

Im Reinraum-Betrieb findet, wie in anderen HiTech-Fertigungsbetrieben auch, ein reger Informationsaustausch statt. Informationen an die Mitarbeiter, Equipment-Handbücher, Maschinen-Lauf-Protokolle, Inbetriebnahme-Daten, Besprechungs-Notizen, Skizzen und oftmals auch Chargen-Begleit-Protokolle für die gefertigten Produkte - alle diese Informationen werden Reinraum-extern und -intern auf den mobilsten Datenträger der Welt - das Papier - gespeichert und verteilt. Ein weiteres Einsatzgebiet reiner Papiere ist die Trennung solcher Produkte der Reintechnik, welche vor, während oder nach der Produktion nicht flächig aufeinander liegen dürfen, wie z. B. Silizium-Wafer. Hier dient das Reinraum-Papier oft als Separator-Blatt zum Schutz der kritischen Produktoberflächen.

Reinraum-Papiere

Mobile Datenträger der Reintechnik

Win Labuda
Clear & Clean - Forschungslabor

Es gibt zwei Arten von Reinraum-Papieren: Die Einen bestehen aus Cellulose und haben einen deutlichen Papiercharakter. Die Anderen bestehen aus Kunststoff und sind genau genommen keine Papiere. Sie konnten sich jedoch aus ökonomischen und ökologischen Gründen im Markt nicht recht durchsetzen. Außerdem lassen sie sich wegen der hochtemperierten Fixiertrommeln im Laserdrucker dort nicht verarbeiten. Der vorliegende Aufsatz betrifft daher ausschließlich cellulosische Papiere.

Reinraum-Papiere für die Dokumentation werden wiederum in zwei Formen eingesetzt: Als lose Blattstapel für den Drucker (Abb. 1) oder Kopiererbetrieb oder in gebundener Form als Reinraum-Notizbücher (Abb. 2). Solche Notizbücher müssen von Reinraum-angepasster Beschaffenheit sein: Beim Aufklappen der Deckel oder der Seiten sollen möglichst wenig Partikel freigesetzt werden. Aus diesem Grunde haben solche Bücher eine Spiralbindung aus Kunststoffdraht. Die Deckel sind aus reinraumtauglichem Kunststoff mit gerundeten Ecken ausgeführt. Die Innenseiten

sind aus kariert bedrucktem Reinraum-Papier. Solche Notizbücher gibt es in verschiedenen Größen von DIN A7 bis zu DIN A4. Sie dienen handschriftlichen Aufzeichnungen im Reinraum und natürlich auch für Handskizzen.

Für Reinraum-Papiere gibt es ein Anforderungsprofil und ein Leistungsprofil. Das Anforderungsprofil ergibt sich aus den Notwendigkeiten der Reinhaltung bei den Prozessen des Reinen Arbeitens. Das Leistungsprofil wiederum basiert auf den technischen Möglichkeiten der fünfstufigen Papierherstellung. Das sind:

- Stoffaufbereitung (Mahlung, Färbung)
- Blattbildung und Oberflächenglättung
- Ausrüstung mit Latex-Schichten
- Formatierung
- Dekontaminierung

Im wesentlichen besteht heute (Okt. 2000) bei der technischen Oberklasse der am Markt präsenten Reinraum-Papiere weitgehende Identität zwischen Anforderungs- und Leistungsprofil. Bei Papieren dieser Klasse bleiben beim Anwender kaum Wünsche offen. Einige der weltweit angebotenen Papiere sind jedoch auf der Qualitätsskala nicht ganz oben angesiedelt und so sind qualitätsbewusste Reinraum-Ingenieure gefordert, eine fertigungsgerechte Auswahl zu treffen.

Natürlich müssen Papiere, welche in einer reinen Arbeitsumgebung benutzt werden, von besonders reiner Beschaffenheit sein. Sie sollen nicht nur im Anlieferungszustand eine hohe Oberflächenreinheit haben, sondern sie dürfen auch während und nach ihrer Gebrauchsbeanspruchung im Reinraum nur geringe Mengen an Partikeln oder Faserfragmenten an die Umgebung abgeben. Außerdem müssen sie weitere Qualitätsmerkmale aufweisen, welche bei Standard-Papieren nicht gefordert sind.

