

Digitale Bildforensik

Dr. Paul Ferd. Siegert
V I. I

One paradox I have found is that the more you use computers in picture-making, the more 'hand-made' the picture becomes.
Jeff Wall, 1994

Digitale Bildforensik (Digital Image Forensic)

Jeder hat heute ein Handy in der Hosentasche, mit dem jederzeit ein paar Fotos gemacht werden können. Gleichzeitig gibt es immer bessere und immer einfacher zu bedienende Bildbearbeitungsprogramme, mit denen die Bilder schnell bearbeitet sind.

Wenn aber Jugendliche andere quälen und ihre Taten dabei fotografieren und ins Netz stellen, wenn mal eben eine Schramme in den Kotflügel retuschiert und das Bild als Beweismittel der Versicherung vorgelegt wird, wenn Bilder einer Überwachungskamera unscharf oder verzerrt sind oder ein Fotojournalist ein sensationelles Foto aus dem Krisengebiet mitbringt, kommt die digitale Bildforensik ins Spiel.

Als **Forensik** werden die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsgebiete bezeichnet, in denen kriminelle Handlungen systematisch untersucht werden. Die Computer oder **IT-Forensik** befasst sich demnach mit der Ermittlung allgemeiner krimineller Handlungen an Computeranlagen (Viren, Trojaner, Phishing, gelöschte Festplatten etc.). Ein Untergebiet bildet die **Multimedia-Forensik**, die sich auf Medienformate beschränkt, während sich die **Bildforensik**, die sich seit 2000 langsam etabliert hat, wiederum nur um bildliche Darstellungen kümmert.

Ein wichtiges Einsatzgebiet der Bildforensik ist die Strafverfolgung. Obwohl digitale Fotos sich noch nicht als Beweis vor Gericht durchgesetzt haben, gibt es Situationen, in denen die Bilder selbst Gegenstand der Verhandlung sind. In den USA argumentierten Angeklagte zum Beispiel damit, dass Fotos mit kinderpornografischen Inhalten gar nicht echt seien, sondern nachträglich entsprechend bearbeitet wurden. Die Strafverfolger mussten daraufhin beweisen, dass die Fotos nicht manipuliert waren, sondern tatsächliche Dokumente einer Straftat.

Ebenso haben Versicherungen und Bildredaktionen seriöser Bildberichterstattung und wissenschaftlicher Zeitschriften (Geo, Nature, Science etc.) große Interesse an der Erkennung von Manipulationen (siehe Falle Brian Walski u.a.). Der Streit um die Bilder, die das russische Verteidigungsministerium zum Abschuss des Fluges MH-17 über der Ukraine veröffentlichte, zeigen das Interesse der Politik an der Bildforensik.

"Generell sind die Medien durchaus sensibel fürs Thema, doch nur manche prüfen Bildmaterial routinemäßig oder setzen selbst Software ein, wie es etwa die Agence France-Presse (AFP) oder die Deutsche Presseagentur (dpa) tun. Viele verpflichten in Einzelfällen Experten, wenn etwa investigatives Material zugespielt wurde. Finanzämter und Staatsanwaltschaften sollen bereits Digital-Forensiker fest angestellt haben. Unter den Ermittlungsbehörden beschäftigt sich allen voran das Bundeskriminalamt (BKA) mit bildforensischen Methoden." (Martin, 2015) Ende 2015 veränderte Reuters seine Richtlinien dahingehend, dass nur noch Original Kamera-JPEGs (OOC-JPEG) übermittelt werden dürfen.

Die digitale Bildforensik kann, je nach Verfahren, Hinweise liefern

- auf die Manipulation eines Bildes (nicht auf die Echtheit der Szene!)
- ob ein Bild künstlich generiert wurde
- von welcher Geräteklasse (Digitalfotoapparat, Scanner etc.) es aufgenommen wurde

- von welcher individuellen Kamera ein Bild aufgenommen wurde.

Daneben, kann sie Dinge auf Abbildungen (wieder) sichtbar machen.

Die Verfahren sind immer "**blind**", das heißt, ein eventuelles Original ist nicht verfügbar. Alle Untersuchungen können nur am vorliegenden Bild gemacht werden.

Und es wird versucht, die Verfahren möglichst automatisch ablaufen zu lassen, um schnell und kostengünstig auch große Bildmengen abarbeiten zu können.

Unter Bildforensik wird auch verstanden, aus schlechten Videoaufnahmen von Überwachungskameras bessere, d.h. deutlichere Bilder zu extrahieren oder bei Bekennervideos bzw. -bildern Ort und Zeit der Aufnahme zu ermitteln. Eine Gruppe von Forschern in Mittenwaida versucht sogar aus DNA-Proben das Aussehen einer Person zu ermitteln. Die Suche nach ähnlichen Bildern ist ebenfalls ein Thema. Zum Beispiel wenn nur vereinzelte Aufnahmen von Bildserien vorliegen.

Als Gegenreaktion ist bereits die "Antiforensik" entstanden. Eine Disziplin, die sich damit beschäftigt, wie (Bild-)Manipulationen effektiv verschleiert werden können.

Die digitale Bildforensik ist eine recht Junge Disziplin, die in Deutschland seit Anfang der 2000 Jahre zuerst an den **Universitäten Dresden und Erlangen-Nürnberg** in Erscheinung getreten ist. Die avanciertesten Projekte wurden zuerst von Hany Farid, Leiter der Image Science Group am Dartmouth College (<http://www.cs.dartmouth.edu/farid/research/tampering.html>) durchgeführt. In Deutschland dann von Matthias Kirchner und Thomas Gloe vom Institut für Systemarchitektur, Datenschutz und Datensicherheit der Universität Dresden (http://www1.inf.tu-dresden.de/~gloe/literatur/polizeischule2007_small.pdf).

Die Zahl derer die in diesem Bereich arbeiten ist noch sehr überschaubar. Vor allem sind es zur Zeit Quereinsteiger. Es haben sich aber bereits Dienstleistungsfirmen gegründet, die Beratung und Software anbieten und forensische Gutachten anfertigen.

Seit Sommer 2014 kann man sich in den **USA und Südkorea** als Certified Cyber Forensics Professional (CCFP) prüfen lassen. In Deutschland haben 2015 die ersten zwanzig Absolventen ihren berufs begleitenden Master of Science in Digitaler Forensik an der **Hochschule Albstadt-Sigmaringen** abgeschlossen. Die Studenten waren Angestellte von Strafverfolgungsbehörden und Kanzleien genauso, wie Berater aus der Privatwirtschaft.

Seit Wintersemester 2014/15 gibt es an der **Hochschule Mittweida** einen Bachelorstudiengang "Allgemeine und digitale Forensik". Dort kooperiert man mit dem Bund Deutscher Kriminalbeamter und der Polizei.

1. Analoge Bildforensik



Quelle: DOCMA 2010/03 S.18

Nur sehr wenige Bildredaktionen leisten sich einen Mitarbeiter, der geschulten Auges mit der, wie der Kunsthistoriker Karl Clausberg es genannt hat, "Methode des scharfen Hinsehens", die Bilder vor der Veröffentlichung auf Echtheit prüft. Da globale Bildverbesserungen oft akzeptiert werden, fordern manche Redaktionen zusätzlich die Originaldateien der Bilder an um sich vor Manipulationen zu schützen. Das das auch nötig ist, zeigen Schätzungen, nach denen bei einem Fünftel aller akzeptierten Artikel des Journal of Cell Biology, die Abbildungen aufgrund von unzulässigen Manipulationen nachgefordert werden müssen.

Montageindizien, die durch Beobachtung entdeckt werden können sind u.a.:

- inkonsistente Beleuchtung
- falsche, fehlende oder überflüssige Schatten
- inkonsistente Perspektive, Größenverhältnisse
- inkonsistente Windrichtungen
- falsche, fehlende oder überflüssige Spiegelungen
- ...

Digitale Bildforensik

Die "Methode des scharfen Hinsehens" eignet sich hervorragend für die kunsthistorische Bildinterpretation und zum Erkennen einiger offensichtlicher Inkonsistenzen im Bild. Bei professionellen Fälschungen, besonders wenn sie aus kriminellen Antrieben erstellt werden, stößt diese Methode an seine Grenzen. Die digitale Bildforensik versucht dagegen vor allem anhand der digitalen Eigenschaften der Bilddaten, des Bildformats oder der Kompression möglichst automatisiert robuste Hinweise auf Manipulation, Echtheit oder Aufnahme-gerät zu finden.

2. Dateiformat

Zunächst einmal lassen sich Erkenntnisse aus den Metadaten des Dateiformats gewinnen.

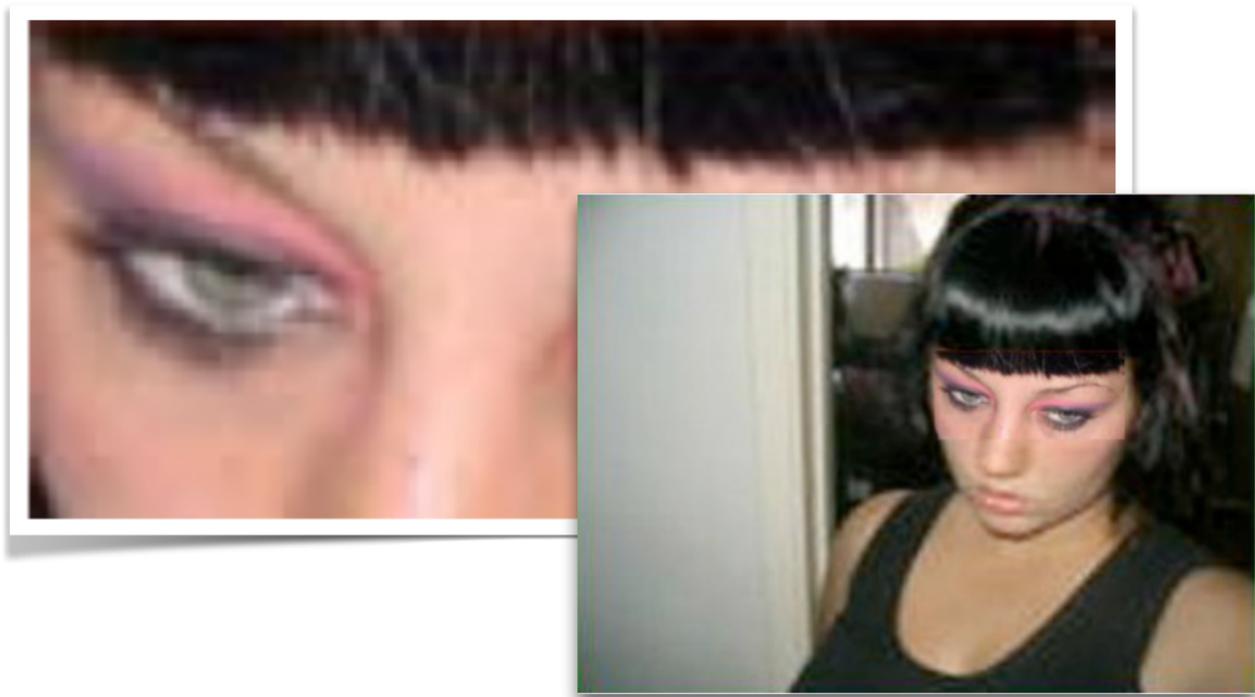
EXIF Metadaten

EXIF Metadaten setzen auf bestehende Bildformate wie TIFF oder JPEG auf und werden dort im Header der Datei eingebettet. Sie beinhalten die kamera- und aufnahmespezifischen Daten wie Blende, Zeitpunkt, Ort, Kameratyp etc. Diese Daten können einen Hinweis liefern, sind aber sehr leicht zu fälschen, da sie mit einfachen Texteditoren editiert werden können. Ausserdem gibt es Tools, die Bilder von solchen Metadaten bereinigen.

