

**Passermessung an Druckmaschinen
mit
konventioneller Videotechnik**

Gerald Loh

Dissertation

Passermessung an Druckmaschinen mit konventioneller Videotechnik

der Fakultät Maschinenwesen

der

Technischen Universität Dresden

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

(angenommene Dissertation)

Dipl.-Ing. Gerald Loh

geb. am 29. Mai 1966 in Leipzig

Tag der Einreichung: 30. August 2005

Tag der Verteidigung: 11. Dezember 2006

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Goldhahn
Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam
Dr.-Ing. Peter Hofmann

Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer
(Vorsitzender der Promotionskommission)

Zusammenfassung

Zur genauen Justage und objektiven Qualitätsprüfung von Druckmaschinen ist ein hochgenaues Messgerät zur Passermessung sinnvoll. Ein solches Messsystem wurde unter Verwendung konventioneller Videotechnik basierend auf Bildanalysetechnologien entwickelt. Speziell für das Messsystem entworfene Messelemente werden zur Passermessung gedruckt, mit Videotechnik digitalisiert und mit Hilfe von Bildanalysetechnologien erkannt, bewertet und vermessen. Auf dem Entwicklungsweg zu diesem Messsystem wurden verschiedene Problemkreise analysiert und gelöst. Dazu zählen beispielsweise Methoden zur Signalerfassung und zur Korrektur von Fehlern in optischen Abbildungssystemen. Ausgehend von einer Bewertung bekannter Lösungen zur Passermessung werden Technologien und Strategien für ein Messverfahren zur Passermessung mit konventioneller Videotechnik am Beispiel der Übergabepassermessung aufgezeigt. Nachweismöglichkeiten zur Prüfung der Technologie und Schlussfolgerungen wie wünschenswerte Forderungen für die Zukunft, beispielsweise für Folge- und Weiterentwicklungen, werden formuliert.

Schlagwörter: Druckmaschine, Qualität, Passer, Passermessung, Register, Videotechnik, LUCHS

Summary

A high-precision instrument for register measurement is useful for the exact adjustment and quality control of printing presses. Such a measuring system has been developed on the basis of image analysis methods and the application of conventional video technology. Measuring elements specially designed for the measuring system are printed for register measurement, digitalized with video technology and recognized, evaluated and measured with the help of image analysis methods. On the way to the development of this measuring system various complexes of problems were analysed and solved, among them, for instance, methods of signal recognition and correction of errors in optical imaging systems. Proceeding from the evaluation of known solutions for register measurement, methods and strategies are demonstrated for a method of register measurement with conventional video technology using transfer register measurement as an example. Possibilities to proof the verification of the method, conclusions and desirable demands for the future, such as follow-up and further developments have been formulated.

Terms: Printing press, quality, register, register measurement, video technology, LUCHS

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Danksagung	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1. Darlegung des Problems, Aufgabenstellung, Abgrenzung und Ziel der Arbeit	6
1.1. Einleitende Darlegung des Problems	6
1.2. Aufgabenstellung, Abgrenzung und wissenschaftliche Zielstellung der Arbeit	7
2. Passermessung an Druckmaschinen	9
2.1. Beschreibung, Aufgaben und Unterteilung der Passermessung	9
2.2. Bekannte Verfahren und Lösungsansätze	13
2.2.1. Bekannte Verfahren	13
2.2.2. Andere Lösungsansätze	15
2.3. Bewertung des Erkenntnisstandes	19
2.4. Anliegen und Anforderungen der Industrie	22
3. Lösungsansatz und Analyse von Grundproblemen zur Passermessung	23
3.1. Konzeptioneller Lösungsansatz	23
3.1.1. Grundprinzip, die Messung gedruckter Messelemente	23
3.1.2. Anwendung von Video- und Rechentechnik	24
3.1.3. Ansatz und Erkenntnis	25
3.2. Analyse von Grundproblemen	27
3.2.1. Verarbeitung fehlerbehafteter Informationen	27
3.2.2. Fehlerquellen bei der Erfassung des Messobjektes	29
3.2.2.1. Fehler bei der Erfassung und Projektion des Messobjektes	29
3.2.2.2. Fehler bei der Wandlung der Abbildung in ein digitales Abbild	31
3.2.2.3. Praktische Realität	34
3.2.3. Weitere Probleme und Fehlerpotentiale	35
3.2.3.1. Bildanalyse mit Rechentechnik	35
3.2.3.2. Digitale Probleme und Softwarefehler	36
3.2.4. Quintessenz	37
4. Messverfahren zur Passermessung mit konventioneller Videotechnik	38
4.1. Übersicht und Abgrenzung	38
4.2. Entscheidungen zum Messverfahren	40
4.3. Verfahren zur Erfassung der Ausgangsdaten	44
4.3.1. Überlegungen zur Erfassung der Ausgangsdaten	44
4.3.2. Untersetzung der gefundenen Vorgehensweise	47

4.4. Bewertung des Verfahrens mit Beispielsimulationen	53
4.4.1. Vorgehensweise und erste Simulationen	53
4.4.2. Bewertung der Einflüsse von Signalstörungen auf die Ergebnisbildung	57
4.4.3. Signalabtastung und Stützpunkterrechnungsmethoden	62
4.5. Korrekturverfahren	64
4.5.1. Korrektur statischer Abbildungsfehler	65
4.5.1.1. Lösungsansatz	65
4.5.1.2. Gefundene Lösung zur Korrekturfelderstellung	69
4.5.2. Korrekturmechanismen nicht statischer Fehleranteile	74
4.6. Auflösung von Abhängigkeiten	76
4.7. Berücksichtigung spezieller Anforderungen	77
4.8. Beispiel: Messverfahren zur Übergabepassermessung	78
4.8.1. Übersicht und Ablauf	78
4.8.2. Messelementgestaltung und Messelementerkennung	80
4.8.2.1. Messelementgestaltung	80
4.8.2.2. Messelementerkennung durch Kodierungslinien	81
4.8.2.3. Positionsanalyse des Messelementes zum Bilderfassungsbereich	82
4.8.2.4. Auffindung der inneren Messelementstrukturen	84
4.8.3. Datenaufbereitung	86
4.8.3.1. Stützpunkterrechnung und Korrektur statischer Abbildungsfehler	86
4.8.3.2. Druckwerkskodierungserkennung	87
4.8.4. Ergebnisbildung	89
5. Nachweismöglichkeiten zur Prüfung des Messverfahrens	91
5.1. Grundlagen und Rechtsbestimmungen	91
5.2. Vergleichsmöglichkeiten	94
5.3. Komplexprüfverfahren „LQ-Arraydruck“	96
5.4. Bewertung angewandeter Prüfverfahren	100
6. Andere Anwendungsgebiete, Schlussfolgerungen und Zukunftsaussichten	102
6.1. Anwendung in anderen Gebieten	102
6.2. Schlussfolgerungen und Zukunftsaussichten	104
Literaturverzeichnis	107
Tabellenverzeichnis	110
Abbildungsverzeichnis	110
Quellenangaben	111
Anlagen	112

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die auf vielfältige Art und Weise an der Entstehung dieser Arbeit beteiligt waren. Im Besonderen Danke ich:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Goldhahn von der Technischen Universität Dresden für all die Hilfestellungen, die mir über die gesamte Zeitdauer der Erstellung der Arbeit, angefangen bei der Themenfindung, über den Freiraum bei der Ausgestaltung der Arbeit und auch bei vielen anderen Fragen zur Realisierung dieser Arbeit sehr geholfen haben
- Dr.-Ing. Hofmann vom Sächsischen Institut für die Druckindustrie und Prof. Dr.-Ing. Dörsam von der Technischen Universität Darmstadt, die sich neben Prof. Dr.-Ing. habil. Goldhahn als Gutachter für die Bewertung dieser Arbeit zur Verfügung gestellt haben
- Prof. Dr.-Ing. habil. Fuchs und Dr. Schirmer von der Technischen Universität Dresden, die mir in Vorlesungen, Übungen und im persönlichen Gespräch mehr Wissen über viele Gesichtspunkte der Bildverarbeitung vermitteln konnten
- Dr.-Ing. Hofmann, Dipl.-Ing. Klaus Görner und Dr.-Ing. Tappert, die mir zu verschiedenen Zeiten jeweils als Geschäftsführer des Sächsischen Instituts für die Druckindustrie mit Vertrauen den nötigen Freiraum gewährten, das Passermesssystem LUCHS trotz der damit verbundenen Risiken und Kosten zu erschaffen und ständig weiterzuentwickeln
- Dipl.-Ing. Hans Liefke vom Sächsischen Instituts für die Druckindustrie, der als Entwickler und Konstrukteur der Hardware und Elektronik der Passermesssysteme LUCHS und AUTOLUCHS zahlreiche wesentliche Beiträge zum Erfolg dieser Systeme geliefert hat
- meinem langjährigen Kollegen und Mitarbeiter Dipl.-Ing. (FH) Steven Flemming vom Sächsischen Instituts für die Druckindustrie, der mir durch seine Motivation viele Hilfestellungen und letztlich auch den Anstoß zur Erstellung dieser Arbeit geliefert hat
- allen Kollegen vom Sächsischen Instituts für die Druckindustrie, die mir ständig und auf sehr vielfältige Art und Weise mit Ideen und Tatkraft geholfen haben
- sehr vielen Fachleuten, Gutachtern und Anwendern des Messsystems in der Druckindustrie, beispielsweise von in- und ausländischen Druckmaschinenherstellern oder auch von Forschungs- und Bildungseinrichtungen, denen ich insgesamt sehr viel Wissen, zahlreiche Anregungen und auch konstruktive Kritiken zu verdanken habe
- meiner Frau Julia Loh, die mir viel Zeit, Kraft, Überzeugung und Unterstützung für die Erstellung dieser Arbeit gewährt hat

Abkürzungsverzeichnis

A, B, und C	Schnittpunkte von Messlinien zur Bildung einer Verhältnisgleichung
A', B' und C'	Abgebildete Schnittpunkte von Messlinien
a0, b0 und c0	mögliche lokale Verzerrungsfehler in einer Abbildung
az	Bewertete verzerrte Abbildungszeile mit messbaren Linienschnittpunkten von Messlinien, die im Original einen gleichen Abstand ausweisen
az'	Angenommene ideale Abbildungszeile messbarer Linienschnittpunkte gleichen Abstands
ikx	Kurve interpolierbarer Korrekturwerte
kX und kY	Bildkoordinaten zugeordnete Fehlerkorrekturwerte zur Entzerrung von Abbildungszeilen und Abbildungsspalten
KX und KY	Korrekturzahlenfelder zur zeilen- und spaltenweisen Korrektur statischer Abbildungsfelder
m und W	Maßstab und Winkel
ML1, ML2 und ML3	parallele Messlinien
MZ, MZ', MZ'', MZ'''	Messzeilen
PcodeScanZ1Links	Parameter zur Beschreibung der Position des Startbits einer Kodierungslinienschar in der ersten erfassten Videozeile
PcodeScanZ1Rechts	Parameter zur Beschreibung der Position des Endbits einer Kodierungslinienschar in der ersten erfassten Videozeile
PcodeScanZeLinks	Parameter zur Beschreibung der Position des Startbits einer Kodierungslinienschar in der letzten erfassten Videozeile
PcodeLinienEnde	Parameter zur Beschreibung der Zeile der Endposition eines Startbits einer Kodierungslinienschar
PXNY's	Parameterschar zur Beschreibung aller Koordinaten des Messnormales
sx und sx'	messbare Schnittpunkte von Messlinien und angenommene Schnittpunkte von Messlinien gleichen Abstands
SzX1, SsY1 und SsY2	Parameter zur Beschreibung einer X und zwei Y Koordinaten des Messnormales in Subpixelgenauigkeit
x0	Nullposition einer Messeinrichtung zum Original

1. Darlegung des Problems, Aufgabenstellung, Abgrenzung und Ziel der Arbeit

1.1. Einleitende Darlegung des Problems

Mit der Entwicklung des Offsetdruckes Anfang des 20. Jahrhunderts begann eine qualitative und quantitative Erfolgsgeschichte in der Druckbranche. "Der Offsetdruck ist heute das dominierende Verfahren zum ein- und mehrfarbigen Bedrucken von Papier und Karton in fast allen Bogenformaten und auch von der Rolle." "Im Offsetdruck wird heute weitaus mehr, ungleich besser und farbiger gedruckt, als das jemals im Buchdruck der Fall war." /1/ [Seite 9]

Mit der Weiterentwicklung und Verbesserung der entsprechenden Verarbeitungsmaschinen wurden die Grenzen der technisch realisierbaren Fähigkeiten dieser Maschinen bezüglich der erzielbaren Druckqualität und Druckgeschwindigkeit ständig nach oben korrigiert. Durch die wachsenden Qualitätsansprüche hinsichtlich der Auflösung und Farbechtheit der gedruckten Reproduktionen gewannen im Lauf der Zeit auch entsprechende Messverfahren, beispielsweise die Passermessung, eine zunehmende Bedeutung.

Als Werkzeug zur Problemlösung hilft die Passermessung insbesondere bei der Qualitätsabnahme und Justage von Druckmaschinen. Da die generelle Qualität der zu druckenden Produkte zu einem großen Teil von den speziellen Eigenschaften der verwendeten Druckmaschine abhängt, kommt allen qualitätssichernden Werkzeugen auch eine entsprechende wirtschaftliche Bedeutung zu: Für eine Druckerei ist der problemlose und dauerhafte Betrieb einer Druckmaschine ebenso von wirtschaftlicher Bedeutung wie eine permanent und stabil erreichbare hohe Druckqualität. Produktionsausfälle an Druckmaschinen sind für den Betreiber sofort sehr kostenintensiv, da Standzeiten durch den Preis derartiger Anlagen teuer sind. Druckqualitätsmängel können zu Minderungen oder Stornierungen von ganzen Auflagen führen. Hohe Kosten entstehen auch im Fall einer Übergabeverzögerung einer neu hergestellten Anlage an den Kunden durch den Maschinenbauer, die aus Transportschäden einzelner Komponenten resultieren können.

Durch ihre Eigenschaften gestattet die Passermessung generell die qualitative Bewertung von Druckmaschinen ebenso wie auch die analytische Ursachenforschung im Störfall. Sie eignet sich dadurch im hohen Maß für vielfältige Anwendungsgebiete.

Ein Problem der Vergangenheit stellte die fehlende Verfügbarkeit eines entsprechend geeigneten praktikablen und hochgenauen Messsystems zur Passermessung dar. Hauptsächlich wurden

subjektive wie auch zeitaufwendige und anstrengende Messungen auf der Basis einfacher Messmethoden durchgeführt. Auf Grund der damit verbundenen Anstrengungen und Kosten suchte die Industrie jahrzehntelang nach geeigneten Alternativen. Durch unternehmenseigene Forschung und Entwicklungen einzelner Druckmaschinenhersteller wurden in Einzelfällen Lösungen gefunden und realisiert, welche aber aus verschiedenen Gründen keine allgemeine und weite Verbreitung gefunden haben. Es ist nicht gelungen, ein Messsystem zu entwickeln und zu verbreiten, welches den aus inhaltlichen und wirtschaftlichen Aspekten diktierten Forderungen der Industrie genüge.

1.2. Aufgabenstellung, Abgrenzung und wissenschaftliche Zielstellung der Arbeit

Die praktisch vorhandenen Möglichkeiten zur genauen Justage und objektiven Qualitätsprüfung von Druckmaschinen wurden von Fachleuten als Problem erkannt und als nicht ausreichend gelöst bewertet. Ein hochgenaues und praktikabel anwendbares Messgerät zur Passermessung an Druckmaschinen wurde gefordert. Ein solches Messsystem konnte vom Autor dieser Arbeit unter Verwendung konventioneller Videotechnik entwickelt werden /2/ /3/ /4/. Dieses Messsystem hat auf Grund seiner zur Zeit weltweiten Alleinstellungsmerkmale hinsichtlich der erreichten Messunsicherheit innerhalb seiner Zielgruppe eine weite Verbreitung gefunden /5/ /6/.

Die gefundene Lösung besteht aus einem Computersystem mit einem Videomesskopf und funktioniert auf der Basis von Bildanalysetechnologien. Speziell für das Messsystem entworfene Messelemente werden zur Passermessung gedruckt, mit konventioneller Videotechnik digitalisiert, und mit Hilfe von Bildanalysetechnologien erkannt, bewertet und vermessen.

Auf dem Entwicklungsweg zu dieser Lösung musste die gesamte Technologie, also eine Reihe von zusammenwirkenden Lösungen zu verschiedenen Problemkreisen analysiert und erarbeitet werden. Von der Problembeschreibung und Analyse der Ausgangssituation bis zur Optimierung und Prüfung des Verfahrens mussten verschiedenartige Aufgaben gelöst werden. Als Ziel dieser Arbeiten wurde eine praktisch anwendbare Lösung für die Passermessung angestrebt, welche Messergebnisse ausreichender Messunsicherheit ermöglicht.

Aus der Analyse der Ausgangssituation kristallisierte sich im Kern das Konzept, mittels konventioneller Videotechnik die gegebene Problemstellung zu lösen. Aus einem für eine genaue Messung problematischen Ausgangsdatenbestand sollte ein Messergebnis mit ausreichender Messunsicherheit erzielt werden. Dazu mussten geeignete Methoden gesucht werden, wie mittels konventioneller, d.h. herkömmlicher, gut verfügbarer und im hohen Maß standardisierter Videotechnik, zentimetergroße Messelemente im Mikrometerbereich genau genug ausgewertet werden können.

Die erfolgreich am Markt eingeführte Lösung zur Passermessung konnte mit der Zeit erweitert und verbessert werden. Dennoch konnten nicht alle Teilbereiche der geleisteten Arbeiten vollständig nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten und möglichen Verbesserungen analysiert werden. Auch ist denkbar, dass Teile der geleisteten Arbeiten in anderen Zusammenhängen bei der Lösung ganz anderer praktischer Probleme hilfreich angewendet werden können. Dazu zählen beispielsweise die gefundenen Methoden zur Signalerfassung und zur Korrektur von geometrischen Fehlern im Abbildungssystem.

Aus den genannten Gründen ist das wissenschaftliche Ziel dieser Arbeit, nach methodischen Prinzipien die vom Autor geleisteten Arbeiten zur Passermessung kritisch zu analysieren und zu verifizieren. Parallel dazu wird eine in dieser Form nicht vorhandene Dokumentation des aktuellen Standes der Forschung auf diesem Gebiet angestrebt. Dazu wird als Ausgangsbasis Material zur Passermessung aus Literaturquellen und Schutzrechten gesammelt, geordnet und bewertet.

Ein weiteres wesentliches Ziel dieser Arbeit ist, einen inhaltlichen Fortschritt auf dem Gebiet der Passermessung zu ermöglichen. Die bislang nicht veröffentlichten Methoden und Wege zur gefundenen Lösung des Messproblems sollen auf Kernthemen eingegrenzt untersucht und in ihrem Zusammenspiel näher untersetzt werden. So kann erreicht werden, dass die erzielten Ergebnisse für Fachleute objektiv nachvollziehbar, wiederholbar und vergleichbar sind.

Auf Grund der Vielfalt der Kernthemen "Passermessung" und "Messung mit herkömmlicher Videotechnik" erfolgt eine Abgrenzung und Spezialisierung auf folgende Schwerpunkte:

Passermessung an Druckmaschinen:

- Beschreibung, Analyse und Bewertung bekannter Lösungen

Analyse der Problemstellung im Kontext eines Lösungsansatzes:

- Lösungskonzept, Analyse von Grundproblemen

Messverfahren zur Passermessung mit konventioneller Videotechnik:

- Ableitung von Technologien und Strategien zur Problemstellung
- Methoden zur Problemlösung am Beispiel der Übergabepassermessung

Nachweismöglichkeiten zur Prüfung des Verfahrens:

- Grundlagen, Vergleichsmöglichkeiten, Bewertung

Aus den gebildeten Erfahrungen sollen Schlussfolgerungen für Folge- und Weiterentwicklungen abgeleitet werden. Wünschenswerte Forderungen für die Zukunft werden formuliert und Anregungen zur Lösung ähnlicher Problemstellungen gegeben.

2. Passermessung an Druckmaschinen

2.1. Beschreibung, Aufgaben und Unterteilung der Passermessung

HELBIG schreibt: "In der Fachliteratur gibt es bis heute keine allgemein anerkannte einheitliche geeignete Definition des Begriffs Passer" /7/ [Seite 76]. Mehrere Begriffe werden gern in gänzlich verschiedenen Zusammenhängen miteinander vermischt, wie die Begriffe Passer, Passerfehler, Passerdifferenzen, Passermessung oder auch die Begriffe Register, Registerfehler, Farbreger, Registermessung und -regelung (siehe Anlage 1 und Anlage 2). Im englischsprachigen Raum ist keine begriffliche Unterscheidung für die Passermessung vorhanden. Hier ist in der Regel trotz unterschiedlichster Mess- und Bewertungsziele immer nur von "register measuring" die Rede. Diese Vielfalt der Begriffe kann aus der Entwicklungsgeschichte der Drucktechnik abgeleitet werden.

Der Ursprung des Begriffes Passer stammt vermutlich von der Einschätzung der Drucker, wie gut der gerade erzeugte Druck passt (mit Druck wird im Folgenden nicht die physikalische Größe Druck gemeint, sondern der Ausdruck eines Druckbildes auf einem Bedruckstoff, siehe /8/). Gemeint war, wie gut es dem Drucker gelang, die technologisch bedingt nacheinander auf-gebrachten Einzelfarben eines mehrfarbigen Druckes so übereinander zu drucken, dass ein qualitativ hochwertiges Druckbild entstand. Im Fall mehrfarbiger Druckerzeugnisse war nur ein ausreichend genau passender Druck verkaufsfähig. Mit der Entwicklung moderner mehrfarbiger Druckmaschinen wurden dem Drucker technische Möglichkeiten zur feinen Justierung der Lage der einzelnen Druckbilder in Form von Registerverstellrichtungen und später auch vollautomatischer Registerregelungen zur Verfügung gestellt. Mit diesen Einrichtungen konnte der Passer bzw. das Register schneller und genauer eingestellt oder auch vollautomatisch nachgeführt und korrigiert werden.

Mit dem Wachsen der Ansprüche an Drucke hinsichtlich der Auflösung und Farbechtheit der Reproduktionen, der Einführung neuer Drucktechnologien und immer schnelleren Druckmaschinen wie auch der zwangsläufigen Verwendung immer feinerer und kleinerer zu druckender Strukturen gewann die genauere Lagevermessung der einzelnen Farbauszüge zunehmend an Bedeutung. Nicht nur die generelle Position der Lage der Druckbilder zueinander musste stimmig sein. Bereits geringe Lageänderungen der einzelnen Farbauszüge von Druck zu Druck im vom Auge nicht sichtbaren Mikrometerbereich konnten insbesondere im dominierenden Offsetdruckverfahren durch Farbrück-

spaltungsvorgänge in den einzelnen Druckwerken zu qualitätsmindernden Effekten führen (Beispiel: Farbverfälschungen, die aus Fehlern entsprechend Abbildung 1 resultieren können). Fachleute, wie Druckmaschinenbauer oder Gutachter, mussten diesen Effekten Rechnung tragen und Lösungen für die resultierenden neuen Qualitätsanforderungen an Druckmaschinen finden.

Verfahren und Vorschriften zur Passermessung bzw. -prüfung und Bewertung wurden entwickelt und in entsprechenden Abnahmevorschriften verankert (siehe /9/, /10/ und /11/). Mit diesen Verfahren wird die Fähigkeit von Druckmaschinen bewertet, wie lagegenau eine Druckmaschine von Nutzen zu Nutzen drucken kann. Es wird nicht beurteilt, ob die Lage der einzelnen Farbauszüge in der richtigen Position zueinander auf den Bedruckstoff gedruckt werden, sondern wie genau die Druckmaschine fähig ist, ohne Einstellungsänderungen hochpräzise immer wieder die gleiche Lageposition zum Druck zu treffen.

Obwohl mit der Passer- wie auch der Registermessung immer die Lage der Druckbilder zueinander oder zu Kanten bewertet wird, also die gleichen messtechnischen Parameter erfasst werden, sind die Ziele dieser Bewertungen für den Fachmann völlig unterschiedlich:

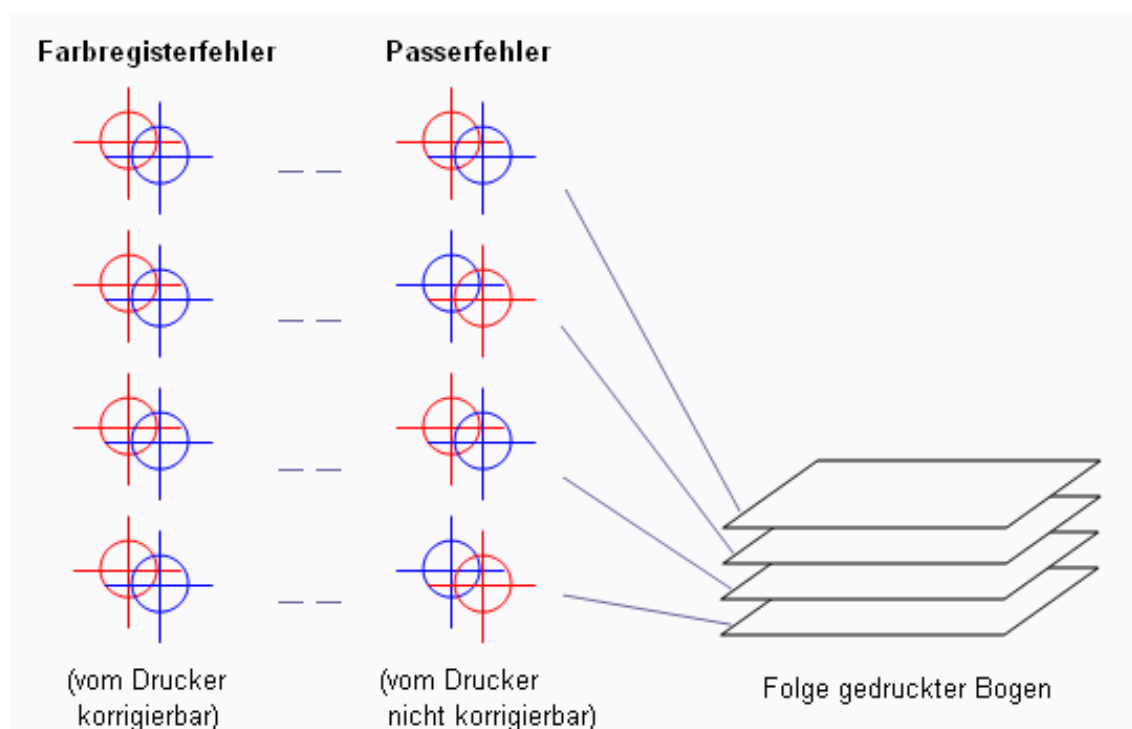


Abbildung 1: Unterschied zwischen Registerfehlern und Passerfehlern

Die Registermessung, -regelung, -verstellung dient der richtigen Einstellung der Lage der Druckbilder in jeder Auflage zum qualitativ hochwertigen Erzeugnis. Die erforderliche Mess- und Einstellungspräzision liegt nach Ansicht von Praktikern für einen "gut passenden Druck" unterhalb von etwa 0,05 mm (siehe /12/).

Im Unterschied zur Registermessung wird die Passermessung vom Fachmann mit dem Ziel der analytischen Beurteilung einer Druckmaschine durchgeführt. Da auch kleine systematisch auftretende Passerfehler die Druckqualität erheblich negativ beeinflussen können, muss entsprechend genauer gemessen werden. Die Passermessung dient der Erkennung und Bewertung kleinster Lagefehler aufeinanderfolgender Drucke zueinander oder zu Bedruckstoffkanten. Ziel der Passermessung ist es, die negativen Effekte auch geringster Lageänderungen zu minimieren. Die vom Drucker oder einer Registerregelung korrigierbare mittlere Lageposition der Druckbilder zueinander ist nicht von Interesse.

Die Passermessung kann als genaue Positionsmessung der Lage einzelner Druckbilder der Druckwerke einer Druckmaschine zueinander bzw. zu den Kanten des Bedruckstoffes im Druck aufeinanderfolgender Nutzen beschrieben werden. Bei der Passermessung wird immer eine Stichprobe von im Druck aufeinanderfolgenden Nutzen unter definierten Bedingungen ausgemessen und analysiert. Sie dient der Bestimmung und dem Nachweis bzw. der Dokumentation der von der Druckmaschine innerhalb dieser Stichprobe erreichten Passqualität und kann zur Ableitung und Analyse von Fehlerbildern verwendet werden.

Die Passermessung findet ihre Anwendung:

- bei der Einstellung und Justage von Druckmaschinen (der Anlage-, Greifer- und Übergabesysteme, von Transport- oder Wendesystemen, von Bahnspannungs- und Bahnkantenregelungen etc.),
- in der Qualitätskontrolle bzw. Endabnahme der Druckmaschinen,
- bei der Analyse bzw. der Findung auftretender Probleme (nach Störungen, durch Getriebe- oder Antriebsprobleme, durch Abrollungsprobleme von Zylindern, durch Materialprobleme oder dynamische Fehler in Steuerungen oder Regelungen etc.),

- sowie in der Forschung und Entwicklung (zum Test neu konstruierter oder verbesserter Komponenten, bei der Einführung neuer Materialien oder Technologien etc.).

Die Passermessung wird in der Praxis je nach Messziel und Aufgabe mit entsprechender Namensgebung in unterschiedliche Messarten aufgeteilt. Systematisiert man grob, lässt sie sich in Messungen "Druckbild zu Druckbild" und Messungen "Druckbild zu Kante" unterteilen.

Messungen Druckbild zu Druckbild:

Die **Übergabepassermessung** ist die Messung von dem Druckbild eines Druckwerkes zum Druckbild eines folgenden Druckwerkes auf der gleichen Seite eines Bedruckstoffes. Von Interesse sind nicht nur die Messwerte von unmittelbar aufeinanderfolgenden Druckwerken, sondern auch andere Kombinationen, wie vom ersten Druckwerk zum letzten Druckwerk (**Maschinenpassermessung**). Die Übergabepassermessung dient der generellen Beurteilung mehrfarbiger Druckmaschinen. Zahlreiche Effekte können erkannt und Ursachen möglicher Fehlerquellen analysiert werden. Dazu zählen Probleme bei Bogenübergabesystemen, allgemeine Bedruckstofftransportfehler, Abrollungsprobleme von Zylindern, Antriebs- und Getriebeprobleme oder Störungen durch dynamische Wechselwirkungen mechanischer Komponenten der Druckmaschine.

Die **Anlagepassermessung** ist die Messung vom Druckbild des ersten Druckwerkes zum Druckbild des ersten Druckwerkes nach dem Durchlauf des Bedruckstoffes durch die Druckmaschine, also nach erfolgter Neuanlage des Bedruckstoffes in einem zweiten Durchlauf durch die Druckmaschine. Sie dient der Beurteilung der Qualität der Anlage- und Bogeneinzugsvorrichtung. Die Anlagepassermessung ist für Druckmaschinen mit wenigen Druckwerken von besonderer Bedeutung, wenn Mehrfarbdrucke in mehreren Durchläufen durch die gleiche Druckmaschine gefertigt werden sollen.

Die **Wendepassermessung** ist die Messung vom Druckbild eines Druckwerkes vor einer Bogenwendeeinrichtung zum Druckbild des Druckwerkes nach dieser Wendeeinrichtung, also die Messung der Druckbilder zueinander "durch" den Bedruckstoff. Sie dient der Beurteilung der Bogenwendeeinrichtung.

Messungen Druckbild zu Kante:

Die **Standpassermessung** (auch als Registerpassermessung bezeichnet) ist die Messung vom Druckbild eines Druckwerkes zu den Kanten des Bedruckstoffes. Sie kann der Beurteilung von Anlage- und Bogeneinzugsvorrichtungen bzw. von Bahnkanten- und Bahnspannungsregelungs-

einrichtungen dienen. Der richtige Stand des Druckbildes zu den Kanten des Bedruckstoffes ist im Besonderen für die Weiterverarbeitung von Druckprodukten von Bedeutung.

Die **Schnitt-, Falz-, oder Stanzpassermessung** ist die Messung vom Druckbild eines Druckwerkes zu einer Schnitt-, Falz- oder Stanzkante (bzw. -kontur). Sie dient der Beurteilung der den Druckwerken nachgeschalteten Schneid-, Falz- oder Stanzwerkzeugen.

Mit einer Messmöglichkeit "Druckbild zu Kante" sind auch andere Messarten denkbar, wie absolute Längenmessungen, bei der Werkzeuge in Form geeichter Normale mit geeigneten Kanten Anwendung finden können. Absolute Längendehnungen oder Verzerrungen innerhalb von Druckbildern können so ermittelt werden.

Den einzelnen Arten der Passermessung kommt in ihrer Anwendung eine unterschiedliche Bedeutung zu. Das größte Anwendungsfeld findet die Übergabepassermessung an Bogendruckmaschinen im Offsetdruck. Dies kann durch die weite Verbreitung dieser Maschinen und die von ihnen erwarteten allerhöchsten Druckqualitätsmerkmale erklärt werden.

Auch die Ausführung einer Passermessung kann je nach Messziel sehr unterschiedlich gestaltet werden. Für eine Qualitätskontrolle einer Bogendruckmaschine wird in entsprechenden Richtlinien /9/ definiert, eine Stichprobe von 100 Druckbogen an zwei Messorten an der Druckbogenvorderkante zu vermessen. Für eine genauere analytische Beurteilung einer Bogendruckmaschine ist es hingegen sinnvoll, 9 oder mehr Messorte gleichmäßig in einem Raster über den Druckbogen verteilt zu messen. Die Stichprobengröße wird dabei je nach Fall der Anwendung variiert. Durch die Mehrzahl der Messorte können eventuelle Probleme genauer erfasst und analysiert werden, die sich beispielsweise in zyklischen Verzerrungen der einzelnen Druckbilder zueinander äußern können.

2.2. Bekannte Verfahren und Lösungsansätze

2.2.1. Bekannte Verfahren

Als erste Lösung zur Messung von Passerfehlern ist die rein visuelle Beurteilung von Drucken mit dem Auge anzunehmen. Später fanden Mikrofotos, spezielle Messlupen und Messmikroskope mit mechanisch verschiebbaren Linienprojektionen oder Skalenteilungen in der Bildbetrachtungsebene Anwendung. Erste Analyse- und Bewertungsmethoden der Messwerte wurden gefunden.

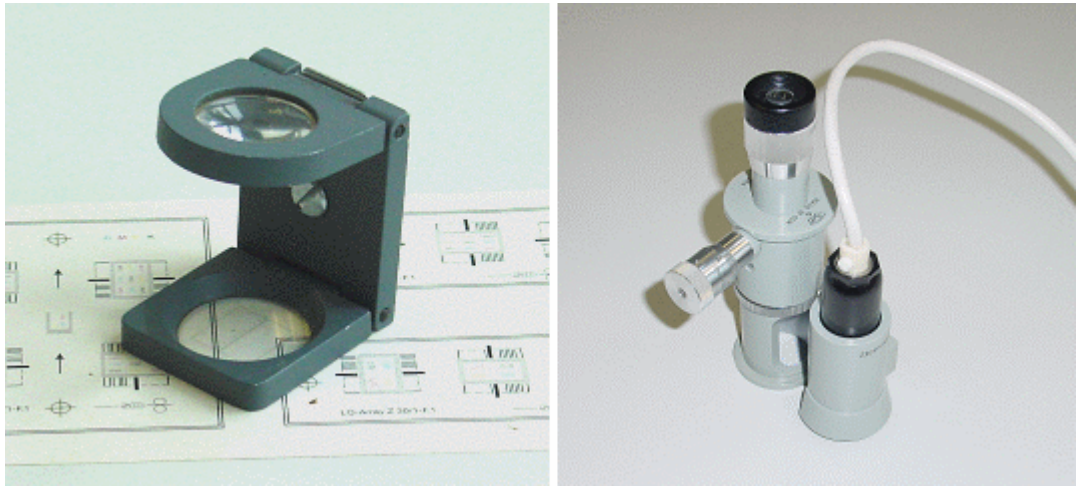


Abbildung 2: Fadenzähler und Messmikroskop

Als sehr bedeutsamer Schritt zur Passermessung ist die Idee der Projektion des Nonius-Prinzips zur einfachen und genauen Messung zu bezeichnen. BOSSE schreibt: "In den 70er Jahren wurde von der FOGRA das Nonius-Messelement auf den Markt gebracht, mit dem der geübte Fachmann, mit Hilfe einer Lupe noch Passerunterschiede von 0,01 mm sicher ablesen kann. Die von den Schiebellehren her bekannten Nonius Skalen wurden beim FOGRA Nonius 10fach verkleinert, wodurch sich die Ablesegenauigkeit 10fach vergrößerte." (siehe /12/)

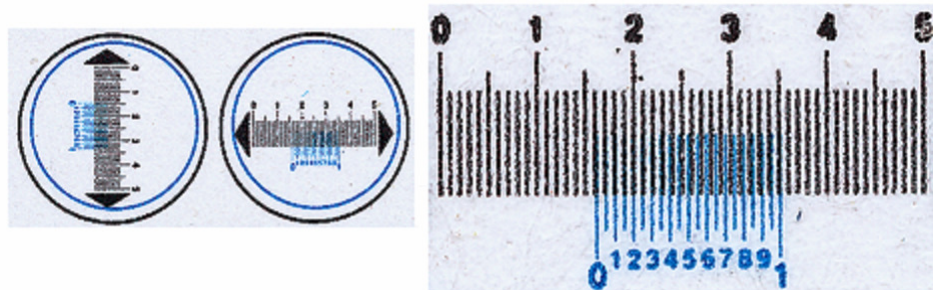


Abbildung 3: Auszug eines Noniuselements und Vergrößerung einer Messkala

BOSSE beschreibt 1991 weiterhin, dass aus verfahrenstechnischen Gründen weitere Messelemente aus dem Nonius Prinzip abgeleitet wurden, wie Messelemente mit anderen Teilungsverhältnissen (bekannt 9:10, 19:20, 31:32 oder 29:30) oder das Interferenz - Vernier (Vernier entspricht dem englischen Ausdruck für Nonius). Letzteres basiert durch wesentlich verbreiterte Striche sowie den Übereinanderdruck der Grund- und Vernierskala auf dem Moire' - Prinzip. Sind bei der Auswertung eines Nonius-Messelementes genau gegenüberstehende Linien zu finden, muss im Fall des Interferenz - Vernier die Position des geringsten optischen Tonwertes (genaues Übereinanderstehen der

Messlinien) gefunden werden. Laut BOSSE können Interferenz - Vernier Messelemente selbst auf rauhen Naturpapieren, auf denen der Ausdruck der Messlinien unruhig ist, noch eindeutig abgelesen werden (siehe /12/).

Das normale Nonius-Messelement hat zur Passermessung seit seiner Einführung eine weite Verbreitung gefunden. Auf Grund seiner Einfachheit ist es auch heute noch auf vielen Testdruckformen zu finden. Der Hauptvorteil dieser Lösung besteht darin, dass mit relativ einfachen Mitteln ohne aufwendige technische Hilfsmittel ein brauchbares Messergebnis erzielt werden kann. Die Hauptkritikpunkte an dieser Vorgehensweise sind in der nicht immer zufriedenstellenden "subjektiven" Messunsicherheit, dem nötigen Arbeits- und Zeitaufwand sowie den mit diesem Lösungsansatz verbundenen körperlichen Anstrengungen des Anwenders zu finden.

Die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Lagevermessung von Drucken vollzog sich in Folge eher in Richtung der automatischen Registermessung und Registerregelung. Dies ist aus der Patent-situation ersichtlich. In Anlage 3 sind verschiedene Offenlegungsschriften, Patentschriften und Gebrauchsmuster der Themengebiete Registermessung und Steuerung wie auch der Passermessung des deutschen Patent- und Markenamtes zusammengefasst. Es wurden Lösungsansätze vorgeschlagen, die den Ablesevorgang von Messelementen geeignet automatisieren oder durch eine besonders vorteilhafte Gestaltung von Messelementen die Ablesegenauigkeit erhöhen. Die dabei entworfenen Technologien enthalten Lösungsansätze, welche unter Umständen auch zur Passermessung geeignet wären. In Folge soll eine Aufzählung interessanter Lösungsansätze vorgestellt werden.

2.2.2. Andere Lösungsansätze

In Offenlegungsschrift DE 3719766 A1 /13/ von 1988 wird ein Registermesssystem beschrieben, bestehend aus einer handlichen Vorrichtung zur Bestimmung des Registerfehlers und einer Fassmarke zum automatischen Ausmessen wie auch der visuellen Beurteilung von Passerfehlern. Das beschriebene System beinhaltet alle wesentlichen Komponenten zur Abbildung, Erfassung und Auswertung von Lagefehlern wie auch ein zugehöriges für diese Aufgabe geeignetes Messelement. Das System wurde gebaut und verkauft, die erreichte Messunsicherheit reichte zum Zweck der Registermessung aus.

In Patentschrift DE 3915587 C1 /14/ von 1990 wird ein interessantes Messelement und Verfahren zur Bestimmung der Passerdifferenz im Mehrfarben - Offsetdruck beschrieben. Durch eine geeignete Messelementgestaltung wird die Lagedifferenz von zwei Teilmesselementen mit dem Ziel einer höheren Bestimmungsgenauigkeit aus dem Maximum einer Kreuzkorrelationsfunktion gebildet. Abgeleitet wurde dieses Verfahren aus einem bekannten Verfahren der Nachrichtentechnik,

in dem die Laufzeitdifferenz zweier gleichförmiger Signale durch die Bildung einer Korrelationsfunktion mathematisch zu bestimmen ist. Die erfindungsgemäße Lösung besteht in der Bildung und Auswertung besonders vorteilhafter Messelemente. Durch eine hinreichend unregelmäßige Folge gedruckter und nichtgedruckter Streifen in gleichartig nebeneinander angeordneten Messelementen wird bei einer fotoelektrischen Abtastung ein besonders günstiger Signalverlauf zur Bildung des Maximums bei einer Korrelationsbildung ermöglicht. DÄTWYLER dokumentiert die Anwendung dieses Verfahrens unter Verwendung einer Videokamera an einer laufenden Bahn. /15/

In Offenlegungsschrift DE 4006525 A1 /16/ von 1991 werden Passermarken beschrieben, die aus gleichartigen visuell lesbaren Teilen und gleichartig maschinell lesbaren Teilen bestehen.

Offenlegungsschrift DE 4014708 A1 /17/ von 1991 beschreibt ein Verfahren zum Ermitteln von Registerfehlern, wobei Registermarken mit jeweils zwei in entgegengesetztem Winkel schräg zur Bahnaufrichtung verlaufenden Kanten von Sensoren mit mindestens vier im Wesentlichen quadratisch angeordneten Sensorelementen abgetastet werden. Das Verfahren hat den Vorteil, dass die Auswertung der Sensorsignale einen geringen technischen Aufwand erfordert und seitliche Registerfehler genau ermittelt werden können.

Patentschrift DE 4012608 C2 /18/ von 1992 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung von Passerdifferenzen an Druckbildstellen eines Mehrfarbendruckes mittels der Farbauszüge einer Farbvideokamera. Hier werden Rasterpunktkonturen in den Teilbildern Grenzlinien zugeordnet, welche die Bereiche mit Rasterpunkten oberhalb einer bestimmten Flächendeckung von den übrigen Bildbereichen trennen. Aus der Lage der den Rasterpunktconturen zugeordneten Grenzlinien in den Teilbildern zueinander werden die Passerdifferenzen bestimmt. In der Patentbeschreibung wird davon ausgegangen, dass nach der vergrößerten Aufnahme einer Druckbildstelle und einer folgenden Separationsrechnung gemäß den beim Druck beteiligten Farben die Rasterpunktverteilungen in den einzelnen Teilfarben ohne durch den Übereinanderdruck bedingte Effekte vorliegen. Nach einer Zuordnung von Grenzlinien an den Rasterpunktconturen der Teilbilder erfolgt eine Bestimmung der Passerdifferenz durch die Bestimmung des Versatzes der Grenzlinien der einzelnen Teilbilder zueinander.

Offenlegungsschrift DE 4335350 A1 /19/ von 1995 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung von Passerabweichungen bei mehrfarbigen Druckprodukten. Das Ziel dieser Erfindung ist, eine Vorrichtung zur hochgenauen Registermessung zu schaffen. Dabei wird der Effekt ausgenutzt, dass Registerfehler an speziellen empfindlichen mehrfarbigen Strukturen Farbänderungen im Druckbild bewirken. Anhand des Vergleichs eines Soll - Farbwertes mit einem Ist -

Farbwert eines empfindlichen Messelementes wird die Passerabweichung hochgenau ermittelt. Bezüglich der Ermittlung der Soll - Farbwerte werden verschiedene Möglichkeiten vorgesehen, beispielsweise deren Ermittlung an einem Druckprodukt im o.K. - Zustand oder durch Daten der Druckvorstufe.

Im Jahr 1995 wurde das Passermessgerät LUCHS in seiner ersten Realisierung als käufliches funktionsfähiges Messgerät eingeführt (Schutzrechte PN 9403237, PN 4437603, PN 4441697, PN 19514119 und PN 19517842). Es konnten gleichzeitig 5 Farben einer Messrichtung mit einer Messunsicherheit kleiner 5 µm fehlertolerant gemessen und weiterverarbeitet werden. Mit einer Schwarz - Weiß - CCD - Kamera wurden aus dünnen Messlinien gestaltete Messelemente mittels einer Bildanalyse, basierend auf geeigneten Korrekturverfahren unter Verwendung statistischer Methoden und der Regressionsrechnung, vermessen. Zu diesem Zeitpunkt waren auch weitere konkret realisierte Lösungsansätze zur Passermessung bekannt. Basierend auf einer Verbindung von hochgenauer Koordinatenmesstechnik und Videotechnik konnten ähnlich genaue Messergebnisse erzielt werden. Diese Lösungen konnten auf Grund der notwendigen Aufwendungen (Kosten, Gewicht, notwendige Klimatisierung etc.) nur als stationäre Insellösungen in geringer Anzahl bei den Druckmaschinenherstellern betrieben werden.

DÄTWYLER vergleicht 1995 verschiedene Passer- und Registermesssysteme (UGRA / WIEFAG QLS, VTT, QUAD / TECH, Luchs, Nonius sowie einen X - Y Tisch). Die aus geeignet gekreuzten Linien bestehende QLS - Passermarken wird vorgestellt. Sie kann auch dann noch vermessen werden, wenn im Papier Verunreinigungen vorhanden sind oder wenn Teile einzelner Linien fehlen. /15/

Offenlegungsschrift DE 19519276 A1 /20/ von 1996 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung des Farbversatzes im Mehrfarbdruck auf, welche den technischen Aufwand bei der Farbversatzdetektion mit Farbmarken geringer Größe durch die Detektierung von Grauwerten verringern soll. Im Ausführungsbeispiel wird die Verwendung einer Schwarz - Weiß - CCD - Kamera in Verbindung mit einer getriggerten stroboskopischen Beleuchtung und eines Bildverarbeitungsmoduls angesprochen.

In der Patentschrift DE 19638967 C2 /21/ von 1998 wird eine Messfeldgruppe und ein Verfahren zur Erfassung von optisch drucktechnischen Größen im Mehrfarben - Auflagendruck beschrieben. Im Hauptanspruch werden Messfelder erläutert, wobei pro Messfeld mindestens eine Messfeldkante einen bestimmten Verlauf relativ zur Druckrichtung aufweist und dass den Messfeldern (F) je wenigstens ein schmaler Streifen (S) im gleichen Druck zugeordnet ist, der in geringem Abstand zur Messfeldkante verläuft, wobei die im gleichen Druck farbfrei verbleibende Sollfläche zwischen der

Messfeldkante und dem Streifen (S) der entsprechenden Istfläche vergleichbar ist. In der Beschreibung wird die Verwendung des farbfreien Streifens zur Ermittlung der Passerwerte sowie zur Erkennung von Schiebe- und Dublierwerten ausgeführt. Beispielhaft werden Entscheidungsbäume zur Optimierung verschiedener drucktechnischer Parameter mit Hilfe des Messelementes aufgezeigt.

Gebrauchsmuster DE 29807663 U1 /22/ von 1998 stellt eine Einrichtung zur Bestimmung des Wendepassers bei auf der Schön- und Wiederdruckseite bedruckten Bogen unter Verwendung biegesteifer transparenter Folien mit aufgedruckten Skalen dar.

LOIBL beschreibt 1998 Meßmethoden zur Bestimmung des Wendepassers bei Bogenoffset – Druckmaschinen /23/. Es wird ein Verfahren beschrieben, in dem die mit einem speziellen Verfahren gebohrten Prüfbogen (Indexbohrungen) in einer Aufnahme arretiert werden können. Die Messwertbildung erfolgt durch eine nacheinander erfolgende zweiseitige Betrachtung des Prüfmusters durch das Ermitteln von Verstellwegen der mit einem Messmikroskop verbundenen Aufnahme.

Offenlegungsschrift DE 19917773 A1 /24/ von 1999 stellt ein Kontrollelement zum Bestimmen von Passerabweichungen mit einem Remissionsverlauf dar, der stetig ist, der nicht konstant ist und einer mathematischen Bildungsvorschrift genügt. Ziel der Erfindung ist es, mit geringem Aufwand und bei hoher Transportgeschwindigkeit des Bedruckstoffes den stetigen Verlauf der Passerabweichungen zu bestimmen, also lückenlos Informationen zum Betrag und zur Richtung von Passerabweichungen zu erhalten.

Mit der Einführung des Passermessgerätes LUCHS 1995 erfolgte eine stetige Weiterentwicklung dieses Produktes (Schutzrechte: G 29609540, DE 19747728, DE 19942468, DE 19945979, DE 10023813 und DE 10023513). 1997 wurde das Passermessgerät LUCHS TYP 2 eingeführt, das im Unterschied zum ersten Gerät gleichzeitig 10 Farben in 2 Messrichtungen hochgenau erfassen konnte. 1999 erfolgte die Präsentation eines ersten Prototyps zur Stand- und Wendepassermessung, welcher auf Grund der Anbahnung einer besseren Lösung des Messproblems nie verkauft wurde. Im Jahr 2000 wurde auf der DRUPA der erste Prototyp des AUTOLUCHS zur automatischen XY Passermessung auf Messbogen vorgestellt, der als „automatisierter Messroboter“ eine Messung Druck zu Druck wie LUCHS TYP 2 und/oder die Messung des Stand- und Wendepassers ermöglichte. Im Folgejahr wurden die "Sondermesselementtools" zur Falz-, Schnitt- und indirekten Wendepassermessung als optionales Produkt für das Standardgerät LUCHS TYP 2 eingeführt. Anfang 2002 erfolgte die Markteinführung vom nochmalig überarbeiteten und verbesserten AUTOLUCHS.

2.3. Bewertung des Erkenntnisstandes

Eine Bewertung des Erkenntnisstandes sei auf wenige Probleme eingegrenzt, die wesentlich die Entwicklung der später gefundenen Messmethoden mitbestimmen und überhaupt erst in Gang setzen. Eine sinnvolle Anwendbarkeit eines Messverfahrens ist nur dann gegeben, wenn die erzielbare Messgenauigkeit den Anforderungen genügt und wenn dieses Messverfahren auch den praktisch erwarteten Nutzen generieren kann. Beide Parameter konnten in der Vergangenheit nicht befriedigend gelöst werden.

Der praktisch erwartete Nutzen ist besonders dann von Interesse, wenn viele Messwerte erfasst werden müssen, um auftretende Fehlerbilder aufzuspüren und nachzuweisen. Für eine Übergabe- und Maschinenpassermessung an einer Druckmaschine mit 5 Farbwerken über 100 Druckbogen an nur 2 Messorten in zwei Messrichtungen (in Druckrichtung und quer zur Druckrichtung) sind $100 \text{ Bogen} * 2 \text{ Messorte} * 2 \text{ Messrichtungen} * 5 \text{ Kombinationen (Druckwerkskombinationen } 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 \text{ und } 1/5)$, also 2000 Einzelmesswerte auszumessen und weiterzuverarbeiten (siehe /10/). Die Messung von nur 2 Messorten mag in Verbindung mit anderen Maßnahmen zu einer Qualitätsabnahme einer Druckmaschine genügen, zur analytischen Fehlerfindung und genauen Einstellung komplexer Offsetdruckmaschinen sind in der Praxis je nach Maschinenkonstruktion 4 - 9 Messorte realistisch. Gleichzeitig wurden immer "längere" Druckmaschinen konstruiert. Druckmaschinen mit 8 oder 10 nacheinander angeordneten Druckwerken mit eingebauter Bogenwendeeinrichtung sind heute auf Grund ihrer Vorteile keine Seltenheit mehr. Diese Fakten vervielfachen den Messaufwand, auch wenn die Stichprobengrößen je nach Anwendungsfall eingeschränkt werden können.

Die einzig bekannten Methoden zur Passermessung, die auch die Erwartungen an die Messunsicherheit in etwa trafen, basierten vor der Einführung anderer Technik auf der zeitaufwendigen und anstrengenden manuellen Messung mit dem Auge. Trotz des immensen Aufwandes zur Passermessung konnte die erzielbare Messunsicherheit über Jahrzehnte praktisch von keinem anderen Verfahren überboten werden.

Die Messung mit dem menschlichen Auge an einem Noniuselement oder einem Messmikroskop gelingt dem Ablesenden eines Messwertes eigentlich immer. Im Fall kritischer Messelemente verbleibt aber eine Unsicherheit, ein Zweifel an der Richtigkeit des ermittelten Wertes. Versuchen mehrere Menschen am gleichen Messelement zum gleichen Ergebnis zu gelangen, endet dies oft in einer Diskussion. Vergleicht man die Ergebnisreihen von Messungen mehrerer Testpersonen, werden die subjektiven Alternativentscheidungen an Einzelmesswerten schnell objektiv sichtbar. Bekannt ist, dass es Testpersonen gibt, welche auf Grund ihrer Erfahrungen genauer arbeiten

können als andere. Aber selbst gleiche Testpersonen können nach größeren zeitlichen Abständen an den gleichen Messelementen zu anderen Ergebnissen gelangen.

Fachleute unterstellen diesen Messsystemen eine differenzierte, in jedem Fall aber subjektive Messunsicherheit je nach der Druckqualität der verwendeten Messelemente. Die Auflösung eines Noniusmesselements beträgt (diskret) $5\ \mu\text{m}$, mögliche Ablesefehler werden je nach Druckqualität mit $\pm 5\ \mu\text{m} / 25/$ [Seite 3] oder $\pm 10\ \mu\text{m} / 12/$ benannt. Optische Täuschungen an durch den Druckprozess bedingt fehlerbehafteten Messelementen können zu noch größeren Messfehlern führen. Zwei Beispiele auf der Basis einer vereinfachten Simulation des Druckprozesses und des resultierenden Noniusmesselementes sind in Anlage 4 aufgeführt. Mittels eines Messmikroskops mit einblendeten oder verschiebbaren Skalenteilungen lassen sich Messergebnisse etwa ähnlicher Qualität erzielen. Die Erfassung der Messwerte basiert dabei auf einer subjektiven Bewertung der Kanten von gedruckten Messlinien. Da diese Kanten durch Wechselwirkungen von Druckprozess und Bedruckstoff mit Störungen behaftet sind, ist die Findung des wahren Wertes von den Fähigkeiten des Abschätzenden abhängig.