Nachstehend sind die wesentlichen Merkmale zusammengefasst:

- hohe Oberflächenreinheit
- hohe Kantenreinheit
- geringe triboelektrische Aufladbarkeit
- geringer Ionenbestand
- ausreichende Reißfestigkeit und
- geringe Spaltneigung

Die Reinraum-Papier-Fertigung

Vor der Fertigung von Reinraum-Papieren müssen zunächst die Art der zu verwendenden Fasern und der Mahlgrad derselben bestimmt werden. Fertigungshilfsmittel der normalen Papierherstellung, wie Kaolinzusätze als Füllstoffe scheiden für diese Fertigung aus.



Abb. 1 Reinraum-Papier (lose Blätter in Folienverpackung)



Abb. 2 Reinraum-Notizbücher mit Kunststoff-Spiral-Bindung

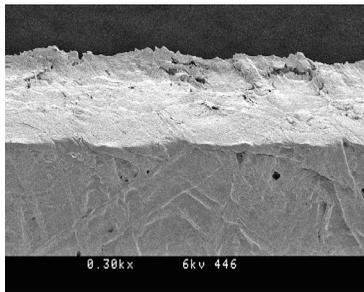


Abb. 3 Schnittkante des Papiers von Hersteller 1, (300 x)

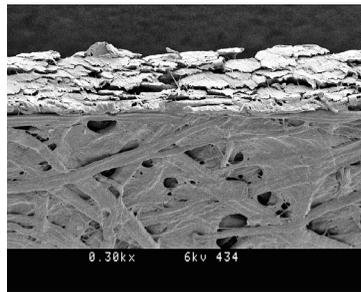


Abb. 4 Schnittkante des Papiers von Hersteller 2, (300 x)

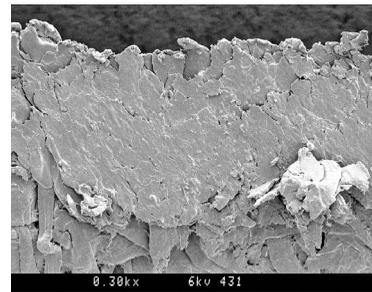


Abb. 5 Schnittkante des Papiers von Hersteller 3, (300 x)

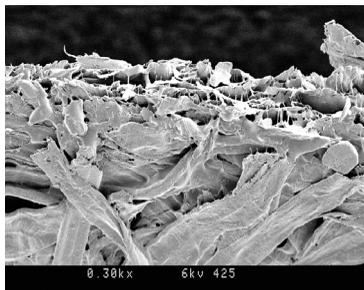


Abb. 6 Schnittkante des Papiers von Hersteller 4, (300 x)

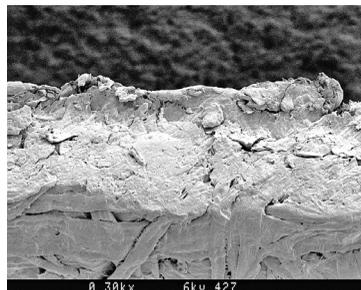


Abb. 7 Schnittkante des Papiers von Hersteller 5, (300 x)

Das gilt auch möglichst für alle ionogenen Bleichverfahren und Zusätze, welche ionogene Eigenschaften haben. Reinraum-Papiere werden in Rollen von etwa 4 Meter Breite und 2,5 m Durchmesser gefertigt. Zur besseren Handhabung werden diese Rollen anschließend in z. B. drei kleinere Rollen aufgeteilt. Bei einer einzigen Produktionscharge entstehen so etwa 80 bis 100 t Reinraum-Rohpapier, dessen Eigenschaften jedoch konstruktiv bereits für den späteren Einsatz als Reinraum-Papier vorgesehen sind. In einem weiteren Arbeitsgang erfolgt das Streichen der Papiere in Rollenform mit einem speziell formulierten, ionenarmen Überzug. Die Hersteller von Reinraum-Papieren verwenden dabei Elastomere, mit denen Reinraum-Papiere im Rahmen ihrer Herstellung von beiden Seiten bestrichen werden. Das sind zumeist sorgfältig ausgewählte und auf diese besondere Anwendung eingestellte Latex-Verbindungen. Die Beschichtung erfolgt, um die auf der Papieroberfläche naturgemäß vorhandenen Partikel sicher zu binden. Dabei wird ein großer Teil der Poren des Papiers verschlossen. Diese für die Gebrauchereinheit der Papiere förderliche Latex-Ausrüstung schafft

