

DOKUMENTATION VON BERECHNUNGEN

Christoph Heynen, Willy Schweiger

Zusammenfassung

Die Bedeutung der Berechnungsdokumentation ist in Fachkreisen allgemein bekannt und wird vielfach diskutiert. Dennoch wird dieses Gebiet aufgrund des Zeitdrucks in der Produktentwicklung sowie der Komplexität und Vielfalt der Berechnungsprozesse nur am Rande behandelt. In diesem Beitrag wird an einem Beispiel erläutert, wann und auf welche Weise Wissen im Berechnungsprozeß entsteht. Aus dem Beispiel werden Anforderungen abgeleitet, die für eine sinnvolle und nachvollziehbare Berechnungsdokumentation notwendig sind. Schließlich wird ein Grobkonzept vorgestellt, das die verschiedenen Module für ein Assistenzsystem zur Berechnungsdokumentation enthält.

1 Einleitung

Die Dokumentation von Berechnungen dient heutzutage dazu, der Konstruktion die Aussagen über die Beanspruchungsgerechtigkeit von Bauteilen oder Baugruppen verfügbar zu machen, sowie den Nachweis einer ordnungsgemäß durchgeführten Berechnung im Schadensfall führen zu können. Es ist jedoch sinnvoll dieses Wissen auch im Sinne eines Wissenserhalts im Unternehmen zu nutzen. Durch den ständig wachsenden Druck bei der Entwicklung und Konstruktion von neuen Produkten und dem Drang in immer kürzerer Zeit innovative Produkte entwickeln zu müssen, kommt der effizienten Wissensbereitstellung eine zunehmende Bedeutung zu. Aber auch bei hoher Personalfuktuation und für die schnelle Einarbeitung von jungen Mitarbeitern kann die strukturierte Dokumentation von Berechnungswissen erhebliche Vorteile bringen. Sowohl die Dokumentationsform als auch die Menge des heutzutage dokumentierten Wissens sind für die weitere Verwendung ungeeignet. Es ist notwendig, das Berechnungswissen zu strukturieren und dem Entwicklungsingenieur in geeigneter Form zu präsentieren.

2 Die Herausforderung der nachvollziehbaren Modellbildung

Durch die subjektiven Entscheidungen des Berechnungsingenieurs bei der Modellbildung wie auch der Ergebnisinterpretation, wird eine vollständige und nachvollziehbare Dokumentation von Berechnungen enorm erschwert. In vielen Fällen ist es selbst für den Bearbeiter eines Berechnungsmodells schwierig, nach einer gewissen Zeit nachzuvollziehen, warum er beispielsweise eine Randbedingung gerade auf diese und nicht auf eine andere Weise gewählt hat und auf welche Weise seine Entscheidung zustande gekommen ist.

Gerade dieser letzte Aspekt ist besonders wichtig, um zu einer nachvollziehbaren Dokumentation zu gelangen. Um Wissen für außenstehende Fachkollegen zugänglich zu machen, ist es sinnvoll, die Entstehung des Wissens entlang des Berechnungsprozesses zu dokumentieren. In den meisten Berechnungsberichten sind zwar die Informationen über Randbedingungen, Elementart, Ergebnisse, usw. festgehalten, jedoch nicht der Weg dahin, d.h. das Wissen darüber, warum es zu diesen Entscheidungen kam, fehlt.

Eine Dokumentation, die parallel zum Entwicklungsprozeß erstellt wird, kann nur Erfolg haben, wenn dem Entwickler der Nutzen und Vorteil dieser Wissenserfassung bewußt ist. Erscheint dem Entwickler der Aufwand für die Dokumentation parallel zum Prozeß zu groß, wird sie nicht mit dem entscheidenden Wissen versehen. Daher müssen geeignete Werkzeuge den Entwickler während der Dokumentation nach Möglichkeit unterstützen. Das Ziel muß sein, nicht am Ende des gesamten Berechnungsprozesses die Dokumentation zu erstellen, wie es in den meisten Fällen erfolgt, sondern schrittweise, parallel zum Berechnungsprozeß, so daß der Aufwand für den Entwickler überschaubar bleibt. Ebenso wichtig ist die Förderung der Motivation der Mitarbeiter, um sich für den Wissenserhalt aktiv einzusetzen. Ein Ansatz aus dem Knowledge Management hierfür ist, die Eingabe in Wissensdatenbanken transparent zu machen, d.h. es kann in einem Unternehmen jeder nachvollziehen, von wem wie häufig nützliche Informationen in das System eingegeben werden. Hierdurch wird die Selektion von motivierten Mitarbeitern möglich, die den Wissenserhalt für die persönliche Karriere nutzen können.

