

## **Abstract**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Verwendung und Umfeld des JHelioviewers</b>	<b>1</b>
1.1	Rohdatenmenge der Feldlinien . . . . .	2
<b>2</b>	<b>State of the Art</b>	<b>3</b>
2.1	JPEG/JFIF Kompression . . . . .	3
2.2	3d Mesh Kompression . . . . .	3
2.3	PointCloud Kompression . . . . .	3
2.4	Signal Approximation . . . . .	3
2.5	Entropie Kodierung . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Eigenschaften und Kompression der Feldlinien</b>	<b>4</b>
3.1	Ist-Komprimierung . . . . .	4
3.2	Lösung 0, Angle-Subsampling . . . . .	4
3.2.1	Subsampling . . . . .	4
3.2.2	Ablegung ins Fits Format . . . . .	4
3.2.3	Entropie Kodierung . . . . .	4
3.3	Lösung 1, Diskrete Kosinus Transformation . . . . .	5
3.3.1	Subsampling . . . . .	5
3.3.2	Randbehandlung . . . . .	5
3.3.3	Cosinus-Transformation . . . . .	5
3.3.4	Quantisierung . . . . .	5
3.3.5	Ablegung ins Fits Format . . . . .	5
3.3.6	Entropie Kodierung . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Qualitätsmessung der Kompression</b>	<b>6</b>
4.1	Auswahl und Erhebung der Testdaten . . . . .	6
4.2	Ablauf des Tests und Messung des Fehlers . . . . .	6
4.2.1	Allgemeiner Fall . . . . .	7
4.2.2	Randbehandlung . . . . .	7
4.2.3	Berechnung der Standardabweichung . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Implementation</b>	<b>9</b>
5.1	Komprimierung auf dem Server . . . . .	9
5.2	Asynchrone Dekomprimierung im JHelioviewer . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Resultate</b>	<b>10</b>
6.1	Lösung 0, Angle-Subsampling . . . . .	10
6.2	Lösung 1, Diskrete Kosinus Transformation . . . . .	11
6.2.1	DCT . . . . .	11
6.2.2	Feldlinien Ableiten mit DCT . . . . .	12
6.2.3	Feldlinien Ableiten mit PCA und DCT . . . . .	13
6.2.4	Feldlinien Ableiten mit DCT und Byte-Kodierung . . . . .	14
6.2.5	DCT mit Byte-Codierung . . . . .	15
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>Ehrlichkeitserklärung</b>	<b>20</b>

# 1 Verwendung und Umfeld des JHelioviewers

Satelliten, welche Messungen von der Sonne machen.

Der JHelioviewer ist eine Applikation, die zur Analyse von Sonnendaten verwendet wird. Es wird international zur Sonnenforschung eingesetzt und wird von der FHNW zusammen mit der ESA entwickelt. Momentan ist eine neue Version des JHelioviewer in Entwicklung, welche die Sonne im dreidimensionalen Raum darstellt. Ein Feature von JHelioviewer ist die Magnetfeldlinien darzustellen und zu animieren, die Abbildung 1 zeigt die Visualisierung. Es wird zwischen drei Feldlinien Unterschieden: Linien, die auf der Sonne starten und wieder

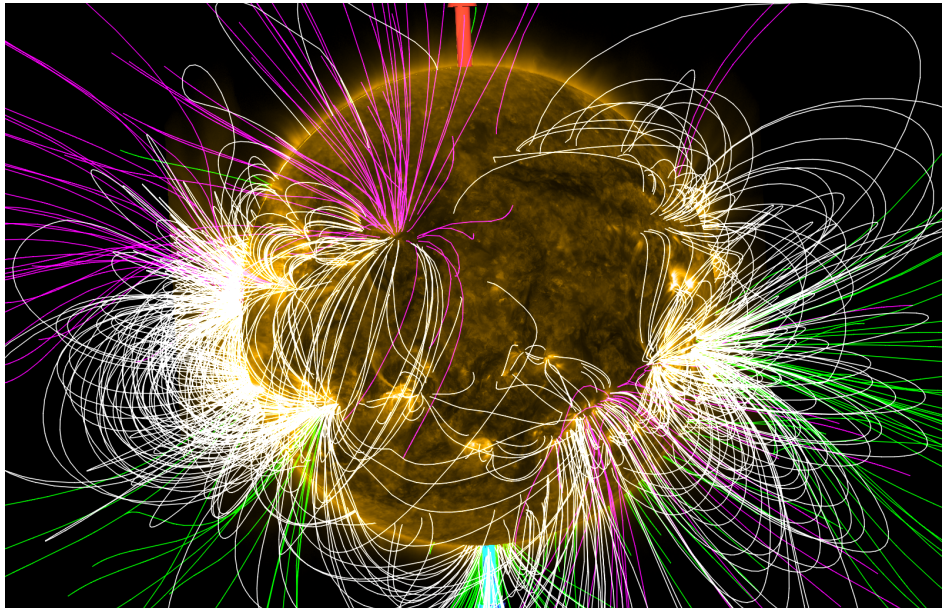


Abbildung 1: Visualisierung der Feldlinien im JHelioviewer

auf der Sonne landen, auf der Sonne starten und ins Weltall führen oder vom Weltall auf der Sonne landen. Die weissen Feldlinien repräsentieren "Sonne zu Sonne", die Grünen "Sonne zu Weltall" und die Violetten "Weltall zu Sonne". Die Feldlinien sind, allgemein Betrachtet, eine grosse Menge an Punkten, welche ein Server bereitstellt. Die Abbildung 2 visualisiert den Datenfluss. In regelmässigen Abständen sucht der Ser-

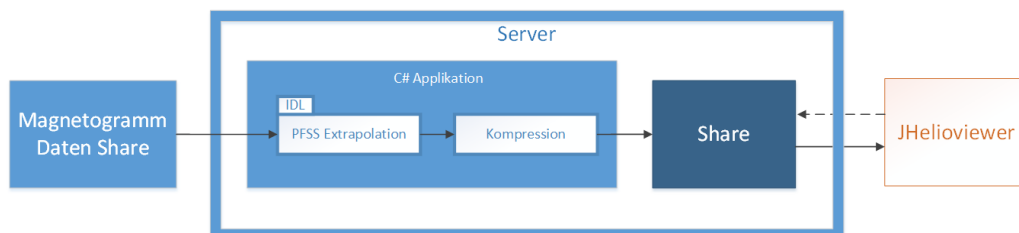


Abbildung 2: Aufbau und Datenfluss des Servers

ver nach neuen Oberflächen-Magnetogramm-Daten der Satelliten. Die momentane Lösung erhält alle sechs Stunden neue Messdaten der Satelliten. Daraus werden mittels Potential Field Source Surface (PFSS) Simulation die Feldlinien zu diesem Zeitpunkt errechnet. Danach führt der Server eine Kompression durch und stellt die Daten auf einem öffentlichen Share dem JHelioviewer zur Verfügung. Zusammen mit Aufnahmen von anderen Instrumenten animiert der JHelioviewer die Feldlinien über einen gewissen Zeitraum. Die Daten werden zur Laufzeit über eine Internetverbindung nachgeladen.

