

14. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie  
Hamburg 1980

Kommission IV  
A. G. IV/3  
freiwilliger Fachbeitrag

Bernd Streich  
Institut für Städtebau, Bodenordnung und Kulturtechnik  
der Universität Bonn

Ein Beitrag zur Erzeugung und Abbildung dreidimensionaler digitaler  
Siedlungsmodelle

-Zusammenfassung

Eine Möglichkeit der Abbildung städtebaulicher Maßstabsmodelle besteht in der Anwendung photogrammetrischer Verfahren. Hierbei stellen sich Fragen hinsichtlich zeitsparender Algorithmen bei der Erzeugung digitaler Siedlungsmodelle sowie während der Abbildungsphase. Bezüglich der Modellerzeugung (3D) wird daher ein Programmsystem mit weitgehend 2D-Input vorgestellt. Im Zusammenhang mit der Modellabbildung wird die Erstellung von Fassadenabwicklungen und ein Sichtbarkeitsalgorithmus angesprochen. Programmsegmentierungen sollen hierbei die schrittweise Abbildung z.B. der Gebäudeflächen einerseits und ihrer fassadengestalterischen Elemente andererseits erlauben. Auch die Probleme maßstabbildender Objekte werden erörtert. – Als Anwendungsmöglichkeiten sind städtebauliche und architektonische Neuplanungen aber auch die visuelle Überprüfung (veränderter) vorhandener Bebauung denkbar. Dabei kommen als Darstellungsweisen einfache Plotterbilder (auch Stereobildpaare), Sequenzen von Diapositiven und Schmalfilmdemonstrationen in Frage.

## 1. Einführung

Bei Maßnahmen des Stadtumbaus oder - bezogen auf kleinere Einheiten - bei der Erstellung neuer baulicher Anlagen wird den Gestaltungsfragen derzeit ein hoher Rang zugemessen. Maßstabsmodelle, perspektivische Skizzen und Photomontagen stellen dabei die traditionellen Darstellungsmethoden zur Überprüfung räumlicher Qualitäten dar. Seit gut 10 Jahren kommen darüber hinaus aber auch DV-Programme zur Anwendung, die - in Verbindung mit graphischen Displays - eine weitere Möglichkeit zur Visualisierung eröffnet haben. Die Entstehung derartiger Programmsysteme sind im Zusammenhang mit Simulationstechniken in der Raumfahrt, dann aber auch mit CAD-Entwicklungen z.B. im Maschinenbau und in der Elektrotechnik zu sehen. Hinsichtlich des CAD-Einsatzes im Bereich der Architektur werden dagegen vielfach Befürchtungen einer zu starken Schematisierung und Normierung artikuliert. Die nachstehenden Überlegungen verfolgen daher nicht den Zweck, ein Programmsystem für den CAD-Einsatz zu erläutern. Sie zielen vielmehr auf eine DV-unterstützte Ergänzung zu den derzeit gängigen Methoden der Datensammlung sowie des Beurteilungsraumes im Zuge städtebaulicher Bestandsaufnahmen. Während der nachfolgenden Planungs- und Entwurfsphase können außerdem Neugestaltungsvorschläge anschaulich gemacht, beurteilt und beliebig modifiziert werden.

Für die Beurteilung städtebaulicher Ensembles und bei der Integration neuer baulicher Anlagen in ihre nähere städtebauliche Umgebung sind im wesentlichen zwei Beurteilungsebenen von Bedeutung:

- die Konturen der Großform (Umrißlinien der Gebäudeflächen u.ä.), wodurch Aussagen beispielsweise zur Baumassenverteilung möglich sind sowie
- Gliederung und Proportionierung der Fassaden.

Weitere Beurteilungsmomente können u.a. Material der Außenwände, Farbtonwerte sowie Farbgebung sein; die folgenden Ausführungen werden sich damit jedoch nicht näher befassen. - Für die Beurteilung einer städtebaulichen Situation anhand von Abbildungen, die z.B. durch Simulation einer photographischen Kamera entstanden sind, ist es wünschenswert, wenn sich das dazu verwendete Programmsystem diesen Beurteilungsebenen anpaßte. Die Abbildung erfolgte dann sukzessiv und erleichterte dem laienhaften Betrachter das Nachvollziehen. Hinzu kommt, daß DV-Programme zur (perspektivischen) Abbildung dreidimensionaler Siedlungsmodelle, die eine digitale Datenstruktur zur Grundlage haben, wegen der Identifizierung der gegenseitigen Verdeckungsverhältnisse sehr rechenintensiv sind. Auch dadurch ergibt sich die Forderung, den Abbildungsvorgang schrittweise und mit möglicherweise unterschiedlichen Algorithmen (zur Rechenzeitreduzierung) ablaufen zu lassen. Voraussetzung ist aber die anwenderfreundliche Erzeugung einer geeigneten Datenbank, die mit möglichst wenig Daten-Input auskommt.

## 2. Erzeugung eines dreidimensionalen digitalen Siedlungsmodells (DSM)

Eine Datenstruktur, die die vorliegenden Zwecke erfüllen soll, hat folgende Elemente im dreidimensionalen Objektraum zu repräsentieren:

- konvexe oder konkave, ebene Flächen (im folgenden kurz "Ebenen" genannt) zur Darstellung beispielsweise von Gebäudefassadenflächen, Mauern u.ä. sowie
- diesen Flächen aufgeprägte strukturerezeugende Linien zur Darstellung von Fenstern, Türen, Fachwerk usw.

