

XIV. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie
Hamburg 1980
Kommission I/1

Presented Paper

QUALITY ANALYSIS METHODS FOR SPACELAB MISSION FILM SECTION:
Resolution Estimation from High Altitude Aerial Photographs by Means of a
Black and White Bar-Test-Pattern

M. Schroeder*

R. Stätter*

G. Konecny**

P. Lohmann**

* Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.
(DFVLR), D-8031 Oberpfaffenhofen

** Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität
Nienburger Straße 1, D-3000 Hannover

Zusammenfassung

Zur Vorbereitung auf die erste Spacelabmission wurden Luftbildflüge mit einer Kamera vom Typ Zeiss-RMK A 30/23 aus 10.5 km Höhe durchgeführt. Das Auflösungsvermögen dieser Kamera mit verschiedenen Film/Filter-Kombinationen wurde anhand eines am Boden ausgelegten schwarz/weißen Balken-Testmusters bestimmt. Insgesamt wurden 16 verschiedene Luftbildfilme eingesetzt. Die erzielten Auflösungswerte werden präsentiert und diskutiert.

Abstract

In preparation for the first Spacelab mission aerial photographs were obtained with a camera of the type Zeiss-RMK A 30/23 from an altitude of 10.5 km. The resolution of this camera with various film/filter combinations was tested by means of a black and white bar pattern on the ground. All together 16 different aerial film types were used. The resolution values are presented and discussed in this paper.

Résumé

Pour la préparation du premier vol Spacelab on a fait une campagne aéroportée avec une caméra Zeiss-RMK A 30/23. L'altitude des vols était 10.5 km. La résolution de cette chambre, utilisant différents types des films et filtres, était déterminée avec des cibles disposée au sol. On a essayé totalement 16 types des émulsions et leur filtrage associé. Les résultats de cette exploitation sont présentés ici.

1. EINLEITUNG

Im 1. Spacelabflug, der im September 1982 mit dem Space Shuttle gestartet werden soll, wird eine Reihenmeßkammer vom Typ RMK A 30/23 zum Einsatz kommen.

Zur Vorbereitung dieser Mission wurden gemeinsam vom Institut Géographique National (IGN) und von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) Luftbildflüge aus großer Höhe mit 16 verschiedenen Filmtypen durchgeführt. Es fanden insgesamt zwei Flugkampagnen statt, die erste im September 1978 in der Nähe von Villefranche s. Cher (Frankreich) und die zweite im September 1979 in Montpellier (Frankreich) [1], [2]. Die Flüge aus ca. 10 500 m Höhe verliefen jeweils über ein am Boden ausgelegtes schwarz/weißes Balken-Testmuster, mit dessen Hilfe das Auflösungsvermögen aus den Aufnahmen ermittelt wurde.

Ziel der Untersuchung war es, die für den Spacelabflug geeignetsten Film/Filter-Kombinationen auszuwählen. Die Auswertung des gewonnenen Bildmaterials wird unabhängig von vier Gruppen nach unterschiedlichen Methoden vorgenommen. Eine dieser Methoden ist die mikroskopische Bestimmung des Auflösungsvermögens anhand des Balken-Testmusters, die in diesem Bericht behandelt wird.

2. DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Luftbildflüge

Die Flüge wurden mit einem Flugzeug vom Typ Falcon Mystère 20 durchgeführt. Die Kamera war in der Druckkabine des Flugzeugs vor einem Photofenster hoher optischer Qualität montiert. Die Transmission des Photofensters betrug im Sichtbaren und nahen Infraroten $\sim 90\%$.

Die Flüge erfolgten aus ca. 10.5 km Höhe mit einer Geschwindigkeit von ca. 720 km/h = 200 m/sec.

Die in Tabelle 1 und Tabelle 2 angegebenen Filme und Filter wurden verwendet. Die Belichtung der Filme erfolgte in der Mehrzahl mit kurzen Verschlusszeiten von 1/500 sec und 1/1000 sec, da die gleich kurzen Belichtungszeiten zur Vermeidung von Bewegungsunschärfe auch in Spacelab verwendet werden sollen. Nur bei den sehr unempfindlichen Filmen EK 3414-High Definition und EK SO-131 wurden längere Belichtungszeiten genommen.

