Wissensbasierte Navigation für die lärmreduzierte Auslegung rotierender Maschinen in der Produktentwicklung

Christof Küstner und Sandro Wartzack
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik;
Universität Erlangen-Nürnberg

Abstract

Today, product developer face the challenge taking not only the requirements for mechanical properties of a product into account, but also other requirements like the acoustical properties, for instance. The problem is that important product properties like the acoustical properties are only revealed in the later development phases. Normally product developers elicit knowledge from experts to fulfil these additional requirements. In this contribution, an approach for a knowledge-based navigation for the development of noise-reduced machines is presented. Therefore the knowledge identification, acquisition, formalization and the implementation in an assistant system are described. This approach contributes to the improvement of knowledge transfer from expert to product developer vice versa.

Keywords: knowledge-based navigation, assistant system, noise-reduced development, activities and decisions

1 Einleitung

In Deutschland sind die Kapazitäten der Windenergie in den letzten Jahren stark gewachsen, weshalb im November 2013 die Koalitionspartner der

großen Koalition das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) an die aktuelle Lage angepasst haben: Speziell windstarke Standorte, v. a. in Küstennähe, müssen mit einer Reduzierung der Förderungssätze rechnen [1]. Aufgrundessen werden Standorte von Windenergieanlagen (WEA) im Inland lukrativer. Geeignete onshore WEA-Standorte werden zunehmend rar, weshalb diese zwangsläufig näher an Wohngebiete heranreichen. Selbst bei sehr großem Abstand zu Wohngebieten (10H-Regelung) müssen die WEA besonders strenge Geräuschemissions und -immissionsvorschriften einhalten (vgl. [6, 7]). Produktentwickler stehen deshalb bei der Entwicklung von WEA heute der Herausforderung gegenüber, neben den mechanischen, bspw. auch die akustischen Eigenschaften eines Produktes zu berücksichtigen.

Aus diesem Grund wurde das BMBF geförderte Verbundprojekt EUREKA-ALARM ins Leben gerufen. Ziel ist die Unterstützung des Produktentwicklers (PE) durch kontextsensitive Bereitstellung von entwicklungsrelevantem Wissen, sodass Optimierungspotentiale im Hinblick auf das akustische Verhalten schon in frühen Phasen des Produktenwicklungsprozesses (PEP) erkannt werden (siehe Bild 1). Hierfür wird ein Assistenzsystem (AS) zur lärmreduzierten Auslegung rotierender Maschinen (ALARM) am Beispiel einer Windenergieanlage entwickelt. [9]

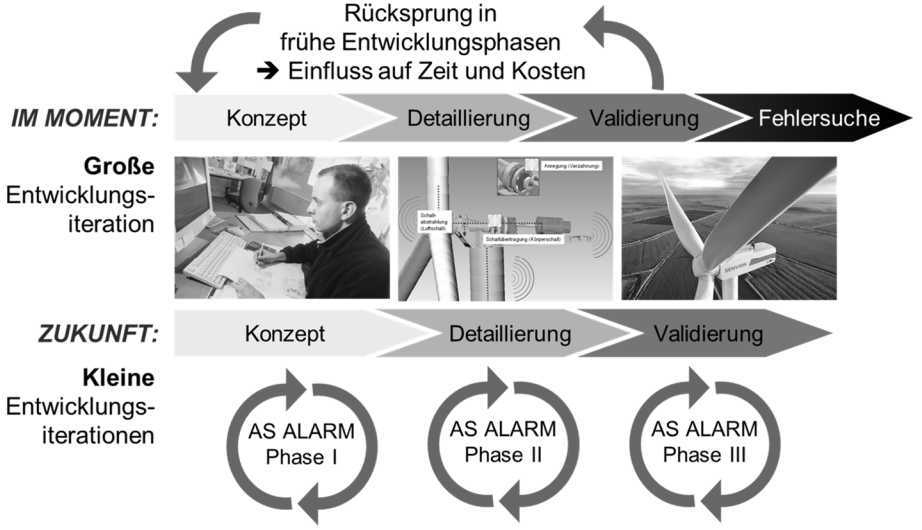

Bild 1: Der PEP heute und mit der Unterstützung des Assistenzsystems ALARM nach [2]

