

# RöFo

## Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin

Organ der Deutschen Röntgengesellschaft · Organ der Österreichischen Röntgengesellschaft

**Herausgegeben von:**

W. Frommhold, Tübingen  
P. Thurn, Bonn

**Beirat:**

H. v. Braunbehrens, München  
L. Diethelm, Mainz  
H. H. Ellegast, Salzburg  
A. Forssberg, Stockholm  
H. Fritz-Niggli, Zürich  
H. Hartweg, Basel  
W. Horst, Zürich  
R. Latarjet, Paris

J. S. Mitchell, Cambridge  
A. Perussia jr., Mailand  
E. A. Pohle, Madison  
H. Poppe, Göttingen  
R. Prévôt, Hamburg  
W. Teschendorf, Köln  
J. Wellauer, Zürich  
A. Zuppinger, Bern

**Unter Mitwirkung von:**

G. Breitling, Tübingen  
W. Holthusen, Hamburg  
E. Vogler, Graz  
K. Voigt, Tübingen  
K. zum Winkel, Heidelberg

Fortschr. Röntgenstr. 136, 3 (1982) 321–327

## Polychrome Phasensummutation in der Angiographie

Von **W. Horvath**

10 Abbildungen

Röntgenabteilung des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder Linz (Vorstand: Prim. Dr. F. Tomschi)

# Polychrome Phasensummutation in der Angiographie

Von W. Horvath

10 Abbildungen

Röntgenabteilung des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder Linz (Vorstand: Prim. Dr. F. Tomschi)

Nach Besprechung einiger allgemeiner Grundlagen der Farbtheorie und des fotografischen Farbentwicklungsprozesses wird ein neues, leicht durchführbares Verfahren zur Herstellung indirekter Farbröntgenbilder beschrieben und den bisherigen Methoden gegenübergestellt. Die Technik eignet sich vor allem für serienangiographische Untersuchungen, wobei die in den einzelnen Ausgangsbildern enthaltenen Informationen in einem einzigen farbigen Kombinationsbild wiedergegeben werden. Anhand einiger Fälle werden die erzielbaren Resultate schließlich demonstriert und diskutiert.

Durch die neue Methode der Aufbelichtung mehrerer negativer Subtraktionsaufnahmen mittels verschiedenfarbigen Lichts auf ein fotografisches Farbpapier gelingen indirekte Farbröntgenbilder, welche verschiedene angiographische Phasen in einem Kombinationsbild vereinen. Der langwierige Prozeß der sog. sekundären Chromogenentwicklung, wie er bisher von einigen Autoren betrieben wurde, kann somit durch ein wesentlich weniger zeitaufwendiges Verfahren ersetzt werden. Verschieden gewählte Subtraktionen einzelner angiographischer Phasen gegeneinander ermöglichen Aufnahmen, welche die anatomischen Verhältnisse besser darstellen, ohne funktionelle Veränderungen zu vernachlässigen. Die Technik zeichnet sich durch geringen Kostenaufwand aus und stellt die in den Ausgangsbildern enthaltenen Informationen anschaulicher dar.

## Allgemeine Grundlagen

Zur Anfertigung von Farbpositiven sind einige grundlegende Kenntnisse der Farbtheorie und des Farbentwicklungsprozesses nötig. Obwohl in Wirklichkeit sowohl der Komplex des Farbsehens als auch der über verschiedene Zwischenstufen ablaufende chemische Farbentwicklungsprozeß wesentlich komplizierter sind, erscheint für ein grundsätzliches Verstehen der angewandten Methode ein vereinfachtes Modell ausreichend.

Abb. 1a zeigt die „additiven Grundfarben“ des Lichts, nämlich Rot, Blau und Grün. Bei optischer Mischung dieser Grundlichter ergibt sich Weiß. Mischt man Rot und Blau, oder filtert man aus weißem Licht Grün heraus, so zeigt sich Purpur. Bei Mischung von Blau und Grün (oder Subtraktion von Rot aus Weiß) bleibt Blaugrün. Rot und Grün gibt Gelb, wie die Subtraktion von Blau aus Weiß. Die Farben Purpur, Blaugrün und Gelb heißen „subtraktive Grundfarben“, sie entstehen ja durch Subtraktion einer additiven Grundfarbe von Weiß, und werden üblicherweise in der Fotografie mit magenta, cyan und yellow bezeichnet.

Die Verwendung dieser Farben in der Fotografie beinhaltet wesentliche Vorteile. Auf Abb. 1b sind die Verhältnisse bei Mischung der subtraktiven Grundfarben dargestellt. Magenta

## Polychromatic phase summation for angiography

After a discussion of some basic points of the color theory and color image processing, a new easy method of producing indirect color x-ray pictures is described and contrasted with conventional methods. This technique is best suitable for serial angiography, where the information contained in the different serial photographs can be made visible in a single multicolor combination image. Finally practical examples of what results can be attained are given and discussed.

und cyan gibt Blau, cyan und yellow bringt Grün, yellow und magenta ergibt Rot. Bei Mischung aller drei subtraktiven Grundfarben entsteht Schwarz. Anders ausgedrückt heißt das, daß bei Kombination zweier Filter in den subtraktiven Grundfarben ein Drittel des Spektrums durchgelassen wird. Anders wäre dies bei Filtern in den additiven Grundfarben, hier würden schon zwei Filter das gesamte Spektrum absorbieren und Schwarz würde resultieren.

Es wird daher verständlich, daß der sog. Dreischichtenfarbfilm nur nach dem subtraktiven Farbmischungsprinzip funktionieren kann. Dabei sind die Emulsionsschichten empfindlich auf Blau, Blau und Grün, sowie Blau und Rot. Zwischen erster und zweiter Schicht ist ein Gelbfilter eingelegt, so daß blaues Licht in den beiden unteren Schichten nicht auftreten kann.