Die Flüge wurden bei zwei verschiedenen Sonnenständen, nämlich bei den Sonnenelevationen $h \approx 25^\circ$ und $h \approx 45^\circ$ durchgeführt. Eine Übersicht über die Belichtung der Filme ist in Tabelle 4 und Tabelle 5 enthalten.

Die Filmentwicklung wurde sensitometrisch kontrolliert, indem für jeden Film das Gamma (γ) mittels eines aufbelichteten Graukeils bestimmt wurde. Das jeweilige Gamma ist in den Tabellen 4 und 5 angegeben.

Atmosphärische Bedingungen

Zum Vergleich von Luftbildaufnahmen, die an verschiedenen Tagen gewonnen wurden, müssen die jeweiligen atmosphärischen Bedingungen berücksichtigt werden. Um ein quantitatives Maß für die atmosphärischen Bedingungen zu erhalten, wurden in unmittelbarer Nähe des Testmusters radiometrische Messungen der einfallenden Strahlung durchgeführt, die zur Dokumentation der Einstrahlungsverhältnisse und des optischen Zustandes der Atmosphäre dienten.

Filme	Ort	Filter	Ort	Filter
Kodak PX 2402 (USA)	V	B, D	-	-
Kodak PX 2402F (France)	V	D	M	D
Kodak DX 2405	V	B, D	M	D
Kodak PX 3411	V	B	M	D
Kodak PANA 3412	-	-	M	D
Kodak HD 3414	V	-	-	-
Kodak LSB 2476	V	H	M	D
Kodak A 2645	V	D	M	D
Agfa AP 30	V	B, D	M	D
Agfa AP 200	-	-	M	H
Kodak IR 2424	V	H	-	-

Kodak IRC 2443	V	D	M	D
Kodak SO-131	V	-	-	-
Kodak AN 2445	V	-	-	-
Kodak SO-397	V	-	-	-
Kodak MS 2448	V	-	-	-

Tabelle 1: Bei den Flugkampagnen in V = Villefranche s. Cher (Sept.1978) und M = Montpellier (Sept. 1979) verwendete Filme und Filter

Filter	Cut-off Wellenlänge
B	480 μm
D	535 μm
H	635 μm

Tabelle 2:

Cut-off Wellenlänge der verwendeten Zeiss-Filter für 50 % Transmittanz.

Mit einem Pyranometer (Eppley PSP) wurde die einfallende Gesamtstrahlung im Wellenlängenbereich 0.3 - 2.8 μm gemessen. Des weiteren wurde mit einem Spektralradiometer (Barnes 12-550) die Transmission der Gesamtmosphäre bei der Wellenlänge $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ bestimmt. Die Transmission ist ein Maß für den Dunstgehalt und die vertikale Sicht. Diese radiometrischen Messungen haben gezeigt, daß an den 6 Meßtagen während der Flugkampagne in Villefranche s. Cher im Sept. 1978 nahezu identische atmosphärische Bedingungen vorlagen [3]. Die Transmission der Atmosphäre betrug an allen Tagen nahezu 70 %.

Während der Flugkampagne in Montpellier wurden am 12. und 16. Sept. 1979 Luftbildflüge durchgeführt. Die atmosphärischen Bedingungen waren an beiden Tagen nicht einheitlich; am 12.9. betrug die atmosphärische Transmission ca. 50 % und am 16.9. ca. 80 %, d.h., daß am 16.9. sehr gute vertikale Sichtbedingungen vorlagen, während am 12.9. die Luftbildbedingungen nicht ideal waren.

