

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

**Lehrstuhl für Multimediakommunikation und
Signalverarbeitung**

Prof. Dr.-Ing. André Kaup

Forschungspraktikum

**Erweiterte Schwerpunktanpassung für die
Frequenzselektive Extrapolation**

von Nils Genser

29. Oktober 2015

Betreuer:

Dipl.-Ing. Michel Bätz
Dipl.-Ing. Wolfgang Schnurrer

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Lage- und Formanpassungen der Frequenzselektiven Extrapolation	3
2.1	Grundlagen	3
2.2	Verwendete Fehlermasken	5
2.3	Vorgehensweisen	6
2.3.1	Schwerpunktanpassung	6
2.3.2	Mehrfache Schwerpunktanpassung	7
2.3.3	Bivariate Gaußanpassung	8
2.3.4	Mediananpassung	10
2.3.5	Minesweeper Verfahren	12
2.4	Auswertung	14
3	Zusammenfassung	19
A	FSE ohne Frequenzgewichtung	21
A.1	TECNICK PSNR-Mittelwerte	22
A.1.1	Zufällige Fehlermaske	22
A.1.2	Fehlermaske mit beschädigten Spalten	24
A.1.3	Fehlermaske mit beschädigten Blöcken	26
A.2	Kodak PSNR-Mittelwerte	28
A.2.1	Zufällige Fehlermaske	28

A.2.2	Fehlermaske mit beschädigten Spalten	30
A.2.3	Fehlermaske mit beschädigten Blöcken	32
B	FSE mit Frequenzgewichtung	35
B.1	TECNICK PSNR-Mittelwerte	36
B.1.1	Zufällige Fehlermaske	36
B.1.2	Fehlermaske mit beschädigten Spalten	38
B.1.3	Fehlermaske mit beschädigten Blöcken	40
B.2	Kodak PSNR-Mittelwerte	42
B.2.1	Zufällige Fehlermaske	42
B.2.2	Fehlermaske mit beschädigten Spalten	44
B.2.3	Fehlermaske mit beschädigten Blöcken	46
	Abbildungsverzeichnis	49
	Tabellenverzeichnis	49
	Literaturverzeichnis	52

Kapitel 1

Einleitung

Das am Lehrstuhl entwickelte Verfahren der Frequenzselektiven Extrapolation (FSE), ermöglicht es verlorene Gebiete in Bildern wiederherzustellen [SK10]. Dabei handelt es sich meist um Fehlstellen, die durch Störungen in der Übertragung zu Stande kommen. Jedoch erzeugen einige Verfahren in der Bildverarbeitung selbst Fehlstellen und machen es unabdingbar, diese verlorene Bereiche für den Betrachter möglichst gut zu verschleiern. In diesen Fällen ergibt sich die Besonderheit, dass die Verluste meist beliebig geformt auftreten. Deshalb soll in den folgenden Kapiteln untersucht werden, inwiefern die FSE speziell für diese Problematik optimiert werden kann.

Bevor mit den eigentlichen Anpassungen begonnen wird, gilt es ein paar Grundlagen zu besprechen und darauf einzugehen, wie die Fehler simuliert werden, beziehungsweise welche Fehlermasken für praktische Anwendungsfälle sinnvoll erscheinen. Anschließend werden verschiedene Ideen vorgestellt, wie die bisherige Gewichtung angepasst werden kann und welche Vor- und Nachteile diese Verfahren bieten. Danach werden die in MATLAB implementierten Algorithmen getestet und miteinander verglichen. Dabei bleibt zu klären, ob sich ein Verfahren für die unterschiedlichen Fehlermasken durchsetzen kann oder ob für verschiedene Einsatzzwecke unterschiedliche Herangehensweisen erforderlich werden.

Kapitel 2

Lage- und Formanpassungen der Frequenzselektiven Extrapolation

2.1 Grundlagen

In den nachfolgenden Abschnitten werden verschiedene Bilder mit diversen Fehlermasken überlagert und danach die so beschädigten Bereiche rekonstruiert. Dazu werden mehrere Ideen vorgestellt, die auf unterschiedliche Weise die Gewichtsfunktion der FSE modifizieren. Anschließend werden die verschiedenen Ansätze für die unterschiedlichen Fehlermasken getestet und die Eignung der Gewichtsfunktionen besprochen. Wir versprechen uns damit neue Möglichkeiten zu finden, um die beschädigten Bildstellen besser rekonstruieren zu können.

Grundsätzlich erfolgt die Einteilung unseres, mit Fehlern versehenen, Bildes in Blöcke fester Größe. Jeder dieser Bereiche wird als Extrapolationsgebiet \mathcal{L} bezeichnet. Diese können nochmals gegliedert werden in das Unterstützungsgebiet \mathcal{A} , das Ersetzungsgebiet \mathcal{B} , die bereits rekonstruierten Bildpunkte \mathcal{R} und die inneren und äußeren Verluste \mathcal{B}_i bzw. \mathcal{B}_o . Die nachfolgende Abbildung 2.1 verdeutlicht die Einteilung nochmals grafisch [SJS⁺15].

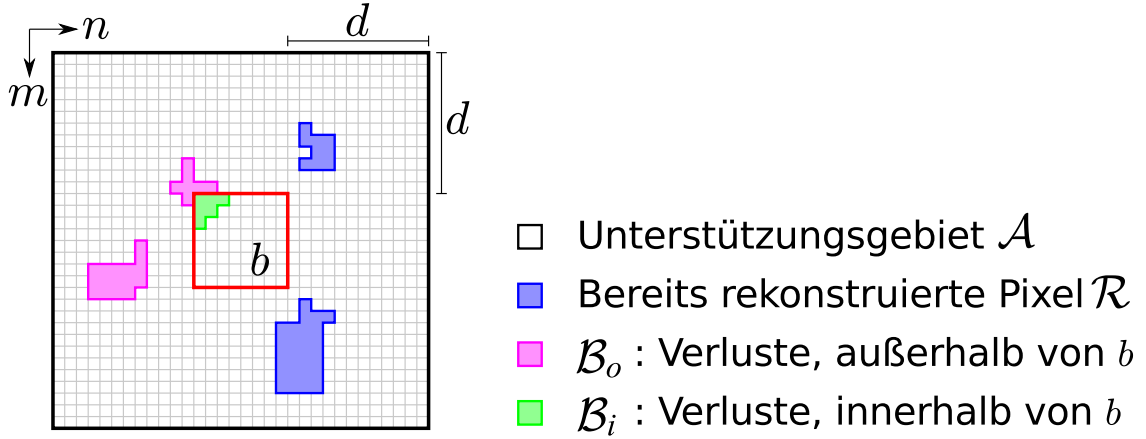


Abbildung 2.1: Aufbau des Extrapolationsgebiets $\mathcal{L} = \mathcal{A} \cup \mathcal{R} \cup \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o$

Bisher besitzt die Gewichtsfunktion stets ihr Maximum im Zentrum des Ersatzgebiets beziehungsweise des Extrapolationsgebiets. Von dort aus fällt sie isotrop zum Rand hin ab (siehe Abbildung 2.2). Diejenigen Werte, die weit vom Ersatzgebiet entfernt sind, werden entsprechend weniger stark in die Modellbildung einfließen, als Bildpunkte die nah am Verlust liegen. Verlorene Pixel werden mit Null gewichtet und somit ganz aus der Modellbildung verworfen. Wie in Abbildung 2.1 zu sehen ist, muss der tatsächliche Verlust nicht das ganze Ersatzgebiet ausmachen. Unangepasst folgt die Gewichtsfunktion nicht der Lage der Fehlstellen, sondern bleibt stattdessen stisch an ihrer festen Position - dem Zentrum des Extrapolationsgebiets.

Eine mathematische Beschreibung der Gewichtsfunktion $w[m, n]$ ist in Gleichung 2.1 gezeigt [SJSK15]. Die Gewichtsfunktion legt den Einfluss der Stützstellen im Unterstützungsgebiet fest, wobei der Abklingfaktor $\hat{\rho}$ beschreibt, wie schnell die Funktion abfällt. Er kann im Intervall $(0,1)$ gewählt werden. Die Spezialfälle $\hat{\rho} = 0$ und $\hat{\rho} = 1$ würden zu einer gleichmäßigen Gewichtung führen, dem Sinn der Gewichtsfunktion entgegen wirken und sind deshalb nicht zu wählen.

$$w[m, n] = \begin{cases} \hat{\rho} \sqrt{(m-(M-1)/2)^2 + (n-(N-1)/2)^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{A} \\ \delta \hat{\rho} \sqrt{(m-(M-1)/2)^2 + (n-(N-1)/2)^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{R} \\ 0 & \text{für } (m, n) \in \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o \end{cases} \quad (2.1)$$

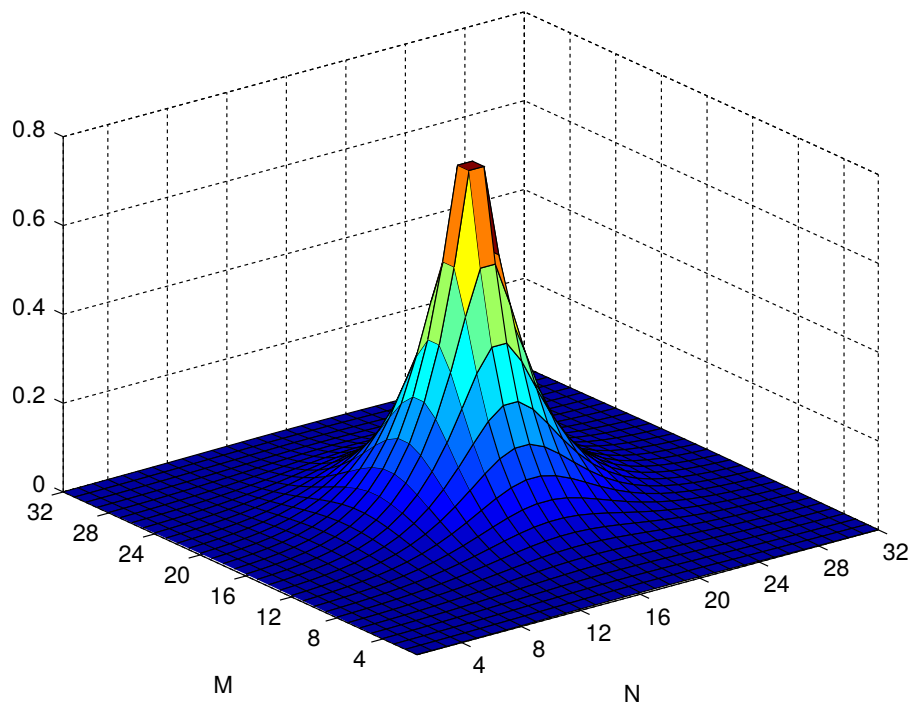


Abbildung 2.2: Gewichtsfunktion auf einem 32×32 -Extrapolationsgebiet

In den späteren Abschnitten ist Gleichung 2.1 nochmals von besonderer Bedeutung. Dort wird erläutert, wie man die ursprüngliche Gewichtsfunktion $w[m, n]$ geschickt modifizieren kann, um im Mittel höhere Gewinne bei der Rekonstruktion der Fehlstellen zu erhalten.