Nach der Belichtung wird das latente Bild zunächst in Schwarzweiß entwickelt und anschließend mit Farbkupplern behandelt. Diese können entweder in der Emulsionsschicht oder im Entwickler vorhanden sein. Schließlich wird im Bleichfixierbad das reduzierte Silber wieder zu Silberionen oxidiert, diese lösen sich im Fixierbad auf und werden so aus dem Film entfernt. Die Farben selbst bleiben im Film zurück und wirken nun ihrerseits als Filter in den subtraktiven Primärfarben. Die für Blau empfindliche Schicht gibt Gelb, die zweite Schicht Purpur und die dritte Blaugrün. Die Farben des auftretenden Lichts werden also komplementär wiedergegeben.

## Bisherige Methoden

Seit dem Jahr 1925, als *Danin* erstmals eine Methode zur Herstellung farbiger Röntgenbilder angab, sind zahlreiche Arbeiten auf diesem Gebiet erschienen. Teils handelt es sich um die Herstellung direkter Farbröntgenbilder, das heißt durch Röntgenstrahlen auf einem speziell beschichteten Farbfilm erzeugte, teils um indirekte, also nachträglich aus einem oder mehreren üblichen Schwarzweißbildern angefertigte. Der vorliegende Überblick kann schon wegen der Fülle des Materials kein vollständiger sein, obwohl versucht wurde, zumindest die wichtigsten Methoden kurz zu erwähnen.

Direkte Farbröntgenbilder wurden von *Simon* 1926 auf einem mit drei verschiedenen Stärkekörnern belegten Röntgenfilm erzeugt, weiters von *Schmitz* 1939 durch Filter, sowie von *Bryce* (1955), *Buckaloo* und



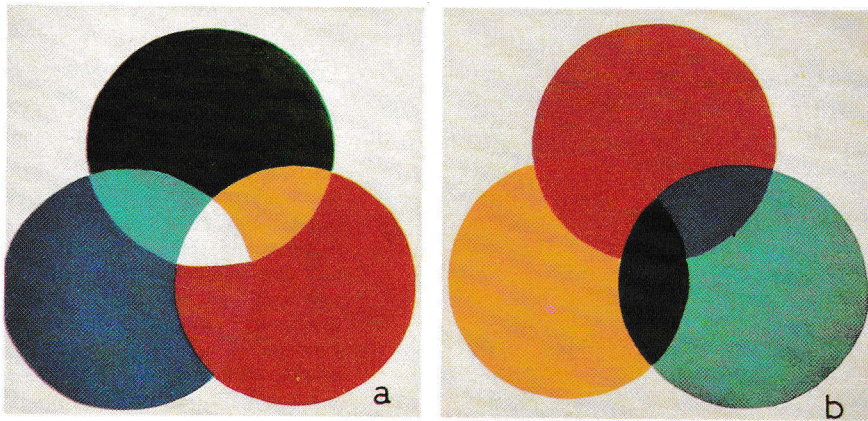


Abb. 1 a Additive Grundfarben.

Abb. 1 b Subtraktive Grundfarben.

Cohn (1956), Blum (1958) und von Clark und Uzanski (1959) auf Röntgenfarbfilm. Bergerhoff beschrieb einen mehrschichtigen Röntgenfarbfilm (1960, 1962, 1967); einen speziellen Dreischichtenfarbfilm benutzten Pozzi, Accordi und Vase 1967. Mit einem Farbfilm und einer Spezialkassette arbeiteten Takahashi und Tanaka 1969.

Ein Verfahren zur Herstellung indirekter bunter Röntgenbilder gab, wie erwähnt, Danin 1925 an. Eine Übereinanderprojektion dreier verschieden belichteter Aufnahmen des gleichen Objekts durch drei Farbfilter führte Donovan 1951 durch; im selben Jahr färbten Pirkey, Parker und Shook schwarzweiße Röntgenbilder mit Hilfe der Flexichrommethode an. Leiber und Kankelwitz gelangten über eine Rehalogenisierung und anschließender Farbentwicklung zu Farbbröntgenbildern (1957). Eine Anfärbung des Schwarzweißbilds betrieb Angus mit einem Farbentwickler und durch eine Anilinfarblösung 1961. Die Methode von Kankelwitz entwickelten Angerstein, Krug und Rakow 1964 weiter, wobei sie auf einem fertigen Schwarzweißröntgenbild mehrere Buntfarben nebeneinander erzeugten. Böck erreichte 1967 dadurch eine Dosisverminderung und setzte die Methode vor allem bei Aufnahmen im Gonadenbereich ein. Eine Möglichkeit zur Bildsubtraktion mittels Farbe gab Schwarz 1966 an.

Ebenfalls im Jahr 1966 übertrugen Oosterkamp, Van T'Hof und Scheren elektronisch subtrahierte Aufnahmen mit einer Farbfernsehkette. Decker verwendete dieses Verfahren 1967 bei zerebralen Angiographien. 1968 wurde das elektronisch-fotografische Vorgehen von Groh und Haendle benutzt, sowie von Roth, Wenz und Kramer 1969 weitergeführt. Im selben Jahr sind noch Morrish sowie Kunnen zu erwähnen, letzterer wandelte einen schwarzweißen Röntgenkinofilm in Farbe um. Guidetti und Guerrisi deckten 1970 Subtraktionsaufnahmen zerebraler Angiogramme über einen polarisierten Spiegel.

