

INFOR-Projekt Nr. 105

**Entwicklung eines Messverfahrens zur objektiven
Bestimmung der Markierungsempfindlichkeit matt-
gestrichener grafischer Papiere**

Schlussbericht

März 2008

Technische Universität Dresden
Professur für Papiertechnik

Prof. Dr.-Ing. H. Großmann

Projektleiter:
Dipl.-Wirtsch.-Ing. D. Eckert

Papiertechnische Stiftung PTS
Heidenau

Dr. A.-B. Kerkhoff

Dr.-Ing. R. Klein



Abschlussbericht

Entwicklung eines Messverfahrens zur objektiven Bestimmung der Markierungsempfindlichkeit matt-gestrichener grafischer Papiere (INFOR-Projekt Nr. 105)

Prof. Dr.-Ing. H. Großmann (TU Dresden),
Dr.-Ing. R. Klein (PTS Heidenau)
Dipl.-Wirtsch.-Ing. D. Eckert (TU Dresden)

März 2008

Projektbegleiter: R. Stephan (Vorsitzender) Sappi Alfeld GmbH G. Brümmer Nordland Papier GmbH J. Jörn Nordland Papier GmbH H.-G. Siemer Nordland Papier GmbH	Das Forschungsprojekt wird gefördert über das Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V., Bonn
--	--

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	1
2 Glanzmarkierungen als Folge von Reibung und Verschleiß	2
3 Entwicklung einer Methode zur Messung der Markierungsempfindlichkeit matt gestrichener Papiere	5
3.1 Allgemeine Aspekte	5
3.2 Probenmaterial	6
3.3 Definierte Erzeugung von Markierungen	7
3.3.1 Rotations-Tribometer	7
3.3.2 Prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät	8
3.4 Markierungsbewertung	9
3.4.1 Allgemeine Aspekte	9
3.4.2 Visuelle Bewertung mittels paarweisem Vergleich	10
3.4.3 Vergleich Rotations-Tribometer und prüfbau Scheuerprüfgerät	11
3.4.4 Bewertung bzw. Abschätzung der Markierempfindlichkeit mittels konventioneller Papiereigenschaften.....	12
3.4.5 Ortsaufgelöste Oberflächenglanz Betrachtung und bildanalytische Bewertung	12
3.5 Methode zur Bewertung der Markierungsempfindlichkeit.....	16
4 Anwendung der Methodik auf die Strichentwicklung	16
4.1 Strichrezepturen und Laborstreichversuche	16
4.2 Markierungsempfindlichkeit der Strichrezepturen.....	18
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	20
Literaturverzeichnis	21

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Praxisrelevante Beispiele für Glanzmarkierungen.....	1
Abb. 02: Mattpapieroberfläche (makrorau / mikrorau) mit Glanzmarkierungen	2
Abb. 03: Effektive Kontaktfläche zweier Oberflächen	3
Abb. 04: Visualisierung der Topografie einer Markierung mittels chromatischem Sensor (Nanoskope)	3
Abb. 05: Visualisierung von Markierungen mittels REM bei verschiedenen Vergrößerungen	4
Abb. 06: Tribosystem gemäß DIN 50320.....	5
Abb. 07: Markierungsempfindlichkeit als Reaktion auf eine definierte flächenbezogene Reibarbeit.....	6
Abb. 08: Rotations-Tribometer – modifizierter Messaufbau.....	7
Abb. 09: Prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät	8
Abb. 10: Definierte Erzeugung von Markierungen mit modifiziertem prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät (Probe IP 7)	9
Abb. 11: Vergleich unterschiedlich strukturierter Oberflächenglanzmarkierungen.....	9
Abb. 12: Messsystem zur visuellen Bewertung von Glanzmarkierungen	10
Abb. 13: Visuelles Ranking der matt gestrichenen Industripapiere hinsichtlich Markierungsempfindlichkeit.....	11
Abb. 14: Vergleich der Scheuerergebnisse von Tribometer und Quartant Scheuerprüfgerät.....	11
Abb. 15: Vergleich von Rauigkeit und Glanz mit der Markierempfindlichkeit.....	12
Abb. 16: Verfahren zur orts aufgelösten Erfassung des Oberflächenglanzes	13
Abb. 17: Vergleich der visuellen Bewertung (paarweiser Vergleich) der realen Proben mit den Scheuerbildern	13
Abb. 18: Bildanalytische Bewertung der Markierungsempfindlichkeit mittels DOMAS.....	14
Abb. 19: Bildanalytische Bewertung der Markierungsempfindlichkeit mittels modifizierter PTS-Methode.....	15
Abb. 20: Variationsbreite der Scheuerergebnisse – DOMAS-Bewertung	15
Abb. 21: Ablaufschema der Methode zur Bewertung der Markierempfindlichkeit matt gestrichener Papiere	16
Abb. 22: Laborstreichmaschine (DT-Coater)	17
Abb. 23: Markierempfindlichkeit von Mattstrichrezepturen (Laborstreichversuche)...	18
Abb. 24: Markierempfindlichkeit der vertiefenden Laborstreichversuche.....	19

Abkürzungsverzeichnis

A	Effektive Kontaktfläche
A_0	Nominelle Kontaktfläche
AFM	Atomic force microscope
CCD	Charge Coupled Device
Co-occ	Co-occurrencematrix
DIN	Deutsches Institut für Normung
F_N	Normalkraft
F_R	Reibkraft
IP	Industriell gestrichenes Probematerial
IR	Infrarot
m_A	Flächenbezogene Masse
PPS	Parker print surf
PV	Paarweiser Vergleich
PSA	Powerspektrumsanalyse
R_{457}	Reflexionsfaktor bei einer Wellenlänge von 457 nm (Weißgrad)
$R_{A(B)}$	Reaktion von Probe A (bzw. B)
REM	Rasterelektronenmikroskop
SG	Mit einer Laborstreichanlage gestrichenes Probematerial
Tappi	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
W_{RA}	Flächenbezogene Reibarbeit
WG	Weißgrad

Tabellenverzeichnis

Tab. 01: Probenmaterial	7
Tab. 02: Stichrezepturen u. wesentliche Eigenschaften laborgestrichener Papiere ..	17
Tab. 03: Stichrezepturen der vertiefenden Streichversuche	19

1 Einleitung

Auf Mattpapieren gedruckte Produkte lassen sich bei fast allen Beleuchtungssituationen deutlich besser und ermüdungsfreier lesen als solche auf glänzenden oder gar hochglänzenden Papieren. Dank dieser Eigenschaft konnten matt gestrichene Papiere in den letzten Jahren sehr erfolgreich am Markt eingeführt werden, vor allem in Bereichen, in denen ein repräsentativ-informationsbetontes Erscheinungsbild erwünscht ist.

Matt gestrichene Papiere zeichnen sich vor allem durch deutlich niedrigeren Glanz der Oberfläche im Vergleich zu geglätteten Druckpapieren aus. Eine allgemein anerkannte, exakte Definition des Begriffes „matt“ gibt es jedoch nicht, wodurch eine einheitliche Stufung der Papiere erschwert wird. Im Allgemeinen werden gestrichene Papiere mit einem Glanzwert nach Tappi 75° (DIN 75 °) zwischen 0 % und 20 % (5 %) als matt und solche mit einem Wert zwischen 20 % (5 %) und 40 % (10 %) als halbmatt (auch „Satinpapiere“ oder „seidenmatte Papiere“) bezeichnet¹. Im vorliegenden Beitrag wird auf beide Qualitätsgruppen eingegangen.

Neben der beschriebenen positiven Eigenschaft weisen matt gestrichene Papiere jedoch den Nachteil auf, dass ihre Oberfläche häufig sehr empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung ist. Diese so genannte „Markierungsempfindlichkeit“, die die Papier erzeugende und Papier verarbeitende Industrie seit Jahren beschäftigt, äußert sich in Form von irreversiblen, die Qualität mindernden Glanzstellen (Markierungen) als Folge äußerer Kräfte, wie sie bei der Weiterverarbeitung sowie beim Bedrucken nicht ausgeschlossen werden können². Tatsächlich birgt jede Verarbeitungsstufe, bei der Oberflächenkontakte unter Druck bei gleichzeitiger Relativbewegung zwischen den Papierbögen oder zwischen Papier und Maschinenteilen auftritt, die Gefahr der Entstehung von Markierungen^{3,4}. Einige praxisrelevante Beispiele typischer Glanzmarkierungen enthält die **Abb. 01**.

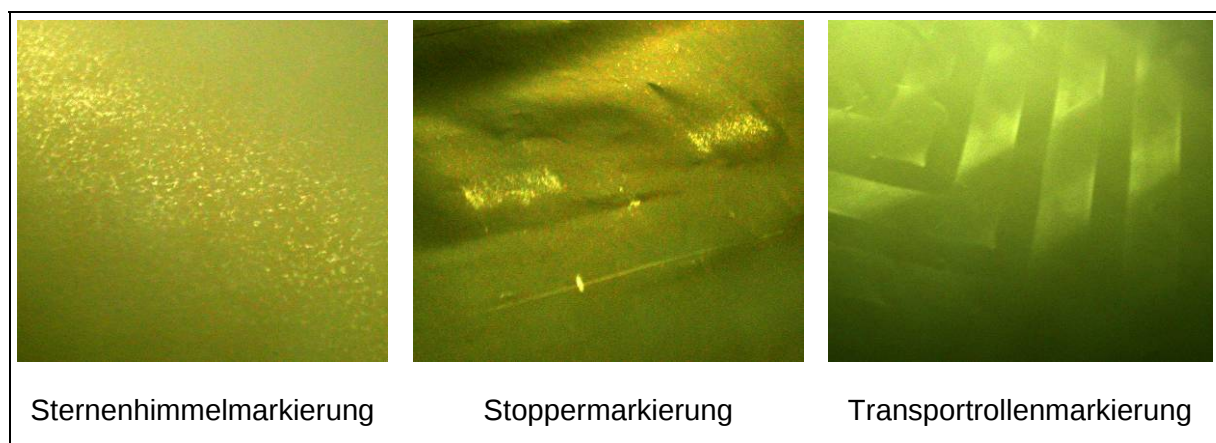


Abb. 01: Praxisrelevante Beispiele für Glanzmarkierungen

Um markierungsbedingte Qualitätsminderungen zu vermeiden, werden seitens der Papierindustrie umfangreiche Forschungsarbeiten zur Entwicklung markierungsresistenter Striche durchgeführt⁵. Gleichzeitig arbeitet der Maschinenbau an der Minimierung der Druck-, Reib- und Scherkräfte in den Verarbeitungsmaschinen.

Grundlage der Bewertung des Erfolges dieser Bemühungen ist jedoch die objektive, reproduzierbare Messung der Markierungsempfindlichkeit von matt gestrichenen Papieren. Ein entsprechendes Verfahren wird seit Jahren von der Industrie gefordert, war aber bisher nicht verfügbar. Mit finanzieller Unterstützung durch die Papierindustrie, wofür hier gedankt wird, ist in einem gemeinsamen INFOR-Projekt der Technischen Universität Dresden und der Papiertechnischen Stiftung Heidenau nunmehr eine Methode zur Bewertung jener Oberflächeneigenschaft entwickelt worden.

2 Glanzmarkierungen als Folge von Reibung und Verschleiß

Eine Papieroberfläche erscheint matt, wenn das eingestrahlte Licht von dieser aufgrund der rauen Oberflächenstruktur vorrangig diffus reflektiert wird, d. h. mit steigendem diffusen Anteil nimmt der matte Charakter zu (**Abb. 02**). Mattstrichrezepturen zeichnen sich daher insbesondere durch einen hohen Anteil rhomboedrischer Pigmentpartikel aus, welche der Oberfläche eine Mikrokörnung und gleichzeitig ein hohes abrasives Potenzial verleihen.

