

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	111 (1993)
<b>Heft:</b>	6
<b>Artikel:</b>	Architektur-Modellbau mit dem Stereolithographie-Verfahren: eine neue Dimension der 3D-CAD-Anwendung für das Bauwesen
<b>Autor:</b>	Gubler, Werner / Affentranger, Christoph
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-78129">https://doi.org/10.5169/seals-78129</a>

### 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:** 26.01.2026

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

# Architektur-Modellbau mit dem Stereolithographie-Verfahren

Eine neue Dimension der 3D-CAD-Anwendung für das Bauwesen

Dieser Artikel beschreibt die ersten Erfahrungen der Autoren mit der Technologie «Rapid Prototyping» im Architektur-Modellbau. Mit dieser Technologie kann von dreidimensionalen Computermodellen direkt und ohne manuellen Modellbau ein reales Abbild geschaffen werden (Bild 1). Ziel war, anhand eines praktischen Beispiels die Anwendung dieses neuen Verfahrens zu testen und die Erfahrung dem interessierten Publikum zugänglich zu machen.

## Einführung

### Modellbau im allgemeinen

Modellbau wird in vielen Gebieten von Handwerk, Technik und Wissenschaft benötigt. Überall dort, wo Gegenstän-

VON WERNER GUBLER,  
ZÜRICH, UND CHRISTOPH  
AFFENTRANGER, ZUG

de, Objekte der verschiedensten Art entworfen und konstruiert werden, ist die Erstellung eines realen Abbildes der geplanten Konstruktion oder des Designs von grossem Nutzen, wenn nicht gar Bedingung für ein späteres Gelingen des tatsächlichen Objektes oder seiner Fabrikation. Sobald ein noch so primitives Modell zur Verfügung steht, gibt es dem Designer wie auch dem Betrachter die Möglichkeit zur besseren Beurteilung. Vielfach muss ein Modell erstellt werden, um Belastungen und Verformungen zu testen.

Selbstverständlich gibt es branchenmässige Unterschiede im Modellbau, die berücksichtigt werden müssen. Modellbau ist immer dort angezeigt, wo es schwierig ist, sich aufgrund von 2D-Plänen eine 3D-Bild-Vorstellung zu machen. Dies gilt nicht nur für Laien, sondern auch für Fachleute. Mit einem 3D-Modell wird die «geistige Rüstzeit» erheblich verkürzt.

### Modellbau mit dem Computer

Für den Modellbau werden Computer schon seit langem eingesetzt. Das Programmieren und Steuern von Fräsen- und Drehmaschinen (NC/Numerical Control) gehört hierzu. Das hier beschriebene Stereolithographie- (kurz: SL-) Verfahren unterscheidet sich von NC jedoch in verschiedenen Kriterien ganz wesentlich:

- Bearbeitung von Hohlräumen ist eingeschränkt
- Kantenbearbeitung
- Feinheitsgrad
- Möglichkeit zur Erzeugung dünner Wände
- Zeitbedarf
- Generelle Machbarkeit von Modellen: Es können keine «unmögliches» Konstruktionen hergestellt werden, wie das mit der SL-Technologie möglich ist, z.B. einen Würfel in einer Kugel.

### Geschichtlicher Rückblick der Stereolithographie

So einfach, wie die Idee anmutet, und so einfach das hier vorgestellte Verfahren erscheint, musste doch jemand zuerst darauf kommen. Auf die Idee des SL-Verfahrens kam Charles Hull in Südkalifornien, der 1986 dafür ein Patent erhielt. Fast gleichzeitig erfolgte die Gründung der Firma 3D Systems, die inzwischen weltweit das führende Unternehmen für Rapid Prototyping ist. Das SL-Verfahren dieser Firma ist seit 1988 kommerziell im Einsatz. Weltweit sind über 300 Apparate im Einsatz, davon 70 in Europa.

### Schwerpunkte heutiger Anwendung von Stereolithographie

Dieses Verfahren wird heute mit Erfolg in den verschiedensten Gebieten verwendet, u.a. Luft- und Raumfahrttechnik, Mechanik, Fertigung, Medizin, Unterhaltungselektronik, Computer, Gießereitechnik. Der Haupteinsatz liegt im Erzeugen von Prototypen oder Teilen davon. Auch ist das Verfahren bereits für kleine Serien rentabel. Es gibt typische Anwendungsbeispiele der Stereolithographie. Dies sind unter vielen anderen: Formen und Prototypen, Modelle für die Gießerei und Elektroformen. Im Bauwesen – so darf behauptet werden – ist das SL-Verfahren weder spe-

ziell bekannt, noch liegen Erfahrungen vor. Dies hat den Grund nicht zuletzt in der Tatsache, dass echtes 3D-CAD die Voraussetzung für SL-Modellbau ist.

### Die wesentlichen Vorteile des SL-Verfahrens

Mit Stereolithographie ist Modellbau ohne manuelle Aufsicht möglich. Alle Computerprozesse, auch die der Vorbereitung, laufen vollautomatisch ab und benötigen wenig Aufsicht. Das Abbild des CAD-Modells, das mit dieser Technologie geschaffen wird, kann in beliebigem Massstab, einstellbarer Schichtdicke, verschiedenen Materialien hergestellt sowie skaliert, gespiegelt und dupliziert werden.

Es sind die verschiedensten Materialien (Photopolymere) mit diversen Eigenschaften (hart, weich) einsetzbar, wobei jeweils nur ein Material pro Durchlauf verarbeitet werden kann. Es ist aber ohne weiteres vorstellbar, dass zukünftige Entwicklungen auch hier Varianten erlauben werden. Der Materialverbrauch ist sparsam, und es wird wenig Abfall erzeugt.

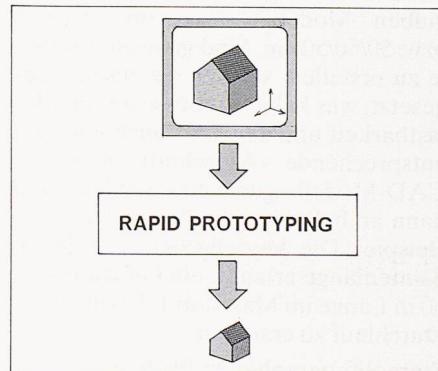


Bild 1. Die Rapid-Prototyping-Verfahren haben zum Ziel, dreidimensionale Computermodelle direkt und ohne manuellen Modellbau real abzubilden

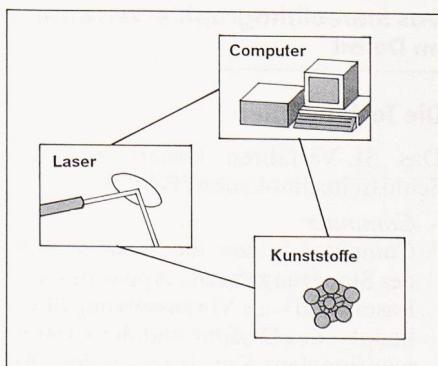


Bild 2. Das hier vorgestellte Stereolithographie-Verfahren basiert auf drei Technologien: Computer, Laser und Kunststoffe (Photopolymere)



Bild 3. Die Stereolithographie-Maschine SLA-250

Die heute verfügbaren SL-Apparate erlauben Modellgrößen von 25/25/25 bzw. 50/50/50 cm. Sind grössere Modelle zu erstellen, werden sie zusammen gesetzt, was keine Einbusse auf die Belastbarkeit und den Gebrauch hat. Der entsprechende «Aufschnitt» muss am CAD-Modell gemacht werden und kann an beliebiger Stelle erfolgen. Als Beispiel: Die Modellgröße von 25 cm Kantenlänge erlaubt, ein Gebäude von 50 m Länge im Massstab 1:200 in einem Durchlauf zu erstellen.

