SCHLUSSBERICHTERSTATTUNG

Förderschwerpunkt Präventiver Arbeits- und Gesundheitsschutz

BMBF-PROJEKT "IMMMA"

Interaktive Module zur Umsetzung der Maschinenrichtlinie in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen- und Anlagen

Themenfeld: Betriebliches Innovationsmanagement

Aktenzeichen: ATFA01195805

Die Berichterstattung umfasst folgende vier Teile:

Teil 1:

Schlussbericht Projekt IMMMA

Teil 2:

Erfolgskontrollbericht

(für jedes Teilvorhaben, definiert als Teilprojekt mit eigenem Förderkennzeichen)

Teil 3 und 4 (gesondertes Dokument):

Berichtsblatt (deutsch – für jedes Teilvorhaben, Definition s. o.)

Berichtsblatt (englisch – für jedes Teilvorhaben, Definition s. o.).

Teil 1: Schlussbericht Projekt IMMMA Tobias Berens, Andrea Lange, Hans Szymanski Berufsforschungs- und Beratungsinstitut für interdisziplinäre Technikgestaltung e.V., Bochum Alexander Kroys, Torsten Schulz Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Otto-von-Guericke Universität – Institut für Berufs- und Betriebspädagogik,

Klaus Jenewein, Wilhelm Termath

Magdeburg

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung		5	
2 Vo	oraussetzungen zur Durchführung	6	
	Defizite im CE-Kennzeichnungsverfahren		
2.1			
2.2	Visualisierung von Maschinen und Anlagen		
2.3	Handlungsorientierung als didaktisches Leitprinzip für die Weiterbildung		
2.3.1 2.3.2	Qualifikationen und Kompetenzen Entwicklung von Handlungskompetenz		
2.3.2	Medieneinsatz - Potenziale von Technologien der virtuellen Realität		
2.3.4	Lernleistung erhöhen durch Virtual Reality		
3 Au	ufgabenstellung	16	
3.1	In der Entwicklung – Gefahrenmomente erkennen und ausschließen	17	
3.2	Vor und während des Betriebes – Gefahrenmomente vermeiden		
3.3	Relevante Gefahrenmomente in der Maschinenbetreuung minimieren		
3.4	In der Instandhaltung und Reparatur – Expertenwissen reproduzierbar macher		
3.5	Zusammenfassung		
4 Pla	anung und Ablauf	20	
4.1	Wissenschaftlicher und technischer Stand auf dem aufgesetzt wurde	21	
4.2	Zusammenarbeit mit weiteren Stellen und Partnern		
4.2.1	Firma Schiess GmbH in Aschersleben		
4.2.2	Firma Staedtler-Mars GmbH & CO KG in Nürnberg		
4.2.3	Firma Nils-Simmons-Hegenscheid GmbH in Erkelenz		
4.3	Der Projektbeirat		
5 Er	zielte Ergebnisse	27	
5.1	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse		
5.1.1	Der koordinierte CE-Prozess		
5.1.2	Neuer Prozess für die sichere Gestaltung von Maschinen und Anlagen		
5.1.3	Neue Formen der Arbeitsorganisation		
5.1.4	CE-Koordinator übernimmt koordinierende Rolle im Unternehmen		
5.1.5	Kommunikation über das interaktive 3-D-Maschinenmodell		
5.1.6	Produktsicherheit beginnt während der Entwicklung		
5.1.7	Vorteile für die Organisation bei zur Umsetzung		
5.2	Nutzung interaktiver 3-D-Maschinenmodelle für die Qualifizierung		
5.2.1	Technische Analyse und Ermittlung der Restrisiken		
5.2.2	Erkenntnisse aus den Prozessanalysen in den Unternehmen		
5.3	Vom 3-D-Maschinenmodell zum Wissens- und Trainingsmodul		

	5.4	Beispiele von Anwendungsszenarien	42
	5.4.1	Anwendungsszenario Schiess GmbH	43
	5.4.2	Anwendungsszenario Hegenscheidt GmbH & Co. KG	44
	5.4.3	Anwendungsszenario Staedtler GmbH & Co. KG	45
6	En	twicklung neue Arbeitsfelder	. 46
7	Wä	ährend des Projektes bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des	
		ftrags bei anderen Stellen	17
	Λu	ittags bei anderen Gtellen	. 41
8	Erf	olgte und geplante Veröffentlichungen der FE-Ergebnisse	. 49
9	Lite	eratur	. 51

1 Zusammenfassung

Die Herstellung von Maschinen und Anlagen innerhalb der EU erfordert die Einhaltung sicherheitstechnischer und ergonomischer Standards. Diese Anforderungen sind in der Maschinenrichtlinie (MaschRL) festgelegt und werden über Normen konkretisiert. Mit der Konformitätserklärung und der Vergabe des CE-Kennzeichens für die entsprechende Maschine bekunden Hersteller die Einhaltung der Anforderungen der MaschRL.

In einer Analyse von Konformitätsnachweisen (Lange, 2005) gaben mehr als 40% der untersuchten Hersteller Probleme mit der Verständlichkeit der MaschRL an. Diese Studie legt außerdem offen, dass durchgeführte Aktivitäten zur Konformitätserklärung häufig nicht der Systematik und den Ansprüchen der MaschRL entsprechen. Weiterhin wird verdeutlicht, dass Anleitungen und Hilfsmittel zur Erfüllung inhaltlicher Ansprüche der MaschRL sowie zum Prozessablauf bis hin zur Konformitätserklärung fehlen. Zudem bietet auch die betriebsinterne Zusammenarbeit zwischen Hydraulikern, Elektrikern, Mechanikern und Pneumatikern im interdisziplinären Team und die prozessbezogene Vorgehensweise zur Erstellung der Risikobeurteilung häufig Optimierungspotential.

Ziel des Projektes IMMMA ist es daher, den Akteuren im CE-Kennzeichnungsprozess eine unterstützende Methode zur Verfügung zu stellen, die eine Beschleunigung des Prozesses der Erteilung des CE-Kennzeichens bewirkt und einen Beitrag zur gesetzeskonformen Vorgehensweise leisten kann. Diese umfasst die Entwicklung eines Werkzeuges, das eine Systematik zur Risikobeurteilung bereitstellt, den Wissenstransfer unterstützt und ein einheitliches Verständnis der Maschinenrichtlinie unter den Verantwortlichen im CE-Kennzeichnungsverfahren fördert.

Basis hierfür ist eine eindeutige Darstellungsform der entsprechenden Maschine. Im Rahmen des Projektes IMMMA wurden 3D-Modelle von Maschinen und Anlagen entwickelt und als virtuellinteraktive Werkzeuge für die Gefahrenanalyse und Risikobeurteilung im CE-Kennzeichnungsverfahren erprobt. Sie visualisieren die Maschinen sehr realitätsnah und lassen deshalb wenig Spielraum für Fehlinterpretationen hinsichtlich der Konstruktion oder Funktionsweise zu. Sie ermöglichen die frühzeitige Identifizierung von Gefahrstellen bereits während des Konstruktionsprozesses der Maschine. Darüber hinaus fördern die Maschinenmodelle den Wissenstransfer zwischen allen beteiligten Fachdisziplinen und Prozessbeteiligten im Produktlebenszyklus. Nach einer fachdidaktischen Aufbereitung bieten sie als virtuell-interaktive Lernumgebung die technische Basis für die anwendungsorientierte Qualifizierung von Fachkräften in der Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung der Maschinen.

Um dem Unternehmen jedoch eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und gleichzeitig einen erfolgreichen Innovationsprozess zu initiieren, müssen die zusätzlich vorhandenen Potentiale im Unternehmen mit Hilfe von Technologien, dem Einsatz entsprechender Methoden in den Prozessen möglichst vollständig erschlossen und umgesetzt werden. Als Quelle für Innovationen sind dabei die gesamte Organisation und die Netzwerke des Unternehmens heranzuziehen. Dies bedeutet, dass auch Kunden und Lieferanten einbezogen werden, um deren Fähigkeiten zu nutzen und die eigenen Kompetenzen zu unterstützen. Bei der Suche nach Verbesserungspotential geht es neben der Ent-

wicklung von Innovationen auf allen Ebenen (Organisation, Prozess und Produkt) vor allen Dingen darum, bewährte Techniken, Vertriebswege und Managementstrukturen weiter zu entwickeln.

Entscheidende Anstöße für ein nachhaltiges, erfolgreiches Innovationsmanagement kommen aus der Führung eines Unternehmens und müssen den Erwerb von Wissen und Kompetenzen sowie die Erweiterung von Befugnissen fördern und gestalten. Ein gelebter Innovationsprozess ermöglicht den Erfahrungsaustausch verschiedener Disziplinen und fördert damit die Innovationskraft, gibt aber auch dem Einzelnen die Möglichkeit "Neues" einzubringen (Wolf, 2009). Somit muss Innovation auch Bestandteil von Unternehmensstrukturen und -strategien sein. Beispiele zeigen, dass die Integration von Sicherheitstechnik in Maschinen und Anlagen ein wesentliches Innovationspotential bildet, zu neuen Dimensionen der Anlage führt und darüber hinaus ein großes Sparpotenzial bietet (Tellbüscher, 2009). Dabei ist es wesentlich, nicht mehr nur in Modulen und Teillösungen zu denken, sondern die Gesamtlösung im Blick zu haben: Damit ist das Denken und Handeln in Systemen gefordert.

2 Voraussetzungen zur Durchführung

Im Projekt IMMMA wurde der Ansatz vertreten, Prävention als eine in den Entwicklungsprozess von Maschinen integrierte Maßnahme sowie als ganzheitliches Managementkonzept (s. Abbildung 01) zu etablieren und bezieht sich in dieser Hinsicht auf den in der Förderbekanntmachung des BMBF "Präventiver Arbeits- und Gesundheitsschutz" zur betrieblichen Innovation am Arbeitsplatz beschriebenen Erwartungshorizont.

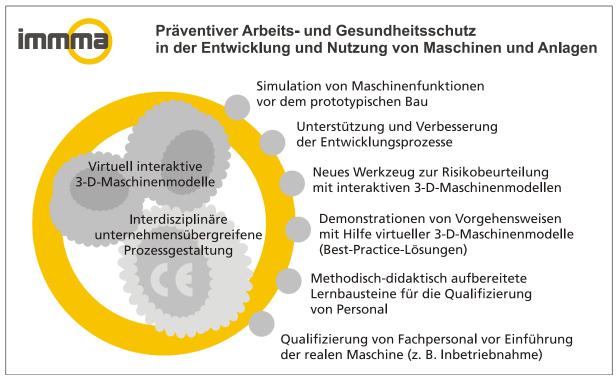


Abbildung 01: Ziele des Projektes IMMMA

In der Operationalisierung dieses Ansatzes wurde das Projekt vorwiegend auf der Basis einer integrierten Konzeption beschrieben und die Entwicklungsleistungen im Rahmen des Projektvorgehens und der Umsetzung aus den industriellen Anforderungen heraus konstituiert. Die Ergebnisse entstanden somit direkt aus der Arbeitsweltperspektive heraus (Bottom-Up Ansatz) und unterstützen ein ganzheitliches und nachhaltiges Innovationsmanagement. Zuwendungsempfänger waren das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) in Magdeburg, das Berufsforschungs- und Beratungsinstitut für interdisziplinäre Technikgestaltung e. V. (BIT) in Bochum sowie die Otto-von-Guericke Universität – Institut für Berufs- und Betriebspädagogik, Lehrstuhl Fachdidaktik technischer Fachrichtungen (OVGU) ebenfalls in Magdeburg.

Die beteiligten Forschungspartner ergänzen sich inhaltlich für die Umsetzung der Zielsetzung: Arbeitssicherheit, Arbeits- und Gesundheitsschutz, rechtliche Rahmenbedingungen (BIT e.V.), innovative Virtual Reality Technologien für Entwicklung und Training (Fraunhofer IFF), sowie der Bereich Qualifizierung und Fachdidaktik (OVG Universität).

2.1 Defizite im CE-Kennzeichnungsverfahren

Präventiver Arbeits- und Gesundheitsschutz bedeutet für die Umsetzung der Maschinenrichtlinie, dass die von der Maschine ausgehenden Gefahren bereits während des Konstruktionsprozesses zu vermeiden sind. Dabei ist nicht nur der Normalbetrieb, sondern der gesamte Lebenszyklus der Maschine (s. Abbildung 02) in die Betrachtung einzubeziehen. Dies schließt eine Dokumentation der Gefahrenanalyse bzw. der Risikobeurteilung ein. Gleichzeitig ist das Bedienpersonal über den Umgang mit verbleibenden Restrisiken in allen Lebensphasen der Maschine bzw. Anlage (im Normalbetrieb, bei der Störungsbeseitigung, der Wartung und Instandsetzung etc.) im Rahmen der Betriebsanleitung einzuweisen.

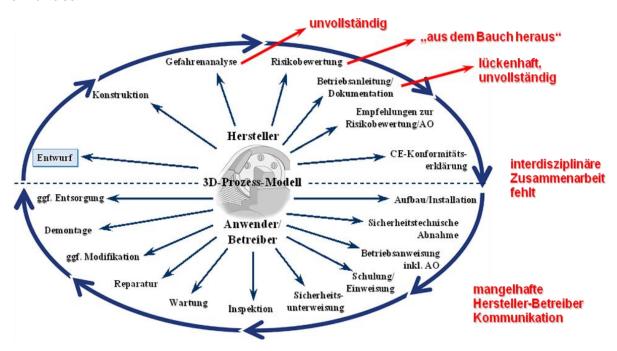


Abbildung 01: Lebenszyklus der Maschine / Anlage aus Sicht des Arbeitsschutzes (Lange, 2006)

Eine Studie zur Analyse von Konformitätsnachweisen in KMU (Lange, 2005) des Berufsforschungsund Beratungsinstituts für interdisziplinäre Technikgestaltung (BIT) ermittelte eine Vielzahl von Defiziten und Übertragungsfehlern im Prozess der CE-Kennzeichnung. Viele Unternehmen wissen nicht, wie die Anforderungen der MaschRL in den betrieblichen Alltag integriert werden können, beziehungsweise dass sie integriert werden müssen.

Gefahrenanalysen und Risikobeurteilungen werden zwar von der Mehrzahl der Unternehmen durchgeführt, ihre Qualität jedoch entspricht sehr häufig nicht den Anforderungen des Anhangs I der MaschRL. Im Gesamtprozess sind Lücken insbesondere dahingehend festzustellen, dass nicht alle Lebensphasen und Betriebszustände der Maschine berücksichtigt werden, was erhebliche Sicherheitsmängel zur Folge haben kann. Häufig fehlen die Lebensphasen Bau, Montage und Transport. Nur selten werden Demontage und Entsorgung berücksichtigt. Oft werden verkürzte Gefahrenanalysen durchgeführt, was zur Folge hat, dass nicht alle auftretenden Gefahren systematisch ermittelt werden. Hinzu kommt, dass viele Unternehmen Gefahrenanalysen und Risikobeurteilungen erst nach der Konstruktion durchführen, wodurch die eigensichere Konstruktion nicht mehr gewährleistet werden kann und funktional unzulängliche technische Schutzmaßnahmen und Benutzerhinweise als Alternativen genutzt werden. Laut der o.g. Studie (Lange, 2005) ist in den einzelnen Fachabteilungen der Unternehmen unterschiedlich ausgeprägtes Fachwissen, insbesondere zur Risikobeurteilung, festzustellen. Wissenslücken und damit gleichzeitig Unkenntnis über mögliche Vorgehensweisen im Rahmen der Risikobeurteilung bestehen auch im Bereich Elektrik, Pneumatik und Hydraulik. Insgesamt kann festgestellt werden, dass Gefahrenanalysen unvollständig und Risikobeurteilungen meistens auch "aus dem Bauch heraus" durchgeführt werden. Im Zusammenhang mit der Risikobeurteilung sind auch die Defizite bei der Bestimmung der Restrisiken zu betrachten, die einen wichtigen Hinweis für den Umgang der Betreiber mit der Maschine bilden sollen. Nur wenige Hersteller leiten die Restrisiken aus der Risikobeurteilung ab.

Pflichtenhefte, die Aspekte von Sicherheit und Gesundheit enthalten, werden nur von wenigen Unternehmen als Kommunikationsbasis genutzt. Sicherheitstechnische Aspekte werden nicht im Vorfeld mit dem Betreiber diskutiert. Die Folge sind Unstimmigkeiten zwischen Hersteller und Betreiber über das Sicherheitskonzept, was häufig zu Nachbesserungen und damit zu nachträglichen Kosten und Aufwendungen führt, die im Vorfeld nicht mit einkalkuliert worden sind.

In vielen Unternehmen fehlt aber auch die Integration der Anforderungen der Maschine in die betrieblichen Abläufe. Die Konstrukteure arbeiten als Einzelkämpfer nebeneinander und kaum in systematischer Teamarbeit. Die Folge ist ein sequentielles und damit zeitaufwändiges Vorgehen im CE-Prozess. Hierbei ist lediglich die korrekte Einhaltung von Verfahrensweisen im Sinne eines Qualitätsmanagements in den Unternehmen von Bedeutung. Die Arbeitsergebnisse werden in den Prozessen an die nachgelagerte Stelle weitergereicht. Infolgedessen fehlen häufig kooperative Entscheidungsprozesse. In der folgenden Grafik (s. Abbildung 3) wird dieser Aspekt im Zusammenhang mit der im Projekt IMMMA angestrebten integrativen Herangehensweise dargestellt.

