

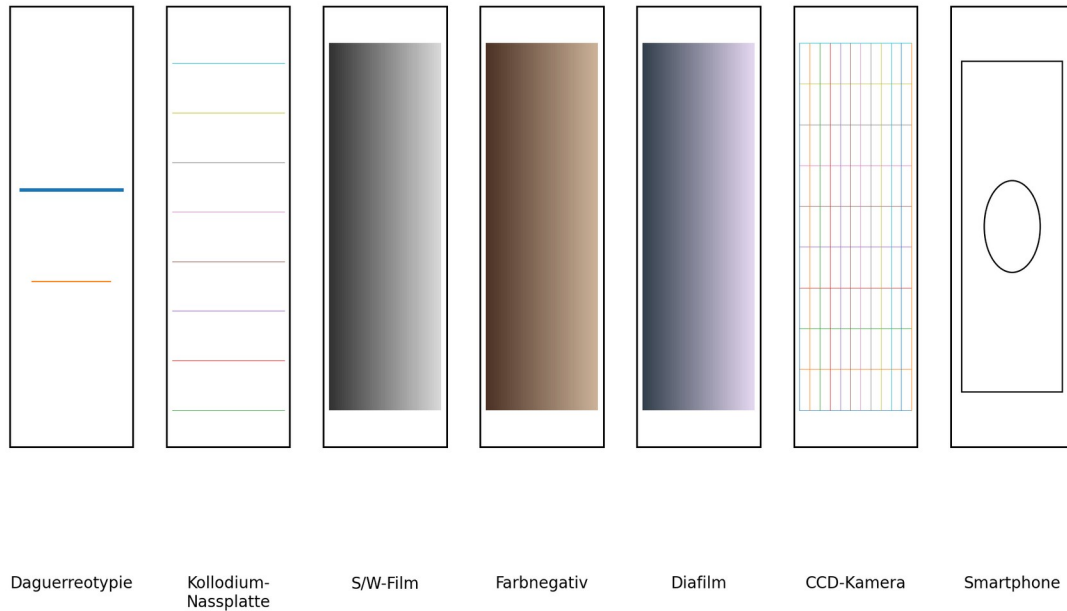
01

Was ist ein fotografisches Materialsystem?

Vom Licht der Szene zum sichtbaren Bild

DFM-CHAPTER 01 · VERSION 1.0 · Produktionspilot auf Basis DFM-FORMAT-SPEC v0.1

Dieselbe Szene



Schematische Gegenüberstellung: Die Panels sind keine historische Simulation, sondern markieren unterschiedliche Systemketten.

COMPARE 1.1 - Eine reale Szene kann durch verschiedene fotografische Systeme zu deutlich verschiedenen Bildern werden. Die Darstellung ist bewusst schematisch und keine Simulation historischer Verfahren; sie markiert die zentrale Frage dieses Kapitels: Welche Stufen der Systemkette verursachen die Unterschiede?

Ein fotografisches Bild ist kein neutraler Abdruck der Wirklichkeit. Es ist das Ergebnis einer Kette von Entscheidungen, physikalischen Wirkungen, Materialreaktionen, Transformationen und Bedingungen der Betrachtung.

1. Eine Szene - viele mögliche Bilder

Stellen wir uns eine Straßenecke an einem hellen, leicht bedeckten Vormittag vor. Ein Mensch steht im Schatten eines Gebäudes, dahinter glänzt eine nasse Fahrbahn, darüber ein heller Himmel. Die Szene ist real und für alle Beobachter zunächst dieselbe. Nun wird sie nacheinander mit einer Daguerreotypie, einer Kollodium-Nassplatte, einem Schwarzweißfilm, einem Farbnegativfilm, einem Diafilm, einer frühen CCD-Digitalkamera und einem modernen Smartphone aufgenommen.

Die resultierenden Bilder unterscheiden sich nicht nur in Farbe oder Schärfe. Sie unterscheiden sich darin, welche Wellenlängen wirksam registriert werden, wie stark helle und dunkle Partien voneinander getrennt erscheinen, wie Bewegungen abgebildet werden, wie fein Strukturen übertragen werden und wie das Bild überhaupt sichtbar wird. Bei der Daguerreotypie ist das Bild an eine reflektierende Metalloberfläche und ihre Betrachtungsgeometrie gebunden; bei der Nassplatte beeinflussen Beschichtung, Sensibilisierung und Entwicklung das Resultat unmittelbar. Ein Farbnegativ erzeugt zunächst ein farblich invertiertes Zwischenbild, das erst durch einen weiteren Kopier- oder Scanprozess zur positiven Darstellung wird. Das Dia ist dagegen bereits für die positive Projektion oder Durchlichtbetrachtung konzipiert. Eine digitale Kamera erzeugt Sensordaten, aus denen durch Signalverarbeitung ein darstellbares Bild entsteht. Ein Smartphone kann darüber hinaus mehrere Einzelbelichtungen kombinieren, lokale Tonwerte verändern, Rauschen reduzieren, Schärfe rekonstruieren und weitere Informationen aus Sensorik und Software nutzen.

Der wichtige Punkt ist: Keines dieser Ergebnisse lässt sich vollständig dadurch erklären, dass man nur das lichtempfindliche Material oder nur die Kamera betrachtet. Das sichtbare Bild ist eine Systemeigenschaft. Es entsteht aus einer Kette, in der Szene, Licht, Optik, Aufnahmebedingungen, Aufzeichnung, Entwicklung und Ausgabe miteinander gekoppelt sind. Genau diese Kette ist der Untersuchungsgegenstand dieses Buches.

Der Begriff Material wird deshalb hier absichtlich weiter gefasst als im fotografischen Alltag. Er bezeichnet nicht einfach Film, Platte oder Sensor. Er steht im Zentrum eines Materialsystems, das den Weg von einer realen Szene bis zu einer wahrnehmbaren fotografischen Repräsentation beschreibt. Diese Erweiterung ist notwendig, wenn historische Verfahren mit modernen digitalen Aufnahme- und Rekonstruktionssystemen vergleichbar gemacht werden sollen.

