

Modellierung zeitabhängiger 3D-Modelle in der Geotechnik

Joaquin Diaz, Udo Meißner, Ingo Schönenborn
Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen,
TH Darmstadt, Petersenstr. 13, 64287 Darmstadt

email: schoenen@iib.bauwesen.th-darmstadt.de

1 Einleitung

Die quantitativen und qualitativen Anforderungen an den Bauplanungsprozeß sind in den letzten Jahren entscheidend gestiegen. Dies liegt zum einen an der stetig zunehmenden Dimensionierung der Bauwerke und zum anderen an der immer enger werdenden Bebauung im innerstädtischen Bereich.

Gerade die verdichtende Bebauung im innerstädtischen Bereich führt zu steigenden Anforderungen an die am Bauplanungsprozeß beteiligten Fachplaner. Die realitätsnahe Prognostizierung der Wechselwirkungen zwischen Tragwerk, Baugrund, Aquifer und benachbarter Bebauung stützt sich dabei ganz entscheidend auf umfassende und zuverlässige Berechnungen und Simulationen. So muß z.B. bei komplexen Gründungen, bei denen die Aushubentlastung nicht vernachlässigt werden darf, oder bei Gründungen neben großen Bauwerken die zu erwartende Setzung und die Standsicherheit für die benachbarte Bebauung vor Baubeginn sehr genau prognostiziert [Katzenbach, Arslan, Holzhäuser, Vogler, 1996] und nachgewiesen werden.

Aufgrund der zunehmenden Internationalisierung des Wettbewerbs und der steigenden quantitativen und qualitativen Anforderung bei großen Bauprojekten wird nach neuen Lösungsansätzen gesucht, mit deren Hilfe der Bauplanungsprozeß den gestiegenen Anforderungen angepaßt werden kann. Ein Lösungsansatz hierzu stellt die durchgängige computergestützte Modellierung des Bauplanungsprozesses beginnend bei der Vorplanung bis hin zum Recycling des Bauobjektes am Ende seiner Lebensdauer dar. Diese kann zur Durchführung komplexer Ingenieuraufgaben in Planung und Konstruktion, bei der große Datenmengen unterschiedlicher Herkunft mit unterschiedlichen Datenstrukturen über längere Zeiträume miteinander verknüpft, fortgeschrieben und konsistent gespeichert werden müssen, erfolgreich mit neuen Soft- und Hardwarewerkzeugen durchgeführt werden. Zwei entscheidende Faktoren dabei sind die zeitabhängige Verwaltung der Planungsinformationen und die dreidimensionale Modellierung des Bauobjektes.

Im vorliegenden Beitrag wird zunächst auf die Zeitabhängigkeit bei geotechnischen Aufgabenstellungen eingegangen. Im Anschluß daran wird der Vorteil und Nutzen des objektorientierten Paradigmas -speziell des dynamischen Modells- für den Entwurf zeitabhängiger geotechnischer Aufgabenstellungen besprochen. Abschließend werden die zeitabhängigen Komponenten Boden- und Konstruktionsmodell und die dazugehörige Bauablaufsteuerung des Forschungsprototypen GTIS vorgestellt.

2 Zeitabhängigkeit bei geotechnischen Aufgabenstellungen

Der Ablauf geotechnischer Ingenieuraufgaben durchläuft mehrere Planungsphasen, wobei sich die einzelnen Phasen durch ihren Detaillierungsgrad unterscheiden und in der Regel auf Informationen der vorherigen Phasen aufbauen:

- | | |
|---------|---|
| Phase 1 | Standortfindung und Vorabklärung für ein Projekt |
| Phase 2 | Baugrunduntersuchung für das in Grundzügen konzipierte Projekt |
| Phase 3 | Detaillierte Untersuchungen und Ausführungsplanungen für das konkretisierte Projekt |
| Phase 4 | Zusatzabklärungen und Baukontrollen im Rahmen der Bauausführung |
| Phase 5 | Geotechnische und geodätische Kontroll- und Beweissicherungsmaßnahmen vor, während und nach der Erstellung des Bauwerks |

