

# Qualitätsmerkmale von Reinraum-Papieren

von Yuko Labuda, Lübeck

## Zusammenfassung

● Bisher gibt es keine sinnvollen Prüfmethoden für die Partikelfreisetzung beim Gebrauch von Reinraum-Papieren. Grundlage der Qualitäts Beurteilung ist daher die mikroskopische Beobachtung der Oberflächen-Morphologie und des Kantenbeschnitts.

● Für Reinraum-Papiere gibt es wegen des aus papiertechnischer Sicht sehr kleinen Marktes weltweit nur fünf bekannte Hersteller. Deren Papiere wurden elektronen-mikroskopisch untersucht. Die Ergebnisse sind nachstehend abgebildet

● Viele Anwender möchten wissen, wodurch sich Reinraum-Papiere von normalen Kopierpapieren unterscheiden, möchten deren Leistungs Profil kennenlernen und erfahren, welche Qualitäts-merkmale für den Reinraum-Einsatz wesentlich sind. Diese Fragen werden im vorliegenden Aufsatz beantwortet.

## Reinraum-Papiere

dienen der Kommunikation im Reinraum, der Aufzeichnung von Produktionsdaten und andererseits der mechanischen Separierung solcher Produkte, welche nicht flächig aufeinander liegen dürfen. Reinraum-Papiere gehören zu den großflächigen Produkten, welche in vielen Betrieben den Reinen Raum ständig durchlaufen - genau wie Overalls oder Wischtücher. Daher sollte man diesem Produkt in seinem clean-concept entsprechende Beachtung schenken. Die Annahmen einiger Experten, welche 1989 für 1994 generell papierlose Reinräume voraussagten, haben sich nicht erfüllt. Verbesserte Qualität und

SMIF-Systeme haben das Papier wieder attraktiv gemacht. Es gibt zwei Arten von Reinraum-Papieren:

Die Eine auf Cellulose-Basis und die Andere auf Kunststoff-Basis. Die Letztere konnte sich wegen ihrer geringen Temperatur-Belastbarkeit nicht durchsetzen. Sie läßt sich nicht in Kopiergeräten einsetzen. Die vorliegende Arbeit behandelt ausschließlich die Gruppe der Cellulose-Papiere.

Für Reinraum-Papiere gibt es einerseits ein Anforderungsprofil und andererseits ein Leistungsprofil. Das Anforderungsprofil ergibt sich aus den Prozessen des Reinen Arbeitens. Das Leistungsprofil wiederum basiert auf den technischen Möglichkeiten der Papierherstellung. Abb. 1 zeigt die beiden Profile. Dabei sind es im Wesentlichen die Parameter Partikel-Freisetzung und ionische Kontamination, welche noch als verbesserungsbedürftig eingestuft

werden. Die mechanischen Parameter sind nahezu ausreichend entwickelt.

## Die Reinraum-Papier-Fertigung

Bei der Entwicklung von Reinraum-Papieren müssen zunächst Art der verwendeten Fasern und Mahlgrad derselben bestimmt werden. Fertigungshilfsmittel der normalen Papierherstellung wie Kaolinzusätze scheiden für diese Fertigung aus. Das gilt auch möglichst für alle Bleichverfahren und Zusätze, welche ionogene Eigenschaften haben.

Reinraum-Papiere werden fertigungsgemäß auf Rollen von etwa 4 Meter Breite gewickelt. Zur besseren Handhabung werden diese Tamboure anschließend umgerollt und in z. B. drei kleinere Rollen aufgeteilt. Bei einer einzigen Produktionscharge entstehen dann minimal etwa 50t Reinraum-Papier. Anschließend erfolgt das Formatschneiden in Stapel von 250 oder 500 Blatt des Formates A3, A4