Können Messwerte nur diskret an bestimmten Punkten einer festen Teilung ermittelt werden, ergeben sich weitere Probleme. Diese sind umso kritischer, wenn die erzielbare diskrete Messunsicherheit und die technologisch erforderliche Messunsicherheit nahe beieinander liegen und wenn diese Messwerte weiterverarbeitet werden sollen. Anlage 5 demonstriert diesen Sachverhalt an drei Beispielen sehr ähnlicher angenommener Messwertverläufe (Istwerte). In den Beispielen werden kritische Istwerte mit zyklischen Fehlern, mit und ohne Trend, den jeweils optimal erzielbaren diskreten Messwerten einer Teilung von 5 wie auch Messwerten mit einem zufälligen Fehler von ± 1 gegenübergestellt. Die aus den Messwerten errechenbare Standardabweichung der jeweiligen Stichprobe wurde pro Reihe gebildet und in der Legende ausgewiesen. Die Beispiele wurden nicht zufällig wie dargestellt gewählt, sie repräsentieren typische Fehler in für die Passermessung relevanten Größenordnungen. Taktgebundene Fehler in Bogenfolgen sind durch die Maschinenkonstruktion eine der häufigsten Fehlerursachen in Druckmaschinen. Die Standardabweichung ist das noch heute in Abnahmevorschriften gängige Qualitätskriterium. Als gute Qualität werden Maschinen ausgewiesen, deren Standardabweichung für den Übergabepasser kleiner $10\ \mu\text{m}$ ist (siehe /26/).

Neben der Bewertung der zu diesem Zeitpunkt bekanntesten Verfahren sollen zwei weitere interessante Lösungsansätze mit dem Potential zur Erhöhung der Messgenauigkeit zur Passermessung nähere Betrachtung finden: die Anwendung der Kreuzkorrelationsfunktion wie auch die Möglichkeiten farbmeterischer Analysen an den jeweils dafür geeigneten Messelementen.

Die Passermessung "Druck zu Druck" auf eine farbmetrische Beurteilung gezielt ausgelöster Effekte an speziellen mehrfarbigen Messelementen zurückzuführen, kann zu erheblichen Vereinfachungen führen. Problematisch an diesem Ansatz ist die notwendige Ableitung von Algorithmen, die gestatten, von verschiedenen Farborten auf metrische Kennwerte zu folgern. Der Vergleich eines Soll - Farbwertes mit einem Ist - Farbwert eines empfindlichen Messelementes führt nicht zwangsläufig und stabil zu einer Längenangabe. Zu viele voneinander abhängige Kennwerte und drucktechnische Prozessparameter gilt es zu verarbeiten. Neben den Eigenschaften der verwendeten Druckfarben spielen auch die Farbannahme im Übereinanderdruck, Grenzflächenerscheinungen an gedruckten Kanten, Einflüsse der Feuchtmittelführung, Wechselwirkungen mit dem Bedruckstoff oder auch die nicht immer gleiche Präzision der Farbführung von Druck zu Druck durch die verwendete Farbwerkskonstruktion eine Rolle. Wenn diese Einflüsse beherrscht würden, wäre die Passermessung mit einfacheren Hilfsmitteln denkbar. Vergleichsweise wenig aufwendige Technik wie lichtempfindliche Sensoren mit Farbfiltern und einfachen Mikrokontrollern könnten Anwendung zur hochgenauen Passermessung finden.

Der Gedanke, durch eine geeignete Messelementgestaltung die Lagedifferenz von zwei Teilmess-elementen mit dem Ziel einer höheren Bestimmungsgenauigkeit aus dem Maximum einer Kreuzkorrelationsfunktion mathematisch zu bestimmen, ist sehr interessant. Die Lösung des komplexen Messproblems wurde durch eine Vorgehensweise angestrebt, die weit über die Verwendung einfacher statistischer Methoden hinausgeht. Allerdings gilt auch für diese Lösung, dass das Messergebnis auf einer Bewertung von Daten basiert, die durch Druckfehler nicht ideal erzeugt werden können. Auch eine Erfassung dieser Daten mit einer Messeinrichtung birgt weitere Fehlerpotentiale, welche Informationsänderungen an den Ausgangsdaten hervorrufen können. Die Bildung des Messergebnisses aus dem Maximum einer Kreuzkorrelationsfunktion ist von den Ausgangsdaten abhängig. Im Fall negativer Einflüsse auf die Ausgangsdaten sind entsprechende Auswirkungen auf das Messergebnis zu erwarten.

Die bekannten Lösungsansätze schufen indirekt die Grundlagen der später gefundenen Messverfahren. Es konnten Fragen gestellt werden, aus denen sich wesentliche Erkenntnisse ableiten ließen. Die wichtigsten zwei Fragen lauteten: „Wie kann durch die gezielte Anwendung von mathematischen Verfahren ein besserer Effekt erzielt werden?“ und „Welcher Informationsgehalt an Messelementen ist zur Ermittlung einer genauen Lageposition wirklich wesentlich notwendig?“. Die Beantwortung dieser Fragen führte zu den Aussagen "Messung an dünnen Messlinien" unter "Einsatz der Regressionsrechnung". Auf dieser Basis gelang eine erste Realisierung eines käuflichen Messgerätes zur genauen Passermessung in Form des Passermessgerätes "LUCHS".

2.4. Anliegen und Anforderungen der Industrie

Wesentliche Hauptanwender der Passermessung sind die Druckmaschinenhersteller. Hier werden die Verarbeitungsmaschinen konstruiert, gebaut und justiert. Durch die Komplexität von Druckmaschinen müssen Justierungen oftmals iterativ in mehreren Mess- und Einstellzyklen durchgeführt werden. Aus diesem Grund sind zeitaufwendige oder subjektive Messungen mit nur einfachen Hilfsmitteln wirtschaftlich nicht tragbar.

Anliegen der Industrie ist es daher, über ein weitestgehend automatisiertes, objektives Messsystem zu verfügen. Dieses sollte neben der schnellen Messung verschiedener Parameter mit der dafür erforderlichen Präzision auch weiteren Anforderungen gerecht werden, welche über das Maß einer einfachen "Messvorrichtung" hinausgehen:

- gleichzeitige Messung mehrerer Parameter und Richtungen, Messung und rechnerische Verknüpfung von Messwerten verschiedener Messorte
- Messung mit maximalen Messbereichen bei minimalem Platzbedarf
- Fehlertolerante Lösung der Messaufgabe unter "widrigen Umständen" (Toleranz gegenüber typischen Druckfehlern, Toleranz bei Verwendung unzureichend geeigneter Bedruckstoffe oder schlecht erzeugter Messelemente)
- geeignete Speicherung, Aufbereitung und Visualisierung komplexer Messdatenmengen, komfortable Möglichkeiten der Datenweiterverarbeitung bei einfacher Bedienung

Neben diesen speziellen Ansprüchen werden auch immer allgemeine Anforderungen formuliert. Dazu zählen eine hohe Verfügbarkeit, Sicherheit und Industrietauglichkeit wie auch betriebswirtschaftliche Forderungen, beispielsweise in Form der Minimierung von Kosten und Folgekosten, vom Wartungs-, Pflege- und Qualifikationsaufwand.

Die Härte aller dieser aus inhaltlichen und wirtschaftlichen Aspekten diktierten Anforderungen seitens der Hauptanwender der Passermessung sei in ihrer Bedeutung für den Gerätehersteller am Beispiel der notwendigen "Verfügbarkeit" näher untersetzt: Basiert ein Messsystem auf "Standard-Videotechnik" und "Standard-Rechentechnik", so muss die jährlich fortschreitende Entwicklung von neuer Hard- (Prozessoren, Designs, Kameras, Karten etc.) und Software (Betriebssysteme, Treiber, Programmiersprachen etc.) mit ihrer jeweils nur "kurzfristigen" Verfügbarkeit berücksichtigt werden. Der Hersteller eines automatisierten Messgerätes muss entweder eine entsprechend

langfristige und damit große Lagerhaltung aller verwendeten Einzelkomponenten betreiben, oder aber eine permanente (und damit entsprechend aufwendige) Anpassung des Gerätes an die jeweilig aktuellen Standards bei voller Kompatibilität zu vorangegangenen Lösungen sicherstellen. Im Fall komplexer Systeme bedeutet dies in der Regel immer fortschreitende Entwicklungsaufwendungen.

Könnte ein neues Messsystem erfolgreich eingeführt werden, entstehen schnell weitere Anforderungen, welche sich dahingehend zusammenfassen lassen, dass jeweils ein Optimum denkbarer Eigenschaften erreicht werden sollte: einfacher, schneller, kleiner, leichter, genauer, neue Fähigkeiten, preiswerter, automatisierter. Diese stehen in der Regel im Konflikt mit den Entwicklungsaufwendungen des Geräteherstellers, fördern aber umso mehr die technische Entwicklung des Systems im Sinn seiner Vorteile und seines Nutzens. Letztlich ist auch ein Messsystem für den Anwender nur dann ein nützliches Werkzeug, wenn dessen Eigenschaften und Preis seinem Nutzen vorteilhaft gegenübergestellt werden können.

3. Lösungsansatz und Analyse von Grundproblemen zur Passermessung

3.1. Konzeptioneller Lösungsansatz

3.1.1. Grundprinzip, die Messung gedruckter Messelemente

Um den Anliegen und den Anforderungen der Anwender der Passermessung bestmöglich gerecht zu werden, stellen sich die Fragen, auf welche Art und Weise (Grundprinzip) und mit welchen Mitteln eine optimale Lösung gefunden werden kann.

Um die Nachteile vorhandener Lösungen zu beseitigen, wurden verschiedene Anstrengungen unternommen. Die gefundenen Ansätze reichen von Anstrengungen, die gleiche Messaufgabe mit völlig anderen Hilfsmitteln auf einer anderen Basis zu lösen bis hin zu der Lösung, lediglich den bisherigen manuellen Ablesevorgang abzulösen und zu automatisieren. Letztere Variante, den manuellen Ablesevorgang an gedruckten Messelementen durch ein objektives Messgerät zu automatisieren, gestattet die Übernahme des Grundprinzips zur Passermessung und damit der Hauptvorteile der bewährten Lösungsansätze. Dieses Prinzip ist durch die Bestimmung der Passerfehler mittels einer Auswertung der von der Druckmaschine selbst produzierten Druckbilder gekennzeichnet.

An diesem Grundprinzip ist kein Mangel zu finden: Im Druckbild als Ergebnis des Druckens müssen alle entstandenen Summenfehler aller Einzelverarbeitungsstufen des Druckvorganges enthalten sein. Im Druckbild nicht direkt oder indirekt sichtbare Fehler (falls vorhanden) würden keinen Anlass zu einer Korrektur der Druckmaschine geben. Sichtbare Fehler sollten entsprechend analysiert und korrigiert werden können. Als positiven Nebeneffekt gestattet dieses Verfahren

jederzeit die nachträgliche Analyse der gedruckten und damit (in Grenzen) dauerhaft gespeicherten Informationen (Qualitätsdokumentation).

Bekannte Lösungsansätze zur Passermessung basieren auf der Verwendung mitgedruckter Messelemente, da in der Regel die benötigten Informationen an beliebigen Drucken nicht vollständig oder nicht an den gewollten Positionen erhältlich sind. Für die Verwendung von Messelementen sprechen weitere Vorteile: Die notwendigen Informationsmengen können in geeigneter Form und Dosierung insbesondere zur Erzielung der gewünschten Messunsicherheit optimiert verfügbar gemacht werden. Durch eine gezielte Konstruktion von Messelementen können als technologische Hilfsmittel weiterführende Merkmale entwickelt und in die Messelemente eingebunden werden. Solche zusätzlichen Informationen können der Vereinfachung einer nachgeschalteten Bildanalyse dienen. Durch die Einführung geeigneter Kodierungen ist eine Messpositionserkennung oder die Unterscheidung verschiedener Messelementtypen für verschiedene Messaufgaben machbar.

Das Grundprinzip des Ausmessens des gedruckten Resultats des Drucks sowie das Konzept, dafür spezielle Messelemente zu verwenden, hat sich trotz des zusätzlichen Mehraufwandes, Druckformen mit Messelementen herzustellen sowie diese zu drucken, über Jahrzehnte bewährt.

3.1.2. Anwendung von Video- und Rechentechnik

Reduziert man die Passermessung auf das Prinzip der "Vermessung gedruckter Messelemente", kann sie als "Hochgenaue Längenmessung von gedruckten Farbinformationen und/oder Materialkanten in einem zweidimensionalen Koordinatensystem (in Druckrichtung und quer zur Druckrichtung)", also die Vermessung von optischen Kontrasten an/auf flächigen Werkstoffen, definiert werden.

Um die Passermessung zu automatisieren, bietet sich als konzeptioneller Lösungsansatz an, diese flächig vorliegenden Informationen auf ein optisch arbeitendes flächiges Sensorenfeld zu projizieren, diese Projektion als digitalisiertes Bild zu erfassen und den Ablesevorgang mittels einer von Rechentechnik durchgeführten Bildanalyse durchzuführen. Für die Verwendung flächiger optischer Sensoren sprechen folgende Punkte: Die Ausgangsdaten liegen als optische Kontraste vor, die auf einer Messfläche angeordnet sind. Die Messwerterfassung wird in mehreren Koordinatenrichtungen gewünscht. Viele verschiedene Messwertkombinationen einzelner Druckwerke sollen gleichzeitig in einem Messvorgang erfasst werden.

Auch die Anwendung von Rechentechnik zur digitalen Bildverarbeitung bietet sich auf Grund vieler Vorzüge an. JÄHNE stellte bereits vor Jahren fest: "Die rasante Entwicklung der Video- und Computertechnologie hat in der letzten Zeit eine kritische Schwelle erreicht, die eine digitale

Auswertung von Bildern auf Personalcomputern und Workstations zu geringen Kosten möglich macht." (/27/ unter 1.1). Digitale Bildverarbeitungstechnik ist heute nicht mehr nur in Forschungslabors zu finden, sondern hat sich in verschiedenen Formen bis hin in die privaten Haushalte weit verbreitet. Selbst einfache Computer sind so leistungsfähig geworden, dass selbst rechentechnisch anspruchsvolle Aufgaben auf hohem Niveau gelöst werden können. Zur Bildanalyse ist Rechen-technik besonders geeignet, da diese die programmierbare sequenzielle Abarbeitung von Rechen-schritten oder Alternativen gestattet. Die Anwendung nahezu beliebig komplexer Algorithmen auf ein digitalisiertes Bild ist machbar. Neben der Lösung der Hauptaufgabe der reinen Messwertbildung ist Rechen-technik auch für weiterführende Aufgaben, wie für die Messdatenspeicherung und Mess-ergebnisvisualisierung, ideal geeignet.

Denkbar ist, die gleichen Messaufgaben mit anderen Sensorenarten durchzuführen. Optische Zeilen-sensoren oder ein das Messobjekt abtastender Punktsensor könnten Anwendung finden. Dies wäre sinnvoll, wenn die Summe der resultierenden Vorteile einer einfachen Projektion auf einen flächigen Sensor überlegen ist. Im Fall der reinen Übergabepassermessung könnte mittels eines punktförmigen Sensors unter Verwendung spezieller Messelemente direkt in der Druckmaschine, idealerweise unter Ausnutzung der ohnehin vorhandenen Bogenbewegungen, gemessen werden. Bekannte Systeme zur Registerregelung demonstrieren entsprechende Methoden, allerdings mit Messfehlern einer anderen Größenordnung als der zur Passermessung erwünschten Messunsicherheit kleiner $5\ \mu\text{m}$.

Technologisch bedingt sind die aus einem Druckvorgang auf eine mehr oder weniger strukturierte Oberfläche resultierenden Informationen sehr unterschiedlich und in der Regel mit verschieden-artigen Fehlern behaftet. So kann selbst eine qualitativ hochwertige gedruckte dünne Linie keinesfalls als ideale Linie bezeichnet werden. Eine an sich gerade Kante einer sehr dünnen Linie ähnelt im Mikrometerbereich je nach Oberflächenbeschaffenheit des Bedruckstoffes und der Herstellungs-bedingungen im Druckprozess eher mehreren mit stochastischen Fehlern und Unterbrechungen be-hafteten Kurvenzügen unterschiedlichster optischer Dichte (siehe „3.2.1. Verarbeitung fehler-behafteter Informationen“). Auch ein idealer Sensor, der über eine definierte Breite die Linienkante integrierend erfasst, kann keine ideale Flanke für eine Messwertbildung finden. Dieser Fakt schließt eine simple Lösung des Messproblems im erforderlichen Genauigkeitsbereich auf der Basis einfacher Sensoren ohne nachgeschaltete komplexe analytische Methoden aus.

3.1.3. Ansatz und Erkenntnis

Der Ansatz, zur Passermessung lediglich den Ablesevorgang durch ein objektives Messgerät zu ersetzen, ist einfach zu finden: So lassen sich Projektionen von Messelementen mit Hilfe einer ein-

fachen Videolupe mit geeigneter Vergrößerung auf einen Bildschirm mit dem gleichen Ergebnis augenschonender und bequemer ablesen als mittels eines Fadenzählers oder einem kleinen Messmikroskop. Warum sollte also genau dieser Ablesevorgang nicht mit einer Bildanalyse vollständig automatisiert werden können? Erste einfache Versuche an gebrauchstüblichen Messnonien unter Verwendung konventioneller Video- und Rechentechnik zeigten schnell Probleme auf, welche nicht gelöst werden konnten.

Für den Menschen ist der einfache Ablesevorgang eines einfachen Messelementes mit scheinbar nur geringen "Anstrengungen" verbunden. Eine maschinelle Nachbildung dieses Problems stellt aber sofort überaus komplexe Anforderungen an eine entsprechende Erkennungslogik. Der für den Menschen auf Grund der Verknüpfung erkannter Merkmale so einfache Entscheidungsprozess - um diesen Messwert handelt es sich - ist für eine simple Erkennungslogik nicht nachzuvollziehen. Um zum gleichen Ergebnis zu gelangen, müssten maschinell die gleichen Merkmale am Messelement erkannt werden und diese mit den gleichen wie auch vom Menschen angewandten Regeln verarbeitet werden. Oft aber verwendet der Mensch bereits auf Grund geringer Unterschiede in den Merkmalen andere "Regeln" zur Entscheidungsfindung. Eine Nachbildung des menschlichen Erkennungsprozesses ist bereits bei der Erfassung und Wertung der verfügbaren Merkmale eingeschränkt. Im Fall nicht ganz eindeutiger Informationen, wie unscharf abgebildeter oder fehlerhaft gedruckter Messelemente, entscheidet der Mensch immer subjektiv. Öfter gelangen dann mehrere Menschen am gleichen Messelement durch ihren unterschiedlichen Erfahrungsschatz zu verschiedenen Messergebnissen. Es stellt sich dann die Frage, welcher Messwert nun der "Richtige" ist.

Es ist nicht sinnvoll, einen solchen subjektiven Entscheidungsprozess für ein objektives Messsystem maschinell nachbilden zu wollen. Dies liefe auf eine Implementierung der Funktionalität der idealen "Entscheidungsfindungsfähigkeit" hinaus und würde unter anderem die Programmierung eines entsprechend geeigneten Erfahrungsschatzes zur Folge haben. Das für den Menschen so vorteilhafte Messprinzip ist nur im Fall idealer Messelemente und Verhältnisse durch eine Maschine eindeutig nachbildbar.

Gleichzeitig wurde klar, dass die bei den ersten Versuchen verwendete konventionelle Videotechnik nicht für das Scheitern der unternommenen Anstrengungen ursächlich verantwortlich war. Die Auflösung und Qualität der Abbildung des Messelementes waren nicht zu beanstanden, gelang es doch, auch an einem digitalisierten Bild mit dem Auge ein sinnvolles Messergebnis abzulesen. Lediglich die gefundene maschinelle Art und Weise der Anwendung und Interpretation dieser Daten zum Messergebnis schien ungeeignet.

Für die Verwendung von konventioneller Videotechnik als "flächiger Sensor" sprach auch, dass diese als einfaches, preiswertes und standardisiertes System mit hoher Verfügbarkeit vorliegt. Durch die Schaffung von Standards waren und sind entsprechende Sensoren in vielen Bauvariationen in einem entwickelten Umfeld von Zubehör bis hin zu fertigen "Gesamtlösungen" von unterschiedlichsten Herstellern erhältlich. Spezielle hochauflösende Videotechnik ist im Vergleich zur konventionellen verhältnismäßig teuer und erfordert für eine Geräteentwicklung in der Regel die Bindung an einen spezifischen Hersteller dieser Technik.

Eine Lösung des Messproblems wurde daher in der Entwicklung eines neuen Messverfahrens auf der Basis konventioneller Videotechnik unter Verwendung für diesen Zweck geschaffener, optimierter Messelemente gesucht. Aus den Erkenntnissen der ersten Versuche mussten verbesserte Strategien zur Messung abgeleitet werden. Es erfolgte eine Konzentration der Arbeiten auf das Wesentliche: die Klärung der Frage, welche Informationen müssen wie verarbeitet werden, damit es gelingt, einen Messwert reproduzierbar, stabil und genau zu erfassen.

3.2. Analyse von Grundproblemen

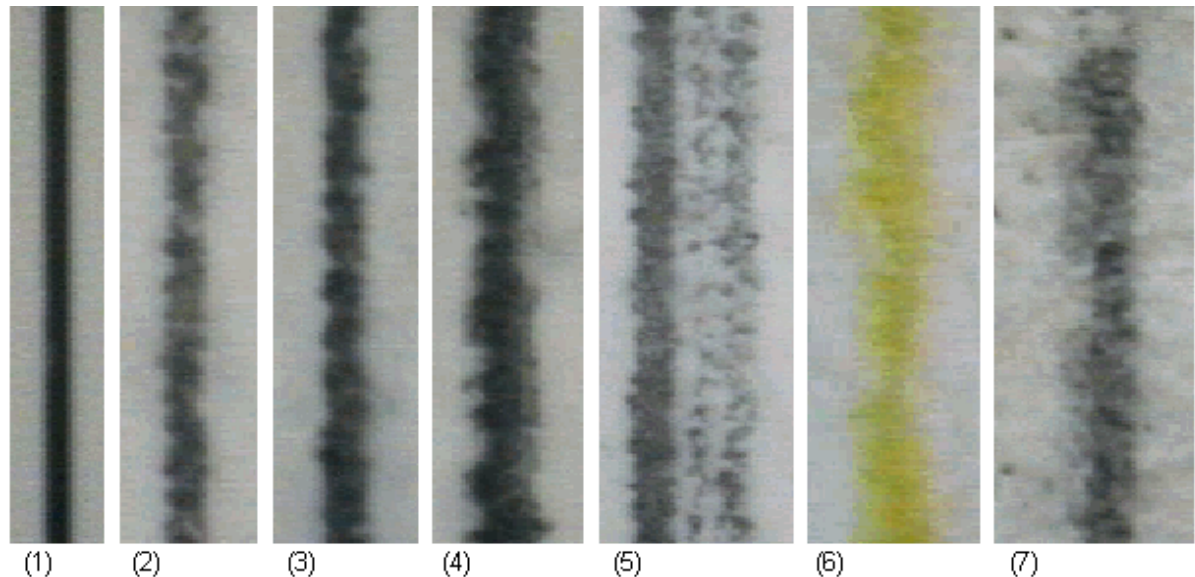
3.2.1. Verarbeitung fehlerbehafteter Informationen

Wesentlich für die Erzielung einer hohen Messgenauigkeit eines Messsystems ist eine Minimierung aller auftretenden Fehlerquellen. Im Fall der Passermessung können Fehlerquellen bereits am Messobjekt an sich, also den durch Druckverfahren erzeugten Messelementen zu finden sein. Diese können bei der Erzeugung von Messelementen auf der Druckform oder durch Wechselwirkungen und Fehler im Druckprozess entstehen. Für Messungen "Druck zu Kante" spielen zusätzlich Qualität und Eigenschaften zu bewertender Materialkanten eine Rolle.

Der Herstellungsprozess von Druckformen in der Druckvorstufe (siehe /28/ [Seite 466]) kann sehr unterschiedlich sein. Zahlreiche Methoden werden in der Druckformherstellung je nach vorhandener Technik praktiziert. Diese reichen von herkömmlichen Methoden, basierend auf der fotografischen Kopie von Filmvorlagen auf die Druckform, bis hin zu digitalen Systemen wie Computer to Plate (siehe /28/ [Seite 607]). Die Präzision und Auflösung, mit welcher Messelemente auf eine Druckform aufgebracht werden können, sind stark von der verwendeten Technik und Technologie abhängig. Messelemente in vorgegebener Struktur im exakt definierten μm - Bereich zu fertigen, können die wenigsten in der Praxis normalerweise angewendeten Verfahren leisten. Das Auflösungsvermögen des eingesetzten Druckplattenmaterials kann einschränkend wirken. Auf der Kopie von Filmvorlagen basierende Verfahren unterliegen nicht nur den in der Filmvorlage enthaltenen Fehlern. Auch durch den Übertragungs- und Entwicklungsprozess kann der originale

Informationsgehalt verfälscht werden. Die Auflösungen digitaler Ausgabegeräte zum Bebildern von Druckplatten oder Filmvorlagen unterliegen technischen Beschränkungen. Die Wandlung digitaler Ausgangsdaten für eine Ausgabe auf ein Belichtungssystem durch einen RIP (Raster Image Processor) /28/ [Seite 1165] unterliegt dem digitalen Problem. Da nur der Auflösung des Zielsystems angepasste Strukturen erzeugt werden können, müssen Informationen gerundet, beispielsweise vergrößert, verkleinert oder verschoben werden. Je besser ein Verfahren zur Passermessung herstellungsbedingte Ungenauigkeiten von Messelementen tolerieren kann, desto zahlreicher sind die Möglichkeiten der Verwendung in der Praxis verfügbarer Technik.

Die Reproduktionsqualität der Messelemente im Druckprozess ist wesentlich von den Eigenschaften der eingesetzten Bedruckstoffe, dem Druckverfahren, der Qualität der konkreten Druckmaschine, den Einstellungen der Druckmaschinen (Druckspannung, Farb- und Feuchtmittelführung etc.) und den zum Druck verwendeten Materialien abhängig. Selbst die Konditionierung der Bedruckstoffe vor dem Druck beeinflusst durch Wechselwirkungen mit dem Raumklima (Temperatur, Luftfeuchte) die Druckqualität. Zusätzlich können sich Druckfehler negativ auf die Qualität von Drucken auswirken. Im "Offsetfehler Katalog" /29/ sind ca. 50 verschiedene Druckfehler vom "Abliegen" bis zum "Zugehen" beschrieben.



- (1) ideale (auf einem Glasmaß gefertigte) Messlinie der Breite 30 µm (\pm 1 µm)
- (2) mit zu wenig Farbe im Offsetdruck auf gestrichenem Offsetdruckpapier gedruckte Messlinie
- (3) eine gleichartig in richtiger Färbung gedruckte Messlinie („eine annähernd ideal gedruckte Linie“)
- (4) eine überfärbte Linie mit leichtem Druckfehler "Dublieren"
- (5) eine unterfärbte Linie mit starkem Druckfehler "Dublieren"
- (6,7) auf strukturierten Zeitungsdruckpapieren ausgedruckte Messlinien mit mittlerem Dublieren

Abbildung 4: Unterschiedliche Ausgangsdaten zur Messung an Messlinien durch Druckfehler

Abbildung 4 zeigt in geeigneter Vergrößerung verschiedene, in der Praxis völlig normale Beispiele in unterschiedlicher Färbung gedruckter Messlinien mit typischen Fehlerbildern. Das Dublieren wird in DIN 16529 als "Fehlerscheinung im Druck als doppelte Konturen von Druckbildelementen auf dem Bedruckstoff" beschrieben /30/. Es entsteht durch ein nicht immer deckungsgleiches Rückspalten der erstgedruckten Farbe auf das Gummituch des nachfolgenden Druckwerkes einer mehrfarbigen Bogenoffsetdruckmaschine und führt dadurch zu mehr oder weniger starken Tonwertverschiebungen und Farbschwankungen im Rasterdruck /1/ [Seite 193]. Das Dublieren tritt im Besonderen vor dem ersten Einstellen einer Bogenoffsetdruckmaschine im Herstellungsprozess auf, da große und schwere Gestelle, Zylinder und Bogenübergabesysteme im ersten Anlauf nicht genau genug im μm - Bereich montiert werden können.

Am Beispiel des Ausgangsdatenbestandes ist ersichtlich, dass eine bestmögliche Fehlertoleranz gegenüber Druckfehlern eine zwingende Notwendigkeit für ein fehlertolerantes und genaues Passermesssystem ist.

3.2.2. Fehlerquellen bei der Erfassung des Messobjektes

Zur Erarbeitung eines präzisen Messsystems ist es sinnvoll, den Verlauf bzw. den Weg des "Signals" durch die Messeinrichtung zu kennen und bereits im Vorfeld der Entwicklung geeignet zu beeinflussen. So können Beeinträchtigungen der Signale erkannt, Korrekturmechanismen erarbeitet, Fehlerquellen minimiert und Rahmenbedingungen sowie Regeln zur Erzielung einer hohen Messgenauigkeit gefunden werden.

Versucht man alle Fehlermöglichkeiten in einem komplexen Messsystem zu beschreiben, wird schnell klar, dass man das Messsystem an sich beschreibt, da nahezu jede Verarbeitungsstufe Fehlerpotentiale in sich birgt. Dennoch ist eine solche Vorgehensweise angeraten, da das Erkennen und Klassifizieren von Fehlerpotentialen der erste Schritt zur Beseitigung bzw. Minimierung von Fehlern ist.

STEINBRECHER beschreibt verschiedene Fehler bei der Bildaufnahme allgemein (/31/ siehe 4.4 Fehler bei der Bildaufnahme). Im Folgenden sollen besonders die Fehlerklassen zur Erfassung von Messobjekten mit Videotechnik näher aufgezeigt werden, die als wesentlich für die hochgenaue Bildbearbeitung mittels Standard - Videotechnik erkannt wurden.

3.2.2.1. Fehler bei der Erfassung und Projektion des Messobjektes

Wesentliche Fehler bei der Erfassung und Abbildung von Messobjekten durch eine Projektion von Messobjekten auf einen Sensor mittels einer Optik können durch das verwendete Linsensystem ent-

stehen. "Eine ideale Linse projiziert einen Gegenstand ohne Abbildungsfehler auf eine Fläche, d.h. ein Punkt wird auch als Punkt abgebildet, der abgebildete Gegenstand zeigt keine kissen- oder tonnenförmigen Verzerrungen, die Schärfe ist über die gesamte Abbildung gleichmäßig verteilt, es treten keine Farbfehler auf. Eine reale Linse erfüllt diese Anforderungen nicht." /32/ [Seite 317] "Auch bei Linsensystemen sind diese Verzeichnungen nur mehr oder weniger eliminiert." /27/ "Ein reales Linsensystem weicht von der perfekten Zentralprojektion auch geometrisch ab. Bekannt sind die tonnen- oder kissenförmigen Verzeichnungen, die mit einfachen sphärischen Linsen leicht beobachtet werden können. " /27/ "Alle Abbildungsfehler lassen sich nicht korrigieren, da sich die Korrekturanforderungen für die Einzelfehler teilweise widersprechen. Folglich ist jedes Objektiv eine Kompromisslösung, bei der je nach Anwendungsfall unterschiedliche Schwerpunkte gewählt werden." /32/ [Seite 319].

Zu den allgemeinen Abbildungsfehlern von Linsensystemen zählen (siehe /32/):

Sphärische Abweichungen	Durch die sphärische Oberfläche werden Lichtstrahlen am Rand stärker gebrochen, es kommt zu mehreren Brennpunkten mit der Folge einer ungleichmäßigen Schärfe der Abbildung.
Chromatische Abweichungen	Kürzere Wellenlängen werden stärker gebrochen als längere, der Brennpunkt der Linse verschiebt sich mit der Wellenlänge, es kommt zu farbigen Umrandungen.
Koma Verzerrungen	Schräg zur optischen Achse auftreffende breite Strahlenbündel werden tropfen- oder kometenartig mit ungleichförmiger Lichtverteilung dargestellt.
Verzeichnungsfehler	Das Linsenmaterial selbst hat keine homogene Verteilung, es kommt zu unregelmäßigen Brechungseigenschaften einfallender Lichtstrahlen und damit zu Verzerrungen im Abbildungsmaßstab, Abbildungen erscheinen tonnen- oder kissenförmig verzeichnet.

Tabelle 1: Abbildungsfehler von Linsensystemen

Weitere die Abbildungsqualität beeinflussende Eigenschaften resultieren aus dem konkreten technischen Aufbau der Linsensysteme. So bestimmen Linsenmaterial und die Anordnung der Linsen im System letztlich die Abbildungsleistung, d.h. insbesondere das Auflösungsvermögen des Objektivs und ob Kontrastminderungen feiner Hell- /Dunkelstrukturen bzw. Streulichteffekte auftreten /32/ [Seite 325].

Die Entscheidung für die Verwendung eines konkreten Linsensystems in einem Messsystem wird von mehreren voneinander abhängigen Parametern bestimmt. Das Verhältnis der Größe der Mess-

objekte und der Größe des Bildsensors definiert den erforderlichen Abbildungsmaßstab, die gewünschten geometrischen Abmessungen des Messkopfes stehen unmittelbar im Zusammenhang mit den Entscheidungen für den Entwurf eines Strahlenganges wie auch der verwendbaren Abmessungen und Brennweite /32/ [Seite 315] des Linsensystems. Die Qualität der Beleuchtung der Messobjekte bedingt in Verbindung mit der Empfindlichkeit des Sensors, der benötigten Lichtmenge und der generellen Lichtstärke /32/ [Seite 324] des Objektivs Einstellmöglichkeiten an der Öffnung der Aperturblende. Diese Einstellung beeinflusst zugleich Abbildungsfehler /32/ [Seite 320], die Lichtmenge und auch die erzielte Schärfentiefe /32/ [Seite 321], da der Schärfentiefebereich der Blende direkt proportional ist /27/.

Wesentlich für die Qualität der Projektion flächiger Materialien können auch die Lage und Ausleuchtung des Messobjektes sein. Das Messobjekt sollte sich sicher und in definierter Lage im Schärfentiefebereich des Strahlenganges befinden. Ungewollte Krümmungen, Dehnungen oder Wölbungen können Verzerrungen des Messobjektes in der Projektion bewirken.

Die Ausleuchtung des Messobjektes sollte homogen und gleichmäßig sein. Es ist zu berücksichtigen, dass die ggf. unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit der Messobjekte (Struktur, Glanz etc.) in Verbindung mit der verwendeten Beleuchtungsgeometrie zu unerwünschten direkten oder indirekten Reflexionen führen kann. Je nach Aufbau der Beleuchtungseinrichtung und verwendeter Lichtquelle(n) sind andere Ausleuchtungsfehler denkbar: Änderungen in der Intensität und der spektralen Zusammensetzung des Lichtes durch Störungen in der Spannungsversorgung oder durch thermische Probleme, Störungen durch den Einfall von Fremdlicht, die Alterung oder Verschmutzung von Lichtquellen u.a..

3.2.2.2. Fehler bei der Wandlung der Abbildung in ein digitales Abbild

Zur Aufnahme, Übertragung und Wandlung der Bildinformationen in ein digitales Abbild sind vielfältige Technologien bekannt. Allein auf dem Gebiet der konventionellen Videotechnik existiert eine Fülle von Sensoren und Standards bis hin zu käuflichen Endgeräten der verschiedensten Qualitäts-, Preis- und Leistungsklassen.

Die Qualität der Aufnahme einer Projektion mittels eines flächigen Sensors, z.B. eines CCD - Bildsensors /33/, wird im Besonderen durch den Sensor selbst bestimmt. Herstellungs-, technologie-, und konstruktionsbedingt können die Bildinformationen verfälscht oder fehlerhaft erfasst werden. Beispielhaft seien Anordnungsfehler und Nichtlinearitäten der Einzelsensoren oder die generelle spektrale Empfindlichkeit eines Sensorenarrays genannt. Eine fehlerhafte mechanische Justierung des gesamten Sensors im Strahlengang kann ebenso die erzielbare Aufnahmequalität stören wie eine

teilweise lokale Verschmutzung des Sensors oder auch Qualitätsmängel bei der Herstellung der Sensoren. Die dem Sensor nachgeschalteten elektronischen Komponenten zur Aufbereitung der Sensorsignale können die Eigenschaften der Abbildung durch zahlreiche Justier- und Abgleichmöglichkeiten beeinflussen. Erwähnt seien die technisch angebotenen Möglichkeiten zur manuellen oder automatischen Bildhelligkeitskorrektur oder einstellbare Übertragungskennlinien. Regeln elektronische Komponenten beispielsweise die mittlere Bildhelligkeit auf ein Optimum durch die Beeinflussung der Belichtungsdauer einer Aufnahme, hat dies einen direkten Einfluss auf eine eventuelle Bewegungsunschärfe von Einzelabbildungen.

Bei der Übertragung der Bildinformationen mittels herkömmlicher Videotechnik werden Bildsignale verwendet. Ein vollständiges Bildsignal (BAS) umfasst alle zur Wiedergabe eines Fernsehbilds notwendigen Informationen und besteht aus den den Bildinhalt darstellenden Komponenten (B), dem Austastsignal (A) und den Synchronsignalen (S). Der konkrete Aufbau des Bildsignals richtet sich unter anderem nach der verwendeten Fernschnorm. Die Fernschnormen wurden von verschiedenen internationalen Institutionen (CCIR, OIRT, FCC) festgelegt und regeln alle für die praktische Realisierung des Fernsehens notwendigen und national sowie international festgelegten Parameter und Absprachen (Zeilenanzahl, Bildwechselfrequenz, Modulationsverfahren etc.) (siehe /33/).

Werden die über ein Bildsignal zu übertragenden Informationen gestört, wird das aus diesen Daten gewonnene digitale Abbild des Originals verfälscht. Die Möglichkeiten für Störungen in Bildsignalen sind vielfältig. Denkbar sind Signaldämpfungen durch Kabel, Kabelverbindungen oder technisch notwendige Filter ebenso wie die ungewollte Einstreuung von Störspitzen in die Signalverläufe durch andere elektrische Komponenten. Es ist davon auszugehen, dass Signale verformt, verschliffen, verstärkt, gedämpft oder von Störquellen oder einem Rauschen überlagert werden können.

Die Auswirkungen dieser Störungen auf eine digitale Abbildung können durch die Abläufe bei einer Bildübertragung sehr vielfältig sein. In einfachen Fällen beeinflussen kurzzeitige Störungen nur die Farb- bzw. Grauwertinformationen einzelner Bildbereiche oder Pixel. Ein Verschleifen des Bildsignals kann zur Unschärfe des Bildes oder zu Kontraständerungen führen. Fehler an Synchronsignalen verursachen andere Probleme. Das Einlesen jeder Bildzeile basiert auf einer zeitkonstanten Digitalisierung eines analogen Bildsignals. Der Start dieses Einlesevorgangs jeder Bildzeile wird durch Synchronsignale geregelt. Wird ein Synchronsignal von einer Störung betroffen, kann der Start des Einlesevorganges beschleunigt oder verzögert werden. Im Ergebnis der digitalisierten Abbildung kommt dieser Fehler der Verschiebung der Informationen dieser Bildzeile im Abbild gleich. Fallen derartige Störungen bei einer Fernsehübertragung nicht weiter auf, können sie beim

Einsatz von Videotechnik zur Längenmessung in einem Messgerät mit einer Messunsicherheit unterhalb der Pixelauflösung nicht ignoriert werden.

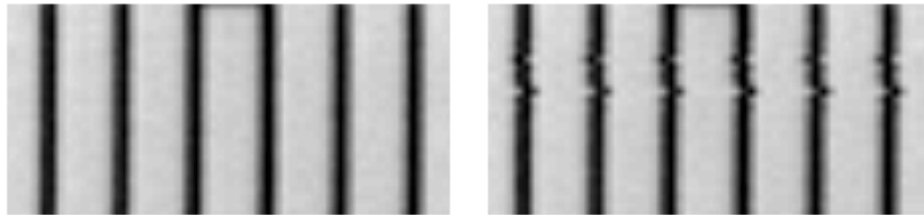


Abbildung 5: Vergrößerte Vollbildausschnitte ohne und mit Übertragungsfehlern

Systematische Störungen in Bildsignalen können generelle Helligkeitsänderungen oder Farbfehler im digitalen Abbild durch ein Über- oder Untersteuern der nachgeschalteten Abtasteinrichtung bewirken. In die Bildsignale einstreulende Störungen mit ähnlichen Frequenzen können zu Morieeffekten führen, bekannt als horizontale, vertikale oder diagonal verlaufende Streifenmuster.

Eine Besonderheit der konventionellen Videotechnik ist die Bildübertragung im Halbbildverfahren. "Allen Fernsehnormen gemeinsam ist das Prinzip der Fernsehbildabtastung mit zwei Halbbildern je Vollbild" (/33/siehe Fernsehnorm). JÄHNE schreibt: „Normale Videokameras arbeiten im sogenannten Zeilenwechsel- oder Interlace - Modus. Das bedeutet, dass sich das Vollbild aus zwei Halbbildern zusammensetzt, die jeweils aus den geraden oder ungeraden Zeilen bestehen“ (/27/ Abschnitt B.1.). Je nach Funktionsweise des Kamerasystems und Art der Belichtung des Sensors kann dies zu Effekten führen, welche die Qualität der Abbildung des Originales im Vollbild erheblich verfälschen. Durch unterschiedliche Belichtungszeitpunkte der aufeinanderfolgenden Halbbilder kann ein einzelnes Vollbild im Fall von Belichtungsschwankungen aus zwei Halbbildern verschiedener Helligkeit bestehen. Beliebige Bewegungen des Sensors zum Original können durch den zeitlichen und örtlichen Versatz der Einzelaufnahmen der Halbbilder dazu führen, dass zwei unterschiedliche Bildmotive zum Vollbild zusammengesetzt werden. Für eine genaue analytische Bewertung von aus Halbbildern zusammengesetzten Videobildern ist eine entsprechende Vermeidung bzw. Erkennung und Korrektur dieser Effekte unerlässlich.

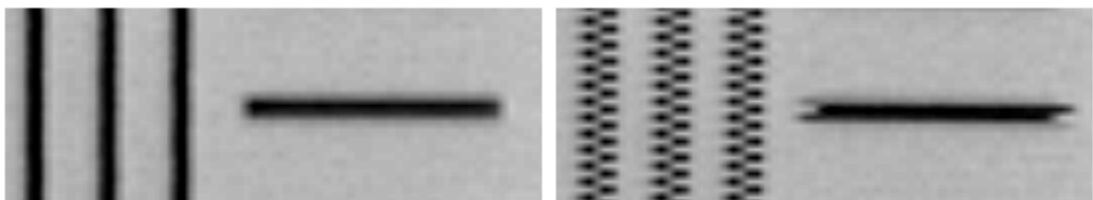


Abbildung 6: Vergrößerte Vollbildausschnitte ohne und mit seitlicher Bewegung des Sensors

3.2.2.3. Praktische Realität

Das Maß auftretender Fehler in einem System zur Abbildungserfassung ist hauptsächlich, jedoch nicht ausschließlich, von der konkret verwendeten Hardware im konkreten System bestimmt. Abhängigkeiten oder Störungen durch äußere Einflüsse auf ein solches System können nicht ausgeschlossen werden (mangelhafte Stromversorgung, falsche klimatische Bedingungen, elektromagnetische Störungen etc.). Praktisch sind Fehler durch äußere Einflüsse nur dann zu beheben, wenn sie erkannt wurden.

Allgemeine Gegenmaßnahmen können in Form von Vorgaben und Einschränkungen zum Betrieb des Systems definiert werden. Im Fall einer der Abbildungserfassung nachgeschalteten Bildanalyse wäre eine Funktionalität einzuführen, welche die Arbeitsweise dieser Einrichtung innerhalb bestimmter Parameter kontrolliert. Wenn sich Fehlerquellen vorausahnen lassen, kann versucht werden, die Arbeit des Gesamtsystems hinsichtlich seiner Hauptkriterien sicherzustellen oder kontrolliert zu verweigern. Die dafür notwendigen Aufwendungen sollten nicht unterschätzt werden, im Besonderen, wenn die Grenze zwischen nicht gestörten und gestörten Ausgangssignalen schwer abgeschätzt werden kann.

Die Technik zur Erfassung, Übertragung und Wandlung von Bildsignalen kann generell sehr empfindlich sein. Selbst unter der Vernachlässigung äußerer Einflüsse kann die Einbauumgebung oder die Kabelverlegung der verwendeten Hardware ungewollt störende Fehler verursachen. Besonders kritisch sind Fehler, welche nur selten und stochastisch auftreten ("Wackelkontakte"). Im Fall einer Prüfung des Systems werden diese unter Umständen nicht erkannt.

Betrachtet man ein reales System zur Abbildungserfassung in der Anwendung in einem Messsystem aus der Sicht eines reproduzierbaren Herstellungsprozesses über längere Zeiträume, kommen weitere Fehlermöglichkeiten hinzu: Qualitäts- und Güteschwankungen von Exemplar zu Exemplar, Materialfehler, Montage- und Justierfehler, Material- und/oder technische Änderungen über längere Zeiträume, Alterung, Verschmutzung oder Verschleiß von Komponenten.

Durch die Verwendung geeignet hochwertiger Komponenten, einer durchdachten Konstruktion und einer hohen Fertigungsqualität lassen sich Fehler in der Abbildungserfassung minimieren. Ein fehlerloses System zur Digitalisierung von flächigen Messobjekten ist praktisch nicht erhältlich. So gilt es, auftretende Fehler abzuschätzen und geeignete Korrekturmaßnahmen und Prüfmethode einzuführen.

3.2.3. Weitere Probleme und Fehlerpotentiale

3.2.3.1. Bildanalyse mit Rechentechnik

Bildanalysetechnologien haben auf Grund ihrer Vorteile und Anwendungsvielfalt in den letzten Jahren fast jeden Wissenschafts- und Wirtschaftszweig erobert. Verschiedenste Bildanalysetechnologien sind in vielen Fachgebieten von der Astronomie bis hin zur Werkstoffprüfung zu finden. Die Palette der mit Bildanalysetechnologien vorteilhaft realisierbaren Aufgabenstellungen ist sehr komplex. Analysieren, Finden, Kontrollieren, Prüfen, Vermessen und Zählen sind nur wenige der geläufigsten Aufgabenstellungen.

Für viele allgemeine Aufgabenstellungen zur Bildanalyse kann heute auf einen großen Wissenspool sowie geeignete Hard- und modularisierte Softwarelösungen zurückgegriffen werden. Ein optimales Baukastensystem zur Lösung spezieller Probleme ist jedoch auf Grund der denkbaren Vielfalt von Anforderungen nicht erhältlich. Zeitkritische oder spezielle Probleme erfordern in der Regel nicht nur strategisch angepasste Funktionen, sondern auch ein weiterführendes Umfeld von Hard- und Software.

In der Messtechnik spielt beispielsweise die Verlässlichkeit und Präzision der Messergebnisse eine große Rolle. Diese Anforderungen ziehen sofort eine Reihe strategischer Überlegungen nach sich. Es muss eine Lösungsstrategie gewählt werden, die beispielsweise durch eine Kombination mehrerer redundanter Prüfalgorithmen diese Hauptanforderungen sicherstellt.

Ein generelles Problem der Bildanalyse mittels Rechentechnik sind die zu verarbeitenden Informationsmengen. Ein eher kleines Bild mit der Auflösung von nur 640×512 Bildpunkten vereint immerhin 327680 Bildpunkte. Trotz leistungsfähiger Rechentechnik muss diesem Umstand bei zeitkritischen oder aufwendigen Anwendungen Rechnung getragen werden.

Zu dem Kernproblem der Bildanalyse zählt, vorgegebene Strukturen sicher zu finden und entsprechend der Zielstellung genau genug zu bewerten. Dies gilt im Besonderen dann, wenn die erhältlichen Ausgangsdaten generell mit Fehlern behaftet sind oder zusätzliche bzw. fehlende Informationen beinhalten können.

Dieser Sachverhalt sei verbal am Beispiel der Auffindung einer Materialkante im digitalisierten Bild dargestellt. Um ein Auffinden einer Kante im Bild überhaupt erst zu ermöglichen, müssen die Merkmale einer Kante definiert werden. Mit dieser Beschreibung werden bereits die ersten Einschränkungen hinsichtlich der Qualität des Findungsprozesses definiert, da nicht sicher gestellt werden kann, dass die vereinbarten Merkmale in jedem Fall die gesuchte und unter Umständen

fehlerbehaftete Kante beschreiben können. Ein sich widersprechender Sachverhalt entsteht: Je besser die Definition der Merkmale gelingt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, nur gesuchte Kanten in beliebigen Bildern zu finden. Gleichzeitig sinken die Chancen, fehlerbehaftete Kanten zu entdecken. Jede gefundene Kante mit einer Wahrscheinlichkeit "es ist eine Kante" zu versehen, verlagert das Problem nur an die übergeordnete Logik. Diese muss dann im Fall mehrerer gut oder weniger gut erkannter Kanten entscheiden: dies ist die gesuchte Kante. Dieser Prozess kann nur gelingen, wenn wiederum entsprechende Merkmale zur Entscheidungsfindung vorliegen, die letztlich mit dem gleichen Grundproblem behaftet sind.

Ein Bildanalyseverfahren, das automatisch, zuverlässig und fehlertolerant funktionieren soll, bedingt neben einer geeigneten Lösungsstrategie auch ein Fehlermanagement. Die Funktion eines solchen Verfahrens kann nicht mit nur wenigen Testbildern nachgewiesen werden. Wie gut eine Lösung tatsächlich funktioniert, zeigt sich erst im Lauf der Zeit mit der Verarbeitung größerer Datenmengen. Praktisch können nicht alle möglichen Fehler in einer Entwicklungsphase bedacht werden.

3.2.3.2. Digitale Probleme und Softwarefehler

BÄHR und VÖGTLE schreiben: "Die Frage nach der richtigen Pixelgröße, d.h. dem adäquaten Abtastintervall, ist das zentrale Problem der Digitalisierung." /34/ [Seite 15].

Unüberschaubare Abhängigkeiten können eine Antwort auf diese Frage bereits im Vorfeld einer Entwicklung verhindern. Können Abhängigkeiten, z.B. zwischen dem für eine Mindestmessunsicherheit notwendigen Informationsgehalt und den auflösungsabhängigen Fehlern eines Messverfahrens, nicht aufgelöst werden, ist dieses zentrale Problem nur durch das Experiment zu lösen. Sich an eine für das Gesamtsystem vorteilhafte und optimale Pixelgröße zumindest anzunähern, erfordert unter Umständen eine schrittweise und damit aufwendige Vorgehensweise. Im Fall neuartiger Verfahren kann die Schaffung geeigneter Prüfmethode erforderlich sein.

Das digitale Problem stellt sich nicht nur in der Frage der richtigen Pixelgröße, es zieht sich in verschiedener Form durch die gesamte Technologie. Das analoge Signal jedes Einzelsensors wird digitalisiert und in Zahlenform in der Regel von einer Software weiterverarbeitet. Dabei kommen für unterschiedliche Verarbeitungsstufen die verschiedensten Zahlenformate zum Einsatz. Es wird gerechnet, rechnerische Rundungsfehler können entstehen. Such- oder alternative Vergleichsoperationen müssen oft auf diskrete Sollwerte zurückgeführt werden. Sollen Strukturen analysiert werden, werden diese entweder nicht vollständig oder aber mit überflüssigem Informationsgehalt an den Rändern verarbeitet, da nicht alle Strukturen zwangsläufig der Pixelform entsprechen. Eine

Lösungsstrategie muss daher vom Ansatz her darauf ausgerichtet werden, dass die einzelnen Verarbeitungsstufen keine zusätzlichen Fehler schaffen oder potenzieren können.

Komplexe automatische Bildanalyseverfahren können vorteilhaft unter Verwendung von Rechen-technik und Software realisiert werden. Die Softwareentwicklung oder die geeignete spezielle Anpassung von Software ist ein sehr facettenreiches Thema. In der Literatur sind viele allgemeine Ab-handlungen zur Organisation der Softwareentwicklung, zum Applikationsdesign und der Ober-flächengestaltung, zur Fehlerbehandlung und Fehlersuche zu finden (Beispiel /35/). Moderne Betriebssysteme und Programmierwerkzeuge vereinfachen die Softwareentwicklung, schnelle Produktverfallszyklen von Hard- und Software behindern diese jedoch. Betriebssystemwechsel oder neuartige Compilertechnologien können im Einzelfall nicht unerhebliche zusätzliche Aufwendungen generieren.

Der Entwicklungsprozess von Software ist durch viele zu treffende Entscheidungen gekennzeichnet. Dabei werden Fehler gemacht. Je komplexer die Entwicklungsarbeit, desto mehr Aufwand muss für die Fehlersuche und Fehlerbehandlung veranschlagt werden. Jede nicht bedachte Kleinigkeit in der Kette der Einzelverarbeitungsprozesse kann erhebliche Konsequenzen haben. Grobe Programmierfehler können trotz umsichtiger Arbeit nicht ausgeschlossen werden. Ein einziges falsches Vorzeichen kann fatale Auswirkungen haben. Jeden Verarbeitungsschritt redundant aufzubauen, ist praktisch kaum zu realisieren. Logische Fehler in Bildanalyseverfahren können ähnlich einem Wackelkontakt nur selten und oft auch nur indirekt beobachtet werden. Eine umfangreiche Kontrolle der einzelnen Verarbeitungsstufen für sich und in ihrem Zusammenwirken ist unabdingbar. Der erforderliche Testaufwand kann sich mit der Größe des Projektes vervielfachen.

3.2.4. Quintessenz

Entscheidend für die Erzielung eines guten Gesamtsystems ist immer die Frage, wie gut die einzelnen Komponenten in ihrem Zusammenspiel wirken. Die Technologie sollte auf den Ausgangsdatenbestand optimal abgestimmt sein. Auftretende Fehlerquellen müssen lokalisiert, hinsichtlich ihres Einflusses bewertet und so notwendig durch entsprechend wirkende Mechanismen egalisiert werden.

Der Ausgangsdatenbestand zur Passermessung sind gedruckte Messelemente. Diese können technologisch bedingt mit zahlreichen Fehlern behaftet sein. An diesen Fehlern kann bei Bei-behaltung des Grundprinzips zur Passermessung nichts geändert werden. Es bleibt nur die Option, die Ausgangsdaten durch eine geeignete Messelementgestaltung positiv zu beeinflussen. Der

Informationsgehalt von Messelementen muss so angesetzt werden, dass ein sicheres und fehler-tolerantes Messergebnis erzielbar ist.

