



Schlussbericht zum Vorhaben
„Entwicklung eines Referenzsystem für die Bildverarbeitung“

im Rahmen des Eurostars Projekts
E! 9432 HiPerScan
„Hochleistungsscanner für digitale und analoge Datenrekonstruktion aus lichtempfindlichem
Medium; Teilprojekt: Entwicklung eines Referenzsystems für die Bildverarbeitung“

Autoren: **Rainer Redmann,**
Burkhard Heinrich
Monika Kraft
Fritz Denkewitz

FilmoTec GmbH
OT Wolfen
Röntgenstraße 3
D-06766 Bitterfeld-Wolfen

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 01QE1516A
Projektlaufzeit: 01.06.2015 – 30.09.2017

I. Kurze Darstellung

Die industrielle Bildverarbeitung ist ein stark steigender Industriezweig mit Steigerungsraten um 30%. Um an dieser Entwicklung zu partizipieren, sollte vorhandenes Know-how der Filmbranche in dieses System eingebracht werden. Dazu sollten an der Verifizierung dieser Bildverarbeitungssysteme ein Beitrag geliefert werden. Verifizierung heißt in diesem Fall, dass Muster angeboten werden, die für jeweilige spezielle Anwendungen Muster zur Kalibrierung und zur ständigen Produktionsüberwachung liefern.

Für die FilmoTec bestand die Aufgabe der Entwicklung von 2 speziellen Filmmaterialien, die sowohl in den fotografischen, in den physikalisch-mechanischen Eigenschaften wie auch in der Detailwiedergabe diesen Anforderungen entsprechen. Parallel dazu wurde ein Belichter als Modelltyp erarbeitet, der die benötigten Strukturen auf den Film belichten soll.

Das Projekt wurde innerhalb des **Eurostars Projekts E! 9432 HiPerScan** bearbeitet. In diesem Projekt arbeiteten weitere Team aus 3 Ländern zusammen. Neben den Aufgaben des vorliegenden Projektes „Entwicklung eines Referenzsystems für die Bildverarbeitung“ erfolgte die Entwicklung des Belichters in der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. und eines Hochleistungsscanners mit Piql AS aus Norwegen und der In-Vision Digital Imaging GmbH aus Österreich.

Diese Entwicklungen waren notwendig, um die entwickelten Filme zu belichten und zu testen.

Die FilmoTec GmbH entwickelte erfolgreich 2 unterschiedliche Typen an Referenzfilmen, die für die Aufzeichnung der verschiedenartigen Strukturen benötigt werden. Neben den Bildwiedergabeeigenschaften ist mechanische Stabilität von eminenter Bedeutung.

Die Planung und der Ablauf des Vorhabens liefen in der Summe zufriedenstellend. Verzögerungen gab es vor allem bei der Bereitstellung der Geräte (Belichter und Scanner), so dass wirklich bis zur letzten Minute des Projektes für Testungen genutzt werden musste.

Der Belichter ist einsatzfähig, zur optimalen Anwendung sind aber noch einige Restarbeiten notwendig.

Der wissenschaftliche Stand der Arbeiten baut auf die Standardwerke „Fotografische Verfahren mit Silberhalogeniden [1] und Moderne photographische Systeme [2] sowie einer umfassenden Darstellung in Research Disclosure [3] auf. Außerdem standen die Berichtssammlung der ORWO Filmfabrik [4] sowie der FilmoTec GmbH [5] zur Verfügung.

Schutzrechte Dritter wurden nicht berührt.

Berührungspunkte gibt es mit dem Eurostarprojekt MiLoS [5]. Ein dort bearbeiteter Filmtyp konnte als Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung eines Referenzfilms benutzt werden.

Die Zusammenarbeit mit den anderen Partnern lief gut. Es gab regelmäßig Fachtreffen, Telefonkonferenzen und intensiven E-Mail-Verkehr.

II. Eingehende Darstellung

1. Die Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

AP 1: Projektkoordinierung

Projektkoordinator des Eurostars Projekts E! 9432 HiPerScan war Rainer Redmann von der FilmoTec GmbH. Neben der FilmoTec GmbH waren noch die Piql AS aus Norwegen, In-Vision Digital Imaging GmbH aus Österreich und das Fraunhofer-Institut Physikalische Messtechnik IPM aus Freiburg Deutschland beteiligt. Im Projektzeitraum fanden 5 zentrale Meetings statt. Dies waren:

11.08. – 12.08.2015 in Wien
23.11. – 24.11.2015 in Wolfen
20.06. – 21.06.2016 in Freiburg
13.09. – 15.09.2016 in Drammen
21.11. – 22.11.2017 in Drammen

Außerdem fanden in der Regel 14-tägig Telefonkonferenzen statt, in denen die Arbeiten zwischen den Projektpartnern abgestimmt und der erreichte Arbeitstand kontrolliert wurde.

Des Weiteren reisten Spezialisten in den beiden Gruppen Hochleistungsscanner und Pattern-Printer sowohl nach Drammen wie auch nach Wolfen zu Fachberatungen und zu Testungen.

AP 2: Berichterstattung

Am 11.11.2015, am 11.04.2016, am 25.10.2016, am 24.04.2017 und am 09.11.2017 wurden für EUROSTARS E! 9432 - HiPerScan Project Progress Reports (1-5) nach Brüssel zum EUROSTAR-Team geschickt.

Am 02.05.2017 schickten wir einen Market Impact Report und am 11.01.2018 den Final Report.

In diesem Bericht konnte festgestellt werden, dass alle Aktivitäten im Wesentlichen planmäßig laufen.

Der Zwischenbericht für die deutsche Fördermittelstelle DLR konnte termingemäß am 08.02.16 und am 23.0.1 2017 erstellt und abgeliefert werden. Die planmäßige Abarbeitung des Themas konnte auch dort dargestellt werden.

AP 3: Präzisierung der Aufgabenstellung zur Entwicklung der Referenzstreifen

Um den unterschiedlichen Kundenanforderungen an die Referenzstreifen zu entsprechen, wurden zwei unterschiedliche Filmmaterialien entwickelt, im Folgenden mit Variante 1 und Variante 2 bezeichnet.

Variante 1 ist ein hochauflösendes Filmmaterial mit mittlerer Gradation, welches insbesondere auch für Kalibriervorlagen mit mehreren unterschiedlichen Graudichten eingesetzt werden kann. Im Vergleich zur nachfolgend beschriebenen Variante 2 ist bei diesem Material eine höhere Lichtempfindlichkeit möglich.

Grundlage für dieses Material sind unsere Kenntnisse und Erfahrungen bei der Entwicklung und Produktion des Ton-Negativfilms und des Mikrofilms.

Variante 2 ist ein höchstauflösendes Material mit steiler Gradation, welches vorzugsweise dann eingesetzt werden kann, wenn sehr kleine Strukturen erkannt werden müssen und die Kalibriervorlage nur wenige unterschiedliche Graustufen aufweist. Da ein derartiges Filmmaterial nur eine geringe Lichtempfindlichkeit besitzt, sind hierfür allerdings höhere Belichtungen als bei Variante 1 erforderlich.

Grundlage für dieses Material sind unsere Kenntnisse und Erfahrungen bei der Entwicklung und Produktion der Holografie- und Archivatorfilme.

Ausgehend von den durchgeführten Untersuchungen sind für die beiden Varianten die folgenden wesentlichen Ziel-Parameter festgelegt worden:

Parameter	Variante 1	Variante 2
Empfindlichkeit	11 ... 14	-20 ... -16
Gradation	1,0 ... 2,0	3,0 ... 4,0
Körnigkeit (RMS-Wert)	< 12	< 1
Schärfe (MTF m50)	≥ 0,75	≥ 0,90

Auflösungsvermögen [L / mm]	≥ 600	≥ 1180
Kratzempfindlichkeit	≥ 20 p	≥ 20 p
Verschrammbarkeit (Note)	≤ 4	≤ 3
Gleitreibungszahl (Emulsion / Stahl)	0,12 ... 0,30	0,12 ... 0,30
Planlage (Wölbung) [mm]	Ei ≤ 3,0 / Ea ≤ 2,0	Ei ≤ 3,0 / Ea ≤ 2,0

Die Bestimmungsmethoden für die o.g. Ziel-Parameter sind im Qualitätsmanagementsystem der FilmoTec GmbH festgeschrieben. [6]

AP 4: Bereitstellung und Testung von Modellreferenzfilmstreifen für die Entwicklung des Scanners

Entsprechend den Ergebnissen des Arbeitspaketes 3 sind Modellreferenzstreifen gefertigt worden. Dazu ist ein Material verwendet worden, welches auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Eurostar-Projekt MiLoS entwickelt wurde. Die Modellreferenzstreifen sind den Projektmitarbeitern für ihre Testung am Scanner zur Verfügung gestellt worden.

In der Endphase sind dann verschiedene Muster und Filme den Mitarbeitern vom Fraunhofer Institut zur Testung des Belichters zur Verfügung gestellt worden. Diese Testung wurde dann in Wolfen weitergeführt und zur Bewertung des Printers herangezogen.

AP 5: Optimierung der sensitometrischen Daten und Testung eines Referenzfilmes höchster Auflösung

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Emulsionen hergestellt, die sich in ihren Eigenschaften bezüglich Herstellungsverfahren, Kornhabitus, Korngröße, Halogenidzusammensetzung und chemischen Sensibilisierung unterschieden.

Um die notwendige sensitometrische Empfindlichkeit zu erreichen, müssen die Silberhalogenidemulsionen nach dem Entsalzen chemisch sensibilisiert werden. Dadurch steigt die Empfindlichkeit um ein Mehrfaches, ohne dass der mittlere Kristalldurchmesser des Silberhalogenids merklich ansteigt.

Übliche Goldsensibilisatoren sind Tetrachlorogoldsäure oder deren Alkalisalz bzw. Golddithiocyanat als Alkali oder Ammoniumsalz.

Geeignete Chalkogene für die chemische Reife sind solche, die zur Bildung von Silberchalkogenen an der Oberfläche der Silberhalogenidkristalle führen. Als

Schwefelverbindungen für die chemische Sensibilisierung werden bevorzugt Thiosulfat bzw. Thioharnstoff und deren Derivate eingesetzt.

Geeignete Reduktionssensibilisatoren sind das Natriumsalz der Benzensulfinsäure, das Natriumsalz der Benzen-thiosulfonsäure sowie Kaliummetabisulfit. Diese Substanzen können einzeln als auch in Kombination eingesetzt werden.

Die Wirkung der einzelnen Nachreifsubstanzen und ihre erforderlichen Konzentrationen hängen von der chemischen Zusammensetzung der Silberhalogenidkristalle, ihrer Oberfläche und ihrem Habitus sowie ihrer Kombination untereinander, aber auch der Anwesenheit weiterer Substanzen, wie optische Sensibilisatoren, Klarhalter, Stabilisatoren etc. ab und müssen durch umfangreiche Versuche im konkreten Fall ermittelt werden.

Fotografische Silberhalogenidemulsionen müssen nach der Nachreife mit Antischleiermitteln und Stabilisatoren in ihren sensitometrischen Daten stabilisiert werden. Sehr wichtige Stabilisatoren sind die Tetraazaindene, wie z.B. 4-Hydroxy-6-methyl-1,3,3a,7-tetraazainden, welches auch im allgemein zum Einsatz kommt.

Für die Herstellung eines Referenzfilmes höchster Auflösung war es notwendig eine feinstkörnige, sehr eng verteilte Silberhalogenidemulsion mit einem mittleren Korndurchmesser von 0,05 bis 0,10 μm zu entwickeln.

Um solche sehr engverteilten Emulsionen zu erhalten, empfiehlt es sich, die Fällung der Emulsionskristalle mittels Doppelseinlauftechnologie durchzuführen. Es wurden verschiedene Emulsionsansätze gearbeitet, wobei verschiedene Faktoren untersucht und optimiert wurden: Halogenidzusammensetzung, Halogenidüberschuss, Gelatinekonzentration, Ansatztemperatur, Dosiergeschwindigkeit der Silbernitrat- und Halogenidlösungen sowie der pAg-Wert bei der Fällung der Kristalle. Die überschüssigen Salze wurden durch Wässern entfernt. Kontrolliert wurde der Korndurchmesser durch Messung der Trübung der geschmolzenen Emulsion. Bei einem Korndurchmesser von 0,05 μm sollten die Werte im Bereich bis 15 und bei einem Durchmesser bei 0,07 μm bis 25 liegen. Um ein Wachstum der Kristalle nach der Fällung zu verhindern, wurde ein Wachstumsinhibitor eingesetzt.