Stereolithographie ist bis heute das besonders interessant, wo der Markterfolg entscheidend vom Faktor Zeit beeinflusst wird, z.B. beim Design eines Gerätes.

#### **Das Stereolithographie-Verfahren im Detail**

##### **Die Technologien**

Das SL-Verfahren basiert auf drei Schlüsseltechnologien (Bild 2):

- *Computer*

Computer bilden die Basis sowohl der Steuerung des SL-Apparates, des Lasers und – als Voraussetzung überhaupt – des Designs und der (dreidimensionalen) Konstruktion der Objekte (Computer-Aided Design/CAD).

- *Kunststoffe*

Für das SL-Verfahren kommen Photopolymere in Einsatz. Das sind flüs-

sige Kunststoffe, welche unter dem Einfluss von Ultravioletlicht aushärten.

- *Lasertechnologie*

Ein luftgekühlter Helium-Cadmium-Laser, computergesteuert, hält Schicht um Schicht des flüssigen Photopolymers aus.

#### **Das Verfahren**

Der eigentliche Bau oder Aufbau des Kunststoffmodells geschieht im Stereolithographie-Apparat (Bild 3). Im Gehäuse dieses SL-Apparates sind folgende Hauptkomponenten untergebracht:

- Laser
- Scannereinrichtung
- Prozesskammer bzw. Becken für die Aufnahme des flüssigen Kunststoffes
- Grafik-Workstation mit SL-Prozessor

#### **Aufnahme des CAD-Modells und vorbereitende Computerprozesse**

Das CAD-Modell wird im STL-Format der Grafik-Workstation übergeben. Dies ist im wesentlichen ein Format, das die SL-Maschine verarbeiten kann. Näheres siehe Kapitel «Schnittstellen-Problematik». Dann folgen zwei weitere, vorbereitende Computerprozesse:

- *Schichtzerlegung (Slicing)*

Das Geometriemodell wird in Schichten zerlegt, nämlich in jene, die

später einzeln mit dem Laser abgeföhrt und ausgehärtet werden. Die Schichtdicke kann eingestellt werden und muss den Anforderungen des Objektes entsprechen (0,15–0,8 mm).

- *Stützkonstruktion (Bridgework)*

Alle freitragenden und überhängenden Teile des Modells (im Architektur-Modellbau sehr wichtig), werden automatisch mit Stützen versehen. Diese werden nach Fertigstellung und Härtung entfernt.

Dieses Datenmodell wird nun der Maschinensteuerung übergeben, und es folgt der Stereolithographie-Prozess.

#### **Der Stereolithographie-Prozess**

Das Becken im Zentrum des SL-Apparates ist permanent bis zum oberen Rand mit flüssigem Kunststoff gefüllt. Schicht um Schicht wird nun das Objekt von unten nach oben gebaut: Nachdem die unterste Schicht ausgehärtet wurde, senkt sich die Plattform innerhalb des Beckens einige Millimeter ab, so dass der gehärtete Querschnitt vollständig mit neuem Photopolymer überschichtet wird. Danach fährt die Plattform mit dem Bauteil zur Oberfläche zurück, ein Wischerblatt streicht die Harzschiicht über dem Teil auf die eingestellte Dicke ab. Danach wird die nächste Schicht ausgehärtet usw. (Bilder 4 und 5).

#### **Die Nachbearbeitung**

Das fertige Objekt taucht am Schluss aus dem flüssigen Harz auf und tropft weitgehend ab. Mit Lösungsmittel wird der Rest des Harzes von Oberfläche und Hohlräumen entfernt. Das Objekt wird in einem Nachhärtungsapparat mit UV-Lampen vollständig ausgehärtet. Das «rohe» Modell (Bild 17) kann so belassen werden oder aber mit Schleifen, Sandstrahlen, Malen usw. weiterbearbeitet werden.

#### **Wie kommt man zu einem Stereolithographie-Modell?**

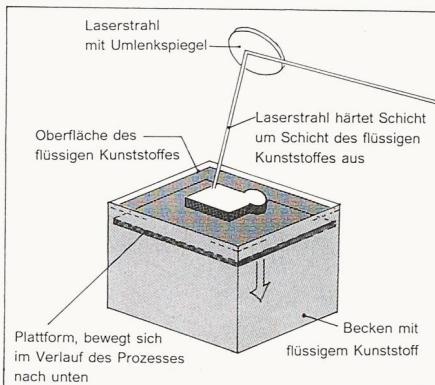
Für den Anwender, der ein SL-Modell erstellen lassen will, stellt sich der Ablauf folgendermassen dar (Bild 6):

- Besitzt er kein CAD-System und liegen seine Projektideen in Zeichnungsform vor, so gibt er die Erstellung eines 3D-CAD-Modells in Auftrag (Bild 6: 1).

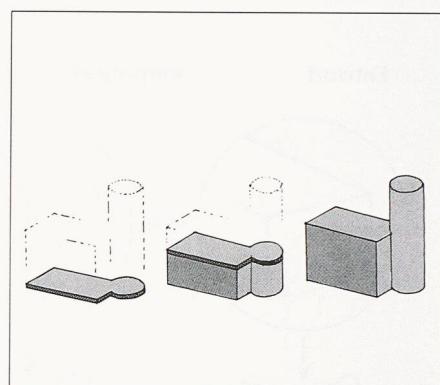
- Besitzt er schon ein CAD-System, so muss er zuerst abklären, ob es und wenn ja «echt» 3D-fähig ist. Ist es dies und kann es saubere Volumenkörper liefern, so muss weiter abgeklärt werden, ob es eine direkte STL-Schnittstelle gibt. Eventuell kann diese als Zusatz gekauft werden (3).

- Liegen 2D-Modelle vor, kann via den Standardschnittstellen DXF und IGES ein 3D-Modell erstellt werden (2).
- Das 3D-CAD-Modell wird als CATIA-Modell oder im STL-Format dem Modellbauer übergeben (4).
- Am Programmierplatz der SL-Maschine laufen die bereits erwähnten Computerprozesse und der eigentliche Modellbau im SL-Verfahren ab. Nach erfolgtem «Bau» des Modells erfolgt die vorher mit dem Modellbauer besprochene Nachbearbeitung (6).

Der Ablauf ist für Anwender sehr einfach. Nach Abgabe des 3D-Modells auf einer Diskette kann das fertige Modell in wenigen Tagen in Empfang genommen werden. Zusätzlicher Aufwand mit Schnittstellen und ungenügender Qualität des 3D-Modells verteuern natürlich die Gesamtkosten und verlängern den zeitlichen Ablauf.



