

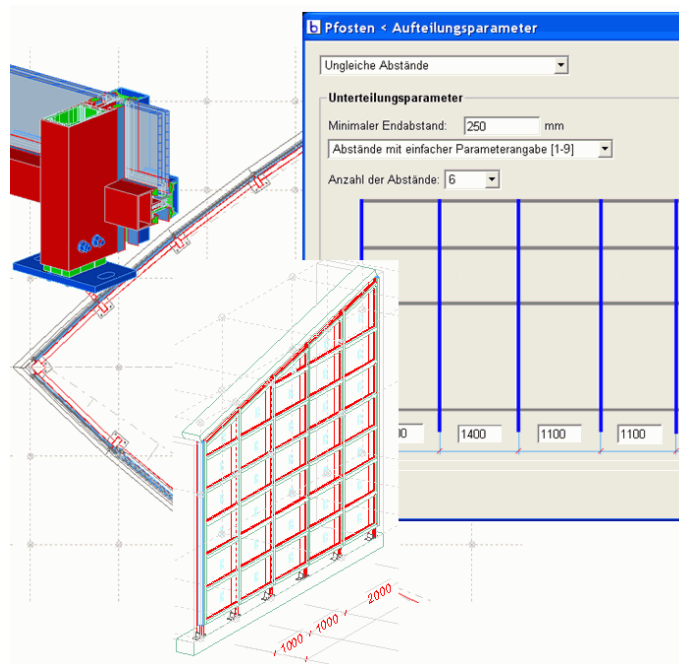


Bergische Universität Wuppertal

Fachbereich D, Abteilung Bauingenieurwesen

Lehr- und Forschungsgebiet für

Theoretische Methoden und Angewandte Informatik



Konzeption einer Benutzungsoberfläche für CAD im Glasbau

Angéla Germán

Wuppertal, September 2005

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20050438

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20050438>]

Konzeption einer Benutzungsoberfläche für CAD im Glasbau

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
des Fachbereichs D, Abteilung Bauingenieurwesen
der Bergischen Universität Wuppertal

von

Angéla Germán
Wuppertal, September 2005

Dissertation

Dissertationsschrift eingereicht: 20. April 2005
Mündliche Prüfung und Disputation: 26. September 2005

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Pegels
apl.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (SK) Dietrich Hoeborn

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Claus Jürgen Diederichs

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Georg Pegels für die wissenschaftliche Unterstützung sowie für die vielseitigen Anregungen und Gespräche in den letzten Jahren danken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dietrich Hoeborn danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Koreferats.

Für die Übernahme des Vorsitzes in meinem Promotionsverfahren und die hilfreichen Hinweise danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Claus Jürgen Diederichs.

Herrn Dipl.-Ing. Hans Bischof möchte ich sehr herzlich für seine geduldige Hilfsbereitschaft danken.

Herrn Dr.-Ing. Heinz Dieter Koch danke ich für die Einführung in die Welt des CAD's und die ermunternden Worte.

Bei Andreas Templin möchte ich mich für die bereitwillige Hilfe bedanken, die zum Gelingen meines Vortrags beigetragen hat.

Weiterhin bedanke ich mich sehr herzlich bei allen meinen Kolleginnen, Kollegen bei der Firma bocad und den vielen Menschen, unter anderem Torsen, Peter, Stefan, Ingo, Barbara, Michael, Mathias, Christian und Daniel die mich bei meiner Arbeit maßgebend unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Krisztián für seinen Rückhalt und moralischen Ansporn, Alex und Kriszta für die gutgelaunte Gesellschaft während der Bochumer Jahre und nicht zuletzt meinen Eltern für die unermüdliche und hingebungsvolle Unterstützung.

Abstract

Konzeption einer Benutzungsoberfläche für CAD im Glasbau

Wegen der zunehmenden Rolle des Glasbaus in der Bauindustrie steigt auch das Bedürfnis nach CAD-Systemen, die zusätzlich zu den Gewerken Stahlbau und Metallbau auch für computerunterstütztes Konstruieren im Glasbau komplette und anspruchsvolle Lösungen bieten.

Heutige CAD-Hochleistungssysteme erstellen ein dreidimensionales Gebäudemodell der gesamten Konstruktion eines Bauwerks inklusive sämtlicher Details. Über CAD-Methoden können sie vom Anwender gestellte, komplexe Konstruktionsaufgaben selbständig lösen.

Bisher fehlte diesen gewerkespezifischen CAD-Systemen eine Benutzungsoberfläche, die die spezifischen Chancen zu gesteigerter Effizienz und klarer, durchgängiger Struktur für den Glasbau aufgreift.

Ziel dieser Arbeit deshalb ist die Erforschung, Konzeption und Entwicklung einer funktionellen, möglichst allgemeingültigen und allgemeinverständlichen Benutzungsoberfläche für CAD-Hochleistungssysteme im Glasfassadenbau. Die Leistungsfähigkeit der Konzeption wird nachgewiesen an parametrisierten Glasfassaden.

Abstract

Concept of a user interface for CAD glazing systems

Due to the increasing role of glass construction in the building industry, grows the need for CAD systems that in addition to the steel and metal constructions also provide complete and ambitious solutions for glazing systems.

Today's high performed CAD systems create a three dimensional building model of the entire construction of a building structure, including all details. Using CAD methods, they can independently solve complex construction problems set by the user. Previously, these sector-specific CAD systems lacked a user interface that takes up the specific chances for increased efficiency and clear uniform structure for the glass construction.

The goal of this work therefore is to research, propose and develop an operational user interface that is as generally applicable and understandable as possible for high performance CAD systems in the construction of a glass façade. Proof of the efficiency of the conception is demonstrated by the example of parametric glass façades.

Összefoglalás

Üvegszerkezet-tervező CAD-rendszerek felhasználói-felületének koncepcionális felépítése

Az üvegszerkezetek építőiparban betöltött szerepének fokozatos növekedésével, egyre nagyobb az igény komplex számítógépes tervezési megoldást nyújtó CAD-rendszerekre.

A mai, csúcsteljesítményű CAD-rendszerek az épület teljes szerkezetének - beleértve annak számos apró részletét – háromdimenziós valóság-hű modelljével dolgoznak, minek következtében lehetőség nyílik CAD-metódusokkal támogatott komplex feladatok elvégzésére. Ezen, a CAD-rendszer „intelligenciáját” adó, metódusok egy állandóan továbbfejleszthető, mindig az aktuális igényekhez alakítható tudásbázist alkotnak.

Ezen munka célja egy üvegszerkezet-tervező CAD-rendszer felhasználói felületének tanulmányozása, koncepciójának megfogalmazása és fejlesztése. A kidolgozott koncepció hatékonyságának igazolása a parametrizált üvegfaltervező modul segítségével történik.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Neue Gebäudekonzepte mit Glas	2
1.1.1	Bürohaus unter parabelförmiger Glashülle	2
1.1.2	Gläserne Manufaktur	4
1.1.3	Neue Perspektiven im Hausbau	5
1.2	Ausgangsbasis für CAD im Glasbau	6
1.2.1	Bauinformatik.....	6
1.2.2	Glasbauspezifische Anforderungen	7
2	Modellbildung in CAD-Systemen	10
2.1	Geometrisches Modellieren.....	10
2.2	Die Modellbildung.....	10
2.2.1	Von zweidimensionalen zu dreidimensionalen CAD-Systemen.....	11
2.2.2	Das gewählte 3D-System	14
2.2.3	3D-Volumensysteme im Praxiseinsatz	16
3	Konzeption eines CAD-Systems für Glasbau	17
3.1	Systemspezifische Arten des Glasbaus	19
3.1.1	Pfosten-Riegel Glasfassaden	19
3.1.2	Aufbau der Konstruktionsprofile.....	23
3.2	Konzeption eines CAD-Systems für Glasbau mit spezifischer Benutzungsoberfläche.....	28
3.2.1	Anlegen eines Glassystems.....	29
3.2.2	Anlegen von Profilquerschnitten	31
3.2.3	Anlegen der Datenbasis für neue Profilstäbe mit Eigenschaften ...	37
3.2.4	Dichtungsgenerierung.....	42
3.2.5	Nachgebogene Profilquerschnitte.....	43
3.2.6	Ändern von Profilen	45
3.2.7	Gruppendefinition für die Kombination von Teilen zu Konstruktionsprofilen	47
3.2.8	Gruppenvariablen	49
3.2.9	Verglasungstabellen	52
3.2.10	Systemspezifische Glasbau-Anschlussmethoden	55
4	Konzeption einer Nutzungsoberfläche für Glasbau	56
4.1	Anforderungen an Softwareprodukte.....	56

4.1.1	Ingenieurwissenschaftliche Forschung unter realen Bedingungen	56
4.1.2	Extremforderungen	57
4.1.3	Software-Ergonomie	59
4.2	Konzeptioneller Aufbau der Benutzungsoberfläche	61
4.2.1	Anwendungsspezifische Bedienungsarten	61
4.2.2	SDI- und MDI-Techniken	64
4.2.3	Fenster	66
4.2.4	Dialoggestaltung	67
4.2.5	Dialogfenster für Platzierung von Glasbau-Profilstäben	70
4.3	Parametrisierte Konstruktion im Glasbau	75
4.3.1	Parametrisierter Konstruktionsprozess für Glasfassaden in zwei Stufen	75
4.3.2	Parametrisierte Modellierung mit Template-Technologie	79
4.3.3	Implementierung der Parametrisierten Modellierung	80
4.3.4	Implementierung der Benutzungsoberfläche	81
4.3.5	Implementierung von Ikonleisten mit Symbolen	83
4.4	Benutzungsoberfläche für die parametrisierte Konstruktion von Fassaden	87
4.4.1	Nutzungsoberfläche für die Entwurfsmethode	88
4.4.2	Glasbau-spezifische Profilauswahl in Dialogfeldern	94
4.4.3	Die Benutzungsoberfläche vom idealisierten Vorentwurf bis zur wirklichkeitsgetreuen Detailkonstruktion	98
5	Zusammenfassung	104
6	Anlagen	106

1 Einführung

Seit mehr als 2000 Jahren kennen Menschen das Verfahren der Glasherstellung. Aber erst seit 1000 n. Chr. wird Glas als wertvoller Baustoff im Bauwesen verwendet. In der Hochgotik erlebte das Glas seine Glanzperiode. In dieser Zeit wurden große farbige Kirchenfenster erschaffen, deren Flächen mehrere 1000m² erreichten (Abbildung 1).



Abbildung 1: Kathedrale St. Veits, Prag

Zu Beginn dieses Jahrhunderts hat dieser transparente Baustoff die Architektur grundlegend verändert. Heute werden mit Glas oft spektakuläre Bauten gestaltet.

Die architektonische Begeisterung für Glasbauweisen liegt in seiner geheimnisvollen Transparenz. Durch das Lichtspiel in Räumen, die Steuerung von Hell und Dunkel und die verschiedenen Erscheinungen von Gebäuden bei Tag und Nacht wirken die Glasbauwerke mystisch und verzaubert. „Die ü-

berall zu spürende Aufbruchstimmung“ [KonstrGlas 98] ist aber mehr als nur ästhetische Faszination. Sie ist eine Herausforderung, welche Architekten und Konstrukteure anspricht, immer kühnere Konstruktionen zu gestalten.

1.1 Neue Gebäudekonzepte mit Glas

Glas dient nicht mehr nur als Raumabschluss gegen Klimaeinflüsse. Auch ist es nicht nur ästhetisch anspruchsvoll. Der transparente Baustoff bietet ganz neue Perspektiven für Architekten und Konstrukteure, über Gebäudekonzepte und Konstruktionen aus Glas nachzudenken.

1.1.1 Bürohaus unter parabelförmiger Glashülle

Für das Bürohaus (Abbildung 2) „Berliner Bogen“ in Hamburg gewannen die Architekten Jens Bothe, Kai Richter und Hadi Teherani im Jahre 2002 den Stahlbau-Architekturpreis.



Abbildung 2: Berliner Bogen in Hamburg, Foto: Thorsten Hollander

Der Berliner Bogen hat nichts mehr mit einem klassischen Bürogebäude gemein. Eine parabelförmige Glashülle überspannt bis auf 36m Höhe die Stahlbögen. Darunter befinden sich auf 30.000 Quadratmetern Grundfläche rund 1200 Arbeitsplätze.



Abbildung 3: Innenraum „Berliner Bogen“, Foto: Jörg Hempel

Die Räume zwischen der inneren Fassade und der äußeren Glashülle bilden einen Übergang zwischen innen und außen (Abbildung 3). „Diese doppelte Hülle schafft ein inneres Mikroklima und ermöglicht eine passive Nutzung der Sonnenenergie sowie eine natürliche Belüftung aller Räume“ [archINFORM]. Das „Haus im Haus“-Konzept bietet neue technische Möglichkeiten, wobei Glas als energiedurchlässige Gebäudehülle die entscheidende Rolle spielt.

Dank heutiger Technologien erhalten Gläser neben der Transparenz viele weitere Eigenschaften. Spezialgläser können allen gewünschten Funktionen am und im Bau gerecht werden.

Die Energieeinsparverordnung vom 7. Dezember 2004 stellt hohe Ansprüche an die Wärmedämmfunktion des Baustoffes Glas. Die novellierte Fassung berücksichtigt aber auch die solaren Wärmegewinne für die Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes von Neubauten [Vegla].

Dadurch eröffnet Glas eine neue Perspektive, denn nur Glas kann ohne Zusatzaggregate solare Energie sammeln.

1.1.2 Gläserne Manufaktur

Glas ist ein bevorzugtes architektonisches Gestaltungselement geworden, besonders auf dem Gebiet des Baus von Bürogebäuden, Bankgebäuden und öffentlichen Instituten. Die Palette an Gebäuden, die aus diesem vielgestaltigen Baustoff verwirklicht werden, wächst mehr und mehr. Man findet heute ebenso ein Gymnasiumsgebäude, ein Theater oder ein modernes Fabrikgebäude (Abbildung 4), bei denen Glas das wichtigste architektonische und konstruktive Element ist.



Abbildung 4: Gläserne Manufaktur (VW), Dresden, Foto: Interpane Glas Industrie AG

1.1.3 Neue Perspektiven im Hausbau

Neue Perspektive eröffnet Glas auch für Objekte im modernen Wohnungsbau. Hier werden mit Glasanbauten und Wintergärten neue Wohnformen erschlossen, die trotz aller Transparenz und Großzügigkeit wirkungsvoll zum Energiesparen beitragen. Wintergärten dienen heutzutage nicht mehr nur als „Gärten“ im Haus. Durch ihre speziellen Eigenschaften können sie einen wichtigen Einfluss auf die Energiewirtschaft des Hauses haben.

Das von der Architektin Susanne Bauer erstellte Passivhaus (Abbildung 5) ist ein Beispiel dafür, wie die nach außen dringende Wärme auf ein Minimum reduziert werden kann: das einfallende Sonnenlicht und die im Haus vorhandene Wärme werden gleichzeitig optimal genutzt.



Abbildung 5: Passivhaus in Hassfurt, Architektin: Susanne Bauer

Kein Wunder, dass Glas als Baustoff eine explosionsartig steigende Beachtung findet und dadurch die Glaskonstruktionen immer größere Anwendungsfelder in der Bauindustrie gewinnen.

1.2 Ausgangsbasis für CAD im Glasbau

1.2.1 Bauinformatik

Die Bauinformatik ist ein Fachgebiet des Bauwesens. Sie befasst sich nach [TU München] mit den bauingenieurspezifischen Grundlagen beim Einsatz von Computeranwendungen und mit der systematischen Generalisierung von Berechnung-, Simulations- und Darstellungsverfahren im Bauwesen. In der Bauinformatik werden die folgenden Bereiche unterschieden:

- Technik
- Methoden
- Modelle und
- Prozesse

Die Technik der Bauinformatik umfasst die Gerätetechnik (Rechner, Betriebssystem, Netzwerk), Programmieretechnik (Programmiersprachen, Programmentwicklung, Nutzungsoberfläche), Datentechnik (Speichertechnik, Datenbanken und Datenverwaltung) und Kommunikationstechnik (verteilte Datenkommunikation, Datenübertragung in Netzen).

Die Methoden befassen sich mit theoretischen Grundlagen, Datenstrukturen und Algorithmen für fachgebietsübergreifende Aufgaben sowie deren Realisierung.

Die Modelle der Bauinformatik sind formale Darstellungen von realen Elementen im Bauwesen. Sie werden in vereinfachter, rechnergerechter Form formuliert. Für unterschiedliche Aufgaben sind verschiedene Modelle erforderlich, wie z.B. CAD-Modelle für die Konstruktionsarbeit oder Tragwerksmodelle für statische Berechnungen und Bemessungen.

Die Prozesse der Bauinformatik sind formale Modellierungen von Vorgängen oder Abläufen im Bauwesen.

Die wichtigsten Prozesse der Konstruktionsarbeit im Bauwesen sind:

- Planungsprozesse
- Entwurfsprozesse
- Konstruktionsprozesse
- Ausführungsprozesse

1.2.2 Glasbauspezifische Anforderungen

Die Komplexität der Glaskonstruktionen - oft verbunden mit räumlichen Anschlüssen - erfordert, dass CAD-Systeme für anspruchsvollen Glasbau nicht nur ebene, sondern auch räumliche Probleme lösen und darstellen können.

Außerdem muss bei der Entwicklung eines CAD-Systems berücksichtigt werden, dass Glaskonstruktionen nur Elemente eines kompletten Bauwerks sind. Daher ist es sinnvoll, ein Glasbau-CAD-System in ein vorhandenes CAD-System für Bauwesen zu integrieren. Auf diese Weise wird die Gesamtkonstruktion von einem ganzheitlichen System erzeugt. Das vollständige rechnerinterne 3D-Modell wird also von einem einzigen, umfassenden CAD-System unterstützt. Stücklisten, Glaslisten, Schnittlisten und Positionslisten sowie alle Zeichnungsarten können so nach individueller Wahl automatisch erzeugt werden. Die zentrale Forderung ist, alle technischen Unterlagen mit einem einzigen, integrierten CAD-System ableiten zu können.

Als exemplarisches Beispiel eines umfassenden CAD-Hochleistungssystems wurde für die Untersuchungen und experimentellen Nachweise in dieser Arbeit das CAD-Hochleistungssystem BOCAD-3D gewählt. Einen Überblick über dessen vorhandenen Programmbausteine gibt Abbildung 6.

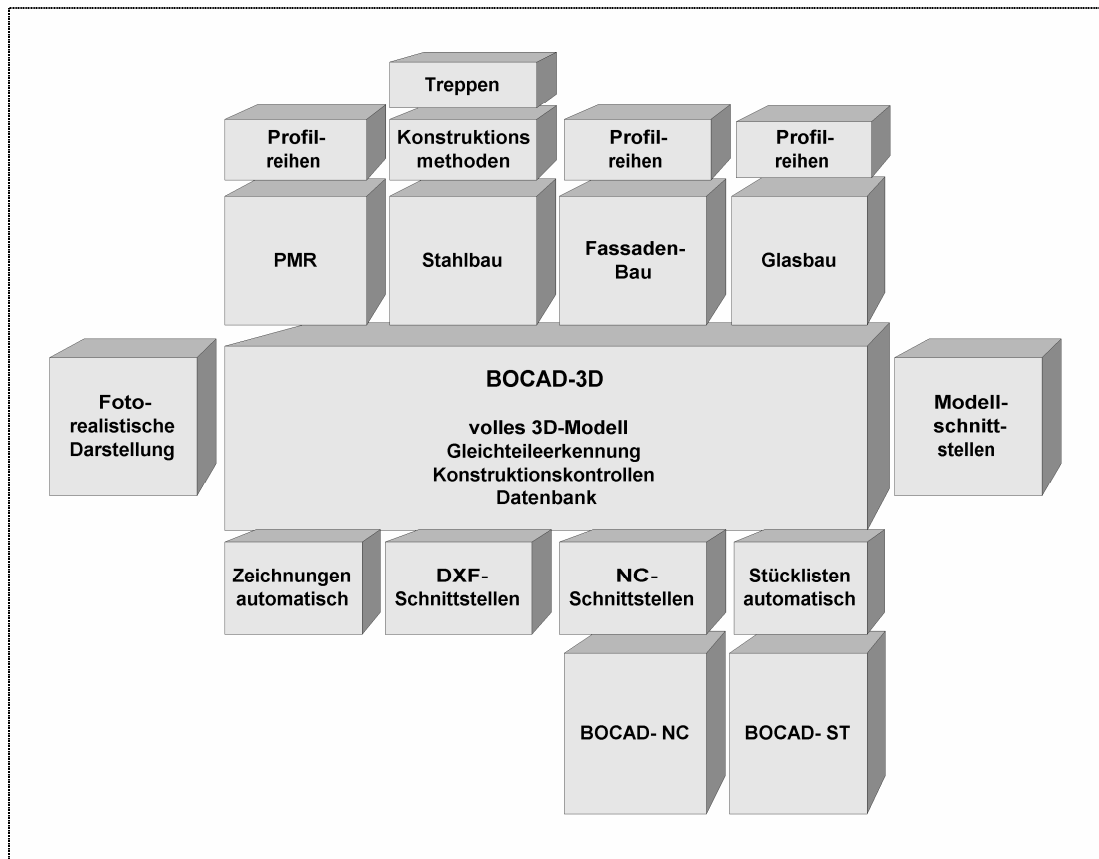


Abbildung 6: Programmbausteine des gewählten Systems, Werkbild BOCAD Software GmbH, Bochum

BOCAD-3D deckt das gesamte Stahl- und Metallbauspektrum vom Tragwerk bis zum Komplettbau mit Dach- und Wand- sowie Verglasungselementen ab. Das CAD-System setzt sich aus modularen, ineinandergreifenden Programmbausteinen zusammen, die mit einer gemeinsamen Datenbasis arbeiten, wodurch Redundanzen mit all ihren negativen Folgen vermieden werden.

Abbildung 7 zeigt ein Praxisbeispiel für das Zusammenwirken der verschiedenen Module des CAD-Systems. Die Fassaden dieses Gebäudes wurden als Glasfassaden mit dem Glasbau-Profilsystem Mirotec ausgebildet. Das Tragwerk mit seiner spezifischen, schirmförmigen Gestaltung wurde in Stahlbauweise konstruiert. Durch die Integration von Stahl- und Glaskonstruktion in einem System wurde dem Konstrukteur die Möglichkeit gegeben, beide Komponenten – Stahl und Glas – kohärent und kollisionsfrei miteinander zu verbinden.

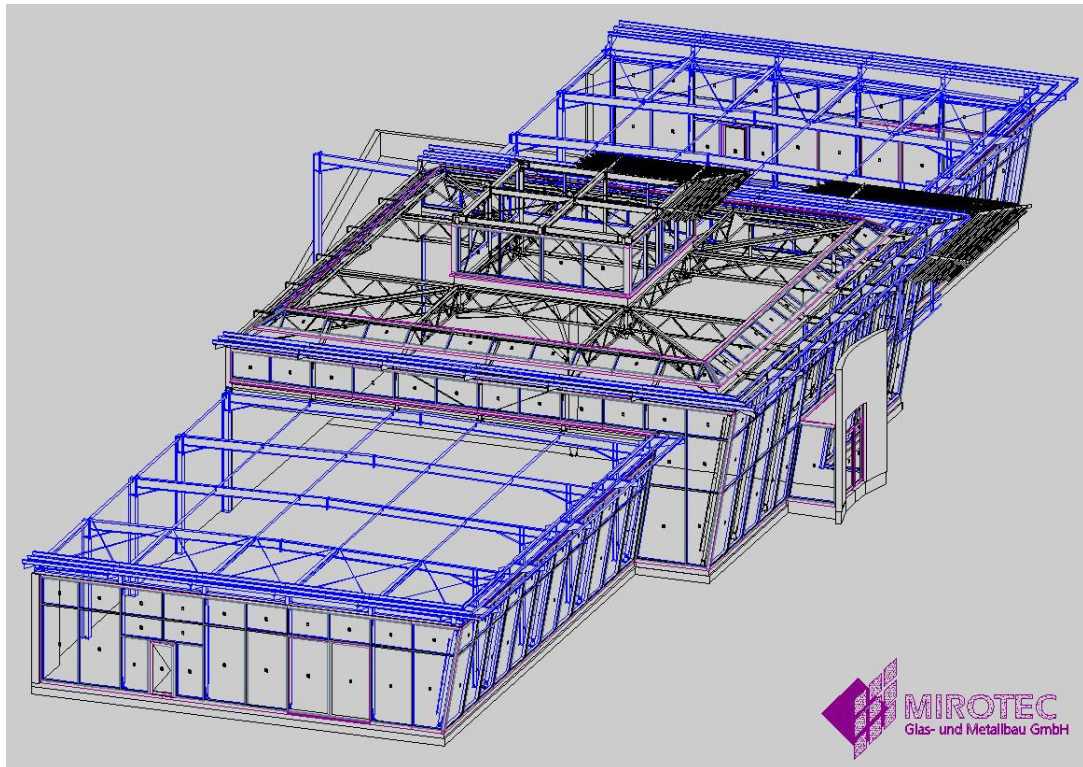


Abbildung 7: Autohaus Heeman, Wettringen

Jedes Glasbau-Profilsystem hat eine vom Hersteller festgelegte, proprietäre Struktur, worauf bei der Konzeption möglichst allgemeingültiger Methoden besonders geachtet werden muss. Es gibt keine Norm für allgemein gültige Glasbauprofile mit genauen gemeinsamen Eigenschaften. Alle Hersteller haben als ihr spezifisches Produkt Profile mit zugehörigen Montagerregeln entwickelt. Diese systemspezifische Art des Glasbaus ist der wichtigste Aspekt bei der Konzeption eines CAD-Systems für den Glasbau, das alle spezifischen Lösungen abdecken muss. Dies gilt nur über die Erforschungen der allgemeingültigen Regeln, nach denen Glasbauten insgesamt strukturiert sind und Erkennen der firmenspezifischen Ausprägungen.

2 Modellbildung in CAD-Systemen

Die Grundlage der rechnerinternen Geometrieverarbeitung wie z.B. der Ableitung von Zeichnungen und Listen ist die Modellbildung, also die Datenstrukturen wie geometrieorientierte Daten erzeugt, gespeichert, verarbeitet und dargestellt werden.

2.1 Geometrisches Modellieren

Unter geometrischem Modellieren versteht man Methoden, die sowohl die geometrische Form und Gestalt von Objekten und Körpern mathematisch beschreiben, als auch dynamische Prozesse simulieren. „Dabei handelt es sich gewöhnlich um rechnerunterstützte Operationen, bei denen das Modell, d.h. die rechnerinterne Darstellung eines realen Objektes oder Prozesses in einem Computer repräsentiert, gespeichert und analysiert wird.“ [Grätz 89]

Die Leistungsfähigkeit der geometrischen Modellersysteme hängt von der Technik ab, wie komplexe Geometrien auf vereinfachende, idealisierende Weise durch Kombination von elementaren Geometrieelementen beschrieben werden. Es handelt sich um die rechnerinterne Modellbildung.

2.2 Die Modellbildung

Die Abbildung der Objekte in ein rechnerinternes Modell nach [Grätz 89] ist eine Synthese wie folgt:

Modell = Daten + Struktur + Algorithmen

Während des Abbildungsprozesses werden die Objektinformationen in eine digitale Speicherungsform gewandelt. Das Resultat dieses Prozesses ist die rechnerinterne Darstellung von realen Objekten. Dabei werden alle Objektda-

ten und Relationen verwendet, die für die Modellbildung und Verarbeitung durch die entsprechenden Verarbeitungsregeln nötig sind.

Die Daten der rechnerinternen Darstellung sind nach einer bestimmten Ordnung sortiert, die durch den logischen Zusammenhang der Daten untereinander definiert wird. So bilden sie die Datenstruktur bzw. die Form einer geeigneten Speicherungsstruktur: die Datenbasis für Anwendungen.

„Grundsätzlich ist der Informationsgehalt eines Modells einerseits fest umrissen und klar definiert durch seine explizite Datenstruktur und andererseits seinen impliziten Datengehalt, der nur mit Hilfe von Algorithmen aufgebaut werden kann.“ [Grätz 89]

Rechnerinterne Modelle können geometrische, topologische, technologische oder auch andere problembezogene Daten enthalten.

Im Zusammenhang mit der objektorientierten Programmierung hat die Modellbildung einen neuen Aspekt erhalten: Neben der reinen geometrischen Modellbildung besteht nunmehr die Möglichkeit reale „Objekte“ und ihre Eigenschaften zu definieren, wie Wand, Fenster, Decke, Dach, Treppe oder Fassade.

2.2.1 Von zweidimensionalen zu dreidimensionalen CAD-Systemen

Bei den rechnerinternen Modellen unterscheidet man folgende drei Klassen:

- 2-dimensionale CAD-Systeme
- 2,5-dimensionale CAD-Systeme
- 3-dimensionale CAD-Systeme

2D-Modelle beschränken sich auf die rechnerinterne Darstellung von zwei der drei Raumkoordinaten, also ebene Geometrien.

Bei zweidimensionalen CAD-Systemen wird die geometrische Gestalt von Objekten durch ebene Darstellungen abgebildet. Durch sie lassen sich

räumliche Bauteile nur in Form von Ansichten und Schnitten beschreiben. In diesem Fall gibt es keine hinreichenden Zusammenhänge zwischen den Ansichten und Schnitten, sie liegen als Zeichnungen unabhängig voneinander vor. Ein Gesamtmodell, zu dem rechnerintern die unterschiedlichen Informationen über eine und dieselbe Konstruktion verknüpft werden können, existiert nicht. In einem 2D-System muss der Anwender also alle erforderlichen Ansichten und Schnitte bzw. Zeichnungen selbst erzeugen. Die Änderungen in einer Ansicht werden nicht automatisch auf die anderen Ansichten übertragen.

„Eine Sonderstellung nehmen die „2,5-D-Systeme“ ein, die auf Basis von 2D-Modellen mit zusätzlicher „Intelligenz“ ausgestattet sind. Bei solchen Systemen wird beispielsweise den Flächen jeweils eine konstante Ausdehnung in z-Richtung zugeordnet. Rechnerintern liegt dann eine Datenstruktur vor, die aus ebenen Konturelementen und Flächen besteht, wobei aber jedes 2D-Element erweitert ist und eine Anfangs- und Endtiefe (Z-Koordinate) besitzt. Das Teilespektrum dieser Kategorie ist im Allgemeinen auf stufenförmige Bauteile beschränkt.“ [Grätz 89]

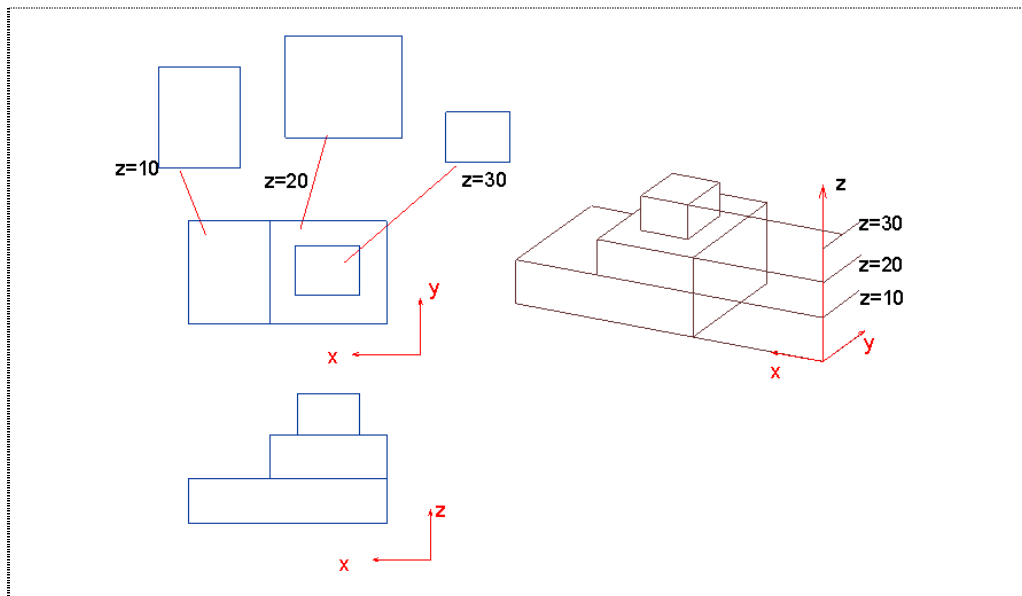


Abbildung 8: 2,5-D durch Zuordnung einer konstanten Ausdehnung in z-Richtung

In 2,5-D-Modellen werden die zweidimensionalen Daten um einen weiteren Parameter pro Element ergänzt, wie beispielsweise:

- eine Höhenangabe (z.B. Geschoss)
- oder ein Rotationswinkel

Die 2,5-D-Modelle sind nicht mehr nur einfache zeichnungsorientierten Systeme, sondern hier steht der Konstruktion ein rechnerinternes Modell zur Verfügung. Der Anwender arbeitet mit diesem Modell, in den meisten Fällen in einer bestimmten Ansicht. Man definiert nicht nur zweidimensionale sondern auch dreidimensionale Informationen, wie eine konstante Ausdehnung in der Z-Richtung.

Man kann die Informationen aus dem rechnerinternen Modell einfach ableiten und beliebige orthogonale Ansichten und Schnitte aus der Hauptansicht erzeugen.

„Änderungen in der Hauptansicht bewirken jedoch auch bei 2,5-D-Modellen keine automatische Übertragung auf alle anderen generierten Ansichten und Schnitte durch das System. Es liegt meist in der Verantwortung des Anwenders, die abgeleiteten Ansichten und Schnitte erneut von der modifizierten Hauptansicht berechnen und darstellen zu lassen.“ [Grätz 89]

Modifikationen an abgeleiteten Ansichten und Schnitten werden auch nicht automatisch in die Hauptansicht übertragen.

Ein Konstruieren im Sinne eines Modellierens, bei dem man in kohärenten Ansichten und Schnitten arbeiten kann, ist mit 2,5-D nicht möglich. Der Grund dafür ist, dass nur die Hauptansicht die zusätzlichen 2,5-D-Informationen enthält. In der Hauptansicht wird konstruiert, die Angaben beziehen sich auf das rechnerinterne Modell. Die aus dem 2,5-D-Modell abgeleiteten Ansichten und Schnitte sind nur einfache Zeichnungen. Sie enthalten selbst nur reine 2D-Elemente, die keine Verbindung mehr zum Modell haben.

Die Änderungen dieser Zeichnungen haben keine Rückwirkung auf das Modell selbst, die Hauptansicht oder die anderen Ansichten und Schnitte.

2.2.2 Das gewählte 3D-System

Bei dreidimensionalen Modellen bestehen die vorgenannten Einschränkungen nicht, da eine Widerspruchslosigkeit und Kohärenz der Daten im Raum existiert. Darunter versteht man die Übereinstimmung der Teile und Maße eines Objekts in allen abgeleiteten Plänen und Teilplänen sowie die vollständige, durchgängige Übernahme aller Änderungen. Wenn der Benutzer in einer beliebigen Ansicht seine Konstruktion ändert, so beziehen sich diese Modifikationen direkt auf das rechnerinterne 3D-Modell und nicht nur auf die aktuelle Ansicht. Es werden also alle anderen definierten Ansichten und Schnitte automatisch vom System aktualisiert.

3D bedeutet also mehr als nur die Erweiterung von 2D-Modellen um eine Z-Koordinate und die Zuordnung der Flächen zu einem Volumen.

Zur Bearbeitung des 3D-Modells besteht die Möglichkeit, gleichzeitig beliebige Ansichten, Schnitte, Ebenen oder räumliche Darstellungen in Fenstern zu definieren und zu nutzen. Innerhalb dieser Fenster können dann vielfältige Aktionen ausgeführt werden (Abbildung 9). Die Auswirkung einer Aktion wird in allen anderen geöffneten Fenstern bzw. Darstellungen automatisch angezeigt - so, als wären verschiedene Kameras auf das Bauwerk gerichtet. Eine Überprüfung der ausgeführten Aktion in einer anderen Darstellung ist jederzeit möglich. Ein derartiges CAD-Hochleistungssystem wurde als Arbeitsbasis und Versuchsfeld für diese Dissertation gewählt. Das entsprechende System BOCAD-3D der Bocad Software GmbH in Bochum bewährt sich weltweit im Praxiseinsatz.