Es wird deutlich, daß es sich bei diesem Planungsprozeß um ein stark zeitabhängiges System handelt. So wird bereits durch die Reihenfolge, innerhalb der die einzelnen Planungsphasen durchlaufen werden eine zeitliche Ablaufreihenfolge vorgegeben. Je nach Planungsphase befinden sich dabei die einzelnen Planungsgrundlagen in unterschiedlichen Detaillierungsgraden wieder. So wird z.B. in Phase 1 die vorläufige Standortfindung auf Basis von zweidimensionalen Lageplänen und bekannten geologischen Untergrundinformationen durchgeführt. Ist die Standortfindung abgeschlossen, so werden in Phase 2 weitere Informationen über Bodenbeschaffung (siehe Abb. 1), benachbarte Bebauung usw. hinzugefügt. Durch Zusammenfügen der Informationen aus Phase 1 und 2 ergibt sich ein neuer (dreidimensionaler) Detaillierungsgrad auf Basis dessen in Phase 3 die Dimensionierung der Konstruktionselemente stattfinden kann, die dann in Lageplänen (siehe Abb. 2), Schnittzeichnungen und 3D-Modellen dargestellt werden.

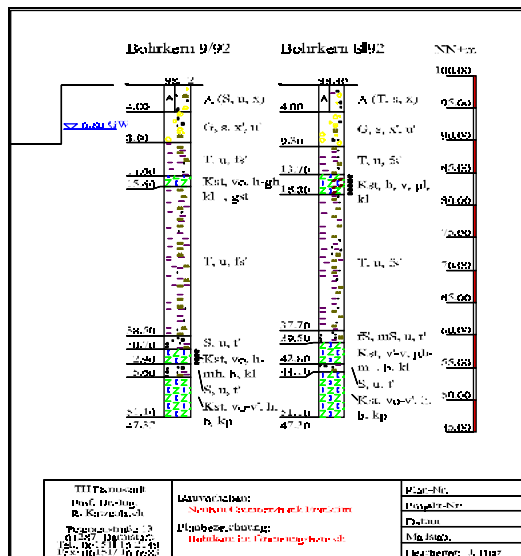


Abb. 1 Lageplan des neuen Commerzbank-Hochhauses in Frankfurt

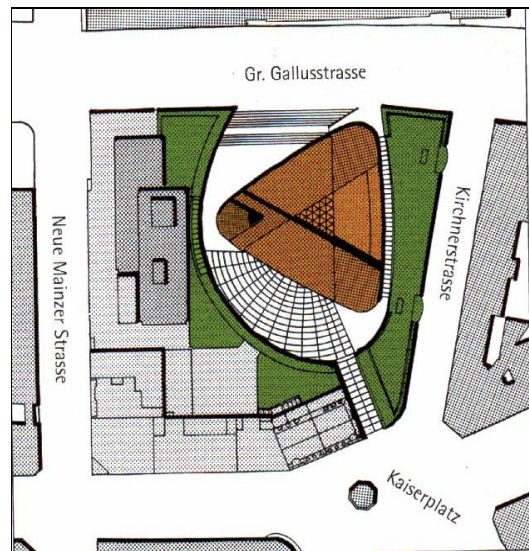


Abb. 2 Bohrprofile unterhalb des geplanten Commerzbank-Hochhauses

Zum Zeitpunkt der Dimensionierung (Phase 3) wird auf Basis aller zur Verfügung stehender Planungsgrundlagen eine Entscheidung über die geotechnische Konstruktion getroffen. Für diese werden dann entsprechende Ausgangsparameter (z.B. Breite, Material, Anzahl der Bauelemente usw.) festgelegt. Die Parameter aus dem Vorentwurf dienen im folgenden als Eingangsgrößen zur eigentlichen Bemessung und Ausarbeitung der geotechnischen Konstruktion. Hierfür sind in der Regel mehrere Einzelnachweise erforderlich. So sind z.B. für die Berechnung von Schlitzwänden als Baugrubensicherung folgende Nachweise erforderlich:

- Nachweis der Einbindtiefe nach EAB, DIN 1054 und DIN 4085
- Bemessung der Anker/Steifen und Nachweis der Standsicherheit der Tiefen Gleitfuge nach DIN 4125
- Nachweis der Abtragung der lotrechten Kräfte nach EAB
- Geländebruchsicherheit nach DIN 4084
- Bemessung der Betonwände nach DIN 1045
- Standsicherheit des flüssigkeitgestützten Schlitzes nach DIN 4126 und DIN 4127

