
PHOTOGRAMMETRIE

Band 1

Grundlagen und Standardverfahren

von
Prof. Dr.-Ing. KARL KRAUS
mit Beiträgen von
Prof. Dr. Peter WALDHÄUSL

Institut für Photogrammetrie
und Fernerkundung
der Technischen Universität Wien

Sechste Auflage.
Mit 210 Abbildungen
und 1 Farbtafel.
Dümmlerbuch 7864

FERD.  ÜMMLER'S VERLAG · BONN

A GRUNDZÜGE DER PHOTOGRAMMETRIE

1. EINLEITUNG	1
1.1 Definition und Anwendungsmöglichkeiten	1
1.2 Einige Bemerkungen zur Entwicklungsgeschichte	2
2. EINIGE MATHEMATISCHE VORBEMERKUNGEN	4
2.1 Drehung in der Ebene	4
2.2 Drehung im Raum	7
2.3 Zentralprojektion des Raumes	13
2.4 Zentralprojektion der Ebene	17
2.5 Zentralprojektion der Geraden	22
2.6 Der Normalfall der Zweibildauswertung	24
2.7 Fehlertheorie des Normalfalles	27
3. DIE PHYSIKALISCHE REALITÄT DER PHOTOGRAMMETRISCHEN AUFNAHME	29
3.1 Die innere Orientierung	29
3.1.1 Die innere Orientierung einer Meßkamera	29
3.1.2 Die innere Orientierung eines Meßbildes	37
3.1.3 Die Wiederherstellung der inneren Orientierung	39
3.2 Photographische Belange	41
3.2.1 Allgemeines	41
3.2.2 Farben und Filter	42
3.2.3 Der photographische Prozeß der Schwarzweiß-Photographie	46
3.2.4 Gradation	47
3.2.5 Allgemeinempfindlichkeit	50
3.2.6 Der photographische Prozeß der Farbphotographie	52
3.2.6.1 Positiv- und Negativfarbfilm	52
3.2.6.2 Positiv-Farbinfrarotfilm	54
3.2.7 Spektrale Empfindlichkeit	55
3.2.8 Die photographisch wirksame Beleuchtung	58
3.2.9 Filme für die Luftbildaufnahme	61
3.2.10 Kopierung mit Kontraststeuerung	63

3.3	Abbildungsschärfe	64
3.3.1	Die Tiefenschärfe	64
3.3.2	Beugungsunschärfe	69
3.3.3	Optisches und photographisches Auflösungsvermögen	70
3.3.4	Kontrast und Kontrastübertragung	73
3.3.5	Bewegungsunschärfe	76
3.4	Erdbildmeßkamera	80
3.4.1	Anforderungen an Erdbildmeßkameran	80
3.4.2	Genereller Aufbau der Erdbildmeßkameran	82
3.4.2.1	Stereomeßkamera	82
3.4.2.2	Einzelmeßkamera	83
3.4.3	Technische Daten und Konstruktionsmerkmale einiger Erdbildmeßkameran	84
3.4.3.1	Stereomeßkameran	84
3.4.3.1.1	Wild C 120 und C 40	84
3.4.3.1.2	Zeiss SMK 120 und SMK 40	84
3.4.3.2	Einzelmeßkameran	85
3.4.3.2.1	Wild P 31	85
3.4.3.2.2	Wild P 32	86
3.4.3.2.3	UMK von Carl Zeiss Jena	86
3.5	Planung und Durchführung von Erdbildaufnahmen	87
3.6	Zwischenbemerkung	94
3.7	Luftbildmeßkameran	96
3.7.1	Anforderungen an Luftbildmeßkameran	96
3.7.2	Genereller Aufbau und Beispiele von Luftbildmeßkameran	101
3.8	Flugplanung	108
3.9	Vermessungsflugzeuge	111
4.	ZWEIBILDAUSWERTUNG	114
4.1	Mit bekannter äußerer Orientierung	115
4.1.1	Rechnerisch	115
4.1.2	Am Analogauswertegerät	116
4.2	Mit unbekannter äußerer Orientierung	117
4.2.1	Getrennte Orientierung der beiden Bilder	117
4.2.2	Gemeinsame Orientierung der beiden Bilder (einstufig)	119
4.2.3	Gemeinsame Orientierung der beiden Bilder (zweistufig)	120
4.2.3.1	Rechnerische relative Orientierung mit Bildkoordinaten	123
4.2.3.2	Rechnerische relative Orientierung am Analogauswertegerät	129
4.2.3.3	Empirische relative Orientierung am Analogauswertegerät	137

4.2.3.4	Gefährliche Flächen der relativen Orientierung	144
4.2.3.5	Fehlertheorie der relativen Orientierung	149
4.2.3.6	Absolute Orientierung am Analogauswertegeräte	155
4.2.3.7	Rechnerische absolute Orientierung	161
4.3	Zweibildauswertegeräte und einige Auswerteverfahren	166
4.3.1	Stereoskopische Betrachtungssysteme	166
4.3.1.1	Natürliches räumliches Sehen	166
4.3.1.2	Betrachtung von Stereobildern	167
4.3.2	Stereoskopisches Meßprinzip	174
4.3.3	Stereometergeräte	175
4.3.4	Stereo- und Monokomparatoren	179
4.3.4.1	Stereokomparatoren	179
4.3.4.2	Monokomparatoren und Punktübertragungsgeräte	180
4.3.5	Bildkoordinatenbereinigung	186
4.3.6	Berücksichtigung der Erdkrümmung	192
4.3.7	Zwischenbemerkungen	198
4.3.8	Universelle analytische Auswertegeräte	198
4.3.8.1	Grundkonzept	199
4.3.8.2	Auswertemethoden	204
4.3.8.3	Gerätetechnische Merkmale und einige Zusatzeinrichtungen	207
4.3.9	Vereinfachte analytische Auswertegeräte	212
4.3.10	Analogauswertegeräte	216
4.3.10.1	Prinzip der optischen Projektion	216
4.3.10.2	Prinzip der mechanischen Projektion	219
4.4	Genauigkeit der Zweibildauswertung	224
4.4.1	Luftbildmessung	224
4.4.1.1	Koordinierte Einzelpunkte (photogrammetrische Punktbestimmung)	224
4.4.1.2	Grundrißlinien	228
4.4.1.3	Höhenlinien	229
4.4.1.4	Profile und Raster	230
4.4.2	Erdbildmessung und Sonderfälle der Luftbildmessung	232
4.5	Einige praktische Hinweise zur Zweibildauswertung	233
4.5.1	Bildmaterial	233
4.5.2	Orientierung	234
4.5.3	Linienweise Auswertung	236