## **1.1 Rohdatenmenge der Feldlinien**

Die PFSS Extrapolation produziert für eine Aufnahme etwa 15 MiBytes an Daten. Verlustfrei/verlustbehaftet. Vorfeld schon mit Verlustlosen und Verlustbehafteten Kompressionsverfahren auf etwa 1.5 MiByte verkleinert. Ziel ist es, so wenige Daten wie Möglich zu brauchen. Zukunftsvision

## 2 State of the Art

### 2.1 JPEG/JFIF Kompression

### 2.2 3d Mesh Kompression

In der Computergrafik müssen alle Gegenstände und Akteure in der virtuellen Welt modelliert werden. So wird ein Mensch eine Menge von Dreiecken, das Mesh, modelliert. Jeder Punkt eines Dreieck kann zusätzliche Informationen gespeichert haben wie Texturkoordinaten, Farbe oder Oberflächen-Normalen. Je nach Anwendungsfall kann ein Modell aus ein paar hundert oder mehreren hunderttausend Dreiecken bestehen. Um diese Datenmenge zu verkleinern versuchen Formate wie OpenCTM [2] die Datenmenge verlustfrei oder verlustbehaftet zu komprimieren.

wie funktioniert es

wie es verwendet werden könnte

### 2.3 PointCloud Kompression

Industrie Lasersampling Bild pointcloud Grosse Punktmenge, welche im 3d Raum komprimiert werden soll. verlustfrei/ Verlustbehaftet Je nach Implementation können zu jedem Punkt zusatzinfos gespeichert werden wie Farbe/Normalen etc, darüber könnte die Information, zu welcher Linie ein Punkt gehört, gespeichert werden.

### 2.4 Signal Approximation

Messtechnik von Medizin bis Fotografie, überall wo man ein Signal über Zeit hat Versucht ein Signal durch eine Folge von Funktionen zu approximieren.

Gute Approximation kommt mit wenigen Funktionen aus. Verlustbehaftete Kompression, indem man mit einer begrenzten Anzahl

fourier, wavelet Compressed sensing, Spline Approximation

### 2.5 Entropie Kodierung

Verlustfreie Komprimierung basierend auf Shannons coding theorem

Arithmeic, Huffman Dictionary Type: LZ77, Byte pair encoding, RLE

### 3 Eigenschaften und Kompression der Feldlinien

Jede Simulation beinhaltet 1200 Feldlinien und insgesamt etwa 60'000 Punkte. Fits format [? ]

#### 3.1 Ist-Komprimierung

Der JHelioviewer bietet an, die Feldlinien zu einem gegebenen Zeitpunkt darzustellen. Damit der Benutzer eine vernünftige Zeit auf die Feldlinien wartet, wurde bereits im Vorfeld eine Kompression implementiert. Zuerst werden die Daten im sphärischen Koordinatensystem (Radius, Längengrad  $\phi$  und Breitengrad  $\theta$ ) auf dem Server quantisiert und mit GZip verlustfrei komprimiert. Der JHelioviewer dekomprimiert die Daten und transformiert sie in das kartesische Koordinatensystem um. Die Punktmenge wäre für schwächere Grafikkarten zu gross, weshalb der JHelioviewer eine weitere Quantisierung durchführt.

##### Quantisierung und Dateiformat auf dem Server

Zuerst werden die Kanäle R,  $\phi$  und  $\theta$  Kanäle zu shorts diskretisiert:

1. R:  $4 = 2^{15}$ .
2.  $\phi$ :  $2\pi = 2^{15}$
3.  $\theta$ :  $2\pi = 2^{15}$

$\theta$  Wertebereich geht aber nur von 0 bis  $\pi$ , die letzten Bits werden gar nicht verwendet. Die Kanäle R und  $\phi$  haben das Problem, dass der Wert  $2^{15}$  einen Signed Integer Overflow verursacht und auf  $-2^{15}$  zu liegen kommt. R scheint den maximalen Wert nie zu erreichen. Wenn aber eine Feldlinie den Nullpunkt passiert, springt der Kanal von  $2^{15} - 1$  auf  $-2^{15}$  und dann auf 0.

Subsampling, jeder vierte Punkt 0 Löschen.

Format: zuerst Konstanten, alle Radian

##### Quantisierung des JHelioviewers

Clientseitig wieder ein subsampling und umrechnung ins kartesische System xyz, dann Anglesubsampling

#### 3.2 Lösung 0, Angle-Subsampling

Subsampling 5Grad auf dem Server Kodierung mittels rar

##### 3.2.1 Subsampling

##### 3.2.2 Ablegung ins Fits Format

##### 3.2.3 Entropie Kodierung

Rar hat sich bewährt bei der purer Feldlinien kompression im Vergleich zu anderen Verfahren wie LZ77/gZip

### 3.3 Lösung 1, Diskrete Kosinus Transformation

DCT, da alles nahe an harmonischen Halbwellen kartesische Koordinaten –  $j$  kein wrap around,

Es ist auch möglich die Punkte im sphärischen Koordinatensystem in den Frequenzraum zu überführen. Der  $\phi$ -Kanal ist jedoch schwierig durch tiefe Kosinus Schwingungen darzustellen: Wie im Abschnitt 3.1 besprochen, beinhaltet der Kanal Sprünge bei der Passierung des Nullpunktes. Das führt zu sehr hochfrequenten Schwingungsanteile in der DCT. Nach einer Quantisierung sind dabei Artefakte nicht vermeidbar. Im kartesischen System hingegen sind alle Kanäle stetig und lassen sich einfacher durch Kosinus-Funktionen approximieren.

