

## Das große Ganze

- Berechnung von Hochbauten als ( nahezu ) vollständige 3D-Strukturen mit ASE

Marc Quint

Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Reutlingen, *Deutschland*

[marc.quint@xperteez.de](mailto:marc.quint@xperteez.de) bzw. [www.xperteez.de](http://www.xperteez.de)

## SOFiSTiK

13. Anwender-Seminar  
31. März und 1. April 2000  
München

# Das große Ganze

- Berechnung von Hochbauten als ( nahezu ) vollständige 3D-Strukturen mit ASE

Marc Quint

*Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Reutlingen*

ZUSAMMENFASSUNG : Berechnungen ganzer Gebäude bzw. Bauwerke ohne das mühselige Unterteilen in vereinfachte und idealisierte Unterstrukturen ist der Wunsch vieler Berechnungsingenieure spätestens seit Einführung der hochauflösenden grafischen Monitore Anfang der 80-er Jahre. In der Vergangenheit waren auf PC's nur stark vereinfachte Abbildungen der realen Struktur im mathematisch-mechanischen Modell aufgrund unzureichender Rechen- bzw. Speicherleistung möglich. Dies hat sich in jüngster Vergangenheit durch wesentliche Verbesserungen der Soft- und Hardware geändert. Berechnungen ganzer Gebäude sind nun ohne weiteres möglich ( vgl. Bild 1 ) . In vielen Fällen sind erst hierdurch sinnvoll die Vorstellungen des Architekten oder die Anforderungen an das Gebäude sinnvoll und wirtschaftlich auszuführen bzw. zu bemessen.

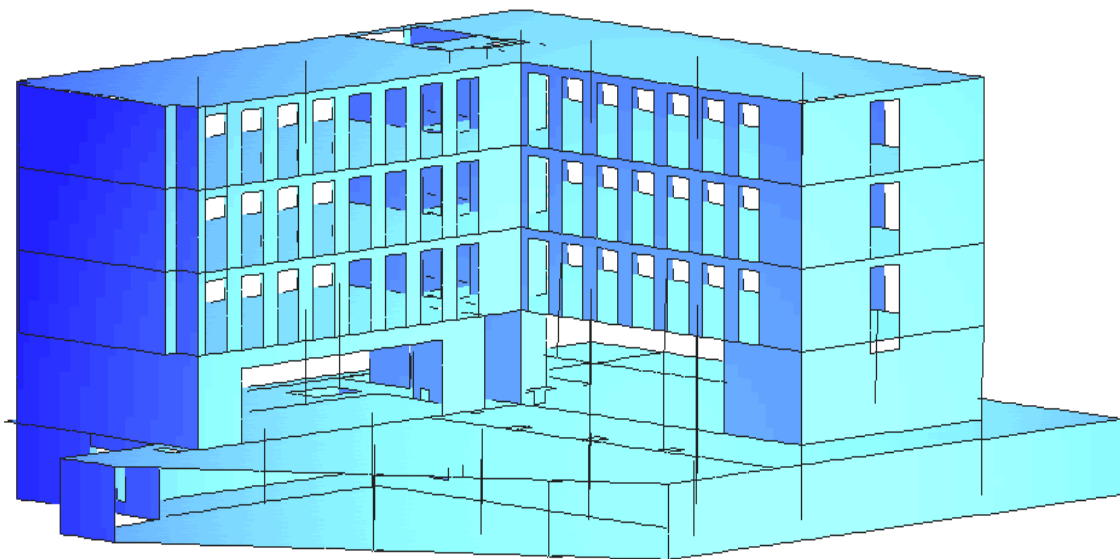


Bild 1 : BV Obere Wässere 1, Reutlingen

## 1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Aus heutiger Sicht mag es anmuten wie Methoden des Mittelalters, wenn man an die Programme für die Berechnung von ebenen Plattensystemen nach Überlagerungsverfahren gem. Hahn, Czerny, Marcus et.al. zurückdenkt. Platten wurden zwanghaft in zwei- drei- oder vierseitig gelagerte Einzelplatten unterteilt und zu durchlaufenden Deckensystemen zusammengefügt. Lasten wurden in ständige Lasten  $g+p/2$  sowie schachbrettartig verteilt für  $\pm p/2$  auf den jeweiligen Plattentyp angesetzt. Nachdem dann bald Finite-Element-Programme für PC's mit beliebig kombinierbaren Rechteckelementen verfügbar waren, konnte man angenähert sogar schiefwinkliger Systeme durch Abtreppungen erzielen.

Nachdem dann Ende der 70-er und zu Beginn der 80-er Jahre eine große Anzahl von verschiedenen Platten- und Schalenelementen verschiedenster Ansätze und Geometrien entwickelt wurden, waren die Grundlagen für die noch heute gängigen Plattenprogramme gelegt. Hier ist besonders darauf hinzuweisen, daß entgegen der meisten anderen (deutschen) Programmentwicklungen man sich bei der SOFiSTiK schon sehr früh mit der Entwicklung eines allgemeinen 3D-Programmes beschäftigt hatte ( ASE 08987 vom 13.02.88).

Mitte der 80-er Jahre wurden Versuche dreidimensionale Berechnungen von einfachen Hallenstrukturendurchzuführen immer noch mit dem Hinweis "Muß das denn sein ?" abgelehnt. Fleißig wurden 2D-Ersatzsysteme in vollkommener Analogie zu den einschlägigen Normen DIN 4114 (T1 7.52xx, T2 2.53xx), DIN 18800 (3.81), DIN 1052 (10.69) ausgearbeitet. Begriffe wie Theorie II. Ordnung waren zwar bekannt, wurden aber kaum (vollständig) angewendet.

Erst durch massiven Druck auf die Programmentwickler wurden Ende der 90-er Jahre (!) die vollständige Theorie II. Ordnung in die Programme eingeführt, obwohl das Vorgehen seit Anfang der 80-er Jahre bekannt war - dann allerdings richtig. Bis dahin hat die Mehrheit der Anwender noch nicht einmal gewußt, daß nur die Kopplung von Normalkraft und Stabverformungen im Grundzustand berücksichtigt wurde. Berechnungen von z.B. biegebeanspruchten U-Profilen mit Querlast waren demzufolge immer falsch ! ASE ist seither eines der wenigen kommerziellen Programme, welches für räumliche Stäbe alle Einflüsse einschließlich Wölbkrafttorsion berücksichtigt (ASE 0.4-97 vom 18.06.97).

Bei der Berechnung von Gebäuden oder Bauwerken als im ganzen abgebildete faltwerksartige Strukturen ist derzeit ein ähnlicher Umschwung der Akzeptanz zu verzeichnen. Die Frage nach dem "warum ?" wird immer seltener gestellt und offensichtlich werden die Möglichkeiten zur immer wirklichkeitsnäheren Berechnung über den vermeintlich größeren Aufwand bewertet.

Eine Anwendung ist jedoch für die noch ungeübten bzw. unerfahrenen Anwender nicht so ganz unproblematisch. Da die Eingabe mit MONET nahezu parallel zur Berechnung ebener Platten- oder

Scheibensysteme ( SEPP ) erfolgt, sind die Auswirkungen von bestimmten Eingaben nicht immer offensichtlich. Im folgenden Abschnitt wird eine Auswahl von ausgeführten Projekten der vergangenen Jahre dargestellt und stichwortartig Hinweise zur Vorgehensweise angegeben.

## 2 ENTWICKLUNG DER BERECHNUNGEN MIT ASE

Die überwältigenden Möglichkeiten zur Berechnung mit dem Modul ASE liegen teilweise seit langem in einer Art Dornröschenschlaf. Man muß einigen Anwendern schon wirklich besonderes Lob aussprechen für die akribische Ermittlung und teilweise regelrecht künstlerische Erzeugung hunderter oder sogar tausender Eingabezeilen von Koordinaten und Knoteninvidenzen für STAB- oder QUAD-Elemente in den erforderlichen Datensätzen.

Erst durch die bereits erwähnten grafischen Eingabemethoden wurden komplexe und gleichzeitig unregelmäßige Strukturen in der täglichen Arbeit handhabbar. Nachdem seit 1992 eine brauchbare Version des damaligen grafisch-interaktiven Netzgenerators NEGER für die Eingabe von räumlichen Strukturen vorlag, wurde die Ausnutzung der mächtigen, gut strukturierten Generierungs- und Berechnungsmöglichkeiten erst nutz- bzw. anwendbar.

Noch heute sind wehmütige Gedanken an die legendäre Version 5.6-97 des Programms NEGER präsent. Manchmal sogar der Wunsch dieses heute wieder nutzen zu können.

Als positiver Effekt sei angemerkt, daß sich bis heute der Eingabesyntax bei Programmen der SOFiSTiK in nahezu unveränderter Form erhalten hat. Wesentliche Änderungen gab es nur um Erweiterungen oder geänderte Anforderungen zu berücksichtigen.

Regelrecht mystischen Charakter hatte dann der Übergang zum Betriebssystem WINDOWS zur Folge ( SOFiSTiK Kundenbrief Nr.13 aus März 1995 ).

Positiver Effekt der auf einer 32-bit Datenbasis basierenden Programme war es, daß eine Berechnung auf demselben Computer unter WINDOWS95 ca. doppelt so schnell lief wie mit dem DOS-Extender. Im folgenden seien eine Auswahl von Projekten der vergangenen Jahre dargestellt, die die Entwicklung der Berechnungen zu immer größeren und vollständigeren Systemen aufzeigt.

### 2.1 LG-BOLLWERK - STUTTGART, 1994

Bei der Bearbeitung dieses Bauwerks wurden die physikalischen Grenzen auf damals verfügbaren PC's bis zur Machbarkeit ausgenutzt. Es galt immer noch die 5000-Knoten-Grenze für Berechnungen unter DOS und es wurden teilweise mühsam die Anzahl der Elemente für die ca. 90m x 90m großen Deckenberechnungen auf diese Obergrenze "getrimmt".

Um die großen freitragenden Treppen abzubilden, wurden i.d.R. drei Treppenläufe aneinandergehängt untersucht. Um eine möglichst zwangungsfreie Lagerung dieser Treppen zu erzielen, wurden die geschoßweise angrenzenden Deckenbereiche beim betrachteten Lauf unten und oben teilweise mitmodelliert. Die Übergänge zur nicht abgebildeten Decke wurden möglichst weit von den Treppen entfernt gelegt und mit Lagerungsbedingungen (FIX) PZ entlang der Wände und an Stützen und mit MX bzw. MY für "schwebende Einspannungen" angesetzt.

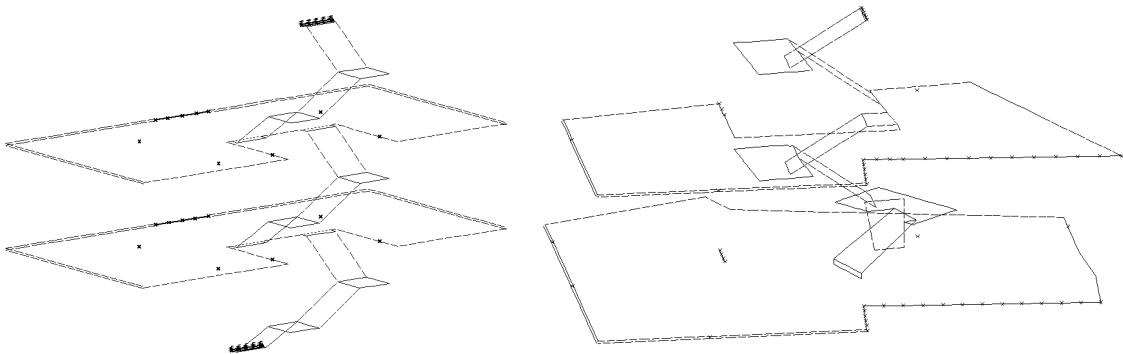


Bild 2: Freitragende Treppen ( links TR3, rechts TR4 ) des BV LG-Bollwerk, Stuttgart

## 2.2 HINDENBURGPLATZ - DUSSLINGEN, 1996

Die an diesem Projekt durchgeführten Aussteifungsberechnungen mit Hilfe eines üblichen Programms zur Aufteilung von Wind- bzw. Erdbebenlasten auf aussteifenden Bauteile gem. ihrer Steifigkeiten konnten den Prüffingenieur nicht befriedigen.