2.2 Verwendete Fehlermasken

Bevor auf die eigentlichen Verfahren, beziehungsweise Implementierungen, näher eingegangen wird, sollen zuerst die simulierten Fehlermasken besprochen werden. Dazu wählen wir die Fehler so, wie sie auch in praktischen Anwendungsfällen von Relevanz sind. Konkret bedeutet das, dass zum Beginn des Rekonstruktionsvorgangs eine aus mehreren Fehlermasken ausgewählt werden kann, die für eine Datenbank aus Bildern verwendet wird. So wird zum Beispiel ein Blockverlust der Größe 16×16 zur Auswahl angeboten. Bei der weit verbreiteten Videokodierung H.264/MPEG-4 AVC ist die typische Makroblockgröße 16×16 Bildpunkte [WSBL03]. Wir können somit den vollständigen Verlust von Makroblöcken testen. Um den

Einfluss der Beschädigung einer einzelnen Spalte, beziehungsweise Zeile zu eruieren, stehen ebenfalls entsprechende Fehlermasken bereit. Letztendlich kann noch eine Fehlermaske geladen werden, die die Bilder in zufälliger Art und Weise beschädigt. Dabei gilt zu beachten, dass alle Aufnahmen in einer Datenbank mit derselben Maske überlagert werden. Abbildung 2.3 zeigt nachfolgend einen kleinen Ausschnitt der eben erwähnten Fehlermuster.

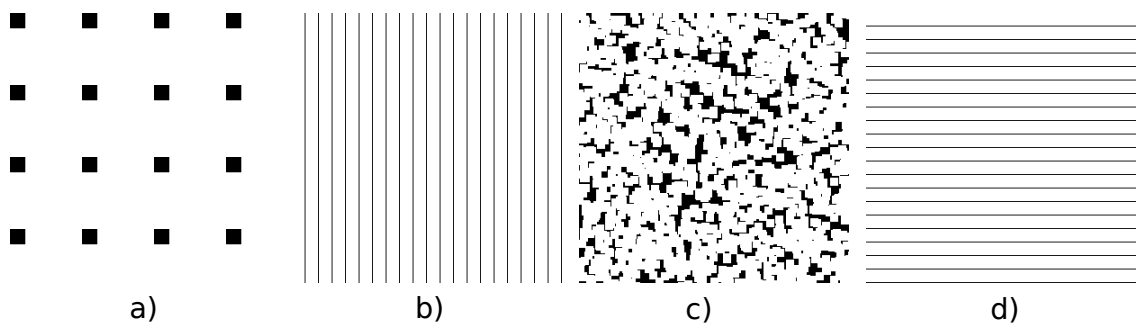


Abbildung 2.3: Die für die Auswertungen der Verfahren verwendeten Fehlermasken:
 a) 16×16 Blockverluste im Abstand von 64 Pixel in x-, bzw y-Richtung
 b) 1 Pixel breite, spaltenförmige Verluste im Abstand von 15 Pixeln
 c) zufällig erzeugte Fehlermaske
 d) 1 Pixel breite, reihenförmige Verluste im Abstand von 15 Pixeln

2.3 Vorgehensweisen

2.3.1 Schwerpunktanpassung

Um die Rekonstruktionsergebnisse der FSE weiter zu verbessern, entstand im Rahmen meiner Bachelorarbeit der Ansatz, die Gewichtsfunktion in den Schwerpunkt der Verluste zu legen [Gen14]. Dazu wird aus allen Fehlstellen des Ersetzungsgebiets \mathcal{B} der Schwerpunkt berechnet und anschließend die Gewichtsfunktion derart verschoben, dass sich ihr Zentrum mit dem Schwerpunkt der Fehlstellen deckt. Für tiefere Einblicke in dieses Verfahren soll an dieser Stelle auf die eben genannte Arbeit verwiesen werden. Der Vollständigkeit halber wird nachfolgend die angepasste Gewichtsfunktion $w_{\text{Schwerpunkt}}[m, n]$ gezeigt (siehe Glei-

chung 2.2):

$$w_{\text{Schwerpunkt}}[m, n] = \begin{cases} \hat{\rho} \sqrt{(m+0,5-\bar{y}_{\text{arithm}})^2 + (n+0,5-\bar{x}_{\text{arithm}})^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{A} \\ \delta \hat{\rho} \sqrt{(m+0,5-\bar{y}_{\text{arithm}})^2 + (n+0,5-\bar{x}_{\text{arithm}})^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{R} \\ 0 & \text{für } (m, n) \in \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o \end{cases} \quad (2.2)$$

Dabei bezeichnen die Variablen \bar{x}_{arithm} und \bar{y}_{arithm} den arithmetischen Mittelwert der x- bzw y- Koordinaten der Fehlstellen. Damit auch ein visueller Vergleich der diversen Gewichtungen möglich ist, sind für alle Verfahren beispielhafte Abbildungen gezeigt. Darstellung 2.4 stellt die Schwerpunktanpassung, für eine mit Fehlstellen versehene Matrix, dar.

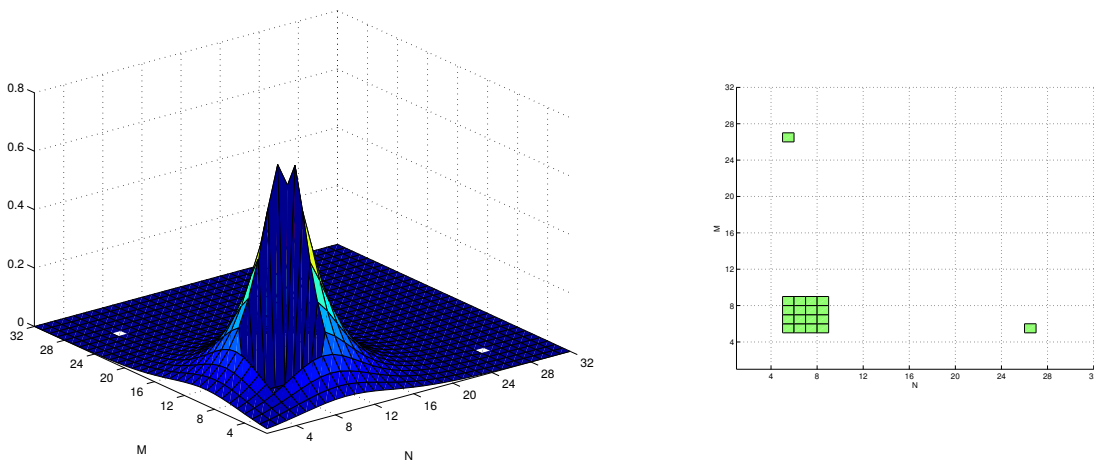


Abbildung 2.4: Links die Schwerpunktanpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet mit drei Verlusten, rechts die benutzte Fehlermaske

2.3.2 Mehrfache Schwerpunktanpassung

Bei der FSE mit einer zufällig erzeugten Fehlermaske können durchaus mehrere Verluste im Ersetzungsgebiet entstehen. Während den Versuchen die Gewichtsfunktion zu optimieren, hat sich gezeigt, dass bei den in MATLAB erzeugten, zufälligen Fehlermasken circa ein Drittel der Ersetzungsgebiete \mathcal{B} unabhängige Verluste aufweisen. Aufgrund dieser hohen Auftretensrate entstand die Idee, die bisherige Gewichtung der FSE auf mehrere Fehlstellen pro Ersetzungsgebiet anzupassen.

Durch zwei oder mehr Verluste wird die Funktionsweise der Schwerpunktanpassung der FSE behindert. Denn statt einer Zentrierung der Gewichtsfunktion in den Schwerpunkt der verlorenen Pixel, findet nun eine Mittlung zwischen allen beschädigten Bereichen im Ersetzungsgebiet \mathcal{B} statt. Für das vorangegangene Beispiel in Abbildung 2.4 bedeutet dies konkret einen gemeinsamen Schwerpunkt im unteren, linken Abschnitt des Ersetzungsgebiets.

Die Arbeitsweise der mehrfachen Schwerpunktanpassung ist wie folgt festgelegt. Zuerst sucht man alle zusammenhängenden Verluste und erstellt im nächsten Schritt für jedes Gebiet eine Gewichtsmatrix mit dem Schwerpunkt in der Mitte der verlorenen Bildpunkte. Anschließend werden alle Gewichtsmatrizen addiert und bilden somit die neue Gewichtsmatrix für das Extrapolationsgebiet \mathcal{L} . Abbildung 2.5 zeigt die Gewichtsmatrix analog zu dem Beispiel 2.4 aus dem vorhergehenden Abschnitt.

