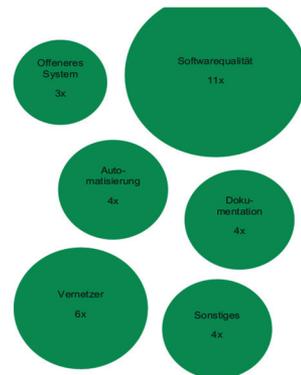


Anwenderperspektive auf FEM-Software

Stromberg, H.; Hochberger, I.; Lohrengel A.

Der vorliegende Artikel befasst sich mit der Nutzerperspektive auf FEM- (Finite Elemente Methode) Software. Es wird eine Umfrage unter Anwendern durchgeführt und ausgewertet, die die aktuelle Nutzung sowie Benutzerwünsche nach Weiterentwicklung des Forschungsfeldes untersucht.



This article deals with the user's perspective on FEM (Finite Element Method) software. A user survey is undertaken and evaluated which examines the current use as well as the user's wishes for further development in the research field.

Zielsetzung der Studie

Kommerzielle Programme zur Durchführung von Simulationen auf Basis der Methode der Finiten Elemente (FEM) sind seit den 1970 Jahren im Einsatz. Obwohl seitdem intensiv an der Weiterentwicklung der FEM-Softwarealgorithmen geforscht wird, findet sich die jüngeren Ergebnisse kaum noch in der verfügbaren kommerziellen Software wieder. Um also Forschungsfelder mit hohem Mehrwert für die Endanwender zu identifizieren, ist eine Befragung zielführend.

Zusammensetzung der Stichprobe

Die Umfrage wurde über eine Website durchgeführt und primär über das Ehemaligenetzwerk des Institutes verbreitet. Es wurden 44 auswertbare Fragebögen eingereicht. 56 % der Befragten sind in Dienstleistungsunternehmen beschäftigt, 44 % im produzierenden Gewerbe. Die Befragten sind zu jeweils etwa ein Viertel in Hochschulen, Dienstleistungsunternehmen für Forschung und Entwicklung, sowie dem Maschinen- und Anlagenbau tätig (vgl. Abbildung 1). Eine überwiegende Mehrheit der Befragten (97 %) hat Erfahrung in der Anwendung von FEM-Software, wobei 92 % bereits in der Hochschule mit FEM-Software in Berührung gekommen sind.

Die größte Gruppe (70 %) der Befragten ist in ausführenden Tätigkeiten beschäftigt, 20 % in Leitungsfunktionen und 10 % als studentische Hilfskräfte (vgl. Abbildung 2). 49 % der Teilnehmer geben bis zu fünf Jahre Berufserfahrung an, 24 % bis zu zehn Jahre, 5 % bis zu 20 Jahre und 22 % mehr als 20 Jahre.