2. Warum „Material“ mehr als Film bedeutet

In der klassischen Fotografie ist es naheliegend, das fotografische Material mit der lichtempfindlichen Schicht gleichzusetzen: Film, Platte, Papier oder Emulsion. Diese Verwendung ist praktisch und historisch verständlich. Sie ist jedoch für eine systematische Analyse zu eng. Bereits die fotografische Sensitometrie beschreibt Materialeigenschaften nicht losgelöst vom Prozess. Charakteristische Kurven hängen vom Belichtungs- und Entwicklungszustand ab; Entwicklungsbedingungen beeinflussen Dichte, Gradation, Empfindlichkeitsausnutzung und Bildstruktur. Standardwerke zur fotografischen Chemie und Sensitometrie behandeln den Entwicklungsprozess deshalb als integralen Bestandteil des resultierenden Bildverhaltens [1][2].

Ein Film kann beispielsweise eine hohe intrinsische Auflösungsfähigkeit besitzen. Wird er hinter einer Optik mit geringer Kontrastübertragung eingesetzt, kann das Gesamtsystem feine Strukturen dennoch nicht entsprechend wiedergeben. Umgekehrt kann eine hochwertige Optik keine Bildinformation zurückholen, die im Aufzeichnungsmaterial oder in der Entwicklung bereits verloren gegangen ist. Ähnlich verhält es sich bei

digitalen Systemen: Ein Sensor mit vielen Abtaststellen erzeugt nicht automatisch ein detailreiches Bild. Pixelzahl, optische Abbildung, Sensor-MTF, Farbfilter, Rauschverhalten, Demosaicing, Nachschärfung und Ausgabe greifen ineinander [3][4].

Auch die Betrachtung kann zum System gehören. Eine Daguerreotypie erscheint je nach Beleuchtungs- und Betrachtungswinkel unterschiedlich positiv oder negativ, weil das Bild aus mikroskopischen Strukturen auf einer hoch reflektierenden Silboberfläche hervorgeht. Die materielle Oberfläche und die Art, wie Licht von ihr zum Betrachter gelangt, gehören damit zur Erscheinung des Bildes [5]. Ein Dia wiederum ist für Durchlicht beziehungsweise Projektion bestimmt. Wird es nur als Scan auf einem Display betrachtet, hat sich ein Teil der ursprünglichen Bildkette bereits verändert.

DFM | BEGRIFF

Fotografisches Materialsystem

Ein fotografisches Materialsystem ist die Gesamtheit der physikalischen, optischen, chemischen, elektronischen und algorithmischen Komponenten und Prozesse, die zwischen einer realen Szene und ihrem wahrnehmbaren fotografischen Bild liegen. Das lichtempfindliche Material ist ein zentraler Bestandteil dieses Systems, aber nicht das gesamte System.

Diese Definition ist bewusst funktional. Sie sagt nicht, dass Film, Sensor und Algorithmus stofflich dasselbe seien. Sie behauptet auch nicht, dass jede denkbare Einflussgröße gleich wichtig ist. Sie schafft vielmehr eine gemeinsame Beschreibungsebene: Für jedes fotografische Verfahren kann untersucht werden, welche Eingangsbedingungen vorliegen, wie Licht abgebildet und registriert wird, welcher Zwischenzustand entsteht, welche Transformationen folgen und wie das Resultat betrachtet wird.

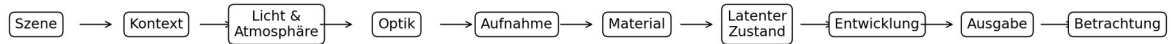
3. Definition des fotografischen Materialsystems

Für DFM verwenden wir folgende Arbeitsdefinition: Ein fotografisches Materialsystem ist ein technisch beschreibbarer Zusammenhang von Szene, Kontext, Beleuchtung, Optik, Aufnahme, lichtempfindlichem oder messendem Medium, Zwischenzustand, Entwicklung beziehungsweise Rekonstruktion, Ausgabe und Betrachtung. Ein solches System erzeugt aus einer realen oder technisch definierten Ausgangssituation eine fotografische Repräsentation.

Die Definition besitzt drei wichtige Grenzen. Erstens beschreibt sie keine vollständige Theorie menschlicher Wahrnehmung. Betrachtung wird einbezogen, weil Bildträger, Leuchtdichte, Projektion und Umgebungsbedingungen die Erscheinung verändern können; daraus folgt jedoch nicht, dass sämtliche psychologischen und kulturellen Faktoren des Sehens Teil des technischen Modells werden müssen. Zweitens ist das Modell kein Anspruch darauf, jede historische Aufnahme exakt rekonstruieren zu können. Quellen können fehlen, Materialien altern, Rezepturen variieren und handwerkliche Prozesse können große Streuungen aufweisen. Drittens ist das Modell modular. Für bestimmte Fragestellungen dürfen Komponenten zusammengefasst werden, solange klar bleibt, welche Wirkungen dadurch abstrahiert werden.

Diese Modularität ist entscheidend. Ein Historiker kann beispielsweise eine Material- und Prozesskette untersuchen, ohne eine digitale Simulation zu bauen. Eine Ingenieurin kann MTF, Rauschen und spektrale Empfindlichkeit modellieren, ohne die gesamte Kulturgeschichte eines Verfahrens abzubilden. Ein digitales

Materialmodell kann wiederum ausgewählte, evidenzgestützte Eigenschaften formalisieren, ohne zu behaupten, das historische Original stofflich zu ersetzen.



Querschnitt: Evidenz · Provenance · Unsicherheit · Versionierung · Qualitätssicherung

SYSTEM 1.2 - Universelle fotografische Prozesskette des DFM-Referenzmodells. Die Querschnittsthemen laufen nicht als zusätzliche Prozessstufe hinterher, sondern begleiten sämtliche Komponenten: Für jede Stufe muss geklärt werden, worauf Aussagen beruhen, wie sicher sie sind, welche Version beschrieben wird und wie ihre Qualität überprüft wird.

4. Szene und Kontext

4.1 Die reale Szene

Am Anfang der Prozesskette steht nicht die Kamera, sondern die Szene. Unter Szene verstehen wir die physische Konstellation dessen, was zum Zeitpunkt der Aufnahme Licht aussendet, reflektiert, streut, absorbiert oder verdeckt. Dazu gehören Objekte, ihre Geometrie, Oberflächen, Farben, räumliche Lage, Bewegung und gegenseitige Abschattung. Auch die Tiefenstruktur gehört dazu: Zwei Flächen können im fertigen Bild ähnlich hell erscheinen und dennoch in völlig unterschiedlichen Entfernungen liegen.