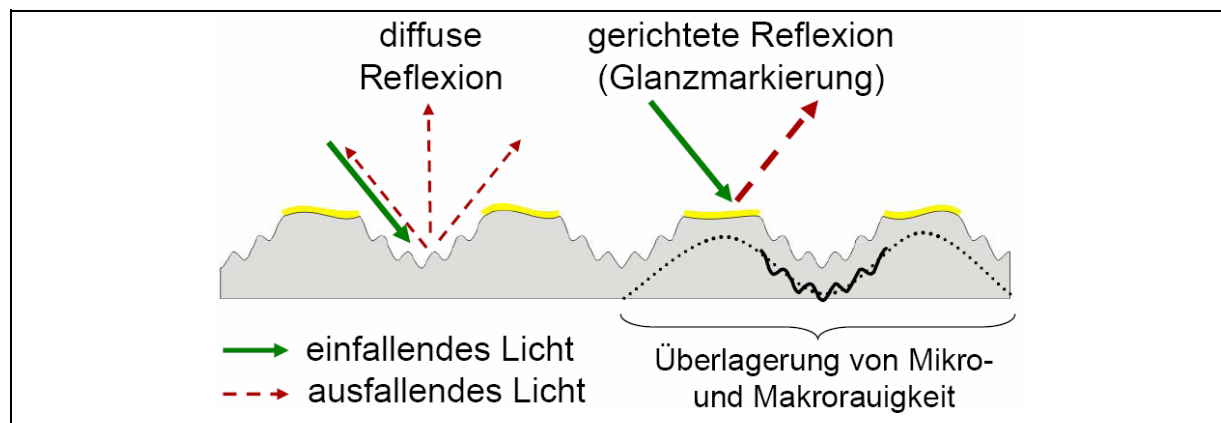


Abb. 02: Mattpapieroberfläche (makrorau / mikrorau) mit Glanzmarkierungen

Oberflächenkontakte zwischen Mattpapieren bzw. Mattpapier und anderen Oberflächen bei gleichzeitig wirkenden Druck- und Reibungskräften können Veränderungen der mikrorauen Oberflächenstruktur bewirken, wodurch das auftreffende Licht an der Oberfläche lokal gerichtet reflektiert wird (**Abb. 02**). Diese Bereiche werden vom Menschen als glänzende Stellen wahrgenommen und als Glanzmarkierungen bezeichnet.

Reale Papieroberflächen weisen sowohl regelmäßige als auch unregelmäßige Abweichungen von der ideal glatten Oberfläche auf. Sie werden hervorgerufen durch die Formation des Basispapiers (Makrorauigkeit), die Zusammensetzung des Strichs (Mikrorauigkeit), insbesondere dem Pigmenttyp sowie der Art und der Intensität der thermisch-mechanischen Oberflächenbehandlung. Die für die Entstehung von Markierungen entscheidende Relativbewegung unter Druck erfolgt somit nicht in der nominellen Kontaktfläche A_0 (Berührungsfläche) sondern in einer effektiven Kontaktfläche A , wobei stets gilt: $A < A_0$ (**Abb. 03**).

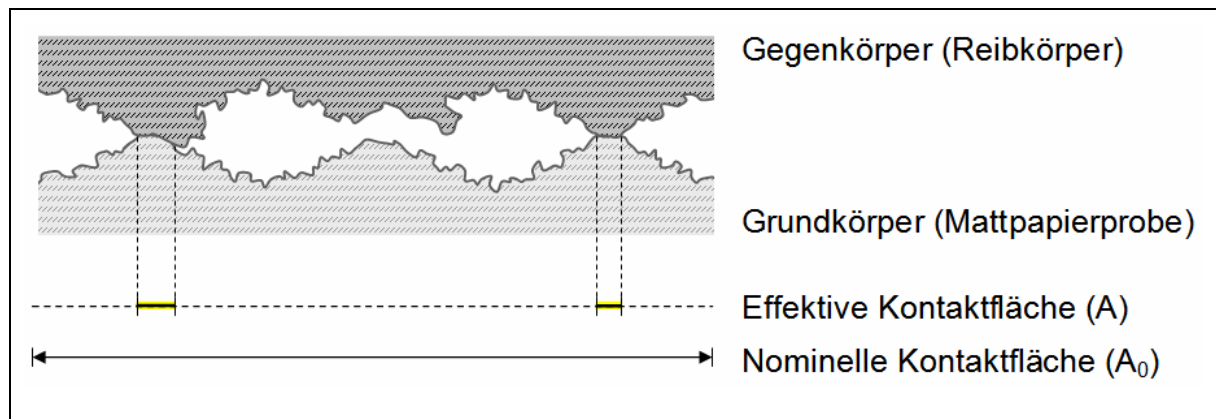


Abb. 03: Effektive Kontaktfläche zweier Oberflächen

Die Ausprägung der effektiven Kontaktfläche ist in hohem Maße von der Oberflächenbeschaffenheit der beiden Reibpartner abhängig. Im Falle der Reibung zweier Oberflächen hoher Rauigkeit kann es zum Auftreten von „Verzahnungseffekten“ kommen, wobei auch Reibung an Stellen hervorgerufen werden kann, welche nicht die jeweils höchsten z-Koordinaten repräsentieren.

Insbesondere während der Formatausrüstung, also bei der Verarbeitung im Querschneider, wird die Paperoberfläche beim Transport, beim Vereinzeln sowie beim Stapeln der Bögen stark beansprucht. Die dabei generierten Glanzmarkierungen unterscheiden sich in ihrer Gestalt und Ausprägung. Sie können sowohl kleinflächig und fein verteilt als auch großflächig und zusammenhängend auftreten. Ebenso variieren die Glanzwerte der Markierungen.

Die optisch durch den Menschen in Form von partiellem Glanz wahrnehmbaren Markierungen von matt gestrichenen Papieren können auch messtechnisch als Oberflächenstrukturänderung visualisiert und quantifiziert werden (**Abb. 04**).

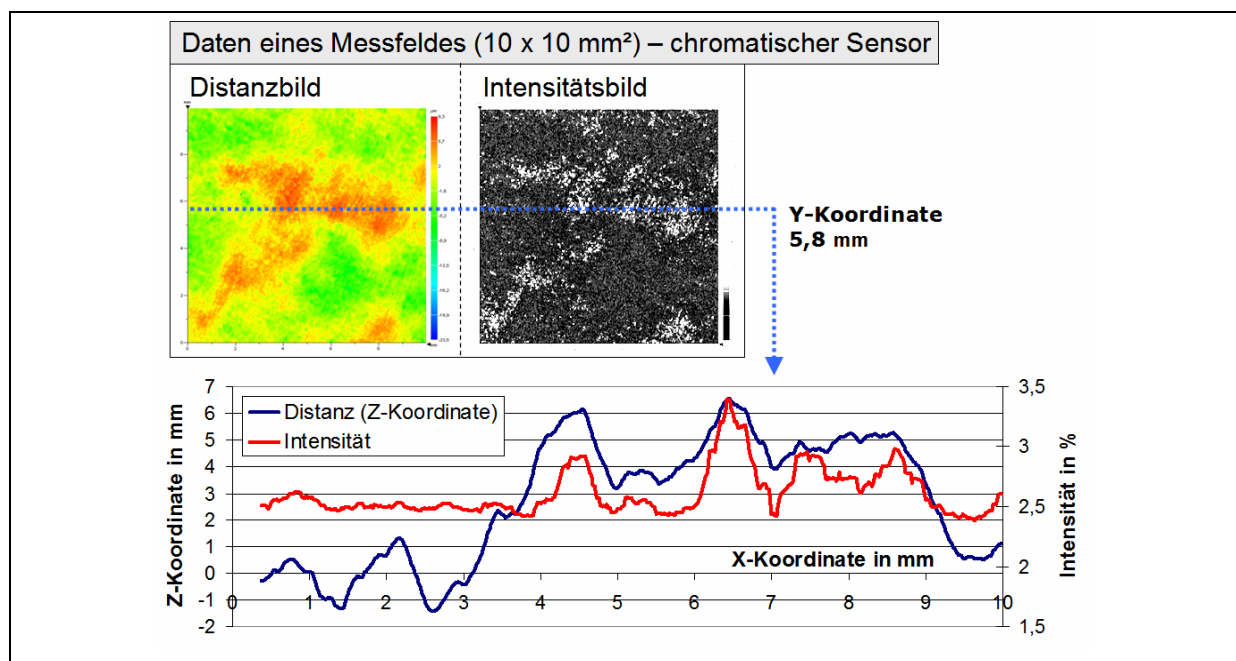


Abb. 04: Visualisierung der Topografie einer Markierung mittels chromatischem Sensor (Nanoskope)

In **Abb. 04** sind sowohl ein 3D-Bild einer Glanzmarkierung als auch der Verlauf der Oberflächenstruktur und der dazugehörigen Intensität entlang einer Messlinie, aufgenommen mit einem chromatischen Sensor, dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Glanzmarkierungen an den erhabenen Stellen der Papierstruktur auftreten, was die in **Abb. 03** getroffene Modellvorstellung bestätigt. Die Erhebungen liegen hier im Bereich von 3-6 μm . Tendenziell folgt die Intensität der Topografie, was in der erhöhten Lichtreflexion der Glanzstellen begründet ist.

Eine weitere Möglichkeit zur Visualisierung von Glanzmarkierungen bietet das Rasterelektronenmikroskop (REM). In **Abb. 05** werden REM-Sekundärelektronenaufnahmen einer Markierung bei unterschiedlicher Vergrößerung gezeigt.

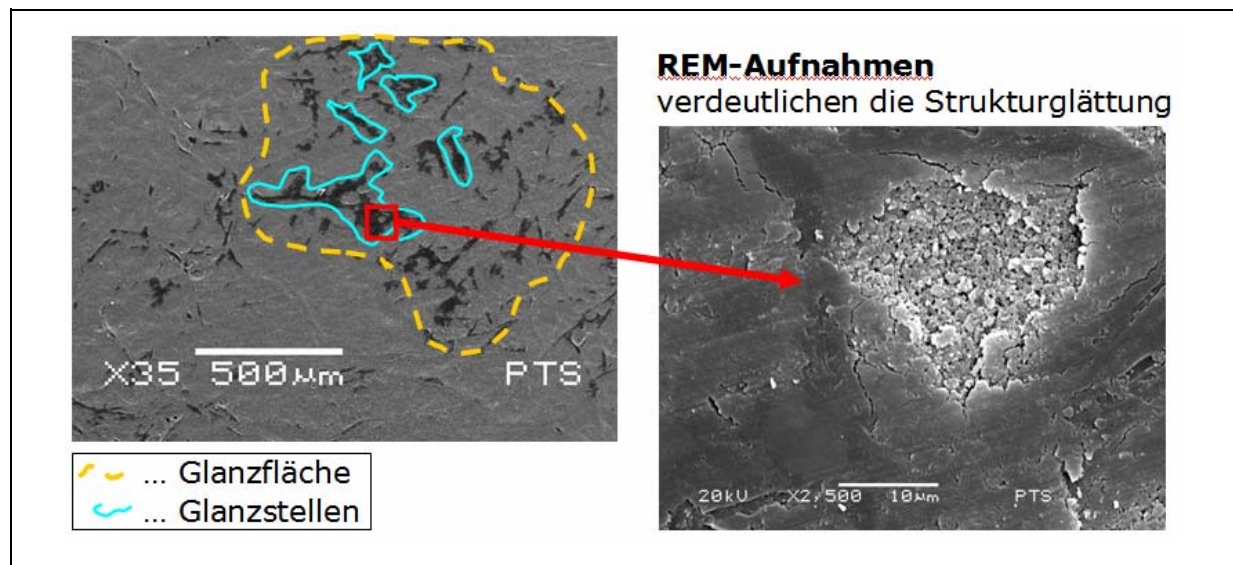


Abb. 05: Visualisierung von Markierungen mittels REM bei verschiedenen Vergrößerungen

Bei einer 35-fachen Vergrößerung sind die markierenden Oberflächenbereiche als dunkle Struktur zu erkennen. Es ist ersichtlich, dass die Markierungen teilweise dem Verlauf der Fasern des Basispapiers folgen, was den Einfluss der Formation auf die Markierungsempfindlichkeit des gestrichenen Papiers verdeutlicht. Die Anhebung der Vergrößerung auf das 2500-fache bringt die Einebnung der rauen Oberflächenstruktur durch die beim Scheuern wirkenden Kräfte zum Ausdruck. Der tiefer liegende Oberflächenbereich hat dagegen seine grobe Struktur und damit das diffuse Reflexionsvermögen behalten.

3 Entwicklung einer Methode zur Messung der Markierungsempfindlichkeit matt gestrichener Papiere

3.1 Allgemeine Aspekte

Die partielle Veränderung der Topografie von Mattpapieren durch Oberflächenbeanspruchungen (z. B. Scherkräfte) kann als sogenanntes Tribosystem betrachtet werden, welches sich aus Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenstoff und Umgebungsmedium (im Falle der Papierverarbeitung ist dies meist Luft) zusammensetzt (**Abb. 06**). Grund- und Gegenkörper können aus dem gleichen Material oder unterschiedlichen Materialien bestehen. Jede beim Kontakt zwischen diesen Körpern auftretende Oberflächenbeanspruchung kann durch die zwei Verlustgrößen Reibung und Verschleiß beschrieben werden.