Zunächst zu den Ebenen:

Die Beschränkung der Flächendefinition auf ebene Gebilde schließt nicht aus, daß auch krumme Flächen berücksichtigt werden können. Für diesen - ohnehin selten auftretenden Fall - ist dann eine Approximation mittels Ebenen vorzusehen. Die Fixierung der Ebenen selbst geschieht durch eine Folge von Koordinatentripeln, die die Eckpunkte eines in dieser Ebene liegenden Polygons kennzeichnen und damit gleichzeitig den Rand der Ebene definieren. Da man es normalerweise mit Flächenzusammenhängen zu tun haben wird, gehören die meisten Ebeneneckpunkte i.d.R. zu mehreren Ebenen. Zweckmäßigerweise wird man daher die Objektpunkte vor der Digitalisierung durchnummerieren, um später lediglich aufgrund der Punktnummer auf die 3D-Koordinaten zurückzugreifen.

Die Erzeugung einer Datei mit den dreidimensionalen Objektkoordinaten stellt normalerweise einen sehr zeitaufwendigen Arbeitsschritt dar. Man ist daher bestrebt, hier gewisse Vereinfachungen bzw. Algorithmen zur Unterstützung des Daten-Inputs zu entwickeln.

Denkbar ist in diesem Zusammenhang, daß

- man die Lagekoordinaten X und Y eines Objektpunktes (rationellerweise mittels Digitalisierungsgerät) dem Lageplan entnimmt und als Z-Koordinate die beabsichtigte Gebäudehöhe, Dachhöhe usw. (lageplanbezogener Daten-Input),
- die Objekte als prismatische Körper angesehen werden und hierdurch die Gebäudehöhe als Z-Koordinate nur einmal angegeben werden muß oder aber
- man betrachtet jede einzelne Ebene zunächst losgelöst von ihrer Lage im dreidimensionalen Raum, erzeugt alle in dieser Ebene liegenden Punkte und Linien (einschließlich des Ebenenbegrenzungspolygons) zweidimensional und transformiert die Daten erst in einem zweiten Schritt in den 3D-Objektraum (ebenenbezogener Daten-Input).

Der ebenenbezogene Daten-Input beinhaltet nun - im Gegensatz zu den anderen Möglichkeiten - mehrere Vorteile. So erfolgt die Dateneingabe weitgehend zweidimensional und weist hinsichtlich der Form der Ebenen keine Einschränkung der Allgemeinheit auf. Für jede einzelne Ebene müssen für die Orientierung im Raum lediglich 3 Punkte mit ihren 3D-Koordinaten eingegeben werden. Liegen gar Flächenzusammenhänge vor (Körper werden dabei übrigens nur als spezielle Flächenzusammenhänge aufgefaßt), so reduziert sich die Zahl der dreidimensional einzugebenden Punkte pro Ebene auf weniger als drei (vergleiche BILD 1).

