

1. Antragsteller

Antragsteller ist das Fachgebiet Statik der Baukonstruktionen des Instituts für Bauingenieurwesen der Fakultät VI an der technischen Universität Berlin unter der Leitung von univ. Prof. habil. Dr. Ing- Rudolf Harbord.

Das Fachgebiet ist unter folgender Anschrift zu erreichen:

Technische Universität Berlin
Fakultät VI
Fachgebiet Statik der Baukonstruktionen
Skr. TIB1-B5
Gebäude 13b
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Telefon : (030) 314 – 72320

Telefax : (030) 314 – 72321

<http://statik.bv.tu-berlin.de/>

2. Thema/Ziel und Kurzbeschreibung des Vorhabens

Im Rahmen des Projektes soll eine Lern- und Forschungsplattform (FEM-Wizard) für die Theorie der finiten Elemente erstellt werden. Die Plattform soll Studenten der Ingenieurwissenschaften während ihrer Ausbildung beim Erlernen der Theorie der finiten Elemente von der Lehre über das Lernen bis hin zur Prüfung begleiten. Dabei soll es ausdrücklich nicht um die Bedienung von FEM Programmen gehen, sondern um die Theorie selbst.

Der FEM-Wizard ist ein Werkzeug um die FEM zu erlernen und kein Programm für den konkreten Einsatz in der Wirtschaft.

Seine grafische Oberfläche macht die FEM einfach und visuell begreifbar. Sie transportiert die komplexe Theorie über bereits in der Kindheit erlernte Wege. Dabei wurde sich an Spielzeugen wie LEGO und bunten Holzklötzchen orientiert.

Mit ihm ist es möglich schnell neue sofort lauffähige Systeme zusammen zu bauen, um einzelne Aspekte der FEM zu untersuchen.

Mit dem FEM-Wizard ist es möglich die Schwächen und Grenzbereiche der FEM scharf und einleuchtend heraus zu arbeiten.

Die FEM soll hierzu modular und nicht wie bisher sequenziell zum Lernenden transportiert werden. Dieses Vorgehen entspricht der menschlichen Wahrnehmung, die durch eine Umwelt der Objekte geprägt ist.

