

## Geometrische und radiometrische Eigenschaften des Scanners Vexcel UltraScan5000

MANFRED WIGGENHAGEN, Hannover

**Zusammenfassung:** Das Scannen von analogen Bildern erfordert qualitativ hochwertige photogrammetrische Scanner. Sollen neue Scanner in der Produktion eingesetzt werden, müssen die geometrischen und radiometrischen Eigenschaften dieser Geräte mit geeignetem Testmaterial festgestellt werden. In diesem Artikel werden die Ergebnisse der Untersuchungen des Scanners Vexcel UltraScan5000 vorgestellt.

**Summary:** *Geometric and radiometric performance of the Vexcel UltraScan5000 scanner.* Scanning of analog images needs high quality photogrammetric scanners. Involving a new scanner in the production process requires the investigation of the geometric and radiometric performance with qualified test materials. This paper resumes the results of several performance tests of the Vexcel UltraScan5000 scanner.

---

### Einleitung

Beim Vergleich der Leistungsdaten moderner Scanner werden Geräte bevorzugt, die hohe Scanauflösungen um  $5\ \mu\text{m}$  ermöglichen und Vorlagen mit optischen Dichten bis zu 3.0 D digitalisieren können. Hierbei handelt es sich generell um Flachbettscanner, deren hohe geometrische Qualität durch hochpräzise und stabile Mechaniken gewährleistet wird, oder die durch rechnerische Kalibrierung und Positionierung des Sensors über Referenzmarken eine hohe Positioniergenauigkeit erreichen. Die Firma Vexcel Imaging Austria baut mit ihrer Entwicklung des UltraScan5000 auf langjährige Erfahrungen bei der Herstellung von photogrammetrischen Scannern auf und nutzt die Möglichkeiten des mehrfach überlappenden Scannens von Streifen in Kombination mit automatischer Kalibrierung während des Scannens, um die hohen technischen Anforderungen zu erfüllen (GRUBER, 1998).

### Technische Spezifikationen

Bei dem zu untersuchenden Gerät handelt es sich um einen Flachbettscanner mit op-

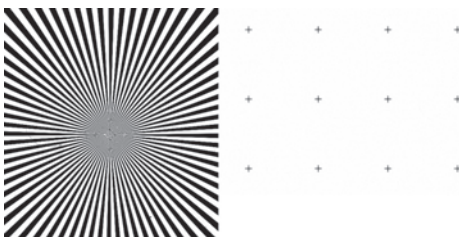
tionalem manuellem oder automatischen Rollfilmeinzug. Die Scanfläche beträgt  $330\ \text{mm} \times 440\ \text{mm}$  und ist daher für das Scannen von Luftbildfilmen geeignet. Als Sensor wird ein Kodak KL16003 Zeilensensor mit 6000 CCD-Elementen eingesetzt. Durch die gleichzeitige Verwendung von drei CCD-Zeilen können Farbvorlagen in einen Durchgang gescannt werden. Die digitalisierte Bildinformation wird in 12-bit gespeichert und deckt einen Dichtebereich von 3.6 D bzw. ca. 4000 Grauwerten ab. Um diese hohe radiometrische Auflösung gewährleisten zu können, wird der Sensor durch Peltier Elemente gekühlt und das gesamte Scansystem bestehend aus Sensor, Optik, Glasplatten und Beleuchtung mittels einer rechnergestützten radiometrischen Kalibrierung stabilisiert. Die geometrische Wiederholgenauigkeit des Scanners wird mit besser als  $\pm 3\ \mu\text{m}$  angegeben. Die Ausgabe-Pixelgröße des digitalen Bildes ist zwischen 5080 dpi bzw.  $5\ \mu\text{m}$  und 868 dpi bzw.  $29\ \mu\text{m}$  frei wählbar.

Um sich von diesen technischen Daten überzeugen zu können, bietet die Firma Vexcel Imaging Austria möglichen Interessenten das Scannen von Testvorlagen an

(VEXCEL 2000). Von diesem Angebot wurde hier Gebrauch gemacht.