Für den Erhalt von Berechnungswissen ist letztendlich die Einsicht der Entwicklungsingenieure entscheidend, daß im Laufe des Berechnungsprozesses ständig neues Wissen entsteht, das es wert ist, dokumentiert zu werden. Wissen ist nicht einfach nur beim Bearbeiter einer Berechnungsaufgabe vorhanden, sondern es wird im Berechnungsprozeß ständig erweitert und aktualisiert, ist also immer das Ergebnis von Prozessen.

Für dokumentiertes Berechnungswissen ist in diesem Zusammenhang ebenso wichtig, wie die Daten dem Anwender präsentiert werden. Es ist einerseits nicht sinnvoll, sämtliche Daten zu archivieren, die anschließend von der Menge her nicht mehr zu durchschauen sind. Hierzu ist eine Strategie notwendig, um zu einer Datenextraktion zu kommen, die die Dokumentation überschaubar aber dennoch nachvollziehbar macht. Andererseits ist es notwendig, das Wissen in geeigneter Form zu präsentieren; beispielsweise ist es für die Interpretation von Eigenformen einer Struktur sinnvoll, eine Videoanimation zu verwenden.

3 Der Berechnungsprozeß am Beispiel des Stickrahmens einer Kleinstickmaschine

Um die Anforderungen für eine nachvollziehbare Berechnungsdokumentation anschaulich darstellen zu können, wird zunächst ein realer Berechnungsprozeß mit seiner Dokumentation analysiert. Anschließend wird in Kapitel 4 versucht, auf Basis dieser Analysen allgemeine Anforderungen an eine nachvollziehbare Berechnungsdokumentation zu formulieren. In diesem Kapitel sollen die Zeitpunkte der Wissensentstehung, die Vielfalt des Wissens und der Wissensentstehungsprozesse sowie die Defizite der vorliegenden Dokumentation aufgezeigt werden. Als Beispiel wurde eine Studienarbeit /2/ ausgewählt, die die Berechnung des Stickrahmens einer Kleinstickmaschine der Firma Pfaff zum Ziel hatte. Die Beschreibung der Kleinstickmaschine und des Stickrahmens mit deren Funktionsweise kann /2/ entnommen werden, ebenso die Ausgangssituation und das Ziel der Berechnung.

Die folgenden Ausführungen basieren auf den Erfahrungen des Autors, die er bei dieser Studienarbeit einschließlich der Erstellung der schriftlichen Ausarbeitung gewonnen hat. Die Ausarbeitung wird in diesem Fall als Berechnungsdokumentation herangezogen. Angemerkt sei an dieser Stelle, daß die Analyse der schriftlichen Ausarbeitung, die im Zuge der Erstellung dieses Beitrags erfolgte, mit einem zeitlichen Abstand von 5 Jahren nach Erstellung der Studienarbeit durchgeführt wurde. Durch diesen zeitlichen Abstand wurde der Autor gewissermaßen in den Zustand eines außenstehenden Fachkollegen versetzt, was für die Beurteilung der Dokumentation sehr dienlich war.

Anhand von Bild 1 können die einzelnen Teilprozesse nachvollzogen werden, die im Laufe der Studienarbeit abgearbeitet wurden. Diese Teilprozesse sind für sich jeweils eigenständige Berechnungen, bauen jedoch aufeinander auf. Somit sind die Modelle und Ergebnisse der späten Teilprozesse nicht ohne die Vorkenntnis der vorangegangenen Berechnungen einsichtig. Betrachtet man die Anzahl der im gesamten Prozeß entstandenen Berechnungsmodelle (Bild 1), so wird der Begriff „komplexer Berechnungsprozeß“ deutlich.

Mit der Anzahl der Berechnungsvarianten in einem komplexen Berechnungsprozeß steigt auch die Menge der anfallenden Daten, wobei die Anzahl der Berechnungsmodelle mit denen der Berechnungsvarianten gleichgesetzt werden kann. Für jedes notwendige Berechnungsmodell entstehen die Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse der verschiedenen Berechnungsvarianten. Am Beispiel der Modalanalyse für die Ermittlung der Position des Stickrahmens mit der niedrigsten ersten Eigenfrequenz wurden 6 verschiedene Varianten von Berechnungen durchgeführt (Bild 1). Allein das eindeutige Ablegen der Daten auf der Festplatte des Rechners kann bei dieser Anzahl von Berechnungen schon Schwierigkeiten bereiten; die Namensgebung für einzelne Berechnungsvarianten treibt die seltsamsten Blüten.