Die fotografische Repräsentation ist nicht mit dieser Szene identisch. Sie ist eine durch das System erzeugte Projektion und Transformation. Bereits die Optik reduziert den dreidimensionalen Raum auf eine zweidimensionale Abbildung. Belichtungszeit kann Bewegung integrieren, begrenzen oder verwischen. Spektrale Empfindlichkeit kann Flächen trennen, die für das menschliche Auge ähnlich erscheinen, oder umgekehrt. Tonwert- und Farbwiedergabe können Helligkeits- und Farbunterschiede komprimieren. Ein Foto enthält daher nicht einfach „die Szene“, sondern die Reaktion eines konkreten Systems auf sie.

4.2 Kontext als zusätzliche Information

DFM führt Kontext als eigenständige Ebene ein. Kontextdaten sind Informationen über die Aufnahmebedingungen, die nicht zwingend als Bildsignal im eigentlichen Foto enthalten sind, aber für die Interpretation oder Rekonstruktion relevant sein können. Moderne Geräte können beispielsweise Ort und GPS-Koordinaten, Datum und Uhrzeit, Höhe, Blickrichtung, Lagewinkel oder Bewegungsdaten erfassen. Externe Quellen können Wetter, Bewölkung, Luftfeuchte, Sichtweite, Sonnenstand oder atmosphärische Bedingungen ergänzen.

Historische Fotografie besaß ebenfalls Kontext, auch wenn er selten maschinenlesbar protokolliert wurde. Die Tageszeit bestimmte den Sonnenstand; Wetter beeinflusste Helligkeit, Kontrast und Atmosphäre; geografische

Lage und Jahreszeit beeinflussten Lichtdauer und Spektrum. Ein Fotograf konnte solche Bedingungen beobachten und seine Arbeitsweise daran anpassen. Moderne Systeme besitzen lediglich neue Möglichkeiten, einen Teil dieser Information explizit zu speichern und später reproduzierbar in eine Analyse einzubeziehen.

Damit entsteht zugleich eine methodische Grenze: Kontext ist keine Lizenz zur Erfindung. Wenn Metadaten zeigen, dass die Aufnahme an einem nebligen Morgen in Köln entstand, darf ein Rekonstruktionssystem daraus atmosphärische Plausibilität ableiten. Es darf jedoch nicht ohne bildliche oder dokumentarische Evidenz ein bestimmtes Gebäude, Fahrzeug oder eine Person in die Szene hineininterpretieren. Kontext darf eine vorhandene Szene erklären, parametrisieren oder Unsicherheiten begrenzen; er darf die dokumentierte Bildinformation nicht unbemerkt überschreiben.

5. Licht und Atmosphäre

Fotografie reagiert nicht auf Gegenstände als solche, sondern auf Licht. Für die Bildentstehung sind mindestens Intensität, Richtung und spektrale Zusammensetzung relevant. Direktes Sonnenlicht erzeugt andere räumliche Kontraste als bedeckter Himmel; tiefer Sonnenstand verändert Richtung, Schattenlänge und spektrale Verteilung; künstliche Lichtquellen besitzen charakteristische Spektren. Atmosphäre kann Licht streuen und absorbieren. Dunst und Nebel senken häufig den Fernkontrast, während kleine Partikel und Feuchtigkeit die spektrale und räumliche Verteilung des Lichts verändern können.

Der Begriff Farbtemperatur ist dabei nützlich, aber nicht vollständig. Er beschreibt die chromatische Erscheinung bestimmter Lichtquellen in Bezug auf einen Planckschen Strahler beziehungsweise bei korrelierter Farbtemperatur auf eine nahe Bezugslinie. Reale Lichtquellen können trotz ähnlicher Farbtemperatur unterschiedliche Spektralverteilungen besitzen. Das ist für fotografische Systeme relevant, weil Aufnahmematerialien und Sensoren nicht identisch auf alle Wellenlängen reagieren. Farbmeterik und digitale Kameracharakterisierung zeigen, dass Kameraantwort und menschliches Farbsehen bei komplexen Spektren auseinanderfallen können [6].

Historische Materialien machten diese Unterschiede besonders sichtbar. Frühe fotografische Verfahren waren nicht automatisch für das gesamte sichtbare Spektrum gleich empfindlich. Spektrale Sensibilisierung wurde im 19. und frühen 20. Jahrhundert schrittweise erweitert; orthochromatische und panchromatische Materialien unterscheiden sich gerade darin, wie sie verschiedene Spektralbereiche registrieren. Deshalb kann eine historische Schwarzweißaufnahme farbige Oberflächen in Helligkeitsrelationen übersetzen, die sich von einer modernen monochromen Umwandlung eines RGB-Bildes deutlich unterscheiden.

Für ein Materialsystem bedeutet das: Licht ist nicht nur eine globale Helligkeitszahl. Ein brauchbares Modell muss mindestens anerkennen, dass spektrale Verteilung, Einfallsrichtung, diffuse und gerichtete Anteile sowie Atmosphäre die Eingangssituation verändern. Wie detailliert diese Größen später modelliert werden, hängt von Evidenz und Ziel des jeweiligen Systems ab.

6. Optik als Teil der Bildentstehung

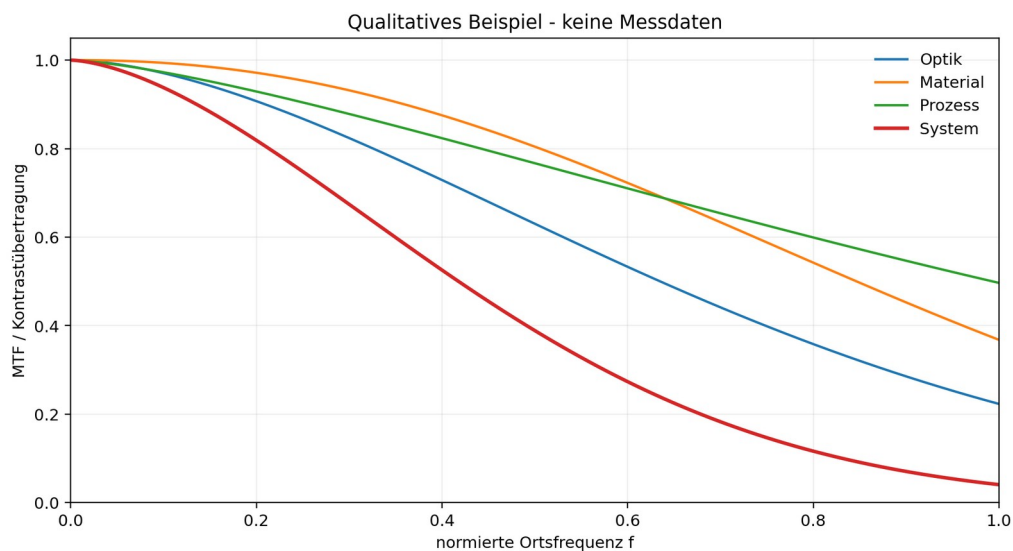
Zwischen Szene und Aufzeichnung liegt die Optik. Sie bildet nicht neutral ab, sondern bestimmt mit, welche räumlichen und spektralen Informationen das Material überhaupt erreichen. Brennweite und Aufnahmeformat bestimmen gemeinsam den Bildwinkel. Die Apertur beeinflusst Lichtmenge, Beugung und Schärfentiefe.