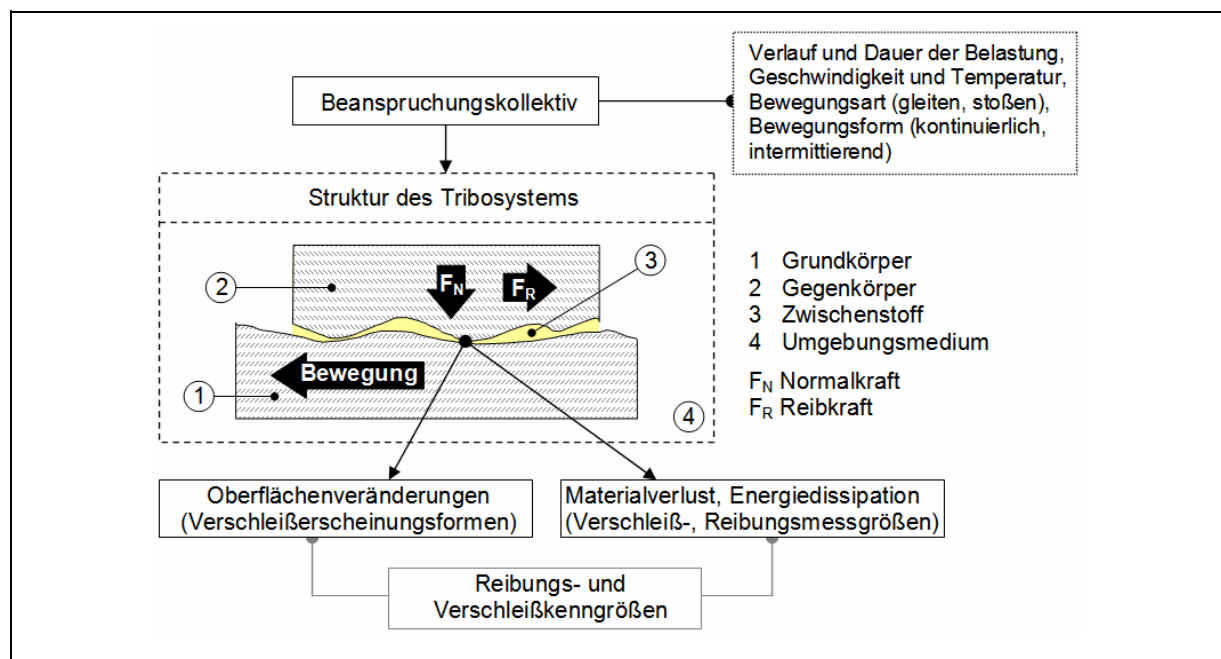


Abb. 06: Tribosystem gemäß DIN 50320

Reibung ist dabei auf Wechselwirkungen zwischen den sich berührenden Stoffbereichen der Körper zurückzuführen und wirkt einer Relativbewegung entgegen. Sie wird charakterisiert durch den statischen und den dynamischen Reibungskoeffizient. Dies sind Materialkenngrößen, die in Folge der Oberflächenänderung meist nicht konstant sind. Dagegen beschreibt der Verschleiß den Materialverlust aus der Oberfläche bzw. die partielle Verdrängung von Materialbestandteilen in die tieferen Oberflächenbereiche der Körper. Mögliche Maßzahlen sind die Abtragtiefe der Oberfläche als Veränderung des Mittelwertes der Profilordinaten, die gemittelte Rautiefe oder die Materialanteile (Abbottkurve).

Durch die Quantifizierung der Reibungs- und Verschleißkenngrößen (Reaktion) unter definierten Rahmenbedingungen wie z. B. hinsichtlich Druck und Scheuergeschwindigkeit (flächenbezogene Reibarbeit) ist es möglich, Mattpapierqualitäten bezüglich ihrer Markierungsempfindlichkeit zu analysieren und zu differenzieren (**Abb. 07**).

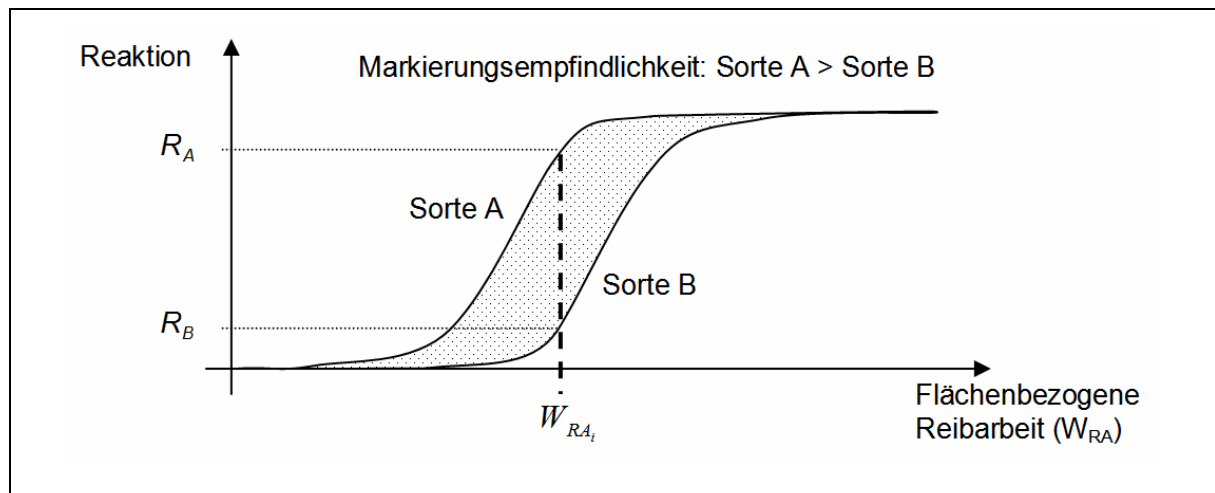


Abb. 07: Markierungsempfindlichkeit als Reaktion auf eine definierte flächenbezogene Reibarbeit

Da die marginalen Strukturänderungen in Folge der Reibbeanspruchung nur mit speziellen Messgeräten (z. B. AFM oder REM), die nicht zur klassisch verfügbaren Labortechnik gehören, ermittelt werden können, wird zur Quantifizierung der bezeichneten Reaktion auf eine indirekte Bestimmungsmethodik, auf Basis der entstandenen Glanzstellen, zurückgegriffen. Dies ist insofern sinnvoll, da nicht die Strukturänderungen per se, sondern die hierdurch hervorgerufenen Glanzstellen zu Reklamationen führen. Darüber hinaus zeigten die Untersuchungen, dass auftretende Strukturänderungen in Abhängigkeit der eingesetzten Pigmente nicht zwangsläufig zu glänzenden Stellen führen.

Die entwickelte Methode umfasst daher zwei Grundbausteine. Im ersten Schritt wird das Probenmaterial einer definierten Scheuerbeanspruchung unterzogen. Anschließend wird das Scheuerergebnis – das Erscheinungsbild der entstandenen Glanzmarkierungen – quantitativ bewertet, wobei die digitale Bildanalyse eingesetzt wird. Als Vergleichsbasis für die bildanalytische Bewertung wurde auf die visuelle Beurteilung des Probenmaterials mittels paarweisem Vergleich orientiert.

3.2 Probenmaterial

Die Methodenentwicklung erfolgte anhand matt gestrichener Industripapiere, die hinsichtlich der Markierungsempfindlichkeit den breiten Bereich von unempfindlich bis extrem anfällig abdeckten.

Tab. 01 enthält eine Zusammenstellung von zehn ausgewählten Papieren sowie wesentliche Eigenschaften derselben.

Es wurden Papiere mit einer flächenbezogenen Masse größer 100 g/m² betrachtet. Hinsichtlich der Oberflächenrauigkeit nach Parker Print Surf reichte die Palette von relativ glatt bis sehr rau bei einer Dominanz der glatteren Papiere. Die Spannweite des Weißgrades umfasste 4,2 %-Punkte. Glanzseitig (ungescheuert) wurden matte bis extrem matte Papiere betrachtet.

Tab. 01: Probenmaterial

Nr.	m_A in g/m ²	Glanz DIN* 75° in %	R_{457} in %	PPS in µm	PV-Index**
IP1	150	2,7	90,8	4,13	-41
IP2	135	7,4	93,0	1,60	56
IP3	150	7,8	93,0	1,72	77
IP4	135	8,0	94,3	1,58	17
IP5	135	7,9	94,1	1,38	32
IP6	115	7,4	91,6	1,69	-78
IP7	150	9,7	91,9	1,62	10
IP8	150	8,1	90,2	1,81	69
IP9	120	0,2	94,4	5,69	-100
IP1	150	2,9	91,7	3,11	-29

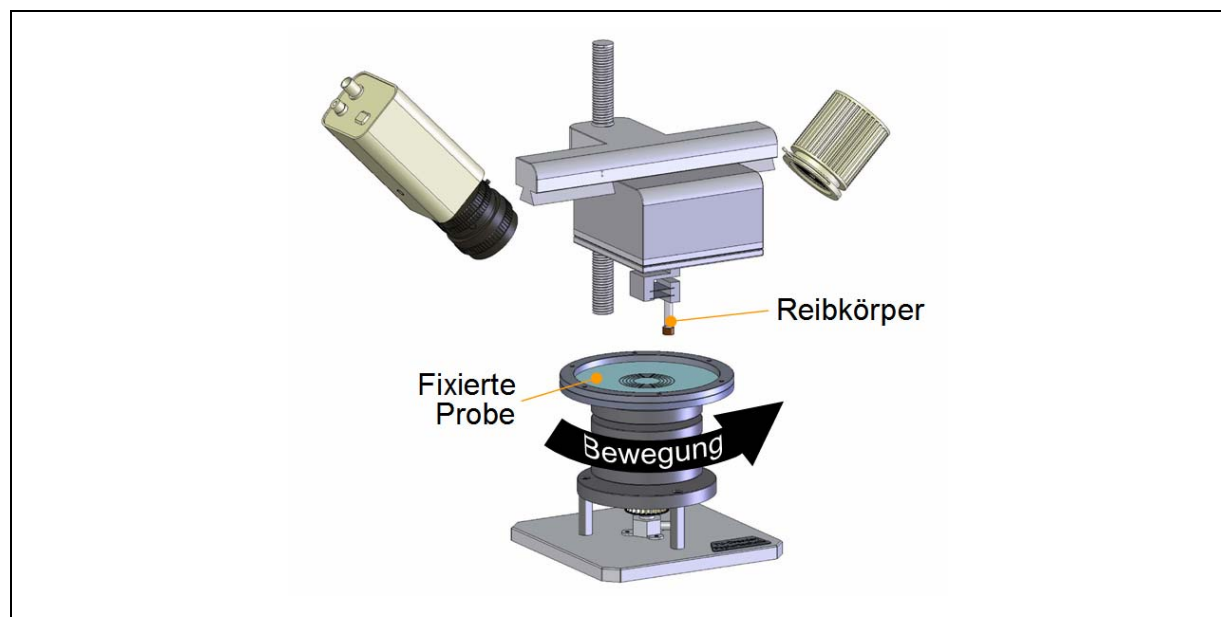
* DIN 54502 – Winkel 75 °

** ein niedriger Wert bedeutet eine geringe Markierempfindlichkeit; berechnet gemäß Gleichung (1)

3.3 Definierte Erzeugung von Markierungen

3.3.1 Rotations-Tribometer

Zur Untersuchung der tribologischen Vorgänge wurde ein Rotations-Tribometer des Typs APT-2 der Firma CETR Inc. genutzt, welches für den vorliegenden Betrachtungsfall konstruktiv modifiziert wurde (**Abb. 08**). Das Gerät besitzt einen rotierenden Probestisch, auf dem das Papier durch Unterdruck sowie durch einen zusätzlichen Befestigungsring fixiert wird. Der Reibkörper (Gegenkörper) hat zwei räumliche Freiheitsgrade und ist entsprechend mit zwei Kraftmessdosen, mit denen die Reibungskoeffizienten bestimmt werden können, verbunden. Erweitert wurde der Aufbau durch eine Beleuchtungseinrichtung und eine digitale Kamera, die in den Winkeln $\pm 45^\circ$ bezüglich des Lots auf die Probenoberfläche ausgerichtet sind.