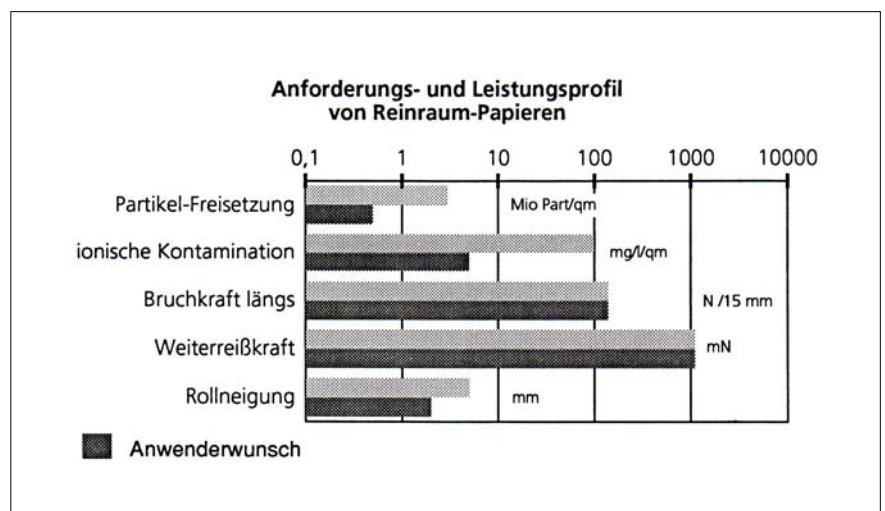


Abb. 1 Anwender-Wünsche im Vergleich zum industriellen Angebot

oder A5. Dieser Vorgang ist kritisch betreffend die spätere Partikelfreisetzung von den Schneidkanten der Papierstapel. Bei hochwertigen Reinraum-Papieren werden spezielle Techniken des Formatschneidens eingesetzt, um die Partikel- und Faserbruchmenge an den Schneidkanten der Stapel gering zu halten. Die Stapel haben eine Höhe von etwa 6 cm. Bei einem DIN A4-Format entspricht das etwa einer Seiten-Fläche von 600 cm<sup>2</sup>. Je nach angewendeter Schneidmethode differiert die Partikelmenge an diesen Seitenflächen im Verhältnis von 1 : 5. Aber auch bei Einsatz bester Schneidtechniken muß bei erhöhten Anforderungen an die Reinheit der Papiere der Schneidstaub von den Schnittflächen entfernt werden. Dies wird in der Praxis oft übersehen.

#### Messung der Partikel Freisetzung

Eine der wesentlichen Anforderungen an das Reinraum-Papier ist dessen geringe Partikelfreisetzung beim Einsatz. Drei Möglichkeiten, wie das Reinraumpapier zur Partikelquelle werden kann:

- 1 - durch die Beschaffenheit der Oberfläche
- 2 - durch die Beschaffenheit des Kantenbeschnitts
- 3 - durch die Freisetzung von Tonerpartikeln nach dem Bedrucken im Kopierer

Immer noch bereitet es große Schwierigkeiten, die bei der Handhabung von Papier freigesetzte Partikelmenge praxisnah zu simulieren. Es wird in diesem Zusammenhang zumeist auf die Methode IES-RP-CC-004-87T hingewiesen. Dabei wird der Prüfling in DI-Wasser getaucht. Die beim Tauchen freigesetzten Partikel werden automatisch gezählt und nach Größe

---

**Die Messung der auf der Oberfläche des Papiers verbleibenden Partikel ist mit den bekannten Methoden nicht möglich.**

---

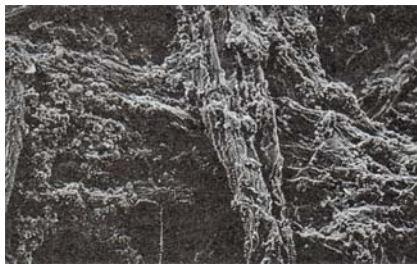


Abb. 2 Standard-Kopierpapier

klassifiziert oder mikroskopisch ausgewertet.

