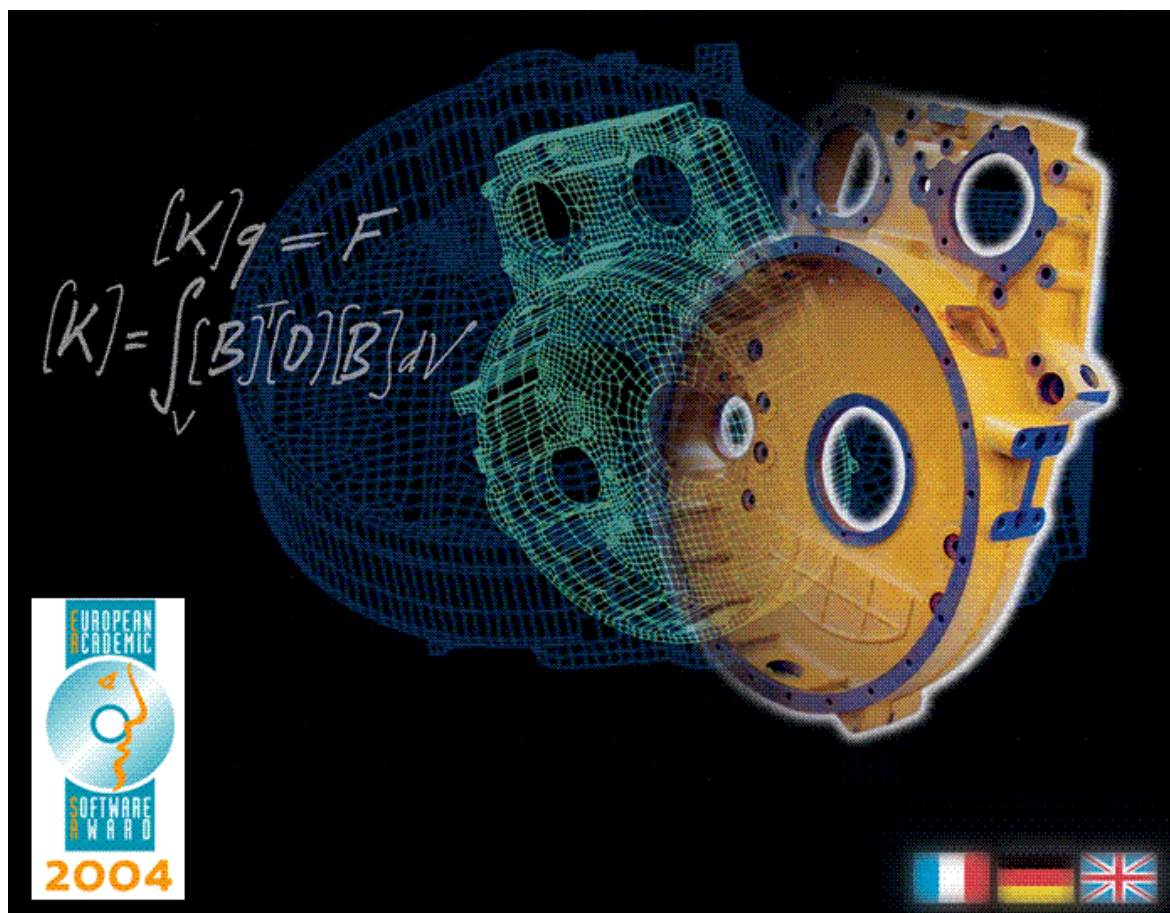


FE-Transfer: Ingenieurprobleme lösen mit der FEM

Der e-learning Kurs für die Anwendung der FEM
im Maschinenbau und in der Strukturmechanik.



Die Finite Element Methode (FEM) ist wahrscheinlich die am weitesten verbreitete Simulationsmethode in der Technik. Heute kann jedes CAD-Paket mit einem FEM-Modul ausgerüstet werden, das häufig sehr einfach anzuwenden ist. Ein Ingenieurproblem mit Hilfe der FEM zu lösen umfasst jedoch wesentlich mehr, als die Bedienung von diesem Software-Modul. An diesem Punkt setzt der Kurs FE-Transfer an: Die Studierenden sollen lernen, die FE-Simulation in ihrem Entwicklungsprojekt zielgerichtet und effizient einzusetzen. Dies wird erreicht indem sie Fallstudien aus der Industrie lösen und dabei von einem eigens entwickelten e-learning System unterstützt werden. Für die innovative didaktische Umsetzung wurde FE-Transfer mit einem „European Academic Software Award 2004“ ausgezeichnet.