2 Allgemeine Herausforderungen und Stand der Entwicklungen

Im Themenbereich der Akustik gibt es die Herausforderung, dass die akustischen Produkteigenschaften erst nach der Fertigung und Montage des Produktes bekannt werden, wodurch meist zeit- und kostenintensive Iterationen am Ende des PEP notwendig sind. Normalerweise werden zum Offenlegen der Produkteigenschaften Simulationen in den frühen Phasen eingesetzt. Allerdings sind für Validierung von Akustiksimulationen gefertigte Bauteile notwendig, weshalb Akustiksimulationsergebnisse in sehr frühen Phasen oft nicht die akustischen Produkteigenschaften abbilden. In den späten Phasen des PEP stehen dem PE im besten Fall Messdaten von produzierten Komponenten und validierte Simulationsergebnisse zur Verfügung, die das Produktverhalten beschreiben. Hierzu zählen z. B. Schallemissionsmessungen, Messungen von Betriebsschwingungen oder validierte Mehrkörpersimulationsergebnisse. In der Regel kann die Ursache für eine unerwünschte akustische Produkteigenschaften durch genaue Analyse dieser Daten gefunden und durch Modifikation der Produktmerkmale eliminiert werden (z. B. durch gezieltes Versteifen von Strukturen zur Modifikation der Eigenfrequenzen). Ziel ist es, diese gewonnen Erkenntnisse für neue Produktgruppe bereits in den früheren Phasen des PEP gezielt zu nutzen, sodass bei der Serienfertigung des Produktes die spezifizierten akustischen Produkteigenschaften vorliegen.

3 Problemstellung

Eine WEA besteht aus sehr vielen Baugruppen (z. B. Getriebe, Generator, Elastomerlager der Drehmomentstütze). Je nach Komplexität der Baugruppe, beauftragt der Erstausrüster einen Zulieferer mit der Entwicklung und Herstellung der Baugruppe (siehe Bild 2). Zur Berücksichtigung des akustischen Verhaltens bei der Auslegung und Gestaltung der Baugruppe sind bereits in frühen Phasen des PEP Daten von anderen Baugruppen des Gesamtproduktes notwendig, die nicht durch das Pflichtenheft des Zulieferer erfasst werden können. Als Beispiel können hier die mechanischen Anregungen durch den Zahneingriff im Getriebe oder die Eigenfrequenzen des Maschinenträgers angeführt werden. Diese werden erst im Laufe der Konzeptphase analytisch oder simulativ ermittelt. Bei einem frühen Austausch kann der Erstausrüster den Entwicklungsprozess des gesamten Produktes, bzw. der einzelnen Baugruppen frühzeitig positiv beeinflussen. Die unerwünschten akustischen Eigenschaften des Produktes können durch eine geschickte Definition oder Kombination der Merkmale der einzelnen Bauteile oder Baugruppen kompensiert werden. Bspw. können die Anregungen durch die Zahngeometrie im Getriebe mittels einer passenden Wahl der Steifigkeit des Elastomerlagers der Drehmomentstütze ausgeglichen werden. Es ist zudem relevant, dass die

Entwicklungsingenieure der jeweiligen Baugruppen angehalten werden, die Informationen zeitnah auszutauschen, sodass erstens keine Verzögerungen im Gesamtentwicklungsprozess entstehen und zweitens keine entwicklungsrelevanten Daten unberücksichtigt bleiben. Dieser Austausch findet sehr häufig nicht oder nur unkoordiniert (informell) statt, wodurch Fehler erst nach dem Montieren der WEA in langen Stillstandszeiten beseitigt werden können, was gerade in der Energiebranche zu sehr hohen Kosten führt. [4]