Die Methode hat jedoch unübersehbare Fehlerquellen:

Der unvernetzt gebliebene Teil der zumeist mit Latex gestrichenen Papiere, löst sich beim Eintauchen in das Wasser auf. Es entsteht ein Partikelbrei, welcher teils aus dem aufgelösten Latex und anderen Teils aus den nun nicht mehr gebundenen Partikeln des Papierfilz besteht. Je nach Immersionsdauer, Abtropfzeit, Agitationskraft und homogener Verteilung der hydrodynamischen Kräfte auf die Fläche des Prüflings, differieren bei dieser Methode die erhaltenen Resultate erheblich. Bei den Messungen, welche in unserem Labor nach dieser Methode durchgeführt wurden, ist der genauesten Einhaltung von Tauch- und Abtropfzeiten sowie der zeitlichen Tauch-Meß-Abstände höchste Beachtung geschenkt worden. Selbst dann gab es immer wieder Ausreißer und Überraschungen.

Wesentliches Argument gegen diese Methode bleibt die Tatsache, daß sich die Natur des Prüflings durch das Tauchen in das DI-Wasser erheblich verändert, während das Produkt im praktischen Gebrauch nicht einmal mit Wasser in Berührung kommt. Es kann davon ausgegangen werden, daß glattere Oberflächen während des praktischen Gebrauchs der Papiere im Reinraum weniger Partikel erzeugen als rauhe. Dies gilt insbesondere für den Einsatz als Papier im Kopierbetrieb. In Abb. 10 wird die lichtmikroskopische Aufnahme der Partikel und Faserbrüche, wie sie von einem unge reinigten Stapel mit Hilfe eines tape-

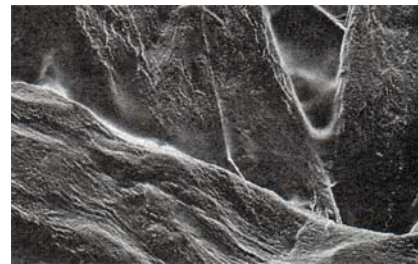


Abb. 3 Reinraum-Papier

lift entnommen wurden, gezeigt; im Vergleich dazu das tape-lift einer gereinigten Schnittfläche. Abb. 16 - 20 zeigt die REM-Photos der Schnittkanten weltweit führender Hersteller von Reinraum-Papieren. Im Rahmen ihrer Herstellung werden die Papiere von beiden Seiten mit Elastomeren bestrichen. Das sind zumeist sorgfältig ausgewählte und auf diese besondere Anwendung eingestellte Latex-Verbindungen. Diese sogenannte Ausrüstung erfolgt, um die im Papierfilz naturgemäß vorhandenen Partikel, welche sich sonst leicht aus dem Papier-Filz lösen könnten, sicher zu binden. Dabei wird ein Teil der Oberfläche versiegelt. Man erkennt das daran, daß die Wasseraufnahme des Papiers pro Zeiteinheit nach erfolgter Ausrüstung mit solchen Elastomeren geringer wird. Diese für die Praxis der Handhabung unbedingt notwendige Latex-Ausrüstung schafft jedoch andererseits auch die nachstehend aufgeführten Probleme:

1. Die Messung der auf der Oberfläche des Papiers verbleibenden Partikel ist mit den bekannten Methoden nicht mehr möglich.
2. Durch die Latex-Ausrüstung erhöht sich bei ungeschickter Auswahl die Gleithemmung der Papiere, wodurch im Kopierbetrieb gelegentliche Staus auftreten können.
3. Die Ausrüstung bewirkt auch ein Ansteigen der elektrostatischen Aufladbarkeit. Ein gutes Reinraum-Papier muß so eingestellt sein, daß die Parameter Partikelfreisetzung, Ionogenität und elektrostatische Aufladbarkeit optimal aufeinander abgestimmt

sind. Zukunftsweisende Entwicklungen gehen in die Richtung eines Verzichts auf die Latex-Ausrüstung bei gleichzeitiger drastischer Erhöhung der Oberflächenglätte und Einsatz spezieller Fasern, welche eine Partikelfreisetzung reduzieren helfen.