Das Testmuster

Abstufung der Balkenbreite: $\sqrt[3]{2} = 1.26$
 Breite/Länge : 1 : 5
 Breite der Balken :

No. 1 = 2.00 m	No. 4 = 1.00 m	No. 7 = 0.50 m	No.10 = 0.25 m
No. 2 = 1.59 m	No. 5 = 0.79 m	No. 8 = 0.40 m	No.11 = 0.20 m
No. 3 = 1.26 m	No. 6 = 0.63 m	No. 9 = 0.32 m	No.12 = 0.16 m

Tabelle 3: Abmessungen des Balkentestmusters

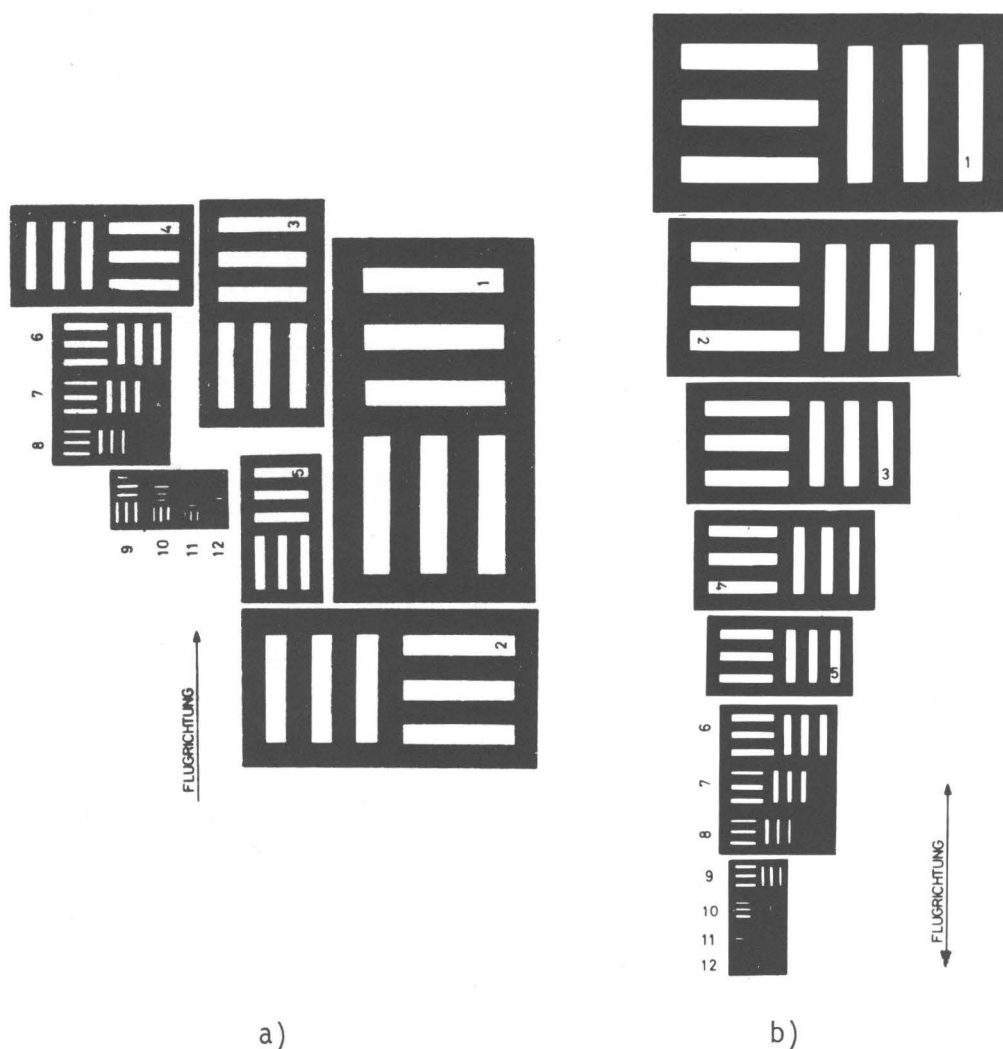


Abbildung 1: Anordnung des am Boden ausgelegten Testmusters
 a) Villefranche s. Cher im Sept. 1978
 b) Montpellier im Sept. 1979

Das Testmuster besteht aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe und enthält weiße Balken auf schwarzem Untergrund. Die Anordnung des Testmusters zeigt Abbildung 1. Die Abmessung der Balken enthält Tabelle 3.

