



Deutsches
Forschungszentrum
für Künstliche
Intelligenz GmbH

Document
D-94-02

**Wissenserhebung und Analyse
zum Entwicklungsprozeß
eines Druckbehälters
aus Faserverbundwerkstoff**

Markus Steffens

Februar 1994

**Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
GmbH**

Postfach 20 80
67663 Kaiserslautern, FRG
Tel.: (+49 631) 205-3211/13
Fax: (+49 631) 205-3210

Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken, FRG
Tel.: (+49 681) 302-5252
Fax: (+49 681) 302-5341

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

The German Research Center for Artificial Intelligence (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, DFKI) with sites in Kaiserslautern and Saarbrücken is a non-profit organization which was founded in 1988. The shareholder companies are Atlas Elektronik, Daimler-Benz, Fraunhofer Gesellschaft, GMD, IBM, Insiders, Mannesmann-Kienzle, SEMA Group, and Siemens. Research projects conducted at the DFKI are funded by the German Ministry for Research and Technology, by the shareholder companies, or by other industrial contracts.

The DFKI conducts application-oriented basic research in the field of artificial intelligence and other related subfields of computer science. The overall goal is to construct *systems with technical knowledge and common sense* which - by using AI methods - implement a problem solution for a selected application area. Currently, there are the following research areas at the DFKI:

- Intelligent Engineering Systems
- Intelligent User Interfaces
- Computer Linguistics
- Programming Systems
- Deduction and Multiagent Systems
- Document Analysis and Office Automation.

The DFKI strives at making its research results available to the scientific community. There exist many contacts to domestic and foreign research institutions, both in academy and industry. The DFKI hosts technology transfer workshops for shareholders and other interested groups in order to inform about the current state of research.

From its beginning, the DFKI has provided an attractive working environment for AI researchers from Germany and from all over the world. The goal is to have a staff of about 100 researchers at the end of the building-up phase.

Dr. Dr. D. Ruland
Director

Wissenserhebung und Analyse zum Entwicklungsprozeß eines Druckbehälters aus Faserverbundwerkstoff

Markus Steffens

DFKI-D-94-02

Diese Arbeit wurde finanziell unterstützt durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie (FKZ ITW-9304/3). Sie wurde angefertigt unter Mitwirkung von Bernd Bachmann, Ansgar Bernardi, Christoph Klauck und Gabriele Schmidt.

© Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz 1994

This work may not be copied or reproduced in whole or in part for any commercial purpose. Permission to copy in whole or in part without payment of fee is granted for nonprofit educational and research purposes provided that all such whole or partial copies include the following: a notice that such copying is by permission of Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Kaiserslautern, Federal Republic of Germany; an acknowledgement of the authors and individual contributors to the work; all applicable portions of this copyright notice. Copying, reproducing, or republishing for any other purpose shall require a licence with payment of fee to Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz.

ISSN 0946-0098

**WISSENSERHEBUNG UND ANALYSE
ZUM ENTWICKLUNGSPROZESS EINES DRUCKBEHÄLTERS
AUS FASERVERBUNDWERKSTOFF**

IM RAHMEN DES DFKI-PROJEKTES

IMCOD

**IN ZUSAMMENARBEIT MIT DEM
INSTITUT FÜR VERBUNDWERKSTOFFE GMBH (IVW)
UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN**

VON

MARKUS STEFFENS

OKTOBER 1993 - FEBRUAR 1994

ABSTRACT

Within the scope of the DFKI-project IMCOD (Intelligent Manager for COmprehensive Design) a so-called 'Design-Manager' as an engineering expert system is being developed. The task of this manager as a part of an intelligent computer system shall be the coordination of single pieces of information provided by already existing information systems. These pieces of information shall now be distributed at a definite time in order to provide them for the user of the system for the solution of his technical problem.

In order to get an impression of the conventional constructional process without computational aid - starting at the idea of the new product up to its production and final marketing - an expert session with different experts from the constructional, the calculational, the manufacturing and financial field, together with a representative of a fictitious customer, was held in cooperation with the Institute for Composite Materials (IVW), situated at the University of Kaiserslautern. The session was recorded by video in order to reanalyse both, situations and also certain gestures of the participants when arguing.

This report deals with the analysis of the session, concentrating on the development of a flow chart reviewing the constructional steps and methods which lead to the final solution. Statements concerning the discussion management were especially focused because of their high importance for the solution of the design manager's coordinational tasks.

Finally, an ontology for the systematic analysis of the domain 'Pressure Tanks made of Fiber Composites' was established, which shall enable users of the expert system to interpret different specific terms correctly by giving appropriate definitions. As the material field was not especially represented in the expert's discussion, a separate so called 'Material Ontology' as a sub-ontology of the prior general ontology was additionally created in order to give a better impression of the large variety of materials on both, the fiber and the polymer matrix side.

INHALT

Seite

ABSTRACT	i
INHALT	ii
BILDVERZEICHNIS	iv
VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	v
KURZFASSUNG	vi
1 EINLEITUNG	1
2 KURZE EINFÜHRUNG IN DIE ANWENDUNGSDOMÄNE: BEHÄLTER-WICKELTECHNIK	3
3 VARIANTENAUSWAHL IM RAHMEN DES METHODISCHEN KONSTRUIERENS	5
3.1 Einführende Bemerkungen	5
3.2 Systematisierte Auswahl konstruktiver Lösungen: Morphologischer Kasten und Bewertungstabelle	6
3.3 Detaillierte Beschreibung der Konstruktionsvorschläge	7
3.4 Ausscheidungskriterien verworfener Konstruktionsvorschläge	8
3.5 Erste Einschätzung der vertretenen Fachsparten	10
4 ANALYSE DES PROTOKOLLS	11
4.1 Überblick	11
4.2 Tabellarische Gliederung	12
4.3 Reales Ablaufdiagramm	13

5	ANALYSE DES DISKUSSION-MANAGEMENTS	16
5.1	Allgemeine Bemerkungen	16
5.2	Auswertung der Management-Aussagen	17
6	STRUKTURIERUNG UND DEFINITION VON ZUSAMMENHÄNGENDEN BEGRIFFEN MIT HILFE EINER ONTOLOGIE	19
6.1	Erläuterung des Begriffes 'Ontologie'	19
6.2	Erstellung einer Ontologie zum Stammbegriff 'Druckbehälter'	19
6.3	Erstellung einer speziellen Werkstoff-Ontologie	22
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	26
8	LITERATURVERZEICHNIS	27
ANHANG I:	Pflichtenheft für die Entwicklung eines Druckbehälters aus Faserverbundwerkstoff	30
ANHANG II:	Protokoll der Expertensitzung	31
ANHANG III:	Prinzipiskizzen der Konstruktionsvorschläge KV I - VI	52
ANHANG IV:	Tabellarische Gliederung des Protokolls	59
ANHANG V:	Tabellarische Gliederung der Management-Aussagen	60
ANHANG VI:	Begriffsdefinitionen der im Schaubild verarbeiteten Ontologiebegriffe	62
ANHANG VII:	Stichwort-Übersicht zur Werkstoff-Ontologie (I: Nicht-Kunststoffe; IIx: Kunststoffe)	83

BILDVERZEICHNIS

	Seite
Bild 1. <i>Ablaufschema als anfängliche Orientierungshilfe</i>	2
Bild 2. <i>Schnitt durch einen Druckbehälter mit Aluminium-Liner (Quelle: IVW)</i>	4
Bild 3. <i>Parallel- und Kreuzwickeln beim Drehbank-Wickelverfahren (Quelle: IVW)</i>	4
Bild 4. <i>Morphologischer Kasten</i>	6
Bild 5. <i>Bewertungstabelle mit Anforderungsliste (P=Punkte; g=Gewichtung)</i>	7
Bild 6. <i>Ausschnitt 'Tabellarische Gliederung des Protokolls' (vgl. Anhang IV)</i>	12
Bild 7. <i>Reales Ablaufschema der Expertensitzung</i>	14
Bild 8. <i>Ausschnitt 'Tabellarische Gliederung der Management-Aussagen im Diskussionsverlauf' (vgl. Anhang V)</i>	17
Bild 9. <i>Ontologie-Schaubild 'Druckbehälter'</i>	20
Bild 10. <i>Legende zur Begriff-Ontologie</i>	22
Bild 11. <i>Ontologie-Schaubild 'Werkstoffe'</i>	24

VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

I Allgemeine Abkürzungen

Anregung:	A
Computer Aided Design:	CAD
Erfahrungswissen:	E
Frage:	F
Finite-Elemente-Methode:	FEM
Fachübergreifende Bemerkung:	FÜ
Faserverbundkunststoff:	FVK
Faserverbundwerkstoff:	FWW
Informationsweiterleitung:	IW
Konstruktionsvorschlag:	KV
Lernwissen:	L
Pflichtenheft:	PH
Regieanweisung:	RA
DIN, AD-Merkblatt, VDI-Richtlinie, TÜV:	RL
Werkstoff:	WS
Zusammenfassung / Festlegung:	ZF

II Fachsparten

Berechnung, Konstruktion:	BK
Firmenvertreter:	FV
Qualitätssicherung:	QS
Verarbeitungstechnik:	VT
Wirtschaftlichkeit:	WI
Werkstoffexperte (fehlend):	(WS)

III Entwicklungsphasen

0	Planungsphase:	(PP)
1	Konzeptphase:	KP
2	Entwurfsphase:	EP
3	Ausführungsphase:	(AP)

KURZFASSUNG

Im Rahmen des DFKI-Projektes IMCOD (Intelligent Manager for COmprehensive Design) wird ein sog. 'Design-Manager' für ein Ingenieur-Expertensystem konzipiert, der die Einzelinformationen verschiedener Experten eines wissensbasierten Systems zum richtigen Zeitpunkt kombiniert oder weiterleitet und dem Anwender zur Lösung seines Problems zur Verfügung stellt.

Dieser Bericht befaßt sich mit der Analyse einer Wissenserhebung in Form einer Expertensitzung, in welcher der Entwicklungsprozeß der Auslegung eines Druckbehälters aus Faserverbundwerkstoff durchgespielt wurde, um die Vorgehensweise im klassischen Fall eines Entwicklungsprozesses genauer zu studieren und für den Design-Manager umzusetzen. Die Wissenserhebung und Analyse wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) an der Universität Kaiserslautern durchgeführt. An der Expertensitzung nahmen je ein Vertreter der Fachsparten Berechnung/Konstruktion, Verarbeitungstechnik, Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeit sowie ein fiktiver Vertreter der Auftraggeber-Firma teil. Der Ablauf der Sitzung wurde per Video aufgezeichnet und zusätzlich der Dialog in Protokollform für die spätere Analyse niedergeschrieben. Als Leitfaden durch die Sitzung lag dem Diskussionsleiter, vertreten durch den Wirtschaftlichkeitsexperten, ein vorher mit allen Beteiligten erarbeitetes Ablaufschema vor, welches die in der Diskussion zu durchlaufende Konzept- und Entwicklungsphase schematisch vorgab. Aus praktischen Gründen konzentrierte sich die Diskussion alleine auf die Entwicklung eines Druckbehälters aus Faserverbund-Kunststoff (FVK) für den Einsatz als Druckluftvorratsbehälter der Bremsanlage von Nutzfahrzeugen.

In einer zuerst erstellten inhaltlichen Gliederung der Sitzung anhand des Protokolls wurde der real durchlaufene konstruktive Entwicklungsprozeß mit der konventionellen Methode der systematischen Lösungsfindung speziell konstruktiver Probleme im Rahmen des Methodischen Konstruierens verglichen. Im Anschluß daran konnte ein reales Ablaufschema der Diskussion skizziert werden, in dem die durchlaufenen konstruktiven Phasen der Entwicklung kenntlich gemacht wurden.

Weiter wurden solche Aussagen in der Diskussion näher untersucht, die - unabhängig von der Person - Management-Charakter haben. Darunter sind alle vom Diskussionsleiter getätigten Zusammenfassungen und Weiterleitungen von Information an beispielsweise die Anfrage-Firma zu verstehen, aber auch Bemerkungen und Hinweise aller anderen Teilnehmer der Expertenrunde, die leitend durch Anmerkungen, Fragen und Regieanweisungen eingriffen.

Gerade diese Aussagen erschienen für das hiesige Projekt von großer Bedeutung, da speziell dies auch Aufgabe des künftigen Design-Managers sein wird.

Abschließend wurde zur systematischen Analyse der Anwendungsdomäne 'Druckbehälter aus Faserverbundwerkstoff' eine Begriffsontologie erstellt, die es den Anwendern des Expertensystems möglich macht, vorkommende Bezeichnungen korrekt zu interpretieren. Dazu wurden etwa 300 Begriffe im Umfeld der Anwendungsdomäne gesammelt, von denen wiederum ca. 70 konkret eingeordnet und mit einer Definition versehen wurden. Um das im Bereich der Faserverbundwerkstoffe besonders umfangreiche Gebiet der verschiedenen Werkstoffe genauer zu durchleuchten, wurde eine detaillierte Werkstoff-Ontologie erstellt, die insbesondere den Bereich der Fasermaterialien und der Kunststoffe abdeckt.

1 EINLEITUNG

Das DFKI-Projekt IMCOD (Intelligent Manager for COMprehensive Design) hat den Aufbau eines sog. 'Design Managers' zum Ziel, der aufseiten eines späteren Expertensystems die Koordinationsaufgabe übernimmt, zu welchem Zeitpunkt welche Experteninformation am günstigsten zum Fortschreiten eines komplexen Entwicklungsprozesses beiträgt.

Um dieses Ziel zu erreichen wurde als Anwendungsdomäne die Auslegung von Druckbehältern aus Faserverbundwerkstoff (FVW) gewählt, wobei deren Konstruktionsprozeß besonders im Vordergrund stand. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) an der Universität Kaiserslautern wurde die Anwendungsdomäne näher analysiert. Hierzu fand eine Sitzung zur Wissenserhebung statt, in der Experten exemplarisch den Entwicklungsprozeß eines solchen Druckbehälters durchgespielt haben. Die Sitzung spiegelte die heutige konventionelle Vorgehensweise bei der Lösung eines konstruktiven Problems wieder.

Zur Eingrenzung des Problembereichs und der Komplexität des Bauteils wurde sich hier allein auf die Entwicklung eines Faserverbundkunststoff (FVK) -Druckbehälters beschränkt, der als Druckluftvorratsbehälter in der pneumatischen Bremsanlage von Nutzfahrzeugen eingesetzt wird und einen konventionellen Metallbehälter zukünftig ablösen soll. Weiter wurde auf der Herstellungsseite von Beginn an ausschließlich die Faserwickeltechnologie in Betracht gezogen. Dazu wurde im Vorfeld das Pflichtenheft eines *fiktiven* Anfragers erstellt, welcher die Entwicklung und den Bau des Prototypes eines solchen Behälters in Auftrag gegeben hat (ANHANG I).

Im Vorfeld der Sitzung bereiteten sich die Teilnehmer anhand eines Ablaufschemas kurz vor, welches grob die Entwicklungsschritte beim Werdegang einer Konstruktion im allgemeinen darlegt und auch vereinzelt bereits Sonderprobleme im Bereich der Verbundkunststoffe aufzeigte (Bild 1).

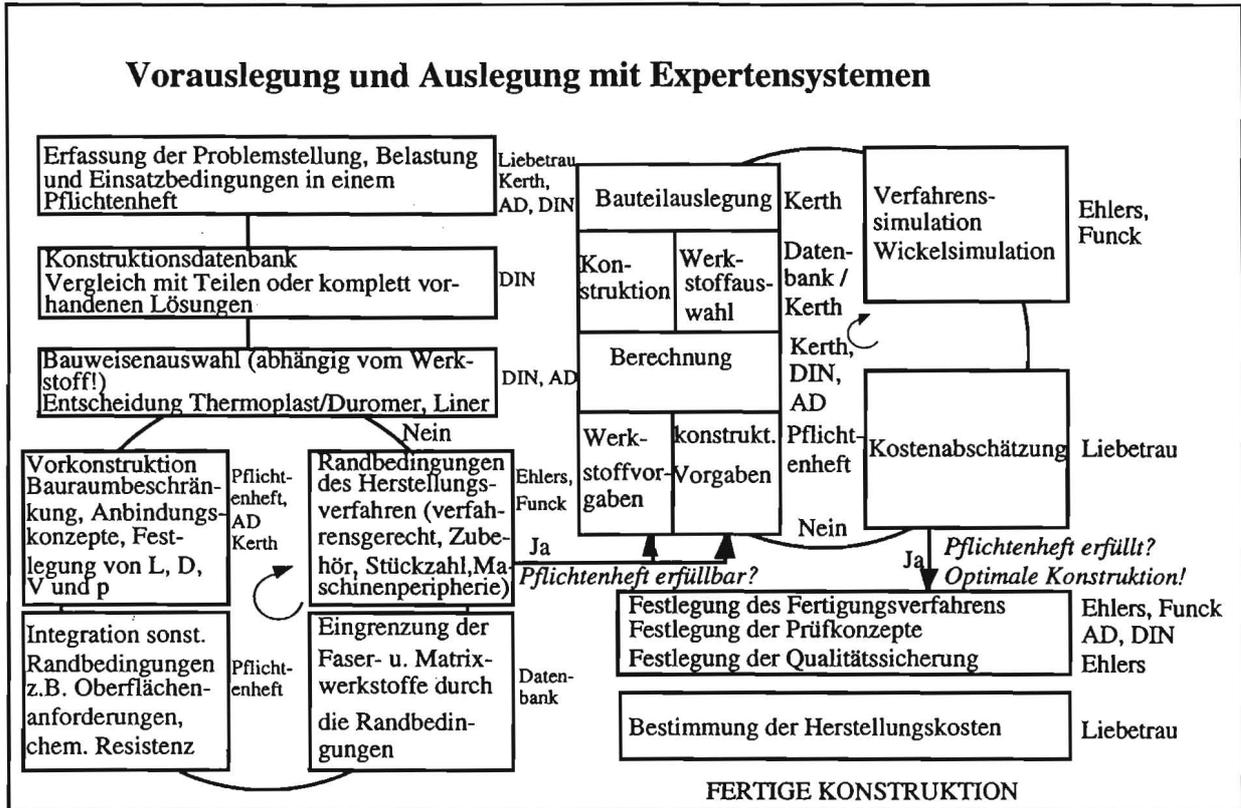


Bild 1. *Ablaufschema als anfängliche Orientierungshilfe*

Der vorliegende Bericht behandelt die detaillierte Analyse der Wissenserhebung, um dort gewonnene Erfahrungen in die Organisationsstruktur des zu konzipierenden Design Managers einfließen zu lassen. Des weiteren wird ausgehend von dieser Analyse eine Ontologie erarbeitet, um den Begriff 'Druckbehälter' genauer zu spezifizieren. Entsprechende Diagramme und Begriffsdefinitionen sind in ANHANG IV beigefügt.

Es nahmen insgesamt 5 Mitarbeiter des IVW mit der Rolle des Firmenvertreters (FV) sowie jeweils ein Experte der Berechnung/Konstruktion (BK), der Verarbeitungstechnik (VT), der Wirtschaftlichkeit (WI) und der Qualitätssicherung (QS) an der Sitzung teil. Ein spezieller Vertreter der Werkstoffkunde (WS) fehlte. Die Expertenrunde wurde per Video und zusätzlich auf Tonband *ohne Unterbrechung* aufgezeichnet. Anschließend wurde ein schriftliches Protokoll der Sitzung erstellt, in dem die einzelnen Redner der vorgenannten Fachsparten kenntlich gemacht wurden. Das Protokoll ist in ANHANG II beigefügt.

2 KURZE EINFÜHRUNG IN DIE ANWENDUNGSDOMÄNE: BEHÄLTER-WICKELTECHNIK

Zur Herstellung eines Faserverbundkunststoff (FVK)-Behälters, der geometrisch gesehen einen rotationssymmetrischen Hohlkörper darstellt, ist beim Wickelverfahren ein sog. *verlorener* oder *nicht-verlorener Kern* bzw. ein sog. *Liner* notwendig, der beim Fertigungsprozeß bewickelt wird.

Der *verlorene Kern* wird nur einmal verwendet und nach dem Fertigungsprozeß i.d.R. durch Auslösen oder Ausschmelzen mit Hilfe eines Lösungsmittels oder von Wärme unwiederbringbar entfernt.

Im Gegensatz dazu steht der *nicht-verlorene Kern*, der immer wieder Verwendung findet und daher nach jedem Fertigungsprozeß, ohne zerstört zu werden, aus dem Innern des Hohlkörpers entfernt werden muß. Dies geschieht bei einer in sich geschlossenen Struktur wie der eines Behälters meist durch Auftrennen des Hohlkörpers, was gerade bei der Faserwickeltechnologie wegen der Durchtrennung der Endlosfasern oft kritisch ist. Dadurch notwendige Klebungen stellen immer Schwachstellen im Sinne der Festigkeit und der Dichtigkeit dar. Ein Kern kann ebenfalls ein Hohlkörper, er kann aber auch massiv sein.

Der *Liner* für einen Behälter - durch die nur einmalige Nutzung der Kategorie 'verlorener Kern' zuzuordnen - ist ein Hohlkörper, der im Gegensatz zu den im Vorfeld erwähnten Kernarten Bestandteil des Bauteils bleibt und mit seiner Innenkontur später auch die inneren Abmessungen des Behälters bestimmt. Somit ist ein Liner in dem hier behandelten Fall eines Behälters folglich immer ein Hohlkörper. Er dient als Mediumbarriere und Dichtelement, sowohl gegenüber der Außenwelt (z.B. an Anschlußstutzen), als auch der Bewicklung selbst und führt zu einer glatten, wickeltechnisch nicht beeinflussten Innenoberfläche des Behälters. Auch die Integration von Anschlußelementen, wie Stutzen für Zu- oder Ableitungen und Ventile, ist hier aus dichtungstechnischer Sicht einfacher zu realisieren, da sie bereits fest und dicht am Liner angebracht sein können und relativ einfach im Fußbereich umwickelbar sind. Der Liner kann die Struktur unterstützen oder eine nichttragende Funktion haben. Sinnvollerweise wird er oft identisch dem Matrixwerkstoff des Faserverbundes gewählt, um den Übergang Liner/Bewicklung problemlos gestalten und einen optimalen Verbund in der Grenzschicht erreichen zu können. Metalliner, beispielsweise aus Aluminium, finden jedoch auch häufig Verwendung, wie dies Bild 2 beispielhaft anhand eines realisierten Druckbehälters zeigt.

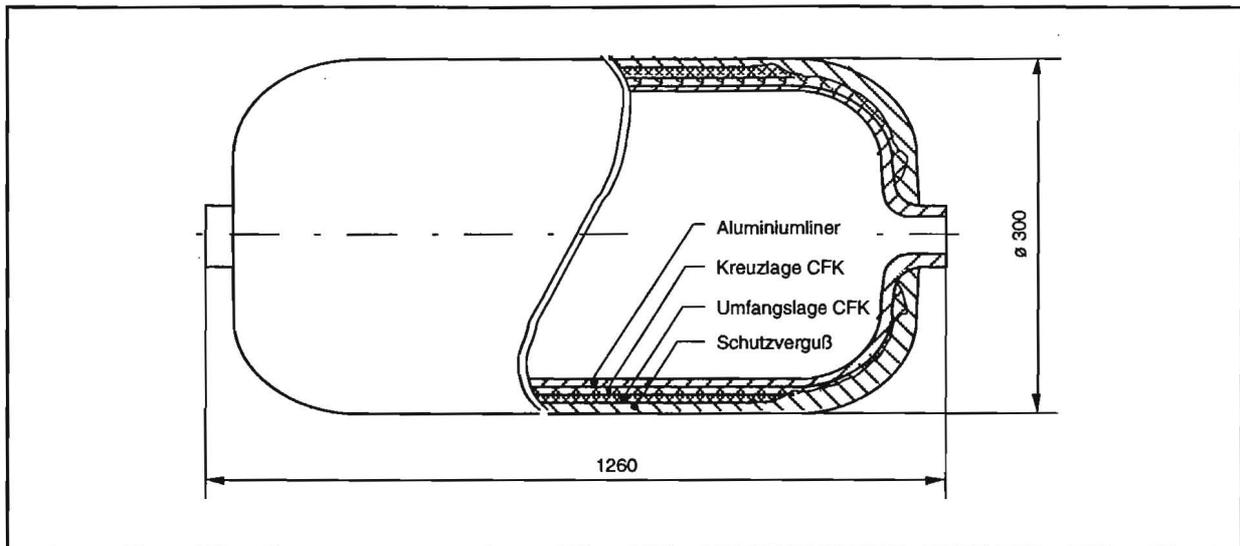


Bild 2. Schnitt durch einen Druckbehälter mit Aluminium-Liner (Quelle: IVW)

Der Kern wird im Falle eines Druckbehälters in der Regel im Drehbank-Wickelverfahren je nach Anforderung mit einer Anzahl von Parallel- und Kreuzlagen bewickelt. Parallel-Lagen verleihen dem Behälter eine radiale Festigkeit. Kreuzwicklungen dienen besonders der Umwicklung der Behälterenden (sog. Boden oder Dom), um auch eine Festigkeit in axialer Richtung zu erzielen. Bild 3 zeigt schematisch den Verfahrensablauf beim Parallel- und Kreuzwickeln eines Faserrovings, der vom Spulenständer kommend in einem Tränkbad durch die noch zähflüssige Duromermatrix geführt, dadurch imprägniert und schließlich mit Hilfe eines Fadenablegers unter dem gewünschten Wickelwinkel auf dem Wickelkern abgelegt wird.

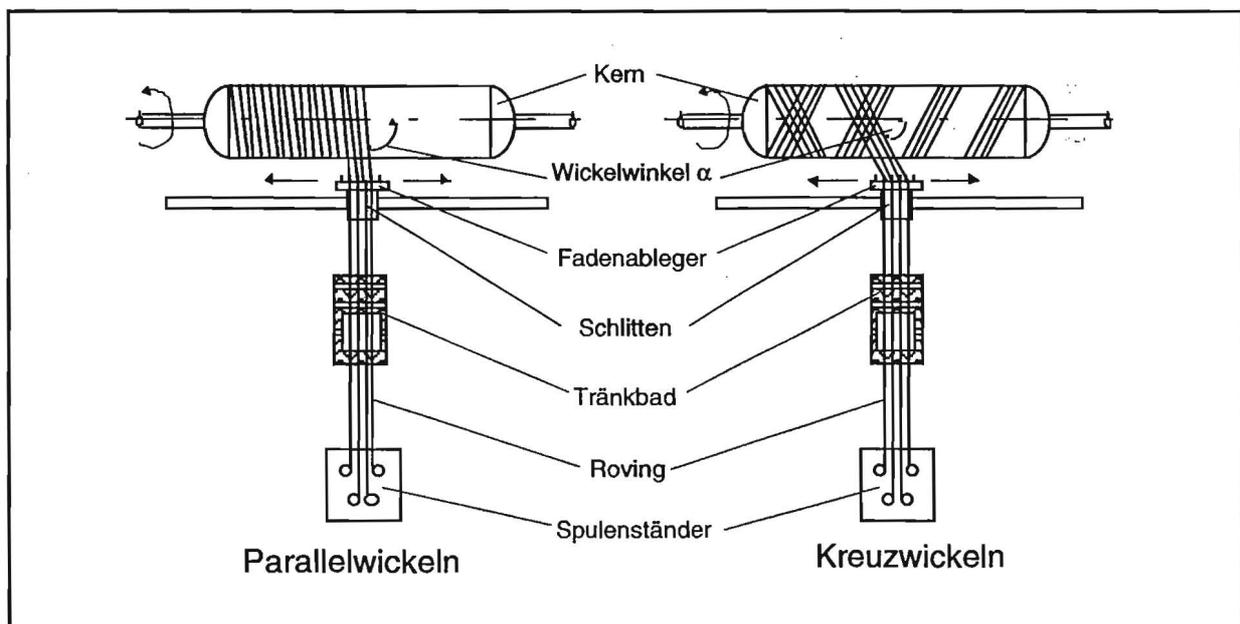


Bild 3. Parallel- und Kreuzwickeln beim Drehbank-Wickelverfahren (Quelle: IVW)

3 VARIANTENAUSWAHL IM RAHMEN DES METHODISCHEN KONSTRUIERENS

3.1 Einführende Bemerkungen

Ziel einer jeden Konstruktion ist es, möglichst optimal die an sie gestellten Anforderungen zu erfüllen. Dabei gibt es verschiedene Wege, ein konstruktives Problem zu lösen. Einmal steht es dem Konstrukteur offen, die Lösung zu wählen, welche ihm intuitiv anhand seiner Erfahrungen als erste in den Sinn kommt. Weiter ist es auch denkbar, daß er vorher etwas mehr über die Problemstellung nachdenkt - sei es anhand von Gedankenmodellen oder Aufzeichnungen - und so zu einer vielleicht schon etwas optimaleren Lösung kommt.

Hier wird leicht erkennbar, daß die Qualität einer Lösungsidee sehr stark vom Lösenden abhängt und wohl kaum eine Reproduzierbarkeit der Güte der Lösung in Bezug auf die gestellten Anforderungen erreicht werden kann. Auch ist das Auffinden der jeweils optimalen Lösung so nicht gewährleistet. Aus diesem Problem heraus entstand die Technik des sog. 'Methodischen Konstruierens', welche einen systematisierten Lösungsalgorithmus bereitstellt, um gezielt die optimale Lösung einer konstruktiven Problemstellung zu finden. Dabei mußten, wie oben ersichtlich, besonders die subjektiven Faktoren, wie beispielsweise die Erfahrung, so weit wie möglich herausgefiltert werden, um weitgehend unabhängig von einer bestimmten Person zu werden. Dies wird durch die Arbeit im Kollektiv aber auch durch die Prämisse erreicht, daß bei der Ideenfindung von vorn herein keine Lösungsvorschläge ausgeschlossen werden dürfen, sondern diese nur später bei einer systematisierten Auswahl wegfallen können.

Der Prozeß des Methodischen Konstruierens schließt sich direkt an die Aufgabendefinition, z.B. in Form eines Pflichtenheftes, an. Der Ansatz ist so gewählt, daß zunächst eine Sammlung vieler in Betracht kommender Lösungsvorschläge erstellt wird. Anhand dieser Vorschläge wird nun ein Auswahlverfahren angesetzt, welches durch Gewichtung der Güte einer Lösung in Bezug auf verschiedene Anforderungen die beste herauslöst.

Im folgenden sei diese systematisierte Auswahlmethode zur Lösungsfindung schematisch erläutert. Im weiteren wird die Vorgehensweise im Fall der Lösungsfindung für die Konstruktion eines Druckbehälters aus Faserverbundkunststoff (FVK) anhand der betrachteten Expertensitzung dargestellt.

3.2 Systematisierte Auswahl konstruktiver Lösungen: Morphologischer Kasten und Bewertungstabelle

Im klassischen Fall werden Konstruktionsideen für die Erfüllung von Teilfunktionen $F_1 \dots F_n$ innerhalb von Teilsystemen im Rahmen des Methodischen Konstruierens mit Hilfe eines sog. 'Morphologischen Kastens' geordnet dargestellt (Bild 4). Anschließend werden die einzelnen Lösungsvorschläge systematisch anhand einer Anforderungsliste $A_1 \dots A_j$ mit den Gewichtungen $g_1 \dots g_j$ in einer sog. 'Bewertungstabelle' bewertet (Bild 5), so daß zwangsläufig die optimale Lösung gefunden wird.

Ein solcher Morphologischer Kasten zur Darstellung der Lösungsvorschläge L_{11} bis L_{nm} der Teilfunktionen F_1 bis F_n ist im folgenden schematisch dargestellt:

Lösungen	1	2	3	4 ... m
Teilfunktionen				
F ₁	L ₁₁	L ₁₂	L ₁₃	L ₁₄
F ₂	L ₂₁	L ₂₂	L ₂₃	L ₂₄
F ₃	L ₃₁	L ₃₂	L ₃₃	L ₃₄
F ₄	L ₄₁	L ₄₂	L ₄₃	L ₄₄
...				...
F _n				L _{nm}

Bild 4. *Morphologischer Kasten*

Der Anwender des Schemas vergibt subjektiv Punkte $P_1 \dots P_j$ zum Grad der Erfüllung einer Anforderung durch einen gegebenen Lösungsvorschlag. Nach Multiplikation der Punktezahl mit einer vorher festgelegten Gewichtung g wird schließlich die Summe aller Einzelergebnisse für jeden Lösungsvorschlag gebildet. Der konstruktive Lösung mit der größten Summe ist somit zwangsläufig die für dieses Problem geeignetste.