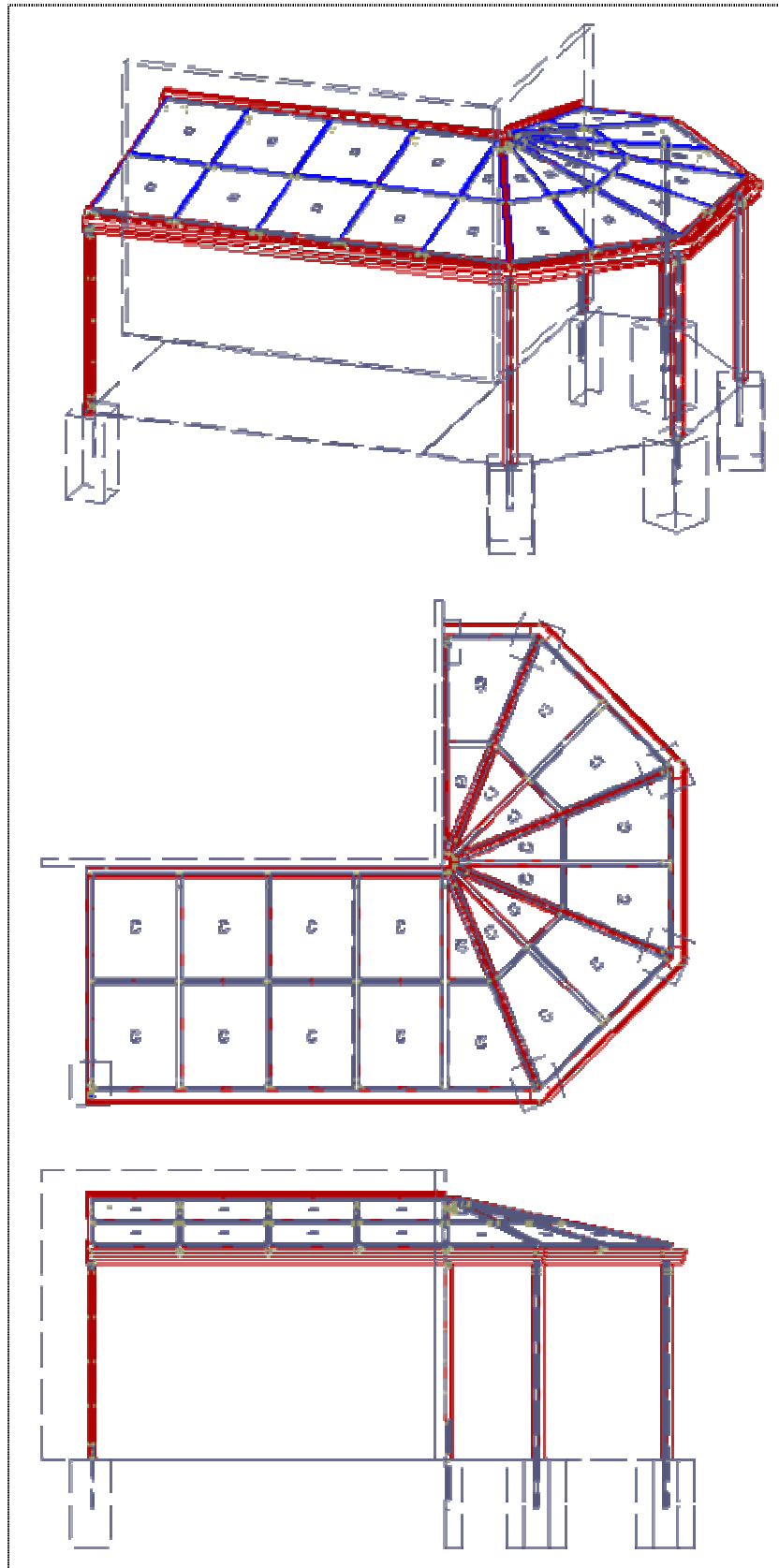


Abbildung 9: 3D CAD-System im Wintergartenbau, Werkbild BOCAD

2.2.3 3D-Volumensysteme im Praxiseinsatz

Allgemein betrachtet, lassen sich 3D-Systeme in drei Klassen einteilen: in das „Drahtmodell“, das „Flächenmodell“ und das „Volumenmodell“. Die Basis dieser Klasseneinteilung bilden die unterschiedlichen rechnerinternen Repräsentationen und auch die Anwendungsbereiche.

„Volumenmodellierer“, auch Solid Modeller genannt, können das geometrische, rechnerinterne Modell generieren, darstellen und auswerten. Volumenmodelle sind bei komplexen Konstruktionen notwendig, bei denen Durchdringungen, Schnitte, Gewichts- und Volumenberechnungen automatisch durch das CAD-System erfolgen müssen, also nicht durch den Bediener erstellt werden. Wegen ihrer Leistungsfähigkeit sind die Volumenmodellierer bei der Modellbildung und Visualisierung in zahlreichen Anwendungsbereichen der Konstruktion und Fertigung einsetzbar, auch im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus, wie Stahlbau, Holzbau oder auch Glasbau.

3D-Modellierer sind bezüglich geometrischer Daten abgeschlossene Systeme. Der Anwender kann jedoch technologische Informationen an bestimmte geometrische Elemente ketten und später auswerten.

Vier Funktionsblöcke können nach Grätz [Grätz 89] in einem Solid Modeller unterschieden werden:

- allgemeine Generierungstechniken,
- gestaltändernde Operationen
- Darstellungsalgorithmen
- Berechnungsfunktionen

Sie bilden die Grundelemente eines „CAD-Betriebssystem“ [Grätz 89], zu dem ergänzende Elemente hinzukommen: Kommandointerpreter, Grafiksystem, Makrosprache, Speicherverwaltung, Datenstruktur-Verwaltung, Anwenderprogrammierschnittstellen und Geräteschnittstellen.

3 Konzeption eines CAD-Systems für Glasbau

„Der Trend geht zu anspruchsvoller Architektur mit origineller und auffallender Baugestaltung.“[M&T4/2001]

Diese Aussage gilt besonders im Glasbau. Wegen der transparenten Eigenschaft des Glases ist alles sichtbar und jedes Detail beeinflusst das gesamte Erscheinungsbild.

Um den heutigen, immer komplexer werdenden Herausforderungen gerecht zu werden, muss Konstruktionssoftware im Glasbau, wie z.B. Architektur-Software oder 3D-Detaillierungsprogramme, konzeptionell dem Glasbau und seinen spezifischen Leistungsmerkmalen angepasst werden. Beim Konzipieren eines CAD-Systems für den Glasbau müssen die heterogenen Erwartungen der zukünftigen Anwender mit allen ingenieurwissenschaftlichen Konsequenzen berücksichtigt werden.

Der Architekt veranschaulicht dem Bauherrn mit seinem Entwurf, wie das Gebäude aussehen wird. Bis hin zur Fertigung planen kann man jedoch nur, wenn auch die Profildaten hinreichend und exakt vorliegen sowie die Anschlussdetails und die Systemlösungen im CAD-System vorhanden sind.

Nachfolgend wird zunächst der heutige Stand der Technik in der Baupraxis von Planungsbüros und Glasbaufirmen vorgestellt.

Es existieren in der Baupraxis 2-dimensionale Softwareprodukte für Glasfassaden [metallbau6/2001]. Sie kommen ausschließlich zur beschränkten Zeichnungs- und Stücklistenenerstellung mit zweidimensionalen Datenstrukturen zur Anwendung. Für einfache Aufgaben, zum Beispiel ebene Fassaden mit Ansichten und einfachen Schnitten, kann dieser Ansatz genügen. Mit einer grafisch orientierten Nutzungsoberfläche wird eine Glasfassade als 2-dimensionales Abbild des Bauobjekts erstellt.

Der Typenkatalog der Firma RP beispielsweise bietet bereits eine Vielzahl

von Standardkonstruktionen des RP-Systems an, die erweitert und in einem Benutzerkatalog gespeichert werden können. In einem Fassaden-Modul kann man Fassadenraster mit beliebiger Feldanzahl erzeugen. Abbildung 10 zeigt eine so erstellte Fassadenkonstruktion im Endzustand. Schnitte werden hierbei interaktiv als 2-dimensionale Zeichnungen erzeugt.

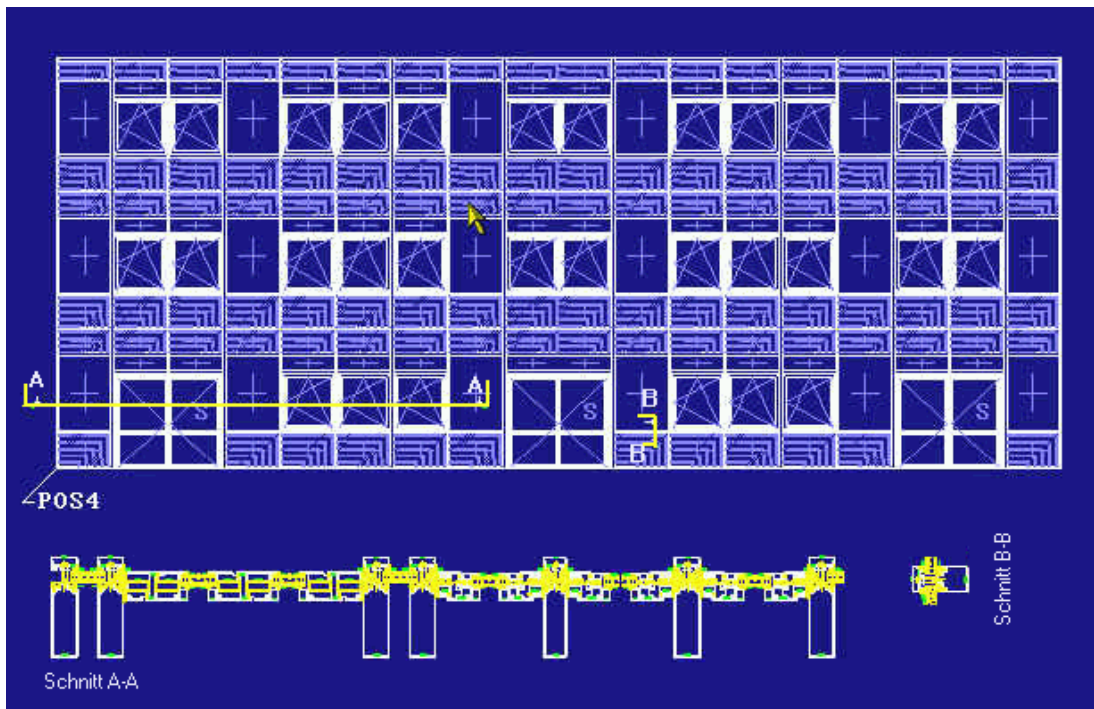


Abbildung 10: CAD-Anwendung für RP-System

Proprietäre 2D-CAD Systeme der geschilderten Art sind weder übergreifend für beliebige Profilhersteller zu nutzen, noch lassen sie das fehlerfreie Konstruieren komplexer, dreidimensional gegliederter Fassaden zu.

Für diese schwierigen und ingenieurwissenschaftlich bisher weitgehend unerforschten Anforderungen wird in den folgenden Abschnitten eine lückenlose Konzeption der Benutzungsoberfläche entwickelt. Die erfahrungsgemäß kritischen Details der Konzeption werden als experimenteller Beweis exemplarisch bis zur Funktionstüchtigkeit implementiert.

3.1 Systemspezifische Arten des Glasbaus

Es gibt keine einheitlichen Glasbauprofile auf dem Markt, sondern alle Hersteller haben eigene Systeme ausgearbeitet, d.h. sie haben ihre eigenen Profilserien und dazu passende Systemregeln z.B. für die Anschlüsse entwickelt. Diese systematisierte Art des Glasbaus spielt eine entscheidende Rolle beim Konzipieren der Benutzungsoberfläche eines CAD-Systems für Glasbau.

Die Profilverhersteller versuchen mit ihren Profilsystemen u.a. in enger Absprache mit Architekten und Metallbauern optische und technische Anforderungen umfassend zu erfüllen. Hierbei sind die wichtigsten Kriterien: Wärmeschutz, Schalldämmung, Stabilität, architektonisch anspruchsvolles Aussehen, Vielfalt von Gestaltungsmöglichkeiten für Sonderkonstruktionen und natürlich Wirtschaftlichkeit.

Wenn das Bauobjekt geplant ist, müssen die benötigten Bauteile rationell innerhalb eines wirtschaftlichen Fertigungsprozesses hergestellt werden. Intelligente geplante Aluminium-Glas-Fassaden leisten einen wesentlichen Beitrag zum nachhaltigen Bauen besonders bei der Konstruktion von Bürogebäuden.

3.1.1 Pfosten-Riegel Glasfassaden

Die Pfosten-Riegel-Konstruktion ist besonderes Typisch für die spezifischen Anforderungen an eine geeignete Benutzungsoberfläche. Sie unterscheidet sich in der Art der Verglasung von einer klassischen Rahmen-Konstruktion dadurch, dass diese in einem separaten Arbeitsgang von außen verglast wird. Die Tragkonstruktion wird aus den vertikalen Pfosten- und horizontalen Riegelementen gebildet. Die Glasscheiben und die Einsetzelemente werden erst nach der Montage (Abbildung 11) der Tragstäbe mit einer Pressleiste oder einer Deck- und Pressleiste auf die Tragstäbe mit der vorgeschriebenen Glaseinstandstiefe von außen angeklemt. Diese Systematik lässt sich

zur Vereinfachung der Benutzungsoberfläche nutzen. Gleichzeitig wird die Fehlervermeidung verbessert.

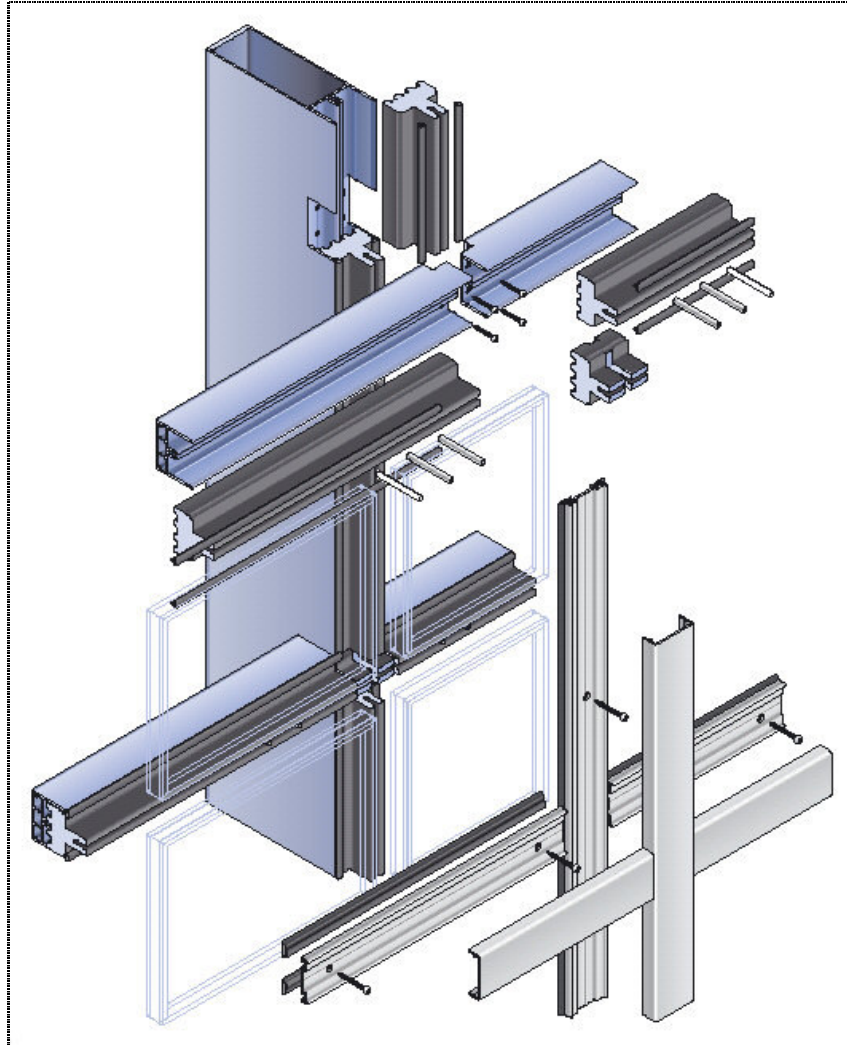


Abbildung 11: Montage eines Pfosten-Riegel Anschlusses, Werkbild RP-System

Typische Anschlüsse bei einer Pfosten-Riegel Bauweise sind:

- Pfosten-Riegel-Anschluss (Abbildung 12)
- Senkrechter bzw. abgeknickter Pfostenstoß (Abbildung 13)
- Fassadenfußpunkt bzw. –kopfpunkt (Abbildung 14)
- Fassadenbefestigung (Abbildung 15)

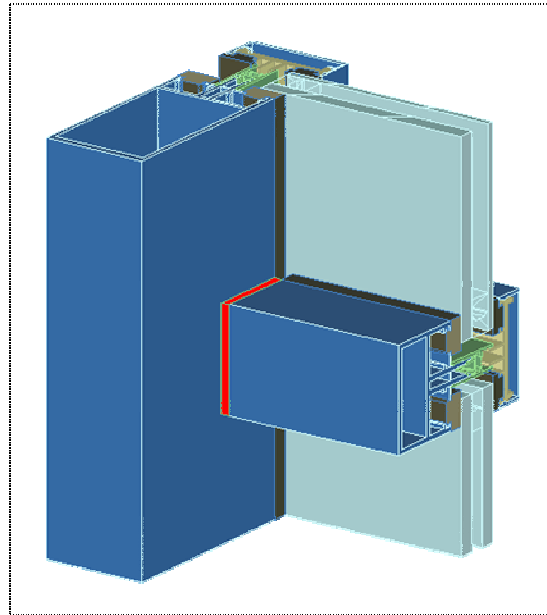


Abbildung 12: Pfosten-Riegel-Anschluss

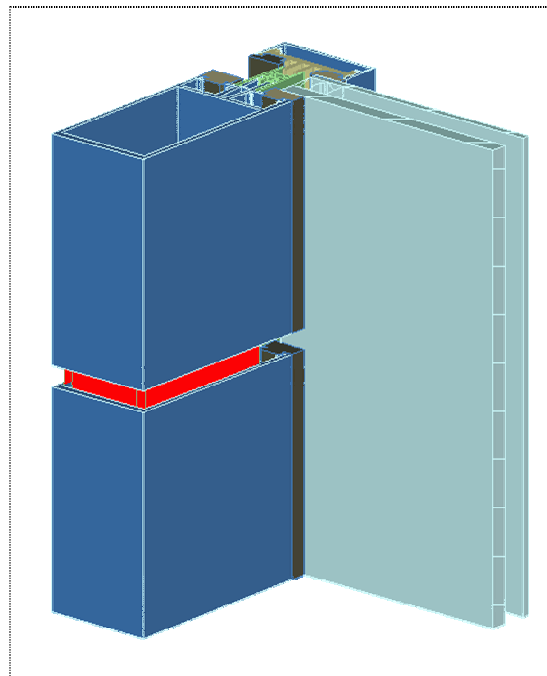


Abbildung 13: Gerader Pfostenstoß

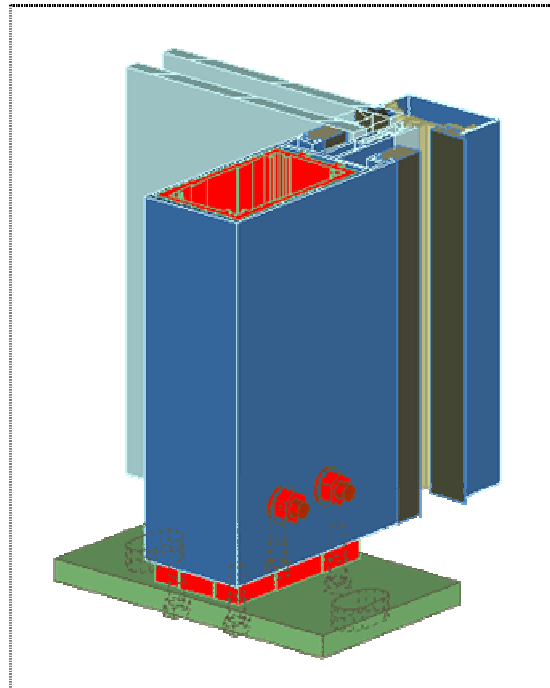


Abbildung 14: Fassadenfußpunkt

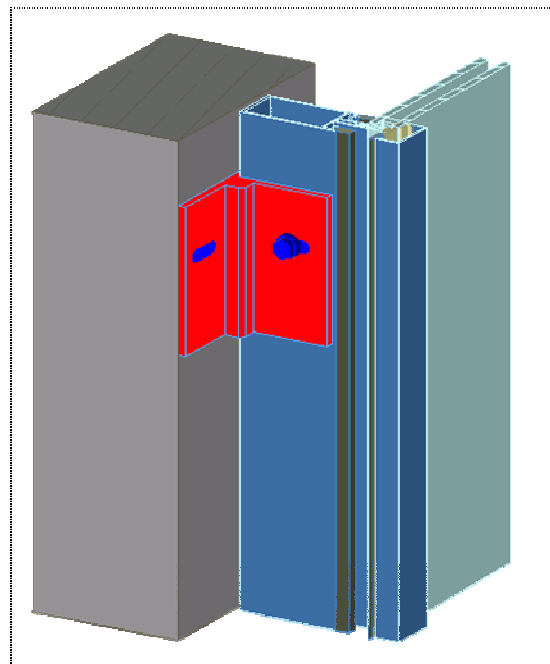


Abbildung 15: Fassadenbefestigung

3.1.2 Aufbau der Konstruktionsprofile

Die wichtigste Basis eines Glassystems bilden die entsprechenden Glasbauprofile, die für unterschiedliche Funktionen hergestellt werden. Aus den einzelnen Profilen mit verschiedener Funktion werden als Kombination die Konstruktionsprofile als zueinander passende Gruppe (Abbildung 16) nach bestimmten Systemregeln von innen nach außen aufgebaut und in der Fassadenkonstruktion verwendet.

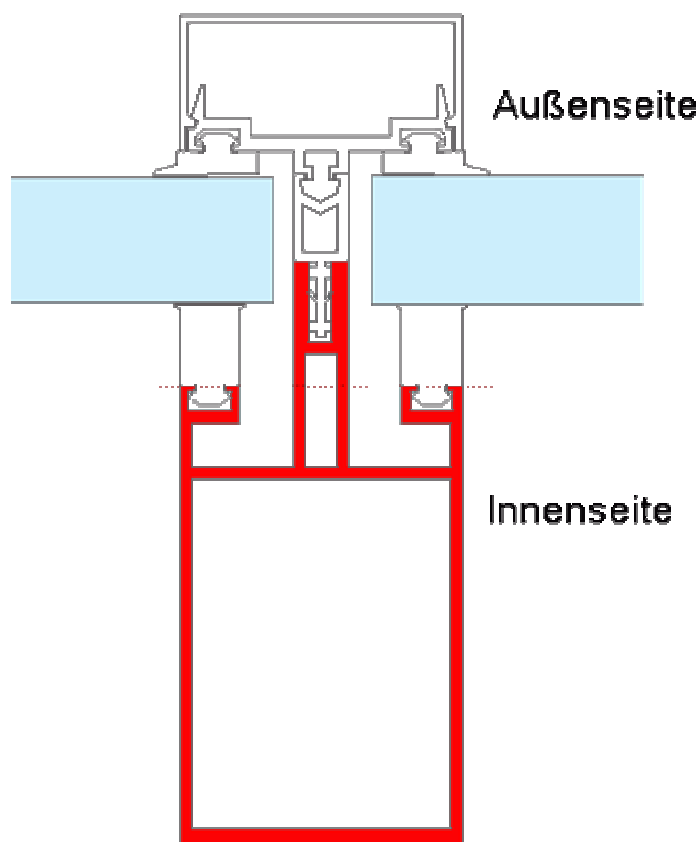


Abbildung 16: Glasbau Pfosten-Konstruktionsprofil, Werkbild RC-System

In den meisten Fällen untergliedern sich die tragenden Hauptprofile in Pfostenprofile (Abbildung 17) und Riegelprofile, die aus Stahl, Aluminium, Holz oder Kunststoff hergestellt werden. Die Breite von Profilen in einer Profilsérie ist immer gleich, damit Profilkombinationen zusammengestellt werden können. Die Bautiefe der Grundprofile wird entsprechend den statischen Anforderungen gewählt.

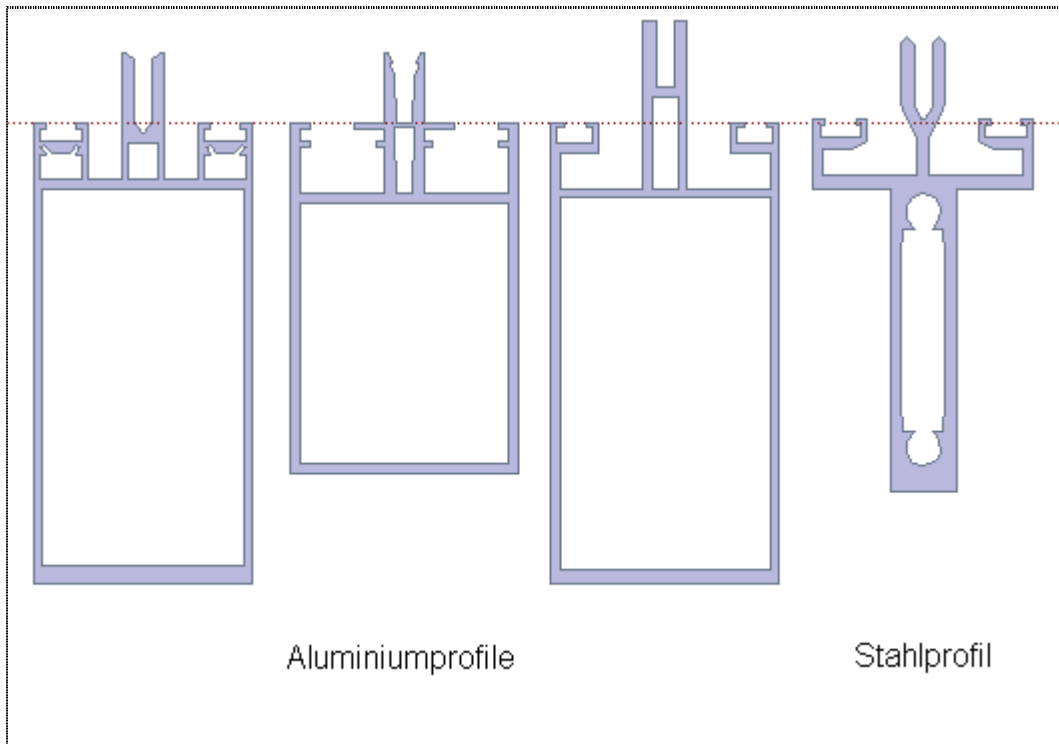


Abbildung 17: Pfostenprofile verschiedener Hersteller

Pfostenprofile werden üblicherweise an Fuß- und Kopfpunkten am Baukörper befestigt. Um die auf sie einwirkenden Kräfte wie Wind- und Eigenlasten aufzunehmen und auf den Baukörper zu übertragen, müssen diese Profile entsprechend dimensioniert werden. Eine genaue Bestimmung der statisch notwendigen Profile ist deshalb zwingend erforderlich. Um eventuell in die Konstruktion eingetretenes Wasser oder auch Kondensat abzuleiten, haben diese Profile spezielle Wasserführungsnuten.

Riegelprofile werden waagrecht zwischen den Pfostenprofilen eingesetzt. Auch sie müssen nach den gleichen statischen Erfordernissen ausgesucht und angewendet werden. Eventuell eingetretenes Wasser oder Kondensat wird in die dafür im Pfostenprofil vorgesehene Wasserführungsnut übergeben und dann kontrolliert nach unten abgeleitet.

Die Verglasung der montierten Fassadenelemente erfolgt von außen mit systemzugehörigen EPDM-Dichtungen oder mit Butylband entsprechend Abbildung 18. Für unterschiedliche Füllungsdicken stehen Isolatoren, Glasabstandsprofile sowie verschiedene Glasdichtungsprofile zur Verfügung.

Abbildung 18 veranschaulicht Fälle unterschiedlicher Füllungsdicken an drei Lösungen verschiedener Hersteller.

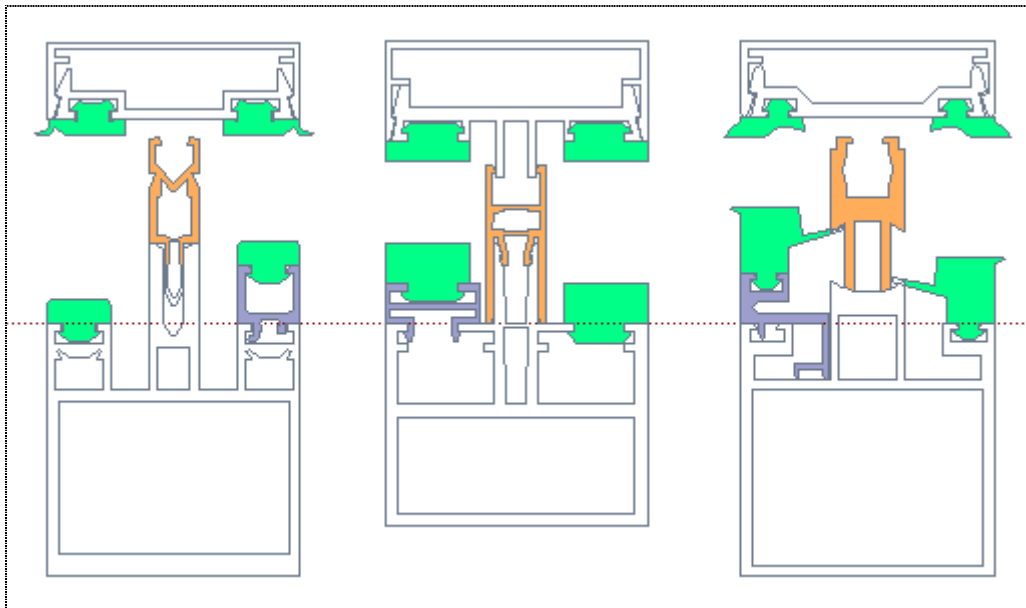


Abbildung 18: Lösungen für Isolatoren, Dichtungen und Glasabstandsprofile verschiedener Hersteller

Die Pressleiste wird durch Schrauben mit dem Tragstab verbunden. Diese werden so stark angezogen, dass die Dichtungsprofile aus EPDM den Glasrand genügend pressen. Die Schrauben in der Pressleiste werden aus ästhetischen Gründen oft mit einer Deckleiste abgedeckt, die auf die Pressleiste aufgesteckt wird. In den folgenden Bildern (Abbildung 19 bis Abbildung 23) sind einige typische Kombinationen von Glasbaugruppen dargestellt an Beispielen der Firmen: Heroal und Schüco.

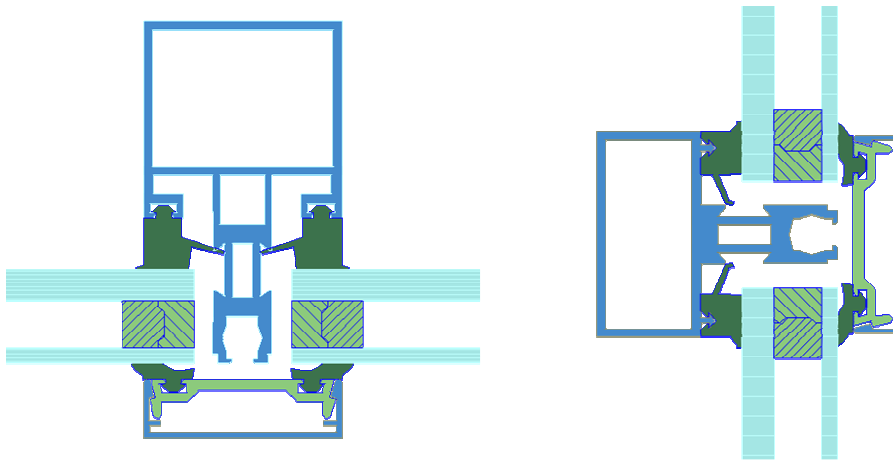


Abbildung 19: Typische Glasbaugruppen: Pfosten und Riegel

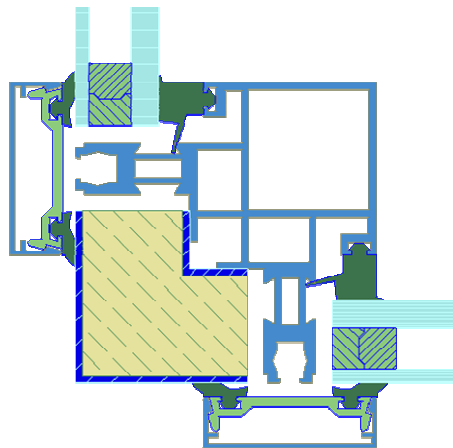


Abbildung 20: Eckpfosten, 90 Grad

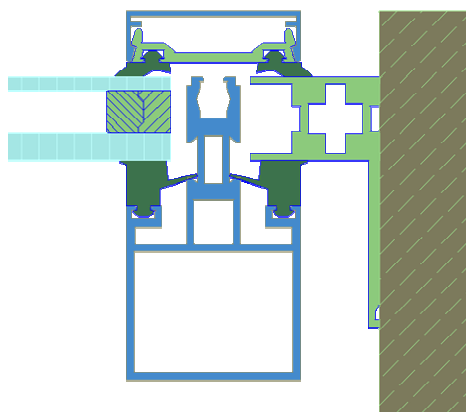


Abbildung 21: Wandpfosten

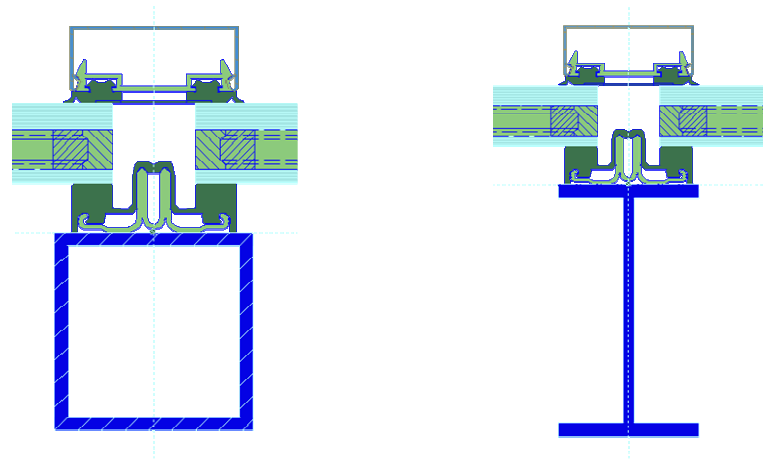


Abbildung 22: Aufsatzkonstruktionen für bauseitige Stahlkonstruktion

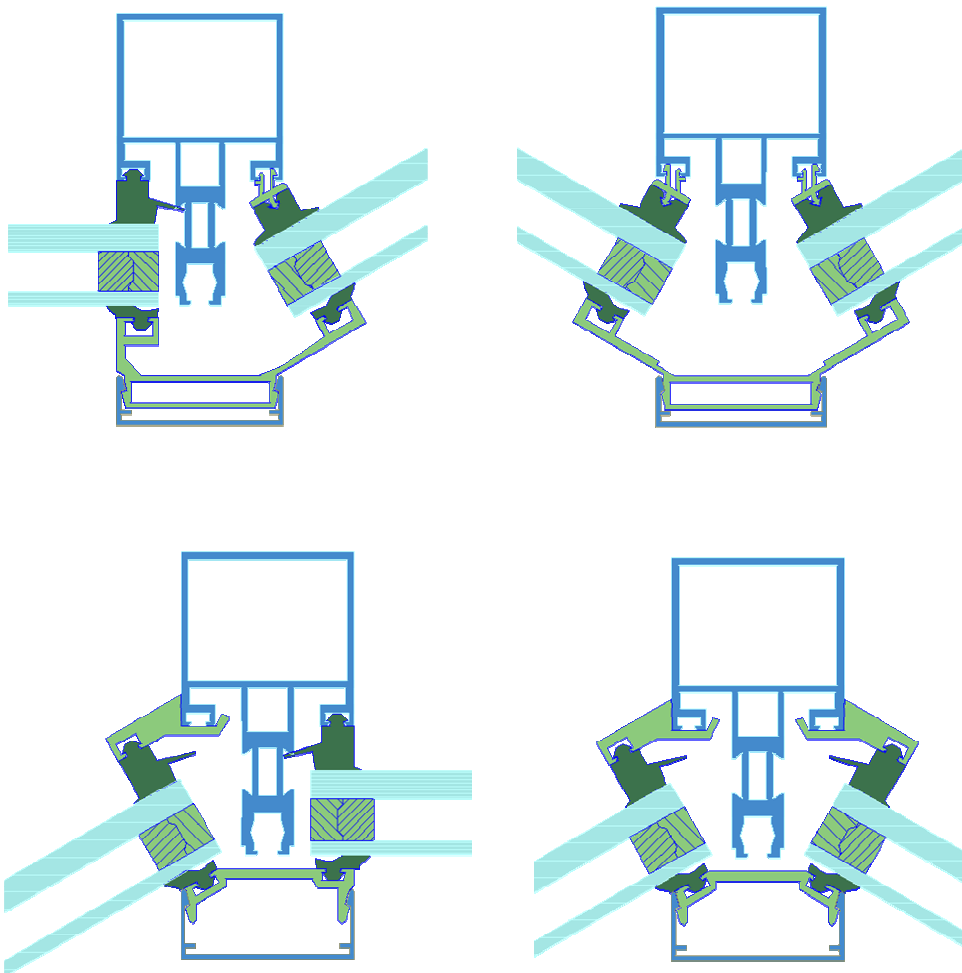


Abbildung 23: Ein- und zweiseitige Innen- und Außeneckgestaltungen

3.2 Konzeption eines CAD-Systems für Glasbau mit spezifischer Benutzungsoberfläche

Das Wesentliche, was den Glasbau vom Stahlbau unterscheidet, ist das Konstruieren mit firmenspezifischen Profilkombinationen für die Tragwerke mit passenden Anschlüssen und die flächige Verglasung. Das Systematisierungsniveau ist also wesentlich höher als im Stahl- oder Holzbau. Diese Problematik ist dadurch lösbar, dass zu jedem Glasbausystem im CAD-System eine Bibliothek entwickelt wird, die die systemspezifischen Informationen enthält.

Diese Informationen sind:

- die geometrischen Daten, technischen Informationen und Merkmale von Glasbauprofilen
- die Struktur der Kombination von Einzelprofilen zu Konstruktionsprofilen bzw. Gruppen
- systemspezifische Eigenschaften der Nutzungsoberfläche für Glasbau
- Daten für die automatische Profilauswahl und automatische Verglasung
- Daten für die Definition systemspezifischer Regeln z.B. für Anschlüsse

Die entsprechenden Systembibliotheken mit den spezifischen Eigenschaften und entsprechender Benutzungsoberfläche werden beim Programmstart des CAD-Systems geladen. Der Systembenutzer hat die Möglichkeit, weitere Glassysteme zu laden, siehe Abbildung 24.