Der Kontrast K bzw. der Dichteunterschied ΔD des Testmusters wurde am Boden mit einem Radiometer im Wellenlängenbereich $\Delta\lambda = 0.5 - 0.7 \mu\text{m}$ gemessen und ergab sich zu

$$K = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 45 : 1 \quad \text{bzw.} \quad \Delta D = \log \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 1.65 : 1$$

Durch den Einfluß der Atmosphäre ergibt sich eine Kontrastschwächung, die mit Hilfe eines vereinfachten Strahlungsmodells und der gemessenen Transmission der Atmosphäre abgeschätzt wurde. Einzelheiten hierzu sind [3] und [4] zu entnehmen. Nach dieser Abschätzung ergibt sich in 10.5 km der Kontrast

$$\text{zu } K \approx 4 : 1 \quad \text{bzw.} \quad \Delta D \approx 0.6 : 1$$

Hierbei ist berücksichtigt worden, daß sich im Bereich bis 10.5 km Höhe etwa 75 % der gesamten Luftmasse befindet.

3. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

Methode

Die Aufnahmen wurden während der Villfranche-Kampagne mit 80 - 85 % Überlappung in Flugrichtung gewonnen, so daß auf 5 bis 6 aufeinanderfolgenden Aufnahmen das Testmuster unter verschiedenen Sichtwinkeln abgebildet wurde. Während der Montpellier-Kampagne wurde die Überlappung auf 90 % erhöht und entsprechend das Testmuster auf 10 aufeinanderfolgenden Aufnahmen abgebildet. In den meisten Fällen lagen die abgebildeten Testmuster in einem Abstand $< 25 \text{ mm}$ von der Bildmittenlinie (x-Achse). Bei einigen Flügen wurde die Kamera um 40° gegenüber der Flugrichtung gedreht, so daß das Testmuster entlang der Bilddiagonalen bis in die Bildecken hinein abgebildet wurde.

Das auf dem Film abgebildete Balkenmuster wurde auf einem Leuchttisch mit dem Zoom-Stereomikroskop III der Fa. Zeiss betrachtet. Die Vergrößerung des Mikroskops wurde so eingestellt, daß jeweils maximale Auflösung erreicht wurde und lag zwischen 16- und 40-fach. Als noch aufgelöst wurde diejenige 3-Balken-Testfigur angesehen, bei der die Richtung der Balken noch erkennbar war. Die Auswertung wurde für die Villefranche-Bilder von 3 Betrachtern und für Montpellier-Bilder von 4 Betrachtern unabhängig voneinander durchgeführt. Es wurde der Wert für die radiale und tangentiale Auflösung als Mittel aus den 3 bzw. 4 Beobachtungen gebildet. Der Auflösungswert wurde dann wie üblich als geometrisches Mittel aus radialer und tangentialer Auflösung berechnet:

$$R = \sqrt{R_r R_t}$$

R = Auflösung in lp/mm
 R_r = radiale Auflösung in lp/mm
 R_t = tangentiale Auflösung in lp/mm

Die Auflösungswerte wurden in Abhängigkeit vom Abstand zum Bildmittelpunkt (r) aufgetragen (Abbildung 2).

