

## Bildentzerrung in der Befunddokumentation

Tilman Wanke

<http://www.landesarchaeologen.de>

(05.11.2011)

*Dieser Artikel behandelt die Bildentzerrung und die Erstellung von Bildplänen als Mittel der zeichnerischen Befunddokumentation. Dabei werden zuerst die theoretischen Grundlagen erörtert und die in der Praxis relevanten Fehlerquellen dargestellt. Anschließend wird daraus ein „kleiner Leitfaden zur Bildentzerrung“ entwickelt, in dem die praktischen Arbeitsschritte mit einigen Hinweisen dargelegt werden.*

Bildentzerrungen werden seit gut 30 Jahren für die archäologische Befunddokumentation verwendet<sup>1</sup>. Trotzdem wird dem Verfahren teilweise noch immer mit Skepsis begegnet. Ein oft gehörtes Argument gegen die Verwendung von Entzerrungen ist, dass deren Erstellung nicht die gleiche Intensität der Auseinandersetzung mit dem Befund mit sich brächte, wie eine händische Zeichnung. Zugegeben mag dieser Vorwurf in der Praxis nicht ganz aus der Luft gegriffen sein, allerdings ist das kein Fehler des Verfahrens sondern des Bearbeiters. Daneben gibt es aber auch technische Probleme, die zu ungenauen Ergebnissen oder einem immensen Arbeitsaufwand bei der Nachbearbeitung führen. Diese beruhen fast immer auf fehlendem Knowhow und/oder mangelnder Arbeitsplanung. Dieser Artikel soll einige Grundlagen der Bildentzerrung erläutern und dabei Probleme und Lösungswege für die praktische Arbeit aufzeigen.

---

<sup>1</sup> Die zuerst für die Architekturaufnahme verwendete Fotogrammetrie wurde nach Günter Eckstein in Deutschland ab 1979/80 auch auf archäologischen Ausgrabungen angewendet: G. Eckstein, Photogrammetrische Vermessung bei archäologischen Ausgrabungen. Denkmalpflege in Baden-Württemberg 2/1982, 60. Damals wurden Bildpläne aus analogen Senkrechtaufnahmen nur mittels Größenanpassung erstellt. Wegweisend war die Arbeit des Referates Photogrammetrie des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg mit Günter Eckstein. Den Durchbruch auf breiterer Ebene erlebte die Bildentzerrung erst ab Mitte der 90er Jahre mit der rasanten Entwicklung in der EDV, die sich in der ersten Lieferung des Handbuches der Grabungstechnik schon abzeichnet und Ende der 90er Jahre in speziell für Ausgrabungen entwickelten Softwarepaketen niederschlägt, vgl.: M. Scheich, Computergestützte Grabungsdokumentation, in: Egon Gersbach (Hrsg.), Ausgrabung Heute (Stuttgart 1998<sup>2</sup>), 117-142.

## Bildpläne in der archäologischen Dokumentation

Die Methode der Bildentzerrung, wie sie in der Archäologie und Bauforschung verwendet wird, ist ein Verfahren der Nahbereichs-<sup>2</sup> bzw. Einbildfotogrammetrie<sup>3</sup>. Dabei werden primär zweidimensionale maßhaltige Bildpläne erstellt, indem einzelne Fotos in einer bestimmten Ebene (der Entzerrungsebene) auf gemessene Passpunkte „gezerrt“ werden, wobei sich mehrere Einzelentzerrungen zusammenfügen lassen. Durch die Kombination verschiedener Projektionsflächen können auch dreidimensionale Modelle erstellt werden. Da durch die Entzerrung eine maßhaltige Abbildung der dokumentierten Fläche entsteht, ist sie eine Methode der zeichnerischen Grabungsdokumentation (neben Handzeichnungen oder anderen digitalen Plänen).

Damit aus einer Entzerrung ein Bildplan wird, ist aber noch etwas Arbeit notwendig. Im Gegensatz zu einer Handzeichnung oder einer digitalen Konturlinienaufnahme wird die Oberflächentextur auf Bildplänen fotorealistisch wiedergegeben. Alle weiteren Informationen, die auf Befundzeichnungen notwendig sind – z.B. Befundnummern, Koordinatenangaben und weitere Zusatzinformationen – müssen dagegen nachgetragen werden. Ein wesentlicher Bestandteil jeder Befundzeichnung sind die Befundkonturen: Bei einer genügend kontrastreichen Aufnahme werden diese auch indirekt auf dem Bildplan wiedergegeben. Daher eignen sich Bildpläne vor allem zur Aufnahme entsprechend kontrastreicher Befunde mit komplexer Struktur, bei denen eine herkömmliche Dokumentation einen unverhältnismäßig höheren Arbeitsaufwand mit sich brächte<sup>4</sup>. Erdbefunde, bei denen sich die Befundgrenzen zumeist auf einem Foto nicht ausreichend deutlich abbilden lassen, können gegebenenfalls angerissen werden. Auf diese Weise lassen sich die Konturlinien im Bildplan mit wenigen Handgriffen nachzeichnen (Abb. 1).

