Photogrammetrische Woche 1981
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 8, 1982



# ERGEBNISSE AUS VERSUCHSBEFLIEGUNGEN IN GROSSER HÖHE

J. Sievers, K. Schürer und H. Walter, Frankfurt am Main

## 1. Einleitung

Was bedeutet "große Flughöhe", wie es im Titel meines Vortrags steht, und wodurch wird sie definiert? Wird sie definiert durch die Flughöhe, von der ab in Flugzeugen ohne Druckkabine die Besatzungen auf Sauerstoffatemgeräte angewiesen sind, die ab etwa 3 km Höhe erforderlich sind? Oder wird sie definiert durch die Dienstgipfelhöhen von Turboprop-Maschinen, die in der Regel Flughöhen zwischen 7 und 9 km erreichen können, ein Grenzwert, den z.B. Schöler (1981) als Kriterium für "große" Flughöhen angibt? Oder gibt es noch andere Kriterien, z.B. bestimmte meteorologische Verhältnisse, für die man eine "große" Flughöhe sinnvollerweise festlegen kann?

Ich möchte diese Frage offen lassen, allein deshalb, weil ich neben Bildflügen bis zu 14 km Höhe auch von Ergebnissen aus knapp 6 km Höhe berichten werde.

Eine andere Frage muß allerdings noch beantwortet werden, warum das IfAG Hochbefliegungen ausführt bzw. ausführen läßt oder sich daran beteiligt. Dazu sind folgende Gründe zu nennen, die gleichzeitig unser Arbeitsprogramm auf diesem Gebiet umreißen:

- Versuche zur Fortführung kleinmaßstäbiger Karten,
- Versuche zur Herstellung kleinmaßstäbiger Photokarten,
- Vergleich verschiedener Kammern für die Verwendung in Satelliten,
- Simulationsversuche für das 1. SPACELAB-Experiment "Reihenmeßkammer" der ESA,
- Test neuer Luftbildfilme für die Verwendung in größeren Flughöhen.

Aus diesem recht umfangreichen Programm möchte ich drei Teilaspekte auswählen und Ergebnisse dazu präsentieren. Es sind dies Untersuchungen zur Bildqualität, Ergebnisse zu einem Fortführungsversuch der Karte 1:250.000 sowie Ergebnisse über die Höhenmeßgenauigkeit langbrennweitiger Kammern.

## 2. Bildqualität

Beginnen wir mit den Fragen zur Bildqualität. Für die Versuche wurde ein sehr ebenes Testgebiet südlich von Frankfurt am Main ausgewählt, um mehrere Untersuchungsmethoden anwenden zu können. Zum einen die Bestimmung der Modulations-Übertragungs-Funktion (MTF) mit Hilfe der Kantenbildanalyse an natürlichen und künstlichen Objekten, zum andern die Ermittlung des Auflösungsvermögens mit Hilfe eines 3-Linien-Testes. Da die sehr umfangreichen Messungen und Berechnungen für die Kantenbildanalyse noch nicht abgeschlossen sind, können nur Ergebnisse vom 3-Linien-Test angeführt werden, den uns die DFVLR, Oberpfaffenhofen, freundlicherweise zur Verfügung gestellt hatte.

Unsere ersten Versuche haben wir mit UWW- und WW-Kammern vorgenommen, wobei wir gleichzeitig einen neuen Film, den Agfa Aviphot Pan 200, getestet haben. Dieser Film besitzt gegenüber den herkömmlichen panchromatischen Emulsionen eine bis ins nahe Infrarot reichende Sensibilisierung (bis 750 nm), was ihn besonders für forstliche und andere vegetationskundliche Aufgabenstellungen als geeigneten Luftbildfilm auszeichnet. Daneben weist er ein wesentlich gesteigertes Auflösungsvermögen gegenüber den älteren Luftbildfilmen Aviphot Pan 30 und Pan 33 auf, verbunden mit einer ebenfalls erhöhten Empfindlichkeit, die wir aufgrund unserer Erfahrungen mit etwa 24-27 DIN (400-800 ASA) angeben können. Als nachteilig muß allerdings die größere Körnigkeit des Pan 200 vermerkt werden.

Abb. 1-4 zeigen Beispiele, geflogen mit Aviphot Pan 30 und Pan 200 in einer RMK 15/23 und RMK 8.5/23 in 10.5 km und 14 km Höhe, alle Bilder vergrößert auf 1: 25.000. Abb. 2 zeigt trotz der größeren Körnigkeit gegenüber Abb. 1 eine bessere Auflösung, während die etwa 5-fach vergrößerte Abb. 3 (Bildmaßstab 1:120.000), bei zwar gleicher Auflösung wie in Abb. 1, als Grundlage für eine Luftbildkarte

1:25.000 vermutlich eine zu große Körnigkeit aufweisen würde. Die etwa 6.5-fache Vergrößerung des Bildmaßstabes 1:160.000 (Abb. 4) ist für derartige Zwecke nicht geeignet.

Welchen Qualitätsunterschied allerdings die LANDSAT-Bilder im Vergleich zum konventionellen Luftbild aufweisen, sei durch Gegenüberstellung der Abb. 5 und 6 demonstriert.

Das bei diesen Flügen mit der RMK 8.5/23 erzielte Auflösungsvermögen zeigt Abb.7, in der, wie auch in den folgenden Abbildungen, das Auflösungsvermögen (AV) über dem Bildradius r' aufgetragen ist. Diese Darstellungsart ist gewählt worden, da die Testfigur in der Regel auf der Bildhauptachse abgebildet und so orientiert war, daß die Balkenfigur parallel zur Flugrichtung sagittale Abbildungsstrahlen erzeugte und die senkrecht dazu angeordnete Figur entsprechend tangentiale Abbildungsstrahlen.

Für den Vergleich einer RMK 30/23 und 60/23, wozu später auch noch Ergebnisse über deren Höhenmeßgenauigkeit angegeben werden, lag sehr viel mehr Bildmaterial für die Bestimmung des AV vor. Abb. 8 zeigt die Ergebnisse aus 117 Bildern, die in Anlehnung an die Richtlinien der amerikanischen Norm ANSI PH 2.33-1969 ausgewertet wurden. Mindestens drei, höchstens fünf Beobachter beurteilten unabhängig voneinander, welche Figur des Testmusters als aufgelöst galt. Als Hilfsmittel diente ein Mikroskop, dessen Vergrößerung von Fall zu Fall zwischen 5-fach und 40-fach verändert wurde. Als Mittel aller Beobachtungen für ein Bild wurde deren Zentralwert (Median) ermittelt und in lp/mm umgerechnet.