Fokusslage und Abbildungsmaßstab entscheiden darüber, welche Strukturen scharf wiedergegeben werden. Bildkreis und Randstrahlen beeinflussen Ausleuchtung und Bildfeldcharakteristik.

Für die technische Analyse ist besonders die Kontrastübertragung wichtig. Die Modulation Transfer Function, kurz MTF, beschreibt vereinfacht, wie stark ein Abbildungssystem Kontrast bei unterschiedlichen Ortsfrequenzen überträgt. Niedrige Ortsfrequenzen entsprechen groben Strukturen; hohe Ortsfrequenzen feinen Details. Eine reale Optik überträgt diese Frequenzen nicht gleichermaßen. Aber auch Film, Sensor, Entwicklung, Scan und Nachverarbeitung besitzen eigene Übertragungseigenschaften. In linearen, vereinfachten Modellen können MTF-Anteile hintereinanderliegender Stufen näherungsweise multipliziert werden [3][7].

$$MTF_System(f) \approx MTF_Optik(f) \times MTF_Material(f) \times MTF_Prozess(f)$$

Dabei bezeichnet f die Ortsfrequenz. Die Gleichung ist hier ausdrücklich ein didaktisches Modell und keine vollständige Beschreibung aller nichtlinearen fotografischen Prozesse. Sie zeigt jedoch einen zentralen Gedanken: Verluste einzelner Stufen wirken auf das Gesamtergebnis. Eine Komponente mit sehr hoher Grenzauflösung macht aus einer schwachen Kette kein hochauflösendes Gesamtsystem.



DATA 1.4 - Qualitative Darstellung der Systemidee. Die Kurven sind synthetisch und stellen keine Messwerte eines realen Films oder Objektivs dar. Entscheidend ist die Multiplikationslogik: Die resultierende Systemübertragung liegt unterhalb der idealisierten Einzelkomponenten.

DFM | GRUNDSATZ

Filmauflösung ist nicht Systemauflösung.

Auflösung und Detailwiedergabe sind Eigenschaften der gesamten Abbildungskette. Optik, Material beziehungsweise Sensor, Entwicklung, Digitalisierung und Ausgabe können die übertragbare Bildinformation jeweils begrenzen.

Neben MTF wirken weitere optische Eigenschaften: Vignettierung verändert die Helligkeit über das Bildfeld; Verzeichnung verändert Geometrie; chromatische Aberration führt zu wellenlängenabhängigen Fokus- oder Maßstabsfehlern; Streulicht kann den Bildkontrast reduzieren und Schleier erzeugen. Historische Optiken

können solche Effekte stärker oder anders zeigen als moderne hochkorrigierte Systeme. Für historische Kohärenz ist daher die Kombination von Material und Optik relevant.

7. Das lichtempfindliche System

Im Zentrum der klassischen Fotografie steht ein Material, dessen Zustand sich durch Licht verändert. Bei Silberhalogenidmaterialien erzeugt die Belichtung mikroskopische Veränderungen in lichtempfindlichen Kristallen, die in der Entwicklung selektiv verstärkt werden. Bei der Daguerreotypie wird eine versilberte Kupferplatte sensibilisiert; die belichtete Oberfläche wird anschließend entwickelt und fixiert. Beim Kollodium-Nassplattenverfahren befindet sich die lichtempfindliche Silbersalzschrift in einer noch feuchten Kollodiumschicht und muss innerhalb eines engen Prozessfensters belichtet und entwickelt werden. Diese Verfahren unterscheiden sich chemisch und materiell erheblich [1][5].

Schwarzweißfilm reduziert die Aufzeichnung im Wesentlichen auf eine Helligkeitsantwort, deren spektrale Gewichtung durch die Sensibilisierung bestimmt wird. Farbfilm verwendet mehrere lichtempfindliche Schichten und farbbildende Prozesse, um spektrale Information in Farbstoffbilder zu überführen. Das resultierende Farbbild ist nicht einfach eine direkte „Messung“ der Szene, sondern das Resultat aus spektraler Empfindlichkeit, Schichtaufbau, chemischer Kopplung, Entwicklung und späterer Betrachtung oder Kopie [1][2].

CCD- und CMOS-Sensoren ersetzen die photochemische Reaktion durch photoelektrische Messung. Photonen erzeugen Ladungsträger, die ausgelesen und in digitale Werte überführt werden. Farbkameras verwenden häufig Farbfiltermuster oder andere spektrale Trennverfahren; aus den Abtastwerten entsteht erst durch Signalverarbeitung ein Farbbild. CCD und CMOS unterscheiden sich in Architektur und Auslesekonzepten, sind aber beide Teile einer größeren Kamerakette aus Optik, Sensor, Elektronik, Kalibrierung und Bildverarbeitung [4][8].

Die gemeinsame Ebene liegt deshalb nicht in der Chemie, sondern in der Funktion: Ein Aufzeichnungssystem besitzt eine charakteristische Reaktion auf eintreffendes Licht. Diese Reaktion kann spektral, räumlich, zeitlich und hinsichtlich ihrer Dynamik beschrieben werden. Genau hier beginnt die Möglichkeit, historische und moderne Materialien in einem gemeinsamen DFM-Rahmen zu vergleichen, ohne ihre physikalischen Unterschiede einzuebnen.