Um für die gewählte Konstruktion die Nachweise führen zu können, erstellt der Ingenieur zunächst ein Modell. Das Modell beinhaltet alle relevanten Informationen und Planungsgrundlagen wie sie zuvor zusammengestellt worden sind. Hierbei hängt der Detaillierungsgrad des Modells stark von der zu untersuchenden Aufgabenstellung ab. Aus diesem Grund kommen sowohl zweidimensionale als auch dreidimensionale Modelle zur Anwendung. Zur Führung von Nachweisen ist jedoch die Erstellung eines statischen Modells alleine nicht immer ausreichend. Stattdessen muß der Ingenieur für alle kritischen Bauzustände Modelle aufstellen, auf Basis derer er im weiteren Verlauf einzeln die Nachweise führt. Erst dadurch wird die Standsicherheit des Entwurfs für den gesamten Bauablauf gewährleistet.

Auch in den daran anschließenden Phasen 4 und 5 findet sich die zeitliche Komponente beim geotechnischen Planungsprozeß wieder. Speziell in der Phase 5 werden z.B. Zeitreihen für die Setzung des Bauwerkes während und nach Erstellung des Bauwerkes zusammengestellt. Für das dazugehörige Modell bedeutet dies, daß sich die in der Zeitreihe befindlichen Meßergebnisse im Modell wiederfinden lassen.

3 Vorteile der objektorientierten Modellierung für die Geotechnik

Die Entwicklung neuer Methoden und Verfahren für geotechnische Aufgabenstellungen mit dem Ziel ein integrierendes, interaktives, dreidimensionales und zeitabhängiges Modellierungssystem zu entwerfen, läßt sich nach heutigem Wissensstand adäquat mit objektorientierten Methoden durchführen [Rüppel, 1995]. Die objektorientierte Modellierung im Planungs- und Konstruktionsprozeß unterstützt dabei die ingenieurmäßige Denk- und Vorgehensweise. Durch die Durchgängigkeit von der objektorientierten Systemanalyse über den objektorientierten Software-Entwurf bis hin zur objektorientierten Programmierung in C++ wird die ganzheitliche Modellierung unterstützt. Mit objektorientierten Modellen und Methoden wird es möglich, das komplexe Beziehungsgeflecht der im geotechnischen System wechselseitig wirkenden Komponenten in seiner Gesamtheit zu erfassen [Meißner, Diaz, Schönenborn, 1995]. Die konsequente Anwendung der Technologie der objektorientierten Modellierung nach Rumbaugh [Rumbaugh, 1993], die auf den drei Komponenten statisches, dynamisches und funktionales Modell basiert, gewährleistet, daß alle kausalen Zusammenhänge des Baugrundes in jeder Phase des Modellierungsprozesses vollständig erfaßt und abgebildet werden können.

Hierbei eignet sich vor allem das dynamische Modell nach Rumbaugh zur exakten Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der geotechnischen Aufgabenstellung. Am Beispiel der Erstellung einer trockenen Baugrube im Grundwasser soll aufgezeigt werden, wie eine geotechnische Aufgabenstellung (siehe Abb. 3) in ein dynamisches Modell nach Rumbaugh (siehe Abb. 4) umgesetzt werden kann.