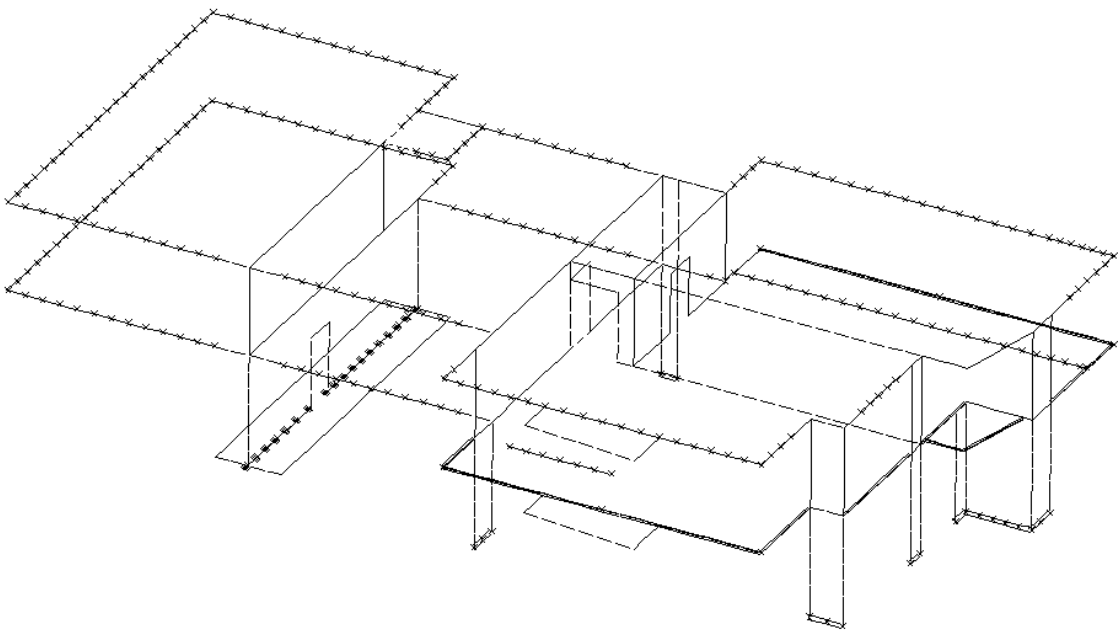


Bild 3 : Räumliche Struktur EG und OG, BV Hindenburgplatz, Dußlingen

Wie man bei genauem Hinsehen in Bild 3 ( EG und OG ) erkennen kann, wurde das Erdgeschoß

auf ca. 12m x 18m stützenfrei gehalten, indem man die Wohnungstrennwände des OG's in Stahlbeton ausbildete und als tragende Wandscheiben ausnützte. Problem hierbei war, daß sich am Kreuzungspunkt der beiden T-förmig angeordneten Wände leider zwei Türen befanden. Aus den bereits vorhandenen Deckenstrukturen für SEPP wurden durch in der Höhe versetztes Zusammenladen der NDB-Dateien der Decke über EG und OG die Grundlage für die in Bild 3 dargestellte ASE-Struktur gebildet. Die wenigen Stahlbetonwände des OG und die des EG waren schnell hinzugefügt und wurden auf Höhe der Kellerdecke gelenkig gelagert ( FIX PP ). Da die Außenwände aus Wärmedämm-Mauerwerk in Dünnbettmörtel ausgebildet wurden, einigte man sich für die räumliche Berechnung auf eine rein vertikale Lagerung ( FIX PZ ) entlang dieser Wände. Für dieses in der Erdbebenzone 4 stehende Gebäude wurden die maßgeblichen statischen Ersatzlasten ermittelt und anschließend eine räumliche ASE-Berechnung durchgeführt.

Die Bedenken des Prüfsachverständigen konnten sich ausschließlich in der Schubverbügelung der 22cm starken Decken im Bereich der erwähnten Türöffnungen wiederfinden. Ansonsten reagierte das ungewöhnlich aussteifte System überaus gutmütig.

Um den Abtrag der derart ermittelten Vertikal- und Horizontallasten möglichst wirtschaftlich zu gewährleisten, wurde die bereits vorhandene SEPP-Datei der Decke über UG in ihrer eigenen Höhenlage und auf Höhe der Bodenplatte in einer ASE-NDB zusammengefügt. Es wurden die Gruppennummern, Elementdicken etc. vorher bereits angepaßt und für die anschließende Bemessung zusammengestellt. Die Kellerwände wurden noch ergänzt und nach Eingabe der Zusatzlasten aus der vorgenannten Berechnung vollständig bemessen.

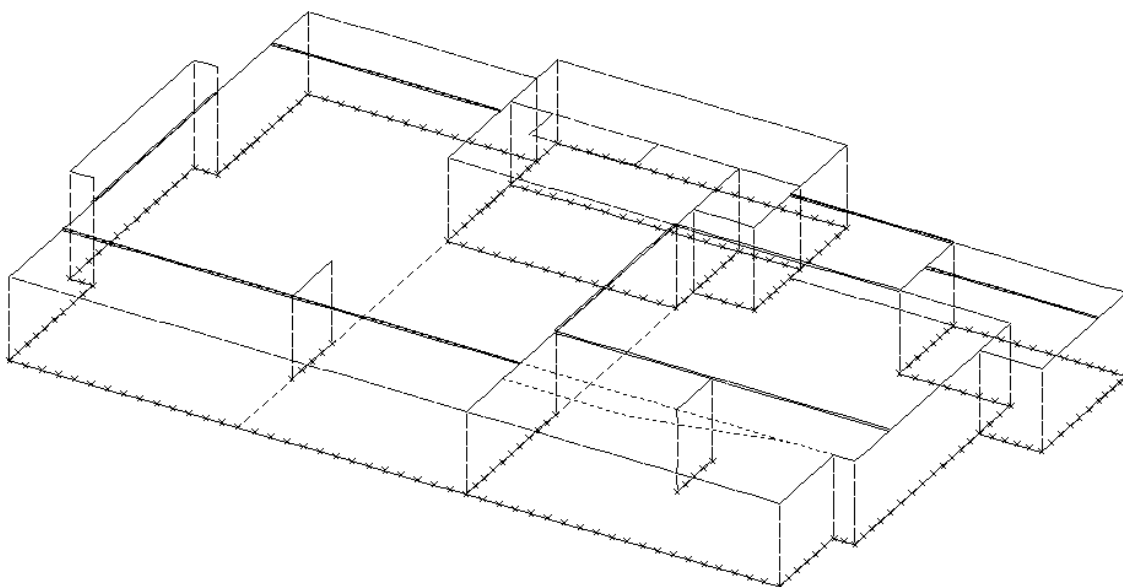


Bild 4 : Räumliche Struktur UG und Bodenplatte, BV Hindenburgplatz, Dußlingen

Es sei noch ergänzend angemerkt, daß auch bei diesem Bauvorhaben die freitragende Treppe, hier sogar mit SCHÖCK-Isokörben Typ Q mittels Kopplungen KPZ, über mehrere Geschosse

berechnet wurde.

### 2.3 CLAUDIUS-THERME - KÖLN-DEUTZ, 1997

Besondere Aufgabe bei diesem Bauvorhaben war es, einen sehr großzügig gestalteten Anbau an ein vorhandenes Mineralbad anzubauen. Den tieferliegenden eingeschossigen Stahlbetonkeller wollte man mit der in Bild 5 dargestellten Struktur überbauen.

Nach Vorstellung des Planers sollten nur zwei parallele Giebelwände und ein kleines dazu senkrecht Wandstück massiv ausgeführt werden. Um der Nutzung als Ruheräume für die angrenzenden Saunen möglichst viel Transparenz zu bieten, wurde die Fassade zweigeschossig vollständig verglast.

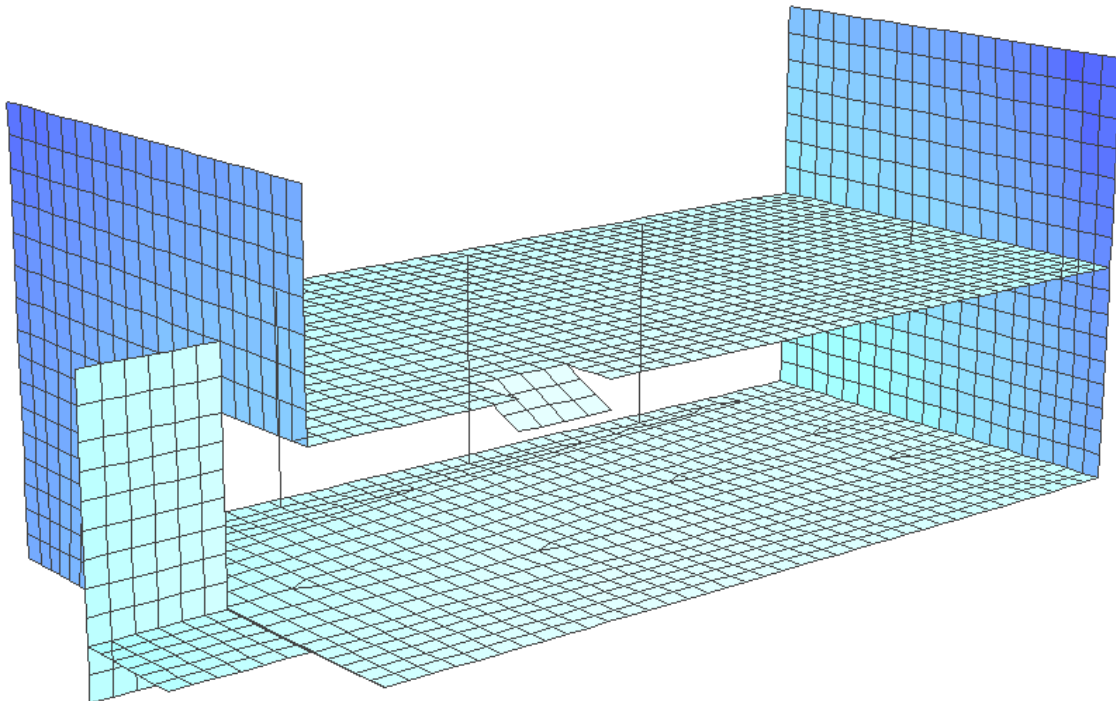


Bild 5 : Neuer Anbau, Claudius-Therme, Köln-Deutz

Das in Bild 6 dargestellte Statische System nutzt im Bereich der Decke über EG eine Lagerung auf einem Stahlprofil entlang des Bestandes ( FIX PZ ). Ansonsten wurden ausschließlich linienförmige Verbindungen ( FIX PP ) zur bestehenden Decke über UG gebildet. Diese wurden in der Realität mittels Schubdornen aus Klebeankern ausgeführt. Trotz dieses sehr "schmächtigen" Aussteifungskonzeptes konnte die Ausführung ohne Probleme mit geringen Bewehrungsgraden durchgeführt werden.

Einzige Fragestellung des Büros Prüfstatik aus Dortmund ( ebenfalls SOFiSTiK Kunde ) lag in dem Nachweis der ausreichenden Tragfähigkeit der vorhandenen Unterkonstruktion. Nachdem ein

"literarischer" Nachweis nicht akzeptiert wurde, bildete man das in Bild 7 dargestellte räumliche Faltwerk in NEGER. Es stellt die Wände im untersuchten Bereich dar, wobei die Übergänge an den noch wesentlich größeren Hauptbaukörper idealisiert wurden.

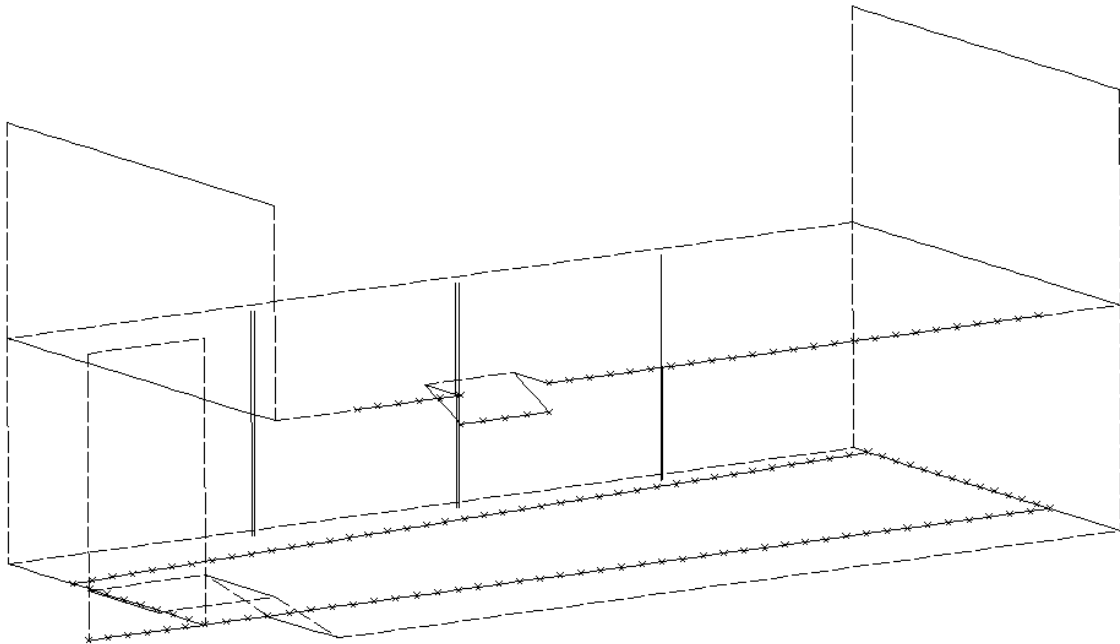


Bild 6 : EG und OG des neuen Anbaus, Claudius-Therme, Köln-Deutz

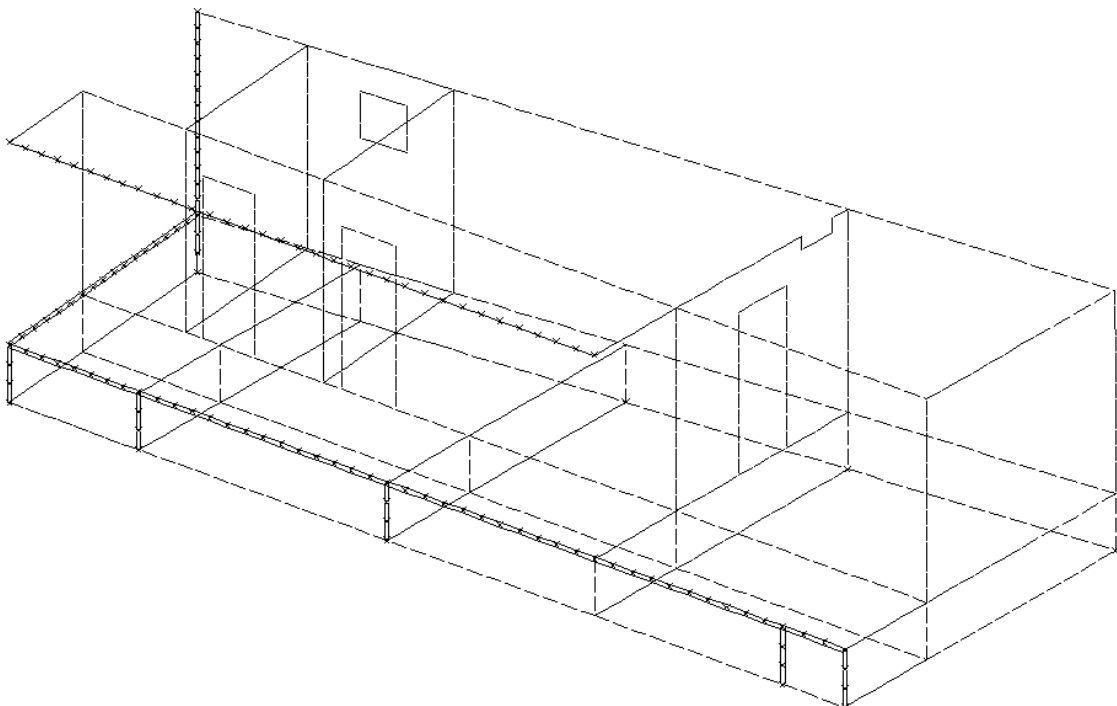


Bild 7 : UG, Bodenplatte und Pfahlkopfbalken des Bestandes, Claudius-Therme

Diese Struktur wurde nun für Belastungen aus Eigengewicht, Nutzlasten und dem neuen Überbau berechnet. Alle Bauteile waren nach der neuen Bemessung mit den vorhandenen