Nahezu alle der aufgezeigten Fehler der Abbildungserfassung erfordern Gegenmaßnahmen. Mit dem Erkennen der Probleme ist nur der erste Schritt getan; in der Ableitung und Findung entsprechender Technologien und Korrekturmechanismen liegt die eigentliche Arbeit. Diese sind so anzusetzen, dass sie optimal im System bei stabiler Funktionalität wirksam werden können. Nicht zwangsläufig kann jeder nachteilig die Qualität der Messergebnisse beeinflussende Fehler erkannt, gefunden und korrigiert werden. Die Güte des schwächsten Gliedes gefundener Korrekturverfahren bestimmt wesentlich die insgesamt erzielbare Messunsicherheit.

Ausgangsdaten, Technologie, Hardware und Software sind eng miteinander verzahnt. Hardware-spezifische Probleme können durch in Software realisierte Technologien gelöst werden. Forderungen, wie Ausgangsdaten mit ungewöhnlichen Eigenschaften automatisch zu verarbeiten, bedingen spezielle BildanalySELösungen, da diese von Standardsoftware nicht im gewünschten Umfang abgedeckt werden können. Die Entwicklung und Realisierung spezieller Lösungen ist aufwendig. Der eigentliche Hauptaufwand besteht in der Kombination von vorhandenen Werkzeugen und Wissen zu praktisch gut funktionierenden Lösungen. Dieser Prozess beinhaltet Fehlerpotentiale und erfordert entsprechende Tests und Kontrollmechanismen.

Fehlerquellen in einem Messsystem können nicht allgemein ausgeschlossen werden. Neben der Optimierung und Korrektur bekannter Fehlereinflussgrößen müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, welche durch geeignete Prüfgrößen und PrüfmethoDen einen Nachweis der Messunsicherheit unter zu definierenden Vorgaben gestatten. Die eingesetzten Verfahren zur Wartung, Prüfung und Kalibrierung des Systems sollen für den Anwender mit wenig Aufwand ermöglicht werden. Die verwendeten Methoden sollten robust, einfach und kontrollierbar sein.

4. Messverfahren zur Passermessung mit konventioneller Videotechnik

4.1. Übersicht und Abgrenzung

Die gefundenen Verfahren zur Passermessung leisten folgendes: Mit Videotechnik werden Messelemente erfasst, deren Strukturen durch ihren Herstellungsprozess mit Fehlern behaftet sein können, die teilweise größer als die verwendbaren Pixelstrukturen sind. Die Übertragung der Messelemente in ein digitales Abbild verfälscht den originalen Informationsgehalt der Messelemente zusätzlich. Dennoch werden aus diesen Ausgangsdaten mit Pixeln, deren Größe umgerechnet zum Original ca. $15 * 17 \mu\text{m}$ entspricht, stabile und genaue Messergebnisse mit einer Messunsicherheit

kleiner 5 µm generiert (siehe 5. Nachweismöglichkeiten zur Prüfung des Messverfahrens und Anlage 28). Im Fall von Messelementen einer optimalen Qualität kann eine nachweisbare Messunsicherheit kleiner 2 µm erzielt werden (siehe Anlage 25).

Der Weg zu den gefundenen Verfahren führte über ein Zwischenstadium: einem ebenfalls realisierten Messverfahren zur Passermessung "Druck zu Druck" /36/ /37/. Dieses kann nur entfernt mit den endgültigen Lösungen verglichen werden, stellte aber die Ausgangsbasis weiterer Entwicklungen dar. Aus den Erkenntnissen des ersten Lösungsansatzes wurden neue Lösungen und Messverfahren abgeleitet, die sich wie folgt strukturieren lassen:

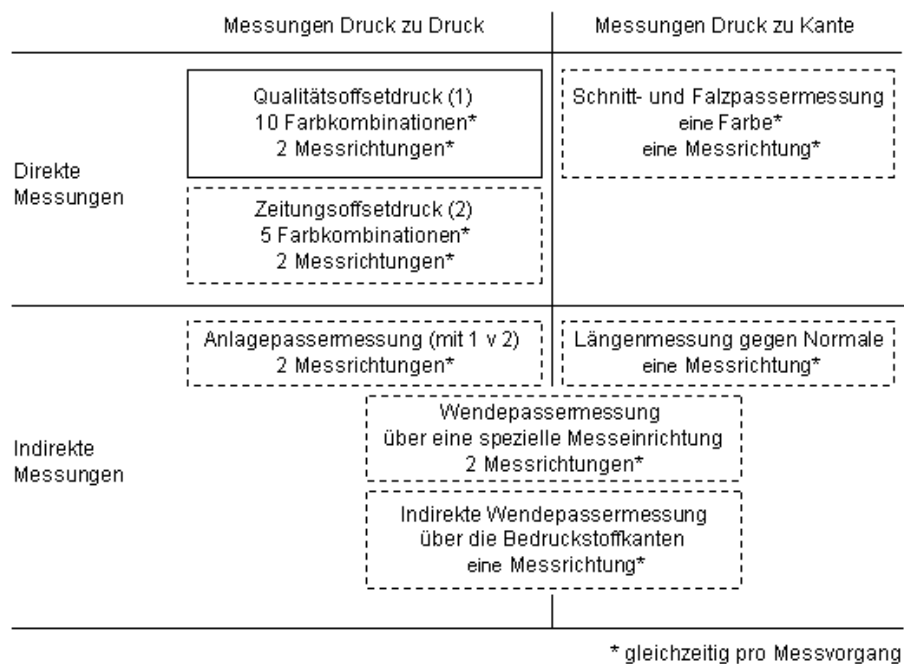


Abbildung 7: Übersicht über verschiedene Messverfahren

Die Aufgaben dieser Messverfahren, die jeweilige Vorgehensweise zur Messung, die angewendeten Messelemente wie auch die zugehörigen Bildanalysemethoden unterscheiden sich voneinander. Im Kern funktionieren alle Messverfahren auf der gleichen Basis. Mit konventioneller Videotechnik werden Abbildungen erfasst und analysiert. Dafür werden jeweils die gleichen Methoden mit unterschiedlichem Ziel angewandt. So gelten viele der näher analysierbaren Probleme für die Passermessarten "Druck zu Druck" und "Druck zu Kante" ebenso wie für indirekte oder direkte Messarten. Im Wesentlichen zählen dazu die Methoden

- zur Erfassung der Ausgangsdaten,

- zur Messwertbildung
- und zur Korrektur von Abbildungsfehlern.

Eine Unterscheidung in einzelne Messverfahren wird daher für weitergehende Analysen nicht vorgenommen.

Der Prozess vom Abbild eines Messelementes bis zu einem Messergebnis ist in seiner funktionalen Gesamtheit sehr komplex. Die zeitliche und strukturelle Ordnung aller Abläufe wird daher in Form einer Untergliederung in mehrere Kernbereiche dargestellt. Einführend werden die gefundenen wesentlichen Entscheidungen zur Passermessung mit konventioneller Videotechnik vorgestellt, formal erläutert und begründet. Die wichtigen Lösungsansätze, beispielsweise die Methoden zur Erfassung der Ausgangsdaten oder die Funktionsweise des Korrekturverfahrens für Abbildungsfehler, werden genauer analysiert. Ansätze zur Verbesserung der gefundenen Vorgehensweise werden untersucht oder aufgezeigt, Annahmen durch Simulationen überprüft.

Die Darstellung von wesentlichen Zusammenhängen erfolgt an Beispielen. Dafür wird das Messverfahren zur Passermessung "Druck zu Druck" mit seinem Umfeld favorisiert. Teile dieses Umfeldes werden genauer vorgestellt, beispielsweise die Zusammenhänge zwischen der Gestaltung der entwickelten Messelemente, dem Messverfahren an sich und der angewendeten Vorgehensweise zur Bildanalyse.

4.2. Entscheidungen zum Messverfahren

Zum Messen gehört, dass die zu messende Größe eindeutig definiert und dass das Messnormal durch eine Konvention festgelegt sein muss /38/ [Seite 3]. Da bei der Passermessung Lage- bzw. Positionsänderungen beurteilt werden sollen, ist die zu messende Größe die Länge und das Messnormal dasjenige der Länge, das Meter. Die physikalische Größe der Länge ist zwar eindeutig definiert, liegt aber im Sonderfall der Passermessung nur als Abstand fehlerbehafteter optischer Kontraste vor. Eine geläufige Methode, einen gesuchten Messwert einer Messgröße zu ermitteln, ist die Vergleichs - Meßmethode (siehe /39/ [unter 2.3]). Dabei kann der gesuchte Wert einer Messgröße durch einen unmittelbaren Vergleich mit einem Normal (siehe /39/ [unter 4.7]) derselben Messgröße gewonnen werden.

Die Fragen, wie dieser Vergleich zur Passermessung mittels der Bildanalyse optimal organisiert werden kann, welche Anforderungen an das verwendete Normal gestellt werden müssen und an

welchen Informationen überhaupt gemessen werden soll, führten mit zunehmendem Erkenntnisstand zu folgenden, wesentlichen Antworten:

- Die Anwendung des Strahlensatzes,
- das Messnormal in das Messelement zu integrieren und
- die Messung an dünnen Messlinien vorzunehmen.

Die Frage, welcher Informationsgehalt zum Messen ideal geeignet ist, lässt sich intuitiv mit der Messung an "dünnen Messlinien" beantworten. Die Forderung, eine maximale Informationsausbeute bei geringem Platzbedarf und einer optimalen Ausnutzung der verfügbaren Sensorauflösung zu erzielen, verbietet geradezu Informationspotentiale zu verschwenden.

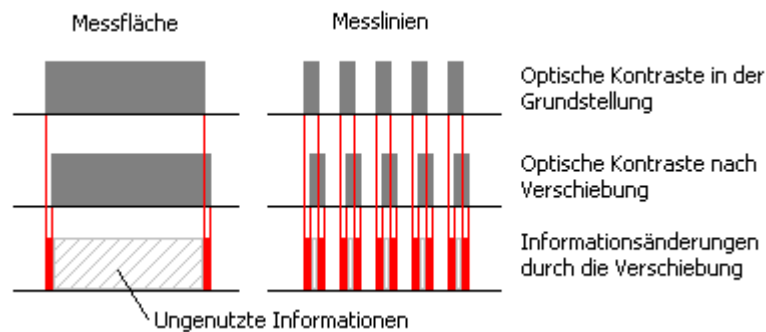


Abbildung 8: Vergleich der Informationsänderungen optischer Kontraste von Messflächen und Messlinien gleichen Platzbedarfs bei geringer Lageverschiebung

Geringe Lageverschiebungen bewirken optisch wirksame Informationsveränderungen nur an den Kanten der Flächen. Nicht nutzbare Informationen können nur zusätzliche Fehlerpotentiale bergen.

Die Definition der geforderten Eigenschaften der Messlinien sind eher praktischer Natur. Sie müssen herstellbar, druckbar und geeignet auf den Sensor projizierbar sein. Verfahrenstechnisch bedingt, sollten sie einen Mindestabstand aufweisen. Länge und/oder Anzahl der Messlinien bestimmen als Faktoren deren statistischen Informationsgehalt, da diese durch den Druck generell mit Fehlern behaftet sind. Diese Parameter können nicht einfach festgelegt werden, da Sensorauflösung, geforderte Platzverhältnisse, Messverfahren und Konstruktion des Messelementes miteinander im Zusammenhang stehen. Länge und Anzahl der Messlinien wurden im aufwändigen Testverfahren nach der Entwicklung erster Mess- und Prüfverfahren im Experiment durch die Variation der Auflösung und der Einschränkung verwendeter Informationsmengen bei der Ergebnisbildung

optimiert. Aus den Platzverhältnissen und anderen allgemeinen Anforderungen resultierte dabei eine Aufteilung in 2 Messelementsorten zur Messung "Druck zu Druck". Es entstanden 10 farbige Messelemente für den hochwertigen Offsetdruck und 5 farbige Messelemente, die mehr und längere Messlinien enthalten, geeignet für den Offsetdruck auf Zeitungspapieren.

Zur Integration eines Messnormales bieten sich mehrere Lösungsansätze an. Im konkreten Fall kann das Messnormal als eigenständiges Bauteil in den Strahlengang des Messgerätes eingeblendet oder als Teil des Messelementes mit dem Messelement erzeugt werden.

Das Messnormal in den Strahlengang zu projizieren wäre möglich, wenn Lage und Ausrichtung vom Messnormal zum Messelement zur Wahrung des Abbeschen Grundsatz (die zu messende Strecke am Prüfgegenstand und die Vergleichsstrecke an der Maßverkörperung sollen in der Messrichtung fluchtend angeordnet sein, siehe /40/ [unter 5.16]) definiert gewährleistet oder mittels entsprechender Korrekturmechanismen korrigiert werden. Neben praktischen Problemen bei der Herstellung der Normale und der notwendigen Sicherstellung ihrer Haupteigenschaften auch unter Einwirkung äußerer Einflüsse (Temperatur etc.), müssen Fehler durch die Anordnung der Normale im Strahlengang bzw. in der Bilderfassungs- oder Bildabbildungsebene vermieden werden.

Dagegen spricht aber im Besonderen, dass typische Bedruckstoffe wie Papier nicht formatstabil sind. Ein 1 Meter langer Papierstreifen kann sich in Abhängigkeit äußerer Einflüsse (Luftfeuchte etc.) leicht im Millimeterbereich dehnen. Im Zentimeterbereich angeordnete Messlinien können so schnell anteilige Fehler größer 10 μm aufweisen. Ein auf den Bedruckstoff dauerhaft aufgebrachtes, gedrucktes Messnormal unterliegt auch dem gleichen Dehnungsverhalten gedruckter Messlinien. Dieser Effekt kann durch eine entsprechende Ausgestaltung des Messelementes ausgenutzt werden. Dehnen sich Messnormal und Messlinien gleichartig, sollte der zu erwartende Messfehler kleiner sein als der Fehler eines mit einem externen Normal erzielbaren Messwertes.

Das Messnormal im Druckprozess mit zu erzeugen bedeutet zwangsläufig, dass pro gedrucktem Messelement ein separates neues Messnormal hergestellt wird. Ungenauigkeiten durch diesen Herstellungsprozess oder Beschädigungen an Messnormalen im Einzelfall können nicht ausgeschlossen werden. Dieser Sachverhalt kann durch einen einfachen Vergleich relativiert werden: Wenn die Normale wie auch die Merkmale zur Erfassung der Messwerte aus gleichartig erzeugten Messlinien bestehen, unterliegen sie auch den gleichen Fehlerpotentialen. Entscheidend für das System ist nicht die Frage, ob ein Messfehler von einem Normal oder von einer Messlinie kommt, sondern die insgesamt erzielbare Messunsicherheit. Von Vorteil ist, dass für die genaue Übergabepassung nur relative Messwerte innerhalb eines geringen Messbereiches von Interesse

sind, da nur Differenzen von Lageänderungen beurteilt werden. Schwanken diese Lageänderungen innerhalb einer Stichprobe zyklisch um $\pm 100 \mu\text{m}$, resultiert eine Standardabweichung größer $100 \mu\text{m}$. Relevant sind für Übergabepassermessungen Standardabweichungen kleiner $10 \mu\text{m}$ (siehe /26/). Beträgt die Länge des verwendeten Normales beispielsweise $5000 \mu\text{m}$, wirkt sich ein Fehler im Normal von $\pm 10 \mu\text{m}$ innerhalb eines Messbereiches von $\pm 100 \mu\text{m}$ nur um ca. $\pm 0,2 \mu\text{m}$ und innerhalb eines Messbereiches von $\pm 10 \mu\text{m}$ nur um ca. $0,02 \mu\text{m}$ aus. Dieser systematische Fehleranteil wird praktisch gegenstandslos, wenn die Summe der zufälligen Fehler einer Messeinrichtung dieses Maß weit überschreitet.

Im Fall anderer Passermessarten, wie der Messungen "Druck zu Kante", können sich absolute Fehler im gedruckten Messnormal auf Grund notwendiger und erheblich größerer Messbereiche verstärkt auswirken. Wenn eine Analyse der durch die Vermessung der Kanten auftretenden Fehler Einschränkungen auf die sinnvolle Messunsicherheit durch die gedruckten Normale aufzeigt, wäre im Einzelfall zu prüfen, ob durch eine geeignete Anwendung externer Normale die Einflüsse der möglichen Dehnungsfehler der Bedruckstoffe vorteilhaft kompensiert werden können.

Die Anwendung des Strahlensatzes zur Passermessung eignet sich aus mehreren Gründen. "Der Strahlensatz fußt auf der Vergleichbarkeit der Längen von Strecken, d.h. auf deren Messbarkeit mit Hilfe ein und derselben Einheit" /41/ [Seite 182]. Aus der Einfachheit dieses Prinzips resultiert, dass auch generell eine leichte Überprüfbarkeit dieser Methodik realisierbar ist. Die Messwerte können bei einer entsprechenden Ausgestaltung der Messelemente in der gewünschten Messrichtung unabhängig vom Winkel der Erfassungseinrichtung ermittelt und statistisch notwendige Informationsmengen gleichartig durch eine einfache Mittelwertbildung zusammengefasst werden:

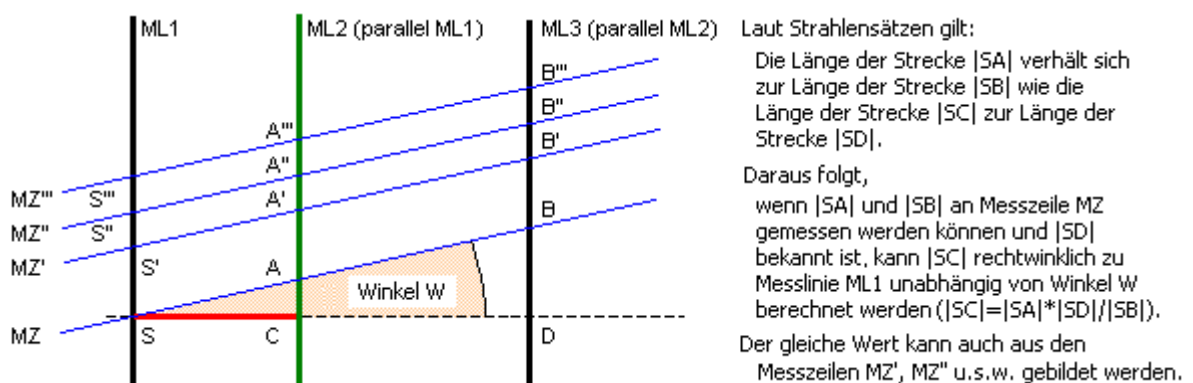


Abbildung 9: Möglichkeiten der Anwendung des Strahlensatzes an parallelen Messlinien

Bei der Verwendung flächiger Sensoren, die aus zeilen- und spaltenweise angeordneten Einzelsensoren bestehen, kann das Prinzip vorteilhaft für alle denkbaren Messrichtungen angewandt werden.

Die praktische Anwendung dieses Prinzips birgt verschiedene Fehlerpotentiale. Die Erfassung und Übertragung der Informationen vom Messobjekt zur Bewertung sollte verzerrungsfrei erfolgen. Auch die Eigenschaften der letztlich maßverkörpernden Messlinien ML1 und ML3 (Parallelität) entscheiden über die erzielbare Messunsicherheit des Messverfahrens, da die Winkelunabhängigkeit des Verfahrens auf der Annahme paralleler Messlinien basiert. Werden durch verschiedene Winkel oder Verschiebungen einer verkürzten Messlinie ML2 andere Teilbereiche der maßverkörpernden Messlinien ML1 und ML3 zur Ergebnisberechnung getroffen, wirken sich daraus resultierende Fehler unmittelbar auf das Messergebnis aus. Gerade aus dieser Not kann eine Tugend gemacht werden. Eine Prüfung des Messsystems unter Variation der Winkel der Erfassungseinrichtung zum Messobjekt führt zwangsläufig zur Verwendung anderer Informationsmengen zur Ergebnisbildung. Eine Bewertung auftretender Fehler kann zeigen, ob die zur Ergebnisbildung verwendeten Informationsmengen ausreichen und bietet damit einen Ansatz, diese zu optimieren.

4.3. Verfahren zur Erfassung der Ausgangsdaten

4.3.1. Überlegungen zur Erfassung der Ausgangsdaten

Aus der begrenzten Auflösung konventioneller Videotechnik und der geforderten Präzision zur Passermessung resultiert, dass das Messverfahren mit einer rechnerischen Auflösung besser als mit der Abbildungsauflösung funktionieren sollte. Mit einer begrenzten Anzahl von Sensoren sollen Messwerte mit einer Präzision kleiner der Abmessungen der einzelnen Sensoren erzielt werden.

Die Analyse eines idealisierten einzelnen flächigen Sensors zeigt, dass die zu erzielende Messauflösung von der zum Messen angewendeten Technologie, den geometrischen Abmessungen des Erfassungsbereiches des Sensors wie auch von der Auflösung des Sensors abhängt.

Ein aus vielen Sensoren bestehendes flächiges Sensorenfeld bietet nicht nur die Möglichkeiten der einzelnen Sensoren zur Signalerfassung. Zusätzlich können "sensorübergreifende" Technologien Verwendung finden, wie eine Datenerfassung über mehrere nebeneinander liegende Sensoren. Wenn die Ausgangsdaten über größere Bereiche des Sensorenfeldes erfasst werden können, besteht die Möglichkeit der mehrfachen Erfassung der Ausgangsdaten in verschiedenen Bereichen des Sensors. Statistische Methoden, wie beispielsweise eine Mittelwertbildung, können Anwendung finden.

Im Fall der Passermessung liegen die zu erfassenden Daten in unterschiedlichster Form vor. Diese sind in der Regel mit Fehlern behaftet, beispielsweise partiell gestört (siehe 3.2.1. Verarbeitung fehlerbehafteter Informationen). Eine gedruckte Messlinie der Breite von $30\ \mu\text{m}$ sollte rechtwinklich geschnitten in ihrer Abbildung idealisiert den Signalverlauf eines Rechtecksignals mit einer Amplitude proportional der optischen Dichte der Messlinie ausweisen. Praktisch gleicht der mikroskopisch messbare Kurvenverlauf der Ausgangsdaten eher einer Glockenkurve als einem Rechtecksignal. Bewertet man mehrere Schnitte an benachbarten Positionen der Ausgangsdaten, sind unterschiedliche Kurvenverläufe erhältlich. Unterstellt man, dass die Störungen der Kurvenverläufe statistisch zufällig auftreten, sollte im Fall einer Mittelung mehrerer Kurvenverläufe ein "mittlerer Kurvenverlauf" erzeugt werden, der die Ausgangsdaten besser repräsentiert.

Kann der gesuchte wahre Messwert an ungestörten Ausgangsdaten gefunden werden, gelingt dies auch an einem den Ausgangsdaten proportionalen Kurvenverlauf. Sind die Ausgangsdaten selbst oder der aus den Ausgangsdaten ableitbare Kurvenverlauf mit Fehlern behaftet, kann zumindest ein fehlerbehaftetes Messergebnis gebildet werden.

Die Generierung eines den Ausgangsdaten proportionalen Kurvenverlaufs mittels eines Sensorenfeldes kann beispielsweise durch eine spaltenweise Mittelwertbildung über viele Zeilen eines rechtwinklich zu den Sensorzeilen verlaufenden Signals der Ausgangsdaten erfolgen. Gegen eine solche Mittelwertbildung spricht, dass für ein genaues Messergebnis eine sehr feine Auflösung der Sensoren verhältnismäßig zu den Ausgangsdaten notwendig wäre, da der erhältliche mittlere Kurvenverlauf der Ausgangsdaten durch die Sensoren diskretisiert wird. Eine noch einfachere Lösung der Messaufgabe durch eine reine Mittelwertbildung lokaler Maxima unterliegt der gleichen Problematik: eine Bewegung der Messeinrichtung um einen Bruchteil einer Sensorbreite kann im Fall ungünstiger Verhältnisse ein Umschlagen aller ermittelten Maxima auf die jeweils benachbarten Sensoren bewirken, es resultiert eine Messwertänderung um den Betrag der Sensorbreite.

Eine geringfügige Variierung der spaltenweisen Mittelwertbildung gestattet eine genauere Beschreibung der Ausgangsdaten. Es könnte vereinbart werden, dass das Sensorenfeld die Ausgangsdaten in einem bestimmten Winkel ungleich dem rechten Winkel zu schneiden hat. Je nach Winkel würde ein Signal der Ausgangsdaten die diskreten Sensoren nur anteilig treffen können. Der Effekt der zwangsläufigen Verteilung dieses Signals auf verschiedene Anteile in verschiedenen Sensoren kann vorteilhaft ausgenutzt werden.

Problematisch an beiden Lösungsansätzen ist, wenn durch Fehler bei der Abbildungserfassung nicht vorausgesetzt werden kann, dass die Ausgangsdaten überhaupt definiert zuordenbar in Spalten ab-

gebildet werden können (siehe "Fehler bei der Wandlung der Abbildung in ein digitales Abbild"). Können die Ausgangsdaten nicht vorhersehbar zufällig innerhalb von Sensorzeilen zueinander verschoben erfasst werden, wird eine zeilenübergreifende spaltenweise Mittelwertbildung verfälscht. Folglich wurde eine Lösung gesucht, die das Messergebnis völlig unabhängig von Verschiebungen der Informationen in den Sensorenzeilen zueinander bildet.

Die gefundene Lösung ist einfach beschrieben: Die einzelnen Messwerte müssen pro Sensorzeile gebildet werden. Erst dann kann beispielsweise eine Mittelwertbildung der einzelnen Messwerte erfolgen, die dann auf Grund ihrer Unabhängigkeit von Informationsverschiebungen der Sensorenzeilen untereinander ein noch genaueres Messergebnis abbilden können. Kann eine sehr feine Auflösung der Sensoren verhältnismäßig zu den Ausgangsdaten gewählt werden, können die Sensoren die Ausgangsdaten gut abtasten. Eine genaue Messwertbildung pro Sensorzeile sollte gelingen. Lässt sich eine solche feine Auflösung der Sensoren praktisch nicht realisieren, ergeben sich gleich mehrere Probleme: Es muss mit größeren Sensoren gelingen, zeilenweise einen Messwert hoher Auflösung hinreichend genau zu erhalten. Das bedeutet: Ein die Ausgangsdaten gut beschreibender "mittlerer Kurvenverlauf" einer höheren Auflösung muss in jeder Sensorzeile gebildet werden, auch wenn die einzelnen Sensoren die Ausgangsdaten nicht mehr exakt abtasten können, und trotz der Tatsache, dass durch den Ausgangsdatenbestand an sich zusätzlich die Signalverläufe in jeder Sensorzeile voneinander verschieden sein können.

Eine direkte Lösung dieses Problems wurde nicht gefunden. Deshalb wurde eine indirekte Lösung, also eine Teilung des Problems, wie folgt angestrebt und realisiert:

- Für jede Sensorzeile werden vorläufige Messergebnisse gebildet, im Folgenden auch als Stützpunkte bezeichnet. Diese Stützpunkte halten ein aus Ausgangsdaten resultierendes Ausgangssignal an einer dafür geeigneten definierten Stelle innerhalb des erfassten Signalverlaufes mit einer Auflösung größer der Sensorauflösung fest. Ausgehend von diesem Stützpunkt, also relativ zu diesem Stützpunkt, wird der erfasste Signalverlauf mit einer Auflösung größer der Sensorauflösung statistisch erfasst. Verbal ausgedrückt: Jeder Kurvenverlauf wird an einem Stützpunkt angefasst, wo er sich gut festhalten lässt; alle Stützpunkte werden gespeichert; alle Kurvenverläufe werden relativ zu ihrem Stützpunkt ("also am Stützpunkt aufgehängt") abgespeichert.
- Aus allen relativ zu ihrem Stützpunkt abgespeicherten Kurvenverläufen wird ein "statistischer mittlerer Kurvenverlauf" gebildet. An diesem statistischen Kurvenverlauf wird der angenommene wahre Messwert, beispielsweise am Maximum dieses Kurvenverlaufes,

abgeleitet. Mit diesem Messwert wird ein Korrekturwert gebildet, der sich aus der Differenz des im Kurvenverlauf enthaltenen statistisch mittleren Stützpunktes ("dem Aufhängpunkt der Kurvenverläufe") zum abgeleiteten Messwert ergibt.

- Mit dem so berechneten Korrekturwert werden alle vorläufig gebildeten Messergebnisse aller Sensorzeilen korrigiert. Dazu wird von allen Stützpunkten der gebildete Korrekturwert subtrahiert.

Abschließend können alle nun korrigierten Stützpunkte einzeln weiterverarbeitet, beispielsweise gemittelt werden.

4.3.2. Untersetzung der gefundenen Vorgehensweise

Die Grundgedanken und die konkrete Vorgehensweise zu dieser Lösung seien an einem Beispiel einer idealisierten Sensorzeile näher erläutert. Dazu wird vereinfacht unterstellt, dass alle Sensoren dieser angenommenen Sensorzeile kettenartig aneinander stoßen und ein angenommenes Ausgangssignal (idealisierte Ausgangsdaten) über die Sensorbreite ideal integrierend, linear und mit einer unendlich feinen Auflösung erfassen können.

Verschiebt man einen einzelnen Sensor einer solchen Sensorenzeile über ein angenommenes Ausgangssignal, würde sich ein gedachter Punkt in der Sensorenmitte, welcher den jeweils gemessenen Messwert des Sensors verkörpert, auf einer Bahn bewegen. Der Verlauf dieser Bahn sei im Folgenden als Bewegungsbahn und der Messwert des Sensors als Sensorenwert bezeichnet. Bewegt man eine Kette von Sensoren über dieses Ausgangssignal um den definierten Abstand einer Sensorbreite, würden alle dabei entstehenden Segmente der Bewegungsbahnen der Sensoren auf Grund der vereinbarten Gleichartigkeit der Sensoren so aneinander stoßen, dass wieder eine Bewegungsbahn entsteht, die auch der Bahn der Bewegung eines einzelnen Sensors entsprechen würde. Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen beispielhaft diesen Sachverhalt:

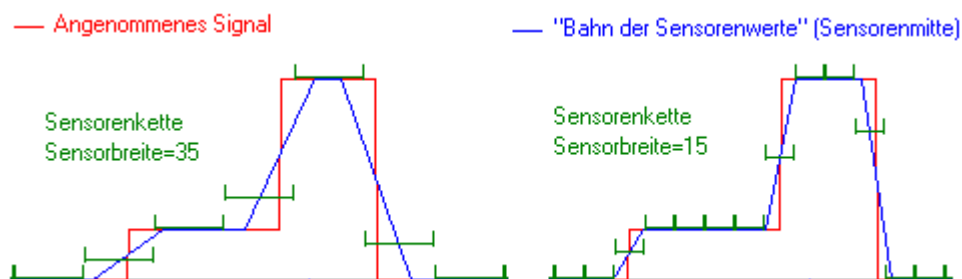


Abbildung 10: Beispiele von Bewegungsbahnen von "Sensorenketten" mit verschiedenen Sensorbreiten

Der Verlauf der Bahnen der Sensoren hängt von den Eigenschaften des angenommenen Signalverlaufs wie auch von der Sensorenbreite ab. Es gilt: je kleiner die Sensoren, desto besser kann der originale Signalverlauf abgebildet werden, da ein gleiches Signal von kleinen Sensoren an entsprechend mehr Positionen abgetastet werden kann. Es lässt sich eine weitere Feststellung vornehmen und erklären: Je verschliffener der angenommene Signalverlauf, desto besser kann dieser von der Bahn der Sensoren nachgebildet werden. Da der Sensor über seine Breite den erfassten Bereich des Signals mittelt, wirkt er wie ein Tiefpass. Höherfrequente Signalanteile, steile Flanken oder Spitzen im angenommenen Signal können von den Sensoren mit zunehmender Sensorbreite immer schlechter verfolgt werden. Liegen solche Signalanteile nicht vor, kann das angenommene Signal besser abgetastet werden:



Abbildung 11: Beispiele von Bewegungsbahnen von "Sensorenketten" bei Abtastung verschieden verschliffener Ausgangssignale

Um ein angenommenes Signal auch mit größeren Sensoren genauer analysieren zu können, bietet es sich an, dazu die Bewegungsbahn der Sensoren zu verwenden. Dies sollte immer dann exakt gelingen, wenn die Bewegungsbahn dem tatsächlichen Signalverlauf entspricht oder der tatsächliche Signalverlauf aus der Bewegungsbahn errechnet werden kann. Ähneln sich Bewegungsbahn und Signalverlauf stark, kann zumindest eine fehlerbehaftete Analyse des Signalverlaufs vorgenommen werden.

Problematisch ist, dass eine solche Bewegungsbahn mit einer einzelnen Abbildung eines Signals in einer Sensorzeile bestehend aus größeren Sensoren nicht erhalten werden kann, da die Sensorenwerte die Bewegungsbahn nur an diskreten Punkten im Abstand der Sensorenbreite beschreiben können. Der tatsächliche Signalverlauf zwischen solchen diskreten Punkten ist nicht bekannt. Der erfassbare Signalverlauf innerhalb einer Sensorzeile kann also bestenfalls mit einem Fehler approximiert werden. Es bietet sich an, für eine Approximation der Sensorbahn die Positionen der Sensorenwerte näherungsweise mittels Geraden zu verbinden (lineare Interpolation /41/ Seite 671). Eine bessere Verbindung der Stützpunkte mittels anderer Verfahren scheidert daran, dass der wahre

Signalverlauf nicht bekannt ist: Der originale Signalverlauf wird durch die Sensoren nur integrierend erfasst; auch verschiedene Signalverläufe zwischen den Sensoren können gleiche Sensorenwerte erzeugen.

Es stellt sich die Frage, wie man trotz der Diskretisierung des originalen Signalverlaufs ein sehr genaues Abbild der Bewegungsbahn der Sensoren erhalten kann? Beispielsweise kann man dazu eine Sensorzeile in sehr kleinen Schritten so über das Signal bewegen, dass sehr viele zueinander versetzte diskrete Punkte ein genaueres Abbild der Bewegungsbahn ermöglichen. Ebenso können sehr viele Sensorzeilen, die das Ausgangssignal an unterschiedlichen Positionen schneiden, zur Ermittlung einer genaueren Bewegungsbahn herangezogen werden. Eine solche Herangehensweise bietet sich an, da ein flächiger Sensor aus vielen Sensorzeilen besteht.



Abbildung 12: Durch Geraden approximierter Kurvenverlauf der Sensorenbahn (einfache und mehrfache Abtastung des angenommenen Signals)

Um mit vielen Punkten aus vielen, vielleicht auch zueinander verschobenen Sensorzeilen eine genauere Bewegungsbahn beschreiben zu können, braucht man für jede Sensorzeile ein gemeinsames Merkmal, beispielsweise einen Stützpunkt, der die Position der in dieser Sensorzeile ermittelbaren Punkte zum originalen Signalverlauf beschreibt. Ist ein solcher Stützpunkt verfügbar, kann die Bewegungsbahn der Sensoren über viele Sensorzeilen relativ zu diesem Stützpunkt restauriert werden. Die Position einzelner Sensorwerte zur Beschreibung der Position aller Sensorenwerte dieser Zeile zu verwenden scheint nicht sinnvoll, da alle Sensorenwerte das originale Signal beschreiben. Folglich sollten auch alle Sensorenwerte berücksichtigt werden, um ein genaues Merkmal zur Beschreibung ihrer Position relativ zum originalen Signal zu finden.

Als ein solcher Stützpunkt kann beispielsweise

- die X-Koordinate des Schwerpunktes des approximierten Kurvenverlaufes

- oder die X-Koordinate des Schwerpunktes der Fläche unter dem approximierten Kurvenverlauf

(siehe Koordinaten des Schwerpunktes eines homogenen Kurvenstücks oder Koordinaten des Schwerpunktes einer homogenen Fläche unter der Kurve /41/ Seite 551) angenommen werden. Auch andere Stützpunkte sind denkbar:

- beispielsweise eine Koordinate X für die gilt, dass sie die Fläche unter dem approximierten Kurvenverlauf genau hälftig aufteilt
- oder auch eine Koordinate X für die gilt, dass sie die Fläche unter einem vorher durch eine Substitution nichtlinear veränderten approximierten Kurvenverlauf (Beispiel: $y \sim(x) = y(x^z)$, $z > 0$) definiert anteilig aufteilt.

Eine mathematische Entsprechung der letztgenannten Merkmale lässt sich aus dem Bereich der Wahrscheinlichkeitsrechnung der Beschreibung von Verteilungsfunktionen übertragen (siehe Quantile und Median /42/ Seite 77).

Welches Merkmal am besten für eine Restauration eines beliebigen Bahnverlaufs geeignet ist, lässt sich nicht von vornherein für alle denkbaren, unter Umständen auch fehlerbehafteten Signalverläufe beschreiben. Alle Vorschläge basieren auf einer unterschiedlich aufwendigen Verrechnung und Bewertung der verfügbaren Ausgangsdaten mit unterschiedlichem Ergebnis. Wo der gewünschte Stützpunkt relativ zum originalen Signalverlauf errechnet wird, ist nicht von Bedeutung. Wichtig ist die Stabilität des Stützpunktes bezüglich seiner Position zum originalen Signalverlauf auch bei einer Variation der Positionen der einzelnen Sensorenwerte, da die originale Bewegungsbahn der Sensoren über mehrere Sensorenzeilen relativ zu diesem Stützpunkt restauriert werden soll.

Eine Methode zur Stützpunkterrechnung, die versucht, den Stützpunkt ideal in der Nähe des Maximums des approximierten Kurvenverlauf zu bilden, wird ein schlechteres Ergebnis liefern, wenn eben dieses Maximum schlecht approximiert werden kann. Eine Methode, die eher die Ränder des approximierten Kurvenverlaufes bewertet, wird Ergebnisse liefern, die mehr von der Qualität der Ränder des approximierten Kurvenverlaufes abhängen. Letztlich wird nicht nur die Natur der Ausgangsdaten die Qualität des erzielbaren Ergebnisses bestimmen. Es kann grundsätzlich festgestellt werden, dass jede vorgeschlagene Methode zur Stützpunkterrechnung mit einem Fehler behaftet sein muss, da der originale Signalverlauf durch die Sensoren nur integrierend erfasst wird, also bestenfalls approximiert werden kann. Weiterhin kann abgeleitet werden, dass mit zunehmender

Sensorengröße der resultierende Fehler immer dann größer wird, wenn der originale Signalverlauf durch die Sensoren immer schlechter approximiert werden kann.

Aus rein praktischen Gründen fiel die Entscheidung, welche Methode zur Stützpunkterrechnung angewendet wird, auf die Koordinate x , für die gilt, dass eine senkrechte Gerade durch x die Fläche unter dem approximierten Kurvenverlauf $y=f(x)$ hälftig aufteilt. Diese Methode wird in Folge vereinfacht als "halbes Integral" bezeichnet. Auch andere Methoden zur Stützpunkterrechnung hätten gleichartig angewendet werden können (Vergleich siehe nachfolgendes Kapitel). Der Vorteil der gewählten Methode ist vor allem darin zu sehen, dass mit einfachen, gut optimierbaren Rechenoperationen ein brauchbares Ergebnis erzielt werden kann. Nachfolgende Abbildung illustriert die Simulation dieser Methode an zwei Beispielen unterschiedlicher Startpunkte einer Sensorenkette mit zum Ausgangssignal verhältnismäßig großen Sensoren:

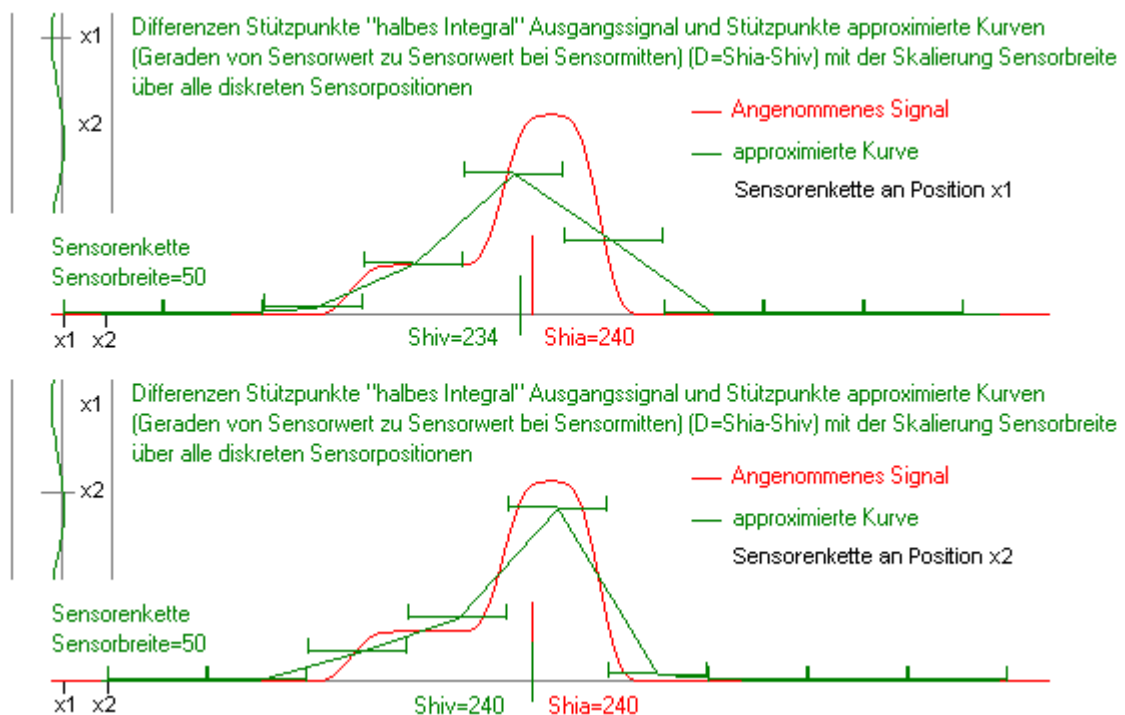


Abbildung 13: Stabilität der Stützpunkte "halbes Integral" an zwei Beispielen

Dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass durch die Diskretisierung des Signalverlaufs Fehler bei der Errechnung der Stützpunkte am approximierbaren Signalverlauf gemacht werden. Der Betrag dieser Fehler liegt jedoch für jede Startposition der Sensorenkette trotz der gewählten Verhältnisse zwischen Signalverlauf und Sensorengröße in einem Bereich deutlich unterhalb der Sensorenbreite.

Die Umsetzung der in jeder Sensorenzeile gebildeten approximierten Kurvenverläufe und Stützpunkte in ein weiterverarbeitbares Signal, also in einen mittleren approximierten Kurvenverlauf zu einem mittleren Stützpunkt, kann über die Differenzen der Stützpunkte zu den Positionen der Sensoren erfolgen. Dazu können beispielsweise alle Sensorenwerte relativ zu ihrem Abstand zum Stützpunkt in Zahlenfeldern gesammelt und später in einem Kurvenverlauf zusammengefasst werden.

Denkbar sind auch andere Vorgehensweisen, beispielsweise die pro Sensorenzeile mittels Geraden approximierten Kurvenverläufe vollständig relativ zum Stützpunkt zu erfassen, um gleich einen verschliffenen mittleren approximierten Kurvenverlauf zu bilden:

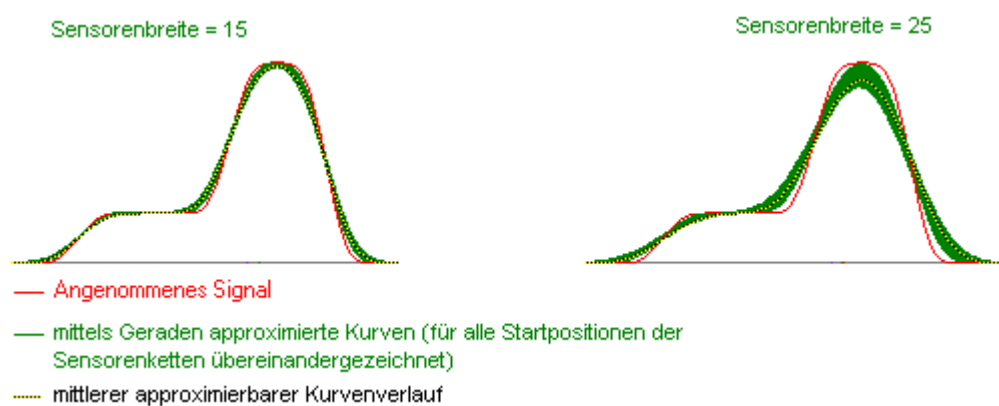


Abbildung 14: Beispiele mittlerer approximierbarer Kurvenverläufe

Praktisch ist immer von Fehlern bei der Bildung eines mittleren Kurvenverlaufes auszugehen. Beispielsweise kann nicht sichergestellt werden, dass alle möglichen Abstandskombinationen Sensorenwert zum Stützpunkt für alle Startpunkte der Sensorenketten gleichwertig erfasst werden können. Auch die Fehler bei der Errechnung der Stützpunkte werden sich negativ auf die Erstellung eines mittleren Kurvenverlaufes auswirken, da dieser relativ zu den Stützpunkten gebildet wird.

An einer gedachten idealisierten Bewegungsbahn einer Sensorenkette kann aufgezeigt werden, wie Signalverläufe mit einer besseren Auflösung als der Sensorenbreite erfasst werden können. In Abhängigkeit verschiedener Parameter, beispielsweise der Sensorengröße, werden dabei Fehler gemacht. Reale Verhältnisse, wie Sensoren mit begrenzter, fehlerbehafteter Auflösung, verursachen bezüglich des gewünschten Resultates einer möglichst genauen Signalbewertung weitere Fehler.

4.4. Bewertung des Verfahrens mit Beispielsimulationen

4.4.1. Vorgehensweise und erste Simulationen

Die im Punkt 4.3.1. „Überlegungen zur Erfassung der Ausgangsdaten“ vorgeschlagene Methode soll mittels Praxissimulationen an einem für die Passermessung relevanten Ausgangsdatenbestand gemessen werden. Dabei stellt sich die Frage, wie sich das vorgeschlagene Verfahren bei der Bewertung realistischer Ausgangssignale verhält.

Um einen Vergleich zu realisieren, werden ausgehend von einer realen Aufnahme von Messlinien rechnerisch vergrößerte Aufnahmen unterschiedlicher Sensorengröße simuliert. Diese werden dann jeweils mit den gleichen Verfahren bewertet. Dazu wurde ein Computerprogramm entwickelt, welches ausgehend von einer Bilddatei automatisch die gewünschte Vergrößerung der Sensoren vornimmt und daraus eine Auswertung in Form einer komplexeren Abbildung erzeugt.

Um das Zustandekommen nachfolgender Abbildungen bewerten zu können, zeigt Anlage 6 den für deren Erzeugung relevanten Quelltext. Dieser stellt, beschränkt auf wesentliche Zusammenhänge, eine Vereinfachung tatsächlich durchführbarer Operationen dar. Es werden beispielsweise nur statische Signalgrenzen angewendet und keinerlei Optimierungen, Prüfungen oder redundante Verfahren durchgeführt. Die Bewertung des mittleren approximierten Kurvenverlaufes wird vereinfacht als Position des Maximums, abgeleitet aus Messwerten größer 95% der Amplitude des Signalverlaufs angesehen. Weitere vorsätzliche Vereinfachungen wurden mit den verwendeten Zahlentypen, Rundungsmethoden und Näherungsverfahren getroffen, um die Stabilität der vorgeschlagenen Methoden nicht als konstruiert erscheinen zu lassen. Gleiches trifft auch auf den verwendeten Ausgangsdatenbestand zu. Die verwendeten Datenmengen entsprechen erschwerend nur etwa 50 % der tatsächlich für Passermessungen als sinnvoll erachteten Datenmengen, die im Experiment ermittelt wurden (siehe auch 4.2. Entscheidungen zum Messverfahren).

Für eine erste Bewertung wurde ein Abbild von drei mit typischen aber komplexeren Fehlern behafteten, parallelen Messlinien gewählt. Der Abstand der normalerweise 30 μm breiten Messlinien beträgt im Original 200 μm . Die Simulation wird immer auf 3 nebeneinander abgebildete Messlinien angewendet, um den Verfahren eine Mindestanzahl an notwendigen Stützstellen zu gewähren. Die generierten Ergebnisse werden zum Vergleich unabhängig von der simulierten Pixelgröße zur linken Bildkante je als "Messwert" und als "Mittelwert aller Stützpunkte" errechnet und immer umgerechnet zur Originalgröße der Abbildung dargestellt:

Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Abbildung 15: Beispiel zur Bewertung komplexer Signale (Original links oben) bei rechnerischer Vergrößerung des Originals unter Anwendung des beschriebenen Verfahrens

Diese Abbildung zeigt das wesentliche Verhalten der angewendeten Technologie zur Signalbewertung bei zunehmender Sensorvergrößerung am Beispiel und gestattet allgemeine Aussagen zu treffen:

- Der durch eine spaltenweise Mittelwertbildung errechenbare mittlere Signalverlauf (errechnet für das 1., 2. und 3. Bilddrittel) im Originalbild unterscheidet sich pro Bilddrittel und pro Signalposition Links, Mitte und Rechts.
- Mit der Vergrößerung der Sensoren wird der mittlere Signalverlauf zunehmend diskretisiert, die einzelnen Signalverläufe bilden das Originalsignal visuell immer schlechter ab.
- Der über die Stützpunkte approximierbare mittlere Kurvenverlauf wird mit größeren Sensoren zunehmend verschliffen, er bildet das originale Signal aber auf Grund der scheinbar fehlenden Diskretisierung offenbar ähnlicher ab als die vergleichbaren mittleren Signalverläufe.
- Trotz zunehmender Verschleifung der mittleren approximierten Kurvenverläufe und abnehmender Stützpunktzahl wurde in den ersten 3 Auflösungen ein gleicher Messwert erzielt.

An den Darstellungen der mittleren Signalverläufe über alle Auflösungen wird erkennbar, dass deren genaue Bewertung schlecht mit einfachen spaltenweisen Mittelwertbildungen erhalten werden kann. Trotz der Tatsache der parallel zur den Sensorenspalten verlaufenden Signale und deren Mittlung über ein gesamtes Bilddrittel, unterscheiden sich alle Signalverläufe in allen Auflösungen teilweise erheblich voneinander. Die Ursache dafür ist in der Natur des gewählten Ausgangssignals zu finden. Selbst in der größten Aufnahme von 10 x 10 zusammengefassten originalen Bildpixeln unterscheiden sich in einer Spalte benachbarte Sensorenwerte oft noch voneinander. Das Ausgangssignal enthält also Fehler größer der gewählten Auflösung, da diese auch mit großen Sensoren noch unterschiedlich abgetastet werden.

Unterstellt man, dass der wahre Messwert in der gewählten Abbildung tatsächlich dem im Original ermittelten Messwert entspricht, so ist es im gewählten Beispiel an den approximierten Kurvenverläufen gelungen, diesen Messwert auch noch bei einer rechnerischen Zusammenfassung von 6 x 6 Bildpixeln genau zu ermitteln. Diese vielleicht auch zufälligen Werte sollten genauer betrachtet werden. Gleichzeitig kann auch die Frage nach der Fähigkeit der Technologie, Signale mit einer rechnerischen Auflösung besser der Abbildungsauflösung zu bewerten, mit einer einfachen Manipulation des Ausgangsdatenbestandes geklärt werden. Es bietet sich dazu an, den Ausgangsdatenbestand dahingehend zu modifizieren, dass das Signal in der Abbildung des Originals so verschoben wird, dass in den geringeren Auflösungen andere Startpositionen zur Abtastung der Ausgangssignale relativ zu diesen Ausgangssignalen erzwungen werden. Eine Manipulation des

Originals in Form einer Verschiebung des Signals um beispielsweise 5 Pixel erfüllt diese Bedingung. Anlage 7 zeigt die Simulation einer manipulierten Originalabbildung, in der alle Originalpixel entsprechend Abbildung 15 um 5 Pixel nach rechts verschoben wurden. Nachfolgende Tabelle zeigt die erhaltenen Ergebnisse der Simulation:

Simulierte Auflösung / rechnerisch zusammengefasste Bildpixel	Messwerte der originalen Abbildung (Abbildung 15)	Messwerte der um 5 Pixel verschobenen Abbildung (Anlage 7)
1 x 1 Pixel	261 μm	277 μm
3 x 3 Pixel	261 μm	278 μm
6 x 6 Pixel	261 μm	277 μm
10 x 10 Pixel	265 μm	279 μm

[Erwartete Differenz = ca. 16,45 μm ($5 \cdot 3,29$) μm]

Tabelle 2: Vergleich der Simulationsergebnisse mit und ohne Verschiebung des Ausgangssignals um ca. 16 μm

Der Vergleich der Simulationsergebnisse zeigt für die ersten 3 Auflösungen Messergebnisse entsprechend der erwarteten Differenz von ca. 16 μm , die aus der Pixelgröße wie auch der vorgenommenen Verschiebung errechenbar ist. An den Ergebnissen beider Beispiele und den verwendeten simulierten Sensorenauflösungen kann erkannt werden, dass es zumindest in diesen Beispielen trotz des komplexeren Signalverlaufes gelungen ist, einen unter Umständen noch mit einem systematischen Fehler behafteten Messwert genauer der verwendeten Sensorenauflösung zu generieren.

Auffällig an beiden Beispielen ist, dass die in die Abbildungen eingeblendeten errechneten Stützpunkte mit abnehmender Auflösung stabiler zum Signal errechnet wurden. Aus der Kenntnis des Verfahrens kann eigentlich nur der umgedrehte Fall abgeleitet werden, da kleinere Sensoren das Signal besser abtasten können und damit auch der errechenbare Stützpunkt an einer Position genauer der Sensorenauflösung gebildet werden sollte. Die Ursache für diesen Sachverhalt ist im vorsätzlich gewählten Ausgangsdatenbestand zu finden. Die kleineren Sensoren werden das Ausgangssignal tatsächlich verfahrensgemäß besser abtasten, die in jeder Abbildungszeile anderen groben Störungen im Ausgangssignal sind für den beobachtbaren Effekt verantwortlich. Da der mittlere approximierbare Kurvenverlauf auf der Basis der ermittelten Stützpunkte gebildet wird, sind

Fehler bei der Bildung dieses Kurvenverlaufs unter den gewählten Umständen unvermeidlich. Daraus kann gefolgert werden, dass auch der Messwert, der aus dem mittleren approximiertem Kurvenverlauf abgeleitet wird, fehlerbehaftet sein kann.

4.4.2. Bewertung der Einflüsse von Signalstörungen auf die Ergebnisbildung

Unterstellt man, dass im gewählten Beispiel der Messwert an der Position des Maximums der Linien mit der optisch größten Dichte zu finden wäre, könnte man alle Signalanteile, die nicht unmittelbar diesen Signalanteilen zugeordnet werden können, als Signalstörungen bezeichnen. Würde man diese Signalstörungen in der Auswertung nicht betrachten bzw. beseitigen, können diese die errechenbaren Stützpunkte und damit den approximierbaren Kurvenverlauf verfahrensgemäß auch nicht negativ beeinflussen.

