

Technische Universität Berlin
Fakultät IV Electrical Engineering and Computer Science
Institut für Technische Informatik und Mikroelektronik
Fachgebiet Computational Psychology

Bachelorarbeit

Kontrolle des Kontrasts bei Frequenzmanipulationen in komplexen Bildern: Evaluation eines Algorithmus

Tim Philipp Henze
t.henze@campus.tu-berlin.de

B.Sc. Technische Informatik
Matrikelnr. 400228

Berlin, 26. November 2024

Erstgutachterin: Prof. Dr. Marianne Maertens

marianne.maertens@tu-berlin.de

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Guillermo Gallego

guillermo.gallego@tu-berlin.de

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig ohne Hilfe Dritter und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen die den benutzten Quellen und Hilfsmitteln unverändert oder sinngemäß entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Sofern generative KI-Tools verwendet wurden, habe ich Produktnamen, Hersteller, die jeweils verwendete Softwareversion und die jeweiligen Einsatzzwecke (z.B. sprachliche Überprüfung und Verbesserung der Texte, systematische Recherche) benannt. Ich verantworte die Auswahl, die Übernahme und sämtliche Ergebnisse des von mir verwendeten KI-generierten Outputs vollumfänglich selbst.

Die Satzung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis an der TU Berlin vom 8. März 2017. https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10000060/FSC/Promotion__Habilitation/Dokumente/Grundsätze_gute_wissenschaftliche_Praxis_2017.pdf habe ich zur Kenntnis genommen.

Ich erkläre weiterhin, dass ich die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe.

Berlin, den 26. November 2024

.....
Unterschrift

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Bachelorarbeit evaluiert die Version 3 des Algorithmus von Krause (2023). Der Algorithmus Kontrolliert den Bildkontrast mit Frequenzmanipulationen in komplexen Bildern. Es wird überprüft, ob der Algorithmus allgemein für Bilder funktioniert. Der Fokus ist bei der Anpassungsgenauigkeit des Ergebniskontrasts in Abhängigkeit vom Originalkontrast, der Bildauflösung und den Manipulationsparametern. Die Bilddatensätzen von Haun und Peli (2013) sowie Place365 (Zhou et al., 2017) wurden mit verschiedenen Parametern getestet, um verschiedene Kategorien mit den Methoden zu überprüfen.

Es wurde bewiesen, dass der Originalkontrast die Anpassungsgenauigkeit signifikant beeinflusst. Eine geringe Manipulation des Hauptbandes führt zu besseren Anpassungen an den Originalkontrast, durch den Algorithmus. Es wurde festgestellt, dass Homogene Bilder besser funktionieren. Außerdem konnte festgestellt werden, dass niedrigere Auflösungen aufgrund der Kontrastverringerung und Verringerung des Rauschens auf hohen Frequenzen besser für den Algorithmus funktionieren.

Der Algorithmus funktioniert auch für einen weiteren Bilddatensatz. Allerdings muss es noch einen Faktor oder ein gemeinsames Wirken der untersuchten Parameter geben, denn keine Aussage beschreibt das Resultat immer Korrekt, es gibt eine Varianz.

Allerdings hat der Algorithmus Varianzen, die auf das Zusammenspiel der untersuchten Parameter oder einen weiteren Einfluss hindeuten. Kein Parameter beschreibt die Resultate vollständig.

Abstract

This bachelor thesis evaluates version 3 of the algorithm by Krause (2023). The algorithm controls image contrast using frequency manipulations in complex images. The study examines whether the algorithm works universally for different types of images. The focus lies on the accuracy of the result contrast adjustments, depending on the original contrast, image resolution, and manipulation parameters. The image datasets by Haun and Peli (2013) and Place365 (Zhou et al., 2017) were tested with various parameters to analyze different categories using the proposed methods. It was demonstrated that the original contrast significantly influences the adjustment accuracy. The minimal manipulation of the primary frequency band leads to better alignment with the original contrast through the algorithm. The study found that homogeneous images yield better results. Furthermore, lower resolutions proved more suitable for the algorithm due to the reduction in contrast and the minimization of noise in higher frequencies.

The algorithm also works for an additional image dataset. However, there must be another factor or the combined effect of the examined parameters, as no single condition consistently explains the results. Variability in the algorithms outcomes suggests an interplay of the studied parameters or an additional influence. No single parameter fully explains the results.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Kontrast	1
1.2 Ortsfrequenz	3
1.3 Kontrastempfindlichkeitsfunktion	4
1.4 Kontrastkonstanz	5
1.5 Perceived contrast in complex images - Haun und Peli (2013)	6
1.6 Frequenzmanipulation komplexer Bilder bei gleichbleibendem Bildkontrast - Krause (2023)	7
1.7 Ziel der Bachelorarbeit	8
1.8 Hypothese	8
2 Ansätze und Methoden	8
2.1 Bilddatensatz	9
2.2 Algorithmus und Eingangsparameter	9
2.3 Methoden zur Überprüfung	11
2.4 Kategorisierung des Bilddatensatzes	13
3 Ausführen des Algorithmus	14
3.1 Darstellung der Ergebnisse und Interpretation	15
3.1.1 Konsistenz	15
3.1.2 Konsistenz Interpretation	15
3.1.3 RMS und RMSnorm	15
3.1.4 RMS und RMSnorm Interpretation	16
3.1.5 Auflösung	16
3.1.6 Auflösung Interpretation	21
3.1.7 Manipulationen	22
3.1.8 Manipulationen Interpretation	28
3.1.9 Originalkontrast Einfluss	29
3.1.10 Originalkontrast Interpretation	33
3.1.11 Kategorien	36
3.1.12 Interpretation Kategorien	44
4 Zusammenfassung	45
5 Diskussion	45
Literatur	47

Abbildungsverzeichnis

1	Nebel (Eigene Darstellung).	1
2	Kontrast (Eigene Darstellung).	2
3	RMS Bildkontrast, aus dem Bilddatenset von Haun und Peli (2013)	2
4	Ortsfrequenz (Eigene Darstellung).	4
5	Ortsfrequenz mit Kontrast. Modifiziert nach Stevens (2015, S. 876)	5
6	CSF. Modifiziert nach Stevens (2015, S. 876)	5
7	Kontrastkonstanz. Modifiziert nach Georgeson und Sullivan (1975, S. 630). . .	6
8	Stimuli von Haun und Peli (2013, S. 3)	7
9	Algorithmus Beispielbilder. Modifiziert nach (Haun und Peli, 2013)	8
10	RMS Kontrast über Frequenzbänder mit Manipulation (Krause, 2023, S. 13). .	12
11	Kategorien (Eigene Darstellung).	14
12	RMS und RMSnorm Vergleich (Eigene Darstellung).	16
13	Auflösungen RMS 8dB (Eigene Darstellung).	18
14	Auflösungen RMS -8dB (Eigene Darstellung).	19
15	Auflösungen Verbesserung (Eigene Darstellung).	21
16	dB Manipulationen RMS positiv (Eigene Darstellung).	24
17	dB Manipulationen RMS negativ (Eigene Darstellung).	25
18	dB Verbesserungen (Eigene Darstellung)	27
19	dB Verbesserungen Place (Eigene Darstellung).	27
20	Vergleich Originalkontrast Ergebniskontrast H&P (Eigene Darstellung). . . .	29
21	Absolute Kontrastdifferenz H&P (Eigene Darstellung).	31
22	Vergleich Originalkontrast Ergebniskontrast Place (Eigene Darstellung). . .	32
23	Absolute Kontrastdifferenz Place (Eigene Darstellung).	33
24	Kategorien RMS (Eigene Darstellung).	39
25	Kategorien RMSnorm (Eigene Darstellung).	42
26	Kategorien Place (Eigene Darstellung).	43

Tabellenverzeichnis

1	Mittelwerte der absoluten Auflösungsverbesserung.	21
2	Median der absoluten Auflösungsverbesserung.	21
3	Mittelwert prozentuale Verbesserung mit dB.	28
4	Gesamt Analyse für Originalkontrast und Ergebniskontrast	35
5	Kategorien RMS H&P 768px 8dB	37
6	Kategorien RMS H&P 768px -8dB	38
7	Kategorien RMSnorm H&P 768px 8dB	40
8	Kategorien RMSnorm H&P 768px -8dB	41
9	5 besten und schlechtesten Kategorien RMS Place	44
10	5 besten und schlechtesten Kategorien RMSnorm Place	44

Gleichungsverzeichnis

1	Michelson-Kontrast	1
2	RMS	3
3	RMSnorm	3
4	Modifikationssumme	10
6	Verbesserung in %	20

1 Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit handelt über die Frequenzmanipulation in komplexen Bildern. Ein Algorithmus wird dafür evaluiert, wie dieser den RMS Bildkontrast nach einer bestimmten Frequenzbandmanipulation angleicht.

Nebel ist ein Beispiel für den wahrgenommenen visuellen Kontrast. Mit zunehmender Dichte verringert dieser den wahrgenommenen Kontrast. Durch Nebel wird es schwieriger, die Umgebung wahrzunehmen. In der Abbildung 1 lassen sich im oberen Teil Objekte größtenteils nicht wahrnehmen.



Abbildung 1: Nebel. Nebel erschwert die Wahrnehmung der Umgebung. Eigene Darstellung.

Objekte werden schwerer erkannt bei schlechtem Wetter wie bei Nebel. Kontrastwahrnehmung ist demnach relevant beim Autofahren. Kontrast ist daher in der visuellen Wahrnehmung ein bedeutsames Thema.

1.1 Kontrast

Kontrast in einem Bild bezeichnet die Intensität zwischen hellen und dunklen Bereichen. Der Kontrast wird zum Beispiel mit dem Michelson-Kontrast quantifiziert. L bezeichnet die Leuchtdichte oder Luminanz und ist das reflektierten Licht einer Oberfläche (Betz, 2016).

$$Kontrast = \frac{(L_{max} - L_{min})}{(L_{max} + L_{min})} \quad (1)$$

In Abbildung 2 wird der Kontrast dargestellt zwischen der Leuchtdichte der schwarzen Fläche (L_{min}) und der weißen Fläche (L_{max}). Die Kante im Bild (b) kennzeichnet einen sprunghaften Wechsel der Leuchtdichte, wie in (a) zu erkennen ist. Außer an der Kante ist die Leuchtdichte konstant.

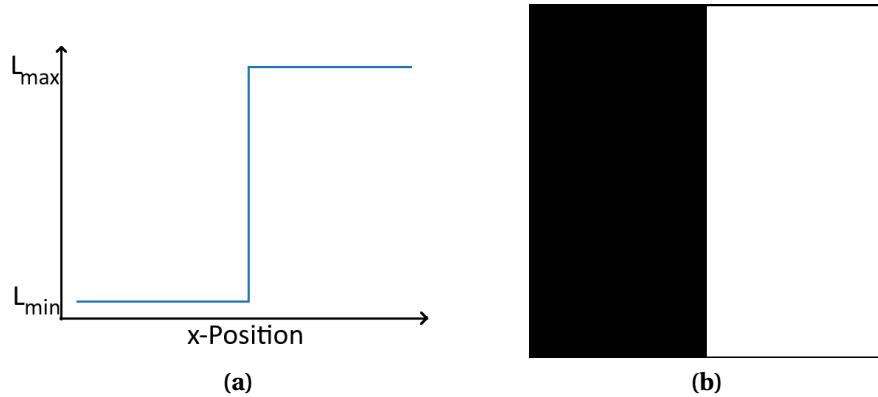


Abbildung 2: Kontrast. (a) beschreibt die Leuchtdichte von L_{min} zu L_{max} . (b) visualisiert (a) mit einem Kontrast von 1. Eigene Darstellung.

In einem Sinuswellengitter wie in Abbildung 4 variiert die Leuchtdichte zwischen schwarz und weiß. Der Kontrast ist der Unterschied zwischen den dunklen und hellen Gitterstreifen. Die Kante der Leuchtdichte in Abbildung 2 erzeugt einen starken visuellen Kontrast. Die Leuchtdichte im Sinuswellengitter mit der weniger plötzlichen Leuchtdichtenänderung erzeugt einen schwächeren visuellen Kontrast.

Der Kontrast in komplexen Bildern wird in dieser Arbeit mit dem Root Mean Square (RMS) Bildkontrast berechnet (Peli, 1990). Der RMS Bildkontrast ist die Standardabweichung der Pixelintensitäten. Ein hoher RMS Bildkontrast deutet auf ein heterogenes Bild mit vielen Details. Der hohe RMS Bildkontrast bezeichnet deutlichere Leuchtdichtenunterschiede zwischen benachbarten Pixeln. Ein geringer deutet hingegen auf ein eher homogenes Bild, siehe Abbildung 3.



Abbildung 3: RMS Bildkontrast. (a) hat einen RMS Bildkontrast von 0,26. (b) hat einen RMS Bildkontrast von 0,13. (a) und (b) sind Testbilder von Haun und Peli (2013).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

In einem Graustufenbild ist x_i der normalisierte Graustufenwert eines Pixels zwischen 0 und 1. Eine erweiterte Variante ist der normalisierte RMS (RMSnorm) Bildkontrast. Der RMS Bildkontrast wird durch den Mittelwert der Leuchtdichte geteilt. Der RMSnorm Bildkontrast ist unabhängig von der absoluten Leuchtdichte. Bilder mit unterschiedlichen Leuchtdichten sind besser vergleichbar. Ein hoher RMSnorm Bildkontrast deutet auf deutliche Leuchtdichten Unterschiede in einem Bild mit vielen Details.

$$RMSnorm = \frac{RMS}{\bar{x}} \quad (3)$$

1.2 Ortsfrequenz

Die Ortsfrequenz (engl. spatial frequency) ist eine Maßeinheit und bezeichnet die Periodenlänge von periodischen Signalen. Sie wird als Zyklen pro Grad Sehwinkel (cpd) angegeben. In Abbildung 4 (a) und (b) sind 2 Zyklen abgebildet. Der Sehwinkel bezeichnet die betrachtete Fläche eines visuellen Musters und hängt von der Entfernung ab. Die Ortsfrequenz ist abhängig von dem Sehwinkel, unter dem sie betrachtet wird. Wenn Abbildung 5 (b) x cpd hat, dann hat (c) $2 \cdot x$ cpd.

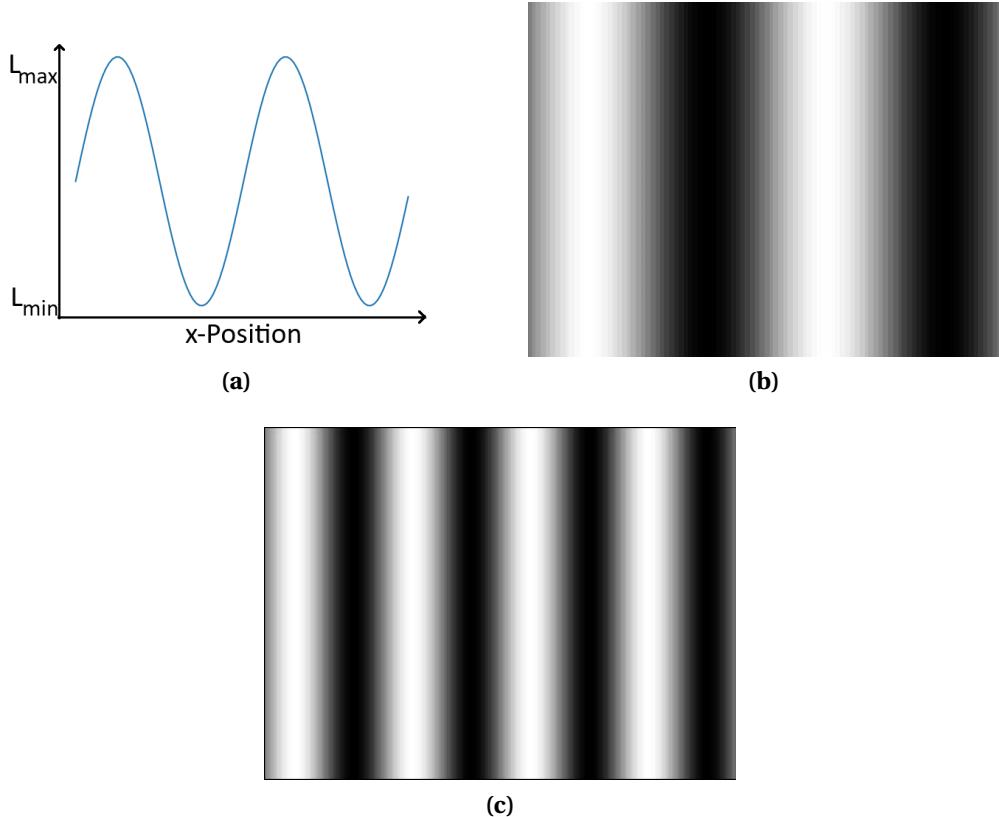


Abbildung 4: Ortsfrequenz. (a) beschreibt eine Sinusfunktion mit L_{min} als niedrigste Leuchtdichte und L_{max} als höchste Leuchtdichte. (b) visualisiert das Sinuswellengitters von (a) mit einem Kontrast von 1. (c) ist die doppelte Ortsfrequenz von (b). (Eigene Darstellung)

1.3 Kontrastempfindlichkeitsfunktion

Die Kontrastempfindlichkeit variiert mit der Ortsfrequenz eines Reizmusters. In Abbildung 5 nimmt die Kontrastempfindlichkeit für den geringen Kontrast unterschiedlich ab. Unterhalb der Kontrastempfindlichkeit werden Kontraste nicht wahrgenommen. Untersuchungen mit Versuchspersonen haben gezeigt, dass die Kontrastempfindlichkeit von den Ortsfrequenzen beeinflusst wird (Campbell und Robson, 1968).

Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion (CSF) charakterisiert die Empfindlichkeit für Kontraste an der Wahrnehmungsschwelle. In Abbildung 5 hängt der wahrgenommene Kontrast nicht nur von dem relativen Unterschied zwischen dem Bildkontrast ab. Der wahrgenommene Kontrast variiert auch mit der Ortsfrequenz. Die Ortsfrequenz steigt in positiver Richtung der x-Achse.

