

Verfahren der digitalen Photogrammetrie bei der Auswertung historischer Luftbilder zur Erfassung von Altlastverdachtsflächen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
an der Fakultät für Geowissenschaften
der Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von

Andreas Peter Redecker

Angefertigt unter Betreuung von
Prof. Dr. Carsten Jürgens und
Prof. Dr. Jürgen Dodt

Bochum
April 2008

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	x
Berichtsverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xii
1 Einführung	1
2 Die Erfassung altlastverdächtiger Flächen mit Hilfe von Luftbildern	6
2.1 Kontext der Erfassung von Altlastverdachtsflächen	6
2.2 Begriffsdefinitionen	6
2.3 Ablauf des Altlastenverfahrens	7
2.4 Die Rolle von Luftbildern bei standortbezogenen Erhebungen über altlastverdächtige Flächen und Altlasten	9
3 Luftbilder als Quelle geotopographischer Informationen	12
3.1 Luftbilder und Karten	12
3.2 Gemeinsamkeiten von Luftbildern und Karten	12
3.3 Geometrische Unterschiede von Luftbildern und Karten	13
3.4 Inhaltliche Unterschiede von Luftbildern und Karten	13
3.5 Synopse von Luftbildern und Karten	18
3.6 GIS-Integration und IGIS	18
4 Photogrammetrische Bildauswertung	21
4.1 Verfahren und Geräte	21
4.2 Digitale Photogrammetrie	22
4.3 Anwendungen der digitalen Photogrammetrie	25
4.4 Potenzial der digitalen Photogrammetrie	25
4.5 Digitale Photogrammetrie bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen	26

5	Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie	28
5.1	Parameter der Inneren Orientierung	29
5.2	Voraussetzungen für Messbilder	32
5.3	Auflösungsvermögen historischer Luftbilder.....	34
5.4	Qualitätsspektrum verfügbarer Luftbilder	39
5.4.1	Zivile Reihenmessbilder	40
5.4.2	Kriegsluftbilder.....	41
6	Verfahren zur digitalen Aufbereitung historischer Luftbilder	49
6.1	Scannen.....	49
6.2	Radiometrische Aufbereitung.....	53
6.2.1	Kontrastverbesserung	55
6.2.2	Dodging	60
6.2.3	Filter	70
6.3	Geometrische Aufbereitung: Rekonstruktion von Elementen der Inneren Orientierung	77
6.3.1	Flughöhe und Kammerkonstante	78
6.3.2	Koordinaten der Rahmenmarken und des Rahmenhauptpunktes.....	85
7	Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung	91
7.1	Software: Leica Photogrammetry Suite.....	92
7.2	Vorgehensweisen bei Luftbildern unterschiedlicher Herkunft	95
7.2.1	Beispiel I: Kriegsluftbilder 1943.....	97
7.2.2	Beispiel II: Kriegsluftbilder 1945.....	100
7.2.3	Beispiel III: Reihenmessbilder 1959	101
7.2.4	Beispiel IV: Reihenmessbilder 1969	101
7.2.5	Beispiel V: Reihenmessbilder 2003.....	101
7.3	Referenzmaterial	102
7.4	Bildaufbereitung	104
7.5	Triangulation	106
7.5.1	Anlegen der Blockfiles	106

Inhaltsverzeichnis

7.5.2	Innere Orientierung	108
7.5.3	Äußere Orientierung	109
7.5.4	Iterative Punktkorrektur und Konfigurieren der Triangulations- parameter	114
8	Auswertung der triangulierten Bildblöcke	120
8.1	Höhenmodellextraktion	121
8.2	Orthofoto- und Mosaikerstellung	139
8.3	Digitale Objekterfassung im Stereomodell	143
8.4	Erfassen von Geländehöhen	149
9	Ergebnisse und Ergebnisbewertung	164
10	Zusammenfassung	169
	Literaturverzeichnis	171
	Anhang A – Geodaten	A 1
	Anhang B – Triangulation	B 1
	Anhang C – Auswertung	C 1

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Einordnung der Erhebung altlastverdächtiger Flächen in den Gesamtablauf der Altlastenbearbeitung (vereinfachtes Schema)	8
Abbildung 3.1: Zentral- und Parallelprojektion	14
Abbildung 3.2: Gegenüberstellung Luftbild/Karte	15
Abbildung 3.3: Abweichende Antragspläne der Kokerei Hansa.....	17
Abbildung 4.1: Reliefbedingte Lagefehler im Luftbild.....	21
Abbildung 4.2: Plattformbedingte Verzerrungen.....	23
Abbildung 4.3: Grundprinzip der Bündelblockausgleichung	24
Abbildung 5.1: Rahmen und Bildkoordinatensystem	29
Abbildung 5.2: Bildhauptpunkt und Bildmittelpunkt	30
Abbildung 5.3: Radiale Verzeichnung	31
Abbildung 5.4: Typische Verzeichnungsmuster (stark überzeichnet)	32
Abbildung 5.5: Typisches analoges Reihenmessbild mit Randangaben	33
Abbildung 5.6: Kalibrierprotokoll zu Abbildung 5.5 – Parameter der inneren Orientierung.....	34
Abbildung 5.7: Kalibrierprotokoll zu Abbildung 5.5 – Lage des Koordinatensystems im Bild und Nummerierung der Rahmenmarken.....	35
Abbildung 5.8: Linientafel und Siemensstern zur Bestimmung des Auflösungsvermögens von fotografischem Film	36
Abbildung 5.9: Modulation Transfer Function	38
Abbildung 5.10: Komponenten der Modulations-Übertragungs-Funktion eines Luftbildsystems.....	39
Abbildung 5.11: Auswirkungen wechselnder Flughöhen innerhalb eines Bildstreifens	42
Abbildung 5.12: Aufnahmekonfiguration divergenter Senkrechtbilder (<i>split verticals</i>).....	43
Abbildung 5.13: Luftbild-Mosaik aus einem <i>split vertical</i> -Aufnahmestreifen	44
Abbildung 5.14: Rahmenmarken.....	46
Abbildung 5.15: Bildrandleisten	47
Abbildung 6.1: Übermäßige radiometrische Aufbereitung	55
Abbildung 6.2: Histogrammveränderungen	57
Abbildung 6.3: Kontrastverbesserung.....	58
Abbildung 6.4: Grauwertdiagramm mit Gradationskurve und Histogramm.....	59
Abbildung 6.5: Vergleich der Histogramme einer Kontraststreckung bei 8 oder 16 bit radiometrischer Auflösung	60
Abbildung 6.6: Gescanntes Luftbild der Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde vom 7.4.1945	63
Abbildung 6.7: Luftbild aus Abbildung 6.6 nach großräumigem Dodging mit einer Grid Size von 5.....	66
Abbildung 6.8: Luftbild aus Abbildung 6.6 nach kleinräumigem Dodging mit einer Grid Size von 99	67

Abbildung 6.9: Vergleich vergrößerter Ausschnitte aus den Bildern der Abbildungen 6.7 und 6.8	68
Abbildung 6.10: Kombination beider Dodgingergebnisse	69
Abbildung 6.11: Vergleich vergrößerter Ausschnitte nach Kombination der Abbildungen 6.7 und 6.8.....	69
Abbildung 6.12: Prinzip der <i>Moving Window Image Convolution</i>	70
Abbildung 6.13: Weichzeichnung durch Scannen.....	71
Abbildung 6.14: Schärfen durch unscharfes Maskieren.....	72
Abbildung 6.15: Dunstentfernung durch unscharfes Maskieren.....	73
Abbildung 6.16: Gesamtablauf der radiometrischen Bildverbesserung	74
Abbildung 6.17: Luftbild mit Bewölkung.....	74
Abbildung 6.18: Unterschiedliche Verdeckung des Geländes durch Wolken bei wechselnden Perspektiven einer Reihenbefliegung	75
Abbildung 6.19: Mosaikierung von Luftbildern	76
Abbildung 6.20: Luftbild-Aufnahmesituation	79
Abbildung 6.21: <i>Film Titeling Guide</i>	82
Abbildung 6.22: Dreiecksbeziehungen zur Höhenbestimmung durch den Radialen Punktversatz.....	83
Abbildung 6.23: Brennweitenbestimmung anhand des Radialversatzes.....	84
Abbildung 6.24: Bildmarken vermessen	88
Abbildung 6.25: Fiducial Builder	90
Abbildung 6.26: Rahmenmarke des Fiducial Builders	90
Abbildung 7.1: Elemente der Äußerer Orientierung	92
Abbildung 7.2: LPS Project Manager.....	93
Abbildung 7.3: Arbeitsgebiet Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde und Umgebung	96
Abbildung 7.4: Auszug aus dem Plot des alliierten Bildflugs D/567.....	99
Abbildung 7.5 Verteilung von LuPas in der Umgebung des Arbeitsgebiets.....	104
Abbildung 7.6: Parameter des horizontalen und vertikalen Referenzsystems	106
Abbildung 7.7: Konfiguration des Rotationssystems und der Flughöhe....	107
Abbildung 7.8: Eingeben der Kameraparameter	108
Abbildung 7.9: Einmessen der Rahmenmarken für die Innere Orientierung	109
Abbildung 7.10: Classic Point Measurement Tool.....	110
Abbildung 7.11: Stereo Point Measurement Tool	111
Abbildung 7.12: Vorgabe für die Verteilung und Anzahl von GCPs in einem Bildstreifen.....	113
Abbildung 7.13: Erweiterte Vorgabe für Verteilung und Anzahl von GCPs in einem Bildstreifen historischer Luftbilder	113
Abbildung 7.14: Triangulationszusammenfassung, Triangulations- bericht und Revisions-Dialogfenster für die Punktkontrolle.....	115
Abbildung 7.15: Auswahl des Modells für das Blunder Checking	116
Abbildung 7.16: Eingabe der Standardabweichung für Passpunkte.....	116
Abbildung 7.17: Auswahl des Modells für zusätzliche Parameter.....	117
Abbildung 7.18: Einfluss der Parametermodelle auf die Triangulations- ergebnisse bei Luftbildsätzen unterschiedlicher Qualität	118
Abbildung 8.1: Strategieparameter für die Geländemodellextraktion	121
Abbildung 8.2: Berechnung der Suchfenstergröße S_x	122
Abbildung 8.3: DTM Point Status Output Image	124
Abbildung 8.4: Bereiche bekannter Geländeänderungen	126

Abbildung 8.5: Differenzbilder 1943	128
Abbildung 8.6: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1943 mit <i>Brown's physical model</i> ..	129
Abbildung 8.7: Differenzbilder 1945	130
Abbildung 8.8: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1945 mit <i>Brown's physical model</i> ..	131
Abbildung 8.9: Differenzbilder 1959	132
Abbildung 8.10: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1959 mit <i>Bauer's simple model</i> ...	133
Abbildung 8.11: Differenzbilder 1969	134
Abbildung 8.12: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1969 mit <i>Brown's physical model</i> ..	135
Abbildung 8.13: Differenzbilder 2003	136
Abbildung 8.14: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1943 mit <i>Brown's physical model</i> ..	137
Abbildung 8.15: 3D-Visualisierung der Oberflächenmodells aus Triangulationen der Luftbilder von 1945 mit den verschiedenen Parametermodellen.....	137
Abbildung 8.16: 3D-Gegenüberstellung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1945 mit <i>Brown's physical model</i> und dem DGM5.....	138
Abbildung 8.17: Differentielle Orthofotoentserrung.....	139
Abbildung 8.18: Luftbildausschnitt mit überlagerter RDGK5	141
Abbildung 8.19: Luftbildausschnitt aus 1945	142
Abbildung 8.20: Vergleich der 3D-Kartierungen im Maßstab 1 : 2 500....	144
Abbildung 8.21: Vergleich der 3D-Kartierungen in ArcScene	147
Abbildung 8.22: Höhenfehler durch Y-Parallaxe	149
Abbildung 8.23: Gegenüberstellung Orthofoto und Oberflächenmodell....	153
Abbildung 8.24: TIN und abgeleitetes Raster 1945	153
Abbildung 8.25: Vergleichende 3D-Darstellung der Geländemodelle zum Bereich Kohlehalden (1,5 fach überhöht)	155
Abbildung 8.26: Gegenüberstellung Orthofoto und Oberflächenmodell....	157
Abbildung 8.27: Verzerrtes TIN aus dem Bildsatz von 1945 in 3D- Darstellung (1,5-fach überhöht)	158
Abbildung 8.28: Relative Angleichung der Höhenmodelle.....	159
Abbildung 8.29: Berechnungszone	159
Abbildung 8.30: Areal der Kläranlage in den Luftbildern von 1959 und 2003	161
Abbildung 8.31: Areal der Kläranlage in den Geländemodellen aus den Luftbildern von 1959 und 2003.....	162
Abbildung 8.32: Variabler relativer Höhenfehler zwischen den Gelände- modellen aus den Luftbildern von 1959 (grün) und 2003 (rot)	162
Abbildung A.1: Zeitschnitt 1943 – Bild 4049 – unbearbeitet.....	A 3
Abbildung A.2: Zeitschnitt 1943 – Bild 4049 – bearbeitet	A 4
Abbildung A.3: Zeitschnitt 1943 – Bild 4050 – unbearbeitet.....	A 5
Abbildung A.4: Zeitschnitt 1943 – Bild 4050 – bearbeitet	A 6
Abbildung A.5: Zeitschnitt 1943 – Bild 4051 – unbearbeitet.....	A 7
Abbildung A.6: Zeitschnitt 1943 – Bild 4051 – bearbeitet	A 8
Abbildung A.7: Zeitschnitt 1943 – Rahmenkoordinaten	A 9
Abbildung A.8: Zeitschnitt 1945 – Bild 2060 – unbearbeitet.....	A 10
Abbildung A.9: Zeitschnitt 1945 – Bild 2060 – bearbeitet	A 11

Abbildung A.10: Zeitschnitt 1945 – Bild 2061 – unbearbeitet	A 12
Abbildung A.11: Zeitschnitt 1945 – Bild 2061 – bearbeitet	A 13
Abbildung A.12: Zeitschnitt 1945 – Bild 2062 – unbearbeitet	A 14
Abbildung A.13: Zeitschnitt 1945 – Bild 2062 – bearbeitet	A 15
Abbildung A.14: Zeitschnitt 1945 – Rahmenkoordinaten	A 16
Abbildung A.15: Zeitschnitt 1959 – Bild 982 – unbearbeitet	A 17
Abbildung A.16: Zeitschnitt 1959 – Bild 982 – bearbeitet	A 18
Abbildung A.17: Zeitschnitt 1959 – Bild 983 – unbearbeitet	A 19
Abbildung A.18: Zeitschnitt 1959 – Bild 983 – bearbeitet	A 20
Abbildung A.19: Zeitschnitt 1959 – Bild 984 – unbearbeitet	A 21
Abbildung A.20: Zeitschnitt 1959 – Bild 984 – bearbeitet	A 22
Abbildung A.21: Zeitschnitt 1959 – Rahmenkoordinaten	A 23
Abbildung A.22: Zeitschnitt 1969 – Bild 362 – unbearbeitet	A 24
Abbildung A.23: Zeitschnitt 1969 – Bild 362 – bearbeitet	A 25
Abbildung A.24: Zeitschnitt 1969 – Bild 363 – unbearbeitet	A 26
Abbildung A.25: Zeitschnitt 1969 – Bild 363 – bearbeitet	A 27
Abbildung A.26: Zeitschnitt 1969 – Ermitteln der Rahmenkoordinaten ..	A 28
Abbildung A.27: Zeitschnitt 1969 – Rahmenkoordinaten	A 29
Abbildung A.28: Zeitschnitt 2003 – Bild 2254 – unbearbeitet	A 30
Abbildung A.29: Zeitschnitt 2003 – Bild 2254 – bearbeitet	A 31
Abbildung A.30: Zeitschnitt 2003 – Bild 2255 – unbearbeitet	A 32
Abbildung A.31: Zeitschnitt 2003 – Bild 2255 – bearbeitet	A 33
Abbildung A.32: Zeitschnitt 2003 – Kalibrierprotokoll	A 34
Abbildung A.33: RDGK5 im Maßstab 1 : 20 000	A 39
Abbildung A.34: DGM5 im Maßstab 1 : 20 000	A 40
Abbildung A.35: Luftbildsichtbare Passpunkte	A 41
Abbildung B.1: Triangulationszusammenfassung 1.1	B 4
Abbildung B.2: Residuenübersicht 1.1	B 4
Abbildung B.3: Triangulationszusammenfassung 1.2	B 5
Abbildung B.4: Residuenübersicht 1.2	B 5
Abbildung B.5: Triangulationszusammenfassung 1.3	B 6
Abbildung B.6: Residuenübersicht 1.3	B 6
Abbildung B.7: Triangulationszusammenfassung 1.4	B 7
Abbildung B.8: Residuenübersicht 1.4	B 7
Abbildung B.9: Triangulationszusammenfassung 1.5	B 8
Abbildung B.10: Residuenübersicht 1.5	B 8
Abbildung B.11: Triangulationszusammenfassung 2.1	B 12
Abbildung B.12: Residuenübersicht 2.1	B 12
Abbildung B.13: Triangulationszusammenfassung 2.2	B 13
Abbildung B.14: Residuenübersicht 2.2	B 13
Abbildung B.15: Triangulationszusammenfassung 2.3	B 14
Abbildung B.16: Residuenübersicht 2.3	B 14
Abbildung B.17: Triangulationszusammenfassung 2.4	B 15
Abbildung B.18: Residuenübersicht 2.4	B 15
Abbildung B.19: Triangulationszusammenfassung 2.5	B 16
Abbildung B.20: Residuenübersicht 2.5	B 16
Abbildung B.21: Triangulationszusammenfassung 3.1	B 20
Abbildung B.22: Residuenübersicht 3.1	B 20
Abbildung B.23: Triangulationszusammenfassung 3.2	B 21
Abbildung B.24: Residuenübersicht 3.2	B 21
Abbildung B.25: Triangulationszusammenfassung 3.3	B 22

Abbildung B.26: Residuenübersicht 3.3.....	B 22
Abbildung B.27: Triangulationszusammenfassung 3.4.....	B 23
Abbildung B.28: Residuenübersicht 3.4.....	B 23
Abbildung B.29: Triangulationszusammenfassung 3.5.....	B 24
Abbildung B.30: Residuenübersicht 3.5.....	B 24
Abbildung B.31: Triangulationszusammenfassung 4.1.....	B 28
Abbildung B.32: Residuenübersicht 4.1.....	B 28
Abbildung B.33: Triangulationszusammenfassung 4.2.....	B 29
Abbildung B.34: Residuenübersicht 4.2.....	B 29
Abbildung B.35: Triangulationszusammenfassung 4.3.....	B 30
Abbildung B.36: Residuenübersicht 4.3.....	B 30
Abbildung B.37: Triangulationszusammenfassung 4.4.....	B 31
Abbildung B.38: Residuenübersicht 4.4.....	B 31
Abbildung B.39: Triangulationszusammenfassung 4.5.....	B 32
Abbildung B.40: Residuenübersicht 4.5.....	B 32
Abbildung B.41: Triangulationszusammenfassung 5.1.....	B 37
Abbildung B.42: Residuenübersicht 5.1.....	B 37
Abbildung B.43: Triangulationszusammenfassung 5.2.....	B 38
Abbildung B.44: Residuenübersicht 5.2.....	B 38
Abbildung B.45: Triangulationszusammenfassung 5.3.....	B 39
Abbildung B.46: Residuenübersicht 5.3.....	B 39
Abbildung B.47: Triangulationszusammenfassung 5.4.....	B 40
Abbildung B.48: Residuenübersicht 5.4.....	B 40
Abbildung B.49: Triangulationszusammenfassung 5.5.....	B 41
Abbildung B.50: Residuenübersicht 5.5.....	B 41
Abbildung C.1: Ausschlussbereiche 1943	C 3
Abbildung C.2: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodell- erstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1943	
Abbildung C.3: Ausschlussbereiche 1945	C 4
Abbildung C.4: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodell- erstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1945	
Abbildung C.5: Ausschlussbereiche 1959	C 8
Abbildung C.6: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodell- erstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1959	
Abbildung C.7: Ausschlussbereiche 1969	C 9
Abbildung C.8: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodell- erstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1969	
Abbildung C.9: Ausschlussbereiche 2003	C 12
Abbildung C.10: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodell- erstellung aus den triangulierten Luftbildern von 2003.....	C 13
Abbildung C.11: Orthofoto 1943 und DGK5 2006	C 26
Abbildung C.12: Orthofoto 1945 und DGK5 2006	C 27
Abbildung C.13: Orthofoto 1959 und DGK5 2006	C 28
Abbildung C.14: Orthofoto 1969 und DGK5 2006	C 29
Abbildung C.15: Orthofoto 2003 und DGK5 2006	C 30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1: Mittelwerte innerhalb der Kacheln bei <i>Grid Size 5</i> und <i>Skip Percent 10</i> im Luftbild aus Abbildung 6.6	64
Tabelle 6.2: Standardabweichungen innerhalb der Kacheln bei <i>Grid Size 5</i> und <i>Skip Percent 10</i> im Luftbild aus Abbildung 6.6	64
Tabelle 6.3: Neue Mittelwerte innerhalb der Kacheln des Bildes in Abbildung 6.7	65
Tabelle 6.4: Alliierte Aufklärungskameras mit Brennweiten und Bildformat	80
Tabelle 6.5: Kamerakonfigurationen der alliierten Luftaufklärung	81
Tabelle 6.6: Berechnen der Koordinaten aus den Messungen gemäß Abbildung 6.24.....	89
Tabelle 7.1: Luftbildmaterial zum Arbeitsgebiet Kokerei Hansa.....	98
Tabelle 7.2: Dodgingparameter bei der Bildaufbereitung	105
Tabelle 7.3: Parameter zum unscharfen Maskieren bei der Bildaufbereitung	105
Tabelle 8.1: Berechnung von S_x für die vorliegenden Bilder.....	123
Tabelle 8.2: Lagefehler der Kartierung.....	145
Tabelle 8.3: Pixelgröße und Strichstärke im Objektraum	146
Tabelle 8.4: Höhen und Höhendifferenzen zwischen Zeitschnitten.....	148
Tabelle 8.5: Rasterstatistiken der Vollformen aus Abbildung 8.25	154
Tabelle 8.6: Höhendifferenz (Δh) je Pixel Parallaxendifferenz	155
Tabelle 8.7: Volumenberechnung mit Zonenstatistik.....	160
Tabelle 8.8: Volumenberechnung mit 3D-Analyst	160

Berichtsverzeichnis

Bericht B.1: Triangulationsbericht 1 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i> (gekürzt)	B 9
Bericht B.2: Triangulationsbericht 2 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i> (gekürzt)	B 17
Bericht B.3: Triangulationsbericht 3 zur Triangulation mit <i>Bauer's simple model (2)</i> (gekürzt)	B 25
Bericht B.4: Triangulationsbericht 4 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i> (gekürzt)	B 33
Bericht B.5: Triangulationsbericht 5 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i> (gekürzt)	B 42
Bericht C.1: Geländemodellextraktionsbericht 1 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i>	C 5
Bericht C.2: Geländemodellextraktionsbericht 2 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i>	C 10
Bericht C.3: Geländemodellextraktionsbericht 3 zur Triangulation mit <i>Bauer's simple model (2)</i>	C 14
Bericht C.4: Geländemodellextraktionsbericht 4 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i>	C 19
Bericht C.5: Geländemodellextraktionsbericht 5 zur Triangulation mit <i>Brown's physical model (14)</i>	C 23

Abkürzungsverzeichnis

Δh	Höhendifferenz
μm	Mikrometer
3D	dreidimensional
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATE	Automatic Terrain Extraxction
B	Aufnahmebasis
b	Bildbasis
b'	Bildbasis
BW	Baden-Württemberg
c	Kammerkonstante
D	Dichte ($D = \log 1/\tau$, mit τ = Transmission)
DGK5	Deutsche Grundkarte 1 : 5000
DGM	Digitales Geländemodell
DGM5	Digitales Geländemodell 5
DHDN	Deutsches Hauptdreiecksnetz
DHDN	Deutsches Hauptdreiecksnetz
DHM	Digitales Höhenmodell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKD	Deutscher Kalibrierdienst
DOM	Digitales Oberflächenmodell
dpi	Dots Per Inch (Punkte je Zoll)
DTP	Desktop Publishing
ECW	ER Mapper Compressed Wavelet (Format)
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
f	Brennweite
GCP	Ground Control Point (Passpunkt)
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
GRD	Ground Resolution Distance

Abkürzungsverzeichnis

H'	Bild-/Rahmenhauptpunkt
H	Flughöhe über Grund
IMG	Image-Format von Leica-Geosystems
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System
km	Kilometer
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAfAO	Landesamt für Agrarordnung
LANUV	Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz
lp/mm	Linienpaare pro Millimeter
LPS	Leica Photogrammetry Suite
LUA	Landes Umwelt Amt
LVermA	Landesvermessungsamt (in NRW seit 2008 GEObasis.nrw, Bezirksregierung Köln)
m	Meter
m	Maßstabszahl
M'	Bild-/Rahmenmittelpunkt
mm	Millimeter
NL	Niederlande
NRW	Nordrhein-Westfalen
PPA	Principal Point of Autocollimation (Autokollimationspunkt)
PPS	Principal Point of Symmetrie (Symmetriehauptpunkt)
PRO	Dateiendung für Terramodel TIN
RDGK5	Rasterdaten der Deutschen Grundkarte 1 : 5000
RMSE	Root Mean Square Error
RVR	Regionalverband Ruhr
SCBA	Self Calibrating Bundle Block Adjustment
TD	Topografischer Dienst
TE	Terrain Editor
TIF	Tagged Image File (Format)
TIFF	Tagged Image File (Format)
TIN	Triangulated Irregular Network
TZ	Technische Zentrale
Z	Flughöhe

0 Vorbemerkung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich eingehend mit qualitativen Aspekten von Luftbildern und beinhaltet demgemäß eine Vielzahl von Abbildungen, anhand derer u. a. Qualitätsmerkmale von Bildern dargestellt und Verfahren zur Bildverbesserung erläutert werden. Um der Größenvorgabe dieser Publikationsform gerecht zu werden war es erforderlich, alle Abbildungen einem verlustbehafteten Kompressionsverfahren zu unterziehen. Dadurch wurden die meisten Abbildungen in ihrem Erscheinungsbild und in ihrer Aussage in unterschiedlichem Maß beeinträchtigt.

Falls Interesse an den Abbildungen in Druckqualität besteht, steht der Verfasser für Nachfragen gerne zur Verfügung.

Bochum im September 2008

1 Einführung

Bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen sind (panchromatische) Luftbilder eine etablierte Quelle (Dodt et al. 2004, S. 80). Die ungefilterte, objektive Abbildung der Situation des Untersuchungsraumes zum Aufnahmezeitpunkt sowie die Möglichkeiten der räumlichen Betrachtung des Geländes und der Gewinnung von Höheninformationen machen sie zum grundlegenden und daher notwendigen Bestandteil der historischen Recherche (Breuer & Jürgens 1995, S. 19 f.).

Aufgrund ihrer charakteristischen Eigenschaften hinsichtlich Geometrie und Objektidentifikation erfordert die Auswertung von historischen Luftbildern im Rahmen der Erfassung von Altlastverdachtsflächen spezielle Techniken und Methoden. Hierzu stehen Verfahren unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung (LUA NRW 2002, Anhang 2, S. 64). Ihre Anwendung verlangt unterschiedlich viel Aufwand hinsichtlich der dafür erforderlichen Zeit und der notwendigen Geräte. Dieser steht letztendlich auch im Zusammenhang mit der Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Die in den einschlägigen Regelwerken (z.B. LABO 2002, Anhang 3, S. 7) geforderten Ansätze der analogen bzw. analytischen Bildanalyse entsprechen jedoch nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Aktuelle Verfahren der Softcopy Photogrammetry ermöglichen es, durch die Aerotriangulation von Reihenmessbildern digitale 3-D Modelle zu erstellen, in denen Geländeobjekte unmittelbar dreidimensional erfasst werden können. Ebenso lässt sich aus einem solchen Raummodell ein Geländemodell der abgebildeten Landschaft ableiten, anhand dessen beispielsweise volumetrische Analysen durchgeführt werden können (Broisy & Helms 2006, S. 183). Zudem sind in NRW – und auch anderweitig – die Luftbilder der Alliierten und zunehmend auch die Aufnahmen aktueller Bildflüge nur noch digital erhältlich. Damit sind sie einer Auswertung mit Verfahren, die auf analogem Bildmaterial basieren, nicht mehr unmittelbar zugänglich.

Die aktuelle Technik der räumlichen Luftbildauswertung in digitalen 3D-Modellen setzt auf einen nahezu komplett digitalen Arbeitsablauf. Sie ist prinzipiell auf *hochwertiges Luftbildmaterial* und entsprechende *Metadaten* angewiesen (DIN 18740-1, -2 und -4), bietet aber auch eine Reihe von lohnenden Vorteilen gegenüber den analytischen bzw. rein analogen Verfahren:

- Digital vorliegendes Bildmaterial muss nicht erst in analoger Form ausgegeben werden, um den herkömmlichen Verfahren zugänglich gemacht zu werden;
- das Digitalisieren von Geoobjekten unmittelbar im Stereomodell führt zu wesentlich exakteren Kartierungen als dies durch nachträgliches Digitalisieren analog erfasster Kartierungen möglich ist;
- die Objektidentifikation wird durch dynamisches Anpassen der Darstellung bezüglich Helligkeit, Kontrast und Vergrößerung erheblich vereinfacht;
- abgeleitete Oberflächenmodelle ermöglichen die quantitative Analyse von Geländeänderungen wie Abgrabungen und Aufschüttungen;
- in Orthofotos kann die Standortsituation lagerichtig präsentiert und anschaulich vermittelt werden;
- Lagefehler im Modell können quantifiziert und so verlässliche Aussagen zur Kartiergenauigkeit gemacht werden.

Diese Vorteile und Möglichkeiten auch für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen zu nutzen verspricht eine höhere Effizienz gegenüber herkömmlichen Verfahren, die insbesondere eine höhere Genauigkeit bei der Erfassung von Objekten und Geländeoberflächen erwarten lassen (Broisy & Helms 2006, S. 182 f.).

Das im Rahmen der Erfassung von Altlastverdachtsflächen verfügbare historische Luftbildmaterial – und dabei insbesondere Luftbilder aus den Jahren des 2. Weltkriegs – weist im Vergleich zu Reihenmessbildern jüngerer Befliegungen Eigenschaften auf, die sich nachhaltig auf die Möglichkeiten und die Art der Weiterverarbeitung auswirken. Besondere Aufnahmetechniken (wie z.B. die als Split Verticals bezeichneten Divergentaufnahmen), teilweise ungünstige Bedingungen bei der Filmentwicklung und des Kontaktkopierens sowie Folgewirkungen der Überlieferung (LUA NRW 2006, S. 25 ff.)

resultieren in Bildeigenschaften, die von den Anforderungen für eine Aerotriangulation mit photogrammetrischer Software – die Voraussetzung für die Luftbildauswertung in digitalen 3D-Modellen ist – zumeist abweichen. Eine besondere Hürde stellt dabei zumeist das Fehlen von Aufnahme- bzw. Kameraparametern dar, die für die Aerotriangulation zwingend erforderlich sind. Daneben führen eine verminderte Detailerkennbarkeit sowie geometrische Verzerrungen in den Luftbildern zu Einschränkungen bei der digital-photogrammetrischen Auswertung.

Es bedarf also besonderer Verfahren für eine den Charakteristika der historischen Luftbildquellen angepassten Aufbereitung einschließlich spezieller Methoden zur Rekonstruktion der fehlenden Aufnahmeparameter, damit eine Aerotriangulation des historischen Luftbildmaterials – auf das digital photogrammetrische Verfahren eigentlich nicht anwendbar sind – möglich wird. Diese Verfahren ermöglichen es, mit den Techniken der digitalen Photogrammetrie 3D-Stereomodelle auf der Basis von historischem Luftbildmaterial – trotz seiner teils außergewöhnlichen Eigenschaften – als ergiebige und zuverlässige Informationsquelle für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen zu erschließen. Die darin erfassten Objekte können – ebenso wie daraus generierte Geländemodelle – unmittelbar einer GIS-Analyse zugeführt und neben der Verdachtsflächenerfassung später auch im Rahmen von Planungen und Präsentationen verwendet werden (LUA NRW 2001, S. 36). Die dabei erzielten Ergebnisse müssen jedoch im Hinblick auf das Ausgangsmaterial geometrisch differenziert und unter Beachtung der Spezifika der verwendeten Quellen sowie unkonventionell ermittelter Parameter bewertet werden (Redecker & Dodt 2007, S. 44).

In dieser Arbeit werden Verfahren und Methoden entwickelt und angewendet, mit deren Hilfe historische Luftbilder für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen photogrammetrisch ausgewertet werden können. Diese werden an exemplarisch ausgewähltem Bildmaterial getestet und hinsichtlich der geometrischen Verwendbarkeit der Ergebnisse bewertet. Dabei wird vornehmlich den folgenden Fragen nachgegangen:

- Mit welchen Hilfsmitteln und Methoden lässt sich zunächst ungeeignetes Bildmaterial einer 3D-Stereo-Auswertung zugänglich machen?

- Wie genau sind die Kartierungen im 3D-Stereomodell mit historischem Bildmaterial?
- Inwiefern lassen sich Geländeänderungen mit Hilfe von Oberflächenmodellen aus historischen Luftbildern analysieren?

Ein Schwerpunkt der Betrachtungen wird auf Kriegsluftbilder gelegt, die angesichts der verwendeten Aufnahmetechnik und widriger Aufnahmesituationen sowie aufgrund ungünstiger Überlieferungseinflüsse eine besondere Herausforderung für die Verarbeitung mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie darstellen.

Aus der umrissenen Sachlage und den daraus abgeleiteten Fragen ergibt sich folgender Aufbau der Arbeit:

Eingangs wird anhand der Vorschriften für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen und ihrer Einordnung in das sogenannte Altlastenverfahren der thematische Kontext des Forschungsvorhabens aufgezeigt. Anschließend erfolgt eine Abgrenzung zwischen Luftbildern und den dazu komplementären geotopographischen Quellen im Altlastenverfahren, die den Stellenwert der Luftbildauswertung in der historischen Recherche verdeutlicht. Für die Einführung in den technischen Kontext der digitalen Photogrammetrie im Rahmen der Altlastverdachtsflächenerfassung werden die besonderen Eigenschaften historischer Luftbilder erläutert, Techniken ihrer radiometrischen und geometrischen Aufbereitung aufgezeigt und das Prinzip der digitalen Photogrammetrie dargelegt. Darauf aufbauend werden die durchgeführten Untersuchungen geschildert und deren Ergebnisse diskutiert. Abschließend wird eine Übersicht über resultierende Forschungsfragen und weitere Anwendungsfelder für die erarbeiteten Verfahren gegeben.

Das in dieser Arbeit beispielhaft verwendete Bildmaterial zeigt den Standort und die Umgebung der Kokerei Hansa in Dortmund, Nordrhein-Westfalen (NRW). Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) verfügt für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen neben ausführlichen Leitfäden mit methodischen Anleitungen („Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz“, MALBO und deren Vorläufer „Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten“, MESA) über einen umfangreichen Bestand an Kriegsluftbildern der britischen und US-

amerikanischen Luftaufklärung, der derzeit in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Geomatik am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum um weiteres Material aus dem Archiv des Topographischen Dienstes der Niederlande in Emmen erweitert wird. Die Bilder sind über eine Datenbank mit ca. 270 000 Datensätzen weitgehend erschlossen. Sie enthält neben Einsatz- und Flugnummer auch Aufnahmeparameter wie Uhrzeit, Flughöhe, Maßstab, Kammerkonstante und grobe Eckkoordinaten der Bilder. Diese können von nachgeordneten Behörden für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen über das LANUV ausschließlich digital bezogen werden. Das so verfügbare Bildmaterial umfasst ein weites Spektrum an unterschiedlichen Bildqualitäten und eingesetzten Aufnahmetechniken, die charakteristisch für Kriegsluftbilder der westlichen Alliierten sind (vgl. hierzu LUA NRW 2006 bzw. Keen 1996, Leaf 1997 und Stanley 1981).

Der gewählte Geländeausschnitt bietet für die Fragestellung der Arbeit ein ideales und – aufgrund seiner Komplexität – durchaus repräsentatives Experimentierfeld. So ist darin mit der ehemaligen Kokerei Hansa zum einen eine umfangreiche aufgelassene Industrieanlage mit vielfältigen Gebäuden und Anlagen zu finden. Zum Anderen finden sich in den ehemaligen Auen der Emscher verschiedene Abgrabungs- und Aufschüttungstätigkeiten. Darüber hinaus steht der Untersuchungsraum unter dem durch frühere untertägige Abbautätigkeit anhaltenden Einfluss von Bergsenkungen.

2 Die Erfassung altlastverdächtiger Flächen mit Hilfe von Luftbildern

2.1 Kontext der Erfassung von Altlastverdachtsflächen

Die Erfassung von Altlastverdachtsflächen ist ein Schritt in einer Reihe von Maßnahmen des so genannten „*Altlastenverfahrens*“ (LUA NRW 2001, S. 17) Dieses hat auf der Basis von Gesetzen und Verordnungen die Abwendung von Gefahren für Mensch und Umwelt durch Altlasten zum Ziel. Grundlegend sind hier auf Bundesebene das „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten“ (Bundes-Bodenschutzgesetz, BBodSchG) und die „Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung“ (BBodSchV). Regelungen zur Erfassung der Altlasten und altlastverdächtigen Flächen selbst legt das BBodSchG in die Verantwortlichkeit der Länder (BBodSchG §11), die hierzu eigene Rechtsvorschriften erlassen haben. In NRW finden sich diese im „Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen“ (Landesbodenschutzgesetz, LbodSchG NRW). Aufgrund der verteilten Zuständigkeit durch die Länder ist die Terminologie für diesen Abschnitt des Altlastenverfahrens bundesweit betrachtet nicht immer einheitlich, und einige Begriffe können je nach landesrechtlichem Kontext abweichende Bedeutungen haben. Die folgenden Ausführungen orientieren sich daher für den Bereich der Erfassung nach §11 BBodSchG am Sprachgebrauch der einschlägigen Regelwerke in NRW.

2.2 Begriffsdefinitionen

Die Begriffe Altlasten, Altablagerungen, Altstandorte und Altlastverdachtsflächen werden in §2 Absätze 5 und 6 des BBodSchG wie folgt definiert:

„(5) **Altlasten** im Sinne dieses Gesetzes sind

1. stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind (**Altablagerungen**), und
2. Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke,

*auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, ausgenommen Anlagen, deren Stilllegung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf (**Altstandorte**), durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.*

(6) Altlastverdächtige Flächen im Sinne dieses Gesetzes sind Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit besteht."

2.3 Ablauf des Altlastenverfahrens

Das gestufte Altlastenverfahren gliedert sich in mehrere aufeinander aufbauende Prozesseinheiten (LUA NRW 2003, S. 1 f.) (vgl. Abbildung 2.1):

1. Erfassung
 - a. Flächendeckende Erhebung über Altstandorte und Altablagerungen
 - b. Standortbezogene Erhebungen über altlastverdächtige Flächen und Altlasten
2. Gefährdungsabschätzung
 - a. Orientierende Untersuchung
 - b. Detailuntersuchung
3. Sanierungsuntersuchung
4. Sanierung
5. Überwachung und Nachsorge

Ziel der *flächendeckenden Erhebung* – auch als Vorerhebung (LUA NRW 2001, S. 23) oder Gebietsinventur (LUA NRW 1994, S. 3) bezeichnet – ist die systematische Identifikation und Erfassung von Altstandorten und Altablagerungen in einem Untersuchungsraum. In der Regel handelt es sich dabei um das Gebiet einer Gebietskörperschaft als Zuständigkeitsbereich einer unteren Bodenschutzbehörde. Flächen, für die sich nach §3 BBodSchV bzw. §2 Absatz 6 BBodSchG Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast finden lassen, werden in NRW gemäß §8 LbodSchG NRW in einem „*Kataster über altlastverdächtige Flächen und Altlasten*“ verzeichnet und den nachfolgenden Ermittlungen der *standortbezogenen Erhebung* (LUA NRW 2001, S. 35) unterzogen. Bei diesem kurz als *Standortrecherche* (LUA NRW 1994, S. 3)

2 Die Erfassung altlastverdächtiger Flächen mit Hilfe von Luftbildern

oder *historische Recherche* (LUA NRW 2001, S. 35) bezeichneten Verfahren werden ergänzend und vertiefend zu den Ergebnissen der flächendeckenden Erhebung sämtliche zu einer altlastverdächtigen Fläche verfügbaren Informationen gesammelt und umfassend untersucht. Die dabei gewonnenen Erhebungsergebnisse werden ebenfalls in das Altlastenkataster aufgenommen.

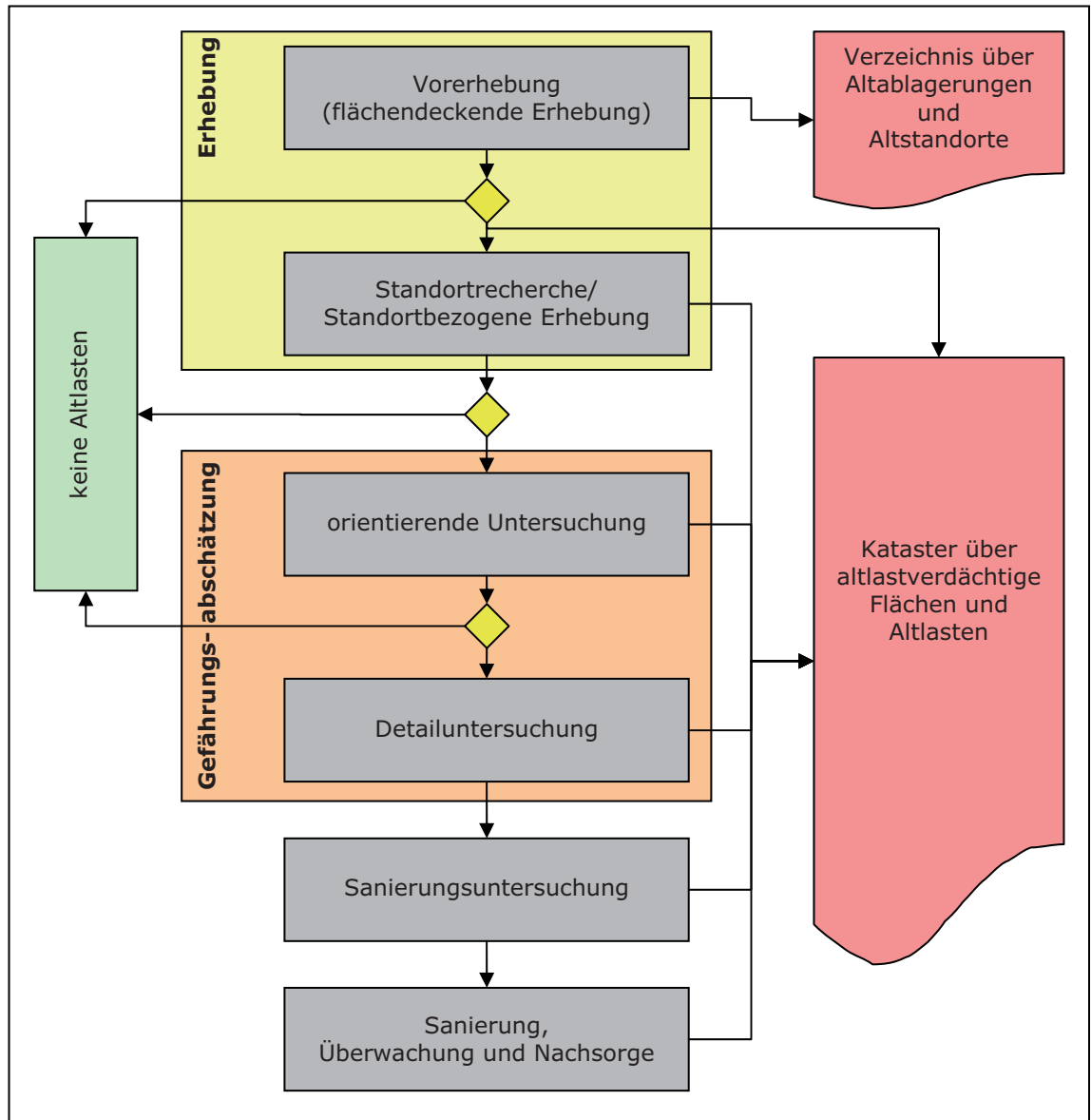


Abbildung 2.1: Einordnung der Erhebung altlastverdächtiger Flächen in den Gesamtablauf der Altlastenbearbeitung (vereinfachtes Schema) nach LUA NRW 2001, S. 25

In der dann folgenden *Gefährdungsabschätzung* (§9 BBodSchG) wird im Rahmen der *orientierenden Untersuchung* (§2 Nr. 3 BBodSchV) durch kon-

krete Beprobungen festgestellt, ob Altlasten tatsächlich vorhanden sind oder ob der Verdacht der Kontamination ausgeräumt werden kann. Bestätigt sich der Verdacht, erfolgt die *Detailuntersuchung* (§2 Nr. 4 BBodSchV), an deren Ende eine ausführliche Beurteilung der Altlastensituation steht; daraus sind dann die zur Gefahrenabwehr notwendigen Maßnahmen abzuleiten. Diese werden im Zuge der *Sanierungsuntersuchung* (§6 BBodSchV) konkret ermittelt und anschließend im Rahmen der *Sanierung* (§2 Absatz 7 BBodSchG) durchgeführt. Durch *Überwachung und Nachsorge* wird gemäß §§ 4 und 15 BBodSchG nach dem Abschluss der Sanierung die dauerhafte Einhaltung der Sanierungsziele sichergestellt.

2.4 Die Rolle von Luftbildern bei standortbezogenen Erhebungen über altlastverdächtige Flächen und Altlasten

Die Auswertung von Luftbildern spielt bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen unbestritten eine wesentliche Rolle (MURL NRW 1987, S. 22 ff. und LUA NRW 2004, S. 90). Sie kommen sowohl im Rahmen der Voruntersuchungen zur flächendeckenden Erhebung über Altstandorte und Altablagerungen als auch im Rahmen der standortbezogenen Erhebungen über altlastverdächtige Flächen und Altlasten zum Einsatz (LUA NRW 2006, S. 11). Dabei ermöglichen sie einen objektiven Blick auf ausgewählte Momente der Entwicklung des untersuchten Standortes. Das Ziel der so genannten *multitemporalen Kartierung* (Dodt 1988, S. 127 ff.) ist es, im Kontext der zuvor geschilderten Verfahren Hinweise auf die Existenz von Altlasten durch Altablagerungen oder Altstandorte zu finden. Hierfür wird die Nutzungsgeschichte des betreffenden Standortes rekonstruiert und untersucht, ob, wie und wo dabei Prozesse involviert waren, bei denen mit toxischen Stoffen oder entsprechend belasteten Materialien umgegangen wurde, von denen nun als Altlast eine Gefahr für Mensch und Umwelt ausgehen könnte (Borries 1992, S. 81 ff.). Die Kenntnis der vorkommenden Branchen, eingesetzter Produktionsverfahren, betriebener Anlagen, eingesetzter Stoffe oder eingebrachter Materialien auf einem Grundstück ist eine notwendige Voraussetzung für das Aufspüren möglicher Kontaminationsquellen und daraus erwachsender Kontaminationen. Dabei sind entsprechende Ereignisse wie Unfälle, Havarien oder Kriegseinwirkungen von besonderem Interesse.

Für die Rekonstruktion einer Standortgeschichte werden verschiedenartige Quellen herangezogen. So werden neben Luftbildern auch Akten, Karten und Zeitzeugenbefragungen ausgewertet (Dodt & Mark 1995, S. 109). In allen diesen Quellen finden sich einzelne Aussagen darüber, wie Teile des Standortes genutzt wurden, welche Anlagen dort existierten und betrieben wurden und mit welchen Stoffen gearbeitet wurde. Diese Einzelinformationen können sich ergänzen oder aber auch widersprechen. Im ersten Fall kann die Aussage der einen Quelle mit der einer anderen verifiziert werden (*Sicherungsquellen*, vgl. LUA NRW 2001, S. 45). Im zweiten Fall muss die Validität der einzelnen Quellen überprüft bzw. abgeschätzt werden.

Hier kommt die besondere Qualität von Luftbildern zum Tragen: Das darin abgebildete Gelände wird in der Regel genau so wiedergegeben, wie es sich zum Zeitpunkt der Aufnahme darstellte. Dagegen können Aussagen aus Karten und Akten durch strategische Selektion und Manipulation verfälscht sein (Borries 1992, S. 51) und Erinnerungen von Zeitzeugen durch deren subjektive Wahrnehmung bzw. „lebhaft“ Erinnerungen aufgrund sehr weit zurück liegender Ereignisse nicht mehr den ursprünglichen Tatsachen entsprechen.

Neben Luftbildern sind für viele Areale auch Fernerkundungsprodukte anderer, meist satellitengestützter Aufnahmesysteme verfügbar, die den Zustand eines abgebildeten Geländeausschnitts in seiner Gestalt zum Aufnahmezeitpunkt umfassend dokumentieren. Diese reichen jedoch nicht weit genug in die Vergangenheit zurück, haben eine zu geringe geometrische Auflösung oder sind nicht stereoskopisch auswertbar, so dass sie für historische Recherchen nicht effektiv eingesetzt werden können (Dodt & Mark 1994, S. 22-30). Überdies liegen in Deutschland spätestens seit den 1950er Jahren Luftbilder regelmäßiger Befliegungen für die Fortführung amtlicher Kartenwerke vor (Kraus & Schneider 1988, S. 227), die den Anforderungen aktueller photogrammetrischer Auswerteverfahren gerecht werden und in der Regel preiswerter zu beschaffen sind.

Der Einsatz von Verfahren mit terrestrischen Multi- oder Hyperspektraldaten sowie Wärmebild- oder Radaraufnahmen ist sehr speziell und im Allgemeinen für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen zu aufwändig bzw. zu wenig ergiebig. Die Suche nach Indizien für Altlasten in gegenwärtigen Ferner-

2 Die Erfassung altlastverdächtiger Flächen mit Hilfe von Luftbildern

kundungsprodukten beschränkt sich sachgemäß auf recht oberflächennahe Phänomene und ist eher für die Untersuchung konkreter Fragestellungen wie z.B. die Untersuchung von Pflanzenvitalität als Indikator für lokale Bodenveränderungen oder die Lokalisierung von Prozesswärme von Deponien und Halden anwendbar. Für die retrospektive Betrachtung eines Areals aus der Luft kommen somit nur konventionelle fotografische Luftbilder in Frage (Kühn 1995).

3 Luftbilder als Quelle geotopographischer Informationen

Die Untersuchung verschiedener Entwicklungsstadien einer Standortgeschichte, anhand derer altlastverdächtige Flächen und Bereiche eines Areals ausfindig gemacht werden, erfordert für die Gewinnung und für die Dokumentation von Ergebnissen eine *geotopographische Datengrundlage*. Hierfür sind *Luftbilder* ebenso wie *Karten* oder *Pläne* grundsätzlich geeignet und auch erforderlich (LUA NRW 2006, S. 11). Zum einen ermöglichen sie die Identifikation von Geländeobjekten in ihrem räumlichen Kontext und zum anderen erlauben sie es, nicht-räumliche Informationen durch die Zuordnung zu Geländeobjekten in einen zeitlich-räumlichen Zusammenhang zu bringen.

3.1 Luftbilder und Karten

Die gemeinsame Eigenschaft von Luftbildern und Karten bzw. Plänen als Quelle geotopographischer Informationen lässt zuweilen die fundamentalen Unterschiede dieser beiden Repräsentationsformen des Raumes in den Hintergrund treten. Der gewohnte Umgang mit Karten und Plänen sowie die Erwartungen an diese Darstellungsform geotopographischer Sachverhalte hinsichtlich *geometrischer* und *semantischer Aussagen* kann nicht ohne Weiteres auf Luftbilder übertragen werden. Für eine zuverlässige und effiziente Nutzung von Luftbildern ist es unerlässlich, ihre Spezifika zu beachten und zu nutzen. Diese werden nachfolgend in Anlehnung an Albertz et al. 1982 im Einzelnen betrachtet und insbesondere im Hinblick auf die Verwendung von historischen Luftbildern erörtert. Dabei werden eingangs zunächst die Gemeinsamkeiten zwischen Luftbildern und Karten dargelegt.

3.2 Gemeinsamkeiten von Luftbildern und Karten

Sowohl Luftbilder als auch Karten sind Informationsträger über Erscheinungen und Sachverhalte eines begrenzten Geländeausschnitts. Ihre verkleinerte und verebnete Darstellung der Erdoberfläche kann nach qualitativen

und quantitativen Parametern (Eigenschaften, Merkmalen, Art und Form bzw. Größe, Menge, Umfang und Verteilung) der abgebildeten *Geoobjekte* ausgewertet werden.

Hierfür bedarf es jedoch unterschiedlicher Methoden, die den geometrischen und inhaltlichen Unterschieden Rechnung tragen.

3.3 Geometrische Unterschiede von Luftbildern und Karten

Der grundlegende *geometrische* Unterschied von Karte und Luftbild ergibt sich aus der jeweils zugrunde liegenden Projektion. Das Luftbild ist das Ergebnis der *Zentralprojektion* des abgebildeten Geländes durch ein Projektionszentrum auf eine Projektionsebene. Karten vergleichbarer Maßstäbe liegt eine *Parallelprojektion* des abgebildeten Geländes in die ebene Darstellung der Karte zugrunde (Schneider 1974, S. 83). Demzufolge haben Karten einen gleichbleibenden *Maßstab* über die gesamte Abbildungsfläche, während dies bei Luftbildern nur auf absolute Senkrechtaufnahmen von ebenem Gelände zutrifft. Höhenunterschiede des Geländes oder Neigungen der Aufnahmeplattform führen zu unterschiedlichen Maßstäben und Verzerrungen im Luftbild.

Neben den Eigenheiten beim Maßstab weisen Luftbilder weitere systembedingte Abbildungseigenschaften auf, die im Gegensatz zur lagetreuen Darstellung von Geoobjekten in Karten und Plänen einer Lagetreue in Luftbildern entgegenwirken. So führen die atmosphärische Refraktion und die Verzeichnung im Objektiv sowie der radiale Punktversatz bzw. die Parallaxen durch Höhenunterschiede im Gelände im Zusammenspiel mit der Zentralprojektion (Hildebrandt 1996, S.150 ff.) zu Lageverschiebungen im Luftbild (s. Abbildung 3.1). Gleichzeitig ermöglichen es die Parallaxen aber, Geoobjekte mittels zweier aufeinanderfolgend aufgenommener Luftbilder räumlich-dreidimensional zu betrachten und zu vermessen und erweitern damit deren Potenzial als Geodatenquelle.

3.4 Inhaltliche Unterschiede von Luftbildern und Karten

Der inhaltliche Unterschied von Luftbild und Karte liegt in den gegensätzlichen Darstellungsformen von Geoobjekten im jeweiligen Informationsträger für Geoobjekte begründet. So ergibt sich das Abbild der Landschaft im Luftbild kausal aus ihrer Remission elektromagnetischer Energie, die auf dem

3 Luftbilder als Quelle geotopographischer Informationen

jeweiligen Medium zu entsprechenden Grauwerten und damit zu einem Bild führt (vgl. Albertz 2001, S. 2). Demgegenüber ist die zeichnerische Darstellung von Geoobjekten in einer Karte das Ergebnis einer expliziten Selektion und inhaltlichen Generalisierung (Haake & Grünreich 1994, S. 110 ff.).

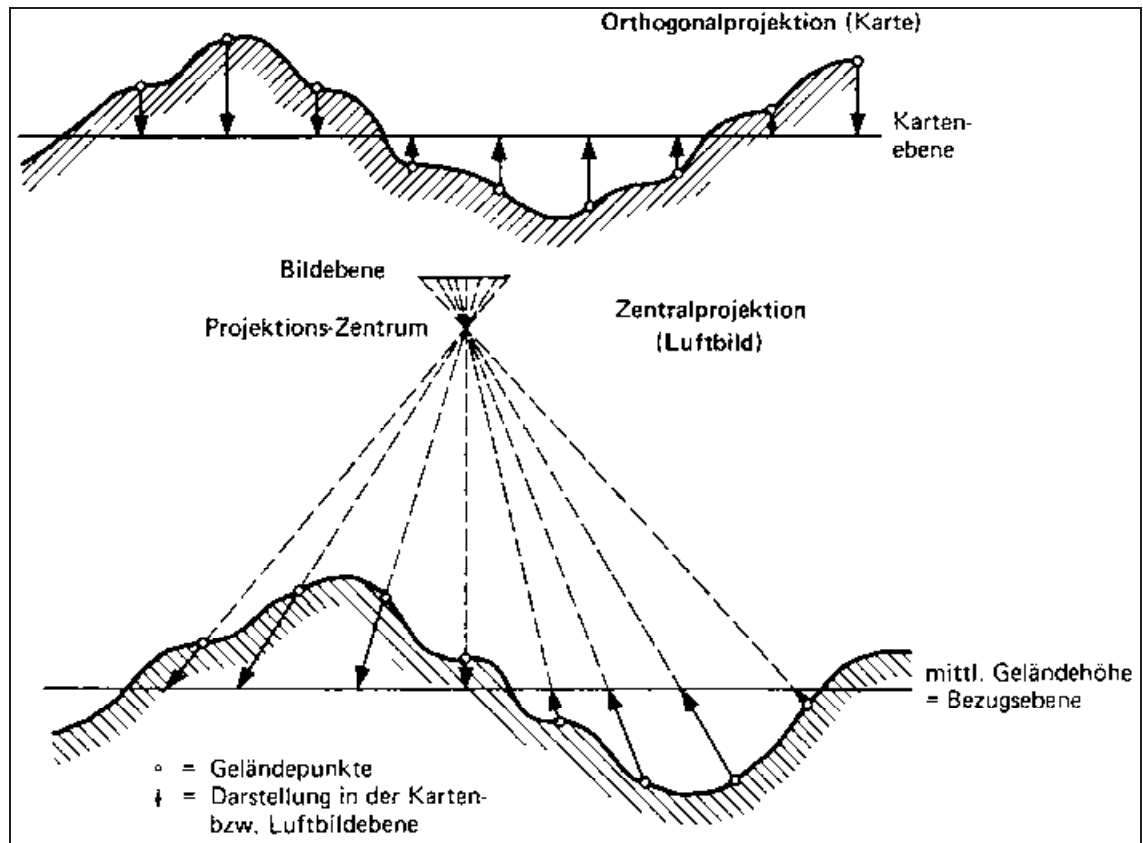


Abbildung 3.1: Zentral- und Parallelprojektion

Während bei der Orthogonal- bzw. Parallelprojektion alle Punkte lagerichtig abgebildet werden, führt die Zentralprojektion zu einer radialen Verlagerung von Punkten oberhalb der Bezugsebene nach außen und von Punkten unterhalb der Bezugsebene nach innen.

Quelle: Schneider 1974, S. 18

Ein Luftbild ist demnach das objektive Ergebnis optisch-chemischer bzw. optisch-elektronischer Prozesse (Campbell 2002, S. 60 ff. und 93 ff.), während Karten Sekundärmodelle der Umwelt mit nach Konventionen abstrahierten und kodierten Darstellungen ausgewählter Geoobjekte sind (Haake & Grünreich 1994, S. 278). Im Luftbild werden demzufolge unabhängig vom Maßstab alle in der abgebildeten Landschaft sichtbaren Objekte erfasst, so dass dessen Informationsdichte untrennbar mit der Erscheinung der Landschaft zusammenhängt und dementsprechend hoch sein kann. Karten hingegen haben eine geringere, maßstabsabhängige und ihrer Thematik durch

3 Luftbilder als Quelle geotopographischer Informationen

Generalisierung angepasste Informationsdichte, die durch den Umfang der in der Legende verwendeten Kartenzeichen begrenzt ist.

Der Inhalt eines Luftbildes ist eine Momentaufnahme der abgebildeten Landschaft und unmittelbar vom Aufnahmezeitpunkt abhängig. Es enthält auch Einzelheiten, die im abgebildeten Raum nur kurzzeitig präsent waren (z.B. Baustellen, Fahrzeuge, Gebäudeschäden oder Bombenkrater in Kriegsluftbildern). Karten hingegen beschränken sich in der Regel auf persistente Objekte, deren Zusammenstellung über einen längeren Zeitraum erfolgte. Ihre Auswahl kann z.B. bei Karten aus Kriegszeiten auch strategisch motiviert gefiltert oder mit Fehlinformationen angereichert sein (LUA NRW 1994, S. 59) (vgl. Abbildung 3.2).



Abbildung 3.2: Gegenüberstellung Luftbild/Karte

Die Abbildung zeigt einen Teil des Firmengeländes der Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde Mitte der 1940er Jahre; links im Luftbild und rechts in der zu der Zeit gültigen Topographischen Karte 1 : 25 000. Der rote Kreis hebt im Luftbild den knapp 100m hohen Gasometer deutlich hervor. In der Karte dagegen ist an der gleichen Stelle bis auf die den Gasometer umgebende Mauer kein Bauwerk abgebildet.

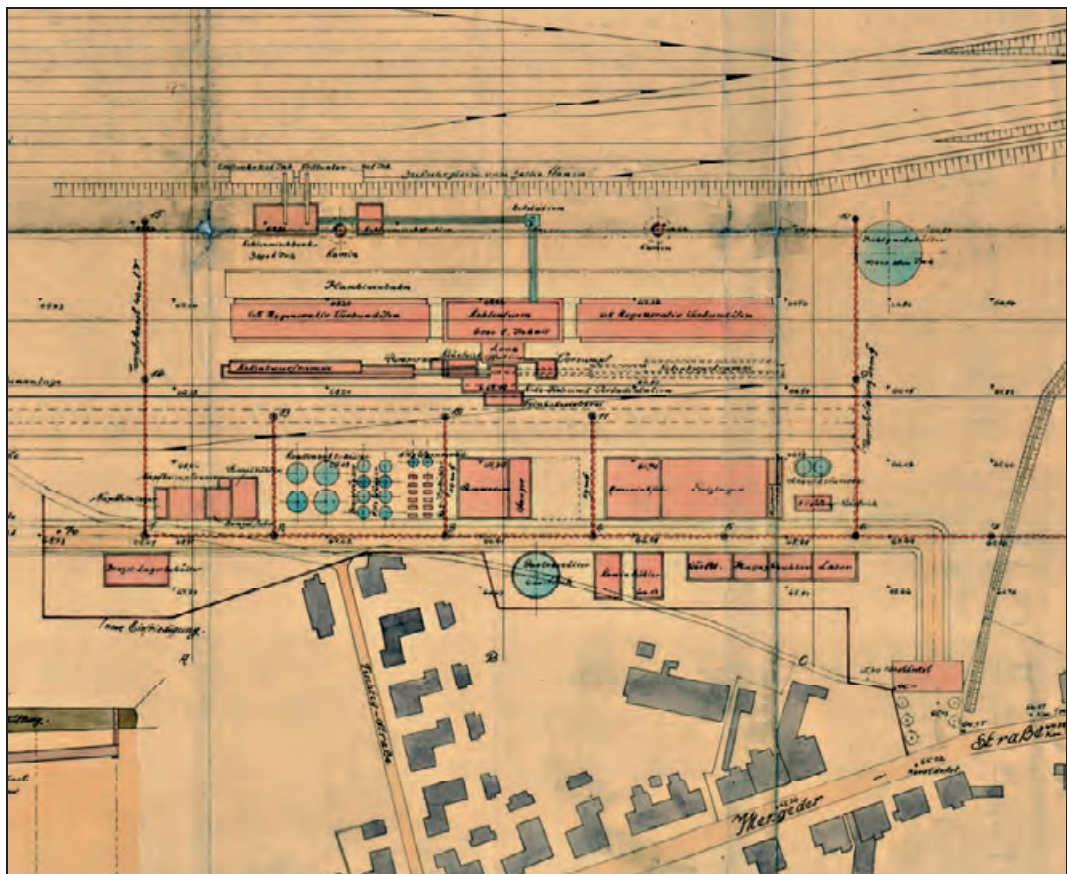
Quelle: Luftbild: RVR, TK 25: LVerMA NRW

Ebenfalls lassen sich bei Plänen in der Regel keine Aussagen darüber machen, ob und in wie weit sie dem tatsächlichen Zustand eines Standortes

3 Luftbilder als Quelle geotopographischer Informationen

entsprechen. So können Pläne vorliegen, die nur eine Planungsvariante für eine Anlage darstellen, letztendlich jedoch nie umgesetzt oder maßgeblich verändert wurden (s. Abbildung 3.3).

Aufgrund der geschilderten inhaltlichen Eigenschaften stellen Luftbilder eine Primärdatenquelle mit einem hohen Maß an Objektivität dar, während Karten als Sekundärdatenquelle den subjektiven Einflüssen eines von Individuen geprägten Herstellungsprozesses unterliegen.

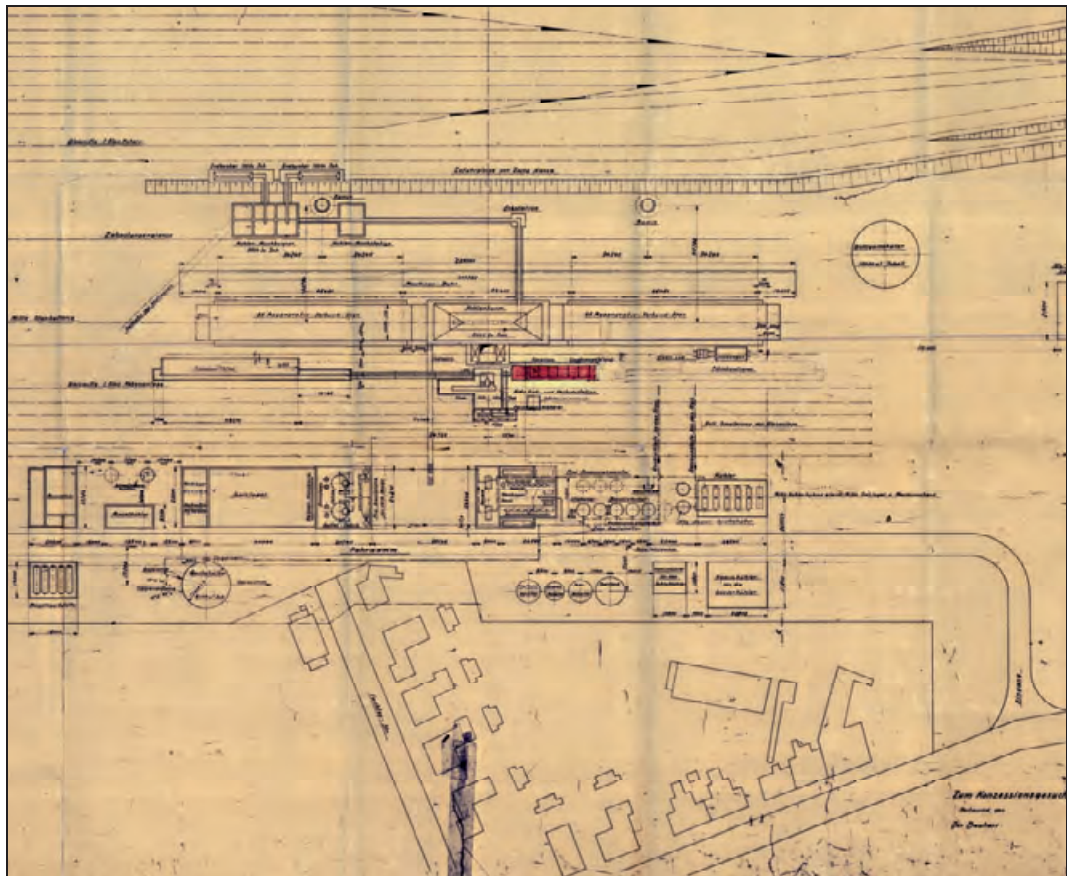


a)

Auch wenn ein Luftbild eine wesentlich höhere Informationsdichte aufweist als eine vergleichbare Karte, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass sich daraus letztendlich auch mehr Informationen als aus der Karte gewinnen lassen. Denn die in einer Karte gespeicherten Informationen lassen sich anhand von Beschriftungen und in Kenntnis der Legende eindeutig auslesen. Die Informationen eines Luftbildes hingegen müssen zunächst aus der abgebildeten Gestalt der Geoobjekte abgeleitet werden, die durch die Überschneidung visueller Parameter (Grau- oder Farbton, Bildmuster, Form und

3 Luftbilder als Quelle geotopographischer Informationen

Gestalt, Textur, Schatten etc., vgl. Löffler 2005, S. 129 ff.) auch mehrdeutig sein kann.



b)

Abbildung 3.3: Abweichende Antragspläne der Kokerei Hansa

a) Sommer 1927

b) Winter 1927

Die beiden Pläne zeigen Planungen für die Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde aus dem Jahr 1926. Während im oberen Bereich der Anlage in beiden Plänen gleiche Anordnungen der Kohlebunker und Koksofenbatterien zu erkennen sind, lassen sich im unteren Bereich beider Pläne deutliche Unterschiede ausmachen. Insbesondere die unterschiedliche Anordnung von Tankanlagen der Nebengewinnung fällt schnell in den Blick.

Quelle: Stiftung Industriedenkmalspflege und Geschichtskultur

Der Erfolg einer Auswertung bzw. Interpretation von Luftbildern ist in hohem Maße von der thematischen und methodischen Kompetenz des Bearbeiters sowie von dessen physiologischem und psychologischem Vermögen abhängig (Schneider 1974, S. 168 ff.) Er kann de facto nur solche Sachverhalte im Luftbild identifizieren, deren visuellen Merkmale er erkennt und deren charakteristische Merkmale ihm vorher bekannt sind (Dodt 1984, S. 46). Doch auch dem versierten Luftbildauswerter sind durch die Abbil-

dungsqualität des Bildmaterials Grenzen bei der Objektidentifikation gesetzt: Die von der Auflösung des Filmes und vom Bildkontrast abhängige Detailerkennbarkeit und der Bildmaßstab bestimmen die kleinsten noch erkennbaren Strukturen („Minimum Visible“) in einem Luftbild (Dietz 1981, S. 31).

3.5 Synopse von Luftbildern und Karten

Als Ergebnis der vorangegangenen Gegenüberstellung der Eigenschaften von Luftbildern und Karten oder Plänen lässt sich keineswegs ein klarer Vorteil des einen gegenüber dem anderen Medium konstatieren. Vielmehr wird deutlich, dass eine vergleichende bzw. ergänzende synoptische Betrachtung beider Geodatenquellen ein Maximum an Informationen und Aussagesicherheit über einen Standort erwarten lässt. So können einerseits die aus Karten lesbaren Informationen anhand von Luftbildern verifiziert, erweitert und um Höheninformationen ergänzt werden. Andererseits bieten Karten eine hilfreiche Orientierung bei der Identifikation von in Luftbildern abgebildeten Geoobjekten. Hinsichtlich historischer Recherchen ergibt sich daraus, dass Karten und Luftbilder möglichst gemeinsam auszuwerten sind, um zum einen Objekte in den Luftbildern effektiver identifizieren und zum anderen den Wahrheitsgehalt der kartographischen Darstellungen anhand der tatsächlichen Geländesituation im Luftbild verifizieren zu können. Ferner lassen sich so auch Objekte erfassen, die nur in der einen oder der anderen geotopographischen Quelle auffindbar sind. Ergänzend werden textliche und zeichnerische Quellen als weitere Informationsträger hinzugezogen, sofern sich die darin enthaltenen Informationen in den räumlichen Kontext der Karten und Luftbilder integrieren lassen. Voraussetzung dafür sind Koordinaten eines räumlichen Bezugssystems (Ehlers 1997, S. 14) oder entsprechende „lokalisierende“ Angaben (z.B. Bezeichnungen und Namen), die sich Objekten in einer Karte oder in einem Luftbild eindeutig zuordnen lassen.

3.6 GIS-Integration – IGIS

Die ideale Umgebung für die Synopse verschiedener Quellen geotopographischer Informationen sind zweifelsfrei GIS-Anwendungen, die eine integrierte Analyse der Geodatenquellen für die Gewinnung neuer Informationen zum Ziel haben. Für die Integration von Fernerkundungsverfahren in herkömmli-

che GIS-Applikationen wurde von einigen Autoren der Begriff IGIS „Integriertes GIS“, geprägt, wobei der Grad der Integration anwendungs- und methodenbedingt als ausbaufähig angesehen wird (Ehlers 1997a, S. 7). Grundslegend geht es dabei um die Integration der Datengewinnung aus Fernerkundungsprodukten in den GIS-Prozess, so dass die oben geschilderten Wechselwirkungen von Luftbildern und Karten bzw. von Fernerkundungsdaten und geotopographischen Informationen im Allgemeinen effizient für die Datengewinnung genutzt werden können.

Maßgeblich für die Genauigkeit und die Effizienz von Analysen in IGIS sind die geometrische Qualität der erfassten Geodaten aus den einzelnen Quellen und deren durchgängige Verarbeitung innerhalb der einzelnen Komponenten des Gesamtsystems. Letzteres wird durch entsprechende Datenformate und die Implementierung entsprechender Werkzeuge in die Einzelkomponenten gewährleistet. Je genauer die einzelnen Objekte erfasst werden, desto zuverlässiger sind die damit durch Superposition, Verschneidung und andere Verfahren gewonnenen Ergebnisse. Für jede eingesetzte Quelle soll daher die Objekterfassung zur Überführung der erforderlichen Objekte in ein GIS so genau wie möglich durchgeführt werden.

Bei der Verwendung von Fernerkundungsprodukten als Datenquelle folgt daraus, dass die Objekterfassung mit Methoden erfolgen muss, die eine maximale Lagetreue bei der Aufnahme von Geoobjekten gewährleisten. Bildimmanente Lagefehler durch Einflüsse von Aufnahmesystem, Plattform oder Überlieferung auf die Bildgeometrie müssen also weitestgehend ausgeschlossen werden. Dieser Aufgabenstellung widmet sich die Photogrammetrie, die hierfür einfache bis hochkomplexe Verfahren mit entsprechender Effektivität entwickelt hat.

Für die zweidimensionale Auswertung kleinmaßstäbiger oder durch Klassifizierung gewonnener Daten werden entsprechende Rektifizierungsverfahren (Ehlers 1997, 13 ff.) angewendet, die eine möglichst exakte Einpassung der Fernerkundungsdaten in die geometrische Basis des GIS ermöglichen. Weniger im Fokus der IGIS-Diskussion ist die Anwendung von Verfahren zur Gewinnung von Geodaten für GIS-Analysen, wie sie bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen angewendet werden. Anwendungen der digitalen Photogrammetrie ermöglichen die Integration der dreidimensionalen Objekterfassung in räumlichen Modellen auf der Basis von Reihenmessbildern

oder entsprechendem Bildmaterial elektronischer Sensoren in GIS (Leica 2007, S. 2 ff.). Damit bieten sie die effizienteste und genaueste Methode für die Gewinnung von Geoobjekten aus Luftbildern, da die Geländeobjekte hier unmittelbar nicht nur in der ebenen Draufsicht, sondern auch in ihrer räumlichen Dimension ausgewertet und erfasst werden können, wodurch nach Kraus et al. 1996, S. 363 sowohl die Erfassungsquote gesteigert als auch die Fehlerquote gesenkt wird. Schon lange ist bekannt, dass stereoskopisches Sehen und eine gute Ausleuchtung eine zentrale Rolle bei der Auswertung von Luftbildern spielen (Estes & Simonett 1975, S. 870, 892 und 896). In dem Zusammenhang sei hier auf den erfahrungsgemäß enormen Vorteil der Leistungsfähigkeit moderner Computerbildschirme im Gegensatz zu optomechanischen Betrachtungssystemen bezüglich einer angemessenen Bildausleuchtung hingewiesen.

Weiterhin ermöglicht es die Softcopy Photogrammetrie als einziges Verfahren, aus Stereopaaren von Luftbildern retrospektiv Höhenmodelle vergangener Geländesituationen zu generieren, die im GIS verglichen und analysiert werden können.

Damit bieten Luftbilder in Zusammenhang mit dieser Technik einzigartige Möglichkeiten der Informationsgewinnung, die auch die Erfassung von Altlastverdachtsflächen genauer und effektiver machen (Broisy & Helms 2006, S. 181 ff.), als es mit den bis dahin eingesetzten Verfahren der einfachen Bildmessung zu Zwecken der Erfassung von Altlastverdachtsflächen (LUA NRW 2002, S. 63 f.) möglich ist.

Inwieweit es mit der digitalen Photogrammetrie möglich ist, historisches Luftbildmaterial zu nutzen und welche Ergebnisse sich damit erzielen lassen, wird im Folgenden untersucht. Dazu wird zunächst ein themenbezogener Einblick in die Photogrammetrie gegeben, gefolgt von einem Überblick über die verschiedenen Bildeigenschaften aktueller und historischer Luftbilder.

4 Photogrammetrische Bildauswertung

Bekanntlich kann die exakte Verortung von im Luftbild identifizierten Objekten nicht einfach wie in Karten durch Messen und Umrechnen mit einem Maßstab erfolgen: Bildimmanente system- und plattformbedingte Verzerrungen können zu unerwünschten Lagefehlern in Luftbildkartierungen führen (Schneider 1984, S. 6) (s. Abbildung 4.1).

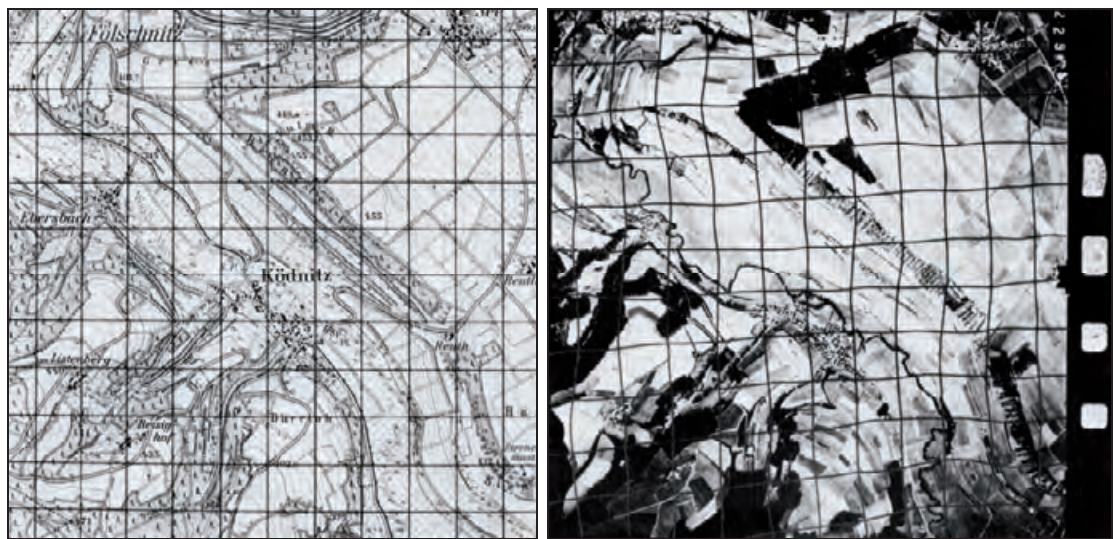


Abbildung 4.1: Reliefbedingte Lagefehler im Luftbild

Der linke Kartenausschnitt zeigt das rechts im Luftbild abgebildete Gelände mit einem regelmäßigen, quadratischen Gitter überlagert. Die offensichtlichen Deformationen des korrespondierenden Gitters über dem Luftbild verdeutlichen anschaulich die im Luftbild enthaltenen Verzerrungen.

Quelle: Weimann & Pfeiffer 1991, S. 69, Abb. 34

Während die einfachsten analogen Auswerteverfahren diese Fehler nicht berücksichtigen und sich daher eher für kleinmaßstäbige Kartierungen mit geringerem Genauigkeitsanspruch eignen, vermögen Geräte und Systeme verschiedener Komplexität einige oder alle Abbildungsfehler bei der Kartierung auszugleichen und somit auch bei großmaßstäbigen Anwendungen präzise Koordinaten für die erfassten Objekte zu liefern.

4.1 Verfahren und Geräte

Erfolgt die Objekterfassung direkt auf Kontaktkopien – mit oder ohne Betrachtung durch ein Linsen- bzw. Spiegelstereoskop –, so unterliegt die Kar-

tierung allen im Luftbild immanenten geometrischen Fehlern (Albertz 2001, S. 72-76; Hildebrandt 1996, S. 150-157). Mit *Entzerrungsgeräten* lassen sich projektiv und auf optischem Wege die *plattformbedingten Verzerrungen* (siehe Abbildung 4.2) manuell ausgleichen.

Maßstabsdifferenzen – bedingt durch die Neigung der Kamera während der Aufnahme – werden so eliminiert. *Orthofotoprojektoren* gleichen ferner auch reliefbedingte Maßstabsdifferenzen aus (Petrie et al. 2004, S. 758). Lagefehler durch den höhenbedingten *Radialen Punktversatz*, *Objektivverzerrungen* oder Verformungen des Trägermaterials werden hierbei jedoch nicht berücksichtigt (Finsterwalder & Hofmann 1968, S. 207-210).

Der Einsatz *analytischer Geräte* ermöglicht auf der Basis der sogenannten *Kollinearitätsgleichungen* die exakte rechnerische Ermittlung von Raumkoordinaten eines Bildpunktes in einem orientierten Stereopaar durch räumliches Vorwärtseinschneiden (Rüger et al. 1987, S. 269). Dabei werden sämtliche Verzerrungen durch die Zentralprojektion und Neigungen der Aufnahmeachse berücksichtigt. Diese Geräte sind jedoch sehr aufwändig, und der Umgang damit erfordert aufgrund der hohen Komplexität der eingesetzten Verfahren profunde photogrammetrische Kenntnisse. Ferner werden die Möglichkeiten der zuvor in aufwändigen Analoggeräten teils mit gekoppelten Rechnern realisierten Messprozeduren durch *digitale Stereoplotter* (DIN 18 716-2, 9.9) bzw. *Photogrammetrische Workstations* (Lillesand & Kiefer 2000, S. 174) der *digitalen Photogrammetrie* respektive *Softcopy Photogrammetry* (Kraus 2004, S. 33) noch erweitert und ihre Anwendung erheblich vereinfacht. Die grundlegenden Verfahrensschritte sind dabei gleich geblieben und beruhen auf bewährten geometrisch-mathematischen Theorien der *Analytischen Photogrammetrie*, die jedoch erst durch die gegenwärtige Computertechnik das volle Potenzial von *Aerotriangulation* und *Bündelblockausgleich* entfalten kann (Schwidewsky & Ackermann 1976, S. 195-225).

4.2 Digitale Photogrammetrie

Bei der Aerotriangulation werden alle Luftbilder einer Befliegung in einem zusammenhängenden Block simultan modelliert und dabei ihre *äußere Orientierung* – also die Lage jedes Bildes zum Zeitpunkt der Aufnahme im geodätischen Bezugssystem – berechnet. Dazu werden die Bilder über *Ver-*

knüpfungspunkte (*Tie Points*) zu einem *Block* miteinander verbunden, so dass nicht für jedes Bild *Fest- bzw. Passpunkte* (*Ground Control Points, GCP*) erforderlich sind, die zur Herstellung der Beziehung von Bild- zu Landeskoordinaten benötigt werden (Kraus 2004, S. 273). Anhand von *Vergleichspunkten* (*Check Points*) wird die Genauigkeit des berechneten Modells bewertet.

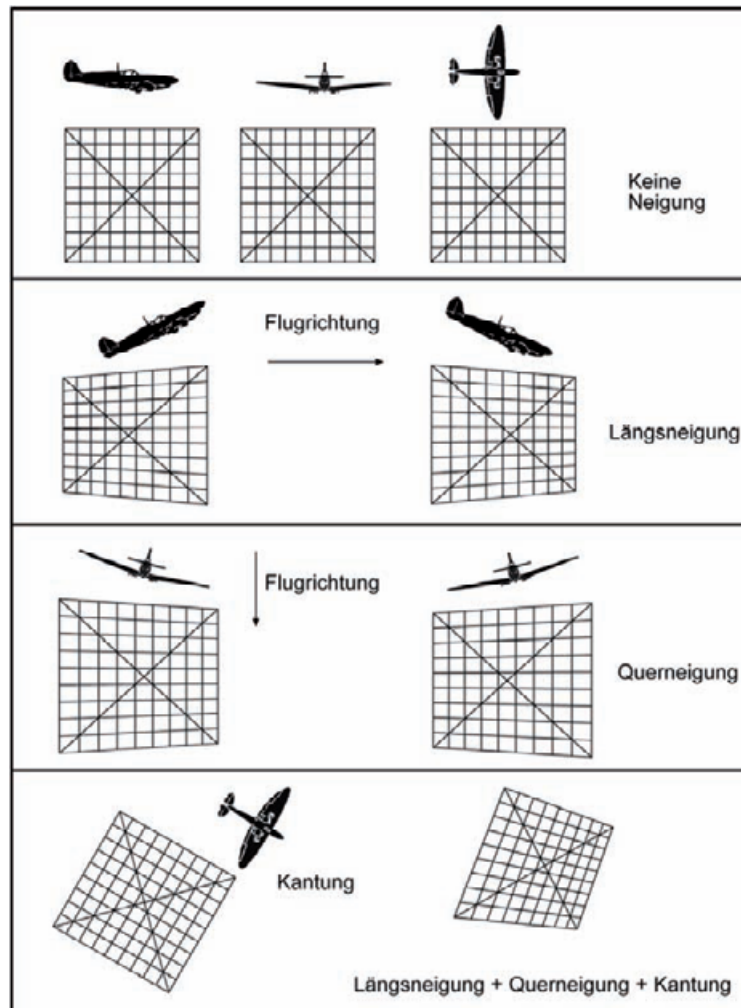


Abbildung 4.2: Plattformbedingte Verzerrungen

Oben: Bei ausgeglichener Lage der Aufnahmeplattform entspricht der aufgenommene Geländeausschnitt der Form des Luftbildes. Mitte oben: Bei Abweichungen der Plattformlage in Flugrichtung (*Längsneigung, Nicken*) wird der aufgenommene Geländeausschnitt trapezförmig verzerrt, d.h., der Maßstab des Luftbildes wächst oder schrumpft in Flugrichtung. Mitte unten: Bei Abweichungen der Plattformlage quer zur Flugrichtung (*Querneigung, Rollen*) wird der aufgenommene Geländeausschnitt trapezförmig verzerrt, d.h., der Maßstab des Luftbildes wächst oder schrumpft quer zur Flugrichtung. Unten: Durch eine Abweichung der Ausrichtung der Plattform von der Fluglinie (*Kantung*) wird das Gelände verdreht aufgenommen, jedoch keine Maßstabsverzerrung verursacht. Im Zusammenwirken mit Längs- und Querneigung ergibt sich eine Mischung der drei Verzerrungsformen.

Quelle: LUA NRW 2006, S. 61

Im Gegensatz zur analytischen Photogrammetrie, die auf Messungen in analogen Luftbildern basierte, liegt das Bildmaterial in photogrammetrischen Workstations digital vor (Falkner 1995, S. 81). Folglich ist es auch einer Analyse durch Software zugänglich (Mayr 1995, S. 225). Dadurch können Prozesse wie die Suche von Verknüpfungspunkten automatisiert werden, die früher von Operateuren manuell durchgeführt werden mussten (Hartfiel 1997, S. 109 und Fritsch 1995, S. 165 ff.).

Die *Bündelblockausgleichung* stellt ein verbreitetes Verfahren der rechnerischen Aerotriangulation dar. Dabei werden die Strahlenbündel der einzelnen Bilder in einem iterativen Prozess mathematisch „verschoben und gedreht, bis die entsprechenden Strahlen an den Verknüpfungspunkten möglichst gut zum Schnitt kommen und mit den Passpunkten möglichst gut zusammenreffen“ (Kraus 2004, S. 300) (s. Abbildung 4.3). Verbleibende Fehler werden durch die verwendete *Kleinste-Quadrate-Ausgleichung* minimiert und über den Block verteilt (Leica 2007, S. II-171).

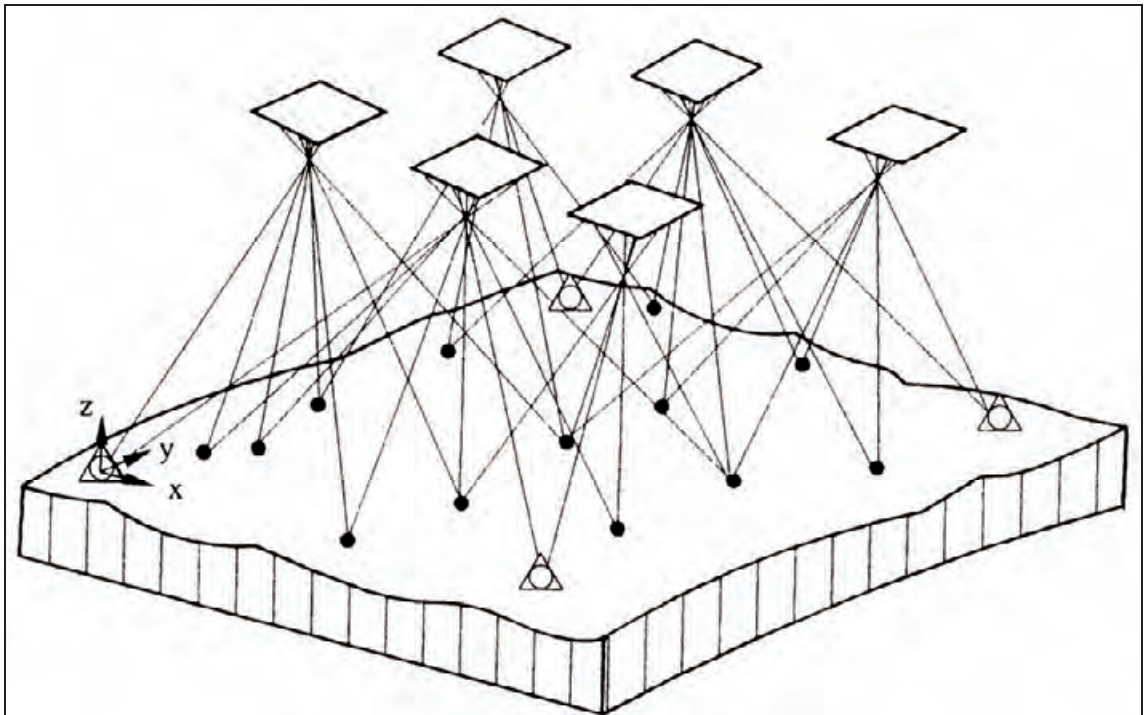


Abbildung 4.3: Grundprinzip der Bündelblockausgleichung
Verknüpfungspunkte (•), deren Raumkoordinaten unbekannt sind, stellen eine Lagebeziehung der Bilder zueinander her. Festpunkte (Δ) verknüpfen den Bildverband mit einem geodätischen Koordinatensystem.

Quelle: Kraus 2004, S. 299, Figur 5.3-1

4.3 Anwendungen der digitalen Photogrammetrie

Angesichts des geringeren Investitions- und Wartungsaufwands und der hohen Flexibilität von photogrammetrischen Softwarelösungen im Vergleich zu analytischen Analoggeräten können mit der digitalen Photogrammetrie neue Anwendungsfelder erschlossen und bestehende erweitert werden (Bruschke 2006, S. 1). Ein grundlegendes Verständnis für die implementierten Verfahren genügt, so dass auch Anwender abseits rein photogrammetrischer Fragestellungen diese Techniken anwenden und ihre Vorteile nutzen können. Diese erschließen sich durch die Aerotriangulation, mit der die Grundlage für die verzerrungsfreie Auswertung der eingesetzten Luftbilder geschaffen wird. Auf ihr beruht die Darstellung von Bildpaaren als *stereoskopisches Raummodell*, in dem Geoobjekte unmittelbar mit ihren Koordinaten in einem gewählten geodätischen Bezugssystem dreidimensional erfasst werden können. Ferner ermöglicht die Extraktion eines *Oberflächenmodells* zum einen die Analyse des Geländes (Benecke 1995, S. 304) und zum anderen die *Ortho-Entzerrung* der eingesetzten Luftbilder.

4.4 Potenzial der digitalen Photogrammetrie

Mit der Softcopy Photogrammetry sind exaktere Messergebnisse zu erwarten, als sie die einfachen analogen Verfahren und Geräte – wie Stereoskop, Bildumzeichner oder Entzerrgeräte –, die bisher für nicht photogrammetrische Fragestellungen zur Verfügung standen, ermöglichen (LUA NRW 2004, S. 104 f.).

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sie auch eine effizientere Methode für die Auswertung von Luftbildern bietet, weil die Objekterfassung bei der visuellen Analyse durch nahezu unbegrenztes Zoomen und Möglichkeiten der interaktiven Kontrast- und Helligkeitsanpassung im Stereomodell erheblich erleichtert wird. Demgegenüber ist die Arbeit an analogen optischen Geräten an die Gradation der photographischen Luftbilder und feste Vergrößerungsfaktoren der eingesetzten Okulare gebunden.

Die unmittelbare digitale Kartierung von Geoobjekten in der räumlichen Ansicht erspart den Zwischenschritt analoger Kartierungen, aus denen die Geoobjekte zur weiteren Analyse im GIS durch Digitalisieren erneut erfasst werden müssen. Dadurch werden Lagefehler aufgrund von analogen Kartie-

rungenauigkeiten ausgeschlossen und luftbildspezifische aufnahme- und systembedingte Einflüsse minimiert.

Die Möglichkeit, ein Oberflächenmodell der abgebildeten Landschaft zu extrahieren, schöpft das Nutzungspotenzial von Luftbildern umfassender aus und erweitert ihr Einsatzgebiet um *volumetrische Geländeanalysen*, die mit den bisherigen Verfahren so nicht möglich waren.

Die *Orthoentzerrung* auf der Grundlage eines zuvor generierten Geländemodells liefert anschauliches Basismaterial für die Präsentation von erfassten Geoobjekten und darauf basierenden Analyseergebnissen. Für die Bildauswertung selbst spielen die Orthofotos im Kontext der digitalen Photogrammetrie jedoch keine Rolle mehr, da ihnen das Stereomodell mit seiner räumlichen Ansicht der Landschaft bei der Identifikation und Erfassung von Geoobjekten deutlich überlegen ist.

4.5 Digitale Photogrammetrie bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen

Der geringere Anspruch an die notwendige photogrammetrische Kompetenz der Bearbeiter (Kasser & Egels 2002, S. i) und die wesentlich niedrigeren Investitionskosten für Soft- und Hardware im Gegensatz zu analytischen Geräten (Wolf & Dewitt 2000, S. 289) lassen die digitale Photogrammetrie auch für die Auswertung von Luftbildern im Rahmen der Erfassung von Altlastverdachtsflächen interessant erscheinen (LUA NRW 2004, S. 104 f.): Zum einen bieten digitale Stereomodelle die optimalen Bedingungen für die Betrachtung von Untersuchungsobjekten auch in Luftbildern mit eingeschränkter Bildqualität wie z.B. bei Kriegsluftbildern. Ferner erlauben sie neben der genaueren Erfassung von Lagekoordinaten auch die Aufnahme von Höheninformationen, und zum anderen lassen sich aus den Reihemessbildern Höhenmodelle extrahieren, die eine GIS-basierte volumetrische Analyse von *Aufschüttungen und Abgrabungen* zulassen.

Selbst wenn erfahrene Auswerter nicht über die nötigen photogrammetrischen Kenntnisse verfügen, können sie die Vorteile der Softcopy Photogrammetrie einsetzen, da sich die photogrammetrische Aufbereitung der Luftbilder und deren Auswertung von einander trennen lässt (Beckschäfer 1995, S. 245). So kann die Aerotriangulation des Luftbildmaterials wie auch die Extraktion des Geländemodells oder die Orthofotoerstellung als Auftrag

4 Photogrammetrische Bildauswertung

an entsprechend spezialisierte Dienstleister vergeben werden, während die inhaltliche Auswertung vom erfahrenen Auswerter selbst durchgeführt wird. Auf diese Weise werden die Potenziale des Verfahrens sowohl *geometrisch* als auch *semantisch-inhaltlich* optimal genutzt.

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

Grundsätzlich ist es das Ziel photogrammetrischer Verfahren, möglichst hohe Messgenauigkeiten zu erzielen. Demgemäß stellen sie auch entsprechend hohe Anforderungen an das verwendete Bildmaterial. Aktuelle Entwicklungen – wie die digitale Photogrammetrie – orientieren sich dabei am jeweiligen Stand der Aufnahmetechnik für Luftbilder.

In den Regelwerken der DIN sind die Standards für Luftbilder in Form von Reihemessbildern (DIN 18 716-1) definiert. Sie beschreiben zum einen die Ansprüche an analoge Luftbilder (DIN 18 740-1) und zum anderen – derzeit noch im Entwurf – auch die Anforderungen an die Aufnahme digitaler Luftbilder mit aktuellen Zeilen- oder Flächensensoren (DIN 18 740-4). Die Vorgaben für gescannte Luftbilder sind in DIN 18 740-2 festgelegt.

Die besondere Eigenschaft von Messbildern ist die bestimmbare *innere Orientierung*, anhand derer sich das bilderzeugende Strahlenbündel zum Aufnahmezeitpunkt rekonstruieren lässt (DIN 18 716-1). Dazu müssen die Geometrie der Messkammer sowie Einflüsse auf den Strahlengang (z.B. im Objektiv) bekannt und numerisch definiert sein. Dies wird durch die regelmäßige *Kalibrierung*, d.h. die Vermessung jeder Messkamera und mit der Dokumentation der Messwerte im *Kalibrierprotokoll*, gewährleistet.

Wegen ihrer wesentlichen Bedeutung für die Qualitätsansprüche an Luftbilder im Rahmen photogrammetrischer Auswertungen werden zunächst die Grundlagen der inneren Orientierung skizziert, bevor auf weitere Eigenschaften und Anforderungen des Bildmaterials eingegangen wird.

Die Entwicklung digitaler Aufnahmesysteme für Luftbilder ist noch recht jung, und digitale Luftbildkameras haben erst in den letzten drei bis vier Jahren Marktreife erlangt (Boland 2004, S. 587). Daher ist die retrospektiv ausgerichtete Erfassung von Altlastverdachtsflächen bis heute auf die Verwendung analog aufgenommener Luftbilder beschränkt, die daher allein Gegenstand der weiteren Ausführungen sein werden.

5.1 Parameter der inneren Orientierung

Die innere Orientierung beschreibt die „Lage des Projektionszentrums relativ zum Bild durch zunächst 3 Größen: *Kammerkonstante* c und Lage des *Bildhauptpunktes* (x'_0, y'_0). Außerdem gehört dazu die Beschreibung der etwaigen Deformation des Strahlenbündels (Verzeichnung) durch weitere Parameter“ (Schwidersky & Ackermann 1976, S. 24). Bezugssystem für diese Angaben ist das *Rahmenkoordinatensystem* der Messkamera. Dessen Zentrum, der *Rahmenmittelpunkt* (M'), wird durch den Schnittpunkt der *Rahmenachsen* gebildet. Dies sind die Verbindungslinien gegenüberliegender *Rahmenmarken* (DIN 18 716-1, 6.4), die bei der Belichtung als Kontaktbilder in die Aufnahme übertragen werden (Finsterwalder & Hofmann 1968, S. 56). Hier definieren sie als *Bildmarken* die *Bildkoordinatenachsen*, deren Schnittpunkt den *Bildmittelpunkt* M' und damit den Ursprung des *Bildkoordinatensystems* definiert. Dieses stellt somit ein Abbild des Rahmenkoordinatensystems dar (Abbildung 5.1).

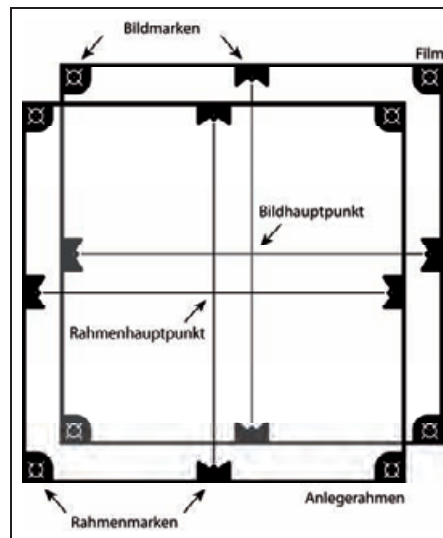


Abbildung 5.1: Rahmen und Bildkoordinatensystem

Der Bildhauptpunkt H' fällt nur im mathematisch-theoretischen Modell mit dem Bildmittelpunkt zusammen. *Verzeichnungen* im Objektiv und Abweichungen von der *Orthogonalität* zwischen der optischen Achse des Objektivs und der Bildebene erfordern die exakte Einmessung des Hauptpunktes. Der autokollimierte *Rahmenhauptpunkt* (H'), auch *Autokollimationspunkt* (englisch *Principal Point of Autocollimation*, PPA) genannt, gibt dabei die Koordinaten des Punktes an, an dem der senkrecht zur Rahmenebene ste-

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastver-dachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

hende *Hauptstrahl* (*Aufnahmeachse*) des Strahlenbündels aus dem sogenannten Ding- respektive Objektraum (vor dem Objektiv) die Rahmenebene schneidet (Finsterwalder & Hofmann 1968, S. 55, Kraus 2004, S. 48-50) (Abbildung 5.2).

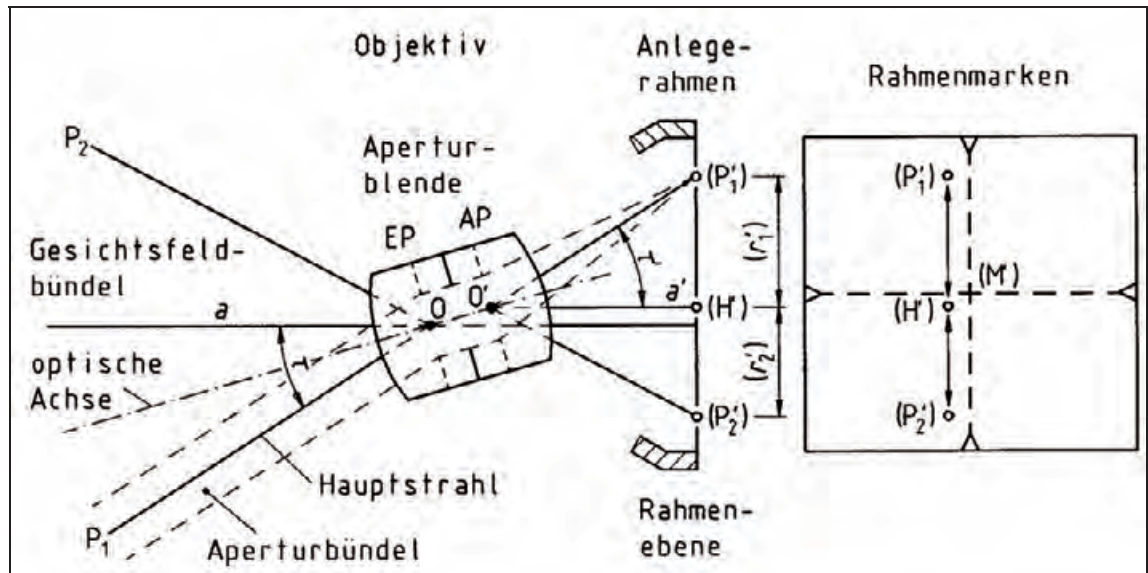


Abbildung 5.2: Bildhauptpunkt und Bildmittelpunkt

Der im Dingraum senkrecht auf die Rahmenebene gerichtete Strahl (a) wird im Objektiv durch die Punkte O und O' gelenkt und trifft im Rahmen- bzw. Bildhauptpunkt (H') auf die Rahmen- bzw. Bildebene. Dieser weicht in der Regel geringfügig vom Schnittpunkt der Verbindungslinien gegenüberliegender Rahmenmarken, dem Rahmen- bzw. Bildmittelpunkt (M'), ab.

Quelle: DIN 18 716-1, S. 7

Ein anderer Bezugspunkt ist der *Symmetrie(haupt)punkt* (S') (englisch *Principal Point of Symmetry*, PPS), der das gemessene Zentrum der *radialen Verzeichnung* des Objektivs definiert (Kraus 2004, S. 51). Diese beschreibt die radiale Komponente der in der Rahmenebene der Messkamera durch das Objektiv erzeugten Verzeichnung (Abbildung 5.3). Sie wird entlang der vier *Halbdiagonalen* in Abhängigkeit des Abstands zum Symmetriehauptpunkt bestimmt und teilweise gemittelt als Polynom dritter oder vierter Ordnung angegeben. Die *tangentiale Komponente* der Verzeichnungen ist immer asymmetrisch und kann jeweils als Polynom zweiter oder dritter Ordnung entlang jeder einzelnen Diagonale ausgedrückt werden (Boland 2004, S. 648) (Abbildung 5.4).

„Moderne photogrammetrische Objektive haben eine radiale Verzeichnung von $\pm 5 \mu\text{m}$, bei filmbasierten Luftbildmesskameras ist die radiale Verzeich-

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

nung sogar kleiner als $\pm 3 \mu\text{m}$. *Messaufnahmen mit alten Objektiven weisen radiale Verzeichnungen bis $30 \mu\text{m}$ auf*^a (Kraus 2004, S. 52 f.). Für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen aus historischen Luftbildern, insbesondere aus der Zeit des zweiten Weltkriegs, ist daher mit keinem besseren Auflösungsvermögen zu rechnen. Eher ist davon auszugehen, dass die schwierigen Rahmenbedingungen bei Aufnahme, Entwicklung und Überlieferung sich noch verschlechternd auf die Detailerkennbarkeit der Bilder auswirken.