Integration im Rahmen von Maschineninvestitionen = interdisziplinäre Zusammenarbeit

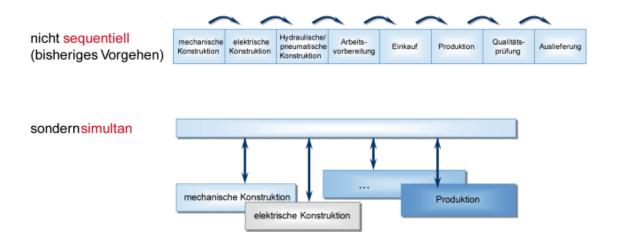


Abbildung 03: Interdisziplinäre Zusammenarbeit im Maschinenbauprozess (Lange, 2006)

Die zeitliche Verzögerung bei der Erstellung der Betriebsanleitung ist ein Mangel, der ebenfalls zu beobachten ist. Auch hier liegt die Ursache in der sequentiellen Vorgehensweise. Die Maschine wird gebaut; erst anschließend erfolgt die Dokumentation der Betriebsanleitung. Ereignet sich während der Inbetriebnahme und vor der (vollständigen) Erstellung der Betriebsanleitung ein Unfall, kann dies für den Hersteller und auch den Betreiber haftungsrechtliche Konsequenzen haben.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Umsetzung ergonomischer Erkenntnisse. Hier fehlen den Konstrukteuren häufig Basiskenntnisse zur menschengerechten Maschinengestaltung. In der Praxis führt dies dazu, dass die Maschine / Anlage mit Mängeln geliefert wird, die die Bediener physisch und psychisch überfordern können.

Der Druck des Marktes, Maschinen möglichst kurzfristig zu liefern, wirkt ebenso der Teamarbeit entgegen. Die Zeitspanne vom Auftragseingang bis zur Auslieferung der Maschine ist oft so kurz, dass sich die beteiligten Disziplinen weder die Zeit nehmen sich mit dem Thema CE-Konformität auseinanderzusetzen (Kenntnisdefizite), noch mit anderen Disziplinen im Unternehmen zusammen zu arbeiten. Gegensätzlich dazu wurden in den Unternehmen, in denen die Integration des Konformitätsverfahrens als Schlüsselqualifikation erkannt wurde, Beteiligte und Verantwortliche im Prozess festgelegt und es zeigt sich, dass häufig eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erfolgt. Diese Zusammenarbeit hat im Ergebnis i.d.R. zur Steigerung der Produktivität geführt, auch wenn zunächst ein erhöhter Aufwand geleistet werden musste.

Neben der fehlenden Kommunikation innerhalb des Entwicklungs- und Konstruktionsbereiches ist auch die mangelnde Einbeziehung vor- und nachgelagerter Prozesse (z. B. des Vertriebes oder der Arbeitsvorbereitung) ein Grund für einen "unsauberen" CE-Prozess.

Fehlende Standards beim Pflichten- und Lastenheft, mangelnde Kenntnis über Aufwand und Kosten von Sicherheitsanforderungen, Kommunikationsdefizite zwischen Kunde / Betreiber und Konstruktion / Vertrieb sowie sicherheitstechnische Gestaltungsoptionen bei der Umsetzung von Sicherheitsanforderungen sind somit nur einige wenige Beispiele, die jedoch ein erhebliches Optimierungspotential aufzeigen. Insgesamt birgt das sequenzielle Vorgehen ein hohes Risiko an Informationsverlust, langwierige Entwicklungs- und Produktionszeiten und damit eine geringere Wettbewerbsfähigkeit. Besonders in diesem Bereich kann über Prozessinnovationen im Unternehmen aus einem Wettbewerbsdefizit ein Vorteil aufgebaut werden.

Das Projekt IMMMA geht dabei von der Annahme aus, dass der Einsatz von virtuell-interaktiven 3-D-Modellen eine wesentliche Grundlage für die Optimierung des CE-Kennzeichnungsprozesses und seiner betrieblichen Integration darstellt.

2.2 Visualisierung von Maschinen und Anlagen

Zur Visualisierung der Maschinen und Anlagen wird Virtual Reality eingesetzt. Virtual Reality (VR) bietet vielseitige Möglichkeiten zur Visualisierung von Maschinen und Anlagen sowie zur Simulation technischer Vorgänge (u. a. Maschinenfunktionen) und Prozesse.

Der Begriff Virtual Reality bzw. virtuelle Realität (VR) beschreibt eine vom Computer geschaffene dreidimensionale Umwelt, die vom Computer in Echtzeit dargestellt wird. Die Besonderheiten dieser Darstellungsart sind die Möglichkeiten zur Interaktion und der Immersion. Die Interaktion definiert sich durch den Einfluss des Anwenders auf die virtuelle Welt in Echtzeit. Der Anwender kann sich in der virtuellen Welt frei bewegen bzw. navigieren und Gegenstände im Raum manipulieren, z. B. im Raum bewegen. Jede Aktion des Anwenders löst eine Reaktion des Systems aus. Die Immersion beschreibt das Eintauchen des Anwenders in diese Welt und damit die Tiefe des Empfindens eines Anwenders in der virtuellen Welt agieren zu können.

Die Art des Abbilds der realen in der virtuellen Welt, der Reaktion des Systems auf die Aktionen des Anwenders und die Ein- und Ausgabegeräte zum Umgang mit der virtuellen Realität bestimmen den Grad der Interaktion und der Immersion.

Mit Hilfe von VR werden komplexe Zusammenhänge durch den Anwender aktiv erlebt und damit leichter verständlich. Durch Integration von speziellem Fachwissen können virtuelle Modelle von Maschinen und Anlagen als Wissensspeicher genutzt werden und mit digitalen Medien gekoppelt werden. Sie ermöglichen als Lernmedium gefahrlose Lernhandlungen, ohne im Vergleich zur Realität, technische und personelle Verfügbarkeit berücksichtigen zu müssen. Qualitativ hochwertig können ideale (best practice) und fehlerhafte Lösungswege integriert und dargestellt werden.

Insbesondere die Interaktion und höhere Immersion im Vergleich zu konventionellen Medien (z. B.: Bücher, Videos), auch im Vergleich zu Visualisierungen mit CAD-Programmen, kann zu einer verbesserten Reflektion der in VR dargestellten Inhalte (Maschinen und deren Bewegungsabläufe) führen. In gleicher Weise kann VR die Dokumentation und die Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen beim Kunden unterstützen.

Die Darstellung von Maschinen und Anlagen mit Konstruktionsprogrammen (CAD-Programmen) ist meist statisch und bietet bisher nur wenig Spielraum zur Abbildung von Bewegungsabläufen (Animationen). Modelle werden in den CAD-Programmen i. d. R. immer nur in Form von einzelnen Baugruppen dargestellt. Aufgrund der Ausrichtung aller Funktionsinhalte auf die Konstruktion von Maschinen und Anlagen sind die Möglichkeiten zur gleichzeitigen Abbildung aller Baugruppen nur rudimentär oder gar nicht gegeben.

Insbesondere zur Darstellung von Gefahren sind vollständige, bewegte Modelle (Berücksichtigung der Kinematik) und die Möglichkeit, sich um die Maschine oder innerhalb der Anlage in einfacher Weise frei zu bewegen (navigieren), unverzichtbar.

Zudem sind in CAD-Programmen keine Möglichkeiten zur Erstellung von Trainingsszenarien gegeben. Daher eignen sich diese Programme zur Visualisierung von Maschinen und Anlagen im Rahmen der Zielvorstellungen des Projektes IMMMA (Nutzung von virtuell-interaktiven Modellen von Maschinen und Anlagen in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen) nicht.

Zur Visualisierung der Maschinen und Anlagen in Form von virtuellen Modellen in VR kommt die VDT-Plattform des IFF Magdeburg zum Einsatz. Sie bietet vielseitige, einfach anzuwendende Funktionen zur Erstellung bewegter Modelle, zur Erstellung von Trainingsszenarien oder zur einfachen Navigation eines Nutzers im VR-Szenario. Die Bewegungsabläufe können in einem beliebigen Zeitintervall wiedergegeben werden (in Echtzeit, in Zeitraffer oder verlangsamt). Durch die flexible informationstechnische Struktur der VDT-Plattform ist es relativ einfach, neue Funktionen in Form von Plugins zu entwickeln und zu integrieren (z. B. Plugins für Annotationen, Datenbankanbindungen, CE-konforme Eingabemasken, Füllen von Maßnahmenblättern , Materialabtrag oder Physiksimulation). Die Maschinen und Anlagen können realistisch in der VDT-Plattform dargestellt werden, da erstellte Fotos zur Texturierung ("Aufbringen von Farben, Bildern, Strukturen und Mustern auf Bauteilflächen") genutzt werden können.

Weiterhin ist die eigentliche Visualisierung über die VDT-Plattform für Unternehmen im Vergleich zur Anschaffung von neuen CAD-Lizenzen relativ günstig und flexibel. Die Modelle können vom Laptop mit oder ohne Beamer, in einer CAVE (Cave Automatic Virtual Environment - bezeichnet einen Raum zur Projektion einer dreidimensionalen Illusionswelt der virtuellen Realität.), auf einer mobilen Projektionswand mit Stereo-Effekt oder ohne einfach dargestellt werden. Diese Skalierbarkeit ist insbesondere zur Präsentation oder Besprechung in einem Team zum Informationsaustausch (z. B. Design Review) von Vorteil. Sämtliche Visualisierungen im Projekt werden daher mit der VDT-Plattform umgesetzt.

VR bietet somit die Möglichkeit, in verschiedenen Prozessschritten des CE-Verfahrens zum Einsatz zu kommen und als gemeinsame Kommunikationsbasis eine Optimierung vorhandener Strukturen und Prozesse zu unterstützen.

2.3 Handlungsorientierung als didaktisches Leitprinzip für die Weiterbildung

2.3.1 Qualifikationen und Kompetenzen

Qualifikationen sind "Fertigkeiten, Kenntnisse und Wissensbestände, die im Hinblick auf ihre Verwertbarkeit bestimmt werden. Die Bestimmung von Qualifikationen ist also primär an aktuellen Anforderungen oder einer prognostizierten Nachfrage orientiert." Qualifikationen sind demnach die Gesamtheit der Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse, über die ein Mensch zur Ausübung seiner beruflichen Tätigkeit verfügt bzw. verfügen sollte.

Die qualifikatorischen Anforderungen an technische Fachkräfte gehen jedoch weit über das Curriculum des technischen Fachwissens hinaus. Die Verfügung über umfangreiches und interdisziplinäres Fachwissen ist eine Grundvoraussetzung für die Aufgabenbewältigung und muss laufend aktualisiert werden. Hinzu kommt die Notwendigkeit, ökonomische, ökologische und juristische Aspekte einzubeziehen. Die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams verweist auf Anforderungen wie Teamfähigkeit und Verantwortungsbewusstsein.

Wegen der besonderen Bedeutung der Kooperation über Disziplinen und Hierarchieebenen hinweg soll im Folgenden der Begriff der Qualifikationen um den Begriff der Kompetenzen ergänzt werden.

Der Kompetenzbegriff steht seit einigen Jahren in Deutschland und in vielen europäischen Staaten im Zentrum der Bemühungen, den Nachweis von Kompetenzen aus der Teilnahme an Weiterbildungsveranstaltungen, der beruflichen Praxis oder dem sozialen Umfeld zu einem zentralen Kriterium für Entscheidungen in der Personalentwicklung zu machen (Erpenbeck u. Rosenstiel, 2003).

Demnach steht die Entwicklung von Handlungskompetenz im Zentrum berufspädagogischen Handelns, die sich in den Dimensionen Fachkompetenz, Humankompetenz und Sozialkompetenz entfaltet. Sie wird verstanden als Bereitschaft und Befähigung des Einzelnen, sich in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen sachgerecht durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten.

Integraler Bestandteil sowohl von Fachkompetenz als auch von Human-(Selbst-)Kompetenz sowie von Sozialkompetenz sind Methodenkompetenz, Lernkompetenz und kommunikative Kompetenz. Hierbei handelt es sich um Akzentuierungen, die für die Entwicklung von Handlungskompetenz prägnant sind, keinesfalls jedoch um isoliert zu betrachtende Dimensionen von Handlungskompetenz.

Fachkompetenz bezeichnet die Bereitschaft und Befähigung, auf der Grundlage fachlichen Wissens und Könnens Aufgaben und Probleme zielorientiert, sachgerecht, methodengeleitet und selbstständig zu lösen und das Ergebnis zu beurteilen.

Humankompetenz bezeichnet die Bereitschaft und Befähigung, als individuelle Persönlichkeit die Entwicklungschancen, Anforderungen und Einschränkungen in Familie, Beruf und öffentlichem Leben zu klären, zu durchdenken und zu beurteilen, eigene Begabungen zu entfalten sowie Lebenspläne zu fassen und fortzuentwickeln. Sie umfasst Eigenschaften wie Selbstständigkeit, Kritikfähigkeit, Selbstvertrauen, Zuverlässigkeit, Verantwortungs- und Pflichtbewusstsein. Zu ihr gehören insbesondere auch die Entwicklung durchdachter Wertvorstellungen und die selbstbestimmte Bindung an Werte. Sozialkompetenz bezeichnet die Bereitschaft und Befähigung, soziale Beziehungen zu leben und zu

gestalten, Zuwendungen und Spannungen zu erfassen und zu verstehen sowie sich mit anderen rati-

Schlussbericht BMBF-PROJEKT "IMMMA"

onal und verantwortungsbewusst auseinanderzusetzen und zu verständigen. Hierzu gehört insbesondere auch die Entwicklung sozialer Verantwortung und Solidarität.

Methodenkompetenz bezeichnet die Bereitschaft und Befähigung zu zielgerichtetem, planmäßigem Vorgehen bei der Bearbeitung von Aufgaben und Problemen, z.B. bei der Planung der Arbeitsschritte.

2.3.2 Entwicklung von Handlungskompetenz

Die Entwicklung von beruflicher Handlungskompetenz beruht auf handlungsorientierten Lernprozessen. bei denen Denken und Handeln eine integrative Einheit bilden. Das Planungs-und Entscheidungshandeln steht in enger Verbindung mit gegenständlich-praktischen und begrifflichkommunikativen Aktivitäten der Lernenden.

Eine Handlung kann definiert werden als bewusstes, zielgeleitetes Tun, d.h. Arbeits- oder Lernziele bestimmen ein Vorgehen, das absichtsvoll ausgeübt wird. Die typischen Phasen einer Handlung sind in Abbildung 04 dargestellt. Wenn alle aufgeführten Komponenten in einer Handlung vorkommen, spricht man von einer vollständigen Handlung.

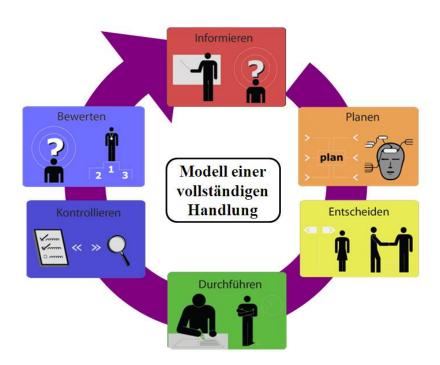


Abbildung 04: Modell der vollständigen Handlung

Mit dem Einsatz situationsbezogener Lernaufgaben in einem Weiterbildungslehrgang sollen vollständige berufstypische Handlungen nachvollzogen werden. Die Teilnehmer sollen auf der Basis der Situationsbeschreibungen Probleme erkennen bzw. die Aufgabenstellungen verstehen.

Im zweiten Schritt analysieren sie die Ausgangssituation durch das Beschaffen von Informationen und das Sichten der Arbeitsunterlagen, z.B. der Anhänge der Aufgaben. In der Handlungsplanung stellen sie Arbeitsschritte zusammen, die es zu koordinieren gilt.

Auf der Grundlage unterschiedlicher Kriterien einigen die Teilnehmer sich auf ein bestimmtes Vorgehen und führen den Handlungsplan aus.

Danach wird das Ergebnis bewertet und auf einer Metaebene das gemeinsame Vorgehen reflektiert. Ziel der handlungsorientierten Gestaltung von Weiterbildungsmaßnahmen ist es, die Lernenden aktiv in die Bewältigung vollständiger Handlungen einzubinden und somit ihre berufliche Handlungsfähigkeit zu erweitern.

Diese Handlungskompetenz zeichnet sich durch die Fähigkeit zu kritischem, reflektiertem, verantwortungsbewusstem und selbständigem Denken und Handeln, zu Teamfähigkeit, Kommunikation, Mobilität und Flexibilität sowie zu selbstorganisiertem Lernen aus. Der Lehrgangsteilnehmer erwirbt das nötige Know-how, selbständig unterschiedliche Probleme und Aufgabenstellungen aus der Praxis angehen und bewältigen zu können.

