

6 Vergleich und Bewertung der Optimierungs- und Meßergebnisse

Die Systeme aus Abschnitt 4.4.2 sollen abschließend bewertet werden. Wie in Kapitel 5 wird bei den Untersuchungen in Abschnitt 6.1 und 6.2 über die Sequenzen "BERT", "EDINBURGH" und "SKI" arithmetisch gemittelt. Zur Bewertung werden in Abschnitt 6.1 die gemessenen Datenraten \overline{R}_{Sim} der simulierten Realisierung gemäß Kapitel 5 mit den zugehörigen berechneten Datenraten

$$\overline{R}_{TBC} = \frac{1}{3} (R_{TBC,BERT} + R_{TBC,EDINBURGH} + R_{TBC,SKI}) \quad (6.1)$$

verglichen, wobei R_{TBC} gemäß Gl. (3.48) bestimmt wird.

Desweiteren werden in Abschnitt 6.2 die berechneten Datenraten \overline{R}_{TBC} der optimalen Systeme mit den in Abschnitt 3.3 als Bezug vorgestellten Grenzwerten sowie der berechneten Datenrate eines DCT-Coders verglichen. Dadurch kann bewertet werden, inwieweit die vorgegebenen Einschränkungen der optimalen Systeme die Datenreduktion verringern.

Als dritte Bewertung werden in Abschnitt 6.3 die gemessenen Datenraten R_{Sim} der optimalen Systeme mit den gemessenen Datenraten eines DCT-Coders verglichen. Dabei wird ein an das Ersatzsystem aus Abschnitt 2.2 angelegter DCT-Coder eingesetzt. Bei dieser Bewertung werden als Eingangssignal 92 Halbbilder der Sequenz "BERT" verarbeitet. In beiden Codern wird ein Bewegungsschätzer und Prädiktor mit Parametern gemäß MPEG2 TM6 [19] verwendet.

6.1 Vergleich der Optimierungs- und Meßergebnisse

Tab. 6.1 zeigt die berechneten Datenraten \overline{R}_{TBC} im Vergleich mit den gemessenen Datenraten \overline{R}_{Sim} der optimierten Systeme für Prädiktionsfehler- und Originalsignale.

N	L	Prädiktionsfehlersignal		Originalsignal	
		\overline{R}_{TBC}	\overline{R}_{Sim}	\overline{R}_{TBC}	\overline{R}_{Sim}
16	16	1.58	1.56	2.43	2.31
64	16	1.52	1.54	2.20	2.18
256	16	1.56	1.66	2.35	2.42
64	8	1.58	1.63	2.48	2.33
64	32	1.51	1.53	2.19	2.42

Tabelle 6.1 Datenraten \overline{R}_{TBC} und \overline{R}_{Sim} optimierter Systeme

(gemittelt über die Sequenzen BERT, EDINBURGH, SKI)

In Bild 6.1 werden ergänzend zunächst nur die Datenraten der optimierten Systeme mit $L = 16$ Filterkoeffizienten und $N = 16, 64$ und 256 Teilbandsignalen entsprechend den Zeilen 1–3 aus Tabelle 6.1 dargestellt.