Bewehrungsgraden ausreichend tragfähig - außer dem Fundamentbalken in Systemmitte, der im System in Bild 8 ganz einfach entfernt wurde. Dies sollte dem Versagen nach Überbeanspruchung Rechnung tragen, ohne langwierige Diskussionen über Momentenkapazitäten o.ä. zu durchlaufen.

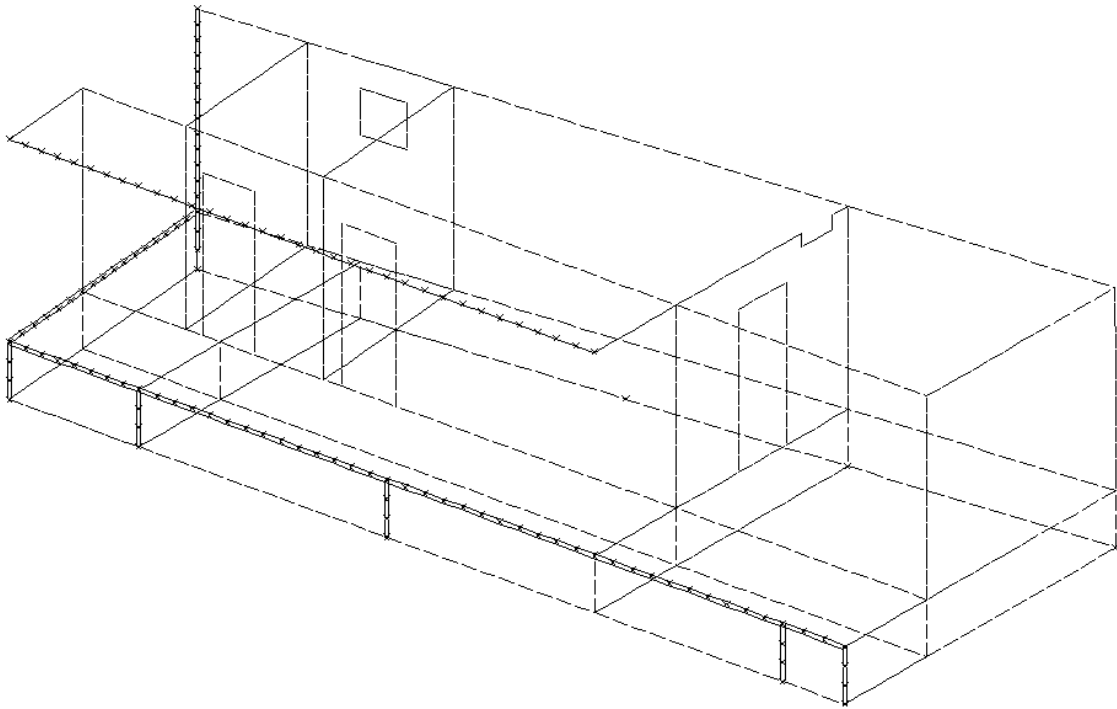


Bild 8 : System nach Entfernen des Pfahlkopfbalkens in Systemmitte, Claudius-Thermae

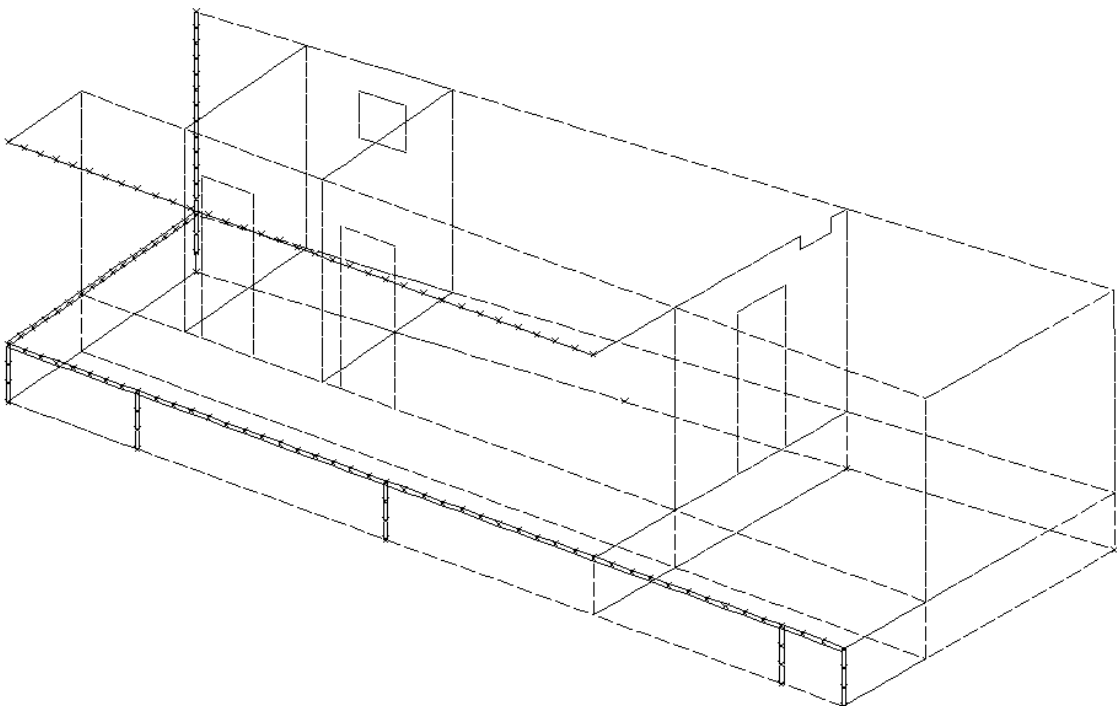


Bild 9 : System nach Entfernen des Balkens links von der Systemmitte, Claudius-Thermae

Da sich aber nun nochmals eine Stelle mit Überbeanspruchung von ein "paar wenigen" Quadratzentimetern Bewehrung ergab, wurde schließlich das System in Bild 9 berechnet, bei dem

nun der 2. Pfahlkopfbalken ebenfalls entfernt wurde. Das System war aufgrund der miteinander verbundenen Stahlbetonwandscheiben überaus gutmütig und nachdem nun keine der Strukturteile mehr Beanspruchung aufzunehmen hatten als sie mit ihrer Bewehrung in der Lage waren aufzunehmen, wurde die Prüfung diesbezüglich auch endlich eingestellt.

Zeigen soll dieses Beispiel, wie auch das folgende, daß man mit etwas Geschick auch Änderungen oder vorher nicht ersichtliche Aufgabenstellungen mit meist sogar weniger Aufwand beantworten kann, wenn man die Struktur als Ganzes abbildet.

#### 2.4 BRAUHAUS MÖSSINGEN - MÖSSINGEN, 1998

Die in Bild 10 dargestellte Struktur dient als eingeschossiger Unterbau für die Aufnahme von 6 Gärlagertanks mit Einhausung eines Brauhauses. Dieser in den Bestand hinein gestellte dreiseitig geschlossene "Schuhkarton" wirkt bei genauerem Betrachten ein wenig skurril. Besonderheit hier ist wieder die Aussteifung, die trotz der Ausbildung der Wände als Stahlbeton-Hohlwände mit nur 20cm Stärke ohne Probleme auszuführen war.

Die Belastung aus den Tanks konnte aufgrund gleichmäßiger Verteilung über den Umfang ohne weiteres in der balkenartig schubverbügelten Decke aufgenommen werden.

Selbst die Änderungen des Bauherrn die straßenseitige Türöffnung größer und eine weitere Tür zu einem angrenzenden Lagerraum auszuführen bereiteten eher geringen Aufwand, da man mit der Funktion STRUKTUR\BEARBEITEN\LOCH in MONET sehr einfach die nicht mehr benötigten Wandteile herauslöscht ohne die Struktureingabe tatsächlich nochmals durchzuführen ( siehe Bild 11 ).

Die in Bild 12 dargestellte Einhausung wurde ebenfalls als räumliches Tragwerk modelliert. Hierbei dienen die rechts im Bild ersichtlichen QUAD-Elemente an der Fassade mit orthotropen Materialeigenschaften zum Lasteintrag in die Stahlprofile ohne mühsame Lastermittlung. Eine Bestimmung der Aussteifungskräfte sowie der daraus resultierenden Gesamtbeanspruchung der Stahlprofile konnte überaus wirtschaftlich ermittelt werden.

Der nachfolgend für die Genehmigungs- und Ausführungsplanung beauftragte Planer konnte diese Vorgaben leider mit seinen (2D-) Methoden nicht erfüllen, und so wurden in der Ausführung eine ganze Reihe von Profilen etwas größer. ( Persönliche Anmerkung : Das kommt davon, wenn man "billige" Statiker wählt und nicht "preiswerte" ! )

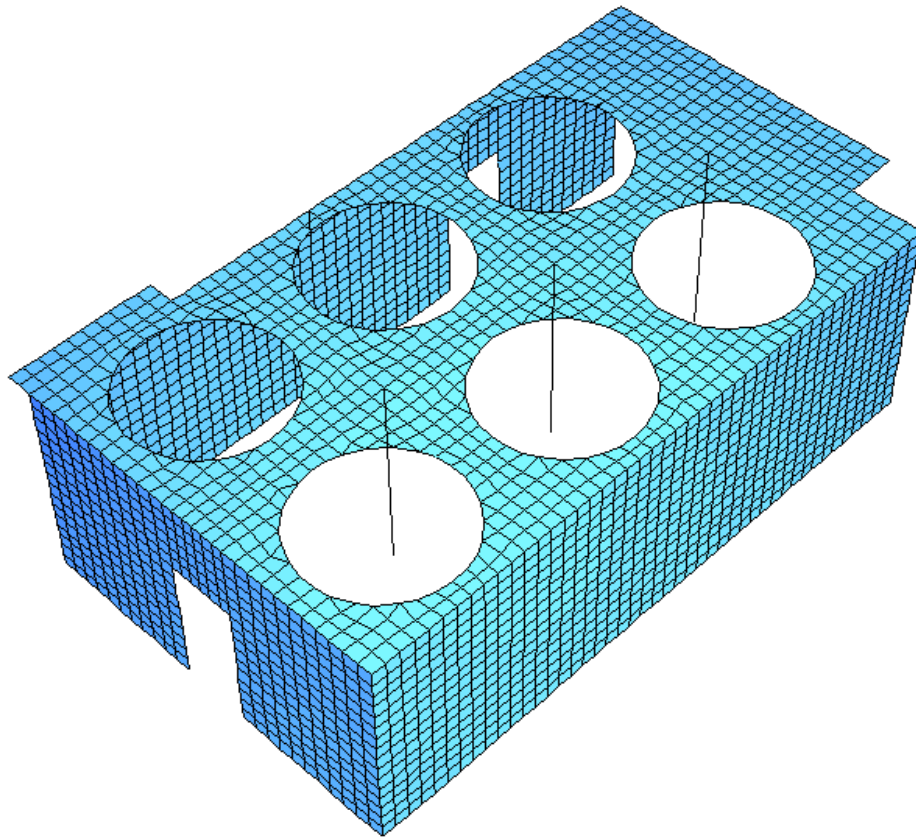


Bild 10 : Ursprüngliche Struktur, BV Brauhaus Mössingen, Mössingen

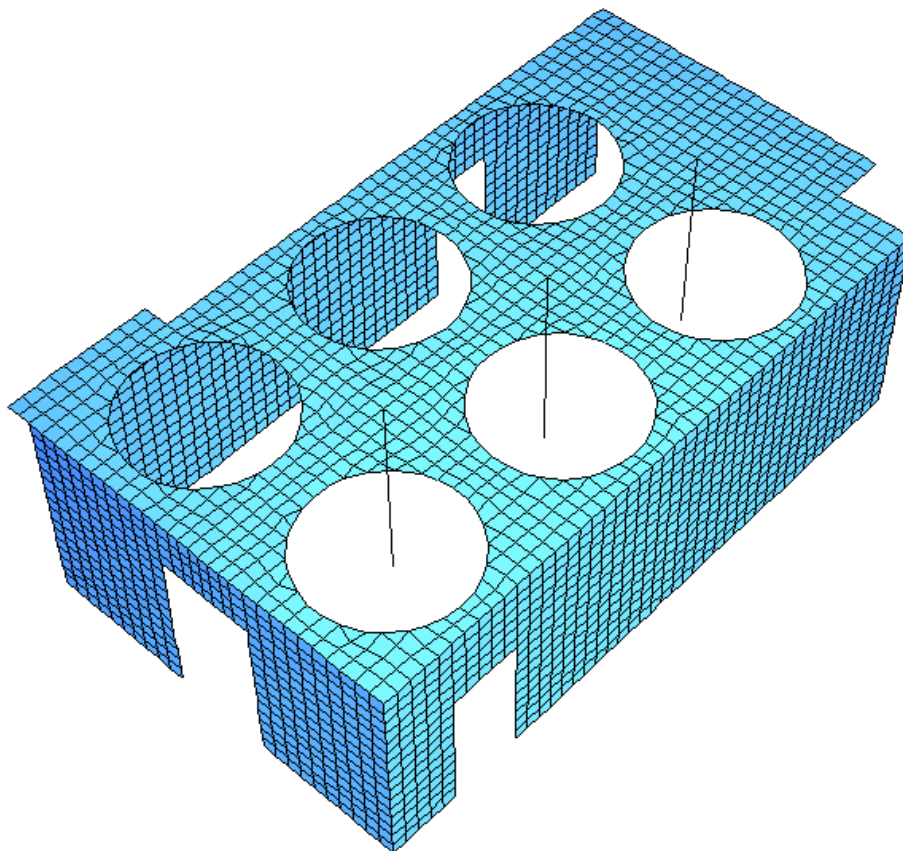


Bild 11 : Struktur nach Änderungen des Bauherrn, BV Brauhaus Mössingen, Mössingen

