

Methodische Langzeitbewahrung ingenieurtechnischen  
Produktwissens in rechnergenerierten virtuellen  
3D-Gestaltvisualisierungen

Vom Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Regina Beuthel**

aus Schleswig

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Herbert Birkhofer
Tag der Einreichung:	31. März 2004
Tag der mündlichen Prüfung:	30. Juni 2004

Darmstadt 2005

D 17

## **Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Laudenbach, den 31. März 2004

Dipl.-Ing. Regina Beuthel

# Abstract

Ziel der vorgelegten Dissertation ist die Konzeption einer Methode, ingenieurtechnisches Produktwissen in rechnergenerierten virtuellen 3D-Gestaltvisualisierungen zum Zwecke seiner produktentwicklungsgeschichtlichen Langzeitbewahrung zu speichern.

Aus der Motivation heraus, dass sich insbesondere spezielleres ingenieurtechnisches Produktwissen im Wandel der Zeit verliert, also in Vergessenheit gerät oder gar unbedacht vernichtet oder durch Katastrophenfälle nachhaltig zerstört wird, entstand die wissenschaftliche Hypothese, dass sich dieses gezielt bewusst, wahrnehmungstheoretisch gestützt, nachhaltig in rechnergenerierten virtuellen 3D-Gestaltvisualisierungen zur Wissensbewahrung abbilden lässt. Diese wissenschaftliche Innovation wird zunächst durch die Klärung der Begrifflichkeiten von Produkt und Wissen und deren Zusammenführung zu dem Begriff des Produktwissens sowie durch das Aufzeigen der Grundlagen rechnergenerierter Gestaltvisualisierungen bezogen auf die menschliche Wahrnehmung, die Gestaltungsmerkmale der 3D-Visualisierungen und deren Grundvisualisierungsarten theoretisch fundiert. Auch wird der Aspekt der Langzeitbewahrung von Wissen ansatzweise betrachtet.

Hierauf aufbauend wird das Konzept einer Visualisierungsmethode für die Langzeitbewahrung von Produktwissen entwickelt, welche sich in ihrem ersten Schritt auf die wahrnehmungspsychologische Interpretation von 3D-Gestaltvisualisierungen stützt. Diese lässt sich als eine Art der natürlichen Wissensdekodierung verstehen, geht man von dem Fall aus, dass ein Mensch mit einer ihm unbekanntem 3D-Produktgestaltvisualisierung konfrontiert wird und diese nun seinem Verständnis gemäß inhaltlich erfasst. Hierbei begründen gefühlsmäßig und wissensgestützte Interpretationen der in der Darstellung verwendeten Gestaltungselemente die analytische Dekodierung der abgebildeten Modellinformationen sowie die Ableitung des mit ihnen verknüpften Produktwissens. Aus den Erkenntnissen der Dekodierung wird die demzufolge einsetzbare Kodierung als gezielte Abbildung von Produktwissen in einem zweiten Schritt abgeleitet, so dass sich hierüber in dem dritten Schritt ein Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zu den 3D-Gestaltvisualisierungsarten aufstellen lässt, welches Aussagen darüber zulässt, welche Visualisierungsarten in welcher Form für die Präsentation welcher Wissensaspekte des Produktwissens geeignet sind, will man diese für eine Langzeitbewahrung bewusst einsetzen. Die Wissen integrierende Visualisierungsmethode ergibt sich so als ein Resümee der in Konsequenz formulierten Vorgehensweise der Nutzung des erarbeiteten Wissenstransfer bezogenen Schemas.

Anhand von Fallbeispielen wird die entwickelte Visualisierungsmethode auf ihre Eignung hin kurz bewertet.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Vorwort.....	IX
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht.....	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung .....	6
1.3 Inhalt der Arbeit.....	8
2 Ingenieurtechnisches Produktwissen.....	10
2.1 Begriffsklärung <i>Produkt</i> .....	10
2.1.1 Begriffliches Verständnis .....	10
2.1.2 Entstehung technischer Produkte.....	13
2.1.3 Produktlebenszyklus.....	15
2.1.4 Bedeutung technischer Produkte.....	17
2.1.5 Virtuelle Produkte .....	18
2.1.6 Produktdatenmanagement-Systeme .....	20
2.1.7 Produktbewahrung.....	22
2.2 Begriffsklärung <i>Wissen</i> .....	23
2.2.1 Begriffliches Verständnis .....	24
2.2.2 Entstehung von Wissen .....	26
2.2.3 Produktlebenszyklus Wissen .....	28
2.2.4 Bedeutung von Wissen.....	31
2.2.5 Wissensprodukte .....	33
2.2.6 Wissensmanagementsysteme.....	34
2.2.7 Wissensbewahrung .....	36
2.3 Begriffsklärung <i>Produktwissen</i> .....	37
2.3.1 Begriffliches Verständnis .....	38
2.3.2 Entstehung von Produktwissen .....	40
2.3.3 Produktlebenszyklus <i>Produktwissen</i> .....	40
2.3.4 Bedeutung von Produktwissen .....	41
2.3.5 Produktwissensprodukte.....	42
2.3.6 Produktwissensmanagement.....	43
2.3.7 Bewahrung von Produktwissen .....	43
3 Virtuelle 3D-Gestaltvisualisierungen .....	44

3.1	Menschliche Wahrnehmung .....	44
3.2	Gestaltungsmerkmale der 3D-Gestaltvisualisierung .....	49
3.3	Arten virtueller 3D-Gestaltvisualisierungen .....	55
4	Langzeitbewahrung von Produktwissen.....	60
4.1	Zeitaspekt der Bewahrung von Produktwissen.....	60
4.2	Speicherformen zur Bewahrung von Produktwissen .....	62
4.3	Wissensmedien der Bewahrung von Produktwissen .....	64
5	Konzeption einer Visualisierungsmethode zur Bewahrung von Produktwissen in 3D- Gestaltvisualisierungen .....	67
5.1	Ordnungsschema zur Interpretation von 3D-Gestaltvisualisierungen.....	67
5.1.1	Dekodierungsprozess .....	67
5.1.2	Assoziationstabelle <i>Visualisierungsmerkmal – Modellinformation</i> .....	68
5.1.3	Interpretationstabelle <i>Modellinformation – Produktwissenskategorie</i> .....	71
5.1.4	Ordnungsschema <i>Visualisierungsmerkmal – Produktwissenskategorie</i> .....	73
5.2	Abbildung von Produktwissen in 3D-Gestaltvisualisierungen .....	78
5.2.1	Kodierungsprozess .....	78
5.2.2	Ordnungsschema <i>Visualisierungsmerkmal – Virtuelles Modell</i> .....	79
5.2.3	Ordnungsschema <i>Virtuelles Modell – Visualisierungsform</i> .....	80
5.2.4	Ordnungsschema <i>Visualisierungsmerkmal – Visualisierungsform</i> .....	81
5.3	Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zur 3D-Gestaltvisualisierung .....	83
5.4	Wissen integrierende 3D-Gestaltvisualisierungsmethode .....	85
5.5	Ergebnisdiskussion .....	87
6	Beurteilung der 3D-Gestaltvisualisierungsmethode .....	91
6.1	Fallbeispiele .....	91
6.2	Bewertung der 3D-Gestaltvisualisierungsmethode zur Produktwissensbewahrung	94
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	96
7.1	Zusammenfassung .....	96
7.2	Ausblick.....	97
	Quellenverzeichnis .....	99
	Lebenslauf.....	106

# Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1: Quantitativer Wissensverlust im Wandel der Zeit aus [Anderl/Beuthel 2003] .....	2
Bild 1-2: Inhaltlicher Aufbau der Dissertation .....	9
Bild 2-1: Strukturbaum <i>Produkt</i> .....	13
Bild 2-2: Produktlebenszyklus aus [Anderl 2003 b] .....	16
Bild 2-3: Einzelner Wirbel einer allgemeinen Produktlebenszyklenkette.....	17
Bild 2-4: Integrationsstufen der virtuellen Produktentstehung aus [Anderl 2003 b].....	19
Bild 2-5: Aufbau eines PDM-Systems aus [Liebrecht 2004].....	21
Bild 2-6: Strukturbaum <i>Wissen</i> .....	26
Bild 2-7: Bausteine des Wissensmanagements nach [Probst/Raub/Romhardt 1999] .....	28
Bild 2-8: Einzelner Wirbel der Produktlebenszyklenkette <i>Wissen</i> .....	30
Bild 2-9: Strukturbaum <i>Produktwissen</i> .....	39
Bild 2-10: Einzelner Wirbel der Produktlebenszyklenkette <i>Produktwissen</i> .....	41
Bild 3-1: Wahrnehmungsprozess nach [Murch/Woodworth 1978] .....	46
Bild 3-2: Visualisierungsprozess nach [Schumann/Müller 2000].....	51
Tab. 5-1: Assoziationstabelle <i>Visualisierungsmerkmal – Modellinformation</i> .....	69
Tab. 5-2: Interpretationstabelle <i>Modellinformation – Produktwissenskategorie</i> .....	71
Tab. 5-3: Ordnungsschema <i>Visualisierungsmerkmal – Produktwissenskategorie</i> .....	74
Tab. 5-4: Ordnungsschema <i>Visualisierungsmerkmal – Virtuelles Modell</i> .....	79
Tab. 5-5: Ordnungsschema <i>Virtuelles Modell – Visualisierungsform</i> .....	81
Tab. 5-6: Ordnungsschema <i>Visualisierungsmerkmal – Visualisierungsform</i> .....	82
Tab. 5-7: Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zur 3D-Gestaltvisualisierung .....	84
Bild 5-1: Wissen integrierende 3D-Gestaltvisualisierungsmethode.....	86
Bild 5-2: Allgemeines Phasenwissen im Produktlebenszyklus.....	88
Bild 5-3: Verkürzter Strukturbaum <i>Produktwissen</i> .....	90
Bild 6-1: RAK 2 als 3D-CAD-Modell.....	92
Bild 6-2: RAK 2 als DMU .....	93
Bild 6-3: Infografik RAK 2 .....	94

# Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
3D	dreidimensional/räumlich
angewand.	angewandt
AV	Arbeitsvorbereitung
bit	physikalische Einheit des Bit
BWL	Betriebswirtschaftslehre
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CA	Computer Aided
CAD	Computer Aided Design
CAS	Computer Aided Styling
CAX	Platzhalter für eine/mehrere Computer Aided-Methoden
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CD	Compact Disc
d. h.	das heißt
Dipl.-Ing.	Diplomingenieur
DMU	Digital Mock-Up
Dr.-Ing.	Doktoringenieur
DVD	Digital Versatile Disc
EDB	Engineering Database
EDMS	Engineering Document Management System
EDS	Electronic Data Systems Corporation
e. h.	ehrenhalber
etc.	et cetera
evt.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
Grundlagenwiss.	Grundlagenwissen
ingenieurtechn.	ingenieurtechnisch
KM	Knowledge Management
Konstruktionswiss.	Konstruktionswissen
method.	methodisch
naturwissensch.	naturwissenschaftlich
PDM	Produktdatenmanagement
PDMS	Product Data Management System/Produktdatenmanagement-System
PIM	Product Information Management
PLM	Product Lifecycle Management

Prof.	Professor
PWM	Produktwissensmanagement
Rechtsgrundwiss.	Rechtsgrundwissen
s	physikalische Einheit der Sekunde
TIS	Technisches Informationssystem
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
UG	Unigraphics – 3D-CAD-System von UGS PLM Solutions, zuvor EDS
UGS	Unigraphics Solutions
verfahrenstechn.	verfahrenstechnisch
VR	Virtual Reality/Virtuelle Realität
VWL	Volkswirtschaftslehre
WM	Wissensmanagement
z. B.	zum Beispiel
Zip-Laufwerk	Laufwerk der Fa. Iomega für Disketten mit 100/250/750 MB



# Vorwort

*Research is to see what everybody else has seen,  
and to think what nobody else has thought.*

Albert Szent-Györgi (1893 - 1986), amerikanischer Biochemiker

Forschung ist Bekanntes nach zu vollziehen und von da aus quer zu denken ... so lässt sich dieses Zitat interpretieren und so möchte ich es auch dieser Abhandlung voranstellen.

Es war einmal der Zufall ... ein Student suchte eine interessante Aufgabenstellung für eine Diplomarbeit im Themenumfeld Digital Mock-Up, eine bis dahin nicht kommunizierte Idee begann zu leben, ein Replikat wurde gesucht und nach einigen Wirren auch als verfügbar gefunden ... nun fehlte wiederum der Student zum Umsetzen der Idee, er hatte zwischenzeitlich aufgesteckt, ein neuer Bearbeiter musste begeistert werden ... eine Ankündigung in einer Vorlesung, spontan stand ein 5er-Team zur Verfügung, alle betonten, dass sie ja eigentlich ganz anderes für ihre Studienarbeiten im Visier hatten, aber es klang so interessant ...

Es war der 4. Dezember 2000, ein Montag, das RAK 2-Team hatte sich gefunden und mit ihm der Beginn der virtuellen Wiederbelebung des Opel Raketenwagens RAK 2 von 1928 ...

Was zunächst „nur“ das studentische Projekt einer historischen Rekonstruktion ausmachte, erwies sich schnell als mehr. Internationale Anerkennung sowie mehrfache Angebote zur Kooperation, gleiches für Beispiele anderer Branchen international zu wiederholen, stärkten das Bewusstsein, dass da noch mehr sein musste ... der Ansatz zu dieser Arbeit.