jedoch andererseits Probleme durch die Erhöhung deren triboelektrischer Aufladbarkeit, welche automatisch damit einhergeht. Nach Trocknung der Charge Reinraum-Papiers erfolgt das Konvertieren aus der Rollenform in Flachgelegestapel. In einem weiteren, dem kritischsten Konvertiervorgang, werden aus diesen Flachgelegenen nun Formatpapiere in den Gebrauchsabmessungen DIN-A4 oder DIN-A5

geschnitten. Dieser Vorgang bestimmt wesentlich die Oberflächenreinheit der Schneidkanten der Formatpapiere. Bei hochwertigen Reinraum-Papieren werden spezielle Techniken des Formatschneidens angewendet, um die Partikel- und Faserfragmentmenge an den Schneidkanten der Papierstapel gering zu halten. Die verkaufsfertigen Papierstapel haben bei 500 Blatt 100 g-Papier eine Höhe von etwa 6 cm. Bei einem DIN-A4-Format entspricht das rundum etwa einer kritischen, stark partikelbeladenen Fläche von 600 cm². Die Menge der Rest-Verunreinigung im Kantenbereich variiert mit dem eingesetzten Schneidverfahren. Je nach Verfahren differiert die Partikelmenge an diesen Seitenflächen in einem Verhältnis von etwa 1 : 5 zwischen guten und weniger guten Reinraum-Papieren. Für Reinraum-Papiere gibt es wegen des aus papiertechnischer Sicht sehr kleinen Marktes weltweit nur fünf bekannte Hersteller. Die Oberflächen und Kanten der Papiere wurden elektronenmikroskopisch photographiert. Die Ergebnisse sind nachstehend abgebildet (Abb. 3-12, REM-Bilder: Yuko Labuda).

Reintechnische Prüfmethode

Reinraum-Papiere gehören zu den großflächigen Produkten, welche den Reinraum ständig durchlaufen - genau wie Overalls oder Reinigungstücher. Daher sollte der Reinraum-Ingenieur diesem Produkt in seinem *clean-concept* eine entsprechende Beachtung schenken. Dazu gehört auch die Kenntnis der Qualitätsmerkmale solcher Papiere.

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

- durch die Beschaffenheit der Oberfläche
- durch die Beschaffenheit der Kanten
- durch die Freisetzung von Tonerpartikeln nach Bedrucken im Kopierer

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Oberflächenreinheit der Papiere messtechnisch zu erfassen. Es wird in diesem Zusam-

menhang gelegentlich auf eine ältere, amerikanische Prüfmethode für Reinraumbücher (IES-RP-CC-004) hingewiesen, welche oft auch für die reintechnische Qualifizierung von Reinraum-Reinigungstüchern eingesetzt wird. Dabei wird der Prüfling in ein DI-Wasser-Bad getaucht und geschüttelt (biaxial shake-test). Alternativ sieht die Methode das vorsichtige Begießen des Prüflings mit DI-Wasser und die nachfolgende Erfassung der Differenzmenge der Partikel im DI-Wasser vor. Die beim Begießen ins DI-Wasser hinein freigesetzten Partikel werden abfiltriert und die Filter werden mikroskopisch ausgewertet. Bis zum Jahre 1995 hatten wir bei unseren Laborversuchen die Prüflinge drei Mal getaucht und anschließend abtropfen lassen. Dabei ergaben sich jedoch Variationskoeffizienten jenseits der 40 %-Marke. Nachdem wir die Anzahl der Tauchvorgänge von drei auf einen reduziert hatten, pegelten sich die Variationskoeffizienten zwischen 5,6 % und 31,3 % ein. Bei den Messungen, welche in unserem Labor nach dieser Methode durchgeführt wurden, mussten die Tauch- und Abtropfzeiten sehr genau eingehalten werden. Andernfalls ergaben sich nicht akzeptable Ungenauigkeiten. Die Prüfergebnisse der fünf Reinraum-Papiere verschiedener Hersteller im Vergleich zu Standard-Büropapier zeigt Abb. 13.