### Testmaterial

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Testmaterialien verwendet, die entweder bei bisherigen Untersuchungen als besonders geeignet eingestuft wurden oder die besondere Härtefälle bei Scanaufträgen in der Vergangenheit darstellten (BALSAVIAS 1996). Hierzu gehörten zur Überprüfung der geometrischen Eigenschaften z. B. ein Siemensstern und ein Präzisionsraster auf Glas (siehe Abb. 1). Zur Einschätzung der radiometrischen Eigenschaften wurden ein extrem kontraststarkes sw-Luftbild, ein maskiertes Farbnegativ und mehrere Farbinfrarotfilme untersucht. Der radiometrische Dichtebereich wurde mit einem Graukeil überprüft.



**Abb. 1:** Testvorlagen, links Siemensstern, rechts Ausschnitt der Reseauplatte.

Sämtliche Testvorlagen wurden von der Firma Vexcel Imaging Austria mit Pixelgrößen zwischen 5 bis 24  $\mu\text{m}$  gescannt.

### Testverfahren

Wichtig bei der Überprüfung der o. g. technischen Eigenschaften sind die Qualität und Stabilität der Testvorlagen. Bei der eingesetzten Glasplatte handelt es sich um eine hochgenau geätzte Reseau-Platte mit Gitterkreuzen in 2 mm Abstand. Die mit einer Pixelgröße von 5  $\mu\text{m}$  digitalisierten Gitterkreuze konnten mit Subpixelgenauigkeit im offline-Betrieb gemessen werden. Die Messergebnisse wurden mit institutseigener Aus-

gleichungssoftware auf die Sollkoordinaten der Reseauplatte transformiert, der zufällige Fehleranteil wurde vom systematischen Anteil rechnerisch getrennt und die Ergebnisse wurden grafisch dargestellt. Das Ausgleichungsprogramm besteht aus einer Affintransformation, die um eine Selbstkalibrierung mit zusätzlichen Parametern erweitert wurde (JACOBSEN 1996). Da die Reseau-Glasplatte den gesamten Scanbereich abdeckte, konnte eine flächenhafte Überprüfung des Scanners durchgeführt werden.

Der Siemensstern mit 144 Feldern wurde zur Bestimmung der tatsächlich wirksamen Pixelgröße benutzt.

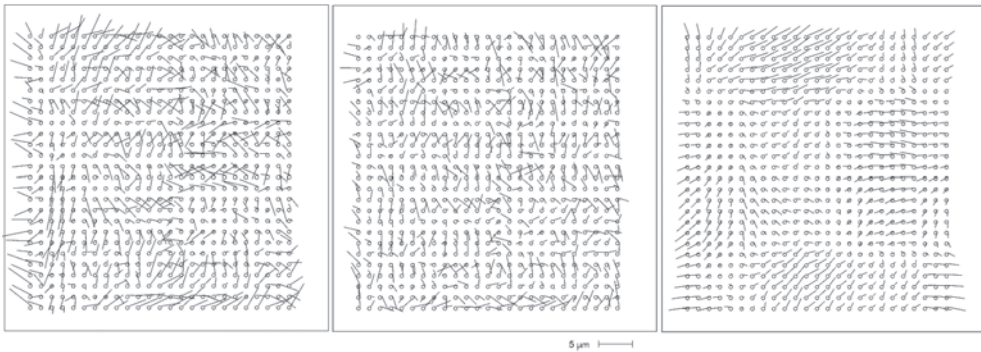
Um festzustellen, welchen Dichtebereich der Scanner erfassen kann, wurde zur Überprüfung der radiometrischen Eigenschaften ein Graukeil mit 21 Graustufen der Firma Kodak eingesetzt. Die Grauwerte in den digitalen Bildern wurden mittels eigener Analysesoftware ausgemessen und grafisch dargestellt. Die SW-, Farbnegativ- und Infrarotbilder wurden rein visuell untersucht.

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen handelt es sich um stichprobenartig durchgeführten Messungen, die nur bedingt mit den umfangreichen Tests anderer Autoren verglichen werden können (KÖLBL 1996, BALSAVIAS 1999). Trotzdem können aus den Ergebnissen gute Schlüsse auf die Leistungsfähigkeit des untersuchten Geräts gezogen werden.