Sie entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion des Fachbereichs Maschinenbau der TU Darmstadt. So ist an dieser Stelle insbesondere meinem Chef und Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl sowie allen meinen Kollegen und Kolleginnen recht herzlich zu danken, welche mein berufliches Handlungsfeld der letzten fünf Jahre wegweisend bestimmten; aber auch all „meinen“ Studenten: meinen hilfswissenschaftlichen Mitarbeitern sowie meinen zahlreichen Studien- und Diplomarbeitern, insbesondere denen des RAK 2-Teams, doch auch denen der von mir geleiteten Advanced Design Projects und UG-CAD-Tutorien, denn gerade ihre Betreuung initiierte viele gedankliche Ansätze zu dieser Arbeit.

Ferner möchte ich mich natürlich auch noch bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Herbert Birkhofer vom Fachgebiet Produktentwicklung und Maschinenelemente für die Übernahme des Koreferats herzlichst bedanken und letztlich nicht zu vergessen bei meinem Ehemann Carsten. Die Erfahrungen, seine wissenschaftliche Hochschultätigkeit samt Promotion einst durch Höhen und Tiefen begleitet zu haben, waren es, die mich darin stärkten, gleiches zu tun.

März 2004

Dipl.-Ing. Regina Beuthel

# 1 Einleitung

„Nichts setzt dem Fortgang der Wissenschaft mehr Hindernis entgegen, als wenn man zu wissen glaubt, was man noch nicht weiß.“

Georg Christoph Lichtenberg (1742 – 1799), deutscher Physiker

... und was man nicht mehr weiß, so müsste man heute diese Worte Lichtenbergs ergänzen. Denn gerade heute auf der Schwelle zum 21. Jahrhundert, dem neuen Jahrtausend, erwächst das Bewusstsein, was alles insbesondere auch an ingenieurtechnischem Fachwissen in den nächsten Jahren verloren gehen wird, gelingt es nicht, dieses kurzfristig in adäquaten Anwendungen in das neue Zeitalter des zunehmend computerdominierten gesellschaftlichen Alltags hinüber zu retten.

Insbesondere viele der Kenntnisse der anfänglichen technischen Industrialisierung unserer europäischen Gesellschaft werden verloren gehen, sind doch die letzten Jahre des 19. Jahrhunderts sowie die ersten Jahrzehnte des vergangenen 20. Jahrhunderts gerade die Lebzeiten unserer Ur- und Großeltern, überschattet von den Weltkriegen, gewesen. Sie vererbten ihr Wissen neben dem Bewahren der gegenständlichen Originale noch traditionell herkömmlich durch überwiegend rein verbale Kommunikation an ihre Nachkommen. Vieles deren „technischen Erbguts“ ging ohnehin bereits in den Wirren der beiden Weltkriege unglücklicherweise verloren oder wurde in ihnen unwiederbringbar vernichtet, zu wenig ward zuvor zumindestens in Abbildungen oder schriftlich dokumentiert ...

... da aber in den jetzigen Jahren endgültig die Zeit angebrochen ist, dass auch die letzten Überlebenden der Generationen damaliger Zeitzeugen natürlicherweise versterben und mit ihnen große Teile ihres Wissens verloren gehen, trifft dieses im Besonderen Detailwissen einzelner Weniger zu speziellen ingenieurtechnischen Errungenschaften der Anfänge der Industrialisierung sehr hart ...

... und so war es prinzipiell dieser Beweggrund, der die vorliegende Arbeit in Anbetracht der heute verfügbaren vielfältigen Möglichkeiten moderner Computer gestützter Engineeringmethoden initiierte, um für die Zukunft besser gerüstet zu sein.

## 1.1 Motivation aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht

Ingenieurtechnisches Wissen und hierbei insbesondere detailliertes Produktwissen verliert sich im Wandel der Zeit, siehe Bild 1-1, [Anderl/Beuthel 2003]. In ihm wird deutlich, dass sich durch den stetigen Zuwachs von Wissen in der Gesellschaft die Gewichtung der Bedeutung und Quantität nachvollziehbar auf die neuesten aktuellen Wissensstände hin fokussiert. Es

tritt ein natürlicher Selektionsprozess ein, älteres und veraltetes Wissen gerät in seiner Passivität allmählich in Vergessenheit.

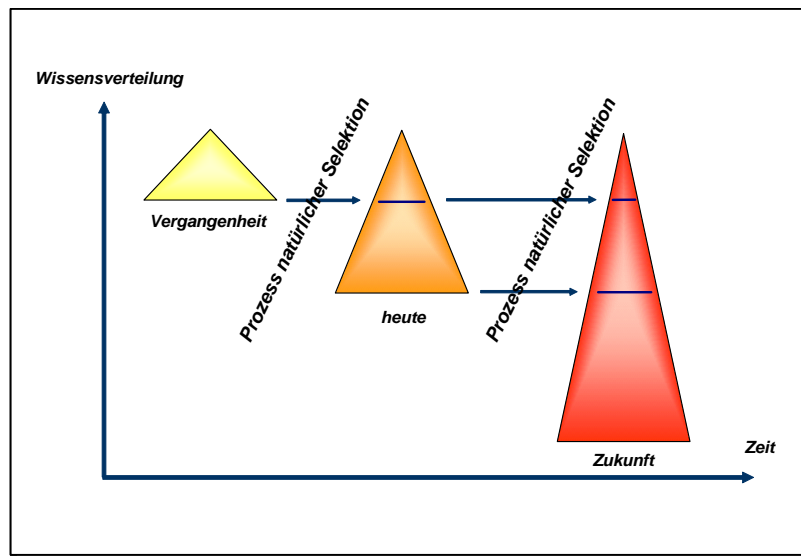


Bild 1-1: Quantitativer Wissensverlust im Wandel der Zeit aus [Anderl/Beuthel 2003]

Dazu lässt sich sagen, dass diese Prozesse gerade durch die verschiedenen Generationenwechsel samt ihrer in ihren Hauptcharakteristika sowie -ausrichtungen oftmals wechselnden Lebensumfelder begünstigt werden. Auszugehen ist dabei von geschätzten Zeiträumen von etwa drei bis fünf Generationen der menschlichen Spezies, in welchen insbesondere einzelnes Detailwissen noch persönlich aktiv bzw. familiär gelebt, gepflegt und weitergegeben und somit quasi vererbt werden kann. Dies entspricht einer Zeitspanne von in etwa ein- bis zweihundert Jahren. Wird in einem derartigen Zeitraum die Kette der aktiv personengebundenen Informations- und Wissensweitergabe jedoch aus was für Gründen auch immer unterbrochen, erwächst eben diese Gefahr des unwiederbringlichen Informations- und Wissensverlusts. Insbesondere einzelne Produktwissensträger (Dokumente wie auch Gegenstände) werden häufig von den Erben einfach zufällig aus Desinteresse und unbedacht ihres historischen Werts vernichtet oder durch unvorhergesehene Katastrophenfälle wie Brand, Raub oder gar Krieg nachhaltig und unwiederbringlich zerstört.

Beispielsweise sehr alltägliche Produkte, welche nahezu permanent in der Gesellschaft gegenwärtig und in prinzipiellem Gebrauch sind, werden zumeist nicht bewusst und individuell für die Ewigkeit und somit speziell für das wissenschaftliche Erbe dokumentiert bzw. als Gegenstand selbst archiviert, ist doch das Wissen um sie heute vermeintlich all- und allen gegenwärtig [Anderl/Beuthel 2002 b]. Der Mentalität der modernen Wegwerfgesellschaft entspricht es zudem, dass eigentlich nichts für die Ewigkeit produziert bzw. verwahrt wird. Staatlich-gesetzliche Zwänge, Produktwissen zu bewahren, existieren nicht.

Und ebenso wie einzelne Details des vermeintlichen Alltagswissens zu ingenieurtechnischen Produkten und ihrer Nutzung verliert sich in gleicher Weise auch detailliertes Produktwissen um nie umgesetzte Ideen und Konstruktionen, um Arbeitsmethoden und Herstellweisen im Laufe der Zeit, da das Wissen um sie oftmals gar nicht als solches dokumentiert wurde.

Aber auch die prinzipielle Wissensalterung trägt zu diesem Umstand bei. Wissen, welches mit der Zeit vom Stand der Technik überholt wurde und so in der Gegenwart nicht mehr Anwendung findet, verliert sich allmählich im Bewusstsein der Gesellschaft, denn es verbleibt ihm höchstens sein historischer Wert. Und noch ein weiterer Aspekt zeigt in diesem Zusammenhang seinen Einfluss: Mit der generellen stetigen Zunahme des technischen Wissens in der Gesellschaft werden sein Handling und der Zugriff auf dieses immer aufwendiger, da es in seiner Gesamtkomplexität anwächst. Es kommt daher nahezu einer natürlichen Selektion gleich, dass veraltetes Wissen mit steigender Wissensflut in Vergessenheit gerät.

Hiervon sind gleichermaßen auch die singulären Prototypen betroffen, ganz gleich, ob sie Produkt zufälliger Erfindung oder Ziel getriebenen Pioniergeistes wurden. Und ebenso unterliegt Wissen zu Produktvertrieb bzw. -erwerb, spezieller Nutzung und evt. anderweitiger Weiterverwendung bzw. Recycling diesen Verlusteinflüssen. Ursache hierfür sind zu einem großen Teil die so genannten Geheimhaltungsvereinbarungen zum Schutz der einzelnen Unternehmen-Know-hows, aber häufig auch das einfach nur prinzipiell (noch) nicht gelebte innerbetriebliche Wissensmanagement. Schließlich ist es zumeist eine Frage des Aufwand-zu-Nutzen-Verhältnisses, deren Antwort vorrangig aus wirtschaftlicher Sicht über etwaige gezielte Aktivitäten zur Langzeitbewahrung von Firmenwissen in Unternehmen entscheidet. Denn nur selten ist der fortwährende „aktiv-gehaltene“ Besitz von historisch gesehen veraltetem technischen Wissen und seiner Pflege ein echter nachhaltiger Wirtschaftsfaktor für ein Unternehmen. Im Sinne der vielfältigen Firmentraditionen reicht zudem häufig allein der Tatbestand aus, gewisses Wissen zu seiner Zeit besessen zu haben. Hinzu kommt ferner, dass es oftmals nicht bekannt ist, dass von ihren prinzipiellen Ansätzen her die Langzeitarchivierung von Wissensdokumenten und die Langzeitbewahrung von Wissen z. B. in Dokumenten strategisch unterschiedliche Ziele verfolgen.

Die modernen Engineeringmethoden der Produktdatentechnologie, man denke beispielsweise an Computer Aided Design (CAD) sowie den Einsatz von Digital Mock-Ups (DMU) und Virtual Reality (VR), bieten seit nunmehr etwa zehn Jahren neue digitale rechnergenerierte Möglichkeiten der technischen Wissensabbildung und -aufbereitung [Anderl/Beuthel 2002 c]. Doch erst heute, zeitlich gesehen noch auf der Schwelle zum 21. Jahrhundert, dem dritten Jahrtausend als dem die Industriegesellschaft zukünftig beherrschenden Computerzeitalter, offenbaren sich ihre wirklich revolutionären Fortschrittspotentiale: ihr technisches Vermögen, den unverzichtbaren Wissenstransfer insbesondere ingenieurtechnischen Produktwissens in die digitale Welt zu leisten. Denn mit der zunehmenden Computerisierung unserer Lebens-

räume geht schleichend ein Lösen von allem aktuell nicht zwingend gebrauchten Gegenständlichen einher, alle Daten und Informationen von Interesse werden digital erfasst und auf elektronische Datenträger kompaktiert, teils singulär und teils in Netzwerkarchitekturen abgelegt. Vielfach werden sie überdies in Folge auch nur noch digital weiterverarbeitet.

Die Computer und ihre Netzwerke entwickeln sich so insbesondere über ihre weltweite Verknüpfung untereinander zu internationalen, stark anwachsenden Wissensressourcen, welche die Trends, sich über das World Wide Web zu verschiedensten Fragestellungen und Interessen zu informieren und hierüber zu lernen, weiter verstärken. Zahlreiche Softwareapplikationen wie digitale Lexika und Wörterbücher verdrängen allmählich ihre materiellen Vorfahren und so manche virtuelle Museen ermöglichen spontane Betrachtungen von Kulturgut in Millisekunden rund um die Uhr rund um die Welt, also gänzlich unabhängig von Tageszeit, Wetter und Reiseaufwand. [Anderl/Beuthel 2002 a]

Auch die Forschung agiert zusehends rechnergestützt. Neben internationalen Informationsrecherchen und dem Wissensaustausch im Internet bedient man sich zahlreicher moderner Softwaretools der Datenverarbeitung. Verschiedenste Datenmodellierungen und Simulationen erlauben das wissenschaftliche Untersuchen von Sachverhalten beispielsweise mit Hilfe ihrer Visualisierungen durch Digital Mock-Ups (DMU) oder Virtual Reality-Use Cases (VR) [Anderl/Beuthel 2002 d].

So erfolgt bereits zu wissenschaftlichen Zwecken gezielt ein Wissenstransfer in Bilder und Bildsequenzen, und es ist bekannt: Ein Bild sagt mehr als tausend Worte. Archiviert und bewahrt man diese nun, bewahrt man mit ihnen speziell produktbezogenes, eigens aufbereitetes, visualisiertes Wissen. Es ist zumeist sehr intuitiv und anschaulich verständlich in den genutzten Anwendungen implementiert und damit relativ einfach nachvollziehbar.