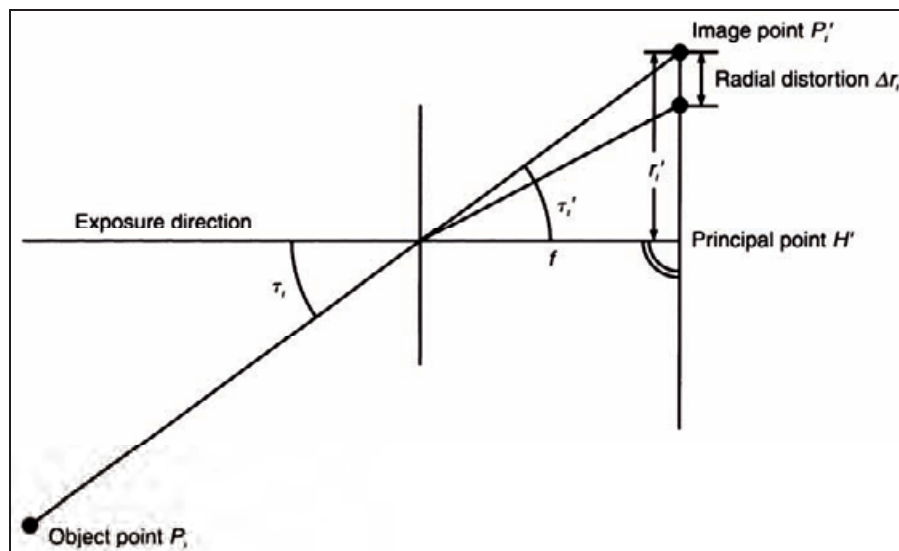


Abbildung 5.3: Radiale Verzeichnung

Durch das Objektiv tretende Lichtstrahlen werden aufgrund der Lichtbrechungen an den Übergängen Luft/Glas und Glas/Luft abgelenkt und treffen darum nicht einer Geraden folgend auf die Bildebene, sondern werden um den Betrag Δr zum Bildhauptpunkt hin versetzt.

Quelle: aus Konecny 2003, S. 45

Verzerrungen aufgrund von Deformationen des Bildmaterials können durch die Kalibrierung nicht erfasst werden, da sie für jede einzelne Aufnahme unterschiedlich sein können und primär nicht von der Messkammer, sondern vom Film, von den Transport- und Lagerbedingungen sowie möglichen Kopiervorgängen beeinflusst werden. Letztendlich führen diese Fehler zu Abweichungen zwischen Rahmen- und Bildkoordinatensystem, deren regelmäßige Komponenten später im Rahmen der Transformation von Bild- in Rahmenkoordinaten korrigiert werden (Kraus 2004, S. 76 f.).

Auf welchen Ursprung sich die Angaben von Koordinaten für Hauptpunkte, Rahmenmarken und Verzeichnungen im Kalibrierprotokoll beziehen, ist unterschiedlich und wird im jeweiligen Dokument angegeben.

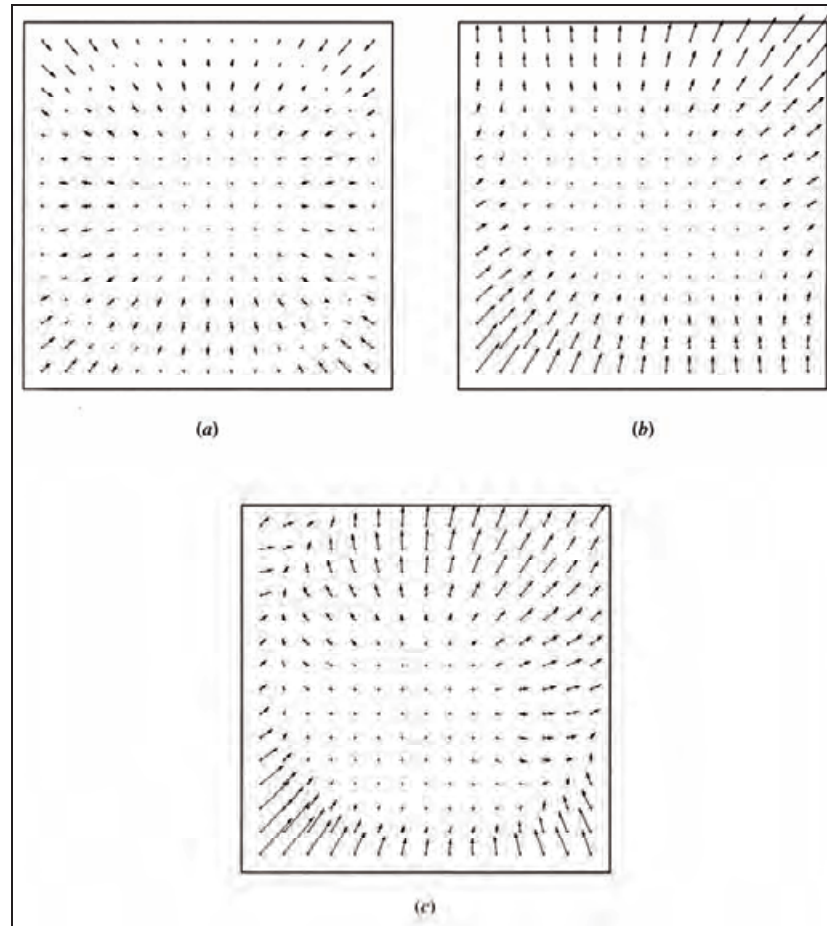


Abbildung 5.4: Typische Verzeichnungsmuster (stark überzeichnet)

(a) *radiale Objektiverzeichnung*

(b) *unzentrierte Objektiverzeichnung*: verbleibende Verzeichnung nach Kompensation der radialen Objektiverzeichnung, bestehend aus *asymmetrischer radialer* und *tangentialer Verzeichnung*

(c) *gemischte radiale und unzentrierte Objektiverzeichnung*

Quelle: Wolf & Dewitt 2000, S. 65

5.2 Voraussetzungen für Messbilder

Streng genommen kann ein Luftbild nur dann als Messbild gelten, wenn es Bildmarken enthält und dazu ein Kalibrierprotokoll mit den erforderlichen Informationen über die Innere Orientierung der Messkammer vorliegt. Diese umfassen nach DIN 18 716-1, 6.6.10

- die Rahmenkoordinaten des Bildhauptpunktes und
- ggf. des Symmetriehauptpunktes,
- die Kammerkonstante und
- Angaben zur radialen Objektiverzeichnung.

Ferner müssen die Koordinaten der Rahmenmarken der Messkammer bekannt sein, um eine Beziehung zwischen Bild- und Rahmenkoordinaten herstellen zu können (Kraus 2004, S. 76 f.). Für die Zuordnung des Kalibrier-

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

protokolls zu den Luftbildern ist in der Regel die Bezeichnung der Messkammer oder des Objektivs im Bildrahmen enthalten (Abbildung 5.5 bis 5.7.).

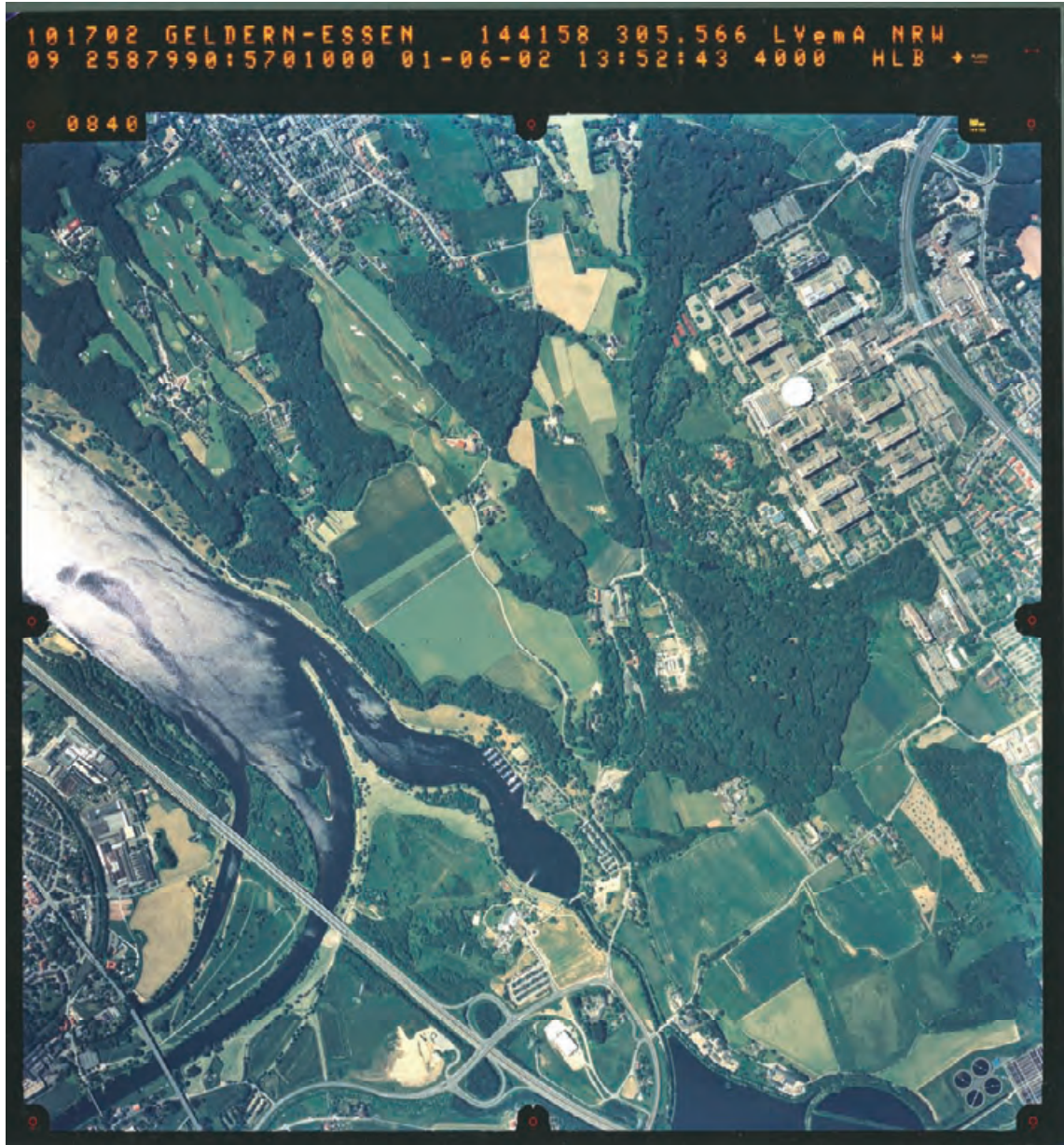


Abbildung 5.5: Typisches analoges Reihenmessbild mit Randangaben

101702 Geldern Essen	: Flugnummer und -bezeichnung
144158	: Kameranummer
305.566	: Kammerkonstante
LVerMA NRW	: Auftraggeber (Landesvermessungsamt NRW)
09	: Flugstreifennummer
2587990:5701000	: Rechts- und Hochwert der Mittelpunktkoordinaten
01-06-02 12:52:43	: Befliegungsdatum und -zeit
4000	: nominelle Flughöhe
0840	: Bildnummer

Quelle: LVerMA NRW

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

CAMERA TYPE: RMK TOP 30

SERIAL NO. 144158

LENS TYPE: TOPAR A3

SERIAL NO. 144179

MAX.APERTURE: F/5.6

NOM. FOCAL LENGTH: 305 MM

1) CALIBRATED FOCAL LENGTH = 305.566 MM

2) DISTORTION /0.001 MM, REFERRING TO P.P. OF SYMMETRY PPS

S/MM= 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150

5 0 1 1 0 0 -1 -1 0 0 0 -1 -1 -1 -1 -1 4

6 0 0 0 -1 -1 -1 -1 0 -1 -1 -2 -1 -1 -2 1 5

7 0 0 0 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 0 -3 -1 2 5

8 0 0 0 -1 0 -1 -1 -1 0 0 -1 0 -1 -2 1 5

AV. 0 1 0 0 0 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 1 5

3) P.P. OF AUTOCOLLIMATION AND FIDUCIAL CENTRE, REFERRING TO PPS

P.P. OF AUTOCOLLIMATION PPA X= 0.010 Y= 0.001 MM

FIDUCIAL CENTRE FC X= 0.014 Y= -0.010 MM

CORNER FIDUCIAL CENTRE FCC X= 0.021 Y= -0.019 MM

4) FIDUCIAL MARKS, REFERRING TO PPS

X1= 113.006 X2=-112.982 X3= 0.015 X4= 0.012 MM

Y1= -0.008 Y2= -0.011 Y3= 112.999 Y4=-113.015 MM

DISTANCES 1-2= 225.988 3-4= 226.013 MM

X5= 113.024 X6=-112.980 X7=-112.978 X8= 112.999 MM

Y5= 112.984 Y6=-113.020 Y7= 112.991 Y8=-113.010 MM

Abbildung 5.6: Kalibrierprotokoll zu Abbildung 5.5 – Parameter der inneren Orientierung

- 1) Kammerkonstante
- 2) Radiale Verzeichnung in μm nach Entfernung vom Symmetriehauptpunkt (Principal Point of Symmetry, PPS) in mm (S/MM) entlang der Bilddiagonalen vom PPS zu den Rahmenmarken 5, 6, 7 und 8 (vgl. Abbildung 5.7) und gemittelt (AV.)
- 3) Koordinaten des Bildhauptpunktes (Principal Point of Autocollimation, PPA) und des Bildmittelpunktes bezogen auf den Symmetriehauptpunkt. Der Bildmittelpunkt kann dabei auf zweierlei Weise konstruiert werden: Zum einen als Schnittpunkt der Verbindungslinien von den Rahmenmarken 1 - 4 (vgl. Abbildung 5.7) an den Bildkanten (Fiducial Centre, FC) und zum anderen als Schnittpunkt der Verbindungslinien von den Rahmenmarken 5 - 8 (vgl. Abbildung 5.7) in den Bildecken (Corner Fiducial Centre, FCC)
- 4) Koordinaten der Rahmenmarken 1 - 8 (vgl. Abbildung 5.7) bezogen auf den Symmetriehauptpunkt

Quelle: DKD 2001

5.3 Auflösungsvermögen historischer Luftbilder

Neben den geschilderten, für die photogrammetrische Verarbeitung von Luftbildern unabdingbaren Eigenschaften des Bildmaterials bezüglich der Aufnahmegeometrie ist die Detailerkennbarkeit in den Bildern von zentraler Bedeutung: Sie ist für die erfolgreiche Identifikation und Kartierung von Objekten ebenso entscheidend wie für die exakte Platzierung von Passpunkten im Rahmen der Aerotriangulation. Somit hat sie auch einen direkten Einfluss auf die geometrische Genauigkeit der Bildauswertung. Die Detailerkennbar-

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

keit selbst ergibt sich aus der Auflösung der Aufnahmen, die von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird.

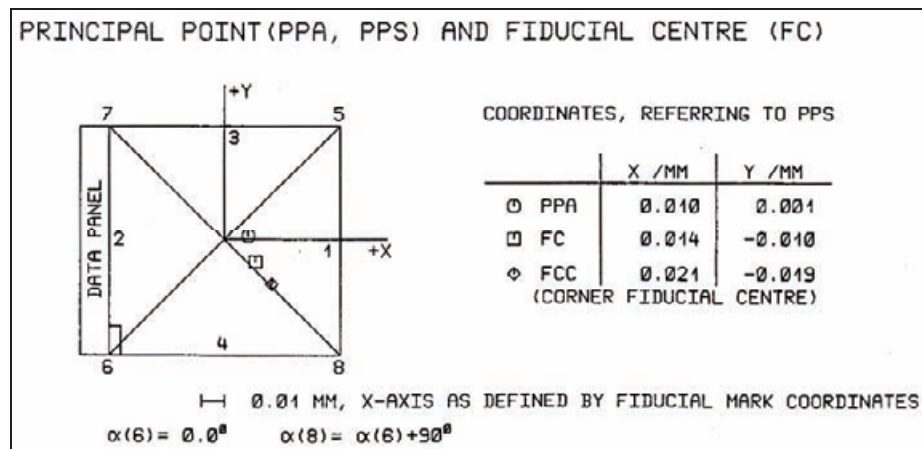


Abbildung 5.7: Kalibrierprotokoll zu Abbildung 5.5 – Lage des Koordinatensystems im Bild und Nummerierung der Rahmenmarken

Die Schemaskizze eines Luftbildes der kalibrierten Kamera verdeutlicht die Lage der einzelnen Bildelemente: Rahmenmarken (1 - 8), Koordinatensystem (+X, +Y) und Mittelpunkte (PPA, FC, FCC). Zur Orientierung werden die Leiste mit den Randangaben (data panel) sowie der Bildzähler (Rechteck bei Rahmenmarke 6) dargestellt
Quelle: DKD 2001

Bei Fernerkundungsprodukten wird bekanntlich zwischen der *räumlich-geometrischen*, der *radiometrischen* und der *spektralen Auflösung* unterschieden (vgl. hier und zum Folgenden Campbell 2002, S. 272 ff.). Während die räumliche Auflösung eine Aussage über kleinste differenziert dargestellte Details im Bild zulässt, beschreibt die radiometrische Auflösung die Anzahl der Intervalle anhand derer die Intensität des in den Sensor einfallenden Lichtes aufgezeichnet wird. Von dieser sind demnach die kleinsten differenzierbaren Helligkeitsunterschiede im Bild abhängig. Die spektrale Auflösung beschreibt die Anzahl und Breite der Frequenz- bzw. Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums, auf deren Energie der Sensor reagiert (Albertz 2001, S. 83; DIN 18 716-3, 5.2). Bei Filmen der analogen Luftbildphotographie wird hier gewöhnlich zwischen *panchromatischen*, *infrarotempfindlichen* und *Farb-Filmen* unterschieden (Albertz 2001, S. 30).

Da bei fotografisch aufgenommenen Bildern die Lichtintensität kontinuierlich und nicht in Stufen – wie bei digitalen Sensoren – aufgezeichnet wird, muss die radiometrische Auflösung hier als die Charakteristik der *Gradations-* bzw. *Schwärzungskurve* des jeweiligen Filmes oder Bildes verstanden werden. Sie ist ein Maß für den Kontrast bzw. die Härte eines Bildes und wird

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastver-dachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

durch den sogenannten *Gammawert* beschrieben (Wolf & Dewitt 2000, S. 30 f.). Erst wenn analoge Bilder digitalisiert – also gescannt – werden, erfolgt eine Quantisierung, d.h. eine Zerlegung des kontinuierlichen Grauwertspektrums in einzelne Graustufen (vgl. Luhmann 2003, S. 199). Die Lichtempfindlichkeit von Filmen wird durch Größe und Anzahl der Silberhalogenidkristalle in der lichtempfindlichen Emulsion – die *Körnung* – bestimmt: Eine gröbere Körnung mit weniger, aber größeren Kristallen bedeutet eine höhere *Lichtempfindlichkeit* als eine feine Körnung mit vielen kleinen Kristallen (Wolf & Dewitt 2000, S. 31).

Während sich die geometrische bzw. räumliche Auflösung bei digitalen Bildern aus dem Äquivalent der Größe eines Bildelements in der Natur ergibt (Richards & Xiuping 2006, S. 3), hängt das *Auflösevermögen* (engl. *resolving power*) bei fotografischen Filmen von der Körnung ab und verhält sich gegenüber der Lichtempfindlichkeit umgekehrt proportional zur Korngröße. Es wird als größte Anzahl noch zu differenzierender gleichbreiter schwarzer und weißer Linien in *Linien(paaren) pro Millimeter (lp/mm)*: weiße und schwarze Linien bzw. *L/mm*: nur schwarze Linien) anhand von Testmustern gemessen (Luhmann 2003, S. 135 f.) (Abbildung 5.8).

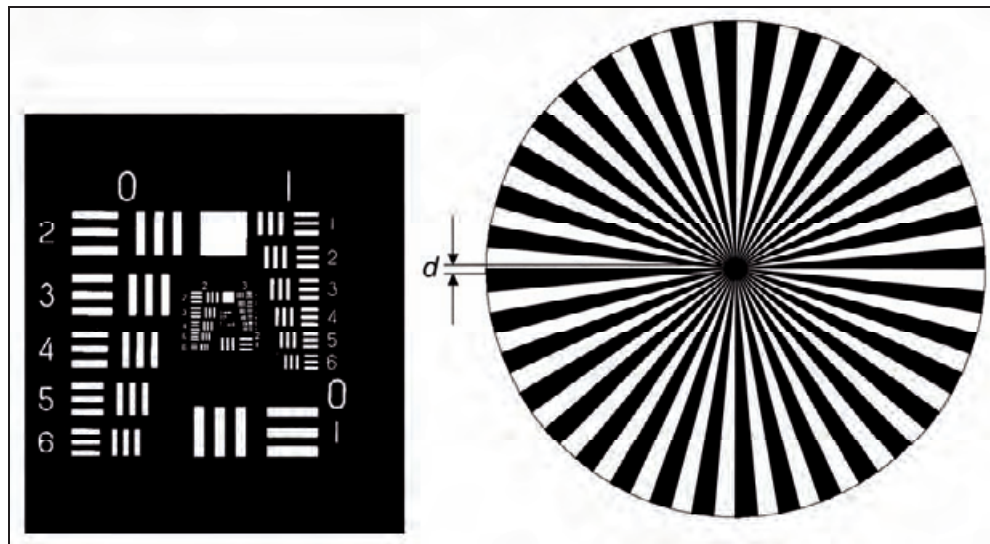


Abbildung 5.8: Linientafel und Siemensstern zur Bestimmung des Auflösungsvermögens von fotografischem Film

„Die Messung des Auflösungsvermögens erfolgt über die Abbildung eines Testmusters (Balkenmuster), dessen verschiedene Ortsfrequenzen bekannt sind. Im Beispiel des abgebildeten Siemenssternes mit 72 Sektoren (36 Sektorenpaare) ergibt sich das maximale Auflösungsvermögen aus der Anzahl der Sektoren(paare) bezogen auf den Umfang des inneren, nicht mehr aufgelösten Unschärfekreises“

Quelle: Luhmann 2003, S. 136

Die Detailerkennbarkeit im Luftbild ist jedoch nicht nur vom Auflösungsvermögen des Filmes abhängig. Sie unterliegt maßgeblich auch den Einflüssen der Kameraoptik (z.B. durch die winkelabhängige sphärische und chromatische Abberation [Kraus 2004, S. 67] sowie die Blendenöffnung) und der sogenannten *Bildwanderung* durch die Vorwärtsbewegung der Aufnahmeplattform. Das „totale Auflösungsvermögen“ unterliegt also dem Auflösungsvermögen der Filmemulsion und dem des optischen Systems (Meier 1984, S. 143 ff.) sowie dem Einfluss durch die Bewegung des Sensors über dem aufgenommenen Gelände.

Die Aussage des durch Testtafeln ermittelten Auflösungsvermögens eines fotografischen Aufnahmesystems in lp/mm beschränkt sich auf die Wahrnehmungsgrenze kleinster Details. Dabei wird diese Grenze visuell, d.h. subjektiv gemessen und ist vom Kontrast des Testmusters abhängig (Albertz 2001, S. 85; Luhmann 2003, S.135 f.). Ferner ist die Beurteilung von Helligkeitsunterschieden in der Aufnahme eines optisch-fotografischen Systems neben dem Abstand der Strukturen – der *Ortsfrequenz* (Kraus 2004, S. 71) – auch von deren Form und Helligkeitsunterschied respektive ihrem *Objekt-kontrast* (Kraus 2004, S. 70) in der Natur und den daraus resultierenden Schwärzungen im Bild abhängig. Allen diesen Einflüssen trägt die *Modulations-Übertragungs-Funktion* (MÜF) bzw. engl. *Modular Transfer Function* (MTF) Rechnung. Sie stellt die Wiedergabequalität der Objektkontraste im Bild (den *Bildkontrast*) in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz der Objektkontraste in L/mm dar (Schwidefsky & Ackermann 1976, S. 51) (Abbildung 5.9). Da die MTF messtechnisch durch Mikrodensitometermessungen ermittelt wird, ist sie im Gegensatz zum Auflösungsvermögen ein objektives Maß für die Detailerkennbarkeit von Objekten im Luftbild. Ferner können die MTFs der unterschiedlichen Komponenten für die Bildqualität (optisches System, Film und Bildwanderung) einzeln bestimmt und zu einer umfassenden MTF für das Aufnahmesystem zusammengefasst werden (Graham et al., S. 531) (Abbildung 5.10).

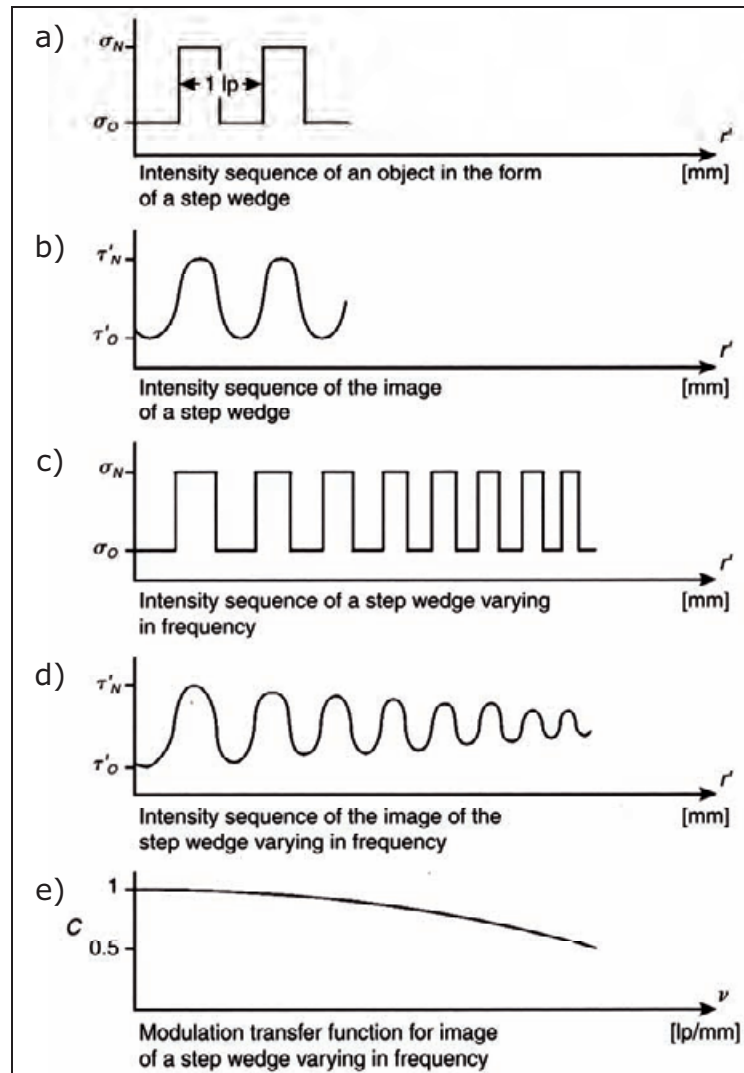


Abbildung 5.9: Modulation Transfer Function

- a) Sequenz heller (σ_N) und dunkler (σ_O) Reflexionen an einem Objekt mit gleichbleibender Ortsfrequenz
- b) Aus a) resultierende Transparenz τ_O und τ_N im Bild:
Die Schärfe der Helligkeitsänderungen am Objekt wird abgeschwächt im Bild wiedergegeben.
- c) Sequenz heller (σ_N) und dunkler (σ_O) Reflexionen an einem Objekt mit ansteigender Ortsfrequenz
- d) Aus c) resultierende Transparenz τ_O und τ_N im Bild:
Mit zunehmender Ortsfrequenz der Helligkeitsunterschiede am Objekt verringern sich die entsprechenden Transparenzunterschiede im Bild.
- e) Die *Modulation Transfer Function* beschreibt die frequenzabhängige Veränderung des Kontrastes C in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz ν .

Quelle: Konecny 2003, S. 39

Neben den messbildtypischen Daten sind für die Auswertung weitere Meta-informationen erforderlich, die Voraussetzung für die effiziente Verwendung der Bilder sind. Dazu zählen neben Aufnahmezeit und -datum auch die Flughöhe, die Flug-/Auftrags- bzw. bei Kriegsluftbildern die Missionsnummer und günstigstenfalls die Auslöseposition jedes Bildes. Diese werden zusam-

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastver- dachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

men mit Bildnummer und Kammerkonstante in der Bildrandleiste jeder Aufnahme abgebildet. Auslöseposition und -lage des Flugzeugs können bei aktuellen Befliegungen per GPS und IMU (Inertial Measurement Unit) bzw. INS (Inertial Navigation System) erfasst werden (Kraus 2004, S. 163 ff.) und liegen ggf. als Datensatz zu der entsprechenden Befliegung vor.

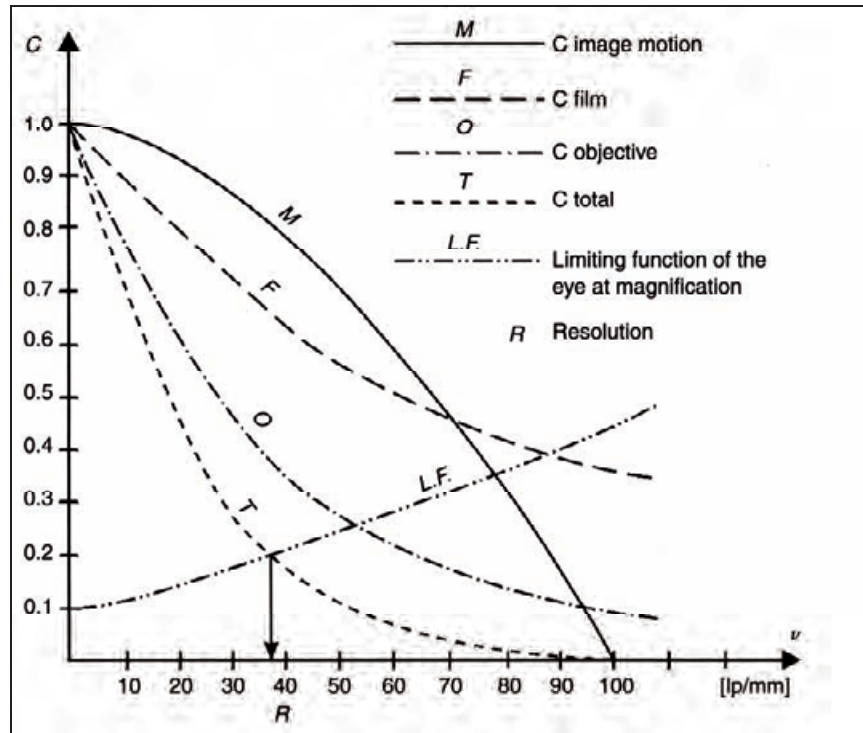


Abbildung 5.10: Komponenten der Modulations-Übertragungs-Funktion eines Luftbildsystems

M : Bildwanderung, F : Film, O : Objektiv, T : MTF des gesamten Systems, C : Kontrast, v : Ortsfrequenz

Quelle: Konecny 2003, S. 40

5.4 Qualitätsspektrum verfügbarer Luftbilder

Die für die historische Recherche verfügbaren Bilder werden in sehr unterschiedlichem Maße dem Ideal des oben beschriebenen Messbildes gerecht. Einerseits unterscheiden sich ihre Bildqualität in radiometrischer und geometrischer Hinsicht sowie ihre Detailerkennbarkeit erheblich, und andererseits sind Umfang und Verfügbarkeit von Metadaten vielfältig ausgeprägt. Generell lässt sich eine grobe Unterscheidung in zwei Gruppen vornehmen:

- nach dem 2. Weltkrieg von Befliegungsfirmen oder Landesvermessungsverwaltungen aufgenommene zivile Reihenmessbilder,

- Kriegluftebilder der Alliierten aus dem 2. Weltkrieg und wenige Jahre danach (in NRW stammen diese vornehmlich vom britischen und amerikanischen Militär).

5.4.1 Zivile Reihenmessbilder

Bilder aus der jüngeren Vergangenheit, die nach den Vorgaben der DIN beauftragt und aufgenommen wurden, erfüllen die vorgenannten Anforderungen an Messbilder umfassend. Dazu zählen beispielsweise auch die von den Vermessungsverwaltungen der Länder für die Fortführung topographischer Kartenwerke regelmäßig aufgenommenen und archivierten Luftbilder. Dabei handelt es sich spektral zunächst um panchromatische Aufnahmen. Farbbilder sind beispielsweise in NRW seit 1998 verfügbar (LVermA 2007, [31.12.2007]).

Praktische Erfahrungen zeigen, dass die Bilder oft ohne Kalibrierprotokoll geliefert werden, weil es für den Lieferanten entgegen der DIN entweder nicht üblich ist, das Protokoll mitzuliefern, oder das Kalibrierprotokoll nicht archiviert wurde. Von einigen Befliegungsfirmen wird es jedoch auf Anfrage zur Verfügung gestellt, wobei andere Firmen die Kalibrierprotokolle abgeschlossener Aufträge nicht archivieren. Unter Umständen kann es vom ausführenden Kalibrierdienst oder der zuständigen Landesvermessungsbehörde beschafft werden. Dazu ist es erforderlich, zumindest die Befliegungsfirma und die Kamera- bzw. Objektivbezeichnung zu kennen (Geosystems 2001, S. 17). Hinweise darauf finden sich oft in den Bildrandangaben, sofern diese beim Kopieren oder Scannen nicht abgeschnitten oder ausgelassen wurden. Hier helfen entsprechende Metadaten zu den Flugmissionen weiter, sofern sie vom Archiv bereitgestellt werden (können). Diese liegen zumeist in der Form von grafischen Bildflugübersichten oder tabellarisch vor. Schwieriger wird es, wenn die ausführende Befliegungsfirma nicht mehr existiert und ungeklärt ist, ob und wo die Unterlagen nun zu finden sind.

Die radiometrische Qualität von Reihenmessbildern aus zivilen Quellen ist in der Regel sehr gut, da sie gewöhnlich nur bei entsprechend wolkenfreien Wetterlagen und zu geeigneten Uhrzeiten aufgenommen werden und wurden (Hildebrandt 1996, S. 125 ff.). Das Auflösungsvermögen moderner Filme liegt bei geringem Objektkontrast zwischen 40 und 250 lp/mm und kann bei hohem Objektkontrast um das Zwei- bis Dreifache höher sein (Kraus 2004,

S. 96 und S. 99). Ebenfalls kann erwartet werden, dass das eingesetzte Filmmaterial sowie dessen Entwicklung und Vervielfältigung den Standardbedingungen für Reihenmessbilder gerecht werden. Demnach liefern solche Luftbilder auch eine hinreichend hohe geometrische Qualität für die Verarbeitung in photogrammetrischen Systemen. Für die Messgenauigkeit ergeben sich hier nur Einschränkungen, wenn nicht unmittelbar mit dem Film gearbeitet wird, sondern Kontaktkopien eingesetzt werden (müssen). In solchen Fällen bestimmen letztendlich die eingesetzten Mittel sowie die Sorgfalt und Kompetenz des Operators beim Kopiervorgang die geometrische Qualität sowie die radiometrische und räumliche Auflösung der Bilder.

5.4.2 Kriegsluftbilder

Luftbilder wurden bereits im 1. Weltkrieg von Ballonen aus zur Truppenbeobachtung eingesetzt (von Hoepfner 1921). Insbesondere gegen Ende des 2. Weltkriegs waren sie ein bedeutendes taktisches wie strategisches Instrument. Sie dienten zur Beobachtung feindlicher Truppenbewegungen, zur Planung von Angriffen für die gezielte Zerstörung bedeutender Einrichtungen und Anlagen aus der Luft sowie die anschließende Schadens- und Effektivitätskontrolle (umfangreiche Schilderungen hierzu finden sich in Stanley 1981; Babington Smith 1985; Keen 1996 und Leaf 1997). Entsprechend hoch ist die Zahl der aufgenommenen Bilder, die heute in verschiedenen Archiven entweder bei den Alliierten oder auch in Deutschland bzw. in Nachbarländern lagern. Allein für das Bundesland NRW sind rund 300.000 Luftbilder katalogisiert. Die Anzahl tatsächlich aufgenommener Bilder lässt sich nur erahnen, wobei heute nicht mehr alle Bilder verfügbar sind. Umfassende Informationen hierzu sind für NRW in LUA 2006 nachzulesen.

Die jeweilige Aufnahmetechnik und die Flugbedingungen, unter denen die Aufnahmen gemacht wurden, sowie die anschließende Verarbeitung (Entwicklung, Vervielfältigung und Lagerung) der Kriegsluftbilder unterscheiden sie in unterschiedlichem Maße von den heute üblichen Reihenmessbildern (vgl. DIN 18 740). Generell entsprachen die eingesetzten Kameras und Filme technisch nicht den heutigen Standards für die Erstellung von Messbildern, und bei der Aufnahme konnte auf die Wetterlage (Keen, 1996, S. 209) sowie die Orientierung der Aufnahmeplattform nur bedingt Rück-

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

sicht genommen werden. Zum einen war es durch die Flugbedingungen oft nicht möglich, die Aufnahmeplattform neigungsfrei zu halten. So zum Beispiel, wenn die Flugzeuge nur für die Aufnahme bestimmter Geländeausschnitte unter Wolken ihre Flughöhe außerhalb der Reichweite der Flugabwehr verließen, um dann sofort wieder dorthin aufzusteigen (Babington Smith 1985, S. 45) oder wenn feindliche Gegenwehr den Piloten zum Verlassen seiner Bildflugroute zwangen (Abbildung 5.11).

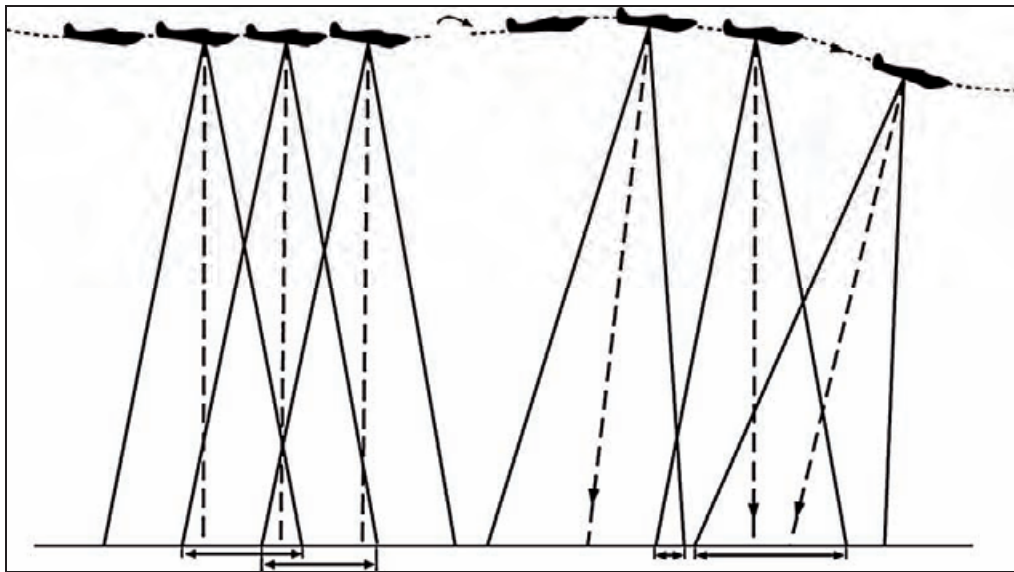


Abbildung 5.11: Auswirkungen wechselnder Flughöhen innerhalb eines Bildstreifens

Die Abbildung verdeutlicht die Auswirkungen eines Wechsels der Flughöhen im Verlauf der Aufnahme eines Bildstreifens. Bei konstanter Flughöhe werden die Luftbilder mit „normaler“ Längsüberdeckung und einem Überdeckungsbereich aufeinander folgender Bilder von mindestens 60% aufgenommen (in der Abbildung links); zudem bleibt der Aufnahmemaßstab – ebenes Gelände vorausgesetzt – gleich. Wenn sich die Flughöhe ändert, ändert sich auch die Längsüberdeckung und damit der gemeinsame Überdeckungsbereich der „Stereopartner“ im Bildstreifen (in der Abbildung rechts); ebenso verändert sich der Maßstab.

nach Stanley 1981

Zum anderen wurden Kamerakonfigurationen verwendet, bei denen durch die Anordnung der jeweiligen Kamera die Bilder ohnehin leicht geneigt aufgenommen wurden (Split-Verticals) (Dech 1993, S. 78) (Abbildung 5.12 und 5.13).

Das primäre Interesse bei Aufklärungskameras und -filmen war es, bei hohen Fluggeschwindigkeiten ein Maximum an Detailerkennbarkeit zu erzielen. Geometrische Belange waren dabei zweitrangig. Zu diesem Zweck wurden

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastver- dachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

die Kameras z.B. mit Hochleistungsobjektiven, robusten *Schlitzverschlüssen* sowie Vorrichtungen zum Bildwanderungsausgleich (*image motion compensation*, IMC bzw. *forward motion compensation*, FMC) ausgestattet. Schlitzverschlüsse und IMC wirken sich jedoch negativ auf die geometrische Genauigkeit der aufgenommenen Bilder aus (El Hassan 1982, S. 591; Wolf & Dewitt 2000, S. 60). Ferner besitzen die Bilder aus Aufklärungskameras oft nur eingeschränkt nutzbare Rahmenmarken – sofern diese überhaupt zu finden sind (Abbildung 5.14). Angaben zur Inneren Orientierung sind – abgesehen von nominellen Brennweiten (Abbildung 5.15) – in der Regel nicht verfügbar.

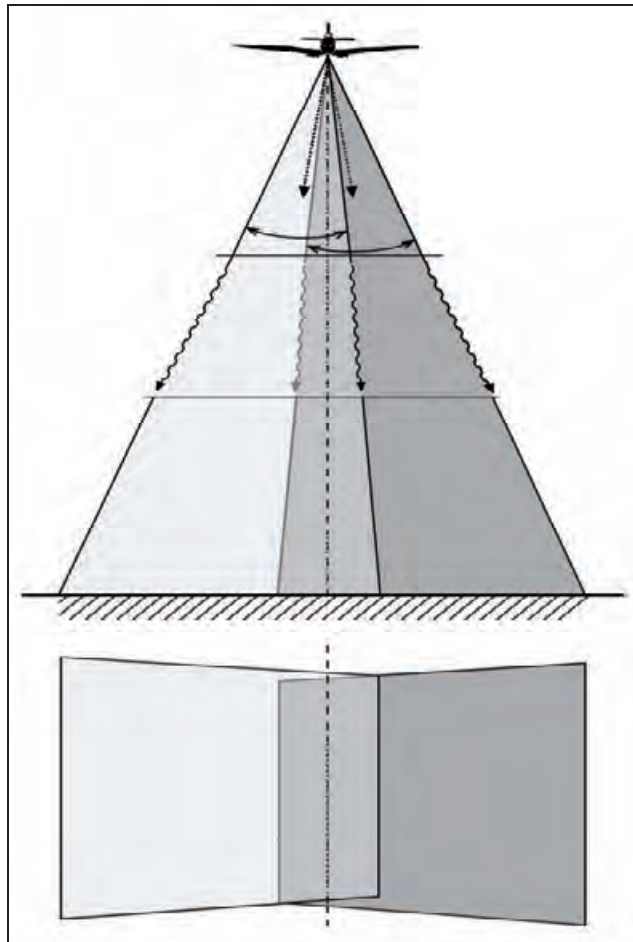


Abbildung 5.12: Aufnahmeconfiguration divergenter Senkrechtbilder (*split verticals*)

Bei der Aufnahme von Divergentaufnahmen (Split Vertical) wurden zwei Kameras in den Rumpf des Flugzeuges montiert, deren Aufnahmeachsen derart geneigt waren, dass sie zwei geringfügig überlappende Flugstreifen synchron aufnehmen konnten. Aus der quadratischen Aufnahmefläche des tatsächlichen Senkrechtbildes wird dabei ein jeweils trapezförmiges Areal – mit gleitender Abnahme des Maßstabs (grob) senkrecht zur Fluglinie und entsprechenden Punktverlagerungen.

Quelle: LUA NRW 2006, S. 50

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastver-dachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

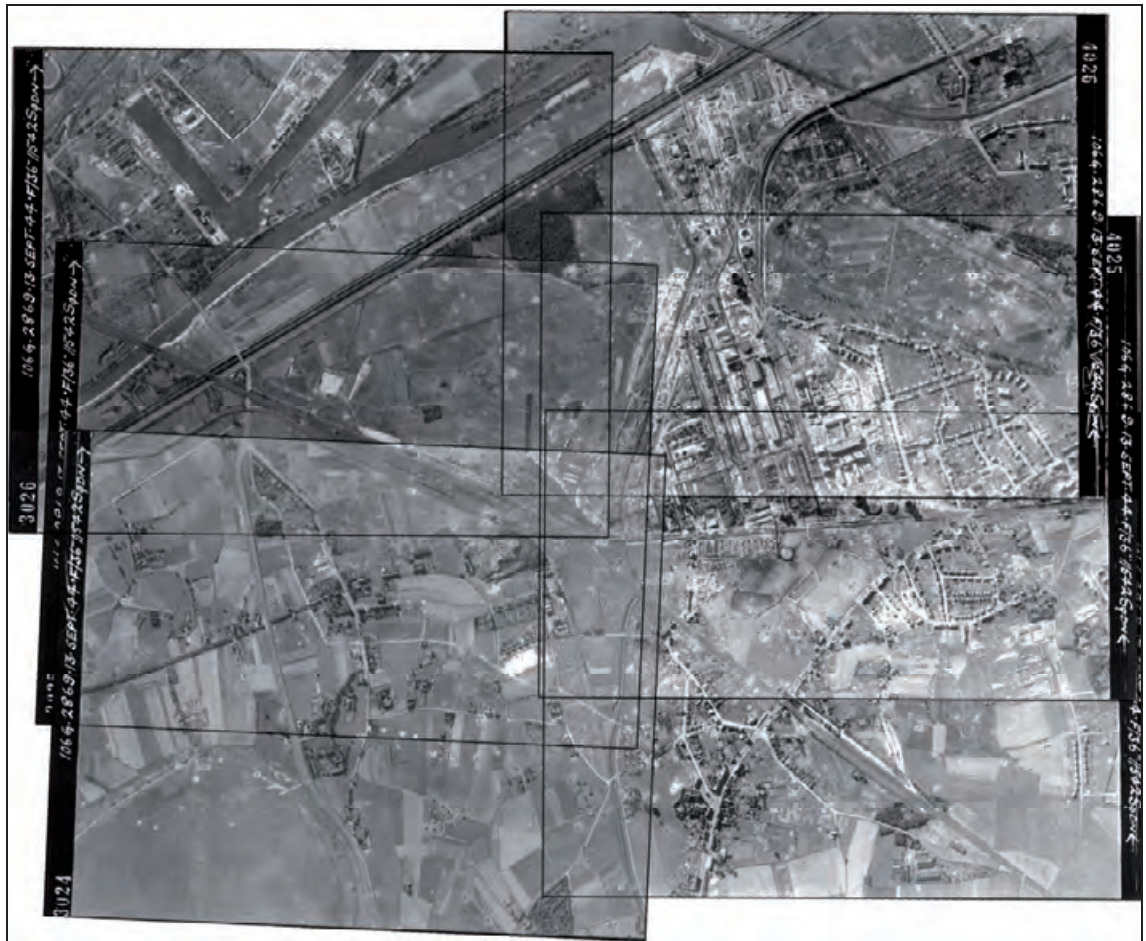


Abbildung 5.13: Luftbild-Mosaik aus einem *split vertical*-Aufnahmestreifen
Um einen möglichst plastisch-anschaulichen Eindruck zu erzielen, ist das Bildmosaik nicht eingenordet, sondern (grob) „eingesüdet“. Im oberen Teil (= Süden) ist der Rhein-Herne-Kanal mit zwei Hafenbecken zu erkennen. Bei dem Industriekomplex (im Bild rechts) handelt es sich um die Anlagen des Kohlehydrierwerks der Gelsenberg Benzin AG mit der Steinkohlenzeche Nordstern III in Gelsenkirchen-Buer; südwestlich davon ist die Trabrennbahn zu erkennen; die Nordost-Ecke schneidet ein Flugplatzgelände an.

Die Flugrichtung war Nord-Süd (s. Richtungspfeile auf den Bildrandleisten der Bilder), Aufnahmedatum der 13. September 1944; die beiden Kameras hatten 36 *inch*-Brennweiten. Die Einzelbilder des Mosaiks aus je drei geometrisch nicht korrigierten Backbord- und Steuerbord-Bildern (3024 – 3026 bzw. 4024 - 4026) sind durch Rahmen markiert, um die Längsüberdeckung in Flugrichtung und die *split vertical*-typische „Querüberdeckung“ im Nadirbereich der Flugtrasse zu verdeutlichen.

Zugleich vermittelt das Bild einen Eindruck der aus den verschiedenen Flugzeugbewegungen resultierenden Verzerrungen (s. dazu im Einzelnen Abbildung 4.2).

Quelle: LUA NRW 2006, S. 50

Die Leistungsfähigkeit der eingesetzten panchromatischen Filme und Objektive kann für die damalige Zeit zwar als hoch angesehen werden. Im Vergleich mit der Detailerkennbarkeit, die mit moderner Aufnahmetechnik erzielt wird, ist sie dagegen deutlich unterlegen (Kraus 2004, S. 52 f.). Angaben zum Auflösungsvermögen von Aufklärungskameras und -filmen sind in der

Literatur nicht zu finden. Somit kann das vorliegende Bildmaterial lediglich einen Eindruck davon geben. Dessen Qualität ist jedoch auch maßgeblich von Entwicklungs- und Kopierprozessen geprägt. Diese fanden nicht immer unter idealen Bedingungen statt, so dass dabei auftretende Überlieferungsbedingte Beeinträchtigungen sich ebenso gravierend auswirken können wie die durch das Aufnahmesystem bedingten Einschränkungen auf die geometrische Bildqualität sowie die radiometrische und räumliche Auflösung.

So führt die teils ungeklärte und stellenweise unsachgemäße Behandlung der Bilder z.B. aufgrund von Zeitdruck oder nicht immer idealen Abläufen in mobilen Feldlaboren (Babington Smith 1981, S. 48 ff.; Stanley 1981, S. 36, S. 221 ff.) zu Qualitätseinschränkungen und Informationsverlusten: z.B. durch Unter- oder Überbelichtungen, falsche Temperatur oder Dauer sowie versehentlichen Lichteinfluss bei der Entwicklung (Stanley 1981, S. 225), ungleichmäßige Ausleuchtung, unscharfe Reproduktion oder Deformationen des Trägermaterials aufgrund starker Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchte bei der Lagerung oder bei Transporten. Zudem wurden viele der Originalfilme auf Nitratbasis wegen ihres hohen Selbstentzündungsrisikos bereits vernichtet und Duplikatfilme von Kontaktkopien erstellt, von denen dann weitere Generationen an Kontaktkopien angefertigt wurden. Die genauen Ursachen sind im Einzelnen jedoch teilweise nicht oder nur schwer nachvollziehbar.

Neben den Einflüssen durch das jeweilige Aufnahmesystem und die Überlieferungsgeschichte auf die Qualität von Aufklärungsbildern führen teilweise auch die Umgebungsbedingungen während der Aufnahme zu Beeinträchtigungen der Auswertbarkeit: So sind lange Schatten durch einen tiefen Sonnenstand, Wolken, Dunst und Rauchsäulen Faktoren, die sich negativ auf die Detailerkennbarkeit in den Bildern auswirken oder auch die Inhalte ganzer Bereiche davon komplett verbergen.

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

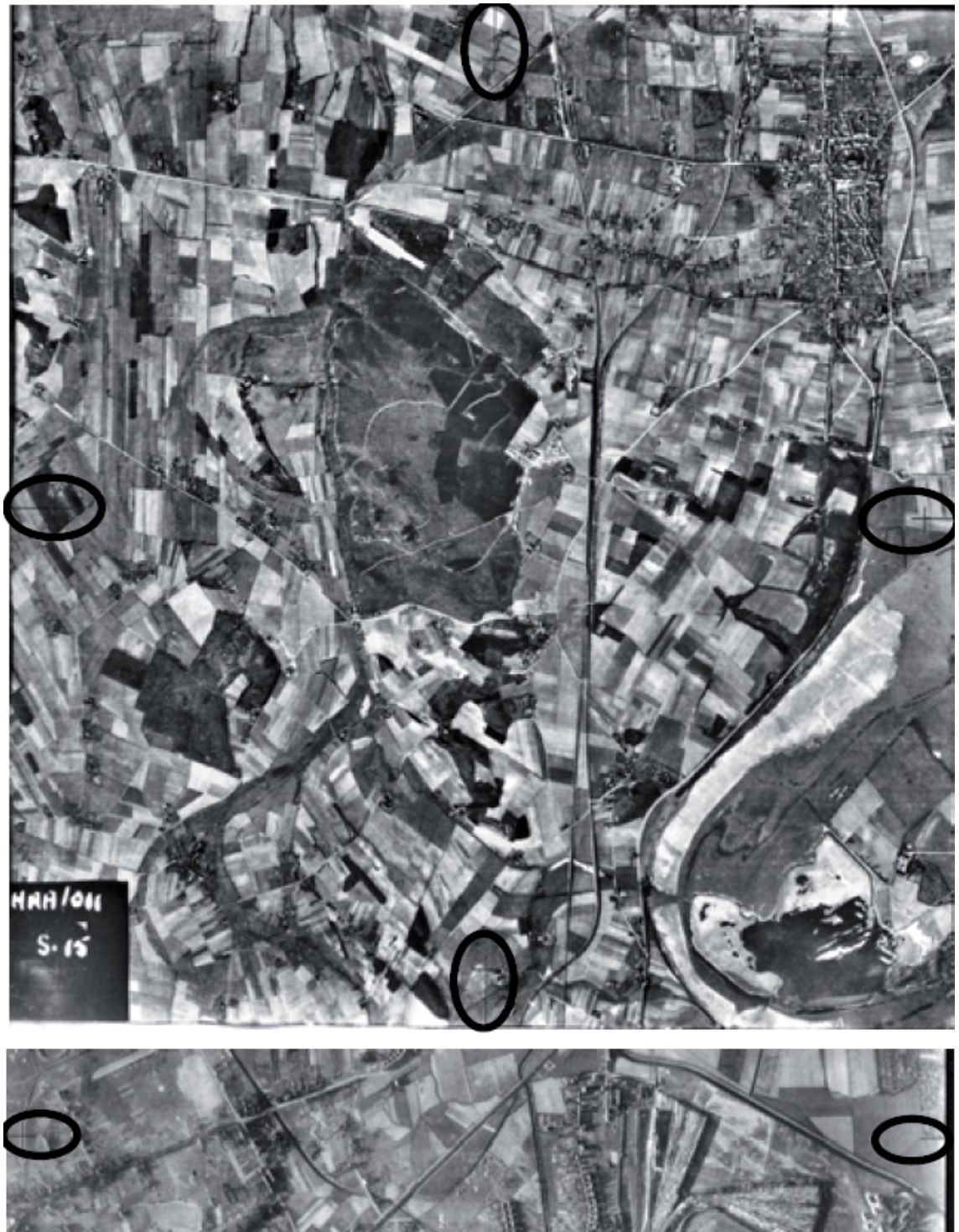


Abbildung 5.14: Rahmenmarken

Im Bild oben (Flugnummer HAA/011, Bildnummer S.15 vom 3.3.1940) sind alle vier Rahmenmarken komplett abgebildet. Vielfach sind in den duplizierten Bildern die Rahmenmarken allerdings nur angerissen und damit oft nur ansatzweise erkennbar (s. unterer Bildausschnitt), bzw. es wurden nicht alle vier Rahmenmarken erfasst, oder die Rahmenmarken können auch völlig fehlen. Bildquelle: LUA NRW – Archiv digitalisierter Kriegluftebilder zur Verdachtsflächen-Erfassung. Alle Rechte: The Aerial Reconnaissance Archives (TARA), Keele, Staffs (UK)

Quelle: LUA 2006, S. 52

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

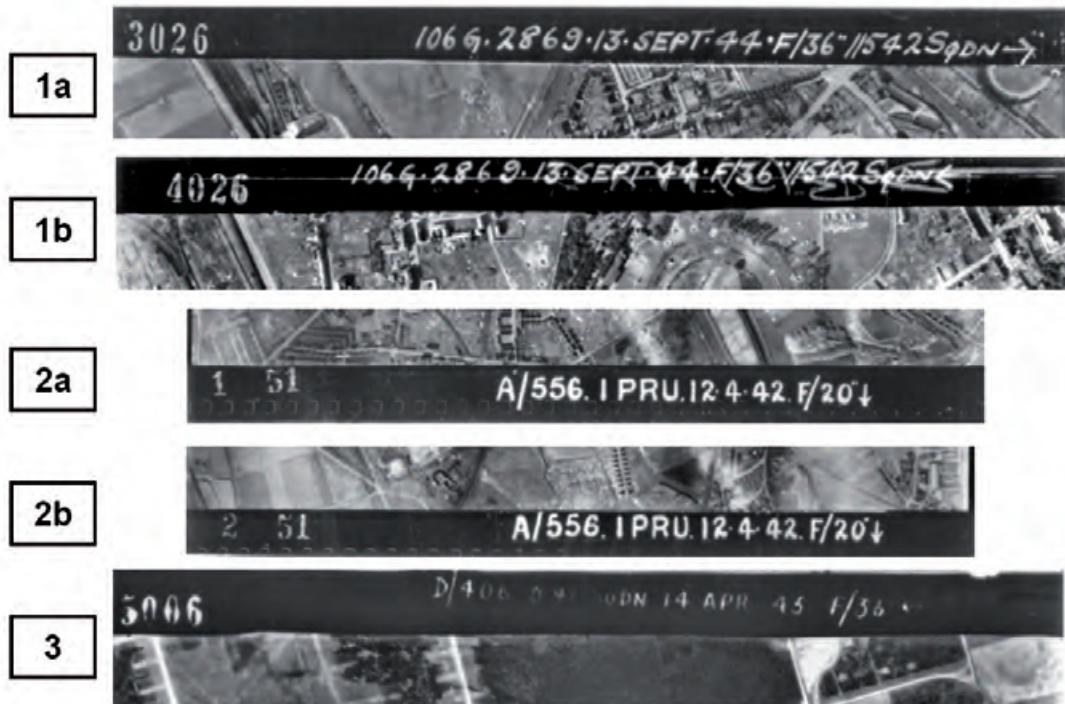


Abbildung 5.15: Bildrandleisten

Von links nach rechts: Bildnummer des Originals (alle Beispiele), Kennziffer der Flugmission (alle Beispiele), Aufklärer-Einheit (bei 1a+b nach Datum), Aufnahme-datum, Brennweite (*inches*), Pfeilanzeige der Flugrichtung.

Beispiele 1a+b sowie 2a+b: *split verticals*; die Nummerierung kennzeichnet jeweils die Backbord- bzw. Steuerbordaufnahme.

Beispiel 3: Senkrecht-Reihenmessbild; illustriert zugleich die oft stark eingeschränkte Lesbarkeit der Kennzeichnung.

Bildquelle: LUA NRW – Archiv digitalisierter Kriegsluftbilder zur Verdachtsflächen-Erfassung. Alle Rechte: *The Aerial Reconnaissance Archives* (TARA), Keele, Staffs (UK)

Quelle: LUA 2006, S. 52

Grundsätzlich handelt es sich bei Kriegsluftbildern also um Aufnahmen, die ursächlich folgenden Beschränkungen unterliegen:

- *inhaltliche* Einschränkungen: aufgrund von einheitlicher oder differenzierter Unter- bzw. Überbelichtung bei der Aufnahme oder Überlieferung sowie durch die geringe Detailerkennbarkeit angesichts des damals wesentlich geringeren Auflösungsvermögens von Filmen und Aufnahmesystemen sowie aufgrund störender Einflüssen bei der Aufnahme,
- *geometrische* Einschränkungen: durch die Kameratechnik, Lage der Plattform, Überlieferungsprozesse und -bedingungen,
- Einschränkungen durch *fehlende Metadaten* oder *Rahmenmarken* für die innere Orientierung.

5 Bildeigenschaften von Luftbildern bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen mit Methoden der digitalen Photogrammetrie

Weitere Ausführungen hierzu finden sich anschaulich zusammengefasst in LUA 2006 oder detailliert beschrieben bei Stanley 1981, Babington Smith 1985, Keen 1996 und Leaf 1997.

Die oben genannten Einschränkungen bei historischem Luftbildmaterial scheinen einer Verarbeitung der Bilder in digital-photogrammetrischen Systemen zu widersprechen, da sie den dafür geltenden Anforderungen in mehrerlei Hinsicht nicht gerecht werden. Daher wird im Folgenden überprüft, ob und inwiefern eine entsprechende Aufbereitung des Bildmaterials dennoch dessen digital-photogrammetrische Aerotriangulation ermöglicht und inwieweit die dabei erzielten Genauigkeiten der Erfassung von Altlastverdachtsflächen genügen können.

Bevor jedoch eine Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Bilder in digitalen Systemen erfolgen kann, muss das analoge Bildmaterial digitalisiert, d.h. gescannt werden. Im Folgenden wird daher zunächst dargelegt, welche Möglichkeiten und Anforderungen für die digitale Erfassung der analogen Bilder bestehen, wenn diese mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie ausgewertet werden sollen. Im Anschluss daran wird auf Lösungsmöglichkeiten eingegangen, die den oben skizzierten Einschränkungen des Bildmaterials Rechnung tragen.

6 Verfahren zur digitalen Aufbereitung historischer Luftbilder

Die Anwendung von Verfahren der digitalen Photogrammetrie erfordert digitale Messbilder mit den dazugehörigen Metadaten zur Inneren Orientierung und über den Bildflug. Wie im vorangegangenen Kapitel geschildert, werden die historischen Luftbilder bei der standortbezogenen Erfassung von Altlastverdachtsflächen diesen Anforderungen jedoch oft nicht gerecht, weil sie nur analog vorliegen und Metadaten dazu in der Regel nur eingeschränkt oder gar nicht (mehr) existieren. Weiterhin unterliegen die Bilder oft Beeinträchtigungen der Detailerkennbarkeit, welche die Identifikation von Objekten und damit auch die Bestimmung von Verknüpfungs- oder Passpunkten erheblich erschweren. Für eine digitale Weiterverarbeitung müssen die Bilder also digitalisiert, radiometrisch optimiert und die dazugehörigen Metadaten gegebenenfalls rekonstruiert werden. Dazu wurden im Rahmen der dieser Arbeit zugrunde liegenden Versuche und Tests ein Arbeitsablauf und Verfahren entwickelt, die den Spezifika historischer Luftbilder – insbesondere aus alliierten Aufklärungsflügen im Zweiten Weltkrieg – gerecht werden.

6.1 Scannen

Die Umwandlung analoger Luftbilder in digitale Rasterdateien erfolgt gewöhnlich mit speziellen Scannern, die den hohen geometrischen und radiometrischen Anforderungen photogrammetrischer Verfahren gerecht werden (Wolf & Dewitt 2000, S. 91). Die entsprechenden Voraussetzungen werden in der DIN 18 740-2 „Anforderungen an das gescannte Luftbild“ festgelegt, in der auch Formblätter für die Vergabe solcher Leistungen an entsprechende Dienstleister zu finden sind. Demnach muss ein Scanner, um als *photogrammetrischer Scanner* zu gelten, im Wesentlichen folgende Anforderungen erfüllen:

- Scanbereich 23 cm x 23 cm für transparente Vorlagen
- Eignung für Rollfilm
- geometrische Auflösung von mindestens 12 µm ohne Interpolation

- Sollwertabweichung der Scannerkoordinaten $< 10 \mu\text{m}$
- Standardabweichung der Scannerkoordinaten $< 3 \mu\text{m}$
- protokollierte geometrische Kalibrierung
- erfassbarer Dichteunterschied von mindestens 2,0 D im Bereich zwischen 0,0 D und 3,0 D
- radiometrische Dynamik je Farbkanal von mindestens 10 Bit/Pixel
- protokollierte radiometrische Kalibrierung

Weitere Details werden von Baltsavias & Bill 1994, S. 140 spezifiziert.

Um eine größtmögliche Genauigkeit zu erzielen, werden die Bilder in solchen Scannern direkt vom Original-Film gescannt. Dadurch werden geometrische und radiometrische Verluste durch analoge Kopierverfahren zur Herstellung von Papierabzügen vermieden. Sofern die Luftbilder für eine historische Recherche als Originalfilm erhältlich sind, sollten die Scans also nach Möglichkeit unmittelbar von diesen Filmen mit einem photogrammetrischen Scanner angefertigt werden. Dazu sind die entsprechenden Unterlagen und Angaben nach der DIN 18 740-2 einzufordern, um die Einflüsse des Scanvorgangs auf die Genauigkeit der Bilder nachvollziehen zu können.

Dieser Idealfall ist jedoch nur selten gegeben. In der Regel sind die Luftbilder als Kontaktkopien oder bereits als Scans solcher Papierabzüge erhältlich. Diese können aber auch auf einem hochwertigen Desktopscanner digitalisiert werden, sofern dieser Vorlagen im entsprechenden Format verarbeiten kann. Für die Standardgröße von Luftbildern (23 cm x 23 cm bzw. 9 inch x 9 inch) ist also zumindest ein DIN A3-Scanner erforderlich (Kasser 2002, S. 63). Auch wenn Desktopscanner nicht die geometrischen Ansprüche photogrammetrischer Geräte erfüllen, sind sie für einige Anwendungen durchaus geeignet (Baltsavias & Bill 1994, S. 141). Dabei sind Flachbettscanner Trommelscannern vorzuziehen, da letztere systembedingt eine geringere geometrische Genauigkeit aufweisen (Baltsavias & Waegli 1996, S. 13). Im Rahmen dieser Arbeit wird daher untersucht, inwieweit die Genauigkeit moderner Flachbettscanner bei der Altlastverdachtsflächenerfassung hinsichtlich der angestrebten Kartiergenauigkeit ausreichend ist. In Anbetracht der hohen Qualität heutiger Desktopscanner und angesichts der Einschränkungen von historischen Luftbildern kann erwartet werden, dass der Genauigkeitsgewinn durch die Verwendung photogrammetrischer Scanner in keinem vertretbaren Verhältnis zum damit verbundenen Mehraufwand

steht, sofern ein solches Gerät nicht ohnehin vorhanden ist.

Entscheidend für die Detailerkennbarkeit im digitalisierten Bild ist die Scanauflösung. Sie wird bei photogrammetrischen Scannern als Kantenlänge der Pixel in μm angegeben. Für Scanner aus dem Druckgewerbe respektive *Desktop Publishing (DTP)* wird das Maß *dots per inch (DPI)* verwendet, das die Anzahl der Bildelemente (*Pixel*) entlang der Strecke von einem Zoll Länge beschreibt. Die Beziehung der Auflösungsmaße ergibt sich entsprechend durch die Umrechnung von *inch* in μm und die Bildung des Kehrwertes gemäß den folgenden Beispielen:

$$1200 \text{ dpi in } \mu\text{m}: \quad \frac{25400 \frac{\mu\text{m}}{\text{inch}}}{1200 \frac{\text{pixel}}{\text{inch}}} = 21,1666 \frac{\mu\text{m}}{\text{pixel}}$$

$$8 \mu\text{m in dpi}: \quad \frac{25400 \frac{\mu\text{m}}{\text{inch}}}{8 \frac{\mu\text{m}}{\text{pixel}}} = 3175 \frac{\text{pixel}}{\text{inch}}$$

(vgl. Kraus 2004, S. 66 und S. 115)

Zur Wahl der Scanauflösung finden sich in der Literatur verschiedene Ansätze. Sie orientiert sich zum einen an der Bildqualität und zum anderen an den Hardware-Voraussetzungen des eingesetzten Scanners. Im *Manual of Photogrammetry* konstatieren Graham et al. 2004 daher, dass es auf die Frage der optimalen Pixelgröße beim Scannen keine eindeutige Antwort gibt. Vielmehr ist diese vom Verwendungszweck der Daten und der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Systeme abhängig. Am anspruchvollsten sind dabei Anwendungen, die für Aerotriangulation, Geländemodellextraktion und die Kartierung kleinster Details auf höchste Auflösungen im Bereich von 10 - 15 μm Pixelgröße angewiesen sind. Für den vollständigen Erhalt aktueller Bildauflösungen von Originalfilmen mit 60 - 30 lp/mm ist eine Scanauflösung von 6 - 12 μm erforderlich (Graham et al. 2004, S. 574). Um sicherzustellen, dass durch die Digitalisierung keine Details aus den Bildern verloren gehen, begründen Luhmann und Kraus ebenso, dass nach dem Abtasttheorem die Abtastfrequenz (Ortsfrequenz) mindestens doppelt so hoch sein muss, wie die maximale Ortsfrequenz (Luhmann 2003, S. 196; Kraus 2004, S.115), die als Auflösungsvermögen des Films bzw. des Aufnahmesystems „Objektiv-Filter-Film“ (Kraus et al. 1996, S. 296) die Detail-

erkennbarkeit im Bild beschreibt. Für aktuelle Luftbilder ergeben sich beim Scannen mit einer der Detailerkennbarkeit entsprechenden Auflösung von bis zu 5µm dadurch Dateigrößen von ungefähr zwei Gigabyte für Graustufenbilder (Kraus 1996 et al., S. 297). Damit würde die Kapazitätsgrenze heutiger Computersysteme im Sinne einer effektiven Arbeitsgeschwindigkeit deutlich überschritten (Kraus 2004, S. 116). Da die Auflösung von Kriegsluftbildern um ein Vielfaches geringer ist als die von modernem Luftbildmaterial, ist hier eine Orientierung an der Bildqualität für die Wahl der Scanauflösung durchaus praktikabel. Dazu müsste die Auflösung der historischen Bilder jedoch zunächst erst bestimmt werden. Einfacher ist die Wahl einer Standardauflösung von 1200 dpi (Baltsavias & Bill 1994, S. 138), durch die keine Detailverluste beim Digitalisieren historischer Luftbilder zu erwarten ist, da deren Auflösungsvermögen erfahrungsgemäß weit darunter liegt. Der Umgang mit den resultierenden Dateien von maximal rund 130 MB (Graustufenbild in 25 cm x 25 cm bei 1200 dpi geometrischer und 8bit radiometrischer Auflösung) lässt flüssige Arbeitsabläufe auf aktuellen Computersystemen problemlos zu.

Ein weiteres Kriterium für die Wahl einer geeigneten Scanauflösung ist die tatsächliche optische Auflösung des Scanners: Zur Vermeidung unnötiger Qualitätsverluste durch Pixelinterpolation sollte die Digitalisierung des Bildmaterials immer mit der vollen optischen Auflösung des Scanners oder mit einem Quotienten davon mit einer Zweierpotenz als Divisor durchgeführt werden (Wargalla 1999, S. 39).

Neben der geometrischen ist auch die radiometrische Auflösung von entscheidender Bedeutung für die Übertragung aller Details aus dem analogen in das digitale Bild. Der radiometrische Informationsgehalt von Luftbildern liegt zwischen 8 *bit* (Kraus 2004, S. 118) und 12 bit (Luhmann 2003, S. 199). Auch wenn die digitale Verarbeitung der Bilder gewöhnlich mit 8 bit Tonwertumfang erfolgt (Baltsavias 1999, S. 163), ist es ratsam, die Erfassung zunächst mit einer höheren Auflösung durchzuführen, damit der tatsächliche Tonwertumfang des Bildes später optimal und möglichst verlustfrei auf die verfügbaren 8 bit verteilt werden kann (Wargalla 1999, S. 48 ff.).

Wird direkt mit 8 bit gescannt, müssen die Einstellungen für Weiß- und Schwarzpunkt bzw. Licht und Tiefe (die Grautöne, die im digitalen Bild mit

255 die hellste und mit 0 die dunkelste Stufe zugewiesen bekommen) möglichst exakt gewählt werden. Ebenso sollte – wenn die Scansoftware dies zulässt – die Tonwertcharakteristik (Gamma) der analogen Vorlage angepasst werden, um die verfügbaren 256 Stufen Tonwertumfang möglichst effektiv auszunutzen (Böhringer et al. 2003, S. 575 und S. 595).

Für die Speicherung der digitalen Bilder muss zunächst ein verlustfreies Datenformat gewählt werden, um die Ausgangssituation der Bilder nach dem Scannen zu konservieren (Campbell 2002, S. 105). Hierfür empfiehlt sich das weit verbreitete *Tagged Image File Format* (TIFF), das zudem eine verlustfreie Komprimierung (*LZW-Komprimierung*) der Bilder zulässt. Es kann von allen gängigen Bildbearbeitungssystemen verarbeitet werden. Das ebenso weit verbreitete *JPG-Format* ist demgegenüber verlustbehaftet und daher für die photogrammetrische Verarbeitung und die Archivierung von Originaldaten trotz stärkerer Kompression der Bilddaten weniger geeignet (Geosystems 2001, S. 9).

Liegen die Bilder bereits digital vor, sind die Überlegungen zum richtigen Scanverfahren ebenfalls erforderlich. So muss kritisch hinterfragt werden, welcher Natur die Bildoriginale waren, welche Geräte und Einstellungen verwendet und ob bereits Manipulationen mit dem Ziel der Bildverbesserung oder der Datenreduktion an den Daten vorgenommen wurden. Werden die vorliegenden Rasterdaten den gestellten Bedingungen nicht gerecht, muss – sofern die Originale verfügbar sind – erneutes Scannen in Betracht gezogen werden. Baltsavias 1998 unterstreicht die fundamentale Bedeutung des Scanprozesses mit dem Satz „*Scanning, being the birth of the digital data, is probably the most critical procedure in the digital photogrammetric processing chain, and maybe one of the most underestimated ones.*“ (Baltsavias 1998, S. 44)

6.2 Radiometrische Aufbereitung

Nach dem Scannen weisen die unbearbeiteten digitalisierten Bilder ungünstige Grau- bzw. Tonwertverteilungen sowie Unschärfen auf (Kraus 1996, S. 160 und Wargalla 1999, S. 224), die sich mit den in Kapitel 5 diskutierten Defiziten des historischen Bildmaterials überlagern. Diese Einschränkungen wirken sich negativ auf die Detailerkennbarkeit in den Bildern aus und sind somit bei der Objektidentifikation und damit auch bei der präzisen

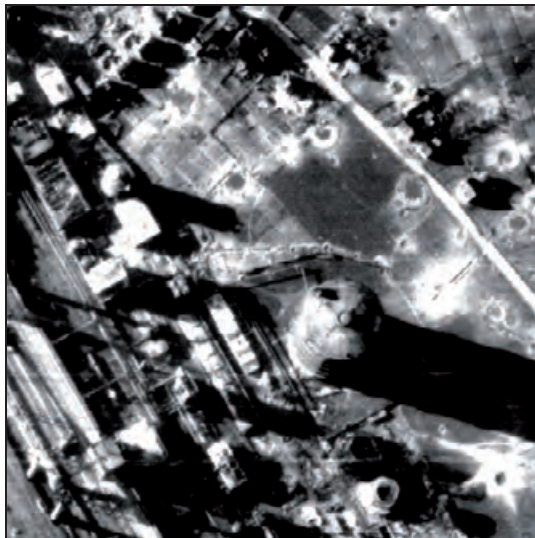
Platzierung von Passpunkten hinderlich. Mit Verfahren der digitalen Bildverarbeitung lassen sich diese Einflüsse jedoch minimieren.

Einige solcher Funktionen können während der digital-photogrammetrischen Bearbeitung nach Bedarf dynamisch angewendet werden. Jedoch ist es im Sinne eines effektiven Arbeitsablaufes ratsam, grundsätzliche Schwächen in der Radiometrie des Bildmaterials im Voraus zu beseitigen, so dass eine spätere, ausschnittsbezogene Kontrastanpassung nur noch in Einzelfällen vorgenommen werden muss. Dabei ist wie beim Scannen zu beachten, dass durch die Manipulation der Daten nicht schon vor der eigentlichen Verarbeitung der Bilder Detailinformationen daraus verloren gehen. Insbesondere feine Nuancen innerhalb von hellen oder dunklen Flächen fallen schnell einer unbedachten Kontrastanpassung zum Opfer (Abbildung 6.1 b)). Ebenso können zu stark dosierte Scharfzeichner das Erscheinungsbild des abgebildeten Raumes verfälschen (Abbildung 6.1 c)). Die Verfahren müssen also mit Vorsicht angewendet und die Parameter interaktiv unter fortwährender Ergebniskontrolle anhand kritischer Bereiche behutsam gewählt werden. Dazu gehört auch eine systematische Vorgehensweise, die sicherstellt, dass nicht einzelne Bearbeitungsschritte vorhergehende Manipulationen neutralisieren oder sogar umkehren und so die Bildqualität unnötig verschlechtern (Wargalla 1999, S. 97 ff.).

Die Funktionen zur Bildverbesserung finden sich sowohl in handelsüblicher Bildbearbeitungssoftware, wie z.B. *Adobe Photoshop*, als auch in fernerkundlichen Spezialanwendungen wie *Leica Geosystems ERDAS Imagine* oder dergleichen. Dabei ist die Anwendung der Verfahren in *Adobe Photoshop* insbesondere durch einen hohen Grad an Interaktivität intuitiver als beispielsweise in *Leica Geosystems ERDAS Imagine*, das eine intensivere Auseinandersetzung mit den entsprechenden Funktionen und der komplexen Benutzerschnittstelle sowie ein profundes Fachwissen über die internen Abläufe voraussetzt. Daher ist es im Sinne einer effizienten Bildverbesserung durchaus vertretbar, der DTP-Software in diesem Bereich den Vorzug vor der spezialisierten Fernerkundungssoftware zu geben.



a)



b)



c)

Abbildung 6.1: Übermäßige radiometrische Aufbereitung

- a) Originalbild: Ausschnitt eines gescannten Luftbilds der Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde vom 7.4.1945. Das Bild wirkt kontrastarm und hat einen leichten Grauschleier (weder volles Weiß noch volles Schwarz kommen im Bild vor)
- b) Übermäßige Kontrastverstärkung: feine Helligkeitsunterschiede insbesondere heller oder dunkler Flächen verschmelzen
- c) Übermäßige Scharfzeichnung: Neben der gewollten Hervorhebung von Kantenstrukturen treten auch Störungen wie Kratzer und Schmutz in den Vordergrund. Details feiner Helligkeitsabstufungen gehen ebenfalls verloren.

Bildquelle: RVR

6.2.1 Kontrastverbesserung

Die Optimierung des Kontrastes erfolgt bei digitalen Bildern durch die Manipulation ihrer Grauwertverteilung. Diese lässt sich als Graph der Häufigkeit von Pixeln der einzelnen Helligkeitsstufen im *Grauerthistogramm* darstel-

len (Kraus 1996, S. 116). Durch eine Transformation der Tonwertverteilung lässt sich das Erscheinungsbild des Bildinhalts optimieren (Abbildung 6.2): Zum einen wird durch die Tonwertbegrenzung (Wargalla 1999, S. 116) bzw. den *Contrast Stretch* (Leica 2007a, S. I-126) angestrebt, möglichst den kompletten verfügbaren Tonwertumfang für die tatsächliche Bildinformation zu nutzen (bei 8 bit radiometrischer Auflösung also 256 Abstufungen von Schwarz bis Weiß respektive 65536 Abstufungen bei 16 bit radiometrischer Auflösung). Dies kann entweder automatisiert oder manuell erfolgen, indem der tatsächlich genutzte Tonwertumfang anhand des kleinsten und größten Helligkeitswertes im Bild ermittelt und der dazwischen genutzte Bereich auf das gesamte Grauwertspektrum von 0 bis 255 bzw. 0 bis 65535 gestreckt wird (Abbildung 6.3).

Zum anderen können Helligkeitsbereiche, in denen sich besonders viele Pixel befinden, differenziert auf Kosten wenig frequentierter Helligkeitsabstufungen im Interesse einer höheren Detailerkennbarkeit gestreckt werden, so z.B. innerhalb von Schatten oder sehr hellen Bereichen (Richards 2006, S. 84 ff.).

Die manuelle Veränderung der Grauwertverteilung in einem Bild erfolgt entweder durch die Eingabe der Grenzwerte bzw. die Justierung entsprechender Schieber für Lichter und Tiefen sowie den Gammawert im Histogramm (z.B. bei *Adobe Photoshop*) (Abbildung 6.3) oder differenzierter durch die Manipulation von Steigung und Form der Gradationskurve im Grauwertdiagramm. Sie beschreibt in einem Koordinatensystem mit den Pixelwerten des Ausgangsbildes in der X-Achse und den Pixelwerten des neu berechneten Ergebnisbildes in der Y-Achse die Veränderung der Grauwerte (Abbildung 6.4).

Nach der grundlegenden Optimierung der Grauwertverteilung kann ggf. auch die Umwandlung von 16 in 8 bit Farbtiefe vorgenommen werden (Wargalla 1999, S. 50), indem die radiometrische Auflösung nach der Tonwertbegrenzung im 16 bit-Bild auf 8 bit reduziert wird. Wird die radiometrische Auflösung vor der Histogrammstreckung durchgeführt, kommt es zu entsprechenden Lücken in der Grauwertverteilung, die de facto den Verlust von Bildinformationen bedeuten (Abbildung 6.5). Um diesem vorzubeugen, muss also mit mehr als 8 bit gescannt werden, damit eine Histogrammstre-

ckung ohne nennenswerte Verluste durchgeführt werden kann. Für das Scannen mit 8 bit folgt aus diesen Erwägungen, dass die Präzision bei der Einstellung von Schwarz- und Weißpunkt darüber entscheidet, wie viel Bildinformationen später durch eine Histogrammstreckung verloren gehen.

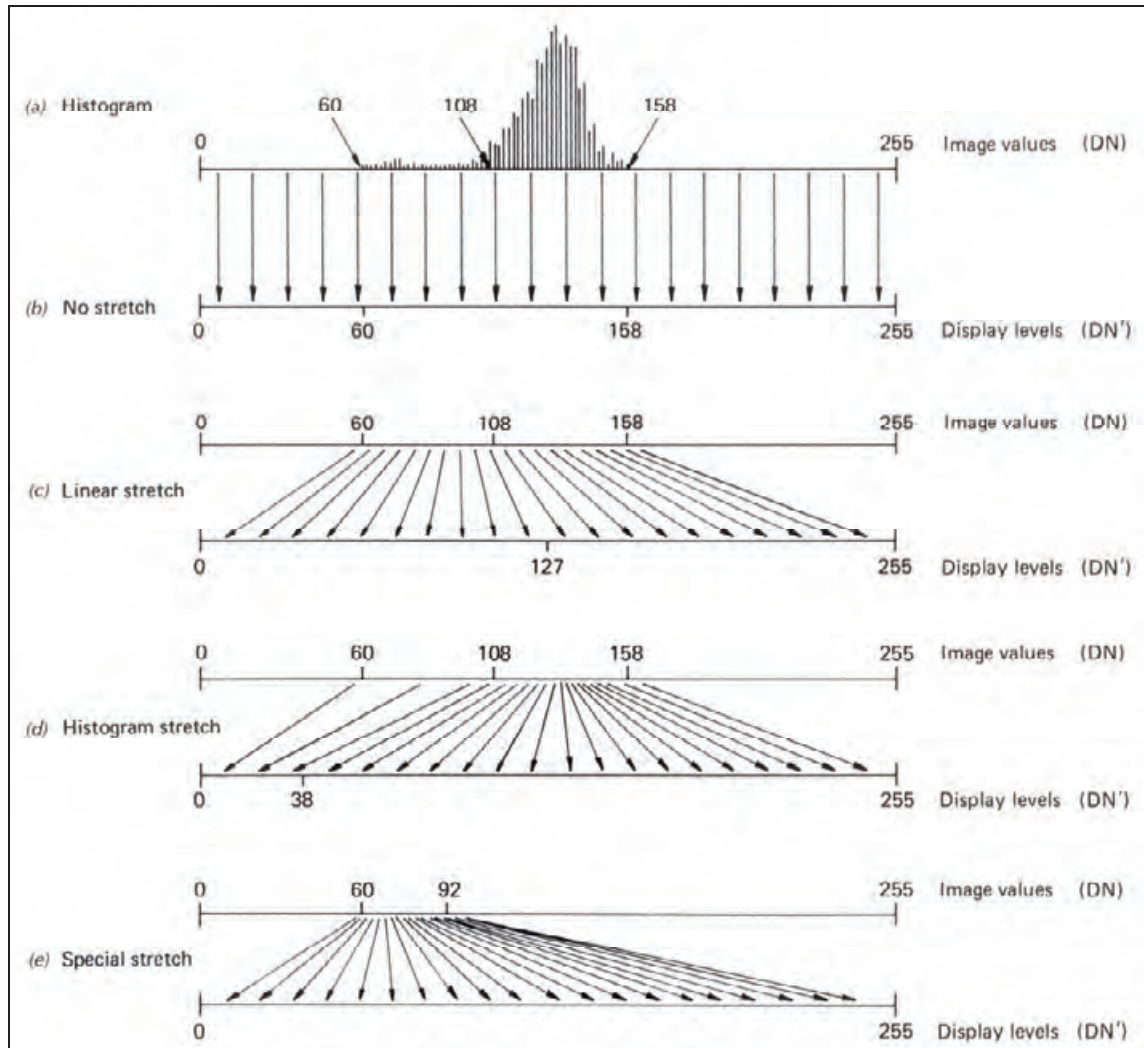


Abbildung 6.2: Histogrammveränderungen

- a) Lineare Kontraststeigerung unter Ausnutzung des gesamten Dynamikbereiches
 - b) Lineare Kontraststeigerung mit gleichzeitiger Aufhellung
 - c) Lineare Kontrastdämpfung mit gleichzeitiger Aufhellung
 - d) Grauwertstreckung und -komprimierung in Anpassung an die Häufigkeit vorkommender Grauwerte
 - e) Grauwertstreckung für einen auswertungstechnisch besonders relevanten Grauwertbereich
- (Quelle: Lillesand & Kiefer 2000, S. 493)

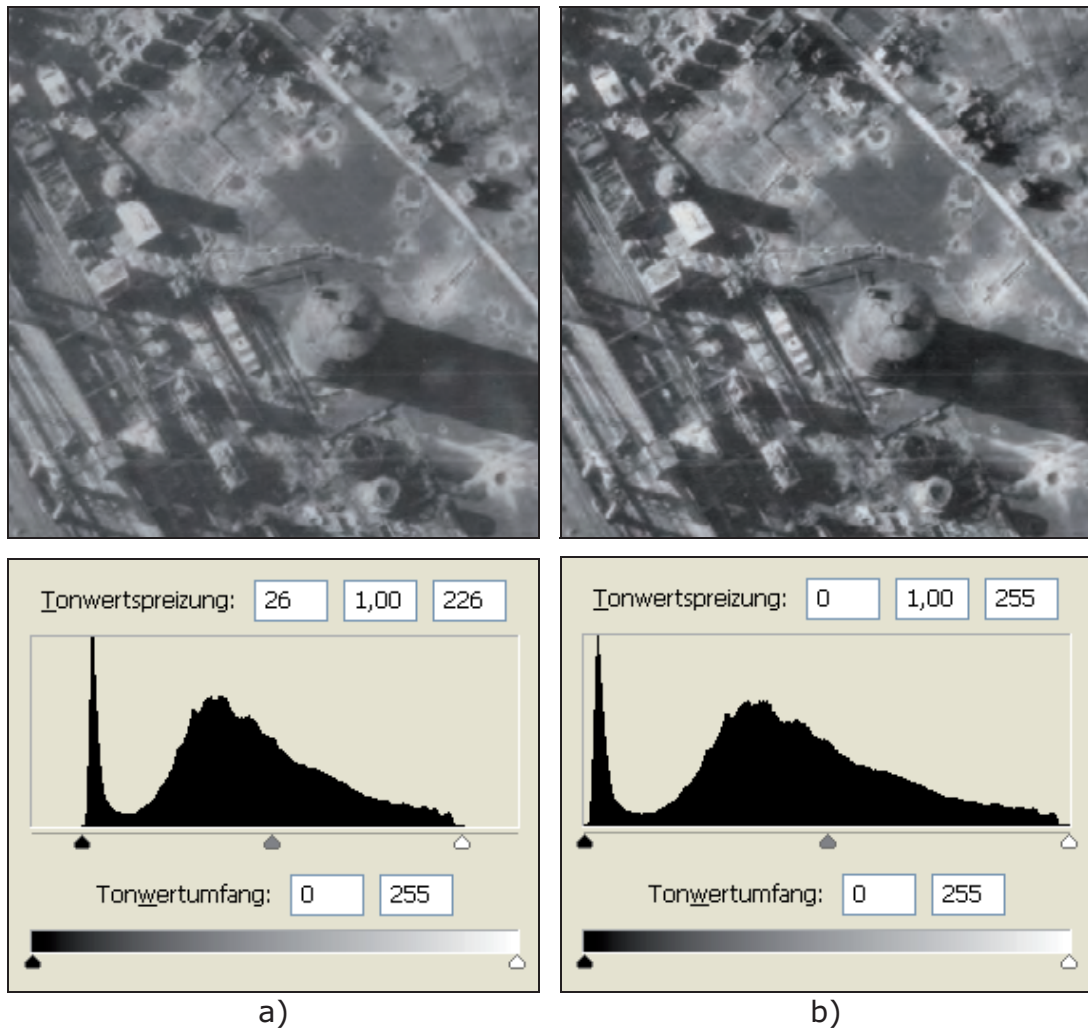


Abbildung 6.3: Kontrastverbesserung

- a) Ausschnitt eines Luftbildes mit Histogramm nach dem Scannen mit 16 bit. Die Tiefen werden auf den Grauwert 6682 (26) und die Lichter auf den Grauwert 58259 (226) gesetzt. Dabei wird der Einfachheit halber trotz 16 bit Auflösung mit den entsprechenden Werten einer 8 bit-Auflösung (in Klammern) gearbeitet.
- b) Gleicher Ausschnitt mit Histogramm nach der Tonwertkorrektur. In dem unbearbeiteten Scan bleiben die Grauwertbereiche am Anfang und am Ende des Histogramms ungenutzt. Das bedeutet, dass sich im Bild weder tief schwarze noch rein weiße Pixel befinden. Erst durch die Histogrammstreckung (Tonwertspreizung) wird der komplette Tonwertumfang von 0 – 255 bei 8 Bit bzw. 0 – 65536 bei 16 Bit komplett ausgenutzt. Dadurch erscheint das Bild plastischer und schärfer.

Bildquelle: RVR

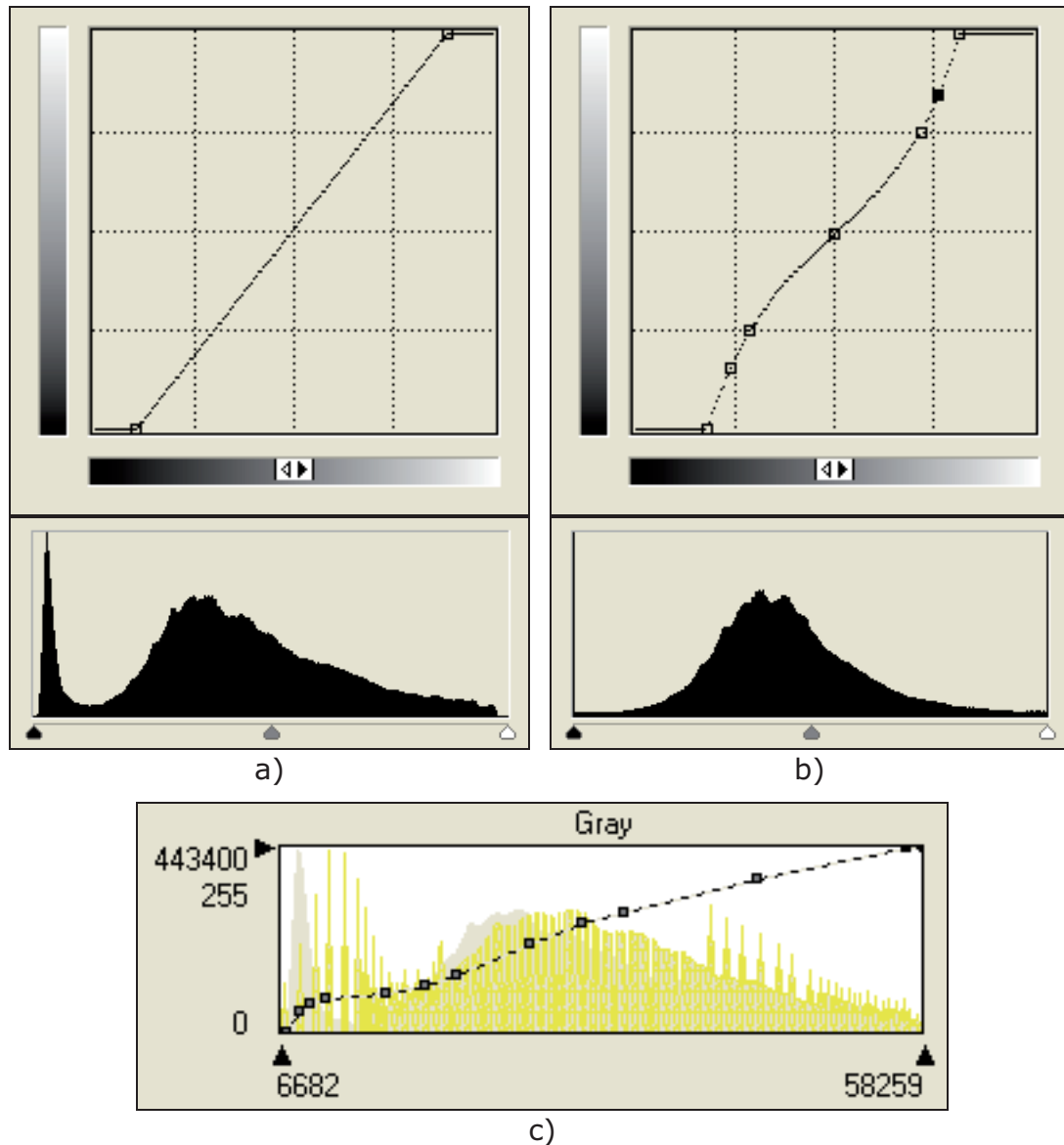


Abbildung 6.4: Grauwertdiagramm mit Gradationskurve und Histogramm

- a) Das Grauwertdiagramm zeigt die den Einstellungen im Histogramm in Abbildung 6.3 b) entsprechende Gradationskurve und das Histogramm des Ergebnisbildes.
- b) Die Gradationskurve beschreibt eine Kontrastanpassung, die die Kontraste in den hellen und dunklen Bereichen verstärkt (steilere Kurve) und die Kontraste im mittleren Grauwertebereich abschwächt (flachere Kurve). Darunter zeigt das Histogramm die Grauwertverteilung des Ergebnisbildes.
- c) Gradationskurve in *Leica Geosystems ERDAS Imagine*. Hinter der Gradationskurve wird grau das Histogramm des Ausgangsbildes und gelb das des Ergebnisbildes angezeigt.

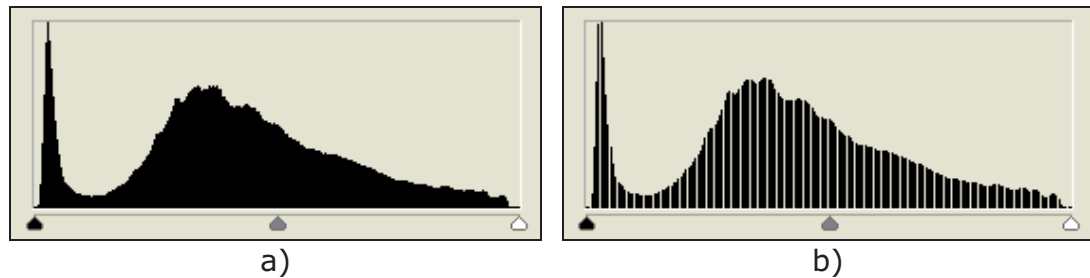


Abbildung 6.5: Vergleich der Histogramme einer Kontraststreckung bei 8 oder 16 bit radiometrischer Auflösung

- a) Histogramm eines Bildes, das zunächst eine Kontraststreckung erfuhr und dann von 16 in 8 bit radiometrische Auflösung umgerechnet wurde
- b) Histogramm eines Bildes, das erst von 16 in 8 bit radiometrische Auflösung umgerechnet wurde und dann einer Kontraststreckung unterzogen wurde: Das Histogramm weist deutlich Lücken auf, die auf Informationsverluste hinweisen.

6.2.2 Dodging

Standardverfahren zur Kontrastverbesserung beziehen sich auf die Helligkeits- und Kontrastverteilung in der gesamten Fläche eines Bildes und sind weniger dazu geeignet, differenzierte lokale Anpassungen zum Ausgleich inhomogener Tonwerteigenschaften innerhalb eines Bildes vorzunehmen. Insbesondere historische Luftbilder weisen jedoch häufig solche Unregelmäßigkeiten auf. Diese können unterschiedliche Ursachen haben: Eine weitverbreitetes Phänomen ist der *Randabfall* bzw. *Vignetting*-Effekt, der sich im Bild als abnehmende Helligkeit zum Rand hin bemerkbar macht (Lillesand & Kiefer 2000, S. 66) und damit im Aufnahmesystem selbst begründet ist. Weitere Quellen ungleichmäßiger Ausleuchtung finden sich bei der Entwicklung und Reproduktion der Bilder oder in Wolken und deren Schatten sowie Dunst über dem aufgenommenen Gelände zur Zeit der Filmbelichtung. Beispielsweise führt die unterschiedlich intensive Einwirkung der Entwicklerlösung aufgrund mangelnder Bewegung beim Entwicklungsprozess (Mergler 1958, S. 427) ebenso wie eine ungleichmäßige Ausleuchtung im Kopiergerät zu Helligkeits- oder Kontrastschwankungen innerhalb eines Bildes.

Der Ausgleich derartiger Bildfehler ist Gegenstand des *Dodgings*. Der Begriff kommt aus der analogen Reproduktion von Luftbildern und beschreibt ein Verfahren, bei dem durch unterschiedlich intensive Belichtung einzelner Bereiche des Films Helligkeitsunterschiede innerhalb eines Bildes ausgeglichen werden (siehe hierzu auch Wolf & Dewitt 2000, S. 38, Falkner 1995, 179 f. und Finsterwalder & Hofmann 1968, S. 81 f.). Dieses Verfahren kam beispielsweise auch bei der Vervielfältigung von Aufklärungsbildern zum Ein-

satz (Stanley 1981, S. 233) oder wurde beim analogen Kopieren von Kriegsluftbildern in der Technischen Zentrale (TZ) des Landesamtes für Agrarordnung (LAfAO) in NRW angewendet.

Gleiches wird durch entsprechende Software-Anwendungen für die Erstellung von Orthofotomosaiken erreicht, die digitale Bilder durch die Anpassung lokaler Grauwertstatistiken an globale Vorgaben einem differenzierten Histogrammausgleich unterziehen und so ungewünschte Helligkeitsunterschiede egalisieren (Strynatka 2007, S. 1). Diese Funktion bezieht sich dabei auf die Anpassung lokaler Kontraste an globale Parameter für einen kompletten Bildverband oder aber auch nur innerhalb eines Bildes. Dazu wird ein Bild anhand eines Rasters in mehrere Kacheln aufgeteilt. Für diese werden jeweils Mittelwert und Standardabweichung bzw. die Varianz der Pixelintensitäten berechnet. Anhand globaler oder bildspezifischer Parameter erfolgt die Neuberechnung der Grauwerte mit dem Ziel, die Statistiken der Grauwerte aller Kacheln anzugleichen. Die Parameter können dabei entweder manuell eingegeben oder aus einem Bild bzw. dem Bildverband abgeleitet werden (Dupéret 2002, S. 86 f.).

Entsprechende Funktionen finden sich in Beschreibungen von aktuellen Softwareprodukten im Zusammenhang mit der Entfernung ungleichmäßiger Bildausleuchtung durch spiegelnde Reflexion, Vignetting, atmosphärische Effekte und Filmentwicklung. Dabei wird allerdings nicht immer der Begriff *Dodging* verwendet, sondern beispielsweise über „*radiometric balancing*“ (*radiometrischer Ausgleich*) geschrieben.

Als Beispiele können hier die entsprechenden Produkte führender Anbieter für photogrammetrische Software genannt werden:

- *OrthoVista* von *INPHO* (INPHO 2007, [30.12.2007])
- *ImageStation Ortho Pro* von *Intergraph* (Intergraph 2007, [30.12.2007])
- *Mosaic Pro* und *Image Equalizer* von *Leica Geosystems* (Leica 2007b, [30.12.2007] und Leica 2007c, [30.12.2007])

Angeichts der teilweise massiven Ausleuchtungsdifferenzen in historischem Luftbildmaterial erscheint es zweckmäßig, das Dodging nicht erst bei der Mosaikierung von Luftbildern einzusetzen. Eine radiometrische Homogenisierung der Bilder zu Beginn der digitalen Verarbeitung vereinfacht auch Arbeitsschritte wie die Identifikation von Passpunkten oder die stereoskopi-

sche Objekterfassung. Deswegen wird das Dodging hier bereits als effektives Werkzeug zur Bildverbesserung für die Aufbereitung von radiometrisch beeinträchtigtem Bildmaterial herangezogen.

Im Folgenden wird beispielhaft anhand der Software *Image Equalizer* aus der *Leica Photogrammetry Suite* von *Leica Geosystems* aufgezeigt, wie sich Helligkeitsunterschiede in panchromatischen Luftbildern im Rahmen der vorbereitenden Verbesserung historischer Luftbilder vor ihrer photogrammetrischen Bearbeitung durch Dodging beeinflussen lassen. Ein Vorteil von *Image Equalizer* liegt in diesem Kontext darin, dass das Dodging hier in einer übersichtlichen, eigenständigen Anwendung abseits der Erstellung eines Orthofotomosaiks durchgeführt werden kann, auch wenn das Programm offensichtlich für diesen Verwendungszweck angeboten wird. Bei qualitativ hochwertigen Luftbildern ist eine solche vorhergehende Aufbereitung nicht notwendig; hier wird Dodging zur Vermeidung der Sichtbarkeit von Schnittkanten erst bei der Mosaikierung nach der Triangulation und der Erstellung von Orthofotos eingesetzt, was auch aus der Implementierung dieser Funktion in die entsprechenden Programme (s.o.) hervorgeht.

Als Ausgangsdaten für das Dodging werden vorzugsweise Scans verwendet, die noch keiner umfangreichen Kontrastverbesserung unterzogen wurden (Abbildung 6.6), da das Dodging mit dem Ziel der Kontrastanpassung unterschiedlicher Bildbereiche sowohl zu lokalen Kontrastverstärkungen wie auch zu Kontrastminderungen führen kann. Damit besteht die Möglichkeit, dass das Dodging vorherigen Kontrastmanipulationen zumindest lokal entgegenwirkt, was gemäß den oben angeführten Überlegungen zu entsprechenden Informationsverlusten im Bild führen kann. Lediglich eine lineare Kontraststreckung sowie ggf. die Reduzierung auf 8 bit radiometrische Auflösung sollten daher im Vorfeld vorgenommen werden.

Zu Beginn sind die erforderlichen Bildstatistiken für jedes beteiligte Bild zu berechnen. Dabei wird über die *Grid Size* die Anzahl der Kacheln in X- und Y-Richtung festgelegt, in die jedes Bild aufgeteilt wird und für die durch das Dodging die durchschnittlichen Helligkeiten aneinander angeglichen werden sollen. Dazu wird für jede Gitterzelle eine Statistik mit der durchschnittlichen Helligkeit aller enthaltenen Pixel und deren Standardabweichung berechnet (Tabelle 6.1 und 6.2).



Abbildung 6.6: Gescanntes Luftbild der Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde vom 7.4.1945

Das Bild weist eine inhomogene Ausleuchtung auf: Neben deutlich aufgehellten Rändern erscheint es zur unteren rechten Ecke hin deutlich dunkler, während die Helligkeit zur oberen linken Ecke hin zunimmt. Ferner ist in dem Bild ein kräftiger Schattenwurf von links nach rechts zu beobachten.

Quelle: RVR

Durch die Grid Size wird also festgelegt, ob der Ausgleich anhand vieler kleiner Zellen kleinräumig oder anhand weniger großer Zellen großräumig erfolgen soll (Miller 1999, S. 450; Dupéret 2002, S. 87). Das heißt, für die Entfernung von Vignetting oder flächigen Aufhellungen unter Beibehaltung kleinräumiger Helligkeitsdifferenzen empfiehlt sich eine kleine Grid Size (wenige große Kacheln) (Abbildung 6.7 und Tabelle 6.3). Für die Entfernung von Schatten ist demgegenüber eine große Grid Size (viele kleine Kacheln) zu wählen, wobei dadurch auch Helligkeitsunterschiede größerer Flächen

aneinander angeglichen werden (Abbildung 6.8).

Mit der Einstellung *Skip Percent* kann eine Maskierung des Arbeitsbereiches vorgenommen werden, um z.B. den Bildrahmen von der Bearbeitung auszuschließen. Der Wert gibt dabei die Breite des Randes in Prozent an, der nicht für die Berechnung der Statistik genutzt werden soll. Mit der Wahl des *Minification Level* wird festgelegt, ob die Berechnungen in voller Auflösung oder anhand eines der Pyramidenlayer des Bildes vorgenommen werden. Für die besten Ergebnisse ist hier die volle Auflösung zu wählen („1:1“).