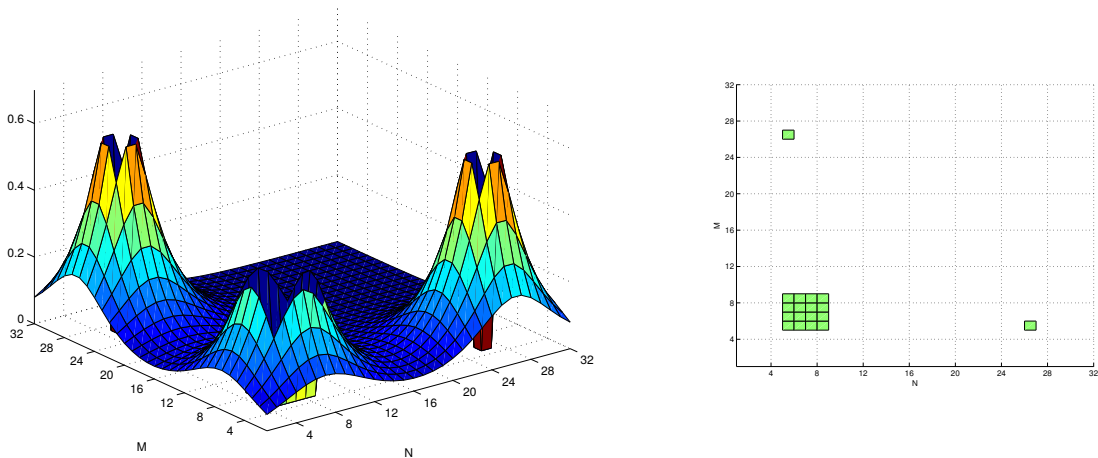


Abbildung 2.5: Links die Mehrfache Schwerpunktanpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet mit drei Verlusten, rechts die benutzte Fehlermaske

2.3.3 Bivariate Gaußanpassung

Neben den bereits geschilderten Problematiken wollen wir nun eine weitere Schwierigkeit berücksichtigen. So können nicht nur mehrere Fehlstellen in einem Ersetzungsgebiet liegen, sondern die beschädigten Bildpunkte sind zum Teil noch sehr unterschiedlich geformt.

Daraus folgt, dass eine gleichmäßige Gewichtung von einem Punkt nach außen hinweg unvorteilhaft sein kann, wenn die Fehlstelle zum Beispiel sehr länglich ausfällt. Um dieses Verhalten besser zu berücksichtigen, entstand die Idee einer Form- und Schwerpunktanpassung mit Hilfe einer bivariaten Gaußfunktion (siehe Gleichung 2.3).

$$w_{\text{Gauß}}[m, n] = \begin{cases} \hat{\rho} \sqrt{s_y * (m+1 - \bar{y}_{\text{arithm}})^2 + s_x * (n+1 - \bar{x}_{\text{arithm}})^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{A} \\ \delta \hat{\rho} \sqrt{s_y * (m+1 - \bar{y}_{\text{arithm}})^2 + s_x * (n+1 - \bar{x}_{\text{arithm}})^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{R} \\ 0 & \text{für } (m, n) \in \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o \end{cases} \quad (2.3)$$

Mit den neu hinzugekommen Variablen s_x und s_y lässt sich die Ausdehnung in x- bzw y-Richtung beeinflussen. Es gilt dabei, dass die Gewichtsfunktion für Werte < 0 breiter und für > 0 schmaler modelliert werden kann.

In den hier gezeigten Untersuchungen wurde $s_x = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$ und $s_y = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ gewählt. σ_x und σ_y bezeichnen die Standardabweichung der aufsummierten x- bzw. y-Koordinaten der Fehlstellen. Zwar sind hier für die Variablen s_x und s_y auch andere Berechnungsweisen denkbar, jedoch zeigte sich das Verfahren im Vergleich zu den anderen Algorithmen als nicht konkurrenzfähig. Deshalb wurde an dieser Stelle nicht weiter optimiert.

In Abbildung 2.6 ist die Gewichtsfunktion für das Beispiel aus den vorhergehenden Abschnitten gezeigt. Dieses Mal wurde nur eine Fehlstelle erzeugt, die allerdings länglich geformt ist. Auf Grund der Wahl von nur einem Verlust, wird die Gewichtsfunktion direkt in das Zentrum der Fehlstelle gelegt. Zusätzlich wird die Form passend zu den verlorenen Bildpunkten länglich gestreckt. Somit ergibt sich sowohl eine Lage-, als auch eine Formanpassung der Gewichtung für genau ein Verlustgebiet. Wird mehr als ein zusammenhängendes Gebiet beschädigt, wird die Gewichtsfunktion in den Schwerpunkt aller Verluste im Ersetzungsgebiet \mathcal{B} geschoben.

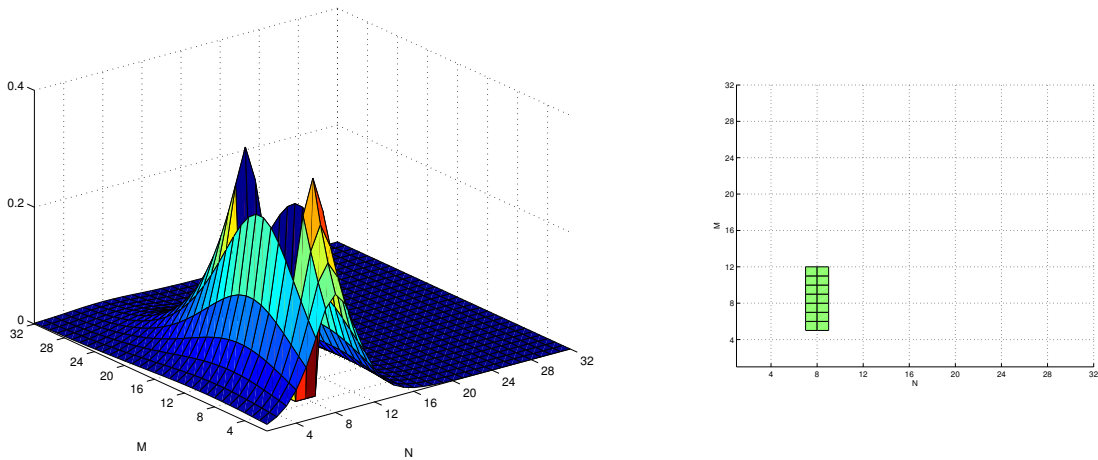


Abbildung 2.6: Links die Bivariate Gaußanpassung auf einem 32×32 Ersatzgebiet mit einem länglichen Verlust, rechts die benutzte Fehlermaske

2.3.4 Mediananpassung

Der Medianfilter ist häufig im Bereich der digitalen Bildverarbeitung anzutreffen und gehört zur Klasse der Rangordnungfilter [Jä12]. Daher stammt auch der Name - es werden Bildpunkte sortiert und so in eine Rangordnung gebracht. Für unseren konkreten Anwendungsfall bedeutet das, wir suchen alle beschädigten Pixel in dem Ersatzgebiet \mathcal{B} und schreiben die x- beziehungsweise y-Werte je in eine separate Liste. Anschließend sortieren wir die beiden Listen nach der Größe und wählen jeweils den mittleren Wert der Zahlenfolgen \bar{x}_{median} und \bar{y}_{median} . Somit ergibt sich für die Gewichtsmatrix $w_{\text{Median}}[m, n]$ die Gleichung 2.4:

$$w_{\text{Median}}[m, n] = \begin{cases} \hat{\rho} \sqrt{(m+0,5-\bar{y}_{\text{median}})^2 + (n+0,5-\bar{x}_{\text{median}})^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{A} \\ \delta \hat{\rho} \sqrt{(m+0,5-\bar{y}_{\text{median}})^2 + (n+0,5-\bar{x}_{\text{median}})^2} & \text{für } (m, n) \in \mathcal{R} \\ 0 & \text{für } (m, n) \in \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o \end{cases} \quad (2.4)$$

Die Idee diesen Filter zu verwenden, kommt durch eine besondere Eigenschaft des Medianfilters. Denn einzelne Ausreißer wirken sich in der Berechnung meist gar nicht oder kaum aus, wie ein kurzes Beispiel zeigen soll. Nehmen wir einmal an, uns liegen die bereits sortierten x-Koordinaten $\{5, 6, 7, 8, 26\}$ von beschädigten Pixeln vor. Dann erhalten wir $\bar{x}_{\text{median}} = 7$,

jedoch $\bar{x}_{\text{arithm}} = 10,4$. Das heißt das Zentrum der Gewichtsfunktion liegt bei der Mediananpassung bei der großen Masse der verlorenen Bildpunkte und nicht auf dem Mittelwert, wie bei der Schwerpunktanpassung. Letztendlich entscheiden wir uns konkret für einen Bereich, der primär gewichtet werden soll und vernachlässigen die anderen Fehlstellen. Die Schwerpunktanpassung würde hingegen versuchen, alle Fehlstellen zu berücksichtigen und damit keine Fehlstelle ideal gewichten.

In Abbildung 2.7 wird das Verfahren zusammen mit der dazugehörigen Fehlermaske gezeigt. Dabei gilt zu beachten, dass die beiden kleinen, störenden Fehlstellen keinen Einfluss auf die Gewichtung zeigen.

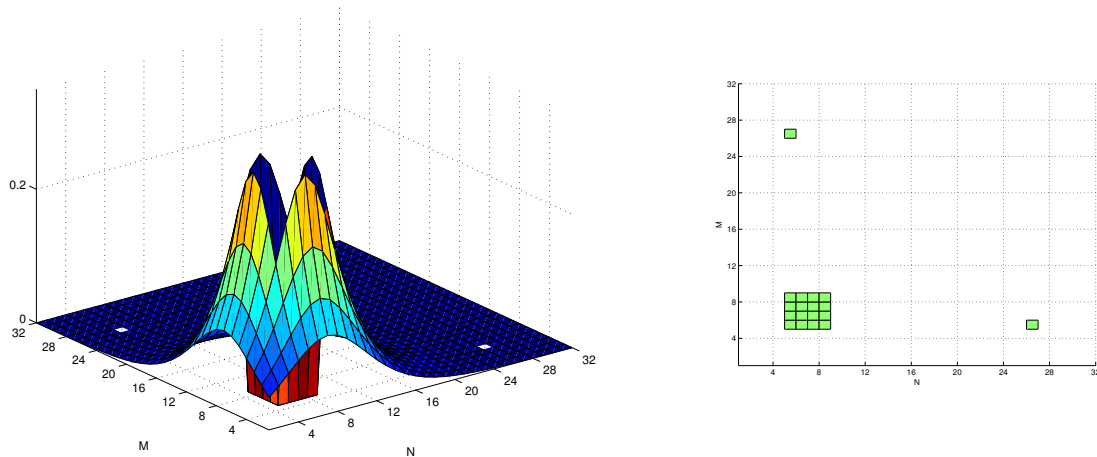


Abbildung 2.7: Links die Mediananpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet mit drei Verlusten, rechts die benutzte Fehlermaske

2.3.5 Minesweeper Verfahren

Aus den vorhergegangenen Auswertungen und Erfahrungen entstand letztendlich das Minesweeper Verfahren. Dabei wird sowohl die Lage der Fehlstellen, als auch die Form berücksichtigt. Wir vereinen damit vor allem die Ideen aus den Verfahren der Schwerpunkt- und der bivariten Gaußanpassung. Der Name Minesweeper ist auf ein bekanntes Spiel aus den 90er Jahren zurückzuführen und beschreibt die Funktionsweise des Algorithmus.