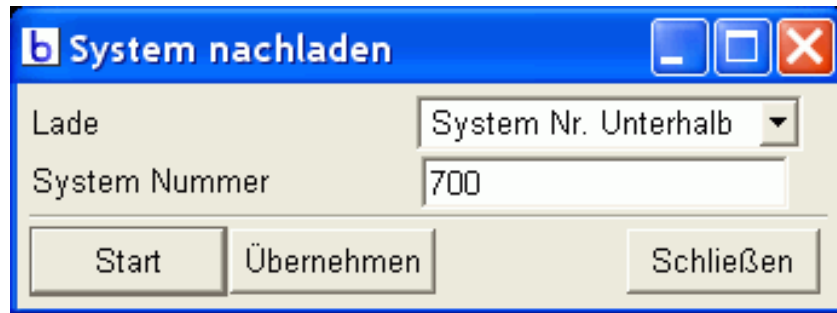


Abbildung 24: Programmfenster: „System Nachladen“, Werkbild BOCAD

3.2.1 Anlegen eines Glassystems

Ein wesentliches Merkmal herstellerübergreifender CAD-Systeme ist die Möglichkeit, neue Profil- und Glassysteme hinzuzufügen. Abbildung 25 zeigt den Ablauf, wie neue Glasbausysteme anzulegen sind.

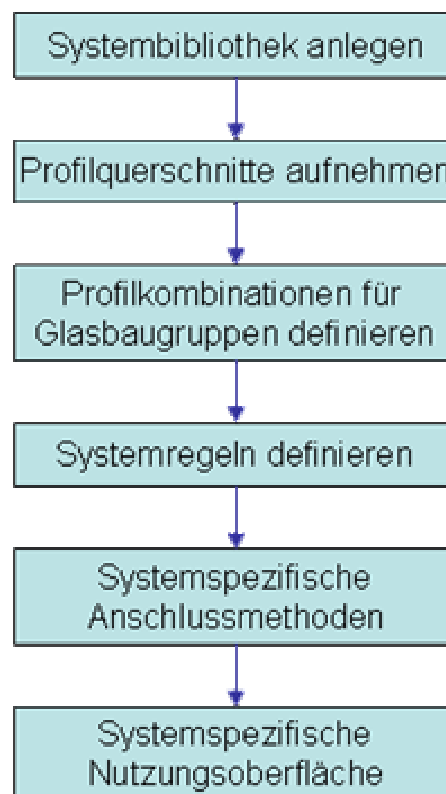


Abbildung 25: Ablaufdiagramm zur Definition neuer Glasbausysteme

Um die geforderten Ansprüche an eine neue Systemprofilserie umzusetzen und auch die Erstellung des Systems zu optimieren, erfolgt zunächst eine Analyse der kompletten Serie.

Der erste Schritt für die Aufnahme eines neuen Profilsystems ist das Anlegen des übergeordneten Glasbausystems im Glasbau-Modul des 3D-CAD-Programms. Im entsprechenden Dialogfeld der Abbildung 26 werden dazu die neuen Systembezeichnungen, die Systemnummer und der Name des neuen Systems eingegeben. Diese Daten kann der Softwareentwickler oder auch der Benutzer definieren. Dabei ist geregelt, welche Nummern für die Anwender zu Verfügung stehen und welche für die Programmentwickler reserviert sind.

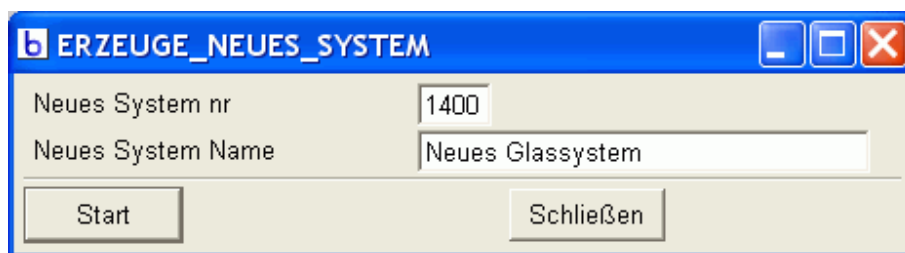


Abbildung 26: Neues Glasbausystem anlegen, Werkbild BOCAD

Im untersuchten Glasbau-CAD-System, in das die hier entwickelte Konzeption der Benutzungsoberfläche aufgenommen wurde, werden die Dateien nach folgender Verzeichnisstruktur organisiert (Abbildung 27):

- Im Verzeichnis „outlines“ werden die Profildaten mit Artikelnummer, Material, Teilekennung und die geometrischen Daten der Profilquerschnitte gespeichert.
- Die Daten, die den kombinatorischen Aufbau der Gruppen assoziierten Konstruktionsprofile definieren, befinden sich im Verzeichnis „assoc“.
- Im Verzeichnis „Config“ werden die Elemente der Benutzungsoberfläche gespeichert, wie Dialogfelder der Konstruktionsmakros, Leitmeldungen und Auswahllisten der Profile.

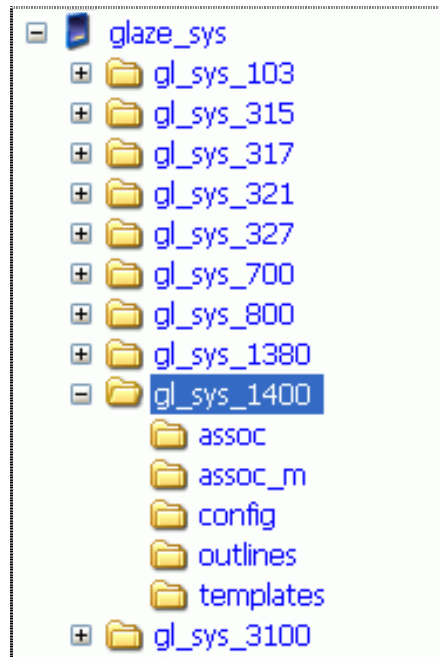


Abbildung 27: Bibliotheksstruktur verschiedener Glasbausystemen

3.2.2 Anlegen von Profilquerschnitten

Unter der Generierung von Profilen in CAD-Systemen versteht man die Erstellung von 3D-Volumenkörpern [vgl. 2.2.3 3D-Volumensysteme im Praxis-einsatz, Seite16] aus 2D-Grafiken. Der Körper des Profilstabes entsteht durch einen Profilquerschnitt, der längs einer Erzeugenden verschoben wird.

Dazu müssen zunächst zweckmäßig gewählte Konturpunkte des Querschnittes erfasst und als Grafikdatei gespeichert werden. Die Hersteller der Profile stellen den Anwendern sehr detaillierte digitale Profilbibliotheken zur Verfügung, zumeist im DXF- oder DWG-Format. Manche Hersteller bieten eigene Programme an, mit denen der Anwender die 2D-Objekte aus der hersteller-spezifischen Bibliothek auswählen und in Zeichnungen einfügen kann. In einem allgemeinen CAD-System sind die so importierten 2D-Zeichnungen in das proprietäre Systemformat des konkreten Systems zu wandeln. Einen Grafikstandard für diesen Zweck gibt es in der Glasbau-Branche noch nicht.

Zur Erzeugung und vereinfachenden Überarbeitung von Profilkonturen bieten CAD-Systeme geeignete graphische Funktionen.

Die Erzeugung von völlig naturgetreuen Volumenmodellen würde den programmtechnischen Aufwand, den Speicherbedarf und die Antwortzeiten von CAD-Systemen in die Höhe steigen lassen. Dies kann bei einer komplexen Konstruktion zur inakzeptablen Verlangsamung des Bildschirmaufbaus führen. Deswegen ist es sinnvoll und notwendig, Glasbauprofile in CAD-Systemen als fachgerecht idealisierte, vereinfachte Objekte aufzunehmen. Ein wichtiger Aspekt ist daher bei der Profilanalyse die Segmentierung der zu generierenden Profile. Darunter versteht man, wie die tatsächliche Kontur des Querschnittes für den zu erstellenden Volumenkörper idealisiert wird.

Das untersuchte CAD-System nutzt zur Idealisierung ein Facettenmodell, bei dem alle Flächen- und Kantentypen auf jeweils nur einen elementaren Typ reduziert werden:

- ebene Fläche und
- gerade Kante.

Infolge dieser Vereinfachung können gekrümmte Oberflächen, wie Ausrundung der Profile, durch stückweise ebene Flächensegmente (Abbildung 28) approximiert werden. Deswegen sind die Algorithmen eines Facettenmodellierers relativ einfach. Sie gestatten dadurch z.B. extrem schnelle Berechnung der Sichtbarkeit von Kanten und Flächen.

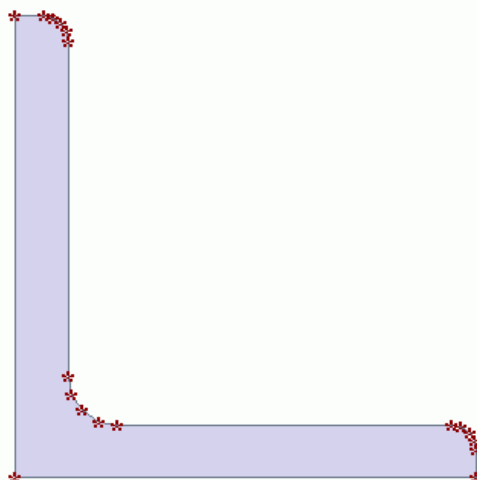


Abbildung 28: Profilsegmentierung

Der Grad der Facettierung (Abbildung 29) kann in sinnvollen Grenzen vom Benutzer gewählt werden.

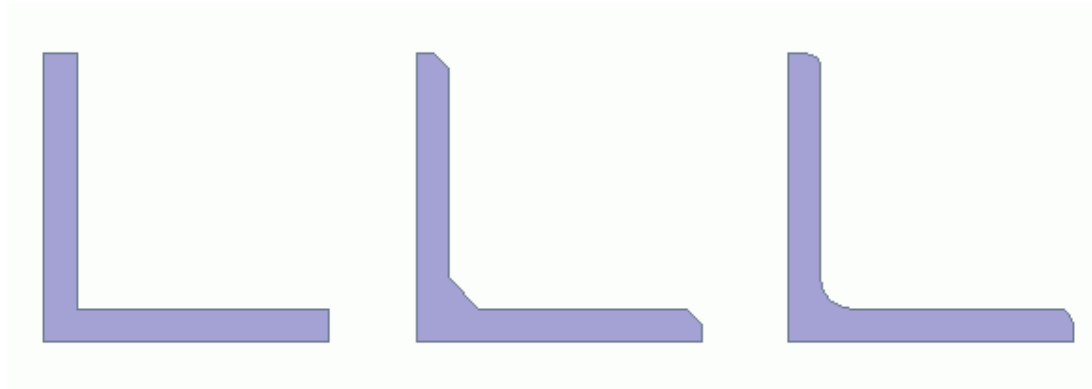


Abbildung 29: Verschiedene Ausrundungen von L-Profilen

Die sparsamste und technisch vorteilhafteste Idealisierung zeigt Abbildung 30. Die tatsächlich abgerundeten Ecken werden nicht segmentiert, sondern es wird lediglich die Kante im Scheitelpunkt erzeugt.

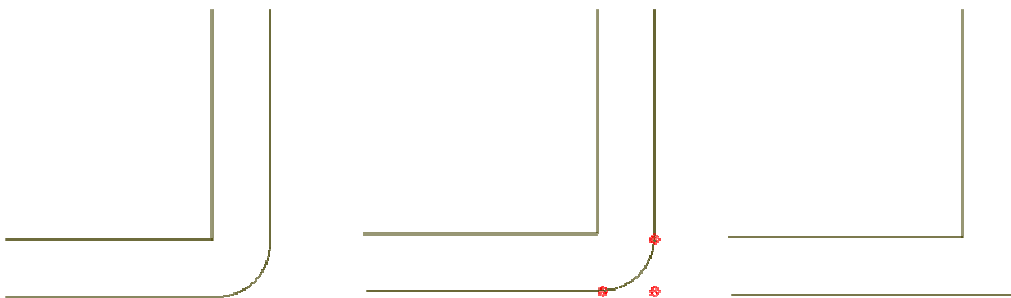


Abbildung 30: Idealisierung von Profilquerschnitten

In Abbildung 31 wird verglichen, wie die Kontur eines Pfostenprofils in Wirklichkeit aussieht und wie sie für das Glasbau CAD-System idealisiert aufgenommen wird. In der Wirklichkeit werden die Profile mit abgerundeten Konturen aus mehreren Einzelteilen hergestellt. Die Anzahl der Konturpunkte und somit die Anzahl von Kanten und Flächen wird im CAD-System stark reduziert.

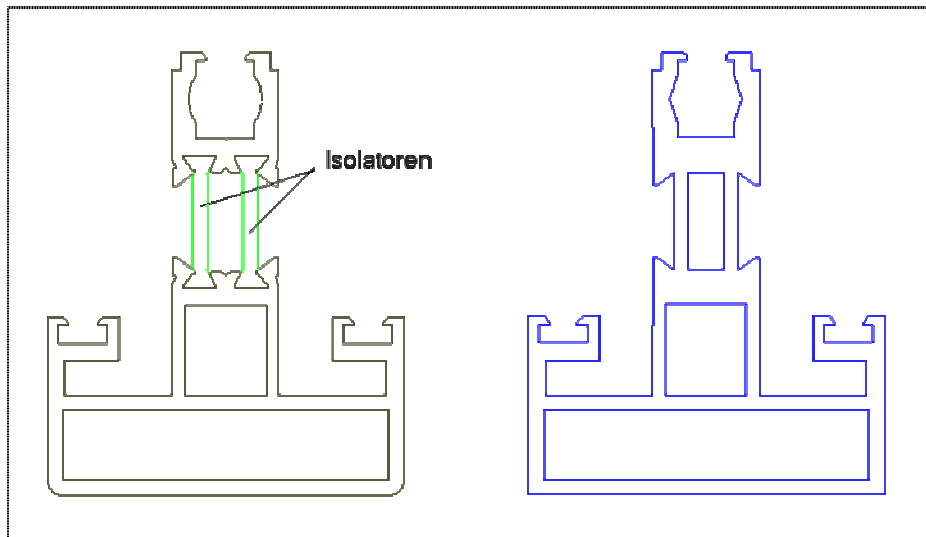


Abbildung 31: Teilekontur naturgetreu und idealisiert im CAD-System

Ein allgemeines Pfostenprofil im Glasbau hat nach dieser Vereinfachung immerhin noch 60-70 Konturpunkte. Ein Stahlbau-I-Profil hat im Vergleich dazu lediglich 12 Eckpunkte. Ein komplettes Konstruktionsprofil mit Dichtungen, Isolator, Klemmleiste und Deckprofil hat durchschnittlich nach der Idealisierung immer noch 250-300 Konturpunkte. Aufgrund dessen hat die Vereinfachung und die Segmentierung wesentliche Bedeutung für akzeptable Antwortzeiten des CAD-Systems. Die Benutzungsoberfläche zur Erfassung und Idealisierung von Profilen wurde deshalb geeignet umgestaltet, siehe Abbildung 35 Seite 37. Profile aus Rohrsegmenten müssen ebenfalls vereinfacht mit möglichst wenigen Konturpunkten aufgenommen werden (Abbildung 32).

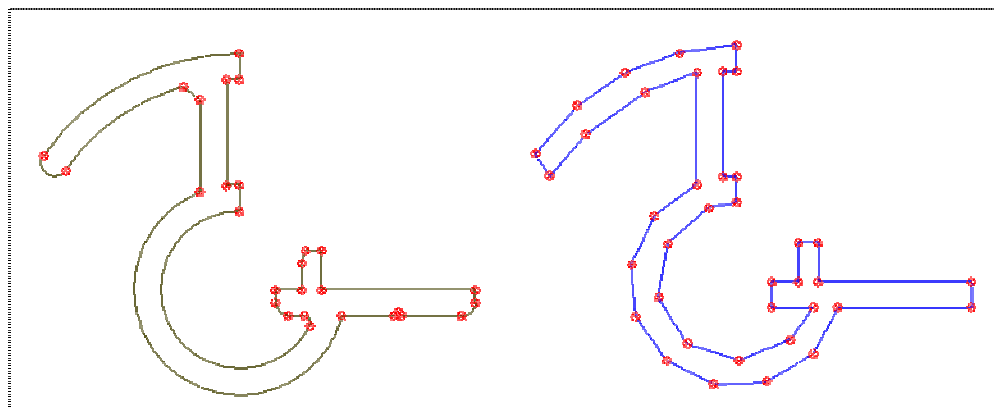


Abbildung 32: Idealisierung eines Glasbauprofils aus Rohrsegmenten

In einer diese Arbeit unterstützenden Diplomarbeit [Wigge] wurde untersucht, welche Zusammenhänge zwischen Speicherbedarf, Bildschirmaufbauzeit, Ausführungszeit der Einzelteilzeichnungen und der Anzahl der Konturpunkte eines idealisierten Profilstabs besteht. Dafür wurde das gleiche Teil in 3 unterschiedlich stark detaillierten Idealisierungen erfasst (Abbildung 33):

- A. Die abgerundeten Ecken werden nicht segmentiert, sondern es wird lediglich die Kante im Scheitelpunkt erzeugt.
- B. Die abgerundeten Ecken werden stark segmentiert aufgenommen mit 3 Punkten
- C. Die Punkte in den Bögen wurden gegenüber Lösung B verdoppelt, so dass die Profildarstellung die architektonisch gewünschte Form bis ins Detail wiedergibt.

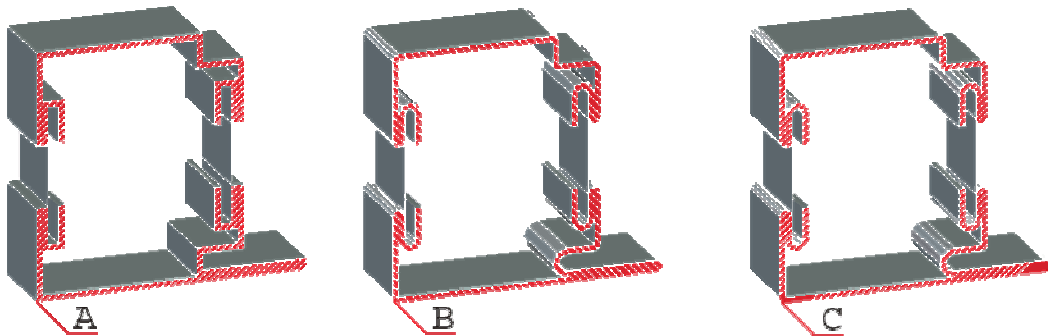


Abbildung 33: Unterschiedliche Idealisierung von Profilquerschnitten

In der Untersuchung wurde eine umfangreiche Konstruktion simuliert, indem das Profil 99-mal kopiert wurde und die 100 Profilstäbe anschließend so abgeschnitten wurden, dass jeder Stab eine unterschiedliche Länge erhielt.

Die an diesem Testfall gemessenen Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Profil	Flächen	Kanten	Punkte	Speicher	Bildschirmaufbau	Einzelteilzeichnungen
A	52	300	100	13 Kb	01:70 s	167.2 s
B	109	642	214	27 Kb	06:49 s	169.9 s
C	152	900	298	38 Kb	12:43 s	175.8 s

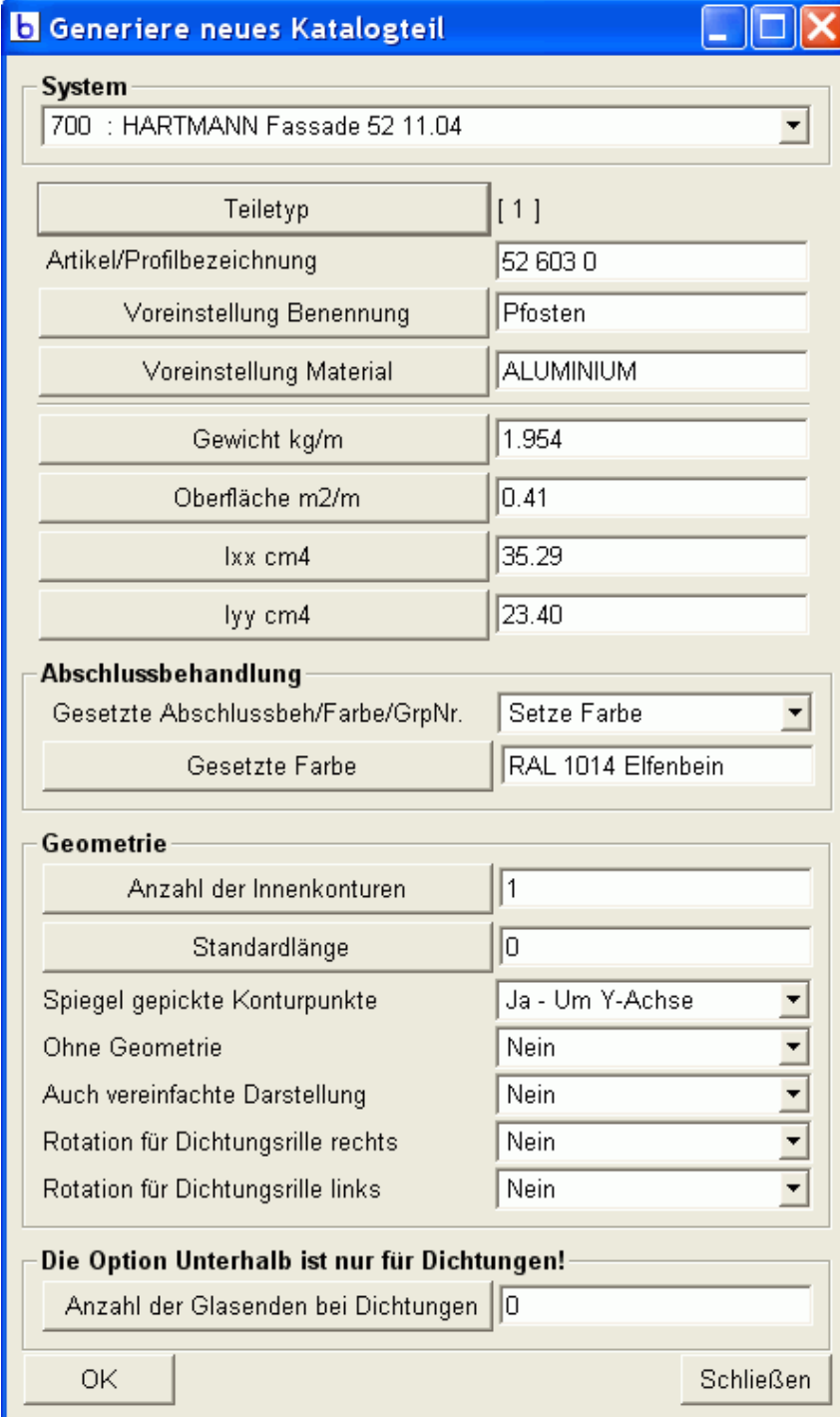
Abbildung 34: Einfluss unterschiedlicher Idealisierung von Profilquerschnitten

Mit dem Anwachsen der Flächenanzahl steigt der Speicherbedarf linear, die Zeit für den Bildschirmaufbau steigt stark überproportional und erreicht rasch die Akzeptanzgrenze.

Für den Entwurf von Glasbau-Konstruktionen halten es alle befragten Fachunternehmer für ausreichend, die Profile mit eckiger Querschnittkontur aufzunehmen. Allerdings ist für Detaildarstellungen zusätzlich eine Möglichkeit für eine wirklichkeitsgetreuere Darstellungsart anzubieten, bei der die Profilausrundungen auch berücksichtigt werden. Die Benutzungsoberfläche sieht deshalb diese Möglichkeit vor, um die entsprechenden Darstellungsalgorithmen des untersuchten CAD-Systems zu unterstützen.

3.2.3 Anlegen der Datenbasis für neue Profilstäbe mit Eigenschaften

Abbildung 35 zeigt das Dialogfenster für das Anlegen von Profilstäben mit ihren Eigenschaften.



Generiere neues Katalogteil

System

700 : HARTMANN Fassade 52 11.04

Teiletyp [1]

Artikel/Profilbezeichnung 52 603 0

Voreinstellung Benennung Pfosten

Voreinstellung Material ALUMINIUM

Gewicht kg/m 1.954

Oberfläche m2/m 0.41

lxx cm4 35.29

lyy cm4 23.40

Abschlussbehandlung

Gesetzte Abschlussbeh/Farbe/GrpNr. Setze Farbe

Gesetzte Farbe RAL 1014 Elfenbein

Geometrie

Anzahl der Innenkonturen 1

Standardlänge 0

Spiegel gepickte Konturpunkte Ja - Um Y-Achse

Ohne Geometrie Nein

Auch vereinfachte Darstellung Nein

Rotation für Dichtungsrille rechts Nein

Rotation für Dichtungsrille links Nein

Die Option Unterhalb ist nur für Dichtungen!

Anzahl der Glasenden bei Dichtungen 0

OK Schließen

Abbildung 35: Dialogfenster für Profilstäbe mit ihren Eigenschaften

Zuerst gilt es, den Teiletyp aus der Funktionsliste entsprechend Abbildung 36 zu wählen. Hiermit werden die Profile nach Profiltypen in der Datenbank sortiert. Im CAD-System wird über den Teiletyp die interne Teilekennung gesteuert, die bei der Entwicklung von Konstruktionsmakros von Bedeutung ist. Auf der Nutzungsoberfläche reicht der Teiletyp. Die daraus abgeleiteten Teilekennungen sind programminterne Kennzeichen.



Abbildung 36: Funktionsliste von Teiletypen im Glasbau

Unter Artikel/Profilbezeichnung, dem zweiten Eingabefeld der Abbildung 35, versteht man die vom Hersteller vergebene Bestellnummer. Diese dient der Auswertung in den Stücklisten und für die Zeichnungen. Diese Profilbezeichnung, die eindeutig ein Profil definiert, ist durch entsprechende, betriebsinterne Ausbildung bei allen Mitarbeitern und auch Zulieferern bekannt.

In den folgenden Eingabefeldern der Abbildung 35 werden weitere technische Daten eingegeben, wie z.B. die Anzahl der Innenkonturen, Standardlänge des Profilstabes oder bei Dichtungen weitere spezielle Daten. Wegen der Idealisierung der Profilkonturen müssen die naturgetreuen Daten, wie Gewicht und Oberfläche pro Meter und das Trägheitsmoment, – die z.B. für den Datenaustausch mit Fremd-Systemen wichtig sind –, nach Herstelleran-

gaben exakt eingegeben werden, da die berechneten, idealisierten Werte in der Praxis nicht genügend genau akzeptiert werden.

Der weitere Ablauf des Generierungsprozesses für Glasbauteile im 3-dimensionalen CAD-System wird in Abbildung 37 vorgestellt.

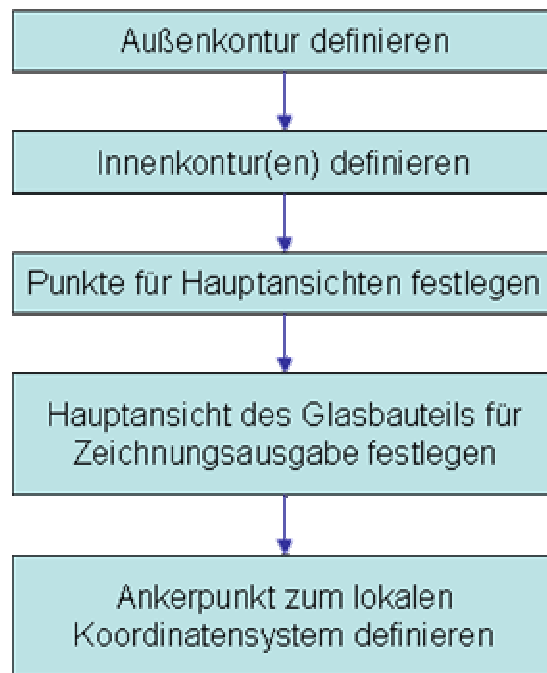


Abbildung 37: Ablaufdiagramm für die Generierung von Glasbauteilen

Um im verwendeten CAD-System eine Kontur zu beschreiben, müssen die Konturpunkte in der Reihenfolge gegen den Uhrzeigersinn eingegeben werden. So kann nämlich programmintern in den Algorithmen die Innen- und die Außenseite der Profilkontur unterschieden werden. Der erste und letzte Punkt der erfassten Außenkontur wird automatisch mit einer Kante verbunden, so dass sich stets ein geschlossenes Polygon ergibt. Die Innenkonturen werden nach dem gleichen Konzept bestimmt.

Um das Verlegen der Profilstäbe bezüglich der Rotation um die Stabachse durch benannte Hauptansichten für den CAD-Ingenieur am Bildschirm zu erleichtern, werden die Hauptansichten für die Benutzungsoberfläche entsprechend Abbildung 38 vom Entwickler definiert.

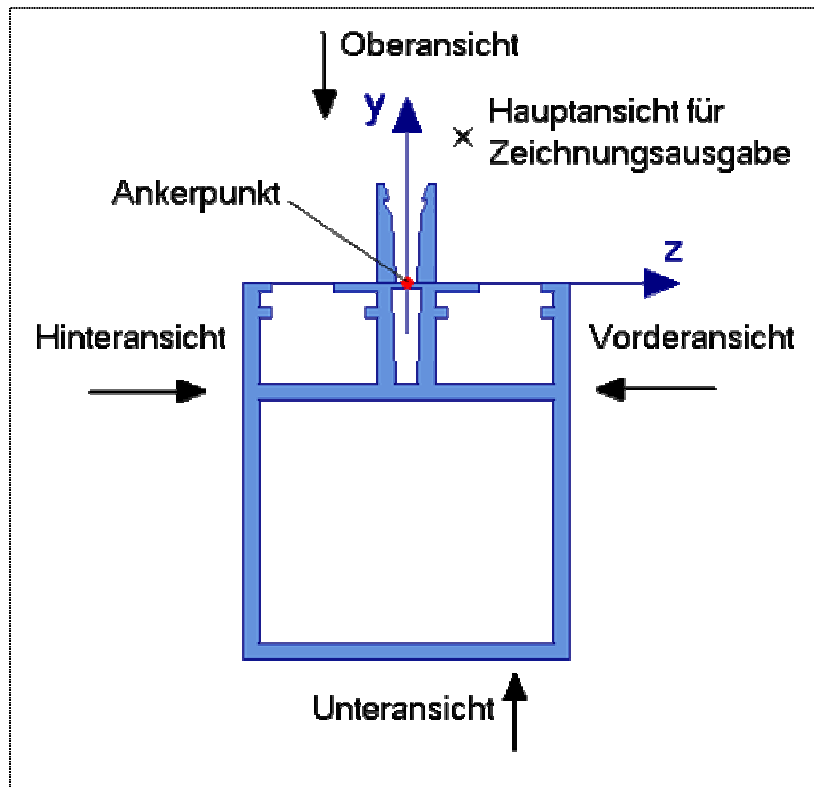


Abbildung 38: Hauptansichten eines Profilstabes

Die bevorzugte Hauptansicht des Profilstabes für automatische Einzelteilzeichnungen wird mit einem Punkt außerhalb des Querschnittes definiert, der die entsprechende Betrachtungsseite festlegt, siehe Abbildung 38.

Damit die unterschiedlichen Profile eines Profilsystems relativ zueinander durch Algorithmen passend platziert werden können, ist für jedes Profil ein Referenzpunkt zu definieren, der Ankerpunkt genannt wird.

- Der Ankerpunkt ist gemeinsamer Bezugspunkt für die Verlegung des Profilstabs insbesondere beim Kombinieren von Profilen zu Glasbaugruppen.
- Bei der Methodenprogrammierung, z.B. für die automatische Detaillierung von Anschlüssen an Knoten, werden über den Ankerpunkt die Verlegepunkte und das lokale Koordinatensystem des Profilstabs bestimmt.

Bei den Glasbauprofilen muss der Ankerpunkt daher fachlich und funktional sinnvoll schon beim Aufbau des Systems in der Benutzungsoberfläche

definiert werden. Dieser ist also ein fixer Punkt zusätzlich zur Profilkontur, der den hinzugefügten Teilen in den Profilkombinationen als Bezugspunkt dient.

Der Ankerpunkt bei Pfosten und Riegeln muss bewirken, dass die Glasfläche bei den vertikalen und horizontalen Stäben auf der gleichen Ebene aufliegt. Er ist bei den Pfosten und den Riegel meistens durch den Schnittpunkt der Mittelachse mit der theoretischen Glasauflagerfläche definiert, siehe Abbildung 38. Eine Ausnahme bildet das System Schüco FW 50+, weil bei diesem System die Glasfalze der Pfosten und Riegel in verschiedenen Ebenen liegen, siehe Abbildung 39.

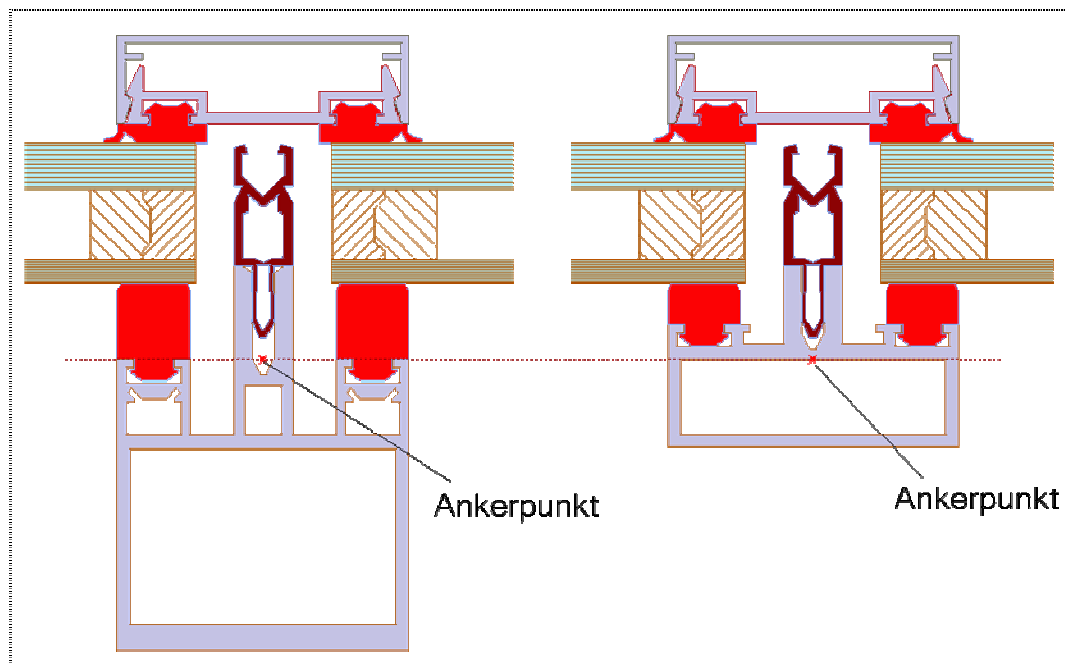


Abbildung 39: Ausgleich des Höhenversatzes durch unterschiedliche Dichtungshöhen im System Schüco FW 50 +

Hierbei wurden 3 Entwässerungsebenen definiert, wobei das auftretende Kondensat vom höher liegenden Riegelglasfalz in den tiefer liegenden Pfostenglasfalz und von dort kontrolliert nach unten abgeleitet wird. Dieses Prinzip ist durch Schüco-International patentrechtlich geschützt. Der Pfosten-Riegel-Anschluß in diesem System gleicht den zusätzlichen Höhenversatz durch unterschiedliche Dichtungshöhen aus.

Spiegelsymmetrie von Teilen wird in der Benutzungsoberfläche genutzt, um die Generierung zu vereinfachen. So ist es ausreichend, die Profilkontur nur einer Seite der Symmetrieachse aufzunehmen und dann programmintern spiegeln zu lassen. Dazu ist lediglich die Spiegelachse anzugeben.

3.2.4 Dichtungsgenerierung

Das automatische Platzieren und passende Zuschneiden von Glasscheiben für die Pfosten-Riegel Felder hat Einfluss auf die Auswahl von Glasdichtungen. In dem untersuchten 3D-Glasbaumodul werden dazu Hilfsweise 3 zusätzliche Punkte bei der Dichtungsgenerierung vom Systementwickler definiert, siehe Abbildung 40.

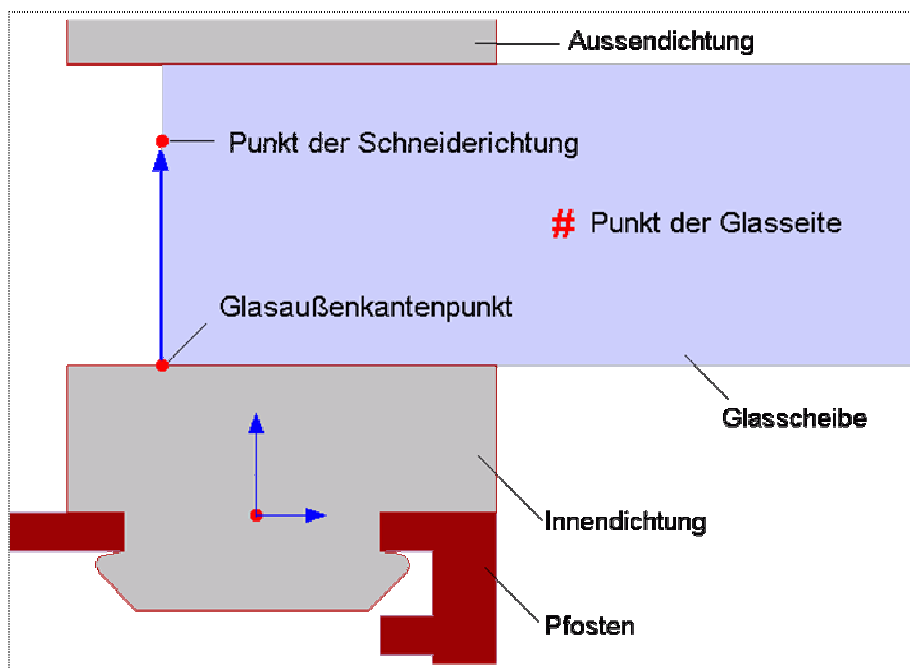


Abbildung 40: Definierte Hilfspunkte für die automatische Ermittlung der Glasscheibenkontur

Der Glasaußenkantenpunkt und der Punkt der Schneiderichtung nach Abbildung 40 bestimmen eine Schnittebene in Richtung der Längsachse der Dichtung, die die Glasscheibe begrenzt. Der in Abbildung 40 mit dem Symbol „#“ markierte Hilfspunkt zeigt, auf welche Seite dieser Schnittebene die Glasscheibe zu platzieren ist.