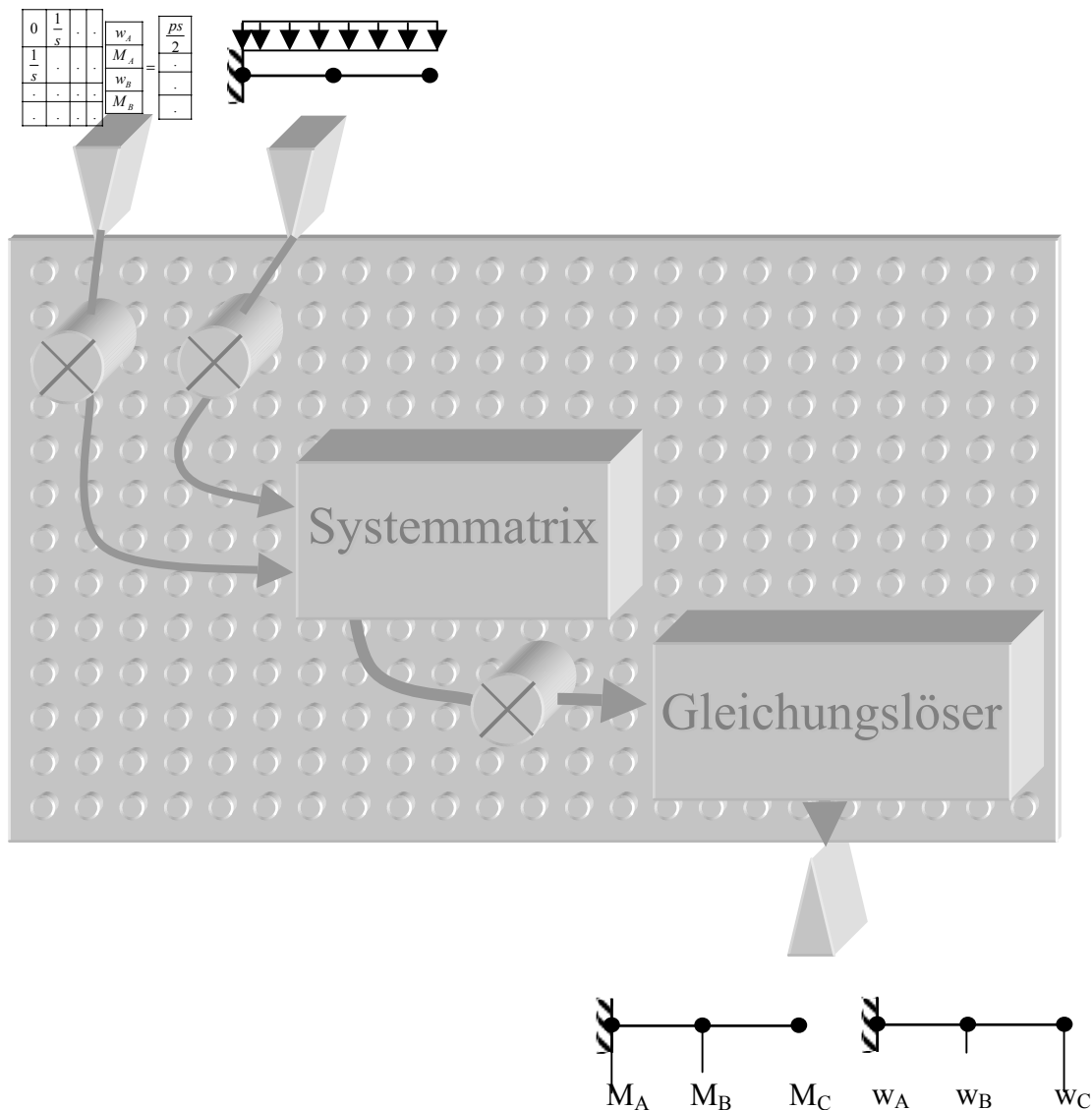
Oberste Zielsetzung ist eine einfache intuitive Bedienbarkeit des Programms, das im Wesentlichen nur drei Bausteintypen kennt:

Projektskizze FEM-Wizard

- Die Plattform als grafisches Trägermedium,
- Die Module, die logische Arbeitseinheiten kapseln und
- Die Datenleitungen, welche die nötigen Informationen zwischen den Modulen fließen lassen.

Dabei kann jede Plattform wieder das Innere eines Moduls sein. Somit entsteht ein System, in dem man sich orientieren kann wie auf einer Landkarte: Auf einer Landstraße fährt man in eine Stadt, in der Stadt fährt man zu einem Haus, in dem Haus geht man über eine Treppen in eine Wohnung.... Dies verfeinert man so lange, bis man am gewünschten Ziel ist. Das Innere eines Moduls veranschaulicht beispielhaft die folgende Zeichnung.

Je nachdem, in welcher Phase sich der Student gerade befindet, kann er schon fertige Module und kalibrierte Datenleitungen auf einer Plattform zusammenstecken und das so entstandene System ausprobieren und erkundschaften. Im fortgeschrittenen Stadium kann er auch neue Module schaffen und Datenleitungen kalibrieren.



Die Plattform soll ihn dabei dahingehend unterstützen, dass sie Module auf ihre Funktion hin testen kann. Die Module wiederum können die Datenleitungen testen, damit nur die

geforderten Datentypen in das Modul gelangen. Somit hat man immer ein funktionierendes System, das Ergebnisse liefert. Über die Richtigkeit der Ergebnisse kann natürlich keine Aussage getroffen werden.

In einer Prüfungssituation könnte man dann vom Studenten verlangen, ein bestimmtes System in einer festgesetzten Zeit zu erzeugen oder ein neues Modul zu bauen. Solche Aufgaben könnte man objektiv und schnell bewerten, was angesichts der hohen Studentenzahlen vorteilhaft wäre.