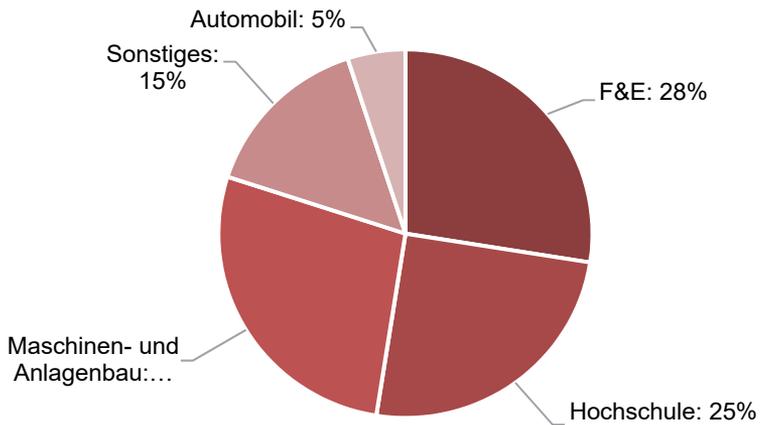


Abbildung 1: Branche der Befragten

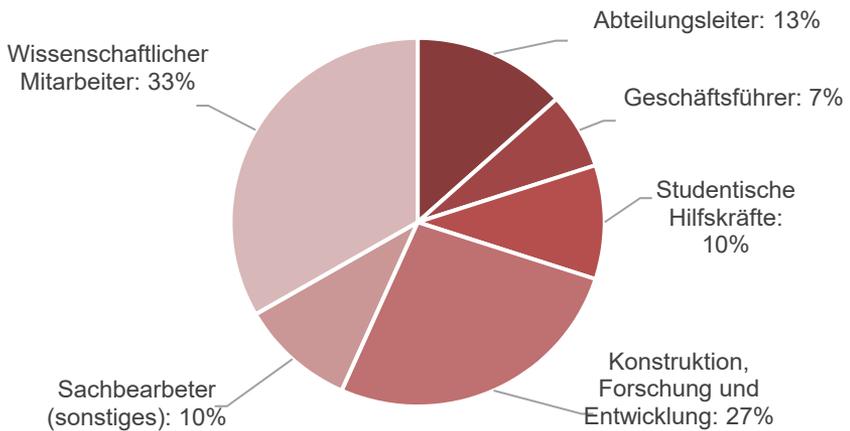


Abbildung 2: Unternehmerische Position der Befragten

Im Sinne der EU-Empfehlung 2003/361/EG /1/ sind 40 % der Unternehmen der Teilnehmer als Klein- oder Kleinstunternehmen mit bis zu 50 Mitarbeitern einzuordnen; weitere 24 % als mittlere Unternehmen mit bis zu 250 Mitarbeitern (vgl. Abbildung 3). Das verbleibende Drittel ist Großunternehmen zuzuordnen. Um den Anteil der Entwicklung am jeweiligen Unternehmen beurteilen zu können, wurde zudem die Anzahl der unternehmenseigenen Entwicklungsingenieure abgefragt (vgl. Abbildung 4). 26 Teilnehmer haben sowohl die Anzahl der Mitarbeiter als auch die der Entwicklungsingenieure angegeben. Aus dem ermittelten Korrelationskoeffizient von $r = 0,65$ lässt sich jedoch nur ein schwacher Zusammenhang zwischen Unternehmensgröße und Personalbestand der F&E ableiten (vgl. Abbildung 5).

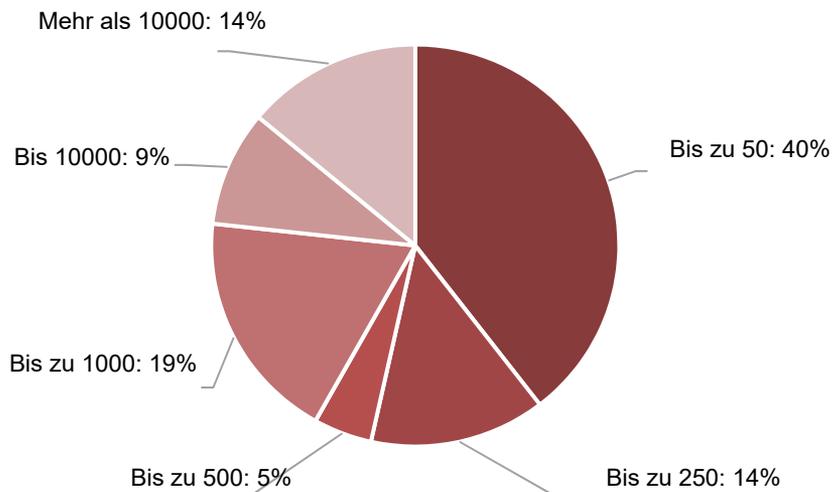


Abbildung 3: Anzahl der Mitarbeiter im Unternehmen

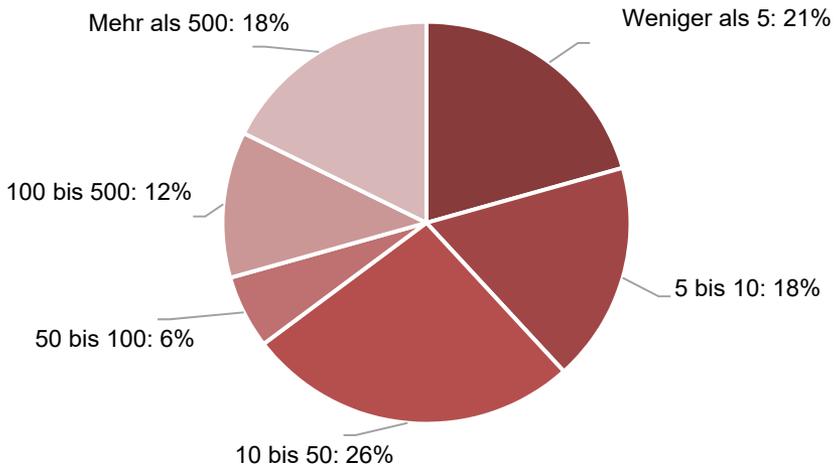


Abbildung 4: Anzahl der Entwicklungsingenieure im Unternehmen

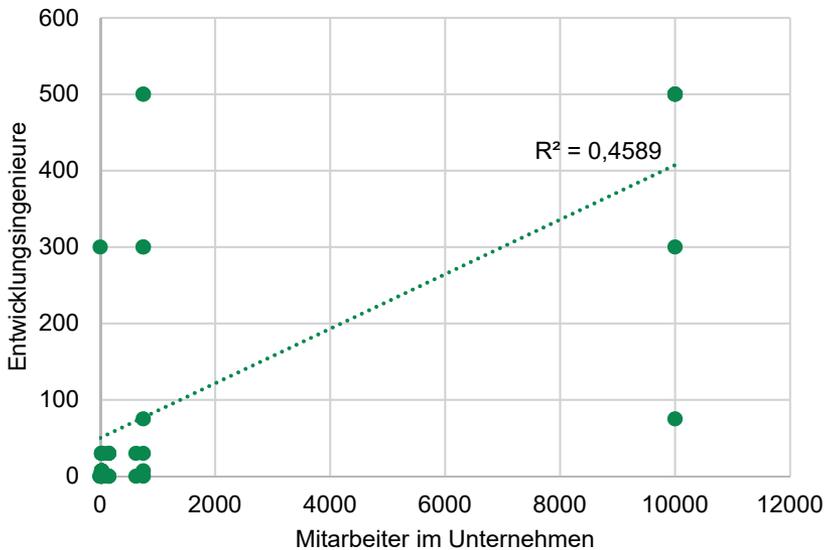


Abbildung 5: Anzahl der Entwicklungsingenieure und aller Mitarbeiter im Unternehmen