Da einerseits für das Auflösungsvermögen in Abhängigkeit vom Bildradius kein funktionales Modell existierte, andererseits die Einzelergebnisse stark streuten (durchschnittliche Streubreite etwa 15 lp/mm), wurden arithmetrische Gruppenmittel mit $\Delta r' = 5$ mm gebildet und graphisch ausgeglichen (Abb. 9). Abb. 10 zeigt den Unterschied zwischen tangentialer und sagittaler Auflösung. Ein Wiederholungsflug am folgenden Tag unter den gleichen Bedingungen ergab eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 11). Alle Ergebnisse aus beiden Flügen wurden deshalb in Abb. 12 gemeinsam ausgeglichen.

Eine gute qualitative Übereinstimmung ergibt sich auch mit den vom Hersteller ermittelten Auflösungswerten (Abb. 13) und wird weiterhin bestätigt durch die Ergebnisse, die mit derselben Kammer, aber einem anderen, neuen Luftbildfilm, dem Agfa Aviphot Pan 150, erzielt wurden (Abb. 14). Der Unterschied zwischen tangentialer und sagittaler Auflösung gegenüber Abb. 12 resultiert aus einer Bewegungsunschärfe, die durch die längere Belichtungszeit hervorgerufen ist.

Eine gänzlich andere Auflösungscharakteristik besitzt die von uns untersuchte RMK 60/23 (Abb. 15). Auch hier zeigt sich eine gute qualitative Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kurven (Abb. 16). Erhebliche Unterschiede bestehen jedoch hinsichtlich des Absolutbetrages (max. AV von 22 bzw. 40 lp/mm), was vermutlich auf den von Meier (1978) hingewiesenen Umstand zurückzuführen ist, daß insbesondere für langbrennweitige Kammern bei Verwendung in großen Flughöhen eine Umfokussierung erforderlich ist. Für unsere Versuche wurde die RMK 60/23 auf 11 km fokussiert, ausgeführt wurden die Bildflüge in 5.8 km und 13 km Höhe. Das erreichte Auflösungsvermögen für 5.8 km Flughöhe ist in Abb. 17 dargestellt. Die Unterschiede zwischen tangentialer und sagittaler Auflösung gegenüber Abb. 15 resultieren aus einer größeren Bewegungsunschärfe, verursacht durch ein größeres v/h-Verhältnis.

Mit den Abb. 18-20 schließlich soll deutlich gemacht werden, wie sich das unterschiedliche Auflösungsvermögen der RMK 30/23 (max. etwa 40 lp/mm) und der RMK 60/23 (max. etwa 25 lp/mm) bei Vergrößerung auf denselben Maßstab auswirken. Dafür wurde als Beispiel für ein "natürliches" topographisches Objekt eine Friedhofsanlage ausgewählt, in der die regelmäßige Struktur der Gräber eine gute Beurteilung für die Auflösung ermöglicht. Erwartungsgemäß wird bei Aufnahmen aus derselben Flughöhe der Vorteil aus dem etwa 2-fach besseren Auflösungsvermögen der RMK 30/23 durch die doppelte Vergrößerung wieder eingebüßt. Es verstärkt sich außerdem der visuelle Eindruck der Körnigkeit.

Für Aufnahmen aus einer Flughöhe und bei nachträglich notwendiger Vergrößerung des Bildmaterials ist deshalb die 60 cm-Kammer an Bildqualität überlegen. Das gilt nicht, wenn ein bestimmter Bildmaßstab verlangt wird und damit die Flughöhe für die 60 cm-Kammer doppelt so groß wird. In diesem Fall liefert die 30 cm-

Kammer Bilder mit besserer Bildqualität.

## 3. Fortführung

Das IfAG hat u.a. die Aufgabe, die amtlichen Kartenwerke 1:200.000 und kleiner herzustellen und fortzuführen. Für die Fortführung dient als Informationsgrundlage eine Vielzahl von Informationsquellen, die stichwortartig aufgezählt werden sollen.

Für das Verkehrsnetz sind dies vor allem

- Topographische Karten der Landesvermessungsämter (LVA),
- Luftbilder 1:32.000 der LVA und des Militärgeographischen Amtes,
- Straßenbaupläne und Ausschreibungsblätter der Straßenbauverwaltungen,
- Planungskarten,
- Bauberichte sowie
- Tageszeitungen und
- eigene Erkundungstrupps.

Siedlungs- und Industrieflächen sowie Wald- und Gewässerflächen werden vorwiegend aus großmaßstäbigen Karten oder Luftbildern entnommen.

Die Auflistung der Informationsquellen macht vor allem deutlich, daß die Fortführung einer Karte aus vielen ungleichartigen Quellen zusammengetragen werden muß, die sich in Bezug auf Einheitlichkeit und Zuverlässigkeit zum Teil erheblich voneinander unterscheiden. Dadurch wird das Erfassen und Verarbeiten der verschiedenen Informationen zu einer recht aufwendigen Arbeit.

Wir haben uns deshalb die Aufgabe gestellt, die Verwendbarkeit kleinmaßstäbiger Luftbilder für die Fortführung von Karten 1:200.000 und 1:250.000 zu untersuchen. Dazu ergab sich im vergangenen Jahr die Gelegenheit, Luftbilder im Maßstab 1: 85.000 von einem Teilgebiet der Karte 1:250.000 (Blatt "Mannheim") aufnehmen zu lassen, deren Fortführung zum gleichen Zeitpunkt anstand.

Unter mehreren Möglichkeiten haben wir uns für folgende Auswertemethode entschieden. In einem Zoom Transfer Scope (mit monoskopischer Betrachtung) der Fa. Bausch & Lomb wurde in den Bildhalter eine kontrastausgeglichene Kontaktkopie ($M_b$ = 1: 85.000) eingelegt und auf der Arbeitsplatte eine SW-Vergrößerung der fortzuführenden Karte, in der der gesamte Karteninhalt wiedergegeben war. Bei unseren Versuchen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, eine Vergrößerung auf 1:125.000 zu verwenden und darin alle Veränderungen gegenüber dem Luftbild nach einem bestimmten Zeichenschlüssel mit Farbstiften einzutragen. Folgende Einzelheiten wurden erfaßt, wobei jeweils nur der zentrale Teil eines Luftbildes ausgewertet und die Darstellung im überdeckenden Bereich der anschließenden Luftbilder nochmals überprüft wurde:

- neue Siedlungsflächen,
- neue Industrieflächen,
- Überprüfung der Ortsdarstellung (Wechsel der Kartensignatur auf grundrißähnliche Darstellung),
- neue Verkehrslinien und -flächen,
- Überprüfung des Verkehrsnetzes auf Lagerichtigkeit,
- Veränderung der Waldflächen,
- Veränderungen stehender Gewässer.