Denkt man von hieraus weiter, so fällt einem auf, dass eigentlich sämtliche Abbildungen und Bilder (Dokumentationen über diese), welche in der geschichtlichen Vergangenheit das öffentliche Interesse unserer Gesellschaft in irgendeiner sehr besonderen Art und Weise erregten, bislang in der Regel „die Menschheitsgeschichte überlebten“, denkt man beispielsweise an einzelne Höhlenmalereien oder verschiedene Illustrationen der Bibel, den Buchdruck oder die Gemälde bedeutender Maler der verschiedenen Jahrhunderte. Der Mensch bewahrt, so scheint es, quasi aspekt- und motivationsgerichtet nahe zu ganz intuitiv Wissen in Visualisierungen und Bildern. Und hiervon weitergehend lässt sich dieses Interesse sogar als eines der rudimentärsten der Menschheit spezifizieren, als das, über seine eigene Herkunft, seinen eigenen Ursprung, sein eigenes Sein zu erfahren. Denn bedingt durch unsere Wahrnehmung bewahrt jeder Mensch in der Regel auch seine ureigensten persönlichen Erinnerungen bildlich situativ für sich.

So werden historische Erkenntnisse über Zeitgeschehen und Zeitgeist, über einzelne Situationen und Sachverhalte sehr häufig aus gefundenen Abbildungen, Bildern und Malereien

durch Interpretation dieser gewonnen. Man vergleicht ihre Funde mit dem bestehenden Wissen über die betroffenen Sachverhalte und deren Zeitepochen. Diese Vorgänge lassen sich im technischen Bereich in Anlehnung an die Ausgrabungen und Forschungen der Historiker quasi als das Zusammensetzen ingenieurtechnischer Wissensscherben beschreiben.

Nähere Betrachtungen der hierbei interpretierten Gestaltungselemente zeigen, dass deren Verwendung zumeist auf der generellen intuitiven menschlichen Wahrnehmung des jeweiligen Zeitgeistes einer Epoche beruhen und sich somit zumindest je Kulturkreis entsprechen und nicht vorhersehbar in ihrem Grundwesen über diesen prinzipiell ändern. Dies bedeutet, dass sich damit auch die menschlichen Emotionen, die mit ihnen verbundenen Assoziationen und Wissensprojektionen gleichsam der ihnen allen zugrunde liegenden intuitiven Erfassung nahezu allgemein je Epoche gleichen müssten.

An dieser Stelle setzt die wissenschaftliche Innovation dieser Arbeit an: Ingenieurtechnisches Produktwissen sollte daher für seine Langzeitbewahrung gezielt und bewusst wahrnehmungstheoretisch gestützt, nachhaltig in digitalen rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen abgebildet werden. Es sollte hierbei weitestgehend auf den Einsatz bzw. Zusatz sprachlicher Informationen verzichtet werden, da sich diese nicht rein intuitiv wahrnehmen lassen und den Kreis derjenigen, die derartig erweiterte Abbildungen vollständig erfassen können, bereits vom Ansatz her aufgrund der vorauszusetzenden Sprachkompetenz unangemessen einschränken.

Auch soll zum Zwecke einer definierten sinnvollen Eingrenzung der fachlichen Diskussionen dieser Arbeit der Fokus der Betrachtungen allein auf die bildlichen, rechnergenerierten 3D-Darstellungen der Gestalt gegenständlicher ingenieurtechnischer Produkte gelegt werden. Denn nur sie transferieren bereits ihrem Wesen nach all diejenigen grundlegenden Kenntnisse über einen Gegenstand, die jedem Betrachter die nahezu gleiche, relativ präzise realistische Vorstellung über den visualisierten Gegenstand vermitteln. Und dies auf annähernd „einen Blick“, was darstellungstechnisch eine sehr hohe Informationsdichte zulässt. Rein textuelle Beschreibungen, freie grafische Visualisierungen, klassische Technische Zeichnungen und fallweise simulationstechnische Dokumente hingegen setzen bei in der Regel geringerer Informationsdichte stets noch spezielles Methodenwissen ihrer Betrachter voraus, welches zum Erfassen des jeweils dargestellten Wissens benötigt wird. Hinzu kommt darüber hinaus, dass dies je nach persönlicher Kompetenz u. U. zu sehr unterschiedlichen gedanklich-bildhaften Interpretationen der Betrachter führen kann. Dieser Umstand schränkt die objektive Eignung dieser weiteren Visualisierungsformen zum Einsatz für die Langzeitbewahrung von fachlichem Wissen eindeutig ein.

Die wissenschaftliche Untersuchung der zuvor aufgestellten These verknüpft damit die Themenkreise der Produktdaten- und Dokumentenbewahrung, des Produktwissensmanagements und der ingenieurtechnischen 3D-CAx-Visualisierung auf neuartige, interdisziplinäre

Weise über Aspekte der Wahrnehmungspsychologie und Mensch-Maschine-Kommunikation miteinander.

Da ähnliche gleichartige Denkansätze, wie sie hier als Motivation beschrieben werden, in der internationalen Fachliteratur nicht gefunden wurden, entstand die vorliegende Arbeit mit der nun nachfolgend dargestellten Zielsetzung.

## **1.2 Zielsetzung und Abgrenzung**

Als wissenschaftliche Hypothese dieser Arbeit wird aufgestellt, dass sich ingenieurtechnisches Produktwissen selbsterklärend und einfach nachvollziehbar in rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen abbilden lässt bzw. dass sich das Produktwissen somit in intuitiv verständlichen virtuellen 3D-Produktgestaltabbildungen bewahren lässt.

Es wird ein großer zweckdienlicher Vorteil in der Nutzung der bildhaften Wahrung von Wissen gegenüber seiner Dokumentation in sprachlichen Präsentationen gesehen, weshalb diese keiner weiteren Betrachtung in dieser Arbeit unterliegen. Denn insbesondere die für sie benötigte einschlägige Sprachkompetenz, dass in ihnen Bewahrte in späteren Zeiten noch/wieder verstehen zu können, stellt u. U. eine große Schwierigkeit dar, z. B. für den Fall, dass Nichtfachkräfte mit einem solchen Dokument in Berührung kämen. Sprachliche Darstellungen verlangen stets eine kompetente Interpretation, damit ihre Inhalte richtig situativ erfasst und verstanden werden, bildhafte Präsentationen verfügen hier über den Vorteil, dass zumindestens der erste Schritt des situativen Erfassens weitestgehend durch die bildliche Veranschaulichung vorweggenommen ist und damit die Ausgangssituationen Bild des Autors der kommunizierten Präsentation und Bild des Betrachters auf den ersten Blick gleich sind, auch wenn zweiter prinzipiell keine Fachkraft für das Dargestellte ist. Ferner lässt sich in Bildern zumeist eine wesentlich höhere Informationsdichte erzielen, welches die zu bewahrenden Präsentationen von Produktwissen sinnvoll kompaktiert.

Ziel ist es daher, ein Konzept einer auf einem Ordnungsschema basierenden Methode zu entwickeln, die es erlaubt, ingenieurtechnisches Produktwissen bewusst und zielgerichtet in rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen zum Zwecke einer Langzeitbewahrung, z. B. für eine möglichst langlebige Dokumentation von Produktentwicklungen, zu speichern. Dies beinhaltet eine Beurteilung der Eignung der verschiedenen in Frage kommenden 3D-Gestaltvisualisierungsarten für die Langzeitbewahrung. Hierbei entspricht der methodische Ansatz im Wesentlichen der strategischen Fokussierung auf eine entwicklungstechnisch „historische“ Nachhaltigkeit, d. h. die angestrebte Langzeitbewahrung samt ihrer Wissensspeicherung wird vorrangig unter den Aspekten des möglichen technischen bzw. kulturhistorischen Erbes gesehen werden, nicht unter denen der informationstechnischen Realisierung einer digitalen Langzeitarchivierung sowie der zugehörigen Rechnersystemerhaltung.

Einer kurzfristigeren Langzeitbewahrung desselben Ansatzes könnte ferner zukünftig unter den Aspekten der Unternehmenshistorien, der generellen Produktinformationen und Basisinformationen zum Ordnen großer Produktdatenbestände für einen Überblick ein weiterer Stellenwert zu fallen, welcher womöglich gerade die treibende Kraft würde, diese Methode anzuwenden. Denn auch als Anschauung für Produktneuplanung, als Diskussionsgrundlage und für Produktdokumentationen erscheinen ihre angestrebten Visualisierungen als geeignet.

In der vorliegenden Arbeit wird hierzu ausschließlich ingenieurtechnisches gegenstandsbezogenes Produktwissen als Abgrenzung der Anwendungsfeldbetrachtung den Untersuchungen und Überlegungen zugrunde gelegt. Zur Eingrenzung der Visualisierungsfälle werden gemäß der aufgestellten wissenschaftlichen Hypothese dieser Arbeit nur die möglichen rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen, also Darstellungen, deren Hauptfokus die Präsentation eines technisch-gegenständlichen Produkts in seinen körperlichen Ausmaßen in seinem Gebrauchsumfeld ist, in Betracht gezogen. Dies ist bewusst eine Spezialisierung gegenüber beispielsweise den rechnergestützten 3D-Visualisierungen chemischer Stoffe und medizinischer Abbildungen wie auch denen der Architektur bzw. denen abstrakter Wissensaspekte der Wirtschafts- und Finanzwelten, doch beruht der gewählte Visualisierungsansatz vor dem Hintergrund der Produktdatentechnologie auf den gängigen modernen CAx-Engineeringmethoden und ihren ganzheitlichen Körpermodellen. Dies begründet auch den prinzipiellen Fokus auf die rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen, da es auf die virtuelle Wiedergabe realer, in sich natürlicher Körperformen abzielt, welche binnen kürzester Zeit wahrnehmungstheoretisch vom Menschen entsprechend seiner intuitiven Sinneswahrnehmung aufgenommen und als dreidimensional erstreckt erkannt werden. Um diesem hinreichend Rechnung zu tragen, werden bei der Entwicklung der Visualisierungsmethode bewusst auch nur die rechnertechnischen Präsentationen der Gestaltungsmerkmale der Visualisierungen in Betracht gezogen, *nicht* deren rechnerinterne Datenrepräsentationen und Definitionen, denn dieses würde den Fokus dieser Arbeit ungewollt von dem Ausgangspunkt der Betrachtungswirkungen der 3D-Gestaltvisualisierungen in Bezug auf eine Langzeitbewahrung von Wissen auf deren rechnertechnische Realisierung verschieben.

Das Produktwissen soll im Weiteren der Arbeit von seinem Ansatz her bewusst gemäß seines Fokus Wissen generalisiert und globalisiert und somit als mehr als nur eine Sammlung von Daten und Einzelinformationen zu einem speziellen Produkt aufgefasst werden, gemäß seines Fokus Produkt wird es jedoch aus Handlungsgründen auf ingenieurtechnische gegenständliche Erzeugnisse in ihren Lebenszyklen beschränkt. Der Aspekt der Rechnergenerierung, wie im Titel zu dieser Arbeit genannt, grenzt die Summe aller möglichen digitalen Produktdarstellungen auf vom Computer durch Einsatz bestimmter Softwareapplikationen erzeugte 3D-Gestaltvisualisierungen ein, welche zudem sachlich-virtuell entstehen und digital weiterverarbeitbar bzw. portierbar sind. Unter Umständen sind diese auch digital



neutral speicherbar und als solche dann ebenso zeitversetzt in Fremdrechnersystemen wieder vollständig regenerierbar.

## 1.3 Inhalt der Arbeit

Um die im Rahmen dieser Forschungsarbeit unter dem Aspekt der Langzeitbewahrung entwickelte Wissen integrierende, abbildungsstrategische Methode wissenschaftlich nachvollziehbar zu dokumentieren, werden zunächst im folgenden zweiten Kapitel die Grundlagen des ingenieurtechnischen Produktwissens als Begriffsklärung von Produkt und Wissen im Einzelnen und der in dieser Arbeit verwendeten Begrifflichkeit der Wortzusammenführung dargestellt.

Kapitel 3, welches den Titel *Virtuelle 3D-Gestaltvisualisierungen* trägt, gibt einen kurzen wissenschaftlichen Überblick über diese. Es werden in ihrem Kontext die Hauptaspekte der menschlichen Wahrnehmung aufgezeigt, die grundlegenden Gestaltungsmerkmale zur Erstellung einer 3D-Gestaltvisualisierung herausgearbeitet sowie die wichtigsten Arten virtueller 3D-Gestaltvisualisierungen vorgestellt.

Im Kapitel 4 werden zu dem Aspekt der Langzeitbewahrung von Wissen die Potentiale der einsetzbaren Speicherformate sowie der verschiedenen Wissensmedien (Applikationen und Wissensträger) in ihren Grundcharakteristiken kurz zusammengefasst, auch wird zuvor kurz der Zeitaspekt der Wissensbewahrung angesprochen. Mit seiner Ausrichtung sollte eine spätere Beurteilung des Einsatzes der entwickelten Visualisierungsmethode möglich werden.

Das Kapitel 5 ist als das Hauptkapitel dieser Arbeit anzusehen. In ihm wird die Konzeption der Wissen integrierenden Visualisierungsmethode zur Bewahrung von Produktwissen in 3D-Gestaltvisualisierungen vorgestellt. Hierzu erfolgt zunächst das Aufstellen eines Ordnungsschemas zur Interpretation und somit der Dekodierung von Wissen aus 3D-Gestaltabbildungen, welchem sich sinngemäß der Rücktransfer der gewonnenen Erkenntnisse auf eine mögliche Kodierung, durch Gestaltungsmerkmale der Visualisierung eine gezielte Abbildung von Produktwissen zu generieren, anschließt. Es wird ein Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zu den für einen Einsatz in Frage kommenden 3D-Gestaltvisualisierungsarten aufgestellt und hierüber die Wissen integrierende Visualisierungsmethode abgeleitet. Das Kapitel schließt mit einer Ergebnisdiskussion.