Bewertung von FEM-Software

91 % der Befragten geben an, dass in ihrem Unternehmen FEM-Software genutzt wird. In zwei Dritteln dieser Fälle nutzt der Befragte selbst FEM-Software (vgl. Abbildung 6). Die Umfrageteilnehmer nutzen vorwiegend *Ansys*. Da die TU-Clausthal universitätsweit *Ansys* einsetzt, kann vermutet werden, dass eine wesentliche Verzerrung der Statistik durch Teilnehmer aus der Universität entsteht. Um dies zu untersuchen, wurden für eine zweite Auswertung die Stichprobe um alle Teilnehmer, die nach Ihren Antworten zu Branche und Position im Unternehmen wahrscheinlich Mitarbeiter der TU Clausthal sind, bereinigt. In dieser Auswertung ergibt sich für *Ansys* ein Marktanteil von 75 % (vgl. Abbildung 7), sodass von einem Fehler von etwa 6 % durch die Auswahl des universitätsnahen Teilnehmerkreises ausgegangen werden kann.

Für eine bessere Untersuchung von Korrelationen sollte der Teilnehmerkreis in einer etwaigen Folgeuntersuchung nach Möglichkeit erweitert werden. Zudem hat die vorliegende Studie gezeigt, dass die Wahrnehmung von Hochschulmitarbeitern und Mitarbeitern in der Industrie sich in einigen Fragen wesentlich unterscheidet. Daher könnte gegebenenfalls auch eine getrennte Befragung dieser Gruppen zielführend sein.

Der Stellenwert von Simulationssoftware im eigenen Unternehmen wurde auf einer Skala von 1 bis 5 abgefragt. Der überwiegende Anteil der Befragten gibt an, dass sein Unternehmen der Thematik einen hohen (4) oder sehr hohen (5) Stellenwert beimisst (vgl. Abbildung 8). Die Frage nach der individuellen Sicht des Befragten zeigt eine noch größere Wahrnehmung der Relevanz, da 35 % der Teilnehmer den Stellenwert persönlich höher ansetzen als ihr Unternehmen. 9 % sehen ihn geringer und 56 % geben identische Werte an. Mögliche Erklärung für diese Diskrepanz sind technikferne Entscheidungsträger sowie wirtschaftliche Zwänge, die auf Ebene der Befragten weniger bekannt sind.

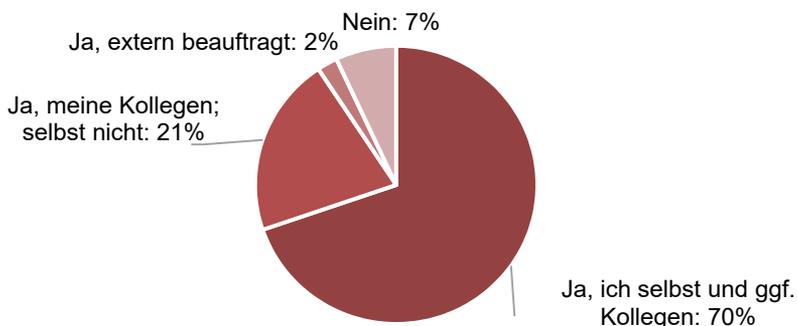


Abbildung 6: Nutzung von FEM-Software im Unternehmen

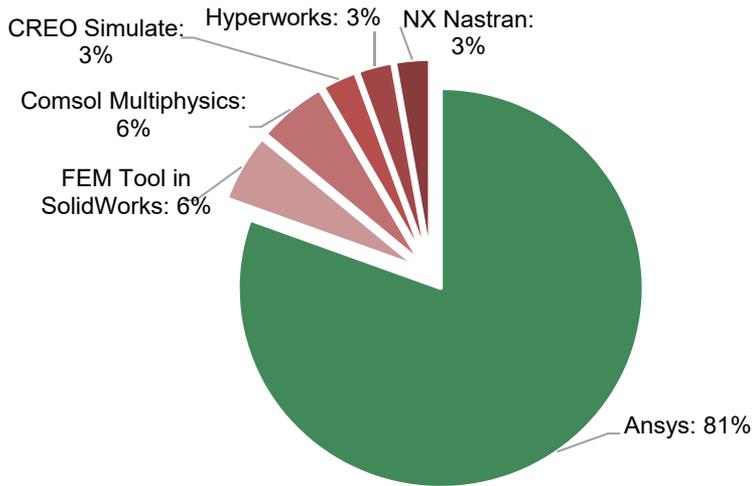


Abbildung 7: Marktanteile FEM-Software

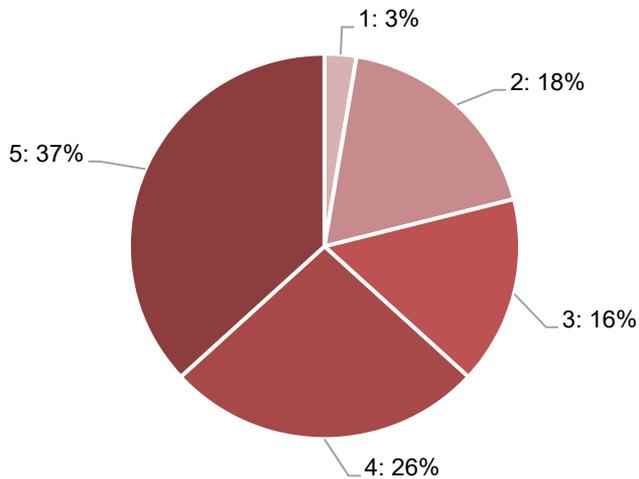


Abbildung 8: Stellenwert von FEM-Software im Unternehmen, von sehr gering (1) bis sehr hoch (5)