### Auswertung der Testvorlagen

Die statistische Auswertung der mit 5  $\mu\text{m}$  gescannten Reseauplatte lieferte maximale Residuen von 4.4  $\mu\text{m}$  in x-Richtung und 5.6  $\mu\text{m}$  in y-Richtung. Hieraus resultiert ein maximaler Punktfehler von  $\pm 7.1 \mu\text{m}$ . Die Mittelwerte liegen bei 1.5  $\mu\text{m}$  bzw. 1.6  $\mu\text{m}$  mit einem mittleren Punktfehler von  $\pm 2.2 \mu\text{m}$ . Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt von links nach rechts die Gesamtresiduen, sowie die zufälligen und systematischen Fehleranteile.

Die dargestellten Fehlervektoren in Abb. 2 rechts zeigen zwar blockhafte Systematiken an mehreren Stellen der Scanfläche, eindeutige Abhängigkeiten von der gescann-



**Abb. 2:** Residuen der Reseauplattenmessung (x-Rechtswert, y-Hochwert).

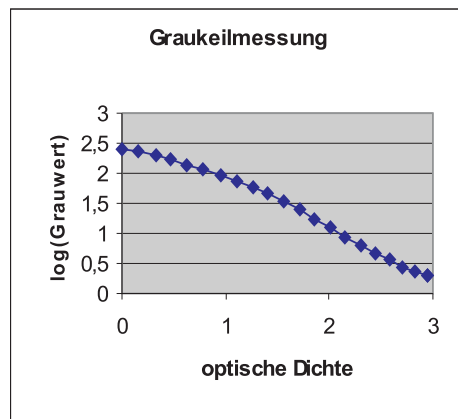
ten Streifenbreite und -richtung lassen sich aus dieser Stichprobe jedoch nicht ableiten.

Zur Bestimmung der tatsächlich wirksamen Pixelgröße im Scanergebnis wurde der Durchmesser des Unschärfekreises des digitalisierten Siemenssternes gemessen. Die Ergebnisse der Messungen können Tab. 1 entnommen werden. Sämtliche Werte bestätigen die eingestellte Scanauflösung.

**Tab. 1:** Unschärfekreismessungen am Siemensstern.

Scanauflösung	Durchmesser d	Umfang $u = \pi \cdot d$	Pixelgröße $p = u/144$
$\mu\text{m}$	pixel	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
20	39	2449.2	17.01
12.5	38	1491.5	10.36
10	42	1318.8	9.16
8.5	45	1201.1	8.34
5	44	690.8	4.80

Für jede der 21 Flächen des Testgraukeils wurden in einer  $21 \times 21$  Matrix der Mittelwert und die Standardabweichung aus den gemessenen Grauwerten berechnet. Die Ergebnisse der Messung sind in Tab. 2 angegeben und in Abb. 3 dargestellt. Der lineare



**Abb. 3:** Grafische Darstellung der Graukeilauswertung.

Graukeil mit Dichteintervallen von 0.15 D wurde am Densitometer aktuell ausgemessen. Da der Graukeil durch langjährige Benutzung teilweise bereits Kratzer und Trübungen aufweist, musste mit einer größeren Streuung der Messwerte vom Sollwert gerechnet werden (siehe Tab. 2).

Die Grafik zeigt einen sehr guten nahezu linearen Verlauf des Sensors. Bemerkenswert ist der große Dichtebereich von 2.95 D sowie eine gleichmäßig gute Trennbarkeit der Grauwerte sowohl im hellen, als auch im dunklen Bildbereich.

Die weiteren Testvorlagen wurden rein visuell im digitalen Bildeditor beurteilt. Das

**Tab. 2:** Messergebnisse der Graukeilmessung.

Fläche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dichte	0.00	0.15	0.33	0.47	0.62	0.78	0.95	1.11	1.26	1.41	1.56
Grauwert	253,3	226,1	194,1	168,0	140,2	113,9	90,2	71,7	58,1	46,3	34,7
Standard- abweichung	2,5	3,3	2,8	3,4	3,1	2,5	2,3	2,0	1,6	1,7	1,7
Fläche	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Dichte	1.71	1.86	2.01	2.15	2.30	2.44	2.58	2.70	2.83	2.95	
Grauwert	24,8	17,4	12,3	8,7	6,3	4,7	3,6	2,8	2,3	2,0	
Standard- abweichung	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	