Typische Befundsituationen für die ich eine Dokumentation mit Bildplänen empfehlen würde, sind Baubefunde wie Maueransichten oder Aufsichten von Pflastern und Versturzschtutt. Daneben können auch andere Befunde in Frage kommen: So werden in Bayern nach Absprache mit dem Landesamt für Denkmalpflege beigabenlose Bestattungen des ausgehenden Mittelalters und der Neuzeit oft mittels Bildplan aufgenommen. Bei Erdprofilen können beispielsweise Sicherheitsbedenken für das Verfahren sprechen, da die Verweildauer im Gefahrenbereich dadurch erheblich reduziert werden kann.

<sup>2</sup> In der Fotogrammetrie werden als Hauptanwendungsbereiche die „Nahbereichsfotogrammetrie“ und die „Luftbildfotogrammetrie“ unterschieden.

<sup>3</sup> Das Verfahren der „Einbildfotogrammetrie“ steht den Verfahren der „Zweibild-“ oder „Mehrbildfotogrammetrie“ gegenüber. Während sich die Koordinaten eines Messpunktes bei der Einbildfotogrammetrie als zuerst zweidimensionale Lage des Punktes auf der Projektionsebene ergeben, kann bei den letzteren Verfahren die dreidimensionale Position eines einzelnen Messpunktes über den Strahlenschnitt aus mindestens zwei zueinander orientierten Aufnahmen berechnet werden. Mehrere dieser Punkte können dann zu einem 3D-Drahtgittermodell verbunden werden.

<sup>4</sup> Das extrem arbeitsaufwändige Nachzeichnen von Detailbefunden wie einzelnen Steinen auf Bildplänen möchte ich aus eigener Erfahrung nicht empfehlen. Der Informationsgewinn tendiert gegen Null und der Arbeitsaufwand explodiert. Dagegen kann das Nachzeichnen einfacherer Formen, wie Baufugen, Gruben oder größerer Befundgrenzen sinnvoll oder notwendig sein.

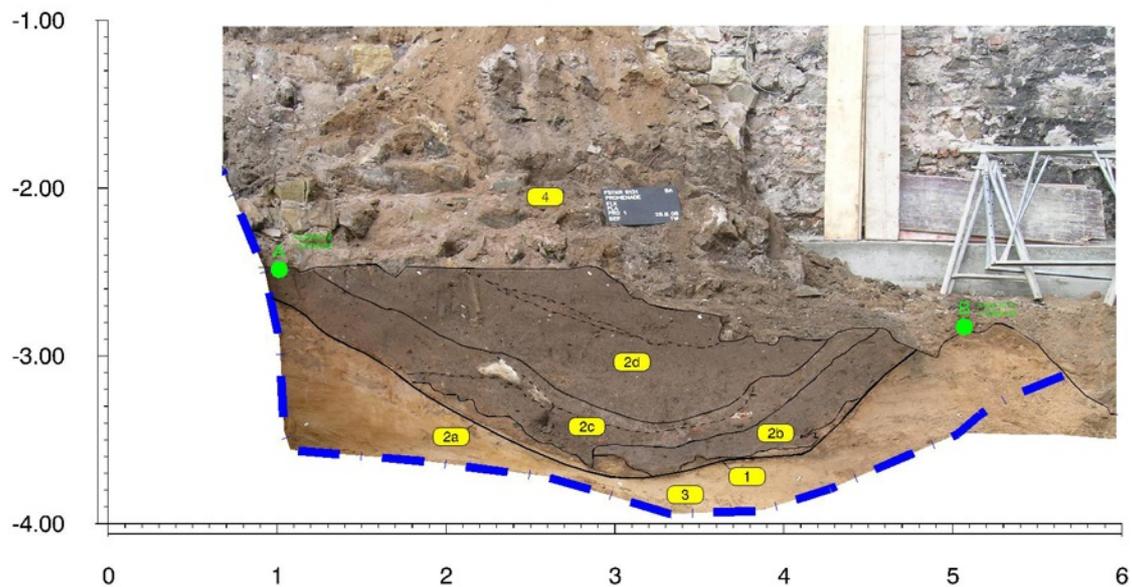


Abb. 1 Bamberg. Sohle des hochmittelalterlichen Stadtgrabens. Bildplan mit nachgezeichneten Befundkonturen, -nummern und Koordinaten (BLfD).

