Zeitschrift: Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art

Band: 61 (1974)

Heft: 11: Architektur und Fotografie = Architecture et Photographie

Artikel: La photogrammétrie : une technique appliquée à l'étude et à la conservation des monuments et des sites = Eine zu Untersuchung und Pflege historischer und baulicher Denkmäler angewandte Technik

Autor: Carbonell, Maurice

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-87835

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 25.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Maurice Carbonnell

Une technique appliquée à l'étude et à la conservation des monuments et des sites

La photogrammétrie

Eine zu Untersuchung und Pflege historischer und baulicher Denkmäler angewandte Technik

Origines

La petite histoire raconte que, en 1858, l'architecte allemand Albrecht Meydenbauer, ayant risqué sa vie alors qu'il exécutait, par des mesures directes, le relevé de la cathédrale de Wetzlar, eut l'idée d'utiliser, pour de tels travaux, des photographies. La méthode d'utilisation fut présentée en 1865–1866 sous le nom de *photométrographie*. C'était une méthode de constructions graphiques à partir de mesures faites sur plusieurs photographies de l'élément architectural à traiter.

En fait, l'art d'établir des plans et des élévations d'un bâtiment d'après des vues perspectives n'était pas nouveau, mais toute la difficulté résidait dans l'enregistrement exact des perspectives. L'invention de la chambre claire, puis de la photographie marqua successivement de grands progrès et le Français Aimé Laussedat, vers les années 1850–1860, les utilisa l'une après l'autre selon un procédé qu'il appela *métrophotographie* et qu'il appliqua d'abord à des relevés de monuments avant de le développer surtout pour les levés topographiques.

Ainsi, au milieu du XIXe siècle, apparaissait, grâce à la photographie, une nouvelle méthode de relevés architecturaux, justifiant l'intuition d'Arago qui, dès 1839, avait déclaré: «Les images photographiques étant soumises, dans leur formation, aux règles de la géométrie, permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices.»

Anfänge

Eine Anekdote besagt, der deutsche Architekt Albrecht Meydenbauer sei im Jahre 1858 auf den Gedanken gekommen, für Vermessungsarbeiten die Fotografie zu benutzen, da er sein Leben beim Vermessen des Wetzlarer Doms riskiert habe. Das Verfahren wurde 1865/66 unter der Bezeichnung *Photometrographie* präsentiert. Es handelte sich um eine Methode zur Herstellung konstruktiver Zeichenbilder mittels einer Reihe von Fotografien des zu erfassenden Bauelements.

Tatsächlich aber war die Kunst, Grund- und Aufrisse mit Perspektivansichten herzustellen, nicht neu. Die Schwierigkeit bestand in der genauen Aufnahme der Perspektive. Die Erfindung der *hellen Kammer* und später der Fotografie brachte grosse Fortschritte. Der Franzose Aimé Laussedat wandte sie in den Jahren 1850–1860 nacheinander in einem Verfahren, das er *Metrophotographie* nannte und zur Vermessung von Baudenkmälern benutzte, an, bevor es vor allem für topografische Zwecke weiterentwickelt wurde.

Mitte des 19. Jahrhunderts kommt also dank der Fotografie eine neue Methode zur Aufnahme von Bauwerken auf, die Vorahnung eines Arago rechtfertigend, der bereits 1839 erklärte: «Da die photographischen Bilder in ihrer Gestaltung den Regeln der Geometrie unterstehen, werden sie es gestatten, mittels einer geringen Anzahl von Angaben die exakten Messwerte der höchstgelegenen, unerreichbaren Gebäudeteile zu erhalten.»

Processus

La *photogrammétrie*, nom imaginé plus tard par Meydenbauer et définitivement adopté, est donc une technique, ou plus exactement un ensemble de techniques, qui permet de déterminer la forme, les dimensions et la position d'un «objet» à partir de *perspectives* de cet objet enregistrées *photographiquement*. Il convient de prendre le mot objet dans un sens très large, puisque les applications de la photogrammétrie – dont la principale, et de très loin, est aujourd'hui l'établissement des cartes et des plans à partir de photographies aériennes – s'étendent aux contrôles d'ouvrages d'art, à la métrologie industrielle, à l'hydraulique, à la microscopie, à l'astronomie, à la médecine, etc. En réalité, tout

Verfahren

Die Fotogrammetrie, eine später von Meydenbauer erfundene und definitiv gewordene Bezeichnung, ist also eine Technik oder, besser, eine Gesamtheit von Techniken, die es gestattet, die Form, die Dimensionen und die Lage eines «Objektes» durch die *Perspektiven* dieses *fotografisch* aufgenommenen Objekts zu bestimmen. Der Begriff Objekt versteht sich hier im weitesten Sinne des Wortes, denn der Anwendungsbereich der Fotogrammetrie – in erster Linie die Herstellung topografischer Kartenbilder oder Pläne aus Luftbildaufnahmen – umfasst die Kontrolle von Kunstbauten, industrieller Metrologie, Hydraulik, Mikroskopie, Astronomie, Medizin usw. Alles, was entsprechend fotografiert werden kann, lässt sich fotogrammetrisch verwerten.

ce qui peut être correctement photographié est susceptible d'être traité par photogrammétrie.

Le processus photogrammétrique repose d'abord sur la connaissance précise des caractéristiques internes de chaque perspective enregistrée: distance principale, position du point principal sur la photo et, éventuellement, loi de la déviation des rayons lumineux due à la distorsion de l'objectif (fig. 1). Considérons alors un élément architectural photographié de deux points de vue (fig. 2). L'ensemble des rayons lumineux issus du sujet forme deux *gerbes perspectives* qui convergent aux deux *centres de perspective* et, après avoir traversé l'objectif, viennent impressionner les deux plaques ou films photographiques, créant les deux *images perspectives*. Ces images ne sont pas assimilables à un relevé du sujet, à une élévation de la façade dans le cas de la figure: elles présentent des *déformations perspectives* importantes dues au relief de l'élément photographié et à la non-perpendicularité des axes de prise de vues au plan de référence choisi. Tout l'art de la photogrammétrie consiste, à partir de deux images perspectives obtenues par projection conique, à établir une projection orthogonale du sujet sur le plan de référence.

Das Verfahren basiert zuerst einmal auf der präzisen Kenntnis der inneren Eigenschaften jeder aufgenommenen Perspektive: Bildweite, Ort des Hauptbildpunktes der Fotografie und eventuell Gesetz der Lichtbrechung wegen der Verzerrung des Objektivs (Abb. 1). Nehmen wir ein Bauteil, von zwei Aufnahmeorten aus aufgenommen (Abb. 2a). Die Gesamtheit der vom Motiv kommenden Lichtstrahlen bildet zwei *Strahlenbündel*, die sich in den beiden perspektivischen Zentren schneiden und durch das Objektiv gehen, um zwei fotografische Platten oder Filme zu belichten, so dass zwei *perspektivische Bilder* entstehen. Diese beiden Bilder haben nichts mit einer Vermessung des Sujets zu tun, mit einem Fassadenaufriss im Falle der Abbildung: sie weisen erhebliche perspektivische *Verzerrungen* auf, die aus dem Relief des Objektes sowie aus der Nichtrechtwinkligkeit der Aufnahmeachsen zur gewählten Bezugsebene resultieren. Die ganze Kunst der Fotogrammetrie besteht nun darin, aus zwei perspektivischen, durch konische Projektion entstandenen Bildern eine orthogonale Projektion des Motivs auf die Bezugsebene zu verwirklichen.

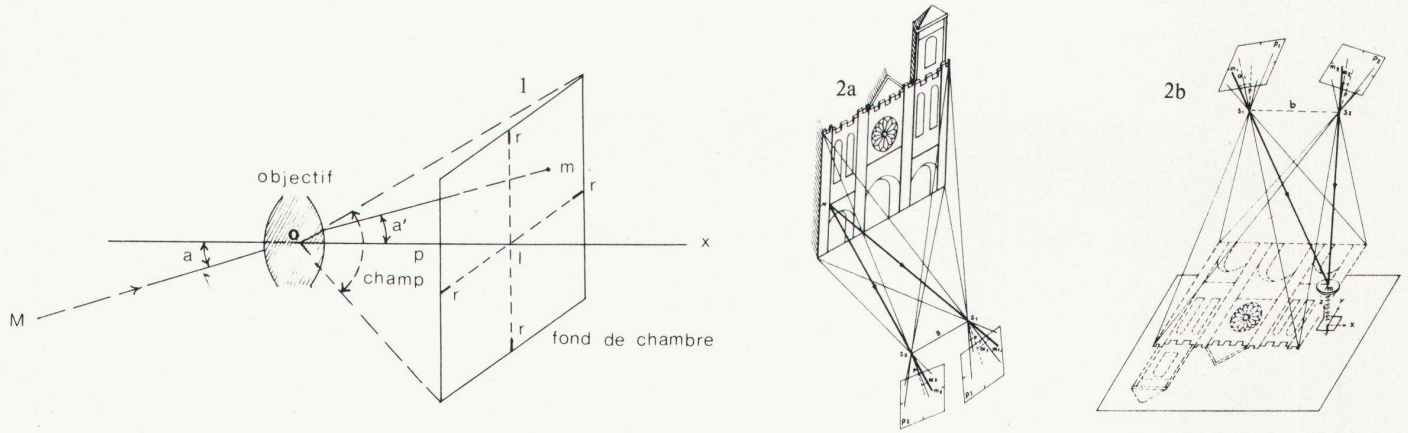


Fig. 1 Les éléments internes d'une perspective photographique – 1) point principal – p. distance principale – La différence entre les angles a et a' exprime la distorsion, en chaque point de l'image.
Fig. 2 Schéma de principe de la photogrammétrie: a) prise de vues; b) restitution.
Abb. 1 Die internen Elemente einer fotografischen Perspektive: 1. Hauptbildpunkt – perspektivische Bildweite. Der Unterschied zwischen den Winkeln a und a' drückt die Verzerrung in jedem Bildpunkt aus.
Abb. 2 Grundschema der Fotogrammetrie: a) Aufnahme, b) Wiederherstellung.