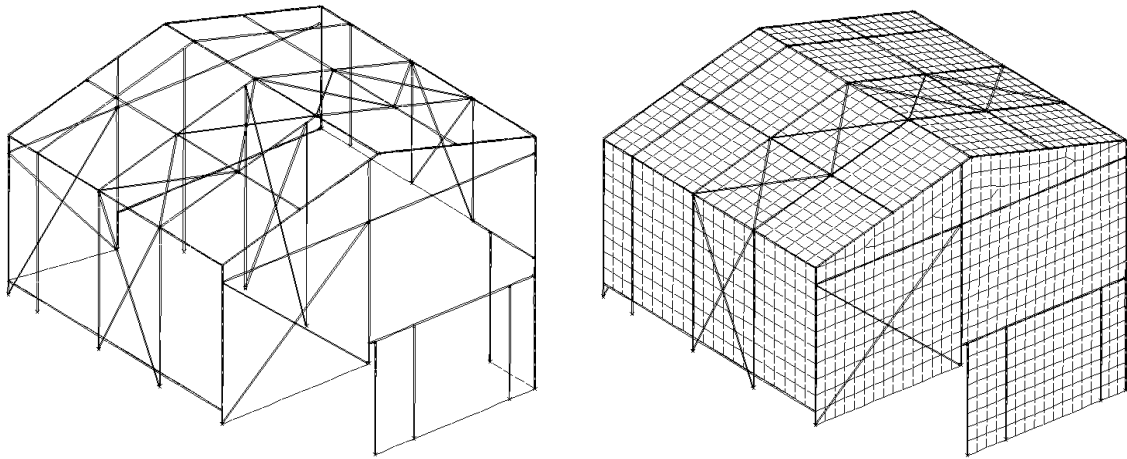


Bild 12 : Einhausung der Gärлагertanks als Stahlkonstruktion, BV Brauhaus Mössingen

## 2.5 SCHLOSSEREI - HOLZGERLINGEN, 1998/99

Bei dem in den Bildern 13 und 14 dargestellten eingeschossigen Stahlbetonbau handelt es sich um ein Gebäude für eine Maschinenbau-Schlosserei. Die Nutzlast auf der 30cm starken Decke beträgt  $1500 \text{ kg/m}^2$  und sollte ursprünglich nur mit einem leichten eingeschossigen Stahlbau überbaut werden können.

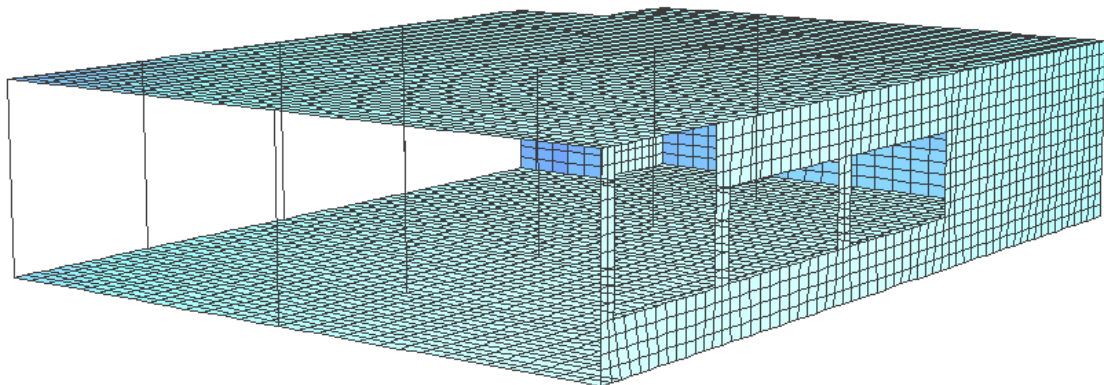


Bild 13 : Eingeschossiger Anbau, BV Schlosserei, Holzgerlingen

Wie man Bild 14 entnehmen kann, sind die Außenwände linienförmig und die Stützen punktförmig gelagert (FIX PP). Die Aussteifung ist trotz der geringen Höhe nicht unproblematisch, da das angrenzende befahrene Gelände teilweise bis zur Deckenhöhe reicht und das im wesentlichen an nur zwei Seiten gehaltene System im Grundriß verdrehen möchte. Es konnte aber unter Ansatz der Boden- und Deckenplatte eine ausreichende Stabilität nachgewiesen werden.

Kurz nach Fertigstellung des Rohbaus wurde der Wunsch an uns herangetragen, das Obergeschoß als massive Stahlbetonkonstruktion auszubilden.

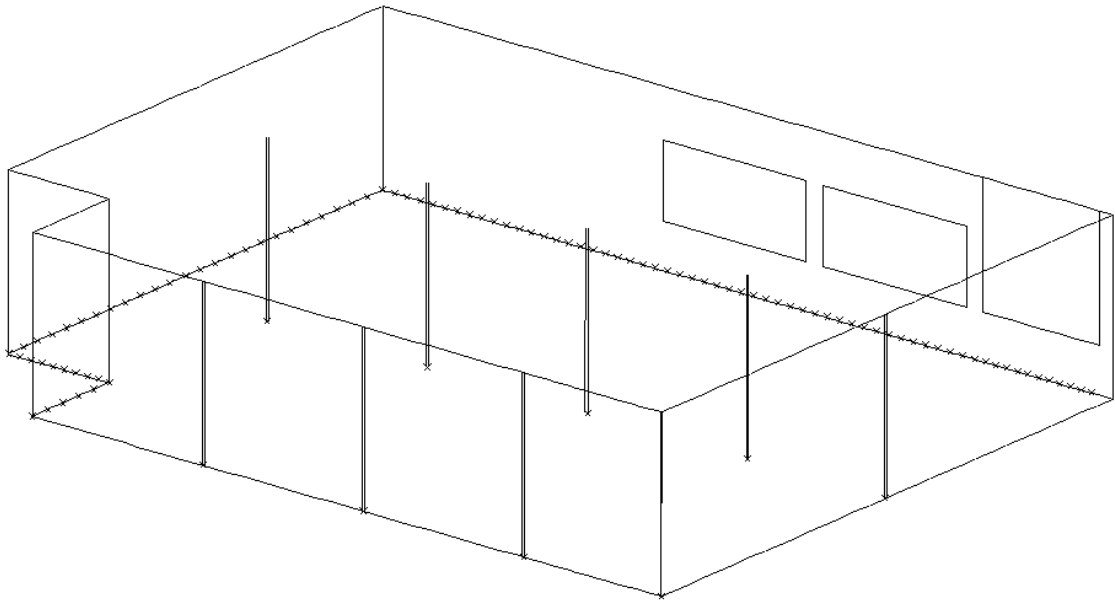


Bild 14 : Statisches System des eingeschossigen Anbaus, BV Schlosserei, Holzgerlingen

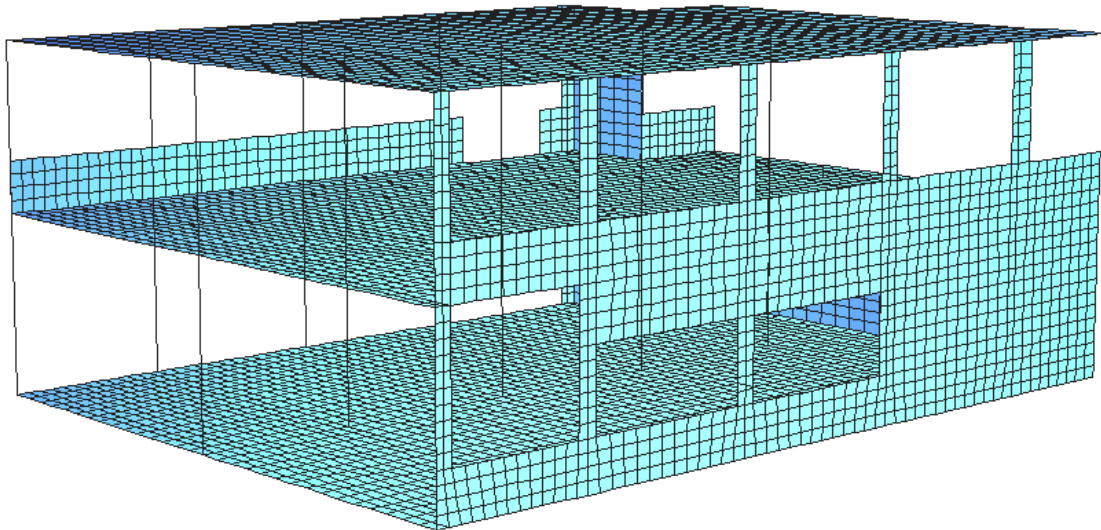


Bild 15 : Anbau mit massiver Aufstockung, BV Schlosserei, Holzgerlingen

Da es sich in voller Höhe vor einem Plattenbau befindet, gab es keine Möglichkeiten das Obergeschoß horizontal zu verankern, sodaß nur Bauteile des Anbaus und der Aufstockung zum horizontalen Lastabtrag herangezogen werden konnten.

Eine Besonderheit von gemischten Faltwerks- und Stabwerksberechnungen mit ASE kann hier sehr anschaulich dargestellt werden. Die QUAD-Elemente in ASE haben nur einen kleinen Steifigkeitsanteil bzgl. Verdrehungen in der Elementebene. Dies ist i.d.R. erforderlich, um unzulässige Verschieblichkeiten bzgl. dieses 6. Freiheitsgrades zu vermeiden ( Stichwort: Singularität des Gleichungssystems ). Dieses Element kann, wie viele andere auch, keine Biegung in Elementebene darstellen, was dazu führt, das in dieser Ebene angeschlossene Biegestäbe kein Stabendmoment haben !