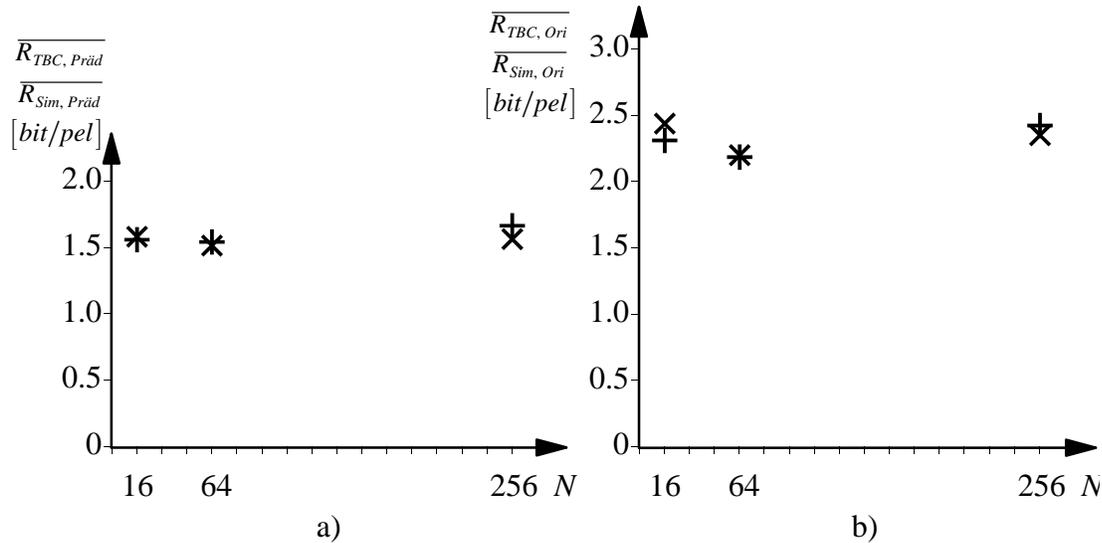


Bild 6.1 Vergleich der Datenraten $\overline{R_{TBC}}$ und $\overline{R_{Sim}}$ der optimierten Systeme mit $L=16$ Filterkoeffizienten in Abhängigkeit von der Teilbandanzahl N (gemittelt über die Sequenzen BERT, EDINBURGH, SKI)

a) Prädiktionsfehlersignale

b) Originalsignale

- × berechnete Datenrate $\overline{R_{TBC}}$
- + gemessene Datenrate $\overline{R_{Sim}}$

Wie Bild 6.1 zeigt, liegt sowohl bei der berechneten Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ als auch bei der gemessenen Datenrate $\overline{R_{Sim}}$ für $N = 64$ Teilbandsignale für beide Eingangssignaltypen ein Minimum vor. Die Wahl der optimalen Systeme gemäß Abschnitt 4.4 ist somit sowohl für Prädiktionsfehlersignale als auch für Originalsignale qualitativ bereits bestätigt.

Weiterhin ist Tabelle 6.1 und Bild 6.1 a) zu entnehmen, daß die gemessene Datenrate bei $N = 16$ und 64 Teilbandsignalen um jeweils 0.02 bit/pel unterhalb der berechneten Datenrate liegt, während bei $N = 256$ Teilbandsignalen die gemessene Datenrate um 0.10 bit/pel über der berechneten liegt. Mit Abweichungen

$$\Delta R = \left| \frac{\overline{R_{Sim}} - \overline{R_{TBC}}}{\overline{R_{Sim}}} \right| \quad (6.2)$$

zwischen 1% und 6% stimmen die berechneten und gemessenen Datenraten für Prädiktionsfehlersignale also auch quantitativ gut überein.

Desweiteren ist in Tabelle 6.1 und Bild 6.1b) dargestellt, daß für Originalsignale die gemessene Datenrate bei $N = 16$ und 64 Teilbandsignalen um 0.12 bit/pel bzw. um 0.02 bit/pel unterhalb der berechneten Datenrate liegt, während bei $N = 256$ Teilbandsignalen die gemessene Datenrate um 0.07 bit/pel über der berechneten liegt. Hier stimmen also mit Abweichungen ΔR zwischen 1% und 5% die berechneten und die gemessenen Datenraten für Originalsignale quantitativ ebenfalls sehr gut überein.

Bild 6.2 zeigt ergänzend die berechneten Datenraten $\overline{R_{TBC}}$ im Vergleich mit den gemessenen Datenraten $\overline{R_{Sim}}$ der optimierten Systeme mit $N = 64$ Teilbandsignalen und den Impulsantwortlängen $L = 8, 16$ und 32 wiederum für Prädiktionsfehler- und Originalsignale entsprechend den Zeilen 2,4 und 5 aus Tabelle 6.1.