8. Vom belichteten zum latenten Bild

Zwischen Aufnahme und fertigem Bild liegt bei vielen Verfahren ein Zustand, der bereits Information über die Belichtung enthält, aber noch nicht die endgültige fotografische Darstellung ist. In der Silberhalogenidfotografie wird dieser Zustand traditionell als latentes Bild bezeichnet. Die Belichtung erzeugt an den Kristallen Entwicklungskeime beziehungsweise Veränderungen, die zunächst nicht als normales sichtbares Positivbild vorliegen. Erst die chemische Entwicklung verstärkt die belichtungsabhängigen Unterschiede zu einer makroskopisch sichtbaren Dichteverteilung [1].

Der Begriff ist für digitale Systeme nur als funktionale Analogie brauchbar. RAW-Daten sind kein chemisch latentes Bild. Sie sind Mess- und Metadaten eines elektronischen Aufnahmesystems. Dennoch erfüllen sie in der Prozesslogik eine ähnliche Zwischenfunktion: Sie repräsentieren die Aufnahme vor wesentlichen Teilen der

späteren Interpretation und Darstellung. Weißabgleich, Farbraumtransformation, Demosaicing, Tonwertabbildung, Rauschminderung und Schärfung können erst nach der eigentlichen Belichtung stattfinden. Ein RAW-Datensatz ist daher noch nicht identisch mit dem endgültig betrachteten Foto.



Gemeinsam ist die Zwischenstellung in der Prozesskette; die physikalischen Mechanismen sind grundverschieden.

COMPARE 1.5 - Analoge und digitale Zwischenzustände dürfen nicht stofflich gleichgesetzt werden. Die Gemeinsamkeit besteht auf der Ebene der Prozessarchitektur: Zwischen Belichtung und endgültiger Darstellung liegt ein Zustand, der weitere Transformationen benötigt.

DFM verwendet für digitale Systeme deshalb auch den Begriff digitales Negativ, wenn ein strukturierter Zwischenzustand gemeint ist, der Aufnahmeinformationen, relevante Metadaten und Provenance bewahrt und später reproduzierbar entwickelt werden kann. Der Ausdruck darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein digitales Negativ andere Eigenschaften besitzt als ein chemisches Negativ. Seine Nützlichkeit liegt in der Trennung zwischen Aufnahme und Entwicklung: Eine Aufnahme kann als dokumentierter Ausgangszustand erhalten bleiben, während unterschiedliche Entwicklungsmodelle darauf angewandt und verglichen werden.

9. Entwicklung als Transformation

Die Entwicklung ist keine nachträgliche Dekoration eines bereits fertigen Bildes. In analogen Verfahren ist sie unmittelbar bildbildend. Entwicklerchemie, Temperatur, Zeit, Bewegung, Konzentration und Vorbelichtung können Dichteaufbau, Kontrast und Kornstruktur beeinflussen. Push- und Pull-Verfahren verändern die Kombination aus Belichtung und Entwicklung; Umkehrprozesse erzeugen aus dem belichteten Material ein Positiv; Farbprozesse koppeln Silberentwicklung und Farbstoffbildung in komplexen chemischen Sequenzen [1] [2].

Auch im Digitalen entsteht das betrachtbare Bild durch Transformation. Sensorwerte müssen verstärkt, korrigiert, interpretiert und in einen Ausgabefarbraum überführt werden. Bei einer Bayer-Anordnung besitzt nicht jeder Pixelort vollständige RGB-Information; Demosaicing rekonstruiert fehlende Farbkomponenten aus benachbarten Messwerten. Kamerainterne Signalverarbeitung kann Objektivkorrekturen, Rauschminderung, lokale Tonwertsteuerung, Schärfung und Farbwiedergabe umfassen. Moderne Smartphones erweitern diese Kette häufig um Mehrbildverfahren, bei denen mehrere zeitlich benachbarte Aufnahmen kombiniert werden.

Damit wird Entwicklung zu einem übergreifenden Begriff für die Transformation eines aufgezeichneten Zustands in eine konkrete Bilddarstellung. Das heißt nicht, dass chemische Entwicklung und digitale

Rekonstruktion technisch dasselbe wären. DFM benötigt jedoch einen gemeinsamen Funktionsplatz in der Prozesskette: die Stufe, an der aus dem aufgenommenen Zwischenzustand eine bestimmte sichtbare Interpretation entsteht.

Dieser Funktionsplatz ist für die spätere Formalisierung besonders wichtig. Soll ein digitales Materialsystem historische Eigenschaften nachvollziehbar abbilden, genügt es nicht, nur eine Zieloptik oder eine Farbpalette festzulegen. Es muss beschrieben werden, welche Transformationen zwischen Eingangsbild und Ausgabe zulässig sind, welche Eigenschaften evidenzbasiert sind und welche Parameter bewusst als Rekonstruktion oder Interpretation gekennzeichnet werden.

10. Ausgabe und Betrachtung

Ein fotografisches System endet nicht zwangsläufig mit einem Negativ oder einer Bilddatei. Das Zielmedium verändert das sichtbare Ergebnis. Ein Schwarzweißnegativ ist für Kontaktkopie oder Vergrößerung auf Papier vorgesehen; ein Farbnegativ für einen abgestimmten Positivprozess; ein Dia für Durchlicht und häufig Projektion. Ein Scan übersetzt optische Dichten oder Reflexionen in digitale Werte. Ein digitales Bild kann auf einem selbstleuchtenden Display erscheinen oder über Druckfarben und Papier reflektiertes Licht erzeugen.

Diese Medien besitzen unterschiedliche Tonwertumfänge, Schwarzniveaus, Spitzenhelligkeiten, Oberflächen und Farbumfänge. Ein Bild, das auf einem hellen Display differenziert erscheint, kann auf mattem Papier in den Schatten zusammenlaufen. Ein Dia im dunklen Projektionsraum besitzt eine andere Wahrnehmungssituation als dasselbe Motiv als kleiner Bildschirm-Scan. Farbmanagement versucht, solche Unterschiede kontrolliert zu überführen, kann aber die physikalischen Eigenschaften verschiedener Ausgabemedien nicht vollständig aufheben [6].

Bei der Daguerreotypie ist die Betrachtung noch enger mit dem Bildträger verbunden. Das Bild kann je nach Winkel und reflektierter Umgebung positiv oder negativ erscheinen; Gehäuse, Deckglas und Betrachtungsrichtung sind nicht bloß Verpackung. Sie gehören zur historischen Bildpraxis. Daraus folgt ein genereller DFM-Satz: Wo der Bildträger die Erscheinung wesentlich mitbestimmt, muss Betrachtung als Systemkomponente dokumentiert werden.