**Bild 4.** Das Prinzip des SL-Verfahrens: In einem konstant mit flüssigem Kunststoff gefüllten Becken härtet ein Laserstrahl Schicht um Schicht des Objektes aus. Die Plattform im Zentrum des Beckens bewegt sich demzufolge von oben nach unten, und zwar in Abständen der einmal gewählten Schichtdicke. Die jeweilige Schicht, die ausgehärtet wird, befindet sich also immer am oberen Rand des Beckens



**Bild 5.** Der schichtweise Aufbau des Modells. Die Schichtdicke muss dem DetAILlierungsgrad und dem gewählten Material angepasst werden. Schichtdicke: 0,15–0,8 mm

## Die Voraussetzungen des CAD-Systems

### Allgemein

Für den Stereolithographie-Modellbau müssen «echte» 3D-CAD-Modelle zur Verfügung stehen. Praktisch heißt das, dass das CAD-System echte 3D-Fähigkeiten haben muss, um die realen Körper auch der Realität entsprechend abilden zu können.

Am besten eignen sich CAD-Systeme mit sogenannter Solids- oder Festkörper-Funktion. Diese Körper werden erzeugt, plaziert und – wo nötig – mit den Booleschen Operatoren manipuliert (Bild 7). Unter Umständen können auch Flächenmodelle verwendet werden. Es muss aber sichergestellt werden, dass sich die Flächenmodelle rundum zu Volumen zusammenschliessen.

Die digitalen Modelle müssen eindeutig als Volumen beschrieben sein: Alle Konturen der Schnittebenen (Bild 5), welche einzeln im SL-Prozess ausgehärtet werden, müssen geschlossen sein, und die Innen- wie die Außenkontur der Querschnitte müssen definiert sein.

### 3D-CAD in der Planung von Bauobjekten

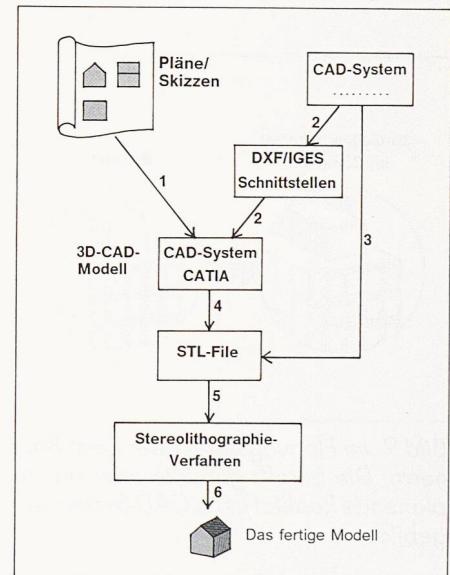
Viele CAD-Systeme besitzen zwar eine 3D-Funktionalität. Vielfach wird 3D vorgetäuscht, indem mittels Höhenangabe zu einer Grundrissform eine sogenannte 2½-D-Perspektive gerechnet und dargestellt wird. Ob eine 3D-Funktion im beschriebenen Sinne «echt» ist, kann beim Kaufentscheid des CAD-Systems schwer beurteilt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist, dass wohl eine 3D-Funktion vorhanden ist, sie aber nicht oder selten benutzt wird. Der Grund kann ungenügende Ausbildung sein, zu komplizierte Handhabung usw. Ist dann noch das Planzeichnen, ausgehend vom 3D-Modell, wohl möglich, aber nicht integriert, so wird das Ganze zu einem Hilfsmittel, das nur in speziellen Fällen verwendet wird. Schliesslich werden 2D-Pläne benötigt, 3D mag allenfalls in der «Marketing»-Phase wichtig sein.

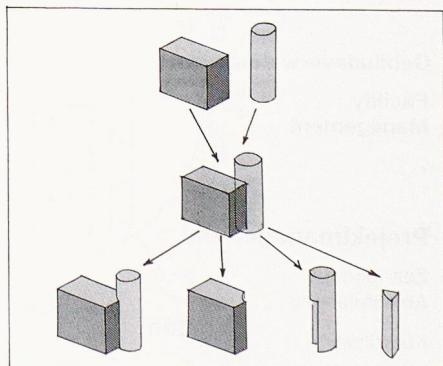
### Die CAD-Software CATIA

Für ihr Modell verwendeten die Verfasser die Software CATIA (siehe auch SIA-Systemkatalog CAD D 504). Diese erlaubt schon sehr früh im Entwurfs- und Vorprojektstadium einen effizienten Einsatz. Sie zeichnet sich durch folgende Hauptmerkmale aus:

- Lauffähig auf IBM-RISC-System/6000 und ES/9000.
- Modularer Aufbau mit speziellen Modulen für Architekten, Bauingenieure, Haustechniker und Gebäudeverwalter.
- Einsatz ab Entwurf mit fortlaufendem Ausdetaillieren des 3D-Modells und der 2D-Pläne.
- Spezialfunktionen für den Architektur- und Ingenieurentwurf.
- Interaktives CAD-System, das Direktkommunikation mittels Maus mit dem Modell oder der Zeichnung erlaubt.
- Mittels Maus kann man sich direkt im Raum bewegen und Objekte manipulieren.



**Bild 6.** Wie kommt man zu einem im SL-Verfahren hergestellten Modell?



**Bild 7.** Die idealen Voraussetzungen für den SL-Modellbau bilden echte 3D-CAD-Systeme, die Festkörper verarbeiten können. Die Illustration zeigt zwei Körper, an denen verschiedene Boolesche Operatoren ausgeführt wurden (Vereinigung, Subtraktion, gemeinsame Schnittmenge)

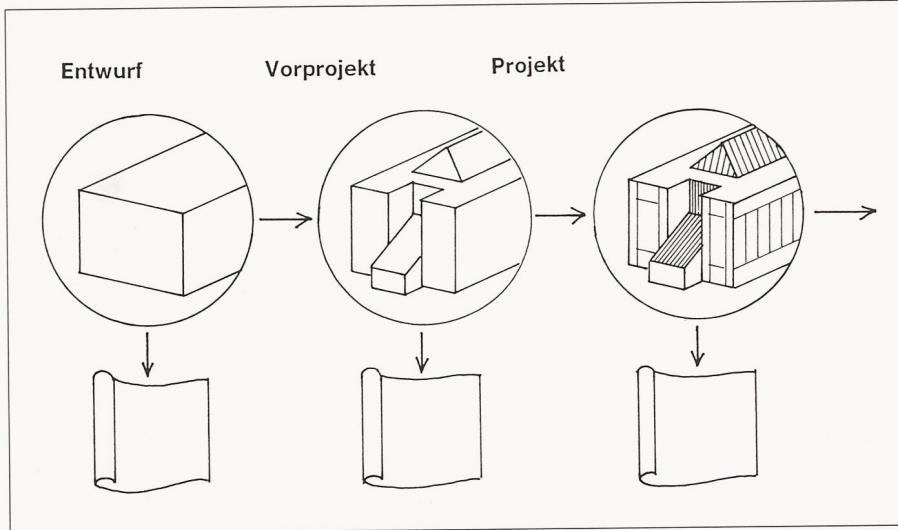


Bild 8. Im 3D-CAD-System ist die Realität in einem bestimmten Detaillierungsgrad abgebildet. Je früher im Planungsprozess man sich befindet, desto größer sind die jeweiligen Bauteile und Elemente