Die Emulsion EM 1 ist eine AgBr(I) – Emulsion mit einem Iodidgehalt von 5,0 Mol-%. Die Emulsion hat einen mittleren Korndurchmesser von 0,07 μm bei einer sehr engen Korngrößenverteilung von $\log \sigma = 0,03$.

Die chemische Reife zur Empfindlichkeitssteigerung ohne Korngrößenzunahme musste bei Temperaturen unter 45°C durchgeführt werden. Es wurden die optimalen Bedingungen der Gold-Schwefel-Reife ermittelt. Dabei mussten sehr große Mengen Goldsensibilisator in Relation zur Schwefelsensibilisatormenge eingesetzt werden. Die besten sensitometrischen Ergebnisse der Emulsion EM 1 wurden mit 55,0 ml Tetrachlorogoldsäure und 7,0 ml Thiosulfat als Gold-/Schwefelsensibilisator sowie 7,0 ml Benzensulfinsäure (Natriumsalz) als Reduktionssensibilisator bezogen pro kg Emulsion erreicht. Die Emulsion EM 1 wurde bei 40°C gereift. Das Ausreifoptimum lag bei 30 min. Als Stabilisator wurde Tetraazainden am Optimum zugegeben.

Die fertige Emulsion EM 1 hat einen Silbergehalt von 40 g/kg Emulsion und einen Gelatinegehalt von 60 g/kg Emulsion.

In der chemisch gereiften Emulsion EM 1 wurde zunächst eine Reihe von optischen Sensibilisatoren auf ihre Eignung getestet. Die besten Ergebnisse sind mit den

Grünsensibilisatoren GS 2 und GS 3 erreicht worden. Aufgrund der einfacheren Beschaffbarkeit des GS 2 haben wir uns für diesen Sensibilisator entschieden.

Die Emulsion EM 1 wurde nun in einem Filmmodellsystem, bestehend aus einer Emulsionsschicht und einer Schutzschicht, an einer Versuchsbebießanlage auf einer einseitig präparierten Polyesterunterlage beschichtet. Da der Antrag beider Schichten in einem Durchlauf erfolgte, war es notwendig, diese bezüglich ihrer rheologischen Eigenschaften wie Oberflächenspannung und Viskosität gut aufeinander abzustimmen. Nur so kann eine gute Begussqualität erreicht werden. Zur Abstimmung der Oberflächenspannung der beiden Schichten sind verschiedene Netzmittel und Netzmittelkombinationen getestet und in ihrer Menge optimiert worden. Zur Einstellung der Viskosität wurde ein Viskositätssteigerer in Form eines sulfonierten Polystyrens in der Emulsionsschicht eingesetzt. Die optische Sensibilisierung der Emulsion erfolgte mit dem bereits erwähnten Grünsensibilisator GS 2, dessen Menge im Vorfeld optimiert wurde. Weitere Versuche mit unterschiedlichen Silberaufträgen haben dazu beigetragen, die sensitometrischen Daten zu steuern. Damit das Filmmaterial in Entwicklungsautomaten verarbeitbar ist, muss es gehärtet sein. Es wurden verschiedene Härtemittel getestet. Die Härtemittelmenge wurde optimiert und das Härtemittel 1 bei der Beschichtung zur Schutzschicht zudosiert.

Die Verarbeitung des hergestellten Filmmaterials erfolgte im Entwickler Kodak D97.

Übersicht der ermittelten Kenndaten für ein Referenzfilmmaterial höchster Auflösung

Material	Emulsion	Dmin	EZ1	grad1	Dmax	Schärfe (MTF m50)	Auflösungsvermögen [L/mm]
F 33 684	EM 1	0,02	-18,4	3,59	2,94	0,91	1.180

AP 6: Optimierung der sensitometrischen Daten und Testung eines Referenzfilmes hoher Auflösung

Es wurden zwei Emulsionstypen entwickelt, wobei es sich bei der Emulsion EM 2 um eine empfindliche und steile Emulsion handelt. Die Emulsion EM 3 ist dagegen unempfindlicher und flacher. Dies ermöglicht im Bedarfsfall eine Abmischung beider Emulsionen, um auf die geforderten sensitometrischen Werte hinsichtlich Empfindlichkeit und Gradation zu kommen.

Die Emulsion EM 2 wurde mittels potentialgesteuerter Doppelaufnahmegeräte hergestellt. Beim Ansatz wurden ebenfalls, wie bereits bei Emulsion EM 1 beschrieben,

die verschiedenen Einflussfaktoren hinsichtlich der Fällung der Silberhalogenidkristalle untersucht und optimiert. Nach Beendigung des Kornwachstums wurde die Emulsion unter Zusatz eines Tensids und Absenkung des pH-Wertes geflockt. Zur Entfernung der überschüssigen Salze wurde das Flockulat zweimal mit angesäuertem Wasser gewaschen und anschließend unter Zusatz von dest. Wasser und Gelatine bei einem pH-Wert von 6,8 redispergiert. Bei der Peptisation erfolgte eine deutliche Aufkonzentrierung der Emulsion.

Die Emulsion EM 2 ist eine AgBr(I) – Emulsion mit einem Iodid-Gehalt von 2,1 Mol%. Die Emulsion EM 2 hat einen mittleren Korndurchmesser von 0,27 μm bei einer engen Korngrößenverteilung von $\log \sigma = 0,07$.

Die besten sensitometrischen Ergebnisse der Emulsion EM 2 wurden mit 14,5 ml Golddithiocyanat und 3,0 ml Thiosulfat als Gold-/Schwefelsensibilisator sowie 6,0 ml Benzenthiosulfonsäure (Natriumsalz) als Reduktionssensibilisator (bezogen pro kg Emulsion) erreicht. Dabei wurden große Goldmengen eingesetzt, um eine optimale Sensibilisierung zu erzielen. Die Emulsion EM 2 wurde bei 52°C chemisch gereift. Das Ausreifoptimum lag bei 120 min. Als Stabilisator wurde Tetraazainden am Optimum zugegeben.

Die fertige Emulsion EM 2 hat einen Silbergehalt von 110 g / kg Emulsion und einen Gelatinegehalt von 80 g / kg Emulsion.

Bei der Emulsion EM 3 handelt es sich um eine AgBr(I) – Emulsion mit einem Iodid – Gehalt von 8,0 Mol-%, die nach dem klassischen Fällverfahren bei niedriger Ansatztemperatur hergestellt wurde. Die Halogenide werden im Teil I vorgelegt. Die Keimbildung und das anschließende Kornwachstum erfolgt durch schnelle Einläufe der beiden Silbernitratlösungen mit zwischenzeitlicher und nachfolgender Pause. Zur Entfernung der überschüssigen Salze wurde das Flockulat zweimal mit angesäuertem Wasser gewaschen und anschließend unter Zusatz von Wasser und Gelatine bei einem pH-Wert von 6,5 redispergiert.

Diese Emulsion EM 3 hat einen mittleren Korndurchmesser von 0,15 μm bei einer breiten Korngrößenverteilung von $\log \sigma = 0,11$.

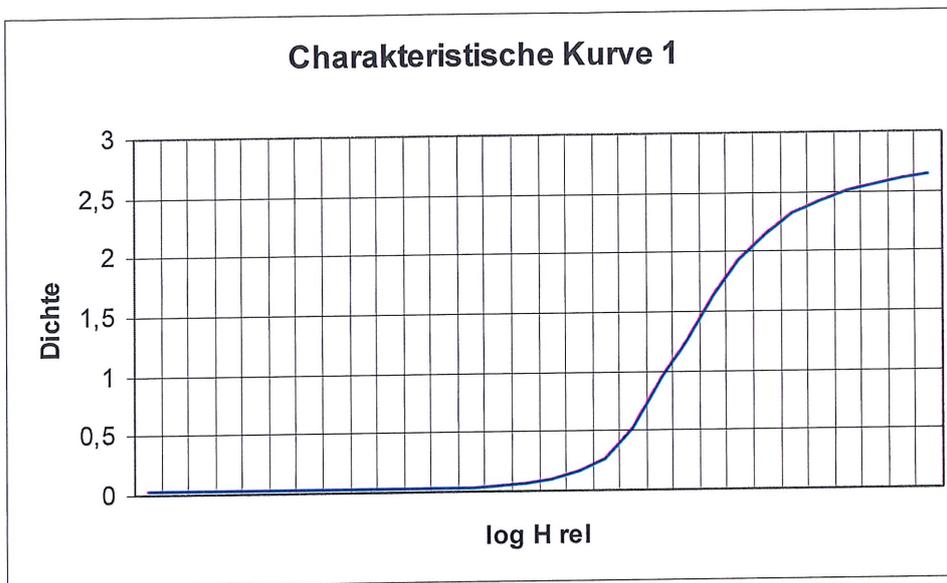
Die besten sensitometrischen Ergebnisse der Emulsion EM 3 wurden mit 10,0 ml Golddithiocyanat und 0,2 ml Thiosulfat als Gold-/Schwefelsensibilisator sowie einer Kombination aus 10,0 ml Benzensulfinsäure (Natriumsalz) und 1,5 ml Kaliummetabisulfit als Reduktionssensibilisatoren (bezogen pro kg Emulsion) erreicht. Die Emulsion EM 3 wurde bei 63°C chemisch gereift. Das Ausreifoptimum lag bei 100 min. Als Stabilisator wurde das oben erwähnte Tetraazainden am Optimum zugegeben.

Die fertige Emulsion EM 3 hat einen Silbergehalt von 64 g / kg Emulsion und einen Gelatinegehalt von 80 g / kg Emulsion.

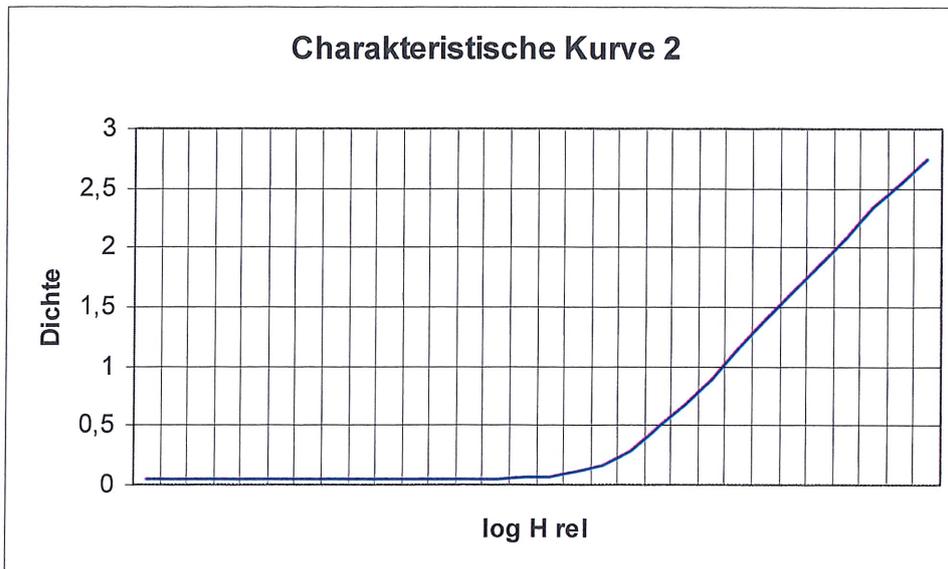
Aufgrund der Erkenntnisse, die wir bei der Entwicklung und Produktion unseres Mikrofilmes gewonnen haben, sind verschiedene Sensibilisatoren und Sensibilisatorkombinationen in der Emulsion EM 2 auf ihre Eignung getestet worden. Die besten Ergebnisse wurden mit der Sensibilisatorkombination GS 1, GS 2 und RS 1 erreicht.

Die Emulsion EM 2 wurde nun in einem vom Mikrofilm abgeleiteten Filmmodellsystem beschichtet. Dieses System besteht aus 3 Schichten, aus einer AHU-Schicht zur Vermeidung eines Reflektionslichthofes, einer Emulsionsschicht und der Schutzschicht.

Die Abstimmung der Oberflächenspannung der drei Schichten erfolgte ebenfalls mit verschiedenen Netzmitteln in optimierter Menge. Die Viskosität der Emulsionsschicht wurde mit einem Viskositätssteigerer eingestellt. Die optische Sensibilisierung erfolgte mit der optimierten Menge der Sensibilisatoren GS 1, GS 2 und RS 1. Des Weiteren wurden die drei Schirmpigmente SF 1, SF 3 und SF 4 zur Verbesserung der Schärfe des Filmmaterials in die lichtempfindliche Emulsionsschicht eingebracht. Das so hergestellte Filmmaterial erreichte noch nicht die gewünschten Zielparameter, wie im AP 3 unter Variante 1 beschrieben. Das Material ist zu steil und zu empfindlich (siehe charakteristische Kurve 1).