Zuerst wird für jeden Bildpunkt, der keine Fehlstelle ist, die Distanz zum nächstgelegenen Verlust berechnet und in einer Matrix gespeichert. Diese besitzt dieselben Dimensionen wie das Extrapolationsgebiet \mathcal{L} . In der Implementierung wurde das mit dem MATLAB-Befehl *bwdist()* realisiert. Dieser bietet mehrere Distanzberechnungsverfahren, wie sie in Abbildung 2.8 gezeigt werden (je schwarzer die Bildpunkte sind, desto niedriger ist der Abstand zu den Fehlstellen). In den Evaluierungen hat sich gezeigt, dass die 2D-euklidische Abstandsberechnung mit Abstand die besten Ergebnisse für die Rekonstruktion liefert, so dass auch nur diese im Algorithmus Anwendung findet.

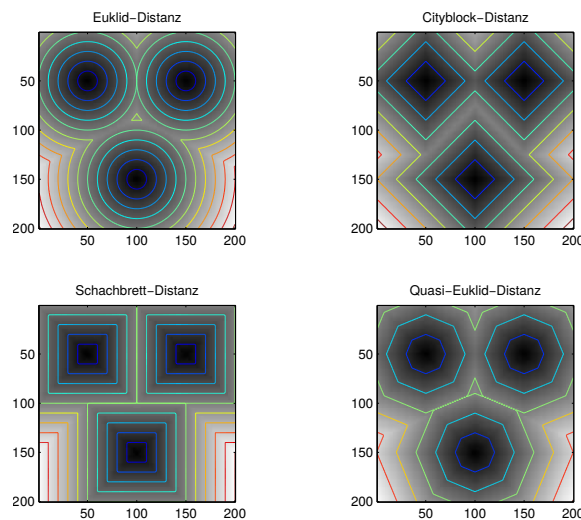


Abbildung 2.8: Die vier möglichen Distanzberechnungen des MATLAB *bwdist()* Befehl:

$$\text{2D-Schachbrett-Distanz: } \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|),$$

$$\text{2D-Cityblock-Distanz: } |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|,$$

$$\text{2D-Euklid-Distanz: } \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2},$$

$$\text{2D-Quasi-Euklid-Distanz (siehe Gleichung 2.5)}$$

$$d_{\text{QuasiEuklid}} = \begin{cases} |x_1 - x_2| + (\sqrt{2} - 1)|y_1 - y_2|, & \text{falls } |x_1 - x_2| > |y_1 - y_2| \\ (\sqrt{2} - 1)|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|, & \text{sonst} \end{cases} \quad (2.5)$$

Nachdem die Distanzen in der Matrix w_{dist} gespeichert wurden, muss die eigentliche Gewichtsfunktion berechnet werden. Dazu wird für jede Stelle der Matrix w_{dist} der Abklingfaktor $\hat{\rho}$ hoch die zugehörige Distanz $w_{\text{dist}}[m, n]$ genommen (siehe Gleichung 2.6). Damit ergibt sich ein formangepasstes, exponentiell abfallendes Gewichtungsmo­dell. Dabei gilt anzumerken, dass sich der Abklingfaktor $\hat{\rho} = 0,65$ in der Praxis als sehr gute Konstante erwiesen hat.

$$w_{\text{Minesweeper}}[m, n] = \begin{cases} \hat{\rho}^{w_{\text{dist}}[m, n]} & \text{für } [m, n] \in \mathcal{A} \\ \delta \hat{\rho}^{w_{\text{dist}}[m, n]} & \text{für } [m, n] \in \mathcal{R} \\ 0 & \text{für } [m, n] \in \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o \end{cases} \quad (2.6)$$

Um einen visuellen Vergleich mit den vorhergehenden Verfahren bieten zu können, wird in Abbildung 2.9 das vorhergehende Beispiel weitergeführt. Wie sich erkennen lässt, ergibt sich nicht nur für jeden Verlust eine Gewichtsfunktion, sondern auch die Form der Verluste wird berücksichtigt. So ist der große, beschädigte Bereich nun nicht mehr rund gewichtet (siehe Abbildung 2.5 der mehrfachen Schwerpunktanpassung), sondern auch die quadratische Form wird besser berücksichtigt.

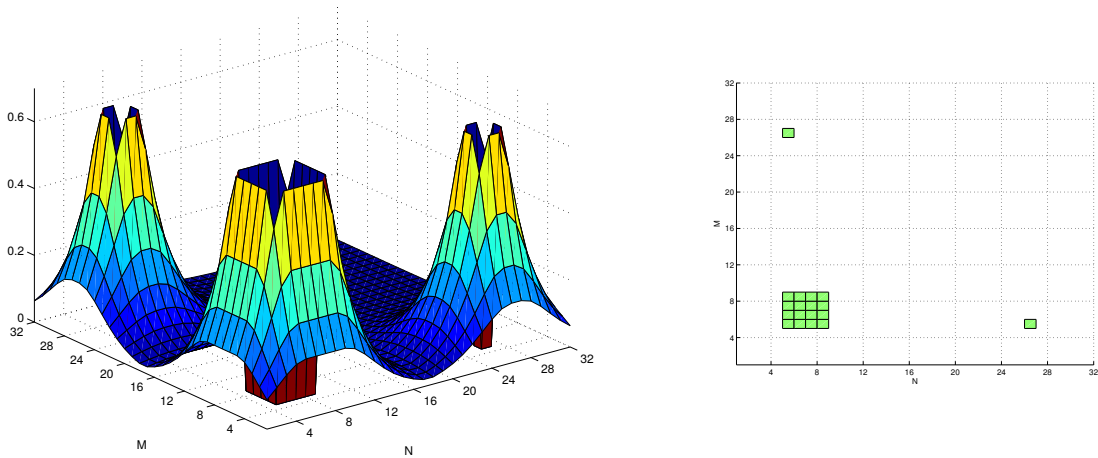


Abbildung 2.9: Links das Minesweeper Verfahren auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet mit drei Verlusten, rechts die benutzte Fehlermaske

2.4 Auswertung

Zum Ende dieser Arbeit sollen die Stärken beziehungsweise Schwächen der einzelnen Algorithmen durch Messergebnisse aufgezeigt werden. Dazu erfolgt die Unterscheidung anhand dreier unterschiedlicher Fehlermasken. Die Relevanz dieser Masken wurde bereits in Abschnitt 2.2 erläutert. Zuerst werden die Rekonstruktionsergebnisse mit einer zufälligen Maske, anschließend mit Spaltenverlusten und zum Schluss mit beschädigten Blöcken untersucht. Für alle Tests kommt im Nachfolgenden die TECNICK-Bilddatenbank zum Einsatz, da sie mit 100 Bildern sehr umfassend ist und die Datenbank keine Bildrahmen verwendet. Gerade homogene Flächen, wie zum Beispiel Rahmen, können im Allgemeinen besonders gut mit den angepassten Gewichtsfunktionen wiederhergestellt werden. Damit nicht alleine die guten Ergebnisse bestätigt werden, sollen deshalb vor allem Bilder ohne Rahmen untersucht werden. Im Anhang finden sich jedoch auch Messungen von der Kodak-Datenbank, welche Bildrahmen verwendet (siehe A.2 und B.2).

Damit in den nachfolgenden Auswertungen keine Unklarheiten bezüglich der verwendeten Parameter auftreten können, ist in Abbildung 2.10 die zugehörige Konfigurationsdatei gezeigt. Jedoch sollte beachtet werden, dass der Abklingfaktor $\hat{\rho} = 0,65$ bei dem Minesweeper Verfahren angepasst wurde. Für die mit Frequenzgewichtung berechneten PSNR-Gewinne

im Anhang, die als solche gekennzeichnet wurden, ist `frequency_weighting_mode = 2` und `frequency_weighting_factor = 2` gewählt worden.

```
1     function FSE_cfg_struct = get_fse_cfg_struct(id)
2
3     switch id
4     case 1
5         FSE_cfg_struct=struct();
6         FSE_cfg_struct.fft_size=32;
7         FSE_cfg_struct.block_size=16;
8         FSE_cfg_struct.border_width=8;
9         FSE_cfg_struct.rho=0.7;
10        FSE_cfg_struct.orthogonality_correction=0.5;
11        FSE_cfg_struct.conc_weighting=0.5;
12        FSE_cfg_struct.max_iter=100;
13        FSE_cfg_struct.weight_function=%Das Verfahren%;
14
15        %ADD other fse configs here
16        %case 2
17        %...
18
19    otherwise
20        FSE_cfg_struct=[];
21    end
```

Abbildung 2.10: Verwendete Konfiguration der FSE in `get_fse_cfg_struct.m`

Überlagern wir die Bilder mit einer zufälligen Fehlermaske können wir ein klares Schema erkennen. Die Schwerpunktanpassung, die mehrfache Schwerpunktanpassung und der Minesweeper Algorithmus sind bei kleinen Ersetzungsgebietsgrößen ähnlich gut (siehe Tabelle A.1). Bei größeren Ersetzungsgebietsblöcken gewinnt das Minesweeper Verfahren jedoch deutlich (siehe Tabelle A.2). Abbildung 2.11 zeigt die eben erwähnten PSNR-Mittelwerte der TECNICK-Bildsammlung bei einer zufälligen Fehlermaske. Aus der Grafik lässt sich gut ablesen, dass sich ab einer Ersetzungsgebietsgröße von circa 10×10 der Minesweeper Algorithmus durchsetzt.

