



INFOR-Projekt Nr. 2

**Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens
für die Schnittqualität von Karton**

März 2000

Papiertechnische Stiftung
München

Lehrstuhl für Maschinenelemente
und Konstruktionslehre
Ruhr-Universität Bochum

FuE-Leiter der Forschungsstelle:
Dr. H. Großmann

Leiter der Forschungsstelle:
Prof. Dr.-Ing. E. G. Welp

INFOR-Projekt Nr. 2

Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens für die Schnittqualität von Karton

Projektbegleiter aus der Papierindustrie:

Dipl.-Ing. E. Braun
FS Karton GmbH
Neuss

Dipl.-Ing. H. Droege
Papier- und Kartonfabrik Varel
Varel

Dipl.-Ing. J. Evers
Papier- und Kartonfabrik Varel
Varel

Dipl.-Ing. M. Klug
Buchmann GmbH Kartonfabrik
Annweiler

Dr. F. Miletzky
Felix Schoeller GmbH & Co. KG
Osnabrück

Dr.-Ing. J. A. Wiedmann
Buchmann GmbH Kartonfabrik
Annweiler

Dipl.-Ing. M. Mühlhauser
Mayr-Melnhof Karton
Frohnleiten

Abschlussbericht

zum INFOR-Vorhaben

Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens für die Schnittqualität von Karton

gefördert vom VDP

Dr. H. Großmann
Dr. R. Wilken
Dr.-Ing. J. Heindl
Papiertechnische Stiftung (PTS)
München

Prof. Dr.-Ing. E. G. Welp
Dipl.-Ing. E. Wolf
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre (LMK)
Ruhr-Universität Bochum

Bochum, den 15.12.03

Inhalt:

1. Ausgangssituation und Zielsetzung	3
2. Übersicht zu den durchgeführten Arbeiten	5
3. Experimentelle Erfassung der Schnittkantenprofile ausgewählter Kartonsorten	5
3.1 Versuchsaufbau und Messergebnisse	5
3.2 Versuche zur Bestimmung von Kantenstäuben	11
4. Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens und Auswertung der Messdaten	13
4.1 Das digitale Schnittkanten-Beurteilungsverfahren	13
4.2 Anwendung des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens	17
4.2.1 Analyse von Schnittkantenprofilen	18
4.2.2 Untersuchung des Staubproblems	20
4.3 Entwurf einer Qualitätsskala	22
4.4 Ausblick auf einen Online-Einsatz des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens	23
5. Zusammenfassung und Perspektiven des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens	24
6. Literatur	25

1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Karton wird endlos produziert und liegt am Ende des Produktionsprozesses als Wickel (Tambour) vor. In den meisten Anwendungsfällen von Karton wie beispielsweise in der Faltschachtelindustrie wird der Karton als Bogenware verarbeitet. In der Kartonfabrik ist deshalb das Längsschneiden und Querschneiden elementarer Bestandteil der Produktion.

An die Präzision der Schneidprozesse werden hohe Anforderungen gestellt, denn der Bogen muss so exakt wie möglich den Sollabmessungen entsprechen, er muss rechtwinklig sein und die Schnittkanten müssen sauber und frei von losen Partikeln (Staub) sein. Hiermit sind auch gleich die Kriterien genannt, nach denen die Schnittgüte bewertet wird:

- Übereinstimmung von Sollabmessungen und Istabmessungen
- Kantenparallelität und Winkligkeit
- Saubere und staubfreie Schnittkanten

Die ersten beiden Kriterien waren nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen, vielmehr waren diese beschränkt auf das dritte Kriterium.

Das industriell hergestellte Schnitte nicht perfekt sauber und staubfrei sind, hat seine Begründung auch in den maschinentechnischen Lösungen, die für die Schneidprozesse zur Verfügung stehen.

Für Schnitte in Längsrichtung werden in der Regel Kreismesserpaare eingesetzt, die nach dem Wirkprinzip des Scherschnitts arbeiten. Ausschlaggebend für die Schnittgüte sind die Konstruktionsmerkmale der Messer, beispielsweise der Messerwinkel, und das Maß der vom Schnittgut abhängigen Überdeckung.

Für die Schnitte in Querrichtung werden Querschneider eingesetzt, wobei sehr viele verschiedene Ausführungsformen bekannt sind. Üblicherweise werden Querschneider mit sogenannten Schlangenschneidern eingesetzt, also Messer, die ähnlich einer sehr langgezogenen Schraubenlinie auf den Mantelflächen zweier gegenläufiger Zylinder angebracht sind. Die Kartonbahn wird zwischen den beiden Zylindern hindurchgeführt, wobei die beiden Messer so angeordnet sind, dass sie gerade eben an ihren Kontaktpunkt den Kartonbogen abscheren. Wegen der schraubenlinienförmigen Ausbildung der Messer wandert im Laufe der Rotation der Messerzylinder der Schneidpunkt quer über die Kartonbahn. Sind Rotationsgeschwindigkeit und Bahngeschwindigkeit aufeinander abgestimmt, wird der Schnitt exakt senkrecht zur Bahnrichtung geführt.

In beiden Fällen ist das Wirkprinzip, wie erwähnt, der Scherschnitt: Die beiden beteiligten Messer gleiten hierbei aneinander vorbei. Das Schnittgut wird durch die gegenseitige Annäherung der Messer in einer 1. Phase komprimiert, in einer 2. Phase geschert und in der 3. Phase im Restquerschnitt (bei Vorhandensein einer Vorspannung) gerissen.

Der Ablauf des Schneidvorganges, die Messer- und Schnittgutgeometrie sowie der Abstand und das Maß der Überdeckung der Messer bestimmen die mikroskopische Qualität des Schnittes. Hierbei ist zu beachten, dass die Fasern des Kartons in der 3. Phase des Schneid-

vorgangs nicht mehr durchtrennt sondern aus dem Gefüge gezogen und dadurch ein unsauberes ausgefranztes Erscheinungsbild des Schnittes entsteht. In der Regel geht damit eine erhöhte Neigung zum Stauben einher.

Es liegt nahe, das Erscheinungsbild der Schnittkante zu ihrer Gütebewertung zu verwenden. Das Bild der Schnittkante kann beispielsweise mit Hilfe eines Mikroskops dokumentiert und mit dem Bild des Sollzustandes verglichen werden. Aus diesem Vergleich lassen sich Warn- und Toleranzgrenzen ableiten, nach deren Überschreitung Maßnahmen zur Justierung der Schneideinrichtung ergriffen werden müssen.

Die Bewertung hängt mangels objektiver Vergleichsgrößen von der Erfahrung des jeweiligen Benutzers ab. Ein objektives Schnittkantenbewertungsverfahren, das nach Möglichkeit sogar online arbeitet und deshalb als Sensor in einem Prozessleitsystem integrierbar ist, wäre wünschenswert. Die Grundlagen dafür zu erarbeiten war Gegenstand des Forschungsprojektes.

Ein idealer Schnitt erzeugt eine völlig ebene Schnittfläche. Sie schließt mit der Kartonoberseite und der Kartorrückseite einen rechten Winkel ein und die Begrenzungslinien sind Geraden. Ein realer Schnitt entspricht diesem Ideal nur sehr unvollkommen. Durch die Kompressionsphase in den Frühstadien des Schnittes wird die Kartonoberfläche verformt, was zu einer unscharfen Begrenzung von Schnittkantenebene und Oberfläche führt. Die Stirnseite der Schnittkante verrundet, d.h. die Schnittfläche weicht von der Geometrie der Ebene ab. Werden darüber hinaus beim Schnitt Fasern nicht mehr durchtrennt sondern aus den Schnittflächen herausgezogen, dann wird die Schnittkante zunehmend fransig. Das Maß der Fransigkeit kann somit gleichzeitig als Maß für die Schnittgüte verwendet werden: Je geringer der Grad der Fransigkeit der Schnittkante ist, desto besser ist die Schnittgüte. Die Schnittgüte ist ideal, wenn keine Fransigkeit festgestellt wird.

Es galt somit eine Messvorrichtung zu suchen, mit der der Grad der Fransigkeit messbar gemacht werden kann. Die weitere Aufgabenstellung bestand darin, das Messsignal so auszuwerten, dass eine Kennzahl für die Schnittgüte abgeleitet werden kann.

In der PTS waren im Vorfeld des Forschungsprojektes Versuche unternommen worden, mit Hilfe einer hochpräzisen Zeilenkamera Schnittkanten zu bewerten. Diese Kamera, deren eigentlicher Bestimmungszweck die online-Messung von Messerverschleiß in Rotationsstanzen war, hatte sich in den Vorversuchen sehr gut für die neue Aufgabenstellung bewährt. Das Forschungsvorhaben hatte deshalb auch das Ziel, die PTS-Messanordnung zielgerichtet zu einem optimalen Schnittkantensensor zu entwickeln.

Weiteres Ziel und gleichzeitig Aufgabenstellung für den Partner Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre (LMK), Bochum, war die Entwicklung eines Auswertalgorithmus für die an der PTS experimentell gewonnenen Daten und die Erarbeitung einer Kennzahl für die Schnittqualität.

Die Statistiken des Fachverbandes Faltschachtelindustrie (FFI) /1/ belegen, dass mehr als 25 % aller Qualitätsbeanstandungen von Faltschachtelkarton auf Staubprobleme zurückzuführen sind. Das Forschungsvorhaben hatte deshalb die zusätzliche Aufgabe zu prüfen, ob die Schnittgütembewertung auch dazu benutzt werden kann, das Stauben von Karton zu bewerten.

2. Übersicht zu den durchgeführten Arbeiten

Das durchgeführte Forschungsvorhaben wurde federführend von der PTS München zusammen mit dem Partner Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre (LMK), Bochum, durchgeführt.

Wie oben bereits kurz erwähnt, war die Aufgabenverteilung wie folgt:

- Weiterentwicklung des lichtoptischen Erfassungssystems für die Beschaffenheit von Schnittkanten und experimentelle Erfassung der Schnittkantenprofile und deren Digitalisierung für ausgewählte Kartonsorten – PTS
- Übernahme der digitalisierten Schnittkantenprofile und Auswertung der erfassten Daten mit einem speziell dafür entwickelten Algorithmus sowie Ermittlung einer Qualitätszahl und Entwurf einer Qualitätsskala für die Schnittqualität von Karton – LMK

3. Experimentelle Erfassung der Schnittkantenprofile ausgewählter Kartonsorten

3.1 Versuchsaufbau und Messergebnisse

Der Schwerpunkt der Untersuchungen der Forschungsstelle PTS München lag im Aufbau einer geeigneten Messapparatur um das Schnittkantenprofil abzutasten, einer computerisierten Verarbeitung zur Verfügung zu stellen und in der experimentellen Erfassung der Schnittkantenprofile ausgewählter Kartonsorten.

Zur Erfassung des Kantenprofils wurde ein Aufbau entwickelt, mit dem ein Kantenprofil abgebildet werden kann. Unter Kantenprofil ist hier die Projektion der Schnittkante entlang der Flächennormale des Kartonsbogens zu verstehen. In Idealfall ist eine solche Schnittkante eine völlig strukturfreie Linie. In diesem Fall würde ein Schnitt als perfekt erachtet werden. Störungen, die dazu führen, dass ein Schnitt als unzureichend eingestuft wird, können zum Einen Formatabweichungen oder leicht gekrümmte Schnittführungen sein, also Effekte die makroskopisch sind. Zum anderen jedoch können auch überstehende Fasern, Strichpartikel oder andere mikroskopische Artefakte zur Abqualifikation einer Schnittkante führen. Die im Rahmen dieses Projekts entwickelte Charakterisierungstechnik konzentriert sich ausschließlich auf mikroskopische Störungen einer idealen Schnittkante. Um das Messergebnis nicht zu verfälschen wurde eine berührungsfreie Methode gewählt, die zudem eine Auflösung im Bereich von Faserdimensionen, d.h. von einigen Mikrometern gewährleistet. Die Forderungen sind nur durch optische Verfahren zu erfüllen.

