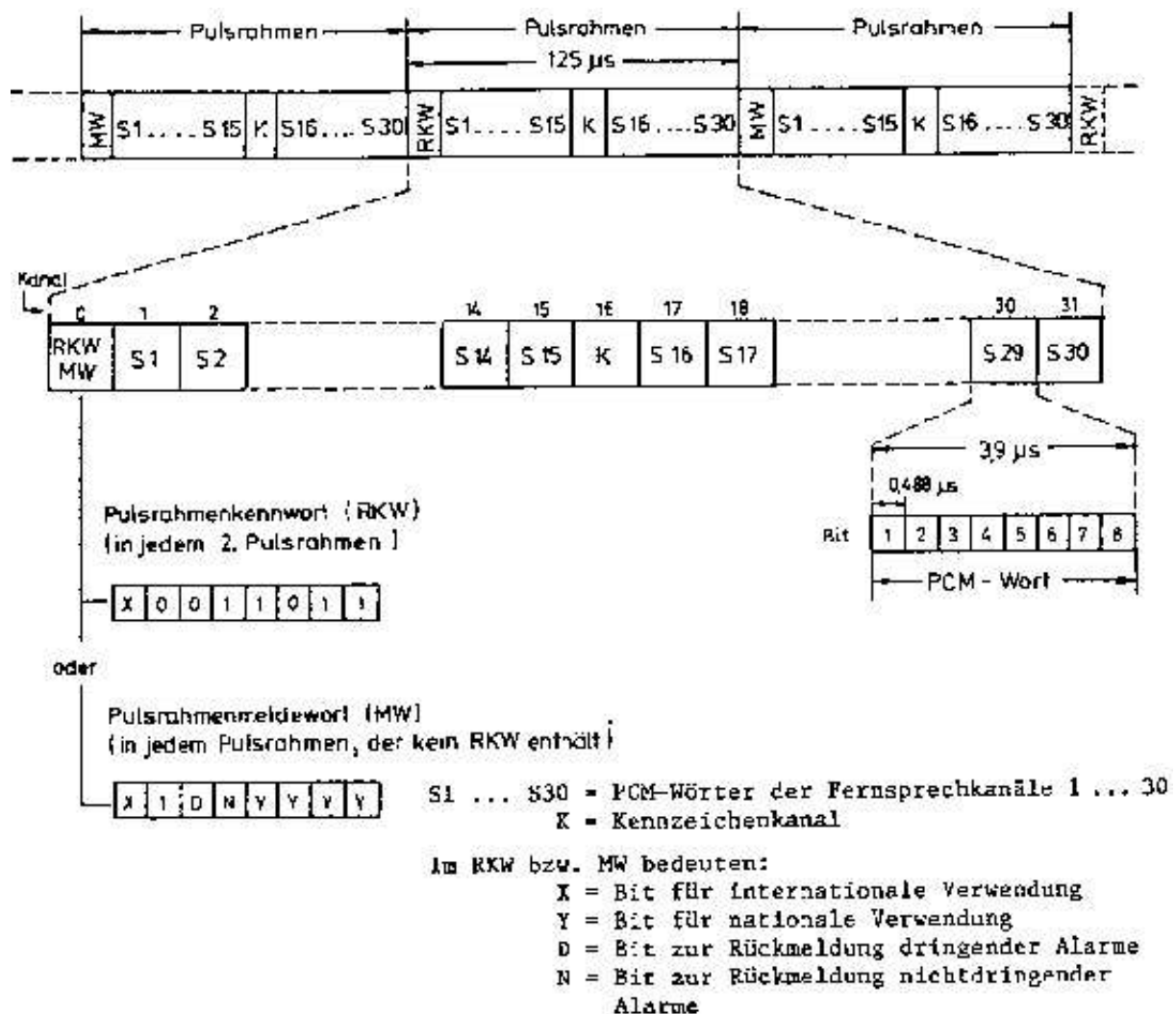


Abb. 3.2c: PCM 30-Pulsrahmen

3.2.2.2. Sender-Empfänger-Synchronisation

In Abbildung 3.2c erkennt man, daß im Kanal 0 immer abwechselnd das Rahmenkennwort (RKW) und das Meldewort (MW) übertragen werden. Das RKW besteht aus einer bestimmten Bitfolge, die den Beginn des Pulsrahmens kennzeichnet. Nur wenn dieser Zeitpunkt auf der Empfangsseite eindeutig erkannt wird, können die folgenden PCM-Wörter richtig interpretiert und den einzelnen Kanälen zugeordnet werden. Das Meldewort enthält als Bit 2 immer eine 1. Es unterscheidet sich dadurch eindeutig vom RKW. Die anderen Bits des MW werden u.a. zur Rückmeldung von Störungen benutzt, worauf im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht genauer eingegangen werden kann.