Auf diese Weise wurden etwa 40 % des 17.000 km² umfassenden Kartenblattes "Mannheim" von einem Auswerter in etwa 26 Stunden bearbeitet, wobei insgesamt 45 Luftbilder mit dem Karteninhalt verglichen wurden. Im Schnitt ließen sich 8 Luftbilder pro Arbeitstag auswerten. Bei einer das Kartenblatt deckenden Befliegung mit 8 Flugstreifen à 20 Bilder (60 % Längs-, 30 % Querüberdeckung) ließe sich unter idealen Bedingungen die Auswertung der 160 Luftbilder in ca. 20 Arbeitstagen durchführen.

Tabelle 1:
Hochbefliegungen zur Fortführung der Karte 1:250.000

| | |
|---|---|
| Kartenmaßstab | 1:250.000 (Blatt "Mannheim") |
| Bildmaßstab | 1:85.000 (f=153 mm, $h_g$=13 km) |
| abgedeckte Fläche/Bild | 20 x 20 $km^2$ |
| Aufnahmematerial | Agfa Aviphot Pan 150 (panchromatisch, Sensibilisierung bis 750 nm) |
| Auswerteinstrument | Zoom Transfer Scope (monoskopisch), Bausch & Lomb |
| Arbeitsunterlage | SW-Vergrößerung 1:125.000 |
| Bildmaterial | kontrastausgeglichene Kontaktkopien |
| Ausgewertete Fläche | 6.940 $km^2$ (40 % des Blattes "Mannheim") |
| Anzahl der ausgew. Bilder | 45 (60 % Längs-, 30 % Querüberdeckung) |
| durchschnittl. Zeitbedarf | 34 Min. pro Bild |
| Auswertekapazität | 8 Bilder pro Auswerter und Tag |

Tabelle 2:
Gegenüberstellung der Fortführungsergebnisse

Größe der Vergleichsfläche: 1.450 $km^2$
(9 % des Blattes "Mannheim")

| Art/Anzahl der Veränderungen | Fortführung m. Luftbildern 1:85.000 | Konventionelle Fortführung | Differenz |
|---|---|---|---|
| neue Siedlungsflächen | 58 | 53 | 5 |
| neue Straßen | 1 | 1 | 0 |
| neue Waldflächen | 27 | 12 | 15* |
| wegfallende Waldflächen | 10 | 6 | 4* |
| neue stehende Gewässer | 26 | 18 | 8 |
| wegfallende stehende Gewässer | - | - | - |

* Anzahl der Veränderungen ohne Berücksichtigung der Mindestgrößen nach Musterblatt TOK 200 (0.1 $cm^2$ Kartenfläche für Waldflächen, 0.01 $cm^2$ Kartenfläche für Waldvorsprünge und Lichtungen)

In einem Gebiet von 1.450 km² im Raum Mannheim mit relativ vielen Veränderungen wurde unser Auswerteergebnis mit dem Ergebnis der im IfAG praktizierten herkömmlichen Fortführungsmethode verglichen (siehe Tabelle 2). Dabei war es leider nur möglich, zu überprüfen, inwieweit die von uns festgestellten Veränderungen auch bei der herkömmlichen Methode erfaßt waren. Die umgekehrte Überprüfung, welche Änderungen von uns nicht erkannt worden waren, ließ sich wegen fehlender , endgültiger Vergleichsunterlagen nicht durchführen. Dadurch kommt eine Aussage über die Schwächen der Fortführung allein mit Hilfe kleinmaßstäbiger Luftbilder in Tabelle 2 nicht zum Ausdruck.

Probleme ergeben sich vor allem bei der Klassifizierung von Straßen und bei Veränderungen aller Art in Ballungsgebieten, wie auch beim Erkennen kleiner fließender Gewässer (z.B. Flurbereinigungsmaßnahmen). Eine weitere Schwierigkeit bereitet die Zuordnung Bild/Karte in Gebieten mit fehlendem übergeordnetem Verkehrsnetz. Gewisse Unsicherheiten können sich mit diesem kleinen Bildmaßstab auch bei der Unterscheidung zwischen Wald- und Gewässerflächen ergeben. Speziell in diesem Punkt erwarten wir aber eine Verbesserung bei der Benutzung eines Auswertegerätes mit Stereobetrachtung.

Demgegenüber stehen die Vorteile des Verfahrens:

1) Erfassung sämtlicher Veränderungen in einem Kartenblatt zu einem Stichtag, dem Tag des Bildfluges. Da Hochbefliegungen stets extrem gute Aufnahmebedingungen voraussetzen, lassen sie sich in der Regel nur während länger anhaltender Hochdrucklagen ausführen. Deshalb wird es meistens möglich sein, ein oder mehrere Kartenblätter an einem Tag zu befliegen.
2) Doppelte Kontrolle der festgestellten Veränderungen durch Überprüfung in den überdeckenden Bildbereichen der angrenzenden Luftbilder.
3) Die Bearbeitungsdauer zwischen Erfassung der Veränderungen (= Bildflug) und Druck der fortzuführenden Karte kann sehr kurz gehalten werden und erhöht dadurch die Aktualität der Karte.

Photogrammetrische Woche 1981
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 8, 1982


4) Es wird eine vollständige Überprüfung des gesamten Karteninhalts erreicht, wodurch z.B. auch Kartierfehler oder fehlende Eintragungen erfaßt und korrigiert werden.

Aufgrund unserer ersten Erfahrungen nehmen wir an, daß die Fortführung kleinmaßstäbiger Karten auf der Grundlage kleinmaßstäbiger Luftbilder gegenüber der herkömmlichen Fortführungsmethode in einigen Punkten wirkungsvoller gestaltet werden kann. Dabei wird eine Kombination einzelner Arbeitsschritte beider Methoden sinnvoll und notwendig sein. Wir werden deshalb bemüht sein, weitere Untersuchungen in dieser Richtung anzustellen.