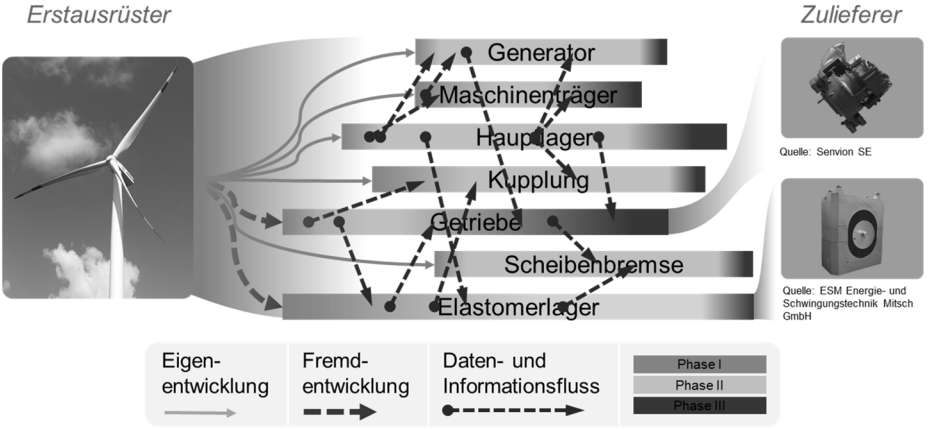

Bild 2: Daten- und Informationsfluss im PEP einer WEA nach [9]

Diese Beobachtung wird durch folgende Studien bekräftigt:

Im Jahr 2006 zeigt Voigt et al. [14] durch die ProWis-Studie die vielfältigen Herausforderungen und Probleme bei der Handhabung von Wissen im Unternehmen auf. Hierbei werden die beschleunigte Integration von neuen Mitarbeitern in bestehende Produktentwicklungsprozesse, die Verwendung von bereits vorhandenem Wissen für neue Projekte, die Nutzung von Wissen in Projekten und dessen Übertragung auf neue Projekte, sowie die Anwendung von Wissen für Produktoptimierung am häufigsten genannt.

Müller et al. [10] fasst in der Studie zur „Kollaboraturen Produktentwicklung und digitale Werkzeuge 2013" die heutige Arbeitsweise von Ingenieuren zusammen. Besonders interessant in diesem Kontext zeigen sich die Aussagen der PE zur Wahrnehmung der täglich durchgeführten Aufgaben und wie mühevoll diese wahrgenommen werden. Hier werden vor allem das Beschaffen und Auffinden von Daten und Informationen und Durchführen von Routinetätigkeiten als besonders belastende Aufgabe empfunden.

Turki et al. [13] führte 2014 eine Umfrage zur Identifikation der Hindernisse beim Transfer von Erfahrungswissen in Unternehmen durch. Hierbei zeigte sich, dass die Antwort des Befragten von deren Personalverantwortungssituation abhängt. Am häufigsten wurde der Mangel an Zeit, unflexible Organisationsstrukturen und die räumliche Distanz genannt.

Diese Studien zeigen im Allgemeinen den Bedarf der PE an Werkzeugen und Methoden zur Unterstützung beim Wissenstransfer und bei der kontextsensitiven Bereitstellung von entwicklungsrelevanten Daten. In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, der den PE bei der lärmreduzierten Auslegung rotierender Maschinen durch eine wissensbasierte Navigation hierbei unterstützt.

4 Konzept für eine wissensbasierte Navigation

In diesem Kapitel wird genauer auf das entwicklungsrelevante Wissen zur lärmreduzierten Auslegung rotierender Maschinen eingegangen und wie dieses Wissen akquiriert, repräsentiert, formalisiert und im Anschluss zur Verfügung gestellt wird.