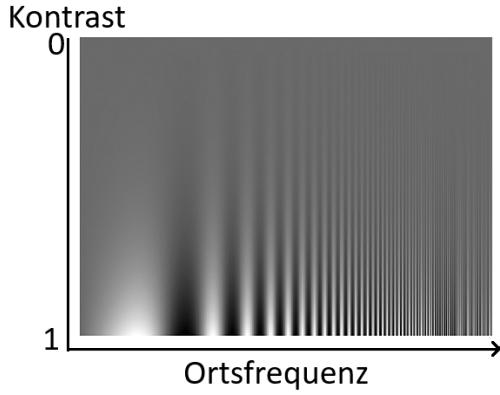


Abbildung 5: Ortsfrequenz mit Kontrast. Ortsfrequenz im Verhältnis zum Kontrast. Modifiziert nach Stevens (2015, S. 876)

Die CSF wird mit Versuchspersonen und Reizmustern wie Sinusgittern bestimmt (Haun und Peli, 2013). In der Abbildung 6 ist ein Verlauf der CSF dargestellt. Komplexe Bilder bestehen häufig aus unterschiedlichen Kontrasten und Ortsfrequenzen. Mit der CSF kann festgestellt werden, welche Kontraste und Ortsfrequenzen in einem komplexen Bild besser wahrgenommen werden. Die stärkste Kontrastempfindlichkeit ist meistens bei 4-6 cpd (Campbell und Robson, 1968; Georgeson und Sullivan, 1975; Bex und Makous, 2002).

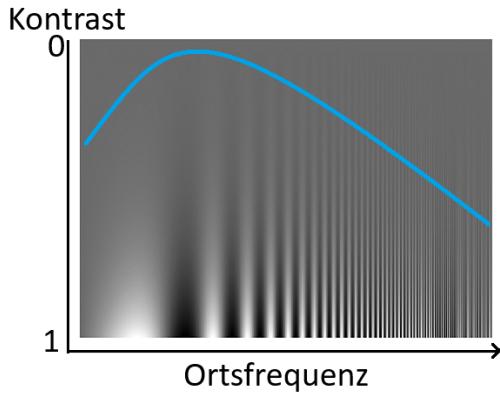


Abbildung 6: CSF. Die Kontrastempfindlichkeitsfunktion (CSF) einer Person ist als blaue Linie dargestellt. Modifiziert nach Stevens (2015, S. 876)

1.4 Kontrastkonstanz

Die Kontrastkonstanz beschreibt die Kontrastwahrnehmung von überschwelligen Kontrasten mit variierenden Ortsfrequenzen. Die Kontrastkonstanz ist interessant, weil der überschwellig wahrgenommene Kontrast unabhängig von der CSF ist. Kontraste über der Wahrnehmungsschwelle werden wahrgenommen als gleichbleibender Kontrast, trotz variierender Ortsfrequenz (Georgeson und Sullivan, 1975).

Die Kontrastempfindlichkeit hängt mit der Ortsfrequenz (CSF) zusammen, wie die Abbildung 7 zeigt. Die Abbildung zeigt auch wie der überschwellig wahrgenommenen Kontrast

mit der Ortsfrequenz (Kontrastkonstanz) zusammenhängt. In Abbildung 7 wurden die Daten bestimmt mit einfachen Sinusgittern.

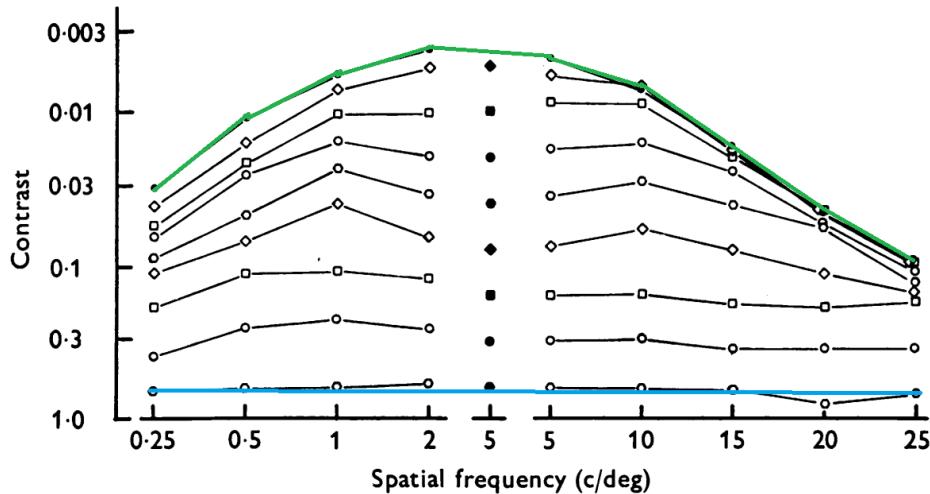


Abbildung 7: Kontrastkonstanz. Die Kontrastkonstanz ist erkennbar als blauen Linie und die CSF als obere grüne Linie. Modifiziert nach Georgeson und Sullivan (1975, S. 630).

1.5 Perceived contrast in complex images - Haun und Peli (2013)

Haun und Peli (2013) untersuchen den wahrgenommenen Kontrast in komplexen Bildern. Sie betrachteten, wie der wahrgenommene Kontrast in komplexen Bildern von der Ortsfrequenz beeinflusst wird. Dafür wird überprüft, ob Kontrastkonstanz auch in natürlichen Bildern gilt. Durch ein Experiment wurde der wahrgenommene Kontrast der Versuchspersonen für komplexe Bilder bestimmt.

Es werden verschiedene Ortsfrequenzbänder variiert und miteinander verglichen. Mit Kosinusfiltern werden Bilder in einzelne Frequenzbereiche zerlegt, manipuliert und anschließend zusammengefügt. Aufgrund von manipulierten Frequenzbändern verändert sich der RMS Bildkontrast zum Originalbild. Ein manipuliertes Bild ist ein Bild mit einem oder mehreren veränderten Frequenzbändern. Manipulierte Bilder wurden verglichen mit unterschiedlichen RMS Kontrasten. Abbildung 8 zeigt die manipulierten Bilder innerhalb des grünen Rechtecks, gespiegelt an der grauen vertikalen Mittellinie. Die Versuchspersonen wählten aus den Stimuli das Bild mit dem größeren wahrgenommenen Kontrast (Abbildung 8). Die gegenübergestellten Bilder haben die gleichen Manipulationen, aber die Reihenfolge der Manipulationen ist unterschiedlich. Der veränderte RMS Bildkontrast der Stimuli lässt offen, ob sich das Ergebnis verändert, wenn der RMS Bildkontrast gleich bleibt.

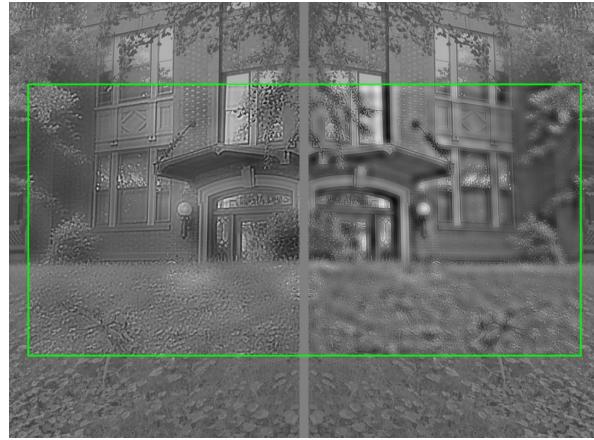


Abbildung 8: Stimuli von Haun und Peli (2013, S. 3).

1.6 Frequenzmanipulation komplexer Bilder bei gleichbleibendem Bildkontrast - Krause (2023)

Krause (2023) bezieht sich in seiner Arbeit auf das Problem des objektiv unterschiedlichen RMS Bildkontrasts der verglichenen Bilder aus der Studie von Haun und Peli (2013). Existiert ein Algorithmus, um den RMS Bildkontrast eines frequenzveränderten Bildes an das Original anzugeleichen? „Zunächst soll ein Verfahren gefunden werden, bei dem ein Frequenzband manipuliert, aber gleichzeitig der Kontrast kontrolliert werden kann.“ (Krause, 2023). Um eine weitere Kontrollvariable zu den Aussagen von Haun und Peli (2013) hinzuzufügen, entwickelte Krause seinen Algorithmus.

In der Bachelorarbeit von Krause (2023) wurden Algorithmen erstellt, um Stimuli zu erzeugen. Der letzte definierte Algorithmus (v3) beinhaltet die Funktionen der anderen beiden. Es wird ein einzelnes Frequenzband gezielt manipuliert und anschließend der Algorithmus angewendet. Der RMS Bildkontrast des manipulierten Bildes entspricht idealerweise genau dem RMS Bildkontrast des Originalbildes. Für Frequenzbereiche bis 128 cpp (cycles per picture) wird die dB Manipulation angewendet und anschließend angeglichen an das Originalbild. Der Algorithmus verändert dafür die anderen Frequenzbereiche. In Abbildung 9 ist (c) das Ergebnis des Algorithmus für das Originalbild (a). Die maximale Anzahl der manipulierten Frequenzbänder ist in (c) nicht zusätzlich eingeschränkt.

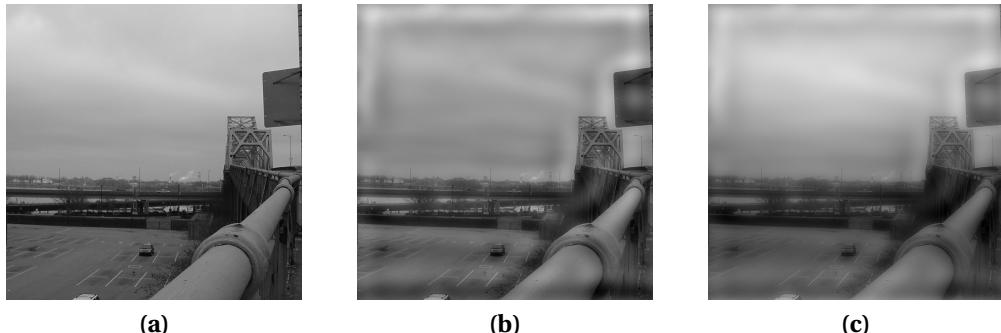


Abbildung 9: Algorithmus Beispielbilder. (a) Originalbild (b) Frequenzband 8 cpp mit +8 db (c) Resultat 8 cpp mit +8 db des Algorithmus von Krause (2023). (a) ist ein Tesbild von Haun und Peli (2013). Modifiziert nach Haun und Peli (2013)

Es wurde für die Erstellung der Stimuli in der Bachelorarbeit der Bilddatensatz von Haun und Peli (2013) verwendet. Funktioniert die Angleichung des Bildkontrastes auch mit anderen Bildern? Liefert der Algorithmus von Krause (2023) immer eine gute Annäherung des manipulierten Bildes an das Originalbild? Ist das Ergebnis gleichermaßen gut für alle Frequenzbandänderungen?

1.7 Ziel der Bachelorarbeit

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, zu prüfen, ob der Algorithmus von Krause (2023) auch für neue Testbilder funktioniert. Ein weiteres Ziel lautet herauszufinden, welche Bilder am besten mit dem Algorithmus funktionieren.

1.8 Hypothese

Funktioniert der Algorithmus von Krause (2023) allgemein für Bilder, dann minimiert er auch bei einem neuen Bilddatensatz die Unterschiede im RMS Bildkontrast zwischen original Bild und manipuliertem Bild. Wenn ein Originalbild einen niedrigen RMS Kontrast hat und der Algorithmus besser dafür funktioniert, dann ist das Ergebnis des Algorithmus immer näher am RMS des Originalbildes als bei einem höheren RMS Kontrast.

2 Ansätze und Methoden

In diesem Kapitel werden die Ansätze und Methoden beschrieben. Die verwendeten Bilddatensätze werden vorgestellt. Die Eingangsparameter des Algorithmus und die Einschränkungen werden beschrieben.

Die verwendeten Methoden werden beschrieben. Der Algorithmus wird mit unterschiedlichen Eingabeparametern untersucht. Eine Konsistenzprüfung analysiert die Stabilität der Ergebnisse. Eine Analyse untersucht den Originalkontrast und den Ergebniskontrast. Der Einfluss unterschiedlicher Auflösungen wird getestet. Der Einfluss verschiedener Manipulationsparameter wird auch überprüft.

2.1 Bilddatensatz

Der gesamte Bilddatensatz wird benutzt von Haun und Peli (2013) mit 516 Bildern. Krause (2023) hat den Algorithmus angewendet für 100 von den 516 Bildern.

Der alternative Bilddatensatz soll ebenfalls natürliche, komplexe Bilder beinhalten. Der Bilddatensatz soll ähnlich groß oder größer als der von Haun und Peli (2013) sein. Der Bilddatensatz soll ein quadratisches Bildformat aufweisen und nicht durch Stauchung oder Streckung der Szenen verzerrt sein. Der Bilddatensatz verwendet natürliche Bilder und zeigt andere Szenen als die von Haun und Peli (2013), um Aussagen über andere Szenen treffen zu können. Er darf keine zu geringe Auflösung haben, damit Details erkennbar sind. Der Bilddatensatz hat auch pro Szene mehr als zehn Bilder, um eine ausreichende Variabilität zu gewährleisten, präzise Analysen zu ermöglichen und statistisch robustere Ergebnisse zu erzielen.

Der zweite Bilddatensatz ist Places365-Standard, Small images (256×256) with easy directory structure (Zhou et al., 2017). Dieser Bilddatensatz hat 365 verschiedene natürliche Szenen. Die Validierungsbilder umfassen je 100 Bilder pro Szene und insgesamt 36.500 Bilder. Der Trainingssatz enthält 1.825.000 Bilder. Aufgrund der Rechenzeit werden nur die Validierungsbilder verwendet. Der Bilddatensatz ist nicht in Graustufen und hat ein Quadratisches Bildformat. Ein Nachteil des Bilddatensatzes ist, dass die Bilder gestaucht sind. Die Auflösung des Bilddatensatz ist 256px. Dieser wurde für die Szenenerkennung erstellt. Dadurch eignet sich dieser für Aussagen über den Einfluss verschiedener Szenen.

2.2 Algorithmus und Eingangsparameter

Die Bachelorarbeit konzentriert sich auf Version 3 des Algorithmus, weil dieser den Ergebnissen der relativen Kontrastangleichung der Versionen 1 und 2 nahekommt. Version 3 reduziert die Modifikationssumme durch einen Kostennutzenansatz. Die Modifikationssumme beschreibt die Anzahl der angewandten Modifikationen für den Ergebniskontrast. „*Die Ergebnisse zeigen, dass Version 3 des Algorithmus eine erhebliche Verbesserung in Bezug auf die Manipulationssumme im Vergleich zu Version 1 und Version 2 erreichte, während die Kontrastangleichung weitgehend auf einem ähnlichen Niveau blieb.*“ (Krause, 2023, S. 40)

Version 1 iteriert über die Frequenzbänder und passt diese bei Verbesserungen an aber berücksichtigt dabei nicht die Manipulationssumme. Version 2 macht Anpassungen rückgängig ohne die Kontrastangleichung zu verschlechtern. Version 3 hat einen Kosten-Nutzen-Ansatz. Ein Ziel der Bachelorarbeit ist es, eine möglichst präzise Annäherung an den Originalkontrast zu erreichen. Der Parameter für das Kostengewicht (`cost_weight`) auf 0 gesetzt, um die Manipulationssumme nicht einzuschränken und die Angleichung zu verbessern. In diesem Fall verhält sich die Version 3 ähnlich wie die Version 1.

Die maximal möglichen Modifikationen der Frequenzbänder werden nicht verändert. Die maximal positive Modifikation ist $AM - 1$. Die maximal negative Modifikation ist $AM + 1$. Die maximale Modifikationssumme der Frequenzbänder ist:

$$\text{Max Modifikation} = (2 \cdot (AM - 1) + 1)^{(AM-1)} \quad (4)$$

AM bezeichnet die anzuwendende Manipulation. Die Manipulation bezieht sich auf die Veränderung des Hauptfrequenzbandes. Das Hauptfrequenzband ist die Modifikation eines Frequenzbandes. Das Hauptfrequenzband ist die Anzupassende Manipulation durch den Algorithmus. Die Modifikation bezieht sich auf alle anderen Frequenzbänder.

Die Ergebnisse werden überprüft ohne inhaltliche Anpassung des Algorithmus, abgesehen von der Variable `image_size` in `run_frequency_manipulation.py`. Die Variable `image_size` ist die Bildauflösung. Eine Einschränkung für die genutzten Bilder ist die Auflösung. Ein nicht quadratisches Bildformat wird auf `image_size × image_size` Pixel skaliert. Dadurch verändert sich das Originalbild. Ein nicht Graustufenbild wird auch in ein Graustufenbild umgewandelt. Farbbilder werden in Graustufenbilder konvertiert.

Die theoretische Laufzeit des Algorithmus hängt von der Anzahl der Bilder, der quadratischen Bildauflösung und der Manipulation ab. Die Laufzeit wird mit der Big \mathcal{O} Notation berechnet.

1. **Schleife über die Bilder:** Der Algorithmus iteriert über n Bilder. Das ergibt eine lineare Laufzeit von $\mathcal{O}(n)$.
2. **Schleife über die Frequenzbänder:** Acht Frequenzbänder werden pro Bild analysiert. Die Laufzeit bleibt konstant.
3. **Fourier-Transformation und Filterung:** Die Fourier-Transformation benötigt für Bilder mit der Auflösung `image_size × image_size` eine Laufzeit von $\mathcal{O}(\text{image_size}^2 \log(\text{image_size}))$. Die Berechnung wird wiederholt für alle Frequenzbänder und Bilder.

Die Modifikationen skalieren exponentiell mit der Modifikationssumme AM.

$$\mathcal{O}(n \cdot i^2 \log(i) \cdot (2 \cdot (\text{AM} - 1) + 1)^{(\text{AM}-1)}) \quad (5)$$

n ist die Anzahl der Bilder, i ist die Bildauflösung und AM ist der Wert der Manipulation. Die verwendeten Parameter für den Algorithmus sind:

- die beiden Bilddatensätze
- unterschiedliche Manipulationen
- Version: v3
- Kostengewicht: 0
- Kontrast: RMS/RMSnorm
- unterschiedliche Auflösungen

2.3 Methoden zur Überprüfung

Konsistenz:

Die Konsistenz des Algorithmus wurde durch wiederholte Anwendung auf dem Bilddatensatz von Haun und Peli (2013) unter identischen Bedingungen überprüft. Insgesamt wurden 1000 Iterationen für ein Bild (Bild 0001.tif) sowie vier vollständige Durchläufe des Haun und Peli (2013) Bilddatensatz durchgeführt, jeweils für den RMS Kontrast und den RMSnorm Kontrast. Die Manipulation ist für die Iterationen 8dB und die Auflösung 768px. Unterschiede in den Ergebnissen wurden durch einen Vergleich der Kontrastergebnissen zwischen den Wiederholungen berechnet. Die Wiederholungen werden genutzt um sicherzustellen, dass der Algorithmus deterministische und konsistente Ergebnisse hat und keine zufälligen Abweichungen auftreten.