Um den Einfluss von Störungen im Signal bezüglich eines Messergebnisses grob zu werten, lässt sich beobachten, was passiert, wenn die vorhandenen Störungen dem Signal entzogen werden. Anlage 8 demonstriert diesen Sachverhalt. Die Ausgangsdaten entsprechend Abbildung 15 wurden mittels Masken so manipuliert, dass die "Druckfehler" im Original abgedeckt wurden. Diese Simulation zeigt auffällige Unterschiede zum Ausgangsbild:

- Die mittleren Stützpunkte sind an einer anderen Position näher zur Signalmitte errechnet worden.
- Die Stützpunkte sind auch in höheren Auflösungen genauer zum Signal errechnet worden.
- Die errechneten approximierten Kurvenverläufe des Originals und der Manipulation unterscheiden sich auf Grund der Signalmanipulation erheblich voneinander.

Trotz dieser gravierenden Signalveränderung wurden in Anlage 8 Messergebnisse erzielt, die auf einen Mikrometer genau mit den Messergebnissen des Ursprungsbildes gleicher Auflösung korrelieren. Wie kann dies erklärt werden?

Unterstellt man, dass die verwendete Methode zur Stützpunkterrechnung immer ohne Fehler zu einem beliebigen Kurvenverlauf errechnet werden kann und relativ zu diesem Stützpunkt auch immer ein Messwert ohne Fehler aus dem gleichem Kurvenverlauf gebildet werden kann, muss auch die Differenz beider Parameter ohne Fehler errechenbar sein. Unabhängig von jeder Position des Stützpunktes in beliebigen Kurvenverläufen kann immer eine Differenz zum Messwert gebildet werden, über deren Betrag ausgehend vom Stützpunkt der Messwert ohne Fehler zu finden wäre.

Die Position eines Stützpunktes relativ zum Kurvenverlauf wäre also für die Bildung des Messwertes nicht von Bedeutung.

Kann jeder Stützpunkt auf Grund von Fehlern im Ausgangssignal nur mit einem Fehler errechnet werden, und wird ausgehend von diesen Stützpunkten auch noch ein Kurvenverlauf approximiert, an dem letztlich ein Messwert errechnet wird, kann dieser Messwert auch mit einem Fehler behaftet sein. Betrachtet man die Natur der Fehler, die bei der Errechnung der Stützpunkte ausgehend vom Ausgangssignal gemacht werden können, sollten sich daraus weitere Aussagen ableiten lassen. Liegen diese Fehler beispielsweise systematisch und stochastisch vor, kann in 2 Fälle unterschieden werden:

Systematische Fehleranteile im Ausgangssignal werden den Kurvenverlauf immer gleich beeinflussen, also nur den mittleren Stützpunkt relativ zum Kurvenverlauf bewegen können. Welchen Betrag ein resultierender Fehler ausweisen wird, muss vom systematischen Fehleranteil wie auch vom angewendeten Verfahren der Stützpunkterrechnung abhängig sein. Der zuletzt genannte Fehleranteil sollte immer dann nicht von Bedeutung sein, wenn die Position des Stützpunktes fehlerfrei zum Ausgangssignal errechnet werden kann, da die Position eines Stützpunktes relativ zum Kurvenverlauf für die Bildung des Messwertes nicht von Bedeutung ist. Anlage 9 veranschaulicht diese Annahme trotz einer fehlerbehafteten Stützpunkterrechnung am Beispiel. In dieser Simulation wird ausgehend von der Simulation aus Anlage 8 in die Masken zur Abdeckung der Druckfehler ein zusätzlicher systematischer Signalfehler eingeblendet. Dadurch bewegen sich im Unterschied zu Anlage 8 alle errechneten Stützpunkte in Richtung des zusätzlichen Signalfehlers. Die Schwankungen der Stützpunkte untereinander sind ähnlich denen aus Anlage 8 errechnet worden, die errechenbaren Messwerte gleichen sich auch in diesem Fall.

Die Ausgangsdaten entsprechend Abbildung 15 enthalten keinen systematischen Fehler wie in Anlage 9 simuliert, sondern eher Fehleranteile, die als stochastisch angesehen werden können. Dennoch können diese realen Fehleranteile als eine Summe verschieden großer Fehler angesehen werden, also in Klassen von verschiedenen ähnlichen systematischen Fehlern unterschiedlichen Ausmaßes eingeteilt werden. Die Simulation entsprechend Anlage 9 zeigt, dass ein systematischer Fehler die errechneten Messwerte nicht signifikant schädigt. Es stellt sich die Frage, wie sich das Verfahren verhält, wenn beispielsweise zwei verschiedene systematische Fehlerklassen das ursprüngliche Ausgangssignal beeinflussen.

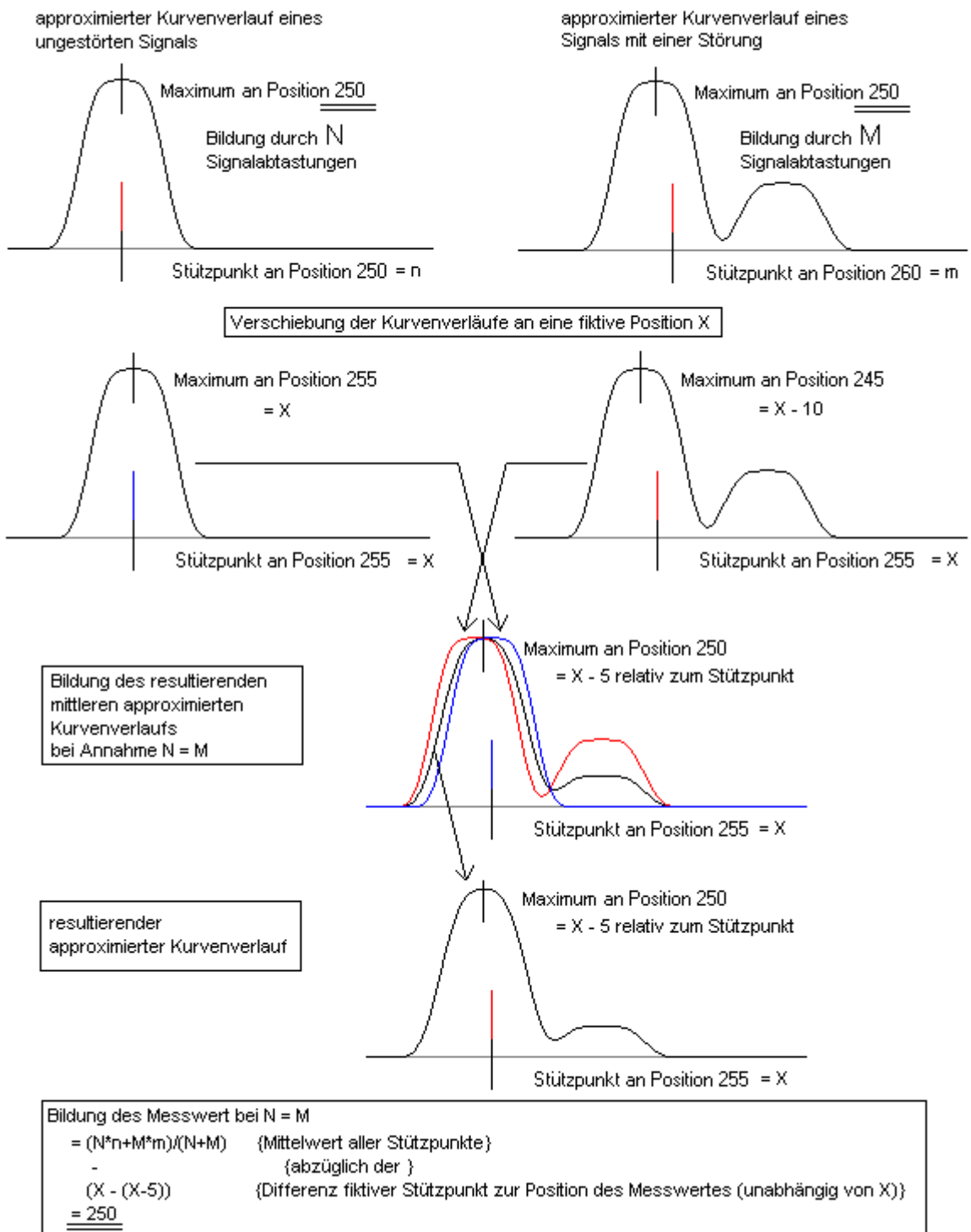
Anlage 10 untersucht diesen Sachverhalt, in dem zwei Klassen verschiedener systematischer Fehler (aus Anlage 8 "kein systematischer Fehler", aus Anlage 9 "systematischer Fehler") zu gleichen Anteilen miteinander kombiniert werden. Erwartungsgemäß beeinflussen die anteiligen Signalfehler

die errechneten Stützpunkte. An den Stellen der Signalstörungen werden die Stützpunkte nach rechts verschoben errechnet. Trotz wiederum völlig anderer Bedingungen wurden in den ersten 3 Auflösungen ähnliche Messergebnisse mit einem Fehler von nur einem Mikrometer erzielt.

Vergleicht man die approximierten Kurvenverläufe rechts vom Maximum noch im Bereich des Signals in der höchsten Auflösung, wird ein kleiner Unterschied auffällig. Vorher errechnete Anstiegsänderungen sind nahezu egalisiert worden; der errechnete Kurvenverlauf hat sich auch im Bereich des Signals verändert.

Eine Erklärung dieser Effekte lässt sich anhand der Funktionsweise des Verfahrens zur Stützpunkterrechnung und zur Bildung des mittleren approximierten Kurvenverlaufs ableiten: Der Messwert ergibt sich aus dem Mittelwert aller einzelnen Stützpunkte abzüglich der Differenz, die aus dem fiktiven Stützpunkt, also dem Aufhängungspunkt aller einzelnen Kurvenverläufe, und der Position des Messwertes innerhalb des mittleren approximierten Kurvenverlaufs errechnet wird. Ein auf Grund einer Signalstörung verschobener einzelner Kurvenverlauf führt nicht nur zur Errechnung eines anderen Stützpunktes, dieser Kurvenverlauf wird auch zum Aufhängungspunkt aller Kurvenzüge verschoben, und bewirkt damit eine anteilige Beeinflussung des mittleren Kurvenverlaufes. Nachfolgende Abbildung verdeutlicht diesen Effekt an einem vereinfachten Beispiel:

N bzw. M fache Abtastung ungestörter und gestörter Signale



Anmerkung: Die Kurvenverläufe, Maxima und Stützpunkte wurden mittels einer Simulation errechnet.

Abbildung 16: Montage von Simulationsergebnissen für eine Kombination von Kurvenverläufen, errechnet aus gestörten und ungestörten Signalen zu gleichen Anteilen

Für den vereinfachten Fall gleicher Anteile gestörter und ungestörter Signale (N=M) wurde der mittlere Kurvenverlauf in diesem Beispiel so verformt, dass der Messwert um genau den Betrag

verschoben wurde, um den der mittlere Stützpunkt zum Ausgangssignal ohne Fehleranteil abweicht. Der Kurvenverlauf hat sich also in diesem Fall ohne Auswirkungen auf das errechnete Messergebnis verändert.

An diesem Simulationsbeispiel können die Ergebnisse von 3 Fällen systematischer Signalbeeinflussungen abgelesen werden: N beliebig >0 und $M=0$, $N=0$ und M beliebig >0 oder $N=M>0$. In diesen drei Fällen konnte jeweils der gleiche Messwert errechnet werden. Sollten der mittlere Stützpunkt und der mittlere Kurvenverlauf nahezu gleichartig von anteiligen Signalstörungen ohne nennenswerten Einfluss auf das Messergebnis beeinflusst werden können, sind auch im Fall anderer Verhältnisse von N und M ähnliche Ergebnisse zu erwarten. Anlage 11 bestätigt diese Annahme in der Simulation an einem weiteren Beispiel.

Anlage 12 zeigt eine Simulation, in der gleich eine Menge verschiedener systematischer Fehler das Signal beeinflussen sollen. Diese wurden in Varianten so verschieden kombiniert, dass eine Annäherung an die Verhältnisse von zufälligen Signalfehlern offensichtlich ist. Anlage 13 zeigt eine Simulation, die nicht nur systematische und zufällige Signalfehler miteinander kombiniert, auch das Signal selbst wurde zum Teil mit zufälligem Charakter geschädigt.

An den letzten Beispielen ist ersichtlich, dass offenbar auch eine Kombination komplexer stochastischer Fehleranteile ohne signifikanten Einfluss auf den Messwert verarbeitet worden. Dies gilt immer dann, wenn die Fehleranteile gleichartig den mittleren Stützpunkt und den mittleren Kurvenverlauf so beeinflussen, dass sie sich gegenseitig kompensieren. Zwar ist damit zu rechnen, dass der approximierbare mittlere Kurvenverlauf zusätzlich zu seiner generellen Verfälschung durch die Sensorgröße weiter verfälscht wird, wie auch an allen Beispielen ersichtlich ist. Dies muss aber nicht zwangsläufig zu einer Verschlechterung ableitbarer Messwerte führen.

Es ist anzunehmen, dass Signalfehler ab einem bestimmten Betrag verhältnismäßig zum Signal die Messergebnisse signifikant schädigen können. Ein systematischer Signalfehler mit einer Amplitude größer dem Signal würde entsprechend des Verfahrens bewirken, dass der Messwert nicht am Signal, sondern an der Position des Signalfehlers gefunden wird. Das gleiche muss für den Fall gelten, das Teile des Signals fehlen, und somit nur der Signalfehler bewertet wird. Die Auswirkungen solcher Beschädigungen hängen von ihrem Charakter ab, beispielsweise vom Anteil der Störungen zur Gesamtmenge der bewerteten Informationen und vom Abstand des Signalfehlers vom Messwert. Anlage 14 und Anlage 15 zeigen zwei Simulationen, die beispielhaft den genannten Fehler berechnen. Die errechneten Messwerte zeigen größere Abweichungen als in allen vorher simulierten

Beispielen. Praktisch können derartige Fehler auf Grund ihrer Größenordnung erkannt und aus dem Prozess einer Messwertbildung ausgeschlossen werden.

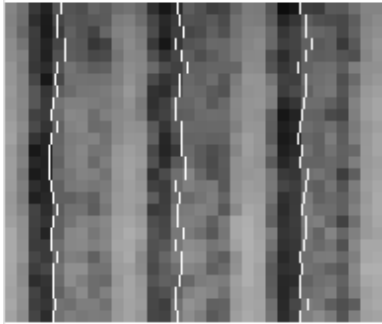
4.4.3. Signalabtastung und Stützpunkterrechnungsmethoden

An allen simulierten Beispielen ist auffällig, dass in der geringsten Auflösung von 10 x 10 zusammengefassten Originalpixeln immer größere Messabweichungen kalkuliert wurden. Dies kann am Modell des Verfahrens erklärt werden. Ausgangspunkt war, für die Errechnung einer genauen Bewegungsbahn der Sensoren das Ausgangssignal an unterschiedlichen Positionen mit vielen Sensorzeilen zu schneiden. Die Qualität des mittleren approximierten Kurvenverlaufs hängt also davon ab, inwiefern die Bewegungsbahn der Sensoren überhaupt richtig erfasst wurde, also inwiefern die Sensorzeilen statistisch alle möglichen Positionen zum Ausgangssignal erfasst haben. Dieses Problem kann mit zunehmender Sensorengröße verstärkt auftreten, da größere Sensoren das Signal mit einer geringeren Auflösung abtasten. Die Simulationen aus Anlage 16, Anlage 17 und Anlage 18 visualisieren diesen Effekt. Ein Abbild eines idealisierten Signals wird simuliert, dann etwas verschoben und wieder simuliert, abschließend schräg verschoben simuliert. Die Simulation des schräg verschoben Abbildes weist die besten Übereinstimmungen in der geringsten Auflösung verhältnismäßig zu den anderen Auflösungen aus. Dieses Signal wird durch die Schrägstellung besser abgetastet, da die Sensorzeilen statistisch mehr Positionen zum Ausgangssignal annehmen.

Dieser Effekt kann verwendet werden, wenn eine Messeinrichtung auf der Basis des aufgezeigten Verfahrens optimiert und geprüft werden soll. Die Abhängigkeiten von Sensorengößen, möglichen Anordnungen der Sensoren zum Signal, der verwendeten Informationsmenge etc. sollten mit leichten Verschiebungen und Verdrehungen der Messeinrichtung zum Signal in Form von Messfehlern erfassbar und damit bewertbar und optimierbar sein.

Das Messergebnis wurde in allen Simulationen immer an approximierten Kurvenverläufen auf der Basis von Stützpunkten gebildet, welche mit ein und demselben Verfahren errechnet wurden. Da die Methode zur Stützpunkterrechnung ungeeignet sein könnte, ist ein Vergleich mit anderen Methoden zur Stützpunkterrechnung vorteilhaft. Nachfolgende Abbildung stellt 4 Beispiele unterschiedlicher Stützpunktberechnungsmethoden in einer Sensorauflösung von 6 x 6 zusammengefassten Originalpixeln am ursprünglichen Ausgangsbild gegenüber:

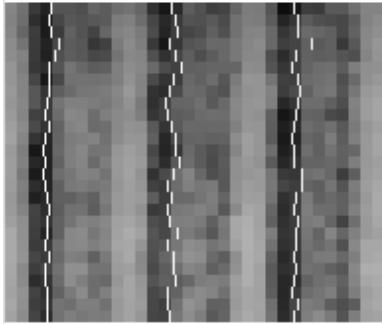
Stützpunkterrechnung: Methodik "halbes Integral" von $f(x)$



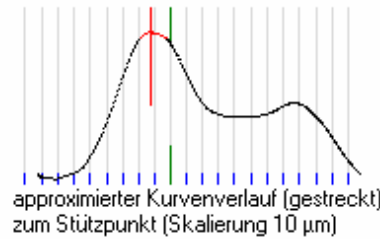
Mittelwert aller Stützpunkte zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 285 μm
 Messwert zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 261 μm
 Pixelgröße: bezogen auf das Original ca. 19.43 x 19.43 μm (6 x 6 Originalpixel)



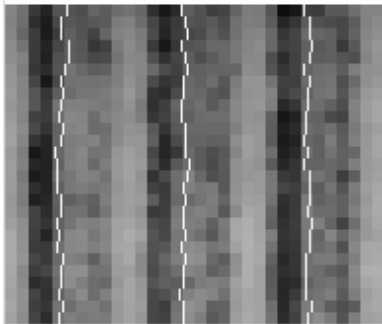
Stützpunkterrechnung: "halbes Integral" von $y^{\sim}(x)=f(x^2)$



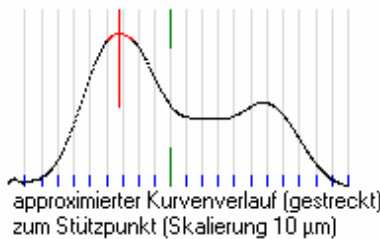
Mittelwert aller Stützpunkte zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 273 μm
 Messwert zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 261 μm
 Pixelgröße: bezogen auf das Original ca. 19.43 x 19.43 μm (6 x 6 Originalpixel)



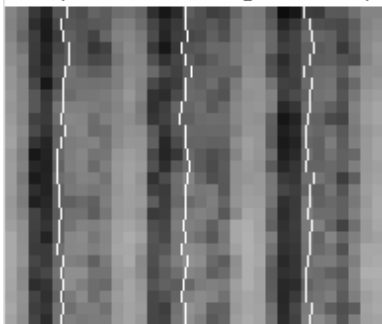
Stützpunkterrechnung: "halbes Integral" von $y^{\sim}(x)=f(\sqrt{x})$



Mittelwert aller Stützpunkte zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 293 μm
 Messwert zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 261 μm
 Pixelgröße: bezogen auf das Original ca. 19.43 x 19.43 μm (6 x 6 Originalpixel)



Stützpunkterrechnung: "Schwerpunkt der Fläche unter $f(x)$ "



Mittelwert aller Stützpunkte zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 294 μm
 Messwert zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): 260 μm
 Pixelgröße: bezogen auf das Original ca. 19.43 x 19.43 μm (6 x 6 Originalpixel)

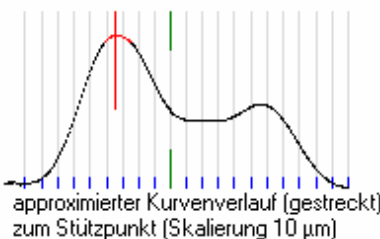


Abbildung 17: Beispiel der Auswirkungen verschiedener Methoden zur Stützpunktberechnung

Die Messergebnisse sind trotz der Unterschiedlichkeit der angewendeten Methoden (siehe Anlage 6) auf einen Mikrometer genau errechnet worden. Wie an den errechneten Stützpunkten erkennbar ist, halten alle Methoden das Ausgangssignal an unterschiedlichen Positionen und auch mit unterschiedlichen Fehlern zum Signal fest. Die mittleren approximierten Kurvenverläufe verschieben sich

in entgegengesetzter Richtung zu den mittleren Stützpunkten, dadurch werden ähnliche Messergebnisse errechnet. An den mittleren approximierten Kurvenverläufen sind kleine Unterschiede erkennbar. Dies muss auf die unterschiedlichen Stützpunktberechnungsmethoden zurückgeführt werden, da nur diese in den Simulationen variiert wurden. Diese Feststellung lässt die Vermutung zu, dass unterschiedliche Methoden zur Stützpunktberechnung besser oder schlechter geeignet sind. Es kann versucht werden, mit einer Optimierung einen Vorteil zu erreichen.

An allen Simulationsbeispielen ist ersichtlich, dass mit zunehmender Sensorengröße und der damit verbundenen zunehmenden Verschleifung des approximierbaren Kurvenverlaufs auch größere Messabweichungen erwartet werden können. Betrachtet man alle getroffenen Feststellungen in der Summe zeigt sich, dass das vorgeschlagene Verfahren durchaus zur Bewertung komplexerer Signale geeignet ist. Je nach Anforderungen der zu lösenden Aufgabe kann ein Optimum zwischen der gewünschten Messunsicherheit, der zu verwendenden Informationsmengen und der Sensorengröße angestrebt werden.

4.5. Korrekturverfahren

Betrachtungen des Weges des Signals vom Messobjekt zum digitalisierten Abbild in einer Messeinrichtung zeigen verschiedene Einflüsse von Fehlerquellen in unterschiedlichsten Größenordnungen.

Beobachtungen an konkreten Abbildungssystemen können zeigen, dass auftretende Abbildungsfehler teilweise statisch vorliegen. Sie kommen in jeder Abbildung gleichartig vor. Als Beispiel sei eine lokale Verschmutzung innerhalb eines Linsensystems benannt, welche in Form einer Unschärfe im Bild immer wieder an den gleichen Bildkoordinaten erkannt werden kann. Mit einfachen Linienstrukturen können auch gröbere Verzerrungsfehler einer Optik visualisiert werden.

Viele Parameter einer Einrichtung zur Erfassung von Messobjekten können als statisch angesehen werden. Das Linsensystem an sich wie auch beispielsweise der Abstand vom Messobjekt zum Sensor kann unter Verwendung geeigneter Konstruktionsmaßnahmen als "nicht veränderlich" angesehen werden. Geht man von einer in sich starren Konstruktion von der Messobjekterfassung über die Optik bis zum Kamerasensor aus, gilt dies bis auf Restfehler (Erwärmung, mechanische Alterung oder Beschädigung) auch über längere Zeiträume.

Auch nicht statische Fehleranteile in Abbildungen, wie beispielsweise zufällige Helligkeitsschwankungen, können durch Beobachtungen einfach festgestellt werden. Störungen auf Pixelebene, wie beispielsweise das Rauschen, können durch den Vergleich von aufeinanderfolgenden Aufnahmen erkannt werden.

Praktisch können alle Fehlereinflüsse gleichzeitig und in unterschiedlichem Maß gemischt auftreten. So liegt es nahe, diese Fehlermöglichkeiten nach Herkunft und Wirkung zu unterscheiden, um sie gegebenenfalls auch getrennt voneinander optimal zu behandeln. Beispielsweise kann man zunächst alle statisch immer wieder auftretenden Fehleranteile extrahieren und hinreichend genau korrigieren, anschließend die verbleibenden relevanten Fehlerklassen.

Infolge werden nur die Fehlerklassen diskutiert, deren Korrektur in Verbindung mit dem Messverfahren als notwendig erachtet werden mussten.

4.5.1. Korrektur statischer Abbildungsfehler

4.5.1.1. Lösungsansatz

Ein Messverfahren auf der Basis der Vergleichs-Meßmethode unter Anwendung einer Verhältnisgleichung an einem abgebildeten Messobjekt kann nur dann funktionieren, wenn die zur Ergebnisbildung verwendete Abbildung des Messobjektes dem Original auch verhältnismäßig entspricht. Das Verhältnis der im Original angenommenen Strecken $(C-A)/(B-A)$ muss dem Verhältnis $(C'-A')/(B'-A')$ der zur Ergebnisbildung verwendeten Abbildung entsprechen, andernfalls wird ein fehlerbehafteter Messwert ermittelt. Der Maßstab m der Abbildung zum Original oder die Nullposition x_0 der Messeinrichtung zum Original ist nicht von Bedeutung, da diese Parameter aus der Verhältnisgleichung gekürzt werden können:

$$[m \cdot ((x_0 + C') - (x_0 + A'))] / [m \cdot ((x_0 + B') - (x_0 + A'))] = (C' - A') / (B' - A').$$

Lokale Fehler a_0 , b_0 oder c_0 in der Abbildung hingegen dürfen nicht vernachlässigt werden, da diese außer in Sonderfällen (Beispiel: $a_0 = b_0 = c_0$) die Verhältnisgleichung beeinflussen:

$$[((c_0 + C') - (a_0 + A'))] / [((b_0 + B') - (a_0 + A'))] \neq (C' - A') / (B' - A'); \text{ wenn } a_0 = b_0 = 0 \text{ und } c_0 \neq 0.$$

Die Verhältnisgleichung und damit das Messergebnis beeinflussende Fehler a_0 , b_0 oder c_0 können entstehen, wenn das Abbild des zu vermessenden Originals fehlerhaft verzerrt erfasst wird.

Treten diese Fehler in jeder Abbildung eines Messobjektes auf, sollte versucht werden, diese Fehleranteile zu extrahieren, um sie zu kompensieren. Beispielsweise kann eine fehlerhaft erfasste Abbildung mittels einer Transformation in eine fehler- und verzerrungsfreie Abbildung gewandelt werden. Bei diesem Vorgang muss nicht zwangsläufig die gesamte Abbildung transformiert werden. Es reicht aus, nur die Fehler der an der Ergebnisbildung beteiligten Daten zu kompensieren.

Eine mathematisch - analytische Beschreibung dieses Problems wäre auf Grund der Vielzahl der voneinander abhängigen Parameter und Fehlermöglichkeiten sehr komplex. Beispielsweise kann durch Beugung eine lokale Unschärfe in einer Abbildung auftreten, wenn ein Linsenfehler oder eine partielle Verschmutzung des Linsensystems vorliegt. Diese Unschärfe durch eine Funktion beschreiben zu wollen, setzt nicht nur eine Übertragungsfunktion der Wechselwirkungen der Störung im Abbild voraus. Auch die geometrischen und optischen Eigenschaften der Ursache der Störung müssten beschrieben werden, um deren Wechselwirkungen überhaupt berechnen zu können. Allein dieses Beispiel zeigt, dass für jeden Punkt x,y einer zweidimensionalen Abbildung eines Linsensystems auch unterschiedliche Korrekturwerte erforderlich sein könnten, da Störungen in einer Abbildung in jeder Dimension mit unterschiedlichen Wirkungen auftreten können.

Auch weitere Überlegungen sprechen gegen eine mathematisch - analytische Herangehensweise zur Korrektur von statischen Fehlern. Gelänge die Beschreibung auftretender Fehler mittels eines Formelwerks auf der Basis mehrerer Parameter, müsste entweder dieses Formelwerk immer wieder für jeden Bildpunkt errechnet und angewendet werden, oder es würden vor einer Berechnung entsprechende Zahlenfelder zur Vereinfachung dieses Vorgangs gebildet. Der letzte Vorschlag ist sinnvoll, da die gesuchten Korrekturwerte generell nur statische Abbildungsfehler repräsentieren, die als Konstanten angesehen werden können. Zusätzlich stellt sich die Frage, wie die notwendigen Parameter für ein Formelwerk gebildet werden können. Ist eine manuelle Eingabe und Ermittlung der Parameter nicht sinnvoll, muss dieser Vorgang automatisiert werden. So ist dann neben dem Formelwerk selbst auch noch ein Verfahren zur Bildung der notwendigen Parameter erforderlich.

Da die mathematisch - analytische Herangehensweise zur Lösung des Problems nicht zweckmäßig ist, wird eine vereinfachte Betrachtungsweise vom Messobjekt zur korrigierten Abbildung angestrebt:

Messobjekt

-> Vorgang der fehlerbehafteten Abbildungserfassung

mit statischen Fehlern behaftete Abbildung des Messobjektes

-> Vorgang der Transformation aller Bildpunkte x,y in fehlerkorrigierte Bildpunkte x',y' ,

statisch fehlerkorrigierte Abbildung des Messobjektes

So wird klar, dass Entstehungsorte und Arten der verschiedenen Fehler innerhalb der Abbildungserfassung nicht von Bedeutung sind. Wesentlich ist, dass auftretende Fehler bei der Abbildungs-

erfassung durch eine Rücktransformation in ein verzerrungs- und fehlerfreies Abbild korrigiert werden können. Soll beispielsweise der Abstand zweier Messlinien ermittelt werden, ist überhaupt nicht von Interesse, ob beide Messlinien scharf und verzerrungsfrei abgebildet werden. Wichtig ist, dass diese oder andere Fehlermöglichkeiten die Abstandsberechnung nicht beeinflussen können.

Es gilt also, die summarischen Auswirkungen aller statischen Fehlerklassen in der Abbildung zu erkennen, um eine entsprechende Rücktransformation durchführen zu können. In einem ersten Ansatz bietet es sich an, diese Aussage aus dem Vergleich einer Abbildung zu einem bekannten Original zu erhalten. Da einzelne Abbildungen auch zufällige Fehler enthalten können, bietet eine erweiterte Betrachtungsweise, viele Abbildungen bekannter Originale zu verwenden, einen Lösungsweg der besser funktionieren sollte.

Es kann unterstellt werden, dass zumindest statische Fehleranteile in Abbildungen mittels geeigneter statistischer Methoden durch eine Analyse an Abbildungen bekannter Objekte beobachtet werden können. Liegen die Ergebnisse dieser Beobachtungen hinreichend genau und statistisch sicher vor, sollten entsprechende Korrekturwerte errechnet werden können.

Vor der Klärung der Frage, wie ein solcher Vergleich sinnvoll organisiert werden kann, können weitere Feststellungen über die Anforderungen und an den grundsätzlichen Aufbau eines Korrekturfeldes getroffen werden:

- Sollen Messwerte im Subpixelbereich erfasst werden, sollten auch Korrekturen dieser Messwerte im Subpixelbereich stattfinden. Um Korrekturen im Subpixelbereich durchzuführen, sollte die Fehlerkorrektur mit einer Auflösung größer der Pixelauflösung arbeiten.
- Die Fehlerkorrekturwerte sollten für jeden Bildbereich der verzerrten Abbildung errechnet werden, da in jedem Bildbereich andere Fehlerkorrekturwerte erwartet werden können.
- Die Fehlerkorrektur muss auf notwendige Messrichtungen anwendbar sein. Beispielsweise kann in eine zeilen- und spaltenweise Fehlerkorrektur KX und KY unterschieden werden.
- Da davon ausgegangen wird, dass die zu kompensierenden Abbildungsfehler statisch konstant vorliegen, sollte jeder einzelne Fehlerkorrekturwert in Form einer Konstante er-rechenbar sein.

Von seiner Natur her sollte das Korrekturfeld also so aufgebaut werden, das für jede Position X und Y des verzerrten Raumes XY Konstanten kX und kY vorhanden sind, mit denen die Positionen X

und Y durch eine Addition mit den zugehörigen Konstanten k_X und k_Y in die Positionen X' und Y' eines entzerrten Raumes XY' transformiert werden können. Position und Maßstab des entzerrten Raumes XY' zum verzerrten Raum XY sind dabei nicht von Bedeutung, da diese Parameter die Verhältnisgleichungen nicht beeinflussen.

Kann abgeschätzt werden, dass Fehlerkorrekturwerte benachbarter diskreter Abbildungspositionen ähnliche Beträge aufweisen, können beispielsweise jedem Bildpunkt der Abbildung eigene Fehlerkorrekturwerte k_X und k_Y zugewiesen werden. Dazwischen liegende Fehlerkorrekturwerte sind anhand ihrer Nachbarn linear interpolierbar. Daraus können Fehler resultieren, die aus der Annahme der Ähnlichkeit benachbarter Fehlerkorrekturwerte begründbar sind. Kann man diese Fehler auf Grund ihrer Beträge vernachlässigen, lässt sich das Korrekturfeld aus 2 Zahlenfeldern entsprechend der Abbildungsgröße bilden: Eines enthält die Fehlerkorrekturwerte k_X aller Bildkoordinaten zur Entzerrung aller Abbildungszeilen, das Zweite alle Fehlerkorrekturwerte k_Y zur Entzerrung der Abbildungsspalten. Die Methodik der Korrekturfelderrechnung kann für Abbildungszeilen wie auch für Abbildungsspalten gleichartig durchgeführt werden. Es gilt in beiden Fällen, Korrekturwerte für eine Entzerrung zu finden.

Die gewünschten Korrekturwerte können in hoher Qualität nicht aus einer einzelnen Vergleichsabbildung erzeugt werden. Gegen die Verwendung einer einzigen Vergleichsabbildung spricht, dass diese neben statischen Fehlern auch zufällige Fehler enthalten kann. Solche Fehler könnten eine korrekte Korrekturfeldermittlung verfälschen. Auch die Anforderungen an die Vergleichsabbildung müssten so gestellt werden, dass diese keine Fehler enthalten. Eine einmalige Verwendung einer einzigen Vergleichsabbildung kann nur dann gute Korrekturwerte liefern, wenn keine Abhängigkeiten von zufälligen Abbildungsfehlern auftreten oder zufällige Abbildungsfehler ausgeschlossen werden können. Die Verwendung mehrerer Vergleichsabbildungen wäre vorteilhaft, da sich zufällige Fehler statistisch zunehmend zu einem Mittelwert kompensieren, unabhängig davon, ob sie bei der Erstellung der Abbildung auftreten oder in den Vergleichsabbildungen enthalten sind.

Aus dieser Betrachtung ist die Frage abzuleiten, welche Anzahl von Vergleichsabbildungen für ein hinreichend genaues Korrekturfeld analysiert werden sollten. Da diese Frage komplex von der Güte des verwendeten Verfahrens wie auch den verwendbaren Vergleichsabbildungen abhängen wird, ist zumindest eine experimentelle Prüfung anzustreben, wie viele Vergleichsabbildungen zur Erzeugung eines hinreichend genauen Korrekturfeldes notwendig sind.

Zur Errechnung der Korrekturwerte bietet sich an, den gleichen Lösungsansatz wie auch zur Errechnung der Messwerte anzuwenden. Systematische Verfahrensfehleranteile können dadurch, so

vorhanden, automatisch kompensiert werden. Da zur Passermessung nach dem vorgeschlagenen Verfahren Querschnitte von Messlinien beurteilt werden, sollte man die Korrekturfelderstellung an gleichartigen Messlinien vornehmen. Um mit einem Arbeitsgang gleichzeitig sehr viele Korrekturwerte zu erhalten, kann die Vergleichsabbildung aus dicht benachbarten parallelen Messlinien gleichen Abstandes und gleicher Linienbreite aufgebaut werden.

Vermisst man die Mittelpunkte der Linienquerschnitte einer derartigen Struktur in einer Abbildung subpixelgenau, sollten alle Abweichungen von der vorgegebenen Annahme der gleichen Abstände der Messlinien auf die verschiedenen auftretenden Fehlerklassen zurückzuführen sein. Die gemessenen Abstände der Mittelpunkte können angenommenen idealen Abständen gegenübergestellt werden. Die auftretenden Differenzen zu den angenommenen idealen Abständen können direkt als Korrekturwerte, gültig für die jeweiligen Positionen der Linienquerschnitte verwendet werden.

Den gleichen Lösungsansatz wie auch zur Errechnung der Messwerte anwenden zu wollen, bedeutet im konkreten Fall, die subpixelgenauen Mittelpunkte der Messlinienquerschnitte durch die Anwendung jeweils mehrerer Sensoren zu bilden (siehe Verfahren zur Erfassung der Ausgangsdaten). Die Messlinien sollten also auf den Sensoren so abgebildet werden, dass die gewünschte Methodik überhaupt eingesetzt werden kann. Dazu müssen die Messlinien einen Mindestabstand aufweisen. Mit einem Arbeitsgang lassen sich dadurch nicht alle Korrekturwerte für alle Bildpixel errechnen. Zwischenliegende Korrekturwerte können beispielsweise linear interpoliert werden, durch eine mehrfache Wiederholung des Vorgangs gefunden oder durch eine anteilige Anwendung beider Varianten gebildet werden. Eine mehrfache Errechnung und Mittlung der Korrekturwerte ist sinnvoller, da nicht nur zufällige Abbildungsfehler automatisch kompensiert werden. Auch die verwendete Struktur paralleler Messlinien müsste keinen idealen Anforderungen genügen, statistisch mittlere gleiche Abstände der Messlinien wären ausreichend.

4.5.1.2. Gefundene Lösung zur Korrekturfelderstellung

Die gefundene konkrete Möglichkeit zur Korrekturfelderstellung sei näher aufgezeigt. Als Vergleichsabbildung wird eine flächige gedruckte Linienstruktur mit folgenden Eigenschaften verwendet:

- parallele Messlinien der gleichen Breite wie zur Passermessung
- gleiche Abstände aller Messlinien

Die Abstände der Messlinien werden dabei so gewählt, dass 1. mit dem Verfahren zur Erfassung der Ausgangsdaten subpixelgenau die Mittelpunkte der Querschnitte der Messlinien (siehe Stützpunkte und Stützpunkterrechnung) erfasst werden können und 2. möglichst viele Messlinien in einer Abbildung bewertet werden. Aus praktischen Gründen werden diese Vergleichsabbildungen in Winkeln von plus und minus ca. 45° aufgenommen, da so aus jeder Einzelabbildung gleichzeitig Korrekturwerte für Abbildungszeilen und Abbildungsspalten gebildet werden können.

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht, wie durch die Gegenüberstellung einer angenommenen entzerrten Abbildungszeile und einer bewerteten realen Abbildungszeile Korrekturwerte für die bewertete Abbildungszeile gebildet und interpoliert werden können:

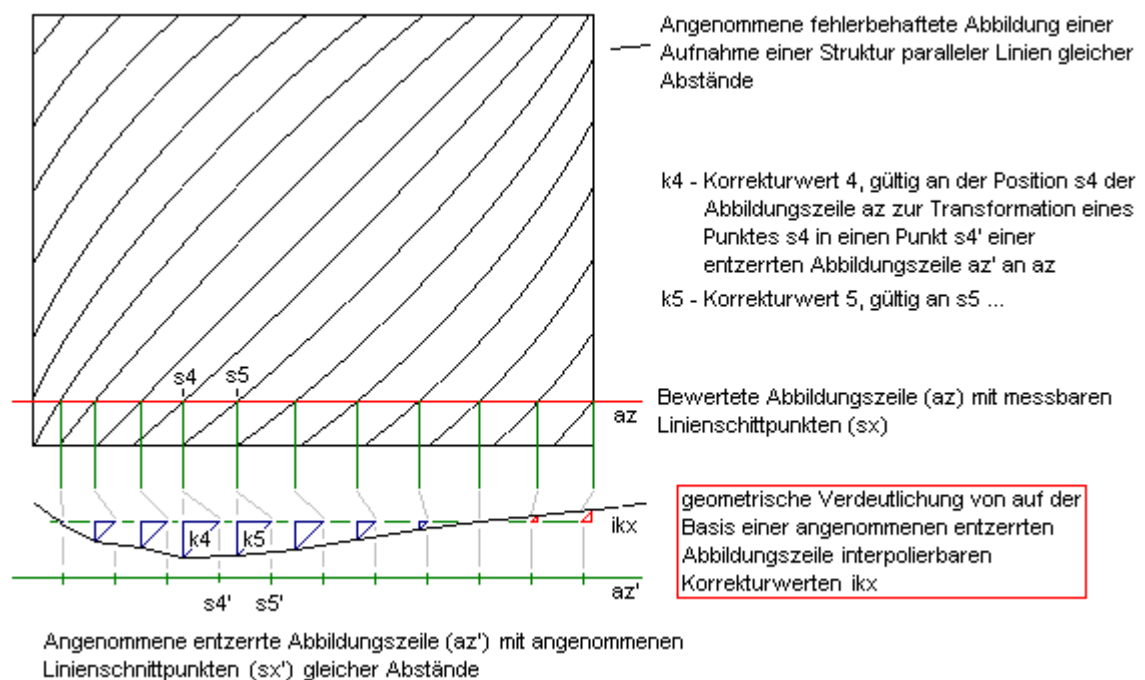


Abbildung 18: Verdeutlichung interpolierbarer Korrekturwerte einer Abbildungszeile

Gleichartig können auch aus allen anderen Abbildungszeilen und Abbildungsspalten Korrekturwerte gebildet und interpoliert werden. Über mehrere Aufnahmen von Vergleichsabbildungen können alle jeweils erhältlichen Korrekturwerte statistisch in entsprechenden Zahlenfeldern KX und KY gemittelt und abgespeichert werden. Erfasst man für mehrere Vergleichsabbildungen jeweils andere Bereiche der zu vergleichenden Linienstruktur, werden auch Fehler innerhalb der Vergleichsstruktur in den Korrekturzahlenfeldern KX und KY automatisch vermittelt.

Durch Abbildung 18 ist vorstellbar, dass eine Verschiebung der angenommenen idealen Abbildungszeile az' zur bewerteten Abbildungszeile az wie auch die angenommenen Abstände der

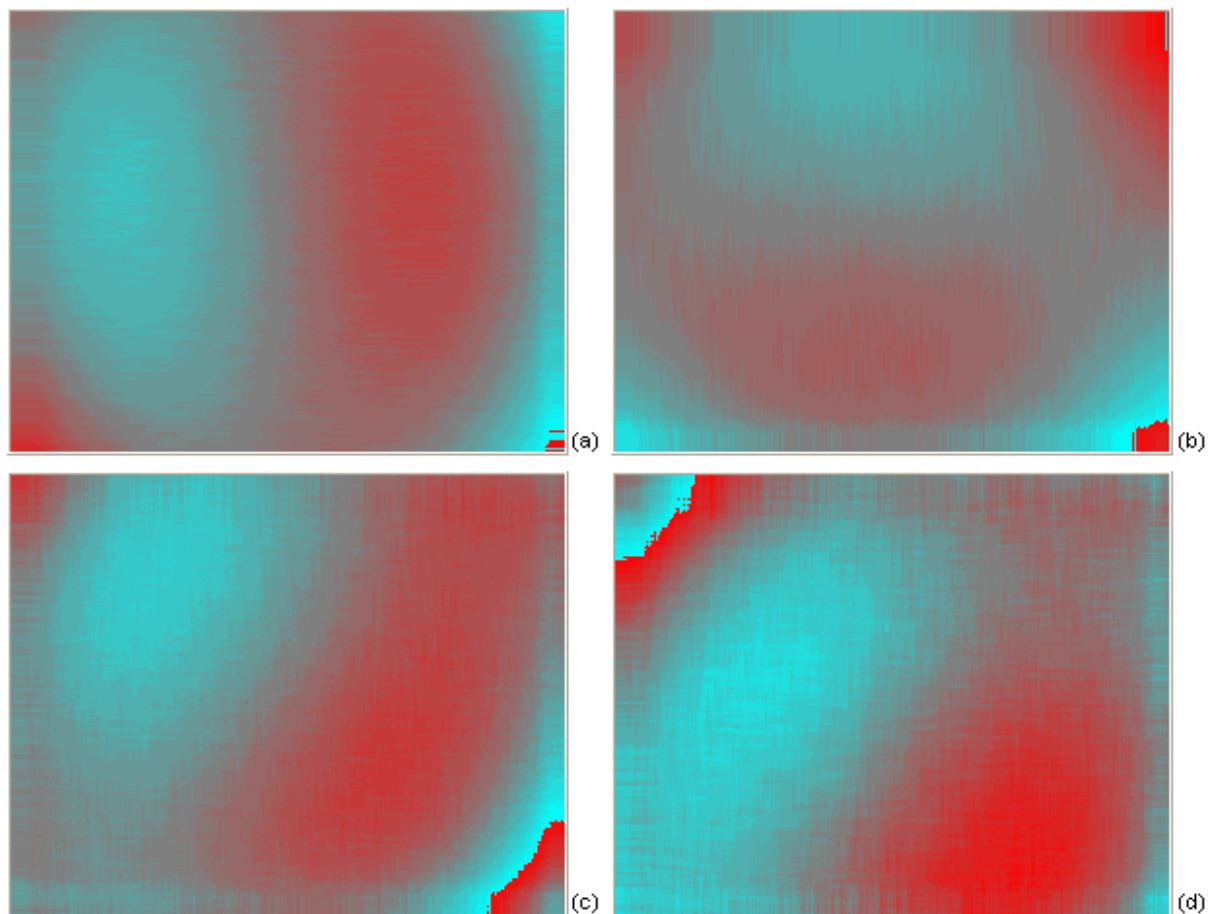
Schnittpunkte sx' unmittelbaren Einfluss auf die interpolierbaren Korrekturwerte ikx haben werden. Beispielsweise würde eine Verschiebung der angenommenen entzerrten Abbildungszeile az' um einen Pixel nach links den Kurvenverlauf ikx um einen Pixel anheben. Eine Manipulation der Abstände der Linienschnittpunkte sx' der angenommenen Abbildungszeile az' hätte einen anderen Kurvenverlauf ikx zur Folge. Beide Manipulationsarten erzeugten ein geändertes interpoliertes Korrekturfeld, welches eine Verschiebung und/oder Skalierung der transformierbaren Abbildung bewirkt. Beide Manipulationsarten sind jedoch ohne Bedeutung, da im vorliegenden Fall nur eine Entzerrung der Abbildungszeile az gewünscht wird (siehe Kapitelanfang, der Maßstab m der Abbildung zum Original oder die Nullposition x_0 der Messeinrichtung zum Original sind nicht von Bedeutung, da diese Parameter aus der angewendeten Verhältnisgleichung gekürzt werden können).

Wenn eine Messergebnisbildung nur innerhalb von Abbildungszeilen und nicht zeilenübergreifend erfolgt, kann zur Korrekturfelderstellung für jede Abbildungszeile auch eine andere angenommene Abbildungszeile verwendet werden. Auch die Art der Differenzbildung der angenommenen und bewerteten Linienschnittpunkte wäre egal (Vorzeichen), solange die Rücktransformation entsprechend umgekehrt der eingesetzten Transformation funktioniert. Dennoch ist sinnvoll, Aufbau und Positionen der angenommenen Abbildungszeilen gleichartig zu wählen. Der Abstand der angenommenen Schnittpunkte sx' kann aus dem Mittel aller realen Abstände der Vergleichsabbildung gewonnen werden. Als Mittelpunkt aller angenommenen Schnittpunkte sx' kann die Position definiert werden, wo die Differenz eines Schnittpunktes sx der Abbildungsmitte und eines angenommenen Schnittpunktes sx' Null ergibt. So kann erreicht werden, dass eine falschfarbige Darstellung des Korrekturfeldes auftretende Verzerrungen zuordenbar zur Abbildung visualisiert. Derartige Darstellungen sind hilfreich, um beispielsweise Störungen an immer wieder zu prüfenden Abbildungssystemen zu beurteilen.

An Abbildung 18 ist zu erkennen, dass eine Interpolation ähnlicher benachbarter Korrekturwerte durchaus sinnvoll erscheint. Sie muss nicht stattfinden, wenn mit entsprechend vielen Vergleichsaufnahmen an unterschiedlichster Position zum Messsystem Korrekturwerte für alle Pixel einzeln erfasst werden. Die Interpolation gestattet aber, mit nur wenigen Vergleichsaufnahmen statistisch gute Korrekturfelder zu erstellen, da immer für jeden Abbildungspixel ein Korrekturwert gefunden werden kann, und nicht nur für die Positionen der messbaren Stützpunkte sx .

Letztlich müssen die Anforderungen an das konkrete Messsystem entscheiden, wie genau die Korrektur statischer Abbildungsfehler erfolgen muss. Zur Definition der notwendigen Parameter wurden Untersuchungen nach verschiedenen Ansätzen (auch mit und ohne Interpolation, der Variation der Vergleichsabbildungsanzahl, der zeilen- und spaltenübergreifenden Mittelung etc.) mit

folgenden Ergebnissen durchgeführt: Als Zahlentyp für die Korrekturwerte werden Ganzzahlen verwendet, welche jede Pixelposition mit 32-facher Auflösung beschreiben können. Die Stützpunkterrechnung erfolgt nach der vorgestellten Methode "halbes Integral" (siehe 4.3.2. Untersetzung der gefundenen Vorgehensweise). Zwischen den gemessenen Linienschnittpunkten wird linear interpoliert, es erfolgt keine zeilen- oder spaltenübergreifende Mittelung der Korrekturwerte. Der Abstand der angenommenen Schnittpunkte sx' wird aus dem Mittel aller realen Abstände der Vergleichsabbildung gewonnen. Als Startposition der angenommenen Schnittpunkte wird eine Position verwendet für die gilt, dass ein angenommener Schnittpunkt sx' einem messbaren Schnittpunkt nahe der Abbildungsmitte entspricht. Ab einer Bewertung von ca. 20 Vergleichsaufnahmen können schon hinreichend genaue Ergebnisse erzielt werden; zur Sicherheit werden jedoch 40 Aufnahmen jeweils zeilen- und spaltenweise analysiert (20 Aufnahmen Linien mit 45° , 20 Aufnahmen Linien mit -45°). Nachfolgende Abbildung visualisiert nach dieser Methode erstellte Korrekturfelder:



- (a) Korrekturfeld eines Videosystems 1 zur Korrektur von Abbildungszeilen *
 - (b) Korrekturfeld eines Videosystems 1 zur Korrektur von Abbildungsspalten *
 - (c) XY Korrekturfeld eines Videosystems 1 (Korrekturfelder (a) und (b) pixelweise addiert) *
 - (d) XY Korrekturfeld eines Videosystems 2 *
- * Falschfarbdarstellung der Korrekturkonstanten

Abbildung 19: Falschfarbdarstellungen von Korrekturfeldern zur Korrektur statischer Abbildungsfehler

An Abbildung 19 ist zu erkennen, dass zwei verschiedene aber baugleiche Kamerasysteme, betrieben an ein und demselben Videoerfassungssystem, auch unterschiedliche Korrekturfelder bewirken können. Im Vergleich der beiden Videosysteme 1 und 2 könnte man unterstellen, dass die optischen Achsen der Objektive jeweils nicht genau die Sensorenmitten treffen. Es sind aber auch andere Ursachen wie beispielsweise nicht exakt gefertigte Objektive denkbar. Die Natur dieser Fehler ist nicht von Bedeutung. Beide Korrekturfelder bewirken im Zusammenspiel mit dem jeweils zugehörigen Kamerasystem eine ausreichende Korrektur statischer Abbildungsfehler. Die Erscheinungen an den Darstellungsrändern der Einzelabbildungen sind den verwendeten Berechnungsalgorithmen geschuldet. An den Rändern können die errechneten Korrekturwerte nicht linear über die Abbildungskanten hinaus interpoliert werden. Sie werden ausgehend vom jeweils letzten errechenbaren Korrekturwert als Konstanten zum Rand gemittelt. Diese Vorgehensweise kann in der konkreten Anwendung keinen Einfluss auf die Korrektur von Messwerten haben, da ausgeschlossen wird, dass Messwerte in unmittelbarer Kantennähe erfasst werden.

Die vorgeschlagene Korrektur funktioniert in Verbindung mit Vergleichsaufnahmen schwarzer Messlinien zum Vermessen schwarzer Messlinien. Die Korrektur könnte gleichartig auch mit Aufnahmen andersfarbiger Messlinien funktionieren. Eine Kombination verschiedener Farben von Vergleichsaufnahmen für die spätere Messung von Messlinien einer anderen Farbe kann zu Problemen führen. Je nach Anforderungen können chromatische Linsenfehler dazu führen, dass für jede andere spektrale Zusammensetzung der zu vermessenden Informationen auch andere Korrekturfelder zur Abbildungsentzerrung notwendig sind.

Dieses Problem ist für die Passermessung insofern nicht relevant, da nur relative Messwerte kleiner Schwankungsbreite bezüglich ihrer Position vermessen werden und die konkreten absoluten Auswirkungen der chromatischen Fehler analysiert werden können. Anlage 19 demonstriert an einem Beispiel einen solchen Vergleich. Ein mehrfarbiger Druck wurde mit jeweils optimal korrigierten Messsystemen unterschiedlicher Bauart (unterschiedliche Beleuchtungen und Kamerasysteme, geänderte Linsensysteme etc.) untersucht. In der Darstellung sind die auftretenden Größenordnungen systematischer absoluter Messwertschwankungen pro Messsystem zu erkennen (immer 5 Messungen pro System), die unter anderem auf chromatische Restfehler zurückzuführen sind. Für andere Anwendungen einer Abbildungsentzerrung ist zu ermitteln, ob nicht auch chromatisch korrigiert werden muss, beispielsweise durch eine Anwendung mehrerer Korrekturfelder, die auf der Basis verschiedenfarbiger Vergleichabbildung erzeugt werden.

Das vorgeschlagene Korrekturverfahren statischer Abbildungsfehler kann nur dann funktionieren, wenn alle Verhältnisse bei der Korrekturfelderstellung denen der späteren Messung entsprechen.

Nach einem Tausch oder einer neuen Justierung eines Linsensystems muss auch die Korrektur der dann vermutlich anderen Abbildungsfehler wiederholt werden. Bewirken Temperaturveränderungen geometrische Änderungen am Linsensystem, wäre auch dies zu berücksichtigen.

Die Gültigkeitsdauer eines Korrekturfeldes ist von den konkreten Umständen abhängig. Wenn eine Alterung von Komponenten stattfinden kann oder die Konstruktion des Abbildungssystems nicht stabil genug ausgeführt ist, ist eine Änderung der statischen Abbildungsfehler zu erwarten. An einzelnen Systemen konnten praktisch auch nach mehreren Jahren keine signifikanten Änderungen festgestellt werden, dennoch wird eine regelmäßige Überprüfung des Messsystems empfohlen.

4.5.2. Korrekturmechanismen nicht statischer Fehleranteile

Als nicht statische Fehleranteile werden im Folgenden all die Fehleranteile bezeichnet, die nicht in jeder zu erfassenden Abbildung vorkommen. Damit ist eine Erfassung dieser Fehleranteile mit den Methoden zur Korrektur statischer Fehleranteile nicht erhältlich. Dennoch können weitere Fehlerquellen beispielsweise an einzelnen Abbildungen beobachtet und klassifiziert werden. Im Gegensatz zu den statischen Fehleranteilen können diese nicht für jede Abbildung vorausgesagt werden.