Die Zufriedenheit mit der aktuell genutzten Software wurde sowohl über die Auswahl einer Bewertung von Funktionsumfang und Benutzerfreundlichkeit auf einer Skala von 1 (sehr gering) bis 5 (sehr hoch) als auch mit einem Freitextkommentar zu Verbesserungswünschen erfasst. Für die Auswertung ist es zweckmäßig vollständige FEM-Programme und CAD-integrierte FEM-Löser zu unterscheiden, da diese einen wesentlich geringeren Funktionsumfang ausweisen. *Comsol Multiphysics* nimmt eine Sonderrolle ein, da die Software keinen Strukturmechanik-Schwerpunkt hat und ausschließlich unstrukturierte Tetraeder-Netze zulässt.

Allgemein kann beobachtet werden, dass die angegebenen Werte im oberen Viertel liegen (vgl. Abbildung 9). Der einzige Ausreißer ist hierbei der Funktionsumfang von *Creo Simulation*. Dies deckt sich mit den zur Software abgegebenen Verbesserungswünschen nach der Bestimmung von Reaktionskräften, Kontaktberechnung und Bauteiloptimierung im Grundumfang der Software. Auffällig ist zudem, dass für die vollwertigen Strukturmechanikprogramme *Ansys* und *NX Nastran* der Funktionsumfang gleich oder höher als die Benutzerfreundlichkeit bewertet wird, wohingegen bei den anderen Programmen die Benutzerfreundlichkeit wesentlich besser als der Funktionsumfang beurteilt wird. Hierbei ist zu beachten, dass der Großteil des Teilnehmerkreises – der angegebenen Branche nach zu urteilen – strukturmechanische Probleme bearbeitet was den hohen Marktanteil dieser Programme in der Stichprobe erklärt (vgl. Abbildung 1).

Zur besseren Interpretierbarkeit der Ergebnisse wurde auch die Anzahl der Programme abgefragt, mit denen die Teilnehmer Erfahrungen haben. Hierbei zeigt sich, dass nur 20 % der Teilnehmer mehr als ein FEM-Programm genutzt haben (vgl. Abbildung 10). Somit kann angenommen werden, dass der Großteil der Teilnehmer seine Bewertung vor dem Hintergrund der eigenen Erwartungen und nicht im Vergleich zum Wettbewerb durchgeführt hat. Daher ermöglichen die gewonnenen Daten zwar einen Vergleich der Zufriedenheit mit dem Funktionsumfang und der Bedienbarkeit, aber nur bedingt eine Aussage für den Vergleich der verschiedenen Programme miteinander.

Für *Ansys* liegen neben den Bewertungen durch Zahlen auch 29 Freitextkommentare zur Verbesserungswünschen vor. Diese können in sechs Cluster zusammengefasst werden, wobei die Fläche der Kreise in Abbildung 11 die Anzahl der Kommentare in der Kategorie repräsentiert. Einige Kommentare sind mehreren Kategorien zugeordnet.

Die unter „Offeneres System“ zusammengefassten Kommentare fordern eine Möglichkeit zum direkten Zugriff auf Matrizen und Tensoren; dies könnte z. B. genutzt werden, um eigene Materialmodelle zu implementieren oder komplexere Simulationen durchzuführen.