Hier konnte auf die Erfahrung der Forschungsstelle in der Charakterisierung von Veränderungen von Stanzmessern während des Betriebs von Rotationsstanzen zurückgegriffen werden. Aus diesem Bereich wurde die Anforderungen an ein Messsystem definiert, das optisch mit hoher Präzision die Höhe von Stanzmessern vermisst. Hier hat sich ein Aufbau aus einer Parallellichtquelle und einer CCD-Zeilenkamera bewährt. Unter einer Zeilenkamera ist eine Anordnung lichtempfindlicher elektronischer Bauteile entlang einer Linie zu verstehen. Einige Tausend nur einige μm -große lichtempfindliche Zellen werden mit den Methoden der Halblei-

tertechnik auf einem Silizium-Chip hergestellt. In jeder dieser Zelle wird eine elektrische Ladung erzeugt, die proportional zur einfallenden Lichtmenge ist. Aufgrund der Struktur der einzelnen Zelle bleibt diese Ladung lokalisiert, d.h. es entsteht ein Ladungsmuster entlang der Zellenlinie, das der lokalen Helligkeitsverteilung entspricht. Die Verschaltung der Zellen untereinander als charge-coupled-device (CCD, etwa: ladungsgekoppeltes Bauteil) erlaubt eine ökonomische Herstellung des gesamten Systems und zugleich ein einfaches Auslesen des Ladungsmuster in die Verarbeitungselektronik. Hierzu wird nur die Ladung der ersten Zelle ausgelesen, verstärkt, digitalisiert und einem Computer zur Verarbeitung zugeführt. Die Ladung der zweiten Zelle wird im nächsten Schritt in die erste Zelle transportiert, die der übernächsten in die frei gewordenen zweite Zelle usw. bis das gesamte Ladungsmuster um eine Zelle verschoben ist. Nun beginnt der Ausleseprozess erneut, gefolgt von einem weiteren Transportschritt. Schrittweise wird so das gesamte Ladungsmuster in den Computer übertragen.

Wird nun diese Zellenzeile teilweise abgedeckt und belichtet, so entspricht das Ladungsmuster dem Grad der Abdeckung und durch den Ausleseprozess kann diese Größe im Rechner verarbeitet werden. Wird nun einmal die Zellenposition mit einer Längenskala in Verbindung gebracht, so ist bereits die Kamera zur Längenmessung nutzbar. Wird die Zeilenkamera nun von einer Parallellichtquelle beleuchtet und wird dieser Strahlengang unterbrochen, so wird der Grad der Unterbrechung unmittelbar ein entsprechendes Helligkeitsmuster auf der CCD-Zeile erzeugen, was im Rechner als Länge wiedergegeben werden kann. Es kann also bestimmt werden, wie weit ein Objekt in den Strahlengang (parallel zur CCD-Zeile) eindringt. Normiert man die Lage des Objektes, so wird die Ausdehnung der Kante vermessen die den Strahlengang unterbricht. Dieses Messverfahren wurde erfolgreich zur Vermessung von Stanzlinien eingesetzt und hat in der verwendeten Konfiguration eine Auflösung im Bereich μm .

Um nun das Profil einer Schnittkante von Karton zu vermessen, ist es naheliegend, den Abtastprozess periodisch auszuführen und dabei die Kante unter der Kameraanordnung durchzuführen. Die vorhandene und bewährte Kameraeinheit wurde, um den Anforderungen des Forschungsprojekts gerecht zu werden, um eine Halterung für die Kartonprobe ergänzt. Die Kartonkante kann damit motorisch präzise entlang der Schnittkante durch den senkrecht dazu stehenden Strahlengang des Kameramoduls bewegt werden.

Um die Kante über eine Länge von einigen Zentimetern zu untersuchen, wird diese mit konstanter Geschwindigkeit an der Kamera vorbeigeführt und der Zeilensensor periodisch ausgelesen. Aus der Gesamtmenge der Daten lässt sich ein vollständiges Bild der Kante rekonstruieren. Da zur Auswertung nur der maximale Überstand benötigt wird, ist eine Abbildung der Kante unnötig und es genügt, die Einhüllende der Kante auszuwerten. Diese Daten stehen zu einer weiteren Bearbeitung als Kantenhöhe vs. Kantenlänge in Diagrammform zur Verfügung.

Zur Aufnahme der Daten wurde auf die vorhandene CCD-Zeilenkamera der Fa. Steinheil, Industrielle Messtechnik, zurückgegriffen /2/. Überstehende Fasern oder eine unebene Schnittkante führen zu einer mehr oder weniger starken Abdeckung der CCD-Zeile, was durch ein Auslesen der CCD durch eine geeignete Elektronik erfasst und an einen angeschlossenen Computer weitergegeben wird.

Dabei wurde die zu bewertende Schnittkante mit einer konstanten Geschwindigkeit von 1.2 m/min unter der Kamera vorbeigeführt. In Abb. 1 ist das Schema, in Abb. 2 eine Fotografie der Versuchseinrichtung dargestellt. In den Abb. 3 bis 6 sind Beispiele aufgezeichneter Schnittkantenprofile (digitale Rohdaten) dargestellt. Zu sehen sind Höhenprofile von Schnittkanten, die von den Kartonverarbeitern jeweils mit „gut“ und „schlecht“ charakterisiert worden waren.

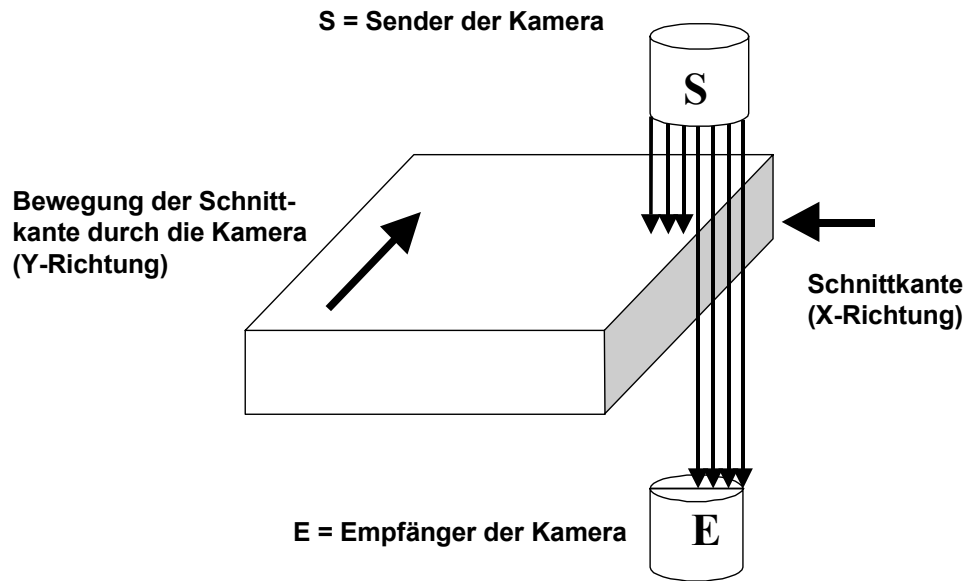


Abb. 1: Schema der Versuchseinrichtung zur Erfassung einer Schnittkante von Karton mit Hilfe einer CCD-Zeilenkamera

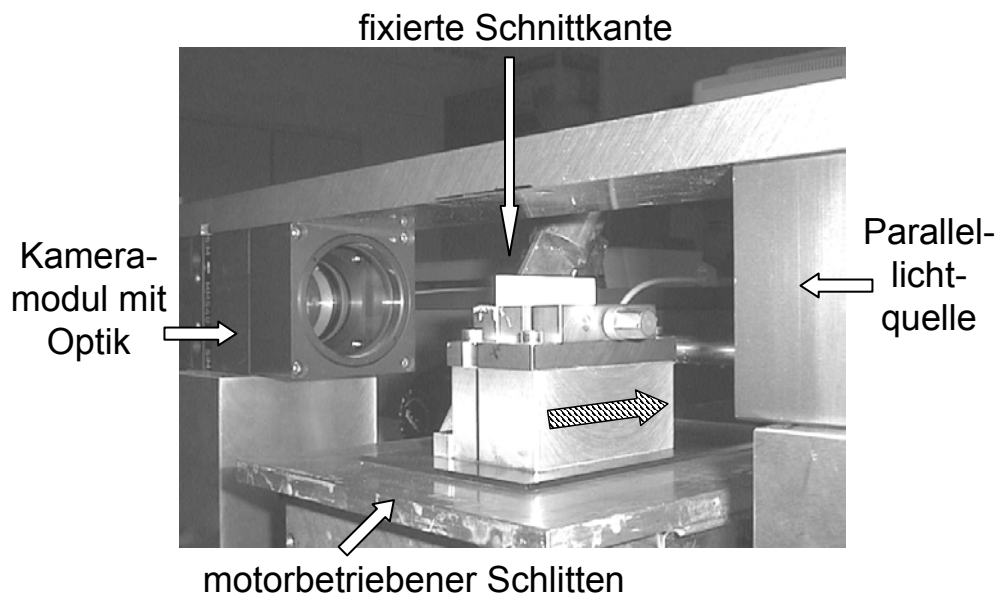


Abb. 2: Verwendeter Messaufbau analog Abb.1. Die zu vermessende Schnittkante ist in einer Halterung fixiert und wird durch den Strahlengang der Optik bewegt. Der schraffierte Pfeil deutet die Bewegungsrichtung an.

Probenbeispiele

Im Rahmen des Projektes sind insgesamt 19 verschiedene Muster geschnittener Kartonkanten von fünf Herstellern untersucht worden.