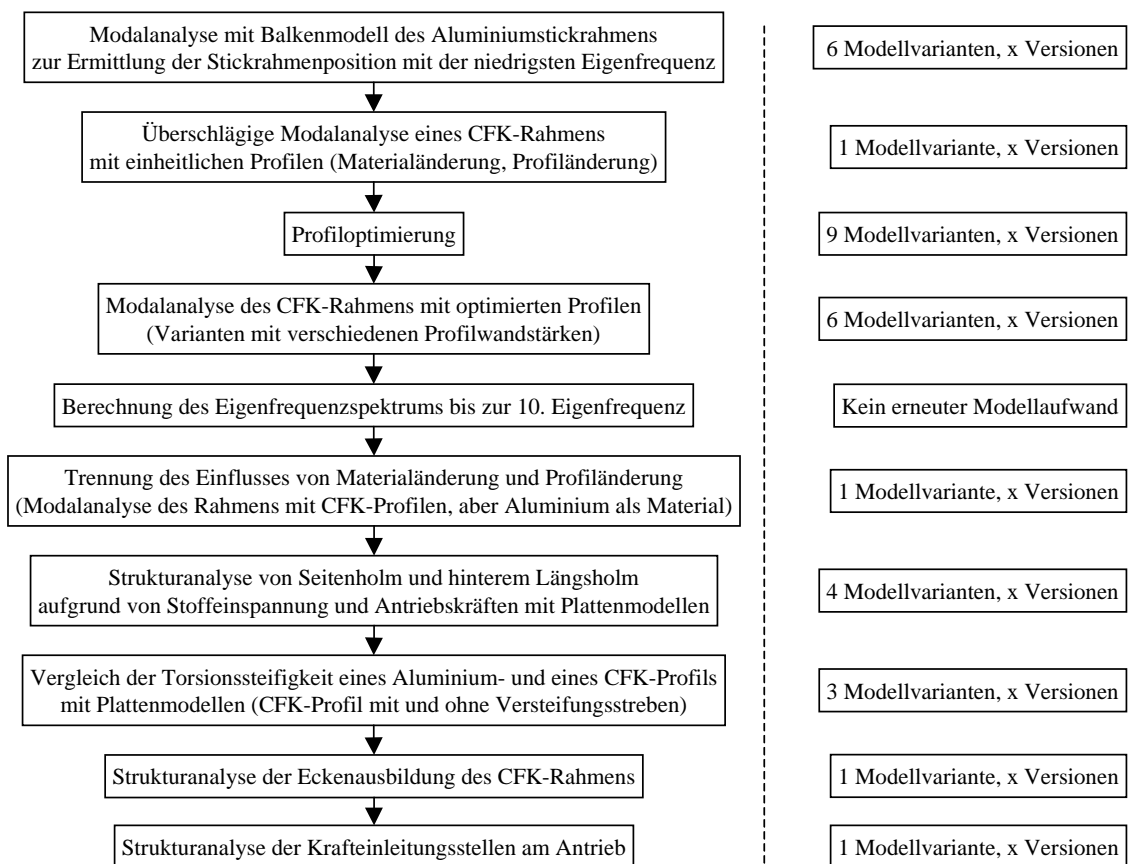


Bild 1: Teilprozesse einer komplexen Berechnung mit den dabei entstehenden Modellvarianten und Versionen

In direktem Zusammenhang mit der Anzahl an Berechnungsmodellen steht auch die Menge und Vielfalt des in diesem Prozeß entstandenen Wissens. Dies soll im folgenden verdeutlicht werden. In die bisherigen Überlegungen der Berechnungsvarianten sind die einzelnen Berechnungsversionen noch nicht mit einbezogen. Für mindestens eine Variante einer Berechnungskategorie in einem Teilprozeß (in Bild 1: Eine der 6 Varianten in Teilprozeß 1) entstehen bis zu den endgültigen Berechnungsergebnissen unterschiedliche Versionen von

Berechnungsmodellen und -ergebnissen. In den meisten Fällen wird ein Berechnungsingenieur nicht auf Anhieb das Berechnungsmodell erzeugen, das die gewünschten oder erhofften Ergebnisse bringt. Spezielle Ausprägungen der Berechnungsergebnisse machen Fehler bei der Modellerstellung deutlich und veranlassen den Bearbeiter, das Modell zu überarbeiten. Hierdurch entsteht beim Bearbeiter einer Aufgabe Erfahrungswissen, d.h. während des Prozesses von einer Berechnungsversion zur nächsten verknüpft der Berechnungsingenieur Eigenschaften des Berechnungsmodells mit den Ausprägungen der Berechnungsergebnisse. Der Bearbeiter bekommt in diesem Lernprozeß die Antwort auf die Frage: Welche Eigenschaft des Berechnungsmodells hat ein bestimmtes fehlerhaftes Ergebnis zur Folge? In der vorliegenden Studienarbeit wurden keine Informationen über den Entstehungsprozeß der einzelnen Berechnungsmodelle dokumentiert, die den Lernprozeß der Berechnungsversionen beim Bearbeiter abbilden.