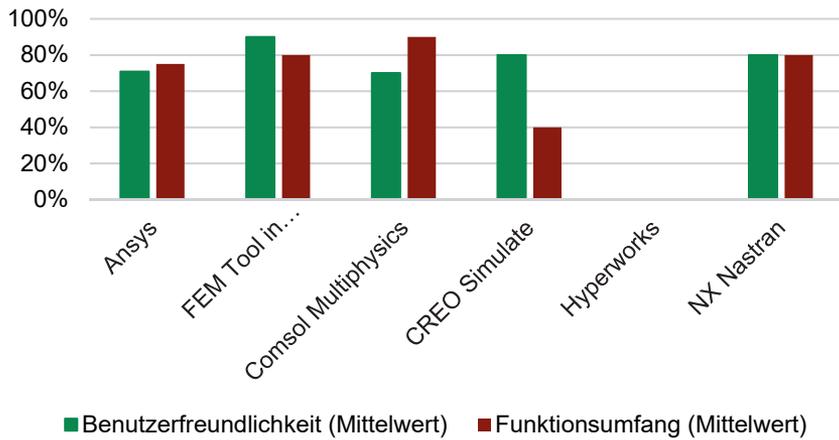


Abbildung 9: Zufriedenheit mit FEM-Software

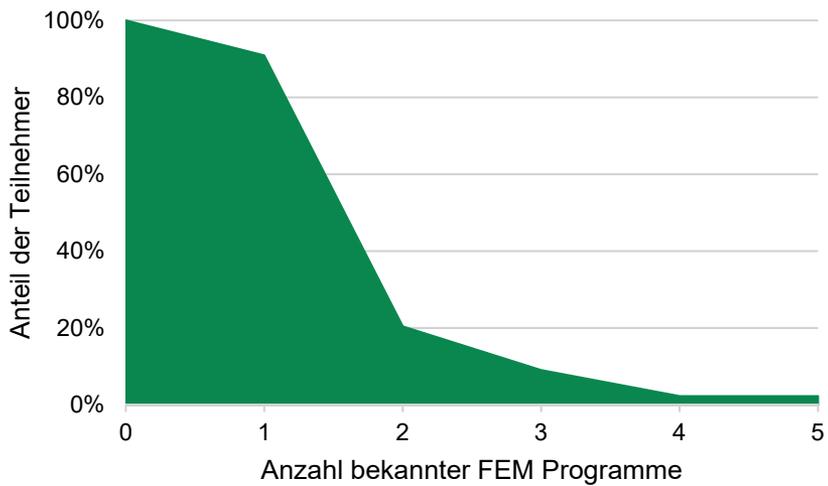


Abbildung 10: Anzahl bekannter FEM-Programme in kumulativer Darstellung

Die Thematik ist eng mit der Forderung nach einer verbesserten Automatisierbarkeit verbunden. In dieser Kategorie sind Kommentare gruppiert, die eine Modernisierung und Vereinheitlichung der Automatisierung in *Ansys* fordern. In diesem Kontext wird auch eine intuitivere Sprache als APDL gefordert.

Viele Benutzer wünschen sich zudem eine bessere Dokumentation der gesamten Software (vgl. Abbildung 11). Insbesondere hervorgehoben werden die mangelnde Übersichtlichkeit, fehlende Informationen, wie z. B. die Anforderung des *Cyclic Region*-Befehls an das Koordinatensystem, die schlechte Qualität der APDL Dokumentation, sowie das Fehlen einer Dokumentation zur *Iron Python* Schnittstelle.

Ein Punkt, der ebenfalls viele Benutzer bewegt, ist der Vernetzter. Bei diesem wird die Nicht-Reproduzierbarkeit von Ergebnissen bzw. das nicht deterministische Verhalten und die schlechte Qualität automatisch generierter Netze bemängelt, sowie die Erzeugung hängender Knoten.

Unter „Sonstiges“ sind Wünsche nach einem besseren Geometrieditor, mehr Möglichkeiten im *Post Processing*, sowie eine automatische Erkennung von Singularitäten zusammengefasst.

Die mit Abstand häufigste Kategorie sind Mängel der Softwarequalität. Hier werden insbesondere folgende Themen angesprochen:

- Zahlreiche, seit vielen Jahren offene Fehler
- Fehlende, nicht nachvollziehbare oder mehrdeutige Fehlermeldungen (z. B. für hängende Knoten)
- Je nach Spracheinstellungen nicht funktionierende Werkzeuge
- Instabilität der Benutzeroberfläche
- Fehlerhafte und nicht nachvollziehbare Datenflüsse in der *Ansys Workbench*
- Hoher Wartungsaufwand und Ausfälle von Lizenzservern

Diese Punkte haben zwar keine gemeinsame technische Ursache, die Vermutung liegt aber nahe, dass sie ihren Ursprung in den genutzten Methoden der Softwareentwicklung finden: Das *Manifesto for Agile Software Development* beschreibt eben diese Mängel in abstrahierter Form und legt die agile Softwareentwicklung als zielführende Methodik zur Fehlerbehebung nahe [2].