	1	2	3	4	5
1	151,1	118,7	113,8	113,8	103,8
2	141,5	132,0	117,1	109,9	93,2
3	126,5	117,4	104,9	102,3	85,7
4	121,2	106,2	99,3	92,3	87,6

Tabelle 6.1: Mittelwerte innerhalb der Kacheln bei *Grid Size 5* und *Skip Percent 10* im Luftbild aus Abbildung 6.6

	1	2	3	4	5
1	24,6	28,3	29,2	24,1	22,8
2	24,3	27,0	30,1	27,8	22,2
3	23,3	25,9	26,3	23,1	21,2
4	24,4	24,4	23,0	27,2	19,6

Tabelle 6.2: Standardabweichungen innerhalb der Kacheln bei *Grid Size 5* und *Skip Percent 10* im Luftbild aus Abbildung 6.6

Sind die Statistiken erstellt, können interaktiv die Einstellungen für das Dodging vorgenommen werden. Dabei besteht die Möglichkeit festzulegen, ob die Einstellungen ausgleichend auf alle geladenen Bilder oder nur auf ein ausgewähltes angewendet werden sollen (*Balance Across Images / Balance Individually*). Mit den Reglern oder Eingabefeldern für Helligkeit und Kontrast (*Brightness* bzw. *Contrast*) werden die entsprechenden globalen Vorgaben für den Anwendungsfall *Balance Across Images* gemacht. Als Voreinstellung werden zunächst die Durchschnittswerte vorgegeben, die auch jederzeit mit einem Knopf wiederhergestellt werden können. Mit sieben weiteren Werten, den *Constraints*, werden Bedingungen für die neuen Helligkeitseigenschaften innerhalb der einzelnen Kacheln definiert:

- *Minimum Gray Value*: Kleinster Grauwert (dunkelstes Pixel)
- *Maximum Gray Value*: Größter Grauwert (hellstes Pixel)
- *Minimum Contrast*: Mit einem Wert zwischen 0 und 2 wird die Kontrastkompression festgelegt. Ein Wert von 1 steht für unveränderten Kontrast und ist die Standardvorgabe.
- *Maximum Contrast*: Mit einem Wert zwischen 0 and 10 wird der Kontrast begrenzt. Standardvorgabe ist 1,3, wodurch eine übermäßige Kontrastverstärkung in kontrastschwachen Bereichen vermieden wird.
- *Percent Adjustment*: Maximale Grauwertveränderung in Prozent.
- *Maximum Gray Shift*: Maximale Grauwertveränderung in Pixelwerten (bei 8-bit-Bildern 1 - 255, bei 16-bit-Bildern 1 - 65 535). Wird von der Software ein Wert berechnet, der diesen Grenzwert übersteigt, wird er durch den Grenzwert ersetzt.
- *Compression Limit*: Faktor zwischen 0 und 6 für die Begrenzung der Kontrastverstärkung nach oben und unten. Dadurch werden Über- und Unterschreitungen des verfügbaren Grauwertebereichs (*Clipping*) vermieden. Standardvorgabe ist 2,5.

Die Wahl geeigneter Einstellungen bedarf einiger Erfahrung mit der Software. In der Regel ist es nicht erforderlich, die Werte für *Minimum* und *Maximum Gray Value* zu ändern, da es üblicherweise nicht zweckmäßig ist, den Grauwertumfang eines Bildes einzuschränken. Entscheidend sind die Einstellungen für *Minimum* und *Maximum Contrast* sowie *Maximum Gray Shift* und *Compression Limit*, mit denen das Maß der Helligkeitsveränderungen bestimmt wird.

	1	2	3	4	5
1	119,1	111,0	111,0	111,0	111,0
2	111,0	111,0	111,0	111,0	111,0
3	111,0	111,0	111,0	111,0	111,0
4	111,0	111,0	111,0	111,0	111,0

Tabelle 6.3: Neue Mittelwerte innerhalb der Kacheln des Bildes in Abbildung 6.7



Abbildung 6.7: Luftbild aus Abbildung 6.6 nach großräumigem Dodging mit einer Grid Size von 5

Die großflächigen Helligkeitsunterschiede wurden ausgeglichen, kleinräumige Kontraste (z.B. Schatten) blieben erhalten. Die Mittelwerte in den Kacheln des neuerechneten Bildes sind in Tabelle 6.3 dargestellt.

Folgende Parameter wurden für dieses Ergebnis angewendet:

Berechnung der Bildstatistik:

Grid Size: 5, Skip Percent: 10, Minification Level: 1:1

Parameter für die Bildkorrektur:

Brightness: 111, Contrast: 24 (Durchschnitt aus automatischen Vorgaben)

Constraints:

*Minimum Gray Value: 0, Maximum Gray Value: 255, Minimum Contrast: 1,
Maximum Contrast: 1,3, Percent Adjustment: 100, Maximum Gray Shift: 32,
Compression Limit: 2,5*

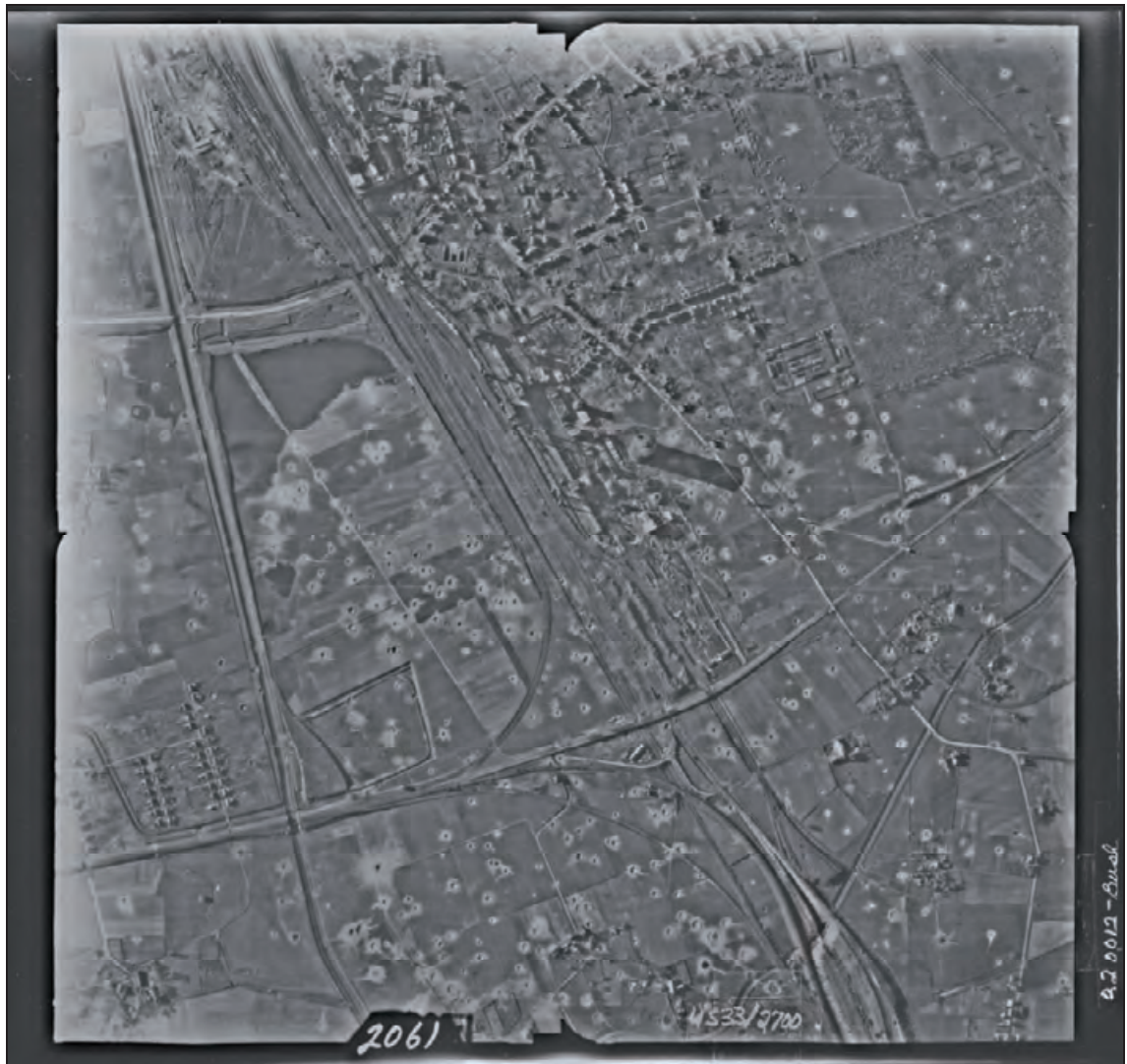


Abbildung 6.8: Luftbild aus Abbildung 6.6 nach kleinräumigem Dodging mit einer Grid Size von 99

Durch den Ausgleich kleinräumiger Kontraste sind Strukturen in zuvor eher homogenen sehr dunklen oder sehr hellen Bereichen besser zu differenzieren (z.B. im Schatten des Gasometers in der oberen Bildmitte). Aber auch großräumige Helligkeitsdifferenzen sind aus dem Bild verschwunden. So ist z.B. der Wald oben rechts im Bild nur noch anhand seiner Textur und nicht mehr durch seinen geringeren Grauwert von den umgebenden Wiesen zu unterscheiden. Dementsprechend setzen sich auch die Äcker links der Bildmitte nicht mehr so deutlich hell von ihrer Umgebung ab.

Berechnung der Bildstatistik:

Grid Size: 99, Skip Percent: 10, Minification Level: 1:1

Parameter für die Bildkorrektur:

Brightness: 110, Contrast: 16 (Durchschnitt aus automatischen Vorgaben)

Constraints (unverändert zu Abbildung 6.7):

Minimum Gray Value: 0, Maximum Gray Value: 255, Minimum Contrast: 1, Maximum Contrast: 1,3, Percent Adjustment: 100, Maximum Gray Shift: 32, Compression Limit: 2,5

Aus den Abbildungen 6.7 und 6.8 bzw. aus der Gegenüberstellung von Vergrößerungen dieser Bilder in Abbildung 6.9 geht deutlich der Einfluss ver-

schiedener Größen für das Berechnungsraster hervor. Dabei haben beide Ergebnisse ihre Vor- und Nachteile. Während durch großflächiges Dodging in Abbildung 6.7 Ausleuchtungsdifferenzen eliminiert wurden, ohne dass die für Kriegsluftbilder typischen Beeinträchtigungen durch starke Schlagschatten ausgeglichen werden konnten, weist Abbildung 6.8 durch kleinräumiges Dodging Verbesserungen in diesen Bereichen auf. Diese gehen jedoch zu Lasten großflächiger Bildkontraste (z.B. von Wald- und Ackerflächen vgl. Abbildung 6.8).

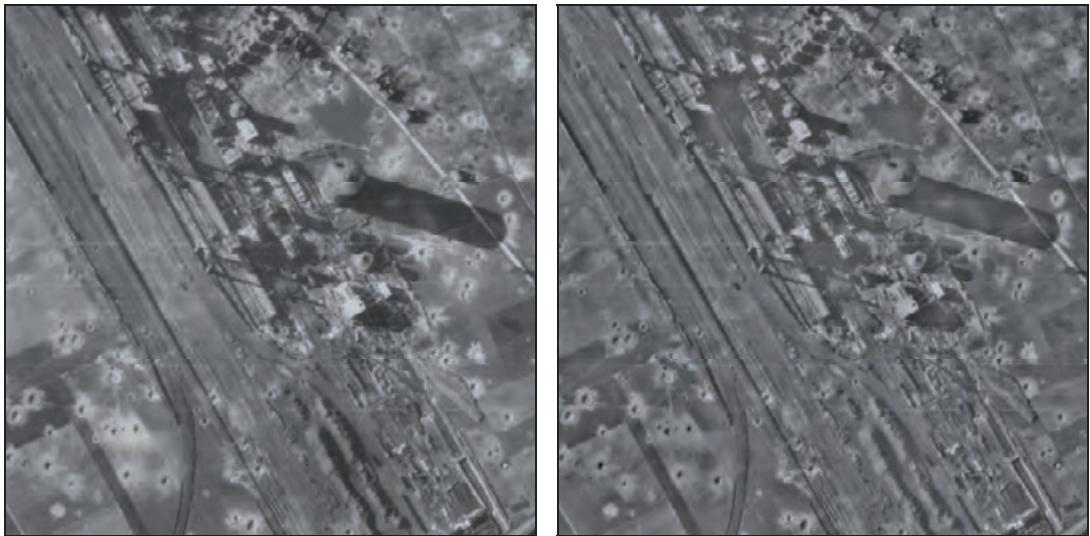


Abbildung 6.9: Vergleich vergrößerter Ausschnitte aus den Bildern der Abbildungen 6.7 und 6.8

Während die Veränderungen durch das großflächige Dodging (linkes Bild) in der Vergrößerung kaum auffallen, sind die Auswirkungen der kleinteiligen Kontrastanpassung (rechtes Bild) in den Schattenbereichen der dargestellten Kokereianlage deutlich zu erkennen.

Um von den Vorteilen beider Berechnungen zu profitieren, stellte es sich als zweckmäßig heraus, beide Bilder so miteinander zu verrechnen, dass die Aufhellungen der Schatten in das Bild mit der optimierten Ausleuchtung übernommen werden. Dazu wird ein neues Bild berechnet, bei dem der Wert jedes Pixels aus dem Maximum der korrespondierenden Pixelwerte in den beiden Dodging-Ergebnissen abgeleitet wird. Diese Berechnung kann sowohl in einer Fernerkundungssoftware wie *Leica Geosystems ERDAS Imagine* oder einer entsprechenden Bildbearbeitungssoftware wie *Adobe Photoshop* (Überlagern der Bilder als Ebenen mit der Funktion *Aufhellen*) durchgeführt werden (Abbildung 6.10).

Eine abschließende Histogrammanpassung gewährleistet die optimale Nutzung des verfügbaren Grauwertumfangs für die bestmöglichen Kontraste bei der Darstellung des Bildinhalts (Abbildung 6.11).

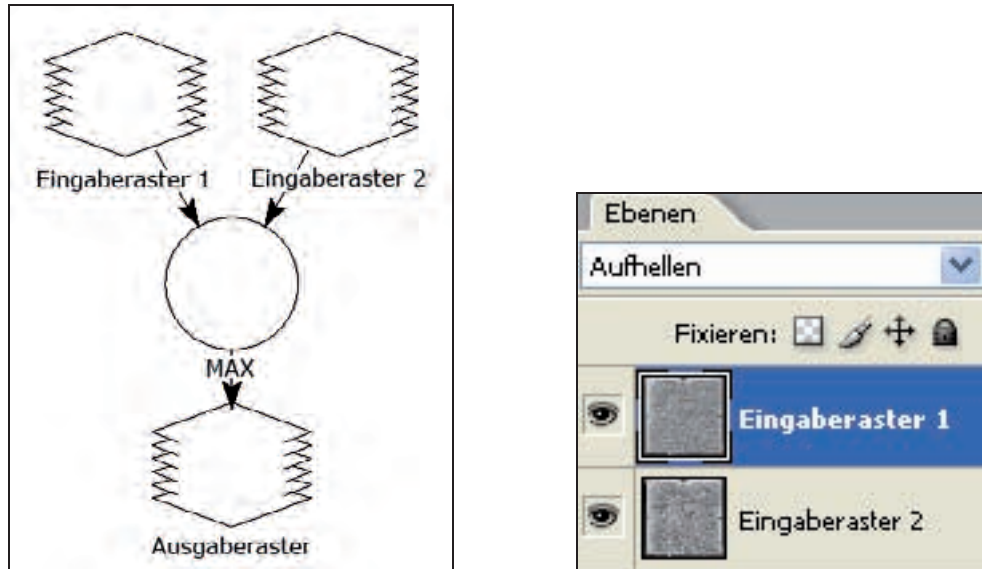


Abbildung 6.10: Kombination beider Dodgingergebnisse

Links: Darstellung der Verschneidung im Modeler von Leica Geosystems ERDAS Imagine

Rechts: Darstellung der Verschneidung in der Ebenenpalette von *Adobe Photoshop*

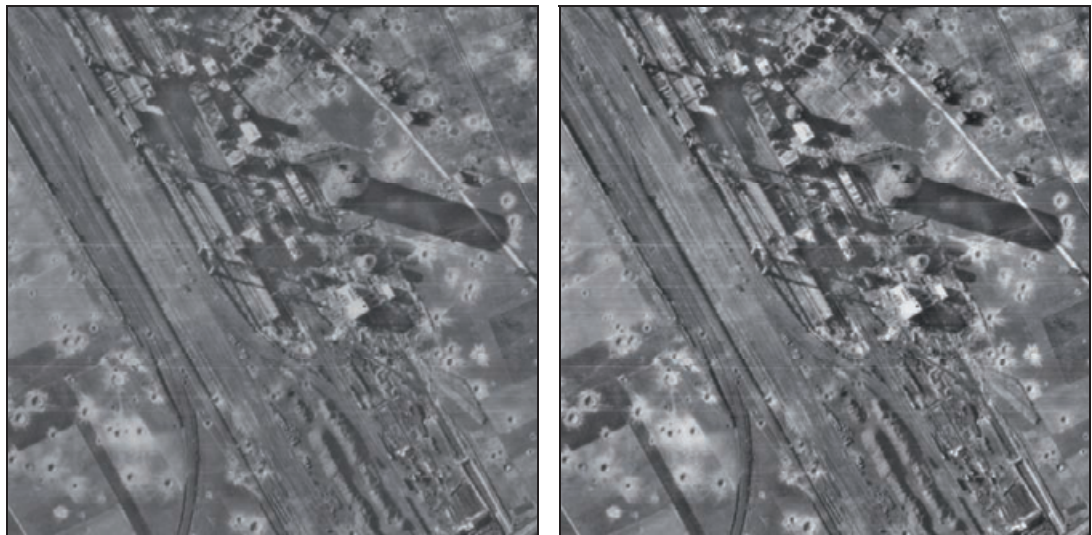


Abbildung 6.11: Vergleich vergrößerter Ausschnitte nach Kombination der Abbildungen 6.7 und 6.8

Links: Ergebnis der Verschneidung beider Bilder über die Funktion *Aufhellen* in *Adobe Photoshop*

Rechts: Ergebnis der Verschneidung beider Bilder über die Funktion *Aufhellen* in *Adobe Photoshop* mit anschließendem Kontrastausgleich

6.2.3 Filter

Filter beeinflussen – ebenso wie die vorgenannten Verfahren zur Kontrastverbesserung – die Helligkeitswerte der einzelnen Pixel eines Bildes. Der grundlegende Unterschied besteht in der Berechnung der neuen Grauwerte: Statt die neuen Pixelwerte wie bei den globalen Operationen an der Grauwertstatistik eines gesamten Bildes – oder beim Dodging eines Bildbereichs – zu bemessen, werden die neuen Tonwerte durch lokale Operationen aus den Grauwertrelationen umgebender Bildelemente berechnet (Hildebrandt 1996, S. 497). Dazu läuft eine kleine Koeffizientenmatrix Pixel für Pixel über das gesamte Bild. Mathematisch heißt dieser Vorgang auch *Faltung* (Albertz 2001, S. 107). Im Englischen wird er anschaulich *Moving Window Image Convolution* genannt, während das „Fenster“ selbst als *Kernel* bezeichnet wird (Abbildung 6.12).

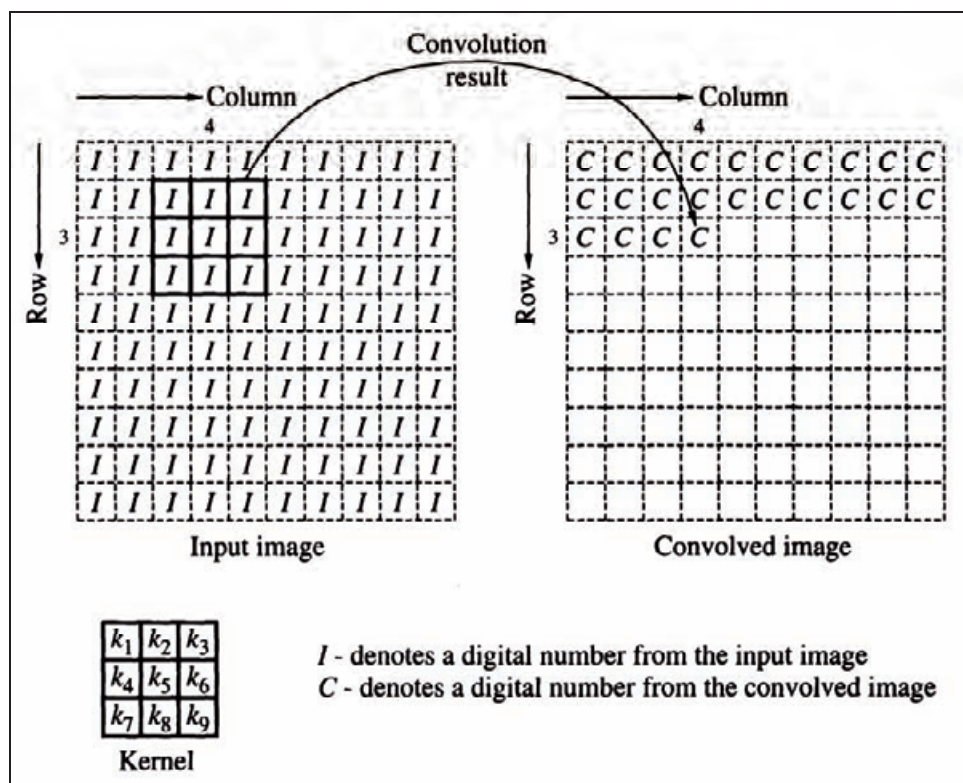


Abbildung 6.12: Prinzip der *Moving Window Image Convolution*

Der neue Wert C ergibt sich aus der Multiplikation der Eingangspixel I mit dem jeweiligen Koeffizienten k_{1-9} , deren Produkte je nach Wahl der Koeffizienten aufsummiert (Lillesand & Kiefer 2000, S. 501), gemittelt (Hildebrandt 1996, S. 497) oder aufsummiert und durch die Summe der Koeffizienten geteilt (Leica 2007, S. II-31) werden.

Quelle: Wolf & Dewitt 2000, S. 316

Mit Filtern lassen sich sehr unterschiedliche Effekte erzielen, von denen für die Aufbereitung von Luftbildern für die photogrammetrische Auswertung zwei von wesentlicher Bedeutung sind:

- Tiefpassfilter glätten das Bild und führen zur Kontrastminderung, die z.B. Störungen aufgrund von Staub und Kratzern reduzieren.
- Hochpassfilter erhöhen die Grauwertdifferenz zwischen dem zentralen und den benachbarten Pixeln im Kernel und lassen das Bild dadurch schärfer und kontrastreicher erscheinen (Löffler 2005, S. 99).

Wie eingangs erwähnt, erfahren Bilder beim Scannen durch die Zerlegung in einzelne Pixel eine Weichzeichnung (Wargalla 1999, S. 224), die mit der Wirkung eines Tiefpassfilters vergleichbar ist (Abbildung 6.13).

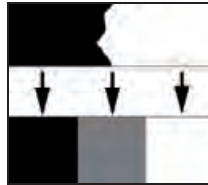


Abbildung 6.13: Weichzeichnung durch Scannen

Weil beim Scannen Kanten des Originals in der Regel nicht mit Pixelgrenzen des Scannersensors übereinstimmen, kommt es zur unvermeidbaren Weichzeichnung im digitalisierten Bild.

Quelle: Wargalla 1999, S. 224

Die Schärfung digitaler Bilder erfolgt entweder mit Hochpassfiltern – die unmittelbar die hohen Ortsfrequenzen, d.h. dicht beieinander liegende Grauwertunterschiede verstärken (Albertz 2001, S. 108) – oder durch unscharfes Maskieren mit kleinem Radius (Bischof & Leberl 2004, S. 426). Das unscharfe Maskieren ist ein Verfahren, das bereits bei analogen Kopiervorgängen im Labor zur Schärfung von Bildern verwendet wurde: Ein unscharfes Positiv des zu verbessernden Bildes wurde im Vergrößerer über das ursprüngliche Negativ gelegt und auf hartes Photopapier belichtet. Das dabei resultierende Bild wies eine höhere Schärfe auf als das Originalnegativ (Kraus 1996, S. 162). Der gleiche Effekt lässt sich auch mit digitalen Bildern erzielen, wenn das Negativ einer zuvor weichgezeichneten Version des Originalbildes mit diesem umgekehrt multipliziert wird. In Bildverarbeitungsprogrammen wie *Adobe Photoshop* steht hierfür eine wirkungsvolle Funktion zur Verfügung, bei der sich die Parameter interaktiv anpassen lassen (Ab-

bildung 6.14): Die *Stärke* steuert die Intensität der Schärfung, der *Radius*, wie weit die Schärfung wirkt, und der *Schwellenwert*, ab welcher Tonwertdifferenz die Wirkung des Filters einsetzt (Kraus 1996, S. 160 f.).

Ein weiterer Weg ist eine Kantenverstärkung durch das Extrahieren der Kanten eines Bildes mit dem sogenannten Laplace-Operator, die sodann in das Bild mit hineingerechnet werden (vgl. Bischof & Leberl 2004, S. 426 sowie Kraus et al. 1996, S. 343 ff.).

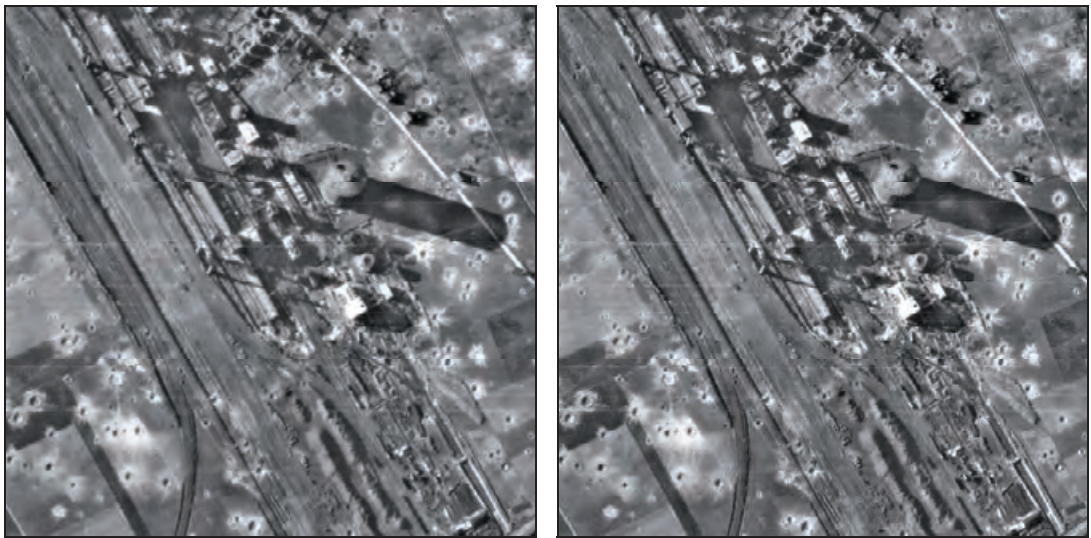


Abbildung 6.14: Schärfen durch unscharfes Maskieren

In diesem Beispiel wurde das rechte Bild durch unscharfes Maskieren in *Adobe Photoshop* aus dem linken Bild (aus Abbildung 6.15 rechts) mit einer Stärke von 40 und einem Radius von 1 berechnet.

Durch das unvermeidbare Luftlicht, das als zur Kamera gerichteter Teil der diffusen Himmelsstrahlung die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung überlagert, enthalten Luftbilder einen mehr oder weniger ausgeprägten Dunstschleier, der im Bild als Grauschleier erscheint. Seine Intensität hängt dabei von der Art und Größe der Aerosole in der Atmosphäre ab (Albertz 2001, S. 14 ff.). Bei historischen Luftbildern kann ein solcher Grauschleier auch die Folge von Alterungsprozessen oder schlechter Fixierung nach der Entwicklung sein. Ferner enthalten Kriegsluftbilder nicht selten auch Wolken und mehr oder weniger dichten Dunst, da bei Aufklärungsflügen zumeist keine Rücksicht auf Wetterbedingungen genommen werden konnte (vgl. Kapitel 5). Solchen Störungen kann durch unscharfes Maskieren entgegengewirkt werden, wenn der Filter bei geringer Stärke mit sehr großem Radius angewandt wird (Abbildung 6.15).

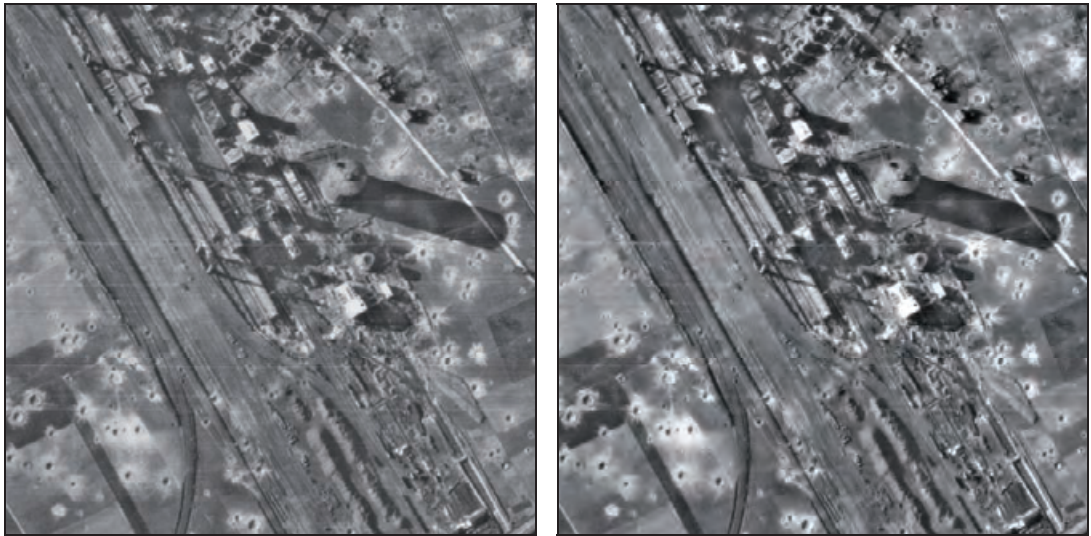


Abbildung 6.15: Dunstentfernung durch unscharfes Maskieren

In diesem Beispiel wurde das rechte Bild durch unscharfes Maskieren in *Adobe Photoshop* aus dem linken Bild (aus Abbildung 6.11 rechts) mit einer Stärke von 25 und einem Radius von 250 berechnet.

Wie anfangs erwähnt, ist es ratsam, die Reihenfolge der verschiedenen Verfahren zur Bildverbesserung nicht beliebig zu wählen, sondern so, dass nicht ein Verarbeitungsschritt der Wirkung eines vorangehenden Prozesses entgegenwirkt und dadurch die Bildqualität unnötig verschlechtert. So wirkt sich beispielsweise eine Scharfzeichnung auf die Grauwertverteilung eines Bildes aus und beeinflusst dadurch auch die Wirkung einer Histogrammanpassung. Aus diesem Grund empfiehlt sich eine deduktive Vorgehensweise, die bei globalen Operationen beginnt und mit den kleinräumigen Bildverbesserungen abschließt (Abbildung 6.16).

Während Störungen durch Dunst und Wolkenschleier mit Dodging und unscharfem Maskieren weitestgehend eliminiert werden können, verbleiben je nach Grad der Bewölkung zwischen Kamera und Gelände zumindest die undurchsichtigen Bereiche von Wolken im Bild (Abbildung 6.17). Reihenmessbilder mit Beeinträchtigungen durch Wolken gelten unter normalen Bedingungen als wertlos und können beim Auftragnehmer reklamiert werden. Eine Auswertung solcher Bilder wird normalerweise nicht in Betracht gezogen.

Für Aufnahmen vergangener Zeiten ist das Beharren auf Wolkenfreiheit jedoch müßig, weil eine erneute Befliegung für die jeweilige Zeit naturgemäß

nicht nachgeholt werden kann. Wenn auf die betreffenden Bilder trotzdem nicht verzichtet werden soll, bleibt nur der Versuch, Verdeckungen durch Wolken zu umgehen.

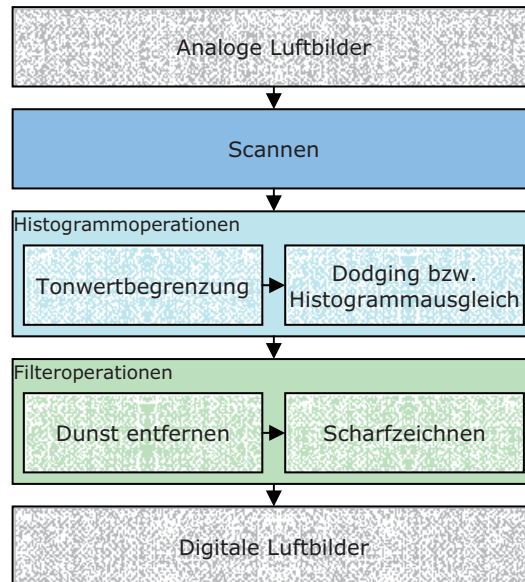


Abbildung 6.16: Gesamtablauf der radiometrischen Bildverbesserung

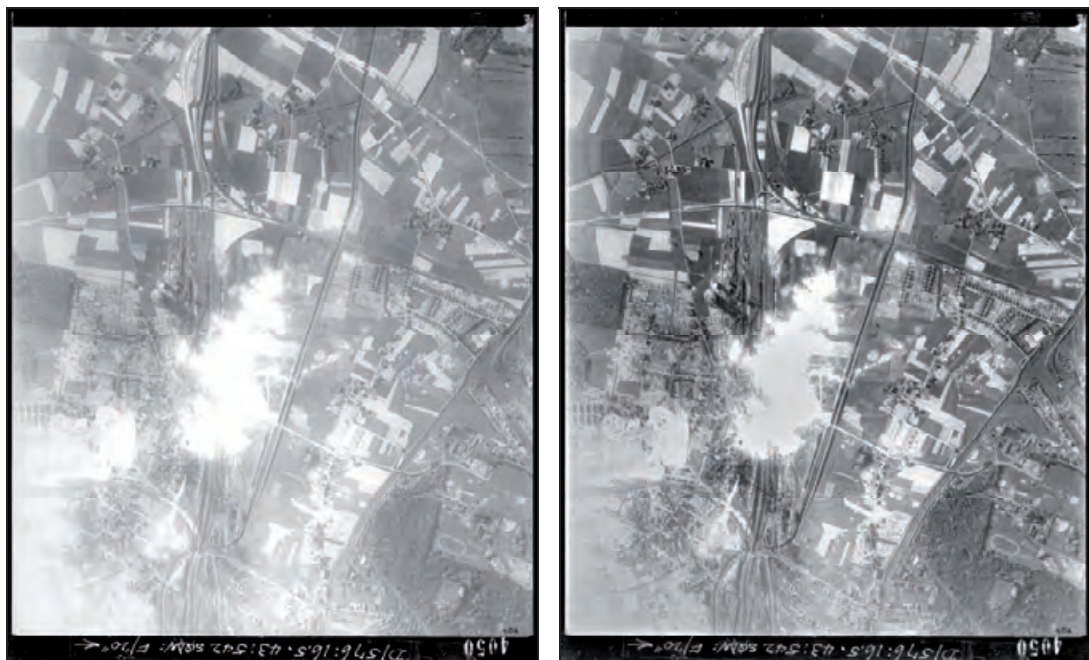


Abbildung 6.17: Luftbild mit Bewölkung

Links: gescanntes Luftbild der Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde vom 16.5.1943. Das Bild weist mittig und links unten starke Beeinträchtigungen durch Wolken und Dunst auf, die Teile des Kokereigeländes verdecken.

Rechts: gleiches Luftbild nach radiometrischer Bildverbesserung. Das Gelände unter teiltransparenten Wolkenbereichen ist nun wesentlich besser zu erkennen. Undurchsichtige Wolkenteile verbleiben jedoch im Bild und versperren die Sicht auf das darunter liegende Gelände.

Quelle: TD NL

Hierfür wurde eine Methode angewandt, die die unterschiedlichen Aufnahmepositionen, die Längsüberdeckung und die aus der Zentralperspektive resultierenden unterschiedlichen Perspektiven auf das Gelände bei analogen Reihennessbildern ausnutzt. Die genannten Aufnahmebedingungen lassen störende Wolken in aufeinanderfolgenden Bildern an unterschiedlichen Stellen über dem Gelände erscheinen. Wird aus den Bildern nun ein Mosaik erstellt, können in den Überlappungsbereichen die jeweils wolkenfreien Bildteile verwendet werden (Abbildung 6.18).

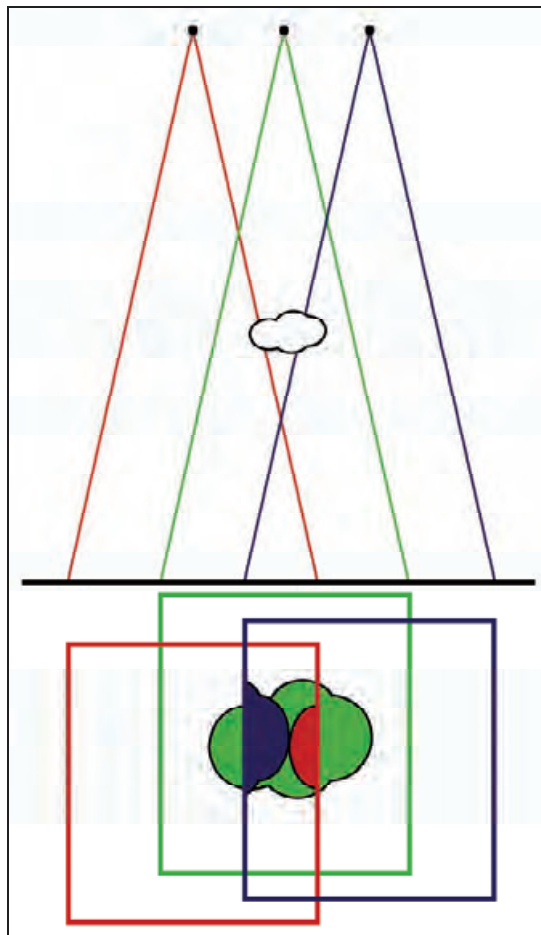


Abbildung 6.18: Unterschiedliche Verdeckung des Geländes durch Wolken bei wechselnden Perspektiven einer Reihenfotografie

Mit den roten, grünen und blauen Linien werden die Aufnahmesituationen dreier aufeinanderfolgender Bilder einer Reihenfotografie in der Seitenansicht (oben) sowie die resultierende Bildabdeckung im Grundriss (unten) schematisch dargestellt. Die skizzierte Wolke verdeckt den zentralen Bereich des mittleren Bildes (grün). Auch im vorhergehenden und darauffolgenden Bild (rot und blau) kommt es zu Beeinträchtigungen durch die Wolke – jedoch nur an den Bildrändern. Durch die Zentralperspektive der einzelnen Aufnahmen ist jeweils ein anderer Geländeausschnitt durch die Wolke verdeckt, so dass durch selektives Zusammenfügen der einzelnen Bilder ein wolkenfreies Bild erstellt werden kann.

Damit die einzelnen Ausschnitte unterschiedlicher Bilder aus verschiedenen Perspektiven aneinander passen, ist es unerlässlich, die Bilder vor der Mosaikierung einer Orthoentzerrung zu unterziehen. Diese eliminiert die system- und plattformbedingten Verzerrungen, die insbesondere in den Bildrandbereichen dazu führen, dass benachbarte Bilder zunächst nicht aneinander passen (Abbildung 6.19).



a)

Abbildung 6.19: Mosaikierung von Luftbildern

- a) Schnittkante in einem Mosaik linear entzerrter Luftbilder: Es treten stellenweise deutliche Versätze auf (rote Kreise).
- b) Schnittkante in einem Mosaik orthoentzerrter Luftbilder: Die Bilder passen versatzfrei aneinander (grüne Kreise).



b)

Für die Orthoentzerrung eines Luftbildes wird ein Geländemodell des abgebildeten Geländeausschnitts benötigt. Anhand der enthaltenen Höheninformationen kann der reliefbedingte radiale Punktversatz kompensiert werden. Ein Geländemodell muss durch Aerotriangulation aus den Luftbildern selbst gewonnen werden, weil in der Regel keine Geländemodelle für den Aufnahmezeitpunkt historischer Luftbilder verfügbar sind.

6.3 Geometrische Aufbereitung: Rekonstruktion von Elementen der Inneren Orientierung

Wie in Kapitel 5.4 (Qualitätsspektrum verfügbarer Luftbilder) bereits dargelegt, fehlen bei historischen Luftbildern oft wesentliche Elemente für eine photogrammetrische Verarbeitung.

Notwendige Größen für die einzelnen Orientierungsschritte zur Vorbereitung einer Aerotriangulation sind

- Flughöhe,
- Kammerkonstante,
- Bildmarken,
- Koordinaten der Bildmarken,
- Koordinaten des Bildhauptpunktes und
- Parameter der Radialverzeichnung.

Während Kammerkonstante, Flughöhe und Bildmarken sich oft im Bild selbst finden lassen (vgl. Abbildung 5.5, 5.14 und 5.15), sind Angaben zum Bildkoordinatensystem sowie Verzeichnungsparameter nur im Kalibrierprotokoll zu finden (Kraus et al. 1996, S. 468) (vgl. Abbildung 5.6 und 5.7). Liegen einige dieser Parameter nicht vor, kann der Standpunkt vertreten werden, dass eine Aerotriangulation des betreffenden Luftbildmaterials nicht möglich ist. Angesichts der Genauigkeitsdimensionen, für die photogrammetrische Verfahren entwickelt wurden, ist diese Auffassung nachvollziehbar und auch zutreffend. Für Anwendungen, die primär die Erfassung qualitativer Informationen zum Ziel haben, deren Verortung im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten bestmöglich erfolgen soll, wird in dieser Arbeit am Beispiel der Altlastverdachtsflächenerfassung nachgewiesen, dass durch die Rekonstruktion der erforderlichen Parameter eine Verwendung der beeinträchtigten Luftbilder in konventioneller Photogrammetriesoftware möglich ist – auch wenn die jeweiligen Werte nur näherungsweise ermittelt werden können und die Abweichungen von den tatsächlichen Größen zu entsprechenden Lage- und Höhenfehlern im Stereomodell führen.

Dazu wird zunächst aufgezeigt, wie sich in Kenntnis der geometrischen Zusammenhänge von Messbildern die einzelnen Größen – abgesehen von der Radialverzeichnung – aus bekannten Parametern und durch messtechnisch ermittelte Werte rekonstruieren bzw. bei Unsicherheiten verifizieren lassen.

6.3.1 Flughöhe und Kammerkonstante

Der grundlegende Zusammenhang $M = \frac{f}{H'}$ (M = Maßstab, H' = mittlere

Flughöhe über dem Gelände, f = Brennweite) aus Abbildung 6.20 hilft bei der näherungsweisen Bestimmung von Kammerkonstante oder Flughöhe

(Campbell 2002, S. 145). Ist der Maßstab des Bildes nicht bekannt, kann er anhand der gemessenen Längen korrespondierender Strecken in Bild und

Gelände mit $M = \frac{S_L}{S_N}$ (M = Maßstab = $\frac{1}{m}$, S_L = Strecke im Luftbild, S_N = Strecke in der Natur) bestimmt werden (Jensen 2000, S. 144). Dabei

empfiehlt es sich, jeweils mehrere Messungen vorzunehmen und diese zu mitteln, um zum einen den Einfluss von Messfehlern zu minimieren und zum anderen reliefbedingte Maßstabsdifferenzen bei unebenem Gelände auszugleichen (Jensen 2000, S. 147).

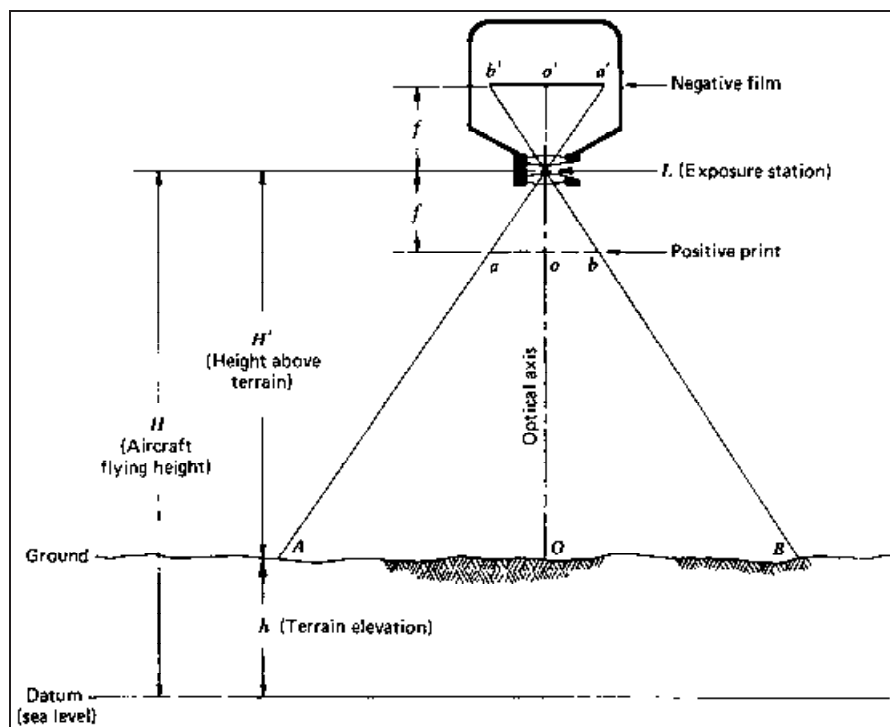


Abbildung 6.20: Luftbild-Aufnahmesituation

Mit dem Satz Ähnlicher Dreiecke gilt

$$\overline{a'o'} = \overline{ao} \text{ bzw. } \overline{b'o'} = \overline{bo} \text{ oder } \overline{a'b'} = \overline{ab}$$

Nach dem Strahlensatz in Verbindung mit der Maßstabsformel gilt

$$\frac{\overline{ao}}{\overline{AO}} = \frac{f}{H'} = M$$

Mit M = Maßstab, $H' = H - h$ = Flughöhe über dem Gelände und f = Brennweite (weitere Angaben in der Abbildung: H = Flughöhe über NN, h = Geländehöhe, L = Projektionszentrum des Kameraobjektivs)

Quelle: Lillesand & Kiefer 2000, S. 138

Sind sowohl die Kammerkonstante als auch die Flughöhe nicht im Bild zu finden, kann eine Bildflugübersicht oder die Bilddatenbank des Lieferanten der Bilder zu diesen Metadaten führen. Jedoch sollte die Zuverlässigkeit sol-

cher Quellen vorsichtshalber durch Einsetzen der recherchierten Werte in die Maßstabsformel überprüft werden. Gleiches gilt auch, wenn die Kamerakonstante mit Hilfe des verwendeten Kameratyps anhand bekannter Kamerakonfigurationen geschätzt werden muss. Nicht selten wurde ein Kameratyp mit Objektiven verschiedener Brennweiten ausgestattet, so dass das Ergebnis einer Recherche nach der Brennweite der verwendeten Kamera mehrdeutig sein kann und der passende Wert aus einer Auswahl verschiedener möglicher Größen zu ermitteln ist (Tabelle 6.4 und 6.5).

Bezeichnung	Objektive Brennweiten (inch/mm*)	Anzahl der Bilder	Film-/Bild- format(e) (cm*)
RAF: F.8 II + III Messkamera	20 = 508 36 = 914 40 = 1016	250	18 x 23
RAF: F.24 Mehrzweckkamera	5 = 127 8 = 203 14 = 356 20 = 508	125 250	13 x 13
RAF: F.52 RAF: F.63 Aufklärungskamera	14 = 356 20 = 508 36 = 914	250 500	18 x 23
USAF: K-Serie insbesondere: K8AB K17	6 = 152 12 = 305 24 = 610	bis zu 500	13 x 18 23 x 23
*) mm-/cm-Werte gerundet			

Tabelle 6.4: Alliierte Aufklärungskameras mit Brennweiten und Bildformat
Quellen: LUA 2006, S. 47 und Slater 1975, S. 288 und 290

Ist auch der Kameratyp unbekannt, bleiben bei Aufklärungsbildern nur das Bildformat, das Layout der Bildbeschriftung und die Aufklärungseinheit als Anhaltspunkte für die Zuordnung zu einem Kameratypen (Abbildung 6.21). In diesen Fällen und wenn jegliche Anhaltspunkte für Brennweite oder Kamera fehlen, kann die Formel zur Höhenbestimmung durch den radialen Punktversatz (Lillesand & Kiefer 2000, S. 152) umgestellt und die Brennweite über die Höhe eines Bildobjektes, dessen radiale Bildposition und seinen Radialversatz sowie den Bildmaßstab berechnet werden. Voraussetzungen dafür sind zum einen die Kenntnis der Höhe eines möglichst hohen Objektes in dem fraglichen Bild und zum anderen die Sichtbarkeit von dessen im Ge-

lände senkrecht übereinander liegenden Kopf- und Fußpunkt (Abbildung 6.22).

Flugzeug	Typ	Kamera(s)	„Standard“- Brennweite(n) mm	Anordnungen (split = split vertical)
Spitfire	PR 1A	F24	127	Senkrecht beide Tragflächen
Spitfire	PR 1B	F24	203	Senkrecht beide Tragflächen
Spitfire	PR 1C	F24	203	split – Steuerb:-Tragfläche
		1 x F8 od. 1 x F24	508	Senkrecht beide Tragflächen
Spitfire	PR 1D	1 x F8 od. 1 x F24	508 356	split – Rumpf
Spitfire	PR 1F	1 x F8	508	Senkrecht Rumpf
Spitfire	PR 1G	1 x F24 1 x F24	127 356	Senkrecht Rumpf
Spitfire	PR IV	wie PR 1D	wie PR 1D	wie PR 1D
		F52	914	Senkrecht Rumpf
Spitfire	PR IX/X/ XI/XIV	F24 F8 od. F52 F52	508 508 914	split – Rumpf
DeHavilland Mosquito	PR I/II/ VI/IX/XVI	F8 F52 F24	508 914 356	split – Rumpf
DeHavilland Mosquito	PR 34	F52	356 od. 508 od. 914	split – Rumpf
DeHavilland Mosquito	Messflug	1 x K17 od. 1 x K8AB 1 x F24	406 305 203 od. 356	Senkrecht Rumpf

Tabelle 6.5: Kamerakonfigurationen der alliierten Luftaufklärung
Quelle: LUA 2006, S. 48

Bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen liegen sachgemäß auch Informationen aus Archiven vor. Somit ist es nicht unwahrscheinlich, dass sich darin Höheninformationen insbesondere zu markanten Bauwerken wie einem Gasometer, Tank oder Schornstein finden lassen, anhand derer die Brennweite mit diesem Verfahren geschätzt werden kann.

Mit H = Flughöhe über dem Objekt-Fußpunkt, h = Objekthöhe, r = Radius des Objekt-Kopfpunktes und d = Radialversatz des Objektes gilt

6 Verfahren zur digitalen Aufbereitung historischer Luftbilder

$$h = \frac{d \cdot H}{r}$$

Einsetzen von $H = m \cdot f$ (m = Maßstabszahl des Bildes, f = Brennweite) und umstellen nach f ergibt daraus

$$f = \frac{r \cdot h}{d \cdot m}$$

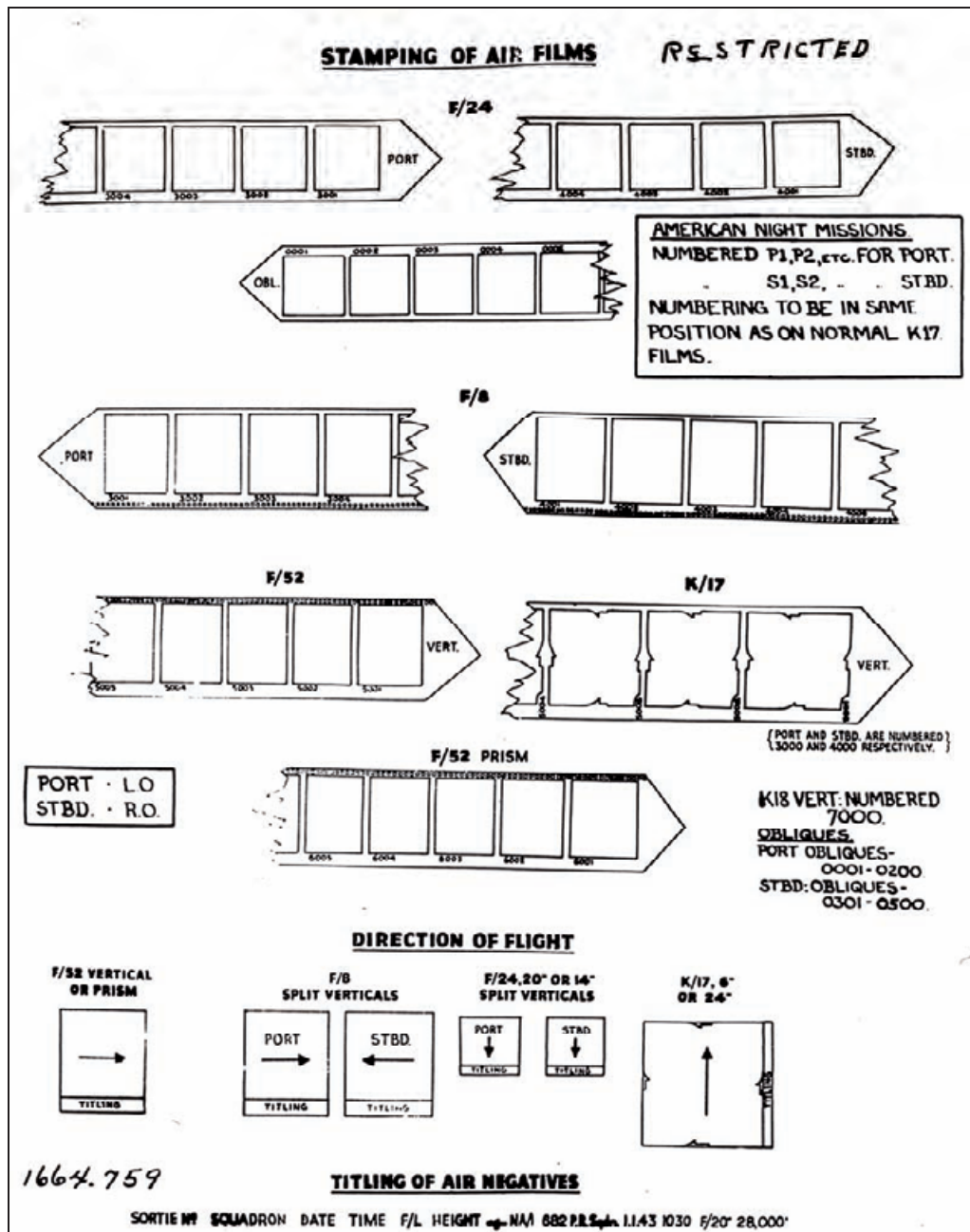


Abbildung 6.21: Film Titeling Guide

Die Abbildung zeigt die Bildlayouts und Nummerierungskonventionen verschiedener Kamerateypen (F/24, F/8, F/52, K/17) sowie die Anordnung der Informationen in der Bildrandleiste (unten)

Quelle: Stanley 1981, S. 229

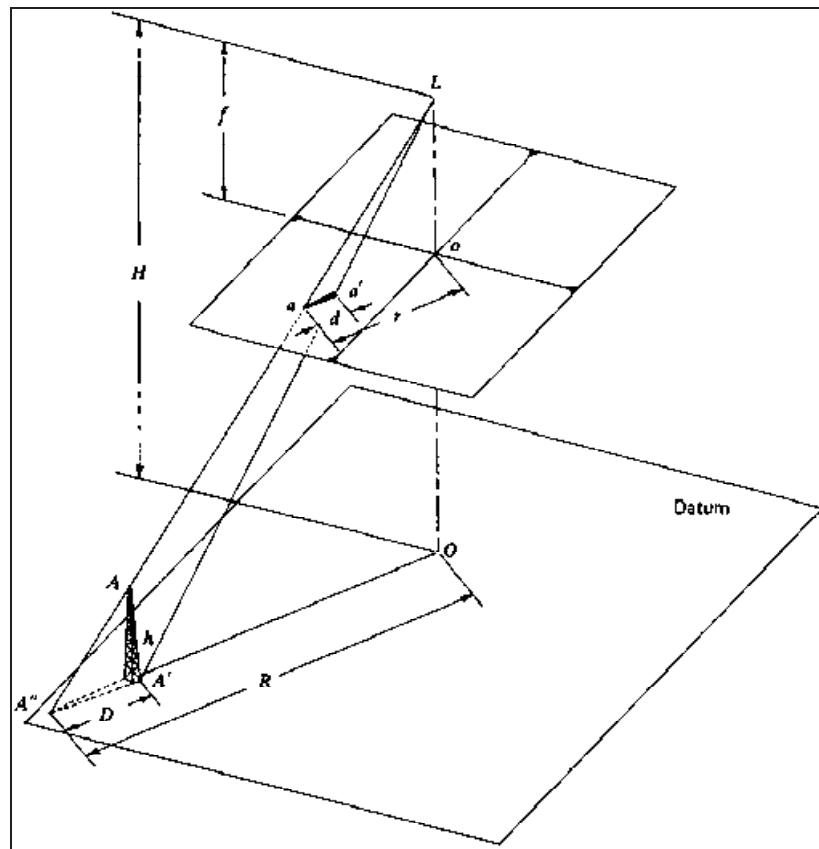


Abbildung 6.22: Dreiecksbeziehungen zur Höhenbestimmung durch den Radialen Punktversatz

Quelle: Lillesand & Kiefer 2000, S. 152

In Anbetracht der teilweise starken Abweichungen der Aufnahmeachse von der Senkrechten kann es erforderlich sein, für die Messung der Radien den Bildnadir N' als Abbild des Nadirpunktes N als Zentrum der radialen Punktversätze im Bild zu konstruieren, da er in solchen Fällen nicht mit dem Bildmittelpunkt übereinstimmt (Hildebrandt 1996, S. 74).

Da das Verfahren durch die Messungen in den Bildern recht ungenau und die für die Bedingungen des Strahlensatz erforderliche Parallelität von Gelände und Bildebene (Abbildung 6.22) zumeist nicht exakt gegeben ist, darf der errechnete Wert lediglich als Hinweis auf eine der typischen Brennweiten von 5, 6, 8, 12, 14, 20, 24, 36, oder 40 Zoll dienen und die nächstliegende davon entsprechend einer möglicher Weise eingesetzten Kamera verwendet werden (Abbildung 6.23). Je größer das vermessene Objekt ist und je weiter es zum Bildrand hin liegt, desto geringer wirken sich Messfehler auf das Ergebnis aus. Denn der Radialversatz nimmt den Gesetzen der Zentralprojektion folgend zum Rand hin zu, und bei größeren Messstrecken

reduziert sich bekanntlich der Anteil des Messfehlers an dem ermittelten Wert.

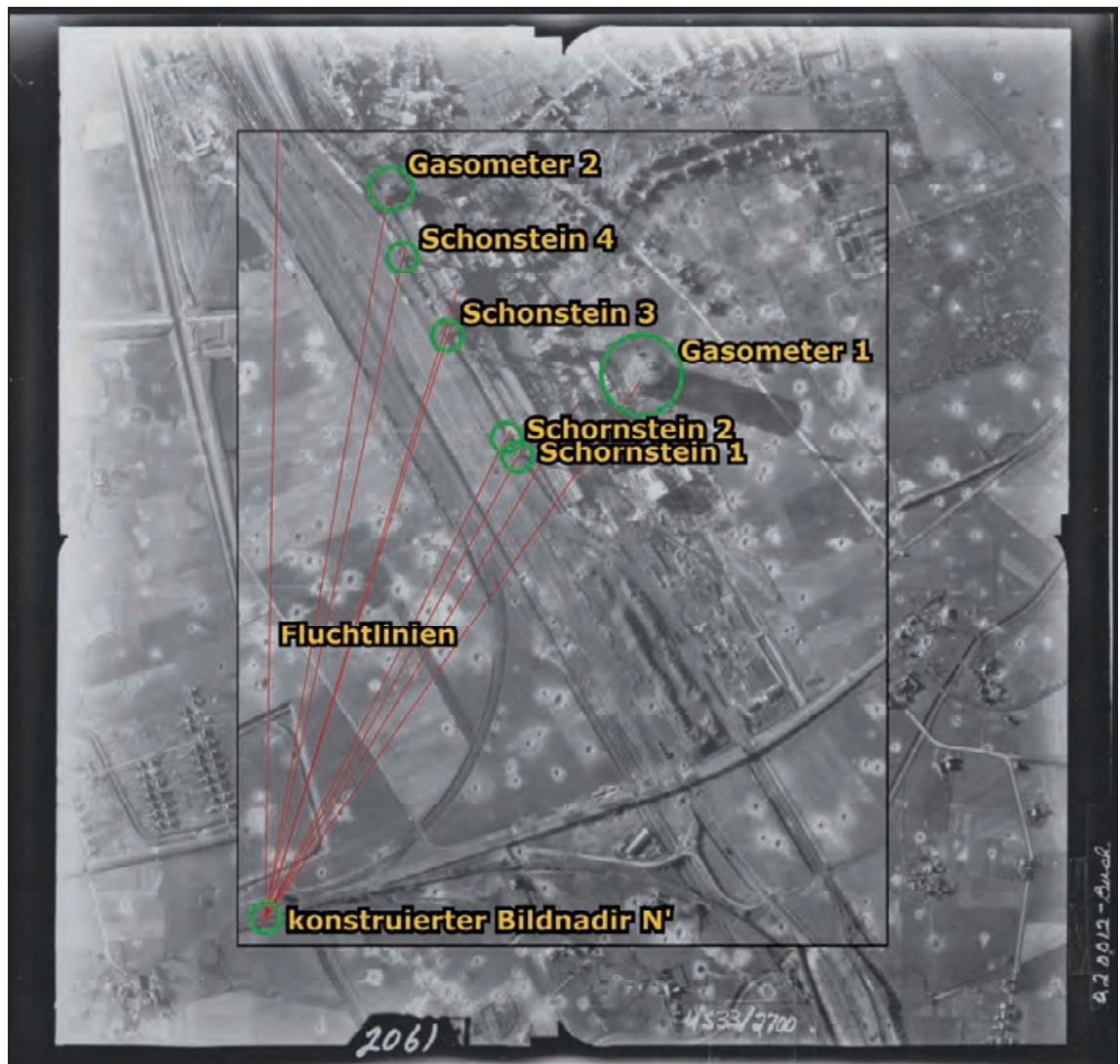


Abbildung 6.23: Brennweitenbestimmung anhand des Radialversatzes
Die markanten Rahmenmarken deuten darauf hin, dass es sich bei dem dargestellten Bild um die Aufnahme einer Kamera des Typs K/17 (vgl. Tabelle 6.4, Tabelle 6.5 und Abbildung 6.21) handelt. Demnach muss das Bild mit einer Brennweite von 6", 12", oder 24" aufgenommen worden sein. Die Bildnummer aus dem 2000er Bereich deutet in Verbindung mit LUA 2006, S. 54 auf eine Steuerbord-Split-Vertical Aufnahme hin. Dies erklärt einen Teil der Abweichung des Nadirpunktes vom Bildmittelpunkt quer zur Flugrichtung. Der restliche Teil der Abweichung muss auf eine Schräglage der Aufnahmeplattform zurückgeführt werden. Der Bildnadir N' wurde mittels Fluchtlinien anhand von radialversetzten Bildobjekten rekonstruiert und von hier aus die Radien der Kopfpunkte hoher Bildobjekte sowie deren Radialversatz gemessen. Der Bildmaßstab wurde auf der Grundlage von drei vergleichenden Streckenmessungen von Strecken im Luftbild und der zugehörigen DGK5 ermittelt ($m \sim 10200$). Da von den vermessenen Objekten nur die Höhe des Gasometers 1 bekannt ist (92 m), wurden die übrigen Höhen über die Längen der Schatten anhand der Höhe von Gasometer 1 per Dreisatz näherungsweise berechnet. Anschließend konnte die Berechnung der Brennweite nach der o.g. Formel durchgeführt werden:

Objekt	h [m]	r [mm]	d [mm]	f [m]	f [inch]
Gasometer 1	92	94,69	1,49	0,574	23
Schornstein 1	90	77,28	1,22	0,560	22
Schornstein 2	90	79,12	1,30	0,538	21
Schornstein 3	90	89,87	1,52	0,523	21
Schornstein 4	90	99,13	1,54	0,569	22
Gasometer 2	32	106,08	0,56	0,595	23
Mittelwert				0,560	22

Auch wenn 22" auf keine der mit einer K/17 verwendeten Brennweiten zutrifft, ist bei den Alternativen 6", 12" und 24" sofort deutlich, dass das vorliegende Bild mit einer Brennweite von 24" aufgenommen worden sein muss. Diese Aussage wird in diesem Fall durch die Kriegsluftbilddatenbank des LANUV NRW bestätigt.

(Da das hier verwendete Bild bereits aus Abbildung 6.6 und den folgenden bekannt ist, wurde darin der betroffene Bereich zugunsten einer besseren Sichtbarkeit der entscheidenden Bildelemente vergrößert hervorgehoben.)

Für die spätere Triangulation der Bilder ist zu beachten, dass es sich bei der nach den vorgenannten Verfahren ermittelten Brennweite um eine nominelle und keines Falls um eine kalibrierte Kammerkonstante handelt. Die Abweichung dazwischen kann als Unbekannte im „Selbst Kalibrierenden Bündelblockausgleich“ berücksichtigt und die Kammerkonstante dementsprechend im Rahmen der Triangulation korrigiert werden (Niwa 2002, S. 3).

6.3.2 Koordinaten der Rahmenmarken und des Rahmenhauptpunktes

Liegt für einen Satz Messbilder kein Kalibrierprotokoll vor und lässt es sich auch nicht anderweitig beziehen (z.B. von der Landesvermessung, einem Kalibrierdienst oder geeigneten Archiven), so müssen die daraus benötigten Parameter anders beschafft werden. Als einzige Quelle bleibt in solchen Fällen nur das Luftbild selbst. Anhand der darin enthaltenen Bildmarken können der Bildmittelpunkt bestimmt, die Koordinaten der Bildmarken ermittelt und diese Werte als Koordinaten der Rahmenmarken und des Rahmenhauptpunktes verwendet werden. Dies setzt jedoch die Annahme voraus, dass der Bildmittelpunkt mit dem Rahmenhauptpunkt zusammenfällt, die Koordinaten $x_0=0$ und $y_0=0$ hat und dass die darauf bezogenen, gemessenen Koordinaten der Bildmarken mit den Positionen der Rahmenmarken

identisch sind. Dies impliziert perfekte Messungen im Bild und eine ideale Kamera sowie vollständig exakte Reproduktionsprozesse von der Aufnahme des Luftbildes bis zum gescannten digitalen Bild. Da diese Verhältnisse aber nicht real sind, stimmen die ermittelten Istwerte aus dem Messbild nicht mit den Sollwerten des unbekannten Kalibrierprotokolls überein. Die Differenzen zwischen den Positionen der gemessenen Bildmarken und kalibrierten Rahmenmarken sowie die Abweichung zwischen dem konstruiertem Bildmittelpunkt und einem kalibrierten Rahmenhauptpunkt der Messkammer wirken sich negativ auf die Genauigkeit des Modells aus, da sie nicht bekannt sind und somit nicht ausgleichend in die Berechnung der Inneren Orientierung eingehen. Die Abweichung der konstruierten Koordinaten des Bildhauptpunktes kann jedoch ebenfalls als Unbekannte im „Selbst Kalibrierenden Bündelblockausgleich“ berücksichtigt werden (Leica 2006, S. 326).

Ebenso lassen sich die Parameter der Radialverzeichnung nicht aus dem Bild selbst gewinnen. Sie können jedoch als *zusätzliche Parameter* im Rahmen einer Selbstkalibrierung ermittelt werden (Leica 2006, S. 333 und S. 352 f.). Die Vermessung bzw. die Berechnung der Koordinaten für die Rahmenmarken kann auf unterschiedliche Weise erfolgen: Niwa (2002, S. 2 f.) schlägt dazu vor, den Abstand der Bildmarken horizontal (b) und vertikal (h) zu messen und daraus die Koordinaten gemäß Abbildung 6.24 und Tabelle 6.6, Variante 1 zu ermitteln. Die Lage des Koordinatensystems orientiert sich gewöhnlich – wie dargestellt – an der Flugrichtung, die in der Regel die Richtung der X-Achse vorgibt.

Die Messungen selbst sollen gemäß Niwa (2002, S. 2 f.) mit einem Lineal im Kontaktabzug oder per Software direkt am Computer vorgenommen werden. Dazu ist lediglich die Anzahl der Pixel zwischen den Bildmarken zu ermitteln und durch die Verrechnung mit der Scanauflösung des jeweiligen Bildes in die erforderlichen Strecken umzurechnen.

Nach Ansicht des Verfassers ist die erstgenannte Methode aufgrund ihrer Anfälligkeit für Ablesefehler jedoch nicht in Betracht zu ziehen, da das Bildmaterial ohnehin digital vorliegt und Messungen mit Bildverarbeitungssoftware aufgrund der darin möglichen Vergrößerung wesentlich exakter als mit mechanischen Mitteln durchzuführen sind. Auch sollten zur Fehlerminimierung – sofern Rahmenmarken in den Ecken vorhanden sind – für jede Richtung jeweils beide möglichen Strecken gemessen und dann gemittelt wer-

den (vgl. Abbildung 6.24 und Tabelle 6.6, Variante 2). Differenzen in den Messungen der jeweiligen Richtung geben – unter der Annahme, dass die Rahmenmarken möglichst so angeordnet sind, dass der Bildhauptpunkt im Schnittpunkt der Verbindungslinien zwischen gegenüberliegenden Rahmenmarken liegt (Wolf & Dewitt 2000, S. 66) – Hinweise auf Bilddeformationen, sofern sich Messfehler ausschließen lassen.

Eine weitere Möglichkeit, ein Bildkoordinatensystem zu konstruieren, besteht darin, in einem exakt senkrecht ausgerichteten Bild den Bildmittelpunkt zu markieren und von hier aus die Bildmarken in das fiktive Koordinatensystem einzumessen (vgl. Abbildung 6.24 und Tabelle 6.6, Variante 3). Noch genauer ist es, die Rahmenmarken in Bild- bzw. Pixelkoordinaten auszumessen und den Rahmenmittelpunkt nicht konstruktiv, sondern rechnerisch aus den gemessenen Koordinaten der Rahmenmarken zu ermitteln, auf den dann die Rahmenmarkenkoordinaten normiert werden.

Bei der letzten Variante ist unter der erwähnten Annahme symmetrisch angeordneter Bildmarken am besten zu erkennen, ob und wo das vorliegende Luftbild verdächtige Verzerrungen aufweist. Diese würden anhand asymmetrischer Koordinaten der Bildmarken Hinweise auf Bereiche mit Deformationen im Messbild geben und nicht wie bei den vorgenannten Verfahren über die Koordinaten aller Bildmarken verteilt.

Die Ursachen für solche Verzerrungen können an mehreren Stellen in der Überlieferung von Bildern liegen. Solche sind z.B.

- Abweichungen des Films von der Bildebene bei der Aufnahme (Wolf & Dewitt 2000, S. 93),
- ungünstige Umgebungsbedingungen (extreme Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen) bei Lagerung und Transport,
- Ungenauigkeiten beim Kopierprozess und
- geometrische Fehler des Scanners beim Digitalisieren.

Bei allen drei aufgezeigten Varianten zur Einmessung eines Bildkoordinatensystems ist entscheidend, dass die Orte an den Rahmenmarken – die jeweils als Anfangs- oder Endpunkt einer Messung dienen – eindeutig identifizierbar sind. Andernfalls wird es beim Herstellen der Inneren Orientierung schwierig, sie exakt wiederzufinden. Ist die Form der Rahmenmarken nicht eindeutig, kann eine Markierung der Stelle, an der die Messung abgegriffen wird, die Wiedererkennung bei der Inneren Orientierung sicherstellen.

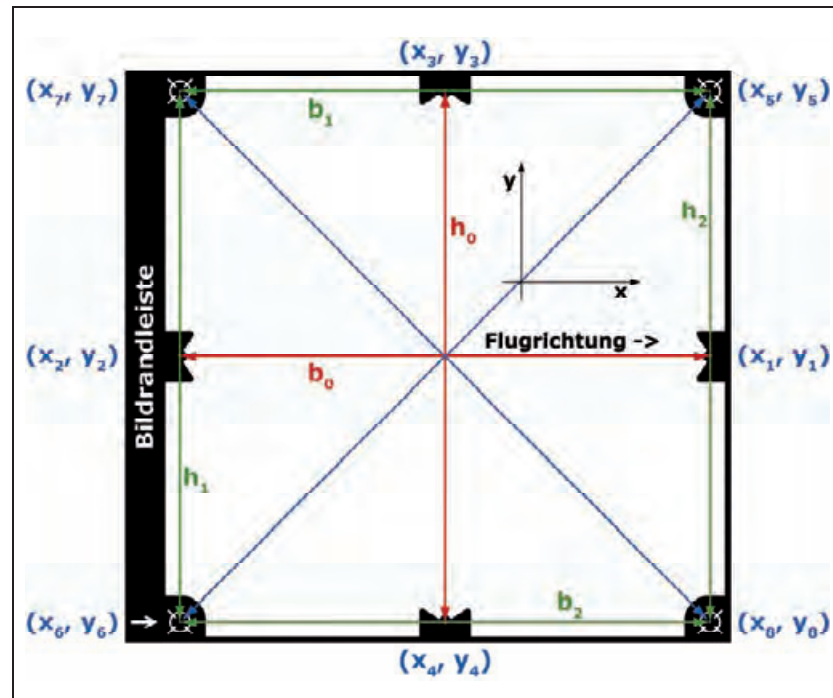


Abbildung 6.24: Bildmarken vermessen

Die Koordinaten der Rahmenmarken können nach drei Varianten im Luftbild gemessen werden:

1. Bestimmen der Breite (b_0) und Höhe (h_0) durch zwei Messungen zwischen den jeweils gegenüberliegenden Rahmenmarken in der Mitte der Bildkanten (rote Linien) (Niwa 2002, S. 2)
2. Ermitteln der Breiten (b_1 und b_2) und Höhen (h_1 und h_2) durch vier Messungen zwischen den Rahmenmarken an den Enden je einer Bildkante (grüne Linien) und mitteln der Messungen für jede Richtung
3. Messen der Bildkoordinaten bezogen auf den durch Verbinden gegenüberliegender Rahmenmarken konstruierten Bildmittelpunkt in einem präzise ausgerichteten Bild (blaue Linien)

Auch für den Fall, dass das vorliegende Luftbildmaterial keine identifizierbaren Rahmenmarken aufweist, gibt es Möglichkeiten, das Bild- und somit auch das Kamerakoordinatensystem zu simulieren. Hierzu werden künstliche Rahmenmarken in den Mitten der Bildränder erzeugt, die ein synthetisches Koordinatensystem für die innere Orientierung aufspannen. Diese Funktionalität stellt z.B. der sogenannte Fiducial Builder der Firma Geosystems zur Verfügung (Abbildung 6.25)

Damit ist es möglich, anhand der Scan-Auflösung und der Kammerkonstante sowie durch Einmessen der Bildränder ein solches künstliches Kamerakoordinatensystem und die dazugehörigen Rahmenmarken (Abbildung 6.26) zu erstellen (Geosystems 2003, S. 1 ff.). Voraussetzung dafür ist jedoch die Sichtbarkeit der tatsächlichen Bildränder. Diese ist bei historischen Aufnahmen nicht immer gegeben, denn bei einigen Bildern sind die Ränder nicht

mehr zu erkennen, weil sie beim Kopieren nicht mit abgebildet oder durch eine Maske verdeckt wurden. In solchen Fällen kann auch der Fiducial Builder keine verlässlichen Daten der inneren Orientierung liefern.

Punkt		1	2	3	4	5	6	7	8
Variante 1	x	$\frac{b_0}{2}$	$-\frac{b_0}{2}$	0	0	$\frac{b_0}{2}$	$-\frac{b_0}{2}$	$-\frac{b_0}{2}$	$\frac{b_0}{2}$
	y	0	0	$\frac{h_0}{2}$	$-\frac{h_0}{2}$	$\frac{h_0}{2}$	$-\frac{h_0}{2}$	$\frac{h_0}{2}$	$-\frac{h_0}{2}$
Variante 2	x	$\frac{b_1 + b_2}{4}$	$-\frac{b_1 + b_2}{4}$	0	0	$\frac{b_1 + b_2}{4}$	$-\frac{b_1 + b_2}{4}$	$-\frac{b_1 + b_2}{4}$	$\frac{b_1 + b_2}{4}$
	y	0	0	$\frac{h_1 + h_2}{4}$	$-\frac{h_1 + h_2}{4}$	$\frac{h_1 + h_2}{4}$	$-\frac{h_1 + h_2}{4}$	$\frac{h_1 + h_2}{4}$	$-\frac{h_1 + h_2}{4}$
Variante 3	x	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
	y	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈

Tabelle 6.6: Berechnen der Koordinaten aus den Messungen gemäß Abbildung 6.24

Dieses Verfahren eignet sich ebenfalls für Bilder, deren Rahmenmarken keine eindeutige Form aufweisen und somit keine eindeutige Positionierung der Messwerkzeuge sowohl beim Einmessen des Bildkoordinatensystems als auch beim Herstellen der inneren Orientierung ermöglichen.

Sind die Luftbilder digitalisiert und radiometrisch optimiert und ist ihre Geometrie bestimmt, können sie einer digital-photogrammetrischen Verarbeitung zugeführt und nach erfolgreicher Aerotriangulation räumlich ausgewertet werden. Wie sich dieser Prozess mit historischen, geometrisch nicht idealen Luftbildern gestaltet und wie deren besondere Eigenschaften dabei berücksichtigt werden, wird im Folgenden anhand ausgewählter Beispiele dargelegt.



Abbildung 6.25: Fiducial Builder

Quelle: aus der Bearbeitung eines Luftbildes von 1945 im Fiducial Bilder

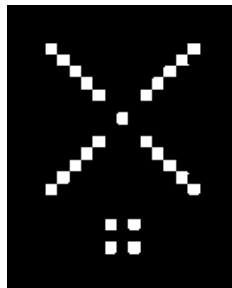


Abbildung 6.26: Rahmenmarke des Fiducial Builders

Die Abbildung zeigt eine mit dem Fiducial Builder erzeugte Rahmenmarke stark vergrößert. Die vier Punkte unterhalb der Markierung stehen für die Nummer der Rahmenmarke, anhand der sie den entsprechenden Koordinaten des künstlichen Kamerakoordinatensystems zugewiesen werden kann.

7 **Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung**

Mit der Aerotriangulation wird die Grundlage für die räumliche Auswertung von Luftbildern geschaffen, indem – wie in Kapitel 4 erläutert – mit der *Äußeren Orientierung* für jedes Bild dessen Position und Stellung zum Aufnahmezeitpunkt im Objektkoordinatensystem bestimmt wird (Kraus 2004, S. 19). In der digitalen Photogrammetrie wird damit die Voraussetzung sowohl für die stereoskopische Kartierung von Objekten in den Bildern als auch für die Generierung von Geländemodellen und Orthofotos geschaffen. Um eine Aerotriangulation durchführen zu können, müssen zunächst die *Innere* und die *Relative Orientierung* der Luftbilder hergestellt werden. Dabei beschreibt die Innere Orientierung anhand der Rahmenmarken in den Bildern und den dazugehörigen kalibrierten Koordinaten die Beziehung zwischen dem Kamera- und dem Bildkoordinatensystem. Die Relative Orientierung rekonstruiert anhand von sogenannten *Verknüpfungspunkten* (*Tie-points*) die gegenseitige Lagebeziehung der Bilder zum Aufnahmezeitpunkt (Wolf & Dewitt 2000, S. 267 f.).

Anhand von Passpunkten respektive *Ground Control Points* (*GCPs*) wird eine Beziehung zwischen den realen Koordinaten ausgewählter Punkte im Gelände zu den Bildkoordinaten der entsprechenden Positionen in den Bildern hergestellt. Anhand dieser Zuordnung und der „Verknüpfung“ der Bilder untereinander werden im Rahmen der Aerotriangulation die sechs Parameter der *äußeren Orientierung* ermittelt. Diese beschreiben die Lage des Bildkoordinatensystems im Objektkoordinatensystem zum Zeitpunkt der Aufnahme (Luhmann 2003, S. 235) und ermöglichen die Ermittlung weiterer Objektkoordinaten unmittelbar im Stereomodell (Abbildung 7.1).

Abhängig vom verwendeten Bildmaterial, von den Referenzdaten und auch von der eingesetzten Software gibt es zahlreiche Möglichkeiten, den Prozess einer Aerotriangulation zu beeinflussen und zu optimieren. Alle diese Möglichkeiten darzulegen ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Daher wird im Folgenden an praktischen Beispielen aufgezeigt, welche Schritte vom Luftbild

zum digitalen Stereomodell bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen insbesondere mit historischen Luftbildern bei der digital photogrammetrischen Bearbeitung des Bildmaterials erforderlich sind.

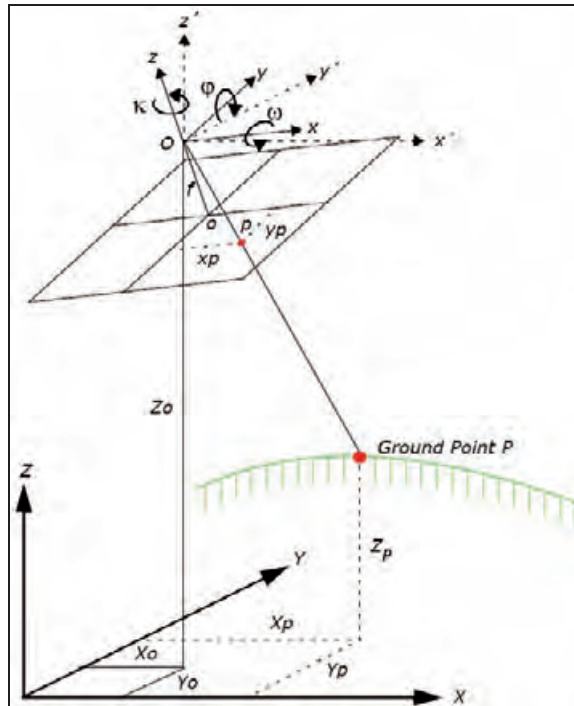


Abbildung 7.1: Elemente der Äußeren Orientierung
Position und Ausrichtung der Kamera werden durch die Elemente der Äußeren Orientierung beschrieben: Die Koordinaten X , Y und Z beschreiben die Lage des Projektionszentrums. Die Winkel ω , φ und κ beschreiben die Abweichung der Kamera von der exakten Lage durch Rollen, Nicken und Kanten.

Quelle: Leica 2006, S. 32

7.1 Software

Für die Aerotriangulation digitaler Luftbilder gibt es verschiedene Programme, die zumeist Bestandteil von Komplettlösungen zur digitalen Photogrammetrie sind. Hersteller wie INPHO, Intergraph und Leica Geosystems wurden bereits im Zusammenhang mit dem Dodging in Kapitel 6 genannt. Für die hier präsentierten Beispiele wurde mit der Software *Leica Photogrammetry Suite (LPS)* gearbeitet, die als handelsübliches Programmpaket auch Möglichkeiten bietet, solche Reihenmessbilder, die wie Kriegsluftbilder den üblichen Standards nicht gerecht werden, einer Aerotriangulation zu unterziehen.

In der LPS wird der gesamte Prozess der photogrammetrischen Luftbildauswertung in einem modulareren Arbeitsablauf durchgeführt – von der Inne-

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

ren Orientierung über die Triangulation bis zur dreidimensionalen Objekterfassung bzw. bis zur Geländemodellextraktion und Orthofotoerstellung. Der *LPS Project Manager* ist dabei die zentrale Anwendung, in der die Bearbeitung eines Bildverbandes bzw. -blocks fortwährend überwacht und gesteuert wird. Neben einer grafischen Übersicht über das Projektgebiet, zeigt eine „Ampel“ für jede beteiligte Bilddatei den Bearbeitungsstatus des Bildverbandes an (Abbildung 7.2). Dementsprechend kann aus dieser Anwendung das jeweils nächste erforderliche Modul direkt aufgerufen werden. Alle eingeegebenen, gemessenen und berechneten projektbezogenen Informationen wie Projektions-, Orientierungs- und Passpunktdaten sowie die Verweise auf die verwendeten Bild-Dateien werden in einer zentralen Datei – dem sogenannten *Block-File* – gespeichert.

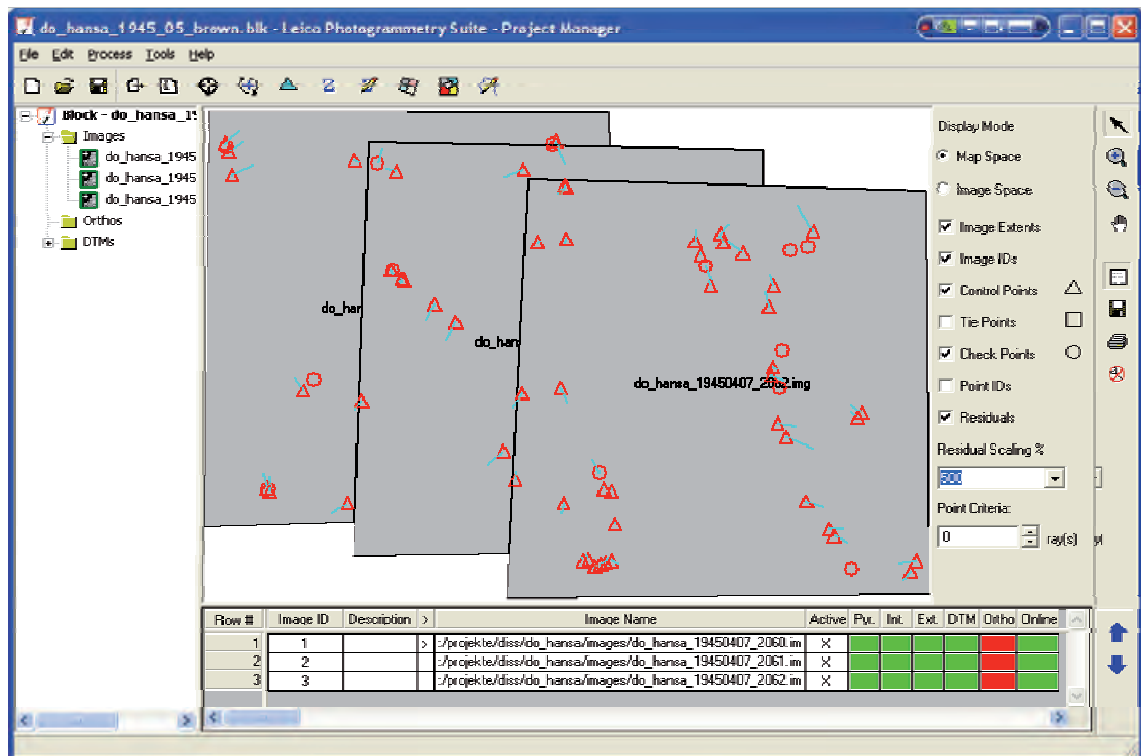


Abbildung 7.2: LPS Project Manager

Das Programmfenster des LPS Project Managers gliedert sich in fünf Bereiche. Oben ist wie üblich die Menüzeile angeordnet, über die alle Funktionen des Programms aufgerufen werden können. Darunter befindet sich eine Reihe von Knöpfen für den direkten Zugriff auf wesentliche Standardfunktionen.

Links im Fenster befindet sich eine Baumansicht der verknüpften Dateien; untergliedert in Luftbilder, Orthofotos und Geländemodelle. Der rechte Bereich ist horizontal in eine grafische und eine tabellarische Ansicht der Dateien geteilt. Die grafische Ansicht zeigt die Bodenabdeckung der Bilder sowie wahlweise Positionen und Abweichungen der Pass-, Verknüpfungs- und Vergleichspunkte. In der Tabelle wird über farbige Felder wie mit einer Ampel der Bearbeitungsstand der Luftbilder angezeigt: ob die benötigten Pyramidendateien vorliegen, die innere bzw. die äußere

Orientierung durchgeführt wurde, die Geländemodelle berechnet wurden, Orthofotos erstellt wurden und ob die Verknüpften Bilder überhaupt im Dateisystem verfügbar (online) sind.

Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Zu Beginn der Bearbeitung eines Bildblocks werden die grundlegenden Einstellungen zum verwendeten Bildmaterial vorgenommen:

- geometrisches Modell,
- horizontales und vertikales Referenzsystem,
- Zuordnung und Einheiten der Orientierungswinkel,
- Flughöhe und
- Kameraparameter.

Anschließend werden die benötigten Bilddateien mit dem Projekt verknüpft und ggf. die erforderlichen Pyramidendateien erstellt. Diese dienen nicht nur einer schnelleren Darstellung der Bilder in kleinen Maßstäben, sondern werden von der LPS auch für Berechnungen im Rahmen des sogenannten *Point Matching* verwendet, einem Verfahren zur Identifikation homologer Punkte in überlappenden Bildern.

Ist das Projekt wie oben beschrieben angelegt, folgt die Messung von Verknüpfungs- und Passpunkten. Dazu stehen zwei verschiedene Module zur Verfügung: Im *Classic Point Measurement Tool* werden entweder zwei Bilder oder ein Bild und eine Referenzkarte (ggf. mit hinterlegtem Geländemodell für die Höhen) gegenübergestellt, in denen dann Verknüpfungs-, Pass- oder Vergleichspunkte gesetzt werden können. Das *Stereo Point Measurement Tool* stellt die überlappenden Bildbereiche stereoskopisch dar und erlaubt so eine noch präzisere Positionierung homologer Punkte. Anhand weniger Ausgangspunkte oder auf der Grundlage grober Parameter für die äußere Orientierung (Objektkoordinaten der Aufnahmepositionen) können mit der Funktion „Automatic Tie Generation“ (weitere) sogenannte künstliche Verknüpfungspunkte (DIN 18 716-2, 6.7.4) automatisch generiert werden.

Sind genügend Verknüpfungs-, Pass- und Vergleichspunkte in den Bildern gesetzt, wird die Triangulation initiiert. Diese liefert die gesuchten Parameter der äußeren Orientierung. Sie können in einem Bericht eingesehen werden, der auch die Abweichungen der Modellpunkte von den Pass- und Vergleichspunkten aufzeigt, anhand derer die Qualität des berechneten Modells

bzw. der einzelnen Punkte abgelesen werden kann. In einem iterativen Prozess können nun einzelne Punkte korrigiert oder auch ausgeschaltet und nach wiederholter Triangulation erneut kontrolliert werden. Zum Abschluss dieses Vorgangs werden die errechneten Parameter in das Projekt übernommen und bilden sodann die Grundlage für die räumliche Auswertung des Bildmaterials: Mit dem Modul ATE (*Automatic Terrain Extraction*) können Geländemodelle aus triangulierten Stereopaaren erzeugt werden, die sich im TE (*Terrain Editor*) in stereoskopischer Ansicht überarbeiten lassen. Auf der Grundlage eines Geländemodells können sodann Orthofotos erzeugt und in *Mosaic Pro* zu einem zusammenhängenden Orthofotomosaik aneinandergesetzt werden.

Die räumliche Erfassung einzelner Geländeobjekte kann zum einen im *Stereo Analyst für Imagine* oder im *Stereo Analyst für ArcGIS* erfolgen. Die erstgenannte Anwendung ist eigenständiger Bestandteil der LPS, die andere eine Erweiterung des Geografischen Informationssystems ArcGIS von ESRI, mit der die Objekterfassung im GIS – unabhängig von photogrammetrischer Software – ebenfalls in der räumlichen Ansicht dreidimensional durchgeführt werden kann. Voraussetzung für beide 3D-Systeme – wie auch für das Stereo Point Measurement Tool und den Terrain Editor der LPS – ist eine spezielle 3D-Hardware-Ausstattung, die es ermöglicht, rechtem und linkem Auge jeweils unterschiedliche Bilder anzuzeigen. So wurde für diese Arbeit mit einer Kombination aus Shutter-Brille, stereofähiger Grafikkarte und speziellem Monitor gearbeitet: Die Grafikkarte erzeugt durch die Software gesteuert abwechselnd das rechte und das linke Bild auf dem Monitor und synchronisiert über ein Ausgangssignal gleichzeitig die Brille, die immer das Auge der jeweils anderen Seite verdeckt. Damit dabei kein Flackern wahrgenommen wird, muss die Bildfolge im Gegensatz zu herkömmlichen Anzeigen verdoppelt werden, woraus sich die besonderen technischen Anforderungen an den Monitor ergeben.

7.2 Vorgehensweisen bei Luftbildern unterschiedlicher Herkunft

Das für die folgenden Anwendungsfälle verwendete Bildmaterial repräsentiert unterschiedliche, jedoch typische Qualitäten von Luftbildern der Kriegs- und Nachkriegszeit, wie sie bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen im

Rahmen einer standortbezogenen Erhebung vorkommen können. Wie in Kapitel 5 bereits geschildert, ist – ähnlich wie bei Kriegsluftbildern – auch die Überlieferung jüngerer Luftbilder geometrisch nicht immer komplett nachvollziehbar und sind Kalibrierungsdaten zuweilen nicht auffindbar. Jedoch können solche Bilder Entwicklungsstufen eines Standortes dokumentieren, die für die Altlastverdachtsflächenerfassung von Bedeutung sind, so dass diese Luftbilder trotz bekannter Mängel ausgewertet werden müssen. In den untersuchten Bildern ist der Standort der Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde (Betrieb 1928 - 1992) mit seiner unmittelbaren Umgebung abgebildet (Abbildung 7.3).

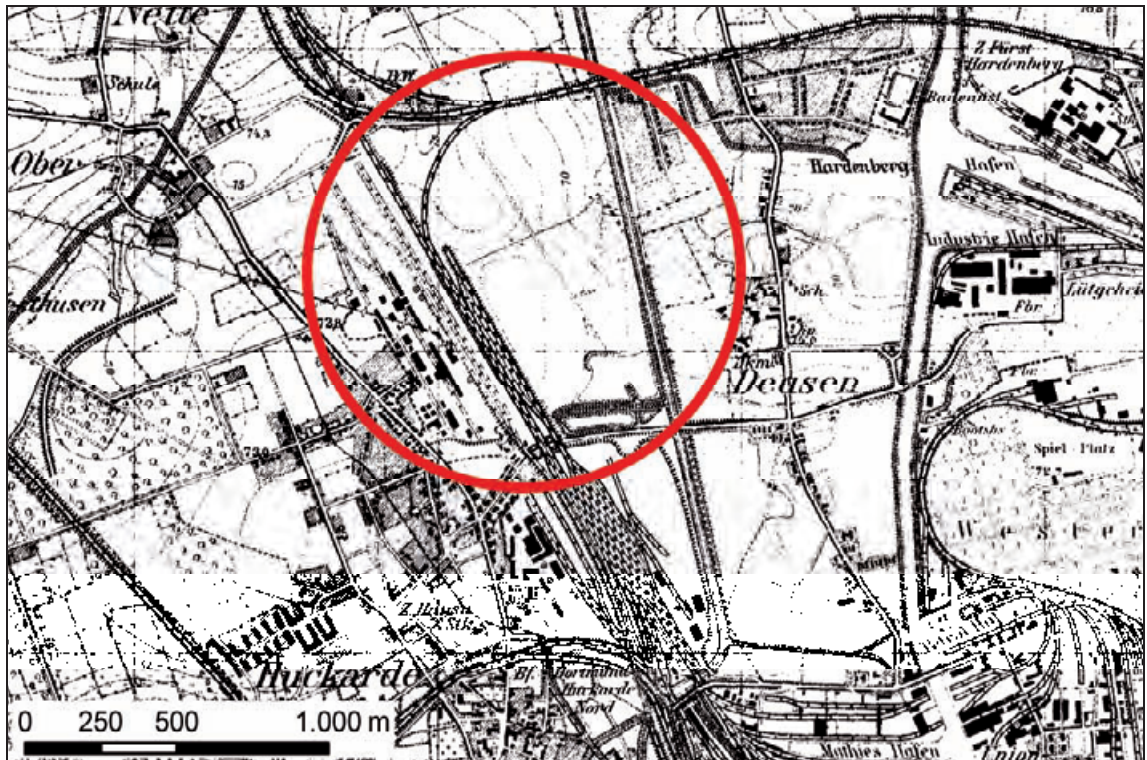


Abbildung 7.3: Arbeitsgebiet Kokerei Hansa in Dortmund-Huckarde und Umgebung

Ausschnitt der Topographische Karte 1:25 000 aus der Zeit des Zweiten Weltkriegs
Kartengrundlage: LVerMA NRW

Dieser Standort ist als Beispiel für die Untersuchung der Möglichkeiten einer digital-photogrammetrischen Auswertung historischen bis gegenwärtigen Luftbildmaterials sehr gut geeignet: Einerseits weisen die Kokerei sowie die dazugehörigen Anlagen der Nebengewinnung einen nur teilweise wechselnden Gebäudebestand auf, anhand dessen Möglichkeiten für Kartierungen im

digitalen Stereomodell zur Erfassung unterschiedlicher Ausbaustufen eines Standorts überprüft werden können. Andererseits befinden sich im Norden des Kokereigeldes zu verschiedenen Zeiten kleinere, unterschiedlich ausgeprägte Aufschüttungen in Form von Kohlehalden, an denen sich Verfahren zur Erfassung der Geländeoberfläche für die Bestimmung von Aufschüttungsvolumina testen lassen.

Hierzu finden sich auch weitere Standorte in der unmittelbaren Umgebung der Kokerei Hansa rechts und links der kanalisierten Emscher, wo sich durch die verschiedenen Zeitschnitte hinweg eine rege Dynamik der Geländeoberfläche insbesondere durch Aufschüttungen beobachten lässt. So hat sich beispielsweise die Fläche östlich der Kokerei vom Areal der Schlammbecken für Kokereiabwässer mittlerweile zu einer Deponie-Halde gewandelt. Ebenso stellt das abgebildete Gelände insbesondere für die räumliche Auswertung ein interessantes Arbeitsgebiet dar, weil es sich in einem Bereich des Ruhrgebiets befindet, in dem mit Absenkungen durch den Bergbau zu rechnen ist. Somit sind auch Fehler in den Modellen zu erwarten, die nicht nur aus den Ungenauigkeiten im Bildmaterial oder seinen Metadaten resultieren, sondern auch aus den Höhenveränderungen von Passpunkten. Diese entstehen durch Bergsenkungen, also Absenkungen des Geländes aufgrund des flächigen Kohleabbaus untertage, die zwischen der Aufnahme der Bilder und der Einmessung des verwendeten Referenzmaterials aufgetreten sind. Tabelle 7.1 gibt eine Übersicht über die grundlegenden Parameter der verwendeten Bildsätze, die im Folgenden einzeln vorgestellt werden.

7.2.1 Beispiel I: Kriegsluftbilder 1943

Der erste Bildsatz umfasst drei typische Luftbilder der alliierten Luftbildaufklärung im Zweiten Weltkrieg. Bilder dieser Art sind beispielsweise in großer Zahl in der Kriegsluftbilddatenbank „Bompic“ des LANUV NRW verzeichnet. Die Sortie-Bezeichnung („Flugkennung“: D/576) lässt auf eine britische Aufklärungseinheit schließen. Die Brennweite (20") ist im Bild abzulesen. Brennweite, Bildformat (7" x 8") und Beschriftung lassen im Zusammenhang mit Tabelle 6.4, Tabelle 6.5 und Abbildung 6.21 auf die Kamera-Typen F8 bzw. F52 schließen. Die mit einer „4“ beginnenden Bildnummern weisen auf Split-Vertical-Aufnahmen einer Steuerbord-Kamera hin (vgl. LUA 2006, S. 54).

Die Bildqualität in Bezug auf die grundsätzliche Detailerkennbarkeit ist verhältnismäßig gut: Gebäudeecken und -kanten sind gerade noch zu erkennen, wirken jedoch leicht verwaschen. Eisenbahnwaggons sind zwar zu erkennen, lassen sich aber nur schwer differenzieren. Die Sicht auf das Gebiet der Kokerei Hansa sowie die Emscheraue wird teilweise durch Wolken sowie Dampf- und Rauchschwaden beeinträchtigt. Solche Einschränkungen – wie auch die langen dunklen Schatten durch einen tiefen Sonnenstand zum Zeitpunkt der Aufnahme – sind nicht unüblich für Kriegsluftbilder. Sie bedeuten jedoch nicht zwingend, dass die Bilder für eine Auswertung unbrauchbar sind, sofern sich die Beeinträchtigungen – wie im vorangehenden Kapitel beschrieben – vermindern oder umgehen lassen.

Datum Zeit	Befliegung	Bild- nummern	Format	Brennweite	Maß- stab	Flug- höhe [m]
16.05.1943 18:45	D/576	4049 - 4051	7" x 8"	20"	10 200	8 839
07.04.1945 9:40	US33/2700	2060 - 2062	9" x 9"	24"	10 200	6 200
14.04.1959 10:30	keine Angabe	982 - 984	7" x 7"	210,23 mm	12 275	2 675
08.06.1969 11:30	Ruhr 1 : 12 000	362 - 363	23 cm x 23 cm	305,24 mm	12 000	3 600
14.07.2003 11:10	08/038	2254 - 2255	23 cm x 23 cm	302,04 mm	13 000	3 960

Tabelle 7.1: Luftbildmaterial zum Arbeitsgebiet Kokerei Hansa

Die Bilder stammen aus einem Bestand von Kriegsluftbildern des Landes NRW im Archiv des Topografischen Dienstes der Niederlande in Emmen, der derzeit in die Datenbank alliierter Kriegsluftbilder des LANUV NRW integriert wird. Die Luftbilder wurden anhand analoger „Plots“ ermittelt. Dabei handelt es sich um die typischen Bildflugübersichten, bei denen die einzelnen Flugstreifen und oft auch einzelne repräsentative Bilder daraus mit ihrer Geländeabdeckung und Bildnummer in Karten eingezeichnet wurden (Abbildung 7.4). In diesen Plots sind neben den Bildnummern auch die Flugparameter wie Aufnahmezeit und -datum, durchschnittliche Flughöhe und Maßstab sowie die Kamerabrennweite zu finden. Die Bilder wurden bereits digi-

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

tal vom Topografischen Dienst der Niederlande als ECW-Dateien (ER-Mapper-Format) übernommen.



a)

CENTRAL INTERPRETATION UNIT	
SORTIE NO D/576	
P. 3001-3156 S. 4001-4157 R. -	
DATE 16 V 43	F. L. 20"
TIME 18 45 hrs	HEIGHT 29,000'
PHOTO SCALE 1 : 17,400 (APPROX)	
MAPS: No. 5010	
NOTE: Only sufficient contacts are shown to establish continuity.	
Dist X	PS
	10 A

b)

Abbildung 7.4: Auszug aus dem Plot des alliierten Bildflugs D/567

- Karte von Dortmund und Umgebung mit eingezeichneter Geländeabdeckung einzelner Luftbilder. Das Arbeitsgebiet befindet sich im Bereich der Bilder 4049 – 4051.
- Informationsbox des Plots mit flugspezifischen Metadaten der Bilder:
 - „Sortie N° D/576“ = Flugnummer
 - „P. 3001 – 3156“ = Bildnummern der linken Kamera („P.“ = Port)
 - „S. 4001 – 4157“ = Bildnummern der rechten Kamera („S.“ = Starboard)
 - „DATE 16. V. 34“ = Aufnahmedatum
 - „TIME 18 45 hrs“ = Aufnahmezeit
 - „PHOTO SCALE 1 : 17.400 (APPROX)“ = Bildmaßstab
 - „F.L. 20"“ = Brennweite der Kamera
 - „HEIGHT 29.000'“ = Flughöhe (in Fuß)

Quelle: TD NL

7.2.2 Beispiel II: Kriegsluftbilder 1945

Der zweite Bildsatz wurde kurz vor Kriegsende von der US-amerikanischen Luftaufklärung aufgenommen. Der hierbei vorliegende Bildtyp tritt insbesondere gegen Ende des Zweiten Weltkriegs häufig auf. Für die verwendete Kamera kommt gemäß Tabelle 6.4 und Abbildung 6.21 lediglich der Typ K17 in Frage. Aufgrund der jeweils mit einer „2“ beginnenden Bildnummern ist auch hier von Split-Vertical-Aufnahmen von der Steuerbord-Seite des Flugzeugs auszugehen (vgl. LUA 2006, S. 54).

Die Bildqualität ist abgesehen von teils stark aufgehellten Bildrändern für die Entstehungszeit akzeptabel: Gebäudeecken und -kanten sind zu erkennen, wirken jedoch verwaschen. Eisenbahnwaggons sind nur schemenhaft auszumachen. Die Sicht auf das Gelände wird zwar von keinerlei Störungen durch Wolken oder Rauch beeinträchtigt, jedoch weisen diese Bilder noch längere und stärkere Schatten als die zuvor beschriebenen auf. Die Schatten verdunkeln Teile der Kokereianlage und der Siedlungsbereiche deutlich bis komplett und erschweren damit Auswertungen in solchen Bereichen beträchtlich.

Die Bilder mit den Nummern 2060 und 2061 liegen im Luftbildarchiv des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum (RUB) als analoge Kontaktkopien vor, die in der Vergangenheit beim Regionalverband Ruhr (RVR) beschafft wurden. Um auch das Gebiet zwischen Kokerei und Em-scher stereoskopisch auswerten zu können, wurde das Bild mit der Nummer 2062 nachträglich beschafft. Da der RVR keine analogen Kontaktkopien einzelner Luftbilder liefert, wurde das Bild digital erworben. Infolge der unterschiedlichen Verarbeitung (keine zwischengeschaltete Kontaktkopie, ein anderer, nicht bekannter [Desktop-]Scanner) unterscheidet es sich daher radiometrisch und geometrisch von den Bildern 2060 und 2061, die mit dem Scanner Xpression 10000XL (Epson) der Arbeitsgruppe Geomatik im Geographischen Institut der RUB digital erfasst wurden.