1. Einleitung

Simulation ist eine komplexe Aufgabe und verlangt ein breites, gut vernetztes Fach- und Methodenwissen:

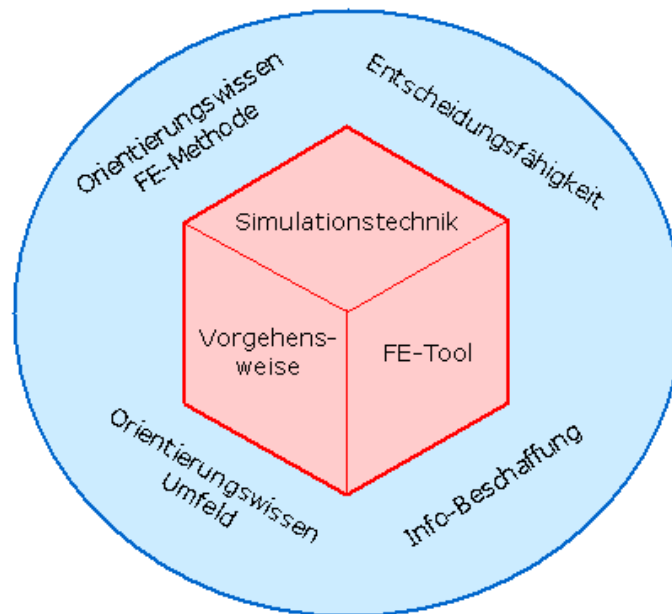


Bild 1: Kompetenzfelder

a) Kernkompetenzen

Neben der Bedienung des FE-Tools und der strukturierten Vorgehensweise gehört die Simulationstechnik zu den drei Kernkompetenzen (roter Würfel im Bild 1). Unter „Simulationstechnik“ werden die Fähigkeiten verstanden, welche notwendig sind, um von einem Original ein angemessenes Modell zu bilden und um aus diesem Modell zielgerichtet und zuverlässig Aussagen über das Original abzuleiten. Weiter unten wird dies weiter ausgeführt.

b) Orientierungswissen

Eine Simulationsaufgabe ist immer eingebettet in ein mehr oder weniger komplexes Umfeld. Sie verlangt vom Ingenieur häufig mehr, als er spontan weiss oder kann. Darum müssen die Kernkompetenzen in ein Umfeld von generalistischen Fähigkeiten eingebettet sein (blaues Feld im Bild 1): Die Weitsicht, Wissenslücken zu erkennen (Orientierungswissen), die Fähigkeit, diese Lücken so weit als nötig zu füllen (Informationsbeschaffung) und trotz unvollständiger Grundlagen sinnvolle Entscheidungen zu fällen (Entscheidungsfähigkeit).

FE-Transfer ist ein webbasierter Weiterbildungskurs für Ingenieure, der auf Grund von diesen Überlegungen entwickelt worden ist. **Die Absolventinnen sollen lernen, die FE-Simulation an ihrem Arbeitsplatz selbständig und kompetent zur Lösung von Ingenieur-Problemen einzusetzen.** Er unterscheidet sich darum von den meisten Ausbildungsangeboten zur FEM, die entweder auf die mathematischen Grundlagen ausgerichtet sind, oder sich hauptsächlich der Bedienung der Software widmen. Der Kurs FE-Transfer wurde von einem Team von Hochschuldozenten und Industriepartnern im Rahmen des Swiss Virtual Campus entwickelt und wurde im Herbst 2003 zum ersten Mal für Ingenieure ausgeschrieben. Zudem steht er allen schweizerischen Hochschulen für die Ausbildung der eigenen Studierenden kostenlos zur Verfügung.

2. Fachlicher Schwerpunkt

Um die FE-Simulation erfolgreich einzusetzen müssen alle oben dargestellten Kernkompetenzen angemessen zum Zug kommen. Während das Problembewusstsein und die Ausbildungsmöglichkeiten für die mathematischen Grundlagen und die Bedienung der FE-Tools in einem hohen Mass vorhanden sind, kommt die Simulationstechnik meist zu kurz. Darum ist sie ein wichtiger fachlicher Schwerpunkt von FE-Transfer.