Teilfunktion	Lösung	Anforderungen			
		A1	A2	A3	A4 ... A _j
		P · g ₁	P · g ₂	P · g ₃	P · g ₄
F ₁	L ₁₁	Pg ₁₁	Pg ₁₂	Pg ₁₃	Pg ₁₄
	L ₁₂	Pg ₂₁	Pg ₂₂	Pg ₂₃	Pg ₂₄
	L ₁₃	Pg ₃₁	Pg ₃₂	Pg ₃₃	Pg ₃₄
	L ₁₄	Pg ₄₁	Pg ₄₂	Pg ₄₃	Pg ₄₄
F ₂	L ₂₁	Pg ₁₁	Pg ₁₂	Pg ₁₃	Pg ₁₄
...	...				
F _n	L _{nm}				

Bild 5. Bewertungstabelle mit Anforderungsliste (P=Punkte; g=Gewichtung)

Im Verlauf der hier behandelten Expertensitzung wird sich nur annäherungsweise an die oben beschriebene Auswahlmethode gehalten. Zwar werden zunächst einmal mehrere Konstruktionsvorschläge (KV) im Brain Storming erdacht, jedoch nicht nach klaren Bewertungsrichtlinien mit einer Gewichtung ausgewählt. Die Entscheidung fällt eher durch Diskussion der Vorschläge und anhand der direkten Überprüfung anhand des Pflichtenheftes.

Dieses Vorgehen läßt vermuten, daß die Problemstellung von den Sitzungsteilnehmern konstruktiv als nicht sehr komplex und durchaus überschaubar eingeordnet wird.

3.3 Detaillierte Beschreibung der Konstruktionsvorschläge

Im folgenden werden die im Verlauf der Sitzung durch das Brain Storming hervorgebrachten Lösungsvorschläge KV I bis KV VI erläutert. Den Vorschlägen entsprechende Prinzipskizzen sind im ANHANG III zur Veranschaulichung beigelegt.

KV I:

- Sandkern, mit einer Folie umgeben
- Fasern als Verstärkung und Polymerfolie als Matrix getrennt umgewickelt
- zur Imprägnierung gesamte Struktur erhitzen

KV II:

- zylindrisches FVK-Rohr (als Halbzeug), gewickelt
- Enden des Behälters mit separaten Deckeln (Döme) versehen, die selbst wieder aus einem FVK (gewickelt oder spritzgegossen mit Kurzfasern) oder aus reinem Kunststoff (gespritzt) bestehen

KV III:

- massiver Kern aus einem leichten Werkstoff wie Styropor oder einem Hartschaum (verlorener Kern)
- naßbewickelt (d.h. mit einem Tape, bestehend aus Faseroving und Duromer-Matrix)

KV IV:

- Metallkern z.B. aus Aluminium (nicht verlorener Kern)
- geteilter Behälter (mittiges Zerteilen nach Wickeln zur Entnahme des Kerns)
- naßgewickelt (s.o.)
- Zwischenstück zum erneuten Zusammenfügen durch Kleben in Form eines Innen- oder Außenringes

KV V:

- Liner aus thermoplastischem Kunststoff (Material entsprechend Matrix des FVK)
- radiale (Umfangs-) und Kreuzwicklungen

KV VI:

- Metall-Liner
- Umfangs- und Kreuzwicklungen (evtl. mit Vorspannung)

3.4 Ausscheidungskriterien verworfener Konstruktionsvorschläge

In der Diskussion der Konkurrenzvorschläge wurden deren Nachteile herausgearbeitet, die schließlich zur Entscheidung für KV V führten. Im folgenden sind die Ausscheidungskriterien der Konstruktionsvorschläge I-IV und VI aufgeführt:

KV I:

- Sand erlaubt keinerlei Geometrieeinhaltung, deshalb:
 - schlechte Optik
 - hohe Rechen-Sicherheitsfaktoren aufgrund großer Maßtoleranzen (z.B. der Behälter-Wandstärke)
- Kernherstellung sehr aufwendig; Kern sehr schwer
- 45.000 Sandkerne pro Jahr nicht praktikabel
- Dichtigkeitsprobleme der Behälterschale selbst, da kein Liner

KV II:

- in AD-Merkblättern geforderte Sicherheit durch erforderliches Kleben nur schwer erreichbar
- Dichtigkeitsprobleme der Behälterschale selbst und besonders an den Klebestellen durch Temperaturschwankungen

KV III:

- zu weicher, labiler Kern; keine reproduzierbare Fadenspannung
- Dichtigkeitsprobleme an den Klebungen der Döme und der Behälterschale selbst

KV IV:

- keine Medienbarriere
- Faser wird zerschnitten
- Klebung notwendig mit vorgeannten Problemen
- schlechte QS-Voraussetzungen durch Klebungen

KV VI:

- schlechte Recycling-Möglichkeiten durch Metall-Liner

⇒ Entscheidung für KV V (Synthese):

- Massenherstellung des Kunststoff-Liners durch Blasen gut möglich
- Medienbarriere, Dichtigkeit und glatte Oberfläche durch Liner gegeben
- Integration der Anschlußstutzen in Liner möglich:
 - Liner aus gleichem thermoplastischem Kunststoff wie FVK-Matrix; dadurch gute Recyclingfähigkeit
 - keine Klebungen, da einteiliges Bauteil

3.5 Erste Einschätzung der vertretenen Fachsparten

Nach der Entscheidung für das konstruktive Prinzip nach KV V folgte eine erste grobe Einschätzung zu dessen Durchführbarkeit aus der Sicht eines jeden Fachvertreters wie folgt:

WI:

- Stückzahlen problemlos
- Kosten für das Wickelverfahren problemlos

=> Erste Einschätzung: problemlos

VT:

- Vorversuche nötig
- Maschinentyp noch abzuklären

=> Erste Einschätzung: dennoch problemlos

BK:

- noch viele Fragen offen
- Überarbeitung des Pflichtenheftes, besonders Unfallanforderungen

=> Erste Einschätzung: Hintanstellung einer ersten Beurteilung

QS:

- alle Parameter meßbar
- Einflüsse erfaßbar
- Anbindung der Anschlüsse nochmal prüfen

=> Erste Einschätzung: QS problemlos

4 ANALYSE DES PROTOKOLLS

4.1 Überblick

Das Protokoll wurde zunächst tabellarisch gegliedert, um alle wichtigen Stationen im Verlauf der Sitzung übersichtlich unter bestimmten Gesichtspunkten analysieren zu können. Dabei wurden die Aussagen zunächst inhaltlich in verschiedene Kategorien wie Anregung (A), fachübergreifende Bemerkung (FÜ), Informationsweiterleitung (IW), Regieanweisung (RA) und Zusammenfassung / Festlegung (ZF) eingeteilt. Besonderes Augenmerk wurde auf die fachübergreifenden Aussagen der Teilnehmer gelegt, da gerade solche Beiträge für den zu konzipierenden Design-Manager problematisch sind und nur durch intensive Kombination verschiedener Informationen zustande kommen können.

In einem nächsten Schritt wurde anhand dieser Gliederung ein Ablaufschema der Diskussion erstellt, welches graphisch das Fortschreiten der Entwicklung verdeutlicht. Das Ablaufschema ist demnach im Gegensatz zu dem im Vorfeld der Sitzung erstellten Diagramm "Vorauslegung und Auslegung mit Expertensystemen" (siehe Bild 1) an deren wirklichen Verlauf angepaßt.

Es sollte anfangs zur Realitätsnähe erwähnt werden, daß der Vertreter der Qualitätssicherung QS als Person mit Doppelfunktion angesehen werden sollte, nämlich als Vertreter der QS und der VT, da letzteres normalerweise sein Hauptaufgabengebiet ist. Auch ist generell zu bemerken, daß ein Werkstoff-Spezialist (WS) als Experte ganz fehlt.

4.2 Tabellarische Gliederung

Bild 6 zeigt einen Ausschnitt der in ANHANG IV beigefügten tabellarischen Gliederung des Protokolls.

Nr.	Entw.-Phas	Seite	Zelle	Entwicklungssch	Inhalt	Fachsparte	Bemerkung	FÜ-Sparte	FÜ-Wissensar
1	KP	1	12	ERLEBUNG	Problemerkfassung	FV, WI	PH, RL		
2		2	40	KONSTR. DATENBANK	Neukonstruktion	WI			
3		3	13	IDEENFINDUNG	Einführung	WI			
4		3	40		KV I	WI	(erzungen)		
5		4	6		KV II	VT			
6		4	31		KV III	FV			
7		5	20		KV IV	WI			
8		5	35		KV V	WI			
9		5	25	KV VI	BK				
10		6	11	VORAUSSWAHL	Einleitung	WI			
11		6	26		Wegfall KV I	alle (außer FV)	FÜ, RL	BK	E
12		7	11		Wegfall KV III				
13		8	1		Wegfall KV II				
14		8	34	Wegfall KV IV					
15		9	33	ENTSCHEIDUNG	- KV V -	WI			
16		10	14	1. ÜBERPRÜFUNG	FV O.K.	FV	PH		
17		10	22		WI O.K. (Kosten)	WI	FÜ	BK, VT	E
18		10	30		VT O.K.	VT			
19		10	36		Einschränkungen Crash	BK	PH		
20		11	20		VORKONSTRUKTION	Behälter-Dehnung	FV	FÜ	BK, VT
21		11	21	Behälter-Befestigung,		BK			
22		11	33	Crash		FV	PH		
23		12	6			VT	FÜ	VT	E
24		12	15			WI	RL		
25		12	27			FV	RL, PH		
26		12	37			WI	RL		
27		12	39			CS	PH, RL		
28		12	43			WI	RL		
29		13	1			Side Impact	BK		
30		13	16		Crash	FV	PH		

Bild 6. Ausschnitt 'Tabellarische Gliederung des Protokolls' (s. Anhang IV)

Bei der Auswertung des Sitzungsprotokolls wird deutlich, daß der Part des fehlenden WS-Experten hauptsächlich von seiten der Fachsparte Verarbeitungstechnik (VT) mit übernommen wird. Auch tritt im Verlauf der Sitzung die eingangs erwähnte Tendenz des Vertreters der Sparte QS zur Sparte VT klar hervor. In solch eindeutigen Fällen wurde die QS-Aussage deshalb in eine VT-Aussage umgewandelt, um möglichst realitätsnah zu bleiben.

Im vorliegenden Fallbeispiel eines Faserverbundwerkstoff-Druckbehälters werden nur die Konzeptphase KP und die Entwurfsphase EP berührt. Die vorgelagerte Planungsphase PP, welche eine erste Ideenentwicklung der möglichen Produktion eines FVK-Druckbehälters anstelle eines konventionellen Druckbehälters aus Stahl und die anschließende Erstellung des Pflichtenheftes beinhaltet, gilt bereits als abgeschlossen. Die Ausführungsphase AP ist die der EP sich anschließende Phase, charakterisiert durch die erste reale Ausführung eines Prototypes, der evtl. noch verbessert werden kann, jedoch zunächst einmal den in den vorangegangenen Phasen getroffenen Entscheidungen folgt. Diese soll zu einem späteren Zeitpunkt durchlaufen werden.

Es ist erwähnenswert, daß während der längsten Phase, der Entwurfsphase nämlich, der Vertreter der Fachsparte Berechnung/Konstruktion (BK) nur wenig zum Fortschreiten des Entwicklungsprozesses beisteuert, obwohl hier sein Hauptaufgabenfeld liegt. Die Ausführungen in konstruktiver Hinsicht werden überwiegend vom Kollektiv übernommen. Alle anderen Fachrichtungen vertreten sich dazu vergleichsweise selbständig. Auch kommen die meisten fachübergreifenden (FÜ-) Äußerungen zur konstruktiven Gestaltung (s. Spalte 'FÜ-Sparte', durch 'BK' gekennzeichnet). Dabei scheinen diese Äußerungen überwiegend auf Erfahrung zu basieren, soweit hier überhaupt eine Einschätzung vorgenommen werden kann (s. Spalte 'FÜ-Wissensart').

Die vorangegangenen Beobachtungen bestätigen, daß der eigentliche Konstruktionsprozeß im Vergleich zu den anderen Sparten vordergründig als erfahrungsbasiert angesehen wird. Auch wurden in der allerersten Konstruktionsstufe beim Brain Storming *alle* Sitzungsteilnehmer aufgefordert, Lösungsvorschläge zu erstellen. Gerade diese Methode der Ideenfindung führt zu unkonventionellen und innovativen Vorschlägen, die zum Verlassen fest eingefahrener Bahnen führen und neue Konzepte ermöglichen.

4.3 Reales Ablaufdiagramm

Bild 7 zeigt das dem Verlauf der Expertensitzung entnommene Ablaufdiagramm des Entwicklungsprozesses.

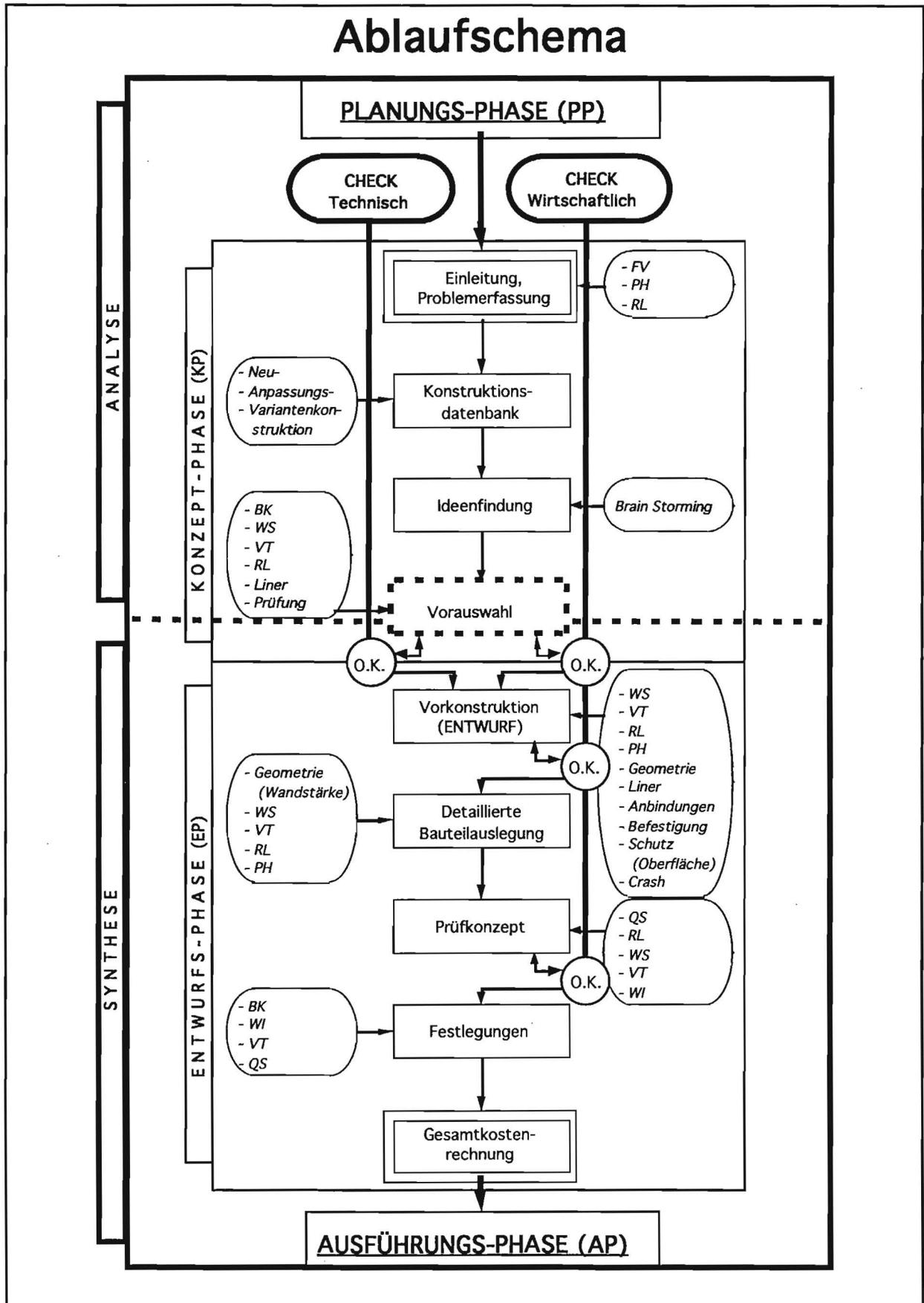


Bild 7. Reales Ablaufdiagramm der Expertensitzung

Die Entscheidung in der Vorauswahl für ein bestimmtes Konzept (also: Einteiliges Bauteil aus Thermoplastliner mit thermoplastischem FVW umwickelt) bildet den Übergang von der konstruktiven Analyse zur Synthese, im Diagramm durch die gestrichelten Linien kenntlich gemacht.

Die Doppelpfeile zwischen den Entwicklungsschritten und den technischen bzw. wirtschaftlichen Checks symbolisieren ein iteratives Vorgehen bei Nichterfüllen der technischen oder wirtschaftlichen Vorgaben.

Es findet wider Erwarten keine letzte Überprüfung vor dem Erstellen der 'Gesamtkostenrechnung' statt. Dies erscheint jedoch sinnvoll, setzt man voraus, daß ein Ausscheiden aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen bereits bei Checks vorher stattgefunden haben sollte, da die aufwendige Entwicklungsarbeit bis zu diesem späten Zeitpunkt am Ende der Entwurfsphase andernfalls umsonst gewesen wäre.

Es wird beim Erstellen des Diagramms deutlich, daß im Entwicklungsschritt 'Detaillierte Bauteilauslegung' eine tatsächlich durchgeführte Konstruktion, gestützt durch CAD und eine Berechnung, eingeschlossen die FEM-Analyse zur endgültigen Festlegung des Faserwerkstoffes und der Behälterwandstärke sowie die Wickelsimulation zur genauen Vorhersage von Problemen beim Wickeln fehlen. Dies führt letztendlich dazu, daß die Entwicklungsschritte 'Prüfkonzept', 'Festlegungen' und 'Gesamtkostenrechnung' nicht richtig durchgespielt werden können, da jeder Schritt auf dem vorhergehenden aufbaut.

In der Sitzung macht sich dies dann weiter durch gedankliche Ausschweifungen, wie die Diskussion der Gewerkschaftszugehörigkeit und kaum zu verifizierender Kostenrechnungen bemerkbar. Die Beiträge der Fachvertreter scheinen immer wager zu werden, da sie nicht mehr auf eine fundierte Basis gestellt sind, die konkrete Aussagen zuließe.

5 ANALYSE DES DISKUSSION-MANAGEMENTS

5.1 Allgemeine Bemerkungen

Der zu konzipierende Design-Manager - seinem Namen folgend - hat Management-Aufgaben, wobei er die verschiedenen Informationen der einzelnen Experten koordiniert und zur richtigen Zeit am richtigen Ort zusammenführt und kombiniert oder dem richtigen Experten zur Verfügung stellt. Gerade diese Koordinationsfunktion wurde daher abschließend nochmals gesondert anhand der Diskussionsrunde analysiert. Dabei wurde verstärkt auf die Frage eingegangen, wer hauptsächlich diese Aufgabe übernimmt und welche Art von Management-Eingriffen dabei getätigt wurden. Unter 'Management' wurden solche Beiträge gewertet, die die Diskussion leiteten, d.h. direkt zu deren Fortschreiten beitrugen. Hierbei wurden folgende Einteilungskriterien unterschieden:

A - Anregung: Eine Aussage wird (oft bewertungsfrei) in den Raum gestellt, um andere Sitzungsteilnehmer zu Gedanken und Aussagen anzuregen.

BEISPIEL: "Polypropylen soll aber im Vergleich zu Polyamid auch gut geeignet sein."

F - Frage: Durch die Frage eines Sitzungsteilnehmers, die klarstellenden Charakter hat und sich direkt auf die vorangegangene Aussage eines anderen Gesprächsteilnehmers bezieht, kann die Diskussion in ihrem Fortlauf beeinflußt werden. Die Frage selbst hat dabei keinen Aussagecharakter und trägt i.d.R. zur Vermeidung von Mißverständnissen bei. Eine Rückfrage an den Anfrager, beispielsweise zur Komplettierung des Pflichtenheftes, ist hier ebenso hinzuzuzählen.

BEISPIEL: "Bezog sich die Aussage nun auf den Behälter mit oder ohne Liner?"

IW - Informationsweiterleitung: Zwischendurch werden Teilergebnisse an die Anfrage-Firma weitergegeben, um dort die Freigabe für die Weiterführung der Untersuchungen und schließlich für den Bau eines Prototyps zu erhalten oder einfach über den Stand der Dinge zu berichten.

BEISPIEL: "Dann teilen wir nun unsere Entscheidung bezüglich der Behälterkonstruktion der Anfrage-Firma mit und bitten um die Weiterbearbeitung bei uns."

RA - Regieanweisung: Eine Regieanweisung leitet von einem Gliederungspunkt in den nächsten über. Sie ist rein organisatorischer Art und trägt inhaltlich nicht zur Diskussion bei.

BEISPIEL: "Wir haben nun die Vorkonstruktion abgeschlossen und könnten nun mit der Bauteilauslegung beginnen."

ZF - Zusammenfassung/Festlegung: Ist ein Entwicklungsschritt oder eine Konstruktionsphase abgeschlossen, so wird oft das erzielte Ergebnis nochmals zusammengefaßt, Beschlüsse werden festgelegt. Dies fördert die Klarheit nach längeren Diskussionsabschnitten.

BEISPIEL: "Wir können also nun festhalten: Der Behälter wird aus einem thermoplastischen Liner bestehen, bewickelt mit einem thermoplastischen Faserverbundwerkstoff; die Druckanschlüsse werden schon vorgefertigt dicht mit dem Liner verbunden sein."

Bild 8 zeigt einen Ausschnitt aus der tabellarischen Gliederung der Management-Aussagen, die in ANHANG V nochmals im gesamten beigefügt sind.

Nr.	Entw.-Phase	Seite	Zelle	Entwicklungssch	Inhalt	Fachsparte	Management-Art	
1		1	12	EINLEITUNG	Problemerkfassung	FV, WI		
2		2	40	KONST. DATENBANK	Neukonstruktion	WI		
3		3	13	IDEENFINDUNG	Einführung	WI		
4		3	40		KV I	WI		
5		4	6		KV II	VT		
6		4	7		Kleben /n	WI	F	
7		4	10		FVK schon für Kern /n	WI	F	
8		4	31		KV III	FV		
9		4	42		Liner /n	GS	F	
10		5	3		Kern, Naßwickeln	GS	F	
11		5	6		weitere Vorschläge	WI	A	
12		5	20		KV IV	WI		
13		5	24		Liner material	BK	A	
14		5	35		KV V	WI		
15		5	25		KV VI	BK		
16		5	30		Liner /n	VT	F	
17		5	35		Thermoplast. Liner /n	WI	A	
18		6	9		Ende Brain Storming/Auswahl	WI	ZF/RA	
19		6	11		VORAUSSWAHL	Einleitung	WI	
20		6	22			Anschlüsse (PH)	WI	RA
21		6	26	Wegfall KV I		alle (außer FV)		
22		7	6	Streichung KV I		VT	ZF	
23		7	11	Wegfall KV.III		alle (außer FV)		
24		7	42	Streichung KV VI		WI	ZF	
25		8	1	Wegfall KV II		alle (außer FV)		
26		8	32	Streichung KV II		VT	ZF	
27		8	33	Überleitung KV III		GS	A/RA	
28		8	34	Wegfall KV IV		alle (außer FV)		
29		9	33	ENTSCHEIDUNG	- KV V -	WI		

Bild 8. Ausschnitt 'Tabellarische Gliederung der Management-Aussagen im Diskussionsverlauf' (vgl. ANHANG V)

5.2 Auswertung der Management-Aussagen

Der Teilnehmer der Sparte WI übernimmt deutlich die Führungsposition von Beginn der Sitzung an. Dies scheint nicht durch seine besondere fachliche Qualifikation aufgrund des Aufgabenfeldes 'Wirtschaftlichkeit' begründet, sondern resultiert vielmehr aus der Persönlichkeit dieses Teilnehmers, welche vor der Sitzung in einer Absprache mit den

Teilnehmern zu seiner Bestimmung als Diskussionsleiter geführt hat. Es ist allerdings zu hinterfragen, welcher Vertreter einer Fachsparte im allgemeinen am besten für die Aufgabe der Diskussionsleitung geeignet ist. Dabei sollte dies nicht eine separate Person sein, die im übrigen in die fachliche Diskussion nicht einbezogen ist, sondern der Vertreter der Fachrichtung, in der das Hauptproblem anzusiedeln ist. Im hiesigen Falle wäre dies der Vertreter der Sparte 'Berechnung Konstruktion' (BK), da es sich beim zu entwickelnden Druckbehälter hauptsächlich um ein konstruktives Problem handelt. Jedoch erscheint auch der Vertreter der Wirtschaftlichkeit geeignet, da seine Einschätzungen am Ende einer jeden Entwicklungsstufe notwendig sind und er somit auch eine recht zentrale Rolle spielt. Wichtig ist, daß der Diskussionsleiter, der unangezweifelt notwendig für einen geregelten Diskussionsablauf ist, auch selbst Experte auf dem behandelten Gebiet ist und somit der Diskussion immer problemlos folgen kann.

Entsprechend seiner Funktion ergreift der Vertreter der Wirtschaftlichkeit WI bei 69 aufgezeichneten Aussagen, die das Management betreffen, allein 47 Mal das Wort, der Vertreter FV dagegen nur 10 Mal, der der Verarbeitungstechnik VT gerade noch 6 Mal und die Experten der QS und BK sogar nur 4 bzw. 2 Mal.

Bei einer anzahlmäßigen Betrachtung der Management-Arten überwiegen deutlich die Fragen (F=28). Viele davon wurden vom Firmenvertreter FV gestellt (7 Fragen von insgesamt 10 Firmenvertreter-Aussagen), was auch genau die Erwartungen an seine Rolle deckt. Der große Anteil an Fragen ist bei der Diskussion von Problemsachverhalten typisch, da von den anderen Diskussionsteilnehmern immer hinterfragt werden muß, um die Aussage des Kollegen auch wirklich richtig zu verstehen. Es folgen weiter zahlenmäßig die Zusammenfassungen/Feststellungen (ZF=22), die verständlicherweise am Ende von Diskussionsabschnitten verstärkt auftraten. Anregungen (A=18) sind fast ebenso häufig wie Zusammenfassungen/Festlegungen. Eine Info-Weiterleitung (IW=6) findet im Gegensatz zu den anderen Einteilungsgesichtspunkten relativ selten statt, eben nur dann, wenn Überleitungen zu folgenden Entwicklungsstufen nötig sind. Durch eine grobe Vorstellung des Sitzungsablaufes aller Diskussionsteilnehmer konnte hier oft in Eigenregie fortgefahren werden, ohne dies explizit zu äußern.

6 STRUKTURIERUNG UND DEFINITION VON BEGRIFFEN MIT HILFE EINER ONTOLOGIE

6.1 Erläuterung des Begriffs 'Ontologie'

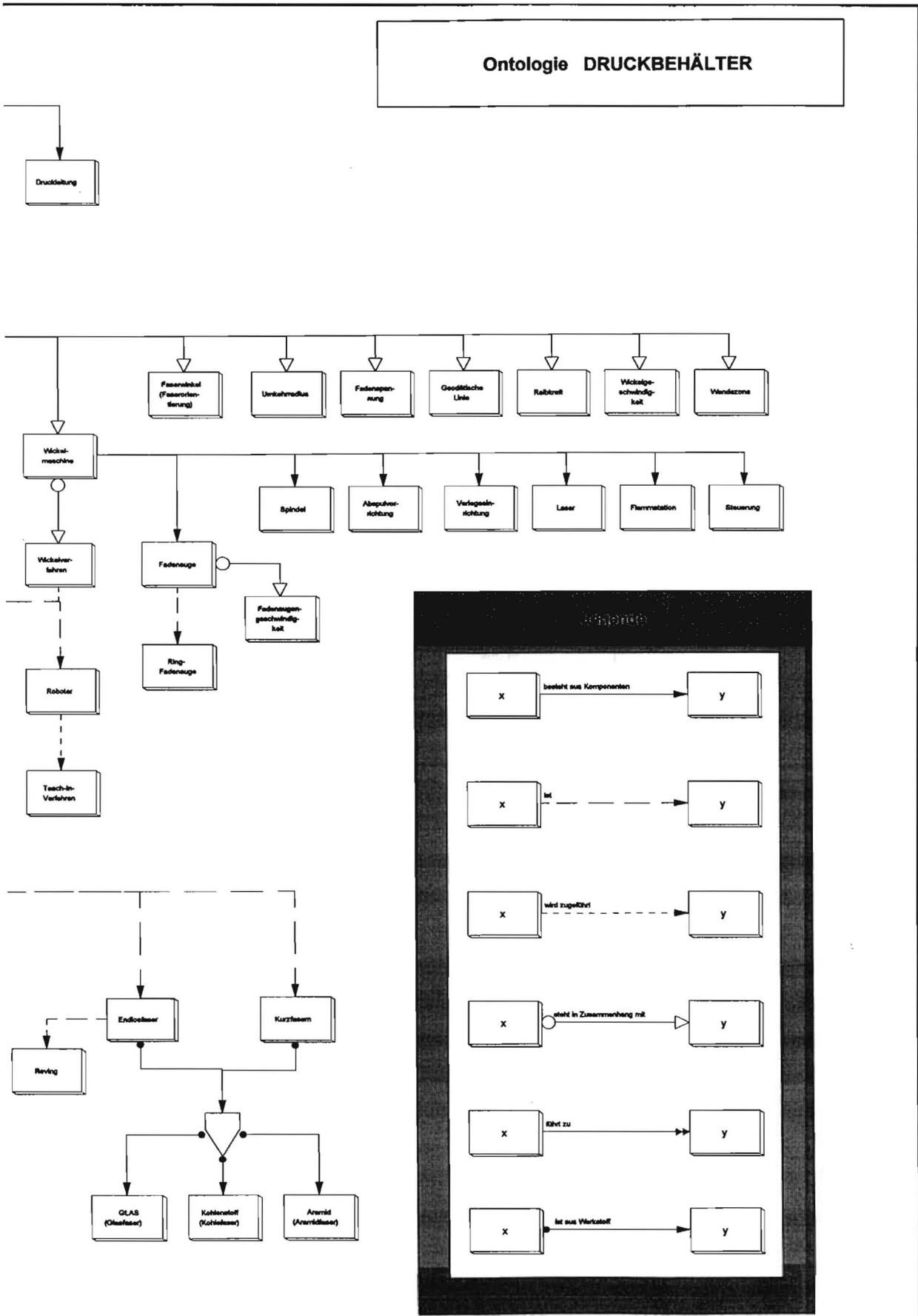
Die systematische Analyse einer Anwendungsdomäne (hier: 'Entwicklung eines Druckbehälters aus Faserverbundwerkstoff') erfordert die explizite Definition der in diesem Gebiet vorkommenden Begriffe. Im Bereich der wissensbasierten Systeme hat sich dafür der Terminus (Domänen-) 'Ontologie' (phil.: Die Lehre vom Sein) durchgesetzt. Das übergeordnete Ziel ist dabei, eine Begriffswelt zu definieren, die es Benutzern von Expertensystemen, Datenbanken, etc. erlaubt, die dort vorkommenden Bezeichner (hier z.B. Druckbehälter, Wickeln, Klebung) semantisch korrekt zu interpretieren.

In unserem Beispiel wurde dabei versucht, ausgehend von dem zentralen Begriff des 'Druckbehälters', weitere Begriffe zu finden, die diesen erklären oder in einem elementaren Zusammenhang mit ihm stehen. Mit diesen zusätzlichen Begriffen wurde ebenso verfahren. Es entsteht demnach eine Art Stammbaum, der eine Rückverfolgung der Herkunft (Abstammung) von Einzelbauteilen, Materialien, Maschinen und Verfahren erlaubt, welche direkt oder indirekt im Zusammenhang mit dem Stammbegriff 'Druckbehälter' stehen.