Das Prinzip der subtraktiven Farbmischung benutzte Welander für seine Methode der Herstellung indirekter Farbbröntgenbilder und beschrieb dies ausführlich im Jahr 1969. Er behandelte dabei Subtraktionsaufnahmen verschiedener angiographischer Phasen, und zwar Positive, nach Rehalogenisierung des Silbers mit Farbkupplern. Durch einen chemischen Prozeß wird das Silber entfernt, und es resultieren je eine monochromatische Positivaufnahme. Diese drei Einzelbilder werden schließlich zur Deckung gebracht, wodurch das farbige Kombinationsbild entsteht. Ausgehend von den fertigen schwarzweißen Subtraktionsaufnahmen sind dabei folgende Schritte nötig:

- |    |                 |          |
|----|-----------------|----------|
| 1. | Bleichen        | 3– 4 min |
|    | Spülen          | 10 min   |
| 2. | Farbentwickeln  |          |
|    | a) yellow       | 8–10 min |
|    | b) magenta      | 8–10 min |
|    | c) cyan         | 8–10 min |
|    | Spülen          | 10 min   |
| 3. | Bleichen        | 3– 4 min |
| 4. | Fixieren        | 3 min    |
|    | Schlußwässerung | 20 min   |

Nach diesen Einzelschritten hat man nun drei farbige Subtraktionsaufnahmen in magenta, yellow und cyan. Es folgt die Superposition der Aufnahmen, und zur Dokumentation muß wohl auch noch abfotogra-

fiert werden (etwa auf Diapositiv oder Farbumkehrpapier), was natürlich einen weiteren Entwicklungsprozeß bedeutet. Die Dauer des gesamten chemischen Prozesses ohne die erforderlichen Einstellarbeiten beträgt somit ca. 1,5 Stunden.

## Prinzip der verwendeten Methode

Die im vorigen Abschnitt angeführte lange Entwicklungszeit zur Herstellung von Subtraktionsaufnahmen einzelner angiographischer Phasen in den subtraktiven Primärfarben ist bei der neuen Technik nicht erforderlich. Als Ausgangspunkt sind dazu ebenfalls schwarzweiße Subtraktionsaufnahmen<sup>1</sup> nötig, aber nicht wie zuvor positive, sondern negative. Diese bieten den Vorteil, daß im Bereich der dargestellten interessierenden Gefäßstrukturen kein metallisches Silber auf den Aufnahmen vorhanden ist, welches nachher wieder entfernt werden müßte. Dagegen wirkt die geschwärzte Umgebung gleich als Filter für das durchtretende Licht.

Es ist nun prinzipiell möglich, diese negativen Subtraktionsaufnahmen direkt im Kontaktverfahren weiterzuverarbeiten. Aus Gründen einer leichteren Einstellung ist es jedoch ratsam, einen Zwischenschritt einzulegen. Man fotografiert dazu die Aufnahmen mittels Kleinbildkamera auf einen sog. rapid processing film<sup>2</sup> vom Schaukasten ab. Dieser Film läßt sich in der automatischen Entwicklungsmaschine verarbeiten, der gesamte Vorgang mit Entwicklung, Fixierung, Wässerung und Trocknung dauert 90 sec, und die erhaltenen Schwarzweißdias sind problemlos weiterzuverwenden.

Die Dias werden nun in die Bildbühne eines handelsüblichen Vergrößerungsgeräts eingelegt und mit farbigem Licht durchstrahlt. Dies ist mit Hilfe von Farbfiltern möglich, noch einfacher aber mit einem Farbmischkopf, bei dem die Qualität des Lichts durch Einstellknöpfe regelbar ist. Auf diese Weise wird ein fotografisches Farbpapier<sup>3</sup> mit jeder der drei gewählten angiographischen Phasen in einer anderen Farbe belichtet, wobei sich ein Einlegen des Papiers in einen lichtdicht verschließbaren Mehrfachbelichtungsrahmen bewährt hat. Auf dessen Deckel können Markierungspunkte zur deckungsgleichen Einstellung angebracht werden. Da wir als Resultat wieder die Farben magenta, cyan und yellow auf dem Film wünschen, müssen wir Licht in den Komplementärfarben Grün, Rot und Blau wählen.

Das belichtete Fotopapier läßt sich jetzt händisch in Schale oder Trommel, oder aber auch in einer Farbprozeßmaschine entwickeln. Dieser Vorgang ist auch bei der eingangs beschriebenen älteren Methode erforderlich, er dauert je nach den verwendeten Chemikalien<sup>4</sup> bei High-speed-Entwicklung nur 2 bis maximal 6 min.

Die Methode liefert vor allem funktionell sehr anschauliche Bilder, besonders bei relativ langen Gefäßverläufen. Abschnitte, die nur auf

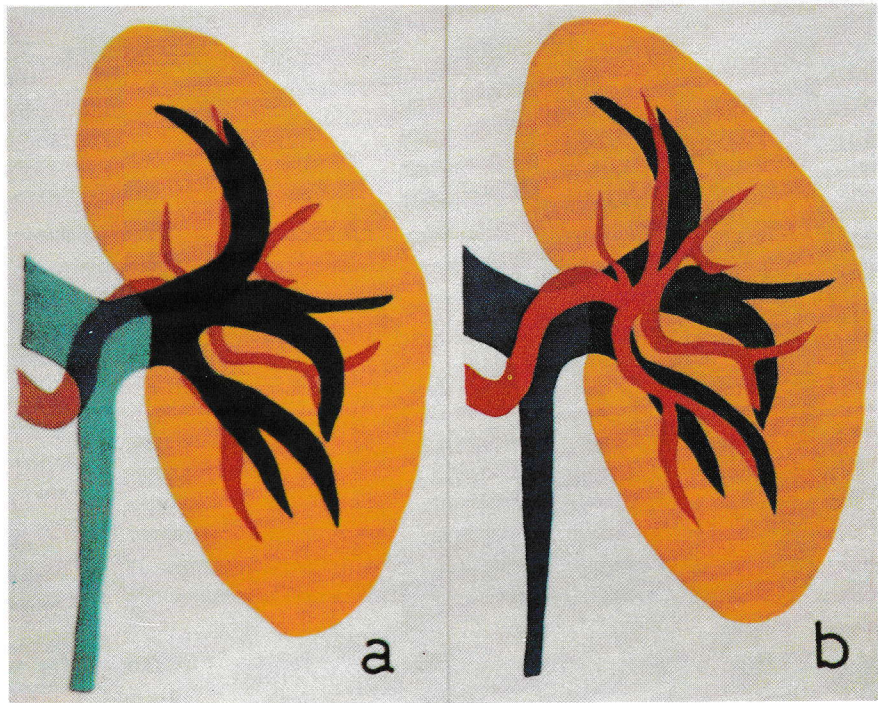
<sup>1</sup> Kodak X-OMAT Subtraction Film