4.1 Identifikation des Entwicklungswissens

Zur Identifikation des entwicklungsrelevanten Wissens wurde eine Methode aus dem Bereich der indirekten Wissensakquisition eingesetzt (siehe Abschnitt 4.2). Hierbei sind mehrere Gespräche von PE und Experten für die lärmreduziert Auslegung rotierender Maschinen beobachtet und dokumentiert worden [3, 4, 5, 8]: Die PE und Experten arbeiteten meist kollaborativ an den Problemstellungen und nutzten dazu bestehende Daten (z. B. Messungen oder Simulationsergebnisse). Zur Gewinnung von Erkenntnissen erfolgten ausgewählte Analysen (z. B. eine interaktive Visualisierung und Gegenüberstellung der Daten). Die Abfolge der Datenverarbeitung war entscheidend, da Zwischenergebnisse erzeugt und für weitere Analysen genutzt wurden. Aufgrund der gewonnen Erkenntnisse konnten Entwicklungsentscheidungen fundiert getroffen werden. Die Handhabung der Daten und das Vorgehen bei den Analysen begründeten die PE mit Erfahrungen. Verzögerungen bei der Entscheidungsfindung zeigten sich vor allem dann, wenn die Daten nicht verfügbar waren. Dies hatte den Grund, dass keine einheitliche Datenbasis für die verschiedenen Datenformate zur Verfügung stand, die Daten in einem nichtrechnerverarbeitbaren Format (z. B. PDF) vorlagen oder von Zulieferern noch nicht zur Verfügung gestellt wurden. Es wurde betont, dass die Vorgehensweisen flexibel angepasst werden, wenn sich neue Erkenntnisse ergeben.

Das Wissen zur lärmreduzierten Auslegung rotierender Maschinen manifestiert sich somit bei den Experten (Erfahrungswissen) und deren Umgang mit den Daten und den Analysemöglichkeiten (Methodenwissen). Das Methodenwissen stellt in diesem Ansatz die Entwicklungsaufgaben dar, die ein Entwicklungsziel verfolgen (z. B. „Entwicklung eines neuen Elastomerlagers"). Diese Aufgaben werden durch das Ausführen von Arbeitsanweisungen (z. B. „Akquiriere!", „Berechne!", „Visualisiere!", „Messe!", „Simuliere!"), im folgenden Aktivität genannt, und das Treffen von Entscheidungen definiert (z. B. „Sind die Steifigkeiten aus akustischer Sicht in Ordnung?"). Ebenso wird definiert, in welcher Phase des PEPs eine Aktivität oder Entscheidung durchgeführt oder getroffen wird. Die Aktivitäten dienen in erster Linie dazu, Daten zu akquirieren, die als Grundlage für eine Entscheidung benötigt werden. Hierbei wird beschrieben, welche Daten durch Analysen akquiriert werden oder wo die Daten zu finden und wie Daten akquiriert werden können. Die Entscheidungen lenken den Prozess je nach Antwort in eine andere Richtung. Ein Rücksprung auf bereits durchgeführte Aktivitäten oder getroffene Entscheidungen ist ebenso vorgesehen, wodurch Iterationen möglich werden.

4.2 Wissensakquise

Nach Spur et al. [12] und Rude [11] bestehen wissensbasierte Systeme aus fünf Hauptkomponenten: die Wissensakquistionskomponente, die Wissensbasis, die Inferenzkomponente, die Erklärungskomponente und die Dialogkomponente. Verfügbares Wissen kann über die Wissensakquisitionskomponente in die Wissensbasis überführt werden. Ebenso ist diese Komponente für die Administration der Wissensbasis zuständig. Es wird zwischen der direkten, indirekten und der automatischen Wissensakquisition differenziert. Bei der direkten Wissensakquisition kann der Experte sein Wissen über eine geeignete Dialogkomponente in das wissensbasierte System überführen. Die indirekte Wissensakquisition erfordert einen Wissensingenieur, der den Experten interviewt und darauffolgend das Wissen in eine strukturierte und abstrakte Form überführt und über die Wissensakquisitionskomponente in der Wissensbasis implementiert. Die automatische Wissensakquisition erweitert die Wissensbasis selbstständig ohne das Eingreifen des Menschen durch Literaturanalyse oder Methoden des maschinellen Lernens.