Das Resultat ist eine Struktur, die einen immer tiefergehenden Einblick in den Grundbegriff gibt. Die Tiefe, d.h. die Vielzahl und Feinheit der Angaben und deren Grad der Konkretisierung kann theoretisch beliebig gewählt werden, muß allerdings aus praktischen Erwägungen an einer sinnvollen Stelle gestoppt werden, um ein explosionsartiges Anwachsen der Struktur zu umgehen.

6.2 Erstellung einer Ontologie zum Stammbegriff 'Druckbehälter'

Im hiesigen Fall des Faserkunststoffverbund-Druckbehälters wurden etwa 300 Begriffe in einem Brain-Storming um den Stammbegriff 'Druckbehälter aus Faserkunststoffverbund' gesammelt, von denen etwa die 70 wichtigsten in ein Ontologieschaubild eingearbeitet wurden, wie dies Bild 9 zeigt. Zunächst wurde der Begriff in seine Hauptbestandteile aufgeteilt. Anschließend wurden weitere Unterbestandteile aufgenommen und an Verfahren (Prozesse) wie 'Wickeln', 'Aushärten' und 'Imprägnierung' angegliedert. Die Begriffe wurden zur Analyse zusätzlich nochmals nach Fachspartenzugehörigkeit aufgeteilt. Dabei kann ein Begriff auch zwei Sparten gleichzeitig zugeordnet sein.



Zur Kenntlichmachung und Unterscheidung von Beziehungen oder Abstammungen der Begriffe untereinander wurden 6 verschiedene Arten von Verbindungslinien verwendet, die wie folgt definiert sind (Bild 10):

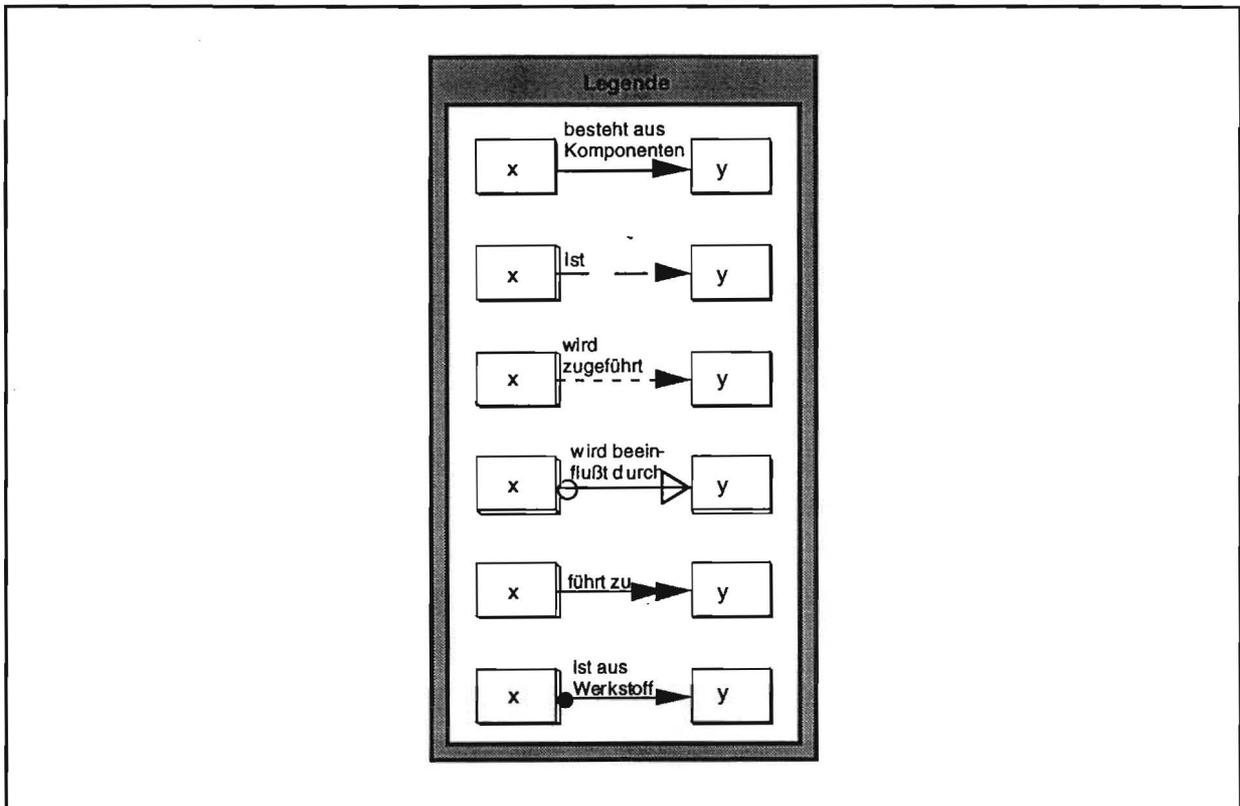


Bild 10: *Legende zur Begriff-Ontologie*

Das Schaubild erhebt bei weitem keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll nur einige der wichtigsten Begriffe und deren Umfeld erläutern.

Jeder Ontologiebegriff des Schaubildes wurde schließlich unter Verwendung angrenzender Begriffe, also solcher, auf welche vom zu beschreibenden Begriff aus verwiesen wird, definiert. Im folgenden seien einmal einige Beispiele verschiedener Begriffsdefinitionen gegeben. Die vollständige Liste der Definitionen aller im Schaubild verwendeten Ontologiebegriffe und deren englischer Übersetzung ist in ANHANG VI zu finden.

6.3 Erstellung einer speziellen Werkstoff-Ontologie

Im Bereich der Faserverbundkunststoffe ist das Feld der verschiedenen Werkstoffe auf Faser- wie auch auf Matrixseite groß. Besonders die Kunststoffe, die sich unter verschiedensten Kategorien einteilen lassen veranlassen zur Erstellung einer speziellen Werkstoff-Ontologie,

die als Unter-Ontologie in Bezug zu der allgemeinen Begriffsontologie im Umfeld 'Druckbehälter' zu sehen ist. Bild 11 zeigt im folgenden eine Übersicht der erfaßten Werkstoffe und deren Einteilung unter werkstoffspezifischen Gesichtspunkten. Jeder Werkstoff wurde weiter anhand möglichst vieler Werkstoffkenngrößen charakterisiert. ANHANG VII gibt dazu einen Überblick. Aufgrund der großen Anzahl verschiedener Kunststoffe wurden diese separat in einer gesonderten Auflistung behandelt. Nicht-Kunststoffe und Kunststoffe wurden zunächst zur Übersicht in Kategorien ohne Auflistung der Werkstoffkenngrößen eingeteilt und später nochmals mit den Werkstoff-Attributen aufgeführt.

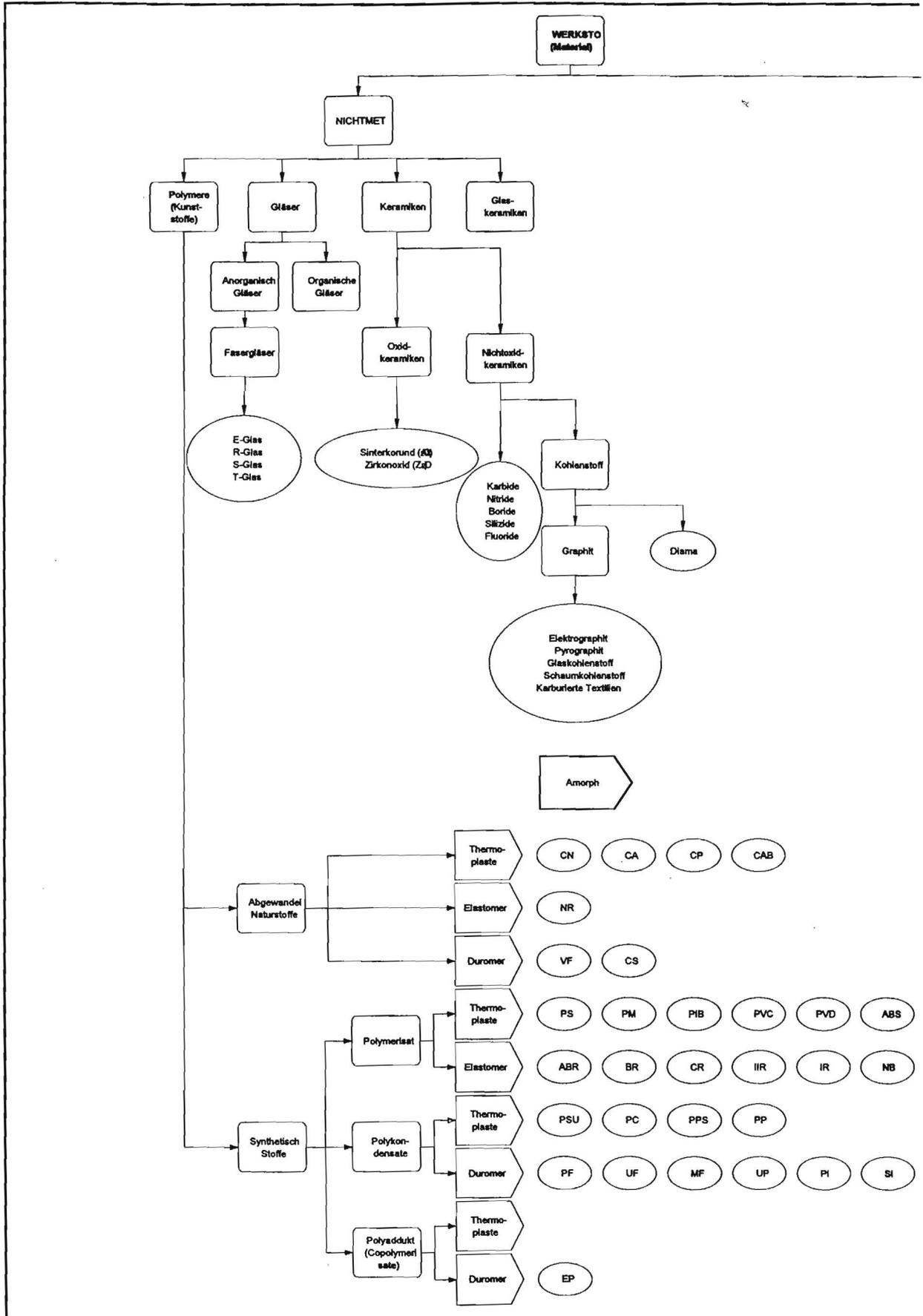
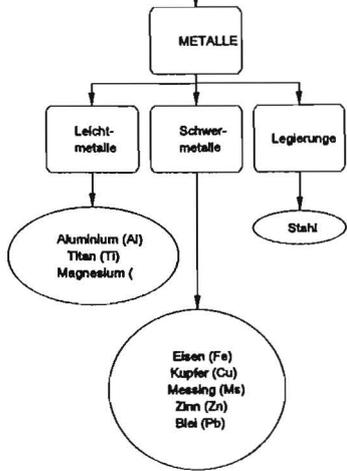


Bild 11. Ontologieschaubild 'Werkstoffe'

Werkstoff ONTOLOGIE



Teilkristallin

Flüssigkristallin

PAN

PO

PTF

PE

PP

SBR

PET

PES

PEE

PEI

PA

PBT

LCP

PU

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die hier durchgeführte Analyse eines konventionellen Entwicklungsprozesses in der Konstruktion am Beispiel eines Druckluftvorratsbehälters für die Bremsanlage von Nutzfahrzeugen hat zu einem besseren Verständnis der Entwicklungsabschnitte Planung, Konzept, Entwurf und Ausführung beigetragen. Besonders die Durchleuchtung der durch den Leiter und andere Beteiligte der Expertenrunde gemachten Management-Aussagen, die zu bestimmten Zeitpunkten oder nach gewissen Entwicklungsabschnitten zielgerichtet Informationen oder Diskussionsergebnisse weiterleiteten, wird bei der Konzeptionierung eines zukünftigen Design-Managers eine große Rolle spielen.

Die Beobachtung, daß zu einem Sachverhalt auch von Nicht-Experten wichtige Aussagen getroffen werden können, wurde hier sehr deutlich. Dies wird eines der Hauptprobleme bei der Realisierung des Design-Managers sein, der solche fachübergreifenden Beiträge aus den Informationen seiner 'Experten', repräsentiert durch einseitig hochspezialisierte Datenbanken, durch Kombination erst einmal generieren muß.

Es kann als sinnvoll erachtet werden, einige weitere Expertensitzungen, in ähnlicher Weise wie hier durchgeführt, zu analysieren, um nicht repräsentative Verhaltensweisen und Aussagen von Sitzungsteilnehmern herauszufiltern. Speziell die Anwendung der klassischen Lösungsfindung im Rahmen des Methodischen Konstruierens mit Hilfe eines Morphologischen Kastens, und die anschließende systematische Auswertung gilt es weiter zu verfolgen, da sich eine solche Systematisierung von Denkabläufen nur positiv auf deren Übertragung in eine rechnergesteuerte Simulation auswirken kann.

Die allgemeine Ontologie zum Oberbegriff 'Druckbehälter aus Faserverbundwerkstoff' gibt einen guten Überblick, welche Vielfalt an Begrifflichkeiten einem Stammegriff zugeordnet werden können. Die Anzahl der Begriffe muß hierbei klar durch eine Zielvorgabe restriktiert werden, wobei eine echte Vollständigkeit in diesem Sinne nie erreicht werden kann, da die Grenzen weiterhin fließend sind. Die Werkstoff-Ontologie wurde aus Gründen der Übersicht von der allgemeinen Ontologie getrennt, um erst einmal einen Großteil der für die Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen relevanten Materialien, vor allem die verschiedenen Kunststoffe mit deren Fachtermini, zu erfassen. Neben der Einordnung der Materialien nach verschiedenen Kategorien liefert die Ontologie einen Werkstoffkatalog, der beliebig erweiterbar ist und im späteren Expertensystem auch der Errechnung solcher Materialkenndaten dienen soll, die sich aus der Kombination bereits bekannten Daten ergeben.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Gräfen, H.:
Lexikon Werkstoff-Technik,
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [2] Heißler, H.:
Verstärkte Kunststoffe in der Luft- und Raumfahrttechnik, Kunststoffe und Elastomere
in der Praxis,
Kohlhammer-Verlag, Stuttgart, 1986
- [3] Tagung VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb:
Datenverarbeitung in der Konstruktion '85; Entwicklungsstand
und Anwendererfahrungen,
VDI-Berichte 570.1, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985
- [4] Tagung VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb:
Datenverarbeitung in der Konstruktion '85; Entwicklungsstand
und Anwendererfahrungen,
VDI-Berichte 570.5, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985
- [5] Tagung VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb:
Erfolgreiche Anwendung wissensbasierter Systeme in Entwicklung und Konstruktion,
VDI-Berichte 903, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [6] Zender, H.:
Einsatz von Industrierobotern zur Fertigung von Faserverbundbauteilen im Wickel und
Tapelegeverfahren,
Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 250, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
- [7] Ehring, R.J.:
Plastics Recycling: Products and Processes,
Carl-Hanser-Verlag, München, Wien, New York, Barcelona, 1992

- [8] Starke, L.:
Verwerten von Plastabfällen und Plastaltstoffen,
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1984
- [9] Masing, W.:
Handbuch der Qualitätssicherung,
Carl-Hanser-Verlag, München, Wien, 1988
- [10] Domininghaus, H.:
Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften,
3. neubearbeitete Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988
- [11] Michaeli, W.; Wegener, M.; Begemann, M.:
Einführung in die Technologie der Faserverbundwerkstoffe,
Carl-Hanser-Verlag, München, Wien, 1990
- [12] Schmidt, G.; Peters, F.; Laufkötter, G.:
User Manual of COKAM+,
Docuent D-93-02, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH,
Universität Kaiserslautern, 1993
- [13] Maier, M.:
Berechnung und Konstruktion von Verbundwerkstoffen Teil 1 und Teil 2,
Vorlesungsskriptum am Institut für Verbundwerkstoffe GmbH,
Universität Kaiserslautern, WS 1993/94
- [14] Friedrich, K.:
Einführung in die Verbundwerkstoffe (Composites),
Vorlesungsskriptum am Institut für Verbundwerkstoffe GmbH,
Universität Kaiserslautern, 1993/94

- [15] Roeder, E.:
Werkstoffkunde I und II,
Vorlesungsskriptum am Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Mechanische Technologie,
Universität Kaiserslautern, 1988 (Teil I) und 1989 (Teil II)
- [16] Roeder, E.:
Konstruktionswerkstoffe I und II,
Vorlesungsskriptum am Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Mechanische Technologie,
Universität Kaiserslautern, 1990 (Teil I) und 1991 (Teil II)
- [17] Wüstenberg, D.:
Konstruktionslehre I (Methodisches Konstruieren) und II,
Vorlesungsskriptum am Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinen- und Apparatebau,
Universität Kaiserslautern, SS 1988 (Teil I) und SS 1990 (Teil II)
- [18] Wüstenberg, D.:
Apparatebau I,
Vorlesungsskriptum am Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinen- und Apparatebau,
Universität Kaiserslautern, WS 1988/89

ANHANG I: Pflichtenheft für die Entwicklung eines Druckbehälters aus Faserverbundwerkstoff

Sie bitten uns um eine nähere Spezifikation unserer Anfrage an Ihr Institut für die Entwicklung eines Preßluftspeichers für LKW. Dazu können Sie von den untenstehenden Daten ausgehen:

Volumen:	80 Liter
max. Durchmesser:	350 mm
Drücke:	8,5 bar im Betrieb ± 2 bar max. Schwankung 17 bar max. Prüfdruck
Form:	Beim Abstellen des Fahrzeuges fällt der Druck auf 0 ab. Zylindrisch, längs eingebaut und mechanisch am Fahrzeugaufbau befestigt, aber demontierbar zu Reparaturzwecken
Stückzahl:	Geschätzter Bedarf von 45.000 Stück pro Jahr
Anschlüsse:	2 stirnseitig, 1 mittig für Druckverschraubungen Innengewinde Rp 3/8 Für Überdruckventil und zur Entwässerung; letztere manuell bedienbar.
max. Beschleunigung:	Durch Frontalaufprall bei 100 km/h
max. Belastung:	Seitlicher Aufprall z.B. eines Motorradfahrers
Beständigkeiten:	gegen Mineralöl, Seifenlaugen, UV-Strahlung und Lacke (Tank muß lackierbar sein)

Einsatzbedingungen

Der Behälter soll in Leichtbauweise ausgeführt werden, die Dauerfestigkeit muß gewährleistet und die Verformungen sollen gering sein. Das Material darf nur eine geringe Wasseraufnahme besitzen und muß von -40 bis +120 °C temperaturbeständig sein. Die Einsatzorte sind Baustellen (Steinschlag) und Straßen weltweit (Klima).

Technische Randbedingungen

Der Tank darf keine scharfen Kanten haben und soll eine saubere, glatte Oberfläche aufweisen (Sichtteil). Es muß eine Bauteilabnahme durch den TÜV möglich sein, d.h. die Auslegung muß nach AD und DIN erfolgen. Weiterhin soll die Qualität der Tanks nach DIN ISO 9000 bis 9004 gesichert werden. Sie müssen zur Montage in die Fahrzeuge zum Automobilhersteller transportiert werden können. Sämtliche Anschlüsse sollen verschleißfrei sein, der Tank selbst muß wartungsfrei und austauschbar sein, das bedeutet aber nicht instandsetzbar. Nach Möglichkeit ist eine Wiederverwendung anzustreben, die Tanks müssen in jedem Fall wiederverwertbar sein (recyclierfähiges Material und recyclinggerechte Konstruktion).

Wirtschaftliche Randbedingungen

Grenzkosten:	ca. 100 DM/Stück
erwarteter Gewinn:	ca. 30 % pro Stück
max. Investitionsvolumen:	5 Mio. DM
Amortisationszeit:	5 Jahre
Ausstattung:	Werkhalle, keine Fertigungsmaschinen

Wie vereinbart, soll in 12 Monaten der erste Prototyp des Tanks von Ihnen geliefert werden.

ANHANG II: Protokoll der Expertensitzung vom 15. September 1993

Beteiligt waren (Mitarbeiter IVW):

Mathias Steiner (FV) als Firmenvertreter

Steffen Kerth (BK) zuständig für Berechnung, Konstruktion

Claus Ehlers (QS) zuständig für die Qualitätssicherung

Andreas Liebetrau (WI) zuständig für die Wirtschaftlichkeit

Ralf Funck (VT) zuständig für die Verarbeitungstechnik

FV: Der Ablauf der heutigen Sitzung soll nach dem kleinen Protokoll ablaufen. Die Anfrage, die alsda verteilt wurde, geht jetzt am Institut ein, daraufhin hat das Institut eine Rückfrage gestartet an die betreffende Firma und hat ein Pflichtenheft angefordert, das bei allen Beteiligten vorliegt. Dann sind die IVW-Mitarbeiter, bzw. die Entwickler, gefordert und das Ganze soll jetzt entsprechend dem Ablaufschema durchgesehen werden. Gestrichen wurde die Variante b, einfach um das Ganze hier auch zeitlich etwas abzukürzen. Im letzten Schritt wird dann eine Literaturarbeit herausgegeben und das ist dann allerdings wieder IVW-Angelegenheit.

WI: Es ging uns darum, die Gesetzestexte, Vorschriften und sonstigen Rahmenbedingungen, die man bei der Auslegung eines Druckbehälters aus Faserverbundstoffen zu beachten hat, auf den aktuellen Stand zu bringen und hier im Hause zur Verfügung zu haben. So haben wir uns entschlossen dies über eine Literaturrecherche zu erfüllen. Wir haben jetzt also hier im Hause vorliegen sämtliche DIN-Nummern passend zu den Druckbehälterproblemen, wir haben auch alle AD-Merkblätter im Hause, so daß wir also im Rahmen des Pflichtenheftes und der Anforderungen, die die Industrie gestellt hat, hier auch Rede und Antwort stehen können. Von der Ausrüstung her sind wir also soweit komplett, daß wir anhand des Pflichtenheftes und der Vorschriften uns schon mal Gedanken machen könnten, was wir im Hause schon an Druckbehältern berechnet haben und was in unserer Datenbank bzw. was in unseren Informationsträgern, die wir hier im Hause haben, bereits druckbehältertechnisch bearbeitet wurde. Ich würde dann mal an den Steffen weitergeben, der uns jetzt zu dem vorliegenden Problem, nämlich einen Druckbehälter, der bereits zu dem vorliegenden Pflichtenheft entspricht, zu konzipieren geprüft hat, ob wir adäquate Information im Hause vorliegen haben.

BK: Zunächst ist ganz von Vorteil, daß wir hier klar definierte Bauräume haben und klar definierte Dinge, was die Last angeht. Wir haben 8,5 bar im Betrieb, daraus kann man sich einfach die Spannungen errechnen, die später im Werkstoff auftreten werden und es ist zumindest schon mal klar, was da passiert. 17 bar maximaler Prüfdruck ist auch eine klare Aussage, wo man die Spannung dann verwenden kann, um auch in die finite Elementeberechnung hineinzugehen. Das A und O für die Berechnung, überhaupt Auslegung, Laminatauslegung, Materialauslegung ist natürlich, daß man die Materialkennwerte hat. Die haben wir nicht und die müssen bestimmt werden. Das ist ein ganz wichtiger Aspekt einer Arbeit, die auch im Vorlauf schon getan werden muß. Dazu sollte man eine Diplomarbeit ausgeben, wenn man die Zeit dazu hat. Oder man sollte es möglichst selbst machen, d.h. in Auftrag geben im Haus. Wir haben die Möglichkeit dazu, falls die Zeit dafür nicht da ist. Wir müssen uns klar werden, welche Werkstoffe wir verwenden wollen, es ist aus anderer Restriktion schon relativ klar, und wir müssen von dem Werkstoff die, für die Berechnung erforderlichen Werkstoffkennwerte ermitteln.

Dann können wir, wenn wir die Werkstoffkennwerte haben, haben die Last, die vorliegt, eine Auslegung hinsichtlich des Laminataufbaus machen und auch eine optimierte Geometrie in Hinblick auf den Einsatz uns konstruieren, und damit wäre diese Seite dann eigentlich gelöst.

VT: Haben wir denn schon ähnliche Konstruktionen gemacht hier im Hause oder wäre das jetzt eine Neuentwicklung für uns?

BK: Es ist insofern eine Neuentwicklung, als daß ähnliche Konstruktionen, eigentlich Druckbehälter, sowieso immer gleich aussehen, der Durchmesser ändert sich, etwas die Domgeometrie möglicherweise, wir müssen für die Berechnung sowieso die Geometrie modellieren. Es ist wenig Arbeitersparnis, wenn wir auf bestehende Konstruktionen zurückgreifen und deren Geometrie einhalten. Die Geometrieerzeugung als solche ist

weniger aufwendig, als die Applizierung von finiten Elementen und auch die konkrete Berechnung von Faserwinkeln. Also auf bestehende Konstruktionen zurückzugreifen ist relativ schwer, weil solcherlei Variante, die dann den Anforderungen entspricht, eine Sonderkonstruktion allenthalben darstellt eigentlich.

WI: Also festzuhalten wäre, wir haben keine übertragbare Konstruktion im Hause und müssen uns hier mit einer Komplettbauteilentwicklung beschäftigen.

Das können wir mal als Ergebnis dieses ersten Schrittes der Prüfung im Hause stehenlassen.

Dh. im Klartext sollten wir uns jetzt im Vorfeld ein bißchen damit beschäftigen eine Ideenfindung vorzunehmen. Zu ermitteln mit einer gewissen abgehobenen Denkweise, welche Möglichkeiten haben wir, im Rahmen dieses Pflichtenheftes, einen Druckbehälter aus Glasfaser-Kunststoff hier unterzubringen. Und anschließend würde sich jetzt eine Bauweisenauswahl, d.h. mit den Mitteln innovativer Denkweisen, brain storming sei hier mal genannt, Lösungsvorschläge zu erarbeiten, die wir dann in einem weiteren Schritt mit den Mitteln der Wertanalyse und auch mit dem, was wir im Pflichtenheft stehen haben, auf Tauglichkeit hin zu prüfen hätten.

Wir denken uns jetzt mal ein paar aus, das können auch ganz banale Lösungsvorschläge sein. Wichtig ist, daß wir uns so ein bißchen von gegebenen Lösungsvorschlägen abheben und einfach gucken, was ist mit dem Werkstoff möglich, und wie können wir hier fortfahren. Also ich würde mal sagen, so reihum macht jetzt jeder mal einen Vorschlag hierzu und ich würde mal sagen, Claus, du fängst an.

QS: Prinzipiell ist klarzustellen, ob hinsichtlich der Anwendung eine Matrixvorwahl hinsichtlich duromerer oder thermoplastischer Matrices notwendig ist. Diese Frage klärt das Pflichtenheft. In unserem Falle wird es eine thermoplastische Matrix sein.

WI: Kann beides sein. Gehen wir mal ein paar Schritte zurück und sagen, wir wollen nur den Kunststoff, der soll faserverstärkt sein und wir wollen einen Behälter bauen. Welche Möglichkeiten haben wir? Sammeln wir mal ein paar Vorschläge von jedem, der frei gewählt werden kann.

QS: Bleiben wir dabei, man kann unterscheiden zwischen Behältern mit duromerer und thermoplastischer Matrix. Und das Pflichtenheft gibt darüber Aufschluß, welcher gewählt werden kann.

WI: Ich fange mal an. Ich würde sagen, daß wir uns aus irgendeiner Folie einen Behälter wickeln, dann eine Schicht Fasern einbringen und als Abschluß wieder eine Folie drüberlegen und versuchen die mit einem Erhitzungsverfahren, irgendwie zusammenfließen zu lassen, so daß wir den Faser-Kunststoff-Verbund erhalten.

VT: Was nimmst du als Kern?

(10 min)

WI: Als Kern würde ich 'ne Folie mit Sandfüllung nehmen. Man hat einen Sack voll Sand und wickelt dann Folie drum, dann wickelt man Fasern drum, dann wieder Folie drum, versucht das zu erhitzen und guckt mal, was dabei rauskommt.

Das wäre also erster Vorschlag, nehmen wir mal Sand, nennen wir's mal Sandbehälter.

QS: Und das hinsichtlich des geschätzten Bedarfes von 45000 Bauteilen pro Jahr.

WI: Wir sammeln erst mal Ideen.

VT: Ich würde ein Rohr nehmen, würde 2 Deckel dran bringen an das Rohr.

WI: Klebeverbindung als Fügeverfahren?

VT: Ich würde mal sagen, ja.

WI: Also ist das schon verstärkter Kunststoff?

VT: Nicht unbedingt. Also es könnte ein verstärkter sein, also ich könnte mir vorstellen, daß es das schon gibt vorher als Rohr, endlos, oder daß ich einfach nur ein Rohr beziehe, endlos gewickelt, so'n Abflußrohr oder sowas. Die Deckel dranbringe, wie auch immer, ob ich die jetzt im Spritzgußverfahren herstelle oder sonstwie und das zusammenbringe und als Kern benütze. Sagen wir mal das wäre unverstärktes, mein Fall a, und dann einfach drumwickele, ob das jetzt Thermoplast ist oder Duromer. Zum einen hier dann die Umfangslage und dann die Kreuzlage, oder umgekehrt.

QS: Polkappenverstärkung.

VT: Polkappenverstärkung, das geht dann ganz rum. Aber man kann sich ja vorstellen, daß man hier schon verstärkten Innenring nimmt, daß das Rohr also hier schon so gut wie

- (auf der Pfanne???) hergestellt wurde. Vorher im Endlosverfahren umfangsverstärkt, die beiden Deckel drauf und dann noch kreuzgewickelt. Also, daß man in axialer Richtung verstärkt.
- Das wäre vielleicht auch noch eine Möglichkeit.
- Daß man also einen verlorenen Kern hat im Prinzip, der dann halt im Bauteil drin bleibt, gleichzeitig dann auch strukturtragend, ja.
- FV: Meine Idee wäre, daß man unter Umständen ausgeht von Schaumstoff im Kern, ähnlich zur Sandfüllung und den dann eben bewickelt durch das Naßwickelverfahren. Das bedeutet dann, ich habe innen den Kern,
- WI: Kernmaterial Styropor oder so'ne Art Schaum..
- FV: Ein Schaumstoff ..
- WI: Schaum, der sich löst...
- FV: ..der chemisch ausgelöst werden kann, und das Ganze dann eventuell entsprechend gewickelt wird mit Umfangswicklung und dann entsprechend eine Kreuzwicklung, die dann obendrauf liegt und dann wieder eine Umfangswicklung zum Abschluß.
- QS: Ohne Liner also?
- FV: Ohne Liner, nur mit Kern, der sich dann später wieder auslöst und den ich entsprechend einfach aufnehmen kann mit der Maschine.
- QS: Mit Duromer und ohne Liner?
- FV: Nur mit Kern, und naßgewickelt
- WI: Naßgewickelt heißt also duromere Matrix mit faser verstärkt.
Steffen, hast du weitere Vorschläge?
- BK: Also Thermoplastbewicklung, daß man das möglicherweise etwas mehr katalogisiert: Daß man sagt, was nimmt man als Liner, nimmt man überhaupt einen Liner auf der einen Seite und auf der anderen Seite nimmt man einen thermoplast Matrix, oder das ist ja das Entscheidende, eine duromer Matrix, für die Bewicklung. Daß man das Ganze noch etwas strukturierter dann darstellt. Daß man sich vielleicht schon früher einig wird, will man mit oder ohne Liner im Hinblick darauf vielleicht schon jetzt wieviel von den Teilen gefertigt werden sollen. Nimmt man Thermoplast oder Duromermatrix, das ist ja für die Bauweisenauswahl auch irgendwo wichtig. Ich meine hier kann man ja auf Bibliotheken zurückgreifen, wie grundsätzlich Druckbehälterkonstruktionen möglich sind.
- WI: Wir haben uns auch mal überlegt ob man einen geteilten Behälter herstellt.
- QS: Es kann auch ein geteilter Behälter sein. Oder ein Behälter mit Schablone, metallischer
- BK: Mit Metalliner, einen klassischen.
- WI:Ne, gar nicht Metalliner, Metall, naßbewickelt, auseinandergeschnitten, 2 Teile entformt und dann mit einem Zwischenstück zusammengefügt.
- QS: Das wäre die nächste Möglichkeit. Und das kann auch wieder in beiden Verfahren, duromerer oder thermoplastischer...
- VT: Hat auch keinen Liner, oder?
- QS: Kein Liner.
- WI: Wäre aber mit duromer und thermoplast Matrix zu wickeln.
- QS: Könnte man sich vorstellen, daß man Anbindungsproblematik hat, aber das müssen wir später bei der Bewertung diskutieren.
- WI: Was wäre, wenn man sich einen Thermoplastliner machen läßt und den mit thermoplastischen imprägniertem Halbzeug bewickelt?
- BK: Oder mit blasgeformten?
- WI: Mit blasgeformten Liner
- VT: Oder geschleudert, mundgeblasen..
- QS: Das wäre das vorliegende Beispiel.
- VT: Wobei wir den dann komplett bewickeln würden, Umfang- und Kreuzwicklung, so daß der Liner dann keine tragende Funktion hat, sondern reine Dichtfunktion.
- WI: Wir sollten also noch betonen, daß wir hier einen Beispielbehälter liegen haben, der folgendermaßen aussieht: Auf einen geblasenen Thermoplastliner sind nur Radialverstärkungen mit thermoplastischen glasfaserverstärkten Radialwicklungen vorgesehen.
- Gut, ich würd hier vorschlagen, daß wir die Ideenfindung abschließen.