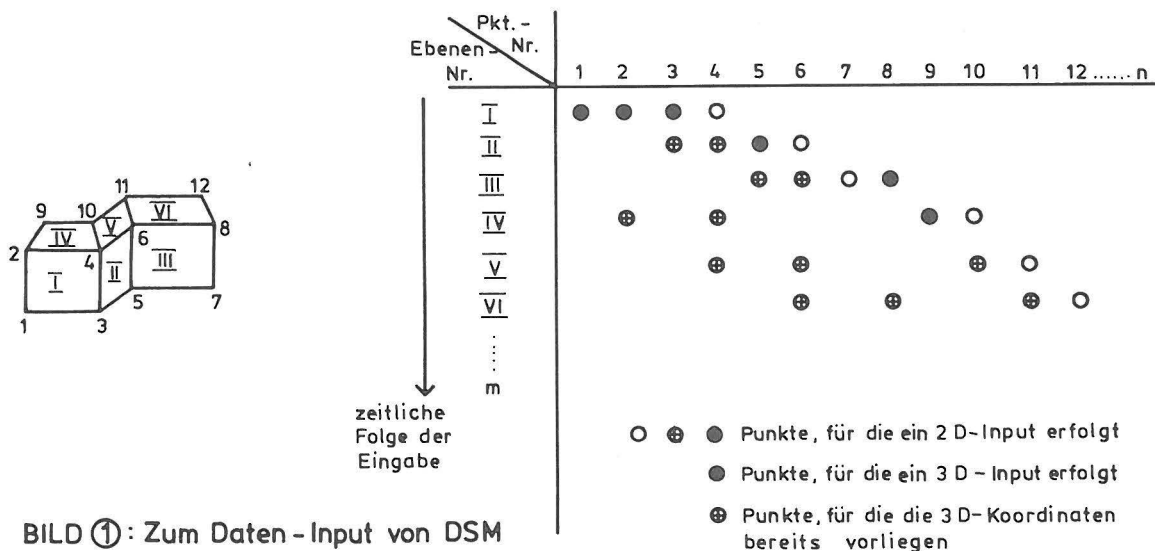


BILD ①: Zum Daten-Input von DSM

Ein weiterer Vorteil des ebenenbezogenen Daten-Inputs im Vergleich zum lageplanbezogenen besteht in seiner Beziehung zur Datenbasis. Da nämlich im Zuge städtebaulicher Bestandsaufnahmen – beispielsweise bei Sanierungsplanungen – i.d.R. umfangreiche Photokarteien zu Dokumentations- und Planungszwecken geschaffen werden, liegt der Gedanke nahe, diese zur Erzeugung des DSM mit heranzuziehen. Bei einer bescheidenen phototechnischen Ausrüstung stehen normalerweise zur weiteren Auswertung resp. Digitalisierung verzerrte Photographien zur Verfügung. Hinsichtlich des Eingabeaufwandes spielt es jedoch keine Rolle, ob die Bildkoordinaten aus verzerrten oder verzerrungsfreien Aufnahmen gemessen werden, da bei Bedarf die Entzerrung ohne Schwierigkeiten programmtechnisch bewältigt werden kann (vgl. nähere Ausführungen weiter unten).

Viel weitreichender gestalten sich dagegen Überlegungen zu einem möglichst geringen Arbeitsaufwand bei den photographischen Aufnahmen im Verlauf einer Ortsbegehung. Hier ist bei jeder Gebäudefläche die Fixierung durch mindestens drei Paßpunkte von großer Wichtigkeit, mit deren Hilfe auf der einen Seite die Daten der äußeren Orientierung der photographischen Aufnahme (aufgrund des räumlichen Rückwärtsschnittes), auf der anderen Seite aber auch die Lage der betreffenden Ebene im Objektraum hergeleitet werden. Auch hier können mit Hilfe von vorhandenem Kartenmaterial u.ä. sowie mit den Überlegungen aus BILD 1 Vereinfachungen vorgenommen werden, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll. Die Digitalisierung der Objektpunkte (der betreffenden Ebene) erfolgt nun rechen-technisch durch Schnittbildungen zwischen der Ebene sowie der durch den Aufnahmestandpunkt und den Bildkoordinaten (bei orientierter Aufnahme) definierten Raumgeraden. Vorsprünge und Vertiefungen in der Ebene – die bei Gebäudefassaden gelegentlich vorkommen (Fenster, Türen) – rufen radiale, auf den Nadirpunkt gerichtete Versetzungen der Bildpunkte hervor und bedürfen daher bei der Digitalisierung entsprechender Berücksichtigung.

Bleiben schließlich noch Überlegungen zur notwendigen Qualität der phototechnischen Ausrüstung. Zunächst muß betont werden, daß für die vorliegenden Untersuchungen keine Meßkammer nach strenger photo-

grammetischer Nomenklatur benutzt werden konnte. Es stand lediglich eine Kleinbildkamera der Firma PENTAX (Typenbezeichnung: K 2 automatisch) zur Verfügung, für die - bis auf einen Satz der gebräuchlichsten Objektive (SMC 1:3.5/135, 1:1.8/55 und 1:4/20) - keine besonderen Zusatzeinrichtungen vorhanden waren. Zu den Daten der inneren Orientierung fehlten dementsprechend ebenfalls Angaben, so daß insbesondere Kammerkonstante gleich Objektivbrennweite, Bildhauptpunkt gleich Bildmittelpunkt und verzeichnungsfreie Abbildung angenommen werden mußte.

BILD 2 a zeigt nun die Vergrößerung eines auf diese Weise entstandenen "Meßbildes", das mit einem 20 mm Weitwinkelobjektiv aufgenommen wurde. BILD 2 b zeigt den Output eines off-line betriebenen Trommelplotters mit der entzerrten Fassade. Die zugehörige Programmkonfiguration ist in BILD 3 zu finden. Die Punktgenauigkeit liegt für das vorliegende Bild bei etwa 5 cm. Berücksichtigt man, daß der Maßstab von Fassadenabwicklungen und der durchschnittliche Maßstab von Objekten in Perspektivbildern in den gebräuchlichsten Fällen 1 : 100 nicht überschreiten wird, kann diese Genauigkeit als voll ausreichend angesehen werden.

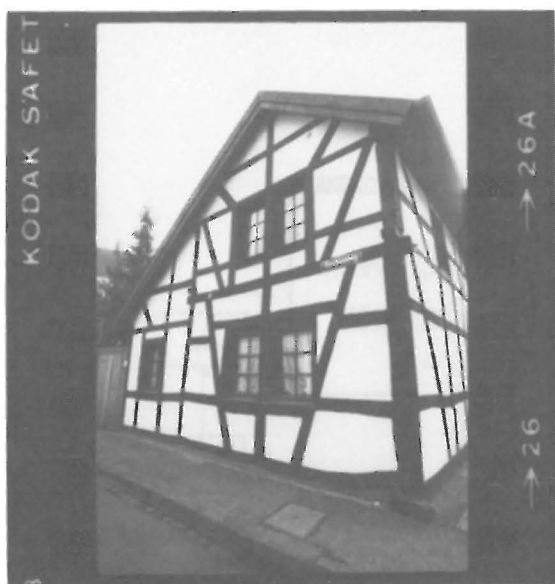


BILD (2a)