3. Stand der Technik und Beseitigung von Defiziten / Schaffung eines Mehrwerts durch das Vorhaben

Die Methode der finiten Elemente ist als wesentliches Werkzeug für Ingenieure nicht mehr wegzudenken. Im Bereich der Bauingenieure ist es zum Beispiel heute unmöglich, die anstehenden Berechnungen für die Statik eines modernen Bauwerks ohne computergestützte Verfahren durchzuführen. Die dazu auf dem Markt angebotene Software verbirgt die Komplexität der Methode hinter aufwendigen Masken. Genau an dieser Stelle entsteht aber nun ein neuer und beunruhigender Problembereich. Der Stand der Forschung bietet im Augenblick keine verlässlichen Verfahren, die Qualität einer FEM Lösung zu beurteilen. Es ist fraglich, ob dieses Problem je befriedigend gelöst werden kann.

Die FEM Programme sind also immer auf den Sachverstand von Ingenieuren angewiesen, um die Ergebnisse auf ihre Richtigkeit hin einzuschätzen.

Die Praxis zeigt ein großes Sammelsurium an griffigen Beispielen katastrophaler Fehler, die aus einem blinden Vertrauen in die Richtigkeit von FEM generierten Statiken resultiert. Es muss also das Ziel der Lehre sein, den Studenten der Ingenieurwissenschaften ein grundlegendes Verständnis über die Theorie der finiten Elemente zu vermitteln.

Man kann sich in vielen Ingenieurwissenschaften davon überzeugen, dass ein mangelndes Verständnis der Theorie eine schwer einzuschätzende Gefahr darstellt. Immerhin ist es eine der Hauptaufgaben von Ingenieuren, Sicherheiten einzuschätzen: "Bleibt das Gebäude stehen?", "Hält das Auto einem Aufprall stand?" oder "Kann es heute nacht zu überfrierender Nässe kommen?" Dies sind nur einige Fragen, die ohne die FEM kaum mehr zu beantworten sind. Aber die FEM birgt Schwächen in sich, bei denen sie Ergebnisse liefert, welche die Wirklichkeit nicht mehr abbildet. Versteifende Elemente, Singularitäten oder verzerrte Elemente sind nur einige problematische Punkte, bei denen der Ingenieur seinen Sachverstand aufbringen muss um Fehler zu erkennen.

Ein Grossteil der Studenten ist aber im Augenblick nicht dazu in der Lage. Die Ursachen hierfür sind in der Lehre zu suchen.

Die einzelnen Arbeitsschritte von einer Differentialgleichung zum fertigen Element sowie vom fertigen Element zum fertigen System sind nicht sonderlich schwierig zu verstehen. Die Grundlagen dazu sind meist schon in der schulischen Vorbildung gelegt. Als einzige Ausnahme ist die Variationsrechnung zu nennen. Die Theorie der Funktionenfunktionen, wie sie zum Beispiel bei Courant und Hilbert in "Methoden der mathematischen Physik" beschrieben wird, ist wirklich von nicht zu unterschätzender Komplexität. Der Bereich, den man allerdings für die FEM benötigt, ist klein und überschaubar, also mit mäßigem Aufwand zu erarbeiten.

Projektskizze FEM-Wizard

Das große Verständnisproblem und die innere Abwehrhaltung gegen die FEM, die bei den meisten Studenten zu finden ist, resultiert aus der großen Menge und dem Zusammenspiel der einzelnen Komponenten.

Booch sagt in seinem Buch "Objektorientierte Analyse und Design", dass ein Mensch sieben plus minus zwei Informationen gleichzeitig beachten kann. Man kann die genaue Zahl sicherlich bestreiten, nicht aber, dass die menschliche Kapazität beschränkt ist.

Bei der Herleitung eines Elementes gibt es Punkte, bei denen man sehr viele Dinge gleichzeitig beachten muss. Wenn man zum Beispiel den Übergang von der Arbeitsgleichung zum Element macht, so ist der Arbeitsschritt wirklich nicht kompliziert. Es kommt einem nur sehr schnell der Sinn dieses Schritts abhanden, da man, ganz trivial ausgedrückt, bereits wieder vergessen hat, was die einzelnen Buchstaben bedeuten.

Für eine Vorlesung bedeutet dies, dass die Studenten irgendwann nicht mehr folgen können und somit das gesamte Gebilde nicht begreifen. Wenn die Studenten dann den Stoff nachvollziehen wollen, sind sie auf sich alleine gestellt und völlig überfordert.