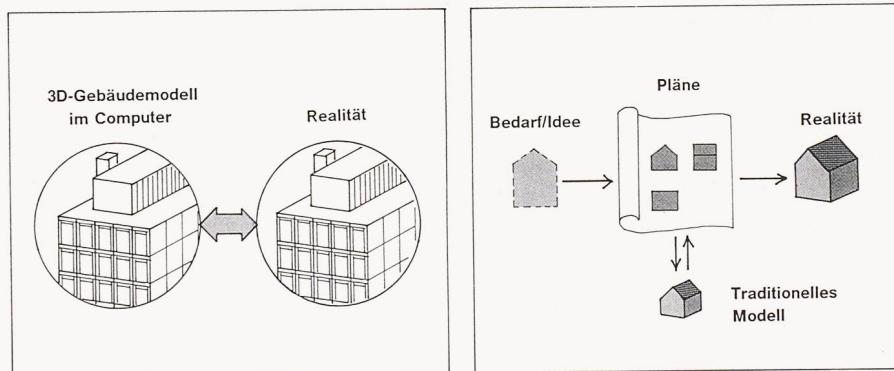


Bild 9. Im Planungsbüro oder beim Bauherrn: Die bereits gebaute oder die zu planende Realität ist im CAD-System abgebildet

Bild 11. Vom Bedarf, der Idee zum realen Objekt. Das traditionelle Modell weist auf das Endprodukt hin und ermöglicht Rückschlüsse auf die spätere Wirkung

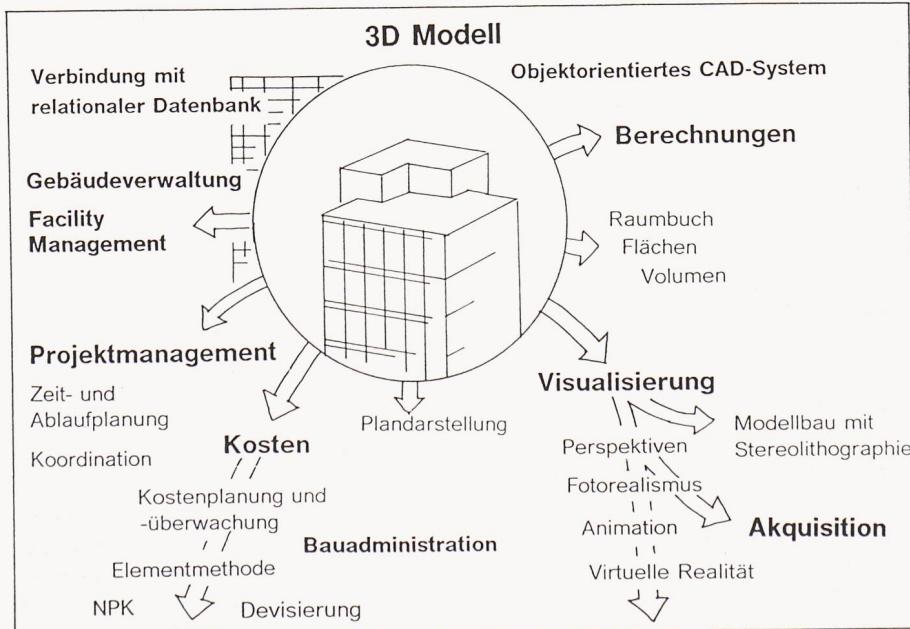


Bild 10. Das 3D-CAD-Modell bildet künftig die Basis für sämtliche Aufgaben für Planer und Verwalter von Bauobjekten. Der SL-Modellbau ist eine Möglichkeit unter vielen der direkten Ausnutzung von leistungsfähigen 3D-CAD-Systemen

- Die Benutzeroberfläche ist konstant die gleiche, ungeachtet der gerade benutzten CAD-Funktion, 2D- und/oder 3D.
- Projekte können 2D und/oder im 3D-Modus angegangen werden.
- Die Kombination von «gewöhnlicher» Geometrie mit Bauelementen ist möglich.
- Verschiedenste Möglichkeiten für die Projektvisualisierung stehen zur Verfügung (Perspektiven, Animation, Fotorealismus).
- Schnittstellen für den Datenaustausch und Datenbanken sind vorhanden.
- Funktionen für Modellauswertung und Ausmass sind vorhanden.
- Effiziente Datenorganisation und Struktur.

### Arbeitsweise

Die Software CATIA erlaubt den Einsatz von 3D in einem frühen Stadium des Entwurfs. Das 3D-Modell wird entsprechend dem Planungsfortschritt ausdetailliert und verfeinert. Die jeweils notwendigen Pläne werden losgelöst oder mit dem 3D-Modell integriert erzeugt (Bild 8). Beide Aufgaben, das Ausdetaillieren des 3D-Modells wie auch die des Planzeichnens, sind in CATIA komfortabel realisiert und mit wenig Lernaufwand anwendbar. Die Planerzeugung stellt sich nicht als Abfallprodukt der 3D-Modellierung dar, sondern ist integrierender Bestandteil oder kann wahlweise auch kombiniert werden.

Diese Art der Objektdarstellung kommt dem Ziel näher, im CAD-System das reale Objekt abzubilden (Bild 9). Das 3D-Modell bildet den Kern für eine Reihe von Aufgaben, die die Planer zu lösen haben (Bild 10). Auf der Basis eines 3D-CAD-Systems kann rasch und effizient auch ein SL-Modell erzeugt werden. Der jeweilige Planungszustand ist ja sowieso im System und muss praktisch nur real umgesetzt werden. Abgesehen von den SL-Modellbaukosten kann man den CAD-Aufwand mit Null einsetzen. So gesehen ist SL-Modellbau für Architekten eine Gratis-Zugabe, eine Art «Abfallprodukt» der CAD-Modellierung.

### Schnittstellen-Problematik: Wie gelangt das CAD-Modell in die SL-Maschine?

#### Allgemeines

Das CAD-Programm muss die Objektdaten in einem bestimmten Format ausgeben können, welches die SL-Maschine wiederum einlesen und verarbeiten kann. Für die SL-Maschine ist das STL-

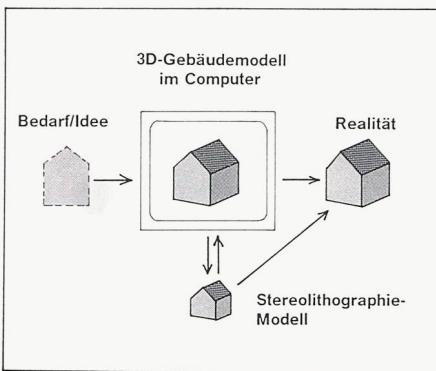


Bild 12. Vom Bedarf, der Idee zum realen Objekt. Was sich hier gegenüber dem traditionellen Vorgehen ändert, ist die Tatsache, dass das Stereolithographie-Modell den Abguss des jeweiligen Planungszustandes darstellt. Das 3D-Modell ist im Normalfall genau der Zustand, der für die Realität vorgesehen ist. In dem Sinne ist das SL-Modell wirklichkeitsgetreuer

Format (STL = STereoLithography) verfügbar. Dieses ist in der hier für unser Beispiel verwendeten CAD-Software CATIA standardmäßig erhältlich. Das STL-Format ist ein Format, das die Volumen- und Oberflächengeometrie in ein Triangulationsnetz verwandelt, dessen Dreiecke man kleiner oder grösser wählen kann.