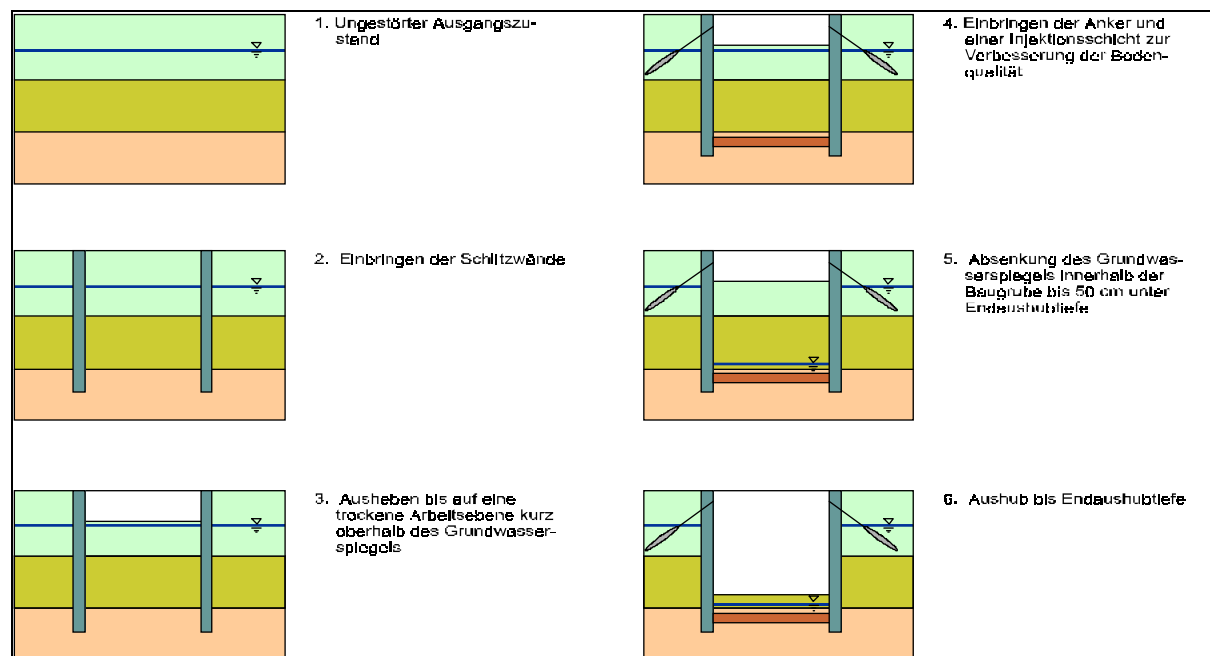


Abb. 3 Bauablauf zur Erstellung einer trockenen Baugrube im Grundwasser

Innerhalb des dynamischen Modells werden Zustände und Ereignisse unterschieden. Ein Zustand entspricht dabei der Beschreibung eines Objektes zu einem festen Zeitpunkt (einem Bauzustand). So enthält der Zustand „ungestörte Ausgangssituation“ die aktuellen Werte der Bodenschichten zum Zeitpunkt des Baubeginns. Das eintretende Ereignis „Einbringen der Schlitzwände“ entspricht einer Zustandsänderung und überführt die aktuellen Werte und Eigenschaften des Zustandes „ungestörte Ausgangssituation“ in den Zustand „Schlitzwand hergestellt“. Hierbei führt das Ereignis zu einer Änderung der Werte des Bodenmodells. Im Bodenmodell wird durch das Ereignis ein geotechnisches Konstruktionselement in Form einer Schlitzwand eingebracht. Im daraus resultierenden Zustand enthält nun das Bodenmodell neben den Schichten die eingebrachte Schlitzwand.



Abb. 4 Dynamisches Modell nach Rumbaugh für die Erstellung einer trockenen Baugrube

Für den Softwareentwurf lassen sich aus dem dynamischen Modell drei wesentliche Faktoren ableiten:

- I Das verwendete Bodenmodell hat keine statische Struktur, sondern unterliegt zeitlichen Veränderungen. Zu diesem Zweck ist innerhalb des Softwareentwurfes eine Datenstruktur zu verwenden, mit deren Hilfe sich die zeitabhängigen Ausprägungen des Bodenmodells verwalten lassen.
- II Die geotechnischen Konstruktionselemente (z.B. Schlitzwände, Anker usw.) definieren das Konstruktionsmodell und stehen in direkter Beziehung zum Bodenmodell.
- III Für die Verwaltung der einzelnen Bauzustände des Boden- und Konstruktionsmodells wird ein Bauablaufverwalter benötigt, innerhalb dessen die jeweils gültige Kombination aus Boden- und Konstruktionsmodell den einzelnen Bauzuständen zugeordnet werden kann.