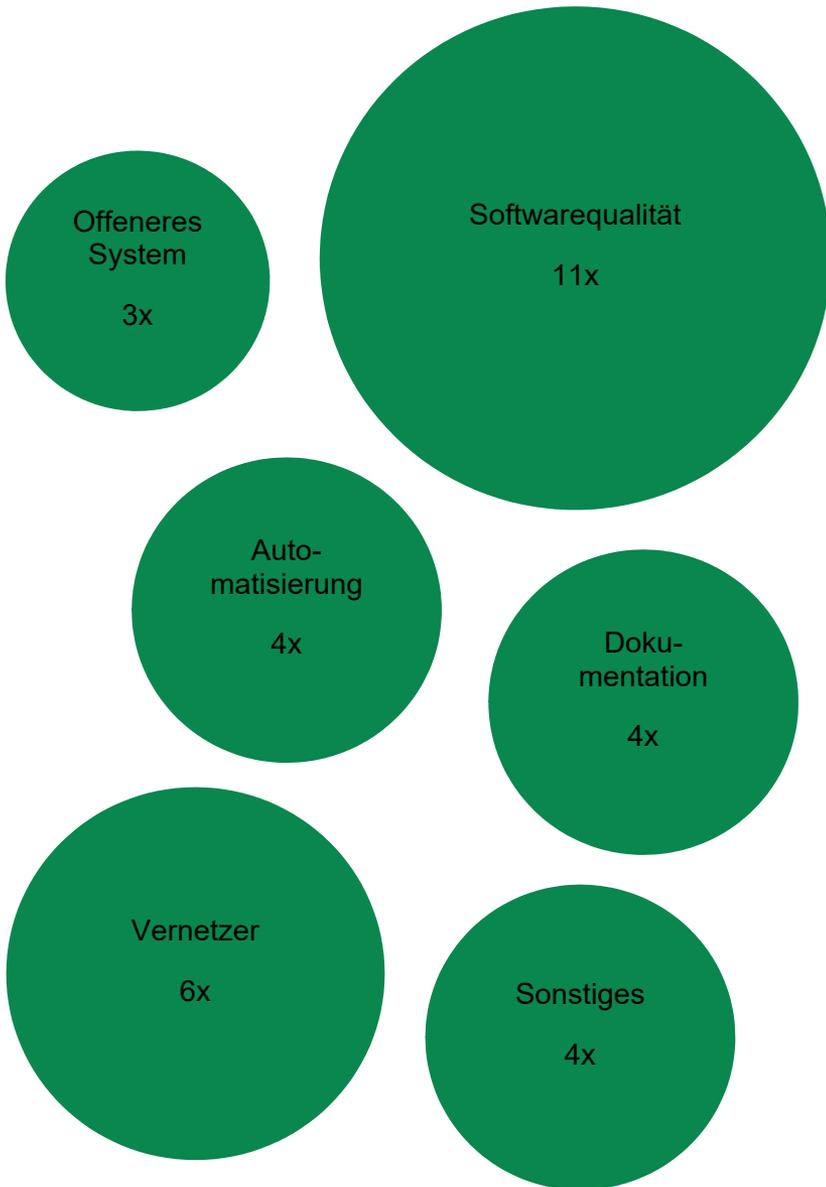


Abbildung 11: Verbesserungswünsche zu Ansys

Online FEM-Programme als Alternative

Vor dem Hintergrund des aktuellen Trends, rechenintensive Aufgaben an Cloud-Computing-Dienste auszulagern, wurde auch untersucht, wie hoch die Bereitschaft der Befragten zur Nutzung solcher Dienste ist. Hierbei sahen 62 % der Befragten derartige Programme positiv, während 38 % Datenschutzbedenken geltend machten. Vergleicht man die Zustimmung zur Nutzung von Online-FEM-Programmen mit den Unternehmensangaben, ist auffällig, dass die Zustimmung bei Mitarbeitern von Hochschulen deutlich höher ausfällt als bei den übrigen Befragten (vgl. Abbildung 12). Dies ist mutmaßlich in den geringeren Geheimhaltungsanforderungen im Vergleich zu Wirtschaftsunternehmen begründet.

Eine systematische Abhängigkeit von der Unternehmensgröße ist nicht klar erkennbar. Auffällig ist der Einbruch den Gruppen der mittelgroßen Unternehmen mit bis zu 250 Mitarbeitern, sowie der Großunternehmen mit mehr als 10000 Mitarbeitern (vgl. Abbildung 13). Im Falle der mittelgroßen Unternehmen ist ein mögliches Erklärungsmuster, dass im Gegensatz zu kleinen Unternehmen eine personelle Verantwortlichkeit für IT-Sicherheit besteht. Die betreffenden Personen sind vermutlich primär Systemadministratoren und keine Fachleute für IT-Sicherheit und können daher aus Zeit- und Kompetenzmangel statt sachgerechter Prüfung von Risiken nur präventiv blockieren. Der erkennbare Trend zu mehr Zustimmung bei größeren Unternehmen kehrt sich bei Großunternehmen um. Um diesen Effekt besser zu verstehen oder als Artefakt klassifizieren zu können, werden mehr Daten benötigt.

