

Korrektur für Bilder temperatursensitiver Farbstoffe in der Triebwerksentwicklung zum Ausgleich von Verfälschungen im Übertragungskanal

Gerd Stanke
stanke@gfai.de

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V.
Albert-Einstein-Straße 16, 12489 Berlin
Tel./Fax: +49 (0)30 6392-1600 / -1661

Einleitung

Für die Entwicklung von Triebwerken z. B. bei Rolls-Royce werden temperatursensitive Substanzen eingesetzt [1]. Diese Substanzen werden auf die Triebwerksteile aufgebracht, sie ändern ihre farbliche Erscheinung in Abhängigkeit von der im Testbetrieb erreichten Maximaltemperatur und Zeit, so daß ein eindeutiger Zusammenhang zwischen einer absoluten erreichten Temperatur und einem Farbwert sowie Härte und Textur vorliegt. Somit ist es möglich, nach Testläufen Kenntnisse über Temperaturverläufe während des Testbetriebes zu erlangen. Die Übergänge zwischen den Farbeindrücken, den Temperaturen, auf den Teilen und auch in den von diesen Teilen aufgenommenen Bildern, sind in einer Weise charakteristisch nicht linear, so daß an Hand dieser Übergänge Temperaturverlaufslinien per Hand auf demontierte Triebwerksteile gezeichnet werden können. Für eine Automatisierung des Auswerteprozesses sind, in Bildern von Triebwerksteilen mit den aufgezeichneten Linien, diese Linien durch eine Farbbildauswertung bestimmten Umgebungsfarben und damit Temperaturklassen zuzuordnen [2]. Für diesen Prozeß ist es wünschenswert, möglichst genau die Farbwerte auf den Untersuchungsobjekten zu kennen und abgespeichert zur Verfügung zu haben. Die temperaturklassifizierten Linien dienen wiederum als Eingangsinformationen für nachfolgende FEM-Berechnungen. Hierfür ist eine Linienbeschreibung pixelweise in ein geeignetes System zur Weiterverarbeitung zu exportieren. Eingegangen wird nachfolgend auf die mit realen Aufnahmegeräten erhaltenen Farbverfälschungen, den Ansatz zur Linienklassifikation sowie ein Vorgehen zur Farbkorrektur, das für eine Reihe von Grundfarben eine treue Korrektur zuläßt.

Problem bei der Farbdigitalisierung

Sowohl für Archivierung von Farbbildern als auch für die angesprochenen Automatisierung des Auswerteprozesses der verfärbten temperatursensitiven Substanzen besteht die Notwendigkeit, die vorliegenden Bilder zu digitalisieren. Wegen des definierten Zusammenhanges zwischen Farbwert und erreichter Maximaltemperatur im speziellen oder aus anderen Gegebenheiten heraus im allgemeinen Fall besteht die Forderung, diese Digitalisierung so durchzuführen, daß im Rechner die absoluten, tatsächlich im Original vorhandenen Farbwerte gespeichert werden können.

Dieser Prozeß ist in der Praxis bekanntermaßen schwierig und mit Verfälschungen durch Übertragungskurven überlagert, da neben den Eigenschaften der Originalobjekte die Charakteristika von Beleuchtung, CCD-Elementeempfindlichkeit und weitere eingehen. Zu der Verfälschung bei der Farbdigitalisierung und zu der Robustheit von Farbräumen gibt es eine ganze Reihe von Untersuchungen z. B. [3]. Diese sind hier nicht Gegenstand. Gesucht wurde ein praktikables Verfahren, das erlaubt, im Laborbetrieb mit Hilfe gegebener Technik (Farbzeilenkameras, 3Chip-CCD-Kameras und Scanner) und mit einer vorhandenen Entwicklungsumgebung die annähernd absoluten Farbwerte zu speichern sowie auch das Klassifikationsproblem in angepaßter Weise zu lösen.