3.2.5 Nachgebogene Profilquerschnitte

Abbildung 41 veranschaulicht einen mit besonderen Eigenschaften versehenen Profilquerschnitt, der nach der Herstellung durch einen Walzprozess zur individuellen Verwendungssituation passend nachgebogen werden kann.

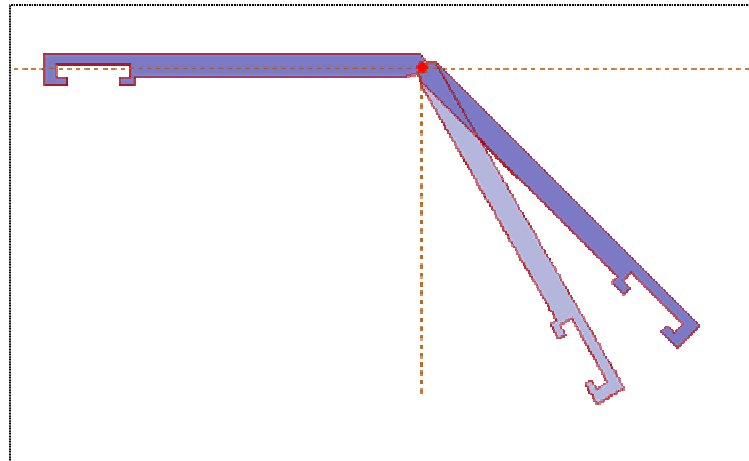


Abbildung 41: Spezielles Profil mit parametrisiertem Knickwinkel

Um diesen Ablauf programmtechnisch zu verwirklichen wird über die Benutzungsoberfläche bei der Profilgenerierung ein entsprechender Parameter definiert, der bei der Platzierung des Bauteils mit dem aktuellen Wert besetzt wird. Die lokalen Koordinaten und die Konturpunkte des Profils sind dynamisch, d.h. sie werden abhängig von diesem Parameterwert erzeugt.

In dem dargestellten Beispiel handelt es sich um ein spezielles Klemmprofil, dessen Knickwinkel als Parameter vordefiniert ist. Das zunächst ebene Profil kann um einen begrenzten Knickwinkel nachgebogen werden.

Der Vorteil dieser Ausführung zeigt sich nicht nur bei der Profilgenerierung, wo dasselbe Profil abhängig von dem Parameter unterschiedlich aussieht, sondern auch bei der Baugruppengenerierung. Mit derselben Gruppe sind der Standardfall und alle weiteren Fälle zwischen 110° (Abbildung 42) und 130° (Abbildung 43) abdeckbar. Die Elemente der Gruppe verdrehen sich um den Drehpunkt. Die Form des Klemmprofils wird immer automatisch angepasst.

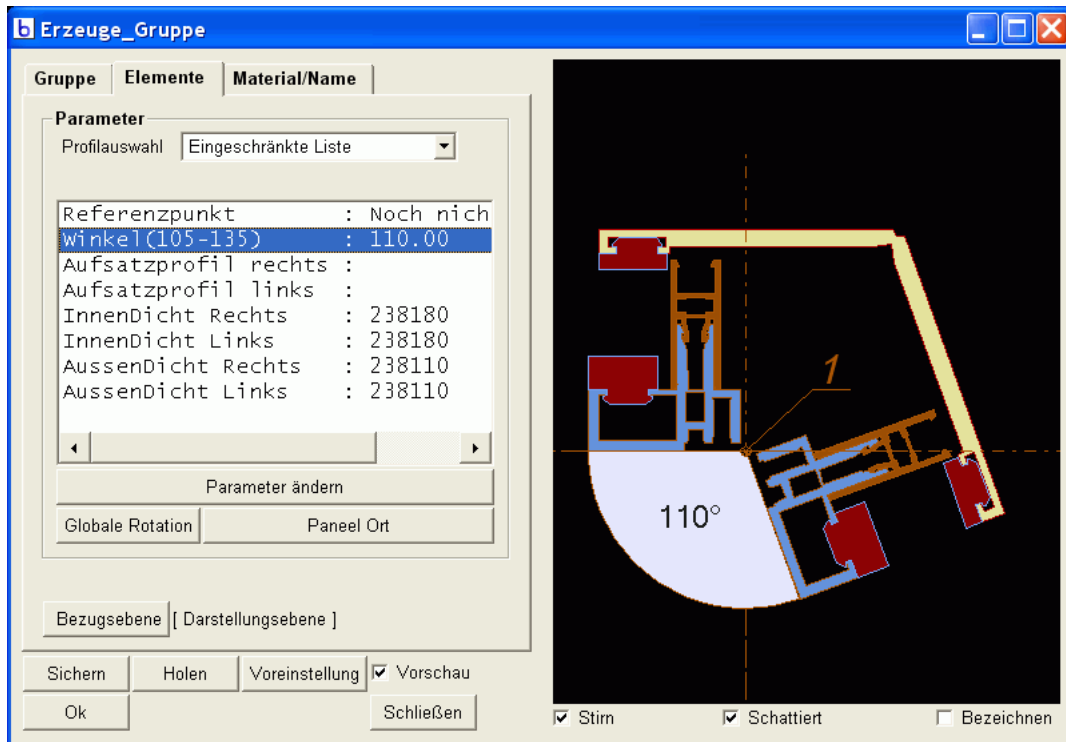


Abbildung 42: Nachbiegbares Klemmprofil in der Baugruppe bei 110°

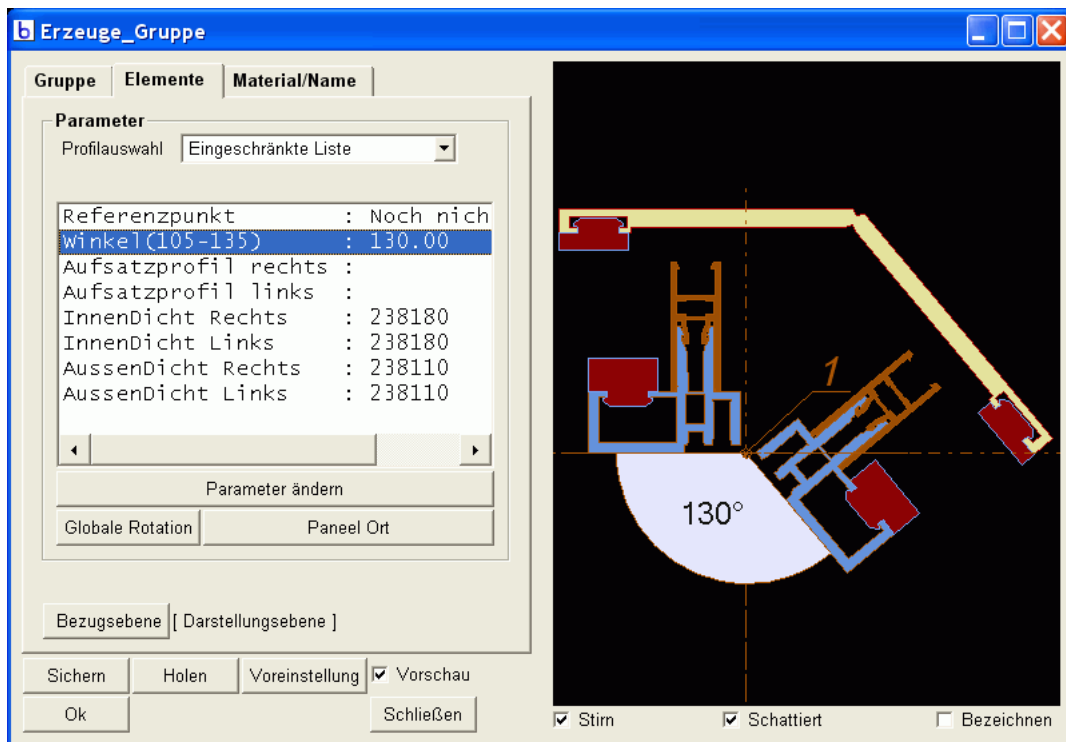


Abbildung 43: Nachbiegbares Klemmprofil in der Baugruppe bei 130°

3.2.6 Ändern von Profilen

Nach dem Anlegen eines neuen Profilsystems muss der Anwender die Möglichkeit haben, die Daten zu kontrollieren, zu editieren, zu korrigieren oder Informationen abzufragen, siehe Abbildung 44.

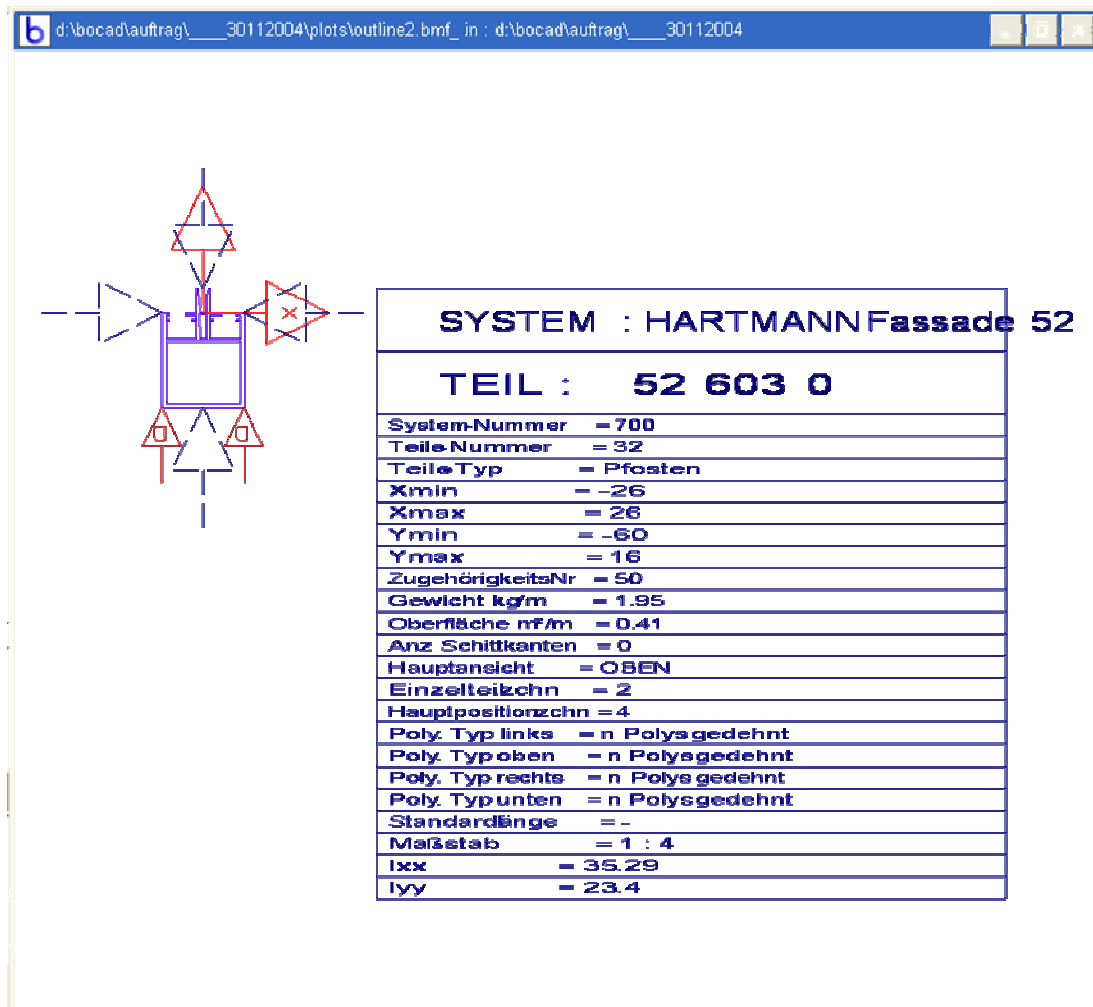


Abbildung 44: Teileinfo, Werkbild: BOCAD

Um Profildaten zu ändern, stehen dem Anwender die folgenden Optionen zur Verfügung:

- Teil umbenennen, kopieren, in System umkopieren
- Teil rotieren, spiegeln
- Teilekontur editieren

- Teiledaten editieren
- Ankerpunkt verschieben
- Zeichnungsdaten editieren
- Glas-Verlegepunkte editieren
- Teil löschen

Die Benutzungsoberfläche bietet dazu geeignete Eingabefelder und Leitmeldungen an.

3.2.7 Gruppendefinition für die Kombination von Teilen zu Konstruktionsprofilen

Ein Glasbau-Konstruktionsprofil besteht, wie bereits beschrieben, nach bestimmten Systemregeln aus mehreren Einzelteilen. Den Profil-Baugruppen werden als veränderbarer Parametersatz die Glashalteleisten, Dichtungen und weitere Variablen hinzugefügt. Der grundsätzliche Ablauf dazu ist in Abbildung 45 dargestellt.

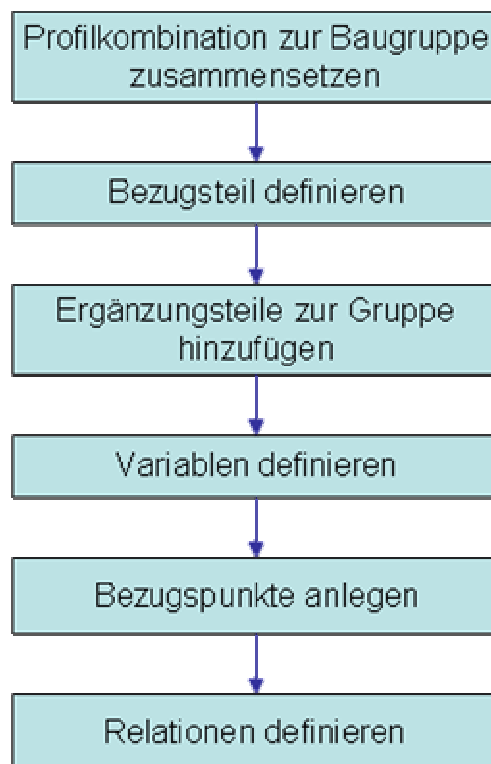


Abbildung 45: Ablaufdiagramm zur Gruppendefinition

Die Profilkombination wird mit einer graphischen Benutzungsoberfläche aus den aufgenommenen Einzelteilen zusammengesetzt. Jedes platzierte Profil bekommt eine eigene Identnummer in der Datenbank. Nach dem Prozess der Gruppendefinition kann die Gesamtheit aller zu einem Konstruktionsprofil gehörigen Teile gemeinsam als eine Baugruppe mit nur einem Befehl platziert werden.

Zu diesen Teilen gehört in der Datenbank neben den Einzelteileneigenen Identnummern auch eine übergeordnete Identnummer, die die Baugruppe definiert. Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen die Daten eines Einzelteils bzw. die Daten eines Teils einer Baugruppe.

The screenshot shows the BOCAD software interface. At the top, there is a text box for 'Teile-Identnummer' containing the value '100019' and a button labeled 'Teile-Daten' with a red arrow pointing to the right. Below this is a table with columns 'Teil', 'Geometrie', 'Profil', 'Spezielles', and 'Sonstiges'. The table contains 11 rows of data. A red box highlights the cell 'Übergeordnetes Bauteil' in row 1, column 'Geometrie', and the value '2' in row 1, column 'wert'. Another red box highlights the value '526030' in row 9, column 'wert'. To the right of the table is a technical drawing of a post profile with a dashed centerline and the number '526030' written below it.

Teil	Geometrie	Profil	Spezielles	Sonstiges
1	Eigenschaft			wert
1	Übergeordnetes Bauteil			2
2	Leitteilkennung			Ja
3	Leitteil			unpositioniert
4	Positionierungszustand			unpositioniert
5	Teilsystem			2 : Konstruktionsabschnitt
6	Positionsnummer			1
7	Positionstext			1
8	Benennung			Pfosten
9	Profil			526030
10	Werkstoff			ALUMINIUM
11	Teilekennung			50

Abbildung 46: Pfosten als Einzelteil platziert, Werkbild BOCAD

In Abbildung 46 wurde ein Pfostenprofil – Artikelnummer: 526030 – als Einzelteil verwendet. Es hat die Identnummer: „100019“ in der Datenbank erhalten. Das „Übergeordnete Bauteil“ hat den Wert „2“, was programmintern bedeutet, dass dieses Teil zu keiner Baugruppe gehört.

In Abbildung 47 wurde das gleiche Pfostenprofil – Artikelnr.: 526030– hingegen als Bestandteil einer Baugruppe verwendet. Jetzt werden zu dem Teil eine „Teile-Identnummer“ (100020) und auch eine übergeordnete Identnummer (100028) zugeordnet.

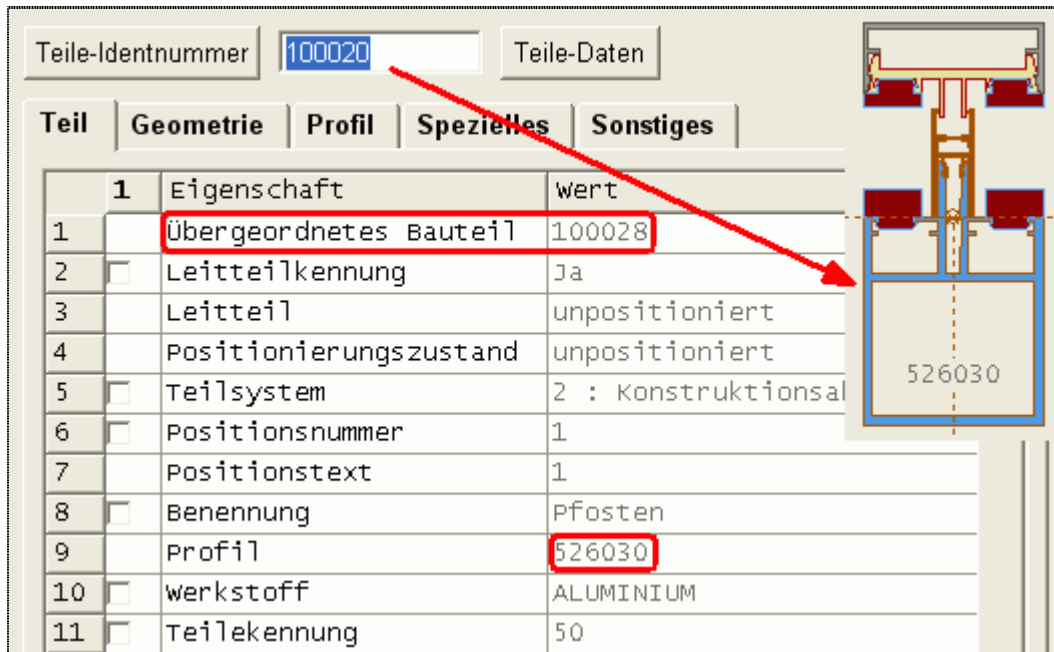


Abbildung 47: Pfosten in einer Baugruppe, Werkbild BOCAD

In der Gruppe haben also alle Einzelteile eine eigene Identnummer und eine übergeordnete Identnummer, die für alle Teile der Gruppe gleich ist.

In den meisten Fällen wird als Hauptteil einer Gruppe der Pfosten oder der Riegel genutzt. Der Logik des Profilsystems folgend werden die weiteren Teile der Baugruppen einander zugeordnet.

3.2.8 Gruppenvariablen

Die Gruppendifinition erlaubt auch Funktionalitäten der Glasbaugruppe insgesamt festzulegen. Zwischen den Eigenschaften der Teiledaten und den geometrischen Daten werden Relationen aufgebaut. Sie ermöglichen, mit dem gleichen Relationssystem verschiedene Glasbaugruppen zusammenzustellen, siehe Abbildung 48. Dies ermöglicht in stark vereinfachender Form der Benutzungsoberfläche, bei gleicher Funktionalität Einzelteile einer Gruppe auszutauschen und so eine neue Gruppe zu bilden.

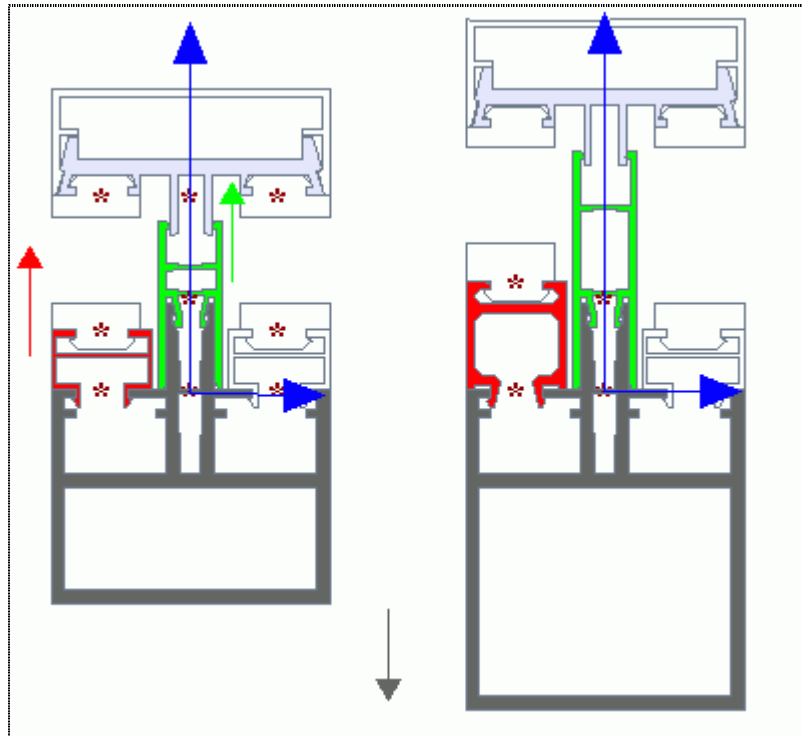


Abbildung 48: Funktionale Lage der Einzelteile einer Gruppe zueinander (Relationen)

Abbildung 48 stellt zwei funktional gleiche Kombinationen dar, die anhand der gleichen Relationen aus verschiedenen Pfosten und – abhängig von der Glasdicke – verschiedenen Isolatoren und Glasaufsatzprofilen aufgebaut sind.

Die Einzelteile werden zueinander über ihren Ankerpunkt platziert. Der Abstand dieser Ankerpunkte wird bei der Gruppendefinition in der Datenbank gespeichert. Ankerpunkte liegen immer auf einer konstant bleibenden Bezugslinie des Teils. Wenn man ein Teil gegen ein anderes Teil austauscht verändert sich dieser Abstand. Daher wird dessen Wert über eine Gleichung definiert, die den Abstand automatisch aktualisiert.

Bei gleicher Funktionalität wird so der Einfluss unterschiedlicher Glasdicke auf die Anordnung passender Einzelteile in einer Gruppe automatisch berechnet. Abbildung 49 zeigt, wie sich in Abhängigkeit von der Glasdicke die relative Lage und die Form des Isolators und des Klemmprofils ändert.

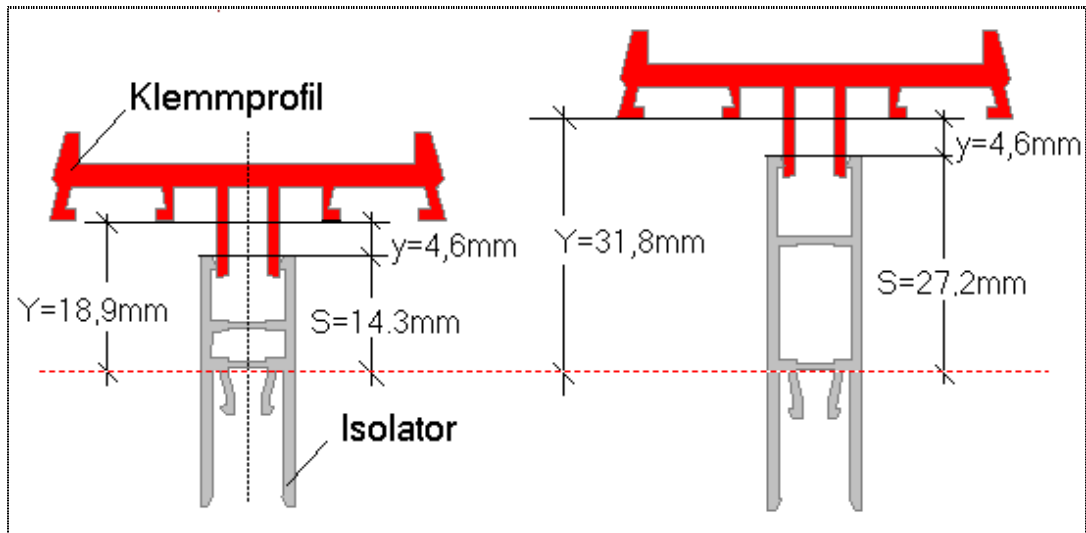


Abbildung 49: Form und Lage von Isolator und Klemmprofil in Abhängigkeit von der Glasdicke

Der Abstand der Ankerpunkte als Konstante ($Y=18,9$ mm) reicht, wenn der Isolator nicht austauschbar ist. Wenn in der Gruppe der Isolator jedoch gegen Ähnlichkeitsteile austauschbar ist, dann muss der jeweilige Abstand mit folgender Gleichung intern berechnet werden:

$$Y = y + S$$

Y besteht aus einer konstanten ($y=4,6$ mm zwischen dem Ankerpunkt des Klemmprofils und dem obersten Punkt des Isolators) und aus einer variablen Komponente (S). Die konstante Komponente „ y “ wird während der Gruppendefinition ausgewertet und mit ihrem Wert gespeichert. Die variable Komponente „ S “ wird aus der Geometrie des aktuellen Isolators berechnet.

3.2.9 Verglasungstabellen

In jedem Glasbausystem gelten Systemregeln für die Verglasung in Form von Tabellen. Sie definieren, mit welchen Isolatoren, Glasaufsatzprofilen und Dichtungen die entsprechenden Glasfalze ausgebildet werden.

Verschiedene Glasdicken werden über Dichtungen, Glasfalzverkleinerungsprofile und Isolatoren mit unterschiedlicher Größe konstruktiv berücksichtigt.

In dem meisten Glasbausystem gibt es allerdings mehrere Lösungen von Profilkombinationen, die eine bestimmte Glasdicke zulassen. Meistens bestimmen jedoch die Glasdicke und der gewählte Isolator zusammen eindeutig die zu verwendenden Dichtungen und Glasfalzverkleinerungsprofile.

Abbildung 50 zeigt als Beispiel die Verglasungsregel der Profilserie „heroal 080“. Hierbei ist der Isolator geometrisch konstant im Hauptprofil integriert. Aus der Glasdicke ergeben sich dann eindeutig die passende Dichtung und das Glasfalzverkleinerungsprofil.

Dieser eindeutige, über Regeln festgelegte Sachverhalt zur Auswahl der einzelnen Komponenten und ihrer relativen Lage gestattet die Entwicklung von CAD-Methoden, die diese Entscheidungen automatisiert ohne Interaktion des Benutzers treffen. Dies ist der Idealfall einer vereinfachten Benutzungsoberfläche. Sie entfällt durch Automatisierung.

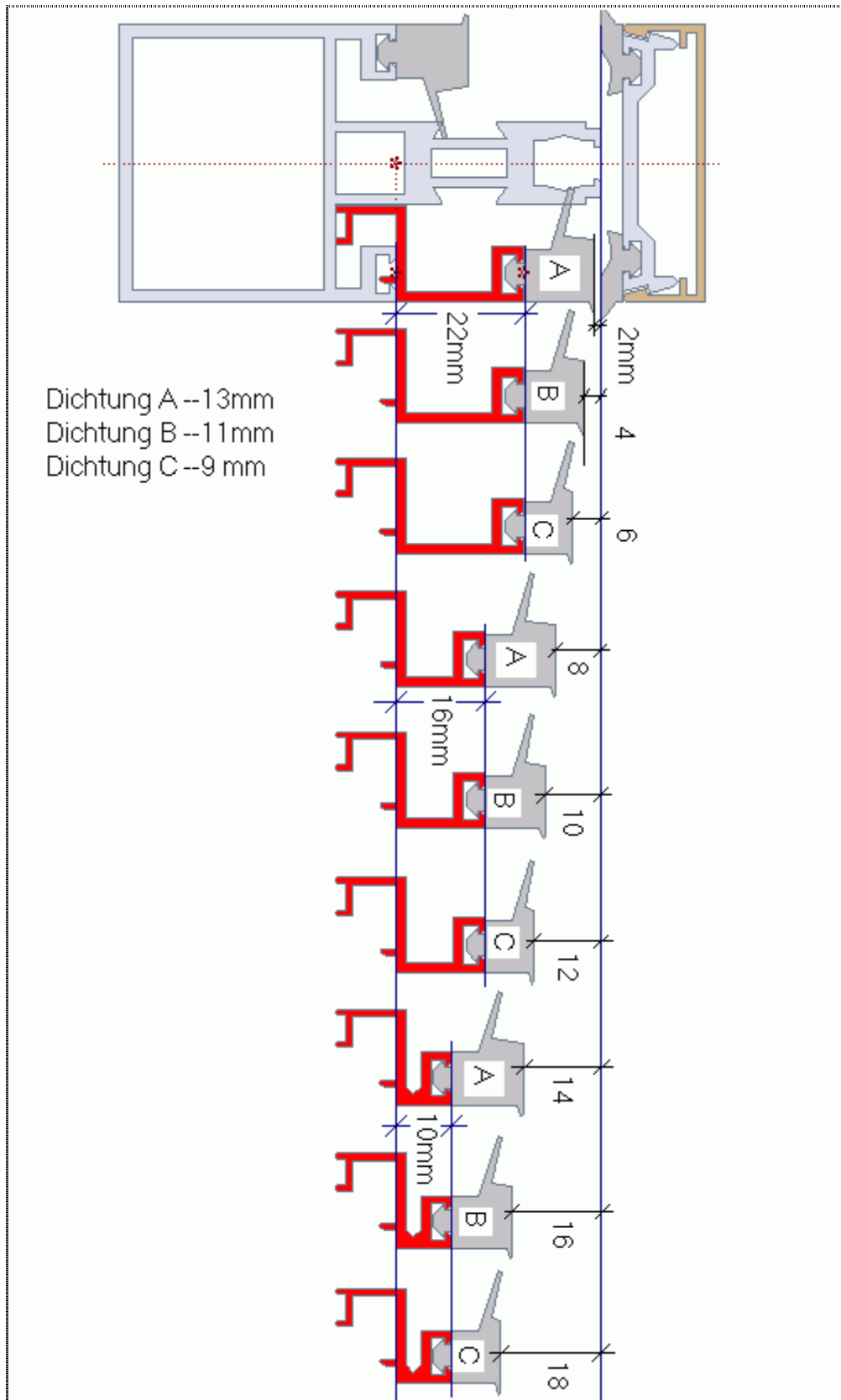


Abbildung 50: Verglasungstabelle, Werkbild heroyal 080

Eine der besonderen Leistungen des untersuchten CAD-Systems ist das automatische Ermitteln der Kontur der Gläser, die fachgerecht inkl. Toleranzen in die Felder eingepasst werden.

Das untersuchte Glasbaumodul bietet die folgenden drei Möglichkeiten eine Glasscheibe zu platzieren:

- Die Pfosten und Riegel bilden ein geschlossenes Polygon. Die Glasscheibe wird dann automatisch zwischen den Dichtungen platziert und mit passender Kontur versehen.
- Bei einem offenen Polygon muss die offene Kante durch eine Hilfslinie vorgegeben werden.
- In Sonderfällen kann die Kontur einer Glasscheibe durch Polygonpunkte interaktiv vorgegeben werden.

3.2.10 Systemsspezifische Glasbau-Anschlussmethoden

Da die im Glasbau verwendeten Profile stets herstellerspezifische Formen haben, müssen die CAD-Methoden, mit denen die Anschlüsse konstruiert werden, ebenfalls herstellerspezifische Regeln berücksichtigen. Zu konkreten Profilsystemen, z.B. Schüco FW 50+, bietet die entwickelte Benutzungsoberfläche des CAD-Systems daher spezifische Dialogfelder für Riegel/Pfosten-Anschlüsse, Fußpunkte etc., siehe Abbildung 51.

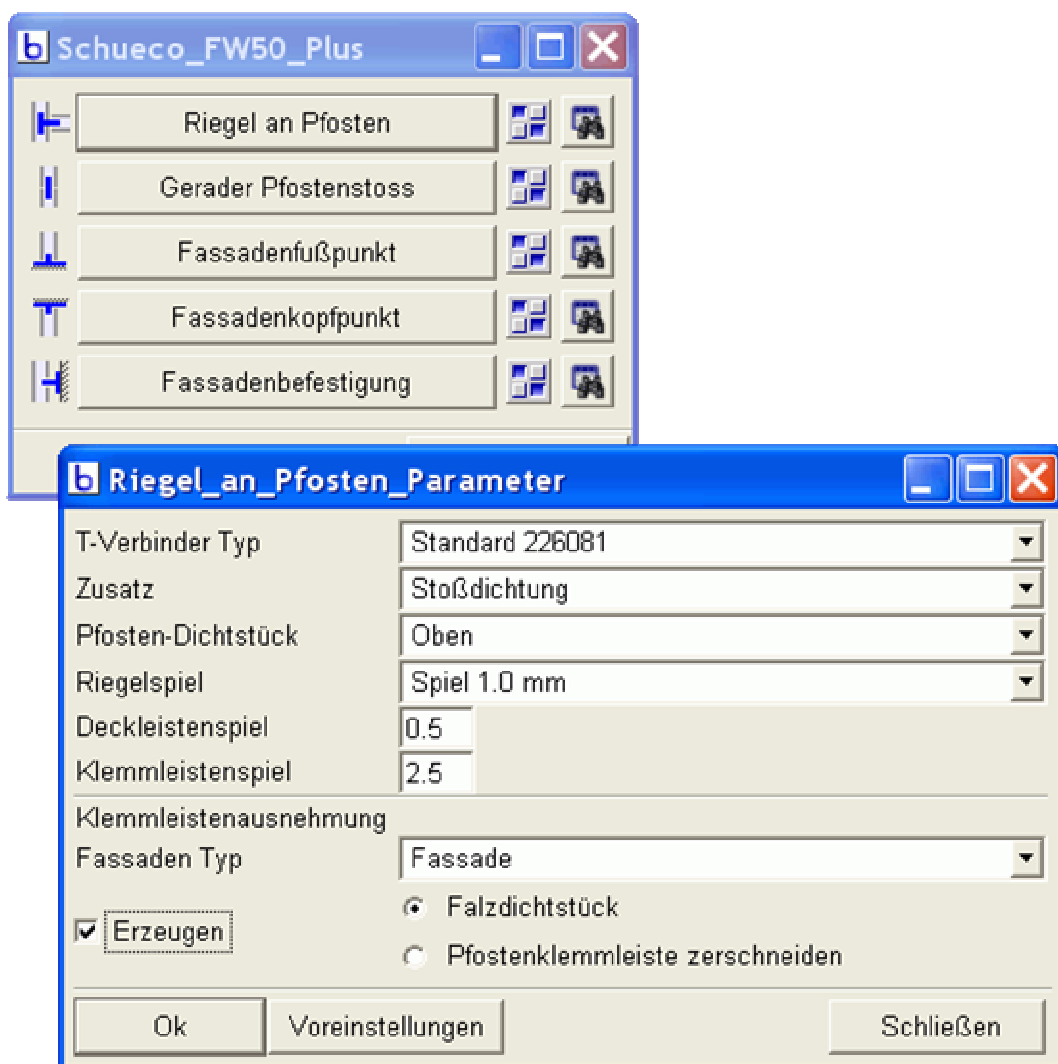


Abbildung 51: Auswahlbox für Anschlüsse

4 Konzeption einer Nutzungsoberfläche für Glasbau

4.1 Anforderungen an Softwareprodukte

„Auch Kunden sind heute viel komplexer als früher, weil wir das Zeitalter der Bedürfnisökonomie hinter uns gelassen haben und in einer Wunschökonomie leben. Bedürfnisse wie Hunger oder Durst kann man befriedigen. Wünsche hingehend sind unendlich“ [D. Bosshart].

4.1.1 Ingenieurwissenschaftliche Forschung unter realen Bedingungen

Es macht den besonderen Reiz ingenieurwissenschaftlicher Forschung aus, reale Probleme zu lösen. Ein CAD-Hochleistungssystem muss dabei z.B. im Glasbau die Aufgabe lösen, komplexe konstruktive Zusammenhänge so automatisch zu erkennen und auszuwerten, dass der Anwender am Bildschirm lediglich die Aufgabenstellung einzugeben hat, nicht jedoch die einzelnen Lösungsschritte. Die „Denkprozesse“ des Konstruierens und Detaillierens finden also im CAD-System statt. Dazu sind fachspezifisch diese Denkprozesse zu erforschen und so zu formalisieren, dass sie als CAD-Methoden formuliert und programmiert werden können.