Unter Simulationstechnik sind die Kompetenzen zusammengefasst, welche den Graben zwischen dem Original und dem virtuellen Modell überbrücken. Sie umfasst die vier Aufgaben Idealisierung, Modellbildung, Validierung und Interpretation:

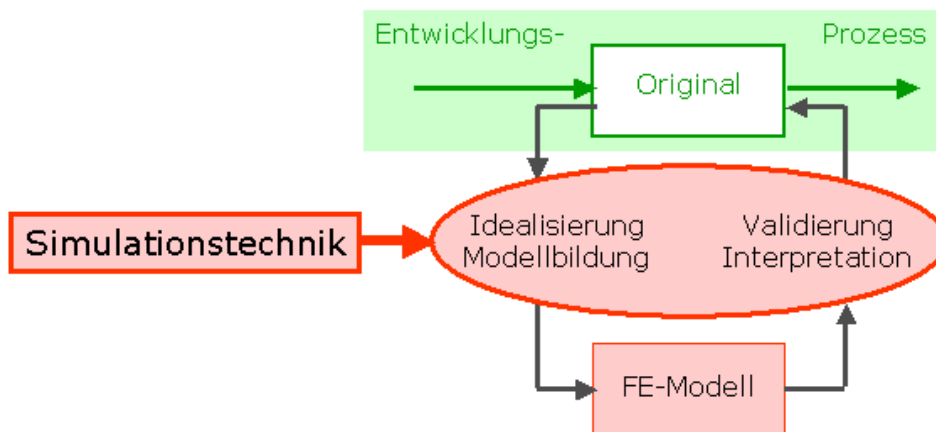


Bild 2: Simulationstechnik

a) Idealisierung

Das Ziel der Idealisierung besteht darin, festzulegen welche physikalischen Effekte im Modell berücksichtigt werden müssen, damit die Ziele der Simulation mit minimalem Aufwand erreicht werden können. Auch bei der klassischen Berechnung ist die Idealisierung ein wichtiger Schritt. Bei der FE-Simulation ist diese Aufgabe zwar nicht unbedingt schwieriger, aber vielfältiger wegen der umfangreichen Möglichkeiten welche die FE-Tools heute bieten. Darum muss systematischer und ausführlicher Vorgegangen werden:

- Bestimmen der Lasten
- Abschätzen des Verhaltens und der Versagensarten
- Einfluss der Zeit bestimmen
- Einfluss von Nichtlinearitäten bestimmen
- Weitere Umwelteinflüsse abklären
- Systemgrenzen festlegen

Das Ergebnis der Idealisierung ist das physikalische Modell.

b) Modellbildung

Bei der Modellbildung wird für die idealisierte Physik ein mathematisches Modell aufgebaut. In unserem Fall handelt es sich um ein Finite Element Modell. Aber auch für Überschlagsrechnungen geht man von einem meist einfacheren mathematischen Modell aus, zum Beispiel der Balkentheorie. Während bei der Idealisierung der Ingenieur fast die ganze Breite seines Wissens einsetzen muss, ist bei der Modellbildung vor allem eine gute Kenntnis des FE-Tools und gewisse Kenntnisse der mathematischen Grundlagen erforderlich. Hier ist der Spezialist gefordert.

c) Validierung

Bevor die Ergebnisse der FE-Simulation verwendet werden, muss geprüft werden, ob das Modell das Verhalten des Originals im verwendeten Bereich genügend genau wiedergibt. Dies ist der wichtigste Schritt im ganzen Simulationsprozess: Auch eine einfache Simulation bietet eine grosse Anzahl von Fehlermöglichkeiten! Nur die angemessene Validierung

des Modells kann genügend Sicherheit geben, dass es keine wesentlichen Fehler enthält. Formelle Mittel für die Validierung sind das Experiment, eine unabhängige FE-Analyse, Überschlagsrechnungen usw. Es geht immer darum, das Strukturverhalten mit anderen Mitteln zu bestimmen und mit der Simulation zu vergleichen. Informelle Mittel sind ebenfalls wichtig und hilfreich: Die Frage eines Kollegen: "Kann das stimmen?", oder die Bemerkung "Das hätte ich nicht erwartet" sind Gold wert. Die Diskussion der Simulationsergebnisse mit Kollegen, zum Beispiel in der Kaffeepause, ist ein wichtiger Teil der Validierung.