RMS und RMSnorm:

Um genauere Aussagen über die Bilddatensätze treffen zu können werden die Kontrastmaße RMS und RMSnorm verglichen. Der Originalkontrast wurde jeweils mit dem RMS und dem RMSnorm Kontrast berechnet. Anschließend werden mögliche Unterschiede beschrieben. Der RMS Kontrast bezieht sich auf den absoluten Kontrast, während der RMSnorm Kontrast sich auf den relativen Kontrast zur Luminanz bezieht.

Bildauflösung:

Bei der Auflösung wird überprüft, wie die Anpassung des Algorithmus für unterschiedliche Auflösungen ist. Die Auflösung beeinflusst die Ortsfrequenzen in einem Bild. Höhere Auflösungen ermöglichen größere Details. Die höheren Auflösungen haben ein größeres Rauschen bei höheren Ortsfrequenzen (Haun und Peli, 2013, S. 2). Niedrigere Auflösungen verschlechtern die Bildqualität.

Die Auflösungen 256px, 512px, 768px und 1024px wurden für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz getestet. Der Haun und Peli (2013) Bilddatensatz hat eine unskalierte Auflösung von 1024px. Die Auflösungen decken sowohl niedrigere als auch die ursprüngliche Auflösung ab. Die unterschiedlichen Auflösungen werden in einem Boxplot nebeneinander für die verschiedenen Frequenzbänder dargestellt. In einem Liniendiagramm werden die Veränderungen für den Ergebniskontrast, des Manipulationskontrasts sowie des Originalkontrasts dargestellt. Die Verbesserung wird dargestellt in einem Balkendiagramm. Für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz wird kein Auflösungsvergleich durchgeführt. Der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz hat eine Auflösung von 256px.

Manipulation:

Mit Manipulation wird untersucht, ob die Manipulation des Hauptfrequenzbandes für die Frequenzbänder zu unterschiedlichen Veränderungen führt. Die verschiedenen Manipulationen für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz sind: -8dB, -5dB, -2dB, +2dB, +3dB, +4dB, +5dB, +6dB, +7dB und +8dB. Für den RMS Kontrast wird auch eine Manipulation von +10 dB betrachtet und für den RMSnorm Kontrast eine von +16 dB. Die Frequenzbänder verändern den RMS Kontrast Unterschiedlich (Abbildung 10). Bei einer positiven Manipulation verändert das Frequenzband 128 den RMS Kontrast am stärksten. Bei einer negativen Manipulation führt das Frequenzband 1 zur stärksten Veränderung.

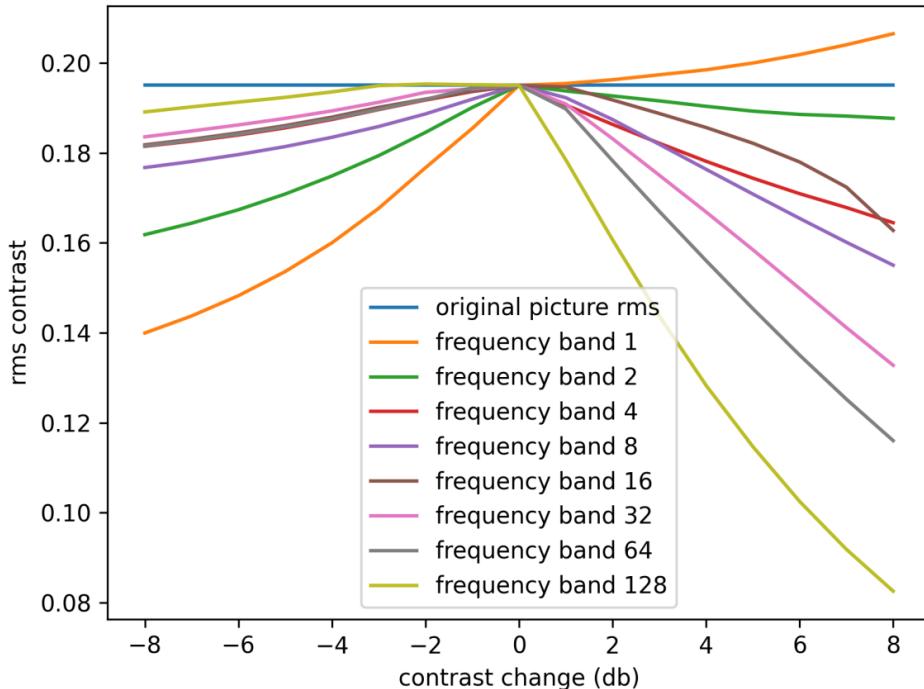


Abbildung 10: RMS Kontrast über Frequenzbänder mit Manipulation. Der RMS Kontrast im Zusammenhang mit der Manipulation von -8dB bis 8dB für die einzelnen Frequenzbänder. Abbildung von Krause (2023, S. 13).

Für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz werden die Manipulationen -8, -5, -2, +2, +3, +4, +5 und +8 dB untersucht.

Die Kontraste durch den Algorithmus werden dargestellt in einem Linien Diagramm. Die Verbesserungen in einem Balkendiagramm.

Differenz Originalkontrast und Ergebniskontrast:

Die Differenz überprüft die Hypothese. Wenn ein Originalbild einen niedrigen RMS Kontrast hat und der Algorithmus besser dafür funktioniert, dann ist das Ergebnis des Algorithmus immer näher am RMS des Originalbildes als bei einem höheren RMS Kontrast. Die Nullhypothese lautet, dass sich der Ergebniskontrast bei einer Steigerung des Originalkontrasts nicht verschlechtert.

Eine Darstellung zeigt die Kontrastdifferenz zwischen Originalkontrast und Ergebniskontrast über die Frequenzbänder. Eine weitere Darstellung visualisiert die absolute Kontrastdifferenz zwischen dem Originalkontrast und dem Ergebniskontrast in Abhängigkeit vom Originalkontrast.

Signifikanz und Korrelation: Der Wilcoxon-Test wird für die Signifikanz Prüfung benutzt. Die Kendall-Tau-Korrelation beschreibt die Korrelation.

Der Wilcoxon-Test prüft zwei abhängige Stichproben auf Signifikanz. Er verwendet dabei Ränge der Differenzen. Eine Normalverteilung der Daten ist nicht nötig (Wilcoxon, 1945). Der Wilcoxon-Test vergleicht die Kontrastdifferenzen zwischen verschiedenen Kontrasten oder Frequenzbereichen.

Die Kendall-Tau-Korrelation überprüft die Richtung und Stärke eines monotonen Zusammenhangs für zwei Variablen (Kendall, 1938). Die Korrelation vergleicht und bewertet Paare. Die Korrelation eignet sich für nichtlineare Beziehungen und zeigt robuste Ergebnisse. Die Kendall-Tau-Korrelation analysiert den Zusammenhang zwischen Kontrasten zur Überprüfung von Trends.

Kategorien:

Kategorien werden untersucht um eine differenzierte Aussage über deren Leistung mit dem Algorithmus zu treffen. Eine Darstellung wird verglichen, mit den Kategorien auf der x Achse und dem Originalkontrast auf der y Achse. Der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz verwendet vordefinierte Kategorien anhand der Ordnernamen mit je 100 Bildern.

2.4 Kategorisierung des Bilddatensatzes

Der Haun und Peli (2013) Bilddatensatz wurde in verschiedene Kategorien eingeteilt. Die Bilder wurden zunächst in die Hauptkategorien „Drinnen“ und „Draußen“ unterteilt. Häufig vorkommende Merkmale oder Objekte wie „Wand/Decke“, „Möbel“, „kleine Vegetation“ oder „Gebäude“ wurden als Subkategorien festgelegt. Die Kategorie „andere Gegenstände“ beschreibt eine Vielzahl unterschiedlicher Objekte auf Innenraumbildern. Für Objekte, die sich selten wiederholen ist die Vergleichbarkeit mit den Kategorien schwierig. In den Bildern des Haun und Peli (2013) Bilddatensatzes treten mehrere Merkmale oder Objekte gleichzeitig auf.

Die Abbildung 11 zeigt die verwendeten Kategorien des Haun und Peli (2013) Bilddatensatzes. Hinter jeder Kategorie steht in Klammern die Anzahl der zugeordneten Bilder. Jedes Bild konnte mehreren Kategorien gleichzeitig zugeordnet werden.

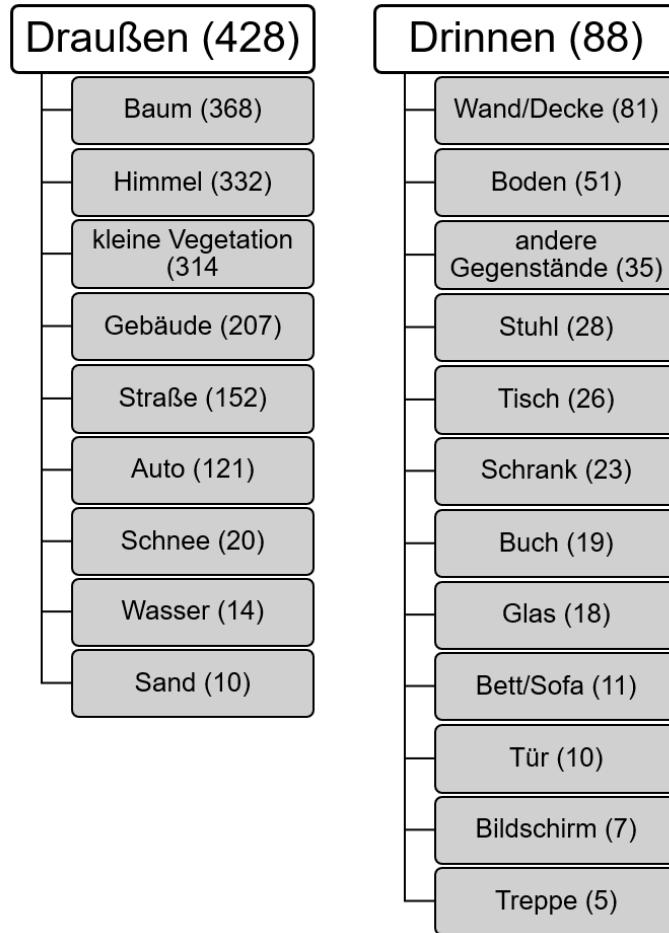


Abbildung 11: Kategorien. Kategorien für den Bilddatensatz von Haun und Peli (2013). Eigene Darstellung.

Der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz hat vordefinierte Kategorien für natürliche Szenen (z.B. „Flugplatz“, „Archiv“, „Bar“) mit jeweils 100 Bildern.

Die Kategorien werden Separat für den RMS Kontrast und RMSnorm Kontrast untersucht für eine Aussage über die Homogenität oder Heterogenität. Die Ergebnisse beider Bilddatensätze werden miteinander verglichen. Für eine Aussage über die Trends und mögliche Unterschiede zwischen den Bildsätzen.

3 Ausführen des Algorithmus

Die Version 3 des Algorithmus von Krause (2023) wird benutzt.

Für den Kontrast Eingangsparameter entweder RMS oder RMSnorm.

Die Auflösung ist 256px, 512px, 768px oder 1024px.

Die verwendeten Manipulationen sind: -8, -5, -2, +2, +3, +4, +5, +6, +7, +8, +10 und +16 dB.

Der Kostengewicht Eingangsparameter wird gewichtet mit 0.

Die maximalen Manipulationen werden nicht verändert und bleichen somit bei einer Reichweite von Manipulationen-1, somit für die Positive Verstärkung -1 und die negative +1.

Die resultierenden Bilder werden nur gespeichert bei der Konsistenzprüfung um unabhängig vom Algorithmus den berechneten Kontrast zu überprüfen. Die erstellte csv wird für alle Darstellungen und Untersuchungen benutzt.

Die berechnete csv Datei wird erweitert mit einer Spalte für die Kategorien. Der Place365 (Zhou et al., 2017) hat nur eine Kategorie pro Bild.

3.1 Darstellung der Ergebnisse und Interpretation

3.1.1 Konsistenz

Die 1000 Wiederholungen eines Bildes von Haun und Peli (2013) haben keine Veränderungen der Ergebnisse bei den gleichen Eingaben. Bei vierfacher Ausführung des Algorithmus mit den gleichen Eingabeparametern sind auch bei dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz keine Unterschiede vorhanden. Die Berechnung der Originalkontraste und Manipulationskontraste der generierten Bilder haben die gleichen Werte in der csv des Algorithmus.

3.1.2 Konsistenz Interpretation

Die identischen Ergebnisse in allen Wiederholungen zeigen, dass der Algorithmus deterministisch arbeitet und keine zufälligen Abweichungen aufweist.

3.1.3 RMS und RMSnorm

Der RMS und RMSnorm kontrast wird mit einem Boxplot dargestellt für den Haun und Peli (2013), sowie den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. In Abbildung 12 (a) ist der RMS und RMSnorm Kontrast für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz mit einer Auflösung von 256px und 8dB Manipulation. Auf der y Achse ist der berechnete Originalkontrast. Auf der x Achse ist das Kontrastmaß. Die Box des Boxplots ist der Interquartilsabstand (IQR). Die Box für den RMS Kontrast hat eine kleinere Spannweite als die Box mit dem RMSnorm Kontrast. Die Horizontale schwarze Linie ist der Median. Der Median des RMS Kontrasts ist 0,1987 und für RMSnorm 0,4885. Der rote Punkt ist der Mittelwert des Kontrastmaßes. Der Mittelwert ist bei dem RMS Kontrast 0,2012 und bei RMSnorm 0,5107. Der RMS Boxplot ist im unteren Quartil des RMSnorm Boxplots. Der RMSnorm Kontrast hat eine größere Varianz. Die weißen Punkte sind die Ausreißer. Die Ausreißer befinden sich Außerhalb von 1,5-mal des IQR. Die Ausreißer haben bei dem RMSnorm Kontrast einen größeren Abstand zum Median.

In der Abbildung 12 (b) ist der alternative Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz mit den beiden Kontrastmaßen abgebildet. Im Gegensatz zu (a) sind mehr Ausreißer zu erkennen. Der Boxplot von RMS befindet sich im unteren Quartil von RMSnorm. Der Median von Place RMS ist 0,2271 und für RMSnorm 0,5238. Der Mittelwert für RMS ist 0,2270 und für RMSnorm 0,5568.

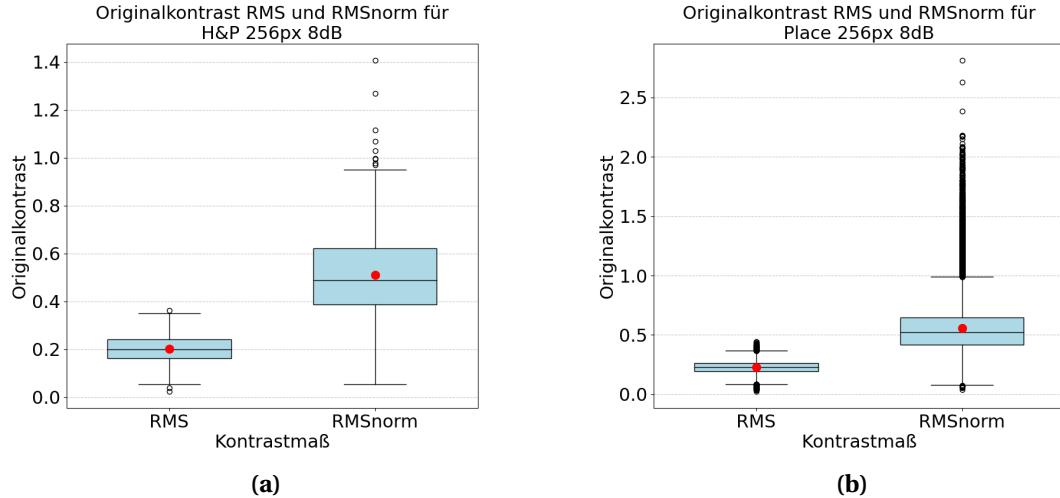


Abbildung 12: RMS und RMSnorm Vergleich. (a) Vergleich RMS Kontrast und RMSnorm Kontrast für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (b) Vergleich RMS Kontrast und RMSnorm Kontrast für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. Eigene Darstellung.

3.1.4 RMS und RMSnorm Interpretation

RMS und RMSnorm bilden unterschiedliche Eigenschaften ab. Der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz enthält mehr Ausreißer. Der Median und Mittelwert von Place365 (Zhou et al., 2017) ist größer. Die höheren Werte deuten auf einen durchschnittlich größeren Detailreichtum für Place365 (Zhou et al., 2017).

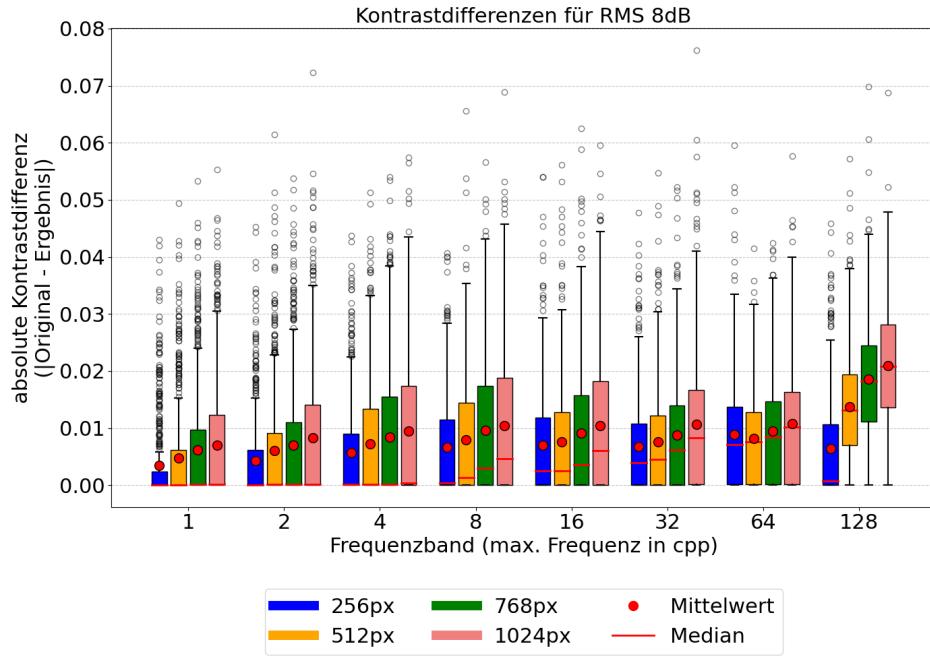
3.1.5 Auflösung

In Abbildung 13(a) und (b) wird der RMS Kontrast verwendet mit einer Manipulation von 8dB als Eingangsparameter. Abbildung 13(a) zeigt die absoluten Kontrastdifferenzen zwischen Originalkontrast und Ergebniskontrast für verschiedene Frequenzbänder. Mit niedrigeren Auflösungen wie 256px ist die Kontrastdifferenz geringer. Der Mittelwert liegt bei den Frequenzbändern 1 bis 16 näher an null als bei den höheren Auflösungen. Der Median bleibt bei den niedrigeren Frequenzbändern ebenfalls konstant bei nahezu null. Bei dem Frequenzband 128 steigen die Kontrastdifferenzen für 512px, 768px und 1024px an.