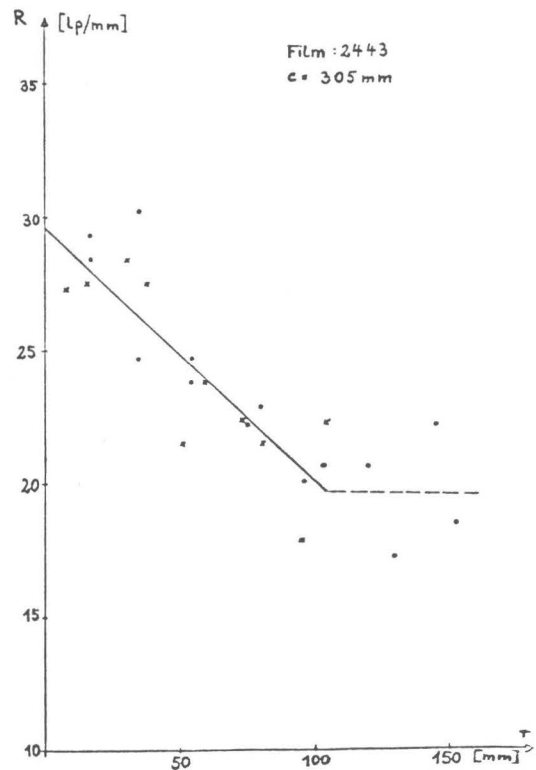
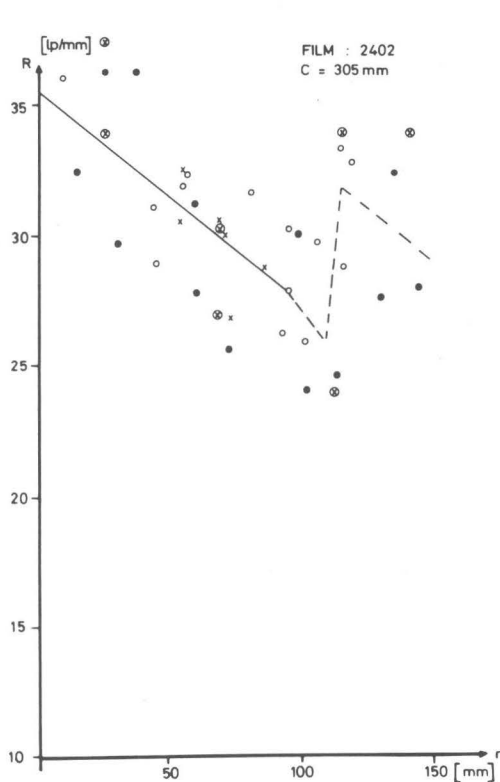


Abbildung 2: Auflösungsvermögen von RMK A 30/23 auf Kodak Plus X 2402-Film und von RMK A1 30/23 auf Kodak IRC 2443 Film

Die Meßpunkte streuen stark und es ist nicht ohne weiteres möglich, über den gesamten Bildbereich einen funktionalen Zusammenhang herzustellen. Bis $r = 100$ mm ist jedoch ein mehr oder weniger stetiges lineares Abnehmen des Auflösungsvermögens zu erkennen. Es wird deshalb angenommen, daß in diesem Bereich das Auflösungsvermögen angenähert durch eine Gerade beschrieben werden kann. In Abständen $r > 100$ mm konnte kein eindeutiger funktionaler Zusammenhang festgestellt werden; es erscheint so, als ob in diesem Bereich das Auflösungsvermögen schwächer abfällt oder nahezu konstant bleibt. Die vom Kamerahersteller unter Laborbedingungen gefundenen Auflösungswerte zeigen einen ähnlichen Verlauf und bestätigen die hier angenommene lineare Abhängigkeit.

In der ersten Kampagne wurde eine mehrere Jahre alte Kamera RMK A 30/23 (Serien No. 113 203) eingesetzt, während in der zweiten Kampagne eine Kamera mit neu entwickeltem Objektiv, RMK A1 30/23 (Serien No. 124 509), verwandt wurde. Das neue Objektiv soll theoretisch verbesserte Abbildungseigenschaften gegenüber dem alten besitzen. Ein signifikanter Unterschied in der Auflösung konnte bei diesen Versuchen jedoch nicht festgestellt werden.

Unter der Annahme, daß das Auflösungsvermögen bis $r \approx 100$ mm durch eine Gerade beschrieben werden kann, wurde diese Gerade für die verschiedenen Aufnahmeserien mittels linearer Regression bestimmt. Die auf diese Weise berechneten Werte für das Auflösungsvermögen in der Bildmitte (R_0) und die Steigung der Geraden (m) sind in Tabelle 4 und 5 angegeben.