	Fabrikant	Kartonsorte	
M1	Firma A	A	Kaschiert
M2	Firma A	B	Kaschiert
M3	Firma A	C	Kaschiert
M4	Firma A	D	Kaschiert
M5	Firma A	E	Unkaschiert
M6	Firma A	F	Unkaschiert
M7	Firma A	G	Unkaschiert
M8	Firma A	H	Unkaschiert
M9	Firma B	GC2 –TOP 400g/m ²	Gestrichen
M10	Firma B	GC2 –TOP 400g/m ²	Gestrichen
M11	Firma C	GD2 Condor 280g/m ³	Gestrichen
M12	Firma C	GD2 Condor 280g/m ³	Gestrichen
M13	Firma C	GC2 Albatros 280g/m ³	Gestrichen
M14	Firma C	GC2 Albatros 280g/m ³	Gestrichen
M15	Firma D	Fotobarytkarton 240g/m ²	
M16	Firma D	Foto-Colorkarton	
M18	Firma E	GD2 400g/m ²	Gestrichen
M19	Firma E	GD2 400g/m ²	Gestrichen

	Bogenanordnung	Schnitt	Bemerkungen
M1	Mittelbahn, DIN A4		
M2	Mittelbahn, DIN A4		
M3	Mittelbahn, DIN A4		
M4	Mittelbahn, DIN A4		
M5	Tiebseitige Bahn, DIN A4		
M6	Tiebseitige Bahn, DIN A4		
M7	Tiebseitige Bahn, DIN A4		
M8	Tiebseitige Bahn, DIN A4		
M9	72*102cm		Schnitt gut bis akzeptabel
M10	58*96cm		Schnitt gerade noch akzeptabel
M11		50m/min	
M12		200m/min	Schlechter Schnitt
M13		80m/min	Schnitt gerade noch akzeptabel
M14		220m/min	Schlechter Schnitt
M15			Staubender Schnitt
M16			Gequetschter Kantenschnitt
M18			Schlechter Schnitt
M19			Guter Schnitt

Tab. 1a und 1b: Daten der untersuchten Kartonmuster M1 bis M19, wie sie von den Herstellern zur Verfügung gestellt wurden

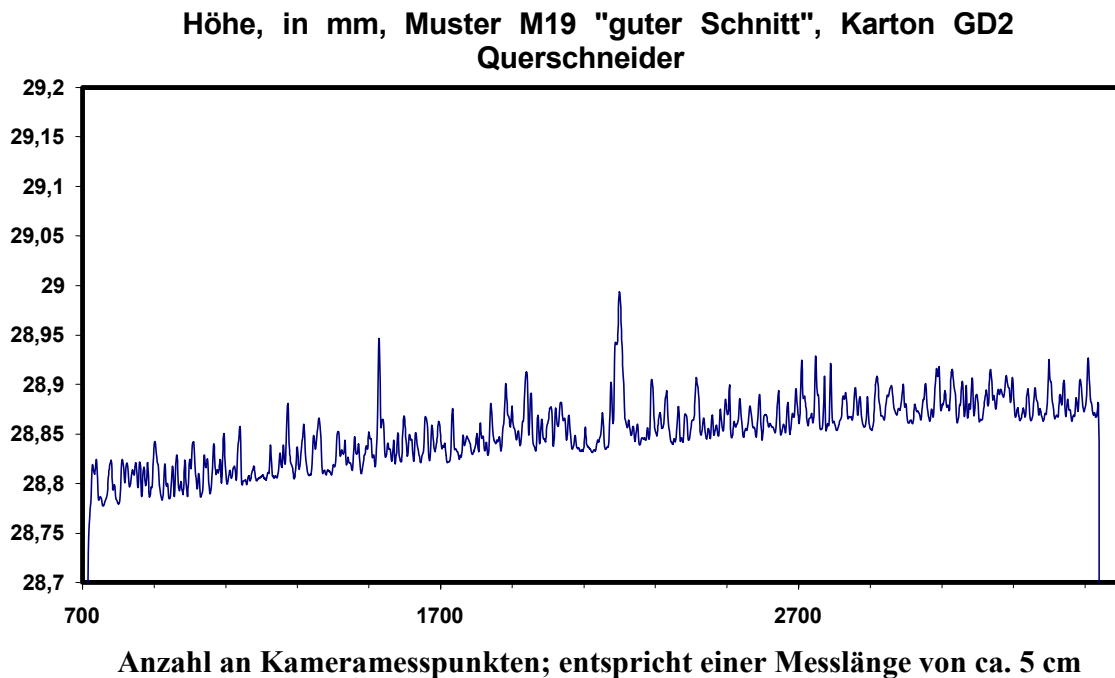
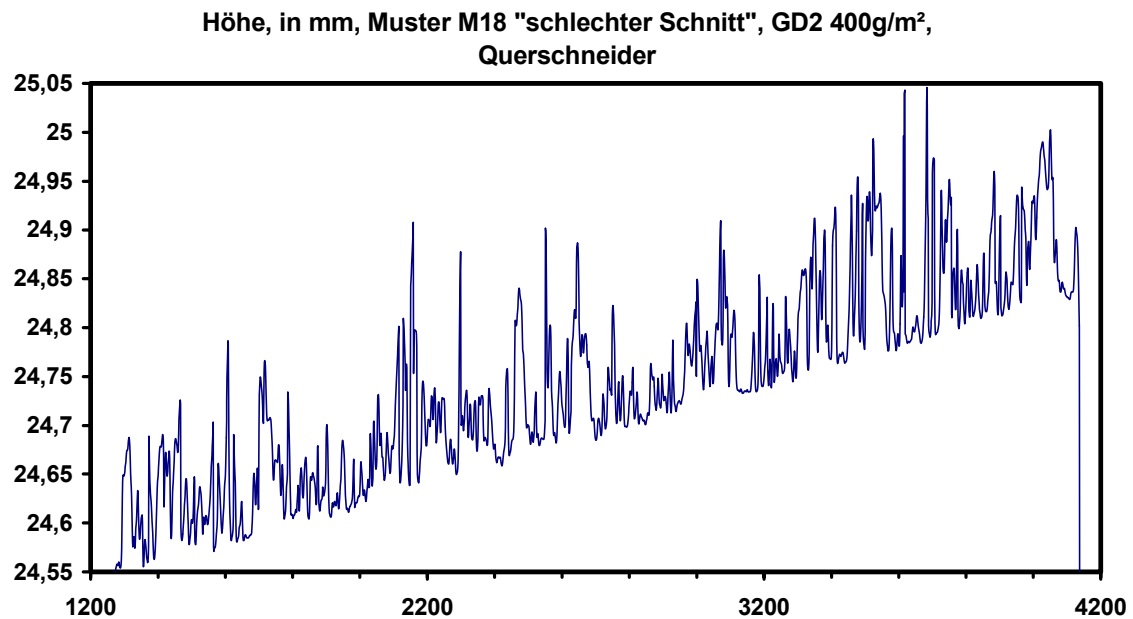


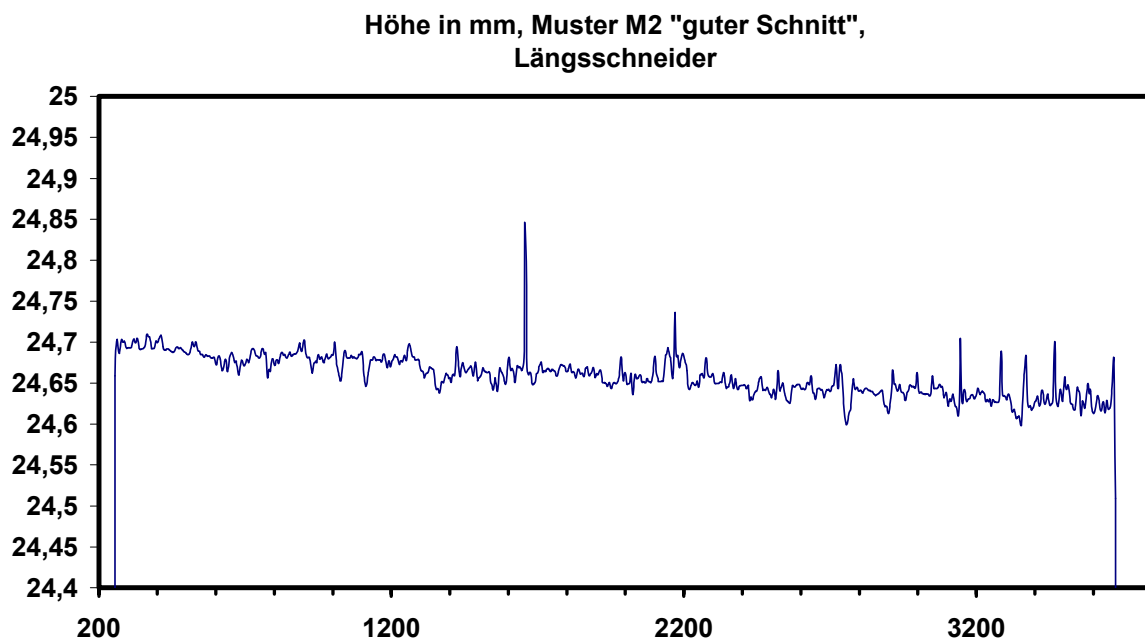
Abb. 3: Ergebnisse von Messungen mit der Zeilenkamera: Höhenprofil der Schnittkante eines Kartons, geschnitten mit einem Querschneider, nach Angaben des Verarbeiters "guter Schnitt"

In Abb. 3 ist exemplarisch ein Datensatz aus dem Messwerterfassungsrechner der Zeilenkamera dargestellt. Vertikal ist die Ausdehnung der Schnittkante aufgetragen. Dieser Wert wird aus der Überdeckung der CCD-Zeile abgeleitet. Durch eine vorhergehende Kalibrierung kann unmittelbar ein Wert in mm ausgegeben werden. Lateral sind Kameramesspunkte aufgetragen. Dies entspricht der Achse entlang der der Karton durch die Kameraanordnung bewegt wird, also der Längsausdehnung der Schnittkante. Durch das gleichmäßige Bewegen der Kante unter der Kamera bei gleichzeitigem periodischem Auslesen der CCD (also Erzeugen eines Messpunktes auf der vertikalen Achse) entsteht das oben dargestellte Diagramm, das als Projektion der Kante interpretiert werden kann. Die untersuchten Kartonproben haben jeweils eine Länge von 5 cm, sodass das Einsetzen des Messsignals (links, Wert: ca. 700) dem Beginn der Kartonprobe entspricht; das Abbrechen (rechts, bei ca. 3500) entspricht dann dem Ende der Probe. Das gesamte Diagramm stellt über eine Länge von 5 cm die Höhenvariationen der Kante im Bereich von ca. 0,5 mm dar. Aus diesem Verhältnis und der gewählten Darstellung folgt, dass Signalspitzen etwa um den Wert 50 überzeichnet werden. Für die auffällige Spitze bei etwa 2200 folgt z.B. dass dies ein Artefakt ist, das eine Höhe von ca. 150 μm und eine Breite an der Basis von ca. 900 μm hat, also bei weitem nicht so spitz ist, wie es scheint. Schmäleren Überstände (also die hochfrequenten Anteile im Diagramm) können aber durchaus als Fasern oder Faserbündel interpretiert werden. Die leichte Schräglage des Diagramms kann auf geringe Abweichungen beim Befestigen der Probe zurückgeführt werden und wird später bei der numerischen Bewertung der Daten herausgerechnet.



Anzahl an Kameramesspunkten; entspricht einer Messlänge von ca. 5 cm

Abb. 4: Ergebnisse von Messungen mit der Zeilenkamera: Höhenprofil der Schnittkante eines Kartons, geschnitten mit einem Querschneider, nach Angaben des Verarbeiters "schlechter Schnitt"



Anzahl an Kameramesspunkten; entspricht einer Messlänge von ca. 5 cm

Abb. 5: Ergebnisse von Messungen mit der Zeilenkamera: Höhenprofil der Schnittkante eines Kartons, geschnitten mit einem Längsschneider, nach Angaben des Verarbeiters