Die Abb. 5 - 9 zeigen deutlich die unterschiedlichen Erscheinungsbilder der Oberflächen von Reinraum-Papieren 5 verschiedener Hersteller. Die Aufnahmen wurden im Herbst 1993 gemacht. Es wurde darauf geachtet, daß die erhaltenen Papiermuster, welche diesen Aufnahmen zugrunde liegen, aus neueren Produktionschargen kamen. Es lag jedoch nicht genügend Mustermaterial vor, um auch die morphologische Verschiedenheit unterschiedlicher Chargen darzustellen.

Es gibt z. Zt. meines Wissens keine eingeführte Methode zur Prüfung der Oberflächenreinheit der Schnittflächen von Papierstapeln. Wir mußten uns daher wie folgt behelfen: Ein Handroller mit einer Walze aus semivernetztem Silikonkautschuk wurde einmal bei mittlerem Andruck über eine Seitenfläche des ungereinigten Papierstapels geführt. Die Abrolllänge wurde dem Rollenumfang entsprechend begrenzt, so daß es nicht zu mehrfachem Faserabtrag kommen konnte. Die so mit Fasern belegte Rolle wurde unter ein Stereo Photo Mikroskop gelegt und im Streiflicht photographiert. Die Ergebnisse sind in den Abb. 10 und 11 abgebildet. Herr Dr. Bernhardt Klumpp hat in seiner Dissertation eine interessante Methode zur Messung partikulärer Verunreinigungen von Oberflächen beschrieben. In abgewandelter Form läßt sich diese Methode möglicherweise auch auf im tape-lift-Verfahren erhaltene Faserbruchstücke anwenden. Wir sind bestrebt, im Jahre 1994 Versuche in dieser Richtung durchzuführen.

#### **konfokale Laser-Mikroskopie**

Zur numerischen Erfassung der Oberflächen-Rauhigkeit ist das normale

Elektronenmikroskop nicht besonders geeignet. Aus diesem Grunde haben wir die zur Zeit modernste Methode, die konfokale Laser-Mikroskopie gewählt, um die Topographie von Reinraum-Papier graphisch wirkungsvoll und gleichzeitig numerisch eindeutig darzustellen. Mit Hilfe eines Mikroskops der Firma Lasertec Yokohama und London ist es uns möglich, die nachstehenden Abbildungen zu zeigen. Wir danken Herrn Komiya von Lasertec London für seine wertvolle Hilfe.

Die Methode erlaubt es uns, die Mikro-Topographie poröser Oberflächen photographisch und gleichzeitig numerisch auszuwerten. In Abb. 12 sehen wird eine Höhendifferenz von 25,53  $\mu$  abgebildet. In einer anderen Darstellungsform werden die Höhendifferenzen farblich markiert - siehe Abb 13 Bei dieser Papierprobe betragen die Unterschiede zwischen dem Faserdach und dem Kavitätenboden 138  $\mu$  - bei einem Ausschnitt von 153 x 122  $\mu$ . Das Papier 5 mit seiner hohen Oberflächenglätte zeigt dagegen nur eine Höhendifferenz von 34,5.  $\mu$  (Abb. 14) Mit diesem Verfahren läßt sich z. B. ein unzureichendes Fließverhalten der Versiegelungsmasse (Abb. 15) noch wesentlich besser erkennen als mit dem Elektronenmikroskop, weil bei der elektronenmikroskopischen Darstellung textiler Fasergebilde die elektrostatischen Aufladungen des Materials oftmals den Kontrast der elektronischen Bildübertragung sehr reduzieren.