Bei der Beurteilung des Auflösungsvermögens steht man vor der Frage, wie

Film	Datum	Filter	t [sec]	Blende	Sonnen- elevation	Film γ	ΔS [μm]	Auswertung		
								Ro [lp/mm]	m [lp/mm ²]	AWAR ₁₀₀ [lp/mm]
2402	19.9.	B	1/1000	5.6	20 ⁰	2.15	6	35.2	-0.07	30.5
2402	21.9.	D	1/1000	5.6	39 ⁰	1.60	6	40.3	-0.17	29.0
2402	20.9.	-	1/1000	8.0	45 ⁰	1.70	5	38.4	-0.11	31.1
2402	20.9.	-	1/1000	5.6	19 ⁰	1.70	5	33.7	-0.09	27.7
2402	21.9.	B	1/500	5.6	30 ⁰	1.60	11	37.4	-0.11	30.1
2402F	25.9.	D	1/100	5.6	44 ⁰	1.60	7	35.7	-0.09	29.9
2405	19.9.	B	1/1000	11.0	25 ⁰	1.15	6	38.5	-0.15	28.6
2405	23.9.	B	1/1000	11.0	43 ⁰	1.10	6	41.4	-0.03	39.4
2405	21.9.	D	1/1000	11.0	41 ⁰	1.10	6	42.3	-0.14	32.9
AP 30	19.9.	B	1/500	5.6	28 ⁰	1.50	12	40.3	-0.07	35.6
AP 30	23.9.	B	1/500	5.6	44 ⁰	1.70	11	37.3	-0.04	34.6
AP 30	21.9.	D	1/500	5.6	40 ⁰	1.60	12	39.2	-0.10	32.6
3411	19.9.	B	1/500	8.0	26 ⁰	2.10	12	44.0	-0.13	35.3
3411	23.9.	B	1/1000	8.0	44 ⁰	2.10	6	41.9	-0.13	31.9
3414	24.9.	-	1/250	5.6	44 ⁰	1.80	24	44.2	-0.09	38.2
2476	24.9.	H	1/1000	8.0	44 ⁰	1.80	6	57.6	-0.25	41.3
2645	25.9.	D	1/1000	8.0	44 ⁰	1.30	7	50.6	-0.23	35.0
2424	24.9.	H	1/1000	11.0	44 ⁰	1.80	6	u n s c h a r f		
2445	20.9.	-	1/1000	8.0	44 ⁰	0.75	5	33.1	-0.05	29.8
2445	20.9.	-	1/1000	5.6	21 ⁰		5	38.8	-0.09	30.8
2448	20.9.	-	1/500	5.6	25 ⁰	-1.75	10	30.5	-0.03	28.5
S0-397	20.9.	-	1/1000	8.0	44 ⁰		5	41.2	-0.16	30.5
S0-397	20.9.	-	1/1000	5.6	23 ⁰		5	39.5	-0.13	30.8
2443	21.9.	D	1/1000	5.6	42 ⁰	-1.60	5	32.7	-0.05	29.4
S0-131	26.9.	-	1/150	5.6	44 ⁰		44	26.0	-0.02	24.7
S0-131	26.9.	-	1/120	5.6	44 ⁰		50	29.2	-0.06	25.2

Tabelle 4: Auswertung der mit der RMK A 30/23 im Sept. 1978 in Villefranche s. Cher gewonnenen Aufnahmeserien (ΔS = Bildwanderung)

Film	Datum	Filter	t [sec]	Blende	Sonnen- elevation	Film γ	ΔS [μm]	Auswertung		
								Ro [lp/mm]	m [lp/mm ²]	AWAR ₁₀₀ [lp/mm]
2402F	16.9.	D	1/500	5.6	48 ⁰ ; 24 ⁰	1.6	11	33.2	-0.08	27.9
2405	16.9.	D	1/1000	11.0	49 ⁰	1.1	11	42.3	-0.15	31.9
AP 30	16.9.	D	1/1000	5.6	49 ⁰	1.8	11	33.9	-0.09	28.0
3411	12.9.	D	1/500	5.6	27 ⁰	2.0	6	31.6	-0.07	26.8
2476	16.9.	D	1/1000	5.6	22 ⁰	1.8	11	30.9	-0.06	26.9
2645	12.9.	D	1/1000	5.6	50 ⁰ ; 21 ⁰	1.3	11	30.7	-0.07	25.9
AP 200	12.9.	H	1/1000	8.0	43 ⁰ ; 45 ⁰	1.4	11	32.1	-0.10	25.4
2443	12.9.	D	1/500	5.6	49 ⁰	-2.2	6	33.1	-0.09	27.1
2443	16.9.	D	1/500	5.6	26 ⁰ ; 49 ⁰	-2.2	6	34.5	-0.09	29.0
3412	16.9.	D	1/500	5.6	48 ⁰		6	Unschärf, Kasette defekt		