Das Wissen für die wissensbasierte Navigation kann einerseits durch direkte und indirekte Wissensakquisition in das Assistenzsystem vom Experten bzw. einem Wissensingenieur überführt werden. Hierfür wird eine intuitiv bedienbare, grafische Benutzeroberfläche als Dialogkomponente zur Verfügung gestellt. Eine automatische Wissensakquisition ist in diesem Fall nicht möglich, da das Entwicklungswissen nicht in geeigneter Form vorliegt.

4.3 Formalisierung des Entwicklungswissens

Den Kern eines wissensbasierten Systems stellt die Wissensbasis dar. Sie speichert das Wissen einer Domäne zur Wiederverwendung in einer rechnerverarbeitbaren Repräsentationsform ab. Spur et al. [12] teilt die wichtigsten Wissensrepräsentationsformen in vier Gruppen: logik-, regel-, constraint- und objektorientierte Repräsentation. In der logikorientierten Wissensrepräsentation werden Aussagen und Relationen verwendet, um Beziehungen und Objekte zu beschreiben. Die regelorientierte Repräsentation bildet das Wissen durch Regeln ab, die aus einer Prämisse und einer Konklusion und bestehen (WENN … DANN …). Die constraintbasierte Repräsentation stellt z. B. eine Beziehung zwischen zwei oder mehreren Variablen dar (z. B. $A = \mathrm{l} * \mathrm{b}$). Bei der objektorientierten Wissensrepräsentation wird das Wissen durch geordnete Objekte genutzt. Die bekanntesten Vertreter sind semantische Netze und Frames. Frames können als Beschreibung von Objekten in Karteikartenform verstanden werden. [12]

Das für die wissensbasierte Navigation benötigte Wissen manifestiert sich in Form von Aufgaben, Aktivitäten und Entscheidungen, sowie deren Abfolge und Abhängigkeiten. Die objektorientierte Wissensrepräsentationsform ermöglicht die Abbildung des Wissens. Der Vorteil dieser Repräsentationsform liegt darin, dass sie in den heute gängigen relationalen Datenbanken als Wissensbasis überführt werden kann, wodurch die sichere Verwaltung des Wissens gewährleistet wird.

4.4 Verwaltung und Bereitstellung des Wissens

Eine zentrale Wissensbasis zur Verwaltung und Bereitstellung des Entwicklungswissens ist für das kontinuierlich wachsende Wissen zur lärmreduzierten Auslegung nur bedingt geeignet. Eine Intention des hier vorgestellten wissensbasierten Systems ist u. a. das Experten- und Methoden wissen zu akquirieren, sodass der PE durch die Anwendung des Wissens Erkenntnisse hinzugewinnt und diese im besten Fall weiterentwickelt. Hierfür muss der PE die Möglichkeit haben, die hinterlegten Aufgaben, Aktivitäten und Entscheidungen sehr einfach zu modifizieren. Zuvor werden diese von einem Experten oder Wissensingenieur als sog. Projekte modelliert (Wissensakquisition) und dann dem PE als Vorlage zur Verfügung gestellt. Aus diesem Grund bietet sich eine verteilte Wissensbasis an, die die einzelnen Projekte für sich verwaltet (siehe Bild 4).

Der Vorteil einer verteilten Wissensbasis ist zudem, dass hierdurch das Assistenzsystem portabel bleibt, da keine (dauerhafte) Anbindung an eine

zentrale Wissensbasis benötigt wird. Zum anderen können PE Verbesserungen von einzelnen Projekten an die Experten zur Überprüfung verschicken und bei positiver Bewertung übernommen werden. Hierdurch profitieren beide Parteien gleichermaßen. Ebenso wird durch diese Flexibilität zum einen die Kreativität des PE zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Entwicklungsaufgaben gefördert. Zum anderen steigt die Akzeptanz dieses Assistenzsystems, da es nicht nur die vom Experten vorgegebenen Analysen der Daten diktiert, sondern dem PE größtmöglichen Freiraum in seiner Entscheidungsfindung lässt. Für die verteilte Wissensbasis eignen sich in diesem Fall relationale, dateibasierte Datenbanken.