“guter Schnitt“

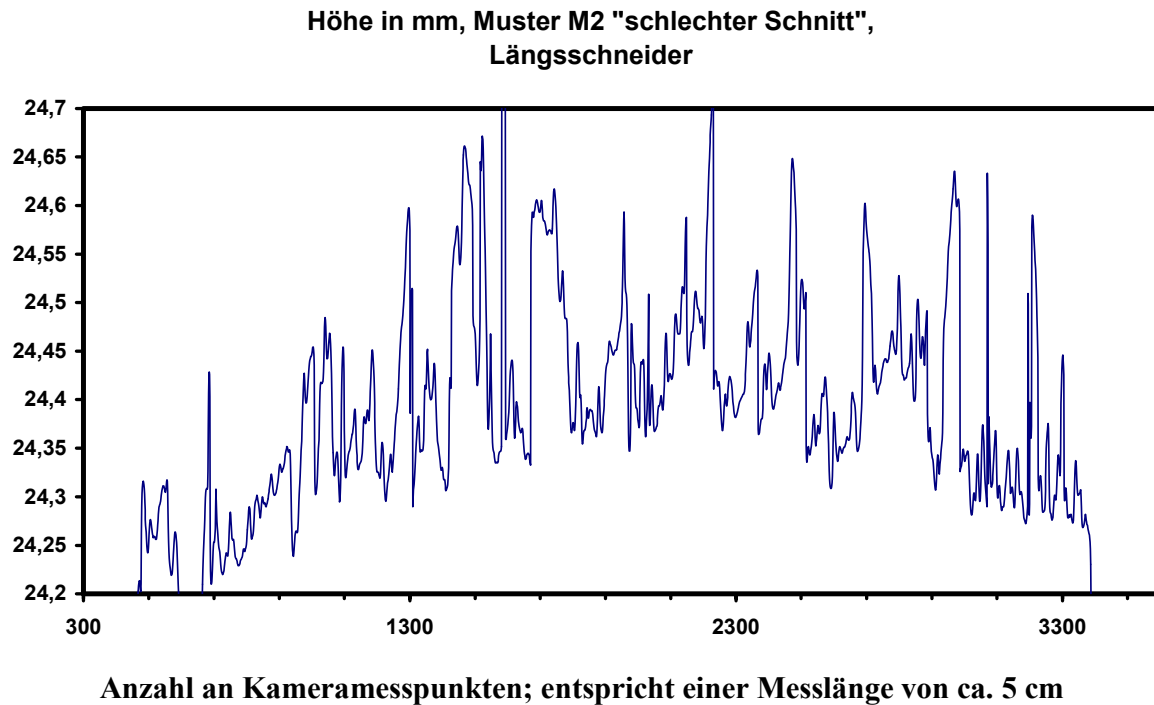


Abb. 6: Ergebnisse von Messungen mit der Zeilenkamera: Höhenprofil der Schnittkante eines Kartons, geschnitten mit einem Längsschneider, nach Angaben des Verarbeiters “schlechter Schnitt“

Wie die Beispiele in Abb. 3 bis 6 zeigen, korreliert bereits eine visuelle Bewertung der Diagramme gut mit der von den Verarbeitern getroffene Einschätzungen „guter Schnitt“ und „schlechter Schnitt“.

Die Auflösung der Versuchseinrichtung in Richtung der Schnittkantenlänge (y-Richtung) hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der die Probe durch die Kamera bewegt wird. Bei einer Geschwindigkeit von $v = 1.2 \text{ m/min}$ (Laborversuchseinrichtung) beträgt diese Auflösung etwa $16 \text{ }\mu\text{m}$.

In Richtung der Schnittkantenprofilhöhe (x-Richtung, siehe Abb. 1) beträgt die Auflösung der Versuchseinrichtung etwa $1 \text{ }\mu\text{m}$, d.h. Höhendifferenzen des Profils von $1 \text{ }\mu\text{m}$ werden von der Kamera noch dargestellt.

3.2 Versuche zur Bestimmung von Kantenstäuben

Weiterer Bestandteil der Untersuchungen war die **Bewertung von Schneidstäuben** die auch auf lockere Faserbestandteile in der Schnittkante zurückgeführt werden können. Stäube können in der Papierausrüstung jedoch auch z.B. durch sich lösende Strichpartikel bedingt sein. Somit kann eine Untersuchung der lockeren Faserbestandteile an den Schnittkante grundsätzlich nur Teilaspekte der Staubproblematik beleuchten. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde versucht, durch geeignete Maßnahmen lockere Bestandteile aus der Schnittkante zu entfernen. Mit der beschriebenen Methoden der Schnittkantenbewertung wird eine Kante vor dem Staubentfernen und danach untersucht. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass eine

Vermessung des exakt identischen Ortes bei einer geforderten Präzision im Bereich von Mikrometern nicht möglich war, was die Messergebnisse zusätzlich beeinflussen dürfte. Aus den Differenzen der Schnittkantenprofile vor und nach der Staubentfernung können dann eventuell Aussagen über lose haftende Stäube, überstehende Fasern etc. gemacht werden. Zum Entfernen lockerer Stäube sind folgende Methoden eingesetzt worden:

- Die fixierte Probe mit der zu untersuchenden Schnittkante wurde zwei Minuten in einem handelsüblichen Ultraschall-Reinigungsbad (HF-Frequenz: 40 kHz, HF- Leistung: 100 Watt) mit Ultraschall bestrahlt. Zum Einkoppeln der Schallenergie wurde der Schraubstock in ein Wasserbad gestellt.
- Die in eine Ultraschall-Schweißzange, wie sie zum Verschließen von Verpackungen verwendet wird, eingespannte Probe wurde direkt mit Ultraschall beaufschlagt, um Verluste beim Einkoppeln zu vermeiden. Die Ultraschallmethode wurde gewählt, weil bekannt ist, dass beim Ultraschallschweißen Staub aus den Schnittkanten austritt.
- Die fixierte Probe mit der zu untersuchenden Schnittkante wurde dreimal durch einen definierten mechanischen Schlag belastet. Dazu wurde die Probenhalterung langsam zu Seite gekippt, bis sie unter ihrem Eigengewicht umfiel und auf einer harten Unterlage aufschlug.
- Die fixierte Probe mit der zu untersuchenden Schnittkante wurde 10000-mal mit 75 Hz mit einem hydraulischen Pulsgenerator mit einem definierten Stoß belastet (Rütteltest).
- Die Schnittkante wurde zwischen zwei Metallplatten gelegt und mit einem Hammerschlag verdichtet um die Luft aus dem Fasergefüge durch die Kanten auszutreiben.
- Die Schnittkante wurde mit einem starken Gebläse (Fön) intensiv abgeblasen.
- Die Schnittkante wurde mit einem starken Sauggebläse (Industriestaubsauger) intensiv abgesaugt.

Bei den bisher beschriebenen Verfahren wurde, wie auch bei den Messungen der Schnittkanten selbst, streng darauf geachtet, dass die Schnittkante ohne mechanischer Berührung aus der Transportverpackung entnommen, vermessen, entstaubt und wieder vermessen werden konnte. Bei den beiden folgenden Verfahren soll der Kantenstaub bewusst mechanisch entfernt werden.

- Die Schnittkante wurde mit einem Streifen Selbstklebeband beklebt, leicht abgedrückt und danach wieder abgezogen.
- Die Schnittkante wurde über eine Kante gezogen. Hierbei konnten allerdings bereits mit bloßem Auge derart starke Veränderungen beobachtet werden, dass eine weitere Untersuchung mit der Zeilenkamera als unnötig verworfen worden ist.

Um zu vermeiden, dass sich nur leicht anhaftender Staub bereits beim Transport der Proben von den Schnittkanten löst, wurde ein schlechter Schnitt im Labor hergestellt. Hierzu ist ein Kartonbogen mit einem extrem stumpfen Messer zerteilt und der Staub nacheinander mit den Methoden Ultraschallbad, definiertem Stoß, abblasen, absaugen und Selbstklebeband entfernt worden. Nach dem Zerschneiden und nach jeder Entstaubung ist die Schnittkante mit der Zeilenkamera charakterisiert worden.

Übergreifend kann festgestellt werden, dass bei den berührungsfreien Verfahren nur eine unwesentliche Veränderung der Profile beobachtet werden kann. Bei dem mit der Zeilenkamera untersuchten Kontaktverfahren (Methode Klebeband) unterscheiden sich die gemessenen Profile vor und nach der Entstaubung derart stark, dass eine sinnvolle Korrelation der beiden Datensätze nicht möglich ist.

4. Entwicklung eines Beurteilungsverfahrens und Auswertung der Messdaten

Die Messdatenauswertung mit Hilfe eines neu entwickelten Softwareprogramms übernimmt die digitalen Rohdaten der Zeilenkamera und verarbeitet diese zu einer das Schnittkantenprofil repräsentierenden Qualitätszahl. Der Wertebereich der Qualitätszahl wird so skaliert (logarithmisch gestuft), dass er in der Praxis leicht kommunizierbar ist. Der Wertebereich beginnt mit dem Wert 1 als Kennzeichnung für den idealen Schnitt und stuft sich dann zu höheren Werten als Maßstab für abnehmende Schnittqualität. Die Qualitätszahlen werden einer Qualitätsskala zugeordnet, deren Skalierung aufgrund von Erfahrungswerten z.B. in die Bewertungsabschnitte: "guter, akzeptabler und schlechter Schnitt" festgelegt ist. Durch den Abgleich einer ermittelten Qualitätszahl mit dieser Qualitätsskala kann eine kontinuierliche Prozessüberwachung durchgeführt werden. Ein Ausblick zur Auslegung des Verfahrens als Online-Messsystem zeigt die Potenziale dieses Auswerteverfahrens auf.

4.1 Das digitale Schnittkanten-Beurteilungsverfahren

Das entwickelte Beurteilungsverfahren für die Schnittqualität von Karton beruht auf dem von Feiler /3/ vorgeschlagenen Auswertealgorithmus. Bei dem Verfahren nach Feiler handelt es sich um ein graphisches Auswertungsverfahren, das eine quantitative Aussage über die Güte eines Ausschnittes eines vorhandenen Schnittkantenprofils ermöglicht. Über das Schnittkantenprofil wird ein Raster mit gleicher Kantenlänge gelegt und so an den Profilausschnitt angepasst, dass der tiefste Profileinschnitt die Grundlinie des Rasterfeldes tangiert. Von dieser Grundlinie aus werden vier parallele, äquidistante Linien zur Grundlinie gezogen. Die von dem Schnittkantenprofil in den einzelnen vier Zeilen und in dem Restfeld eingeschlossenen Rasterquadrate werden ausgezählt und festgehalten. Die Quadratsummen w_i der Einzelzeilen bzw. des Restfeldes werden mit einer zugehörigen Wertzahl c_i (Gewichtung) nach der Normzahlreihe R10/3 multipliziert und anschließend aufaddiert, so dass eine **Gesamtwertzahl W** entsteht. Dieser Gesamtwertzahl wird eine **Qualitätszahl Q** zugeordnet, die logarithmisch nach einer den Anforderungen entsprechenden feinen Normzahlreihe gestuft ist. Das Auswertungsprinzip nach Feiler ist in Abb. 7 dargestellt.

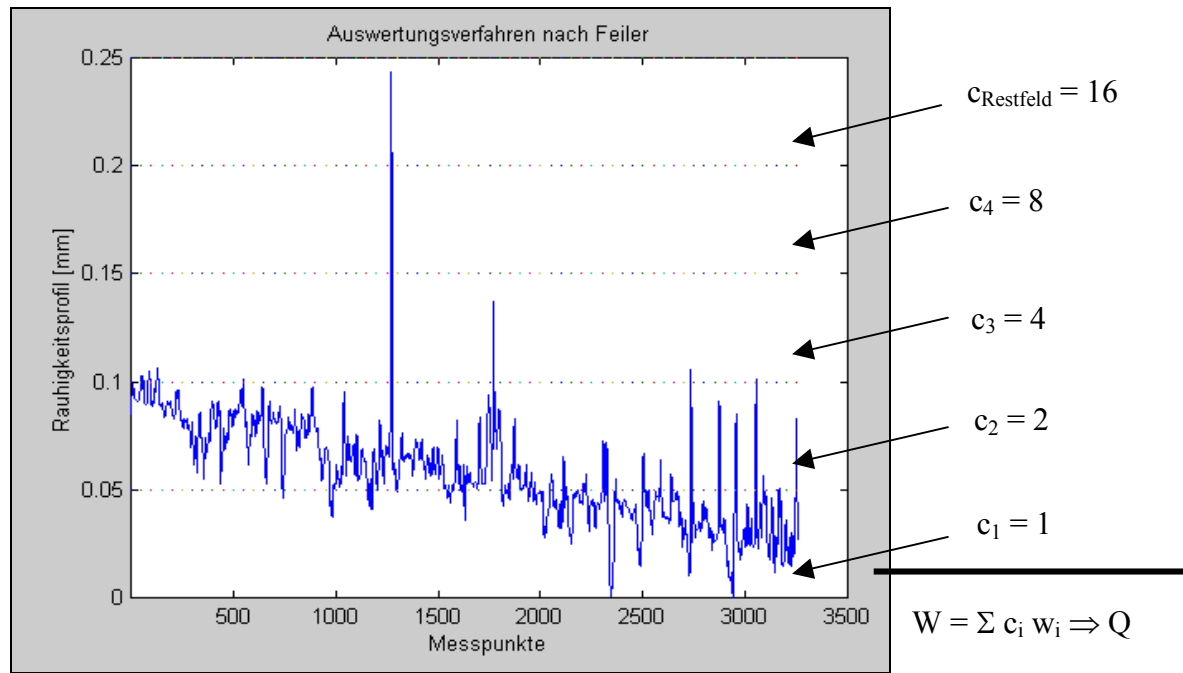


Abb. 7: Auswertungsverfahren nach Feiler

Durch intensive Voruntersuchungen mit der nach Feiler vorgeschlagenen Auswertung wurden die Grenzen dieses Verfahrens sichtbar.