11. Historische Systemkohärenz

Sobald fotografische Materialien formal beschrieben werden, entsteht eine neue Gefahr: Komponenten lassen sich technisch beliebig kombinieren. Ein historisches Materialmodell könnte mit einer modernen, hochkorrigierten Optik, digitaler HDR-Aufnahme und einem aktuellen Display verbunden werden. Das kann ein interessantes hybrides System ergeben, ist aber keine historische Rekonstruktion. DFM führt deshalb das Prinzip der historischen Systemkohärenz ein.

Historisch kohärent bedeutet, dass Material, Optik, Aufnahmebedingungen, Entwicklung und Ausgabe in einer zeitlich und technisch plausiblen Beziehung stehen. Plausibel heißt nicht, dass es nur eine zulässige Kombination gibt. Schon historische Fotografen verwendeten unterschiedliche Objektive, Entwickler, Platten, Papiere und Arbeitsweisen. Kohärenz verlangt vielmehr, dass die Kombination durch Quellen, erhaltene Geräte, technische Literatur oder eine nachvollziehbare Rekonstruktion begründet werden kann.

Hybrid bezeichnet dagegen eine bewusste Kombination von Komponenten aus unterschiedlichen Epochen oder Systemfamilien. Ein panchromatisch modelliertes Schwarzweißmaterial der 1920er Jahre könnte beispielsweise mit einer modernen Smartphone-Optik als Eingangsquelle kombiniert werden. Das Ergebnis kann ästhetisch oder experimentell sinnvoll sein, muss jedoch als Hybrid gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung verhindert, dass eine kreative Kombination nachträglich als historische Evidenz erscheint.

Dieses Prinzip betrifft auch die Ausgabe. Ein historisches Negativ, das mit einem modernen hochauflösenden Scanner digitalisiert und auf einem HDR-Display gezeigt wird, hat einen anderen Betrachtungsweg als ein zeitgenössischer Silbergelatineabzug. Für Forschung und Vergleich ist beides legitim; entscheidend ist die transparente Beschreibung der Kette.

12. Warum ein Filter kein Materialsystem ist

Digitale Fotografie hat den Begriff Filmlook populär gemacht. Darunter werden sehr unterschiedliche Verfahren verstanden: Farbverschiebungen, Tonwertkurven, Kornüberlagerungen, Vignetten, Halationeffekte, Presets oder komplexe Bildverarbeitungsprofile. Solche Werkzeuge können visuell überzeugende Ergebnisse erzeugen. Sie sind jedoch nicht automatisch Modelle eines fotografischen Materials.

Ein Filter setzt in der Regel an einem bereits entstandenen Bild an. Er verändert Pixelwerte, nachdem Szene, Optik, Belichtung und ein großer Teil der Aufnahmekette ihre Wirkung bereits entfaltet haben. Ein Materialsystem fragt dagegen früher: Welche Wellenlängen registriert das Material? Wie reagiert es auf unterschiedliche Belichtung? Welche räumlichen Frequenzen werden übertragen? Wie verändert Entwicklung die Reaktion? Welche Ausgabe ist vorgesehen? Wie beeinflusst die Optik das Signal, bevor es das Material erreicht?

DFM | DENKFEHLER

„Dieser Film hat ungefähr X Megapixel.“

Die Umrechnung einer Filmauflösung in eine einzige Pixelzahl suggeriert eine Eindeutigkeit, die das reale System nicht besitzt. Detailwiedergabe hängt unter anderem von Motivkontrast, Optik, Film, Entwicklung, Körnigkeit, Scan beziehungsweise Vergrößerung und Ausgabe ab. Ein Vergleich ist möglich, aber nur unter definierten Bedingungen und mit benannten Annahmen.

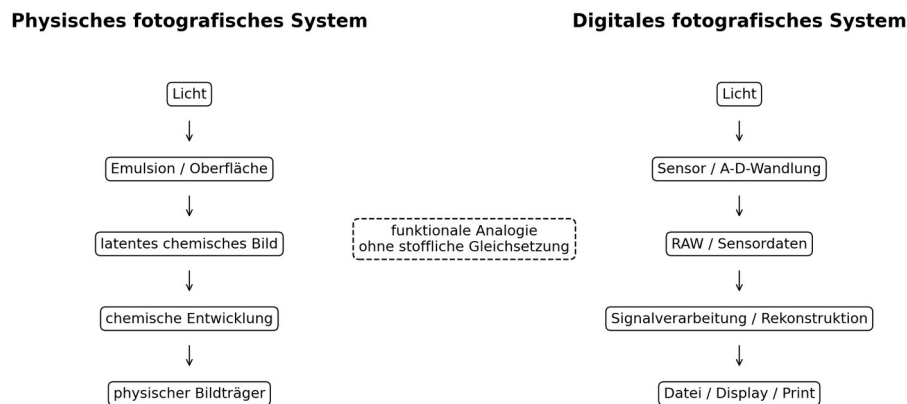
Ein Preset kann beispielsweise eine typische Farbbalance eines Farbnegativs imitieren. Wenn es aber identisch auf jede Eingangsaufnahme angewandt wird, berücksichtigt es weder spektrale Aufnahmeantwort noch Belichtungsabhängigkeit, optische Eigenschaften oder Prozesszustand. Ähnlich kann künstliches Korn eine Körnigkeit sichtbar machen, ohne zu modellieren, wie reale Kornstruktur mit Dichte, Entwicklung und Vergrößerung zusammenhängt.

Der für DFM zentrale Satz lautet deshalb: Nicht das Aussehen eines historischen Bildes wird kopiert. Die Bedingungen seiner Entstehung werden modelliert. Dieser Anspruch ist höher und gleichzeitig vorsichtiger. Höher, weil er mehr Komponenten verlangt; vorsichtiger, weil er Unsicherheit und unvollständige Evidenz sichtbar machen muss. Ein Materialmodell darf durchaus vereinfachen. Es muss nur deutlich machen, was physikalisch beschrieben, was empirisch kalibriert, was historisch rekonstruiert und was gestalterisch ergänzt wurde.