Zusammenfassend kann anhand von Beispielen gesagt werden, daß Wissen bei dieser Studienarbeit vor allem entstand aufgrund

- des soeben angesprochenen Prozesses der Berechnungsversionen bis zu den endgültigen Ergebnissen der einzelnen Berechnungsvarianten. Als Beispiel hierfür kann vor allem der Teilprozeß 4 in Bild 1 dienen. Hier wurden in der Ausarbeitung der Studienarbeit letztendlich 6 verschiedene Varianten dokumentiert. Dies sind Berechnungen von Stickrahmen mit Profilwandstärken von 2 bis 4 Millimetern in unterschiedlicher Kombination. Nach Erinnerung des Autors wurde jedoch anfangs mit Profilwandstärken von 5 und 6 Millimetern gerechnet, die sich aber nicht bewährten. Diese Erfahrung ist somit nicht mehr für außenstehende Fachkollegen nachvollziehbar.
- der Kommunikation der Fachkollegen untereinander (Konstruktion - Berechnung, Berechnung - Berechnung). Da bei der Berechnung des Stickrahmens auf ein bereits existierendes Modell zurückgegriffen wurde, mußte das Wissen hierüber verfügbar gemacht werden. Es existierte jedoch keine Dokumentation für das vorhandene Berechnungsmodell. Sämtliche Informationen mußten im Gespräch mit einem Berechnungsingenieur ausgetauscht werden. Dies gilt vor allem für Steifigkeitswerte von Torsionsfedern, die eingesetzt wurden um Verschraubungen am Stickrahmen zu simulieren, aber auch die Steifigkeit der modellierten Zahnriemen für den Antrieb. Ebenso gab es keine Dokumentation darüber, an welchen Stellen die Querschnitte der Aluminiumdruckgußprofile vereinfacht wurden. Dies wußte selbst der zuständige Berechnungsingenieur nicht mehr.
- von Literaturstudium. Dies gilt vor allem für die den Berechnungen zugrundeliegenden Materialkennwerte von CFK und die für den Stickrahmen zum Einsatz kommenden Fertigungsverfahren von CFK-Bauteilen.

Nachdem auf die Zeitpunkte und die verschiedenen Arten von Wissen und Wissensentstehung eingegangen wurde sollen nun einige Defizite der Dokumentation stichpunktartig dargestellt werden:

- Die Berechnungsergebnisse wurden in einem Benutzerverzeichnis mit eigener Namensgebung abgelegt und sind auf diese Weise ohne den Bearbeiter nicht mehr ohne weiteres zu verwenden.
- Es wurden Deformationsbilder für die Dokumentation der Strukturanalyse der Holme des Stickrahmens ohne die Randbedingungen gemacht.
- Die Beschreibung der Verlagerung des Schubmittelpunktes eines Profils infolge einer Änderung ist schwer nachvollziehbar. Eine erläuternde Graphik wäre hier von Vorteil.
- Bei der Strukturanalyse der Krafteinleitungsstellen des CFK-Stickrahmens ist nicht dokumentiert, mit welchem Modell gerechnet wurde. Auch gibt es keine graphische Darstellung.

Im folgenden noch eine Auflistung einiger Besonderheiten, die bei der Berechnung des Stickrahmens auftraten:

- Es wird auf ein vorhandenes Berechnungsmodell aufgesetzt.
- Der allgemeine Berechnungsprozeß wird mehrfach durchlaufen.
- Es wird mit verschiedenen Abstraktionsgraden bei den Berechnungsmodellen gearbeitet (Balkenmodell, Plattenmodell).
- Es erfolgte eine konstruktive Änderung an der Stickmaschine während des Berechnungsprozesses, wobei diese Konstruktionsänderung nur teilweise in den Berechnungen nachgezogen wurde.

4 Anforderungen an die Berechnungsdokumentation

Die Teilprozesse einer realen komplexen Berechnung wurden im vorigen Kapitel dargestellt. An dieser Stelle soll das Modell eines allgemeingültigen Berechnungsprozesses vorgestellt werden, der jeden einzelnen der Teilprozesse in Bild 1 abbildet. Für das vorgestellte Modell des Berechnungsprozesses wird kein Anspruch auf Vollständigkeit bezüglich der Existenz und des Detaillierungsgrades von Teilprozessen erhoben. Dieser Prozeß wird je nach Branche oder Unternehmen von der Struktur her unterschiedlich aufgebaut sein. Die Darstellung dieses Prozeßmodells wird in der Realität in verschiedensten Varianten auftreten. Dennoch kann mit diesem Modell der grundlegende Prozeß der Wissensentstehung bei Berechnungen aufgezeigt werden.

Der Beginn einer Berechnung ist immer verknüpft mit einer Anfrage der Konstruktion an die Berechnungsabteilung bezüglich eines berechnungsrelevanten Produkts oder Bauteils (siehe Bild 2). Ein Teil dieses Prozeßmodells, der in Bild 2 durch den gestrichelten Kasten dargestellt ist, wird in vielen Berechnungsprozessen wie auch bei der Berechnung des Stickrahmens mehrfach durchlaufen.