2.3.3 Medieneinsatz - Potenziale von Technologien der virtuellen Realität

Wie oben dargestellt, steht der Erwerb von Handlungskompetenz im Mittelpunkt der konzeptionellen und didaktischen Überlegungen. Der Erwerb handlungsorientierter Kompetenzen erfordert die Bewältigung realer Aufgabenstellungen aus der beruflichen Praxis. In diesem Zusammenhang stellt sich das Problem der Verfügbarkeit von entsprechenden Betriebsmitteln, Maschinen oder Anlagen. Der Lösungsansatz des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg besteht darin, die Bearbeitung realer Arbeitsaufgaben durch den Einsatz virtuell-interaktiver Modelle von Maschinen und Anlagen zu ermöglichen. Mit den Technologien der Virtuellen Realität (VR) wurden zunächst virtuelle, als Computermodell vorliegende dreidimensionale Objekte dargestellt. Nach der Erstellung der Objektgeometrie wurde das Verhalten der Maschine bzw. Anlage beschrieben und implementiert, sodass mit der Darstellung der Bewegungen von Bauteilen und -gruppen auch die Funktionalitäten erkennbar wurden. Die Visualisierung der Umgebung hat zusätzlich einen realitätsnahen Bezug zur tatsächlichen Arbeitsumgebung geschaffen. In der didaktischen Ausgestaltung wurden u.a. Arbeitsaufgaben und -lösungen beschrieben, die das Feedback für den Lernenden und die Auswertung des Lernerfolgs ermöglichen. Die Verwendung der VR-Technologie machte es dabei möglich, sämtliche Arbeitsabläufe im kleinsten Detail und als nachvollziehbare Prozedur abzubilden. Der Lernende kann sich Schritt für Schritt die Details, konstruktiven Zusammenhänge und Funktionalitäten der Bauteile und Baugruppen erschließen. Die Arbeitsschritte wurden analysiert, als Lernaufgaben didaktisch aufbereitet und den Lernenden zur Bearbeitung in der virtuellen Szene vorgelegt.

In einem speziellen Lernszenario zur Lernerfolgskontrolle musste er diese mithilfe des Comptermodells später allein bewältigen. Zudem erhielt er Einblick in die inneren Strukturen und die funktionalen Zusammenhänge der Maschinen. Derartige Inhalte konnten in der Vergangenheit nur sehr abstrakt vermittelt werden. Das beanspruchte erheblich mehr Zeit und garantierte keinen einheitlichen Wissensstand bei allen Lernenden. Neben der Möglichkeit, an einem technischen System zu trainieren, das normalerweise in einem Seminar oder Unterrichtsstunde nicht eingesetzt werden kann, ergeben sich durch die Nutzung virtueller Lernszenarien eine ganze Reihe weiterer Vorteile:

- Die praktische Ausbildung kann mit einer flexiblen Anzahl der Lernenden weitgehend zeit- und ortsunabhängig erfolgen.
- Sowohl der zeitliche Ablauf der Übungen als auch der Fokus auf einzelne Arbeitsschritte können beliebig variiert werden.
- Sämtliche Arbeitsschritte sind zu jedem Zeitpunkt für alle Lernenden transparent.
- Besonders hervorzuheben ist, dass eine fehlerhafte Durchführung von Arbeitsaufgaben im virtuellen Szenario keine Beschädigung oder sogar Zerstörung von realen Maschinen und Anlagen zur Folge hat.
- Zudem hat sich im Informationszeitalter die Anwendung moderner Technologien als zusätzlicher Motivationsfaktor für die Lernenden bewährt.

Für die systematische Analyse der Potenziale von Technologien der Virtuellen Realität für die berufliche Bildung haben Jenewein et.al. und Fletcher mit Verweis auf Ansätze von Anderson zur Unterscheidung von deklarativem und prozeduralem Wissen sowie Dörner zur Bestimmung von Realitätsbereichen, die sich Sachverhalts- und Handlungsstrukturen zuordnen lassen, das folgende Strukturmodell vorgelegt (Abbildung 05):

Realitäts- Bereiche	Reale Arbeitsumgebung (RA)	Virtuelle Arbeits- umgebung (VA)	Didaktische Konsequenzen			
Sachverhalte						
Komplexität	immer 100 % Reduzierung oft unmöglich	immer < 100 % Reduzierung in der Regel möglich	didaktische Reduktion komplexer Umgebungen			
Dynamik	stark begrenzte Einfluss- nahmemöglichkeiten	prinzipiell unbegrenzte Ein- flussnahme	Anschaulichkeit durch Zeitraffung und -streckung			
Vernetztheit	oft unanschaulich und begrenzt beeinflussbar	Vernetzungsgrad beeinflussbar	gezielte Orientierung an Lernvo- raussetzungen			
Transparenz	abhängig von Sichtbarkeit und Zugänglichkeit	Zugänglichkeit und Sichtbar- keit künstlich erweiterbar	bessere Verständlichkeit und An- schaulichkeit			
Lernhandlungen						
Reversibilität	selten ohne Folgen (Kosten, Zeit und Material möglich)	immer ohne Folgen möglich	möglich: Lernen aus Fehlern			
Kostenabhängigkeit	Lernhandlungen verursachen immer Kosten	geringer Nutzungs-, hoher Entwicklungsaufwand	je nach Anzahl der Lernenden und Anwendungsfall			
Zeitabhängigkeit	Arbeitsprozess und -system z.T. nur begrenzt verfügbar	prinzipiell unbegrenzte Ver-	Individualisierung und Flexibilisie-			
Ortsabhängigkeit	gebunden an Arbeitsumgebungen	fügbarkeit	rung von Lernzeiten			

Abbildung 05: Potenziale der Virtuellen Realität für die berufliche Bildung

Entsprechend lassen sich die Vorteile des Lernens mit VR-Technologien wie folgt zusammenfassen:

Mit der didaktischen Reduktion können komplexe Arbeitssysteme entsprechend den individuellen Voraussetzungen und dem Lern- und Erkenntnisfortschritt schrittweise adaptiert werden. Die in sehr kurzen Zeitintervallen technischen Vorgänge können mit dem Instrument der Zeitstreckung anschaulich dargestellt werden, langfristige Veränderungen von Arbeitssystemen können mit dem Zeitraffer von Wochen, Monaten oder Jahren auf wenige Minuten konzentriert werden.

Die Reversibilität von Lernhandlungen, d.h. insbesondere das Lernen aus Fehlern, ist gefahrlos möglich. Zur Vorbereitung auf einen konkreten Arbeitsauftrag kann der Lernende individuell, zeit- und ortsunabhängig den entsprechenden Arbeitsprozess im virtuellen System durcharbeiten.

2.3.4 Lernleistung erhöhen durch Virtual Reality

Ausgehend von den Erkenntnissen über zugrunde liegende Strukturen und ablaufende Prozesse zur Informationsaufnahme und -verarbeitung in Unternehmensprozessen lassen sich wichtige Hinweise für die Aufbereitung virtueller Lernmedien ableiten, um positive und nachhaltige Lerneffekte zu erzielen. Die Vorteile der Darstellung in virtuellen Lernumgebungen und 3-D-Maschinenmodellen liegt unter anderem in der Interaktivität zwischen Lernenden und Lehrinhalt, der hohen Transparenz der Lerninhalte, z.B. der besseren Verständlichkeit durch sprachunabhängige Visualisierungen und der hohen Anschaulichkeit (Wiedererkennung und Realitätsnähe der Simulationen).

Eine hohe Anschaulichkeit führt zur Wiedererkennung und Realitätsnähe der Simulationen. Die Darstellung komplexer Prozesse und abstrakter Vorgänge sowie die Visualisierung nicht sichtbarer Gefahren (z. B. giftiger Gase) bieten vielfältige Methoden zum Wissenstransfer.

Darüber hinaus können Lernzeiten und Lernorte durch Orts- und Zeitunabhängigkeit des Einsatzes individualisiert und flexibilisiert werden. Durchgeführte Handlungen sind reversibel und bei fehlerhafter Ausführung ohne negative Folgen in der Realität (Material oder Kostenaufwand) zu wiederholen.

Die Vorteile des Blended Learning sind in der didaktisch sinnvollen Verknüpfung von Präsenzveranstaltungen und Lernen mit VR zu sehen. Beide Lernformen fordern selbstständiges, aktives Lernverhalten, führen darüber hinaus zu einer höheren Motivation und zu besseren Lernleistungen.

3 Aufgabenstellung

Ziel der europäischen Gesetzgebung ist es, durch die Bildung von allgemeinen Rahmenbedingungen für die Maschinengestaltung den Betrieben Handlungsmöglichkeiten zu eröffnen, die durch eine intelligente Umsetzung zu innovativen, funktionalen und den Anforderungen der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes genügenden Produkten führen. Dabei verzichtet der Richtliniengeber auf konkrete Vorgaben, sondern benennt lediglich noch grundlegende Anforderungen, die die Hersteller in Eigenverantwortung einhalten müssen, die aber gleichzeitig Gestaltungsspielraum schaffen. Der Verzicht auf konkrete Vorgaben bedeutet damit aber auch eine Verantwortungsdelegation an die Hersteller der Maschinen, da sie autonom die Anforderungen der MaschRL umsetzen müssen.

Diese noch junge Philosophie des europäischen Rechts wird von den Produzenten in unterschiedlichem Maße verstanden und umgesetzt. Bei den Herstellern, die die MaschRL bei der Produktion ihrer Maschine / Anlage berücksichtigen, wird diese "neue" Philosophie zum Teil nicht verstanden oder aber sie führt zu Überforderungen derjenigen, die sie in die betriebliche Praxis umzusetzen haben.

Die fehlenden Hinweise für die Ausführung der Anforderungen der MaschRL überfordern insbesondere die Vielzahl der KMU, da bei diesen Produzenten häufig Termindruck für die Konstrukteure besteht, so dass selbst bei gutem Willen der handelnden Akteure einfach die Zeit für den Erwerb des notwendigen Wissens zur Umsetzung der MaschRL fehlt. Vielen Herstellern ist überhaupt nicht klar, dass die Umsetzung der europäischen Richtlinien zu den Schlüsselqualifikationen gehört, mit denen innovative Maschinen gebaut und Haftungsrisiken ausgeschlossen werden können und damit die Basis gebildet wird, um langfristig am Markt bestehen zu können (Lange, 2005).

Eine weitere wesentliche Ursache für die Defizite im CE-Prozess ist der geringe Stellenwert des Themas in der Unternehmenspolitik. Dies wirkt sich in der Form aus, dass von der Geschäftsführung für die Umsetzung der Anforderungen der MaschRL keine ausreichenden zeitlichen und personellen Ressourcen zur Verfügung gestellt werden. Konstrukteure werden nicht oder nur unzureichend zur Umsetzung der Anforderungen der MaschRL geschult und das notwendige Wissen zur Umsetzung der MaschRL wird nicht als Schlüsselqualifikation betrachtet. Demzufolge fehlt häufig die Festlegung von verantwortlichen Personen für den CE-Prozess bzw. von Teilprozessen (Lange, 2005).

Hier gibt es Optimierungspotenziale im unternehmerischen Handeln. Wenig effizient ist ebenfalls, dass die Durchführung der Risikobeurteilung nachgeschaltet an "fachfremde Bereiche" im Unternehmen vergeben wird oder das Wissen über das "Wie" monopolisierend auf eine Person im Unternehmen konzentriert wird. Zentraler Gedanke muss sein, dass die innovative Umsetzung von CE-Prozessen im Unternehmen zwar verankert und koordiniert werden muss, die notwendige Gestaltung und Umsetzung aber nur durch ein offenes Betriebsklima und die Anwendung von zielgerichteten Methoden gefördert wird (Lange, 2005).

Fazit: Es sind Defizite zu erkennen, die ursächlich meist auf das Vorgehen im CE-Prozess, die mangelnde interdisziplinäre Zusammenarbeit, eine unzureichende Kommunikation innerhalb des Herstellungsprozesses, auch zwischen Betreiber und Hersteller zurückzuführen sind.

Die Entwicklung einer virtuell interaktiven Arbeits- und Lernumgebung auf der Basis neuester VR-Technologien soll entsprechend in der Produktentwicklung, bei der Inbetriebnahme, dem Test bis hin zur Instandhaltung und dem Bedienertraining die Akteure beim Hersteller und Anwender unterstützen. Somit ist die Entwicklung von Demonstratoren im Rahmen eines Dienstleistungskonzepts für KMU und externer Akteure ein Vorteil im weltweiten Wettbewerb.

3.1 In der Entwicklung – Gefahrenmomente erkennen und ausschließen

Komplexe Maschinen und Anlagen können während der Entwicklung nur schwer hinsichtlich präventiver Gestaltungsfaktoren zum Arbeits- und Gesundheitsschutz geprüft oder bewertet werden.

Zum Einen unterstützen dies nur wenige CAD-Anwendungen in der konstruktiven Entwicklung, zum Anderen ist Erfahrungswissen im Zusammenhang mit dem gesamten Produktlebenszyklus in mehreren Köpfen eines Unternehmens vorhanden, und lässt sich daher nur schwer pro aktiv in der Praxis zusammenbringen und darstellen. Entscheidend ist hierbei, dass alle Personen ein einheitliches und klares Bild über den Entwicklungsstand, die Funktionalität und potentieller Gefahren haben (Konstrukteure, Entwickler, Verfahrensexperten, externe Akteure, Projektmanager, Vertriebsleute etc.) Ein gemeinsames Kommunikationsmedium kann hierfür überaus hilfreich sein.

Ziel des Projektes ist es:

→ VR-Wissensmodule als Leitfaden zur Gefahrenanalyse und Bewertung im Rahmen der Maschinenrichtlinie auf Basis vorhandener Konstruktionsdaten zu erzeugen und so operativ die Sicherheit und Ergonomie der Maschine zu verbessern, sie zu dokumentieren und einfacher mit und für den Kunden (Anwender) kommunizierbar zu machen.

3.2 Vor und während des Betriebes – Gefahrenmomente vermeiden

Bei der Inbetriebnahme und vor der Betriebsphase die Sicherheit zu gewährleisten und Gefahrenpotentiale auszuschließen ist im Vorfeld für alle am Prozess beteiligten Personen bislang nur schwer möglich (s.o.). Jede Installation ist darüber hinaus an verschiedene Umfeldbedingungen geknüpft, die im Vorfeld nur bedingt planbar sind. (Räumliche Gegebenheiten, Infrastruktur, Klima etc.)

Es besteht zudem kein gesicherter Mechanismus, in dem das Erfahrungswissen, das zum sicheren Betrieb der Maschine dient, bei den Bedienern der Maschine etabliert wird. Informationen zur Maschine (technische Dokumentation und Betriebsanleitungen) sind häufig nur rudimentär und unvollständig. Zusätzlich besteht die Gefahr der fehlerhaften Interpretation oder des Überlesens wichtiger Abschnitte. Vorhersehbare Fehlanwendungen und Restrisiken werden überhaupt nicht oder unvollständig beschrieben (Lange, 2005).

Verhaltensweisen und kausale Zusammenhänge müssen daher nicht nur exemplarisch textlich beschrieben, sondern wie in der Realität gezeigt und können darüber hinaus mit Wissen (z. B. kontextuelle Informationen) über ein VR-Autorensystem angereichert werden – dies alles ohne jede Gefährdung bei fehlerhafter Handhabung oder Bedienung der virtuellen Maschinen.

Damit entsteht eine Lern- und Vermittlungsplattform die in ihrem didaktischen Potenzial und ihrer Rezeptionseffiziens klassischen Verfahren (Vortrag, Bild, Film, CBT, etc.) weit überlegen ist: Simulation aus verschiedenen Perspektiven und didaktisch gestalteten Dialoge etc.

Die Zielsetzung des Projektes ist es:

→ Interaktive Module zur Schulung von Bedienungs- und Handhabungsvorgängen im Dialog mit virtuellen Maschinen zu entwickeln und zu erproben, das Erlernen von Verhaltensweisen zur Vermeidung von Gefahrensituationen während und nach der Inbetriebnahme virtuell anzuleiten und Kontinuierliche Verbesserungsprozesse auf Anwenderseite zu unterstützen.

3.3 Relevante Gefahrenmomente in der Maschinenbetreuung minimieren

Qualifizierung von Anwenderpersonal (Inbetriebnahme, Bedienung, Wartung) im europäischen und internationalen Markt besitzt eine immer größer werdende Bedeutung. Maschinenhersteller (und nicht nur die Großen) verwenden große Mühen und mitunter nicht unerhebliche Kosten darauf, Ihre Handbücher und Betriebsanleitungen in mehrere Sprachen übersetzen zu lassen. Unüberbrückbare Hindernisse sind dabei in multikulturellen Belegschaften und in Exportländern häufig Unterschiede in der Wahrnehmung von Sprache und Abbildung und deren Verknüpfungen zum Verständnis der Maschine oder Anlage. Hier können virtuelle Technologien auf Basis der VDT Plattform des Fraunhofer IFF nicht nur Funktionen und Prozesse eindeutig simulieren, sondern über interaktive Handlungsmöglichkeiten zum Teil fast vollständig die Textbeschreibung ersetzen. Authentische Handlungsabläufe werden dargestellt. Kulturell bedingte (Fehl-) Interpretationsmöglichkeiten werden weitgehend abgebaut. Arbeitsprozesse und deren Gestaltungspotenzial werden so im Vorfeld diskutierbar.

Zielsetzung des Projektes ist es:

→ VR-Wissensmodule zu entwickeln und zu erproben, die weitgehend kultur- und sprachunabhängig für das Bedien-, Inspektions- und Wartungspersonal sind und sichere Betriebsabläufe gemäß der Maschinenrichtlinie lern- und gestaltbar machen.

