

B	PHOTOGRAMMETRISCHE ORIENTIERUNGS- VERFAHREN UND PHOTOGRAMMETRISCHE PUNKTBESTIMMUNG	1
1.	ZWECK DER PUNKTBESTIMMUNG	1
2.	AUSWAHL, FESTLEGUNG UND MESSUNG DER PUNKTE	2
2.1	Natürliche Punkte	2
2.2	Signalisierte Punkte	3
2.3	Künstliche Punkte	7
2.4	Nur mit Bildkoordinaten fixierte Punkte	8
3.	MATHEMATISCHES BASISMODELL	9
3.1	Kategorien von Beobachtungen	9
3.2	Kategorien von Parametern	12
3.3	Koordinatensysteme und Transformationen	13
3.4	Räumliche Ähnlichkeitstransformation	14
3.4.1	Drehmatrix mit den Winkeln ω , ϕ und κ	15
3.4.2	Drehmatrix mit den Winkeln α , ν und κ	16
3.5	Verbesserungsgleichungen für die einzelnen Kategorien von Beobachtungen	19
3.5.1	Beobachtete Bildpunkte	19
3.5.2	Beobachtete Punkte in lokalen dreidimensionalen cartesischen Koordinatensystemen	21
3.5.3	Beobachtete Polarpunkte	21
3.5.4	Beobachtete Paßpunkte	25
3.5.5	Beobachtete Gestalten	26
3.5.5.1	Beobachtete Punkte in Ebenen	26
3.5.5.2	Beobachtete Punkte auf Geraden	29
3.5.5.3	Beobachtete Punkte auf räumlichen Flächen und Kurven	31
3.5.5.4	Spezielle Kurven und Flächen	33
3.5.5.5	Abhängigkeiten zwischen freien Parametern	36
3.5.6	Einführung von zusätzlichen Parametern	36
3.5.7	Beobachtungen zu "Unbekannten"	38
3.5.8	"Konstante" mit stochastischen Eigenschaften	42
3.5.9	Linearisierung	43
3.5.10	Wahl der Gewichte und Homogenisierung der Verbesserungsgleichungen	44

4.	AUSWERTEVERFAHREN FÜR DIE KLEINRÄUMIGE PUNKTBESTIMMUNG	46
4.1	Näherungswerte für die Bündeltriangulation	47
4.1.1	Näherungswerte für die Aufnahmeorte und Neupunkte bei vorgegebenen Drehmatrizen	47
4.1.2	Rück- und Vorwärtsschnitte im Wechsel	51
4.1.2.1	Räumlicher Rückwärtsschnitt nach Müller/Killian	51
4.1.2.2	Drehmatrix zum Strahlenbündel	58
4.1.2.3	Wechselspiel zwischen Rück- und Vorwärtsschnitten	61
4.2	Näherungswerte für die räumliche Ähnlichkeitstransformation	62
4.3	Verknüpfungs- und Paßlinien	65
4.3.1	Verknüpfungslinien	66
4.3.2	Paßlinien	68
4.4	Normalgleichungen und ihre Auflösung	72
4.4.1	Cholesky-Algorithmus	72
4.4.2	<i>Fill-in</i> -Anteil	74
4.4.3	<i>Envelope</i> -Technik	76
4.4.4	Technik mit beliebig angeordneten Submatrizen	78
4.4.5	Abbruch der Iteration	80
4.5	Genauigkeiten und ihr Zusammenhang mit der Projektplanung	81
4.5.1	Genauigkeitsmaße mittels invertierter Normalgleichungsmatrix	81
4.5.2	Faustformeln für die Projektplanung	82
4.6	Festlegung des Datums und freie Netzausgleichung	98
4.6.1	Harte und weiche Lagerung mit Paßpunkten	98
4.6.2	Lagerung mit fingierten Einpaßelementen	99
4.6.3	Lagerung mittels freier Netzausgleichung	100
4.6.3.1	Mit einer Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen	102
4.6.3.2	Mit einer vermittelnden Ausgleichung mit Bedingungsgleichungen	103
4.6.3.3	Ergänzungen zur freien Netzausgleichung	104
4.7	Alternative und ergänzende Methoden	105
4.7.1	Direkte lineare Transformation (DLT)	105
4.7.1.1	Wechselspiel zwischen Rück- und Vorwärtsschnitten mit DLT	108
4.7.1.2	Bewertung der direkten linearen Transformation (DLT)	110
4.7.2	Die Ermittlung der inneren und der relativen Orientierung mit Orthogonalitäts- und Ebenenbedingungen	115
4.7.2.1	Ermittlung der inneren Orientierung aus Orthogonalitätsbedingungen	115
4.7.2.2	Relative Orientierung und Modellbildung	119