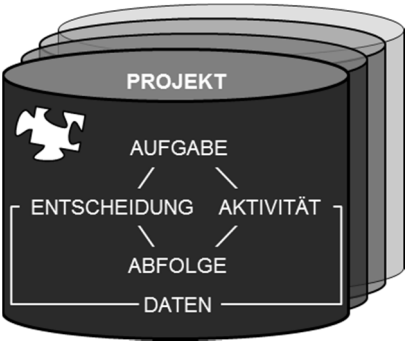

Bild 4: Aufbau der verteilten Wissensbasis

5 Implementierung im Assistenzsystem ALARM

Die Implementierung der wissensbasierten Navigation setzt sich aus einem Administrations- und einem Navigationsteil zusammen. Zuerst muss der Experte oder Wissensingenieur ein neues Entwicklungsprojekt anlegen. Hierdurch wird eine auftragsneutrale Wissensbasis (Template) als relationale, dateibasierte Datenbank angelegt und in einem vordefinierten Ordner für die Projekte lokal abgespeichert (siehe Bild 5).

Im ersten Wissensakquisitionsschritt muss der Experte oder Wissensingenieur die notwendigen Entwicklungsaufgaben, -aktivitäten und –entscheidungen im Administrationsteil des erzeugten Projektes modellieren (vgl. Bild 6). Die Aktivitäten und Entscheidungen sind einer bestimmten Phase des PEP zugeordnet, sodass der Entwicklungsnavigator zum richtigen Zeitpunkt auf die anstehende Aktivität oder Entscheidung hinweisen kann. Es ist ebenso wichtig, dass eine ausführliche Beschreibung in Prosaform hinzugefügt wird, die den Umgang mit den Daten im Detail beschreibt.

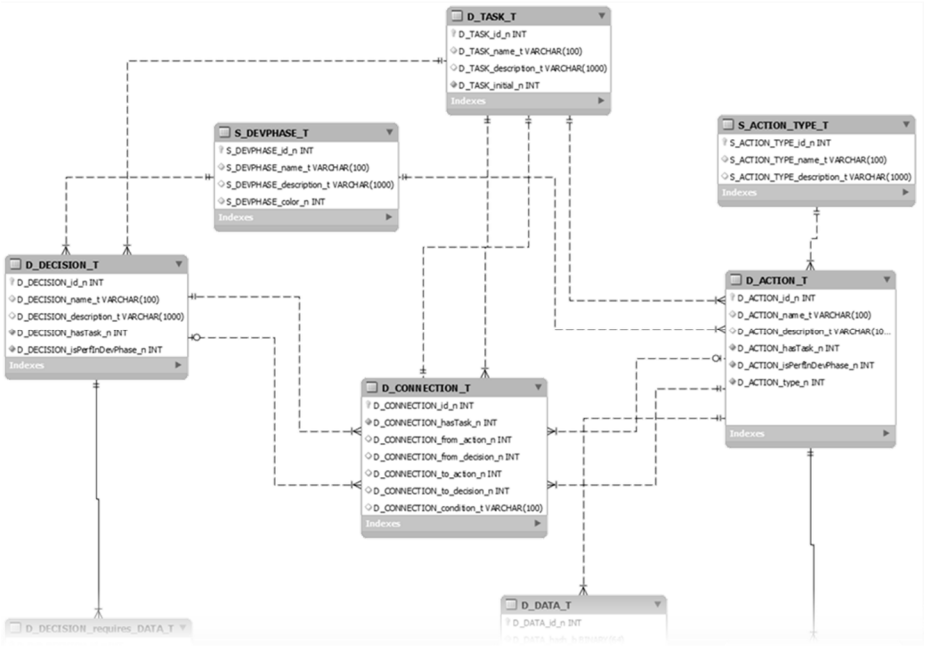

Bild 5: Ein Ausschnitt des ER-Diagramms der Wissensbasis als relationale, dateibasierte Datenbank

Im zweiten Schritt werden die Abfolgen zwischen den Aktivitäten und Entscheidungen modelliert. Hierbei folgt auf jede Aktivität entweder eine andere Aktivität oder eine Entscheidung. Eine Entscheidung kann auf mehrere Aktivitäten oder andere Entscheidungen zeigen, wobei jeder Pfad durch eine Bedingung beschrieben wird (z. B. „Steifigkeit > 50 N/mm" oder „Steifigkeit ≤ 50 N/mm"). Im letzten Schritt werden die Datenarten definiert, die in den Aktivitäten und Entscheidungen zu analysieren bzw. zu bewerten sind.