Vorschaubilder

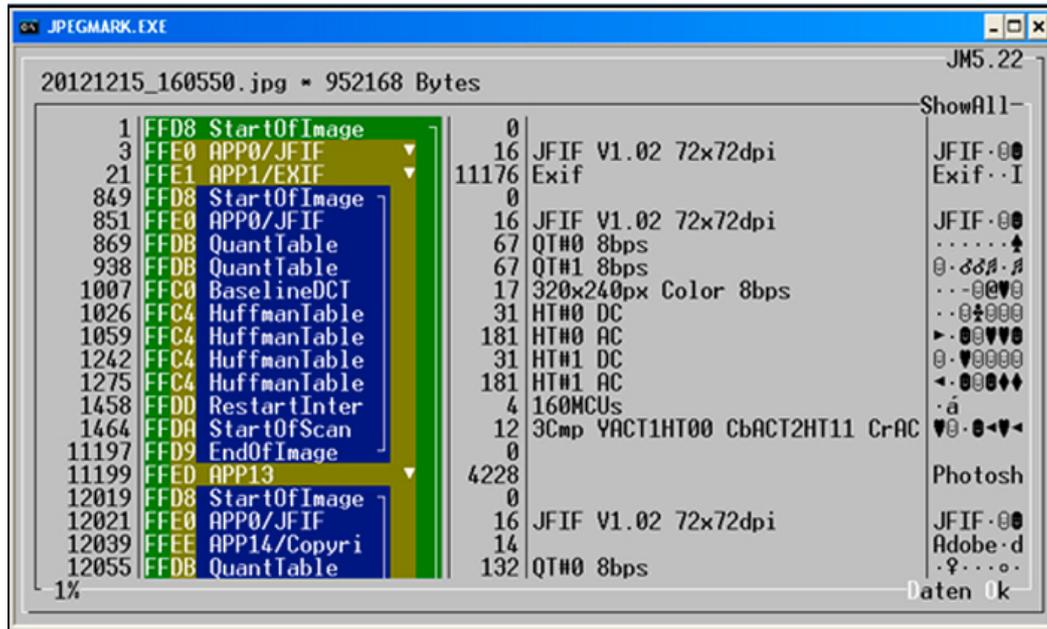
Bildformate schreiben Vorschaubilder in reduzierter Auflösung in ihre Metadaten. Zusätzlich tun das auch die Bildbearbeitungsprogramme, die oft ihre eigenen Metadaten ergänzen.

Die in den Metadaten eingebetteten Vorschaubilder werden nicht von allen Bildbearbeitungsprogrammen sauber aktualisiert. Mit einer eigens entwickelten Software namens `exif_thumb` durchforsteten Aachener Wissenschaftler das Web und fanden heraus, dass ca. 20 Prozent der JPEG-Bilder ein Thumbnail in sich tragen. Zwei Prozent stuft die Screening-Software als signifikant verschieden zum Original ein. Extrahiert man dann das Vorschaubild, kann es Aufschluss über den vorherigen Zustand des Bildes geben.



Quelle: Murdoch & Dornseif, Hidden Data in Internet Published Documents, 2004 in Gloe 2007

Der technische Hintergrund:



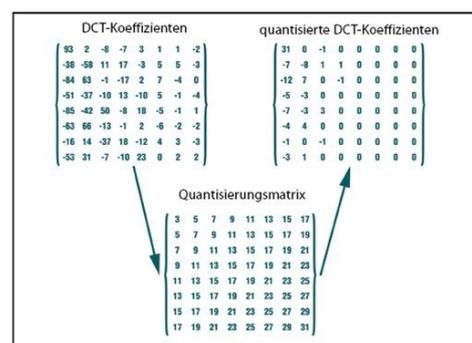
Quelle: http://www.map-base.info/forensics/report_1/index.shtml

JPEG-Bilder starten immer mit der Bitfolge FFD8 und Enden mit FFD9 (grüner Bereich). Im Metatag-Bereich (oliv) befindet sich ein Bereich für die JFIF (JPEG File Interchange Format) Angaben und die EXIF-Daten (ab FFE1). Darin können sich wiederum zwischen FFD8 und FFD9 Vorschaubilder befinden. Die Bilder bestehen neben Anfangs- und Endtag zusätzlich aus den Quantisierungstabellen, die Diskrete Kosinustransformation und die Huffman-Tabellen.

- Der APP0/JFIF-Marker enthält die JFIF Versionsnummer und die Auflösung in x- und y-Richtung.
- Der Marker APP1/EXIF enthält die EXIF Angaben und ein Vorschaubild.
- Photoshop setzt einen Marker APP13 in das es ein eigenes Vorschaubild integriert. Unbehandelte Kamera-bilder enthalten diesen Marker nicht.

JPEG Artefakte

Auf dem Weg zur JPEG-Kompression (Bild oben) werden sogenannte Quantisierungstabellen verwendet, um die per diskreter Cosinustransformation (DCT) umgewandelten Blöcke von 8*8 Pixeln umzurechnen. Um die Daten für die Darstellung wieder zurückrechnen zu können, werden die Tabellen erneut herangezogen. Daher müssen, damit auch andere Programme die Bilder extrahieren können, die Tabellen in das Dateiformat eingebettet werden. Diese Tabellen sind nicht im JPEG-Protokoll standardisiert. Jeder Hersteller nutzt seine eigenen Tabellen. Anhand dieser Quantisierungstabellen lassen sich also Rückschlüsse auf den Hersteller der Software ziehen, die das Bild komprimiert hat.



Quelle: <http://www.colorfoto.de/ratgeber/bildformate-jpeg-372308.html>

3. Bildinhalte

Zur digitalen Bildforensik gehört es auch Bildinhalte (wieder) sicht- bzw. lesbar zu machen (Funktionsumkehrung, Entzerrung, Schärfung etc.). Daneben lassen sich die Bildinhalte automatisch auf Manipulationen untersuchen (Klone-Detektor, Beleuchtungs- und Farbanalyse).

Funktionsumkehrungen



Quelle: Interpol, Fahndungsfoto von Christopher Paul Neil, 2007.
www.interpol.com/Public/THB/vico/Default.asp

Die Filter von Photoshop basieren auf Funktionen. Einige dieser Funktionen lassen sich umkehren. Im Jahre 2007 verhandelte Interpol mit der Operation "Vico" gegen einen Missbrauchstäter mit eben diesem Spitznamen. Ihm wurden Verbrechen gegen Kinder und Sexualverbrechen zur Last gelegt. Der Twirlfilter, den er gebraucht hatte, um sich unkenntlich zu machen, konnte durch Umkehrung der Funktion invertiert werden. Durch Ausprobieren mussten die Parameter ermittelt werden, um die radiale Drehung rückgängig zu machen. Die meisten Photoshopfilter, wie Verwässern oder Blur, sind jedoch nicht invertierbar.

Bildinhalte: Entzerrungen, Schärfungen



Quelle: <http://www.focusmagic.com/forensics-tutorial.htm>

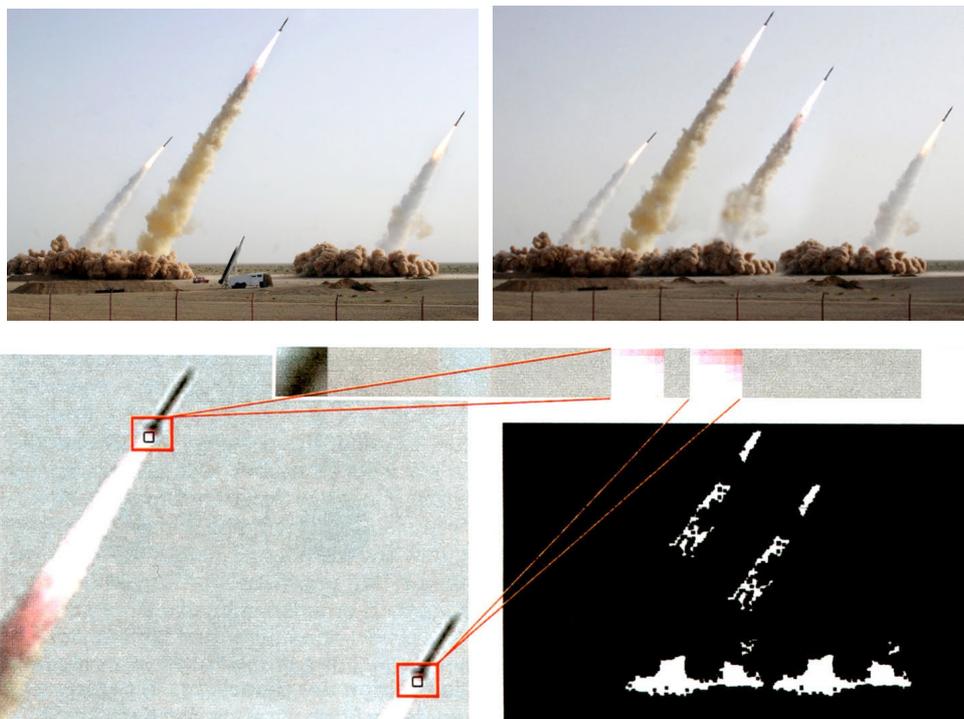
Bilder, die durch Bewegungsunschärfe oder extreme Perspektiven "unlesbar" sind, können entlang der Bewegungsachse geschärft oder künstlich entzerrt werden.



Quelle: Farid, o.J.