**Abb. 08:** Rotations-Tribometer – modifizierter Messaufbau

Der Reibkörper besteht aus „verschleißfreiem“ Edelstahl. Ein entscheidendes Messkriterium war das zentrale Aufbringen der Normalkraft F_N in geringem Abstand zur Probenoberfläche, um einen Selbstarretiereffekt zu erzielen, der sicher stellt, dass der Reibkörper während des Reibvorganges nicht verkantet und sich der jeweiligen Papieroberflächenstruktur anpasst. Die mechanische Beanspruchung basiert auf einer gleitenden, kontinuierlich rotierenden Bewegung mit lateralem Versatz in Form einer archimedischen Spirale, wobei sich die einzelnen Bahnen dabei gegenseitig zu jeweils dem gleichen Anteil überlappen.

3.3.2 Prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät⁶

Mit der Zielrichtung, eine Prüfmethode zu entwickeln, welche mit möglichst geringem Aufwand und Kosten in der Praxis eingeführt werden kann, wurde das am Markt verfügbare und in zahlreichen Industrieunternehmen bereits vorhandene Scheuerprüfgerät „Quartant“ der Firma prüfbau Dr.-Ing. H. Dürner GmbH ebenfalls auf seine Eignung zur Erzeugung definierter Markierungen untersucht (**Abb. 09**).

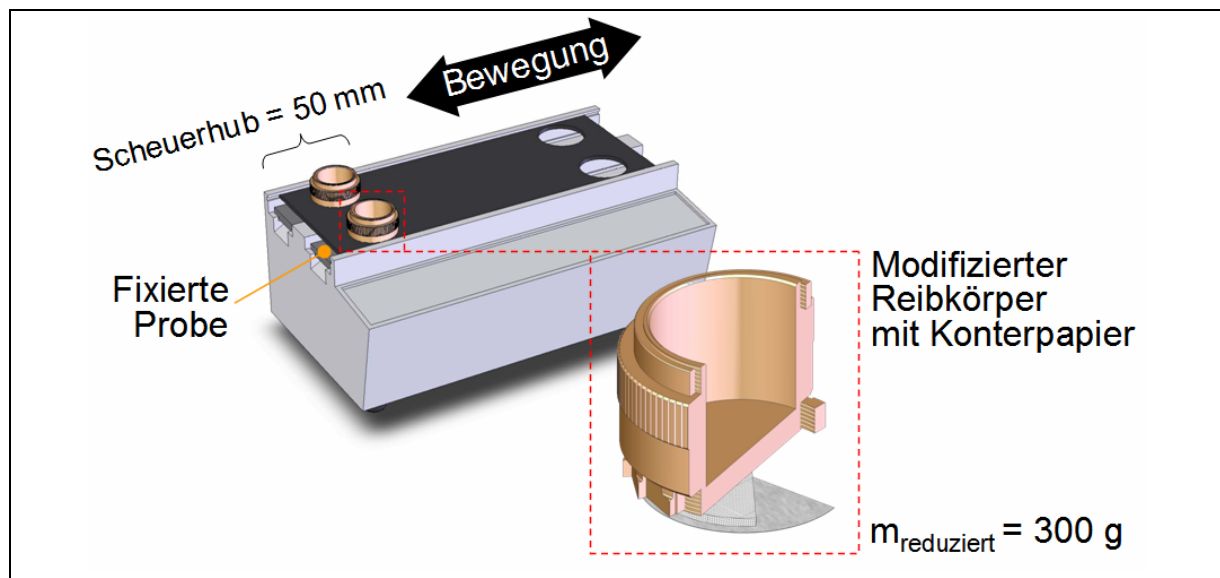


Abb. 09: Prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät

Die Voruntersuchungen an matt gestrichenen Papieren mit dem Standardscheuerkörper des Herstellers haben gezeigt, dass die Beanspruchung der Oberfläche bereits bei geringer Hubzahl extrem war, was Differenzierungsprobleme bei der visuellen und messtechnischen Auswertung bedingte (**Abb. 10** – mittlere Bilder). Um die Differenzierbarkeit der Papiere bzw. Papierstriche hinsichtlich der generierten Glanzmarkierungen zu erhöhen, wurde der Reibkörper des Quartant Scheuerprüfers in seiner Masse signifikant reduziert (**Abb. 10** – rechtes Bild).

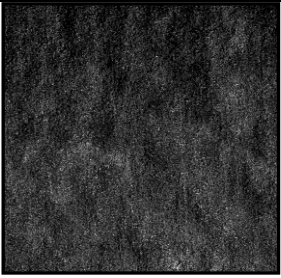
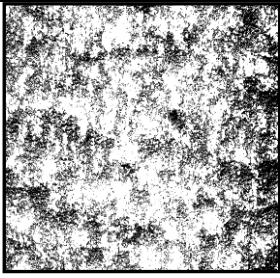
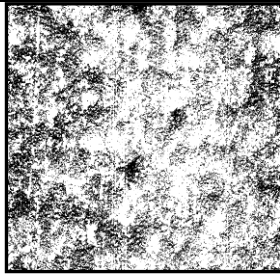
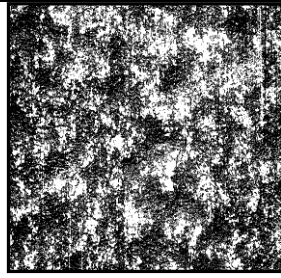
Ausgangsprobe	mechanisch beanspruchte Probe (Quartant – Scheuerkörper)		
	original (610 g)		modifiziert (300 g)
			
	8 Hiebe	16 Hiebe	16 Hiebe

Abb. 10: Definierte Erzeugung von Markierungen mit modifiziertem prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät (Probe IP 7)

3.4 Markierungsbewertung

3.4.1 Allgemeine Aspekte

In Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur und -zusammensetzung kommt es im Zuge der provozierten Reibbeanspruchung zur Ausbildung sehr unterschiedlicher Glanzmarkierungen. Dabei variieren deren laterale Abmaße, die Form sowie die partielle Intensität und somit auch deren Kontrastwirkung in Bezug zur matten Umgebung. Einige der genannten Aspekte werden in den realen sowie modellhaften bildlichen Darstellungen in **Abb. 11** aufgezeigt, wo fein strukturierte Markierungen und eine Mischung von feinen und groben Strukturen wiedergegeben sind.

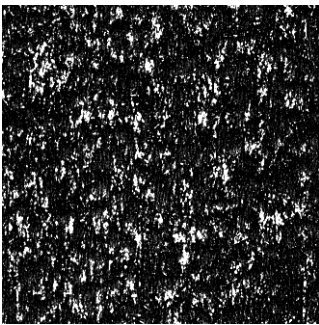
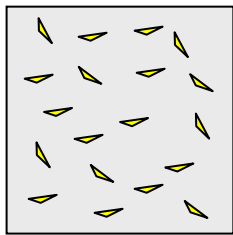
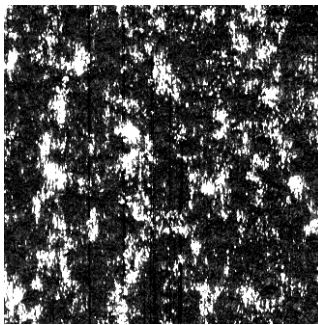
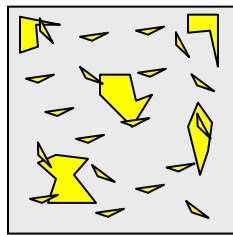
feinstrukturierte Glanzmarkierungen		Überlagerung fein- und grobstrukturierter Glanzmarkierungen	
			

Abb. 11: Vergleich unterschiedlich strukturierter Oberflächenglanzmarkierungen

In diesem Zusammenhang muss vermerkt werden, dass sich bei der visuellen Betrachtung von realen Proben neben den strukturellen Aspekten in der Regel auch die Intensität der markierungsbedingten partiellen Glanzstellen im subjektiven Bewertungsergebnis niederschlägt.

3.4.2 Visuelle Bewertung mittels paarweisem Vergleich

Maß aller Dinge bei Gleich- bzw. Ungleichmäßigkeitsbewertungen von Papier und Druckprodukten ist die subjektiv geprägte Stufung durch den Menschen. Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung einer objektiven Testumgebung. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde hierfür das in **Abb. 12** dargestellte Messsystem genutzt.

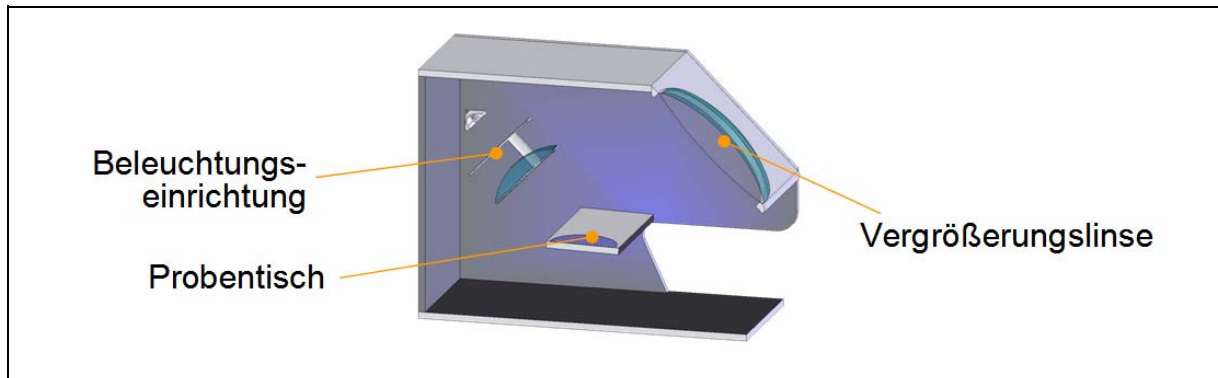


Abb. 12: Messsystem zur visuellen Bewertung von Glanzmarkierungen

Die gescheuerten Industriepapiere wurden von zehn Personen paarweise miteinander verglichen. Hierzu wurden immer zwei Proben gleichzeitig auf der Ablage positioniert und unter 45 ° gerichtet beleuchtet. Die Betrachtung erfolgte unter demselben Winkel bei 2-facher Vergrößerung. Die Einhaltung des Betrachtungswinkels ist zwingend, da eine Winkelabweichung eine Veränderung des Erscheinungsbildes zur Folge hat. Das numerisch codierte Bewertungsergebnis (Proben identisch, Masterprobe besser oder schlechter als Vergleichsprobe) des Probenvergleichs wurde in einer Matrix zusammengestellt und zur Berechnung des Paarvergleichsindex (PV-Index) nach Gleichung (1) herangezogen. Die Spaltensumme bezeichnet dabei die mathematische Gesamtheit der Einzelbewertungen zu einer Probe gegenüber den übrigen Vergleichsproben in der Matrix.

$$PV - Index = \frac{\text{Spaltensumme}}{\text{Anzahl der Beobachter} * (\text{Probenzahl} - 1)} * 100 \quad (1)$$

Die von den Beobachtern bewerteten partiellen Glanzeffekte bzw. das damit verbundene subjektive Qualitätsempfinden basiert auf der Beurteilung der summierten Glanzfläche, der Dimension der einzelnen Glanzstrukturen, deren Verteilung sowie dem Kontrast zur matten Umgebung.

Die visuelle Stufung der Papiere hinsichtlich ihrer Markierempfindlichkeit kann **Abb. 13** entnommen werden. Sie gestattet jedoch keine Rückschlüsse auf den Grad der Ausprägung der Markierungen zwischen den Mustern, d. h. aufgrund der Sprungfunktion bei der paarweisen Bewertung werden kleine Unterschiede in der Markierempfindlichkeit der Muster im Ranking gespreizt wiedergegeben.