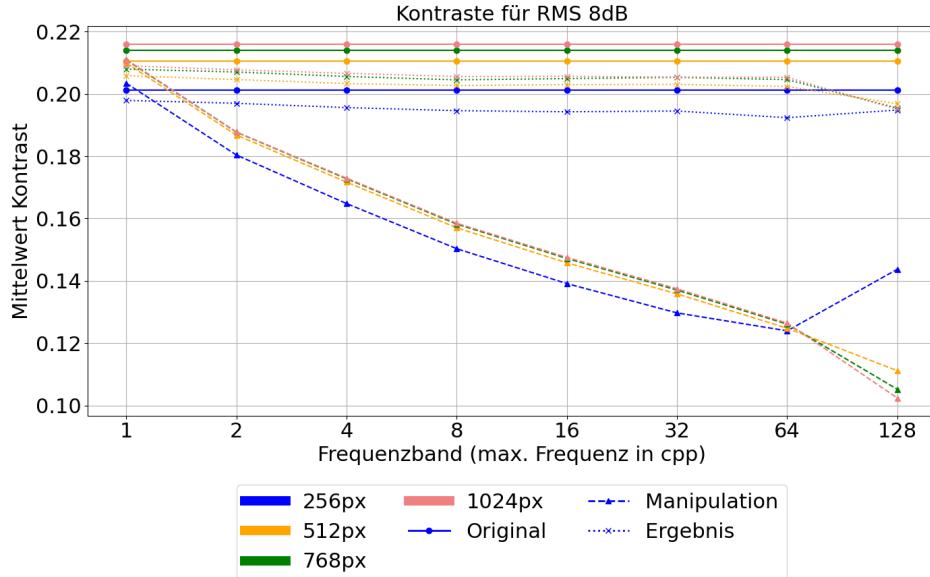
In Abbildung 13(b) wird der Verlauf des Originalkontrasts, Manipulationskontrasts und Ergebniskontrasts über die Frequenzbänder dargestellt mit dem Mittelwert. Der Originalkontrast hat einen größeren Wert für eine höhere Auflösung. Der Originalkontrast ist konstant über alle Frequenzbänder. Der Manipulationskontrast fällt mit zunehmenden Frequenzbändern bei 512px, 768px und 1024px kontinuierlich. Für die Auflösung 256px steigt der Manipulationskontrast bei Frequenzband 128. Bei niedrigeren Auflösungen bleibt der Manipulationskontrast näher am Originalkontrast. Der Ergebniskontrast liegt bis auf in Frequenzband 1 in allen Auflösungen näher am Originalkontrast als der Manipulationskontrast. Für Frequenzband 1 ist der Mittelwert des Manipulationskontrast näher am Originalkontrast als der Ergebniskontrast. Bei Betrachtung der einzelnen Daten ist zu erkennen, dass der Ergebniskontrast niemals schlechter als der Manipulationskontrast ist.

Abbildung 14(a) hat eine Manipulation von -8dB. Der Ergebniskontrast zeigt bei niedrigeren Auflösungen wie 256px eine bessere Annäherung an den Originalkontrast. Der Me-

dian in Abbildung 14(a) ist für Frequenzbänder 8 bis einschließlich 128 nahezu konstant. Der Median für Frequenzband 1 hat eine größere Varianz in den Kontrastdifferenzen. Bei Aufsteigenden Frequenzen ist eine Verringerung im Mittelwert der einzelnen Auflösungen zu erkennen. In dem Liniendiagramm in Abbildung 14(b) steigt der Manipulationskontrast bei höheren Frequenzbändern. Der Manipulationskontrast steigt von Frequenzband 1 zu 2 stark an und steigt nur gering von Frequenzband 2 bis 32 an, bis auf die Auflösung 256px. Der Manipulationskontrast für die Auflösung 256px steigt ab Frequenzband 2 kontinuierlich an. Von Frequenzband 32 steigt der Manipulationskontrast der 3 größeren Auflösungen stärker. Im Liniendiagramm ist der Originalkontrast identisch mit der positiven Manipulation in Abbildung 13(b). Der Ergebniskontrast verhält sich nahezu identisch für die unterschiedlichen Auflösungen, ist jedoch zueinander versetzt. Der Ergebniskontrast Abstand der Auflösungen ist am größten von 256px zu 512px und verringert sich bei größeren Auflösungen zueinander.

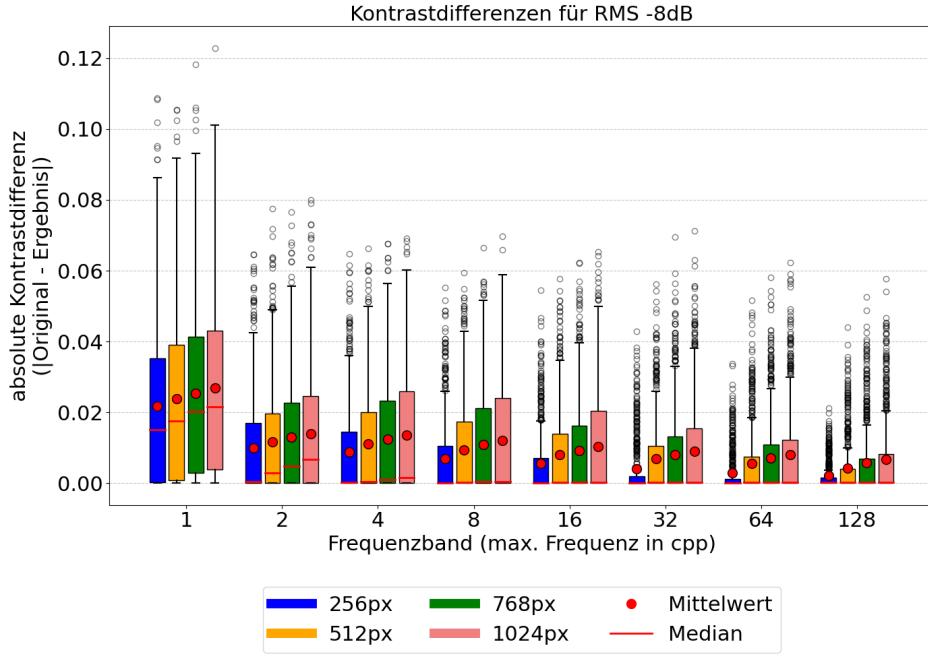


(a)

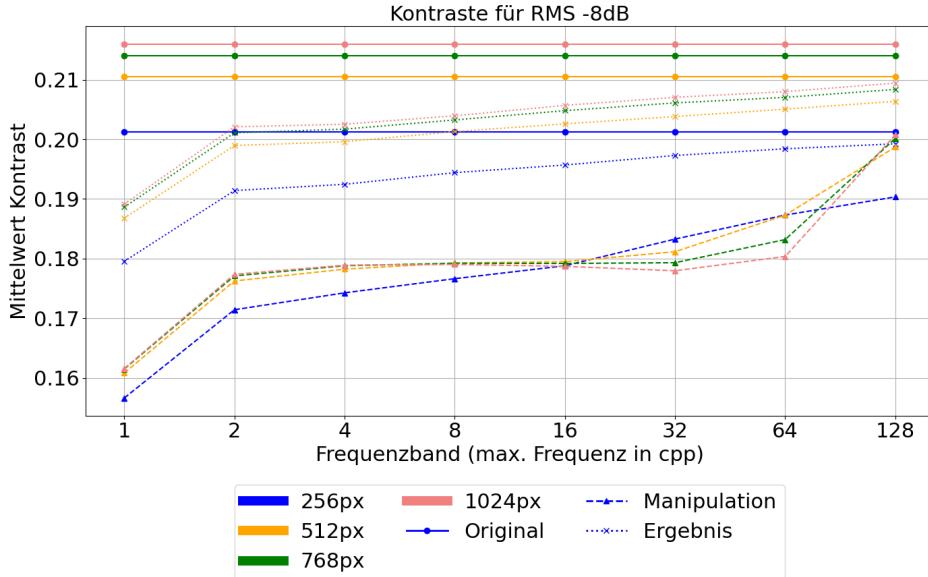


(b)

Abbildung 13: Auflösungen RMS 8dB. (a) Auflösungskontrastdifferenzen für den RMS Kontrast und aus Haun und Peli (2013) Bilddatensatz mit einer Manipulation von 8dB. (b) Auflösungs Kontraste für den RMS Kontrast aus dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz mit einer Manipulation von 8dB. Eigene Darstellung.



(a)



(b)

Abbildung 14: Auflösungen RMS -8dB. (a) Auflösungskontrastdifferenzen für den RMS Kontrast und dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz mit einer Manipulation von -8dB. (b) Auflösungskontrast für den RMS Kontrast und dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz mit einer Manipulation von -8dB. Eigene Darstellung.

Die prozentuale Verbesserung durch den Algorithmus wird dargestellt in Abbildung 15 für unterschiedliche Frequenzbänder mit verschiedenen Auflösungen. Die Balkendiagramme in Abbildung 15(a) mit dem RMS Kontrast und dem RMSnorm Kontrast in Abbildung 15(c) zeigen die Ergebnisse für eine positive Manipulation von 8 dB. Abbildung 15(b) ist der RMS Kontrast und 15(d) ist der RMSnorm Kontrast für eine negative Manipulation

von 8dB.

Die Verbesserung wird berechnet mit:

$$\text{Verbesserung in \%} = \frac{|o - m| - |o - r|}{|o - m|} \cdot 100 \quad (6)$$

- o ist der Originalkontrast
- m ist der Manipulationskontrast
- r ist der Ergebniskontrast

Die Balken in der Abbildung 15 sind die Mittelwerte der Verbesserung. Der Punkt ist der Median und die vertikalen Striche sind die Whiskers. Der Mittelwert und der Median der Verbesserung ist am schlechtesten für Frequenzband 1 bei einer Manipulation von -8dB. Abbildung 15 ist die durchschnittliche prozentuale Verbesserung der Kontrastangleichung für unterschiedliche Auflösungen und Manipulationsparameter. Die vier Diagramme vergleichen die Verbesserung der Auflösungen durch den Algorithmus bei einer positiven Manipulation von 8 dB und einer negativen Manipulation von -8 dB für den RMS Kontrast und RMSnorm Kontrast.

In Abbildung 15(a) werden die Verbesserungen für den RMS Kontrast mit einer Manipulation von 8 dB dargestellt. Die besten Medianwerte befinden sich bei niedrigen Frequenzbändern (1 bis 4). Mit steigender Frequenz sinkt der Median, aber der Mittelwert steigt. Für höhere Auflösungen ist der Median und Mittelwert tendenziell schlechter. In Abbildung 15(b) ist das Ergebnis der Mittelwerte insgesamt schlechter mit einer Manipulation von -8dB. Frequenzband 256px hat die besten Ergebnisse. Niedrige Frequenzbänder und höhere Auflösungen haben größeren Varianzen.

Abbildung 15(c) und 15(d) präsentieren die Ergebnisse für den RMSnorm Kontrast. Die Verbesserungen in 15(c) sind gleichmäßiger verteilt. Für Frequenzband 256px erreicht der Algorithmus auch die durchschnittlich besten Ergebnisse. Niedrige Frequenzbänder mit einer negativen Manipulation werden am schlechtesten angepasst.

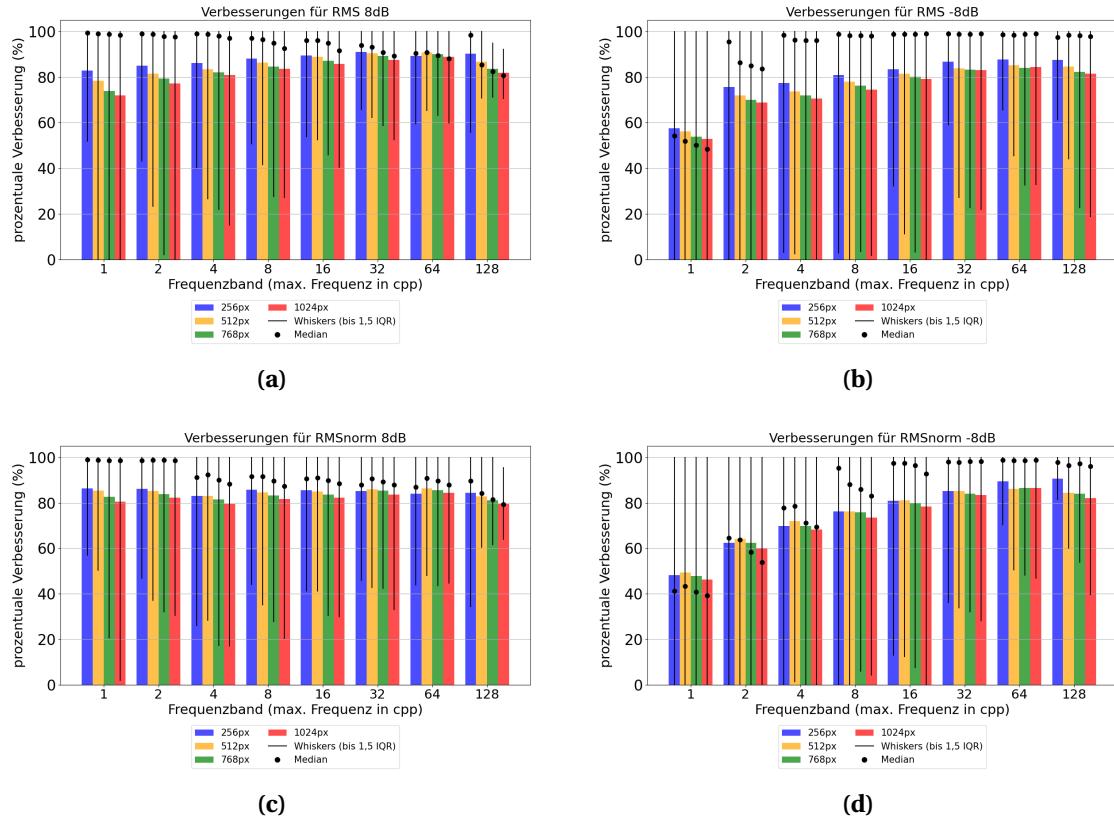


Abbildung 15: Auflösungen Verbesserung. Auflösungen Verbesserungen für den RMS und RMSnorm Kontrast mit einer Manipulation von -8dB und 8dB. Eigene Darstellung.

Auflösung	RMS 8dB	RMS -8dB	RMSnorm 8dB	RMSnorm -8db
256px	87,81%	79,61%	85,09%	75,34%
512px	85,83%	76,86%	84,82%	74,82%
768px	83,77%	75,24%	83,39%	73,81%
1024px	82,25%	74,34%	81,74%	72,30%

Tabelle 1: Mittelwerte der absoluten Auflösungsverbesserung.

Auflösung	RMS 8dB	RMS -8dB	RMSnorm 8dB	RMSnorm -8db
256px	87,33%	78,37%	85,22%	75,72%
512px	83,84%	73,99%	84,13%	72,57%
768px	81,53%	71,25%	83,02%	71,02%
1024px	80,88%	71,10%	81,25%	71,43%

Tabelle 2: Median der absoluten Auflösungsverbesserung.

3.1.6 Auflösung Interpretation

Die Ergebnisse in Abbildung 15 sind für niedrigere Auflösungen wie 256px am besten. Positive Manipulationen liefern durchschnittlich bessere Ergebnisse als negative, siehe Ta-

belle 1 und 2. Abbildung 15 verdeutlicht, dass die Wahl der Auflösung und des Kontrastmaßes die Ergebnisse des Algorithmus beeinflusst.

Die durchschnittlich besten Verbesserungen werden mit einer Auflösung von 256px erzielt. Höhere Auflösungen haben durchschnittlich geringere Verbesserungen, siehe Abbildung 1. In Tabelle 2 nehmen die durchschnittlichen Medianwerte ebenfalls bei höheren Auflösungen ab.

Der Wilcoxon-Test bestätigt signifikante Unterschiede zwischen den Auflösungen ($p < 0,05$). Die Auflösungen (256px, 512px, 768px, 1024px) haben niedrige p-Werte ($p < 0,05$) für den RMS Kontrast und RMSnorm Kontrast.

Die Kendall Tau Analyse beschreibt eine schwache negative Korrelation zwischen Auflösung und Verbesserung. Der RMS Kontrast hat einen Kendall Tau Wert von -0.081 und einen p-Wert von < 0.001 . Der RMSnorm Kontrast hat einen Kendall Tau Wert von -0.044 und einen p-Wert von < 0.001 . Die Korrelation sagt aus, dass höhere Auflösungen tendenziell schlechtere Ergebnisse liefern.

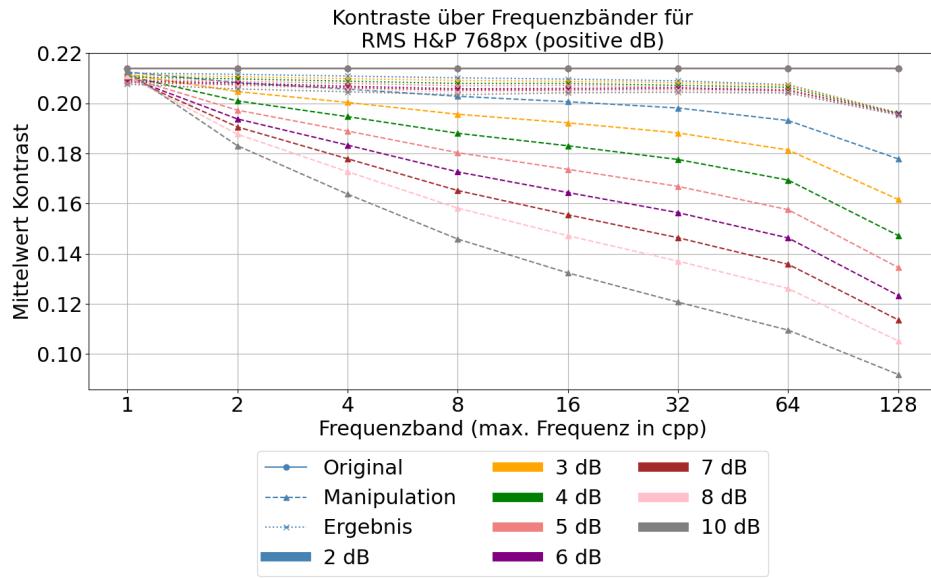
Die Korrelation Unterstützt die Hypothese der besseren Ergebnisse für niedrige Kontraste. Höhere Auflösungen haben einen größeren Kontrast.