Für die Prüfung lernen sie die einzelnen Arbeitsschritte auswendig, ohne deren Sinn zu verstehen und können somit die Richtigkeit der FEM - Lösungen nicht einschätzen. Abgesehen davon, dass dieser auswendig gelernte Stoff sehr schnell wieder vergessen wird, sind ein Grossteil der Studenten der Meinung, die FEM sei etwas für einen "elitären Kreis der Eingeweihten" und verlassen sich auf die im Handel erhältlichen Programme, was dann eben auf direktem Wege zu den obigen Problemen führt.

Bei einer so komplexen Materie sollte man nicht sequenziell oder prozedural vorgehen, also quasi nach dem Prinzip ...und dann ... und dann ... und nun noch Das bietet sich weder für die Lehre an, noch ist es zum Lernen geeignet. Der Mensch ist nicht dazu in der Lage, sich lange Kausalketten zu merken und auf ihnen aufzubauen.

Der Lernende sollte an jedem Punkt genau wissen, wo er steht und warum der aktuelle Schritt nun notwendig ist.

Dafür bietet sich ein modularer Aufbau an, der folgende Fragen berücksichtigt:

Was geschieht und welche Informationen sind nötig? Wie geschieht es?

Sobald man aber die Frage nach dem "Wie" stellt, verfeinert sich das Modell um einen Schritt.

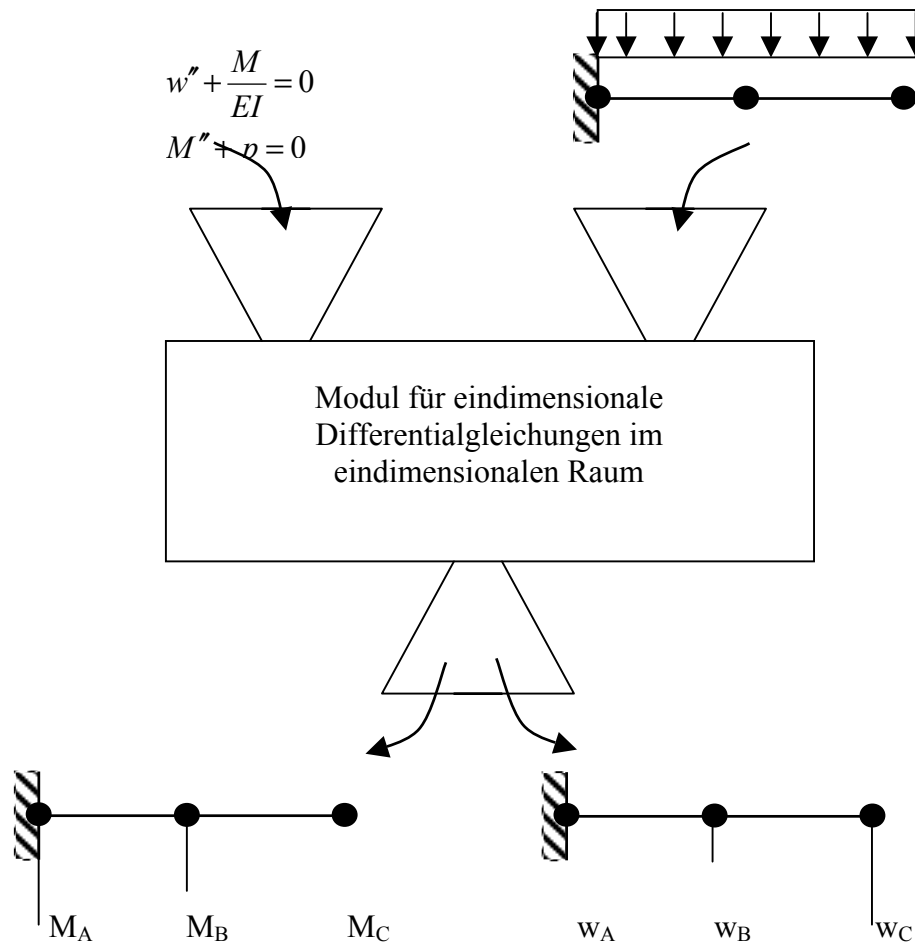
Am Anfang hat man zum Beispiel nur ein Modul, das in der Lage ist, an Knotenpunkten eines Lösungsgebiets bestimmte Informationen zu berechnen. Dazu braucht das Modul aber Differentialgleichungen und ein Lösungsgebiet.