Tabelle 5: Auswertung der mit der Zeiss RMK A1 30/23 im Sept. 1979 in Montpellier gewonnenen Aufnahmeserien (ΔS = Bildwanderung)

das R_0 und die Steigung m zu bewerten sind. Um beide Größen zu berücksichtigen, wurde für den Bildbereich mit $r \leq 100$ mm die Area Weighted Average Resolution ($AWAR_{100}$) gebildet. $AWAR_{100}$ ergibt sich bei linearem Abfall der Auflösung zu

$$AWAR_{100} = R_0 + \frac{2}{3} m r_0; \quad r_0 = 100 \text{ mm}$$

Die $AWAR_{100}$ -Werte für verschiedene Bildserien sind in Tabelle 4 und 5 angegeben. Es zeigt sich, daß dieser Wert bei den Aufnahmeserien des gleichen Filmtyps geringeren Schwankungen als R_0 und m unterworfen ist (Tabelle 4) und daher als geeignetes Maß zur Beurteilung des Auflösungsvermögens herangezogen werden kann. Die Steigung der Auflösungsgeraden scheint von der Belichtung abzuhängen. Bei normaler Belichtung nimmt sie Werte von $m \approx 0.9$ an, während sie bei Unterbelichtung steiler und bei Überbelichtung schwächer abfällt. Unterbelichtung führt deshalb zu scheinbar erhöhten Auflösungswerten.

Ergebnisse

Die für die verschiedenen Film/Filter-Kombinationen gefundenen Auflösungswerte sind in Tabelle 6 und 7 in der Reihenfolge ihrer Größe zusammengestellt.

s/w-Filme					Farbfilme				
Film	Filter	$AWAR_{100}$ [lp/mm]	R_0 [lp/mm]	Bemerkungen	Film	Filter	$AWAR_{100}$ [lp/mm]	R_0 [lp/mm]	Bemerkungen
2476	H	41	58	unterbelichtet	S0-397	-	31	40	
3414	-	38	44	unterbelichtet	2445	-	30	36	unterbelichtet
2645	D	35	51	unterbelichtet	2448	-	29	31	
3411	B	34	43	leicht unterbelichtet	2443	D	29	33	
2405	D	33	42		S0-131	-	25	28	
2405	B	33	40						
AP30	B	35	39	unterbelichtet					
AP30	D	33	39	lichtet					
2402	D	31	38						
2402	-	30	39						
2402	B	30	36						
2402F	D	30	36						
2424	H	unscharf							

Tabelle 6: Auflösungsvermögen der RMK A 30/23 mit verschiedenen Film/Filter-Kombinationen. Ermittelt während der Flugkampagne in Villefranche s. Cher im Sept. 1978

Film	Filter	AWAR ₁₀₀ [lp/mm]	R ₀ [lp/mm]	Bemerkung
2405	D	32	42	
AP30	D	28	34	leicht unterbelichtet
2402F	D	28	33	überbelichtet
3411	D	27	32	
2476	D	27	31	
2645	D	26	31	
AVI200	H	25	32	
=====				
2443	D	28	34	

Tabelle 7: Auflösungsvermögen der RMK A1 30/23 mit ausgewählten Film/Filter-Kombinationen. Ermittelt während der Flugkampagne in Montpellier im Sept. 1979.

Die in den Tabellen angegebenen Auflösungswerte sind zum Teil Mittelwerte aus mehreren Bfliegungen.

Bei den Filmen, die mit Filter B und D eingesetzt wurden, ergab sich kein wesentlicher Unterschied in der Auflösung durch den Filtertyp. Da der atmosphärische Streulichteffekt bei Aufnahmen aus dem Weltraum noch stärker ausgeprägt sein dürfte, erscheint im Hinblick auf Spacelab das D-Filter das geeignetere für die s/w-Filme zu sein. Aus diesem Grunde wurde bei den Flügen in Montpellier nahezu ausschließlich das D-Filter eingesetzt.