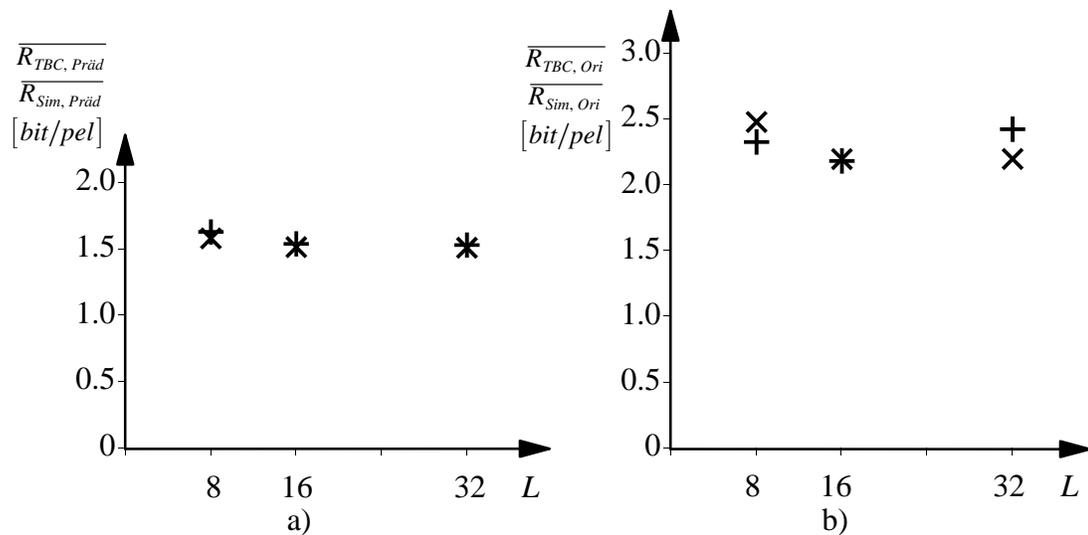


Bild 6.2 Vergleich der Datenraten $\overline{R_{TBC}}$ und $\overline{R_{Sim}}$ der optimierten Systeme mit $N=64$ Teilbandsignalen in Abhängigkeit von der Anzahl L der Filterkoeffizienten (gemittelt über die Sequenzen BERT, EDINBURGH, SKI)

a) Prädiktionsfehlersignale

b) Originalsignale

× berechnete Datenrate $\overline{R_{TBC}}$
 + gemessene Datenrate $\overline{R_{Sim}}$

In Tabelle 6.1 und Bild 6.2a) ist gezeigt, daß für die Prädiktionsfehlersignale die gemessene Datenrate bei der Impulsantwortlänge $L = 8$ um 0.05 bit/pel und bei $L = 16$ bzw. 32 um 0.02 bit/pel über der berechneten Datenrate liegt. Mit Abweichungen zwischen 1% und 3% bezogen auf die Datenrate $\overline{R_{Sim}}$ stimmen bei den Prädiktionsfehlersignalen die berechnete und gemessene Datenrate für $N = 64$ Teilbandsignale damit insgesamt sehr gut überein.

Wie Bild 6.2b) zeigt, liegt bei den Originalsignalen für $L = 16$ Filterkoeffizienten je Teilband ein Minimum in der Datenrate $\overline{R_{Sim}}$ vor. Dieses Meßergebnis bestätigt qualitativ die in Abschnitt 4.4.2 getroffene Wahl des Systems mit $L = 16$ Filterkoeffizienten je Teilband und $N = 64$ Teilbandsignalen als das optimale.

Desweiteren zeigen Tabelle 6.1 und Bild 6.2b), daß für die Originalsignale die gemessene Datenrate bei $L = 8$ und 16 Filterkoeffizienten um 0.15 bzw. um 0.02 bit/pel unterhalb der berechneten Datenrate liegt, während bei $L = 32$ Filterkoeffizienten die gemessene Datenrate um 0.23 bit/pel über der berechneten Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ liegt. Die berechnete und die gemessene Datenrate stimmen bei $L = 8$ und $L = 16$ mit Abweichungen von 6% bzw. 1% bezogen auf die Datenrate $\overline{R_{Sim}}$ auch quantitativ gut überein, während bei $L = 32$ mit 9% die quantitativ größte Abweichung vorliegt.