In den meisten Fällen wird an dieser Stelle des Prozesses eine Besprechung notwendig sein, um die Aufgabenstellung für die Berechnung zu klären, wobei Erläuterungen zu folgenden Stichpunkten notwendig sind:

- Funktion des Produkts / Funktion des Bauteils im Produkt
- Ziel der Berechnung
- Erwartete Ergebnisse (mit Vorabschätzung der Größenordnung)
- Einzusetzende Berechnungsmethoden
- Geometrie des Bauteils
 - CAD-Daten

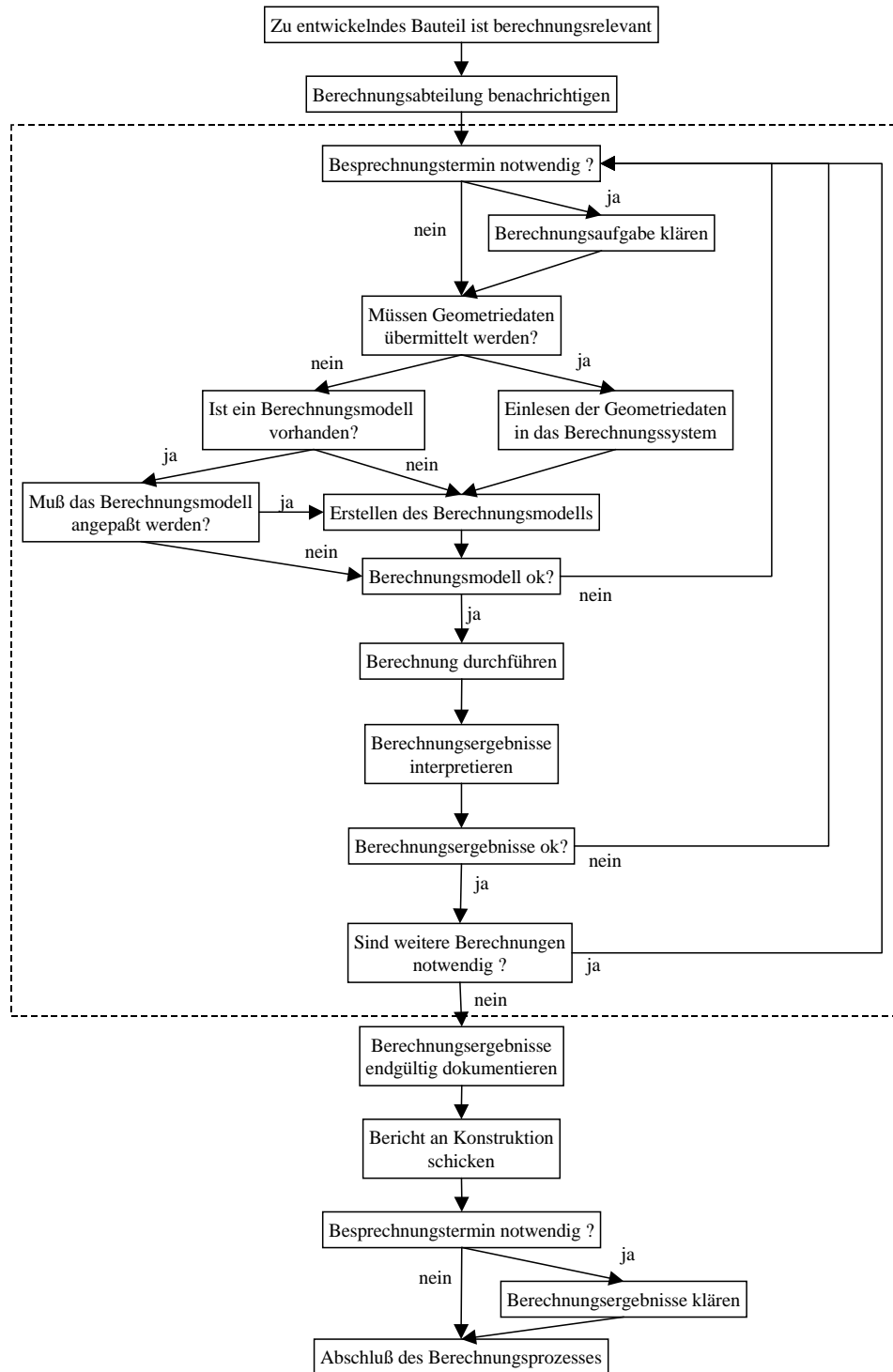


Bild 2: Ablauf eines allgemeinen Berechnungsprozesses

- Zeichnungen
- Skizzen
- Querschnittskennwerte (Berechnung, Profiltafeln)
- Materialkennwerte des Bauteils
- Liste der verwendeten Dimensionen (z.B. N, mm, s, J)
- Physikalische Randbedingungen des Bauteils
 - Einspannungen