Das Modul bekommt in diesem Fall auf der einen Seite eine

- Differentialgleichung für den Momentenverlauf an einem stabförmigen linear elastischen Bauteil und eine
- Differentialgleichung für die Beziehung zwischen Moment und Krümmung sowie einen
- Kragarm, der in zwei Elemente zerteilt ist.

Auf der anderen Seite erhält man, wenn das Modul mit seiner Arbeit fertig ist, Werte für die Momente und die Verschiebungen an den Knoten.

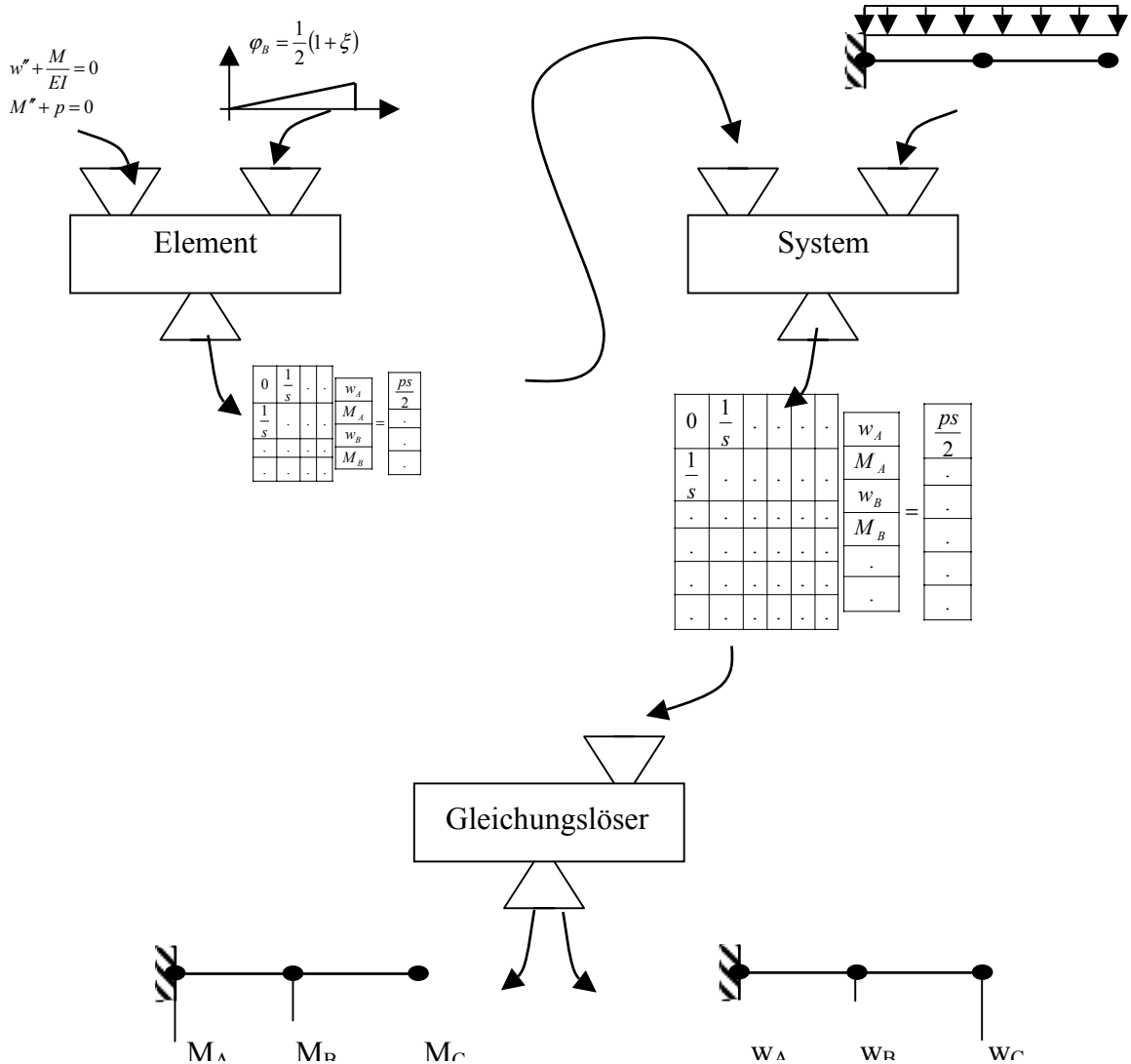
Projektskizze
FEM-Wizard



Möchte man an dieser Stelle die Fragenkette vergrößern, könnte man sich zum Beispiel fragen, wie man ein Lösungsgebiet in Elemente zerlegt. Auch das ist wieder das Resultat eines Moduls.

Sobald man aber die Frage nach dem "Wie" stelle, verfeinert sich die Fragenkette und man muss, um Antworten zu finden, das Modul öffnen. In dem Modul befinden sich wiederum mehrere Module, die die Arbeit in logische Einheiten zerlegt: also ein Modul, das aus den Differentialgleichungen und geeigneten Ansatzfunktionen ein Element zusammenbaut und ein Modul, das aus dem Element und dem System eine Systemmatrix aufbaut. Die Systemmatrix kommt wiederum in ein Modul, das nun die Lösungen liefert.

Projektskizze
FEM-Wizard



Wen man nun aber das "Wie" beim Gleichungslöser erfragt und das Modul öffnet, so findet man dort den Algorithmus für das Lösen von quadratischen positiv definiten Gleichungssystemen vor. Dieser Schritt ließe sich also nicht mehr verfeinern.

Wichtig ist aber, dass man an jedem Punkt genau weiß wo man ist und was geschehen soll. Dadurch ist sichergestellt, dass man sich auf den aktuellen Arbeitsschritt konzentrieren und ihn geistig in den Kontext einfügen kann.