Um die tatsächlich bei der Digitalisierung der Farbvorlagen eintretenden Verhältnisse zu kennen, wurden mit Hilfe einer definierten Farbtafel, dem ColorChecker von GretagMaceth [4], für eine Reihe von digitalen Eingabegeräten (Farbzeilenkameras, Farbmarixkamera, Flachbettscanner) Digitalisierungen, mit vorwiegend definierten Beleuchtungen durchgeführt, die Ergebnisse waren verheerend, sowohl bezüglich der Stärke der „Wanderung“ der Orte im Farbraum, auf die die originalen Farbwerte abgebildet wurden, als auch hinsichtlich der Inhomogenitäten der Verfälschungen. Die Abbildung 1 zeigt 5 Beispiele, die nicht weiter zu kommentieren sind. Versuche mit weiteren Farbeingabegeräten ergaben ähnliche Ergebnisse. Die Verwendung von Lichtquellen mit bestimmten Farbtemperaturen brachte keine Lösung des Problems. Auch wenn Farbklassifikationsaufgaben nicht unbedingt die Kenntnis der tatsächlich in den Originalen vorliegenden Farbwerte erfordern, besteht die Forderung nach Kenntnis dieser Werte, z. B. für einen Vergleich zwischen verschiedenen Klassifikationsaufgaben.

Von obigem abgeleitet bleibt die Notwendigkeit nach einer Rückrechnung der aufgenommenen Farbwerte, die zuläßt, die annähernd absoluten Farbwerte für die nachfolgenden Auswertung, automatische Klassifikation der Temperaturfarbenübergänge, sowie für Fragen der Dokumentation und des Vergleiches abzuspeichern.

Farbklassifikation

Die Farbklassifikationsaufgabe setzt auf den digitalisierten Farbbildern der Triebwerksteile auf, auf denen bereits die Grenzen zwischen unterschiedlichen Farbtemperaturbereichen als gleichförmige schwarze Linien eingezeichnet sind. Für eine automatisierte Klassifikation dieser Linien, die in einem zusätzlichen Binärbild bereitgestellt sind, sind in einer Anlernprozedur einzelne Bereiche um diese Linien im Bild und die zugehörige Farbtemperatur vorzugeben. Die automatische Klassifikation über dem kompletten Bild läuft einfach durch Suche vergleichbarer Gebiete in automatisch definierten Umgebungen der eingezeichneten Linien. Naturgemäß hängt die Güte der Klassifikation nicht nur von der Güte des Anlernens, sondern auch von der Homogenität der Farbbereiche in den Bildern ab. Der Anlernprozeß für jedes einzelne Bild (oder für jede einzelne Bildserie) hat den Vorteil der Unabhängigkeit der Klassifikation von jeglichen Verfälschungen in den Übertragungsprozessen. Anderer-

seits, wenn es gelingt, die absoluten Farbwerte zurückzurechnen, braucht die Klassifikation nur einmal mit ihren Parametern festgelegt werden. Zur Anwendung kam ein einfacher NN-Klassifikator mit Rückweisungszonen. Die Abb. 2 veranschaulicht den Klassifikationsprozess, der in diesem Fall als Macroprogramm unter Optimas [5] realisiert wurde [2]. Dieses enthält gleichzeitig einen geeigneten pixelweisen Export der Linienbeschreibung zur Weiterverarbeitung.

Rückrechnung der Farbverfälschung

Die Rückrechnung wurde an Hand der verfügbaren Farbtafel, den ColorChecker entwickelt und getestet, sie verfolgt einen einfachen pragmatischen Ansatz. Diese Tafel enthält 24 Farbfelder, deren spektrale Sollwerte bekannt sind und die in der vorhandenen Ausfertigung als genau angesetzt wurden. Die Farbfelder werden mit den verwendeten Digitalisierereinrichtung aufgenommen, wobei für die Rückrechnung von deren internen Homogenität ausgegangen wird, d. h. das Übertragungsverhalten aller Pixel ist gleich (ansonsten müssen Mehrfachaufnahmen erfolgen).