Erst die Verlagerung konstruktiver Denkprozesse in das CAD-System macht eine so vereinfachte Bedienung am Bildschirm möglich, dass die in der Bau-praxis real verfügbaren Arbeitskräfte das CAD-System auch tatsächlich wirtschaftlich nutzen können. Die Benutzungsoberfläche ist dabei die entscheidende Schnittstelle zwischen dem Anwender am Bildschirm und dem CAD-Hochleistungssystem. Welche zunächst schwer greifbar erscheinenden Praxisforderungen bei der Konzeption und Gestaltung einer Glasbau-Nutzungsoberfläche durch ingenieurwissenschaftliche Forschung zu lösen sind, zeigen folgende Beobachtungen.

4.1.2 Extremforderungen

Ein CAD-Hochleistungssystem muss auf der Produktseite immer komplexere Aufgaben lösen. Die andere Seite ist die Kundenseite der Anwender, wo Wünsche nach radikaler Einfachheit steigen. Komplexität und Einfachheit dürfen keine Gegensätze sein, sondern sie müssen sich komplementär ergänzen. Die Abbildung 52 zeigt schematisch die Beziehungen zwischen Kunden, Anbieter und Produkt.

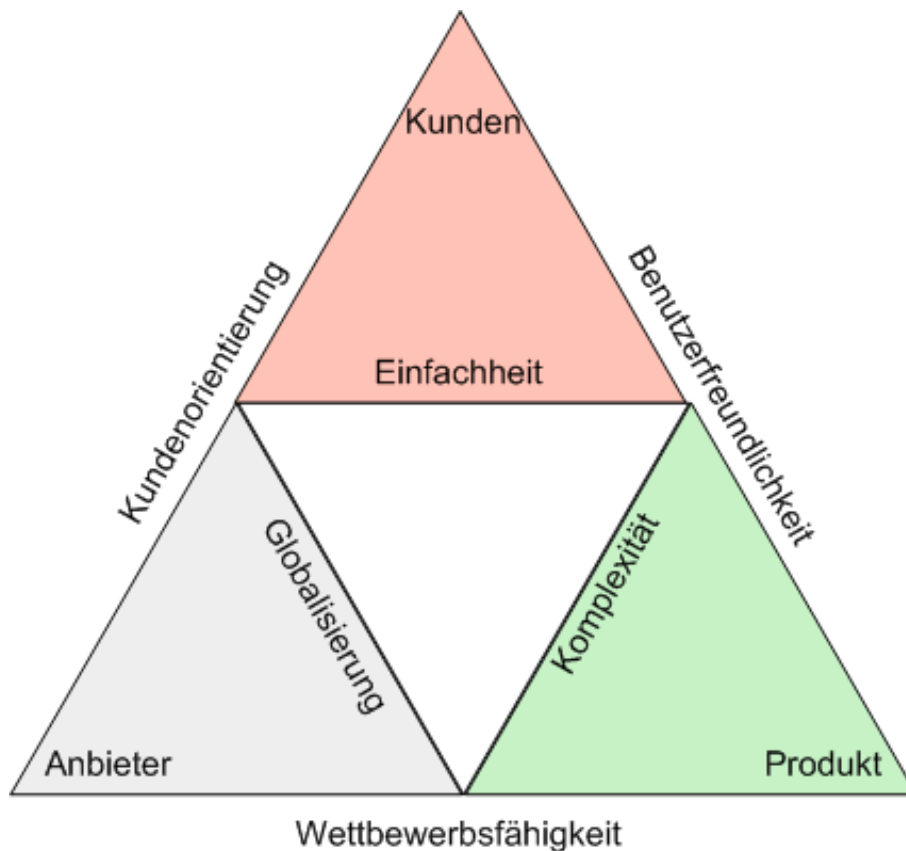


Abbildung 52: Kunden-Produkt-Anbieter Diagramm

Der Anbieter stellt das Produkt her und will es verkaufen. Die potentiellen Kunden sind nicht nur Anwender des Produkts, sondern sie brauchen auch Nachbetreuung durch den Anbieter. In den Mittelpunkt müssen die Anbieter sowohl das Produkt als auch die Kunden stellen.

Die Kommunikationstechnik des Internets ermöglicht Firmen, ihre Produkte weltweit anzubieten und zu verkaufen.

Mit zunehmender Globalisierung auf der Anbieterseite und steigender Komplexität von Produkten steigt der Wunsch auf der Kundenseite nach radikaler Einfachheit, Überschaubarkeit und Verständlichkeit [Bosshart].

Bisher lebten die Ingenieurbüros und Bauunternehmen vom produktorientierten Vertriebsansatz. In Zukunft müssen sie sich zur dienstleistungsorientierten und in Sinne der Abbildung 52 kundenorientierten Organisation entwickeln. Von globalen Unternehmen wird gefordert, die Erwartungen in Bezug auf einen kundenorientierten „End-to-End-Geschäftsprozess“ zu erfüllen [Siebel].

In Forschung und Praxis ist also das Ziel einer Benutzerfreundlichkeit erreicht, wenn komplexe Aufgabenstellungen automatisch gelöst werden und gleichzeitig die Einfachheit der Bedienung in einem Produkt verwirklicht worden ist.

Der zuvor geschilderte Sachverhalt gilt besonders in der Softwaretechnik:

Anbieter ist hier die Softwarefirma, die ein Softwaresystem entwickelt und vertreibt.

Produkt ist das Softwaresystem.

Kunden sind die Benutzer, die mit dem Softwaresystem arbeiten.

Softwareprodukte müssen im Zuge der Globalisierung für weltweiten Einsatz konzipiert werden. Das bedeutet Mehrsprachigkeit und möglichst sogar Sprachunabhängigkeit. Sprachunabhängigkeit ist bei CAD-Systemen möglicherweise erreichbar, denn Ingenieure sind weltweit in der Lage, Zeichnungen und Symbole zu verstehen.

Um komplexe Systeme einfach behandeln zu können, brauchen die Anwender nach [Chang02]:

- Einfache, „intelligente“ Bedienungsarten

- Benutzerfreundliche grafische Benutzungsoberflächen
- Intelligente Objekte
- Automatische Methoden

Um für das untersuchte CAD-System Anschlussmethoden, d.h. automatische CAD-Methoden, zu programmieren, wurde eine eigene Entwicklungssprache ausgearbeitet. Sie behandelt insbesondere die typischen dreidimensionalen CAD-Probleme sehr effizient. Diese Sprache ist einheitlich im gesamten CAD-System für Stahl-, Holz- und Glasbau einsetzbar.

4.1.3 Software-Ergonomie

Die Interaktion zwischen einem Benutzer und einem Computersystem erfolgt über eine grafische Benutzungsoberfläche (GUI = graphical user Interface).

Schwierigkeiten der Benutzer mit der Bedienung eines Softwaresystems deuten auf eine für die Benutzergruppe ungeeignete Benutzungsoberfläche hin. Ein anderes Problem tritt auf, wenn die Funktionalität des Systems für die betreffende Aufgabe nicht geeignet ist.

Mit diesen Problemgebieten beschäftigt sich die Software-Ergonomie.

„Die Einbeziehung der Ergonomie in die Gestaltung interaktiver Systeme steigert die Effektivität und Effizienz, verbessert die Arbeitsbedingungen des Menschen und wirkt möglichen nachteiligen Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit und Leistung entgegen. Die Anwendung der Ergonomie auf die Gestaltung von Systemen schließt die Berücksichtigung menschlicher Fähigkeiten, Fertigkeiten, Leistungsgrenzen und Bedürfnisse ein“ [EN ISO 13407:1997, S. 3].

Das Ziel, das es durch Softwareergonomie zu erreichen gilt, muss folgende Bereiche umfassen:

- Arbeitsstrukturierung zwischen Menschen und zwischen Mensch und

Computersystem

- Gestaltung der Nutzungsoberfläche, Interaktion zwischen Anwendungen
- Funktionen und Leistungen der Anwendungen
- Dialoggestaltung mit Bedienungsschritten und -abläufen
- Ein- und Ausgabenform der Informationen (E/A-Gestaltung)

Die ergonomischen Anforderungen werden technisch mit Hilfe von kommerziellen GUI-Systemen realisiert, z.B. Exceed oder QT. Wie die Nutzungsoberfläche der Anwendungen formal einheitlich gestaltet wird, schreiben Gestaltungsregelwerke (style guides) vor.

Neben Regeln des GUI-Herstellers können auch branchenspezifische oder unternehmenseigene Regeln ergänzend hilfreich sein.

Eine wegweisende Benutzungsoberfläche brachte die Firma Apple Computer in den Jahren 1983/84 mit dem Computersystem Macintosh auf den Markt. Die damaligen Gestaltungsregeln haben die Interaktion zwischen Computer und Benutzer radikal geändert. Die späteren Systeme wie Windows von Microsoft oder OpenLook von der Firma Sun kopierten das gleiche Prinzip.

Die heute noch gültigen Basiselemente der Interaktion zwischen Menschen und Computer sind:

- Fenster
- Symbole
- Menüs
- Zeigeinstrumente

4.2 Konzeptioneller Aufbau der Benutzungsoberfläche

4.2.1 Anwendungsspezifische Bedienungsarten

Zeitgemäße Programme bestehen aus Objekten und ihren Funktionen. Es lassen sich die folgenden Bedienungsarten unterscheiden:

- objektorientierte Bedienung mit direkter Manipulation
- objektorientierte Bedienung mit Menüs und Fenstern
- funktionsorientierte Bedienung mit Menüs und Fenstern

Die objektorientierte Bedienung bedeutet nach [Balzert 96], dass der Anwender zuerst das Objekt oder die Objekte wählt, dann die darauf auszuführende Funktion. Dabei bestimmen die Eigenschaften des Objekts die zulässigen Operationen. Eine entsprechende Liste erscheint bei den meisten Anwendungen als pop-up-Menü nach Klick mit der rechten Maustaste auf das Objekt. Der Vorteil von pop-up-Menüs liegt darin, dass auf dem Bildschirm nur wenige Blickwechsel erforderlich werden.

Abbildung 53 zeigt ein Beispiel für objektorientierte Bedienungsart in einer CAD-Umgebung für Architektur.

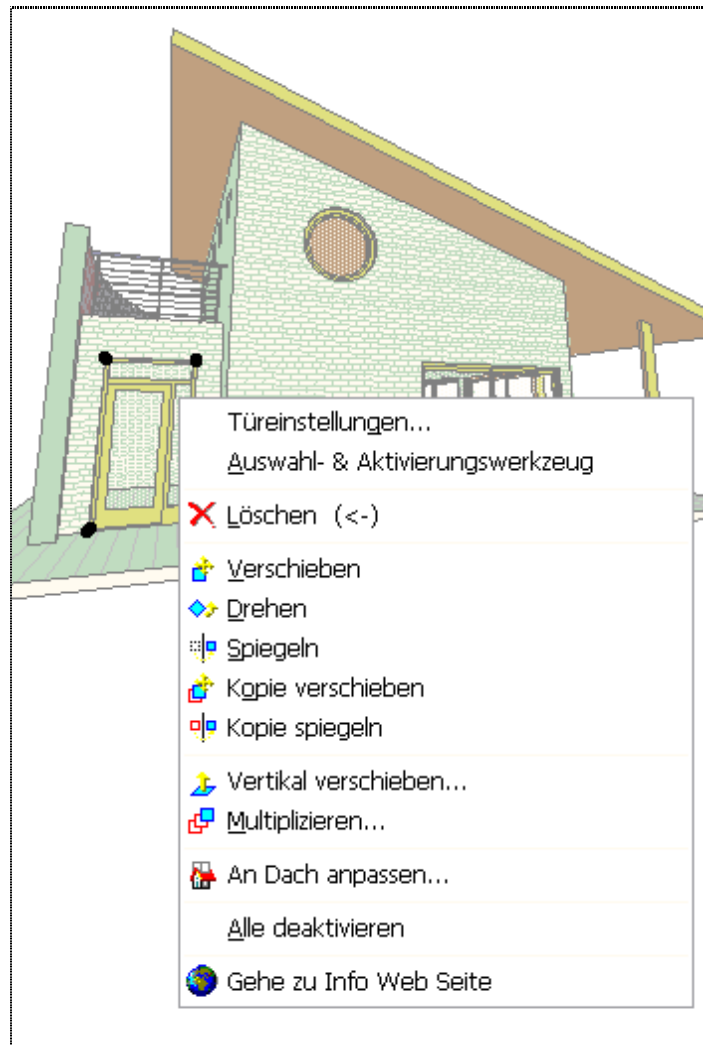


Abbildung 53: Objektorientierte Bedienungsart, Werkbild Archicad

Objektorientierte Bedienung kann als Benutzungsoberfläche durch Menüs oder durch direkte Manipulationen realisiert werden.

Bei der direkten Manipulation werden die Objekte durch Linksklick auf das Objekt gewählt und bearbeitet. Der Benutzer braucht nicht die Funktion mittels eines Menüs oder Ikons zu starten. Es sind meistens generische Funktionen, die in verschiedenen Anwendungen die gleiche Semantik, Bezeichnung und die gleiche Bedienung besitzen, wie z.B. Löschen oder Verschieben. Die inzwischen weltweit allgemein übliche Bedienungstechnik „Selektieren, ziehen und loslassen“ (pick, drag & drop) ist ein Beispiel für direkte Manipulation.

In CAD-Anwendungen bekommen die direkten Manipulationen durch die „intelligenten“ Objekte eine große Bedeutung.

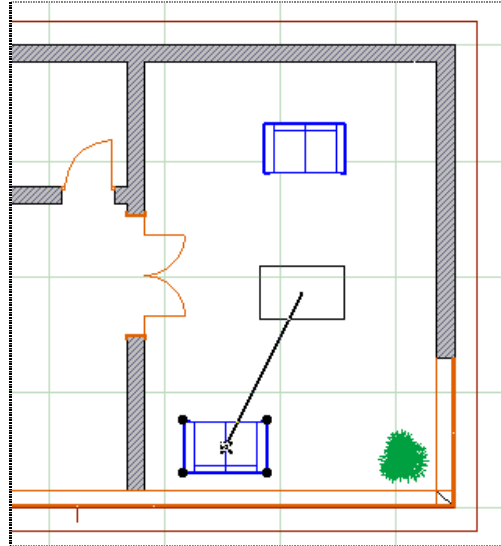


Abbildung 54: pick, drag & drop Funktion, Werkbild ArchiCAD

Das bautypische CAD-Programm ArchiCAD benutzt intelligente Objekte von zwei- und dreidimensionaler Geometrie mit zusätzlichen Attributen. Mit derartigen Objekten arbeiten Architekten täglich, z.B. Wände, Stützen, Decken, Dächer, Möbel, Sanitäreinrichtungen, Fenster und Türen. Durch die Bereitstellung intelligenter 3D-Fangpunkte („Hotspots“) wird der Anwender bei der Platzierung von Objekten der Produktlogik folgend unterstützt.

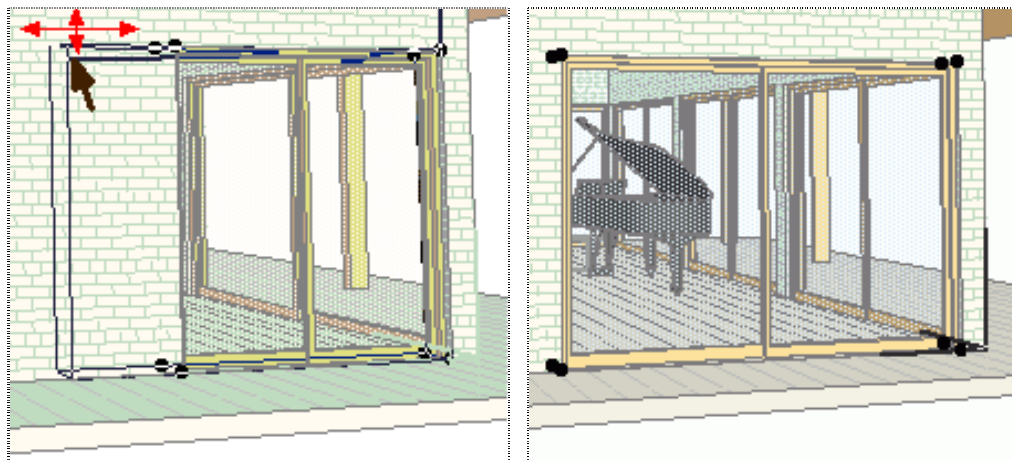


Abbildung 55: Vergrößern einer Schiebetür durch Funktionsgriffe, Werkbild ArchiCAD

Im Gegensatz zur bisher vorgestellten objektorientierten Bedienung steht die funktionsorientierte Bedienung. Hierbei wählt der Anwender zuerst die entsprechende Funktion. Danach gibt er an, für welche Objekte die ausgewählte Funktion ausgeführt werden soll.

Die Untersuchungen ergaben, dass eine objektorientierte Bedienung und eine funktionsorientierte Bedienung equivalent sind [Balzert 99]. In der Praxis wird in meisten Systemen eine Mischung beider Bedienungsarten verwendet.

4.2.2 SDI- und MDI-Techniken

Ein Single Document Interface (SDI), ist darauf beschränkt, an nur einem Dokument zu einem bestimmten Zeitpunkt zu arbeiten und lässt dabei nur einen einzigen Dokumenttyp zu.

Ein Multi Document Interface (MDI) erlaubt dagegen, an mehreren Dokumenten gleichzeitig zu arbeiten und mehrere Arten von Dokumenttypen zu behandeln.

Eine MDI-Anwendung ist nach dem Prinzip „Fenster-in-Fenster“ aufgebaut, wobei ein Rahmenfenster ein oder mehrere untergeordnete Fenster umschließt. Diese Anwendungsart findet man in vielen bekannten Softwarepaketen wie zum Beispiel MS Office, Staroffice oder in AutoCAD, dem in Deutschland bekanntesten Vertreter von elementaren CAD-Systemen.

Daneben gibt es das Multiple Windows Interface, eine Mehrfenster-Technik, mit der man gleichzeitig beliebig viele Fenster mit Grafikdateien öffnen kann, siehe Abbildung 56. Diese Technik gestattet, gleichzeitig verschiedene Sichten des 3D-Modells darzustellen. Es stellen alle Fenster Sichten auf das gleiche Modell dar, weil sie alle diese Sichten vom rechnerinternen Produktmodell ableiten.

Für das Entwerfen und Detaillieren in Übersichten ist es nützlich, wenn mehrere unterschiedliche Ansichten, 3D-Darstellungen und Schnitte im selben

Fenster platziert werden können. Das untersuchte System bietet daher die beiden letztgenannten Techniken frei wählbar an. Der Benutzer wählt daher beim Generieren einer neuen Ansicht, ob das Programm die neue Grafik mit einem neuen Fenster erstellen oder in die bestehende Hauptansicht einfügen soll. Die in die Hauptansicht eingefügten, unterschiedlichen Ansichten bleiben getrennte Grafikobjekte, die voneinander unabhängig behandelt werden können jedoch nur bezüglich der gewünschten Darstellungsart, nicht bezüglich des Produktmodells. Das zentrale Produktmodell sichert die logische Konsistenz aller Darstellungen. Jede Darstellung ist lediglich eine spezifische Sicht auf das Produktmodell.

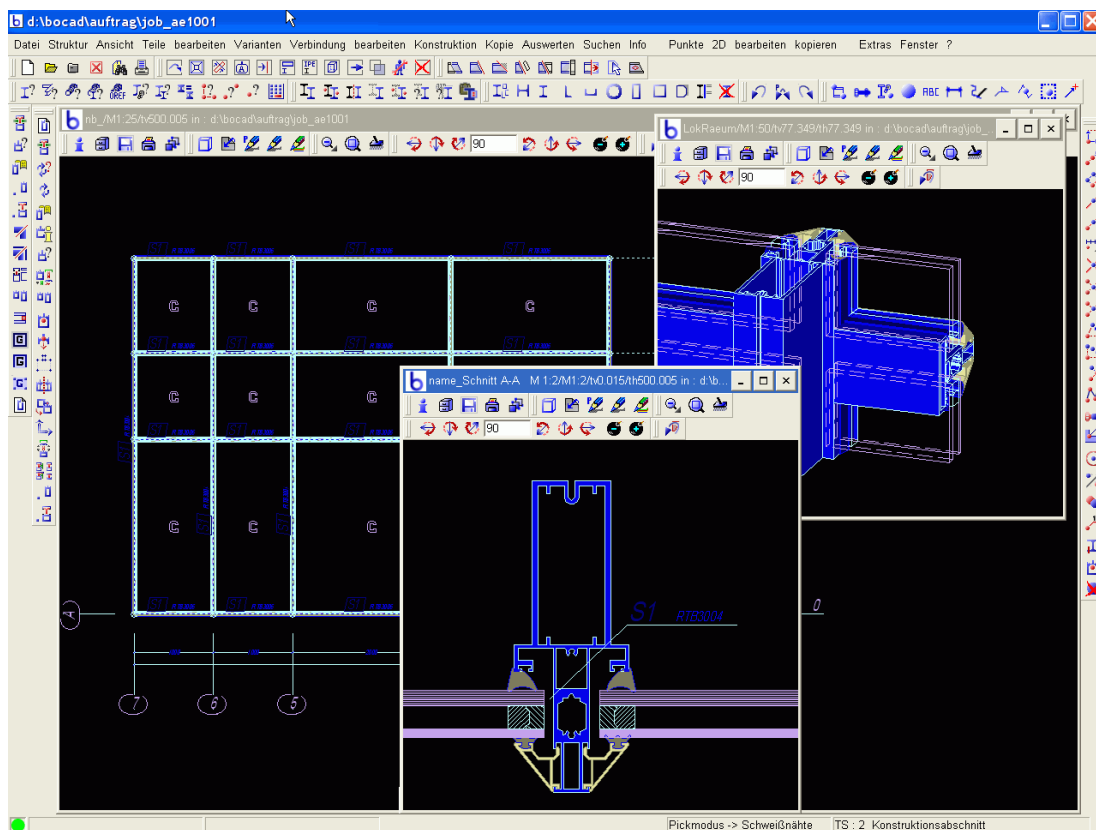


Abbildung 56: Mehrfenster-Technik, Werkbild BOCAD

4.2.3 Fenster

Die Fenster sind die Hauptelemente der Dialoggestaltung von Software-Systemen. Die Hauptaktivitäten des Benutzers finden im Primärfenster statt. Nach Start eines Programms erscheint dieses Anwendungsfenster, das den Titelbalken, den Menübalken und den grafischen Arbeitsbereich enthält. Bei den meisten CAD-Programmen befinden sich weitere Informationsfelder und Werkzeugleisten am Rand des Anwendungsfensters. Sie informieren den Benutzer über den aktuellen Stand der Konstruktion.

Im untersuchten 3D-System befinden sich oberhalb der Menüliste des Anwendungsfensters vier Informationsfelder.

- Das Funktionsfeld zeigt die ausgewählte Leistung.
- Im Leitmeldungsfeld erscheinen für die ausgewählte Funktion Meldungen, die den Anwender anleiten, welcher nächste Schritt auszuführen ist. Diese Meldungen leiten den Anwender also durch die Leistungsschritte.
- Das Teilesystemfeld zeigt das aktuelle Teilsystem an. Die Elemente eines Bauwerks, z. B. die Stahl- und Glasbauelemente, können z.B. zur Gruppierung in Stücklisten und Montageabschnitte in verschiedene Teilesysteme eingeordnet werden
- Das Pickmodusfeld zeigt an, welche Objektarten aktuell wählbar sind. Mögliche Objekte sind: Pickpunkte, Teile, Teile-Schrauben-Punkte, Texte, Beliebig und Frei.

Unterhalb des Titel- und Menübalkens ist der grafische Arbeitsbereich angeordnet, in dem mehrere Unterfenster geöffnet werden können. Diese enthalten unterschiedliche Ansichten, Schnitte und dreidimensionale Darstellungen. Die heute gebräuchlichen Systeme benutzen eine ikonisierte Fenstertechnik, die den Betriebssystemen Windows, Linux oder Macintosh möglichst weitgehend ähnlich ist.

Um den Einsatz eines CAD-Systems nicht auf eine einzige Betriebssystem-

Plattform zu beschränken, etwa Windows, wird Hilfssoftware wie Exceed der Firma Hummingbird Communications Ltd. oder QT der Firma Trolltech angeboten. Das untersuchte CAD-System kann mit dieser Hilfssoftware auf Windows- oder Unix-Rechnern laufen, ohne dass sich die Benutzungsoberfläche ändert.


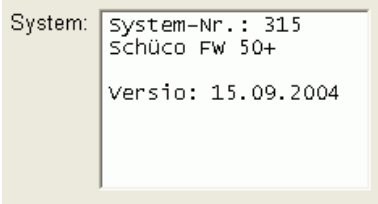

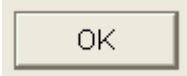
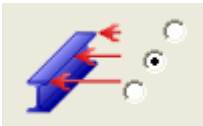
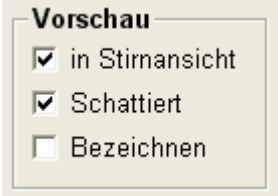

4.2.4 Dialoggestaltung

Dateneingaben im Arbeitsbereich erfolgen mit Dialogfenstern über Interaktionselemente. Aus technischer Sicht lassen sich nach [Balzert 99] zwei Dialogformen unterscheiden. Ein modaler Dialog muss beendet sein, bevor ein anderes Fenster aktiviert werden kann. Verschiedene Funktionen können nicht gleichzeitig laufen. Bei einem nicht-modalen Dialog kann eine Funktion unterbrochen werden, um eine andere durchzuführen. Während der anderen Aktion bleibt das ursprüngliche Fenster geöffnet.

Um die Überschaubarkeit zu wahren, werden in der hier konzipierten Benutzungsoberfläche nur in Vorrang-Sonderfällen nicht-modale Dialoge für die Dateneingabe und die Ausführung der Aktionen verwendet. Dialogfenster werden nach folgenden Kriterien gestaltet:

- Sie sollen möglichst wenig Arbeitsfläche verdecken,
- sie sollen nur die Elemente enthalten, die im aktuellen Kontext sinnvoll sind.
- Außerdem sollen sie einfach verständlich, überschaubar, systematisch, einheitlich und dynamisch sein.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Interaktionselemente von Benutzungsoberflächen:

Bezeichnung (englisch)	Beschreibung, Zweck	Beispiel
Eingabefeld (text box / edit control)	Ein- und Ausgabe von numerischen Daten und Texten	
Mehrzeiliges Textfeld (multi-line / text box)	Ein- und Ausgabe von mehrzeiligen Texten	
Drehfeld (spin box)	Bietet eine Auswahlliste von sortierten Eingabewerten	
Schaltfläche / Drucktaste (command button, push button)	Aktion auslösen, Bestätigung (OK, Schließen)	
Optionsfeld, Einfach Auswahlknopf (option / radio button)	Aus mehreren Alternativen ist nur eine auswählbar	
Kontrollkästchen / Mehrfach Auswahlknopf (checkbox)	Mit Häkchen versehene Optionen sind gewählt	
Listenfeld / Auswahlliste (list box)	Dient zur Wahl aus mehreren, vertikal angeordneten Listeneinträgen.	

<p>Kombinationsfeld (combo box)</p>	<p>Kombination von Listenfeld und Eingabefeld.</p>	
<p>Dropdown-Listefeld / Klappliste (drop-down list box)</p>	<p>Platzsparende Variante des Listenfeldes.</p>	
<p>Dropdown- Kombinationsfeld (drop-down combo box)</p>	<p>Wie die Klappliste, jedoch auch neue Einträge ein- gebbar.</p>	
<p>Register (property sheet)</p>	<p>Ein Register besteht aus mehreren Seiten</p>	
<p>Strukturansicht / Baum (tree view control)</p>	<p>In der Strukturansicht sind die Einträge hierarchisch angeordnet.</p>	

Abbildung 57: Interaktionselemente nach [Balzert 99] mit Glasbau-Beispielen

4.2.5 Dialogfenster für Platzierung von Glasbau-Profilstäben

Die zuvor allgemein vorgestellten Interaktionselemente werden nun konkret zur Gestaltung der Benutzungsoberfläche für eine im Glasbau typische, häufig angewendete Leistung eingesetzt. Die Aktion, Profilstäbe im Raum zu platzieren, soll daher als Beispiel dienen, siehe Abbildung 58.

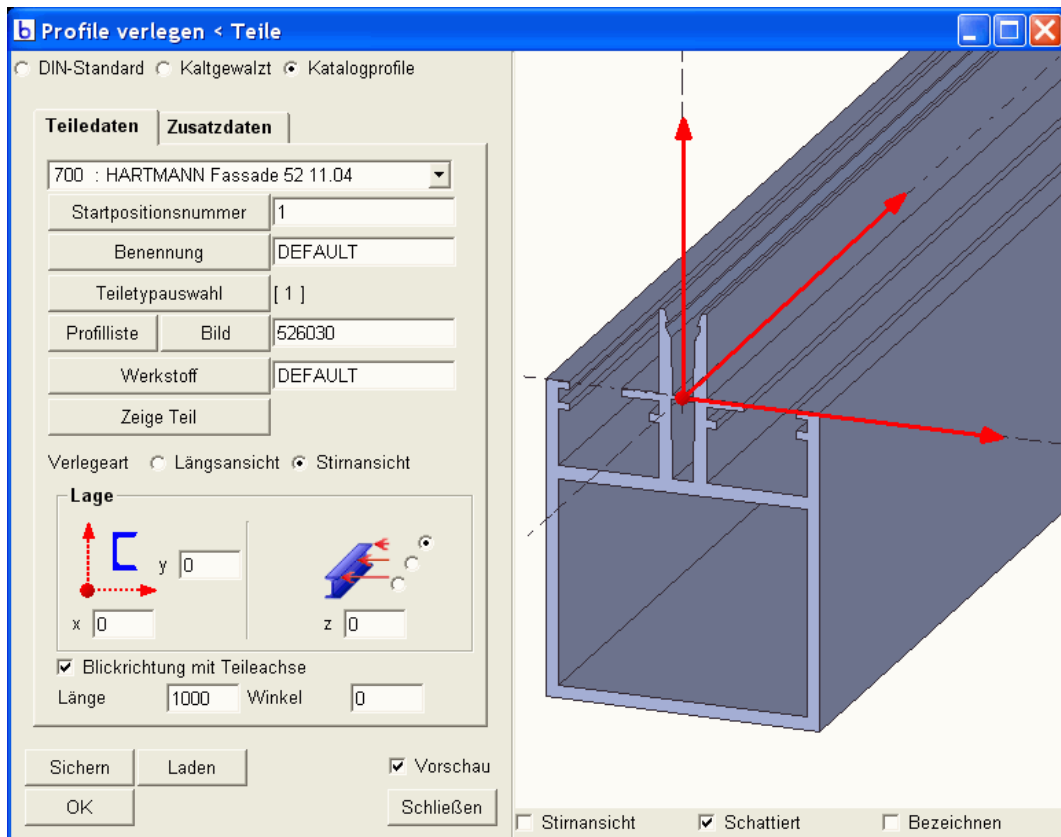


Abbildung 58: Platzierung von Glasbau-Profilstäben im Raum, Werkbild BO-CAD, Glasbaumodul

Wenn man für ein Bauwerk nur ein Glasbau-Profilsystem nutzt, genügt es beim Programmstart, dieses System als Auftragseigenschaft anzugeben. Andernfalls muss beliebig zwischen verschiedenen Profilsystemen gewechselt werden können. Deswegen wird der Systemauswahlkopf im Dialogfenster der Abbildung 58 als erste Zeile vorangestellt. Die Systemauswahl erfolgt mit einer Auswahlliste. Der ausgewählte Systemname wird ständig angezeigt. Aus der Liste sind alle im CAD-System angelegte Glasbausysteme wählbar. Für die Profilauswahl ist zunächst der Teiletyp auszuwählen. Dann

entsprechend dem gewählten Profiltyp erfolgt die Profilauswahl über Profillisten mit Artikelnummer oder für Anfänger und Schulungen über ein anschauliches grafisches Menü in zusätzlichem Fenster.

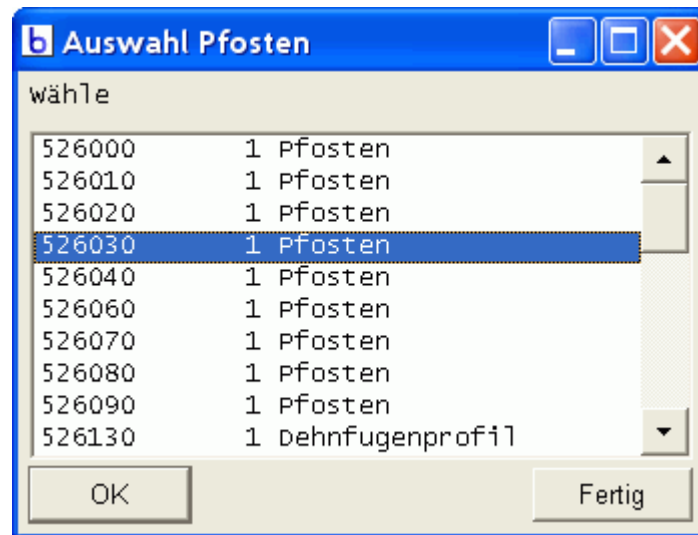


Abbildung 59: Profilauswahl über Auswahlliste

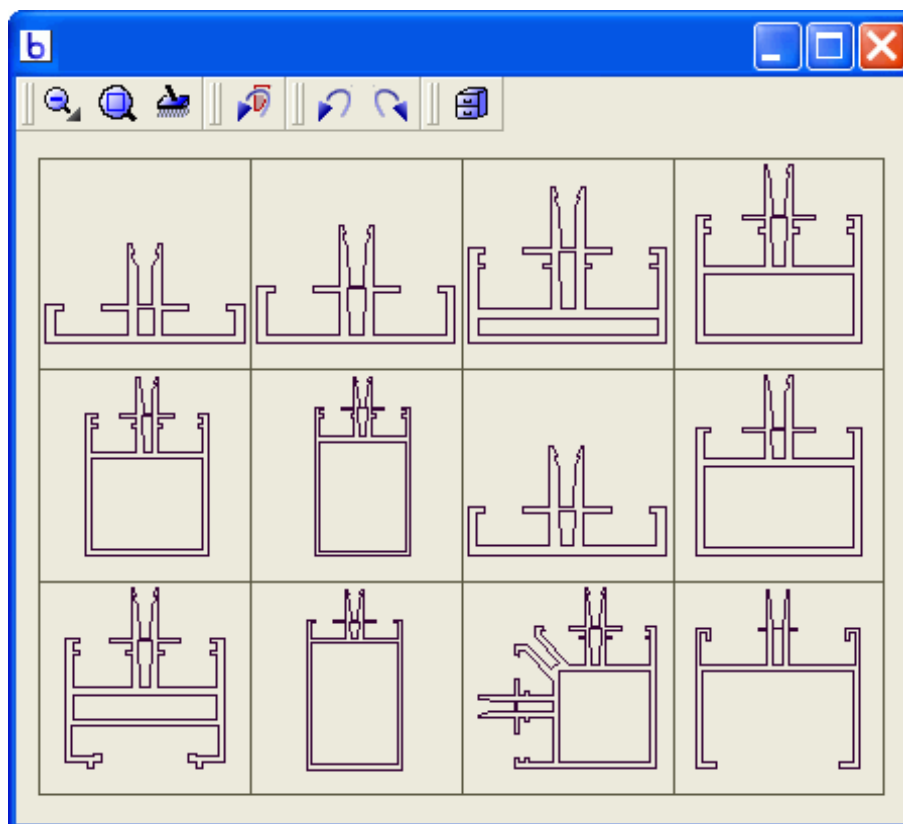


Abbildung 60: Profilauswahl über grafisches Menü

Abbildung 61 zeigt eine Alternative für die Profilauswahl aus verschiedenen Profilsystem-Katalogen, die der professionelle, geübte Anwender bevorzugt.

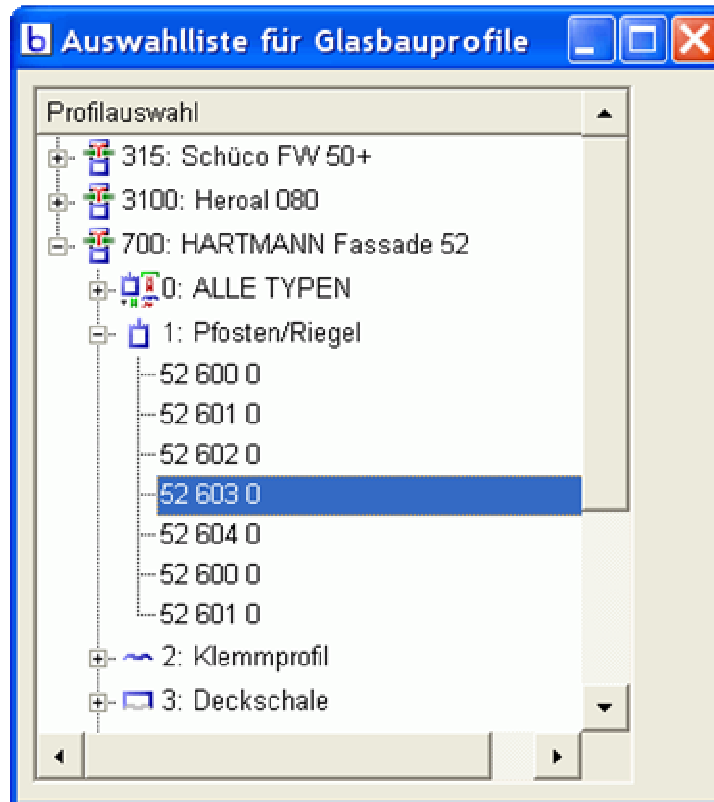


Abbildung 61: Profilauswahl aus Profilsystemkatalogen

Ein Glasbau-Einzelteil kann in Stirnansicht senkrecht zur dargestellten Ebene oder in der Ebene vom Startpunkt „1“ zum Zielpunkt „2“ mit der 2-Punkte-Form platziert werden. In Abbildung 58 ist die Platzierung in Stirnansicht gewählt.