Technique

Pour cela, la photogrammétrie reconstitue le schéma même de la prise de vues (fig. 2 b): en vraie grandeur en ce qui concerne les éléments internes des perspectives, à une échelle réduite en ce qui concerne les éléments externes. A partir des clichés et des éléments internes, on reconstitue d'abord les deux gerbes perspectives. On donne ensuite à ces deux gerbes, l'une par rapport à l'autre et également par rapport au plan de référence, des orientations identiques à celles de la prise de vues. Enfin on introduit entre les deux centres de perspectives une certaine base b. Ces opérations terminées, les rayons perspectifs homologues, issus cette fois des clichés et reconstitués en joignant chaque point image des photos au centre de perspective correspondant, se coupent deux à deux et l'ensemble de ces intersections forme un *modèle* absolument semblable au sujet et dont l'échelle est égale au rapport de la base b à la distance B qui séparait les deux points de vue lors de la prise des photographies. Dans cette *restitution photogrammétrique*, il suffit de connaître, dans le système de référence du relevé, la position de quelques points de repère pour orienter et mettre à l'échelle le modèle reconstitué.

Technik

Zu diesem Zweck rekonstruiert die Fotogrammetrie das eigentliche Schema des Aufnahmevorgangs (Abb. 2b): die internen Elemente der Perspektive erscheinen in ihrem ursprünglichen Massstab, die externen Elemente verkleinert. Aus den Aufnahmen und den internen Elementen werden zuerst die Strahlenbündel wiederhergestellt. Denn beiden Strahlenbündeln werden sodann zueinander und zur Bezugsebene mit der Aufnahmekammer identische Ausrichtungen gegeben. Zwischen die beiden perspektivischen Zentren wird anschliessend eine sogenannte Basis b eingeführt. Nach Beendigung dieser Operationen schneiden sich die homologen perspektivischen Strahlen, die nunmehr aus den Messbildern stammen und wiederhergestellt sind, indem jeder Bildpunkt der Aufnahmen im zugehörigen perspektivischen Zentrum zusammentrifft, und zwar paarweise. Die Gesamtheit der Schnittpunkte bildet ein dem Objekt entsprechendes *Raummodell*, dessen Massstab dem Verhältnis der Basis b zur Bildweite B entspricht, welche den Abstand zwischen den beiden Aufnahmeorten darstellt. Zu dieser *fotogrammetrischen Wiederherstellung* braucht man nur im Bezugssystem der Aufnahme den Ort einiger Punkte zu kennen und das rekonstruierte Modell auf den Massstab zu bringen.

Pendant longtemps, la restitution s'est effectuée, point par point, par des constructions graphiques faites sur l'épure du relevé à partir de mesures prises sur les photographies. Mais, au début du XXe siècle, est apparue en Autriche la nouvelle technique de la *stéréophotogrammétrie*. Dans cette technique, le schéma général de la restitution est réalisé mécaniquement: les deux clichés reçoivent les inclinaisons voulues, la base est introduite ainsi que les éléments d'orientation interne, les centres de perspective sont matérialisés par deux cardans et les rayons perspectifs par deux tiges qui pivotent dans l'espace autour des centres des cardans; ces deux tiges, enfin, ont une articulation inférieure commune qui matérialise le point du modèle. Tout cet ensemble est articulé et permet donc une exploration totale des clichés et une reconstitution intégrale du modèle. Simultanément, un système optique permet un *examen stéréoscopique* des deux photographies restituées, mieux un *pointé stéréoscopique* de l'image en relief observée par l'opérateur, grâce à un index perçu dans la même vision spatiale et qui est constitué en fait par le fusionnement stéréoscopique de deux repères posés optiquement sur chacun des clichés, aux deux points homologues correspondant à une position instantanée des tiges et de leur articulation inférieure.

Mécanique

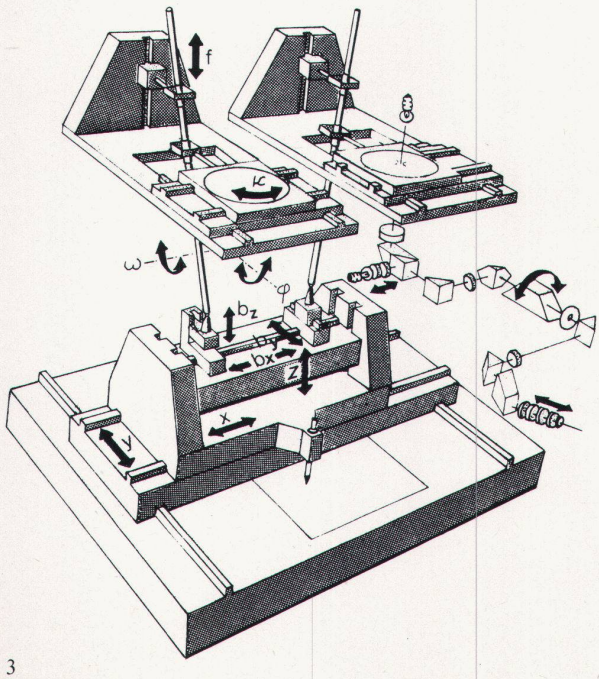
La figure 3 donne le schéma d'un certain type *d'appareil de restitution stéréophotogrammétrique*. Pour des raisons évidentes de réalisation mécanique, les tiges ne traversent pas les clichés; ceux-ci sont décalés et, entraînés par les tiges, se déplacent sous une optique d'observation binoculaire fixe; de même les articulations inférieures des tiges ne sont pas confondues, mais dédoublées. Il existe différents modèles d'appareils de restitution, mais les principes généraux de leur conception restent les mêmes. Le plus souvent (fig. 4), l'opérateur dispose de trois commandes, deux volants et une pédale, avec lesquelles il peut donner à l'index de pointé un déplacement apparent à la surface de l'image en relief du monument qu'il perçoit et suivre, de *façon continue*, toutes les lignes architecturales qu'il désire relever. Les trois commandes entraînent simultanément le dispositif mécanique et, en particulier, l'articulation inférieure des tiges qui décrit le modèle et dont les

Lange geschah die Wiederherstellung punktweise auf dem Zeichentisch anhand von Messwerten, die von den Fotos abgelesen wurden. Anfangs des 20. Jahrhunderts kam jedoch in Österreich die neue Technik der *Stereofotogrammetrie* auf. Das allgemeine Rekonstruktionsschema wird dabei mechanisch realisiert: die beiden Messbilder erhalten die gewünschte Ausrichtung, die Basis sowie die internen Orientierungselemente werden eingeführt, die perspektivischen Zentren durch zwei Kardanwellen und die Strahlenbündel durch zwei Stäbe materialisiert, die um die Zentren der Kardanwellen rotieren; diese beiden Stäbe haben ein gemeinsames Gelenk an ihrer Basis, das den Bildpunkt des Modells materialisiert. Die ganze Einrichtung ist mit Gelenken versehen und gestattet daher eine totale Beobachtung der Messbilder und eine vollständige Wiederherstellung des Modells. Gleichzeitig gestattet ein optisches System eine *stereoskopische Prüfung* der beiden wiederhergestellten Messbilder, ja sogar eine *stereoskopische Anvisierung* des beobachteten Raumbildes durch einen gleichzeitig wahrgenommenen Messindex, hergestellt durch die stereoskopische Überschneidung von zwei optischen Marken auf den Messbildern an zwei homologen Punkten, die der momentanen Stellung der Stäbe und Gelenke entsprechen.