Die Festlegung der Grundlinie als Tangente des tiefsten Profilschnittes impliziert, dass keine Trendbereinigung der Messsignale stattfindet. Dadurch liefern ggf. vorhandene Welligkeiten oder im Rasterfeld schief liegende Schnittkantenprofile fehlerhafte Anteile zur Schnittkantenbeurteilung.

Die grobe Rasterung und Gewichtung des Schnittkantenprofils nach der Normzahlreihe R10/3 lässt darüber hinaus keine ausreichende Differenzierung der Qualitätszahl zu. Somit können kleine Veränderungen des Profilverlaufs, wie z.B. das Auftreten von Stäuben, nicht erfasst werden.

Zur Behebung dieser Schwächen wurde eine Erweiterung des Feilerschen Verfahrens, wie im folgenden beschrieben, entwickelt.

Hierbei wird die Datenauswertung in Analogie zum in der Oberflächenmesstechnik üblichen und nach EN ISO 4287 genormten Verfahren vorgenommen in dem das Istprofil einer Oberfläche (Primärprofil) in ein Rauheits- und ein Welligkeitsprofil aufgeteilt wird (Abb. 8).

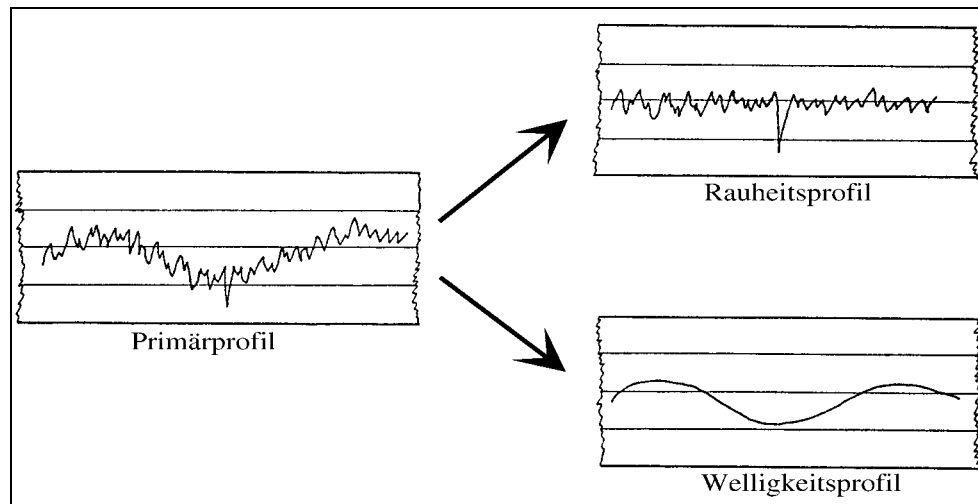


Abb. 8: Signaltrennung in der Oberflächenmesstechnik

Zur Beurteilung der Schnittqualität soll ausschließlich das Rauheitsprofil beitragen. Will man hingegen die Welligkeit eines Schnittes untersuchen, so muss ein ergänzendes Auswerteverfahren auf das separierte Welligkeitsprofil angesetzt werden. Das Rauheitsprofil wird aus dem Primärprofil herausgefiltert, indem man für alle Messpunkte eine lineare Regression (Abb. 9) nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate durchführt und anschließend diese Gerade von den Messwerten subtrahiert. Dadurch erhält man die **trendbereinigten Messwerte** im vorgegebenen Messwertefenster.

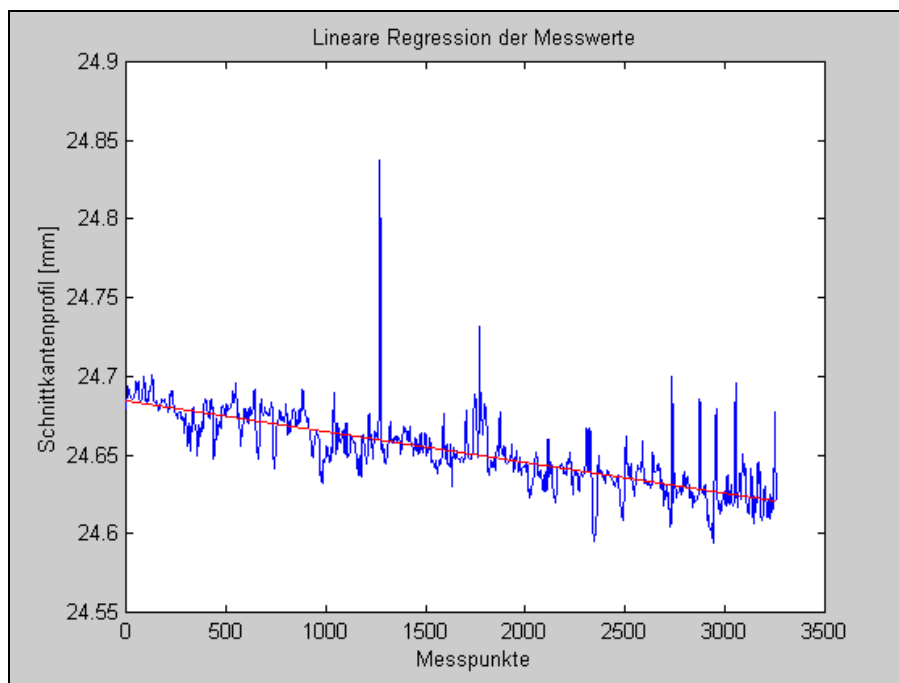


Abb. 9: Lineare Regression der Messwerte

Verschiebt man diese Regressionsgerade an die minimalste Profiltiefe, so erhält man eine neue Bezugslinie, die der definierten Grundlinie von Feiler entspricht. Das so bereinigte Schnittkantenprofil wird als Ausgangsbasis für das Beurteilungsverfahren verwendet.

Eine weitere Modifikation besteht darin, dass die Zeilenbreite um den Faktor 4 verkleinert und die Gewichtung c_i nach der Funktion

$$c_i = 2^{\frac{i-1}{4}} \quad \text{mit } i \geq 1 \quad (1)$$

gewählt wird. Damit erhält man eine feinere Abstufung der Gesamtwertzahl W , die es ermöglicht, geringe Unterschiede im Rauheitsprofil zu beurteilen.

Das modifizierte Auswertungsverfahren wird durch Abb. 10 verdeutlicht.

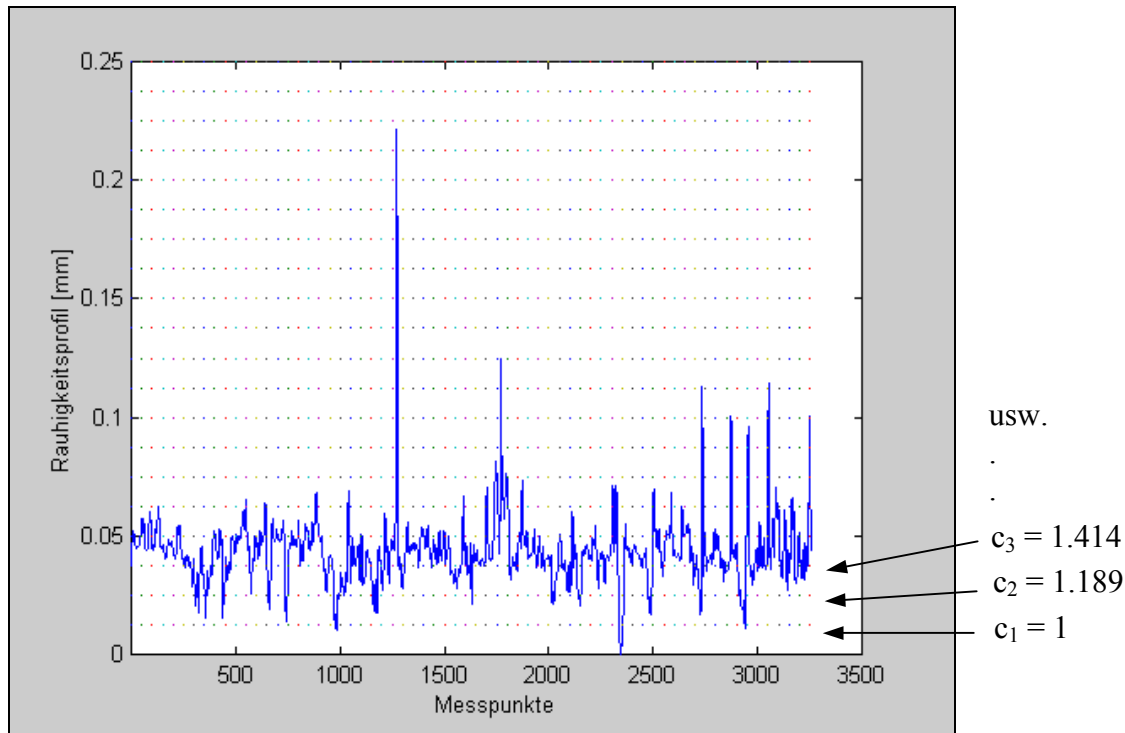


Abb. 10: Modifiziertes Auswertungsverfahren angewendet auf die Messwerte aus Abb. 5

Nach dem Auslesen der Einzelzeilenwertzahlen und ihren Gewichtungen mit den entsprechenden Faktoren wird die Gesamtwertzahl W durch Aufsummieren bestimmt. Die Zuordnung der Gesamtwertzahl W zu einer entsprechenden Qualitätszahl Q wird durch die **Normzahlreihe R40** bestimmt, wobei die Qualitätszahl mit einer **Schrittweite von 0.05** gestuft wird. Die folgende Abbildung 11 zeigt diesen Zusammenhang für die erste Dekade der Normzahlreihe R40 und der ihr zugeordneten Qualitätszahlen.

W =	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00		9.00	9.50	10.0
Q =	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55		2.90	2.95	3.00	

Abb. 11: Zusammenhang zwischen Gesamtwertzahl W und Qualitätszahl Q

Einer theoretischen, ideal glatten Schnittkante wird die Wertzahl 1 und die Qualitätszahl 1 zugewiesen. Beträgt die Wertzahl einer Schnittkante genau den Betrag einer Intervallgrenze der Normzahlreihe, so wird ihr die niedrigere Qualitätszahl zugeordnet. Daraus lässt sich auf

den Wertebereich der Qualitätszahl schließen, der bei einer $Q = 1$ beginnenden Skala anfängt und nach oben offen ist (siehe Abb. 12).