Mit Hilfe der 24 bekannten Sollwerte der Farben im Farbraum wird eine Zerlegung des von diesen Werten umschlossenen Teilraumes in Tetraeder generiert, wobei (in Anlehnung an die Konstruktion eines Delaunay-Graphen für eine Punktmenge in der Ebene) mit einem kleinsten Tetraeder hinsichtlich der summierten Kantenlängen begonnen wird. Schrittweise werden Punkte, die jeweils ein weiteres kleinstes Tetraeder generieren, hinzugenommen. Nach jeder Hinzunahme eines Punktes wird der konvexe Abschluß mit der bereits vorhandenen Tetraedermenge generiert. Die gleiche Prozedur wird für die nach der Digitalisierung erhaltenen Farborte der 24 Farbfelder des ColorCheckers durchgeführt. Im Ergebnis liegen zwei Zerlegungen von Teilen des Farbraumes in Tetraedermengen vor, in denen sich jeweils zwei Tetraeder entsprechen. Diese haben in ihren Eckpunkten die Werte der gleichen Normfarbfelder. Vorausgesetzt ist, daß es zu keiner „Faltung“ des Raumes bei der Verfälschung, die bei der Rückrechnung zu Widersprüchen führt, kommt. Die Abb. 3 veranschaulicht noch einmal die umfaßten Teile des Farbraumes durch die originalen 24 Farbwerte des ColorChecker und den entsprechend umfaßten Teil nach der Digitalisierung mit einer konkreten Farbzeilenkamera. Es ist wieder die deutliche Verzerrung und Verkleinerung des umfaßten Teiles des Farbraumes nach der Digitalisierung zu erkennen.

Für die Eckpunkte der Tetraeder ist, wie angesetzt eine treue Rückrechnung trivial gegeben, indem diese Punkte zwischen Soll- und Istwert aufeinander referenziert werden. Für die Punkte innerhalb der Tetraeder sind angepaßte Interpolationen zu verwenden. Diese können eine unterschiedliche Wichtung der Entfernungen von den vier Tetraederpunkten einbringen. Beispielhaft ist ein linearer Ansatz implementiert. Für jeden Pixel eines zu korrigierenden Farbbildes gilt es dann zwei Schritte durchzuführen. Erstens ist zu bestimmen, in welchen der Tetraeder es fällt. Zweitens ist die Wichtung der Linearkombination, die den Punkt in diesem Tetraeder darstellt, zu

berechnen sowie diese Wichtung auf das Zieltetraeders zu übertragen. In diesem wird unter Nutzung der Wichtung der rückgerechnete Farbwert bestimmt.

Das Verfahren ist gleichfalls unter Nutzung von „Optimas“, ergänzt um „C-Routinen“ implementiert. Das Beispiel in Abbildung 4 gibt ein Gefühl für die Transformationen. Für eine generierte Rot-Grün-Ebene mit einem niederen Blauwert ist eine durch die Tetraerderaufteilung eingetretene Verfälschung simuliert worden (Soll und Ist vertauscht). Im Ergebnis weichen ca. 35% alle Bildpunkte in einer Koordinate vom vorgegebenen Farbwert um 2 oder mehr Werte ab. Nach der Rückrechnung wird das Originalbild weitestgehend wieder getroffen, es weichen nur noch ca. 0,2% aller Pixel vom vorgegebenen Farbwert um 2 oder mehr Werte ab.

Literatur

- [1] Himmelsstürmer - Düsentriebwerke aus Dahlewitz, ORB, 20. 07. 1999
- [2] Stanke G., „Automatische Klassifikation von Temperaturfarb(trenn)linien“, GFal, Berlin, Jahresbericht 1999
- [3] Kubinger W., Vincze M., Zeichen G., „Untersuchungen zur Robustheit von Farbraummodellen bezüglich Szenengeometrie und Schwankung der Beleuchtungsintensität“, in: Levi P., Ahlers R.-J., May F., Schanz M. (Hrsg.), Mustererkennung 1998, Informatik aktuell, Springer, 1998
- [4] ColorChecker, Farbtafel der GretagMacbeth, New Windsor, NY, USA, 1996
- [5] Optimas User Guide and Technical Referenc, MediaCybernetics, Silver Spring, USA, 1999