### Häufige Fehlerquellen

In der Praxis sind drei Ursachen für schlechte oder ungenügende Bildentzerrungen und Messfehler relevant:

- a) Schlechte Fotos
- b) Verzeichnung durch das Objektiv
- c) Fehlerhafte Aufnahmeanordnung

Mit mangelhaften Fotos lassen sich trotz aller technischer Perfektion keine brauchbaren Bildpläne erstellen. Die handwerklichen Grundlagen der fotografischen Befunddokumentation müssen auch hier beherrscht werden. Dazu gehört, dass die dargestellten Befundflächen gleichmäßig ausgeleuchtet bzw. beschattet sein müssen und die Fotogrammetrie-Aufnahmen scharf sind. Optimale Bedingungen für die Ausleuchtung lassen sich mit einer entsprechenden Fotoausrüstung mit Fotolampen und Handbelichtungsmessung erzeugen. Bei Tageslichtaufnahmen sollten zumindest diffuse, schattige Lichtverhältnisse abgewartet werden, um harte Schlagschatten bei direkter Sonneneinstrahlung zu vermeiden. Durch eine entsprechende Zeitplanung mit Rücksicht auf den Sonnenstand lassen sich in vielen Fällen gute Lichtverhältnisse erreichen.

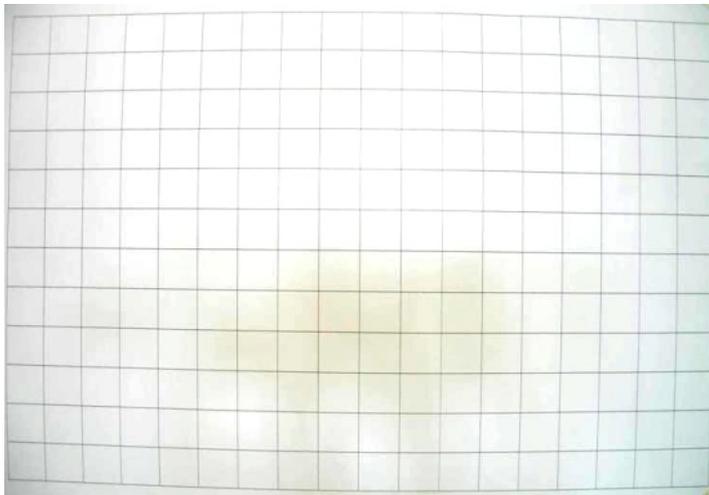
Unschärfe Aufnahmen entstehen in der Regel durch verwackelte Handaufnahmen, was sich durch die Verwendung eines Stativs, sowie eines Zeit- oder Fernauslösers vermeiden lässt. Bei Aufnahmen von Leitern oder Hubwagen ist die Verwendung eines Stativs schon wegen der wackeligen Aufnahmeposition nicht sinnvoll. Hier muss die Belichtungszeit auf Kosten der Schärfentiefe manuell angepasst werden. Weitere häufige, aber vermeidbare Ursachen für unscharfe Aufnahmen sind Verschmutzungen und Kratzer am Objektiv oder in der Kamera.

Jedes Objektiv (ausgenommen die idealtypische Lochkamera) bringt eine optische kissen- oder tonnenförmige Verzeichnung bei der Aufnahme mit sich<sup>5</sup>, die bei der Entzerrung nicht ausgeglichen werden kann und zu Messfehlern im Bildplan führt (Abb. 2). Die Objektiv-

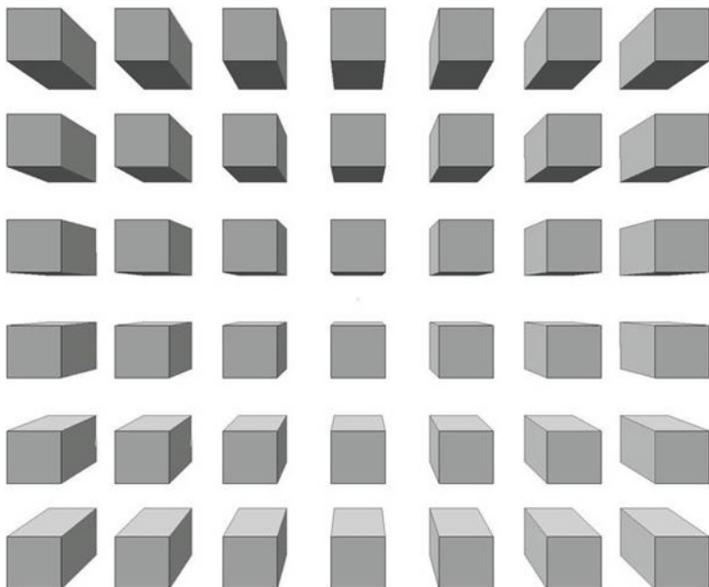
<sup>5</sup> Die spezifische Verzeichnung eines Objektivs ergibt sich aus der Summe der einzelnen Linsenverzeichnungen.