3.1.7 Manipulationen

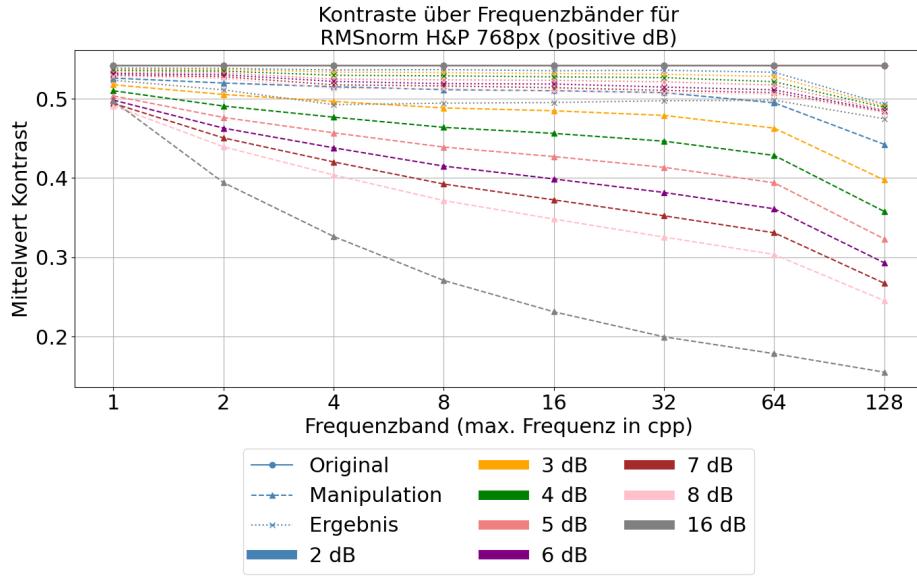
In der Abbildung 16 werden Unterschiedliche Manipulationsergebnisse für positive dB gezeigt, für den RMS Kontrast (a) und RMSnorm Kontrast (b) und einer Auflösung von 768px für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. Es werden Mittelwerte miteinander verglichen über unterschiedliche Frequenzbänder mit unterschiedlich positiven Manipulationen. In Abbildung (a) bleibt der Originalkontrast konstant und ist gleich für alle Manipulationen. Der Manipulationskontrast wird geringer, je größer die Manipulation dB ist. Der Manipulationskontrast fällt von Frequenzband 2 bis 128. Bei Frequenzband 1 ist der Manipulationskontrast für unterschiedliche dB nahezu identisch. Der Ergebniskontrast ist minimal versetzt für die unterschiedlichen Frequenzbänder. Der Ergebniskontrast fällt minimal über die Frequenzbänder bis 64 und fällt stärker für Frequenzband 128. Größere Manipulationen haben in Frequenzband 1 bis 64 einem minimal schlechteren Ergebniskontrast. Bei Frequenzband 128 sind die Ergebniskontraste nahezu identisch. In Abbildung (b) mit dem RMSnorm Kontrasts ist der Originalkontrast auch konstant und für alle dB gleich. Im Vergleich zu (a) ist der Verlauf ähnlich. Der Manipulationskontrast ist für unterschiedliche Manipulationen nicht identisch. Der Ergebniskontrast ist im Gegensatz zu (a) bei Frequenzband 128 auch nicht mehr nahezu Identisch.

In der Abbildung 17 werden Unterschiedliche Manipulationsergebnisse für negative dB verglichen. Es werden der RMS Kontrast 17(a) und der RMSnorm Kontrast 17(b) benutzt, mit einer Auflösung von 768px für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. Die Mittelwerte werden verglichen über unterschiedliche Frequenzbänder mit unterschiedlich negativen dB. In Abbildung 17(a) bleibt der Originalkontrast konstant und ist gleich für alle Manipulationen. Der Manipulationskontrast wird größer, je stärker die Manipulation dB ist. Der Manipulationskontrast steigt von Frequenzband 1 bis 2 stark, von 2 bis 4 leicht, von 4 bis einschließlich 32 ist dieser nahezu konstant, steigt wieder leicht von 32

zu 64 und steigt stark von 64 bis 128. Der Manipulationskontrast ist versetzt zu den Unterschiedlichen Manipulationen. Kleinere Verstärkungen haben einen kleineren Mittelwert. Der Ergebniskontrast ist minimal versetzt für die unterschiedlichen Frequenzbänder. Der Ergebniskontrast steigt für Frequenzband 1 zu 2 stark an, aber steigt für die restlichen Frequenzbänder eher leicht linear an. In Abbildung 17(b) mit dem RMSnorm Kontrasts ist der Originalkontrast auch konstant und für alle dB gleich. Im Vergleich zu 17(a) ist der Verlauf ähnlich.

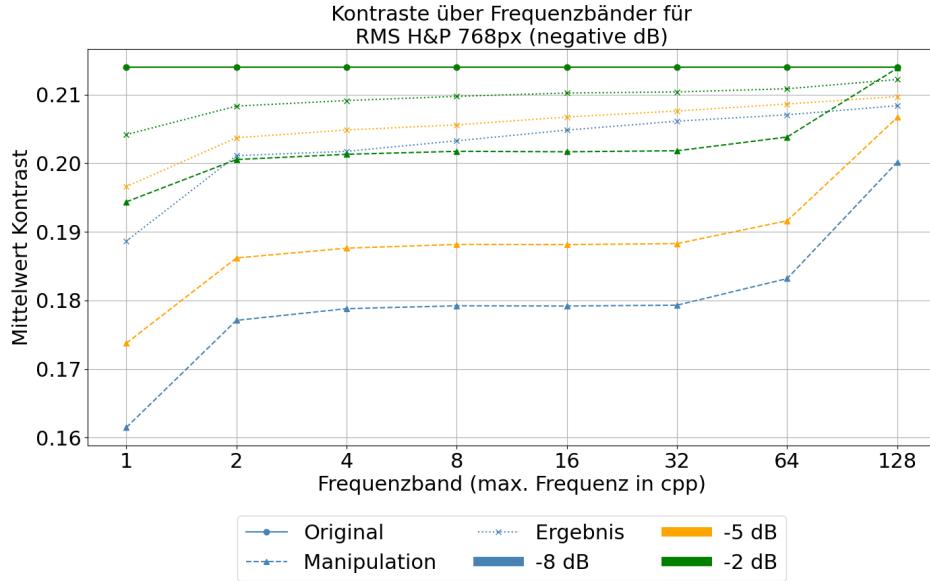


(a)

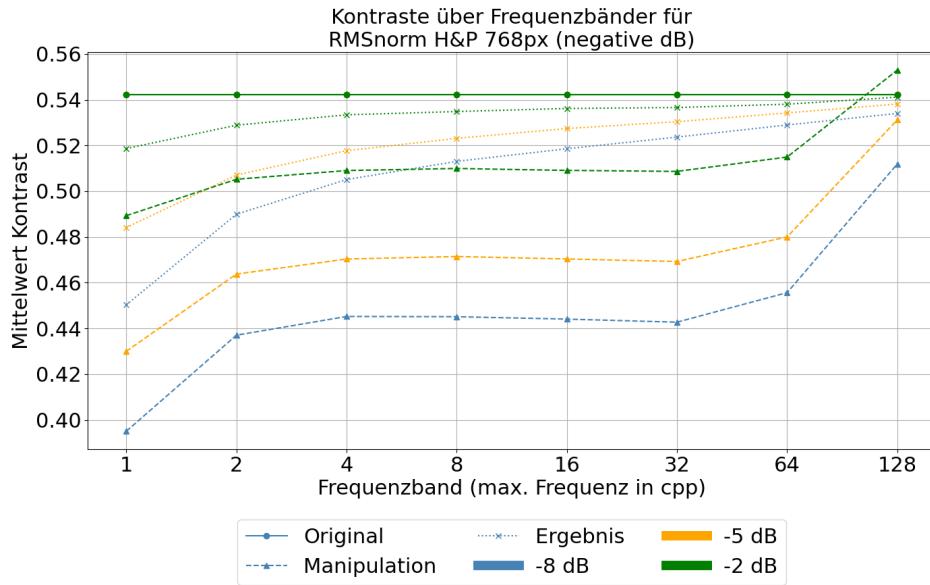


(b)

Abbildung 16: dB Manipulationen RMS positiv. (a) Verlauf positiver Manipulationen für den RMS Kontrast mit einer Auflösung von 768px und dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (b) Verlauf positiver Manipulationen für den RMSnorm Kontrast mit einer Auflösung von 768px und dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. Eigene Darstellung.



(a)



(b)

Abbildung 17: dB Manipulationen RMS negativ. (a) Verlauf negativer Manipulationen für den RMS Kontrast mit einer Auflösung von 768px und dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (b) Verlauf negativer Manipulationen für den RMSnorm Kontrast mit einer Auflösung von 768px und dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. Eigene Darstellung.

Die prozentuale Verbesserung wird dargestellt für den Algorithmus in der Abbildung 18 mit unterschiedlichen Frequenzbändern und verschiedenen Manipulationen mit gleicher Auflösung. Das Balkendiagramm in Abbildung 18(a) mit dem RMS Kontrast und dem RMSnorm Kontrast in Abbildung 18(c) zeigt das Ergebnis für die positiven Manipulationen. Abbildung 18(b) ist der RMS Kontrast und 15(d) ist der RMSnorm Kontrast für die negativen Manipulationen.

Die Verbesserung wird genauso wie in Abbildung 15 berechnet. Die Balken in der Ab-

bildung18 sind der Mittelwert der Verbesserung. Der Punkt ist der Median und die vertikalen Striche sind die Whiskers. Der Mittelwert und der Median der Verbesserung ist am schlechtesten für Frequenzband 1 mit einer Manipulation von -8dB. Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche prozentuale Verbesserung der Kontrastangleichung für unterschiedliche Manipulationen. Die vier Balkendiagramme veranschaulichen die Verbesserung durch den Algorithmus mit positiven Manipulationen und negativen Manipulationen für den RMS Kontrast und RMSnorm Kontrast mit der gleichen Auflösung.

In Abbildung 18(a) werden die Verbesserungen für den RMS Kontrast mit positiven Manipulationen von 2dB bis 8dB und 10dB dargestellt. Die besten Medianwerte befinden sich bei niedrigen Frequenzbändern (1 bis 4). Mit steigendem Frequenzband sinkt der Median, aber der Mittelwert steigt. Der Median und Mittelwert fallen von Frequenzband 64 bis 128 ab. Abbildung 18(b) hat bei negativen Manipulationen die schlechtesten Ergebnisse der Mittelwerte. Die besten Ergebnisse werden mit dem negativsten dB erreicht.

Abbildung 18(c) und 18(d) veranschaulichen die Ergebnisse für den RMSnorm Kontrast. Die Verbesserungen in 15(c) sind gleichmäßiger verteilt. In 18(c) sind die Mittelwerte für positive Manipulationen ungefähr gleich, bis auf Frequenzband 128. Der Median in 18(c) ist für Frequenzband 4 bis 64 nicht besser für größere Manipulationen. In der Abbildung 18(d) ist für Frequenzband 1 bis 8 die negativeren Manipulation tendenziell besser als die näher 0. Für die restlichen Frequenzbänder bleibt der Mittelwert und Median auf einem ähnlichen Niveau zwischen den Manipulationen.

Abbildung 19(a) und 19(b) präsentieren die Ergebnisse für den RMSnorm Kontrast mit den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. Die Verbesserungen in 19(a) sind gleichmäßig verteilt. Der Median nimmt für größere Frequenzbänder leicht ab, während der Mittelwert eher konstant bleibt. In der Abbildung 19(b) funktionieren die höheren Manipulationen für Frequenzband 1 besser.

Der Algorithmus Verbessert nicht immer den Manipulationskontrast. Der Mittelwert für alle betrachteten RMS Dateien in welchen der Algorithmus keine Anpassung vornimmt ist eine Abweichung von 0,0075 vom Originalkontrast.

Für den RMSnorm Kontrast hat die nicht veränderte Abweichung den Mittelwert 0,0266.

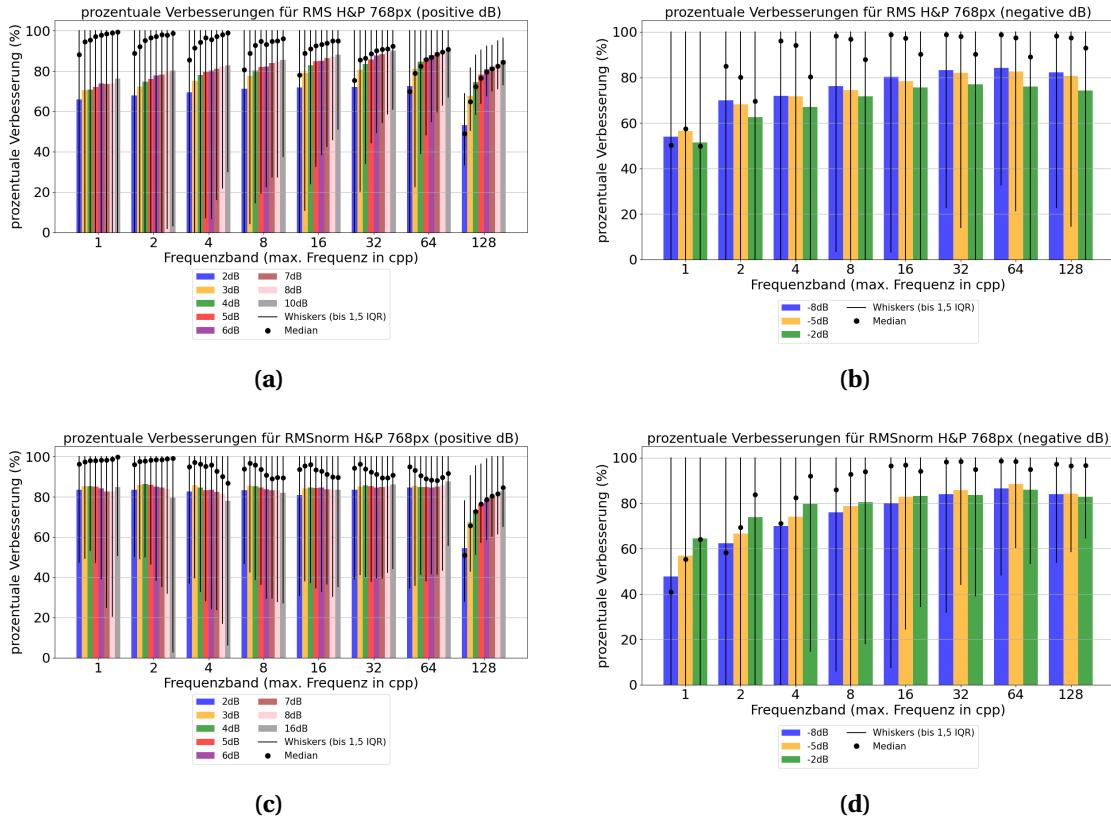


Abbildung 18:

dB Verbesserungen. (a) Manipulations Verbesserungen für den RMS und RMSnorm Kontrast für positive Manipulationen mit dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (b) Manipulations Verbesserungen für den RMS und RMSnorm Kontrast für negative Manipulationen mit dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. Eigene Darstellung.

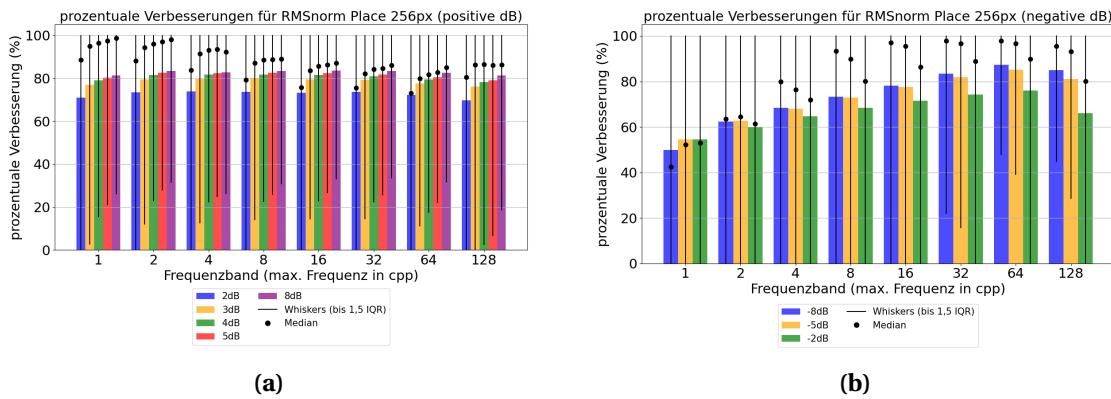


Abbildung 19: dB Verbesserungen Place. Manipulations Verbesserungen für den RMS Kontrast (a) und RMSnorm Kontrast (b) mit postiven und negativen Manipulationen mit dem Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. Eigene Darstellung.

Tabelle 3: Mittelwert prozentuale Verbesserung mit dB.

dB	RMS H&P 768px	RMSnorm H&P 768px	RMSnorm H&P 256px	RMSnorm Place 256px
-8	75,2496%	73,8180%	75,3470%	73,4424%
-5	74,3340%	77,2001%	77,8933%	72,9562%
-2	69,4570%	79,2565%	79,5329%	66,9248%
2	68,0377%	79,5658%	84,5302%	72,6068%
3	75,5451%	83,0844%		78,5586%
4	78,6720%	83,8058%		80,4781%
5	80,6429%	83,7240%	86,1631%	81,3967%
6	81,9394%	83,5835%		
7	82,8524%	83,3508%		
8	83,7730%	83,3917%	85,0937%	82,7332%
10	84,9454%			
16		83,1161%		

3.1.8 Manipulationen Interpretation

Der Algorithmus verändert den Manipulationskontrast und Ergebniskontrast in Abhängigkeit von dem Manipulationsparameter. Die Abhängigkeit wird unterstützt von den Abbildungen 16, 17, 18, 19, sowie der Tabelle 3. Die Analyse zeigt den Einfluss von unterschiedlichen Manipulationen auf den Manipulationskontrast und den Ergebniskontrast für die gleiche Auflösung mit dem RMS Kontrast und dem RMSnorm Kontrast. Die Diagramme zeigen wie der Algorithmus funktioniert mit verschiedenen Manipulationen in den unterschiedlichen Frequenzbändern.

In Abbildung 19 wird auch der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz nach Manipulation verbessert.

In den Abbildungen 19 und 18 sind auch Whiskers bis 0%. Dadurch existieren Fälle in welchen der Algorithmus keine Veränderung der Frequenzbänder vornimmt.