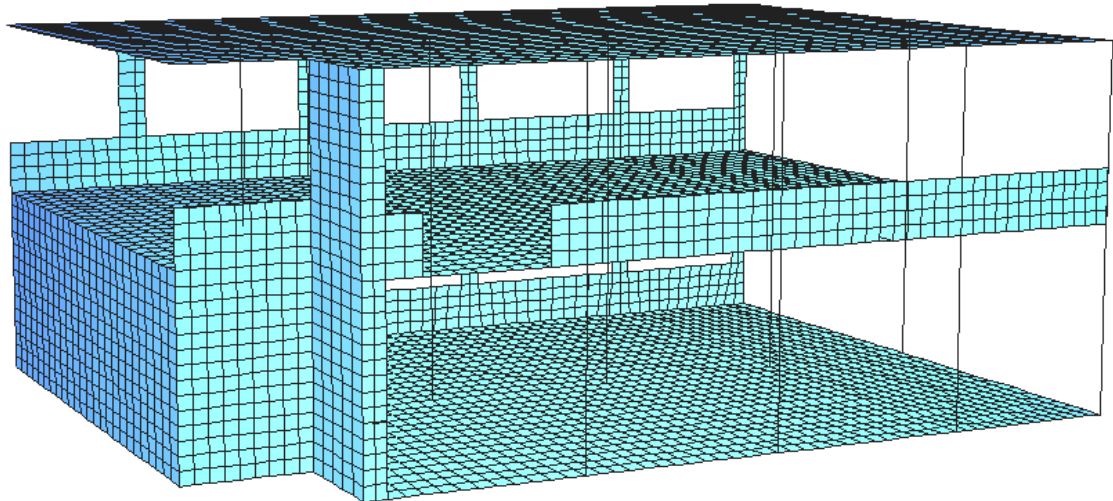


Bild 16 : Anbau mit massiver Aufstockung - Hofseite, BV Schlosserei, Holzgerlingen

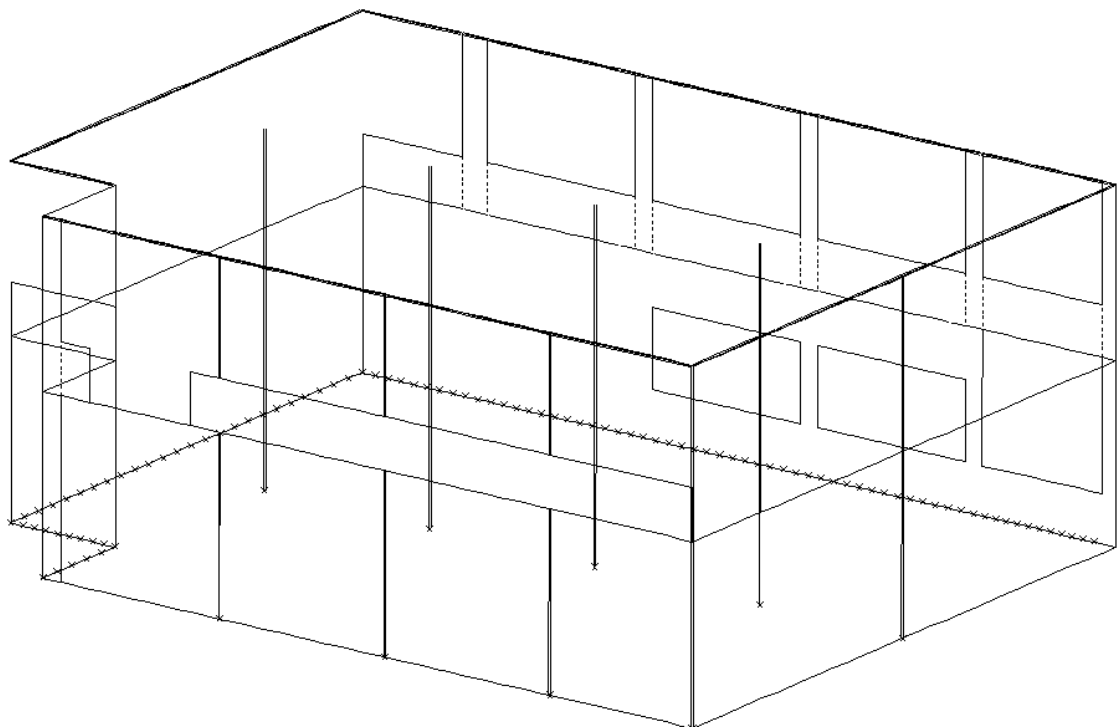


Bild 17 : Statisches System Anbau mit Aufstockung, BV Schlosserei, Holzgerlingen

Betrachtet man Bild 18 mit der Darstellung der Stabmomente  $M_Y$  so kann man bei den Stützen des OG's die Einspannmomente der Decke über OG in diese Stützen und ein kleines abliegendes Moment als Einspannung in die schlanke Brüstung erkennen.

Zu beachten ist, daß die Stützen des EG aufgrund unzureichender Eckbewehrung mit  $I_Y=I_Z=0$  eingegeben wurden um diese zu Pendelstützen zu machen.

Die Momente der Pendelstützen sind ebenfalls erwartungsgemäß Null .

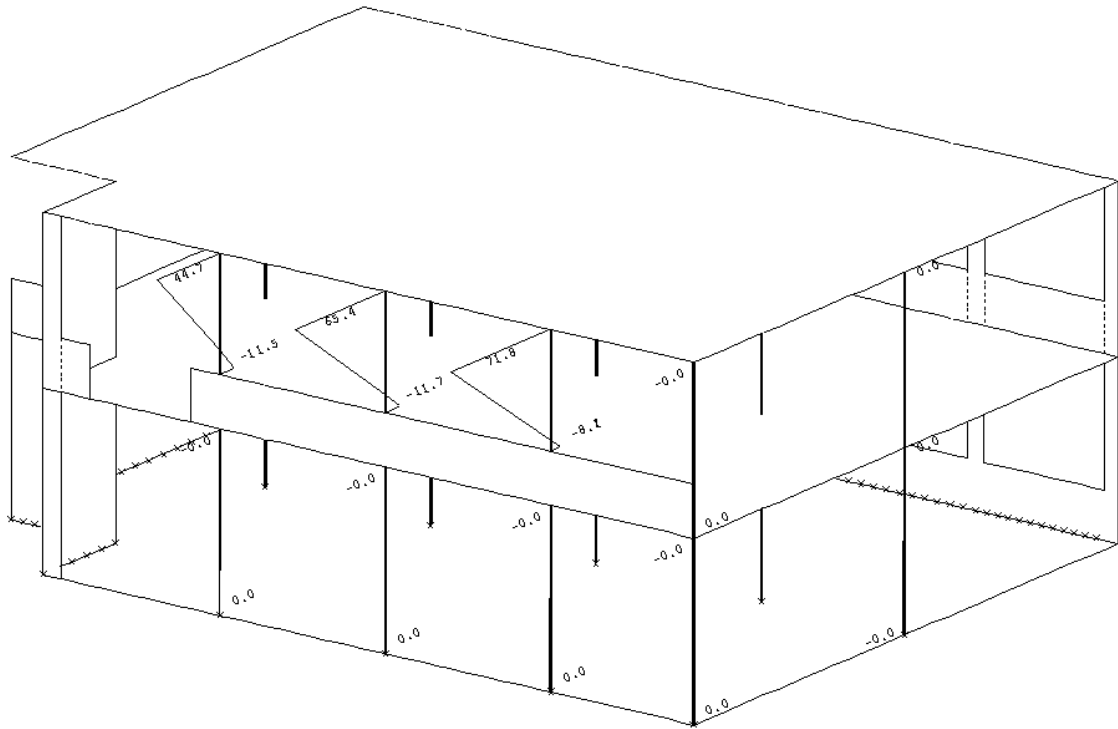


Bild 18 : Stabmomente STMY, BV Schlosserei, Holzgerlingen

Sieht man sich aber nun die STabmomente MZ an fällt auf, daß die Stützen zwar ein Kopf- aber kein Fußmoment haben, obwohl sie nicht mit Gelenken eingegeben wurden.

Gemäß der gemachten Erläuterung können die Biegemomente der Deckenelemente in die Stäbe eingeleitet werden, da die QUAD-Elemente nicht in der Wirkungsebene der Momente liegen, sondern senkrecht dazu.

Die im Fußpunktbereich der Stützen des OG liegenden QUAD's haben ihre Elementebene aber in der Wirkungsebene der STabmomente MZ und bilden mit ihrer fiktiven "kleinen" Steifigkeit keine Möglichkeit zur Einspannung.

Die hier vorgestellte Berechnung wurde für die Ausführung ohnehin derart geändert, daß die Stäbe auf der Brüstung in beide Richtungen Momentengelenke erhalten haben, um die nachträglich schlecht herzustellende Einspannung in den Bestand nicht zu aktivieren.

Diese Stabendgelenke können auch bei Unterzügen die in MONET erzeugt wurden manuell in der zugehörigen DAT- oder ELM-Datei eingefügt werden.

Sollte eine Einspannung in der Ebene der Brüstung gewünscht sein, so wäre dies einfach durch Fortsetzung des Stabzuges in die Brüstung hinein möglich. Das Moment teilt sich dann in ein Kräftepaar auf, welche als Membrankräfte vom QUAD-Element mit seiner Scheibensteifigkeit ohne weiteres aufgenommen werden kann.

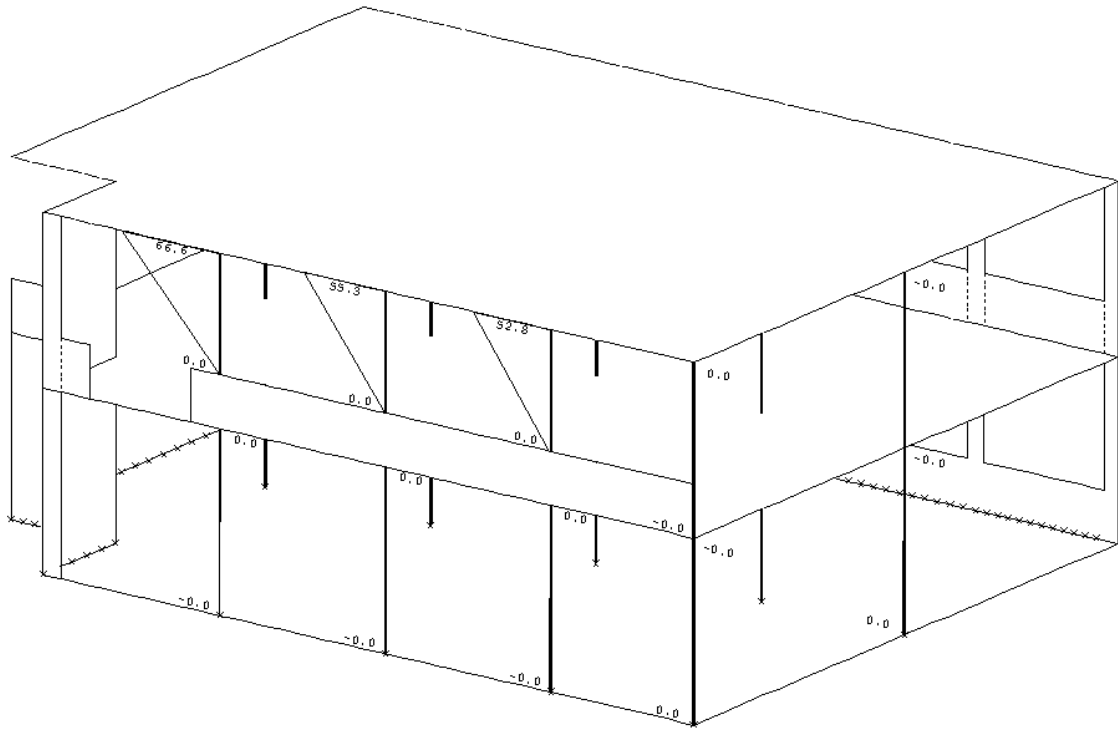


Bild 19 : Stabmomente STMZ, BV Schlosserei, Holzgerlingen

## 2.6 GEO-PARK - REUTLINGEN, 1998/99

Ebenfalls kurz nach Rohbaufertigstellung wurde für eine größere Geschäftshausbebauung ( ca. 80m x 45m ) der Wunsch geäußert ebenfalls nach obigem Muster ein massives Stahlbetongeschoß auf ein bereits bestehendes Gebäude aufzustocken. In diesem Fall handelte es sich allerdings um ein Gebäude mit 3 Vollgeschossen in der Erdbebenzone II für das ursprünglich auch nur ein "leichter" Stahlbau geplant war.

Erschwerend kam hinzu, daß die in Bild 20 dargestellten drei Gebäudeflügel nur einseitig an die in diesem Geschoß noch vorhandenen massiven Treppenhauskerne anschließen. Um den ausführungstechnischen Aufwand gering zu halten, wurden nur jeweils zwei ca. 2.0 m lange Auflagertaschen auf Höhe der neuen Deckenplatten aus den Stahlbetonwänden herausgestemmt.

Die Stützen wurden unten als gelenkig gelagerte und oben eingespannte Stützen modelliert bzw. ausgeführt. Anschließend wurden außer den Lasten für Eigengewicht, Ausbau als Dachdecke und Schnee noch die Statischen Ersatzlasten für die vorhandenen Massen gem. des vereinfachten Verfahrens nach DIN 4149 ermittelt.

Um die Steifigkeit der vorhanden Konstruktion möglichst gut abzubilden, wurden die Treppenhauskerne bis zu ihrem oberen Abschluß hin abgebildet und auch mit der dort vorhandenen Massivdecke geschlossen.

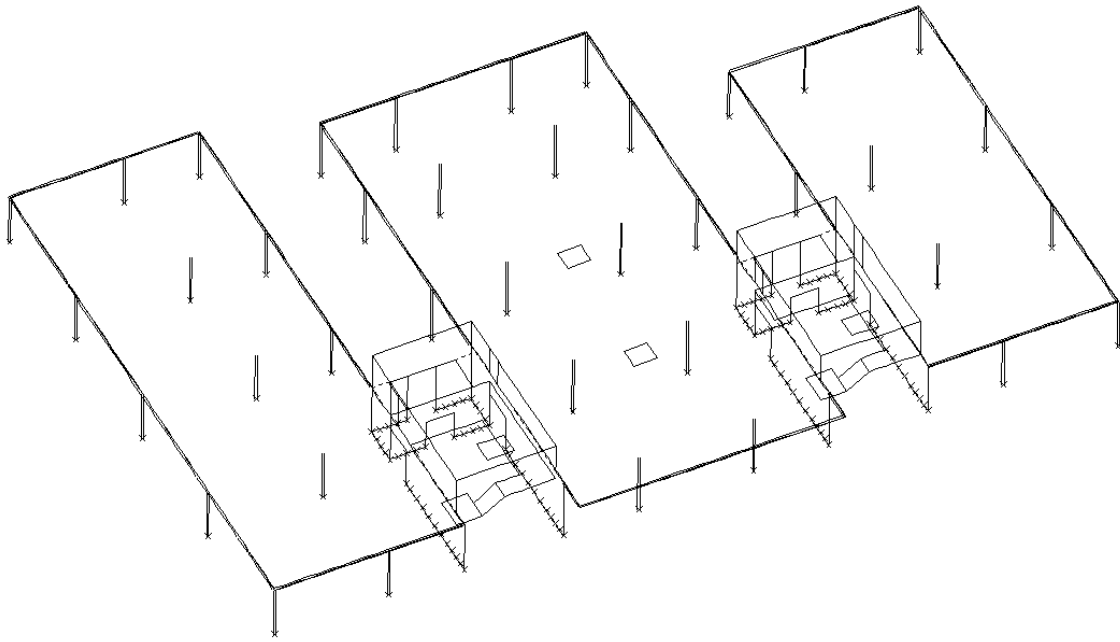


Bild 20 : Statisches System Aufstockung, BV GEO-Park, Reutlingen

Ohne diese Maßnahme hätte sich der Kern wie ein offener Hohlquerschnitt verhalten, wohingegen er mit Abbildung der Decke ( und der Treppenläufe ) als steifes Endelement wirkt und einen beträchtlichen Beitrag zur Aussteifung liefert.