Aus diesem Grunde wurde die Emulsion EM 3, die deutlich flacher und viel unempfindlicher als die Emulsion EM 2 ist, entwickelt. Diese deutlich flachere Emulsion wurde zunächst auf ihre Sensibilisierbarkeit geprüft. Sie ließ sich gut mit den ausgewählten Sensibilisatoren sensibilisieren und konnte so zur Emulsion EM 2 zugemischt werden. Durch die Zumischung der Emulsion EM 3 zur EM 2 verflacht die charakteristische Kurve und die Empfindlichkeit des Materials nimmt ab. Mit dieser Zumischung und einer Optimierung des Silberauftrages war es möglich, die Zielparameter zu erreichen (siehe charakteristische Kurve 2).



Das Material wurde ebenfalls gehärtet, um es in Entwicklungsmaschinen verarbeiten zu können. Das Härtemittel für das gesamte Schichtpaket wurde bei der Beschichtung zur Schutzschicht zu dosiert.

Die Verarbeitung des hergestellten Filmmaterials erfolgte im Entwickler Kodak D97.

Übersicht der ermittelten Kenndaten für ein Referenzfilmmaterial hoher Auflösung

Material	Emulsion	Dmin	EZ1	grad1	Dmax	Körnigkeit (RMS)	Schärfe (MTF m50)	Auflösungsvermögen [L/mm]
F 33 712	EM 2+3	0,04	12,8	1,78	2,6	11	0,80	600

AP 7: Optimierung der physikalisch-mechanischen Daten und Testung eines Referenzfilmes höchster Auflösung

Das entwickelte Referenzmaterial höchster Auflösung muss auch hinsichtlich seiner physikalisch-mechanischen Eigenschaften den Anforderungen des Gesamtsystems genügen. Da die Verarbeitung des Materials in Entwicklungsmaschinen erfolgt, sind gerade an diese Eigenschaften hohe Anforderungen gestellt. Aus diesem Grunde wird dem Schichtverband bei Beguss ein geeignetes Härtemittel (HM1) zugesetzt und damit werden durch Vernetzen der Gelatine die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Silberhalogenidmaterials verbessert. Dabei werden die Quellfähigkeit und die Trockenzeit erniedrigt und die Nassfestigkeit erhöht, so dass die gequollenen Schichten gegen Beschädigungen widerstandsfähiger werden. Die Menge des Härtemittels wurde anhand von einigen Versuchsreihen optimiert. Das beste Ergebnis wurde mit einer Härtemittelmenge von 115 mg Härtemittel pro g Gelatine erreicht. So konnte die gewünschte Quellfähigkeit des Materials eingestellt werden. Dabei wurde beachtet, dass die fotografischen Parameter im Zielbereich bleiben. Da das entwickelte Material ein Zweischichtverband (Emulsionsschicht und Schutzschicht) ist, war darauf zu achten, dass die Quellfähigkeit der Einzelschichten vergleichbar ist. Durch unterschiedliche Quellfähigkeit der Einzelschichten im Mehrschichtenmaterial kann störendes Runzelkorn (Verwerfung) entstehen.

In unserem entwickelten Referenzmaterial höchster Auflösung wurde zur Herstellung der eingesetzten Emulsion EM1 eine Ca-haltige, mittelviskose Gelatine eingesetzt. Um eine analoge Quellfähigkeit in der Schutzschicht zu erzielen, wäre es das Einfachste, hier die gleiche Gelatine einzusetzen. Das war leider nicht möglich. Da beide Schichten in einem Maschinendurchlauf auf die Trägerfolie angetragen werden, ist eine Abstimmung der rheologischen Eigenschaften, insbesondere der Oberflächenspannung beider Schichten erforderlich, um eine gute Begussqualität zu erreichen. Um die Oberflächenspannung der beiden Schichten entsprechend einzustellen, war es notwendig, der Schutzschicht eine bestimmte Menge an einem Fluortensid zuzusetzen. Fluortenside sind mit Ca-haltigen Gelatinen unverträglich. Deshalb wurden Ca-freie Gelatinen getestet und eine geeignete Gelatine für die Schutzschicht ausgewählt.

Zur Verbesserung des Haftvermögens wurden verschiedenartige neue Bauelemente getestet, indem sie der unmittelbar auf der Trägerfolie liegenden Schicht in jeweils unterschiedlichen Konzentrationen zugesetzt wurden. Alle bis zum Projekt-Ende getesteten Substanzen zur Haftverbesserung sind in nachfolgender Übersicht 1 mit jeweils der besten Konzentration jedes Bauelementes zusammengestellt.

Die Haftprüfung erfolgte mittels Gitterschnittprüfung. Mit Hilfe des Gitterschnitts kann die Qualität der Haftfestigkeit von fotografischen oder auch Hilfsschichten auf Trägerfolien geprüft werden, indem parallele Kratzspuren (Schnitte) mit einem Spezialwerkzeug auf dem beschichteten Material erzeugt werden, die bis zur Trägerfolie gehen, jedoch ohne diese zu verletzen. Nach dem Kratzen wird auf die staub- und spanfreie Oberfläche Klebeband mit einer bestimmten Klebkraft blasenfrei auf die gekratzte Oberfläche aufgeklebt und dann in einem bestimmten Winkel vom Probestreifen abgezogen. Als Ergebnis wird der prozentuale Anteil der Schnittfelder angegeben, bei denen die Schicht heruntergerissen wurde. Parallel dazu wurden die fotografischen Eigenschaften der beschichteten Materialien untersucht. Diese sollten sich durch den Einbau neuer Bauelemente möglichst nicht verändern. In der Übersicht 1 sind ebenfalls Anmerkungen zu den fotografischen Eigenschaften enthalten.

Übersicht 1

Wirksubstanz (WS)	g WS/100g EM	% Ablösung der Schicht	Bemerkungen zu fotogr. Eigenschaften
ohne WS		27	keine Veränderung
Mulex	1,8	8	keine Veränderung
Lubaprint 5500	2,7	0	steig. Dmin im HS
U3251	3,6	3	keine Veränderung
U4000	2,7	10	steig. Dmin fr. + im HS
Arconal 3630	9	0	steig. Dmin im HS
Arconal 3640	4,5	5	keine Veränderung
Latex PL4	4,5	0	steig. Dmin im HS
Sokalan VA64P	2,7	0	steig. Dmin fr. + im HS
BYK 4500	Sedimentationen in der BL		
BYK 346	Sedimentationen in der BL		

Lubaprint 3510	2,7	0	steig. Dmin im HS (ger.)
Ritadispergat	18	0	keine Veränderung
Tegoaddbond	7,2	0	steig. Dmin fr. + im HS
Albidur PU 5640	3,2	schlechter Beguss und Oberfläche verklebt	

Dmin bedeutet die minimale Dichte (Schleier)
HS bedeutet Heizschrankprüfung (3 Tage bei 55°C und 20% relative Feuchte)
fr. bedeutet frisch also ohne künstliche Alterung
steig. bedeutet steigende Werte
BL bedeutet Begießlösung

Sehr gute Ergebnisse bezüglich der Haftung erzielt man mit den Bauelementen Lubaprint 5500 und 3510, mit Arconal 3630, mit Latex PL4 und Sokolan VA64P. Ein ansteigender Schleier zum Teil nur bei Heizschranklagerung ist allerdings bei allen 5 Bauelementen zu erkennen, wobei der Anstieg des Schleiers mit Arconal 3630 am geringsten ist. Aufgrund dessen wurde Arconal 3630 als Haftvermittler eingesetzt. Die damit erreichten physikalisch-mechanischen Daten sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1

Gesamtdicke	104,4µm
Unterlagendicke	98,4 µm
Schichtdicke	5,9 µm
spez. Wasseraufnahme	2,09 g/cm ³
Haften	1 mm
Nassfestigkeit	>600 cN
Trockendauer	0,37 min
Festigkeitsparameter:	
Zugfestigkeit	180,5 Mpa
Bruchspannung	140,1 Mpa
Nominale Dehnung	125%

AP8: Optimierung der physikalisch-mechanischen Daten und Testung eines Referenzfilmes hoher Auflösung

Analog dem Referenzmaterial höchster Auflösung muss auch das Material hoher Auflösung bezüglich der physikalisch-mechanischen Eigenschaften den Anforderungen des Gesamtsystems genügen. Da auch dieses Material maschinenverarbeitbar sein muss, sind die Anforderungen nicht geringer. Auf der Grundlage unserer Erkenntnisse bei der Entwicklung und Produktion des Mikrofilmes wurde zur Härtung dieses Materials das Härtemittel HM2 ausgewählt und in seiner Menge optimiert.

Da es sich hier um ein dreischichtiges Material handelt, sollte die Quellfähigkeit aller 3 Schichten nahezu gleich sein, um Runzelkornbildung zu vermeiden. Wie schon im Arbeitspaket 7 beschrieben, wird der Schutzschicht auch hier ein Fluortensid zur Einstellung der Oberflächenspannung zugesetzt und die eingesetzte Gelatine muss Ca-frei sein. Die untere und mittlere Teilschicht enthält Ca-haltige, mittelviskose Gelatine. Für die Schutzschicht wurde die gleiche geeignete Ca-freie mittelviskose Gelatine wie für das Material mit höchster Auflösung gewählt, damit kein Runzelkorn entsteht.

Um die Haftung des Materials zu verbessern, wurden auch hier die unterschiedlichen Bauelemente, wie in Übersicht 1 aufgeführt, getestet und zwar in der unmittelbar auf der Trägerfolie liegenden Schicht. Die direkt auf der Trägerfolie liegende Schicht ist hier nicht die lichtempfindliche Emulsionsschicht, sondern eine Hilfsschicht zur Vermeidung eines Reflektionslichthofes. Durch Zusatz von diesen ausgewählten Polymeren zu der Hilfsschicht ändern sich die fotografischen Parameter nicht bzw. nur gering. Allerdings ist zu bemerken, dass sich durch Zugabe größerer Mengen Polymere die Quellfähigkeit der Schicht ändern kann und es dann wieder zur Runzelkornbildung kommt. Auch hier wurde das Bauelement Arconal 3630 ausgewählt, welches in der Menge so optimiert wurde, dass sich die Haftung des Materials deutlich verbessert, aber die Quellfähigkeit alle 3 Schichten nahezu gleich bleibt und somit kein Runzelkorn erzeugt wird.

Die mit dieser entwickelten Rezeptur erreichten physikalisch-mechanische Daten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2

Gesamtdicke	128,3 µm
Unterlagendicke	121,8 µm
Schichtdicke	6,5 µm
spez. Wasseraufnahme	1,84 g/cm ³
Haften	3 mm
Nassfestigkeit	>600 cN
Trockendauer	0,25 min

AP9: Optimierung der Oberflächeneigenschaften und Testung eines Referenzfilmes höchster Auflösung

Nach Optimierung der sensitometrischen und physikalisch-mechanischen Eigenschaften (AP5 und AP7) müssen weiterhin die Oberflächeneigenschaften des Materials dem Gesamtsystem angepasst werden. Wichtige Oberflächeneigenschaften wie die Kratzempfindlichkeit (fotografische Kratzempfindlichkeit und mechanische Verschrammbarkeit), die Haft- und Gleitreibung des Materials und der Abrieb sind zu optimieren.

Die fotografische Kratzempfindlichkeit sagt aus, inwieweit eine mechanische Kratzbelastung eine fotografische Wirkung hat (Schwärzung oder Aufhellung). Zur Untersuchung dieser Eigenschaft wird mit einem speziellen Gerät ein definiert belasteter (3g....125p) Ritzdiamant (90°, 75µm) mit konstanter Geschwindigkeit über eine fest aufliegende Filmemulsionsoberfläche gezogen. Die nach der Entwicklung in der Kratzspur vorhandene Schwärzung in Abhängigkeit von der Belastung ist das Maß für die Kratzempfindlichkeit. Im Allgemeinen wird die Belastung angegeben, bei der gerade noch eine Schwärzung feststellbar ist, das heißt erstrebenswert sind hohe Belastungen. Verschrammbarkeit und Abrieb werden durch mechanische Beanspruchung, z.B. Reibung verursacht. Diese Eigenschaften können mit einem Crock-Tester in folgender Art und Weise ermittelt werden. Das zu prüfende Filmmaterial wird in Probestreifen definierter Fläche geschnitten. In einer Vorrichtung wird ein Reibekopf (Reibestempel mit Drahtgewebe) in eine zylindrische Öffnung eingesetzt. Über eine Andruckplatte wird der Reibekopf definiert auf das beschichtete Material, welches fixiert ist, gedrückt. Beim Anschalten des Gerätes bewegt sich der Stempel mit Drahtgewebe über das Filmmaterial, wobei die entsprechende Hubzahl eingestellt wird.