#### 3.3.1 Subsampling

Wie im Abschnitt 4.1 beschrieben, wurde aus den Testdaten die Quantisierung und das Subsampling entfernt. Die Feldlinien der Testdaten haben das vier Mal mehr Punkte, als beim Ist-Zustand übertragen werden. Die DCT-Implementierung weist eine Komplexität von  $O(n^2)$  auf. Vor der Kosinus-Transformation wird deshalb das selbe Subsampling durchgeführt, wie im Ist-Zustand. So kann der Rechenaufwand in Grenzen gehalten werden.

Falls die Laufzeit der Dekompression verbessert werden soll, kann die Fast-Cosine-Transformation umgesetzt werden. Diese hat eine Komplexität von  $O(n \log(n))$ . Der Nachteil ist, dass nur Daten der Länge  $2^n$  transformiert werden können, was zusätzliche Programmlogik braucht. Falls die Fast-Cosine-Transformation nicht ausreicht, können die Linien in Blöcken mit einer bestimmten Anzahl von Punkten unterteilt werden. Dadurch wird die Komplexität auf  $O(n)$  gesenkt. Jedoch ist es wahrscheinlich, dass durch die Unterteilung die Kompressionsrate leidet. Vermutlich braucht es für die Approximation der Blöcke insgesamt mehr Kosinus-Funktionen, als für die Approximation der gesamten Feldlinie.

#### 3.3.2 Randbehandlung

#### 3.3.3 Cosinus-Transformation

Cosinus-Transformation DCT 2 idct ist dct3

#### 3.3.4 Quantisierung

#### 3.3.5 Ablegung ins Fits Format

#### 3.3.6 Entropie Kodierung

Kodierung Zuerst einfaches Run-length

Weitere Kodierung mittels Rar. Rar hat sich bewährt bei der purer Feldlinien kompression im Vergleich zu anderen Verfahren wie LZ77/gZip

## 4 Qualitätsmessung der Kompression

Um die Datenmenge der Feldlinien zu verringern werden verlustbehaftete Kompressionsverfahren angewendet. Trotz des Dateiverlustes sollen die dekomprimierten Linien möglichst ihren Originalen ähneln. Kleine Abweichungen werden in der Sonnenforschung toleriert. Es ist wichtig, dass die Form der Kurve erhalten bleibt. Grosse, seltene Abweichungen sollten vermieden werden, da sie das Aussehen der Feldlinie verändern können.

Zusammen mit Sonnenforschern wurden zwei Fehlermasse bestimmt: Der absolute maximale Fehler und die Standardabweichung von der komprimierten Linie zum Original. Die Standardabweichung ist für diesen Fall geeignet: Grosse, seltene Abweichungen werden stärker gewichtet, als kleine dafür häufige Abweichungen. Der absolute maximale Fehler wird noch als Absicherung gemessen. In den meisten Fällen wird die Kompression mit der tieferen Standardabweichung auch den kleineren maximalen Fehler haben. Da aber die Messung über ein paar hunderttausend Punkte durchgeführt wird, ist das Gegenteil denkbar.

Eine Grenze für die Genauigkeit ist nicht festzulegen. Auch wenn eine Grenze gefunden wird, kann diese sich in der Zeit verändern. Im Fall der Feldlinien ist die Internetverbindung der Flaschenhals. Es kann sein, dass in Zukunft mehr Präzision bei mehr Platzbedarf verlangt wird. Deshalb werden die Verfahren, wenn möglich, mit unterschiedlichen Qualitätsstufen getestet und verglichen.

### 4.1 Auswahl und Erhebung der Testdaten

Die Testdaten sollen zu einem alle Randfälle abdecken, als auch durchschnittliche Fälle enthalten. Aus diesem Grund wurden insgesamt zehn Datensätze ausgewählt: Vier Datensätze mit hoher Sonnenaktivität, zwei mit wenig und vier zufällig. Für die vier Datensätze mit hoher Aktivität wurde in den Jahren 2014 und 2013 nach den grössten Solare Flares gesucht. Für die Datensätze mit wenig Aktivität wurde das Gegenteil gemacht, nach Zeiträumen mit möglichst kleinen Solar Flares gesucht.

Die Feldlinien werden aber nur alle sechs Stunden berechnet und Solar Flares sind sehr spontane Ereignisse. Auch eine grosse Flare kann während den sechs Stunden anfangen und wieder aufgehört haben. Für die grossen Solar Flares wurde deshalb beachtet, dass die Datensätze vor dem Ereignis verwendet wurden. Grosse Solar Flares entladen das Feld, vor dem Ereignis ist das Magnetfeld komplexer.

Wie im Abschnitt 3.1 beschrieben, führt der IDL-Code schon eine Quantisierung und ein Subsampling durch. Für die Testdaten wurde das Subsampling und die Quantisierung entfernt. Für jede Dimension eines Punktes wird anstatt 16 Bit 32 Bit Genauigkeit verwendet. Die rohe Datenmenge ist dementsprechend angewachsen auf etwa 10 MiByte pro Aufnahme.

### 4.2 Ablauf des Tests und Messung des Fehlers

Float daten werden geladen. Daten kopiert und Kompression/Dekompression durchgeführt für alle Testdaten. Die kopierten Daten wissen aber noch, welches ihr Originalpunkt ist. Zwei Mengen, Originalpunkte  $O$ , dekomprimierte Punkte  $D$ . Es gibt immer gleich viele oder mehr Originalpunkte wie dekomprimierte Punkte. Die Fehlerberechnung muss der allgemeine Fall und die Randbehandlung unterschieden werden.



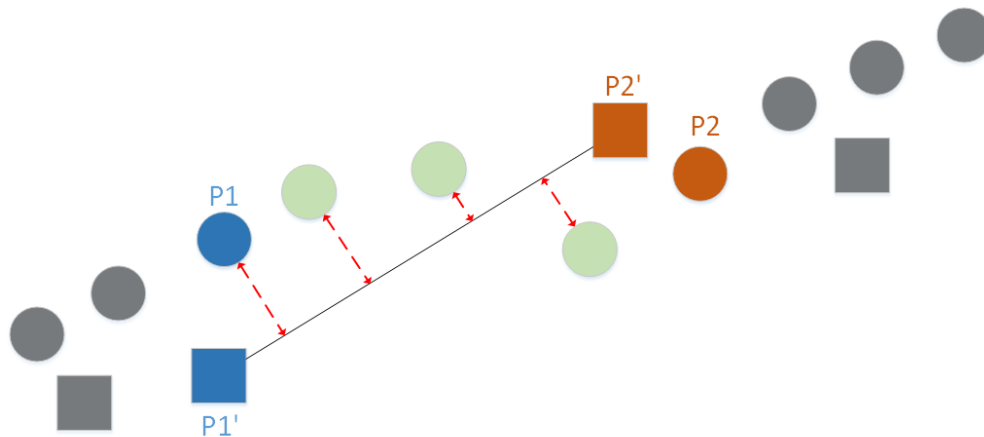


Abbildung 3: Darstellung der Fehlerberechnung. Die Punkte sind die Originaldaten, die Quadrate sind die Punkte nach der Kompression.