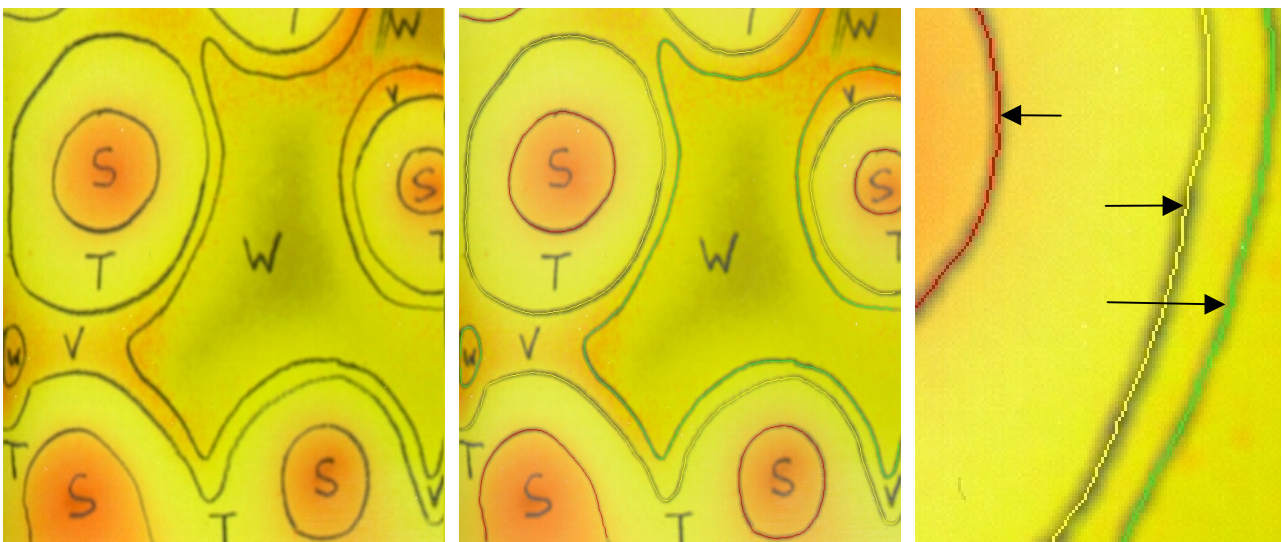
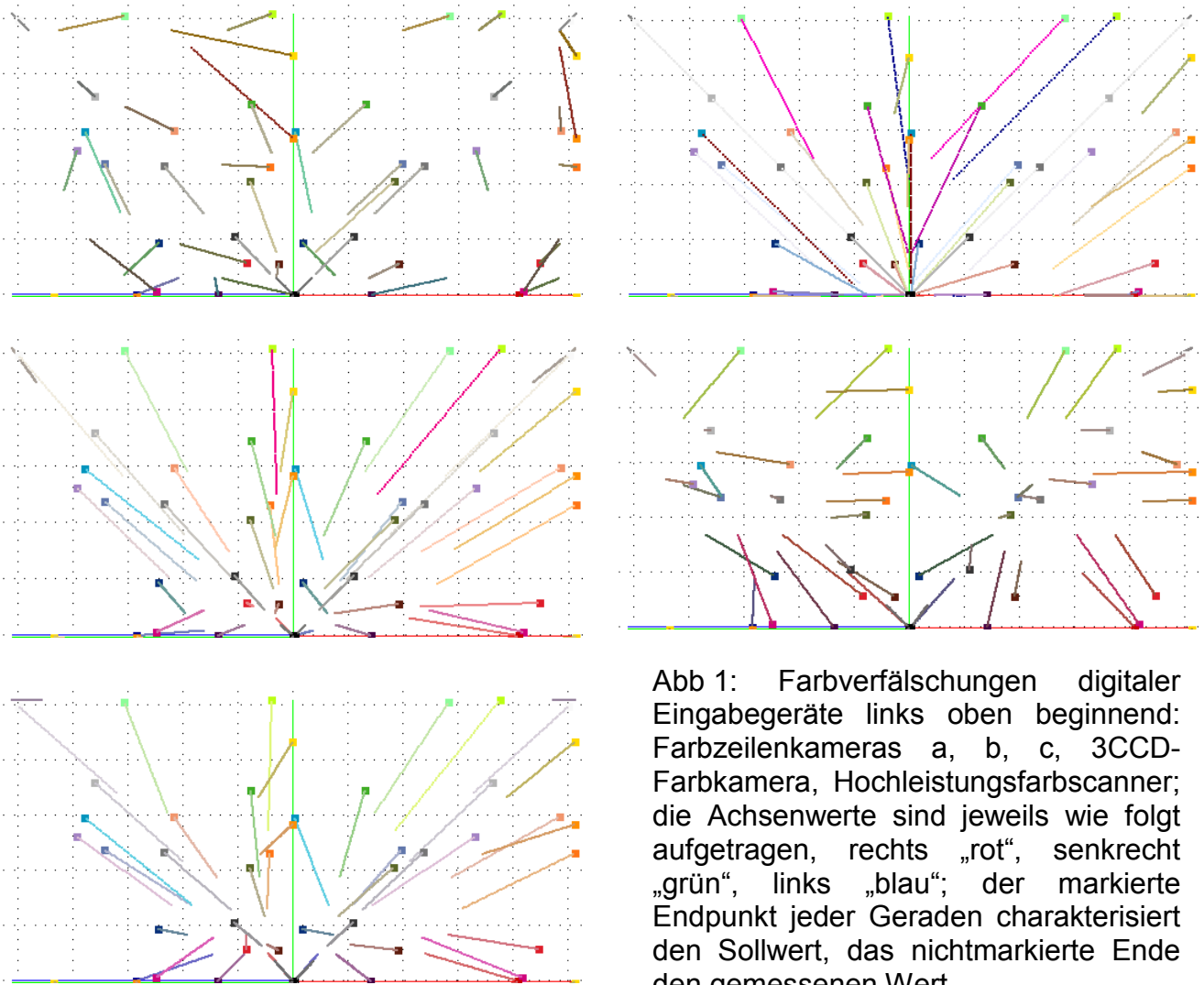