Für die Passermessung mit konventioneller Videotechnik können sehr viele Ursachen bzw. Klassen unterschiedlichster nicht statischer Fehleranteile vom Messelementoriginal bis zum digitalen Abbild vorkommen. Dazu zählen die im Prozess der Digitalisierung des Abbildes vorkommenden Fehler, aber auch in der Abbildung selbst oder im optischen Abbildungsprozess können solche entstehen. Bereits bei der „Herstellung der Messelemente“ sind im Besonderen der Bedruckstoff in Verbindung mit dem Druckprozess zu erwähnen (siehe 3.2.1. Verarbeitung fehlerbehafteter Informationen). Die Einrichtungen zur Erfassung, Übertragung und Wandlung der Messelemente werden zufällig gestört, sei es von außen, durch elektromagnetische Störungen oder von innen durch die verwendete Technik (Rauschen in einer Verstärkungsstufe, Spannungsstabilisierungsfehler etc.). Auch ein Staubkrümel auf einem Messelement während eines Messvorgangs, ein partieller Fremdlichteinfall in den Bilderfassungsbereich oder die willkürliche Positionierung eines Messkopfes über einem Messelement stellen zufällige und damit nicht immer vorkommende Einflussgrößen dar.

Wenn die Wirkungen derartiger Fehler nicht vorhergesagt oder berechnet werden können, ist eine Korrektur dieser Fehler im Vorfeld der eigentlichen Messung nicht machbar. Es müssen andere Methoden gefunden werden, um die Wirkungen derartiger Einflussgrößen zu kompensieren. Wesentlich ist es zu erkennen, welche Fehlermöglichkeiten auftreten, und inwiefern diese die Messunsicherheit des Gesamtsystems beeinträchtigen. Dann kann versucht werden, problematische Fehlerquellen durch Gegenmaßnahmen zu kompensieren.

Ein wirksamer Ansatz zur Beseitigung nicht statischer Fehlerquellen können statistische Methoden sein. Treten Fehler mit einer definierten Wahrscheinlichkeit auf, kann versucht werden, diese Auffälligkeit auszunutzen. Dabei sind nicht nur die verschiedensten Szenarien denkbar, auch bezüglich der Lösung einzelner Teilaufgaben der Gesamtaufgabenstellungen können immer wieder unterschiedlich komplexe Methoden angewendet werden: Die einfache Mittelwertbildung hilft Zwischenwerte geeignet zusammenzufassen. Die Bildung der Standardabweichung zeigt deren Streuung und gestattet Ausreißer zu erkennen und zu eliminieren. Mittels der Regressionsrechnung kann eine Gerade durch eine Schar von Stützpunkten einer fehlerbehafteten Gerade gefunden werden. Eine definierte Anzahl oder eine bekannte Streuung von Zwischenwerten können bei der Verifizierung eines Zwischen- oder Endergebnisses helfen.

Ein weiterer Ansatz, nicht statischen Fehlern zu begegnen, ist ihre Auswirkungen auf das Messergebnis durch eine Unabhängigkeit des Messverfahrens von deren Wirkung zu mindern. Ist die Messwerterfassung beispielsweise nicht von Änderungen der optischen Dichte der Messelemente abhängig, werden zufällige Helligkeitsschwankungen der Abbildung kaum Auswirkungen auf das Messergebnis haben. Basiert die Messwertbildung auf der Verrechnung von Daten, die an kleinen lokalen Bildbereichen unabhängig voneinander erfasst werden, wird ein auftretendes Shading kaum Wirkungen zeigen. Treten zufällige Verschiebungen bei der Erfassung einzelner Bildzeilen auf, können diese durch eine Ergebnisberechnung pro Zeile, also eine Ergebnisberechnung unabhängig von den Positionen der Zeilen zueinander, ignoriert werden.

Es wurde erkannt, dass die Korrektur folgender nicht statischer Fehlermöglichkeiten für die Passermessung mit konventioneller Videotechnik notwendig ist:

- Die Korrektur zufälliger Beschädigungen oder partieller Störungen an Messelementen: Neben einem robusten Verfahren zur Messwerterfassung (siehe 4.3. Verfahren zur Erfassung der Ausgangsdaten) erfolgt die Messwertkorrektur allein durch statistische Methoden. Es wird streng darauf geachtet, dass immer für die Aufgabenstellung ausreichende Informationsmengen verarbeitet werden. Alle Messelemente wurden nach genau diesem Haupt Gesichtspunkt entworfen und konstruiert (Anzahl und Länge der Messlinien und des Messnormales, Aufbau der Kodierungsstrukturen). Es wird geprüft, ob Ausreißer in Zwischenergebnissen auftreten. Die Messergebnisse werden unabhängig voneinander an zwei Abbildungen doppelt berechnet und nach dem Kriterium der angegebenen Messunsicherheit verifiziert oder gelöscht.

- Die Korrektur von zufälligen Helligkeitsschwankungen der gesamten Abbildung und dem partiellen Shading: Die Korrektur erfolgt durch eine von der Abbildungshelligkeit unabhängige Berechnungsmethode. Die Auswertung des Messsignals ist so gestaltet, dass das Messsignal hinsichtlich seiner Amplitude ohne Auswirkungen auf das Messergebnis beliebig skaliert oder normiert werden kann. Zwar können sich Zwischenwerte (Stützpunkte) relativ zum Messsignal verschieben, das Messsignal selbst aber wird wiederum gleichartig relativ zu diesen Stützpunkten gebildet (siehe auch 4.4.3. Signalabtastung und Stützpunkterrechnungsmethoden).
- Die Korrektur zufällig zueinander verschobener Abbildungszeilen (siehe 3.2.2.2. Fehler bei der Wandlung der Abbildung in ein digitales Abbild, Fehler an Synchronsignalen) wird durch eine streng zeilenweise (und spaltenweise) Verarbeitung der Ausgangsdaten realisiert. Die Messwerte werden erst aus Verhältnisgleichungen pro Sensorenzeile gebildet und nachträglich „zeilenunabhängig“ um statistisch erkennbare Fehlerbeträge korrigiert und zusammengefasst (siehe 4.3.1. Überlegungen zur Erfassung der Ausgangsdaten, Teilung des Problems).

Mit dem Erkennen und der Lösung der drei aufgezeigten Probleme wird die Qualität erzielbarer Messergebnisse auf ein Niveau gehoben, welches die Passermessung mit konventioneller Videotechnik gestattet.

4.6. Auflösung von Abhängigkeiten

Mit der Wahl, konventionelle Videotechnik zur Passermessung zu verwenden, war eine Vielzahl von Entscheidungen zu treffen. Abhängigkeiten innerhalb des Gesamtsystems mussten aufgelöst werden. Viele der in Grenzen „veränderbaren Parameter“ sind direkt voneinander abhängig:

Die Pixelanzahl und der Abbildungsmaßstab des Sensors bestimmen die insgesamt erfassbare Datenmenge. Die Sichtfeldgröße definiert die erzielbaren Messbereiche und die Anzahl gleichzeitig messbarer Farbkombinationen. Die Geometrie und der Aufbau der Messelemente stehen in enger Verbindung mit dem Messverfahren und auch der erzielbaren Sicherheit bei der Erkennung der Messelemente. Die erreichbare Messunsicherheit ist von der Leistungsfähigkeit der Mess- und Korrekturverfahren wie auch von der zur Verfügung stehenden Datenmengen abhängig.

Ein optimaler Kompromiss zwischen Messelementgröße und Informationsgehalt im Messelement kann ermittelt werden, wenn die Zusammenhänge zwischen dem notwendigen Informationsgehalt

zum genauen Messen, dem Messverfahren an sich und der Auflösung und Leistungsfähigkeit des Aufnahmegegerätes bekannt sind.

Die Abhängigkeiten dieser Parameter untereinander wurden in vielen Versuchen ermittelt. Das Messverfahren wurde auf Grund der festen Auflösung des verwendeten Videosystems beginnend mit einer kleinen Messfeldgröße und zu diesem Zeitpunkt nur zweifarbigen Messelementen mit hohem Informationsgehalt (vielen Messlinien) entwickelt. Mittels erster Prüfverfahren (siehe Arraydruck) wurde im Experiment der notwendige Informationsgehalt in den Messelementen (Anzahl und Längen der Messlinien zum Messen und für Normale) auf der Basis des gefundenen Messverfahrens für unterschiedlich fehlerbehaftete Drucke ermittelt.

Diese Ergebnisse wurden verwendet, um schrittweise die Messfeldgröße zu erhöhen, um mit einer Messung möglichst viele Farben mit großen Messbereichen erfassen zu können. Jede Auflösungsänderung wurde hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die erzielbare Messunsicherheit untersucht. Das so gefundene Optimum (realisiert im Passermessgerät LUCHS Typ I für Messungen an fünf Druckwerken in einer Messrichtung) konnte zu einem späteren Zeitpunkt mit der Weiterentwicklung des Messverfahrens (im Passermesssystem LUCHS Typ II für Messungen an 10 Druckwerken in zwei Messrichtungen) nochmals verbessert werden.

4.7. Berücksichtigung spezieller Anforderungen

Ein Messsystem, das einfach nur Messwerte erfassen kann, ist nur begrenzt einsetzbar. Richtig sinnvoll kann ein Messsystem zur Passermessung nur dann eingesetzt werden, wenn es den Anforderungen und Ansprüchen der Anwender genügt (siehe 2.4. Anliegen und Anforderungen der Industrie).

Ganz speziell ergeben sich folgende zusätzliche Anforderungen an ein Messsystem zur Passermessung :

- Dem Aspekt „Sicherheit der Messwernerfassung“ kommt eine besondere Bedeutung zu. Nicht nur die erzielbare Messunsicherheit ist von Interesse, sondern auch die industrielle Robustheit des Messverfahrens wie beispielsweise seine Toleranz gegenüber Fehlerquellen (siehe auch 3.2.4. Quintessenz und 5. Nachweismöglichkeiten zur Prüfung des Messverfahrens).
- Dem Anwender müssen Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden, um vielfältige und komplexe Messungen einfach durchführen zu können. Neben einer einfach gestalteten

Oberfläche zur Bedienung des Systems ist eine „Ablaufsteuerung“ erforderlich, welche es dem Benutzer des Systems gestattet, die geforderten Messaufgaben praktikabel zu lösen. Als nützlich haben sich Automatikfunktionen erwiesen, die während eines Messvorganges mittels zusätzlicher mit den Messelementen erfasster Informationen „selbstlernend“ den Messvorgang steuern können. Dazu zählen der automatische Start des Messvorgangs ohne Tastendruck, eine automatische Messort- und Druckwerkserkennung, eine automatische Bogenwechselfunktion und auch die ständige Kontrolle eventuell fehlender Messwerte.

- Die Messdaten müssen nicht nur erfasst, sondern auch abgespeichert und verwaltet werden können. Optional ist es sinnvoll, die Messdaten auf dem Messsystem zugleich problemorientiert visualisieren und auswerten zu können. Je umfangreicher dies möglich ist, desto besser kann der Anwender typische Fehlerbilder erkennen. Als hilfreich hat sich die Darstellung von Messwerten in einer Art „Filmvorführung“ erwiesen, mit der man eine Vorstellung davon gewinnen kann, mit welchen Fehlern die einzelnen Druckbogen durch die Druckmaschine bewegt wurden.

Eine umfassende Berücksichtigung dieser speziellen Anforderungen dient letztlich der praktischen Verwendbarkeit eines Passermesssystems. Dieser Fakt sei erwähnt, da die notwendigen Aufwendungen für ein entsprechend gestaltetes Umfeld zur Passermessung die Aufwendungen für ein System mit „reiner Messfähigkeit“ bei weitem überschreiten können.

4.8. Beispiel: Messverfahren zur Übergabepassermessung

4.8.1. Übersicht und Ablauf

Ein unerlässliches Gebrauchsmerkmal für ein Messsystem zur Passermessung ist seine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Messwerterfassung. Die Prämissen "Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Praxistauglichkeit" zeigten den Leitfaden zur Realisierung des Messsystems. Strategisch kann so vorgegangen werden, dass Messsystem nur dann einen Messwert generieren zu lassen, wenn die erfassten Merkmale auch sicher als zu verarbeitenden Merkmale einer definierten Qualität erkannt werden. Diese Strategie bedingt, Methoden einer zuverlässigen Merkmalerkennung und -prüfung einzuführen.

Zur Realisierung des Messverfahrens wurde die übliche sequentielle Arbeitsweise gewählt, also das Gesamtproblem in eine logische Abfolge einzelner Verarbeitungsschritte aufgeteilt:

- Für jede Aufnahme des Bilderfassungssystems

- Erkennung, ob das Bilderfassungssystem auf ein Messelement gestellt wurde
- Überprüfung grundsätzlicher Informationen wie Richtung und Winkel des Messelements zum Bilderfassungssystem, Ermittlung zusätzlicher Informationen wie Messelementtyp, Messort etc.
- Ermittlung der hochgenauen Messelementposition zum Bilderfassungssystem an drei Koordinaten sowie die Ermittlung einer Koordinatenschar zur Beschreibung des Normales für die spätere Weiterverarbeitung
- Überprüfung der genauen Messelementpositionen einer Folge von Einzelaufnahmen mit dem Ziel, zwei aufeinanderfolgende Einzelaufnahmen exakt gleicher Position für die Weiterverarbeitung abzuspeichern (da Messwerte nur an nicht bewegten Aufnahmen gebildet werden dürfen)
- Durchführung von zwei Bildanalysen an zwei aufeinander folgenden Einzelaufnahmen
 - Erkennung der inneren Messelementstrukturen (Koordinaten der Messlinien) und Abspeicherung dieser Informationen für Längs- und Querwerte
 - Erfassung der zu Druckwerken zuordenbaren Daten in Datenblöcken, getrennt für Längs- und Querwerte, zeilen- und spaltenweise Berechnung aller Stützpunkte pro Datenblock und für jeden Datenblock zum Normal, dabei geometrische Korrektur aller einzelnen Stützpunkte und Erfassung zuordenbarer Daten zur Bildung des jeweiligen mittleren Kurvenverlauf zur Messwertkorrektur
 - Ermittlung und Überprüfung der Druckwerkszugehörigkeit pro Datenblock
 - Pro Datenblock Bildung der jeweiligen mittleren Kurvenverläufe zur Messwertkorrektur, Bildung der Korrekturwerte zur Korrektur der einzelnen Stützpunkte, Korrektur der Stützpunkte und Berechnung aller verfügbaren Verhältnisgleichungen zur Bildung der Messergebnisse, statistische Überprüfung der Messergebnisse
- Übergeordneter Vergleich der erzielten Einzelmesswerte der 2 Einzelaufnahmen zur Vermeidung von groben Fehlern durch zufällig gestörte Einzelaufnahmen; die einzelnen Messergebnisse werden verifiziert oder verworfen
- Abspeichern der gewonnenen Messwerte zur Weiterverarbeitung

Die zeitliche und strukturelle Ordnung der Verfahrensschritte wurde so gewählt, dass alle aufeinander aufbauen und zur Erreichung einer hohen Fehlertoleranz grundsätzlich auch einzeln geprüft oder redundant ausgeführt werden können. Kritische Verfahrensschritte werden zusätzlich besonders überprüft, beispielsweise durch die Einführung von Paritätsbits in Kodierungsstrukturen. Nur wenn alle Arbeitsschritte erfolgreich abgearbeitet wurden, werden auch Messergebnisse gebildet.

4.8.2. Messelementgestaltung und Messelementerkennung

4.8.2.1. Messelementgestaltung

Die Entwicklung aller Messverfahren des Passermesssystems LUCHS erfolgte in einem Prozess in enger Verbindung mit einer jeweils der Aufgabenstellung gerechten optimalen Gestaltung der Messelemente. Anlage 20 zeigt einen Bestellschein für verschiedene Messelemente des Passermesssystems LUCHS. Dieser Bestellschein enthält Messelemente für den Offset- und den Zeitungsoffsetdruck oder spezielle Messelemente, welche die Aufwendungen der Druckmaschinenhersteller zur Erstellung der Druckplattensätze für verschiedene Druckmaschinentypen reduzieren. Anlage 21 demonstriert ein Beispiel für eine Optimierung eines Messelementes für eine spezielle Messaufgabe, das „Sondermesselement“ zur Passermessung gegen Materialkanten.

Die Messelemente zur Übergabepassermessung wurden hauptsächlich so organisiert, dass sie verschiedenen Messaufgaben universell gerecht werden können:

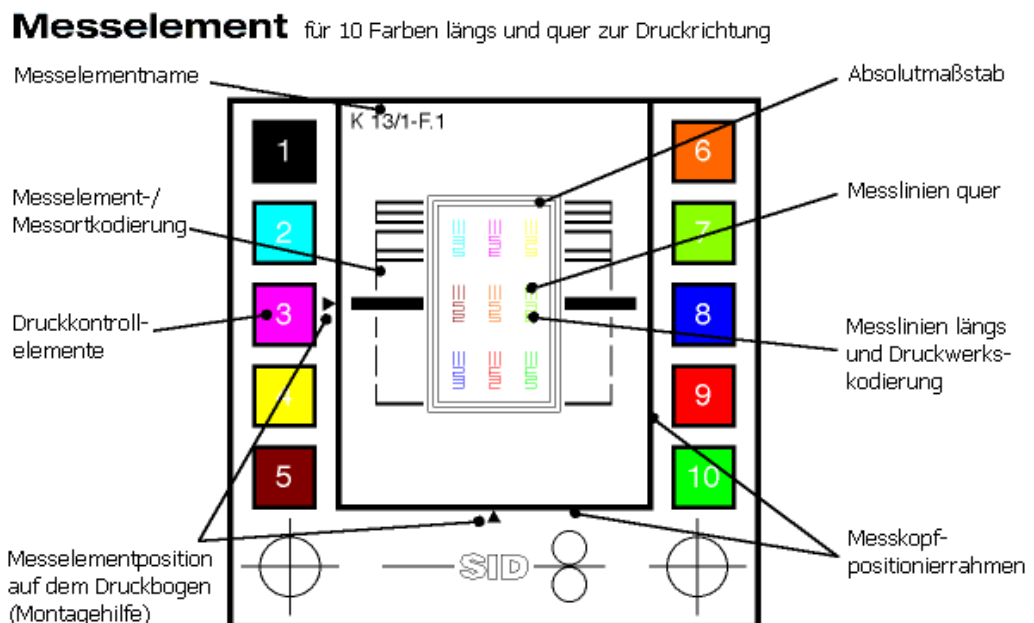


Abbildung 20: Beispiel eines Messelementes für Messungen "Druck zu Druck" (max. 10-farbig) für den Offsetdruck auf hochwertigen Bedruckstoffen

Zusätzlich zu den für die Messaufgaben notwendigen Informationen enthalten diese Messelemente im äußeren Bereich Strukturen wie Montagehilfen und Druckkontrollelemente, die nur der Herstellung der Messelemente im Druckprozess dienen. Ein Messkopfpositionierahmen vereinfacht das Aufsetzen des Messkopfes zur Messung.

4.8.2.2. Messelementerkennung durch Kodierungslinien

Die eigentlich zur Messung verwendeten Strukturen innerhalb des Messkopfpositionierahmens wurden so konstruiert, dass eine sichere und fehlertolerante Messelementerkennung ermöglicht wird und gleichzeitig auch eine einfache Implementierung eines sequentiellen Messverfahrens „von außen nach innen“ realisierbar ist. Die in Form von Kodierungslinien zusätzlich eingebrachten Informationen dienen nicht nur der schnellen und sicheren Messelementerkennung, sie beinhalten auch Daten für die Weiterverarbeitung der gewinnbaren Messdaten (Messort, Messwertzuordnung, Messelementtyp):

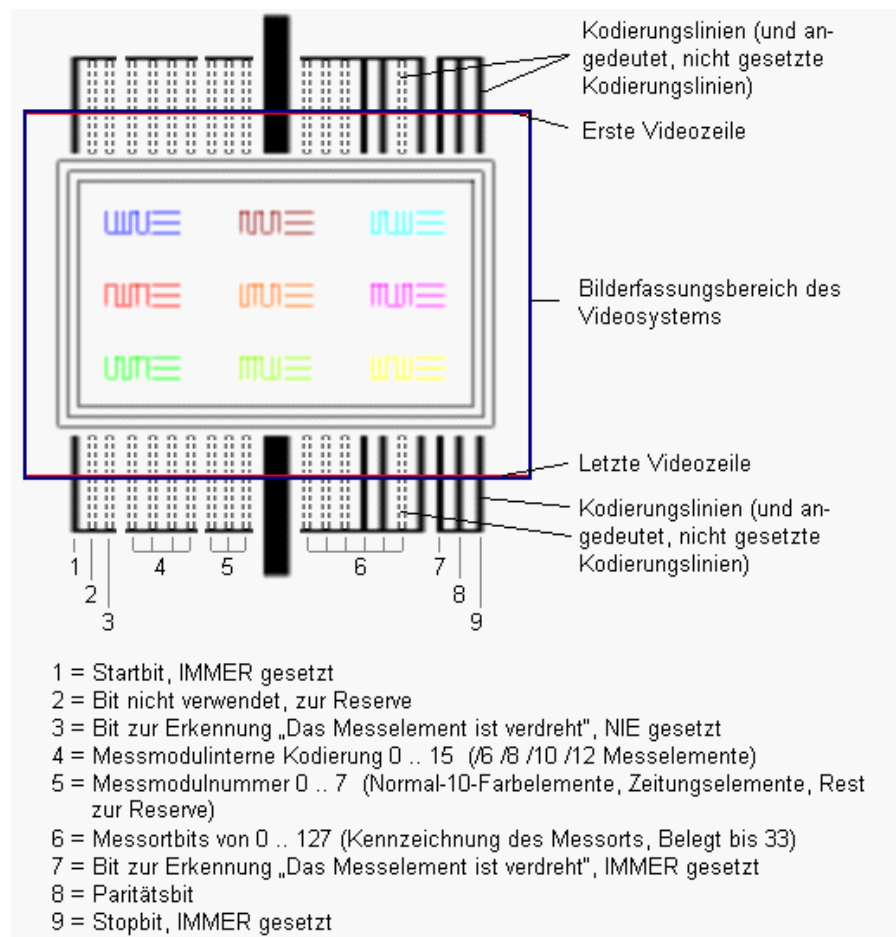


Abbildung 21: Bilderfassungsbereich des Videosystems im Verhältnis zu einem Messelement und Aufbau der oberen und unteren äußeren Kodierungslinienstruktur

Die konstruktive Anordnung der Kodierungslinien wurde so organisiert, dass allein mit einer Auswertung der ersten und der letzten Videozeile des erfassten Videobildes folgende Informationen gewonnen werden können:

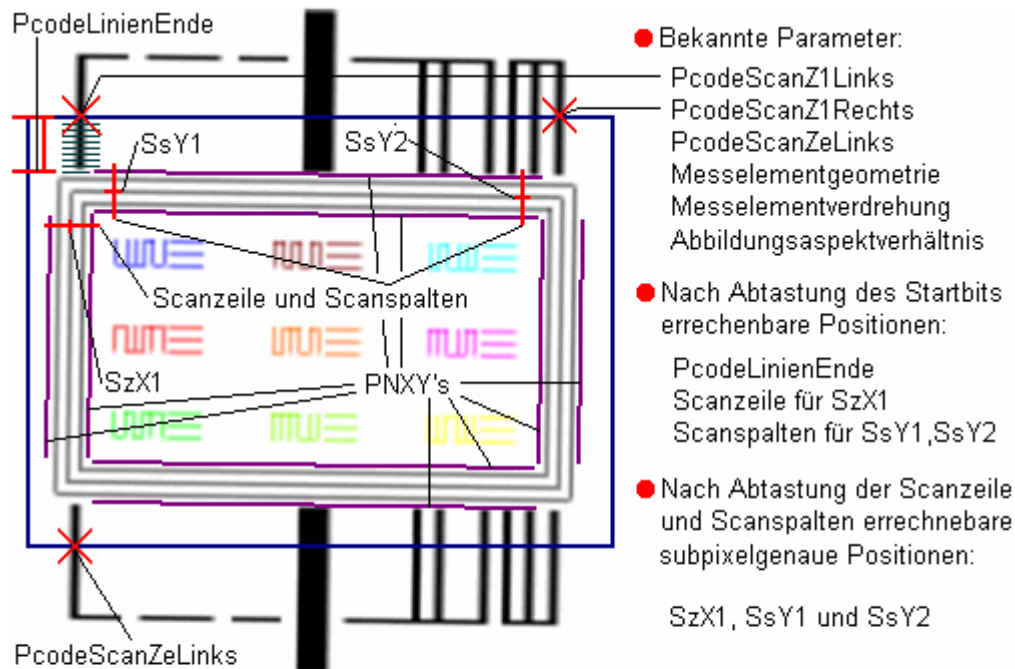
- Der Messkopf wurde auf ein Messelement aufgesetzt (es wurden 2 gleichartige, gültige Kodierungen erkannt).
- Der Videokopf wurde in der richtigen Ausrichtung (Verdrehung) und im richtigen Winkel auf ein Messelement aufgesetzt (die Mittelpunkte der Kodierungslinien befinden sich in vorgegebenen Bereichen, die Bits zur Erkennung von Verdrehungen in der richtigen Anordnung).
- Der Videokopf wurde auf ein Messelement vom Typ X mit den Eigenschaften Y auf den Messort Z aufgesetzt (Auswertung der kodierten Bitinformationen).
- Als Nebenprodukt der Auswertung entstehen Informationen, die als „Startpunkte“ für die weitere Bildanalyse dienen können (die Mittenpositionen der breiten Balken, die Gesamtbreite der Kodierungsstruktur, der Verdrehwinkel, die Positionen der „Startbits“).

Die Analyse der Kodierungslinien ist auf Grund der Breite der Kodierungslinien sowie der gleichmäßigen Abstände der „Start-„ und „Stopbits“ zu der mittleren breiteren Linie sehr sicher, einfach und robust programmierbar. (Anmerkung: Die gleiche Methodik hätte auch für die vertikale Lagebestimmung der Messelemente angewandt werden können. Dies wurde unterlassen, um für die Zukunft eine generelle Option für völlig neuartige Messelemente zu erhalten.) Sollte die Auswertung der ersten und letzten Videozeile nicht eindeutige Ergebnisse liefern, wird versucht, mit den gleichen Algorithmen die 2., 3. usw. bzw. die vorvorletzte und vorletzte Videozeile zu bewerten.

4.8.2.3. Positionsanalyse des Messelementes zum Bilderfassungsbereich

Der Analyse der ersten und letzten Videozeile folgt unmittelbar eine genauere Analyse der genauen Position der Messlinien des integrierten Normales zum Bilderfassungsbereich des Videosystems. Diese Analyse ist unbedingt erforderlich, um sehr genau feststellen zu können, ob die Bilderfassungseinrichtung über mehrere Aufnahmen relativ zum Messelement nicht bewegt wird. Nur an „nicht bewegten Aufnahmen“ können Messdaten gewonnen werden, da bedingt durch den Einsatz konventioneller Videotechnik Vollbilder aus 2 Halbbildern zusammengefasst werden, die zu unterschiedlichen Zeiten erfasst werden (siehe 3.2.2.1. Fehler bei der Erfassung und Projektion des

Messobjektes). Ausgangspunkt für die genauere Positionsanalyse stellen die bekannten Daten der Analyse der Kodierungslinien dar:



- Aus den subpixelgenauen Positionen SzX1, SsY1 und SsY2 kann über mehrere Abbildung festgestellt werden, ob die Bilderfassungseinrichtung eine Bewegung relativ zum Messelement ausführt.
- Aus den nun bekannten Parametern kann eine Parameterschar PNXY's errechnet werden, welche vollständig alle Begrenzungen des Messnormales (Linienrahmen) beschreiben.

Abbildung 22: Auffindung der genauen Messelementposition innerhalb der Abbildung und Gewinnung von Parametern zur Beschreibung der Begrenzungen des Messnormales

Ausgehend von bereits zu diesem Zeitpunkt bekannten Parametern kann sehr einfach das Ende des immer vorhandenen Startbits der oberen Kodierungslinien durch einen Abtastvorgang erkannt werden. In Verbindung mit anderen bekannten Parametern können dann die Positionen von drei Geraden errechnet werden, deren hochgenaue Abtastung im Bild die Errechnung der drei gesuchten Parameter SzX1, SsY1 und SsY2 in Subpixelgenauigkeit ermöglicht. Aus diesen drei Parametern und dem bekannten Aspektverhältnis kann zusätzlich eine Parameterschar PNXY's errechnet werden, welche die Positionen aller Messlinien des Messnormales für die weitere Verarbeitung genau beschreibt.

Die Parameter SzX1, SsY1 und SsY2 werden über eine Folge von erfassten Videobildern abgespeichert und analysiert. Wurden alle drei Parameter für zwei aufeinanderfolgende Videobilder mit

einer Differenz kleiner 2 μm berechnet, kann davon ausgegangen werden, dass das Bilderfassungssystem während der Aufnahme dieser Videobilder nicht bzw. nur sehr geringfügig zum Messelement bewegt wurde. Befindet sich das Messsystem zugleich im Zustand „es soll gemessen werden“, kann automatisch ein Messvorgang ausgelöst werden. Dazu wird das noch verfügbare vorletzte erfasste Videobild für eine spätere Verarbeitung markiert (siehe 4.8.4. Ergebnisbildung) und das Messverfahren mit dem aktuellen Videobild fortgeführt. Konnte der Messvorgang nicht gestartet werden, wird das vorletzte Videobild verworfen und durch das aktuelle Videobild ersetzt. Die Messelementerkennung startet in diesem Fall mit dem Erhalt eines neuen aktuellen Videobildes von vorn.

4.8.2.4. Auffindung der inneren Messelementstrukturen

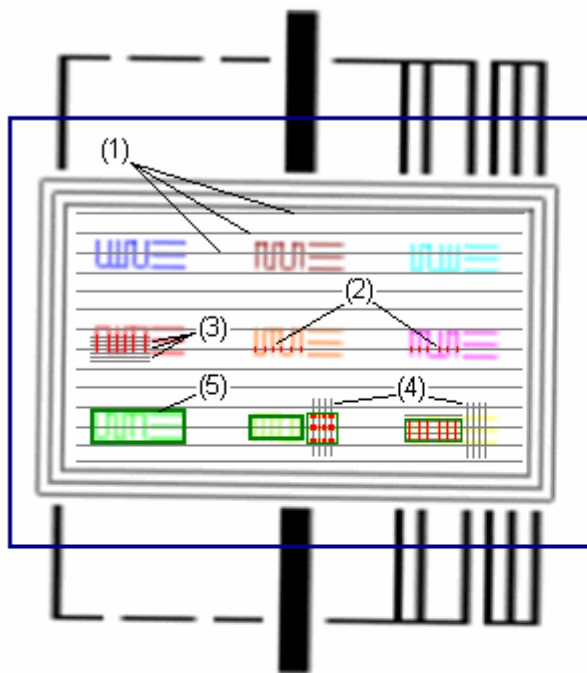
Wird der automatische Messvorgang am aktuell erfassten Videobild ausgelöst, kann mit der Erkennung der inneren Messelementstrukturen fortgefahren werden. An der Messung sind immer mindestens 2 Druckwerke beteiligt. Es ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt, wie viele Druckwerke und an welchen Positionen die Messlinien der Druckwerke vermessen werden sollen.

Das Messelement ist so organisiert, dass zusätzlich zum Normal maximal bis zu neun weitere Druckwerke gleichzeitig vermessen werden können. Um große Messbereiche zu realisieren, ist definiert, dass sich alle dafür erforderlichen Messelementstrukturen pro Druckwerk an beliebiger Position innerhalb des Normales aufhalten können (die Messelementstrukturen müssen einen Mindestabstand aufweisen und dürfen nicht übereinander gedruckt werden). Für die zweifarbige Passermessung können so sehr große Messbereiche zur Verfügung gestellt werden. Für 10 farbige Passermessungen steht durch die Kompaktheit der inneren Messelementstrukturen noch ein Bereich von $\pm 0,5$ mm pro Druckwerk jeweils längs und quer zur Verfügung. Gleichzeitig erfordert diese Vorgehensweise zu erkennen, wie viele Druckwerke an der Passermessung beteiligt sind und an welcher Position innerhalb des Normales ein konkret zuordenbares Druckwerk X gedruckt wurde. Die inneren Messelementstrukturen wurden deshalb nach den Kriterien „Platzbedarf und Messbarkeit“ (geringer Platzbedarf, aber eine ausreichende Anzahl von Messlinien), „einfache Auffindbarkeit“ (geeignete Anordnung der Messlinien) und „sichere Zuordenbarkeit zu Druckwerken“ optimiert:



Abbildung 23: Aufbau der inneren Messelementstrukturen

Durch die Einführung von redundanten Kodierungsstrukturen wird eine sichere Druckwerkszuordnung gewährleistet, die zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt wird. Durch die Anzahl und Anordnung wie auch die gewählten Abstände der Messlinien wird ein einfaches Auffinden der inneren Messelementstrukturen durch einen Abtastvorgang des Videobildes möglich. Um den Suchbereich der noch nicht erkannten Teile der Messelemente einzuschränken, werden die bei der Positionsanalyse mitgewonnenen Parameter der Parameterschar PNXy's zur Beschreibung der Bildpositionen des Messnormales verwendet. Kann in einer Bildzeile das Merkmal „6 Messlinien gleichen definierten Abstands“ gefunden werden, kann dieses Merkmal sofort an Bildzeilen oberhalb und unterhalb der gefundenen Bildposition verifiziert werden. Gelingt dies, wird geprüft, ob in der Zeilenrichtung im definierten Abstand hinter den 6 gefundenen Schnittpunkten 3 horizontale Messlinien aufgefunden werden können. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht diesen Vorgang:



Visualisierung der Methoden zur Auffindung der zu Druckwerken zuordenbaren Messlinien:

In einem Grobscan werden je 6 Linienschnittpunkte gleichen Abstands gesucht,
in einem genaueren Scan wird dieses Ergebnis verifiziert,
es wird an Hand der nun bekannten Positionen gleichzeitig nach horizontalen Messlinienschnittpunkten gesucht,
alle verifizierten Bereiche von Messlinienpositionen werden für die weitere Verarbeitung vorgemerkt und von einer weiteren Linienschnittpunkterkennung des Grobscan ausgeschlossen

- (1) Grob-Scanzeilen (nur angedeutet, Abtastung erfolgt in geringerem Abstand) zur Auffindung von 6 Messlinienschnittpunkten gleichen Abstands
- (2) 6 gefundene Linienschnittpunkte gleichen Abstands
- (3) Präzise Scanzeilen zur Erkennung vertikaler Messelementlinien oberhalb und unterhalb gefundener Linienschnittpunkte zur Positionsverifizierung
- (4) Präzise Scanspalten zur Erkennung horizontaler Messelementlinien basierend auf der Position der vertikalen Messelementlinien, je 3 Schnittpunkte gleicher horizontaler Position müssen gefunden werden
- (5) Erkannte Messlinienposition aller zu einem Druckwerk zuordenbaren Messlinien

Abbildung 24: Visualisierung der Methoden zur Auffindung der inneren Strukturen der 10-Farb Messelemente für den Offsetdruck

Gelingt auch der spaltenweise Abtastvorgang mehrfach erfolgreich, kann der gefundene Bildbereich durch die zuordenbaren Linienschnittpunkte sehr genau markiert und von der weiteren Untersuchung des inneren Messelementbereiches ausgeschlossen werden. Ob sich in dem markierten Messelementbereich tatsächlich eine gültige innere Messelementstruktur verbirgt, kann zu einem späteren Zeitpunkt anhand der eingebrachten redundanten Kodierungsstrukturen genau untersucht werden. Wenn ein Bildbereich gefunden wurde, wird der Abtastvorgang nach 6 Linienschnittpunkten gleichen Abstands innerhalb der gleichen Bildzeile fortgesetzt bis der gesamte innere Messelementbereich abgetastet wurde. Abschließend werden alle Positionen der erkannten Bereiche der inneren Messelementstrukturen zur weiteren Verarbeitung abgespeichert.

4.8.3. Datenaufbereitung

4.8.3.1. Stützpunkterrechnung und Korrektur statischer Abbildungsfehler

Die Abspeicherung der gewonnenen Positionsdaten aller Messliniengruppen erfolgt in Datenstrukturen, die so organisiert sind, dass diese der folgenden Datenaufbereitung und Weiterverarbeitung dienen. Die verwendeten komplexen Datenstrukturen enthalten für jede gefundene Messliniengruppe beispielsweise unter anderem Felder zur Aufnahme von Positionsdaten, Grenzen von Signalen, Stützpunkten, Zuordnungen von Bereichen der Messnormale zu den Messlinien, Kodierungen, Kurvenverläufen und statistischen Parametern. Sie sind so ausgelegt, dass nach einer ersten Initialisierung pro Messvorgang alle im Messverfahren benötigten Parameter den gefundenen Messliniengruppen zuordenbar abgespeichert und weiterverarbeitet werden können.

Vor der Errechnung der eigentlichen Stützpunkte zur Messung ist es nötig, die genauen Grenzen der Signale der unterschiedlichen Messlinien, also die Positionen der Messlinienkanten zu erfassen. Die grobe Position aller Messliniengruppen und des Normales sind zwar zu diesem Zeitpunkt bekannt, jede Messlinie einer Messliniengruppe oder des Normales bzw. der verschiedenen Messrichtungen kann aber durch ihren Herstellungsprozess ein anderes Fehlerbild enthalten. Beispielsweise können Messlinien auf Grund verschiedener Fehlerbilder eine unterschiedliche Amplitude und Breite aufweisen. Die Auffindung der Signalgrenzen an Messlinien erfolgt dementsprechend dynamisch, so dass die Messsignale vollständig inklusive ihres möglichen Fehlerbildes durch den Druckprozess erfasst werden. Durch den gewählten größeren Abstand der Messlinien können die Signalgrenzen jeweils separat pro Messliniengruppe anhand eines Signalverlaufes erstellt werden, der aus zeilen- bzw. spaltenweisen Mittelwerten einer gesamten Messliniengruppe gebildet wird. Gleichartig erfolgt die Auffindung der Signalgrenzen der zugehörigen Messlinien des Messnormales mit Hilfe der Koordinaten einer jeden Messliniengruppe. Eine

Prüfung und Kontrolle aller ermittelten Signalgrenzen erfolgt durch vorgegebene Toleranzen auf der Basis der bekannten Anzahl und Abstände der Messlinien.

Die weitere Verarbeitung der Daten erfolgt in einer Schleife, in der die pro Messliniengruppe organisierten Datenstrukturen um die noch fehlenden Informationen ergänzt werden. Pro Datenblock jeder Messliniengruppe werden alle Informationen zeilenweise zur Erfassung der Daten für die Längsmesswerte und spaltenweise zur Erfassung der Daten für die Quermesswerte erfasst. In diesem Arbeitsgang werden nicht nur die Messlinien der jeweiligen Messliniengruppe erfasst, auch die jeweils zugehörigen Bereiche der Messlinien der Messnormale werden ebenso verarbeitet. Die eigentliche Stützpunkterrechnung erfolgt mittels der vorher bestimmten Signalgrenzen der Messlinien auf der Basis des „halben Integrals“ (siehe auch 4.3.2. Untersetzung der gefundenen Vorgehensweise). Gleichzeitig werden pro Stützpunkt die zur Erstellung des mittleren Kurvenverlaufs notwendigen Daten gesammelt und gespeichert (vereinfacht siehe Anlage 6: Programcodeauszug zur Erstellung der Abbildungen zur Simulation). Alle errechneten Stützpunkte der Messlinien und Normale werden zusätzlich sofort um ihren jeweiligen Betrag zur Korrektur statischer Abbildungsfehler korrigiert, welcher den entsprechenden im System hinterlegten Korrekturfeldern entnommen wird (siehe 4.5.1.2. Gefundene Lösung zur Korrekturfelderstellung).

4.8.3.2. Druckwerkskodierungserkennung

Die Erkennung der Kodierungen zur Zuordnung der Messliniengruppen zu Druckwerken ist von besonderer Bedeutung. Da in der Regel mehrere Druckwerke gleichzeitig gedruckt werden und die zugehörigen Messlinien an unterschiedlicher Position innerhalb der Messelemente aufzufinden sind, kann eine Verwechslung von 2 Druckwerken zu Messfehlern in der Größenordnung des Abstandes der Messlinien der verwechselten Druckwerke führen, also zu Messfehlern auch im Millimeterbereich.

Aus diesem Grund wurden bereits beim Entwurf der inneren Messelementstrukturen entsprechende Maßnahmen zur Vermeidung von Verwechslungen in Form redundanter Kodierungen mit Paritätsbits getroffen (Abbildung siehe 4.8.2.4. Auffindung der inneren Messelementstrukturen). Auf Grund der gewählten Anordnung der Kodierungslinien ist deren Position zu auffindbaren Messliniengruppen sehr genau definiert. Die Längskoordinaten der Kodierungsbits werden durch die sehr genau erfassten 6 Messlinien für die Längsmessung beschrieben, die Querkoordinaten durch 2 der 3 Messlinien für die Quermesswerte.

Durch diese Anordnung lassen sich leicht in den inneren Messelementstrukturen Informationen über gesetzte oder nicht gesetzte Bits der oberen wie auch der unteren invertierten Kodierungen

gewinnen. Ob ein Bit gesetzt ist, kann anhand einer Umfeldanalyse in der Nähe eines Bits erkannt werden, da die Bits immer zwischen zwei gedruckten Messlinien angeordnet sind. Ein mittlerer Schwellwert für den Zustand eines Bits kann so aus dem Mittelwert eines gedruckten Signals direkt auf einer Messlinie und eines Signals innerhalb des nichtbedruckten Zwischenraums zwischen zwei Messlinien innerhalb der Messelementstruktur abgeleitet werden. Die Berechnung der oberen und der unteren invertierten Kodierungsbits erfolgt voneinander unabhängig. Die Schwellwertinformationen werden jeweils in Bitnähe gebildet, damit eine Störung innerhalb der inneren Messelementstruktur nicht die Berechnung der oberen und gleichzeitig auch der unteren invertierten Kodierungsstruktur beeinflussen kann.

Sind alle einzelnen Bits bewertet, werden diese entsprechend des vereinbarten Aufbaus zu zwei Einzelergebnissen zusammengefasst. Der Wert der unteren invertierten Kodierungsstruktur wird in der Verarbeitung rechnerisch wiederholt invertiert. Es erfolgt eine Überprüfung der jeweiligen Paritätsbits. Abschließend können beide Kodierungen miteinander verglichen werden. Nur wenn beide Werte zur Zuordnung einer Messliniengruppe zu einem Druckwerk das gleiche Ergebnis liefern, wird diese Zuordnung auch vorgenommen. In einer zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführten übergeordneten Prüfung der Messergebnisse wird festgestellt, ob erkannte Druckwerkskodierungen von 2 Messliniengruppen mehrfach vorkommen. Ist dies der Fall, werden die entsprechenden zuordenbaren Messergebnisse sofort verworfen, da dieses Mehrfachvorkommen gleicher Druckwerkskodierungen als nicht zulässig definiert wurde.

Gelingt keine redundante Zuordnung einer Messliniengruppe, wird diese vorläufig markiert und normal weiterverarbeitet, bis die aus dieser Messliniengruppe resultierenden Messergebnisse für Längs- und Quermesswerte endgültig bekannt sind. So kann in einer übergeordneten Prüfung durch den Vergleich mit vorher an diesem Messort gemessenen Messwerten festgestellt werden, ob die Messergebnisse der noch nicht zugeordneten Messliniengruppe nicht doch einem Druckwerk X zugeordnet werden können. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn im Vergleich einer mehrfarbigen Messung nur eine Messliniengruppe nicht erkannt werden konnte, die aber in der vorangegangenen Messung konfliktfrei einem Druckwerk X zugeordnet wurde. Stimmt wenigstens eine erkannte Kodierung mit der Zuordnung der vorangegangenen Messung des Druckwerkes X überein und können zusätzlich die Längs- und Quermesswerte beider Messergebnisse mit einer geringen Toleranz verifiziert werden, kann die noch nicht zugeordnete Messliniengruppe mit hoher Wahrscheinlichkeit dem noch fehlenden Druckwerk X zugeordnet werden.

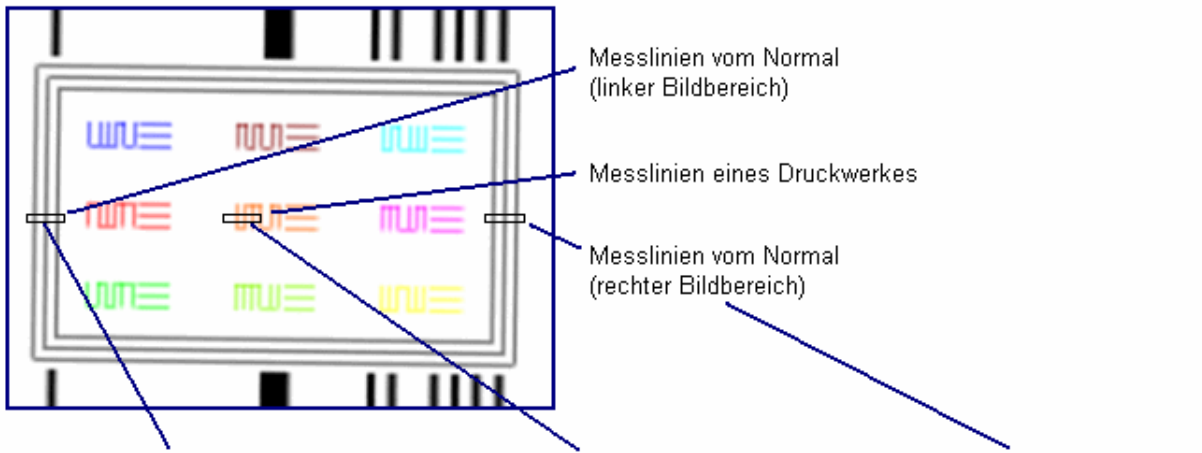
4.8.4. Ergebnisbildung

Vor der endgültigen Anwendung von Verhältnisgleichungen zur Bildung der Endergebnisse müssen die zu diesem Zeitpunkt noch vorläufigen Zwischenergebnisse aller errechneten Stützpunkte der Messlinien und Normale noch verfahrensbedingt korrigiert werden (siehe 4.3.1. Überlegungen zur Erfassung der Ausgangsdaten, Teilung des Problems). Dazu muss zuerst aus allen relativ zu ihrem Stützpunkt abgespeicherten Kurvenverläufen jeweils ein "statistisch mittlerer Kurvenverlauf" gebildet werden, an dem dann der angenommene wahre Messwert abgeleitet wird. Dann werden alle Korrekturwerte gebildet, die sich jeweils aus der Differenz der in den Kurvenverläufen enthaltenen statistisch mittleren Stützpunkten zu den aus den Kurvenverläufen abgeleiteten wahren Messwerten ergeben (siehe auch 4.3.2. Untersetzung der gefundenen Vorgehensweise, Bildung des mittleren approximierten Kurvenverlaufs). Mit den so berechneten Korrekturwerten können dann alle vorläufig gebildeten Stützpunkte verfahrensbedingt korrigiert werden.

Die Bildung dieser Korrekturwerte erfolgt dabei so, dass nur jeweils zusammengehörige Daten (alle Stützpunkte und Kurvenverläufe, die Messlinien jeweils einer Druckfarbe zuordenbar sind) und auch nur im Bildbereich lokal zusammengehörige Daten gemeinsam verarbeitet werden (alle benachbarten Stützpunkte und Kurvenverläufe des Messnormales links der Messlinien, alle benachbarten Stützpunkte und Kurvenverläufe der Messlinien einer Druckwerkskombination und alle benachbarten Stützpunkte und Kurvenverläufe des Messnormales rechts der Messlinien). So wird vermieden, dass eine großflächig verteilte Unschärfe in den Ausgangsdaten Auswirkungen auf das Messergebnis haben kann.

Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Vorgehensweise zur Stützpunktkorrektur und zur Messwertbildung an einem konstruierten vereinfachten Beispiel für Messwerte einer Koordinatenrichtung:

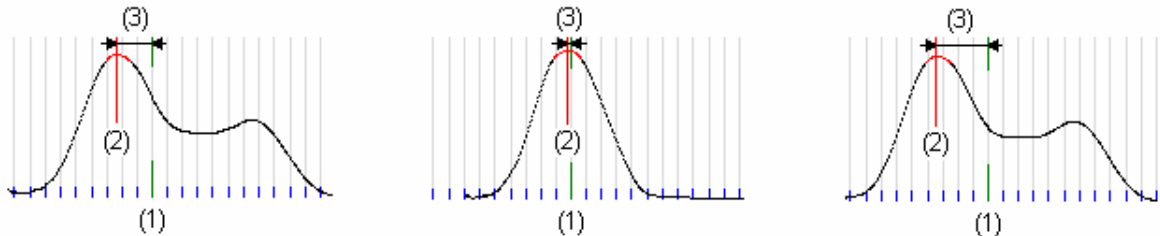
Visualisierung der Methoden zur Stützpunktkorrektur und Messwertbildung am vereinfachten Beispiel



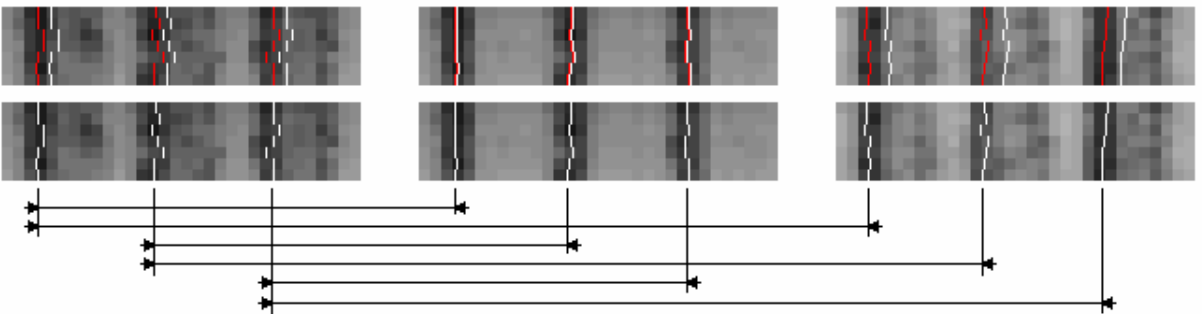
Digitalisierte Messlinien (mit eingeblendeten Stützpunkten) jeweils gleicher Bildzeilen



lokal approximierten Kurvenverläufe (gestreckt) mit statistisch mittleren Stützpunkten (1), angenommenen wahren Messwerten (2) und errechenbaren Korrekturwerten (3)



Vorgang der Stützpunktkorrektur: digitalisierte Messlinien mit eingeblendeten Stützpunkten und mit um die Beträge der Korrekturwerte korrigierten Stützpunkten



Vorgang der Messwertbildung: Aus den nun bekannten korrigierten Stützpunkten und dem bekannten Abstand der Messlinien des Normal können durch Verhältnisgleichungen zeilenweise mehrere Einzelmesswerte gebildet werden, die statistisch zusammengefasst den gesuchten Messwert verkörpern

Abbildung 25: Visualisierung der Stützpunktkorrektur und Messwertbildung

Der Vorgang der Messwertbildung funktioniert dabei entsprechend dem Strahlensatz trotz einer Verdrehung des Messelements zum Bilderfassungsbereich in der gewünschten und definierten Messrichtung rechtwinklich zu den jeweiligen Messlinien. Bei der Zusammenfassung aller Einzelmesswerte pro zuordenbarem Druckwerk zum Messwert erfolgt zusätzlich eine Kontrolle einer Mindestanzahl von Stützpunkten sowie eine Überprüfung auf Ausreißer.

Der letzte Arbeitsgang ist die dem einzelnen Videobild übergeordnete Kontrolle aller gewonnenen Messergebnisse. Dazu werden die Messergebnisse des aktuellen Videobildes temporär abgespeichert und dann mit Messergebnissen verglichen, die aus dem zum Startzeitpunkt der Messung gemerkten vorletzten Videobild entsprechend des aufgezeigten Messverfahrens gleichartig gebildet werden. Weist ein im Vergleich der zwei Videobilder zuordenbarer Längs- oder Quermesswert eine Abweichung größer der angegebenen Messunsicherheit aus, werden jeweils alle zu diesem Messwert gehörenden Längs- und Quermesswerte dieser Druckwerkskombination gelöscht. Passen die den einzelnen Druckwerken zuordenbaren Messwerte genau genug zusammen, wird deren Mittelwert als endgültiges Messergebnis ausgewiesen. Diese Technologie vermeidet Messfehler, die aus sehr selten auftretenden zufälligen Störungen resultieren können (beispielsweise durch eine elektromagnetische Störung, die nur Auswirkung auf eines der zwei erfassten Videobilder Auswirkungen hatte). Praktisch können solche Fehler während des Messvorganges durch eine Fehlermeldung optisch und akustisch erkannt und ggf. durch ein Nachmessen des Messelementes sofort korrigiert werden. Abschließend werden alle nun verifizierten Messergebnisse für die Weiterverarbeitung abgespeichert.

5. Nachweismöglichkeiten zur Prüfung des Messverfahrens

5.1. Grundlagen und Rechtsbestimmungen

Messgeräte, die im geschäftlichen oder amtlichen Verkehr, im Gesundheitsschutz, Arbeitsschutz, Umweltschutz, Strahlenschutz oder im Verkehrswesen verwendet werden, müssen zugelassen und geeicht sein, sofern dies zur Gewährleistung der Messsicherheit erforderlich ist /43/ [siehe §2, Absatz 1]. Die Eichung ist eine besondere Kontrolle der Richtigkeit von Messmitteln durch den Staat /44/. Verbindliche Rechtsgrundlagen zum Eichrecht sind das Eichgesetz /43/ und die Eichordnung /45/, die fortlaufend dem europäischen Recht und dem Stand der Technik angepasst werden /46/ [siehe 2.1 Rechtsgrundlagen].

Einem Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über Messgeräte vom 15.09.2000 ist zu entnehmen: "Zu den Rechtsvorschriften über Messgeräte gehören die Rahmenrichtlinie 71/316/EWG sowie 23 Einzelrichtlinien (16 grundlegende Richtlinien und 7 Richtlinien zur Änderung von Richtlinien), von denen 17 Richtlinien (11 grundlegende Richtlinien und 6 Richtlinien zur Änderung von Richtlinien) außer Kraft gesetzt und durch die vorgeschlagene Richtlinie, die im folgenden als Messgeräterichtlinie bezeichnet wird, ersetzt werden. Es ist möglich, dass zu einem späteren Zeitpunkt weitere Richtlinien außer Kraft gesetzt und in den Anwendungsbereich der Messgeräterichtlinie aufgenommen werden." /47/ [Seite 7, siehe 1.3]. Die Notwendigkeit der Ablösung bestehender Richtlinien wird damit begründet, dass das alte Konzept überholt und fakultativer Natur ist /47/ [Seite 7, siehe 1.4].