Copy-Move Operationen

Ein sehr beliebtes Werkzeug bei der Bildmanipulation ist der Stempel oder Reparaturpinsel von Photoshop. Hiermit werden Bildteile kopiert und an anderer Stelle eingesetzt. So können zum Beispiel störende Stromleitungen durch ein Stück Himmel, das dem Bild bereits angehört, ersetzt werden. Dadurch entstehen Dopplungen im Bild, die optisch nicht unbedingt auffallen müssen. Wie bei der Manipulation eines Fotos vom Start Iranischer Raketen, bei dem ein Rohrkrepierer einfach durch eine Nachbarrakete ersetzt wurde.



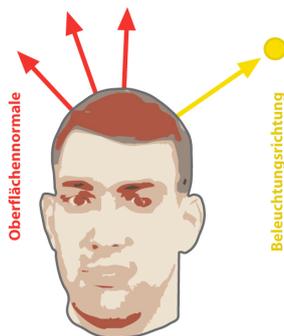
Quelle: Trinkwalder 2008

Klon-Detektoren unterteilen nun das Bild in Blöcke (z.B. 6*6 Pixel), die sortiert und verglichen werden. So können Dopplungen schnell aufgedeckt werden. Da Dopplungen auch in unmanipulierten Bildern vereinzelt auftreten, wird zusätzlich untersucht, ob die Dopplungen der Blöcke die gleichen Verschiebungsvektoren haben.

Dieses Verfahren greift nur bei groben Verdopplungen. Wird mit vielen feinen, halbtransparenten Schichten gearbeitet, schlagen diese Algorithmen fehl.

Beleuchtungsanalyse

Inkonsistente Beleuchtungssituationen zu erkennen fällt unserem Auge schwer, wenn die Unterschiede nicht direkt nebeneinander auftreten. Unsere Wahrnehmung versucht stets eine stimmige Version zu erzeugen, tut dies aber immer nur lokal in dem gerade fokussierten Bereichen des Bildes. Ob es eine globale Stimmigkeit über das ganze Bild gibt, kann nur mit bewusstem Hinsehen erfahren werden.



Quelle: Heise 2015 und Deussen S.143

Es gibt Verfahren, die automatisch die Ausrichtung von Objekten zur Lichtquelle ermitteln, um so inkonsistente Beleuchtungsszenarien aufzudecken. Das kann nur durch die Konstruktion der Oberflächennormale an den Körperkanten erfolgen, da über die Geometrie der Körper nichts bekannt ist. Zunächst müssen die Objektgrenzen markiert werden. Das benötigt ein wenig Zeit und Geschick. Aus dem Helligkeitsprofil entlang der Objektoberfläche errechnet der Algorithmus nun die Position der Lichtquelle, wobei diverse Annahmen das Modell vereinfachen. Beispielsweise geht es von einer Objektoberfläche mit matten Reflexionseigenschaften (Lambert'sche Oberfläche) aus.

Der einzig bekannte Körper ist das Auge. Da man es beim Augapfel mit einem Objekt geläufiger Geometrie und bekannter Reflexionseigenschaften zu tun hat, ist man nicht auf die Objektgrenzen angewiesen. Die Reflexionspunkte in den Augen lassen gute Schlüsse auf die Beleuchtung zu. Form und Reflexion der Iris und der Lichtreflexe können darüber hinaus Aufschluss auf die Kameraperspektive, von der immer nur eine vorkommen darf, geben. Unterschiedliche Kamerastandpunkte sind ein Hinweis auf Manipulation.

Lichtfarbe



Quelle: Riess, 2013

Die Untersuchung der Lichtfarbe ist das neuste Merkmal der Bildforensik (Christian Riess). Die Farbtemperatur des Lichts ändert sich je nach Umgebung. Eine Schneelandschaft im Winter hat ein anderes Farbspektrum

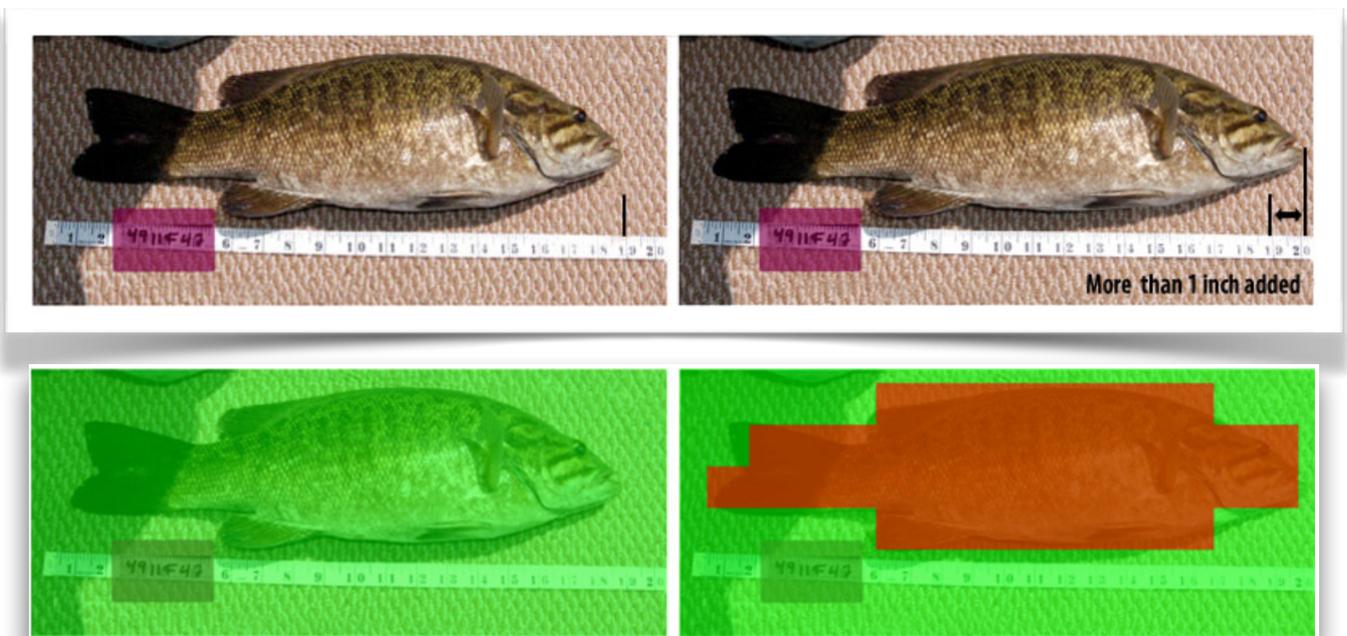
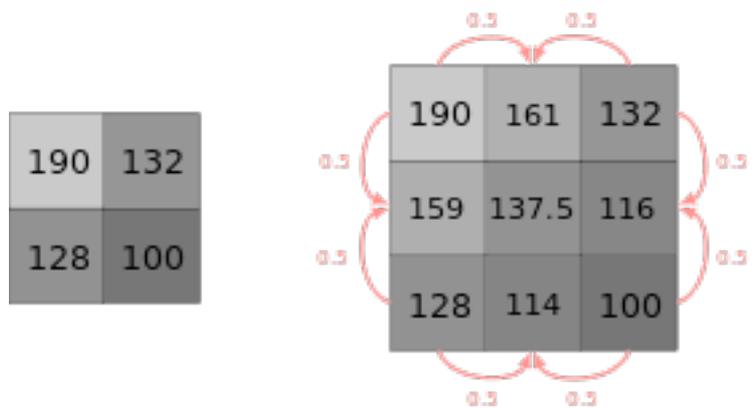
als die Toskana im Sommer. Ein Blitzlicht erzeugt eine andere Farbtemperatur als Raumbeleuchtung oder Sonnenlicht. Die Temperaturen lassen sich für bestimmte Bildausschnitte sehr genau schätzen. Passen die Ergebnisse einzelner Bereiche nicht zusammen, dann könnte das Bild nachträglich verändert worden sein. Dabei muss man sich die Bildinhalte ansehen. Ein Bild einer Kerze im Schnee wird auch ohne Manipulation Inkonsistenzen im globalen Farbspektrum erzeugen.

4. Bearbeitungsartefakte

Bildbearbeitungen, die auf Interpolationsmethoden oder Kompressionsalgorithmen beruhen lassen sich ebenfalls nachweisen.

Interpolationseffekte

Unter geometrischer Transformationen versteht man Manipulationen wie Skalieren, Verzerren, Drehen etc. des Bildes oder von Teilen darin. Wird ein Bild geometrisch transformiert indem z.B. das Bild vergrößert wird, müssen fehlende Informationen an den entstehenden Lücken im Bildgitter durch Interpolation aus den vorhandenen Pixeln im Ausgangsbild berechnet werden (Bild rechts). Dies führt zu einer räumlichen Periodizität in den Abhängigkeiten zwischen benachbarten Pixeln, die mit statistischen Methoden nachgewiesen werden können.



Quelle: Gloe/Kirchner, 2010

Algorithmen können die periodischen Muster in manipulierten Bildern nachweisen, wie bei diesem Versuch für einen Anglerwettbewerb einen größeren Fisch per Photoshop zu erzeugen.

JPEG Kompression

Bei jeder JPEG-Kompression wird das Bild in Blöcke von 8*8 Pixeln zerlegt. Daher hinterlässt jede JPEG-Kompression Spuren in Form von Blockartefakten. Wird ein Bild retuschiert, verschwinden diese Spuren und

zwar ausschließlich an den entsprechenden Stellen. Das geschieht auch, wenn andere Bildteile eingesetzt werden und die Blockstruktur dann nicht übereinstimmt.

Bei der Untersuchung der Homogenität der JPEG-Blockstruktur wird das Bild wiederum in Blöcke aufgeteilt. Dabei ist die Größe der Blöcke entscheidend. Bei dem folgenden Beispiel werden bei einer Einteilung in 96*96 Pixel große Strukturen Manipulationen nicht erkannt (hinteres schwarzes Bild: Glocke), bei einer Aufteilung in 64*64 Pixel gibt es falsche Erkennungen (vorderes schwarzes Bild: oben rechts).