<sup>2</sup> Kodak RP X-OMAT Copy Film

<sup>3</sup> Kodak Ektacolor 78 N

<sup>4</sup> Kodak Ektaprint 2





**Abb. 2 a** Indirektes Farbbröntgenbild einer Nierenarteriographie bei Verwendung einfacher Subtraktionsaufnahmen (Schema).

**Abb. 2 b** Durch Subtraktionsvarianten erzielbares Ergebnis (Schema).

einer Ausgangsaufnahme enthalten sind, erscheinen in der jeweiligen subtraktiven Grundfarbe. Gefäßanteile, die auf zwei Filmen dargestellt sind, erscheinen in der entsprechenden Mischfarbe, solche die auf allen drei Ausgangsbildern aufscheinen, resultieren auf diese Weise in Schwarz.

Die entstandenen Farben sind direkt mit einem Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Injektionsbeginn und Injektionsende des Kontrastmittels korrelierbar. Die entstandene Farbskala hängt bei jeweils zum selben Zeitpunkt angefertigten Aufnahmen vom Durchblutungsfluß ab. Ein entsprechendes Anwendungsgebiet dieser Art der Bildgewinnung wäre die zerebrale Angiographie.

### Modifikation durch Subtraktionsvarianten

Die Verhältnisse bei sich im Kombinationsbild zum größten Teil überlagernden Strukturen, wie dies etwa bei Arterien, Parenchym und Venen retroperitonealer Organe der Fall ist, liegen dagegen etwas komplizierter. Abb. 2 a bringt ein Beispiel einer Renovasographie, wobei die arterielle Phase in magenta, die Parenchymphase in yellow und die venöse Phase in cyan aufgebracht sind. Auch hier addieren sich die Grundfarben in der oben beschriebenen Weise, obwohl die einzelnen Komponenten unterschiedlichen anatomischen Systemen angehören. Das Ergebnis wird dadurch unübersichtlich, die oben erwähnten Überlegungen bezüglich der Korrelierbarkeit von Farbe und Durchblutungsgeschwindigkeit sind nicht mehr anwendbar. Es mußte also nach einer Methode gesucht werden, durch welche die anatomische Einheit der einzelnen Systeme besser erhalten bleibt.

Aus hämodynamischen Gründen ist z. B. bei einer Nierenarteriographie das Parenchym weniger intensiv angefärbt als die Arterien. Wenn man daher die arterielle Phase von der Parenchymphase subtrahiert, erhält man am Ort der Arterien eine völlige Parenchymauslöschung. Subtrahiert man das venöse Bild vom arteriellen, so resultiert eine Abschwächung der Gefäßanfärbung der Arterien an Überschneidungsstellen mit den Venen, weil die Venen weniger stark angefärbt waren als die Arterien. Bei Bildumkehr kommt es zu einer Auslöschung der Venen an Überschneidungsstellen mit den Arterien. Ebenso entsteht bei Subtraktion des venösen Bildes von der Parenchymphase eine mehr oder weniger starke Abschwächung der Parenchymanfärbung an der Stelle der Überlagerungen.

Abb. 2 b zeigt nun das farbige Kombinationsbild, welches durch Wei-

terverarbeitung dieser variierten Subtraktionsaufnahmen entsteht. Die Arterien sind in roter Farbe dargestellt, dort wo sie sich mit Venen überlagern, in etwas hellerem Rot. Die Venen gelangen in Blau zur Ansicht, bei Parenchymüberlagerung in leichtem Grünlich. Das Parenchym ist in Gelb abgebildet.

Man ist also nicht mehr auf die Verwendung der subtraktiven Grundfarben für die einzelnen Phasen angewiesen, da praktisch keine Überlagerungen und somit auch kaum mehr Mischfarben auftreten. Die Farben für die einzelnen Phasen können bei dieser Methode frei gewählt werden, und da bei Verwendung dreier Einzelbilder noch kein Schwarz aufgetreten ist, kann sogar noch einen Schritt weitergegangen werden. Auch bei Aufnahme einer vierten Phase ins Kombinationsbild tritt kein Informationsverlust an den einzelnen Anteilen auf. Bei Vergleich der Abb. 2 a und b erkennt man die bessere Zuordnungsmöglichkeit der Einzelkomponenten zu den entsprechenden anatomischen Strukturen. So erscheinen etwa die Arterien nur noch in zwei unterschiedlichen Rottönen, und nicht mehr wie zuvor in magenta, Blau, Rot und Schwarz.

Diese Überlegungen gelten aber nun nicht nur für das Beispiel einer Nierenarteriographie, sondern lassen sich durchaus auf andere Angiographien übertragen. Die Auswahl der einzelnen Phasen und ihre sinnvolle Kombination, sowie die Bestimmung der dazu geeigneten Subtraktionsvariante liegen in der Hand des Untersuchers und unterscheiden sich von Fall zu Fall.