### **Das STL-Format**

Das 3D-CAD-Modell wird in eine bestimmte Menge von Facetten zerlegt. Das vollständig übersetzte Modell besteht aus Gruppen von x,y,z-Koordinaten, wobei jede Gruppe ein einzelnes Dreieck beschreibt. Zusammen definieren die Gruppen ein miteinander verbundenes Set von triangulären Facetten. Diese Facetten beschreiben die Gesamtform des CAD-Modells. Am SL-Modell ist diese Facettierung tatsächlich auch zu sehen. Die Grösse der Facetten kann in den meisten STL-Programmen eingestellt werden. Es gilt: je kleinere Facetten und je komplexer die Geometrie, desto grösser die STL-Datei. Das STL-Format wurde vom Erfinder so gewählt, weil die meisten 3D-CAD-Modelle entsprechend aufgearbeitet werden können [4]. Das STL-Format ist inzwischen für diverse CAD-Systeme erhältlich, muss aber zusätzlich erworben werden.

### **Erfahrungsbericht**

Als Beispiel für ihren SL-Modellbau wählten die Verfasser einen Ausschnitt aus einem Modell, das als Beitrag zum Wettbewerb Rathausbezirk Stans von Ch. Affentranger mit CATIA erstellt wurde. Das Modell wurde direkt im 3D-Modus entworfen, und auf der Basis des

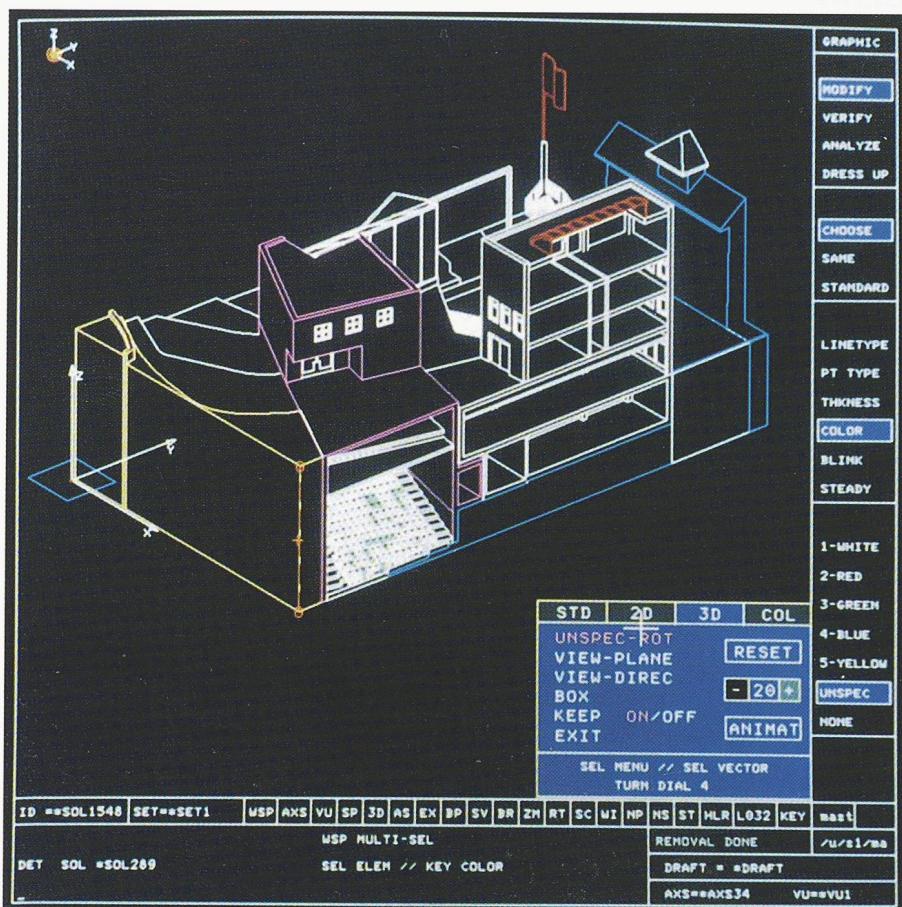


Bild 13. Das 3D-CAD-Modell am Bildschirm (CATIA, Foto ab Bildschirm)

3D-Modells wurden auch die Pläne ausgeplottet.

Aus dem Gesamtprojekt wurde ein Ausschnitt gewählt. Am Detaillierungsgrad des 3D-CAD-Modells wurde vor dem SL-Prozess nichts mehr verändert. Aufgrund des ersten Versuches musste aber festgestellt werden, dass sich eine Überarbeitung des CAD-Modells aufdrängte. Vor allem das Treppengeländer war in der Auflösung zu fein. Der gewählte Massstab stiess an die Grenze des möglichen 3D-Detailierungsgrades des SL-Verfahrens. Daraufhin überarbeiteten die Verfasser das CAD-Modell im Bereich der Aussen-treppe und ersetzten die Geländer mit festen und strukturierten Platten (Bilder 23 und 24).

Das Endresultat des zweiten Versuches führte zu sehr guten Resultaten. Es beweist, dass beim Modellbau im SL-Verfahren bereits eine hervorragende Qualität auch für Architektur-Modellbau erreichbar ist. Das Modell benötigte folgende Zeiten für die Herstellung:

- 3D-CAD-Modell mit CATIA: 4 Arbeitstage am System
- Computerprozesse zur Vorbereitung der SL-Maschine: 3 Std.
- Laufzeit der SL-Maschine: 30 Std.
- Manuelle Nachbearbeitung: 12 Std.

Das ergibt ein Total von gesamter Durchlauf- und Herstellungszeit des

SL-Prozesses von 45 Stunden. Zu erwähnen sei noch, dass keinerlei Schnittstellen-Probleme zu bearbeiten waren. In Arbeitstagen ausgedrückt ist also ein solches Modell in etwa vier Tagen herstellbar.

Grösse des Modells: Mst. 1:200, l/b/h in cm: 23/16/15.