Der 3414-High Definition Film erzielt zwar eine hohe Auflösung, ist aber aufgrund seiner geringen Empfindlichkeit nur bei Sonnenelevationen $h > 40^\circ$ zu gebrauchen, bei niedrigeren Sonnenständen würden die notwendig werdenden längeren Belichtungszeiten zu merklicher Bewegungsunschärfe führen.

Die hohen Auflösungswerte für die Filme 2476 und 2645 aus der Villefranche-Kampagne sind auf die Unterbelichtung zurückzuführen, wodurch das Testmuster z.T. im nichtlinearen Teil der Film-Empfindlichkeitskurve abgebildet wird. Die Auflösungswerte aus der Montpellier-Kampagne sind deshalb für diese Filme charakteristischer.

Die relativ guten Auflösungswerte des AP 30 dürften ebenfalls eine Folge der Unterbelichtung sein, da dieser Film bei beiden Kampagnen aufgrund seiner geringen Empfindlichkeit etwas unterbelichtet wurde.

Die Auflösungswerte für den 3411-Film der Montpellier-Kampagne sind sicherlich

durch die ungünstigen atmosphärischen Bedingungen am 12.9.79 etwas zu niedrig ausgefallen und dürften bei besseren Sichtbedingungen höher ausfallen, entsprechend den Werten der Villefranche-Kampagne.

Die Filme 2402, 2476 und 2645 sind von der Auflösung her als nahezu gleichwertig anzusehen. Die Werte des 2645-Films dürften ebenfalls durch die Witterungsbedingungen am 12.9.79 gemindert sein. Der 2402-F ist bei der Montpellier-Kampagne überbelichtet worden, die Auflösungsdaten der Villefranche-Kampagne sind daher als die realistischeren anzusehen.

Der 2405-Film zeigt bei beiden Kampagnen gleich gute hohe Auflösung. Dies ist sicherlich eine Folge der Abblendung auf Blende 11. Allgemein dürften bei Blende 8 und 11 höhere Auflösungsdaten als bei Blende 5.6 erzielt werden.

Die Farbfilme zeigen hinsichtlich der Auflösung keine deutlichen Unterschiede. Nur der S0-131 fällt deutlich ab; dies ist durch die Bewegungsunschärfe aufgrund der relativ langen Belichtungszeiten zu erklären.

Allerdings zeigen die Filme S0-397, 2448 und 2445 bedingt durch Atmosphären-einflüsse nur sehr schwache Farbunterschiede, die sich bei Aufnahmen aus dem Weltraum noch weiter abschwächen dürften. Daher erscheint für den Weltraumeinsatz der IR-Falschfarbfilm 2443 der geeigneter zu sein, insbesondere für die thematische Auswertung. Er hat bei allen Flügen, unabhängig von den atmosphärischen Bedingungen, das gleiche Auflösungsvermögen gezeigt.

Bewertung

Bei der Bewertung der Filme, die nahezu gleiches Auflösungsvermögen gezeigt haben, ist denen mit höherer Empfindlichkeit ein höherer Rang einzuräumen, da sie die Möglichkeit bieten, bei hohen Sonnenständen durch Abblendung die Auflösung noch zu steigern.

Danach ergibt sich aufgrund des bei den beiden Flugkampagnen gewonnenen Auflösungsvermögens folgende Reihenfolge für die Spacelab-Eignung:

s/w-Filme: 1.) 2405, 2.) 3411, 3.) 2476, 4.) 2402, 5.) 2645, 6.) AP 30,
7.) AP 200

Farbfilme: 1.) 2443

4. LITERATUR

- [1] DFVLR/GDTA: Opération aéroportée combinée
Septembre 1978. Simulation Spacelab
- [2] DFVLR/GDTA: Opération aéroportée combinée
Septembre 1979. Plan d'opération
- [3] M. Schroeder: Auflösungsdaten mit Reihenmeßkammern aus großer Flughöhe. Proceedings of the 37th Photogrammetrie Week 1979, Stuttgart
- [4] G. Kritikos, M. Schroeder: Berechnung des spektralen Reflexionsgrades natürlicher Oberflächen aus ERTS-Aufnahmen. Raumfahrtforschung, Heft 3, Mai/Juni 1975