Wir haben jetzt also sechs verschiedene Ideen uns überlegt und sollten im nächsten Schritt anhand des Pflichtenheftes die Machbarkeit dieser vorgeschlagenen Behälter abschätzen um irgend welche Vorschläge, die gar nicht realisierbar sind, aus welchen Gründen auch immer, nicht mehr weiter zu betrachten und uns nur auf die Vorschläge zu konzentrieren, die wirklich in irgendeiner Weise erkennen lassen, daß das Pflichtenheft dadurch erfüllt werden kann.

Gehen wir mal zu dem Sandbehälter, dem ersten Vorschlag.

VT: Vielleicht sollten wir mal das Pflichtenheft durchgehen und dann je nachdem abhaken, ob eine Konstruktion das erfüllt, oder nicht.

BK: Killerkriterien, Kick-out-Kriterien gleich zu Beginn, und dann ins Auge fassen, warum einem einfällt, daß diese Konstruktionen in jedem Fall nicht realisierbar sein werden

QS: Also anhand des Pflichtenheftes, gut.

WI: Also der Sandbehälter würde nach meinen Dafürhalten ausscheiden, weil wir keinerlei Geometrie mit so einem Sandsack einhalten können und die Grundforderungen nach Durchmesserangaben und den Längenangaben nicht reproduzierbar wären. Desweiteren wäre, laut den Vorschriften, die wir zu beachten haben im Grunde genommen eine Tränkung der Faser in diesem Vorschlag nicht möglich. Und deshalb würde ich diesen Vorschlag ausscheiden lassen.

BK: Zumal auch dieses eine sehr aufwendige Lösung sein wird.

QS: Die für 45000 Teile im Jahr überhaupt nicht praktikabel ist.

VT: Das Problem ist auch, daß das ein Sichtteil ist, wie du sagst, mit der Geometrie werden wir Schwierigkeiten haben, das so steif zu kriegen, daß man immer gleiche Behälter rauskriegt. Ich glaube auch, daß das wenig sinnvoll ist.

BK: Eine Auslegung wird auch nur dann möglich sein, wenn reproduzierbare Geometrien und damit auch reproduzierbare Steifigkeiten und Festigkeiten erzeugen kann. Sonst muß man einen zu hohen Sicherheitsfaktor dann wählen.

QS: Desweiteren haben wir dann die Anbindungsproblematik.

VT: Die haben wir bei allen im Prinzip

QS: Die bei allen.

VT: Aber gerade, wenn da die Geometrie natürlich stark schwankt.

QS: Da geht's überhaupt nicht.

VT: Streichen wir den.

Mir fällt direkt etwas zu dem duromer gewickelten Behälter ein.

WI: Welcher Vorschlag ist das?

QS: Der Vorschlag mit dem Kern.

VT: Der mit dem herauslösbaren Kern?

WI: Der Vorschlag NR.6

VT: Und der ist mit Duromer gewickelt. Da haben wir zum einen das Problem, daß wir keine reproduzierbaren Fadenspannungen während der Fertigung bringen können, weil der Kern nachgeben wird, der Styroporkern. Man könnte sich auch einen festeren Kern, aus Zinnlegierungen oder sowas, das man herausbringt, ... Würde gehen, aber dann hat man immer noch das Problem der Dichtigkeit. Weil wir keinen Liner haben und bei duromeren Werkstoffen, die sind sehr spröde, ist es nicht zu vermeiden, daß es Mikrorisse gibt, dann haben wir ein Dichtigkeitsproblem.

(20 min)

Den werden wir nie richtig dichtkriegen ohne Liner innen drin.

BK: Also wenn es dicht sein muß, können wir ja rückwärts schließen, daß wir nur eine Konstruktion, die einen Liner vorsieht, auch weiter ins Auge fassen können.

VT: Das würde ich auch sagen. Dann haben wir aber das Problem auch hier bei dem Ding. Ich weiß nicht, ob wir das als dichten Liner bezeichnen können, aber wenn die Kappe da angeklebt ist., ist das bestimmt auch von der Qualitätssicherung her sehr schwer reproduzierbar.

WI: Laßt uns mal ...

QS: Wir waren bei dem auslösbaren Kern.

Killerkriterium ist zum einen: Keine Mediumbarriere durch einen Liner, d.h. also Dichtigkeitsprobleme, das weitere Problem war, keine reproduzierbare Fadenspannung, daher aus

qualitätssicherungstechnischer Sicht schwer überprüfbarer Fertigungsprozeß, desweiteren die Anschlußproblematik ohne eingebrachte Anschlußstutzen, daher in diesen Stückzahlen und für diesen Einsatz eine nicht geeignete Variante.

WI: Also streichen wir.

QS: Streichen wir die Variante Nr.6.

WI: Beziehen wir uns auf Variante 2, nochmal in Erinnerung zu rufen: 2 aufgeklebte Behälterböden auf einen bereits gewickelten zylindrischen Teil, der nochmal komplett überwickelt wird. Hier haben wir also auch bei der Medienbarriere von innen und außen geklebte Flächen, was aus unserer Sicht problematisch ist und laut AD-Merkblättern, bzw. irgendwelchen Vorschriften mit Sicherheit nur schwer realisierbar sein wird. Was würde denn sonst noch diese Möglichkeit betreffen?

QS: Das sind die einzigen Knackpunkte

WI: Man müßte die Behälterböden extra fertigen, in irgendeinem zweiten Fertigungsverfahren, insofern wäre es von der wirtschaftlichen Seite her mit Sicherheit ein teurer Prozeß.

QS: Man hat mindestens zwei Verfahren.

VT: Du könntest ja das im Wickelverfahren herstellen.

QS: Klar. Aber du mußt trotzdem die Böden gießen, oder spritzen.

VT: Das hast du aber bei solchen Varianten auch, daß du die Liner immer noch in Blasform herstellen mußt.

Also hier hättest du noch den Vorteil, daß du das Volumen ändern könntest. Aber da wir hier nur ein festes Volumen haben, zieht das Argument natürlich nicht. Sonst könnte man hier durch Verlängerung des zylindrischen Teils sehr leicht eine Volumenänderung herbeiführen, während das hier bei solchen Teilen ja nicht ist, denn du brauchst das Werkzeug um ...

WI: Aber ob du hier einen homogenen Behälter bekommst, das ist nicht die Frage. Ob du hier, wenn du einen gewickelten zylindrischen Teil mit einem undefinierten Behälterboden zusammenklebst und hast Temperaturschwankungen, wie hier im Pflichtenheft von -40 bis 120 Grad, dann kann es sehr leicht passieren, daß du diese Klebeflächen niemals sicher dicht kriegst. Also ich würde dies schon aus sicherheitstechnischen Gründen für eine nicht weiterverfolgbare Variante ansehen.

VT: Okay, gekillt.

QS: Damit ist Variante 2 nicht sinnvoll.

Beziehen wir uns auf den teilbaren Kern, um einen Behälter zu wickeln, entweder mit thermoplastischer oder mit duromerer Matrix mit einem teilbaren Kern. Das wäre ein Behälter, der keinen Liner enthält, also das gleiche Medienbarriereproblem wie bei Variante 1 mit dem Sandsack. Der Vorteil wären hier variable Größen. Ein weiterer Nachteil, da der Kern durch Trennen des Behälters entformt werden muß, müssen Behälterhälften, egal wie groß sie jetzt sind, zusammengefügt werden.

WI: Wir haben beim Fügen das Problem, daß wir eine Klebung haben, und nicht, nach dem heutigen Stand der Technik, sagen können, daß diese Klebung auf Dauer den Anforderungen standhält.

VT: Es ist eh ungünstig, da wir die Faser schneiden in dem Bereich in dem wir den Ring einbringen...

QS: Wir müssen die Verstärkungsfasern trennen, d.h.von der Auslegung ist das eine kritische Sache....

VT: Das müßten wir ja nur über eine Klebverbindung ..Verbindung..., Zähfestigkeit des Klebers rechnen

BK: Das müßte kein Problem sein, das ist einfach reduzierbar auf ein Zähfestigkeitsproblem einer Klebverbindung, weil man diese Axialkraft hat, man hat die Klebelänge und Klebefläche und der Rest mit Kleber sicher auslegbar, das dürfte nicht das Problem sein.

VT: Und qualitätssicherungsmäßig ist so eine Klebfläche...

QS: Ist ganz schlecht, da du ja in die Klebfläche nicht reinschauen kannst. Man kann nicht reproduzierbar garantieren, und da es sich halt nun mal um ein Sicherheitsbauteil handelt, wird dies sicher nicht den Sicherheitsansprüchen des TÜV standhalten bei der Qualifizierung des Behälters.

- VT: Also Qualitätssicherungsproblem.
- QS: Richtig.
- WI: Also haben wir auch die Lösung, wo der Behälter aus zwei Hälften mittels eines Stützringes zusammengeklebt wird, entfallen lassen.
Nochmal, ein grundsätzliches Argument wäre, daß wir uns auch in der heutigen Zeit mit Recyclingfragen auseinandersetzen müssen und daß uns bei diesen Stückzahlen der Werkstoff duromere Matrix, faserverstärkt, Probleme aufwirft, insoweit, daß wir den Werkstoff, zumindest nach dem heutigen Stand der Technik, nicht vernünftig recycelt bekommen. Und uns auch insofern in der Werkstoffauswahl das thermoplastische Material mit Glasfaser verstärkt sicher bessere Lösungsvarianten ermöglicht.
Also festzuhalten wäre jetzt, daß wir uns nach der Lösungssuche auf einen blasgeformten Liner geeinigt haben, der mit den nötigen Anschlußstücken versehen ist.
- BK: Da muß man noch klarstellen, daß dieser jetzt nicht aus dem Grund genommen wird, weil kein anderer mehr übrig ist, sondern weil dieser tatsächlich auch in das Pflichtenheft gut reinpaßt.
- QS: Rein technisch das sinnvollste und auch in diesen großen Stückzahlen sicherlich wirtschaftlich herstellbar.
- WI: Und man hat die Gefahr umgangen, daß man aufgrund von Temperatureinflüssen verschiedene Materialien oder unterschiedliche Matrixwerkstoffe in einer Lösung zusammenfügen muß.
Denn es ist denkbar den Linerwerkstoff entsprechend dem Matrixwerkstoff, der Verstärkung zu wählen.
- VT: Da hätte man auch das Problem der Ablösung nicht, von Liner zur Verstärkung, wenn man da das entsprechende Material nehmen würde.
- QS: Das wäre übrigens sinnvoll.
- WI: Also sollten wir jetzt hier mal, den ersten Abschnitt unserer Bemühungen dem Fragesteller, sprich dem Industriebetrieb, mitteilen. Daß wir uns also bei der Auswahl der Lösungen auf diese beschriebene Lösung festgelegt haben und sollen diese Lösung auch dem Anfragenden mitteilen, um uns auch frühzeitig mit dem ein bißchen abzustimmen. Wie ist die Reaktion darauf?
- FV: Prinzipiell gibt es von der Seite kein Problem. Es ist nicht ganz klar, wie die Fertigung jetzt aussehen sollte und wieviel Stückzahl wir rechnen können.
- QS: Das müssen wir ja noch im nächsten Schritt austüfteln.
- FV: Es müßte von unserer Seite nochmal auf das Pflichtenheft hingewiesen werden. Sind alle Anforderungen, die an so ein Teil gestellt werden und die im Pflichtenheft festgehalten sind, überprüfbar? Kann ich das damit erreichen?
- WI: Also, von der wirtschaftlichen Seite her ist das verarbeitungstechnisch durchaus machbar, es ist also in dem schon angesprochenen Wickelverfahren herstellbar und auch in diesen Stückzahlen durchaus, nach dem heutigen Stand der Technik, wirtschaftlich herstellbar. Ich von meiner Seite würde das Pflichtenheft als erfüllbar erachten und ich glaube, daß auch keine technischen oder sonstigen Gesichtspunkte dem entgegen sprechen werden.
- VT: Fertigungstechnisch sollte das möglich sein, wobei allerdings noch einige Vorversuche laufen müssen. Von der fertigungstechnischen Seite her natürlich, mit welcher Maschinerie man da rangeht, welche Aufheizverfahren man da verwendet, muß man sich bestimmt klarmachen, aber prinzipiell räume ich der Sache also gute Chancen ein.
- BK: Von der Berechnung her ist die Anforderung eigentlich ziemlich restriktierend.
Wir haben Frontalaufprall von 100 km/h, was so einfach nicht zu beantworten sein wird.
Man kann natürlich diesen Behälter so auslegen, daß er auch dieser Anforderung genügen würde, man muß nur auch die Anforderung an den Behälter kritisch diskutieren. Daß diese und jene Anforderung würde möglicherweise zu einer völligen Überdimensionierung führen, was alle anderen Aspekte angeht. Ob da vielleicht, und es passiert auch öfters, nicht nur von ihnen jetzt, sondern auch von anderen, die Pflichtenhefte auferlegen, daß die einfach erst mal sagen, den drücken wir jetzt mal dieses und jenes auf's Auge, die sollen das mal konstruieren, dabei ist es eigentlich so nicht zwingend erforderlich.

(30 min)

Festigkeit und Steifigkeit, da sind auch keinerlei Anforderungen hinsichtlich maximaler Verformung in radialer und axialer Richtung. Es scheint mir rein ein Festigkeitsproblem zu sein.

FV: Es sollten auch keine Einschränkung gemacht werden in Richtung Festigkeit oder Verformung

BK: Wir haben möglicherweise einen Behälter, der sich radial mehrere Millimeter verformt und da ist auch ein Maßhaltigkeitsproblem da, hinsichtlich der Anbindung möglicherweise. Daß man da Probleme kriegt, wenn man da einen gewissen Bereich überschreitet in der er sich axial oder auch radial verformen kann. Also dazu fehlt mir noch ein bißchen was im Anforderungsheft.

FV: Wie könnte ich das Problem umgehen, konstruktiv?

BK: Man kann es normalerweise konstruktiv nicht umgehen, denn so ein Behälter wird, wenn er aufgeblasen wird, sich zwangsweise in irgendeiner Richtung ausweiten müssen. Der hat keine unendliche Steifigkeit und von daher hat er auch eine Ausdehnung. Diese Ausdehnung wird man nicht komplett unterdrücken können. Man kann es dadurch ausgleichen, daß man diese Anschlüsse oder Anbindungen so gestaltet, daß da irgendwo ein Spiel dazwischen ist, das größer ist, als die maximale Verformung.

FV: Die Anbindung selber soll nur durch Druckschläuche erfolgen.

BK: Das wird also nur über die Druckschläuche gehalten? An den Flanschen?

QS: Das können auch Bohrungen sein.

FV: Mechanisch befestigt, mit einem Stahlband, ist zumindest geplant. Und diese Druckanschlüsse, also Druckversorgung und Abneigung zum Arbeitszylinder, sollen dann über Druckschläuche überbrückt werden.

VT: Ich kann mir vorstellen, daß man diese Haltebänder so gestalten kann, daß die diese Dehnung, diese Verformung mitmachen...

QS: Elastomere Einlage als Zwischenschicht.

VT: Durch ein Gummi oder irgendsowas

FV: ..?. zum Beispiel bei der Produktion keine Problem machen.

VT: Das muß ja bei herkömmlichen Stahlbehältern auch schon ein Problem sein, die sind ja auch nicht unendlich steif, die müssen sich ja auch ausdehnen..

FV: Es wird zum Beispiel gemacht, daß Gummischichten zwischen Stahlband und Tank

VT: Von daher sehe ich da auch keine konstruktiven Schwierigkeiten.

BK: Gut, aber man muß natürlich beachten, daß man so einen Behälter irgendwie immer auslegen kann. Wenn man jetzt diese Bauweisenauswahl, Thermoplastliner, nehmen, wir haben kein Problem, das zu berechnen, wir haben keine Probleme die Faserwinkel zu berechnen, zu optimieren oder auch den Leichtbaugedanken zu berücksichtigen. Mehr Probleme macht mir jetzt die Anforderung bezüglich des Frontalaufpralls von 100km/h.

WI: Können wir uns da mal erst schlau machen, was die Gesetzestexte sagen. Denn es ist ja von dem Auftraggeber sicherlich geplant hier im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften irgendwelche Bedingungen zu erfüllen und ich denke, daß wir da auf dem richtigen Weg sind, wenn wir uns erst mal über die Vorschriften, die zur Verkehrsicherheit da vom Gesetzgeber her...

BK: Das war auch mein Gedanke. Meine Bitte an den, der die Liste aufstellt, was hier gefordert wird, ob das sinnvolle Forderungen sind. JA, weil er in jedem Fall darauf beharren muß, oder ob es Forderungen sind, die "nice to have", sind und ob man über irgendwelche Gesetzestexte vielleicht nochmals möglicherweise etwas runterfahren kann.

FV: In dem Beispiel mit dem Frontalaufprall bedeutet das eigentlich nur, daß der Behälter oder Drucklufttank durch seine eigene Masse beschleunigt wird und entsprechend dann gehalten werden muß in dieser Befestigung. Die Gesetzesvorschrift sieht vor, daß ein Frontalaufpralltest gemacht wird, sagt aber nicht wie.

VT: Vor allem ist das Ding, der Druckbehälter, ja nicht direkt beaufschlagt, der sitzt ja ziemlich in der geschützten Zone dahinten.

- FV: Da ist ja vorne das Fahrerhaus oder irgendwas beschädigt, es geht nur um die Verzögerung, daß dieses Teil...
- WI: Also das können wir durch eine Anfrage beim TÜV klären, was wir da machen müssen.
- QS: Ähnlich müssen wir da noch aufnehmen, was denn ein seitlicher Aufprall, z.B. eines Motorradfahrers...
- BK: Da muß näher klassifiziert sein...
- QS: Da muß ganz klar klassifiziert sein nach Energie/Fläche.
- WI: Aber auch das kriegen wir mit dem TÜV abgedeckt.
- BK: Da kann es natürlich sein, daß man möglicherweise einen Extraschutz vorsehen muß. Denn es wäre unter anderem, was ich vorher schon im Kopf gehabt habe, genau dieser Frontalaufprall bei 100km/h. Das kriegt man eh nie niemals geregelt, daß die absorbiert wird, die Energie, die da frei wird. Wenn man diese 100km/h zugrundelegt, also $m \cdot v^2$ auf den Behälter draufgibt, hat man ja schon wieder relativiert, als wir es diskutiert haben, daß diese 100km/h ja gar nicht ankommen. Und Side-impact-Motorradfahrer wäre auch zu überlegen, weil Side-impact auf solcherlei Struktur immer sehr schlecht sich auswirkt, ein sehr kritischer Fall sein wird und deshalb ist es möglicherweise so, daß man das Ganze mit 2mm wickeln kann und nur aus dem Grund, weil Side-impact vielleicht 5 braucht. Deswegen kann man dann noch einmal genau überlegen, was eigentlich die Anforderung ist und dann das hier anwenden.
- FV: Mein Vorschlag, daß wir diese Forderungen ruhig hintenanstellen.
- WI: Wir wissen jetzt noch nicht, ob Qualitätssicherungsaspekte aus dem Pflichtenheft unsere Bauweisenauswahl beeinflusst.
- QS: Sobald in dem Pflichtenheft, sobald in dem brain storming, eine Materialauswahl erfolgt ist, ist ein Behälter mit der Struktur Thermoplastliner incl. Thermoplastmatrixverstärkung qualitätsgesichert. Kein Problem herzustellen, alle Parameter sind meßbar, die Einflüsse bestimmbar. Was möglicherweise ein Problem sein wird, und das tangiert dann die Konstruktion nochmal, das sind die Anbindungen. Ob die in der Festigkeit, Metallanbindungen, z.B. thermoplastisches Gewinde ausreichend sind. Anzugsmoment der Metallanbindungen sind meßbar, das ist kein Problem. Aus meiner Sicht hätte ich keine Einschränkungen auf das Pflichtenheft.
- WI: Gut. Dann sollen wir uns jetzt mal mit einer Vorkonstruktion befassen. Was wissen wir aus unserem Pflichtenheft und welche Angaben müssen wir im Vorfeld uns konzipieren. Wir haben die Bauraumbeschränkungen, die uns dieses Pflichtenheft vorschreibt insoweit zu erfüllen, als daß hier davon auszugehen ist, daß wir einen maximalem Durchmesser von 350mm einzuhalten haben. Ich würde vorschlagen, um auch der Anbindung noch einen Platz einzuräumen, daß wir uns auf 300mm Außendurchmesser dieses Behälters einigen, ich glaube, daß ist auch von der Berechnung her ein Maß, mit dem man leben kann. Daraus würde sich dann zwangsläufig die Länge ergeben, wenn wir uns auf eine gut zu wickelnde Bodenform beschränken würden. Und ich glaube da wird allgemein eine Klöpperbodenform, auch aus wickeltechnischen Gründen herangezogen. So daß wir dann anhand der Volumenangaben, die zwangsläufig einzuhalten ist, nämlich 80l, unmittelbar die Innenkontur festgelegt hätten. Denn wir können nicht von einer Außenkontur, wenn wir keine Wandstärke wissen, auf die Außenkontur schließen.
- VT: Wir haben jetzt die Außenkontur mit Verstärkungsschicht.
- QS: Nein, die Linerkontur.
- VT: Was ist denn gefordert? Achso, maximaler Durchmesser. Also legen wir den Innenraumdurchmesser auf 300 fest.
- WI: Also dann würde ich eher weniger nehmen, denn wenn wir eine Wandstärke von 10mm haben, dann wären wir schon bei 320mm, dann haben wir gerademal 30mm für die Anbindungen. Laßt uns mal den Innendurchmesser mit 280mm wählen.
- QS: Der Einsatz schreibt auch vor: Steinschlag, Baustellen, Klima weltweit. Es kann sein, daß wir noch eine Schlagschutzschicht noch aufbringen müssen.
- VT: Sicherlich.

- WI: Wir haben also jetzt den Behälter vom Innenraum her, gemäß dieser 80l dimensioniert und wissen jetzt auch schon, wie die Innenkontur des Liners aussieht. Was wir nicht wissen, was wir also aus den Vorschriften zu ermitteln haben, ist, wie die Anschlussbindungen aussehen müssen, sprich die Anbindungen druckseitig. Wieviel Druckanschlüsse müssen wir denn dran konstruieren und wie kann man wickeltechnisch und linertechnisch diese Anforderungen erfüllen. Da würde ich gerne mal Konstruktions-bzw. Fertigungstechnik einbeziehen.
- VT: Also stirnseitig haben wir 2 Anschlüsse vorzusehen und mittig haben wir einen. ..., ach so, die sind mittig sogar..
- FV: Einen mittig und zwei stirnseitig.
- VT: Zwei stirnseitig, einen mittig. Der mittig ist zum Ablassen wahrscheinlich?
- FV: Zum Ablassen und Anschluß für'n Überdruck.
- WI: Vielleicht sollten wir das doch gleich in den Liner mit einbeziehen?
- QS,VT: Würde ich auch so sehen, gute Idee.
- VT: Beim Blasen gleich mit einlegt und den Liner komplett mit dem Ventil. Die Frage ist, ob man das nochmal gegenziehen muß außen, oder ob das so hält? Also man könnte sich ja vorstellen, daß man den innen reinlegt mit Bolzen stehenläßt und nachträglich von außen 'ne Scheibe drüber, so daß man dann anzieht. So daß man das Ding dann auch wirklich dicht hat. Ich bin mir nicht so sicher, wenn wir das nur einfach einspritzen oder einlegen..
- QS: Das geht.
- WI: Da wird sicher das AD-Merkblättchen weiter helfen und ich glaube, daß wir in dem jetzigen Stadium uns festlegen könnten, daß wir Stutzen, also die Anschlüsse, schon in den Liner integrieren, wie auch immer. Würde man dann bei der Konzeption, der Konstruktion genauer festlegen. Können wir irgend etwas schon über die Wandstärke sagen? Also nach Medienbeständigkeit müßten wir nach den Mindestanforderungen auf 3mm, oder so...
- VT: Die Anforderung an den Liner ist einmal, daß er dicht ist, zum anderen, daß er eine gewisse Steifigkeit hat, sonst kann ich ihn nicht bewickeln.
(40min)
- WI: Was gibt es denn da für Erfahrungswerte? Es muß ja auch herstellbar sein.
- QS: Also bei genormten, ne, nicht bei genormten, bei üblichen Fadenkraftspannungen von, ich sage jetzt mal, 30 Newton, 40 Newton...
- VT: Das kommt darauf an, was du für ein Tape hast.
- QS: Das kommt ganz darauf an, was für ein Tape, muß der Liner für das Fertigungsverfahren biegesteif sein. Die Belastungen sind bekannt, man kann sich die Steifigkeit seinen Anforderungen ausrechnen und danach eine Materialwandstärke für diese Geometrie ausrechnen.
- VT: Die Wandstärke ist hauptsächlich abhängig von dem Medium, aber auch von der Fadenspannung, die wir nachher aufbringen müssen beim Wickeln.
- QS: Die kann man sich aber errechnen.
- WI: Über die Lingergeometrie, die wir hier jetzt grob festgelegt haben, die wir auch vom Pflichtenheft her so ausgelegt haben, daß wir die Pflichten, die an den Liner zu stellen sind, erfüllen können, würde ich jetzt nochmal vorab wissen, ob es wickeltechnisch ein Problem ist, hier jetzt auch mit glasfaserverstärkten Thermoplast aufzubringen?
- VT: Gemacht hat es noch keiner, ich wüßte jetzt keine Anwendung bei der das schon praktiziert wird.
- WI: Hier liegt doch bereits ein solcher Behälter.
- VT: Ja, aber das ist ein nicht zugelassener Behälter für Wasser, der ist also im absoluten Niederdruckbereich, und der ist ja nicht kreuzgewickelt. Umfangslagen völlig problemlos. Wo ich ein Problem sehe, ist hier bei den Keuzlagen, bei der Polkappenverstärkung, bei flachen Wickelwinkeln, und zum anderen haben wir hier noch in der Mitte einen Ablaßstutzen. Den müssen wir auch wickeltechnisch umwickeln. Da sehe ich nicht so das große Problem, wenn man den Durchmesser klein hält, kommt man wickeltechnisch daran vorbei. Ich sehe also keine Probleme im Prinzip. Ich sehe es als realisierbar an, von der wickeltechnischen Seite,

- WI: Schön. Was wir jetzt noch beachten müssen, ist: Was müssen wir bei unserer Vorkonstruktion vorsehen, um sonstige Rahmenbedingungen, die Oberflächenanforderung .
Also ich sehe echt hier Probleme darin, die optischen Anforderungen zu erfüllen, wenn wir nach dem Wickelvorgang sonst nichts mit dem Behälter machen. Ich glaube also, daß wir irgendeine Schutzschicht aufbringen müssen, die keine tragende Funktion hat, sondern
- a) dazu dient den optischen Eindruck des Behälters zu verbessern und die
 - b) dazu dient daß wir noch die Schutzwirkung irgendwie erhöhen, die von dem gegebenen Bedingungen, also auf allen Straßen der Welt fahrbar, Steinschlag, Baustellenbetriebe, Impact ...
- VT: Wie sollte man denn von der Berechnung her die Faserwinkel auslegen? Sollte man erst die Kreuzwicklung legen und dann die Umfangswicklung, oder sollte man das abwechselnd machen, oder sollte man erst eine Umfangsverstärkung wickeln und dann kreuzwickeln?
- BK: Das spielt keine Rolle, das ist gleich.
- VT: Dann würde ich sagen, ist es von der Fertigung her einfacher, wenn man erst die Kreuzwicklung legt und dann zum Schluß 'ne Umfangswicklung aufbringt, die man dann auch leicht abfallend gestalten könnte, damit der Übergang nicht so schroff ist nachher.
- QS: Nochmals auf die Schutzschicht bezogen. Das wird sicherlich bezüglich des Steinschlags eine Schutzschicht nötig sein. Faserverbundbauteile ist es ja üblich eine Polyurethanschutzschicht aufzubringen, die auch in gewissem Maße lackierbar ist, d.h. wir erschlagen zwei Fliegen mit einer Klappe: Optik und Schlagschutzsicherheit. Das dürfte aller Erfahrung nach kein Problem sein.
- WI: Gut. Was sind denn sonst noch Forderungen, die wir jetzt hier in der Vorkonstruktion zu beachten hätten?
- VT: Die Schutzschicht sollte mechanisch resistent sein
- WI: Wir haben eben doch auch nicht über die Werkstoffspezifikation gesprochen. Zu der Auswahl der Werkstoffe kommen wir jetzt im nächsten Schritt. Wir sind jetzt noch bei der geometrischen und fertigungstechnischen Vorauslegung.
Ich glaube, daß wir das jetzt auch wirtschaftlich realisieren können und wir sollten jetzt mal gucken, welche Materialien noch so eine Konstruktion erfüllen können.
Also wir haben uns festgelegt auf den Thermoplastliner, von der Chemikalienbeständigkeit her sind dem Liner irgendwelche Anforderungen gestellt.
Sollte man also irgendeinen Chemiker im Hause hinzuziehen, der uns hier einen Werkstoff empfiehlt. Nehmen wir mal an, das wäre erfolgt und mit Polypropylen wären die chemischen Anforderungen zu erfüllen. Dann wäre das zweite, daß man sich überlegt, ob es Glasfaserrovings gibt, die mit Polypropylen imprägniert sind
- QS: Aus Recyclinggründen.
- WI: Aus Recyclinggründen, ja, und auch aus Gründen der Haftung, der Verstärkung
- BK: Der Schmelztemperatur....
- WI: Der gleichen Schmelztemperatur, daß man bei Temperaturschwankungen keine Probleme kriegt.
- QS: Das bewirkt dann auch eine reproduzierbare Imprägnierung
- BK: Der ersten Lage
- VT: Wo ich ein Problem drin sehe, ist bei dem Schutzwirkungs... den werden wir nicht aus Thermoplast kriegen. Von der Recyclingsidee her werden wir uns mit dem Schutzverguß ein bißchen den Weg verbauen. Wie sieht denn die Firma das?
- FV: Kann man denn durch Hydrolyse??mittel oder andere Verfahren trennen?
- VT: Müßte man sich überlegen, ob man kostengünstig trennen kann nachher.
- FV: Was für Möglichkeiten gäbe es da?
- VT: Mechanisch oder chemisch könnte ich mir vorstellen. Der muß ja nicht besonders fest da drauf sitzen, nur dadrum.
- BK: Den könnte man auch da drüber ziehen. Was ich mir eher vorstellen würde: so einen Art Mantel drüber ziehen.