Letztendlich deckt sich dieses Verhalten genau mit unseren Erwartungen. Bei kleinen Ersetzungsgebietsgrößen ist eine Anpassung der Position und der Form der Gewichtsfunktion nur sehr beschränkt möglich. Schließlich ist kaum Platz vorhanden und die Gewichtsfunktionen können sich nur marginal voneinander absetzen. Erst bei größeren Ersetzungsgebietsflächen

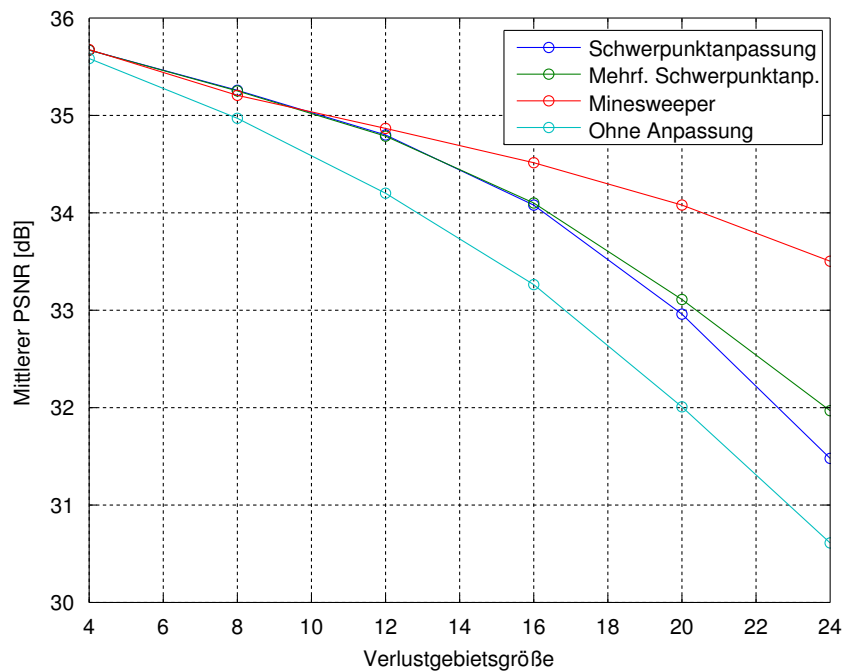


Abbildung 2.11: Mittlere PSNR Gewinne bei verschiedenen Ersetzungsgebietsgrößen (zufällige Fehlermaske, TECNICK-Bilddatenbank)

macht eine Position-, beziehungsweise Formanpassung Sinn. Da beim Minesweeper Algorithmus die Gestalt der Fehlstellen und jeder einzelne Verlust berücksichtigt wird, kann dieser sich am Ende gegen die anderen Verfahren durchsetzen.

Werden die Bilder statt mit einer zufälligen mit einer Fehlermaske überlagert, bei der einzelne Spalten beschädigt sind, so ergibt sich eine andere Situation. Schon bei kleinen Ersetzungsgebietsgrößen kann das Minesweeper Verfahren kleine Gewinne vorweisen und kann seinen Vorsprung bei großen Blockarealen nochmals deutlich ausbauen (siehe Tabelle A.3 und A.4). Abbildung 2.12 zeigt die eben erwähnten PSNR-Mittelwerte der TECNICK-Bildsammlung. Allerdings sticht eine Auffälligkeit sofort ins Auge. Bei der Ersetzungsgebietsgröße 20×20 sacken die Rekonstruktionsgewinne merklich ein, steigen danach jedoch wieder an. Der Grund hierfür liegt im Abstand der kaputten Spalten, wie sich durch weitere Untersuchungen gezeigt hat. Es kann vorkommen, dass bei größeren Ersetzungsgebieten zwei oder mehr Spalten in einem Ersetzungsgebiet liegen. Dadurch muss für mehrere

Verluste eine gemeinsame Gewichtsfunktion gefunden werden und das lässt die Rekonstruktionsqualitäten sinken.

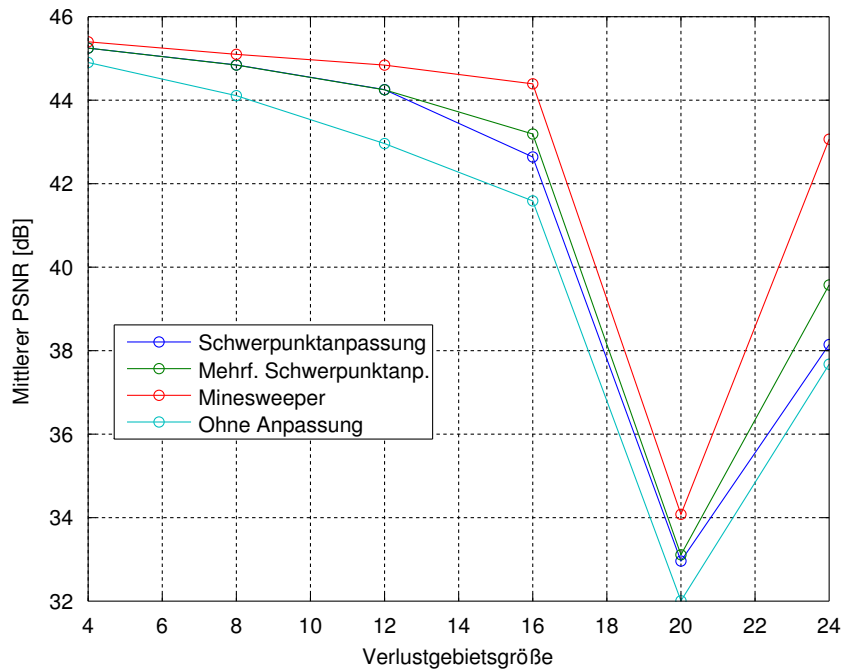


Abbildung 2.12: Mittlere PSNR Gewinne bei verschiedenen Ersetzungsgebietsgrößen (Fehlermaske mit beschädigten Spalten, TECNICK-Bilddatenbank)

Zum Schluss soll nun die Rekonstruktion mit einer Fehlermaske gezeigt werden, die beschädigte Blöcke aufweist. Bei den kleinen Ersetzungsgebietsgrößen sind die Schwerpunkt-anpassung, mehrfache Schwerpunkt-anpassung und der Minesweeper Algorithmus wie erwartet sehr gut (siehe Tabelle A.5). Überraschenderweise kann auch die Mediananpassung gut mit-halten. Das ist so zu erklären, dass für rechteckige Verluste, der Median und der Mittelwert der Fehlstellen fast die gleichen Werte annehmen.

Betrachten wir die größeren Ersetzungsgebietsareale, so stellen wir fest, dass sich dieses mal die Schwerpunkt-anpassung gegenüber dem Minesweeper Verfahren minimal durchsetzen kann (siehe Tabelle A.6). Das liegt zum einen an den verschiedenen Abklingfaktoren, denn die Schwerpunkt-anpassung verwendet $\hat{\rho} = 0,7$ und Minesweeper $\hat{\rho} = 0,65$. Zum anderen ist die Form der Gewichtung für eine rechteckige Fehlstelle bei den Verfahren leicht unter-

schiedlich. Während bei der Schwerpunktanpassung die Gewichtsfunktion isotrop abfällt, berücksichtigt der Minesweeper Algorithmus die rechteckige Form (siehe Abbildung 2.4 und 2.9). Verwendet man z.B. einen anderen Abklingfaktor beim Minesweeper Verfahren, so sinken im Mittel die Rekonstruktionsgewinne bei den kleineren Blockgrößen, man kann jedoch für die größeren Ersetzungsgebiete höhere Gewinne erzielen.

Abbildung 2.13 zeigt abschließend die PSNR-Mittelwerte der TECNICK-Bildsammlung für die Fehlermaske mit beschädigten Blöcken. Ebenso, wie bei der Maske mit den verlorenen Spalten tritt auch hier ein Anomalie auf. Generell lässt sich abschätzen, dass viele symmetrische Fehlermasken zum Einbrechen der Rekonstruktionsgewinne bei bestimmten Ersetzungsgebietsgrößen führen können.

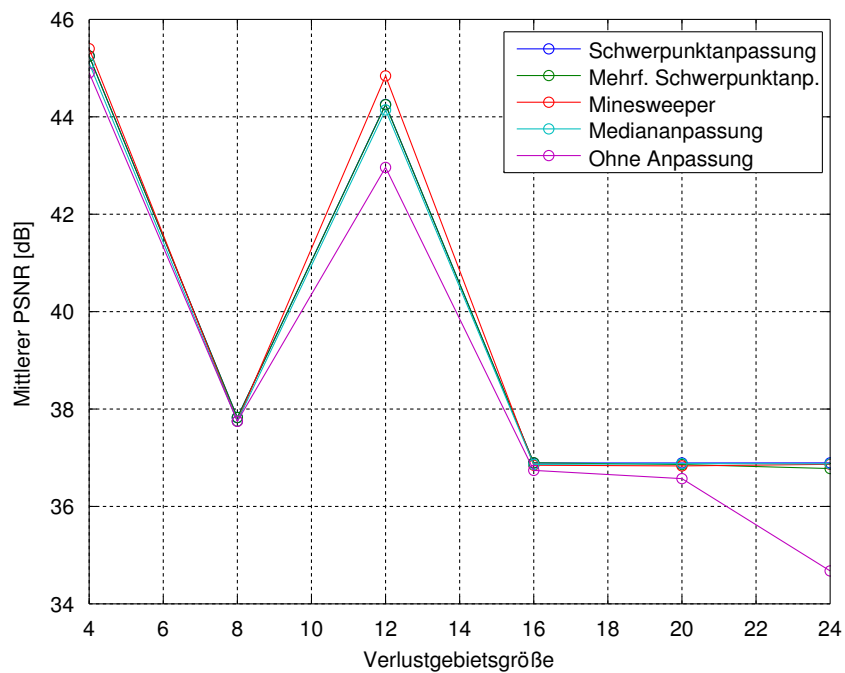


Abbildung 2.13: Mittlere PSNR Gewinne bei verschiedenen Ersetzungsgebietsgrößen (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken, TECNICK-Bilddatenbank)

Kapitel 3

Zusammenfassung

Nachdem einige Grundlagen wiederholt und verschiedene Fehlermasken erklärt wurden, sind im Anschluss mehrere Verfahren vorgestellt worden, wie die Gewichtsfunktion der FSE optimiert werden kann. Dazu sind erst Problemstellungen gezeigt worden, die bei der Gewichtung mit entsprechenden Fehlermasken auftreten können. Anschließend wurde ein Algorithmus vorgestellt, der gezielt die jeweilige Problematik lösen kann.