Die Auswertung des behandelten Materials hinsichtlich Verschrammbarkeit erfolgt visuell mit Benotung.

Note 0 keine Veränderung der Oberfläche

Note 1 Glättung der Oberfläche, Schicht glänzt

Note 2 minimale Verschrammung, nur vereinzelt sichtbar

Note 3 gleichmäßige Verschrammung ohne flächenhaften Abtrag

Note 4 flächenhafter Schichtabtrag mit gleichmäßiger Verschrammung bzw.
nur noch Schichtabtrag = Abrieb

Die Bestimmung des Abriebs erfolgt, indem das Filmmaterial vor und nach Behandlung mit dem Reibekopf gewogen wird, wobei nach der Behandlung zuerst der „Abriebsstaub“ von den Proben zu entfernen ist. Die Differenz ergibt den Abrieb des Materials. Eine Reihe von verschiedenartigen Substanzen / Polymeren als Dispersionen wurde hinsichtlich dieser Eigenschaften geprüft:

Dispersion 1
Dispersion 2
Dispersion 3
Dispersion 4
Dispersion 5
Dispersion 6

Dazu wurden jeweils unterschiedliche Konzentrationen der entsprechenden Substanz zur Emulsions- oder Überzugsbegießlösung eines Modellrezeptes zugegeben und geprüft. Die ermittelten Ergebnisse der optimalen Menge einer jeder Substanz sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3

	fotografische Kratzempf. mit Anbel.	fotografische Kratzempf. ohne Anbel.	mech. Ver- schrammb. Note	Abrieb [g]
Typmaterial	6p	10p	4	0,0063
Dispersion1	20	50	1 - 2	0,0006
Dispersion 2	30	80	1	0
Dispersion 3	10p	10p	3 - 4	0,0065
Dispersion 4	6p	10p	0 - 1	0,004
Dispersion 5	6p	10p	1 - 2	0,003
Dispersion 6	6p	10p	3	0,003

Die gewonnenen Ergebnisse wurden auf den Referenzfilm höchster Auflösung übertragen. Es wurde ein Überzug mit der Dispersion 2 entwickelt, der die Oberflächeneigenschaften des Filmmaterials verbessert. Dabei wurde darauf geachtet, dass sowohl die fotografischen als auch die physikalisch-mechanischen Parameter im Zielbereich bleiben. Die erreichten Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4

Haftreibungszahl (Emuls. / Stahl)	0,26
Gleitreibungszahl (Emulsion / Stahl)	0,27
Verschrammbarkeit mechanisch (Note)	1
fotografische Kratzempfindlichkeit ohne Belichtung (sichtbar bis Belastung)	60p
fotografische Kratzempfindlichkeit mit Belichtung (sichtbar bis Belastung)	30p

AP 10. Optimierung der Oberflächeneigenschaften und Testung eines Referenzfilmes hoher Auflösung

Nachdem die fotografischen und physikalisch-mechanischen Parameter des Referenzfilmes hoher Auflösung optimiert worden sind (AP6 und AP8), müssen auch hier die Oberflächeneigenschaften angepasst werden und den Anforderungen des Gesamtsystems genügen. Die Erkenntnisse, die aus der Versuchstätigkeit im Arbeitspaket 9 gewonnen wurden, sind auch auf den Referenzfilm hoher Auflösung übertragen worden. Die verschiedenen Dispersionen (siehe Tabelle 3) wurden in unterschiedlichen Konzentrationen der Emulsions- bzw. Schutzschicht zugegeben und die Oberflächeneigenschaften geprüft. Das beste Ergebnis wurde ebenfalls mit der Dispersion 2 erzielt. So wurde ein Überzug mit der Dispersion 2 für den Referenzfilm hoher Auflösung entwickelt, der auch hier die Oberflächeneigenschaften verbesserte. Die erreichten Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5

Haftreibungszahl (Emuls. / Stahl)	0,24
Gleitreibungszahl (Emulsion / Stahl)	0,30
Verschrammbarkeit mechanisch (Note)	2
fotografische Kratzempfindlichkeit	20
ohne Belichtung (sichtbar bis Belastung)	
fotografische Kratzempfindlichkeit	40
mit Belichtung (sichtbar bis Belastung)	

AP11. Optimierung der rheologischen Parameter zur Herstellung eines Referenzfilmes höchster Auflösung

Um ein Filmmaterial im Mehrschichtantrag fehlerfrei herstellen zu können, müssen die rheologischen Eigenschaften der einzelnen Schichten aufeinander abgestimmt sein. Wesentliche Kenngrößen für die Charakterisierung der Schichten sind vor allem die Viskosität und die Oberflächenspannung. Bei einem Mehrschichtantrag sollten folgende Kriterien erfüllt sein, um ein ordentliches Begussbild zu erhalten:

Die Oberflächenspannung sollte von den unterlagenahen zu den unterlagefernen Schichten abnehmen. Um eine Abstufung der Oberflächenspannung zu gewährleisten, werden unterschiedliche Netzmittel allein oder in Kombination in den Teilschichten eingesetzt.

Die Viskosität sollte in der jeweils unteren Teilschicht höher oder mindestens gleich der darüber liegenden Schicht sein. Die Viskosität wird bestimmt durch die Gelatinekonzentration der Begießlösung, der Art der eingesetzten Gelatine und dem Anteil eventueller polymerer Zusatzstoffe.

Die für den Referenzfilm höchster Auflösung eingesetzte Emulsion hat einen relativ niedrigen Gelatine- und Silbergehalt. Durch Zugabe weiterer erforderlicher Zusätze wie Sensibilisator, Netzmittel usw. wird die Emulsion verdünnt und die Gelatinekonzentration sinkt. Damit wird die Viskosität erniedrigt. Um die Viskosität auf höheres Niveau als das des Überzuges anzuheben, wurden Viskositätssteigerer (Polymere) getestet. Die besten Ergebnisse wurden mit einem sulfonierten Polystyren erreicht. Bei einem Zusatz von 7 ml 4%ige Polymerlösung auf 1 kg Emulsion konnte die Viskosität angehoben werden und war damit etwas höher als die des Überzuges.

Zur Einstellung der Oberflächenspannung wurde eine Netzmittelkombination ausgewählt, mit der wir bereits im Eurostar-Projekt MiLoS gute Erfahrungen gemacht haben. Diese Netzmittelkombination (Empimin und Surfactant10G) wurde sowohl in der Emulsionsschicht als auch im Überzug eingesetzt. Zu der Überzugslösung musste zusätzlich ein besonders aktives Netzmittel (Fluortensid) zugegeben werden, um die Oberflächenspannung niedriger einstellen zu können als in der Emulsionsschicht. Alle ermittelten rheologischen Parameter der Begießlösungen für den Referenzfilm höchster Auflösung sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6

	Emulsionsschicht	Überzug
pH-Wert	6,68	6,37
Dichte [g/cm ³]	1,08	1,038
Viskosität [mPas]	24,3	21,1
Oberflächenspannung [mN/m]	31,87	20,34

AP12. Optimierung der rheologischen Parameter zur Herstellung eines Referenzfilmes hoher Auflösung

Auch bei der Entwicklung des Referenzfilmes hoher Auflösung müssen die rheologischen Begussparameter der Schichten abgestimmt werden, um ein fehlerfreies Begussbild zu erhalten. Hier ist die Optimierung etwas umfangreicher, da es sich um ein dreischichtiges Material handelt. Es gelten dieselben Kriterien, die Oberflächenspannung sollte von der unterlagennahen zur unterlagenfernen Schicht abnehmen, die Viskosität sollte in der unteren Schicht möglichst immer etwas höher (bzw. wenigstens gleich sein) als die darauf liegende Schicht.

Zur Optimierung der Oberflächenspannung wurde die gleiche Netzmittelkombination wie im Arbeitspaket 11 eingesetzt. Durch den Einsatz einer nur geringen Menge dieser Netzmittelkombination in der AHU-Schicht und einer größeren Menge in der Emulsionsschicht konnte die erforderliche Abstufung zwischen diesen beiden Schichten erreicht werden. Der Einsatz einer noch höheren Menge im Überzug brachte nicht die gewünschte weitere Senkung der Oberflächenspannung und es musste auch hier ein aktiveres Netzmittel in Form eines Fluortensides zugegeben werden.

Die AHU-Schicht und die Emulsionsschicht enthalten die gleiche Gelatine, wobei die AHU-Schicht aber geringer konzentriert an Gelatine ist und somit auch geringer viskos ist. Beide Schichten sind geringer viskos als der Überzug. Deshalb musste auch hier der obige Viskositätssteigerer (sulfoniertes Polystyren) eingesetzt und in seiner Menge optimiert werden. In der AHU-Schicht wurde mehr Viskositätssteigerer bezogen auf Gelatine eingesetzt als in der Emulsionsschicht. Das Verhältnis Polymer zu Gelatine beträgt für die AHU-Schicht 0,016 und für die Emulsionsschicht 0,01. Damit wurden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten rheologischen Parameter erreicht.

Tabelle 7

	AHU-Schicht	Emulsionsschicht	Überzug
pH-Wert	5,88	6,75	8,5
Dichte [g/cm ³]	1,011	1,141	1,025
Viskosität [mPas]	30,9	30,2	20,66
Oberflächenspannung [mN/m]	36,38	30,18	25,06

AP13. Überführung des entwickelten Referenzfilmes höchster Auflösung an die Technikumsanlage

Um genügend Menge für die verschiedensten Untersuchungen zur Verfügung zu haben, wurde der Emulsionstyp EM 1 vom Labor- in den Technikumsmaßstab überführt.

Es mussten dabei verschiedene Anpassungsarbeiten am Rezept durchgeführt werden, um zu vergleichbaren fotografischen Eigenschaften analog der Ergebnisse zu denen im Labormaßstab hergestellten Ansätzen zu kommen. Schwerpunkte dieser Arbeiten waren u.a. die Optimierung der Durchmischungsverhältnisse (Rührgeschwindigkeit, Einbau von Strombrechern) sowie die Optimierung des Einlaufverhaltens der Silbernitratlösungen hinsichtlich des Erreichens vergleichbarer Korngrößenparameter und Korngrößenverteilung im Vergleich zum Labormaßstab. Wichtig dabei war, die Bedingungen so zu optimieren, dass die sehr enge Kornverteilung bei diesem geringen Korndurchmesser erhalten bleibt.

Desweiteren erfolgte eine Feinoptimierung der chemischen Reifung, die auf Grund der zu geringen Emulsionsmengen bei den Laboransätzen nicht optimal durchgeführt werden konnte.

Die besten sensitometrischen Ergebnisse der Emulsion EM 1 wurden mit 50,0 ml Tetrachlorogoldsäure und 7,0 ml Thiosulfat als Gold-/Schwefelsensibilisator sowie 4,0 ml Benzensulfinsäure (Natriumsalz) als Reduktionssensibilisator (bezogen pro kg Emulsion) erreicht. Die chemische Reifung erfolgte bei 39°C. Das Ausreifoptimum lag bei 50 min. Als Stabilisator wurde Tetraazainden am Optimum zugegeben.

In den vorhergehenden Arbeitspaketen 5,7,9 und 11 wurde mit der Emulsion EM1 eine Rezeptur für einen Referenzfilm höchster Auflösung erarbeitet, in der sowohl die Rheologie der Begießformulierungen als auch die sensitometrischen Daten, die physikalisch-mechanischen Parameter und die Oberflächeneigenschaften des Filmmaterials in einer Vielzahl von Versuchen optimiert worden sind. Bei der Überführung der an einer Versuchsbegießanlage entwickelten Rezeptur an die Technikumsanlage sind eine Reihe von Aktivitäten erforderlich. Die Ansatzgröße der Begießformulierungen erhöht sich um ein Vielfaches, die Rührbedingungen (Geometrie, Rührgeschwindigkeit) in den Ansatzgefäßen verändert sich, die Erstarrungs- und Trocknungsbedingungen sind anders, die Begießgeschwindigkeit ist an die Technikumsanlage anzupassen. Eine Feinabstimmung der Rheologie der Begießformulierungen ist notwendig, um den Film an der Technikumsanlage fertigen zu können. Die Herstellung des Referenzfilmes höchster Auflösung erfolgt im Zweischichtantrag. Für den gleichzeitigen Antrag von zwei Schichten in einem Maschinendurchlauf muss die Rheologie der Schichten aufeinander abgestimmt sein, d.h. es müssen folgende Forderungen erfüllt sein:

Die Oberflächenspannung muss von der untersten (dem Schichtträger am nächsten liegende Schicht) zur oberen Schicht abnehmen.