**Abb. 4:** Mit 12-bit digitalisiertes Luftbild.

extrem kontraststarke sw-Luftbild wurde mit guter Zeichnung sowohl in den Schattenbereichen als auch in hellen Bildteilen abgebildet (siehe Abb. 4). Das maskierte Farbnegativ wurde mit guter Farbdynamik ohne sichtbaren Informationsverlust gescannt. Die Infrarotdiapositive wurden mit guter Zeichnung auch in den Schattenbereichen digitalisiert. Da in großen homogenen Objektbereichen bei den meisten Scannern der Rand der einzelnen Scanstreifen sichtbar wird, wurden diese Bilder besonders in den

homogenen Bildbereichen untersucht. Auf Grund des Subscanverfahrens des Ultra-Scan5000 konnten jedoch keinerlei Streifen erkannt werden.

### Ergebnisse

Die Untersuchung der digitalen Bilder bestätigte in allen Fällen die technischen Spezifikationen des Herstellers.

Die geometrische Genauigkeit des Scanners kann über den mittleren und maximalen Punktfehler eingeschätzt werden. Der mittlere Punktfehler wurde mit  $\pm 2,2 \mu\text{m}$  bestimmt. Der maximale Punktfehler der flächenhaften Untersuchung mit einer kalibrierten Reseau-Glasplatte lag bei  $\pm 7,1 \mu\text{m}$  bei einer Scanauflösung von  $5 \mu\text{m}$ . Die untersuchten Scan-Auflösungen von  $5 \mu\text{m}$  bis  $20 \mu\text{m}$  konnten durch Ausmessen des Siemenssterns bestätigt werden. Die radiometrischen Abbildungseigenschaften des Scanners wurden mit einem Graukeil im Dichtebereich von 0.05 bis 2.95 D überprüft und bestätigten die technischen Vorgaben des Herstellers. Die 12-bit Quantisierung der Testvorlagen zeigte ebenfalls sehr zufrieden stellende Resultate mit guter Trennbarkeit der Grauwerte, nahezu linearem Sensorverhalten und einer Standardabweichung von durchschnittlich  $\pm 1,8$  Grau-

werten. Diese hohe Standardabweichung ist aber zum Teil auf die nicht optimale Testvorlage zurückzuführen.

Da der Scanner Vexcel UltraScan5000 in allen untersuchten Punkten die derzeitigen Anforderungen an photogrammetrische Scanner erfüllt, wird das Gerät als sehr gut geeignet angesehen, um als Flachbettscanner für die Digitalisierung von photogrammetrischen Bildern eingesetzt zu werden.

## Literatur

- GRUBER, M. et al. 1998: Novel high-precision photogrammetric scanning, Reprint of Paper for GIS/LIS'98, Ft. Worth, Texas, 1998. Publisher American Society for Photogrammetry and Remote sensing.
- GRUBER, M. & LEBERL, F, 2000.: High Quality Photogrammetric Scanning for Mapping, ISPRS Journal for Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam 2000, Submitted paper.
- BALTSAVIAS, E.P.,1996: DeskTop Publishing Scanner, OEEPE Publication 33, 75–94
- BALTSAVIAS, E.P.,1999: On the performance of photogrammetric scanners, Photogrammetric Week 1999, 155–173, Wichmann Verlag, Heidelberg
- JACOBSEN, K.,1996: Experiences with the Rastermaster RM1, OEEPE Publication 33, 99–110
- KÖLBL, O., BACH, U., 1996.: Tone reproduction of Photogrammetric Scanners, OEEPE Publication 33, 51–70
- VEXCEL, 2000: Produktinformation der Firma Vexcel Imaging Austria, [www.vexscan.com](http://www.vexscan.com) Sept.2000

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. MANFRED WIGGENHAGEN  
Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover  
Nienburger Str. 1  
D-30167 Hannover  
Tel.: +49 51 17 62 33 04  
Fax: +49 51 17 62 24 83  
e-mail: [wigge@ipi.uni-hannover.de](mailto:wigge@ipi.uni-hannover.de)

Manuskript eingegangen: September 2000  
Angenommen: Oktober 2000