In der Stirnansicht wird der Profilstab senkrecht zur aktuellen Arbeitsebene so platziert, dass sein Ankerpunkt auf dem gewählten Zielpunkt liegt, sofern nicht zusätzliche Verschiebungen, Drehungen etc. über die folgenden modifizierenden Eingabefelder gegeben sind:

- Verschiebung in x, bzw. y Richtung
- Tiefenlage bezüglich der Querschnittsextrema (Hinten, Mittig, Vorn, ggf. mit Zusatzverschiebung)

- Blickrichtung mit Teileachse [Ja oder Nein]
- Trägerlänge
- Achsenrotation um die lokale X-Achse des Profilstabs

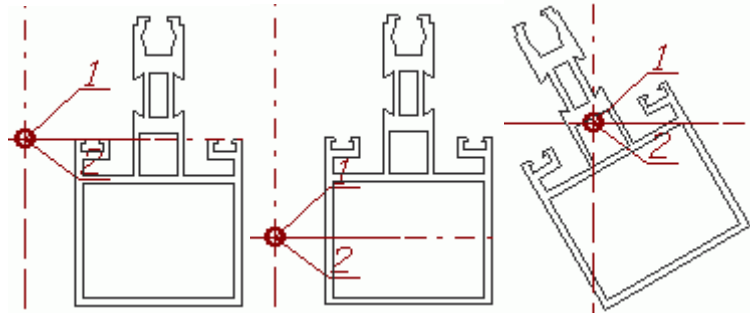


Abbildung 62: Parameter für die Teileplatzierung

In der alternativen 2-Punkte-Form kann ein Teil mit seiner Längsachse von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt in der aktuellen Arbeitsebene eines beliebigen Fensters platziert werden. Die geometrischen Parameter für die 2-Punkte-Form lauten:

- Querlage (Rechts, Mittig, Links, ggf. mit Zusatzverschiebung)
- Tiefenlage (Vorn, Mittig, Hinten, ggf. mit Zusatzverschiebung)
- Hauptansicht (Vorder-, Ober-, Hinter-, Unteransicht, ggf. mit Zusatzrotation)

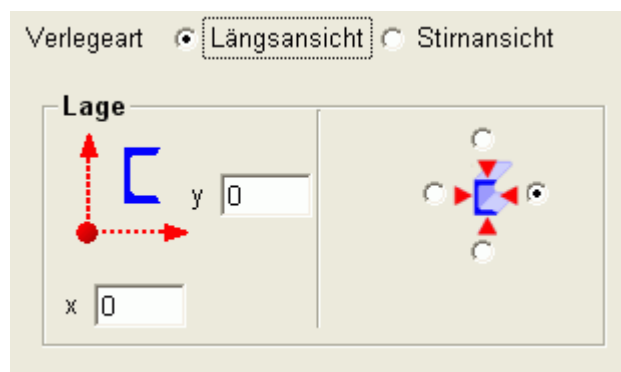


Abbildung 63: Parameter für Teileplatzierung von Glasbau-Profilstäben in der Längsansicht

Einen allgemeinen Lösungsvorschlag für die Lageparameter (Querlage und Tiefenlage) zur Platzierung von Profilstäben zeigt die Abbildung 64.

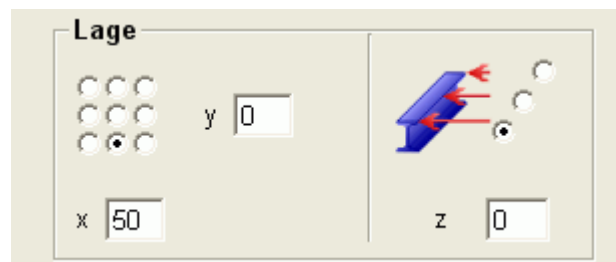


Abbildung 64: Allgemeine Platzierungsparameter für 3D Objekte

Bei Glasbau-Profilstäben reicht allerdings im Vergleich zu den allgemeinen Platzierungsparametern des Stahl- und Holzbaus wegen der funktionalen Kombination von Tragprofil mit aufliegenden Klemm- und Deckprofil ein einziger Ankerpunkt. Allgemeine Stahlbauprofilquerschnitte machen es hingegen erforderlich, dass jeder Eckpunkt des das Profil umhüllenden Rechtecks und jeder Kanten- Mittelpunkt funktional zur Platzierung an Nachbarteilen oder -kanten genutzt werden kann.

4.3 Parametrisierte Konstruktion im Glasbau

Mit Hilfe von CAD/CAM-Systemen wird eine Rationalisierung des Entwurfs- und Fertigungsprozesses von Konstruktionen des Ingenieurbaus erreicht. Dabei sollen CAD-Hochleistungssysteme die gestellte Konstruktionsaufgabe unter Einhaltung aller vorgegeben Randbedingungen und Regeln selbstständig lösen, effizient arbeiten und zugleich hinreichend flexibel bleiben. Die Automatisierung des Konstruktionsprozesses bietet sich besonders für den systematisierten Glasbau an, wo die Konstruktionen nach bestimmten Systemregeln aufgebaut werden. Der Anwender braucht nur die Hauptabmessungen und die frei wählbaren Parameter zu bestimmen. Die aus den definierten Regeln resultierenden Details werden mittels speziell entwickelter CAD-Detaillierungsmethoden vom CAD-System selbst gelöst. Dadurch werden selbst komplexe Aufgaben mit einfacher Bedienung lösbar, sofern die sich durch die Systematik bietenden Chancen mit einer geeigneten Benutzungsoberfläche wahrgenommen werden.

4.3.1 Parametrisierter Konstruktionsprozess für Glasfassaden in zwei Stufen

Für das Entwerfen und das nachfolgende Detaillieren ist ein zweistufiger Prozess sinnvoll, wie nachfolgend begründet wird.

Das rechnerinterne Modell eines Bauwerks besteht aus einer Anzahl hierarchisch verknüpfter Objekte und einer Anzahl von Beziehungen. Dabei gliedert sich diese Struktur in ihre natürlichen Bestandteile d.h. die Bauteile und ihre Anschlüsse.

Nach diesen Vorstellungen besteht eine Pfosten-Riegel-Glasfassade aus den vertikalen Pfosten, den horizontalen Riegeln und den Füllungselementen wie Glas, Fenster oder Tür. Die Elemente unterscheiden sich nach ihrer Lage in der Konstruktion nach Rand- und Innenelementen. Diese Gliederung ist für die Beurteilung nach architektonischen Gesichtspunkten in der Entwurfspha-

se ausreichend. Dazu müssen für die Objekte lediglich die Attribute bestimmt und ihre Beziehungen ermittelt werden. Anschlüsse inkl. Detaillierung sind noch nicht erforderlich. Sie wären bei Entwurfsänderungen sogar störend.

Für ein CAD-Programm, das jedes Detail des Bauwerks letztlich fertigungsreif ausarbeitet, ist ein solches Modell nicht ausreichend. Das Konstruktionsystem benötigt also jedes Detail naturgetreuer als ein Architektursystem.

Wegen der unterschiedlichen Arbeitsfelder von Architekten und Ingenieuren ist daher der parametrisierte Konstruktionsprozess in zwei Stufen aufzugliedern, nämlich

- Entwurf und
- Detaillierte Konstruktion

Dieser zweistufige Konstruktionsprozess hat im Glasbau wegen seiner Komplexität besondere Bedeutung. Die detaillierte Darstellung eines Konstruktionsprofils ist in einer Architektur-Umgebung nicht erforderlich. Hier werden die Profile nicht detailliert, sondern in einer stark vereinfachten Form dargestellt. Die grobe Gestalt der gesamten Glasfassade ist hier für den Gesamteindruck wesentlich. Diese designorientierte, architektonische Betrachtungsart zeigt Abbildung 65.

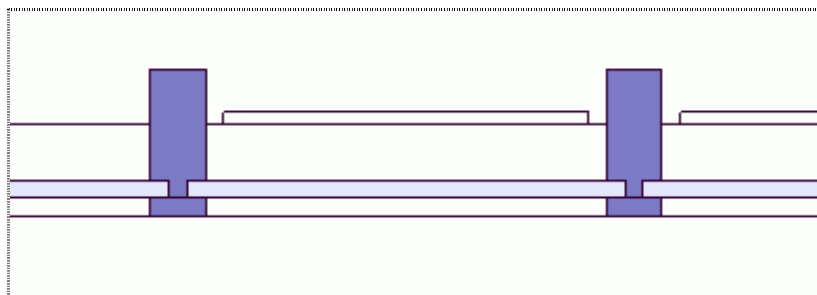


Abbildung 65: Glasfassade als für Architektur vereinfachtes Objekt, Werkbild b-prisma

Das ebenfalls untersuchte CAD-System ArchiCAD bietet für Architekturaufgaben die Objektbeschreibungssprache GDL (Geometric Description Language). Hiermit kann z.B. eine Glasfassade als Gebäudekomponente mit den

produktspezifischen Informationen zwei- oder dreidimensional beschrieben werden. Die verschiedenen Varianten des Objekts und seine möglichen Konfigurationen werden ähnlich Softwareprogrammen in Skripten definiert. Diese können Regeln und Entscheidungen enthalten, welche die Geometrie steuern. Ein wichtiger Punkt scriptfähiger Ansätze ist die Möglichkeit, Funktionalität in die Objekte einzubauen.

Das als Objekt generierte Ergebnis eines GDL-Skripts verhält sich gemäß den spezifisch programmierten Regeln und Definitionen. Die definierten GDL-Objekte sind direkt in ArchiCAD und AutoCAD oder indirekt über das DWG-, DXF-, DGN-, 3DS- oder IFC-Format nutzbar.

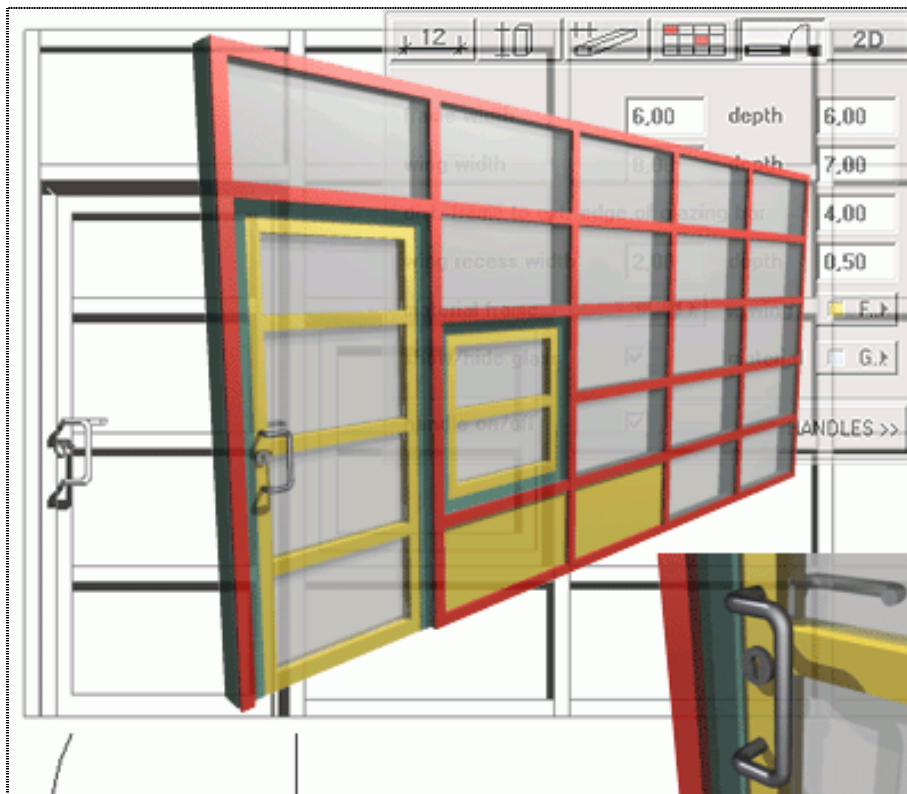


Abbildung 66: Architektonisch ausreichende Grobgestaltung von Entwürfen, Werkbild b-prisma

In Abbildung 66 handelt es sich um einen Entwurf, in dem die Abmessungen, die Profilaufteilung und weitere architektonische Eigenschaften genehmigungsreif bestimmt werden. Die starken Vereinfachungen, die die Nutzbarkeit auf Architekturentwürfe begrenzen, zeigt Abbildung 65 (Seite 76).

Für Entwurfsobjekte erfolgt die Parametereingabe nach eigenen Untersuchungen in folgenden Schritten:

1. Hauptabmessungen, Aufteilungen in Typ, Anzahl der Felder und Feldgrößen
2. Eigenschaften der vertikalen Profile mit Breite, Dicke und Materialien der vereinfachten Pfostenprofile
3. Eigenschaften der horizontalen Profile mit Breite, Dicke und Materialien der vereinfachten Riegelprofile
4. Randgestaltung und Eckgestaltung
5. Feldausfüllung: leer, Glas, Panel, Fenster oder Tür

„Die Objekte und Beziehungen werden durch Attribute charakterisiert. Diese Attributen sind entweder bereits in der CAD-Planerstellung durch geometrische Eigenschaften ausreichend beschrieben, oder sie müssen als zusätzliche, nichtgrafische Informationen bereitgestellt werden.“ [Nitsche 92]

Das rechnerinterne Modell behält nach der Platzierung der Bauteile seine parametrisierte Art, d.h. die Parameter des Entwurfs bleiben nach der Platzierung weiter änderbar. Dies ist eine ganz entscheidende Randbedingung der Baupraxis, die unter täglichen, nachträglichen Änderungen leidet. Erst nach hinreichender, rechtsverbindlicher Klärung des Entwurfs ist der nachfolgende Detaillierungsaufwand als zweite Stufe wirtschaftlich vertretbar. Detaillierung der Glasfassadenkonstruktion als zweite Stufe bedeutet nämlich:

- Hinreichend naturgetreue Konstruktionsprofile, d.h. die vereinfachten Profile werden durch detaillierbare Konstruktionsprofile ersetzt.
- Ausgeführte Konstruktionsanschlüsse, d.h. die CAD-Anschluss-Methoden werden automatisch ausgeführt. Danach werden die Anschlüsse mit den entsprechenden Anschlussprofilen, Schrauben und Ausschnitten ebenfalls automatisch erzeugt, um die gefundenen Lösungen dem CAD-Ingenieur am Bildschirm zur Beurteilung vorzulegen.

Das so entstehende rechnerinterne Bauwerksmodell enthält also alle Detaildaten, die für die automatische Generierung der Zeichnungen und Stücklisten notwendig sind.

4.3.2 Parametrisierte Modellierung mit Template-Technologie

Um den zweistufigen Lösungsansatz integriert für Entwurf und Detaillierung in einem einzigen CAD-System zu verwirklichen, wurde ein Parametric Modeller PMR-3D entwickelt. Dieser dient für die erste Stufe, den effizient änderbaren Entwurf. Die Unterlagen der zweiten Stufe für Entwicklung, Planung, Präsentation, Fertigung (inkl. Detail-Zeichnungen) und NC-Fertigung (NC = Numeric Control) werden dann nachfolgend mit Hilfe des untersuchten, allgemeinen CAD-Systems erstellt. Die PMR-3D Anwendung besitzt eine eigene grafische Benutzeroberfläche (Abbildung 67) für die Konstruktion von Wintergärten.

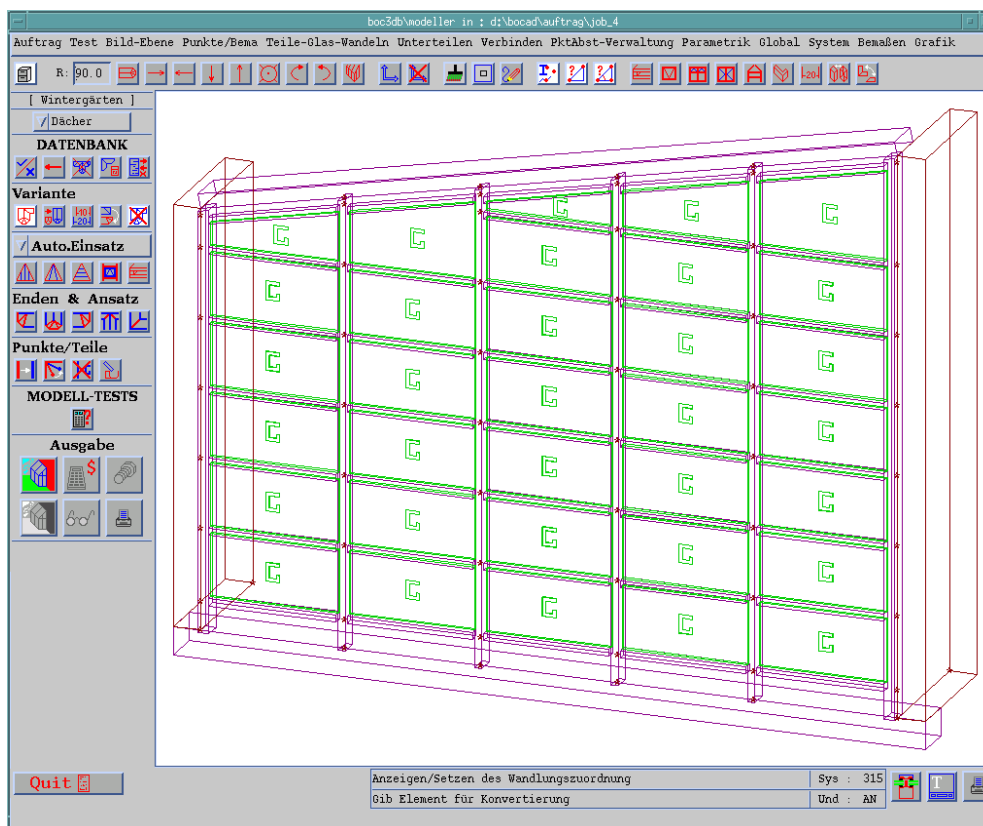


Abbildung 67: PMR-3D Benutzeroberfläche

Diese Benutzungsoberfläche verfügt über weniger und andere Funktionen als das komplette, allgemeine CAD-System. Dadurch soll das Programm überschaubarer und auch für weniger geübte Anwender verständlich werden, die für diese Art der Aufgaben in der Baupraxis typisch sind. Im Extremfall sollen keine Ingenieure, sondern Vertriebsmitarbeiter diese Benutzungsoberfläche beherrschen können.

Im Entwurfsbaustein PMR-3D wird mit sogenannten Templates (Entwurfsvorlagen) gearbeitet, die parametrisierte CAD-Modelle verwenden. Dazu ist pro Glasbau-Profilsystem ähnlich wie bei GDL-Objekten des vorigen Kapitels ein spezielles Template zu entwickeln, das bis hin zur Detaillierung alle Systemregeln enthält. Bei der anschließenden Nutzung wird das entwickelte Template durch Veränderung der variablen Parameter an die jeweiligen Randbedingungen angepasst. Dieser automatische Entwurfprozess großer Fassaden ist naturgemäß um ein Vielfaches schneller als eine individuelle Konstruktion und zudem wesentlich einfacher in der Bedienung. Die Template-technik stellt somit einen Ansatz zur Entwicklung einer leistungsfähigeren und flexibleren Strategie zur Konstruktion von Glasfassaden dar. Kurz gefasst, beinhalten Templates Regeln für Glasbau-Profilsysteme, die das Entwurfsprinzip kompletter Fassaden mit wählbaren Parametern (Höhe, Breite, etc.) festlegen.

Ein zweistufiger parametrisierter Konstruktionsprozess für Glasfassadenkonstruktion vom Entwurf bis zur fertigungsreifen Detaillierung wurde als experimenteller Nachweis der theoretischen Ansätze in einem umfassenden CAD-System konzipiert und praxisreif entwickelt.

4.3.3 Implementierung der Parametrisierten Modellierung

Das Einsatzgebiet der parametrisierten Modellierer ist dort, wo im Glas- und Metallbau mit systematisierten Konstruktionen gearbeitet wird, z.B. mit firmenspezifischen Bauarten von Wintergärten. Während ein Wintergarten meistens ein komplettes Systemprodukt ist, bekommen die individuell ent-

worfenen Glasfassadenkonstruktionen ihre Bedeutung nur als Gestaltungselemente innerhalb gesamter Bauwerke. Deswegen wurden die Funktionen für die Bedienung der Templates in dem untersuchten CAD-System für Komplettbau unter dem Namen Variantenkonstruktion implementiert, das auch den Stahl- und Metallbau umfasst. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass das erstellte rechnerinterne Modell branchenübergreifend das komplette Bauwerk enthält und mit der gesamten Funktionsbandbreite des CAD-Systems modifiziert werden kann.

4.3.4 Implementierung der Benutzungsoberfläche

Wegen der gemeinsamen Basis in Form der Programmiersprache und der Datenbankstruktur konnte die Implementierung des Ansatzes sich auf die Nutzungsoberfläche beschränken. Hierzu wurden Menüs und Icons in die Nutzungsoberfläche des CAD-Systems eingebaut, um die Templates zu nutzen.

Die Menüs sind in sinnvollen Menüblöcken zusammengefasst. Die auf die Behandlung von Templates bezogenen Menüoptionen wurden unter dem Menütitel „Varianten“ gesammelt (Abbildung 68).

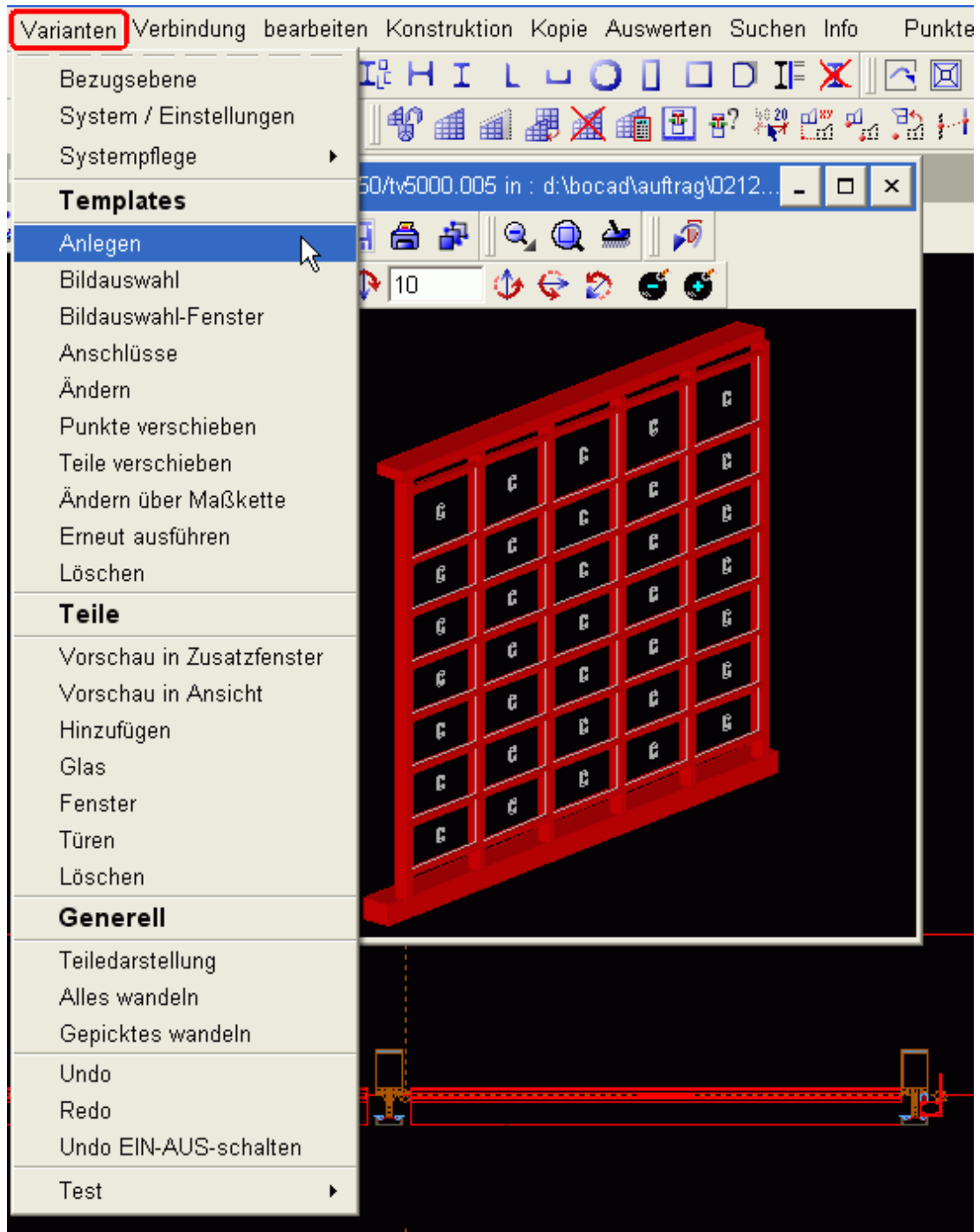


Abbildung 68: drop-down-Menü für Template-Funktionen

Es handelt sich hierbei um ein drop-down-Menü, das nach dem Selektieren des zugehörigen Menütitels im Menübalken aufklappt. In der Menülste befinden sich Aktionsmenüs, welche eine Aktion ausführen oder sich in andere Menüs verzweigen, also Kaskadenmenüs.

Bei der Zusammenstellung der Menüliste nach [Balzert 99] sind die folgenden Anforderungen einzuhalten:

- Die Menügestaltung soll dem Gedankenablauf des Benutzers folgen.
- Die Menütitel sollen möglichst einheitlich, kurz und prägnant formuliert werden
- Die Benennung der Menüoptionen soll kurz, klar und eindeutig sein.
- Die Menüoptionen sollen möglichst auch bildhaft dargestellt werden
- Die Menüoptionen sollen gruppiert werden, alternativ alphabetisch, nach Häufigkeit/Wichtigkeit oder funktional.
- Kaskademenüs sollen maximal dreistufig sein

Wie Abbildung 68 zeigt, wurde hier eine funktionale Gruppierung der Menüoptionen gewählt. Innerhalb einer Gruppe stehen die häufig genutzten Optionen vorn, das Löschen jeweils am Ende.

4.3.5 Implementierung von Ikonleisten mit Symbolen

Im Anwendungsfenster werden die meistbenutzten Menüoptionen zusätzlich als Symbole (Ikonen) auf mehreren wählbaren Ikonleisten dargestellt. Dieses zusätzliche Angebot soll folgende Vorteile bewirken:

- weniger Zeitaufwand
- geringere Ermüdung
- geringere Fehleranfälligkeit.

Für Ingenieursoftware haben grafische Symbole wegen ihrer Bildhaftigkeit eine große Bedeutung. Die in Abbildung 69 dargestellten Symbole sind Fachleuten ohne weitere Erläuterung mit Texten unmittelbar verständlich. Daher spielen grafische Symbole eine wichtige Rolle bei der Internationalisierung der Software. Die Piktogramme sind sprach- und schriftunabhängige Symbole, welche im Ingenieurbereich weltweit einheitlich sein können.



Abbildung 69: Bildliche Ikonen im CAD-System, Werkbild BOCAD

Die spezifischen Symbole werden im CAD-System in mehreren wählbaren Werkzeugleisten nach ihrer Funktionalität gruppiert. Zwischen den verschiedenen Werkzeugleisten kann der Benutzer beliebig wechseln, gleichzeitig mehrere öffnen oder eigene zusammenstellen.

Die einheitliche und konsequente Darstellungsart der Symbole ist wichtig. Ein ausgearbeitetes Regelsystem für die Symbolgestaltung ermöglicht, wesentliche Informationen durch die Darstellungsart, z.B. die Farbe anzuzeigen. Die in der Abbildung 69 dargestellten Symbole benutzen die Farben Blau und Rot. Für die Objekte wird konsequent Blau verwendet und mit Rot wird die auszuführende Aktion bezeichnet.

Diese Regeln ebenfalls nutzend, wurde eine Ikonleiste mit den erforderlichen Varianten-Werkzeugsymbolen konzipiert und implementiert (Abbildung 70).

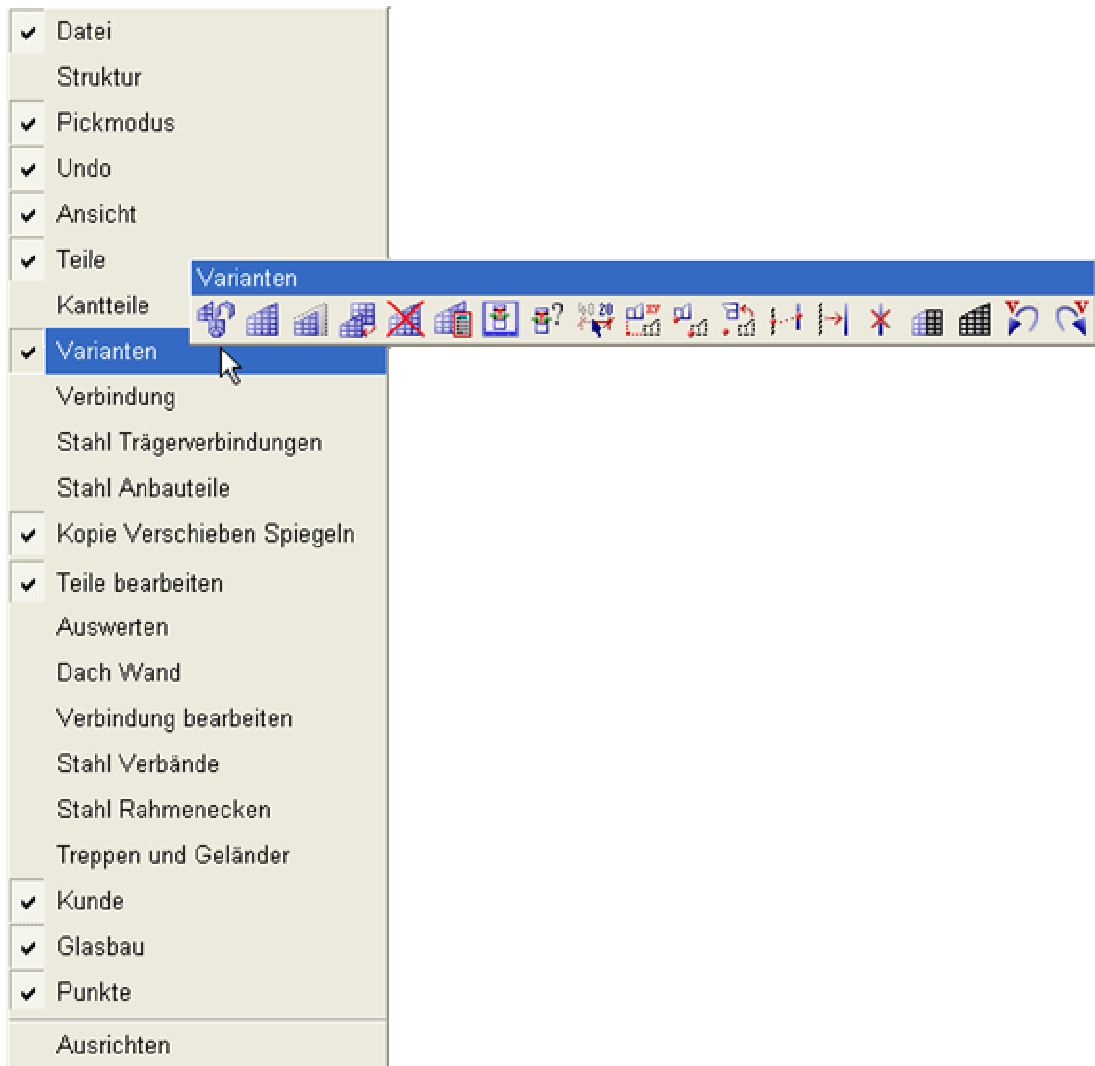


Abbildung 70: Werkzeugsymbole für Variantenkonstruktion

In der folgenden Tabelle sind diese Werkzeugsymbole für das Fassadensystem vollständig aufgeführt und einzeln erläutert.

	Glasbau-Profilsystem für die Fassadenkonstruktion auswählen und die zugehörigen Systemparameter einstellen
	Variante einer Glasfassade auswählen und anlegen
	Erzeugte Glasfassade ändern
	Fassadenvariante austauschen
	Eine Variante aus der gesamten Fassadenkonstruktion löschen














	Variante neu ausführen nach Änderung
	Profilinformationen abfragen
	Profilinformationen in der aktuellen Ansicht darstellen
	Variante verändern über Maßkette
	Variante verschieben über Maße
	Variante verschieben über Punkte
	Variante verschieben über Winkel
	Einzelne Teile verschieben über Punkte
	Einzelne Teile parallel verschieben über Maß
	Einzelne Teile aus der erzeugten Konstruktion löschen
	Eine Variante des Entwurfs detaillieren lassen
	Den gesamten Entwurf detaillieren lassen
	Undo, bzw. Redo der letzten Funktion

Abbildung 71: Werkzeugsymbole für ein Fassadensystem

4.4 Benutzungsoberfläche für die parametrisierte Konstruktion von Fassaden

Der gesamte Prozess der in dieser Arbeit behandelten Glasfassadenkonstruktion hat folgenden Ablauf (Abbildung 72):

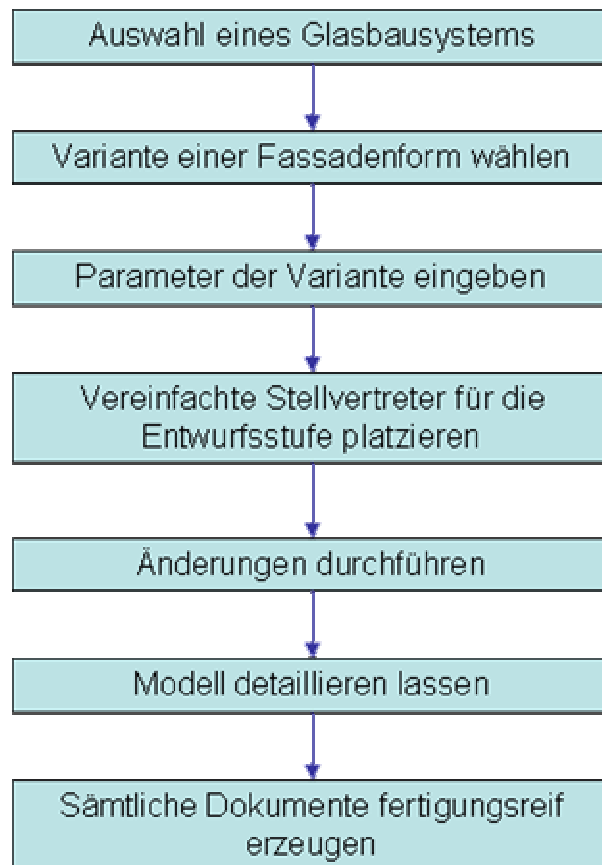


Abbildung 72: Zweistufiger Konstruktionsprozess für parametrisierte Glasfassaden

Zunächst ist es dabei erforderlich, das entsprechende Glasbau-Profilsystem aus dem Systemkatalog auszuwählen. Hierdurch sind alle aufgenommenen Einzelteile, Gruppenrelationen und die programmierten Anschlussmethoden für den weiteren Entwurf und die Detaillierung verfügbar.

4.4.1 Nutzungsoberfläche für die Entwurfsmethode

In der Anfangsphase des Konstruierens ist es ausreichend, als Entwurf eine Fassadenform aus einem grafischen Auswahlfenster auszuwählen (Abbildung 73).

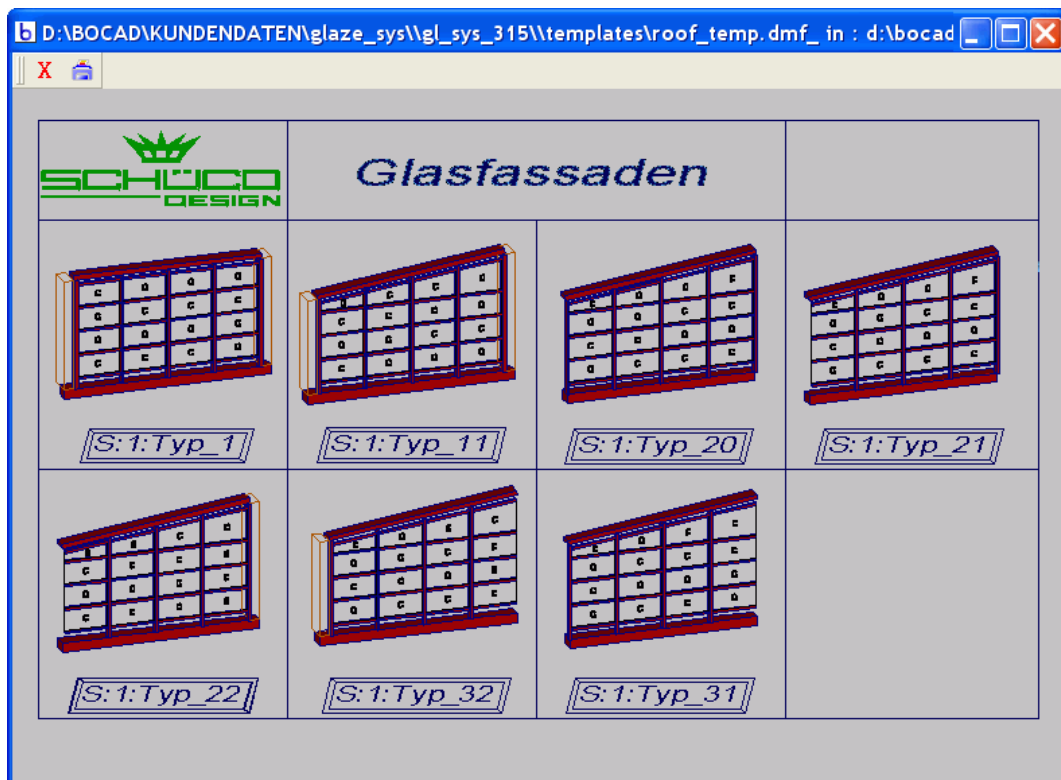


Abbildung 73: Auswahl einer Fassadenform

Die verschiedenen Fassadentypen sind in einer Grafik nebeneinander dargestellt. Durch die in dieser Grafik eingebauten Schaltflächen ist die gewünschte Fassadenform auszuwählen.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass der Anwender auf den ersten Blick alle Auswahlmöglichkeiten sieht. Er muss nur „einmal klicken“, um die entsprechende Form auszuwählen. Diese Möglichkeit der Auswahl ist solange einsetzbar, so lange die Auswahlmöglichkeiten noch in einem Bild überschaubar dargestellt werden können, ansonsten erfolgt die Auswahl in einem logisch strukturierten Katalogsystem.