Während der Navigation werden die definierten Aktivitäten und Entscheidungen aller Entwicklungsaufgaben je nach Phase im PEP ausgeführt. Zum Durchführen der Aktivitäten werden zum Teil Daten vorausgesetzt. Das Resultat einer Aktivität stellen wiederum Daten dar, die durch einen beschriebenen Vorgang akquiriert werden. Bspw. werden für die Aktivität „Führe eine MK-Simulation aus" zum einen alle Axial- und Vertikalsteifigkeiten benötigt, zum anderen erzeugt diese Aktivität z. B. das Schallübertragungsverhalten, das zurück in das Assistenzsystem geführt wird. Entscheidungen basieren immer auf bereits akquirierten Daten des Assistenzsystems. Die Daten definieren mit

den hinterlegten Bedingungen, welche Aktivität oder Entscheidung als nächstes folgt.

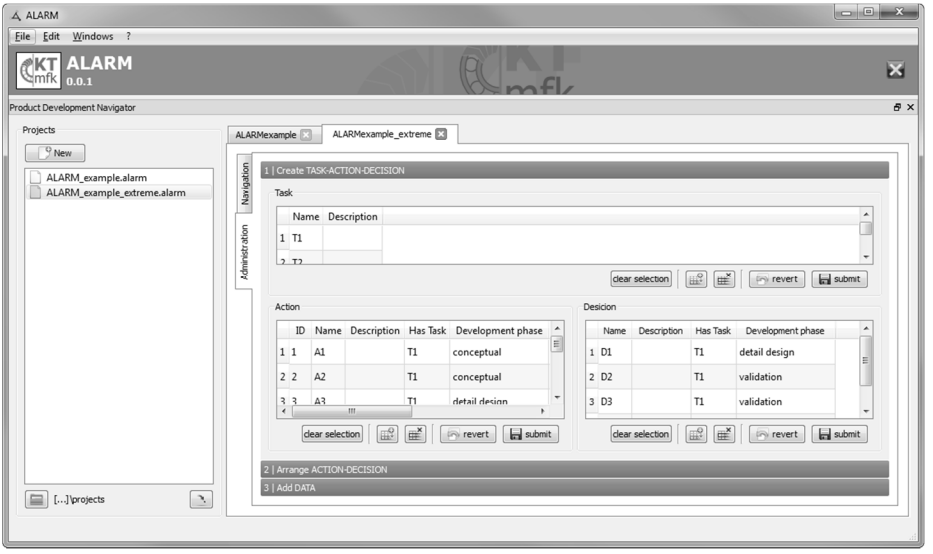

Bild 6: Dialogkomponente zur Wissensakquisition des Assistenzsystems ALARM

Die eigentliche Datenakquise wird in zwei Arten differenziert: intern und extern. Die interne Datenakquise findet nach dem Ausführen einer Analyse statt, die im Assistenzsystem direkt implementiert sind (z. B. die interaktive Visualisierung). Die externe Datenakquise bietet die Möglichkeit, in externen Werkzeugen Analysen mithilfe vom Assistenzsystem bereitgestellter Daten durchzuführen und die Analyseergebnisse über standardisierte Austauschformate wieder in das Assistenzsystem zurückzuspeichern. Hierdurch wird auch der rechtzeitige Austausch von Daten im PEP unterstützt, da z. B. eine Aktivität lauten kann: „Fordere Prüfstandprotokoll von Zulieferer Musterfirma GmbH an". Ebenso kann dadurch das Assistenzsystem sehr einfach durch weitere Analysemöglichkeiten erweitert werden.