Wie gezeigt wurde, gibt es eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die Gewichtsfunktion der FSE sinnvoll zu ergänzen. Dabei hat sich gezeigt, dass sich für die unterschiedlichen Fehlermasken eine Anpassung der Lage und der Form der Gewichtsfunktion durch höhere Rekonstruktionsgewinne auszahlt. Auch wenn das Minesweeper Verfahren nicht bei allen Ersetzungsgebietsgrößen und allen Fehlermasken gewinnen kann, so liefert es trotzdem annähernd immer die besten Ergebnisse. Ebenfalls in Sachen Geschwindigkeit gehört der Minesweeper Algorithmus zu den Schnellsten, denn er ist ähnlich schnell wie das unangepasste Verfahren oder die Schwerpunktanpassung.

Eine überraschende Entdeckung sollte in Zukunft bei der Wahl der Ersetzungsgebietsgrößen berücksichtigt werden. Die Anomalien, welche bei symmetrischen Fehlermasken entstehen, sollten gezielt vorhergesagt werden. Eventuell können diese durch eine geschickte Wahl der Ersetzungsgebiete gänzlich vermieden werden. Denn stellt man sicher, dass nur ein beschädigtes Areal einem Ersetzungsgebiet zugeteilt wird, kann man die Anomalien gänzlich vermeiden.

Anhang A

FSE ohne Frequenzgewichtung

A.1 TECNICK PSNR-Mittelwerte

A.1.1 Zufällige Fehlermaske

Verfahren	4×4	8×8	12×12
Ohne Anpassung	35,58418 dB	34,97049 dB	34,20122 dB
Bivariater Gauß	−0,24210 dB	−0,04534 dB	+0,21199 dB
Schwerpunktanpassung	+0,08632 dB	+0,28765 dB	+0,59856 dB
Mediananpassung	+0,03839 dB	+0,24083 dB	+0,53230 dB
Minesweeper	+0,09174 dB	+0,23587 dB	+0,66565 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+0,08648 dB	+0,28099 dB	+0,58591 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	35,63485 dB	35,01114 dB	34,2344 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	−0,24714 dB	−0,07015 dB	+0,17822 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+0,01480 dB	+0,22295 dB	+0,54556 dB
Mediananpassung (o.R.)	+0,00581 dB	+0,21179 dB	+0,51309 dB
Minesweeper (o.R.)	+0,01888 dB	+0,17060 dB	+0,61367 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+0,01491 dB	+0,21617 dB	+0,53234 dB

Tabelle A.1: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (zufällige Fehlermaske; TECNICK-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	33,26331 dB	32,00826 dB	30,61115 dB
Bivariater Gauß	+0,36508 dB	+0,48767 dB	+0,45846 dB
Schwerpunktanpassung	+0,81597 dB	+0,95179 dB	+0,86790 dB
Mediananpassung	+0,64199 dB	+0,64249 dB	+0,50858 dB
Minesweeper	+1,25118 dB	+2,07171 dB	+2,89213 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+0,83784 dB	+1,10219 dB	+1,35771 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	33,27572 dB	32,00132 dB	30,57924 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+0,32541 dB	+0,44497 dB	+0,42304 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+0,77542 dB	+0,91481 dB	+0,83862 dB
Mediananpassung (o.R.)	+0,62860 dB	+0,61938 dB	+0,47840 dB
Minesweeper (o.R.)	+1,21656 dB	+2,04978 dB	+2,89854 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+0,79735 dB	+1,07746 dB	+1,35419 dB

Tabelle A.2: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (zufällige Fehlermaske; TECNICK-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

A.1.2 Fehlermaske mit beschädigten Spalten

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	44,90281 dB	44,10853 dB	42,96072 dB
Bivariater Gauß	− 0,20460 dB	+ 0,93384 dB	+ 1,64496 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,34497 dB	+ 0,73621 dB	+ 1,29219 dB
Mediananpassung	+ 0,19564 dB	+ 0,61464 dB	+ 1,18061 dB
Minesweeper	+ 0,49580 dB	+ 0,98984 dB	+ 1,88004 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,34460 dB	+ 0,73277 dB	+ 1,28795 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	45,10047 dB	44,31846 dB	43,16650 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,42954 dB	+ 0,72004 dB	+ 1,43802 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,13693 dB	+ 0,51531 dB	+ 1,07696 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,13663 dB	+ 0,51341 dB	+ 1,06075 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,29054 dB	+ 0,76960 dB	+ 1,66105 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,13661 dB	+ 0,51178 dB	+ 1,07278 dB

Tabelle A.3: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebetsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; TECNICK-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	41,58761 dB	32,00826 dB	37,67582 dB
Bivariater Gauß	+ 0,66603 dB	+ 0,48767 dB	+ 0,15108 dB
Schwerpunktanpassung	+ 1,05213 dB	+ 0,95179 dB	+ 0,47021 dB
Mediananpassung	+ 0,80264 dB	+ 0,64249 dB	+ 0,11123 dB
Minesweeper	+ 2,80406 dB	+ 2,07171 dB	+ 5,38940 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 1,60237 dB	+ 1,10219 dB	+ 1,89768 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	41,76143 dB	32,00132 dB	37,70663 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,63703 dB	+ 0,44497 dB	+ 0,12381 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,97342 dB	+ 0,91481 dB	+ 0,40604 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,87409 dB	+ 0,61938 dB	+ 0,06384 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 2,64872 dB	+ 2,04978 dB	+ 5,34366 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 1,45741 dB	+ 1,07746 dB	+ 1,83663 dB

Tabelle A.4: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; TECNICK-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

A.1.3 Fehlermaske mit beschädigten Blöcken

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	44,90281 dB	37,74805 dB	42,96072 dB
Bivariater Gauß	− 0,20460 dB	− 0,08635 dB	+ 1,64496 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,34497 dB	+ 0,07798 dB	+ 1,29219 dB
Mediananpassung	+ 0,19564 dB	+ 0,00362 dB	+ 1,18061 dB
Minesweeper	+ 0,49580 dB	+ 0,00293 dB	+ 1,88004 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,34460 dB	+ 0,07793 dB	+ 1,28795 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	45,10047 dB	38,02761 dB	43,16650 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,42954 dB	+ 0,04923 dB	+ 1,43802 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,13693 dB	+ 0,08699 dB	+ 1,07696 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,13663 dB	+ 0,08546 dB	+ 1,06075 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,29054 dB	− 0,00167 dB	+ 1,66105 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,13661 dB	+ 0,08702 dB	+ 1,07278 dB

Tabelle A.5: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; TECNICK-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	36,74036 dB	36,57097 dB	34,67602 dB
Bivariater Gauß	+ 0,12166 dB	+ 0,30728 dB	+ 1,58532 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,15239 dB	+ 0,32204 dB	+ 2,21844 dB
Mediananpassung	+ 0,12191 dB	+ 0,30722 dB	+ 2,19859 dB
Minesweeper	+ 0,10585 dB	+ 0,26105 dB	+ 2,18863 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,15631 dB	+ 0,28990 dB	+ 2,10195 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	37,01150 dB	36,84357 dB	34,82646 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,12474 dB	+ 0,28685 dB	+ 1,65706 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,12450 dB	+ 0,28951 dB	+ 2,29352 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,11674 dB	+ 0,28361 dB	+ 2,27733 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,05722 dB	+ 0,21146 dB	+ 2,25684 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,12803 dB	+ 0,25723 dB	+ 2,17556 dB

Tabelle A.6: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; TECNICK-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

A.2 Kodak PSNR-Mittelwerte

A.2.1 Zufällige Fehlermaske

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	33,03421 dB	32,57817 dB	32,02996 dB
Bivariater Gauß	+ 0,21587 dB	+ 0,35396 dB	+ 0,49579 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,37675 dB	+ 0,56025 dB	+ 0,74004 dB
Mediananpassung	+ 0,28058 dB	+ 0,47963 dB	+ 0,62592 dB
Minesweeper	+ 0,38138 dB	+ 0,55508 dB	+ 0,88100 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,37550 dB	+ 0,55442 dB	+ 0,74646 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	33,34204 dB	32,92283 dB	32,34900 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,18762 dB	− 0,05504 dB	+ 0,15279 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,01825 dB	+ 0,18229 dB	+ 0,41708 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,01271 dB	+ 0,17337 dB	+ 0,40113 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,02837 dB	+ 0,15792 dB	+ 0,51763 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,01667 dB	+ 0,17933 dB	+ 0,42383 dB

Tabelle A.7: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4 , 8×8 und 12×12 (zufällige Fehlermaske; Kodak-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	31,28042 dB	30,59988 dB	29,77400 dB
Bivariater Gauß	+ 0,55450 dB	+ 0,51771 dB	+ 0,44704 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,87862 dB	+ 0,84587 dB	+ 0,71042 dB
Mediananpassung	+ 0,79692 dB	+ 0,69654 dB	+ 0,58008 dB
Minesweeper	+ 1,36779 dB	+ 1,80762 dB	+ 2,31375 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,94163 dB	+ 1,02629 dB	+ 1,24233 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	31,60379 dB	30,81600 dB	29,95363 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,28158 dB	+ 0,32508 dB	+ 0,32196 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,59212 dB	+ 0,66100 dB	+ 0,57692 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,55825 dB	+ 0,52588 dB	+ 0,42233 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 1,03658 dB	+ 1,53775 dB	+ 2,05279 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,66754 dB	+ 0,84358 dB	+ 1,05729 dB

Tabelle A.8: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (zufällige Fehlermaske; Kodak-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

A.2.2 Fehlermaske mit beschädigten Spalten

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	41,50975 dB	40,78017 dB	39,83125 dB
Bivariater Gauß	− 0,55608 dB	+ 0,65525 dB	+ 1,41742 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,27046 dB	+ 0,65117 dB	+ 1,09658 dB
Mediananpassung	+ 0,14496 dB	+ 0,51462 dB	+ 0,98037 dB
Minesweeper	+ 0,34487 dB	+ 0,79754 dB	+ 1,48067 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,27046 dB	+ 0,65117 dB	+ 1,09654 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	41,80283 dB	41,06442 dB	40,08388 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,77471 dB	+ 0,52137 dB	+ 1,29183 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,13908 dB	+ 0,49379 dB	+ 0,94512 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,13875 dB	+ 0,49342 dB	+ 0,94633 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,21854 dB	+ 0,66200 dB	+ 1,35971 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,13908 dB	+ 0,49379 dB	+ 0,94512 dB