Aus dem Dialogfenster der Abbildung 73 wird eine Variante ausgewählt, deren Parameterwerte an die jeweiligen Erfordernisse angepasst werden. Es folgt ein hierarchisches Verfahren, das entsprechend der vorgegebenen Reihenfolge durchlaufen werden muss. Verzweigungen werden nach Auswertung der Eingabedaten vom Programm entschieden. Durch die Auswahl wird der Benutzer automatisch in das Dialogfenster der Abbildung 74 weitergeführt, wo die zur ausgewählten Form gehörigen Parameterwerte und Grafiken abgefragt werden.

Dieses Fenster ermöglicht beim Entwerfen und Ändern jederzeit, in das Formauswahlfenster der Abbildung 73 zurückzugehen und eine andere Form auszuwählen, also den Prozess von vorn zu beginnen.

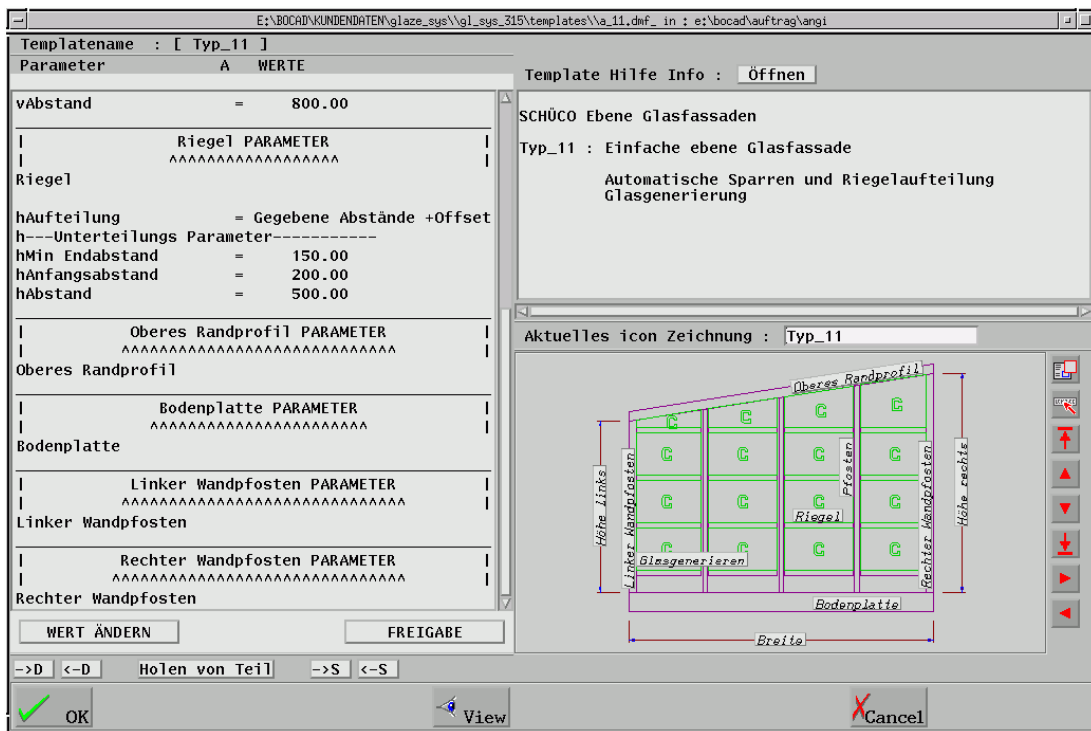


Abbildung 74: Dialogfenster für Parameterwerte

Das Dialogfenster zur Parametereingabe, siehe Abbildung 74, enthält die zu der ausgewählten Variante gehörigen speziellen Parameter. Diese sind in vier verschiedene Gruppen eingeordnet:

- Abmessungen

- Aufteilungen
- Gruppenparameter
- Anschlussparameter

Die Abmessungen, die sich auf die globale Gestaltung der Fassadenform beziehen, werden als globale Parameter bezeichnet. Hier handelt es sich um die Breite und die Höhe der Glasfassade.

Durch einen Auswahlparameter wird der Pfosten-Riegel-Aufteilungstyp bestimmt (Abbildung 75). Dafür wurden verschiedene Definitionsarten ausgearbeitet, zu denen unterschiedliche Unterteilungsparameter gehören. Abhängig von dem Aufteilungstyp aktualisieren sich die Variablen dynamisch im Parameterfeld.

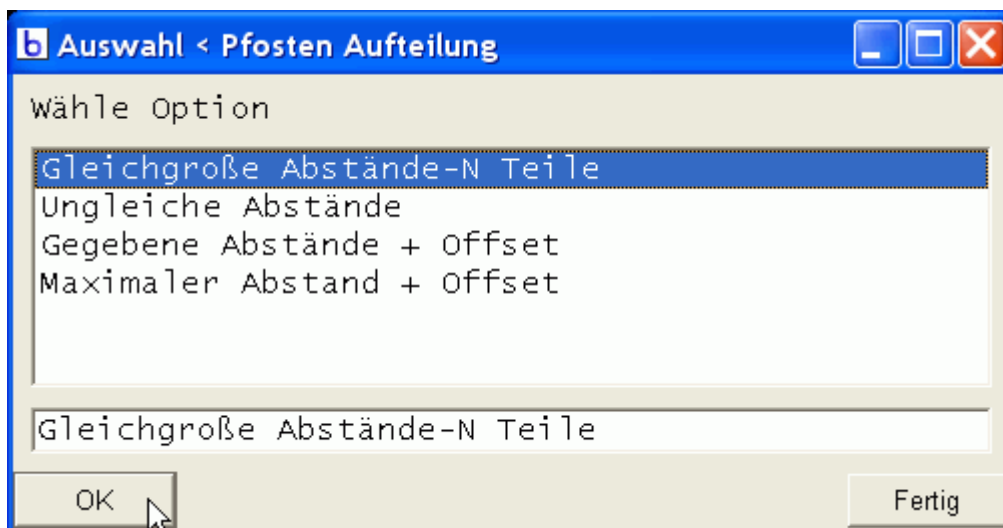


Abbildung 75: Pfosten-Aufteilungstypen

Pfosten Aufteilung = Gleichgroße Abstände-N Teile		
---Unterteilungs Parameter-----		
Anzahl Teile	=	4.00
Min Endabstand	=	150.00

Abbildung 76: Unterteilungsparameter für den Pfosten-Aufteilungstyp:
Gleichgroße Abstände – N Teile

```

Pfosten Aufteilung      = Ungleiche Abstände
---Unterteilungs Parameter-----
Anzahl Abstände        =      4.00
Min Endabstand         =      250.00
Abstand 1               =      1100.00
Abstand 2               =      1200.00
Abstand 3               =      1200.00
Abstand 4               =      1100.00

```

Abbildung 77: Unterteilungsparameter für den Pfosten-Aufteilungstyp: Ungleiche Abstände

Für die Parametereingabe der Auf- und Unterteilungsparameter wurde ein bildliches Parametereingabefenster mit den verfügbaren Werkzeugen ausgearbeitet (Abbildung 78).

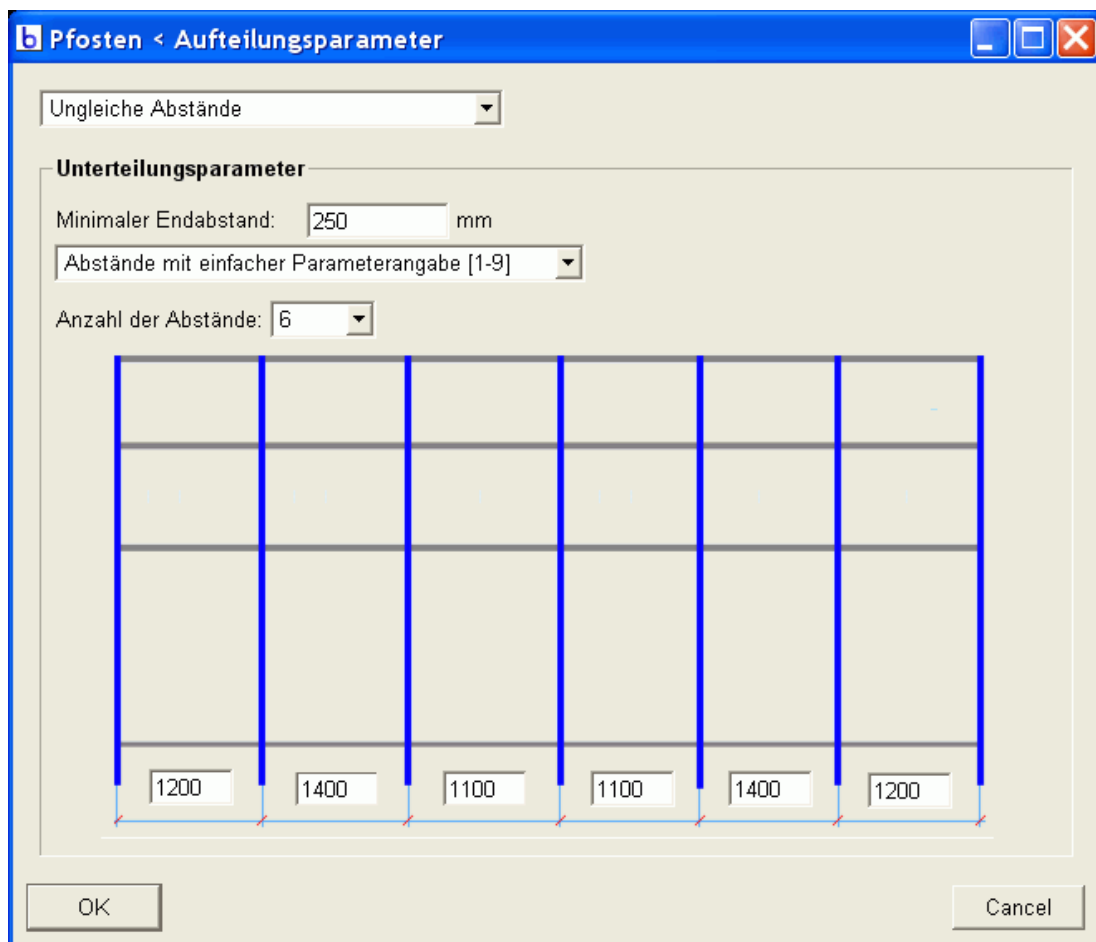


Abbildung 78: Parametereingabefenster mit Grafik

Die im Dialogfenster angelegte Zeichnung (Vorschau) ist eine statische Erklärungsgrafik, die dem Benutzer hilft, die Bedeutung der Parameter unmittelbar zu verstehen. Die Wertangabe erfolgt mit Hilfe eines numerischen Eingabefelds. Der zulässige Typ der Angaben, z. B. Nummer oder Text und die zulässige Größe der Zahlen wird überprüft, um dem Benutzer zu helfen, falsche Parameterangaben sofort zu erkennen.

Im Parameterfenster für Glasfassaden (Abbildung 79) befindet sich eine grafische Darstellung mit Schaltflächen, über die der Benutzer Parameterwerte eingeben kann. Wegen der logischen Zuordnung von Grafik und Parameter ist die Aufschrift jeder Schaltfläche mit ihrem Parameternamen identisch.

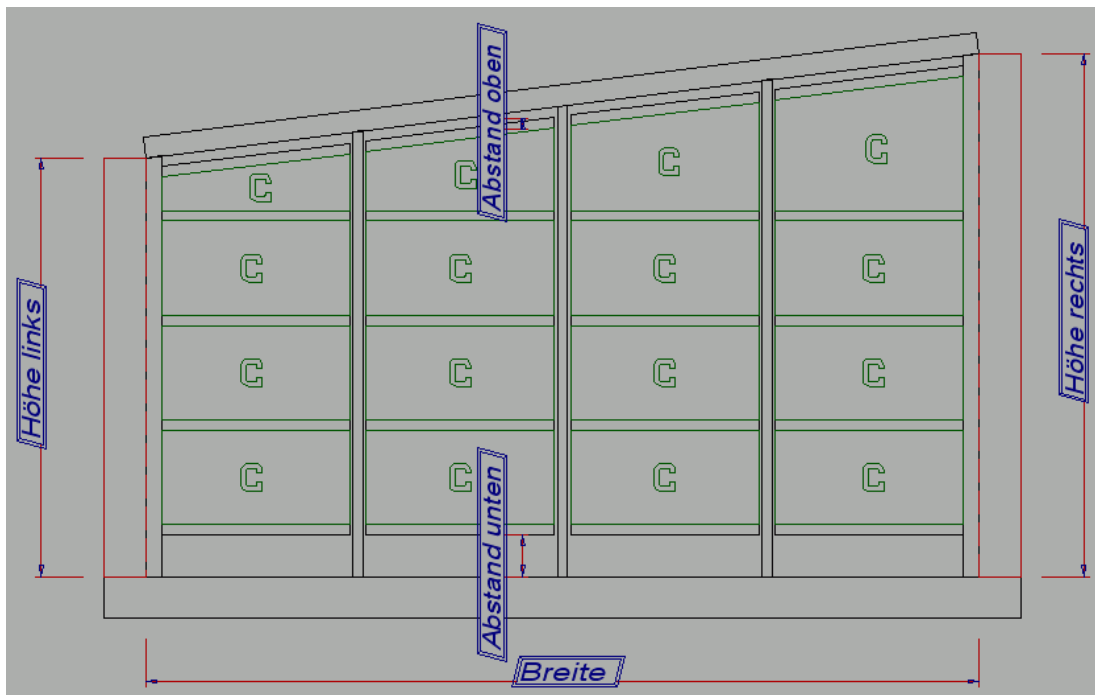


Abbildung 79: Parametereingabe über Grafik mit Schaltflächen

Die Parameternamen sind so sinnvoll und selbsterklärend gewählt, dass sie auch programmintern verwendet werden und so die Programmdokumentation erleichtern.

Bei der Platzierung eines Variantenobjekts werden lediglich die Abmessungen und Aufteilungen ausgewertet. Das rechnerinterne Modell erhält darüber hinaus die für Anschlüsse und Profilkombination erforderlichen Informationen.

Das in Abbildung 80 dargestellte Dialogfenster behandelt die Auswahl und die Zusammensetzung einer Baugruppe. Es war ein wichtiges Kriterium, die dem Benutzer schon bekannte Dialoggestaltung aufgrund des Wiedererkennungswertes zu verwenden. Das ausgearbeitete Dialogfeld basiert auf dem Fenster, welches für die Gruppenplatzierung benutzt wird, jedoch wurden die hier überflüssigen Platzierungsparameter ausgeblendet.

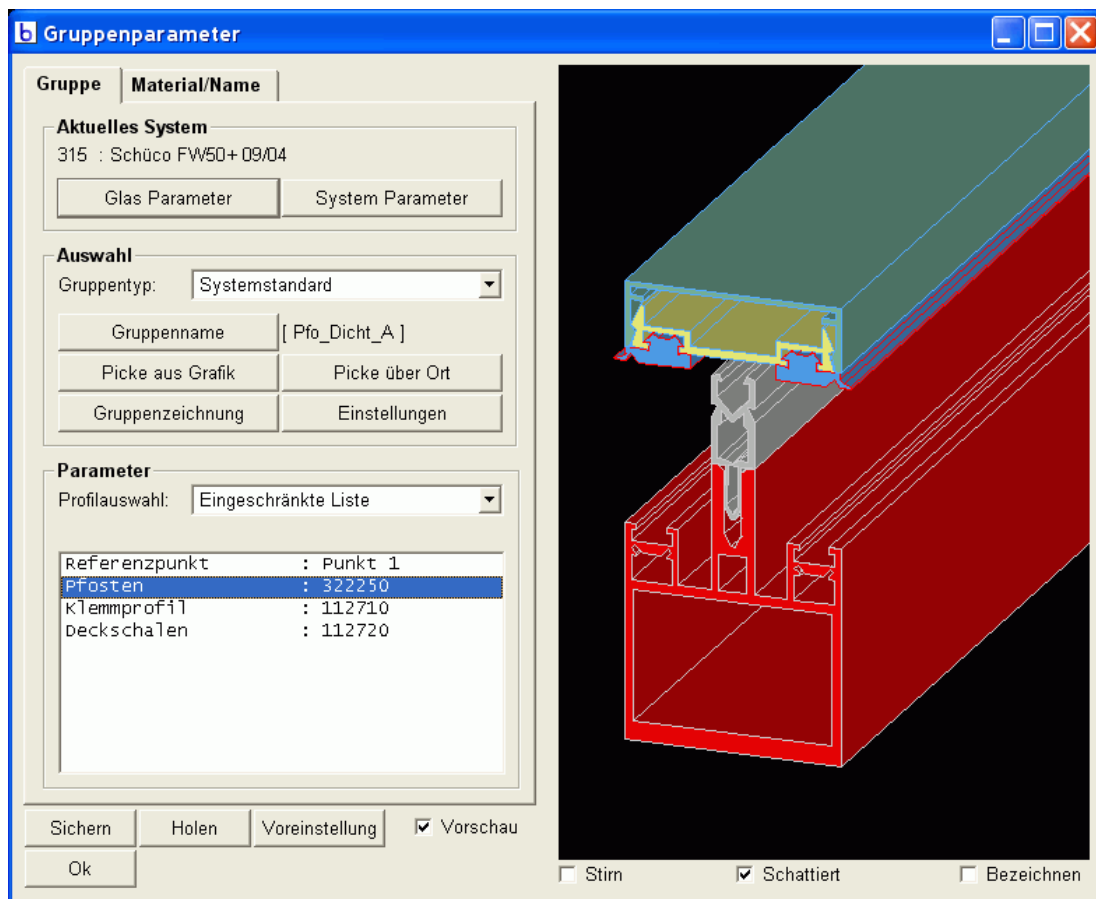


Abbildung 80: Dialogbox zur Auswahl des Konstruktionsprofils

Mit diesem Dialogfenster setzt der Benutzer für jedes Fassadenelement (Pfosten, Riegel, Randelemente, usw.) die gewünschte Kombination zusammen. Die Parameterwerte werden je nach Element über den Parameternamen in den entsprechenden Speicher geschrieben. Eine sinnvolle

men in den entsprechenden Speicher geschrieben. Eine sinnvolle Grundeinstellung für jedes Profil ist voreingestellt. Die entsprechende Grundeinstellung wird stets vorab in das Dialogfenster eingelesen, damit der Benutzer nur die davon abweichenden speziellen Werte eingeben muss.

4.4.2 Glasbau-spezifische Profilauswahl in Dialogfeldern

Für die Auswahl des Gruppennamens werden folgende Möglichkeiten angeboten:

- Als Auswahlliste über den Gruppennamen. Der Benutzer muss dazu den Name der Gruppe kennen, also typischerweise ein professioneller Anwender.
- Über Gruppenzeichnungen gemäß Abbildung 81. Der Benutzer muss dazu den Profilschnitt durch Klick auf die entsprechende Darstellung wählen.

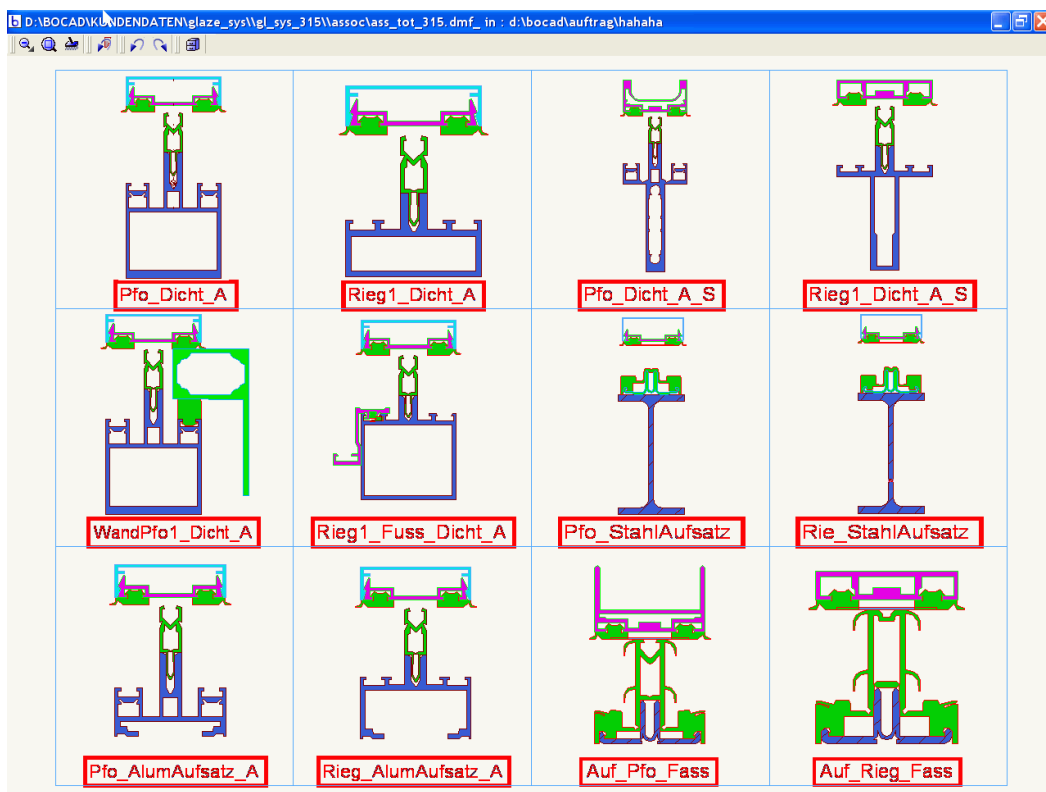


Abbildung 81: Gruppenauswahl über Grafisches Menü

- Asuwahl über ein Leitbild, siehe Abbildung 82. Der Benutzer wählt die entsprechende Gruppe aus einem Leitbild über eine Standardkonstruktion.

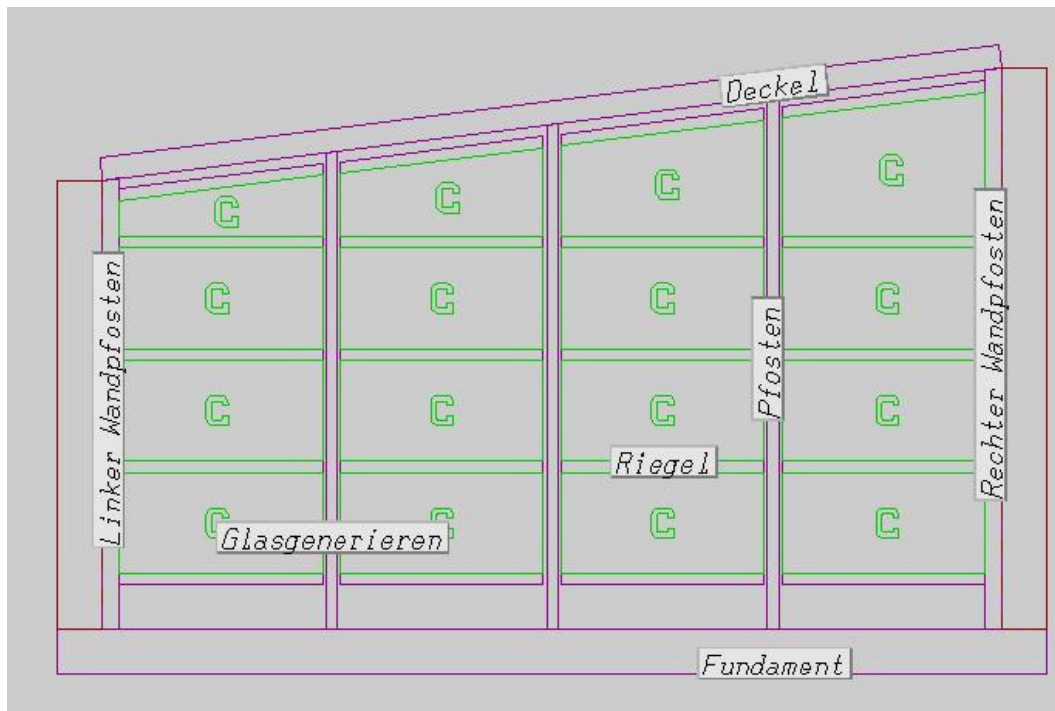


Abbildung 82: „Auswahl über Leitbild“

Bei der Konzeption der Benutzungsoberfläche wurde darauf geachtet, dass grafische Menüs nach der Gruppendefinition über die Datenbank automatisch erzeugt werden können.

Bei der Auswahl der Gruppe werden gleichzeitig ihre aktuellen Variablen in das dynamische Listenfeld eingelesen und die dynamische Grafik wird aktualisiert. Die Teilevariablen werden mittels verschiedener Auswahllisten bedient:

- Komplette Liste
- Eingeschränkte Liste
- Komplette Zeichnungsliste
- Eingeschränkte Zeichnungsliste

Die kompletten Listen werden automatisch aufgrund des definierten Teiletyps erzeugt. In der eingeschränkten Liste sind nur die der bestimmten Gruppe üblicherweise zugeordneten Teile aufgelistet. Abbildung 83 und Abbildung 84 zeigen nacheinander die komplette und die eingeschränkte Auswahlliste bzw. das grafische Menü der Isolatoren (Profiltyp=5) für die Pfostengruppe aus der Profilsérie Hartmann System 52.

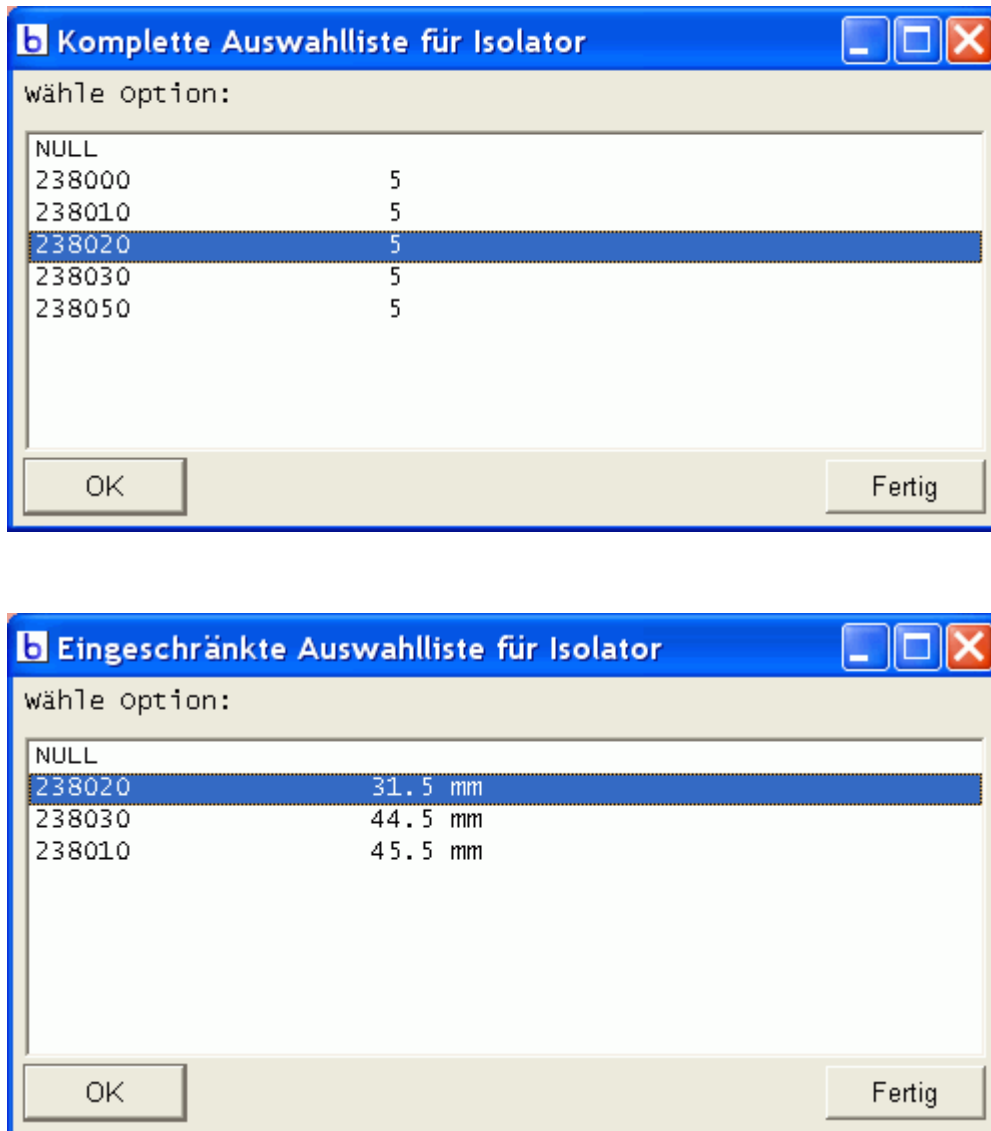


Abbildung 83: Profilauswahl über Liste

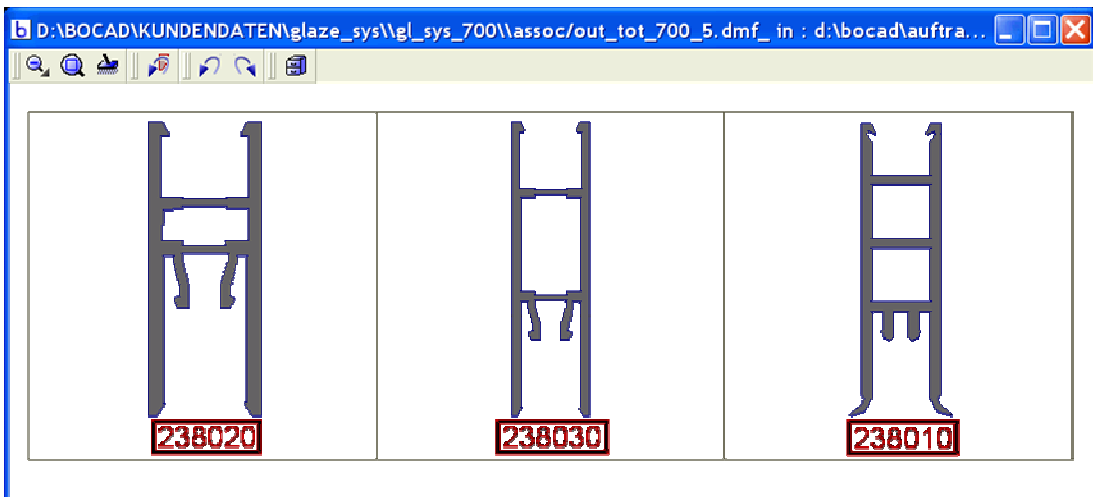
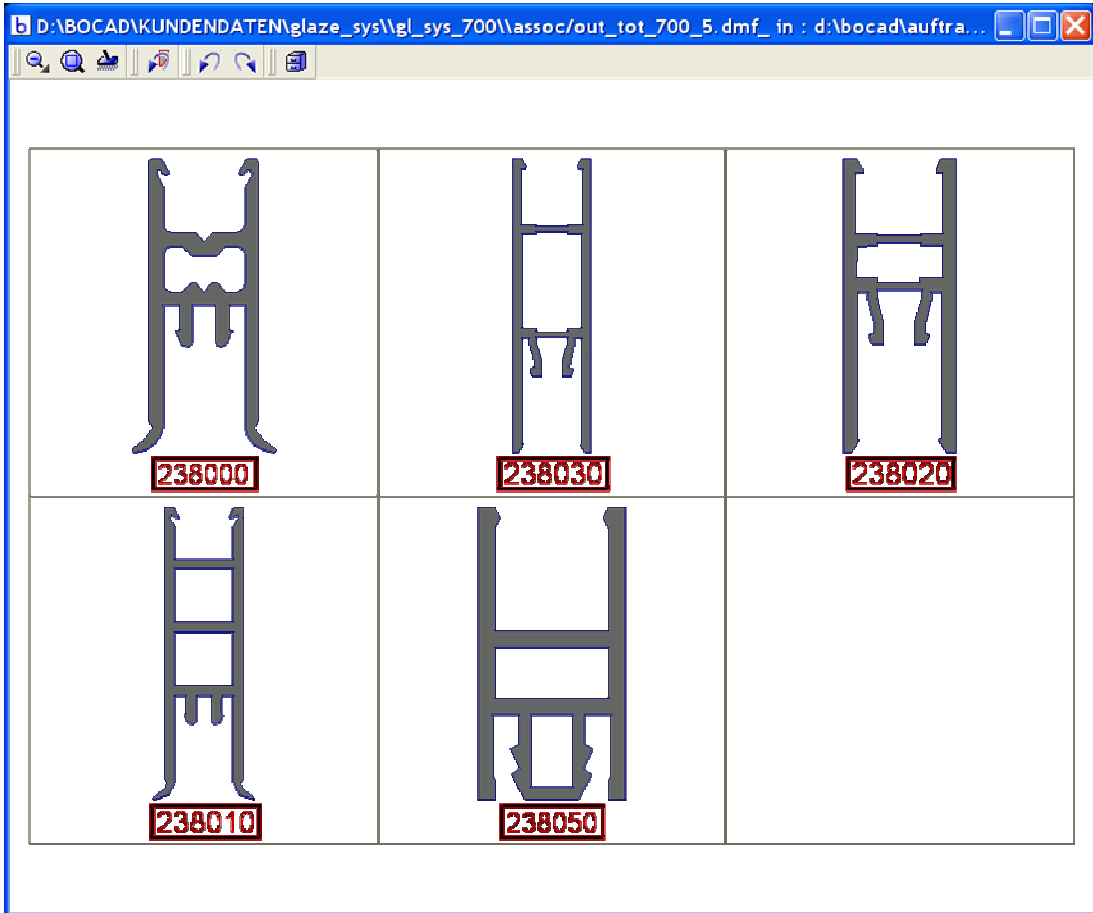


Abbildung 84: Profilauswahl über grafisches Menü

4.4.3 Die Benutzungsoberfläche vom idealisierten Vorentwurf bis zur wirklichkeitsgetreuen Detailkonstruktion

Feldstudien der betreuenden Wissenschaftler in typischen Konstruktionsbüros des Glasbaus führten teilweise zu überraschenden Erkenntnissen, die für die Konzeption der Nutzungsoberfläche von CAD-Systemen des Glasbaus von entscheidender Bedeutung sind. Der Ablauf und die Abwicklung eines Konstruktionsauftrags gliedern sich demnach in zwei deutlich unterscheidbare Phasen.

Die erste Phase ist vom Wesen her eine auftragsklärende Vorplanung. Hier geht es darum, den architektonischen Gesamteindruck der Glasfassade und die funktionalen Spezifikationen mit Lage, Art und Größe von Fenstern, Türen etc. vertragsverbindlich zu klären und für alle Parteien verständlich zu dokumentieren. Änderungen sind in dieser Phase alltäglich und sehr häufig. Details interessieren in dieser Phase allenfalls exemplarisch, begrenzt auf wenige Musterfälle. Diese Randbedingungen haben durchschlagende Konsequenzen für die Gestaltung einer sachgerechten, änderungsfreundlichen Benutzungsoberfläche eines CAD-Systems für Glasbau.

Die klärende Vorplanung muss mit angemessen beschränktem Aufwand an einem „intelligent“ vereinfachten, idealisierten 3D-Modell erfolgen. Details, z.B. Anschlüsse zwischen Pfosten und Riegeln, dürfen in dieser Phase noch nicht explizit ausgeführt werden, d.h. das rechnerinterne Modell muss zunächst implizit bleiben, um problemlos und rasch änderbar zu sein.

Trotz der sehr unterschiedlichen Phasen „klärende Vorplanung“ und „Detailierung“ ist es sinnvoll, in beiden Fällen dieselbe Benutzungsoberfläche anzubieten. Nur so bleibt durch Wiedererkennungswert und durchgängige, schlüssige Logik und Struktur der Benutzungsoberfläche der Lernaufwand angemessen. Die Chancen für reflexhaftes, sicheres Bedienen nach der Lernphase sind dann sehr gut. Wie konnte dieses widersprüchlich erscheinende Problem „zwei sehr unterschiedliche Konstruktionsphasen mit nur einer gemeinsamen Benutzeroberfläche“ stringent gelöst werden? Der Grund-

gedanke war, für die erste Phase ein implizites Stellvertreter-Modell für die 3D-Teile des Entwurfs zu verwenden. Diese idealisierten Stellvertreter, z.B. ein Rechteckquerschnitt für eine komplexe Profilgruppe, sind jedoch insofern „intelligent“, als sie alle ohne menschlichen Mehraufwand verfügbaren Informationen als Objekteigenschaften sich selbst zuordnen, z.B. welche explizite Profilkombination (Gruppe) das umhüllende Rechteck idealisiert darstellt.