Der Reinraum-Anwender ist selten ohne großen Aufwand selbst in der Lage, die reintechnische Qualität von Reinraum-Papieren im Anlieferungszustand zu prüfen. Dazu fehlt zumeist das spezielle Instrumentarium aber auch das in

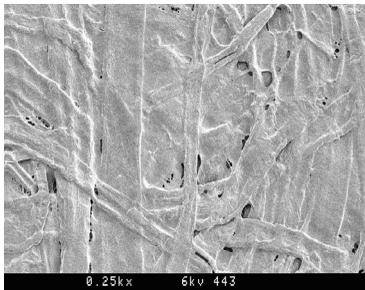


Abb. 8 Oberfläche des Papiers von Hersteller 1, (250 x)

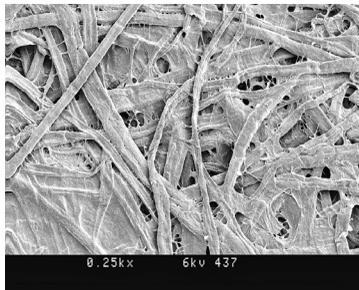


Abb. 9 Oberfläche des Papiers von Hersteller 2, (250 x)

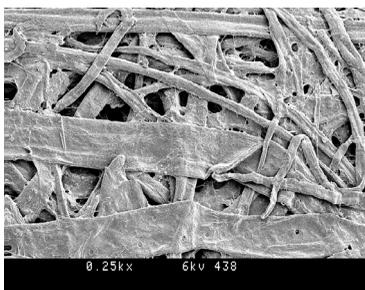


Abb. 10 Oberfläche des Papiers von Hersteller 3, (250 x)

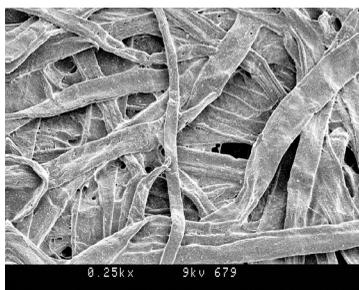


Abb. 11 Oberfläche des Papiers von Hersteller 4, (250 x)

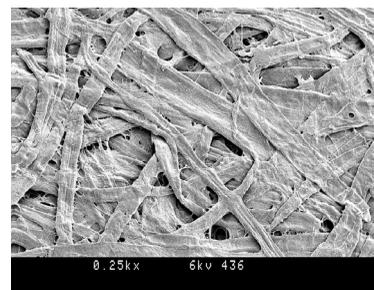


Abb. 12 Oberfläche des Papiers von Hersteller 5, (250 x)

dieser Richtung ausgebildete Personal und die Datenbasis für eine vergleichende Beurteilung. Aus diesem Grunde ist es für den Anwender sinnvoll, die Zusammenarbeit mit einem Hersteller von Reinraum-Papieren zu pflegen, welcher aufgrund seiner *in-house-Analytik* auch in der Lage und willens ist, Qualitätsnachweise zu erbringen und das Produkt ständig zu verbessern.

Die o.a. bedingt zuverlässige Prüfmethode für die Anzahl der beim kurzzeitigen Tauchen von ReinraumPapieren ins DI-Wasser hinein freigesetzten Partikel zeigt als Ergebnis leider nicht genau was der Anwender wissen möchte. Grundlage der Qualitäts-Beurteilung sollte die beim Einsatz der Papiere abgelöste Partikelmenge und deren Größen-Verteilung sein. Dafür gibt es jedoch z. Zt. keine Prüfmethode, welche die Papierhandhabung im Reinraum ausreichend und anwendungsnah simuliert. Das liegt auch daran, dass der Partikeltransfer vom Papier auf andere Reinraum-Oberflächen auf zwei Wegen erfolgt:

- *zum Einen als Kontakttransfer von der Papieroberfläche auf eine beliebige Reinraum-Oberfläche hin*
- *und zum Anderen als Teilchen-Ablösung vom Papier bei gleichzeitigem Übergang in den luftgetragenen Zustand mit nachfolgender Sedimentation*

Dem Autor sind bisher keine Untersuchungsergebnisse zur prozentualen Verteilung der beiden Kontaminationswege bekannt geworden. Wesentliches Argument gegen die Tauchmethode bleibt außerdem, dass sich die Natur des Prüflings durch das Tauchen in das DI-Wasser verändert, während das Produkt im praktischen Gebrauch nicht einmal mit Wasser in Berührung kommt.