Quelle: Baumann/Kirchner, 2010

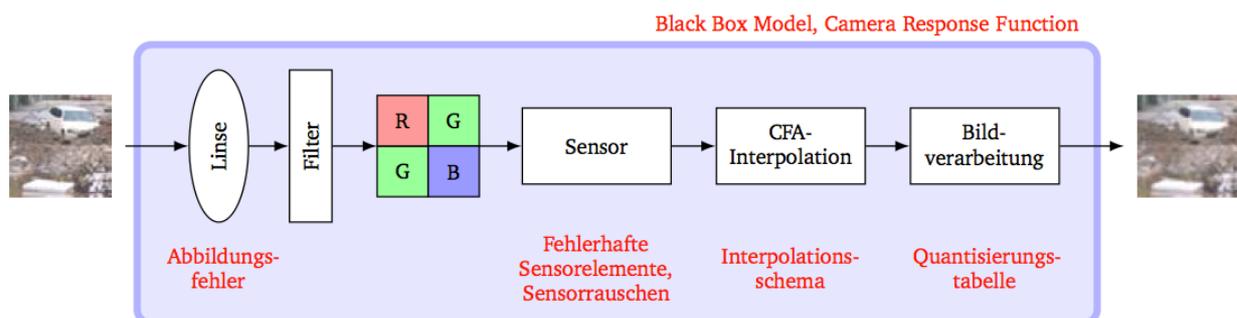
Der zweite Effekt, der bei einer Retusche nach dem Sichern im JPEG Format auftritt ist, das die bearbeiteten Ausschnitte nur einmal von der Fotosoftware komprimiert wurden, während die nicht bearbeiteten von der Kamera und von der Software komprimiert wurden. Das führt zu unterschiedlichen Kompressionsstufen, die wiederum nachweisbar sind. Dabei wird das Bild (theoretisch) mit allen 64 möglichen Kompressionsstufen abgespeichert und die Differenzen zum Ausgangsbild ermittelt (Bild rechts).



Ein ähnliches Verfahren nutzt auch die umstrittene **Error Level Analyse (ELA)**. Dabei wird das Bild mit 95% Qualität gesichert und die Differenzen mit dem Original ermittelt. Bei nicht modifizierten Bildern haben alle 8*8 Kacheln den selben Errorlevel. Ergeben sich Unterschiede müssen Kanten mit Kanten und Flächen mit Flächen verglichen werden, um Manipulationen zu erkennen. Dies lässt jedoch einen großen Interpretationsspielraum, weshalb das Verfahren sehr kritisch gesehen wird.

5. Geräteeigenschaften

Jedes Bildaufnahmegerät hat durch seinen komplexen technischen Aufbau bestimmte Charakteristiken, die sich auf das Bild auswirken.



Hinweise über die Herkunft einer Bilddatei können aus den Metadaten der Bilddatei gewonnen werden. Sie geben Aufschluss über die verwendete Digitalkamera, Einstellungen, Besitzer, etc. Allerdings ist die Fälschung dieser Metadaten, wie oben erwähnt, sehr einfach möglich.

Stattdessen konzentriert sich die Suche nach Beschreibungen der Charakteristiken eines Kameramodells zur Bestimmung des Bildursprungs auf technische Parameter. 34 verschiedene Merkmale wurden bislang entwickelt.

Bei Versuchen mit fünf Kameras mit denen mindestens 120 Bilder gemacht wurden und dann deren bestimmte Charakteristiken klassifiziert wurden, funktionierte die Erkennung unter diesen Laborbedingungen recht gut. Die Erkennungsgenauigkeit für die einzelnen Digitalkameras bei vorher nicht analysierten Bildern ist in der folgenden Tabelle abgebildet:

Verwendete Kamera	Erkannte Kamera				
	Nikon E-1200	Sony DSC-P51	Canon S110	Canon S100	CanonS200
Nikon	89.67	0.22	4.77	1.64	3.7
Sony	3.56	95.24	0.31	0.34	0.53
S110	7.85	0.6	78.71	4.78	8.04
S100	3.14	0.32	3.57	92.84	0.11
S200	5.96	2.27	7.88	0.23	83.63

Quelle: Kharrazi, Sencar & Memon, 2005.

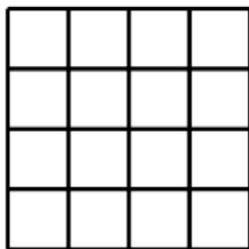
Verzeichnen

Eines dieser Merkmale ist das Verzeichnen. Die Abbildung einer Szene auf dem deutlich kleineren Sensor wird mit Hilfe eines optischen Systems hergestellt (vgl. auch im folgenden Gloe, 2007). Die Optik einer Digitalkamera besteht meist aus mehreren Linsen um Abbildungsfehler auszugleichen und verschiedene Brennweiten zu ermöglichen.

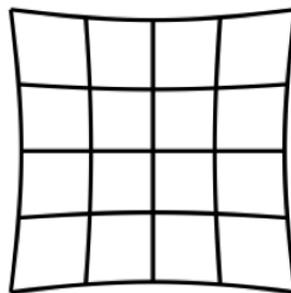
Abbildungsfehler (Aberrationen) sind Abweichungen von der idealen optischen Abbildung, wie zum Beispiel die Verzeichnung, ein geometrischer Abbildungsfehler, bei dem das Bild zwar scharf, gerade Linien im Bild aber gewölbt sind.



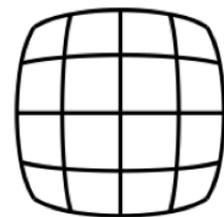
Quelle (rechts): eigene Darstellung



Keine Verzeichnung



Kissenförmige Verzeichnung



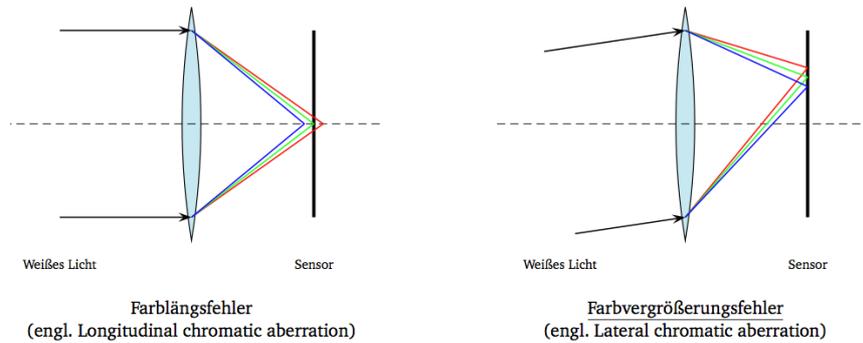
Tonnenförmige Verzeichnung

Die Verzeichnung ist abhängig von der Brennweite der Linse. Eine kleine Brennweite („Fischaugen-Linsen“) bewirkt tonnenförmige Verzeichnungen, eine große Brennweite kissenförmige Verzeichnungen. Der Sollgrad der Krümmung lässt sich für jeden Bildbereich errechnen und mit den Bildinhalten vergleichen. Abweichungen sind ein Indiz für eine Manipulation nach der Aufnahme.

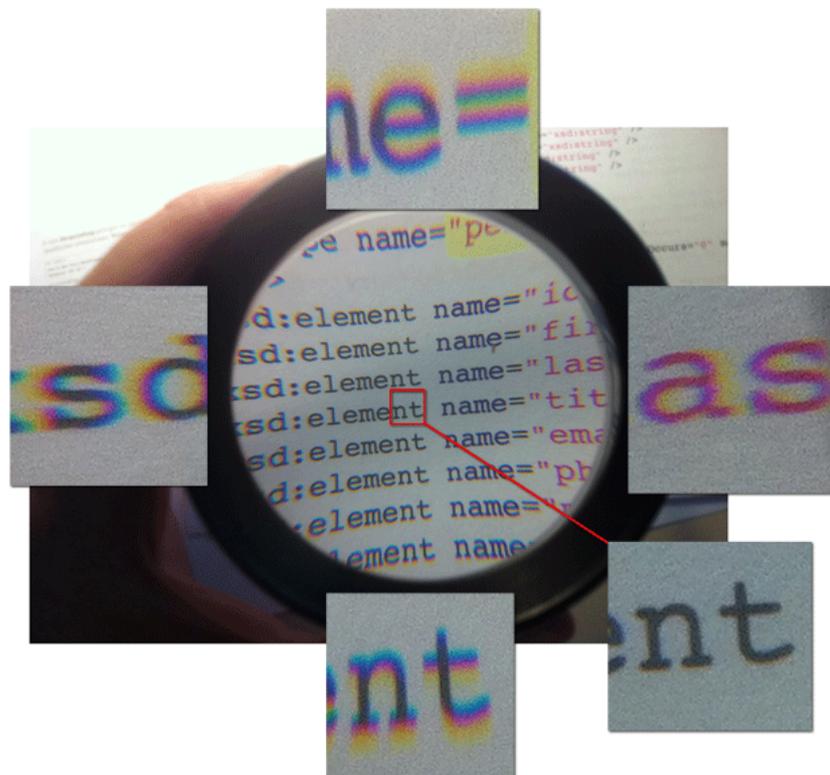
Diese Methode lässt sich jedoch nur bei Szenen mit geraden Linien anwenden. Es ist sehr schwierig algorithmisch abzuschätzen, welche Linien im Bild gerade und welche gebogen sein sollen. Ausserdem lassen sich diese Verzerrungen mit Objektivkorrektur-Filtern gut ausgleichen, so dass das Verfahren dann wirkungslos wird.

Chromatische Aberration

Die chromatische Aberration ist ein Farbfehler, der durch unterschiedliche Brechung des Lichts verschiedener Wellenlängen entsteht. In der optischen Achse liegt der Fehler übereinander und tritt daher kaum visuell hervor. Sichtbar wird er jedoch typischerweise an den Kanten als Farbsaum.



Quelle: Gloe 2007



Quelle: eigene Darstellung

Der Fehler besteht also aus einer linearen Expansion oder Kontraktion einzelner Farbkanäle, die nun wieder als Charakteristikum einzelner Kameras herangezogen werden können. Bildmanipulationen führen zu Unregelmäßigkeiten in der zu erwartenden chromatischen Aberration in den veränderten Bildregionen. Für eine automatische Erkennung muss allerdings der optische Mittelpunkt des Bildes bekannt sein, der bei beschnittenen Bildern nicht immer in der Mitte liegt!

Auch bei diesem Verfahren wird das Bild wieder in überlappende Blöcke unterteilt und jeweils der Farbvergrößerungsfehler innerhalb jedes Blocks ermittelt und verglichen. Manipulierte Blöcke weichen deutlich von den

geschätzten Parametertupel des gesamten Bildes ab. Die Abschätzung bei Blöcken mit homogenem Inhalt ist die Analyse schwierig. Harte Kanten sind am günstigsten.

Die Verwendung der Parameter des Farbvergrößerungsfehlers als Charakteristik für unterschiedliche Modelle von Handykameras mit jeweils 30 Bildern in der Lern- und 60 Bildern in der Testmenge brachte folgendes Ergebnis:

Verwendete Kamera	Erkannte Kamera		
	O ₂ XII	Samsung Z140	Motorola V3i
O ₂ XII	86.67	13.33	0
Samsung Z140	3.33	96.67	0
Motorola V3i	6.67	0	93.33

Quelle: Gloe 2007.