Tabelle A.9: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4 , 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; Kodak-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	38,68550 dB	37,53921 dB	36,17700 dB
Bivariater Gauß	+ 1,10308 dB	+ 0,19996 dB	+ 0,14358 dB
Schwerpunktanpassung	+ 1,11412 dB	+ 0,43758 dB	+ 0,38946 dB
Mediananpassung	+ 0,97008 dB	+ 0,30250 dB	+ 0,38313 dB
Minesweeper	+ 2,28546 dB	+ 2,85337 dB	+ 3,73513 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 1,47054 dB	+ 1,44054 dB	+ 1,58350 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	38,93783 dB	37,58858 dB	36,26596 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,89067 dB	+ 0,12483 dB	+ 0,11925 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,89975 dB	+ 0,35071 dB	+ 0,29800 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,89433 dB	+ 0,33375 dB	+ 0,29796 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 2,13862 dB	+ 2,85600 dB	+ 3,66883 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 1,28771 dB	+ 1,42192 dB	+ 1,52433 dB

Tabelle A.10: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; Kodak-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

A.2.3 Fehlermaske mit beschädigten Blöcken

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	36,85287 dB	36,43596 dB	35,99958 dB
Bivariater Gauß	+ 0,19325 dB	+ 0,17908 dB	+ 0,04588 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,40600 dB	+ 0,24700 dB	+ 0,46117 dB
Mediananpassung	+ 0,37696 dB	+ 0,23846 dB	+ 0,45700 dB
Minesweeper	+ 0,33246 dB	+ 0,19383 dB	+ 0,44279 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,40600 dB	+ 0,24700 dB	+ 0,46117 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	37,78158 dB	37,25371 dB	37,00938 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,14208 dB	+ 0,08075 dB	− 0,05721 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,01558 dB	+ 0,08729 dB	+ 0,23746 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,01817 dB	+ 0,08196 dB	+ 0,23571 dB
Minesweeper (o.R.)	− 0,01304 dB	+ 0,00467 dB	+ 0,20350 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,01558 dB	+ 0,08729 dB	+ 0,23746 dB

Tabelle A.11: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; Kodak-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	35,48633 dB	35,24967 dB	34,14583 dB
Bivariater Gauß	+ 0,39967 dB	+ 0,59638 dB	+ 1,32925 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,43225 dB	+ 0,61508 dB	+ 1,83113 dB
Mediananpassung	+ 0,38046 dB	+ 0,59896 dB	+ 1,80388 dB
Minesweeper	+ 0,40125 dB	+ 0,62742 dB	+ 1,82400 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,43225 dB	+ 0,61508 dB	+ 1,83113 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	36,51033 dB	36,41658 dB	35,08079 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,16908 dB	+ 0,20008 dB	+ 1,20283 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,16563 dB	+ 0,20642 dB	+ 1,67887 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,15225 dB	+ 0,19275 dB	+ 1,66708 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,11529 dB	+ 0,18783 dB	+ 1,64317 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,16563 dB	+ 0,20642 dB	+ 1,67887 dB

Tabelle A.12: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; Kodak-Bilddatenbank; ohne Frequenzgewichtung)

Anhang B

FSE mit Frequenzgewichtung

B.1 TECNICK PSNR-Mittelwerte

B.1.1 Zufällige Fehlermaske

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	35,71911 dB	35,17189 dB	34,48055 dB
Bivariater Gauß	− 0,11615 dB	+ 0,01110 dB	+ 0,22963 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,07646 dB	+ 0,25283 dB	+ 0,55852 dB
Mediananpassung	+ 0,03243 dB	+ 0,21037 dB	+ 0,49561 dB
Minesweeper	+ 0,10264 dB	+ 0,22578 dB	+ 0,58942 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,07625 dB	+ 0,24643 dB	+ 0,53179 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	35,75936 dB	35,20896 dB	34,51341 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,13213 dB	− 0,02278 dB	+ 0,19468 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,00972 dB	+ 0,18685 dB	+ 0,50209 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,00154 dB	+ 0,17728 dB	+ 0,47354 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,03650 dB	+ 0,15909 dB	+ 0,53257 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,00952 dB	+ 0,18064 dB	+ 0,47545 dB

Tabelle B.1: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4 , 8×8 und 12×12 (zufällige Fehlermaske; TECNICK-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	33,58922 dB	32,36183 dB	30,96551 dB
Bivariater Gauß	+ 0,38428 dB	+ 0,50133 dB	+ 0,45532 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,78672 dB	+ 0,96048 dB	+ 0,87265 dB
Mediananpassung	+ 0,62099 dB	+ 0,64258 dB	+ 0,49005 dB
Minesweeper	+ 1,14001 dB	+ 1,91338 dB	+ 2,79067 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,77622 dB	+ 1,04574 dB	+ 1,33054 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	33,60470 dB	32,35966 dB	30,93700 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,34265 dB	+ 0,45447 dB	+ 0,41617 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,74076 dB	+ 0,91814 dB	+ 0,84034 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,59957 dB	+ 0,61410 dB	+ 0,45608 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 1,09832 dB	+ 1,88564 dB	+ 2,79338 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,73151 dB	+ 1,01584 dB	+ 1,32408 dB

Tabelle B.2: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (zufällige Fehlermaske; TECNICK-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

B.1.2 Fehlermaske mit beschädigten Spalten

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	44,97761 dB	44,27464 dB	43,20380 dB
Bivariater Gauß	+ 0,43733 dB	+ 1,05539 dB	+ 1,58887 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,30362 dB	+ 0,66369 dB	+ 1,21787 dB
Mediananpassung	+ 0,17667 dB	+ 0,55551 dB	+ 1,11795 dB
Minesweeper	+ 0,57773 dB	+ 0,97849 dB	+ 1,76501 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,30306 dB	+ 0,65885 dB	+ 1,20878 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	45,14094 dB	44,45582 dB	43,39234 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,25766 dB	+ 0,86229 dB	+ 1,38547 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,11739 dB	+ 0,45781 dB	+ 1,00707 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,11733 dB	+ 0,45447 dB	+ 0,99262 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,39332 dB	+ 0,77250 dB	+ 1,54882 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,11687 dB	+ 0,45302 dB	+ 0,99830 dB

Tabelle B.3: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; TECNICK-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	41,92872 dB	39,98606 dB	38,11800 dB
Bivariater Gauß	+ 0,67969 dB	+ 0,11063 dB	+ 0,17636 dB
Schwerpunktanpassung	+ 1,02605 dB	+ 0,55020 dB	+ 0,49268 dB
Mediananpassung	+ 0,77063 dB	+ 0,20440 dB	+ 0,11314 dB
Minesweeper	+ 2,55913 dB	+ 3,69404 dB	+ 5,00126 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 1,50816 dB	+ 1,83864 dB	+ 1,85422 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	42,09863 dB	40,08604 dB	38,15861 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,63482 dB	+ 0,00969 dB	+ 0,13940 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,93150 dB	+ 0,44365 dB	+ 0,41440 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,83773 dB	+ 0,16259 dB	+ 0,05665 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 2,39466 dB	+ 3,57964 dB	+ 4,93664 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 1,35604 dB	+ 1,72910 dB	+ 1,78423 dB

Tabelle B.4: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; TECNICK-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

B.1.3 Fehlermaske mit beschädigten Blöcken

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	38,69339 dB	37,94091 dB	37,60685 dB
Bivariater Gauß	− 0,19483 dB	+ 0,04867 dB	− 0,25075 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,05741 dB	+ 0,09963 dB	+ 0,21960 dB
Mediananpassung	+ 0,03720 dB	+ 0,09604 dB	+ 0,18961 dB
Minesweeper	+ 0,10002 dB	+ 0,06010 dB	+ 0,18802 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,05756 dB	+ 0,09934 dB	+ 0,20789 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	38,96801 dB	38,19839 dB	37,84489 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,14134 dB	+ 0,05457 dB	− 0,20301 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,00736 dB	+ 0,07123 dB	+ 0,18848 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,00766 dB	+ 0,06964 dB	+ 0,18535 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,03955 dB	+ 0,02357 dB	+ 0,15716 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,00771 dB	+ 0,07094 dB	+ 0,17695 dB

Tabelle B.5: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; TECNICK-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	36,96341 dB	36,79979 dB	34,95118 dB
Bivariater Gauß	+ 0,12249 dB	+ 0,29696 dB	+ 1,59614 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,14977 dB	+ 0,31641 dB	+ 2,17873 dB
Mediananpassung	+ 0,12151 dB	+ 0,30138 dB	+ 2,15367 dB
Minesweeper	+ 0,10311 dB	+ 0,25467 dB	+ 2,16126 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,15287 dB	+ 0,28757 dB	+ 2,06454 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	37,22679 dB	37,07313 dB	35,10705 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,11520 dB	+ 0,27875 dB	+ 1,66265 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,11448 dB	+ 0,28147 dB	+ 2,24504 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,10771 dB	+ 0,27372 dB	+ 2,22457 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,04408 dB	+ 0,19981 dB	+ 2,22397 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,11714 dB	+ 0,25269 dB	+ 2,12921 dB

Tabelle B.6: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; TECNICK-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

B.2 Kodak PSNR-Mittelwerte

B.2.1 Zufällige Fehlermaske

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	33,15254 dB	32,75529 dB	32,24517 dB
Bivariater Gauß	+ 0,27383 dB	+ 0,36817 dB	+ 0,48963 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,33608 dB	+ 0,50258 dB	+ 0,67004 dB
Mediananpassung	+ 0,25442 dB	+ 0,42925 dB	+ 0,58971 dB
Minesweeper	+ 0,36492 dB	+ 0,49246 dB	+ 0,79875 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,33692 dB	+ 0,49825 dB	+ 0,66879 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	33,42317 dB	33,08508 dB	32,55288 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,09829 dB	− 0,02367 dB	+ 0,15125 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,00150 dB	+ 0,14317 dB	+ 0,35875 dB
Mediananpassung (o.R.)	− 0,00058 dB	+ 0,13496 dB	+ 0,35521 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,03633 dB	+ 0,12171 dB	+ 0,43896 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,00250 dB	+ 0,13921 dB	+ 0,36067 dB