Verwendeter Kunststoff: XB 5143, Harz der 3. Generation mit mittlerem Elasti-

### **Literatur**

- [1] Gubler, W.: Die Baustelle im Büro. Schweizer Ingenieur und Architekt 16/1991, S. 351
- [2] Gubler, W.: CATIA – Aufgebaut für Flexibilität. Aktuelles Bauen 41/92
- [3] Streich, B.: Creating Architecture Models by Computer-Aided Prototyping. In: CAAD futures '91, edited by Gerhard N. Schmitt
- [4] Wholers, T.T.: CAD meets Rapid Prototyping. Computer-Aided Engineering, April 1992
- [5] Ciba-Geigy AG, Fribourg: Stereolithographie – eine moderne Anwendung der Photopolymerisation
- [6] Rutsch, H.W.: Stereolithographie und andere Schichttechnologien. Karman GmbH, IBM-Anwendungsforum '92
- [7] 3D Systems GmbH, Darmstadt-Arheilgen: Dokumentation

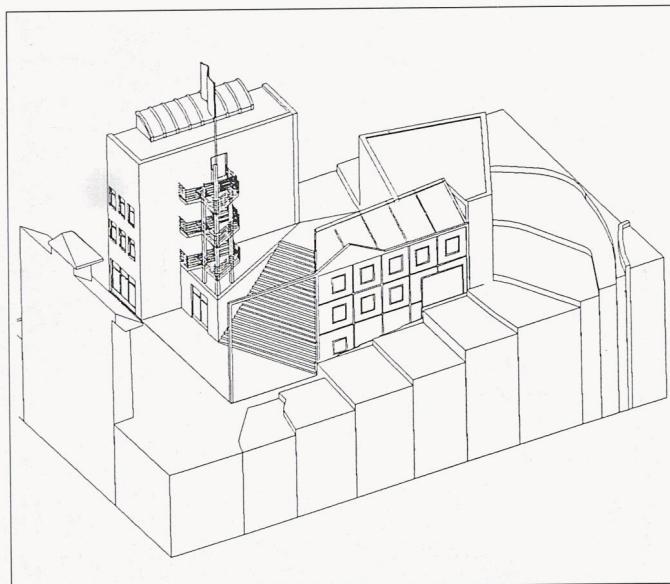


Bild 14/15. Das 3D-CAD-Modell am Bildschirm (CATIA, Bildschirmplots)

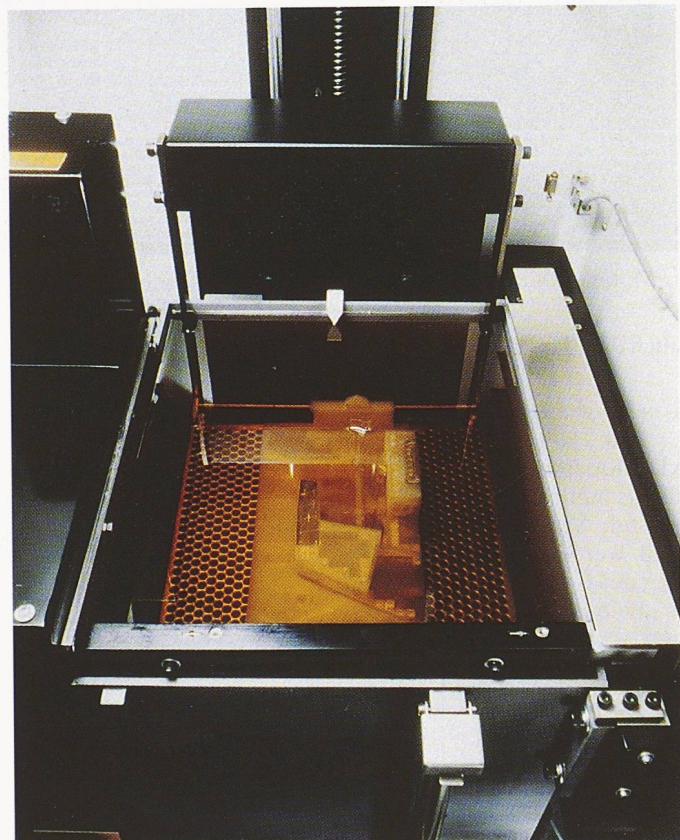
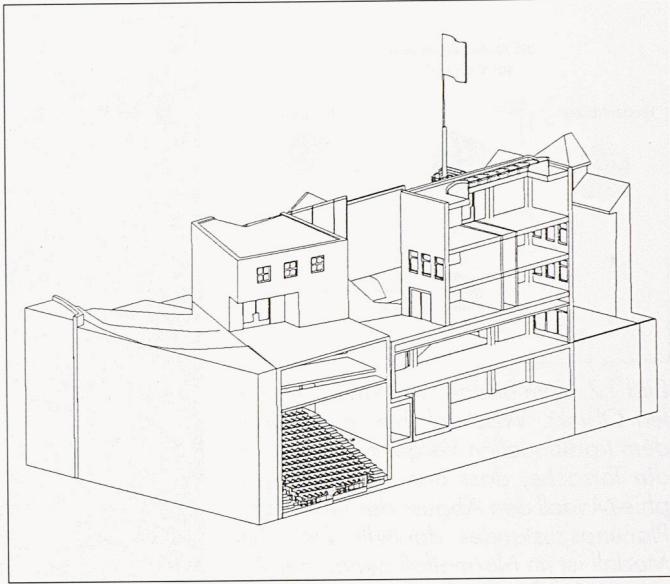


Bild 16. Blick in die SL-Maschine während des SL-Prozesses; die hellbraune Farbe ist das flüssige Photopolymer

Bild 17. Das fertige, noch nicht nachbehandelte Modell

zitätsmodul, hoher Schlagzähigkeit und hoher Reissdehnung.

Nachbearbeitung: Sandgestrahlt, geschliffen und gespritzt.