Auch hierfür gibt es Softwarefilter, die diesen Fehler ausgleichen können.

Die Untersuchung der chromatischen Aberration wird auch dazu genutzt, um pixel- und vektororientierte Bilder unterscheiden zu können. Die Unterscheidung wird im Zusammenhang mit der Verfolgung von Kinderpornographie insbesondere in den USA diskutiert. Abbildungen mit kinderpornographischem Inhalt, die vollständig computergeneriert sind, werden dort strafrechtlich anders behandelt.

Weitere Eigenschaften des optischen Systems, die für eine Analyse herangezogen werden können, sind die Vignettierung (Randabschattung) und die Bildfeldwölbung (ebenes Objekt wird nicht auf Ebene sondern auf eine gewölbte Fläche abgebildet).

Der Sensor

Sensormgrößen im Vergleich



Quelle: Heise, 2008

Sehr früh wurden die Sensorelemente der Kameras mit ihren Spezifika als Identifikationsmerkmale für die Bildforensik vorgeschlagen. Die Flächensensoren sind das wichtigste Bauteil einer Digitalkamera. Jedes Pixel eines Bildes entspricht genau einem Sensorelement, das eintreffendes Licht in Strom umwandelt. Je mehr Licht, desto mehr Strom, desto heller das Pixel.

Defekte oder leichte Abweichungen im Produktionsprozess, Staubpartikelablagerungen auf den Sensor und andere Dinge führen dazu, dass bei der gleichen Menge eintreffenden Lichtes verschiedene Sensorelemente unterschiedlich viel Strom produzieren. Diese Unterschiede sind für eine spezifische Kamera individuell und finden sich als Artefakte in jedem Bild dieser Kamera.

Der Sensor kann die verschiedenen Defekte haben, die Abweichungen in den Ausgangssignalen hervorrufen:

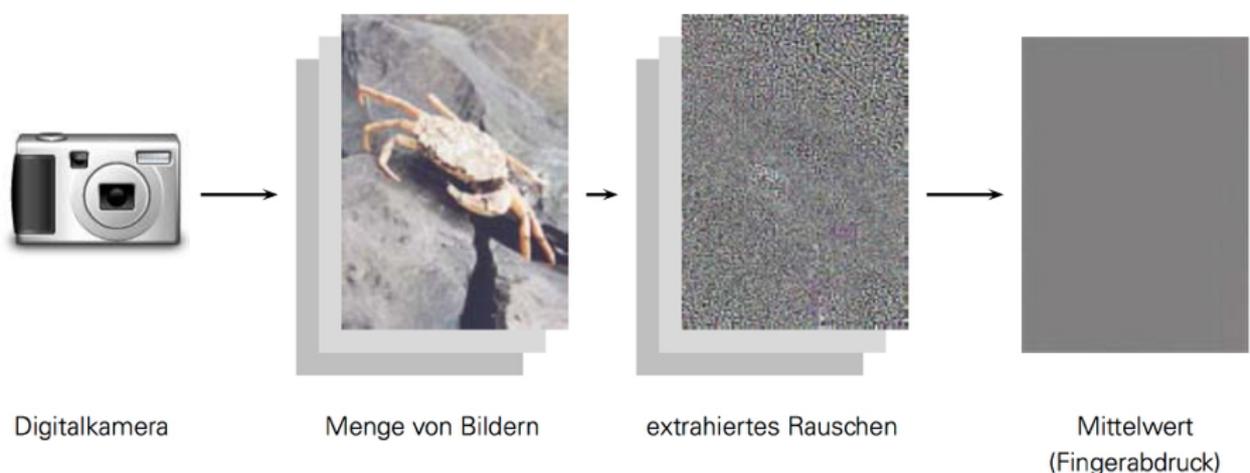
Point defect	Element weicht mehr als 6% vom Durchschnitt ab, bei 70% Sättigung Beleuchtung
Hot pixel	Dunkelstrom 10x größer als Durchschnitt
Dead pixel	Lichtempfindlichkeit und/oder Ausgangssignal sehr gering
Pixel trap	Fehler im Ladungstransfer verhindern das korrekte Auslesen
Column Defect	mindestens 10 defekte Sensorelemente in einer Spalte
Cluster Defect	örtliche Häufung von Defekten

Sensordefekte lassen sich allerdings für einen Nutzer leicht identifizieren und korrigieren, sofern nicht Korrekturalgorithmen in der Kamera das bereits tun.

Sensorrauschen (Spatales Rauschen)

Das spatiale (räumliche) Rauschen ist für verschiedene Bilder einer Kamera ähnlich und für verschiedene Kameras unterschiedlich. Die Ursache liegt wiederum in den Ungenauigkeiten bei der Fertigung und Materialfehlern. Damit wird in den Bildern ein charakteristischer Fingerabdruck einer Digitalkamera eingebettet. Solch ein Fingerprint findet sich in den Bildern aller gängigen Digitalkameras. Dieses kameraspezifische Rauschen ist hochfrequenter Natur.

Die Berechnung des Referenzrauschmusters einer Kamera geschieht durch Mittelung des ermittelten Rauschens aufgenommener Testbilder. Dann kann die zwischen dem Referenzrauschmuster und dem geschätzten Rauschen eines verdächtigen Bildes verglichen werden. Veränderungen des Bildinhalts führen zu lokalen Änderungen des spatialen Rauschens, die so entdeckt werden können.

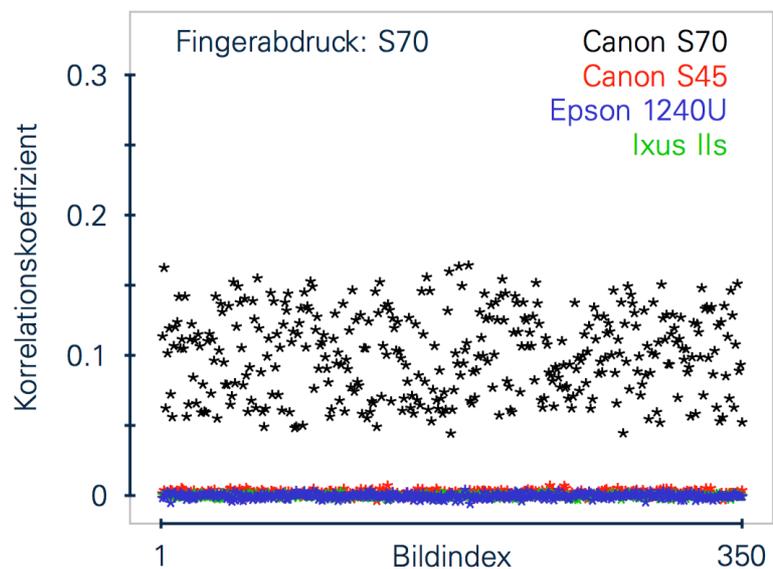


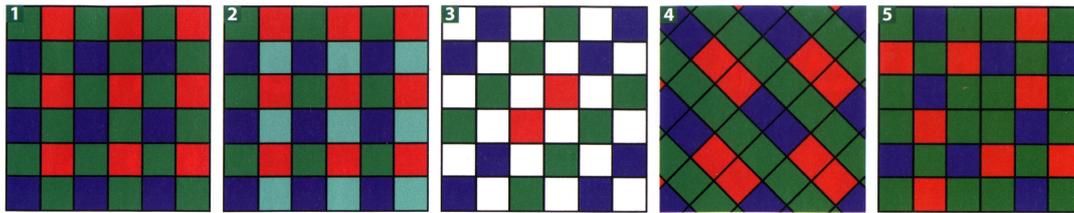
Quelle: Gloe, Kirchner 2010

Die Untersuchungen von spatialem Rauschen sind die nach heutigem Wissen zuverlässigste und bestuntersuchte Methode zur Bestimmung des Bildursprungs, basiert auf dem CCD/CMOS-Sensorrauschen von typischen Bildeingabegeräten. Die Bestimmung einzelner Digitalkameras ist einigermaßen zuverlässig möglich. Das charakteristische Sensorrauschen lässt sich auch in verlustbehaftet komprimierten Bildern nachweisen und übersteht unter bestimmten Umständen selbst eine Analogwandlung (bspw. Ausdrucken) mit nachfolgender Redigitalisierung. Allerdings ist die Methode nicht invariant gegenüber geometrischen Transformationen, wie z. B. Rotation, Cropping oder Skalierung.

In einem groß angelegten Test mit mehr als einer Million Bildern von über 6800 verschiedenen Digitalkameras (insgesamt 150 Modelle) konnten bei einer Falschakzeptanzrate von $2,4 \times 10^{-5}$ nahezu 98 % aller Bilder ihrem korrekten Ursprung zugeordnet werden.

Quelle: Gloe/Kirchner, 2010





Das Bayer-Muster [1] und einige seiner Alternativen: Sony wollte mit Cyanfiltern die Farbdifferenzierung zwischen Grün und Blau verbessern [2], Kodak entwickelte Muster mit teilweise klaren Filtern [3], bei Fujis EXR-Sensoren sind je zwei benachbarte Pixel für dieselbe Farbe empfindlich [4] und der X-Trans-Sensor desselben Herstellers soll mit seinem unregelmäßigeren Muster [5] Farbmöire vermeiden.

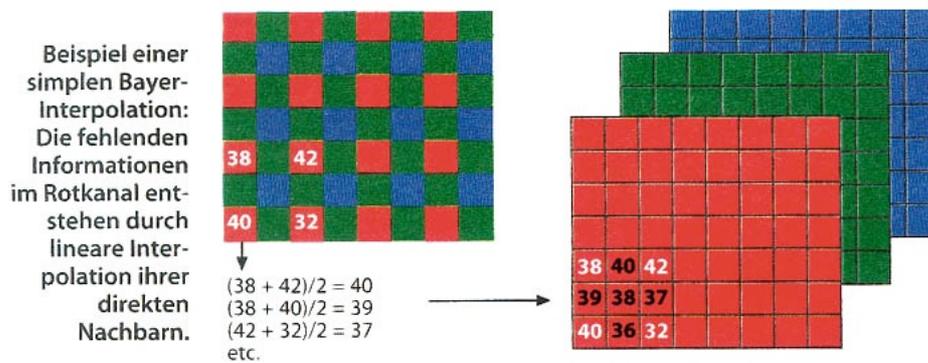
Quelle: Trinkwalder, 2008 S.153

Die Sensoren von Digitalkameras speichern für jedes Pixel den Helligkeitswert des Rot-, Grün- und Blaukanals. Die Kanäle werden durch ein Filtermuster, das Color Filter Array (CFA) getrennt, das über den lichtempfindlichen Bildsensoren liegt. Mittels Bayer-Interpolation wird dann für jedes Pixel sein wahrscheinlicher Helligkeits- und Farbwert aus den umliegenden Werten errechnet. Das ist die Aufgabe des Raw-Konverters.