## 4. Höhenmessgenauigkeit

Eine weitere Zielsetzung unserer Arbeiten war eine empirische Überprüfung der Höhenmeßgenauigkeit einer 30 cm- und 60 cm-Kammer sowie eine Überprüfung der Modellvorstellung, wie sie z.B. Konecny (1981) für die Abschätzung der Leistungsfähigkeit verschiedener Kammern für Weltraummissionen benutzt hat. Dort macht er auch den Vorschlag, zur Steigerung der Höhenmeßgenauigkeit andere Basis/Höhen-Verhältnisse zu verwenden, als sie bei den üblichen Überdeckungen von 60 % auftreten. Die Abhängigkeit des theoretischen Höhenfehlers vom b/h-Verhältnis bzw. von der Überdeckung zeigen die Abb. 21 und 22.

Die Untersuchungen wurden an Bildmaterial der RMK 30/23 und 60/23 vorgenommen, das auch im Abschnitt "Bildqualität" ausgewertet worden war, sowie an Bildmaterial, das mit einer neuen Kammer der Fa. Carl Zeiss, dem Tele-Reihenbildner TRb 60/24, geflogen worden war. Der TRb 60/24 wurde als Aufklärungskammer für militärische Zwecke entwickelt und ist, da er z.Zt. noch keine Rahmenmarken besitzt, keine Meßkammer im üblichen Sinne. Das wesentlichste Merkmal, neben der großen Öffnung von 1:4, ist eine Vorrichtung zur Kompensation der Bildwanderung. Ein entscheidender Nachteil ist das verkleinerte Bildformat von 11.5 x 23 cm, wodurch sich bei stereoskopischer Auswertung sehr ungünstige Basis/Höhen-Verhältnisse ergeben.

Für die Versuche konnte ein Testgebiet im Taunus ($\Delta H \cong 200$ m) mit 33 nivellierten Höhenvergleichspunkten benutzt werden, das vom Hessischen LVA eingerichtet worden war, und wovon man uns freundlicherweise die Unterlagen zur Verfügung gestellt hatte.

Von je einem mit 80 % Längsüberdeckung geflogenen Bildstreifen für jede der drei Kammern wurden - soweit möglich - Modelle mit 80, 60, 40 und 20 % Überdeckung im Planicomp C 100 ausgemessen. Die relative Orientierung erfolgte an durchschnittlich 12 Punkten und wurde für gut befunden, wenn eine mittlere Restparallaxe von 4 µm erreicht war. Das war in allen behandelten Fällen möglich. Erhebliche Konvergenzschwierigkeiten ergaben sich aber für das 20 % überdeckte Modell der RMK 60/23.

Um eine absolute Orientierung auch für die Modelle mit 20-40 % Überdeckung zu gewährleisten, wurden in den Modellen mit großer Überdeckung zusätzliche Paßpunkte durch Folgebildanschluß bestimmt. Auf diese Weise standen für die absolute Orientierung, neben mindestens zwei geodätisch bestimmten Lage- und Höhenpaßpunkten, für jedes Modell noch mindestens drei weitere, photogrammetrisch bestimmte Paßpunkte zur Verfügung.

Zur Ermittlung der inneren Höhenmeßgenauigkeit (Reproduzierbarkeit) wurde ein regelmäßiges Raster über das orientierte Modell gelegt und in zwei unabhängigen Durchgängen vom selben Operateur gemessen. Die Punktanzahl betrug je nach Überdeckung und Kammer zwischen 720 und 134 Punkte.

Die in Abb. 23 dargestellten Ergebnisse für die Reproduzierbarkeit der Höhenmessung scheinen die Modellvorstellung (Abb. 21) zu bestätigen. Das scheint auch zusätzlich noch durch die Tatsache erhärtet zu sein, daß die Ergebnisse der zwei vom Typ her unterschiedlichen 60 cm-Kammern dem theoretischen Modell genau entsprechen. Wählt man jedoch als Darstellung die Abhängigkeit des Höhenfehlers von der Überdeckung (Abb. 24), so ergibt sich eine andere Schlußfolgerung. Im Gegensatz zur Modellvorstellung (Abb. 22) weist die RMK 30/23 für eine Überdeckung >50% eine signifikant bessere Höheneinstellbarkeit auf. Diese Tatsache hat ihre Begründung vermutlich darin, daß die 60 cm-Kammern wegen des ungünstigeren b/h-Verhältnisses besonders bei großen Überdeckungen einen extrem schlechten Stereo-

eindruck vom Modell vermitteln, was die Höheneinstellbarkeit erschwert und unsicherer macht. Dieser Nachteil wird offenbar auch nicht durch den entsprechend größeren Bildmaßstab kompensiert, wie es die Formel für den theoretischen Höhenfehler in Abb. 21 und 22 aussagt.

Wichtiger als die innere Genauigkeit ist für die photogrammetrische Praxis jedoch die absolute Höhengenauigkeit. Auch hier ergibt sich nach den Abb. 21 und 25 zwischen dem theoretischen und dem empirisch ermittelten Ergebnis eine scheinbar gute Übereinstimmung. Legt man jedoch in Abb. 25 durch die Punkte ausgleichende Hyperbeln, dann erhält man für die RMK 30/23 eine Asymptote bei $s_o$ = 0.26 m und für die RMK 60/23 eine Asymptote bei $s_o$ = 0.20 m. Das bedeutet, daß im Gegensatz zur Modellvorstellung, die eine Asymptote bei $s_o$ = 0.0 m beinhaltet, in der Praxis eine Genauigkeitssteigerung durch Verändern der Überdeckung bzw. des b/h-Verhältnisses nicht unbeschränkt möglich ist.

Das wird noch deutlicher in Abb. 26, wo der Höhenfehler in Abhängigkeit von der Überdeckung aufgetragen ist. Die Darstellung sagt aus, daß bei kleineren Überdeckungen als 50-40 % mit keiner erheblichen Genauigkeitssteigerung für die Höhenmessung mehr zu rechnen ist.

Es ist offenkundig, daß die hier vorgestellten Ergebnisse noch der Unterstützung durch weitere Untersuchungen bedürfen, weshalb wir unsere Versuche auch noch auf andere Flughöhen und andere Kammern ausdehnen werden.