Die Viskosität der unteren Schicht sollte etwas höher oder mindestens gleich der darüber liegenden Schicht sein.

Die im Arbeitspaket 11 ermittelten optimalen Netzmittelmengen einer Netzmittelkombination (Empimin und Surfactant 10G / Fluortensid für Schutzschicht), mit der wir bereits gute Erfahrungen im Eurostar-Projekt Milos gemacht haben, wurden zunächst auf die Ansatzgröße der Technikumsanlage umgerechnet. Nachfolgende Messungen der Oberflächenspannungen von Emulsions- und Schutzschicht ergaben, dass Korrekturen in Form von weiterer Zugabe von Netzmittel, insbesondere des besonders aktiven Netzmittels (Fluortensid) zum Überzug erforderlich waren, um eine gute Abstufung der beiden Schichten zu erreichen. Die letztendlich in Summe zugesetzten Netzmittelmengen und die dazu gemessenen Oberflächenspannungen sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Ebenfalls wurde von den auf die Ansatzgröße der Technikumsanlage hochgerechneten Begießformulierungen die Viskosität gemessen (nach Korrektur der Oberflächenspannung). Die Werte lagen im erforderlichen Bereich, eine weitere Zugabe von Viskositätssteigerer (Polymer→sulfontiertes Polystyren) war nicht erforderlich. Die gemessenen Viskositäten und weitere wichtige Parameter, die die Begießformulierungen charakterisieren, sind ebenfalls in Tabelle 8 enthalten.

Tabelle 8

	Emulsionsschicht	Überzug
pH-Wert	6,76	6,2
Nassauftrag [ml/m ²]	76	19
Verhältnis Polymer/Gelatine	0,04	ohne Polymer
Viskosität [mPas]	24,2	19
NM Empimin [g/l]	0,11	2,31
NM Surfactant 10G [g/l]	0,23	5,88
Fluortensid [g/l]	-	0,57
Oberflächenspannung [mN/m]	30,6	22,4

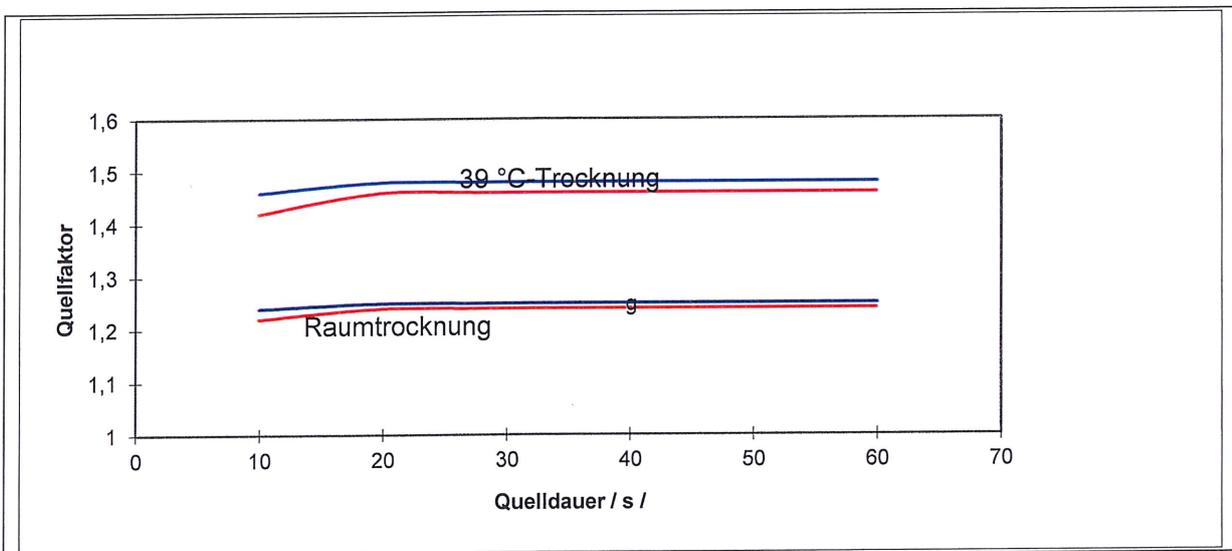
Der entwickelte Referenzfilm höchster Auflösung hat einen Nassauftrag von insgesamt 95 ml/m². Anhand unserer Erfahrungen, die wir bei der Herstellung verschiedenartiger Filmmaterialien, insbesondere im Rahmen des Eurostar-Projektes Milos, gesammelt haben, lässt sich mit Kenntnis des Feststoffgehaltes der Begießformulierungen und des Nassauftrages des Gesamtschichtverbandes ein Trockenprofil für die Beschichtung des Referenzfilmes in Kombination mit der Begießgeschwindigkeit ableiten. Die Begießgeschwindigkeit sollte aus ökonomischen Gründen so hoch wie möglich sein. Die aufgetragenen Schichten sollten etwa zwei Zonen vor Ende des Trocknungskanals trocken sein, damit am Ende auch etwaige Randwülste und/oder Wülste vom An- bzw. Abtauchen

des Gießers hinreichend trocken sind. So kann ein späteres Verkleben der aufgewickelten Filmbahn vermieden werden. Die Trocknungstemperaturen in den Trockenzonen sollten nicht zu hoch sein. Eine Trocknung der beschichteten Filmbahnen bei hohen Temperaturen erhöht die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Filmfehlers „Runzelkorn“ (Verwerfung) bei den üblichen Bindemittel- und Netzmittelkombinationen, wie sie hier zum Einsatz kommen. Runzelkorn tritt auf, wenn die einzelnen Schichten ein unterschiedliches Quellverhalten aufweisen. Das Quellverhalten der Filmschichten wird durch die

- Trocknung der Filmbahnen beim Beschichten
- Gelatineart
- Polymerart und deren Anteil am Bindemittel
- Netzmittelart und Konzentration

beeinflusst. Je höher die Temperaturen in den Trocknungszonen ist, umso mehr unterscheidet sich das Quellverhalten der beiden Schichten (siehe Diagramm 1) und umso größer ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von störendem Runzelkorn.

Diagramm 1

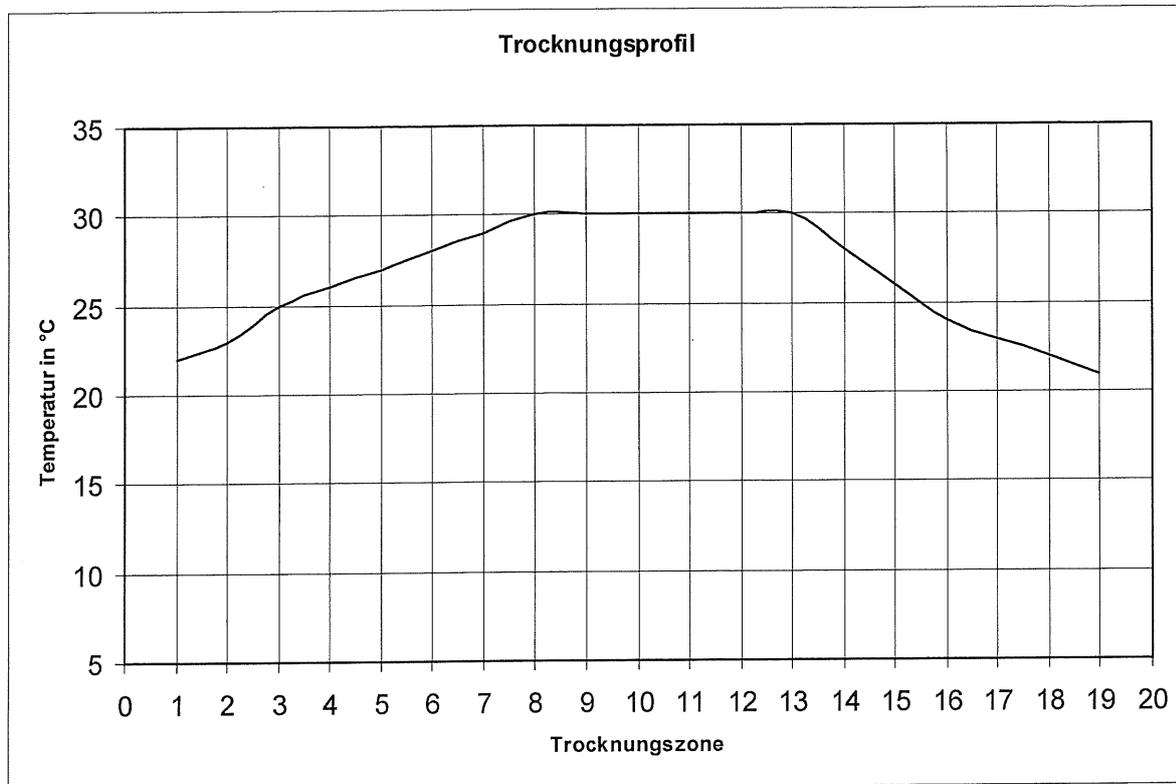


Rote Kurve = Calciumhaltige Emulsionsgelatine
 Blaue Kurve = Calciumfreie Überzugsgelatine

Für die Überführung des entwickelten Referenzmaterials höchster Auflösung an die Technikumsanlage wurde versucht, die Maschinenparameter wie Erstarrungs- und Trocknungstemperatur und Begießgeschwindigkeit so nahe wie möglich denen der vorgesehenen Produktion zu legen.

Im Diagramm 2 ist das für die Beschichtung des Referenzfilmes höchster Auflösung eingestellte Trockenprofil an der Technikumsanlage bei einer Begießgeschwindigkeit von 45m/min dargestellt.

Diagramm 2



Der Trockenpunkt des Materials liegt bei 16.8, das bedeutet kurz vor Ende der Trockenzone 17 von insgesamt 19 Trockenzonen.

Die Wahl der Netzmittel- und Gelatineart ist ebenfalls sehr entscheidend. Hier wurde auf den Erfahrungen aus dem Eurostar-Projekt Milos aufgebaut. Die Netzmittel Empimin und Surfactant 10G wurden ausgewählt, um gemeinsam mit dem Fluortensid die Einstellung der erforderlichen Oberflächenspannungen zu gewährleisten und außerdem dem Filmfehler „helle Wischer“ entgegenzuwirken. Das ist eine im belichteten und entwickelten Film auftretende Fehlererscheinung, gekennzeichnet durch eine deutliche streifen- oder schlierenförmige flächige Dichteinhomogenität in Richtung einer Aufhellung. Dieser Fehler ist oftmals so ausgeprägt, dass Informationsaufzeichnungen auf den betreffenden Stellen nicht möglich sind. Deshalb ist die Entstehung heller Wischer unbedingt zu vermeiden. Weiterhin zu vermeiden sind Begießfehler wie Blasen, Streifen und ähnliches sowie Mikrofehler. Mikrofehler haben eine Größe von $\leq 50 \mu\text{m}$ und sind nur mit Lupe sichtbar. Sie können in Form von Mikrobläschen, hellen oder dunklen Mikropartikelchen, Mikrospänen oder blasenartigen Aufhellungen auftreten. Mikrobläschen (Luftbläschen) stellen sich als winzig kleine kreisrunde Aufhellungen mit dunklem Saum dar. Durch den Einsatz von Liqui-Cell-Membrankontaktoren, die für eine Entgasung von fotografischen Beschichtungslösungen und anderen Flüssigkeiten geeignet sind, werden sie vermieden. In der Begießlösung eingelagerte Mikropartikel wie z.B. Schmutzpartikel oder ungelöste Gelatine erkennt man auf der Filmbahn als dunkle oder helle unförmige Gebilde, wogegen Mikrospäne dünne länglich gestreckte, meist klare (meistens von der Unterlage stammende) Gebilde sind. Das Auftreten von Mikropartikeln bzw. -spänen in der Filmbahn wird durch Filtration mit Filterelementen geringer Porenstruktur ($10\mu\text{m}$) verhindert. Die Mikropartikel und -späne werden in dem Filter zurückgehalten. Blasenartige Aufhellungen sehen, wie der Name schon besagt, ähnlich einer Blase aus, nur sind diese nicht unbedingt kreisrund. Sie können entstehen, wenn z.B. vor der Beschichtung ein Rückschichtübertrag des Trägermaterials auf die Substratseite erfolgt ist. Dann benetzt die Begießlösung an dieser Stelle nicht richtig und es entsteht diese Aufhellung. Auch können durch Auswahl

ungeeigneter Netzmittel bzw. Netzmittelkombinationen und/oder zu geringer Netzmittelmengen solche Störungen auftreten. Deshalb wurde das Netzmittelregime optimiert und der Technikumsanlage angepasst.