Die Kamerahersteller verwenden unterschiedliche Muster für die Farbfilter (siehe Bild oben). Grün wird dabei oft etwas bevorzugt, da das menschliche Auge Grün besonders gut auflösen kann. Somit kann das Erkennen des Farbmusters Hinweise auf den Kamerahersteller liefern.

Die Interpolationsmethode verursacht wieder ein typisches Störungsmuster. Da die Interpolation durch einen periodischen Filter geschieht, ergeben sich auch periodische Störungsmuster. Ist dieses Störungsmuster global auf dem ganzen Bild zu beobachten, scheint es unverändert zu sein. Bereiche in denen das typische Störungsmuster nicht auftritt, können auf eine Bearbeitung hindeuten.

Leider ist dieses Verfahren anfällig für (durchaus akzeptierte) Modifikationen des Bildes wie Kontraständerungen oder Kompression. Das Verfahren kann auch ausgehebelt werden, indem nachträglich ein entsprechendes Rauschen über das Bild gelegt wird, wozu es jedoch erheblichen technischen Know-Hows und Aufwands bedarf.



Quelle: Trinkwalder 2008 S.153

Auch hier sind im Labor die Erkennungsraten sehr gut:

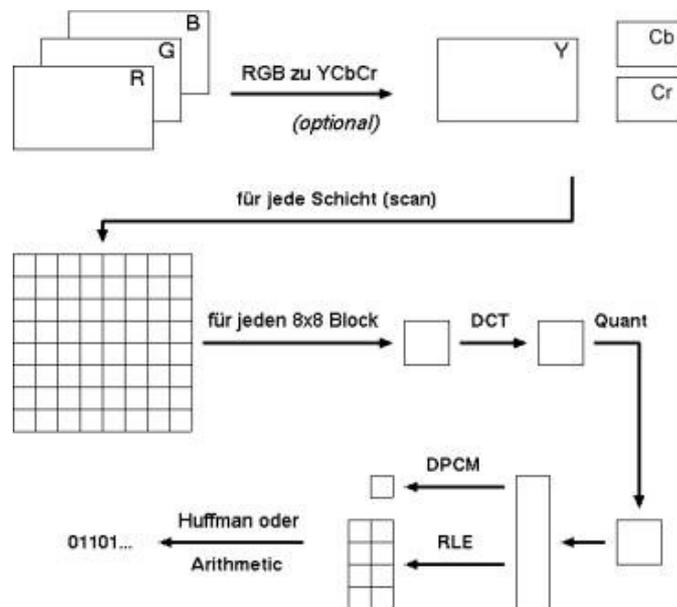
Verwendete Kamera	Erkannte Kamera							
	Canon	Nikon	Sony	Olympus	Minolta	Casio	Fuji	Epson
Canon	98%	-	-	-	-	-	-	-
Nikon	6%	85%	5	3%	-	-	-	-
Sony	3%	3%	93%	-	-	-	-	-
Olympus	6%	6%	-	85%	-	-	-	-
Minolta	2%	2%	4%	-	91%	-	-	-
Casio	3%	-	-	5%	-	91%	-	-
Fuji	-	-	-	-	3%	-	95%	-
Epson	-	-	-	-	-	-	-	100%

Quelle: Swaminathan et al., Zuordnung zum Kamerahersteller, 2006

"Weniger verbreitet als der Bayer-Sensor ist der Super-CCD-Sensor. Dieser nutzt ein ähnliches Prinzip, eine Schicht von Photozellen und einen darüber liegenden Farbfilter, ordnet die Photozellen und den Farbfilter jedoch in einem aus Sechsecken bestehenden Wabenmuster an. Auf diese Weise sind die vertikalen, horizontalen und diagonalen Abstände zwischen den erfassten Helligkeitswerten geringer, und es kann mit höherer Qualität interpoliert werden. Ein völlig anderes Prinzip nutzt der Foveon X3 Sensor: Er nutzt statt nur einer Schicht von Photozellen drei – eine für jede der drei Grundfarben. Eine Interpolation ist so nicht notwendig, und es kann – anders als bei Bayer- und Super-CCD-Sensoren – für alle Farbkomponenten die gleiche, hohe örtliche Auflösung erreicht werden." (<http://www.burosch.de/technik/339-jpeg-das-bildformat-teil-1-theorie-und-grundlagen.html>)

Mit dem Zeilensensor eines Scanners aufgenommene Bilder haben im Allgemeinen deutlich andere Rauschcharakteristiken als solche, die einem Flächensensor entstammen.

6. Exkurs: JPEG Kompression

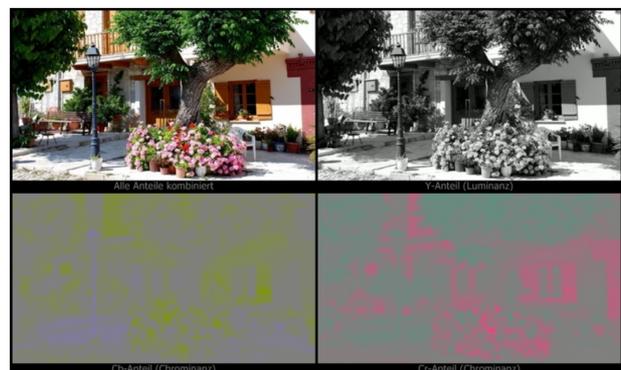


Quelle: http://swlab.et.fh-duesseldorf.de/pc_pool/lernmodule/multimediateien/Kapitel23.htm

Die JPEG-Kompression läuft in mehreren Schritten ab:

a) Subsampling (Farbunterabtastung)

Die Roh-Bilddaten werden in einen Farbraum überführt. Typischerweise in Y(Luminanz)VU(Chrominanz).



Quelle: Stirner 2011

Da in den R, G und B Kanälen fast die identische Information steckt, reicht es nur die Abweichungen zu registrieren.

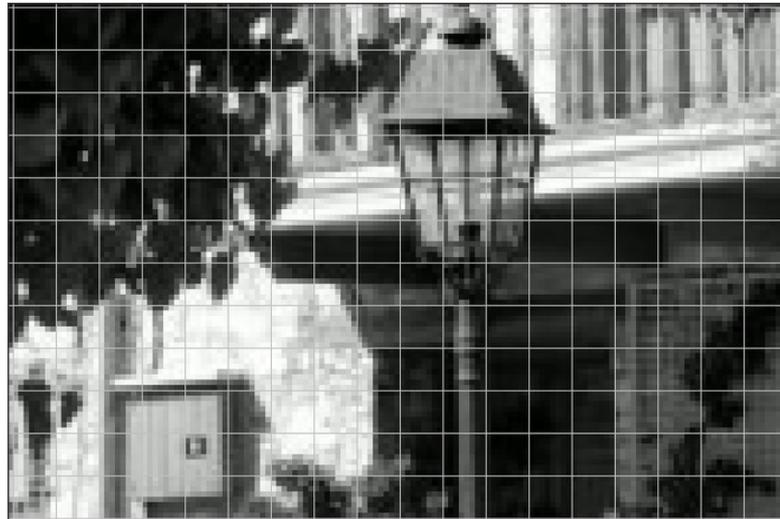
$Y := 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B$ // unser Auge ist für Grün besonders empfindlich
 $V := B - Y$ // Abweichung zu Blau
 $U := R - Y$ // Abweichung zu Grün

Erster Kompressionsschritt: Da das Auge Helligkeitsunterschiede sehr viel besser differenzieren kann als Farbunterschiede, werden 2 oder 4 benachbarte Pixel in den Farbkanälen gemittelt und zu einem Wert zusammengefasst.

b) DCT - Diskrete Cosinus Transformation

Das Bild wird in 8*8 Kacheln unterteilt, die einer Frequenzanalyse unterzogen werden. Das überführt die 8*8 Ortsmatrix in eine 8*8 Frequenzmatrix.

Überführen des Bildes in Blöcke:



Quelle: Stirner 2011

"Die DCT Transformation basiert auf einer Formel, welche auf die Intensitätswerte aller 64 Pixel eines 8x8 Blockes angewandt wird. Ihr Ergebnis ist wiederum ein Raster aus 8x8 Werten, welche Intensitätswerte nicht von Pixeln, sondern von bestimmten auf Cosinuskurven basierenden Basisbildern repräsentieren. Diese Intensitätswerte werden DCT-Koeffizienten genannt. Das ursprüngliche Bild kann durch Überlagerung der Basisbilder des Frequenzspektrums wieder erzeugt werden, wenn dabei die durch die DCT Koeffizienten gegebene Gewichtung der Überlagerungsintensität für das jeweiligen Basisbild berücksichtigt wird." (Stirner, 2011)

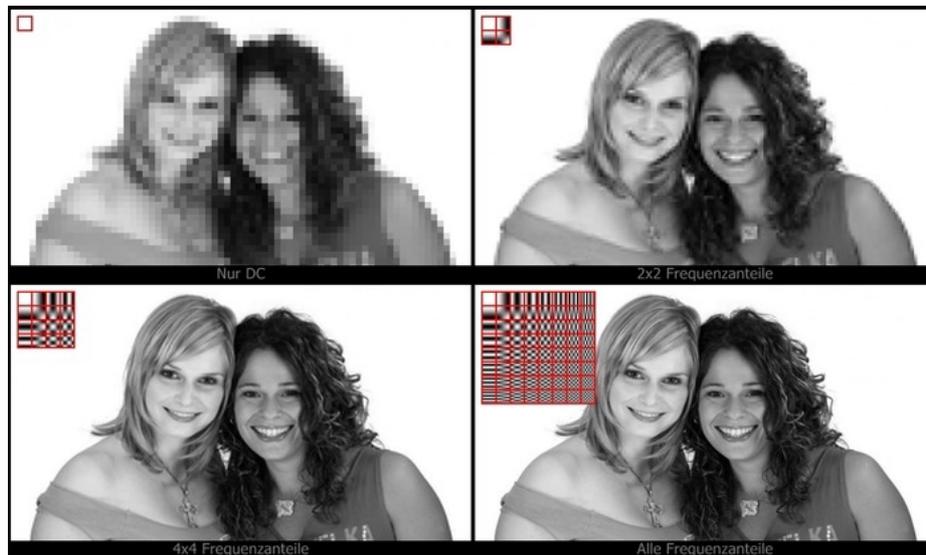


Quellen: links: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DCT-8x8.png>, rechts: <https://legacy.cnx.org/content/m13173/latest/>

"Der Anteil an der linken oberen Ecke des Frequenzspektrums an Position (0/0) ist ein Sonderfall. Es wird Gleichstrom- oder DC-Anteil (DC: direct current) genannt und repräsentiert die mittlere Helligkeit des ur-

sprünglichen 8x8 Bildblockes. Die übrigen 63 Anteile werden Wechselstrom- oder AC-Anteile (AC: alternating current) genannt und repräsentieren Schwingungen in unterschiedlicher Frequenz horizontaler und vertikaler Richtung.