Um eine Sequenzabhängigkeit als Ursache für diese relativ große Abweichung auszuschließen, sind für die verschiedenen untersuchten Testsequenzen in Tabelle 6.2 die Datenraten R_{TBC} und R_{Sim} des für Originalsignale optimierten Systems mit $N = 64$ Teilbandsignalen und $L = 32$ Filterkoeffizienten gezeigt. Die Abweichung zwischen der berechneten Datenrate R_{TBC} und der gemessenen Datenrate R_{Sim} liegt bei allen drei Sequenzen in der gleichen Größenordnung, so daß diese Abweichung als sequenzunabhängig angenommen wird.

BERT			EDINBURGH			SKI		
R_{TBC}	R_{Sim}	ΔR [%]	R_{TBC}	R_{Sim}	ΔR [%]	R_{TBC}	R_{Sim}	ΔR [%]
2.48	2.77	10	2.08	2.28	9	2.02	2.21	9

Tabelle 6.2 Datenraten R_{TBC} und R_{Sim} der optimierten Systeme mit $N = 64$ Teilbandsignalen und $L = 32$ Filterkoeffizienten für Originalsignale und ΔR gemäß Gl. (6.2)

Die Ursache für die relativ große Abweichung zwischen der berechneten Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ und der gemessenen Datenrate $\overline{R_{Sim}}$ mit dem für Originalsignale optimierten

System mit $N = 64$ Teilbandsignalen und $L = 32$ Filterkoeffizienten muß daher in Verletzungen der Modellannahmen gemäß Abschnitt 3.1 und 3.2 gesucht werden. Um dies überprüfen, zeigt Bild 6.3 die Wahrscheinlichkeitsdichte der Amplituden eines Teilbandsignals des optimierten Systems mit $N = 64$ Teilbandsignalen und $L = 32$ Filterkoeffizienten im Vergleich mit der Laplaceschen und Gaußschen Wahrscheinlichkeitsdichte gleicher Varianz. Es wird deutlich, daß die Wahrscheinlichkeitsdichte der Amplituden des Teilbandsignals des optimierten Systems zwischen der Wahrscheinlichkeitsdichte der beiden Modellverteilungen liegt. Der Korrekturwert $K_{psd, Ori}$ gemäß Gl. (3.37) spiegelt bei $L = 32$ Koeffizienten somit nicht das Verhalten der tatsächlichen Wahrscheinlichkeitsdichte wider. Um die große Abweichung zwischen der berechneten Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ und der gemessenen Datenrate $\overline{R_{Sim}}$ dieses optimierten Systems zu vermeiden, müßte der Korrekturwert $K_{psd, Ori}$ als Funktion der Teilbandanzahl N angegeben werden.

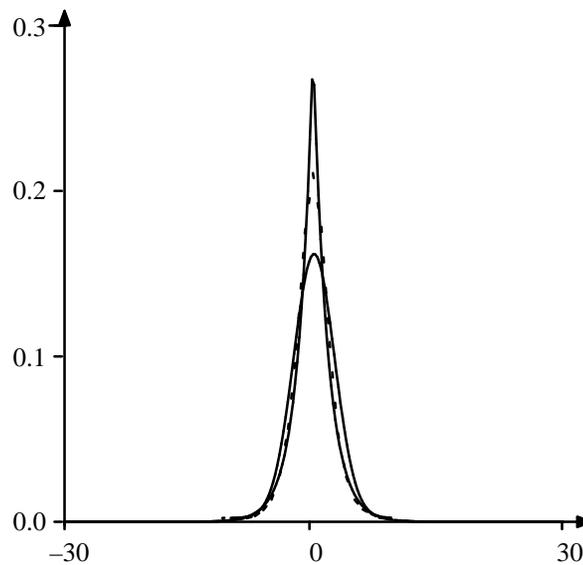


Bild 6.3 Wahrscheinlichkeitsdichte der Amplituden eines Teilbandsignals im Vergleich mit Modellverteilungen