verzerrung kann bei fest stehenden Objektiven, deren Verzeichnung bekannt ist, mittels entsprechender Bildbearbeitungssoftware korrigiert werden. Gute Entzerrungsprogramme beinhalten ein solches Werkzeug. Für den Fall dass keine Verzeichnungskorrektur möglich ist, sollte immer mit einer möglichst großen Brennweite (im Telebereich) und kleiner Blende (großer Blendenzahl) fotografiert werden, um die Verzeichnung möglichst gering zu halten. Unter dem Begriff „Aufnahmeanordnung“ möchte ich die geometrischen Grundlagen der Einbildfotogrammetrie zusammenfassen, die sich primär aus der Kameraposition, der Lage der Passpunkte und der Darstellung im fertigen Bildplan ergeben.

Die meiner Meinung nach größte Fehlerquelle bei der Erstellung von Bildplänen liegt aber im sogenannten „Lageversatz nicht-ebener Punkte“ und dem damit zusammen hängenden optischen Kippen nicht-ebener, also hervorstehender und zurückspringender Objekte (Abb. 3). Um Fehler bei der Aufnahmeanordnung zu vermeiden, sind einige Grundkenntnisse zur Funktion der Einbildentzerrung notwendig, die ich im Folgenden knapp darlegen möchte.



**Abb. 2** Aufnahme eines orthogonalen Rasters mit Zoomobjektiv. Die kissenförmige Verzeichnung durch das Objektiv ist gut erkennbar (T. Wanke).

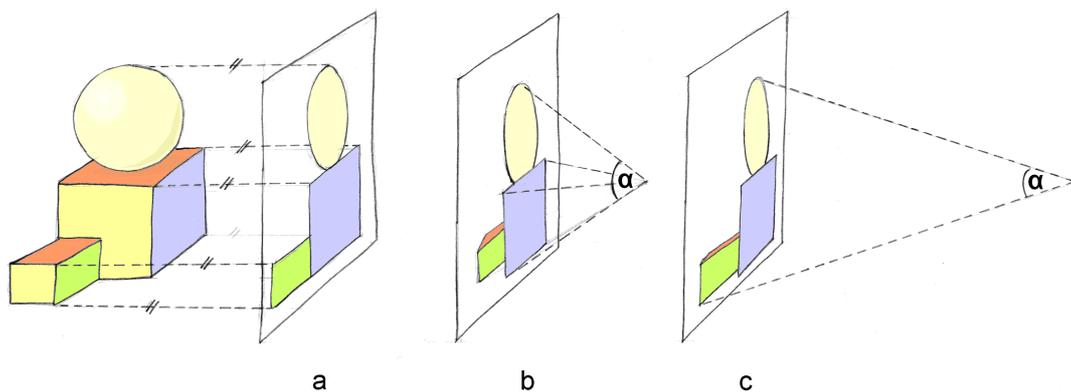


**Abb. 3** Lageversatz und Kippung nicht-ebener Objekte. Die durch die Zentralprojektion verursachten Abweichungen nehmen zum Rand hin zu (T. Wanke).

## Von der Entzerrungs- zur Darstellungsebene

Schon bei der Vorbereitung einer fotogrammetrischen Aufnahme müssen die weiteren Arbeitsschritte bis zum fertigen Bildplan durchdacht werden. Sobald das zu messende Objekt nicht absolut eben ist und die gewünschte Darstellungsebene von der Objektoberfläche abweicht, besteht die Gefahr hohe Messfehler durch den Lageversatz und die Kippung nicht-ebener Punkte zu erhalten. Deshalb sollten Fotogrammetrie-Aufnahmen immer lotrecht auf die Darstellungsebene erfolgen. Wenn also schräge Ebenen, wie Baugrubenprofile oder Flächen in Hanglage, in einem orthogonalen Planum oder Profil dargestellt werden sollen, müssen sie dazu auch strikt orthogonal fotografiert werden! Je näher die Aufnahmeanordnung (also die perspektivische Zentralprojektion des zu entzerrenden Bildes durch das Kameraobjektiv) dabei an das geometrische Ideal einer Parallelprojektion kommt, desto besser wird der Bildplan (Abb. 4).