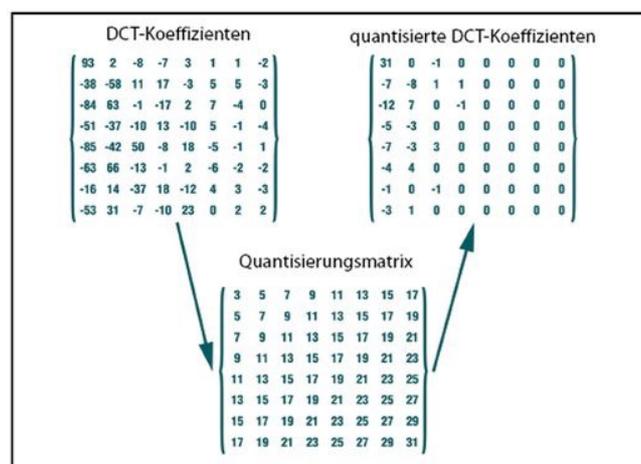
Einfach ausgedrückt sind AC-Anteile in der linken oberen Ecke des Spektrums für grobe Strukturen, AC-Anteile in der linken unteren Ecke für feine Details im Bildblock zuständig (siehe hierzu Abbildung 12). In natürlichen Bildern treten, auch aufgrund der Unzulänglichkeiten moderner Photosensoren, grobe Strukturen mit größerer Intensität als feine Details auf, nach rechts unten hin nehmen die DCT Koeffizienten in ihrer Betragshöhe daher üblicherweise ab. Dieses Verhalten unterscheidet sich stark von dem Verhalten der Pixelintensitäten, die zumeist über den gesamten 8x8 Block Werte ähnlicher Höhe annehmen." (Stirner, 2011)



Quelle: Stirner 2011

"Testbild zusammengesetzt aus (link-oben) nur DC Anteil, (rechts-oben) ersten 2x2 Anteilen, (links-unten) ersten 4x4 Anteilen und (rechts-unten) vollständigem Frequenzspektrum. Jeder hinzugekommene AC Anteil fügt dem Bild eine weitere Schicht an Detailreichtum hinzu." (Stirner, 2011)

c) Quantisierung



Quelle: <http://www.colorfoto.de/ratgeber/bildformate-jpeg-372308.html>

"Durch die DCT Transformation alleine ist nichts gewonnen, ganz im Gegenteil sogar: Statt relativ überschaubaren ganzzahligen Pixelwerten mit einem Wertebereich von 0 bis 255 sind durch die Transformation DCT Koeffizienten entstanden, welche durch Dezimalzahlen mit einem Wertebereich von -1024 bis 1018 repräsentiert werden."

tiert werden. Um die durch die DCT Transformation erkämpften Vorteile auch zu nutzen, bedarf es eines weiteren Schrittes: Der Quantisierung." (Stirner, 2011)

Die Quantisierung erfolgt mit einer Quantisierungsmatrix. Diese Matrixen sind nicht im Standard festgelegt, können also von Software zu Software abweichen. Daher müssen sie im Bild mit abgespeichert werden um das Bild wieder dekodieren zu können. Bei diesem Prozess geht Genauigkeit verloren, und es entstehen Abweichungen zwischen dem unverarbeiteten Originalbild und seiner Repräsentation als komprimiertem JPEG Bild.

Jeder Koeffizient der DCT-Matrix wird durch einen entsprechenden Wert der aus der Quantisierungsmatrix geteilt und gerundet. So lässt sich die Bildqualität über die Quantisierung steuern.

n / m	0	1	2	3	4	5	6	7
0	139	144	149	153	155	155	155	155
1	144	151	153	156	159	156	156	156
2	150	155	160	163	158	156	156	156
3	159	161	162	160	160	159	159	159
4	159	160	161	162	162	155	155	155
5	161	161	161	161	160	157	157	157
6	162	162	161	163	162	157	157	157
7	162	162	161	161	163	158	158	158

Ein typischer 8x8 Bilddatenblock (a)

y / x	0	1	2	3	4	5	6	7
0	235,6	-1	-12,1	-5,2	2,1	-1,7	-2,7	1,3
1	-22,6	-17,5	-6,2	-3,2	-2,9	-0,1	0,4	-1,2
2	-10,9	-9,3	-1,6	1,5	0,2	-0,9	-0,6	-0,1
3	-7,1	-1,9	0,2	1,5	0,9	-0,1	0	0,3
4	-0,6	-0,8	1,5	1,6	-0,1	-0,7	0,6	1,3
5	1,8	-0,2	1,6	-0,3	-0,8	1,5	1	-1
6	-1,3	-0,4	-0,3	-1,5	-0,5	1,7	1,1	-0,8
7	-2,6	1,6	-3,8	-1,8	1,9	1,2	-0,6	-0,4

Bilddatenblock nach DCT Transformation (b)

y / x	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	11	10	16	24	40	51	61
1	12	12	14	19	26	58	60	55
2	14	13	16	24	40	57	69	56
3	14	17	22	29	51	87	80	62
4	18	22	37	56	68	109	103	77
5	24	35	55	64	81	104	113	92
6	49	64	78	87	103	121	120	101
7	72	92	95	98	112	100	103	99

Zu anwendende Quantisierungstabelle (c)

y / x	0	1	2	3	4	5	6	7
0	15	0	-1	0	0	0	0	0
1	-2	-1	0	0	0	0	0	0
2	-1	-1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

Quantisierte DCT Koeffizienten (d)

Quelle: Stirner 2011

Bild oben:

- Umwandlung von a nach b durch DCT
- Koeffizienten aus b durch die Werte in c geteilt und gerundet, das ergibt dann d.
Je nach Art der Quantisierungstabelle entstehen mehr oder weniger Nullen.

"Die Tabelle enthält 64 Quantisierungsfaktoren, welche in etwa die Empfindlichkeit der menschlichen Wahrnehmung gegenüber dem jeweils korrespondierenden Frequenzanteil repräsentieren. Üblicherweise werden, um die Unzulänglichkeiten bei der Farbwahrnehmung nochmals speziell zu nutzen, für Luminanz- und Chrominanzanteile jeweils eigene Quantisierungstabellen verwendet. Obwohl bereits im Rahmen der Normierung des Standards umfangreiche Untersuchungen zur Bestimmung optimaler Quantisierungstabellen durchgeführt wurden, und der Standard entsprechende Tabellen bereitstellt, optimieren auch heute noch verschiedene Kamerahersteller ihre Tabellen auf Basis verschiedener Versuchsreihen mit mehreren Testpersonen.

Die Quantisierungstabelle ist ein Mittel zur Schaffung eines Kompromisses zwischen Dateigröße und Darstellungsqualität. Wie der Leser in den folgenden Abschnitten erkennen wird, ermöglichen höhere Quantisierungsfaktoren größere Einsparungen bei der Dateigröße. Diese Einsparungen kommen zum Preis schlechterer Qualität bei der Darstellung. Werden die Quantisierungsfaktoren zu hoch gewählt, so entstehen für den Betrachter sichtbare Blockartefakte, und der Detailreichtum des dargestellten Bildes nimmt sichtlich ab.

Die meisten Bildbearbeitungsprogramme bieten daher beim Speichern in eine JPEG-Datei eine stufenweise Qualitätseinstellung an, über die die Wahl der Quantisierungstabelle und damit indirekt Qualität und Dateigröße gesteuert wird" (Stirner, 2011)

7. Error Level Analysis (ELA)



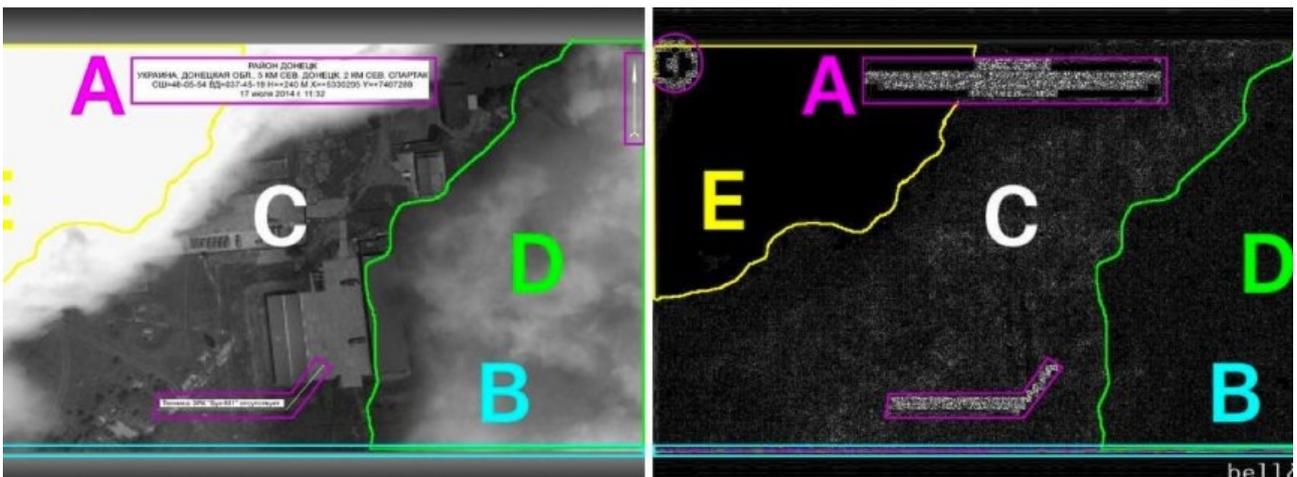
Quelle: http://www.photographie.de/cgi-bin/adframe/news_und_szene/article.html?ADFRAME_MCMS_ID=1401

Bei der Error Level Analyse (ELA) wird das Bild auf Abweichungen in der Kompression kontrolliert. Diese erscheinen dann entweder hell leuchtend oder sind als dunkle Flecken (s. Foto) sichtbar.