5.	PHOTOGRAMMETRISCHE TRIANGULATION	241
5.1	Vorbemerkungen	241
5.2	Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen	243
5.2.1	Lageblockausgleichung	243
5.2.2	Räumliche Blockausgleichung	253
5.2.3	Lage- und Höhengenaugigkeit der Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen	255
5.2.3.1	Lagegenauigkeit	255
5.2.3.2	Höhengenaugigkeit	261
5.2.3.3	Empirische Lage- und Höhengenaugigkeit	264
5.2.3.4	Lage- und Höhengenaugigkeit der Streifen­triangulation	264
5.2.4	Gerätetechnische Fragen	266
5.2.5	Bemerkungen zur Anwendung	268
5.3	Bündelblockausgleichung	268
5.3.1	Mathematischer Zusammenhang zwischen Bild- und Landeskoordinaten	270
5.3.2	Differentielle Beziehungen	272
5.3.3	Verbesserungs- und Normalgleichungen eines Bildverbandes	273
5.3.4	Auflösung der Normalgleichungen	275
5.3.5	Unbekannte innere Orientierung und zusätzliche Parameter	276
5.3.6	Genauigkeit sowie Vor- und Nachteile der Bündelblockausgleichung	277
5.3.7	Sonderfälle der Bündelblockausgleichung	278
5.3.7.1	Räumlicher Rückwärtsschnitt	278
5.3.7.2	Doppelbildeinschaltung	279
5.3.7.3	Räumlicher Vorwärtsschnitt	280
5.3.8	Bündelblockausgleichung im Nahbereich	281
6.	EINZELBILDAUSWERTUNG	285
6.1	Verzerrungen eines Meßbildes	285
6.2	Entzerrung durch zentralperspektivische Umbildung	294
6.2.1	Perspektive Entzerrung mit Herstellung der inneren Orientierung	294
6.2.2	Perspektive Entzerrung ohne Herstellung der inneren Orientierung	296
6.2.2.1	Optische Bedingungen	296
6.2.2.2	Geometrische Bedingungen	298
6.2.2.3	Entzerrung mit Einstell­daten	302
6.2.2.4	Entzerrung mit Paßpunkten und mit Berücksichtigung der inneren Orientierung	303
6.2.2.5	Entzerrung mit Paßpunkten ohne Berücksichtigung der inneren Orientierung	304
6.2.2.6	Entzerrung ohne Paßpunkte	305

6.2.3	Geräte für die perspektive Entzerrung	306
6.2.4	Genauigkeit der perspektiv entzerrten Orthophotos	307
6.3	Entzerrung durch differentielle Umbildung	310
6.3.1	Theoretisches und gerätetechnisches Prinzip der Differentialentzerrung	310
6.3.2	Die Entzerrung geneigter Aufnahmen ebener Objekte	315
6.3.3	Die Entzerrung gekrümmter Objektoberflächen	318
6.3.3.1	Varianten der Datenerfassung	319
6.3.3.2	Genauigkeit der differentiell entzerrten Orthophotos	322
6.4	Einige praktische Hinweise zur Orthophotographie	331
6.4.1	Bildmaterial	331
6.4.2	Orthophotoformat	331
6.4.3	Orthophotokarte	332
6.5	Analoge und analytische Einzelbildauswertung	333
6.5.1	Analoge und analytische Orthophotoauswertung	333
6.5.2	Analytische Auswertung einer geneigten Aufnahme eines ebenen Objektes	334
6.5.3	Analytische Einzelbildauswertung gekrümmter Objektoberflächen	335
7.	DIGITALE PHOTOGRAMMETRIE	338
7.1	Definition eines digitalen photogrammetrischen Bildes	338
7.2	Die Entstehung digitaler Bilder	340
7.2.1	Digitalisierung photographischer Bilder	341
7.2.2	Digitale Kameras	344
7.3	Automatisierte Réseau- und Rahmenmarkenmessung	347
7.4	Automatisierte photogrammetrische Punktbestimmung	354
7.5	Digitales Orthophoto	355
7.6	Orientierung digitaler photogrammetrischer Bilder	358
7.7	Automatisierte Oberflächenrekonstruktion	363
7.7.1	Eindimensionale Korrelation	363
7.7.2	Interest-Operatoren	363
7.7.3	Bildzuordnung mittels markanter Linien	364
7.7.4	Bildpyramiden	370
7.7.5	Einbeziehung des Objektraumes in die Bildzuordnung	371
7.8	Digitale photogrammetrische Arbeitsplätze	373
Anhang 2.2-1: Räumliche Drehmatrix		377
Anhang 4.2-1: Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate		382
Vervollständigung der Literaturhinweise		385
SACHREGISTER		386