Da die Messabweichungen bei nicht-ebenen Punkten zum Rand des Messbildes zunehmen, lassen sich diese bei gleichem Kamerastandpunkt durch einen entsprechend kleineren Bildausschnitt reduzieren. Dies entspricht einer Aufnahme mit einer höheren Brennweite im Telebereich. Um dennoch die maximale Auflösung zu erhalten, sollten die Aufnahmen daher aus einer möglichst großen Entfernung aufgenommen werden. Mathematisch ausgedrückt: Je geringer der Winkel zwischen den Projektionsstrahlen, desto besser eignet sich das Messbild. Bei der idealen Parallelprojektion sind die Projektionsstrahlen parallel und das Projektionszentrum liegt in unendlicher Entfernung.

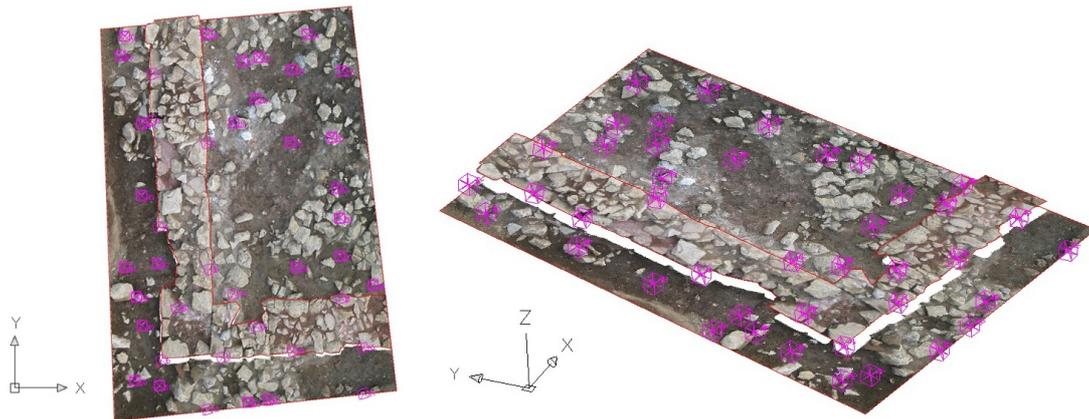


**Abb. 4** Die Eignung als Messbild ist von den Parametern der Projektion abhängig: a) ideale Parallelprojektion der Plandarstellung, b) Zentralprojektion mit Weitwinkel und hohen Abweichungen, c) Zentralprojektion mit höherem Abstand, also kleinerem Winkel und geringeren Abweichungen (T. Wanke).

Demgegenüber muss die Entzerrungsebene, auf die das Messbild zuerst projiziert und entzerrt wird, möglichst mit der Objektoberfläche identisch sein. Da die Entzerrungsebene zwischen den Passpunkten „aufgespannt“ wird, sind die Passpunkte entsprechend sorgsam zu wählen. Dabei müssen die Ecken der Entzerrungsebene durch Passpunkte definiert werden und die Punkte möglichst alle in einer Ebene liegen<sup>6</sup>. Messungen außerhalb des so aufgespannten Polygons sind zu vermeiden. Weitere Messpunkte sollten im Innenraum gleichmäßig verteilt werden. Als Minimum für eine Entzerrung sind vier Passpunkte notwendig. Präzisere Ergebnisse lassen sich durch fünf oder mehr Passpunkte erzielen, da sich mit diesen auch Abweichungen und damit die Zuverlässigkeit einer Entzerrung bestimmen lassen.

<sup>6</sup> Eine praktische Kurzanleitung zum Vermarken mit Passpunkten liefert: H. Menne, Digitale Dokumentation. Bericht zur Grabungstechniker-Tagung in Einbeck 2008. Grabung aktuell 2008, 1-17. <[http://www.grabung-ev.de/grabung\\_aktuell/Texte/Digitale%20Doku-Menne.pdf](http://www.grabung-ev.de/grabung_aktuell/Texte/Digitale%20Doku-Menne.pdf)> (03.05.2011).

Falls für die Aufnahme einer größeren Fläche mehrere Messfotos notwendig sind, muss der Aufnahmebereich jedes Fotos wie eine (Teil-) Entzerrungsebene behandelt werden und dementsprechend mindestens in den vier Bildecken je einen Passpunkt erhalten. Ebenso werden Objekte mit unterschiedlichen Niveaus in entsprechende Abschnitte aufgeteilt, für die jeweils eine eigene Entzerrungsebene angelegt wird. Diese werden einzeln entzerrt anschließend zu einem Gesamtplan kombiniert. Einfache Beispiele sind Mauern mit zurück- oder vorspringenden Bauteilen, Treppenaufsichten (bei denen für jede Stufe eine Ebene angelegt werden muss) oder Mauerkronen, die über umliegende Flächen hinausragen (Abb. 5).