#### 4.2.1 Allgemeiner Fall

Die Berechnung ist dargestellt im Diagramm 3. Für jeden Punkt  $p1'$  aus  $D$ , nehme  $p1'$  und den folgenden Punkt und  $p2'$ . Ziehe eine Strecke  $s$  durch  $p1'$  und  $p2'$ . Suche von  $p1'$  den Originalpunkt  $p1$  aus  $O$  und rechne den Abstand aus zur Strecke  $s$ . Führe das für alle folgenden Originalpunkte durch, bis  $p2$  erreicht wurde. Der Abstand  $s$  zu  $p2$  wird nicht mehr berechnet.

##### Abstandsrechnung eines Punktes zu einer Strecke

Gegeben: Strecke  $s$  mit Eckpunkten  $A$  und  $B$  und Punkt  $P$ .

Gesucht: Kürzeste Distanz zwischen  $s$  und  $P$

Zuerst wird überprüft, ob eine Senkrechte durch  $P$  überhaupt auf der Strecke  $s$  zu liegen kommt. Das ist der Fall, wenn die Strecke  $AP$  auf die Strecke  $s$  projizierbar ist:

$$t = \frac{\vec{AB} \cdot \vec{AP}}{|\vec{AB}|^2}$$

$$0 \leq t \leq 1$$

Wenn das nicht möglich ist, wird der kürzere Distanz von  $P$  zu einem der Eckpunkte genommen. Falls aber eine Senkrechte auf  $s$  zu liegen kommt, muss jetzt die Länge der Senkrechten berechnet werden. Aus der vorhergehenden Berechnung könnte man den Fußpunkt auf  $s$  berechnen und dadurch die Distanz, oder man kann die Distanz direkt über das Kreuzprodukt berechnen.

$$distance = \frac{|\vec{BA} \times \vec{BP}|}{|\vec{BP}|}$$

#### 4.2.2 Randbehandlung

Es ist möglich, dass die originalen Endpunkte durch eine Quantisierung verworfen wurden. Das bedeutet, wenn man den Fehler für den allgemeinen Fall berechnet, am Anfang und am Ende Originalpunkte existieren, für die nie eine Distanz berechnet wurde. Die Abbildung 4 zeigt das Problem. Deshalb müssen die Abstände der Ränder von der Komprimierten- zur Original-Linie noch berechnet werden. Der Abstand vom ersten komprimierten Punkt (in der Abbildung  $P0$ ) zu seinem Original wird schon im allgemeinen Fall berechnet.



Abbildung 4: Darstellung der Fehlerberechnung. Die Punkte sind die Originaldaten, die Quadrate sind die Punkte nach der Kompression.

#### 4.2.3 Berechnung der Standardabweichung

$$\sigma(X) = \sqrt{\text{variance}(X)}$$

$$\text{variance}(X) = \sum (x_i - E(x_i))^2$$

Die Standardabweichung  $\sigma$  einer Beobachtungsreihe  $X$  ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n - 1$ ) ergibt sich aus der Wurzel der Varianz von  $X$ . Die Varianz von  $X$  kann errechnet werden, wenn man den Distanz jeder Beobachtung  $x_i$  mit dem Erwartungswert  $E(x_i)$  berechnet und quadriert. Die Beobachtung ist im diesen Fall ein Punkt der dekomprimierten Linie, während der Erwartungswert der Originalpunkt ist. Die Distanz wird mit dem besprochenen Verfahren 4.2 berechnet. Die Summe der quadratischen Abstände ergibt die Varianz. Die Varianz wird über alle Testdaten berechnet, somit erhält man für einen Test genau eine Standardabweichung.

## 5 Implementation

### 5.1 Komprimierung auf dem Server

C# architektur des servers, nicht viel. neuer Ordner auf Share

### 5.2 Asynchrone Dekomprimierung im JHelioviewer

alter zustand?

neuer Zustand DAtenfluss, FileDescriptor Ziel, Asynchroner Ablauf. Daten werden Asynchron vom Server heruntergeladen, dekomprimiert und auf die Grafikkarte geladen.

Klassendiagramm

Read ahead Frames Cache

PfssData Read ahead + cache

## 6 Resultate

Wie im Kapitel 3 wird erwähnt, dass der Ist-Zustand die Feldlinien im FITS-Dateiformat abspeichert. Es wurde geprüft, wie viel Speicher das Format nach der Entropie-Kodierung beansprucht. Für den Test wurde die Komprimierung 6.1 verwendet. Zum Vergleich wurden die Daten im FITS-Dateiformat und als Binärdatei abgelegt. Die Resultate 1 zeigen keinen signifikanten Unterschied des Speicherverbrauchs. Pro Feldlinie liegt

pro Feldlinie (FITS)	Bytes pro Feldlinie (Binär)
74.2 Bytes	73.6 Bytes

Tabelle 1: Einfluss des FITS Formates auf den Speicherverbrauch

der Unterschied bei 0.6 Bytes. Hochgerechnet auf 1200 Feldlinien sind es 0.7 KiBytes, welches das Fits-Format für sich beansprucht. Fits erlaubt es, den Datenreihen einen Namen so wie eine kurze Beschreibung anzuhängen. Diese Strings sind Optional und können auch weggelassen werden.

Der wesentliche Vorteil von FITS ist, dass das Format bereits Plattformunabhängig ist. Probleme wie Endian-ness [?] werden vom Format gelöst. Aus diesem Grund wurde entschieden das FITS Format beizubehalten.

