

---

# 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

<b>1. EINLEITUNG</b>	1
1.1 Definition und Anwendungsmöglichkeiten	1
1.2 Einige Bemerkungen zur Entwicklungsgeschichte	2
<b>2. EINIGE MATHEMATISCHE VORBEMERKUNGEN</b>	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
<b>3. DIE PHYSIKALISCHE REALITÄT DER PHOTOGRAMMETRISCHEN AUFNAHME</b>	29
<b>3.1 Die innere Orientierung</b>	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
<b>3.2 Photographische Belange</b>	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

<b>3.3</b>	<b>Abbildungsschärfe</b>	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
<b>3.4</b>	<b>Erbildmeßkamera</b>	80
3.4.1	Anforderungen an Erbildmeßkamas	80
3.4.2	Genereller Aufbau der Erbildmeßkamas	82
3.4.2.1	Stereomeßkamera	82
3.4.2.2	Einzelmeßkamera	83
3.4.3	Technische Daten und Konstruktionsmerkmale einiger Erbildmeßkamas	84
3.4.3.1	Stereomeßkamas	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	Einzelmeßkamas	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
<b>3.5</b>	<b>Planung und Durchführung von Erbildaufnahmen</b>	87
<b>3.6</b>	<b>Zwischenbemerkung</b>	94
<b>3.7</b>	<b>Luftbildmeßkamas</b>	96
3.7.1	Anforderungen an Luftbildmeßkamas	96
3.7.2	Genereller Aufbau und Beispiele von Luftbildmeßkamas	101
<b>3.8</b>	<b>Flugplanung</b>	108
<b>3.9</b>	<b>Vermessungsflugzeuge</b>	111
<b>4.</b>	<b>ZWEIBILDAUSWERTUNG</b>	114
<b>4.1</b>	<b>Mit bekannter äußerer Orientierung</b>	115
4.1.1	Rechnerisch	115
4.1.2	Am Analogauswertegerät	116
<b>4.2</b>	<b>Mit unbekannter äußerer Orientierung</b>	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
<b>4.3</b>	<b>Zweibildauswertegeräte und einige Auswerteverfahren</b>	<b>166</b>
4.3.1	<b>Stereoskopische Betrachtungssysteme</b>	166
4.3.1.1	Natürliches räumliches Sehen	166
4.3.1.2	Betrachtung von Stereobildern	167
4.3.2	<b>Stereoskopisches Meßprinzip</b>	174
4.3.3	<b>Stereometergeräte</b>	175
4.3.4	<b>Stereo- und Monokomparatoren</b>	179
4.3.4.1	Stereokomparatoren	179
4.3.4.2	Monokomparatoren und Punktübertragungsgeräte	180
4.3.5	<b>Bildkoordinatenbereinigung</b>	186
4.3.6	<b>Berücksichtigung der Erdkrümmung</b>	192
4.3.7	<b>Zwischenbemerkungen</b>	198
4.3.8	<b>Universelle analytische Auswertegeräte</b>	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	<b>Vereinfachte analytische Auswertegeräte</b>	212
4.3.10	<b>Analogauswertegeräte</b>	216
4.3.10.1	Prinzip der optischen Projektion	216
4.3.10.2	Prinzip der mechanischen Projektion	219
<b>4.4</b>	<b>Genauigkeit der Zweibildauswertung</b>	<b>224</b>
4.4.1	<b>Luftbildmessung</b>	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	<b>Erdbildmessung und Sonderfälle der Luftbildmessung</b>	232
<b>4.5</b>	<b>Einige praktische Hinweise zur Zweibildauswertung</b>	<b>233</b>
4.5.1	Bildmaterial	233
4.5.2	Orientierung	234
4.5.3	Linienweise Auswertung	236

<b>5.</b>	<b>PHOTOGRAMMETRISCHE TRIANGULATION</b>	241
<b>5.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	241
<b>5.2</b>	<b>Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen</b>	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
<b>5.3</b>	<b>Bündelblockausgleichung</b>	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
<b>6.</b>	<b>EINZELBILDAUSWERTUNG</b>	285
<b>6.1</b>	<b>Verzerrungen eines Meßbildes</b>	285
<b>6.2</b>	<b>Entzerrung durch zentralperspektivische Umbildung</b>	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
<b>6.3</b>	<b>Entzerrung durch differentielle Umbildung</b>	<b>310</b>
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
<b>6.4</b>	<b>Einige praktische Hinweise zur Orthophotographie</b>	<b>331</b>
6.4.1	Bildmaterial	331
6.4.2	Orthophotoformat	331
6.4.3	Orthophotokarte	332
<b>6.5</b>	<b>Analoge und analytische Einzelbildauswertung</b>	<b>333</b>
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
<b>7.</b>	<b>DIGITALE PHOTOGRAMMETRIE</b>	<b>338</b>
<b>7.1</b>	<b>Definition eines digitalen photogrammetrischen Bildes</b>	<b>338</b>
<b>7.2</b>	<b>Die Entstehung digitaler Bilder</b>	<b>340</b>
7.2.1	Digitalisierung photographischer Bilder	341
7.2.2	Digitale Kameras	344
<b>7.3</b>	<b>Automatisierte Réseau- und Rahmenmarkenmessung</b>	<b>347</b>
<b>7.4</b>	<b>Automatisierte photogrammetrische Punktbestimmung</b>	<b>354</b>
<b>7.5</b>	<b>Digitales Orthophoto</b>	<b>355</b>
<b>7.6</b>	<b>Orientierung digitaler photogrammetrischer Bilder</b>	<b>358</b>
<b>7.7</b>	<b>Automatisierte Oberflächenrekonstruktion</b>	<b>363</b>
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
<b>7.8</b>	<b>Digitale photogrammetrische Arbeitsplätze</b>	<b>373</b>
<b>Anhang 2.2-1: Räumliche Drehmatrix</b>		<b>377</b>
<b>Anhang 4.2-1: Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate</b>		<b>382</b>
<b>Vervollständigung der Literaturhinweise</b>		<b>385</b>
<b>SACHREGISTER</b>		<b>386</b>