**Abb. 5** Nassenfels (Lkr. Eichstätt). Nebengebäude der villa rustica. Mauerkrone und Versturzschutt wurden auf zwei Entzerrungsebenen entzerrt, die den unterschiedlichen Niveaus angepasst sind. Links die orthogonale Aufsicht, rechts zur besseren Veranschaulichung eine Schrägansicht (T. Wanke).

## Auflösung

Eine verhältnismäßig einfach einzuschätzende Genauigkeitsgrenze des Bildplanes ist die Auflösung der Aufnahme am Objekt und deren Wiedergabe im fertigen Bildplan – sprich: die Anzahl der Pixel, die für die gewünschte Darstellung einer bestimmten Fläche zu Verfügung stehen soll. Die Auflösung des Messbildes ist dabei zuerst durch die Pixelanzahl im Sensor der Kamera festgelegt. Diese sogenannte „Kameraauflösung“ wird üblicherweise in „Megapixel“ für Millionen Bildpunkte angegeben. Abhängig von den Parametern der Entzerrung wird die nur theoretisch nutzbare Kameraauflösung noch mehr oder weniger stark reduziert<sup>7</sup>. Weitere limitierende Faktoren sind die Schärfe der Aufnahme und die Bildqualität des Sensors (Rauschen, Farbtiefe etc.). Die Auflösung der fertigen Entzerrung, also die Anzahl der Pixel pro Objektfläche, stellt im Idealfall die Obergrenze für die Druckauflösung des fertigen Bildplanes dar. Daraus ergibt sich eine einfache Rechnung: Welche Auflösung benötige ich für den Druck des fertigen Bildplanes im gewünschten Maßstab für die zu dokumentierende Fläche? Und wie groß darf der Aufnahmebereich mit meiner Kamera am Objekt maximal sein?

Die üblichen Maßstäbe für archäologische Befundzeichnungen sind 1:20 und 1:10, für Publikationen meist 1:50 und kleiner. Für brauchbare Arbeitsdrucke der Dokumentation sollten mindesten 150 dpi („dots per inch“ = Pixel pro 2,54 cm) veranschlagt werden, bei Druckvorlagen für Publikationen werden in der Regel 300 dpi gefordert. In der folgenden Tabelle sind diese Zusammenhänge für einige gängige Bildauflösungen zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass der Wiedergabemaßstab des primären Bildplanes der Dokumentation die Obergrenze des Aufnahmebereiches festlegt. Die in der Regel verkleinerte Wiedergabe in

<sup>7</sup> Je näher das Messfoto der entzerrten Darstellung im Bildplan ist, desto geringer sind die Verluste bei der Auflösung durch das Entzerren.

Publikationen stellt keine höheren Anforderungen. Bitte beachten Sie, dass die angegebenen Aufnahmebereiche die erreichbare Obergrenze darstellen und in der Praxis abhängig von den Aufnahmebedingungen noch Spielraum einkalkuliert werden sollte.

**Tab. 1** Zusammenhang zwischen Kameraauflösung und maximalem Aufnahmebereich.

Kameraauflösung (Megapixel)	Bildformat	Pixel	maximaler Aufnahmebereich		
			Wiedergabeauflösung 150 dpi		300 dpi
			M 1:10	M 1:20	M 1:50
3,8	(4:3)	2272 x 1704	3,8 x 2,9 m	7,7 x 5,8 m	9,6 x 7,2 m
3,8	(3:2)	2400 x 1600	4,1 x 2,7 m	8,1 x 5,4 m	10,2 x 6,8 m
5,0	(4:3)	2592 x 1944	4,4 x 3,3 m	8,8 x 6,6 m	11,0 x 8,2 m
6,0	(3:2)	3008 x 2000	5,1 x 3,4 m	10,2 x 6,8 m	12,7 x 8,5 m
6,1	(4:3)	2848 x 2136	4,8 x 3,6 m	9,6 x 7,2 m	12,1 x 9,0 m
8	(4:3)	3264 x 2448	5,5 x 4,1 m	11,1 x 8,3 m	13,8 x 10,4 m
8,2	(3:2)	3504 x 2336	5,9 x 4,0 m	11,9 x 7,9 m	14,8 x 9,9 m
10	(4:3)	3648 x 2736	6,2 x 4,6 m	12,4 x 9,3 m	15,4 x 11,6 m
10	(3:2)	3888 x 2592	6,6 x 4,4 m	13,2 x 8,8 m	16,5 x 11,0 m

### Kleiner Leitfaden zur Bildentzerrung

Aus den bisher erörterten theoretischen Grundlagen und einigen praktischen Erfahrungen lassen sich einige konkrete Tipps als Leitfaden für die Erstellung von Bildplänen destillieren. Bevor der Fotogrammetrie-Koffer aber überhaupt in die Hand genommen wird, sollte überlegt werden ob die Fläche bzw. der Befund überhaupt geeignet ist, um mittels einer Bildentzerrung dokumentiert zu werden. Ist dies der Fall, geht es an die Aufnahmeplanung: Welcher Bereich soll dokumentiert werden und welche Darstellungsebene wird gewählt?