Unterschiedliche Kompressions-Raten werden automatisch gesucht. JPEG Bilder haben global einen ungefähr gleichen Error Level. Wenn ein Bereich einen signifikant anderen Level hat, kann das ein Hinweis auf eine Bearbeitung sein. Je geringer der Kontrast im Bild ist (weisse Wand etc.) desto geringer ist der ELA Wert (desto dunkler die Anzeige). Je stärker das JPEG komprimiert wird, desto dunkler ist die Anzeige.

JPEG nutzt (meistens) eine verlustbehaftete Kompression. Jedes re-encoding (resave) eines Bildes reduziert die Bildqualität. Jede 8*8 Bildkachel wird separat komprimiert. Aber jede Kachel hat das selbe "error Potential". ELA sichert das Bild mit einem bestimmten bekannten Kompressionslevel. Das legt über das ganze Bild wohl definierte Fehler. Dieses Bild wird mit dem Originalbild verglichen. Jede Kachel, die modifiziert wurde hat ein höheres Error Potential als der Rest des Bildes.

"Wenn Sie sich Ihr Foto auf seine Echtheit zertifizieren lassen wollen, können Sie es bei www.izitru.com hochladen, dort wird Ihnen dann die postproduktive Unberührtheit garantiert - oder auch eben nicht." Mit solchen Versprechen treten die Anbieter von ELA auf.



Quelle: Bellingcat 2015

Am 1.6.2015 meldete Spiegel online und andere Medien, Russland habe die Beweise - Satellitenaufnahmen - zum Abschuss einer Boeing 777 (Flug MH-17) am 17. Juli 2014 über der Ukraine, bei dem 298 Menschen starben, gefälscht. Russland veröffentlichte Satellitenbilder, die Aktivitäten der Ukrainischen Luftabwehr im fraglichen Gebiet und Zeit beweisen sollten.

Die Investigativplattform Bellingcat habe zwei der Bilder analysiert und eindeutig als manipuliert enttarnt.

"Die forensische Analyse durch das Billingcat-Untersuchungsteam hat eindeutig und unzweifelhaft nachgewiesen, dass diese Satellitenfoto falsch datiert und durch die Software Adobe Photoshop CS5 digital verändert wurden." Man hatte Metadaten untersucht und das ELA-Verfahren benutzt.

Drei Tage später am 4.6.2015 muss der Spiegel nach einem Gespräch dem dem professionellen Bildforensiker Jens Kriese einräumen, dass die Analyse von Billingcat sehr zweifelhaft ist. Für Kriese können die Aussagen nicht getroffen werden. Kriese: "Sie stützen sich im Kern auf sogenannte Error Level Analysen (ELA). Das Verfahren ist nicht streng wissenschaftlich und subjektiv. Aus diesem Grund gibt es keinen einzigen Fachaufsatz, der sich mit dieser Methode befasst. [...] Anders als Bellingcat behauptet, liefert die Error Level Analyse keine eindeutigen Ergebnisse. Die Schlussfolgerung hängt immer vom Blickwinkel des Menschen ab, von seiner Interpretation. "

8. Ergebnisse

Die digitale Bildforensik ist ein relativ neuer Zweig, der trotz viel versprechender Ansätze noch zahlreiche Forschungsdesiderate zu beseitigen hat um für eine breite Praxis tauglich zu sein.

Probleme und offene Fragen

- Oft werden mit sehr kleine Sets unter Laborbedingungen sehr gute Ergebnisse erzeugt, deren Skalierbarkeit jedoch ausserordentlich schwierig und aufwändig ist. So kann es zu einer fehlerhaften Zuordnung eines Bildes kommen, wenn die verwendete Kamera nicht in der Menge der bereits untersuchten Geräte ist.
- Die Stabilität und die Möglichkeiten zur Fälschbarkeit der Parameter wurde bisher nur wenig betrachtet.
- Der Einfluss unterschiedlicher Beleuchtungssituationen (Blitzlicht, Langzeitbelichtung, Nachtaufnahme, ...) muss noch berücksichtigt werden
- Verfahren stören sich auch gegenseitig: So steht die Periodizität der Rastereffekte in Konkurrenz zu JPEG Artefakten.

Fazit

- Mit der Entwicklung einer "Antiforensik" hat sich bereits ein Hase- und Igel-Rennen etabliert, wie wir vom E-Mail-Spam Problem her kennen.
- Dennoch werden die Verfahren immer besser, was das Verbergen der Manipulation immer schwerer macht.
- Der Aufbau von Referenzdatenbanken ist sehr teuer und aufwändig.
- Nur wenige Verfahren sind wirklich vollautomatisch. Bildforensik ist noch zum großen Teil zeitaufwändiges Handwerk.
- Alle Verfahren liefern zwar mehr oder weniger harte Indizien aber keine echten Beweise, was ihre gerichtsfeste Verwendung einschränkt.
- Es ist wichtig die geeigneten Verfahren zu wählen, die hilfreich für ein bestimmtes Erkenntnisinteresse sind. Nicht jedes Verfahren eignet sich alles. Hier eine erste grobe Übersicht.

Eigenschaft	Manipulation	Geräteklasse	spez. Gerät	Sichtbarm.	generiert
Metadaten	(x)	x			
Vorschaubild	x selten				
Quantisierungstabellen		x			
Umkehrfunktionen				x	
Entzerrungen				x	
Kolne-Detektor	x				
Beleuchtungsanalyse	x				
Farbtemperaturanalyse	x				
Skalierungseffekte	x				
JPEG Blöcke	x				
Verzeichnen	x				
Chromatische Aberration	x				x
Sensorfehler			x		
Sensorrauschen		x	x		x
CFA-Analyse	x	x			x

Literatur

Eine sehr gute Bibliographie findet sich unter: http://digital-image-forensic.de/o1_3_2.php

Doc **Baumann**, Matthias **Kirchner**: "DOCMA Award: Expertensitzung. Den Fälschern auf der Spur" in: DOCMA 34/2010 S.106ff.

Benjamin **Bidder**: "Interview zu angeblichen MH17-Manipulationen: "Bellingcat betreibt Kaffeesatzleserei"" <http://www.spiegel.de/politik/ausland/mh17-satellitenbilder-bellingcat-betreibt-kaffeesatzleserei-a-1036874.html>

Billingcat: "Forensische Analyse von Satellitenbildern des russischen Verteidigungsministeriums Eine bell;ngcat Untersuchung" https://www.bellingcat.com/wp-content/uploads/2015/05/Forensic_analysis_of_satellite_images_DE.pdf, 2015

Alfred **Büllesbach**: „Eisbär am falschen Pol“ in: Bundesverband der Pressebild-Agenturen und Bildarchive e.V. (Hrsg.): „Der Bildermarkt – Handbuch der Bildagenturen 1999“ Berlin, 1999 S.164-169

Alfred **Büllesbach**: „Digitale Bildmaipulation und Ethik. Aktuelle Tendenzen im Fotojournalismus“ in: Elke Grittmann, Irene Neverla, Ilona Ammann (Hg.): „Global, lokal, digital - Fotojournalismus heute.“ [Halem-Verlag] Köln 2008, S. 108 - 136

Oliver **Deussen**: „Bildmanipulation. Wie Computer unsere Wirklichkeit verzerren.“ [Springer] Heidelberg, 2007

Jana **Dittmann**, Ralf **Steinmetz**: „Digitale Wasserzeichen“ in: Informatik Spektrum Band 23 Heft 1 S.47-50

DOCMA Doc Baumanns Magazin für Bildbearbeitung. 2005ff.

Hany **Farid**: "Digital Image Forensics" <http://www.cs.dartmouth.edu/farid/research/tampering.html>, Dartmouth o.J.

Thomas **Gloe**: "Digitale Bildforensik – Bestimmung des Bildursprungs / Erkennung von Bildmanipulationen" http://www1.inf.tu-dresden.de/~gloe/literatur/polizeischule2007_small.pdf, 2007

Thomas **Gloe** & Matthias **Kirchner**: "Digitale Bildforensik – Dem Bildfälscher auf der Spur" 2010

Matthias **Kirchner**: "Digitale Bildforensik - Suren in Digitalfotos"

Anja **Martin**: „Fotoforensik: Die Pixeldetektive“ <http://www.fotomagazin.de/bild/fotoforensik-die-pixeldetektive>, 1.6.2015

Christian **Riess**: "Physikalische und statistische Merkmale in der Bildforensik" Diss. Erlangen 2013, <http://www5.informatik.uni-erlangen.de/Forschung/Publikationen/2012/Riess12-PAS.pdf>

Klaus **Schmeh**: „Versteckte Botschaften. Die faszinierende Geschichte der Staganographie“ [Heise] Hannover, 2009

Matthias **Stirner**: "JPEG -DAS BILDFORMAT Teil 1: Theorie und Grundlagen", <http://www.burosch.de/technik/339-jpeg-das-bildformat-teil-1-theorie-und-grundlagen.html>, BUROSCH Audio-Vodeo-Technik, 2011

Andrea **Trinkwalder**: „Pixelsezierer. Digitale Bildforensik: Algorithmus jagt Fälscher“ in: C't [Heise] 18/2008 S.152-15

Software

Jeffrey's Exif Viewer (Website) regex.info/exif.cgi

Lassen Sie sich die Metadaten von Bildern aus dem Internet oder von Ihrer Festplatte anzeigen

Error Level Analyse (Website) <http://fotoforensics.com>

Eine einfache aber umstrittene Methode, bei der Manipulationen aufgrund unterschiedlicher Kompressionsstufen ermittelt werden.

Izitru (Website) izitru.com

Die Forensik Spezialisten Hany Farid und Kevin Connor stellen auf ihrer Website ein Analyse-Tool zur Verfügung, in dem sechs bildforensische Methoden eingebunden sind. Gedacht als eine Art Siegel für eigene Fotos, wenn man deren Authentizität betonen will. Gut, wenn es darum geht zu beweisen, dass es sich um ein Original-JPEG aus der Kamera handelt. Nichts für bearbeitete oder kleingerechnete Fotos, seien sie auch noch so echt. Auch als Gratis-App für iPhone & iPad.

JPEGSnoop (Freeware)

Das Programm untersucht Bilder und Videos verschiedener Formate (jpg, avi, psd, avi, ect.) auf Authentizität und Herkunft. Download-Möglichkeit

PhotoDetective

Eine Software, die Anfang Januar 2015 erfolgreich auf Kickstarter finanziert wurde.

Ghiro (Freeware, Open Source) <http://www.getghiro.org/>

Onlinedienst dazu: <http://www.imageforensic.org>

Onlinetool oder Software, die verschiedene Standards untersucht (Metadaten, GPS, Thumbnails) und die Error Level Analyse nutzt.

focus magic

Plug-in für Photoshop. Rechnet Bewegungsunschärfe zurück oder Out-Of-Focus Effekte raus.