### 6.1 Lösung 0, Angle-Subsampling

Der Ist-Zustand wird das Angle-Subsampling<sup>1</sup> im JHelioviewer durchgeführt. Diese Variante führt das Sub-sampling vor der Dateiübertragung durch. Die resultierende FITS-Datei wird mittels Rar kodiert<sup>2</sup>; Wie im

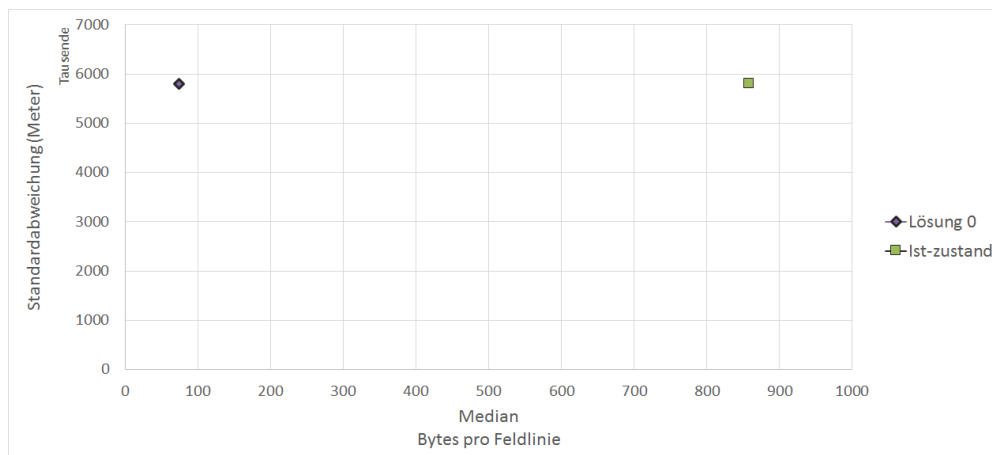


Abbildung 5: Vergleich der Lösung 0 zum Ist-Zustand.

Diagramm 5 erkennbar ist, verbraucht die Lösung 0 deutlich weniger Speicher. Das Angle-Subsampling reduziert deutlich die Anzahl Punkte, während die Rar eine bessere Kompression erbringt. Die Komplexität der Kompression und Dekompression bleibt in der Grössenordnung  $O(n)$  ( $n$  ist die Anzahl Punkte). Da bei der Dekompression  $n$  etwa vier Mal weniger Punkte bearbeiten muss, ist die Dekompression sogar schneller als die Ist-Lösung.

Die Abbildung 6 zeigt die Artefakte, die bei der Komprimierung der Lösung 0 entstehen. Es ist anzumerken, dass der Ist-Zustand die selben Artefakte aufweist.

<sup>1</sup> siehe Abschnitt 3.2.1

<sup>2</sup> siehe Abschnitt 3.2.3

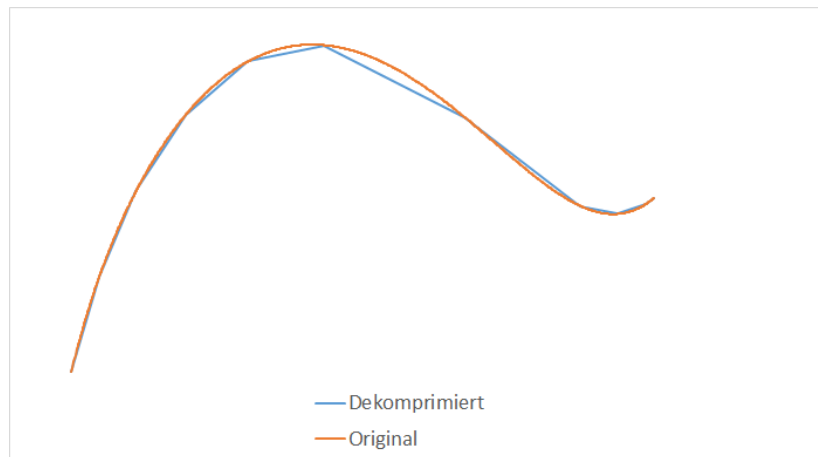


Abbildung 6: Artefakte der Lösung 0

## 6.2 Lösung 1, Diskrete Kosinus Transformation

In den folgenden Abschnitten werden die Resultate verschiedener Varianten vorgestellt. Alle Varianten bestehen grob aus fünf Teilschritten: Einem Subsampling<sup>3</sup>, einer Folge von verschiedenen Transformationen, bei der eine die Diskrete Kosinus Transformation ist, Abspeicherung ins Fits Format<sup>4</sup> und einer Quantisierung und einer Entropie Kodierung mit Rar<sup>5</sup>.

In den Tests wurde eine lineare Quantisierung verwendet. Jeder DCT Koeffizient wird durch einen Faktor geteilt, der sich stetig erhöht. Zum Beispiel wird der erste Koeffizient durch zwei geteilt, der zweite durch Vier, der Dritte durch Sechse etc. Die Kompressionsrate kann durch einen höheren oder tieferen Faktor gesteuert werden. Diese Quantifizierung ist nicht das Optimum. Eine bessere Quantifizierung wird für die beste Lösung ausgearbeitet.

### 6.2.1 DCT

verwendet als Transformation nur DCT. Einzige Veränderung, jeder Kanal wird mit 32 Bit Integer anstatt mit 16 Bit abgespeichert. DCT-Koeffizienten sind sonst zu gross. Die Abbildung 7 zeigt den Vergleich der DCT

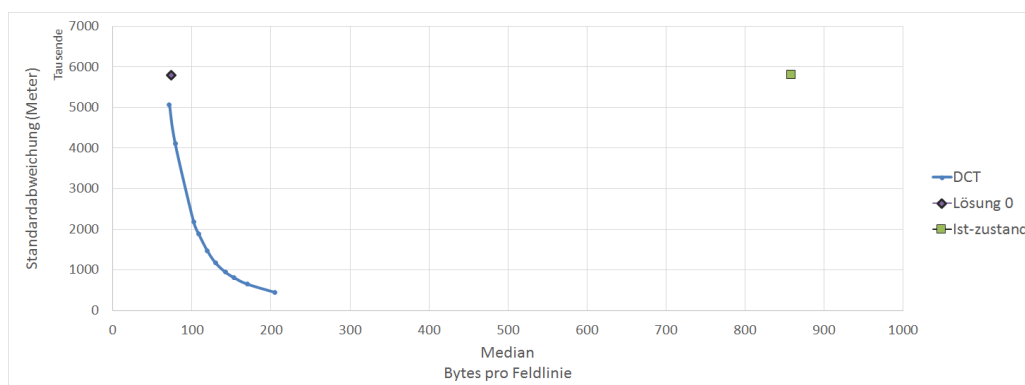


Abbildung 7: Vergleich der DCT Kompression mit der Lösung 0

<sup>3</sup>siehe Abschnitt 3.3.1

<sup>4</sup>siehe Abschnitt 3.2.2

<sup>5</sup>siehe Abschnitt 3.2.3

Kompression mit der Lösung 0. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Standardabweichung schnell steigt bei leicht sinkender Grösse. Der Maximale Fehler steigt ebenfalls schnell und erreicht beim letzten Test eine Höhe von 140'686'000 Meter. Zum Vergleich: Der maximale Fehler der Lösung 0 ist mehr als vier Mal kleiner und liegt bei 30'014'000 Meter.