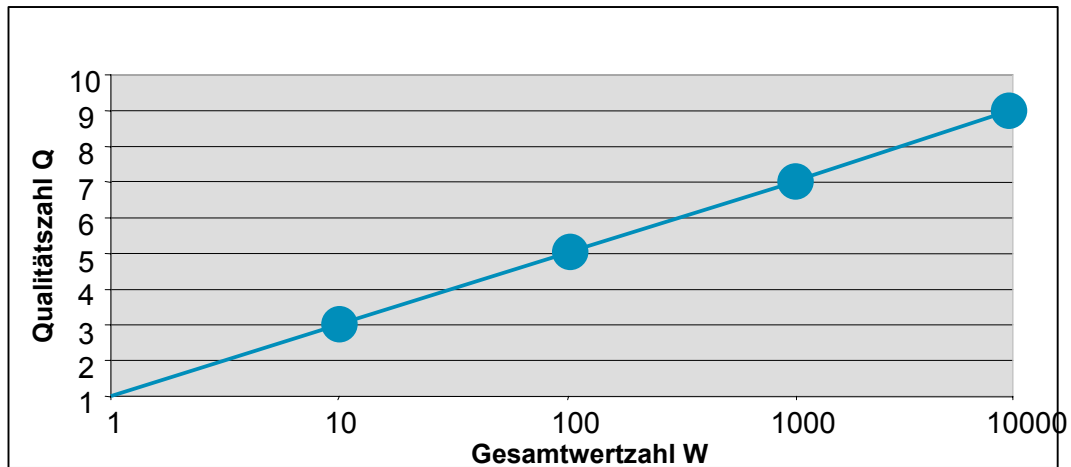


Abb. 12: Wertebereich der Qualitätszahl Q

Dieses Auswertungsverfahren wird der quantitativen Schnittkantenbeurteilung zugrunde gelegt und in Verbindung mit der in Kap. 4.3 erläuterten Qualitätsskala als **digitales Schnittkanten-Beurteilungsverfahren** bezeichnet.

4.2 Anwendung des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens

Auf der Basis des entwickelten Auswertungs-Verfahrens wurde ein Softwareprogramm entwickelt, das in das Messdatenauswertesystem Matlab, Version 5, integriert wurde. Die Bedienung erfolgt über eine graphische Benutzeroberfläche, die in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

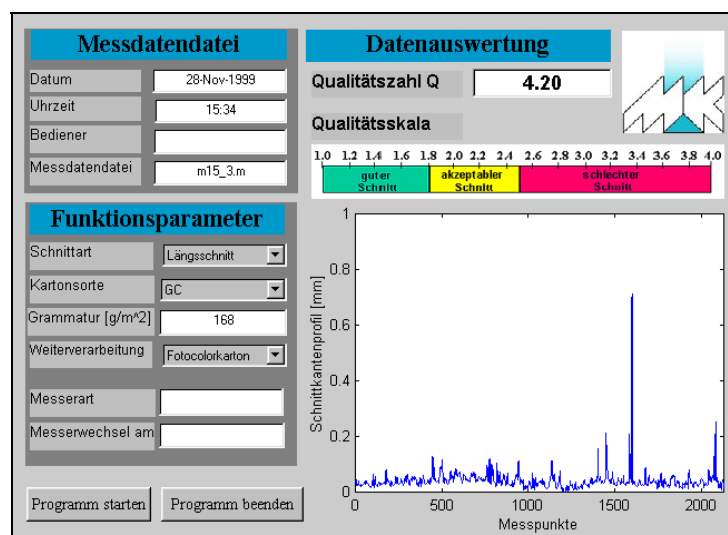


Abb. 13: Graphische Benutzeroberfläche des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens

Zusätzlich zu dem erforderlichen Eingabefeld für den Namen der zu analysierenden Messdateneingabe beinhaltet die Bedienoberfläche weitere Eingabefelder, die eine Differenzierung der Messdaten nach Schnittgut, Schnittart und weiteren Prozessparametern erlauben.

Das digitale Schnittkanten-Beurteilungsverfahren besteht aus drei zentralen Programmeinheiten: das Einlesen der vorverarbeiteten Kamerasignale, die Verarbeitung der Messdaten mit

dem entwickelten Auswertungs-Verfahren und die Ausgabe der Ergebnisse als Verlauf des Schnittkantenprofils mit der dazugehörigen Qualitätszahl Q und den eingegebenen Zusatzparametern des Schnittes.

4.2.1 Analyse von Schnittkantenprofilen

Mit dem entwickelten Verfahren wurde die Güte der Schnittqualität aller zur Verfügung gestellten Proben untersucht. Dabei ergaben sich deutliche, quantifizierbare Unterschiede der einzelnen Schnittkanten, die einerseits sichtbare Differenzen in den Verläufen der Schnittkantenprofile wiedergaben und andererseits sehr gut mit den qualitativen Einschätzungen der Probenlieferanten übereinstimmen. Zur Verdeutlichung der Beurteilungsergebnisse werden einige Analysen im Vergleich herangezogen.

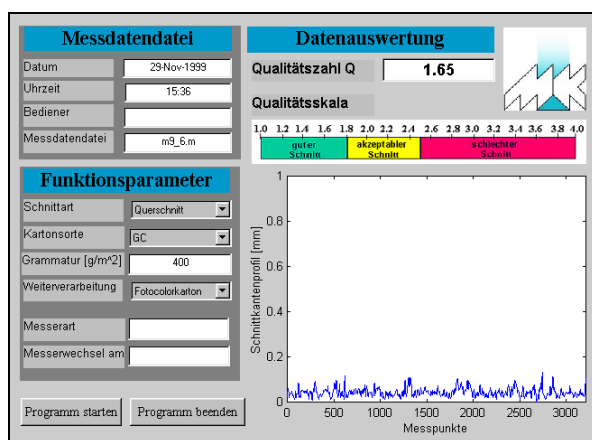


Abb. 14: Querschnitt 1: gerade noch guter Schnitt

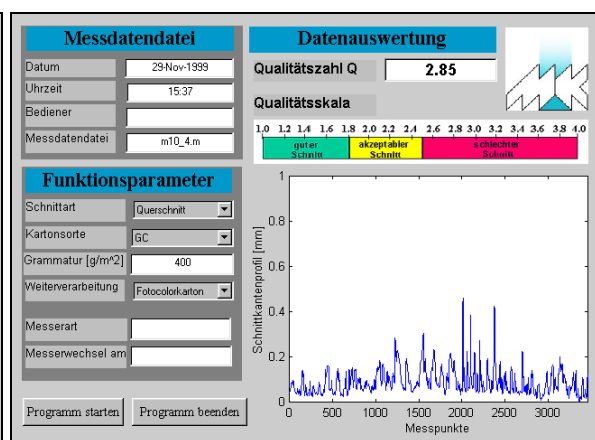


Abb. 15: Querschnitt 2: schlechter Schnitt

Im direkten Vergleich von quergeschnittenen Schnittkanten eines Herstellers erkennt man anhand des Schnittkantenprofils den schlechteren Schnitt, dargestellt in Abb. 15 und den eindeutig besseren Schnitt in Abb. 14. Dieser Unterschied spiegelt sich auch in der ermittelten Qualitätszahl wieder, die bei dem guten Schnitt 1.65 und beim schlechteren Schnitt 2.85 beträgt. Eine derartige Differenzierung der Qualitätszahlen konnte für alle ausgewerteten Schnittkantenprofile bestätigt werden. Ein weiteres Beispiel dieser Differenzierung ist in den beiden folgenden Abbildungen anhand eines guten und eines schlechten Längsschnittes zu sehen.

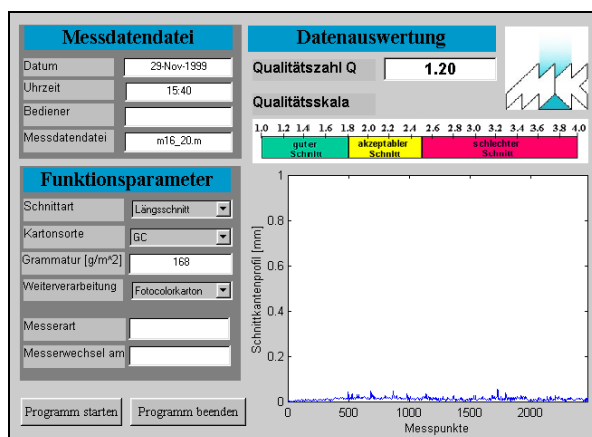


Abb. 16: Längsschnitt 1: staubender Schnitt

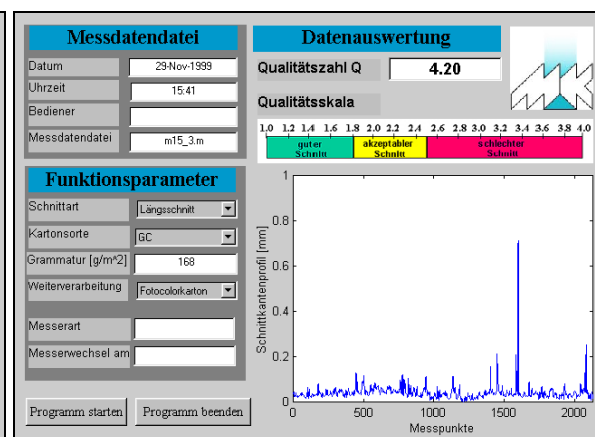


Abb. 17: Längsschnitt 2: gequetschter Schnitt

Auch in dieser Darstellung weisen zwei stark voneinander abweichende Qualitätszahlen auf einen deutlichen Unterschied der Schnittqualität hin. Die Herstellereinschätzung als staubender Schnitt (Abb. 16) lässt in dieser Darstellung auf ausbrechende Partikel aus der Schnittkante schließen, da herausstehende längere Anteile wie z.B. Fasern nicht zu erkennen sind. Der gequetschte Schnitt (Abb. 17) kann anhand des Profilverlaufs besser gedeutet werden. Zu sehen sind weitaus längere, herausragende Schnittkantenanteile als in Abb. 16, die auf das Quetschen in der Schneidzone hinweisen. Zusätzlich spiegelt sich in dieser Abbildung die stark progressive Gewichtung der länger herausragenden Partikel wieder. Obwohl die Menge dieser Anteile gering ist, steigt die Qualitätszahl auf einen hohen Wert von 4.20. Weitere Beispiele für faserige Schnittkanten sind in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt.

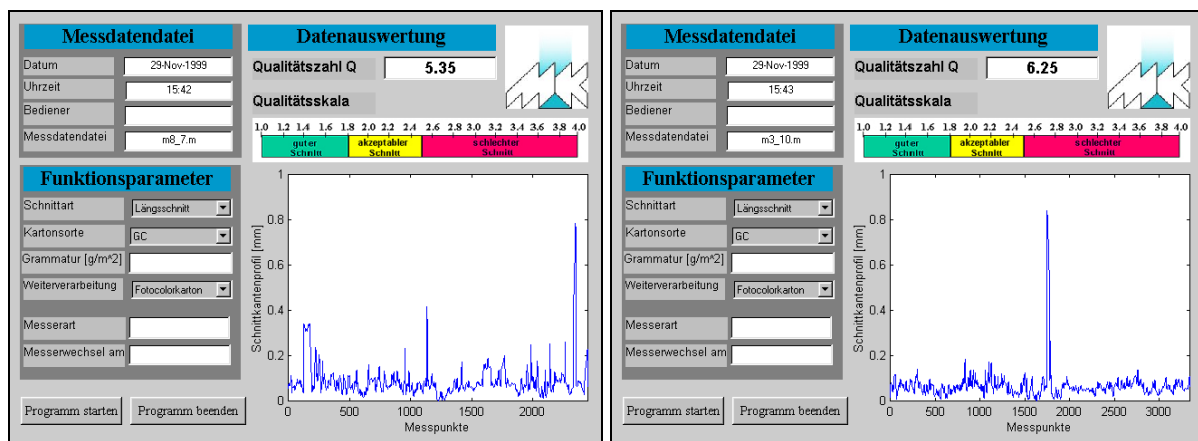


Abb. 18: Längsschnitt 3: schlechter Schnitt

Abb. 19: Längsschnitt 4: schlechter Schnitt

Sie zeigen zwei Schnittkantenprofile, die zu den größten Qualitätszahlen aller untersuchten Proben führten.