Abb. 2: Klassifikation von Farbbereichstrennlinien. Links: Original, Mitte: Ergebnis, Rechts: Ausschnitt.

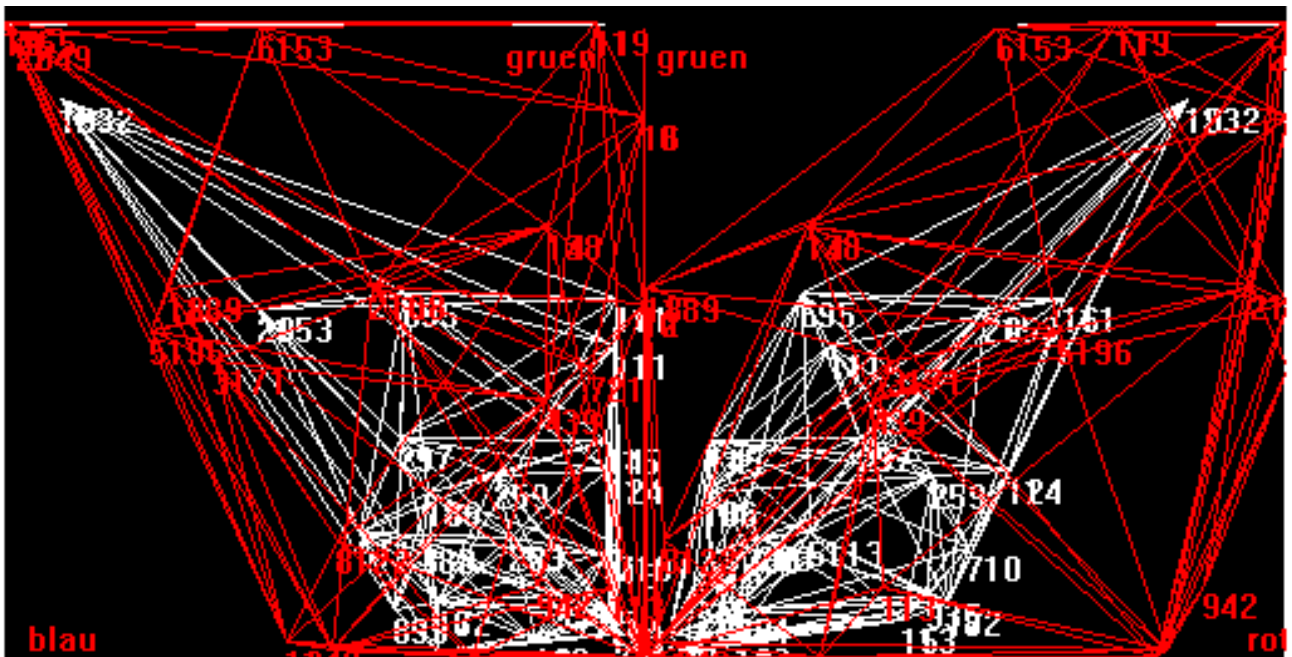


Abb. 3: Darstellung der umfassten Teile des Farbraumes vor und nach der Digitalisierung. Wirken sollen nur die netzartigen Strukturen der Tetraederkanten. Die roten Linien stehen für die Sollwerte des ColorChecker. Die weißen Linien für die nach der Digitalisierung erhaltenen Werte, wobei in der rechten