Aus Japan wird von der hauseigenen Prüfmethode eines Reinraum-Betreibers berichtet, bei der ein ultrareiner Wafer mit definiertem Anpressdruck für eine definierte Zeitspanne auf ein Blatt Reinraum-Papier gedrückt wird. Vor und nach der Prüfung wird die Anzahl der Partikel auf dem Wafer gezählt und es wird die Differenzsumme gebildet. Diese Prüfung scheint zunächst sehr einleuchtend für die Simulation des Transfer der Partikel von

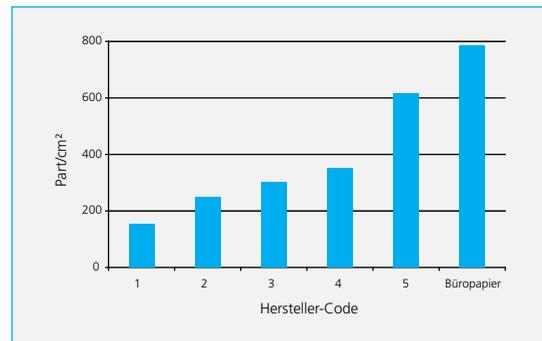


Abb. 13 Vergleich der Partikelfreisetzung von Reinraum-Papieren und Standard-Büropapier (5 verschiedene Hersteller plus Büropapier), Tauchmethode

Reinraum-Papier zu einer beliebigen Oberfläche. Bei genauerer Betrachtung jedoch scheint der Kontakt-Transfer abhängig von vielen Parametern: Von den elektrischen Ladungen des Papiers als auch der Waferoberfläche, von der Rauigkeit der Papieroberfläche und nicht zuletzt von der Papierfeuchte. Vorausgesetzt, alle diese Parameter würden kontrolliert, so könnte man untersuchen, ob es zwischen dieser Kontakt-Wafer-Methode und der Tauchmethode zu signifikanten Korrelationen kommt. Wenn das der Fall wäre, so ergäbe sich eine interessante Möglichkeit der Erfassung von Kontakt-Transfer.

Partikel befinden sich auf allen Flächen eines Papierstapels, stark vermehrt jedoch an den Schnittkanten. Es gab seinerzeit keine eingeführte Methode zur Prüfung der Oberflächenreinheit der Schnittkanten von Papierstapeln. Wir mussten daher eine eigene Methode entwickeln. Das Ergebnis war eine Aufnahmevorrichtung für Partikel auf Oberflächen (PART-LIFT™-Partikel-Aufnehmer) [4]. Dabei handelt es sich um einen Hub-begrenzten Federstempel mit adhäsiv ausgebildeter Frontplatte. Beim Andrücken dieser Vorrichtung an die Seiten eines Papierstapels werden die lösbaren Partikel auf der adhäsiven Frontplatte des Aufnehmers gebunden. Die Frontplatte ist von dunkler Färbung und kann nun unter einem Mikroskop betrachtet und ausgewertet werden. Die Bilder Abb. 14 und 15 zeigen Mikroskop-Aufnahmen der Partikelbeläge von den Schnittkanten eines Papierstapels vor und nach der Schnittkanten-Dekontaminierung, aufgenommen mit dem Part-Lift™-Aufnehmer.

Die von Reinraum-Papieren freigesetzten Partikel sind in ihrer Auswirkung auf das Prozessgeschehen nicht unbedingt gleichzusetzen mit z. B. Polymerpartikeln. Das liegt daran, dass der Werkstoff Papier von seinem Fertigungsverfahren her stets einen relativ hohen Anteil an Natriumionen enthält, welche für die Prozesse der Halbleiterfertigung aber auch für die Waferfertigung eine Gefahr bedeuten. Freigesetzte Papierteilchen sind aber in diesem Sinne auch stets freigesetzte Ionen. Je besser das Reinraum-Papier, desto weniger Ionen sind darin enthalten. Die Messung der im Reinraum-Papier enthaltenen Spezies lässt sich ohne Präparation mit Hilfe der elektronendispersiven Röntgenanalyse (EDX) durchführen. Abb. 16 und 17 zeigen entsprechende Diagramme.