- - - - Wahrscheinlichkeitsdichte des Teilbandsignals
 ——— Laplaceverteilung gleicher Varianz
 - · - · - Gaußverteilung gleicher Varianz
 Testsequenz: Originalsignal der Sequenz "BERT"
 Teilbandzerlegung: optimiertes System mit $N = 64$ und $L = 32$

6.2 Bewertung der Optimierungsergebnisse

Zur Bewertung der als optimal ermittelten Systeme mit $N = 64$ Teilbandsignalen und $L = 16$ Filterkoeffizienten je Teilband aus Abschnitt 4.4.2 werden die berechneten Datenraten $\overline{R_{TBC}}$ mit dem je nach Eingangssignal jeweils zugehörigem unteren Grenzwert der Datenrate

$$\overline{R_{min}} = \frac{1}{3} (R_{min,BERT} + R_{min,EDINBURGH} + R_{min,SKI}) \quad (6.3)$$

verglichen, wobei R_{min} den unteren Grenzwert der Datenrate für hinreichend hohe Teilbandanzahl gemäß Gl. (3.49) beschreibt. Desweiteren wird $\overline{R_{TBC}}$ mit dem unteren Grenzwert der Datenrate bei vorgegebener Bandaufteilung mit begrenzter Teilbandanzahl

$$\overline{R_{TBC,min}} = \frac{1}{3} (R_{TBC,min,BERT} + R_{TBC,min,EDINBURGH} + R_{TBC,min,SKI}) \quad (6.4)$$

verglichen, wobei $R_{TBC,min}$ den unteren Grenzwert der Datenrate bei vorgegebener Bandaufteilung mit begrenzter Teilbandanzahl gemäß Gl. (3.54) angibt.

Ebenso wird der untere Grenzwert der Datenrate für orthogonale Systeme

$$\overline{R_{orth,min}} = \frac{1}{3} (R_{orth,min,BERT} + R_{orth,min,EDINBURGH} + R_{orth,min,SKI}) \quad (6.5)$$

betrachtet, wobei $R_{orth,min}$ der untere Grenzwert für orthogonale Systeme gemäß Gl. (3.61) ist. Als weiterer Bezugswert wird eine Datenrate $\overline{R_{DCT}}$ bestimmt. Sie entspricht der Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ nach Gl. (3.48), wenn anstelle der Impulsantworten der optimalen Filterbänke die Basisfunktionen einer 8*8 DCT [25] eingesetzt werden. Die Varianzen der Quantisierungsfehlersignale werden auch bei der Bestimmung von $\overline{R_{DCT}}$ so gewählt, daß als Nebenbedingung das Leistungsdichtespektrum S_{qq} des Codierfehlersignals gerade an oder unterhalb des Leistungsdichtespektrums $S_{qq,max}$ des maximal zulässigen Codierfehlersignals gemäß Gl. (3.50) liegt.

Bild 6.4a) zeigt diesen Vergleich für Prädiktionsfehlersignale, Bild 6.4b) für Originalsignale.