Teildarstellung nach rechts „rot“, senkrecht „grün“, in der linken Teildarstellung entsprechend senkrecht „grün“ und nach links „blau“ der Achsen des RGB-Raumes abgetragen sind.

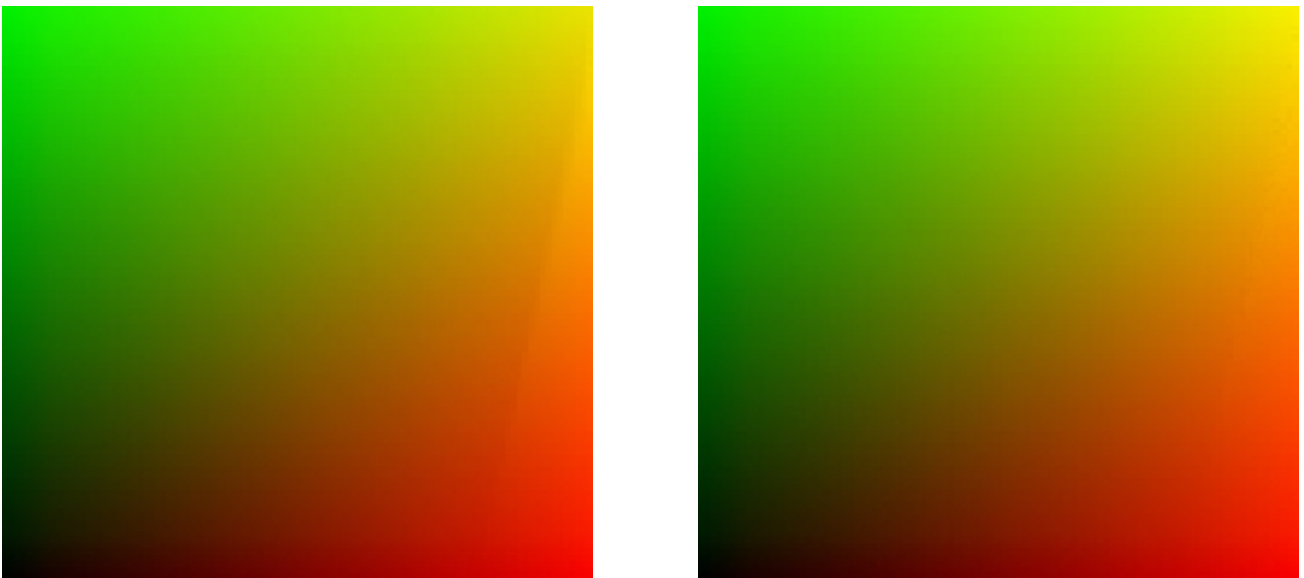


Abb. 4: Generiertes RG-Bild (Blauanteil vernachlässigbar) nach Digitalisierung links, 35% der Bildpunkte weichen um mehr als 2 Farbwerte ab, korrigierte Darstellung rechts, nur noch 0,2% der Bildpunkte weichen um mehr als 2 Farbwerte ab.