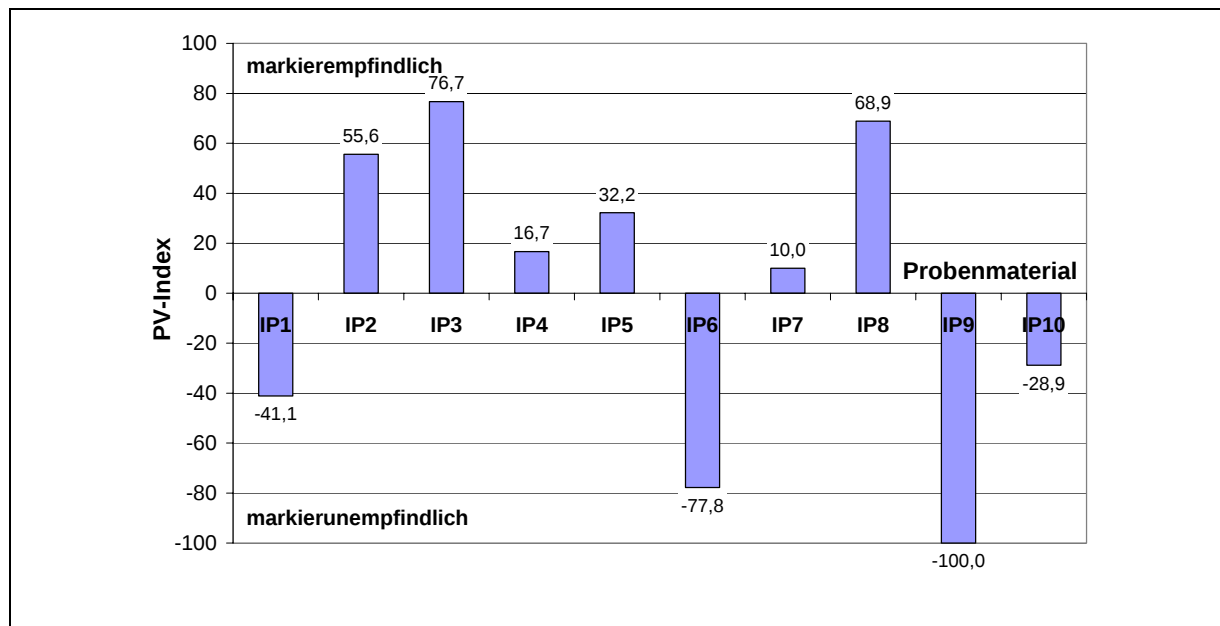


Abb. 13: Visuelles Ranking der matt gestrichenen Industriepapiere hinsichtlich Markierungsempfindlichkeit

3.4.3 Vergleich Rotations-Tribometer und prüfbau Scheuerprüfgerät

Die bereits beschriebenen Geräte zur definierten Erzeugung von Markierungen wurden hinsichtlich des Scheuerergebnisses miteinander verglichen. Wie **Abb. 14** verdeutlicht, sind die Scheuerergebnisse mit Ausnahme der Proben IP6 und IP7 sehr gut vergleichbar.

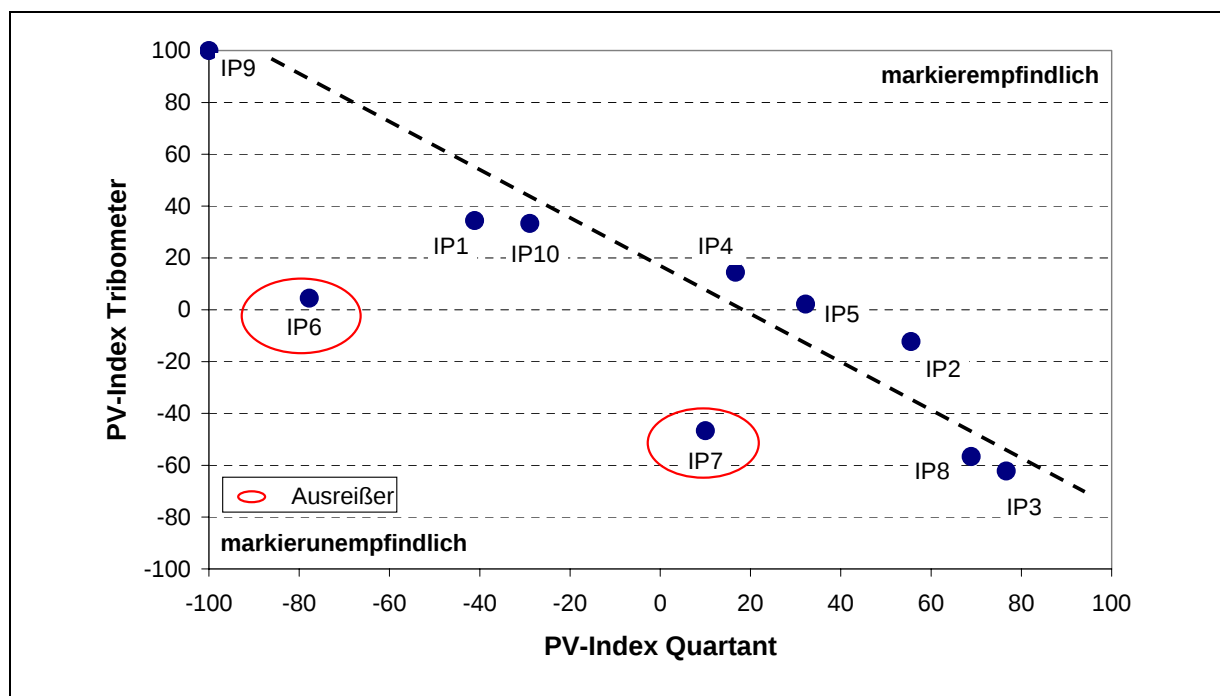


Abb. 14: Vergleich der Scheuerergebnisse von Tribometer und Quartant Scheuerprüfgerät.

Aufgrund der höheren Verfügbarkeit des Quartant Scheuerprüfgerätes in der Papier- und Druckindustrie wurden die weiteren Scheuertests mit diesem Gerät vorgenommen.

3.4.4 Bewertung bzw. Abschätzung der Markierungsempfindlichkeit mittels konventioneller Papiereigenschaften

In einer ersten Stufe wurde untersucht, ob zwischen der Markierungsempfindlichkeit der Papiere und konventionellen Papiereigenschaften ein Zusammenhang besteht. Hierzu wurden die Rauigkeit nach Parker Print Surf und der Glanz nach DIN 54502 - 75° der ungescheuerten Proben betrachtet (**Abb. 15**).

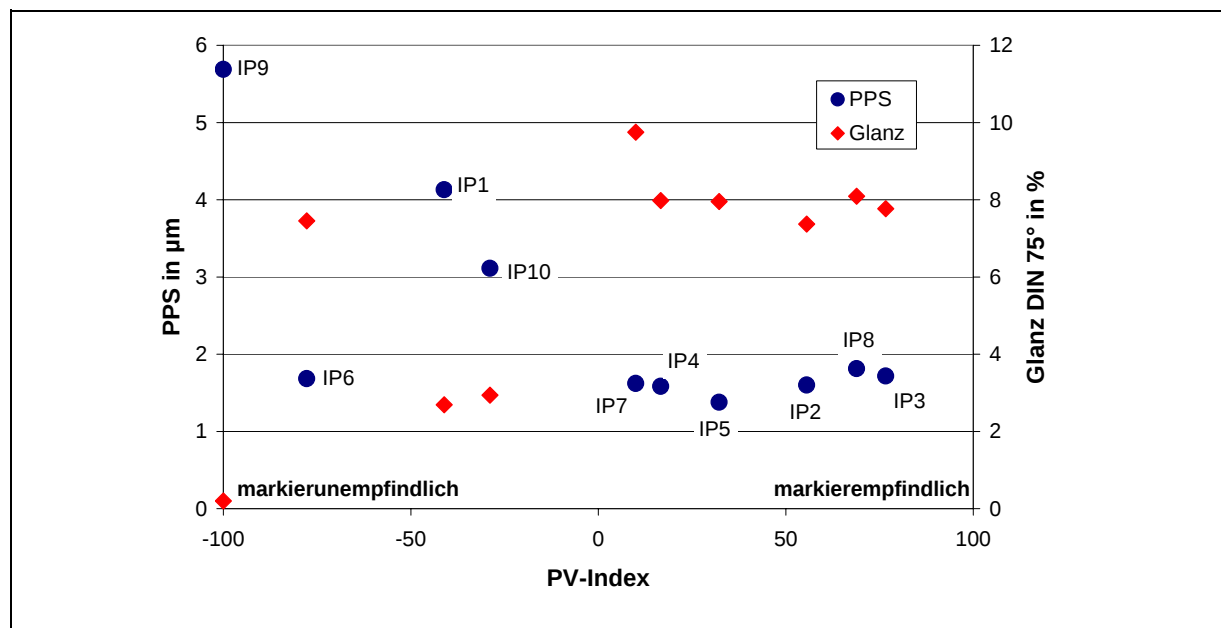


Abb. 15: Vergleich von Rauigkeit und Glanz mit der Markierungsempfindlichkeit

Der **Abb. 15** kann entnommen werden, dass sowohl zwischen Rauigkeit als auch Glanz und Markierungsempfindlichkeit keine direkte Korrelation besteht. Es wird aber deutlich, dass die Mehrzahl der rauerer Papiere markierungsempfindlicher ist. Aufgrund des fehlenden Zusammenhanges können diese allgemein gemessenen Papiereigenschaften zur Charakterisierung der Markierungsempfindlichkeit nicht herangezogen werden.

3.4.5 Ortsaufgelöste Oberflächenglanz Betrachtung und bildanalytische Bewertung

Da die beim Scheuern entstehenden Glanzstellen auf der Papieroberfläche stochastisch verteilt sind, ist es nicht ohne weiteres möglich, die Glanzänderung mit herkömmlichen Glanzmessgeräten (z. B. Glanz nach Lehmann) zu bestimmen. Darüber hinaus wäre die Aussagekraft der so erzielten Messwerte für den Vergleich von Papierqualitäten hinsichtlich ihrer Markierungsempfindlichkeit nur begrenzt geeignet, da diese nicht nur durch die Glanzintensität sondern auch die Größe der Glanzfläche charakterisiert wird. Durch ein „scannendes“ Verfahren können beide Aspekte berücksichtigt werden.

Zur Bildgenerierung wird dabei die gescheuerte Probe unter 45° beleuchtet und das reflektierte Licht über eine Optik auf eine CCD-Zeilenkamera mit 2048 Pixeln projiziert. Die zweite Bilddimension wird über einen Scanningtisch realisiert. Es ergeben sich somit Bilder von 33 mm x 33 mm bei einer Bildpunktgröße von $16\text{ }\mu\text{m}$. Der prinzipielle Messaufbau kann **Abb. 16** entnommen werden.

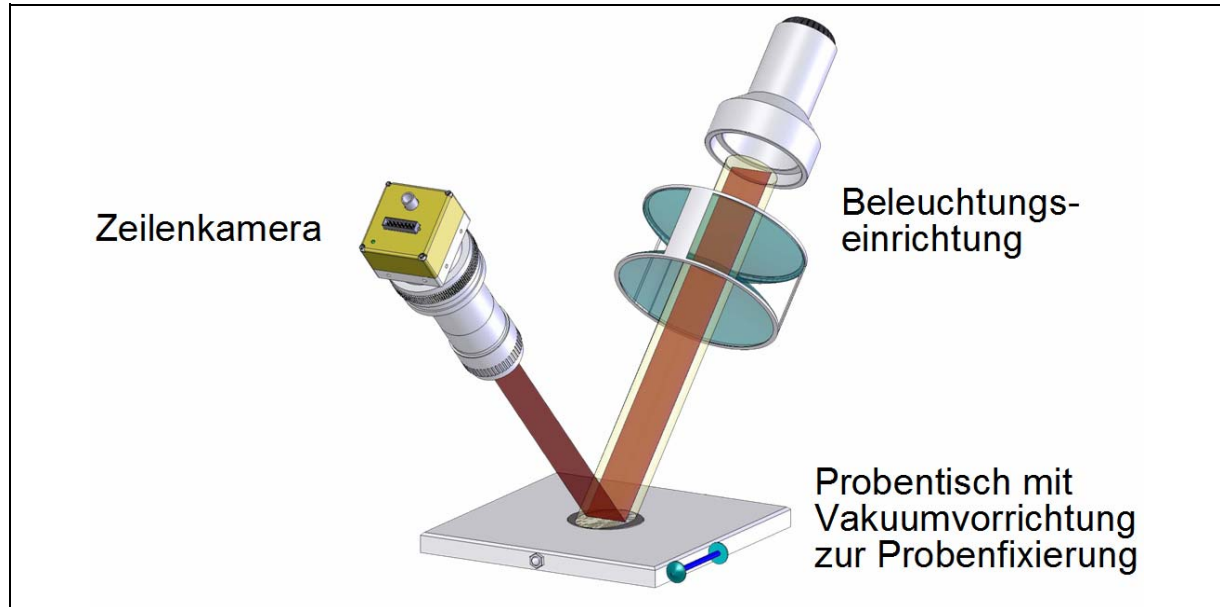


Abb. 16: Verfahren zur ortsaufgelösten Erfassung des Oberflächenglanzes

Die generierten Bilder der Glanzmarkierungen spiegeln im Gegensatz zu den realen Proben nicht im vollen Umfang den Glanzeffekt wider, d. h. der Grad des Glanzes wird nur partiell in der Helligkeit der markierenden Bereiche des Bildes abgebildet, was eine Reduzierung des Informationsgehaltes bedeutet. Um den Grad dieses Einflusses abschätzen zu können, wurden die Markierungsbilder ausgedruckt und ebenfalls paarweise miteinander verglichen (**Abb. 17**).