Unter Berücksichtigung aller vorhergehend beschriebenen Maßnahmen wurde an der Technikumsanlage ausreichend Filmmaterial einheitlicher Eigenschaften für die Systemprüfung hergestellt. Die notwendige Sicherheit für eine spätere Produktion wurde damit erreicht.

AP14. Überführung des entwickelten Referenzfilmes hoher Auflösung an die Technikumsanlage

Um genügend Mengen für die verschiedensten Untersuchungen zur Verfügung zu haben, wurde auch die Emulsionstypen EM 2 und EM 3 vom Labor- in den Technikumsmaßstab überführt.

Es mussten dabei ebenfalls verschiedene Anpassungsarbeiten am Rezept durchgeführt werden, um zu vergleichbaren fotografischen Eigenschaften analog der Ergebnisse zu denen im Labormaßstab hergestellten Ansätzen zu kommen. Schwerpunkte dieser Arbeiten waren auch u.a. die Optimierung der Durchmischungsverhältnisse (Rührgeschwindigkeit, Einbau von Strombrechern) sowie die Optimierung des Einlaufverhaltens der Silbernitratlösungen hinsichtlich des Erreichens vergleichbarer Korngrößenparameter und Korngrößenverteilung im Vergleich zum Labormaßstab.

Des Weiteren erfolgte eine Feinoptimierung der chemischen Reifung, die auf Grund der zu geringen Emulsionsmengen bei Laboransätzen nicht optimal durchgeführt werden konnte.

Die besten sensitometrischen Ergebnisse der Emulsion EM 2 wurden mit 13,5 ml Golddithiocyanat und 3,0 ml Thiosulfat als Gold-/Schwefelsensibilisator sowie 7,5 ml Benzenthiosulfonsäure (Natriumsalz) als Reduktionssensibilisator (bezogen pro kg Emulsion) erreicht. Die chemische Reifung erfolgte bei 50°C. Das Ausreifoptimum lag bei 150 min. Als Stabilisator wurde Tetraazainden am Optimum zugegeben.

Die besten sensitometrischen Ergebnisse der Emulsion EM 3 wurden mit 9,0 ml Golddithiocyanat und 0,2 ml Thiosulfat als Gold-/Schwefelsensibilisator sowie einer Kombination aus 12,0 ml Benzensulfinsäure (Natriumsalz) und 1,5 ml Kaliummetabisulfit als Reduktionssensibilisator (bezogen pro kg Emulsion) erreicht. Die chemische Reifung erfolgte bei 63°C. Das Ausreifoptimum lag bei 120 min. Als Stabilisator wurde Tetraazainden am Optimum zugegeben.

In den vorhergehenden Arbeitspaketen 6,8,10 und 12 wurde mit den Emulsionen EM2 und EM3 eine Rezeptur für den Referenzfilm hoher Auflösung erarbeitet, in der sowohl die Rheologie der Begießformulierungen als auch die sensitometrischen Daten, die physikalisch-mechanischen Parameter und die Oberflächeneigenschaften des Filmmaterials in einer Vielzahl von Versuchen optimiert worden sind. Auch hier sind bei der Überführung der an einer Versuchsbegießanlage entwickelten Rezeptur an die Technikumsanlage eine Reihe von Aktivitäten erforderlich. Die Ansatzgröße der Begießformulierungen im Technikumsmaßstab ist deutlich größer als an der Versuchsbegießanlage, die Rührbedingungen (Geometrie, Rührgeschwindigkeit) in den Ansatzgefäßen und die Erstarrungs- und Trocknungsbedingungen sind anders. Die Begießgeschwindigkeit ist an die Technikumsanlage anzupassen. Eine Feinabstimmung der Rheologie der Begießformulierungen ist erforderlich, um den Film in guter Qualität herstellen zu können.

Die Herstellung des Referenzfilmes hoher Auflösung erfolgt in einem Dreischichtantrag. Es gelten dieselben Kriterien wie beim Zweischichtantrag, die Oberflächenspannung sollte von der unterlagenahen zur unterlagefernen Schicht abnehmen, die Viskosität sollte in der unteren Schicht möglichst immer etwas höher (bzw. wenigstens gleich) sein als die darauf liegende Schicht.

Die im Arbeitspaket 12 ermittelten für die Versuchsbegießanlage optimalen Netzmittelmengen der Netzmittelkombination (Empimin und Surfactant 10G / zusätzlich Fluortensid in der Schutzschicht) wurden auf die Ansatzgröße der Technikumsanlage hochgerechnet. Die gemessenen Oberflächenspannungen der drei Schichten ergaben im Vergleich zu den kleinen Ansätzen der Versuchsbegießanlage etwas abweichende Werte und wurden durch weitere Netzmittelzugabe korrigiert, um auf passfähige Werte mit einer Abstufung wie im kleinen Maßstab zu kommen. Die in Summe zugegebenen Netzmittelmengen und die dazu ermittelten Oberflächenspannungen sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

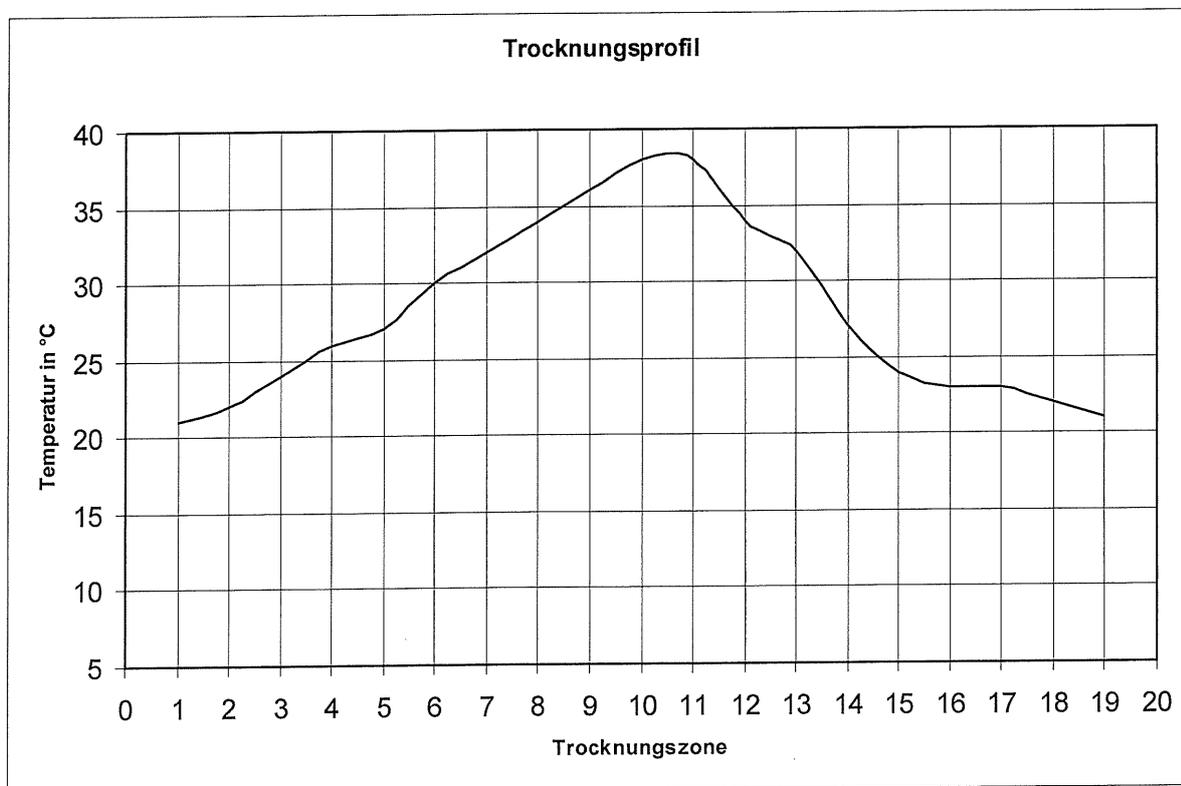
Des Weiteren wurde von den Ansätzen der Technikumsanlage die Viskosität gemessen. Der Wert für die Hilfsschicht lag etwas unter dem der darüber liegenden Emulsionsschicht. Der Hilfsschicht wurde eine weitere Menge an Viskositätssteigerer (Polymer->sulfoniertes Polystyren) zugesetzt. Die gemessenen Viskositätswerte sowie andere wichtige die Begießformulierungen charakterisierende Kenngrößen sind ebenfalls Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9

	Hilfsschicht	Emulsionsschicht	Überzug
pH-Wert	5,92	6,74	8,65
Nassauftrag [ml/m ²]	57,2	40,8	22
Verhältnis Polymer/Gelatine	0,017	0,01	ohne Polymer
Viskosität [mPas]	31,11	23,3	16,08
NM Empimin [g/l]	0,014	0,784	1,534
NM Surfactant 10G [g/l]	0,058	1,584	3,835
Fluortensid [g/l]	-	-	0,58
Oberflächenspannung [mN/m]	37,23	28,52	24,95

Der entwickelte Referenzfilm hoher Auflösung hat mit 120 ml/m^2 einen deutlich höheren Nassauftrag als der Referenzfilm höchster Auflösung. Mit Kenntnis des Feststoffgehaltes der Begießformulierungen und des Nassauftrages des Gesamtschichtverbandes lässt sich auch hier in Kombination mit der Begießgeschwindigkeit ein Trocknungsprofil für die Beschichtung des Filmes ableiten. Hier gelten die gleichen Bedingungen wie beim Referenzfilm höchster Auflösung. Die beschichtete Filmbahn sollte etwa zwei Zonen vor Ende der Trocknungsstrecke trocken sein, damit gewährleistet ist, dass auch etwas dickere Wülste von An- und Abtauchen des Gießers und eventuelle Randwülste trocken sind. Nur so kann ein späteres Verkleben der aufgewickelten Bahn verhindert werden. Da die Länge der Trocknungsstrecke definiert ist, müssen für den Referenzfilm hoher Auflösung mit höherem Nassauftrag die Temperaturen in den einzelnen Trockenzonen erhöht werden, um die Bahn hinreichend zu trocknen. Unter Berücksichtigung des Vermeidens des Fehlers „Runzelkorn“ (siehe AP13) ist ein Trocknungsprofil an der Technikumsanlage optimiert worden. Die eingestellten Maschinenparameter Erstarrungs- und Trocknungstemperatur sowie Begießgeschwindigkeit liegen denen der vorgesehenen Produktion sehr nahe. Im Diagramm 3 ist das für die Beschichtung des Referenzfilmes hoher Auflösung eingestellte Trocknungsprofil an der Technikumsanlage bei einer Begießgeschwindigkeit von 40 m/min dargestellt.

Diagramm 3



Der Trockenpunkt des Materials liegt bei 17,4.

Auf der Grundlage unserer Kenntnisse bei der Entwicklung und Produktion des Ton- und Mikrofilmes und den guten Erfahrungen, die im Rahmen des AP13 hinsichtlich eingesetzter Gelatine und Netzmittel gemacht wurden, finden auch hier ihre Anwendung. Somit konnte die Oberflächenspannung in den drei Schichten gut eingestellt und die Filmfehler „Runzelkorn“ und „helle Wischer“ vermieden werden. Begießfehler und Mikrofehler sind auch im Referenzfilm hoher Auflösung sehr störend und ihrer Entstehung ist unbedingt entgegenzuwirken. Durch den Einsatz von Liqui-Cell-Membrankontaktoren, die für die Entgasung von fotografischen Beschichtungsformulierungen und anderen Flüssigkeiten geeignet sind, wurden Blasen bzw. Mikroblasen auf der beschichteten Filmbahn vermieden. Weiterhin wurden die Begießlösungen mit Filterelementen geringer Porengröße filtriert und somit werden Mikropartikel, Mikrospäne oder auch ungelöste Partikelchen im Filter zurückgehalten und gelangen nicht auf die Filmbahn. Durch die Wahl des Netzmittelregimes und der eingesetzten Netzmittelkonzentrationen werden Benetzungstörungen, wie sie im Arbeitspaket 13 beschrieben sind, vermieden. Alle Maßnahmen wurden bei der Herstellung des Referenzmaterials hoher Auflösung berücksichtigt und eingearbeitet, so dass ausreichend Material einheitlicher Eigenschaften zur Systemprüfung zur Verfügung steht. Die notwendige Sicherheit für eine spätere Produktion wurde damit erreicht.