Außer den im Bild notierten Bildnummern und der Sortie lagen zunächst keine Metadaten zu den Bildern vor. Diese konnten jedoch durch eine Recherche in der Bompic-Datenbank des LANUV NRW ermittelt werden. Darin sind die grundlegenden Metadaten aus den zugrundeliegenden Plots für die enthaltenen Sorties zu finden.

7.2.3 Beispiel III: Reihenmessbilder 1959

Für das Jahr 1959 liegt ein Luftbild-Triplet aus einer Reihenmessbefliegung des RVR in Form von Kontaktabzügen vor. Die Detailerkennbarkeit ist sehr gut und wird lediglich durch starke, aber nicht allzu lange Schlagschatten sowie teilweise leicht überstrahlende weiße Flächen beeinträchtigt: Gebäudeecken und -kanten sowie Eisenbahnwaggons sind mit Ausnahmen aufgrund der vorgenannten leichten Einschränkungen gut zu erkennen, Autos und Gleisprofile jedoch nur schemenhaft. Zu den Bildern stehen keine Metadaten zur Verfügung. Die Kammerkonstante ist jedoch im Anzeigenfeld des Bildzählers in der Rahmenleiste zu finden.

7.2.4 Beispiel IV: Reihenmessbilder 1969

Zum Jahr 1969 steht ein Luftbildpaar als Papierabzüge aus einer Luftbildsammlung der Firma Hansa Luftbild für Unterrichtszwecke zur Verfügung, die Teil des Luftbildarchivs im Geographischen Institut der RUB ist. Zu den Bildern stehen keine Kalibrierungsdaten zur Verfügung. Die Kammerkonstante ist jedoch im Anzeigenfeld der Dosenlibelle zu finden. Die Detailerkennbarkeit ist sehr gut: Gebäudeecken und -kanten sowie Eisenbahnwaggons sind – mit Einschränkungen durch überstrahlende weiße Flächen – gut zu erkennen. Autos, Fahrbahnmarkierungen und Gleisprofile sind stellenweise und nur schemenhaft auszumachen. Die Sicht auf das Gelände wird sehr begrenzt durch starke, aber kurze Schatten beeinträchtigt, und ein kleiner Teil der Kokerei wird durch eine Dampfahne aus der Anlage verdeckt.

7.2.5 Beispiel V: Reihenmessbilder 2003

Aus dem Jahr 2003 (11 Jahre nach Stilllegung der Kokerei Hansa, allerdings noch vor dem Abriss des nördlichen Teils der Anlage und Sprengung des großen Gasometers) liegt ein Stereopaar Colorluftbilder des RVR mit Kalibrierprotokoll vor. Auch wenn sich Objekte durch die Farbdarstellung besser differenzieren lassen, geht die Detailerkennbarkeit aufgrund des bekanntermaßen geringeren räumlichen Auflösungsvermögens von Farbbildern hinsichtlich der Konturenschärfe nicht über die der Bilder aus 1969 oder 1959 hinaus.

7.3 Referenzmaterial

Als Quelle für Pass- und Vergleichspunkte wurde zum einen die *RDGK5* (Rasterdaten der Deutschen Grundkarte 1 : 5000) in Verbindung mit dem *DGM5* (Digitales Geländemodell 1 : 5000) des Landesvermessungsamtes von Nordrhein-Westfalen (LVerMA NRW) verwendet. Ferner wurden vom LVerMA NRW auch *Topographische Passpunkte* (TopPP) bzw. *Luftbildsichtbare Passpunkte* (LuPas) zur Verfügung gestellt.

Die RDGK 5 umfasst georeferenzierte Daten der gescannten und digital fortgeführten DGK5. Sie hat eine nominelle Lagegenauigkeit von ± 3 m bei einer Auflösung von 400 dpi (LVerMA 2008, [08.03.2008]). Das entspricht einer Pixelgröße von 0,3175 m und Linienstärken bis zu 1,5 m im Objekt-raum. Die RDGK5 wird in einzelnen Blättern im DGK5-Blattschnitt geliefert. Diese wurden für die weitere Verwendung in der LPS und später in ArcGIS zunächst zu einem nahtlosen Mosaik zusammengefügt.

Das DGM5 besteht aus den Raumkoordinaten von Punkten eines regelmäßigen Rasters mit 10 m Maschenweite, die aus den Daten von Laserscanner-erfassungen abgeleitet wurden. Sie werden als einzelne Koordinatenlisten – aufgeteilt nach dem DGK5-Blattschnitt – übermittelt. Die vertikale Genauigkeit liegt „überwiegend“ bei $\pm 0,5$ m (LVerMA 2008a, [08.03.2008]). Für die Verwendung als Höhenreferenz in der LPS wurden die Koordinaten aus den ASCII-Dateien zunächst in ein zusammenhängendes Rasterbild umgewandelt.

LuPas sind dem Namen nach Geländepunkte mit bekannten Koordinaten, die in Luftbildern gut zu sehen sind und terrestrisch oder photogrammetrisch bestimmt wurden. Bei den vorliegenden Daten handelt es sich ausschließlich um photogrammetrisch eingemessene Hochpunkte an Dachecken oder Giebelspitzen. Die Koordinaten der LuPas werden als ASCII-Liste übermittelt, begleitet von Skizzen oder Bildausschnitten, in denen der jeweilige Punkt an dem vermessenen Objekt deutlich gekennzeichnet ist. Die Genauigkeit der Passpunkte beträgt laut LVerMA „etwa“ $\pm 0,5$ m in der Lage und ± 2 m in der Höhe.

Beide Arten von Referenzen geben den *aktuellen* Stand der Landesvermessung entweder flächig (RDGK5 und DGM5) oder punktuell (LuPas) wieder. Dadurch unterscheidet sich das Referenzmaterial vom Inhalt der historischen Luftbilder. Einerseits gibt es Abweichungen bei der Landbedeckung

beispielsweise durch Lage- und Größenänderungen von Geoobjekten. Andererseits können die in Bergbauregionen üblichen Bergsenkungen zu Abweichungen zwischen den Referenzdaten und der in den Luftbildern dargestellten Geländeoberfläche führen. Während die Landbedeckungsdynamik in der Regel durch einen gründlichen Vergleich zwischen Luftbild und Karte ersichtlich ist, kann der Einfluss von Bergsenkungen ohne entsprechende historische Vergleichsdaten nicht berücksichtigt werden.

Für die Identifikation von Passpunkten ist es erforderlich, Objekte ausfindig zu machen, die sowohl in der aktuellen Landesaufnahme als auch in den historischen Bildern zu finden sind. Dabei muss für jeden Passpunkt sorgfältig abgeschätzt werden, ob der in einem Bild gefundene Punkt tatsächlich mit der entsprechenden Darstellung in der Referenz übereinstimmt und über die Jahre keinen Veränderungen unterlag. Hierbei hat für die Arbeit mit historischen Luftbildern die Kombination der RDGK5 mit dem DGM5 einen entscheidenden Vorteil: bei der Passpunktsuche stehen die Koordinaten flächendeckend für jeden Ort im Arbeitsgebiet zur Verfügung. Die Erkennbarkeit geeigneter Stellen im Luftbild ist somit die einzige Beschränkung für die Wahl geeigneter Punkte. Wenn also im Vergleich von Luftbild und Karte Übereinstimmungen identifiziert werden können, liegen für die entsprechenden Positionen immer auch Koordinaten vor.

Mit LuPas erweist sich hier die Dichte der Punkte und die Dynamik der Landbedeckung über den Zeitraum teils mehrerer Jahrzehnte als problematisch. Zum einen liegen die Passpunkte zumeist ausschließlich für die Blattschnittbereiche der DGK5 vor, so dass die Geländeabdeckung der Luftbilder je nach Format und Maßstab nicht genügend Punkte mit einschließt (Abbildung 7.5). Zum anderen wird die Zahl verwendbarer Punkte weiter eingeschränkt, wenn ein entsprechendes Gebäude zum Zeitpunkt der betreffenden Luftbildaufnahme noch nicht oder nur in anderer Gestalt existierte.

Die ideale Pass- und Vergleichspunktreferenz für die Triangulation historischer Luftbilder wäre sicherlich eine Gruppe, jeweils individuell für jeden Bildsatz exakt eingemessener Punkte, die sich in den Luftbildern und im Gelände präzise lokalisieren lassen. Der Aufwand, solche Punkte zu identifizieren und im Gelände geodätisch zu vermessen, würde jedoch mit dem zu erwartenden Genauigkeitsgewinn bei der Luftbildauswertung für die Altlastenverdachtsflächenerfassung in keinem vertretbaren Verhältnis stehen. Um

den Aufwand für eine digital-photogrammetrische Auswertung historischer Luftbilder hinsichtlich der Referenzdaten in einem für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen vertretbaren Rahmen zu halten, wurden die oben beschriebenen, in NRW flächendeckend verfügbaren Referenzdaten verwendet.

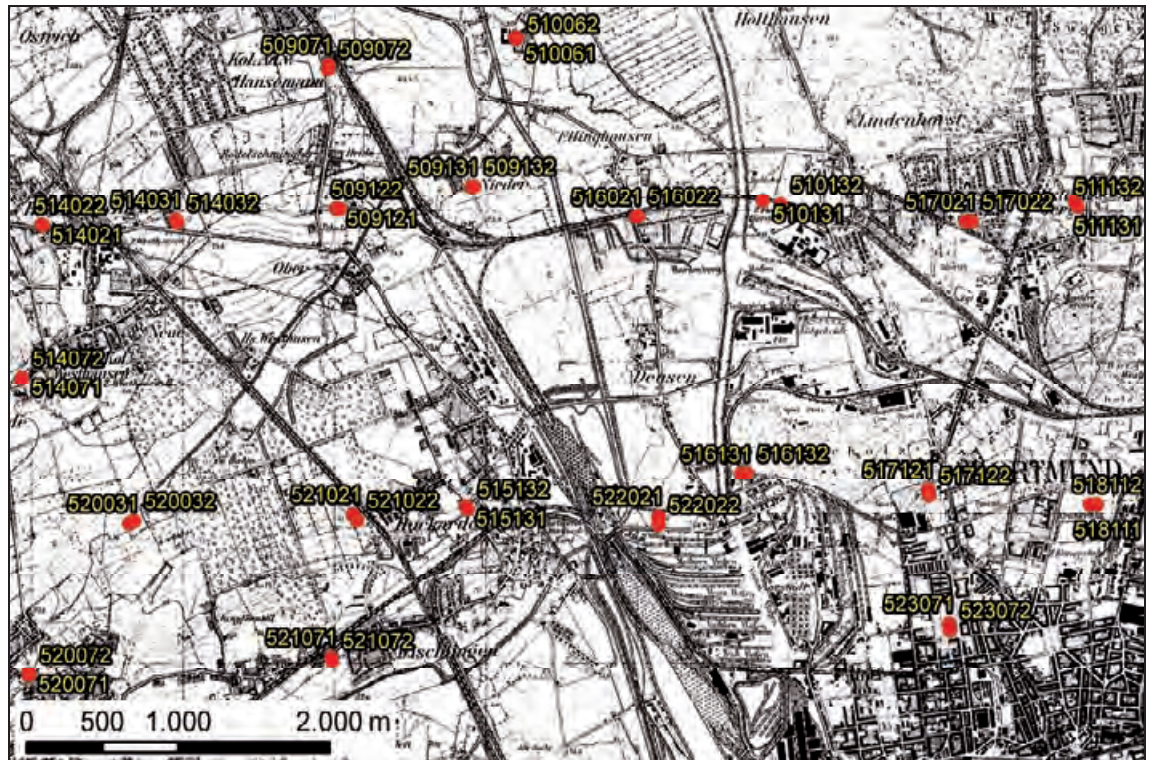


Abbildung 7.5 Verteilung von LuPas in der Umgebung des Arbeitsgebiets
Historische TK 25 im Maßstab 1 : 50 000
Kartengrundlage: LVermA NRW

7.4 Bildaufbereitung

Die Bildaufbereitung erfolgte nach den in Kapitel 6 geschilderten Verfahren je nach Qualität und Zustand der vorliegenden Luftbilder. So erforderte die Helligkeitsverteilung in den Bildern von 1969 und in denen von 2003 kein Dodging. Ebenso war für die Bilder von 1969 kein globales unscharfes Maskieren erforderlich.

Eingangs wurden zunächst alle analogen Bilder auf dem o.g. Scanner mit 1200 dpi geometrischer und 16 bit radiometrischer Auflösung gescannt. Anschließend wurden alle Dateien auf die nötige Bildfläche zurechtgeschnitten und nach einer einfachen Histogrammstreckung zur Eliminierung der hellen und dunklen Histogrammbereiche ohne Bildinformation auf 8 bit Farbtiefe

reduziert. Dem folgte die Berechnung von Bildpyramiden für das Dodging im Image Equalizer (Tabelle 7.2) mit nachfolgender Kombination der globalen und lokalen Korrekturen in Adobe Photoshop. Nach dem unscharfen Maskieren zum einen zur Dunstentfernung und zum anderen zur Scharfzeichnung von Konturen (Tabelle 7.3) erfolgte die Umwandlung der Dateien in das Image-Format (*.img) für die weitere Verarbeitung der Dateien in der LPS.

Bild-satz	dodging global (Stat5)						dodging local (Stat99)					
	B	C	MinC	MaxC	MGS	CL	B	C	MinC	MaxC	MGS	CL
1943	120	50	0,0	5,0	64	1,0	110	15	0,0	2,0	32	2,5
1945	d	d	1,0	1,3	32	2,5	d	d	0,0	2,0	32	2,5
1959	d	d	1,0	1,3	32	2,5	d	d	0,0	2,0	32	2,5
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 7.2: Dodgingparameter bei der Bildaufbereitung

B = brightness, C = contrast, MinC = minimum contrast, MaxC = maximum contrast, MGS = maximum gray shift, CL = compression limit, d = default (Voreinstellung, wird automatisch aus der Statistik berechnet) (vgl. Kapitel 6)

Bild-satz	Unsharp Mask global			Unsharp Mask local		
	Intensity	Radius	Threshold	Intensity	Radius	Threshold
1943	40	250	0	200	2	5
1945	30	30	0	300/150	2	5
1959	30	30	0	500	1	5
1969	-	-	-	200	1	3
2003	30	30	0	300	1	5

Tabelle 7.3: Parameter zum unscharfen Maskieren bei der Bildaufbereitung

Für die Luftbilder von 1943, 1945 und 1959 wurden mit dem Fiducial Builder neue Rahmenmarken in den Bildern erzeugt und dementsprechende Koordinatensysteme für die innere Orientierung erstellt. Bei den Bildern von 1969 sind die Bildränder nicht mit überliefert, jedoch ragen die Rahmenmarken weit genug ins Bild, so dass diese für die Ermittlung von fiktiven Kamerakoordinaten vermessen werden konnten. Für die Bilder von 2003 liegen die tatsächlichen Kamerakoordinaten aus dem Kalibrierprotokoll vor.

Die Bildaufbereitung wird für die einzelnen Zeitschnitte anhand einer Gegenüberstellung der jeweiligen Scannerrohdaten mit den Ergebnisbildern nach der Anwendung von Bildverbesserungen ebenso wie die ermittelten Kamerakoordinaten in Anhang A dokumentiert.

7.5 Triangulation

Wenn die Bilder radiometrisch optimiert und mit den benötigten Metadaten vorliegen, können sie in der LPS einer Aerotriangulation unterzogen werden. Für jeden Zeitschnitt wurde ein eigenes Projekt in Form einer Block-Datei angelegt. Im Folgenden werden die wesentlichen Arbeitsschritte und Überlegungen zu den durchgeführten Triangulationen mit den historischen Luftbildern dargelegt. Eine ausführliche Dokumentation der verwendeten und von den Standardeinstellungen abweichenden Parameter sowie der wesentlichen numerischen Triangulationsergebnisse findet sich für jeden Zeitschnitt in Anhang B.

7.5.1 Anlegen der Blockfiles

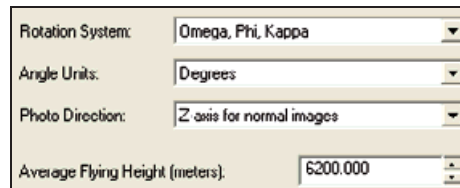
Als geometrisches Modell wurde „Frame Kamera“ (Reihenmesskammer) gewählt. Als horizontales und vertikales Referenzsystem wurde – wie für den Bereich des Landes üblich – der zweite Streifen einer Gauß-Krüger-Abbildung mit Bessel-Ellipsoid sowie DHDN auf ETRS89 als Datum passend zu den Referenzdaten des LVerma NRW eingestellt (Abbildung 7.6).

Projection Type:	Transverse Mercator
Spheroid Name:	Bessel
Datum Name:	DE_DHDN (Middle) to ETRS89
Scale factor at central meridian:	1.000000
Longitude of central meridian:	6:00:00.000000 E
Latitude of origin of projection:	0:00:00.000000 N
False easting:	2500000.000000 meters
False northing:	0.000000 meters

Abbildung 7.6: Parameter des horizontalen und vertikalen Referenzsystems
Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Das Rotationssystem wurde – wie für Bilder aus Reihenmessbefliegungen üblich – auf Omega, Phi, Kappa mit Grad als Winkeleinheit und der Z-Achse als Aufnahme-richtung belassen (Luhmann 2003, S. 26 und S. 38). Die

durchschnittliche Flughöhe konnte den jeweiligen Metadaten zu den Bildern entnommen oder über Kammerkonstante und Bildmaßstab berechnet werden (Abbildung 7.7).



The image shows a software configuration window with four settings:

- Rotation System: Omega, Phi, Kappa
- Angle Units: Degrees
- Photo Direction: Z axis for normal images
- Average Flying Height (meters): 6200.000

Abbildung 7.7: Konfiguration des Rotationssystems und der Flughöhe für den Bildsatz von 2003

Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Die Kalibrierungsdaten für die Messkammer können von mit dem Fiducial Builder bearbeiteten Bildern direkt aus der dabei erzeugten Kameradatei übernommen werden. Für den Bildsatz von 1969 wurden sie den entsprechenden Berechnungen entnommen, eingegeben und sodann als Kameradatei gespeichert. Für 2003 wurden die Koordinaten der Rahmenmarken und des Bildhauptpunktes sowie die Verzerrungsparameter dem beiliegenden Kalibrierprotokoll entnommen (Abbildung 7.8).

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

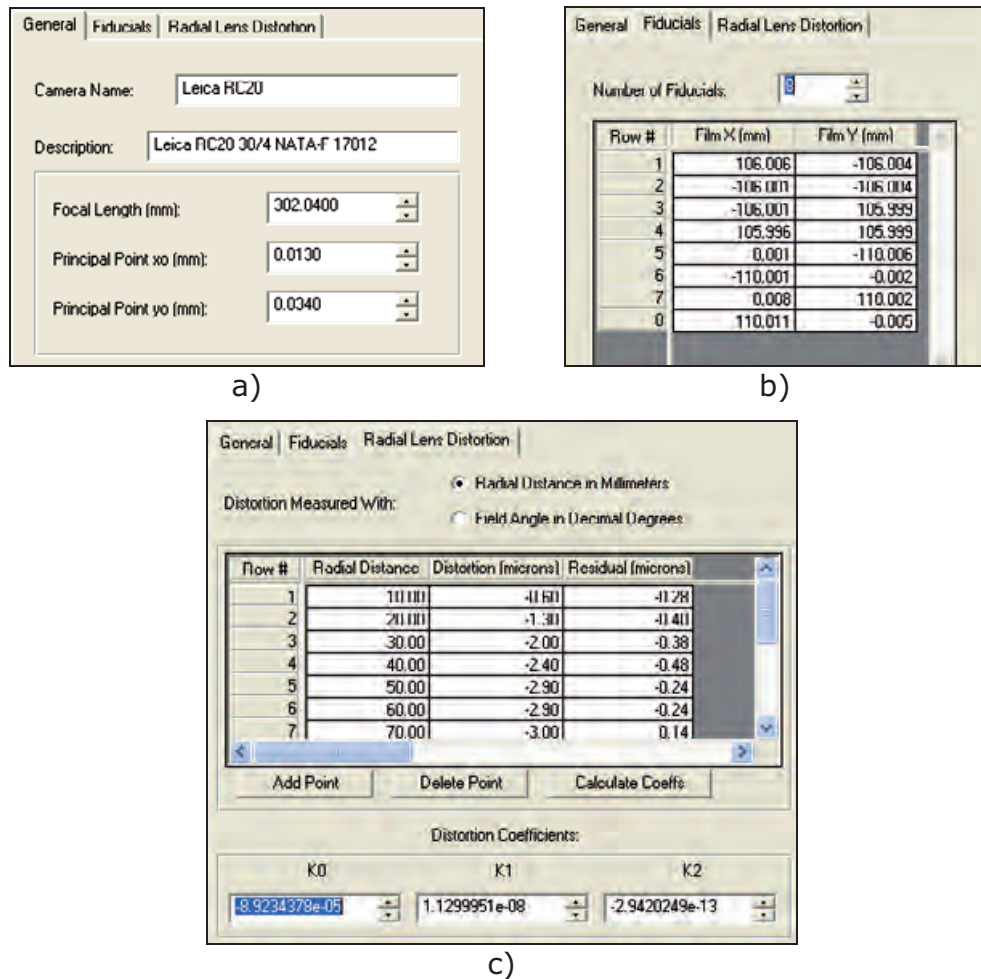


Abbildung 7.8: Eingabe der Kameraparameter für den Bildsatz von 2003

- a) Eingabe von Kammerkonstante und Koordinaten des Bildhauptpunktes (PPA)
- b) Eingabe der Koordinaten für die Rahmenmarken
- c) Eingabe der radialen Verzeichnungen und anschließende Berechnung der Verzerrungskoeffizienten

Quelle: Bildschirmfotos eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Diesen Einstellungen folgte jeweils das Einbinden der Bilder des betroffenen Jahrgangs und die Generierung der benötigten Pyramidendateien.

7.5.2 Innere Orientierung

Bei der Inneren Orientierung wurden den Koordinaten der Rahmenmarken aus dem im Blockfile hinterlegten Kamerakoordinatensystem die dazugehörigen Bildkoordinaten der Rahmenmarken zugeordnet (Abbildung 7.9).

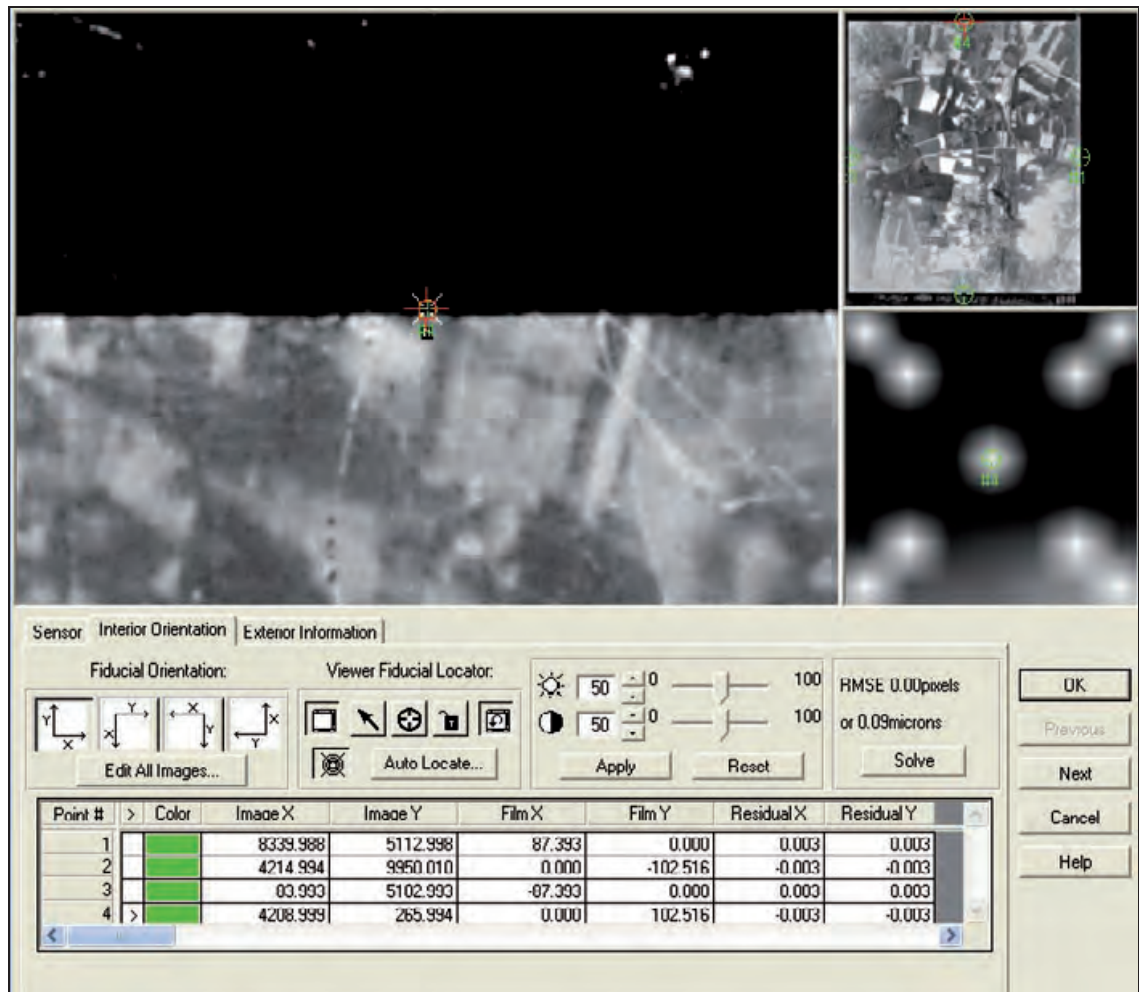


Abbildung 7.9: Einmessen der Rahmenmarken für die Innere Orientierung
Zunächst wird unter Fiducial Orientation die Lage des Bildkoordinatensystems festgelegt. Sie ergibt sich aus der Nummerierung der Rahmenmarken und / oder der Dokumentation im Kalibrierprotokoll. Sodann werden die einzelnen Rahmenmarken „angefahren“ und durch Setzen einer Passmarke ihre Bildkoordinaten ausgelesen und in der Tabelle den dazugehörigen Koordinaten des Kamerakoordinatensystems zugeordnet. Am RMSE, dem Root Mean Square Error, respektive der Standardabweichung kann die Güte der Passmarkenpositionierung bzw. der geometrischen Qualität des Bildmaterials abgelesen werden.

Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

7.5.3 Äußere Orientierung

Die Äußere Orientierung wird letztendlich durch das Ergebnis der Aerotriangulation hergestellt, die für Projekte mit einem Umfang von wenigen Luftbildern auf modernen Desktop-Computern in Bruchteilen von Sekunden durchgeführt wird. Voraussetzung dafür ist jedoch eine ausreichende Anzahl von präzise ausgewählten Verknüpfungs- und Passpunkten (*Tie Points* und *Ground Control Points* [GCPs]). Bei den in dieser Arbeit diskutierten Projekten wurden mit dem Classic Point Measuremet Tool jeweils zunächst die Passpunkte gesetzt (Abbildung 7.10) und basierend darauf die Verknüp-

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

fungspunkte automatisch generiert. Anschließend wurde die Positionierung der Verknüpfungs- und Passpunkte im Stereo Point Measurement Tool in der räumlichen Ansicht kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert (Abbildung 7.11).

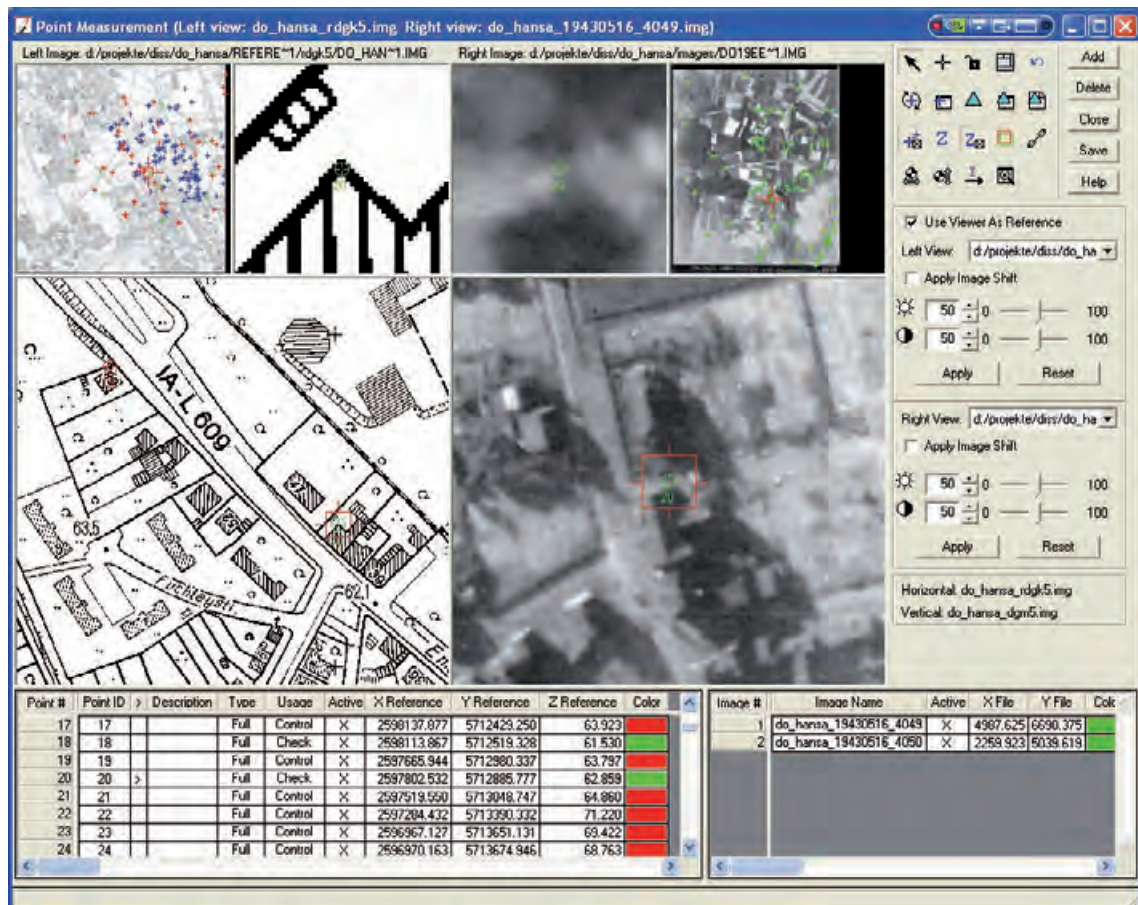


Abbildung 7.10: Classic Point Measurement Tool

Im linken Bereich wird die Referenzkarte und im rechten Bereich ein Luftbild jeweils in drei Vergrößerungsstufen angezeigt. Statt der Karte könnte links auch ein zweites Luftbild für die Bearbeitung homologer Punkte dargestellt werden. Die Tabelle unten links enthält einen Eintrag für jeden Pass-, Verknüpfungs- oder Vergleichspunkt (in der Spalte Usage mit Control, Tie oder Check gekennzeichnet). Für die Pass- und Vergleichspunkte können hier die Koordinaten eingegeben, mit dem Punkt-Werkzeug aus der Karten- und Geländereferenz eingelesen oder importiert werden. Durch eine entsprechende Farbzuzuweisung lassen sich die einzelnen Punktarten in der Kartenübersicht besser unterscheiden (rot = Control Point, grün = Check Point, blau = Tie Point). Die rechte Tabelle enthält die Bildkoordinaten der zu einem Eintrag in der linken Tabelle korrespondierenden Punkte in den einzelnen Luftbildern.

Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

In Anbetracht der teils langen Zeitspannen zwischen der Bildaufnahme und dem Gültigkeitsdatum der Kartenreferenz muss für jeden Passpunkt gründlich abgewogen werden, ob die Darstellung in der Karte tatsächlich das je-

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

weilige Luftbildobjekt in seinem Zustand zur Zeit der Luftbildaufnahme und nicht eine veränderte Form davon, einen Nachfolger oder ein Nachbarobjekt darstellt.

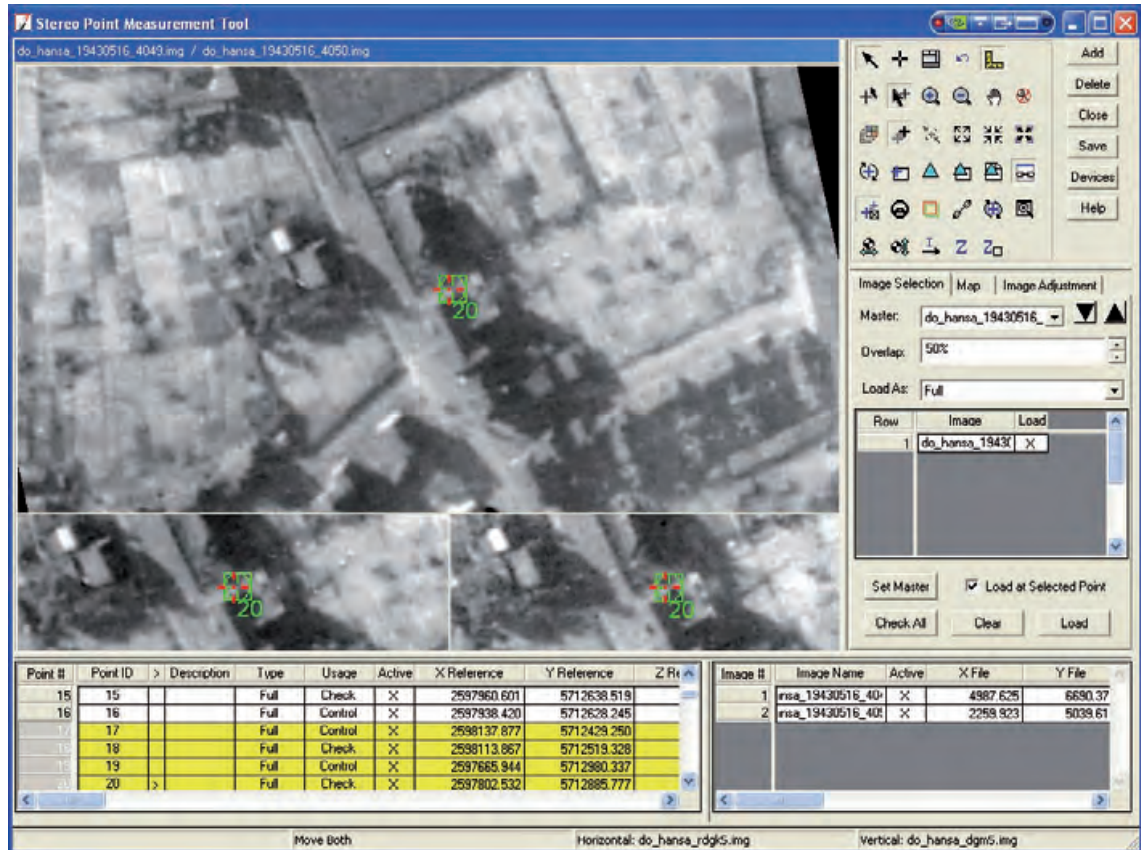


Abbildung 7.11: Stereo Point Measurement Tool

Statt der Gegenüberstellung zweier Luftbilder wie im Classic Point Measurement Tool erzeugt dieses Modul eine räumliche Ansicht des Überlappungsbereiches zweier Luftbilder und ermöglicht so eine noch exaktere Positionierung homologer Punkte. Bei der für diese Abbildung gewählten Einstellung können zusätzlich zum Stereobild in den unteren Fenstern auch die Einzelbilder betrachtet werden.

Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Als ideale Passpunkte für historische Luftbilder im Vergleich zur DGK5 erwiesen sich die Fußpunkte von Häuserecken an durch den radialen Punktversatz sichtbaren Hauswänden – sofern diese nicht von Schatten verdeckt wurden und nicht durch Um- oder Neubauten von der verwendeten Karte abweichen. Je nach Bildqualität ist bei hellen Hauswänden und ähnlich heller anschließender Bodenbedeckung jedoch keine Grenze zwischen Hauswand und Grund zu erkennen. Ebenso lässt das Überstrahlen heller Wandflächen eine genaue Identifikation von Hausecken bzw. des Übergangs zwischen Wand und Gelände stellenweise nicht zu.

Kreuzungen der Achsen von Infrastrukturlinien wie Gleisanlagen und Straßen haben sich als Alternative zu Hausecken bewährt, sind im Vergleich dazu jedoch insofern kritischer zu betrachten, als dass insbesondere die Änderungen an Straßenverläufen und –breiten bisweilen nur schwer nachvollziehbar sind – zumal sie sich nicht zwangsläufig achsensymmetrisch vollzogen haben müssen. Daher sollten auch Straßenecken für Passpunkte nach Möglichkeit gemieden werden.

Ähnlich wie Kreuzungen eignen sich auch Brücken für Passpunkte, weil sie in der Regel gut in den Bildern zu erkennen sind. Werden jedoch die Höhen aus einem Geländemodell bezogen, ist hier besondere Vorsicht geboten, da die Qualität des Geländemodells an solchen Stellen eingeschränkt sein kann bzw. nicht immer klar ist, ob und in wie weit solche Bauwerke aus dem Modell entfernt wurden: Daher sollte ein solcher Punkt entweder nur als Lagepunkt eingerichtet oder die Höhe – falls vorhanden – aus der Karte bezogen werden.

Die notwendige Anzahl an Passpunktparametern für einen Bildstreifen entspricht der Anzahl der durch die Triangulation zu berechnenden Parameter für die Position (je drei Koordinaten) und die Ausrichtung (je drei Winkel) der Kamera zum Zeitpunkt der Bildaufnahme sowie den Maßstabsfaktor zwischen Bild und Gelände. Demzufolge müssen mindestens die Parameter zweier Vollpasspunkte (X-, Y-, und Z-Koordinaten) und eines Höhenpasspunktes (nur Z-Koordinate) vorliegen. Zur Steigerung der Genauigkeit wird die Verwendung einer höheren Anzahl an Passpunkten jedoch nachdrücklich empfohlen (Leica 2006, S. 48). So sollen bei der Prozessierung von Bildstreifen in jedem dritten Bild zwei und an den Enden des Streifens jeweils drei Passpunkte im Überlappungsbereich zweier Bilder gemessen werden (Abbildung 7.12).

Die Vielzahl unbekannter geometrischer Fehler im historischen Bildmaterial sowie die – temporal bedingt unbekannt – mäßige Genauigkeit des Referenzmaterials führen zu einer ungewissen Verlässlichkeit der einzelnen Passpunkte. Daher wurde versucht, in einem über dem Bild gedachten Raster von drei mal drei Feldern, pro Feld mindestens drei Passpunkte zu identifizieren, um ein ausreichendes Maß an Redundanz zu erzielen (Abbildung 7.13), das auch Spielraum für die Deaktivierung fehlerhafter Punkte sowie die Verwendung zusätzlicher Parameter bei der Triangulation lässt.

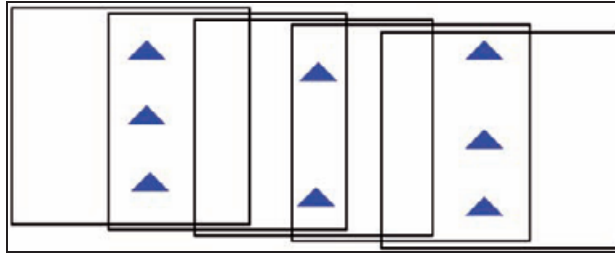


Abbildung 7.12: Vorgabe für die Verteilung und Anzahl von GCPs in einem Bildstreifen

Quelle: Leica 2006, S. 49

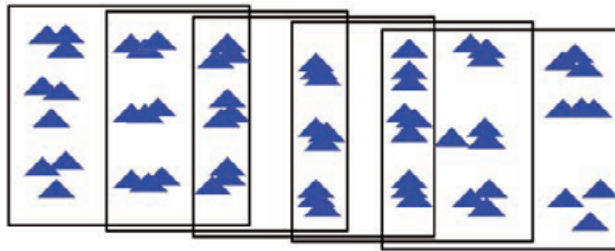


Abbildung 7.13: Erweiterte Vorgabe für Verteilung und Anzahl von GCPs in einem Bildstreifen historischer Luftbilder

Quelle: ergänzt nach Leica 2006, S. 49

Je nach Landbedeckung kann diese Anforderung in den unterschiedlichen Bildbereichen mehr oder weniger umfassend erfüllt werden: Während es in Siedlungen anhand von Häuserecken leichter ist, genügend Passpunkte zu finden, weist der Gebäudebestand in Industrie- oder Gewerbegebieten oft eine hohe bauliche Dynamik auf, durch die die Passpunktsuche erheblich erschwert werden kann. Ebenso muss in ländlichen Bereichen bei einem Mangel an geeigneten Häuserecken auf ungenauere Positionen wie Kreuzungen ausgewichen werden.

Bei der Positionierung der Passpunkte in der RDGK5 ist zu bedenken, dass die Breite eines Pixels einer Objektdistanz von 31,75 cm entspricht: Für Linien mit einer Stärke von mehreren Pixeln sollte daher auf eine mittige Positionierung der Passpunkte auf den Linien geachtet werden.

Im Allgemeinen sollten die Passpunkte möglichst gleichmäßig über die Bilder verteilt sein und vor allem auch die Randbereiche abdecken. Das bedeutet auch, dass in Bereichen mit vielen gut erkennbaren Positionen nicht viel mehr Punkte als in anderen Gebieten gesetzt werden sollten, um eine zu starke Gewichtung eines solchen Bereiches bei der Triangulation zu vermeiden.

Bei der Verwendung von aktuellen LuPas, die sich auf Dachecken oder Gie-

belspitzen beziehen, ist zu beachten, dass ein Dachstuhl über die Zeit zwischen Luftbilddaufnahme und Kartenfortführung verändert, ausgetauscht oder das gesamte Haus aufgestockt worden sein kann.

7.5.4 Iterative Punktkorrektur und Konfigurieren der Triangulationsparameter

Nach dem Setzen der Pass- und Verknüpfungspunkte wurde eine Triangulation des jeweiligen Bildblocks vorgenommen. Erstes Ziel war dabei, die Qualität der Passpunkte anhand der Ergebnisse in der Triangulationszusammenfassung (Triangulation Summary), im Triangulationsbericht (Triangulation Report) und im Revisions-Dialogfenster (Review Triangulation Results) zu prüfen und Punkte mit groben Fehlern zu korrigieren oder wenn nötig zu deaktivieren (Abbildung 7.14).

Triangulation Iteration Convergence:		Yes	
Total Image Unit-Weight RMSE:		1.9159	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	1.4381 (52)	Ground X:	1.4993 (10)
Ground Y:	1.5465 (52)	Ground Y:	0.9465 (10)
Ground Z:	1.5761 (52)	Ground Z:	4.0770 (10)
Image X:	1.5014 (87)	Image X:	4.1453 (14)
Image Y:	1.2572 (87)	Image Y:	2.1893 (14)

a)

the no. of iteration =6			the standard error = 2.4934			
the maximal correction of the object points -			0.00095			
The exterior orientation parameters						
image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
1	2596731.1892	5713879.6118	9100.0691	-4.0000	-3.1860	31.3951
2	2597691.5966	5714211.5452	9098.6620	6.1410	4.7894	30.5740
3	2598692.2089	5714612.2688	9104.6892	-5.4969	-5.7044	36.0953
The interior orientation parameters of photos						
image ID	f (mm)	x0 (mm)	y0 (mm)			
1	508.0000	0.0000	0.0000			
2	508.0000	0.0000	0.0000			
3	508.0000	0.0000	0.0000			
The values and accuracy of the additional parameters						
No.	Ai	mAi	MaxX	MaxY		
1	-8.3279E-008		-4.3649	5.3038		
2	-1.1037E-003		-4.3946	-5.3425		
3	6.7001E-004		-0.0017	-2.6007		
Total	3975.73Mx	4830.95My	-8.7611	-2.7194		
The residuals of the control points						
Point ID	rX	rY	rZ			
2	2.1996	2.2139	1.2507			

b)

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

Ground Points		Image Points							
Row #	Point ID	Image ID	Active	X	Y	Rx	Ry	Total RMSE	
90	57	2	X	-59.620	-69.477	6.750	7.243	9.901	
96	102	3	X	64.543	52.433	-8.344	-1.022	8.406	
92	8	1	X	64.211	-24.415	7.751	2.351	8.103	
98	1	1	X	69.523	53.762	6.741	1.883	6.999	
46	39	3	X	49.126	50.289	4.306	2.339	4.900	
8	12	1	X	-27.429	-59.251	-4.302	-1.570	4.590	
43	24	3	X	-44.627	70.182	4.005	2.088	4.516	
99	6	1	X	-47.180	12.056	4.297	-0.246	4.410	
231	144	3	X	-76.489	46.725	3.225	-3.482	4.187	
27	26	2	X	56.636	57.620	-2.972	-2.636	4.014	
10	12	2	X	-84.572	-24.673	3.655	1.426	3.924	
247	123	2	X	78.599	91.058	-0.536	3.867	3.904	
298	123	3	X	17.647	58.603	0.916	-3.785	3.895	

c)

Ground Points		Image Points									
Row #	Point ID	Type	Usage	Active	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Total RMSE
62	47	Full	Check	X	2589603.617	5712866.688	57.597	3.323	-2.220	-11.307	11.992
57	51	Full	Check	X	2589432.956	5712197.296	71.453	-1.835	-1.744	6.088	6.593
27	34	Full	Control	X	2587943.608	5714071.201	74.194	-3.680	0.031	5.251	6.412
28	35	Full	Control	X	2586082.207	5713740.950	75.684	-2.727	1.766	5.223	6.156
26	33	Full	Control	X	2586050.779	5714275.823	71.606	-1.341	2.700	3.559	4.663
7	10	Full	Control	X	2586209.461	5712408.144	69.736	-2.920	-2.966	1.767	4.851
20	27	Full	Control	X	2586206.055	5714302.022	60.506	-0.444	-3.329	-1.590	3.715
19	26	Full	Control	X	2587062.792	5713611.337	66.888	1.571	2.232	-2.503	3.704
44	55	Full	Control	X	2588191.209	5711785.860	73.782	-2.269	-2.459	1.157	3.540
46	100	Full	Control	X	2588957.989	5715750.210	73.541	-0.250	-3.196	-1.137	3.401
6	11	Full	Control	X	2587324.779	5712048.279	62.795	2.519	-1.627	1.395	3.307
32	40	Full	Control	X	2588953.202	5714440.184	64.029	-0.284	2.936	1.247	3.202
38	48	Full	Control	X	2589647.102	5711864.452	71.137	-0.664	-2.831	0.938	3.095

d)

Abbildung 7.14: Triangulationszusammenfassung, Triangulationsbericht und Revisions-Dialogfenster für die Punktkontrolle

- Triangulationszusammenfassung mit dem Gesamtfehler und den aggregierten Fehlern der Gelände- und Bildpunkte
- Ausschnitt aus einem Triangulationsreport: Neben den hier beispielhaft gezeigten berechneten Orientierungsparametern werden im Triangulationsreport die Koordinaten und Residuen für alle Bild- und Geländepunkte dokumentiert. Wesentliche Auszüge der Triangulationsberichte finden sich im Anhang B.
- Review-Dialogfenster mit den Abweichungen der Bildpunkte und deren quadrierte Mittelwerte (RMSE), absteigend sortiert nach der Spalte RMSE
- Review-Dialogfenster mit den Abweichungen der Geländepunkte und deren quadrierte Mittelwerte (RMSE), absteigend sortiert nach der Spalte RMSE

In der Spalte „Active“ können Punkte unmittelbar aus dieser Ansicht deaktiviert werden.

Quelle: Bildschirmfotos eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Nach erneuter Triangulation konnten dann das Ergebnis der Korrekturen wieder überprüft, weitere Verbesserungen vorgenommen und eine erneute Triangulation durchgeführt werden. Dieser Prozess wurde wiederholt, bis keine Verbesserungen mehr zu erzielen waren. In den ersten Testläufen wurden die Passpunkte mit dem so genannten *Blunder Checking* auf grobe Ausreißer getestet. Dazu werden in der LPS zwei Modelle angeboten, von denen für die vorliegenden kleinen Bildverbände immer die robuste Methode gewählt wurde (Abbildung 7.15).

Im Rahmen der iterativen Punktkorrektur wurden ausgewählte Passpunkte in *Vergleichspunkte* (*Check Points*) umgewandelt, um anhand dieser Punkte eine Aussage zur absoluten Genauigkeit des Modells erhalten zu können.

Kriterium für die Wahl der Vergleichspunkte war dabei deren Nähe zu weiteren GCPs sowie eine weitestgehend gut abschätzbare hohe Qualität ihrer Positionierung.

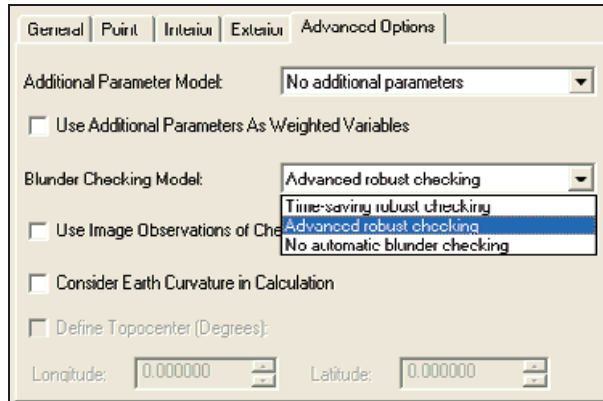


Abbildung 7.15: Auswahl des Modells für das Blunder Checking
Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Zur weiteren Steigerung der Genauigkeit bei der Triangulation wurden für die Gewichtung der Koordinaten von Passpunkten Standardabweichungen vorgegeben. Dabei führten für Bildverbände, deren Passpunkte aus RDGK5 und DGM5 bezogen wurden, Werte von 0,3 m bei den Lagekoordinaten und 0,5 m für die Höhenangaben zumeist zu den besten Ergebnissen (Abbildung 7.16).

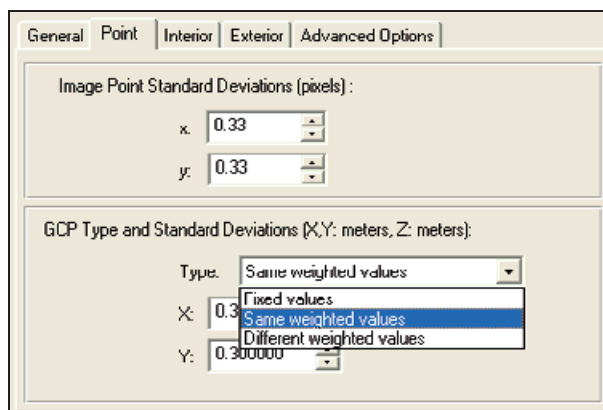


Abbildung 7.16: Eingabe der Standardabweichung für Passpunkte
Durch die Einstellung „Same weighted values“ gelten bei allen GCPs die gleichen Standardabweichungen für X-, Y- und Z-Koordinaten. Alternativ können die Standardabweichungen für jeden GCP individuell eingegeben und damit einzelne Passpunkte bei der Triangulation unterschiedlich gewichtet werden. In diesem Fall ist die Einstellung „Different weighted values“ zu wählen. (Sobald Standardabweichungen für die GCPs vorgegeben werden, ist die Funktion Blunder Checking nicht mehr verfügbar.)

Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Um den Einfluss systematischer Bildfehler zu reduzieren, können bei der Triangulation im Rahmen des so genannten *selbstkalibrierenden Bündelblockausgleichs* (*Self Calibrating Bundle Block Adjustment, SCBA*) zusätzliche Parameter zum Ausgleich solcher Fehler verwendet werden. Näheres hierzu ist in Leica 2006, S. 326 ff. und in Förstner et al. 2004, S. 870 ff. nachzulesen. In der LPS werden fünf verschiedene Modelle mit zusätzlichen Parametern angeboten, die nach ihren maßgeblichen Urhebern bzw. Funktionen benannt sind. Eines davon ermöglicht es, im Rahmen der Selbstkalibrierung die Verzerrungskoeffizienten für die innere Orientierung zu berechnen (Abbildung 7.17). Die Verwendung dieser Modelle setzt eine erhöhte Zahl von GCPs und Tie Points voraus. So sollen im Überlappungsbereich zweier Bilder mindestens sechs Passpunkte verwendet werden (Leica 2006, S. 330), was jedoch erwartungsgemäß nach der o.g. Regel zur Passpunktverteilung (Abbildung 7.13) – selbst nach der Deaktivierung problematischer Punkte – noch ausreichend gewährleistet ist.

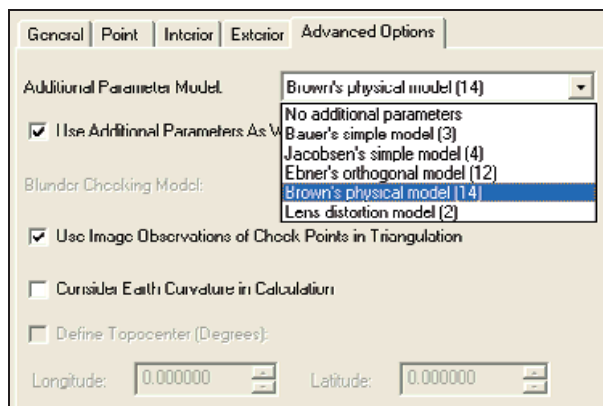


Abbildung 7.17: Auswahl des Modells für zusätzliche Parameter
Neben der Auswahl des Parametermodells (in Klammern ist die Anzahl der zusätzlichen Parameter angegeben) können die Optionen zur Gewichtung der zusätzlichen Parameter sowie zur Verwendung der Bildkoordinaten von den Vergleichspunkten in der Triangulation zur Fehlerreduktion ausgewählt werden.
Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Ein Vergleich der Auswirkungen durch die Anwendung verschiedener Parametermodelle wurde nicht nur anhand der numerischen Triangulationsergebnisse vorgenommen, sondern auch durch den Vergleich des aktuellen DGM5 mit Geländemodellen, die aus Bildblöcken abgeleitet wurden, bei denen mit unterschiedlichen Parametermodellen trianguliert wurde. Die Erstellung der Geländemodelle und ihr anschließender Vergleich mit dem DGM5

7 Aerotriangulation in der multitemporalen Luftbildauswertung

werden im folgenden Kapitel dargelegt.

Für die erzielte Steigerung der Gesamtgenauigkeit durch die Verwendung zusätzlicher Parameter konnte eine Abhängigkeit von der Qualität des Bildmaterials festgestellt werden. So führte die Wahl von Parametermodellen mit vielen zusätzlichen Parametern im Vergleich zu denen mit nur wenigen Parametern bei stärker verzerrtem Bildmaterial zu erheblichen Verbesserungen der Triangulationsergebnisse, während bei geometrisch besseren Bildern die Qualität auf diese Weise nicht nennenswert gesteigert werden konnte (vgl. Abbildung 7.18).

a)

Additional Parameter Model: Bauer's simple model (3)		Additional Parameter Model: Brown's physical model (14)	
Triangulation Iteration Convergence: Yes Total Image Unit-Weight RMSE: 3.8615		Triangulation Iteration Convergence: Yes Total Image Unit-Weight RMSE: 3.3025	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X: 4.4064 (55)	Ground X: 0.0006 (13)	Ground X: 1.7726 (55)	Ground X: 0.5192 (13)
Ground Y: 4.4749 (55)	Ground Y: 1.8444 (13)	Ground Y: 1.6888 (55)	Ground Y: 1.1743 (13)
Ground Z: 2.4811 (55)	Ground Z: 4.6280 (13)	Ground Z: 1.8969 (55)	Ground Z: 3.8375 (13)
Image X: 1.5903 (79)	Image X: 21.6200 (10)	Image X: 1.5286 (79)	Image X: 5.5675 (18)
Image Y: 2.4869 (79)	Image Y: 15.1188 (18)	Image Y: 2.4360 (79)	Image Y: 7.3584 (18)

b)

Additional Parameter Model: Bauer's simple model (3)		Additional Parameter Model: Brown's physical model (14)	
Triangulation Iteration Convergence: Yes Total Image Unit-Weight RMSE: 2.3163		Triangulation Iteration Convergence: Yes Total Image Unit-Weight RMSE: 2.0943	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X: 0.1013 (56)	Ground X: 0.2228 (13)	Ground X: 0.0902 (56)	Ground X: 0.2580 (13)
Ground Y: 0.1058 (56)	Ground Y: 0.2623 (13)	Ground Y: 0.0996 (56)	Ground Y: 0.1077 (13)
Ground Z: 0.1019 (56)	Ground Z: 0.3439 (13)	Ground Z: 0.0931 (56)	Ground Z: 0.6304 (13)
Image X: 2.9319 (66)	Image X: 2.8781 (16)	Image X: 2.6290 (66)	Image X: 2.3381 (16)
Image Y: 2.7522 (66)	Image Y: 3.7519 (16)	Image Y: 2.6620 (66)	Image Y: 3.4419 (16)

Abbildung 7.18: Einfluss der Parametermodelle auf die Triangulationsergebnisse bei Luftbildsätzen unterschiedlicher Qualität

- Triangulationsergebnisse des Beispielblocks von 1945 nach der Triangulation mit unterschiedlichen Parametermodellen: Durch eine größere Anzahl an Parametern werden die Fehler bei den Geländekoordinaten der Passpunkte und insbesondere bei den Bildkoordinaten der Vergleichspunkte deutlich besser kompensiert.
- Triangulationsergebnisse des Beispielblocks von 1959: durch eine größere Anzahl an Parametern können kaum nennenswerte Verbesserungen erzielt werden.

Quelle: Bildschirmfotos eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Sofern mit vielen Parametern keine nennenswerte Steigerung der Ergebnisqualität im Verhältnis zu Berechnungen mit weniger Parametern erzielt werden konnte, wurde das einfachere, weil erwartungsgemäß stabilere Modell für die endgültige Triangulation des betreffenden Bildverbands gewählt.

Zum Abschluss der Punktmessungen und –korrekturen sowie nach endgültiger Konfiguration aller erforderlichen Triangulationseinstellungen werden die ermittelten Orientierungsparameter und Koordinaten nach einem letzten Berechnungslauf in das Projekt übernommen und gespeichert.

Auf dieser Grundlage können die verschiedenen Auswertungen wie Geländemodell-Extraktion, Orthofotoerstellung und 3D-Objekterfassung durchgeführt werden.

Die Genauigkeit, die in einem Modell auf der Grundlage historischer Luftbilder unter den bisher geschilderten Bedingungen zu erzielen ist, wird von der Triangulationszusammenfassung und auch von den im Triangulationsbericht für die einzelnen Punkte dokumentierten Abweichungen nur punktuell beschrieben. Daraus lässt sich bei den teilweise durchaus großen und auch verschieden gerichteten Fehlern eine Verwendbarkeit von Messungen in den Modellen erwartungsgemäß nur schwerlich ableiten. Denn insbesondere bei den älteren Bildern ist die Verlässlichkeit jedes einzelnen Pass- oder Vergleichspunktes aufgrund der oben geschilderten Dynamik des Geländes und von Gebäuden nur schwer nachvollziehbar. Eine Aussage über die Genauigkeit der Referenzpunkte im Verhältnis zum in den Bildern dargestellten Gelände ist also ebenso schwer zu machen wie eine Einschätzung von Quellen und Ausmaß geometrischer Beeinträchtigungen des Bildmaterials.

Um trotzdem untersuchen zu können, inwieweit Kartierungen in solchen digitalen 3D-Modellen aus Bildern mit derart unterschiedlichen Qualitäten für die Altlastverdachtsflächenerfassung verwendet werden können, wurden mit den vorliegenden Luftbildern aus den verschiedenen Zeitschnitten versuchsweise jeweils Triangulationen mit unterschiedlichen Parametermodellen durchgeführt, Geländemodelle extrahiert sowie Probekartierungen angefertigt. Anschließend wurden die erzeugten Geländemodelle und Kartierungen mit dem vorliegenden Referenzmaterial (DGM5, RDGK5) verglichen.

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

Anhand räumlicher Auswertungen der triangulierten Luftbilder wird im Folgenden dargelegt, inwieweit die Verfahren der digitalen Photogrammetrie geeignet sind, Informationen für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen zu gewinnen. Hierfür wurden zum einen digitale Höhenmodelle (DHM) erzeugt, um

- im Vergleich mit dem Referenzmodell DGM5 die Genauigkeit der Triangulationen zu überprüfen,
- zu untersuchen, inwieweit sich daraus Kubaturen für Abgrabungen oder Aufschüttungen berechnen lassen und um
- die notwendige Basis für die Orthofotoerstellung aus den Luftbildern zu schaffen.

Zum anderen wird für jeden Zeitschnitt eine räumliche Testkartierung durchgeführt, mit der die Qualität der Höhen- und Lagetreue von Kartierungen im Stereomodell geprüft wird.

8.1 Höhenmodellextraktion

Die Berechnung der Höhenmodelle erfolgte mit dem Modul ATE (Automatic Terrain Extraction) in der LPS: Anhand der jeweiligen Bildpositionen von Geländepunkten in zwei überlappenden Bildern werden auf der Grundlage der Triangulationsergebnisse die Geländekoordinaten der einzelnen Punkte ermittelt. Die Identifikation homologer Punkte in zwei benachbarten Bildern eines Flugstreifens erfolgt mittels des sogenannten *Point* bzw. *Image Matching*. Dabei handelt es sich um ein Verfahren, das durch den Vergleich lokaler Bildstatistiken anhand eines vorgegebenen Korrelationswertes die Zuordnung übereinstimmender Bildbereiche ermöglicht (Wolf & Dewitt 2000, S. 337).

In Anbetracht der Tatsache, dass in Luftbildern das aufgenommene Gelände mit allen darauf befindlichen Objekten abgebildet ist, handelt es sich bei daraus berechneten Höhenmodellen um Oberflächenmodelle, die nur in frei-

en Bereichen die Höhen des Geländes und ansonsten die der das Gelände übereckenden Geländeobjekte enthält. Erst in einem weiteren Schritt lassen sich daraus durch eliminieren aller Oberflächenobjekte Geländemodelle erzeugen, die die Oberfläche des reinen Geländes repräsentieren.

Für jeden Zeitschnitt wurde mit immer gleichen Einstellungen (Abbildung 8.1) zu den einzelnen, mit unterschiedlichen Parametermodellen erzielten Triangulationsergebnissen je ein Höhenmodell erzeugt. Zur Vermeidung unnötiger Ausreißer wurden Wolken- und Wasserflächen durch so genannte *Exclude Areas* (Ausschlussflächen) von der Berechnung ausgeschlossen. Lediglich die Größe des *Suchfensters* wurde mit Hilfe der vorgegebenen Formel aus der Anleitung zum ATE-Modul der LPS ermittelt (Abbildung 8.2) und jeweils der Aufnahmekonfiguration der Bilder angepasst (Tabelle 8.1).

The screenshot shows a software interface for setting strategy parameters. At the top, 'Strategy Name' is set to 'Hansa 1945'. Below this, there are several input fields and dropdown menus: 'Search Size X' is 25, 'Y' is 5, 'Correlation Size X' is 7, and 'Y' is 7. 'Correlation Coefficient Limit' is set to 0.95. 'Use Image Band' is set to 1. 'DTM Filtering' is set to High, 'Topographic Type' is set to Rolling Hills, and 'Object Type' is set to Low Urban.

Abbildung 8.1: Strategieparameter für die Oberflächenmodellextraktion
Quelle: Bildschirmfoto eigener Projektbearbeitung mit der LPS

Das Suchfenster bestimmt den Bereich, über dem mit dem so genannten *Korrelationsfenster* nach einer Übereinstimmung der Grauwerte gesucht wird. Seine Ausdehnung in X-Richtung muss also die den Höhenunterschieden im Bild entsprechende größtmögliche X-Parallaxe einschließen.

Die Höhenmodelle wurden zunächst als *TIN* (Triangulated Irregular Network) im Format *Terramodel TIN* (mit der Dateiendung *.pro) erstellt. In diesem Format lassen sie sich bei Bedarf im Terrain Editor bearbeiten, um beispielsweise Ausreißer oder andere Inkonsistenzen zu korrigieren.

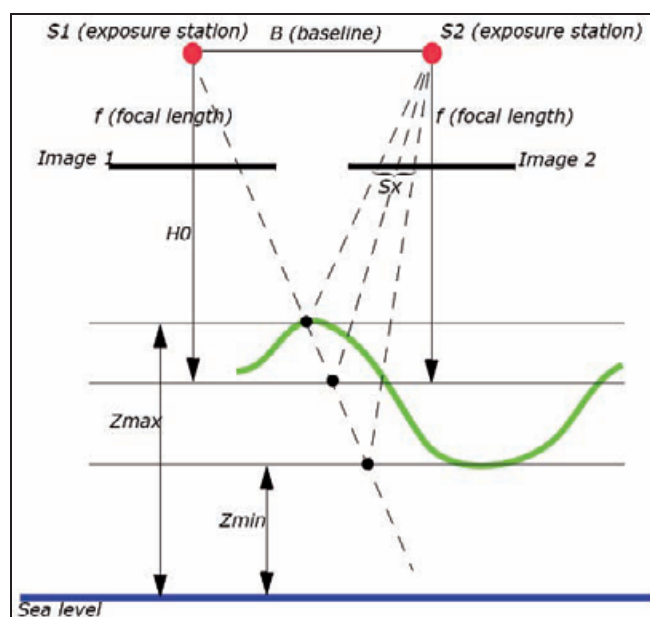
Für den Vergleich der Oberflächenmodelle in ESRI ArcMap und zur dreidimensionalen Darstellung in ESRI ArcScene wurden die TINs mit dem *3D*

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

Surfacing-Tool von Leica Erdas Imagine in Rasterdateien im *.img-Format mit einer Rasterweite von 5 m umgewandelt. Auch wenn das Referenzmodell DGM5 eine Rasterweite von 10 m hat, wurde für die visuelle Analyse der errechneten Modelle die kleinere Auflösung von 5 m gewählt, um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Detailliertheit und Anzeigegeschwindigkeit für die dreidimensionale Betrachtung der Modelle zu gewährleisten.

$$S_x = \frac{B \cdot f}{H_0} \cdot \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{H_0}$$

a)



b)

Abbildung 8.2: Berechnung der Suchfenstergröße S_x

a) Formel zur Berechnung der Suchfenstergröße. (Das Ergebnis beschreibt die Suchfenstergröße in X-Richtung in der Einheit der Objektkoordinaten und muss über die Pixelgröße in Pixel umgerechnet werden).

b) Erläuterungsskizze zu den verwendeten Größen in a)

Quelle: Leica 2006a, S. 14

Bei der Berechnung der Höhenmodelle wurde jeweils ein „DTM Point Status Output Image“ erzeugt, in dem die Qualität jedes berechneten Punktes einer von fünf Qualitätsklassen zugeordnet wird. Kriterium ist dabei unter anderem der erzielte Korrelationswert beim Point Matching. (Näheres hierzu in Leica 2006a, S. 78 f.).

Die individuell gewählten Einstellungen, Ausschlussflächen, DTM Point Status Output Images sowie die Höhenmodellextraktionsberichte sind in Anhang C dokumentiert.

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

pixel size	0,0000211667	m								
Zmin	52	m								
Zmax	78	m								
Zmean	67	m								
$m = (Z - Z_{\text{mean}}) / c$ $B = \sqrt{((X1 - X2)^2) + ((Y1 - Y2)^2)}$										
Jahr/Bildnr.	X	Y	Z	c	m	B	Sx [m]	Sx [px]	Sx [px]	
1943										
4049	2596708,6454	5713874,6502	9083,5195	0,50800	17749					
4050	2597711,3759	5714227,7284	9091,9702	0,50800	17766	1063	0,000170	8,02		
4051	2598779,4619	5714685,0239	9100,5010	0,50800	17782	1162	0,000186	8,77		
Mittelwerte	2597733,1611	5714262,4675	9091,9969	0,50800	17766	1112	0,000178	8,40		13
1945										
2060	2597601,0582	5714121,9809	6181,6084	0,60960	10031					
2061	2598485,7455	5714069,3658	6150,0805	0,60960	9979	886	0,000371	17,53		
2062	2599448,4131	5714017,6834	6126,1446	0,60960	9940	964	0,000404	19,07		
Mittelwerte	2598511,7389	5714069,6767	6152,6112	0,60960	9983	925	0,000387	18,30		25
1959										
982	2599132,8792	5712640,9762	2654,8170	0,21023	12309					
983	2598239,6076	5712601,6681	2642,1573	0,21023	12249	894	0,000700	33,06		
984	2597341,6613	5712541,8557	2630,0468	0,21023	12192	900	0,000705	33,29		
Mittelwerte	2598237,9827	5712594,8333	2642,3404	0,21023	12250	897	0,000702	33,17		41
1969										
362	2598500,5584	5712834,2891	3621,0628	0,30524	11644					
363	2597510,2703	5712885,7485	3616,2034	0,30524	11628	992	0,000601	28,39		
Mittelwerte	2598005,4144	5712860,0188	3618,6331	0,30524	11636	992	0,000601	28,39		35
2003										
2254	2599017,8886	5713019,0737	4018,8098	0,30204	13084					
2255	2598010,0519	5713011,3727	4019,8724	0,30204	13087	1008	0,000490	23,15		
Mittelwerte	2598513,9703	5713015,2232	4019,3411	0,30204	13085	1008	0,000490	23,15		31

Tabelle 8.1: Berechnung von Sx für die vorliegenden Bilder

Die Werte für X, Y, Z und c wurden im Triangulationsprotokoll abgelesen. Zmin, Zmax und Zmean wurden dem Referenz-DGM5 unter Ausschluss der Halde (außer für die Luftbilder aus 2003) entnommen. Die Formel in Abbildung 8.2 a geht von idealen Aufnahmebedingungen wie z.B. einer exakt waagerechten Lage der Bildebene über dem Gelände aus. Darum wurden die errechneten Werte (vorletzte Spalte) jeweils um einige Pixel erhöht (letzte Spalte).

Abbildung 8.3 zeigt Beispiele zweier DTM Point Status Output Images, die mit den Farben Hellgrün eine sehr gute Korrelation im Bereich von 0,85 bis 1, mit Grün eine gute Korrelation im Bereich von 0,7 bis 0,85 und mit Gelb eine ausreichende Korrelation im Bereich von 0,5 bis 0,7 beschreiben.

Allgemein konnte mit allen Beispielbildern ein recht hohes Maß an Korrelationsgüte erzielt werden. Zwar war diese bei den älteren drei Bildsätzen geringer als bei denen von 1969 und 2003, es wurden jedoch keine erfolglosen Zuordnungsversuche dokumentiert. In Abbildung 8.3 ist deutlich zu erkennen, dass schlechter korrelierte Bereiche vornehmlich im offenen Gelände liegen, wo weniger deutliche Texturen in den Bildern zu finden sind. Demgegenüber erzielten Punkte in bebauten Gebieten oder im Bereich li-

nienhafter Infrastruktur aufgrund der hier naturgemäß günstigeren Objektkontraste höhere Korrelationswerte.

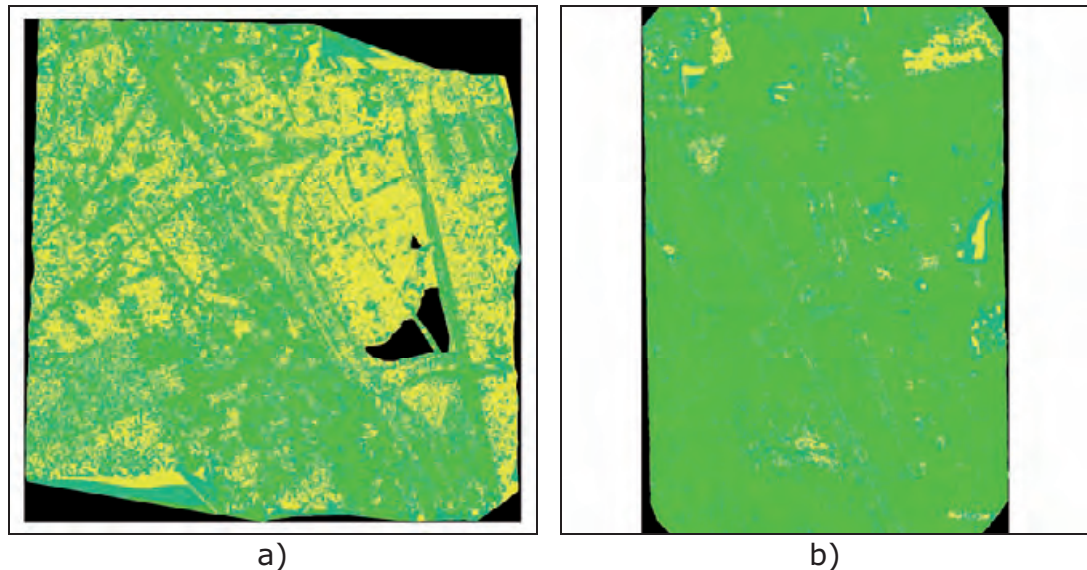


Abbildung 8.3: DTM Point Status Output Image

- a) DTM Point Status Output Image der Oberflächenmodellextraktion aus den Bildern von 1945
- b) DTM Point Status Output Image der Oberflächenmodellextraktion aus den Bildern von 2003

Quelle: Eigene Projektbearbeitung mit der LPS

Die Korrelation der Bildbereiche beim Point Matching, die im DTM Point Status Output Image dargestellt wird, zeigt zunächst nur den Erfolg der grundlegenden Punktzuordnung bei der Oberflächenmodellerstellung. Aussagen über die Qualität des Ergebnismodells finden sich im gleichzeitig erstellten Bericht (Report), in dem die Genauigkeit des Modells dokumentiert wird – bezogen auf die im Rahmen der Konfiguration der Oberflächenextraktion als Referenz benannten Punkte.

Erwartungsgemäß waren in den Berichten insbesondere bei den Kriegsluftbildern große Fehler zu finden. Diese lassen sich zur räumlich differenzierten Beurteilung der Verwertbarkeit eines Oberflächenmodells aus der alphanumerischen Darstellung eines Berichtes jedoch nur schwer räumlich einordnen. Um unabhängig von der Position der Referenzpunkte eine räumlich differenzierte Bewertung der erstellten Oberflächenmodelle und der zugrunde liegenden Triangulationen mit unterschiedlichen Parametermodellen vornehmen zu können, wurden die Oberflächenmodelle im GIS mit dem Referenzmodell verglichen. Dazu wurde jeweils ein Differenzraster aus dem

DGM5 und dem betreffenden Oberflächenmodell erzeugt, das für jeden Rasterpunkt die Differenz aus dem dazugehörigen Wert des DGM5 minus dem aus dem betreffenden Oberflächenmodell enthält. Die berechneten Differenzraster wurden in Karten mit symmetrisch um den Nullpunkt gruppierten Klassen der Höhenabweichungen visualisiert (Abbildungen 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 und 8.13). Für eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Differenzkarten wäre eine einheitliche Klassifizierung ideal. Es wurden jedoch zwei unterschiedliche Klassifizierungen gewählt, da die Fehler bei den Modellen aus den Kriegsluftbildern deutlich weiter gestreut waren als bei denen aus den drei jüngeren Bildsätzen.

Diese Form eines Vergleichs von Höhenmodellen hat den Vorteil, dass er flächig erfolgt und nicht nur eine punktuelle Beurteilung von Abweichungen zulässt. Selbstverständlich muss bei dem hier gewählten Vergleich beachtet werden, dass das DGM5 – im Unterschied zu aus Luftbildern abgeleiteten Oberflächenmodellen – keine Geländeobjekte wie beispielsweise Gebäude oder Bäume enthält. Ferner repräsentiert es im Gegensatz zu den Luftbildern einen wesentlich aktuelleren Zustand des Geländes. Daher führen Unterschiede in Bereichen wie der großen Deponie-Halde oder der aufgesockelten Kläranlage zwangsläufig zu Differenzen in den Vergleichskarten (vgl. Abbildung 8.4). Bei der Bewertung der Differenzbilder ist also zu beachten, dass die durch Geländeänderungen bedingten Abweichungen bekannt sind, um entsprechend berücksichtigt werden zu können. Ferner sollten auch in diesem Zusammenhang die Genauigkeiten des vorliegenden Referenzmodells grundsätzlich kritisch hinterfragt und Fehler darin nicht ausgeschlossen werden.

Neben dem Vergleich der Differenzkarten wurde auch eine visuelle Bewertung von interaktiven 3D-Ansichten der erzeugten Oberflächenmodelle vorgenommen. Dazu wurden die Modelle in ArcScene geladen und leicht (dreifach) überhöht dargestellt. Anhand dieser Ansichten waren beispielsweise neben den großräumigen Deformationen auch kleinräumige Unregelmäßigkeiten in den Modellen aus den Kriegsluftbildern unmittelbar zu erkennen (Abbildungen 8.6, 8.8, 8.10, 8.12 und 8.14). Ferner konnten so auch in der räumlichen Ansicht die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Parametermodelle sowohl untereinander (Abbildung 8.15) als

auch im Vergleich mit dem DGM5 räumlich visualisiert werden (Abbildung 8.16). Die Auswahl der hier gezeigten 3D-Ansichten erfolgte auf der Grundlage einer Auswertung der Differenzbilder zur Beurteilung der Triangulationsergebnisse, auf deren Grundlage je Zeitschnitt eines für die weiteren Bearbeitungsschritte ausgewählt wurde. Die wesentlichen Erwägungen hierzu werden im Folgenden dargelegt. Dafür wurden die Karten zu den einzelnen Parametermodellen der Einfachheit durchnummeriert:

1. Ohne zusätzliche Parameter
2. Parametermodell nach Bauer
3. Parametermodell nach Jacobsen
4. Parametermodell nach Ebner
5. Parametermodell nach Brown

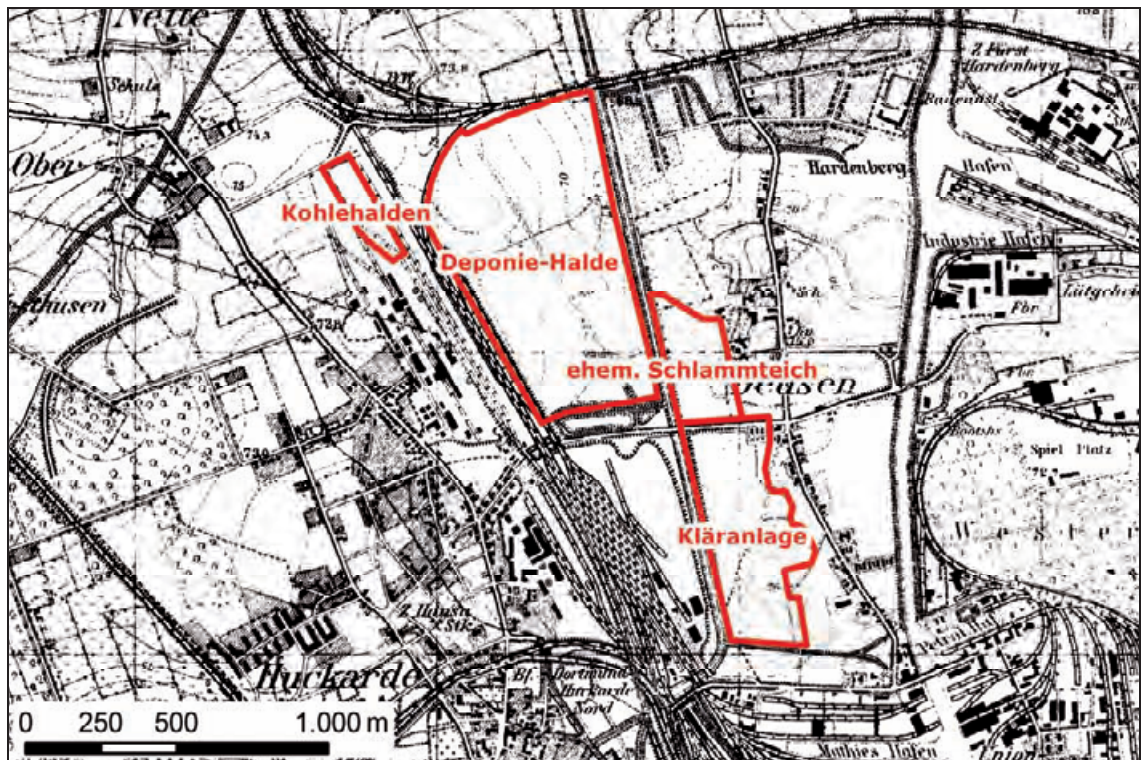


Abbildung 8.4: Bereiche bekannter Geländeänderungen

Neben den hier dokumentierten Veränderungsbereichen sind auch nicht genau abgegrenzte Geländeänderungen zwischen dem Bereich „Kläranlage“ und den westlich davon gelegenen Gleisanlagen aus den Luftbildern bekannt.

Kartengrundlage: LVerMA NRW

Bei der Auswertung, welches der Modelle aus einem Zeitschnitt am besten für eine Auswertung im Rahmen der Altlastverdachtsflächenerfassung geeignet ist, wurde nicht primär auf möglichst geringe absolute Abweichungen

geachtet, sondern vielmehr darauf, dass in den Bereichen, in denen Höhen erfasst werden sollen (Abbildung 8.4), die vorhandene Abweichungen möglichst konstant, also die *relativen Fehler* möglichst gering sind. Denn konstante, absolute Fehler können später problemlos aus den erfassten Modellen herausgerechnet werden.

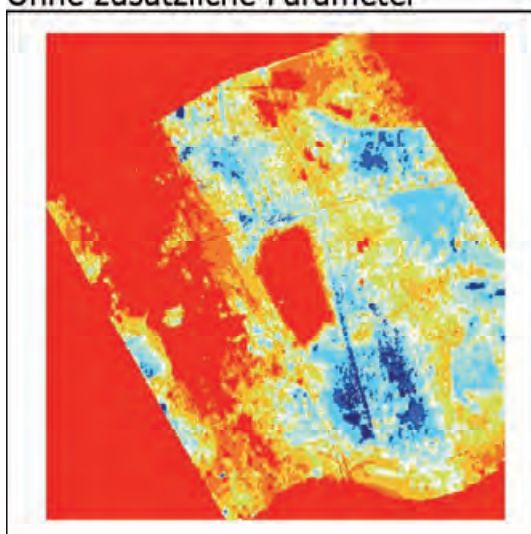
Eine gute Orientierung in den eingenordeten Modellen ist anhand der Deponie-Halde und des östlich davon verlaufenden Kanals (der Emscher) gegeben.

Beispiel 1943 (Abbildung 8.5 und 8.6): Die Differenzkarten zeigen große unregelmäßig verteilte Abweichungen. Während in den ersten beiden Karten im Westen sehr starke positive und im Osten eher negative Abweichungen zu sehen sind, sind diese Unterschiede in den letzten beiden Karten ausgeglichener, so dass in Westen und Osten jeweils ähnliche positive Werte vorkommen, während in der Mitte ein Streifen mit negativen Werten von Nordenwesten nach Südosten verläuft. Die auffällig hohen Werte im östlichen Norden sind auf eine neuere Aufschüttungsfläche im DGM5 zurückzuführen. Bei allen Modellen ist ein Bereich deutlich negativer Differenzen mittig im Süden zu sehen. Hier ist anhand der helleren Blautöne die Aufschüttungsfläche des Klärwerks zu erkennen, die sich vermindern auf die Abweichungen der Modelle vom DGM5 auswirkt. Dementsprechend fällt der Bereich des ehemaligen Schlammteichs nördlich der Klärwerksfläche mit positiven Werten auf. Aufgrund der größeren – wenn auch trotzdem noch geringen – Homogenität der Fehler wird für die weitere Bearbeitung aus dem Zeitschnitt von 1943 die Triangulation mit dem Parametermodell von Brown verwendet.

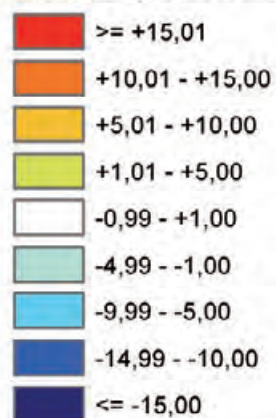
Neben den in den Differenzbildern evidenten unterschiedlichen Abweichungen vom DGM5 sind in der 3D-Ansicht auch starke kleinräumige Unregelmäßigkeiten der generierten Oberfläche zu erkennen. Lediglich der ausmaschierte Wolkenbereich in der Mitte erscheint glatter.

Insgesamt wurde die geometrische Qualität der Luftbilder von 1943 als mangelhaft eingestuft, da sie auch mit dem Brownschen Modell nur die Extraktion von Oberflächenmodellen mit zwar wenigen homogenen, aber dennoch sehr gegensätzlichen Abweichungsbereichen ermöglichen.

Ohne zusätzliche Parameter

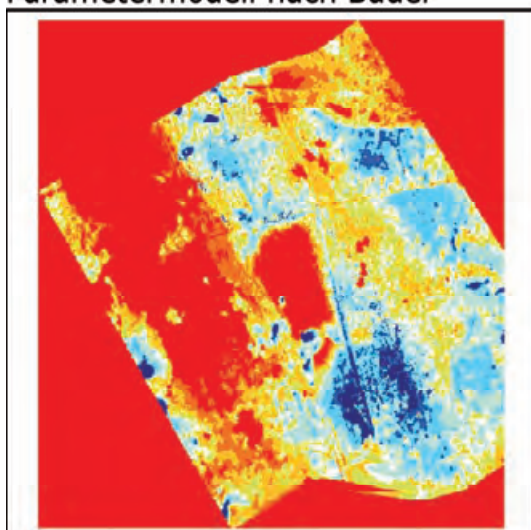


Abweichung in Metern

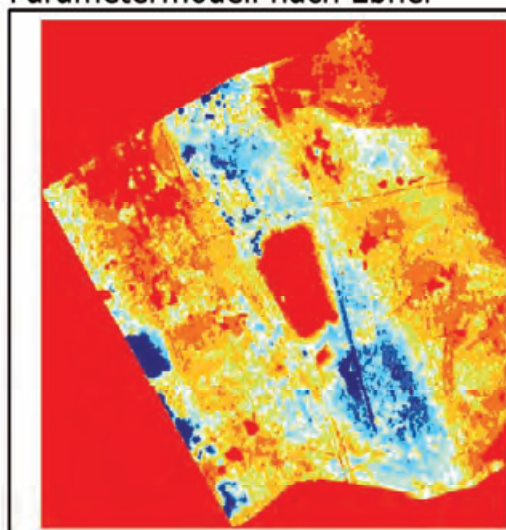


0 500 1.000 2.000m

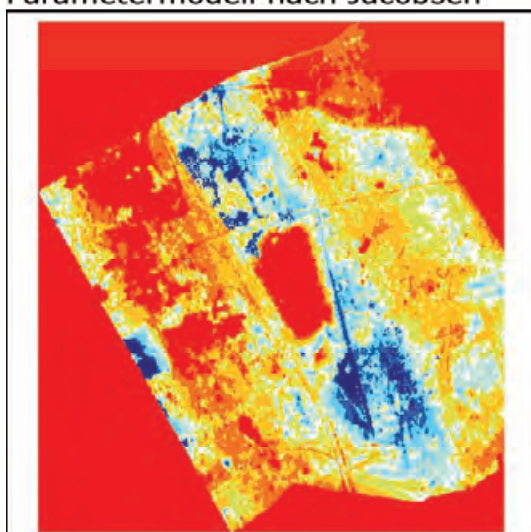
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

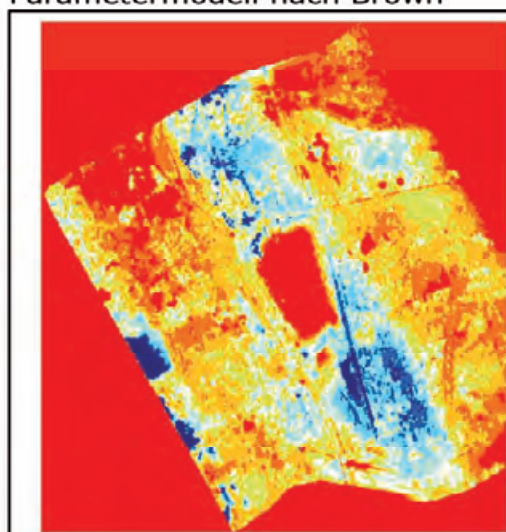


Abbildung 8.5: Differenzbilder 1943

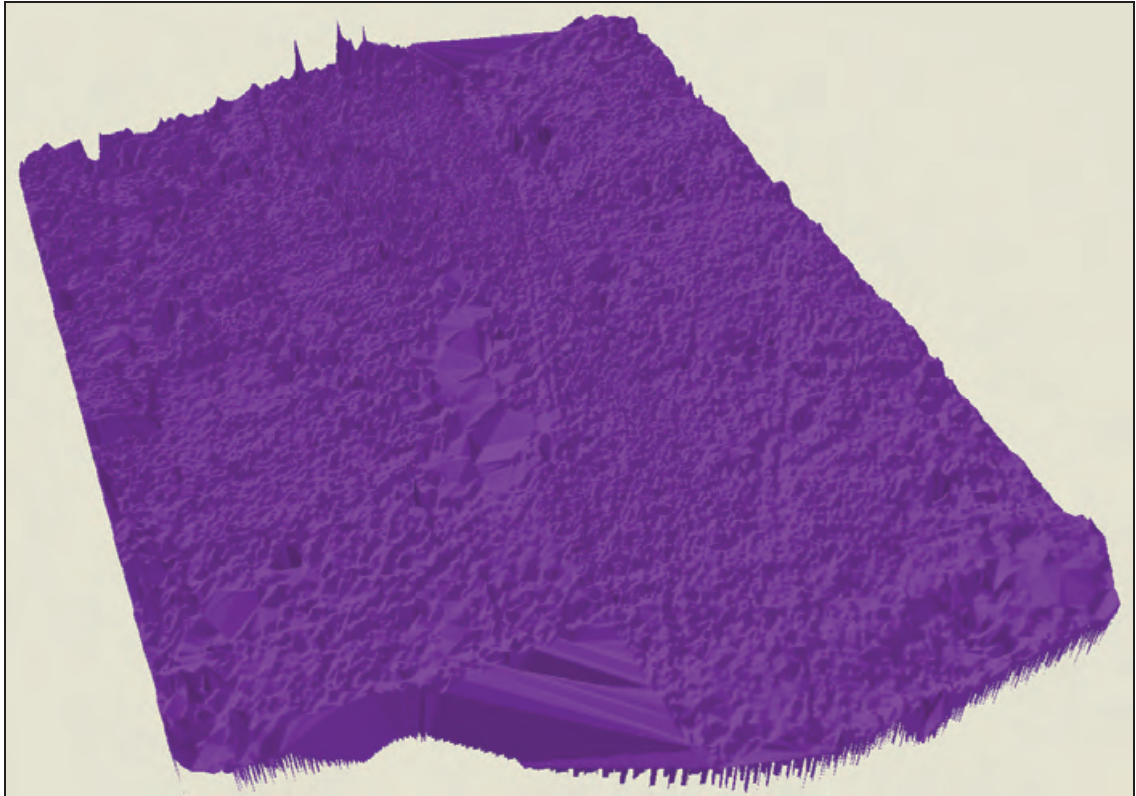
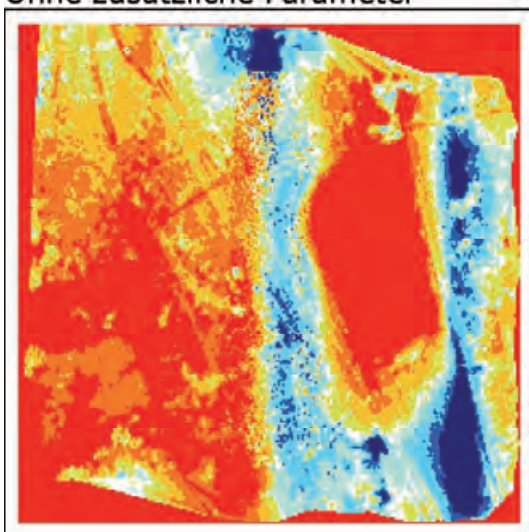


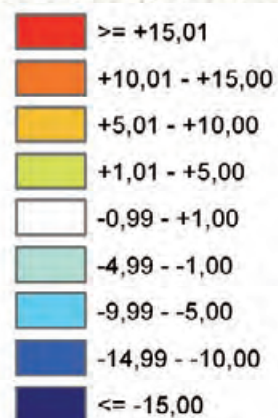
Abbildung 8.6: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1943 mit *Brown's physical model*

Beispiel 1945 (Abbildung 8.7 und 8.8): Für das Luftbild-Triplet von 1945 ergeben sich mit allen Parametermodellen recht inhomogene Fehlerverteilungen. Deutlich zu erkennen sind die unterschiedlichen Charakteristika des westlichen und östlichen Stereobereichs der ausgewerteten Luftbilder. Während die westliche Hälfte unterschiedlich ausgeprägte positive Abweichungen zeigt, wirkt die östliche Hälfte des Modells – insbesondere bei der Betrachtung in der 3D-Ansicht – durchgebogen, so dass sich eine in Nord-Süd-Richtung verlaufende „Wanne“ mit erhöhten „Kanten“ ergibt. Diese symmetrische Verbiegung nur eines der Stereobereiche deutet auf Beeinträchtigungen des Luftbildmaterials bei der Überlieferung aufgrund geometrisch unterschiedlicher Eigenschaften der zwei unterschiedlichen verwendeten Scanner hin. Die Oberfläche des Modells erweist sich in der 3D-Ansicht ebenfalls als unregelmäßig. Abschließend wurde das Oberflächenmodell von 1945 im östlichen Bereich als ungenügend beurteilt. Der westliche Teil ließe bei kleinräumiger Betrachtung ggf. eine Bewertung als mangelhaft zu. Ob und inwieweit die Bilder überhaupt gewinnbringend digital-photogrammetrisch ausgewertet werden können, wird später erörtert.

Ohne zusätzliche Parameter

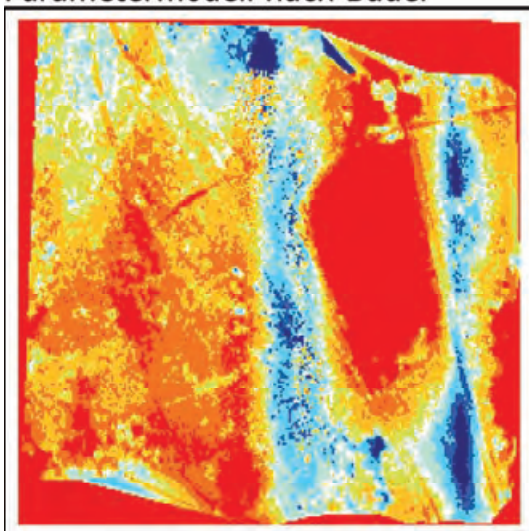


Abweichung in Metern

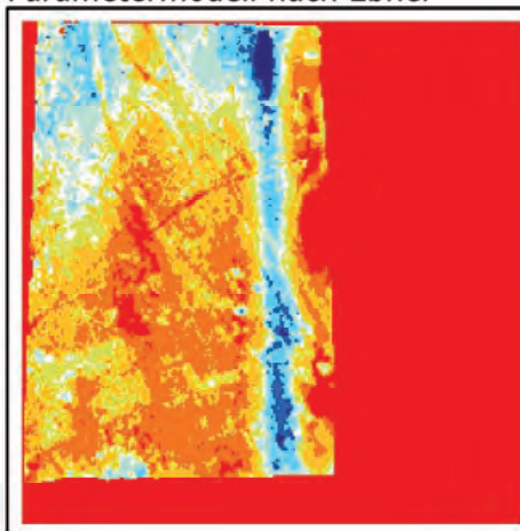


0 500 1.000 2.000m

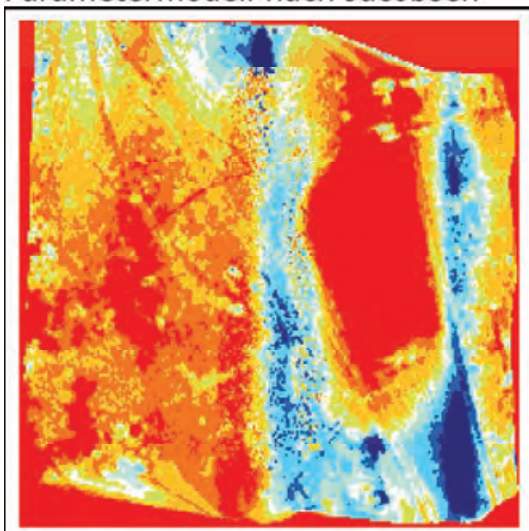
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

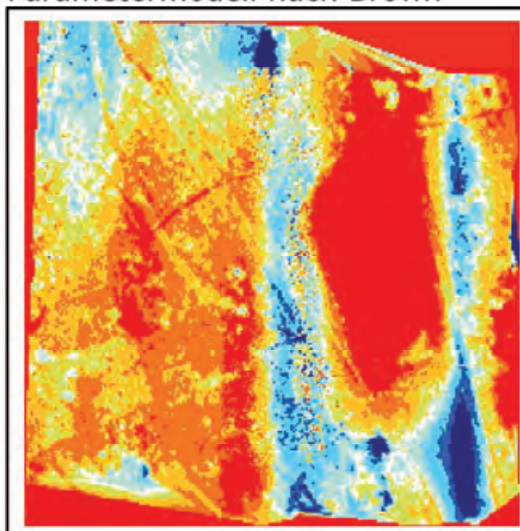


Abbildung 8.7: Differenzbilder 1945

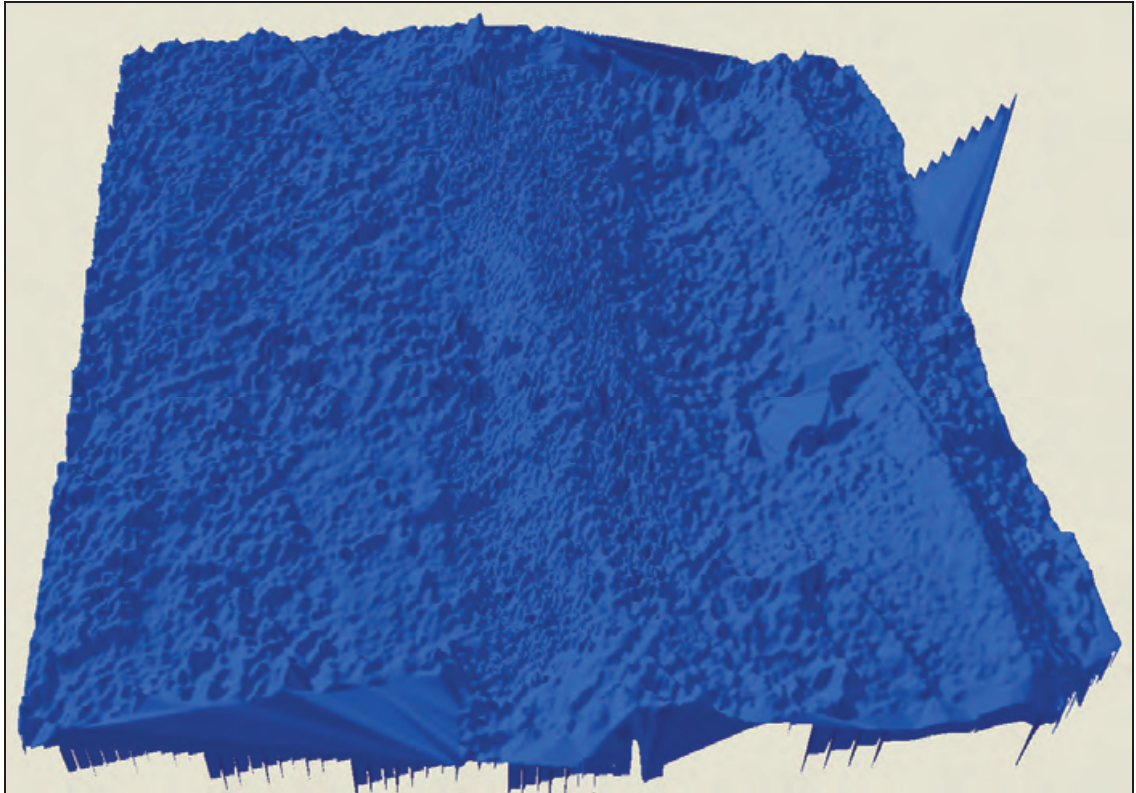
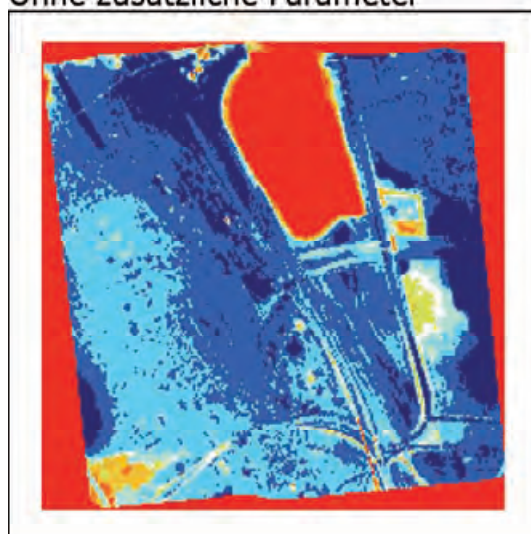


Abbildung 8.8: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1945 mit *Brown's physical model*

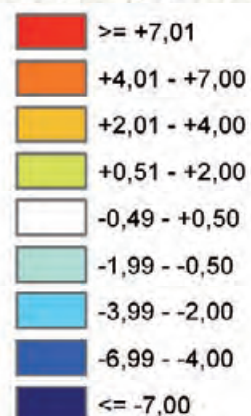
Auf der Basis von Vergleichen der verschiedenen Oberflächenmodelle in ArcScene (Abbildung 8.15 und 8.16) wurde für das weitere Vorgehen aus diesem Zeitschnitt die Triangulation mit dem Parametermodell nach Brown ausgewählt, da diese dem DGM5 zumindest am nächsten kam.

Beispiel 1959 (Abbildung 8.9 und 8.10): Die Differenzkarten zu den Luftbildern von 1959 zeigen – die erste Karte ausgenommen – nur wenige Abweichungen über 7 m. Die Veränderungsbereiche gemäß Abbildung 8.4 sind gut im Differenzbild zu erkennen. Ebenso zeichnen sich die Anlagen der Kokerei- und Zechenanlage sowie Gebäude des südöstlich gelegenen Gewerbegebiets deutlich ab. Lediglich am südöstlichen Kartenrand zeigt sich ein tiefblauer und in der südwestlichen Ecke ein kräftig roter Bereich mit Abweichungen von über 7 m. Hier sind Ungenauigkeiten des DGM5 oder unbekannte Geländeänderungen nicht auszuschließen, da in diesen Bereichen auch im Rahmen der Triangulation größere Fehler bei den GCPs auftraten. Die 3D-Ansicht zeigt ein sehr homogenes Bild des Geländes. Lediglich im Norden tritt der Überlappungsbereich der einzelnen Stereomodelle durch eine etwas unruhigere Struktur hervor.