4 Die zeitabhängige Verwaltung des Boden- und Konstruktionsmodells innerhalb des Forschungsprototypen GTIS

Ziel des Geotechnischen Informationssystems (GTIS) ist die Realisierung eines wirklichkeitstreuen objektorientierten Modellierers für komplexe geotechnische Aufgabenstellungen aus dem Bereich Grundbau und Bodenmechanik [Diaz, Meißner, Schönenborn, 1996]. Hierfür sollen insbesondere die Komponenten Boden, Baugrube und Konstruktion durch ein dreidimensionales Konstruktionsmodell erfaßt und deren Wechselwirkungen durch Integration bzw. Anbindung externer Berechnungs- und Simulationsprogramme untersucht werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Erfassung der zeitvarianten Systemänderungen bezogen auf den Baufortschritt.

Hierbei basiert die Realisierung der zeitvarianten Systemänderungen auf den drei Komponenten Bodenmodell, Konstruktionsmodell und Bauablaufsteuerung.

Bodenmodell

Zentraler Kern des Bodenmodells ist eine dynamische Datenstruktur mit dessen Hilfe die zeitvarianten Änderungen des Bodenmodells entsprechend den einzelnen Bauzuständen verwaltet werden können. Hierbei wird zunächst von einem ungestörten Baugrund ausgegangen, der als Ausgangsbasis des Bodenmodells dient. Durch Integration der einzelnen Konstruktionselemente und Veränderungen der Bodengeometrie bzw. Bodeneigenschaften des Bodens (z.B. durch Aushub oder Bodenverbesserung) während des Bauablaufes, werden weitere Versionen des Baugrundes passend zu den vorgegebenen Bauzuständen (siehe Abb.5) innerhalb des Bodenmodells abgespeichert und können bei Bedarf abgerufen werden.

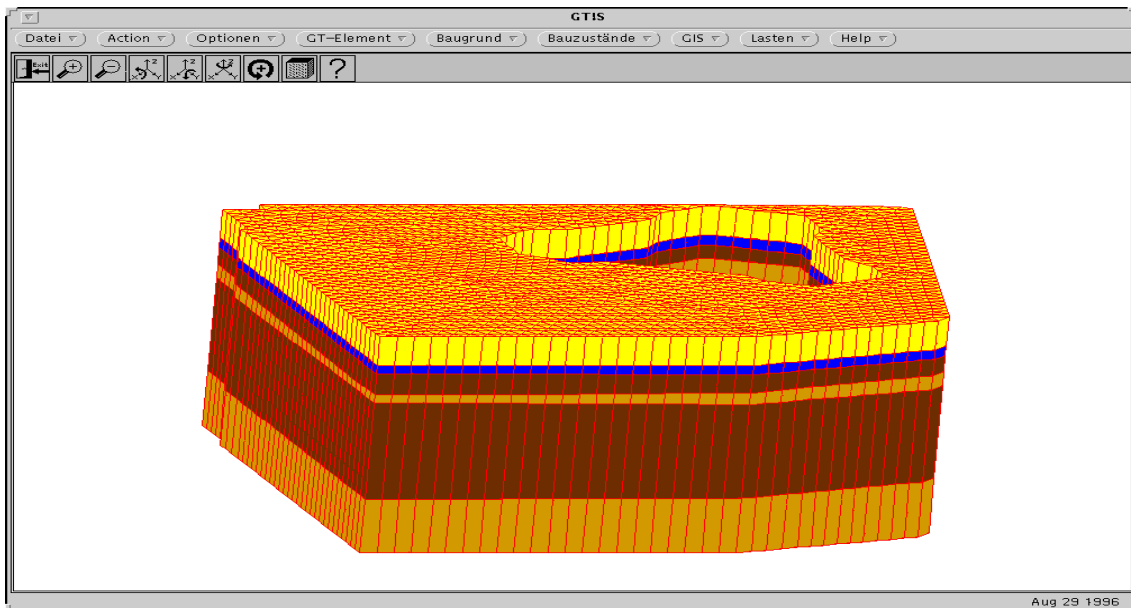


Abb. 5 Baugrundmodell des neuen Commerzbank-Hochhauses im Endausbauzustand

Konstruktionsmodell

Das Konstruktionsmodell enthält die vom Geotechniker entworfene geotechnische Konstruktion. Hierbei können die einzelnen Konstruktionselemente (Schlitzwände, Anker, Bodenplatte, Pfahlkonstruktion) aus einem Bauteilkatalog in parametrisierter Form abgerufen und zu einer geotechnischen Konstruktion (siehe Abb. 6) zusammengeführt werden.