AP 15: Systemtestung des entwickelten Referenzfilms höchster Auflösung

Beschreibung des HiPerScan Reference Pattern Printer:

Der von Fraunhofer IPM Freiburg entwickelte und hergestellte Reference Pattern Printer besteht aus einer Kamera (Mittelteil) und zwei Magazinen (links und rechts). Die (lichtdichten) Magazine werden mittels Schnellverschluss in die Kamera angedockt. In der Kamera werden die Patternmuster auf das Filmmaterial belichtet; die Belichtungsvorlagen (Pattern) selbst sind werkzeuglos austauschbar (Steckverbindung).

Die Kamera ist lichtdicht ausgeführt mit zu öffnendem Deckel. In der Kamera ist ein Antriebsmotor mit der dazugehörigen Elektronik eingebaut. Dieser Motor zieht den Film aus dem Vorratsmagazin (links) durch die Kamera in das Aufnahmemagazin (rechts). Für die Belichtung wird der Film mittels einer Andruckplatte zunächst an die Belichtungsvorlage angedrückt (goldfarbener Knopf an der Vorderseite des Kamerateils), anschließend wird die Belichtung ausgelöst.

Die Elektronik hat eine Schnittstelle zur Interaktion mit einem externen Notebook (über USB-Anschluss). Über das Notebook werden die Filmtransportlängen und die Belichtungsdaten an die Elektronik des Pattern Printer übergeben sowie die Belichtung ausgelöst.

Zulässige Filmeigenschaften:

Filmbreite 35 mm, mit / ohne Perforation, Filmdicken 65 µm bis 175 µm. Die Filmlänge muss mindestens 1000 mm betragen, bei kürzeren Stücken sind Leaderbänder anzubringen.

Das Beleuchtungsmodul besteht aus LED, Lochblende, Kondensor-Optik und Streuscheiben. Als Lichtquellen sind 3 Einheiten mit jeweils einer LED (Lambda etwa 405 nm (blau), 532 nm (grün) und 650 nm (rot)) vorhanden, welche wahlweise über Steckverbindung für die Belichtung der Patternmuster eingesetzt werden.

Bild 1: Arbeitsplatz HiPerScan Reference Pattern Printer:



Testung des HiPerScan Reference Pattern Printer:

Die Testung des Reference Pattern Printer erfolgte zunächst mit mehreren Filmsorten, für die in der Vergangenheit bereits Belichtungen mit dem vorhandenen Vorgängermodell des Reference Pattern Printer, dem Contact Printer, durchgeführt wurden, insbesondere mit TF 12 d, MA 10 und DP 31 sowie den beiden entwickelten Filmtypen.

Dabei ergibt sich prinzipiell eine vergleichbare Qualität der mit beiden Geräten belichteten Patternmuster.

Auch die Bedienung des Reference Pattern Printer ist gut gelöst (Andocken der Magazine an die Kamera, werkzeugloser Wechsel der Pattern, Umstecken des Anschlusses der für die jeweilige Belichtung eingesetzten LED (blau, grün bzw. rot), Steuerung der Belichtung und Steuerung des Filmtransportes über Notebook).

Um die erweiterten Möglichkeiten des Reference Pattern Printer optimal einsetzen zu können, sind jedoch noch einige Änderungen bzw. Optimierungsarbeiten notwendig:

1. Die maximal mögliche Belichtungsstärke des Reference Pattern Printer ist deutlich geringer als die des Vorgängermodells Contact Printer. Deshalb musste die Schärfe (MTF m50) des Referenzfilms höchster Auflösung ersatzweise mit dem Vorgängermodell Contact Printer bestimmt werden. Um die maximal mögliche Belichtungsstärke des Reference Pattern Printer zu erhöhen, sollte die kürzeste Pulsbreite von derzeit 1 μ s auf beispielsweise 10 μ m erhöht werden.
2. In Abhängigkeit vom Filmmaterial, von der Wellenlänge des Lichtes (blaue / grüne / rote LED) und ggf. vom Raumklima während der Belichtung treten mehr oder weniger stark ausgeprägte Newtonsche Ringe auf, welche die Prüfergebnisse, insbesondere die RMS-Werte, verfälschen können. Hier besteht noch Optimierungsbedarf, insbesondere sollte durch Modifikation der Anordnung der Streuscheiben und Einsatz einer zusätzlichen Milchglasscheibe versucht werden, eine Verbesserung zu erreichen.
3. Ein zukünftiges Haupteinsatzgebiet für den Reference Pattern Printer soll die Belichtung von Patternmustern nach Kundenvorgabe (z. B. als Referenzmuster) sein, d.h. die Realisierung einer vorgegebenen Anzahl von Belichtungen mit vorgegebenen Abständen und vorgegebener Vorspann- und Nachspannlänge. Da zurzeit im Reference Pattern Printer für den Filmtransport keine direkte Längenmessung implementiert ist, sondern der Filmtransport nur durch die Umdrehungen der Aufwickelwalze gesteuert wird, ist dies derzeit nur sehr bedingt möglich. Da mit zunehmender Filmlänge der Wickeldurchmesser der Aufwicklung zunimmt, treten bereits bei einer Filmlänge von ca. 10 m Abweichungen der Ist-Länge von der Soll-Länge von über 25% auf.
4. Die Motorbremse, die den straffen Lauf des Films absichern soll, funktioniert zurzeit noch nicht ordnungsgemäß (Motor läuft falsch herum).

Tabelle 10: Prüfergebnisse des Referenzfilms höchster Auflösung:

Kenngröße	Prüfergebnis
Sensitometrische Kenngrößen:	
Minimale Dichte	0,03
Empfindlichkeit (EZ1)	-23,1 ° ISO
Gradation (grad1)	4,71
Maximale Dichte	4,45
Latentbildstabilität nach 3 Tagen Lagerung	-0,1 ° ISO
Veränderungen nach Heizschranklagerung:	
Minimaldichtedifferenz	0.00
Empfindlichkeitsdifferenz	+0,9
Gradationsdifferenz	0,00
Maximale Dichte nach Heizschranklagerung	4,5
Detailwiedergabeeigenschaften:	
Körnigkeit (RMS-Wert bei Dichte D = 1,0)	*)
Auflösungsvermögen	1180 L / mm
MTF m50	0,92 #)
Lichthofkennzahl	**)
Physikalisch-mechanische Kenngrößen:	
Gesamtdicke	104,3 µm
Spezifische Wasseraufnahme	2,01 g / cm ³

Gleitreibungszahl (Emulsion / Stahl)	0,27
Haftreibungszahl (Emuls. / Stahl)	fehlt
Wölbung	Ei 0,7 mm
Haften (Gitterschnittmethode)	27%
Prüfung auf "helle Wischer"	keine
Oberflächenwiderstand Emulsion	1,6E+12 Ω
Oberflächenwiderstand Rückseite	2,40E+06 Ω
fotografische Kratzempfindlichkeit:	
ohne Belichtung sichtbar bis	60 p
mit Belichtung sichtbar bis	fehlt

*) nicht bestimmbar (Körnigkeit zu gering)

***) nicht bestimmbar (Empfindlichkeit zu niedrig)

#) Belichtung mittels Contact Printer

Bis auf die Empfindlichkeit EZ1 und die Gradation liegen alle Werte im Sollbereich.

Die Gradation ist bei der künftigen Produktion gut über den Silberauftrag zu steuern, so dass dies überhaupt kein Problem darstellt, ganz im Gegenteil können noch Kosten gespart werden.

Die niedrigere Empfindlichkeit dürfte durch die Lichtreserven, die heutige moderne LED's haben, ausgleichbar sein. Wir konnten beide Filme belichten und auswerten. Das ist das Wichtigste für dieses Projekt.

Charakteristische Kurve des Referenzfilms höchster Auflösung:

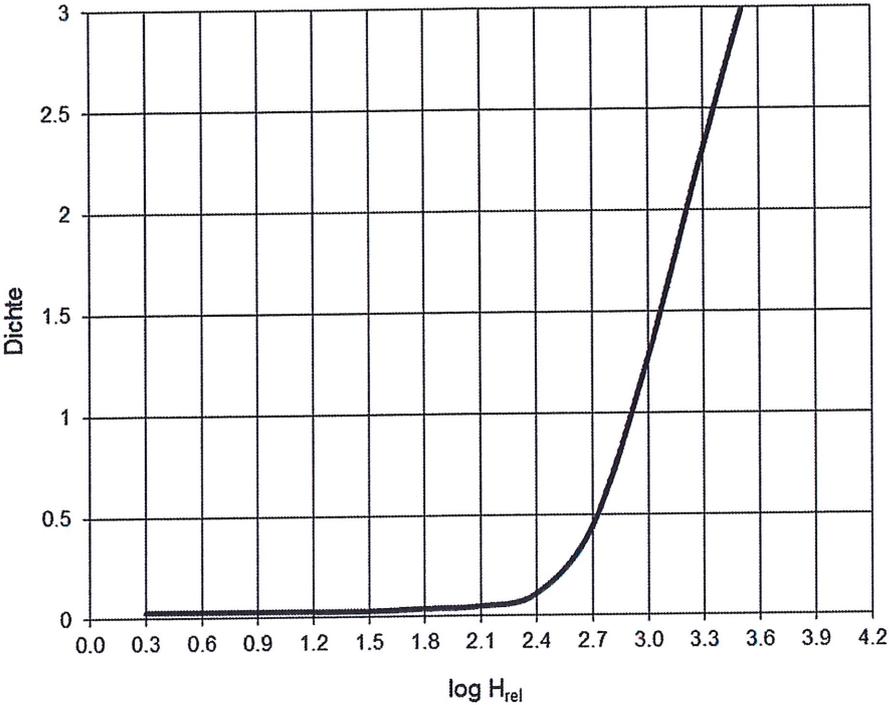
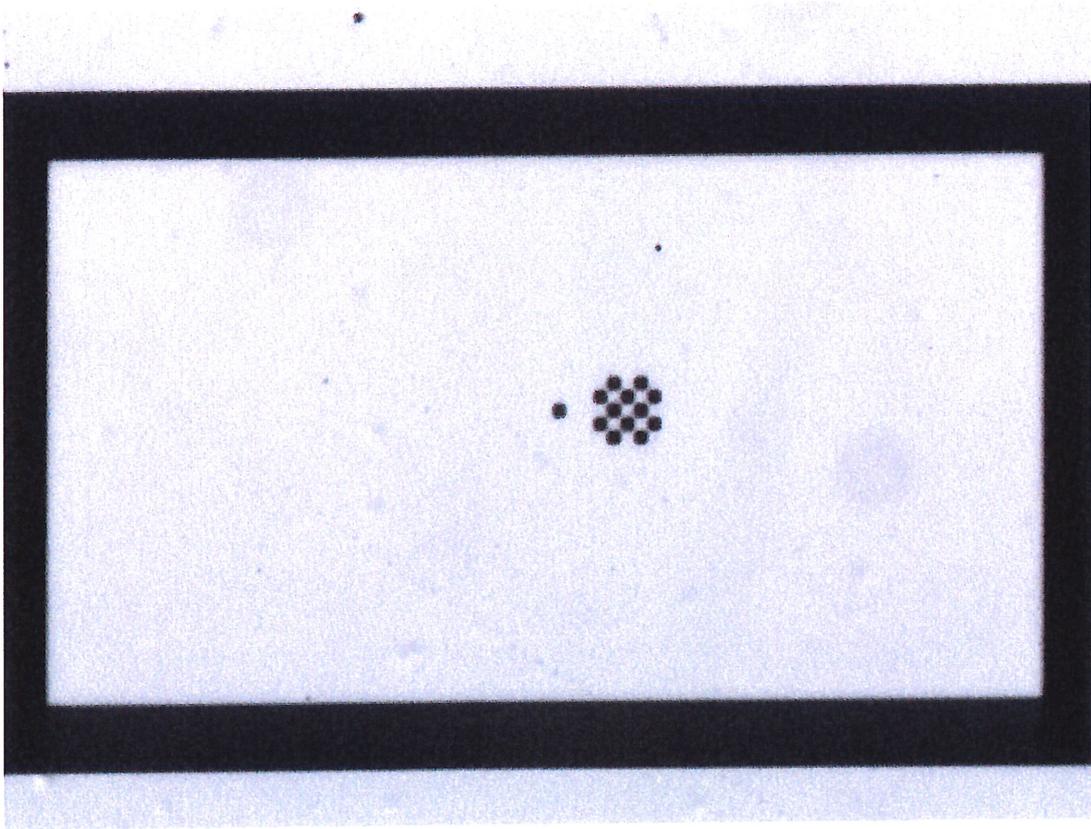


Bild 2: Wiedergabe von 6 µm – Strukturen (Quadrate mit 6 µm Kantenlänge)



AP 16: Systemtestung des entwickelten Referenzfilms hoher Auflösung

Bezüglich des Reference Pattern Printer siehe Ausführungen unter Punkt AP 15.