d) Interpretation

Die Interpretation stellt den Höhepunkt der Simulationsarbeit dar: Jetzt kann das Modell verwendet werden um das Verhalten des Originals vorausszusagen. Trotzdem wird diese Aufgabe häufig nicht ausreichend gut gelöst: Es genügt nicht, die Verformungen und die Spannungsfelder darzustellen. Diese direkten Ergebnisse müssen in Bezug auf die Aufgabenstellung interpretiert werden! Darum ist es wichtig, dass die Ziele der Simulation klar formuliert worden sind. Dann kann man sich bei der Interpretation an diese Ziele halten.

3. Didaktischer Schwerpunkt

Wenn komplexe Lerninhalte vermittelt werden ist es wichtig, dass die Studierenden lernen Abstand zu nehmen und sich selber zu beurteilen. Sie sollen ihr Handeln reflektieren. Diese Reflexionsfähigkeit ermöglicht ihnen zum Beispiel, bewusst zwischen der Ebene der Einzelprobleme (Reduktion) und der Ebene der Gesamtlösung (Intergration) zu wechseln. Bei Schwierigkeiten gelingt es durch Reflexion eher, einen Ausweg zu finden. Da in einem e-learning Kurs zwangsläufig der direkte Kontakt zum Lehrer oder zum Experten fehlt, ist die Reflexionsfähigkeit besonders wichtig. Darum werden in FE-Transfer die Studierenden in dieser Hinsicht auf mehrere Arten geschult und unterstützt.

4. Umsetzung, das Interaktive Prozess Modell (IPM)

Als Lernform wird das blended learning" eingesetzt: Eine gezielte Mischung von Kontakt- und Fernunterricht mit Hilfe des WWW. So können die Vorteile beider Unterrichtsarten kombiniert werden: Im Kontaktunterricht werden die wichtigsten Grundlagen und die Werkzeuge eingeführt und die persönlichen Kontakte unter den Studierenden und zu den Tutoren aufgebaut. An ihrem Arbeitsplatz leisten die Studierenden die hauptsächliche Sacharbeit indem sie die Fallstudien lösen. Dabei werden sie vom „Interaktive Prozessmodell“ (IPM) über das Internet geführt. Der FE-Simulationsprozess ist in 6 Kapitel mit jeweils mehreren Unterkapiteln aufgeteilt:

1. Klärung der Aufgabenstellung
2. Idealisierung
3. Modellbildung
4. Analyse
5. Auswertung und Interpretation
6. Dokumentation und Archivierung.

Im Kurs FE-Transfer eignen die Studierenden also nicht nur die spezialisierten Simulationskompetenzen an. Sie werden ebenso in der systematischen Arbeitsweise geschult und gefördert.

Die Arbeit am IPM läuft in den fünf Schritten a) bis e) ab.

a) Wissensakquisition

Zu jedem Unterkapitel beantworten die Studierenden eine oder zwei Fragen (Punkt (1) in Bild 3). Zur Unterstützung dienen verschiedene Werkzeuge: Unter "Hintergrund" (2) sind die wichtigste theoretischen Grundlagen und weiterführende Links ins Internet zusammengestellt. Mit dem Link „Voraussetzungen und Beispielantwort“ (3) können die Voraussetzungen für die Beantwortung der Fragen und eine Beispielantwort abgerufen werden. Zur Diskussion von Fragen mit Kolleginnen dient ein Diskussionsforum.