Ohne zusätzliche Parameter

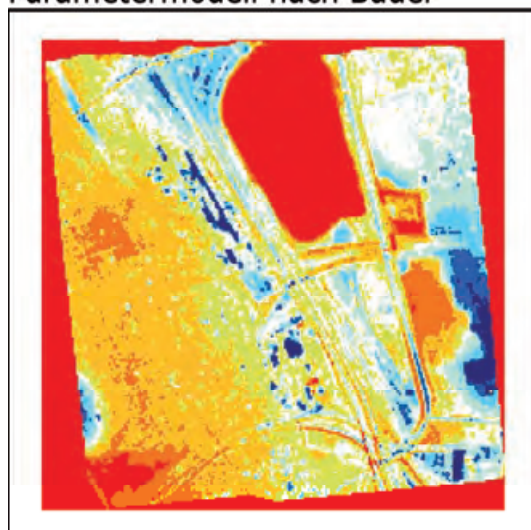


Abweichung in Metern

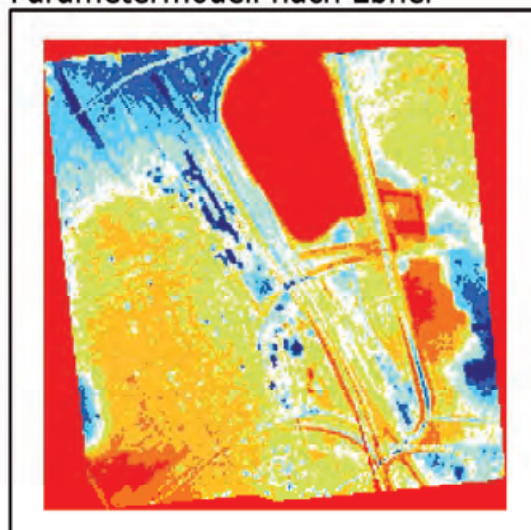


0 500 1.000 2.000m

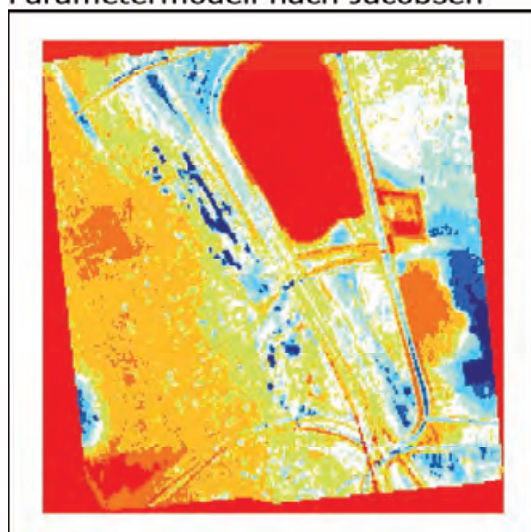
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

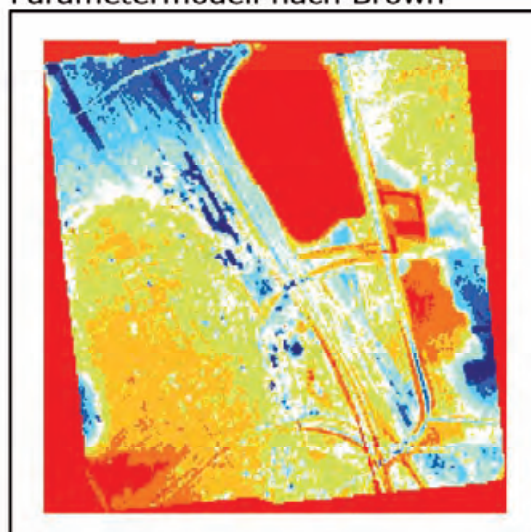


Abbildung 8.9: Differenzbilder 1959

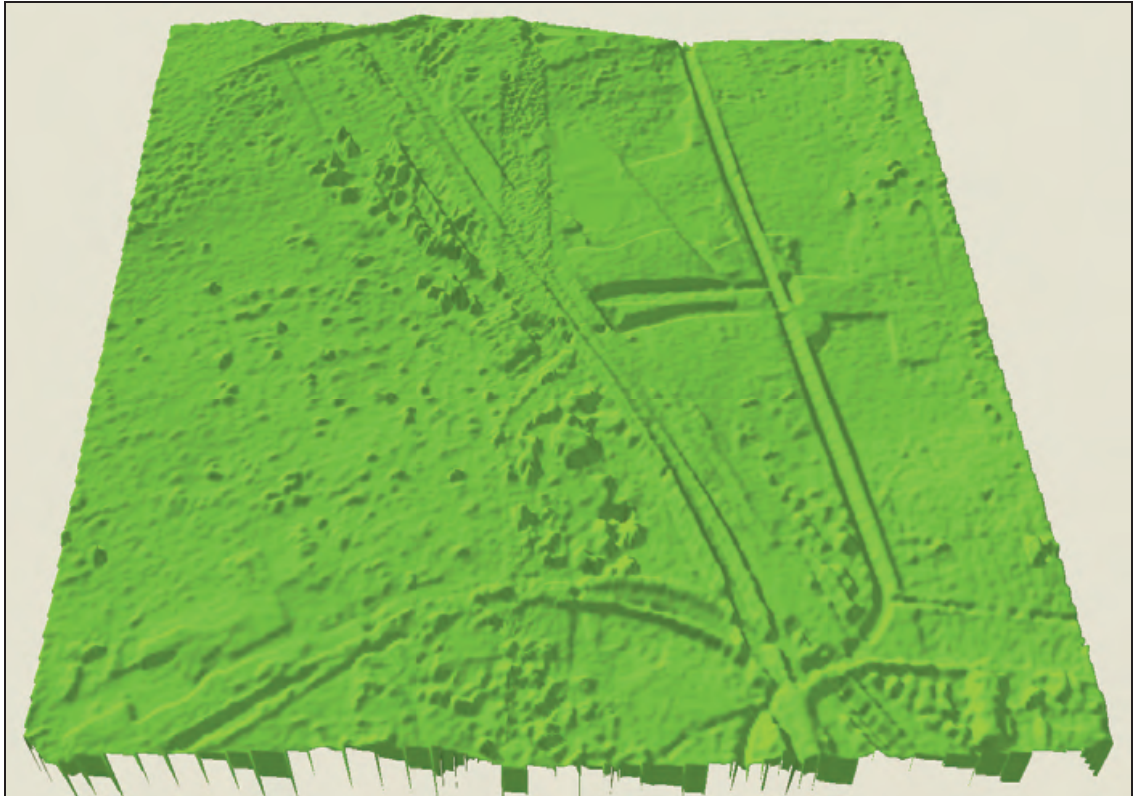


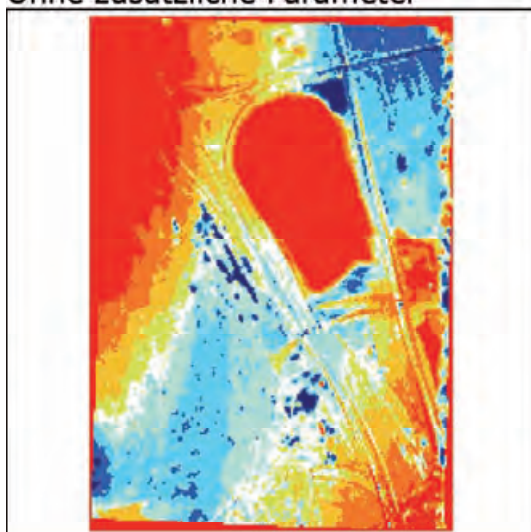
Abbildung 8.10: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1959 mit *Bauer's simple model*

Für die weitergehende Bearbeitung wurde die Triangulation nach *Bauer's simple model* gewählt, weil das dritte Modell demgegenüber keine Verbesserung aufwies und die nachfolgenden offensichtlich zu Verschlechterungen der Qualität – insbesondere im Nordwesten der Modelle – führten. Zusammenfassend wurde dieser Bildverband als gut bewertet.

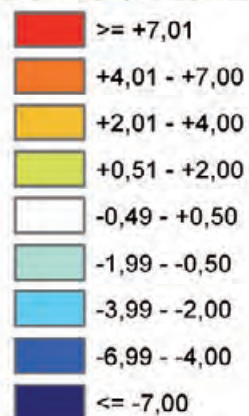
Beispiel 1969 (Abbildung 8.11 und 8.12): Für den Luftbildsatz von 1969 sind in den ersten drei Differenzkarten größere positive Abweichungen im Nordwesten und im Südosten sowie negative Differenzen im Nordosten zu sehen. In der vierten und noch mehr in der fünften Karte sind diese Fehler deutlich reduziert. Lediglich die Aufschüttungsbereiche von Deponie-Halde, ehemaligem Schlammteich und Kläranlage treten – wie auch die Kokerei- und Zechenanlagen – erwartungsgemäß in größeren Fehlerklassen hervor. Dementsprechend wurde hier die Triangulation zum fünften Modell für die spätere Weiterverarbeitung ausgewählt.

Das 3D-Bild gibt das Gelände ausgeglichen wieder, enthält jedoch sehr leichte nord-süd-ausgerichtete Wellen. Insgesamt konnte die Qualität dieses Zeitschnitts als ausreichend eingestuft werden.

Ohne zusätzliche Parameter

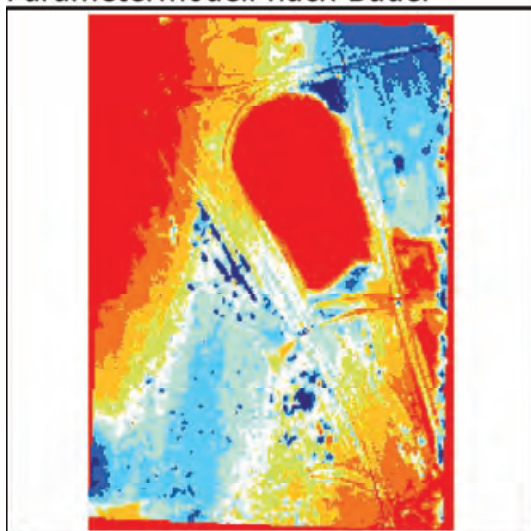


Abweichung in Metern

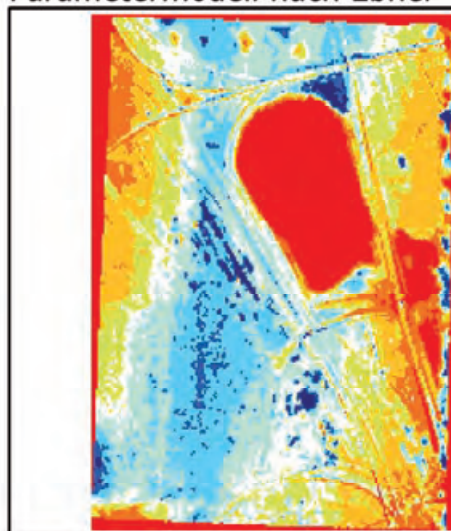


0 500 1.000 2.000m

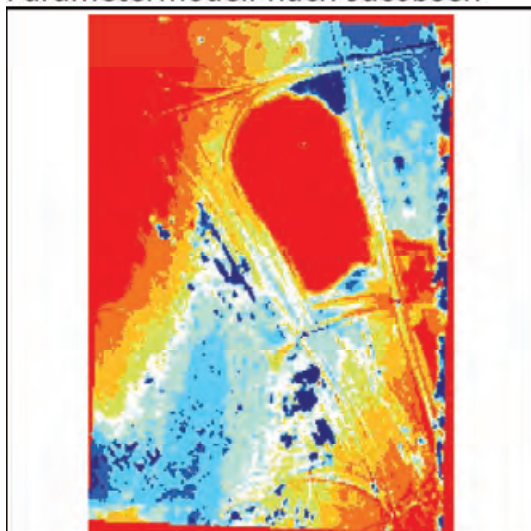
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

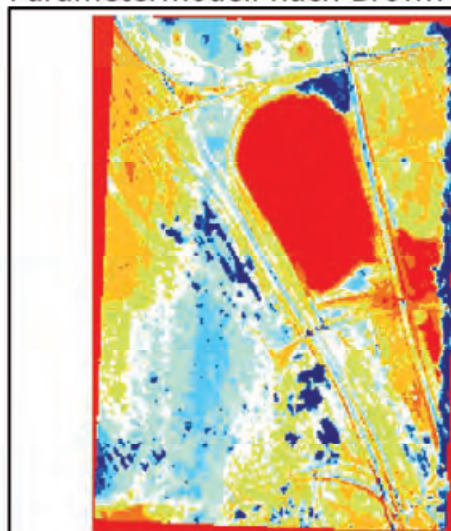


Abbildung 8.11: Differenzbilder 1969

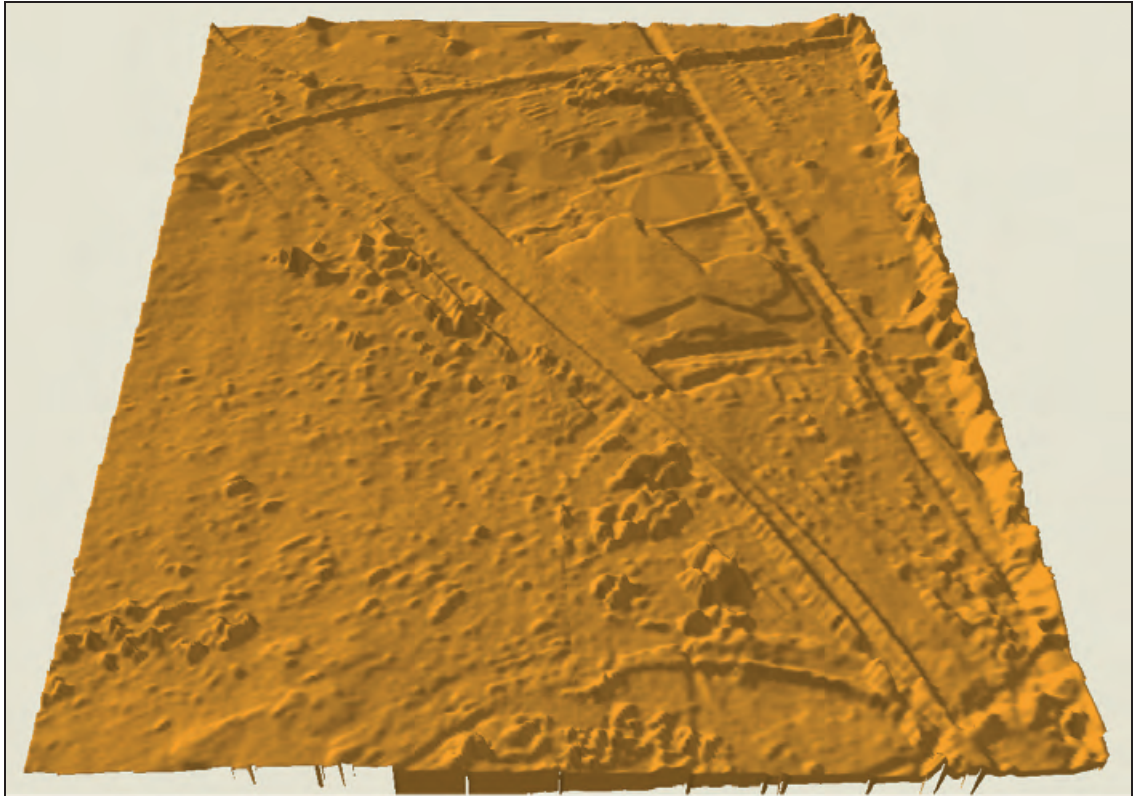
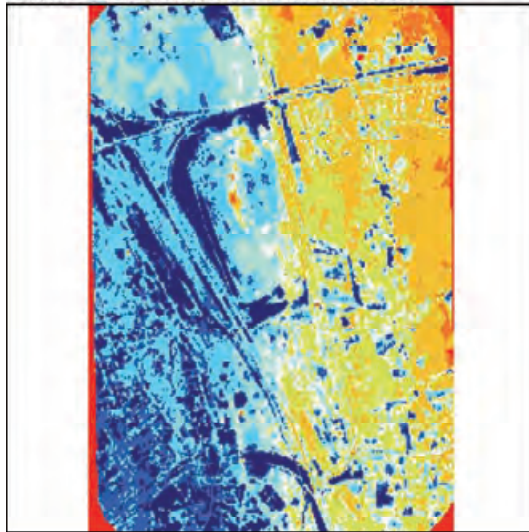


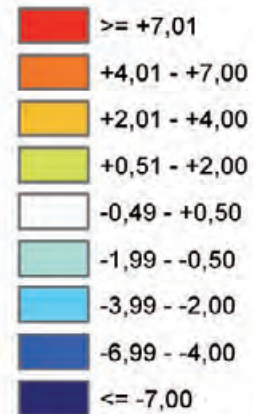
Abbildung 8.12: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1969 mit *Brown's physical model*

Beispiel 2003 (Abbildung 8.13 und 8.14): Für das Jahr 2003 stimmt der Zustand des Geländes mit dem in den Luftbildern und im DGM5 weitestgehend überein, so dass die typischen Abweichungen durch Geländeänderungen hier nicht zu sehen sind. Die ersten drei Differenzkarten zeigen eine leichte west-ost-gerichtete Schiefelage des Modells, die sich im letzten Bild jedoch nicht mehr äußert. Daher fiel die Wahl auch für diesen Bildblock auf das Parametermodell nach Brown. Sowohl in den Differenzkarten als auch in der räumlichen Ansicht zeigt sich die Oberfläche störungsfrei, und wesentliche Geländeobjekte sind gut zu sehen. Zusammenfassend wird dieser Bildsatz in seinen geometrischen Eigenschaften als befriedigend eingestuft. Im Vergleich der verschiedenen Zeitschnitte untereinander wird deutlich, dass sich – wie auch aus den Triangulationszusammenfassungen und -berichten ersichtlich – die Triangulationsergebnisse bei historischem Luftbildmaterial mit zusätzlichen Parametern durchaus steigern lassen. Dabei müssen viele zusätzliche Parameter allerdings nicht zwangsläufig zu den besten Ergebnissen führen (vgl. Abbildung 8.9), so dass die Wahl des geeigneten Modells eines sorgfältigen Vergleichs der Ergebnisse bedarf.

Ohne zusätzliche Parameter

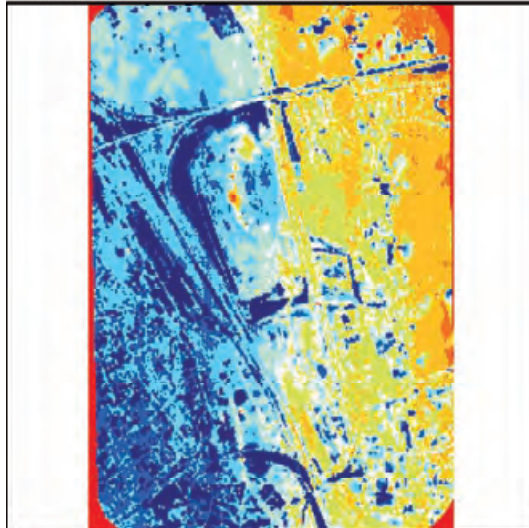


Abweichung in Metern

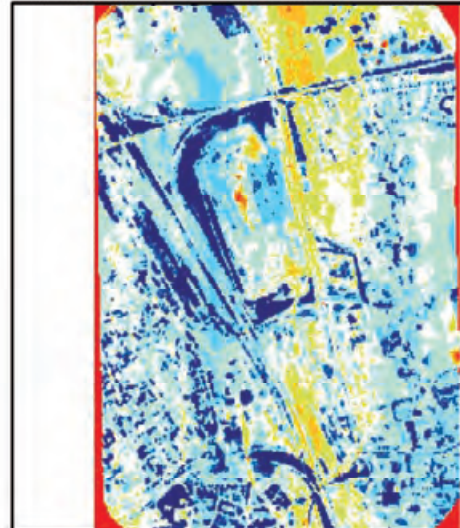


0 500 1.000 2.000m

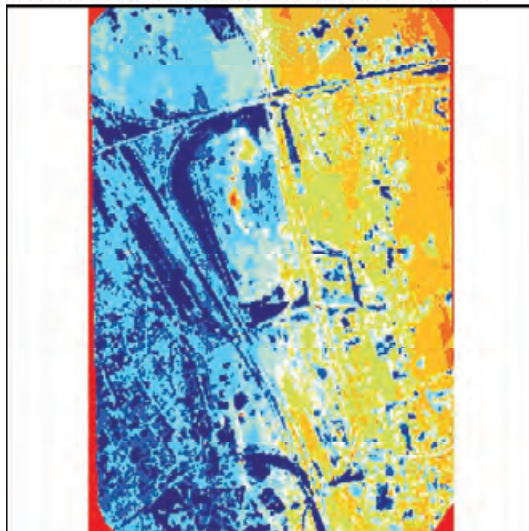
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

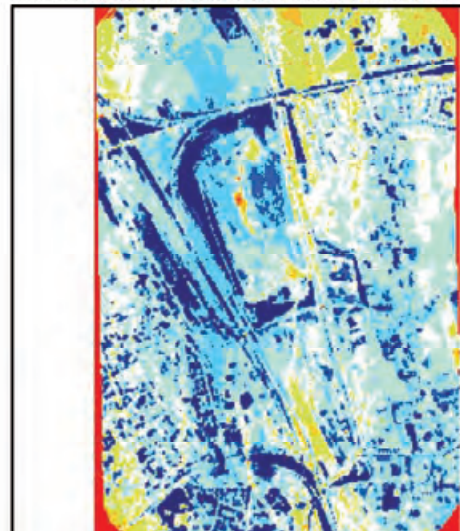


Abbildung 8.13: Differenzbilder 2003

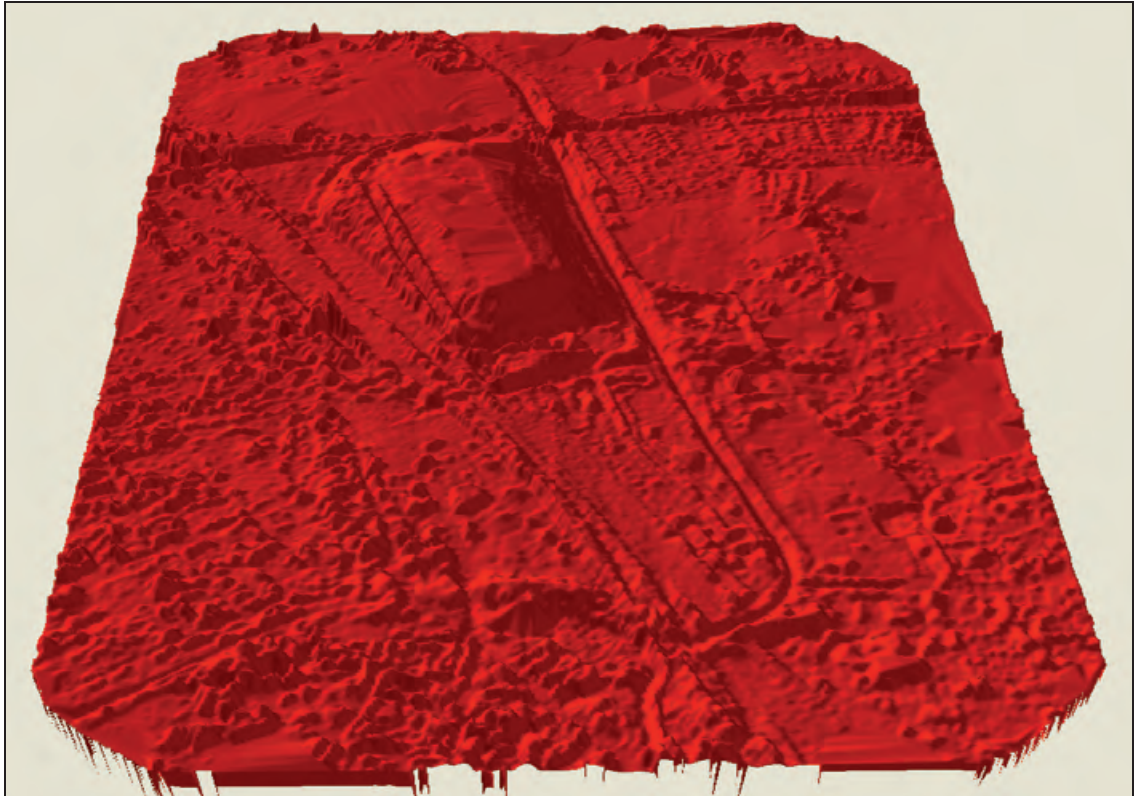


Abbildung 8.14: 3D-Visualisierung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 2003 mit *Brown's physical model*

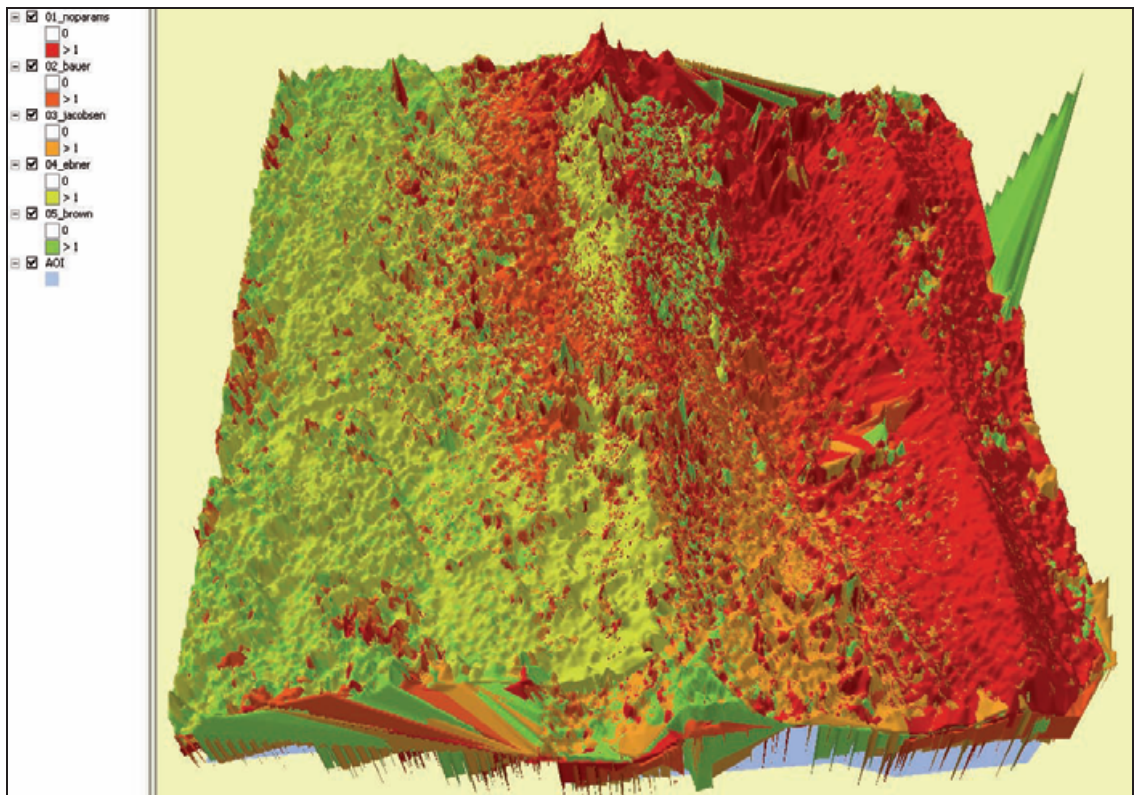


Abbildung 8.15: 3D-Visualisierung der Oberflächenmodelle aus Triangulationen der Luftbilder von 1945 mit den verschiedenen Parametermodellen

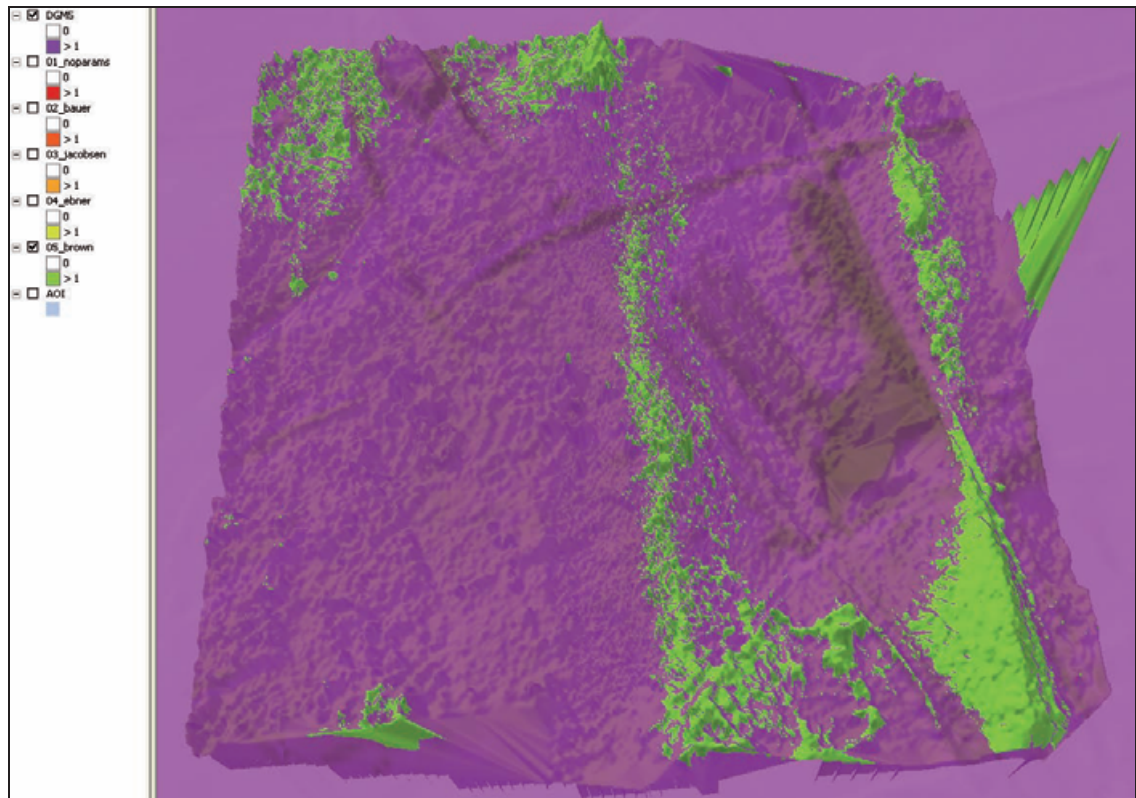


Abbildung 8.16: 3D-Gegenüberstellung des Oberflächenmodells aus der Triangulation der Luftbilder von 1945 mit *Brown's physical model* und dem DGM5

Ferner zeigt sich, dass eine visuelle Auswertung der Oberflächenmodelle und daraus gewonnener Differenzkarten einen differenzierten und schnellen Eindruck der Triangulations- und Bildgüte liefert, wie er bezüglich Ausmaß, räumlicher Verteilung und Homogenität anhand punktueller Daten nur vergleichsweise schwer und unzureichend durchführbar ist. Für eine eingehende Analyse und Erklärung festgestellter Abweichungen zur Optimierung der Ergebnisse sind die Berichtsdaten jedoch unverzichtbar.

Durch die visuelle Analyse wird die rein *quantitative* Evaluation von Triangulations- und Oberflächenmodellextraktionsprozessen anhand konkreter, punktueller Fehlerwerte um eine *qualitative*, flächenbezogene Methode erweitert, die insbesondere bei der Bewertung von nicht standardkonformem Bildmaterial räumlich differenzierte Einschätzungen über dessen Verwertbarkeit mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie ermöglicht.

8.2 Orthofoto- und Mosaikerstellung

Ein Orthofoto ermöglicht die lagerichtige Darstellung und Kartierung von Objekten in einem Luftbild wie in einer Karte (Albertz 2001, S. 158 f.). Ferner können erst orthoentzerrte Luftbilder eines Bildverbandes ohne Versätze an den Schnittkanten zu einem nahtlosen Mosaik aneinandergefügt werden (vgl. Abbildung 6.19).

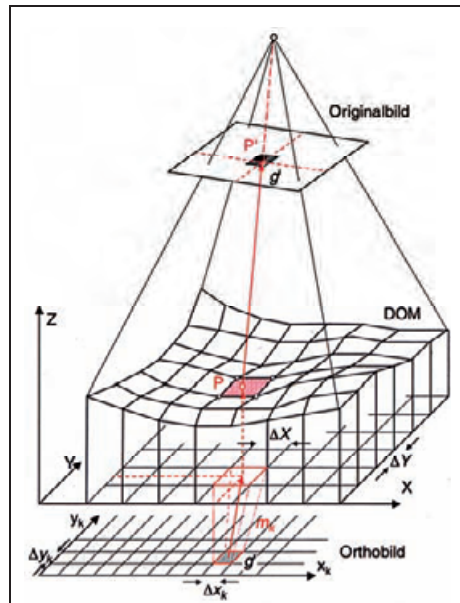


Abbildung 8.17: Differentielle Orthofotoentzerrung
Quelle: Luhmann 2003, S. 317

Mit der Aerotriangulation und der Erstellung des Oberflächenmodells für den Stereobereich eines Luftbildpaares ist die Voraussetzung für dessen differentielle Orthoentzerrung gegeben. In diesem Prozess werden anhand von Orientierungsparametern und der im Oberflächenmodell dokumentierten Höheninformationen die projektiven und reliefbedingten Verzerrungen in den Luftbildern kompensiert (Leica 2006, S.64 ff.). Dazu wird für jedes Pixel im Orthofoto – ausgehend von dessen Position – der dazugehörige Grauwert im Luftbild mit Hilfe der Orientierungsparameter und der Höhe aus dem Oberflächenmodell lokalisiert (Abbildung 8.17).

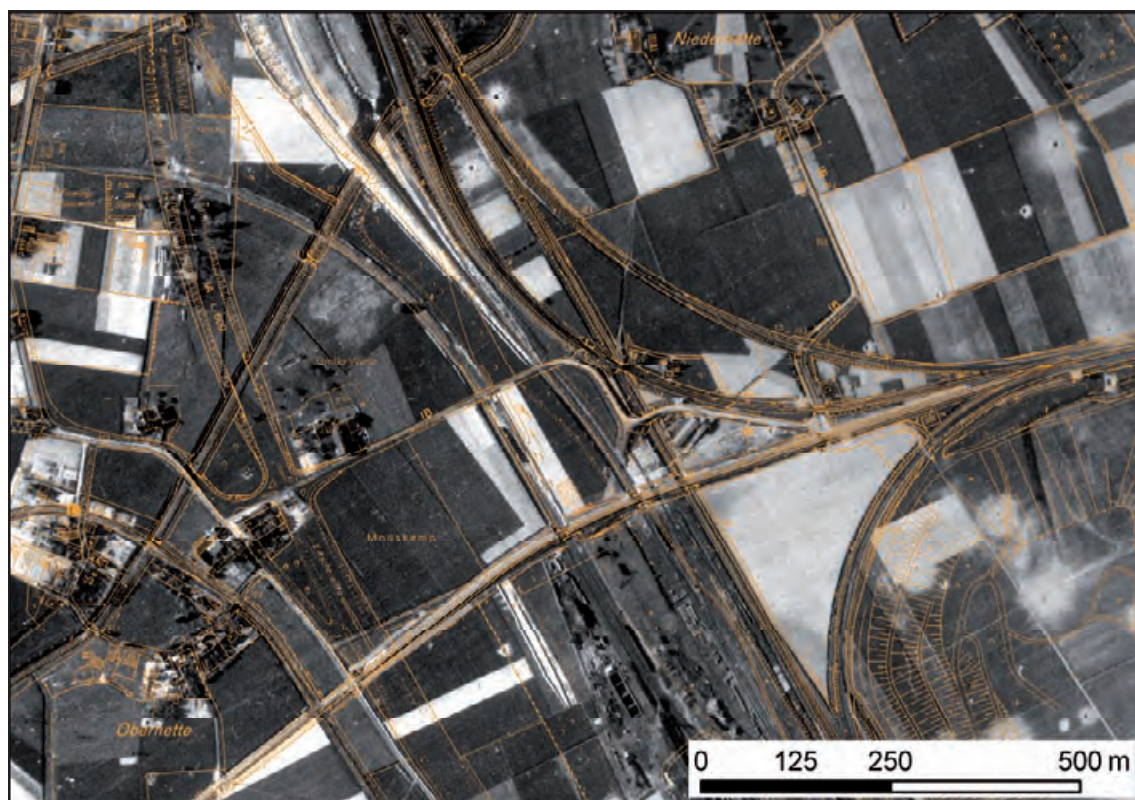
Somit lässt sich das Oberflächenmodell auch als Informationsträger der nicht projektionsbedingten Verzerrungen im Luftbild auffassen. Diese Sichtweise erlaubt den Umkehrschluss, dass Fehler in einem aus einem Luftbildpaar abgeleiteten Oberflächenmodell aus Verzerrungen in den Luftbildern resultieren, die bei der Triangulation nicht mit modelliert wurden, aber den-

noch in den Luftbildern immanent sind. Infolgedessen muss eine differentielle Orthoentzerrung mit einem solchen Oberflächenmodell zum Ausgleich dieser durch die Triangulation nicht erfassten Verzerrungen führen.

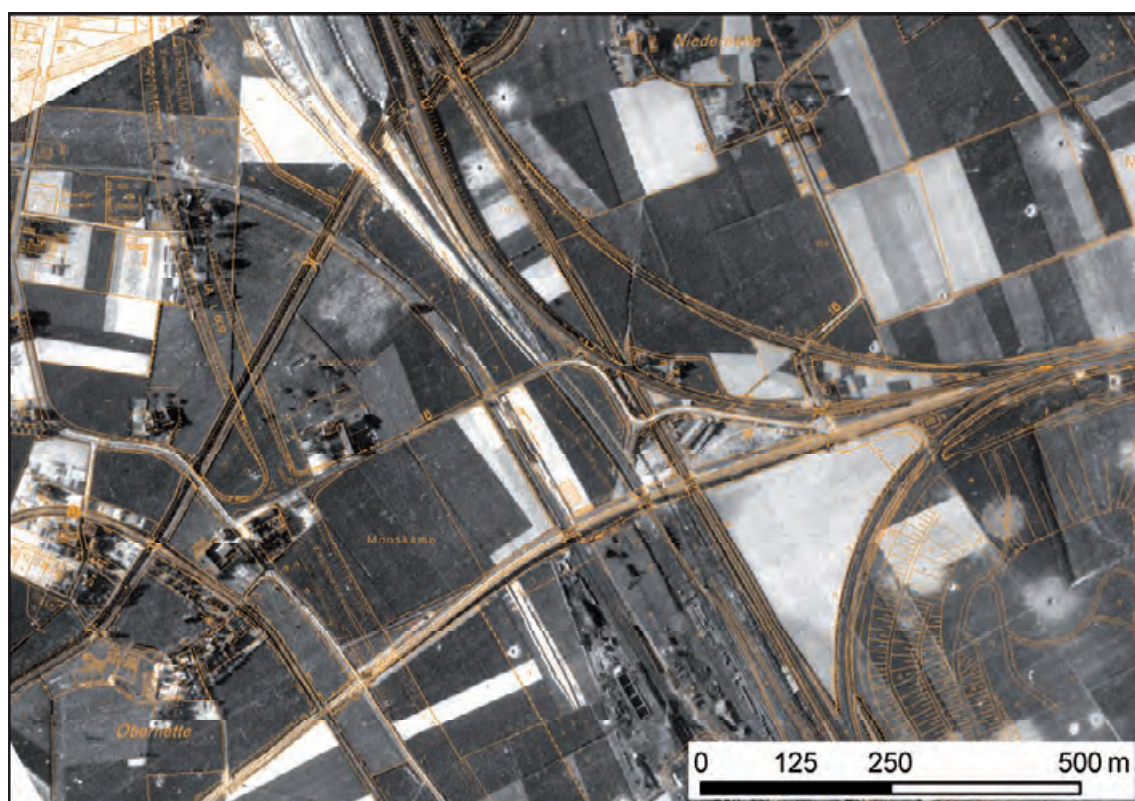
Wenn also bei der Triangulation nicht erfassbare Modelldeformationen der Extraktion eines akzeptablen Oberflächenmodells im Wege stehen, kann auf diesem Wege immer noch bzw. gerade durch das aus den Luftbildern gewonnene deformierte Oberflächenmodell eine Orthoentzerrung durchgeführt werden, bei der die nichtprojektiven Fehler der Luftbilder durch das Oberflächenmodell Berücksichtigung finden. In dem so erzeugten Orthofoto ist das Gelände dann weitestgehend lagerichtig dargestellt. Die Abbildungen 8.18 und 8.19 zeigen die Ergebnisse, die bei der Orthoentzerrung mit den unbearbeiteten – im vorigen Abschnitt aufgrund ihrer Deformationen als mangelhaft und ungenügend bewerteten – Oberflächenmodellen aus den Luftbildern von 1943 und 1945 erzielt werden konnten. Abbildung 8.18 zeigt hierzu für die Bilder von 1943 eine Gegenüberstellung des Orthofotos mit einem per *Direct Linear Transform* entzerrten Luftbild. Während letzteres besonders im Westen deutliche Abweichungen von der RDGK5 aufweist, kommt das Orthofotomosaik auch in diesen Bereichen gut mit der RDGK5 zur Deckung.

In Abbildung 8.19 a) ist anhand der eingeblendeten Schnittkanten des Mosaiks dargestellt, wie sich die einzelnen orthoentzerrten Luftbilder von 1945 ohne Versprünge aneinanderfügen. Abbildung 8.19 b) zeigt den gleichen Ausschnitt mit eingeblendeter RDGK5, die auch hier gut mit den Bildern zur Deckung kommt. Die Orthofotos aller Zeitschnitte mit eingeblendeter RDGK5 sind in Anhang C zu finden.

Orthofotos sind ein willkommenes Nebenprodukt bei der digital-photogrammetrischen Verarbeitung von historischen Luftbildern für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen. Sie werden eher als eine anschauliche Grundlage – d.h. Basiskarte – für die Visualisierung von Untersuchungsergebnissen der historischen Recherche genutzt als zur Erfassung und Kartierung von Verdachtsflächen. Denn hier liegt das primäre Ziel des Einsatzes der Softcopy Photogrammetry: unmittelbar aus der räumlichen Ansicht mit den Luftbildern Informationen über die Lage sowie die horizontale und vertikale Ausdehnung von Anlagen sowie Aufschüttungen und Abgrabungen zu gewinnen.



a)



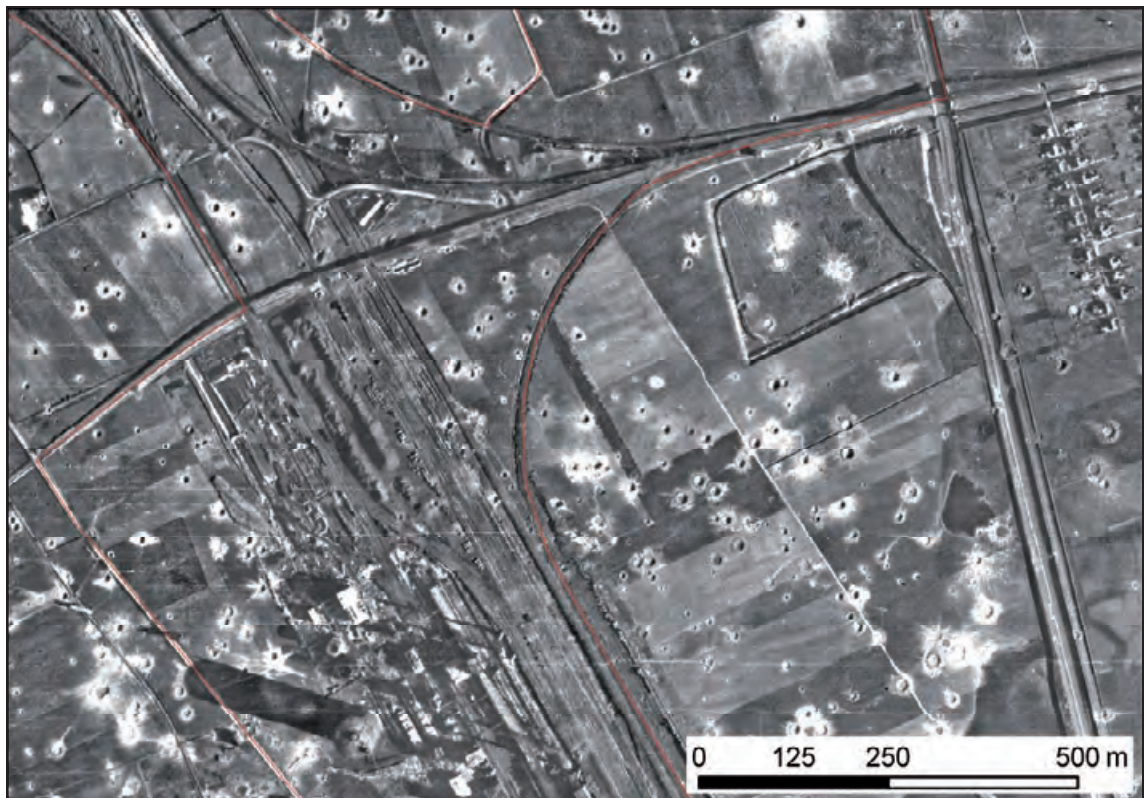
b)

Abbildung 8.18: Luftbildausschnitt mit überlagerter RDGK5

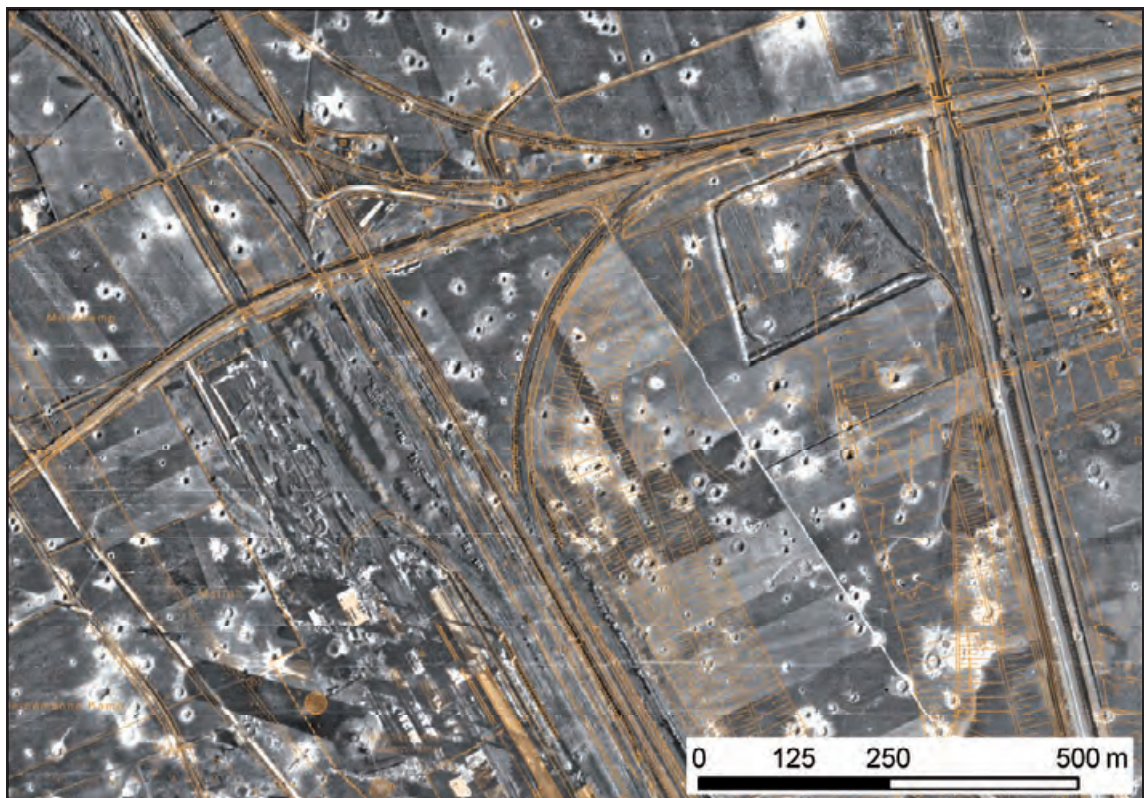
a) Linear entzerrtes Luftbild von 1943 (Bildnummer 4049) im Maßstab 1 : 10 000

b) Orthofotomosaik aus den Luftbildern von 1943 im Maßstab 1 : 10 000

Quelle: RDGK5: LVerMA NRW, Luftbild: TD NL



a)



b)

Abbildung 8.19: Luftbildausschnitt aus 1945

a) Orthofotomosaik aus den Luftbildern von 1943 im Maßstab 1 : 10 000 mit eingblendeten Schnittlinien der Mosaikierung

b) Dasselbe Orthofotomosaik mit überlagerter RDGK5

Quelle: RDGK5: LVerMA NRW, Luftbild: RVR

8.3 Digitale Objekterfassung im Stereomodell

Die räumliche Erfassung von Geländeobjekten im Stereomodell ist vergleichbar mit der zweidimensionalen Digitalisierung in herkömmlichen GIS-Anwendungen. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass mit den Lagekoordinaten auch die Erfassung der Höhe für jeden digitalisierten Punkt einhergeht. Dazu wird – wie im vorigen Kapitel bereits angedeutet – das Gelände mit der entsprechenden Soft- und Hardware dreidimensional dargestellt. In diesem Raummodell kann eine Messmarke wie gewohnt mit einer herkömmlichen oder einer speziellen Computer-Maus in der Ebene bewegt werden. Die Höhe der Messmarke wird über das Mausrad oder ein spezielles Stellrad am Eingabegerät gesteuert.

Im Folgenden wird anhand der Beispielbilder aufgezeigt, inwiefern solche 3D-Objekterfassungen mit diesem qualitativ sehr unterschiedlichen Luftbildmaterial durchgeführt werden können. Die dargestellten 3D-Kartierungen wurden in ArcGIS von ESRI mit der Erweiterung StereoAnalyst für ArcGIS von Leica Geosystems angefertigt. Zunächst wurde für jeden Zeitschnitt eine exemplarische Kartierung des Anlagenbestands der Kokerei Hansa vorgenommen. Dazu wurden jeweils die Dachflächen der Objekte erfasst.

Anschließend wurden die einzelnen Kartierungen zur Bewertung ihrer relativen und absoluten Lagegenauigkeit mit der RDGK5 überlagert und die Lageverschiebungen im GIS vermessen (Abbildung 8.20, Tabelle 8.2).

Die Überlagerung der fünf Kartierungen mit der RDGk5 zeigt, dass trotz einiger Abweichungen von offensichtlich denselben Objekten zwischen den einzelnen Zeitschnitten ein zweckgerechtes Maß an Lagetreue erzielt werden konnte: Die Differenzen zwischen den Kartierungen liegen im Großen und Ganzen im Rahmen von < 4 Metern und damit innerhalb der Fehlergrenze der Referenz-RDGK5 von ± 3 m. Sie liegen folglich auch innerhalb der mittleren Lagegenauigkeitsklasse (1 – 5 m) nach den „Genauigkeitsanforderungen bei der Erfassung von Objekten des Boden- und Grundwasserschutzes“ des Bundesministeriums für Verkehr Bau und Stadtentwicklung und des Bundesministeriums der Verteidigung (Oberfinanzdirektion Hannover 2005, S.27). Somit wurde eine Genauigkeit erzielt, die die oben zitierten Anforderungen für die Dokumentation von „kontaminationsverdächtigen Flächen“ im Maßstab 1 : 5 000 noch unterschreitet (vgl. auch LUA NRW 2001, S. 87 f. und LfU BW 1992, S.19).

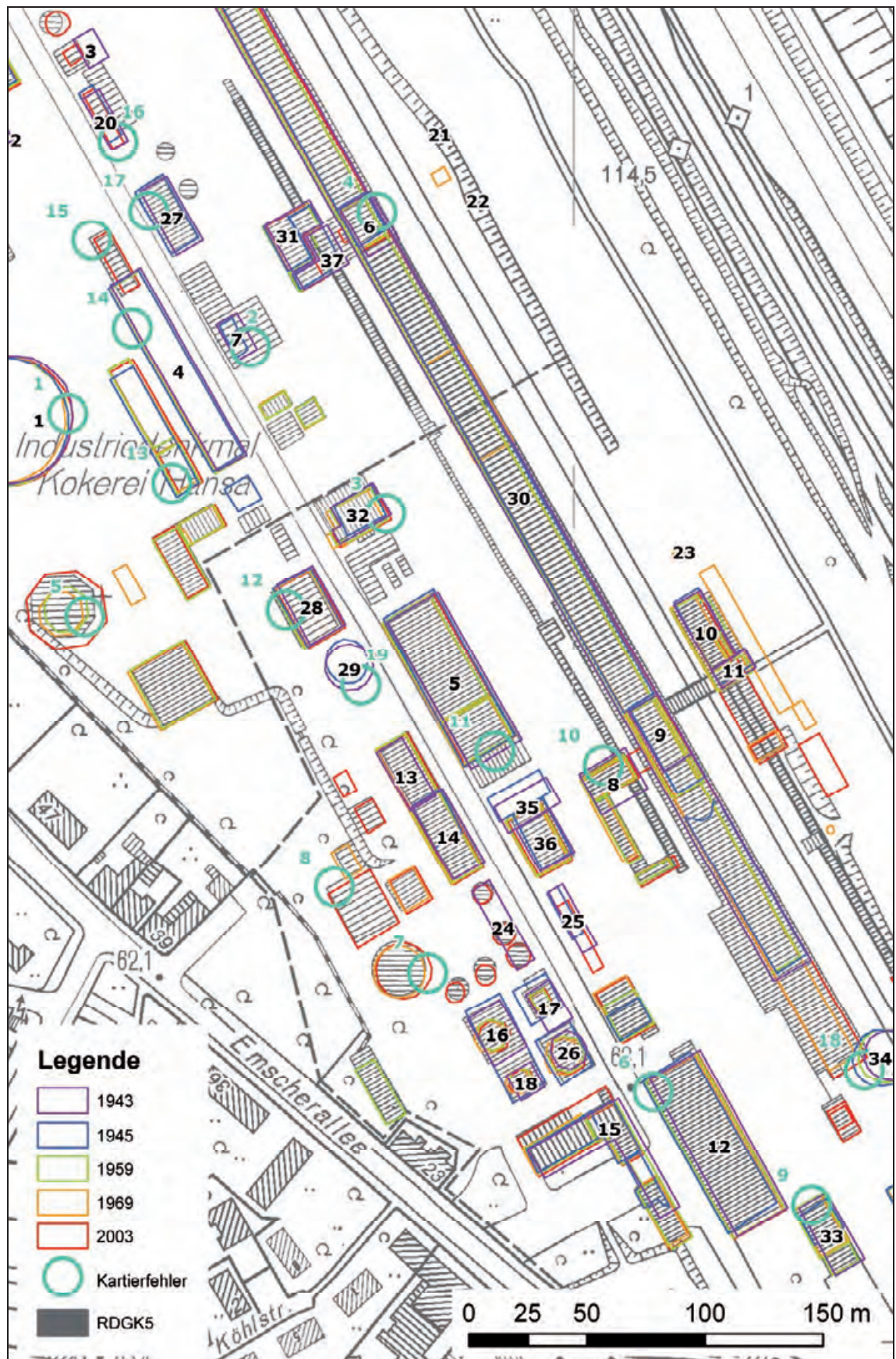


Abbildung 8.20: Vergleich der 3D-Kartierungen im Maßstab 1 : 2 500
 Quelle: RDGK5: LVerMA NRW

Messpunkt	Fehler [m]
1	3,16
2	3,42
3	3,66
4	4,49
5	2,24
6	3,26
7	3,06
8	2,45
9	3,56
10	3,12
11	3,41
12	3,84
13	1,95
14	1,46
15	2,08
16	3,51
17	1,93
18	5,22
19	3,05

Tabelle 8.2: Lagefehler der Kartierung

Der dokumentierte Fehler entspricht der jeweils größten Lagedifferenz der Objekte einschließlich der RDGK5.

Diese Genauigkeit mit analogen Verfahren zu erzielen, erscheint vor dem Hintergrund der eingesetzten Bildmaßstäbe und der unvermeidbaren Fehler durch zuweilen doppeltes, erst analoges und dann digitales Erfassen der Objekte gewagt. Dies gilt insbesondere, wenn nur mit den in Leitfäden und Erfassungshandbüchern genannten Spiegelstereoskopen oder lediglich projektiv entzerrenden Kartiergeräten gearbeitet wird. So überschreitet beispielsweise allein die bereits sehr feine Strichstärke von 0,3 mm bei einem üblichen Bildmaßstab kleiner als 1 : 10 000 die Größenordnung von 3 m im Objektraum. Bei der digitalen Kartierung liegt die entsprechende Begrenzung in der Pixelgröße der digitalisierten Bilder und bei einer Scanauflösung von 1200 dpi somit um den Faktor 14 niedriger (Tabelle 8.3).

Datum	Maßstab	Pixelgröße [m]	Strichstärke [m]
1943	17 800	0,38	5,3
1945	10 000	0,21	3,0
1959	12 200	0,26	3,7
1969	11 600	0,25	3,5
2003	13 100	0,28	3,9

Tabelle 8.3: Pixelgröße und Strichstärke im Objektraum
Pixelgröße im Bild = 21,1667 µm, Strichstärke im Bild = 0,3 mm

Die Abweichungen bei der Erfassung im digitalen Stereomodell ergeben sich also weniger aus technischen Kartierungenauigkeiten als aus den hinreichend diskutierten geometrischen und radiometrischen Besonderheiten der Luftbilder sowie aus situationsbedingten Einschränkungen der Sicht auf das Gelände, durch Einflüsse wie Rauch, Dampf und Schatten. Diese stehen einer exakten Positionierung der Messmarke im Wege. So können bei stark verminderter Detailerkennbarkeit nicht mehr differenzierbare Objekte wie Tanks und ähnliche Behälter nur gruppiert oder von dampfenden Kühltürmen beispielsweise nur die Sockel oder Firste erfasst werden. Hier lassen sich jedoch im Zusammenspiel mit weiterem Archivgut wie Plänen, Skizzen und Beschreibungen oft genauere Differenzierungen vornehmen und Unsicherheiten bei der Kartierung ausräumen.

Zum Vergleich der erfassten Höhen erfolgten eine visuelle Gegenüberstellung der Kartierungen in ArcScene (Abbildung 8.21) sowie eine Verschneidung übereinanderliegender Objekte aus verschiedenen Zeitschnitten für eine tabellarische Übersicht der Höhenunterschiede. Die dreidimensionale Ansicht der Kartierung zeigt neben den vergleichsweise geringen Lageabweichungen einige Differenzen in den erfassten Höhen der einzelnen Objekte. Dabei treten die blauen Körper der Kartierung im Stereomodell der 1945er Luftbilder mit besonders großen Abweichungen hervor.

Dieser visuelle Eindruck kann anhand der tabellarischen Übersicht in Zahlen genauer nachvollzogen werden (Tabelle 8.4). Hierfür wurden zunächst die mittleren Höhen aus den Polygonobjekten ausgelesen und als eigenständiges Attribut im jeweiligen Datensatz gespeichert. Sodann wurden die Höhen aus den einzelnen Jahrgängen sukzessiv mit einem *Spatial Join* räumlich

verschnitten, nachfolgend von Doppeleinträgen durch Lageüberschneidungen bereinigt und in einer Tabelle zusammengeführt.

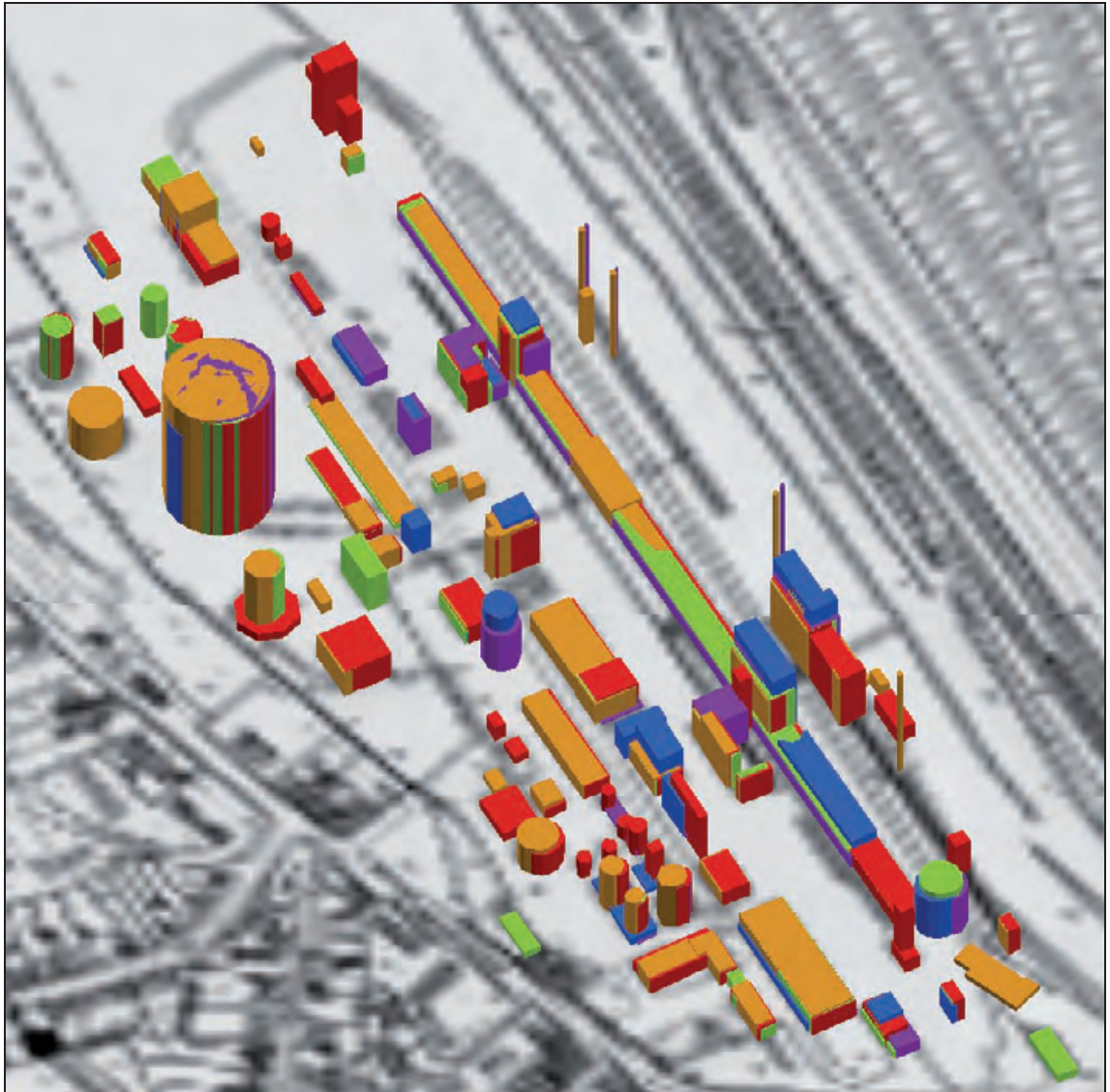


Abbildung 8.21: Vergleich der 3D-Kartierungen in ArcScene
Die farbliche Kodierung entspricht der in Abbildung 8.20. Zur Hervorhebung der Differenzen wurde die Darstellung zweifach überhöht. Für eine bessere Orientierung wurde das DGM5 mit RDGK5 als Oberfläche in den Hintergrund gelegt
Quelle: RDGK5, DGM5: LVerMA NRW

Diese Übersicht zeigt teilweise große Abweichungen zwischen den Höhenlagegleicher Objekte der verschiedenen Zeitschnitte. Diese müssen nicht zwangsläufig aus Kartierfehlern herrühren, sondern können auch Veränderungen im Anlagenbestand geschuldet sein. Eine statistische Auswertung der Fehler würde aufgrund ihrer Multikausalität keine verlässliche Aussage

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

über die Kartierfehler liefern, so dass auf dieser Grundlage nur qualitative Aussagen möglich sind.

Nr	1943	Δ	1945	Δ	1959	Δ	1969	Δ	2003
1	154,38	19,19	135,19	-17,91	153,10	-1,45	154,55	1,78	152,77
2	60,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	60,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,88
4	57,75	2,21	55,54	-11,05	66,59	-1,42	68,01	-6,99	75,00
5	63,78	-5,75	69,53	-10,61	80,14	1,25	78,89	-1,42	80,31
6	94,50	23,29	71,21	-2,26	73,47	-0,06	73,53	0,96	72,57
7	90,45	-0,95	91,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	87,12	0,00	0,00	0,00	84,20	1,75	82,45	-3,03	85,48
9	0,00	0,00	0,00	0,00	73,47	-0,06	73,53	0,96	72,57
10	103,44	-10,54	113,98	6,66	107,32	2,24	105,08	-3,24	108,32
11	101,33	-12,65	113,98	6,66	107,32	2,24	105,08	-3,24	108,32
12	67,49	-0,73	68,22	-7,21	75,43	-1,27	76,70	1,90	74,80
13	55,45	-16,31	71,76	-0,16	71,92	-1,87	73,79	0,32	73,47
14	62,82	-8,94	71,76	-0,16	71,92	-1,87	73,79	0,32	73,47
15	58,14	-3,00	61,14	-8,65	69,79	-3,07	72,86	1,60	71,26
16	60,26	-4,94	65,20	-23,65	88,85	-2,20	91,05	1,63	89,42
17	60,26	-4,94	65,20	-20,31	85,51	0,00	0,00	0,00	86,92
18	60,26	-4,94	65,20	-22,90	88,10	-1,89	89,99	2,64	87,35
19	0,00	0,00	79,38	-18,19	97,57	0,00	0,00	0,00	97,60
20	63,94	6,86	57,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,35
21	133,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	132,13	0,00	0,00
22	133,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	132,13	0,00	0,00
23	144,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	66,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,15
25	67,27	-20,75	88,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,14
26	87,91	30,30	57,61	-34,20	91,81	-1,82	93,63	1,54	92,09
27	73,22	2,93	70,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	72,95	2,35	70,60	-2,80	73,40	2,59	75,99	-0,50	76,49
29	91,97	-11,43	103,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	70,56	-0,65	71,21	-2,26	73,47	-0,06	73,53	0,96	72,57
31	88,11	2,95	85,16	-1,89	87,05	0,00	0,00	0,00	87,22
32	96,59	-4,29	100,88	6,49	94,39	-2,62	97,01	2,64	94,37
33	70,55	-6,90	77,45	9,44	68,01	-3,77	71,78	-1,98	73,76
34	89,79	-1,38	91,17	-4,74	95,91	0,00	0,00	0,00	72,57
35	59,99	-21,12	81,11	6,32	74,79	-1,63	76,42	0,93	75,49
36	59,99	-28,53	88,52	13,73	74,79	-1,63	76,42	0,93	75,49
37	73,49	-0,80	74,29	-1,92	76,21	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 8.4: Höhen und Höhendifferenzen zwischen Zeitschnitten
Die Nummern beziehen sich auf die Gebäudenummerierung in Abbildung 8.20. Nullwerte deuten auf fehlende Vergleichsobjekte im jeweiligen Zeitschnitt hin.

Während das Ausmaß unbekannter geometrischer Verzerrungen nicht abzuschätzen ist, kann ein Teil der Höhenfehler zumindest über die grundlegend bekannten Eigenschaften des Bildmaterials erklärt werden. So ist ein Teil der Fehler der 1945er Kartierung auf eine störende Y-Parallaxe zurückzuführen, die sich im Stereo Analyst für ArcGIS nicht – wie vom Hersteller beschrieben – wegstellen ließ. Eine Y-Parallaxe kann insbesondere bei diagonalen Kanten – wie sie bei der kartierten Kokereianlage aufgrund ihrer Lage im Gelände vornehmlich vorkommen – zur fehlerhaften Positionierung der Messmarke führen (Abbildung 8.22). Um dem entgegenzuwirken, ist es rat-

sam, die Höhen- bzw. Parallaxenmessung bei solchen Bildern nur an Objektecken vorzunehmen.

Desgleichen führen Messfehler durch die geringe Detailerkennbarkeit in den Kriegsluftbildern mehr zu Höhen- als zu Lageabweichungen, was im folgenden Abschnitt im Zusammenhang der Erfassung von Geländehöhen eingehend erörtert wird.

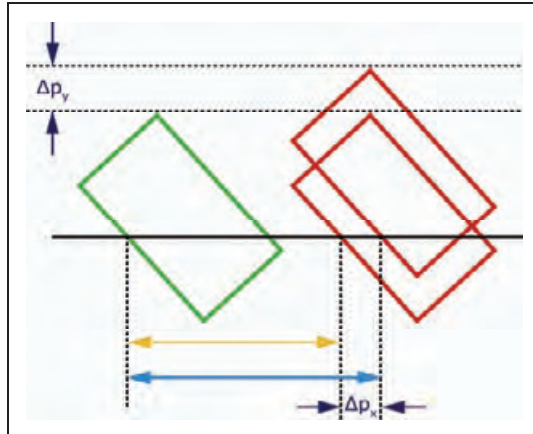


Abbildung 8.22: Höhenfehler durch Y-Parallaxe

Durch eine Y-Parallaxe (Δp_y) in der stereoskopischen Darstellung kann es zu Messfehlern bei der X-Parallaxe (Δp_x) kommen, die sich auf die berechnete Höhe auswirken. Die gelbe Linie deutet dabei die richtige Messung ohne Y-Parallaxe zwischen der linken (grün) und rechten (rot) Darstellung desselben Objektes an, während die türkisfarbene Linie die fehlerhafte Messung durch die vertikale Verschiebung der rechten Objektrepräsentation aufzeigt.

8.4 Erfassen von Geländehöhen

Bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen haben Luftbilder insbesondere im Rahmen der Untersuchung von Abgrabungen und Aufschüttungen zur Identifikation und Quantifizierung von Altablagerungen einen hohen Stellenwert. Denn die im Vergleich zu Altanlagen hohe Dynamik solcher Standorte ist durch eine kartengestützte Analyse aufgrund der üblichen bis zu 7 jährigen Aktualisierungsintervalle schwerlich zu erfassen; ebenso sind hinreichend detaillierte Aktendokumentationen äußerst selten. Im Folgenden werden die Möglichkeiten zur Erfassung von Oberflächenformen mit der digitalen Photogrammetrie aus Luftbildern für eine digitale Auswertung in einem GIS erörtert.

Die Berechnung von Volumina erfolgt anhand eines Oberflächenmodells des Untersuchungsraumes, das entweder als Rasterdatei oder im TIN-Format vorliegen muss. Mit einem GIS kann der Rauminhalt zwischen der Gelände-

oberfläche und einer Referenzhöhe berechnet werden. Ebenso können Differenzen zwischen zwei Rastermodellen ermittelt werden, indem – wie im Unterkapitel 8.1 angewendet – die einzelnen Pixelwerte voneinander subtrahiert werden. Aus Grundfläche und Höhe der einzelnen Pixel im Ergebnis raster lässt sich dann auch das Gesamtvolumen der Geländeänderung berechnen. Während für die Volumenberechnung in Bezug auf eine im gleichen Modell ermittelte Referenzhöhe nur die *relative Genauigkeit innerhalb* des Modells von Bedeutung ist, kommt es bei einer Differenzmessung zwischen zwei Modellen auf deren *relative Genauigkeit zueinander* an. Diese kann bei akzeptabler innerer relativer Genauigkeit gegebenenfalls nachträglich durch Normierung auf eine Referenzhöhe hergestellt werden.

Da eine absolute Genauigkeit mit den vorliegenden Modellen offensichtlich nicht erreicht werden kann (vgl. Abbildungen 8.5, 8.7, 8.9, 8.11, 8.13), wird anhand ausgewählter, verschiedenartiger Untersuchungsbereiche aus dem Arbeitsgebiet überprüft, inwieweit sich aus dem Luftbildmaterial trotzdem Höhenmodelle für Oberflächen- bzw. Volumenanalysen gewinnen lassen. Bei den Untersuchungsbeispielen handelt es sich um drei der auch in Abbildung 8.4 dargestellten Bereiche bekannter Geländeänderungen:

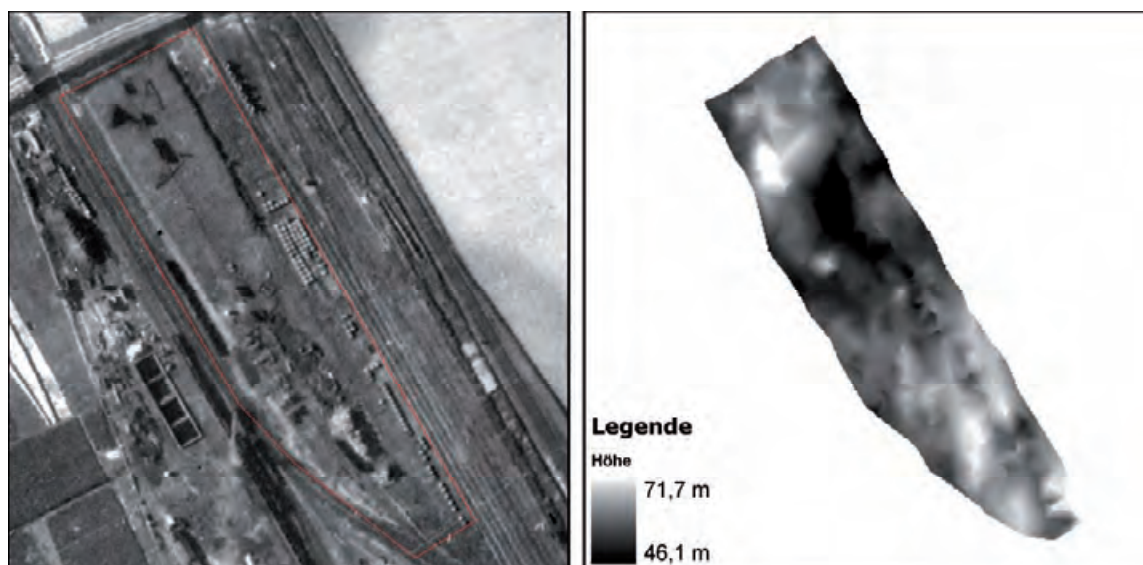
1. Kohlehalden
2. Deponie-Halde
3. Kläranlage

Der erste Bereich im Norden der Kokereianlage hat eine vergleichsweise geringe Ausdehnung und zeigt in den einzelnen Zeitschnitten immer wieder andere Nutzungsmuster, so dass vergleichende Analysen zur Berechnung der Änderungen von Kubaturen zwischen Modellen unterschiedlicher Zeitschnitte im Gegensatz zu *synchronen* Berechnungen innerhalb eines Zeitschnittes wenig sinnvoll erscheinen (Abbildung 8.23). Zudem zeigen insbesondere die Oberflächenmodelle aus den Kriegsjahren im Vergleich zum jeweiligen Orthofoto ein hohes Maß an Fehlern, die eine Verwendung der Modelle ausschließen.

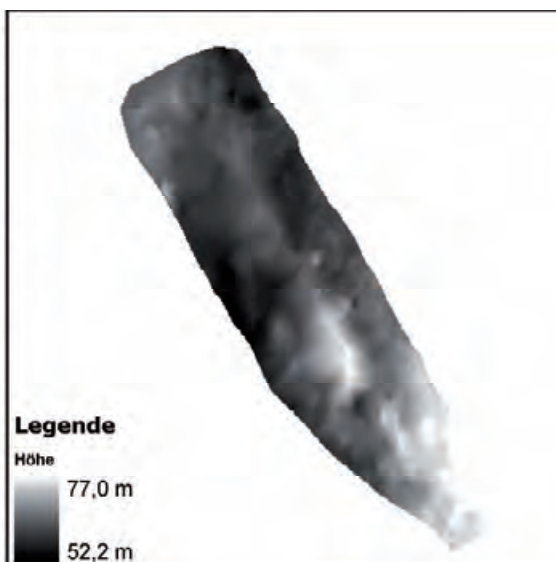
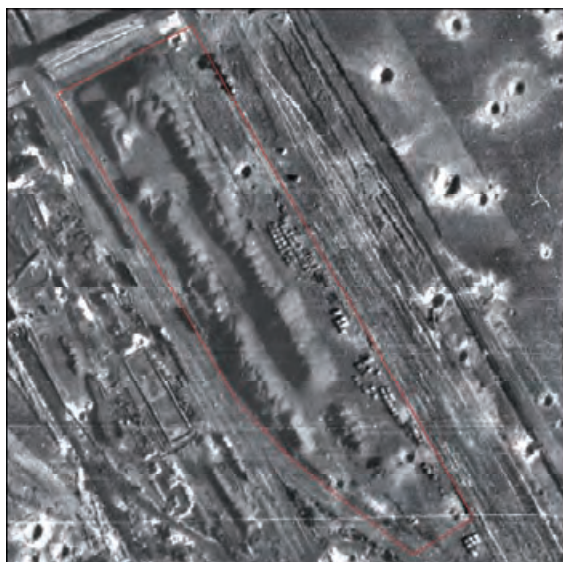
Die Oberflächenmodelle von 1959 und 1969 zeigen jeweils eine gute Übereinstimmung mit dem Orthofoto, während das Modell von 2003 durch die üppige Vegetation starke Störungen aufweist. Für eine Analyse von Kubaturen müssen – wie eingangs erläutert – aus einem extrahierten Oberflächenmodell zuerst alle Geländeobjekte entfernt werden, die zwangsläufig

darin enthalten sind, jedoch nicht in die Berechnung mit einfließen sollen. Hierzu steht in der LPS der TerrainEditor zur Verfügung, mit dem die Höhen des Modells in der stereoskopischen Ansicht bearbeitet werden können. Genauso lassen sich auf diesem Wege auch Störungen beseitigen. Liegen jedoch Fehler solchen Ausmaßes wie in den beiden ersten Modellen vor, kommt die Korrektur des Oberflächenmodells einer manuellen Modellierung des Geländes gleich. Eine solche lässt sich jedoch effektiver im Stereoanalyst durch Abdigitalisieren von Bruchkanten und Ebenen realisieren, die im GIS anschließend für die volumetrische Analyse in ein TIN und dann gegebenenfalls in ein Raster umgewandelt werden können (Abbildung 8.24). Insbesondere bei – wie hier – sehr überschaubaren Oberflächenstrukturen bietet dieser Weg die effizientere, weil schnellere und genauere Lösung.

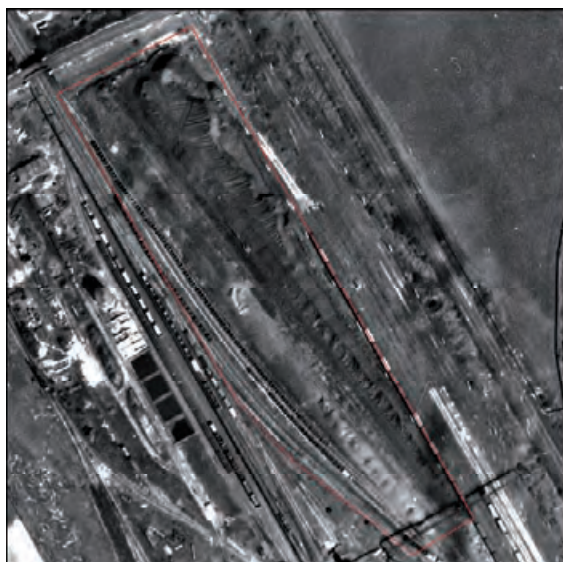
Um beispielsweise das Volumen der beiden Vollformen im Süden der Fläche zu berechnen, wurden anhand der Sockelpolygone – die auch der Erstellung des TIN zugrunde lagen – die Rasterstatistiken für diese Bereiche und daraus das Volumen gemäß Tabelle 8.5 berechnet. Die Berechnung des Volumens erfolgte mit der Formel $(SUM - (MIN \cdot COUNT)) \cdot A$, mit der für die betreffende Fläche von der Summe der Höhen aller Pixel die aufsummierte Höhe der „Sockelpixel“ subtrahiert und die verbleibende Höhensumme zur Berechnung des Volumens mit der Pixelgrundfläche $A (=1,3626 \text{ m} \cdot 1,3626 \text{ m})$ multipliziert wurde.



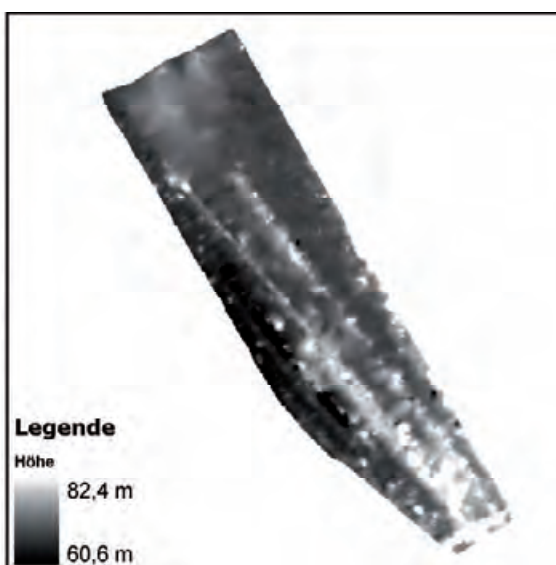
a)



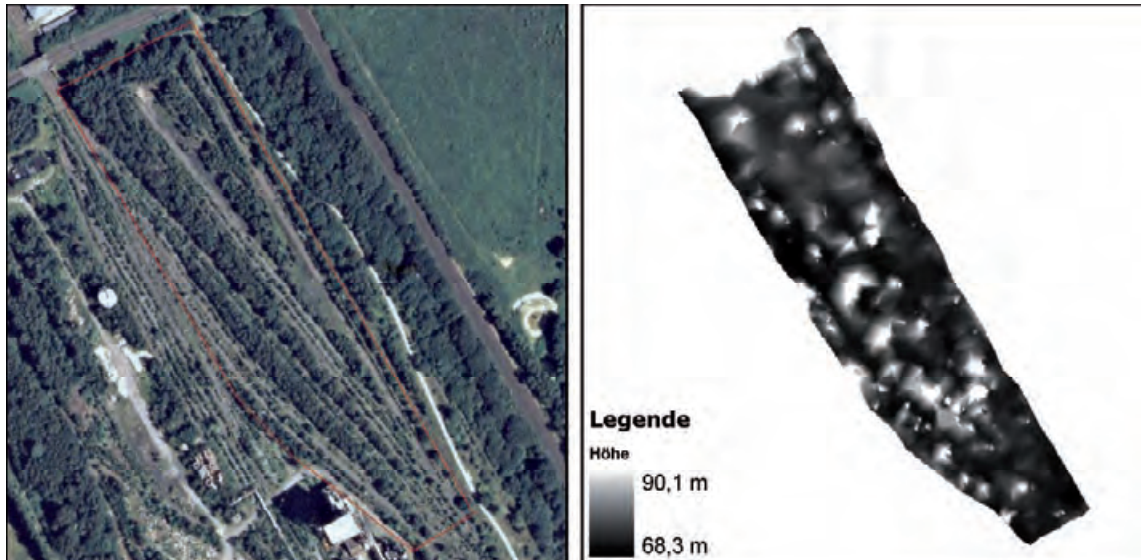
b)



c)



d)



e)

Abbildung 8.23 Gegenüberstellung Orthofoto und Oberflächenmodell
a) 1943, b) 1945, c) 1959, d) 1969, e) 2003

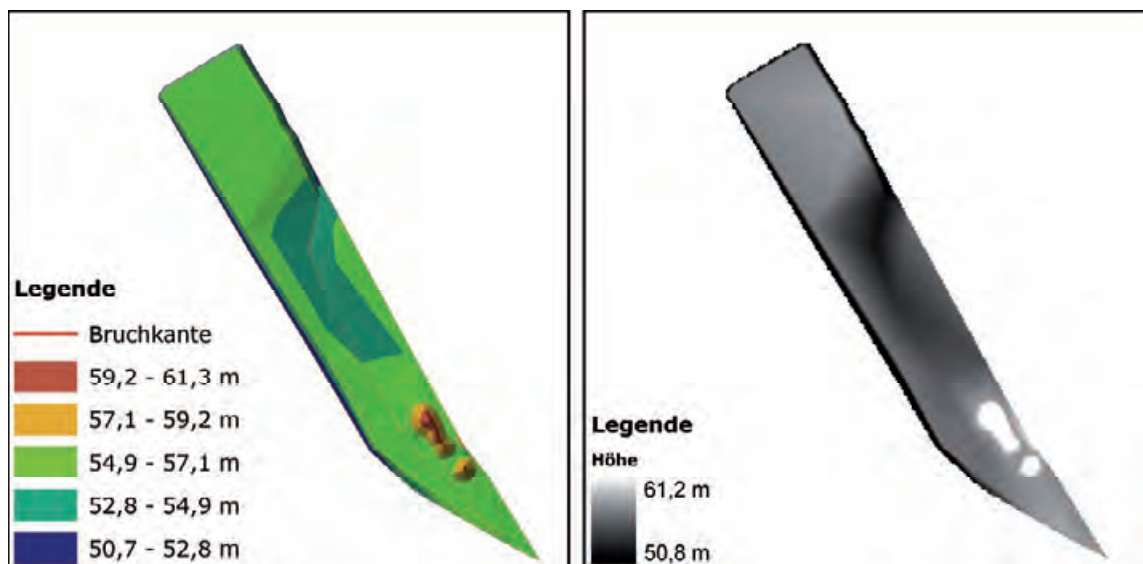


Abbildung 8.24: TIN und abgeleitetes Raster 1945

Die so ermittelten Rauminhalte erlauben zwar erwartungsgemäß eine Bestimmung der Größe der Ablagerungen, sind jedoch hinsichtlich ihrer Genauigkeit kritisch zu bewerten: Wenngleich die geringe Ausdehnung der ausgemessenen Formen nicht so sehr zu Fehlern durch Modelldeformationen führt, werden Messergebnisse um so mehr in ihrer Genauigkeit durch die geringe Detailerkennbarkeit insbesondere bei den Kriegsluftbildern eingeschränkt. Zum Vergleich zeigt Tabelle 8.6 eine Übersicht darüber, zu welchen Höhenunterschieden jeweils eine Parallaxe in der Größenordnung eines Pixels in den verschiedenen Bildpaaren führt. In den Bildern von 1943 be-

dingt eine ungünstige Relation der Bildbasis zur Flughöhe den sehr ungenauen Wert von rund 3 m. Dieser stellt jedoch in der Praxis für einen geübten Auswerter noch nicht die Wahrnehmbarkeitsgrenze für Höhenunterschiede in der stereoskopischen Ansicht dar. Vielmehr hängt die Wahrnehmbarkeitsschwelle auch von weiteren Faktoren wie der tatsächlichen Detailerkennbarkeit im Bild sowie von den örtlichen Kontrasten ab. Für die Bilder von 1943 konnte eine relative vertikale Positionierungsgenauigkeit von ungefähr einem Meter erzielt werden.

ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	Volume
2	363	674,02	56,13	61,17	5,04	57,97	1,23	21042,20	1238,30
3	132	245,10	56,23	59,38	3,16	57,30	0,86	7564,03	264,06

Tabelle 8.5: Rasterstatistiken der Vollformen aus Abbildung 8.24

ID: Flächennummer
COUNT: Anzahl der Rasterpixel
AREA: Grundfläche
MIN: kleinste Höhe
MAX: größte Höhe
RANGE: größte Höhendifferenz
MEAN: Mittelwert der Höhen
STD: Standardabweichung der Höhen
SUM: Summe Höhen
Volume: Volumen (nachträglich berechnet)

Abbildung 8.25 veranschaulicht in einer 1,5-fach überhöhten 3D-Ansicht die gegenseitigen Höhenfehler der Oberflächenmodelle aus den unterschiedlichen Zeitschnitten. Während sich im Allgemeinen nur die Bezugshöhen unterscheiden (absolute Fehler), ist bei dem Modell aus den 1945er Bildern deutlich eine Verbiegung der Oberfläche zu erkennen (innere relative Fehler).

Das zweite Gebiet (Abbildung 8.26) steht in Ausdehnung und Aufschüttungsvolumen im Gegensatz zu dem Bereich der Kohlehalden. Abgesehen vom aktuellsten Bildpaar aus 2003 sind auf der Fläche verschiedene Oberflächennutzungen zu beobachten:

- im Norden eine nach und nach verfüllte Hohlform,
- Schlammteiche für Kokereiabwässer zu unterschiedlichen Zeiten im Süden, Westen und Osten des Areals,
- eine vom Süden her anwachsende, später die ganze Fläche überdeckende Halde.

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

Jahr	Bildnummern Bildpaar		Δh /Pixel [m]	GRD [m]
1943	4049	4050	3,2	0,376
	4050	4051	2,9	
1945	2060	2061	1,5	0,211
	2061	2062	1,3	
1959	982	983	0,7	0,259
	983	984	0,7	
1969	362	363	0,9	0,246
2003	2254	2255	1,1	0,277

Tabelle 8.6: Höhendifferenz (Δh) je Pixel Parallaxendifferenz
GRD = *Ground Resolution Distance* – Pixelweite in Objektkoordinaten

Die Berechnung dafür erfolgte mit der Formel $\Delta h = \frac{H \cdot \Delta p}{b' + \Delta p}$

Δp = Parallaxendifferenz = Pixelgröße = 0,0000211667 m

H = Flughöhe minus Geländehöhe

b' = Bildbasis = B / m

B = Aufnahmebasis

$m = H / c$

c = Kammerkonstante (Albertz 2001, S. 153)

(Die benötigten Größen wurden den Parametern der äußeren Orientierung aus dem Triangulationsbericht der jeweiligen Bilder entnommen.)

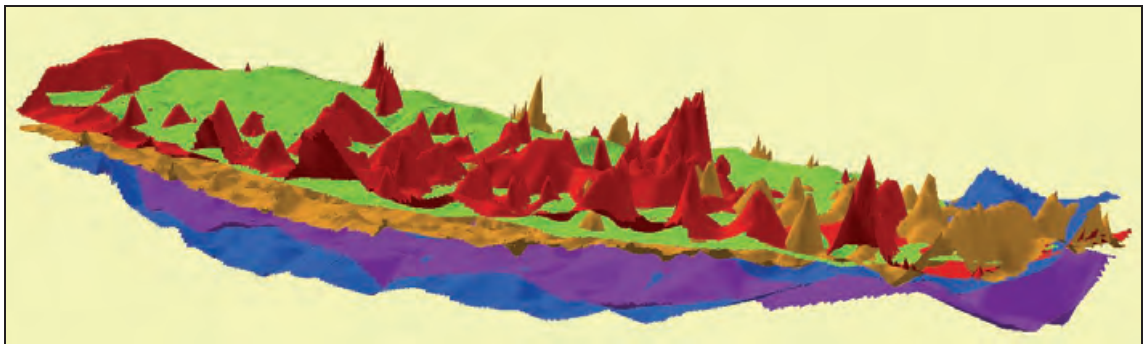
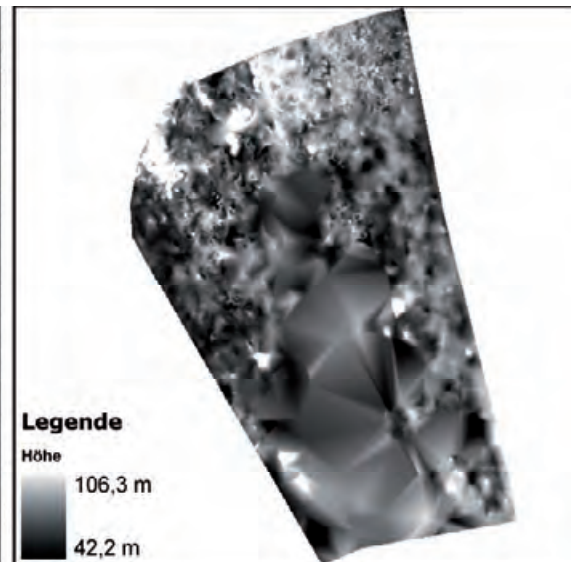
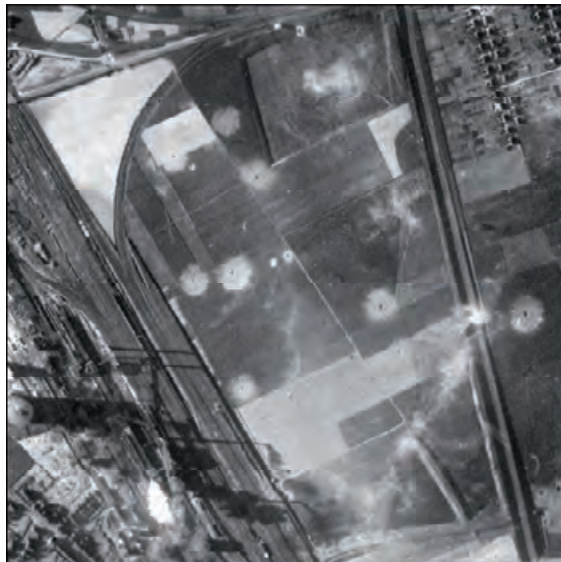
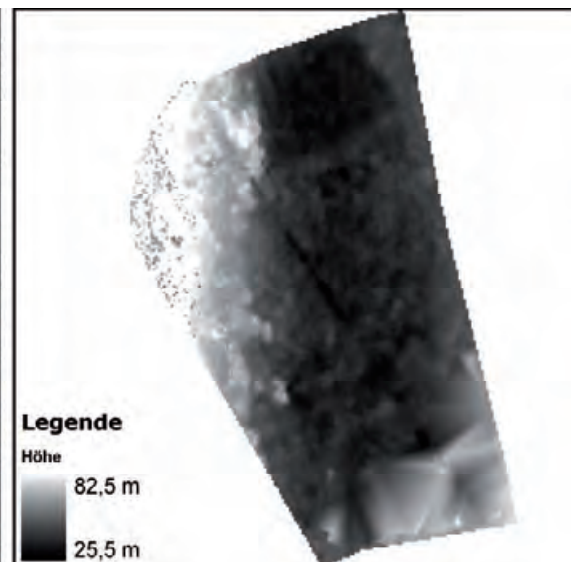


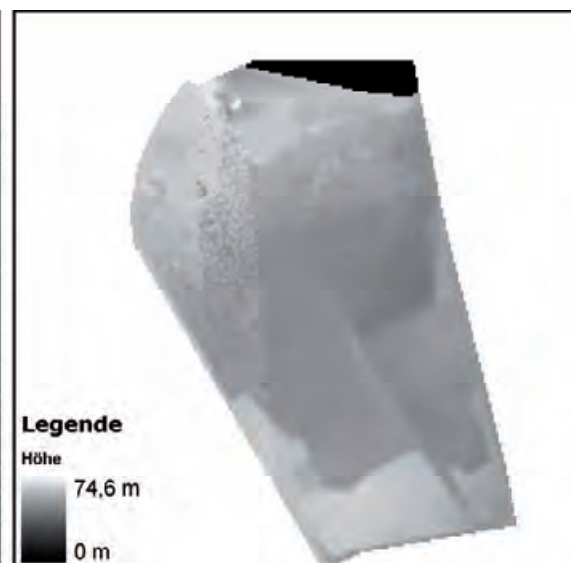
Abbildung 8.25: Vergleichende 3D-Darstellung der Oberflächenmodelle zum Bereich Kohlehalden (1,5 fach überhöht)
(Die Farbcodierung entspricht der in Abbildung 8.20)



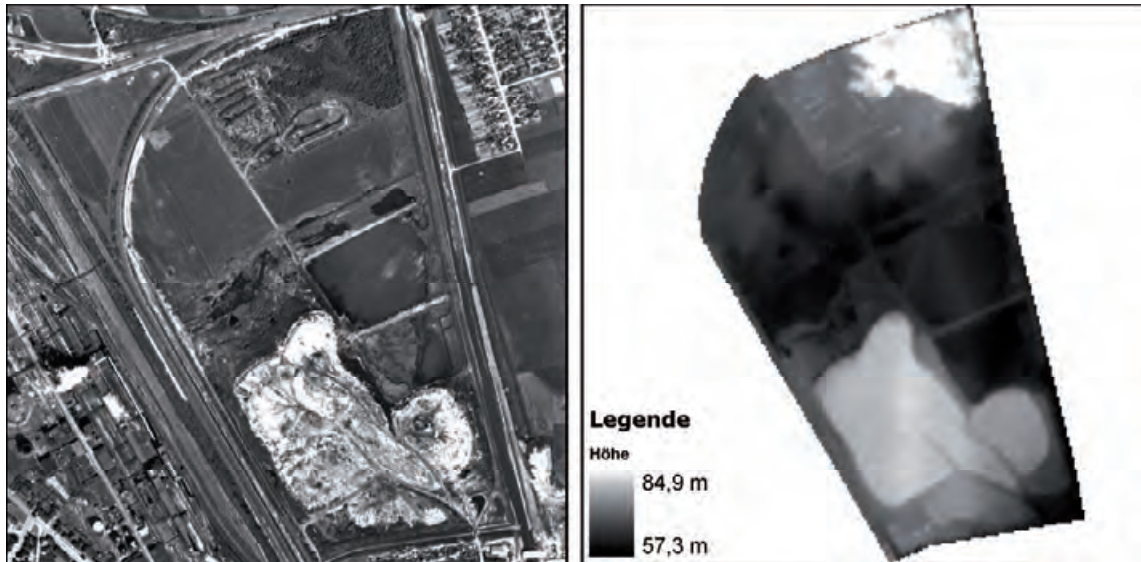
a)



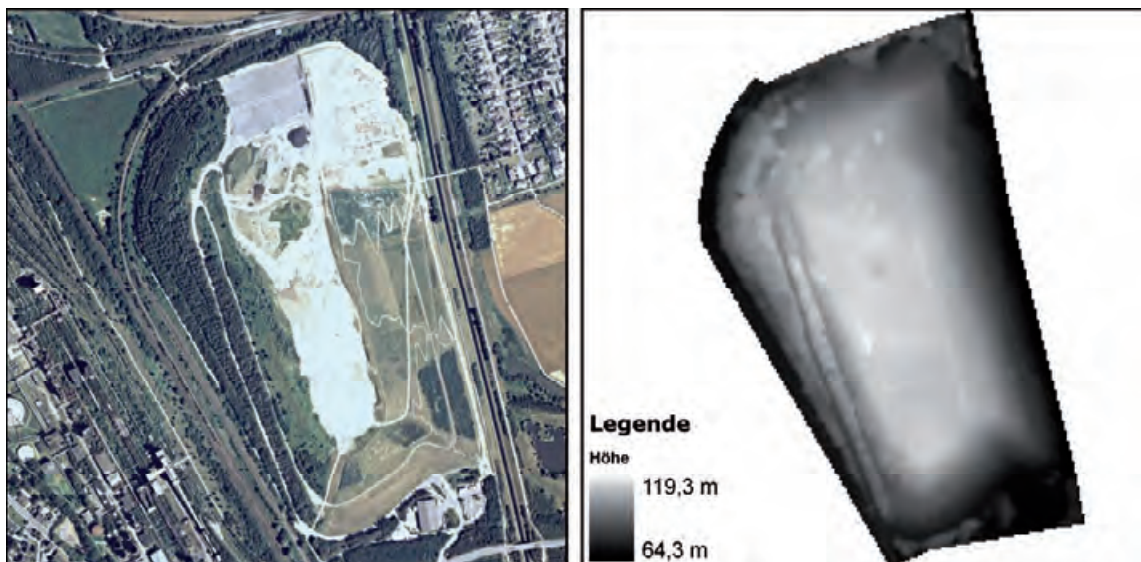
b)



c)



d)



e)

Abbildung 8.26 Gegenüberstellung Orthofoto und Oberflächenmodell
a) 1943 , b) 1945, c) 1959, d) 1969, e) 2003

Anhand der vorliegenden Daten wird nun das Volumenwachstum der südlichen Halde für den Zeitraum zwischen 1959 und 1969 nachvollzogen. Eine Geländeanalyse mit den Kriegsluftbildern kann für diesen Bereich nicht durchgeführt werden, da in den Bildern von 1943 Wolken die Sicht für eine stereoskopische Auswertung behindern und das Modell von 1945 durch die „Wannen“-Verzerrung – die sich selbst im manuell modellierten TIN massiv äußert – beeinträchtigt ist (Abbildung 8.27).

Zur Berechnung der Volumendifferenz der Halde zwischen 1959 und 1969 wurden für den betroffenen Bereich zunächst höher aufgelöste Oberflächenmodelle mit 1 m Rasterweite berechnet. Im TerrainEditor wurden die

Wasserflächen geglättet und starke Ausreißer entfernt. Dem folgten eine visuelle Überprüfung und testweise ein interaktiver Ausgleich der relativen Höhenabweichung zwischen den Oberflächenmodellen in ArcScene (Abbildung 8.28). Der dabei ermittelte Wert von +2,5 m wurde dem Oberflächenmodell von 1969 zugeschlagen, so dass der Bahndamm im Westen nun in beiden Modellen die gleiche Höhe hatte.

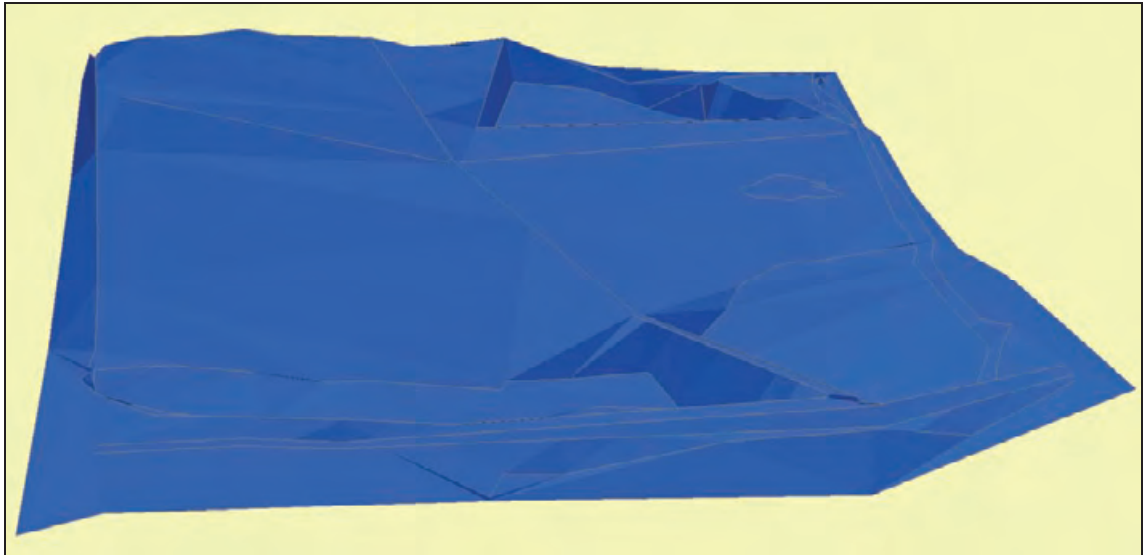


Abbildung 8.27: Verzerrtes TIN aus dem Bildsatz von 1945 in 3D-Darstellung (1,5-fach überhöht)

Die Abbildung zeigt einen Blick von Süden auf die Fläche. Es ist deutlich zu sehen, wie sich insbesondere die nordwestliche und die südöstliche Ecke hochbiegen, so dass auch die Wasserflächen im Süden gekrümmte Oberflächen zu haben scheinen.

Um die Abgrabung östlich der Halde in 1969 aus den Berechnungen auszuschließen, wurde ein Begrenzungs-polygon um den Aufschüttungsbereich beider Zeitschnitte gezogen (Abbildung 8.29). Für dieses konnte dann mit beiden Oberflächenmodellen die jeweilige Zonenstatistik berechnet werden. Aufgrund der Pixelgröße von einem Meter entspricht die Pixelsumme auch gleich dem Volumen zwischen Geländeoberfläche und Null-Ebene. Die Differenz beider Pixelsummen repräsentiert demnach die gesuchte Volumendifferenz (Tabelle 8.7).

Ein weiteres Verfahren zur Berechnung von Volumina und auch Geländeoberflächen bietet der 3D-Analyst von ArcGIS. Hierzu muss jedoch ein auf den zu vermessenden Raum beschränktes Raster oder TIN des Geländes vorliegen. Für die Berechnung wird bei Rasterdaten nicht wie oben von ebenen Pixeloberflächen ausgegangen, sondern zunächst ein Dreiecksnetz über

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

die Pixelmitten konstruiert. Für die einzelnen Dreiecke werden dann – wie auch bei TIN-Modellen – die Oberfläche sowie das eingeschlossene Volumen bezogen auf eine vorgegebene Referenzfläche ermittelt und aufsummiert (Tabelle 8.8). Dadurch ergab sich mit diesem Verfahren im Vergleich mit dem vorgenannten eine geringfügig um 0,17% geringere Volumendifferenz.

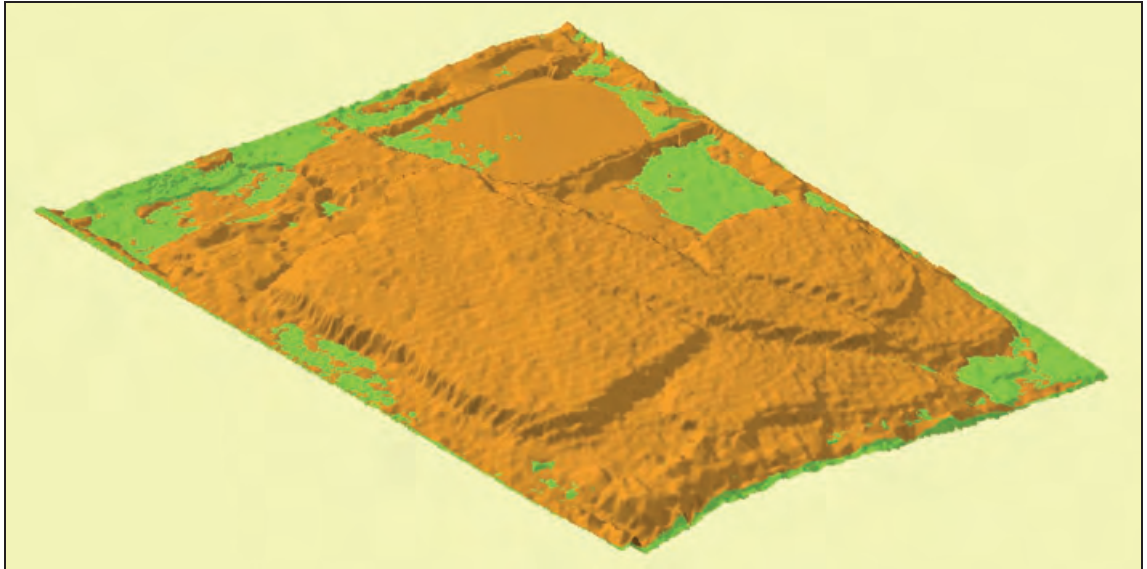
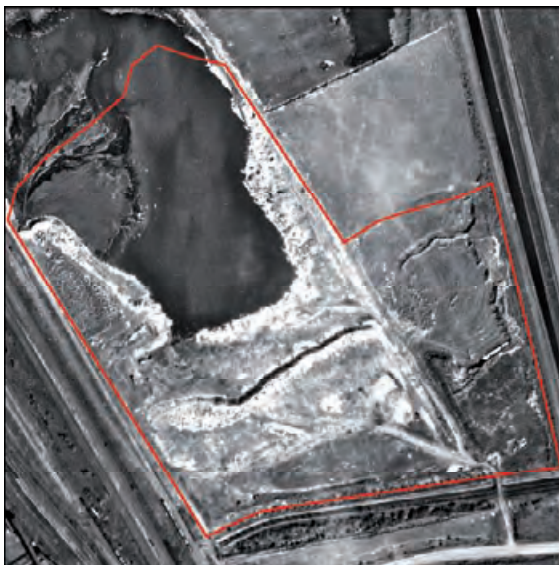
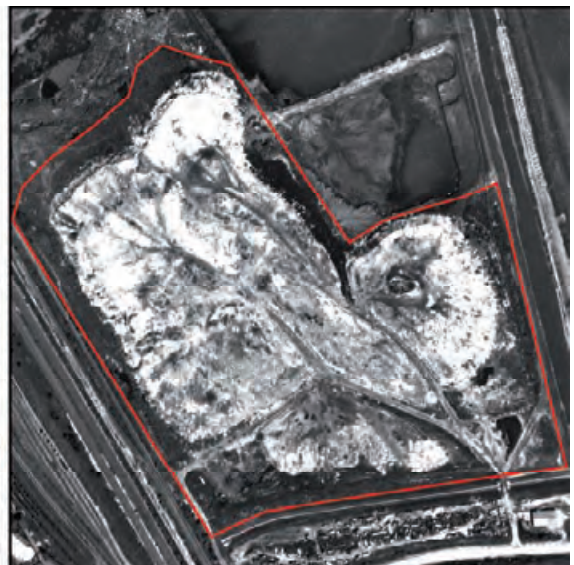


Abbildung 8.28: Relative Angleichung der Höhenmodelle

Durch sukzessives Anheben des Modells von 1969 (orange) bis auf die Höhe des Oberflächenmodells von 1959 (grün) wurde der relative Höhenfehler zwischen den Modellen ermittelt. Als Orientierung diente dabei der westliche Bahndamm. Die Höhenunterschiede entlang des südlich verlaufenden Kanals sind auf höhere Vegetation im Modell von 1969 zurückzuführen.



a)



b)

Abbildung 8.29: Berechnungszone

a) Orthofoto 1959, b) Orthofoto 1969

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

Jahr	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1969	174404	174404	62,15	79,26	17,11	73,52	4,08	12821800
1959	174404	174404	60,51	72,33	11,82	66,33	2,68	11567500
Differenzvolumen in m ³								1254300

Tabelle 8.7: Volumenberechnung mit Zonenstatistik
(Spaltenerklärung s. Tabelle 8.5)

Jahr	PLANE_HEIGHT	REFERENCE	2D_AREA	3D_AREA	VOLUME
1969	0	ABOVE_PLANE	173239	176724,20	12743029,90
1959	0	ABOVE_PLANE	173239	175281,38	11490821,94
Differenzvolumen in m ³					1252207,96

Tabelle 8.8: Volumenberechnung mit 3D-Analyst

PLANE_HEIGHT: Höhe der Referenzfläche

REFERENCE: Messrichtung von der Referenzfläche aus

2D_AREA: Grundfläche

3D_AREA: Oberfläche

VOLUME: Rauminhalt zwischen Oberfläche und Referenzfläche

Einen weiteren Bereich mit einer offensichtlichen Aufschüttung bildet das Plateau der Kläranlage im Südosten des Arbeitsgebietes über einer früheren Senke (Abbildung 8.30). Die Sockelfläche schließt unmittelbar an die Deiche der Emscher und des südlich verlaufenden Kanals an und ist im Norden durch eine angeschüttete Straße begrenzt. Nur nach Osten hin ist die Plateaufläche abgebösch. Naturgemäß war die ursprüngliche Geländeoberfläche nicht eben. Sie war – wie die Luftbilder von 1943 und 1959 im Stereomodell erkennen lassen – ehemals nach Nordwesten geneigt, so dass die heutige Aufschüttungsmächtigkeit nicht durch eine Höhenmessung an der Böschung ermittelt und für die gesamte Fläche konstant angenommen werden kann (Abbildung 8.31). Vielmehr muss die ursprüngliche Geländeform bekannt sein, damit die Differenz beider Oberflächen wie oben berechnet werden kann.