### **Nutzen und Anwendung im Bauwesen**

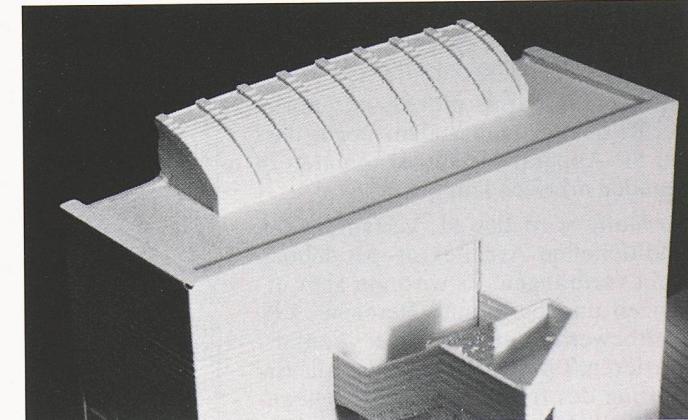
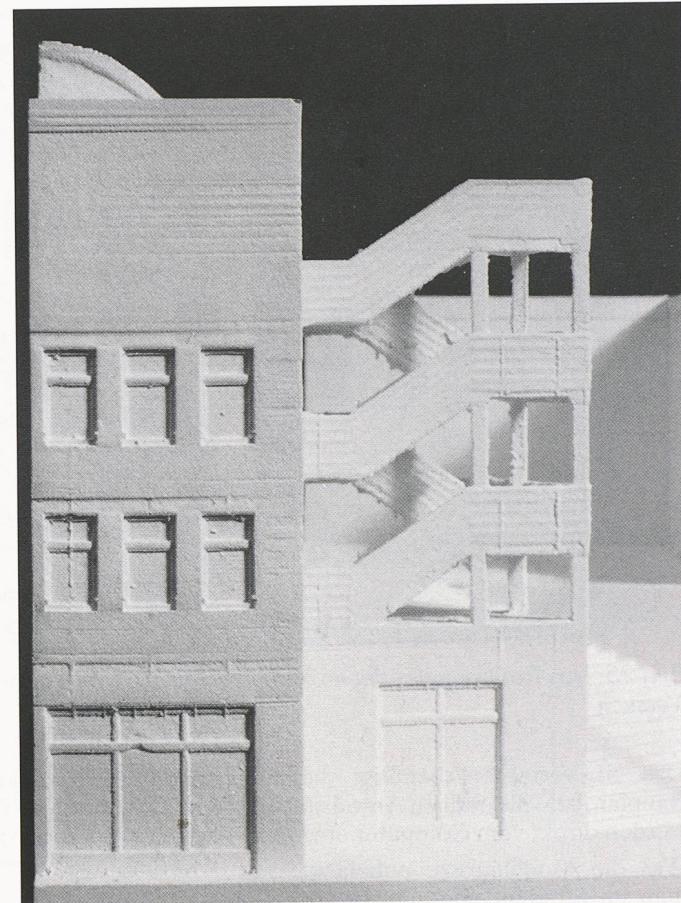
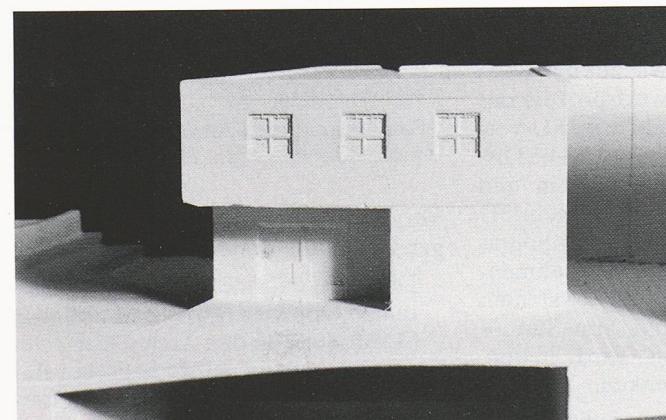
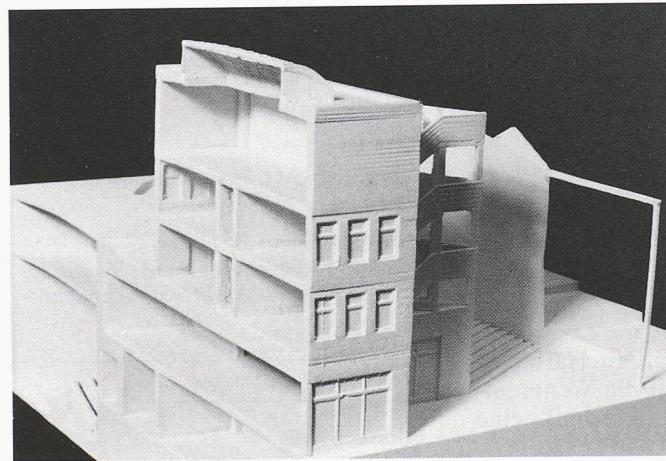
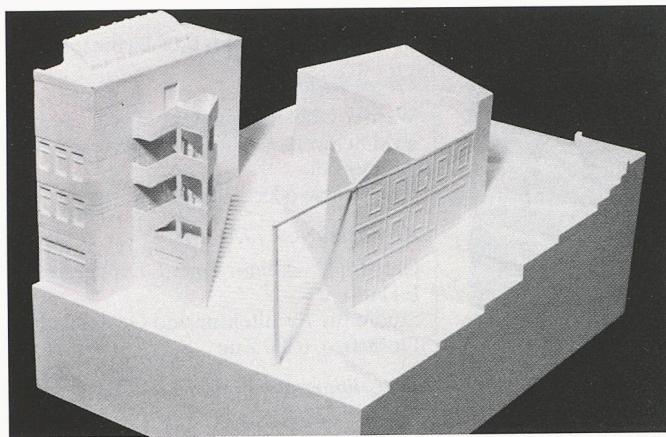
#### **Allgemein**

Sowohl für Planer wie auch für Bauherrschaften eröffnet sich ein breites

Spektrum neuer Möglichkeiten. Ein optimaler Nutzen des Stereolithographie-Modellbaus für Bauobjekte kann dann realisiert werden, wenn im Planungsbüro ein 3D-CAD-System eingesetzt wird. Dies ermöglicht praktisch eine sofortige Umsetzung und Visualisierung der geplanten Objekte. Architektur-Modellbau im SL-Verfahren ist also dann eine «Gratis-Zugabe», wenn sowieso im 3D geplant wird.

Müssen allerdings zuerst Schnittstellenprobleme gelöst werden oder stellt es

sich heraus, dass das angewendete CAD-System gar keine echte 3D-Funktionalität besitzt, so ist der Weg mit Mehraufwand verbunden. Für viele heutige CAD-Anwender stellt sich somit die Frage nach echter 3D-Funktionalität, sobald sie Modellbau im SL-Verfahren realisieren wollen. Oder mit anderen Worten: ein 3D-CAD-System entpuppt sich plötzlich als außerordentlich nützlich. Nämlich dann, wenn man realisiert, welche Möglichkeiten man damit hat.



Bilder 18–22. Das fertige Modell

### Anwendungsmöglichkeiten

- Gebäudemodelle in verschiedenen Massstäben
- Ingenieurbauten, z.B. Brücken und Straßen
- Einzelne Gebäudeteile wie z.B. Fassaden, Eingangshallen
- Inneneinrichtungen wie Küchen, Stühle
- Technische Bauteile, Zentralen, Leitungsführungen
- Geländemodelle
- Zusammensetzbare Modelle
- Anlagenbau

Unschätzbar kann sich diese neue Anwendung bei Architekturwettbewerben zeigen: dort kann der permanente Engpass «Modellbau» sicher überwunden werden.

### Nutzen

- Kurze Herstellungszeit
- Optimale reale Kontrolle des Designs
- Weitere Visualisierungsmöglichkeit
- Modelle in jedem Massstab
- Mit entsprechender Datenstruktur (Layertechnik) können Bauteile herausgefiltert werden, z.B. Installationszonen
- Beliebige Formen und Konstruktionen (Gelände, Dächer)
- Kosten bereits heute interessant

### Vergleich zu traditionellem Architektur-Modellbau

Der traditionelle Modellbau unterscheidet sich vom SL-Modellbau vor

allem dadurch, dass die verschiedensten Materialien zum Einsatz kommen können, was im SL-Modellbau nicht möglich ist. Dort ist pro Durchlauf ein Material (immer Kunststoff) möglich. Farb- und Oberflächenvariation muss in einem Nachbearbeitungsgang erzeugt werden.

Kostenfaktor: Ist ein gutes 3D-CAD-Modell vorhanden, das zudem noch STL-fähig ist, halten sich die Kosten ungefähr die Waage. Sie weisen aber mit zunehmender Verbreitung dieser Technologie sinkende Tendenz auf.

Wie der Versuch beweist, kann ein sehr feiner Detaillierungsgrad wiedergegeben werden, speziell in Form von Oberflächenreliefs.