Eine kurze eingehendere Betrachtung der neuen Visualisierungsmethode hinsichtlich der Beurteilung ihrer Eignung wird in dem Kapitel 6 anhand einiger Fallbeispiele und einer Bewertung durchgeführt.

Den inhaltlichen Gesamtabschluss zu dieser Arbeit bildet das Kapitel 7 „Zusammenfassung und Ausblick“. Eine Visualisierung des Gesamtaufbaus dieser Arbeit ist zur besseren Übersicht und Verständlichkeit in Bild 1-2 zu sehen.

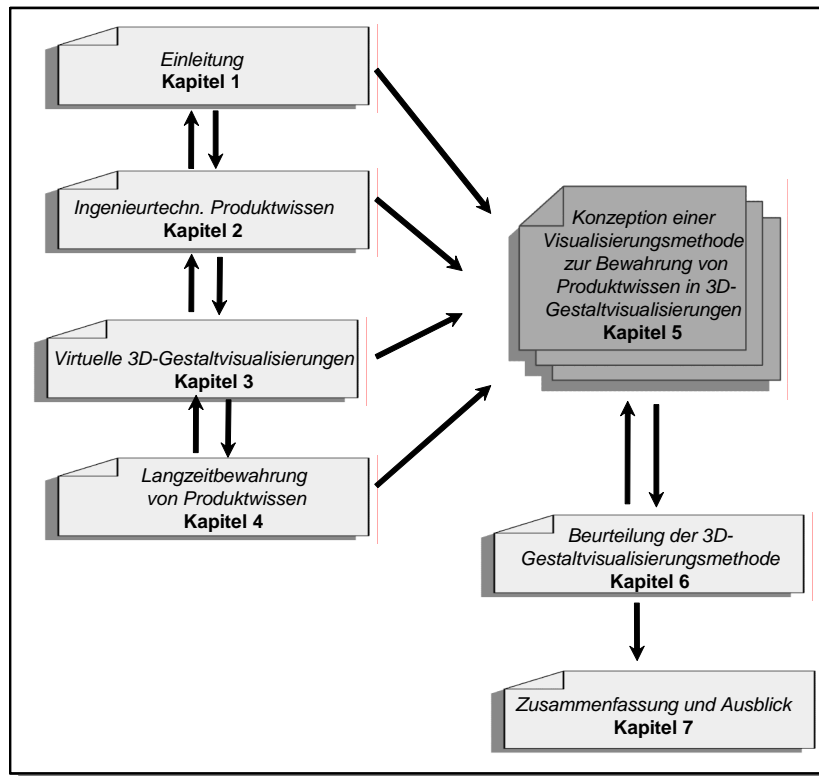


Bild 1-2: Inhaltlicher Aufbau der Dissertation

## 2 Ingenieurtechnisches Produktwissen

Was steckt hinter dem Begriff „ingenieurtechnisches Produktwissen“? Dieser ist keinesfalls nach Duden als feststehender Begriff anzusehen und auch die im Rahmen dieser Forschungsarbeit gesichtete Fachliteratur definiert diesen nicht. So ist es das Ziel dieses Kapitels, durch die Betrachtung der wesentlichen Grundlagen zunächst eine Begriffsklärung von Produkt und Wissen im Einzelnen für diese Arbeit herbei zu führen, da auch sie nur in sehr wenigen Fällen in der Literatur akkurat definiert werden, zumeist nur an der jeweiligen Betrachtungsweise der Autoren im Sinne von so genannten Arbeitsdefinitionen ausgerichtet sind. Sie sind Grundbegriffe des täglichen Umgangs, deren Verständnisspektren sehr weitreichend sind. An die Darstellung ihres begrifflichen Stands der Technik schließt sich ihre Zusammenführung zur Begrifflichkeit des Produktwissens an.

### 2.1 Begriffsklärung *Produkt*

Diese Begriffsklärung umfasst neben der Darstellung des begrifflichen Ursprungs auch die Betrachtung der Entstehung von technischen Produkten, welche im Fokus dieser Arbeit stehen, ihrem Produktlebenszyklus und ihrer Bedeutung. Ebenso wird kurz auf die Sachverhalte des Produktdatenmanagements und der Produktbewahrung näher eingegangen.

Weiterführende grundlagenbezogene Literatur zu diesem Kapitel findet sich u. a. in [Anderl 2003 a], [Anderl 2003 b], [Berliner Kreis 2002 a], [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001], [Ehrlenspiel 1995], [Eigner/Stelzer 2001], [Koller 1994], [Otto/Wood 2001], [Pahl u. a. 2003], [Schöttner 1999], [Spur/Krause 1997].

#### 2.1.1 Begriffliches Verständnis

Der Begriff *Produkt* wurde vom lateinischen Wort *productum* abgeleitet, dessen Ursprung das Verb *producere* zu deutsch *produzieren* ist. Ein Produkt, so der [Duden 1989], ist etwas, das (aus bestimmten Stoffen hergestellt) das Ergebnis menschlicher Arbeit ist, ein so genanntes Erzeugnis. In seiner zweiten Bedeutung, für diese Arbeit jedoch nicht relevant, ist als Produkt das Ergebnis der mathematischen Multiplikation bzw. ihr sie darstellender formaler Ausdruck zu verstehen.

Schlägt man den Begriff *Produkt* in einem Lexikon nach, so liest man beispielsweise als Erklärung, dass es ein Erzeugnis, ein Ertrag, ein Ergebnis ist und in der Mathematik der Bezeichnung für das Ergebnis einer Multiplikation von Zahlen oder anderer mathematischer Objekte entspreche [Meyers 1987].

Nach [Spur/Krause 1997] reicht das verwendete Spektrum des Begriffs *Produkt* so von den Agrarprodukten über die Bauprodukte und Industrieprodukte bis hin zu Dienstleistungen und geistigen Schöpfungen. Materielle Produkte können zudem hierbei jeden möglichen Aggregatzustand einnehmen.

Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird dieser Begriff sehr unterschiedlich verwendet, jedoch orientiert man sich zumeist an der recht ursprünglichen auf den Sachverhalt von Sachgütern bezogenen Auslegung, dass Produkte als Fabrikate verschiedener Grund- und Ausgangsstoffe verstanden werden sollten, welche auf Grund von Form- und Substanzänderungen entstehen [Gutenberg 1983]. So stehen dann den sachgutbezogenen Produkten quasi die immateriellen Güter gegenüber. Diese werden als Produkte von Dienstleistungsprozessen gesehen, beispielsweise erstellte Software, aber auch Beratungsleistungen sowie die Gewährung von Krediten und Versicherungsschutz. Weitergreifende Auffassungen summieren schließlich sämtliche materiellen und immateriellen Komponenten, welche zu einem Produkt gehören, als ein Art Leistungspaket. [Kern 1979]

Die VDI-Richtlinie 2221 definiert Produkte als Erzeugnisse, die als Ergebnisse des Entwickelns und Konstruierens hergestellt oder angewendet werden. Sie können materiell z. B. in Form von Maschinen und Verfahren sein oder auch immateriell, z. B. Programme. [VDI 2221]

Als Sicht des Qualitätsmanagements definiert die DIN EN ISO 8402 den Begriff des Produkts schlicht als Ergebnis von Tätigkeiten und Prozessen und kategorisiert in Hardware, verfahrenstechnische Produkte, Software und Kombinationen dieser.

Das Produkthaftungsgesetz versteht unter einem Produkt wiederum jede bewegliche Sache, auch wenn sie Teil einer anderen beweglichen oder einer unbeweglichen Sache ist. Erzeugnisse der Landwirtschaft, Fischerei und Jagd gelten in ihrem unverarbeiteten Zustand nicht als Produkt. [ProdHaftG 1989] Für die gesetzliche Auffassung liegt es nahe, dass es sich um eine von Menschenhand hergestellte Sache handeln muss. Strittig ist so, ob verkörperte geistige Leistungen wie Dokumentationen in Büchern im Sinne des Gesetzes auch Produkte darstellen.

[Arlt 2000] sieht in einem Produkt gemäß seiner Definition nur das intendierte Ergebnis eines Prozesses, bei welchem ein geistiger Mehrwert entsteht, so dass das Produkt einem Verwendungszweck, somit seiner Nutzung genügt.

Wurden zuvor beispielhaft definierende Sichten aus der Blickrichtung der gesellschaftlichen Sichtweise sowie der wissenschaftlichen Fachliteratur aufgeführt, so soll an dieser Stelle zur Begriffsklärung auch ein Blick auf die in der Darmstädter Hochschullehre vertretenen Auffassungen nicht fehlen. Das Skript Produktentwicklung I [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001] schlägt als synonyme Verwendung für *Produkt* Begriffe wie *Verkaufsgut*, *Marktleistung*,

*Verkaufsobjekt* vor und betont, dass Produkte als die „Herzstücke“ der Unternehmen anzusehen sind, auf welchen die Existenz dieser beruht. Es werden produzierte Güter wie auch Dienstleistungen hierunter gefasst und ebenso alle dazugehörigen Services miteinbezogen. Die vorgeschlagene Begriffsdefinition im Kontext der Lehrveranstaltung ergibt sich so zu: *„Ein Produkt ist ein technisches Erzeugnis, welches in der Natur nicht vorkommt, für einen Markt hergestellt und von diesem genutzt wird.“* [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001, Kap. 1, S. 3]

[Anderl 2003 b] definiert zwar den Begriff des Produkts nicht explizit, zeigt jedoch durch dessen Verwendung im Kontext des integrierten Produktmodells nach der ISO-Norm 10303 „International Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange“, welche als STEP-Norm „Standard for the Exchange of Product Model Data“ bekannt ist [Anderl/Trippner 2000], dass man sich auf die Sichtweise technischer Produkte stützt, welche sich durch ihre produktdefinierenden, -repräsentierenden und -präsentierenden Daten rechnerisch abbilden und be- bzw. verarbeiten lassen.

Ein technisches Produkt als das Ergebnis einer gedanklichen Lösung technischer Aufgabenstellungen mit dem Ziel der Herstellung und/oder Vermarktung aufzufassen, sieht [Wasmer 1998] als geeignete Definition einer gezielt produktdatentechnischen Blickrichtung.

Diese zuletzt vorgestellten Begriffsauffassungen sollen nun im Weiteren in ihren prinzipiellen Aussagen auch dieser Arbeit zugrunde liegen, aufgrund dessen, dass diese vor dem ingenieurtechnischen Hintergrund des wissenschaftlichen Forschungsfelds der Produktdatentechnologie entstanden ist. Ihre Kombination könnte in Worten lauten:

*Ein Produkt ist in seiner Realisierung ein technisches Erzeugnis, welches Ergebnis der Umsetzung erdachter Lösungen technischer Aufgabenstellungen zum Zwecke seiner formgebenden Herstellung ist.*

Der Strukturbaum in Bild 2-1 gibt einen Überblick, wie sich so aus produktentwicklungstechnischer Sicht das Produktverständnis gliedert. Im Wesentlichen werden die Hardwareprodukte von denen der Softwareprodukte, verstanden werden hierunter die immateriellen Produkte, unterschieden. Diese gliedern sich weiter in die so genannten Wissensprodukte (siehe Kapitel 2.2.5), hierunter sind virtuelle Produkte, Wissensdokumente und elektronische Programme zu fassen, und die Dienstleistungen auf, welche sich in Wissenstransfer-, Interessensicherungsleistungen sowie die Produktserviceleistungen unterteilen lassen. Die Hardware trennt hingegen in die Materialien, also die Rohstoffe, Halbzeuge und verfahrenstechnische Produkte, und die Gegenstände, unter denen Einzelteile, Baugruppen und Komponentensysteme zu verstehen sind.

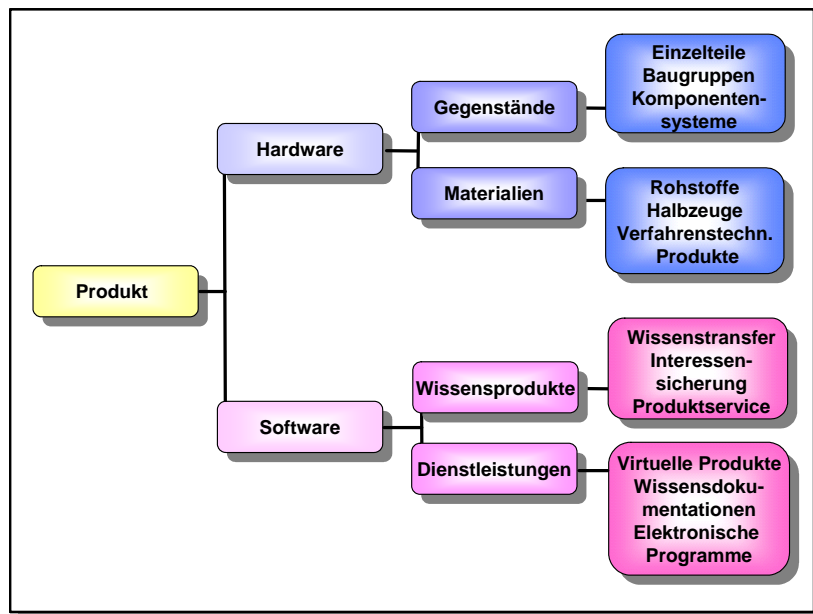


Bild 2-1: Strukturbaum *Produkt*

## 2.1.2 Entstehung technischer Produkte

Heutige Erfindungen und Konstruktionen technischer Produkte basieren zumeist auf dem technischen Wissen unserer Gesellschaft, dessen Erfahrungsschatz über viele Jahrtausende gewachsen ist. Beispielweise gebrauchten die Menschen als erstes von ihnen gefundene Steine zum Zerteilen von Pflanzen, später nutzten sie diese als Werkzeuge zum Feuer entfachen und als Waffen zur Selbstverteidigung. Im nächsten großen Schritt lernten sie, Steine als Baumaterial für Behausungen und Brücken einzusetzen, und noch etwas später dann auch für den Straßenbau zu verwenden. Heute weiß man, Steine für verschiedenste Anwendungen gezielt zu formen und zu verarbeiten.