Das Areal der Kläranlage ist nur mit den Luftbildern von 1945, 1959 und 2003 vollständig stereoskopisch abgedeckt. Dies bedeutet insofern keine Einschränkung, als dass für die Bestimmung des Aufschüttungsvolumens sachgemäß nur das Gelände der ursprünglichen Senke und das der fertigen Aufschüttung benötigt werden. Für eine Berechnung wurden daher die Bilder von 1959 und 2003 ausgewählt und für diesen Bereich Oberflächenmo-

delle mit einer Pixelgröße von einem Meter extrahiert. Ein erster Vergleich der Höhenmodelle in ArcScene zeigte jedoch, dass der relative Höhenfehler zwischen den Modellen nicht konstant ist (Abbildung 8.32). Dass heißt, dass an verschiedenen Stellen an den Kanten unterschiedlich große Differenzen zu sehen waren. Beim Versuch, diese Unterschiede zu erklären, wurde deutlich, dass es um die Fläche herum kaum verlässliche Referenzhöhen gibt, anhand derer eine Bewertung der relativen Höhenfehler zwischen den Oberflächenmodellen möglich wäre. So wurde die südliche Emscher im Laufe der Jahre nach Osten verlegt und dabei zwangsläufig neu eingedeicht. Auch die Einfassung des südlich verlaufenden Kanals scheint Veränderungen erfahren zu haben. Die Straße am nördlichen Rand wurde völlig neu angelegt, und im Osten der Fläche bestehen – wie bei der Diskussion der Oberflächenmodelle oben erwähnt – Unsicherheiten bezüglich möglicher Bergsenkungen.

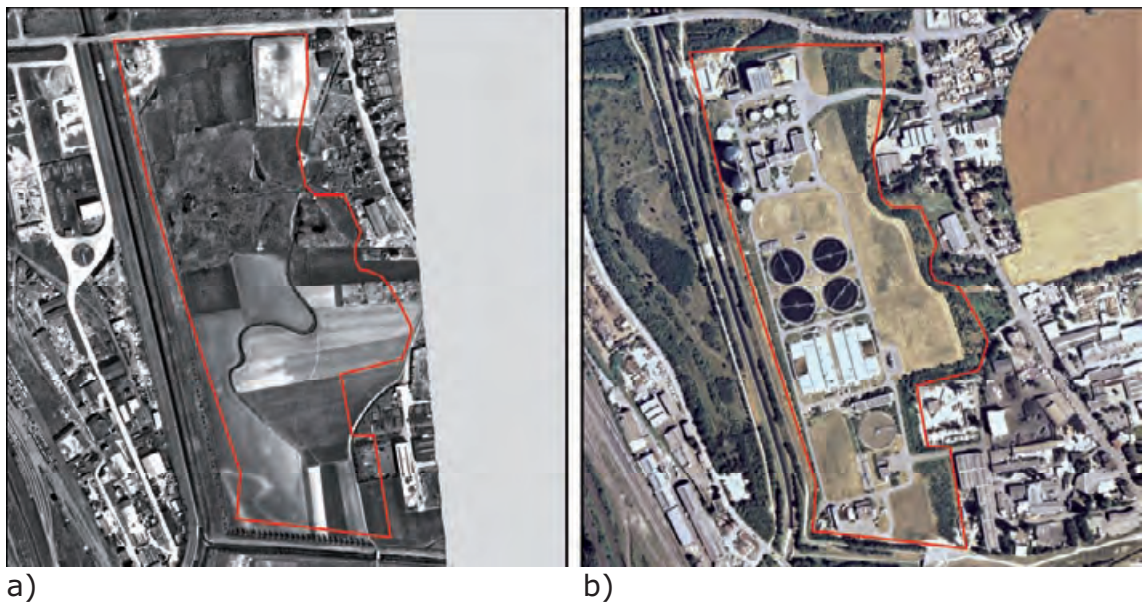


Abbildung 8.30: Areal der Kläranlage in den Luftbildern von 1959 und 2003
a) 1959, b) 2003

Bevor also die unerlässliche Angleichung der Basishöhen der Höhenmodelle erfolgen kann, müsste festgestellt werden, welche Geländeänderungen im Umfeld der Klärwerksfläche stattgefunden haben, um diese beim Angleichen der Oberflächenmodelle berücksichtigen zu können. So ließen sich beispielsweise die jeweiligen Höhen der Deichkrone und das Ausmaß an Bergsenkungen ermitteln. Hierfür sind jedoch neben den Luftbildern und den allgemeinen Referenzdaten weitere verlässliche Quellen erforderlich. Auf der

8 Auswertung der triangulierten Bildblöcke

Grundlage ausreichend verlässlicher Daten könnten dann die relativen Fehler in den Modellen – auch differentiell – ausgeglichen und eine Volumenberechnung durchgeführt werden.

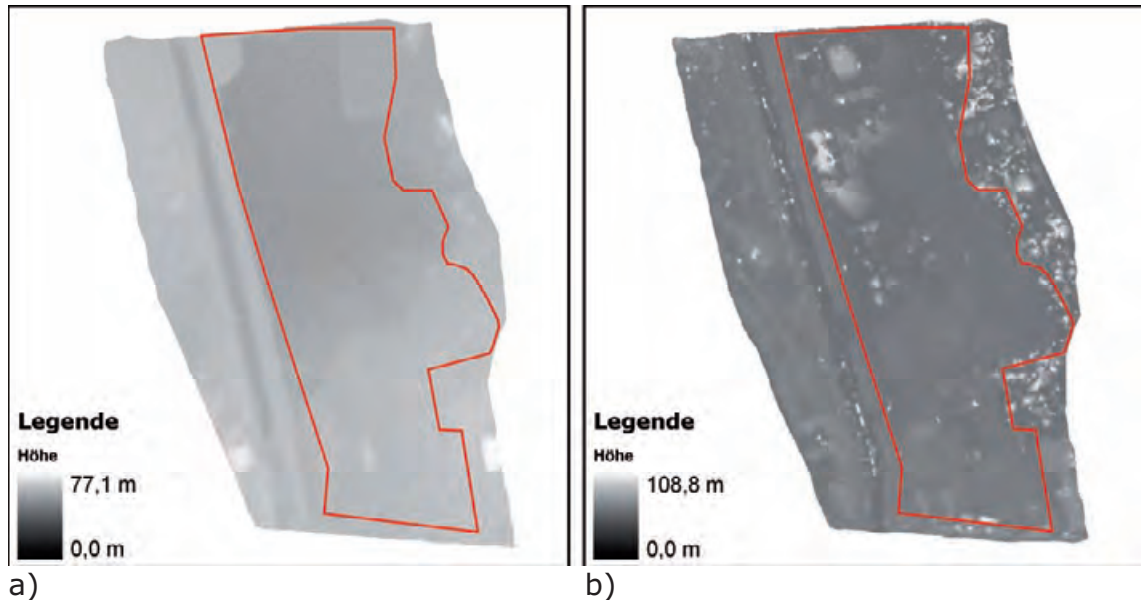


Abbildung 8.31: Areal der Kläranlage in den Oberflächenmodellen aus den Luftbildern von 1959 und 2003

a) 1959, b) 2003

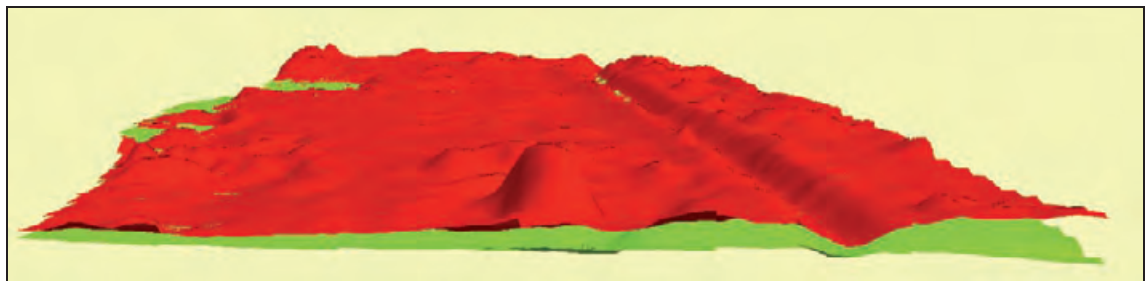


Abbildung 8.32: Variabler relativer Höhenfehler zwischen den Oberflächenmodellen aus den Luftbildern von 1959 (grün) und 2003 (rot)

(Blickrichtung von Norden nach Süden)

Durch die Auswertung historischer Luftbilder mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie können umfangreiche Informationen über den Zustand eines Untersuchungsraumes für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen gewonnen werden. Diese sind jedoch in Bezug auf ihre geometrische Genauigkeit kritisch zu prüfen. In Anbetracht der Fülle von individuellen Faktoren, durch die die Raummodelle mit historischen Luftbildern beeinflusst werden, lässt sich keine allgemeine Aussage über die erreichbaren Genauigkeiten machen. Mit den hier diskutierten Beispielen konnte jedoch demonst-

riert werden, dass bei der digitalen Objekterfassung und auch bei der Erstellung von Orthofotos eine Lagegenauigkeit innerhalb der in Abschnitt 8.3 zitierten Vorgaben für die Erfassung von Kontaminationsflächen erzielt werden kann. Die Gewinnung von Höhendaten hat eine wesentlich höhere Empfindlichkeit gegenüber Luftbilddeformationen und Fehlern in den Referenzdaten gezeigt. So können räumlich begrenzt durchaus relative Höhenunterschiede erfasst und berechnet werden. Die Plausibilität der Ergebnisse muss jedoch für jeden Bereich einzeln abgeschätzt werden.

9 Ergebnisse und Ergebnisbewertung

Bisher wurde die Bearbeitung historischer Luftbilder mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie zur Erkundung von Altlastverdachtsflächen in einigen wenigen Veröffentlichungen zwar angedeutet (Broisy & Helms 2006, S. 181 ff.; Breuer & Weigand 2004, S. 42 f.), eine eingehende Auseinandersetzung mit den Besonderheiten des Verfahrensansatzes fand indessen nicht statt. In dieser Arbeit konnte umfassend dargelegt werden, dass mit der digitalen Photogrammetrie historische Luftbilder in Verbindung mit allgemein verfügbaren Referenzdaten zur Gewinnung von Geoinformationen bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen effizient und effektiv und somit erfolgreich genutzt werden können.

Erwartungsgemäß lassen sich hierbei sowohl Lage- als auch Höheninformationen ermitteln. Diese müssen jedoch bezüglich ihrer Genauigkeit unterschiedlich bewertet werden. So wurde mit Kartierungen verschiedener Beispiele eine absolute Lagegenauigkeit von durchgehend weniger als fünf Metern erzielt, die damit im Rahmen der in der Erfassungspraxis erforderlichen Genauigkeit liegt. Bei den Höhenmessungen können solche und größere absolute Fehler in Anbetracht der Dimension der meisten zu vermessenden Objekte den Ansprüchen gewöhnlich allerdings nicht genügen.

Die relativen Abweichungen müssen ebenfalls differenziert betrachtet werden: Bei der Lage der Objekte zeigt sich, dass es zwar unter den verschiedenen Stereomodellen zu Abweichungen zwischen den Abbildungen der selben Objekte kommt, innerhalb eines Zeitschnitts deren relative Lage zueinander jedoch annähernd gleich bleibt und sich ihr Grundriss auch zwischen den Modellen nicht nennenswert unterscheidet. Bei Höhenmessungen im Stereomodell erwies sich das Höhen-Basis-Verhältnis bei der Bildaufnahme im Zusammenhang mit dem Bildmaßstab und der Pixelgröße als entscheidend für die relative Positioniergenauigkeit der Messmarke und damit auch für die zu erzielende Messgenauigkeit. Dieser Tatbestand muss bei der Auswahl des Bildmaterials und dessen Auswertung unbedingt beachtet werden.

Bei der Extraktion von Geländemodellen machen sich Verzerrungen des Bildmaterials mit deutlichen Modelldeformationen negativ bemerkbar. Geringe Qualitäten und Verunreinigungen der Bilder führen ferner zu mehr oder weniger starken Störungen in der Oberflächenstruktur des DGM. Demnach ist im Einzelfall zu prüfen, ob bzw. inwieweit ein Modell für den jeweiligen Anwendungsfall überhaupt verwendet werden kann.

Für die Ermittlung von Änderungen einer Geländeoberfläche oder die Berechnung von Volumendifferenzen zeigte sich ein absoluter Höhenfehler nicht als hinderlich. Vielmehr ist hier der Ausgleich des relativen Fehlers zwischen den beteiligten DGM entscheidend. Ist dieser konstant, kann er leicht eliminiert werden. Handelt es sich jedoch um einen variablen Fehler, müssen die Ursachen anhand zusätzlicher Daten genau geprüft und nachvollzogen werden, bevor eine differenzierte Angleichung des einen Modells an das andere vorgenommen werden kann.

Für den Fall, dass sich das Ausmaß der Deformationen eines DGM als hinderlich für Oberflächen- und Volumenanalysen erweist, konnte herausgefunden werden, dass das Modell dennoch – oder vielmehr: insbesondere aufgrund seiner Eigenschaft als Maß für die bildimmanenten Verzerrungen – zur erfolgreichen Orthorektifizierung des Bildmaterials verwendet werden kann.

Basierend auf diesem Umkehrschluss zum Einfluss der geometrischen Qualität der Luftbilder auf ein daraus abgeleitetes DGM, konnte eine Methode zur Bewertung der geometrischen Integrität der Luftbilder und der damit erzielten Triangulationsergebnisse entwickelt und angewendet werden. Dabei wurden die extrahierten Geländemodelle im GIS mit dem Referenzmodell verglichen und die Differenzen – unter Beachtung bekannter Geländeänderungen – entsprechend visualisiert und ausgewertet. Ein großer Vorteil dieser Methode gegenüber einer ausschließlichen Auswertung des Triangulationsberichts liegt in der Möglichkeit einer flächendeckenden Bewertung des errechneten Modells im Gegensatz zur (nur) punktuellen Evaluation der Pass- und Vergleichspunkte. Auch wenn die Abweichungen zwischen den Modellen bei der flächigen Beurteilung des Triangulationsergebnisses nicht in exakten Zahlen ausgedrückt, sondern klassifiziert dargestellt werden,

zeigt dieser visuelle Ansatz sehr anschaulich Verteilung und Ausmaß der Modelldeformationen. Dabei können in Verbindung mit auffälligen Fehlern an einzelnen Pass- und Vergleichspunkten auch mögliche Diskrepanzen in den Referenzdaten erklärt werden, die bei den behandelten Beispielen durchaus die Folge von Bergsenkungen sein können. Diese sind in diesem Untersuchungsraum sehr wahrscheinlich, da es sich hierbei um ein Gebiet handelt, in dem seit dem 19. Jahrhundert intensiv untertägig Bergbau betrieben wurde. Dies äußert sich in einer anhaltenden durch Bergsenkungen geprägten Geländedynamik, die zu Abweichungen zwischen dem in den historischen Luftbildern erfassten Gelände und den aktuellen Referenzdaten führt. Inwieweit diese Veränderungen in die Grundlagendaten der Landesvermessung Eingang gefunden haben, ist ohne detaillierte Recherchen und Referenzmessungen nicht nachzuvollziehen. Diese würden jedoch über die Fragestellung dieser Arbeit weit hinausgehen und an den verfügbaren Daten zunächst nichts ändern. Generell wäre eine solche Überprüfung in Zukunft jedoch wünschenswert, um die notwendige Verlässlichkeit der Daten für eine Verwendung in photogrammetrischen Anwendungen sicherzustellen zu können.

Die Wahl der RDGK5 und des DGM5 als Quelle für die erforderlichen Referenzpunkte erfolgte unter der Prämisse, flächendeckend und allgemein verfügbare Daten zu nutzen und den hohen Aufwand einer individuellen Einmessung von Punkten zu vermeiden – zumal Veränderungen zwischen der historischen und der heutigen Geländeoberfläche auch dadurch nicht ausgeschlossen werden können. Wie oben bereits dargelegt, konnte mit diesen Referenzdaten eine zweckgerechte Genauigkeit für die Altlastverdachtsflächenerfassung erzielt werden.

Der Einsatz von LuPas kommt im Gegensatz dazu nur für wenige Luftbildsätze in Frage: Durch ihre geringe räumliche Dichte sind einerseits nicht genügend Passpunkte im Abdeckungsbereich der Luftbilder einiger Zeit-schnitte zu finden, andererseits sind Punkte oft nicht nutzbar, da die Bezugspunkte in den Bildern nicht zu sehen bzw. (noch) nicht vorhanden sind. Ferner liegt die Genauigkeit der LuPas unter der der flächigen Referenzdaten, so dass im Ergebnis diesen – auch wegen der damit einhergehenden

großen Flexibilität bei der Passpunktsuche – der Vorzug gegeben werden muss.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit lag bei der Aufbereitung des historischen Bildmaterials. Hier konnte aufgezeigt werden, dass die visuelle Auswertbarkeit der Luftbilder mit digitalen Verfahren wesentlich optimiert und eine deutlich verbesserte Geländewiedergabe in den Bildern erzielt werden kann. Methodisch und verfahrenstechnisch wurde hierfür ein Arbeitsablauf entwickelt, der den Besonderheiten des historischen Bildmaterials mit einer Kombination aus handelsüblicher Bildverarbeitungssoftware und spezieller Fernerkundungssoftware Rechnung trägt. So wird Dodging bereits im Rahmen der Bildaufbereitung für globale und lokale differentielle Bildkorrekturen operationalisiert, statt es erst, wie sonst im Allgemeinen üblich, für die Angleichung der Radiometrie an Schnittkanten im Rahmen des Mosaikierens am Ende der Prozesskette einzusetzen. Ebenfalls konnte eine Möglichkeit aufgezeigt und ein Verfahrensansatz entwickelt werden, selbst Bilder mit störenden Wolken über dem untersuchten Gelände für Kartierungen in Wert zu setzen.

Für die Beschaffung fehlender Informationen zur inneren Orientierung von Luftbildern wurden erfolgreich Methoden entwickelt und getestet, mit denen diese recherchiert oder rekonstruiert werden können. Neben dem Einsatz spezieller Software zum Erstellen künstlicher Bildmarken – nebst dem dazugehörigen Kamerakoordinatensystem – wurde ein optimierter Ansatz zur Bestimmung fiktiver Rahmenkoordinaten für Luftbilder mit Bildmarken – zu denen jedoch kein Kalibrierprotokoll verfügbar ist – erarbeitet.

Verschiedene, teilweise unkonventionelle Strategien und Ansätze wurden für das Ermitteln einer nicht dokumentierten Kammerkonstante hergeleitet und mögliche Quellen für Metadaten zu Bildflügen und verwendeten Kameras im Zweiten Weltkrieg erschlossen. Ebenso wurden Beschaffungsmöglichkeiten für fehlende Kalibrierprotokolle zu zivilen Reihenmessbildern aufgezeigt.

Die Untersuchung zur Gewinnung von Geoinformationen aus historischen Luftbildern mit Verfahren der digitalen Photogrammetrie in Verbindung mit allgemein verfügbaren Referenzdaten erfolgte in der vorliegenden Arbeit im Zusammenhang mit der Erfassung von Altlastverdachtsflächen. Unter der

Maßgabe entsprechender Fehlertoleranzen lassen sich die Ergebnisse jedoch auch auf andere geographische Fragestellungen übertragen. So können mit den aufgezeigten und neu entwickelten Methoden aktuelle und retrospektive Geoinformationen beispielsweise zur Siedlungs-, Vegetations- oder Geländeentwicklung von Untersuchungsgebieten berührungslos gewonnen werden und als Datengrundlage für Planungsprozesse – wie beispielsweise Renaturierungsmaßnahmen von Gewässern oder Sanierungsvorhaben in urbanen Siedlungsräumen – herangezogen werden.

Für die ausführlich dargelegte Anwendung der digitalen Photogrammetrie mit historischen Luftbildern zur Altlastverdachtsflächenerfassung – aber auch für die zuletzt skizzierten weiteren Einsatzmöglichkeiten eines solchen Verfahrens – wäre es in der Praxis von großem Nutzen, zukünftig einen Kriterienkatalog zur Bewertung der Qualität von historischen Luftbildern zur Verfügung zu haben. Das Ziel eines solchen Regelwerks sollte es sein, damit das Auswertungspotenzial des Luftbildmaterials auf der Grundlage seiner geometrischen und radiometrischen Qualität schon vor der Verarbeitung möglichst detailliert einschätzen und bewerten zu können.

Ferner eröffnet sich im Kontext geographischer Anwendungen für Verfahren der Softcopy Photogrammetrie eine neue Perspektive zur Bestimmung von Passpunkten im Gelände: aktuelle mobile GIS-Lösungen (MGIS) ermöglichen durch Postprocessing Genauigkeiten im Dezimeterbereich, und erreichen bzw. überschreiten damit das Qualitätsniveau der hier verwendeten Referenzdaten. Es wäre wünschenswert, in Zukunft zu untersuchen, ob und inwieweit es zweckmäßig ist, MGIS-Geräte mit Dezimetergenauigkeit zum nachträglichen Einmessen von Passpunkten für die Triangulation von (historischen) Luftbildern einzusetzen.

10 Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden anhand eines Fallbeispiels Verfahren und Methoden entwickelt und angewendet, die die Auswertung historischer Luftbilder mit Anwendungen der digitalen Photogrammetrie für die Erfassung von Altlastverdachtsflächen zum Ziel haben.

Eingangs wird die gegenwärtige Situation der Auswertung von historischen Luftbildern im Kontext der Erfassung von Altlastverdachtsflächen beschrieben und das Potenzial der digitalen Photogrammetrie für dieses Anwendungsfeld dargelegt. Zu den aus der Qualität des historischen Bildmaterials resultierenden Konflikten wird ein Lösungsansatz formuliert, aus dem die Problemstellung und der Aufbau der Arbeit abgeleitet werden. Ferner wird der exemplarische Charakter des verwendeten Beispielbildmaterials zu Standort und Umgebung der Kokerei Hansa in Dortmund dargelegt. Dem folgt im zweiten Kapitel ein Überblick über Begriffsdefinitionen und den Verfahrensablauf der Altlastenbearbeitung, anhand dessen die Rolle von Luftbildern bei standortbezogenen Erhebungen über altlastverdächtige Flächen erläutert wird.

Das dritte Kapitel widmet sich eingehend dem Stellenwert von Luftbildern als Quelle geotopographischer Informationen. Durch einen Vergleich mit topographischen Karten wird die Bedeutung von Luftbildern im Rahmen historischer Recherchen herausgearbeitet. Ferner wird das Potential der Synopse von Karten und Luftbildern bei einer integrierten GIS-Auswertung dargelegt und daran die Rolle der digitalen Photogrammetrie zur Gewinnung von Geodaten aus Luftbildern verdeutlicht.

Im vierten Kapitel wird eine Einordnung der digitalen Photogrammetrie in die verschiedenen Möglichkeiten der Luftbildmessung vorgenommen und ihr Potenzial bei der Erfassung von Altlastverdachtsflächen herausgestellt.

Nach einer eingehenden Erläuterung der Anforderungen an Luftbilder für eine photogrammetrische Auswertung zeigt das fünfte Kapitel das breite Spektrum von Qualitäten historischer Luftbilder auf. Ein Schwerpunkt liegt

dabei auf den Besonderheiten der Kriegsluftbilder aus Aufklärungsflügen der Alliierten des Zweiten Weltkriegs.

Für die notwendige radiometrische Aufbereitung von historischem Bildmaterial werden in Kapitel sechs bewährte Methoden der digitalen Bildverarbeitung, spezielle Anwendungen aus der Photogrammetrie sowie neue Ansätze dargelegt und zu einem Arbeitsablauf miteinander verknüpft. Ebenso werden Wege für die Recherche, Rekonstruktion und Validierung fehlender Parameter der inneren Orientierung aufgezeigt.

Das siebte Kapitel befasst sich anhand von konkreten Beispielen mit der Aerotriangulation historischer Luftbilder. Nach einer Beschreibung des verwendeten Programmpakets und des exemplarischen Untersuchungsraumes, werden die eingesetzten Luftbilder mit ihren besonderen Eigenschaften sowie das verwendete Referenzmaterial vorgestellt. Mit Bezug auf das vorangegangene Kapitel wird die Aufbereitung der Bilder dokumentiert. Dem folgt eine Beschreibung des Triangulationsprozesses unter Hervorhebung der Besonderheiten im Umgang mit dem historischen Bildmaterial. Hierbei wird unter Anderem auf die Verteilung und Positionierung der Passpunkte und die Verwendung zusätzlicher Parameter im Rahmen eines selbstkalibrierenden Bündelblockausgleichs eingegangen.

Kapitel acht behandelt die verschiedenen Möglichkeiten zur Auswertung der triangulierten historischen Luftbilder. Zunächst wird die Extraktion von Geländemodellen dargelegt. Diese werden zur Bewertung der einzelnen Luftbildmodelle mit dem Referenz-DGM verglichen, visuell ausgewertet und so als Kriterium zur Wahl des geeigneten Parametermodells für die einzelnen Luftbildsätze herangezogen. Anschließend wird die Erstellung von Orthofotos auf der Basis von – unter Anderem auch stark deformierten – Geländemodellen erläutert. Dem folgt die Diskussion und Bewertung von exemplarischen Kartierungen in verschiedenen Beispielmodellen. Abschließend wird auf die Möglichkeiten zur Analyse von Geländeoberflächen in den Luftbildmodellen eingegangen. Dabei werden zum einen extrahierte und zum anderen im Stereomodell manuell erfasste Geländemodelle für die Volumenermittlung von Geländeänderungen eingesetzt.

Zum Abschluss der Arbeit werden in Kapitel neun die erzielten Ergebnisse aufgezeigt und bewertet.

Literaturverzeichnis

- Albertz, Jörg 2001: Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. 2. Auflage, Darmstadt
- Albertz, Jörg; Gonschorek, Gerhard; Mehlbreuer, Alfred; Pühler, Wilfried 1982: Luftbildinterpretation für umweltrelevante Straßenplanung. Bonn (=Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft des Straßenwesens e.V.)
- Babington Smith, Constance 1985: Air Spy. The Story of Photo Intelligence in World War II. Falls Church, Virginia
- Baltsavias, Emmanuel 1998: Photogrammetric Scanners - Survey, Technological developments and Requirements. Ayazaga-Istanbul & Enschede (=International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, 31): 44-52
- Baltsavias, Emmanuel 1999: On the Performance of Photogrammetric Scanners. Heidelberg (=Photogrammetric Week '99): 155-173
- Baltsavias, Emmanuel; Bill, Ralf 1994: Scanners - A Survey of Current Technology and Future Needs. Ayazaga-Istanbul & Enschede (=International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, 30): 130-143
- Baltsavias, Emmanuel; Waegli, Barbara 1996: Quality Analysis and Calibration of DTP Scanners. Ayazaga-Istanbul & Enschede (=International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, 31): 13-19
- BBodSchG 2004: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz). Berlin
- BBodSchV 1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Berlin
- Beckschäfer, Martin 1995: Digitale Photogrammetrie im Praktischen Einsatz. Heidelberg (=Photogrammetric Week '95): 243-251
- Benecke, Norbert 1995: The Processing of Photogrammetrically-Generated Elevation Models. Heidelberg (=Photogrammetric Week '95): 303-311
- Bischof, Horst; Leberl, Franz 2004: Digital Image Processing. Chapter 5. In: McGlone, J. Chris (Hg.): Manual of Photogrammetry. 5. Auflage, Bethesda, Maryland
- Böhringer, Joachim; Bühler, Peter; Schlaich, Patrick; Ziegler, Hanns-Jürgen 2003: Kompendium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien. 2. Auflage, Heidelberg
- Boland, John (Hg.) 2004: Cameras and Sensing Systems. Chapter 8. In: McGlone, J. Chris (Hg.): Manual of Photogrammetry. 5. Auflage, Bethesda, Maryland: 581-676

- Borries, Hans-Walter 1992: Altlastenerfassung und -Erstbewertung durch multitemporale Karten- und Luftbilddauswertung. Würzburg
- Breuer, Michael; Weigand, Heike 2004: Blindgänger gesucht. Auswertung historischer Luftbilder in der Kampfmittelbeseitigung. In: o.V.: W+S Sicherheitsmagazin für Trends, Technik und Dienstleistung. (8-9): 42-43
- Breuer, Toni; Jürgens, Carsten 1995: Der Beitrag der Fernerkundung zur Ermittlung von Altlastverdachtsflächen. In: Jessberger, H. L. (Hg.): Sanierung von Altlasten. Rotterdam: 17-33
- Broxy, Robert; Helms, Karsten 2006: Effiziente 3D-Erkundung von Altablagerungen. Photogrammetrische Verfahren werden trotz deutlicher Einsparpotentiale selten angewendet. In: Ingenieurtechnischer Verband Altlasten (Hg.): altlasten spektrum. Organ des Ingenieurtechnischen Verbandes Altlasten (ITVA). (3): 181-183
- Bruschke, A. 2006: Photogrammetrie zur Dokumentation und als Planungsgrundlage – Qualitätsbetrachtung. In: Venzmer, Helmuth (Hg.): Europäischer Sanierungskalender 2006.: 1-17
- Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) 2002: Arbeitshilfe Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung. In: Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO); Altlastenausschuss (ALA); Unterausschuss „Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“ (UA QS) (Hg.): Arbeitshilfe Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung. Hannover: Anhang 3, 1-14
- Campbell, James B. 2002: Introduction to Remote Sensing. 3. Auflage, London & New York
- Dech, Stefan Werner; Glaser, Rüdiger J. 1993: Fernerkundung von Umweltbelastungen auf dem militärischen Übungsgelände in der Colbitz-Letzlinger Heide. Köln (=Forschungsbericht 93-46)
- Deutscher Kalibrierdienst 2001: Kalibrierschein. Kalibrierzeichen 0766 DKD-D-05202 10-01. Oberkochen
- Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) 1995: DIN 18 716-1 Photogrammetrie und Fernerkundung. Teil 1: Grundbegriffe und besondere Begriffe der photogrammetrischen Aufnahme. Berlin
- Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) 1996: DIN 18 716-2 Photogrammetrie und Fernerkundung. Teil 2: Besondere Begriffe der photogrammetrischen Auswertung. Berlin
- Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) 1997: DIN 18 716-3 Photogrammetrie und Fernerkundung. Teil 3: Begriffe der Fernerkundung. Berlin
- Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) 2001: DIN 18 740-1 Photogrammetrische Produkte. Teil 1: Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild. Berlin
- Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) 2005: DIN 18 740-2 Photogrammetrische Produkte. Teil 2: Anforderungen an das gescannte Luftbild. Berlin

- Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) 2006: DIN 18 740-4 Photogrammetrische Produkte. Teil 4: Anforderungen an digitale Luftbildkameras und digitale Luftbilder. Berlin
- Dietz, Klaus R. 1981: Grundlagen und Methoden geographischer Luftbildinterpretation. München (=Münchener Geographische Abhandlungen, 25)
- Dodt, Jürgen 1984: Methoden der Interpretation. Faktoren und Verfahren der Objektidentifikation. In: Schneider, Sigfrid; Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hg.): Angewandte Fernerkundung. Methoden und Beispiele. Hannover: 44-55
- Dodt, Jürgen 1988: Karten und Luftbilder als Informationsquellen für die Erfassung altlastverdächtiger Flächen. In: Kompa, Reiner; Fehla, Klaus-Peter (Hg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. Köln: 127-140
- Dodt, Jürgen; Mark, Harald 1994: Zur Bedeutung von Fernerkundungsverfahren für das Flächenrecycling. In: Genske, Dieter; Noll, Hans-Peter; Beimann, Wilfried (Hg.): BrachflächenRecycling. RecyclingDerelict-Land. (1): 22-30
- Dodt, Jürgen; Mark, Harald 1995: Methodik der Erfassung von Bodenverunreinigungen in Projekten des Flächenrecyclings. Essen (=Taschenbuch BrachflächenRecycling. Kompendium für die Reaktivierung kontaminierter Flächen, 1): 107-133
- Dodt, Jürgen; Mark, Harald; Ruppel, Gerhard 2004: Kriegsbedingte Kontaminationsanteile auf altlastverdächtigen Altstandorten. Ein praxisbezogener Erfassungsansatz bei Standortrecherchen. Bochum (=Materialien zur Raumordnung, 63)
- Dupéret, Alain 2002: Image Improvements. In: Kasser, Michel; Egels, Yves: Digital Photogrammetry. London & New York: 79-99
- Ehlers, Manfred 1997: Rectification and Registration. In: Star, Jeffrey L.; McGwire, Kenneth C.; Estes, John E. (Hg.): Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing. Berlin: 13-36
- Ehlers, Manfred 1997a: Umweltmanagement für das 21. Jahrhundert: Was leisten Geographische Informationssysteme und Fernerkundung. Vechta (=Materialien Umweltwissenschaften Vechta : MUWV, 2): 2-9
- El Hassan, I. M. 1982: Geometric Analysis of Reconnaissance Frame Photography. In: Remote Sensing and Photogrammetry Society (Hg.): Photogrammetric Record. 10 (59): 591-598
- Estes, John E.; Simonett, David S. 1975: Fundamentals of Image Interpretation. Chapter 14. In: Reeves, Robert G.; Anson, Abraham; Landen, David (Hg.): Manual of Remote Sensing. Falls Church, Virginia: 869-1076
- Falkner, Edgar 1995: Aerial Mapping. Methods and Applications. Ann Arbor & Boc Raton & London & Tokyo
- Finsterwalder, Richard; Hofmann, Walther 1968: Photogrammetrie. Berlin
- Förstner, Wolfgang; Wrobel, Bernhard; Paderes, Fidel; Craig, Robert; Fraser, Clive; Dolloff, John 2004: Analytical Photogrammetric Operati-

- ons. Chapter 11. In: McGlone, J. Chris (Hg.): Manual of Photogrammetry. 5. Auflage, Bethesda, Maryland: 763-948
- Fritsch, Dieter 1995: Introduction into Digital Aerotriangulation. Heidelberg (=Photogrammetric Week '95): 165-171
- Geosystems GmbH 2001: Luftbilder in der digitalen Photogrammetrie. Worauf beim Kauf von Luftbildern zu achten ist. Germering
- Geosystems GmbH 2003: Fiducial Builder von GEOSYSTEMS. Dokumentation. Germering
- Graham, Ron; Koh, Alexander; Baltsavias, Manos; von Schönermark, Maria; Theuwissen, Albert J.P.; Ziemann, Hartmut 2004: Detectors and Sensors. Chapter 7. In: McGlone, J. Chris (Hg.): Manual of Photogrammetry. 5. Auflage, Bethesda, Maryland: 505-580
- Haake, Günter; Grünreich, Dietmar 1994: Kartographie. 7. Auflage, Berlin
- Hartfiel, Paul 1997: Higher performance with automated arial triangulation. Heidelberg (=Photogrammetric Week '97): 109-113
- Hildebrandt, Gerd 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung. Für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. 1. Auflage, Heidelberg
- Hoepfner, Ernst von 1921: Deutschlands Krieg in der Luft. Ein Rückblick auf die Entwicklung und die Leistungen unserer Heeres-Luftstreitkräfte im Weltkrieg. Leipzig, zitiert nach: Prager, Stephan 1961: Das deutsche Luftbildwesen. Köln & Opladen (=Natur-, Ingenieur- und Gesellschaftswissenschaften)
- INPHO GmbH 2007: OrthoVista.
http://www.inpho.de/index.php?seite=index_orthovista&navigation=307&root=165&kanal=html. Stuttgart [30.12.2007]
- Intergraph Corporation 2007: ImageStation® OrthoPro.
http://www.intergraph.com/isorthopro/Key_Features.asp. Huntsville, AL [30.12.2007]
- Jensen, John R. 2000: Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective. 2. Auflage, Upper Saddle River, New Jersey
- Kasser, Michel 2002: Use of Scanners for digitization of aerial pictures. In: Kasser, Michel; Egels, Yves: Digital Photogrammetry. London & New York: 58-63
- Kasser, Michel; Egels, Yves 2002: Digital Photogrammetry. In: Kasser, Michel; Egels, Yves (Hg.): Digital Photogrammetry. London & New York: i
- Keen, Patricia 1996: "Eyes of the Eighth". A Story of the 7th Photographic Reconnaissance Group 1942-1945. Sun City, AZ
- Konecny, Gottfried 2003: Geoinformation. Remote Sensing, Photogrammetry and Geographical Information Systems. London & New York
- Kraus, Helmut 1996: Scannen. Mit Desktop-Scannern zum perfekten Bild. Bonn & Paris

- Kraus, Karl 2004: Photogrammetrie. Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7. Auflage, Berlin & New York
- Kraus, Karl; Jansa, J.; Kager, H. 1996: Photogrammetrie. Verfeinerte Methoden und Anwendungen. 3. Auflage, Bonn
- Kraus, Karl; Schneider, Werner 1988: Fernerkundung. Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. Bonn
- Kühn, Friedrich; Horig, Bernhard 1995: Geofernerkundung. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Berlin
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 1992: Handbuch Historische Erhebung altlastverdächtiger Flächen. Karlsruhe (=Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, 9)
- Landesumweltamt NRW 1994: Hinweise für die einzelfallbezogene Erfassung von Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten. Essen (=Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten MESA, 9)
- Landesumweltamt NRW 2001: Arbeitshilfe für flächendeckende Erhebungen über Altstandorte und Altablagerungen. (=Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz MALBO, 15)
- Landesumweltamt NRW 2002: Arbeitshilfe Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung. In: Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO); Altlastenausschuss (ALA); Unterausschuss „Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“ (UA QS) (Hg.): Arbeitshilfe Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung. Hannover: Anhang 2, 1-82
- Landesumweltamt NRW 2003: Altlasten. Teil 2: Arbeitsschritte. Düsseldorf (=LUA Info, 15): 1-2
- Landesumweltamt NRW 2004: Kriegsbedingte Kontaminationsanteile auf altlastverdächtigen Altstandorten. Ein praxisbezogener Erfassungsansatz bei Standorttrecherchen. (=Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz MALBO, 18)
- Landesumweltamt NRW 2006: Digitale Kriegsluftbilder NRW. Hinweise zur Nutzung bei der Altlastenerfassung. (=Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz MALBO, 22)
- Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen 2007: Luftbilderzeugnisse. <http://www.lverma.nrw.de/produkte/luftbilder/allgemein/Luftbilderzeugnisse.htm> [31.12.2007]
- Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen 2008: Deutsche Grundkarte 1:5 000 - RDGK5. http://www.lverma.nrw.de/produkte/topographische_karten/rasterdaten/dgk5/DGK5.htm. [08.03.2008]
- Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen 2008a: Digitales Geländemodell 5. <http://www.lverma.nrw.de/produkte/landschaftsinformation/hoeihenmodelle/gelaendemodelle/dgm5/DGM5.htm>. [08.03.2008]
- LbodSchG NRW 2000: Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesbodenschutzgesetz). Düsseldorf

- Leaf, Edward 1997: Above All Unseen. The Royal Air Force's Photographic Reconnaissance Units 1939-1945: Royal Air Force's Photographic Reconnaissance Operations, 1939-45. Yeoville
- Leica Geosystems Geospatial Imaging (Hg.) 2007: ERDAS Field Guide. Band 2. Norcross, GA
- Leica Geosystems Geospatial Imaging (Hg.) 2007a: ERDAS Field Guide. Band 1. Norcross, GA
- Leica Geosystems Geospatial Imaging 2006: Leica Photogrammetry Suite Project Manager. Norcross, GA
- Leica Geosystems Geospatial Imaging 2006a: Leica Photogrammetry Suite Automatic Terrain Extraction. Norcross, GA
- Leica Geosystems Geospatial Imaging 2007c: ImageEqualizer.
<http://gi.leica-geosystems.com/LGISub1x134x0.aspx>. Norcross, GA [30.12.2007]
- Leica Geosystems Geospatial Imaging 2007d: Stereo Analyst® for ArcGIS. Product Description. Norcross, GA
- Leica Geosystems Geospatial Imaging 2007b: Leica MosaicPro.
<http://gi.leica-geosystems.com/LGISub1x241x0.aspx>. Norcross, GA [30.12.2007]
- Lillesand, Thomas M.; Kiefer, Ralph W. 2000: Remote Sensing and Image Interpretation. 4. Auflage, Weinheim
- Löffler, Ernst; Honecker, Ulrich; Stabel, Edith 2005: Geographie und Fernerkundung. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten. 3. Auflage, Berlin & Stuttgart
- Luhmann, Thomas 2003: Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 2. Auflage, Heidelberg
- Mayr, Werner 1995: Aspects of Automatic Aerotriangulation. Heidelberg (=Photogrammetric Week '95): 225-234
- Meier, H.-K. 1984: . In: o.V.: Bildmessung und Luftbildwesen. 52: 143-152
- Mergler, H. 1958: Zum Einfluss der Entwicklerbewegung auf die Entwicklung und ihre Berücksichtigung bei sensitometrischen Verfahren. In: Helwich, Othmar (Hg.): Wissenschaftliche Photographie. Ergebnisse der internationalen Konferenz für wissenschaftliche Photographie, Köln 24. - 27. September 1956. Darmstadt: 427-430
- Miller, Scott 1999: LH Systems Current Production Workflows for Automated Triangulation, DTM, and Orthophoto/Mosaic Production. Frankfurt (=Proceedings of the OEEPE - Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production. Marne la Vallée, 22-24 June 1999, 37): 433-545
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW (Hg.) 1987: Die Verwendung von Karten und Luftbildern bei der Ermittlung von Altlasten. Ein Leitfaden für die praktische Arbeit. Düsseldorf

- Niwa, Yusuke 2002: Creating Orthorectified Aerial Photography Without A Camera Calibration Report. o.O.
- Oberfinanzdirektion Hannover (Hg.) 2005: Genauigkeitsanforderungen bei der Erfassung von Objekten des Boden- und Grundwasserschutzes.
- Petrie, Gordon; Bethel, James; Walker, Stewart 2004: Classical Photogrammetric Equipment. Chapter 10. In: McGlone, J. Chris (Hg.): Manual of Photogrammetry. 5. Auflage, Bethesda, Maryland: 731-761
- Redecker, Andreas; Dodt, Jürgen 2007: GIS-Einsatz bei der einzelfallbezogenen Erfassung von Altlastverdachtsflächen. Bonn (=Kartographische Schriften. Geovisualisierung in der Humangeographie. Nutzung kartengestützter Informationssysteme in Wissenschaft und Praxis, 13): 31-53
- Richards, John A.; Xiuping, Jia 2006: Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. 4. Auflage, Berlin & Heidelberg & New York
- Rüger, Werner; Pietschner, Jürgen; Regensburger, Karl 1987: Photogrammetrie. Verfahren und Geräte zur Kartenherstellung. 5. Auflage, Berlin
- Schneider, Sigfrid 1974: Luftbild und Luftbildinterpretation. Berlin & New York (= Lehrbuch der allgemeinen Geographie, 11)
- Schneider, Sigfrid 1984: Grundlagen der Fernerkundung. Geometrische Grundlagen. In: Schneider, Sigfrid; Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hg.): Angewandte Fernerkundung. Methoden und Beispiele. Hannover: 6-8
- Schwidewsky, Kurt; Ackermann, Friedrich 1976: Photogrammetrie. Grundlagen, Verfahren, Anwendungen. 7. Auflage, Stuttgart
- Slater, Philip N. 1975: Photographic Systems For Remote Sensing. Chapter 6. In: Reeves, Robert G.; Anson, Abraham; Landen, David (Hg.): Manual of Remote Sensing. Falls Church, Virginia: 235-323
- Stanley, Roy M. 1981: World War II Photo Intelligence. London & New York
- Strynatka, Ryan 2007: Photogrammetric Workflows. Traditional, Digital and the Future. In: GIS Development Pvt Ltd (Hg.): GIS Development. <http://www.gisdevelopment.net/> [26.09.2007]
- Wargalla, Hennig 1999: Farbkorrektur mit Photoshop und Scanprogrammen. 1. Auflage, Bonn
- Weimann, Günter; Pfeiffer, Berthold 1991: Geometrische Grundlagen der Luftbildinterpretation. Einfachverfahren der Luftbilddauswertung. 2. Auflage, Karlsruhe
- Wolf, Paul R.; Dewitt, Bon A. 2000: Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. 3. Auflage, Boston

Anhang A – Geodaten

Übersicht

- A.1 Luftbilder und ihre Rahmenkoordinaten
 - A.1.1 Zeitschnitt 1943
 - Abbildung A.1: Zeitschnitt 1943 – Bild 4049 – unbearbeitet
 - Abbildung A.2: Zeitschnitt 1943 – Bild 4049 – bearbeitet
 - Abbildung A.3: Zeitschnitt 1943 – Bild 4050 – unbearbeitet
 - Abbildung A.4: Zeitschnitt 1943 – Bild 4050 – bearbeitet
 - Abbildung A.5: Zeitschnitt 1943 – Bild 4051 – unbearbeitet
 - Abbildung A.6: Zeitschnitt 1943 – Bild 4051 – bearbeitet
 - Abbildung A.7: Zeitschnitt 1943 – Rahmenkoordinaten
 - A.1.2 Zeitschnitt 1945
 - Abbildung A.8: Zeitschnitt 1945 – Bild 2060 – unbearbeitet
 - Abbildung A.9: Zeitschnitt 1945 – Bild 2060 – bearbeitet
 - Abbildung A.10: Zeitschnitt 1945 – Bild 2061 – unbearbeitet
 - Abbildung A.11: Zeitschnitt 1945 – Bild 2061 – bearbeitet
 - Abbildung A.12: Zeitschnitt 1945 – Bild 2062 – unbearbeitet
 - Abbildung A.13: Zeitschnitt 1945 – Bild 2062 – bearbeitet
 - Abbildung A.14: Zeitschnitt 1945 – Rahmenkoordinaten
 - A.1.3 Zeitschnitt 1959
 - Abbildung A.15: Zeitschnitt 1959 – Bild 982 – unbearbeitet
 - Abbildung A.16: Zeitschnitt 1959 – Bild 982 – bearbeitet
 - Abbildung A.17: Zeitschnitt 1959 – Bild 983 – unbearbeitet
 - Abbildung A.18: Zeitschnitt 1959 – Bild 983 – bearbeitet
 - Abbildung A.19: Zeitschnitt 1959 – Bild 984 – unbearbeitet
 - Abbildung A.20: Zeitschnitt 1959 – Bild 984 – bearbeitet
 - Abbildung A.21: Zeitschnitt 1959 – Rahmenkoordinaten
 - A.1.4 Zeitschnitt 1969
 - Abbildung A.22: Zeitschnitt 1969 – Bild 362 – unbearbeitet
 - Abbildung A.23: Zeitschnitt 1969 – Bild 362 – bearbeitet
 - Abbildung A.24: Zeitschnitt 1969 – Bild 363 – unbearbeitet
 - Abbildung A.25: Zeitschnitt 1969 – Bild 363 – bearbeitet

- Abbildung A.26: Zeitschnitt 1969 – Ermitteln der Rahmenkoordinaten
- Abbildung A.27: Zeitschnitt 1969 – Rahmenkoordinaten
- A.1.5 Zeitschnitt 2003
 - Abbildung A.28: Zeitschnitt 2003 – Bild 2254 – unbearbeitet
 - Abbildung A.29: Zeitschnitt 2003 – Bild 2254 – bearbeitet
 - Abbildung A.30: Zeitschnitt 2003 – Bild 2255 – unbearbeitet
 - Abbildung A.31: Zeitschnitt 2003 – Bild 2255 – bearbeitet
 - Abbildung A.32: Zeitschnitt 2003 – Kalibrierprotokoll
- A.2 Referenzdaten
 - Abbildung A.33: RDGK5 im Maßstab 1 : 20 000
 - Abbildung A.34: DGM5 im Maßstab 1 : 20 000
 - Abbildung A.35: Luftbildsichtbare Passpunkte

A.1 Luftbilder und ihre Rahmenkoordinaten

A.1.1 Zeitschnitt 1943



Abbildung A.1: Zeitschnitt 1943 – Bild 4049 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Topographischer Dienst der Niederlande



Abbildung A.2: Zeitschnitt 1943 – Bild 4049 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Topographischer Dienst der Niederlande



Abbildung A.3: Zeitschnitt 1943 – Bild 4050 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Topographischer Dienst der Niederlande



Abbildung A.4: Zeitschnitt 1943 – Bild 4050 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Topographischer Dienst der Niederlande



Abbildung A.5: Zeitschnitt 1943 – Bild 4051 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Topographischer Dienst der Niederlande



Abbildung A.6: Zeitschnitt 1943 – Bild 4051 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Topographischer Dienst der Niederlande

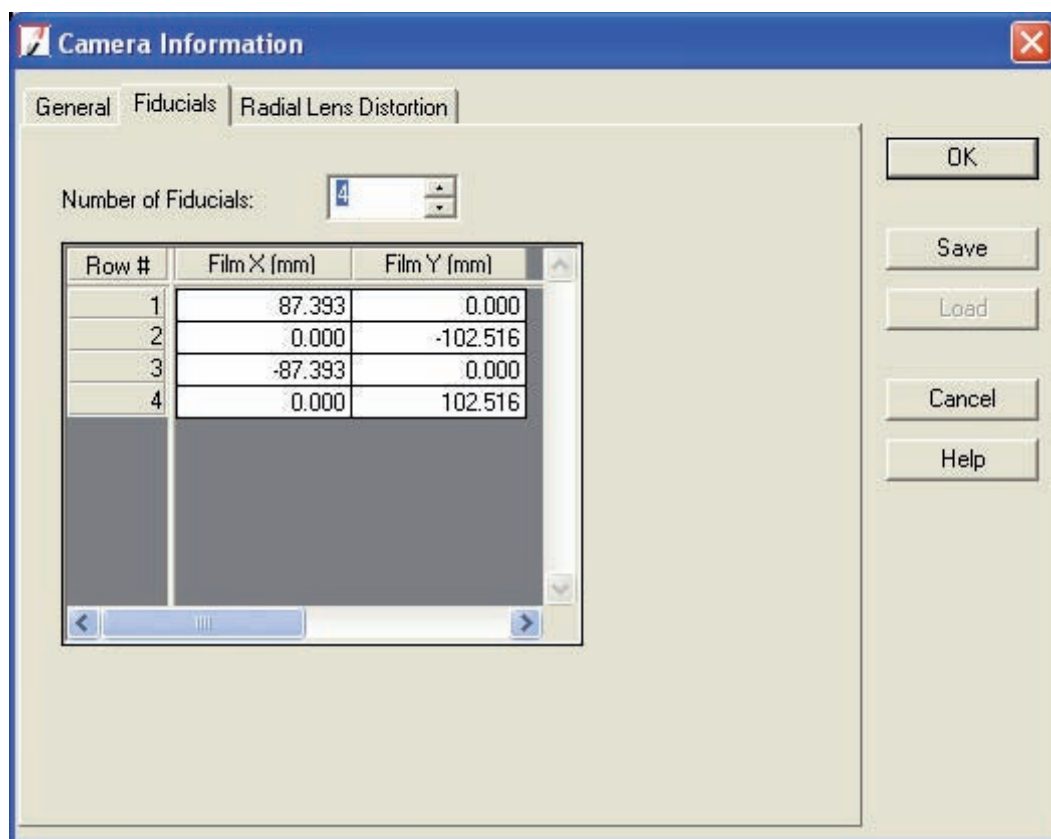


Abbildung A.7: Zeitschnitt 1943 – Rahmenkoordinaten

A.1.2 Zeitschnitt 1945



Abbildung A.8: Zeitschnitt 1945 – Bild 2060 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.9: Zeitschnitt 1945 – Bild 2060 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.10: Zeitschnitt 1945 – Bild 2061 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR

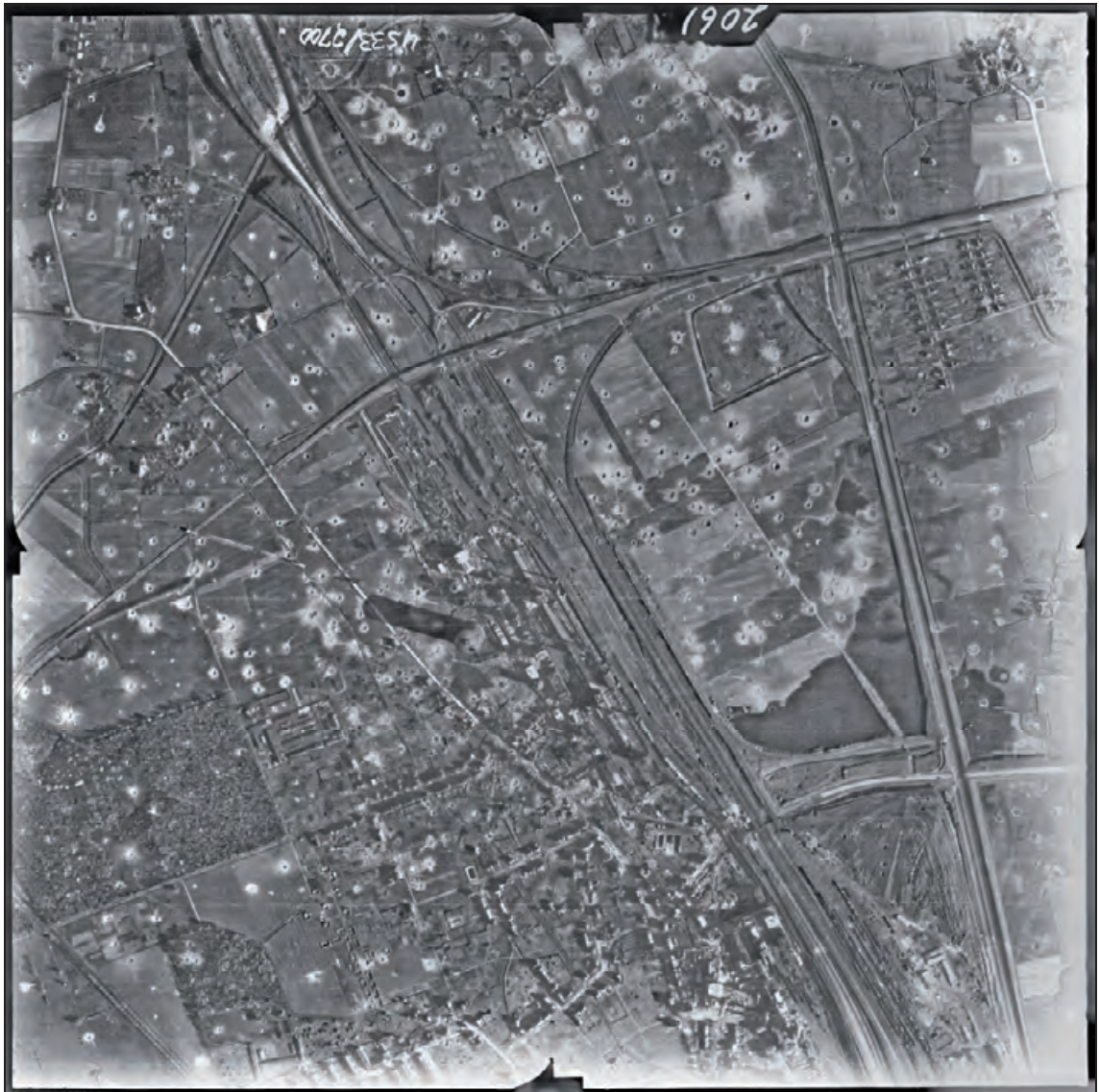


Abbildung A.11: Zeitschnitt 1945 – Bild 2061 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.12: Zeitschnitt 1945 – Bild 2062 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.13: Zeitschnitt 1945 – Bild 2062 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR

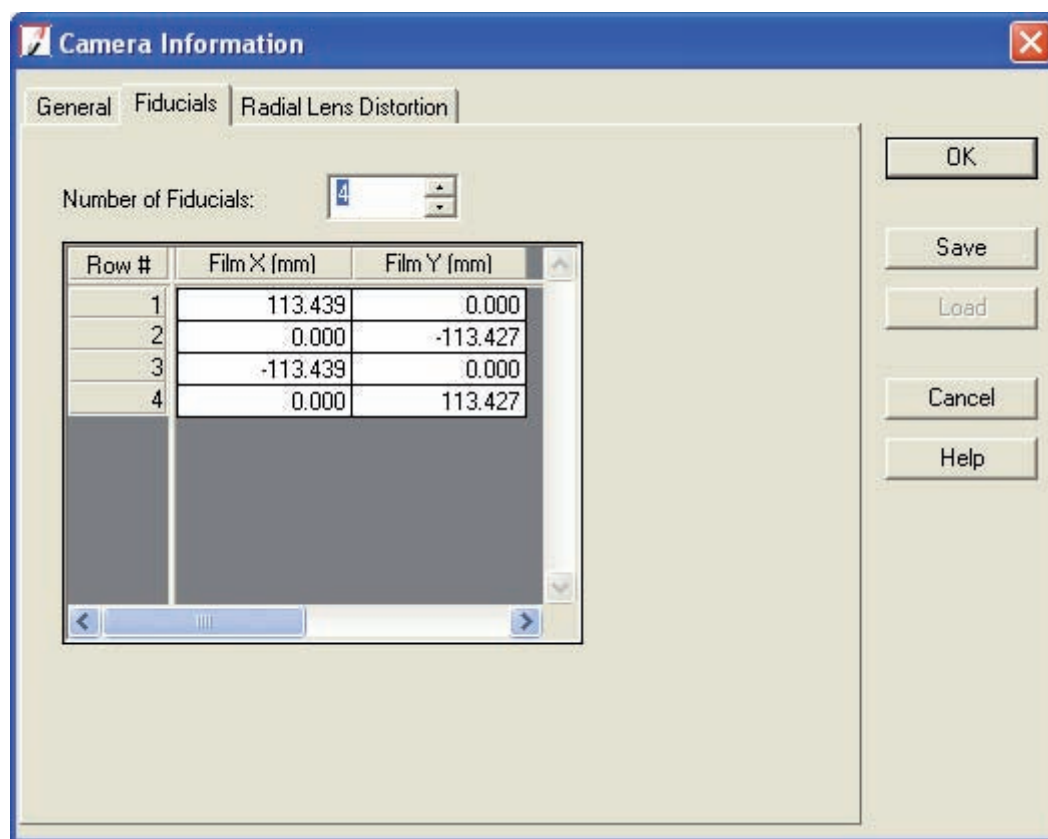


Abbildung A.14: Zeitschnitt 1945 – Rahmenkoordinaten

A.1.3 Zeitschnitt 1959



Abbildung A.15: Zeitschnitt 1959 – Bild 982 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR

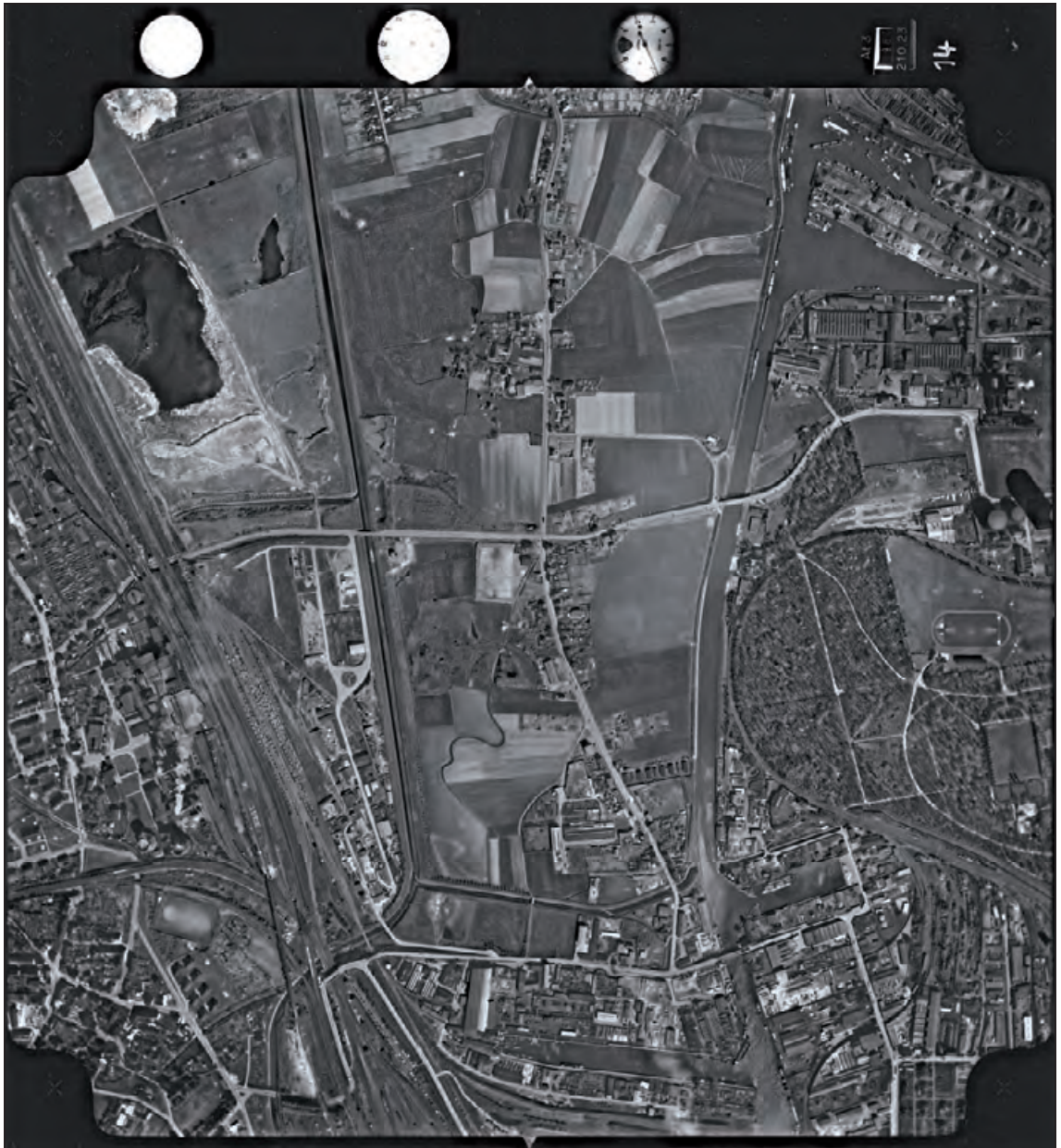


Abbildung A.16: Zeitschnitt 1959 – Bild 982 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.17: Zeitschnitt 1959 – Bild 983 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.18: Zeitschnitt 1959 – Bild 983 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.19: Zeitschnitt 1959 – Bild 984 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.20: Zeitschnitt 1959 – Bild 984 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR

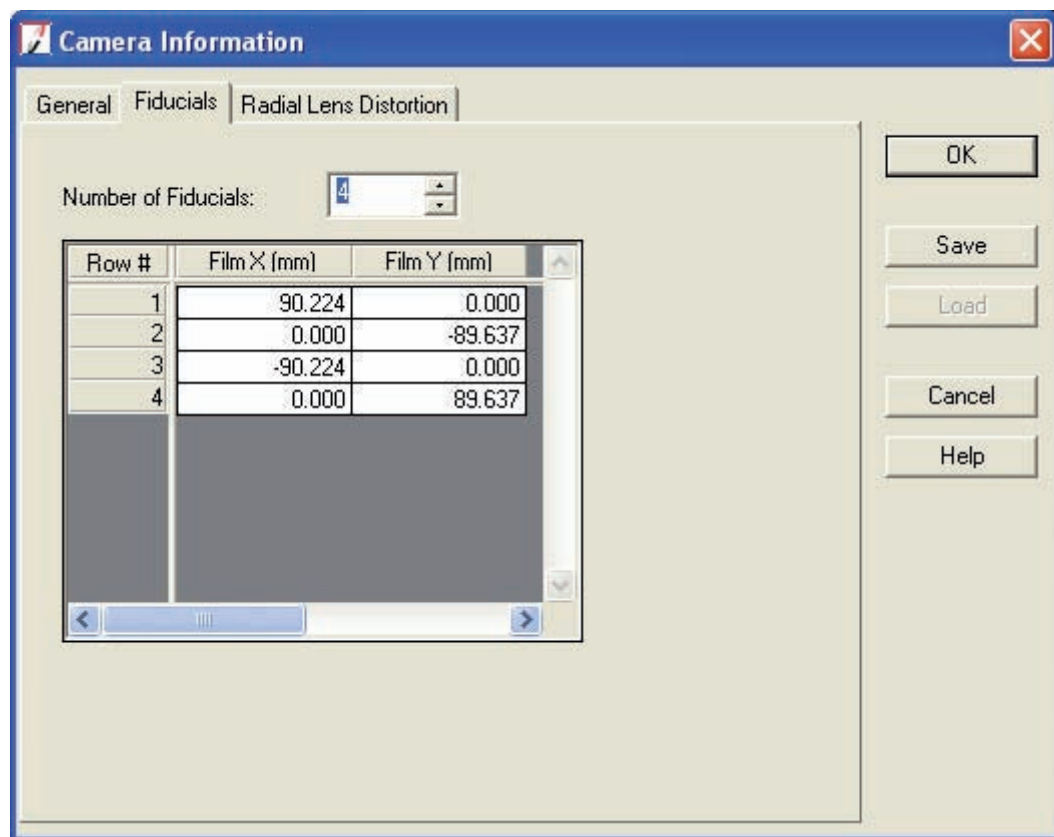


Abbildung A.21: Zeitschnitt 1959 – Rahmenkoordinaten

A.1.4 Zeitschnitt 1969

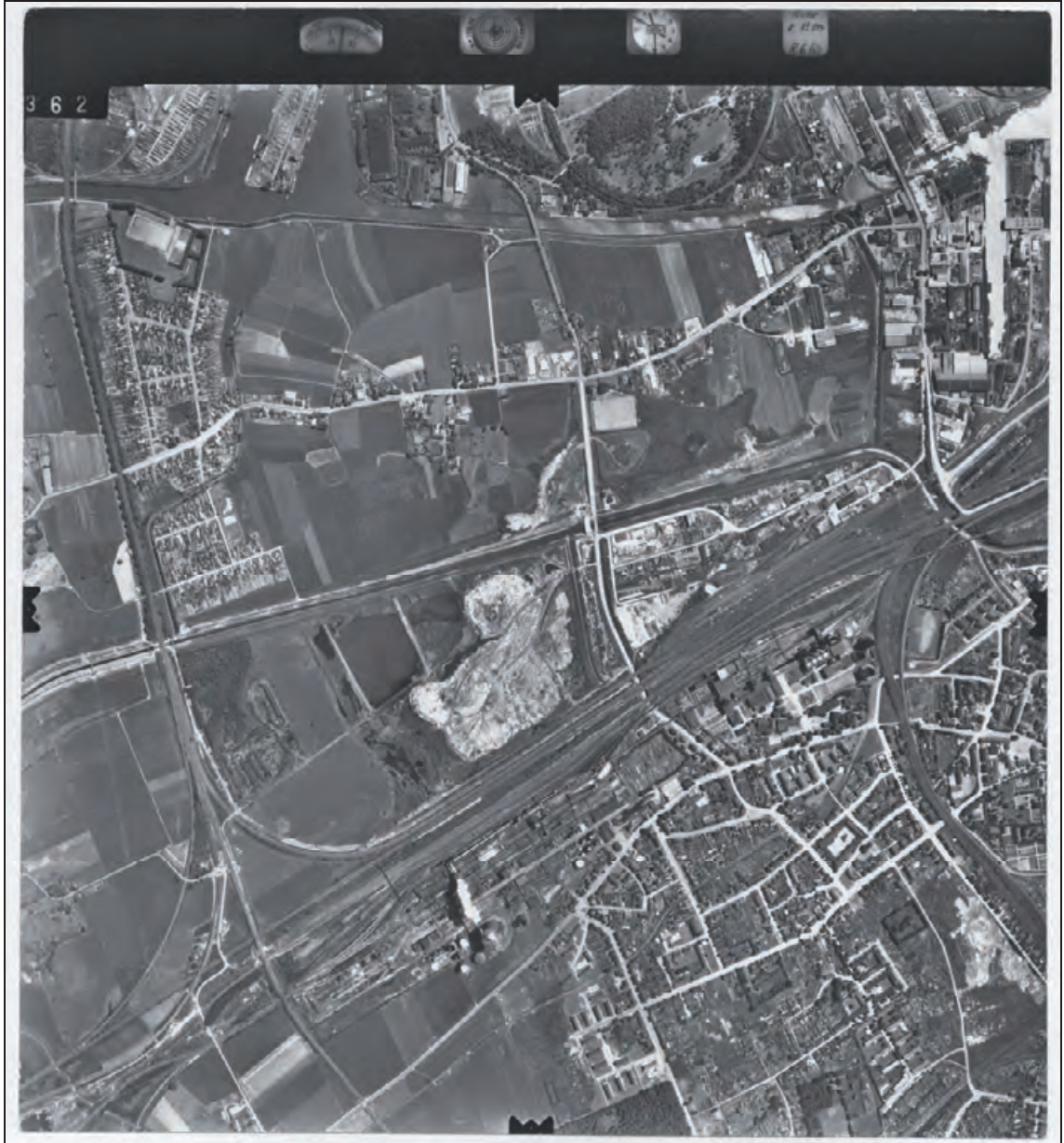


Abbildung A.22: Zeitschnitt 1969 – Bild 362 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Hansa Luftbild



Abbildung A.23: Zeitschnitt 1969 – Bild 362 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Hansa Luftbild



Abbildung A.24: Zeitschnitt 1969 – Bild 363 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Hansa Luftbild



Abbildung A.25: Zeitschnitt 1969 – Bild 363 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: Hansa Luftbild

Ermitteln von Kamerakoordinaten													
Arbeitsgebiet:		Dortmund-Huckarde											
Datum:		08.06.1969											
Flug:		Ruhr 1 : 12 000											
Bilder:		962, 963											
Scanauflösung in mm:		0,0211667 (=25,4mm/1200dpi)											
Messungen in Photoshop													
Messungen in ERDAS													
Rahmenmarke	Messung in Pixeln 0/0 Mitte Rahmenmarken	Umrechnung in mm			Messung in Pixeln 0/0 oben links			Pixelwerte normiert auf Mitte Rahmenmarken			Umrechnung in mm bezogen auf Mitte Rahmenmarken		
Bild 962		x	y		x	y		x	y		x	y	
1	5408,00	0,00		114,469	0,000		10506,940535	-5374,496478	5408,015818	0,242399	114,469668	0,005131	
2	-5391,00	-0,50		-114,110	-0,011		107487365	-5374,981277	-5391,437353	-0,242399	-114,118757	-0,005131	
3	0,50	5280,00		0,011	111,760		5499,025620	-94,202885	0,100903	5280,535993	0,002136	111,771345	
4	0,00	-5299,00		0,000	-112,162		5498,823815	-10673,505555	-0,100903	-5298,766678	-0,002136	-112,157228	
Mittelpunktkoordinaten													
							5498,924718	-5374,738878					
Bild 963		x	y		x	y		x	y		x	y	
1	5331,00	-4,00		112,840	-0,085		10506,011436	-5432,108600	5331,743593	-3,796191	112,855239	-0,080353	
2	-5327,00	4,00		-112,755	0,085		147505749	-5424,516217	-5326,762095	3,796191	-112,749798	0,080353	
3	0,00	5330,00		0,000	112,818		5474,527433	-98,049170	0,259590	5330,263239	0,005495	112,823905	
4	-0,50	-5341,00		-0,011	-113,051		5474,008254	-10769,512332	-0,259589	-5341,199924	-0,005495	-113,055398	
Mittelpunktkoordinaten													
							5474,267844	-5428,312409					
Mittelwerte		x	y		x	y		x	y		x	y	
1	5389,50	-2,00		113,654	-0,042		5369,879705	-1,776896	5369,879705	-1,776896	113,662454	-0,037611	
2	-5359,00	1,75		-113,432	0,037		-5359,099724	1,776896	-5359,099724	1,776896	-113,434277	0,037611	
3	0,25	5305,00		0,005	112,289			0,180246	0,180246	5305,399616	0,003815	112,297625	
4	-0,25	-5320,00		-0,005	-112,607			-0,180246	-0,180246	-5319,983301	-0,003815	-112,606313	
Radius													
												113,000167	

Abbildung A.26: Zeitschnitt 1969 – Ermitteln der Rahmenkoordinaten

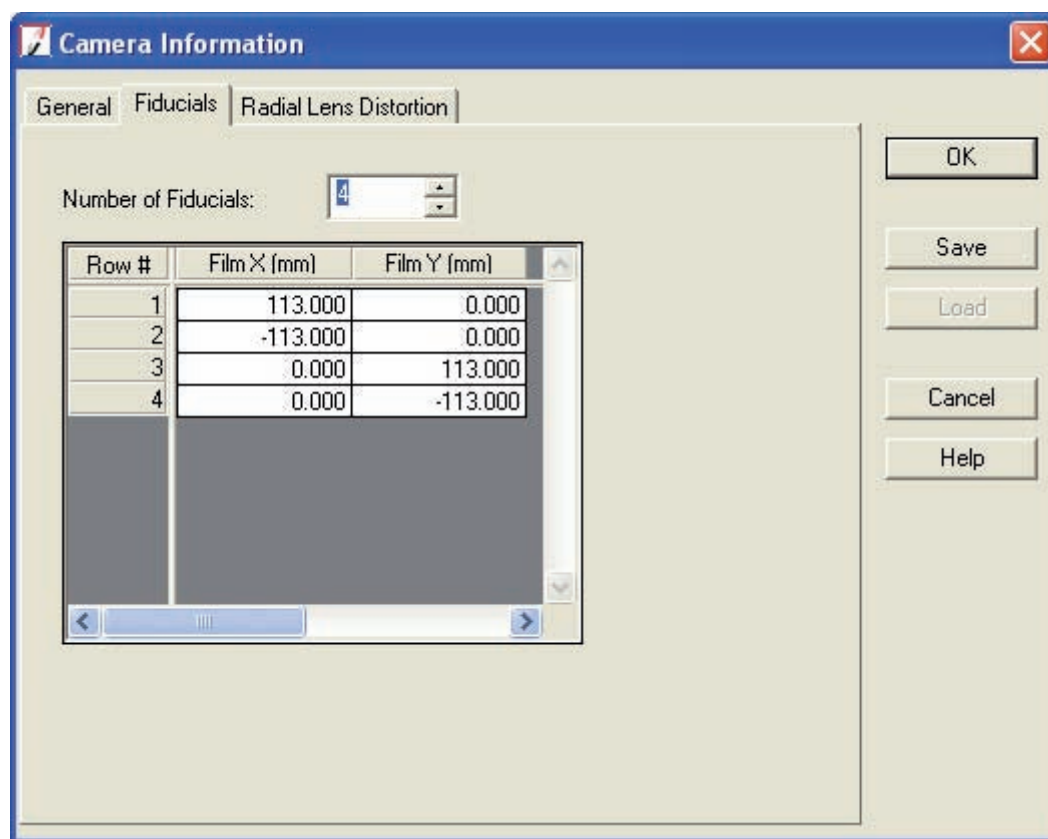


Abbildung A.27: Zeitschnitt 1969 – Rahmenkoordinaten





Abbildung A.29: Zeitschnitt 2003 – Bild 2254 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.30: Zeitschnitt 2003 – Bild 2255 – unbearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR



Abbildung A.31: Zeitschnitt 2003 – Bild 2255 – bearbeitet
(Skaliert auf Satzspiegelbreite)
Quelle: RVR

Abbildung A.32: Zeitschnitt 2003 – Kalibrierprotokoll
(5 folgende Seiten)
Quelle: Eurosense GmbH


CAMERA CALIBRATION CERTIFICATE

CAMERA TYPE : RC20
LENS TYPE : 30/4 NATA-F
LENS NO. : 17012

Calibration date: 13.02.2002

SwissOptic AG, Heerbrugg

 **swissoptic**
SwissOptic AG
Heinrich-Wild-Strasse
CH-9435 Heerbrugg
Schweiz

FO 017 

RC20

30/4 NATA-F

No. 17012

13.02.2002

Aperture: 4.0
 Filter on goniometer: VIS (400-700 NM)
 Filter on camera: --
 Principal distance for focussing distance 850 m : 302.04 mm

Radial distortion (micrometers) referred to principal point of symmetry (PPS)
 (Positive values denote image displacement away from center)

Radius mm	Half - Sides				Mean
	1	3	2	4	
10	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6
20	-1.6	-1.5	-1.2	-1.2	-1.3
30	-2.3	-2.2	-1.4	-2.1	-2.0
40	-3.0	-2.2	-2.2	-2.5	-2.4
50	-3.3	-2.9	-2.7	-3.0	-2.9
60	-3.7	-2.9	-2.0	-3.1	-2.9
70	-3.2	-3.2	-2.5	-3.4	-3.0
80	-3.6	-2.5	-2.7	-2.8	-2.9
90	-2.3	-2.0	-1.9	-2.2	-2.1
100	-1.4	-1.4	-0.5	-1.2	-1.1
110	0.1	-0.3	1.1	0.7	0.4
120	1.8	1.2	1.9	2.0	1.7
130	2.9	2.7	3.5	4.3	3.3
140	2.6	2.8	3.3	3.8	3.1
148	1.6	1.4	2.1	2.3	1.8

Photographic resolution (line pairs per millimeter)

International 3-line test-chart, contrast (log) : 2.0

Aperture: 4.0
 Filter: 450 NM
 Film: KODAK PANATOMIC X 2412
 Developer: KODAK HC110

Angle (deg)	0	5	10	15	20	25
Radial:	47	74	65	57	49	53
Tangential:	37	37	40	39	52	61

AWAR (Area weighted average resolution) in lp/mm: 50

FOOT
Hee

RC20

30/4 NATA-F

No. 17012

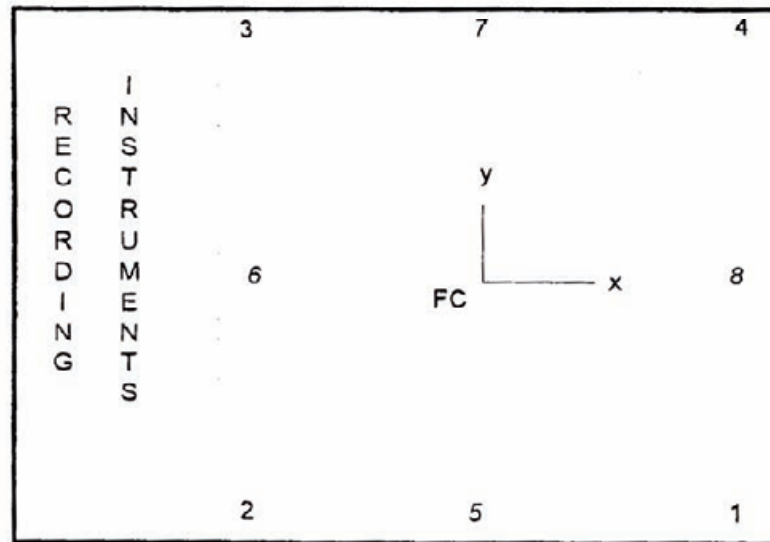
13.02.2002

Principal point of autocollimation (PPA) and
principal point of symmetry (PPS)
referred to central cross (FC), see diagram

	x (mm)	y (mm)
PPA	0.013	0.034
PPS	0.012	0.027

Fiducial marks, referred to central cross (FC)

	x (mm)	y (mm)		x (mm)	y (mm)
1	106.006	-106.004	5	0.001	-110.006
2	-106.001	-106.004	6	-110.001	-0.002
3	-106.001	105.999	7	0.008	110.002
4	105.996	105.999	8	110.011	-0.005



as seen on focal plane frame

FO 012 *Hu*

RC20

30/4 NATA-F

No. 17012

13.02.2002

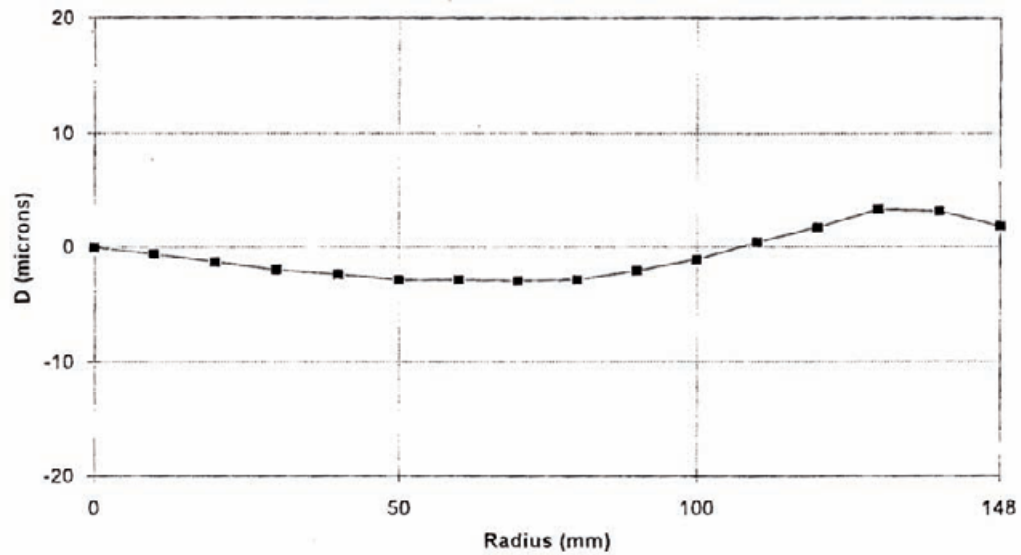
Aperture: 4.0

Filter on goniometer: VIS (400-700 NM)

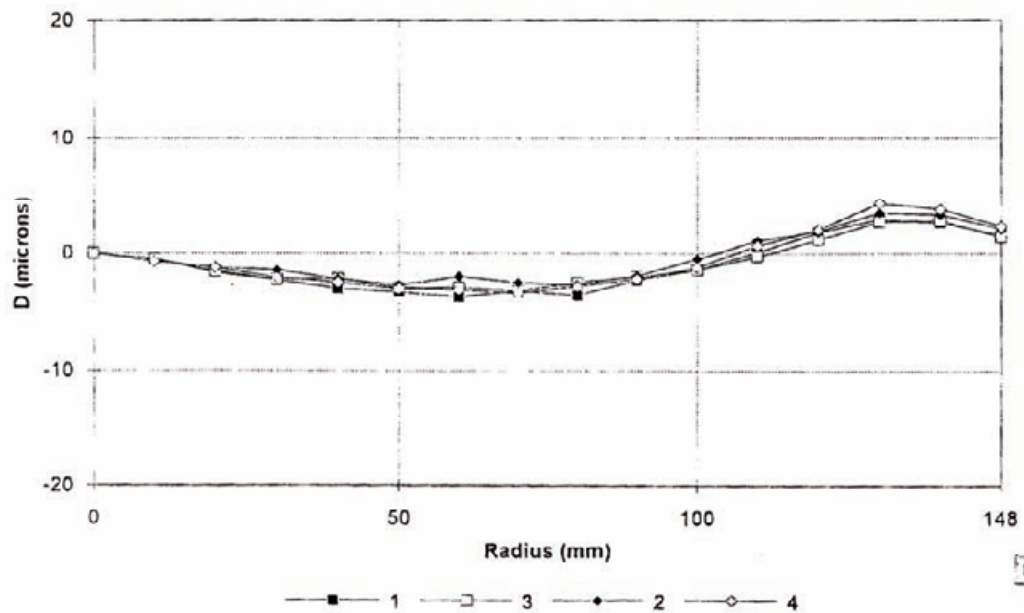
Filter on camera: --

Principal distance for focussing distance 850 m : 302.04 mm

Mean radial distortion



Radial distortion for semi-diagonals referred to PPS



Handwritten signature



Camera Calibration Certificate

(Cover sheet)

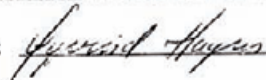
Object

Camera Type	Lens Type	Lens-No (Serial-No)	Remarks
RC 10	<input type="checkbox"/>		
RC 10A	<input type="checkbox"/>		
RC 20 / RC 30 (RC 20)	<input checked="" type="checkbox"/> 30/4 NATA-F	17012	
RC 30	<input type="checkbox"/>		

Acceptance

Characteristics	Acceptance	Remarks
Radial distortion	yes	
Photographic resolution	yes	
Principal point of autocollimation [PPA]	yes	
Principal point of symmetry [PPS]	yes	
Fiducial marks	yes	
Mean radial distortion	yes	
Radial distortion for semi-diagonals referred to PPS	yes	

Inspection

Signature / Remarks		
Calibration Date	13.02.2002	Signature: 
Inspector	Name: Oeyvind Hagen Position: Supervisor	
Inspection stamp-No:	FO 017	
Inspection plan	563450 14.04.1989	(Identification-No) (Version)
Lens cone calibration process specification	870105 19.01.2000	(Identification-No) (Version)

Maintenance

Remarks	
The last date, when service/ overhaul of this lens cone was performed.	
Recommendation:	To avoid any malfunctions / damages, it is recommended to perform a complete service / overhaul as soon as possible. See „Lens calibration process specification“ or „Technical Reference Manual“

A.2 Referenzdaten

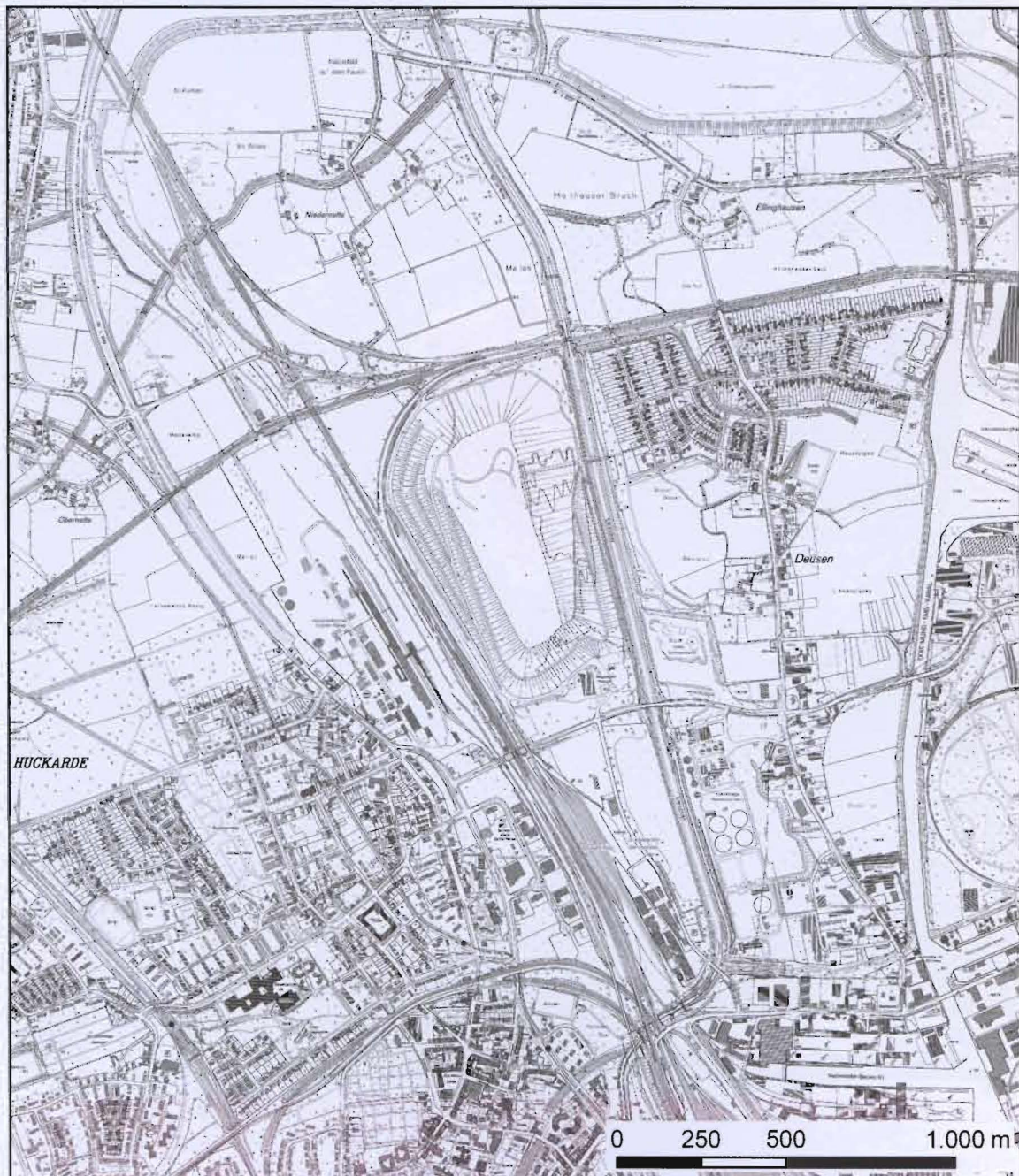


Abbildung A.33: RDGK5 im Maßstab 1 : 20 000
Quelle: LVermA NRW

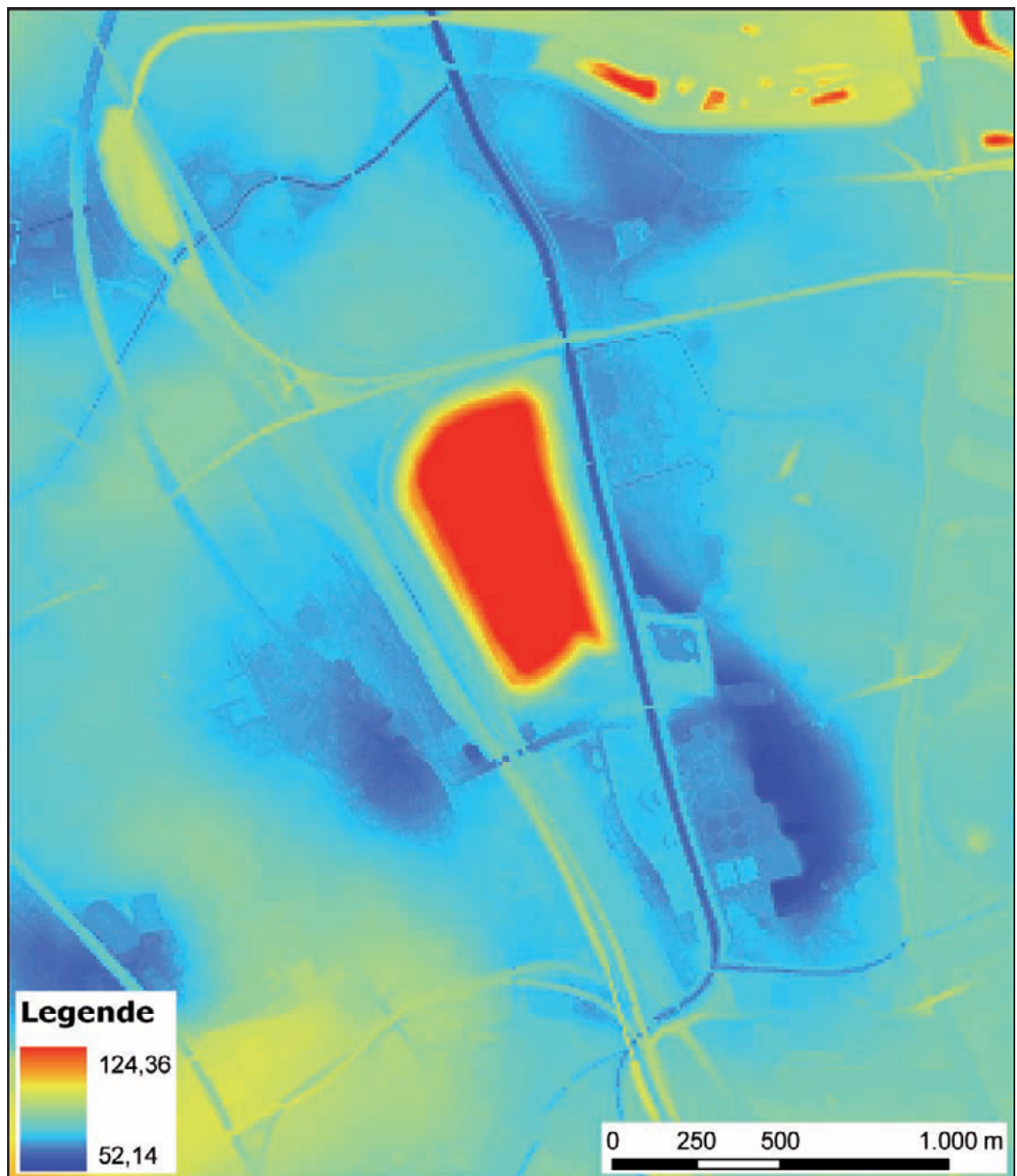
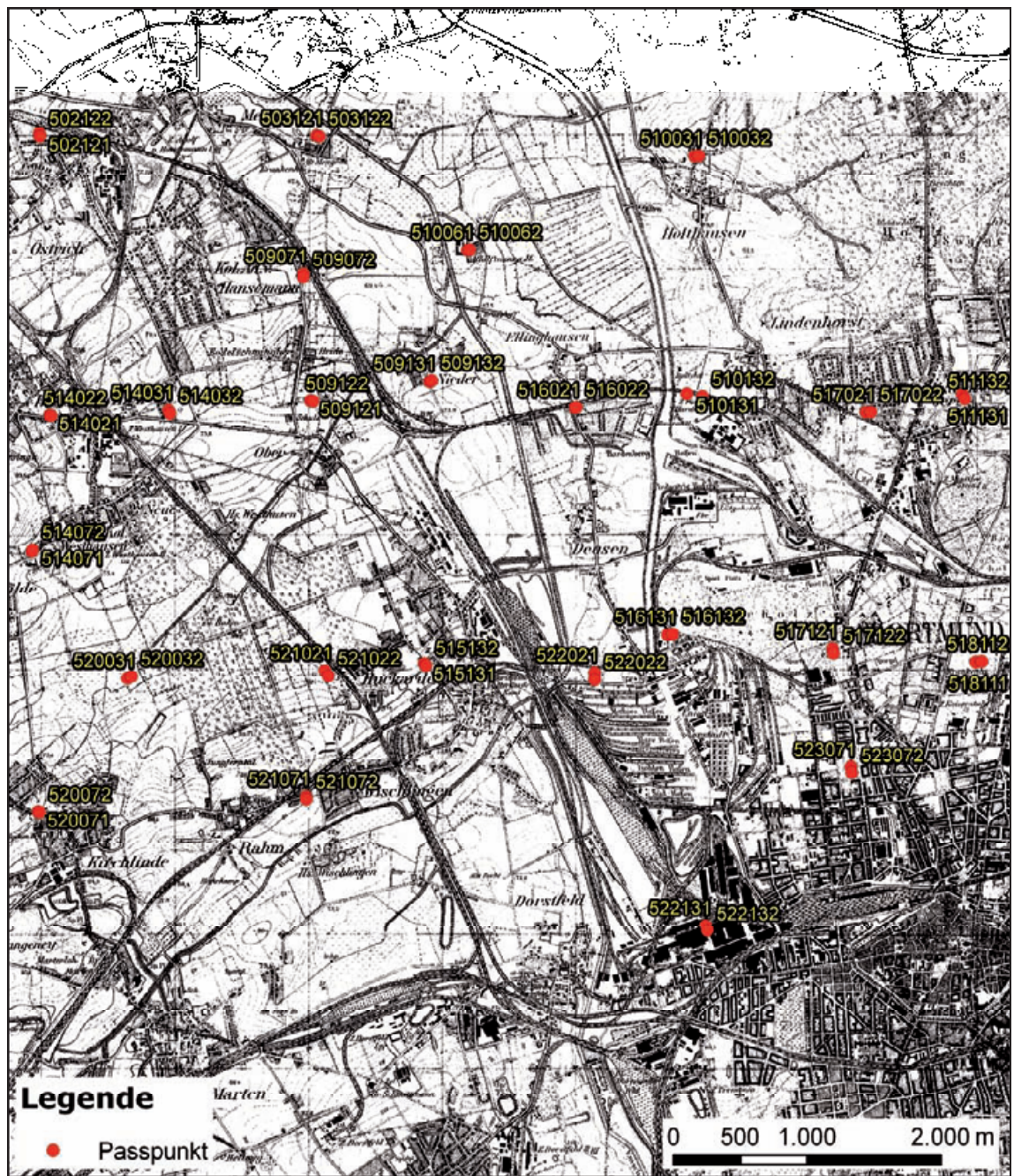


Abbildung A.34: DGM5 im Maßstab 1 : 20 000
Quelle: LVermA NRW



a)

Abbildung A.35: Luftbildsichtbare Passpunkte

- a) Lageplan (vor historischer TK 25 im Maßstab 1 : 50 000)
 - b) Punktnummerschlüssel
 - c) Beispiel einer Lageskizze zweier Punkte (in c) gelb markiert)
 - d) Tabelle mit Koordinaten und Punktkennungen
- Quelle: LVerMA NRW

ID	X	Y	Z
502121	2594991	5716017	74
502122	2594993	5715993	74
503121	2597064	5715999	78
503122	2597085	5715994	77
509071	2596965	5714968	85
509072	2596963	5714942	85
509121	2597018	5714014	73
509122	2597038	5714011	73
509131	2597911	5714157	80
509132	2597925	5714162	80
510031	2599892	5715848	91
510032	2599922	5715850	91
510061	2598194	5715145	80
510062	2598208	5715146	79
510131	2599833	5714066	87
510132	2599951	5714041	87
511131	2601894	5714061	101
511132	2601912	5714027	101
514021	2595067	5713904	96
514022	2595078	5713903	95
514031	2595956	5713942	78
514032	2595966	5713919	78
514071	2594935	5712881	94
514072	2594940	5712891	94
515131	2597870	5712045	86
515132	2597883	5712026	86
516021	2598996	5713961	77
516022	2599007	5713965	77
516131	2599689	5712258	82
516132	2599729	5712261	83
517021	2601174	5713928	99
517022	2601210	5713929	99
517121	2600925	5712153	77
517122	2600931	5712117	77
518111	2601995	5712054	87
518112	2602039	5712058	87
520031	2595650	5711931	86
520032	2595679	5711947	86
520071	2594980	5710929	93
520072	2594991	5710927	93
521021	2597127	5711989	73
521022	2597152	5711951	73
521071	2596984	5711040	90
521072	2596988	5711022	90
522021	2599145	5711974	74
522022	2599143	5711922	74
522131	2599973	5710080	116
522132	2599987	5710037	116
523071	2601062	5711264	88
523072	2601068	5711218	89
525031	2593972	5710006	111
525032	2593983	5710008	111

b)



c)

1. Stelle:	1=terrestrisch bestimmter Lagepunkt 2=terrestrisch bestimmter Höhenpunkt 3=terrestrisch bestimmter Vollpunkt 6=photogrammetrisch bestimmter Punkt (ungeprüft) 9=photogrammetrisch bestimmter Vollpunkt
2.Stelle:	Kennziffer der TK 25 (interne Nr.)
3.u.4. Stelle:	Nummer der DGK 5
5.u.6. Stelle:	Nummer des Punktes innerhalb der DGK5
7.Stelle:	Nummer des Beipunktes
8.Stelle:	3=topographischer Bodenpunkt 6=topographischer Hochpunkt (z.B. Giebel eines Gebäudes)

d)

Anhang B – Triangulation

Übersicht

- B.1 Triangulation der Luftbilder von 1943
 - B.1.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters
Abbildung B.1: Triangulationszusammenfassung 1.1
Abbildung B.2: Residuenübersicht 1.1
 - B.1.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)
Abbildung B.3: Triangulationszusammenfassung 1.2
Abbildung B.4: Residuenübersicht 1.2
 - B.1.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)
Abbildung B.5: Triangulationszusammenfassung 1.3
Abbildung B.6: Residuenübersicht 1.3
 - B.1.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)
Abbildung B.7: Triangulationszusammenfassung 1.4
Abbildung B.8: Residuenübersicht 1.4
 - B.1.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)
Abbildung B.9: Triangulationszusammenfassung 1.5
Abbildung B.10: Residuenübersicht 1.5
Bericht B.1: Triangulationsbericht zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)* (gekürzt)
- B.2 Triangulation der Luftbilder von 1945
 - B.2.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters
Abbildung B.11: Triangulationszusammenfassung 2.1
Abbildung B.12: Residuenübersicht 2.1
 - B.2.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)
Abbildung B.13: Triangulationszusammenfassung 2.2
Abbildung B.14: Residuenübersicht 2.2
 - B.2.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)
Abbildung B.15: Triangulationszusammenfassung 2.3
Abbildung B.16: Residuenübersicht 2.3
 - B.2.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)
Abbildung B.17: Triangulationszusammenfassung 2.4

- Abbildung B.18: Residuenübersicht 2.4
- B.2.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)
Abbildung B.19: Triangulationszusammenfassung 2.5
Abbildung B.20: Residuenübersicht 2.5
Bericht B.2: Triangulationsbericht zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)* (gekürzt)
- B.3 Triangulation der Luftbilder von 1959
- B.3.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters
Abbildung B.21: Triangulationszusammenfassung 3.1
Abbildung B.22: Residuenübersicht 3.1
- B.3.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)
Abbildung B.23: Triangulationszusammenfassung 3.2
Abbildung B.24: Residuenübersicht 3.2
- B.3.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)
Abbildung B.25: Triangulationszusammenfassung 3.3
Abbildung B.26: Residuenübersicht 3.3
- B.3.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)
Abbildung B.27: Triangulationszusammenfassung 3.4
Abbildung B.28: Residuenübersicht 3.4
- B.3.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)
Abbildung B.29: Triangulationszusammenfassung 3.5
Abbildung B.30: Residuenübersicht 3.5
Bericht B.3: Triangulationsbericht zur Triangulation mit *Bauer's simple model (2)* (gekürzt)
- B.4 Triangulation der Luftbilder von 1969
- B.4.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters
Abbildung B.31: Triangulationszusammenfassung 4.1
Abbildung B.32: Residuenübersicht 4.1
- B.4.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)
Abbildung B.33: Triangulationszusammenfassung 4.2
Abbildung B.34: Residuenübersicht 4.2
- B.4.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)
Abbildung B.35: Triangulationszusammenfassung 4.3

- Abbildung B.36: Residuenübersicht 4.3
- B.4.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)
Abbildung B.37: Triangulationszusammenfassung 4.4
Abbildung B.38: Residuenübersicht 4.4
- B.4.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)
Abbildung B.39: Triangulationszusammenfassung 4.5
Abbildung B.40: Residuenübersicht 4.5
Bericht B.4: Triangulationsbericht zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)* (gekürzt)
- B.5 Triangulation der Luftbilder von 2003
- B.5.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters
Abbildung B.41: Triangulationszusammenfassung 5.1
Abbildung B.42: Residuenübersicht 5.1
- B.5.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)
Abbildung B.43: Triangulationszusammenfassung 5.2
Abbildung B.44: Residuenübersicht 5.2
- B.5.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)
Abbildung B.45: Triangulationszusammenfassung 5.3
Abbildung B.46: Residuenübersicht 5.3
- B.5.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)
Abbildung B.47: Triangulationszusammenfassung 5.4
Abbildung B.48: Residuenübersicht 5.4
- B.5.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)
Abbildung B.49: Triangulationszusammenfassung 5.5
Abbildung B.50: Residuenübersicht 5.5
Bericht B.5: Triangulationsbericht zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)* (gekürzt)