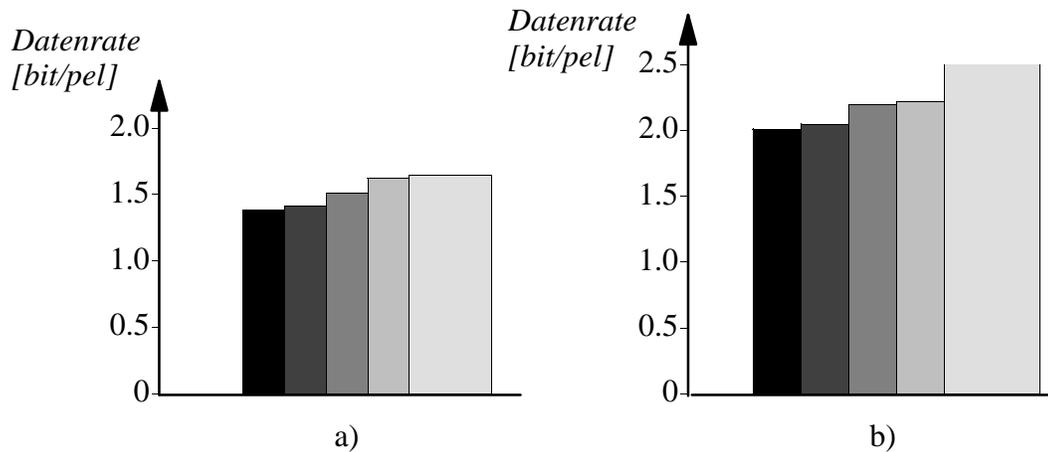


Bild 6.4 Vergleich der optimalen Systeme ($N=64$, $L=16$) mit den Bezugswerten aus Abschnitt 3.3 sowie mit einer DCT (Datenraten gemittelt über die Sequenzen BERT, EDINBURGH, SKI)
 a) Prädiktionsfehlersignale
 b) Originalsignale

	Grenzwert \overline{R}_{min} gemäß Gl. (6.3)	$(N \rightarrow \infty, L \rightarrow \infty)$
	Grenzwert $\overline{R}_{TBC,min}$ gemäß Gl. (6.4)	$(N=64, L \rightarrow \infty)$
	Datenrate \overline{R}_{TBC} der optimalen Systeme gemäß Gl. (6.1)	$(N=64, L=16)$
	Grenzwert $\overline{R}_{orth,min}$ gemäß Gl. (6.5)	$(N=64, L \rightarrow \infty)$
	Datenrate \overline{R}_{DCT} einer 8*8 DCT gemäß Gl. (6.1)	$(N=64, L=8)$

Die Ergebnisse aus Bild 6.4 sind ergänzend nochmals in Tabellenform dargestellt (Tab. 6.3).

[bit/pel]	N	L	Prädiktionsfehlersignal	Originalsignal
\overline{R}_{min}	$N \rightarrow \infty$	$L \rightarrow \infty$	1.38	2.01
$\overline{R}_{TBC,min}$	64	$L \rightarrow \infty$	1.42	2.05
\overline{R}_{TBC}	64	16	1.52	2.20
$\overline{R}_{orth,min}$	64	$L \rightarrow \infty$	1.63	2.22
\overline{R}_{DCT}	64	8	1.65	2.51

Tabelle 6.3 Datenraten \overline{R}_{min} , $\overline{R}_{TBC,min}$, \overline{R}_{TBC} , $\overline{R}_{orth,min}$ und \overline{R}_{DCT} jeweils für Prädiktionsfehler- und Originalsignale (gemittelt über die Sequenzen BERT, EDINBURGH, SKI)

Bild 6.4 und Tabelle 6.3 zeigen, daß die Datenrate $\overline{R_{TBC,min}}$ für beide Eingangssignaltypen um 0.04 bit/pel über der Datenrate $\overline{R_{min}}$ liegt und die Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ wiederum um 0.10 bit/pel bzw. 0.15 bit/pel über der Datenrate $\overline{R_{TBC,min}}$. Die Einschränkung der Anzahl der Filterkoeffizienten vermindert die Datenreduktion also wesentlich stärker als die Einschränkung der Teilbandanzahl. Trotz der Einschränkung auf $N = 64$ und $L = 16$ liegt die Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ jedoch sowohl für Prädiktionsfehler- als auch für Originalsignale lediglich um 9% über dem theoretischen unteren Grenzwert der Datenrate $\overline{R_{min}}$.

Desweiteren ist Bild 6.4 und Tabelle 6.3 zu entnehmen, daß die Datenrate $\overline{R_{orth,min}}$ um 0.11 bit/pel bzw. 0.02 bit/pel über der Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ der jeweils optimalen Systeme mit $N = 64$ und $L = 16$ liegt. Die optimalen Systeme erreichen also höhere Datenreduktionen als dies mit orthogonalen Systemen im Grenzfall möglich ist. Ein Vergleich der Datenrate $\overline{R_{DCT}}$ einer 8*8 DCT mit der Datenrate $\overline{R_{TBC}}$ der optimalen Systeme zeigt, daß die optimalen Systeme eine um 0.13 bit/pel bzw. 0.31 bit/pel höhere Datenreduktion erreichen.