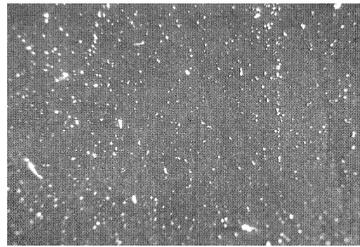


Abb. 14 Mikroskop-Aufnahme von der Schnittkante eines Papierstapels vor der Dekontaminierung

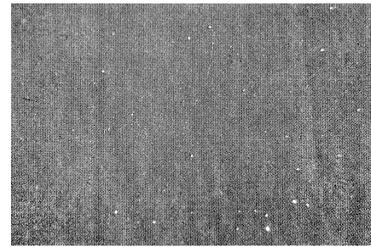


Abb. 15 Mikroskop-Aufnahme von der Schnittkante eines Papierstapels nach der Dekontaminierung

solchen Fällen wird zumeist angenommen, das Reinraum-Papier sei die einzige Ursache für die aufgetretenen Probleme.

Der Grund für einen gestörten Papiertransport ist prinzipiell eine zu hohe Gleithemmung zwischen den übereinander liegenden Blättern. Dafür gibt es jedoch mehrere mögliche Ursachen:

Hauptursache ist erfahrungsgemäß eine unzulässig lange offene Vorlagerung des Papiers in beheizten Räumen mit geringer relativer Feuchte und damit verbundener Austrocknung des Papiers. Trockene Papiere sind erheblich schneller triboelektrisch aufladbar als feuchte. Es gibt recht preiswerte Papierfeuchtemesser, welche der Großanwender von Reinraum-Papieren einsetzen sollte, um in den Wintermonaten einen ungestörten Kopierbetrieb sicherzustellen. Weitere Ursachen sind:

- zu hoch eingestellter Anpressdruck des Papier-Vorschubs am Drucker/Kopierer

Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer

Reinraum-Papiere werden heute oftmals in Bürodruckern oder in Kopiergeräten bedruckt. Diese sind zumeist so konstruiert, dass der Blatt-Transport vom Papierstapel in den Drucker/Kopierer durch ein gummiertes Vorschubrad erfolgt. Transportiert wird also stets das zuoberst liegende Papierblatt. Bei diesem Vorgang entsteht eine starke Reibung zwischen bewegtem Blatt und dem Papier-Stapel. Die erzeugte Triboelektrizität erhöht die Gleithemmung zwischen den einzelnen Blättern und so kommt es gelegentlich zum Papierstau. In

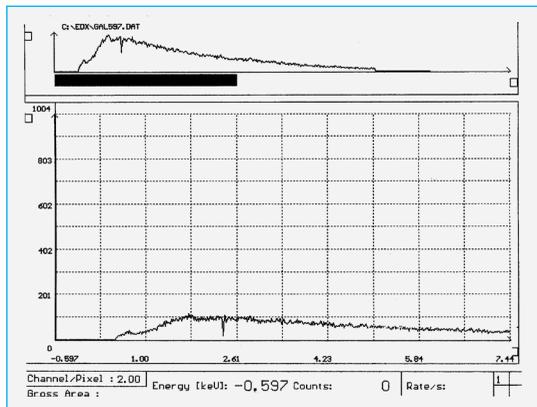


Abb. 16 EDX-Diagramm Reinraumpapier des Herstellers 1

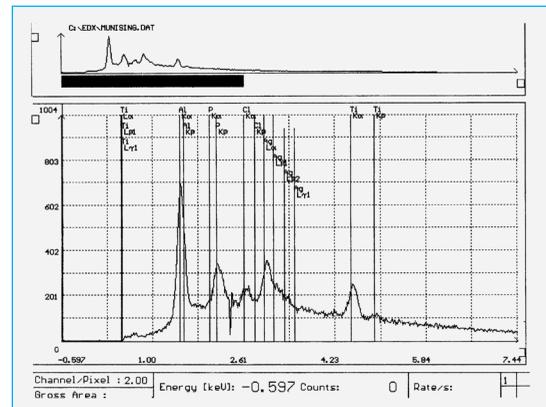


Abb. 17 EDX-Diagramm Reinraumpapier des Herstellers 4

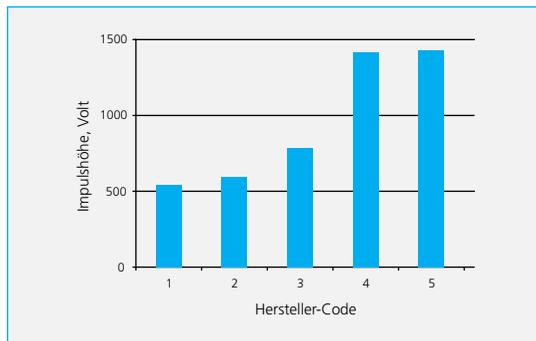


Abb. 18 Prüfergebnisse für die elektrische Ladungs-Impulshöhe diverser Reinraum-Papiere (gemessen mit Fallschlitten nach Ehrler)