Dieser Vorschlag resultiert aus der Erwägung mehrerer Gründe /39/ [siehe Seite 16 -19], soll die einzelstaatliche Gesetzgebung harmonisieren /39/ [siehe 1.1. Kontext] und dient damit dem Schutz einzelner Parteien im Geschäftsverkehr wie auch der Gewährleistung des Funktionierens von Handelsmärkten /39/ [siehe 1.2. Marktmerkmale]. "Messgeräte können für verschiedene Messaufgaben zum Einsatz kommen; diejenigen, die im öffentlichem Interesse begründet sind und das tägliche Leben der Bürger auf vielfältige Weise direkt und indirekt beeinflussen, erfordern die Verwendung amtlich kontrollierter Messgeräte." /39/ [siehe Seite 16 Punkt (2)].

Im Fall der Passermessung mit einem Messgerät nach dem aufgezeigten Verfahren ist eine direkte Anbindung an diese Richtlinie wie auch an das Eichgesetz aus mehreren Gründen nicht sinnvoll:

- Die Passermessung kann nur in seltenen Einzelfällen dem Schutz einzelner Parteien im Geschäftsverkehr dienen, beispielsweise bei der Schlichtung von Streitfällen. Ein öffentliches Interesse oder aber eine das tägliche Leben der Bürger auf vielfältige Weise direkt und indirekt beeinflussende Wirkung der Passermessung kann nicht unterstellt werden.
- Der Geltungsbereich des Vorschlages über eine Richtlinie über Messgeräte /39/ [siehe Seite 20 Artikel 1 und Anhänge MI-001 bis MI-011] bzw. des Eichgesetzes /43/ [siehe Anhang A und Anlagen 1 - 23 oder] /46/ [siehe Anhang Zulassungspflichtige Messgeräte nach der Eichordnung] kann nicht auf Messgeräte zur Passermessung angewendet werden.
- Eine Eichung eines Passermessgerätes nach dem aufgezeigten Verfahren im Sinn der Gewährleistung der erzielbaren Messsicherheit ist praktisch nicht möglich. Voraussetzung für eine Kontrolle der Richtigkeit von Messmitteln ist die Möglichkeit deren Prüfung. Bei einer Prüfung eines Messgerätes wird festgestellt, inwieweit ein Messgerät eine Forderung erfüllt /39/ [siehe 5.13]. Im Fall von Messgeräten betreffen die festgelegten oder vereinbarten Forderungen im Besonderen die Messabweichungen /48/ [siehe 1.2.3], deren Beträge nicht die Fehlergrenzen /48/ [siehe 5.12] überschreiten dürfen /39/ [siehe 5.13, Bemerkung 1]. Prüfobjekt zur Prüfung kann in diesem Fall ein Probekörper (ein Normal), eine Probe oder auch ein Messgerät sein /39/ [siehe 2.1.4 Anmerkung 2 und Bemerkung 1]. Entscheidend für eine Prüfung sind die aufgestellten Forderungen wie auch die Verfügbarkeit geeigneter Prüfobjekte. Sind keine geeigneten Prüfobjekte im Bereich sinnvoller Forderungen bekannt und verfügbar, verhindert dies auch eine entsprechende Prüfung in diesem Bereich. In Konsequenz daraus ergibt sich im Fall von Messgeräten mit einer bislang nicht erreichten Messunsicherheit, dass sich die angegebene und überprüfbare Messunsicherheit von der angenommenen Messunsicherheit unterscheiden kann.

Im Interesse der Anwender von Messgeräten gilt natürlich immer, dass vorgeschlagene Methoden zur Qualitätssicherung und Kontrolle von Messgeräten auch außerhalb des Geltungsbereiches metrologischer Rechtsvorschriften bestmöglich umgesetzt werden sollten. Auch in Grenzfällen sollte eine Rückführbarkeit der Messergebnisse auf internationale Normale gewährt werden, soweit dies technisch machbar ist.

Auch aus anderen, ähnlichen Vorschriften zu Messverfahren und Prüfmethoden können zweckdienliche Hinweise für neuartige Messverfahren abgeleitet werden. Beispielsweise seien Vorschriften der VDI / VDE - Richtlinien vom "Verein Deutscher Ingenieure und dem Verband Deutscher Elektrotechniker" benannt. Die VDI / VDE - Richtlinie 2617, Blatt 6, beschreibt die "Genauigkeit von Koordinatenmeßgeräten, Kenngrößen und deren Prüfung, Koordinatenmeßgeräte mit optischer Antastung, Grundlagen". Allgemein wird formuliert: "Jeder Betreiber muß sicher sein, daß das eingesetzte Koordinatenmeßgerät die geforderte Leistung erbringt. Insbesondere darf die maximal zulässige Meßunsicherheit nicht überschritten werden. Nur durch vergleichbare Abnahmekriterien und eine regelmäßige Überwachung der Geräte kann dies auf Dauer gewährleistet werden. Die Verantwortung hierfür liegt zum einen beim Gerätehersteller, zum anderen beim Betreiber des Koordinatenmeßgeräts." /49/ [siehe Vorbemerkungen]. In Blatt 6.1 dieser Richtlinie werden optische Sensorarten zur Koordinatenmessung beschrieben wie auch allgemeine optische Einflüsse und sensorspezifische Einflüsse zur Vermeidung von Antastabweichung durch optische Punkt- und Bildsensoren aufgezeigt: "Sensoren mit Bildverarbeitung: Eine wesentliche Bedingung für genaue Messungen ist das richtige Einmessen des Sensors nach Vorschrift des Herstellers. Beim Einmessen werden in Abhängigkeit von den Eigenschaften des optischen Systems und von den Genauigkeitsanforderungen entweder nur der Abbildungsmaßstab oder der Abbildungsmaßstab und die Verzeichnungsfunktion der optischen Abbildung ermittelt." /50/.

Verallgemeinert man diese Richtlinien, lässt sich ableiten, dass insbesondere für neuartige Messsysteme präzise Messvorschriften und Vorschriften zum Einmessen zu erarbeiten sind. Weiterhin sind Prüfmethoden zu finden, die eine regelmäßige Überwachung dieser Systeme ermöglichen. Gleichzeitig sind immer geltende Rechtsbestimmungen zu beachten, wie beispielsweise national oder international teilweise unterschiedlich geforderte Konformitätserklärungen. Anlage 22 zeigt die Konformitätserklärung eines Passermessgerätes vom Typ LUCHS II vom 3.1.2001 incl. eines Zertifikates über vorgenommene Prüfungen. Anlage 23 zeigt die Messvorschrift des Passermesssystem LUCHS (Stand November 2002).

5.2. Vergleichsmöglichkeiten

Aus den genannten Gründen wurden viele Anstrengungen unternommen, die ermittelbaren Messwerte der gefundenen Lösung zur Passermessung einer genaueren Prüfung unterziehen zu können. Die wohl gängigste Möglichkeit der Überprüfung der Messunsicherheit eines Messgerätes ist die Gegenüberstellung erzielbarer Messwerte mit bekannten Messwerten. Durch eine solche Gegenüberstellung können Messfehler ermittelt werden. (Als Messfehler werden alle Abweichungen eines durch eine Messung gewonnenen Wertes von einem als richtig geltenden Wert, z.B. dem wahren Wert (siehe auch /48/ unter 1.3) oder einem durch ein Normal (siehe auch /39/ unter 4.7) gesicherten Wert verstanden /44/ [Seite 304]. Dabei kann nach Herkunftsbereichen in systematische, zufällige und grobe Messfehler unterschieden werden /44/ [Seite 305].).

Dieser Vergleich kann mit geeichten "Normalen" oder mit Messwerten ähnlicher Messgeräte mit bekannter Messunsicherheit erzielt werden. Um einen solchen Vergleich zu organisieren, wurde eine Prüfvorrichtung entwickelt, die einen direkten Vergleich von Messwerten des Passermesssystems mit denen eines mechanischen Vergleichsmesssystems gestattet:

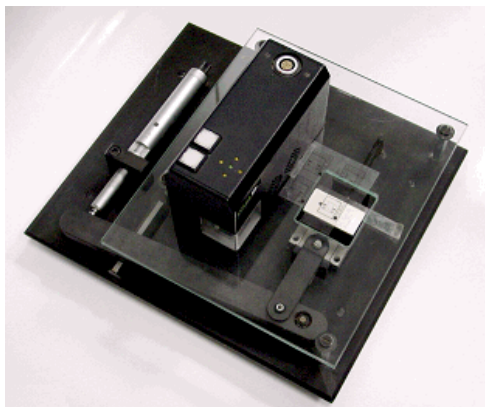


Abbildung 26: Prüfvorrichtung mit aufgesetztem Messkopf, Vergleichsmesssystem nicht montiert

Auf der Prüfvorrichtung kann unter Laborbedingungen ein in seine Bestandteile Messnormal und Messlinien geteiltes Messelement definiert beeinflusst werden. Die Messlinien können in der Prüfvorrichtung mittels einer Mikrometerschraube definiert auf einem Messschlitten zu dem starr angeordneten Messnormal bewegt werden. Gleichzeitig können die Messwerte von einem aufgesetzten Passermesssystem und einem am Messschlitten montierten Vergleichsmesssystem erfasst und gegenübergestellt werden. Ein so organisierter Vergleich unterliegt bereits auf Grund der konkreten mechanischen Ausführung vielen Fehlerpotentialen. Eine umsichtige Arbeitsweise vorausgesetzt, können dennoch grundsätzliche Aussagen zum Kennlinienverhalten oder zur Funktionsfähigkeit des Messsystems über größeren Messbereichen abgeleitet werden. Das Vorhandensein grober Fehler

kann zumindest unter den real definierten Bedingungen ausgeschlossen werden, da die mechanischen Bewegungen des Messschlittens an beiden Messeinrichtungen erfasst und zueinander verglichen werden können.

Die ableitbaren Aussagen helfen, das Messsystem hinsichtlich verschiedener Fehlermöglichkeiten zu prüfen und zu bewerten (absolute Messwerte, Kennlinienverhalten über den gesamten Messbereich etc.). Allein auf Grund des erforderlichen Aufwandes zur Prüfung stellt diese Prüfeinrichtung keine praktikable Option für eine vom Gerätebetreiber durchführbare regelmäßige Kontrolle des Messsystems dar. Es musste eine einfachere Methode gefunden werden, die Grundfunktionalität des Messsystems nachweisbar prüfen zu können.

Zur Prüfung der Mindestfunktionalität des Passermesssystems wurden deshalb hochgenaue Normale aus Glas gefertigt und entsprechend zertifiziert (siehe Anlage 24). Diese Normale entsprechen in ihrem Aufbau dem der Messelemente des Passermesssystems und können so auch direkt mit dem Passermesssystem vermessen werden.



Abbildung 27: Glasmaß in Transportverpackung

Der Prüfvorgang ist nach einer Prüfvorschrift einfach und schnell durchführbar. Die erhaltenen Prüfergebnisse können sofort mit dem Messgerät selbst als fertiges Protokoll dokumentiert werden. Anlage 25 zeigt ein konkretes Prüfprotokoll der Prüfung eines Passermesssystems LUCHS mit einem Glasmaß. In diesem Prüfprotokoll werden neben den Messwerten auch weitere ermittelbare Kenngrößen mit den vom Hersteller vorgegebenen Kenngrößen dargestellt und verglichen.

Mit einer erfolgreichen Überprüfung eines Passermesssystems mit einem zertifizierten Glasmaß liegt ein Nachweis über die Rückführung des Messergebnis dieses Systems auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI) vor. Problematisch ist, dass die zertifizierten Glasnormale gedruckten Messelementen nur ähnlich sind,

da diese keine Druckfehler enthalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass annähernd ideale Messelemente mit dem ermittelten Fehler vermessen werden können. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass gedruckte Messelemente schlechterer Druckqualität mit gleicher Messunsicherheit vermessen werden können. Nachteilig ist weiterhin, dass die Prüfung durch die Ausgestaltung der Normale nur an Stützstellen innerhalb der möglichen Messbereiche erfolgen kann. Eine vollständige Beurteilung aller Fehlerpotentiale der Messeinrichtung ist mit dieser Prüfmethode nicht möglich. Die Richtigkeit des im Messgerät implementierten Prüfverfahrens kann durch eine einfache Gegenprobe, beispielsweise mittels manipulierter Normale, überprüft werden.

Ein noch einfacherer Nachweis einer Mindestfunktionalität des Systems kann die Ermittlung der Wiederholgenauigkeit von Messergebnissen sein. Der einfachste Fall einer Wiederholungsmessung liegt vor, wenn ein beliebiges Messelement immer wieder in Folge gemessen wird. Weitere Möglichkeiten sind in der Wiederholung komplexerer Auswertungen oder der Wiederholung von Messungen mit anderen Messgeräten oder nach großen Zeiträumen zu sehen. Anlage 19 zeigt Wiederholungsmessungen am Beispiel des Vergleiches absoluter Messwerte gleicher Messelemente über vier Jahre, gemessen mit 80 verschiedenen Messgeräten teilweise unterschiedlicher Konfiguration. Dieser Test gestattet Aussagen über die erreichte Qualität der Messwerte über die im Test enthaltenen Parameter. Vollständige Aussagen zu zufälligen oder systematischen Fehleranteilen sind nicht erhältlich, da diese auf Grund des unbekanntes wahren Messwertes der vermessenen Messelemente nicht analysiert werden können. Trotz dieses Mangels kann mittels Wiederholungsmessungen zumindest der Zustand eines konkreten Messsystems überwacht werden. Wird eine solche Messung mit dem geprüften Zustand eines Meßsystems begonnen, können Zustandsänderungen erkannt werden und damit auch Maßnahmen zur genaueren Kontrolle dieses Sachverhaltes ergriffen werden.

5.3. Komplexprüfverfahren „LQ-Arraydruck“

Im Fall der Passermessung nach dem aufgezeigten Verfahren kann der Einfluss zufälliger Fehler auf das Messergebnis nicht allein mit den Mitteln der einfachen Wiederholungsmessung an ein und demselben Messelement gewonnen werden. Die Wiederholungsmessung an ein und demselben Messelement beruht letztlich immer auf der Vermessung der gleichen, im Messelement enthaltenen Informationen. Diese verkörpern nicht unbedingt die gesuchten Informationen, im Besonderen dann nicht, wenn bekannt ist, dass gerade bei der Erzeugung der Messelemente weitere Fehler entstehen können. Die gedruckten Normale oder Messlinien können beispielsweise durch Druckfehler oder die Bedruckstoffeigenschaften beschädigt werden.

Um das Maß dieser Einflüsse auf die Messergebnisse zu werten, kann nur eine vergleichende Gegenüberstellung von einander nicht direkt abhängiger Messungen, die dennoch alle diese Fehler enthalten müssen, herangezogen werden. Genau hier hilft das Hauptmerkmal des Druckens, die Vervielfältigung von Informationen auf flächigen Bedruckstoffen. Im Fall einer ideal eingestellten Druckmaschine sollten im gleichen Druckvorgang benachbart gedruckte Messelemente auch zu den gleichen Messergebnissen führen. Im Fall nicht ideal eingestellter Druckmaschinen sollten eng benachbart angeordnete Messelemente zumindest zu ähnlichen Messergebnissen gelangen. Messungen an benachbart angeordneten Messelementen können Abweichungen aufweisen. Diese resultieren nur zum Teil aus der Anordnung der Messelemente. Findet während des Druckvorgangs zwischen zwei Druckwerken eine leichte Verdrehung des Bedruckstoffes statt, werden die Messwerte dieser Messelemente beeinflusst. Solche Abweichungen lassen sich durch die Gegenüberstellung von mehr als zwei Messelementen abschätzen, wenn die auftretenden Abweichungen einen direkten Bezug zur Anordnung der Messelemente aufweisen. Wesentlich sind jedoch die Abweichungen, die das Maß aller zufälligen Fehler durch den Druck der Messelemente darstellen. Dazu zählen Abweichungen, die aus Fehlern an den Messelementen oder aus Störungen im Bedruckstoff resultieren. Durch eine unabhängige, pro Messelement separate Messwernerfassung sollten diese erkannt werden können.

Mit der Entwicklung des ersten Messverfahrens zur Passermessung "Druck zu Druck" wurde eine erste einfache Methodik zur Analyse dieser Fehlermöglichkeiten gefunden, ein als ARRAY - Druck bezeichnetes Testverfahren. Anlage 26 zeigt schematisch das dafür entwickelte Messelement, das im Wesentlichen aus 9 im Raster 3 mal 3 nahe beieinander angeordneten gleichartigen 5 farbigen Messelementen (Schwarz, Cyan, Magenta, Gelb, Grün) besteht.

Zur Prüfung der Summe der zufälligen Messfehler wurde wie folgt vorgegangen: Eine Stichprobe im Druck aufeinander folgender Bogen wurde an allen 9 Messelementen gleichartig vermessen; die jeweils vergleichbaren relativen Messwertkombinationen wurden gegenübergestellt. Dazu wurden aus allen Messwertkombinationen (Schwarz zu Cyan, Schwarz zu Gelb, Cyan zu Gelb etc.) über die Stichprobe auf ihren jeweiligen Mittelwert normierte Kurvenzüge erstellt. Als jeweils angenommener wahrer Messwert wurde der jeweilige Mittelwert der vergleichbar zuordenbaren Einzelwerte pro Bogen aus dem normiertem Kurvenzug ermittelt. Die Differenzen dieser Einzelwerte zu ihrem angenommenen wahren Messwert wurden in einer Häufigkeitsverteilung zusammengefasst. Da die Messergebnisse von mehreren Messorten miteinander verrechnet gegenübergestellt werden, zeigt diese Häufigkeitsverteilung die Streuung der Messwerte inklusive aller durch den Druck und die Bedruckstoffeigenschaften resultierenden zufälligen Fehler. Die gefundene Methode ist der einfachen Wiederholmessung weit überlegen, da nicht immer die gleichen, in einem Messelement

enthaltenen Informationen vermessen werden, sondern auch die Informationen, die aus verschiedenen nebeneinander gedruckten Messelementen resultieren.

Mit der Weiterentwicklung und Verbesserung des Messverfahren wie auch der Einführung der Fähigkeit, in Längs- und Querrichtung gleichzeitig messen zu können, konnte das ARRAY - Druck Testverfahren verbessert werden. Das „LQ – Arraydruck“ Testverfahren (LQ steht für Längs und Quer) wurde entwickelt. Dieses Testverfahren basiert auf dem gleichen Prinzip, stellt aber eine erhebliche Aufweitung miteinander direkt vergleichbarer Messwerte dar. Es werden 4 normalerweise 10 farbige Messelemente verwendet, die in nur 5 Farben gedruckt werden und um jeweils 90 ° im Uhrzeigersinn gedreht im Viereck angeordnet sind. Anlage 26 zeigt schematisch das entwickelte LQ - ARRAY - Testdruckelement. Durch die gewählte Anordnung können erheblich mehr Kriterien zum Vergleich verwendet werden, die durch zusätzliche Erschwernisse über einen nur einfachen Vergleich pro Messelement gedruckter Informationen weit hinausgehen. Folgende Vergleichsmöglichkeiten ergeben sich:

Vergleich	Erschwernis
verschiedene Messlinien und gedruckte Normale	Messlinien sind mehrfach in verschiedenen Teilbereichen des Messelements angeordnet, Messlinien und gedruckte Normale unterschiedlicher Messelemente werden verglichen
verschiedene Informationsmengen	6 kurze Messlinien vom Messverfahren Längs bzw. 3 längere Messlinien vom Messverfahren Quer
verschiedene Messverfahren	verschiedene Anzahl der Messlinien Längs und Quer, andere Abstände der gedruckten Normale Längs und Quer, Zeilenweise oder Spaltenweise Messung innerhalb der Messeinrichtung
verschiedene Sensorauflösungen	die logischen Pixel sind nicht quadratisch, Anzahl der Pixel Längs und Quer unterschiedlich
verschiedene Messrichtungen	durch die Verdrehung der Messelemente und der Erfassungseinrichtung bezüglich der Druckrichtung werden die Signale einmal in Druckrichtung und zum anderen entgegen der Druckrichtung analysiert

Tabelle 3: Vergleichsmöglichkeiten beim LQ-Arraydruck Testverfahren

Die im Prinzip des einfachen ARRAY - Testdruckverfahrens gefundenen Vergleichsmöglichkeiten, wie die Analyse der Einflüsse verschiedener Farben oder der Vergleich direkt oder nur indirekt erzeugbarer Messwerte, bleiben voll erhalten. Anlage 27 zeigt tabellarisch die Vergleichsmöglichkeiten, die in der Praxis zur Auswertung für einen LQ - Arraydruck verwendet werden (aus technischen Gründen werden nicht alle Vergleichskombinationen miteinander verglichen).

Die notwendigen Berechnungsalgorithmen des LQ - ARRAY - Testdruckverfahrens wurden als fester Bestandteil der Software in das Passermesssystem LUCHS integriert. Der realisierte Prüfmechanismus wurde dabei so organisiert, dass auch LQ - ARRAY - Testdruckauswertungen mehrerer Messgeräte über Messdatenexport- und Messdatenimportfunktionen zusammengeführt und direkt miteinander verglichen werden können. Im Fall des Vergleiches von 2 oder mehreren Messgeräten werden nicht einfach die Fehlerverteilungen der Einzelgeräte summiert, der der Ergebnisberechnung zugrundeliegende wahre Wert wird immer aus allen jeweils zusammenlegbaren Kurvenzügen gebildet und erst dann die Häufigkeitsverteilung zum jeweils angenommenen wahren Wert gebildet. So werden in der vergleichenden Gesamtaussage denkbare Fehlerrisikofaktoren vermieden, die daraus resultieren können, dass Messsystem A wie auch Messsystem B ein jeweils gutes Messergebnis ausweisen, sich beide Messergebnisse aber voneinander unterscheiden. Durch die gewählte Vorgehensweise werden auch gerätespezifische systematische Fehleranteile erkannt.

Anlage 28 stellt das Gesamtergebnis der zusammengeführten Messwerte einer LQ - Arraydruckprobe namens "leichtes Dublieren" über 28 jeweils unterschiedliche Messgeräte dar, das über einen Zeitraum von 5 Jahren an ein und derselben Druckprobe gebildet wurde. Das "leichte Dublieren" ist für das Messsystem technologisch besonders schwer zu bewerten, da die "Dubliererschatten" an den Messlinien noch Teil der Messlinien sind und nicht neben den ca. 30 µm breiten Messlinien erscheinen (eine solche Signaltrennung wäre einfacher zu bewerten). Die verwendeten Messgeräte unterlagen wie auch die Druckprobe dem Wandel der Zeit. Verschiedene Computer- und Betriebssysteme, Softwareversionen, angepasste Kamerasysteme, Framegrabber unterschiedlicher Generationen oder grundverschiedene Beleuchtungseinrichtungen der Messköpfe wurden in dieser Auswertung direkt miteinander verglichen. Dieser Vergleich beruht auf der Annahme von 420 (30 Bogen * 14 Messwertekombinationen) verschiedenen wahren Messwerten, die aus 14 vergleichbaren Messwertekombinationen gebildet wurden, welche wiederum aus 100800 Einzelmesswerten gebildet und vergleichend miteinander verrechnet wurden. Weitere Auswertungen wurden unter Verwendung anderer Materialien (anderer Bedruckstoffe) und anderer Einstellungen zum Druck (zu viel Farbe, zu wenig Farbe, andere Druckfehler) mit ähnlichen Ergebnissen durchgeführt (Standardabweichungen der Fehlerverteilungen von ca. 0,6 µm bis 1,3 µm).

Da das gefundene Testverfahren nicht nur die Summe der zufälligen Fehler durch reine Wiederholmessungen beinhaltet, sondern auch eine Reihe systematischer Fehleranteile (geräte-, verfahrens-, auflösungs-, messrichtungs-, messelement- und messortübergreifende Bewertung) bewertet, gehört es auch zum Pflichtenheft zur Kontrolle eines jeden Passermesssystems LUCHS. Diese Form der Kontrolle bewährte sich bestens seit der Einführung dieses Messsystems (1997). Bei der Qualitäts-

prüfung der Messgeräte in der Serienfertigung konnten in Einzelfällen Ausreißer gefunden werden, die mit anderen Testverfahren nicht erkannt werden konnten. Entsprechende Nacharbeiten wie der Austausch von Komponenten oder die Nachjustierungen des optischen Systems konnten angestoßen werden.

Die Richtigkeit der Implementierung der Funktionalität des LQ - ARRAY - Testdruckverfahrens im Messgerät lässt sich sehr einfach nachweisen: Innerhalb einer zu messenden Stichprobe zum Test werden vorsätzlich die Messwerte von M1 auf Probebogen 1 durch die Messwerte M1 von Probebogen X ersetzt. Wenn sich diese Messwerte voneinander unterscheiden, ahndet das Prüfverfahren diesen Verstoß sofort durch eine entsprechend schlechtere Häufigkeitsverteilung zum angenommenen wahren Wert und damit auch durch zahlreiche ausgewiesene Ausreißer. Die messgeräteübergreifende Bewertung kann gleichartig durch die Zusammenführung von 2 unterschiedlichen LQ - ARRAY - Testprüfungen nachgewiesen werden.

5.4. Bewertung angewandeter Prüfverfahren

Es wurden vielfältige Anstrengungen unternommen, die Messunsicherheit eines Messsystems zur Passermessung kritisch zu bewerten. Die konkret erarbeiteten oder bekannten wesentlichen Prüfmöglichkeiten basieren immer auf Vergleichsmessungen und repräsentieren beispielhaft in ihrer Kombination den bislang erreichten Stand der Technik:

- Vergleichmesseinrichtung zur Kontrolle des Messsystems mit Hilfe eines Vergleichsmesssystems unter Laborbedingungen bei Anwendung angenommener idealer Normale
- Glasmaß zur einfachen Kontrolle des Messsystems in der Praxis an angenommenen idealen und geprüften Normalen
- Komplexprüfverfahren „LQ – Arraydruck“ zur Bewertung verschiedener systematischer und zufälliger Fehler an praxisrelevanten Testdrucken

Dennoch können die Möglichkeiten zur Überprüfung von Passermesssystemen keinesfalls als "ausreichend gelöstes Problem" angesehen werden. An allen einzelnen Prüfmöglichkeiten können Mängel gefunden werden, die auch durch die Kombination dieser Verfahren nicht kompensiert werden können. Die Erfassung von Messfehlern ist unter dem vorhandenen Umfeld problematisch, da der "wahre Messwert" zur Zeit nicht uneindeutig vollständig ermittelt und beschrieben werden kann.

Gerade im Sonderfall eines nicht genau definierbaren Messgegenstandes können systematische Fehler sehr schwer zu finden oder nicht zu erkennen sein. Eine gedruckte Messlinie enthält unter Umständen Fehler, die durch ihren Herstellungsprozess bedingt sind (ungleichmäßige optische Dichte, systematisch ungleichmäßige optische Dichte, unscharfe Außenkonturen, fehlerbehafteter Bedruckstoff etc.). Diese Fehler können zu systematischen Fehlern bei der Bildung von Messergebnissen führen.

"Da der systematische Fehler reproduzierbar ist, kann er durch eine Eichung bestimmt und bei der Auswertung korrigiert werden." /38/ [Seite 32]. Eine derartige Eichung setzt allerdings voraus, dass der wahre Wert bekannt ist. Es muss ein entsprechendes Normal verfügbar sein. Können nur vergleichbar ähnliche Normale zur Eichung verwendet werden, beispielsweise Normale, die den Informationsgehalt des Messgegenstandes nicht vollständig repräsentieren (Glasmaß), muss eine Unsicherheit bezüglich systematischer Fehler verbleiben.

Für eine endgültige und vollständige Bewertung der Genauigkeit von Messergebnissen im Sinn der Passermessung wären also zwangsläufig Normale erforderlich, die idealisiert den Druck von Messlinien vollständig nachbilden können. Derartige Normale müssten also auch die verschiedenartigen Druckfehler möglichst in beliebiger Kombination miteinander enthalten können. Allein für den Fall des „Schiebens und Dublierens“ /29/ ist kein solches Normal bekannt bzw. definiert. Gleiches gilt für das „Tonen“ /29/, das „Zugehen“ /29/ oder für die Auswirkungen von Bedruckstoff- oder Farbeigenschaften. Da diese Fehlermöglichkeiten auch in gedruckten Messlinien enthalten sein können, wäre auch eine Überprüfung ihrer Auswirkungen auf ein Messergebnis unumgänglich. Bislang ist keine Methode bekannt, wie dem aufgezeigten Problem begegnet werden könnte.

Zufällige Fehler können an den Schwankungen der Messwerte bei Wiederholungen der Messung erkannt werden. Die Messwerte können in einem bestimmten Bereich um einen Mittelwert streuen. Kann dieser Bereich durch eine Verteilungsfunktion statistisch gesichert beschrieben werden, können zumindest statistische Aussagen zum Maß der zufälligen Fehler abgeleitet werden. Beispielsweise kann formuliert werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Messwert innerhalb einer bestimmten Toleranz ermittelt werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass solche Angaben wiederum keine systematischen Fehler beinhalten und auch von Aufwand und Qualität der statistischen Sicherung abhängen.

Es folgt, dass die Angabe einer Messunsicherheit nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Dieser Fakt kann bei der Anwendung automatisierter Bildanalyseverfahren in Verbindung mit einem fehlerbehafteten Ausgangsdatenbestand problematisch sein. Es ist praktisch

nicht ausgeschlossen, dass in der Zukunft auftretende konkrete Messreihen mit nicht vorhersehbarem Fehlerbild in jedem Fall richtig analysiert werden, da auch grobe Fehler bei der Implementierung eines komplexen Messverfahrens nicht vollständig ausgeschlossen werden können.

Die bislang gefundenen Methoden zur Bewertung von Passermesssystemen sind zwar nicht zufrieden stellend, repräsentieren jedoch den aktuellen Stand der Technik. Über einen langen Zeitraum wurde der Messung mit Noniuselementen schon allein auf Grund der integrierten Skalenteilung eine subjektive Messunsicherheit von $\pm 5 \mu\text{m}$ bis $\pm 10 \mu\text{m}$ unterstellt (/25/ [Seite 3] oder /12/). Die Anwendung von Vergleichsmesseinrichtungen und Glassnormalen sowie das heute zur Verfügung stehende Prüfverfahren „LQ-Arraydruck“ sind Annahmen und Unterstellungen sicher überlegen, stellen aber wie aufgezeigt nur eine Ausgangsbasis für weitere Entwicklungen dar. Ein Schub in der Weiterentwicklung entsprechender Prüfverfahren für die Passermessung kann wohl erst dann erwartet werden, wenn ein neues, gleichartiges oder nochmals verbessertes Passermesssystem zur Verfügung steht.

6. Andere Anwendungsgebiete, Schlussfolgerungen und Zukunftsaussichten

6.1. Anwendung in anderen Gebieten

Die aufgezeigten Methoden der Erfassung und Korrektur von „Messlinien in Messelementen“ mittels konventioneller Videotechnik können in abgewandelter Form auch in anderen Gebieten als der Passermessung an Druckmaschinen eingesetzt werden.

Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten sind denkbar. Beispielsweise kann die optische und damit berührungslose Längenmessung eine sehr genaue Positionsmessung an Systemen ermöglichen, die sehr hohen Temperaturschwankungen unterliegen bzw. bei sehr hohen oder niedrigen Temperaturen ausgeführt werden müssen. Dies funktioniert immer dann, wenn die eingesetzten Messelemente und/oder das Messverfahren so gestaltet werden, dass das Dehnungsverhalten der Messelemente keine Auswirkungen auf das Messergebnis hat. Durch einen geeigneten Strahlengang und eine Temperaturisolierung lässt sich die eingesetzte Videotechnik vor Schädigungen bewahren.

Von Vorteil ist, dass optische Messverfahren durch unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe in technischen Grenzen skalierbar sind. Auch durch eine proportionale Verkleinerung des Messelementes und der dazu gehörigen optischen Messelementerfassung kann die Auflösung der Messergebnisse bei einer gleichzeitigen Verringerung der Messbereiche erhöht werden. Mit Technologien, die bei der Herstellung von Mikroprozessoren Anwendung finden, können sehr kleine Mess-elementstrukturen auf geeigneten Oberflächen erzeugt werden. Eine mikroskopische Bilderfassung

vorausgesetzt, können verkleinerte Messelemente eine problemlose Längenmessung mit Videotechnik bis in den Nanometerbereich gestatten.

Ein anderes konkretes Beispiel der Anwendung von Teilen der vorgestellten Messtechnologie befindet sich zur Zeit am Sächsischen Institut für die Druckindustrie in der Entwicklungsphase. Es wird ein System entwickelt, mit dem Druckplatten hochgenau zum Druckbild auf der Druckplatte in einer entsprechenden Druckplattenstanzeinrichtung gestanzt werden können. Durch die dann exakten Stanzungen der Passlöcher des Passsystems können die Druckplatten genauer in die Druckmaschine eingezogen werden. Im Resultat muss der Drucker an der Druckmaschine weniger Registerverstellungen bis zum qualitativ hochwertigen Fortdruck vornehmen.

Dies wird dadurch realisiert, dass eine herkömmliche Druckplattenstanzeinrichtung um 2 Videosensorensysteme, eine hochgenaue Positioniereinrichtung, einen Industriecomputer, eine Steuerung und eine Bedieneinheit erweitert wird. Die zwei Videosensorensysteme werden in der Nähe der Stanzwerkzeuge starr so angeordnet, dass sie die Position von zwei auf jeder Druckplatte befindlichen speziellen Messelementen hochgenau erfassen und mit Vorgaben vergleichen können. Dazu werden die vorgestellten Bildanalysetechnologien zur subpixelgenauen Signalerfassung an Messlinien angewendet. Die aus kodierten Linienstrukturen bestehenden Messelemente werden während des Herstellungsprozesses der Druckplatten an definierter Position gleichzeitig mit dem späteren Druckbild erzeugt. Nach jeder Vermessung der XY-Position beider Messelemente bewegt das Positioniersystem dann die Druckplatte relativ zu den Stanzwerkzeugen, bis eine bestmögliche Übereinstimmung zu einer definierten Vorgabeposition erreicht wird. Ist der iterative Mess- und Positioniervorgang und damit auch die Ausrichtung der Druckplatte nach ihrem Druckbild zu den Stanzwerkzeugen abgeschlossen, kann die Druckplatte exakt gestanzt werden. Ein funktionsfähiger Prototyp eines solchen Stanzsystems wurde vom Sächsischen Institut für die Druckindustrie auf der DRUPA 2004 ausgestellt.

Als ein abschließendes Beispiel soll eine Idee vorgeschlagen werden, die daraus resultiert, dass mit einem Messsystem robust und über längere Zeiträume viele im Vergleich zum Messsystem einfach herstellbare Messelemente sehr genau ausgemessen werden können.

So ist es denkbar, dass einfach gestaltete und mit Messelementstrukturen bedruckte ineinander verschiebbare kleine Plastikformteile geeignet fest und dauerhaft an den gewünschten Zielmessorten verklebt werden können. Eine derartige Lösung könnte vorteilhaft Anwendung finden, wenn viele ein- oder zweidimensionale statische Positionsänderungen relativ selten und über größere Zeiträume sehr genau untersucht werden sollen. Ein denkbare Einsatzgebiet wäre beispielsweise die

dauerhafte und hochgenaue Überwachung von Rissen in auffälligen Gebäuden, ein anderes die mikrometeregenaue Beobachtung von langfristigen Bewegungen an Fundamenten oder Brückenteilen. Ordnet man den bedruckten Plastikformteilen zusätzlich eindeutige Kodierungsstrukturen zu, welche gleichzeitig mit den Messelementstrukturen ausgelesen und ausgewertet werden, kann zusätzlich zur Messdatenerfassung eine Auswertung und/oder eine Abspeicherung der Messdaten in einer Datenbank erfolgen.

Wie die Entwicklung der letzten Jahre zeigte, wäre das Ausmessen solcher Plastikformteile zukünftig einfach und mit kleinen Handmessgeräten basierend auf Standardtechnik denkbar. Die erforderliche Technik ist bereits heute verfügbar, beispielsweise in Form von Pocket-PCs mit Schnittstellen, über die kleine Kamerasysteme im CF- oder SD-Steckkartenformat integrierbar sind.

6.2. Schlussfolgerungen und Zukunftsaussichten

Die gefundene Lösung zur Passermessung an Druckmaschinen mit herkömmlicher Videotechnik stellt seit ihrer breiteren Markteinführung 1997 als „Passermesssystem LUCHS“ praktisch den Stand der Technik auf diesem Gebiet dar. Über 130 Messsysteme werden weltweit eingesetzt (Stand November 2004). Der erreichte Stand des Messsystems wurde fortlaufend verbessert und aktuell an neue technische Gegebenheiten angepasst. Das System erleichtert und ermöglicht so vielen Anwendern objektive Passermessungen.

Ein wesentlicher Schub einer Weiterentwicklung der Passermesstechnik kann mit der Einführung hoch auflösender, eventuell auch farbiger Sensoren zur Passermessung erwartet werden.

Die technische Entwicklung der letzten Jahre hat um vieles leistungsfähigere flächige Sensoren mit neuen Qualitäten und besseren Eigenschaften hervorgebracht. Immer hochauflösendere Bildsensoren erobern eingebaut in digitale Kameras den Markt. Durch neue Technologien und verbesserte Fertigungsmöglichkeiten gelingt es den Herstellern dieser Systeme, fast jährlich neue Sensoren zu entwickeln. Zitat PEECK: „Die Internationale Funkausstellung 2001 hat einmal mehr die Trends im Digitalkamerabereich aufgezeigt: Die Auflösung der Geräte steigt weiter - die Oberklasse definiert sich jetzt über vier und fünf Megapixel, und in den niedrigeren Auflösungsklassen verschieben sich die Gerätegrenzen.“ /51/ [Seite 164]. Es ist nicht abzusehen, ob und wann dieser Prozess stagnieren wird. Praktisch ist die neue Technik in der Regel der alten Technik weit überlegen.

Die Passermessung muss in der Zukunft von dieser Entwicklung profitieren. Bessere Sensorensysteme können ihre Anwendung finden. Durch die neuen Qualitäten der Sensoren wären mehrere vorteilhafte Änderungen und Neuerungen denkbar:

- Die Messelemente können erneut optimiert werden:
 - Größere Messelemente mit mehr Strukturen zur Verbesserung des Informationsgehaltes der Messelemente können eingeführt werden.
 - Die Anzahl mit einer Messung gleichzeitig analysierbarer Farben kann erhöht und die Messbereiche können vergrößert werden.
 - Eine Kombination definiert verschieden breiter Messlinien oder von Messlinien unterschiedlicher Winkel innerhalb von Messelementen kann angewendet werden, um zusätzliche Informationen zu auftretenden Druckfehlern zu erhalten. Diese können dahingehend analysiert werden, die Auswirkungen von Farbrückspaltungsprozessen näher zu untersuchen.
- Die Korrekturmechanismen zur Korrektur von statischen Abbildungsfehlern können so überarbeitet werden, dass eine genaue Beachtung einzelner Druckfarben möglich wird. Dazu können farbige Sensorensysteme eingeführt werden. Die aktuellen Korrekturmechanismen basieren auf der statistischen Analyse schwarzer Messlinien. Bekannt ist, dass beispielsweise Linsenfehler in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts auftreten können. Eine Unterscheidung in mehrere Korrekturfelder unterschiedlicher Farben könnte helfen, absolute Messwerte mit einem geringeren Messfehler zu erfassen.

Unabhängig von den verwendbaren Sensoren kann zukünftig die Technologie zur Passermessung überarbeitet und erweitert werden. Bislang bezieht sich die vorgestellte Lösung zur Passermessung auf die genauere Analyse messbarer vorhandener Signale an einzelnen Messelementen. Diese Analyse könnte im Fall der Vermessung von aufeinanderfolgenden Druckbogen verbessert werden, wenn die Ausgangssignale der einzelnen zuordenbaren Messelemente „messbogenübergreifend“ bewertet werden.

Eine messbogenübergreifende Analyse von Messreihen könnte negative Auswirkungen von Druckfehlern durch Registerschwankungen auf die zu vermessenden Messlinien zum Teil kompensieren. Unterstellt man, dass kleine Registerfehler die Drucke nachfolgender Messbogen negativ beeinflussen, könnte versucht werden, diese anhand der ermittelten Messwerte zu erkennen, zu bewerten

und aus den Einzelmessergebnissen herauszurechen. Hinterlassen Registerschwankungen Störungen in nachfolgenden Messbogen, sollten diese aus dem Verlauf der Messwerte und den erhaltenen Dichtequerschnitten der Messlinien zumindest anteilig erkannt und eventuell auch kompensiert werden können. Dieser Gedanke ist als extrem aufwendig zu beschreiben, da mehrere Druckwerke komplexe und anteilig überlagerte Störungssignale erzeugen können und auch erhebliche Datenmengen generell zwischengespeichert werden müssen.

Es ist nicht klar, ob diese Art der messbogenübergreifenden Analyse von Messwerten überhaupt sinnvoll lösbar ist. Eine solche Technologie kann aber die Möglichkeit bieten, die Messergebnisse von Messreihen hinsichtlich ihrer Qualität und Eindeutigkeit besser zu verifizieren. Dies sollte immer dann gelingen, wenn eine Störung im Druckprozess nicht nur im Messelement selbst, sondern auch in dem im Druckprozess nachfolgenden Messelement eindeutig nachgewiesen werden kann.

Problematisch ist, dass alle aufgezeigten Vorschläge enorme Entwicklungsaufwendungen und damit Kosten verursachen. Diese sind im Vorfeld nur schwer abzuschätzen. Der Markt für Passermessgeräte ist im Gegensatz dazu relativ eng begrenzt; ein hohes unternehmerisches Risiko ist vorprogrammiert. Dennoch ist zu hoffen, dass eine zukünftige weitere Entwicklung von Passermesssystemen im Interesse seiner Anwender stattfinden kann und wird.

Literaturverzeichnis

- /1/ Walenski, Wolfgang; Der Offsetdruck: eine Einführung in Theorie und Praxis; Köln, DuMont Buchverlag; 1991
- /2/ Neues Passermessgerät "LUCHS" des SID auf der DRUPA vorgestellt; Zeitschriftenartikel, Deutscher Drucker, Nr. 33/7.9.95, Seite g9; 1995
- /3/ "Mit LUCHS - Augen" dem Passer auf der Spur; Zeitschriftenartikel, Der Druckspiegel 11/1995, 1026 Messtechnik; 1995
- /4/ Tappert, Hans - Jürgen; Loh, Gerald; Neue Passermessung für den Offsetdruck - schnell, präzise und objektiv; Zeitschriftenartikel, Deutscher Drucker vom 27.4.1995, Nr. 16, 31. Jahr, Seite w156; 1995
- /5/ Evaluating a printed sheet with the "LUCHS" register measuring instrument; Zeitschriftenartikel, KBA Report No. 7, November 1996, page 11; 1996
- /6/ SID; Heidelberger Druckmaschinen AG setzt erneut auf SID-High-Tech; Zeitschriftenartikel, Deutscher Drucker, Nr. 32/28.8.97, Seite g16; 1997
- /7/ Helbig, Thomas; Bosse, Rolf ; Druckqualität : Grundlagen der Qualitätsbewertung im Offsetdruck; Polygraph-Verlag, Frankfurt am Main ; 1993
- /8/ Normenausschuss Druck- und Reproduktionstechnik (NDR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 16500, Drucktechnik, Technik des Druckens, Grundbegriffe; Berlin, Beuth Verlag GmbH; Februar 1979
- /9/ Fachbereichstandard, Entwurf ; TGL460114, Passertoleranzen für Bogen- und Rollenoffsetdruckmaschinen; VEB POLYGRAPH Leipzig; Januar 1980
- /10/ Fachbereichstandard; TGL35369/02, Rollenrotations - Offsetdruckmaschinen Abnahmeprüfung; VEB POLYGRAPH Leipzig; November 1978
- /11/ Loibl, D.; Forschungsbericht 6.035, "Grundlagen zur technischen Prüfung von Druckwerken in Endlosrotationen"; Bundesverband Druck E.V., Abteilung Technik + Forschung und Deutsche Forschungsgesellschaft für Druck- und Reproduktionstechnik E.V.; Wiesbaden/München; September 1989
- /12/ Bosse, Rolf; Wie genau muss ein Druck passen, damit er passt ?; Zeitschrift: Fachhefte BULLETIN TECHNIQUE (FABT) 1991/06 - Nr. 3 S. 21 (3S.); FOGRA e.V., Best.Nr: 36960; 1991
- /13/ Kipphan, H.; Registermeßsystem; Offenlegungsschrift DE 3719766 A1 ; 22.12.1988
- /14/ Rohmoser, W.; Muth, F.; Meßelement zur Bestimmung der Passerdifferenz; Patentschrift DE 3915587 C1 ; 08.11.1990
- /15/ Dätwyler, Markus; Automatische Passermesssysteme sind genau; Zeitschriftenartikel, UGRA-Mitteilungen 1995, Nr. 3, S. 17-21; FOGRA e.V., Best.Nr: 48485; 1995
- /16/ Mamberer, H.; Thoma, A.; Erhardt, B.; Hilner, A.; Auf Bedruckstoff aufgedruckte Marken zum Erfassen des Passers; Offenlegungsschrift DE 4006525 A1 ; 12.09.1991
- /17/ Blasius, U.; Korinek, M.; Reithofer, J.; Verfahren zum Ermitteln von Registerfehlern; Offenlegungsschrift DE 4014708 A1 ; 12.12.1991

- /18/ Steiner, G.; Weniger, R.; Braun, R.; Otterbach, R.; Schubert, E. Hofmann, R.; Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Passerdifferenzen an Druckbildstellen eines Mehrfarbenoffsetdruckes; Patentschrift DE 4012608 C2 ; 02.07.1992
- /19/ Geißler, W.; Fischer, G.; Kipphan, H.; Uhrig, R.; Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung von Passerabweichungen bei mehrfarbigen, in einer Druckmaschine erstellten Druckprodukten; Offenlegungsschrift DE 4335350 A1 ; 20.04.1995
- /20/ Lüdge, W.; Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Farbversatzes beim Mehrfarbdruck; Offenlegungsschrift DE 19519276 A1 ; 28.11.1996
- /21/ Heuberger, K.; Künzli, H.; Dätwyler, M.; Papritz, S.; Messfeldgruppe und Verfahren zur Erfassung von optisch drucktechnischen Größen im Mehrfarben Auflagedruck; Patentschrift DE 19638967 C2 ; 17.12.1998
- /22/ MAN Roland Druckmaschinen AG; Einrichtung zur Bestimmung des Wendepassers bei auf der Schöndruckseite und Widerdruckseite bedruckter Bogen; Gebrauchsmuster DE 29807663 U1 ; 17.09.1998
- /23/ Loibl, D.; Meßmethoden zur Bestimmung des Wendepassers bei Bogenoffset - Druckmaschinen; Zeitschrift: FOGRA e.V., Best.Nr: 49442; 1998
- /24/ Pudimat, R.; Kontrollelement zum Bestimmen von Passerabweichungen eines auf einem Bedruckstoff aus mehreren Teilfarben bestehenden Druckbildes; Offenlegungsschrift DE19917773A1 ; 04.11.1999
- /25/ Loibl, D.; Passerprüfung: subjektiv oder objektiv ?; FOGRA praxis report Nr. 21; Deutsche Forschungsgesellschaft für Druck- und Reproduktionstechnik E.V.; München; September 1975
- /26/ Loibl, D.; Entwicklungsvorhaben 32.109, "Handbuch zur technischen Abnahme von Bogenoffsetdruckmaschinen"; Bundesverband Druck E.V., Abteilung Technik + Forschung und Deutsche Forschungsgesellschaft für Druck- und Reproduktionstechnik E.V.; Wiesbaden; Januar 1996
- /27/ Jähne, Bernd; Digitale Bildverarbeitung; 3. Aufl.. - Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo ; Hong Kong ; Barcelona ; Budapest; Springer Verlag; 1993
- /28/ Hrsg.: Kipphan, H.; Handbuch der Printmedien, Technologien und Produktionsverfahren; Hrsg.: Helmut Kipphan, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Honkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio; Springer Verlag; 2000
- /29/ Autorenkollektiv; Offsetfehler Katalog; Zentralstelle für Unterrichtsmittel der Zentrag, Bestell - Nr.: SOM/DT - 1, Herstellung TASTOMAT, Eggersdorf; Berlin 1987
- /30/ Normenausschuss Druck- und Reproduktionstechnik (NDR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 16529, Drucktechnik, Begriffe für den Flachdruck; Berlin, Beuth Verlag GmbH; November 1982
- /31/ Steinbrecher, Rainer; Bildverarbeitung in der Praxis; München, Wien, Oldenburg; Firma Dr. R. Steinbrecher; 1993
- /32/ Biaesch - Wiebke, Claus; Videosysteme; Technik und Arbeitsweise von Videorecordern, Videokameras und Camcordern; 1. Aufl., - Würzburg: Vogel, (Vogel-Fachbuch Nachrichtentechnik) 440 S.; 1991
- /33/ Bergmann, Heinz; Lexikon der Videotechnik; Berlin ; Offenbach ; vde- Verlag; 1993
- /34/ Bähr, H.- P. ; Vögtle, T. ; Digitale Bildverarbeitung: Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung; (Hrsg.). - 3., völlig neubearb. und erw. Aufl.. Wichmann; Heidelberg; 1998

- /35/ Doberstein, A.; Rauter, G.; Delphi 6 für Profis; Galileo Press GmbH; Bonn; 2001
- /36/ Loh, G.; Verfahren zur Messung und Auswertung von Passermarken auf Druckprodukten; Offenlegungsschrift DE 4437603 A1; 21.10.1994
- /37/ Loh, G.; Vorrichtung zur Messung von Längs- und Querpasermarken auf einem Druckprodukt; Patentschrift DE 19517842 C2; 18.05.1995
- /38/ Hrsg.: Profos, P.; Handbuch der industriellen Messtechnik, 4.Auflage; Essen, Vulkan - Verlag; 1987
- /39/ Normenausschuß Einheiten und Formelgrößen (AEF) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Normenausschuß Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ) im DIN; DIN 1319 Teil 1, Grundlagen der Messtechnik, Grundbegriffe; Januar 1995
- /40/ Normenausschuß Länge und Gestalt (NGL) und Normenausschuß Einheiten und Formelgrößen (AEF) im DIN ; Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 2257 Teil 1, Begriffe der Längenprüftechnik, Einheiten, Tätigkeiten, Prüfmittel, Messtechnische Begriffe; November 1982
- /41/ Kahnt, Helmut; Meyers kleine Enzyklopädie Mathematik; 14. Auflage, Mannheim; Leipzig; Wien; Zürich; Meyers Lexikonverlag 1995
- /42/ Prof. Dr. Otfried Beyer, Horst Hackel, Prof. Dr. Volkmar Piper, Prof. Dr. Jürgen Tiedge; Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, 8. Auflage; Stuttgart, B. G. Teubner; Leipzig ; 1999
- /43/ Eichgesetz - Gesetz über das Meß- und Eichwesen; Fassung vom 23.3.1992, zuletzt geändert durch Siebente Zuständigkeitsanpassungs-Verordnung vom 29.10.2001; BGBl. I S. 711; Verlag Bundesanzeiger, Bundesanzeiger Verlagsges.mbH, Bonn ; 23.März 1992
- /44/ Autorenkollektiv; Fachlexikon Meßtechnik, 1. Auflage; Leipzig, VEB Fachbuchverlag Leipzig; 1984
- /45/ Eichordnung EO 1988; BGBl. I S. 1657; Verlag Bundesanzeiger, Bundesanzeiger Verlagsges.mbH, Bonn ; 12.8.1988
- /46/ Physikalisch Technische Bundesanstalt; Merkblatt für Anträge auf Bauartzulassung von Messgeräten nach dem Gesetz über das Meß- und Eichwesen ; (Eichgesetz); Physikalisch Technische Bundesanstalt, Fachbereich Q.3, Referat Q.31, Gesetzliches Messwesen; <http://www.ptb.de/de/org/q/q3/q31/gesmessw/meichg.pdf>, 14.11.2001; Mai 1997
- /47/ Kommission der europäischen Gemeinschaften; Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über Messgeräte; KOM(2000)566 entgültig, 2000/0233(COD); Brüssel; 15.09.2000
- /48/ Ausschuß Qualitätssicherung und angewandte Statistik (AQS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Normenausschuß Einheiten und Formelgrößen (AEF) im DIN; DIN 55350 Teil 13, Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Juli 1987
- /49/ Verein Deutscher Ingenieure, Verband Deutscher Elektrotechniker; VDI / VDE - Richtlinien 2617, Blatt 6, Genauigkeit von Koordinatenmeßgeräten, Kenngrößen und deren Prüfung, ; Koordinatenmeßgeräte mit optischer Antastung, Grundlagen; VDI / VDE - Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik, Fachausschuß Koordinatenmeßtechnik; Berlin, Beuth Verlag GmbH; Dezember 1997

- /50/ Verein Deutscher Ingenieure, Verband Deutscher Elektrotechniker; VDI / VDE - Richtlinien 2617, Blatt 6.1, Genauigkeit von Koordinatenmeßgeräten, Kenngrößen und deren Prüfung; Koordinatenmeßgeräte mit optischer Antastung, Sensoren zur 2D - Messung; VDI / VDE - Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik, Fachausschuß Koordinatenmeßtechnik; Berlin, Beuth Verlag GmbH; Juni 1998
- /51/ Peeck, K.; Fernöstliche Spezialitäten, Sieben Digitalkameras - Neuheiten mit besonderen Eigenschaften; Zeitschriftenartikel, ct Magazin für Computertechnik, Nr. 21/2001 (H 8752), Seite 164; Hannover, Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG; 2001

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abbildungsfehler von Linsensystemen	30
Tabelle 2: Vergleich der Simulationsergebnisse mit und ohne Verschiebung des Ausgangssignals um ca. 16 µm	56
Tabelle 3: Vergleichsmöglichkeiten beim LQ-Arraydruck Testverfahren	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unterschied zwischen Registerfehlern und Passerfehlern	10
Abbildung 2: Fadenzähler und Messmikroskop	14
Abbildung 3: Auszug eines Noniuselements und Vergrößerung einer Messskala	14
Abbildung 4: Unterschiedliche Ausgangsdaten zur Messung an Messlinien durch Druckfehler	28
Abbildung 5: Vergrößerte Vollbildausschnitte ohne und mit Übertragungsfehlern	33
Abbildung 6: Vergrößerte Vollbildausschnitte ohne und mit seitlicher Bewegung des Sensors	33
Abbildung 7: Übersicht über verschiedene Messverfahren	39
Abbildung 8: Vergleich der Informationsänderungen optischer Kontraste von Messflächen und Messlinien gleichen Platzbedarfs bei geringer Lageverschiebung	41
Abbildung 9: Möglichkeiten der Anwendung des Strahlensatzes an parallelen Messlinien	43
Abbildung 10: Beispiele von Bewegungsbahnen von "Sensorenketten" mit verschiedenen Sensorenbreiten	47
Abbildung 11: Beispiele von Bewegungsbahnen von "Sensorenketten" bei Abtastung verschieden verschliffener Ausgangssignale	48
Abbildung 12: Durch Geraden approximierter Kurvenverlauf der Sensorenbahn (einfache und mehrfache Abtastung des angenommenen Signals)	49
Abbildung 13: Stabilität der Stützpunkte "halbes Integral" an zwei Beispielen	51
Abbildung 14: Beispiele mittlerer approximierbarer Kurvenverläufe	52
Abbildung 15: Beispiel zur Bewertung komplexer Signale (Original links oben) bei rechnerischer Vergrößerung des Originals unter Anwendung des beschriebenen Verfahrens	54

Abbildung 16: Montage von Simulationsergebnissen für eine Kombination von Kurvenverläufen, errechnet aus gestörten und ungestörten Signalen zu gleichen Anteilen	60
Abbildung 17: Beispiel der Auswirkungen verschiedener Methoden zur Stützpunktberechnung	63
Abbildung 18: Verdeutlichung interpolierbarer Korrekturwerte einer Abbildungszeile	70
Abbildung 19: Falschfarbdarstellungen von Korrekturfeldern zur Korrektur statischer Abbildungsfehler	72
Abbildung 20: Beispiel eines Messelementes für Messungen "Druck zu Druck" (max. 10-farbig) für den Offsetdruck auf hochwertigen Bedruckstoffen	80
Abbildung 21: Bilderfassungsbereich des Videosystems im Verhältnis zu einem Messelement und Aufbau der oberen und unteren äußeren Kodierungslinienstruktur	81
Abbildung 22: Auffindung der genauen Messelementposition innerhalb der Abbildung und Gewinnung von Parametern zur Beschreibung der Begrenzungen des Messnormales	83
Abbildung 23: Aufbau der inneren Messelementstrukturen	84
Abbildung 24: Visualisierung der Methoden zur Auffindung der inneren Strukturen der 10-Farb Messelemente für den Offsetdruck	85
Abbildung 25: Visualisierung der Stützpunktkorrektur und Messwertbildung	90
Abbildung 26: Prüfvorrichtung mit aufgesetztem Messkopf, Vergleichsmesssystem nicht montiert	94
Abbildung 27: Glasmaß in Transportverpackung	95

Quellenangaben

So nicht anders gekennzeichnet, basieren alle angegebenen Quellen auf eigener Erhebung. Die Ausgangsdaten für Dokumente und Fotos von Geräten wurden freundlicherweise vom Sächsischen Institut für die Druckindustrie GmbH bzw. der Polygraphischen Innovativen Technik GmbH zur Verfügung gestellt. Eine auszugsweise Veröffentlichung der Dokumente und Fotos ist nicht gestattet und Bedarf der Genehmigung des Sächsischen Institut für die Druckindustrie GmbH.