B.1 Triangulation der Luftbilder von 1943

GCP Type: *Same weighted values*

Standard Deviations: $X = 0,3$; $Y = 0,3$; $Z = 0,5$

B.1.1 Additional Parameter Modell: *No additional Parameters*

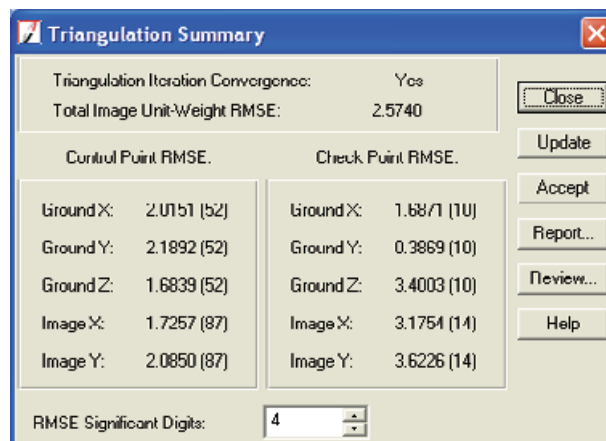


Abbildung B.1: Triangulationszusammenfassung 1.1

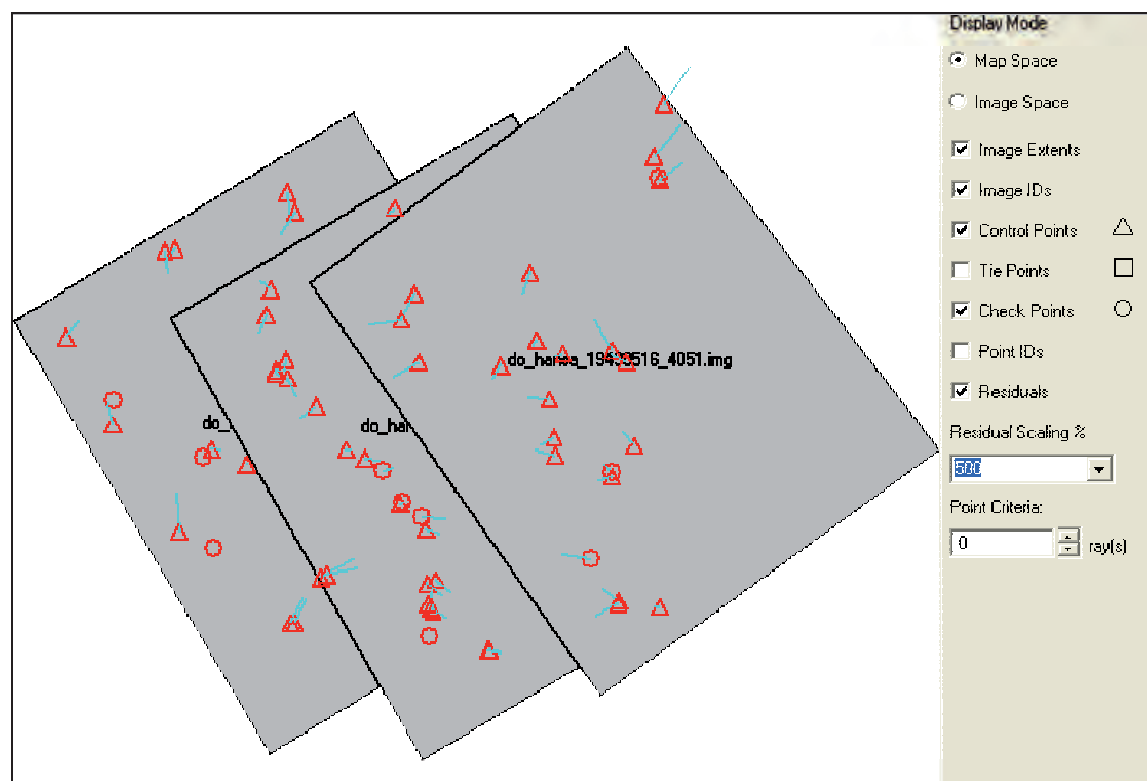


Abbildung B.2: Residuenübersicht 1.1

B.1.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)

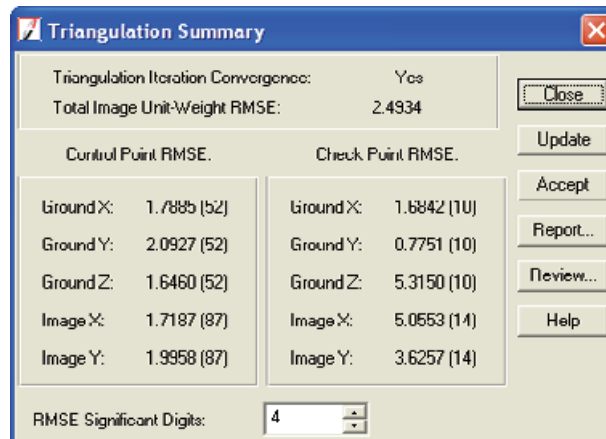


Abbildung B.3: Triangulationszusammenfassung 1.2

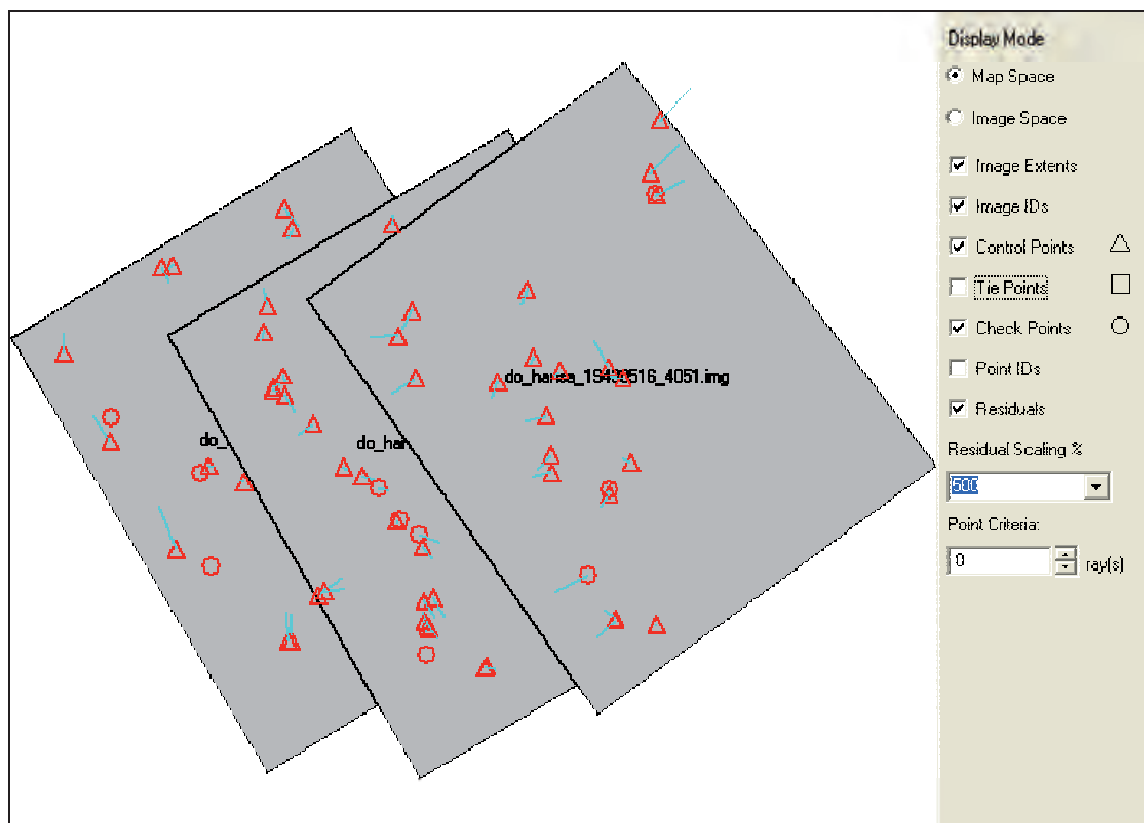


Abbildung B.4: Residuenübersicht 1.2

B.1.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)

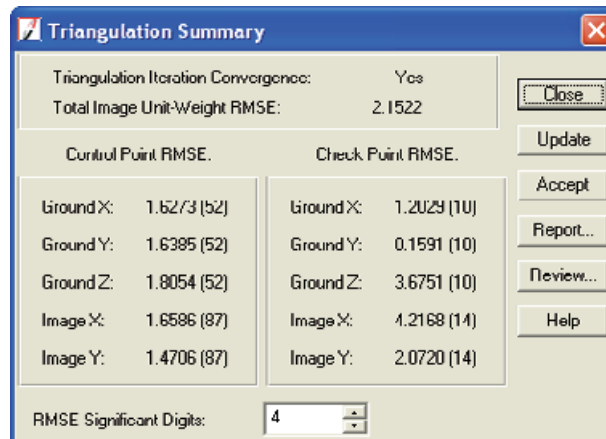


Abbildung B.5: Triangulationszusammenfassung 1.3

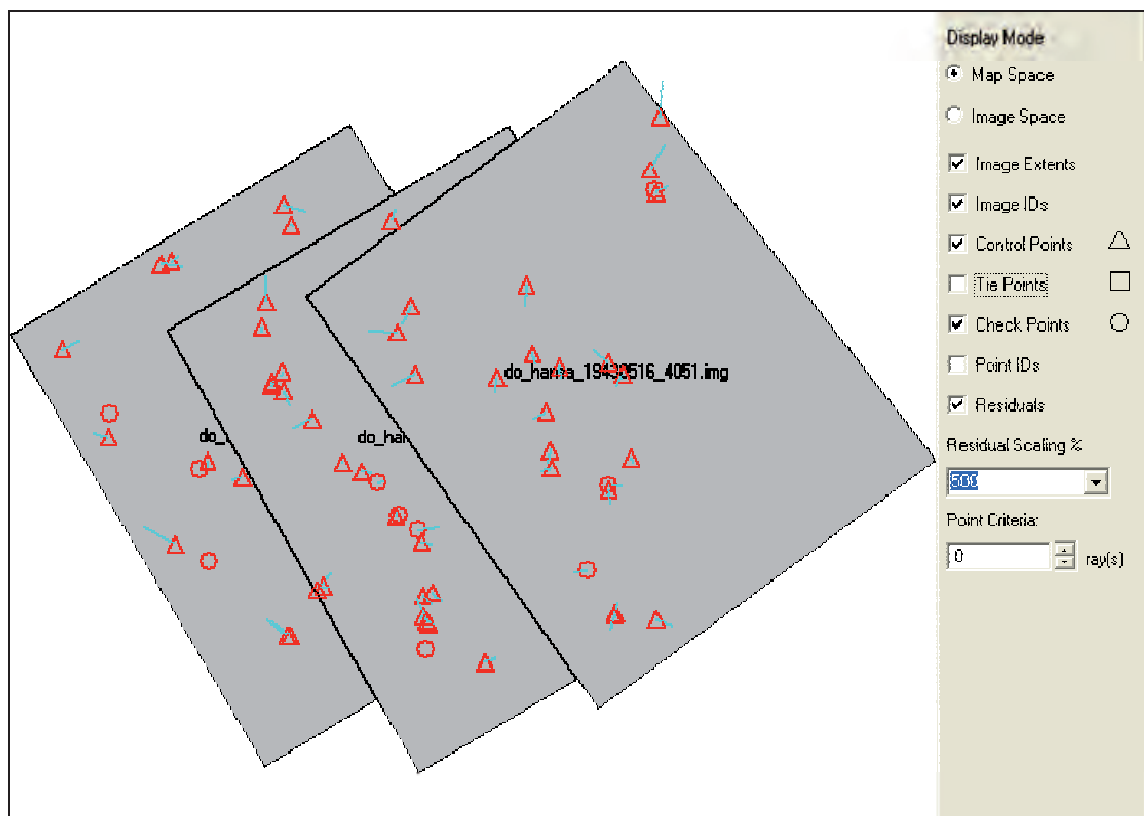


Abbildung B.6: Residuenübersicht 1.3

B.1.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)

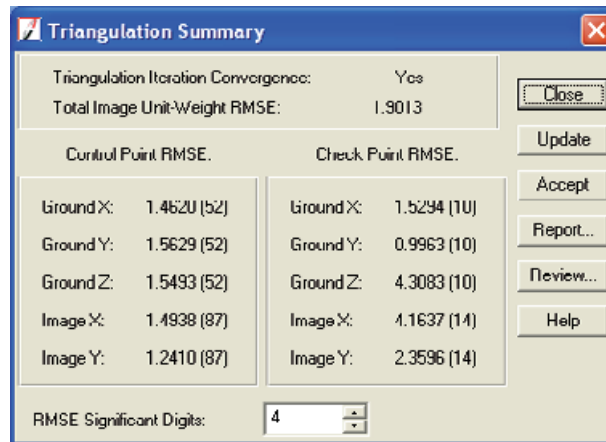


Abbildung B.7: Triangulationszusammenfassung 1.4

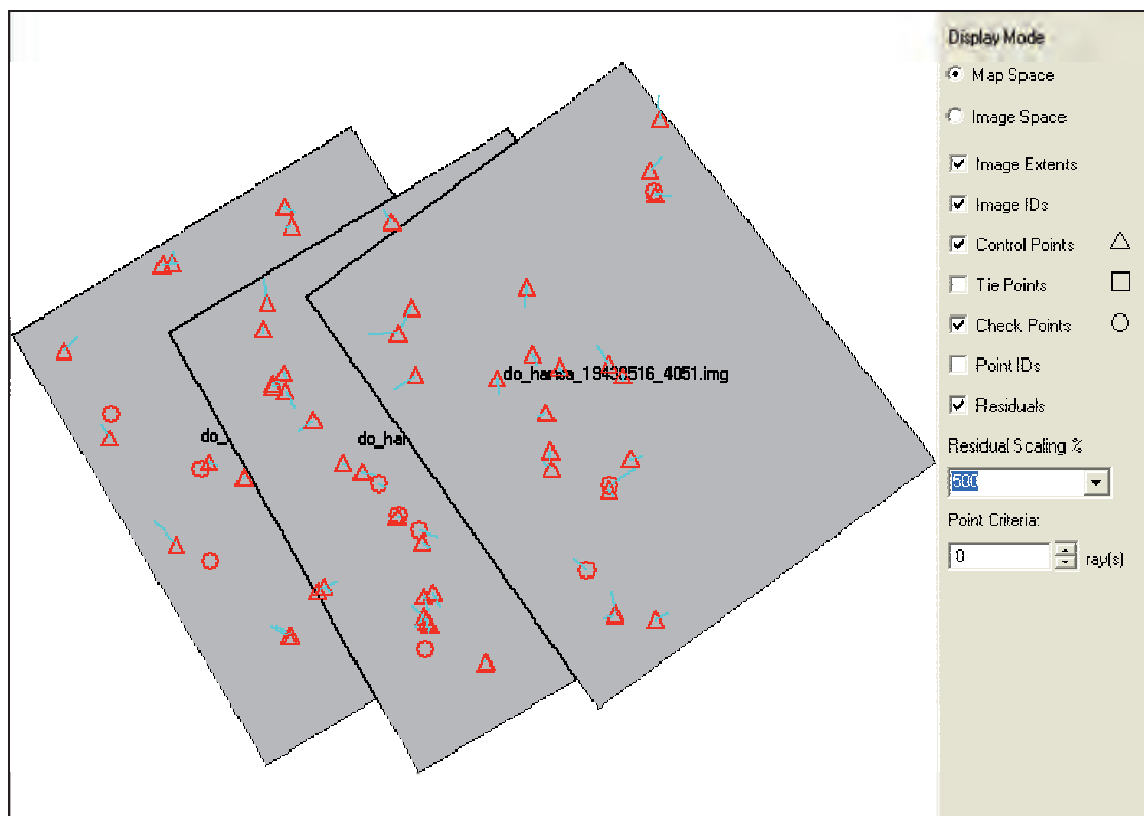


Abbildung B.8: Residuenübersicht 1.4

B.1.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)

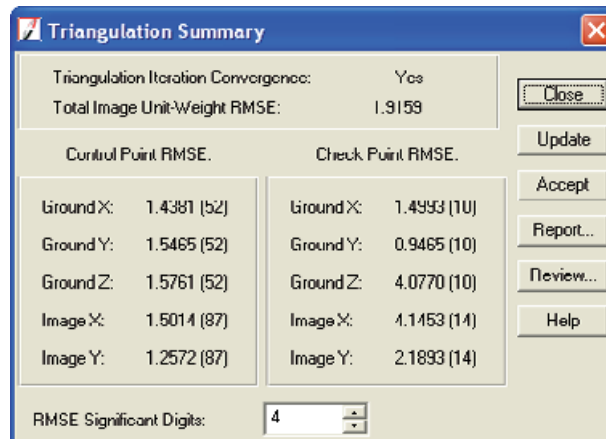


Abbildung B.9: Triangulationszusammenfassung 1.5

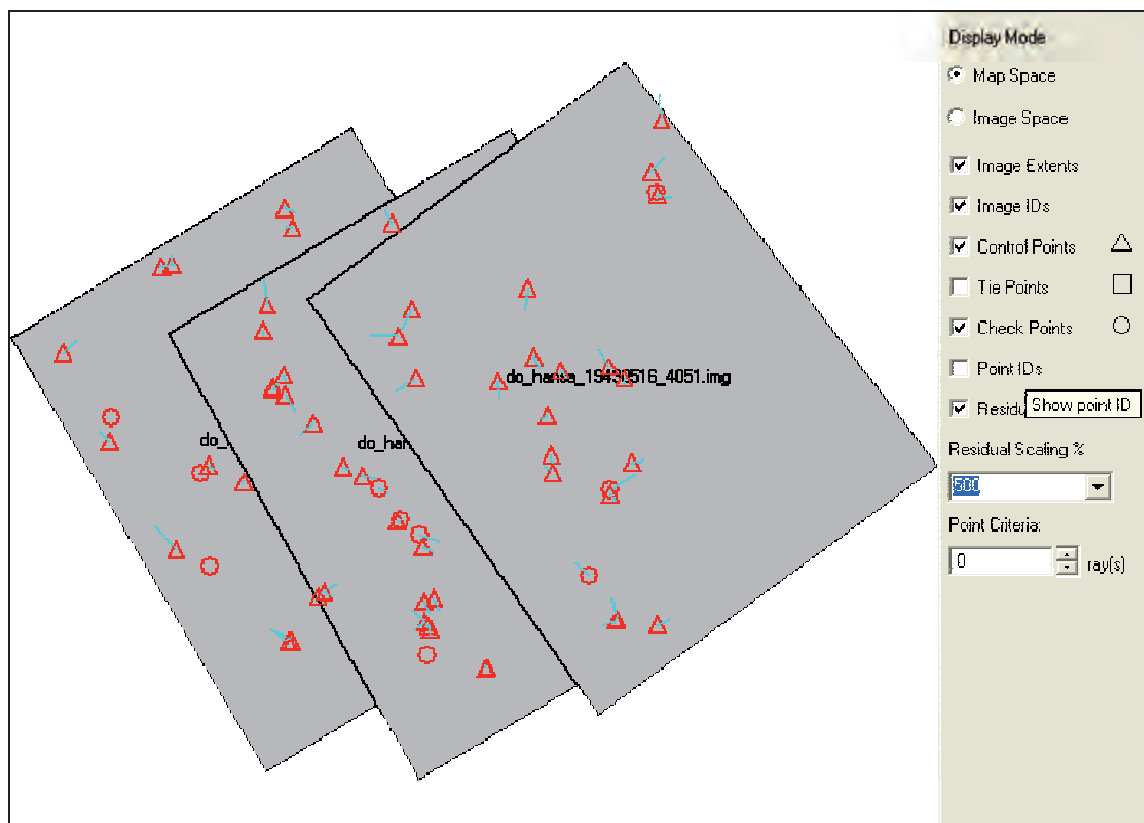


Abbildung B.10: Residuenübersicht 1.5

Bericht B.1: Triangulationsbericht 1 zur Triangulation mit Brown's physical model (14) (gekürzt)

The Triangulation Report With IPS

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 1.9220
the maximal correction of the object points = 59.28833

the no. of iteration =2 the standard error = 1.9158
the maximal correction of the object points = 4.98403

the no. of iteration =3 the standard error = 1.9159
the maximal correction of the object points = 0.14825

the no. of iteration =4 the standard error = 1.9159
the maximal correction of the object points = 0.01140

the no. of iteration =5 the standard error = 1.9159
the maximal correction of the object points = 0.00186

the no. of iteration =6 the standard error = 1.9159
the maximal correction of the object points = 0.00040

The exterior orientation parameters					
image ID	Xs	Ys	Zs	PHI	KAPPA
1	2596708.6454	5713874.6502	9083.5195	-3.3402	31.3118
2	2597711.3759	5714227.7284	9091.9702	-6.2520	30.5270
3	2598779.4619	5714685.0239	9100.5010	-5.9492	36.1429

The interior orientation parameters of photos			
image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	508.0000	0.0000	0.0000
2	508.0000	0.0000	0.0000
3	508.0000	0.0000	0.0000

The values and accuracy of the additional parameters			
No.	AI	mAI	MaxX MaxY
1	-2.7328E-003	-10.8732	-0.0132
2	1.1033E-003	5.3358	0.0065

3	5.3074E-006	2.1620	0.0026
4	1.1639E-005	5.7629	0.0070
5	-6.8972E-008	-2.3666	-0.0029
6	4.1191E-008	1.7179	0.0021
7	1.4836E-011	0.0521	0.0001
8	-1.6673E-005	0.0042	6.7913
9	-2.4779E-005	0.0051	8.3038
10	-6.7376E-008	0.0014	2.3117
11	1.2423E-007	-0.0032	-5.1810
12	1.3567E-011	-0.0000	-0.0477
13	-5.6142E-016	-0.0002	0.0002
14	7.2839E-009	0.5090	-0.6185
Total	3975.7344	4830.9544	11.5620

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
2	-1.2804	-1.3561	0.6619
3	-0.0661	-1.4576	-0.3251
4	1.8500	-0.2403	-0.3976
5	1.9213	-1.7462	-0.8415
7	1.0835	0.5997	-0.2301
8	-0.1423	0.3178	-0.0934
10	-2.8203	-2.9557	1.7672
11	2.5185	-1.6267	1.3946
12	1.2687	0.6680	2.6423
13	-2.0225	-1.2906	0.6141
14	-2.2323	-1.5074	0.7538
16	0.6070	-0.0749	0.2585
17	1.4040	0.7625	-0.9390
19	2.0914	0.4466	-0.2556
21	0.7711	0.2853	-0.8627
22	-1.7870	1.4323	-1.1844
23	1.0401	0.0100	-1.3504
24	1.1120	-0.3987	-0.7822
26	1.5706	2.2324	-2.5032
27	-0.4439	-3.3283	-1.5901
28	-0.0300	0.8407	-0.8566
29	0.3795	0.7628	-1.1108
30	1.4447	0.4978	0.3401
31	-0.8316	-0.0553	-0.1229
32	-0.9479	-1.7369	-0.3720
33	-1.3415	2.6996	3.5580
34	-3.6797	0.0307	5.2507
35	-2.7272	1.7855	5.2225
36	-1.0357	-0.7506	0.6709
37	0.8313	1.4857	-0.9359

Anhang B

38	0.2266	2.1596	-1.0300	3	0.366	-0.535
40	-0.2840	2.9360	1.2468	4	-0.650	-0.516
42	-1.5837	-2.2629	-0.6334	5	-0.325	-1.100
43	0.0077	1.0008	-0.5813	7	-0.562	-0.021
44	0.7946	1.2980	-0.2065	8	-0.2020	0.158
45	0.0893	1.3348	-1.1705	10	1.797	-0.503
46	-1.0009	0.5523	-1.2908	11	-0.261	-1.261
48	0.7778	1.0306	-1.8658	12	-4.302	-1.570
49	-0.6642	-2.8311	0.9394	13	1.104	-0.030
50	-1.6585	0.5842	-1.0438	14	1.238	-0.067
52	0.8682	1.9077	0.3008	16	-0.221	-0.179
53	0.6862	1.8629	-2.2542	17	1.228	-0.990
54	-1.1829	1.0917	-2.0534	19	-0.052	0.645
55	-2.2687	-2.4588	1.1574	21	0.965	0.299
56	0.3046	1.5477	-1.6578	22	1.079	2.006
58	-0.3146	-0.1192	0.0104	23	1.284	1.425
59	-0.1385	-0.0850	0.0325	24	0.512	1.609
100	-0.2498	-3.1956	-1.1367	26	1.831	3.302
101	1.6821	-1.9835	0.1940	27	2.178	0.578
103	2.0279	0.2658	0.7816	28	0.845	1.597
104	1.6714	-0.2780	0.6464	29	1.024	1.383
105	1.7046	-0.6902	1.2340	30	-0.671	-0.152
	aX	aY	aZ	31	0.333	0.175
	0.0000	0.0000	-0.0000	32	0.523	-2.773
	mX	mY	mZ	33	-2.358	-1.224
	1.4381	1.5465	1.5761	34	-2.570	-1.511
				35	-2.829	-0.526
				36	0.299	-2.056
				52	-1.843	-1.268
				53	1.320	1.171
				54	1.385	0.975
				55	0.829	-1.523
				56	1.025	-1.077
				RMSE of 34 points: mx=1.453, my=1.277		
The residuals of the check points						
Point ID	rX	rY	rZ			
20	1.1501	0.6794	0.3471			
51	-1.8348	-1.7435	6.0877			
18	2.5971	0.7268	1.0970			
47	3.3233	-2.2201	-11.3066			

The image residuals of the control points

Point ID	Vx	Vy
2	0.811	-0.229

B 10

28	-1.033	-1.219
29	-1.351	-1.127
32	0.275	2.288
33	0.183	0.518
34	-0.237	0.533
35	-1.083	-0.201
36	-0.642	1.757
37	0.818	0.100
38	0.307	1.442
40	-2.164	1.831
42	1.162	-0.502
43	0.237	1.096
44	-0.192	1.043
45	0.641	0.613
46	1.475	-1.432
48	2.098	-1.062
49	1.872	-0.630
50	-0.106	1.861
52	1.061	1.805
53	-2.047	-0.544
54	-1.183	-0.213
55	0.675	1.084
56	-1.504	1.678
58	0.155	0.027
59	0.076	-0.002
RMSE of 34 points: mx=1.390, my=1.286		

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
33	1.845	2.133
34	4.005	2.088
35	4.305	2.339
36	0.921	0.335
37	-1.508	0.158
38	-0.830	-0.713
40	1.639	-0.496
43	-0.404	-0.734
44	-0.353	-0.753
45	-0.973	-0.178
46	-1.382	1.778
48	-2.756	1.059
49	-0.878	-0.456
50	0.748	-1.134
100	0.949	-1.056
101	-0.079	-1.167
103	-0.813	-0.464

104	-0.548	-0.574
105	-0.455	-0.761
RMSE of 19 points: mx=1.757, my=1.165		

The image residuals of the check points

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
20	-0.181	0.865
15	0.623	0.830
9	7.751	2.361
1	6.741	-1.883
18	0.201	-0.959
6	4.397	-0.346
RMSE of 6 points: mx=4.570, my=1.390		

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
20	0.172	-0.867
57	6.750	7.243
51	0.029	-0.227
18	-0.191	0.966
47	0.043	-0.334
RMSE of 5 points: mx=3.021, my=3.296		

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
51	-0.050	0.222
102	-8.344	-1.022
47	-0.075	0.327
RMSE of 3 points: mx=4.818, my=0.633		

B.2 Triangulation der Luftbilder von 1945

GCP Type: *Same weighted values*

Standard Deviations: $X = 0,5$; $Y = 0,5$; $Z = 0,5$

B.2.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters

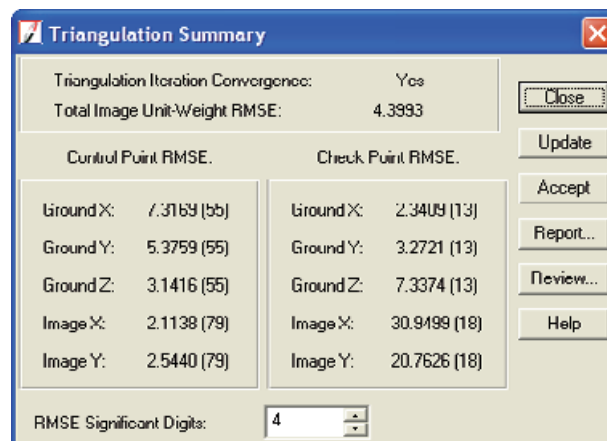


Abbildung B.11: Triangulationszusammenfassung 2.1

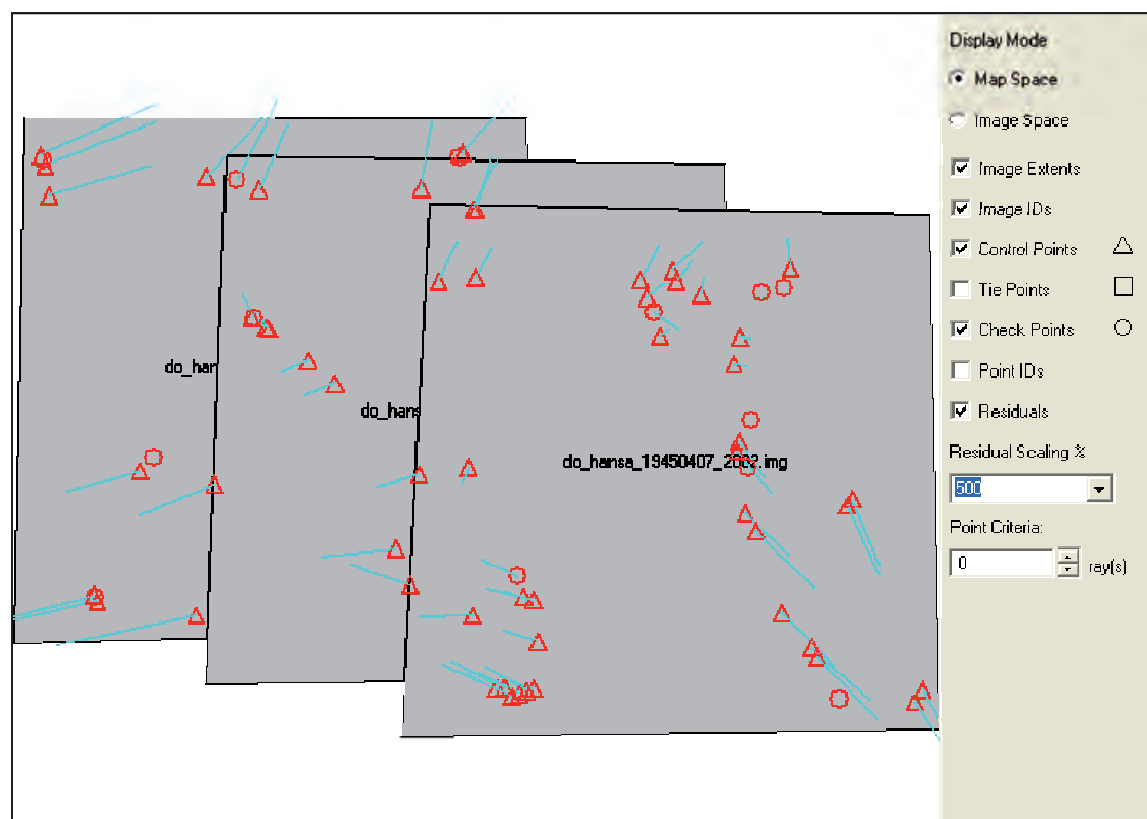


Abbildung B.12: Residuenübersicht 2.1

B.2.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)

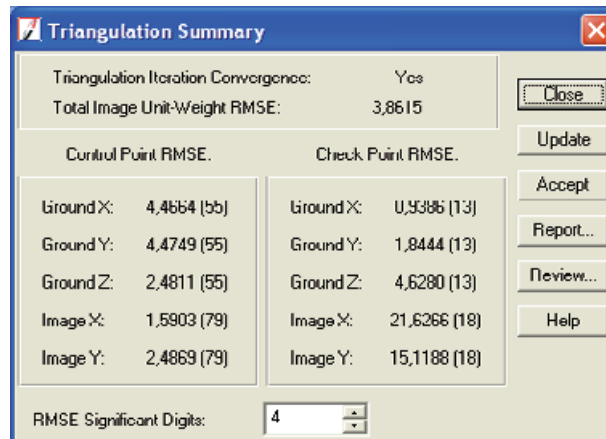


Abbildung B.13: Triangulationszusammenfassung 2.2

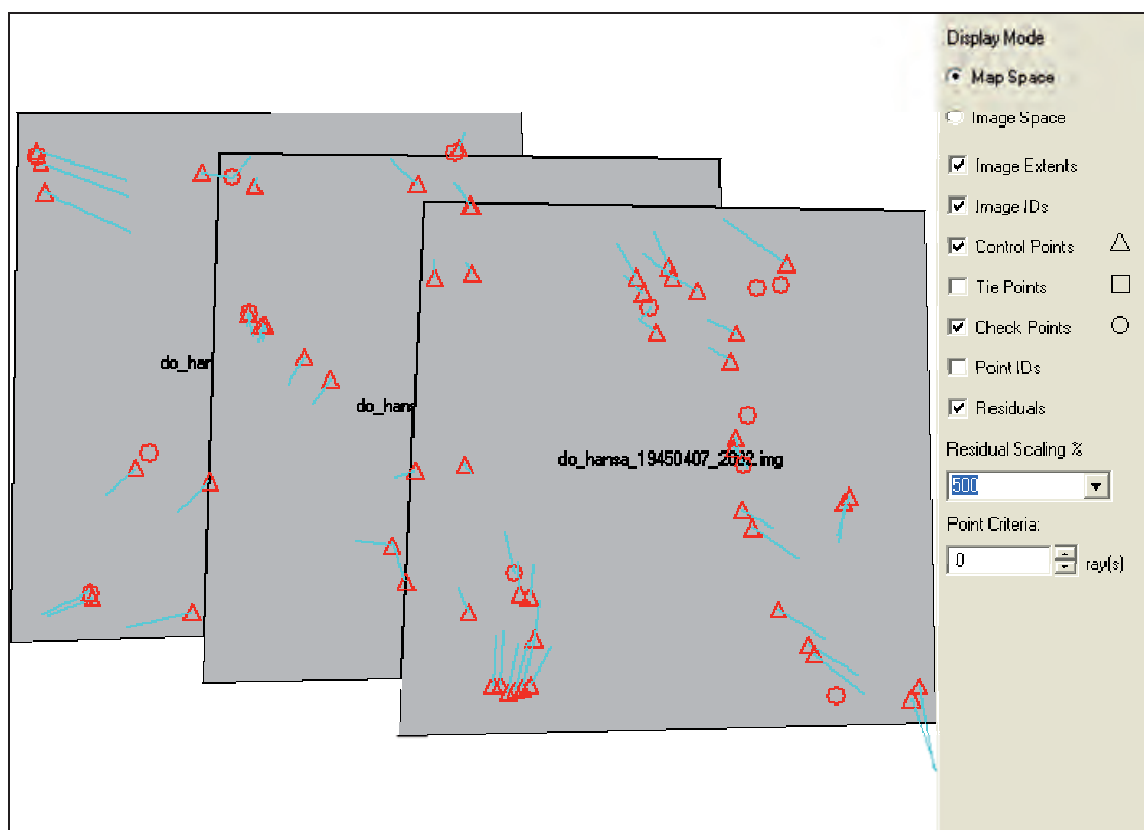


Abbildung B.14: Residuenübersicht 2.2

B.2.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)

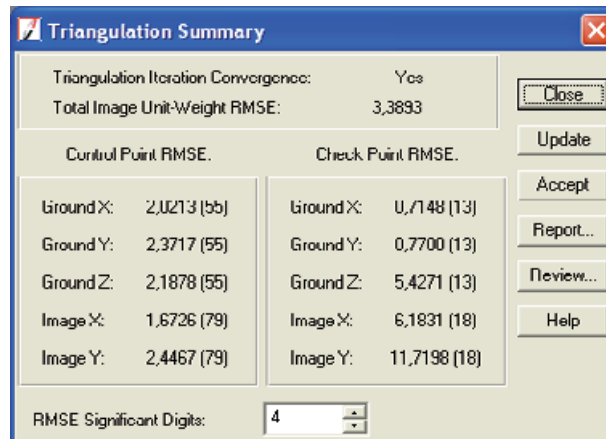


Abbildung B.15: Triangulationszusammenfassung 2.3

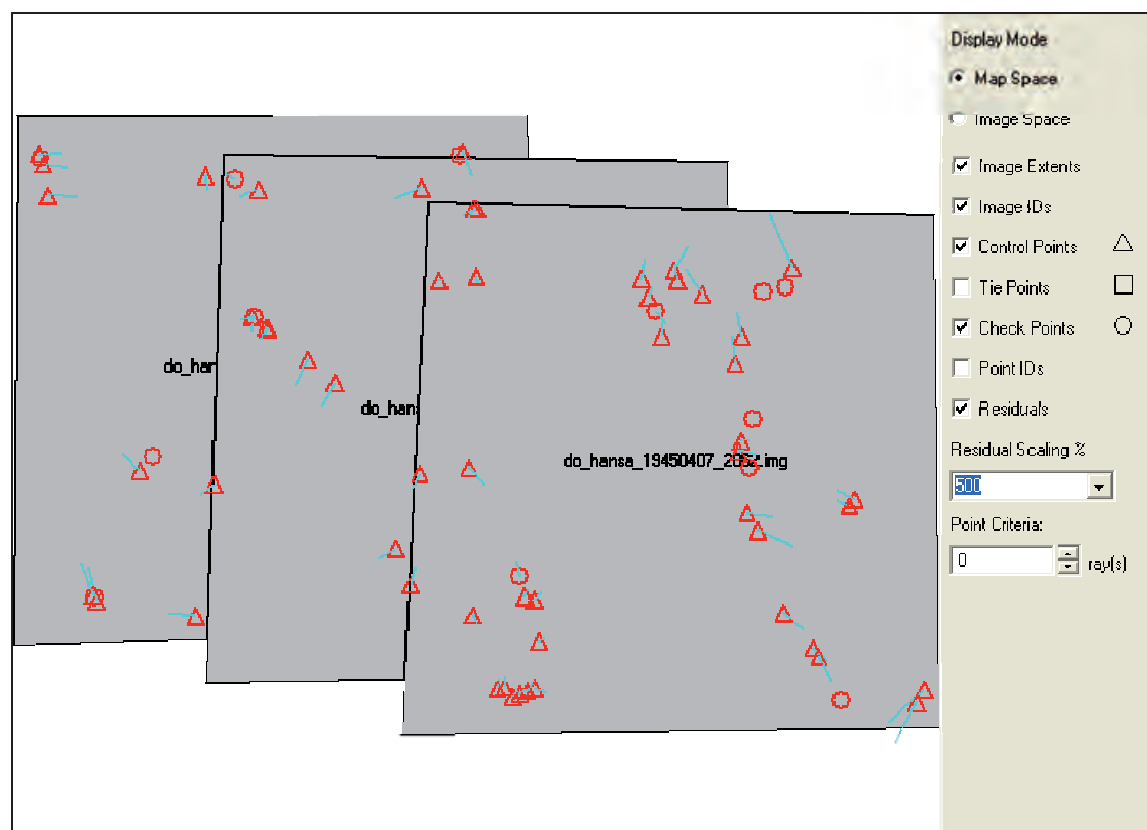


Abbildung B.16: Residuenübersicht 2.3

B.2.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)

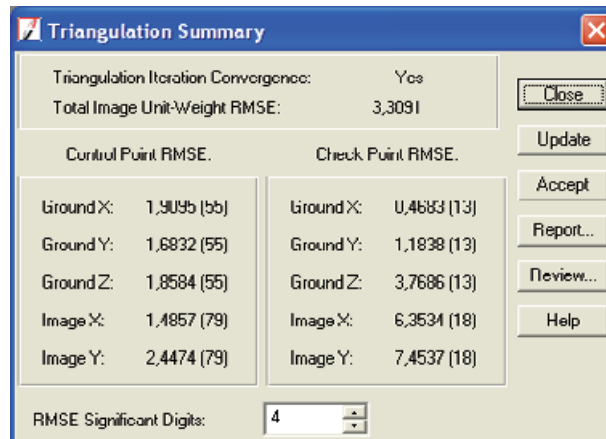


Abbildung B.17: Triangulationszusammenfassung 2.4

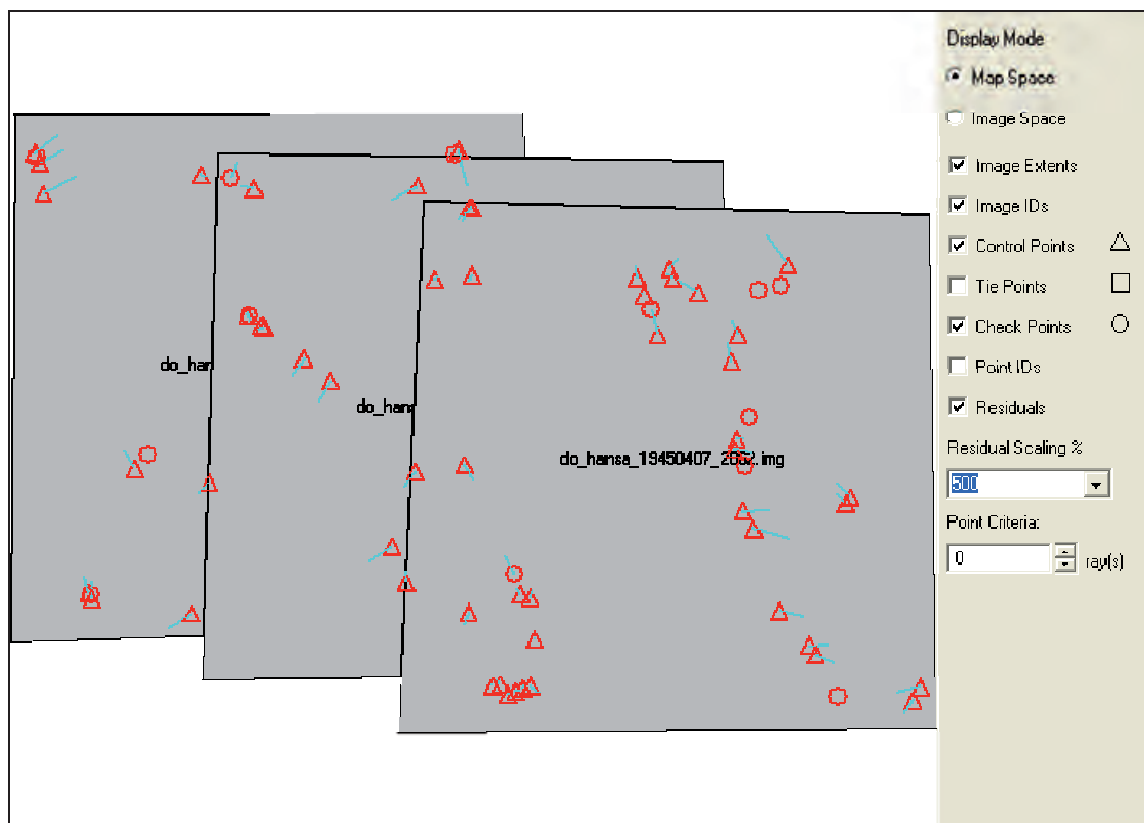


Abbildung B.18: Residuenübersicht 2.4

B.2.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)

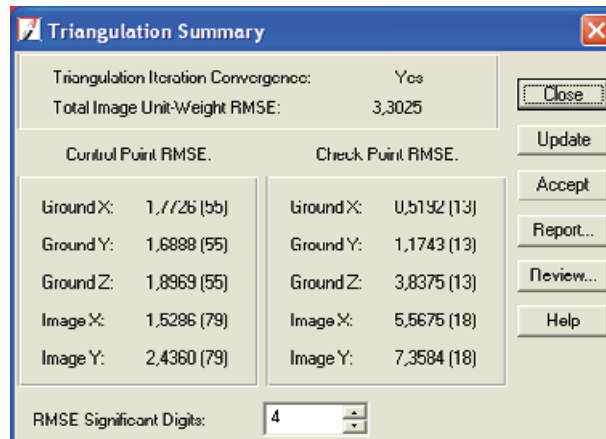


Abbildung B.19: Triangulationszusammenfassung 2.5

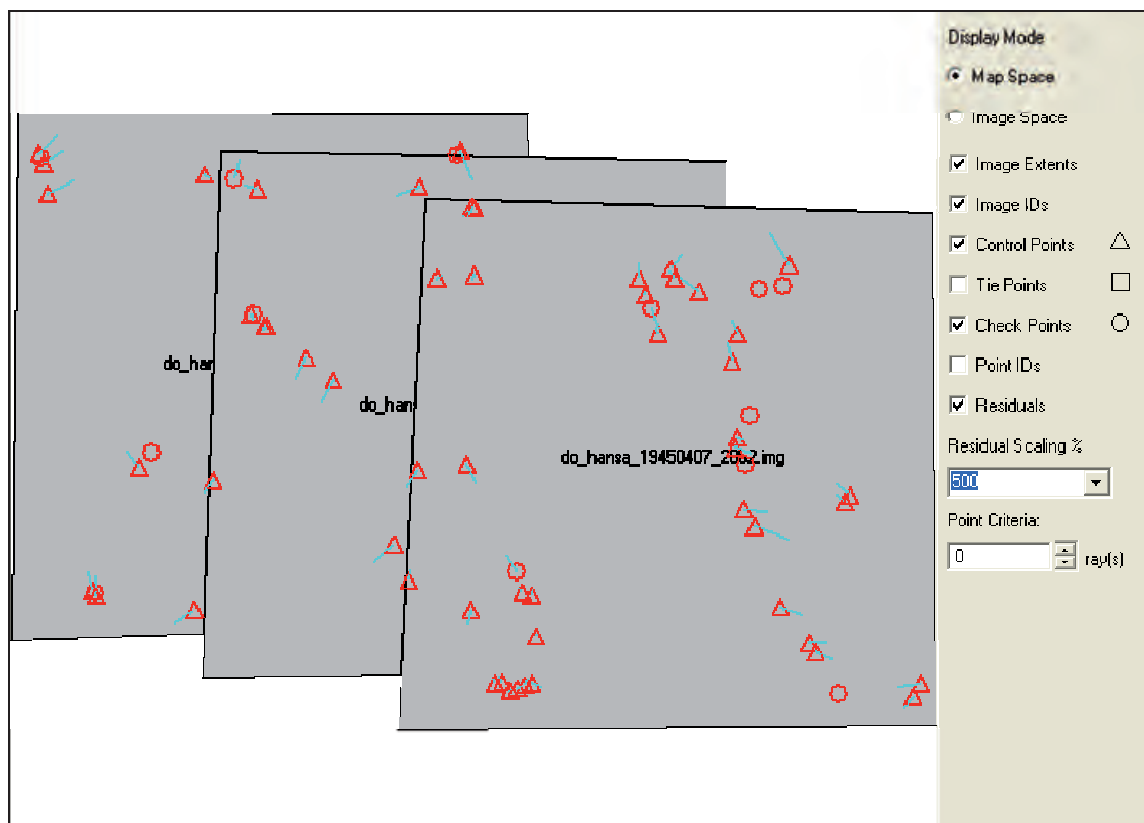


Abbildung B.20: Residuenübersicht 2.5

Bericht B.2: Triangulationsbericht 2 zur Triangulation mit Brown's physical model (14) (gekürzt)

The Triangulation Report With IPS

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 3,4733
the maximal correction of the object points = 51,63555

the no. of iteration =2 the standard error = 3,3129
the maximal correction of the object points = 11,36399

the no. of iteration =3 the standard error = 3,3025
the maximal correction of the object points = 1,74539

the no. of iteration =4 the standard error = 3,3026
the maximal correction of the object points = 0,22169

the no. of iteration =5 the standard error = 3,3025
the maximal correction of the object points = 0,03877

the no. of iteration =6 the standard error = 3,3025
the maximal correction of the object points = 0,00675

the no. of iteration =7 the standard error = 3,3025
the maximal correction of the object points = 0,00118

the no. of iteration =8 the standard error = 3,3025
the maximal correction of the object points = 0,00021

The exterior orientation parameters				
image ID	Xs	Ys	Zs	KAPPA
1	2597601,0582	5714121,9809	6181,6084	5,2244
2	2598485,7455	5714069,3658	6150,0805	5,2129
3	2599448,4131	5714017,6834	6126,1446	5,6683

The interior orientation parameters of photos

image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	609,6000	0,0000	0,0000
2	609,6000	0,0000	0,0000

The values and accuracy of the additional parameters				
No.	Δi	mΔi	MaxX	MaxY
1	1,2406E-002		63,6822	-0,0119
2	5,7571E-003		29,4696	-0,0055
3	9,4011E-007		0,5230	-0,0001
4	-4,3822E-006		-2,4312	0,0005
5	1,7341E-008		1,0485	-0,0002
6	1,6980E-008		1,0238	-0,0002
7	-1,0709E-012		-0,0070	0,0000
8	-1,9982E-005		-0,0342	11,0941
9	3,1578E-005		0,0543	-17,5808
10	-9,0950E-009		-0,0017	0,5488
11	1,6528E-009		0,0003	-0,0995
12	-9,7096E-012		-0,0002	0,0635
13	-1,1687E-015		-0,0008	0,0008
14	-1,6814E-008		-2,0395	2,0239
Total	5148,76Mx	5109,27My	91,2870	-3,9666

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
1001	-1,5703	-2,1010	0,6974
1004	2,8265	-1,9246	-0,8339
1006	2,6127	-2,4324	-0,8257
1007	3,8290	-2,0729	-1,0485
1008	-2,6869	1,7124	-0,0770
1009	-2,8185	2,2950	-3,5295
1011	1,4048	2,6594	0,3700
1013	-1,6459	2,4925	-4,1423
1015	-0,1815	0,7405	1,0758
1016	-1,7240	-0,4957	2,5224
1018	0,8831	0,3531	-0,1178
1020	-0,2585	0,3494	0,6894
1021	-1,5547	2,9182	-0,1882
1022	-1,7601	3,1982	-7,5875
1023	-3,1826	1,1489	1,9893
1025	1,5213	3,9886	0,2736
1026	-1,5423	1,1425	2,4891
1027	-0,5645	1,4519	5,4971
1028	-0,2080	0,8072	-0,0424
1029	0,4745	1,1616	-0,1355
1031	-1,2488	1,6669	-0,1459
1032	0,1014	-1,2508	-0,6671
1033	-0,4501	1,8855	4,2692
1035	-0,4617	-0,4642	1,7751

1036	0,1199	-0,5847	2,6273
1037	0,1120	-0,2019	1,8848
1038	-0,0750	-0,3570	0,5938
1039	1,4766	-1,7410	-2,4906
1040	-0,6620	0,8471	0,0741
1041	-2,4643	-1,8409	-3,5555
1042	-0,1872	-0,7190	0,0708
1043	0,0213	-1,7788	0,5839
1044	-2,5296	-4,2884	0,1196
1046	-0,5301	-2,4737	0,2533
1047	-0,7018	-1,7941	0,1628
1049	2,3548	0,7648	-0,2516
1050	0,9338	0,3069	-0,0964
1051	3,2161	0,3662	-0,2340
1052	4,7100	1,8444	-0,5896
1053	2,9251	0,9887	-0,3376
1055	2,4884	-0,1606	0,0446
1056	-1,1552	-0,9867	0,1622
1057	2,3885	1,0266	-0,3068
1058	-1,7558	-1,4544	0,2243
1059	-2,9962	0,5004	-0,4082
1060	-1,4032	1,6026	-0,6502
1061	-0,3462	-0,5426	0,2624
1062	-0,4734	-0,7854	0,3698
1063	1,3152	0,7664	-0,5310
1064	0,3263	-0,8167	0,2007
1065	0,6823	-0,2823	-0,0574
1066	0,3582	-0,3417	0,0333
1067	0,6752	-0,3451	-2,0167
1069	-0,0333	-2,6021	0,7369
1070	-0,5858	-2,4528	0,8138

aX	aY	aZ
-0,0000	-0,0000	-0,0000
mX	mY	mZ
1,7726	1,6888	1,8969

The residuals of the check points

Point ID	rX	rY	rZ
1034	-1,4262	-2,1465	-4,9227
1030	-0,3520	-0,1729	-2,9489
1017	0,6956	-2,4849	2,4075
1071	0,9286	2,6674	12,3580
	aX	aY	aZ
	-0,0385	-0,5342	1,7235

mX	mY	mZ
0,9360	2,1170	6,9182

The image residuals of the control points

The image ID = 1			
Point ID	Vx	Vy	
1001	0,156	-0,203	
1004	-0,268	-0,174	
1006	-0,248	-0,220	
1007	-0,364	-0,187	
1008	0,254	0,167	
1009	2,160	0,413	
1011	-2,126	-5,689	
1013	2,356	1,787	
1015	0,183	0,881	
1016	-1,857	7,899	
1018	-0,083	0,032	
1020	-0,393	-0,246	
1021	0,140	0,274	
1022	4,889	-0,946	
1023	-1,067	1,902	
1025	-0,138	0,354	
1026	-1,451	0,357	
1027	-3,348	0,441	
1028	0,018	0,075	
1029	-0,046	0,108	
1031	0,115	0,160	
1032	0,606	0,254	
1033	-3,008	-9,838	
1069	0,012	-0,256	
1070	0,065	-0,242	

RMSE of 25 points: mx=1,632, my=2,837

The image ID = 2			
Point ID	Vx	Vy	
1009	-1,950	-0,119	
1011	3,936	6,505	
1013	-2,288	-1,481	
1015	-1,161	1,824	
1016	1,895	-8,033	
1020	0,431	0,263	
1022	-4,802	1,440	
1023	1,343	-1,846	
1026	1,612	-0,310	
1027	3,452	-0,434	

1032	-0,633	-0,356
1033	4,119	8,941
1035	-0,849	-1,089
1036	-1,576	1,846
1037	-1,162	1,209
1038	-0,384	1,387
1039	1,271	1,431
1040	0,016	-0,157
1041	2,213	-1,380
1043	-0,338	0,771
1067	1,276	-4,092
RMSE of 21 points: mx=2,175, my=3,292		

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
1011	-1,838	-0,525
1015	0,964	-2,684
1033	-0,813	1,163
1035	0,930	1,030
1036	1,590	-1,994
1037	1,173	-1,295
1038	0,381	-1,440
1039	-1,454	-1,550
1040	0,045	0,080
1041	-2,020	1,285
1042	0,016	-0,067
1043	0,330	-0,947
1044	0,220	-0,388
1046	0,046	-0,229
1047	0,062	-0,166
1049	-0,218	0,076
1050	-0,086	0,031
1051	-0,301	0,041
1052	-0,441	0,185
1053	-0,276	0,100
1055	-0,234	-0,013
1056	0,106	-0,094
1057	-0,225	0,103
1058	0,161	-0,138
1059	0,278	0,050
1060	0,129	0,158
1061	0,035	-0,057
1062	0,047	-0,082
1063	-0,130	0,083
1064	-0,031	-0,081
1065	-0,067	-0,025

1066	-0,035	-0,033
1067	-1,319	4,135
RMSE of 33 points: mx=0,752, my=1,102		

The image residuals of the check points

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
1034	3,133	4,582
1005	-15,766	-6,955
1024	2,220	1,432
1030	-0,299	4,052
1003	3,819	-13,138
1002	5,764	-1,122
1017	-0,692	10,246
RMSE of 7 points: mx=6,673, my=7,238		

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
1034	-6,730	-0,727
1030	0,225	-4,084
1017	0,503	-10,281
1071	-0,149	3,372
RMSE of 4 points: mx=3,377, my=5,794		

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
1034	3,488	-3,996
1054	-10,081	6,058
1045	5,316	-8,438
1048	-2,361	-13,428
1071	0,110	-3,397
1072	-3,485	5,362
1073	6,392	-11,367
RMSE of 7 points: mx=5,354, my=8,226		

B.3 Triangulation der Luftbilder von 1959

GCP Type: *Same weighted values*

Standard Deviations: $X = 0,3$; $Y = 0,3$; $Z = 0,5$

B.3.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters

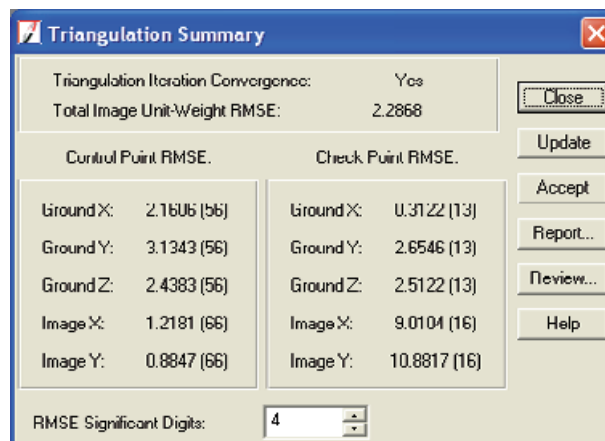


Abbildung B.21: Triangulationszusammenfassung 3.1

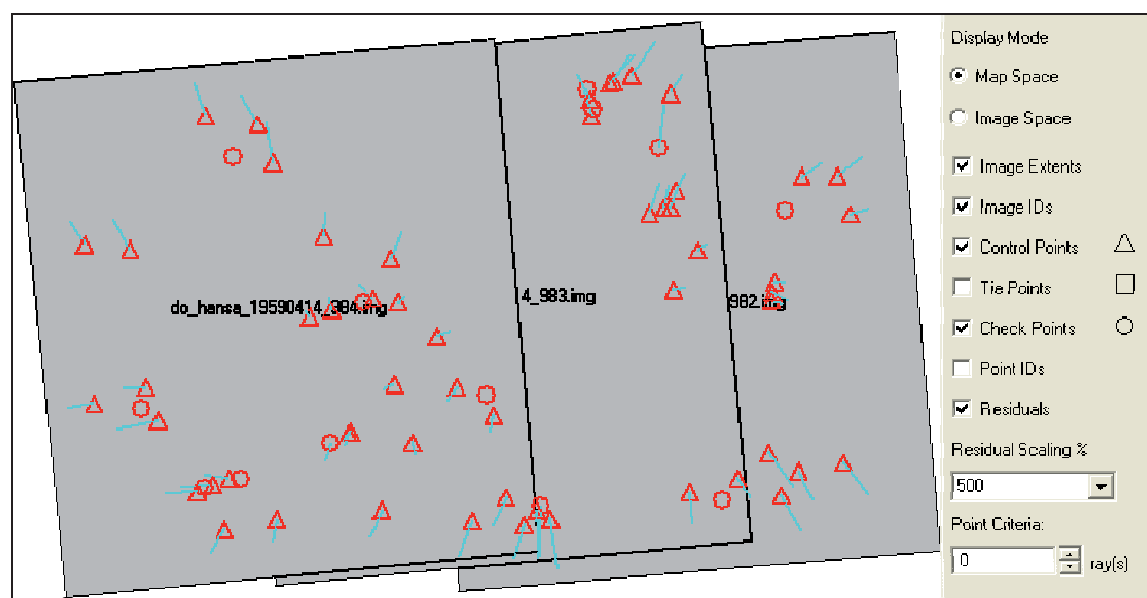


Abbildung B.22: Residuenübersicht 3.1

B.3.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)

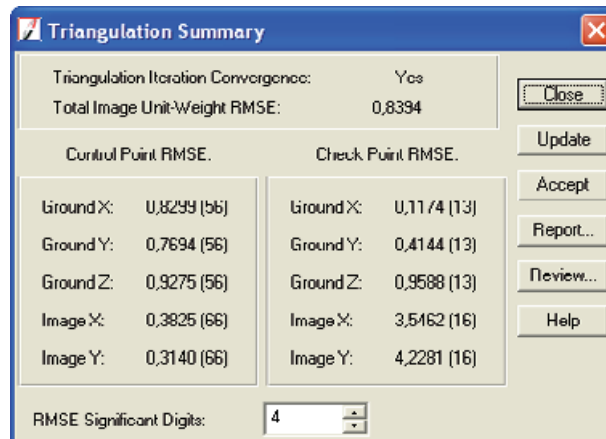


Abbildung B.23: Triangulationszusammenfassung 3.2

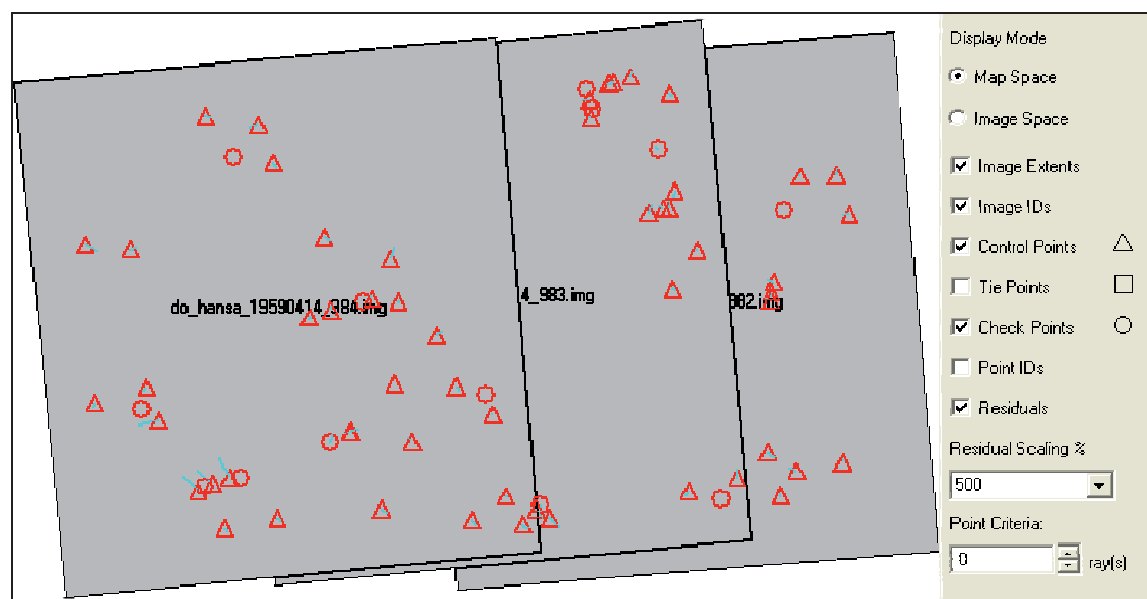


Abbildung B.24: Residuenübersicht 3.2

B.3.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)

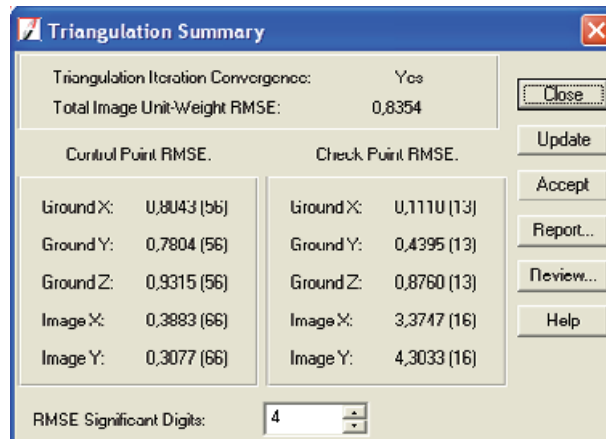


Abbildung B.25: Triangulationszusammenfassung 3.3

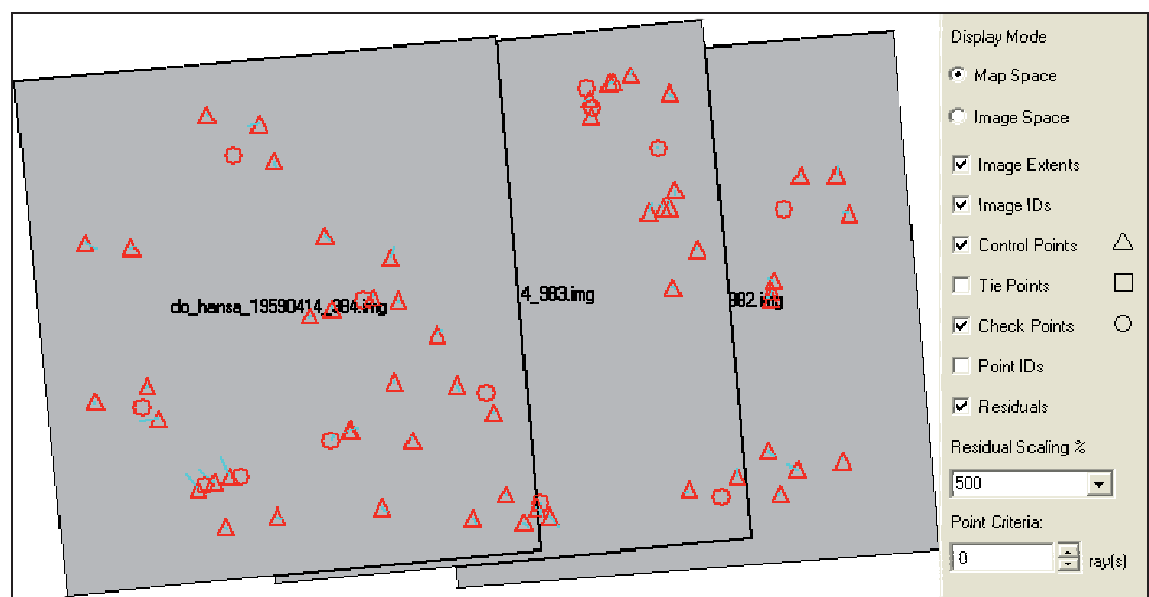


Abbildung B.26: Residuenübersicht 3.3

B.3.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)

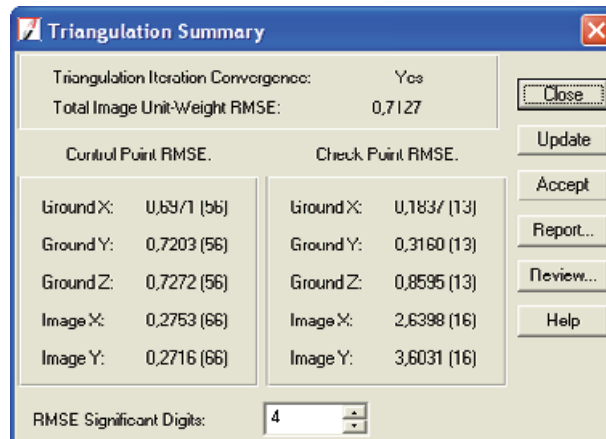


Abbildung B.27: Triangulationszusammenfassung 3.4

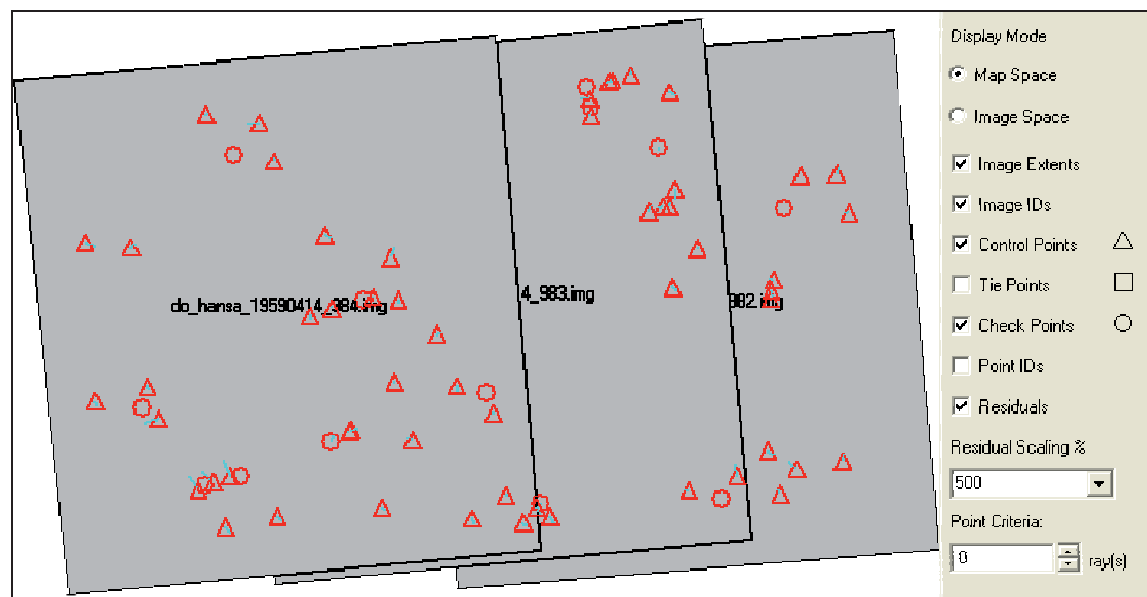


Abbildung B.28: Residuenübersicht 3.4

B.3.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)

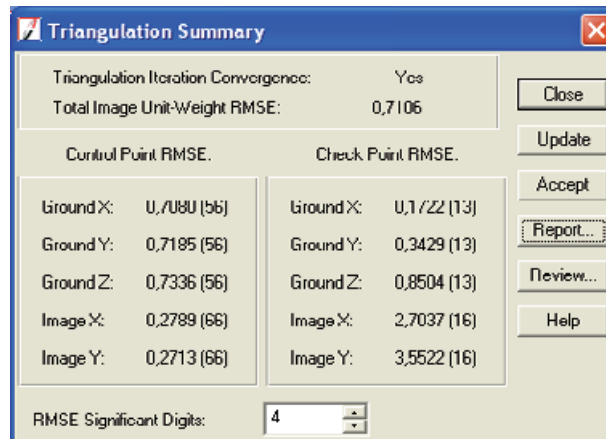


Abbildung B.29: Triangulationszusammenfassung 3.5

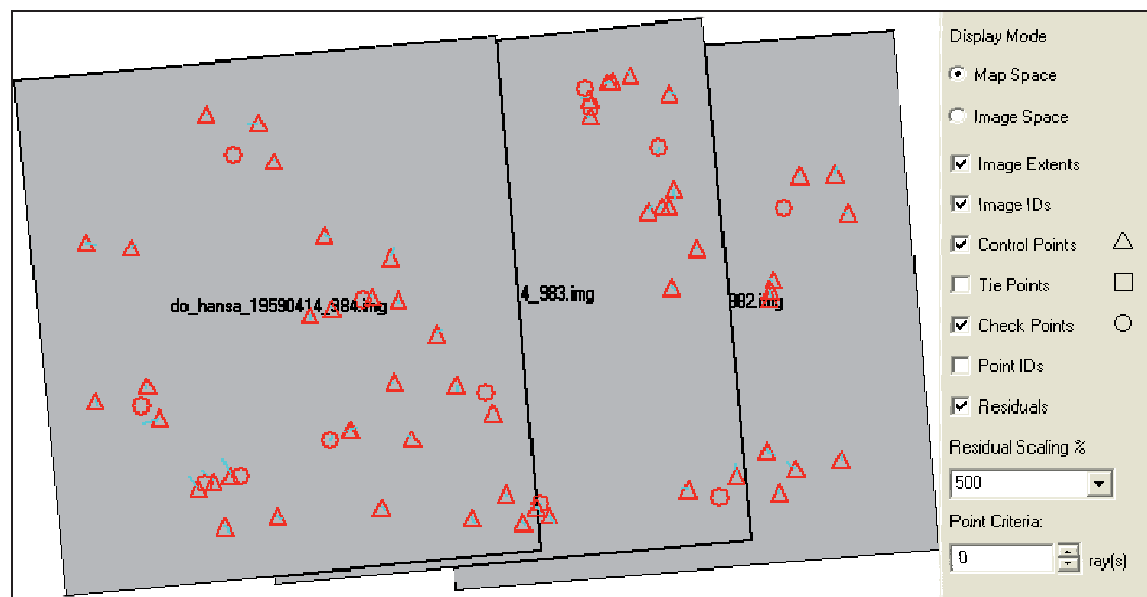


Abbildung B.30: Residuenübersicht 3.5

Bericht B.3: Triangulationsbericht 3 zur Triangulation mit
Bauer's simple model (2) (gekürzt)

The Triangulation Report With IPS

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0,8469
the maximal correction of the object points = 25,00907

the no. of iteration =2 the standard error = 0,8393
the maximal correction of the object points = 0,27134

the no. of iteration =3 the standard error = 0,8394
the maximal correction of the object points = 0,00297

the no. of iteration =4 the standard error = 0,8394
the maximal correction of the object points = 0,00002

The exterior orientation parameters					
image ID	Xs	Ys	Zs	PHI	KAPPA
1	2599132,8126	5712638,0515	2653,9863	-0,3441	4,8546
2	2598241,4765	5712600,5950	2641,9182	1,0938	5,7979
3	2597342,0206	5712544,5684	2630,9927	1,0757	5,3939

The interior orientation parameters of photos			
image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	210,2300	0,0000	0,0000
2	210,2300	0,0000	0,0000
3	210,2300	0,0000	0,0000

The values and accuracy of the additional parameters			
No.	Ai	mAi	MaxX
1	2,7729E-008		1,3376
2	4,5647E-003		18,9535
3	-3,7759E-005		-0,0001
Total	4157,03Mx	4167,39My	20,2910

The residuals of the control points			
Point ID	rX	rY	rZ
1002	0,4529	0,9437	-1,6403

1001	-1,1821	0,2425	0,4312
1000	0,9976	0,7245	-2,0751
1003	0,9440	-0,1220	-0,7928
1004	1,7719	1,1131	-1,2192
1005	-0,3362	0,4870	0,1336
1007	-2,6357	0,5454	1,4924
1008	0,2931	0,4784	-0,5294
1011	0,5194	-1,4111	-0,3339
1012	-0,1472	-0,4244	-0,1090
1013	-0,1393	0,4190	0,0431
1014	-0,6109	0,0846	-0,2312
1016	-0,4179	-0,4701	-0,0403
1017	0,6567	0,2433	-0,2396
1018	0,2637	0,2072	0,1944
1019	0,8578	-0,5443	0,6253
1020	0,8167	0,3563	-0,7189
1021	1,0511	-0,3361	-0,5184
1022	0,0287	-0,0075	-0,0105
1023	-0,1444	-0,4386	0,0032
1026	-0,5954	0,2998	-0,0198
1027	0,6376	-0,0217	0,3846
1028	0,0509	-0,6055	-0,7349
1030	-0,1144	0,9039	0,7376
1031	-0,1059	-0,1030	-0,0511
1033	1,2944	1,4106	-0,7471
1035	0,9893	1,2060	-0,2950
1037	0,2104	-0,1478	-0,3649
1039	-0,2948	-0,0106	0,1098
1040	-0,8564	0,0735	0,4401
1042	0,4316	0,7196	-0,6863
1043	0,7076	0,8079	-1,4892
1044	0,8375	0,6339	-1,2496
1045	0,3078	0,2157	-0,4401
1046	1,1600	0,9541	-0,0527
1047	-0,7721	-0,2888	-0,4483
1048	-0,1916	-0,0987	-0,1948
1049	0,0113	-0,8509	-0,6210
1051	0,6051	0,4885	0,5504
1052	-0,0616	0,3239	-0,3052
1053	-0,0545	-1,1390	0,8444
1055	-0,4557	0,4119	-0,3734
1056	-0,2117	0,6914	0,0045
1057	0,8008	0,1500	-0,1481
1058	-1,2866	-2,5059	2,0217
1059	-2,0447	-1,7188	1,9387
1061	-1,6995	-1,9133	2,1489

1063	0,6017	0,1231	3,2693
1064	-0,6223	-0,3116	1,2057
1065	-0,0257	-0,8934	1,0399
1066	0,3025	-1,1655	0,1704
1068	0,0362	-0,1214	0,1128
1069	-1,1036	-0,4166	-0,3809
1070	-0,6274	-0,0801	-0,3139
1071	-0,0700	0,6545	0,0724
1072	-0,8307	0,2336	-0,5995
	aX	aY	aZ
	-0,0000	0,0000	-0,0000
	mX	mY	mZ
	0,8299	0,7694	0,9275

The residuals of the check points

Point ID	rX	rY	rZ
1029	-0,3416	-0,2696	1,1515
1015	0,1946	-0,9969	-3,1222
1034	-0,1568	1,0800	-0,9358

aX	aY	aZ
-0,1013	-0,0622	-0,9688
mX	mY	mZ
0,2444	0,8627	1,9958

The image residuals of the control points

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
1030	0,090	-0,549
1031	0,036	-0,030
1033	0,047	-0,371
1035	0,172	-0,323
1037	-0,141	-0,077
1039	0,094	0,005
1040	0,269	0,046
1042	-0,156	0,219
1043	-0,244	0,240
1044	-0,282	0,181
1045	-0,103	0,061
1046	-0,394	0,274
1047	0,253	-0,071
1048	0,063	-0,026
1049	0,020	-0,272
1051	-0,205	0,140

1052	0,011	0,106
1053	0,048	-0,364
1055	0,134	0,145
1063	0,904	-0,581
1064	0,639	0,191
1065	0,544	-0,301
1066	0,214	-0,316
1068	-0,008	-0,040
1069	0,361	-0,103
1070	0,201	-0,009
1071	0,004	0,211
1072	0,257	0,098

RMSE of 28 points: mx=0,293, my=0,244

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
1002	-0,824	0,675
1000	-0,878	0,445
1020	-0,264	0,085
1021	-0,316	-0,141
1022	-0,009	-0,003
1023	0,059	-0,135
1026	0,180	0,116
1027	-0,203	-0,027
1028	0,005	-0,198
1030	-0,094	0,848
1033	-0,500	0,767
1035	-0,522	0,664
1037	0,078	0,025
1063	-1,112	0,594
1064	-0,432	-0,280
1065	-0,515	0,012
1066	-0,278	-0,068

RMSE of 17 points: mx=0,485, my=0,416

The image ID = 3

Point ID	Vx	Vy
1002	0,647	-0,397
1001	0,364	0,114
1000	0,539	-0,255
1003	-0,293	-0,069
1004	-0,591	0,300
1005	0,091	0,165
1007	0,807	0,255
1008	-0,105	0,140
1011	-0,121	-0,465

1012	0,059	-0,131
1013	0,031	0,137
1014	0,187	0,044
1016	0,143	-0,136
1017	-0,210	0,056
1018	-0,088	0,058
1019	-0,251	-0,197
1056	0,046	0,226
1057	-0,257	0,024
1058	0,477	-0,750
1059	0,689	-0,478
1061	0,587	-0,549
RMSE of 21 points: mx=0,393, my=0,301		

The image residuals of the check points

The image ID = 1		
Point ID	Vx	Vy
1038	3,480	2,537
1050	2,067	-2,124
1029	-0,013	0,327
1041	-1,634	2,563
1054	-0,853	3,958
1034	0,039	-0,891
RMSE of 6 points: mx=1,816, my=2,384		

The image ID = 2		
Point ID	Vx	Vy
1029	0,019	-0,331
1015	-0,004	0,101
1024	-0,174	-1,420
1025	-0,231	-1,470
1034	-0,051	0,876
RMSE of 5 points: mx=0,132, my=1,006		

The image ID = 3		
Point ID	Vx	Vy
1009	6,630	-12,610
1010	1,946	2,670
1060	9,706	-8,898
1006	6,277	1,252
1015	0,004	-0,101
RMSE of 5 points: mx=6,022, my=7,027		

B.4 Triangulation der Luftbilder von 1969

GCP Type: *Same weighted values*

Standard Deviations: $X = 0,3$; $Y = 0,3$; $Z = 0,5$

B.4.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters

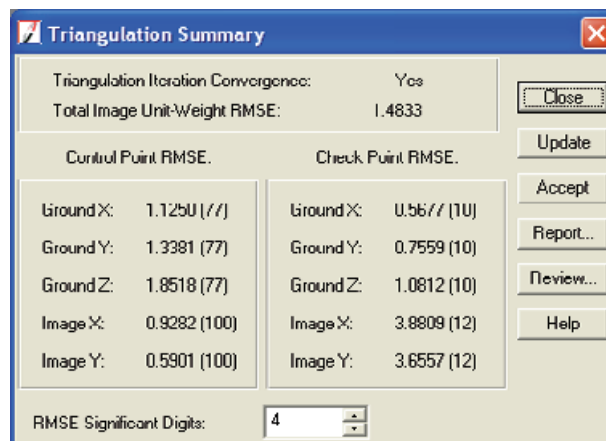


Abbildung B.31: Triangulationszusammenfassung 4.1

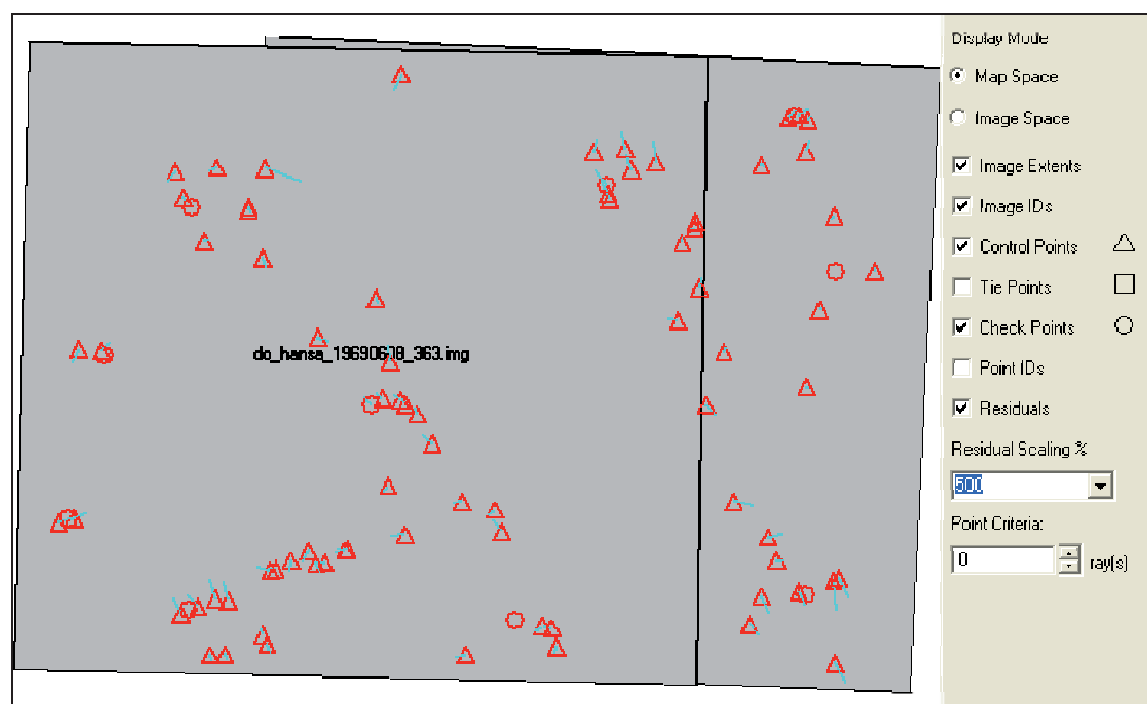


Abbildung B.32: Residuenübersicht 4.1

B.4.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)

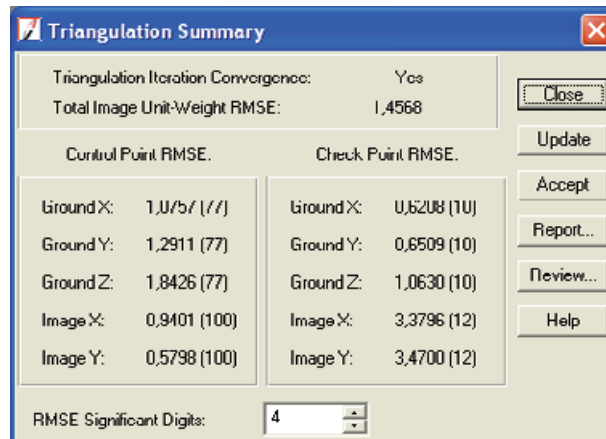


Abbildung B.33: Triangulationszusammenfassung 4.2



Abbildung B.34: Residuenübersicht 4.2

B.4.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)

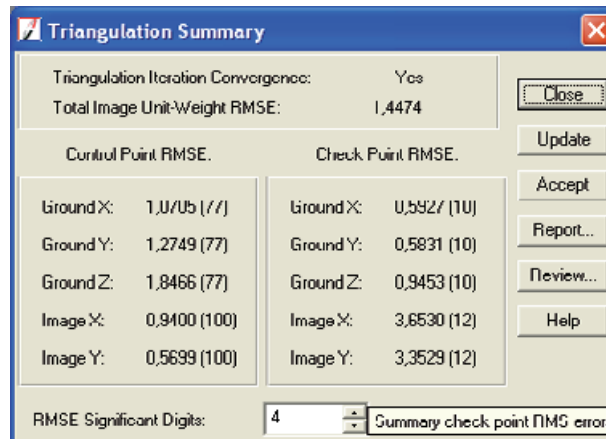


Abbildung B.35: Triangulationszusammenfassung 4.3

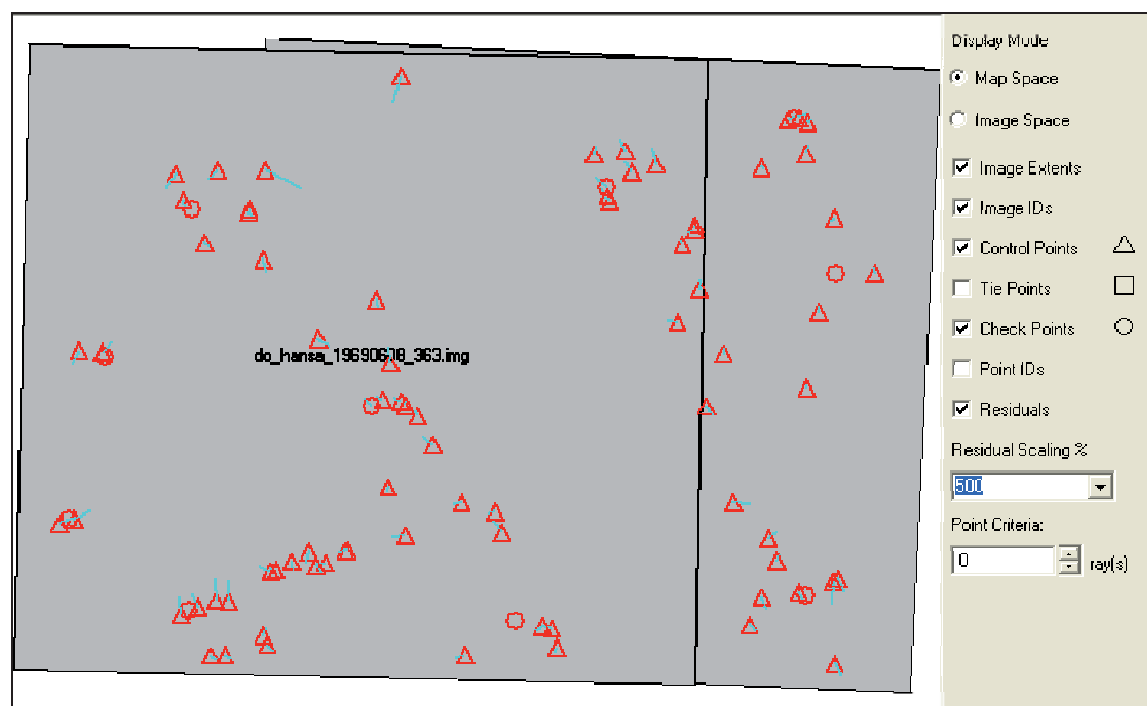


Abbildung B.36: Residuenübersicht 4.3

B.4.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)

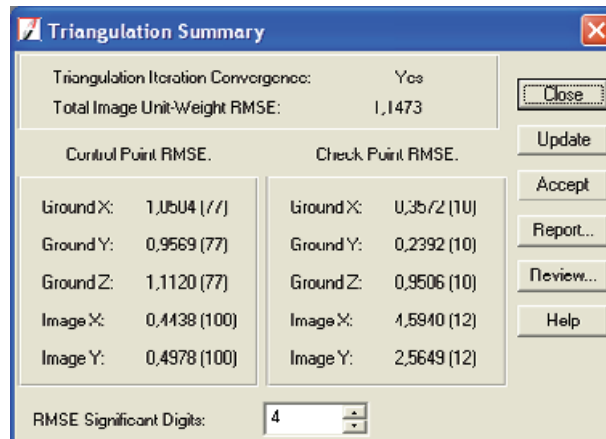


Abbildung B.37: Triangulationszusammenfassung 4.4

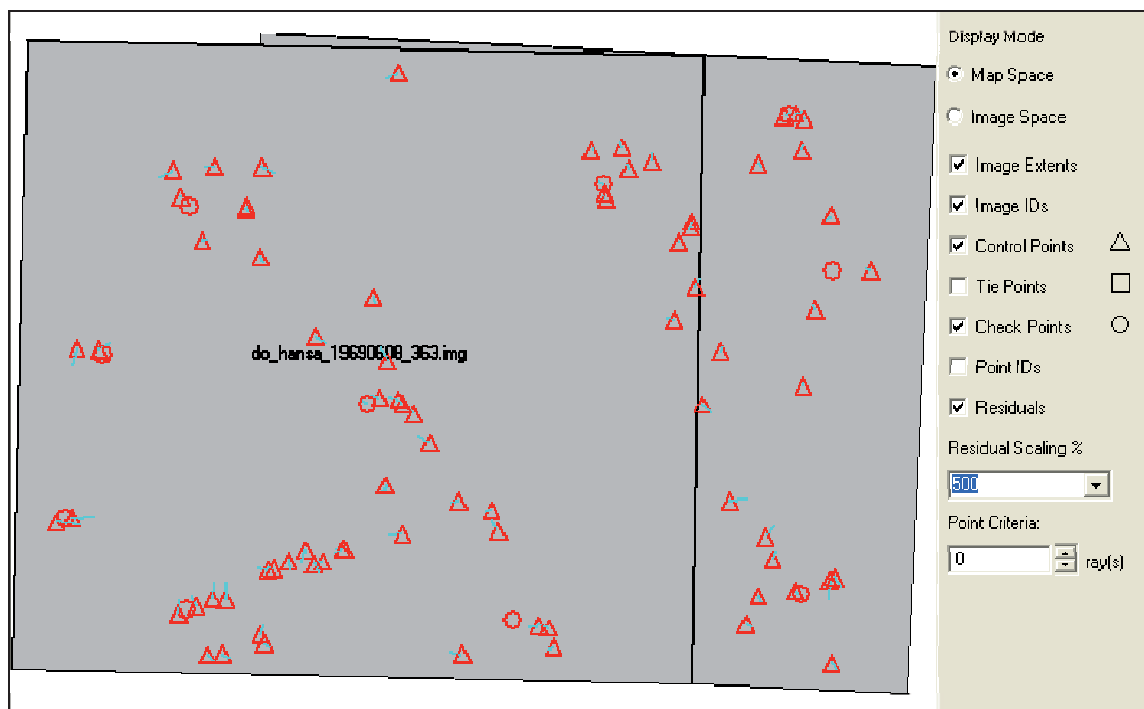


Abbildung B.38: Residuenübersicht 4.4

B.4.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)

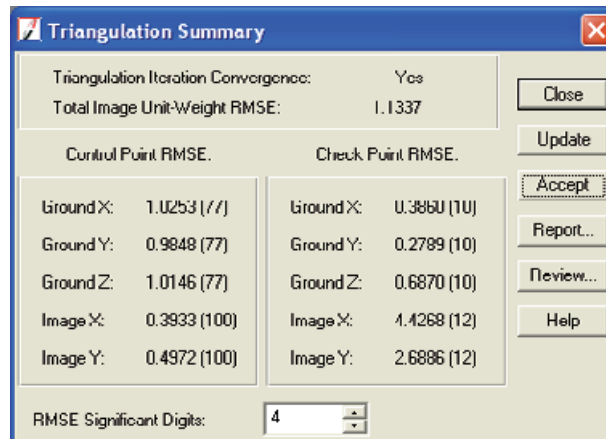


Abbildung B.39: Triangulationszusammenfassung 4.5

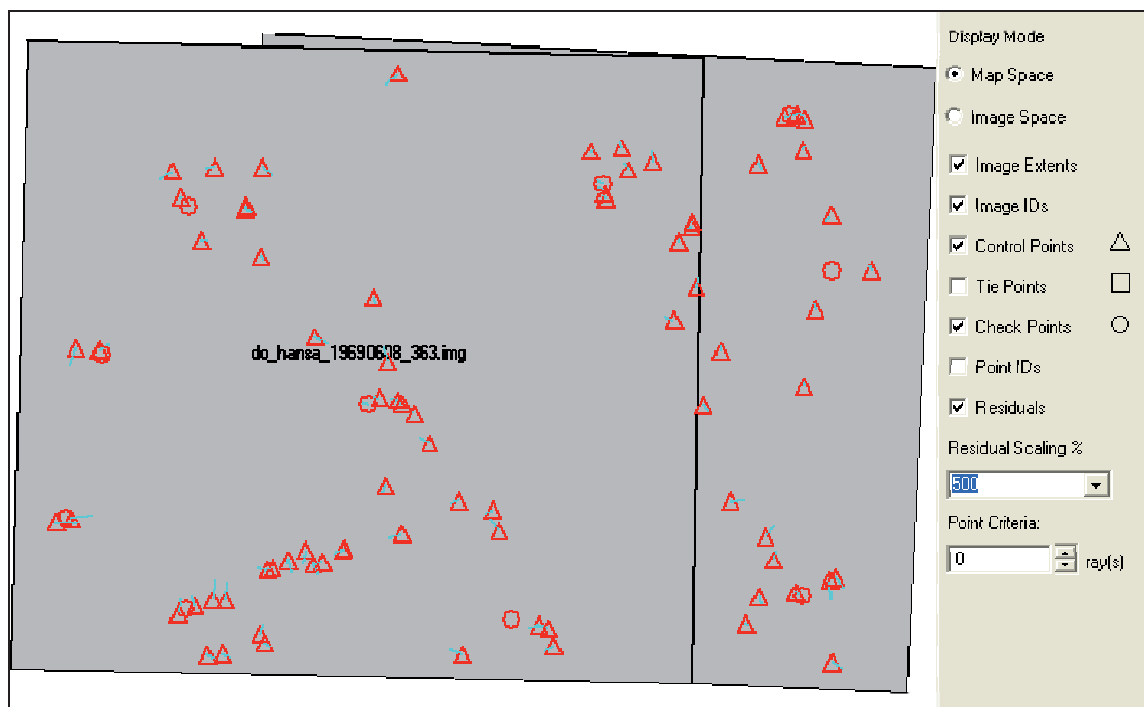


Abbildung B.40: Residuenübersicht 4.5

Bericht B.4: Triangulationsbericht 4 zur Triangulation mit Brown's physical model (14) (gekürzt)

The Triangulation Report With IPS

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 1.1320
the maximal correction of the object points = 17.82861

the no. of iteration =2 the standard error = 1.1337
the maximal correction of the object points = 0.55588

the no. of iteration =3 the standard error = 1.1337
the maximal correction of the object points = 0.00967

the no. of iteration =4 the standard error = 1.1337
the maximal correction of the object points = 0.00186

the no. of iteration =5 the standard error = 1.1337
the maximal correction of the object points = 0.00005

The exterior orientation parameters					
image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI
1	2598521.2653	5712967.8187	3621.5130	0.1326	0.6828
2	2597529.9800	5713018.0560	3614.2016	-0.5472	0.2653
				KAPPA	
				-2.5888	
				-1.3368	

The interior orientation parameters of photos			
image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	305.2399	-8.1511	3.1584
2	305.2399	-8.1511	3.1584

The values and accuracy of the additional parameters			
No.	Δi	mΔi	MaxΔ
1	1.5233E-004	0.8162	-0.0000
2	2.0881E-004	1.1267	-0.0001
3	-1.3885E-005	-8.4011	0.0004
4	2.8012E-006	1.7068	-0.0001
5	1.8541E-007	12.5792	-0.0006
6	5.4850E-008	3.7475	-0.0002
7	-8.6892E-011	-0.6657	0.0000

8	-1.9094E-005	-0.0003	11.3178
9	1.5387E-006	0.0000	-0.9057
10	8.5171E-008	0.0001	-5.6609
11	-5.2444E-008	-0.0001	3.5104
12	1.3804E-010	0.0000	-1.0361
13	-1.2905E-013	-0.1109	0.1094
14	-8.2560E-008	-11.2030	11.0531
Total	5358.21Mx	5286.53My	18.3875

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
1000	0.5912	0.6024	-1.6179
1001	1.3634	1.0552	-0.6376
1002	1.7047	0.8690	-1.5684
1003	1.3614	-0.9167	-0.9726
1004	-0.9156	2.2812	0.7088
1006	0.9079	0.3474	-0.0611
1007	0.2986	0.1950	0.0186
1008	1.1796	0.5629	-1.0180
1009	0.1434	-2.3636	1.9721
1010	0.9706	-0.1177	-0.4151
1011	-0.5750	-1.8747	0.3482
1012	-1.1027	0.2471	-0.2653
1013	-1.0733	0.5903	-0.4922
1014	-1.0854	0.2631	1.2056
1015	-1.5975	0.3980	0.5573
1016	0.3674	-1.3484	-0.2265
1017	-0.9526	-0.3062	0.5289
1018	-1.3614	-0.7005	0.7514
1020	0.8343	1.4268	-0.3313
1021	-0.4291	1.0728	1.1668
1024	0.4192	-0.4661	-0.4961
1025	-0.4316	-0.7259	-1.3155
1026	-0.2568	-0.7840	-0.3692
1027	-0.1373	-1.3062	-0.9822
1028	-0.0328	-0.5067	-0.2055
1029	0.2633	-1.3852	-0.1869
1030	-0.0139	-0.7164	-0.0177
1031	2.0744	-0.1075	1.2923
1032	-1.0165	0.5596	-1.9279
1033	-1.6363	-0.4918	-0.8022
1034	-1.4348	0.2342	-0.8408
1035	0.2457	0.8968	-0.4171
1036	-1.2769	-1.4375	-1.4018
1037	-0.6685	-0.3516	-1.2855
1038	-0.6903	-0.8104	-0.3269

1040	-0.9796	0.4680	-0.6386	1.0253	0.9848	1.0146
1041	-0.9768	0.3942	0.1096	The residuals of the check points		
1042	-1.6970	-0.4985	-1.0231			
1045	0.2303	2.6186	-1.7315			
1046	0.0387	-0.5266	0.0859	Point ID	rX	rZ
1048	-0.2587	-0.6464	-0.4586	1039	-0.8938	-0.6902
1049	-0.0904	-0.7357	-0.1927	1022	-0.8313	-0.5491
1050	1.4572	0.8977	0.4504	The image residuals of the control points		
1051	0.3830	1.0590	-0.5793			
1052	0.6241	0.2328	0.1995			
1054	0.3614	-1.1017	1.0141			
1056	0.1960	-2.3491	1.9290	aX	aY	aZ
1057	-0.4482	-1.3821	1.3897	-0.8625	-0.6196	-0.1335
1059	0.2435	-1.9651	1.6523	mX	mY	mZ
1060	0.1989	0.1997	0.0070	0.8631	0.6236	1.5361

The image residuals of the control points

The image ID = 1			
Point ID	Vx	Vy	
1000	-0.660	1.162	
1001	-0.395	0.328	
1002	-0.616	0.389	
1011	0.147	-0.557	
1014	0.542	0.221	
1015	0.483	0.095	
1016	-0.574	0.771	
1017	0.282	-0.102	
1018	0.399	-0.223	
1020	0.266	1.265	
1021	0.684	-0.232	
1024	-0.225	0.628	
1025	-0.174	0.546	
1026	0.154	0.075	
1027	-0.020	1.536	
1028	0.003	-0.148	
1029	-0.097	-0.401	
1030	-0.006	-0.209	
1031	-0.619	-0.004	
1032	-0.227	0.697	
1033	-0.006	0.184	
1034	0.165	0.129	
1035	-0.232	-0.383	
1036	-0.592	0.374	
1037	-0.182	-0.015	
1038	0.285	-0.266	
1040	0.077	-0.598	
1041	0.297	0.102	
1042	-0.271	-0.538	
1045	-0.035	0.764	

aX	aY	aZ
0.0000	0.0000	-0.0000
mX	mY	mZ

Point ID	Vx	Vy
1046	-0.018	-0.153
1048	0.068	-0.191
1049	0.017	-0.215
1050	-0.420	0.280
1051	-0.100	0.313
1052	-0.182	0.076
1054	-0.121	-0.316
1061	0.065	-0.070
1062	0.072	-0.112
1063	0.294	-0.073
1064	-0.083	0.315
1065	0.267	0.008
1066	0.374	-0.100
1067	0.488	-0.168
1068	1.271	0.706
1070	-0.078	0.115
1071	-0.148	0.207
1072	-0.066	-0.168
1073	0.194	0.167
1074	0.616	0.124
1080	-0.164	0.129
1082	-0.374	-0.011
1083	-0.306	0.055
1084	-0.369	0.415
1085	0.367	-0.146
1086	-0.008	0.076
1087	0.170	0.059
1088	-0.390	-0.400
1089	-0.276	0.342
RMSE of 59 points: mx=0.357, my=0.439		

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
1000	0.501	-0.967
1002	0.115	-0.109
1003	-0.408	-0.261
1004	0.286	0.666
1006	-0.264	0.108
1007	-0.086	0.059
1008	-0.344	0.175
1009	-0.058	-0.701
1010	-0.286	-0.028
1012	0.326	0.066
1013	0.320	0.167
1014	-0.207	-0.164
1016	0.461	-1.164

1020	-0.472	-0.854
1021	-0.542	0.532
1024	0.109	-0.756
1025	0.305	-0.757
1026	-0.079	-0.310
1027	0.087	-1.920
1032	0.540	-0.541
1033	0.488	-0.341
1034	0.263	-0.074
1035	0.152	0.654
1036	0.957	-0.796
1037	0.372	-0.087
1038	-0.089	0.017
1040	0.204	0.734
1042	0.752	0.394
1056	-0.073	-0.696
1057	0.124	-0.413
1059	-0.085	-0.581
1060	-0.057	0.060
1064	-0.184	-0.158
1067	-0.358	0.739
1068	-1.287	-0.256
1074	-0.127	0.239
1075	0.316	0.033
1076	0.496	0.284
1078	-0.854	-0.087
1079	-0.317	0.154
1081	-0.841	0.053
RMSE of 41 points: mx=0.440, my=0.570		

The image residuals of the check points

The image ID = 1		
Point ID	Vx	Vy
1053	-2.946	1.765
1039	0.000	-0.134
1044	7.407	-1.220
1022	0.001	-0.176
1047	-4.138	-1.537
1069	-6.283	2.820
RMSE of 6 points: mx=4.475, my=1.579		
The image ID = 2		
Point ID	Vx	Vy
1039	-0.003	0.134

1055	0.576	-0.390
1022	-0.005	0.177
1058	1.391	-7.141
1005	-3.212	2.535
1077	-10.121	3.762

RMSE of 6 points: mx=4.378, my=3.459

B.5 Triangulation der Luftbilder von 2003

GCP Type: *Same weighted values*

Standard Deviations: $X = 0,3$; $Y = 0,3$; $Z = 0,5$

B.5.1 Additional Parameter Modell: No additional Parameters

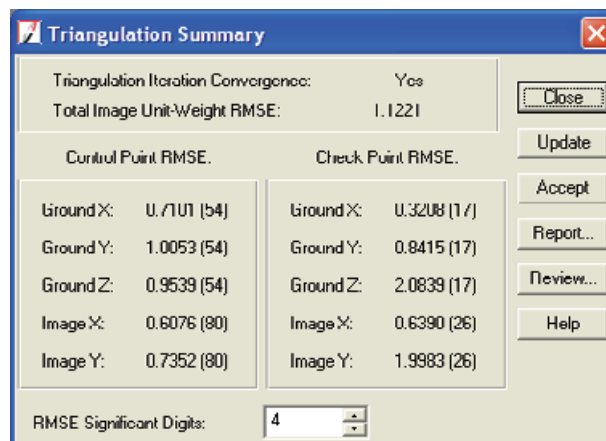


Abbildung B.41: Triangulationszusammenfassung 5.1

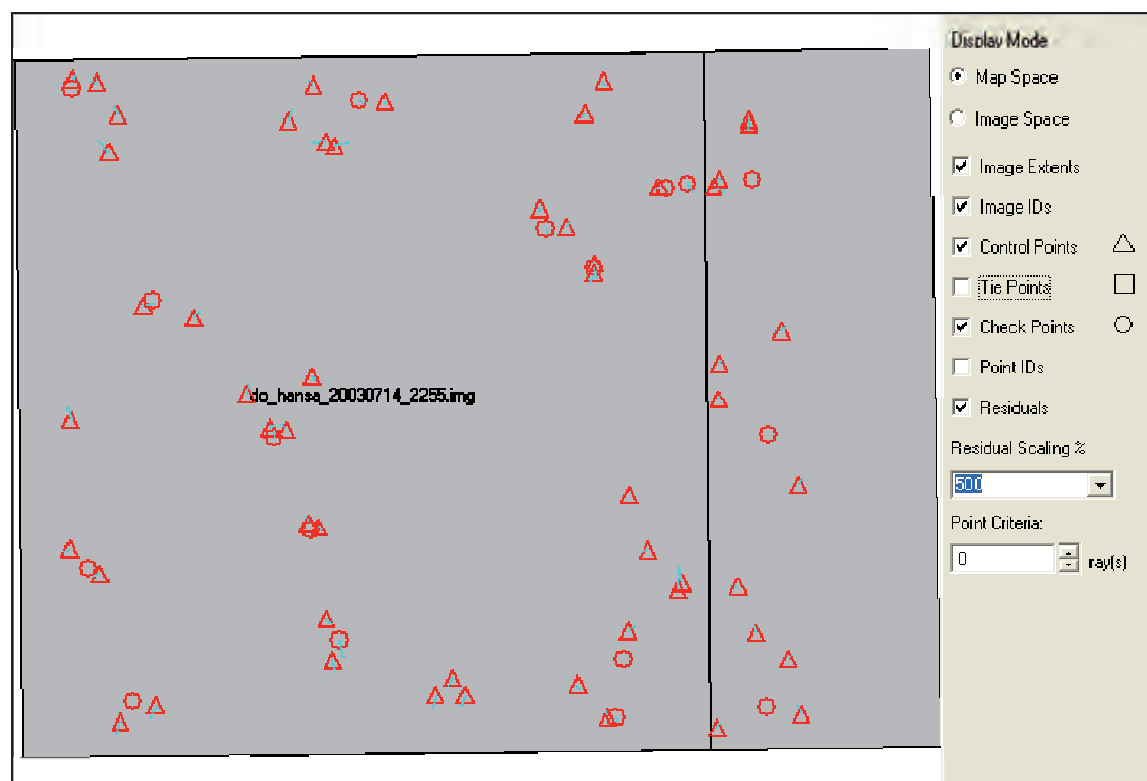


Abbildung B.42: Residuenübersicht 5.1

B.5.2 Additional Parameter Modell: Bauer's simple model (3)