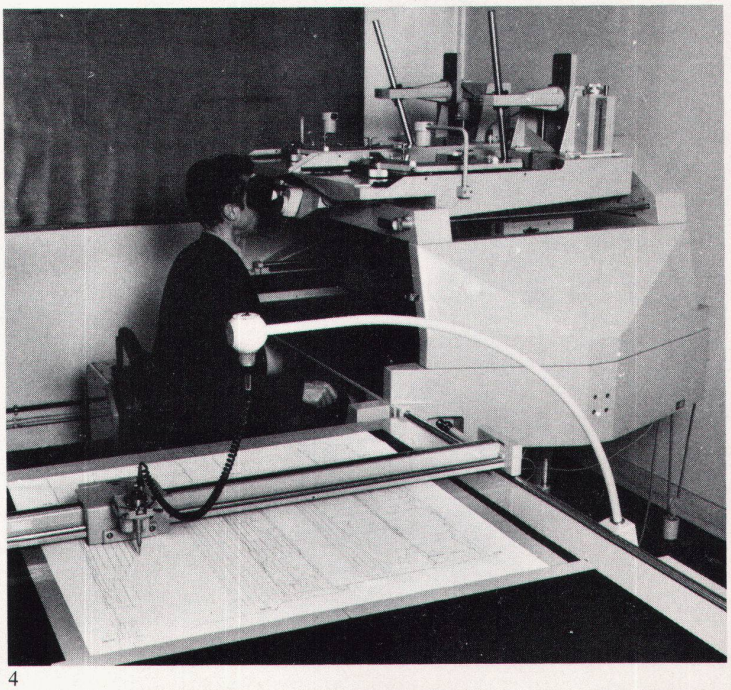
Mechanik

Abbildung 3 zeigt das Schema eines *stereogrammetrischen Wiederherstellungsgerätes*. Aus verständlichen Gründen mechanischer Realisierung gehen die Stäbe nicht durch die Messbilder: letztere sind versetzt und werden mit den Stäben (Raumlenkern) unter einem festen Doppelmikroskop, das der Beobachtung dient, verschoben. Die unteren Stabgelenke sind nicht verbunden, sondern doppelt ausgeführt. Es gibt verschiedene Arten von Wiederherstellungsgeräten, die allgemeine Konzeption ist jedoch dieselbe. Meistens verfügt der Beobachter (Abb. 4) über drei Steuerungselemente: zwei Handräder und eine Fussscheibe. Mit ihnen kann der Betrachter den Ausblick verändern und somit *ständig* allen aufzunehmenden Baulinien folgen. Die drei Steuerungselemente bedienen gleichzeitig die mechanische Anlage, besonders die unteren Stabgelenke, welche das Modell beschreiben und deren Bewegungen auf

Fig. 3 Schéma d'un appareil de restitution. Le Planimat D 2 de Carl Zeiss.
Fig. 4 Un appareil de restitution effectuant un relevé architectural. Le Planimat D 2 de Carl Zeiss.
Abb. 3 Schema eines Wiederherstellungsgerätes: Planimat D 2 von Carl Zeiss.
Abb. 4 Wiederherstellungsgerät bei der Herstellung einer Gebäudeaufnahme.



3



4

mouvements sont transmis à une table traçante qui dessine, à l'échelle voulue, la projection orthogonale de chaque ligne suivie. Il est généralement possible de choisir trois plans de référence orthogonaux permettant d'établir une élévation et des coupes horizontales et verticales. On peut également enregistrer, dans le système d'axes de l'instrument, les coordonnées spatiales de n'importe quel point du modèle. Cette *restitution numérique*, qui permet la plus haute précision, sera fort intéressante pour des études très fines concernant la structure des monuments ou la mesure très exacte de certaines de leurs dimensions, tandis que le tracé graphique continu, le plus généralement effectué, donnera, avec toute *l'objectivité* voulue, un relevé graphique complet.

Les appareils

Telle est la stéréophotogrammétrie. On conçoit que sa mise en application exige une très haute qualité de l'ensemble du système et, en particulier, des appareils de prise de vues qui ne sauraient être des appareils courants, même de grande classe, mais qui sont des *chambres métriques*, spécialement réalisées pour ce travail. *Etalonnées* en laboratoire avec une précision s'exprimant en centième ou en millième de millimètre, elles sont pourvues d'objectifs complexes corrigeant simultanément toutes les aberrations géométriques tout en assurant une

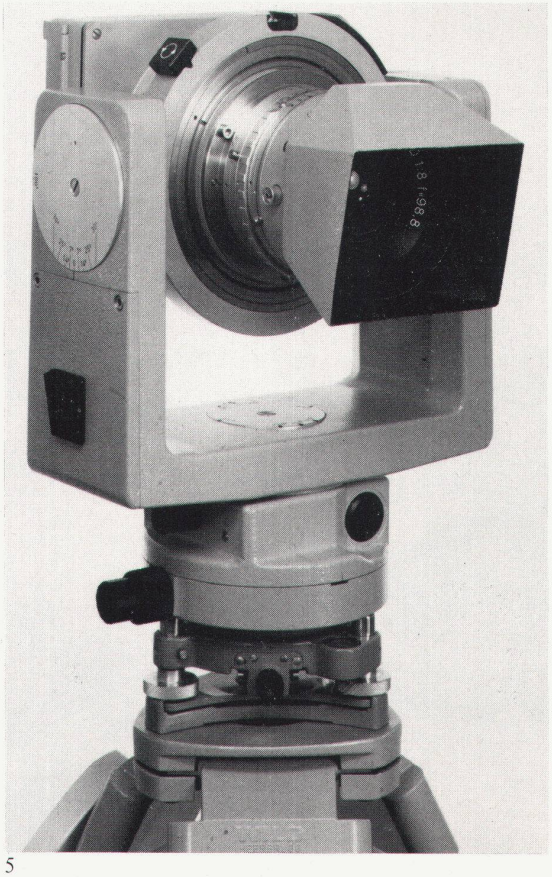
einen Zeichentisch übertragen werden, wo im gewünschten Massstab die rechtwinklige Projektion jeder verfolgten Linie hergestellt wird. Im allgemeinen ist es möglich, drei rechtwinklige Bezugsebenen zu wählen, die einen Aufriss sowie horizontale und vertikale Schnitte gestatten. Ebenfalls können im Achsensystem des Gerätes die Raumkoordinaten irgendeines Punktes des Modells registriert werden. Diese *numerische Wiederherstellung*, die höchste Präzision erreicht, eignet sich auch für ganz genaue Untersuchungen, welche die Struktur der Bauwerke oder ihre genaue Aufnahme bezwecken, während die kontinuierliche Umrisszeichnung, die am häufigsten angewendet wird, mit aller angestrebten *Objektivität* eine komplette grafische Aufnahme liefert.

Apparate

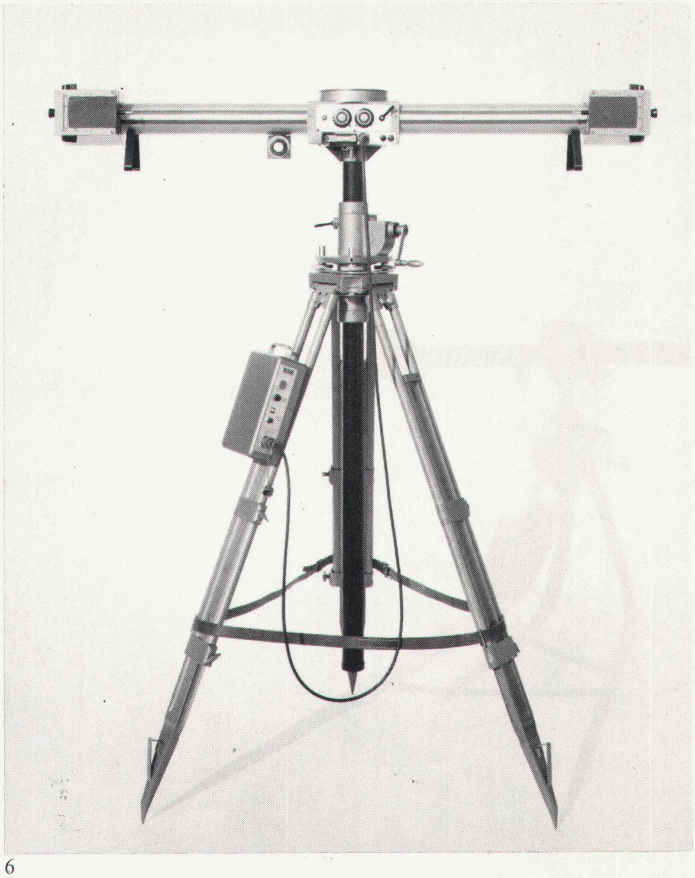
So funktioniert also die Stereofotogrammetrie. Dass ihre Anwendung eine ausserordentliche Qualität der ganzen Apparatur verlangt, versteht sich von selbst. Besonders die Aufnahmegeräte dürfen keine noch so guten gewöhnlichen Kameras sein, sondern sind spezielle *Messkammern*, die im Labor auf $^1/_{100}$ oder $^1/_{1000}$ mm geeicht und mit komplexen Objektiven bestückt sind, die sämtliche geometrischen Verzerrungen bei höchster Bildschärfe korrigieren. Da die Aufnahmen allgemein paarweise gemacht werden, sind die Messkammern oft zu verdoppeln, wenn man bei relativ kurzer Entfernung eine ebenfalls kurze Basis wählen muss (Abb. 5). Häufig verwendet man jedoch auch individuelle Kammern zur Aufnahme grossformatiger Objekte (Abb. 6).