Anhand aller ermittelten Qualitätszahlen ist zu erkennen, dass die Güte der untersuchten Schnittkanten stark variiert. Der Wertebereich der ermittelten Qualitätszahlen lag bei Längsschnitten zwischen 1.20 (bester Längsschnitt) und 6.25 (schlechtester Schnitt). Für Querschnitte ergab sich ein Qualitätszahlenintervall zwischen 1.50 und 3.05. Einen Überblick über alle ermittelten Qualitätszahlen und den nach Schnittart differenzierten Wertebereichen der Qualitätszahlen liefert Abb. 20.

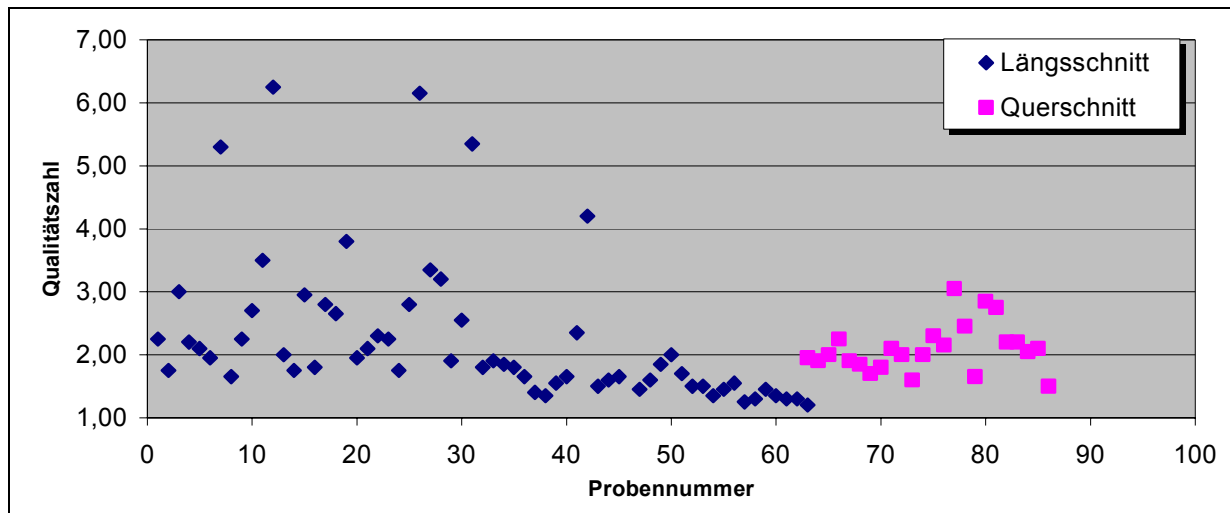


Abb. 20: Zusammenfassung aller ermittelten Qualitätskennzahlen

4.2.2 Untersuchung des Staubproblems

Eine weitere Untersuchung mit dem digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahren war die Bewertung der Schnittkanten hinsichtlich der Staubigkeit von Schnittkanten.

Für diese Untersuchung wurden mechanisch und mit Ultraschall behandelte Schnittkanten herangezogen. Die Auswertung dieser Messreihen ergaben keine signifikanten Unterschiede der ermittelten Qualitätszahlen. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen der PTS. Entweder war die Erregung nicht stark genug, um vorhandene lockere Partikel aus der Schnittkante zu lösen oder diese waren nach dem Transport der Proben zum Versuchsstand nicht mehr vorhanden. Darüber hinaus ist es messtechnisch schwierig, eine Probe mehrmals an der gleichen Stelle mikrometergenau auszumessen.

Eine sich unwesentlich verändernde Qualitätszahl bei unterschiedlicher Erregung und die dazugehörigen Schnittkantenprofile sind in den drei folgenden Abbildungen 21, 22 und 23 zusammengefasst.

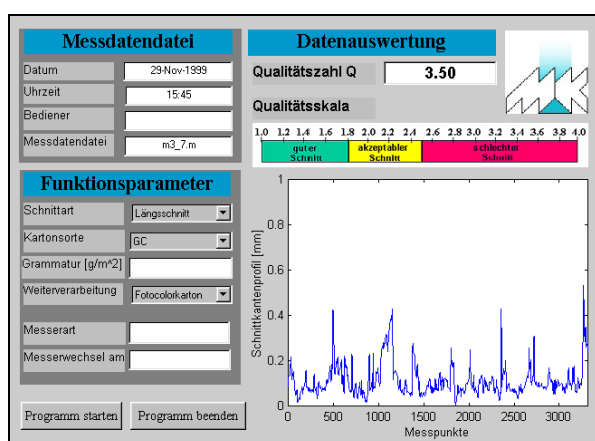


Abb. 21: Schnittkante ohne Belastung

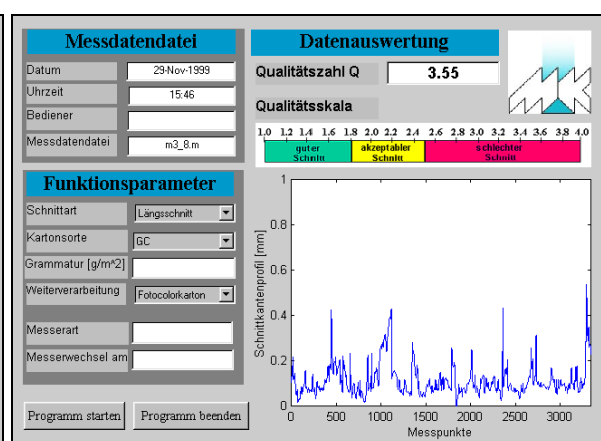


Abb. 22: Schnittkante nach mechanischer Erregung

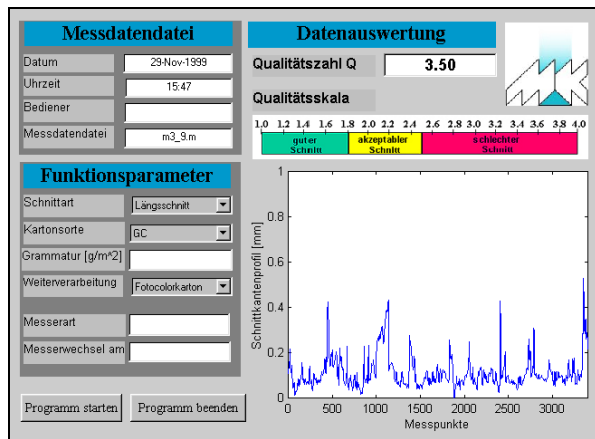


Abb. 23: Schnittkante nach Erregung mit Ultraschall

Eine weiterführende Untersuchung von Schnittkanten auf Staubigkeit wurde mit einem Klebestreifen vorgenommen. Eine zuvor ausgemessene Schnittkante wurde mit einem Klebestreifen versehen und nach Entfernung des Klebestreifens erneut ausgemessen (Abb. 24 und 25).

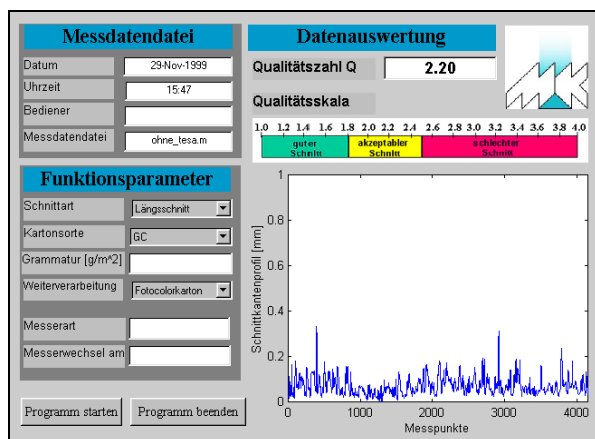


Abb. 24: Schnittkante ohne Klebestreifenbehandlung

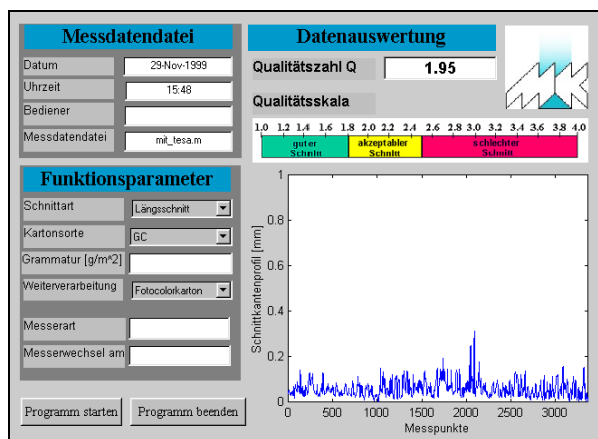


Abb. 25: Schnittkante nach Behandlung mit Klebestreifen

Auch durch diese Versuchsreihe ließen sich keine Rückschlüsse auf Staubanteile in den Schnittkanten ziehen. Der Klebestreifen entfernt nicht nur Staubpartikel, sondern verändert das Schnittkantenprofil durch Ausreißen und Verlagern von Fasern gravierend, wie ein Vergleich der Profile zeigt.

Aus den durchgeführten Untersuchungen zur Staubigkeit von Schnittkanten lässt sich folgern, dass eine diesbezügliche Beurteilung von Schnittkanten mit Hilfe des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens nicht möglich ist.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass ein erheblicher Anteil der als Staub durch das Schneiden freigesetzten Partikel ohnehin nicht detektiert werden könnte, da er nicht in der Schnittkante verbleibt sondern abgeschleudert und im Umfeld abgelagert wird. Dieser Staubanteil lässt sich bisher bei Einsatz von Absaugeinrichtungen als Staubvolumen pro Längeneinheit (z.B. geschnittene Längenkilometer) ermitteln. Dieses indirekte Verfahren ist aber nicht geeignet, den hier zugrunde gelegten Anspruch zu erfüllen. Es empfiehlt sich, hierfür ein neues Messverfahren zu entwickeln, dass z.B. mit einem "optischen Auge" die Schneidzone erfasst und mit dedizierten Auswertungsverfahren beurteilt.

4.3 Entwurf einer Qualitätsskala

Die mit dem entwickelten Auswertungsverfahren ermittelbaren Qualitätszahlen ordnen für sich gesehen auf quantitative Weise die Güte einer Schnittkante. Erst in Verbindung mit einer Bewertung von Zahlenbereichen kann sich eine Qualitätsbeurteilung ergeben. Als Beurteilungsmaß für die Qualität findet man in der Praxis bisher lediglich verbale Bezeichnungen wie: guter Schnitt, akzeptabler Schnitt, schlechter Schnitt oder Formulierungen wie verkaufsfähiger Schnitt bzw. nicht verkaufsfähiger Schnitt. Diese qualitativen Beurteilungen werden üblicherweise im Kunden-Lieferanten-Verhältnis von Experten vorgenommen. Hierbei spielen sowohl allgemein anerkannte als auch individuell festgelegte Beurteilungsaspekte eine Rolle. So kann im Wettbewerb der Lieferanten die angestrebte Führungsposition in der Schnittqualität zum alleinigen Maß der Beurteilung werden oder aus Kundensicht die gestellten Anforderungen an die Weiterverarbeitung der gelieferten Bahn- oder Bogenware.