5.	AUSWERTEVERFAHREN FÜR DIE GROSSRÄUMIGE PUNKTBESTIMMUNG	121
5.1	Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen	121
5.1.1	Wechselweise Lage- und Höhenblockausgleichungen	121
5.1.1.1	Lageblockausgleichung	122
5.1.1.2	Höhenblockausgleichung	123
5.1.1.3	Wechselweise Lage- und Höheneinpassungen eines Einzelmodelles	124
5.1.2	Räumliche Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen	130
5.2	Bündelblockausgleichung	131
5.2.1	Beschaffung von Näherungswerten	131
5.2.2	Auflösen der Normalgleichungen	132
5.2.2.1	Mit Bandmatrix	133
5.2.2.2	Mit geränderter Hyperdiagonalmatrix	134
5.2.3	Bemerkungen zur Genauigkeit	136
5.2.3.1	Empirische Genauigkeiten im relativ und absolut orientierten Modell	137
5.2.3.2	Empirische Genauigkeitsangaben einer Doppelbild-einschaltung mit und ohne zusätzliche Parameter	138
5.2.3.3	Empirische Genauigkeit des Einzelmodelles in Abhängigkeit vom Bildmaßstab und vom Kameratyp	140
5.2.4	Wahl der zusätzlichen Parameter	141
5.2.4.1	Analyse der Korrelationen zwischen den freien Parametern	145
5.2.4.2	Analyse der Bestimmbarkeit	145
5.2.4.3	Signifikanztest	147
5.3	Einbeziehung von Positionierungssatelliten in die Punktbestimmung	150
5.3.1	Betrachtungen zu Koordinatensystemen	151
5.3.2	Allgemeines zum NAVSTAR-GPS	155
5.3.3	GPS-Einsatz beim Bildflug	158
5.3.4	Paßpunktbestimmung mit GPS	159
5.3.5	GPS-gestützte Aerotriangulation	162
5.3.5.1	Ohne Festpunkte	163
5.3.5.2	Mit einigen Festpunkten	164
5.3.5.2.1	Berücksichtigung der Exzentrizität und hybride Ausgleichung	165
5.3.5.2.2	Genauigkeiten	167
5.3.5.2.3	Einbeziehung des Geoides	169
5.4	Berücksichtigung der Gestalt der Erde und der Verzerrungen der Landeskoordinatensysteme	170
5.4.1	Problemstellung	170
5.4.2	Korrektur der Landeskoordinaten	172
5.4.3	Korrektur der Bildkoordinaten	175
5.4.4	Korrektur der Modellkoordinaten	180
5.4.5	Berücksichtigung des Geoides	180

6.	BESONDERHEITEN BEI DER DIGITALEN PHOTOGRAMMETRIE	183
6.1	Lokalisierung der Rahmenmarken	183
6.1.1	Manuelle Lokalisierung	184
6.1.2	Automatische Lokalisierung	185
6.1.2.1	Referenzbilder der Rahmenmarken	185
6.1.2.2	Korrelation	187
6.1.2.3	Einpassung auf die Sollrahmenmarken	191
6.1.2.4	Ergänzungen zur Korrelation	192
6.2	Bildkoordinatenbestimmung für signalisierte Punkte	194
6.3	Bildkoordinatenbestimmung für natürliche Paßpunkte bzw. Paßensembles	195
6.4	Bildkoordinatenbestimmung für natürliche Verknüpfungspunkte	197
6.4.1	Automatische Bestimmung in einem regelmäßigen Bildverband	197
6.4.1.1	Interestoperator	198
6.4.1.2	Paarweise Zuordnung der Korrelationsfenster	203
6.4.1.3	Bildkoordinatenbestimmung mittels Korrelation	204
6.4.1.4	Überprüfung der Bildkoordinaten mit einem geometrischen Modell	204
6.4.1.5	Besonderheiten bei der relativen Orientierung	205
6.4.1.6	Besonderheiten bei der Aerotriangulation	206
6.4.2	Interaktive Bestimmung im Nahbereich	207
7.	QUALITÄTSKONSTROLLE UND SUCHE GROBER FEHLER	211
7.1	Genauigkeitskontrolle	211
7.1.1	Innere Orientierung	211
7.1.2	Relative Orientierung	214
7.1.3	Absolute Orientierung	216
7.1.4	Blockausgleichung	218
7.2	Zuverlässigkeitskontrolle	219
7.2.1	Theoretische Grundlagen	219
7.2.1.1	Kleinste-Quadrate-Ausgleichung ohne zufällige Fehler aber mit einem einzigen groben Fehler	219
7.2.1.2	Kleinste-Quadrate-Ausgleichung mit zufälligen Fehlern und einem einzigen groben Fehler	225
7.2.1.3	Innere und äußere Zuverlässigkeit	229
7.2.1.4	<i>Data Snooping</i>	231
7.2.1.5	Robuste Verfahren	232