Die Darstellung der Artefakte 9 zeigen das Problem: in den meisten Fällen kann die DCT die Feldlinie gut

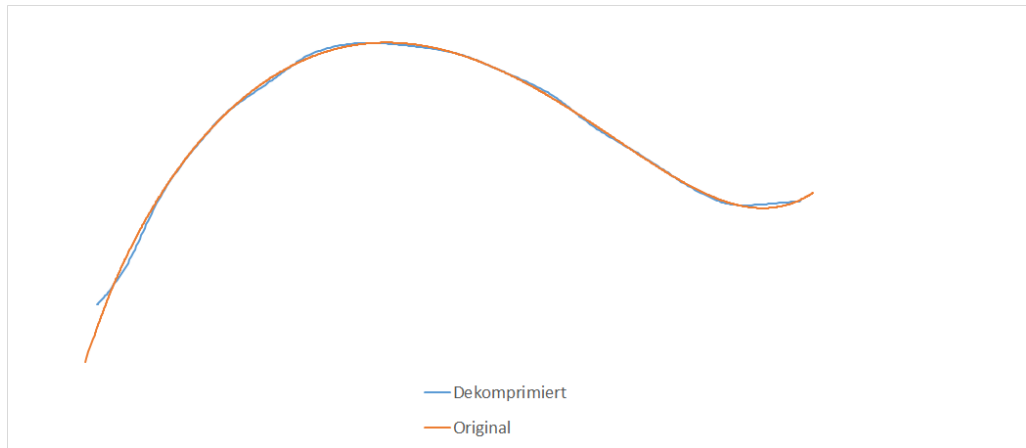


Abbildung 8: Artefakte der DCT Dekompression

approximieren. Bei dieser Feldlinie wird der Anfang der Kurve nicht richtig dargestellt. Das ist ein typisches Problem der DCT: Die Transformation nimmt an, dass das Signal sich am Anfang und am Ende in umgekehrter Reihenfolge wiederholt [?]. Gerade beim Anfang bedeutet das eine Unterbruch, welche sich nur durch hochfrequente Anteile darstellen lässt.

Eine Möglichkeit ist die Feldlinie um Punkte zu erweitern, welche die Transformation vereinfachen. Wenn die Punkte geschickt gewählt werden, sollte eine Feldlinie nach der Transformation und Quantisierung ähnlich viele Bytes benötigen. Durch eine andere Darstellung könnten diese Probleme ebenfalls gelöst werden, weshalb zuerst weitere Transformationen analysiert werden.

## 6.2.2 Feldlinien Ableiten mit DCT

Bevor die Feldlinie Kosinus-Transformiert und Quantisiert wird, soll sie abgeleitet werden. Die Kosinustransformation wird auf den Steigungen ausgeführt. Damit die Operation umkehrbar ist, wird der Startpunkt der Feldlinie im kartesischen Koordinatensystem gespeichert. Mit der Ableitung sollen zu einem die Koeffizienten gedämpft werden, sodass sie sich mit weniger Genauigkeit quantisieren lassen. Zum Anderen soll das Randproblem dargestellt in 9 gelöst werden. Die Steigungen sind kleinere Zahlen, was nicht so einen starken Wechsel verursachen sollte. Der Nachteil ist, dass Ungenauigkeiten sich durch die Kurve durchziehen und summieren. Anfangs stimmen komprimierte und Originalkurve sehr genau überein. Aber gegen Ende können sie immer mehr abweichen.

Die DCT Koeffizienten und die X,Y und Z Kanäle der Startpunkte werden mit 16 Bit quantisierten getrennt abgelegt. Die DCT, die Quantisierung sowie die Entropie Kodierung ist die Selbe wie bei 6.2.1. Die abgeleiteten Feldlinien können sehr gut quantisiert werden. Im Vergleich zur Lösung 0 braucht diese Variante etwa 15 Byte weniger um eine Feldlinie darzustellen. Durchschnittlich ist jetzt eine PFSS Simulation auf 72 KiByte komprimiert.

Die Feldlinien liegen meist auf einer Ebene im dreidimensionalen Raum. Wenn die X,Y und Z Kanäle Kosinus-Transformiert werden, ist die Information etwa gleichmässig auf den Kanälen verteilt. Eine Linie könnte sich durch weniger Kosinus-Funktionen approximieren lassen, wenn die Linie zuerst in ein lokales Koordinatensystem transformiert wird. Die Koordinatenachsen können für jede Linie so gelegt werden, dass der X und Y Kanal den Grossteil der Informationen beinhalten. Der Z Kanal könnte für viele Feldlinien Null sein. Es wird

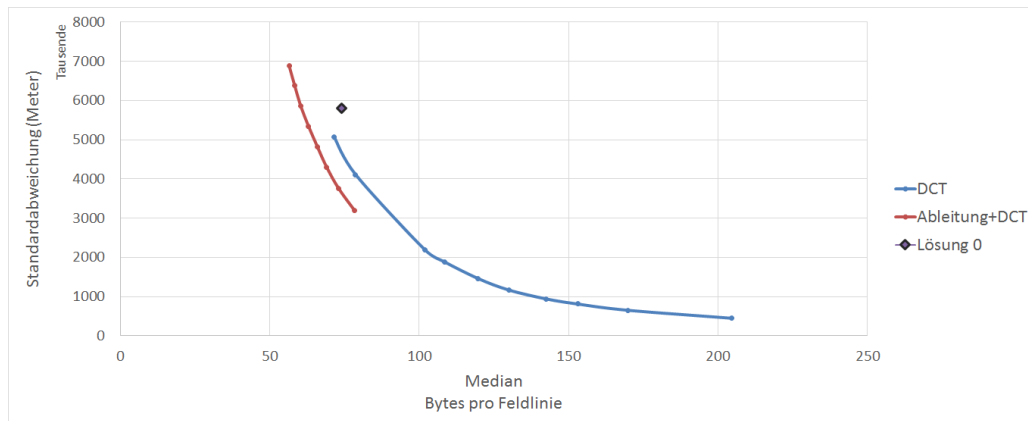


Abbildung 9: Vergleich der DCT Kompression der Ableitung mit der DCT Kompression

vermutet, dass mit einem lokalen Koordinatensystem X und Y Kanäle etwa gleich viele Kosinus-Funktionen brauchen, aber der Z Kanal so gut wie keine.