Am Schluss dieses technischen Abrisses soll noch erwähnt werden, dass am Anfang des 20. Jahrhunderts noch eine andere fotogrammetrische Methode aufgekommen ist, welche jede Aufnahme separat auswertet, vorausgesetzt, dass das Aufnahmeobjekt flächig ist oder dass es jedenfalls als solches angesehen werden kann. Die *Entzer-*

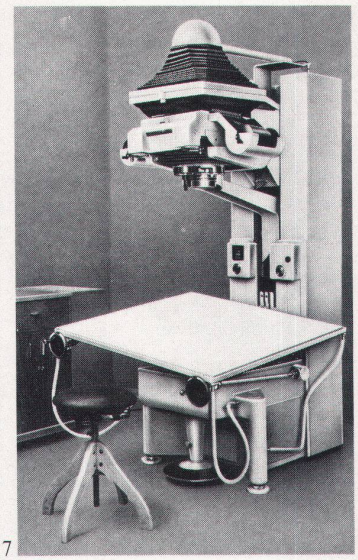
Fig. 5 Une chambre stéréométrique. Chambre Wild C. 120: focale 64 mm, format 6,5 × 9 cm, base 120 cm.
Fig. 6 Une chambre métrique individuelle. Chambre Wild P. 31: focale 100 mm, format 4 × 5″.
Abb. 5 Eine stereometrische Messkammer: Wild C 120, Brennweite 64 mm, Bildformat 6,5 × 9 cm, Basis 120 cm.
Abb. 6 Individuelle Messkammer: Wild P 31, Brennweite 100 mm, Bildformat 4 × 5″.



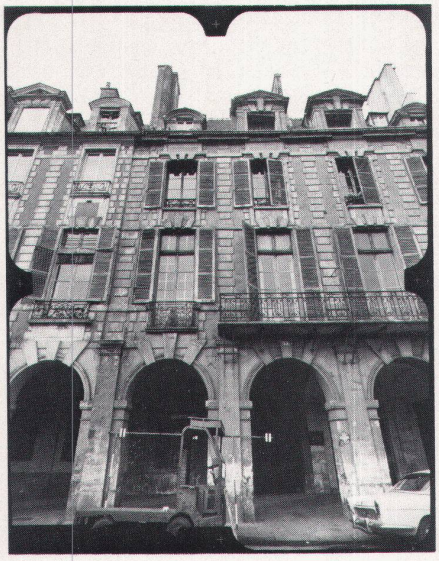
5

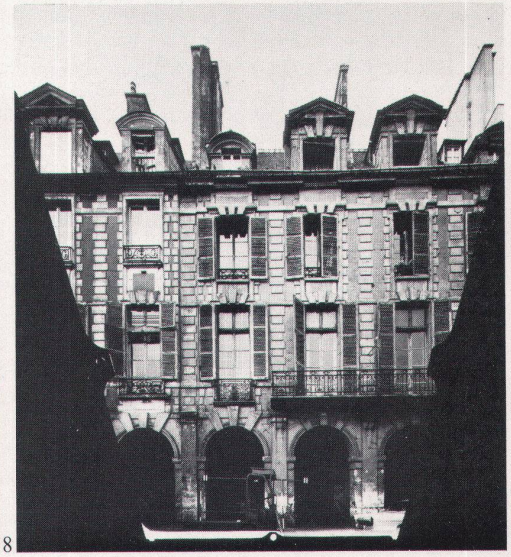


6



7





8

Fig. 7 Un redresseur photogrammétrique. Le SEG. V de Carl Zeiss.
Fig. 8 Le redressement photogrammétrique: photo oblique et photo redressée.
Abb. 7 Fotogrammetrisches Entzerrungsgerät: Seg. V von Carl Zeiss.
Abb. 8 Fotogrammetrische Entzerrung: schräges und entzerrtes Foto.

haute définition de l'image. Les clichés étant généralement pris par paires, les chambres métriques sont souvent doubles lorsque, travaillant à un éloignement relativement court, on doit adopter une base elle-même assez courte (fig. 5). Mais on emploie aussi couramment des chambres individuelles pour le relevé de sujets de plus grandes dimensions (fig. 6).

Pour terminer cet aperçu technique, il convient enfin de mentionner que, vers le début du XXe siècle également, était apparue une autre méthode photogrammétrique qui traite chaque cliché individuellement, pourvu que le sujet soit plan ou, avec une certaine tolérance, puisse être considéré comme tel. Cette méthode du *redressement* est généralement mise en œuvre à l'aide de *redresseurs*, appareils, très automatisés aujourd'hui, qui opèrent par projection optique (fig. 7) et qui transforment une photographie prise obliquement en une autre photographie telle qu'on l'aurait obtenue du même point de vue si l'axe principal avait été perpendiculaire au sujet (fig. 8).

Les applications

L'histoire de la photogrammétrie est donc déjà plus que centenaire et les applications de cette technique aux relevés architecturaux remontent au début même de cette histoire, au cours de laquelle d'importants et souvent très beaux travaux furent exécutés. Mais au cours des deux dernières décennies et plus particulièrement depuis six ou sept ans, le matériel de prise de vues et de restitution s'est beaucoup développé et perfectionné et la photogrammétrie architecturale connaît, mondialement, un remarquable essor. Cet essor est lié à la nécessité, ressentie par les architectes et les conservateurs, de disposer, pour l'étude et la protection des monuments historiques, de relevés précis et scientifiquement établis. L'importance attachée par l'UNESCO et par l'ICOMOS (Conseil International des Monuments et des Sites) au développement et à la promotion des méthodes photogrammétriques de relevés a joué, par ailleurs, un rôle déterminant.

L'un des intérêts majeurs de la photogrammétrie est de permettre une dissociation totale, dans le temps, des opérations de prise de vues et des opérations de restitution. Les premières, liées à quelques mesures indispensables servant d'ossature au relevé, conduisent à la constitution des *archives photogrammétriques* du monument, qui en fixent l'état à un moment donné et seront toujours disponibles pour toute restitution et toute étude ultérieures, même si le monument a été détérioré ou détruit. C'est là une action fondamentale d'archivage scientifique dont la nécessité est bien comprise aujourd'hui. ▸

rungsmethode wird heute allgemein mit Hilfe von *Entzerrern* bewerkstelligt; es sind dies weitgehend automatisierte Anlagen, die mit optischer Projektion arbeiten (Abb. 7) und ein schräg aufgenommenes Messbild in ein anderes umwandeln, das man erhalten hätte, wenn die Aufnahmeachse rechtwinklig zum Motiv gelegen hätte (Abb. 8).

Anwendungsbereiche

Die Fotogrammetrie ist also schon mehr als hundert Jahre alt. Von Anfang an wurde die Technik zur Vermessung von Gebäuden verwendet. Wichtige und oft sehr schöne Arbeiten wurden so durchgeführt. In den letzten zwei Jahrzehnten, vor allem aber in den letzten 6 oder 7 Jahren, ist das Aufnahme- und Wiederherstellungsmaterial weiterentwickelt und verbessert worden. Die architektonische Fotogrammetrie erlebt einen weltweiten Aufschwung. Architekten und Konservatoren haben nämlich die Notwendigkeit erkannt, dass man zum Studium und zur Erhaltung von Baudenkmälern über präzise und wissenschaftlich begründete Vermessungen verfügen muss. Ausserdem hat die Tatsache, dass UNESCO und ICOMOS (Conseil International des Monuments et des Sites) grossen Wert auf die Entwicklung und die Verbreitung der fotogrammetrischen Methoden legen, eine determinierende Rolle gespielt.