Aus diesen Vorüberlegungen folgt, dass eine allgemein verbindliche Qualitätsskala unabhängig von spezifischen Rahmenbedingungen unzweckmäßig ist. Diese Feststellung lässt sich anhand der nachfolgend dargestellten Auswertung belegen.

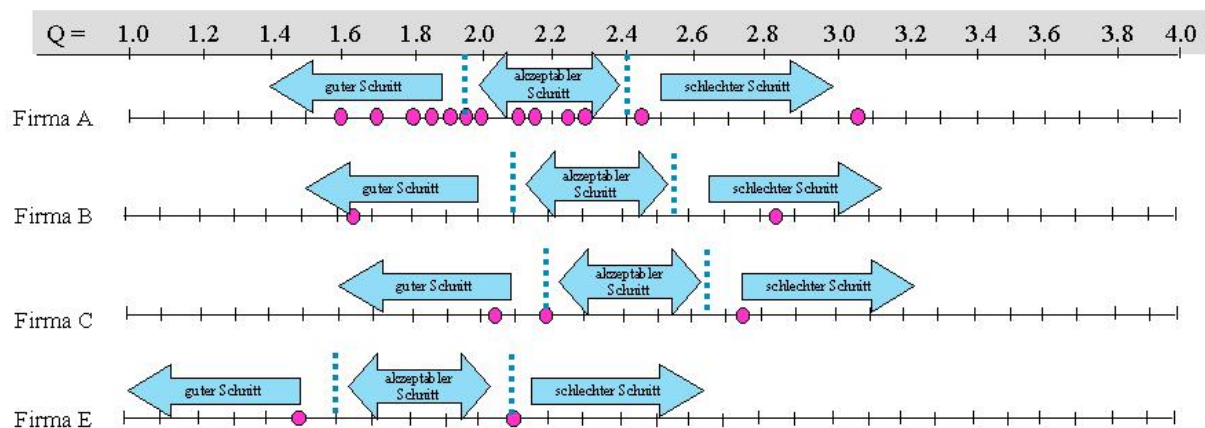


Abb. 26: Firmenindividuelle Beurteilung von Schnittkanten (Querschnitte)

In Abb. 26 sind die firmenindividuellen Beurteilungen von quergeschnittenen Schnittkanten für vier Proben-Lieferanten im Vergleich aufgetragen. Hierbei zeigen sich einerseits unterschiedliche Beurteilungen bei vergleichbaren Sorten (Firma A versus Firma E) und andererseits richtigerweise noch deutlichere Unterschiede aufgrund der deutlich höheren Anforderungen für die Weiterverarbeitung (Firma C versus Firma E).

Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, Qualitätsskalen festzulegen und zwischen Lieferanten und Kunden zu vereinbaren, die sich zum einen an der Sorte und zum anderen an der Weiterverarbeitung orientieren. Weiterhin wird empfohlen, für die Intervalle der Qualitätszahlen nicht mehr als drei Bereiche mit den Kennzeichnungen: guter Schnitt, akzeptabler Schnitt, schlechter Schnitt festzulegen. In Abb. 27 ist diese Empfehlung als Matrix mit der Abhängigkeit zwischen Sorten und Weiterverarbeitung beispielhaft dargestellt.

		Weiterverarbeitung		
		Umkarton- verarbeitung	Faltschachtel- verarbeitung	Fotocolor- verarbeitung
Kartonsorte	GZ			1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 guter Schnitt akzeptabler Schnitt schlechter Schnitt
	GC		1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 guter Schnitt akzeptabler Schnitt schlechter Schnitt	
	GT		1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 guter Schnitt akzeptabler Schnitt schlechter Schnitt	
	GD		1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 guter Schnitt akzeptabler Schnitt schlechter Schnitt	
	GK	1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 guter Schnitt akzeptabler Schnitt schlechter Schnitt		

Abb. 27: Empfehlungen zur Festlegung von Qualitätsskalen

Für weitergehende Festlegungen, sowohl was den Aufbau der Matrix als auch die eingetragenen Qualitätszahl-Intervalle betrifft, müssen zunächst Erfahrungen mit diesem neuen Schnittkanten-Beurteilungsverfahren gesammelt werden. Schließlich soll nicht unerwähnt bleiben, dass derartige Festlegungen zur Schnittkanten-Beurteilung, sowohl in der Innensicht des Lieferanten als auch in der Kunden-Lieferanten-Beziehung, erstmalig ein objektives Verfahren zur Qualitätssicherung darstellen.

4.4 Ausblick auf einen Online-Einsatz des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens

Das Potential des entwickelten Verfahrens besteht zum einen darin, dass es sich in ein portables Messgerät, bestehend aus CCD-Kamera, Steuerungseinheit der CCD-Kamera (A/D-Wandler) und Digitalrechner, überführen lässt und somit ortsungebunden zum Einsatz kommen kann und zum anderen darin, dass sich dieses Konzept zu einer ortsfesten Maschineninstallation weiterentwickeln lässt, um Schneiprozesse online zu überwachen.

Die Realisierbarkeit eines Online-Systems ist zur Zeit hauptsächlich durch die Leistungsfähigkeit von CCD-Zeilenkameras begrenzt. Die in diesem Projekt verwendete Kamera der Fa. Steinheil arbeitet mit einer Abtastfrequenz von 2 kHz und erreicht damit eine Auflösung in Messrichtung der Schnittkante von 10 µm bei einer Kantengeschwindigkeit von 1.2 m/min. Durch ihre 2048 Dioden, angeordnet in Höhenrichtung des Schnittkantenprofils erreicht die Kamera eine Auflösung von 1 µm (Abb. 28).

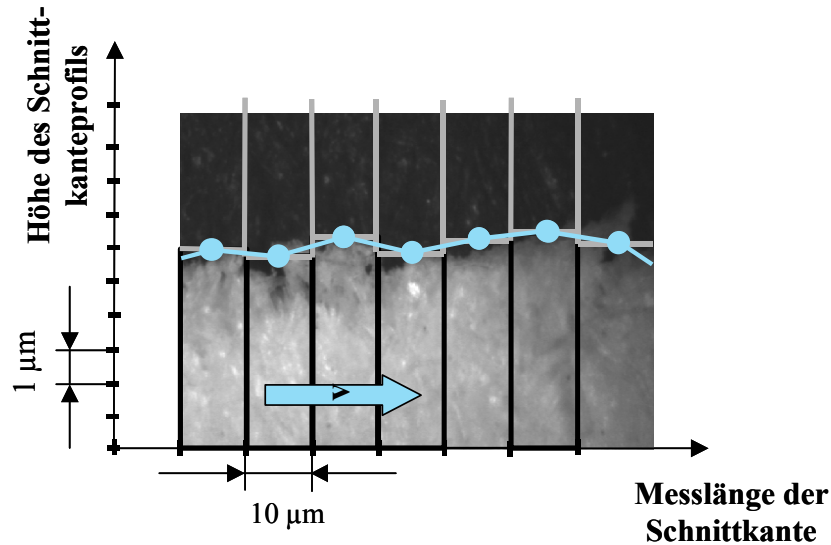


Abb. 28: Mindestanforderungen an eine CCD-Kamera für ein Online-Messsystem

Nach einer im Februar 2000 durchgeführten Marktstudie über die Leistungsfähigkeit gegenwärtiger CCD-Kameras hat sich herausgestellt, dass die zur Zeit maximal mögliche Abtastfrequenz marktgängiger Kameras bei 80 kHz (Fa. Dalsa, Kamera CT-F3) liegen. Damit ließe sich eine kontinuierliche Messdatenerfassung bei Maschinengeschwindigkeiten von bis zu 50 m/min erreichen.

Eine Alternative besteht darin, die Messdatenerfassung ebenfalls diskontinuierlich mit einer hochauflösenden handelsüblichen Digitalkamera mit entsprechendem Makroobjektiv durchzuführen. Bei einer Auflösung von ca. 1700 Pixel/Zeile in Schnittkantenrichtung und 1300 Pixel/Zeile in Profilhöhenrichtung ließen sich Schnittkanten bis zu ca. 5 µm bei einem Bildausschnitt von 10 x 5 mm auflösen. Da die Verschlusszeiten dieser Kameras begrenzt sind, müsste die Kamera zweckmäßigerweise in einem Drehrahmen kurzzeitig auf die Schneidgeschwindigkeit synchronisiert werden.

5. Zusammenfassung und Perspektiven des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens

Zur Sicherung der Prozesse in der Ausrüstung der Papier- und Kartonproduktion ist eine stete Qualitätskontrolle obligatorisch. Bisher fehlt beim Prozess Schneiden ein Verfahren, das die Kanten vermisst und hinsichtlich ihrer Güte qualifiziert.

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein optisches Verfahren zur Vermessung von Schnittkanten entwickelt. Das Abtasten des Schnittkantenprofils durch eine Zeilenkamera hat sich als ein leistungsstarkes Verfahren zum Vermessen der Kante im Mikrometerbereich erwiesen. Besonders herauszustellen ist die berührungs- und damit zerstörungsfreie Methode. Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit der Methode wurden 19 Kartonmuster von fünf verschiedenen Herstellern, die sich hinsichtlich ihrer Sorten, aber auch hinsichtlich der angewendeten Schnitte (Quer- oder Längsschnitte) unterschieden, untersucht.

Die mit Hilfe der linearen Regression durchgeführte Trendbereinigung der Messsignale erlaubt eine Trennung der Schnittkantenprofile in Schnittkantenwelligkeiten und -rauheiten und damit eine exklusive Weiterverarbeitung der Rauheiten als Maß für die Güte einer Schnittkante. Die Bewertung erfolgt anhand eines feines Messrasters, das mit zunehmendem Abstand von der Grundlinie progressiv gewichtet wird. Man erhält dann eine Gesamtwertzahl, die anschließend einer nach der Normzahlreihe R40 und in 0.05 Schritten gestuften Qualitätszahl zugeordnet wird. Mit der so bestimmten Qualitätszahl lässt sich die Qualität einer Schnittkante als quantitatives Maß für die Güte einer Schnittkante darstellen.

Die Anwendung des digitalen Schnittkanten-Beurteilungsverfahrens hat gezeigt, dass das Verfahren bestens geeignet ist, Schneidergebnisse ausreichend zu differenzieren und bis auf die Staubigkeit alle qualitätsbestimmenden Einflüsse erfasst.

Mit der Einordnung der ermittelten Qualitätszahl in die vorgeschlagene sorten- und weiterverarbeitungsbezogene Qualitätsskala kann das Verfahren als objektives Beurteilungsverfahren in Kunden-Lieferanten-Beziehungen etabliert werden. Mit einer entsprechenden Weiterentwicklung wird die Möglichkeit geschaffen, nicht nur kontinuierliche Schneid- oder Stanzprozesse zu überwachen sondern auch die Basis für qualitätssichernde Maßnahmen geschaffen.

6. Literatur

- /1/ NN; Institut für rationale Unternehmensführung in der Druckindustrie IRD e.V.
Materialbeanstandungen des Jahres 1997 (alle Kartonhersteller D)

Hanau 1998

- /2/ NN; Firmenunterlagen optoelektronische Messeinrichtung, Typ MMS40, mit CCD-Zeilenkamera
Firma Steinheil Industrielle Messtechnik, Ismaning/München 1994

- /3/ Feiler, M.; Ein Beitrag zur Klärung der Vorgänge beim Schneiden dünner flächiger Materialien.
Dissertation; Universität Stuttgart 1970