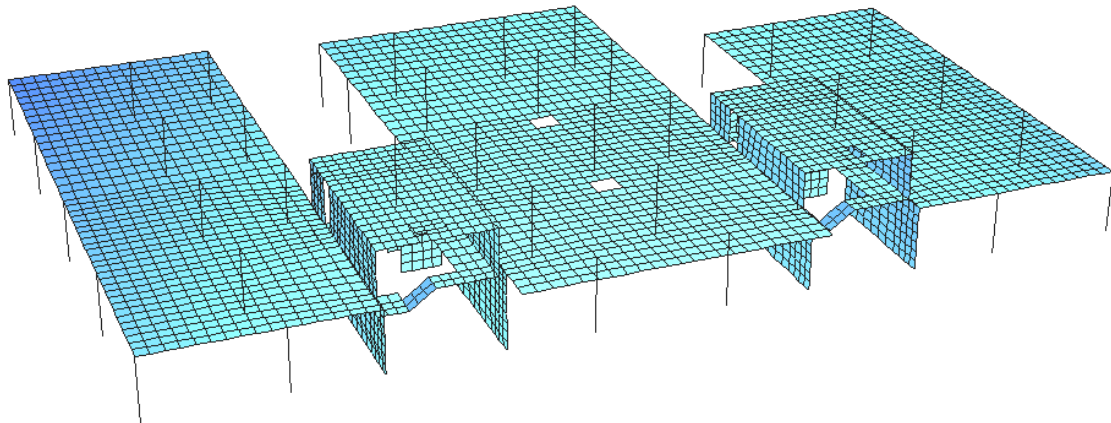


Bild 21 : Aufstockung, BV GEO-Park, Reutlingen

Im folgenden ist jeweils das verformte System für drei verschiedene Erdbebenbeanspruchungen dargestellt. Die Verformungen sind 10000-fach überhöht (!) und man kann je nach Wirkungsrichtung der Belastung das Verdrehen der einseitig gehaltenen Gebäudeteile erkennen. Ebenfalls ist das "Aufklaffen" der Fuge entlang der Aussteifungskerne erkennbar, da die Decken nur jeweils über 2.0m Länge verbunden sind.

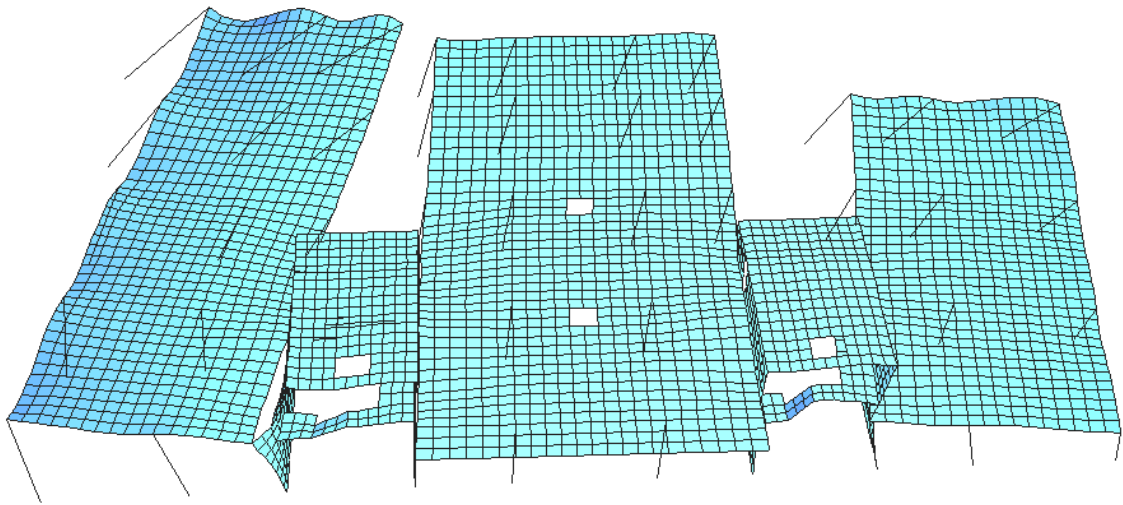


Bild 22 : Erdbeben LF 13 (Hx,-ey) - Aufstockung, BV GEO-Park, Reutlingen

Bei Betrachtung des Verformungszustandes, insbesondere der Treppenhänge, kann man die Wirkung der Aussteifungskerne gut erkennen. Die Stützen am Rand sind in der Regel nur 25/90cm groß und die Innenstützen haben einen Durchmesser von 30cm .

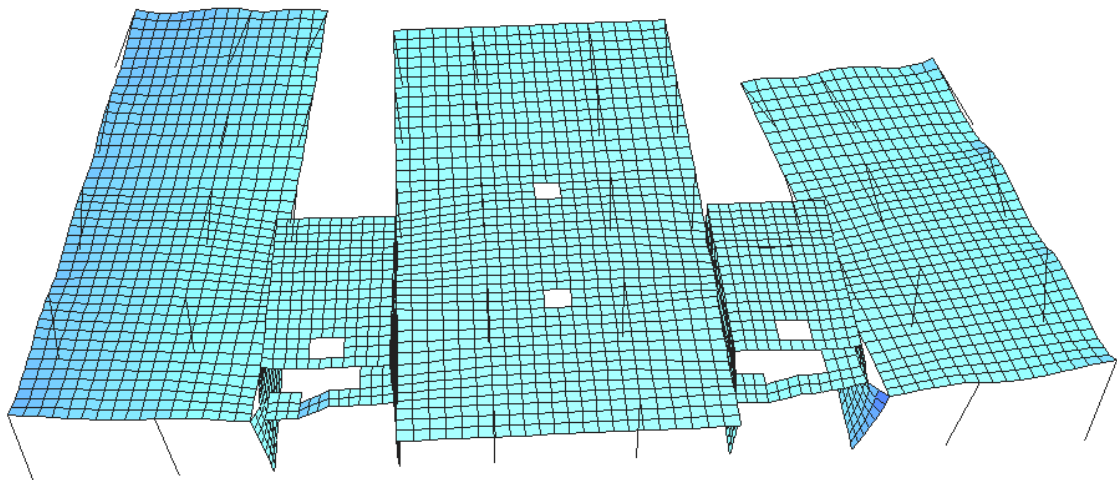


Bild 23 : Erdbeben LF 16 (-Hy,+ex) - Aufstockung, BV GEO-Park, Reutlingen

Mit den dargestellten Berechnungen von Teilstrukturen ganzer Gebäude konnte eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden, welche Möglichkeiten in der räumlichen Berechnung von Hochbaustrukturen mit ASE liegen.

Höchste Anforderungen erfüllt jedoch erst die Berechnung als Ganzes !

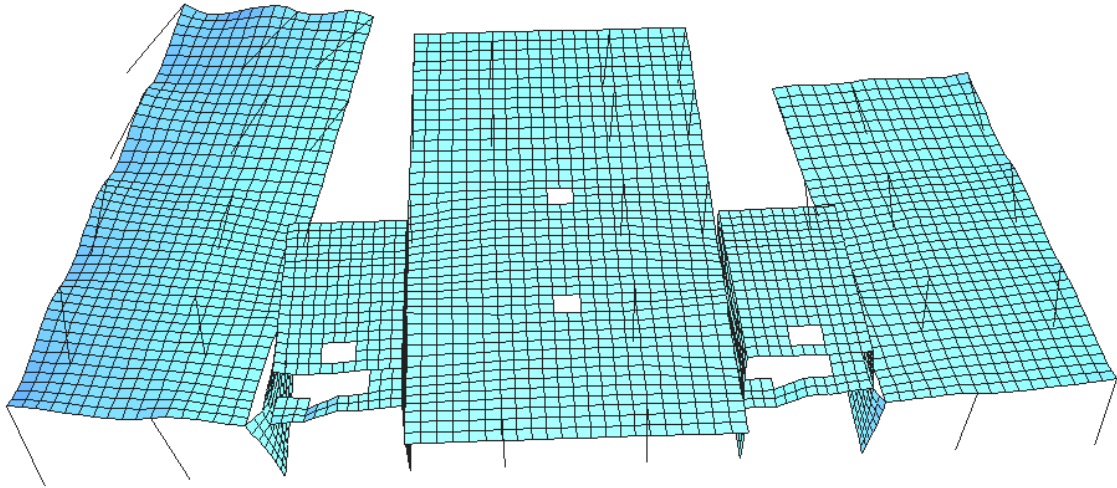


Bild 24 : Erdbeben LF 18 (-Hy,-ex) - Aufstockung, BV GEO-Park, Reutlingen

## 2.7 OBERE WÄSSERE 1 - REUTLINGEN, 1998

Seit geraumer Zeit (ASE 6.5-95 vom 03.06.96) gibt es einen iterativen Gleichungslöser in ASE, welcher besonders bei großer Anzahl von Freiheitsgraden schneller die Lösung ermitteln kann. Im beschriebenen Fall war es ohne Einsatz dieses Gleichungslösers gar nicht mehr möglich die Berechnung durchzuführen. Es sei hier daran erinnert, daß ein direkter Gleichungslöser nach dem Prinzip der kompakten Skyline-Speichermethode oder auch nach den Sparse-Matrix-Methoden normalerweise immer das gesamte Gleichungssystem in eine Datei bzw. im RAM-Speicher des Computers benötigt. Als 1998 die Berechnung der Gesamtstruktur bestehend aus 24992 QUAD- und 395 STAB-Elementen berechnet werden sollte, versagte der direkte Gleichungslöser mit dem Hinweis die Datei nicht initialisieren zu können den Dienst. Um die insgesamt 25870 Knoten bei einer Knotenbandweite von 532 ( entspr. einer Bandweite des GLS von 3192 ) bearbeiten zu können, wäre eine \$d1-Datei mit der Größe von mehr als 4 GB erforderlich, welche im Betriebssystem WINDOWS95/98 oder NT4.0 nicht adressiert werden kann.

Selbst die Ergebnisdatei (CDB) mit Überlagerungslastfällen und Bemessung der Flächenelemente wurde bereits mehrere hundert Megabyte groß, so daß man sich hier über den Sinn alle Daten eines Systems in einer einzigen Ergebnisdatei zu schreiben ohnehin fragen kann. Alle Funktionen bis hin zum Bildschirmaufbau werden nur unnötig langsam.

Eine Unterteilung der Struktur und deren Berechnungsergebnisse in sinnhafte Bauteile z.B. Geschosse erscheint auch aus diesem Aspekt heraus überaus sinnvoll.

Das System in Bild 25 dargestellte System wurde 1998 auf einem mit 200 MHz getakteten Pentium-Rechner unter Windows NT innerhalb von ca. 12 Stunden für 13 Lastfälle berechnet und bemessen. Es wurden mehr als 200 MB Arbeitsspeicher erforderlich um das Gleichungssystem

bearbeiten zu können. Eine im Jahr 2000 mit einem 400 MHz Pentium II Rechner durchgeführte Berechnung mit STEU SOLV 2 konnte bereits nach "nur" noch 4 Stunden 5 Minuten beendet werden.

Die neueste Entwicklung des Iterativen Gleichungslösers (ASE 10.12 vom 23.12.99) ist die Implementierung eines weiteren Konditionierungsverfahrens nach Krylov (GMRES-Algorithmus). Die oben beschriebene Berechnung nahm den 400 MHz Rechner nur noch für 2 Stunden und 23 Minuten in Anspruch, womit eine Berechnung nicht mehr in die Abend- oder Nachtstunden sondern bereits über eine etwas verlängerte Mittagspause hinweg möglich ist. Selbst ohne Einsatz von Parallelrechnern ist bei Taktfrequenzen von 1 GHz in weniger als einer Stunde zu erwarten. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, daß ein iterativer Gleichungslöser immer nur einen einzigen Lastfall berechnet, wobei direkte Gleichungslöser für die Zerlegung des GLS den Löwenanteil der Zeit verbrauchen und die Bestimmung der lastfallweisen Lösungsvektoren in verhältnismäßig kurzer Zeit erfolgt. Ein einziger Lastfall dieser sicherlich bereits großen Struktur ( z.B. ständige Belastung ) wurde in ca. 600 Sekunden berechnet und würde in vielen Fällen für eine grundsätzliche Beurteilung dieser Hochbaustruktur in der Vorbemessung ausreichen.