Die meisten der ersten technischen Produkte waren sehr rudimentär, sie dienten dazu, Nahrung zu ernten bzw. zu erjagen und zu zerlegen, oder wurden zur Selbstverteidigung des eigenen Lebens und des der Familie eingesetzt. So arbeiteten die frühen Erfinder in der Regel für sich allein und nur für ihre eigenen Zwecke, benötigtes Produktwissen hierzu entwickelten sie durch Eigenversuche selbst oder ahmten es, wenn möglich, nach; vielleicht gab es zu der Zeit auch schon so etwas wie mündlichen Know-how-Transfer. Erste Spezialisierungen und Tauschgeschäfte begründeten eigenständige Tätigkeitsfelder, quasi erste Berufsbilder, sowie den Handel. Aber erst die Verbreitung der Kunst des Buchdrucks erlaubte den Menschen, ihr Wissen technischer Entdeckungen und Erfindungen der Vergangenheit systematisch auf der ganzen Welt zu sammeln und zu verbreiten [Ferguson 1993].

Der Arbeitsplatz eines Produkterfinders war nicht länger mehr irgendwo, seine Erfindung nicht mehr nur ein glücklicher Zufall zu irgendeiner Zeit. Strategisch richtete man sich Stu-

dierzimmer, Laboratorien und Werkstätten ein, um erkannte technische Probleme systematisch zu untersuchen und zu lösen. Entdecken und Erfinden erwachsen so zu regulären Tätigkeiten für Gelehrte und Handwerker, da die Erfolge von Entdeckungen gefolgt von Erfindungen und wiederum erneut gefolgt von weiteren Entdeckungen zwangsläufig in einen kontinuierlichen Prozess der Entwicklung von neuen Funktionskonzepten, Arbeitsverfahren und Produkten mündeten. Mit der Industrialisierung begann dann die Trennung von persönlichem Wohnraum und Arbeitsplatz. Financiers errichteten Fabriken mit einer Vielzahl von Arbeitsplätzen und boten in ihnen bezahlte Arbeit an, Produkterfindungen wandelten sich zu Produktentwicklungsaufträgen, so dass heute Produkte gezielt aufgrund von Wissen, Kreativität und Motivation entstehen. Das Berufsbild des Ingenieurs erwuchs aus dem Tätigkeitsfeld des strategischen Erfinders. Über die Jahre wurden die Aufgaben komplexer, die anfallenden Arbeiten wurden unter mehreren Bearbeitern aufgeteilt und einzelne Ingenieure spezialisierten sich auf kleine Tätigkeitssegmente der Produktentwicklung. Aus den früheren Allroundern sind moderne Technikspezialisten als Teampayer in verteilten Produktentwicklungsprozessen geworden. [Anderl/Beuthel 2001]

Auch heute gibt es noch die so genannten Hobbytütfler als Allrounder, die sich in ihrer unbezahlten Freizeit aus Spaß an der Freude dem Erfinden und Entwickeln sowie Herstellen technischer Produkte als Lösung der von ihnen gesehenen technischen Probleme widmen. Zumeist steht auch hier wieder die Deckung eines entstandenen Eigenbedarfs im Vordergrund. Bewusst, aber auch zufallsgetrieben entstehen hierbei sehr individuelle Nischenprodukte, jedoch nur die wenigsten von ihnen erreichen jemals eine Serienreife und professionelle Vermarktung, da diese in der Regel gar nicht Fokus dieser singulären Produktentwicklungen sind.

Der Standardweg der heutigen Entstehung technischer Produkte ist so allein in dem wirtschaftlichen Zwang produzierender Unternehmen zu sehen, zu ihrer Existenzsicherung ihre Produkte am Markt verkaufen zu können. Dies bedeutet, dass entwickelte Produkte gemäß ihres qualitativen Bedarfs und der quantitativen Nachfrage für den Markt vorzuhalten sind und ebenso durch Änderungen bzw. Verbesserungen und Variationen permanent für diesen attraktiv gehalten werden müssen. Strategisch werden daher beispielsweise Kreativitätstechniken [Brodbeck 1999]/[Nöllke 1998] eingesetzt, um sich in den Verkaufssegmenten der jeweiligen Unternehmen mit immer wieder neuen Produkten wirtschaftlich zu behaupten [Berliner Kreis 2002 a]. Hierbei wird durchaus bewusst der Einstieg in neue Produktklassen und neue Zielbranchen gesucht. Der Einsatz bzw. Umstieg auf neue Materialien und optimiertere Fertigungsverfahren wird versucht, um innovativ am Markt zu sein. Auch bescheren Zufälle ab und an die Entdeckung neuer Produkte als Abfallprodukte betriebener Produktentstehungen. Und ebenso schließt der strategisch vorangetriebene Fortschritt die Suche und bewusste Erschließung neuer Märkte mit ein.

Der Einsatz eines begleitenden zielführenden Marketings erhöht unweigerlich das technische Produktbewusstsein in einer Gesellschaft und führt hierüber zu einer gesteigerten Nachfrage und Verbreitung der vertriebenen Produkte. Ihre Abnutzung schürt neue Bedürfnisse und erneuten Bedarf eines gleichartigen oder ähnlichen technisch weiterentwickelten Produkts. Der so genannte Lebenszyklus des ursprünglich betrachteten Produkts schließt sich.

### 2.1.3 Produktlebenszyklus

Da Produktlebenszyklen sowohl entwicklungs-technisch wie auch wirtschaftlich immer bedeutender werden, wird im Folgenden etwas näher auf ihre Grundlagen eingegangen.

Nach [Anderl 2003 b] verbirgt sich hinter dem Begriff des Produktlebenszyklus ein theoretisches und abstrahiertes Konzept zur Betrachtung von Produkten. Mit ihm sollte es möglich sein, ein besseres Verständnis über die Produkte in ihren technischen wie auch wirtschaftlichen Kontexten zu erlangen. Je nach Sichtweise, beispielsweise betriebswirtschaftlich, ökologisch oder informationstechnisch fokussiert, gelangt man so zu verschiedenen Phasendarstellungen, die so genannten Produktlebensphasen, die je nach Produkt und betrachtetem Produzenten sehr unterschiedlich ausfallen können [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001]. Doch da bislang die Betrachtung der Produktlebenszyklen keiner Norm unterliegt, finden sich in der Fachliteratur dementsprechend die verschiedensten Darstellungsweisen hierzu, viele sind aus deren Thematiken heraus jeweils nur auf singuläre Sichten bezogen.

Auch für diese Arbeit ist so nur die Betrachtung einer Sichtweise wirklich von Belang, geht es doch im Späteren um die Bewahrungsmöglichkeit ingenieurtechnischen Produktwissens. Gemeint ist an dieser Stelle die informationstechnische Sichtweise, welche nach [Anderl 2003 b] den Produktlebenszyklus in folgende Phasen einteilt:

- die *Produktplanung*, sie umfasst alle Stadien von der Ideenfindung bis hin zum konkreten Produktentwicklungsauftrag,
- die *Konstruktion*, in ihr wird das neu zu entwickelnde Produkt in seiner Gestalt sowie seiner materiellen und funktionalen Beschaffenheit konkretisiert, simuliert, ggf. erprobt, definiert und dokumentiert,
- die *Arbeitsvorbereitung*, sie umfasst die Arbeitsplanung und -steuerung des Ablaufs der sich anschließenden Produktfertigung,
- die *Produktherstellung*, hier werden die produktdefinierenden Informationen in physikalisch reale Produkte umgesetzt,
- den *Produktvertrieb*, er übernimmt die wirtschaftliche Kopplung von Produzent und Käufer des Produkts,



- die *Produktnutzung*, der eigentliche Produkteinsatz, eingeschlossen der Produktwartung, -pflege und -instandhaltung, und
- das *Produktrecycling* bzw. die *-entsorgung*, die Festlegung einer möglichen Wieder- und Weiterverwendung von einzelnen Produktkomponenten, Bauteilen und Materialien als neu einsetzbare Ressourcen bzw. die Zuweisung der Vorgehensweise bei der Restproduktvernichtung.

Diese Sichtweise ist als eine lebenszeitliche Sicht auf ein technisches Produkt zu verstehen. Die ersten drei Phasen bezeichnet man zusammengefasst so auch als Produktentwicklung und ergänzt um die Produktherstellung als Produktentstehung. Mit der zugewiesenen Zykluseigenschaft charakterisiert man einerseits den Gedanken der Wieder- bzw. Weiterverwendung eingesetzter Bauteile und Produktmaterialien wie auch den, ebenso die im Zyklusverlauf gesammelten Produktinformationen und das mit ihnen erlangte neue Wissen für Folgeprodukte einzusetzen. [Claassen 2002] In Summation generiert sich aus dieser Sichtweise das in Kapitel 2.3 näher betrachtete Produktwissen.

Dies führt von der rein schematischen singulären Kreislaufbetrachtung nach [Anderl 2003 b], wie sie in Bild 2-2 zu sehen ist, zu einer der Autorin für die wissenschaftlichen Betrachtungen in dieser Arbeit geeigneter erscheinenden Darstellung einer fortgesetzten Kreislaufkette, einer Art Wirbelsäule, deren tragender Strang der technischen Produktforschung und einzelne freie Fortsätze der Produktbewahrung entsprechen. Bild 2-3 zeigt einen demgemäßen einzelnen Kettenwirbel.

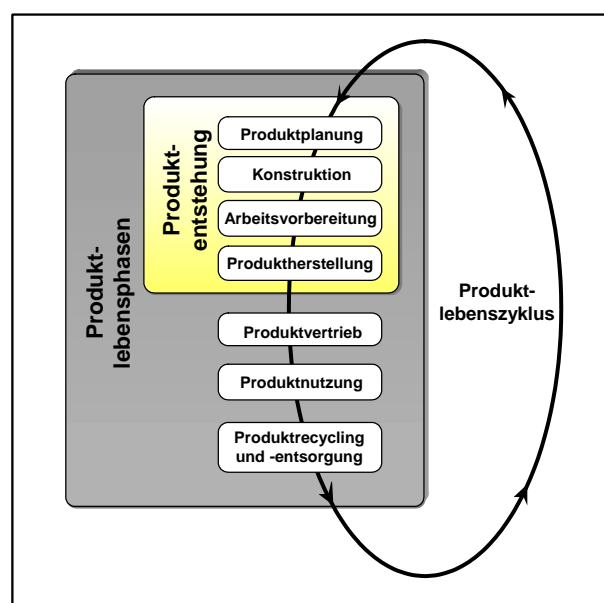


Bild 2-2: Produktlebenszyklus aus [Anderl 2003 b]

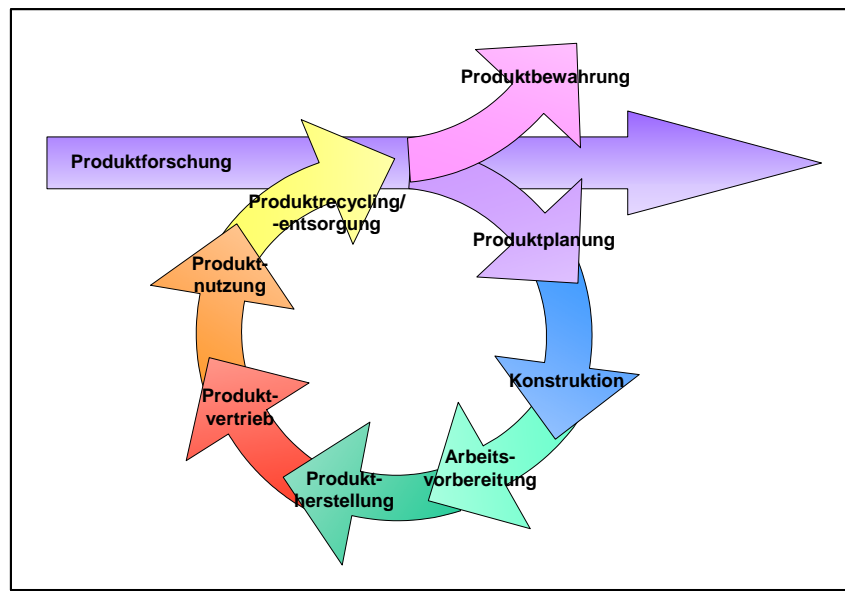


Bild 2-3: Einzelner Wirbel einer allgemeinen Produktlebenszyklenkette

Denn die Produktforschung ist nach [Spur/Krause 1997] als eine durchgängige strategische Voraussetzung für eine effiziente Produktentwicklung anzusehen. In ihrem Rahmen sollte verschiedenstes Wissen aus Markt- und Technologieforschung sowie aus früheren Produktentwicklungen und Unternehmens- sowie Branchenumfeldern jeweils produktbezogen zusammengeführt werden.

## 2.1.4 Bedeutung technischer Produkte

Um einen kurzen Abriss über die Bedeutung technischer Produkte zu geben, bedarf es eines interdisziplinären Denkansatzes, denn wie bereits im Kapitel zu seiner Entstehung reflektiert, sind Produkte als Erzeugnisse prinzipiell sehr stark mit den Aspekten der Marktwirtschaft verknüpft. Sie müssen auf jeden Fall einen anerkannten Nutzen aufweisen, um ihre Existenzberechtigung zu rechtfertigen. Als Nutzenkategorien sieht [Lettau 1991] den technischen, wirtschaftlichen und vertrieblischen Nutzen sowie ferner einen Imagenutzen.