Der Markt bietet im Augenblick eine große Menge an FEM - Programmen. Mit den mächtigen unter ihnen kann man auch sehr tief in die Theorie einsteigen und wird noch auf Ebene der Elemente unterstützt. Diese Programme verlangen aber eine lange Einarbeitungszeit und setzen voraus, dass man sich in der Theorie bereits auskennt. Sie sind somit für die Lehre nahezu nutzlos. Sie dienen in diesem Bereich lediglich dazu, Ergebnisse graphisch zu illustrieren. Es gibt auch einige Programme aus dem Bereich der Lernsoftware. Diese beschäftigen sich aber stärker mit der Bedienung von FEM – Programmen als mit der Theorie selbst. Somit sind auch sie für die universitäre Lehre nur bedingt geeignet. Die Erfahrung zeigt nämlich, dass Studenten, welche die Theorie beherrschen, FEM Software nach nur kurzer Einarbeitungszeit gut bedienen können.

Im universitären Alltag könnte man den Eindruck bekommen, das sich eine gewisse Resignation dahingehend breit macht, dass man bereits zufrieden ist, wenn die Studenten die Software richtig bedienen können. Das MIT pflegt zum Beispiel eine große Sammlung an

Tutorien, zur Bedienung von PATRAN (einem mächtigen, kommerziellen Programm für die Erstellung von Geometrien). Diese Tutorien vermitteln zum Beispiel, wie man die tragende Konstruktion von Satteln modelliert. Ob die so entstandene Elementierung aber gut oder schlecht ist, oder was ein Beispiel für eine gute oder eine schlechte Elementierung ist, darauf wird nicht hingewiesen.

Diesem Sachverhalt sollte dringend Abhilfe geschaffen werden.