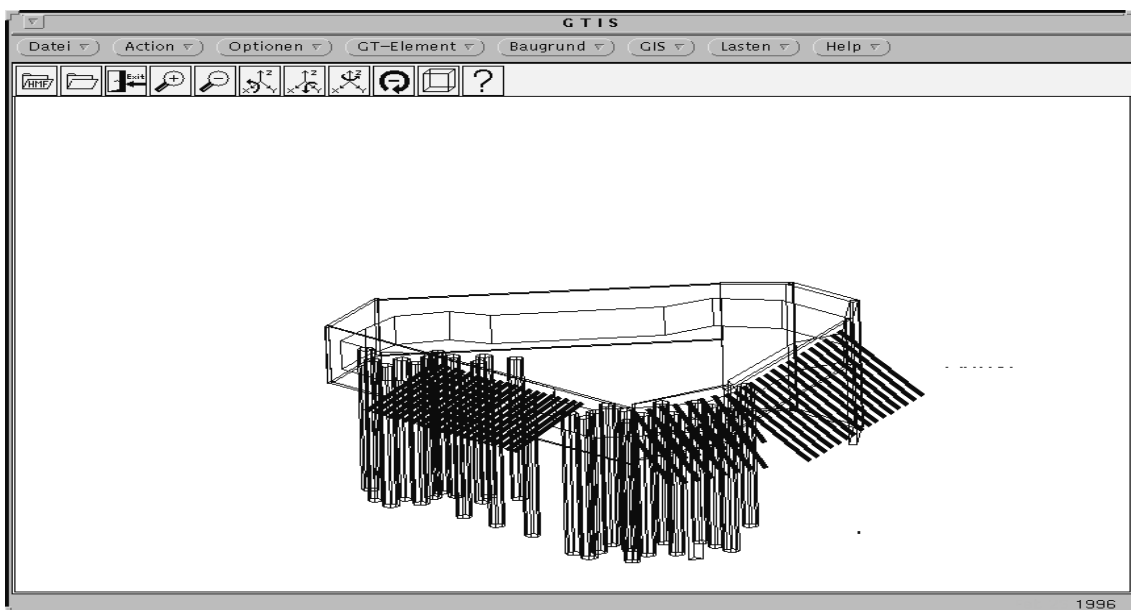


Abb. 6 Geotechnisches Konstruktionsmodell des neuen Commerzbank-Hochhauses

Bauablaufsteuerung

Innerhalb der Bauablaufsteuerung wird der Bauablauf definiert. Zu diesem Zweck werden in Form eines Netzplanes alle relevanten Bauzustände und die dazwischen durchgeführten Baumaßnahmen spezifiziert (siehe Abb. 7). Parallel dazu wird eine Verknüpfung mit den geotechnischen Konstruktionselementen und dem jeweils passenden Baugrundmodell durchgeführt. Als Ergebnis davon kann mit Hilfe der Bauablaufsteuerung zu jedem Bauzustand ein gültiges Modell bestehend aus Baugrund und Konstruktion erzeugt werden, das im weiteren Verlauf zu Berechnungs-, Bemessungs- oder Simulationszwecken verwendet werden kann.