Daraus resultiert unmittelbar die Auswahl geeigneter Kamerastandpunkte und der notwendigen Logistik. Die Aufnahmen sollen lotrecht auf die Darstellungsebene aus der – abhängig von der angestrebten Wiedergabeauflösung – maximal möglichen Aufnahmeentfernung aufgenommen werden. Für Senkrechtaufnahmen empfiehlt sich fast immer der Einsatz eines Hubwagens, mit dem größere Flächen aus größerer Entfernung aus einer nahezu beliebig einstellbaren Kameraposition aufgenommen werden können. Die manchmal aus Bequemlichkeit gewählte Fotoleiter rächt sich mit einem vervielfachten Arbeitsaufwand bei der Computerauswertung und einem Flickenteppich verschiedener Lichtverhältnisse auf dem mühsam zusammengestückelten Bildplan.

Bei Senkrechtaufnahmen liegt die Darstellungsebene in der Horizontalen, der Lagebezug ist durch die Koordinaten der Passpunkte gewährleistet. Bei Profilen und Maueransichten sind mindestens zwei Punkte zu wählen, welche die senkrechte Darstellungsebene definieren. Dabei handelt es sich in der Regel um die Profilmägel, mit denen der Detailplan gleichzeitig dreidimensional in das Vermessungssystem der Grabung eingehängt wird. Ein Sonderfall sind größere schräge Ebenen, die statt durch zwei Punkte (Profillinie A-B) besser durch mehrere Punkte definiert werden sollten (Profilpolygon A-X).

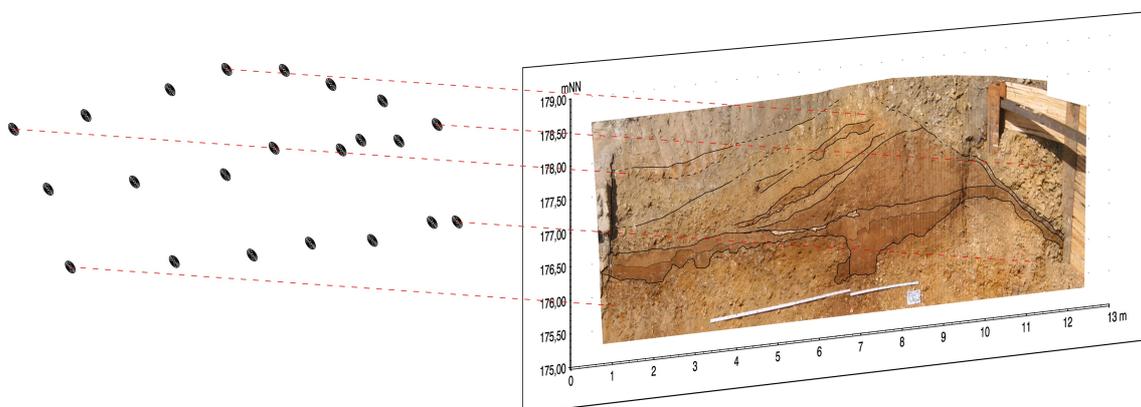
Wenn die theoretischen Vorüberlegungen zur Aufnahmeplanung abgeschlossen sind, geht es an die konkrete Fläche. Diese sollte vor der fotogrammetrischen Aufnahme (= zeichnerischen Dokumentation) bereits fotografiert und verbal beschrieben sein. Bei der Fotodokumentation schreiben die Denkmalämter zumeist eine „objektive“ Aufnahme der geputzten Flächen ohne eine weiterführende Interpretation des Ausgräbers vor. Gerade diese Interpretation ist aber, wie oben bereits ausgeführt, ein notwendiger Bestandteil des Bildplanes. Daher sollten zuerst die Fotos ohne angerissene Konturlinien, Passpunkte etc. gemacht werden. Die notwendige

Auseinandersetzung mit dem Befund geschieht bei der anschließenden verbalen, d.h. schriftlichen Befund- bzw. Flächenbeschreibung. Hier müssen die Schichtgrenzen und Details erkannt, mit Nummern versehen und festgehalten werden.