Anlagen

Anlage 1: Unterschiedliche Interpretationen der Begriffe Register und Passer nach einer Internetrecherche vom 08.08.2005 – 13.08.2005

Als **Register** bezeichnet man den **Passer** von Vorder- zu Rückseite im Druckprozess. Dazu gehört z.B., dass der Stand der Pagina, des Satzspiegels oder anderer Elemente auf beiden Seiten gleich sind. (www.izynews.com/de/lexq.aspx?qry=register).

Register: genaues Aufeinanderstehen des Vorder- und Rückseitendrucks (www.printart.de/downloads-infos/glossar-druck-raster.html#r)

Register: im Druckwesen das genaue Aufeinanderpassen der Druckseiten des Satzspiegels auf der Vorder- und Rückseite (de.freepedia.org/Register.html)

Register: Ursprüngliche Bezeichnung für die paßgenaue Platzierung von Vorder- und Rückseitendruck. Daneben hat sich die Verwendung des Begriffes **Register** alternativ zur Bezeichnung **Passer** eingebürgert. (www.bluhmsysteme.com/etiketten/register.htm)

Register: Die Zeilen und Bilder der Vorder- und Rückseite stehen auf gleicher Höhe. (www.publishingservice.de/main/dtp_begriffe.htm)

Der **Passer** (auch **Farbregister**) ist der exakte Übereinanderdruck mehrerer Farbschichten im Mehrfarbendruck. Wird mit ungenauem **Passer** gedruckt, so gerät das Druckbild unscharf, da die einzelnen Farbschichten gegeneinander verschoben sind. (de.freepedia.org/Passer.html)

Passer, Passgenauigkeit, Passkreuze: In der Farbproduktion werden Passkreuze (Linienkreuze) auf jedem Farbauszug ausserhalb der druckenden Fläche angebracht. Mit Hilfe dieser Passkreuze wird im Zusammendruck das exakte Aufeinanderpassen der Teilfarben kontrolliert. (www.visionbytes.de/ollig/glossar.html)

Passer: präziser Über- bzw. Nebeneinanderdruck der einzelnen Farben im Mehrfarbendruck (www.uehlin.de/Service_02.html#P)

Der **Passer** ist beim Mehrfarbendruck sehr wichtig. Mit dem **Passer** kann man einen genauen Übereinander- oder Nebeneinanderdruck der einzelnen Farben erreichen. Schön- und Widerdruckdifferenzen heissen Registerdifferenzen, denn **Register** nennt man den deckungsgleichen Druck auf der Papiervorder- und Rückseite. (www.grafikhirsch.de)

Passer: Beim Mehrfarbdruck der genaue Über- oder Nebeneinanderdruck der einzelnen Farben. (www.publishing-service.de/main/dtp_begriffe.htm)

Mit **Passer** bezeichnet man bei mehrfarbigen Produkten, deren Bild ja aus mehreren Farben aufgebaut wird, das exakte Über- und / oder Nebeneinanderstehen der einzelnen Farben. Mittlerweile hat es sich eingebürgert, dazu fälschlicherweise auch **Register** zu sagen. (www.copyshop-tips.de/lexikon.php?user=&Suchwort=Passer)

Anlage 2: Definition der Begriffe „Register“ und „Passer“ nach DIN 16500 Teil 2

Die Begriffe Register und Passer sind nach DIN 16500 Teil 2 (DK 655.1/.3:001.4 vom Januar 1987 vom Normenausschuß Druck- und Reproduktionstechnik (NDR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.) wie folgt definiert:

Benennung	Definition
Register	<ol style="list-style-type: none">1. Das deckungsgleiche Übereinstimmen in der Stellung des Satzspiegels, wie auch einzelner Zeilen, bei der Herstellung (z.B. Drucken, Falzen) von mehrseitigen Druckerzeugnissen. Anmerkung: Wird oft fälschlicherweise für „Passer“ verwendet.2. Nach bestimmten Merkmalen (z.B. Alphabet) geordnetes Verzeichnis.3. Stufenförmige Einschnitte an den Vorderkanten der (Buch-)Seiten zum schnelleren Aufschlagen bestimmter (Buch-)Teile.
Passer	<ol style="list-style-type: none">1. Allgemein die Genauigkeit der Übereinstimmung bei füreinander gefertigten Werkstücken.2. In der Drucktechnik die Genauigkeit, mit der der vorgesehene Stand der zu reproduzierenden Details bei einer Folge von Arbeitsgängen erreicht bzw. eingehalten wird, z.B. beim Übereinanderdruck der einzelnen Teilfarben im Mehrfarbendruck.

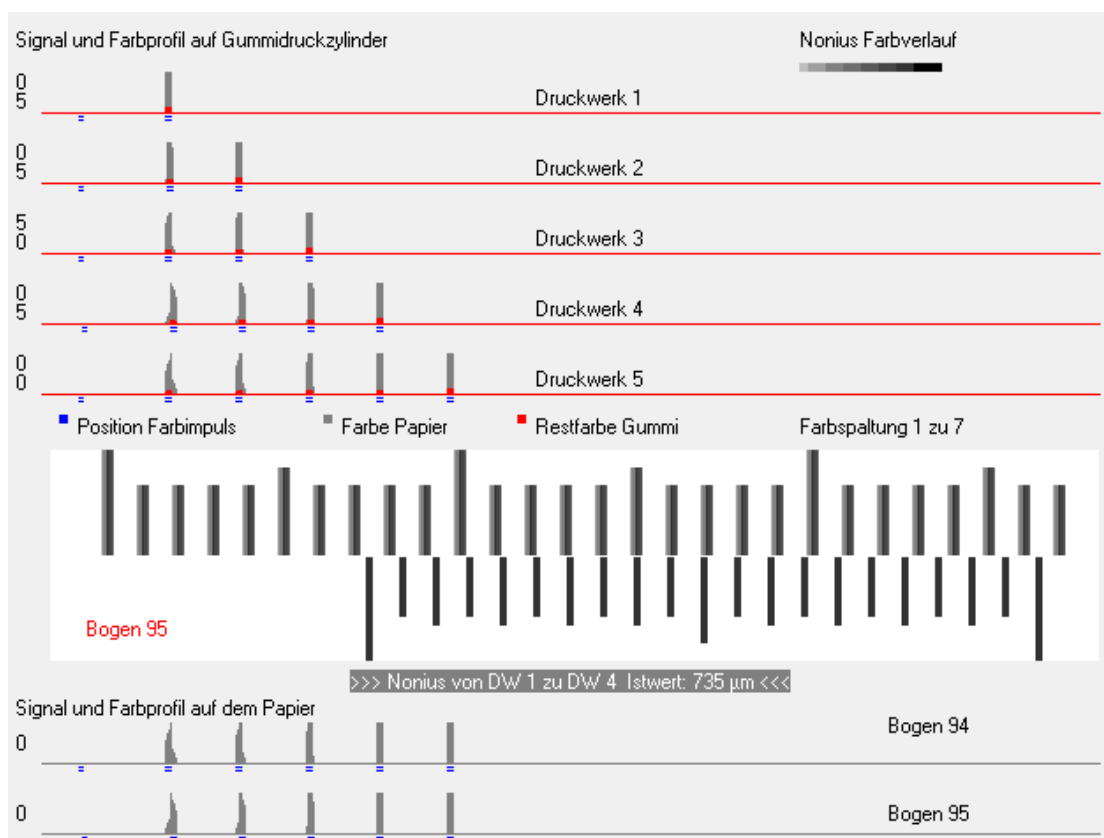
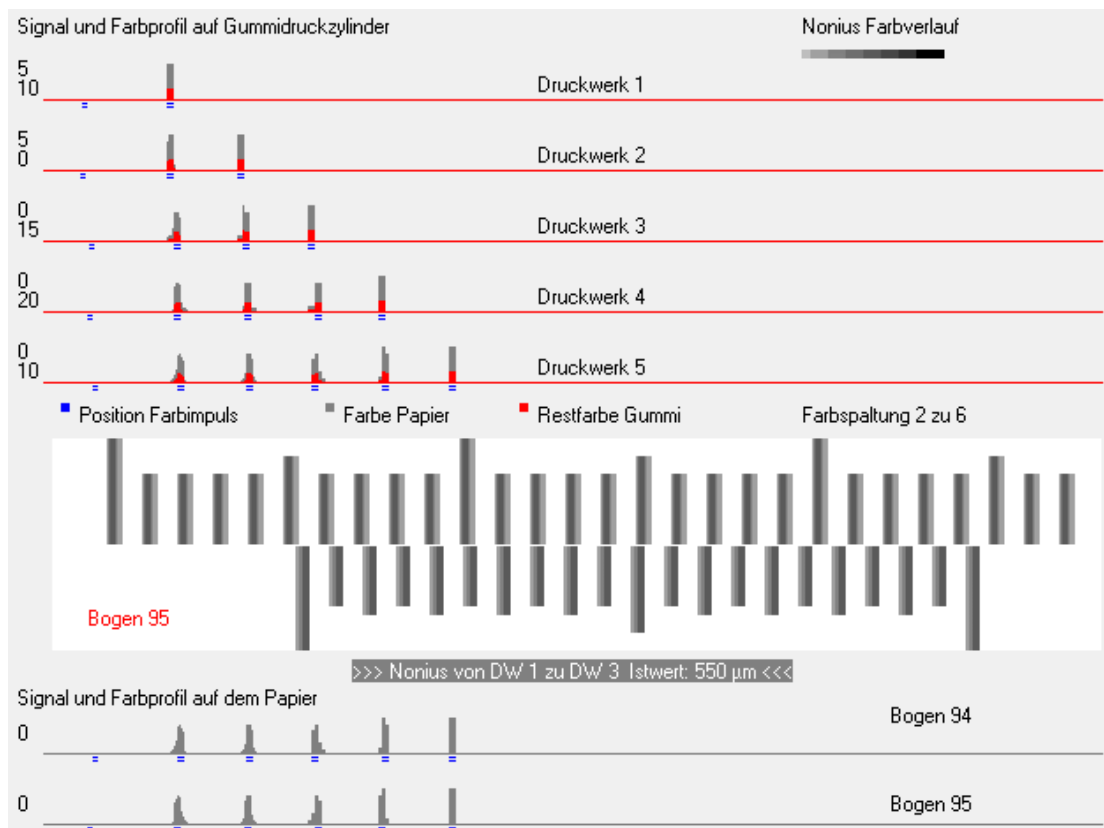
Anlage 3: Aktenzeichen verschiedener Offenlegungsschriften, Patentschriften und Gebrauchsmuster zu den allgemeinen Themengebieten Passermessung, Registermessung und Registerregelung des deutschen Patentamts

PN 2940233	PN 2945281	PN 3136701	PN 3136703
PN 3136705	PN 3226078	PN 3226078	PN 3336792
PN 3337874	PN 3515626	PN 3530439	PN 3614578
PN 3625449	PN 3633855	PN 3709858	PN 3719766*
PN 3809941	PN 3811359	PN 3915587*	PN 8811336
PN 8816641	PN 9010723	PN 3337874	PN 3614578
PN 3707866	PN 3811359	PN 3826385	PN 4006525*
PN 4012608*	PN 4012608	PN 4014706	PN 4014708*
PN 4022135	PN 4023314	PN 4036023	PN 4107105
PN 4109062	PN 4218760	PN 4218760	PN 4218762
PN 4218764	PN 4221482	PN 4221482	PN 4226192
PN 4226192	PN 4301272	PN 4335350*	PN 4335351
PN 4406740	PN 4434624	PN 4434624	PN 4434843
PN 9403237**	PN 4437603**	PN 19503739	PN 19514119**
PN 19517842**	PN 19519276*	PN 19604856	PN 19614865
PN 19618029	PN 19619280	PN 19624763**	PN 19628410
PN 19638967*	PN 19639014	PN 19639014	PN 19747728**
PN 19826333	PN 19830490	PN 19847666	PN 19860066
PN 19901635**	PN 19901699	PN 19917773	PN 19919741
PN 19942468**	PN 19945979**	PN 9409890	PN 9421695
PN 29506268	PN 29521448	PN 29609540**	PN 29807663*
PN 29812096	PN 29819735	PN 10023513**	PN 10023813**

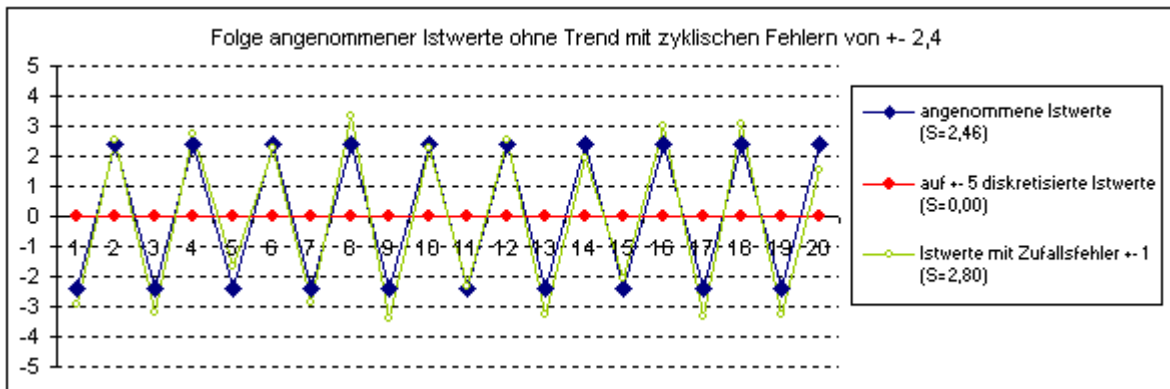
* im Text erwähnt

** Schutzrechte/Gebrauchsmuster zu Messverfahren und zum Umfeld der Passermessung vom Autor bzw. dem Sächsischen Institut für die Druckindustrie GmbH

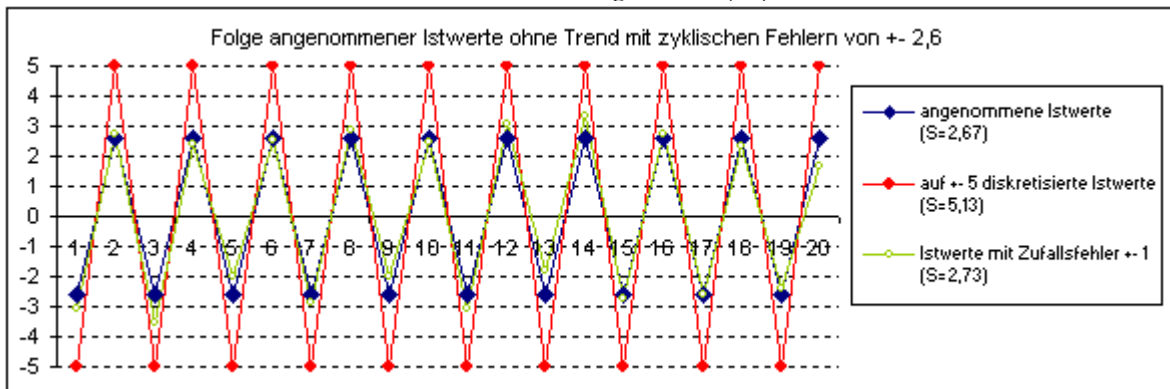
Anlage 4: Bildschirmfotos eines Simulationsprogramms zur Visualisierung von subjektiven Messfehlern an Noniusmesselementen auf der Basis der Annahme vereinfachter Farbübertragungsvorgänge in Offsetdruckmaschinen, Beispiel 1 und Beispiel 2:



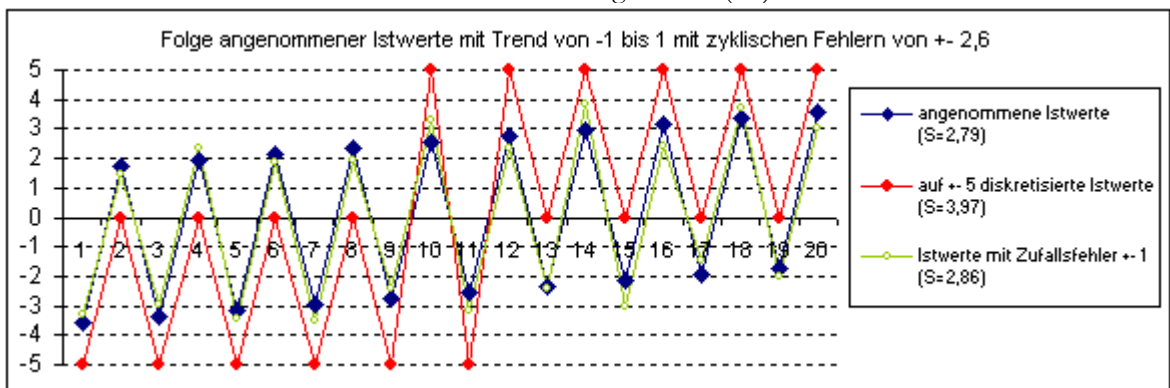
Anlage 5: Gegenüberstellung von 3 angenommenen Messwertverläufen (Istwerte) im Vergleich zu (auf der Basis der Istwerte) diskretisierten Messwerten einer Teilung von 5 und mit zufälligen Fehler von ± 1 behafteten Ist - Messwerten.



Beispiel 1: Folge angenommener Istwerte mit zyklischen Fehlern von $\pm 2,4$ ohne Trend, auf durch Runden durch 5 teilbare diskretisierte Istwerte und durch zufällige Fehler (± 1) verfälschte Istwerte



Beispiel 2: Folge angenommener Istwerte mit zyklischen Fehlern von $\pm 2,6$ ohne Trend, auf durch Runden durch 5 teilbare diskretisierte Istwerte und durch zufällige Fehler (± 1) verfälschte Istwerte



Beispiel 3: Folge angenommener Istwerte mit zyklischen Fehlern von $\pm 2,6$ mit Trend von -1 bis 1, auf durch Runden durch 5 teilbare diskretisierte Istwerte und durch zufällige Fehler (± 1) verfälschte Istwerte

Gesamtgegenüberstellung der in den 3 Beispielen errechneten Standardabweichungen:

Standardabweichung	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3
Angenommene Istwerte	2,46	2,67	2,79
Diskretisierte Istwerte	0,00	5,13	3,97
Istwerte mit Zufallsfehler	2,80	2,73	2,86

Anlage 6: Programmcodeauszug zur Erstellung der Abbildungen zur Simulation

```
procedure TForm1.Zeichne(Sender: TObject);
const
    xdx=32; // Originalbild wird in BildBytes[x,y] gespeichert
    SkalierFaktor=12; // Unterteilung in rechnerische Zwischenschritte
    BildBreiteInMikro=625; // Bild entspricht im Original ca. 625 Mikrometer
    MaxBildBreite=400; // Maximal zu verarbeitende Bildbreite
var
    Rechenverfahren,Aufloesung,Teil,Oben,ObenCount,DrittelCount:Integer;
    Pixelwert:Byte; c,i,x,y,xs,ys,xt,yt,xi,xic,xii,xis,xie,dx,ex:Integer;
    AppKurve: ARRAY[0 .. MaxBildBreite*xdx] of Integer;
    Kurvenverlauf: ARRAY[0 .. MaxBildBreite*xdx] of Longint;
    KurvenverlaufCounter: ARRAY[0 .. MaxBildBreite*xdx] of Longint;
    SignalMittel: ARRAY[0 .. MaxBildBreite] of Longint;
    s1,s2,Stuetzpunkte:Extended; StuetzpunkteCounter:LongInt; t,u:String;
procedure Line(x1,x2,x3,x4:Integer);
begin PaintBox.Canvas.MoveTo(x1,x2); PaintBox.Canvas.LineTo(x3,x4); end;
begin
    // Initialisierungen und Farbbild in Grauwerte wandeln
    fillchar(BildBytes,SizeOf(BildBytes),255);
    fillchar(TempBildBytes,SizeOf(TempBildBytes),255);
    BildBreite:=ImageOriginal.Picture.Width-1;
    BildHoehe:=ImageOriginal.Picture.Height-1;
    for x:=0 to BildBreite do for y:=0 to BildHoehe do BildBytes[x,y]:=
        BYTE(ImageOriginal.Picture.Bitmap.Canvas.Pixels[x,y] and $FF);
    ObenCount:=0; PaintBox.Canvas.FillRect(PaintBox.ClientRect);
    // Hauptschleife
    for Rechenverfahren:=0 to 3 do // durch verschiedene Rechenverfahren
    for Aufloesung:=1 to 10 do // durch verschiedene Sensorauflösungen
        if ((Verfahren.Checked=true) and (Aufloesung=6)) or
            ((Verfahren.Checked=false) and (Aufloesung in [1,3,6,10]) and
                (Rechenverfahren=0)) then begin // Auswahl und Anzeige begrenzen
            Oben:=ObenCount*190+20; ObenCount:=ObenCount+1; // Variableninits
            xs:=((BildHoehe div Aufloesung) div 3)*3; ys:=BildBreite div Aufloesung;
            fillchar(Kurvenverlauf,sizeof(Kurvenverlauf),0);
            fillchar(SignalMittel,sizeof(SignalMittel),0);
            fillchar(KurvenverlaufCounter,sizeof(KurvenverlaufCounter),0);
            Stuetzpunkte:=0; StuetzpunkteCounter:=0; DrittelCount:=0;
            // durch alle "zu berechnenden Pixelzeilen"
            for x:=0 to xs-1 do begin
                fillchar(AppKurve,sizeof(AppKurve),0);
                // Pixel bilden, Approximierten Kurvenzug vorbereiten
                for y:=0 to ys-1 do begin // durch alle Pixelspalten
                    // einen summarischen Pixelwert durch Mitteln bilden
                    c:=0; for xt:=0 to Aufloesung-1 do for yt:=0 to Aufloesung-1 do
                        c:=c+BildBytes[y*Aufloesung+yt,x*Aufloesung+xt];
                    Pixelwert:=BYTE(round(c/Aufloesung/Aufloesung));
                    // Pixelwert zur Kurvenbildung merken
                    AppKurve[y*xdx]:=Pixelwert;
                    // Pixelwert in vergrößertes Tempbild eintragen
                    for xt:=0 to Aufloesung-1 do for yt:=0 to Aufloesung-1 do
                        TempBildBytes[y*Aufloesung+yt,x*Aufloesung+xt]:=Pixelwert;
                    // Pixelwert zur Bildung der mittleren Signalverläufe merken
```

```

    for yt:=0 to Aufloesung-1 do SignalMittel[y*Aufloesung+yt]:=
        SignalMittel[y*Aufloesung+yt]+Pixelwert;
end;
// Mittelwert des Signalverlauf nach je einem Bildhöhendrittel zeichnen
Inc(DrittelCount);
if (Verfahren.Checked=false) and
    (((DrittelCount+1)*Aufloesung>=(BildHoehe div 3))) then begin
    PaintBox.Canvas.Pen.Color:=255 shl ((x div (xs div 3))*8); // RGB
    for yt:=0 to (ys)*Aufloesung-2 do
        Line(410+yt,Oben-40+round(SignalMittel[yt]/DrittelCount),
            410+yt+1,Oben-40+round(SignalMittel[yt+1]/DrittelCount));
    Line(BildBreite+5,Oben+(x+1)*Aufloesung,
        BildBreite+5,Oben+(x+1-DrittelCount)*Aufloesung-1);
    // Neuinitialisierung Signalmittel
    DrittelCount:=0; fillchar(SignalMittel,sizeof(SignalMittel),0);
end;
// durch Geraden approximierten Kurvenzug bilden
for y:=0 to ys-2 do begin // Start und Ende holen, Gerade bilden
    dx:=AppKurve[y*xdx]; ex:=AppKurve[(y+1)*xdx]-dx;
    for xt:=1 to xdx-1 do AppKurve[y*xdx+xt]:=dx+round(xt/xdx*ex);
end;
// aus approximierten Kurvenzug die Signale Links, Mitte und Rechts
// berechnen und den mittleren Kurvenverlauf bilden
for i:=0 to 2 do begin
    // Kurvenbegrenzungen errechnen
    xis:=i*(ys div 3)*xdx+1; xie:=(i+1)*(ys div 3)*xdx; xii:=0;
    if i=2 then xie:=(ys-1)*xdx; // Ende exakt definieren
    // Maxima suchen, Werte zum Max invertieren und verrechnen
    for xi:=xis to xie do if AppKurve[xi]>xii then xii:=AppKurve[xi];
    for xi:=xis to xie do AppKurve[xi]:=xii-AppKurve[xi];
    // Stützpunkt je nach gewünschtem Verfahren errechnen
    case RechenVerfahren of
    0:begin
        t:='Stützpunkterrechnung: Methodik "halbes Integral" von f(x)';
        // Gesamtintegral bilden
        xii:=0; for xi:=xis to xie do xii:=xii+AppKurve[xi];
        // halbes Integral bilden und zur Integralmitte zählen (Näherung)
        xii:=trunc(xii/2); c:=0; xic:=0; for xi:=xis to xie do begin
            c:=c+AppKurve[xi]; if c<xii then xic:=xi; end; end;
    1:begin
        t:='Stützpunkterrechnung: "halbes Integral" von y~(x)=f(x*x)';
        xii:=0; for xi:=xis to xie do xii:=xii+trunc(Sqr(AppKurve[xi]));
        xii:=trunc(xii/2); c:=0; xic:=0; for xi:=xis to xie do begin
            c:=c+trunc(Sqr(AppKurve[xi])); if c<xii then xic:=xi; end; end;
    2:begin
        t:='Stützpunkterrechnung: "halbes Integral" von y~(x)=f(sqrt(x))';
        xii:=0; for xi:=xis to xie do xii:=xii+trunc(sqrt(AppKurve[xi]));
        xii:=trunc(xii/2); c:=0; xic:=0; for xi:=xis to xie do begin
            c:=c+trunc(sqrt(AppKurve[xi])); if c<xii then xic:=xi; end; end;
    3:begin
        t:='Stützpunkterrechnung: "Schwerpunkt der Fläche unter f(x)";
        s1:=0; for xi:=xis to xie do s1:=s1+xi*AppKurve[xi];

```



```

    s2:=0; for xi:=xis to xie do s2:=s2+AppKurve[xi];
    xic:=trunc(s1/s2); end;
end;
// mittleren Kurvenverlauf bilden, dazu Kurven relativ zum
// Stützpunkt am fiktiven Aufhängpunkt "5000" aufaddieren
xii:=5000-xic; for xi:=xis to xie do begin
    Kurvenverlauf[xii+xi]:=Kurvenverlauf[xii+xi]+AppKurve[xi];
    KurvenverlaufCounter[xii+xi]:=KurvenverlaufCounter[xii+xi]+1;
end;
// Stützpunkt als Punkt oder Linie in das Pixelbild einblenden
c:=round(Aufloesung/2+(xic*Aufloesung)/xdx);
for xi:=0 to Aufloesung do TempBildBytes[c,x*Aufloesung+xi]:=255;
// Signalmittelwert vorbereiten
Stuetzpunkte:=Stuetzpunkte+Aufloesung*Aufloesung*(0.5+xic/xdx);
StuetzpunkteCounter:=StuetzpunkteCounter+Aufloesung;
end;
end; // end durch alle Pixelzeilen
// Skalierung, Aufhängpunkt und mittleren Kurvenverlauf ausgeben
for x:=-9 to 11 do begin
    xii:=trunc(x*10*xdx/SkalierFaktor*BildBreite/BildBreiteInMikro);
    PaintBox.Canvas.MoveTo(BildBreite+90+xii,Oben+50);
    PaintBox.Canvas.pen.color:=$00dbdbdb;
    PaintBox.Canvas.LineTo(BildBreite+90+xii,Oben+134);
    PaintBox.Canvas.pen.color:=clBlue;
    PaintBox.Canvas.LineTo(BildBreite+90+xii,Oben+140);
end;
PaintBox.Canvas.pen.color:=clGreen;
Line(BildBreite+90,Oben+50,BildBreite+90,Oben+70);
Line(BildBreite+90,Oben+120,BildBreite+90,Oben+140);
// mittleren approximierten Kurvenverlauf fertigstellen und zeichnen
for x:=-ys*6 to ys*6 do
    if KurvenverlaufCounter[x+5000]>5 then begin Kurvenverlauf[x+5000]:=
        Trunc(Kurvenverlauf[x+5000]/KurvenverlaufCounter[x+5000]);
        PaintBox.Canvas.Pixels[
            BildBreite+90+trunc(x*Aufloesung/SkalierFaktor),
            Oben+142-Kurvenverlauf[x+5000]]:=0; end;
// Messwert (Maxima) am mittleren Kurvenverlauf ableiten und zeichnen
xii:=0; for x:=-ys*4 to ys*4 do
    if Kurvenverlauf[x+5000]>xii then xii:=Kurvenverlauf[x+5000];
xii:=trunc(xii*0.95); xic:=0;
for x:=-ys*4 to ys*4 do if Kurvenverlauf[x+5000]>xii then begin
    xic:=xic+Kurvenverlauf[x+5000]-xii; PaintBox.Canvas.Pixels[
        BildBreite+90+trunc(x*Aufloesung/SkalierFaktor),
        Oben+142-Kurvenverlauf[x+5000]]:=255; end;
xis:=xic shr 1; c:=0; xic:=0;
for x:=-ys*4 to ys*4 do if Kurvenverlauf[x+5000]>xii then begin
    c:=c+Kurvenverlauf[x+5000]-xii; if c<xis then xic:=x+5000; end;
PaintBox.Canvas.pen.color:=clRed;
Line(BildBreite+90+trunc((xic-5000)*Aufloesung/SkalierFaktor),Oben+50,
    BildBreite+90+trunc((xic-5000)*Aufloesung/SkalierFaktor),Oben+100);
str(((Stuetzpunkte/StuetzpunkteCounter)-(5000-xic)*Aufloesung/xdx)
    *BildBreiteInMikro/BildBreite:0:0,u);

```

```

PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+10,Oben+0+13,
    'Messwert zum linken Rand (umgerechnet zum Originalbild): ');
PictureBox.Canvas.Font.Color:=clred;
PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+380,Oben+0+13,u+' µm');
PictureBox.Canvas.Font.Color:=clBlack;
// Pixelbild und Stützpunkte zeichnen, dabei Kontrasterhöhung vornehmen
for x:=0 to ys*Aufloesung-1 do for y:=0 to xs*Aufloesung-1 do begin
    c:=trunc((TempBildBytes[x,y]-60)*1.3);
    PictureBox.Canvas.Pixels[x,Oben+y]:=c+(c shl 8)+(c shl 16); end;
// Textparameter ausgeben
PictureBox.Canvas.Font.Size:=PictureBox.Canvas.Font.Size+2;
if (Verfahren.Checked=true) then PictureBox.Canvas.TextOut(0,Oben-19, t)
else if Aufloesung=1 then PictureBox.Canvas.TextOut(0,Oben-19,
    'Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen '+
    'im Abstand von 200 µm (Original)')
else begin str(Aufloesung:0,t);
    PictureBox.Canvas.TextOut(0,Oben-19,'Ausgangsdaten: '+t+' x '+t+'
    ' Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)');
end;
PictureBox.Canvas.Font.Size:=PictureBox.Canvas.Font.Size-2;
str(Stuetzpunkte/StuetzpunkteCounter*BildBreiteInMikro/BildBreite:0:0,t);
PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+10,Oben+0,
    'Mittelwert aller Stützpunkte zum linken Rand (umgerechnet zum '+
    'Originalbild): ');
PictureBox.Canvas.Font.Color:=clBlue;
PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+380,Oben+0,t+' µm');
PictureBox.Canvas.Font.Color:=clBlack;
str(BildBreiteInMikro/(BildBreite/Aufloesung):0:2,t); str(Aufloesung:0,u);
PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+10,Oben+26,
    'Pixelgröße: bezogen auf das Original ca. '+t+' x '+t+' µm '+
    '('+'+u+' x '+'+u+' Originalpixel)');
PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+10,Oben+140,
    'approximierter Kurvenverlauf (gestreckt)');
PictureBox.Canvas.TextOut(BildBreite+10,Oben+153,
    'zum Stützpunkt (Skalierung 10 µm)');
if (Verfahren.Checked=false) then PictureBox.Canvas.TextOut(410,Oben+153,
    'Mittlerer Signalverlauf 1., 2. und 3. Bilddrittel');
end; // end "durch verschiedene Auflösungen und Rechenverfahren"
end;

```

Programcodeauszug zur Erstellung der Abbildung "Signalverlauf"

Anlage 7: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Pixel der originalen Abbildung wurden um 5 Pixel nach rechts verschoben, die erste Pixelspalte wurde um 5 Pixel verbreitert)

Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

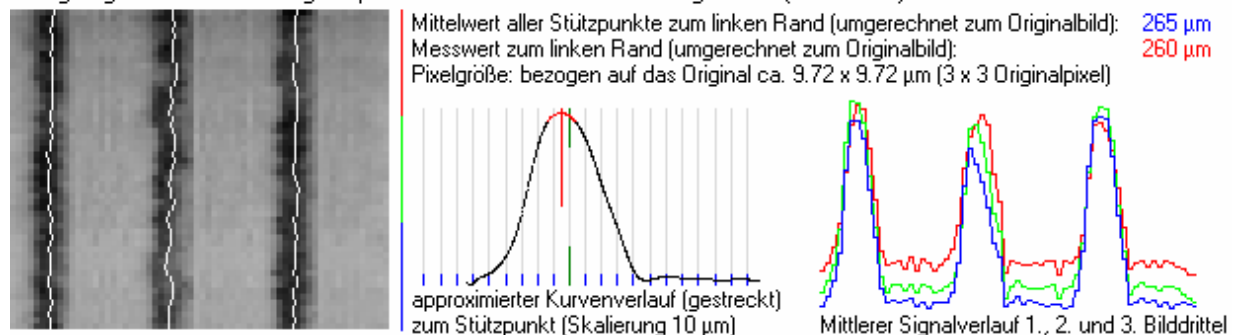


Anlage 8: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden)

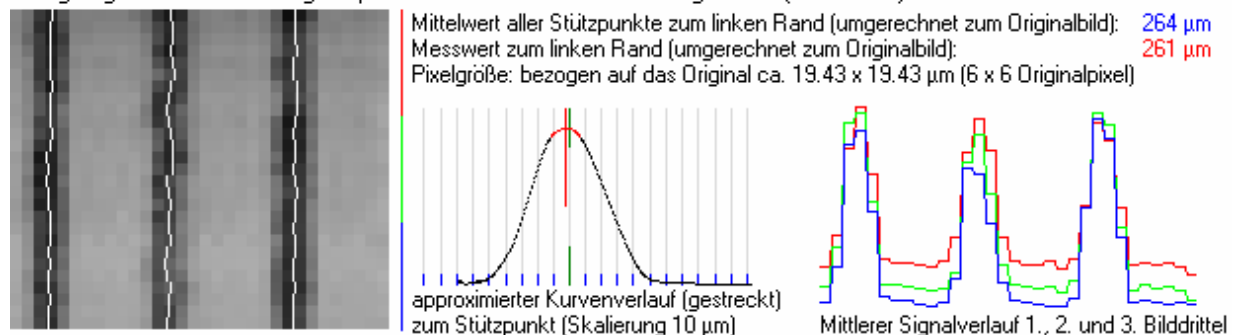
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



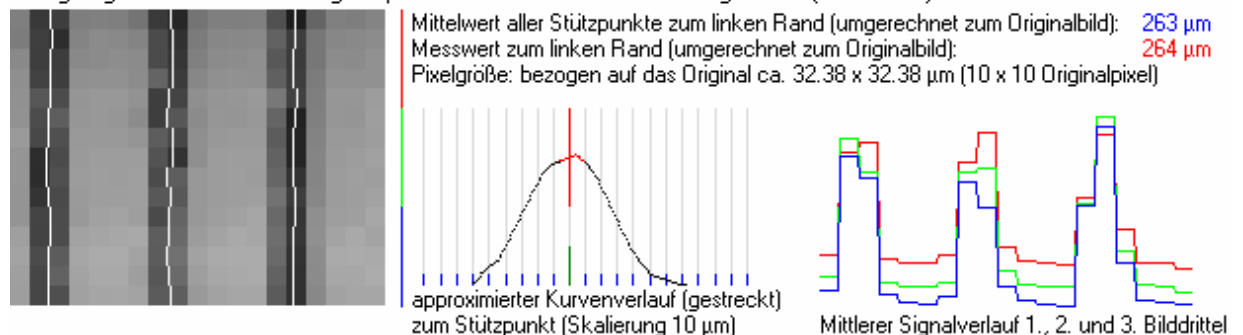
Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

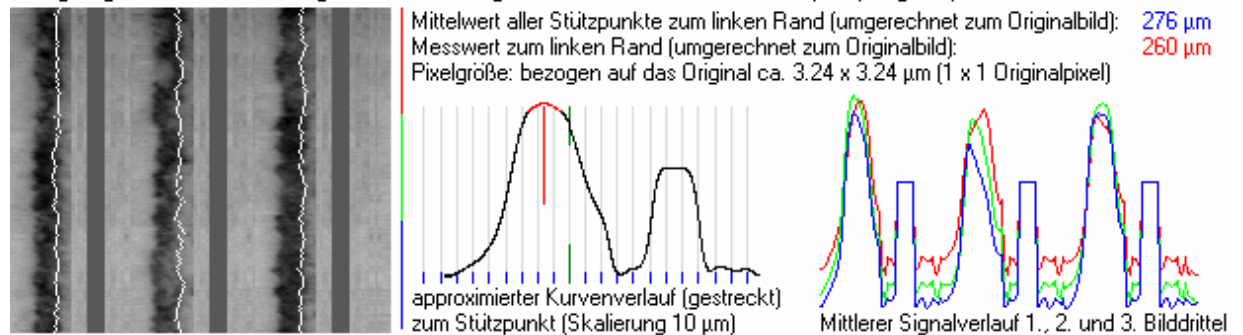


Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

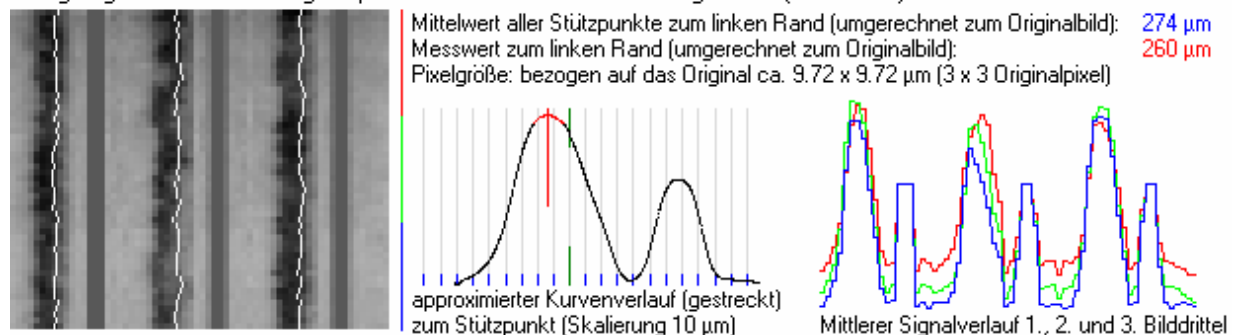


Anlage 9: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurde ein systematischer "Signalfehler" eingeblendet)

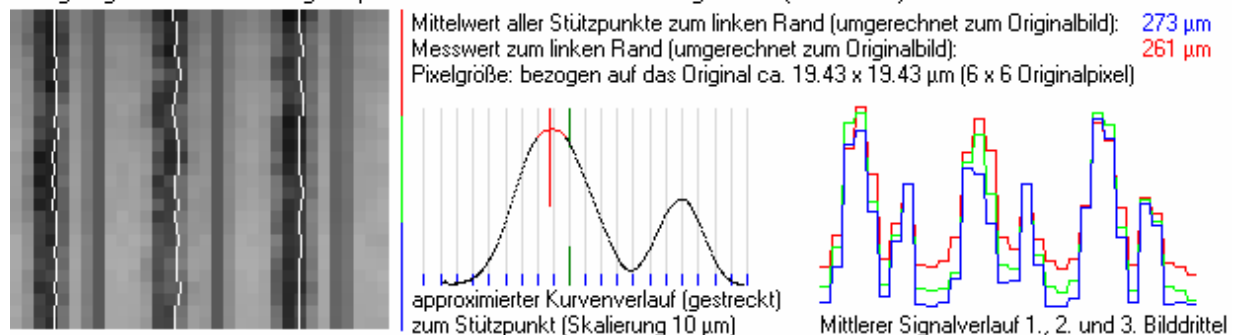
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

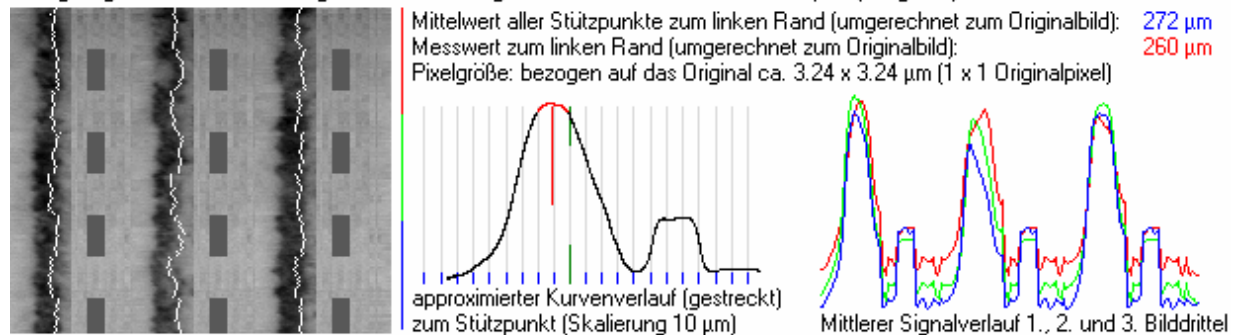


Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Anlage 10: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurden anteilig systematische "Signalfehler" eingeblendet)

Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



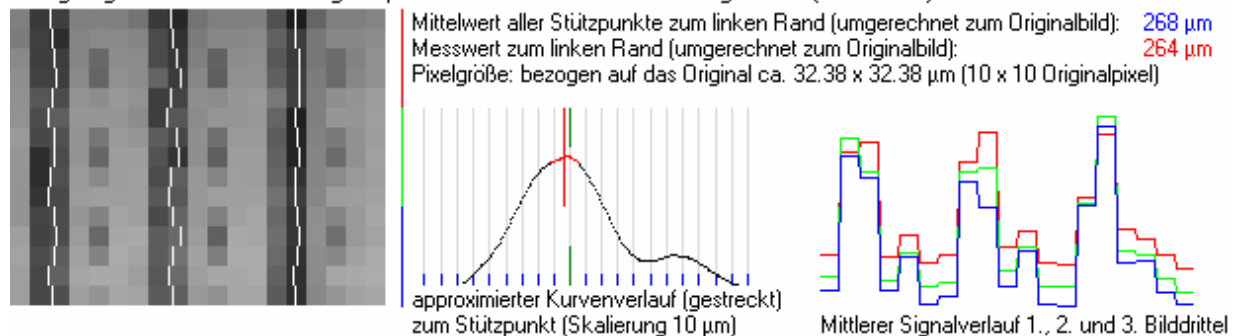
Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Anlage 11: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurden verschieden anteilig systematische "Signalfehler" eingeblendet)

Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Anlage 12: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurden verschieden anteilig zufällig systematische "Signalfehler" eingeblendet)

Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

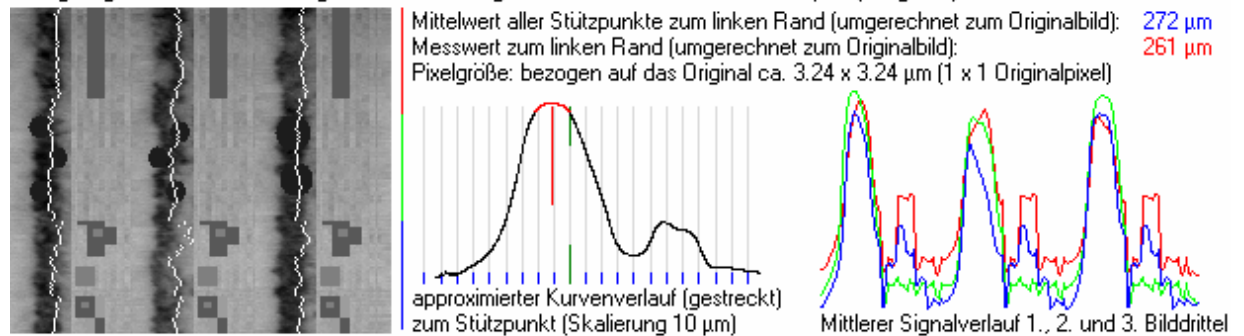


Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Anlage 13: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurde im ersten Drittel ein systematischer "Signalfehler" eingeblendet; im dritten Drittel wurden verschiedene zufällige systematische "Signalfehler" eingeblendet; im mittleren Drittel wurde das Signal zufällig gestört)

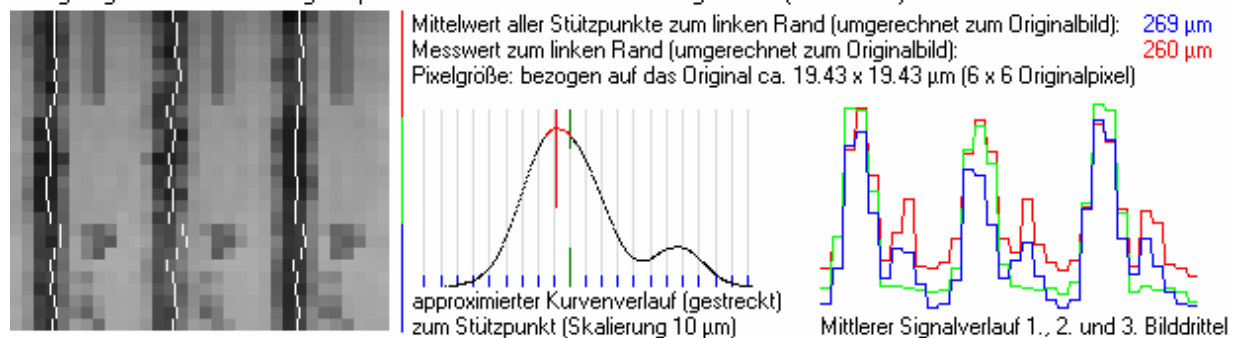
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



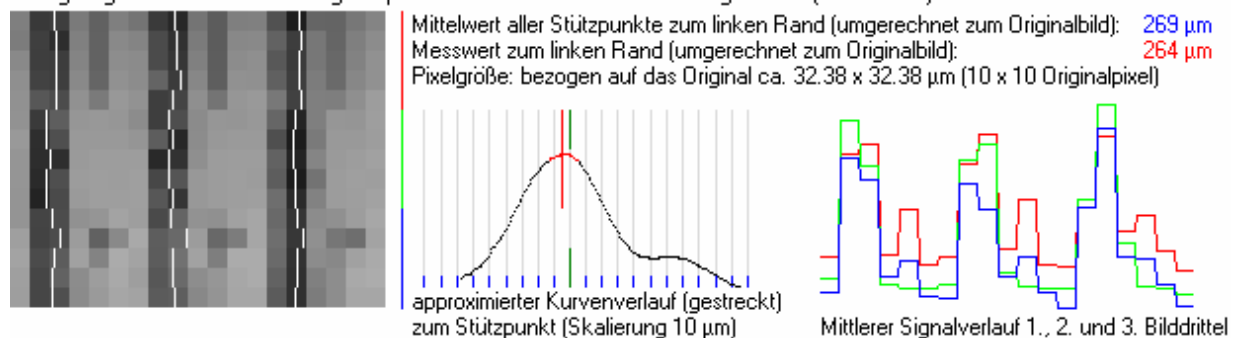
Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

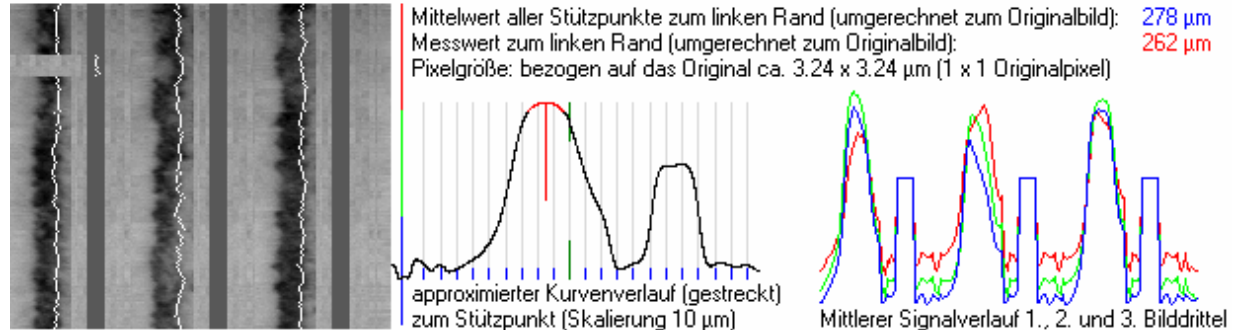


Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Anlage 14: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurden anteilig systematische "Signalfehler" eingeblendet; vom Signal wurde ein kleiner Anteil mittels einer Maske partiell gelöscht)

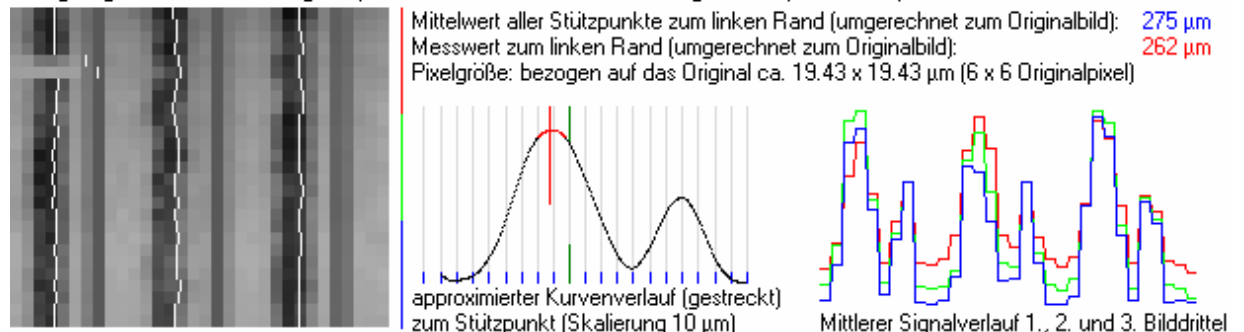
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



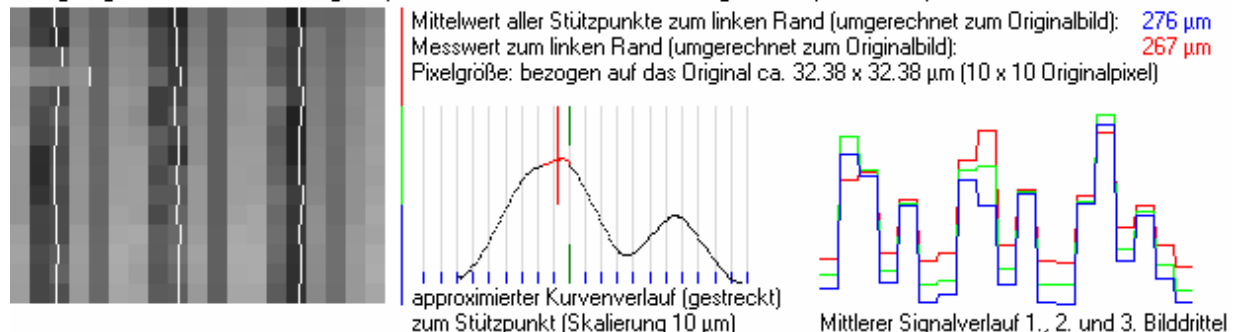
Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

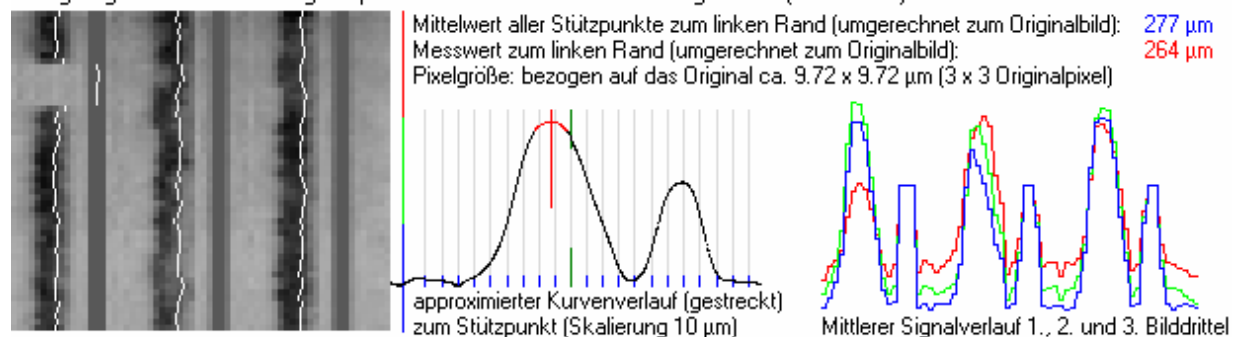


Anlage 15: Simulation einer manipulierten Originalabbildung (die Druckfehler der originalen Abbildung wurden mittels Masken reduziert, die aus Bildspalten ohne Signalanteilen gebildet wurden; zusätzlich wurden anteilig systematische "Signalfehler" eingeblendet; vom Signal wurde ein größerer Anteil mittels einer Maske partiell gelöscht)