- Belastungen (Größen, Zeitverläufe, Kollektive)
- Eigenspannungen
- Festlegung der Systemgrenzen mit den entsprechenden Randbedingungen (Schnittreaktionen)
- Angabe der notwendigen Berechnungsergebnisse (Steifigkeit, Spannungen, Eigenfrequenzen)
- Vereinbarung von Geometrievereinfachungen
- Sicherheitsphilosophie, Risikobereitschaft, Gefährdungspotentiale

Nach der Klärung der Aufgabenstellung wird durch den Berechnungsingenieur eigenständig oder auf Basis von Geometriemodellen aus der Konstruktion ein Berechnungsmodell erstellt. Treten während der Modellierung Fragen auf, müssen diese in Rücksprache mit der Konstruktion geklärt werden, sei es durch Besprechungen, Telefonate oder E-mail. Man kann dies als die Vervollständigung der „Klärung der Aufgabenstellung“ bezeichnen. Für eine nachvollziehbare Dokumentation der eigentlichen Modellerstellung ist es notwendig, daß folgende Stichpunkte beschrieben werden:

- Genaue Beschreibung und Definition des Berechnungsmodells mit Angabe von Annahmen und Vereinfachungen (Abstraktion des Berechnungsmodells)
- Berechnungsmethode (falls diese nicht schon vorab in Absprache mit der Konstruktion festgelegt wurde)
- Elemente (Elementform, Ansatzfunktion)
- Randbedingungen
- Geometrievereinfachungen (evtl. schon vorher festgelegt)
- Abschätzung bzw. Absicherung der Genauigkeit der Ergebnisse mit Angabe von Unsicherheiten (z.B. Reibung)
- Kontrolldarstellungen der Randbedingungen, des Netzes und der Materialgruppen

Für die eigentliche Berechnung sind ebenfalls bestimmte Daten zu dokumentieren:

- Angabe des Berechnungsprogramms mit Version
- Angabe der verwendeten Hardwarekonfiguration mit Speicherbedarf und Rechenzeit
- Vergleich mit zulässigen Grenzwerten (der eigentliche Festigkeitsnachweis z.B.)

Schließlich sind für die Ergebnisdarstellung und -interpretation folgende Informationen notwendig:

- Verschiedene Geometriedarstellungen der geforderten Ergebnisse (Spannung, Deformation, Eigenformen) mit verschiedenen Ansichten und Schnitten in Übersicht und Detail
- Textuelle Darstellung der relevanten maximalen Ergebniswerte
- Tabellarische Darstellung von Ergebnissen bei Berechnungsvarianten

Nach Durchführung der Berechnung und Interpretation der Ergebnisse, ist die Entscheidung zu fällen, ob die Berechnung der Realität in ausreichender Weise gerecht wird (Bild 2, Teilprozeß 14). Ist dies nicht der Fall muß durch eine erneute Iteration mit der Konstruktion die Berechnung (optimiert) verbessert werden. An dieser Stelle entsteht Wissen, aufgrund welcher Gegebenheiten des Modells die Ergebnisse nicht die gewünschte oder erhoffte Form haben. In der darauf folgenden Phase beim Überarbeiten des Berechnungsmodells werden durch den Ingenieur Entscheidungen getroffen (sei es eigenständig, durch Einbeziehen des Vorgesetzten oder in Absprache mit der Konstruktion), die auf seinen eigenen Erfahrungen sowie den Erfahrungen des bisherigen Prozesses beruhen. Sind in der endgültigen Dokumentation dieser Berechnung nur das optimierte Modell und dessen

Berechnungsergebnisse enthalten, so kann in vielen Fällen von Außenstehenden nicht erkannt werden, warum das Berechnungsmodell gerade so und nicht anders gewählt wurde, d.h. es muß in jedem Fall die Entstehung des aktuellen Modells durch die chronologische Dokumentation der Vorgängermodelle transparent gemacht werden.

Kommt es letztendlich zu zufriedenstellenden Ergebnissen bei der Berechnung, so wird die endgültige Dokumentation fertiggestellt (Bild 2, Teilprozeß 15) und mit der Konstruktion abgesprochen, was zur Beendigung des Berechnungsprozesses führt.

Anhand dieser Prozeßabläufe zeigt sich, daß Wissen vor allem durch die Kommunikation mit Kollegen oder Vorgesetzten, durch die Erfahrungen aus vorangegangenen Berechnungen aber auch mit Hilfe von Informationsquellen jeglicher Art (Literatur, Internet, Intranet, ...) entsteht. Werden durch Besprechungen, Telefonate oder E-mails Fragen zur Berechnung geklärt, so entsteht auf diese Weise fast immer Wissen, das für das Verständnis dieses Prozesses von Bedeutung ist. Daher ist es notwendig die Ergebnisse jedweder Kommunikation zu dokumentieren, so sie denn wichtig für das Verständnis des Prozesses sind. Hier wird jedoch die Bedeutung „scheinbar unwichtiger“ Sachverhalte unterschätzt. Heute werden diese Ergebnisse im Kopf des Entwicklers aufgrund seiner Erfahrung in Modelle umgesetzt. Dieses Umsetzen sollte mit dokumentiert werden.