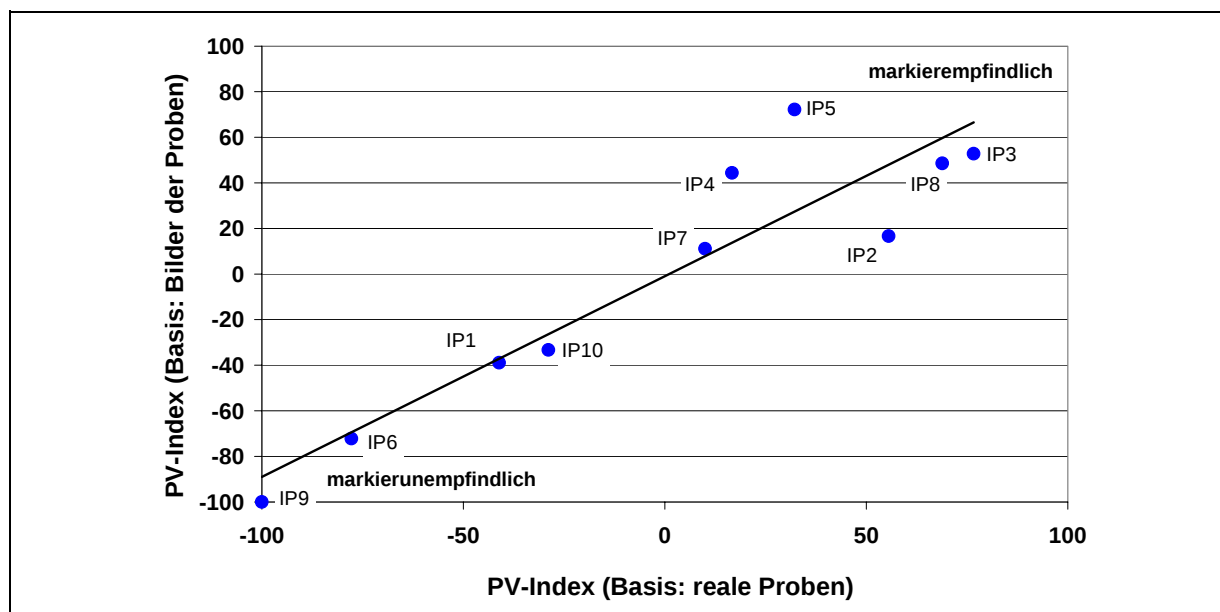


Abb. 17: Vergleich der visuellen Bewertung (paarweiser Vergleich) der realen Proben mit den Scheuerbildern

Abb. 17 bringt zum Ausdruck, dass bei den markierungsunempfindlichen Proben eine sehr gute Übereinstimmung besteht. Mit zunehmender Markierungsempfindlichkeit treten geringfügige Abweichungen auf, die tolerierbar sind, d. h. die Bewertung der Markierungsempfindlichkeit kann anhand der Scheuerbilder vorgenommen werden.

Für einen orientierenden Vergleich der Markierungsneigung von Papieren kann der mittlere Grauwert sowie die Standardabweichung der Grauwerte der Bilder der ungescheuerten und der gescheuerten Proben herangezogen werden. Je empfindlicher eine Papiersorte gegenüber mechanischer Beanspruchung reagiert, desto größer werden diese Messwerte bei gegebenem Reibungszustand sein. Mit dieser Betrachtungsweise wird jedoch nicht der Einfluss der Struktur der Markierungen erfasst. Eine umfassendere Bewertung kann mit bildanalytischen Tools zur Gleichmäßigkeitscharakterisierung erfolgen. Im Rahmen des Projektes wurde das Druckungleichmäßigkeitsstool des DOMAS-Systems⁷ verwendet, in welchem die drei Bewertungsmethoden Kontrastvariation gekoppelt mit einer Nachbarschaftsanalytik (Co-occurrence-matrix), Powerspektrumsanalyse und PTS-Methode implementiert sind. Das Ergebnis der drei bildanalytischen Methoden ist in **Abb. 18** grafisch dargestellt.

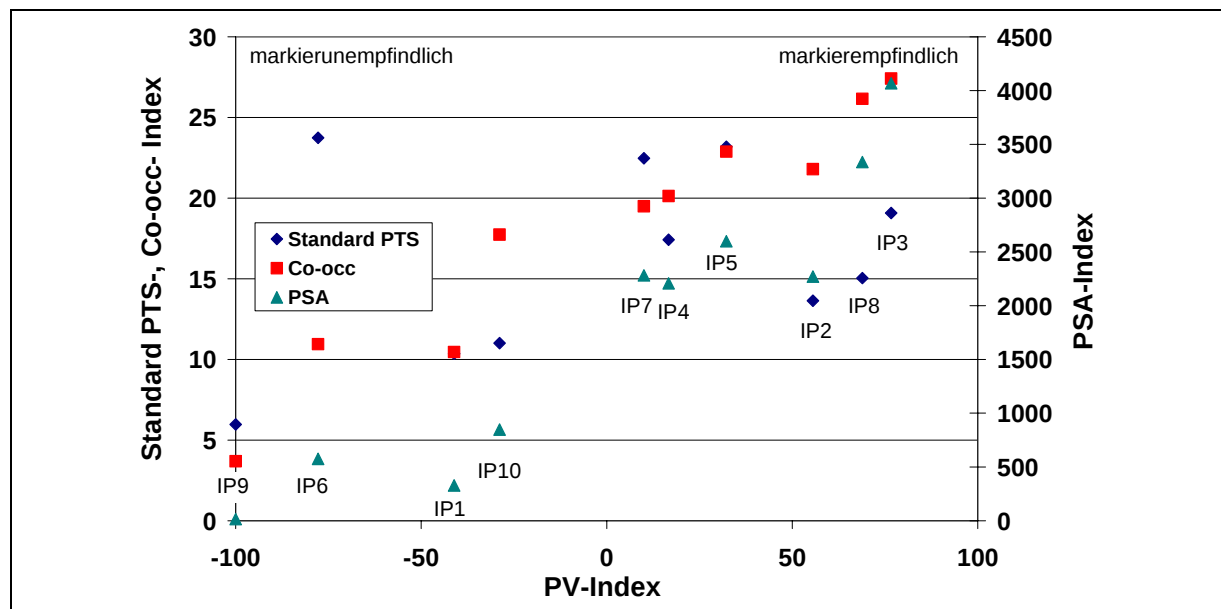


Abb. 18: Bildanalytische Bewertung der Markierungsempfindlichkeit mittels DOMAS

Kontrast- und Nachbarschaftsanalytik sowie die Auswertung des Powerspektrums ergaben eine gute Korrelation zur visuellen Einstufung der Proben. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die analytische Bewertung der Bilder auf der Basis von klar definierten Algorithmen erfolgt, was zu einem stetigen Ergebnis führt – kleine Unterschiede in den Proben werden auch als kleine Messwertdifferenzen erfasst. Im Gegensatz dazu liegt beim paarweisen Vergleich eine Sprungfunktion zu Grunde, d. h. kleine und große Unterschiede in den Proben werden gleich behandelt. Abweichungen im Bereich von ± 20 des PV-Indexes sind darin begründet. Eine zur visuellen Stufung abweichende Bewertung lieferte die PTS-Methode, die im verwendeten Algorithmus begründet ist. Dieser wurde entsprechend überarbeitet, wodurch das Ergebnis wesentlich verbessert werden konnte und nun im Bereich der beiden anderen Methoden liegt (**Abb. 19**).

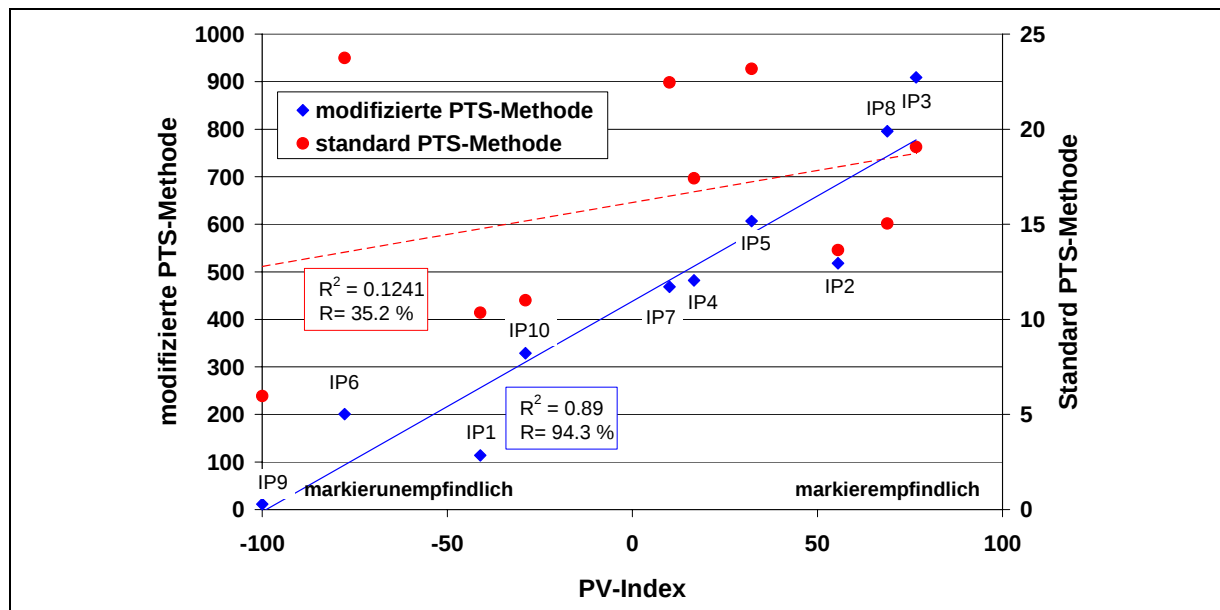


Abb. 19: Bildanalytische Bewertung der Markierungsempfindlichkeit mittels modifizierter PTS-Methode

Eine weitere Fragestellung war, welche Schwankungsbreite der Ungleichmäßigkeit nach dem Scheuern vorliegt. In **Abb. 20** ist der Variationskoeffizient der zehn Papiere für alle drei Methoden aufgetragen, wobei auf vier Scheuerproben je Papier zurückgegriffen wurde.