6 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Zu Beginn des Betrags wurde gezeigt, dass aufgrund der komplexen Thematik der Akustik und die daraus resultierenden Schwierigkeiten ein Bedarf besteht, Produktentwickler in diesem Kontext wissensbasiert zu unterstützen. Hierfür wurde der Ansatz einer wissensbasierten Navigation vorge-

stellt, wobei insbesondere auf die Wissensidentifikation, die Wissensakquise, die Formalisierung, sowie der Verwaltung und Bereitstellung des Entwicklungswissen für die Domäne der lärmreduzierten Auslegung rotierender Maschinen eingegangen wurde. Die Implementierung in das Assistenzsystem ALARM war Fokus des sich anschließenden Kapitels/ein weiterer Fokus. Der hier präsentierte Ansatz stellt eine Möglichkeit dar, den Produktentwickler bei der lärmreduzierten Auslegung rotierender Maschinen zu unterstützen. Hierbei wird Experten- und Methodenwissen für die Verarbeitung und Analyse von Daten von akustischen Produkteigenschaften akquiriert und den Produktentwicklern zur Verfügung gestellt. Ebenso wird durch diesen Ansatz eine Plattform geschaffen, um Expertenwissen in eine strukturierte Form zu überführen, wodurch der Wissenstransfer begünstigt wird. Im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten wird die wissensbasierte Navigation durch eine mehrdimensionale Datenbasis erweitert, um den Zugriff auf bereits akquirierte Daten und deren Austausch zwischen den Produktentwicklern zu unterstützen. Ebenso wird ein Augenmerk auf den Möglichkeiten zur Datenanalyse liegen, die einerseits weiterentwickelt und andrerseits erweitert werden.

Danksagung

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Literatur

[1] ARD-aktuell (Hrsg.): "Bei der Windkraft wird gekürzt: Union und SPD beschließen radikalen Umbau", URL http://www.tagesschau.de /wirtschaft/windkraft124.html. Stand: 09.11.2013, Abruf: 23.07.2014.

[2] EUREKA-ALARM: "Rahmenplan des Verbundprojekts EUREKA-ALARM", Karlsruhe, 2011.

[3] EUREKA-ALARM: "Unveröffentlichtes Gesprächsprotokoll von C. Küstner", Rimbach-Mitlechtern, 10.05.2013.

[4] EUREKA-ALARM: "Unveröffentlichtes Gesprächsprotokoll von C. Küstner", Osterrönfeld, 24.02.2013.

[5] EUREKA-ALARM: "Unveröffentlichtes Gesprächsprotokoll von C. Küstner", Kontich (Belgien), 03.03.2014.

[6] FGW e. V. (Hrsg.): "Technische Richtlinie für Windenergieanlagen", 2008.

[7] IEC 61400-11 (2.1): "Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques", 2006.

[8] Karbach, W.: "Methoden und Techniken des Knowledge Engineering", 1988.

[9] Küstner, C. et al.: "Design for noise reduction – The architecture of an engineering assistance system for the development of noise-reduced rotating systems", In: ICED 13 – 19th International Conference on Engineering Design, Seoul, 2013.

[10] Müller, P. et al.: "Kollaborative Produktentwicklung und digitale Werkzeuge: Defizite heute – Potenziale morgen; eine Studie der CONTACT Software GmbH, des Fraunhofer IPK und des VDI", Fraunhofer IPK, Berlin, 2013.

[11] Rude, S.: "Wissensbasiertes Konstruieren", Habilitationsschrift, Shaker, Aachen, 1998.

[12] Spur, G. et al.: "Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik", Hanser, München, 1997.

[13] Turki, T. et al.: "Bedeutung von Erfahrungswissen in der Produktentwicklung", Konstruktion, Vol. 3, S. 85–90, 2014.

[14] Voigt, S. et al.: "Wissensmanagement in produzierenden KMU: Bedeutung und Herausforderungen – ProWis-Studie", Fraunhofer IPK, Magdeburg, Berlin, 2006.