Der Rahmensynchronismus, d.h. Beginn und Ende des Pulsrahmens, wird beim Empfang von PCM 30-Signalen auf folgende Weise gefunden:

Die einlaufenden Signale werden auf das Vorhandensein des RKW abgesucht. Wird dieses Bitmuster erkannt, muß 32 Kanäle später Bit 2 eine 1 aufweisen, denn im nächsten Pulsrahmen wird ja das MW im Kanal 0 übertragen. Wieder 32 Kanäle später muß dann abermals das RKW erscheinen. Ist dies der Fall, wurde der Rahmensynchronismus gefunden, und alle 32 Zeitkanäle können identifiziert werden. Sender und Empfänger laufen dann synchron.

3.2.2.3. Kennzeichenrahmen

Wie bereits im Abschnitt 3.2.2.1. erwähnt wurde, werden im 16. Zeitkanal eines PCM30-Systems vermittlungstechnische Kennzeichen übertragen. Diese Kennzeichenkanäle sind in einer besonderen Rahmenstruktur organisiert. Hierzu sind immer 16 aufeinanderfolgende Pulsrahmen zu einem Überrahmen (auch Mehrfachrahmen genannt) zusammengefaßt. Dieser Überrahmen stellt den Kennzeichenrahmen dar.

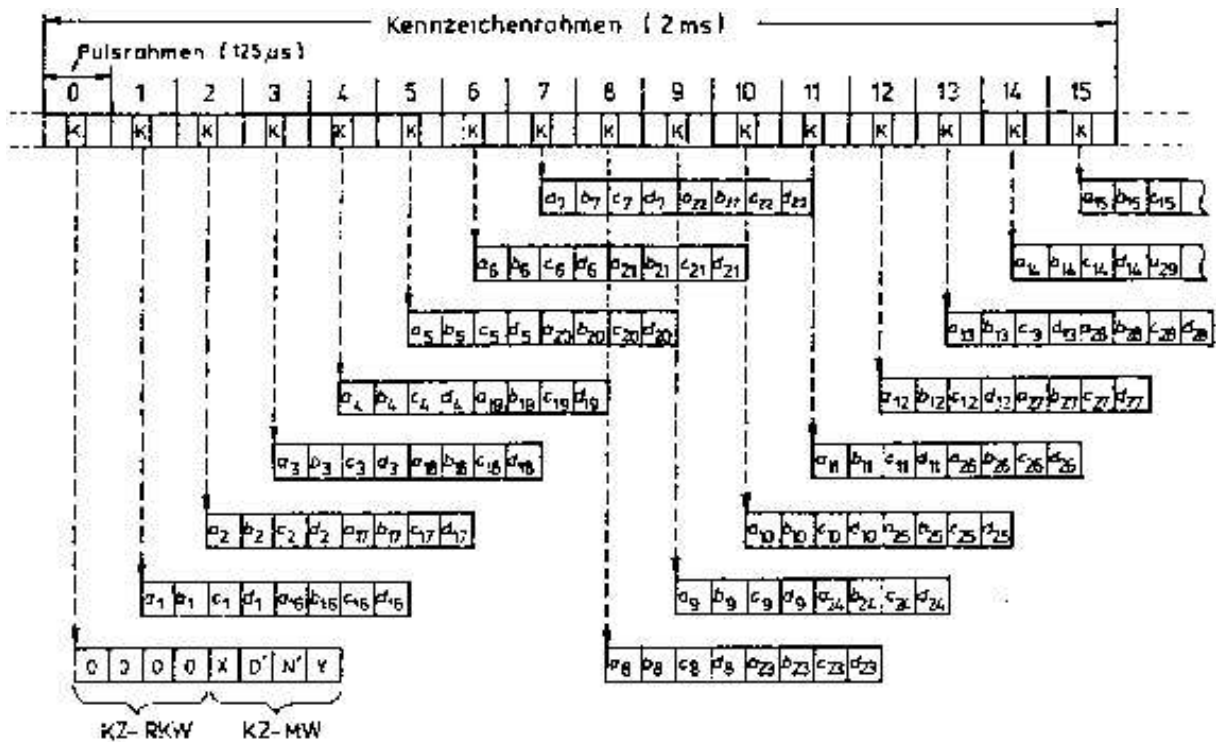
In Abbildung 3.2d ist der Kennzeichenrahmen des PCM 30-Systems skizziert. Im Kennzeichenkanal werden, wie bei jedem Fernsprechkanal auch, je Pulsrahmen 8 Bits übertragen. Die Codewörter des Kennzeichenkanals umfassen aber nur 4 Bits, so daß in jedem Zeitschlitz zwei Codewörter übermittelt werden können. Ein Kennzeichenrahmen umfaßt also 32 Codewörter, je zwei aus jedem Kennzeichenkanal der 16 zusammengefaßten Pulsrahmen.