### 6.2.3 Feldlinien Ableiten mit PCA und DCT

Mit einer vorhergehenden Principal Component Analysis (PCA) [?] werden die Feldlinien vom Sonnen-Koordinatensystem in ihr lokales System transformiert. PCA ist ein Verfahren aus der Statistik, welches Daten in ein neues koordinatensystem transformiert. Dabei werden die Achsen so gelegt, dass die Daten entlang der ersten Achse die grösste Varianz aufweisen. Entlang der zweiten Achse, welche orthogonal zur ersten liegt, die zweithöchste Varianz etc. Wenn das Verfahren auf die Feldlinien angewandt wird, werden die Feldlinien in ein lokales System transformiert indem der Z-Kanal 0 ist, wenn die Feldlinie in einer Ebene liegt. Der Nachteil ist, dass für die Rücktransformation pro Feldlinie die Koordinatenachsen und die Koordinatenverschiebung abgespeichert werden. Für Achsen werden 16 Bit Genauigkeit und für die Verschiebung 32 Bit verwendet. Der

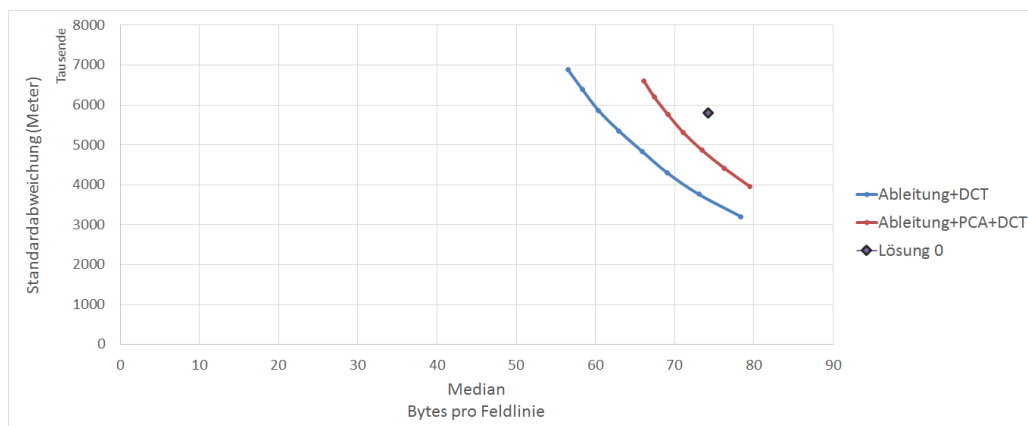


Abbildung 10: Vergleich der PCA DCT Kompression der Ableitung mit der DCT Kompression der Ableitung

Vergleich 10 zeigt deutlich, dass sich der Mehraufwand nicht lohnt, obwohl die PCA vielversprechend scheint. Eine Feldlinie lässt sich mit 5 bis maximal 20 Kosinus-Funktionen pro Kanal approximieren. Durch die PCA-Transformation lässt sich das noch minim verkleinern, aber die zusätzlichen Informationen wie die Werte für neuen Koordinatenachsen und für die Verschiebung verbrauchen mehr Speicher, als durch die Transformation gewonnen werden kann.

Die PCA-Variante könnte noch verkleinert werden. Die Verschiebung kann Quantisiert werden, oder man kann weniger Genauigkeit für die Koordinatenachsen verwenden. Die PCA-Variante ist aber nicht genauer wie die

Ableitung+DCT Variante. Wie auch in 10 ersichtlich, ist die PCA-Variante bei vergleichbarer Kompressionsgrad ungenauer. Unter dem Strich hat die PCA keine Verbesserung erbracht.

Es sind noch viele Verfahren denkbar, welche die Kompression verbessern können. Beispielsweise könnte die Eigenschaft genutzt werden, dass eine Feldlinie durch Verschiebung, Rotation und Skalierung eine gute Approximation einer Anderen darstellt. Für die drei Transformationen müssen 12 neue Werte gespeichert werden. Die Schwierigkeit ist aber, dass für eine Feldlinie nur wenige DCT-Koeffizienten abgespeichert werden müssen. Die drei Transformationen dürfen also nicht mehr Platz verbrauchen, als sie einsparen. Sie müssen so abgespeichert werden, dass sie weniger Platz verbrauchen als die quantisierten DCT-Koeffizienten zu mindestens der selben Genauigkeit. Es sind zu wenige DCT-Koeffizienten, als dass hier noch viel herausgeholt werden kann, deshalb wird jetzt die Kodierung geschaut.

#### 6.2.4 Feldlinien Ableiten mit DCT und Byte-Kodierung

Es wird versucht, mit einer besseren Kodierung die DCT-Koeffizienten der Variante 6.2.2 besser zu komprimieren. Die Koeffizienten werden mit zwei Verfahren kodiert: Mit einer simplen Run-Length Kodierung und einer adaptiven Byte Kodierung. Die adaptive Byte Kodierung versucht jeden Koeffizienten mit einem Byte darzustellen. Wenn die Genauigkeit nicht ausreicht, wird ein weiteres Byte hinzugenommen. Die Kodierung ist im Abschnitt 3.3.6 beschrieben. 11 zeigt eine deutliche Verbesserung der Kompressionsrate, wenn die