Tabelle 11: Prüfergebnisse des Referenzfilms hoher Auflösung:

Kenngröße	Prüfergebnis
Sensitometrische Kenngrößen:	
Minimale Dichte	0,03
Empfindlichkeit (EZ1)	13,2
Gradation (grad1)	1,79
Maximale Dichte	3,62
Latentbildstabilität nach 7 Tagen Lagerung	-0,3 °ISO
Veränderungen nach Heizschranklagerung:	
Minimaldichtedifferenz	+0,03
Empfindlichkeitsdifferenz	+0,6 °ISO
Gradationsdifferenz	+0,26
Maximale Dichte nach Heizschranklagerung	4,09
Detailwiedergabeeigenschaften:	
Körnigkeit (RMS-Wert bei Dichte D = 1,0)	11
Auflösungsvermögen (L / mm)	600 L / mm
MTF m50	0,81
Lichthofkennzahl	15

Physikalisch-mechanische Kenngrößen:	
Gesamtdicke	132,2 µm
Spezifische Wasseraufnahme	3,00 g / cm ³
Gleitreibungszahl (Emulsion / Stahl)	0,27
Wölbung	Ei 1,5 mm
Haften (Gitterschnittmethode)	5 %
Prüfung auf "helle Wischer"	keine
Oberflächenwiderstand Emulsion	0,90E+12 Ω
Oberflächenwiderstand Rückseite	6,70E+06 Ω
fotografische Kratzempfindlichkeit:	
ohne Belichtung sichtbar bis	10 - 15 p (Schwärzung)
mit Belichtung sichtbar bis	15 - 20 p (Schwärzung)
Verschrammbarkeit, Hubzahl 10x (Note)	1

) als Info: unentwickelt ungeheizt: 2 % unentwickelt geheizt: 0 %
 entwickelt ungeheizt: 5 % entwickelt geheizt: 10 %

Bis auf eine kleine Überschreitung der Gradationsveränderung bei der Heizschranklagerung liegen alle Werte im Sollbereich. Dies ist aber kein kritischer Wert.

Charakteristische Kurve des Referenzfilms hoher Auflösung:

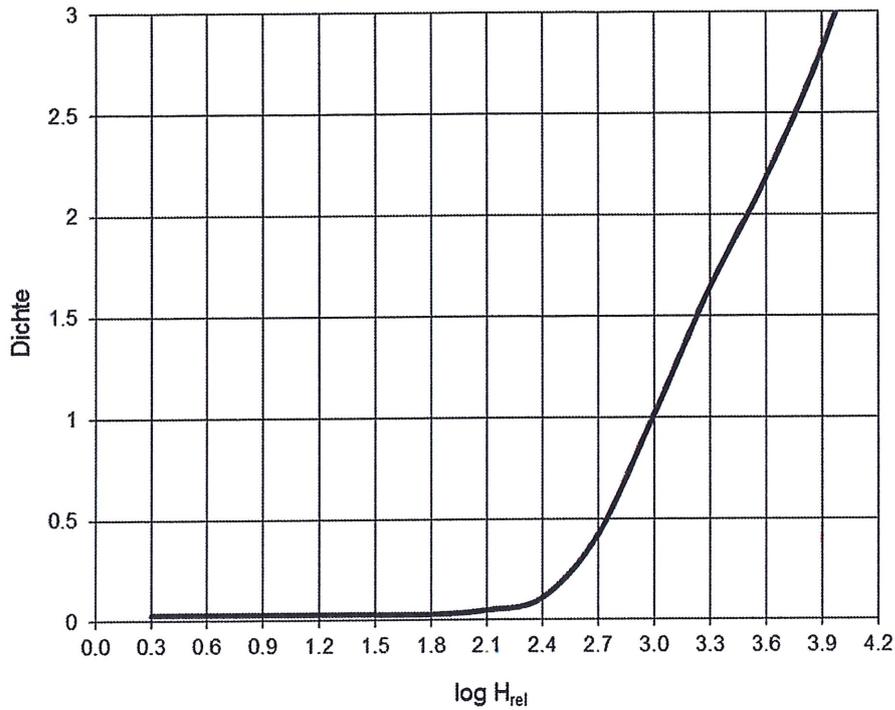
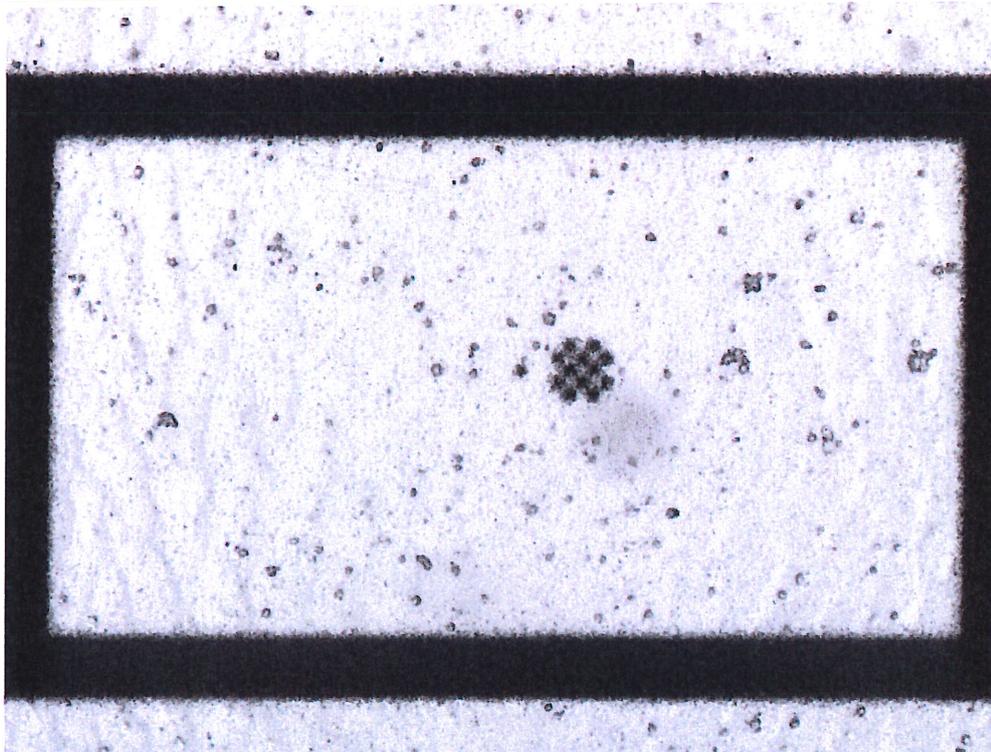


Bild 3: Wiedergabe von 6 µm – Strukturen (Quadrate mit 6 µm Kantenlänge)



Zum Schluss des Projektes erfolgte noch der sogenannte Loop-Test. Dazu wurden Muster am Pattern-Printer belichtet und Entwickelt. Diese Muster sind dann in Drammen an dem neu entwickelten Hochleistungsscanner bei verschiedenen Geschwindigkeiten erfolgreich getestet worden. Das System konnte bis zu 3µm Strukturen erfassen.

Literatur

- [1] Werner Walther, Fotografisches Verfahren mit Silberhalogeniden. Fotokinoverlag Leipzig
- [2] Böttcher. Epperlein, Moderne fotografische Systeme, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- [3] Research Disclosure, Februar 1995 / 79
- [4] Berichtssammlung der ORWO Filmfabrik, bei FEW Chemicals GmbH in Wolfen
- [5] Berichtesammlung der FilmoTec GmbH in Wolfen
- [6] Qualitätsmanagementsystem der FilmoTec GmbH in Wolfen

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind im Verwendungsnachweis ausführlich dargestellt. Diese Positionen sind

- Die Materialkosten mit 75.317,91EUR Plan 80.000 EUR
- Die Personalkosten 320.176,25 EUR Plan 283.586,47 EUR
- Die Reisekosten mit 2.353,59 EUR Plan 19.900,00 EUR

Im Verlauf der Projektbearbeitung waren 4 Änderungsanträge notwendig. Diese wurden beantragt und auch bewilligt.

Im Einzelnen ist dies

- Der 1. Änderungsbescheid vom 13.10.2015
- Der 2. Änderungsbescheid vom 04.01.2017
- Der 3. Änderungsbescheid vom 21.08.2017
- Der 4. Änderungsbescheid vom 28.08.2017

Während es bei den ersten beiden Änderungsbescheiden um Korrekturen zwischen den Personalkosten und Materialkosten ging, die in Folge der Arbeiten und von Personalveränderungen während des Projektes abgeglichen worden, ging es beim 3. Änderungsbescheid um eine Mittelvorziehung und beim 4. Änderungsbescheid um die Umwidmung von Reisekosten in Personalkosten.

Dies Umwidmung und auch Vorziehung waren nötig geworden, da bei den Arbeitspaketen 13 und 14 (Überführung in den Technikumsbereich) überraschend Schwierigkeiten mit Mikrofehlern auftauchten, die eine intensive Bearbeitung bedurften. Zum Glück wurden die geplanten Reisekosten nicht voll ausgeschöpft, so dass die Reserve für die Finanzierung der zusätzlichen Arbeiten genutzt werden konnten.

Die Endabrechnung lag in dem kalkulierten Bereich, wobei die Reisekosten zu Gunsten der Personalkosten reduziert worden sind.

3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Mitarbeiter der FilmoTec GmbH haben jahrzehntelange Erfahrung bei der Entwicklung von Spezialfilmen und bei der Testung von neuen Geräten und Anlagen. So kann davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich nur die unbedingt notwendigen Versuche und Teste durchgeführt wurden.

Trotzdem stellt sich an manchen Stellen heraus, dass Entwicklungen anders verliefen als geplant. In diesen Fällen wurden in Abstimmung mit der DLR Änderungen der Mittelverwendung mit Begründung beantragt und dann auch genehmigt.

Damit konnte abgesichert werden, dass sowohl die bereitgestellten Mittel wie auch die aufzuwendenden Kapazitäten optimal eingesetzt wurden.

4. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschrieben Verwertungsplanes

Mit dem Projekt HiPerScan ist es uns gelungen den Nachweis zu erbringen, dass der konzipierte Patter-Printer in der Lage ist automatische Belichtungen durchzuführen. Gleichzeitig wurden Spezialfilme entwickelt, die für verschiedene Anwendungsbereiche in der industriellen Bildverarbeitung einsetzbar sind. Die Bewertung dieser Materialien hinsichtlich Bildgüte und der mechanischen Stabilität entsprachen unseren Erwartungen. Außerdem konnte auch nachgewiesen werden, dass ein hochmoderner Scanner diese Daten auf unseren Filmen erfasst und verarbeiten kann. Damit ist die Basis für die Umsetzung des Verwertungsplanes gegeben.

In der derzeitigen Phase sind noch kleinere Korrekturen an dem Belichter notwendig, die mit dem Fraunhofer Institut abgestimmt sind. Diese notwendigen Arbeiten haben sich aus dem Dauertest ergeben.

Im nächsten Schritt werden wir dann die bereits genannten Firmen wie Stemmer Imaging GmbH oder Cognex besuchen und die bereits vorab besprochenen Arbeiten zur Entwicklung von Normalen, Standards oder Mustern beginnen. Damit schreiben wir den Verwertungsplan fort.

5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekanntgewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Uns und auch Dritten sind keine Informationen zugekommen, dass an anderen Stellen das gleiche Thema bearbeitet wird.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnis nach Nr.11

Bisher sind durch uns noch keine Ergebnisse veröffentlicht. Im Laufe des Jahres werden wir unsere Ergebnisse auf unserer Internetseite veröffentlichen und so der Allgemeinheit die Ergebnisse zur Verfügung stellen.