Die Fotogrammetrie gestattet vor allem eine totale zeitliche Trennung des Aufnahme- und des Wiederherstellungsvorgangs. Ersterer dient gemeinsam mit gewissen andern notwendigen Messungen als Grundlage; sie gestattet die Anlage *fotogrammetrischer Archive* des Baudenkmals, dessen augenblicklicher Zustand so für eine spätere Wiederherstellung oder Untersuchung – selbst trotz Beschädigung oder Zerstörung des Gebäudes – fixiert wird. Es handelt sich somit um eine grundlegende wissenschaftliche Archivierungsaktion, deren Notwendigkeit heute allgemein anerkannt wird. ▸

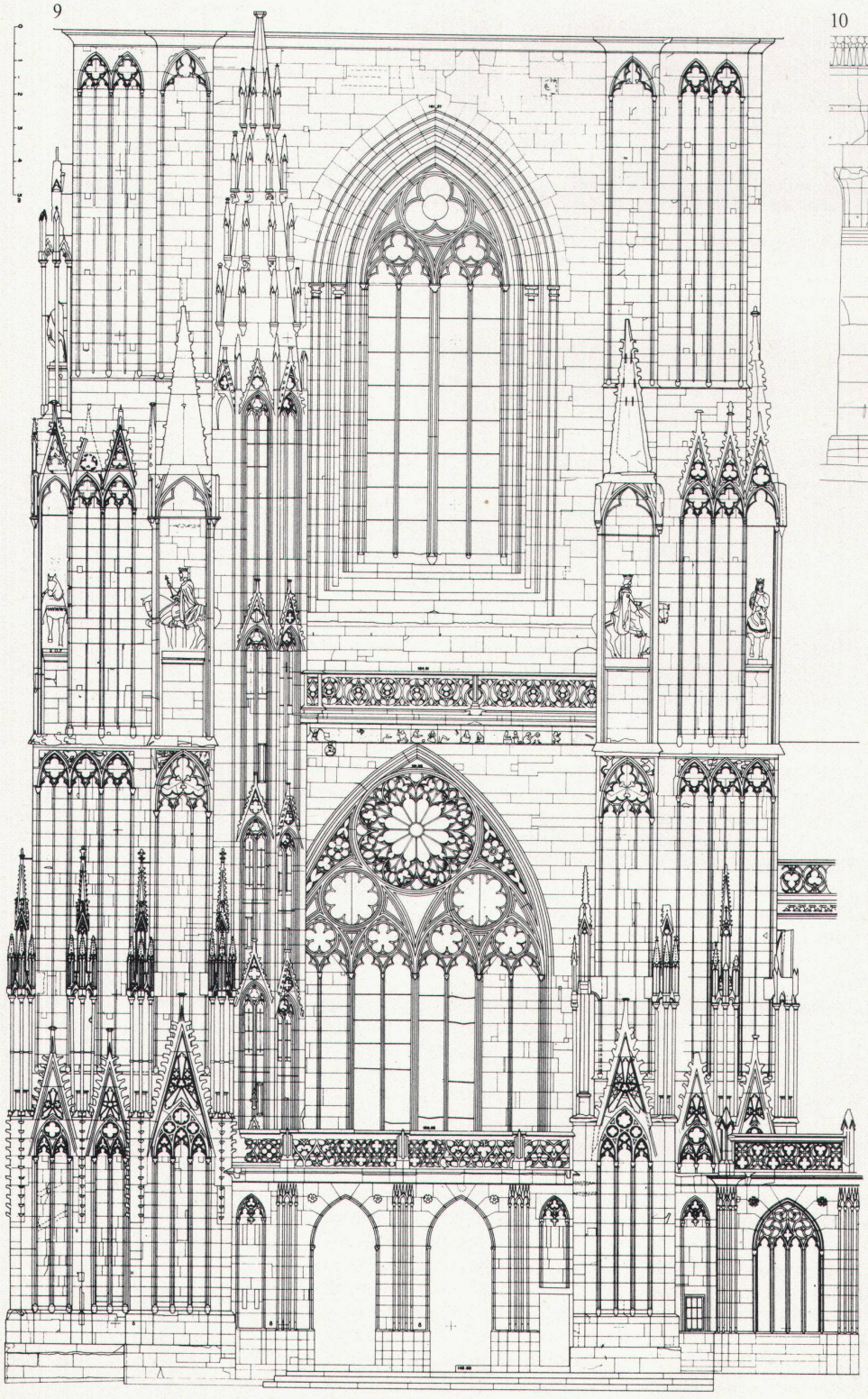
Vient ensuite, immédiatement si cela est nécessaire, de façon différée dans le cas contraire, la restitution. Celle-ci peut s'appliquer:

– au relevé intégral d'édifices, en vue de leur étude (histoire et technique de la construction, tracés directeurs), et des travaux courants d'entretien et de conservation (fig. 9); ce relevé intégral revêt une particulière importance lorsqu'il prélude à une opération de transfert du monument, les exemples les plus célèbres étant ceux d'Abou Simbel, il y a quelques années, et actuellement de Philae (fig. 10);

Der Wiederherstellungsvorgang folgt auf den Aufnahmevorgang entweder sofort im Anschluss, innert notwendiger Frist oder zu einem späteren Zeitpunkt. Die Wiederherstellung kann angewendet werden:

– zur Integralaufnahme von Bauwerken im Hinblick auf ihre Untersuchung (Geschichte, Bautechnik, Grundschema) und auf die allgemeine Gebäudepflege oder deren Konservation (Abb. 9); die Integralaufnahme ist von besonderer Bedeutung für die Vorbereitung der Standortverlegung eines Kulturdenkmals; das bekannteste Beispiel ist Abu Simbel; vor einigen Jahren ist dort ein Umzug wie jetzt in Philä erfolgt (Abb. 10);

9



10

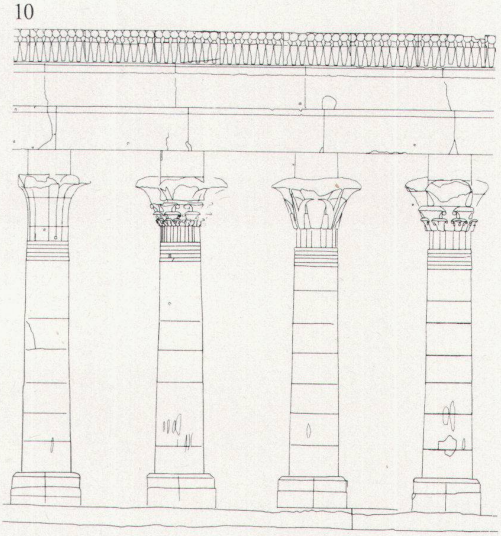


Fig. 9 Relevé d'un grand monument. Cathédrale de Strasbourg, face sud du massif de façade. La cathédrale de Strasbourg a fait l'objet d'un relevé photogrammétrique extérieur complet. Echelle de l'original: 1:50.
Fig. 10 Philae. Une partie du relevé architectural complet de l'ensemble des monuments, en cours d'exécution avant leur démontage et leur transfert. Echelle de l'original: 1:50.

Abb. 9 Aufnahme eines grossen Baudenkmals: Strassburger Dom, Südfassade. Der Strassburger Dom ist aussen vollständig aufgenommen. Originalmassstab 1:50.
Abb. 10 Philä: Teil der Gesamtaufnahme der Bauwerke vor ihrem Abbau und ihrem Standortwechsel. Originalmassstab 1:50.

11

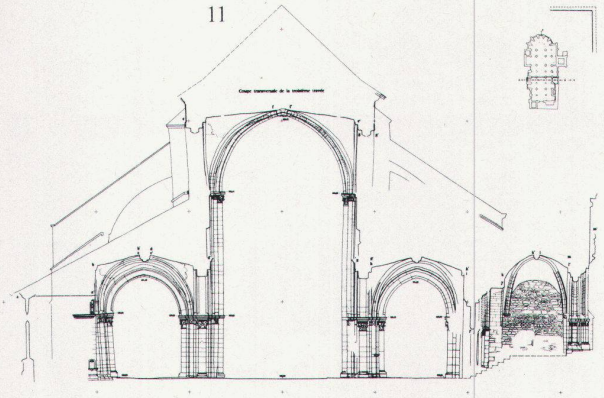
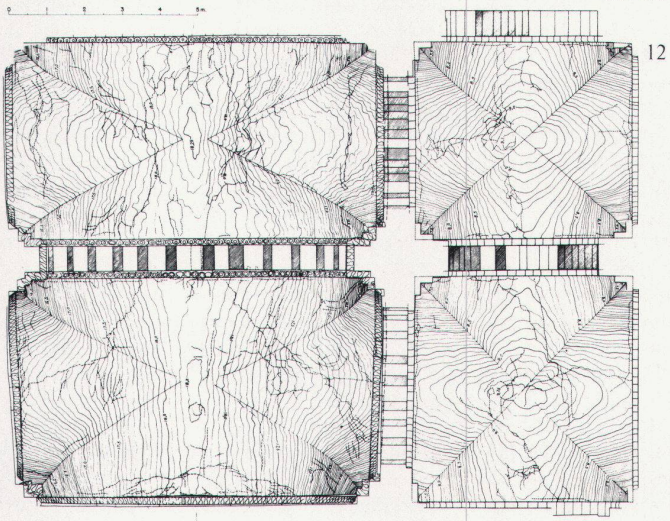


Fig. 11 Bar-sur-Aube, église Saint-Pierre. Relevé partiel en coupe-élévation en vue de travaux de restauration. Echelle de l'original: 1:50.
Fig. 12 Vézelay, basilique de la Madeleine. Relevé des voûtes des deux premières travées de la nef et du collatéral sud, exécuté avant leur restauration. Echelle de l'original: 1:50. Equidistance des courbes: 5 cm.
Fig. 13 Abou Simbel, Petit Temple. Relevé en sections verticales équidistantes d'une des statues monumentales de la façade. Echelle de l'original: 1:10. Equidistance des sections verticales: 1 cm.
Abb. 11 Bar-sur-Aube: Peterskirche. Teilaufnahme in Schnittaufriss zu den geplanten Restaurationsarbeiten. Originalmassstab 1:50.
Abb. 12 Vézelay: Basilika der Magdalena. Aufnahme der Wölbungen der beiden ersten Säulenreihen des Schiffes und des südlichen Seitenschiffes vor ihrer Restauration. Originalmassstab 1:50. Gleicher Abstand der Kurven: 5 cm.
Abb. 13 Abu Simbel: Kleiner Tempel. Aufnahme einer Monumentalplastik der Fassade in Aufrissen gleichen Abstands. Originalmassstab 1:10. Gleicher Abstand der Aufrisse: 1 cm.