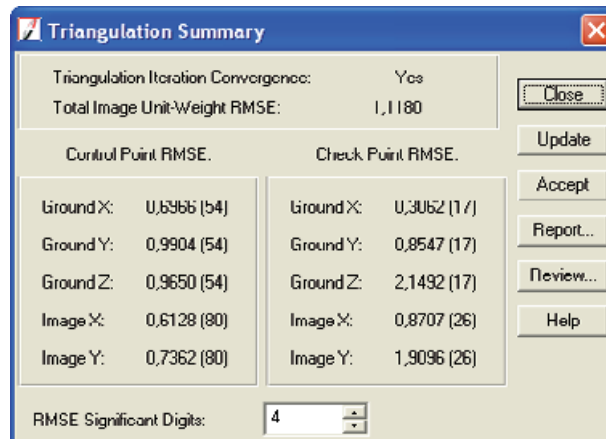


Abbildung B.43: Triangulationszusammenfassung 5.2

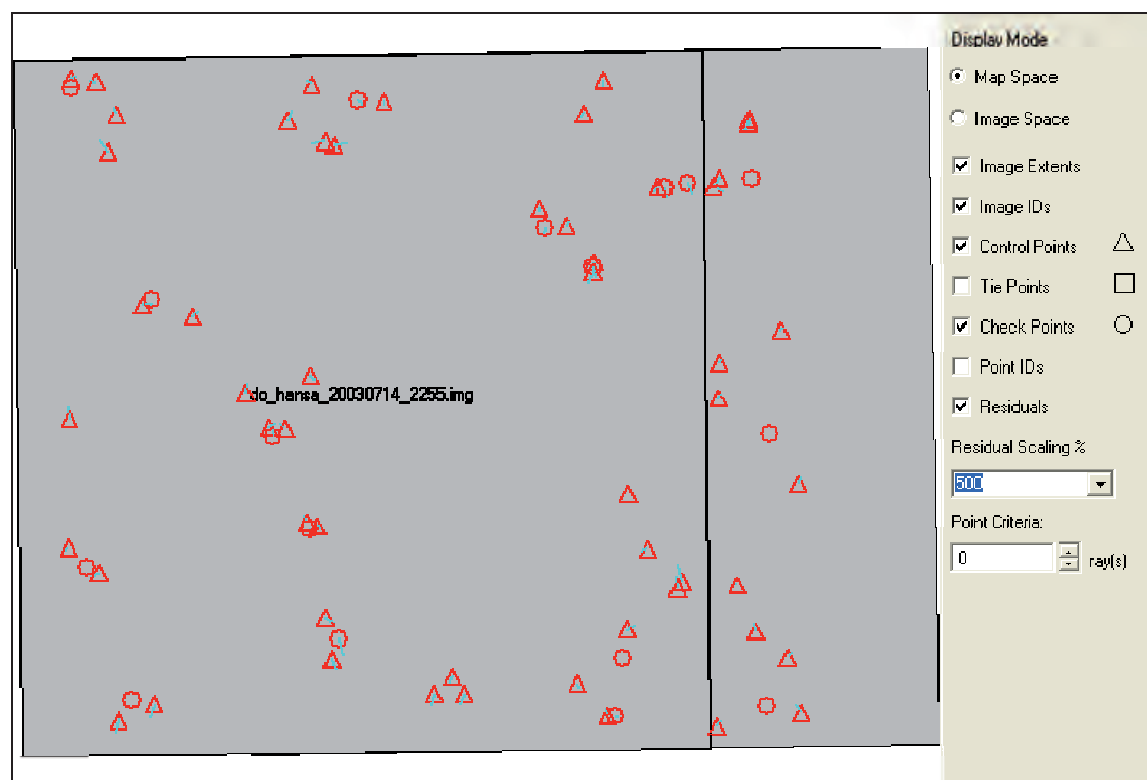


Abbildung B.44: Residuenübersicht 5.2

B.5.3 Additional Parameter Modell: Jacobsen's simple model (4)

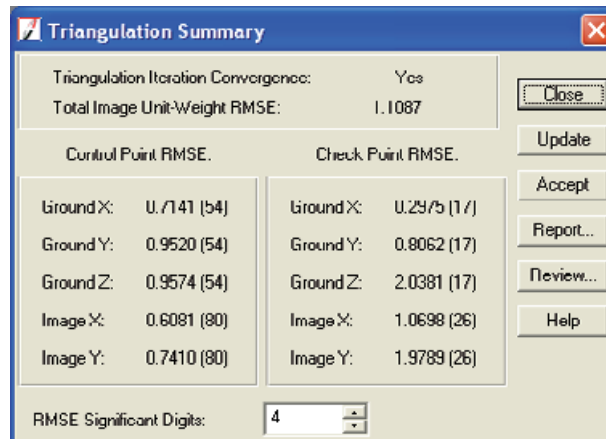


Abbildung B.45: Triangulationszusammenfassung 5.3

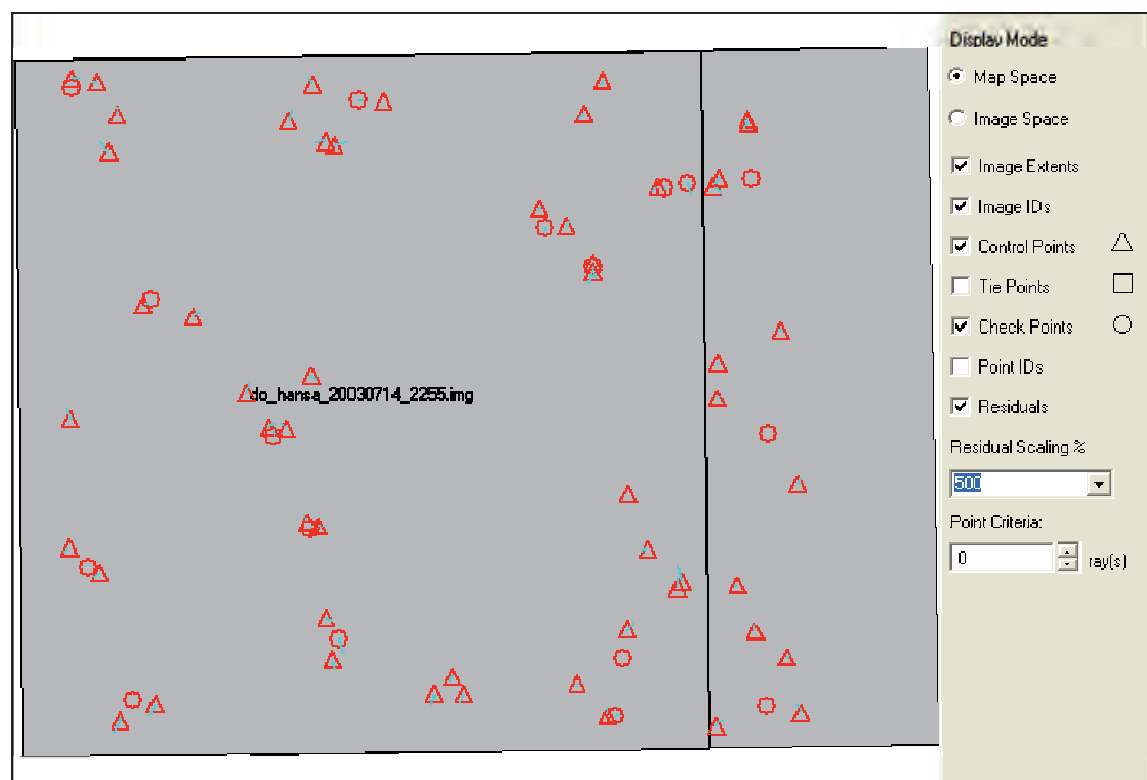


Abbildung B.46: Residuenübersicht 5.3

B.5.4 Additional Parameter Modell: Ebner's orthogonal model (12)

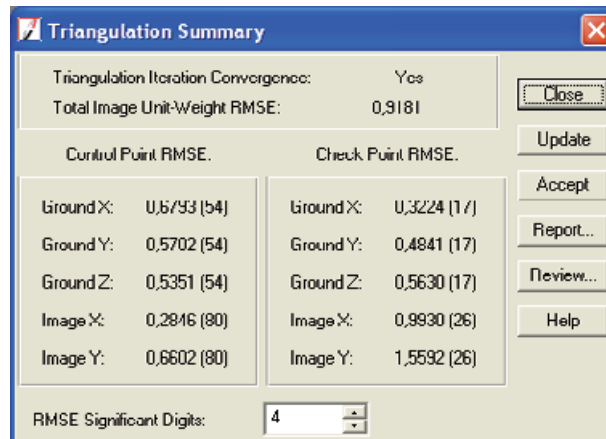


Abbildung B.47: Triangulationszusammenfassung 5.4

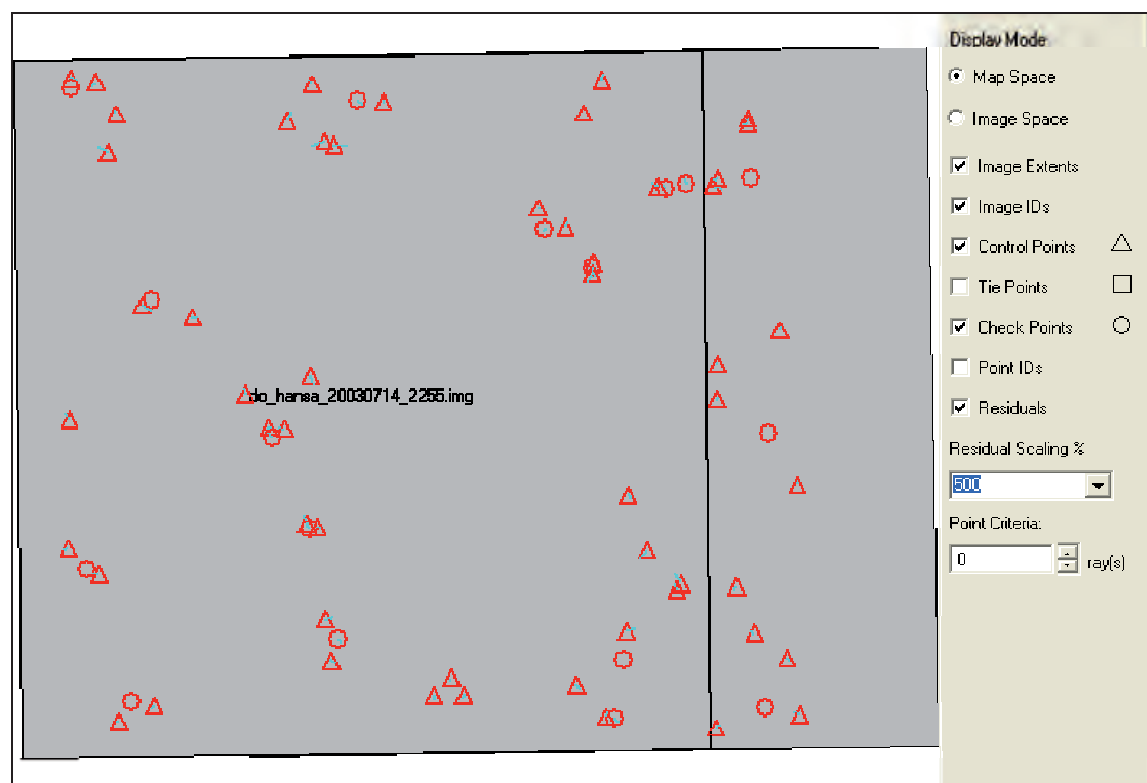


Abbildung B.48: Residuenübersicht 5.4

B.5.5 Additional Parameter Modell: Brown's physical model (14)

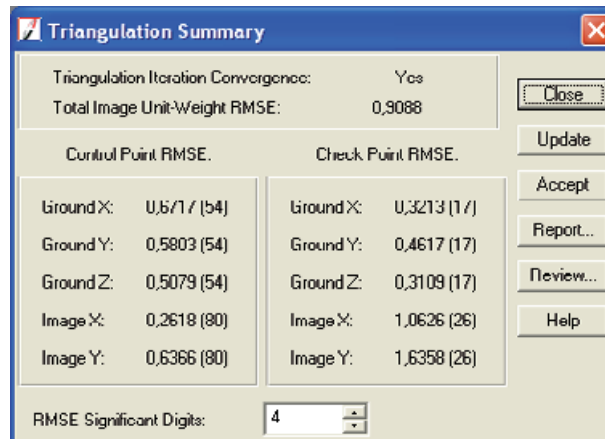


Abbildung B.49: Triangulationszusammenfassung 5.5

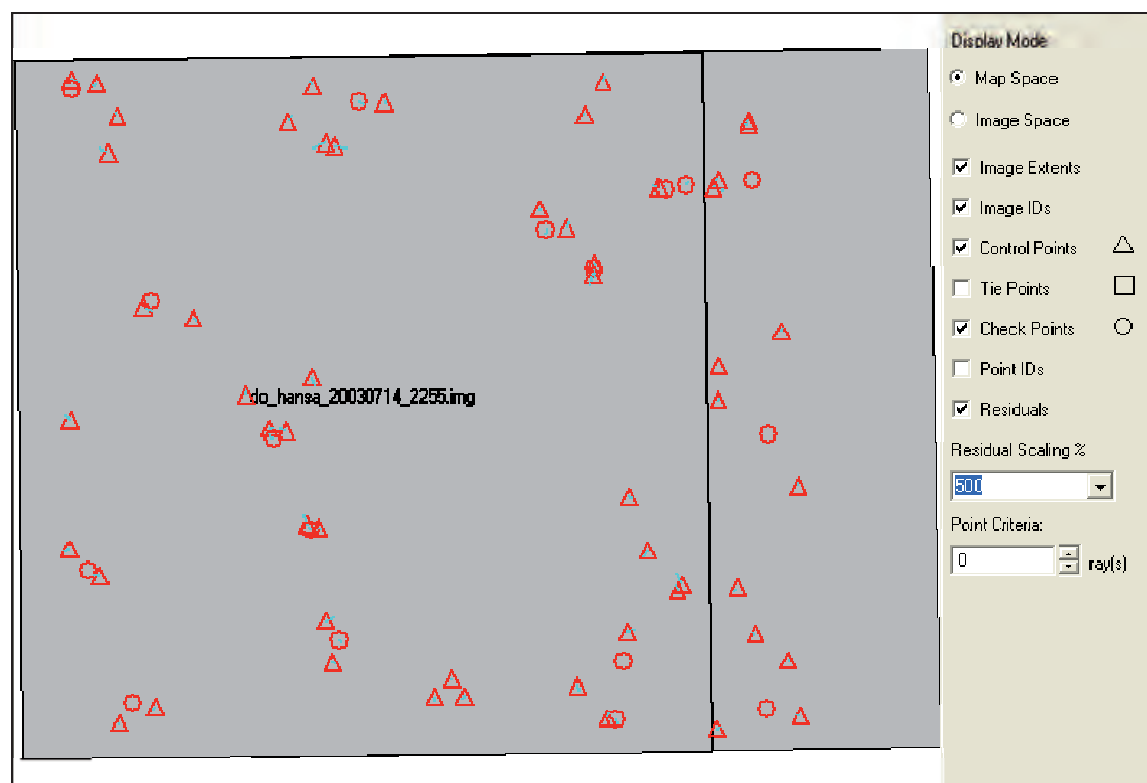


Abbildung B.50: Residuenübersicht 5.5

Bericht B.5: Triangulationsbericht 5 zur Triangulation mit
Brown's physical model (14) (gekürzt)

The Triangulation Report With IPS

The output image x, y units: pixels
The output angle unit: degrees
The output ground X, Y, Z units: meters

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0,9101
the maximal correction of the object points = 7,69543

the no. of iteration =2 the standard error = 0,9088
the maximal correction of the object points = 0,08463

the no. of iteration =3 the standard error = 0,9088
the maximal correction of the object points = 0,00257

the no. of iteration =4 the standard error = 0,9088
the maximal correction of the object points = 0,00004

The exterior orientation parameters				
image ID	Xs	Ys	Zs	KAPPA
1	2599017,8886	5713019,0737	4018,8098	-0,1236
2	2598010,0519	5713011,3727	4019,8724	-0,2046

The interior orientation parameters of photos			
image ID	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	302,0400	0,0130	0,0340
2	302,0400	0,0130	0,0340

The values and accuracy of the additional parameters			
No.	Ai	mAi	MaxX
1	3,5371E-004		1,8927
2	2,5164E-004		1,3389
3	-9,6436E-006		-5,8228
4	-1,4863E-006		-0,8924
5	4,9236E-009		0,3374
6	-1,0164E-008		-0,6925
7	-4,9193E-011		-0,3803
8	1,2474E-005		0,0005
9	-1,3432E-007		-0,0000
10	3,6972E-009		0,0000

11	-3,1138E-008	-0,0001	2,1141
12	-2,4603E-010	-0,0001	1,8956
13	1,1965E-012	1,0499	-1,0398
14	2,5872E-008	3,5458	-3,5118
Total	5351,42Mx	5300,04My	-8,2206

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
1	-0,1326	-0,4260	-0,2829
2	-0,5206	0,3121	0,7324
4	1,1462	0,2790	-0,7361
5	1,2281	0,9190	-0,5374
7	-1,1540	-0,6938	0,3511
8	-0,5204	-0,7513	0,5054
9	0,6392	0,1218	-0,2934
10	-0,1398	-0,7194	0,0297
11	0,5634	-0,0173	-0,4460
13	-0,8848	-0,2311	0,9730
14	-0,5502	0,1336	0,4327
16	-0,7698	-0,0874	0,6629
17	-0,4949	-1,2555	0,0344
19	0,5387	-0,0230	0,2800
20	-0,3715	0,3841	-0,1292
22	-0,1169	0,1793	-0,0919
23	0,5715	0,1964	-0,3651
24	1,1345	-0,4784	-0,8870
26	-0,1923	0,5746	-0,2272
27	-0,0002	0,6088	-0,4579
28	-0,1743	0,2309	-0,0001
29	0,3582	1,2380	0,0514
30	-0,4767	-0,3905	0,3260
31	0,4395	-0,9077	-1,0437
32	-1,7534	0,7056	0,3301
33	1,7557	0,1458	-0,0706
35	0,1409	0,2682	0,6792
37	-0,0399	-0,0084	-0,0358
38	0,2164	-0,6898	-0,7830
39	0,0783	0,2050	-0,9627
41	0,3156	-0,7128	-0,4153
42	0,0187	0,8876	0,3901
44	-0,4732	1,4667	-0,0685
47	-0,6319	-0,3514	0,6797
48	-0,8650	0,9128	-0,1922
49	-0,7758	-1,3919	0,3876
50	1,1740	-0,2587	0,9925
53	0,1027	-0,5170	0,4151

54	0,4507	0,6370	-1,2458	19	0,154	0,615
55	0,5038	0,3502	0,3240	23	-0,075	-0,339
57	-0,4101	-0,2221	-0,0568	24	-0,519	-0,043
58	0,3198	0,2319	0,0156	26	0,168	0,383
60	-0,7852	-0,0043	-0,5244	27	0,038	1,146
61	0,7376	-0,2840	0,5942	28	0,105	1,592
62	-0,4400	0,5301	-0,5169	30	0,294	1,364
64	-0,1010	-0,3898	0,0352	31	-0,071	-0,295
65	0,1357	-0,4174	-0,0085	32	-0,197	-0,096
66	0,3278	-0,2551	0,1347	33	-0,032	0,017
67	-0,0330	-0,0388	-0,0182	35	0,193	0,414
69	1,3382	0,3416	0,7658	38	-0,112	-1,461
70	-0,5564	0,0046	-0,2796	39	-0,530	-0,932
71	-0,2249	0,2911	0,1418	41	-0,111	0,221
72	-0,4618	0,1654	-0,0776	42	-0,006	0,084
36	-0,1842	-0,7981	0,4895	44	-0,155	0,652
	aX	aY	aZ	47	0,706	1,108
	0,0000	0,0000	0,0000	48	0,489	-1,314
	mX	mY	mZ	49	0,186	-0,424
	0,6717	0,5803	0,5079	50	-0,082	-0,552
The residuals of the check points						
Point ID	rX	rY	rZ	53	-0,092	1,082
25	0,3085	0,4069	-0,4370	54	-0,478	0,843
43	0,1000	1,1906	-0,3081	57	0,139	-0,072
45	0,0613	-0,3552	0,3394	58	-0,109	0,076
46	-0,3769	-0,4227	-0,2399	60	0,264	0,003
34	0,7993	0,4194	0,1918	61	-0,246	-0,099
12	-0,7246	-0,6542	0,2832	62	0,145	0,180
52	0,4355	0,6705	0,3711	64	0,036	-0,130
40	-0,1239	0,6019	-0,8304	65	-0,043	-0,140
18	-0,3683	-0,5655	-0,4899	66	-0,109	-0,087
	aX	aY	aZ	67	0,011	-0,013
	0,0123	0,1435	-0,1244	69	-0,451	0,107
	mX	mY	mZ	70	0,187	0,004
	0,4416	0,6345	0,4273	71	0,074	0,098
				72	0,154	0,058
				36	0,102	-0,578
RMSE of 39 points: mx=0,255, my=0,640						

The image residuals of the control points

The image ID = 1

Point ID	Vx	Vy
11	-0,139	-0,036
13	0,358	0,094
17	-0,247	0,258

The image ID = 2

Point ID	Vx	Vy
1	0,046	-0,142
2	0,173	0,106
4	-0,385	0,089
5	-0,415	0,302
7	0,390	-0,227
8	0,177	-0,249

9	-0,215	0,038
10	0,050	-0,240
11	-0,050	0,028
13	-0,061	-0,167
14	0,184	0,047
16	0,259	-0,026
17	0,418	-0,677
19	-0,337	-0,626
20	0,123	0,130
22	0,038	0,060
23	-0,117	0,402
24	0,142	-0,123
26	-0,107	-0,190
27	-0,043	-0,944
28	-0,052	-1,516
29	-0,125	0,413
30	-0,137	-1,492
31	-0,072	-0,010
32	0,782	0,338
33	-0,557	0,025
35	-0,243	-0,324
37	0,013	-0,003
38	0,046	1,230
39	0,507	0,999
41	0,008	-0,461
42	-0,005	0,213
44	0,306	-0,160
47	-0,496	-1,222
48	-0,198	1,627
49	0,081	-0,039
50	-0,311	0,461
53	0,056	-1,258
54	0,322	-0,634
55	-0,171	0,115
36	-0,036	0,312
RMSE of 41 points: mx=0,268, my=0,634		

The image residuals of the check points

The image ID = 1		
Point ID	Vx	Vy
25	-0,004	0,494
43	0,000	-0,029
59	0,815	4,082
45	0,002	-0,265

46	-0,001	0,162
63	1,314	3,699
34	0,002	-0,283
12	0,002	-0,222
68	2,169	-3,260
52	-0,004	0,447
40	0,001	-0,179
18	-0,004	0,508
RMSE of 12 points: mx=0,769, my=1,869		
The image ID = 2		
Point ID	Vx	Vy
25	0,002	-0,495
43	-0,000	0,029
3	-3,374	2,392
45	-0,001	0,265
46	0,001	-0,162
34	-0,001	0,283
15	-0,632	1,488
21	-0,676	1,878
12	-0,001	0,223
51	-2,786	1,831
52	0,003	-0,448
6	-1,501	3,445
40	-0,001	0,179
18	0,002	-0,509
RMSE of 14 points: mx=1,261, my=1,405		

Anhang C – Auswertung

Übersicht

- C.1 Geländemodellextraktion
 - C.1.1 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1943
 - Abbildung C.1: Ausschlussbereiche 1943
 - Abbildung C.2: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1943
 - Bericht C.1: Geländemodellextraktionsbericht 1 zur Triangulation mit *Brown's physical model* (14)
 - C.1.2 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1945
 - Abbildung C.3: Ausschlussbereiche 1945
 - Abbildung C.4: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1945
 - Bericht C.2: Geländemodellextraktionsbericht 2 zur Triangulation mit *Brown's physical model* (14)
 - C.1.3 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1959
 - Abbildung C.5: Ausschlussbereiche 1959
 - Abbildung C.6: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1959
 - Bericht C.3: Geländemodellextraktionsbericht 3 zur Triangulation mit *Brown's physical model* (14)
 - C.1.4 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1969
 - Abbildung C.7: Ausschlussbereiche 1969
 - Abbildung C.8: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1969
 - Bericht C.4: Geländemodellextraktionsbericht 4 zur Triangulation mit *Brown's physical model* (14)
 - C.1.5 Geländemodelle aus den Luftbildern von 2003
 - Abbildung C.9: Ausschlussbereiche 2003
 - Abbildung C.10: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 2003

Bericht C.5: Geländemodellextraktionsbericht 5 zur Triangulation
mit *Brown's physical model* (14)

C.2 Orthofotokarten

Abbildung C.11: Orthofoto 1943 und DGK5 2006

Abbildung C.12: Orthofoto 1945 und DGK5 2006

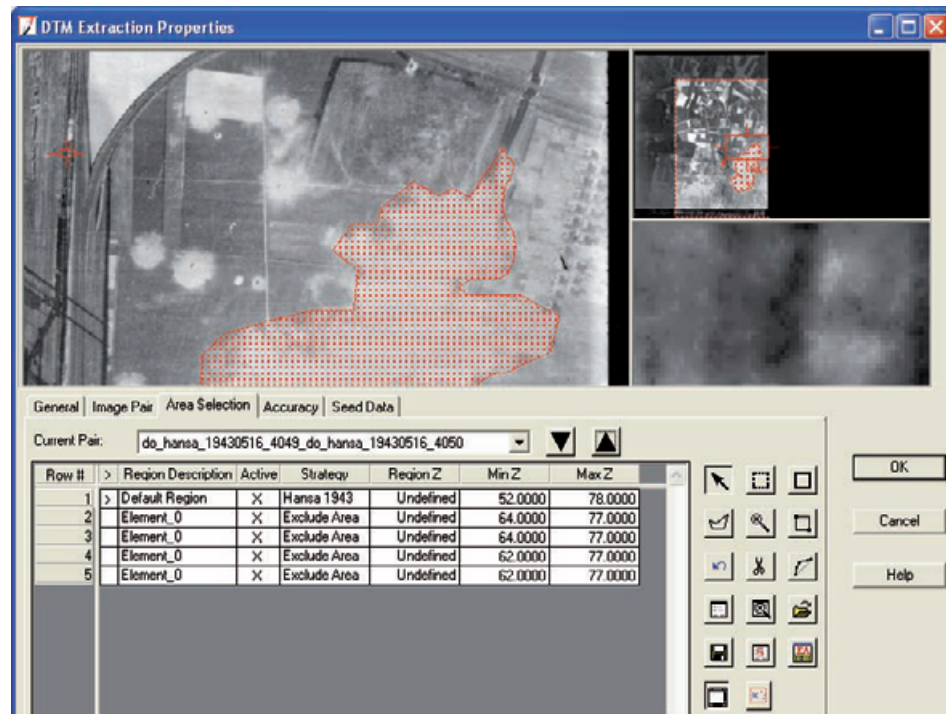
Abbildung C.13: Orthofoto 1959 und DGK5 2006

Abbildung C.14: Orthofoto 1969 und DGK5 2006

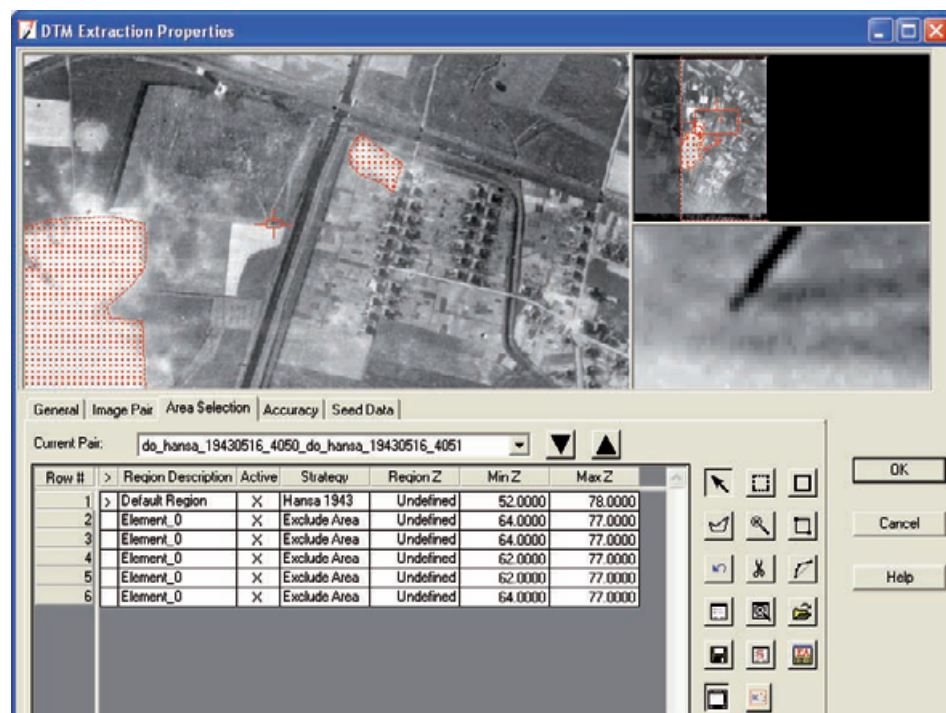
Abbildung C.15: Orthofoto 2003 und DGK5 2006

C.1 Geländemodellextraktion

C.1.1 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1943



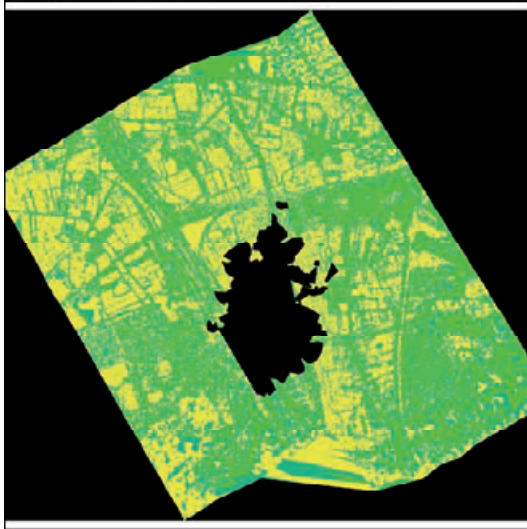
a)



b)

Abbildung C.1: Ausschlussbereiche 1943

Ohne zusätzliche Parameter

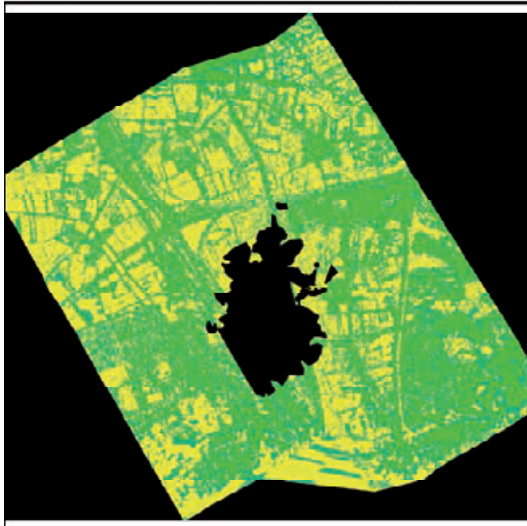


**Korrelation der Grauwerte
in den Korrelationsfenstern**

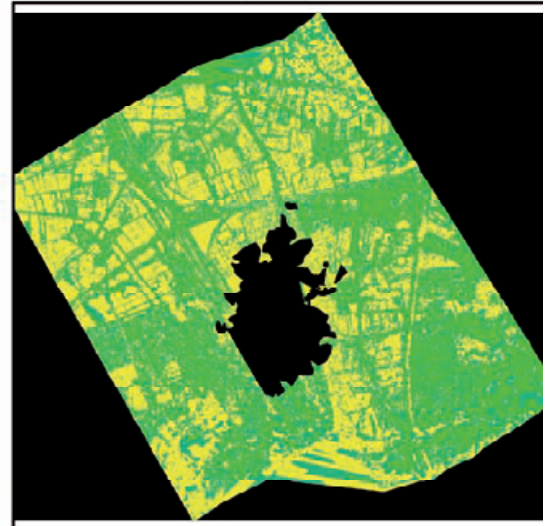


0 500 1.000 2.000 m

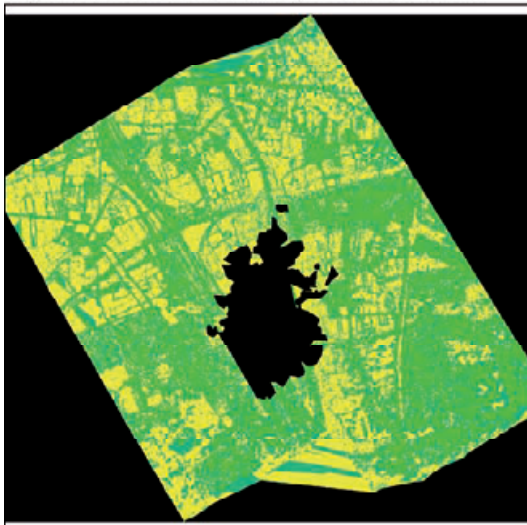
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

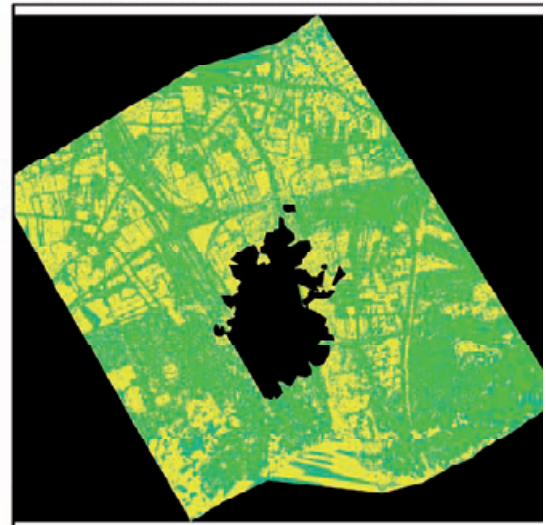


Abbildung C.2: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1943

Bericht C.1: Geländemodellextraktionsbericht 1 zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)*

DTM Extraction Report
Date Created: 03/14/08
Time Created: 20:57:56

DTM PROJECT INFORMATION

Block File Used: do_hansa_1943_04_brown.blk
Block File Location: d:/projekte/diss/do_hansa/19430516/anhang/
DTM Correlation Time (seconds): 307
Points Per Second: 775.316
DTM Generation Time (seconds): 9
Total Processing Time (seconds): 316

DTM Type: Terramodel TIN
DTM Name: d:/projekte/diss/do_hansa/19430516/anhang/do_hansa_1943_tin_04_brown_2m.pro
Number of Mass Points Extracted: 219912
Upper left corner of DTM Bounding Box: (2596337.639, 5715382.167)
Lower right corner of DTM Bounding Box: (2600724.485, 5711351.262)

Minimum Mass Point Elevation: -49.7260
Maximum Mass Point Elevation: 154.5560
Mean Mass Point Elevation: 62.9238

Projection: Transverse Mercator
Spheroid: Bessel
Datum: DE DHN (Middle) to ETRS89
Horizontal Units: meters
Vertical Units: meters

Adaptive ATE
Stop at pyramid: 0
Minimum correlation threshold: 0.3000
Input cell size:
Height: 2.0000
Width: 2.0000

Strategy Parameter Settings:

Image Pair Name: do_hansa_19430516_4049 do_hansa_19430516_4050
Region Description: Default Region
Name of Strategy Used: Hansa 1943

List All of the Strategy Parameter Values Used:

Search Size: 13 x 5
Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 52.0000 to 78.0000

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Image Pair Name: do_hansa_19430516_4050 do_hansa_19430516_4051
Region Description: Default Region
Name of Strategy Used: Hansa 1943

List All of the Strategy Parameter Values Used:

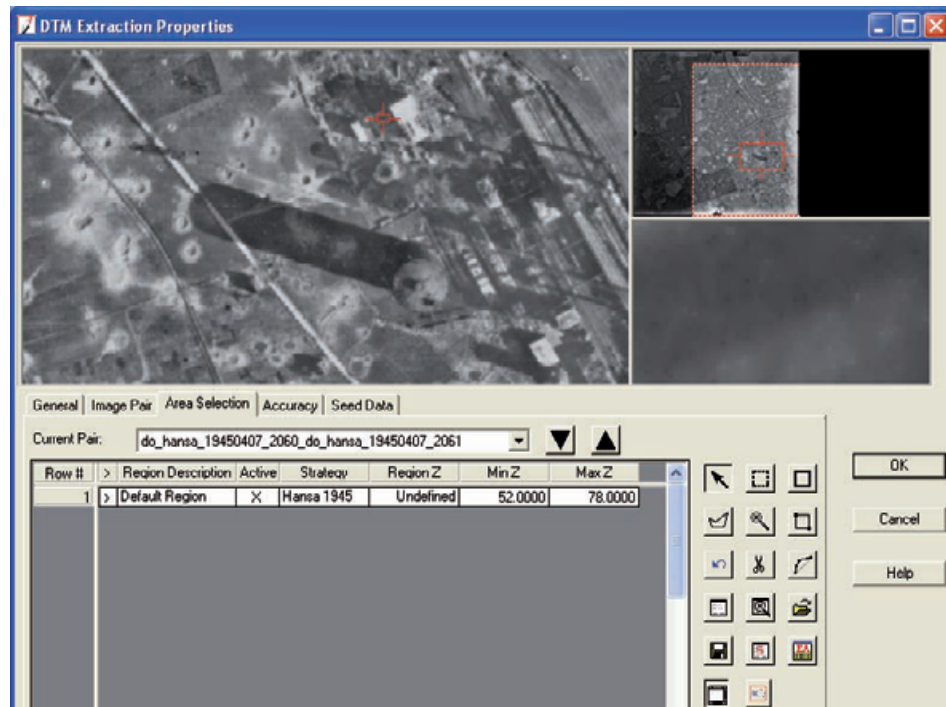
Search Size: 13 x 5
Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 52.0000 to 78.0000

Region Description: Element_0

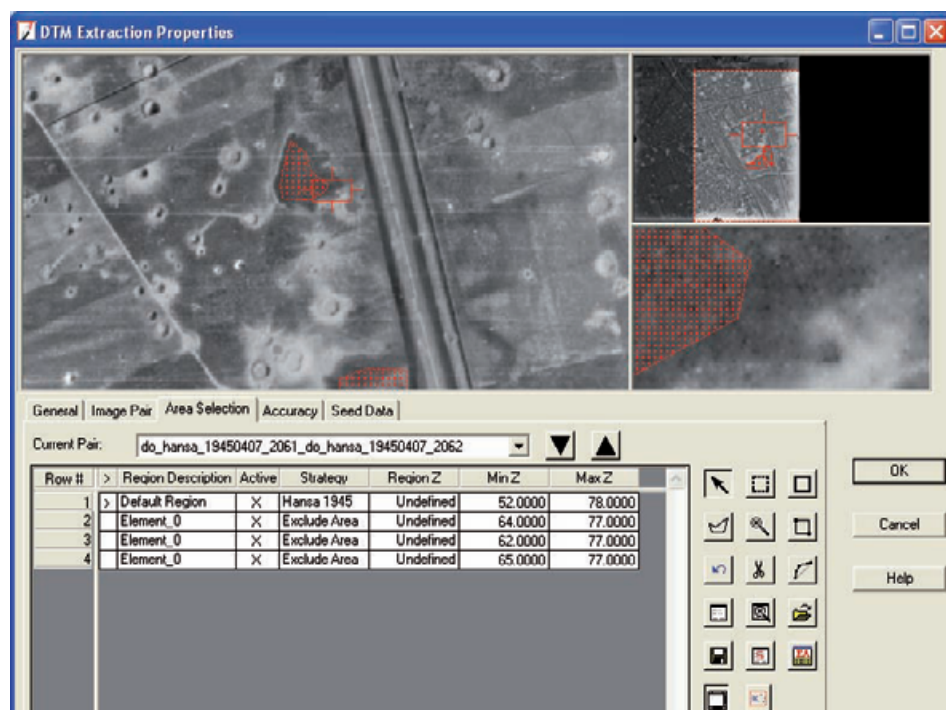
42	2599595.0323	5713827.6784	68.5765	63.5177	-5.0588
43	2599706.0906	5713737.6472	70.8184	62.2235	-8.5949
44	2599210.7655	5713799.0223	66.9896	61.2063	-5.7833
45	2599139.4401	5713143.7121	68.0003	61.6776	-6.3227
46	2599105.6873	5713445.5421	66.8959	58.8841	-8.0118
48	2599597.3428	5712838.6987	69.3376	52.9161	-16.4216
49	2599647.7659	5711867.2834	70.1980	62.6681	-7.5300
50	2599643.0000	5711852.5891	70.3108	64.7111	-5.5997
52	2598222.1503	5712032.4666	71.1885	67.9765	-3.2121
53	2598149.6074	5712005.5139	73.2071	62.1178	-11.0892
54	2598153.0482	5711844.0845	73.9747	66.5939	-7.3807
55	2598193.4772	5711789.3189	72.6243	71.6471	-0.9772
56	2598176.2734	5711813.1176	73.5786	66.4394	-7.1392
104	2599767.6878	5713082.9153	70.6974	61.5648	-9.1326

Block Tie Point to DTM Vertical Accuracy
Total # of Tie Points Used: 102
Minimum, Maximum Error: -26.7181, 13.4144
Mean Error: -3.7102
Mean Absolute Error: 5.0527
Root Mean Square Error: 6.9034
Absolute Linear Error 90: 11.2520
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 7.7426

C.1.2 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1945



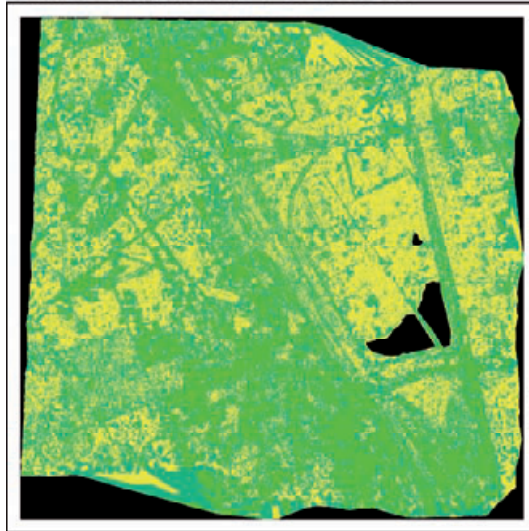
a)



b)

Abbildung C.3: Ausschlussbereiche 1945

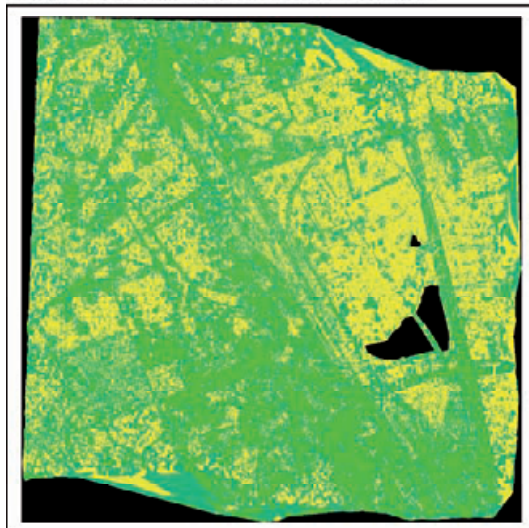
Ohne zusätzliche Parameter



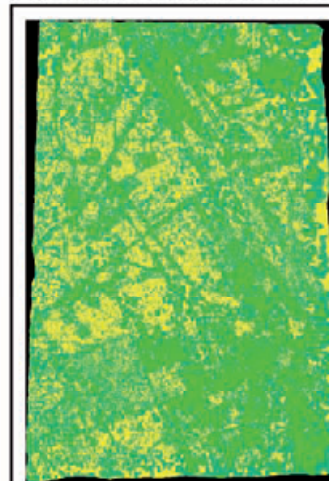
**Korrelation der Grauwerte
in den Korrelationsfenstern**



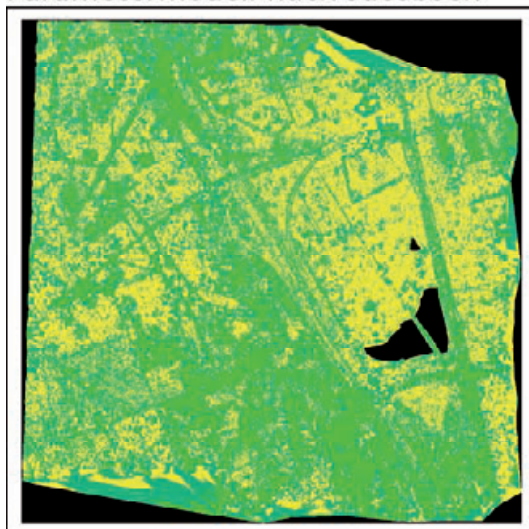
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

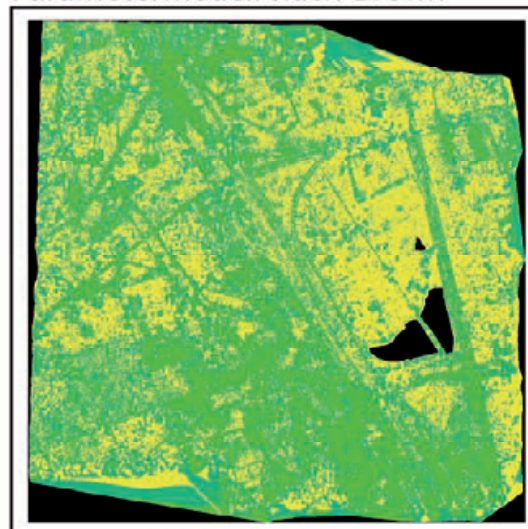


Abbildung C.4: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1945

Bericht C.2: Geländemodellextraktionsbericht 2 zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)*

DTM Extraction Report
Date Created: 03/15/08
Time Created: 12:04:12

DTM PROJECT INFORMATION

Block File Used: do_hansa_1945_05_brown.blk
Block File Location: d:/projekte/diss/do_hansa/19450407/anhang_1945/
DTM Correlation Time (seconds): 438
Points Per Second: 712.847
DTM Generation Time (seconds): 10
Total Processing Time (seconds): 448

DTM Type: Terramodel TIN

DTM Name:
d:/projekte/diss/do_hansa/19450407/anhang_1945/do_hansa_1945_tin_05_brown_2m.pro
Number of Mass Points Extracted: 245908
Upper left corner of DTM Bounding Box: (2596747.360, 5714399.249)
Lower right corner of DTM Bounding Box: (2599038.633, 5712076.053)

Minimum Mass Point Elevation: 10.5139
Maximum Mass Point Elevation: 236.7294
Mean Mass Point Elevation: 60.2559

Projection: Transverse Mercator
Spheroid: Bessel
Datum: DE DHN (Middle) to ETRS89
Horizontal Units: meters
Vertical Units: meters

Adaptive ATE
Stop at pyramid: 0
Minimum correlation threshold: 0.3000
Input cell size:
Height: 2.0000
Width: 2.0000

Strategy Parameter Settings:

Image Pair Name: do_hansa_19450407_2060_do_hansa_19450407_2061
Region Description: Default Region

Name of Strategy Used: Hansa_1943
List All of the Strategy Parameter Values Used:
Search Size: 25 x 5
Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 52.0000 to 78.0000

Image Pair Name: do_hansa_19450407_2061_do_hansa_19450407_2062
Region Description: Default Region

Name of Strategy Used: Hansa_1943
List All of the Strategy Parameter Values Used:
Search Size: 25 x 5
Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 52.0000 to 78.0000

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Project elevation range: 52.0000 to 78.0000

ACCURACY INFORMATION

General Mass Point Quality:

Excellent % (1-0.85): 36.2684 %
Good % (0.85-0.70): 26.3574 %
Fair % (0.70-0.5): 37.3741 %
Isolated %: 0.0000 %
Suspicious %: 0.0000 %

Global Accuracy:

Vertical Accuracy:

Total # of 3D Reference Points Used: 134
Minimum, Maximum Error: -17.0903, 26.7939
Mean Error: 0.4845
Mean Absolute Error: 2.8466
Root Mean Square Error (RMSE): 4.7455
Absolute Linear Error 90 (LE90): 7.1696
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 7.7702

Block Check Point to DTM Vertical Accuracy

Total # of Check Points Used: 4
Minimum, Maximum Error: 1.0868, 12.3991
Mean Error: 6.8708
Mean Absolute Error: 6.8708
Root Mean Square Error: 8.1957
Absolute Linear Error 90: 12.3991
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 7.3542

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z	DTM Z	Residual
1017	2596838.3088	5714303.4292	63.1283	67.3162	4.1879
1030	2596923.9534	5713684.2968	69.2014	70.2882	1.0868
1034	2598113.9488	5712519.3062	61.5297	71.3390	9.8093
1071	2598725.5686	5713712.5324	63.7524	76.1515	12.3991

Block GCP to DTM Vertical Accuracy

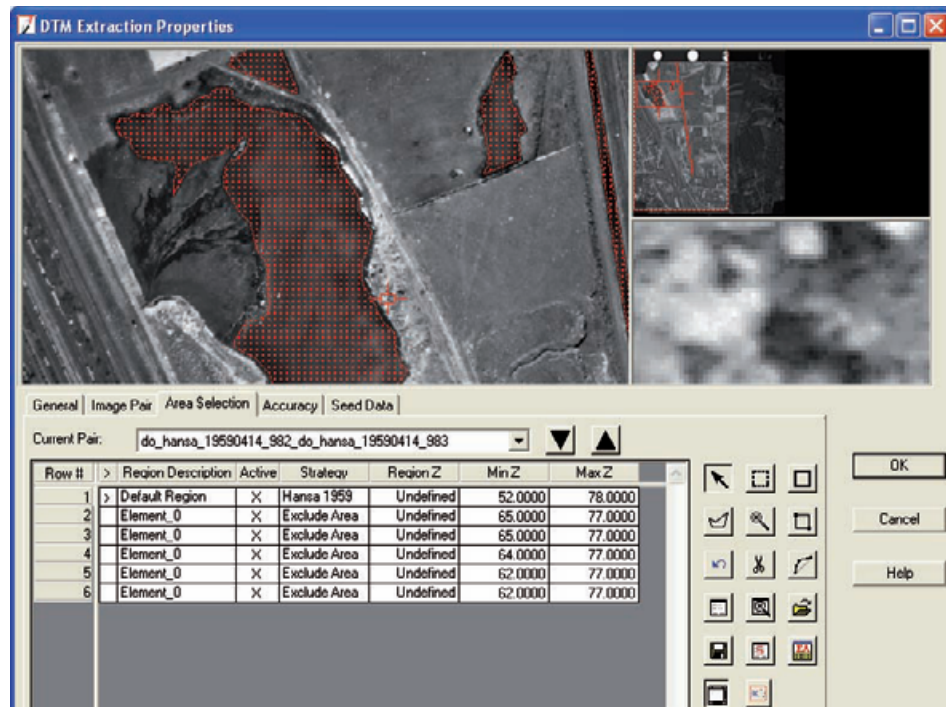
Total # of GCPs Used: 25
Minimum, Maximum Error: -17.0903, 13.9957
Mean Error: -0.4313
Mean Absolute Error: 5.7964
Root Mean Square Error: 7.1161
Absolute Linear Error 90: 9.9927
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 6.7946

Detailed Point Accuracy Information:

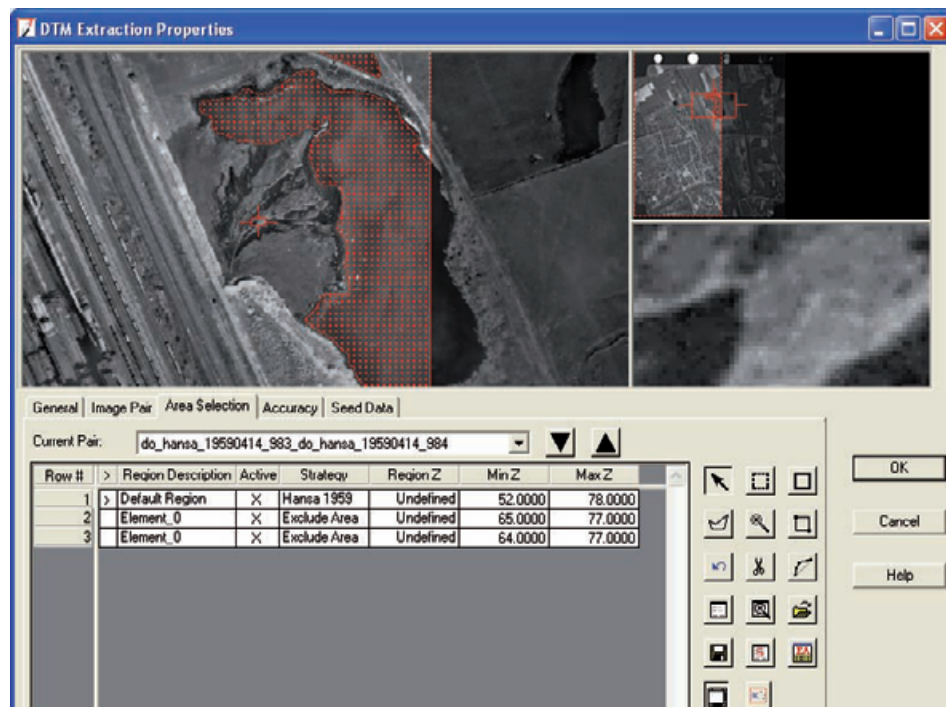
Block Tie Point to DTM Vertical Accuracy
Total # of Tie Points Used: 105
Minimum, Maximum Error: -14.3215, 26.7939
Mean Error: 0.4593
Mean Absolute Error: 1.9910
Root Mean Square Error: 3.7581
Absolute Linear Error 90: 4.5341
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 5.2464

Pt.ID	X	Y	Z	DTM Z	Residual
1009	2597559.2059	5712645.1403	65.3287	59.5418	-5.7869
1011	2597887.5118	5713010.5235	63.7469	60.4262	-3.3208
1013	2597665.9423	5712980.3668	63.7968	54.7800	-9.0168
1015	2597920.6823	5713868.5502	69.1132	72.9749	3.8617
1016	2596941.4171	5714260.4885	61.4263	66.5652	5.1390
1020	2596985.3333	5713634.0775	68.9703	69.4847	0.5145
1021	2597163.6504	5713491.9111	71.4832	62.8314	-8.6518
1022	2597284.4694	5713390.5022	71.2205	54.1302	-17.0903
1023	2597674.6706	5714268.3362	65.0200	74.6877	9.6677
1026	2597922.0352	5714172.4290	69.1650	75.5002	6.3352
1027	2597909.6622	5714174.3697	68.7086	64.3434	-4.3652
1028	2596973.6881	5713638.2018	69.1839	70.5461	1.3623
1029	2596911.8230	5713688.9062	69.2162	67.6367	-1.5795
1032	2597625.0959	5712481.9413	68.4267	58.4340	-9.9927
1033	2597905.7932	5712346.0834	68.3589	70.6215	2.2626
1035	2598137.7249	5712428.8139	63.9229	73.2662	9.3433
1036	2598181.1516	5712415.2283	64.4071	70.3234	5.9163
1037	2598201.3415	5712228.4886	67.0931	70.4166	3.3235
1038	2598694.2560	5713776.4997	63.3848	68.7033	5.3185
1039	2598809.2509	5713896.5909	64.6893	64.7128	0.0235
1040	2598825.6469	5713851.2859	64.6977	62.2618	-2.4359
1041	2598937.1055	5713790.5726	65.4638	58.3151	-7.1487
1042	2598752.4829	5713601.8230	63.9688	77.9646	13.9957
1043	2598662.7166	5713854.3763	63.8360	62.7150	-1.1210
1067	2597753.6183	5713850.0420	69.4989	62.1608	-7.3380

C.1.3 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1959



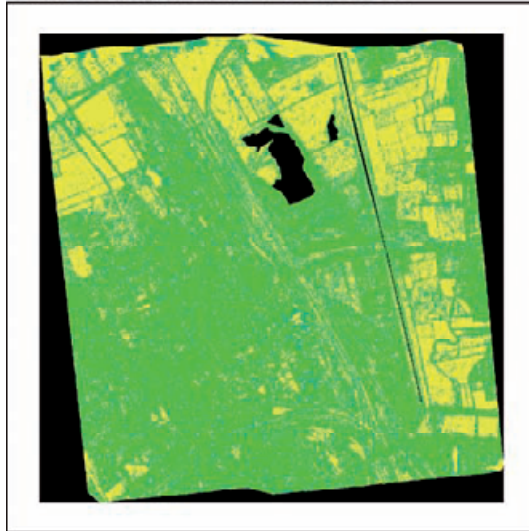
a)



b)

Abbildung C.5: Ausschlussbereiche 1959

Ohne zusätzliche Parameter



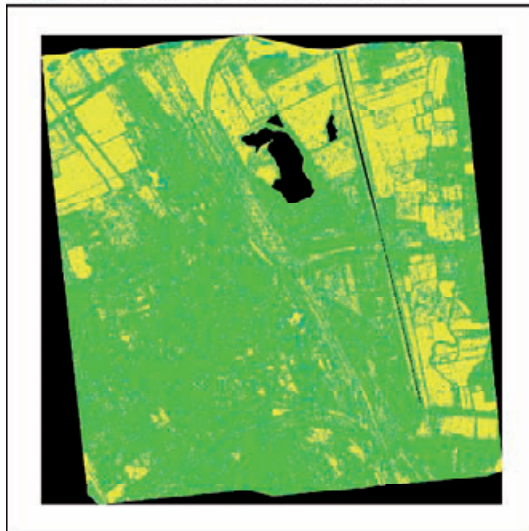
**Korrelation der Grauwerte
in den Korrelationsfenstern**

Value

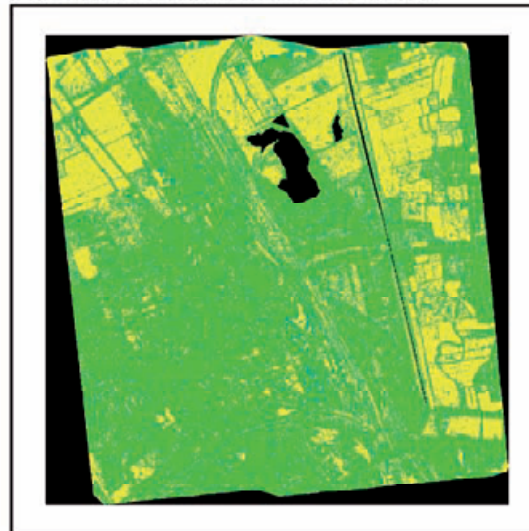
- (Hintergrund)
- sehr gut (0,85 - 1)
- gut (0,7 - 0,85)
- ausreichend (0,5 - 0,7)

0 500 1.000 2.000 m

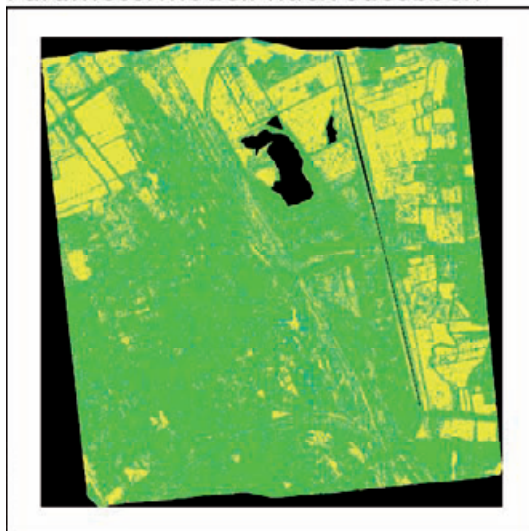
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

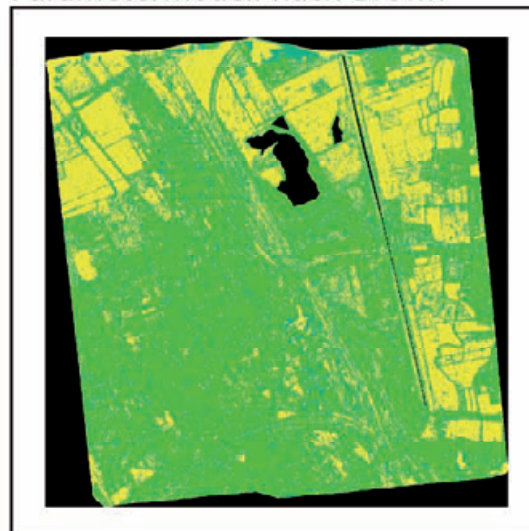


Abbildung C.6: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1959

Bericht C.3: Geländemodellextraktionsbericht 3 zur Triangulation mit *Bauers's simple model (2)*

DTM Extraction Report
Date Created: 03/16/08
Time Created: 16:32:16

DTM PROJECT INFORMATION

Block File Used: do_hansa_1959_02_bauer.blk
Block File Location: d:/projekte/diss/do_hansa/19590414/anhang_1959/
DTM Correlation Time (seconds): 302
Points Per Second: 1676.848
DTM Generation Time (seconds): 24
Total Processing Time (seconds): 326

DTM Type: Terramodel TIN

DTM Name:

d:/projekte/diss/do_hansa/19590414/anhang_1959/do_hansa_1959_tin_02_bauer_2m.pro
Number of Mass Points Extracted: 406111
Upper left corner of DTM Bounding Box: (2597199.665, 5713772.431)
Lower right corner of DTM Bounding Box: (2599323.295, 5711602.151)

Minimum Mass Point Elevation: 27.2982
Maximum Mass Point Elevation: 85.9135
Mean Mass Point Elevation: 65.7658

Projection: Transverse Mercator
Spheroid: Bessel
Datum: DE_DHDN (Middle) to ETRS89
Horizontal Units: meters
Vertical Units: meters

Adaptive ATE

Stop at pyramid: 0
Minimum correlation threshold: 0.3000
Input cell size:
Height: 2.0000
Width: 2.0000

Strategy Parameter Settings:

Image Pair Name: do_hansa_19590414_982_do_hansa_19590414_983
Region Description: Default Region

Name of Strategy Used: p3
List All of the Strategy Parameter Values Used:
Search Size: 41 x 5

Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 52.0000 to 78.0000

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Image Pair Name: do_hansa_19590414_983_do_hansa_19590414_984
Region Description: Default Region

Name of Strategy Used: p3
List All of the Strategy Parameter Values Used:
Search Size: 41 x 5

Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban

Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 55.9944 to 77.8798

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Project elevation range: 52.0000 to 78.0000

ACCURACY INFORMATION

General Mass Point Quality:

Excellent % (1-0.85): 55.6530 %
Good % (0.85-0.70): 17.3827 %
Fair % (0.70-0.5): 26.9643 %
Isolated %: 0.0000 %
Suspicious %: 0.0000 %

Global Accuracy:

Vertical Accuracy:

Total # of 3D Reference Points Used: 148
Minimum, Maximum Error: -14.0517, 5.1497
Mean Error: -0.4627
Mean Absolute Error: 0.9653
Root Mean Square Error (RMSE): 1.8534
Absolute Linear Error 90 (LE90): 3.1262
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 2.9542

Block Check Point to DTM Vertical Accuracy

Total # of Check Points Used: 7
Minimum, Maximum Error: -3.3024, 0.9416
Mean Error: -1.1217
Mean Absolute Error: 1.4219
Root Mean Square Error: 1.8317
Absolute Linear Error 90: 3.3024
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 1.9005

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z	DTM Z	Residual
1015	2597550.1429	5712091.8097	71.5384	68.4804	-3.0580
1024	2597703.8022	5712744.0467	63.3152	60.0128	-3.3024
1025	2598731.0287	5713725.5517	63.7506	63.2415	-0.5092
1029	2599066.9551	5713452.7306	66.3964	67.3379	0.9416
1034	2598521.9479	5711804.9294	67.8474	66.8715	-0.9758
1038	2598758.2553	5713638.8712	63.7339	63.8433	0.1094
1041	2598272.4639	5712314.2165	66.0516	64.9944	-1.0572

Block GCP to DTM Vertical Accuracy

Total # of GCPs Used: 30
Minimum, Maximum Error: -4.0509, 5.1497
Mean Error: -1.2797
Mean Absolute Error: 2.1140
Root Mean Square Error: 2.5630
Absolute Linear Error 90: 3.9099
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 2.3854

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z	DTM Z	Residual
1002	2597284.6087	5713390.3397	71.2205	68.4765	-2.7440
1001	2597215.4620	5713566.0750	70.8600	68.4181	-2.4420
1000	2597519.9890	5713048.5670	64.9398	61.8136	-3.1262
1011	2597826.2933	5712945.4376	63.4344	60.4029	-3.0315
1012	2597553.9146	5712708.9121	64.1269	60.5828	-3.5440
1013	2597452.3544	5712676.1668	66.4024	62.8133	-3.5891
1014	2597634.8874	5712142.6988	72.4338	68.3829	-4.0509
1016	2597926.7326	5712099.7690	73.4069	70.4225	-2.9844
1018	2597861.6920	5712747.1854	61.6149	59.2848	-2.3301
1019	2598041.3549	5712590.0857	59.6671	59.2625	-0.4046
1020	2597784.6880	5711785.4024	77.1238	73.1590	-3.9647
1021	2597642.8401	5712147.4440	72.3550	68.4451	-3.9099
1022	2597843.9832	5712369.1459	68.0271	65.1860	-2.8411
1023	2597744.6023	5712759.6047	63.2087	60.0822	-3.1266
1030	2599140.9351	5713260.0810	69.0429	70.1909	1.1480
1033	2598562.5893	5711746.0311	68.0110	67.3869	-0.6241
1035	2598501.3891	5711785.7200	68.0633	67.1089	-0.9544
1037	2598300.4048	5712224.5198	66.1652	65.9400	-0.2252
1039	2598752.3813	5713601.7225	63.9688	64.3502	0.3813
1040	2598744.7611	5713680.9414	63.7369	64.0170	0.2800
1042	2598130.4572	5712351.7622	65.5393	63.8314	-1.7079
1043	2598204.6753	5711736.6645	72.4439	68.7449	-3.6990
1044	2598439.9508	5711717.7727	68.5137	67.6435	-0.8702
1045	2598358.8268	5711845.7295	68.5790	67.8439	-0.7352
1051	2599117.2804	5713708.7204	67.1041	67.4009	0.2967

1055	2599204.5947	5711868.1272	66.3553	66.9399	0.5846
1063	2599130.1397	5712805.3262	57.8949	63.0446	5.1497
1064	2599086.3232	5713179.0364	67.5089	68.6820	1.1731
1065	2599115.5342	5713179.9095	67.9819	71.1766	3.1947
1066	2599020.3604	5713156.7312	65.9982	66.3051	0.3069

Block Tie Point to DTM Vertical Accuracy
Total # of Tie Points Used: 111
Minimum, Maximum Error: -14.0517, 2.7009
Mean Error: -0.2003
Mean Absolute Error: 0.6260
Root Mean Square Error: 1.6104
Absolute Linear Error 90: 1.1824
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 2.4421

C.1.4 Geländemodelle aus den Luftbildern von 1969

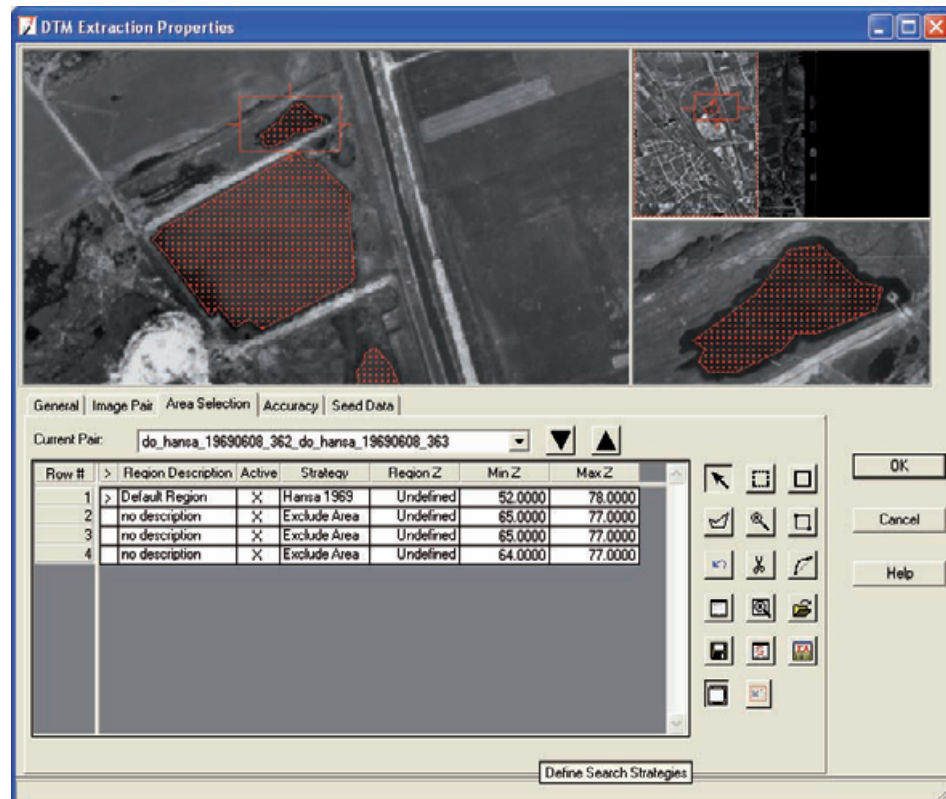
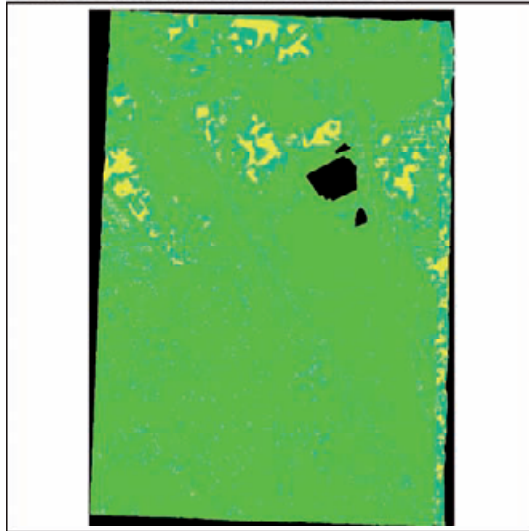


Abbildung C.7: Ausschlussbereich 1969

Ohne zusätzliche Parameter



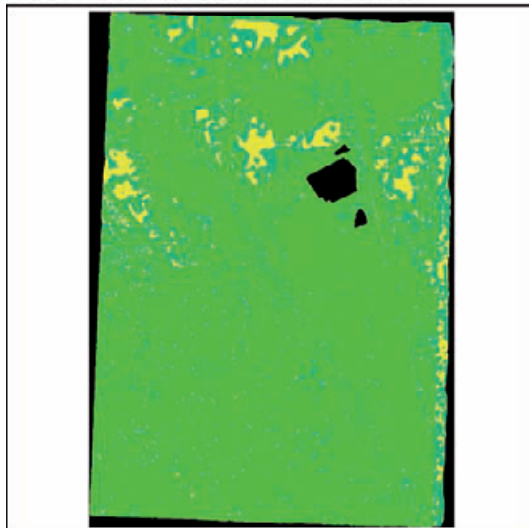
**Korrelation der Grauwerte
in den Korrelationsfenstern**

Value

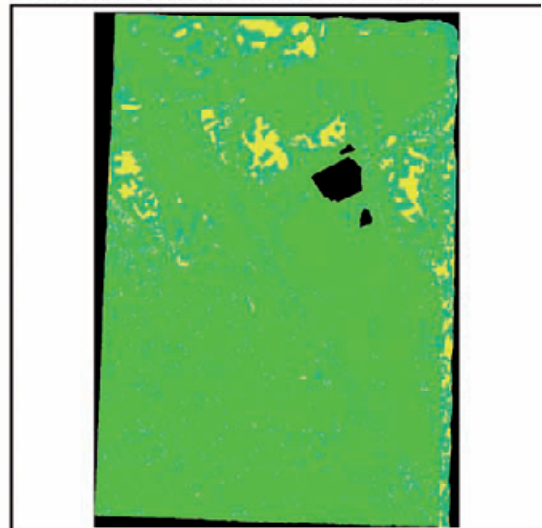
	(Hintergrund)
	sehr gut (0,85 - 1)
	gut (0,7 - 0,85)
	ausreichend (0,5 - 0,7)

0 500 1.000 2.000 m

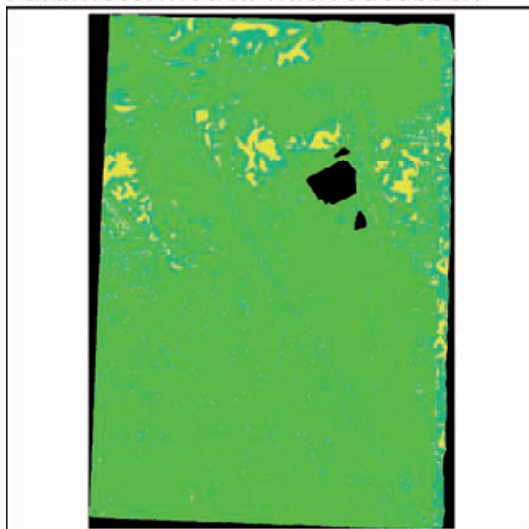
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

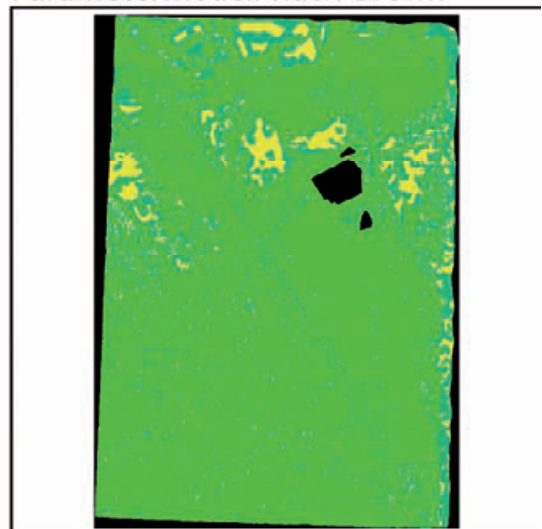


Abbildung C.8: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 1969

Bericht C.4: Geländemodellextraktionsbericht 4 zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)*

DTM Extraction Report
Date Created: 03/16/08
Time Created: 19:49:05

DTM PROJECT INFORMATION

Block File Used: do_hansa_1969_05_brown.blk
Block File Location: d:/projekte/diss/do_hansa/19690608/anhang_1969/
DTM Correlation Time (seconds): 180
Points Per Second: 1894.672
DTM Generation Time (seconds): 6
Total Processing Time (seconds): 186

DTM Type: Terramodel TIN

DTM Name:
d:/projekte/diss/do_hansa/19690608/anhang_1969/do_hansa_1969_tin_05_brown_2m.pro
Number of Mass Points Extracted: 341041
Upper left corner of DTM Bounding Box: (2597343.359, 5714118.080)
Lower right corner of DTM Bounding Box: (2599024.624, 5711743.948)

Minimum Mass Point Elevation: 43.4354
Maximum Mass Point Elevation: 109.8064
Mean Mass Point Elevation: 67.3326

Projection: Transverse Mercator
Spheroid: Bessel
Datum: DE DHN (Middle) to ETRS89
Horizontal Units: meters
Vertical Units: meters

Adaptive ATE
Stop at pyramid: 0
Minimum correlation threshold: 0.3000
Input cell size:
Height: 2.0000
Width: 2.0000

Strategy Parameter Settings:

Image Pair Name: do_hansa_19690608_362_do_hansa_19690608_363
Region Description: Default Region

Name of Strategy Used: p3
List All of the Strategy Parameter Values Used:
Search Size: 35 x 5
Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 59.1963 to 88.3068

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Region Description: Element_0
Name of Strategy Used: Exclude Area
Elevation of Exclude Area: undefined

Project elevation range: 59.1963 to 88.3068

ACCURACY INFORMATION

General Mass Point Quality:
Excellent % (1-0.85): 93.7415 %
Good % (0.85-0.70): 4.8625 %
Fair % (0.70-0.5): 1.3960 %
Isolated %: 0.0000 %
Suspicious %: 0.0000 %

Global Accuracy:

Vertical Accuracy:
Total # of 3D Reference Points Used: 96
Minimum, Maximum Error: -16.2560, 9.1828
Mean Error: -0.0713
Mean Absolute Error: 1.3208
Root Mean Square Error (RMSE): 2.7363
Absolute Linear Error 90 (LE90): 2.5719

NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 4.5025

Block Check Point to DTM Vertical Accuracy

Total # of Check Points Used: 3
Minimum, Maximum Error: -1.8506, 1.1576
Mean Error: -0.6044
Mean Absolute Error: 1.3762
Root Mean Square Error: 1.4166
Absolute Linear Error 90: 1.8506
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 0.5527

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z
1022	2597744.6023	5712759.5253	63.2087
1039	2598747.7061	5713696.4014	63.7948
1044	2598358.8390	5711845.7049	68.5790

Block GCP to DTM Vertical Accuracy

Total # of GCPs Used: 27
Minimum, Maximum Error: -2.5719, 9.1828
Mean Error: 0.7527
Mean Absolute Error: 2.2081
Root Mean Square Error: 2.9948
Absolute Linear Error 90: 6.7143
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 3.3301

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z
1002	2597519.6090	5713048.7006	64.8605
1011	2597826.4719	5712945.2804	63.4344
1012	2597642.8359	5712147.3466	72.3550
1013	2597635.0705	5712142.7283	72.4335
1014	2597549.9404	5712091.7312	71.5502
1015	2597889.5228	5712211.2562	71.2399
1017	2597871.2466	5712780.8218	61.3179
1018	2598006.8654	5712596.9035	59.6385
1020	2597511.1389	5712084.6666	70.9066
1021	2597817.6714	5712417.3278	66.9595
1024	2598692.3813	5713838.3541	63.6398
1025	2598852.3178	5713762.7798	64.6196
1026	2598825.7763	5713851.3631	64.6977
1027	2598955.6676	5713794.9278	65.7118
1033	2598512.7401	5711811.1208	67.7478

1034	2598471.7019	5711820.4874	67.8773	66.8864	-0.9909
1035	2597765.5580	5713217.4552	65.0809	64.3026	-0.7783
1036	2598300.4048	5712224.2816	66.1652	65.4568	-0.7084
1037	2598758.2368	5713638.6747	63.7339	61.8535	-1.8805
1038	2598751.4564	5713660.0636	63.6376	61.8654	-1.7723
1040	2598272.3607	5712314.0503	66.0516	64.3048	-1.7468
1041	2598130.5268	5712351.6800	65.5393	65.8011	0.2618
1061	2597889.4152	5712764.1765	60.9481	62.5228	1.5747
1062	2597939.7012	5712721.6253	59.8924	61.6407	1.7483
1063	2597793.7652	5712788.4424	62.6517	63.6673	1.0157
1067	2597477.7326	5712140.8149	70.4930	77.2073	6.7143
1068	2597405.2907	5712097.5625	66.0549	72.8890	6.8341

Block Tie Point to DTM Vertical Accuracy

Total # of Tie Points Used: 66
Minimum, Maximum Error: -16.2560, 6.0531
Mean Error: -0.3842
Mean Absolute Error: 0.9553
Root Mean Square Error: 2.6703
Absolute Linear Error 90: 1.4433
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 4.1044

Residual	DTM Z
1.1576	64.3664
-1.1204	62.6745
-1.8506	66.7284

Residual	DTM Z
-2.5719	62.2886
0.3955	63.8299
1.1223	73.4773
1.7270	74.1605
1.6454	73.1956
2.2389	73.4788
2.5951	63.9130
0.8786	60.5171
9.1828	80.0894
2.0372	68.9967
-1.3998	62.2400
-2.0247	62.5950
-1.9381	62.7596
-2.0518	63.6600
-1.7843	65.9634

C.1.5 Geländemodelle aus den Luftbildern von 2003

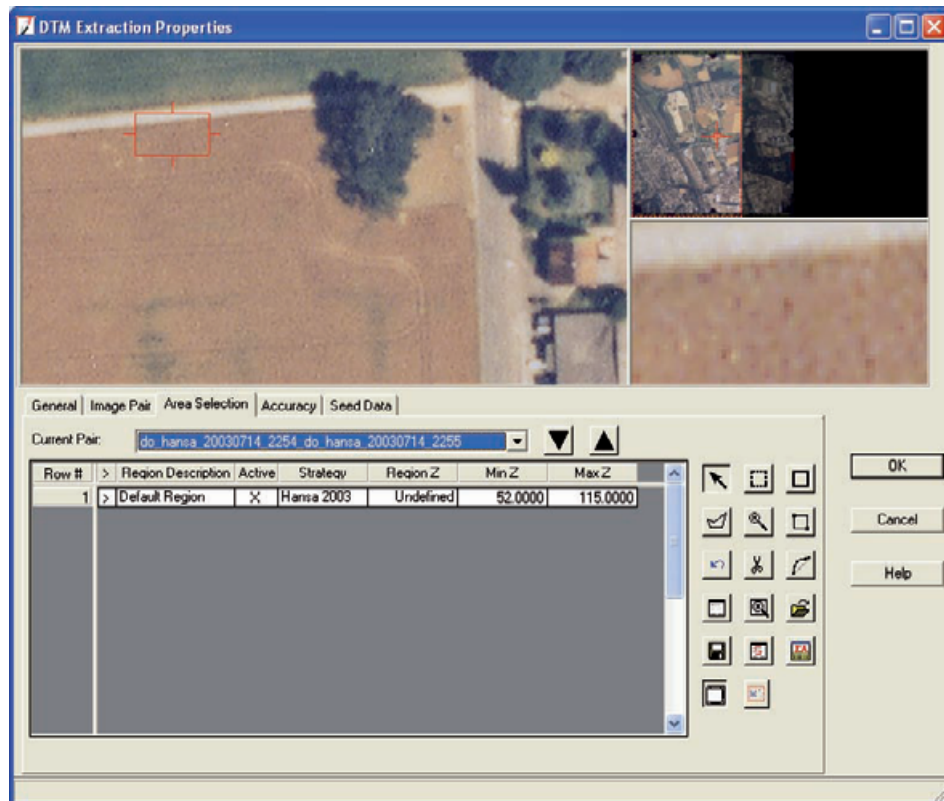


Abbildung C.9: Ausschlussbereich 1943

Ohne zusätzliche Parameter



**Korrelation der Grauwerte
in den Korrelationsfenstern**

Value

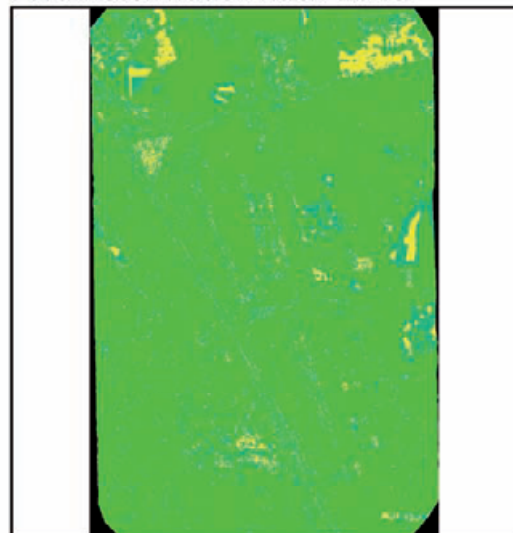
- (Hintergrund)
- sehr gut (0,85 - 1)
- gut (0,7 - 0,85)
- ausreichend (0,5 - 0,7)

0 500 1.000 2.000 m

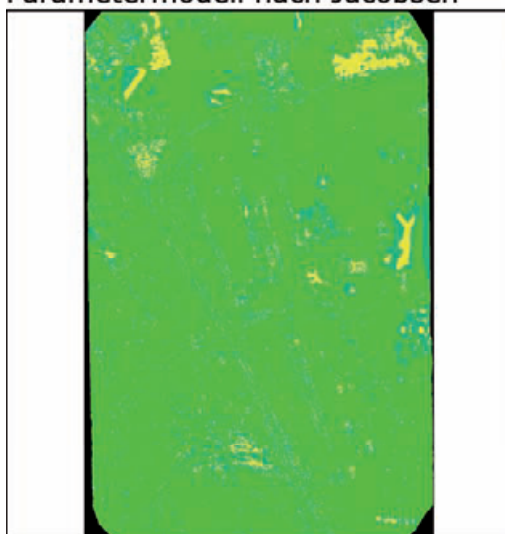
Parametermodell nach Bauer



Parametermodell nach Ebner



Parametermodell nach Jacobsen



Parametermodell nach Brown

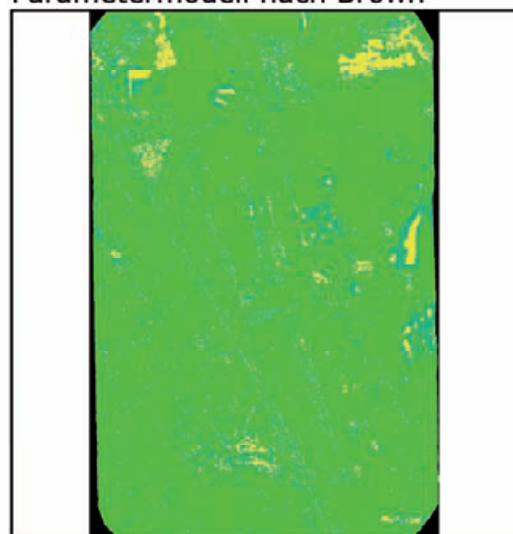


Abbildung C.10: Qualität der Punktzuordnung bei der Geländemodellerstellung aus den triangulierten Luftbildern von 2003

Bericht C.5: Geländemodellextraktionsbericht 5 zur Triangulation mit *Brown's physical model (14)*

DTM Extraction Report
Date Created: 03/16/08
Time Created: 21:22:03

DTM PROJECT INFORMATION

Block File Used: do_hansa_2003_05_brown.blk
Block File Location: d:/projekte/diss/do_hansa/20030714/anhang_2003/
DTM Correlation Time (seconds): 266
Points Per Second: 1534.812
DTM Generation Time (seconds): 8
Total Processing Time (seconds): 274

DTM Type: Terramodel TIN
DTM Name:

d:/projekte/diss/do_hansa/20030714/anhang_2003/do_hansa_2003_tin_05_brown_2m.pro
Number of Mass Points Extracted: 408260
Upper left corner of DTM Bounding Box: (2597568.697, 5714490.551)
Lower right corner of DTM Bounding Box: (2599498.926, 5711505.621)

Minimum Mass Point Elevation: 28.7185
Maximum Mass Point Elevation: 119.6238
Mean Mass Point Elevation: 71.0394

Projection: Transverse Mercator
Spheroid: Bessel
Datum: DE DHN (Middle) to ETRS89
Horizontal Units: meters
Vertical Units: meters

Adaptive ATE

Stop at pyramid: 0
Minimum correlation threshold: 0.3000
Input cell size:
Height: 2.0000
Width: 2.0000

Strategy Parameter Settings:

Image Pair Name: do_hansa_20030714_2254_do_hansa_20030714_2255
Region Description: Default Region

Name of Strategy Used: p3
List All of the Strategy Parameter Values Used:
Search Size: 31 x 5

Allow Adaptive Change: No
Correlation Size: 7 x 7
Allow Adaptive Change: No
Coefficient Limit: 0.8500
Allow Adaptive Change: No
Topographic Type: Rolling Hills
Object Type: Low Urban
Use Image Band: 0
DTM Filtering: high
Region elevation range: 52.0000 to 115.0000

Project elevation range: 52.0000 to 115.0000

ACCURACY INFORMATION

General Mass Point Quality:

Excellent % (1-0.85): 90.1918 %
Good % (0.85-0.70): 7.1212 %
Fair % (0.70-0.5): 2.6870 %
Isolated %: 0.0000 %
Suspicious %: 0.0000 %

Global Accuracy:

Vertical Accuracy:

Total # of 3D Reference Points Used: 110
Minimum, Maximum Error: -4.2422, 7.4136
Mean Error: 0.6471
Mean Absolute Error: 1.0730
Root Mean Square Error (RMSE): 1.7901
Absolute Linear Error 90 (LE90): 2.6847
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 2.7472

Block Check Point to DTM Vertical Accuracy

Total # of Check Points Used: 10
Minimum, Maximum Error: -0.1763, 5.2706
Mean Error: 1.7435
Mean Absolute Error: 1.7806
Root Mean Square Error: 2.3897
Absolute Linear Error 90: 3.7772
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 2.6232

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z	DTM Z	Residual	44	2599054.4928	5713586.9582	67.0880	67.8459	0.7579
12	2597640.8557	5712855.4929	63.6257	63.6165	-0.0093	47	2599344.3007	5713967.4948	66.6109	67.8855	1.2746
18	2597805.0881	5712448.4442	66.6948	67.3085	0.6136	48	2599298.5791	5712357.4774	57.3798	60.8701	3.4903
25	2597934.7119	5711958.2077	73.0979	73.6010	0.5031	49	2599449.7142	5712209.5968	65.3542	68.0389	2.6847
34	2598016.9471	5714349.3015	67.4006	71.1778	3.7772	50	2599206.9773	5711998.2140	65.7319	70.8266	5.0947
40	2598845.2532	5713782.9417	64.5975	64.4212	-0.1763	53	2599119.1062	5711616.4074	71.3014	75.7885	4.4870
43	2599057.1122	5713607.1996	67.0533	69.0183	1.9651	54	2598985.5136	5711759.2078	68.9151	68.5722	-0.3429
45	2599471.5431	5713978.0521	67.4802	68.7715	1.2913	55	2599211.8193	5712600.6906	56.5500	61.3390	4.7890
46	2599377.3218	5713959.6365	66.7781	69.0356	2.2575	36	2599429.3142	5712181.5764	65.4669	67.2902	1.8233
51	2599191.9749	5711868.0346	66.3679	71.6385	5.2706						
52	2599158.0013	5711608.9459	71.2176	73.1599	1.9422						

Block GCP to DTM Vertical Accuracy

Total # of GCPs Used: 29
Minimum, Maximum Error: -0.3429, 7.4136
Mean Error: 2.0011
Mean Absolute Error: 2.0489
Root Mean Square Error: 2.8486
Absolute Linear Error 90: 5.3096
NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 3.2576

Detailed Point Accuracy Information:

Pt.ID	X	Y	Z	DTM Z	Residual	44	2599054.4928	5713586.9582	67.0880	67.8459	0.7579
11	2597621.8844	5712900.8970	63.6367	63.9506	0.3139	47	2599344.3007	5713967.4948	66.6109	67.8855	1.2746
13	2597696.1026	5712893.3561	63.6593	64.5407	0.8815	48	2599298.5791	5712357.4774	57.3798	60.8701	3.4903
17	2597790.8795	5712472.6544	66.5493	66.7774	0.2281	49	2599449.7142	5712209.5968	65.3542	68.0389	2.6847
19	2597839.3793	5712458.9221	65.8573	67.0381	1.1809	50	2599206.9773	5711998.2140	65.7319	70.8266	5.0947
23	2597901.6907	5711867.3996	74.7439	80.3194	5.5755	53	2599119.1062	5711616.4074	71.3014	75.7885	4.4870
24	2597873.0354	5712049.4126	73.3468	73.9243	0.5776	54	2598985.5136	5711759.2078	68.9151	68.5722	-0.3429
26	2598484.8786	5711713.2481	68.4757	75.8893	7.4136	55	2599211.8193	5712600.6906	56.5500	61.3390	4.7890
27	2598352.5560	5711712.2162	69.6630	71.1806	1.5176	36	2599429.3142	5712181.5764	65.4669	67.2902	1.8233
28	2598432.4893	5711790.4826	68.4343	73.7439	5.3096						
29	2597808.7395	5713127.2821	64.2443	65.3637	1.1194						
30	2597813.5815	5714421.6939	66.3357	67.4450	1.1092						
31	2597704.3578	5714260.7954	64.6832	64.7258	0.0427						
32	2597872.0035	5714170.1461	68.5770	68.8900	0.3130						
33	2597910.9779	5714152.2067	68.9522	69.6911	0.7389						
35	2598130.1397	5714347.7933	66.4516	69.6445	3.1930						
37	2599016.3915	5714296.1184	63.3049	62.9843	-0.3206						
38	2599097.8330	5714438.2839	64.8667	65.9277	1.0609						
39	2598817.0741	5713873.2735	64.6629	67.0367	2.3738						
41	2598936.6963	5713790.3239	65.4828	65.4526	-0.0302						
42	2599057.9854	5713629.5841	67.0899	68.4642	1.3743						

C.2 Orthofotokarten

Abbildung C.11: Orthofoto 1943 und DGK5 2006

Quelle: Luftbild: TD NL, RDGK5: LVerma NRW

Abbildung C.12: Orthofoto 1945 und DGK5 2006

Quelle: Luftbild: RVR, RDGK5: LVerma NRW

Abbildung C.13: Orthofoto 1959 und DGK5 2006

Quelle: Luftbild: RVR, RDGK5: LVerma NRW

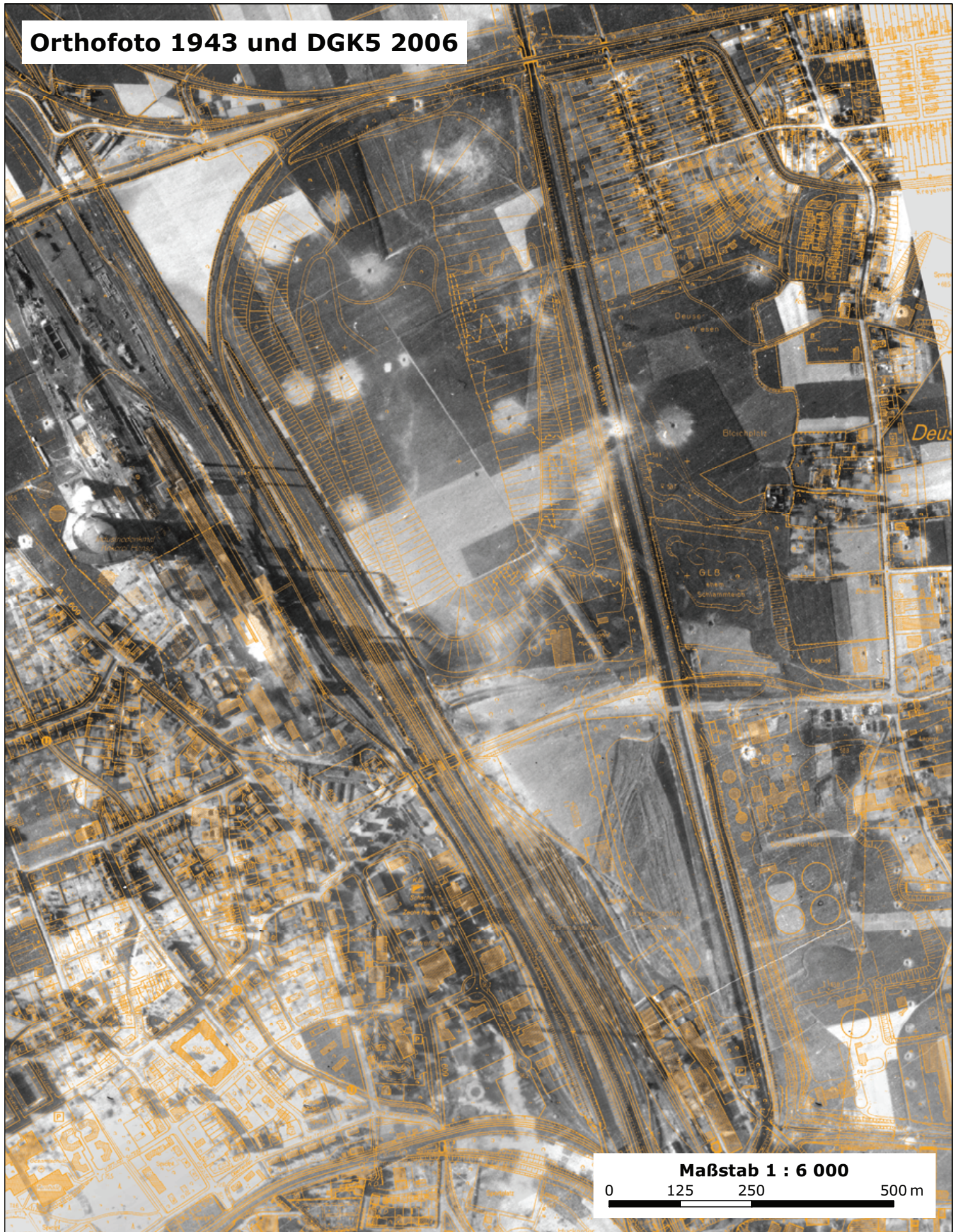
Abbildung C.14: Orthofoto 1969 und DGK5 2006

Quelle: Luftbild: Hansa Luftbild GmbH, RDGK5: LVerma NRW

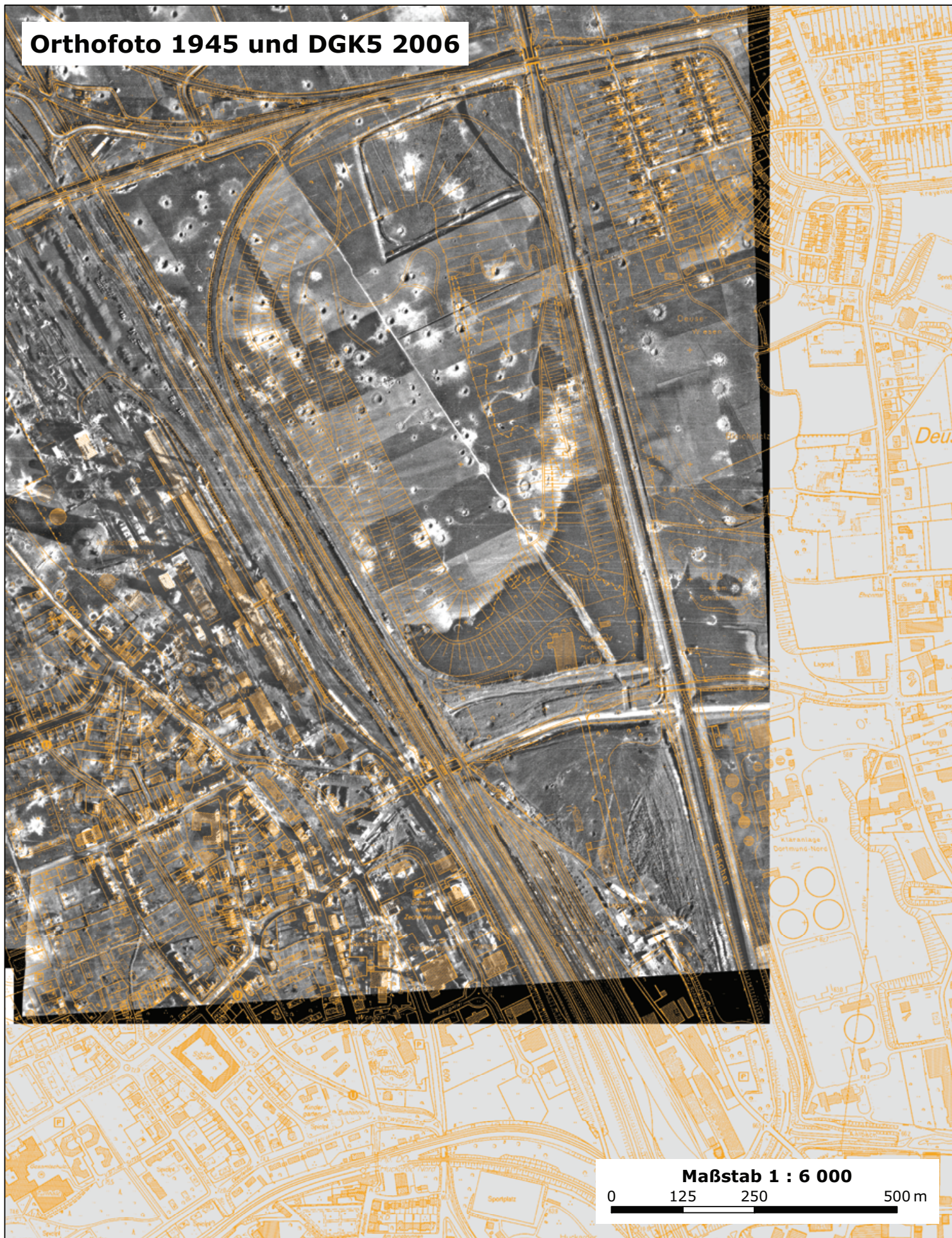
Abbildung C.15: Orthofoto 2003 und DGK5 2006

Quelle: Luftbild: RVR, RDGK5: LVerma NRW

Orthofoto 1943 und DGK5 2006



Orthofoto 1945 und DGK5 2006



Maßstab 1 : 6 000

0 125 250 500 m

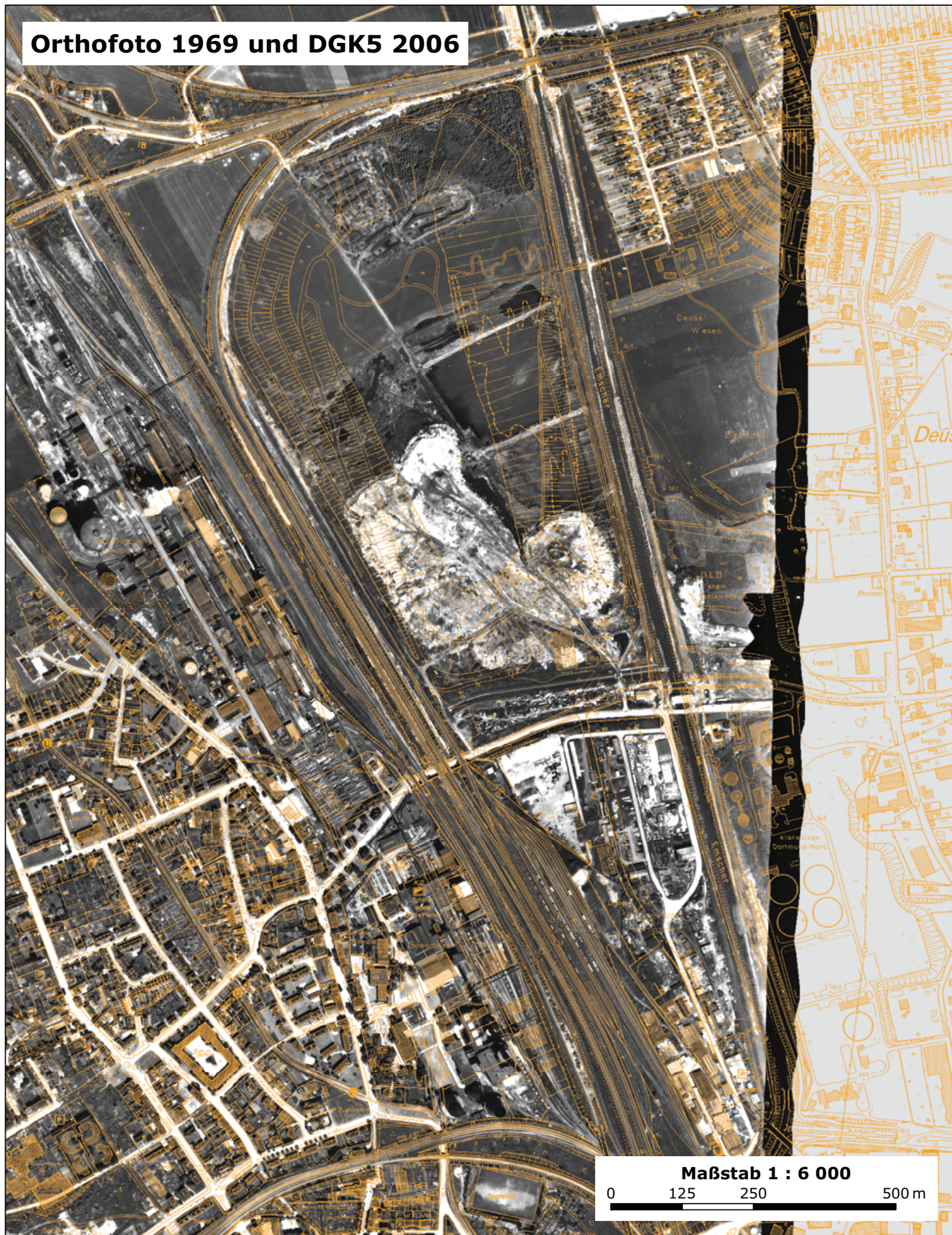
Orthofoto 1959 und DGK5 2006



Maßstab 1 : 6 000

0 125 250 500 m

Orthofoto 1969 und DGK5 2006



Maßstab 1 : 6 000

0 125 250 500 m

Orthofoto 2003 und DGK5 2006



Maßstab 1 : 6 000

0 125 250 500 m