Aufgrund des Kontergewichts 0, sollten die Fälle kein Frequenzband haben das eine Verbesserung ermöglicht.

Für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz:

Der Wilcoxon-Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen den paarweise verglichenen Auflösungen ($p = 0$). Die Korrelation zwischen den Originalwerten und den Abweichungen ist für alle Manipulationen signifikant (p -Wert = 0). Der Korrelationskoeffizient (τ) ist bei 0,0628 für positive Manipulation und bei -0,0499 für die negative Manipulation. Die Korrelationskoeffizient für RMSnorm ist 0,15635 mit p -Wert = 0 für positive Manipulationen. Die Korrelationskoeffizient für RMSnorm ist -0,1295 mit p -Wert = 0 für negative Manipulationen. Die positive Korrelation sagt aus, dass mit zunehmenden Manipulationen oder abnehmenden für negative Manipulationen sich der Ergebniskontrast verschlechtert. Das ist auch in Kombination mit der Abbildung 16 zu erkennen. Der Manipulationskontrast verschlechtert sich, aber die Anpassung bleibt ähnlich.

Für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz:

Der Kendall-Tau-Korrelationskoeffizient für RMSnorm ist 0,0832 mit p -Wert = 0 für positive Manipulationen. Der Kendall-Tau-Korrelationskoeffizient für RMSnorm ist -0,0610

mit p-Wert = 0 für negative Manipulationen. Die Anpassung mit dem RMSnorm Kontrast erweist sich als konstanter und zeigt weniger Varianzen, insbesondere bei niedrigen Frequenzbändern für positive Manipulationen. Für negative Manipulationen verhält sich der RMSnorm ähnlich wie der RMS Kontrast.

Es wurde gezeigt, dass minimale Manipulation tendenziell bessere Ergebnisse erzielen.

3.1.9 Originalkontrast Einfluss

Der Originalkontrast beeinflusst die Anpassung des Algorithmus für den Ergebniskontrast. Die Abbildungen 20 und 21 sowie die absoluten Kontrastdifferenzen in Abbildung 22 und 23 analysieren, wie stark diese Beziehung bei unterschiedlichen Manipulationsparametern, Bildsätzen und Kontrastmaßen variiert.

In Abbildung 20(a) und 20(b) wird der Zusammenhang zwischen Originalkontrast und Ergebniskontrast für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz bei einer Auflösung von 768px dargestellt. Die Punkte repräsentieren den Kontrast jedes einzelnen Bildes. Bei einer Manipulation von +8 dB (Abbildung 20(a)) verteilen sich die Datenpunkte enger entlang der Idealgeraden $y = x$. Der Algorithmus erreicht bei niedrigen Kontrasten ein besseres Ergebnis. Die Varianzen nehmen bei höheren Kontrasten zu. Eine größere Streuung der Punkte ist mit zunehmendem Originalkontrast sichtbar. Die robuste lineare Regression (RLM) unterstützt die Hypothese, dass mit steigendem Originalkontrast das Ergebnis schlechter wird. Die robuste lineare Regression (RLM) wird verwendet, weil die Voraussetzungen der linearen Regression verletzt sind und die RLM besser dafür funktioniert Fox, 2016. Die Werte sind nicht normalverteilt und haben eine Heteroskedastizität.

In Abbildung 20(b) hat die Manipulation von -8 dB eine größere Varianz der Punkte. Bei höheren Originalkontrasten entfernt sich der Ergebniskontrast stärker von der Idealgeraden. Die Idealgerade ist $y = x$. Die Regressionslinie (RLM) ist unterhalb der Idealgeraden.

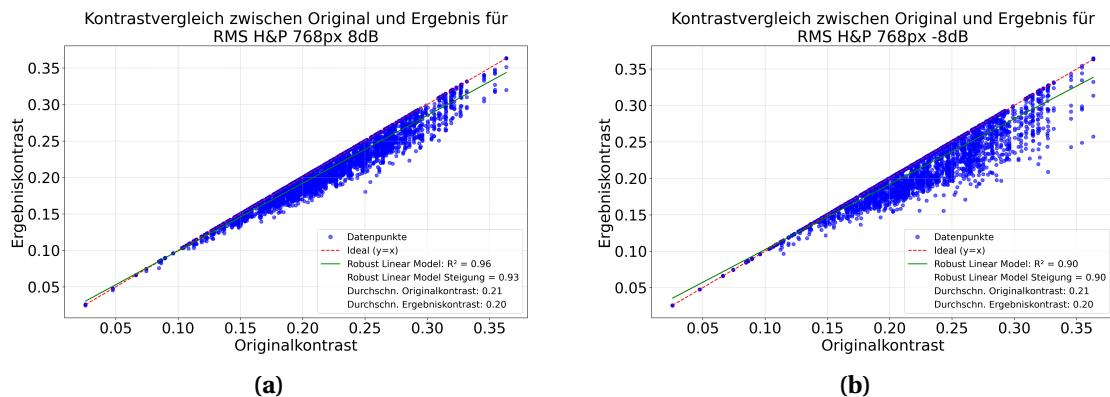
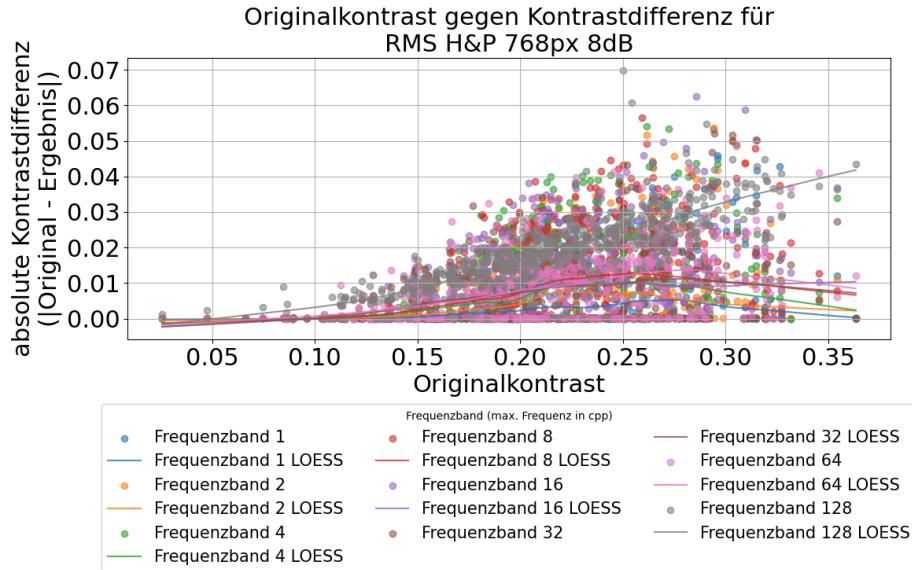
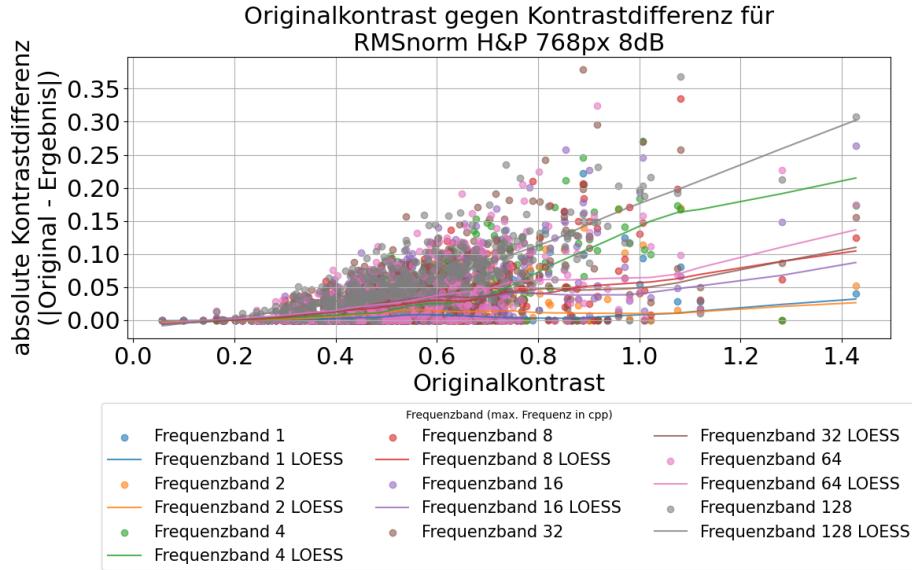


Abbildung 20: Vergleich Originalkontrast Ergebniskontrast H&P. Ergebniskontrast gegen Originalkontrast für den RMS Kontrast und einer Auflösung von 768px mit dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (a) hat eine Manipulation von 8db. (b) hat eine Manipulation von -8dB. Eigene Darstellung.

Die absoluten Differenzen zwischen Originalkontrast und Ergebniskontrast werden in Abbildung 21(a) und 21(b) dargestellt. Bei 8dB (Abbildung 21(a)) bleiben die absoluten Differenzen in den niedrigen Frequenzbändern (1 bis 16) tendenziell geringer als bei den größeren. Mit steigenden Frequenzen, insbesondere ab Frequenzband 64, nehmen die Abweichungen vom Ideal (Ergebniskontrast = Originalkontrast) zu. Die LOESS Regression wird hier benutzt, da sie die Trends in den Daten besser darstellt und die Unterschiede zwischen den Frequenzbändern visualisiert. Der Fokus liegt darauf, den allgemeinen Verlauf zu zeigen. Die LOESS Regression nutzt eine Glättung um den allgemeinen Verlauf darzustellen, denn die Daten haben eine große Varianz. Dies zeigt, dass der Algorithmus tendenziell schlechter bei einer positiven Manipulation arbeitet. Abbildung 21(b) zeigt die absoluten Differenzen mit dem RMSnorm Kontrast und den ansonsten gleichen Parametern von 21(a). Diese sind über alle Frequenzbänder hinweg größer als bei dem RMS Kontrast. Besonders in den höheren Frequenzbändern (64 und 128) steigen die Differenzen deutlich an.



(a)



(b)

Abbildung 21: Absolute Kontrastdifferenz H&P. Absolute Kontrastdifferenz gegen Originalkontrast für den RMS Kontrast (a) und den RMSnorm Kontrast (b) bei einer Auflösung von 768px mit dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (a) und (b) haben eine Manipulation von 8dB und als Regression das LOESS Verfahren. Eigene Darstellung.

Die Abbildungen 22(a) und 22(b) analysieren den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz bei einer Auflösung von 256px. Abbildung 22(a) zeigt die Ergebnisse für den RMS Kontrast bei einer Manipulation von 8dB. Allerdings nimmt die Streuung bei höheren Originalkontrasten zu, ähnlich wie bei Haun und Peli (2013). In Abbildung 22(b), die den RMSnorm Kontrast mit einer Manipulation von 8 dB darstellt, ist die Streuung der Punkte für einen geringen Originalkontrast kleiner. Die Regressionslinie liegt näher an der

Idealgeraden.

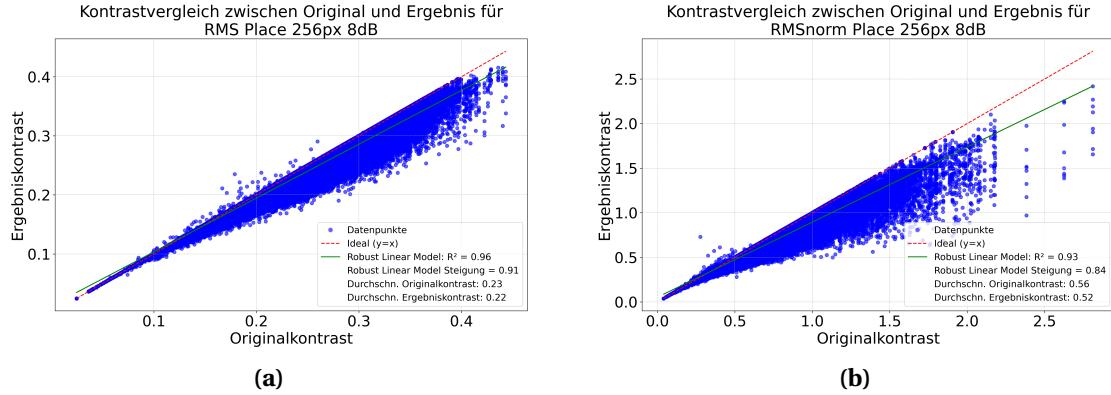


Abbildung 22: Vergleich Originalkontrast Ergebniskontrast Place. Ergebniskontrast gegen Originalkontrast für den RMS Kontrast (a) und den RMSnorm Kontrast (b) bei einer Auflösung von 256px mit dem Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. Eigene Darstellung.

Die absoluten Kontrastdifferenzen sind zwischen Originalkontrast und Ergebniskontrast in Abbildung 23 für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz dargestellt. Die Differenzen bleiben ähnlich zu dem Bilddatensatz von Haun und Peli (2013). Die LOESS Regression zeigt einen konstantere Steigung als bei Haun und Peli (2013). Der RMSnorm Kontrast zeigt auch hier durchgehend eine Tendenz für einen Anstieg der Varianz bei höheren Originalkontrasten. Die Ansteige der Unterschiedlichen Frequenzbänder sind nicht so nah beieinander, als wie bei dem RMS Kontrast. Diese Unterschiede legen nahe, dass der RMSnorm Kontrast die Unterschiede der einzelnen Frequenzbänder besser abbildet.

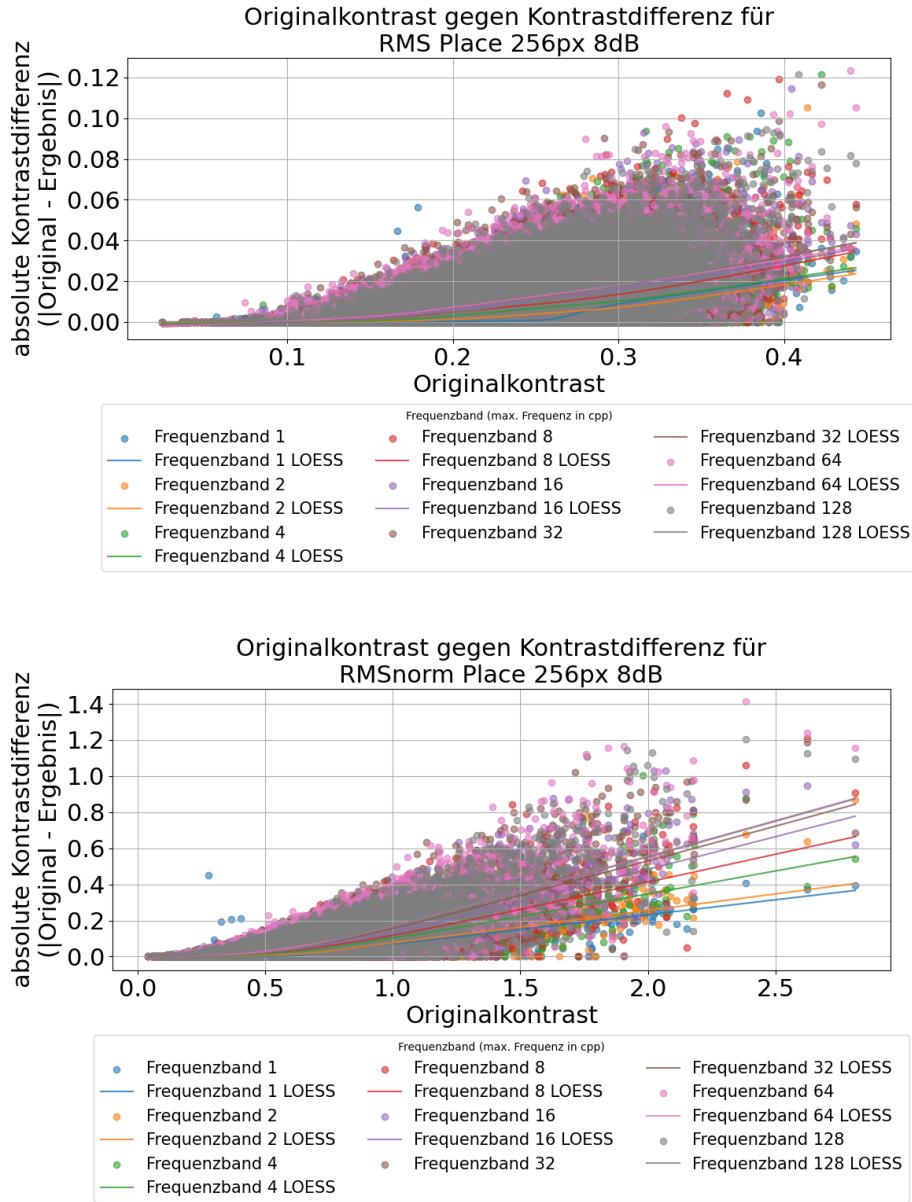


Abbildung 23: Absolute Kontrastdifferenz Place. Absolute Kontrastdifferenz gegen Originalkontrast für den RMS Kontrast (a) und den RMSnorm Kontrast (b) bei einer Auflösung von 768px mit Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. (a) und (b) haben eine Manipulation von 8dB und als Regression das LOESS Verfahren. Eigene Darstellung.

3.1.10 Originalkontrast Interpretation

Die Ergebnisse in Abbildungen 20 zeigen ein besseres Ergebnis für positive Manipulationen. Die negative Manipulationen hat eine größere Varianz, vor allem bei einem höheren Originalkontrast.

Die Tabelle 4 zur Korrelationsanalyse stellt die Wilcoxon Werte, Kendall-Tau-Korrelationen und die zugehörigen p-Werte dar. Sie unterscheidet zwischen den Ergebnissen aus dem Bilddatensatz von Haun und Peli (2013) und dem Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddaten-

satz. Die Tabelle 4 beschreibt die signifikanten Unterschiede des Algorithmus. Der Wilcoxon Test zeigt signifikante Unterschiede (p -Wert = 0) für alle Ergebnisse. Negative Manipulationen führen zu größeren Differenzen als positive Manipulationen.

Die Kendall Tau Werte bedeuten eine moderate bis starke Korrelation zwischen Originalkontrast und Abweichung($|$ Originalkontrast - Ergebniskontrast $|$). Der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz hat höhere Kendall Tau Werte. Deshalb hat der Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz eine stärkere Abhängigkeit vom Originalkontrast.

Tabelle 4: Gesamt Analyse für Originalkontrast und Ergebniskontrast. Zeigt die Signifikanzanalyse für die Kontrastdifferenz und Korrelationsanalyse zwischen dem Ergebniskontrast und dem Originalkontrast.