Erst jetzt müssen die notwendigen Entzerrungsebenen zur korrekten Darstellung der Befunde festgelegt und durch Passpunkte vermarkert werden. Hierzu haben sich markierte Dachpappennägel oder kleine Plaketten (z.B. aus laminiertes Pappe) bewährt, die mit und ohne Nagel verwendet werden können (z.B. indem sie mit Silikon direkt auf Steinbefunde geklebt werden). Bei etwas komplexeren oder größeren Flächen empfiehlt sich das Anfertigen von Fotogrammetrie-Skizzen: Auf diesen Freihandzeichnungen sollten die Passpunkte, Schnittgrenzen, Konturlinien, Befundnummern und eventuell auch die Lage von Einzelaufnahmen festgehalten werden. Sie dienen anschließend als wertvolle Grundlage für die Computerauswertung und enthalten neben den technischen Details auch alle wesentlichen Informationen des zukünftigen Bildplanes (beispielsweise auch Baufugen in Mauerwerk, die sich nicht mit der Kelle anritzen lassen).

Gegebenenfalls muss die Fläche vor dem Fotografieren noch einmal nachgeputzt oder angefeuchtet werden. Spätestens jetzt sollten die Konturlinien in „Erbefunden“ angerissen werden. Zu den eigentlichen Fotoaufnahmen sind oben schon einige Anmerkungen gemacht worden. Neben brauchbaren Lichtverhältnissen sind fotografisch saubere, scharfe Aufnahmen notwendig. Da Automataufnahmen nicht immer die besten Ergebnisse liefern – schon gar nicht bei Fotos vom Stativ – empfiehlt sich nach wie vor das Anfertigen von Belichtungsreihen mit manueller Steuerung von Blende und Verschlusszeit.

Der abschließende Schritt bei der Feldarbeit ist das Einmessen der Passpunkte. Dies geschieht heute am einfachsten mit einer reflektorlosen Tachymetermessung, bei der die Passpunkte direkt mit einem Laser gemessen werden. Bei der Verwendung eines Reflektors sollten die möglichen Fehlerquellen bedacht und vermieden werden. Gegen Flüchtigkeitsfehler mit der Prismenkonstante und dem Längs- oder Querversatz hilft nur Aufmerksamkeit. Lotungsfehler, die durch schräg gehaltene Prismenstäbe entstehen, lassen sich dagegen systematisch durch niedrige Reflektorhöhen reduzieren. Bei komplexeren Situationen, in denen ein Umsetzen des Tachymeters notwendig wird, kann wieder die Fotogrammetrie-Skizze eine wertvolle Hilfe leisten, indem auf dieser die bereits gemessenen Passpunkte gekennzeichnet werden.



**Abb. 6** Würzburg. Wallschüttung der hochmittelalterlichen Stadtbefestigung im abgeschrägten Profil einer Baugrube. Schräge Entzerrungsebene und senkrechte Darstellungsebene. In dem Bildplan können so auch die absoluten Höhen korrekt wiedergegeben werden (BLfD).

Anschließend folgt die Computerauswertung, bei der die Aufnahmen mit Hilfe der Messdaten entzerrt und der fertige Bildplan erstellt wird. Das Einlesen der Bild- und Messdaten sollte unmittelbar im Anschluss an die Feldarbeit erfolgen, um fehlende oder fehlerhafte Daten schnellst möglich festzustellen und gegebenenfalls noch einmal nachmessen oder -fotografieren zu können. Um einen unüberschaubaren Datenwust zu vermeiden, empfiehlt sich eine systematische Ablagestruktur, in der beispielsweise jeder Bildplan in einen eigenen Dateiordner abgelegt wird.

Der weitere Arbeitsablauf ist primär von der verwendeten Software abhängig. In jedem Fall sollte die Darstellungsebene des Bildplanes überprüft werden: Manche Programme generieren eine senkrechte Ansicht auf schräge Projektionsebenen oder auf ein willkürlich gemessenes Koordinatensystem. Daraus resultiert eine nicht-orthogonale Darstellungsebene quasi außerhalb des Vermessungssystems, was bei schrägen Objektoberflächen zu massiven Abweichungen führen kann, z.B. bei schrägen Profilen zu Höhenfehlern (Abb. 6). Wenn hier im Zeichenprogramm nicht mit verschiedenen Ansichten, bei bleibenden Koordinaten, gearbeitet werden kann, sondern die Koordinaten transformiert werden müssen, sollte zur Dokumentation auch immer eine Messdatei mit den originalen Koordinaten des Messsystems der Grabung abgelegt werden.

Anschrift des Verfassers:

Tilman Wanke, Dipl.-Ing. (FH)  
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege  
Praktische Denkmalpflege: Bodendenkmäler  
Referat B IV: Oberranken/Unterfranken  
Schloss Seehof  
96117 Memmelsdorf

### **Abbildungsnachweise**

Abb. 1, 6: Tilman Wanke, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege  
Abb. 2-5, Tab. 1: Tilman Wanke