Auch die „einsamen“ Entscheidungen des Berechnungsingenieurs bezüglich des Berechnungsmodells (Wahl der Elemente, der Randbedingungen, der Berechnungsmethode) sind für die Nachvollziehbarkeit der Berechnung entscheidend. Gerade bei diesen „einsamen“ Entscheidungen, die auf den Erfahrungen des Berechnungsingenieurs beruhen, ist es immer notwendig zu wissen, warum es zu einer Entscheidung kam, nicht nur die Dokumentation des Sachverhalts selbst.

Aus den Anforderungen der beschriebenen 4 Phasen eines Berechnungsprozesses, der

- Klärung der Aufgabenstellung und Datenbereitstellung
- Modellerstellung
- Berechnung
- Ergebnisdarstellung und -interpretation

lassen sich noch weitere, allgemeine Anforderungen an die Berechnungsdokumentation ableiten. Wenn ein Außenstehender ohne spezifische Vorkenntnisse einer bestimmten Berechnungssituation sich mit deren Dokumentation befaßt, so ist es notwendig, ihn von allgemeinen Beschreibungen und Darstellungen gezielt auf die wichtigen Details hinzuführen. Eine Detaildarstellung ohne vorherige Übersicht wird den Anwender abschrecken und das in dieser Dokumentation enthaltene Wissen wird nicht weitergegeben. Um den Anwender möglichst schnell in die spezielle Dokumentation einzuführen, ist die Verwendung von unterschiedlichen Medien von Vorteil – bei der Interpretation von Eigenformen können animierte Darstellungen sogar unumgänglich sein. Eine immer wiederkehrende Fehlerquelle bei der Interpretation von Berechnungsergebnissen ist das Verwenden von unterschiedlichen Skalierungen in einer Dokumentation – dies sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Ebenso ist eine genaue Bezeichnung der dargestellten Ergebniswerte notwendig, z.B. Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungshypothese und nicht Equivalent Stress. Und last but not least, wie schon mehrfach in diesem Beitrag angesprochen, ist es bei jedem dokumentierten Sachverhalt in einem Berechnungsprozeß unbedingt notwendig, die Begründung für eine bestimmte Entscheidung anzugeben.

5 Grobkonzept für eine nachvollziehbare Dokumentation von Berechnungsprozessen

Der entscheidende Punkt, um zu einer nachvollziehbaren Berechnungsdokumentation zu kommen, ist die Einsicht der Entwickler in die Tatsache, daß in eine Dokumentation, die am Ende eines komplexen Berechnungsprozesses ausgearbeitet wird, immer nur die am Ende der Berechnung von allen Seiten akzeptierten Ergebnisse und Modelle enthalten wird. Zu diesem Zeitpunkt wird der Entwickler vor allem aus Gründen des Zeitdrucks in der Produktentwicklung aber auch wegen des eigenen Erinnerungsvermögens nicht das Wissen ablegen, wie es zu den Abschlußergebnissen des Prozesses kam. Wie schon vorher erwähnt muß es das Ziel sein, das Wissen prozeßbegleitend, also zum Zeitpunkt der Entstehung festzuhalten. Auf diese Weise entsteht parallel zum Berechnungsprozeß ein nur sehr geringer Mehraufwand für den Entwickler das entscheidende Wissen für die Ausarbeitung der Dokumentation abzulegen. Hierfür ist jedoch ein großes Maß an Disziplin der Entwickler notwendig, um konsequent im ersten Moment auch noch so unwichtig erscheinende Tatsachen und Begründungen zu protokollieren. Es ist gewissermaßen ein Lernprozeß notwendig, um eine Dokumentation immer aus dem Blickwinkel eines außenstehenden Fachkollegen zu verfassen und daher mehr Informationen zu hinterlegen, als dies aus eigener Sicht notwendig erscheint. Hierfür kann es sehr hilfreich sein, andere Kollegen aus der Fachabteilung den verfaßten Bericht beurteilen zu lassen.

Aus diesen Überlegungen läßt sich ableiten, daß ein System zur Unterstützung des Entwicklers parallel zum Berechnungsprozeß die notwendigen Informationen aufnehmen muß. Der Entwickler muß auf möglichst einfache Weise die anfallenden Sachverhalte in die entsprechenden Eingabemasken für die unterschiedlichen Phasen des Prozesses (Klärung der Aufgabenstellung, Modellbildung, Berechnung, Ergebnisdarstellung und -interpretation) eingeben können. Hierzu ist es notwendig, daß das System in den verschiedenen Situationen der Wissensentstehung angewendet werden kann. Es muß demnach möglich sein, Besprechungen direkt mit zu protokollieren. Ebenso müssen möglichst viele Informationsinhalte aus dem Literaturstudium, dem Internet oder Intranet dem System mitgegeben werden. Daß das bei der Arbeit mit dem Berechnungsprogramm entstehende Wissen dem System übergeben werden muß, erscheint aus der Sicht des Berechnungsingenieurs fast selbstverständlich.