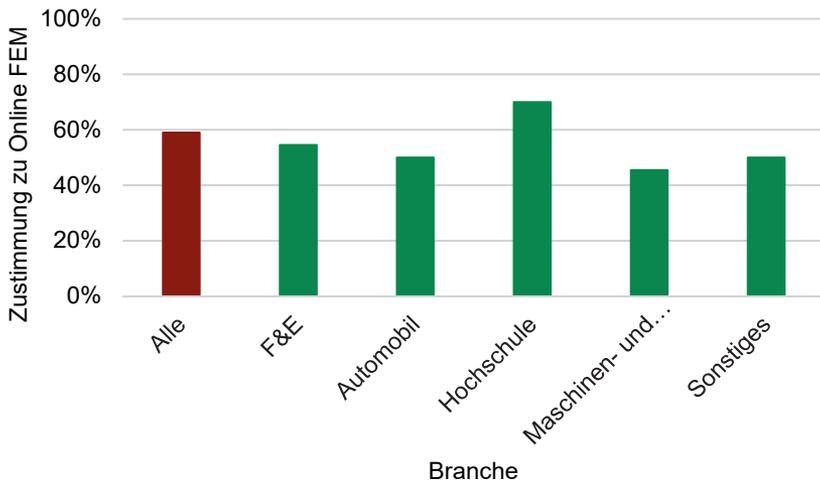


Abbildung 12: Korrelation Online FEM mit Branche

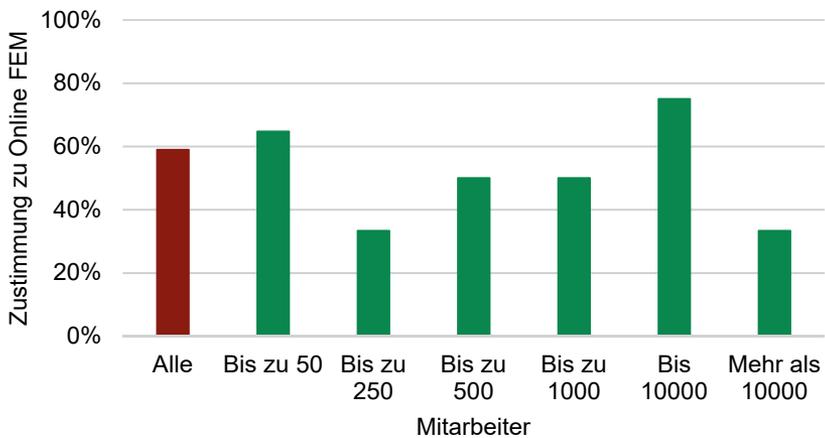


Abbildung 13: Korrelation Online FEM mit Unternehmensgröße

Die erhobenen Daten zeigen zudem eine leichte Abhängigkeit von der Berufserfahrung der Befragten. Hier zeigt sich, dass die Zustimmung bei Berufseinsteigern stärker ausgeprägt ist (vgl. Abbildung 14). Dieser Effekt scheint tendenziell im Alter der Befragten und nicht in der unternehmerischen Position begründet zu sein, da keine Korrelation mit dem Ausüben einer Führungsposition festgestellt werden kann (vgl. Abbildung 15).

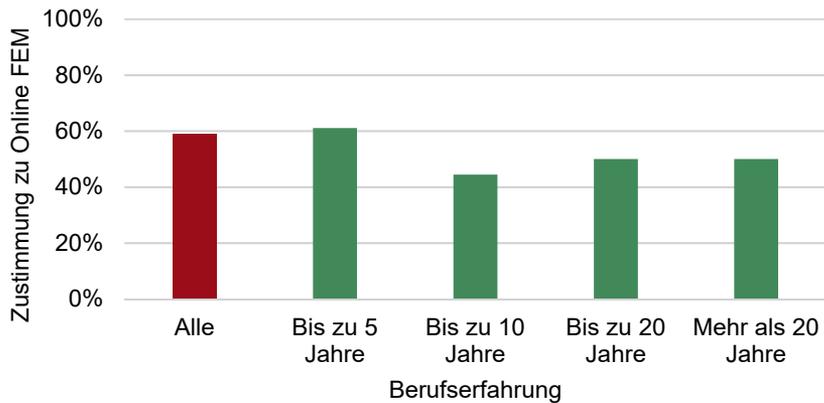


Abbildung 14: Korrelation Online FEM mit Berufserfahrung

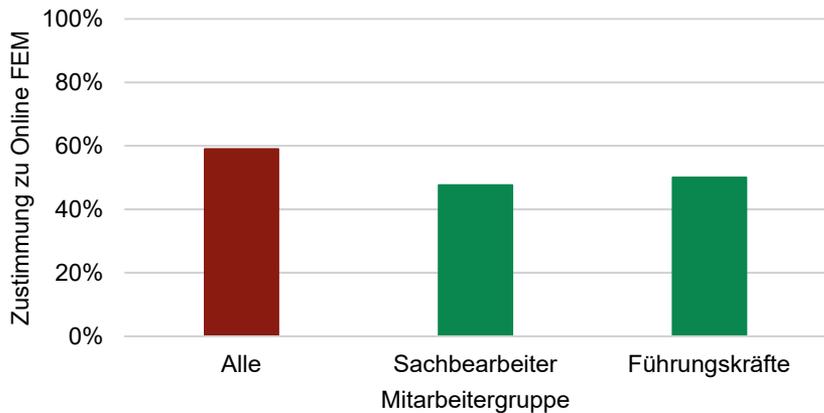


Abbildung 15: Korrelation Online FEM mit Führungsposition

CAD Software

Für eine zielgerichtete Weiterentwicklung von FEM-Software ist auch der Datentransfer aus der verwendeten CAD-Software von zentraler Bedeutung. Auch wenn das STEP-Format nach DIN EN ISO 10303-210 theoretisch einen fehlerfreien Datenaustausch ermöglichen sollte, kommt es in der Praxis oft zu falsch importierten Modellen, da die beteiligten Programmen DIN EN ISO 10303-210 nur teilweise implementieren. Zudem speichert das STEP-Dateiformat nur Informationen über die Hüllgeometrie, nicht aber über die zugrundeliegenden Skizzen und Feature, sodass eine importierte STEP-Datei nicht mehr zielgerichtet bearbeitet werden kann. 81 % der Befragten sehen einen Bedarf für ein neuartiges Dateiformat, das auch Strukturinformationen erfassen kann.

Falls die Arbeit an einem solchen Format forciert werden soll, muss die Integration der einzelnen CAD-Programme priorisiert werden. Daher wurde auch das aktuell im Unternehmen genutzte CAD-Programm erfragt. Diese sind in Abbildung 16 unter erneutem Ausschluss der befragten Mitarbeiter der TU-Clausthal zur Vermeidung einer Verzerrung des Ergebnisses dargestellt.