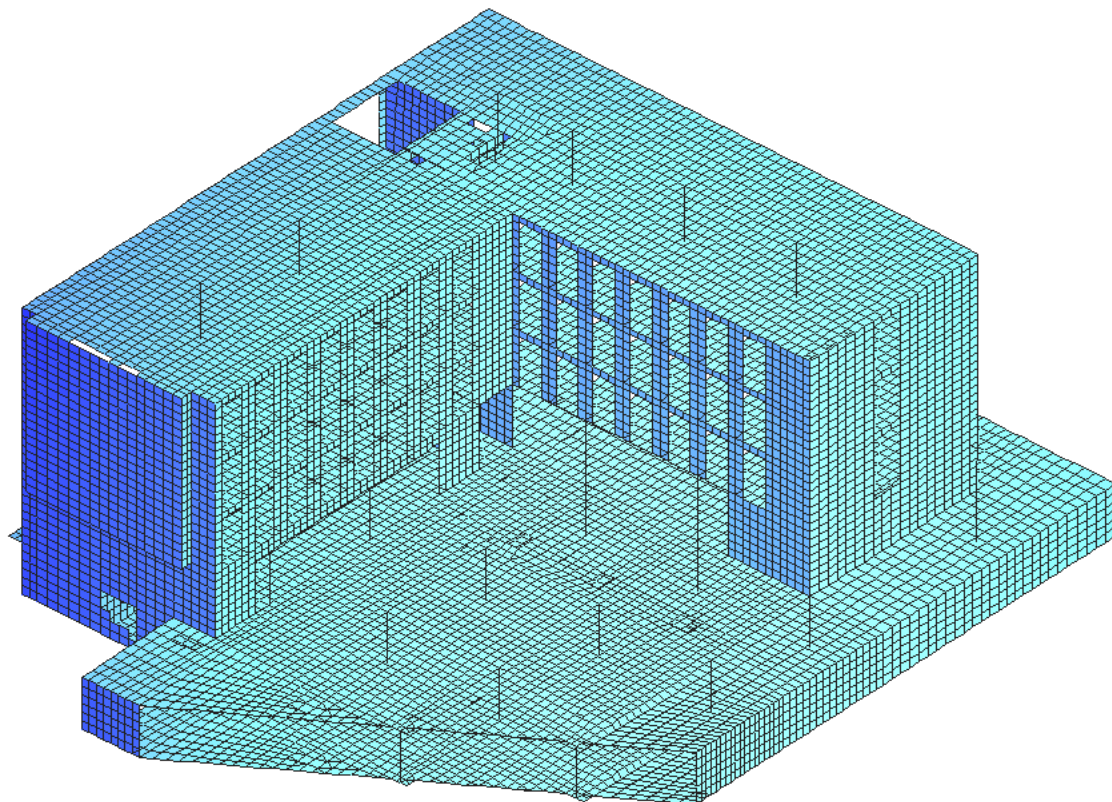


Bild 25 : Gesamtsystem, BV Obere Wässere 1, Reutlingen

Die Darstellung in den folgenden Bildern soll einen Eindruck von der Komplexität dieses

Gebäudes vermitteln, in dem nur die seitlichen Treppenhauswände durchlaufen - alle anderen Wände verspringen oder haben keine Entsprechung im Untergeschoß.

Auf ca. 50cm genau kann für jede Stelle im Gebäude die erforderliche Bewehrung angegeben werden. Die ANIMATOR-Darstellung schmeichelt der filigranen Struktur ein wenig durch die Darstellung der Stützen mit Durchmesser 30cm bzw. 40cm mit nur einer dünnen schwarzen Linie. Es wird aber wohl deutlich genug, daß auch hier nicht von einer konventionellen Aussteifung die Rede sein kann.

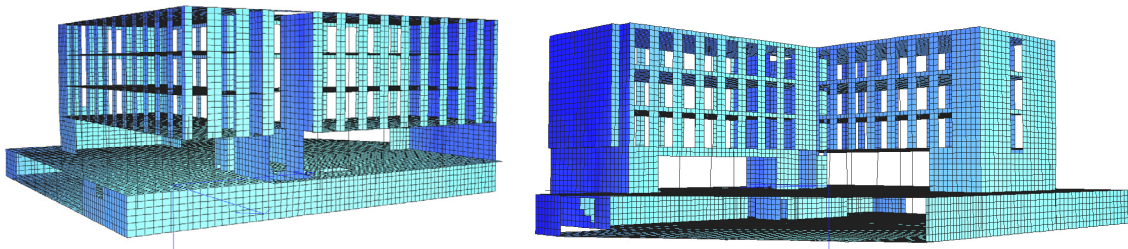


Bild 26 : Ansichten Gesamtsystem, BV Obere Wässere 1, Reutlingen

Benutzt man die Funktionen im ANIMATOR und "geht" in das Gebäude hinein, so ergeben sich interessante Eindrücke, wie zum Beispiel in Bild 27. Man kann hier deutlich erkennen, daß die Wände des Erdgeschosses im wesentlichen nur auf einigen Stützen ruht - wenn überhaupt. Eine ganze Reihe von Wandscheiben findet erst durch die indirekte Lagerung in andere Wandscheiben ihr Auflager.

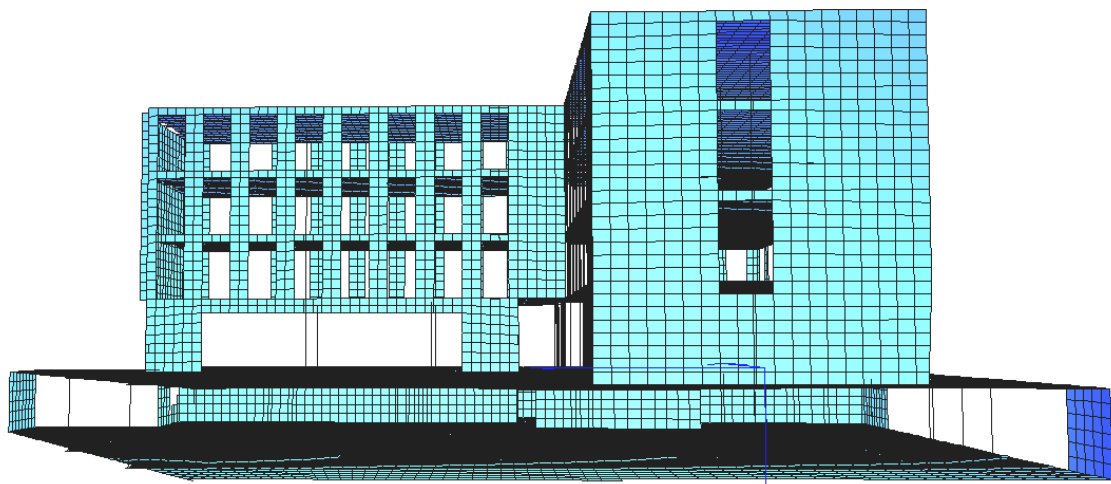


Bild 27 : Schnitt durch das Gebäude - Nordgiebel, BV Obere Wässere 1, Reutlingen

Zu beachten ist besonders der Lastabtrag im Bereich der 14,50m großen Öffnung des Erdgeschosses. Die Deckenspannweite dahinter beträgt immerhin 7,50 m !

Auch in Bild 28 wird die Struktur des vierendeelartigen Tragsystems der Fassadenwandscheiben im Zusammenhang mit den Decken deutlich.

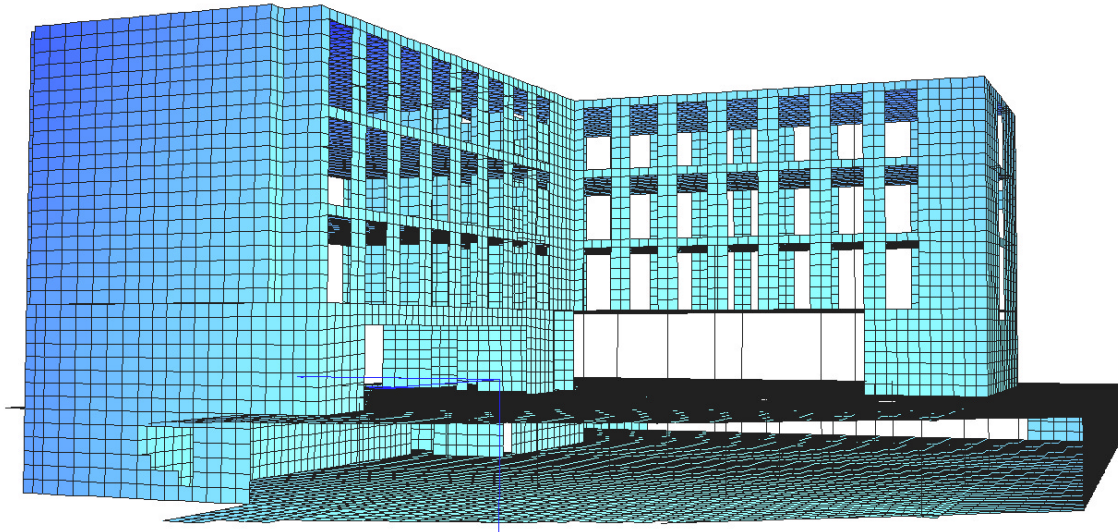


Bild 28 : Schnitt Gesamtsystem - Ostgiebel, BV Obere Wässere 1, Reutlingen

Für die Beurteilung der Strukturen hat sich der ANIMATOR als recht hilfreiches Programm herausgestellt, da hier nicht nur die Struktur wie mehrfach gezeigt "plastisch" darstellen läßt, sondern auch für die Überprüfung von Verformungszuständen infolge Vertikal- und Horizontallasten in Animationen. Dies zeigt immer wieder sehr anschaulich das Verhalten des betrachteten Systems und läßt schnelle Beurteilungen von Veränderungen zu.

Es sollen im folgenden noch einige neue Entwicklungen bzw. in Bearbeitung befindliche Erweiterungen beschrieben werden. Anschließend sollen noch ein paar wichtige Hinweise gegeben werden, welche für die Erstellung kompletter 3D-Strukturen mit MONET von Bedeutung sind.

### 3. HEUTIGER STAND

Vielfach schöpfen die Nutzer von Computerprogrammen nur die ihnen bekannten Möglichkeiten aus und nur durch Präsentationen oder z.B. den STATIK Anwenderbrief wird man auf neue Möglichkeiten der Bearbeitung hingewiesen. Manchmal kann auch das aufmerksame Studium der LOG-Dateien Hinweise zu neu entwickelten Möglichkeiten geben.

Auf eine sehr wesentliche Entwicklung im Programm ASE sei im folgenden hingewiesen. Derzeit befindet sie sich aber noch im Beta-Stadium.

Angeregt durch das Projekt INSIDE über verteiltes Rechnen an dem die SOFiSTiK teilnahm, wurde eine neue Substruktur-Technik implementiert (STEU SOLV 10-11-12). Diese berücksichtigt die Unterteilung einer Gesamtstruktur in einzelne Bauteile über die Gruppennummern.

Zuerst werden für die einzelnen Bauteile (Gruppen) die Steifigkeitsmatrizen und Lastspalten bestimmt. Anschließend werden für die gemeinsamen "Interfaceknoten" die reduzierte Gesamtsteifigkeitsmatrix und die zugehörigen Lastspalten gebildet und gelöst.

Liegen nun die Ergebnisse der Verformungen an diesen Knoten vor, wird anschließend in die o.a. Bauteile "rückeingesetzt" und die "internen" Verformungen und Spannungen im jeweiligen Bauteil ermittelt.

Der beschriebene Vorgang kann automatisch oder benutzergesteuert erfolgen. Im letzteren Fall ist es möglich, z.B. Geschosse zu Bauteilen zusammenzufassen und zum Gesamtgebäude "zusammensetzen". Berechnet wird jedes Geschöß einzeln und dann einmal das Gesamtsystem. Anschließend kann Geschöß für Geschöß weiter bemessen werden.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß bei Veränderung in einem einzelnen Geschöß nun nur dieses eine Geschöß und nochmals die reduzierte Gesamtstruktur berechnet werden muß. Ein nochmaliges Berechnen der anderen Bauteile ist nicht erforderlich. Nur bei Auswirkung in andere Bauteile hinein muß evtl. eine Überprüfung erfolgen.

Interessierten sei zum besseren Verständnis hier exemplarisch die Veröffentlichung von Ch. Barth empfohlen, welche einen kompakten und anschaulichen Abriß der Methode und ihrer Vorteile beinhaltet.

Mit der o.a. Methode können selbst bei Einzelplatzrechnern deutliche Zeitersparnisse erzielt werden. Diese werden bei verteiltem Rechnen noch größer, da parallel an mehreren Bauteilen gleichzeitig gerechnet werden kann.

Nachdem das oben beschriebene prinzipielle Vorgehen bereits Ende der 60-er Jahre von den Wissenschaftlern erarbeitet wurde ( Stichworte: Statische Kondensation, "Abgebrochener" Gauß-Algorithmus ), können wir uns darauf freuen, bald noch handlicher mit großen Strukturen umgehen zu können - manches dauert halt ein wenig länger.

#### 4. VORGEHEN / HINWEISE FÜR BEARBEITUNG GROSSER 3D-STRUKTUREN

Im folgenden werden einige praktische Hinweise gegeben, wie man große Falterwerksstrukturen bearbeitet. Manches ist von allgemeiner Gültigkeit und anderes hat sich einfach durch Praxis herausgebildet.

##### 4.1 Globale Z-Achse nach "unten"

Bei Eingabe des Systems mit der Z-Achse nach unten bleibt die Orientierung der Decken mit der in

SEPP ( x nach rechts und y nach unten auf dem Bildschirm ) identisch und "unten" ist wirklich unten. Lasten in positiver Z-Richtung sind damit ebenfalls positiv, d.h. eine Eigengewichtslast die in SEPP  $PZ=+6.00 \text{ kN/m}^2$  beträgt ist in ASE ebenfalls  $PZZ=+6.00\text{kN/m}^2$  und nicht negativ !