#### **Die Chargendifferenzen**

Papier ist ein lebendes Material und so können die verschiedenen Produktionschargen unterschiedlich ausfallen. Während die typischen Parameter von Papieren wie Dicke, Durchreißkraft und Weiterreißkraft mit der heutigen Fertigungstechnologie gleichbleibend gut zu beherrschen sind, kann man nicht davon ausgehen, daß alle Parameter, welche für den Reinraumeinsatz wichtig sind, bei jeder Produktionscharge gleiche Werte

zeigen. So kann nach dem Streichen der Papiere mit dem Elastomer die Oberflächen Rauhigkeit gewissen Schwankungen unterworfen sein, ohne daß man sagen könnte, das Papier wäre deswegen nicht brauchbar. Auch ändert sich die Rollneigung der Papiere wenn beide Seiten nacheinander mit einem Einseite-Streichwerk gestrichen werden. Es können die ionogenen Inhaltsstoffe gewissen Schwankungen unterworfen sein. Das hängt davon ab, welche Inhaltsstoffe das Papier hatte, das in der davorliegenden Produktionscharge gefertigt wurde. Aber selbst durch extrem langes Spülen der Anlagen erreicht man keine ionenfreie Stoffaufbereitung.

#### **Der Druckauftrag**

Auch für einen homogenen Auftrag der einzelnen Schriftzeichen ist eine Papieroberfläche von hoher Glätte sehr förderlich. Die Tonerpartikel werden im Rahmen des Druckvorgangs thermisch auf der Papieroberfläche fixiert und dabei geschmolzen. Der Schmelzvorgang kann aber nur dann einwandfrei funktionieren, wenn erstens die Temperatur der Fixierwalze des Druckers oder Kopierers ausreichend hoch bemessen ist und außerdem die Oberfläche eine homogene Temperaturverteilung zuläßt. Die Unterschiede zwischen dem Druckvorgang auf einem rauheren und im Vergleich dazu auf einem glatten Papier werden in den Abbildungen 25 und 26 deutlich hervorgehoben. Es ist ratsam, von Zeit zu Zeit die Fixierwalzen-Temperaturen der reinraumgebundenen Kopiergeräte zu überprüfen. Wenn diese nicht hoch genug sind, so kann der Tonerstaub nicht auf der Papieroberfläche fixiert werden. Er wird dann bei der geringsten Berührung sehr leicht abgerieben und verunreinigt evtl den Reinraum. Normalerweise reklamiert in solchen Fällen der Anwender das Papier beim Hersteller, welcher aber hier nicht Abhilfe schaffen kann.