Tabelle B.7: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (zufällige Fehlermaske; Kodak-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	31,56867 dB	30,90850 dB	30,08608 dB
Bivariater Gauß	+ 0,52517 dB	+ 0,50242 dB	+ 0,43175 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,82046 dB	+ 0,82467 dB	+ 0,70692 dB
Mediananpassung	+ 0,72150 dB	+ 0,65583 dB	+ 0,55558 dB
Minesweeper	+ 1,17913 dB	+ 1,62321 dB	+ 2,14904 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,85258 dB	+ 0,93200 dB	+ 1,19867 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	31,89554 dB	31,14238 dB	30,27713 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,26421 dB	+ 0,29808 dB	+ 0,31171 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,53408 dB	+ 0,62712 dB	+ 0,57637 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,47946 dB	+ 0,47996 dB	+ 0,41125 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,84971 dB	+ 1,34708 dB	+ 1,89242 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,57158 dB	+ 0,74021 dB	+ 1,01717 dB

Tabelle B.8: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (zufällige Fehlermaske; Kodak-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

B.2.2 Fehlermaske mit beschädigten Spalten

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	41,65796 dB	41,02917 dB	40,16933 dB
Bivariater Gauß	+ 0,12996 dB	+ 0,80683 dB	+ 1,37317 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,25138 dB	+ 0,59342 dB	+ 1,03075 dB
Mediananpassung	+ 0,13421 dB	+ 0,46500 dB	+ 0,91554 dB
Minesweeper	+ 0,47408 dB	+ 0,81204 dB	+ 1,39692 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,25138 dB	+ 0,59342 dB	+ 1,03075 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	41,93071 dB	41,29504 dB	40,40396 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,03954 dB	+ 0,68171 dB	+ 1,24829 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,10600 dB	+ 0,43246 dB	+ 0,88025 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,10617 dB	+ 0,43179 dB	+ 0,88175 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,34421 dB	+ 0,67358 dB	+ 1,26967 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,10600 dB	+ 0,43246 dB	+ 0,88025 dB

Tabelle B.9: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4 , 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; Kodak-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	39,11425 dB	37,99729 dB	36,65421 dB
Bivariater Gauß	+ 1,00704 dB	+ 0,22904 dB	+ 0,17075 dB
Schwerpunktanpassung	+ 1,03637 dB	+ 0,46721 dB	+ 0,40854 dB
Mediananpassung	+ 0,92687 dB	+ 0,34725 dB	+ 0,40200 dB
Minesweeper	+ 2,05033 dB	+ 2,51713 dB	+ 3,38392 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 1,35883 dB	+ 1,34246 dB	+ 1,50342 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	39,34312 dB	38,04675 dB	36,73975 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,82438 dB	+ 0,14862 dB	+ 0,14621 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,84767 dB	+ 0,37654 dB	+ 0,31212 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,84375 dB	+ 0,36158 dB	+ 0,31504 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 1,89833 dB	+ 2,49138 dB	+ 3,28317 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 1,19758 dB	+ 1,31471 dB	+ 1,43813 dB

Tabelle B.10: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit einem Pixel starken, beschädigten Spalten; Kodak-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

B.2.3 Fehlermaske mit beschädigten Blöcken

Verfahren	04×04	08×08	12×12
Ohne Anpassung	36,86446 dB	36,38921 dB	36,15263 dB
Bivariater Gauß	+ 0,35371 dB	+ 0,52975 dB	+ 0,23958 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,49021 dB	+ 0,55254 dB	+ 0,64117 dB
Mediananpassung	+ 0,52233 dB	+ 0,55925 dB	+ 0,63521 dB
Minesweeper	+ 0,39329 dB	+ 0,49992 dB	+ 0,58921 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,49021 dB	+ 0,55254 dB	+ 0,64117 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	37,86929 dB	37,36908 dB	37,18113 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	− 0,10458 dB	+ 0,06021 dB	− 0,05371 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,00183 dB	+ 0,05733 dB	+ 0,17604 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,00254 dB	+ 0,05750 dB	+ 0,17321 dB
Minesweeper (o.R.)	− 0,05179 dB	− 0,01833 dB	+ 0,15679 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,00183 dB	+ 0,05733 dB	+ 0,17604 dB

Tabelle B.11: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 4×4, 8×8 und 12×12 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; Kodak-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Verfahren	16×16	20×20	24×24
Ohne Anpassung	35,65458 dB	35,42588 dB	34,31321 dB
Bivariater Gauß	+ 0,39700 dB	+ 0,57458 dB	+ 1,35304 dB
Schwerpunktanpassung	+ 0,43721 dB	+ 0,59621 dB	+ 1,79742 dB
Mediananpassung	+ 0,40700 dB	+ 0,57804 dB	+ 1,78667 dB
Minesweeper	+ 0,45871 dB	+ 0,61779 dB	+ 1,80558 dB
Mehrf. Schwerpunktanp.	+ 0,43721 dB	+ 0,59621 dB	+ 1,79742 dB
Ohne Anpassung (o.R.)	36,66254 dB	36,61354 dB	35,24567 dB
Bivariater Gauß (o.R.)	+ 0,14471 dB	+ 0,17658 dB	+ 1,22996 dB
Schwerpunktanpassung (o.R.)	+ 0,14171 dB	+ 0,18171 dB	+ 1,65750 dB
Mediananpassung (o.R.)	+ 0,13267 dB	+ 0,16733 dB	+ 1,64617 dB
Minesweeper (o.R.)	+ 0,11292 dB	+ 0,13021 dB	+ 1,63508 dB
Mehrf. Schwerpunktanp. (o.R.)	+ 0,14171 dB	+ 0,18171 dB	+ 1,65750 dB

Tabelle B.12: Durchschnittliche PSNR-Mittelwerte der untersuchten Gewichtsfunktionen mit den Ersetzungsgebietsgrößen 16×16, 20×20 und 24×24 (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken der Größe 16×16; Kodak-Bilddatenbank; mit Frequenzgewichtung)

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufbau des Extrapolationsgebiets $\mathcal{L} = \mathcal{A} \cup \mathcal{R} \cup \mathcal{B}_i \cup \mathcal{B}_o$	4
2.2	Gewichtsfunktion auf einem 32×32 -Extrapolationsgebiet	5
2.3	Verwendeten Fehlermasken für die Auswertung der Verfahren	6
2.4	Schwerpunktanpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet	7
2.5	Mehrfache Schwerpunktanpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet	8
2.6	Bivariate Gaußanpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet	10
2.7	Mediananpassung auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet	11
2.8	Die vier möglichen Distanzberechnungen des MATLAB <i>bwdist()</i> Befehl	12
2.9	Minesweeper Verfahren auf einem 32×32 Ersetzungsgebiet	14
2.10	Verwendete Konfiguration der FSE in <i>get_fse_cfg_struct.m</i>	15
2.11	Mittlere PSNR Gewinne bei verschiedenen Ersetzungsgebietsgrößen (zufällige Fehlermaske, TECNICK-Bilddatenbank)	16
2.12	Mittlere PSNR Gewinne bei verschiedenen Ersetzungsgebietsgrößen (Fehlermaske mit beschädigten Spalten, TECNICK-Bilddatenbank)	17
2.13	Mittlere PSNR Gewinne bei verschiedenen Ersetzungsgebietsgrößen (Fehlermaske mit beschädigten Blöcken, TECNICK-Bilddatenbank)	18

Tabellenverzeichnis

A.1	PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, TECNICK-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	22
A.2	PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, TECNICK-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil II	23
A.3	PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	24
A.4	PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil II	25
A.5	PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	26
A.6	PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil II	27
A.7	PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, Kodak-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	28
A.8	PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, Kodak-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil II	29
A.9	PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	30
A.10	PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil II	31

A.11 PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	32
A.12 PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und ohne Frequenzgewichtung, Teil I	33
B.1 PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, TECNICK-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	36
B.2 PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, TECNICK-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil II	37
B.3 PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	38
B.4 PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil II	39
B.5 PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	40
B.6 PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, TECNICK-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil II	41
B.7 PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, Kodak-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	42
B.8 PSNR-Gewinne bei zufälligen Fehlern, Kodak-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil II	43
B.9 PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	44
B.10 PSNR-Gewinne bei spaltenförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil II	45
B.11 PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	46
B.12 PSNR-Gewinne bei blockförmigen Fehlern, Kodak-Datenbank und mit Frequenzgewichtung, Teil I	47

Literaturverzeichnis

- [Gen14] GENSER, Nils: *Erweiterung der Frequenzselektiven Extrapolation für die Füllung beliebig geformter Fehlstellen in Bildern*, FAU Erlangen-Nürnberg, Bachelorarbeit, 2014
- [Jä12] JÄHNE, Bernd: *Digitale Bildverarbeitung und Bildgewinnung*. Berlin : Springer Vieweg, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04952-1>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04952-1>. – ISBN 978-3-642-04951-4
- [SJS⁺15] SCHNURRER, W. ; JONSCHER, M. ; SEILER, J. ; RICHTER, T. ; BÄTZ, M. ; KAUP, A.: Centroid Adapted Frequency Selective Extrapolation for Reconstruction of Lost Image Areas. In: *IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP)*. Singapore, December 2015, S. 4
- [SJSK15] SEILER, J. ; JONSCHER, M. ; SCHÖBERL, M. ; KAUP, A.: Resampling Images to a Regular Grid from a Non-Regular Subset of Pixel Positions Using Frequency Selective Reconstruction. In: *IEEE Transactions on Image Processing* 24 (2015), November, Nr. 11, S. 4540–4555. <http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2015.2463084>. – DOI 10.1109/TIP.2015.2463084
- [SK10] SEILER, J. ; KAUP, A.: Complex-Valued Frequency Selective Extrapolation for Fast Image and Video Signal Extrapolation. In: *IEEE Signal Processing Letters* 17 (2010), November, Nr. 11, S. 949 – 952. <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2010.2078504>. – DOI 10.1109/LSP.2010.2078504

- [WSBL03] WIEGAND, Thomas ; SULLIVAN, Gary J. ; BJØNTEGAARD, Gisle ; LUTHRA, Ajay: Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard. In: *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY* 13 (2003), Juli