7.2.2	Zuverlässigkeitskontrolle für einige photogrammetrische Standardaufgaben	234
7.2.2.1	Innere Orientierung	235
7.2.2.2	Relative Orientierung	236
7.2.2.3	Absolute Orientierung	238
7.2.2.4	Blockausgleichung	240
8.	SCHÄTZUNG DER VARIANZEN VON BEOBACHTUNGSGRUPPEN	245
9.	ANWENDUNGSORIENTIERTE HINWEISE MIT BEISPIELEN	249
9.1	Kleinmaßstäbige Aerotriangulation	249
9.2	Großmaßstäbige Aerotriangulation	251
9.2.1	Mit Meßkameras	251
9.2.2	Mit Amateur- und Teilmeßkameras	252
9.3	Aerotriangulation mit digitalen Bildern	254
9.4	Terrestrische Phototriangulation	256
9.5	Photogrammetrische Katastervermessung	258
9.5.1	Grenzpunktvermessung	259
9.5.1.1	Signalisierung und Kontrollmaße	259
9.5.1.2	Wahl des Bildmaßstabes in Abhängigkeit von der geforderten Genauigkeit	260
9.5.1.3	Photogrammetrische Messungen und Berechnungen	263
9.5.2	Verdichtung des Festpunktfeldes	267
9.5.3	Grenzfeststellung aus Amateur- und Luftaufnahmen	269
9.6	Deformationsmessungen und Soll-Ist-Vergleiche	271
9.6.1	Allgemeines zur photogrammetrischen Deformationsmessung	271
9.6.2	Dach des Wiener Praterstadions	272
9.6.3	Bestimmung der Imperfektion und Deformation an einem Brückentragwerksteil	275
9.6.4	Deformationsmessung an einer Kieferabformung	277
9.7	Baufaufnahme und Rekonstruktion von Hochbauten aus historischen (Amateur-)Aufnahmen	280
9.7.1	Präzisionsfassadenvermessung	280
9.7.2	Photogrammetrische Aufnahme von alten Gebäuden	282
9.7.3	Rekonstruktion von Hochbauten aus historischen Amateuraufnahmen	286
9.8	Rekonstruktion von Verkehrsunfallsituationen aus Amateuraufnahmen	288
9.9	Die photogrammetrische Bearbeitung des Behaim-Globus	291