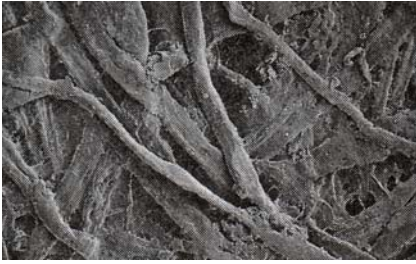


Abb. 4 Papier 1 - Elastometer hatte zu hohe Viskosität: Klümpchenbildung

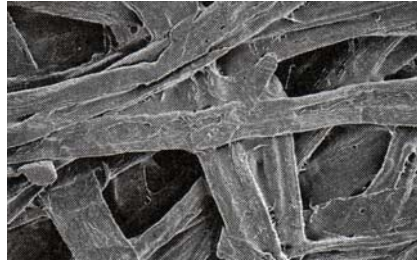


Abb. 5 Papier 2 - mit normaler Porosität und bekanntem Fließbild

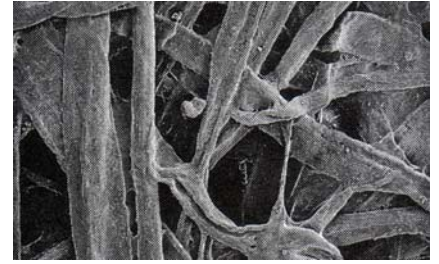


Abb. 6 Papier 3 - zu hohe Porosität für die geforderte Partikelfreisetzung

*Die Beschaffenheit der Oberfläche läßt bereits einen Schluß auf die wahrscheinliche Partikelfreisetzung beim Gebrauch der Papiere zu. Normalerweise haben rauhere Oberflächen einen höheren Reibungskoeffizienten und daher auch einen höheren Partikel-Abrieb bei der Einzelblatt-Verarbeitung im Drucker oder Kopierer. Deutlich sieht man die Elastomer- Ausrüstung. Alle Bilder wurden bei 500facher Vergrößerung mit einem Elektronenmikroskop Akashi SS60 aufgenommen.*

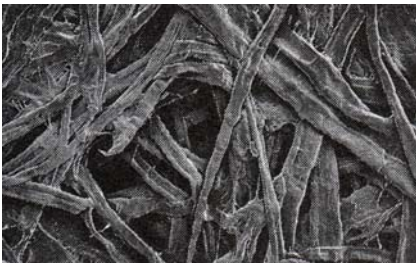


Abb. 7 Papier 4 - ungleichmäßiger Elastomer Auftrag, mittl. Porendichte



Abb. 8 Papier 5 - homogene Faserverteilung, ausreichende Glätte

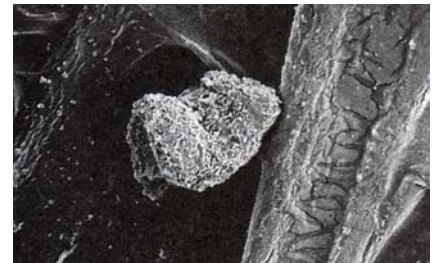


Abb. 9 Zu poröse Oberflächen werden schnell zum Partikelnest

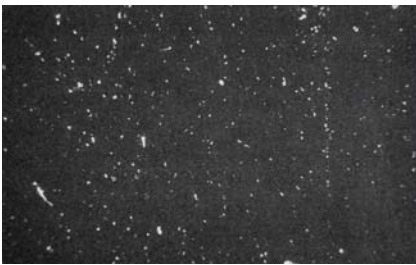


Abb. 10 ungereinigte Schnittflächen eines Papierstapels, tape-lift, Mikrosk.