Literatur

|1| American National Standards Institute (1976): American National Standard "Method for Determining the Resolving Power of Photographic Materials". ANSI PH2.33-1969, New York.

|2| Brock, G.C., Harvey, D.I., Kohler, R.J., Myskowski, E.P. (1965): Photographic Considerations for Aerospace. Eds.: H.J. Hall and H.K. Howell, Itek Corp., Lexington, Mass., 1. Edition.

|3| Gut, D., Höhle, J. (1977): High Altitude Photography: Aspects and Results. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43, 10, S. 1245-1255.

|4| Konecny, G. (1981): Das europäische Weltraum-Fernerkundungsprogramm. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft 82, S. 67-105.

|5| Lester, K.J., Meadows, P.L. (1980): The Use of Ultra-Small Scale Aerial Photography in Medium Scale Mapping and Revision. 14. Int. Kongreß der IGP, Hamburg 1980, Vol. XXIII, Teil B 4, S. 448-457.

|6| Meier, H.-K. (1978): Verzeichnung, Kammerkonstante und Fokussierung von Luftbildkammern unter dem Einfluß bildflugspezifischer Umweltbedingungen. Bildmessung und Luftbildwesen, 46, S. 193-198.

|7| Schöler, H. (1981): Luftbildhochbefliegungen (Kurzbericht). Vermessungstechnik, 29.

Photogrammetrische Woche 1981
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 8, 1982


## Zusammenfassung

Seit 1977 hat das Institut für Angewandte Geodäsie Frankfurt (IfAG) mehrere Bildflüge unter verschiedenen Zielsetzungen in größeren Flughöhen ausführen lassen, bzw. hat sich an entsprechenden Untersuchungen beteiligt. Der Vortrag wird einige Ergebnisse von folgenden Versuchen zur Diskussion stellen:
- Versuchsbefliegungen zur Vorbereitung des SPACELAB-Experiments "Reihenmeßkammer" der ESA zum Test mehrerer Filmmaterialien,
- Verwendung kleinmaßstäbiger Bilder zur Kartenfortführung,
- Vergleich der Höhenmeßgenauigkeit verschiedener langbrennweitiger Kammern,
- Bildqualitätsuntersuchungen.

## Results of experimental flights at high altitude

### Abstract

In the period since 1977, the Frankfurt Institute of Applied Geodesy (IfAG) has had several photographic flights made with various aims, at fairly high altitudes, or has participated in similar projects. The lecture discusses some results of the following experiments:
- test flights to prepare the ESA SPACELAB experiment "Aerial Mapping Cameras" (Reihenmeßkammer), to test a variety of film materials,
- use of small-scale photos for map revision,
- comparison of the height measuring accuracy achieved with different long-focus cameras,
- investigations of image quality.

## Résultats de vols expérimentaux à haute altitude

### Résumé

Depuis 1977, l'IfAG (Institut für Angewandte Geodäsie Frankfurt) a fait effectuer plusieurs photovols à haute altitude à des fins différents; il a également pris part à des études correspondantes. L'exposé soulève une discussion des essais suivants:
- vols expérimentaux pour la préparation de l'expérience SPACELAB "Reihenmeßkammer"/chambre aérophotogrammétrique à répétition) de l'ESA afin de tester différentes sortes de film,
- utilisation de photographies à petite échelle pour la révision de cartes,
- comparaison de la précision de mesure altimétrique entre différentes chambres à grande focale,
- examens de la qualité d'image.

## Resultados de vuelos de ensayo a alturas muy grandes

### Resumen

Desde hace 1977, el Institut für Angewandte Geodäsie Frankfurt (IfAG) (Instituto de Geodesia Aplicada, Francfort) hizo realizar varios vuelos fotogramétricos a alturas muy grandes, considerando aspectos distintos, o bien ha partecipado en proyectos de esta índole. En la conferencia, se pondrán a discusión algunos de los resultados obtenidos a base de los siguientes ensayos:
- Vuelos de ensayo, destinados a preparar el experimento SPACELAB "Cámara aerofotogramétrica" de la ESA con vista al ensayo de varios materiales fotosensibles.
- Utilización de fotografías de escala pequeña para la actualización de mapas.
- Comparaciones de la exactitud de medición altimétrica en fotografías tomadas con varias cámaras de larga distancia focal.
- Análisis de la calidad de imágenes.

J. Sievers, K. Schürer und H. Walter,
Institut für Angewandte Geodäsie,
Richard Strauß-Allee 11, D-6000 Frankfurt am Main

Abb. 1:

Testgebiet "Leeheim" 1:70.000
(vergrößert auf 1:25.000)
RMK A 15/23, 1/200 s, 5.6, B
$h_g$ = 10.5 km, v/h = 13 mrad/s
Aviphot Pan 30, G 74c, $\gamma$ = 1.7
Objektkontrast ~50:1,
Figurengröße ≙ 18, 22, 28, 35, 44
lp/mm im Original

Abb. 2:

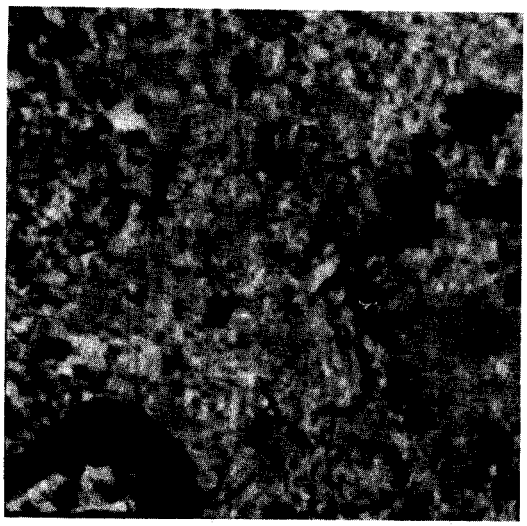
Testgebiet "Leeheim" 1:70.000
(vergrößert auf 1:25.000)
RMK 15/23, 1/400 s, 8.0, D
$h_g$ = 10.5 km, v/h = 13 mrad/s
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.3
Objektkontrast ~50:1
Figurengröße ≙ 18, 22, 28, 35, 44
lp/mm im Original

Abb. 3:

Testgebiet "Leeheim" 1:120.000
(vergrößert auf 1:25.000)
RMK A 8.5/23, 1/300 s, 5.6, D
$h_g$ = 10.5 km, v/h = 13 mrad/s
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.3
Objektkontrast ~50:1
Figurengröße ≙ 30, 38, 48, 60
lp/mm im Original