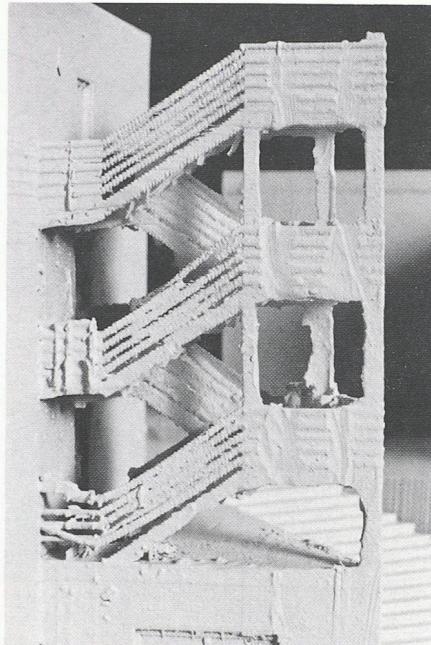


Bild 23. Das Treppengeländer im ersten Versuch

Das SL-Verfahren benötigt keinen Bauplan, bzw. die nötigen Anweisungen werden direkt vom Computer erzeugt. Was die Modellgrösse anbelangt, ist man im Moment noch auf die Masse 25/25/25 bzw. 50/50/50 cm limitiert. Grössere Modelle werden ohne Einbusse der Festigkeit zusammengesetzt. Die Zeiteinsparnis mit SL ist enorm, berücksichtigt man zudem noch, dass der SL-Apparat wie alle Automaten 24 Stunden arbeiten kann.

Vorläufig wird das SL-Verfahren den traditionellen Architektur-Modellbau nicht verdrängen. Es wird ihn aber ergänzen und bestimmte Bereiche, z.B. Wettbewerbsmodelle, sicher konkurrenzieren. Tatsache ist auch, dass die Erfahrung des traditionellen Modellbauers im SL-Modellbau äusserst nützlich, wenn nicht gar notwendig ist.

Modellbauer werden sich mit dieser neuen Technologie in Zukunft vermehrt auseinandersetzen müssen. Die Kosten für die SL-Maschine sind bereits heute relativ gering, so dass sich die Anschaffung schon für einen kleinen Betrieb lohnen kann. Dieses Verfahren kann als Dienstleistung analog dem Repro-Service angeboten werden.

## Ausblick/Zusammenfassung

### Forschungsanstrengungen

Weltweit wird an weiteren Möglichkeiten des Rapid Prototyping geforscht. Das hier beschriebene Verfahren wird laufend weiterentwickelt und verbessert, im speziellen die Materialien, die mögliche Modellgrösse, die Geschwin-

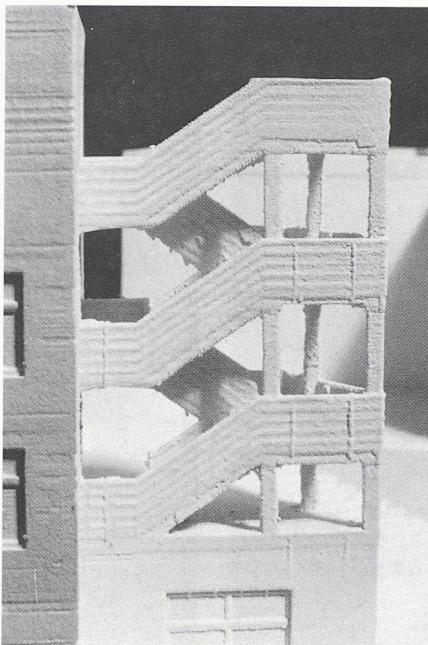


Bild 24. Das Treppengeländer beim fertigen Modell

digkeit der Erzeugung, die Laseroptik sowie die Bauteiltoleranzen, Härteprozess u.v.m. Auch spielt die Weiterentwicklung der Computertechnik eine grosse Rolle.

### Zusammenfassung

Es wurde dargestellt, wie auf der Basis von 3D-CAD im Entwurfsprozess des Architekten direkt Modelle im SL-Verfahren erzeugt werden können. Die Diskussion um 3D-CAD allgemein und auch dessen Fähigkeit zum «echten» 3D wird mit dem Thema Stereolithographie ins Zentrum gerückt. Zunehmender Einsatz von 3D-CAD-Systemen und weitere Verbreitung von Stereolithographie-Maschinen wird helfen, die Kosten weiter zu senken.

Fundierte Erfahrung des traditionellen Architektur-Modellbauers ist auch beim Einsatz von SL wichtig und notwendig. Das SL-Verfahren ergänzt und erweitert den traditionellen Modellbau und eröffnet neue Wege in der Visualisierung von Architektur-, Ingenieur- und Anlagenbauwerken.

SL-Modellbau ist eine weitere Aufgabemöglichkeit von 3D-CAD-Systemen. Er wird den Entwurfs- und Ausführungsprozess von Architekt und Ingenieur sinnvoll ergänzen und sich seinen festen Platz erobern. Auch betreffend anfallender Kosten ist SL-Modellbau schon heute attraktiv, insbesondere wenn in 3D geplant wird und gute Schnittstellen vorhanden sind.

Werden die speziellen Bedürfnisse des Architektur-Modellbaus berücksichtigt, so können auch in diesem Bereich anspruchsvolle Resultate erzeugt werden. Es fällt auf, dass zwei Kriterien im

### Beteiligte Personen und Firmen

#### Projektleitung

Werner Gubler, Architekt HTL  
IBM Schweiz, CAD-Center für  
Architektur  
Hohlstrasse 600, 8048 Zürich

#### Architektur/CATIA-Modell

Christoph Affentranger, Dipl. Arch.  
ETH/SIA  
Studio für Architektur und Gestaltung  
Florastr. 4, 6300 Zug

#### Stereolithographie-Modellbau

Loosli Formtech AG  
Derendingerstr. 60, 4562 Biberist

#### Stereolithographie-System

3D Systems GmbH  
Darmstadt-Arheilgen

#### Material

Ciba-Geigy AG, Division Kunststoffe  
4002 Basel

Die Autoren danken sowohl der IBM Schweiz wie auch der Modellbaufirma, Loosli Formtech AG, für die Unterstützung.

### Bildnachweis

Werner Gubler: 1, 2, 4–12

Toni Baggenstos, Ritterquai 6, 4500 Solothurn: 13, 16, 17

3D Systems, Inc.: 3

Foto Welti, Zürich-Altstetten: 18–23

Vergleich zu industriellen Anwendungen besonders zu berücksichtigen sind:

- Die meist enorme Verkleinerung des realen Objektes (grosser Massstab)
- SL-Modelle für den Architektur-/Design-Bereich dienen ästhetischer Beurteilung und sind nicht für Weiterverwendung im Sinne von Belastungstest, Dehnungstests usw. vorgesehen.

Die optimale Ausnutzung dieser Technologie wird dann erreicht, wenn schon im Entwurfsprozess des Architekten die 3D-Funktionalität zum Tragen kommt. Dies setzt wiederum folgendes voraus: Das verwendete CAD-System muss durchgängiges Arbeiten ermöglichen, und auf einfache Art müssen Pläne erstellt werden können. Das System muss zudem leicht erlernbar und bedienbar sein. Den Mitarbeitern muss genügend Zeit für die Schulung und Einführung gegeben werden. Nur so ist eine erfolgreiche Produktion möglich.

Adressen der Verfasser: *W. Gubler, Arch. HTL, IBM Schweiz, CAD-Center für Architektur, Hohlstr. 600, 8048 Zürich, Chr. Affentranger, dipl. Arch. ETH/SIA, Studio für Architektur und Gestaltung, Florastr. 4, 6300 Zug*