### Eigene Resultate

Abb. 3 zeigt ein farbiges Kombinationsbild einer Zöliakographie, wobei die arterielle Phase in Rot und die venöse Phase (indirektes Splenoportogramm) in brauner Farbe dargestellt sind. Das Bild ist im Kontaktverfahren hergestellt, also nicht über den später entwickelten Weg via Kleinbild. Doch auch diese Kombination von nur zwei angiographischen Phasen zeigt schon einige Vorteile des Farbbilds. Es ergibt sich eine leichtere und raschere Einordnung topographischer Beziehungen der Gefäßsysteme, hier der vom Truncus coeliacus abgehenden Arterien und dem venösen System mit Vena lienalis und Pfortader. Dabei kann durch die bessere Beurteilbarkeit





Abb. 3 Normale Zöliakographie.



Abb. 4 Pankreaskopfkarzinom.

der venösen Phase unter Umständen sogar eine Kontrastmittelsparung erzielt werden. Außerdem resultiert eine bessere Organabgrenzung, und die funktionelle Beurteilung der Organdurchblutung wird erleichtert.

Es ist auch möglich, zwei verschiedene, hintereinander bei einem Patienten durchgeführte Angiographien auf einem Bild zu vereinen. Abb. 4 demonstriert solch einen Fall, wobei die spärarterielle Phase und die Parenchymphase einer Angiographie des Truncus coeliacus mit einer arteriellen Phase einer Arteria-mesenterica-superior-Angiographie kombiniert sind. Dies wurde in der beschriebenen typischen Weise über negative Subtraktionsaufnahmen und mittels farbig durchstrahlten Kleinbilds durchgeführt, wobei sich für das arterielle Bild der

Zöliakographie magenta ergibt, für die Parenchymphase yellow, und für die arterielle Phase der Mesenterikographie cyan. Wegweiser für eine deckungsgleiche Einstellung waren die Pankreasarkaden (Arteria pancreaticoduodenalis superior und inferior), wobei die bei beiden Gefäßuntersuchungen dargestellten Gefäßanteile zur Deckung gebracht wurden.

Die pathologischen Gefäßstrukturen im Bereich des Pankreaskopfes sowie die verstärkte und länger persistierende Anfärbung in diesem Bereich sind augenscheinlich. Sie waren verursacht durch ein wenig differenziertes, aber operables Pankreaskarzinom. Ein weiterer Hinweis darauf ist der an einer Wandanfärbung der mächtig vergrößerten Gallenblase erkennbare Gallenblasenhydrops.

Eine ähnliche angiographische Kombination liegt auf Abb. 5 vor, deren Anfertigung in der beschriebenen modifizierten Technik nach Subtraktion der einzelnen Phasen gegeneinander erfolgte. Dadurch kann auf die subtraktiven Primärfarben verzichtet werden, und so sind die vom Truncus coeliacus abgehenden Gefäße in roter, Milz und venöser Abfluß in blauer und die Arteria mesenterica superior in grüner Farbe dargestellt. Es handelt sich um einen Fall von gesicherter schwerer chronischer Pankreatitis mit Pseudozystenbildungen, wobei es zu einer Verlagerung peripankreatischer Gefäße gekommen ist.

Noch deutlicher erkennt man auf einer hinsichtlich Helligkeit und Farbsättigung der einzelnen Komponenten etwas variierten Vergrößerungsaufnahme (Abb. 6) die veränderten Pankreasarterien und auch den Befall der Arteria gastroduodenalis im pankreasnahen Abschnitt.

Diese Art der Anwendung der Methode, nämlich die Kombination zweier nacheinander durchgeführter Angiographien in einem Bild, gestattet eine Einsparung der mit einer größeren Komplikationsrate behafteten simultanen 2-Katheter-Untersuchungen mit Kontrastierung, etwa des Truncus coeliacus und der Arteria mesenterica superior, über zwei gleichzeitig eingebrachte Katheter. Es ist somit eine Reduzierung des Risikos bei Angiographien zu erzielen.

Die Vorteile der freien Farbwahl kommen auch auf Abb. 7 gut zur Darstellung. Hier sind je zwei Phasen einer selektiven Renovasographie und einer Angiographie der Arteria phrenica inferior verwertet, ebenfalls nach der modifizierten Methode