Abb. 11 gereinigte Schnittflächen eines Stapels, tape-lift, Mikroskop

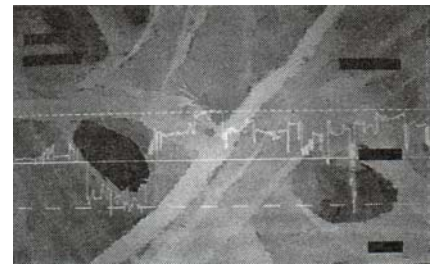


Abb. 12 konfokale Laser-Mikroskopie

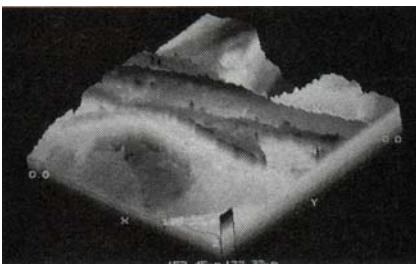


Abb. 13 konfokale Laser-Mikroskopie

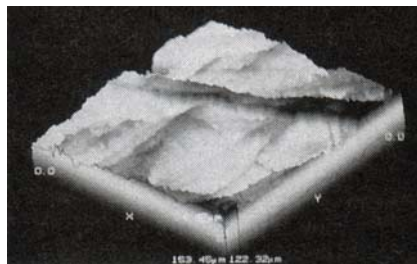


Abb. 14 konfokale Laser-Mikroskopie

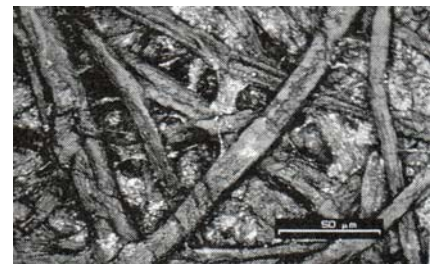


Abb. 15 konfokale Laser-Mikroskopie

## Abbildungen des Kantenbeschnitts

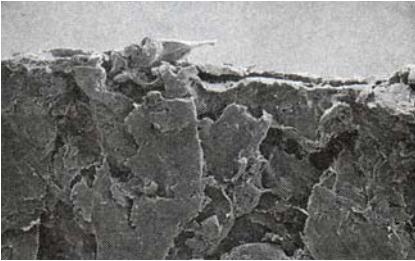


Abb. 16 Kante von Papier 1 ist abgequetscht. Dabei entstehen erfahrungsgemäß große Fasermengen.

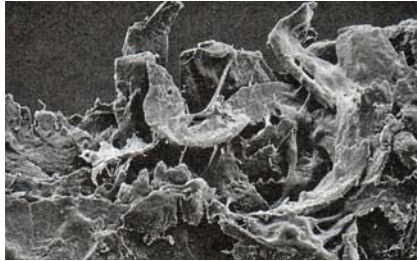


Abb. 17 Kante von Papier 2 ist mehr gerissen als geschnitten. Auch dabei entstehen große Fasermengen.

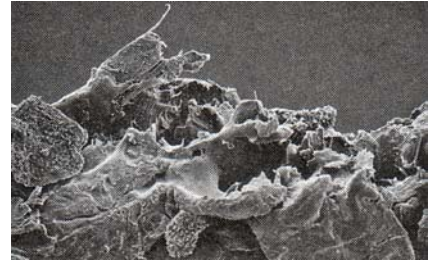


Abb. 18 Papier 3 hat eine ähnliche Reißkante wie Papier 2. Auch hier wurde am Kantenbeschnitt gespart.



Abb. 19 Kante von Papier 4 hebt sich in ihrer Glätte positiv von den bisher untersuchten Papieren ab.



Abb. 20 Das Papier 5 zeigt einen optimalen Kantenbeschnitt, welcher in seiner Güte Papier 4 noch übertrifft, dies aber nur an 3 Kanten von 4.

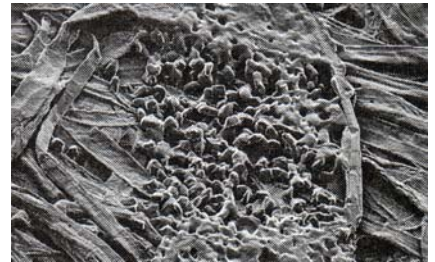


Abb. 21 deutlich sieht man die nicht fixierten Tonerpartikel bei einem Papier mit relativ rauher Oberfläche.

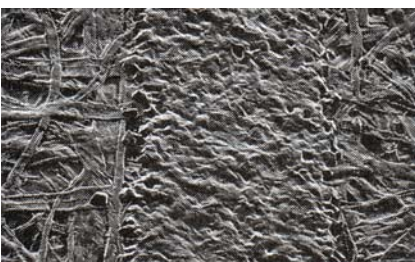


Abb. 22 Das Papier Nr. 5 mit einer glatten Oberfläche läßt eine ausreichende Homogenität des Druckauftrags entstehen

**Die Herkunft der geprüften Papiere:** Dieser Aufsatz dient der technisch-wissenschaftlichen Information. In diesem Rahmen mochten wir keine Hersteller-Angaben machen; insbesondere auch deswegen nicht, weil die Produktions-chargen unterschiedlich ausfallen können, eine absolute

Reproduzierbarkeit also evtl. nicht gegeben ist. Wir nennen daher nur die Herkunftsländer der geprüften Papiere: 1, 2 und 3: US-amerikanische Hersteller 4: japanisches Papier 5: deutsches Papier