3.4 In der Instandhaltung und Reparatur – Expertenwissen reproduzierbar machen

Rund 70% aller Kunden/Betreiber fordern nach der Inbetriebnahme Informationen zur Erfahrung bei der Instandhaltung und Reparatur vom Hersteller an. Weitere 53% zu Erfahrungen des Bedienpersonals (Lange, 2005). Ausschlaggebend dafür ist, dass Kenntnisse zum Betrieb und zur Wartung nicht oder unzureichend in den jeweiligen Betriebsanleitungen vermittelt werden können. Was im normalen Betriebszustand schon das Personal vor Probleme stellt, kann in Gefahrensituationen schnell zur Havarie und zur Gefahr für die Gesundheit der Bediener führen.

Eine Lösungsmöglichkeit besteht in der eindeutigen Darstellung des Maschinenverhaltens im Betrieb und in der Visualisierung der Bedienungs- und Handlungsabläufe. Adäquates Reagieren und Abwenden von Gefahrensituationen ist die Grundlage für die Einhaltung und Erhaltung der Maschinen- und Anlagensicherheit (Gesundheit, Umwelt, Qualität und Verfügbarkeit).

Die Zielsetzung des Projektes ist es:

→ Über zu entwickelnde Interaktive Module die Simulation und Visualisierung unklarer Betriebszustände mit multiplen Gefahrenmomenten insbesondere für die Wartung und Reparatur zu entwickeln und so sicheres Verhalten des Personals am virtuellen Modell gefahrlos zu trainieren.

3.5 Zusammenfassung

Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Erprobung von virtuellen Maschinen/Anlagen mit spezifischen Wissensmodulen und didaktischen Konzepten zur möglichst sprach- und kulturunabhängigen Unterstützung der gesamten Präventions-Prozesskette zur Gefahrenvermeidung und Gefahrenminderung.

4 Planung und Ablauf

Für drei exemplarische Fälle von Hersteller-/Anwenderprozessen werden anhand von Maschinen interaktive Module realisiert, Vorgehensweisen entworfen und didaktische Situationen gestaltet, die es gestatten auf andere Maschinen und Anlagen übertragen zu werden (Transferpotential). Über Verbände und einschlägige Organisationen (z.B. BGn) ist eine nachhaltige Verbreitung der Effekte vorgesehen.

Szenario 1

Eine bereits im Betrieb befindliche mit dem CE-Kennzeichen versehene Maschine/Anlage wird sowohl gemeinsam mit dem Hersteller als auch mit dem Anwender durch die interaktive Modellsimulation gefährdungsbezogen optimiert.

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Risikobeurteilung und insbesondere der Visualisierung verbleibender Restrisiken während der Nutzung (Instandhaltung) sowie des Umgangs damit.

Vorhersehbare Fehlanwendungen (z. B. die Manipulation von Schutzeinrichtungen) während verschiedener Betriebsarten (Automatikbetrieb, Störungsbeseitigung, Einrichten/Rüsten, etc.) werden gefahrenbezogen optimiert und insbesondere die verbleibenden Risiken visualisiert.

Verbesserungspotenziale/Defizite aus den Betriebsanleitungen werden aufgezeigt und die entwickelten Wissensmodule können zur Vermeidung von Missverständnissen und Fehlinterpretationen dargeboten werden. Diese Wissensmodule verschaffen dem Hersteller klare Wettbewerbsvorteile insbesondere im internationalen Wettbewerb, da sie vom Anwender gleichzeitig als Schulungs- und Unterweisungsgrundlage für Bediener und Instandhalter genutzt werden können.

Szenario 2

Für ein Projekt im Sondermaschinenbau sollen das interaktive Modell und die Wissensmodule den internen (innerhalb des CE- Teams beim Hersteller) als auch den externen Kommunikationsprozess zwischen Hersteller und Anwender unterstützen. Basis hierfür bildet das Pflichten-/Lastenheft. Dabei können neben den funktionalen Leistungsaspekten der Maschine, die Analyse und konstruktive Vermeidung von Gefahrenquellen in allen Lebensphasen/Betriebszuständen integrativer Bestandteil des Prozesses werden. Bereits während der Konstruktionsphase können das vorhandene "Hersteller-/Anwender-Know-how" in die konstruktive Gestaltung integrierter Schutzkonzepte einfließen.

Gleichzeitig wird bei den Herstellern das Wissen verschiedener Akteure (Mechanik, Elektrik, Hydraulik, Sicherheitsfachkräfte etc.) gebündelt und gemeinsame Lösungen entwickelt.

Szenario 3

Eine schon fertig konstruierte Maschine/Anlage wird hinsichtlich ihrer Gefahrenanalyse/Restrisiken über das interaktive Modell dokumentiert (u.a. Betriebsanleitung). Damit entsteht eine neue Informationsbasis für den Verkaufsprozess und die Gefahren des Anwenderbetriebes werden noch vor der Inbetriebnahme minimiert (z.B. Restrisiken, Betriebsanweisung, Schulung und Unterweisung). Die Entwicklung der Module orientiert sich dabei am jeweiligen Bedarf der am Projekt teilnehmenden Un-

ternehmen. Die beschriebenen Szenarien bilden die wesentlichen Voraussetzungen für integrierte präventionsbezogene Anwendungen und stellen insofern bereits während der Entwicklung realistische Transferbedingungen für die späteren Ergebnisse des Projektes dar.

Für die Entwicklungspartner werden:

- die Konstruktionsdaten auf die VDT-Plattform konvertiert und transferiert,
- die Grundfunktionen der Maschine/Anlage werden animiert ("funktionales VR-Rohmodell"),
- auf der Grundlage der Erfahrungen der Entwicklungspartner, der Expertise des BIT sowie der Hersteller/Betreiber werden mit Hilfe des Rohmodells die maschinentypischen Gefahrenschwerpunkte analysiert (grobe Gefahrenanalyse) und das vorhandene Risiko bewertet,
- die für eine spezifische und detaillierte Simulation von Gefahren und Gefährdungen erforderlichen Wissensmodule und Kontextelemente (z. B. Klima, räumliche Bedingungen, Zuführungen, etc.) werden projektseitig entworfen und erstellt.

Es erfolgt eine detaillierte Gefahrenanalyse und Risikobeurteilung mit dem Ziel, Verbesserungsmöglichkeiten und die verbleibenden Restrisiken zu lokalisieren und in visueller Form zu dokumentieren ("VR-Dokumentationsmodell").

Dieses elaborierte Dokumentationsmodell bietet nun die Grundlage für die Entwicklung der "didaktischen Modelle" für Schulungen, Unterweisungen, Gefahrentraining, etc., die von bzw. bei den jeweiligen Entwicklungspartnern erprobt und optimiert werden.

Transfer- und Dienstleistungskonzepte werden zusammen mit den Nachhaltigkeitspartnern der Verbände und Berufsgenossenschaften entwickelt und erprobt. Dazu gehören Veröffentlichungen genauso wie Veranstaltungen mit potenziellen VR-Nutzern.

4.1 Wissenschaftlicher und technischer Stand auf dem aufgesetzt wurde

In einer Analyse von Konformitätsnachweisen gaben mehr als 40% der untersuchten Hersteller Probleme mit der Verständlichkeit der MaschRL an. Die Studie legt offen, dass durchgeführte Aktivitäten im Konformitätsprozess nicht der Systematik und den Ansprüchen der MaschRL entsprechen. Bei mehr als 1/3 der untersuchten Hersteller (38,5%) wird die Gefahrenanalyse unmittelbar vor, während bzw. nach der Inbetriebnahme und somit erst mit dem Bau der Maschine begonnen. Die Anforderung der MaschRL nach sicherheitsgerechtem Konstruieren zur Vermeidung von Gefahren in allen Lebensphasen/-zyklus kann somit nicht mehr erfüllt werden, da die Konstruktionsphase bereits abgeschlossen ist (Lange, 2005).

Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Gefahrenstellen werden so meist erst bei der Montage der Maschine erstellt. In dieser Phase sind die Möglichkeiten konstruktiver Änderungen aber bereits stark eingeschränkt. Es sind nur zusätzliche Schutzeinrichtungen (z. B. Einhausungen) und leichte Änderungen in der Konstruktion durchführbar, ohne größere Aufwände an Kosten und Zeit zu erzeugen, die eine Liefertreue des Herstellers gefährden. Ein früherer Beginn der Maßnahmenerstel-

lung beinhaltet hierbei ein hohes Potential zur Aufwandsreduzierung. Zusätzliche Schutzeinrichtungen, die durch verbleibende Risiken notwendig werden, schränken Bediener meist stark in ihrer Arbeitsweise ein, womit die Motivation zur Manipulation dieser Einrichtungen im täglichen Arbeitseinsatz steigt. Vorzeitige sicherheitsgerechte Konstruktion verhindert bzw. minimiert verbleibende Risiken, womit auf zusätzliche Schutzeinrichtungen häufig verzichtet werden kann. Somit steigen die Nutzerakzeptanz und ggf. auch die Produktivität. Problematisch ist zudem der Dialog zwischen Hersteller und Betreiber im Maschinenlebenszyklus. Unpraktische oder unausgereifte Sicherheitseinrichtungen können vom Hersteller nicht verbessert werden, da meist benötigte Informationen nach der Inbetriebnahme nicht zum Hersteller zurückfließen.

Die von der MaschRL geforderte Produktbeobachtung findet meist nicht statt. Dabei ist dies besonders bei wesentlicher Veränderung oder Verkettung von Maschinenkomponenten, bei dem der Betreiber oft unwissend zum Hersteller wird, zum gegenseitigen Erfahrungsaustausch unerlässlich. Häufig, so ein weiteres Ergebnis der Untersuchung, werden Gefahrenanalysen unvollständig, Risikobewertungen intuitiv und Maßnahmen bzw. Sicherheitskonzepte zur Vermeidung von Restrisiken unzureichend durchgeführt. Die Ursachen sind auf die nicht einheitliche, subjektive Auslegung von Schriftstücken des Gesetzgebers und mangelhafte abteilungs- und bereichsübergreifende Kommunikation beim Hersteller im CE-Kennzeichnungsprozess zurückzuführen (Lange, 2005).

Virtuelle Maschinenmodelle bieten auf Basis der in den letzten Jahren entwickelten VDT-Plattform des Fraunhofer Institut IFF erstmals die Möglichkeit vielfältige Wissensbausteine mit konstruierten Maschinen auf Basis vorhandener 3-D-Daten zu verknüpfen. Ein Interagieren mit der virtuellen Maschine wird so vor der prototypischen Realisierung/Herstellung ermöglicht. So erstellte Szenarien bieten die vielfältigsten Möglichkeiten:

- Reaktionen der Maschinen werden simuliert
- Gefährdungen werden aus der Perspektive des Bedieners sichtbar
- Funktionsweisen erläutert
- Handlungsanleitungen dargestellt "Best praxis"
- Prozesse in Echtzeit dargestellt
- unsichtbare Elemente und Stoffe sichtbar gemacht
- Maschinenfunktionen werden getestet und simuliert

Eine so konstruierte Maschine kann durch die am Fraunhofer IFF entwickelten VR-Technologien also erstmals hinsichtlich präventiver Gestaltungsfaktoren zum Arbeits- und Gesundheitsschutz vor der Realisierung analysiert und geprüft werden. Ein VR-Autorensystem ermöglicht es, vielfältige Erfahrungs- und Handlungswege zu erzeugen und zu visualisieren - ohne Programmierkenntnisse zu besitzen. Bisherige Entwicklungen interaktiver Anwendungen auf der Basis der Plattform für virtuelle Entwicklung und Training des Fraunhofer IFF sind die Grundlage für die praktische Umsetzung der interaktiven Modelle im Rahmen des beantragten Projektes. Bisherige Arbeiten konzentrierten sich vor allem auf Bereiche der technologischen Produktvisualisierung und des interaktiven Trainings mit kom-

plexen technischen Systemen, u. a. EU-Projekte zur Entwicklung und Konzeption von virtuellen Systemen und Anwendungen. Die Besonderheit der am Fraunhofer IFF entwickelten Technologien besteht vor allem in der methodischen Konzeption der interaktiven Plattform sowie der möglichen Nutzung auf handelsüblichen PC's, die es ermöglicht Modelle mit Wissen (Handlungsabläufen, Anleitungsbeschreibungen) und Verhaltensweisen anzureichern und für den Transfer eine geeignete neuartige Kommunikationsplattform zur Verfügung zu stellen. Die Nutzung und Partizipation ist für jede im Prozess tätige Person möglich, da keine Programmierkenntnisse erforderlich sind und für jeden Anwendungsfall spezifische Interaktionen individuell integriert werden können. Die o.g. Erfahrungen des Fraunhofer Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung bilden die Grundlage für die technologische Umsetzung der Projektziele.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Berufs- und Betriebspädagogik der Otto-von-Guericke Universität besteht eine Kopplung zwischen Fachdidaktik und neuen anwendungsorientierten VR-Technologien.

4.2 Zusammenarbeit mit weiteren Stellen und Partnern

Für die Durchführung des Projektes konnten 3 Unternehmen gewonnen werden, in denen die in Kapitel 1.3 beschriebenen Szenarien erprobt und durchgeführt wurden.

4.2.1 Firma Schiess GmbH in Aschersleben

Das Unternehmen beschäftigt zurzeit ca. 400 Mitarbeiter. Die Firma Schiess konstruiert und fertigt Großbearbeitungszentren für die Bearbeitung (Drehen, Fräsen, Bohren) von Großteilen mit einem Gewicht von bis zu 400t. Im Rahmen des Projektes wurden folgende Ziele verfolgt:





Hauptziel:

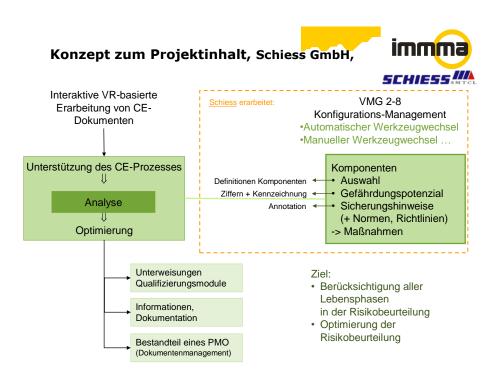
Entwicklung eines "Konfigurationsmanagements" zur gezielten Risikobeurteilung verschiedener Konfigurationen einer Maschine (VMG 2-8) zur :

- Reduzierung des Aufwandes für die Risikobeurteilung
- O Risikobeurteilung zum Zeitpunkt der Konstruktion
- Erreichung einer besseren Rechtssicherheit

Nutzung des Modells zum Bedienertraining für Bediener und Wartungspersonal (Umgang mit Restrisiken, Simulation von Gefahren)



Dabei wurde folgendes Konzept zur Zielerreichung erarbeitet (Kapitel 4. - 1. Szenario):



4.2.2 Firma Staedtler-Mars GmbH & CO KG in Nürnberg

Die Firma Staedtler-Mars GmbH & CO KG in Nürnberg beschäftigt weltweit rund 3000 Mitarbeiter und ist in Europa der führende Hersteller von Blei- und Farbstiften. Das Unternehmen besitzt eine eigene Engineering-Abteilung, die konzerninternen Kunden Maschinen und Werkzeuge für die Produktion an den verschiedenen Standorten plant und baut. Mit dem Projekt wurden bei der Konstruktion, Entwicklung und Fertigung einer Stift-Bedruckungs-Anlage (siehe Szenario 2 in Kapitel 4) folgende Ziele verfolgt:



- Reduzierung des Zeitaufwand zur Erfüllung der der MaschRL
- Vorverlegte Risikoanalyse
- sprachunabhängige Visualisierungen von Funktionsweisen und Restrisiken
- o Kommunikationsbasis bei Diskussion über Arbeitsschutz
- Effizientere Unterweisung
- OGefahren werden aus der Perspektive des Bedieners sichtbar
- O Höhere Motivation zu sicherheitsgerechtem Verhalten und Konstruieren
- Autodidaktische Unterweisung



Positive Aspekte allgemein



- o interaktive Handlungsanleitungen darstellbar
- Optimierung der Abteilungs- und Bereichs-übergreifenden Prozesse
- Unterstützung des Marketings durch Visualisierung
- Basis für Prozessanalyse, Brainstorming und KVP-Prozesse
- Simulation mit physikalischen Parametern sind denkbar (auch bzgl. Sicherheitstechnischer Anforderungen



4.2.3 Firma Hegenscheid-MFD GmbH & Co KG in Erkelenz

Die Firma Hegenscheid-MFD beschäftigt ca. 300 Mitarbeiter an drei Standorten. Das Unternehmen verfügt über zwei Produktgruppen, die als Schienenfahrzeug-Technologie und Automobil-Technologie beschrieben werden können. Für das Projekt wurden Maschinentypen aus dem Bereich der Schienenfahrzeug-Technologie ausgewählt. Die Arbeiten bei der Firma Hegenscheid-MFD hatten folgende Ziele und verfolgen damit die Erwartungen des Szenarios 3 aus dem Kapitel 4:



Hauptziel:

Risikobeurteilung mit Hilfe des Modells bereits während der Konstruktionsphase

Ziele - Erwartungen - Mehrwert

- Reduzierung des Aufwandes für Risikobeurteilung durch "Komponenten-Risikobeurteilung" für Unterflurradsatzdrehmaschine U2000-400 (Standardmaschine mit Anpassungskonstruktionen)
- Nutzung des Modells zum Bedienertraining für Normalbetrieb (Umgang mit Restrisiken, Bedienung der Maschine etc.)