13. Vom physischen zum digitalen Material

Im industriellen und historischen Sinn ist fotografisches Material ein physischer Stoff oder Verbund: Metallplatte, Kollodiumschicht, Gelatineemulsion, Filmträger, Papier. Im digitalen Zeitalter kann der Begriff zusätzlich auf eine formale Beschreibung übertragen werden. Ein digitales fotografisches Material wäre dann kein „virtueller Film“ im Sinne einer bloßen Oberfläche, sondern ein Satz definierter Reaktions- und Prozessregeln.

Solche Regeln können beispielsweise eine Tonwertkennlinie, spektrales Verhalten, räumliche Übertragung, Korn- oder Rauschcharakteristik, Optikbezug, Entwicklungsvarianten und Zielausgabe umfassen. Entscheidend ist, dass diese Elemente nicht als willkürliche Stilparameter behandelt werden, sondern auf dokumentierten, gemessenen oder klar als Rekonstruktion gekennzeichneten Eigenschaften beruhen. Das digitale Modell wird damit zu einer ausführbaren Beschreibung eines fotografischen Systems.



SYSTEM 1.3 - Physisches und digitales fotografisches System. Die Darstellung stellt keine chemische Gleichheit her, sondern zeigt funktional vergleichbare Positionen in der Prozesskette: Aufzeichnung, Zwischenzustand, Entwicklung beziehungsweise Rekonstruktion und Ausgabe.

Eine solche Formalisierung eröffnet zwei unterschiedliche Anwendungen. Erstens können historische Systeme untersucht werden: Welche Eigenschaften sind bekannt, welche messbar, welche nur rekonstruierbar? Zweitens können neue fotografische Materialien entworfen werden, die nie als chemischer Film existiert haben, deren Verhalten aber konsistent definiert ist. Das Buch wird beide Richtungen behandeln, ohne sie miteinander zu verwechseln.

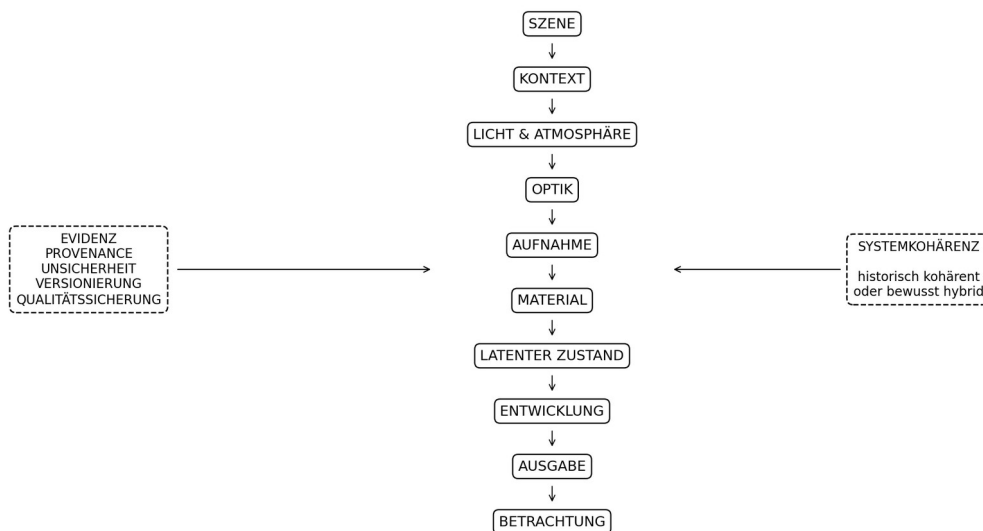
An dieser Stelle liegt auch die Grenze zwischen öffentlichem Fachmodell und produktiver Implementierung. DFM kann erläutern, wie ein Materialprofil grundsätzlich strukturiert werden könnte und welche Klassen von Parametern sinnvoll sind. Es veröffentlicht jedoch keine produktiven Gewichtungen, geheimen Kalibrierungen, internen Bewertungsalgorithmen, Providerlogik oder vollständigen produktiven Emulsionsprofile einer konkreten Implementierung. Die wissenschaftliche Idee soll überprüfbar sein, ohne Geschäfts- und Sicherheitslogik offenzulegen.

14. Das DFM-Referenzmodell

Aus den bisherigen Überlegungen ergibt sich ein Referenzmodell, das als gemeinsame Sprache für die folgenden Kapitel dient. Es beginnt mit der Szene und endet bei der Betrachtung. Dazwischen liegen Kontext, Licht und Atmosphäre, Optik, Aufnahme, Material, latenter Zustand, Entwicklung und Ausgabe. Jede Stufe kann physisch, chemisch, elektronisch oder algorithmisch realisiert sein. Entscheidend ist ihre Funktion im Gesamtsystem.

Das Modell ist absichtlich nicht auf eine bestimmte Epoche zugeschnitten. Bei einer Daguerreotypie ist das Material eine sensibilisierte Silberoberfläche, der latente Zustand chemisch, die Entwicklung historisch spezifisch und die Betrachtung stark reflexionsabhängig. Bei einer modernen Digitalkamera ist das Material im engeren Sinne ein Sensor mit optischen Filtern und Elektronik; der Zwischenzustand kann aus RAW-Daten bestehen; die Entwicklung ist rechnerisch; die Ausgabe kann Display oder Print sein. Bei einem Smartphone kommen zusätzliche Sensorik, Mehrbildverfahren und Kontextdaten hinzu.

Querschnittlich werden fünf Kontrollfragen gestellt. Evidenz fragt: Welche Art von Beleg liegt vor? Provenance fragt: Woher stammen Messwert, Quelle, Bild und Parameter? Unsicherheit fragt: Wie sicher ist die Zuordnung? Versionierung fragt: Welcher Stand eines Modells oder Materials wird beschrieben? Qualitätssicherung fragt: Wie wird geprüft, ob eine Rekonstruktion intern konsistent und gegenüber ihren Quellen plausibel ist?



DFM Reference Model v0.1 - Kapitel 1

SYSTEM 1.6 - DFM Reference Model v0.1. Die linke Querschnittssäule beschreibt die wissenschaftliche Nachvollziehbarkeit; rechts wird die Kohärenz der Kombination markiert. Das Modell ist bewusst einfach genug, um von historischen Plattenverfahren bis zu digitalen Mehrbildsystemen verwendet zu werden.