Eine erste Unterscheidung teilt Produkte in Dienstleistungen und Sachgüter ein, somit in immaterielle und materielle Güter (siehe Begriffsbetrachtung in Kapitel 2.1.1). Nach [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001] sollten die Sachgüter ferner noch in Konsumgüter zur Verwendung im privaten Bereich und Investitionsgüter mit Einsatz im gewerblichen, industriellen Bereich unterteilt werden. Weitere Spezifizierungen in Gebrauchsgüter als langlebige Wirtschaftsgüter und Verbrauchsgüter als nicht dauerhafte Wirtschaftsgüter sind darüber hinaus möglich. Auch unterscheidet man Einzelproduktionen von Serienproduktionen, den Prototypenbau von Nullserien, Kleinserien, Großserien und der Massengüterfertigung. Jeweils Einsatzzweck und prognostizierte Nachfrage am Markt bzw. erteilte Fertigungsaufträge bestimmen die Los-

größen der Produktherstellung. So kann auch eine Aufteilung in fertige Produkte, auftragsgefertigte Produkte und auftragsentwickelte Produkte, wie [Vogel 2000] sie vornimmt, sinnvoll sein. Da technische Produkte zudem überwiegend gefügte Einheiten von Baugruppen und Einzelteilen sind, welche wiederum für sich eigenständige Produkte sein können und deren Zusammensetzungen sowohl herstellungsbezogen wie auch auftragsspezifisch variieren können, trifft man darüber hinaus noch auf weitere mögliche Einteilungen in Normteile, Zukaufteile, Standardelemente, Systemkomponenten, Produktplattformen, Produkt- und Teilefamilien etc.

Gerade letztere Einteilungen weisen daraufhin, dass Produkte zumeist in erster Linie als Wirtschaftsgüter und Handelsgegenstände gesehen werden. Sie initiieren Material- und Geldflüsse und begründen Märkte. Diese entstehen heute durchaus grenzüberschreitend international und gerade die Möglichkeiten des Internethandels eröffnen den Zugang zu weltweiten Kooperationen und Kollaborationen sowohl bei Produktentwicklungen wie auch dem späteren Produktvertrieb. Hierüber fällt den Produkten ihre soziale Bedeutung zu: Zum einen schürt ihre Existenz Bedürfnisse und Veränderungen bisheriger Lebensgewohnheiten, deren Bedarf durch den Handel mit ihnen gedeckt wird, zum anderen schafft ihre Entstehung Arbeit und somit Verdienstmöglichkeiten. Noch ein weiterer wichtiger gesellschaftlicher Aspekt ist hierbei in der Wahrung der Interessen, Rechte und Pflichten der jeweiligen Parteien gemäß ihrer Beziehungen zu den Produkten zu sehen.

Aus ingenieurtechnischer Sicht ist ein Produkt als das zentrale Erzeugnis Grundlage und Auslöser aller technischen Prozesse einer Unternehmung, es ist Ursprung und Ziel zugleich, oft als eine Version oder Variante Teil einer Produktlinie. Datentechnisch gesehen bedeutet dies, dass es die reale Vergegenständlichung seines Produktdatenmodells ist, in welchem alle Produktinformationen über seinen Lebenszyklus hinweg zentral gesammelt werden sollten. Mit abschließendem Blick auf seine historische Bedeutung lässt sich in einem Produkt zumeist ein jeweiliger Zeitzeuge des Zusammenspiels technisch-wirtschaftlicher Bedürfnisse einer Gesellschaft sehen, in dem Technologiewissen und Zeitgeist einer Bevölkerung zu einem Stand der Technik verschmolzen sind, welches auch seiner wissenschaftlichen Bedeutung gleichkommt.

### **2.1.5 Virtuelle Produkte**

Ausgehend von der Leistungsfähigkeit der modernen Informations- und Kommunikationssysteme ist heute bereits ein durchgehender digitaler Produktentstehungsprozess möglich, welcher es somit erlaubt, die Produktentwicklung vollständig in die virtuelle Welt zu verlagern. Man spricht daher auch von Virtueller Produktentstehung. Ihre verschiedenen Informationsintegrationsstufen zeigt das Bild 2-4. [Anderl 2003 b]

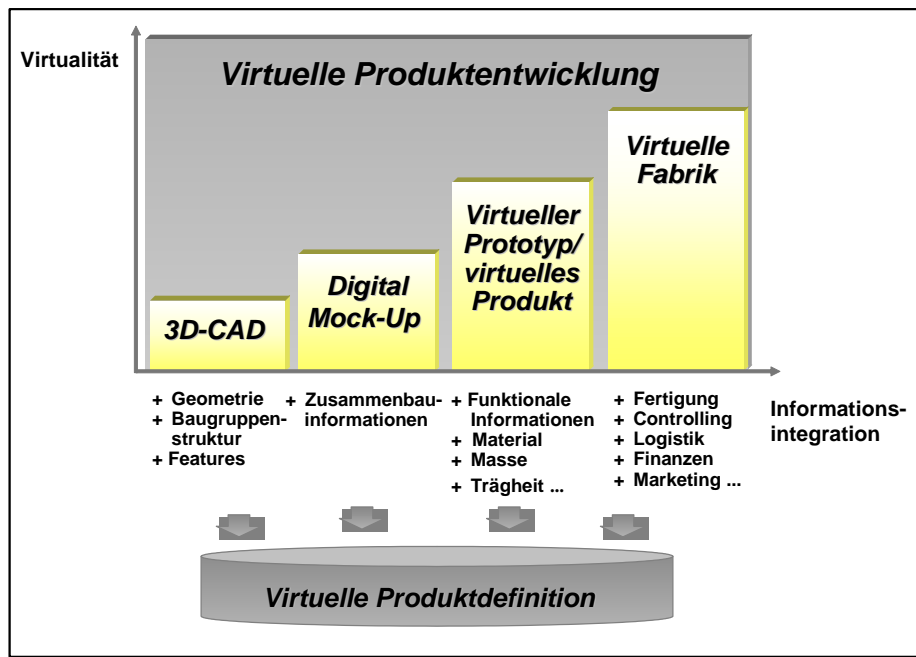


Bild 2-4: Integrationsstufen der virtuellen Produktentstehung aus [Anderl 2003 b]

Deutlich erkennbar wächst mit der Integration weiterer Produktinformationskategorien in virtuellen Produktmodellen der Grad und damit die Komplexität der geschaffenen Virtualität.

Folglich lässt sich das *virtuelle Produkt*, d. h. seine rechnerinterne Darstellung, als das Ergebnis der Simulation aller Phasen eines technischen Produkts und somit als ein zentraler Informationsträger einer vollständig rechnerbasierten, virtuellen Produktentwicklung sehen. Seine Schaffung ist das vorrangig strategische Ziel heutiger moderner rechnergestützter Produktentwicklungsprozesse zur gemeinsamen Kommunikation und Entscheidungsfindung, denn anhand dessen kann auch die virtuelle Qualität des zukünftigen Produkts bereits in all ihren Facetten im Vorfeld getestet und im Vergleich zu Kundenwünschen bestimmt sowie ihre Herstellbarkeit vorab nachgeprüft werden. Der Produktumgang ist bis dato nur im Rechner manipulierbar, nur durch Modellier- und Verifikationsfunktionalitäten, also virtuell, möglich; das virtuelle Produkt ist als das rechnerbasierte realistische Abbild eines technischen Produkts mit allen geforderten Funktionen des Produktlebenslaufs definierbar und demnach ein realitätsnahes Simulationsmodell eines Produkts, welches dann sämtliche Produktinformationen und -funktionen sowie alle Eigenschaften seines späteren wirklichen Verhaltens enthält. [Spur/Krause 1997]

[Anderl 2003 b] sieht diese erwartete Vollständigkeit als eine nicht zwingende Voraussetzung an. Nach ihm trifft dieser Begriff bereits bei dem interoperablen Abbilden mehrerer einzelner physikalischer Eigenschaften eines Produkts, z. B seinen mechanischen, elektrotechnischen, elektronischen oder logischen Eigenschaften, in einem Produktdatenmodell zu. Als wesentli-

ches Merkmal wird von ihm die Simulation des Produktverhaltens in seiner Gesamtheit gesehen.

Zur Vollständigkeit sei an dieser Stelle noch ergänzt, dass unter virtuellen Produkten ab und an auch die Leistungen virtueller Unternehmen im Internet verstanden werden.

Der wissenschaftliche Fokus dieser Arbeit auf rechnergenerierte 3D-Produktvisualisierungen sei an dieser Stelle daher bitte nicht missverständlich allein auf Abbildungen virtueller Produkte im Sinne der hier vorgestellten, in der Literatur auffindbaren expliziten Sichtweisen zu beziehen. Denn es werden im Weiteren bereits auch die ggf. „unvollständigen“ virtuellen Produktabbildungen durch CAD-Modelle und Digital Mock-Ups (DMU) hierunter gefasst.

### **2.1.6 Produktdatenmanagement-Systeme**

Untersuchungen haben herausgefunden, dass die Suche nach relevanten Informationen zwischen 30 und 70 % der Projektarbeit eines Ingenieurs betragen kann [Doblies 1998]. Ist dieser also in der Lage, von Anfang an mit den aktuellsten verfügbaren Produktinformationen zu arbeiten, führt dies im Allgemeinen zu einer höheren Produktqualität, da Fehlentwicklungen aufgrund veralteter Datenstände größtenteils vermieden werden können, so [Klingelhöffer 2002]. Denn hierzu gehört nicht nur die bloße Bereitstellung produktspezifischer Informationen, sondern ebenso die Einbeziehung der „indirekten“ produktbezogenen Informationen wie beispielsweise die Angabe von Wissensträgern innerhalb der eigenen Organisation, die ggf. für die Lösung eines Teilproblems ein entsprechendes Fachwissen besitzen könnten, jedoch in den Entwicklungsprozess nicht unmittelbar involviert sind.

Die Ursprünge von Produktdatenmanagement-Systemen (PDMS) reichen weit über zehn Jahre zurück, ihre Wurzeln haben sie in dem Bemühen, CAD-Zeichnungen zu verwalten [Schöttner 1999]. Aus ihrem steigenden Bedarf erwuchs die Nachfrage nach Datenmanagementtools, welche digitale Dokumente verschiedener Erzeugungssysteme gemeinsam handhaben können, d. h. speichern, verwalten und verteilen. Sie wurden zunächst als Engineering Databases (EDB) oder Technische Informationssysteme (TIS) bezeichnet; andere vor allem in den USA gebräuchliche Benennungen waren Engineering Document Management System (EDMS), Product Information Management (PIM) und Product Data Management System (PDMS) [Eigner u. a.1991]. Sie stellten die wesentlichen Komponenten zur zentralen Verwaltung und Organisation technischer Daten und Unterlagen in den CIM-Konzepten der neunziger Jahre dar.

Ihre Funktionalität hat sich bis heute von ihren ersten Ansätzen reiner Dokumentenverwaltung über die Verwaltung aller anfallenden Entwicklungsdaten von Produktentstehungen bis hin zum Management sämtlicher relevanter Produktdaten und Abläufe ganzer Produktentstehungsprozesse und Produktlebenszyklen entwickelt. Und auch wenn sich letztlich der Be-

griff des Produktdatenmanagement-Systems (PDMS) weitestgehend durchgesetzt hat, so existiert doch weiterhin eine große Begriffsvielfalt über seine Sachverhalte, welche z. B. [Krastel 2002] sehr anschaulich abgrenzt.

Eine grundlegende Übersicht über den prinzipiellen Aufbau von PDM-Systemen zeigt das Bild 2-5, welches sich auf die Beschreibung von [Wehlitz 2000] stützt.

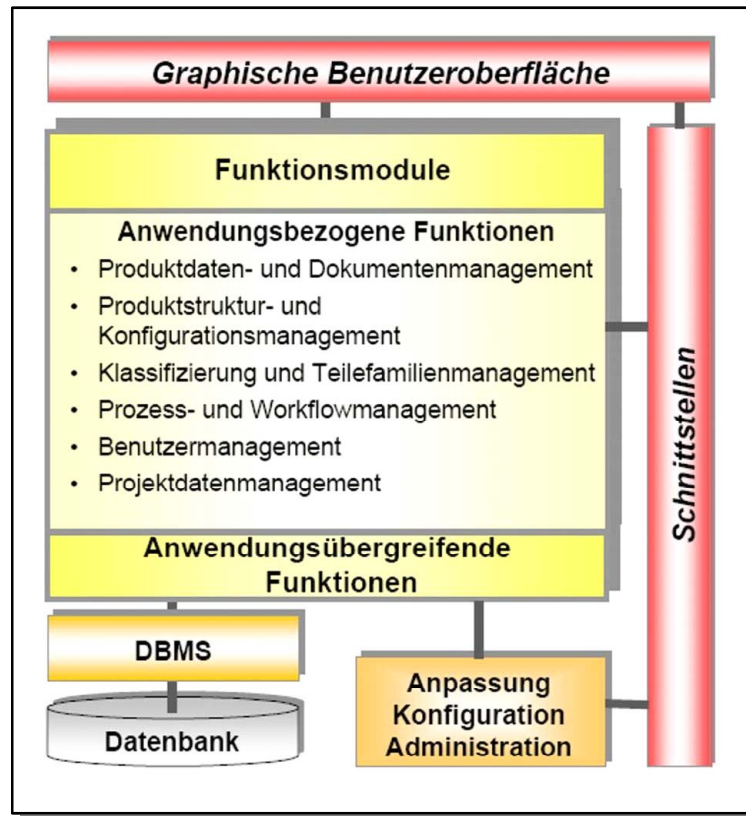


Bild 2-5: Aufbau eines PDM-Systems aus [Liebrecht 2004]

Ein PDM-System bietet seinem Nutzer eine Vielzahl anwendungsbezogener Funktionen, welche ihm das Organisieren, Verwalten und Verteilen aller seiner elektronischen Daten und Dokumente produkt- und projektbezogen im eigenen Unternehmen bzw. in wirtschaftlichen unternehmensübergreifenden Kooperationen ermöglicht. Im Wesentlichen sind dies nach [Anderl 2003 a] die Funktionen zur Objekt- bzw. Elementverwaltung, zur Privilegien- und Zugriffsverwaltung, zur Ablaufverwaltung und Dateiverwaltung. Ausführlicher werden diese beispielsweise von [Arlt 2000] und [Schöttner 1999] beschrieben. Anwendungsübergreifende Funktionen erlauben ferner das Administrieren und Customizing des PDM-Systems und gewährleisten das Ein- und Auschecken der eingelagerten Dateien in der Systemdatenbank und das Archivieren auf den Systemvolumen.