- WI: Gut. Wie sieht das denn mit Strahlung und Lackierbarkeit aus? Können wir da von der thermoplastischen Seite irgendwelche Einschränkungen.
- VT: Ja also, wenn wir die Schutzschicht da drauf haben, müssen wir die Schutzschicht lackieren. Von daher müssen wir prüfen, ob die Schutzschicht lackierbar ist.
- WI: Aber Strahlungsprobleme hätten wir keine?
- VT: Ne. Also ich könnte mir vorstellen, daß die Schutzschicht UV-Strahlung absorbiert.
- WI: Und von der Temperaturbeständigkeit macht Thermoplast auch keine Schwierigkeiten bis 120° Celsius.
- VT: Polyamid geht.
- QS: Wir sind noch bei Polypropylen.
- VT: Sind wir noch bei Polypropylen/Glasfaser-Tape. Ist nicht gut.
- WI: Der Wirtschaftler würde sagen: Polypropylen ist das billigste.
- VT: Kommste temperaturmäßig nicht hin.
- WI: Also das können wir schon mal ausschließen. Gibt es denn weitere Thermoplaste, die
- a) bezahlbar und
 - b) die bei dieser Vorkonstruktion diese Bedingungen erfüllen würden.
- VT: Polyamid ist ein gutes
- WI: Polyamid.
- VT: Kommt von der Temperatur hin, ist noch einer der billigeren, ist eigentlich ein typischer Werkstoff für KFZ-Bereich.
- QS: Hat auch gute Beständigkeiten
- VT: Chemische Beständigkeit, ist auch gegen Sprit beständig.
- WI: Was ja auch gefordert ist.
- VT: Das ist bei Polyamid gewährleistet. Vor allem, weil es schon eingesetzt wird im KFZ-Bereich, vor allem im Motorbereich.
- WI: Wird es auch verarbeiten in den Mengen? Ist es auf dem Markt erhältlich?
- VT: Es ist ein Halbzeug von HOECHST und STATOIL - weiß ich - und ist erhältlich
- QS: Und das Blasformen ist auch kein Problem.
- WI: Gut.
- VT: Polyamidblasform ist kein Problem?
- QS: Ich bin mir nicht sicher, ich bin kein Blasformer.
- WI: Wir sollten später eine externe Expertise zu Rate ziehen, ob sowas herstellbar ist. Wie sieht es denn mit der Fertigung aus? Können wir diese Stückzahlen im Rahmen eines Wickelverfahrens und von der Maschinenkonfiguration her erfüllen?
- QS: Von der Maschinenkonfiguration her sicher. Es gibt mehrere Möglichkeiten bei der Größe des Behälters, das kommt ein bißchen auf die Länge an, mehrere Behälter parallel auf einer Maschinenachse zu wickeln. Es gibt aber auch die Möglichkeit auf Maschinen, die mehrere Spindeln besitzen, zu wickeln.
- (50min)
- Von der Stückzahl her würde ich sagen, es geht, wenn man von einem normalen Zweischichtbetrieb ausgeht, sind die Kapazitäten errechenbar, wobei die Fertigungszeiten für solch einen Behälter können sich bewegen im Rahmen von... Erfahrungswerten, 15min. Ich kann jetzt keine festen Zahlen angeben, das kommt auf die Menge der aufzubringenden Verstärkungsfasern an.
- WI: Gut. Wenn man sich mal irgendeine Tabelle von Polyamid anguckt, dann kostet dieser Werkstoff auf jeden Fall unter 10DM/kg und ich glaube, daß vom Materialpreis her hier kein Killerkriterium gegeben wäre, daß man also hier schon allein vom Materialpreis scheitern würden. Ich nehme mal an, daß wir aus wirtschaftlichen Gründen hier durchaus eine Chance sehen noch unter diesem Grenzwert von 70DM/Stück Selbstkosten zu bleiben.
- Also sollten wir hier unser Konzept zusammenfassen und dem Anfrager noch einmal unterbreiten, ob auch aus seiner Sicht hier eine Lösung gefunden wurde, die seinen Anforderungen entspricht.
- FV: Das erste Problem, daß ich sehe, das sind die Maschinenforderungen. Es steht nur begrenzte Investition zur Verfügung und es muß auch entsprechend mit Personal

versorgt werden, dieser Maschinenpark.

Welche Probleme kommen da auf mich zu?

WI: Also, sie haben uns geschrieben, daß sie jede Menge Hallenfläche für den Aufbau einer Fertigung zur Verfügung stellen könnten, bei Stückzahlen von 45000 pro Jahr.

Bei 220 Arbeitstagen pro Jahr wären das „...200 Bauteile pro Tag, Zweischichtbetrieb,

15 Stunden pro Tag: 200 dividiert durch 15= 12 Stück pro Stunde.

Eine Wickelzeit? Fertigungsspezialist?

VT: 10min-15min

BK: Okay, du hast 8min

VT: Okay, 8min reine Fertigungszeit plus Nebenzeiten macht 15 min, Be- und Entladen der Maschine.

WI: 15 müssen wir pro Stunde herstellen, dann haben wir auf einem Wickelkern 4 Stück.

VT: Ich könnte mir vorstellen: man kann auf einem Spindelkern 2 laufen lassen,

Dreispindelbetrieb, dann hätten wir 6

WI: 18

VT: 6 pro Durchgang, $4 * 6 = 24$

WI: Wäre es also durchaus möglich auf einer Portalwickelmaschine diese Stückzahl zu erfüllen. Insofern würden Investitionskosten in Höhe von 400.000-700.000DM für die Wickelmaschine kommen.

Hinzu ist noch zu überlegen, ob man sich im Massenherstellungsverfahren diesen Liner herstellen läßt, oder ob man den im Haus fertigt.

Wir haben mal eine Anfrage losgelassen, was die Herstellung eines solchen Liners in etwa kosten würde. Wir werden ihnen dann mitteilen, ob das wirtschaftlich sinnvoll ist, sowas im Hause herstellen zu lassen, oder sich zuliefern zu lassen.

Ich glaube, das wir von der finanziellen Seite mit dem Investitionsvolumen von 5Millionen durchaus auch im Rahmen bleiben werden.

Also, ich hoffe, daß damit insofern die Bedenken ausgeräumt sind, daß wir mit einer richtigen Bauteilauslegung von diesem Behälter beginnen können.

FV: Aber genaue Angaben können wir ja erst mal machen, wenn wir das Ding genau berechnet haben, wissen wieviel Lagen wir brauchen.

QS: Wieviel Material ..

VT: Wissen wie das Material aussieht. Das sollten wir jetzt mal angehen, oder?

Also, Werkstoffvorgaben und konstruktive Vorgaben haben wir ja jetzt gemacht.

WI: Wir gehen jetzt von konstruktiven Vorgaben aus, nämlich der Linergeometrie und würden jetzt die Berechnung bitten, uns anhand dieser konstruktiven Vorgaben und der Lastannahmen und der Kräfte, die auf den Behälter wirken, uns

a) die Konstruktionen zu erstellen und uns

b) den passenden Werkstoff, der die Bedingungen erfüllt auszuwählen.

VT: Wobei wir parallel die Werkstoffkennwerte noch ermitteln müssen. Die für das Material a) nicht alle bekannt sind, und

b) ob man sie noch mal verifizieren müßte.

BK: Ja, welche Auswahl muß getroffen werden, daraufhin wird man Werkstoffkennwerte ermitteln. So wie es aussieht müssen die relativ schnell ermittelt werden, d.h. man muß es selbst machen. Und hat nicht, wie wenn man Zeit hat, die Möglichkeit es als Diplomarbeit auszugeben. Dann wird es hier im Haus dann vergeben.

Man wird die Werkstoffkennwerte ermitteln und danach wird man das Ganze, wenn wir schon soweit sind, das wir konkret auch die Geometrie festgelegt haben, und auf der Schiene laufen wir ja jetzt, nur noch variierbare Parameter hinsichtlich Faserwinkel, Faserdicken haben, wird man das gleich FE-modellieren. Ansonsten, wenn man auch konstruktiv noch Freiraum gehabt hätte, hätte man es zunächst erstmal über einfachere Dinge, Netz- oder Kontinuumstheorie gemacht.

Aber würde man den Auftrag vergeben an die Konstruktionsabteilung hier ein Solidmodell zu erstellen, per CAD. Würde sich die Daten einlesen und würde sich da dann ein FE-Netz draufbringen und das Ganze dann auslegen. Käme wahrscheinlich dann so innerhalb kürzester Zeit zu Faserwinkel und Lagenaufbau.

QS: Hat die Konstruktion und Berechnung Probleme damit, daß mittig in den Behälter noch ein Auslaß vorgesehen ist, der Druckauslaß?

BK: Der Druckauslaß...

QS: Ist der mit modellierbar?

BK: Der Druckauslaß ist mit modellierbar. Da setzt man einfach per BOOLSche Operation ein Loch rein. Kein Problem, hat dann mit Lochleimung und mit all diesen Dingen, die möglicherweise Probleme machen können, auch mit der Beilkerbe ...kein Problem.

VT: Wobei, fertigungstechnisch wird das ja so gelöst, daß wir um diesen Pin drumwickeln, so daß man keinen Schnitt in der Faser hätte, sondern im Prinzip eine Faseranhäufung links und rechts, oder um diesen Bereich des Wasserablasses.

BK: Gut. Die genaue Modellierung ist sowieso nicht möglich von Fasermatrix. Man würde eine Annahme treffen: man würde sagen, dadurch daß es nur Fasern sind, können die zwar in Faserrichtung alle Kräfte normal übertragen, aber in senkrechte Faserrichtung Zug und Druck nicht übertragen. Man würde das dann applizieren auf die Elemente, die man in dem Bereich einsetzt.

Abstrahierung, so wie ich es eben gesagt habe, ist sowieso nötig, auch für die Lastannahmen. Also, man sagt, es wird von hier bis hier die Radialkraft aufgenommen in der Mitte und die Axialkraft wird ab hier in diese Richtung aufgenommen. Diese Annahme wird allemal gemacht, um eben...

Dann wird man sowieso eine vierte Symmetrie machen, was weiß ich, vielleicht sogar nach eine Rotationssymmetrie und das Ganze berücksichtigt. Man kann dann überlegen, ist der Aufwand gerechtfertigt 'ne derartige Deformation des Liners mit zu berücksichtigen.

Gesetze sind da, Werkstoffkennwerte müssen kommen, und danach ist dann dem Aufwand, den man treibt keine Grenzen gesetzt. Hinsichtlich auch der Visualisierung der Ergebnisse, Schnittkräfte über die Wanddicke, also, alles darstellbar. Der Behälter ist beliebig in seiner Trägheitsachsen noch um die anderen rotierbar. Es ist kein Problem.

Es geht ja grundsätzlich erst mal darum, irgendwo eine Kostenkalkulation durchführen zu können und auch um den Anforderungen Genüge zu werden, daß man da eine Faserorientierung, eine Faserdicke ausrechnet, eine Lage ausrechnet.

Ein Sicherheitsfaktor wird man sich sowie noch selbst auf's Auge drücken wollen, damit man da irgendwo in dem Bereich, den die Merkblätter auch vorgeben...Wenn man da auslegt, muß man eh keine Kommastellenauslegung machen, sondern eine grobe. Man hat ja nur eine diskrete Anzahl von Lagen, man kann ja nicht komma drei, Komma vier Lagen draufmachen. Da sind solcherlei Dinge kein Problem.

Wenn's jetzt nur mal drumgeht, um die Festigkeit, Steifigkeit, das Auslegen, das Vorgehen im Betrieb. Wichtig ist, wir haben die Geometrie und können dann mit einfachen Annahmen uns Faserwinkel, Lagenaufbau berechnen, nachdem wir die Werkstoffkennwerte ermittelt haben.

VT: Also gehen wir mal davon aus, daß das mit Polyamid-Glasfaser gehen würde, dann haben wir jetzt..

BK: F6, 66 Volumenprozent, irgendwas der Art..

VT: Standard

BK: Könnte man sich sogar Werkstoffkennwerte aus der Literatur mal sich ...

VT: Okay, aber die müßte man sich dann verifizieren.

BK: Man macht's ganz gerne, daß man es dann an dem Konzept, das man sich hergestellt hat. Weil das könnte ja auch differieren zu dem, was da genommen wurde, daß man dieses nochmal...

(60min)

Aus dem Behälter so sich ein Stück rausschneidet, an dem man dann die Werkstoffkennwerte ermittelt.

VT: Das Ergebnis wäre dann jetzt im Prinzip, aus der Berechnung der Konstruktion, daß wir ein ausgelegtes Bauteil hätten.

BK: Ja.

VT: Gut, dann wären wir jetzt wieder dran.

- WI: Ich möchte nochmal zu denken geben, daß wir schon an ein markterhältliches Halbzeug denken und nicht irgendeinen Exoten verwenden möchten, den wir nicht irgendwo auf dem Markt auch beziehen können. Denn dann macht das Ganze rein von der wirtschaftlichen Seite her keinen Sinn, wenn wir keinen Hersteller finden, der uns das Halbzeug liefert.
Dann können wir auch unserem Anfrager nicht die Chance ermöglichen, den Behälter irgendwann einmal zu bauen.
- VT: Das ist bei Polyamid gewährleistet
- BK: PAG ist sowieso für die Leute, die berechnen müssen ein sehr schlechter Werkstoff.
Also, ich würde mir etwas anderes raussuchen, aber das steht ja nicht zur Debatte.
- VT: Also von Hoechst...ist PAG standardmäßig erhältlich.
- BK: Okay.
- WI: Vielleicht wäre es auch möglich, daß man mir 2-3 Alternativwerkstoffe berechnet, die dann rein von der Kostenseite her noch nachgerechnet werden können. Damit wir auch da ein bißchen Transparenz in das Problem mitreinbringen.
Denn ich kann mir nicht vorstellen, daß unser Auftraggeber uns abnimmt, aus freien Stücken den billigsten Werkstoff genommen zu haben.
- BK: Also grundsätzlich dazu, wenn irgendjemand Anforderungen hat, hinsichtlich der Berechnungen und Konstruktion, hinsichtlich der Berechnung, dann vor allem bitte: Materialkennwerte zu modifizieren, Faserwinkel, Faserdicken, Laminatdicken zu modifizieren. Ist kein Problem.
Das einzige wogegen ich mich etwas wehren würde zur Optimierung ist eine Geometriemodifizierung. Denn die macht mir etwas zu schaffen. Da sind auch kürzere Berechnungszyklen nicht mehr gewährleistet, weil dann müßte die CAD-Geschichte wieder mit reingebracht werden, die dann eine Umkonstruktion vornimmt.
Also, wie gesagt, irgendwelche Werkstoffkennwerte zu nehmen und daß dann nochmal durchzurechnen, ist kein Problem. Kann jeder Zeit durchgeführt werden.
- VT: Okay, von der Verfahrenssimulation, der Wickeltechnik gibt es unsererseits auch keine Probleme.
Programme liegen vor mit denen wir simulieren können. Muß dann noch einmal verifiziert werden am Dummy-Kern z.B., das ist aber möglich.
Sehe ich keine größeren Schwierigkeiten mit, könnte man auch mehrere Varianten vorsehen. Ich weiß nicht, gibt's bestimmte Unterschiede in der Fertigungszeit verschiedener Varianten. Von daher müßte man vielleicht auch mehrere Varianten vorschlagen, der Firma, die da angefragt hat.
- QS: Aber aus der Simulation heraus, die sehr schnell gemacht ist, und in der auch eine Geometrieänderung sehr schnell realisiert ist, kommt direkt das Wickelprogramm. Das für die Wickelmaschine nötige Programm, was dann sofort an einem Dammikern, der sowieso benötigt wird, den man üblicherweise aus Holz macht, um das Wickelprogramm zu verifizieren, wickeln kann.
Ist kein Problem. Die Programmverifizierung muß sowieso erfolgen. Eine leichte Anpassung an die Gegebenheiten der Maschine muß immer an der Maschine gemacht werden. Kann nicht am Computer gemacht werden. Jedoch ist das Erfahrungspotential hier im Hause da, um dies schnellst möglichst durchführen zu können.
- WI: Wie sieht es denn aus? Ist nicht noch irgendso ein Iterationsschritt nötig, daß man den Berechner noch einmal bittet, den endgültigen Lagenaufbau, den die Wickelsimulation liefert, zu überprüfen.
- QS: Das kann sein.
- VT: Es kann sein, daß ein Faserwinkel, den wir uns theoretisch ausgedacht haben, fertigungstechnisch nicht durchgeführt werden kann. Dann müßte man natürlich diesen Schritt nochmal gehen, daß man nochmal von der Berechnungsseite noch einen anderen Faserwinkel auslegt, aber ohne Änderung der Geometrie zumindest.
- BK: Müßte man frühzeitig dann irgendwo interaktiv tätig werden, um da zu viele Faserwinkelberechnungen auszuschalten. Damit man da keine Zeit verschwendet.
- VT: Wobei das immer erst durch Versuche herauszufinden ist. Man kann theoretisch vorgehen, versuchen den hinzubringen. Wenn das nicht funktioniert, müßte man....

BK: Also, aus der Wickelsimulation heraus sich eine Faserwinkel zu erarbeiten ist schwer?

VT: Ist schwer. Also, das bringt die Sache schon näher, aber letztendlich weiß man erst an dem Bauteil dann...

BK: Aber man wüßte z.B. auch nachdem man die b-Wicklung gemacht hat und rein theoretisch aus der Wickelsimulation heraus sich ergebenden Faserwinkel hat, der funktioniert, daß man diese Simulation koppelt dann mit einem Preprozessor für die Finite-Elemente-Berechnung. Das wäre eine sinnvolle Alternative, die man sich für die Zukunft dann auch überlegen kann, einzuführen zusätzlich.

VT: Um das zu beschleunigen im Prinzip.

BK: Weil man hat ja abhängig von irgendeiner Raumkoordinate einen Faserwinkel, der wird ja auch angezeigt. Der müßte auch irgendwo quantifiziert und qualifiziert zur Verfügung stehen und wenn man damit über einen Koppler irgendwo reingeht, ein CAD-Modell gekoppelt mit einem Preprocessing wäre vielleicht in der Form vielleicht ganz interessant, auch anwendbar auf andere Beispiele dann, weil..

VT: Das müßten wir intern prüfen dann.

BK: Gut. Schon klar.

WI: Gut. Ich würde sagen, daß wir anhand der von der Rechnung und Konstruktion gelieferten Endgeometrie dieses Behälters über die Dichte auf ein Gewicht schließen könnten. Und somit wenigstens die Materialkosten greifbar würden. Der Hersteller unserer Halbzeuge liefert uns einen Anhaltswert für den Kilopreis, zu berücksichtigen wäre hier noch ein gewisser Ausschuß, den man produziert. Der Liner sollte man ihn außer Haus geben, ist irgendwo eine fixe Größe, die sicher ermittelt werden kann. Das Fertigungsverfahren als soches sollte erst im nächsten Schritt festgelegt werden. Ich glaube, daß wir in dem Schritt, in dem wir uns im Moment befinden zumindest die Materialkosten recht gut abschätzen können. Das hieße natürlich auch, daß wir eventuell hier schon merken würden, daß wir hier mit dem Werkstoff, den wir uns gewählt haben, die Anforderungen, die wir rein von der Kostenseite vorgegeben haben, nicht mehr erfüllen können. Dann würde sich also anschließen eine neue Denkweise, entweder eventuell kostengünstigere Materialien zu verwenden, oder sich ..

QS: Prozeßoptimierung

WI: Nein, Prozeßoptimierung wäre hier nicht gefragt. Es geht darum:

Kann ich mit dem Materialpreis, des Materials, das wir für unsere Auslegung herangezogen haben, wirklich den Verkaufspreis noch erfüllen. Und es gibt Anhaltswerte, daß die Fertigung mit Sicherheit 40% des Selbstkostenpreises ausmacht, ist der Materialpreis bei Glasfaser oder faserverstärkten Kunststoffen recht hoch ist. Der Anteil wird auch bei 30% liegen, so daß wir also von 100DM mal 30% annehmen, von 70DM annehmen, würden wir bei 21DM liegen. Wenn also der Materialpreis 30-40DM betragen würde, könnten wir hier schon das Konzept in Frage stellen, weil wir dann abschätzen könnten, daß der Behälter nicht wirtschaftlich in dem Rahmen fertigbar wäre, der uns hier vorgegeben ist.

Nehmen wir mal an, ich würde einen Preis ermitteln, der durchaus im Rahmen des Möglichen läge, so über den Daumen gepeilt, könnte ich mir gut vorstellen, daß wir so mit 17DM noch auf der sicheren Seite liegen würden.

Dann hätten wir irgendwo das Pflichtenheft immer noch erfüllt und würden jetzt wieder mal so einen Schritt einfügen, dem Auftraggeber unsere Ergebnisse zu präsentieren. Das hieße also, wir würden jetzt um Einverständnis bitten, dieses Projekt weiter durchspielen zu dürfen, bzw. um auch Vorschläge von der Seite des Auftraggebers zu erhalten.

FV: Meine Fragen gehen dahin, was brauche ich in Richtung Qualitätssicherung und was brauche ich vor allem, was für die Firma wichtig ist, für die Bauteileabnahme?
(70min)

QS: Prüfkonzepete für Druckbehälter werden beim TÜV gemacht . In unserem Falle in Deutschland ist das der TÜV Bayern. Es gibt vorgeschriebene Prüfungsalgorithmen, dem TÜV sind eine endliche Zahl an Behältern zur Verfügung zu stellen. Der TÜV stellt eine ganz klare Rechnung, die erfahrbar ist. Die Zulassung eines Druckbehälters kostet soviel TDM. Es ist eine Zahl, die feststeht und die auch in Erfahrung zu bringen ist.

FV: Sind diese Berechnungen für diesen Behälter nach der Vorschrift des TÜV's durchgeführt?

QS: Ja.

FV: Welche weiteren Bedingungen gibt es für die Qualitätssicherung?

QS: Für die Qualitätssicherung hinsichtlich der Fertigung ist zu berücksichtigen, später für eine Serienfertigung, in welchem Umfang Wareneingangskontrollen durchgeführt werden,

in welchem Umfang die Produktion überwacht wird

und später in welchem Umfang die Bauteilüberprüfung als solche erfolgen wird.

Es gibt, um auf diese Materialkombination zu sprechen zu kommen, denn die Wareneingangsprüfungen für den Behälterliner beinhalten zu allererst einmal eine Sichtprüfung hinsichtlich möglicher Schädigungen, Blasen, Lunker, Fehlstellen, die aus dem Blasformprozeß kommen. Nähere Abstimmung muß mit dem Zulieferanten erfolgen, um z.B. mit dessen Abnahmeprüfung zu koppeln. Das reduziert den Wareneingangsaufwand im eigenen Betrieb.

Geometrische Merkmale sind zu prüfen hinsichtlich Länge, Durchmesser, Ausarbeitung des Anschlusses.

Die Wandstärke ist ja nun mal schlecht zu kontrollieren, ganz einfaches Merkmal für die Materialkonstanz ist das Gewicht des Liners, das kann einfach bestimmt werden.

Und was selbstverständlich auch in regelmäßigen Abständen, möglicherweise chargenweise, erfolgen kann, ist eine Materialverifikation, daß also tatsächlich das richtige Material verwandt wurde.

Für das Verstärkungsmaterial, ein Polyamidglasfasertape, gibt es bestimmte Standardprüfungen, die durchgeführt werden müssen. Es muß gewährleistet sein, daß die Imprägniergüte des Tapes gleichbleibend ist, d.h. chargenweise muß vom Tape ein Schliff gemacht werden, um die Imprägniergüte der Fasern mit der Matrix zu überprüfen.

Die Tapefestigkeit wird auch chargenweise geprüft. Wichtig Zugfestigkeit und E-Modul, damit die mechanischen Eigenschaften konstant bleiben.

Die Anlieferung des Tapes erfolgt üblicherweise auf Rollen um die Tapelänge sicherzustellen und auch später im Prozeß sicherzustellen, daß man beim Wickeln plötzlich keine leere Spule hat, wird das Gewicht der Rolle bestimmt. Das ist für den Wareneingang sehr einfach. Später in der Prüfung auch sehr einfach, um festzustellen, habe ich genug Material, reicht das Material noch für einen ganzen Behälter.

Innerhalb des Prozesses wird für ein Fertigungsverfahren thermoplastischer Liner mit Polyamidglasfaser verstärktem Tape vorgeschlagen, die Prozeßparameter lagenabhängig zu bestimmen.

Prozeßparameter sind Abzugsgeschwindigkeit, die Fadenkraft, die sehr wichtig ist, um eine gleichmäßige Konsolidierung des Tapes zu gewährleisten, und außerdem die Abzugslänge, damit man sicher ist, daß alle Lagen vollständig durchgeführt wurden.

Was aus qualitätssicherungstechnischer Sicht wichtig ist, was in der Fertigungskonzeption noch gar nicht angesprochen worden ist, die Temperaturüberwachung bei der Erwärmung. Das wurde noch nicht festgelegt. Ob wir mit Heißgas, Heißluft, mit Laser erwärmen.

Was ganz wichtig ist, ist eine Temperaturregelung des Prozesses, egal, wie die Wärmequelle eingebracht wird. Sollte es z.B. zu einem Maschinenstop kommen aus irgendwelchen Gründen, weil jemand in eine Lichtschranke geraten ist, dann muß gewährleistet sein, daß das Tape nicht kaputtbrennt. Denn dann hat man sofort Auschuß in dem gesamten Produktionsbereich, deshalb ... die Temperaturregelung muß entweder von Bandabzugsgeschwindigkeit oder Leistungseinbringung der Wärmequelle geregelt werden.

Später am Produkt, am fertigen, ist selbstständig eine Sichtprüfung durchzuführen. Weiterhin ist nach DIN eine Hundertprozentdruckprüfung zu vollziehen, bei jedem Behälter, Meßgröße hierbei ist das befüllbare Volumen. D.h. man braucht an dem Behälter keine Dehnung mehr zu messen, sondern man mißt schlicht und ergreifend, wieviel Volumen kann bei bei Normdruck in den Behälter eingebracht werden und schließt daraus zurück: Ist der Behälter in Ordnung oder nicht?

- Für die Anschlußelemente ist sicherzustellen, daß die Anzugsmomente, sollten es Schraubverbindungen sein, konstant bleiben. Das wäre die Prüfung für die Anschlußelemente. Probleme hierbei keine, der Aufwand ist quantifizierbar.
- FV: Gut. Das sieht man dann mal.
- VT: Damit haben wir im Grunde genommen das Prüfkonzept schon festgelegt. Das Fertigungskonzept sollten wir vielleicht auch noch festlegen.
- QS: Das sollte eigentlich vorher erfolgen.
- VT: Also das muß auch immer wieder in Absprache mit der Kostenabschätzung erfolgen. Weil es schon immer ein Unterschied ist, ob ich Ein-Mann- oder Zwei-Mann-Bedienung habe, ob ich das mehr automatisiere oder weniger. Ich würde vorschlagen, daß man mit einer Dreispindelwickelmaschine arbeitet. Wie wir das vorhin schon gesagt haben, 2 Behälter je Spindel, so daß wir 6 ...
- WI: Also das würde ich schon in Frage stellen. Wie willst du auf einer Wickelachse 2 Liner anordnen und die gleichzeitig bewickeln?
- QS: Gar kein Problem.
- VT: Du nimmst eine Welle und steckst 2 von den Behältern drauf und fixierst die. Und arbeitest mit 2 Verlegerarmen, die parallel arbeiten. Die müssen noch nicht einmal steuertechnisch zusammengekoppelt sein.
- WI: Zweite Frage: Was kriegste denn, laut unserer Geometrie, maximal an Behältern auf so eine Dreispindelwickelmaschine.
- VT: 6 Behälter.
- WI: Also würdest du 6 Behälter simultan wickeln. Und welchen Aufwand an Personal hättest du. Ich kann mir nicht vorstellen, daß innerhalb dieser Zykluszeit alle Kerne von der Wickelmaschine runtergenommen werden können?
- VT: Man muß zum einem mal die Wickelmaschine, die haben wir jetzt quantifiziert. Das ist also eine Dreispindelwickelmaschine, etwa 750.000-1Millionen Investitionskosten. Dann wäre zu überlegen, man bräucht eine Be- und Entladestation, ob man die mit einer Person betreibt, oder mit Roboter.
- QS: Kernvorbereitung.
- VT: Das müßte man mal kostenmäßig verifizieren. Das würde also beinhalten die Vorbereitung der Wickelkerne, also schon das Aufbringen der Liner im Prinzip. So daß man dann beim Be- und Entladen nur noch die bewickelten Kerne herausnimmt und neue einsetzt. Das möglichst natürlich kurz um die Nebenzeiten gering zu halten. Das würde ich aber noch mit Personal machen. Das ist glaube ich ...Das müßte man halt rechnen, ob das mit einem Roboter automatisiert sinnvoll ist, bei diesen Stückzahlen. Das weiß ich nicht.
- Ich denke, daß wir mit einem Einschichtbetrieb hinkommen, oder?
- WI: Nein. Wir bekommen mindestens einen Zweischichtenbetrieb, aber den können wir auch durchaus ins Auge fassen. Das ist also absolut realistisch. Wir können in einem Zweischichtbetrieb 16 Behälter pro Stunde herstellen, wenn man annimmt, daß man 15 Std. Fertigungszeit dazu zur Verfügung hat und dem entsprechend 220 Tage/Jahr.
- QS: Dann müssen wir uns aber stark ranhalten. Wenn wir die Nebenzeiten kurz halten.
- VT: Aufheizmethode, das hast du vorhin angesprochen ist die Flammwickelung. Deshalb vielleicht ein bißchen Stichwörter, die ich behandle die ganze Zeit. Also die Randbedingungen im Herstellungsverfahren. Da hätte man schon gesehen, daß Flammwickeln im Prinzip die günstigste Lösung ist.
- WI: Läßt sich denn das Material überhaupt mit Flamme verarbeiten?
- VT: Läßt sich verarbeiten. Mit Wasserstofflamme. Die verbrennt ziemlich rückstandsfrei, mit allen anderen Flammen kriegst du...
- WI: Um das Ganze sich mal ein bißchen vor Augen zu führen. Wenn man 6 Kerne gleichzeitig, braucht man auch 6 Flammstationen. Dann wäre das ja auch ein riesiger apparativer Aufwand., dies Flammme da jetzt punktuell da hin zu kriegen, wo man sie haben will.
- VT: Gut, daß du das jetzt sagst. Man hat 6 Brenner, die man vorsehen müßte, plus eine Regelungseinheit. Die Frage ist, ob man die 6 alle getrennt regeln müßte, oder komplett...
- WI: Wenn ein Roving reißt, können doch nicht alle anderen auch abgestellt werden.

- VT: Das ist die Frage. Das ist weniger sinnvoll.
- BK: Wenn der reißt, dann kanns nicht getrennt werden.
- QS: Du kannst nicht getrennt Behälter wickeln. Und da wir eine starre Verbindung in der Maschine haben, wenn dann bleibt alles stehen. Das heißt es macht durchaus Sinn, nur eine einzige Regelung für alle Behälter zu machen.
- VT: Zumal die sehr teuer sind. Eine Regelung kostet 100.000-150.000DM. Nur..
- WI: Die Flammenregelung?
- VT: Die Flammregelung.
- QS: Aber die 100% notwendig ist.
(80min)
- WI: Also laßt uns mal die Eckdaten noch ein bißchen erfassen. Flammregelung: 150.000,
(VT: bis das alles läuft.)
Wickelmaschine: 1 Mio.
Gut, dann müssen wir die Verlegeeinrichtung, Antrieb, etc. Haben wir da schon einen Anhalt vom Raumbedarf? Ich schätze mal 30qm nur für die Maschine.
- QS: Das reicht noch nicht.
- WI: Höhe? Müßten wir mal den Anfrager fragen, welche geometrischen Begrenzungen der in seiner Halle hat. Nicht, daß wir dem eine Maschine von 4m Höhe verkaufen und er hat nur 3,50m Werkhalle.
- FV: Die Werkhalle hat eine Höhe von 7m.
- WI: Gut. Dann hätten wir da keine Beschränkung.
- QS: Wir brauchen zusätzlich Platz für eine Zuführstation und für die Kernvorbereitung. Also wir sollten schon mit dem Platz großzügig sein, denn es müssen recht große Stückzahlen gehandhabt werden.
- WI: Also Kernvorbereitung, Zuführung. Das sind alles so Stationen, die schon mal 50.000DM kosten können, oder?
- VT: Ja.
- WI: 50, Zuführung 50.
- QS: Aufwendungen für Qualitätssicherung sind ..
- BK: Teuer.
- VT: Druckprüfstand bräuchten wir.
- QS: Druckprüfstand ist sehr teuer. Kann ich gar nicht abschätzen, was der kostet.
Für die Prozeßüberwachung..
- VT: Druckprüfstand so um die 200-250.000.
- WI: Also 200.000 für den Druckprüfstand
- VT: So in dem Dreh.
- WI: Also gut 250.000.
- VT: QS an der Maschine brauchen wir.
- QS: QS an der Maschine: 30.000
Für den Wareneingang ist ein typisches Materiallabor erforderlich. Falls der Anfrager sowas schon zur Verfügung hat, dann braucht man da keine besonderen Vorkehrungen getroffen.
- WI: Dann machen wir mal 10.000 Extraausstattung.
- QS: Ja, Einspannvorrichtung für die Robings muß sicher noch gemacht werden, für die Zugprüfung. Das ist ganz klar.
- VT: Es ist auch bei vorhandener Apparatur nochmal 10.000 drauf. Nur am Wareneingang.
- WI: Wareneingangsprüfung.
Gut. Lagerhaltung, Logistik: da würde ich noch einmal 500.000DM annehmen.
Verpackung, Aufbringen der Lackierung.
- QS: Das ist Sache des Kunden, das können wir nicht abschätzen.
- WI: Das hat aber auch unmittelbaren Einfluß auf die Herstellungskosten dieses Behälters.
Also mit einer halben Mio. könnte man so ein Fertigstellungs-layout durchaus verwirklichen, oder?.
- QS: Klingt realistisch, ja.
- WI: Gut, da wären noch mal 500.000.
- VT: Haben Sie denn Möglichkeit den Wareneingang zu prüfen?
- FV: Ja, haben wir.