C	PHOTOGRAMMETRISCHE OBERFLÄCHENBESTIMMUNG UND OBERFLÄCHENVISUALISIERUNG	294
1.	DIGITALE ORTHOPHOTOS, STEREOORTHOPHOTOS UND DREIDIMENSIONALE PHOTOMODELLE	294
1.1	Digitale Orthophotos in mittleren Maßstäben	296
1.1.1	Ausgangsmaterial	296
1.1.1.1	Digitale Vorlagebilder	296
1.1.1.2	Digitales Oberflächenmodell	298
1.1.2	Digitale Orthophotoherstellung mit Berücksichtigung der Geländekanten	302
1.1.3	Digitale Orthophotoherstellung mit Berücksichtigung von Kunstbauten	309
1.1.3.1	Mit direkter Umbildung	312
1.1.3.2	Mit indirekter Umbildung	313
1.1.3.3	Kombinierte Methode mit einer Indexmatrix	314
1.2	Digitale Orthophotos in kleinen Maßstäben	316
1.2.1	Der Rechengang bei der Orthophotoherstellung	317
1.2.2	Digitales Orthophoto aus einer russischen KFA-3000-Aufnahme	319
1.3	Verbesserung des photographischen Inhaltes	321
1.3.1	Kontrast- und Helligkeitsveränderungen	321
1.3.1.1	Grundlagen	321
1.3.1.2	Anwendung auf das Einzelbild	333
1.3.1.3	Anwendung auf ein Mosaik	337
1.3.2	Mosaikbildung durch direkte Grauwertanpassung im Überlappungsbereich	341
1.3.3	Kantenverstärkung	343
1.3.4	Besonderheiten bei der Farbe	347
1.4	<i>Hard-Copies</i>	350
1.5	Digitale Stereoorthophotos	353
1.5.1	In mittleren Maßstäben	353
1.5.1.1	Grundgedanke	353
1.5.1.2	Stereoorthophotoherstellung und Auswerteverfahren	356
1.5.1.3	Genauigkeit und nichtlineare X-Parallaxen	360
1.5.2	In kleinen Maßstäben	361
1.5.3	Vergleich der monoskopischen und stereoskopischen Photointerpretation	362

1.6	Oberflächenvisualisierung mittels digitaler Orthophotos	366
1.6.1	Korrespondierende Oberflächenpunkte zu den Pixeln des fiktiven Perspektivbildes	367
1.6.2	Übernahme der Orthophotopixel in das fiktive Perspektivbild	370
1.6.3	Berücksichtigung der Erdkrümmung und der Verzerrungen des Landeskoordinatensystems	373
1.6.4	Berücksichtigung der Refraktion	374
1.6.5	Einführung eines Dunstes	375
1.7	Dreidimensionale Photomodelle	376
1.7.1	Dreidimensionale Oberflächenmodelle	376
1.7.1.1	Mit einem dreidimensionalen Raster (3D-Raster)	376
1.7.1.2	Mit beliebig im Raum angeordneten Teilflächen	379
1.7.2	Homogene Koordinaten	381
1.7.3	Der Aufbau dreidimensionaler Photomodelle	385
1.7.4	Oberflächenvisualisierung mittels eines dreidimensionalen Photomodelles	389
2.	AUTOMATISIERTE BESTIMMUNG DER OBJEKTOBERFLÄCHE	391
2.1	Grundsätzliche Überlegungen	391
2.2	Rekonstruktion von Oberflächen durch Messung von Einzelpunkten und Linien	395
2.2.1	Flächenbasierte Bildzuordnung mit Hilfe des Kleinsten-Quadrate-Ansatzes	396
2.2.2	Merkmalsbasierte Bildzuordnung	399
2.2.3	Bildzuordnung in Bildverbänden mit geometrischen Zwängen	408
2.2.4	Objektraumbasierte Bildzuordnung	412
2.2.5	Relationales Zuordnungsverfahren (<i>relational matching</i>)	418
2.2.6	<i>Shape-from-Shading</i>	423
2.3	Oberflächenbestimmung mit strukturiertem Licht	426
2.3.1	Projektion von zufälligen und regelmäßigen Mustern	427
2.3.1.1	Zufallsmuster	427
2.3.1.2	Regelmäßige Muster	428
2.3.2	Moirétechniken	431
2.3.3	Lichtschnittverfahren	434
2.3.4	Binär kodierte Licht	435
2.3.5	Phasenverschiebungsverfahren	438