Nach [Bullinger 1999] ist PDM sogar schlechthin die Schlüsseltechnologie für ein gezieltes Wissensmanagement in der Produktentwicklung. Daher sollten seiner Auffassung nach Produktinformationen in PDM-Systemen prinzipiell nicht nur den direkt an der Produktentwicklung beteiligten Personen zur Verfügung gestellt werden, sondern zu ihrer umfassenden Kenntnissgabe auch systemübergreifend denjenigen, die außerhalb des eigentlichen Produktentwicklungsprozesses mit dem Produkt in Verbindung stehen wie z. B. die Zulieferer oder Kunden, damit man auch wirklich gemeinsam die jeweils anvisierten Unternehmensziele verfolgt. Wichtige Ziele können beispielsweise die Verkürzung der Entwicklungszeit, die Senkung der Entwicklungskosten, die Verbesserung der Produktqualität sowie die Senkung der Umweltbelastung sein [Arlt 2000].

Zwar wurden PDM-Systeme gerade auch für Aufgaben der zentralen Langzeitarchivierung von Produktdaten als eine Form des Produktwissensmanagement entwickelt, doch enden ihre Archivierungsleistungen bislang voraussichtlich mit dem technischen Ende oder Verlust der datenschreibenden und -lesenden Systeme selbst. Auch existieren noch keine integrierten Konzepte, eigens zur generellen Bewahrung von Produktdokumentationen ausgewählte Dateien von prinzipiellem beispielhaften Charakter aus der allgemeinen „PDM-Informationsflut“ gesondert im System zu archivieren und zu pflegen, um diese bei Bedarf, beispielsweise aus Anlass eines PDM-Systemwechsels, bewusst auskoppeln und gezielt transferieren zu können.

### **2.1.7 Produktbewahrung**

Es scheint fast so, als ob die ingenieurwissenschaftliche Welt den Tatbestand der Produktbewahrung bislang meidet oder zumindestens noch nicht als ihre explizite Aufgabe ansieht, denn in der Literatur existiert dieser Tatbestand als solcher eigentlich nicht. Zwar hat mit der zunehmenden Computerisierung vieler Arbeitsplätze unserer Gesellschaft und insbesondere der im Bereich der Produktentstehung ein Wandel hin zu einer ausgeprägten informationstechnisch bedachten und versierten Gesellschaft begonnen, welche hierin auch das ausgesprochen hohe Innovationspotential zukünftigen rechnergestützten Arbeitens und der Archivierungsmöglichkeit von Daten, Informationen und Wissen sieht und schätzt, doch kaum einer, so scheint es, mag an dieser Stelle mit Blick auf die bisherige informationstechnische Vergangenheit der Produktentstehungen offen über eine sehr ferne Zukunft ihrer Informationssituation nachdenken. Was bleibt in zweihundert, fünfhundert oder noch mehr Jahren von unseren Produkten, von denen unserer Vorfäter und denen der Anfänge der Menschheit noch bekannt?

Die Langzeitverwahrung und damit die fortwährende Bewahrung so vieler Belegexemplare im Original wie möglich sollte ein vorrangiges Ziel der Produktbewahrung sein, aber es wird schon prinzipiell gar nicht immer machbar sein, denkt man einmal an fertigungstechnische

Anlagen, welche ja sehr wohl auch ihrerseits Produkte sind. Sie passen in keinen Keller und auch käme wahrscheinlich niemand auf die Idee, sie eigens für unser kulturelles Vermächtnis, unser technisches Erbe, in einem alten Bunker oder ausgedienten Bergwerkstollen vollständig aufgebaut einzulagern; auch ist es nicht vertretbar, einzelne Vertreter dieser beispielhaft genannten Fertigungsanlagen deshalb juristisch unter Bestandsschutz zu stellen, quasi designiert als Welttechnikerbe verbunden mit der Auflage, sie in ihrem Produktivumfeld belassen zu müssen.

Dies bedeutet, dass ein weiterer Weg der Bewahrung zwingend in einem gezielten Modellbau zu sehen ist, teilweise in denen des Nachbaus bzw. der Rekonstruktion, handelt es sich beispielsweise bei den Produktvorlagen bereits um verschollene, zerstörte oder nicht erwerb- bare Originale. Hierbei ist zu beachten, dass Nachbauten oftmals nicht in allen ihren Eigen- schaften dem ursprünglichen Original wirklich entsprechen, auch wenn dies vom Prinzip her wünschenswert ist. Werden bewusst dem Original Modelle nachempfunden, so gilt es im Sinne der Bewahrung, das Augenmerk auf den ursächlichen Zweck dieser zu richten, um ihr Verhältnis zum Original richtig einzuschätzen. Dies gilt sowohl für die Modellgrößen und Maßstäbe der Modellierungen, wie auch für ihre materiellen und funktionalen Beschaffenhei- ten, siehe z. B. die Möglichkeiten des Rapid Prototypings [Gebhardt 2000]. Denn Kinder- spielzeuge und Sammlerstücke können in dieser Hinsicht sehr stark voneinander variieren.

Ein weiterer Aspekt in diesem Zusammenhang ist die Bewahrung von Sekundärquellen der Produkte, ihren Dokumentationen in Bild, Wort und Ton und, wenn möglich, gar in vollsensi- tiven Applikationen, wie sie die Virtual Reality teilweise heute schon zu leisten vermag [An- derl/Beuthel 2002 b]. Doch sollte dies im Sinne dieser Arbeit unter den Aspekt der Produkt- wissensbewahrung (Kapitel 2.3.6) gefasst werden. Wissenschaftliche Fremdquellen, die ex- plizit das nachhaltige systematische Langzeitbewahren von insbesondere technischen Pro- dukten fordern, wurden im ingenieurwissenschaftlichen Literaturumfeld nicht gefunden.

## **2.2 Begriffsklärung *Wissen***

Was ist Wissen? Diese Frage soll an dieser Stelle kurz in ihren Grundlagen näher erläutert werden. Hierbei geht es sowohl um den Begriff an sich wie auch um die Entstehung von Wis- sen, seine Lebenszyklen und seine Bedeutung. Im Weiteren werden ebenso noch die Wis- sensprodukte, das Wissensmanagement und die Wissensbewahrung in ihren Grundzügen vorgestellt.

Weiterführende grundlagenbezogene Literatur zu diesem Kapitel findet sich in u. a. in [Berli- ner Kreis 2002 a], [Gentsch 1999], [Herbst 2000], [Herrmann/Mambrey/Shire 2003], [North 1999], [Petkoff 1998], [Probst/Raub/Romhardt 1999], [Remus 2002] und [Schimmel 2002].



## 2.2.1 Begriffliches Verständnis

Obgleich auf den ersten Blick klar zu sein scheint, was Wissen bedeutet, lässt sich nur schwerlich eine allgemeingültige Definition für dieses angeben, denn nur allzu häufig treten jeweils Sonderfälle auf, die gerade nicht erfasst sind. Daher soll an dieser Stelle auch nur ein kurzer Abriss die prinzipielle Situation des Begriffsverständnisses von Wissen mit seinem Spektrum widerspiegeln, für eine ausführlichere Auseinandersetzung wird auf [Schimmel 2002] verwiesen.

Der Begriff *Wissen* leitet sich vom mittelhochdeutschen Verb *wizzen* ab, welches dem althochdeutschen *wizzan* (*wischan*) = gesehen haben entspricht. Es ist die Gesamtheit der Kenntnisse, die jemand/man (auf einem bestimmten Gebiet) hat bzw. die Kenntnis als das Wissen von etwas, so der [Duden 1989].

Wissen entspricht, erklärt das Lexikon von [Meyers 1987], allgemein verfügbaren Orientierungen im Rahmen alltäglicher Handlungs- und Sachzusammenhänge, im engeren philosophischen und wissenschaftlichen Sinn stellt dies im Unterschied zur Meinung und dem (philosophischen) Glauben die auf Begründungen bezogene und strengen Überprüfungspostulaten unterliegende Kenntnis dar, welche sich in den Wissenschaften institutionalisiert. In der modernen Logik, der Sprachphilosophie und Wissenschaftstheorie, so führt das Lexikon weiter aus, richtet sich das philosophische Interesse zu Wissen mehr auf die sprachkritischen Analysen im Bedeutungsfeld von „wissen“, „meinen“ und „glauben“ und auf den für den Aufbau eines begründeten Wissens wesentlichen Zusammenhang lebensweltlicher Orientierungen und (theoretischer) Sprach- und Wissenschaftskonstruktionen.

Den sachlich-inhaltlichen Aspekt von Wissen weiter verfolgt, zeigt sich, dass man sich gerade auch in der wissenschaftlichen Literatur über eine eindeutige Definition von Wissen sehr uneinig ist, da Wissen in vielerlei Ausprägungsformen vorkommen kann und so stets von den jeweiligen Autoren vor dem Hintergrund ihrer Veröffentlichung und deren Motivation gesehen und beurteilt wird.

Dies wird von [Spur/Krause 1997] sogar mit dem Auftreten von Kontroversen untermauert, da nach ihrer Aussage vielfach Begriffe wie Daten, Informationen und Wahrheit fälschlicherweise synonym verwendet werden. Sie führen weiter aus, dass Philosophie und Psychologie unter dem Wissensbegriff die aus Erfahrungen und Fakten abgeleiteten Erkenntnisse verstehen, welches dem Wissen somit einen subjektiven Charakter ohne zwingenden Anspruch auf Wahrheit zuweist. Aus der Sicht der Mathematik hat Wissen lediglich nachvollziehbar und begründbar zu sein. Für die technische Sicht zeigt sich Wissen, so [Spur/Krause 1997], als eine Menge von Regeln, Beziehungen und Relationen, welche sich mit der Zeit als vernünftig und richtig erwiesen haben, sie müssen dabei nicht zwingend begründbar sein.

Wissen ist die Gesamtheit aller Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen und Aufgaben einsetzen, so erklärt es der [Berliner Kreis 2002 a] aus seiner ingenieurwissenschaftlichen Intuition heraus; doch auch [Herbst 2000], ein Referent für Unternehmenskommunikation, umschreibt Wissen als eine Bezeichnung für ein Netz aus Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Lösen einer Aufgabe.

[Klingelhöffer 2002] sieht im Wissen eine übergeordnete, vernetzte Menge der in Informationsspeichern fixierten und durch planmäßigen Abruf reproduzierbaren Informationen und für [Wartzack 2001] stellt Wissen mit Werten und Absichten versehene Informationen dar, die bei Handlungen genutzt werden. Nach [Davenport/Prusak 1998] ist Wissen eine fließende Mischung aus Kontextinformationen und Fachkenntnissen, die in ihrer Gesamtheit einen Strukturrahmen zur Beurteilung und Einordnung neuer Erfahrungen und Informationen schafft. [Arlt 2000] fasst Wissen lediglich als kontextbezogene Kombination und Beschreibung von Informationen durch Individuen auf.

Eine der im deutschsprachigen Raum mit am häufigsten zitierte grundlegende Wissensdefinition stammt von [Probst/Raub/Romhardt 1999, S. 46], weshalb sie an dieser Stelle auch vollständig in ihrem Wortlaut wiedergegeben wird: *„Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge.“*

Zur Verdeutlichung, welchem Wissensspektrum diese Definition aus produktentwicklungstechnischer Sicht gleichkommt, zeigt das Bild 2-6 einen Strukturbaum dieses Wissens. Dieser unterteilt das Wissen zunächst einmal grundlegend in Faktenwissen, prozedurales Wissen und Metawissen. Als Faktenwissen wird hierbei Datenwissen von Allgemeinbildung, einer Art Grundlagenwissen, und dem Fachwissen als Spezialwissen unterschieden und unter prozeduralem Wissen, dem Wissen über Zusammenhänge und Vorgänge, wird das Methodenwissen und das Erfahrungswissen gefasst. Das Metawissen soll in einer Trennung von Elementarwissen, intuitivem Wissen und Logikwissen verstanden werden. Doch bleibt anzumerken, dass Wissensarten prinzipiell aus völlig unterschiedlichen Perspektiven, unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen und vor verschiedensten Hintergründen bestimmter Kenntnisfelder gesehen werden können, welches stets zu variierenden Einteilungen der Wissensarten und -klassen führt, so dass diese stets zweckgerichtet aufzufassen sind [Liese 2004].