Datei	Wilcoxon Wert	Wilcoxon p-Wert	Kendall Tau Korrelation	Kendall Tau p-Wert
RMS H&P 1024px -8dB	1139586	0,0000	0,3223	0,0000
RMS H&P 1024px 8dB	634905	0,0000	0,2741	0,0000
RMS H&P 256px -8dB	1547045	0,0000	0,3109	0,0000
RMS H&P 256px 8dB	991028	0,0000	0,2702	0,0000
RMS H&P 512px -8dB	1234600	0,0000	0,3130	0,0000
RMS H&P 512px 8dB	796514	0,0000	0,2515	0,0000
RMS H&P 768px -2dB	855296	0,0000	0,3124	0,0000
RMS H&P 768px -5dB	1050928	0,0000	0,3210	0,0000
RMS H&P 768px -8dB	1134767	0,0000	0,3213	0,0000
RMS H&P 768px 10dB	750202	0,0000	0,2453	0,0000
RMS H&P 768px 2dB	713216	0,0000	0,2631	0,0000
RMS H&P 768px 3dB	767749	0,0000	0,2661	0,0000
RMS H&P 768px 4dB	760725	0,0000	0,2690	0,0000
RMS H&P 768px 5dB	750274	0,0000	0,2724	0,0000
RMS H&P 768px 6dB	706011	0,0000	0,2772	0,0000
RMS H&P 768px 7dB	696254	0,0000	0,2676	0,0000
RMS H&P 768px 8dB	712028	0,0000	0,2649	0,0000
RMS Place 256px 8dB	3460038056	0,0000	0,3397	0,0000
RMSnorm H&P 1024px -8dB	742005	0,0000	0,3237	0,0000
RMSnorm H&P 1024px 8dB	462033	0,0000	0,3127	0,0000
RMSnorm H&P 256px -2dB	2079201	0,0000	0,3226	0,0000
RMSnorm H&P 256px -5dB	1282480	0,0000	0,3239	0,0000
RMSnorm H&P 256px -8dB	1067770	0,0000	0,3257	0,0000
RMSnorm H&P 256px 2dB	1669880	0,0000	0,3207	0,0000
RMSnorm H&P 256px 5dB	844860	0,0000	0,3731	0,0000
RMSnorm H&P 256px 8dB	616146	0,0000	0,3623	0,0000
RMSnorm H&P 512px -8dB	926178	0,0000	0,3090	0,0000
RMSnorm H&P 512px 8dB	560723	0,0000	0,3062	0,0000
RMSnorm H&P 768px -2dB	1237540	0,0000	0,3164	0,0000
RMSnorm H&P 768px -5dB	1019138	0,0000	0,3150	0,0000
RMSnorm H&P 768px -8dB	851411	0,0000	0,3163	0,0000
RMSnorm H&P 768px 16dB	489877	0,0000	0,2448	0,0000
RMSnorm H&P 768px 2dB	1294847	0,0000	0,2742	0,0000
RMSnorm H&P 768px 3dB	1013547	0,0000	0,2874	0,0000
RMSnorm H&P 768px 4dB	865575	0,0000	0,2949	0,0000
RMSnorm H&P 768px 5dB	721487	0,0000	0,3036	0,0000
RMSnorm H&P 768px 6dB	617903	0,0000	0,3117	0,0000
RMSnorm H&P 768px 7dB	566916	0,0000	0,3102	0,0000
RMSnorm H&P 768px 8dB	516618	0,0000	0,3117	0,0000

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Datei	Wilcoxon Wert	Wilcoxon p-Wert	Kendall Tau Korrelation	Kendall Tau p-Wert
RMSnorm Place 256px -2dB	4822715975	0,0000	0,4261	0,0000
RMSnorm Place 256px -5dB	5012694496	0,0000	0,4240	0,0000
RMSnorm Place 256px -8dB	5139193475	0,0000	0,4235	0,0000
RMSnorm Place 256px 2dB	3903867869	0,0000	0,4543	0,0000
RMSnorm Place 256px 3dB	3981297222	0,0000	0,4515	0,0000
RMSnorm Place 256px 4dB	3806565518	0,0000	0,4510	0,0000
RMSnorm Place 256px 5dB	3570288537	0,0000	0,4499	0,0000
RMSnorm Place 256px 8dB	3199718121	0,0000	0,4401	0,0000

3.1.11 Kategorien

Abbildung 24 zeigt die Kontrastdifferenz zwischen dem Originalkontrast und dem Ergebniskontrast für Unterschiedliche Kategorien bei dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. Die Kategorien sind nach dem Mittelwert der Kontrastdifferenz aufsteigend von links nach rechts sortiert. Abbildung 24(a) zeigt die Kontrastdifferenzen für den RMS Kontrast mit 8 dB. Der Algorithmus hat geringe Varianzen und hat die besten Ergebnisse bei den Kategorien „Bett/Sofa“ und „Sand“. Diese Kategorien zeigen geringe Differenzen und wenige Ausreißer. Kategorien wie „Glas“ und „Bildschirm“ weisen größere Differenzen auf.

Abbildung 24(b) zeigt die Kontrastdifferenzen bei einer Manipulation von -8 dB. Der Algorithmus zeigt für die negative Manipulation im Gegensatz zu den positiven in Abbildung 24(a) unterschiedliche Ergebnisse. Dadurch ist die Sortierung durch den Mittelwert verändert worden.

Die Mittelwerte für 24(a) sind in der Tabelle 5 aufgelistet für die unterschiedlichen Kategorien und für 24(b) in Tabelle 6. In den Tabellen 5 und 6 ist auch der Trend, dass kleinere Kontraste zu besseren Ergebnissen führen zu erkennen.

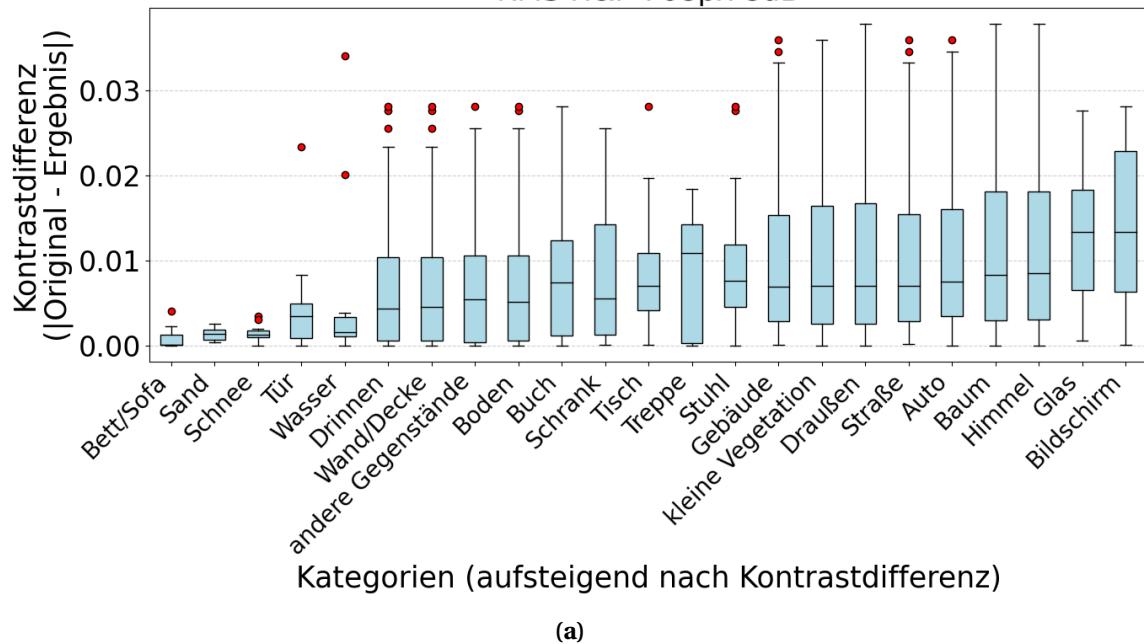
Tabelle 5: Kategorien RMS H&P 768px 8dB.

Kategorie	Mittelwert absolute Kontrastdifferenz	Mittelwert Originalkontrast	Mittelwert Ergebniskontrast	Anzahl
Bett/Sofa	0,0009	0,1650	0,1641	11
Sand	0,0013	0,1658	0,1645	10
Schnee	0,0014	0,1475	0,1461	20
Tür	0,0050	0,2080	0,2030	10
Wasser	0,0053	0,1691	0,1638	14
Drinnen	0,0070	0,2018	0,1948	88
Wand/Decke	0,0071	0,2027	0,1956	81
andere Gegenstände	0,0074	0,1910	0,1837	35
Boden	0,0075	0,2044	0,1969	51
Buch	0,0081	0,2129	0,2048	19
Schrank	0,0082	0,2101	0,2020	23
Tisch	0,0082	0,2133	0,2051	26
Treppe	0,0088	0,2017	0,1930	5
Stuhl	0,0092	0,2151	0,2059	28
Gebäude	0,0099	0,2376	0,2277	207
kleine Vegetation	0,0100	0,2132	0,2032	314
Straße	0,0102	0,2422	0,2320	152
Draußen	0,0102	0,2166	0,2064	428
Auto	0,0109	0,2509	0,2401	121
Baum	0,0111	0,2227	0,2116	368
Himmel	0,0112	0,2268	0,2155	332
Glas	0,0126	0,2234	0,2108	18
Bildschirm	0,0142	0,2322	0,2179	7

Tabelle 6: Kategorien RMS H&P 768px -8dB

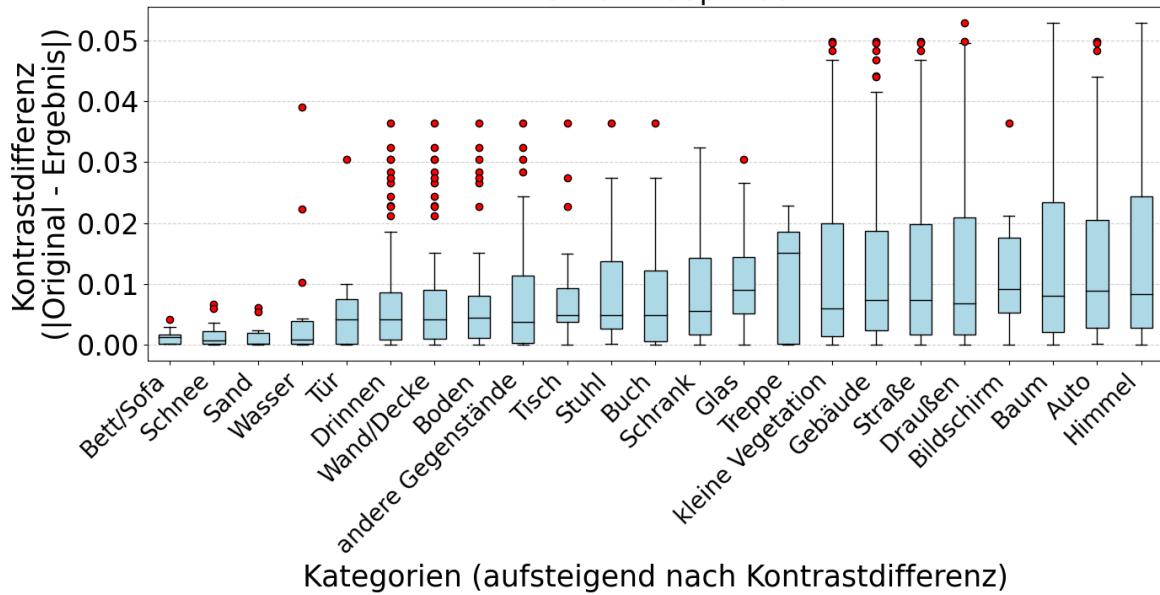
Kategorie	Mittelwert absolute Kontrastdifferenz	Mittelwert Originalkontrast	Mittelwert Ergebniskontrast	Anzahl
Bett/Sofa	0,0012	0,1650	0,1638	11
Schnee	0,0014	0,1475	0,1461	20
Sand	0,0014	0,1658	0,1644	10
Wasser	0,0058	0,1691	0,1633	14
Tür	0,0063	0,2080	0,2017	10
Drinnen	0,0070	0,2018	0,1948	88
Wand/Decke	0,0072	0,2027	0,1955	81
Boden	0,0075	0,2044	0,1969	51
andere Gegenstände	0,0079	0,1910	0,1831	35
Tisch	0,0082	0,2133	0,2051	26
Stuhl	0,0084	0,2151	0,2066	28
Buch	0,0087	0,2129	0,2042	19
Schrank	0,0097	0,2101	0,2004	23
Glas	0,0110	0,2234	0,2124	18
Treppe	0,0113	0,2017	0,1904	5
kleine Vegetation	0,0116	0,2132	0,2016	314
Gebäude	0,0118	0,2376	0,2258	207
Straße	0,0121	0,2422	0,2301	152
Draußen	0,0123	0,2166	0,2043	428
Bildschirm	0,0129	0,2322	0,2192	7
Baum	0,0135	0,2227	0,2092	368
Auto	0,0137	0,2509	0,2372	121
Himmel	0,0140	0,2268	0,2128	332

Boxplot der Kontrastdifferenz nach Kategorie
RMS H&P 768px 8dB



(a)

Boxplot der Kontrastdifferenz nach Kategorie
RMS H&P 768px -8dB



(b)

Abbildung 24: Kategorien RMS. Kategorien für den RMS Kontrast und einer Auflösung von 768px mit dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (a) hat eine Manipulation von 8dB. (b) hat eine Manipulation von -8dB. Eigene Darstellung.

Abbildung 25(a) vergleicht die Mittelwerte der Kontraste mit dem RMSnorm Kontrast für den Haun und Peli (2013) Bilddatensatz und einer Manipulation von 8dB für 25(a) und -8dB für 25(b). Der Algorithmus passt die Kategorien „Sand“ und „Schnee“ besser an. Kategorien wie „Glas“ und „Schrank“ zeigen schlechtere Anpassungen.

Abbildung 25(b) zeigt die Ergebnisse bei -8 dB. Auch hier sind die Kategorien mit einem geringen Kontrast wie „Sand“ und „Schnee“ am besten für den Algorithmus. Kategorien mit niedrigen Kontrasten wie „Sand“ bleiben hingegen vergleichsweise robust. Der Algorithmus hat Schwierigkeiten, hohe Originalkontraste korrekt anzupassen. Die Tabellen 7 und 8 zeigen, dass der RMSnorm-Algorithmus die Kontraste anpasst. Der Algorithmus reduziert die Differenzen bei Kategorien wie „Sand“ und „Schnee“. Kategorien wie „Auto“ und „Himmel“ zeigen jedoch weiterhin größere Abweichungen. Diese Ergebnisse decken sich mit den Balkenlängen und Streuungen in Abbildung 25(a) und 25(b).

Tabelle 7: Kategorien RMSnorm H&P 768px 8dB.

Kategorie	Mittelwert absolute Kontrastdifferenz	Mittelwert Originalkontrast	Mittelwert Ergebniskontrast	Anzahl
Sand	0,0040	0,3817	0,3777	10
Schnee	0,0096	0,3333	0,3236	20
Wasser	0,0196	0,4004	0,3809	14
Bett/Sofa	0,0242	0,4673	0,4431	11
Tür	0,0288	0,4918	0,4630	10
kleine Vegetation	0,0299	0,5318	0,5019	314
Draußen	0,0309	0,5408	0,5099	428
Himmel	0,0327	0,5675	0,5348	332
Baum	0,0329	0,5597	0,5268	368
Wand/Decke	0,0338	0,5407	0,5069	81
Drinnen	0,0342	0,5496	0,5154	88
Gebäude	0,0343	0,6097	0,5754	207
Straße	0,0347	0,6088	0,5740	152
Stuhl	0,0366	0,5676	0,5309	28
Boden	0,0369	0,5512	0,5143	51
Buch	0,0405	0,5406	0,5002	19
Tisch	0,0414	0,5543	0,5129	26
Treppe	0,0416	0,6847	0,6431	5
Auto	0,0419	0,6409	0,5991	121
Bildschirm	0,0420	0,6199	0,5779	7
andere Gegenstände	0,0421	0,5537	0,5116	35
Glas	0,0439	0,5950	0,5511	18
Schrank	0,0517	0,6040	0,5523	23

Tabelle 8: Kategorien RMSnorm H&P 768px -8dB.