Ziele – Erwartungen - Mehrwert

- Perspektivische Ziele (optional) durch Nutzung von Synergien des Modells
 - Wartungs- und Montageanleitungen mit Hilfe des Modells
 - Systemsimulation
 - Einzelmaschine
 - komplexe Anlagen



Abbildung 06: Folien der Beiratssitzungen zum Stand in den Unternehmen

4.3 Der Projektbeirat

Zur Durchführung des Projektes wurde ein Beirat gebildet, dessen Aufgaben dahingehend bestanden, die Qualität der Projektdurchführung sicherzustellen, Hinweise für die inhaltliche Ausgestaltung zu geben und als fachlicher Ansprechpartner zur Verfügung zu stehen.

Hr. Dr. Claudius Riegler	Projektträger, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
= •	

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement. Hr. Prof. Ekkehard Frieling

Universität Kassel

Bundesarbeitsgemeinschaft für Sicherheit und Gesundheitsschutz Hr. Bruno Zwingmann

bei der Arbeit e.V., BASI, Sankt Augustin

Hr. Klaus-Peter Pietsch Holz BG, München

Hr. Dr. Mildner LaFA NRW, Düsseldorf

Hr. Alois Hüning MMBG, Bielefeld

Hr. Dr. Matthias Umbreit BG Metall Nord-Süd, Fachausschuss MFS, Mainz

Kommission Arbeitsschutz und Normung, KAN -Hr. Ulrich Bamberg

Geschäftsstelle Sozialpartnerbüro,

Maschinenbau- und Metall BG, Hr. Berthold Heinke

Fr. Marlies Kittelmann

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dresden

Fachstelle Elektrotechnik

TU Darmstadt, Hr. Dr. Alfred Neudörfer Fachgebiet Druckmaschinen, Druckverfahren, Darmstadt

Ministerium für Gesundheit und Soziales des Landes Sachsen-Hr. Hartmut Karsten

Anhalt, Mageburg

Hr. Pallowski BG Chemie, Fachreferat Sicherheitstechnik, Heidelberg Die Mitglieder des Beirates sollten aus denjenigen Institutionen kommen, die sowohl für die inhaltliche Entwicklung der Maschinenrichtlinie als auch deren Umsetzung in die betriebliche Praxis Verantwortung tragen. Gleichzeitig dienen sie als Transferpartner.

5 Erzielte Ergebnisse

5.1 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

5.1.1 Der koordinierte CE-Prozess

Ausgangs- und Ansatzpunkt für zielgerichtete Methoden ist die Feststellung, dass viele Hersteller nicht wissen, wie die Anforderungen der MaschRL in den betrieblichen Alltag integriert werden können. Es fehlt ein geeignetes Medium zur Verbesserung der Kommunikationsprozesse, eine förderliche Prozessorganisation, ein unternehmensweites Grundverständnis der Anforderungen, sowie eine übergeordnete Koordination der Gesamtprozesse, damit die genannten Defizite behoben und die erforderliche Transparenz für die Umsetzung der MaschRL in den Unternehmen geschaffen werden können. Das zentrale Instrument zur Gestaltung sicherer Maschinen ist die Risikobeurteilung. Hier ist zusätzlich eine inhaltliche und methodische Unterstützung für die Unternehmen notwendig. Im Rahmen des Projektes IMMMA wurden zu diesen Problemstellungen aufeinander aufbauende Methoden für einen durchgängigen CE-Prozess entwickelt und deren Anwendungsmöglichkeit in verschiedenen Unternehmen erprobt (Lange, 2006).

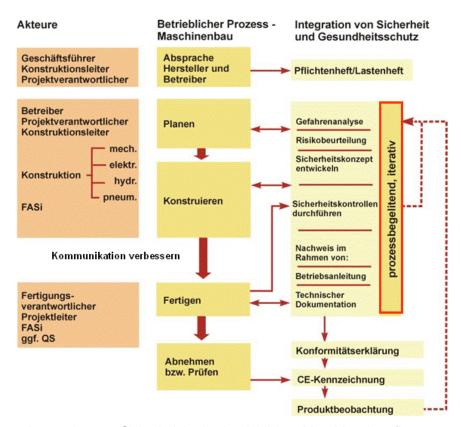


Abbildung 07: Integration von Sicherheit in den betrieblichen Maschinenbau (Lange, 2006)

Eine neue Kommunikationsplattform ermöglicht die Durchführung einer Risikobeurteilung, mit Unterstützung virtuell-interaktiver 3-D-Maschinenmodelle, deren Funktionsweisen dargestellt und simuliert werden können. Mit diesen Hilfsmitteln wird allen Beteiligten ermöglicht, die Erfordernisse eines präventiven Arbeits- und Gesundheitsschutzes in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen umzusetzen. Darüber hinaus eignet sich das Modell für die Darstellung simulierter Vorgehensweisen, sog. Prozeduren und kann auch zu Qualifizierungseinheiten weiterentwickelt werden. Durch die Implementierung des "CE-Koordinator" entsteht ein koordinierter, haftungssicherer CE-Prozess.

5.1.2 Neuer Prozess für die sichere Gestaltung von Maschinen und Anlagen

Gezielte Entwicklungen können wirksam durch Veränderungen unternehmensinterner Prozesse und in der Arbeitsorganisation sowie der Herausbildung von Schlüsselqualifikationen bewirkt werden. Wie bereits beschrieben, liegen vorwiegend sequentielle Prozessabläufe in den Unternehmen vor. Diese voneinander unabhängige Arbeitsweise der beteiligten Fachbereiche verhindert die interdisziplinäre Kommunikation und damit eine gemeinsame Strategie zum Umsetzen des präventiven Arbeits- und Gesundheitsschutzes – und somit der Anforderungen der MaschRL.

Ein Ergebnis des Projektes IMMMA und vorangegangener Studien des BIT e.V. (Lange, 2005) ist eine teamorientierte Arbeitsweise, die eine simultane Erarbeitung von Problemlösungen im Unternehmen und im CE-Prozess ermöglicht (s. Abbildung 03).

5.1.3 Neue Formen der Arbeitsorganisation

Die Implementierung dieser Arbeitsweise erfordert im ersten Schritt die Bildung eines gemeinsamen Arbeitsgremiums: des "CE-Teams". Mitglieder des Teams sind die zuständigen Konstrukteure aus den Bereichen Mechanik, Elektrik, Hydraulik, Pneumatik wie auch Inbetriebnahme und, wenn Betreiber zum Hersteller werden, auch Vertreter der Fertigung. Als Folge ergibt sich die Verbesserung der Ergebnisqualität, vor allem die gemeinschaftliche Problemdiskussion, z. B. bei der Durchführung der Risikobeurteilung und den sich daraus ergebenden Maßnahmen. So entstehen vielfach einfache, den Gesamtprozess berücksichtigende Lösungen zur Sicherheit und zur Funktionalität des Produktes.

Gleichzeitig führt die Diskussion über einzusetzende Sicherheitsbauteile zu einer Vereinheitlichung derselben. Diese "hausinterne Normierung" reduziert die Vielfalt benötigter Teile, womit letztendlich kostengünstiger produziert und eine bessere Wettbewerbsfähigkeit erreicht werden kann. Für besondere Unterstützungsarbeiten hat es sich als sinnvoll erwiesen, prozessbegleitend (z. B. bei der Risikobeurteilung und Maßnahmenableitung) überbetriebliche Arbeitsschutzexperten einzubeziehen (Berufsgenossenschaft, Staatliches Amt für Arbeitsschutz).

Auch die Rolle des Kunden kann in diesem Zusammenhang klarer definiert werden (z. B. über Integration des Vertriebes). Bereits während der Planungsphase sollten klar die Schnittstellen der Verantwortung definiert werden, insbesondere, wenn es um den Bau komplexer Anlagen geht.

Zusätzlich besteht durch die Einführung einer CE-Unterschriftenkarte die Möglichkeit, die Verantwortung der Teammitglieder der jeweiligen Fachbereiche voneinander abzugrenzen.

5.1.4 CE-Koordinator übernimmt koordinierende Rolle im Unternehmen

Die Lenkung eines solchen "CE-Teams" sollte in den Händen eines mit der Maschine vertrauten Mitarbeiters liegen. Dazu bietet sich der Projektleiter der Maschine als "CE-Koordinator" an. Hierzu bedarf es insbesondere der Integration in die entsprechend angepassten relevanten Geschäftsprozesse. Eine erfolgversprechende Lösung liegt nach den Erfahrungen des IMMMA-Konsortiums in der Etablierung der Rolle eines zentralen, aus dem Arbeitsbereich stammenden "CE-Koordinators", in der wesentliche Teilaufgaben des Verfahrens gebündelt werden.

Seine Hauptaufgabe besteht in der Koordination von Aufgaben innerhalb des CE-Prozesses und in der Kommunikation mit allen am Prozess beteiligten Fachbereichen bzw. Akteuren. Hinzu kommt die Rolle des Moderators im Rahmen der interdisziplinären Risikobeurteilung.

Um seiner Aufgabe gerecht zu werden, benötigt der CE-Koordinator unterschiedliche fachliche, soziale, methodische und informationstechnische Kompetenzen und Fähigkeiten:

Fachliche Kompetenzen: z. B. Grundlagen des Arbeitsschutzes; Inhalte der Maschinenrichtlinie; Übersicht zum Stand der Technik, Kenntnisse der einschlägigen Gesetze, Verordnungen und Normen; Kenntnis über die Zusammenhänge zwischen Gefahrenanalyse / Risikobeurteilung / vorhersehbarer Fehlanwendung / Restrisiko und zu Anforderungen an die Dokumentation.

Soziale Kompetenzen: hierzu gehören z. B. Grundlagen der Kommunikation, aktives Zuhören, die Fähigkeit zur Selbst- und Fremdwahrnehmung, Gruppengespräche effektiv gestalten, Coaching Methodische Kompetenzen: wie z. B. Moderation, Fragetechniken, Visualisierungs- und Präsentationstechniken, Projektorganisation.

Informationstechnische Kompetenz: hierzu zählen u. a. die Nutzung von MS-Office Anwendungen, Offenheit für die Anwendung von Systemen der virtuellen Realität Wichtigste Aufgabe des CE-Koordinators sollte neben der Lenkung und Koordination des Projektablaufes eine transparente Kommunikation und eine offene Prozessorganisation sein. Die Vermittlung von fachlichen Grundkenntnissen des CE-Prozesses an die Mitglieder des CE-Teams ist ebenfalls für ein erfolgversprechendes Arbeiten empfehlenswert.

Der Ablauf zur Integration des CE-Koordinators in die betriebliche Organisation kann im Überblick wie folgt dargestellt werden:



Abbildung 08: Ablauf im koordinierten CE-Prozess

Der koordinierte CE-Prozess bietet somit viele Vorteile für den Maschinenhersteller. Mit der Integration des CE-Prozesses in die betrieblichen Kern-Prozesse (Konstruktions-, Beschaffungs-und Vertriebsprozesse) wird der Zeitaufwand für die Konstruktion und den Bau der Maschine erheblich reduziert. Gleichzeitig können "Nachbesserungen" an der fertig gestellten Maschine minimiert werden, weil Optimierungspotentiale bereits während des Konstruktionsprozesses erkannt und umgesetzt werden können. Unternehmen, die die Implementierung eines koordinierten CE-Prozesses in ihre Unternehmensprozesse abgeschlossen haben, erschließt sich hiermit ein großes Feld neuer Innovationspotentiale (s. Abbildung 08). Im Rahmen des Projektes IMMMA wurde daher ein vollständiges Qualifikationskonzept "CE-Koordinator" für Unternehmen konzipiert, welches in den Fallbetrieben erprobt und evaluiert wurde.

5.1.5 Kommunikation über das interaktive 3-D-Maschinenmodell

Bisherige Werkzeuge zur Umsetzung der MaschRL bieten Unterstützung in Form von Handlungshilfen oder auch die Möglichkeit der Erstellung der Risikobeurteilung bis hin zur Dokumentation (z. B. Safexpert ®, WEKA Maschinenrichtlinie ®). Diese ermöglichen die Dateneingabe und Ablage in strukturierter Form und es erfolgt eine umfassende Information über Hintergründe der MaschRL. Es fehlt jedoch der direkte Bezug zur eigentlichen Maschine oder Anlage, die im Sinne der Maschinenrichtlinie noch konstruiert und gebaut werden soll. Bislang werden zwar 3-D CAD-Daten zur visuellen Unterstützung und Bewertung (z. B. Design Review) in den Unternehmen genutzt. Die Möglichkeit, diese Produktdaten mit den für die CE-Prozesse notwendigen Daten zu koppeln, ist jedoch bei den bestehenden Werkzeugen nicht vorhanden oder nur in stark eingeschränktem Umfang möglich.

CAD Anwendungen oder PDM-Systeme besitzen hierfür keine Funktionen, die geeignet wären. Im Rahmen des Projektes wurde deshalb eine Lösung entwickelt, die die genannten Defizite abbaut und Transparenz für die Umsetzung der Erfordernisse des Arbeitsschutzes sowie der Maschinenrichtlinie in den Unternehmen ermöglicht. Mit Hilfe der interaktiven 3-D-Maschinenmodelle als Kommunikationsmedium im koordinierten CE-Prozess können u. a. interdisziplinäre Lösungen von Mechanikern, Elektrotechnikern, Hydraulikern und Pneumatikern gemeinsam diskutiert und erarbeitet werden.

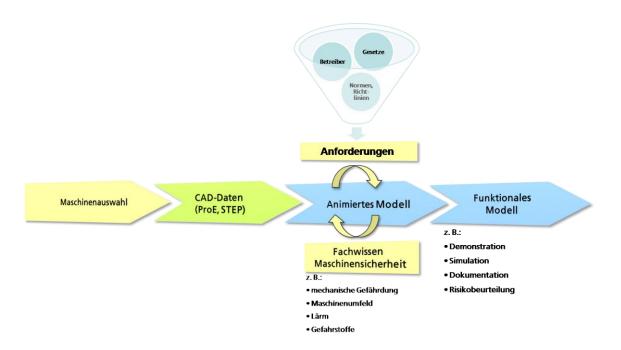


Abbildung 09: Grobkonzept der VR-Unterstützung präventiver Maschinensicherheit.

Die virtuelle Technologie wird hierbei zum innovativen Kern und dient zur Unterstützung der CE-Kennzeichnungsverfahren: interaktive dreidimensionale Maschinenmodelle werden an bestimmten Prozesspunkten / Meilensteinen genutzt, mit einem Dokumentationssystem zur Risikobeurteilung verknüpft und optimieren die sicherheitsgerechte Konstruktion ausgehend von der Entwicklung und im gesamten Maschinenlebenszyklus. Im Rahmen des CE-Kennzeichnungsverfahrens verbessert der Einsatz der interaktiven 3-D-Maschinenmodelle die Durchführung der Risikobeurteilung bereits während der Konstruktion und hilft zugleich, betriebliche Kommunikations- und Kooperationsprozesse sowie abteilungsübergreifende Prozesse zu optimieren. Die interaktiven 3-D-Modelle auf Basis der Konstruktionsdaten sind ein ideales Medium, um den Entwicklungsprozess einer Maschine direkt zu unterstützen. Die Anschaulichkeit der Maschinenfunktionen, Gefährdungssituationen und Restrisiken können hiermit unmissverständlich und sprachunabhängig dargestellt werden (s. Abbildung 9).

Sie ermöglichen darüber hinaus eine weitergehende Nutzung, z. B. die visuelle Demonstration von Vorgehensweisen als Ergänzung zur textlichen Betriebsanleitung oder die Qualifizierung von Personal im Vorfeld von Inbetriebnahmen. Entscheidend ist, dass durch die Anwendung dieser Technik alle Personen ein einheitliches und klares Bild über den Entwicklungsstand, die Funktionalität und Gefahrenpotentiale haben (Konstrukteure, Entwickler, Verfahrensexperten, externe Akteure, Projektmana-

ger, Vertriebsleute, Kunden etc.). Nur so kann effektiv an einem auf die Gesamtkonzeption wirkenden Sicherheitskonzept im Rahmen des CE-Teams gearbeitet werden.

5.1.6 Produktsicherheit beginnt während der Entwicklung

Für die prozessbegleitende Nutzung virtueller 3-D-Modelle ist die schnelle, schrittweise Umsetzung von Konstruktions- und Produktdaten in ein virtuell-interaktives 3-DMaschinenmodell von entscheidender Bedeutung. Liegen bereits Daten vor (z. B. aus einer Vorserie), kann das interaktive 3-D-Modell schon in einer sehr frühen Phase der Entwicklung bei Sicherheitsaspekten und deren Umsetzung, z. B. bei der Festlegung des Pflichten- und Lastenheftes, den Prozess begleitend unterstützen. In diesen Fällen kann bereits im Vorfeld der Konstruktion, ein funktionales und den Anforderungen der MaschRL und des Kunden genügendes Sicherheitskonzept abgestimmt und entwickelt werden.