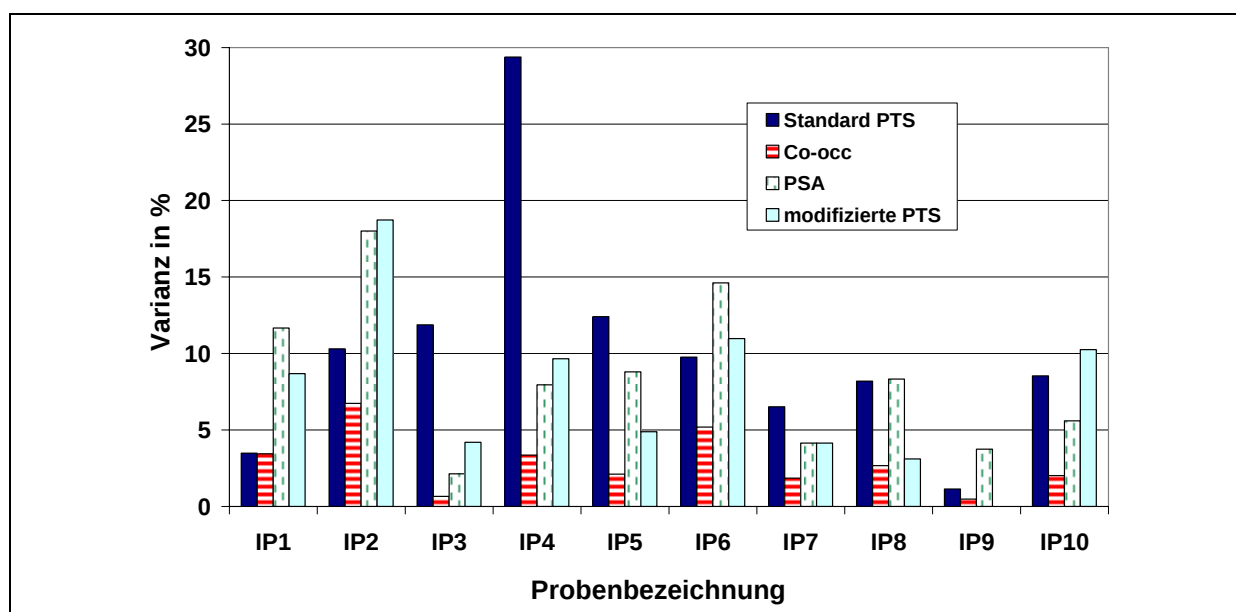


Abb. 20: Variationsbreite der Scheuerergebnisse – DOMAS-Bewertung

Mit wenigen Ausnahmen liegt der Variationskoeffizient der Markierungsempfindlichkeitsbeurteilung unterhalb von 10%. Eine Verringerung der Varianz ist durch die Erhöhung der Probenanzahl von vier auf acht erreichbar.

3.5 Methode zur Bewertung der Markierungsempfindlichkeit

Ein Kurzüberblick über die entwickelte Methode zur Bewertung der Markierungsempfindlichkeit von matt gestrichenen Papieren gibt **Abb. 21**. Die detaillierten Arbeitsschritte des Scheuerns können der Bedienungsanleitung zum prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät⁶ entnommen werden. Die vorgenommene Modifikation betrifft das Gewicht des Scheuerkörpers, das von 610 g auf 300 g reduziert wurde. Des Weiteren wurde im Rahmen der Methodenentwicklung die Anzahl Scheuerhübe auf 16 festgelegt.

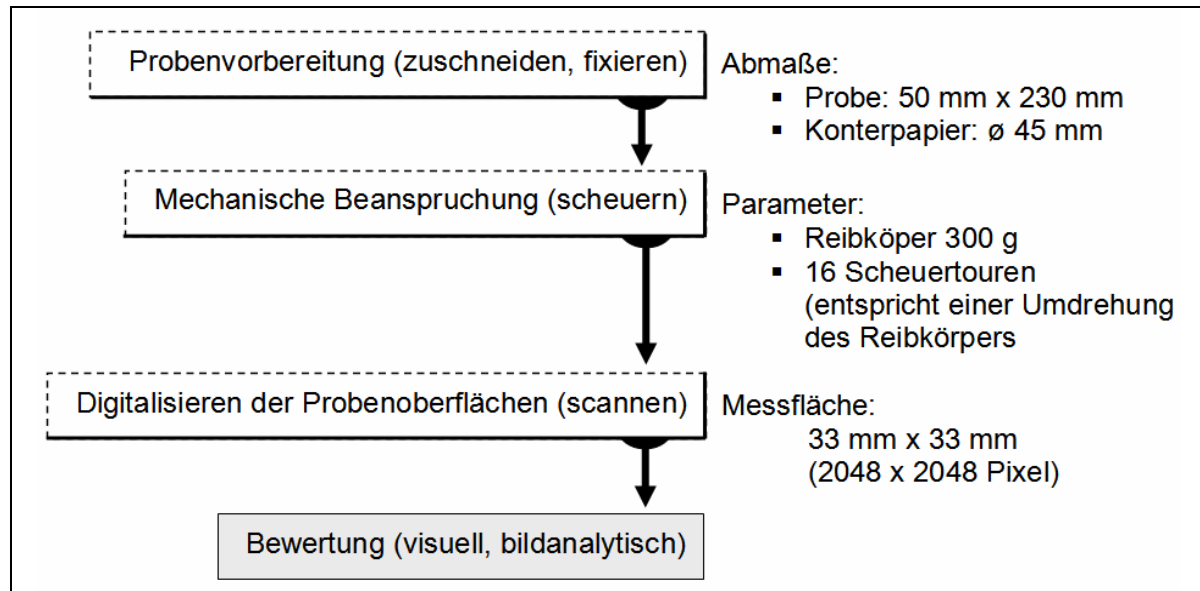


Abb. 21: Ablaufschema der Methode zur Bewertung der Markierungsempfindlichkeit matt gestrichener Papiere

Für die bildanalytische Beurteilung des Scheuerergebnisses ist es erforderlich, die Probenoberfläche abzuscannen, wozu ein Scannsystem auf der Basis einer Zeilenkamera entwickelt wurde. Es liefert Bilder in der Abmessung 33 mm x 33 mm bei einer Bildpunktauflösung von 16 µm. Diese werden mit den Methoden zur Ungleichmäßigkeitsbewertung quantifiziert, wobei vorrangig auf die modifizierte PTS-Methode und die PSA-Methode zurückgegriffen wird.

4 Anwendung der Methodik auf die Strichentwicklung

4.1 Strichrezepturen und Laborstreichversuche

Grundanliegen des Projektes war die objektive Bewertung der Oberflächenänderung matt gestrichener Papiere bei mechanischer Beeinflussung. Sie ist eine entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung von scheuerresistenteren Mattstrichen. Im Rahmen der Forschungstätigkeit wurde die entwickelte Methode zur gezielten Untersuchung des Einflusses der Strichrezeptur (Pigmentart, Binderanteil u. a.) auf die Markierungsempfindlichkeit eingesetzt. Erste Versuche wurden mit der Laborstreichanlage (DT-Coater) bereits durchgeführt. **Abb. 22** beinhaltet eine Skizze des Coaters.

Der Strichauftrag erfolgte dabei auf einem industriell vorgestrichenem Rollenpapier von 100 g/m² mit Bendblade bei einer freien Einspannlänge von 25 mm, einem An-

pressdruck von 1,6 bar und einem Anstellwinkel von 5,5 °. Zur schnellen Fixierung des Streichfarbenfilms wurden zum einen ein kurzwelliger Infrarot-Strahler und zum anderen ein Heißlufttrockner (160 °C) eingesetzt. Der Feststoffgehalt der Streichfarben wurde auf 65 % eingestellt. Die Maschinengeschwindigkeit des Coaters betrug 20 m/min.

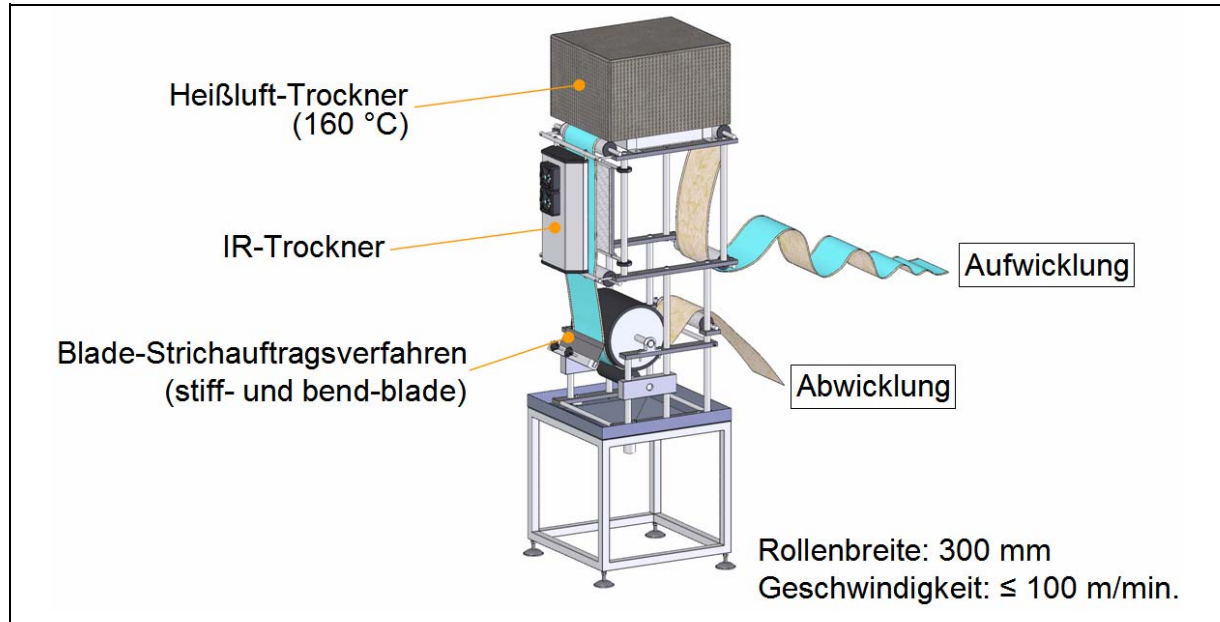


Abb. 22: Laborstreichmaschine (DT-Coater)

Eine Zusammenstellung der gefahrenen Versuchsvarianten kann **Tab. 02** entnommen werden.

Tab. 02: Stichrezepturen u. wesentliche Eigenschaften laborgestrichener Papiere

Nr.	Zusammensetzung in Teilen (T.) + 0,3 Teile CMC	m_A in g/m ²	Glanz DIN 75° in %	R_{457} in %	PPS in µm
SG1	100 T. C1, 10 T. B	111	14,4	81,8	1,61
SG2	90 T. C1, 10 T. C2, 10 T. B	109	12,3	82,2	1,61
SG3	90 T. C1, 10 T. K, 10 T. B	111	16,9	82,1	1,57
SG4	90 T. C1, 10 T. Ta, 10 T. B	110	10,9	82,0	1,58
SG5	70 T. C1, 30 T. C2, 10 T. B	110	10,0	81,9	1,61
SG6	70 T. C1, 30 T. K, 10 T. B	114	20,8	82,1	1,55
SG7	70 T. C1, 30 T. Ta, 10 T. B	113	7,3	82,2	1,60
SG8	80 T. C1, 20 T. C2, 10 T. B	110	9,8	82,1	1,62
SG9	80 T. C1, 20 T. C2, 12 T. B	109	10,1	81,8	1,64
SG10	80 T. C1, 20 T. C2, 14 T. B	109	8,9	81,6	1,67
SG11	80 T. C1, 20 T. K, 10 T. B	114	19,3	82,5	1,58
SG12	80 T. C1, 20 T. K, 12 T. B	114	18,9	82,0	1,60
SG13	80 T. C1, 20 T. Ta, 10 T. B	111	9,1	82,1	1,64
SG14	80 T. C1, 20 T. Ta, 12 T. B	112	8,7	81,9	1,70

C1 = CaCO₃ 90% < 2 µm

C2 = CaCO₃ 60% < 2 µm

K = Kaolin

B = Binder (Latex)

Ta = Talkum

4.2 Markierungsempfindlichkeit der Strichrezepturen

Die ersten orientierenden Ergebnisse des Einsatzes der entwickelten Methode im Rahmen von Rezepturuntersuchungen zur Erarbeitung resistenterer Mattstriche sind in **Abb. 23** grafisch aufbereitet. Deutlich wird, dass sowohl die visuelle Bewertung als auch die objektive, bildanalytische Beurteilung zur Differenzierung des Markierverhaltens von Strichrezepturen eingesetzt werden kann, was beispielhaft am Einfluss der Pigmentart aufgezeigt wird.