Abb. 4:

Testgebiet "Leeheim" 1:160.000
(vergrößert auf 1:25.000)
RMK A 8.5/23, 1/300 s, 5.6, D
$h_g$ = 14 km, v/h = 11 mrad/s
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.3
Objektkontrast ~50:1
Figurengröße ≙ 40, 50, 64, 80
lp/mm im Original



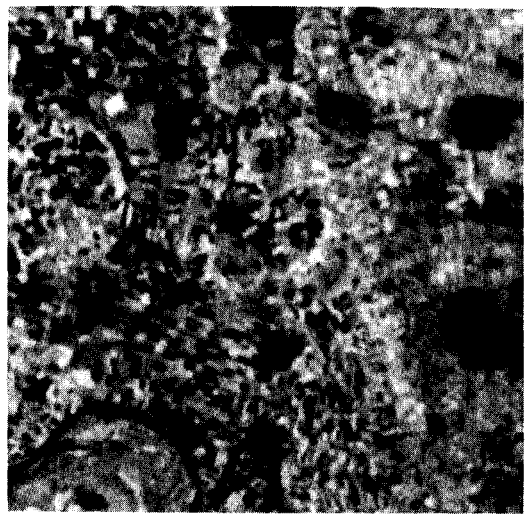


Abb. 5a,b: LANDSAT 2-Aufnahmen vom 10.08.1975
vergrößert auf 1:160.000
a) Kanal 5 (600-700 nm), b) Kanal 7 (800-1100 nm)

Abb. 6:

Testgebiet "Leeheim" 1:160.000
(nicht vergrößert, Angaben wie Abb. 4)

Sämtliche Luftbilder am 07.07.1980 freigegeben durch Reg. Präs. Darmstadt, Nr. 849/80

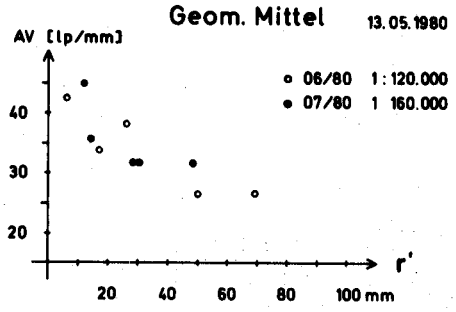



Abb. 7

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstäbe 1:120.000, h = 10.5 km, v/h = 13 mrad/s
1:160.000, h = 14 km, v/h = 11 ---
RMK A 8.5/23, Nr. 113 505, 1/300 s, 5.6, D
Aviphot Pan 200, G 74 c, $\gamma$ = 1.3

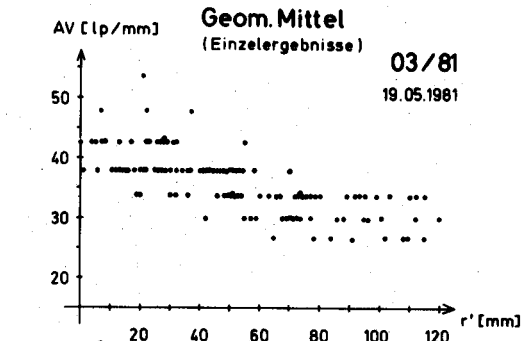



Abb. 8

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:19.000 v/h = 38 mrad/s ±1
RMK A1 30/23, Nr.124503, 1/1000 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.40
Objektkontrast = 20:1 $\sqrt[3]{2}$

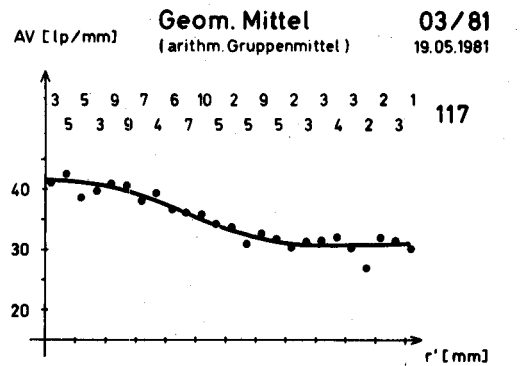



Abb. 9

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:19.000 v/h = 38 mrad/s ±1
RMK A1 30/23, Nr.124503, 1/1000 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.40
Objektkontrast = 20:1 $\sqrt[3]{2}$

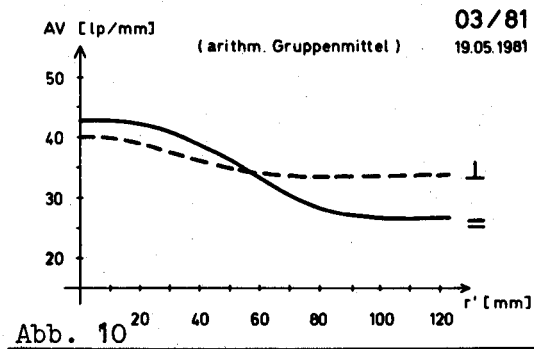



Abb. 10

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:19.000 v/h = 38 mrad/s ±1
RMK A1 30/23, Nr.124503, 1/1000 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.40
Objektkontrast = 20:1 $\sqrt[3]{2}$

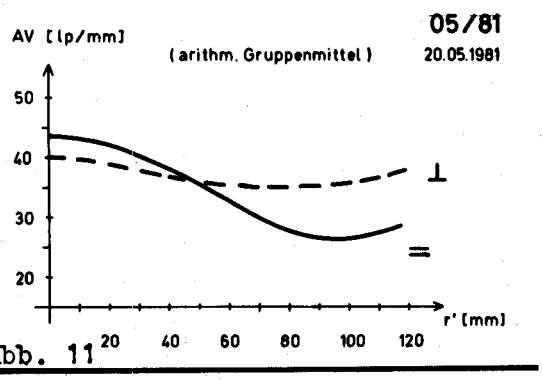



Abb. 11

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:19.000 v/h = 38 mrad/s ±1
RMK A1 30/23, Nr.124503, 1/1000 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.26
Objektkontrast = 20:1 $\sqrt[3]{2}$