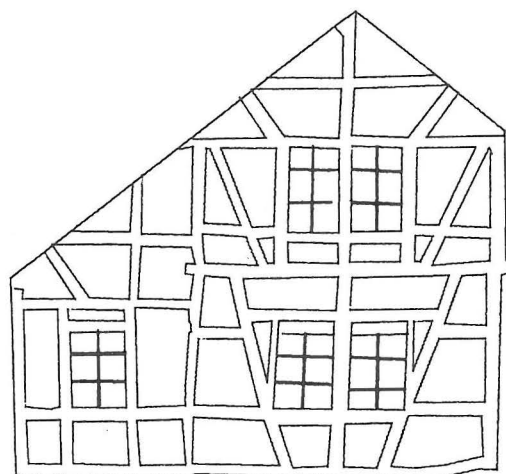


BILD (2b)

Das Ausmessen des "Meßbildes" erfolgt rationellerweise mittels Digitizer, möglicherweise integriert in einen graphischen Arbeitsplatz. Die mittels Digitizer erzeugten 2D-Koordinaten können dann sofort numerisch und/oder graphisch kontrolliert werden. Für die vorliegenden Untersuchungen stand ein alphanumerisches Bildschirmterminal zur Verfügung, das an die IBM 370/168 des RHRZ der Universität Bonn angeschlossen ist (Betriebssystem OS/VS2). Um den Daten-Input zu vereinfachen und zu beschleunigen, wurde ein spezielles interaktives Programmsystem geschaffen. Dabei ergab sich schnell die Notwendigkeit, den Eingabe/Ausgabe-Puffer des Bildschirmterminals zu programmieren, weil dieser standardmäßig nur in einzelnen sequentiellen Schritten ansprechbar ist. Für die vorliegenden Zwecke war es aber notwendig, den gesamten Puffer in einem Schritt zu füllen und außerdem den Cursor an vorprogrammierte Stellen zu setzen.

Die Programmierung des E/A-Puffers kann von den sog. höheren Programmiersprachen nicht vorgenommen werden. Hierzu bedarf es der Erstellung von Assembler-Routinen, die von einem Programm in höherer Programmiersprache aufgerufen werden. Für derartige Operationen eignet sich wegen der guten Kompatibilität zu Assembler und anderen höheren Programmiersprachen am besten PL/1. In BILD 3 stellt das Assemblerprogramm PGTSOPL die Schnittstelle zwischen dem problemorientierten PL/1-Programm und der Datensichtstation dar. Die durch ein PL/1-Programm erzeugten Daten werden in einer speziellen Direct-Access-Datei abgespeichert, so daß dort schließlich ein digitales Siedlungsmodell (DSM) entsteht. Auch in diesem Zusammenhang erwies sich PL/1 im Vergleich zur FORTRAN als besonders vorteilhaft, da hier mehrere Möglichkeiten des direkten Datenzugriffs auf periphere Speicher zur Verfügung stehen (z.B. REGIONAL-Dateien). Auch die Verwendung von Multitasking-Programmierungen – bei FORTRAN nur für direkte E/A-Operationen möglich – muß dabei erwähnt werden, was im vorliegenden Fall insbesondere im PL/1-Programm zur Abbildung des DSM geschehen ist.