- zu hohe Oberflächenreibung zwischen den Papieren
- zu geringe Ableitung der druckerinternen Corona-Ladung des Papiers

Das triboelektrische Verhalten des Papiers ist also nur eine von vielen Einflussgrößen auf den Parameter *Gleithemmung*. Es reicht bei der Fehler-Analyse zu hoher Gleithemmungen nicht aus, das Problem durch Messung des *elektrischen Oberflächenwiderstands* des Papiers lösen zu wollen. Zumeist sind es die lagertechnischen und gerätespezifischen Probleme, welche zu Störungen im Papierlauf führen.

Die Triboelektrik ist herstellerseitig in weiten Grenzen durch die Auswahl der Papierbeschichtung modifizierbar. So zeigen sich denn für die wichtigsten Reinraum-Papiere des internationalen Angebotes im Test sehr unterschiedliche Ladungs- und Entladungsdiagramme, wie sich der Abb. 18 und 19 entnehmen lässt [2].

Um jedoch auch die dynamische Triboelektrizität zu messen wurde in unserem Labor am Einlaufschacht eines Laserdruckers eine Feldmühle befestigt und die durch den Papiervorschub entstehenden Ladungs - Impulsdiagramme seriell aufgezeichnet. Abb. 20 zeigt die Impulsreihen zweier unterschiedlich beschichteter Reinraum-Papiere im Vergleich mit einem Standard-Kopierpapier aus der Bürobranche.

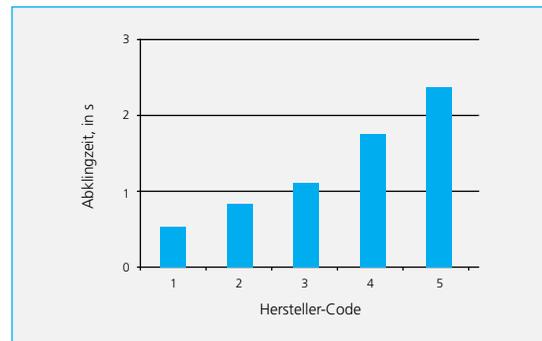


Abb. 19 Prüfergebnisse für die Abklingzeit der Ladung diverser Reinraum-Papiere (gleiche Hersteller-Codes wie Abb. 18)

Die Oberflächenglätte

Es kann davon ausgegangen werden, dass glattere Papier-Oberflächen während des Gebrauchs weniger Partikel freisetzen als rauhere. Dies gilt insbesondere für den Einsatz als Papier im Kopiererbetrieb, wo eine Flächenreibung arbeitsbedingt ist. Daher sollte die Oberfläche von Reinraumpapier eine bestimmte geringe Oberflächen-Rauhigkeit haben.

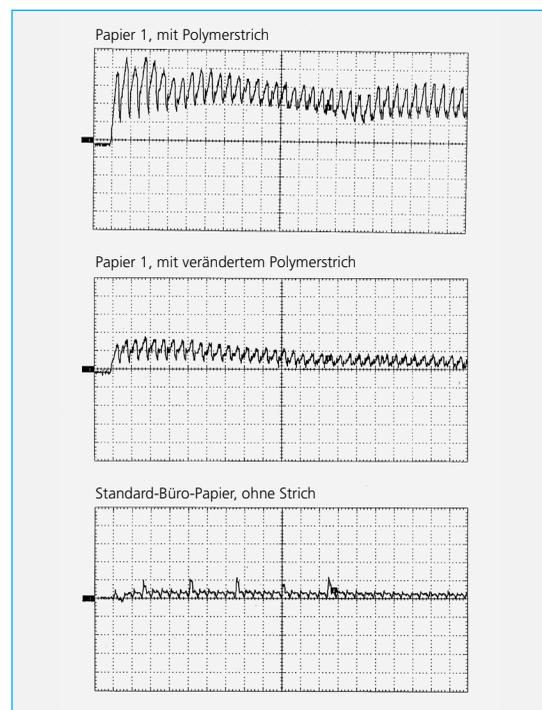


Abb. 20 Triboelektrische Impulsreihen (kV) gemessen an verschieden ausgerüsteten Reinraum-Papieren im Druckbetrieb (ein Impuls pro Blatt)