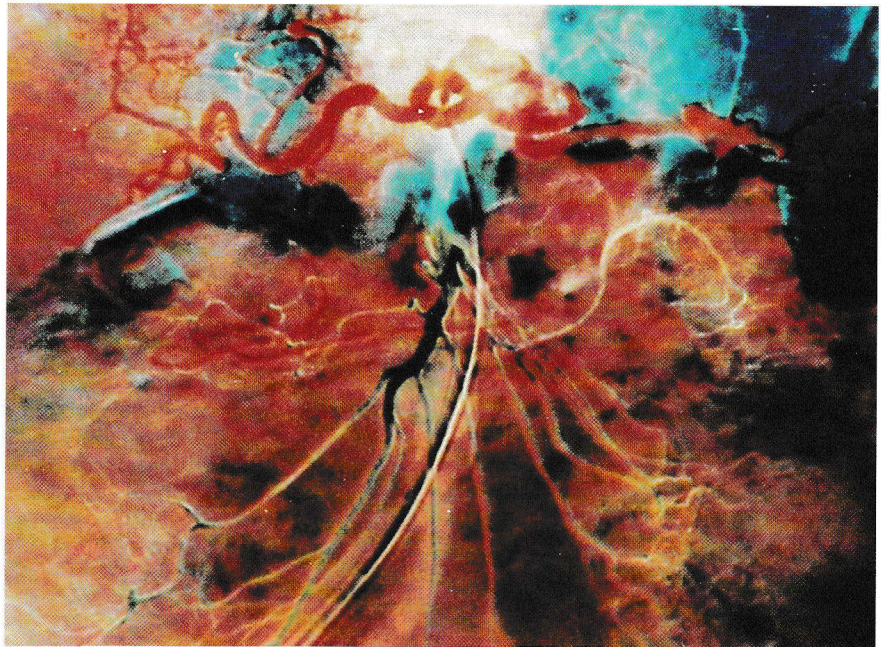


Abb. 5

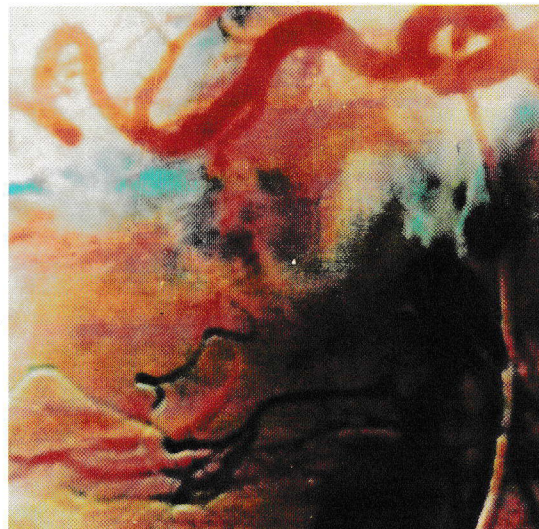


Abb. 6

Abb. 5 u. 6 Chronische Pankreatitis.

mit Subtraktion der einzelnen Teile gegeneinander. Das dem linken oberen Nierenpol aufsitzende Phäochromozytom war im Operationspräparat etwa eigroß und wies eine fast bleistiftdicke Vene auf.

Ebenso aus vier Einzelbildern zusammengesetzt (ausschließlich Leeraufnahme) ist das Kombinationsbild einer selektiven Renovasographie links (Abb. 8), wobei eine gemischte Technik verwendet wurde. Man erkennt deutlich die Raumforderung am linken unteren Nierenpol, in diesem Fall ein hypernephroides Karzinom, mit Verlagerung, Kompression und Ummauerung von niereneigenen Gefäßen, mit Ausbildung von Tumorgefäßen und kleinen sog. „Kontrastmittel-poolings“, sowie mit einer Anfärbung des Tumors. Ein zur Ernährung des Hypernephroms herangezogenes parasitäres Kapselgefäß ist mit Hilfe dieser Methode in seiner ganzen Ausdehnung auf einer Aufnahme dargestellt. Für die Bildanalyse unwichtige Informationen (Wirbelsäule, Rippen) sind durch die für den Bildaufbau

primär erforderliche Subtraktionstechnik weitgehend eliminiert. Der Angiographiekatheter kann nicht subtrahiert werden, da er sich während der Druckinjektion bewegt, er wird dadurch mehrfach dargestellt.

Abb. 9 demonstriert die hämodynamischen Verhältnisse einer vaskulären Schrumpfnieren. Proximal einer arteriosklerotisch bedingten, signifikanten Nierenarterienstenose geht eine Kapselkollaterale ab, welche distal der Verengung wieder in die Arteria renalis mündet. Die einzelnen Farben sind einem Zustand 1, 3 und 5 Sekunden nach Injektionsbeginn zuzuordnen, der Blutfluß erfolgt von Rot über Blau zu Gelb. Aus der Farbanordnung sind Rückschlüsse auf die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit möglich. Die Farbe verdeutlicht in diesem Fall also nicht nur die anatomischen, sondern auch die funktionellen Beschaffenheiten, die ja eine Einheit bilden und nicht isoliert gesehen werden können.

Gleiche Bedingungen wie beim vorigen Fall wurden auch für



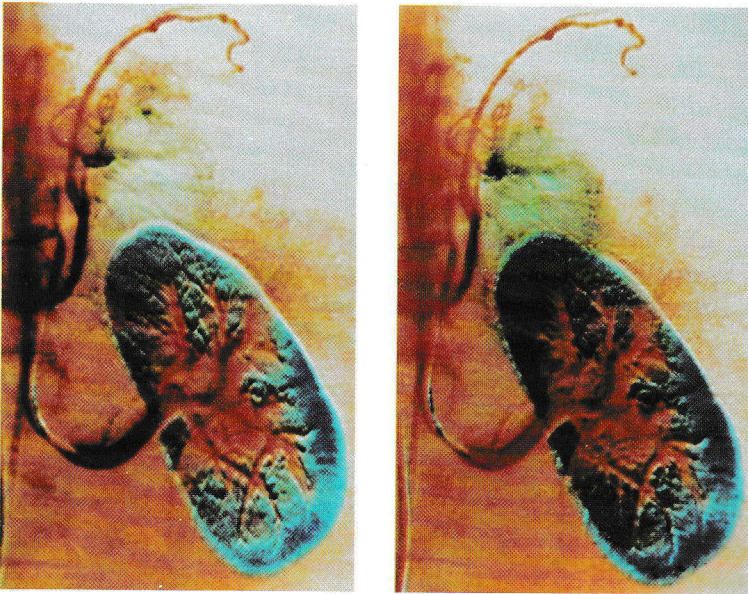


Abb. 7 Phäochromozytom.