VT: Und Platz auch?

FV: Ja. Platz sei vorhanden. Das Geld ist knapp.

WI: Wir können laut dieser überschlagsmäßigen Rechnung hier mit 2,5Mio.

Investitionskosten durchaus eine realistische Fertigung aufbauen und wären so ...

VT: Wieviel Leute brauchen wir denn, um das hier zu fahren?

WI: Ja, das sind ja jetzt erst mal Investitionen.

Wir haben hier ja das Fertigungsverfahren festgelegt und daraus ergeben sich ja Anhaltswerte für die notwendigen Investitionen, Bauten, etc. Sprich, wenn man hier jetzt mal realistisch ist, 2,5Mio. sind durchaus als Investitionskosten nötig. Wobei jetzt ein Durchsatz von 16 Behältern/Std., die wir ja erfüllen sollen.

Ist denn gewährleistet, daß wir mit wenig Personal, wenig schwebt mir 3 Mann vor, die da ständig in der Werkhalle arbeiten? Also ein Vorarbeiter, das muß nicht mal ein Meister sein, wenn das Ganze mal eingefahren ist. Und 2 angelehrte Kräfte. In welcher Betriebsgruppe arbeiten denn die Leute in Ihrer Fertigung? Sind sie IGMetall abhängig, oder ist das Ganze irgendein Textilbetrieb?

FV: Das sei eine Chemiezugehörigkeit, Verfahrenstechnik, chemische Industrie. Die würden bei uns zwischen 200-220.000 für'n Facharbeiter/Jahr und diese ungelehrten Kräfte bekommen jeder 70-80.000/Jahr, incl. Nebenkosten.

WI: Gut, wir müssen uns auf jeden Fall mal in so einem Planspiel durchüben, inwieweit die Leute diesen Materialfluß auch bewältigen sollten.

Man muß sich also vorstellen, es muß jemand 16 Behälter/Std. aus- und einspannen und auch irgendwo noch sinnvoll ablegen. Und so ist er schon nach meinem Dafürhalten bei den Geometrien überfordert. D.h. man braucht also mindestens bei der Materialzuführung und bei der Material., bei der Projektnahme, jeweils mindestens 1,5-2 Leute.

VT: 16 Behälter/Std. ist doch kein Problem. Was wiegt denn das Ding? Was haben wir denn? 80l.

QS: Das wird 8kg wiegen pro Bauteil

VT: Das ist doch ganz bequem für einen Mann 16 Behälter da rumzuheben.

QS: Ne. Ein Mann Logistik, ein Mann Maschine.

VT: Also 16 Behälter pro Stunde, da kann man ja Kaffeepause und Pinkelpause einlegen.

WI: Du mußt aber doch die 6 Rovingenden irgendwie da auf deinen Liner bringen. Das muß ja alles definiert passieren.

VT: Das macht ein Mann.

WI: Und dann mußt du die Maschine anschalten und dann mußt du insgesamt 16 Behälter in der Stunde gefertigt...

VT: Das Anbringen der Rohre, das muß automatisch geschehen. Die müssen automatisch angesetzt werden, daß der Wickelprozeß eigentlich vollautomatisch abläuft.

Du brauchst nur einen Mann zur Überwachung, falls der Roping reißt. Der hat aber im Prinzip nur Überwachungsfunktion. Der muß also nicht fertigungstechnisch eingreifen.

WI: Wir haben noch keinen Auschuß und nix enthalten.

VT: Wieso, wir haben aber eben doch 16 Teile/Std. gerechnet.

WI: Ja, gut, aber die 16 Teile müssen aber auch rauskommen. Das müssen alle geprüfte, verkaufsfähige, lackierte und sonstwas Behälter sein.

VT: Das kannste vergessen. Lackierstation..

WI: Lackieren haben wir gesagt macht der Hersteller.

VT: Aber wir haben ja die Schutzschicht noch nicht aufgebracht. Die müssen wir ja noch aufbringen. Das kostet nochmal ein paar Mark.

WI: Also. Schutzschichtstation nochmal 100.000. Und da ist ja auch irgendein Mann beschäftigt, da irgendwelche Schutzschichten aufzubringen.

VT: Würde ich mal sagen.

WI: Also würden wir doch hier von Institutsseite sagen, mit der Schutzschicht dürfen wir uns bei unserer Betrachtung nicht näher befassen. Denn das können wir nicht beurteilen. Das ist auch Sache des Abnehmers.

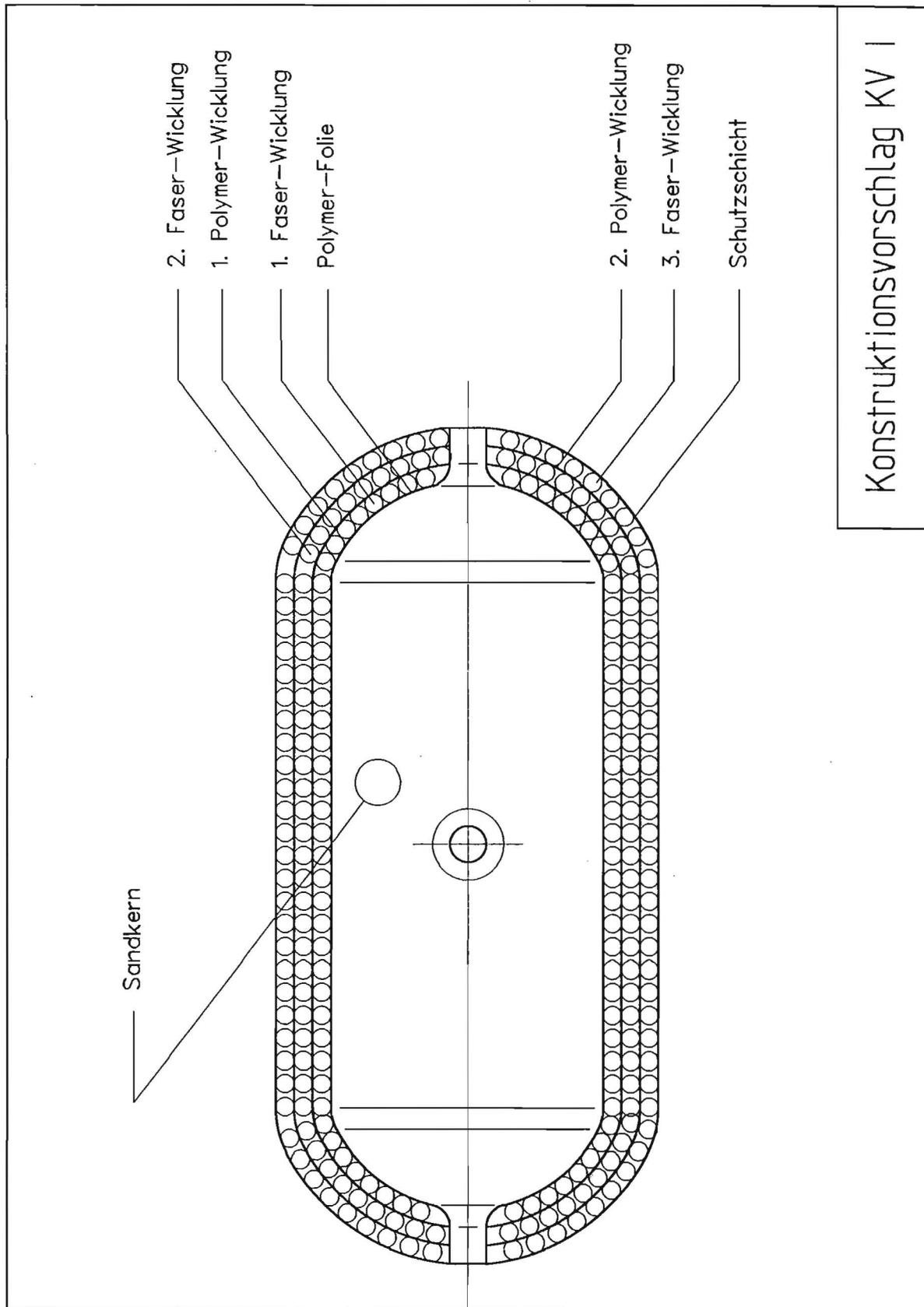
Also, da würdet Ihr Euch dann drum kümmern.

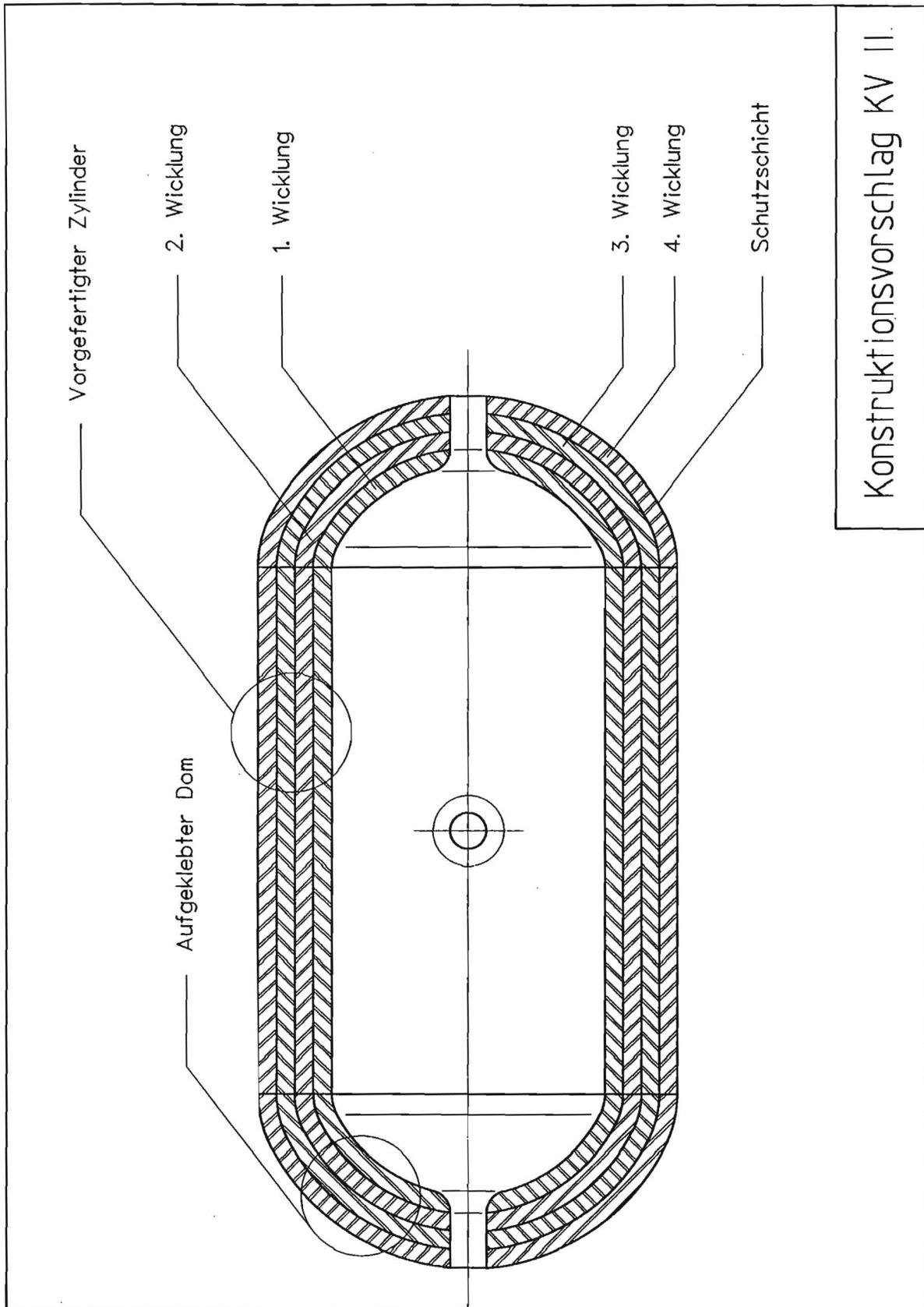
FV: Ja.

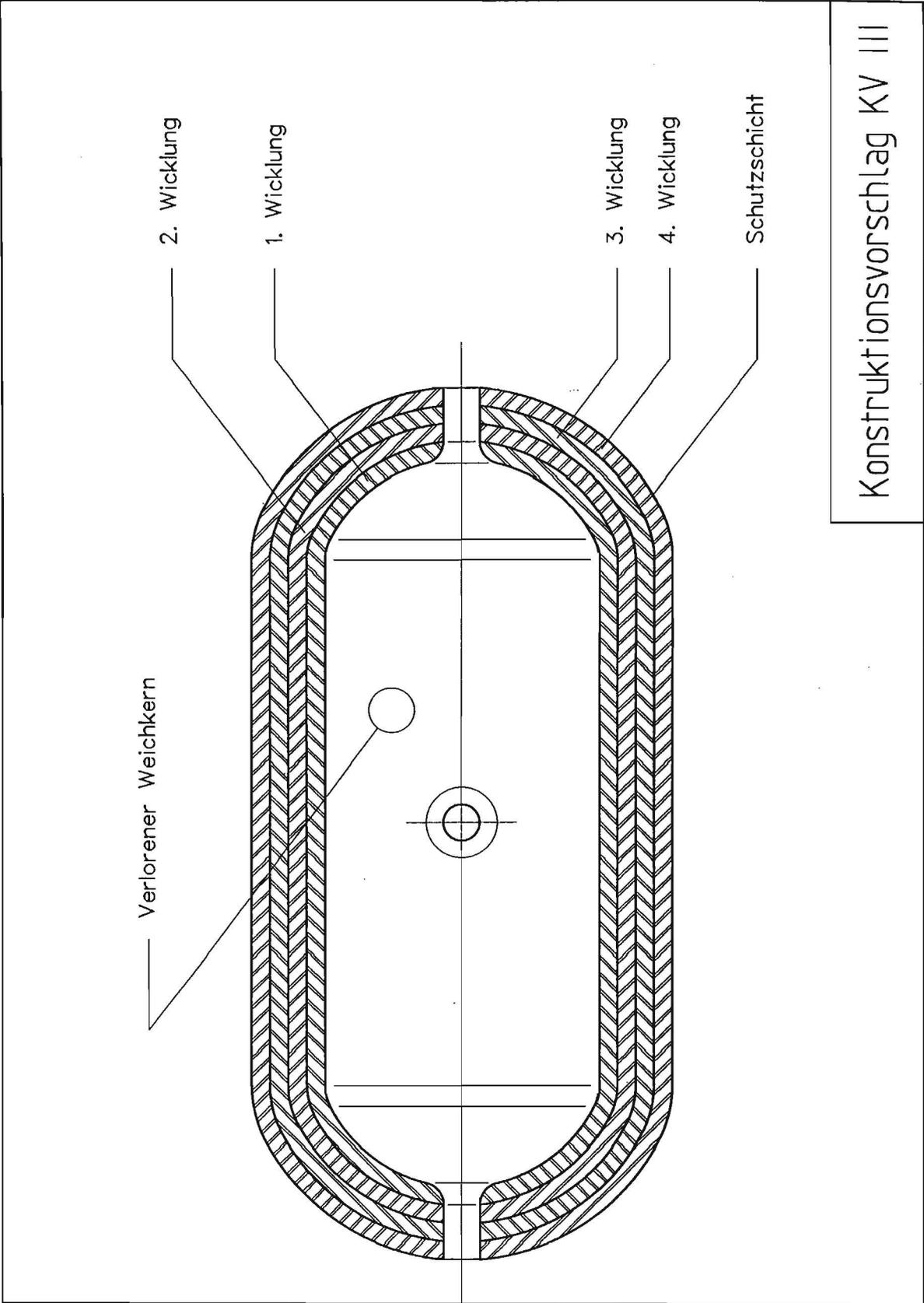
- WI: Blicke also festzuhalten, wir brauchen mindestens 2 Mitarbeiter, die permanent die Anlage betreuen. Und zwar im Zweischichtbetrieb, logischerweise wären das ja 4 Arbeitnehmer, die jahreweise beschäftigt werden.
- QS: Pro Schicht ein qualifizierter Mitarbeiter, der in den Fertigungsprozeß auch qualifiziert und korrigierend eingreifen kann.
- WI: Wird denn die Qualitätssicherung von diesem Personal auch übernommen?
- QS: Nein. Ja, die Prozeßüberwachung schon.
Die Wareneingangsgeschichten und die Produktendprüfungen werden ja dem schon vorhandenen Prüflabor angelastet. Die sind also von unserer Seite, hinsichtlich der Produktion nicht zu berücksichtigen.
- WI: Aber für die Kosten schon
- QS: Das ist überall ..
- WI: Dann sollten wir vielleicht erwähnen, daß diese Maßnahmen hier noch nicht enthalten sind und dann den Gemeinkostenbetrag noch etwas erhöhen würden.
Also halten wir hier fest: ein qualifizierter und ein unqualifizierter. Das sind dann im Zweischichtbetrieb vier Leute
- VT: Du mußt aufpassen, daß du die Ausfalls- und Urlaubszeiten abdeckst.
- QS: 35%
- VT: Also sollten wir einen mehr haben für Ausfalls- und Urlaubszeiten.
- WI: Also nehmen wir 5 Leute und nehmen hier den Mittelwert bei den Kosten.
- VT: Würde ich mal sagen, ja
- WI: Also wären hier 200-220.000DM , 300.000DM mal 2, sind 750.000DM Personalkosten pro Jahr.
- QS: Können wir daraus jetzt schon mal Herstellungskosten schließen?
- VT: Materialkosten haben wir nicht
- WI: Mit einigen Annahmen schon. Ich meine aus den Erfahrungen, die wir hier im Institut gesammelt haben.
Die Verwaltungs-, Vertriebs-, Gemeinkosten eines solchen Betriebes als Durchschnittswerte in die Berechnung miteinfließen lassen. Bei den Materialkosten können wir uns auf Herstellerangaben beziehen, so daß wir also für die Angabe der Selbstkosten, also der Herstellkosten, des Behälters sagen, was wir brauchen.
Wir könnten dann dem Industriebetrieb eine Kostenschätzung vorlegen, die in etwa bezogen auf das Fertigungs-layout, was wir ihm als Vorschlag unterbreiten, mit den Randbedingungen, die wir ermittelt haben, durchaus die Fertigungs- und Herstellungskosten eines solchen Behälters bei den Angaben transparent vermitteln würde. Was natürlich an Komponenten noch hier enthalten wäre, ist zum einen Verwaltung und Vertrieb.
(90min)

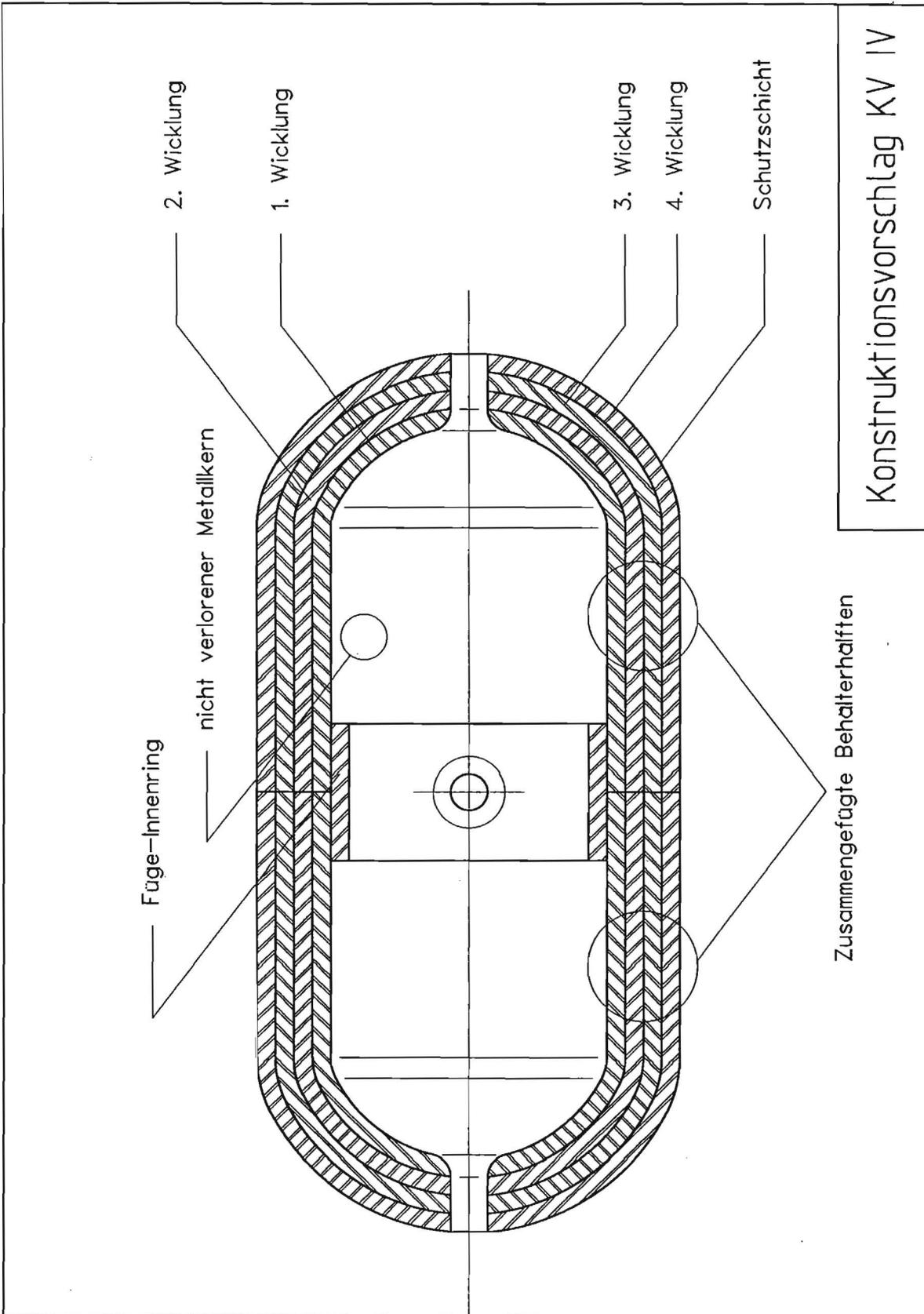
ENDE

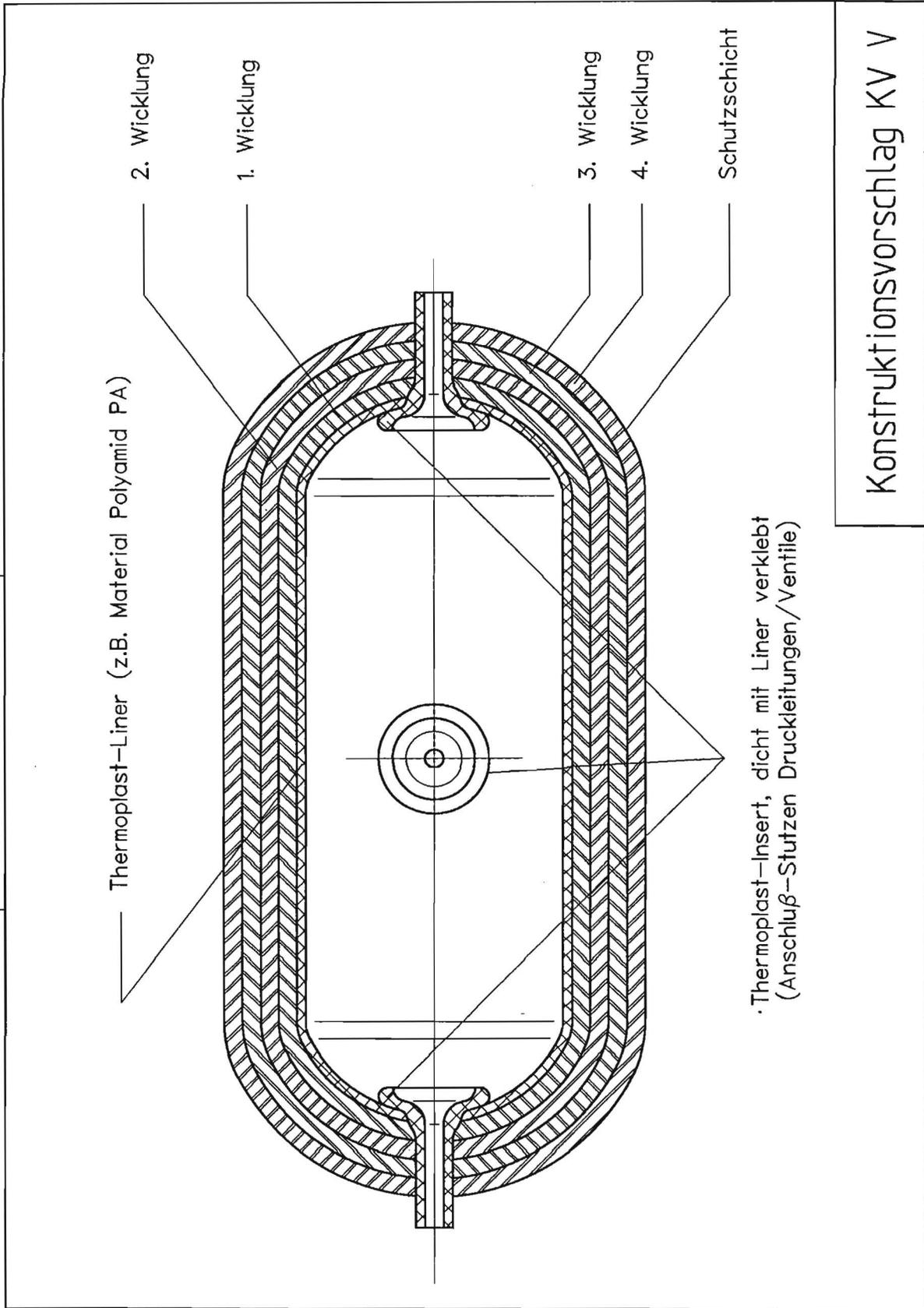
ANHANG III: Prinzipskizzen der Konstruktionsvorschläge KV I - VI

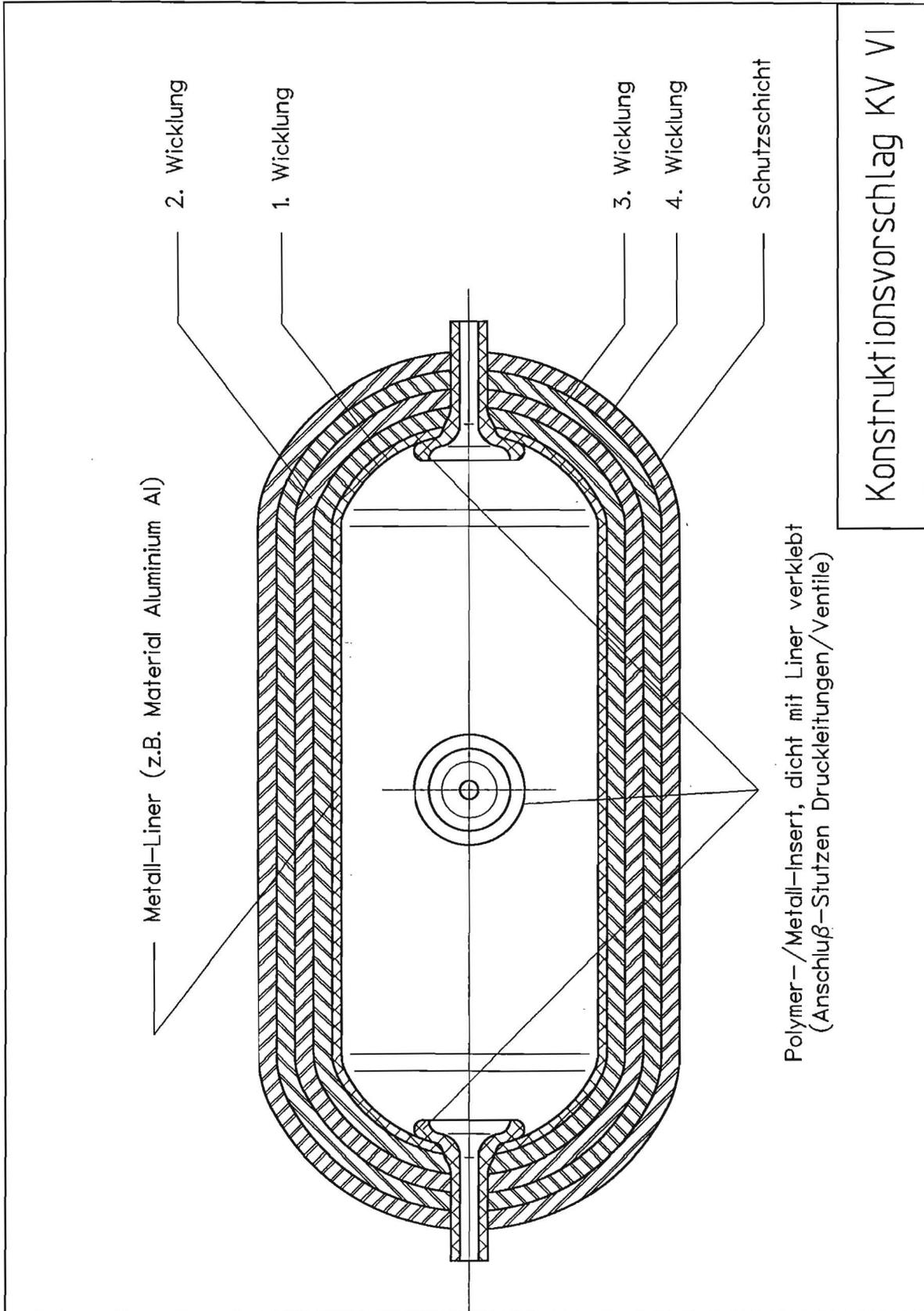












ANHANG IV: Tabellarische Gliederung des Protokolls

Nr.	Entw.-Phase	Seite	Zelle	Entwicklungsschr.	Inhalt	Fachsparte	Bemerkun	FÜ-Spar	FÜ-Wissensart		
1	KE	1	12	ENLEITUNG	Problemerkfassung	FV, WI	PH, RL				
2		2	40	KONSTR. DATENBANK	Neukonstruktion	WI					
3		3	13	DEFINITION	Einführung	WI	RU (erzwungen)				
4		3	40		KV I	WI					
5		4	6		KV II	VT					
6		4	31		KV III	FV					
7		5	20		KV IV	WI					
8		5	35		KV V	WI					
9		5	25	KV VI	BK						
10		6	11	VORAUSSWAHL	Einleitung	WI	FU, RL	BK	E		
11	6	26	Wegfall KV I		alle (außer FV)						
12	7	11	Wegfall KV III								
13	8	1	Wegfall KV II								
14	8	34	Wegfall KV IV								
15	9	33	ENTSCHEIDUNG	- KV V -	WI						
16	10	14	1. ÜBERPRÜFUNG	FV O.K.	FV	PH					
17	10	22		WI O.K. (Kosten)	WI	FU	BK, VT	E			
18	10	30		VT O.K.	VT						
19	10	36		Einschränkungen Crash	BK	PH					
20	KE	11	20	VORKONSTRUKTION	Behälter-Dehnung	FV	FU	BK, VT	E		
21		11	21		Behälter-Befestigung,	BK					
22		11	33		Crash	FV	PH				
23		12	6			VT	FU	VT	E		
24		12	15			WI	RL				
25		12	27			FV	RL, PH				
26		12	37			WI	RL				
27		12	39			QS	PH, RL				
28		12	43			WI	RL				
29		13	1			Side Impact	BK				
30	13	16		Crash	FV	PH					
31	13	19	zu 1. ÜBERPRÜFUNG	QS O.K.	QS	FU	BK	E			
32	13	31	2. ÜBERPRÜFUNG	Außenabmessungen	alle (außer BK)	FU, RL	BK	L, E			
33	14	21		Druckanschlüsse/ Liner	als	FU	RL, BK, VT	E			
34	15	11		Liner	VT, QS						
35	15	31		Wickeltechn., Behälter-WS	VT						
36	16	9		Oberflächenschutz	WI						
37	16	22		Wickeltechnik	VT, BK						
38	16	32		Oberflächenschutz	VT	PH					
39	16	42		WS, Recycling	als	FU	VT, (WS)	E, L			
40	17	22		Oberflächenschutz	als						
41	18	1		Behälter-WS	alle (außer BK)						
42	18	30	Liner-WS, -Herstellung	WI	(WS, extern)						
43	18	34	Fertigungsmaschine	VT							
44	19	3	Kostenrechnung Maschine	WI							
45	19	14	Kostenrechnung Maschine	FV							
46	19	36	Maschinenauswahl	WI							
47	19	39	Liner-Herstellungskosten	WI							
48	20	3	1. Kostenabschätzung O.K.	WI							
49	20	17	BAUTEIL AUSLEGUNG/ PRÜFUNG	Einführung	WI	FU	BK	L			
50	20	24		WS-Kennwerte	VT						
51	23	22		Wickel-Simulation	VT						
52	24	1		Wickelsimulation/BK	WI				VT	E	
53	24	38		2. Kostenrechnung O.K.	WI						
54	25	38		QS und Prüfung	QS						
55	26	9		QS Fertigung							
56	26	10		QS Wareneingang							
57	26	16		QS Liner							
58	26	33		QS Tape							
59	27	6	QS Fertigungsprozeß								
60	27	26	QS Bauteil (Bauteilprüfung)								
61	27	34	QS Anschlußelemente								
62	27	40	FESTLEGUNGEN Fertigung, Prüfung, QS	Fertigungsverfahren	alle (außer BK)	FU	WI, VT	L, E			
63	28	17		Fertigung, Kosten	alle (außer BK)	FU	VT	E			
64	30	1		Hallenhöhe	WI	PH					
65	31	2		Prüfung Wareneingang	VT	PH, FU	QS	L			
66	31	23		spez. Kosten Branche	WI	PH					