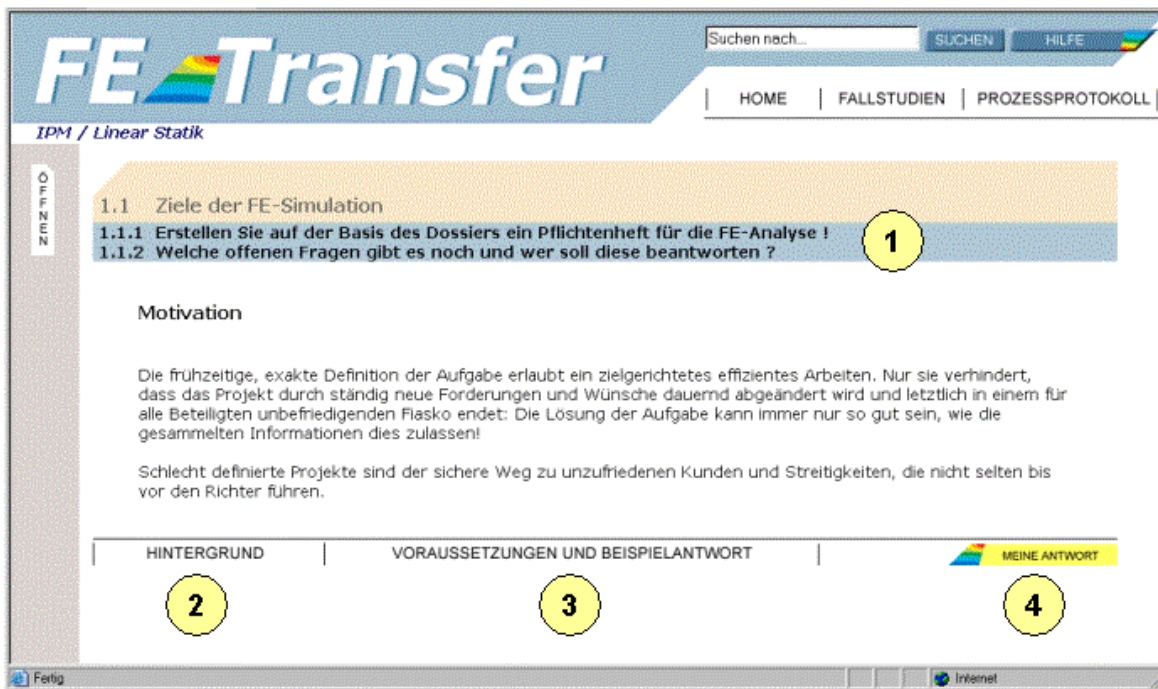


Bild 3: Fragen und Wissensakquisition

b) Antwort

Wenn der Kursteilnehmer seine Antwort erarbeitet hat beginnt der Lerndialog mit dem System: Die Antwort kann über den Link "Meine Antwort" (4) zum Kursserver gesendet werden.

c) Evaluation

Die Evaluation findet zweistufig statt. Sobald die Antwort übermittelt ist, sendet das System die „Modellantwort“ (Punkt (5) in Bild 4, nächste Seite) zurück, die im realen Fall auf diese Frage gegeben wurde. Der Kursteilnehmer setzt seine Antwort (6) in Beziehung zur Modellantwort und nimmt eine „Selbstbeurteilung“ vor (7). Auch sie wird an den Kursserver abschickt. Die zweite Evaluationsstufe erfolgt zeitlich verzögert: der Kurs-Tutor konsultiert periodisch den Stand der Arbeiten auf dem Kursserver und gibt eine Rückmeldung (8). Die Teilnehmerin kann dazu durch Editieren ihrer Selbstbeurteilung Stellung nehmen und so ist es möglich eine Diskussion zu führen. Damit ist der Lerndialog für ein Unterkapitel beendet. Er besteht also für jede Frage aus den vier Teilen: Studentenantwort, Modellantwort, Selbstbeurteilung und Tutorenbeurteilung.

1.3 Vorwissen und Kompetenzaufbau

1.3.1 Welche Kenntnisse zur Lösung des Problems habe ich und wo sind Lücken ?

Modellantwort **5**

Die Aufgabe ist in jeder Beziehung (Lasten, Geometrie, Ziele der Analyse) so klar und die Geometrie relativ einfach, so dass ich mir die Lösung dieser Aufgabe ohne Einschränkungen eigentlich zumute.

Meine Antwort **6**

Kenntnisse: Problembeschreibung, Zeichnungen mit allen Angaben, konkrete Aufgabenstellung, genug KnowHow mit dem FE-Tool um das Modell aufzubauen und es zu verifizieren.

Lücken: Keine Ahnung von der Normung im Seilbahnwesen, Zu wenig Erfahrung um genaue Lastannahmen zu treffen (hängt auch mit der Normung zusammen)

Bemerkungen Tutor **8**

Die Normen können Sie beim nächsten Kontakttag einsehen.
Nach dem Kurs sind Sie sicher einige Schritte weiter. Viel Erfolg!

AKTUALISIEREN

ABBRECHEN

Selbstbeurteilung **7**

Bis ich so weit bin wie die Modellantwort habe ich noch einen Weg vor mir. Meine Antwort ist ehrlich.