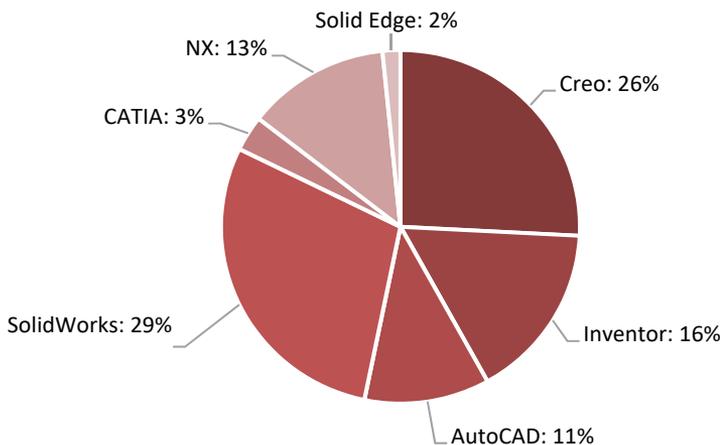


Abbildung 16: Marktanteile von CAD Software unter den Befragten

Die Auswertung der Korrelation der verwendeten CAD-Programme mit der Unternehmensgröße – gemessen an der Anzahl der Mitarbeiter – zeigt, dass die verwendete CAD-Software stark von der Unternehmensgröße abhängt (vgl. Abbildung 17). Unter Vernachlässigung der Gruppe der Unternehmen zwischen 250 und 500 Mitarbeitern, die aufgrund ihrer geringen Größe von nur zwei Teilnehmern die Ergebnisse stark verzerrt, zeigt sich, dass insbesondere kleinere Unternehmen *SolidWorks* und *Solid Edge* bevorzugen, wohingegen große Unternehmen vorrangig *AutoCAD*, *NX* und *Catia* nutzen. Der Marktanteil von *Inventor* ist weitgehend unabhängig von der Unternehmensgröße. Ob der für *Creo* beobachtbare größere Marktanteil bei kleinen Unternehmen Allgemeingültigkeit besitzt oder aus der Befragung von Mitarbeitern der TU-Clausthal resultiert, kann mit den Vorliegenden Ergebnissen nicht abschließend geklärt werden. Für die Gruppe der Unternehmen zwischen 1000 und 10000 Mitarbeitern liegen keine Daten vor.

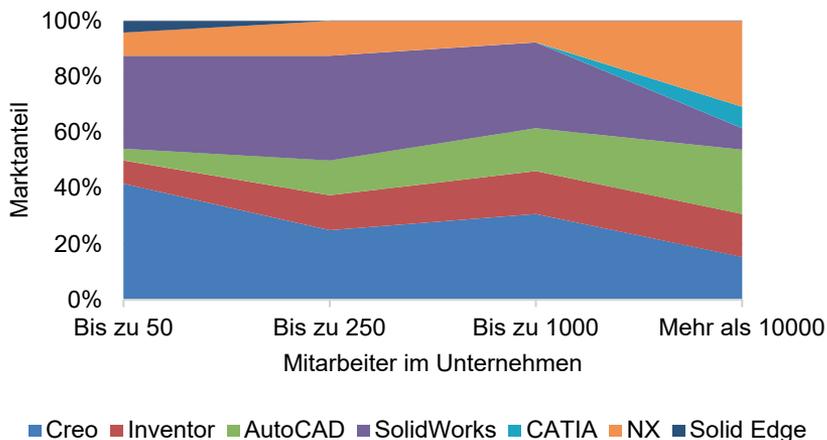


Abbildung 17: Marktanteile von CAD Software unter den Befragten nach Unternehmensgröße

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für die Forschung

Die Befragung bestätigt, dass ein großer Teil der in Deutschland arbeitenden Maschinenbauingenieure der FEM-Software eine große Bedeutung zur Bewältigung ihrer Aufgaben beimisst und diese nutzt. Hierbei dominiert *Ansys* den Markt für strukturelle FEM-Programme deutlich mit 75 % Marktanteil.

Auch wenn die Qualität der verwendeten Programme im Allgemeinen hoch bewertet wird, geben die Befragten zahlreiche Verbesserungswünsche an. Hierbei wird primär die Softwarequalität und Dokumentation bemängelt. Den geäußerten Wünschen kann mutmaßlich nur durch eine Neuentwicklung eines kommerziellen FEM-Programms Rechnung getragen werden, da viele der angesprochenen Mängel Folge des Einsatzes veralteter Technologien, technischer Schulden und überholter Projektmanagementtechniken sind /2/.

Auch für die weitere Forschung an FEM-Programmen zeigt die Studie Richtungen auf, die den Anwendern direkt nutzen würden. Aus der Umfrage abzuleitende Forschungsaufgaben sind die robuste Erkennung numerischer Singularitäten sowie die Weiterentwicklung automatischer Vernetzter mit dem Ziel der vollautomatischen strukturierten Vernetzung praxisrelevanter Bauteile. Weiterhin werden ein intuitiverer Arbeitsablauf und aussagekräftigere Fehlermeldungen gefordert. Hieraus ergibt sich unter anderem die Forschungsaufgabe, einfacher zu bedienende Kontaktalgorithmen zu entwickeln, um so nicht intuitives Verhalten zu reduzieren.

Für die Nutzung von *Cloud-Computing*-Diensten für FEM-Berechnungen gibt es bereits eine relativ hohe Akzeptanz von 62 %. Bedenken begründen sich jedoch kaum in organisatorischen und vorwiegend in datenschutzrechtlichen Aspekten, weshalb diesen eine besondere Rolle bei zukünftigen Entwicklungen zukommen sollte. Unter Einhaltung eines hohen Sicherheitsstandards bieten *Cloud-Computing*-Dienste für FEM-Berechnungen erhebliche Potenziale für FEM-Softwareanwender. Zu nennen sind hier vor allem ein breiterer Zugang zu FEM-Software und eine nicht zu vernachlässigende Einsparung von kapitalbindender Hard- und Software.

Literatur

- /1/ EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 06.Mai 2003/2003/361/EG betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen, 2003
- /2/ Beck, K.; Beedle, M.; et al. Manifesto for Agile Software Development, 2001