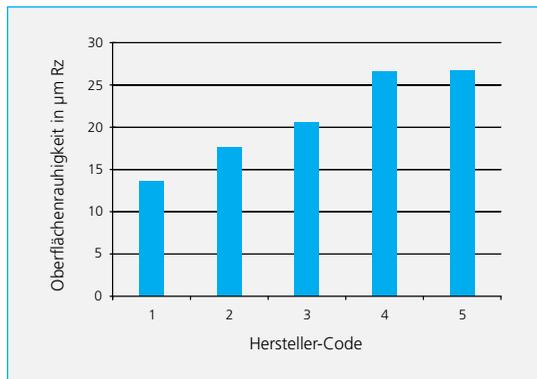


Abb. 21 Oberflächenrauigkeiten der Reinraum-Papiere verschiedener Hersteller

Auch für einen homogenen Druckauftrag ist eine Papieroberfläche von hoher Glätte sehr förderlich. Die polymeren Tonerpartikel werden beim Druckvorgang in Buchstabenform auf das Papier gebracht, dort geschmolzen und dabei thermisch fixiert. Der Schmelzvorgang kann jedoch nur dann einwandfrei funktionieren, wenn die Temperatur der Fixierwalze des Druckers hoch genug eingestellt ist und ein ausreichender Andruck der Fixierwalze an das Papier gewährleistet ist. Sonst verbleiben dort freie Toner-Partikel, welche früher oder später in den Reinraum gelangen und dort zur Kontamination beitragen. Es ist daher ratsam, von Zeit zu Zeit die Fixierwalzen-Temperaturen der reinraum-gebundenen Kopiergeräte zu überprüfen. Bei Problemen mit *zu geringer Tonerhaftung auf dem Papier* muss der Fehler stets in diesem Bereich und nicht beim Papier gesucht werden. Abb. 21 zeigt ein Diagramm der Oberflächenrauigkeiten der fünf international bekannten Reinraum-Papiere.

Die Chargendifferenzen

Papier ist bis zu einem gewissen Grade ein lebendes Material und so können verschiedene Produktionschargen etwas 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 reintechnischen Parameter bei jeder Produktionscharge gleiche Werte zeigen. So kann beim Streichen der Papiere mit der Latex-Beschichtung die Oberflächenrauigkeit gewissen Schwankungen unterworfen sein. Auch ändert sich die Rollneigung der Papiere wenn beide Seiten nacheinander mit einem Einseiten-Streichwerk gestrichen werden. Es können auch die ionogenen Inhaltsstoffe gewissen Schwankungen unterworfen sein. Die Tatsache, dass bei Reinraum-Papieren herstellungsseitig keine Füllstoffe zur Glättung eingesetzt werden dürfen, bedingt naturgemäß auch faserstoffabhängige Unterschiede in der Oberflächenrauigkeit.

Literatur

- [1] Labuda, Win – Reinraum-Verbrauchsmaterial - Einflüsse der Qualität auf die Prozess-Ausbeute, Qualitäts-Optimierung, Qualitätsprüfung, *Teil 1 – Reinraum-Tücher und Papier*, Clear & Clean-Publikation, Lübeck, 1998
- [2] Labuda, Win - Triboelektrische Effekte beim Einsatz von Reinraum-Tüchern und Papier, VDI – Verein Deutscher Ingenieure – Publikation 1342, 1997, Fulda
- [3] Labuda, Yuko - Reinraum-Papiere, Morphologie der Oberflächen und Schnittkanten, VDI - Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Verlag, Report-Band 1095, 1993, Stuttgart
- [4] Labuda, Win - A new kind of Particle-Collector, ICCCS-World-Congress, 1996, Den Haag, Proceedings

Anmerkung: Es waren in den durchsuchten Literatur-Datenbanken keine Aufsätze anderer Autoren zum Thema Reinraum-Papier zu finden.