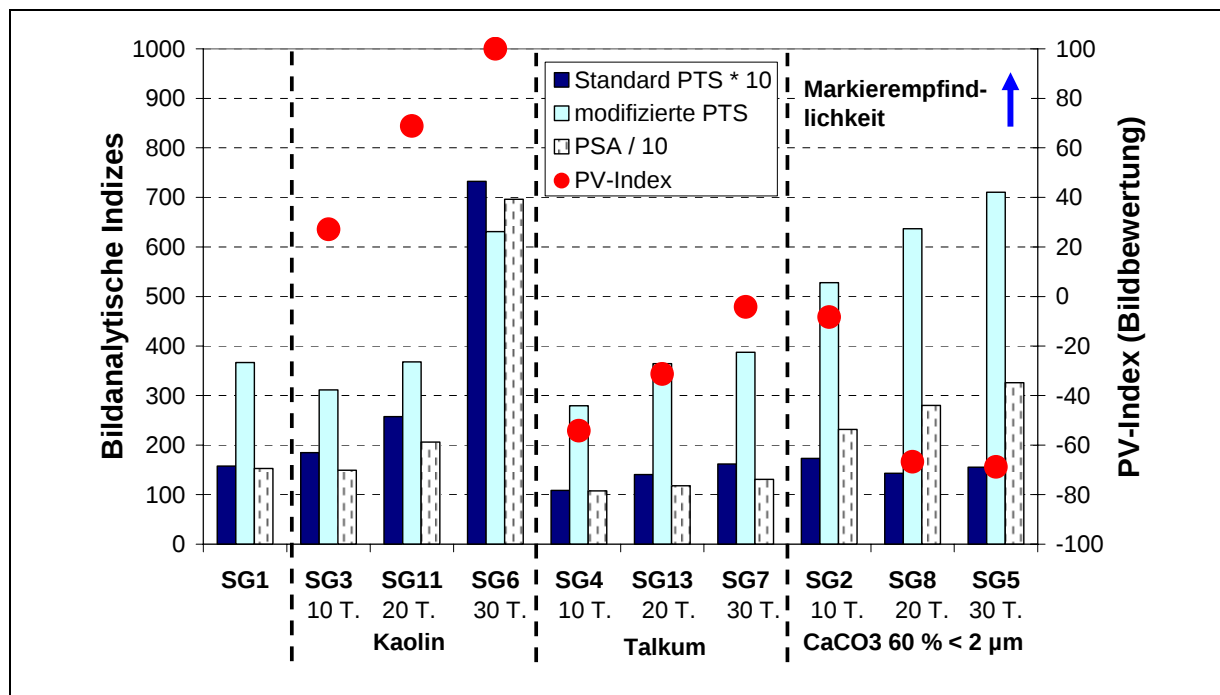


Abb. 23: Markierungsempfindlichkeit von Mattstrichrezepturen (Laborstreichversuche)

Mit Erhöhung des Anteils der plättchenförmigen Pigmente (Kaolin, Talkum) geht eine Zunahme der Markierungsempfindlichkeit einher. Durch Einsatz des rhomboedrischen Calciumcarbonats wird die Markieranfälligkeit verringert. Dies wird jedoch durch die PSA-Methode und die modifizierte PTS-Methode tendenziell nicht vollständig wiedergegeben. Die Standard PTS-Methode folgt diesem Trend. Die Ursache wird in der unterschiedlichen Bewertung der Strukturgrößen der Glanzstellen durch die Methoden und den Menschen gesehen. Hier besteht noch Restoptimierungsbedarf.

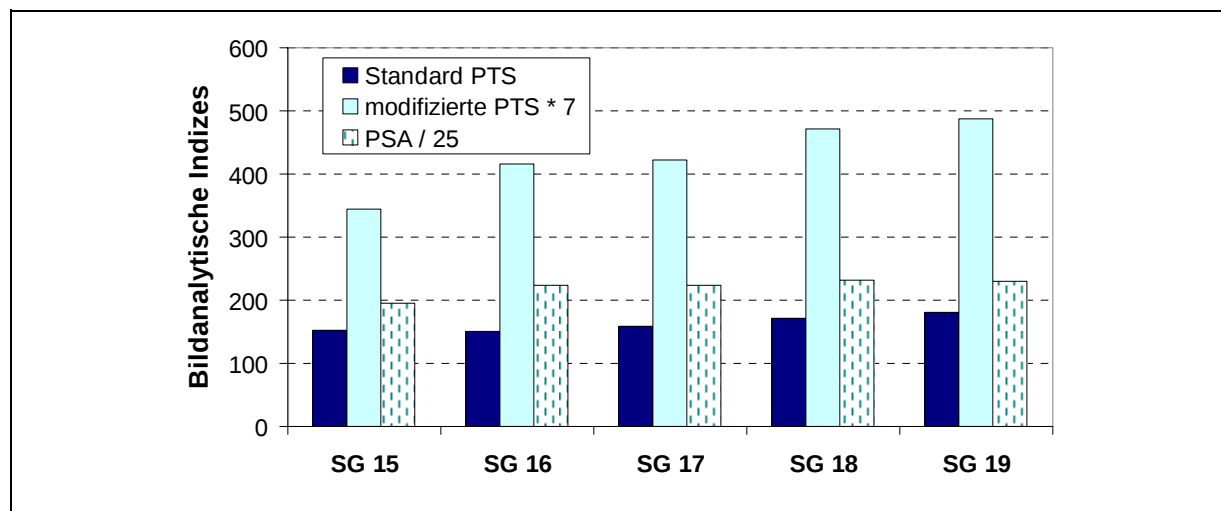
In Erweiterung der durchgeführten Streichversuche und unter dem Grundgedanken, dass eine gemäßigte Zugabe (< 10 Teile) additiver Pigmente, wie z. B. grobem Calciumcarbonats, einer Verbesserung der betrachteten Oberflächenempfindlichkeit zuträglich ist, wurden entsprechend vertiefende Streichversuche gemäß folgender Aufstellung durchgeführt.

Tab. 03: Stichrezepturen der vertiefenden Streichversuche

Nr.	Zusammensetzung in Teilen (T.) + 0,3 Teile CMC	m_A in g/m ²	Glanz DIN 75° in %	R_{457} in %	PPS in µm
SG15	100,0 T. C1, 10 T. B	109	15,5	85,2	1,28
SG16	97,5 T. C1, 2,5 T. C2, 10 T. B	109	16,0	85,2	1,27
SG17	95,0 T. C1, 5,0 T. C2, 10 T. B	109	15,1	85,3	1,26
SG18	92,5 T. C1, 7,5 T. C2, 10 T. B	110	14,0	85,5	1,30
SG19	90,0 T. C1, 10,0 T. C2, 10 T. B	108	14,0	85,0	1,30

C1 = CaCO₃ 90% < 2 µm C2 = CaCO₃ 60% < 2 µm B = Binder (Latex)

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass mit zunehmendem Anteil an größerem Calciumcarbonat die Rauigkeit ansteigt und gleichsam der Glanz der Probenoberfläche sinkt, jedoch geht dieser Umstand nicht mit einer Verbesserung der Markierungsunempfindlichkeit einher. Tendenziell steigt die Neigung zur Ausbildung störender Glanzmarkierungen durch einen höheren Anteil größerer Streichpigmente an (**Abb. 24**). Offensichtlich wirken die gröberen Pigmente nicht als Abstandhalter zwischen den interagierenden Kontaktflächen, sondern verstärken die Oberflächenstruktur bedingte Abrasion. Die Änderung der quantitativen Ausprägung der Indizes geht auf einen Umbau der Beleuchtungseinrichtung (im Sinne der Bildhelligkeit) zurück, welche jedoch keinen Einfluss auf die tendenzielle Aussage der Ergebnisse hat.

**Abb. 24:** Markierempfindlichkeit der vertiefenden Laborstreichversuche

Aufgrund ihrer Teilchenform könnten allerdings Pigmente wie Talkum und Kaolin in geringer Dosierung zu einer Verbesserung der Gleitreibung zwischen den Kontaktflächen und somit der Markierungsunempfindlichkeit führen. Ansatzweise ist dieser Umstand bereits in **Abb. 23** ersichtlich und sollte in weiterführenden Forschungsarbeiten näher untersucht werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mattpapiere erzielen ihr charakteristisches Aussehen durch eine mikrorauhe Oberfläche, welche einfallendes Licht diffus reflektiert. Unglücklicherweise reagiert dieser offenporige Pigmentverbund oftmals sehr empfindlich auf einwirkende Druck- und Reibbeanspruchung. Daher erfordert der erwünschte „Matt-Effekt“ zumeist einen größeren Aufwand und eine höhere Sorgfalt bei der Produktion, Konfektionierung und Weiterverarbeitung.

Bisher existierte keine objektive Messmethode zur Quantifizierung der besagten Oberflächenempfindlichkeit, was z. B. die Justage von Verarbeitungsmaschinen aber auch die gezielte Entwicklung von markierungsresistenten Strichen erschwerte. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Lehrstuhls für Papiertechnik der TU Dresden sowie der Papiertechnischen Stiftung (Heidenau/München) wurde diese Lücke geschlossen.

Die entwickelte Methode umfasst die Erzeugung von Markierungen durch eine definierte Scheuerbeanspruchung der Papieroberflächen gegeneinander. Hierzu wurden das Tribometer der Firma CETR und der prüfbau Quartant Scheuertester untersucht. Die Scheuerbedingungen mussten angepasst werden. Die Scheueruntersuchungen wurden sowohl an industriell hergestellten, matt gestrichenen Papieren als auch an im Labormaßstab gefertigten Mustern vorgenommen.

Der zweite Schritt der Methode beinhaltet die visuelle und bildanalytische Bewertung des Scheuerergebnisses. Die visuelle Beurteilung erfolgte mit einem speziellen Glanzbetrachter, in dem die Proben paarweise miteinander verglichen wurden. Als Resultat wurde ein Musterranking (PV-Index) erhalten, welches das menschliche Empfinden hinsichtlich des „Störpotentials“ der generierten Glanzstellen widerspiegelt. Die Bildanalytik erfordert die Abbildung der Realität in einem zweidimensionalen Bild. Hierzu wurden die Proben schrittweise linear unter einem definierten Winkel beleuchtet und digitalisiert. Diese Bilder wurden mit verschiedenen Algorithmen zur Quantifizierung der Ungleichmäßigkeit analysiert und mit den Resultaten der visuellen Bewertung verglichen. Teilweise war eine Anpassung der Algorithmen erforderlich.

Im Ergebnis der bisherigen Projektarbeit konnte nachgewiesen werden, dass mit Hilfe der entwickelten Methode eine gute Differenzierung von Papieroberflächen hinsichtlich ihrer Markierungsempfindlichkeit erzielt werden kann. Dabei korrelieren die visuellen Bewertungen gut bis sehr gut mit den bildanalytisch errechneten Indizes. Durch die nunmehr mögliche Quantifizierbarkeit und somit objektive Vergleichbarkeit der Markierungsempfindlichkeit verschiedener Mattpapiersorten ist die Grundlage für eine weiterführende Streichfarbenrezepturenentwicklung hinsichtlich der Minimierung dieser Oberflächeneigenschaft gegeben.

Literaturverzeichnis

- 1 Stadler, P.:
Matt gestrichene Papiere in der Praxis.
Bindereport Vol. 111 (1998), Nr. 1, S. 18 – 23.
- 2 Veenstra, P.:
Damaged areas in paper, during sheet finishing operations.
COST ACTION E32, Helsinki, 2004.
- 3 Weinert, C.:
Mattgestrichene Papiere und das Problem der Scheuerfestigkeit.
Offsetpraxis Vol. 36 (1994), Nr. 4, S. 54 – 55.
- 4 Faber, A.:
Mattgestrichene Papiere im Bogenoffset: Möglichkeiten zur sicheren Weiterverarbeitung.
Deutscher Drucker Vol. 39 (2003), Nr. 18, S. 36 – 37.
- 5 Dittrich, K.:
Verbesserung des Eigenschaftsprofils von Tiefdruck-Mattpapieren.
PTS-Forschungsbericht: AiF 12 300, 2004.
- 6 Prüfbau Quartant Scheuerprüfgerät
Bedienungsanleitung zum prüfbau Scheuerprüfgerät, Int. Pat., 2003.
Dr.-Ing. H. Dürner GmbH
Aich 23 82380 Peißenberg
- 7 Digital optical measurement and analysis system (DOMAS)
Bedienungsanleitung – Modul Druckungleichmäßigkeit.
Papiertechnische Stiftung, München und Heidenau, 1992-2007.

Weitere Literatur:

Liebert, E.:
Prüfung von Papier, Karton und Pappe – Messung des Glanzes.
Zellcheming Merkblatt V/22/72, 1972.

N.N.:
Papier und Pappe – Bestimmung des Glanzes – Messung bei einem parallelen Strahl bei 45 °, DIN-Verfahren.
Norm EN 14086, 2003.

N.N.:
Prüfung von Papier und Pappe – Glanzbeurteilung ebener Papier- und Pappeoberflächen mit Hilfe von Reflektometerwerten.
Norm DIN 54502, März 1982.