12

13

– à la documentation des inventaires généraux tels qu'ils sont entrepris dans différents pays; il s'agit alors, le plus souvent, d'une restitution limitée aux lignes architecturales essentielles;

– au relevé partiel d'éléments architecturaux en vue de travaux de restauration ou de consolidation (fig. 11); les relevés de ce type concernent souvent les coupoles ou les voûtes pour lesquelles la photogrammétrie offre un moyen de représentation géométrique exact sous forme de courbes de niveau (pour chaque courbe, la coordonnée éloignement est fixée dans l'appareil de restitution et l'opérateur explore son modèle en déplaçant son index dans un plan horizontal) (fig. 12); la même technique est applicable au relevé de la statuaire monumentale, les sections étant, cette fois, verticales et non plus horizontales (fig. 13); ►

– zum Belegen allgemeiner Bestandsaufnahmen, die zurzeit in verschiedenen Ländern im Gange sind; meistens handelt es sich dabei um eine auf die Hauptlinien beschränkte Wiederherstellung;

– zur Teilaufnahme von Gebäudeteilen im Hinblick auf deren Instandsetzung oder Befestigung (Abb. 11); derartige Vermessungen werden oft bei Kuppeln oder Gewölben angewendet, wobei die Fotogrammetrie ein exaktes geometrisches Darstellungsmittel in Form von Höhenlinien liefert (für jede Linie wird die Abstandskoordinate im Wiederherstellungsgerät bestimmt, der Beobachter betrachtet sein Raummodell, indem er die Messmarke auf einer horizontalen Ebene wandern lässt) (Abb. 12); dieselbe Technik lässt sich auch bei der Vermessung von Monumentalplastiken anwenden; statt Querschnitten werden jedoch Aufrisse hergestellt (Abb. 13); ►

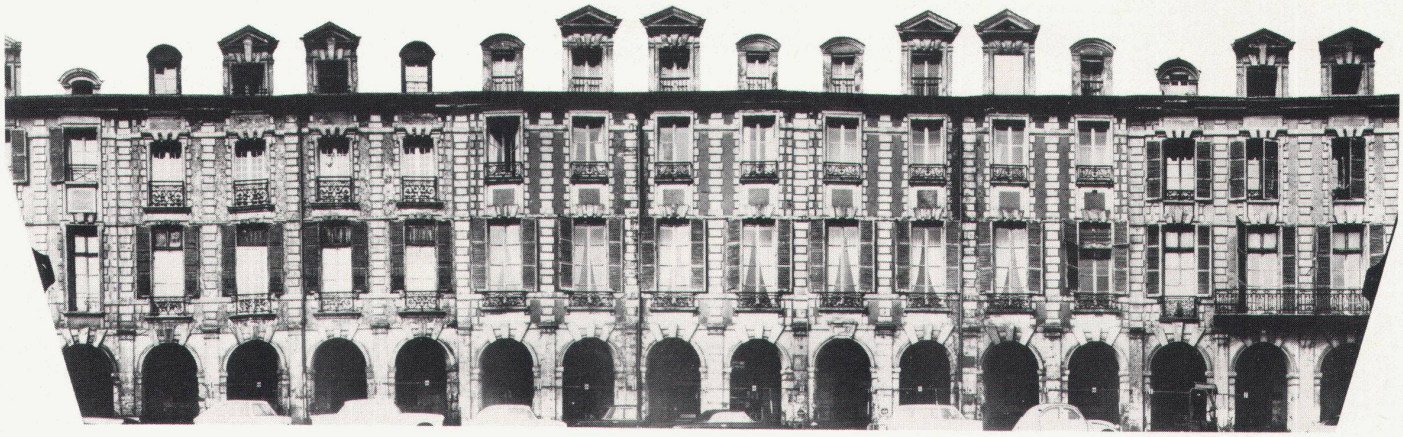


Fig. 14 Développement de façades par assemblage de photographies redressées. Paris, la Place des Vosges. Echelle de l'original: 1: 100.
Abb. 14 Fassadenflucht durch Montage entzerrter Fotografien: Paris, Place des Vosges. Originalmassstab 1:100.

– au relevé d'ensembles architecturaux sous forme de développements de façades, ces développements étant établis soit par restitution stéréophotogrammétrique, soit par redressement et assemblage de photographies redressées et amenées à une même échelle (fig. 14);

– à des études d'archéologie monumentale, qu'il s'agisse d'études de détails, de fouilles dans un édifice ou du relevé de grands ensembles archéologiques; pour ces derniers, la photogrammétrie aérienne offre un puissant moyen de travail.

Vues aériennes

Nous n'avons, en effet, considéré jusqu'à présent que des relevés photogrammétriques effectués par des prises de vues au sol. Mais un autre champ d'application d'une très grande importance est offert à l'architecture et à l'archéologie par la restitution de photographies aériennes. Les principes restent exactement les mêmes, mais les axes principaux des gerbes perspectives sont voisins de la verticale au lieu d'être sensiblement horizontaux. D'autre part, les chambres métriques aériennes sont toutes, aujourd'hui, des chambres à film, avec un cycle de fonctionnement entièrement automatique, la planéité du film au moment de l'exposition étant assurée par dépression, tandis que les chambres utilisées au sol sont, presque toujours, des chambres à plaques; dans les deux cas, la recherche d'une parfaite planéité du support d'émulsion justifie la solution retenue et l'on conçoit que, dans la géométrie du système photogrammétrique, cette planéité est indispensable.

La *photogrammétrie aérienne* va donc être la méthode idéale de relevé des grands sites archéologiques (fig. 15). Mais, dans un domaine plus spécialement architectural, elle est devenue aussi un excellent instrument pour l'étude et la préservation des *centres historiques*. Depuis longtemps, les relevés en plan de ces centres sont établis à partir des photographies aériennes. Cependant, le modèle tridimensionnel formé dans l'appareil de restitution s'offre, exactement comme dans le cas des monuments, à d'autres mesures ponctuelles ou à d'autres possibilités d'exploitation par une observation continue. Ainsi sont nées, par une heureuse collaboration entre des architectes-urbanistes et des photogrammètres et, notamment, entre Bertrand de Tourtier et le Centre de photogrammétrie architecturale et archéologique de l'Institut Géographique National français, toute une série de représentations en élévations générales («géométraux»), en coupes, en perspectives, en vues axonométriques, toutes géométriquement exactes et qui ne sont pas sans rappeler, dans une certaine mesure, les représentations des villes données par les Anciens. Ce sont à la fois des documents d'analyse d'un centre historique urbain et d'étude d'intégration d'éléments nouveaux. Leur valeur géomé-

►

– zur Untersuchung architektonischer Komplexe in Form von Fassadenfluchten; sie werden entweder stereofotogrammetrisch oder durch Montage entzerrter massstäblicher Messbilder wiederhergestellt (Abb. 14);

– zur Untersuchung monumentaler Archäologie (Studien am Detail, Ausgrabungen in einem Gebäude oder Vermessung grosser Komplexe); bei letzteren ist die Fotogrammetrie ausserordentlich nützlich.

Luftbildaufnahmen

Bis jetzt behandelten wir ausschliesslich fotogrammetrische Aufnahmen auf der Erde. Ein anderer wichtiger Anwendungsbereich für Architektur und Archäologie ist die Wiederherstellung von Luftbildaufnahmen. Das Prinzip bleibt unverändert dasselbe; die Achsen der Strahlenbündel verlaufen jedoch fast vertikal statt beinahe horizontal. Die Luftbildmesskammern stellen alle ausserdem heute Reihenbildkammern mit automatischen Funktionszyklen dar. Die absolute Ebenheit des Films wird im Belichtungsmoment stets durch Depression bewerkstelligt, während die Kammern für Erdaufnahmen stets auf Platten aufnehmen. In beiden Fällen rechtfertigt sich die spezielle Lösung aufgrund der Notwendigkeit absoluter Ebenheit des Filmschichtträgers; sie lässt sich leicht als eine absolute Voraussetzung für die Geometrie des fotogrammetrischen Systems erklären.