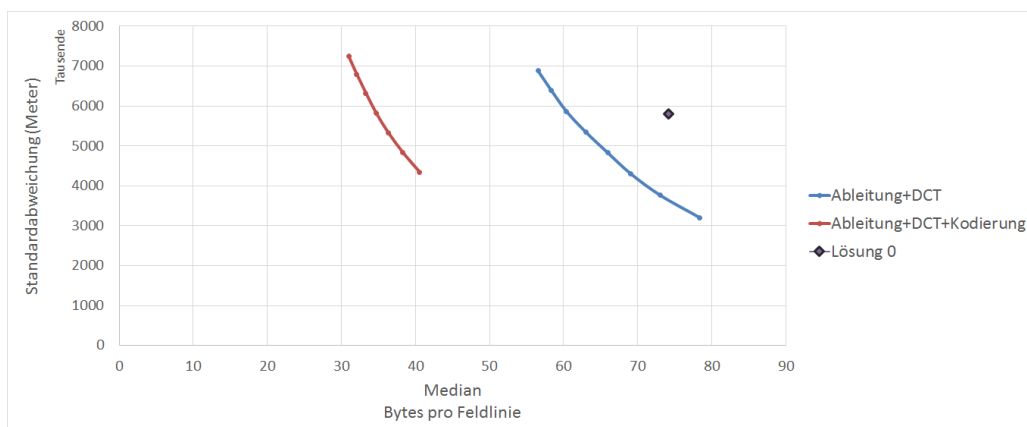


Abbildung 11: Vergleich der Kompression mit und ohne Byte-Kodierung

Koeffizienten mit der unter 3.3.6 beschriebenen Verfahren kodiert werden. Bei ähnlicher Genauigkeit wie der Ist-Zustand braucht diese Variante durchschnittlich 35 Bytes pro Feldlinie. Bei 1200 Feldlinien ergibt das eine Dateigrösse von 42 KiByte pro Aufnahme. Im Vergleich zum Ist-Zustand sind die Dateien um das 24 Fache kleiner.

Bei der Variante 6.2.1 war das Problem, dass die Ränder schlecht darzustellen waren. Es stellt sich die Frage, was für Artefakte diese Kompression aufweist. Die Abweichung ist in der selben Grössenordnung wie die der Lösung 0. In der Abbildung 12 ist deutlich zu sehen, dass die Kurve durch die Quantisierung gedämpft wird. Die Maximum der Kurve ist tiefer, sowie das lokale Minima der letzten Halbwelle höher. Der Vorteil dieser Variante ist, dass die resultierende Feldlinie sehr glatt verläuft. Ohne die Originalkurve wären die Artefakte nicht zu identifizieren.

Wenn man die Artefakte von 12 und 6 vergleicht, fällt auf dass die Variante 6.2.1 die Feldlinie genauer approximiert. Wenn die Ränder besser dargestellt werden, ist es denkbar, dass die Variante 6.2.1 weniger Kosinus-Funktionen braucht für eine ähnlich genaue Approximation.



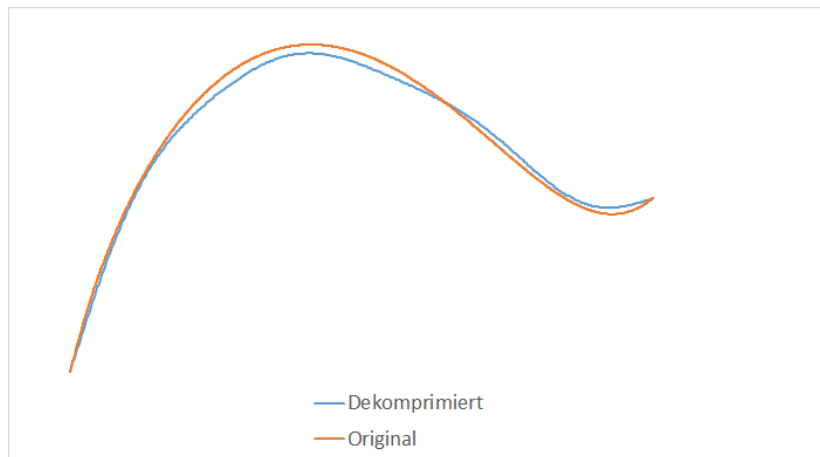


Abbildung 12: Artefakte der DCT Kompression der Ableitung

### 6.2.5 DCT mit Byte-Codierung

Zum Vergleich wird das jetzt noch gemacht. 3.3.2

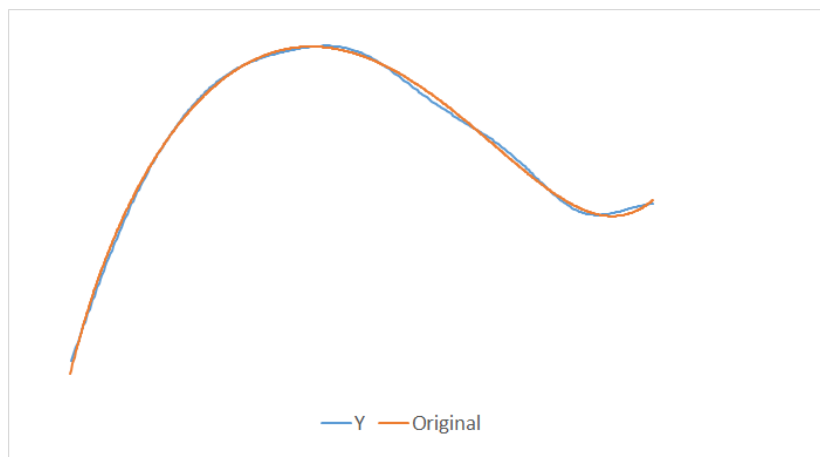


Abbildung 13: Artefakte der DCT Kompression der Ableitung

## 7 Diskussion

## 8 Fazit

## Literatur

- [1] Nobody Jr. My article, 2006.
- [2] Marcus Geelhard. Openctm the open compressed triangle mesh file format, November 2014.

## Abbildungsverzeichnis

1	Visualisierung der Feldlinien im JHelioviewer . . . . .	1
2	Aufbau und Datenfluss des Servers . . . . .	1
3	Darstellung der Fehlerberechnung. Die Punkte sind die Originaldaten, die Quadrate sind die Punkte nach der Kompression. . . . .	7
4	Darstellung der Fehlerberechnung. Die Punkte sind die Originaldaten, die Quadrate sind die Punkte nach der Kompression. . . . .	8
5	Vergleich der Lösung 0 zum Ist-Zustand. . . . .	10
6	Artefakte der Lösung 0 . . . . .	11
7	Vergleich der DCT Kompression mit der Lösung0 . . . . .	11
8	Artefakte der DCT Dekompression . . . . .	12
9	Vergleich der DCT Kompression der Ableitung mit der DCT Kompression . . . . .	13
10	Vergleich der PCA DCT Kompression der Ableitung mit der DCT Kompression der Ableitung . . . . .	13
11	Vergleich der Kompression mit und ohne Byte-Kodierung . . . . .	14
12	Artefakte der DCT Kompression der Ableitung . . . . .	15
13	Artefakte der DCT Kompression der Ableitung . . . . .	15

## Tabellenverzeichnis

1	Einfluss des FITS Formates auf den Speicherverbrauch . . . . .	10
---	--	----

## 9 Anhang

subsectionInstallationsanleitung

## 10 Ehrlichkeitserklärung