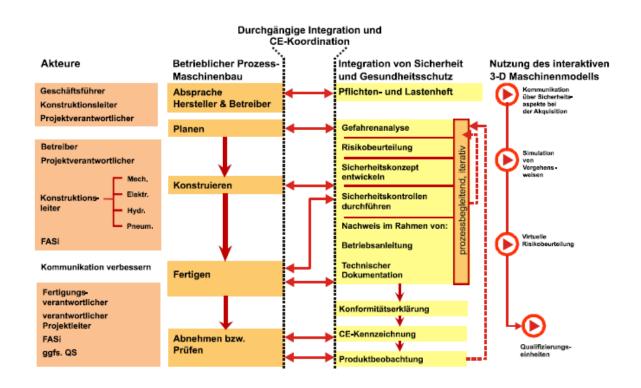


Abbildung 10: Integrierter Prozess für Sicherheit und Gesundheitsschutz mit Unterstützung interaktiver 3-D-Maschinenmodelle

Der Vertrieb erhält durch die Visualisierung im Vorfeld der Realisierung ein zusätzliches Instrument zur Vermarktung und zur Klärung sicherheitsrelevanter und verfahrenstechnischer Anforderungen. Ein Interagieren mit der interaktiven Maschine wird vor der prototypischen Realisierung / Herstellung ermöglicht. Bereits während der Konstruktionsphase können durch die Simulation der Maschinenfunktionen in Echtzeit und durch die Visualisierung nicht sichtbarer Elemente sicherheitstechnische Schwachstellen aufgedeckt und konstruktive bzw. alternative sicherheitstechnische Maßnahmen diskutierbar gemacht werden. Weiterhin wird die interdisziplinäre Kommunikation verbessert und unter-

stützt den Findungsprozess von Mechanikern, Elektrotechnikern, Hydraulikern und Pneumatikern für effektive konstruktive Lösungen.

Darüber hinaus wird das interaktive 3-D-Modell mit einer softwaregestützten Anwendung verknüpft, die den Benutzer während der Bearbeitung anhand der konkreten Maschine durch die Risikobeurteilung führt, mit dem Ziel der Erstellung einer vollständigen, haftungssicheren Dokumentation der Risikobeurteilung, die bereits während des Konstruktionsprozesses begonnen hat.

Im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses der Maschine können die virtuell-interaktiven 3-D-Modelle im Hinblick auf die Zielsetzung sowohl intern im Unternehmen, als auch für den zukünftigen Betrieb genutzt und für bestimmte Einsatzzwecke weiter bearbeitet werden. Für die Konstrukteure bietet sich die Möglichkeit an, konstruktionsbezogene Informationen zu hinterlegen, die direkt mit dem Bauteil verknüpft sind, um u. a. Abstimmungsprozesse zu vereinfachen (s. nachfolgende Abbildungen 11 und 12).

Darüber hinaus kann der Engineering-Bereich funktionale Parameter bereits im Vorfeld des Maschinenbaus testen, variieren bzw. optimieren (z. B. die Darstellung und Geschwindigkeit eines bestimmten Prozessablaufs, von Maschinenelementen oder bewegten Bauteilen, etc.).

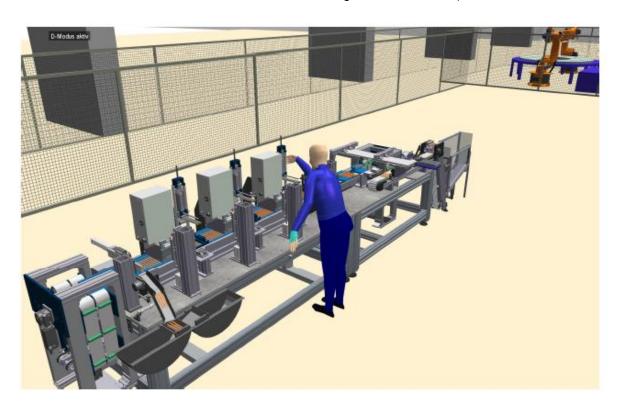


Abbildung 11: Interaktives 3-D-Modell einer Bedruckungsanlage der Fa. Staedtler GmbH & Co. KG und anthropometrisches Menschmodell.

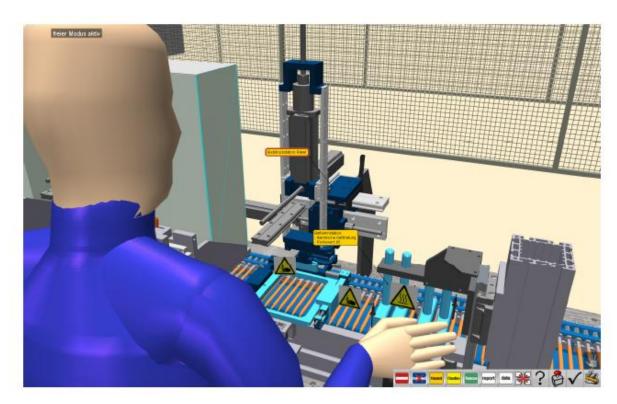


Abbildung 12: Erste Risikobeurteilung am interaktiven 3-D-Modell (ohne Einhausung der Maschine).

Die Gefahrenannotationen werden direkt am Modell angezeigt. Zudem sind weitere interaktive Werkzeuge hinterlegt, die die Risikobeurteilung unterstützen, wie beispielsweise ein vereinfachtes anthropometrisches Menschmodell oder eine virtuelle Hand, die Größenrelationen und mögliche Reichweiten eines Beschäftigten darstellen. Das anthropometrische Menschmodell kann im interaktiven 3-D-Modell auf verschiedene Weise durch den Anwender manipuliert werden. Es kann an eine beliebige Stelle verschoben und zu einer bestimmten Richtung im Raum gedreht werden. Ist es plaziert, kann der Anwender das Menschmodell an einem Köperteil (z. B. Hände, Füße, Kopf) greifen und in eine Richtung ziehen. Die Abhängigkeiten zwischen den Köperteilen orientieren sich an denen des Menschen. Zieht der Anwender am Finger des Menschmodells, bewegt sich entsprechend die Hand, der Ober- und Unterarm, den Gelenken des Menschen treu, in die entsprechende Richtung. Die Maße des Modells hinsichtlich Körpergröße und Proportionen orientieren sich an den entsprechenden Standardmaßen bzw. Normen für die Größe eines durchschnittlichen Menschen. Für die interaktiven Werkzeuge sind auch Erweiterungen möglich, die die individuellen Anforderungen von Unternehmen berücksichtigen (z. B. Verknüpfung mit Simulationsdaten / -ergebnissen, Kopplung mit vorhandenen realen Systemen und Steuerungen).

Auf der Basis der erstellten Risikobeurteilung können für die vorliegenden Risiken und Restrisiken Sichtpunkte (bestimmte Blickwinkel auf die Gefahrenbereiche) gespeichert werden und in die Risikobeurteilung, das Maßnahmenblatt oder die Betriebsanleitung integriert werden. Ebenfalls können Maschinenfunktionen, sofern diese im virtuell-interaktiven 3-D-Modell vorliegen, auch als Video gespeichert werden. Als Ausgangsbasis zur Erstellung des interaktiven Maschinenmodells dienen 3-D CAD-Daten der Maschine.

Diese sind bei den meisten Herstellern frühzeitig in der Konstruktionsphase verfügbar. Aus den unterschiedlichen am Markt befindlichen CAD-Programmen, die zur Konstruktion der Maschine genutzt werden, wird der Export der Daten in ein standardisiertes Format durchgeführt. Diese Daten bilden die Grundlage zur Erstellung eines virtuell interaktiven 3-D-Maschinenmodells. Über verschiedene für die jeweiligen Anforderungen der Unternehmen bereitgestellte Konverter werden die Konstruktionsdaten in das Format der "Virtual Development and Training - Plattform" (VDT-Plattform), des Fraunhofer IFF, überführt. Mit Hilfe von Funktionsbeschreibungen der Maschine wird in dieser Plattform das bisher statische Modell um die kinematischen Funktionen der Maschine – basierend auf dem jeweiligen Entwicklungsstand - erweitert. Somit entsteht ein bewegtes dreidimensionales Modell, das die Maschine in ihrer Geometrie und Kinematik nahezu vollständig abbildet.

In der VDT-Plattform wird durch eine Nutzeroberfläche die Eingabe und Hinterlegung von Informationen an beliebigen Bauteilen einer Maschine in Form von Textboxen (Annotationen) ermöglicht. Diese Informationen können Gefährdungsbeschreibungen, Symbole, Hinweise, Kommentare und konstruktionsrelevante Daten oder Verknüpfungen zu bestehenden Dokumenten (z.B. Word, Excel, PDF, Videos und Bilder der Maschine) sein, die anschließend direkt aus der Bedienoberfläche über einen Mausklick aufgerufen werden. Sind Verweise zu Stücklisteninformationen der realen Bauteile vorhanden, können diese direkt mit den entsprechenden Bauteilen des interaktiven 3-D-Modells referenziert werden. Durch das Hinzufügen solcher Informationen entsteht ein Modell, das einen umfangreichen Wissensstand repräsentiert, der interdisziplinären Entwicklungsteams als Kommunikationsquelle dient und als Arbeitsmittel eingesetzt werden kann.

Um die Nutzereingaben zu strukturieren und den Anwender gezielt durch die Anforderungen der Maschinenrichtlinie zu führen, werden dem Anwender eine Vorgehensweise mit einem Handlungsleitfaden und entsprechend strukturierte Eingabemasken bereitgestellt. Diese ermöglichen u. a. die Eingabe von notwendigen Produktdaten zur systematischen Erfassung und Bearbeitung. Die Beschreibung von Gefahrenstellen und ein normierter Gefahrenkatalog mit Risikographen zur systematischen Risikobeurteilung (gemäß DIN EN 14121) wird bereitgestellt. Das grundlegende Konzept zur Vorgehensweise innerhalb des Werkzeugs wird in Abbildung 13 dargestellt.



Abbildung 13: Grafische Benutzeroberfläche mit geführter Vorgehensweise und Handlungshilfen

In zwei vorangestellten Eingabemasken (s. Abbildung 14 und 15) werden im ersten Schritt allgemeine Parameter zur Maschine und eine Einstufung (zusammengesetzte Maschine, Maschinenkomponente) eingegeben. Weitere Eingaben zu Parametern der jeweiligen Maschine werden hierbei angefordert: Name, Typ, Seriennummer, Angaben zum Hersteller, etc. In den folgenden Schritten werden die Grenzen der Maschine abgefragt. Hierzu zählen zeitliche und räumliche Grenzen, die bestimmungsgemäße Verwendung und die vorhersehbare Fehlanwendung. Dem folgt die eigentliche Risikobeurteilung mit Hilfe des interaktiven 3-D-Modells. Hierbei können während der Bearbeitung auch Maschinenfunktionen dargestellt und visualisiert werden. Darüber hinaus stehen grundlegende Funktionen bereit, wie die Beschleunigung und Verlangsamung von Maschinenfunktionen, das Durchdringen von Wänden, das Ausblenden von Bauteilen, wie z. B. Gehäuse, das Einnehmen von Sichtpunkten, die in der Realität nicht erreichbar wären, usw. Mit diesen Hilfestellungen kann der Betrachter Gefährdungen leichter identifizieren, bewerten und über eine Eingabemaske die Gefährdung eintragen. Dabei unterstützt ihn eine Liste von genormten Gefahrenklassen. Aus dieser wählt er z. B. die mechanische Gefährdung "Gefährdung durch Quetschen". In gleicher Weise wählt er die Lebensphasen aus, in denen diese Gefahr auftritt. In einem Freitext kann er weitere Informationen zur Beschreibung hinzufügen.

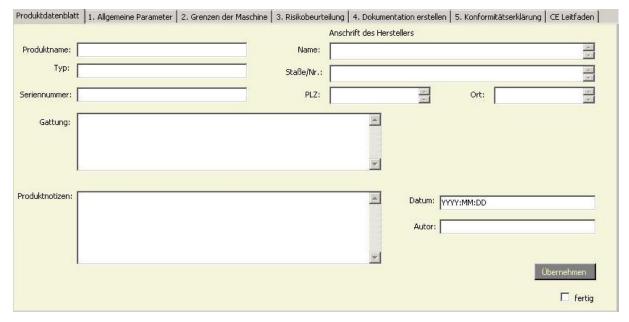


Abbildung 14: Abbildung der Eingabemaske des Produktdatenblatt

Über Auswahlboxen ist ein Risikograph in Anlehnung an die DIN EN 14121 hinterlegt. Der Anwender wählt aus diesen Auswahlboxen die jeweilige Einschätzung und erhält den entsprechenden Risikowert, der ihn bei seiner Beurteilung unterstützt. In der finalen Ausbaustufe des Werkzeugs werden hier dem Nutzer weitere Empfehlungen bzw. Hinweise, die den Handlungsbedarf beschreiben, zur Verfügung gestellt. - Ist z. B. ein Verweis in der Betriebsanweisung ausreichend oder muss eine konstruktive Maßnahme vorgenommen werden.

Bei Bedarf können die Sicht auf die Gefährdung und ein Schnappschuss des Betrachtungspunktes der Gefahrenstelle in der virtuellen Szene zur weiteren Dokumentation erstellt werden.

In der Folge werden Maßnahmen definiert oder aus einen vorgegebenen Katalog typische Maßnahmen ausgewählt und entsprechende Restrisiken bestimmt. Die identifizierten und bewerteten Gefahren werden anschließend in einer Gefahrenliste bzw. Maßnahmenliste ausgegeben. Zur Unterstützung der Risikobeurteilung sind Verweise auf relevante Normen und weitere Hilfsmittel bzw. deren Bezugsquelle enthalten.

Hat der Nutzer die Risikobeurteilung am interaktiven 3-D-Modell beendet, folgt die Erstellung der Dokumentation. Hier kann das Programm zukünftig mit automatisch erstellten Textbausteinen aus den vorhandenen Daten (Produktblatt, beschriebene Gefährdungen) und mit dem Betrachtungspunkt der Gefahrenstelle den Dokumentationsvorgang in vielfältiger Art und Weise unterstützen. Abschließend kann mit Hilfe eines Vordrucks die Konformitätserklärung erstellt werden.

Die eingegebenen Daten werden in einer Datenbank hinterlegt und sind mit dem interaktiven 3-D-Modell jederzeit wieder aufrufbar. Durch Selektion auf ein Bauteil des Modells der Maschine / Anlage kann der jeweilige Datensatz der Gefahrenstelle direkt aufgerufen werden. Als Ausgabeoptionen sind Word-, Excel- oder PDF-Dokumente möglich, die der Dokumentation dienen sollen.

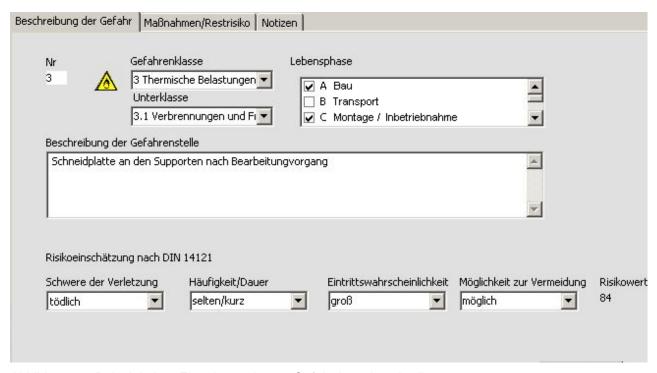


Abbildung 15: Beispiel einer Eingabemaske zur Gefährdungsbeschreibung

5.1.7 Vorteile für die Organisation bei zur Umsetzung

Die Nutzung der interaktiven Kommunikationsplattform erfordert eine aufbau- und ablauforganisatorische Einbindung in die Unternehmen (siehe Abbildung 16). Für die Unternehmen müssen deshalb die spezifischen Anforderungen an die Abstimmungsprozesse, den innerbetrieblichen "CE-Koordinator" und die Rolle in der Unternehmensstruktur als Schlüsselfunktion festgelegt werden.

Der damit initiierte Prozess hat das vorrangige Ziel, den Beginn der Risikobeurteilung so früh wie möglich in den Entwicklungsprozess als Meilenstein zu integrieren, z. B. in einer ersten Risikobeurteilung

am interaktiven 3-Maschinenmodell in einer dreidimensionalen Umgebung. Dabei wird die systematische Vorgehensweise zum Erkennen und konstruktiven Vermeiden von Gefahren bereits während der Entwicklung von Maschinen durch die Nutzung der interaktiven 3-D-Modelle unterstützt. Das interaktive Modell dient dem "CE-Koordinator" durch folgende Funktionen zur Unterstützung:

- Geführte Bearbeitung des CE-Verfahrens am konkreten interaktiven 3-D Maschinenmodell
- Visualisierung und Verknüpfung von Gefahren, Risikobeurteilung und der Maßnahmen mit dem virtuellen Bauteil / Baugruppe des 3-D-Modells
- Eindeutige, sprachunabhängige Zuordnung von Gefahrstellen zu Maschinenelementen
- Bewertung der Risiken durch ein funktionales bewegtes Maschinenmodell
- Leichtes Auffinden von Gefahrenbereichen innerhalb komplexer Maschinen durch Speicherung von Betrachtungspunkten
- Prozessbegleitende Erstellung der Dokumentation zur Risikobeurteilung
- 3-D-Abbildung (Betrachtungspunkt / Screenshot) der Gefahrenstelle in der Dokumentation
- Referenzen von Stücklisten oder Bauteilbezeichnungen zur Risikobeurteilung
- Ausgabe von Restrisiken zur Nutzung für die Betriebsanleitung
- Filterfunktion für Gefährdungsarten, bestimmte Lebensphasen und Betriebszustände

Schon vor und während der Konstruktionsphase werden vom "CE-Koordinator" zu bestimmten Zeitpunkten Sitzungen mit den verschiedenen Fachbereichen durchgeführt, um sicherheitstechnische Fragen zu klären und Änderungsmöglichkeiten bzw. deren Verbesserungspotential zu diskutieren.