Die *Luftbildfotogrammetrie* ist daher die ideale Vermessungsmethode für grosse archäologische Komplexe (Abb. 15). Im mehr architektonischen Bereich dient sie dem Studium und dem Schutz *historischer Zentren* ebenfalls hervorragend. Schon seit langem werden solche Zentren mit Luftbildaufnahmen kartiert. Das im Wiederherstellungsapparat gebildete Raummodell eignet sich genau wie bei Gebäudevermessungen für andere Einzelaufnahmen oder Auswertungsmöglichkeiten aufgrund kontinuierlicher Beobachtung Aus der Zusammenarbeit von Architekten, Stadtplanern und Fotogrammetern, insbesondere von Bertrand de Tourtier und dem französischen Centre de photogrammétrie architecturale et archéologique de l'Institut géographique national français, sind beispielsweise eine Reihe von Darstellungen in allgemeinen Aufrissen, Schnitten, Perspektiven, axionometrischen Ansichten entstanden, die alle geometrisch exakt sind und in gewisser Hinsicht an alte Stadtansichten erinnern. Es handelt sich um Unterlagen zur Analyse eines historischen Zentrums und zugleich um eine Studie über die Integration neuer Gebäude. Ihr

►

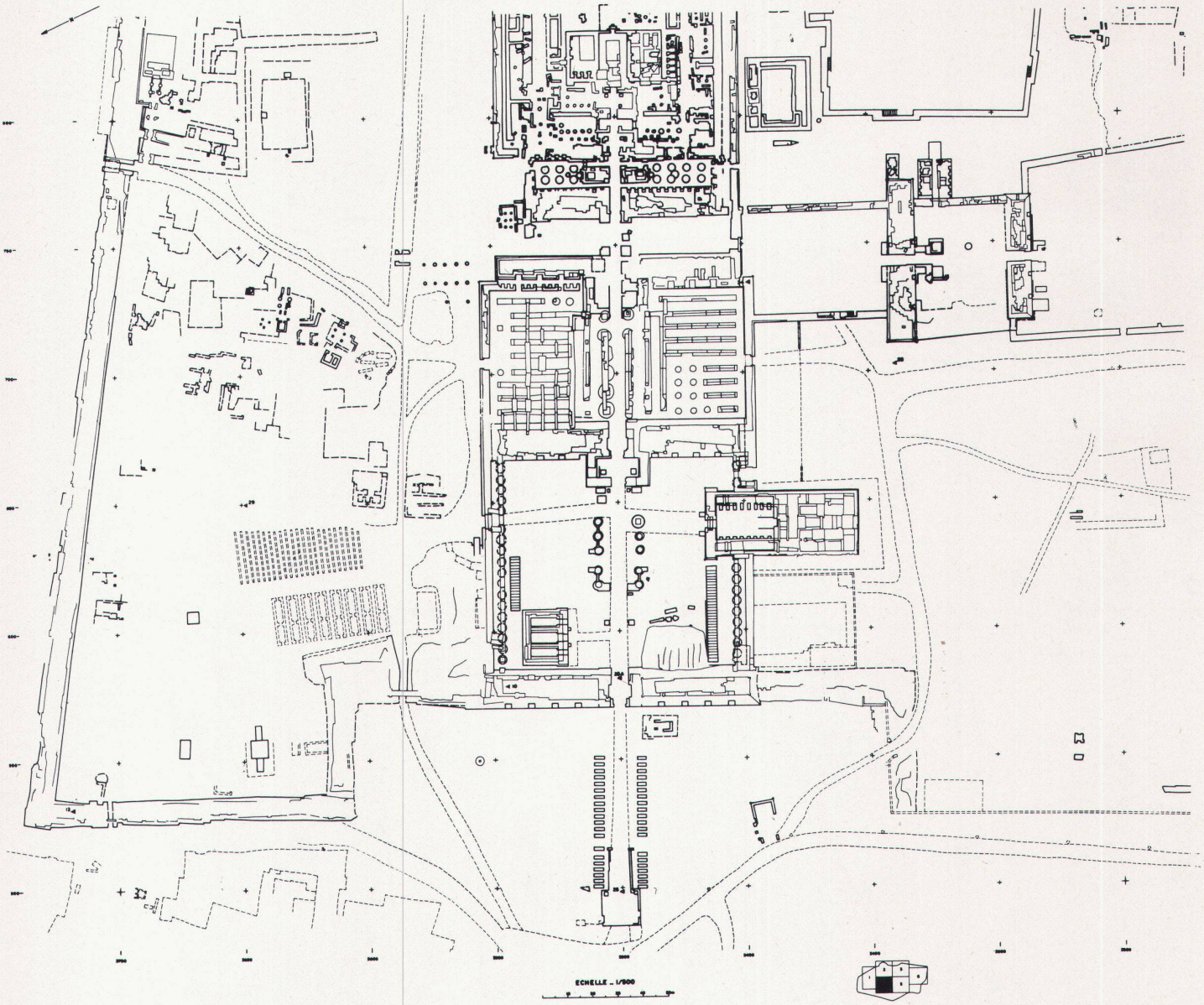
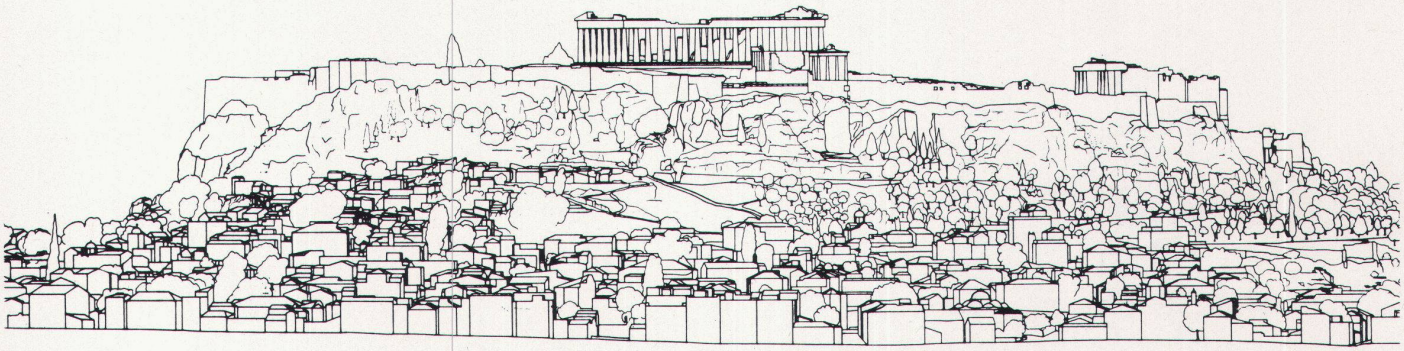


Fig. 15 Relevé par photogrammétrie aérienne d'un site archéologique monumental. Karnak: partie centrale du relevé. Echelle de l'original: 1:200.
Abb. 15 Aufnahme einer grossen archäologischen Anlage durch Luftfotogrammetrie: Karnak, Mittelteil der Aufnahme. Originalmassstab 1:200.

Fig. 16 Relevé d'un site historique en géométral, par photogrammétrie aérienne. L'Acropole d'Athènes. Echelle de l'original: 1:1000.
Abb. 16 Aufnahme einer historischen Stätte mittels Luftbildaufnahmen: Akropolis von Athen. Originalmassstab 1:1000.



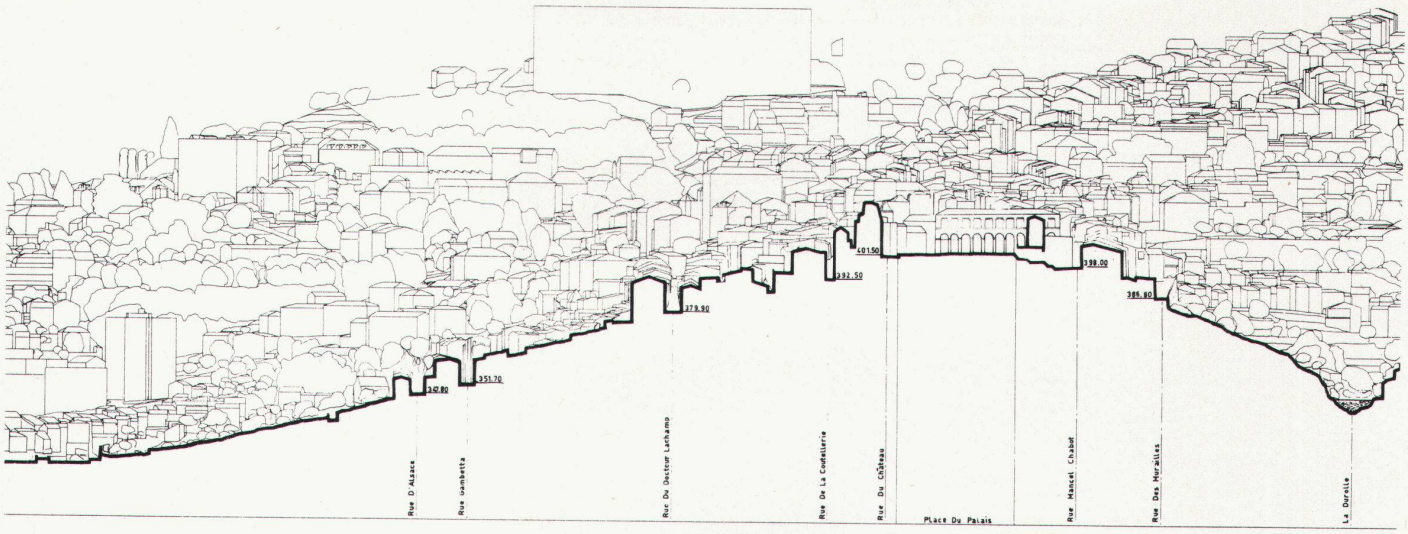


Fig. 17 Thiers. Relevé en coupe-élévation du centre historique. Echelle de l'original: 1:1000.
Abb. 17 Thiers: Schnittaufrisszeichnung des historischen Zentrums. Originalmassstab 1:1000.