ANHANG V: Tabellarische Gliederung der Management-Aussagen

Nr.	Entw.-Phase	Seite	Zeile	Entwicklungsschritt	Inhalt	Fachsparte	Management-Ar	
1	EP	1	12	ENLEITUNG	Problemerkfassung	FV, WI		
2		2	40	KONST. DATENBANK	Neukonstruktion	WI		
3		3	13	IDENFINDUNG	Einführung	WI		
4		3	40		KV I	WI		
5		4	6		KV II	VT		
6		4	7		Kleben I/n	WI	F	
7		4	10		FVK schon für Kern I/n	WI	F	
8		4	31		KV III	FV		
9		4	42		Liner I/n	QS	F	
10		5	3		Kern, Naßwickeln	QS	F	
11		5	6		weitere Vorschläge	WI	A	
12		5	20		KV IV	WI		
13		5	24		Linematerial	BK	A	
14		5	35		KV V	WI		
15		5	25		KV VI	BK		
16		5	30		Liner I/n	VT	F	
17		5	35		Thermoplast. Liner I/n	WI	A	
18		6	9		Ende Brain Storming/Auswahl	WI	ZF/RA	
19		6	11		VORAUSWAHL	Einleitung	WI	
20		6	22			Anschlüsse (PH)	WI	RA
21		6	26	Wegfall KV I		alle (außer FV)		
22		7	6	Streichung KV I		VT	ZF	
23		7	11	Wegfall KV III		alle (außer FV)		
24		7	42	Streichung KV VI		WI	ZF	
25		8	1	Wegfall KV II		alle (außer FV)		
26		8	32	Streichung KV II		VT	ZF	
27		8	33	Überleitung KV III	QS	A/RA		
28		8	34	Wegfall KV IV	alle (außer FV)			
29		9	33	ENTSCHEIDUNG	- KV V -	WI		
30		10	8	1. ÜBERPRÜFUNG	Info an FV über Entscheidung KV V	WI	W	
31		10	14		FV O.K.	FV		
32		10	18		PH erfüllt I/n	FV	F	
33		10	20		Behälterdehnung vermeidbar I/n	FV	F	
34		10	22		WI O.K. (Kosten)	WI		
35		10	30		VT O.K.	VT		
36		10	36		Einschränkungen Crash	BK		
37	11	20	VORKONSTRUKTION		Behälter-Dehnung	FV		
38	11	21		Behälter-Befestigung, Crash	BK			
39	11	33			FV			
40	12	6			VT			
41	12	15			WI			
42	12	21		PH-Überprüfung	BK	A		
43	12	27			FV			
44	12	37			WI			
45	12	39			QS			
46	12	43			WI			
47	13	1	Side Impact	BK				
48	13	16	Crash	FV				
49	13	17	QS O.K. I/n	WI	F			
50	13	19	zu 1. ÜBERPRÜFUNG	QS O.K.	QS			
51	13	31		Außenabmessungen	alle (außer BK)			
52	14	14		Geometrie	WI	ZF		
53	14	21		Druckanschlüsse/ Liner	alle			
54	14	25		Druckanschlüsse (BK, VT)	WI	A/RA		
55	15	4		Druckanschlüsse/Wandstärke	WI	ZF/A		
56	15	11		Liner	VT, QS			
57	15	16		Erfahrungswerte Fadenspannung	WI	F		
58	15	31		Wickeltechnik, Behälter-WS	VT			
59	16	9		Oberflächenschutz	WI			
60	16	22		Wickeltechnik	VT, BK			
61	16	26		Recycling (Hydrolyse-Trennung)	FV	F		
62	16	30		Recyclingmöglichkeiten	FV	F		
63	16	32		Oberflächenschutz	VT			
64	17	35		Lackierung von Thermoplasten	WI	F		
65	16	39		allgemein	WI	F		
66	16	42		WS, Recycling	alle			
67	17	22		Oberflächenschutz	alle			
68	17	41		Strahlungsprobleme Lack I/n	WI	F		
69	18	1	Behälter-WS	alle (außer BK)				
70	18	8	Ausschluß PP/Kosten, PH	WI	ZF/A			
71	18	30	Liner-WS, -Herstellung	WI				
72	18	34	Fertigungsmaschine	VT				
73	19	3	Kostenrechnung Maschine	WI				

Nr.	Entw.-Phase	Seite	Zelle	Entwicklungsschritt	Inhalt	Fachsparte	Management-Ar	
74		19	10		Konzept an FV	W	ZF/W	
75		19	14	2. ÜBERPRÜFUNG	Kostenrechnung Maschine	FV		
76		19	18		Platz, Finanzen	FV	F	
77		19	25		Wickelzeit	W	F	
78		19	36		Maschinenauswahl	W		
79		19	39		Liner-Herstellungskosten	W		
80		19	42		Herstellung Liner/extern (Kosten)	W	W	
81		20	3		1. Kostenabschätzung O.K.	W		
82		20	9		Materialart/-menge	FV	A	
83		20	17		BAUTEIL AUSLEGUNG/ PRÜFUNG	Einführung	W	
84		20	24			WS-Kennwerte	VT	
85		21	5	Probleme mittiger Druckstutzen /n		QS	F	
86		22	30	WS kein Exote/Finanzen		W	A	
87		23	22	Wickelsimulation		VT		
88		24	1	Wickelsimulation/BK		W		
89		24	38	2. Kostenrechnung O.K.		W		
90		25	6	WS-Kosten		W	ZF	
91		25	32	O.K. durch FV erbitten		W	ZF/W	
92		25	38	QS und Prüfung		QS		
93		26	6	RL für BK		FV	F	
94		26	9	QS Fertigung		QS		
95		26	10	QS Wareneingang				
96		26	16	QS Liner				
97		26	33	QS Tape				
98		27	6	QS Fertigungsprozeß				
99		27	26	QS Bauteil (Bauteilprüfung)				
100		27	34	QS Anschlußelemente				
101		27	39	FESTLEGUNGEN	Prüfungen festgesetzt		VT	ZF
102		27	40		Fertigungsverfahren		alle (außer BK)	
103		28	7		Wickeln 2 Behälter gleichzeitig /n		W	F
104		28	14		Anzahl Behälter	W	F	
105		28	17		Fertigung, Kosten	alle (außer BK)		
106		29	10		Flammverarbeitung /n	W	F	
107		29	13		Aufwand bei Flammstationen	W	A	
108		29	22		Rovingriß	W	F	
109		29	36		Eckdaten Kosten/Raumangebot	W	ZF/F	
110		30	1		Hallenhöhe	W		
111		31	2		Prüfung Wareneingang	VT		
112		31	10		Kosten, Durchsatz/Gewerkschaft	W	ZF/F	
113		31	23		spez. Kosten Branche	W		
114		32	31		Fertigung, Prüfung, QS	Anzahl der Mitarbeiter, zweischichtig	W	ZF

ANHANG VI: Begriffsdefinitionen der im Schaubild verarbeiteten Ontologiebegriffe**Abspulvorrichtung (*uncoiling facility*)**

Vorrichtung zum Abspulen des Faserrovings oder des Prepregs (Tapes) von einer geeigneten Rolle zur ordnungsgemäßen Zuführung an die Wickelmaschine.

Der Abspulvorrichtung ist bei Faserrovings mit Duromer matrizen oft ein Tränkbad nachgeschaltet, in dem die Fasern imprägniert werden. Anschließend werden die nassen Fasern auf den Kern gewickelt.

Aluminium (*aluminium*)

Meistverwendetes Leichtmetall, vor allem wegen seines sehr guten Festigkeits-/spez. Gewichts-Verhältnisses vielseitig in der Luft- und Raumfahrttechnik und Automobilindustrie eingesetzt.

Aluminium wird mit großem (elektrischen) Energieaufwand hergestellt. Bei saurer oder salzhaltiger Atmosphäre ist es stark oxidationsfreudig, verrottet also. Unter normalen Umgebungsbedingungen ist es recht korrosionsstabil; es bildet eine passive Oxid-Deckschicht. Es gibt eine Vielzahl von Aluminiumlegierungen, die neben unlegiertem und Reinstaluminium (Al-Gehalt (Reinheitsgrad) >99 %) überwiegend Verwendung finden. Aluminium hat beste elektrische Eigenschaften, wie eine gute elektrische Leitfähigkeit und läßt sich in allen gängigen Zerspan- und Umformungstechniken verarbeiten. Urformen ist durch Kokillenguß, Strangguß und Druckguß problemlos möglich.

Aramid (*aramid*)

Aramid ist ein organischer Werkstoff, der aus aromatischen Polyamiden besteht und für die Herstellung von Kurz- und Endlosfasern verwendet wird.

Seine mechanischen Eigenschaften sind abhängig vom Grad der Orientierung der Molekülketten. Das bekannteste Aramid ist das von der Fa. DuPont entwickelte KEVLAR (p-Aramid), welches sich in Faserform durch eine extrem hohe Zugfestigkeit auszeichnet, da seine steifen Polymerketten einen sehr hohen Orientierungsgrad in Faserrichtung aufweisen.

Aushärten (Härtereaktion) (*curing reaction*)

Irreversible, chemische Reaktion von Duromer-Harz und Härter, bei der eine feste Vernetzung der Harz-Molekülketten eintritt, z.B. bei einem in einem Tränkbild vorimprägnierten Prepreg.

Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt mit ansteigender Temperatur zu. Durch den Verbleib von vorimprägnierten Halbzeugen bis zu ihrer Verarbeitung in tiefen Temperaturbereichen (Sub-Zero-Temperature-Storage) wird eine Lagerung für eine kurze Zeit möglich, da die nötige Aktivierungsenergie zum Auslösen der Härtereaktion durch die Umgebungswärme dann nicht ausreicht.

Behälter (-halterung) (*tank fixing*)

Vorrichtung zur Befestigung des Behälters am Fahrzeug.

Sie kann aus Metall oder einem Polymer sein.

Boden (Dom, Deckel) (*dome*)

Abschluß eines Hohlkörpers, oft beidseitig auf einen Zylinder zur Herstellung eines Behälters mit Hilfe eines Innen- oder Außenringes aufgeklebt.

Im klassischen Metall-Apparatebau werden entsprechend der Art des Einsatzes und der Belastung verschiedene Behälter-Bodenformen unterschieden. Der Boden kann aus einem Polymer spritzgegossen, tiefgezogen oder auch durch Wickeln gefertigt worden sein.

Bodenform (*dome type*)

Geometrische Gestaltung des Behälterbodens.

Man unterscheidet im klassischen Apparatebau Kugel-, Flach- und Klöpperboden. Der Kugelboden stellt dabei den Boden mit der höchsten Belastbarkeit dar, baut jedoch auch am größten.

Drehbank (*turning machine*)

Bauart einer Wickelmaschine und ein Wickelverfahren, welches prinzipiell der Arbeitsweise einer konventionellen Werkzeugdrehbank entspricht.

Das Werkstück, also der Kern, wird in ein Futter eingespannt und in Rotation versetzt. Auf dem Werkzeugschlitten wird das Fadenauge (und manchmal auch das Tränkbild) geführt, welches das Faserbündel durch geradlinige Bewegungen unmittelbar am Wickelkern positioniert.

Druckbehälter (*pressure vessel (tank)*)

Ein Behältnis (Hohlkörper) zum Speichern druckbehafteter Medien (Fluide), i.d.R. bestehend aus den Haupt-Bestandteilen Zylinder und Boden.

Oft ist er mit Druckstutzen und einem Überdruckventil versehen. Druckleitungen führen vom Behälter an den Druckstutzen zu Peripherie-Bauteilen. Eine Halterung fixiert den Behälter an seinem Einsatzort. Zu seinem Schutz ist er i.d.R. mit einer Schutzschicht, beispielsweise in Form einer Lackierung oder eines Schutzvergusses überzogen.

Druckleitung (*pressure pipe*)

Weiterleitungselement, um den Behälter mit Peripherieaggregaten zu verbinden.

Der Anschluß der Druckleitungen an den Behälter erfolgt i.d.R. über Druckstutzen, die im Behälter integriert sind.

Druckstutzen (Anschlußstutzen, Insert) (*pressure joint*)

Verbindungselement zur Anbindung des Behälters an die Peripherie durch beispielsweise geeignete Druckleitungen oder zum Anschluß eines Überdruckventils oder Meßinstrumentes.

Die Anschlußelemente können mit dem Behälter stoffschlüssig durch Klebung oder formschlüssig durch beispielsweise ein Gewinde verbunden sein. Selbiges gilt für den Anschluß der Druckleitungen, Ventile oder Meßinstrumente an den Stutzen.

Duromer (*thermoset*)

Duromere sind Polymere, die aus stark untereinander verketteten Molekülsträngen bestehen, deren Verkettung im Verlauf einer Aushärtereaktion zwischen den Komponenten Harz und Härter (Zweikomponentensystem) eintritt und irreversibel ist.

Duromere sind demnach nicht wieder aufschmelzbar und somit ungeeigneter zum Recycling im Vergleich zu Thermoplasten, weisen dagegen jedoch eine höhere Temperaturbeständigkeit auf.

Endlosfaser (*continuous fiber*)

Faser, die z.B. im Wickelverfahren 'endlos' von einer Rolle abgespult werden. *Die Fasern sind also von Anfang bis Ende nicht unterbrochen und können so ihre volle Zugfestigkeit im Gegensatz zur Kurzfasern nutzen. Gängige Faserwerkstoffe sind Glas, Kohlenstoff und Aramid. Ein Bündel einzelner Endlosfasern bezeichnet man als Roving.*

Epoxidharz (EP-) (*epoxy resin*)

Polymer, welches bei der Umsetzung von Epichlorhydrin mit hydroxylgruppenhaltigen Verbindungen in Gegenwart von Alkali entsteht, dessen Moleküle mindestens zwei Oxidgruppen (Oxiran-Gruppen) enthalten.

Dies stellt das eigentliche Harz dar, welches mit Hilfe spezieller Vernetzungssubstanzen (Härtungsmittel, wie polyfunktionelle aliphatische und aromatische Amine, Carbonsäuren, Carbonsäureanhydride oder Phenole) aushärtet. Epoxidharze sind allgemein hervorragend chemisch und thermisch beständig, besonders gegenüber Alkalilaugen. Sie schrumpfen nur geringfügig bei der Vernetzung und haften auf sehr vielen Oberflächen ausgezeichnet. Ihre Anwendung finden EP-Harze im Maschinen- und Apparatebau als Formteile, als Isolierstoff und bei der Verarbeitung zu gedruckten Schaltungen in der Elektroindustrie und weiter als Klebelack, Gießharz, Beschichtungs- und Preßmasse sowie Kitt und Laminierungsharz.

Fadengeschwindigkeit (*filament eye velocity (feed)*)

Geschwindigkeit, mit der das Fadengauge über die Werkstückoberfläche geführt wird.

Sie bestimmt in Zusammenhang mit der Rotationsgeschwindigkeit des Wickelkerns den Wickelwinkel und den Überdeckungsgrad der einzelnen Faserlagen.

Fadengauge (*filament eye*)

Bohrung, durch welche der Faserveroving beim Wickeln auf einer Wickelmaschine geführt wird und die großzügig mit einem Radius nach außen abgerundet ist, um Beschädigungen einzelner Filamente beim Durchgleiten zu vermeiden.

Das Fadengauge ist am Vorschubschlitten oder Roboterarm befestigt und sorgt so mit der Fadengeschwindigkeit für eine Mitnahme des Faserverovings, unabhängig von der stationären Abspulvorrichtung. Neben dem einfachen Fadengauge gibt es auch sog. Ringfadengaugen.

Faser (fiber)

Zusammenführung einzelner Filamente zu einem Filamentbündel von typischerweise 5-15 µm Durchmesser, um die Aufgabe der Verstärkung in Werkstoffen zu übernehmen, indem sie in einen vergleichsweise schwachen Matrix-Werkstoff durch dessen Benetzung in einem Tränkebad eingebettet werden.

Hierbei kann durch die Wahl der Faserrichtung innerhalb einer Wicklung gezielt die Richtung der angreifenden Belastungen berücksichtigt werden, was im Gegensatz zu homogenen Materialien zu erheblichen Gewichtseinsparungen führt. Fasern werden als Endlosfasern oder Kurzfasern eingesetzt. Fasern können in ein Material in nur einer Richtung, also unidirektional (UD) oder in verschiedenen Richtungen eingebettet sein. Die erheblichen Festigkeitssteigerungen faserartiger Werkstoffe im Vergleich zu homogenen Werkstoffen gleichen Typs bei Standard-Zugversuchen ist damit zu erklären, daß durch die mikroskopisch kleine geometrische Ausdehnung rein statistisch weniger Gitterbaufehler in der Struktur auftreten und somit Werte nahe der theoretischen Festigkeit erreicht werden. Je dünner das einzelne Filament, desto höher die spezifische Festigkeit. Eine Steigerung auf diesem Gebiet bieten noch nadelartige Einkristalle, sog. Whiskers, die nochmals erheblich kleinere Durchmesser aufweisen. Gängige zu Fasern verarbeitete Materialien sind Glas (GF), Kohlenstoff (CF), Aramid (AF) - auch unter dem Markennamen KEVLAR bekannt - sowie Bor (BF), z.B. für die Verstärkung von Glas.

Faserwinkel (Wickelwinkel, Faserorientierung) (*fiber angle, winding angle, fiber orientation*)

Winkel zwischen Rotationsachse und und Roving, mit dem die Fasern beim Wickeln auf der Kern- (Behälter-) Oberfläche entsprechend der auftretenden Belastungsrichtung abgelegt sind.

Flammstation (*flame welding device*)

Wärmequelle einer Wickelmaschine in Form einer offenen (Gas-) Flamme zum Aufschmelzen der thermoplastischen Matrix bei der Faserverbundwerkstoff-Verarbeitung.

Geodätische Linie (*geodesic path*)

Die kürzeste Verbindung zweier Punkte auf der Oberfläche eines Körpers, die beim Wickeln auch die Linie eines konstanten Faserwinkels darstellt.

Glas (*glass*)

Anorganischer, amorpher (oder teilkristalliner, z.B. Bleikristallglas) spröder Werkstoff, in der Hauptsache aus SiO_2 bestehend, der für die Herstellung von Kurz- und Endlosfasern verwendet wird.

Glas ist elektrisch nicht leitend (Isolationswerkstoff) und temperaturschockempfindlich. Es besitzt eine hervorragende Resistenz gegen Säuren. Glasfasern werden in typischen Durchmessern von 10-15 μm durch Ziehen aus Düsen und anschließendes Aufwickeln hergestellt und besitzen Zugfestigkeiten von etwa 73.000 MPa (= N/mm²). Meist wird sog. E-Glas verwendet, dessen Bezeichnung aus der Elektroindustrie (E-) herrührt. Glas hat eine Dichte von etwa 2,58 g/cm³.

Hartschaum (*rigid foam*)

Schaumstoff, der künstlich auf Kautschuk- oder Kunststoffbasis hergestellt wird und eine zellige (poröse) Struktur aufweist.

Hartschäume besitzen im Gegensatz zu Weichschäumen einen hohen Verformungswiderstand bei geringer elastischer Verformbarkeit. Hartschäume teilen sich in spröd-harte und spröd-zähe Schäume auf, wobei die einen bei Überlast ganz und letztere nur teilweise in sich zerfallen. Schäume können mechanisch mittels Durchblasen von Gas, physikalisch mit Hilfe von Treibmitteln, die durch Wärmezufuhr verdampfen oder chemisch durch Treibmittel, die durch Wärmezufuhr eine chemische Reaktion beginnen, bei der sich Gas abspaltet, erzeugt werden.

Harz (*resin*)

Neben dem Zusatz Härter der Hauptbestandteil des Duromers, bestehend aus unvernetzten Molekülketten, die erst durch den Härter eine irreversible Vernetzungsreaktion (Aushärtung) beginnen.

Man unterscheidet Terpene und synthetische Harze (auch Kunstharze). Zu den letzteren gehören auch die sog. Reaktionsharze, die zu Kunststoffen weiterverarbeitet werden. Ein bekannter Vertreter ist das Epoxidharz.

Härter (*hardener*)

Bestandteil von Duromeren, um eine Aushärtung des Harzes in Gang zu setzen. Zu dieser Aushärtereaktion ist ein gewisses Temperaturniveau notwendig, um diese auszulösen (Aktivierungsenergie). Je höher die Temperatur, desto schneller die Reaktion.

Mit einer Duromermatrix beispielsweise in einem Tränkbäd vorimpregnierte Verbundwerkstoffe (Prepregs) können durch Kühlung über einen begrenzten Zeitraum bis zu ihrer endgültigen Verarbeitung gelagert werden (Sub-Zero Temperature-Storage).

Imprägnierung (Tränkung) (*impregnation*)

Vorgang der Benetzung der Fasern mit dem Matrixwerkstoff, z.B. nach Durchlaufen eines Tränkbades und anschließender Einwirkung einer Prozeßtemperatur.

Bei thermoplastischen Matrix-Werkstoffen ist infolge deren sehr viel höherer Viskosität eine Imprägnierung schwieriger, d.h. die dazu benötigte Zeit steigt an und ein evtl. aufzubringender Verarbeitungsdruck muß größer als im Vergleich zu Duromer-Matizen gewählt werden. Der Grad der Imprägnierung ist anhand des Volumengehalts an verbleibenden Luftblasen (Poren) zu bestimmen. Die Qualität der Imprägnierung ist durch die Faser Matrix Haftung charakterisiert.

Innen-/Außenring (*inner/outer ring*)

Verbindungsglied zum Zusammenfügen zweier Hälften (Schalen) des Zylinders oder von Zylinder und Boden, welches im Behälterinnern (Innenring) oder dem Behälteräußeren (Außenring) angeordnet sein kann.

Die Verbindung ist vorzugsweise eine Klebung.

(Wickel-) Kern (*(winding) mandrel*)

Körper, auf den die Fasern mit einer Wickelmaschine gewickelt werden, um einen Hohlkörper, z.B. einen Behälter zu erzeugen.

Es werden verlorene und nicht verlorene Kerne unterschieden, die selbst wiederum Hohlkörper aber auch massiv sein können; sie sind aus Metall, wie z.B. Aluminium oder aus Kunststoff, wie beispielsweise Polyamid oder Polypropylen. Verlorene Kerne können im Bauteil verbleiben und auch mittragenden Charakter haben und als Medienbarriere dienen; letztere Kerne nennt man Liner.

Kern, nicht verlorener (*reusable mandrel*)

Kern aus einem wiederverwertbaren Material, welcher mehrmals im Produktionszyklus des Wickelns verwendet werden kann.

Er ist der Robustheit und Maßhaltigkeit wegen aus Metall, wie z.B. Aluminium oder Stahl oder aus Kunststoff oder Holz. Er kann massiv oder ebenfalls ein Hohlkörper sein. Der wiederverwendbare Kern muß eine Mindestformsteifigkeit zum Abfangen der Zugkräfte der Fasern beim Wickeln aufweisen, um eine Formgenauigkeit garantieren zu können. Weiterhin muß er den Biegekräften durch Unwuchten bei der Rotation und den oftmaligen Entformungen standhalten.

Kern, verlorener (*lost mandrel*)

Kern, der nur einmal beim Herstellungsprozeß verwendet wird oder fester Bestandteil des Wickelkörpers bleibt, z.B. als Liner bei einem Behälter.

Er ist vorzugsweise aus einem leicht löslichen Material, wie Hartschaum (z.B. Styropor). Als Liner-Materialien werden vorzugsweise Polymere verwendet, die auch als Matrixwerkstoff der Verstärkungsfasern dienen.

Klebung (*adhesion*)

Verfahren zum stoffschlüssigen Verbinden von Behälterkomponenten, z.B. Zylinder und Boden mit Hilfe eines Innen- oder Außenringes.

Kohlenstoff (carbon)

Kohlenstoff ist im Graphitzustand ein elektrisch leitender, lammellenartig aufgebauter und hoch anisotroper Werkstoff, der für die Herstellung von Kurz- und Endlosfasern verwendet wird.

Graphit wird i.d.R. im Pyrolyseverfahren von den Ausgangsstoffen Polyacrylnitril (PAN) und Zellulosefasern (REYON) hergestellt. Man unterscheidet hochmodulare Fasern (HM=High Modulus) und hochfeste Fasern (HT=High Tensile). In inerter Atmosphäre ist Kohlenstoff bis 2000 °C stabil.

Kreuzwicklung (helical wind)

Wicklung, die schraubenförmig um einen Kern gewickelt ist und diesen nach mehreren Wickeldurchgängen völlig bedeckt.

Es können so verschiedene Winkel der Schraubenbahn in Bezug zur Rotationsachse realisiert werden, die den gewünschten Faserwinkel repräsentieren.

Kurzfasern (short fiber)

Endlos-Fasern, die mit Hilfe einer geeigneten Schneidvorrichtung (Zerhacker) in kurze Faserstücke geschnitten wurde.

Ein Verstärkungseffekt tritt erst ab einer Mindest-Faserlänge auf, dann nämlich, wenn die Bindungskräfte zwischen Faser und Matrix an der Oberfläche der Fasern der generellen Schwächung der Matrix durch die eingelagerten Störkörper - die Fasern nämlich (klassischer Kerbeffekt) - überwiegt. Typische Kurzfasern-Längen sind 1 bis 5 mm, bei der schon gute bis sehr gute Verstärkungseffekte erzielt werden können. Gebräuchliche Faserwerkstoffe sind Glas, Kohlenstoff und Aramid.

Lackierung (*lacquer*)

Überzug, der als Schutzschicht oder aus Gründen der Optik auf die Behälteroberfläche aufgebracht wird.

Laser (*laser*)

Gebündeltes, kohärentes Licht als gezielte Wärmequelle einer Wickelmaschine zum Aufschmelzen der thermoplastischen Matrix bei der Faserverbundwerkstoff-Verarbeitung.

Liner (*liner*)

Vorlorener Kern, der Bestandteil des Behälters bleibt und die Aufgabe einer Medienbarriere zwischen Behälterinhalt und Behälterwandung aus Faserkunststoffverbund sowie oftmals das Ziel der Medienbeständigkeit oder Fluiddichtigkeit des Behälters hat.

Er ist vorzugsweise aus dem verwendeten Matrixwerkstoff oder aus Metall und kann auch zusätzlich strukturunterstützend sein. Ist er aus Kunststoff, so wird er vorzugsweise im Spritzgießverfahren hergestellt.

Matrix (*matrix*)

Werkstoff, in den andere Materialien, wie beispielsweise Fasern oder Partikeln eingelagert werden, um diesen zu verstärken oder allgemein seine mechanischen oder chemischen Eigenschaften wie Festigkeit, Medienbeständigkeit, Elastizität oder Verschleiß zu verbessern.

Gängige Matix-Werkstoffe sind Polymere im Bereich der verstärkten Kunststoffe sowie Metalle, Glas und Keramik.

Metall (metal)

Kristallin aufgebauter, plastisch verformbarer Werkstoff, der als Liner-Material und im Bereich der Anschlußstutzen, vor allem der Gewinde, sowie der Behälter-Halterung Anwendung findet.

Vorzugsweise werden Leichtmetalle, wie Aluminium verwendet, um z.B. gegenüber Stahl Gewichtseinsparungen zu erzielen.

Polyamid (PA) (polyamide)

Thermoplast, welcher durch Polykondensation von Diaminen und Dicarbonsäuren durch ringförmige Polymerisation cyclischer Amide (Lactame) gewonnen wird. Polyamid ist auch unter dem Namen Nylon bekannt. PA ist je nach Abkühlgeschwindigkeit mehr oder minder teilkristallin.

Polyamid hat eine Zugfestigkeit im Bereich von 40-70 MPa und eine Dichte von etwa 1,02-1,13 g/cm³. Seine Kristallschmelztemperatur liegt bei ca. 180-220 °C. Es eignet sich besonders zum Extrudieren von Formteilen und Spritzgießen. Weiterhin wird es für Beschichtungen, Lacke und Kleber eingesetzt. Es ist resistent gegen Alkalilaugen, Ester, Alkylhalogenide und Alkohole. Gelöst wird es von Ameisensäure, Schwefelsäure, Phenolen, Kresolen, von Mineralsäuren stark angegriffen. Witterungseinflüsse sind ebenfalls ungünstig für das PA.

Polyethylen (PE) (polyethylene)

Thermoplast der Gruppe der Polyolefine, die durch die Polymerisation aus Olefinen, z.B. ungesättigten acrylischen oder cyclischen aliphatischen Kohlenwasserstoffen hergestellt werden (vgl. Polypropylen).

Polyethylen ist teilkristallin und besitzt hervorragende dielektrische Eigenschaften. Es ist sehr beständig gegenüber Lösungsmitteln und ist gut formbar. Von Nachteil ist seine Empfindlichkeit gegenüber Sauerstoff und UV-Strahlung. Typische Zugfestigkeiten liegen zwischen 10-30 MPa. Die Kristallschmelztemperatur liegt zwischen 105 und 135°C. Die Dichte liegt je nach Typ im Bereich von 0,915 bis 0,965 g/cm³.

Polymer (Kunststoff) (polymer)

Leichter Werkstoff mit vergleichsweise geringer Festigkeit, aus dem die zu verstärkende Matrix von Faserkunststoff-Verbunden und die Halterung eines Behälters hergestellt sein kann.