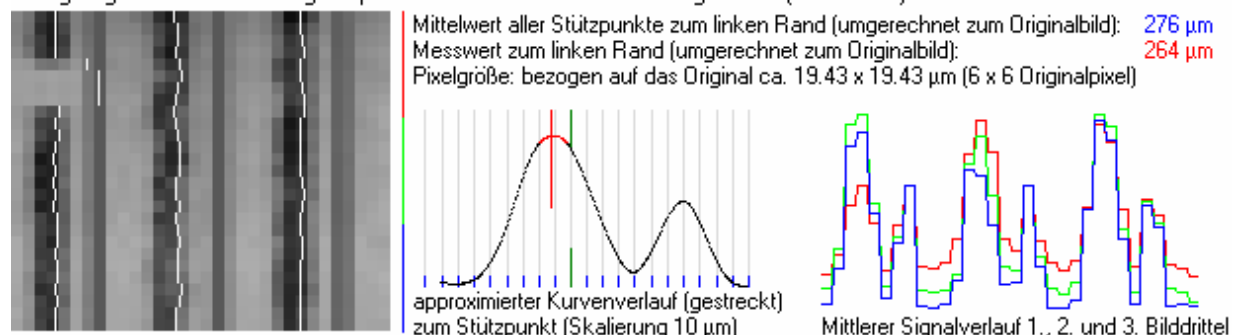
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

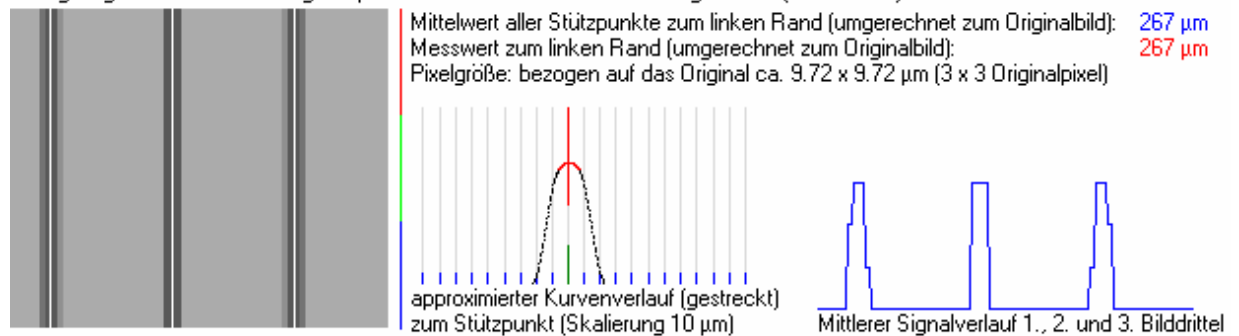


Anlage 16: Simulation eines idealisierten Abbildes

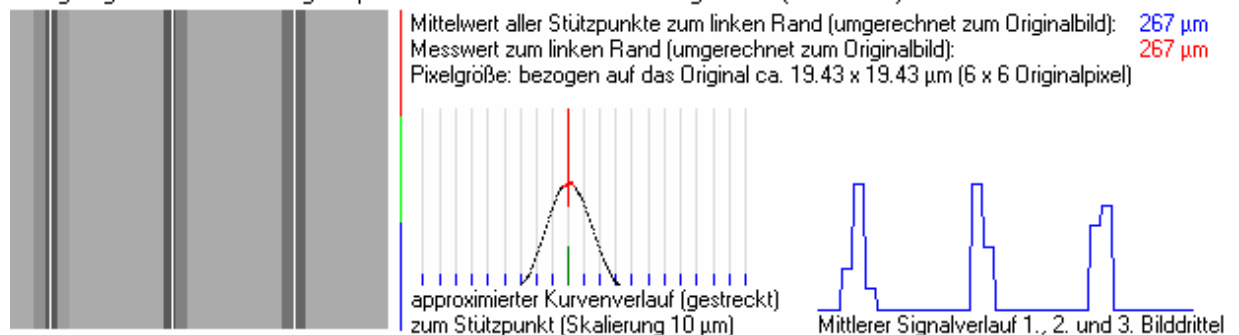
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

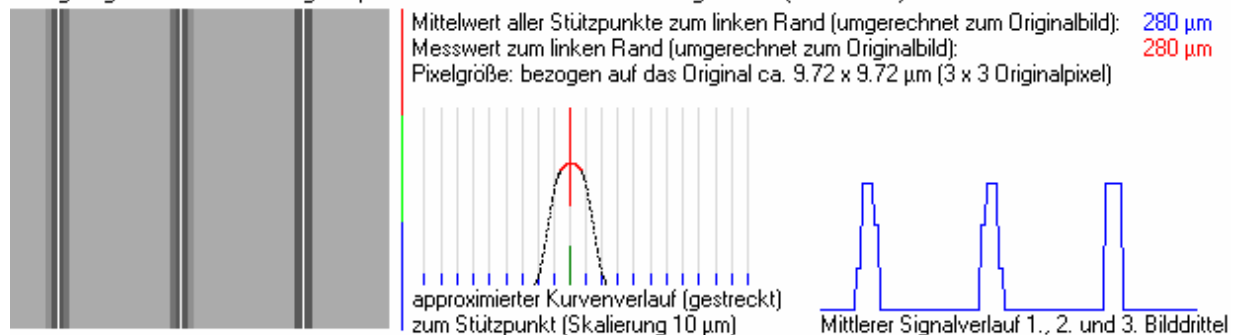


Anlage 17: Simulation eines idealisierten Abbildes, welches um 4 Pixel nach rechts verschoben wurde

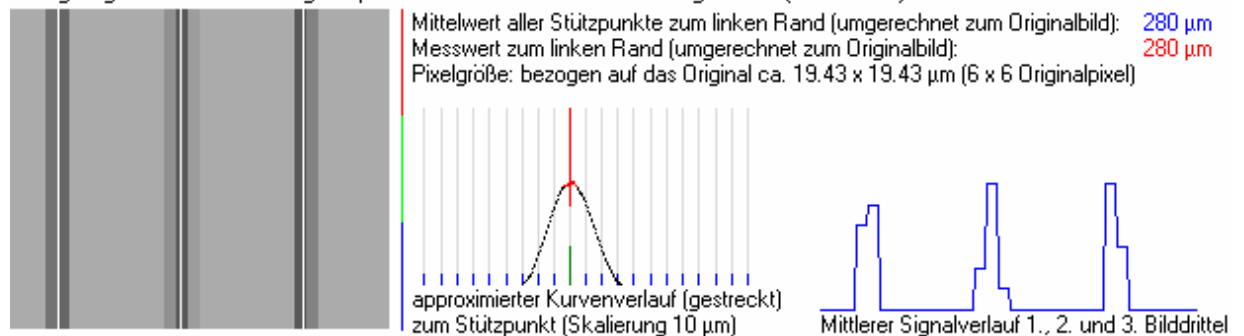
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

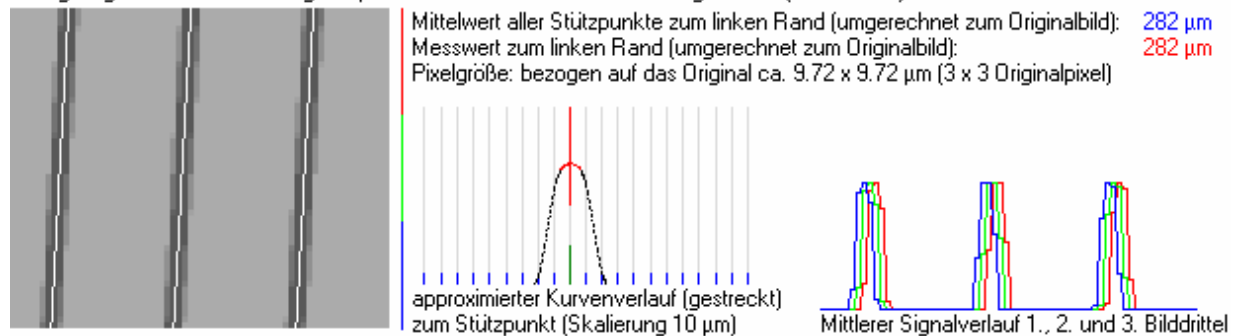


Anlage 18: Simulation eines idealisierten Abbildes schräg abgetasteter Messlinien

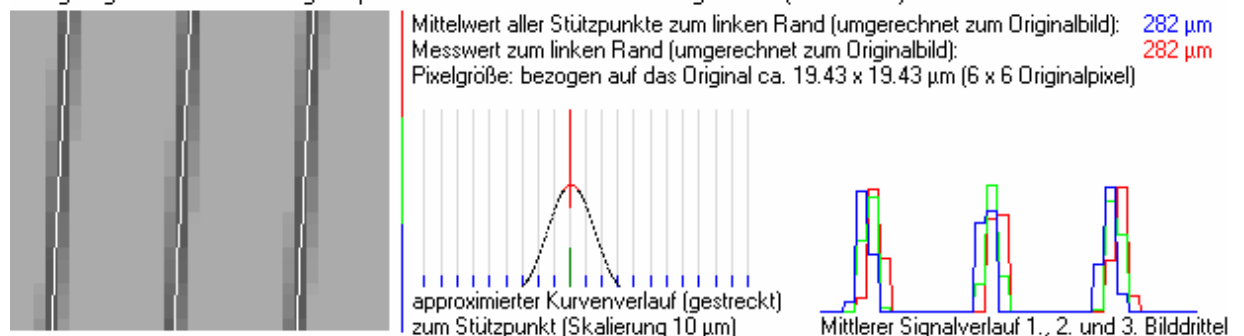
Ausgangsdaten: Abbildung von 3 Messsignalen im Abstand von 200 μm (Original)



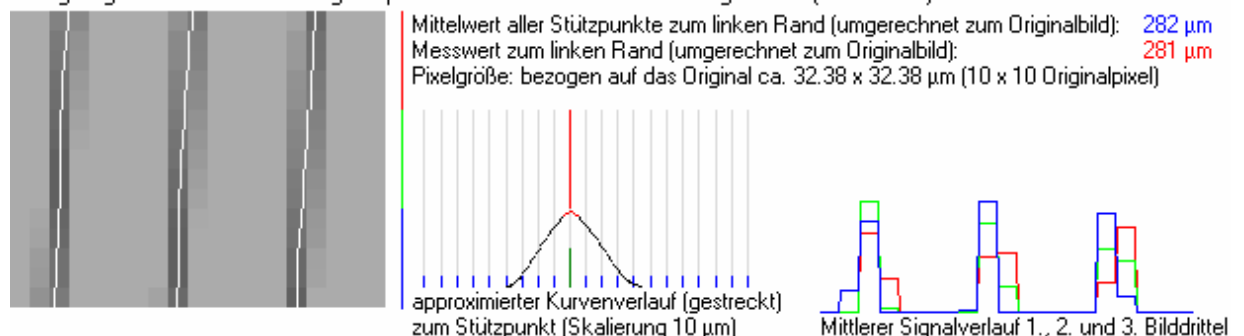
Ausgangsdaten: 3 x 3 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Ausgangsdaten: 6 x 6 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)

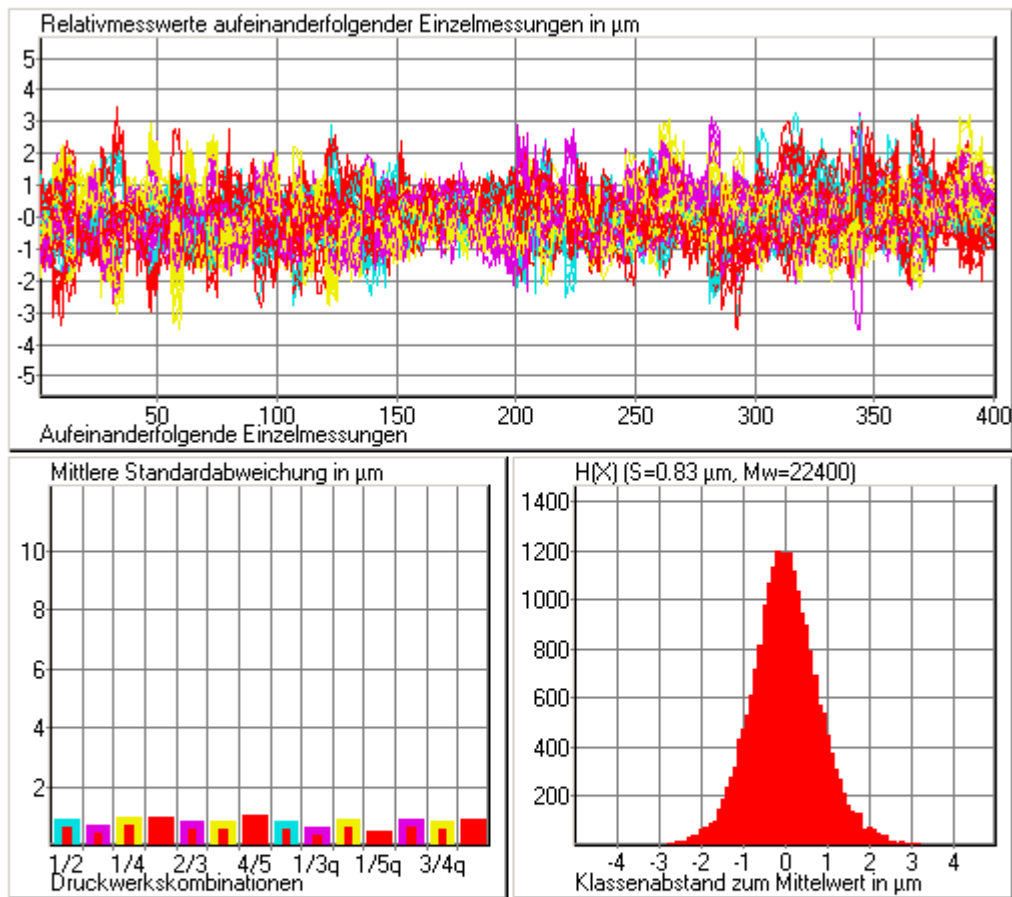


Ausgangsdaten: 10 x 10 Originalpixel rechnerisch zusammengefasst (Mittelwert)



Anlage 19: Reproduzierwiederholmessungen am Beispiel absoluter Messwerte über lange Zeiträume an 80 verschiedenen Messgeräten

Auswertung Absoluttest über 80 verschiedene Gerätekonfigurationen



- Beim "Absoluttest" werden pro Messgerät jeweils immer 5 Messungen an den gleichen 4 Messelementen (5 farbige Messelemente, gedruckt in Schwarz, Cyan, Magenta, Gelb und Grün) vorgenommen.
- Die 4 Messelemente werden geschützt aufbewahrt und zeitkontinuierlich seit 1997 verwendet. Bis 2001 wurden für die Messsysteme verschiedene Beleuchtungseinrichtungen, Kamerasysteme, Framegrabber, Farbfilter und geänderte Linsensysteme verwendet.
- Der angegebene Fehler für absolute Messwerte beträgt $\pm 10 \mu\text{m}$. Zur Vermeidung absoluter Fehler wurde definiert, dass Auswertungen zur Passermessung vollständig mit dem gleichen Messgerät erstellt werden müssen.

Anlage 20: Bestellschein für verschiedene Messelemente

Bestellschein

für Passermesselemente „LUCHS“
(Stand: April 2004)



Es gibt vier Messelemente-Typen, die satzweise in drei Satzvarianten oder einzeln bestellt werden können. Je nach Messelement-Typ wird die erforderliche Anzahl Farbauszüge geliefert.

Bitte pro Satzvariante einen Bestellschein ausfüllen!

Bitte jeweils nur ein Feld ankreuzen zu den Positionen: Messelement-Typ, Satzvariante mit Angabe der Anzahl der Sätze oder Anzahl der Einzelemente, Medium (Film oder digital), positiv oder negativ.

Besteller (Firma, Ansprechpartner)	
Telefon:	
gewünschter Liefertermin:	Bestell-Nr.:
Datum:	Unterschrift:

1. Gewünschtes Medium:

(Bitte ankreuzen)

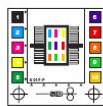
Film: positiv
(offsetrichtig) negativ

digital: Diskette/CD-ROM
(EPS-Dateien) Mac
 PC

E-Mail: _____

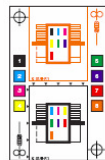
2. Gewünschter Messelement-Typ:

(Bitte ankreuzen*)



Grundelement
(max. 10 Druckwerke)

Film: 49,- €
 digital: 98,- €



Kombinationselement
(max. 8 Druckwerke)

Film: 60,- €
 digital: 120,- €



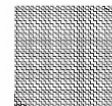
Kombinationselement
(max. 12 Druckwerke)

Film: 68,- €
 digital: 136,- €



Zeitungselement
(max. 5 Druckwerke)

Film: 44,- €
 digital: 88,- €



Sonderelement

Film: 78,- €
 digital: 156,- €

* Die Preise verstehen sich pro Element.

3. Gewünschte Satzvariante für die Messorte und gewünschte Anzahl der Sätze:

(Bitte jeweils ankreuzen)

Erläuterung für Messorte auf dem Druckbogen:

21	22	23	24	25
G		E1		G
16	17	18	19	20
		E2		
11	12	13	14	15
E1		E1		E1
6	7	8	9	10
		E2		
1	2	3	4	5
G	E2	E1	E2	G

Satzvariante:

- Grundsatz **G**
(bestehend aus jeweils einem Messelement für die Ortspositionen 1, 5, 21, 25, also vier Messorte)
- Erweiterungssatz 1 **E1**
(bestehend aus jeweils einem Messelement für die Ortspositionen 3, 11, 13, 15, 23, also fünf Messorte)
- Erweiterungssatz 2 **E2**
(bestehend aus jeweils einem Messelement für die Ortspositionen 2, 4, 8, 18, also vier Messorte)

Anzahl der Sätze:

Einzelne Elemente

Ortsposition: _____

_____ Sätze

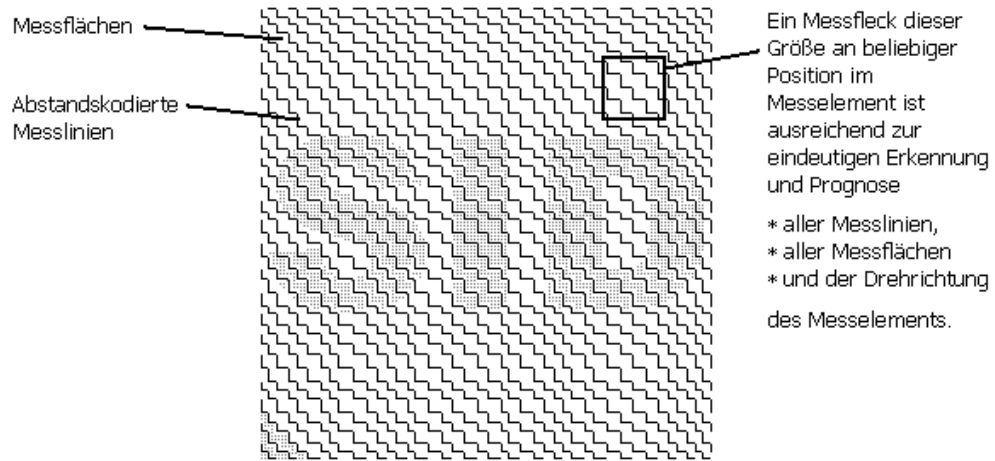
4. Preise (zzgl. MwSt.):

Der Preis pro Bestellung (d. h. pro Bestellschein) ergibt sich aus dem unter Pkt. 2 genannten Preis des gewünschten Messelement-Typs, multipliziert mit der Anzahl der Messorte gemäß Satzvariante und der Anzahl der Sätze bzw. Einzelemente.

Polygraphische innovative Technik Leipzig GmbH · Mommsenstr. 2 · 04329 Leipzig
Tel.: (03 41) 2 59 42-0 · Fax: (03 41) 2 59 42-99 · Internet: www.pitsidleipzig.com · E-Mail: info@pitsidleipzig.com

Anlage 21: Sondermesselement (23mm*23mm), geeignet für Messungen gegen Materialkanten, z.B. für Falz-, Stand-, Schnitt- und Wendepassermessungen längs und quer zur Druckrichtung mit Messbereichen über 10 mm

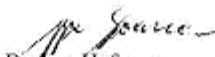
Messelement für Sondermessungen



Das Sondermesselement wurde so gestaltet, dass es an beliebiger Stelle beispielsweise durch einen Schnitt horizontal oder vertikal zerteilt werden kann und dennoch die Position des Schnittes relativ zu diesem Messelement an den noch vorhandenen Messflächen und Messlinien eindeutig ermittelt werden kann. Durch die zickzackförmige Anordnung der abstandskodierten Messlinien sind an der entstehenden Materialkante immer Messflächen ohne Messlinien verfügbar, an denen sich ein nicht durch Messlinien gestörtes Signal zum Messen der Kante bilden lässt. (Das Messelement wird beispielsweise gegen eine schwarze Unterlage vermessen. Nichtunterbrochene gitterartige Messlinien an einer Materialkante könnten ein Messergebnis verfälschen, wenn sie zufällig genau an einer Materialkante liegen und damit mit der Unterlage verwechselt werden könnten.)

Durch die bekannte eindeutige Struktur der Messlinien können in unmittelbarer Nähe und im Umfeld der entstehenden Kante immer Messlinien gefunden werden, mit denen durch deren bekannte Abstände Verhältnisgleichungen zur Errechnung des Messwertes gebildet werden können. Die Abstände der Messliniensegmente wurden so organisiert, dass ein zum Messelement relativ kleiner Messfleck in Form eines beliebigen Rechteckes innerhalb des Messelementes, bestehend aus 4*4 durch Messlinien begrenzten Messflächen, zur eindeutigen Prognose der Positionen aller Messlinien, aller Messflächen und der Drehrichtung des Messelementes zum Messkopf ausreicht. Durch diese Art der Anordnung der Messlinien kann das Messelement Messbereiche abdecken, die größer der mit dem Messkopf erfassbaren Abbildung sind oder auch dann verwendet werden, wenn nur hinreichend große Teile des Messelements vom Messkopf erfasst werden können (Messungen durch Masken etc.).

Anlage 22: Konformitätserklärung eines Passermessgerätes vom Typ LUCHS II und Titelblatt eines Zertifikates über vorgenommene Prüfungen

Konformitätserklärung	
Das	und die
Sächsische Institut für die Druckindustrie GmbH Institut des Vereins Polygraph Leipzig e.V. Mommsenstr. 2 04329 Leipzig	Polygraphische Innovative Technik GmbH (PITSID) Mommsenstr. 2 04329 Leipzig
als Entwickler	als Hersteller und Vertreiber
erklären für das Produkt:	ab Mai 2000 neue Bezeichnung:
Bezeichnung: Passermessgerät LUCHS II	Passermesssystem LUCHS
Serie: 04-0102.0/0	
ab Geräte-Nr.: PMG-0020	
auf der Basis der:	
<ul style="list-style-type: none">• Richtlinie 89/392/EWG vom 14.7.89 über Maschinen; (Maschinenrichtlinie) geändert durch Richtlinie 91/368/EWG vom 20.6.91 und durch Richtlinie 93/44/EWG vom 14.6.93• Richtlinie 73/23/EWG vom 19.2.73 betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (Niederspannungsrichtlinie) geändert durch Richtlinie 93/68/EWG vom 22.6.93• Richtlinie 89/336/EWG vom 3.5.89 über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Richtlinie) geändert durch Richtlinien 91/263/EWG vom 12.4.91, durch Richtlinie 92/31/EWG vom 28.4.92 und durch Richtlinie 93/68/EWG vom 22.7.93.	
die Übereinstimmung mit folgenden harmonisierten Normen:	
DIN EN 60204-1	11/98 Sicherheit von Maschinen Elektrische Ausrüstung von Maschinen Teil I: Allgemeine Anforderungen bezüglich Schutzleiterprüfung
DIN EN 55011	5/2000 Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Hochfrequenzgeräte Produktfamilienorm Funkstörungen Grenzwertklasse A, Gruppe 1
DIN EN 61000-6-2	3/2000 Elektromagnetische Verträglichkeit Fachgrundnorm Störfestigkeit Industriebereich
DIN EN 61000-3-2	10/98 Elektromagnetische Verträglichkeit Netzurückwirkungen Oberwellen
DIN EN 61000-3-3	03/96 Elektromagnetische Verträglichkeit Spannungsschwankungen und Flicker
Das Gerät wurde unter Betriebsbedingungen von akkreditierten EMV-Labors geprüft.	
Leipzig 01.03.2001	 Dr. Ing. Hofmann Geschäftsführer SID / PITSID

Konformitätserklärung eines Passermessgerätes vom Typ LUCHS II, Stand März 2001



**SLG Prüf- und
Zertifizierungs GmbH**

CE-Prüfstelle 0494

GS-Prüfstelle

Meldestelle nach BImSchG §§ 26/28

DKD-Kalibrierstelle 7301

Siemens B-Kalibrierlabor E-051

zuständige Stelle gem. EMVG
(COMPETENT BODY)

Test Report

Register measuring system "Luchs II"

Low-Voltage-Directive: 01-G-0178



SLG Prüf- und
Zertifizierungs GmbH
Postfach 421
D-09004 Chemnitz

Titelblatt eines Zertifikates über vorgenommene Prüfungen (Auszugsweise Veröffentlichung nicht gestattet, Umfang des Protokolls 33 Seiten+ 8 Seiten Anlage)

4.3 Messvorschrift - Allgemeine Bedingungen zur Einhaltung der angegebenen Messunsicherheit des Messgerätes

Zur Einhaltung der angegebenen Messunsicherheit müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

Gerätekontrolle:

Es ist erforderlich, die angegebene Messunsicherheit des Messgerätes in Abhängigkeit von der Anwendungshäufigkeit und Beanspruchung zu überprüfen. Da die Durchführung einer Genauigkeitskontrolle sehr einfach und ohne erheblichen Aufwand möglich ist, liegt sie im Verantwortungsbereich des Gerätebetreibers. Bei größeren Messabweichungen (siehe Messunsicherheit) ist es notwendig, dass Messgerät erneut zu kalibrieren.

Kalibrieren:

Das Messgerät wird im kalibrierten Zustand geliefert. Die Kalibrierung muss nach jedem Lampenwechsel, Messkopftausch bzw. grobem oder hartem Stoß erneuert werden. Es wird empfohlen, eine turnusmäßige Genauigkeitskontrolle mittels einfacher Reproduziermessungen durchzuführen. Es ist möglich, das Messgerät regelmäßig vom SID über eine vom Deutschen Kalibrierdienst DKD geprüfte Maßstabsplatte aus Glas überprüfen zu lassen. Mittels einer Vorschrift kann diese Prüfung auch dann durchgeführt werden, wenn eine geprüfte Maßstabsplatte vom SID bezogen und regelmäßig überprüft wird.

Filme:

Nur vom PITSID gelieferte Filme (Originalkontrollstreifen) verwenden, nicht umkontakten. Bei der Direktbebilderung unter Verwendung digitaler Messelemente oder der Filmherstellung von Messelementen aus digitalen Daten (EPS) sind je nach Ausgabegerät gesonderte Hinweise zu beachten (siehe digitale Montage).

Skalierung:

Da die Messelemente ein Absolutmaß enthalten, dürfen die Messelemente niemals skaliert werden !

Montage:

Anordnung der Messelemente je nach Anwendungsfall, Messelemente rechtwinklig und passgenau montieren. Jedes Messelement ist an dem Messort zu drucken, für den es vorgesehen ist. Jeder Farbauszug eines Messelementes ist in dem Druckwerk zu drucken, für den der Farbauszug vorgesehen ist. (Die Nummer im Farbauszug kennzeichnet das Druckwerk.) Bei Sondermesselementen ist die Drehung der Messelemente je nach verwendeter Technologie zu beachten. Normalerweise sollte der Schriftzug "SID" immer aus der Sicht von der Greiferkante aus lesbar sein.

Digitale Montage:

Es gelten die allgemeinen Montagevorgaben. Zusätzlich sind die "Hinweise zur Verwendung der LUCHS Passermesselemente", die "Hinweise zur Verwendung der LUCHS Sondermesselemente" wie auch die "Softwarelizenz" zu beachten. Da alle Messelemente ein Absolutmaß enthalten, dürfen alle LUCHS Passermesselemente in keinem Fall skaliert werden.

Druckplatten:

beliebige, neuwertige und hochauflösende Offsetdruckplatten verwenden.

Druckplattenherstellung:

Belichtung ohne Streufolie (notfalls Maskieren), Entwickeln nach Hersteller- und bvdm / FORGA Vorgaben.

Bedruckstoff:

nicht durchscheinendes (opakes), gestrichenes weißes Bilderdruckpapier bester Qualität ohne sichtbare Oberflächenstrukturen und Beschädigungen (Löcher, Popel, Strichverletzungen, Falten usw.) Je nach Passermessart und Messsystem geforderte gesonderte Vorgaben beachten (Grammatur, verarbeitbare Grammatur, allseitiger Beschnitt etc.).

Druckfarbe:

Schwarz, Volltondichtebereich 1 - 1.4 verdrucken (siehe Hinweise!).

Druck:

Alle Passermesselemente sind so zu drucken, dass alle Liniengruppen aller Einzelfarben sich nicht berühren und nicht übereinander gedruckt werden. Es muss mindestens ein Maßstabsrahmen (in der Regel Druckwerk 1) gedruckt werden, alle Liniengruppen der anderen Einzelfarben müssen innerhalb dieses Maßstabsrahmens gedruckt werden. Werden Druckplatten vertauscht, ist diese Information auf den gedruckten Bögen zu vermerken und vor dem Ausmessen der Bogen das Messsystem entsprechend einzustellen. Auszuwertende Sondermesselemente dürfen nicht übereinander gedruckt werden.

Erforderliche Druckqualität:

randscharfer Druck ohne Druckfehler (kein Schieben und Dublieren!, kein Tonen, keine Popel, kein Rupfen usw. siehe Hinweise!).

Auswertungsbogenauswahl:

Kontrolle der Bogen hinsichtlich der Vollständigkeit und Fehlerfreiheit des übertragenen Informationsgehaltes, der Druckqualität und auszuschließender oder störender mechanischer Beschädigungen. Es sind immer nur im Druck aufeinander folgend gedruckte Bogen (Bogenfolgen) auszuwerten. Es ist sinnvoll alle Bogen vor dem Messen zu markieren. Je nach Messaufgabe sind Vorgaben zur Stichprobengröße zu beachten.

Weiterverarbeitung:

Ist es notwendig, vor dem Messen die Bogen zu schneiden (z.B. für die indirekte Wendepassermessung), sind Schnitte immer rechtwinklig und/oder parallel zu den vorhandenen Bogenkanten mit einer Schneidemaschine ohne Schnittfehler auszuführen.

Messen:

Messelemente sind generell planliegend auf einer ebenen Unterlage auszumessen. Für Messungen mit den Sondermesselementtools sind die "Anmerkungen zur Messung mit dem Sondermesselement" einzuhalten. Alle Messungen sind unter gleichmäßigen Bedingungen ohne Unterbrechungen auszuführen. Für Messungen mit dem Passermesssystem AUTOLUCHS ist eine jeweils beidseitige Abstützung der Messelemente mittels Führungen und Kugeln sicherzustellen. Es ist darauf zu achten, dass keine Umrüstarbeiten während einer Messung durchgeführt werden.

Auswertungsbogenlagerung:

Zur Passermessung verwendete Druckbogen mit aufgebrachten Messelementen sind absolut pfleglich zu behandeln und zu lagern. Die Messelemente dürfen keinen Bedingungen ausgesetzt werden, die den gedruckten Informationsgehalt verändern bzw. zerstören. Eine Verfälschung des gedruckten Informationsgehaltes durch Verschmieren oder Verwischen der nicht getrockneten Druckfarbe kann immer eine nicht kalkulierbare Messabweichung zur Folge haben. So verbietet sich die Lagerung vieler Druckbogen in großen Stapeln genauso wie das Wischen mit dem Handballen oder dem Finger über ein frisch gedrucktes Messelement.

Hinweise:

Das Passermesssystem LUCHS ist von der angewendeten Technik wie auch vom Verfahren her darauf vorbereitet, mit einer geringeren als der angegebenen Messunsicherheit (siehe Messunsicherheit) Messwerte zu erfassen. Es arbeitet im Fall von Druckqualitätsmängeln (Tönen, kleine Kratzer usw.) fehlertolerant, es informiert den Anwender über nicht auswertbare Messelemente. Buntfarben, auch Gelb, können ebenso verwendet werden, wie es auch möglich ist, in anderen Dichtebereichen zu drucken. Ein spezielles Verfahren korrigiert Schiebe- und Dublierfehler. Diese besonderen Fähigkeiten des Gerätes können vom Anwender voll genutzt werden, wobei allerdings die angegebenen Messunsicherheit unter Umständen nicht eingehalten wird (bzw. nicht nachgewiesen werden kann).

Anlage 24: Kalibrierschein vom deutschen Kalibrierdienst DKD, akkreditiert durch die physikalisch technische Bundesanstalt PTB, Nachweis der Qualität eines in Glas gefertigten Messnormales

DEUTSCHER KALIBRIERDIENST DKD					
Kalibrierlaboratorium für die Meßgröße Länge <i>Calibration laboratory for the measurand length</i>					
AKKREDITIERT DURCH DIE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)					
	Carl Zeiss Jena Servicebereich Qualität Prüfzentrum				
Kalibrierschein <i>Calibration Certificate</i>	Kalibrierzeichen <i>Calibration mark</i>	<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">447</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">DKD-K-10301</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">01-05</td></tr> </table>	447	DKD-K-10301	01-05
447					
DKD-K-10301					
01-05					
Gegenstand <i>Object</i>	Maßstabsplatte aus Glas mit Teilungsfeld der Abmessungen 9 mm x 5,5 mm	<p>Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).</p> <p>Der Deutsche Kalibrierdienst ist Unterzeichner des multilateralen Übereinkommens der European co-operation for Accreditation (EA) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.</p> <p>Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.</p> <p><i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The Deutscher Kalibrierdienst is signatory to the multilateral agreement of the European co-operation for Accreditation (EA) for the mutual recognition of calibration certificates.</i></p> <p><i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i></p>			
Hersteller <i>Manufacturer</i>	SID Sächsisches Institut für die Druckindustrie GmbH				
Typ <i>Type</i>	entfällt				
Fabrikat/Serien-Nr. <i>Serial number</i>	98/0005				
Auftraggeber <i>Customer</i>	SID Sächsisches Institut für die Druckindustrie GmbH Mommstraße 2 04329 Leipzig				
Auftragsnummer <i>Order No.</i>	QJ-P 320/01				
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines <i>Number of pages of the certificate</i>	3				
Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration</i>	15. Mai 2001				
<p>Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.</p> <p><i>This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Physikalisch-Technische Bundesanstalt and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.</i></p>					
Stempel <i>Seal</i>	Datum <i>Date</i>	Leiter des Kalibrierlaboratoriums <i>Head of the calibration laboratory</i>			
	16. Mai 2001	 Hübich			
		 Leisner			
Carl Zeiss Jena Servicebereich Qualität Prüfzentrum	Carl-Zeiss-Promenade 10 07745 Jena	Telefon: 03641-64-2325 Telefax: 03641-64-3308			

Kalibrierschein QJ-P 320/01 Seite 1

Kalibrierverfahren:

Die in der Tabelle angegebenen Längen wurden mit dem automatischen Interferenzkomparator Lambda-Mess 600, Ident.-Nr. 2309170008000, gemessen.

Der Maßanschluß des Komparators an die Längeneinheit erfolgte

- durch Benutzung eines frequenzstabilisierten He-Ne-Lasers als Bezugsnorm, dessen Wellenlänge gegen Wellenlängen eines auf Jod-Absorptionslinien stabilisierten He-Ne-Lasers, Fabr.-Nr. ASMW 3, Ident.-Nr. 2309120006200, PTB-kalibriert mit amtl. Zeichen 112 PTB 94 vom 13. 06. 1997, verglichen wurde
- durch Einmessung des Längenmeßgerätes mit einem PTB-kalibrierten Normalstrichmaßstab mit der Ident.-Nr. 69320, amtl. Zeichen 6004 PTB 98

Bei der Kalibrierung lag die Maßstabsplatte zwangsfrei auf einer ebenen Fläche auf. Die Kalibrierung erfolgte direkter Betrachtung der Teilstriche, bei Durchlichtbeleuchtung sowie bei Einstellung des Messmikroskopes auf die Mitten der Teilstrichlängen und Erfassung einer Strichlänge von 0,35 mm. Lage der Messschnitte siehe Anlage.

Kalibrierbedingungen:

Die Kalibrierung erfolgte bei Temperaturen zwischen 19,9 °C und 20,0 °C. Die Messwerte wurden auf die Bezugstemperatur +20,0 °C korrigiert.

Als Längenausdehnungskoeffizient des Teilungsträgers wurde der Wert $7,0 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ zugrunde gelegt.

Messunsicherheit:

Die Messunsicherheit für die Abweichung von der Nennlänge beträgt $U = 0,3 \mu m$

Die Bestimmung der Messunsicherheit erfolgte gemäß DKD-3 (EA-4/02). Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmeßunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ ergibt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im zugeordneten Wertintervall.

Messergebnis:

Werte in mm

Maß Nr.	x-Richtung		Y-Richtung	
	<i>Sollmaß</i>	<i>Istmaß</i>	<i>Sollmaß</i>	<i>Istmaß</i>
1	0,2	0,19995	0,2	0,20008
2	0,4	0,39999	0,4	0,40002
3	1,0	0,99960	1,04	1,04018
4	1,16	1,15954	1,26	1,26021
5	1,32	1,31961	1,06	1,06013
6	1,48	1,47961	1,48	1,48022
7	1,64	1,63966	2,56	2,56012
8	1,8	1,79969	4,06	4,06038
9	3,76	3,75946	5,1	5,09994
10	6,5	6,50022	5,3	5,30002
11	8,6	8,59993	5,5	5,50002
12	8,8	8,79992		
13	9,0	8,99993		

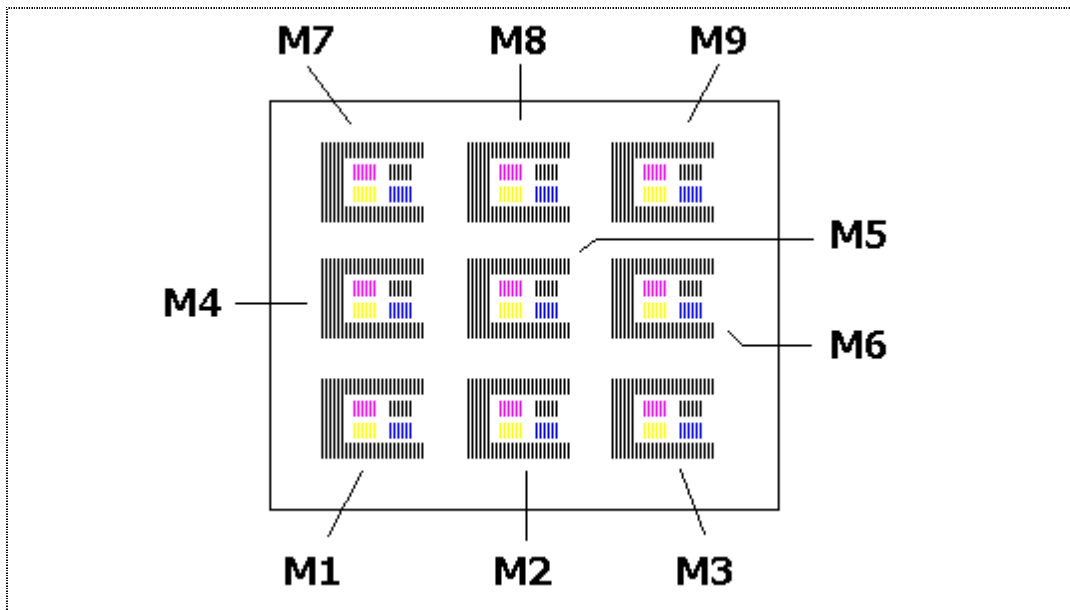
Anlage: Lage der Messschnitte

Anlage 25: Prüfprotokoll eines Glasmaßtests

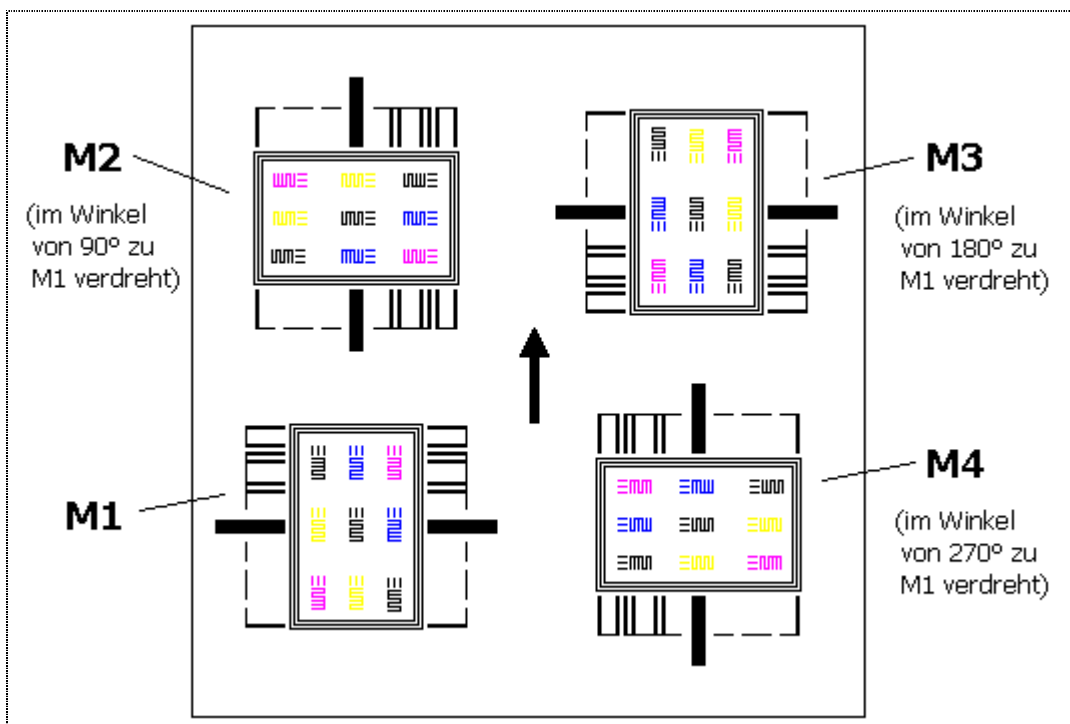
LUCHS Prüfprotokoll "Prüfung SID-Gerät mit Prüfelement 98/0007 "				
Erstellt am Donnerstag, den 15.11.2001 um 17:05 Uhr.				
Prüfkriterium	mittlerer Absolutfehler [Soll -10µm .. 10µm]	Standardabweichung [Soll <1,67µm]	Spannweite [Soll <= 10µm]	Testergebnis
1/2	1.48	0.27	1.08	Ok / Ok / Ok
1/3	1.72	0.30	1.37	Ok / Ok / Ok
1/4	1.46	0.27	1.22	Ok / Ok / Ok
1/5	1.26	0.32	1.51	Ok / Ok / Ok
1/6	1.21	0.25	0.99	Ok / Ok / Ok
1/7	0.67	0.26	1.03	Ok / Ok / Ok
1/8	0.36	0.30	1.36	Ok / Ok / Ok
1/9	-0.01	0.33	1.46	Ok / Ok / Ok
1/10	-0.04	0.40	1.53	Ok / Ok / Ok
2/3	0.24	0.40	1.56	Ok / Ok / Ok
3/4	-0.26	0.37	1.46	Ok / Ok / Ok
4/5	-0.20	0.40	1.62	Ok / Ok / Ok
5/6	-0.05	0.26	0.98	Ok / Ok / Ok
6/7	-0.53	0.26	0.93	Ok / Ok / Ok
7/8	-0.32	0.39	1.64	Ok / Ok / Ok
8/9	-0.37	0.37	1.76	Ok / Ok / Ok
9/10	-0.03	0.50	2.22	Ok / Ok / Ok
1/2q	-0.03	0.30	0.93	Ok / Ok / Ok
1/3q	0.36	0.39	1.35	Ok / Ok / Ok
1/4q	0.20	0.48	1.57	Ok / Ok / Ok
1/5q	0.73	0.45	1.76	Ok / Ok / Ok
1/6q	0.61	0.29	1.07	Ok / Ok / Ok
1/7q	0.01	0.25	1.13	Ok / Ok / Ok
1/8q	-0.34	0.49	1.74	Ok / Ok / Ok
1/9q	0.32	0.35	1.45	Ok / Ok / Ok
1/10q	0.16	0.33	1.23	Ok / Ok / Ok
2/3q	0.39	0.62	1.99	Ok / Ok / Ok
3/4q	-0.16	0.53	1.83	Ok / Ok / Ok
4/5q	0.53	0.59	2.53	Ok / Ok / Ok
5/6q	-0.12	0.48	1.70	Ok / Ok / Ok
6/7q	-0.60	0.26	1.28	Ok / Ok / Ok
7/8q	-0.36	0.53	2.21	Ok / Ok / Ok
8/9q	0.67	0.51	2.18	Ok / Ok / Ok
9/10q	-0.16	0.30	1.08	Ok / Ok / Ok
Anzahl der Messungen: 40 Herstellervorgabe: >=10				
Betrag des größten mittleren Absolutfehlers: 1.72 µm Herstellervorgabe: <= 10 µm				
Mittelwert der Beträge aller mittleren Absolutfehler: 0.47 µm				
Größte Standardabweichung: 0.62 µm Herstellervorgabe: < 1.67 µm				
Mittlere Standardabweichung: 0.38 µm				
Größte Spannweite: 2.53 µm Herstellervorgabe: <= 10 µm				
Mittlere Spannweite: 1.49 µm				
Prüfergebnis: Keine Fehler ermittelt.				

Prüfprotokoll eines Glasmaßtests

Anlage 26: Schematische Darstellung von ARRAY Testelementen



Schematische Darstellung des ARRAY – Testdruckelementes



Schematische Darstellung des LQ - ARRAY - Testdruckelementes

Anlage 27: Tabelle zur Auswertung von LQ - ARRAY Testdruckauswertungen verwendeter Wertkombinationen

Tabelle der zur Auswertung von LQ-ARRAY-Testelementen verwendeten Messwertkombinationen die pro Tabellenzeile jeweils direkt gegenübergestellt werden können.

(a)	aus M1 gewonnen			aus M2 gewonnen			aus M3 gewonnen			aus M4 gewonnen			zur Basis
12*	S1L	S2L	S3L	-S1Q	-S2Q	-S3Q	-S1L	-S2L	-S3L	S1Q	S2Q	S3Q	Sx
8**	C1L	C2L		-C1Q	-C2Q		-C1L	-C2L		C1Q	C2Q		Sx
8**	M1L	M2L		-M1Q	-M2Q		-M1L	-M2L		M1Q	M2Q		Sx
8**	Y1L	Y2L		-Y1Q	-Y2Q		-Y1L	-Y2L		Y1Q	Y2Q		Sx
8***	S1L	S2L		-S1Q	-S2Q		-S1L	-S2L		S1Q	S2Q		C1x & C2x
8***	C1L	C2L		-C1Q	-C2Q		-C1L	-C2L		C1Q	C2Q		M1x & M2x
8***	M1L	M2L		-M1Q	-M2Q		-M1L	-M2L		M1Q	M2Q		Y1x & Y2x
12*	S1Q	S2Q	S3Q	S1L	S2L	S3L	-S1Q	-S2Q	-S3Q	-S1L	-S2L	-S3L	Sx
8**	C1Q	C2Q		C1L	C2L		-C1Q	-C2Q		-C1L	-C2L		Sx
8**	M1Q	M2Q		M1L	M2L		-M1Q	-M2Q		-M1L	-M2L		Sx
8**	Y1Q	Y2Q		Y1L	Y2L		-Y1Q	-Y2Q		-Y1L	-Y2L		Sx
8***	S1Q	S2Q		S1L	S2L		-S1Q	-S2Q		-S1L	-S2L		C1x & C2x
8***	C1Q	C2Q		C1L	C2L		-C1Q	-C2Q		-C1L	-C2L		M1x & M2x
8***	M1Q	M2Q		M1L	M2L		-M1Q	-M2Q		-M1L	-M2L		Y1x & Y2x

Legende: Q = Längswert L = Längswert
S = Schwarz C = Cyan M = Magenta Y = Yellow

Bemerkung: Zeile 2 der Tabelle ist wie folgt zu lesen:

- Die Messwerte der Kombination
- Cyan 1 längs, gewonnen aus M1 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M1, können mit den Messwerten der Kombination
- Cyan 2 längs, gewonnen aus M1 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M1, und den invertierten Messwerten der Kombination
- Cyan 1 quer, gewonnen aus M2 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M2, und den invertierten Messwerten der Kombination
- Cyan 2 quer, gewonnen aus M2 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M2, und den invertierten Messwerten der Kombination
- Cyan 1 längs, gewonnen aus M3 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M3, und den invertierten Messwerten der Kombination
- Cyan 2 längs, gewonnen aus M3 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M3, und den Messwerten der Kombination
- Cyan 1 quer, gewonnen aus M4 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M4, wie auch den Messwerten der Kombination
- Cyan 2 quer, gewonnen aus M4 zur zuordenbaren Basis Schwarz aus M4, direkt verglichen werden.

Hinweis: (a) Anzahl direkt gegenüberstellbarer Einzelmesswerte pro LQ-ARRAY-Einzeltestelement oder Anzahl direkt gegenüberstellbarer Kurvenzüge bei Bogenfolgeauswertungen

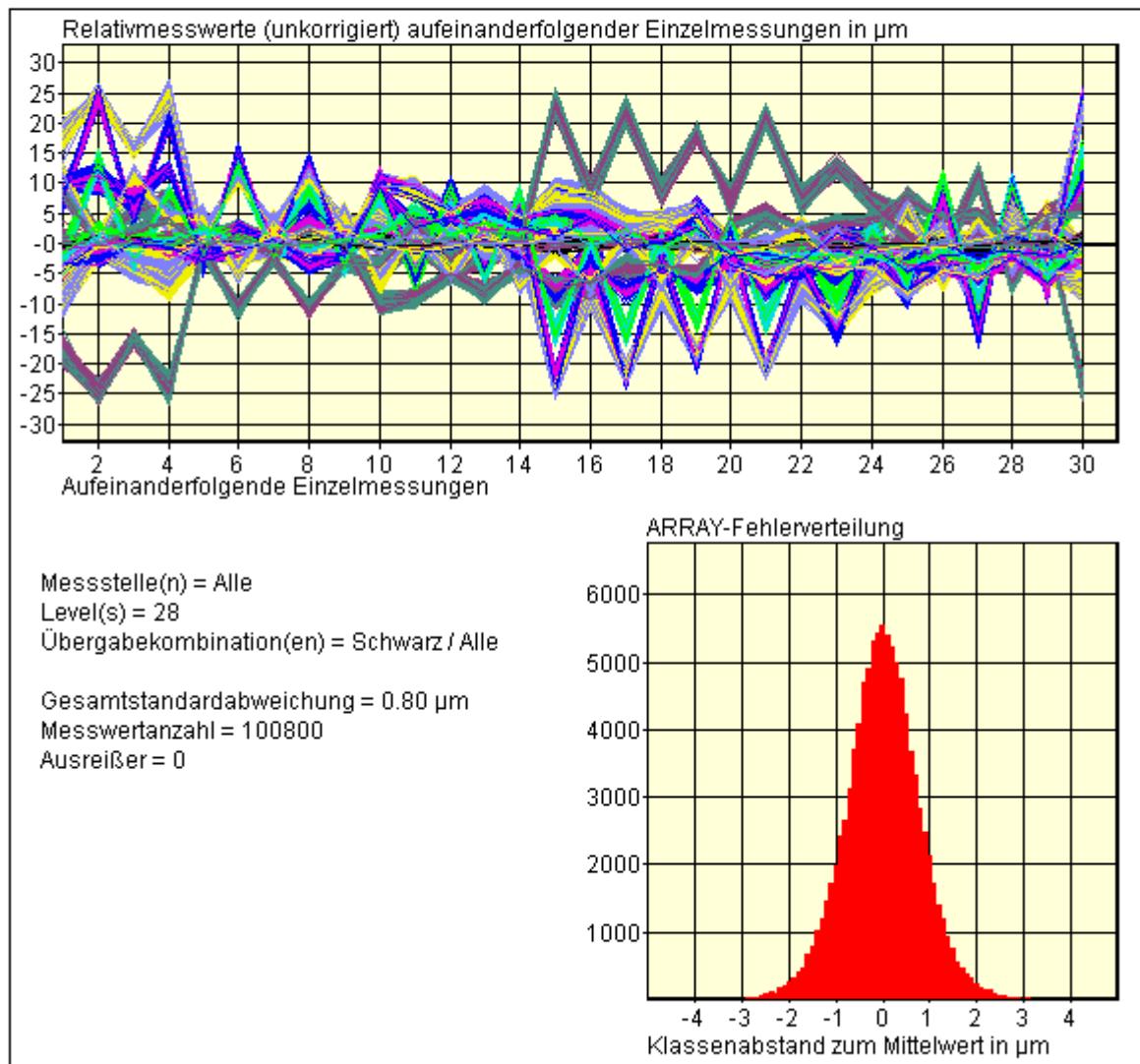
- * Vergleich von Messwerten die in ein und dem selben Druckwerk erzeugt wurden
- ** Vergleich von Messwerten die in verschiedenen Druckwerken erzeugt wurden
- *** Vergleich von Messwerten die aus der Differenz von zwei in verschiedenen Druckwerken erzeugten Messwerten indirekt gebildet wurden

Tabelle von Messwertkombinationen, die zur Prüfung des Messsystems in LQ - ARRAY Testdruckauswertungen angewendet werden

Anlage 28: Prüfprotokoll einer komplexen LQ - ARRAY - Testdruckauswertung, Gesamtgegenüberstellung von Auswertungen von 28 verschiedenen Messgeräten unterschiedlicher Baujahre (1997-2001)

LQ - ARRAY - Messprotokoll "Probe: "leichtes Dublieren", Zusammenfassung von 28 Gerätekonfigurationen"

Erstellt am **Montag**, den **12.11.2001** um **09:56** Uhr. Inhalt: Array-Fehlerverteilung von zuordenbaren Messwerten.



Prüfprotokoll einer komplexen LQ - ARRAY - Testdruckauswertung