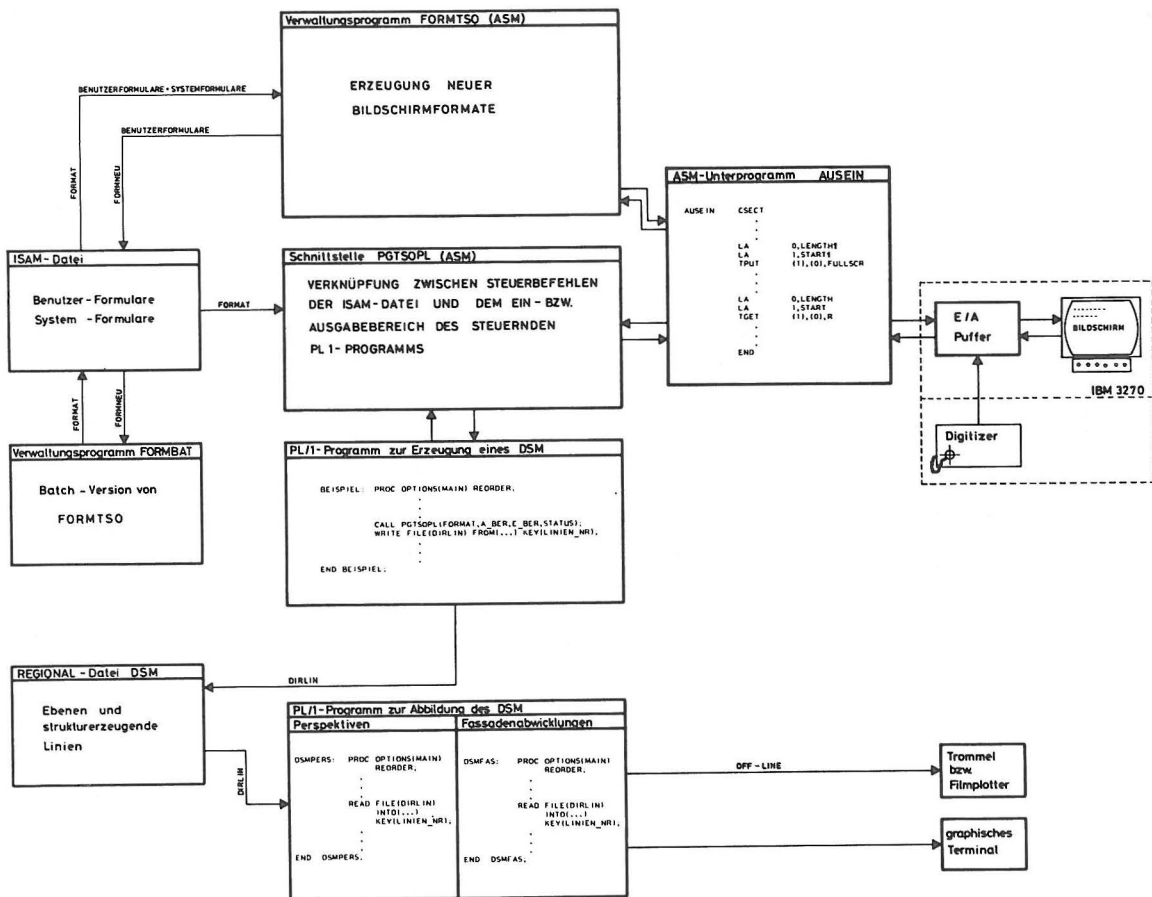


BILD ③

SOFTWARE-SYSTEMKONFIGURATION ZUR ERZEUGUNG UND DARSTELLUNG DREIDIMENSIONALER DIGITALER SIEDLUNGSMODELLE





Hierin bedeuten  $X$ ,  $Y$  und  $Z$  die Raumkoordinaten,  $x$  und  $y$  die Bildkoordinaten eines beliebigen Objektpunktes;  $c$  ist der Abstand von Projektionszentrum  $O$  zum Bildhauptpunkt (Kammerkonstante). Das negative Vorzeichen dient der seitenrichtigen Wiedergabe der Bildpunkte in bezug auf die korrespondierenden Objektpunkte. Für die verschiedenen Möglichkeiten, die sich bezüglich der  $Z$ -Koordinaten ergeben können ( $Z = 0$ ,  $Z < 0$ ,  $Z > 0$ ), müssen mehr oder weniger umfangreiche Sonderbetrachtungen durchgeführt werden, auf die hier aus Platzgründen ebenfalls verzichtet werden muß.

Die durch die Abbildungsgleichungen erzeugten Bildpunktkoordinaten  $x$  und  $y$  müssen nun noch gewissen Restriktionen unterworfen werden, damit sie in einen vorgegebenen Bildrahmen passen. Zwar sieht das Programm normalerweise feste Abstände zwischen Bildmittelpunkt und Rahmenmarken vor, falls erforderlich, kann das Bildformat aber beliebig verändert werden (vgl. oben). Wenn die Abstände zwischen Bildmittelpunkt und Rahmenmarken in  $x$ -Richtung mit  $r_x$ , in  $y$ -Richtung mit  $r_y$  bezeichnet werden, wird die gesamte Verbindungslinie zweier Punkte  $P_1 (x_1, y_1)$  und  $P_2 (x_2, y_2)$  nur gezeichnet wenn,

$$x_1, x_2 \leq r_x \quad \text{und} \quad y_1, y_2 \leq r_y$$

ist. Liegt mindestens einer der beiden Punkte außerhalb des Aufnahmebereiches, muß ggf. der durch den Aufnahmebereich führende Teilbereich der Verbindungslinie ermittelt werden. Hierzu sind räumliche Schnittpunkte der Verbindungslinien mit den den Aufnahmebereich begrenzenden Ebenen notwendig (die den Aufnahmebereich begrenzenden Ebenen werden durch die Raumpunkte  $O$ - $A$ - $B$ ,  $O$ - $B$ - $C$ ,  $O$ - $C$ - $D$ ,  $O$ - $D$ - $A$  gebildet). Die Notwendigkeit zur Berechnung von Raumpunkten erklärt sich aus der Forderung, verdeckte Linien und Linienteile zu identifizieren; dies stellt ein räumliches Problem dar und erfordert die Anwendung eines Visibilitätsalgorithmus<sup>1</sup>.

Betrachtet werden soll eine (vollständige oder teilweise) im Aufnahmebereich liegende Verbindungslinie  $v_{ij}$  zweier Punkte  $P_1$  und  $P_2$ . Sie kann, wie in BILD 5, die  $j$ -te Randlinie einer Ebene  $E_i$  (oder mehrere zusammenstoßender Ebenen) darstellen, darüber hinaus aber auch die Verbindungslinie zweier beliebiger Punkte sein. Bezüglich  $v_{ij}$  sollen nun alle Verdeckungen identifiziert werden, die sich aufgrund der Lage aller potentiellen Verdeckungsebenen ergeben. Ausgenommen sind von vorneherein diejenigen Ebenen, für die  $v_{ij}$  selbst Randlinie ist.