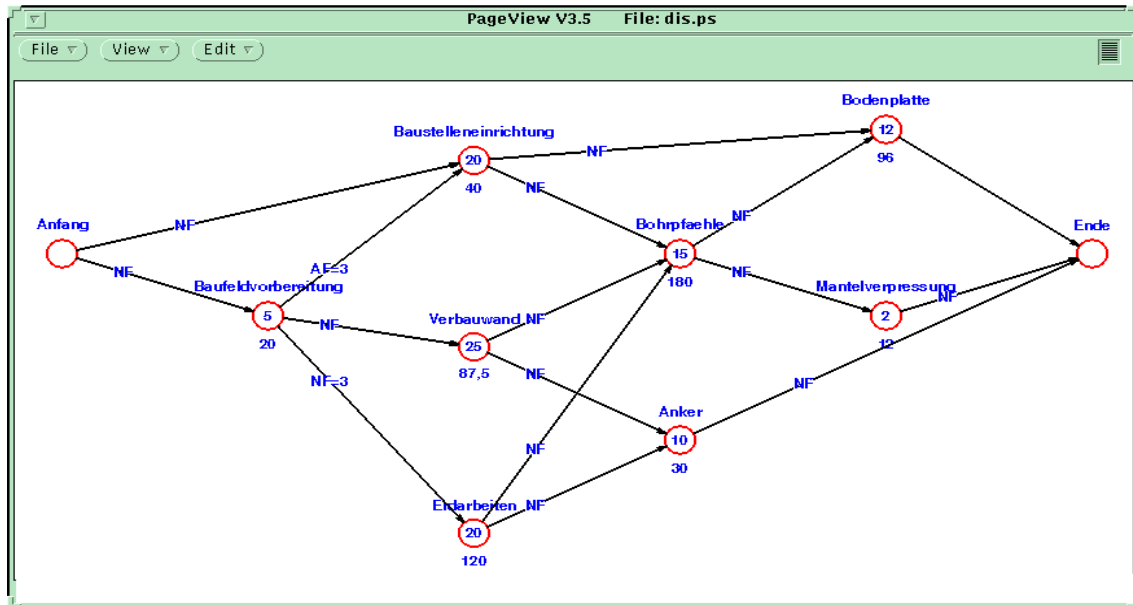


Abb. 7 Beispiel einer Bauablaufsteuerung

5 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt auf, daß der zeitliche Verlauf innerhalb einer geotechnischen Aufgabenstellung einen nicht unerheblichen Einfluß auf die verwendeten Modelle bzw. die Durchführung von Sicherheitsnachweisen ausübt. Für die Entwicklung geotechnischer Softwaresysteme ergibt sich daraus schon innerhalb der Analysephase die Anforderung, die zeitkritischen Abhängigkeiten zu modellieren und entsprechend im Entwurf zu berücksichtigen. Hierfür hat sich die objektorientierte Methode in Form des dynamischen Modells nach Rumbaugh als ein geeignetes Werkzeug herausgestellt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse können bereits sehr früh in die Konzeption des Gesamtsystems mit einbezogen werden. Am Beispiel des Geotechnischen Informationssystems (GTIS) führte dies zu einer raum- und zeitabhängigen Verwaltung des Boden- und Konstruktionsmodells und zu einer Bauablaufsteuerung, innerhalb derer die einzelnen Bauzustände verwaltet und mit den entsprechenden Ausprägungen innerhalb des Boden- und Konstruktionsmodells verknüpft werden können.

6 Literatur

[Diaz, Meißner, Schönenborn, 1996] Diaz, Joaquin; Meißner, Udo; Schönenborn, Ingo: Objektorientierte CAD-Modellierung Geotechnischer Baugrubensysteme. In: 4. FEM/CAD - Tagung, Darmstadt 1996

[Katzbach, Arslan, Holzhäuser, Vogler, 1996] Katzbach, Rolf; Arslan, Ulvi; Holzhäuser, Jörg; Vogler, Mathias: Sensitivitätsanalysen für tiefe Hochhausgründungen. In: 4 FEM/CAD -Tagung, Darmstadt 1996

[Meißner, Diaz, Schönenborn, 1995] Meißner, Udo; Diaz, Joaquin; Schönenborn, Ingo: Objectoriented Analyses of Geotechnical Engineering Systems. In: Proceedings of the sixth Int'l Conference of Computing in Civil and Building Engineering, ASCE, (pp. 61-66), Berlin, Germany 1995

[Rumbaugh, 1993] Rumbaugh, J.; Blaha, M.I.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lorenzen, W.: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen. In: Prentice-Hall International, London, 1993

[Rüppel, 1995] Rüppel, Uwe: Ganzheitliche Bauwerksmodellierung unter Nutzung objektorientierter Datenbanken. In: Fachzeitschrift „Bauinformatik“, Heft 6/1995 (S.230-235), Verlagsgesellschaft R. Müller, Köln 1995