Das System hinterlegt diese Informationen in einem chronologischen Protokoll, das den Ingenieur bei der Ausarbeitung der eigentlichen Dokumentation am Ende des Prozesses unterstützt. Ein weiterer Vorteil hierbei ist, daß der Bearbeiter nach der Berechnung durch den zeitlichen Abstand die Informationen im Protokoll besser beurteilen kann. Er wird auf diese Weise eine wesentlich sinnvollere Extraktion von Informationen vornehmen können, als es sein Gedächtnis ohne das Protokoll zulassen würde.

Ein zweites Modul für die Dokumentation von Berechnungen ist für die Präsentation der ausgearbeiteten Protokolle notwendig. Hier ist in jedem Fall eine hypermediale Unterstützung sinnvoll, um den Leser möglichst schnell und anwenderfreundlich an die Thematik heran zu führen. Diese hypermediale Basis für ein Berechnungsinformationssystem, wie es in /1/ und /3/ vorgestellt wird, erscheint jedoch keinesfalls ausreichend, um die Masse an Dokumentationen aufnehmen und verwalten zu können, die im Laufe der Zeit in das System eingestellt werden; ein geeignetes Datenmanagement muß hierfür angestrebt werden.

Ebenso ist eine verzeichnisartige Strukturierung der Berechnungsinformationen nicht ausreichend, um gezielt auf benötigte Informationen zugreifen zu können. Hierfür scheint die für die Strukturierung von digitalen Teilebibliotheken bekannte ISO 13584 (PLIB) /5/, /6/

geeignet, um mit Hilfe von Familienhierarchien und Merkmalen eine effiziente Suche nach der gewünschten Information zu gewährleisten. Bei der Anwendung auf ein Berechnungsinformationssystem kann man sich Familienhierarchien auf Ebene der Berechnungsmethoden vorstellen, aber auch produktorientierte Strukturierungen erscheinen sinnvoll. Über geeignet definierte Merkmale kann schließlich ein schneller Zugriff auf die im System verteilten Informationen erfolgen.

6 Ausblick

Die Bedeutung des Wissenserhalts für ein Unternehmen wird deutlich, wenn man folgende Begebenheit nachvollzieht. Für ein Unternehmen das am Rande des Konkurses gezwungen war, seine kleine Berechnungsabteilung aufzulösen und die Mitarbeiter zu entlassen, ging auf diese Weise sämtliches Berechnungswissen unwiederbringlich verloren. Falls die Firma dem Konkurs entgeht wird sie früher oder später dieses Wissen neu aufbauen müssen. Ein Unternehmen, das auf dem globalen Markt konkurrenzfähig sein will, wird sich solch kostenintensive Ausfälle nicht leisten können. Ein entscheidender Faktor wird in Zukunft der Aufbau von Wissensdatenbanken sein, um mehr hin zu einer Art Unternehmenswissen anstatt von Mitarbeiterwissen zu gelangen.

7 Literatur:

- /1/ Löffel, C.: Integration von Berechnungswerkzeugen in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß; Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Erlangen, 1997.
- /2/ Heynen, C.: Finite-Elemente-Berechnung des Stickrahmens einer Kleinstickmaschine der Firma Pfaff; IVW-Bericht 94-19, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Universität Kaiserslautern, 1994.
- /3/ Meerkamm, H., Löffel, C., Heynen, C.: Schnelle Kommunikation zwischen Berechnung und Konstruktion mit dem multimedialen Informationssystem BerIS. Tagungsband CAD '98, Darmstadt 1998, S. 85-94.
- /4/ Schweiger, W., Löffel, C.: Computational Methods in Design - An Ordering Scheme. Proceedings of the ICED'97, Volume 3, Tampere 1997, S. 91-96.
- /5/ Guy Pierra: Intelligent Electronic Component Catalogues for Engineering and Manufacturing. In: Jürgen Gausemeier (Hrsg.), GEN '97 - International Symposium on Global Engineering Networking. HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 1997.
- /6/ J.C. Potier, G. Pierra, P. Girard, N. Willmann, A. Mahir: Intelligent electronic catalogue generation. In: Jürgen Gausemeier (Hrsg.), GEN '97 – International Symposium on Global Engineering Networking. HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 1997.

Dipl.-Ing. Christoph Heynen
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Martensstraße 9
91058 Erlangen
Tel.: +49 9131 619912
Fax.: +49 9131 619930
Email: heynen@mfk.uni-erlangen.de
URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de>