Polymere werden eingeteilt in Duromere, Thermoplaste und Elastomere. Sie zeigen im Normalfall kein plastisches Verformungsverhalten und bestehen meist aus amorphen, bei Thermoplasten auch oft teilkristallinen Molekülketten.

Polypropylen (PP) (polypropylene)

Thermoplast der Gruppe der Polyolefine, mit dem Polyethylen verwandt.

Polypropylen ist teilkristallin und weitgehend isotaktisch mit Kristallinitätsgraden von 60-70 %.

Seine Kristallitschmelztemperatur liegt im Bereich von 160-165 °C, seine Dichte beträgt 0,91-0,915 g/cm³. Unbehandelt besitzt PP eine schlechte Kälteflexibilität und ist bei höheren Temperaturen oxidationsempfindlich. Die Hauptanwendungen von PP liegt heute im Automobilbau (Lüfterräder, Lüftungskanäle), im Haushaltsmaschinenbau (Waschmaschinen, Gehäuse, Heißwasserbehälter), in der Elektrotechnik (Drahtummantelungen, Isolationsfolien) und im Rohrleitungsbau.

Poren (Luftblasen) (voids, air bubbles)

Gaseinschlüsse in der Matrix, die während der Imprägnierung der Fasern nicht in die Atmosphäre entweichen konnten.

Thermoplastische Matrizen weisen aufgrund ihrer 100-1000-fach höheren Viskosität im Vergleich zu Duromer matrizen i.d.R. höhere Poren-Volumenanteile, gesehen am gesamten Materialvolumen, auf. Der Innendruck der Luftblasen bei Matrizen mit sehr geringer Viskosität kann infolge eines etwaigen Verarbeitungsdruckes, beispielsweise in einer Heizpresse, den Atmosphärendruck weit übersteigen.

Prepreg (Band, Tape) (*prepreg, tape*)

Vorimprägniertes, bandförmiges Halbzeug, welches im Tape-Legeverfahren oder auch im Tape-Wickelverfahren verarbeitet wird und für duromere Matrizen durch Benetzung von Fasern in einem Polymer-Tränkbad oder Aufschmelzen eines thermoplastischen Polymers und anschließendes Benetzen hergestellt wird.

Dabei ist das Band bei einer Duromermatrix naß, d.h. die Aushärtereaktion von Harz und Härter ist noch nicht abgeschlossen. Die Matrix thermoplastischer Prepregs wird bei der Verarbeitung nochmals aufgeschmolzen.

Prozeßtemperatur (*process temperature*)

Die Temperatur, die nötig zur Verarbeitung eines Materials in einem Herstellungsprozeß ist.

Noch nicht ausgehärtete Duomere benötigen nach der Benetzung im Tränkbad eine Prozeßtemperatur, bei der eine Vernetzungsreaktion eintreten kann, d.h. das Gemisch also genügend Aktivierungsenergie zugeführt bekommt, um die chemische Reaktion einzuleiten. Die Prozeßtemperatur ist also hier für die Reaktionsgeschwindigkeit verantwortlich. Thermoplastische Matrizen benötigen eine Prozeßtemperatur zu deren Aufschmelzen, um bei nicht vorimprägnierten Fasern zuerst einmal eine Imprägnierung herbeizuführen. Die Änderung der Temperatur, also beispielsweise die Abkühlgeschwindigkeit, ist nachhaltig für den Grad der Kristallisierung beim Erstarren der Polymerschmelze verantwortlich.

Reibkraft (Faden-) (*frictional force*)

Kraft in der Tangentialebene zwischen Kernoberfläche und aufliegendem Faden, die sich aus der Andrückkraft des Fadens beim Wickeln auf die Oberfläche und dem Reibkoeffizienten zwischen Faden und Oberfläche ergibt.

Ringfadenaug (*ring filament eye*)

Mehrere Fadenaugen, die auf einer Ringperipherie um das Werkstück herum angeordnet sind, um entsprechend viele Faseroovings aufzunehmen.

Dies führt zu einem beschleunigten Wickeln aufgrund der in kürzester Zeit allseitig aufgebrachten Rovings. Das Verfahren eignet sich prinzipiell nur für nahezu rotationssymmetrische Wickelkerne.

Roboter (*robot*)

Wickelmaschine und -verfahren, wobei ein numerisch gesteuerter Arm die Fadenführung übernimmt.

Die Armbewegungen sind im Gegensatz zur Drehbank-Wickelverfahren nicht zwangsweise geradlinig, sondern können über die numerische Steuerung frei definiert werden. Das Roboter-Wickelverfahren findet besonders bei nicht rotationssymmetrischen Bauteilen mit komplexer Geometrie Verwendung.

Roving (Faserbündel) (*roving*)

Zusammenführung von mehreren Endlosfasern zu einem Faserbündel.

Einzelfasern sind i.d.R. zu dünn, um einzeln bei der Herstellung von Endlosfaserverbunden genutzt zu werden. Sie wären zu empfindlich und führten nur sehr langsam zu einem Materialaufbau. Das Faserbündel wird bei einem Wickelvorgang durch ein Tränkbad geführt, um mit dem Matrixwerkstoff imprägniert zu werden.

Schutzschicht (*top coat*)

Ummantelung des Behälters in Form eines Schutzvergusses oder einer Lackierung.

Sie dient dem Schutz seiner Oberfläche vor mechanischen oder chemischen Einwirkungen, vor allem durch spitze oder scharfe Gegenstände oder Sonnenbestrahlung und Witterung.

Schutzverguß (*protective layer*)

Schutzschicht aus einem vergießbaren Material, vorzugsweise dem Matrixwerkstoff.

Sie soll vor mechanischen und chemischen Angriffen schützen und auch optisch den Behälter aufwerten. Sie kann auch Grundlage für eine sich anschließende Lackierung sein.

Spindel (*spindle*)

Rotierende Welle der Wickelmaschine, die den Wickelkern i.d.R. mit Hilfe eines an sie angeflanschten Backerfutters und oft einer zusätzlichen Zentrierspitze (Reitstock) auf der gegenüberliegenden Seite aufnimmt.

Spritzgießen (*injection molding*)

Für Großserien preisgünstiges Herstellungsverfahren für Thermoplast-Kunststoffbauteile, wie z.B. Polymer-Liner von Behältern.

Spritzguß geeignete Kunststoffe sind Thermoplaste, u.a. Polyamid, Polypropylen und Polyethylen.

Stahl (*steel*)

Meistverwendetes Metall im Maschinen- und Apparatebau.

Die Hauptlegierungselemente sind Eisen (Fe) und Kohlenstoff (C). Es ist in seiner einfachsten Form oxidationsfreudig, d.h. es rostet. Es ist i.d.R. einfach spanend und formgebend zu bearbeiten. Stahl besitzt im Schnitt einen E-Modul von 210 GPa und eine Festigkeit zwischen 370 bis 600 MPa.

Steuerung (control cabinet)

I.d.R. numerisch betriebene Überwachungseinheit, die den Herstellungsprozeß beim Wickeln leitet.

Im Falle der Roboter-Wickelmaschine kann die Programmierung der Anfahrpunkte des Fadenauges bei der Herstellung über das Teach-In-Verfahren erfolgen.

Styropor (eingetragenes Warenzeichen der BASF) (styropor)

Hartschaum, der durch Aufschäumen von Polystyrol hergestellt wird.

Durch Zusatz eines niedrigsiedenden Kohlenwasserstoffes wie Pentan von etwa 6 % zu der Polystyrol-Schmelze und plötzliches Ausgasen unter Druckentspannung und anschließender Abkühlung wird dieser Polystyrol-Hartschaum hergestellt. Styropor ist in aromatischen und halogeniden Kohlenwasserstoffen sowie Ethern, Estern und Ketonen leicht löslich. Es ist resistent gegenüber Salzlösungen, Laugen und verdünnten Säuren. Ultraviolette Strahlung in Gegenwart von Luftsauerstoff hat eine vergilbende und verspröde Wirkung auf Styropor.

Teach-In-Verfahren (teach-in-technology)

Ein Programmierverfahren für die numerische Steuerung von Wickelmaschinen, besonders Wickel-Robotern, wobei zunächst die Koordinaten, die während des Herstellungsprozesses vom Fadenauge angesteuert werden sollen, manuell angefahren werden. Diese Positionen werden gespeichert und können später wieder automatisch abgefahren werden.

Diese recht aufwendige Programmiermethode ist besonders bei Wickelrobotern verbreitet, wenn es komplexere Geometrien zu wickeln gilt, deren Kontur nur aufwendig numerisch zu erfassen ist.

Thermoplast (*thermoplast*)

Polymer, welches sich aus nur leicht miteinander verbundenen Molekülketten zusammensetzt.

Thermoplaste ändern ihre Viskosität erheblich mit der Temperatur und der Schergeschwindigkeit, der sie ausgesetzt sind. Sie sind demnach im Gegensatz zu Duromeren wieder aufschmelzbar und in begrenztem Umfang wiederverwertbar, in dem Sinne, daß z.B. in Thermoplasten eingelagerte Fasern oder Partikeln wieder herauslösbar sind. Durch die Erweichung der Thermoplaste bei steigender Temperatur ist eine Anwendung in höheren Temperaturbereichen schwierig. Typische, weit verbreitete Thermoplaste sind z.B. Polyäthylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) sowie Polyetheretherketon (PEEK) für höhere Temperaturbereiche.

Tränkbad (*impregnating bath*)

Bad aus einem nicht ausgehärteten Gemisch aus Harz und Härter (Duromer), durch welches die zu imprägnierenden Fasern gezogen werden.

Durch ein Führen des Faserbündels durch ein oder mehrere elastisch beschichtete Rollenpaare ist eine erhebliche Verbesserung der Imprägnierung der Faserbündel zu erreichen. Die Prozeßtemperatur sorgt nach der Imprägnierung für ein Aushärten. Das Tränkbad kann beim Wickelprozeß mit dem Fadenauge mitgeführt oder stationär angeordnet sein.

Überdruckventil (*safety valve*)

Sicherheitsventil, welches vor Erreichen des zulässigen Behälterdruckes öffnet und damit den Druck abbaut, um eine Überbelastung des Behälters zu vermeiden.

Umfangswicklung (*circumferential wind*)

Wicklung in Umfangsrichtung eines Wickelkerns, also senkrecht zur Rotationsachse; der Wickelwinkel ist dabei grob 90°.

Umkehrradius (*reverse radius*)

Der Radius am Domende, bei dem beim Wickeln eine Fadenumkehrung eingeleitet wird, um die Wickelrichtung entgegengesetzt fortzusetzen.

Verlegeeinrichtung (Tape-) (*tape winding facility*)

Vorrichtung, z.B. an einer Tape-Wickelmaschine, die bei der Herstellung von großflächigen Bauteilen hoher Qualität aus vorimprägnierten Duromer-Verbundwerkstoffen in Form von Prepregs (Tapes) das Band mit einem mit einer Rolle bestückten Arm über die vorgeformte Bauteiloberfläche führt und es mit einer definierten Kraft andrückt.

Wendzone (*zone of dwell*)

Die Zone, in der beim Wickeln die Umkehrung der Wickelrichtung am Ende der Wickellänge stattfindet.

Die Umkehrung des Wickelvorschubes führt zu einem Umkehrradius.

Wickelgeschwindigkeit (*winding velocity*)

Die Geschwindigkeit, mit der der Faden beim Wickeln auf dem Kern abgelegt wird.

Sie entspricht als der Abspulgeschwindigkeit der Fasern von der Faserrolle.

Wickelmaschine (*winding machine*)

Vorrichtung zum Wickeln von Faserverbundwerkstoff-Bauteilen.

Dabei werden u.a. die Drehbank-Wickelmaschinen und die Roboter-Wickelmaschinen unterschieden. Bestandteile einer Wickelmaschine können z.B. sein z.B. Wickel-Spindel, Abspulvorrichtung, Verlegeeinrichtung, Laser, Flammstation, Steuerung.

Wickeln (*winding*)

Das Aufbringen von Fasern oder Faser mit Matrix mit Hilfe einer Wickelmaschine auf einen rotierenden Kern, so daß durch den Verbund der Wicklungen untereinander ein Hohlkörper entsteht.

Beim Wickeln muß ein vorgegebener Wickelwinkel, eine Wickelgeschwindigkeit und die zugehörige Fadenspannung eingehalten werden, was zu einer resultierenden Reibkraft führt. Das Einhalten der geodätischen Linie auf gekrümmten Oberflächen führt zu einem konstanten Wickelwinkel.

Wickelverfahren (*winding procedure*)

Vorgehensweise beim Wickeln von Bauteilen mit einer Wickelmaschine.

Die bekanntesten Wickelverfahren sind das Drehbank- und Roboter-Wickeln.

Wicklung (Lage) (*layer, wind*)

Eine Faserverbundlage aus Fasern und Matrix, die durch Wickeln hergestellt wurde. Die Wickelrichtung wird durch des gewünschten Faserwinkel vorgegeben. Generell unterscheidet man Kreuz- und Umfangswicklung.

Zylinder (*cylinder*)

Rotationssymmetrisches Hauptbauteil des Behälters, welches mit den beiden Böden an dessen Ende den Hohlkörper bildet. Er wird durch Wickeln hergestellt.

**ANHANG VII: Stichwort-Übersicht zur Werkstoff-Ontologie
(I: Nicht-Kunststoffe; IIx: Kunststoffe)**

Werkstoff-Ontologie I: Nicht-Kunststoffe

(in Stichwörtern; Kunststoffe siehe gesondert Werkstoff-Ontologie II)

WERKSTOFF (MATERIAL)

METALLE

Leichtmetalle

Aluminium (Al)

Titan (Ti)

Magnesium (Mg)

Faserwerkstoffe

Aluminiumfasern (Al)

Borfasern (Bo)

Schwermetalle

Eisen (Fe)

Kupfer (Cu)

Messing (Ms)

Zinn (Zn)

Blei (Pb)

Legierungen

Stahl (Eisen + Kohlenstoff)

Faserwerkstoffe

Stahlfasern

NICHT-METALLE

Polymere (siehe Zusatzblätter)

klassifiziert nach

- Herstellungsverfahren (Entstehung)
 - Polymerisation
 - Polykondensation
 - Polyaddition (Copolymerisation)

- Ausgangsstoffen
 - Abgewandelte Naturstoffe
 - Synthetische Stoffe

- Anordnung der Makromoleküle
 - amorph
 - teilkristallin

- Verarbeitungsverfahren und Eigenschaften
 - Thermoplaste
 - Duromere
 - Elastomere
 - (Thermoelaste)

Glas

Faserwerkstoffe

E-Glas

R-Glas

S-Glas

T-Glas

Keramik (anorganische, nichtmetallische Werkstoffe)**Oxidkeramiken***Sinterkorund (Al_2O_3)**Zirkonoxid (ZrO_2)***Nichtoxidkeramiken (Hartstoffe)***Karbide**Nitride**Boride**Silizide**Sulfide**Fluoride***Kohlenstoff**

Graphit

*Elektrographit**Pyrographit (pyrolytischer Graphit)**Glaskohlenstoff**Schaumkohlenstoff**Karburisierte Textilien*

Faserwerkstoffe

Hochmodulige C-Fasern HM (Type I)

Hochfeste C-Fasern HT (Type II)

*Diamant***Glaskeramik** (Werkstoffe mit glasiger und keramischer Phase)

Werkstoff-Ontologie IIa: Kunststoffe (Polymere)

(Stichwörter, eingeteilt nach HERSTELLUNGSVERFAHREN;

Nicht-Kunststoffe siehe gesondert Werkstoff-Ontologie I)

POLYMERE

ABGEWANDELTE NATURSTOFFE

Thermoplaste

Cellulosenitrat (CN)

Celluloseacetat (CA)

Cellulosepropionat (CP)

Celluloseacetobutyrat (CAB)

Elastomere

Isoprenkautschuk (natürlich, ident. Naturkautschuk) (NR)

Duroplaste

Vulkanfiber (VF)

Casein (CS)

SYNTHETISCHE STOFFE

Polymerisate

Thermoplaste

Polyethylen (PE)

Polypropylen (PP)

Polyisobutylen (PIB)

Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylidenchlorid (PVDC)

Polystyrol (PS)

Polymethylmethacrylat (PMMA)

Polyoxymethylen (POM)

Polytetrafluorethylen (Teflon) (PTFE)

Polyacrylnitril (PAN)

Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)

Elastomere

Acrylat-Butadien-Kautschuk (ABR)

Polybutadien-Kautschuk (BR)

Chloropren (Polychlorbutadien) -Kautschuk (CR)

Isobutylen-Isopren-Kautschuk (IIR)

Isopren-Kautschuk (synthetisch) (IR)

Acrylnitril-Butadien-Copolymer (Nitrilkautschuk) (NBR)

Styrol-Butadien-Copolymer (SBR)

Faserwerkstoffe

Polyethylenfasern (PE)

Polypropylenfasern (PP)

Polykondensate**Thermoplaste**

Polyamid (Nylon) PA

Aromatisches Polyamid (aromatisches PA)

Polycarbonat (Polyester) (PC)

Polyethylenterephthalat (Polyester) (PET(P))

Polyphenylenoxid (PPO)

Polyphenylensulfid (PPS)

Polythersulfon (PES)

Polyetheretherketon (PEEK)

Polyetherimid (PEI)

Polysulfon (PSU)

Polybutylenterephthalat (PBT(P) od. PTMT)

Liquid-Cristal-Polymer (Eigenverstärkter Polyester) (LCP)

Faserwerkstoffe

Polyesterfaser HT

Nylonfaser HT

Duroplaste

Phenol-Formaldehyd (PF)

Harnstoff-Formaldehyd (UF)

Melamin-Formaldehyd (MF)

Ungesättigter Polyester (UP)

Polyimid (PI)

Silicon (SI)

Polyaddukte (Copolymerisate)

Thermoplaste

Polyurethan (PU(R))

Duroplaste

Epoxid (EP)

Werkstoff-Ontologie IIb: Polymere (Kunststoffe)

(ausschließl. THERMOPLASTE in Stichwörtern, eingeteilt nach ANORDNUNG DER MAKROMOLEKÜLE)

THERMOPLASTE (PLASTOMERE)

amorph

Polycarbonat (Polyester) (PC)
Polystyrol (PS)
Styrol-Acrylnitril (SAN)
Polyvinylchlorid (PVC)
Polymethylmethacrylat (PMMA)
Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
Polysulfon (PSU)

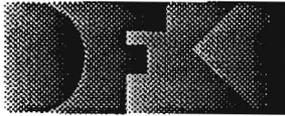
teilkristallin

Polyetheretherketon (PEEK)
Polyetherimide (PEI)
Polyethersulfon (PES)
Polysulfon (PSU)
Polyethylen (PE)
Polypropylen (PP)
Polyamid (PA)
*Aromatisches Polyamid (aromatisches PA) (ARAMID[®]-Faser) *)*
Polyoxymethylen (POM)
Polytetrafluorethylen (Teflon) (PTFE)
Polyurethan (PU(R))
Polyethylenterephthalat (Polyester) (PET(P))
Polybutylenterephthalat (Polyester) (PBT(P))

flüssigkristallin

Liquid-Cristal-Polymer (Eigenvertärkter Polyester) (LCP)

*) Sonderfall bei Faserwerkstoff ARAMID[®] mit Zersetzungstemperatur unterhalb der Schmelztemperatur



Deutsches
Forschungszentrum
für Künstliche
Intelligenz GmbH

DFKI
-Bibliothek-
PF 2080
67608 Kaiserslautern
FRG

DFKI Publikationen

Die folgenden DFKI Veröffentlichungen sowie die aktuelle Liste von allen bisher erschienenen Publikationen können von der oben angegebenen Adresse oder per anonymem ftp von ftp.dfki.uni-kl.de (131.246.241.100) unter pub/Publications bezogen werden.

Die Berichte werden, wenn nicht anders gekennzeichnet, kostenlos abgegeben.

DFKI Publications

The following DFKI publications or the list of all published papers so far are obtainable from the above address or via anonymous ftp from ftp.dfki.uni-kl.de (131.246.241.100) under pub/Publications.

The reports are distributed free of charge except if otherwise indicated.

DFKI Research Reports

RR-93-05

Franz Baader, Klaus Schulz: Combination Techniques and Decision Problems for Disunification
29 pages

RR-93-06

Hans-Jürgen Bürckert, Bernhard Hollunder, Armin Laux: On Skolemization in Constrained Logics
40 pages

RR-93-07

Hans-Jürgen Bürckert, Bernhard Hollunder, Armin Laux: Concept Logics with Function Symbols
36 pages

RR-93-08

Harold Boley, Philipp Hanschke, Knut Hinkelmann, Manfred Meyer: COLAB: A Hybrid Knowledge Representation and Compilation Laboratory
64 pages

RR-93-09

Philipp Hanschke, Jörg Würtz: Satisfiability of the Smallest Binary Program
8 pages

RR-93-10

Martin Buchheit, Francesco M. Donini, Andrea Schaerf: Decidable Reasoning in Terminological Knowledge Representation Systems
35 pages

RR-93-11

Bernhard Nebel, Hans-Jürgen Bürckert: Reasoning about Temporal Relations: A Maximal Tractable Subclass of Allen's Interval Algebra
28 pages

RR-93-12

Pierre Sablayrolles: A Two-Level Semantics for French Expressions of Motion
51 pages

RR-93-13

Franz Baader, Karl Schlechta: A Semantics for Open Normal Defaults via a Modified Preferential Approach
25 pages

RR-93-14

Joachim Niehren, Andreas Podelski, Ralf Treinen: Equational and Membership Constraints for Infinite Trees
33 pages

RR-93-15

Frank Berger, Thomas Fehrle, Kristof Klöckner, Volker Schölles, Markus A. Thies, Wolfgang Wahlster: PLUS - Plan-based User Support Final Project Report
33 pages

RR-93-16

Gert Smolka, Martin Henz, Jörg Würtz: Object-Oriented Concurrent Constraint Programming in Oz
17 pages

RR-93-17

Rolf Backofen: Regular Path Expressions in Feature Logic
37 pages

RR-93-18

Klaus Schild: Terminological Cycles and the Propositional μ -Calculus
32 pages

RR-93-20

Franz Baader, Bernhard Hollunder: Embedding Defaults into Terminological Knowledge Representation Formalisms
34 pages

- RR-93-22**
Manfred Meyer, Jörg Müller:
 Weak Looking-Ahead and its Application in
 Computer-Aided Process Planning
 17 pages
- RR-93-23**
Andreas Dengel, Ottmar Lutzy:
 Comparative Study of Connectionist Simulators
 20 pages
- RR-93-24**
Rainer Hoch, Andreas Dengel:
 Document Highlighting —
 Message Classification in Printed Business Letters
 17 pages
- RR-93-25**
Klaus Fischer, Norbert Kuhn: A DAI Approach to
 Modeling the Transportation Domain
 93 pages
- RR-93-26**
Jörg P. Müller, Markus Pischel: The Agent
 Architecture InteRRaP: Concept and Application
 99 pages
- RR-93-27**
Hans-Ulrich Krieger:
 Derivation Without Lexical Rules
 33 pages
- RR-93-28**
*Hans-Ulrich Krieger, John Nerbonne,
 Hannes Pirker:* Feature-Based Allomorphy
 8 pages
- RR-93-29**
Armin Laux: Representing Belief in Multi-Agent
 Worlds via Terminological Logics
 35 pages
- RR-93-30**
Stephen P. Spackman, Elizabeth A. Hinkelman:
 Corporate Agents
 14 pages
- RR-93-31**
Elizabeth A. Hinkelman, Stephen P. Spackman:
 Abductive Speech Act Recognition, Corporate
 Agents and the COSMA System
 34 pages
- RR-93-32**
David R. Traum, Elizabeth A. Hinkelman:
 Conversation Acts in Task-Oriented Spoken
 Dialogue
 28 pages
- RR-93-33**
Bernhard Nebel, Jana Koehler:
 Plan Reuse versus Plan Generation: A Theoretical
 and Empirical Analysis
 33 pages
- RR-93-34**
Wolfgang Wahlster:
 Verbmobil Translation of Face-To-Face Dialogs
 10 pages
- RR-93-35**
Harold Boley, François Bry, Ulrich Geske (Eds.):
 Neuere Entwicklungen der deklarativen KI-
 Programmierung — *Proceedings*
 150 Seiten
 Note: This document is available only for a
 nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).
- RR-93-36**
*Michael M. Richter, Bernd Bachmann, Ansgar
 Bernardi, Christoph Klauck, Ralf Legleitner,
 Gabriele Schmidt:* Von IDA bis IMCOD:
 Expertensysteme im CIM-Umfeld
 13 Seiten
- RR-93-38**
Stephan Baumann: Document Recognition of
 Printed Scores and Transformation into MIDI
 24 pages
- RR-93-40**
*Francesco M. Donini, Maurizio Lenzerini, Daniele
 Nardi, Werner Nutt, Andrea Schaerf:*
 Queries, Rules and Definitions as Epistemic
 Statements in Concept Languages
 23 pages
- RR-93-41**
Winfried H. Graf: LAYLAB: A Constraint-Based
 Layout Manager for Multimedia Presentations
 9 pages
- RR-93-42**
Hubert Comon, Ralf Treinen:
 The First-Order Theory of Lexicographic Path
 Orderings is Undecidable
 9 pages
- RR-93-43**
M. Bauer, G. Paul: Logic-based Plan Recognition
 for Intelligent Help Systems
 15 pages
- RR-93-44**
*Martin Buchheit, Manfred A. Jeusfeld, Werner Nutt,
 Martin Staudt:* Subsumption between Queries to
 Object-Oriented Databases
 36 pages
- RR-93-45**
Rainer Hoch: On Virtual Partitioning of Large
 Dictionaries for Contextual Post-Processing to
 Improve Character Recognition
 21 pages
- RR-93-46**
Philipp Hanschke: A Declarative Integration of
 Terminological, Constraint-based, Data-driven, and
 Goal-directed Reasoning
 81 pages

RR-93-48

Franz Baader, Martin Buchheit, Bernhard Hollunder:
Cardinality Restrictions on Concepts
20 pages

RR-94-01

Elisabeth André, Thomas Rist:
Multimedia Presentations:
The Support of Passive and Active Viewing
15 pages

RR-94-02

Elisabeth André, Thomas Rist:
Von Textgeneratoren zu Intellimedia-
Präsentationssystemen
22 pages

RR-94-03

Gert Smolka:
A Calculus for Higher-Order Concurrent Constraint
Programming with Deep Guards
34 pages

RR-94-05

Franz Schmalhofer,
J. Stuart Aitken, Lyle E. Bourne jr.:
Beyond the Knowledge Level: Descriptions of
Rational Behavior for Sharing and Reuse
81 pages

RR-94-06

Dietmar Dengler:
An Adaptive Deductive Planning System
17 pages

RR-94-07

Harold Boley: Finite Domains and Exclusions as
First-Class Citizens
25 pages

RR-94-08

Otto Kühn, Björn Höfling: Conserving Corporate
Knowledge for Crankshaft Design
17 pages

RR-94-10

Knut Hinkelmann, Helge Hintze:
Computing Cost Estimates for Proof Strategies
22 pages

RR-94-11

Knut Hinkelmann: A Consequence Finding
Approach for Feature Recognition in CAPP
18 pages

RR-94-12

Hubert Comon, Ralf Treinen:
Ordering Constraints on Trees
34 pages

DFKI Technical Memos**TM-92-04**

Jürgen Müller, Jörg Müller, Markus Fischel,
Ralf Scheidhauer:
On the Representation of Temporal Knowledge
61 pages

TM-92-05

Franz Schmalhofer, Christoph Globig, Jörg Thoben:
The refitting of plans by a human expert
10 pages

TM-92-06

Otto Kühn, Franz Schmalhofer: Hierarchical
skeletal plan refinement: Task- and inference
structures
14 pages

TM-92-08

Anne Kilger: Realization of Tree Adjoining
Grammars with Unification
27 pages

TM-93-01

Otto Kühn, Andreas Birk: Reconstructive Integrated
Explanation of Lathe Production Plans
20 pages

TM-93-02

Pierre Sablayrolles, Achim Schupeta:
Conflict Resolving Negotiation for COoperative
Schedule Management
21 pages

TM-93-03

Harold Boley, Ulrich Buhrmann, Christof Kremer:
Konzeption einer deklarativen Wissensbasis über
recyclingrelevante Materialien
11 pages

TM-93-04

Hans-Günther Hein: Propagation Techniques in
WAM-based Architectures — The FIDO-III
Approach
105 pages

TM-93-05

Michael Sintek: Indexing PROLOG Procedures into
DAGs by Heuristic Classification
64 pages

TM-94-01

Rainer Bleisinger, Klaus-Peter Gores:
Text Skimming as a Part in Paper Document
Understanding
14 pages

TM-94-02

Rainer Bleisinger, Berthold Kröll:
Representation of Non-Convex Time Intervals and
Propagation of Non-Convex Relations
11 pages

DFKI Documents**D-93-06**

Jürgen Müller (Hrsg.):

Beiträge zum Gründungsworkshop der
Fachgruppe Verteilte Künstliche Intelligenz,
Saarbrücken, 29. - 30. April 1993
235 Seiten

Note: This document is available only for a
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

D-93-07

Klaus-Peter Gores, Rainer Bleisinger:

Ein erwartungsgesteuerter Koordinator zur partiellen
Textanalyse
53 Seiten

D-93-08

Thomas Kieninger, Rainer Hoch:

Ein Generator mit Anfragesystem für strukturierte
Wörterbücher zur Unterstützung von Texterkennung
und Textanalyse
125 Seiten

D-93-09

Hans-Ulrich Krieger, Ulrich Schäfer:

TDL ExtraLight User's Guide
35 pages

D-93-10

*Elizabeth Hinkelman, Markus Vonerden, Christoph
Jung: Natural Language Software Registry*
(Second Edition)
174 pages

D-93-11

Knut Hinkelmann, Armin Laux (Eds.):

DFKI Workshop on Knowledge Representation
Techniques — Proceedings
88 pages

D-93-12

Harold Boley, Klaus Elsbernd,

Michael Herfert, Michael Sintek, Werner Stein:
RELFUN Guide: Programming with Relations and
Functions Made Easy
86 pages

D-93-14

*Manfred Meyer (Ed.): Constraint Processing –
Proceedings of the International Workshop at
CSAM'93, July 20-21, 1993*
264 pages

Note: This document is available only for a
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

D-93-15

Robert Laux:

Untersuchung maschineller Lernverfahren und
heuristischer Methoden im Hinblick auf deren
Kombination zur Unterstützung eines Chart-Parsers
86 Seiten

D-93-16

*Bernd Bachmann, Ansgar Bernardi, Christoph
Klauck, Gabriele Schmidt: Design & KI*
74 Seiten

D-93-20

Bernhard Herbig:

Eine homogene Implementierungsebene für einen
hybriden Wissensrepräsentationsformalismus
97 Seiten

D-93-21

Dennis Drollinger:

Intelligentes Backtracking in Inferenzsystemen am
Beispiel Terminologischer Logiken
53 Seiten

D-93-22

Andreas Abecker:

Implementierung graphischer Benutzungsober-
flächen mit Tcl/Tk und Common Lisp
44 Seiten

D-93-24

Brigitte Krenn, Martin Volk:

DiTo-Datenbank: Datendokumentation zu
Funktionsverbgefügen und Relativsätzen
66 Seiten

D-93-25

Hans-Jürgen Bürckert, Werner Nutt (Eds.):
Modeling Epistemic Propositions
118 pages

Note: This document is available only for a
nominal charge of 25 DM (or 15 US-\$).

D-93-26

*Frank Peters: Unterstützung des Experten bei der
Formalisierung von Textwissen*
INFOCOM:
Eine interaktive Formalisierungskomponente
58 Seiten

D-93-27

Rolf Backofen, Hans-Ulrich Krieger,

Stephen P. Spackman, Hans Uszkoreit (Eds.):
Report of the EAGLES Workshop on
Implemented Formalisms at DFKI, Saarbrücken
110 pages

D-94-01

Josua Boon (Ed.):

DFKI-Publications: The First Four Years
1990 - 1993
75 pages

D-94-02

*Markus Steffens: Wissenserhebung und Analyse
zum Entwicklungsprozeß eines Druckbehälters aus
Faserverbundstoff*
90 pages

**Wissenserhebung und Analyse zum
Entwicklungsprozeß eines Druckbehälters aus Faserverbundwerkstoff**
Markus Steffens

D-94-02
Document