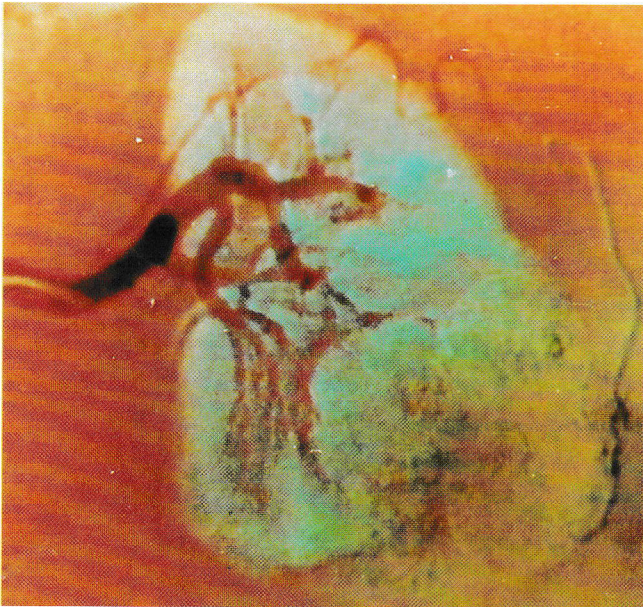


Abb. 8 Hypernephroides Karzinom.

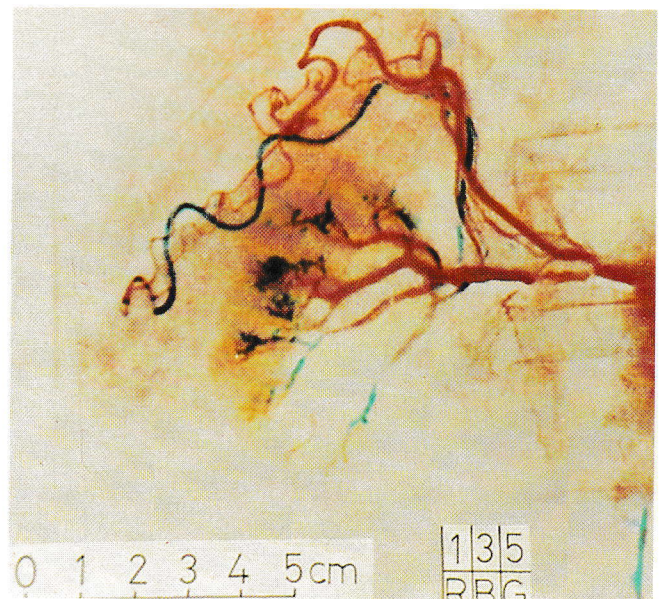


Abb. 9 Vaskuläre Schrumpfnier.

Abb. 10 gewählt, also wieder Aufnahmen einer Serienangiographie 1, 3 und 5 Sekunden nach Injektionsbeginn in den Farben Rot, Blau und Gelb. Das Kombinationsbild einer thorakalen Aortographie zeigt ein „Subclavian-steal-Syndrom“ mit vertebro-vertebralem Umgehungskreislauf bei aortennahem Verschluss der linken Arteria subclavia. Der strömungsdynamische Mechanismus des sog. „Anzapfsyndroms der Arteria vertebralis“ wird deutlich. Außerdem ist eine Seitendifferenz der Schilddrüsenanfärbung nachzuweisen, und die linke Arteria carotis communis entspringt als Variation aus dem Truncus brachiocephalicus.

## Diskussion

Ein Großteil der bisher verwendeten Herstellungsarten indirekter Farbbröntgenbilder beruht auf einer Anlagerung von Farbstoffen bzw. Farbkupplern an das reduzierte Silber auf den fertigen Schwarzweißröntgenbildern und die anschließende Entfernung des Metalls, etwa durch Oxidation oder Rehalogenisierung und anschließende Auflösung im Fixierbad, wobei die Farben erhalten bleiben (*Leiber und Kankelwitz; Angus; Angerstein, Krug und Rakow; Böck; Welander*). Entsprechend den ablaufenden chemischen Vorgängen ist dieser Prozeß je



nach Methode mehr oder weniger langwierig, was einer routinemäßigen Anwendung im Wege stand. Durch die Verwendung negativer Subtraktionsaufnahmen als Ausgangsmaterial, deren Durchstrahlung mit farbigem Licht und Mehrfachbelichtung auf Farbpapier ist nun der gesamte Vorgang der sog. sekundären Chromogenentwicklung nicht mehr notwendig. Entsprechend verkürzte Ausarbeitungszeiten sind die Folge.

Die neue Methode bezweckt aber nicht, die Kontrastwiedergabe und damit die Detailerkennbarkeit einer einzelnen Aufnahme durch Umsetzen in Farbe zu erhöhen, was wegen des großen Schwärzungsumfanges von Röntgenaufnahmen bei ausreichend großen Bildausschnitten gar nicht möglich ist (Frik, 1965), sondern die Farbe vermittelt einen während eines bestimmten Zeitpunkts vorliegenden Zustand bzw. dessen Änderung gegenüber einem Vergleichszeitpunkt (modifizierte Methode). Sie eignet sich daher besonders für solche Fragestellungen, wo mehrere Aufnahmen einer bestimmten Region nötig sind, da sich der Zustand der in diesem Abschnitt vorliegenden Einzelkomponenten von Aufnahme zu Aufnahme ändert. Dies wäre etwa bei verschiedenen Haltungen der Wirbelsäule der Fall, bei Kontraktionsphasen des Herzens und bei Motilitätsänderungen in Abschnitten des Magen-Darmtrakts. Ein vordringliches Anwendungsgebiet stellt aber die Angiographie dar, wo das Kontrastmittel das Gefäßsystem passiert und in den einzelnen Phasen Dichteunterschiede innerhalb der anatomischen Komponenten nachzuweisen sind.

Da es sich zur Gänze um eine fotografische Technik handelt, also weder die Bildsubtraktion noch die Farbmischung und Farbüberlagerung über einen Monitor ablaufen, kommt es zu keinem Verlust an Bildschärfe und Auflösung. Vor allem diese Tatsache spricht neben einer Kostenfrage für die neue Methode gegenüber der elektronischen Herstellungsart von farbigen Röntgenbildern.