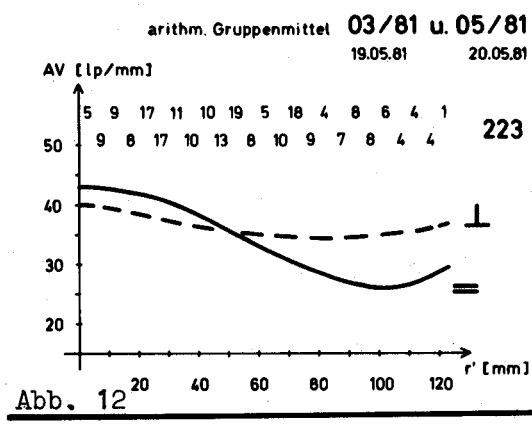



Abb. 12

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:19.000 v/h = 38 mrad/s ±1
RMK A1 30/23, Nr.124503, 1/1000 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.40 / 1.26
Objektkontrast = 20:1 $\sqrt[3]{2}$

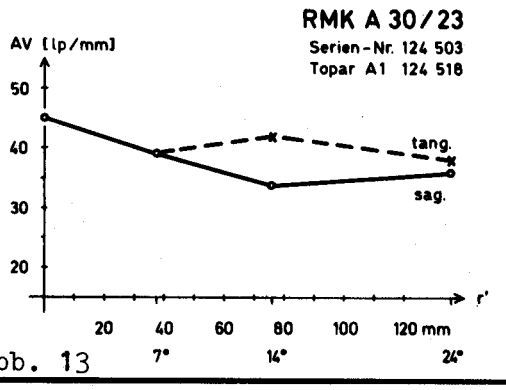



Abb. 13

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Aviphot Pan 30 (Herstellerangabe)
Ultrafin 1:15

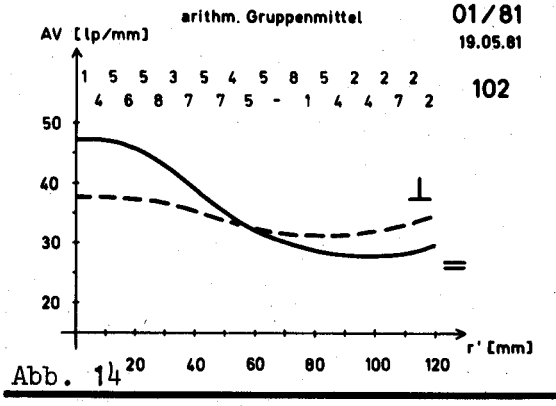



Abb. 14

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:19.000 v/h = 38 mrad/s ±1
RMK A1 30/23, Nr. 124 503, 1/600 s, 5.6, B
Aviphot Pan 150, G 74c, $\gamma$ = 1.40
Objektkontrast = 20:1 $\sqrt[4]{2}$

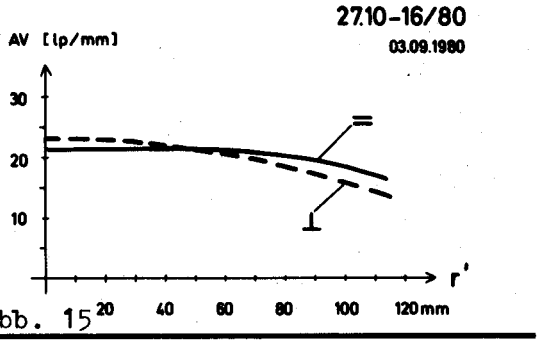



Abb. 15

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:21.000, v/h = 17 mrad/s ±0.3
RMK A 60/23, Nr. 130 717, 1/900 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.46
Objektkontrast 13:1 $\sqrt[4]{2}$

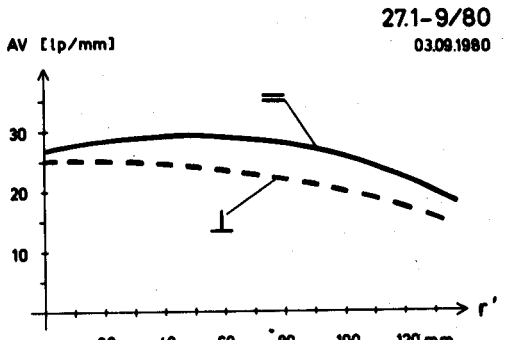



Abb. 17

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Bildmaßstab 1:9.400 v/h = 39 mrad/s ±1
RMK A 60/23, Nr. 130 717, 1/900 s, 6.3, B
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.46
Objektkontrast 13:1, $\sqrt[4]{2}$

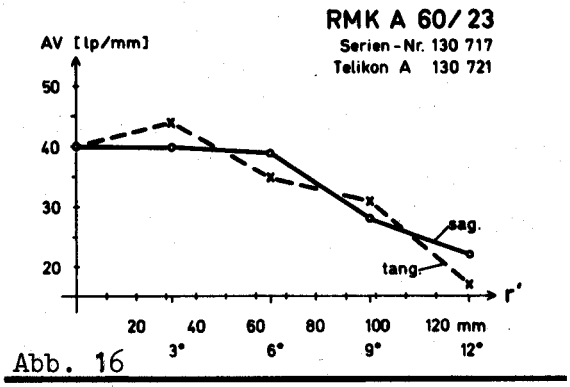



Abb. 16

**Auflösungsvermögen (3-Linien-Test)**

Aviphot Pan 30 (Herstellerangabe)
Ultrafin 1:15

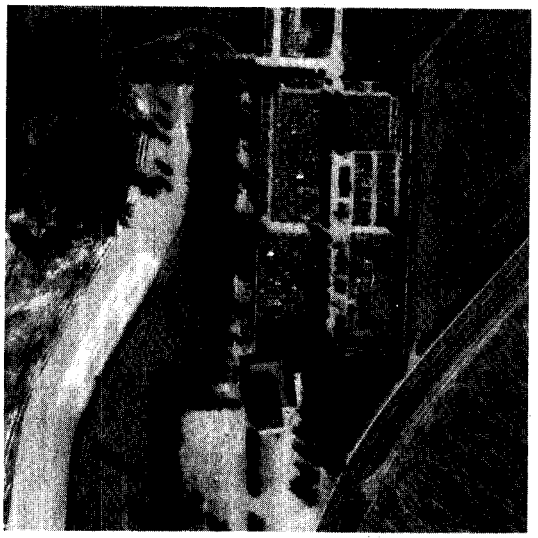


Abb. 18:

Bildmaßstab 1:9.400
(vergrößert auf 1:2.500)
RMK A 60/23, 1/700 s, 6.3, B
$h_g$ = 5.8 km, v/h = 40 mrad/s
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.4
26.08.1980

Abb. 19:

Bildmaßstab 1:19.000
(vergrößert auf 1:2.500)
RMK A 30/23, 1/1.000 s, 5.6, B
$h_g$ = 5.8 km, v/h = 40 mrad/s
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.4
26.08.1980

Abb. 20:

Bildmaßstab 1:21.000
(vergrößert auf 1:2.500)
RMK A 60/23, 1/900 s, 6.3, B
$h_g$ = 13 km, v/h = 17 mrad/s
Aviphot Pan 200, G 74c, $\gamma$ = 1.5
03.09.1980

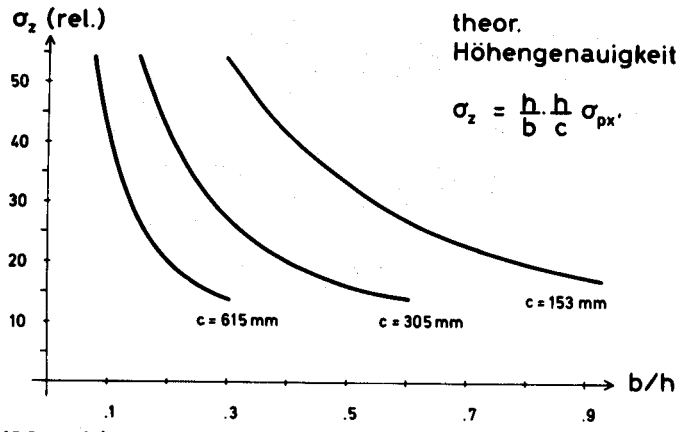



Abb. 21

h = Flughöhe (= konstant), c = Kammerkonstante, b = Basis
$\sigma_{px'}$ = Parallaxenmeßgenauigkeit (= 10 µm nach KONECNY, 1981)

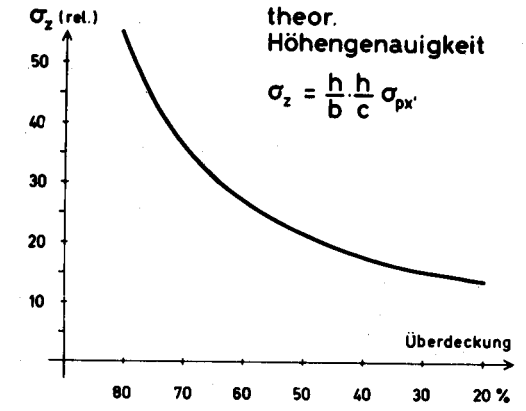



Abb. 22

Bildformat 23 × 23 cm², b = Basis
h = Flughöhe = konstant
c = Kammerkonstante = beliebig
$\sigma_{px'}$ = Parallaxenmeßgenauigkeit
(10 µm nach KONECNY, 1981)

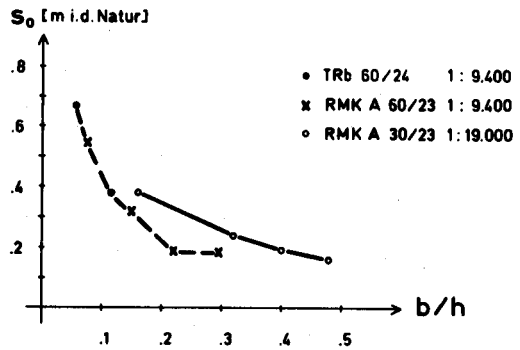



Abb. 23

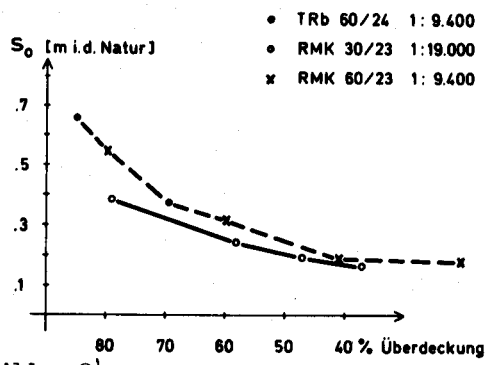



Abb. 24

## Reproduzierbarkeit der Höhenmessung

(aus Doppelmessungen)

$s_o = \pm\sqrt{\frac{[dd] - n \cdot d^2}{n-1}}$ Standardabweichung

Vertrauensbereiche für $\gamma = 97.5\,\%$

o, x = ± 6 % von $s_o$

• = ± 9 % von $s_o$

## Reproduzierbarkeit der Höhenmessung

(aus Doppelmessungen)

$s_o = \pm\sqrt{\frac{[dd] - n \cdot d^2}{n-1}}$ Standardabweichung

(Ergebnisse für TRb 60/24 umgerechnet
auf Bildformat 23 x 23 cm)

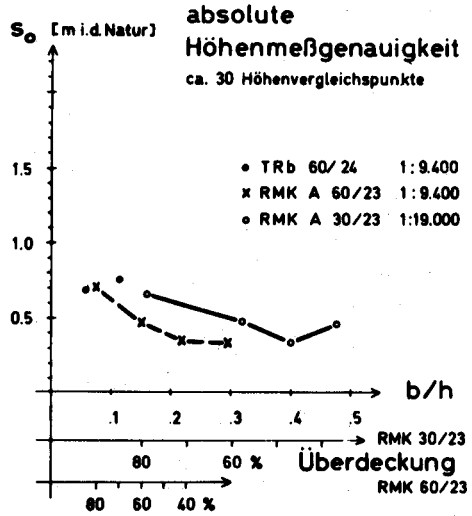



Abb. 25

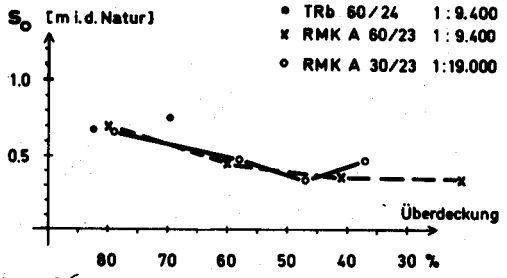



Abb. 26

## (absolute) Höhenmeßgenauigkeit

ca. 30 Höhenvergleichspunkte
Vertrauensbereich für $\gamma = 97.5\,\%$ : -20/+33 % von $s_o$

$s_o = \pm\sqrt{\frac{[vv] - n \cdot v^2}{n-1}}$ Standardabweichung

(Ergebnisse für TRb 60/24 umgerechnet
auf Bildformat 23 x 23 cm)