So kann der entwerfende Ingenieur am Bildschirm mit Stäben rechteckigen Querschnitts, denen er die wahrscheinlichste Profilgruppe zuordnet, die Glasbaukonstruktion architektonisch und funktional gestalten, um den Entwurf dann dem Bauherrn bzw. Architekten zur Genehmigung bzw. Änderung so oft vorzulegen, bis eine Endfassung des Entwurfs vertragsverbindlich genehmigt ist. Das Ändern des Aufteilungsrasters, Verschieben, Löschen oder Ergänzen von Türen und Fenstern, ja sogar das Auswechseln der verwendeten Profilkombinationen ist in diesem impliziten Stellvertreter-Modell tatsächlich problemlos, wie die Anwendungspraxis gezeigt hat. Obendrein kann, da kein Informationsverlust durch die Idealisierung stattfindet, schon in der ersten Phase für kritische Details durch Klick auf das Stellvertretermodell gezeigt werden, wie es in Wirklichkeit aussieht, Abbildung 85.

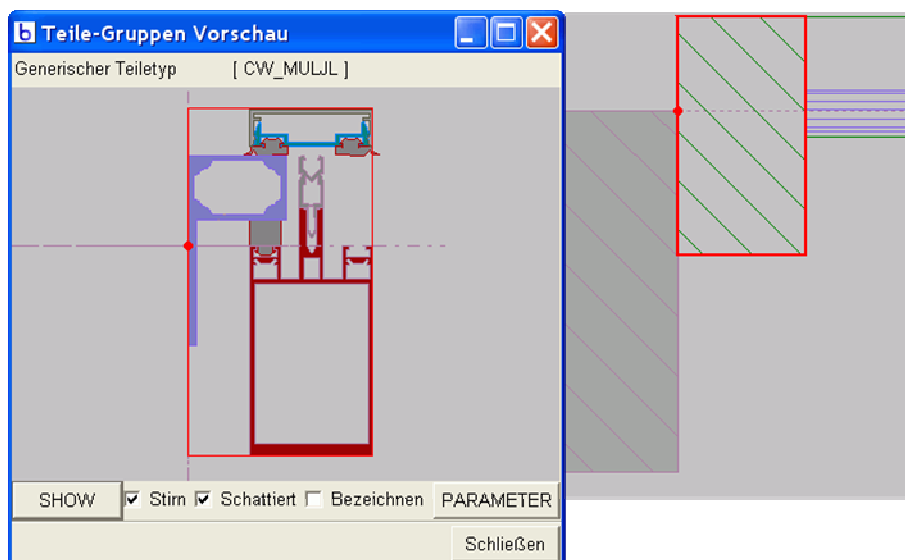


Abbildung 85: Vollständige Teileinformation

Nach der ersten klärenden Entwurfsphase können weiterhin alle variablen Parameter im Rahmen des durch die Konstruktionsregeln festgelegten Variationsbereichs verändert werden. Dies kann über den Befehl Ändern und Picken des jeweiligen Parameters oder bei Maßparametern direkt durch interaktive Maßeingabe erfolgen.

Nach der Bestätigung der Veränderung wird automatisch erneut die gestellte Konstruktionsaufgabe entsprechend den im Template hinterlegten Regeln abgearbeitet und die Fassade wird an die variierten Parameter angepasst.

So wird zum Beispiel bei der Editierung eines Parameters der äußeren Abmessungen die Gesamtkonstruktion der Fassade automatisch an diese veränderten Gegebenheiten angepasst. Die Fassade übernimmt dabei die variierten geometrischen Randbedingungen, die durch die äußeren Abmessungen gegeben sind. Die Anzahl der erforderlichen Zwischenelemente wird neu berechnet und es ergibt sich eine neue Aufteilung.

Man sieht also, dass selbst grundsätzliche und weitgehende Änderungswünsche des Bauherrn oder auch Alternativen mit überraschend geringem menschlichen Aufwand „durchgespielt“ werden können. Das Ziel der Änderungsfreundlichkeit ist also mit dieser Benutzungsoberfläche und dem „Stellvertreter“-Ansatz ohne Informationsverlust voll erreicht.

Wenn der Bauherr letztlich nach mehreren Änderungszyklen den Entwurf als endgültig bestätigt, wird das rechnerinterne Entwurfsmodell in der Praxis sicherheitshalber in Form eines Backup gespeichert. Es ist nämlich im Alltagsleben des Bauwesens nicht unüblich, dass auch zunächst als endgültig angesehene Entwürfe vom Bauherrn noch mehrmals grundsätzlich geändert werden. Durch das Backup bleibt so ein Wiederaufsetzpunkt erhalten, mit dem ansonsten sehr aufwendige und folgenreiche Änderungen noch schnell und sicher wie oben geschildert durchgeführt werden können.

Nach dem klärenden Entwurf folgt die zweite Phase, die Detaillierung, die prinzipiell einen wesentlich höheren Arbeitsaufwand verursacht. Ingenieur-

wissenschaftliche Forschung, wie diese zweite Phase intensiv automatisiert werden kann, ist also besonders lohnend. Die bisher nur implizit gegebenen Objekteigenschaften der Stellvertreter geben zu dieser Automatisierung die entscheidenden Informationen, ohne dass dazu Eingabeaufwand anfällt. In der automatischen Detaillierungsphase werden nun die Stellvertreter lage-richtig gegen die ihnen zugeordneten Profilkombinationen ausgewechselt, siehe Abbildung 86.

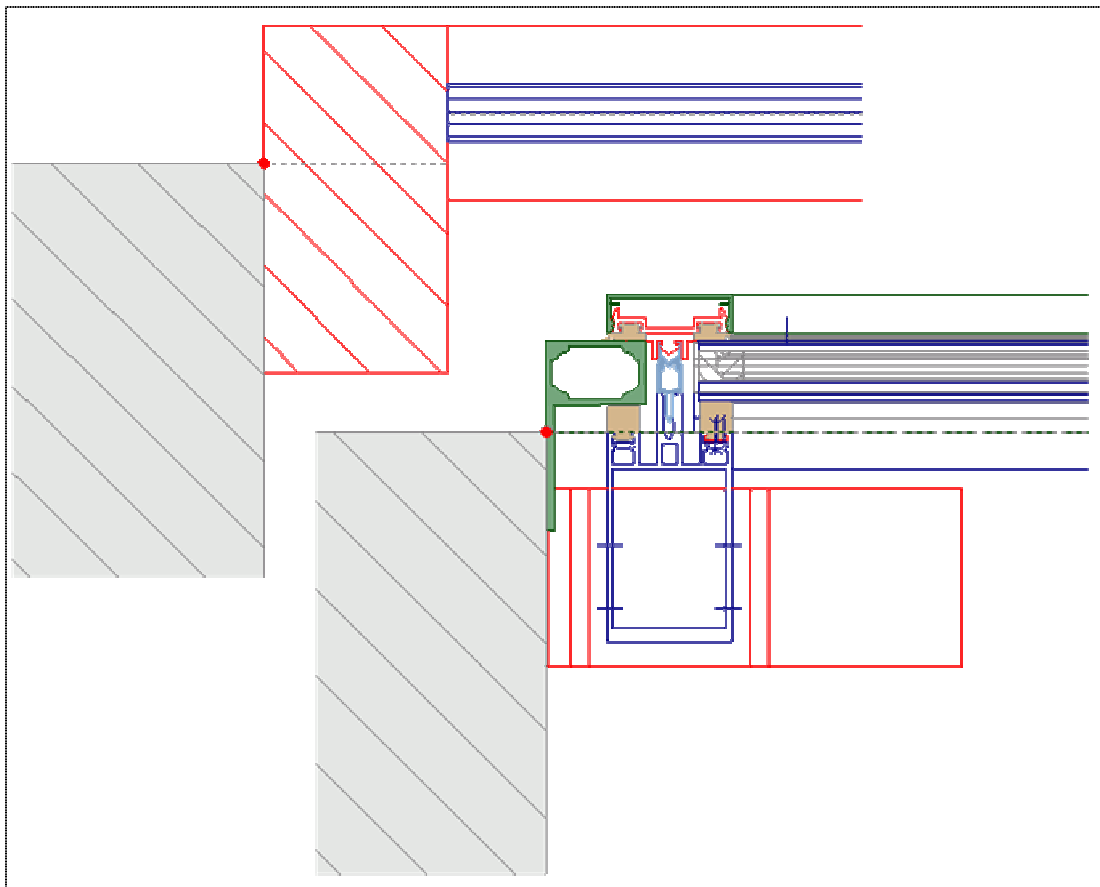


Abbildung 86: Detaillierungsphase

Den Grundsätzen des „Transparenten Modells“ der Dissertation Koch [Koch91] folgend, zieht das CAD-System an allen Knoten, an denen Profilstäbe aneinander anzuschließen sind, aus der relativen räumlichen Lage der Stäbe am Knoten und aus den vorliegenden Profilkombinationen die sachgerechten konstruktiven Schlüsse.

Nach Ermittlung dieser Informationen direkt („transparent“) aus dem rechner-

internes Modell ruft das CAD-System die genau zur aktuellen Situation des einzelnen Knotens passenden CAD-Methoden auf, die den Knoten automatisch bis zum werkstattreifen Stand detaillieren. Hierbei fällt auf, dass je nach räumliche Anordnung der Stäbe am Knoten und je nach Profilgrößen sich nicht nur Details ändern, sondern u. U. sogar die Anschlussart mit ihrem Prinzip. Eine lineare „gummibandartige“ Anpassung von Details an geänderte geometrische Verhältnisse am Knoten ist also ingenieurwissenschaftlich Unsinn, obwohl diese Scheinlösung bei CAD-Demonstrationen auf Messen von einigen CAD-Entwicklern spektakulär als Verkaufsargument vorgeführt werden. Nicht jeder wissenschaftlich nicht hinreichend gebildete Interessent durchschaut diese Problematik. Nach automatischer Detaillierung aller Knoten, siehe Abbildung 87 und der automatischen Geometriefindung aller Gläser bleiben lediglich die Detaillierungsaufgaben für den CAD-Ingenieur am Bildschirm übrig, die als Sonderfälle oder neuartige Lösungen auch ein „intelligentes“ Hochleistungssystem nicht selbständig erkennen und analysieren kann.

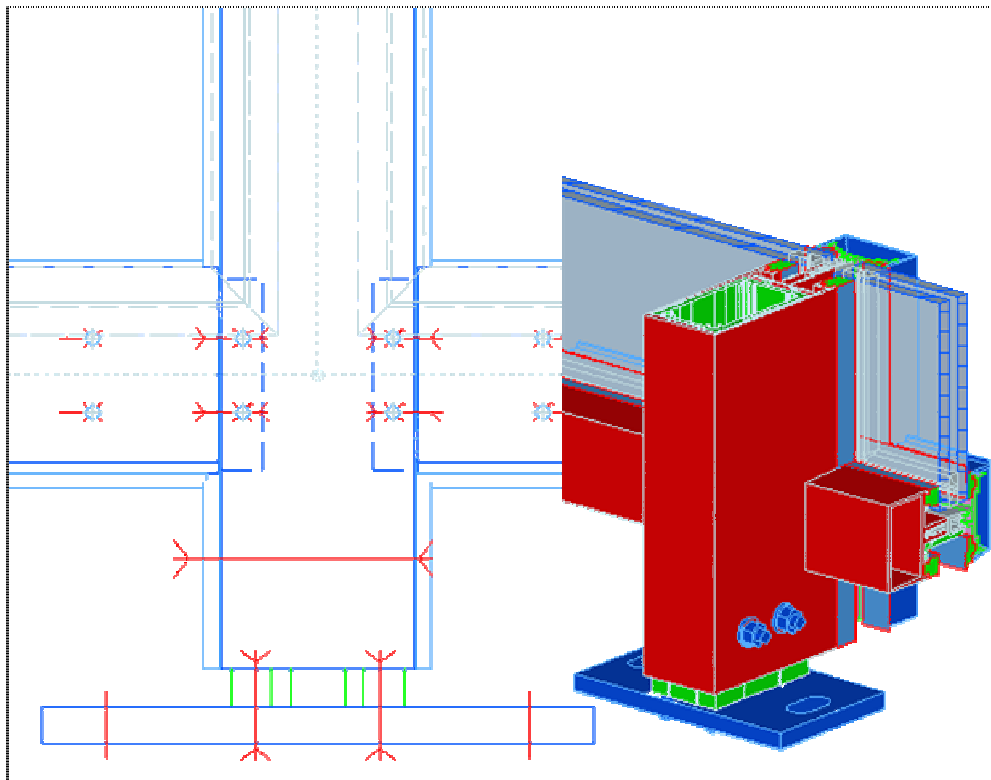


Abbildung 87: Ausgeführtes Konstruktionsdetail

Nach der Detaillierung wird jedes Detail so dargestellt, wie es der Wirklichkeit entspricht:

- die Anschlüsse mit Schrauben, Anschlussprofilen und mit Ausschnitten
- die Elemente mit den realen Konstruktionsprofilen.

Nach der automatischen Detaillierung ist es möglich, mit der Konstruktion in der allgemeinen 3D-CAD Umgebung mit den elementaren Befehlen des CAD-Systems weiterzuarbeiten, um völlig individuelle Ergänzungen und Änderungen vorzunehmen. Die Änderungen beziehen sich nun nicht mehr auf das Entwurfmodell, sondern auf die ausgeführte Konstruktion. Sie finden im rechnerinternen, wirklichkeitsgetreuen dreidimensionalen Volumenmodell statt, in dem jede vom CAD-System angebotene Operation ausführbar ist.

Wenn in diesem Status noch vom Bauherrn nachträglich gewünschte Änderungen vorgenommen werden müssen, ist der Aufwand naturgemäß hoch. Zunächst sind dann Knoten zu löschen, d.h. in den Rohzustand zurückzusetzen und anschließend interaktiv zu detaillieren.

Nach Abschluss der Detaillierung, die sich in der Benutzungsoberfläche nicht von den übrigen Phasen unterscheidet, treten die wirksamsten Leistungen eines CAD-Hochleistungssystem in Kraft. Es ermittelt automatisch alle Gleichteile und gibt ihnen systematisch korrekte Positionsnummern, es erstellt alle Werkstattzeichnungen, alle technischen Listen und alle Steuerinformationen für CNC-Bearbeitungszentren, die alle Einzelteile der Konstruktion montagefertig individuell herstellen.

5 Zusammenfassung

Um den heutigen, immer komplexer werdenden Herausforderungen im Bauwesen gerecht zu werden, müssen konstruierende und entwerfende Ingenieure immer effizientere und leistungsfähigere CAD-Systeme anwenden. Das betrifft insbesondere den komplizierten Glasbau, wo der Trend zur anspruchsvollen Architektur mit origineller und auffallender Baugestaltung einhergeht (siehe Abbildung 88).

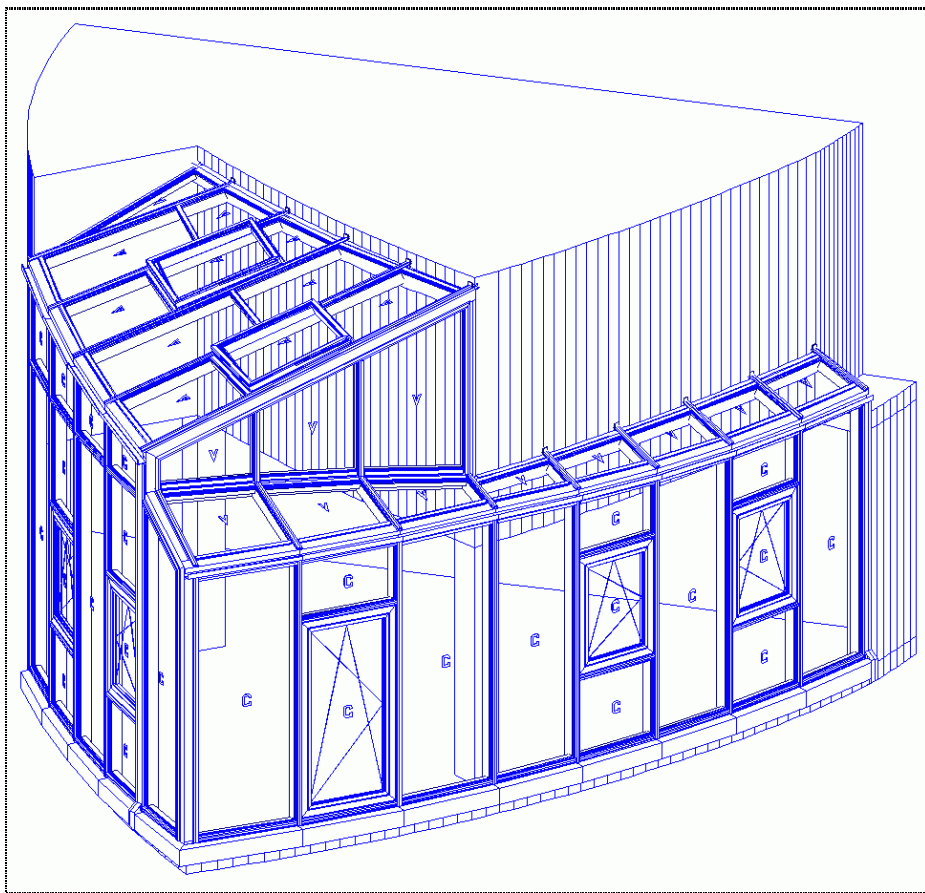


Abbildung 88: Komplexe Einheit bildende Glasfassaden

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, wie die systemspezifischen Anforderungen des Glasbaus in einer CAD-Umgebung realisiert werden können, wobei hier der Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt auf die Benutzungsoberfläche für Glasbau gelegt wurde. Die Erfahrungen mit der praktischen Alltagsanwendung der Erkenntnisse dieser Arbeit haben gezeigt,

dass die systematisierten und festen Regeln unterworfenen Glasbaukonstruktionen für automatisierte und parametrisierte Konstruktionsverfahren besonderes geeignet sind.

Das entwickelte parametrisierte Konstruktionsmodul für Glasfassaden wurde einschließlich geeigneter Benutzungsoberfläche in ein aus mehreren Basismodulen aufgebautes CAD-System integriert. Die komplexen konstruktiven Zusammenhänge werden vom System so automatisch erkannt und ausgewertet, dass der Anwender am Bildschirm über die dafür konzipierte Benutzungsoberfläche lediglich die Aufgabenstellung einzugeben hat, nicht jedoch die einzelnen Lösungsschritte. Die „Denkprozesse“ des Konstruierens und Detaillierens finden also im CAD-System über die CAD-Methoden statt.

Diese Verlagerung konstruktiver Denkprozesse in das CAD-System macht eine so vereinfachte Bedienung am Bildschirm möglich, dass Anwender, die nur über beschränktes Fachwissen des Glasbaus verfügen, das CAD-System auch wirtschaftlich nutzen können.

Die auf der Benutzungsoberfläche basierenden Manipulationsverfahren sind entscheidend für die Mächtigkeit des Gesamtsystems. Mit Hilfe der über Varianten gewählten Parametrisierung ist das gängige Spektrum von Glasfassaden schnell und vollständig ausführbar. Trotz der großen Anzahl notwendiger Parameter bleibt durch den logischen Aufbau der Benutzungsoberfläche die Bedienung übersichtlich.

Dank der einfachen und benutzerfreundlichen Bedienungsarten sowie dank des logischen Verfahrenaufbaus wurde eine umfassende Reduzierung des Arbeitsaufwandes in den Bereichen Entwurf, Konstruktion, Fertigung, Arbeitsvorbereitung und Montage erreicht.

6 Anlagen

- A. Literaturverzeichnis
- B. Verzeichnis verwendeter Dokumentationen, Publikationen
- C. Verzeichnis verwendeter Internetseiten
- D. Abbildungsverzeichnis

A. Literaturverzeichnis**[Balzert 96]**

Helmut Balzert, »Lehrbuch der Softwaretechnik – Software Entwicklung«
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1996
ISBN 3-8274-0480-0

[Balzert 98]

Helmut Balzert, »Lehrbuch der Softwaretechnik – Software Management,
Software-Qualitätssicherung, Unternehmensmodellierung«
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1998
ISBN 3-8274-0065-1

[Balzert 99]

Heide Balzert »Lehrbuch der Objektmodellierung«
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1999
ISBN 3-8274-0599-8

[Balzert 00]

Heide Balzert »Objektorientierung in 7 Tagen«
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2000
ISBN 3-8274-0599-8

[Borrmann 02]

Borrmann, Rätzmann, Sauer, Materne, Landgrebe, »Rational Rose und
UML-Anleitung zum Praxiseinsatz«
Galileo Press GmbH, Bonn, 2002
ISBN 3-934358-172-4

[Chang 02]

Y. Chang: »Eine von Landessprachen unabhängige Nutzoberfläche mit intel-
ligenten CAD-Objekten des Bauwesens«
Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2002
Online-Publikation

[Compagno 02] A. Compagno »Computer Intelligente Glasfassaden«

Birkhäuser Publishers, Berlin, 2002
ISBN 3-7643-6694-X

[Enderle 84] G. Enderle, K. Kansy, G. Pfaff »Computer Graphics Program-
ming«

Springer-Verlag, 1984, Berlin
ISBN 0-387-11525-0

[Fabian 96] E. Fabian » CAD-Konstruktionsmethoden komplexer Baugruppen – raumerschließende Stahlbaukonstruktionen«
Verlag Mainz Aachen, 1996
ISBN 3-89653-111-5

[GlasbauAtlas 98]
D. Balkow, C. Schittich, M. Schuler, W. Sobek, G. Staib: »Glasbau Atlas«
Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München, 1998

[Grätz 89]
Joachim-F. Grätz: »Handbuch der 3D-CAD-Technik«
Grätz Aktiengesellschaft, Berlin-München, 1989
ISBN 3-8009-1529-4

[Grimm 96] F. Grimm » Energieeffizientes Bauen mit Glas «
Callwey Verlag, München, 2003
ISBN 3-89653-111-5

[Hall 89]
R. Hall »Illumination and Color in Computer Generated Imagery Monographs in visual communication«
Springer Verlag, Berlin, 1989
ISBN 3-540-96774-5

[Hegedűs 04]
K. Hegedűs »CAD-Methoden des Konstruktionsprozesses im Glasbau, Wissensakquisition, Forschung und Entwicklung«
Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2004
Online-Publikation

[Herold 01]
H. Herold, »Das Qt Buch-Portable GUI-Programmierung unter Linux/Unix/Windows«
SuSE-Press, Nürnberg, 2001
ISBN 3-934678-76-9

[Koch 91]
H.-D. Koch: »Ansatz und grundlegende Elemente eines CAD/CAM-Systems für den Stahlbau«
Dissertation, Bergische Universität-GH Wuppertal, 1991
ISBN 3-925714-53-7

[KonstrGlas 98]
U. Knaack: »Konstruktiver Glasbau«
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1998
ISBN 3-481-01427-9

[KonstrGlas 00]

U. Knaack, W. Führer, J. Wurm: »Konstruktiver Glasbau 2«
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 2000
ISBN 3-481-01685-9

[Münz/Nefzger]

S. Münz, W. Nefzger »HTML 4.0 Handbuch«
Franzis Verlag GmbH, Poing, 1999
ISBN 3-7723-7514-6

[Nitsche 92]

G. Nitsche, U. Meißner, P. von Mitschke-Collande, » CAD im Bauwesen«
Springer-Verlag, Berlin, 1992
ISBN 3-540-55019-4

[Oestereich 97]

B. Oestereich »Objektorientierte Softwareentwicklung mit der Unified Modeling Language«
Oldenburg Verlag, München, 1997
ISBN 3-486-24787-5

[Reß/Viebeck 00]

H. Reß, G. Viebeck »Datenstrukturen und Algorithmen«
Hanser Verlag, München, 2000
ISBN 3-446-21362-7

[Saake 02]

G. Saake, K. Sattler, »Algorithmen und Datenstrukturen, Eine Einführung mit Java«
dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2002
ISBN 3-89864-122-8

[Schneider 98]

Schneider »Bautabellen für Ingenieure mit europäischen und nationalen Vorschriften (13. Auflage)«
Werner-Verlag, 1998
ISBN 3-8041-3460-2

[Schwarz 95]

J. Schwarze »Systementwicklung«
Neue Wirtschaftsbriefe Verlag, 1995
ISBN 3482476314

[Steinrötter 95]

M. Steinrötter »CAD-Verfahren der Informationsgewinnung und –
verarbeitung am dreidimensionalen Körpermodell von Stahlbauten«
Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 1995

[Westphal 02]

Christian Westphal, »Bauinformatik für virtuelle Unternehmen«
Dissertation am Lehr- und Forschungsgebiet für Theoretische Methoden und
Angewandte Informatik der Bergischen Universität Wuppertal
Shaker Verlag, Aachen, 2002
ISBN 3-8322-0798-8

Fachmagazine**[Bosshart]**

D. Bosshart: »Weniger wird mehr: Marketing in der Wunschgesellschaft«,
Absatzwirtschaft: Zeitschrift für Marketing 05/2002
Verlagsgruppe Handelsblatt, Düsseldorf
ISSN 0001-3374

[CAD CAM]

ags advanced graphics software GmbH »CAD-Daten überall anschauen«
CAD CAM, 02/2002
Carl Hanser Verlag GmbH & Co.
ISSN 0723-1164

[ct 6/2003]

D. Wiegand, »Wohlfühlsoftware«
Ct-Magazin für Computertechnik, 6/2003
ISSN 0-7248-679

[M&T04/2001]

G. Pegels, H. Schnitzer: »Markterfolg durch Hochleistungs-CAD«
Charles Coleman Verlag, Lübeck
ISSN 1436-0446

[M&T01/2003]

»CAD für Schlosserei in verbesserte Form«
M&T Metallhandwerk, 01/2001, Charles Coleman Verlag, Lübeck
ISSN 1436-0446

[metallbau1/2001]

»3D-Konstruktionen für Metallbauer«
Metallbau Fachmagazin, 01/2001
ISSN

[metallbau3/2001]

»Aluminiumprofile-System-Qualität für jede Anforderung«
Metallbau Fachmagazin, 03/2001
ISSN

[metallbau6/2001]

»EDV im Metallbau-Ein durchgängiges System«
Metallbau Fachmagazin, 06/2001
ISSN

[metallbau11/2001]

»Fassadentechnik-Experiment und Effekte«
Metallbau Fachmagazin, 11/2001
ISSN 0947-9430

[metallbau5/2002]

»Software KON-CAD-fassade«
Metallbau Fachmagazin, 05/2002
ISSN 0947-9430

[metallbau11/2002]

»Interview mit Rudolf Trauerlicht, dem 2. Vorsitzenden des FV Wohn-
Wintergarten«
Metallbau Fachmagazin, 11/2002
ISSN 0947-9430

[metallbau12/2002]

»Modernes Marketing – Wicona setzt auf Partnerschaft«
Metallbau Fachmagazin, 12/2002
ISSN 0947-9430

[Stahlbau 5/97-1]

G. Pegels, P. Kutsch »Wettbewerbsfähigkeit und CAD-Konstruktion-
Erfahrungen eines Stahlbauunternehmens«
Stahlbau, 5/1997
ISSN 0038-9145

[Stahlbau 5/97-2]

G. Pegels, J. Schiffer »Erschließung neuer Märkte durch CAD-Konstruktion«
Stahlbau, 5/1997
ISSN 0038-9145

B. Verzeichnis verwendeter Dokumentationen, Publikationen**[bocad]**

Produktbeschreibung von bocad-3D, Edition Glas
Bocad GmbH, 2002

[Gerding 02]

C. Gerding »Konzeption und Entwicklung des Datenaustauschs zwischen technischer und kaufmännischer Software im Stahl- und Metallbau«
Diplomarbeit am Lehrstuhl für Stahl- und Verbundbau an der Ruhr Universität Bochum, 2002

[Richartz 02]

O. Richartz, »CAD-Strategien für individuelle Treppenkonstruktion«
Diplomarbeit Lehr- und Forschungsgebiet für Theoretische Methoden und Angewandte Informatik der Bergischen Universität Wuppertal, 2002

[Siebel]

»Neue Wege zum integrierten kundenorientierten Unternehmen«
Ein Spezialbericht von IBM und Siebel Systems

[Travers]

N. Travers »Net-3D«, Quick Reference
Production Software Technology Ltd., 2001

[Vegla]

»Glas am Bau«, Technisches Handbuch
Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen, 1995/96

[Wigge 02]

Wolfram Wigge: »CAD Methodenkonzept für die Konstruktion von Brandschutztüren«
Diplomarbeit am Lehr- und Forschungsgebiet für Theoretische Methoden und Angewandte Informatik der Bergischen Universität Wuppertal, 2003

C. Verzeichnis verwendeter Internetseiten

[CIP Dresden]

Webseite des Lehrstuhls für Computeranwendung im Bauwesen an der Universität Dresden (Stand: 14.04.2003)

<http://bci20.bau.tu-dresden.de/main.html>

[TU München]

Webseite des Lehrstuhls für Bauinformatik, an der Technischen Universität München (Stand: 15.04.2003)

<http://www.inf.bauwesen.tu-muenchen.de/>

[archINFORM]

Internationale Architekturdatenbank, Sascha Hendel, (Stand:25.02.2003)

<http://www.archinform.de/projekte/11262.htm>

[BMS]

Webseite: Bauen mit Stahl

<http://www.bauen-mit-stahl.de/presseinformation.htm>

Artikel:

- Stahlbau-Architekturpreis 2002 für Bürohaus Berliner Bogen in Hamburg (Stand: 07.06.2002, Presseinformation)

[Baulex]

Baulex Newsmagazin/Bauen + Architektur

<http://www.baulex.de/>

Artikel:

- High-Tech-Glasfassade spart Heizenergie (Stand: 24.01.2003)
- Berliner Bogen in Hamburg: Gläserne umhüllte Wärmedämmung (Stand: 18.09.2002)
- Pflegezentrum in Oberhausen: Opake Glasfassade (Stand: 09.04.2003)

[Interpane]

Webseite der Interpane Glas Industrie AG (Stand: 03.03.2003),

<http://www.interpane.net>

[BOCAD]

Webseite der Bocad GmbH, (Stand: 2003)

www.bocad.de

D. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Kathedrale St. Veits, Prag.....	1
Abbildung 2:	Berliner Bogen in Hamburg, Foto: Thorsten Hollander	2
Abbildung 3:	Innenraum „Berliner Bogen“, Foto: Jörg Hempel	3
Abbildung 4:	Gläserne Manufaktur (VW), Dresden, Foto: Interpane Glas Industrie AG	4
Abbildung 5:	Passivhaus in Hassfurt, Architektin: Susanne Bauer	5
Abbildung 6:	Programmbausteine des gewählten Systems, Werkbild BOCAD Software GmbH, Bochum.....	8
Abbildung 7:	Autohaus Heeman, Wettringen	9
Abbildung 8:	2,5-D durch Zuordnung einer konstanten Ausdehnung in z- Richtung.....	12
Abbildung 9:	3D CAD-System im Wintergartenbau, Werkbild BOCAD.....	15
Abbildung 10:	CAD-Anwendung für RP-System	18
Abbildung 11:	Montage eines Pfosten-Riegel Anschlusses, Werkbild RP- System	20
Abbildung 12:	Pfosten-Riegel-Anschluss	21
Abbildung 13:	Gerader Pfostenstoß.....	21
Abbildung 14:	Fassadenfußpunkt	22
Abbildung 15:	Fassadenbefestigung.....	22
Abbildung 16:	Glasbau Pfosten-Konstruktionsprofil, Werkbild RC-System.	23
Abbildung 17:	Pfostenprofile verschiedener Hersteller	24
Abbildung 18:	Lösungen für Isolatoren, Dichtungen und Glasabstandsprofile verschiedener Hersteller.....	25
Abbildung 19:	Typische Glasbaugruppen: Pfosten und Riegel	26
Abbildung 20:	Eckpfosten, 90 Grad	26

Abbildung 21: Wandpfosten.....	26
Abbildung 22: Aufsatzkonstruktionen für bauseitige Stahlkonstruktion.....	27
Abbildung 23: Ein- und zweiseitige Innen- und Außeneckgestaltungen	27
Abbildung 24: Programmfenster: „System Nachladen“, Werkbild BOCAD .	29
Abbildung 25: Ablaufdiagramm zur Definition neuer Glasbausysteme	29
Abbildung 26: Neues Glasbausystem anlegen, Werkbild BOCAD.....	30
Abbildung 27: Bibliotheksstruktur verschiedener Glasbausystemen.....	31
Abbildung 28: Profilsegmentierung	32
Abbildung 29: Verschiedene Ausrundungen von L-Profilen.....	33
Abbildung 30: Idealisierung von Profilquerschnitten	33
Abbildung 31: Teilekontur naturgetreu und idealisiert im CAD-System	34
Abbildung 32: Idealisierung eines Glasbauprofils aus Rohrsegmenten	34
Abbildung 33: Unterschiedliche Idealisierung von Profilquerschnitten.....	35
Abbildung 34: Einfluss unterschiedlicher Idealisierung von Profilquerschnitten	36
Abbildung 35: Dialogfenster für Profilstäbe mit ihren Eigenschaften	37
Abbildung 36: Funktionsliste von Teiletypen im Glasbau.....	38
Abbildung 37: Ablaufdiagramm für die Generierung von Glasbauteilen	39
Abbildung 38: Hauptansichten eines Profilstabes.....	40
Abbildung 39: Ausgleich des Höhenversatzes durch unterschiedliche Dichtungshöhen im System Schüco FW 50 +.....	41
Abbildung 40: Definierte Hilfspunkte für die automatische Ermittlung der Glasscheibenkontur	42
Abbildung 41: Spezielles Profil mit parametrisiertem Knickwinkel	43
Abbildung 42: Nachbiegbares Klemmprofil in der Baugruppe bei 110°	44

Abbildung 43: Nachbiegbares Klemmprofil in der Baugruppe bei 130°	44
Abbildung 44: Teileinfo, Werkbild: BOCAD	45
Abbildung 45: Ablaufdiagramm zur Gruppendifinition.....	47
Abbildung 46: Pfosten als Einzelteil platziert, Werkbild BOCAD.....	48
Abbildung 47: Pfosten in einer Baugruppe, Werkbild BOCAD	49
Abbildung 48: Funktionale Lage der Einzelteile einer Gruppe zueinander (Relationen)	50
Abbildung 49: Form und Lage von Isolator und Klemmprofil in Abhängigkeit von der Glasdicke.....	51
Abbildung 50: Verglasungstabelle, Werkbild heroal 080.....	53
Abbildung 51: Auswahlbox für Anschlüsse	55
Abbildung 52: Kunden-Produkt-Anbieter Diagramm	57
Abbildung 53: Objektorientierte Bedienungsart, Werkbild Archicad.....	62
Abbildung 54: pick, drag & drop Funktion, Werkbild ArchiCAD.....	63
Abbildung 55: Vergrößern einer Schiebetür durch Funktionsgriffe, Werkbild ArchiCAD	63
Abbildung 56: Mehrfenster-Technik, Werkbild BOCAD.....	65
Abbildung 57: Interaktionselemente nach [Balzert 99] mit Glasbau- Beispielen	69
Abbildung 58: Platzierung von Glasbau-Profilstäben im Raum, Werkbild BOCAD, Glasbaumodul	70
Abbildung 59: Profilauswahl über Auswahlliste.....	71
Abbildung 60: Profilauswahl über grafisches Menü	71
Abbildung 61: Profilauswahl aus Profilsystemkatalogen.....	72
Abbildung 62: Parameter für die Teileplatzierung	73
Abbildung 63: Parameter für Teileplatzierung von Glasbau-Profilstäben in der Längsansicht.....	73

Abbildung 64: Allgemeine Platzierungsparameter für 3D Objekte	74
Abbildung 65: Glasfassade als für Architektur vereinfachtes Objekt, Werkbild b-prisma	76
Abbildung 66: Architektonisch ausreichende Grobgestaltung von Entwürfen, Werkbild b-prisma	77
Abbildung 67: PMR-3D Benutzungsoberfläche.....	79
Abbildung 68: drop-down-Menü für Template-Funktionen	82
Abbildung 69: Bildliche Ikons im CAD-System, Werkbild BOCAD	84
Abbildung 70: Werkzeugsymbole für Variantenkonstruktion.....	85
Abbildung 71: Werkzeugsymbole für ein Fassadensystem.....	86
Abbildung 72: Zweistufiger Konstruktionsprozess für parametrisierte Glasfassaden	87
Abbildung 73: Auswahl einer Fassadenform.....	88
Abbildung 74: Dialogfenster für Parameterwerte	89
Abbildung 75: Pfosten-Aufteilungstypen	90
Abbildung 76: Unterteilungsparameter für den Pfosten-Aufteilungstyp: Gleichgroße Abstände – N Teile	90
Abbildung 77: Unterteilungsparameter für den Pfosten-Aufteilungstyp: Ungleiche Abstände.....	91
Abbildung 78: Parametereingabefenster mit Grafik	91
Abbildung 79: Parametereingabe über Grafik mit Schaltflächen.....	92
Abbildung 80: Dialogbox zur Auswahl des Konstruktionsprofils.....	93
Abbildung 81: Gruppenauswahl über Grafisches Menü.....	94
Abbildung 82: „Auswahl über Leitbild“.....	95
Abbildung 83: Profilauswahl über Liste.....	96
Abbildung 84: Profilauswahl über grafisches Menü	97
Abbildung 85: Vollständige Teileinformation	99

Abbildung 86: Detaillierungsphase	101
Abbildung 87: Ausgeführtes Konstruktionsdetail.....	102
Abbildung 88: Komplexe Einheit bildende Glasfassaden.....	104