Da die Sichtbarkeit von Punkt  $P_1$  im nachfolgenden Algorithmus eine besondere Rolle spielt, soll kurz erläutert werden, wie seine Sichtbarkeit errechnet wird. BILD 6 zeigt, daß es bezüglich der Strecke  $v_{ij} = \overline{P_1 P_2}$  drei Arten von Schnittpunkten mit dem Begrenzungspolygon einer Ebene gibt, wobei die durch Dreiecke gekennzeichneten  $h$ -Schnitte hinsichtlich der Sichtbarkeit der Endpunkte von  $v_{ij}$  eine herausragende Bedeutung haben. Verlängert man nämlich die in die Abbildungsebene projizierte Strecke  $v_{ij} = \overline{P_1 P_2}$  beispielsweise über  $P_1$  hinaus und betrachtet den dadurch entstehenden Strahl mit dem Anfangspunkt  $P_1$ , so kann zur Sichtbarkeit dieses Punkte folgende Aussage getroffen werden: Findet man auf diesem Strahl in der Abbildungsebene keinen Schnittpunkt mit dem Begrenzungspolygon der Ebene oder ist die Zahl der Schnitte gerade, so liegt  $P_1$  außerhalb der Ebene; ist dagegen die Zahl der Schnitte ungerade, dann liegt  $P_1$  innerhalb der



Ebene. Für den Fall, daß  $P_1$  genau auf dem Rand des Umgrenzungspolygons liegt, muß eine Sonderbetrachtung durchgeführt werden (siehe unten).

Zum nachfolgenden Visibilitätsalgorithmus sei angemerkt, daß zwischen den Schritten 1 und 2 im Rechenprogramm keine derartige Trennung besteht, wie es hier den Anschein hat. Zur besseren Nachvollziehbarkeit des Algorithmus' sei die Trennung jedoch erlaubt. Der Algorithmus hat damit folgendes Aussehen:

#### Schritt 1:

Bezüglich Punkt  $P_1$  wird in der Bildebene festgestellt, ob er sich innerhalb oder außerhalb der betrachteten (ebenfalls in die Bildebene projizierten) Ebene  $E_1$  befindet. Liegt der Punkt innerhalb, erhält er die Kennziffer  $KAUS_{P_1}^{E_1} = 0$ , liegt er dagegen außerhalb, wird ihm die Kennziffer  $KAUS_{P_1}^{E_1} = 1$  zugeordnet. Sollte  $P_1$  genau auf dem Rand oder in einem Polygonpunkt der Ebene liegen, ist die Entscheidung für den Parameter  $KAUS_{P_1}^{E_1}$  danach zu treffen, ob ein dem Punkt  $P_1$  unmittelbar benachbarter Punkt  $P_1'$  auf der Verbindungslinie innerhalb oder außerhalb der Ebene liegt. Der Abstand  $\overline{P_1 P_1'}$  darf dabei die Zeichengenauigkeit nicht überschreiten.

Liegt Punkt  $P_1$  außerhalb der in die Bildebene projizierten Ebene  $E_1$ , ist er bezüglich dieser Ebene sichtbar. Falls er jedoch innerhalb der Ebene liegt, muß noch untersucht werden, ob  $P_1$  seine räumliche Lage vom Projektionszentrum aus gesehen vor oder hinter der Ebene hat. Falls  $P_1$  räumlich hinter  $E_1$  liegt, bleibt die Zuordnung  $KAUS_{P_1}^{E_1} = 0$  erhalten, anderenfalls wird  $KAUS_{P_1}^{E_1} = 1$ .

#### Schritt 2:

Der nächste Schritt besteht darin, bezüglich  $v_{ij}$  alle in der Bildebene möglichen Schnittpunkte mit den Randlinien der Ebene zu errechnen, die innerhalb der Strecke  $\overline{P_1 P_2}$  liegen. Die Schnittpunkte werden entsprechend Schritt 1 aber nur dann im weiteren Algorithmus mitgeführt, wenn der räumliche Schnittpunkt zwischen der Raumgeraden  $\overline{P_1 P_2}$  sowie der Raumgeraden  $\overline{OS}$  ( $O =$  Projektionszentrum,  $S =$  Geraden-schnitt zwischen der Geraden  $\overline{P_1 P_2}$  und einer Randlinie von  $E_1$  in der Bildebene) hinter der Ebene liegt. Danach werden die Schnittpunkte derart geordnet, daß

$S_q < S_{q+1}$  ( $S_q = \sqrt{(x_q - x_1)^2 + (y_q - y_1)^2}$ ;  $q = 1, 2, \dots, n - 1$ ;  $n =$  Anzahl der Schnittpunkte) ist. Wird nunmehr die Folge von Teilstrecken  $\sigma$  derart definiert, daß

$\sigma_q = S_q - S_{q-1}$  ( $q = 1, 2, \dots, n + 1$ ;  $S_0 = 0$ ;  $S_{n+1} = \overline{P_1 P_2}$ )

ist, so lösen sich Verdeckungen und Sichtbarkeiten mit aufsteigendem  $q$  immer ab; welche Teilstrecken  $\sigma_q$  der Verbindungslinie  $\overline{P_1 P_2}$  jeweils verdeckt werden, richtet sich dabei lediglich nach der Verdeckung bzw. Sichtbarkeit von  $P_1$ .

#### Schritt 3:

Wiederholung von Schritt 1 und 2 für die nächste zu betrachtende Ebene  $E_2$ .