D	PHOTOGRAMMETRISCHE ERFASSUNG UND VISUALISIERUNG DYNAMISCHER PHÄNOMENE	441
1.	PHOTOGRAMMETRISCHE ERFASSUNG DYNAMISCHER PHÄNOMENE	441
1.1	Einleitung	441
1.2	Analyse einer Folge aus zwei Einzelbildern	442
1.3	Motographie mit photographischen Kameras	447
1.4	Langzeitbeobachtungen von Punktsignalen mit Videokameras	450
1.5	Das Raum-Zeit-System	453
1.6	Zusammenfassende Bemerkungen	456
2.	VISUALISIERUNG DYNAMISCHER PHÄNOMENE UND DYNAMISCHE VISUALISIERUNG STATISCHER OBJEKTE	458
2.1	Visualisierung eines dynamischen Phänomens	459
2.2	Dynamische Visualisierung eines statischen Objektes	460
E	KALIBRIERUNG DER PHOTOGRAMMETRISCHEN SYSTEME	462
1.	KONZEPTIONELLES ZUR KALIBRIERUNG	462
1.1	Kalibrierung mit einem räumlichen Strahlenbündel	462
1.2	Testfeldkalibrierung mit koordinatenmäßig bekannten Punkten	463
1.3	Testfeldkalibrierung mit Gestaltbedingungen im Objektraum	464
1.4	Testfeldkalibrierung ohne koordinatenmäßig bekannte Punkte	464
2.	KALIBRIERUNGSVERFAHREN	465
2.1	Laborkalibrierung	465
2.2	Projektbegleitende Kalibrierung	466
2.3	Selbstkalibrierung	467
3.	KALIBRIERUNG VERSCHIEDENER KAMERATYPEN	468
3.1	Meßkameras für die Aerophotogrammetrie	468
3.2	Meßkameras für die terrestrische Photogrammetrie	469
3.3	Amateurkameras	469
3.4	Teilmeßkameras	472
3.5	Digitale Kameras	473

4.	KALIBRIERUNG VON PHOTOSCANNERN	475
4.1	Kalibrierung der Mechanik	475
4.2	Kalibrierung der Detektoren und Überprüfung ihrer Eigenschaften	476
4.2.1	Geometrisches Auflösungsvermögen und Kontrastübertragung	476
4.2.2	Radiometrische Eigenschaften	478
4.2.3	Spektrale Eigenschaften	479
	Vervollständigung der Literaturhinweise	480
	SACHREGISTER	481

Hinweise für den Leser:

Die weitzeiligen Passagen des Textes behandeln das Grundsätzliche des Stoffes; Detailinformationen sind dagegen engzeilig geschrieben. Einzelne Stichworte und wichtige Aussagen sind mit fetter Schrift herausgehoben. Die wichtigen (End-)Formeln sind mit einem Raster hinterlegt.

Band 1 besteht nur aus dem Hauptkapitel A. Die Hauptkapitel B, C, D und E bilden den vorliegenden Band 2. Der Band 3 wird mit dem Hauptkapitel F fortsetzen.

Eine Hauptkapitelnummer setzt sich aus dem Buchstaben des jeweiligen Hauptkapitels und den Ziffern einer Dezimalklassifikation des Unterkapitels zusammen (z.B. C 1.5.2). Die Formeln wurden innerhalb eines Kapitels mit den ersten beiden Ziffern der Dezimalklassifikation fortlaufend numeriert (z. B. die Formel B (4.2-16) ist die 16. Formel im Kapitel B 4.2 ...)

Die Figuren, Bilder und Tabellen wurden in eine eigene (zweite) Nummernfolge zusammengefaßt und auf die gleiche Weise numeriert. Die Nummern der Aufgaben bilden eine dritte Nummernfolge; sie sind auf die gleiche Weise fortlaufend numeriert (die Aufgabe D 5.1-8 bedeutet z.B. die achte Aufgabe im Kapitel D 5.1 ...).

Bei der eigentlichen Numerierung der Formeln, Figuren, Bilder, Tabellen und Aufgaben wurde der Buchstabe des Hauptkapitels weggelassen. Bei Verweisen auf Kapitel, Formeln, Figuren etc. **innerhalb** eines Hauptkapitels wurde der Buchstabe des Hauptkapitels häufig ebenfalls nicht angegeben. Bei Hinweisen, die auf andere Hauptkapitel zielen, wurde dagegen immer der Buchstabe des jeweiligen Hauptkapitels vorangestellt. Darunter befindet sich auch die Buchstabenfolge FE. Sie bezieht die beiden Fernerkundungsbücher, die ebenfalls beim Dümmler Verlag erschienen sind, in die Referenzen ein (z.B. bedeutet "Formel FE (6.4-15)" die 15. Formel im Kapitel 6.4 im Band 2, Fernerkundung; der Band 1, Fernerkundung, enthält die Kapitel 1. - 4., der Band 2 die Kapitel 5. und 6.). Es handelt sich um die erste Auflage der beiden Fernerkundungsbücher, beim Band 1 (Hauptkapitel A) um die fünfte Auflage.

Die Literaturhinweise in den Fußnoten sind sehr knapp gehalten. Vor dem Sachregister wurde deshalb eine Vervollständigung der Literaturhinweise eingeschoben.