Die Bedeutung und Zuordnung dieser Codewörter innerhalb eines Kennzeichenrahmens ist ebenfalls der Abbildung 3.2d zu entnehmen. Im 16. Kanal des Pulsrahmens 0 werden das Kennzeichen-Rahmenkennwort (KZ-RKW) und das Kennzeichen-Meldewort (KZ-MW) übertragen. Sie haben sinngemäß die gleiche Bedeutung wie das RKW und das MW eines Pulsrahmens. Das KZ-RKW soll den Beginn eines Kennzeichenrahmens anzeigen, während das KZ-MW für die Rückmeldung von Betriebszuständen benutzt wird.

Im 16. Kanal der Pulsrahmen 1 bis 15 werden je 4 Bits (a, b, c, d) an vermittlungstechnischen Kennzeichen für jeden Fernsprechkanal übertragen. Die Kennzeichen für den 1. und 16. Fernsprechkanal, für den 2. und 17. usw. sind dabei in einem Kennzeichenkanal zusammengefaßt.

Je Fernsprechkanal werden also alle 2ms 4 Bits übertragen. Die sich daraus ergebende Bitrate von 2 kbit/s ist für den Kennzeichenaustausch ausreichend.

Das Prinzip der Übernahmenbildung, um unterschiedlich starke Signalströme in einem Zeitmultiplexkanal zusammenfassen zu können, wird auch innerhalb der digitalen Vermittlungssysteme häufig angewendet.



K = Kennzeichnkanal (16. Kanal des Pulsrahmens, siehe Abb. 3.6)

$a_1 b_1 c_1 d_1 \dots$
 $a_{30} b_{30} c_{30} d_{30}$ = 4 Bits je Fernsprechkanal 1 ... 30 zur Übermittlung vermittlungstechnischer Kennzeichen

KZ-RKW = Kennzeichen-Rahmenkennwort

KZ-MW = Kennzeichen-Meldewort

D^* = Bit zur Rückmeldung dringender Störungen in der Kennzeichenübertragung

N^* = Bit zur Rückmeldung nichtdringender Störungen in der Kennzeichenübertragung

Abb. 3.2d: PCM 30-Kennzeichenrahmen

3.2.2.4. Zusammenstellung wichtiger PCM 30-Kennwerte

Um einen schnellen Zugriff auf die wichtigsten Kenndaten des PCM 30-Systems zu ermöglichen, sind nachfolgend alle signifikanten Daten nochmals tabellarisch dargestellt.

a) Fernsprechkanal:

Abtastfrequenz 8000 Hz

Anzahl der Bits eines Codeworts = 8 Bits (PCM-Wort)

Bitrate je Fernsprechkanal = 64 kbit/s

b) Pulsrahmen:

Anzahl der Zeitkanäle = 32 Kanäle (0 ... 31)

Anzahl der Fernsprechkäle = 30 Kanäle (1 ... 30)

Rahmendauer = 125 us

Dauer je Zeitkanal = 3,9 us

Dauer je Bit = 0,488 us

Bitrate = 2048 kbit/s

c) Kennzeichenrahmen:

Anzahl der Pulsrahmen je Überrahmen = 16 Pulsrahmen (0 ... 15)

Überrahmendauer = 2ms

Anzahl der Bits je Fernsprechkanal = 4 Bits

Bitrate je Fernsprechkanal = 2 kbit/s