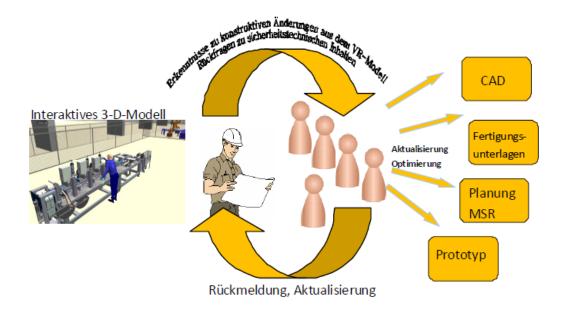


Abbildung 16: Gruppe diskutiert gemeinsam mit Unterstützung des interaktiven 3-D-Modells in einer Phase, in der die reale Maschine noch nicht existiert

Während dieser Besprechungen bildet das interaktive Modell die zentrale Kommunikationsgrundlage für alle Beteiligten und dient gleichzeitig mit Hilfe der Annotationen zur Protokollierung von Ergebnissen bzw. Informationen zu bestimmten Baugruppen bzw. Bauteilen.

Über das interaktive Maschinenmodell werden somit iterative Verbesserungen in die Konstruktion eingepflegt. Eine aktuelle Version des 3-D-Maschinenmodells kann jederzeit anhand der konstruktiven oder verfahrenstechnischen Änderungen erzeugt werden. Der Auslieferzustand der realen Maschine entspricht im Idealfall dem interaktiven virtuellen 3-D-Maschinenmodell. Die Funktionsbreite und -tiefe des Modells kann je nach Zielsetzung unterschiedlich gestaltet sein und an die jeweiligen Anforderungen anpassbar. Im weiteren Verlauf der Inbetriebnahme und des Betriebes kann in allen betrieblichen Prozessen eine Nachnutzung erfolgen, z. B. zu Abstimmungszwecken mit den Kunden, zur Unterweisung des Bedienungspersonals und zum Training des Wartungspersonals.

Weiterhin ist eine Vielzahl von Anwendungsfällen möglich, die je nach Unternehmen hinsichtlich der Kostenaufwendung und des Nutzens bewertet werden müssen. Ein erster Ansatz wurde mit den drei beteiligten Unternehmen des Projektes entwickelt, für die jeweils ein exemplarisches Szenario erstellt wurde.

5.2 Nutzung interaktiver 3-D-Maschinenmodelle für die Qualifizierung

Die aufgezeigte Integration innerhalb der Entwicklungsprozesse kann als eine Facette des Innovationspotentials von virtuell interaktiven 3-D-Maschinenmodellen im koordinierten CE-Prozess angesehen werden. Ein weiterer Nutzen bietet sich in den flankierenden Nutzungsbereichen, z. B. für den Kunden als Betreiber der Maschinen. Für die Fachkräfte in der Produktion, der Instandhaltung oder im Service können die interaktiven 3-D-Maschinenmodelle als Lernmedien bereitgestellt werden, in denen sowohl optimierte Arbeitsprozeduren als auch die verbleibenden Restrisiken dargestellt werden. Vorhersehbare Fehlanwendung von Maschinen (z. B. die Überbrückung von Sicherheitseinrichtungen) können hiermit ebenfalls aussagekräftig demonstriert werden. Zur Verkürzung der Einarbeitungszeit können die Unterweisungen und Schulungen bereits unmittelbar vor der Inbetriebnahme der realen Maschine an dessen interaktiven 3-D-Modell durchgeführt werden.

Um entsprechende Qualifizierungsmodule erstellen zu können, sind Vorarbeiten in den Unternehmen notwendig. Deren Inhalt muss auf die Bedarfe des Unternehmens zugeschnitten sein. Hierzu wurden im Rahmen des Projekts IMMMA mit den beteiligten Industriepartnern exemplarische Maschinen und Prozesse ausgewählt, die für den Praxistransfer geeignet sind. Dazu ist während der Konstruktionsphase sowohl eine technische Analyse als auch eine Prozessanalyse vor Ort bei den jeweiligen Industriepartnern durchgeführt worden.

5.2.1 Technische Analyse und Ermittlung der Restrisiken

Die technische Analyse betrachtet die Gesamtheit der Maßnahmen. Hier wurden alle Aktivitäten aufgenommen und bewertet, die vom Unternehmen hinsichtlich des Arbeitsschutzes und der Umsetzung der MaschRL im Lebenszyklus einer Maschine getroffen werden müssen.

Dies schließt die zu erbringenden Dokumente (Pflichtenheft, Technische Dokumentation), die Durchführung der Gefahrenanalyse und der Risikobeurteilung sowie die Betrachtung der verwendeten Normen, die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im CE-Kennzeichnungsprozess mit ein. Ein besonderes Augenmerk wurde in diesem Kontext auch auf die Abstimmungsprozesse zwischen Hersteller und Betreiber der Maschine gelegt. Nach Abschluss der Technischen Analyse wurden Verbesserungspotenziale mit den Unternehmen diskutiert (Hinweise auf inhaltliche und organisatorische Verbesserungspotenziale innerhalb ihres CE-Prozesses). Gemeinsam mit den Unternehmen wurden für die ausgewählten Maschinen Restrisiken bzw. sicherheitsrelevante Handlungen an den Maschinen definiert, die zu Schulungszwecken geeignet sind (s. Abbildung 17).

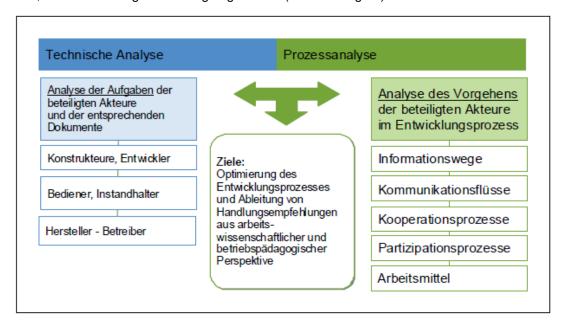


Abbildung 17: Analyse der ausgewählten Maschinen während der Konstruktionsphase

5.2.2 Erkenntnisse aus den Prozessanalysen in den Unternehmen

Für einen beteiligten Industriepartner wurde das funktionale interaktive 3-D-Modell den Konstrukteuren bereits im Entwicklungsprozess der Maschine zur Verfügung gestellt. Aus der Sicht der Konstrukteure ergaben sich spezielle Anforderungen hinsichtlich bestimmter Funktionalitäten an das Modell, bspw. die Möglichkeit der Veränderung funktionaler Parameter (wie z. B. Anzahl der Arbeitsstationen, Maschinenabschnitte, Takte etc.), um die Konstruktion bzw. das Verfahren zu optimieren. Eine weitere Anforderung bestand darin, Informationen für den Konstruktions- und Abstimmungsprozess am interaktiven Modell zu hinterlegen. Dadurch konnte die abteilungsübergreifende Abstimmung erheblich erleichtert werden und zusätzlich war es möglich, eine Gefahrenanalyse bereits während der Konstruktion am interaktiven Modell durchzuführen. Damit verbunden ist auch die Ausgabe von Dokumenten (z. B. in Form von PDF-Dateien), die bereits zu diesem frühen Zeitpunkt für die technische Dokumentation verwendbar sind.

Der Prozessablauf der Firma Staedtler macht deutlich, dass mit Hilfe des 3-D Modells eine Vorverlegung der CE-Prozesse im Lebenszyklus möglich ist (s. Abbildung 18).

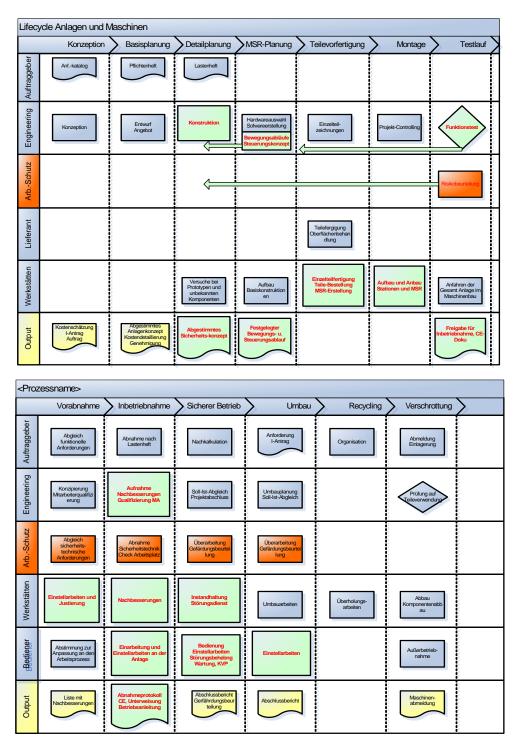


Abbildung 18: Veränderung von Prozessen durch den Einsatz virtueller Module (Staedtler, 2008): Rot gekennzeichnete Prozess-Schritte veränderten sich durch den Einsatz virtueller Module, sie können teilweise zeitlich vorverlagert werden

Da es sich in diesem beschriebenen Fall um einen Prototypen für das Unternehmen handelte, konnte das interaktive 3-D-Modell genutzt werden, um der Unternehmensleitung und dem Produktionsbereich (Hersteller der Maschine ist gleichzeitig der spätere Betreiber) die Funktionsweise der Maschine und die Vorteile im Vergleich zu anderen Typen darzustellen.

Im Ergebnis wurden Entscheidungen über den weiteren Fortgang bzw. inhaltliche Details der Konstruktion zu einem sehr frühen Zeitpunkt getroffen. Für einen weiteren Anwendungsfall, bei dem Anpassungskonstruktionen von Maschinen durchgeführt wurden, ist das interaktive 3-D-Modell genutzt worden, um eine interdisziplinäre Gefahrenanalyse am Modell mit den Beteiligten durchzuführen, die die betreffende Maschine vorher nicht im Detail kannten.

5.3 Vom 3-D-Maschinenmodell zum Wissens- und Trainingsmodul

Für eine entsprechende Umsetzung war es notwendig, die entstehenden virtuell interaktiven 3-D-Modelle im Hinblick auf die Zielgruppen und den Einsatzzweck weiterzuentwickeln. Für diese Qualifizierungseinheiten wurden Lernsituationen im Rahmen einer Weiterbildungskonzeption didaktisch aufbereitet. In den Qualifizierungseinheiten zum Thema Arbeitsschutz wurde z. B. ein Demonstrations-Modus entwickelt, der den Bedienern und dem Wartungspersonal die Restrisiken darstellt. (s. Abbildung 19).

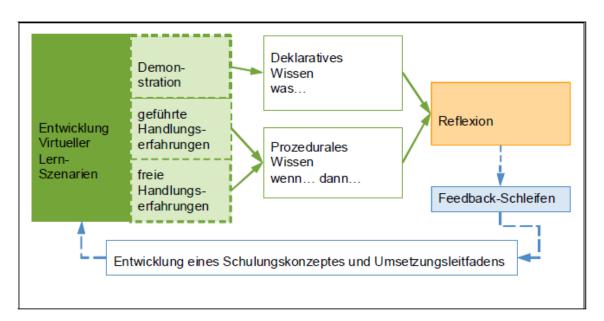


Abbildung 19: allgemeine Zielvorstellung zur methodisch-didaktischen Aufbereitung der interaktiven Modelle

Darüber hinaus kann die virtuelle Darstellung von Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungstätigkeiten gleichzeitig zur Schulung des Personals verwendet werden.

5.4 Beispiele von Anwendungsszenarien

Durch die Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten wurde hier mit beteiligten Unternehmen des Projektes jeweils ein exemplarisches Szenario ausgewählt und entwickelt. Fokussiert wurde die Unterstützung technischer Fachkräfte in der Unterweisung und Qualifizierung zur Bedienung und in der Instandhaltung der Maschinen.

5.4.1 Anwendungsszenario Schiess GmbH

Die Firma Schiess GmbH stellt Vertikaldreh, -bohr- und -fräszentren her. Der Vorgang des Einmessens an dem Großbearbeitungszentren Vertimaster Modell VMG6 wurde als exemplarisches Szenario methodisch-didaktisch aufbereitet.

Das Einmessen bezeichnet das Messen, Einrichten und Prüfen von Werkstücken auf mittleren bis großen, horizontalen und vertikalen Werkzeugmaschinen, auch Portalmaschinen. Dazu wird ein sogenannter Messtaster verwendet, der am Werkstück bzw. in diesem Fall am Werkzeugkopf angebracht wird und per Funk das Werkstück einmisst bzw. ein- und ausgeschaltet werden kann.



Abbildung 20: Reale Abbildungen der Maschine

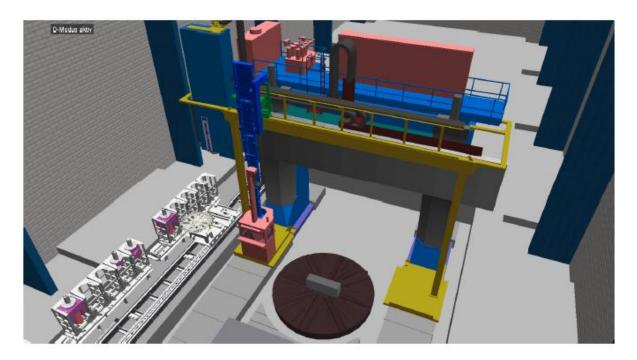


Abbildung 21: Ansicht des interaktiven 3-D-Modells aus der Vogelperspektive

5.4.2 Anwendungsszenario Hegenscheidt GmbH & Co. KG

Das Maschinenbauunternehmen Hegenscheidt MFD GmbH & Co. KG produziert Überflur- und Unterflurradsatzdrehmaschinen zur Reprofilierung von Radsätzen sowie Radsatz-Diagnosesysteme und Aufgleissysteme für Schienenfahrzeuge.





Abbildung 22: Reale Maschinenkomponenten

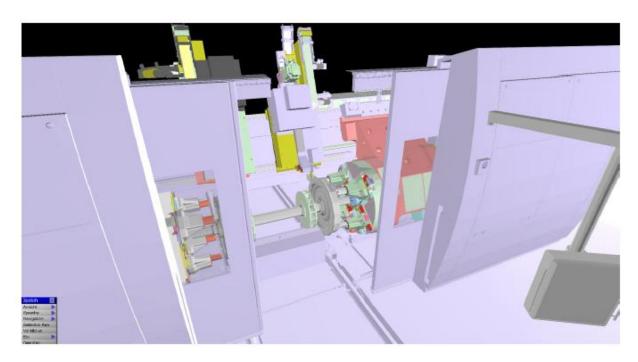


Abbildung 23: Gesamtansicht des interaktiven 3-D-Modells

Es wurde das Hydrauliksystem (s. Abbildung 22) einer Radsatzdrehmaschine (165 CNC) ausgewählt, um Lernsituationen für das Einrichten und die Wartung zu gestalten und zu entwickeln. Diese Schulung soll dem Kunden in Form einer CD zur Verfügung gestellt werden. Zielsetzung ist u. a. die Unterweisung von Bedienpersonal oder die unterstützende Darstellung von Vorgehensweisen in der Instandsetzung und Wartung der Maschine.

5.4.3 Anwendungsszenario Staedtler GmbH & Co. KG

Für eine neu konzipierte Bedruckungsmaschine des Schreibwarenherstellers werden erstmalig Werkzeugträger entwickelt, die eine Bedruckung unterschiedlichster Stiftformen ermöglichen. Hierbei stellen der Werkzeugträgerwechsel und die hierfür notwendigen Referenzfahrten neue Anforderungen an die Konzeption der Sicherheitstechnik und ergeben neue Vorgehensweisen in den unterschiedlichen Betriebsphasen. Es wurden Aufgaben zur Schulung des Personals definiert, um z. B. die Maschine für eine neue Fertigungsserie einzurichten. Ein diesbezüglicher wesentlicher Vorgang besteht im Wechsel der einzelnen Stiftträgerplatten. Eine zweite Aufgabe besteht darin, die Maschine nach einem zufälligen Ausfall der Spannungsversorgung wieder in Betrieb zu nehmen. Hierfür ist es notwendig die Referenzpunkte der einzelnen Transportbänder einzustellen.



Abbildung 24: Reale Anlage

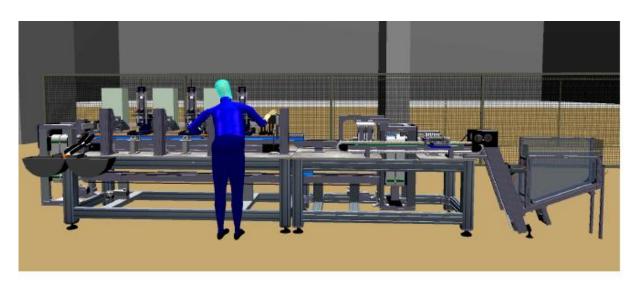


Abbildung 25: Ansicht des interaktiven 3-D-Modells mit ausgeblendeter Einhausung Schlussbericht BMBF-PROJEKT "IMMMA"

6 Entwicklung neue Arbeitsfelder

Entsprechend des Projektantrages wurden für die drei Hersteller-Anwenderkonstellationen exemplarisch an neu, bzw. vorhandenen, konstruierten Maschinen/Anlagen die Möglichkeiten interaktiver Modelle in der Gefahrenprävention untersucht. Dabei wurden drei Schwerpunktarbeiten durchgeführt.