Bild 4: Evaluation

d) Reflexionsfragen

Nach jedem Kapitel des Prozesses werden die Kursteilnehmer aufgefordert Reflexionsfragen zu beantworten, zum Beispiel:

- Wie haben Sie das Ingenieurwissen über technische Mechanik eingesetzt?
- Wie haben Sie Wissenslücken geschlossen?
- Was hat Ihnen bei der Arbeit besonders geholfen?
- Welcher Entscheid ist Ihnen besonders schwer gefallen? Warum?

Zusammen mit der Selbstbeurteilung bei den Fragen fördert dies die angestrebte Reflexionsfähigkeit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer.

e) Dokumentation

Zu jedem Zeitpunkt kann ein Prozessprotokoll als HTML-Datei gespeichert und ausgedruckt werden. Darin sind für jede Frage alle 4 Komponenten des Lerndialogs zusammengestellt.

Das IPM ist ein offenes System, mit dem verschiedene Fallstudien bearbeitet werden können. Diese müssen nur in Form der oben erwähnten Modellantworten aufgearbeitet sein. Ein „Dossier“ enthält für jede Fallstudie die Beschreibung der Aufgabe, des Umfeldes und alle weiteren notwendigen Angaben.

Dieses e-Learning-Konzept ist innovativ und zukunftsweisend. Dies ist ein wesentlicher Grund dafür, dass FE-Transfer aus 160 europäischen Projekten ausgewählt und mit einem „European Academic Software Award 2004“ ausgezeichnet worden ist.

6. Industriepartner

Um den Bezug zur Realität zu gewährleisten wurde bei der Entwicklung von FE-Transfer mit acht Industriepartnern zusammengearbeitet. So stammt die Mehrzahl der Fallstudien direkt aus der Industrie. Die Struktur des FE-Prozessmodells und die Formulierung der Fragen wurde in gemeinsamen Diskussionen erarbeitet und die Industriepartner waren eingebunden in die Entwicklung der Lerninhalte. So ist ein Kurs aus der Praxis für die Praxis entstanden.

7. Kurs FET 2005

Im Jahr 2005 wird FE-Transfer zum zweiten Mal für Ingenieure aus der Praxis angeboten. Folgende Ziele sollen im Kurs erreicht werden:

- Die Absolventen können die FEM selbständig zur Lösung von Ingenieurproblemen einsetzen.
- Sie setzen dabei den aktuellen Stand der Technik um.
- Sie können sich selbständig notwendiges Zusatzwissen aneignen ...
- ... haben sich ein Netzwerk von Fachkollegen aufgebaut und ...
- ... können mit Hilfe des WWW zusammenarbeiten.

Der Kursablauf ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Datum	Lernarbeit		Kalenderwoche:																		
		Kont. [h]	Selbst. [h]	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24								
Vorbereitung (Selbststudium)			7																			
1. Kontakttag 8./9. April	8./9. 4.	14																				
Erste Fallstudie			55																			
Meilenstein I	25.4.																					
Zweiter Kontakttag : 13. Mai	13.5.	7	2																			
Zweite Fallstudie			55																			
Meilenstein II	30.5.																					
3. Kontakttag: 17. Juni	17.6.	7	2																			
Aufwand Selbststudium [h]				7	14	14	14	14	2	14	14	14	14	14	2							
Aufwand Kontaktunterricht [h]				14					7													7
	Total:	28	121																			
	TOTAL h / ECTS:	149	5.0																			

8. Weitere Informationen

Eine Demo des IPM und weitere Angaben zum Swiss Virtual Campus können unter www.virtualcampus.ch/demos/fe-transfer/index.html abgerufen werden.

Der Kurs wurde in einer Zusammenarbeit folgender Hochschulen entwickelt:

- FH Aargau (Leading House): P. Fritzsche (p.fritzsche@fh-aargau.ch); A. Wyrsh
- EIA Fribourg: J. Bersier
- ETH-Zürich: W. Elspass
- FH Beider Basel: HR. Manz
- HTi Biel: H. Schwarzenbach

Als Industriepartner beteiligten sich: CAD-FEM AG Aadorf, EMPA Dübendorf, Helbling Technik AG Aarau, MSC Software GmbH Givisiez, PSI Villigen, Studer AG Thun, Sulzer Innotec AG Winterthur.