LichtRolle kann in späteren Kapiteln als eine mögliche Referenzimplementierung dienen, in der formalisierte Materialsysteme auf moderne digitale Aufnahmen angewandt und experimentell überprüft werden. Für die Theorie ist diese Implementierung jedoch nicht Voraussetzung. Das DFM-Modell muss unabhängig von einem einzelnen Produkt, Anbieter oder Softwarestack bestehen können.

14.1 Die Systemstufen im Überblick

Stufe	Leitfrage	Beispiele
Szene	Was ist physisch vorhanden?	Objekte, Geometrie, Oberflächen, Bewegung
Kontext	Welche externen Aufnahmebedingungen sind bekannt?	Ort, Zeit, Wetter, Blickrichtung
Licht & Atmosphäre	Welches Licht erreicht die Szene und Kamera?	Spektrum, Richtung, Streuung, Nebel
Optik	Wie wird die Szene abgebildet?	Brennweite, Apertur, MTF, Verzeichnung
Aufnahme	Unter welchen Parametern wird integriert?	Zeit, Blende, Fokus, Bewegung
Material	Wie reagiert das Aufzeichnungssystem?	Platte, Film, CCD, CMOS
Latenter Zustand	Was liegt unmittelbar nach der Aufnahme vor?	latentes Bild, RAW, digitales Negativ
Entwicklung	Wie wird daraus eine sichtbare Interpretation?	Chemie, RAW-Konvertierung, Rekonstruktion
Ausgabe	Auf welchem Medium erscheint das Bild?	Papier, Dia, Projektion, Display, Print
Betrachtung	Unter welchen Bedingungen wird es wahrgenommen?	Auflicht, Durchlicht, Leuchtdichte, Umgebung

15. Vom Referenzmodell zur Untersuchung

Mit diesem Kapitel ist noch kein vollständiges digitales Materialmodell definiert. Es ist vielmehr festgelegt, welche Art von Gegenstand untersucht werden soll. Ein fotografisches Materialsystem ist größer als Film, Sensor oder Preset. Es umfasst die Bedingungen, unter denen Bildinformation entsteht, aufgezeichnet, transformiert, ausgegeben und betrachtet wird. Historische Verfahren können dadurch in einer gemeinsamen Struktur beschrieben werden, ohne ihre stofflichen und technischen Unterschiede zu leugnen.

Für die folgenden Kapitel hat das eine praktische Konsequenz: Jede Aussage über den Charakter eines Materials muss daraufhin geprüft werden, ob sie tatsächlich dem Material selbst, der Optik, der Belichtung, der Entwicklung, der Ausgabe oder der Betrachtung zuzuschreiben ist. Viele Eigenschaften, die im fotografischen Sprachgebrauch einem Film oder Verfahren zugeschrieben werden, sind in Wahrheit gekoppelte Systemeigenschaften.

DFM | PERSPEKTIVE

Vom Materialprofil zum ausführbaren fotografischen System

Wenn Material-, Optik-, Prozess- und Ausgabeeigenschaften hinreichend präzise und mit dokumentierter Unsicherheit formalisiert werden, können Teile eines fotografischen Systems algorithmisch ausführbar

werden. Die Aufgabe besteht nicht darin, Geschichte als Effekt zu imitieren, sondern eine nachvollziehbare Prozessbeschreibung in ein kontrollierbares Modell zu übersetzen.

Damit verschiebt sich die nächste Fragestellung. Wenn das fotografische Bild aus einem System entsteht, muss nun untersucht werden, welche sichtbaren Eigenschaften tatsächlich vom Material stammen, welche von der Optik und welche erst durch Entwicklung und Ausgabe erzeugt werden. Erst wenn diese Einflüsse getrennt beschrieben werden können, lässt sich sinnvoll entscheiden, was ein Materialmodell abbilden muss - und warum ein bloßer Filter dafür nicht ausreicht.

Quellen und weiterführende Literatur

- [1] James, T. H. (Hrsg.): The Theory of the Photographic Process. 4. Auflage. Macmillan, New York, 1977.
- [2] Salvaggio, Nanette; Stroebel, Leslie D.; Zakia, Richard D. (Hrsg.): Basic Photographic Materials and Processes. 3. Auflage. Focal Press / Taylor & Francis, 2009.
- [3] Allen, Elizabeth; Triantaphillidou, Sophie (Hrsg.): The Manual of Photography. 10. Auflage. Focal Press / Elsevier, 2011.
- [4] Nakamura, Junichi (Hrsg.): Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras. CRC Press, 2006.
- [5] Barger, M. Susan; White, William B.: The Daguerreotype: Nineteenth-Century Technology and Modern Science. Smithsonian Institution Press, Washington, 1991.
- [6] Hunt, R. W. G.; Pointer, M. R.: Measuring Colour. 4. Auflage. Wiley, 2011.
- [7] Goodman, Joseph W.: Introduction to Fourier Optics. 4. Auflage. Macmillan Learning, 2017.
- [8] Holst, Gerald C.; Lomheim, Terrence S.: CMOS/CCD Sensors and Camera Systems. 2. Auflage. JCD Publishing / SPIE Press, 2011.
- [9] Kodak: Essential Reference Guide for Filmmakers - Basic Photographic Sensitometry and Characteristics of Film. Technische Referenz, Eastman Kodak Company.

Redaktionelle Evidenznotiz zu Kapitel 1

Kapitel 1 kombiniert etablierte fotografische Grundlagen mit dem in diesem Buch eingeführten DFM-Referenzmodell. Aussagen zu Photochemie, Sensitometrie, Optik, Farbmetrik und digitaler Sensorik stützen sich auf die oben genannten Standardwerke. Die Begriffe „fotografisches Materialsystem“, die konkrete zehnstufige DFM-Prozesskette, die Querschnittsstruktur aus Evidenz, Provenance, Unsicherheit, Versionierung und Qualitätssicherung sowie die formale Unterscheidung „historisch kohärent / hybrid“ sind methodische Arbeitsmodelle dieses Buches. Sie werden in späteren Kapiteln weiter präzisiert und anhand konkreter Verfahren geprüft.

PUBLIC MODEL ≠ PRODUCTION MODEL

Keine produktiven LichtRolle-Prompts, Gewichtungen, Kalibrierparameter, Scoring-Algorithmen, Providerlogik oder produktiven Emulsionsprofile sind Bestandteil dieses Kapitels.