Auf der Grundlage von Technischer Analyse und Prozessanalyse wurden mit Hilfe vorhandener CAD-Daten VR-Modelle modelliert, an denen die maschinentypischen Gefahrenschwerpunkte analysiert (grobe Gefahrenanalyse) und mit Hilfe von Annotationen sichtbar gemacht wurden. Die für eine spezifische und detaillierte Simulation von Gefahren und Gefährdungen erforderlichen Schwerpunkte (z. B. räumliche Bedingungen, Zuführungen, etc.) wurden projektseitig entworfen und prozessbegleitend erstellt. Gleichzeitig wurden Anforderungen an mögliche Trainingsmodule für spezifische Aufgabenstellungen in den Unternehmen formuliert auf deren Basis VR-gestützte Lernumgebungen entwickelt wurden.

Es erfolgte eine detaillierte Gefahrenanalyse in den ausgewählten Schwerpunktbereichen (z. B. mechanische Gefährdungen) mit dem Ziel, Verbesserungsmöglichkeiten und die verbleibenden Restrisiken zu lokalisieren und im 3D-Modell zu dokumentieren.

Auf der Grundlage der Erfahrungen der Forschungspartner sowie der Hersteller/Betreiber im Umgang mit dem VR-Modell wurde daraus der Bedarf eines Tools formuliert, welches den Prozess der Risikobeurteilung am Modell unterstützt und handlungsorientierte Hilfestellung zu den verschiedenen Schritten des CE-Kennzeichnungsprozesses liefert. Die Entwicklung der CE-Tools geht daher weit über die Idee der geplanten Annotationen hinaus. Das Tool stellt durch seine Datenbankunterstützung prozess- und produktspezifische Informationen bereit, die den Anwender in die Lage versetzen, die aus der Risikobeurteilung ermittelten Ergebnisse niederzuschreiben und in vordefinierten Prozessschritten weiterzuverarbeiten. Dabei bekommt er zu allen Prozessen hilfreiche Informationen, die das Verständnis und den Blickwinkel der Maschinenrichtlinie verdeutlichen.

Gleichzeitig zeigte sich, dass der Umgang mit dem VR-Modell und dem CE-Tool sowie die koordinative und inhaltliche Auseinandersetzung mit dem Thema Maschinensicherheit eine Kernkompetenz darstellt, die für die erfolgreiche Nutzung von VR im CE-Prozess des Unternehmens unumgänglich ist. Aus diesem Grund sowie in Anlehnung an die Anforderungen der neuen Maschinenrichtlinie wurde die Rolle und Funktion des CE-Koordinators entwickelt und ein entsprechendes Schulungskonzept für die Unternehmen erstellt und erprobt.

So hat diese duale Entwicklungsperspektive den Blick über den wesentlichen Forschungsschwerpunkt "VR als Medium für Wissenstransfer" erweitert und die Entwicklung von marktfähigen Produkten vorbereitet und gefördert.

Die Erkenntnisse und Ergebnisse der drei VR-Anwendungen wurden hinsichtlich ihrer transferfähigen technischen, fachlichen und didaktischen Elemente zusammengefasst und präsentabel gestaltet und mit den Unternehmen weiterentwickelt.

7 Während des Projektes bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Auftrags bei anderen Stellen

Alle Unternehmen, die Maschinen bauen oder umbauen, verkaufen oder kaufen und benutzen, müssen seit dem 29. Dezember 2009 die neue europäische Maschinenrichtlinie (2006/42/EG). Welche Änderungen ergaben sich durch die neue Maschinenrichtlinie?

- In der alten Maschinenrichtlinie waren unterschiedliche Verfahren zum Nachweis der Sicherheit für Maschinen, auswechselbare Ausrüstungen, Sicherheitsbauteile, Ketten/Seile/Gurte für Hebezwecke, Gelenkwellen und Lastaufnahmemittel vorgeschrieben. Künftig gelten für diese Produkte die gleichen Regelungen wie für Maschinen. Sie müssen z. B. mit CE-Zeichen, Konformitätserklärung und den erforderlichen Benutzerinformationen in den Verkehr gebracht werden.
- Baustellenaufzüge unterliegen der Maschinenrichtlinie.
- Geschwindigkeitsbezogene Abgrenzung zwischen Maschinenrichtlinie und Aufzugsrichtlinie.
 Für Fahrgeschwindigkeiten des Lastträgers > 0,15 m/s gilt die Aufzugsrichtlinie, sonst oder wenn eine der Ausnahmeregelungen der Aufzugsrichtlinie zutrifft, gilt die Maschinenrichtlinie
- Maschinen, die speziell für Forschungszwecke konstruiert und gebaut wurden und zur vorübergehenden Verwendung in Laboratorien bestimmt sind, unterliegen nicht der Maschinenrichtlinie.
- Die Abgrenzung zur Niederspannungsrichtlinie ist nicht mehr risikobezogen, sondern produktbezogen geregelt.
- Die Konformitätsverfahren für Anhang IV Maschinen wurden verändert. Z. B. können für solche Maschinen, die nach harmonisierten Normen hergestellt wurden, die Konformität durch interne Fertigungskontrolle bestätigt werden. Dies ist auch dann möglich, wenn keine harmonisierte Norm vorliegt, der Betrieb aber ein umfassendes Qualitätssicherungssystem unterhält.
- Die neue MaschRL fordert vom Hersteller eine Risikobeurteilung statt einer Gefahrenanalyse.
 Inhaltlich bedeutet dies, dass neben der Ermittlung der Gefahren auch die Bewertung des Risikos als Maß aus Höhe des Schadens, Eintrittswahrscheinlichkeit und Möglichkeit zur Vermeidung des Schadens vorgenommen werden muss. Die Bezeichnung Risikobeurteilung wurde dabei redaktionell an die Ausführungen der DIN EN ISO 14121 und DIN EN ISO 12100 angepasst.

Im gesamten Projektverlauf wurde bereits auf die Implementierung der Neuerungen in der MaschRL 2006/42/EG Wert gelegt. Die Risikobeurteilung als Bestandteil des VR-Tools ist daher ebenso an die Anforderungen der neuen Maschinenrichtlinie angepasst, wie das Ausbildungskonzept des CE-Koordinators.

Flankierende Erkenntnisse im Bereich VR, die jedoch nur geringen Einfluss auf den eigentlichen Ablauf oder die Inhalte des Projektes besaßen, gab es vor allem aus der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Entwicklung virtueller Arbeitssysteme bildet einen hoch aktuellen Forschungsschwerpunkt verschiedener Fraunhofer Institute, der bislang allerdings kaum durch Grundlagenforschung abgesichert ist. Innerhalb der Fraunhofer Gesellschaft befassen sich verschiedene Institute unter dem Schwerpunkt "Virtual Engineering" mit unterschiedlichen Formen von VR-Entwicklungen:

- Das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS St. Augustin mit dem Geschäftsfeld "Virtual Engineering" konzentriert sich in einem Kompetenzzentrum "Virtual Environments-Technologien mit den Aufgabenbereichen Modellierung, Visualisierung, Rendering, Interaktion und Tracking, VR-Hardware (Ein- und Ausgabegeräte), VR-Software, Simulation, Audifizierung, Immersive Telepräsenz und Kollaborative Umgebungen.
- Das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik Dortmund mit dem Arbeitsschwerpunkt "Virtual Engineering und Digitale Fabrik" innerhalb der dort eingerichteten Abteilung Simulationskonzepte und -instrumente;
- Das Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK Berlin betreibt im Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung verschiedene Entwicklungsvorhaben mit Bezug insbesondere auf die VR-Unterstützung im Bereich der Konstruktion technischer Systeme.
- Das Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD Darmstadt bearbeitet in der Abteilung "Virtuelle und erweiterte Realität" Projekte zur wissenschaftliche Visualisierung, virtuellen Realität und insbesondere hier ist der Kompetenzschwerpunkt des Instituts zur Augmented Reality.
- Besonderer Schwerpunkt sind virtuelle Technologien im Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg. Hier ausgewiesen sind die Kompetenzfelder Virtual Engineering, Virtual Prototyping und Virtuell-Interaktives Training. Zudem besitzt das Fraunhofer IFF mit dem Virtual Development and Training Centre VDTC, das im November 2006 im Rahmen einer Großinvestition der Fraunhofer Gesellschaft aufgebaut und in Betrieb genommen worden ist, über eine international einmalige Entwicklungs- und Experimentalumgebung mit einem einzigartigen Technologieumfeld, das für eine standortübergreifend angelegte Grundlagenforschung erschlossen werden soll.

Mit Ausnahme des IFF werden Fragen der virtuellen Produkt- und Systementwicklung durchgängig auf Fragen der Weiterentwicklung virtueller Technologien konzentriert. In der Erforschung informationstechnischer, ergonomischer, betriebsorganisatorischer und didaktischer Grundlagen des Lernens in VR-basierten Arbeits- und Lernumgebungen liegt derzeit noch ein wesentliches Erkenntnisdefizit und eine der wichtigsten Hürden für eine in Zukunft breit angelegte Nutzung VR-basierter Technologien für den Bereich von Ausbildung, Training und Kompetenzentwicklung.

8 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der FE-Ergebnisse

- Faber, Thekla; Kroys, Alexander: (2007):Interaktive Module zur Umsetzung der Maschinenrichtlinien in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen (IMMMA). In: 3./4. IFF-Kolloqium Forschung vernetzen Innovationen beschleunigen, S. 19-23.
- Lange, Andrea; Schulz, Torsten; Termath, Wilhelm: (2007): IMMMA Interaktive Module zur Umsetzung der Maschinenrichtlinie in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen. In: Sammelband zum Marktplatz zur BMBF-Tagung Innovationsfähigkeit in einer modernen Arbeitswelt. Personalentwicklung Organisationsentwicklung Kompetenzentwicklung, S. 40-41.
- Kißner, Heike; Lange, Andrea; Schulz, Torsten; Termath, Wilhelm; Szymanski, Hans: (2007): Virtuell interaktive Module zur innovativen Umsetzung der EU-Maschinenrichtlinie; Partizipation der Akteure im Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen. In: Bericht zum 53. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V.: Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen, S. 101-104.
- Lange, Andrea; Schulz, Torsten; Termath, Wilhelm; Szymanski, Hans: (2008): "Kundeninnovation" als Kooperation von Maschinenherstellern und Anwendern am Beispiel der Umsetzung der EU-Maschinenrichtlinie. In: Präventiver Arbeits- und Gesundheitsschutz 2020. Tagungsband zur Jahrestagung 2007 des BMBF-Förderschwerpunkts, S. 210-215.
- Faber, Thekla; Kißner, Heike; Kroys, Alexander; Lange, Andrea; Schulz, Torsten; Szymanski, Hans; Termath, Wilhelm: (2007): wt-Werkstattstechnik online: Virtuell-interaktive Module zur innovativen Umsetzung der EU-Maschinenrichtlinie. In: wt-online 7/8-2007, S. 598-601.
- Lange, Andrea; Schulz, Torsten; Szymanski, Hans; Termath, Wilhelm; Lucas, Daniela; Kroys, Alexander: (2007): Interaktive Module zur Umsetzung der MaschRL in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen "immma". In: 8. Magdeburger Maschinenbau-Tage / 7. MAHREG Innovationsforum.
- Lange, Andrea; Schulz, Torsten: (2008): Innovative CE-Prozesse zur Umsetzung der Maschinenrichtlinie - Kurzbericht des 3. Beiratstreffens in Hamburg - zum aktuellen Stand des Projektes immma. In: www.praevention-online.
- Lange, Andrea; Schulz, Torsten: (2008): Interaktive 3-D-Modelle unterstützen die Umsetzung der Maschinenrichtlinie. In: Der Konstrukteur, Ausgabe Nov. 2008, S.90 92.
- Maria Kondratjuk, Maria; Kroys, Alexander; Termath, Wilhelm: (2008): Die neue Maschinenrichtlinie und ihre Umsetzung in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen Das Projekt "immma". In: Hochschultage Berufliche Bildung 2008, http://www.bwpat.de/ht2008/ft03/kondratjuk_etal_ft03-ht2008_spezial4.shtml.
- Reiner, Jürgen; Kroys, Alexander: (2008): VR-Technologien in Engineering und Qualifizierung Motiv und Perspektive für die Kooperation mit der angewandten Forschung. In: Gastvortragsreihe Virtual Reality 2008, Virtual Reality Mensch und Maschine im interaktiven Dialog Band 5, S. 71-87.
- Lange, Andrea; Schulz, Torsten; Szymanski, Hans: (2009): Umsetzung von CE-Prozessen durch neue Methoden und interaktive 3-D-Modelle. In: Betriebliche Instandhaltung, http://elib.tu-

- darmstadt.de/tocs/213392232.pdf.
- Kroys, Alexander: (2009): VR-gestütztes Referenzmodell zur Unterstützung des CE-Kennzeichnungsprozesses. In 7./8. IFF-Kolloquium 2009, S. 21-24.
- Lange, Andrea; Szymanski, Hans; Kroys, Alexander; Schulz, Torsten; Faber, Thekla; Jennewein, Klaus: (2009): Interaktive Module zur Umsetzung der MaschRL in der Entwicklung und Nutzung von Maschinen und Anlagen-IMMMA. In: Innovation und Prävention, S. 27-67.
- Lange, Andrea; Kroys, Alexander; Schulz, Torsten; Szymanski, Hans: (2009): Virtuell interaktive Module zur Verbesserung der innerbetrieblichen Kommunikation und der Produktergonomie sowie zur Unterstützung effizienter CE- Prozesse von Maschinen. In: GfA-Herbstkonferenz 2009 in Milstatt am See, S. 265-271.
- Kroys, Alexander; Berens, Tobias: (2009): Eine VR-gestützte Methodik zur Unterstützung des CE-Kennzeichnungsprozesses. In: 9. Magdeburger Maschinenbautage, S. 450-459.
- Lange, Andrea; Kroys, Alexander; Schulz, Torsten; Szymanski, Hans: (2009): Interaktive 3-D Maschinenmodelle zur Unterstützung der Umsetzung der Maschinenrichtlinie. In: Datenträger A+A, Nr. 25 / Die MaschRL 2006/42/EG und ihre nationale Umsetzung Neuerung für die betriebliche Praxis.

9 Literatur

Anderson, J. R. (1996): The Architecture of Cognition. Mahwah NJ: Erlbaum.

Bader, Reinhard (1991): Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz durch Verstehen und Gestalten von Systemen – Ein Beitrag zum systemtheoretischen Ansatz de r Technikdidaktik. In: Die berufsbildende Schule (BbSch) 43 (1991) 7/8, S. 441-458.

Bader, Reinhard; Müller, Martina (2002): Leitziel der Berufsbildung: Handlungskompetenz – Anregung zur Differenzierung des Begriffes. In: Die berufsbildende Schule (BbSch) 54 (2002) 6, S. 176-182. Baethge-Kinsky, V: Prozessorientierte Arbeitsorganisation und Facharbeiterzukunft. In: Dostal, W./Kupka,P (Hrsg.): Globalisierung, veränderte Arbeitsorganisation und Berufswandel. Nürnberg 2001, S.81-97; zitiert nach: Pahl, J.-P./Herkner, V.: Rahmencurriculum Instandhaltung, Bielefeld 2007, S. 33 f.

Briggs, J. (2002): "Virtual Reality Is Getting Real: Prepare to Meet Your Clone" Futurist (06/02: May-June) Vol. 36, No. 3, P. 34; Briggs, John C.

Dörner, D. (1987): Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart

Elsholz, U. (2002): Kompetenzentwicklung zur reflexiven Handlungsfähigkeit. In: Dehnbostel, Peter [u. a] (Hrsg.): Vernetzte Kompetenzentwicklung: alternative Positionen zur Weiterbildung. Berlin (Ed. Sigma) 2002, S. 31–43.

Erpenbeck, J., Sauter, W.: Kompetenzentwicklung im Netz – Blende Learning mit Web 2.0., Köln 2007, S. 65 f.

Flechter, S. (2005): Förderung der Problemlösefähigkeit zum Konstruieren - Gestaltung von Lernprozessen mit Hilfe eines wissensbasierten Lernsystems. Bielefeld

Jenewein, K., Schulz, T. (2007): Didaktische Potentiale des Lernens mit interaktiven VR-Systemen, dargestellt am Training des Instandhalktungspersonals mit dem virtuellen System "Airbus A 320". In: Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen, 53. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, S.323-326. Dortmund

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung), EU-Amtsblatt (L 157), 2006

Lange, A.; Szymanski, H. (2005): Analyse von Konformitätsnachweisen für Maschinen: Inhalte, Formen, Vorgehensweise bei der Erarbeitung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund, Berlin, Dresden

Lange, A.; Szymanski, H. (2006): Leitfaden zur Umsetzung des CE-Kennzeichnungsverfahrens für Maschinen, Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, ISBN 3-86509-385-X. Dortmund, Berlin, Dresden,

Schenk, M. (2003): "Virtual Reality und Simulation – Perspektiven für Entwicklung, Test und Training in der Industrie", Frontiers in Simulation: Simulationstechnik 17. Symposium in Magdeburg 2003, S. 1-10, SCS-Europe BVBA