Diese über die drei betrachteten Sequenzen gemittelten Ergebnisse stimmen qualitativ mit den Ergebnissen der bei der Optimierung verwendeten Sequenz "BERT" überein, wie ein Vergleich der Tabelle 6.3 mit den Tabellen 3.4, 4.1 und 4.2 zeigt. Damit haben sich die optimalen Systeme als robust gegenüber verschiedenen Testsequenzen erwiesen.

6.3 Bewertung der Meßergebnisse durch Vergleich mit bekannten Codiervverfahren

Die beiden optimalen Filterbänke werden im folgenden mit einer DCT-Codierung verglichen. Die DCT-Codierung ist dabei an das Ersatzsystem aus Abschnitt 2.2 angelehnt. Für den Vergleich werden als Eingangssignal 92 Halbbilder der Sequenz "BERT" eingesetzt. Gemäß MPEG2 TM6 [19] wird angenommen, daß bei der Codierung diese Bildfolge in mehrere "Group of Pictures" (GOP) unterteilt wird, die aus jeweils 12 Vollbildern bestehen und sich in der Reihenfolge (*IBBPBBPBBPBB*) aus Intra-Bildern (I), Bidirektional prädizierten Bildern (B) und vorwärts Prädizierten Bildern (P) zusammensetzen.

Die Codierung als Intra-Bild, die bei dieser GOP-Struktur für jedes 12. Vollbild angewendet wird, entspricht dem in dieser Arbeit untersuchten Fall, daß Originalsignale als Eingangssignal vorliegen. Die Codierung als vorwärts oder bidirektional prädiziertes Bild entspricht dem Fall, daß Prädiktionsfehlersignale am Eingang der Analysefilterbank anliegen. In diesem Fall wird ein gemäß MPEG2-TM6 erzeugtes Prädiktions-

fehlersignal als Eingangssignal des Teilbandcoders und des DCT-Coders gemäß Abschnitt 2.2 verwendet. Die Verarbeitung der Bilder erfolgt wie in allen bisherigen Untersuchungen dieser Arbeit halbbildweise.

Beim Teilbandcoder werden die Intra-Bilder mit dem für Originalsignale optimalen System und die vorwärts und bidirektional prädizierten Bilder mit dem für Prädiktionsfehlersignale optimalen System codiert. Zwischen beiden optimalen Systemen wird also entsprechend der GOP-Struktur im Rhythmus der I- und P,B-Bilder umgeschaltet.

Sowohl beim Teilbandcoder als auch beim DCT-Coder sind die Quantisierer so eingestellt, daß die spektrale Leistungsdichte S_{qq} des Codierfehlers die spektrale Leistungsdichte $S_{qq,max}$ des maximal zulässigen Codierfehlers nicht überschreitet.

Der hier beschriebene Teilbandcoder benötigt zur Codierung der Luminanzkomponente im Mittel über alle 96 Halbbilder eine Datenrate von 1.44 bit/pel, die sich gemäß Tab. 6.4 aus den Datenraten der Intra- und P/B-Bilder zusammensetzt.

Datenrate (bit/pel)	Intra-Bilder	P, B-Bilder	I, P, B-Bilder
Teilbandcoder	2.58	1.34	1.44
DCT-Coder nach Abschnitt 2.2	2.76	1.45	1.56

Tabelle 6.4 Vergleich des Teilbandcodierungssystems mit den DCT-Codern

Für den Vergleich wurde die Realisierung eines DCT-Coders dadurch simuliert, daß im Ersatzsystem der Teilbandcodierung gemäß Abschnitt 2.2 anstelle der Impulsantworten der Filterbank die Basisfunktionen der 8*8 DCT eingesetzt werden. Jede Folge von DCT-Koeffizienten gleicher Lage im Frequenzbereich entspricht einem Teilbandsignal und wird mit einem arithmetischen Coder codiert. Wie Tabelle 6.4 zeigt, liegt die Datenrate des DCT-Coders mit 1.56 bit/pel um 0.12 bit/pel und damit um 8 % über der Datenrate des Teilbandcoders.