4. Angestrebtes Projektergebnis unter Angabe der Zielgruppe und der Vermarktungsaussichten / Meilensteine

Das Ergebnis des Projektes soll ein fertiges in Java implementiertes Programm sein, das den Anforderungen der modernen Softwaretechnik und Pädagogik entspricht und auf allen Plattformen läuft. Der FEM-Wizard soll:

- einfachst und absolut intuitiv bedienbar sein,
- den geforderten Standards an Sicherheit genügen,
- eine ansprechende Oberfläche haben, die zum Ausprobieren einlädt,
- es soll in jedem Fall erweiterbar sein und
- über eine ausreichende Menge an bereits fertigen Modulen verfügen.

Die Zielgruppe sind Studenten von technischen Ingenieurwissenschaften, die die Theorie der finiten Elemente erlernen müssen. Weiterhin soll das Programm in der Lehre verwendet werden. An der TU-Berlin sind zum Beispiel nahezu alle Lehrsäle mit Videoprojektoren ausgestattet, mit denen man den FEM-Wizard auch vor einem großen Auditorium einsetzen könnte.

Um eine lebendige Gemeinde um den FEM-Wizard zu pflegen, soll er als Open Source Projekt kostenlos über das Internet verteilt werden. Dabei soll es jedem möglich sein von ihm neu entwickelte Module und Datenleitungen über die Homepage des Projektes zu verteilen. Da die Plattform Module test kann ist immer sichergestellt, dass die Module auch funktionieren.

Angesichts der großen Zahl von Studenten, die sich mit der FEM auseinandersetzen müssen und da der FEM-Wizard ein fester Bestandteil der Lehre am Fachgebiet für Statik der Baukonstruktionen werden soll, kann man sich einen großen Kreis von Benutzern versprechen.

Das Projekt ist auf eine Entwicklungszeit von drei bis vier Jahren ausgelegt. Dabei sollen folgende Meilensteine eingehalten werden:

- Ein Jahr Analysephase, in der sowohl eine pädagogisch hochwertige Oberfläche entwickelt ist, als auch eine konsequente Umsetzung moderner softwaretechnischer Spezifikationen. Die Konsistenz des Gesamtsystems ist mittels aktiver Prüfverfahren der Vor- und Nachbedingungen realisiert. In der Analysephase findet ein reger interdisziplinärer Austausch zwischen den Disziplinen Statik der Baukonstruktionen, Softwaretechnik, Pädagogik und Design statt.
- Ein halbes bis ein Jahr Designphase, nach der die Ergebnisse der Analyse in ein objektorientiertes Konzept eingearbeitet sind.

Projektskizze FEM-Wizard

Dabei wurden alle Schnittstellen genau definiert, damit die einzelnen Module unabhängig voneinander entwickelt und getestet werden können. Wobei die Performanz durch ein konsequentes Umsetzen von Designpatterns gesteigert wird.

- Ein Jahr Implementierungsphase, wobei hier eben nicht nur der FEM-Wizard selbst entwickelt wird, sondern auch eine ausreichend große Menge an Modulen, um beispielsweise Stabelemente im dreidimensionalen Raum zu untersuchen.
- Ein halbes bis ein Jahr Testphase. In diesem halben Jahr wird im Rahmen einer Vorlesung der FEM-Wizard in der Lehre, beim Lernen und in der Prüfung getestet. Die Erfahrungen, die hierbei gesammelt werden, fließen direkt in die Software, damit das Produkt nachher einsatzfähig ist. In der Testphase werden von den Studenten auch Module entwickelt.

5. Finanzieller Aufwand/Eigenanteil und Dauer des Projekts

Das Projekt erstreckt sich auf einen Zeitraum von drei bis vier Jahren. Da die aktuelle Hochschulpolitik im Augenblick vom Sparzwang regiert wird, ist es nicht möglich solche Projekte über Planstellen zu realisieren.

Das bedeutet, dass die Personalkosten für einen Assistenten nach BAT IIa und einen studentischen Mitarbeiter a 40 Stunden pro Woche durch Drittmittel finanziert werden müssten.

Das Fachgebiet kann die Arbeitsräume, die Hardware, nötige Literatur und Zeitschriften sowie alle weiteren Arbeitsmittel stellen.

Weiterhin wird das Fachgebiet das Projekt nach Abschluss langfristig pflegen und sich um die Benutzer und Entwickler kümmern, die an der Open Source Gemeinde mitmachen möchten.