#### Schritt 4:

Ermittlung gemeinsamer Sichtbarkeitsbereiche der aus Schritt 2 und Schritt 3 ermittelten Sichtbarkeits- und Verdeckungsgebiete. Der dazu notwendige Rechengang wird an einem Beispiel demonstriert: Die in BILD 7 dargestellten Geraden stellen alle dieselbe Verbindungslinie  $V_{ij}$  dar;  $V_{ij}^{E_1}$  ergab sich dabei durch die Verdeckung der Ebene  $E_1$ ,  $V_{ij}^{E_2}$

durch die Verdeckungen der Ebene  $E_2$ .  $\overline{V_{ij}}$  ist die aus  $V_{ij}^{E_1}$  und  $V_{ij}^{E_2}$  resultierende Verbindungslinie. Punkt  $P_1$  sei hinsichtlich der Ebene  $E_1$  sichtbar und hinsichtlich  $E_2$  verdeckt. Die sich daraus ergebenden verdeckten Teilstrecken sind gestrichelt dargestellt. Die Sichtbarkeits- und Verdeckungsverhältnisse der resultierenden Verbindungslinie erhält man nunmehr dadurch, daß bei einem Übereinanderlegen von  $V_{ij}^{E_1}$  und  $V_{ij}^{E_2}$  alle diejenigen Punkte gelöscht werden, die in den Verdeckungsbereich der jeweils anderen Ebene fallen.

BILD 7 zeigt sehr deutlich, daß  $V_{ij}$  nur noch hinsichtlich beider Ebenen  $E_1$  und  $E_2$  sichtbar Teilstrecken enthält. Zwei Übergangspunkte vom sichtbaren in den verdeckten Bereich der Verbindungslinie  $V_{ij}^{E_1}$  werden gelöscht, weil sie in einen verdeckten Bereich von  $V_{ij}^{E_2}$  fallen; entsprechend fällt der letzte Übergangspunkt von  $V_{ij}^{E_2}$  fort.

Schritt 5:

Wiederholung der Schritte 3 und 4. Statt  $E_2$  erscheint im Schritt 3 nun die Ebene  $E_3$ ; für  $V_{ij}^{E_1}$  wird jetzt  $\overline{V_{ij}}$  gesetzt wodurch die potentiellen Verdeckungsanteile aller Ebenen  $E_1, E_2, \dots, E_n$  ( $n = \text{Anzahl aller Ebenen}$ ) berücksichtigt werden. In BILD 7 oben wird das symbolisch mit  $\{v_{ij}\}$  angedeutet.

Der Algorithmus wird an dieser Stelle unterbrochen und mit Schritt 6 bzw. mit Schritt 7 fortgesetzt, wenn entweder alle Ebenen durchlaufen sind (dann wird  $v_{ij}$  unter Berücksichtigung der Verdeckungen und Sichtbarkeiten gezeichnet  $\rightarrow$  Sprung zu Schritt 6) oder wenn  $\text{KAUS}_{P_i}^{E_i} = 0$  und die Anzahl der Schnittpunkte gleich Null ist (dann ist die gesamte Verbindungslinie  $v_{ij}$  verdeckt  $\rightarrow$  Sprung zu Schritt 7).

Schritt 6 und 7:

Zeichnen der Verbindungslinie  $\overline{V_{ij}}$  unter Berücksichtigung der Sichtbarkeitsverhältnisse und Wiederholung der Schritte 1 bis 5 für alle möglichen Verbindungslinien.

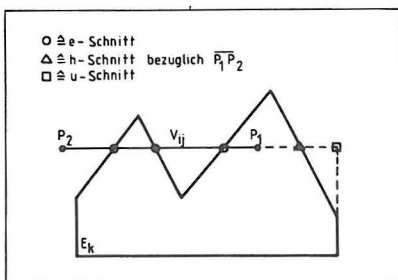


BILD ⑥: Zur Sichtbarkeit der Endpunkte einer Strecke  $v_{ij}$

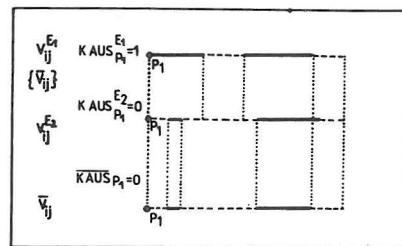


BILD ⑦: Zur Identifikation gemeinsamer Verdeckungs- und Sichtbarkeitsber. einer Strecke  $v_{ij}$  bzgl. versch. Verdeckungsebenen

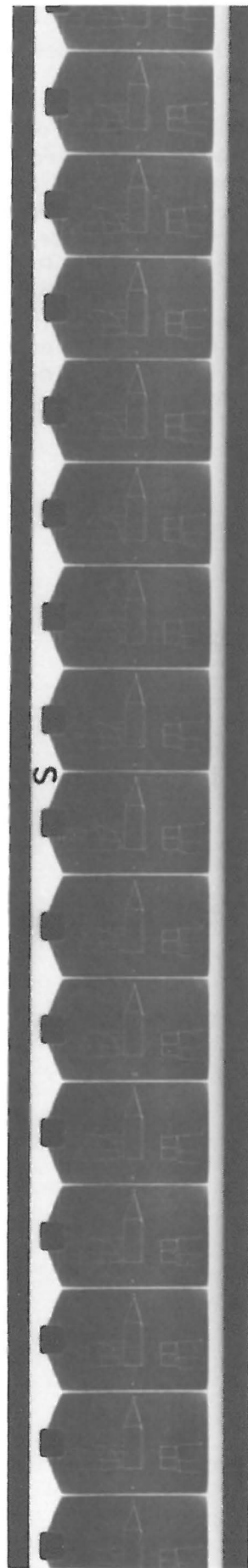
Dieser Algorithmus ist unter der Prämisse entwickelt worden, daß die Ebenen nicht unbedingt Elemente von Körpern darzustellen haben. Würde man dies aber voraussetzen, so könnte man dem Algorithmus ein rechenreduzierendes Kriterium vorschalten, das bezüglich der äußeren Flächennormalen auf der Ebene mit der Aufnahme- richtung vergleicht und hieraus die Sichtbarkeit hinsichtlich dieses Körpers be-