#### 4.2 *Strukturflächen im selben "globalen" Drehsinn erzeugen*

Bei der Auswahl der Eckpunkte von Strukturflächen sollte man in lokaler Z-Achsrichtung gegen den Uhrzeigersinn vorgehen. Hintergrund ist, daß dann, wie unter 4.1 beschrieben, unten auch unten bleibt und man a priori weiß, das z.B. unten bei einer Wand welche in X-Richtung verläuft in positiver Y-Richtung liegt. Genauso weiß man, daß unten bei einer Wand in Y-Richtung in positiver X-Richtung liegt. Besondere Fälle können von dieser Regel eine Ausnahme bilden, z.B. wenn man bei Außenwänden unten mit der Außenseite und oben mit der Innenseite assoziieren will. Man sollte sich auf alle Fälle an eine Definition halten, damit man nicht den Überblick verliert. Seit geraumer Zeit ist es in MONET möglich, die Orientierung nachträglich zu ändern, sodaß es kein Problem bereiten sollte, eine versehentlich falsch herum orientierte Strukturfläche wieder richtig herum zu drehen.

#### 4.3 *Benutzung von aufsteigenden bzw. absteigenden Gruppennummern für Geschosse*

Gibt man z.B. die Bodenplatte mit Gruppe 1 ein, die Kellerwände mit Gruppe 2, die Kellerdecke mit Gruppe 3 usw., so ist es einfacher bei der Erzeugung der Wände und Stützen nur die untere Decke, die obere Decke und die dazwischenliegenden Wände auf dem MONET-Bildschirm darzustellen ohne evtl. störende andere Bauteile. Benutzen kann man hierfür die Funktion ANSICHT\STRUKTUREN EIN/AUS über GRUPPENNUMMERN ( hier : 1,3,1 ) die entsprechende Auswahl zu treffen.

Man sollte gleichzeitig an Besonderheiten der Bemessung mit BEMESS denken, da die Steuerung von MATerialien und insbesondere der Betonüberdeckung mittels der Gruppeneinteilung sehr einfach vonstatten geht. Eine Änderung der Bemessung bzgl. der RICHTUNG ist ebenfalls zu beachten, wenn der Grundriß z.B. schiefwinklig ist.

#### 4.4 *"Ausschneiden" von Strukturteilen mit BBOX-F in GRAFX*

Wählt man die Gruppeneinteilung geschickt, so kann man in GRAFX bei der Darstellung z.B. der Bewehrungen durch Ansicht des Systems in einer der drei Hauptebenen z.B. XY-Ebene ( hier : von oben ) und Heraustrennen der einzelnen Wände im Grundriß mit BBOX-F einzelne Wandansichten

selbst im Inneren einer großen Struktur erzeugen und übersichtlich darstellen. Man muß diese "herausgeschnittenen" Teile natürlich vorher in eine zur Betrachtungsrichtung senkrechte Ebene drehen ( hier : XZ- oder YZ-Ebene ).

#### 4.5 Präzises "übereinander" Darstellen in SEPP vereinfacht ASE

Erzeugt man zuerst die Decken in MONET für das Programm SEPP und lädt diese anschließend "übereinander", ist dies viel einfacher und schneller als alles direkt für ASE zu erzeugen. Zu beachten hierbei ist jedoch, daß man möglichst präzise bereits die SEPP-Strukturen auf dasselbe XY-Koordinatensystem bezieht, um spätere Probleme zu vermeiden. Auf die Konsistenz der Lasttypen sei hier auch nochmals hingewiesen. Diese hat sich allerdings durch eine einheitlichere Bezeichnung in der letzten Zeit ohnehin vereinfacht.

#### 4.6 Zwängungsfreie Lagerung beachten

Es ist zu beachten, daß man sowohl statisch bestimmt ( oder überbestimmt ) im Raum lagert ( 3 Verschiebungen und 3 Verdrehungen ) und gleichzeitig keinen Zwang auf die Struktur ausübt. Wenn "natürliche" Verformungen des Systems zu "unnatürlichen" Spannungen führen, ist dies ein Zeichen für unzureichende Idealisierung der Lagerung des Gesamtsystems. Im Zweifelsfall sollte ein Festpunkt ( FIX PP ) gewählt werden und durch geeignete Wahl mindestens zweier anderer Punkte die Verdrehungen des Gesamtsystems bzgl. der drei Raumachsen verhindert werden.

### 5. TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN

Bereits heute können nicht nur mittels der "Primitivschnittstellen" DXF oder DWG, sondern mit wesentlich effektiveren Datenformaten Geometrien erzeugt und ausgetauscht werden. CAD-Dateien bilden immer häufiger Grundlage der Berechnungen und so werden vollständige 3D-Modelle ( Volumen- oder Flächen- ) in ACIS, Parasolid oder z.B. STEP benützt.

Einige dieser Schnittstellen ermöglichen bereits den Austausch nicht nur von Geometriedaten, sondern auch von Materialien, Lagerungsbedingungen, Lasten und Schnittgrößen ( z.B. STEP ).

Setzt man dies zusammen mit Verfahren zur automatischen Mittelflächenermittlung dünnwandiger Bauteile ( z.B. Deckenplatten, Wände etc. ) ein, kann fast automatisch eine Erzeugung der Strukturflächen und anschließende Vernetzung erfolgen ( z.B. FEMAP ).

Assoziiert man nun noch die Lasten und Lagerungen mit der Geometrie, ist es bald ein leichtes,

für eine Vorbemessung ein Grobmodell und für die Genehmigungsplanung dasselbe Modell nur weiter verfeinert bzw. ergänzt zu erzeugen.

Man sollte darüber hinaus nicht vergessen, daß insbesondere bei Hochhäusern aber auch bei "kleineren" Gebäuden Bauzustände zu berücksichtigen sind. Dies erfordert zum einen die Möglichkeit fallweise Lagerungsbedingungen zu definieren (englisch: Constraint Sets) und zum anderen den Baufortschritt rechnerisch abzubilden.

Insbesondere bei Hochhäusern ist es erforderlich zu berücksichtigen, daß das Eigengewicht einer Geschoßebene nur auf die bereits fertiggestellten Geschosse wirkt, aber die Verkehrslasten im wesentlichen am fertigen Gesamtsystem. In einem sehr bekannten Fall wurde dies versäumt und es kam aufgrund unrealistischer Stützensenkungen zu "angeblichen" positiven Rahmeneck-momenten wo in der echten Struktur nie welche auftreten werden !

Zuletzt sei noch angemerkt, daß in dem konsequenten Umsetzen von Methoden der Substrukturtechnik, manchmal auch Superelemente genannt, enorme Vorteile liegen.

Nicht nur, daß das Arbeiten mit dem Computer schneller gehen könnte, nein es könnte viel wichtiger werden, im Ablaufprozeß eines Projektes mit einem globalen Grobmodell zu starten und dieses sukzessive zu verfeinern. Dies könnte in Anlehnung an die fortschreitende Planung der Architekten und Fachplaner erfolgen und würde zusammen mit einer Mikro-Makro-Struktur Betrachtung überaus effektiv sein. Letzteres kann vielleicht besser verstanden werden, wenn man sich das ASE-Beispiel mit der Untersuchung eines Rahmenecks bzgl. Wölbkrafttorsion unter Benutzung einer gemischten Stabwerks- und Faltwerksberechnung anschaut.

## 6. AUSBLICK

Durch die immer größeren Rechenleistungen der Computer wird sich die Berechnung von immer komplexeren und gleichzeitig immer vollständigeren Strukturen weiter durchsetzen. Es wird damit aber immer mehr erforderlich, bessere Austauschmöglichkeiten von CAD- und Berechnungsdaten nicht nur in ein und demselben Büro sondern über Bürogrenzen hinweg zu gewährleisten.

Heutzutage wird der Datenaustausch meist nur als Einbahnstraße genutzt, bei der Grundrisse des Architekten für Positions- und Schalpläne des Statikers und dann für die FE-Berechnung übergeben werden. Vereinzelt werden dann diese Daten für die Anordnung von Flächenbewehrungen noch an den Konstrukteur weiter übermittelt.

Die Zukunft wird zeigen, ob sich die strikt hierarchischen Strukturen oder die "freizügigen" objektorientierten Methoden durchsetzen werden.

Derzeit ist zu beobachten, daß immer mehr Benutzer immer weniger über das eigentliche

Vorgehen im Computer wissen und verstehen. Nachdem schon heute vielfach eine Kluft zwischen denjenigen mit Erfahrung und denjenigen mit technischem Computer-Know-How besteht, bleibt abzuwarten wie in Zukunft nicht nur der Transfer von Ingenieur-Know-How sondern auch der vom Umgang damit verläuft.

Zu hoffen ist, daß man wieder mehr Wert auf ein umfassendes Ingenieurwissen legt als auf die Spezialisierung in einem kleinen Anwendungsbereich.

## 7. ANREGUNGEN / WÜNSCHE

Zum Teil sind die im folgenden angegebenen Anregungen bzw. Wünsche an die Programmautoren bereits in Arbeit und sollen hier die derzeit in der Entwicklung befindlichen Möglichkeiten, die aus Sicht der Nutzer gewünscht oder erforderlich sind, nochmals betont darstellen. Es sei erlaubt, die Wünsche hier vorzutragen, da die Vergangenheit bereits mehrfach unter Beweis gestellt hat, daß erst durch das Vortragen von Wünschen und Belangen sich die Möglichkeiten der Programme anwendungsorientiert ändern.

- ASE
- Möglichkeit zur Eingabe von fallweisen Lagerungsbedingungen  
( Constraint Sets analog zu anderen Programmen )
  - Möglichkeit zur Berechnung von Substrukturen ohne Benützung von SOFIMSHB und Berücksichtigung, daß eine Substruktur auch durch eine neue "verfeinerte" ersetzt werden kann um Mikro-Makro-Strukturanalysen durchzuführen ( Stichworte: Wölbkrafttorsion an der Rahmenecke und global-lokal-Berechnungen z.B. im Brückenbau )
  - Möglichkeit zur Nichtlinearen Berechnung von Strukturen mit Hilfe der Substrukturtechnik unter Berücksichtigung von nutzerdefinierten Gruppen
- MONET
- Auswahl von Gruppen und Elementtypen zur Darstellung in Tabellenform  
( analog zu WINGRAF )
  - Möglichkeit zur Eingabe von fallweisen Lagerungsbedingungen  
( Constraint Sets analog zu anderen Programmen )
- WINGRAF
- Die Funktion BEOBKONTUR des Programmes GRAFX ermöglichte ein schnelles und anschauliches Einstellen des Blickwinkels und sollte auch in WINGRAF zur Verfügung stehen
- ANIMATOR
- Auswahl von Gruppen und Elementtypen zur Darstellung in Tabellenform  
( analog zu WINGRAF )

## 8. LITERATUR

- Handbücher der SOFiSTiK AG, München zu Modulen GENF, ASE, SOFIMSHB  
Statik Anwenderbriefe / Wartungsbuletins der SOFiSTiK AG, München
- Barth, Ch., 1998 : *Substrukturtechnik - effektive Berechnung großer FE-Systeme*,  
AEC-REPORT Computer-Anwendungen in Architektur und Bauwesen,  
November/Dezember 1998, Heft Nr.6, S.64-70
- Fink, Th., Protopsaltis, B. 1995 : *Die Produktmodellierungsmethode für die durchgängige  
Bearbeitung Architektenplanung-Tragwerksplanung-Detaillierung*,  
FEM'95 Finite Elemente in der Baupraxis, Beiträge zur Tagung an der Universität  
Stuttgart am 23. und 24. Februar 1995, S.571-584
- Frayssé, V., Giraud, L., Gratton, S. 1997 : *A Set of GMRES Routines for Real and  
Complex Arithmetics*, CERFACS Technical Report TR/PA/97/49
- Gebhard, S., Katz, C., Bellmann, J. 1998 : *FEM-Berechnungen im Workstation Cluster*,  
FEM'98 Finite Elemente in der Baupraxis, Beiträge zur Tagung an der Technischen  
Universität Darmstadt am 5. und 6. März 1998, S.411-420
- Hartmann, D. 1998 : *Objektorientierte Modellierung im Konstruktiven Ingenieurbau- neue  
Möglichkeiten für durchgängige Softwaresysteme*, FEM'98 Finite Elemente in der Baupraxis,  
Beiträge zur Tagung an der Technischen Universität Darmstadt am 5. und 6. März 1998,  
S.13-28
- Katz, C., Bellmann, J. 1999 : *From Geometry to FE-Analysis*, Tagungsband auf CD zur  
ECCM'99 - European Conference on Computational Mechanics, München, 1999
- Osterrieder, P., Haller, H.-W. 1995 : *Integrierte Tragwerksplanung mit CAD-Technik*,  
FEM'95 Finite Elemente in der Baupraxis, Beiträge zur Tagung an der Universität  
Stuttgart am 23. und 24. Februar 1995, S.585-596
- Perin, P. 1999 : *Static and Dynamic Analysis of Piano's Tower in Sydney*,  
BENCHmark The International Magazine for Engineering Designers & Analysts,  
April 1999, S.14-16
- Quint, M. 2000 : *The "save side" - or - What means Quality Assurance in FE-Analyses  
in Civil Engineering*, Bericht zum NAFEMS-Seminar Qualitätssicherung (QS) bei  
Finite-Element-Berechnungen, Wiesbaden, 10.-11. Mai 2000, [www.xperteetz.de](http://www.xperteetz.de)
- Rüppel, U., Meißner, U. 1995 : *Produktmodellierung für die integrierte Tragwerks-  
planung*, FEM'95 Finite Elemente in der Baupraxis, Beiträge zur Tagung  
an der Universität Stuttgart am 23. und 24. Februar 1995, S.561-570