Es muß wieder, wie in anderen Arbeiten über indirekte Farbaufnahmen, betont werden, daß solch ein Kombinationsbild naturgemäß nicht mehr Informationen beinhalten kann, als in den Ausgangsbildern enthalten ist. Decker, Linke und Oosterkamp wiesen aber schon 1967 darauf hin, daß nur die Farbe es ermöglicht, verschiedene angiographische Phasen in einem Bild festzuhalten, da das schwarzweiße Bild wegen Überlagerungen keine Beurteilung mehr erlaubt. Welander kommt nach ausführlichen anatomischen und zirkulatorischen Studien sogar zu dem Schluß, daß kleinste Phasenänderungen am besten im Farbkombinationsbild zu beurteilen sind. Er sieht außerdem einen Gewinn bei der Bildanalyse. Roth, Horbaschek und Wenz nennen vor allem folgende Vorteile:

1. leichtere und raschere Einordnung topographischer Beziehungen der Gefäßsysteme,
  2. bessere Beurteilung der venösen Phase,
  3. exakte Organ- und Tumorabgrenzung,
  4. funktionelle Beurteilung der gesamten Organdurchblutung.
- Dazu kommt bei Vereinigung zweier Angiographien auf einem Bild (Abb. 4, 5, 6 und 7) die Möglichkeit der Einsparung von simultanen 2-Katheter-Untersuchungen, bei denen ein erhöhtes Risiko beschrieben wurde.

Teile des Gefäßsystems lassen sich mit der Methode zu einer anatomischen Einheit zusammensetzen, ohne daß dabei die Aussage über die Funktion verlorenght. Beispiele dafür geben die Abb. 8 (parasitäres Kapselgefäß bei Hypernephrom), Abb. 9 (Kapselkollaterale bei Nierenarterienstenose) und Abb. 10 (Anzapfsyndrom der Arteria vertebralis bei aortennahem Verschuß der Arteria subclavia). Die einen bestimmten Zeitpunkt signalisierenden Farben betonen im Gegenteil die



Abb. 10 Subclavian-steal-Syndrom.

funktionellen Veränderungen und lassen diese mit Hilfe eines einzigen Bildes rekonstruieren.

Den Schluß mögen Worte aus einer Arbeit von F. J. Roth bilden: „Werden beim Für und Wider des Farbröntgenbilds Physiologie und Psychologie des an das farbige Sehen gewohnten Auges miteinbezogen, so sehen wir im Farbröntgenbild einen echten technischen und diagnostischen Fortschritt. . .“

#### Literatur

- Angerstein, W., W. Krug, A. Rakow: Fortschr. Röntgenstr. 100 (1964)
- Angus, W. M.: IXth Int. Congr. Radiolog., Abhandlungen II; Thieme Stuttgart; Urban und Schwarzenberg, München-Berlin 1961
- Bergerhoff, W.: Röntgen-Bl. 13 (1960) 1. Internat. Kongr. med. Fotografie und Kinematographie, Düsseldorf 1960; Thieme, Stuttgart 1962. Handbuch der med. Radiologie, Bd. III, Springer, Berlin 1967
- Blum, J.: Sci. et Industr. fotogr. 29 (1958)
- Böck, G.: Fortschr. Röntgenstr. 107 (1967)
- Bryce, A.: Brit. J. Radiol. 28 (1955)
- Buckaloo, G. W., D. V. Cohn: Science 123 (1956)
- Clark, G. L., R. M. Uznanski: Science 130 (1959)
- Danin, L.: DR Pat. Nr. 437507 (1925)
- Decker, K., H. O. Linke, W. J. Oosterkamp: Deutscher Röntgenkongreß 1967, Baden-Baden; Teil A, Thieme, Stuttgart 1968
- Donovan, G. E.: Lancet 260 (1951)
- Frik, W.: Fortschr. Röntgenstr. 103 (1965)
- Groh, Gr., F. J. Haendle: Electromedica (1968)
- Kodak Color Data Book: Eastman Kodak Company 1951
- Dr. med. Werner Horvath  
Röntgenabteilung des  
Krankenhauses der  
Barmherzigen Brüder  
Rudigierstraße 11-13  
A-4020 Linz, Österreich
- Kunnen, M.: Samenvatting in Proc. Ass. European Paediatric Cardiologist 5 (1969)
- Leiber, B., B. Kankelwitz: DW Pat. Nr. 19529 (1957) Nr. 1076490 (1957)
- Marchesi, J. J.: Farbphotographie, Photographie, Schaffhausen 1980
- Morrish, H. F.: Radiology 92 (1969)
- Oosterkamp, W. J., A. P. M. Van T'Hof, J. L. Scheren: Philips Techn. Rev. 27 (1966). Deutscher Röntgenkongreß, Berlin 1966; Thieme, Stuttgart 1967
- Pirkey, E. L., J. E. Parker, F. W. Shook: Radiology 57 (1951)
- Pozzi, L., F. Accordi, A. Vase: Radiographica 15 (1967)
- Roth, F. J., H. Horbaschek, W. Wenz: Fortschr. Röntgenstr. 115 (1971)
- Roth, F. J., W. Wenz, H. Kramer: Dtsch. med. Wschr. 29 (1969)
- Schmitz, W.: DR Pat. 24, 5 (1939)
- Schwarz, G. S.: Radiology 87 (1966)
- Simon, F.: DR Pat. Nr. 442807 (1926)
- Takahashi, S., Y. Tanaka: The Sakura X-Ray Photographic Review 80, 20/6 (1969)
- Welander, U.: Acta Radiol. Suppl. 290 (1969)
- Wenz, W.: Abdominale Angiographie. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1972