Kategorie	Mittelwert absolute Kontrastdifferenz	Mittelwert Originalkontrast	Mittelwert Ergebniskontrast	Anzahl
Sand	0,0059	0,3817	0,3758	10
Schnee	0,0083	0,3333	0,3249	20
Wasser	0,0194	0,4004	0,3810	14
Bett/Sofa	0,0204	0,4673	0,4469	11
Tür	0,0305	0,4918	0,4613	10
kleine Vegetation	0,0321	0,5318	0,4998	314
Draußen	0,0334	0,5408	0,5074	428
Himmel	0,0356	0,5675	0,5319	332
Baum	0,0357	0,5597	0,5241	368
Wand/Decke	0,0369	0,5407	0,5037	81
Stuhl	0,0375	0,5676	0,5300	28
Drinnen	0,0377	0,5496	0,5119	88
Buch	0,0382	0,5406	0,5025	19
Gebäude	0,0388	0,6097	0,5708	207
Straße	0,0398	0,6088	0,5689	152
Boden	0,0408	0,5512	0,5104	51
Tisch	0,0417	0,5543	0,5125	26
Glas	0,0423	0,5950	0,5527	18
andere Gegenstände	0,0442	0,5537	0,5095	35
Auto	0,0471	0,6409	0,5938	121
Treppe	0,0512	0,6847	0,6335	5
Bildschirm	0,0519	0,6199	0,5680	7
Schrank	0,0564	0,6040	0,5475	23

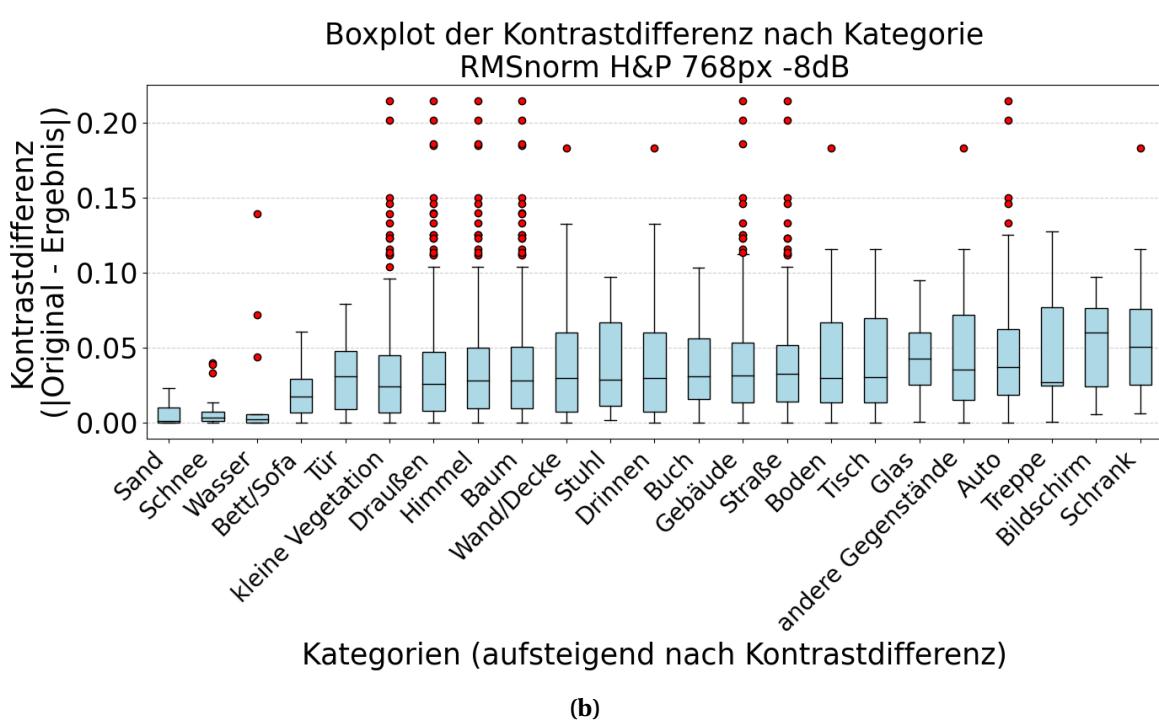
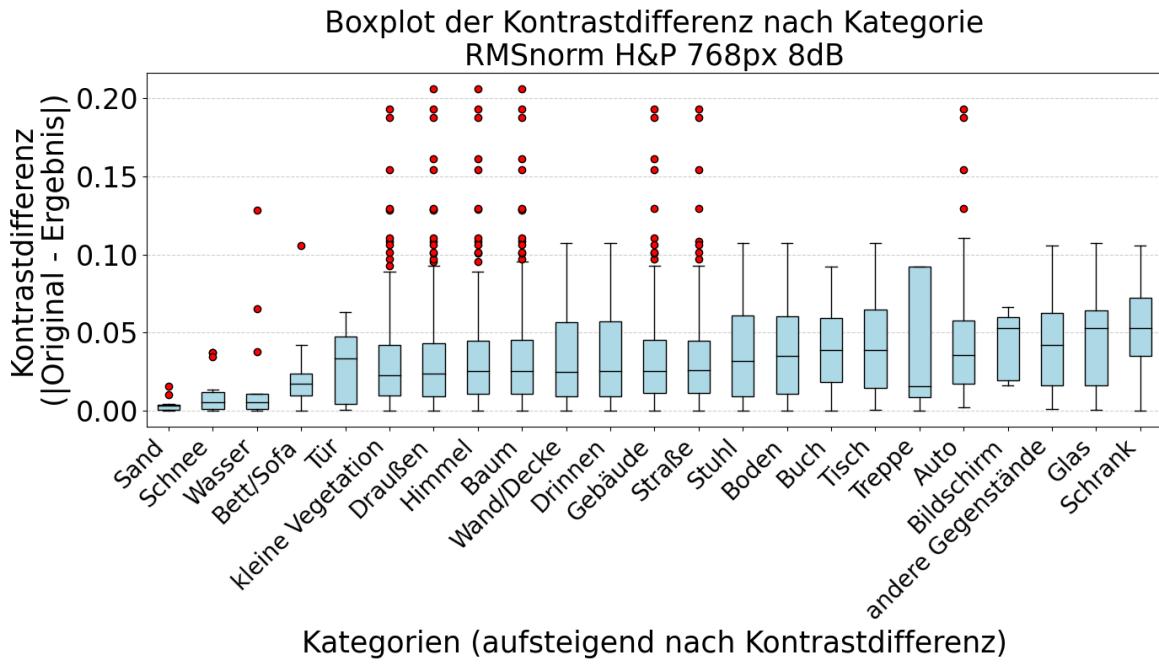


Abbildung 25: Kategorien RMSnorm. Kategorien für den RMSnorm Kontrast und einer Auflösung von 768px mit dem Haun und Peli (2013) Bilddatensatz. (a) hat eine Manipulation von 8dB. (b) hat eine Manipulation von -8dB. Eigene Darstellung. Eigene Darstellung.

Abbildung 26(a) zeigt die Ergebnisse für RMS Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz bei +8 dB. Der Algorithmus funktioniert am besten bei Kategorien wie „hayfield“ und „iceberg“, mit einem geringen Mittelwert für den Originalkontrast. Kategorien mit komplexen Strukturen, wie „beer_garden“ und „carousel“, zeigen die schlechteste An-

passung.

Abbildung 26(b) vergleicht die Ergebnisse bei -8 dB.

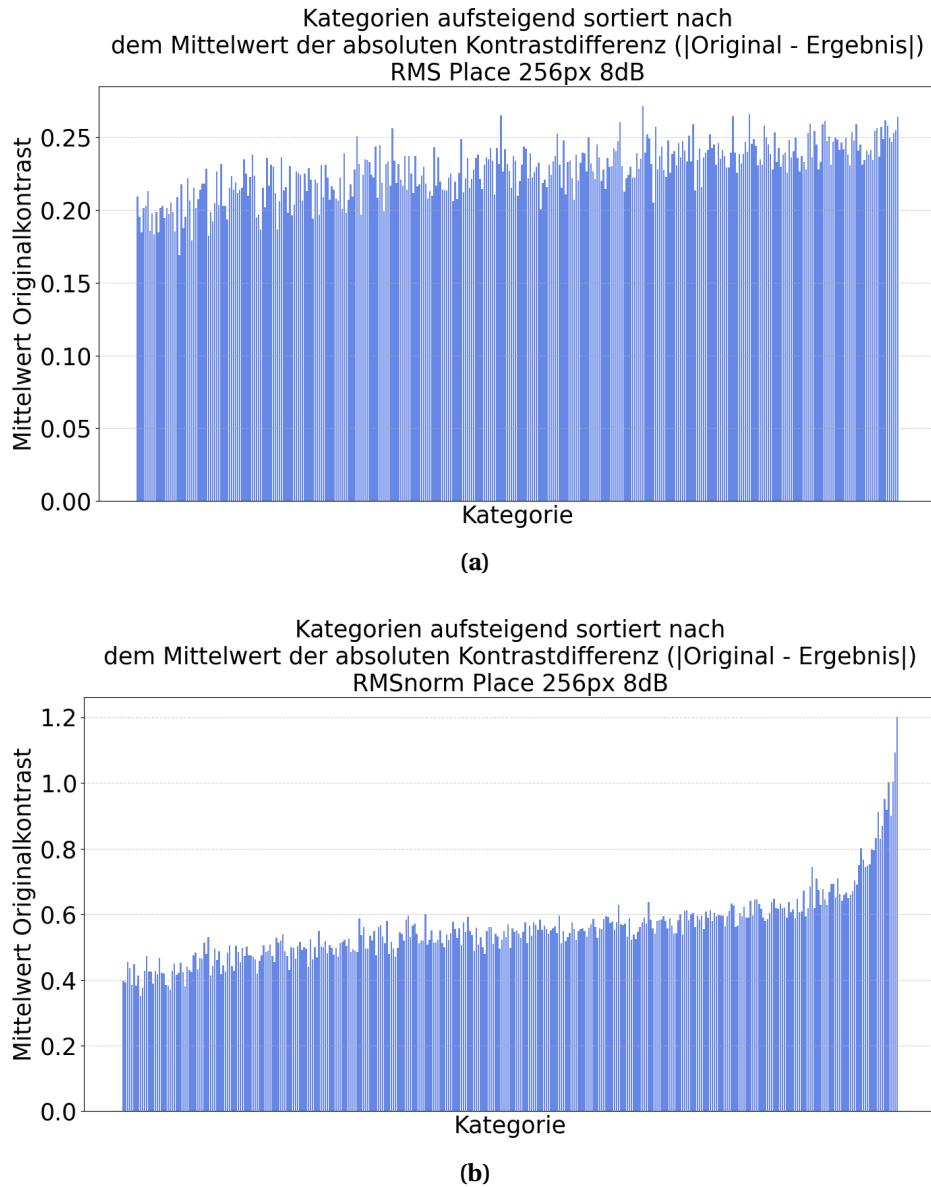


Abbildung 26: Kategorien Place. Kategorien für den RMS Kontrast (a) und dem RMSnorm Kontrast (b) bei einer Auflösung von 768px mit dem Place Bilddatensatz und einer Manipulation von 8dB. Eigene Darstellung.

In den Tabellen 9 und 10 sind die besten und schlechtesten 5, vom Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz. Die besten Kategorien wie „iceberg“ und „hayfield“ zeigen durchweg die geringsten Kontrastdifferenzen. Die schlechtesten Kategorien wie „orchestra pit“ und „stage indoor“ zeigen hingegen die größten Abweichungen.

Tabelle 9: 5 besten und schlechtesten Kategorien RMS Place. Die 5 besten und schlechtesten Kategorien basierend auf dem Mittelwert der absoluten Kontrastdifferenz mit dem RMS Kontrast für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz und einer Manipulation von 8dB.

Kategorie	Mittelwert absolute Kontrastdifferenz	Originalkontrast
Die 5 besten Kategorien:		
hayfield	0,0016	0,2089
iceberg	0,0016	0,1950
beach	0,0018	0,1844
wind_farm	0,0020	0,2012
desert_road	0,0021	0,2027
Die 5 schlechtesten Kategorien:		
bazaar-outdoor	0,0179	0,2638
bus_interior	0,0172	0,2544
market-outdoor	0,0166	0,2526
carrousel	0,0162	0,2468
beer_garden	0,0159	0,2578

Tabelle 10: 5 besten und schlechtesten Kategorien RMSnorm Place. Die 5 besten und schlechtesten Kategorien basierend auf dem Mittelwert der absoluten Kontrastdifferenz mit dem RMSnorm Kontrast für den Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz und einer Manipulation von 8dB.

Kategorie	Mittelwert absolute Kontrastdifferenz	Originalkontrast
Die 5 besten Kategorien:		
iceberg	0,0063	0,3975
wave	0,0075	0,3929
hayfield	0,0077	0,4556
beach	0,0080	0,3857
tundra	0,0081	0,4370
Die 5 schlechtesten Kategorien:		
stage-indoor	0,1378	1,0024
boxing_ring	0,1382	0,9008
arena-performance	0,1432	1,0054
movie_theater-indoor	0,1690	1,0937
orchestra_pit	0,2189	1,2022

3.1.12 Interpretation Kategorien

Die Analyse der Kategorien zeigt Unterschiede zwischen den Ergebnissen für den RMS Kontrast und den RMSnorm Kontrast. Kategorien mit homogenen Texturen wie „Schnee“ und „Sand“ haben geringere Kontrastdifferenzen. Höheren Kontrastdifferenzen haben Heterogene Kategorien wie „Schrank“ und „Glas“. Befüllte Schränke haben viele Details. Auffällig ist das Verhalten von „Draußen“, mit dem RMSnorm Kontrast ist die Kategorie

vor „Drinnen“. Die Eigenschaften des RMSnorm Kontrasts verbessern die Ergebnisse bei variablen Luminanzen.

Die Originalkontraste beeinflussen die Ergebnisse der Kategorien. Kategorien mit hohen Originalkontrasten haben eine schlechtere Anpassung an den Originalkontrast.

Positive Manipulationen haben eine bessere Anpassung für geringe Frequenzbänder. Die homogene Kategorie „Sand“ oder „Wand/Decke“ profitiert von einer positiven Manipulation.

Der Vergleich zwischen RMS und RMSnorm zeigt eine unterschiedliche Verteilung, welche nicht nur vom Originalkontrast abhängig sind. Für den RMS Kontrast funktionieren Kategorien mit ähnlicher Luminanz wie „Drinnen“ besser und der RMSnorm Kontrast funktioniert besser für Kategorien mit variablen Luminanzen im Bild.

4 Zusammenfassung

Der Algorithmus ist deterministisch. Das beste Ergebnis ist wenn der Originalkontrast gleich dem Ergebniskontrast ist. Der Algorithmus kann die Manipulation nicht immer Verbessern.

Die Manipulation des Hauptfrequenzbandes hat einen Einfluss auf das Ergebnis. Größere Manipulationen, sowohl in die negative als auch in die positive Richtung führen zu schlechteren Ergebnissen. Wie in der Abbildung 10 dargestellt ist der Manipulationseinfluss für das Frequenzband 128 bei einer positiven Manipulation am größten. Dadurch wird das Ergebnis mit positiven Manipulation für Frequenzband 128 am schlechtesten Angepasst. Durch Auflösungsreduzierung wird das Rauschen für das Frequenzband reduziert und der Algorithmus funktioniert besser für die hohen Ortsfrequenzen. Mit negativen Manipulationen ist das Ergebnis durch den Algorithmus schlechter. Für hohe Frequenzen funktionieren die negative Manipulation am besten.

Mit unterschiedlichen Auflösungen hat der Algorithmus das beste Ergebnis für geringe Auflösungen. Das liegt vermutlich an der Verringerung des Rauschens für die hohen Frequenzen. Durch die Verringerung der Auflösung wird der Bildkontrast reduziert.

Im Verhältnis zum Originalkontrast, je höher der Originalkontrast desto größer wird die Varianz zwischen den Frequenzbändern. Und der Originalkontrast hat einen leichten bis mittleren positiven Einfluss auf den Ergebniskontrast. Dadurch verringert sich die Anpassung für einen hohen Originalkontrast.

Die Kategorien haben einen positiven Einfluss durch homogene Bilder auf das Ergebnis beschrieben. Es funktionieren bei den Kategorien die homogenen Bilder mit niedrigen Bildkontrasten am besten. Aber der Mittelwert des Bildkontrasts garantiert nicht, dass eine Kategorie immer besser funktioniert als eine mit einem höheren Mittelwert.

5 Diskussion

In der Bachelorarbeit wurde gezeigt, dass verschiedene Parameter einen Einfluss auf das Ergebnis des Algorithmus haben. Die Hypothese, dass ein geringerer Originalbildkontrast

immer zu einem besseren Ergebnis des Algorithmus führt wurde widerlegt. Es existiert eine leichte bis mittlere Korrelation. Der Bildkontrast von dem Place365 (Zhou et al., 2017) Bilddatensatz wird auch wie der vollständige Haun und Peli (2013) Bilddatensatz mit dem Algorithmus minimiert. Das wird gezeigt durch die Anpassungen in Abbildung 18, 19 und 18.

Die besten Ergebnisse mit dem Algorithmus werden mit den Ansätzen erzielt:

- Manipulation des Hauptfrequenzbandes: Weniger Manipulationen, also näher 0 führen zu besseren Ergebnissen.
- Negative Manipulation: Größere Frequenzbänder eignen sich am besten für den Algorithmus.
- Positive Manipulationen:
 - Kleinere Frequenzbänder funktionieren am besten.
 - Für Frequenzband 128: Auflösung reduzieren.
- Bildkontrast: Bildkontrast für das Kontrastmaß möglichst gering.
- Szene: Eine homogene Szene ohne viele Details.

Ein Vorteil für geringere Auflösungen und eine geringere absolute Manipulation ist die kürzere Laufzeit des Algorithmus. Die genannten Ansätze beeinflussen sich gegenseitig. Die Auflösungsverringerung verringert den Bildkontrast. Eine homogene Szene hat einen geringen Bildkontrast.

Die Limitationen der Arbeit liegen in der Auswahl der Bilddatensätze und der begrenzten Anzahl getester Parameter. Der Haun und Peli (2013) Bilddatensatz bietet weniger Variabilität als Place365 (Zhou et al., 2017). Die Ergebnisse basieren auf einer begrenzten Anzahl von Manipulationsparametern, was eine vollständige Bewertung erschwert.

Die Ergebnisse liefern Erkenntnisse für zukünftige Arbeiten mit dem Algorithmus. Die Beziehung des Originalkontrastes und der Ergebniskontraste sollte weiter untersucht werden. Möglicherweise können bestimmte Formen und Muster von nicht natürlichen Bildern genauere Aussagen über den Zusammenhang von hohen Kontrasten und den Frequenzbändern treffen.

Eine breitere Analyse der Manipulationen ist auch sinnvoll um die Grenzen des Algorithmus zu testen.

Als mögliche Änderung am Algorithmus bietet sich auch das Speichern des skalierten und umgewandelten Originalbildes in ein Graustufenbild an. Momentan kopiert der Algorithmus das Originalbild ohne Änderungen in den Ordner mit den erstellten Stimuli. Dadurch sind möglicherweise weitere Schritte notwendig um das Originalbild mit den neuen Stimuli zu vergleichen.

Es wäre zudem interessant die genutzten Frequenzbänder anpassen zu können zur Be trachtung des Einflusses eines bestimmten Frequenzband auf den Ergebniskontrast.

Literatur

- Betz, T. (2016). Arguments for a new early vision model of lightness perception. <https://doi.org/10.14279/depositonce-5104>
- Bex, P.J., & Makous, W. (2002). Spatial frequency, phase, and the contrast of natural images. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, image science, and vision./Journal of the Optical Society of America. A, Online*, 19(6), 1096. <https://doi.org/10.1364/josaa.19.001096>
- Campbell, F. W., & Robson, J. (1968). Application of fourier analysis to the visibility of gratings. *Journal of physiology*, 197(3), 551–566. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008574>
- Fox, J. (2016). *Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models* (3rd). SAGE Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/applied-regression-analysis-and-generalized-linear-models/book241228>
- Georgesom, M. A., & Sullivan, G. D. (1975). Contrast constancy: deblurring in human vision by spatial frequency channels. *Journal of physiology*, 252(3), 627–656. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1975.sp011162>
- Haun, A. M., & Peli, E. (2013). Perceived contrast in complex images. *Journal of Vision*, 13(13), 3. <https://doi.org/10.1167/13.13.3>
- Kendall, M. G. (1938). A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*, 30(1-2), 81–93. <https://doi.org/10.2307/2332226>
- Krause, M. (2023, September). *Frequenzmanipulation komplexer Bilder bei gleichbleibendem Bildkontrast* [Bachelorarbeit]. Technische Universität Berlin. https://www.psyco.tu-berlin.de/files/theses/thesis_krause.pdf
- Peli, E. (1990). Contrast in complex images. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, image science, and vision.*, 7(10), 2032. <https://doi.org/10.1364/josaa.7.002032>
- Stevens, C. (2015). Novel neural circuit mechanism for visual edge detection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422673112>
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
- Zhou, B., Lapedriza, A., Khosla, A., Oliva, A., & Torralba, A. (2017). Places: A 10 million Image Database for Scene Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.