Fig. 18 Cahors. Relevé en vue axonométrique, par photogrammétrie aérienne. Echelle de l'original: 1:2000.
Abb. 18 Cahors: Aufnahme aus axionometrischer Sicht durch Luftbildfotogrammetrie. Originalmassstab 1:2000.

trique permet, en effet, d'y reporter très facilement tout édifice ou ouvrage d'art projeté dont on connaît les coordonnées dans le système de référence du relevé. Quelques exemples de restitutions photogrammétriques de centres historiques en élévation (Acropole d'Athènes), en coupe-élévation (Thiers), en vue axonométrique (Cahors) sont donnés ici (fig. 16, 17, 18).

Apports de l'informatique

Il est certain que, dans les travaux de ce type, la combinaison de la photogrammétrie et de l'informatique accroît encore les possibilités de la technique. Elle permet en effet d'établir, par restitution photogrammétrique numérique, une «banque de données» constituée par les coordonnées de tous les points caractéristiques du bâti du centre ancien, puis, par traitement sur ordinateur, de calculer toute élévation, coupe ou perspective à partir de cette banque et, enfin, d'exprimer graphiquement les résultats de ces calculs à l'aide d'une table traçante automatique. Cette méthode n'est pas une vue d'avenir; elle est dès maintenant appliquée.

C'est également un traitement informatisé qui permet le plus aisément de résoudre le problème classique du dessin d'un bâtiment projeté sur une perspective photographique d'un paysage actuel. Cette *photogrammétrie inverse* est d'un emploi courant. Une opération du même type peut être effectuée pour des perspectives, graphiques cette fois, en des points de vue qui n'existent pas encore: le matériel de base reste la banque de données photogrammétriques. La figure 19 présente un tel travail, dans un quartier de la ville de Moulins, pour l'étude d'un projet qui, fort heureusement, n'a pas été retenu.

Telles sont les possibilités offertes par la photogrammétrie à l'architecture et à l'urbanisme des centres historiques (ou, bien entendu, des centres modernes): une technique en évolution constante, mise au service de l'étude et de la conservation des témoins de notre passé, aussi bien que de l'harmonisation des réalisations architecturales de notre temps avec celles que nous ont léguées les Anciens. ■

Maurice Carbonnell

chef du Service de Photogrammétrie de l'I.G.N., Président du Comité International de Photogrammétrie Architecturale

geometrischer Wert gestattet nämlich die Einfügung jedes projektierten Gebäudes, dessen Koordinaten im Bezugssystem der Aufnahme bekannt sind. Einige Beispiele fotogrammetrischer Wiederherstellungen historischer Zentren im Aufriss (Athener Akropolis), im Schnittaufriss (Thiers) oder aus axionometrischer Sicht (Cahors) sind in den Abbildungen 16, 17 und 18 dargestellt.

Beitrag der Informatik

Bei solchen Unternehmungen erweitert die Zusammenarbeit von Spezialisten aus Fotogrammetrie und Informatik natürlich das Feld der Möglichkeiten. Durch numerische fotogrammetrische Wiederherstellung kann eine «Datenbank» angelegt werden, die aus den Koordinaten der bezeichnenden Punkte des historischen Zentrums besteht. Aufgrund der Daten in der Bank kann später jegliche Architekturdarstellung errechnet und das Ergebnis schliesslich auf dem Zeichentisch dargestellt werden. Diese Methode wird nicht erst zukünftig, nein sie wird schon heute angewandt.

Die Informatik gestattet ausserdem noch die beste Lösung des klassischen Problems der zeichnerischen Darstellung eines projektierten Gebäudes innerhalb der fotografischen Perspektive einer bestimmten Landschaft. Diese *umgekehrte Fotogrammetrie* findet bereits allgemein Anwendung. Das gleiche Verfahren kann auch für gezeichnete Perspektiven mit noch nicht existenten Blickpunkten angewandt werden: das Grundmaterial liefert die fotogrammetrische Datenbank. Die Abbildung 19 zeigt eine solche Arbeit in einem Quartier der Stadt Moulins zwecks Untersuchung eines glücklicherweise verworfenen Projekts.

Dies sind also die Möglichkeiten, welche die Fotogrammetrie der Architektur und der Stadtplanung für historische und selbstverständlich auch für moderne Zentren bietet; es handelt sich um eine sich ständig weiterentwickelnde Technik im Dienste der Untersuchung und der Bewahrung von Baudenkmälern und der Harmonisierung der Architektur der Gegenwart mit den Zeugnissen der Vergangenheit. ■

Maurice Carbonnell

Leiter des fotogrammetrischen Dienstes des IGN, Vorsitzender des Internationalen Komitees für architektonische Fotogrammetrie

Fig. 19 Moulins. Etude d'intégration de bâtiments nouveaux dans un quartier ancien. Perspective obtenue à partir d'une restitution numérique de photographies aériennes, pour les édifices en place, et des coordonnées des bâtiments projetés. A gauche, situation présente, à droite situation future. Le point de vue n'existe pas actuellement, car il est à l'emplacement d'une maison qui, dans le projet de rénovation, devrait être détruite.

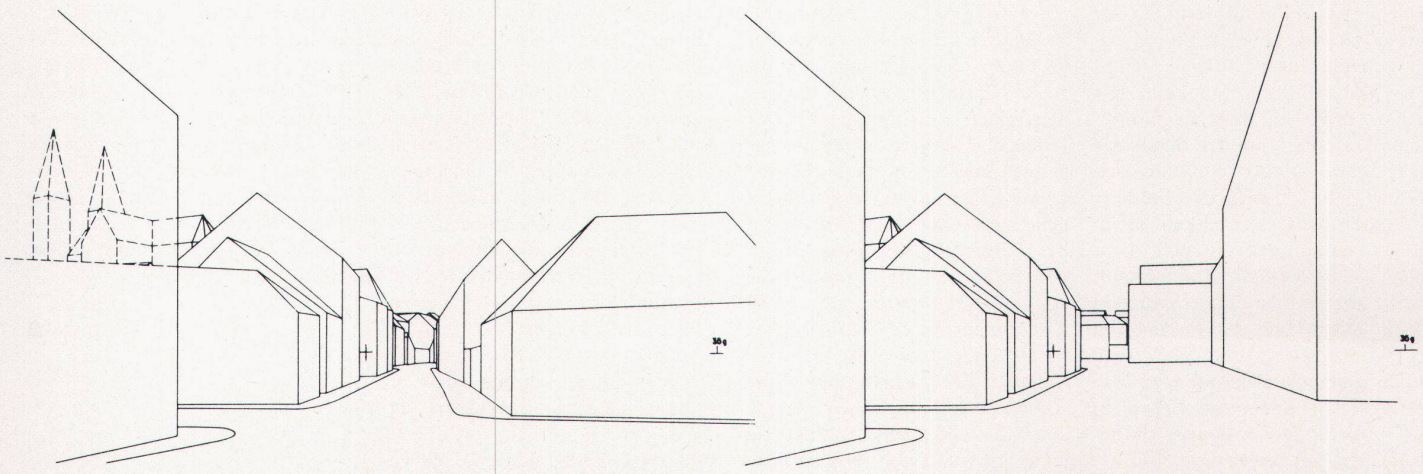



Abb. 19 Moulins: Studie über die Integration neuer Gebäude in ein historisches Viertel. Mittels numerischer Rekonstruktion von Luftbildaufnahmen erhält man die Perspektive für die vorhandenen und die geplanten Gebäude. Links die aktuelle Situation, rechts die geplante Situation. Der Blickpunkt existiert zurzeit nicht, da er sich am Standort eines Hauses befindet, das im Laufe der Renovierung abgerissen werden soll.