stimmt. Man hätte beim Daten-Input lediglich auf eine einheitliche Orientierung der Punktfolge für das Ebenenbegrenzungspolygon zu achten. Es muß jedoch als Konsequenz bedacht werden, daß z.B. sehr dünne alleinstehende Mauern u.ä. als körperhafte Figuren und nicht als isoliert im Raum stehende Ebenen im DSM abgespeichert werden müssen, da die Ebene nicht in allen denkbaren Positionen perspektivisch abgebildet würde (z.B. mit einem Standpunkt "hinter" der Ebene).

Soweit zum Visibilitätsalgorithmus, der insbesondere die Verdeckungsverhältnisse hinsichtlich der Ebenen zu ermitteln hat; dies entspricht einer Abbildung für die erste Beurteilungsebene, die zu Beginn der Ausführungen angesprochen wurde. Die Gliederung und Proportionierung der Fassaden und anderer Ebenen durch strukturerezeugende Linien kann zwar der oben erläuterte Algorithmus ebenfalls bewältigen, dies würde jedoch angesichts der großen Zahl von Linien (vgl. BILD 2 b) einen sehr starken Anstieg in der Rechenzeit bedeuten. Daher gehen die Bemühungen derzeit dahin, nach dem Aufbau der Datenstruktur zur Visualisierung der Großformkonturen gemäß vorstehendem Algorithmus eine zweidimensionale (und nicht räumliche) Ebenenanalyse derart vorzunehmen, daß für jede innerhalb des Bildrahmens liegende Ebene die übriggebliebene Restebene ermittelt wird. Zwar ist auch diese Analyse rechenintensiv, jedoch ist es dann um so schneller möglich, die Sichtbarkeit der strukturerezeugenden Linien zu berechnen. Man hätte dann nur noch - wiederum in einer zweidimensionalen Betrachtungsweise - festzustellen, ob Teile der betreffenden strukturerezeugenden Linie in eine der zugehörigen Restflächen fällt oder nicht (Geradenschnitte).

Die Ausführungen sollen nun noch mit einigen Bemerkungen zu maßstabbildenden Objekten abgeschlossen werden, die zur intuitiven Abschätzung der Größenverhältnisse von großer Wichtigkeit sind. Hierzu gehören vor allem Darstellungen von Bäumen und Personen. Um den Speicheraufwand aber auch den späteren Rechenaufwand für die Abbildungen klein zu halten, werden diese Gegenstände nicht als körperhafte, sondern ebenfalls als flächenhafte Gebilde definiert. Mit Rücksicht darauf, daß diese Gebilde in der Realität nicht (wie z.B. Gebäude) starr im Raum verweilen, erfolgt die Abbildung folgendermaßen: Vorgegeben werden die Grundrißkoordinaten und die Höhe des Gebildes. Danach wird mit Hilfe eines Zufallsgenerators innerhalb fest vorprogrammierter Restriktionen ein zweidimensionales Zufallsgebilde erzeugt und nun für den Abbil-

BILD ⑧



dungsvorgang so zum Standpunkt gedreht, daß die Flächennormale im Mittelpunkt des Gebildes senkrecht auf der Z-Achse (gemäß BILD 4) steht.

Eingangs wurde bereits auf das Ziel hingewiesen, das durch das vorliegende Programmsystem angestrebt wird. Im Verlauf der weiteren Ausführungen ist dann insbesondere die computererzeugte Erstellung von Fassaden(abwicklungen) und von einfachen Perspektivbildern angesprochen worden. Letztere können nun dazu benutzt werden, perspektivisch exakte Photomontagen oder Sterobildpaare anzufertigen. Um dynamische Betrachtungsweise von städtebaulichen Situationen zu ermöglichen, können darüber hinaus aber auch Folgen von Diapositiven oder gar Schmalfilmsequenzen angefertigt werden. BILD 8 zeigt nun den Ausschnitt eines solchen Trickfilms, dem eine simulierte Kamera-brennweite von 135 mm und eine Bewegungsgeschwindigkeit von etwa 5 m/sec in Richtung Kirchturm zugrunde liegt.

Quellen:

- (1) ParC 79: Proceedings zum Internationalen Kongreß über den Einsatz von Computern in Architektur, Bauwesen und Stadtplanung. Berlin 1979.
- (2) Braun, H.: Raumannsprüche zentraler Einrichtungen in alten Ortskernen und ihre bauliche Integration. In: Mitteilungen zur Baupflege in Westfalen, Heft 28. Münster 1977.
- (3) Lechterbeck, R.: Entwicklung eines interaktiven Input-Systems für digitale Siedlungsmodelle. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Städtebau und Siedlungswesen der Universität Bonn (in Bearbeitung).
- (4) Streich, B.: Ein Algorithmus für perspektivische Darstellungen städtebaulicher Entwürfe. In: VR, Heft 5/1979.
- (5) Bohr, D.u.a.: Rationalisierungsmöglichkeiten bei Sanierungsuntersuchungen. In: Schriftenreihe "Städtebauliche Forschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Heft 03.043. Bonn 1976