Abschließend sei an dieser Stelle noch auf die Webseite <http://beat.doebe.li/bibliothek/w00050.html> verwiesen, welche zumindestens während der Erstellung dieser Arbeit noch weitere sehr zahlreiche, verschiedene Statements zu dem, was Wissen ist und ausmacht, re-

flektiert. Bewusst wird für diese Arbeit keine der aufgezeigten Wissensdefinitionen für sich allein favorisiert bzw. eine eigene Umschreibung aufgestellt, weist doch jede der in der wissenschaftlichen Literatur zu dieser Arbeit Angetroffenen für sich wesentliche charakteristische Umschreibungen auf, denen man beipflichtet.

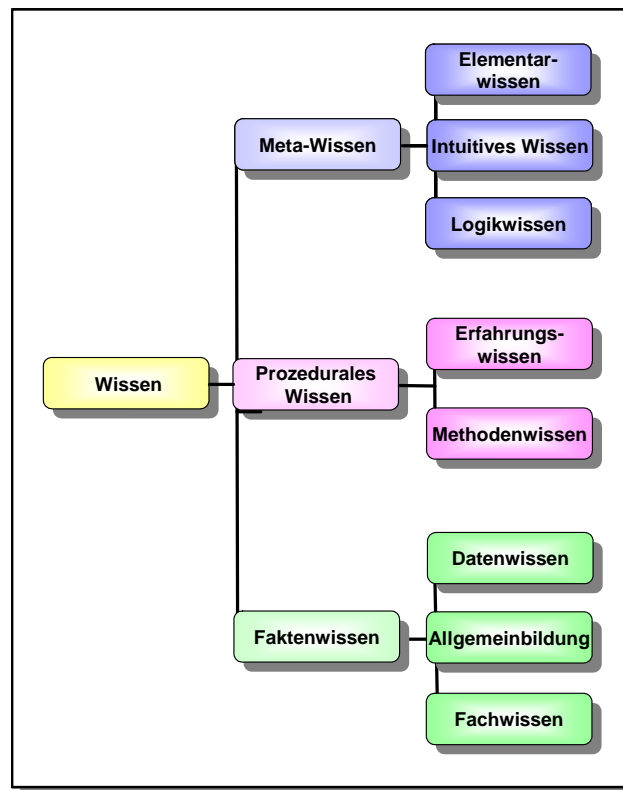


Bild 2-6: Strukturbaum Wissen

## 2.2.2 Entstehung von Wissen

Wissen entsteht vorrangig sehr persönlich und individuell, denn es setzt sich stets aus der Verknüpfung vieler kleiner Informationseinheiten, ursächlich einmal von einem Menschen aus seiner persönlichen Umwelt aufgenommen, zu einem Gesamtwerk zusammen, es ist mehr als nur bloße Information. Je nach Motivation, die zum Wissenserwerb führt, je nach Kontexten der gegebenen Situationen und Sachverhalten sowie den persönlichen Erfahrungen des Wissenserwerbenden generiert sich individuell Wissen. Dies erfolgt primär rein zufällig, ausgelöst durch beliebige Reize der Umwelt, beiläufig bei der Beobachtung von Konfliktsituationen oder gezielt durch Recherchen und systematische Erfahrungen; sekundär entsteht Wissen durch das lernende Aneignen von Wissensstoff.

Daten als syntaktische Verknüpfung von Zeichenketten werden in Verbindung mit einer zugewiesenen, strukturierten und kontextabhängigen Bedeutung zu Informationen, welche in

persönlichen Lernprozessen durch Interpretation zu Wissen verknüpft werden können. Dies beginnt mit dem Heranwachsen in der Kindheit und setzt sich mit der Schule und beruflichen Ausbildung fort. Somit ist Wissen gegenüber Daten und Informationen zwingend an Personen gebunden und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge [Probst/Raub/Romhardt 1999]. Bedingt durch die direkte persönlich-räumliche Umgebung, das wirtschaftlich-soziale Umfeld wie auch die technisch-industrielle Nähe des Einzelnen zu seinem Erlebten wird sich dieses für ihn nachhaltig in eigenes Wissen umsetzen. Hierbei spielt jedoch die unbewusste Selektion menschlicher Gedächtnisleistung eine nicht unerheblich Rolle, denn sowohl eingesetzte moderne Multimediatechniken [Frey 1999] wie auch Literatur fördern mit ihrem Kreativitätspotential zwar das Erlangen von neuen Erkenntnissen aus dem eigenen Umfeld, können aber schädigender Weise gleichermaßen destruktive Reizüberflutungen auslösen. Ein nahezu täglicher Umgang mit gleichartigen Daten, Informationen und Wissen, beispielsweise während der Arbeit, festigt diesen fachspezifisch wie ein Training durch seine Routine. Und der bewusste Zwang von Zusammenarbeit verbunden mit dem expliziten Darstellen und Dokumentieren von Erkenntnissen stärkt dieses noch darüber hinaus. Das Feld einer systematischen Wissenserwerbung als Forschung innerhalb abgegrenzter Bereiche wird so zu einer Wissenschaft, wie dies beispielsweise für die organisationale Wissenserzeugung auf dem Forschungsgebiet des Wissensmanagements der Fall ist.

Nach Nonaka und Takeuchi, so stellt [North 1999] ausführlich dar, unterscheidet man prinzipiell vier Grundmuster der organisationalen Wissenserzeugung und -transformation:

- *von implizitem zu implizitem Wissen*, hierunter versteht man den Austausch erlebten Wissens als Sozialisation,
- *von implizitem zu explizitem Wissen*, als Externalisierung entsteht konzeptuelles Wissen durch Kodifizierung und Dokumentation,
- *von explizitem zu implizitem Wissen*, Wissen wird individuell operationalisiert, man spricht von Internalisierung, und
- *von explizitem zu explizitem Wissen*, d. h. als Kombination wird systemisches Wissen durch Zusammenfügen bekannten Wissens erzeugt.

Diesen Ansatz erweitert um den Aspekt der Übertragung des Wissens von Einzelnen auf Gruppen bzw. Organisationen führte Nonaka und Takeuchi zu ihrem Modell der „Spirale des Wissens“, welche diese vier Grundmuster in vorgestellter Reihenfolge als Phasen eines ersten Zyklusansatzes durchläuft [North 1999].

## 2.2.3 Produktlebenszyklus Wissen

Die Fachliteratur zu Wissen kennt viele verschiedene Zyklen und Kreisläufe von Wissen, deren Ausprägungen je nach fachlicher Sichtweise und Hauptfokus stark differieren. Diese reicht von einfachen Abbildungen des Reifeprozesses von Wissen mit dem Verlauf einer Glockenkurve, wie sie [Herbst 2000] darstellt, bis hin zu mehrschichtigen Modellen wie dem Vielzitierten von [Probst/Raub/Romhardt 1999], siehe Bild 2-7. Umschreibt [Herbst 2000] den Lebenszyklus von Wissen als eine natürliche Abfolge der Phasen von Aufbau, Ausbau, Reife, Abbau und Verfall, um zu verdeutlichen, dass für ihn Wissen ein sich wandelnder stetiger Prozess und kein Zustand ist, so sprechen [Probst/Raub/Romhardt 1999] bei ihrem Modell über verschiedene Kernprozesse zwischen Systembausteinen in Verbindung mit zwei Kreisläufen, erfolgte die Aufstellung ihres Modells doch zur Visualisierung der Grundforderungen von Wissensmanagementsystemen.

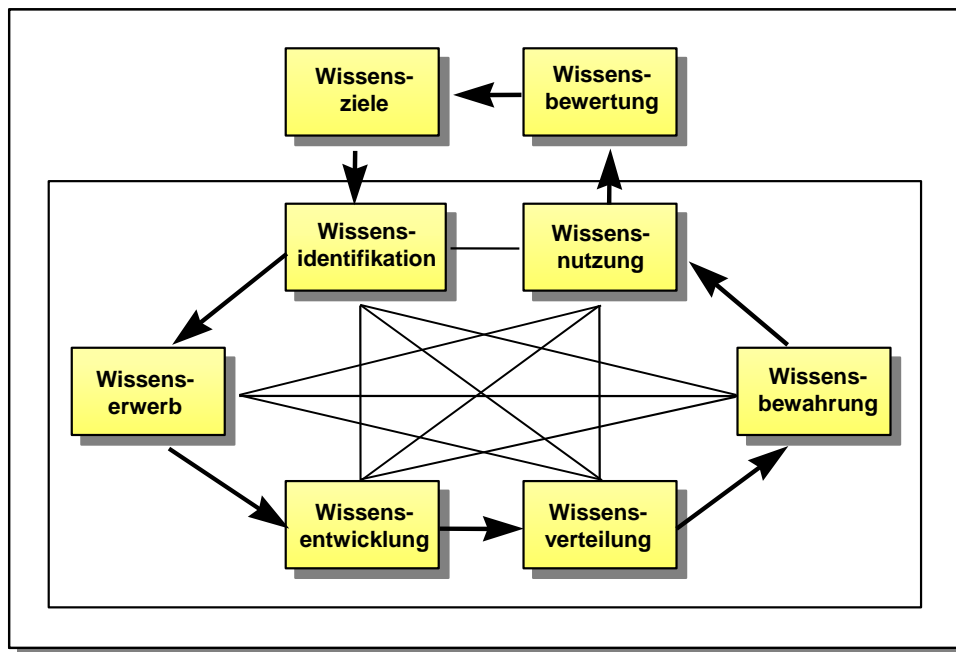


Bild 2-7: Bausteine des Wissensmanagements nach [Probst/Raub/Romhardt 1999]

In dem äußeren Kreislauf mit den Elementen

- *Wissensziele*, ihre Identifikation ist Kernaufgabe eines strategischen, operativen Managements, und
- *Wissensbewertung*, welche entsprechend den gesetzten Zielen Methoden zur Messung schafft,

wird ein traditioneller Managementprozess dargestellt. Dieser beinhaltet Aspekte der Steuerung von Wissensmanagement und deren Integration in eine Unternehmensstrategie, wie sie für erfolgreiches Wissensmanagement unbedingt erforderlich ist. In dem inneren Kreislauf, welcher gleichzeitig allseitige Verknüpfungen eines Netzes aufweist, sind die Bausteine

- *Wissensidentifikation*, die Schaffung von Transparenz über vorhandenes Wissen durch Analyse und Beschreibung des Wissens,
- *Wissenserwerb*, der Import aus externen Quellen, somit aus Wissensprodukten und von kooperierenden Wissensträgern,
- *Wissensentwicklung*, durch Kommunikation, Transparenz und Auseinandersetzung lassen sich neue Erkenntnisse und Fähigkeiten erwerben,
- *Wissensverteilung*, die Weitergabe gemachter Erfahrungen,
- *Wissensbewahrung*, gefordert sind Prozesse zur Selektion, Speicherung und Aktualisierung von Wissen, und
- *Wissensnutzung*, dem produktivem Einsatz von organisationalem Wissen,

angeordnet. Zwischen ihnen existieren in der Praxis enge Beziehungen und Wechselwirkungen, über welche sich ggf. die auftretenden Wissensprobleme strukturieren und vollständig aufdecken lassen. Gleichzeitig weisen sie die Potentialfelder auf, die Wissensbasen in Geschäftsprozessen zu verbessern, sie können als Grundlage bei der Einführung von informationstechnologischer Unterstützung fungieren, denn viele der Wissensprobleme entstehen dadurch, dass Organisationen einen oder mehrere dieser Bausteine unberücksichtigt lassen, so dass ihre Wissenskreisläufe unterbrochen werden. Daher kann dieses Modell als indirekt technologieorientiert mit einem organisationsorientierten Schwerpunkt angesehen werden. [Probst/Raub/Romhardt 1999]

Weitere wirtschaftswissenschaftliche Sichtweisen diskutieren z. B. [Remus 2002] und [Schimmel 2002] ausführlich.

Eine ingenieurtechnische Sichtweise mit der Orientierung an der Prozessabfolge und seinen Wissensflüssen, wie sie typische Produktentstehungstätigkeiten mit sich bringen, stellt beispielsweise der [Berliner Kreis 2002 a] vor. Er weist sechs Zyklusschritte aus: Ausgehend von der Wissensidentifizierung erfolgt die Wissensanwendung verbunden mit der Wissensentwicklung im Anschluss. Aus ihr resultiert dann die Wissensbewahrung, gefolgt von der Wissensbewertung. Sie initiiert den Prozess der Wissensverteilung, welche die Wissensidentifizierung wieder aufgreift. Alle Zyklusschritte unterliegen gleichermaßen den Einflüssen der angestrebten Tätigkeitsziele.

Denkt man von hieraus weiter, so liegt der Schluss nahe, dass sich Wissen als ein Produkt begreifen lässt, für welches sich ebenso ein ingenieurwissenschaftlich gesehen typischer Produktlebenszyklus bzw. die von der Autorin bevorzugte Wirbeldarstellung einer Produktzyklenkette aufstellen lässt. Orientiert an den Bezeichnungen der Wissensmanagement-Bausteine des Modells von [Probst/Raub/Romhardt 1999] gemäß des inneren Kreislaufs ergibt sich damit ein Einzelwirbel, wie ihn das Bild 2-8 zeigt. Hierbei entsprechen die Phasen

- des *Wissenserwerbs* den Kontakten mit Informationen und Sachverhalten,
- der *Wissensentwicklung* der Auseinandersetzung mit neuen Informations- und Situationskontexten,
- der *Wissensidentifikation* dem Aufbereiten und zugehörigen Strukturieren der neu gewonnenen Erkenntnisse,
- der *Wissensbewahrung* dem Speichern und Vorhalten von Wissen im Sinne mittelfristiger Archivierung,
- der *Wissensverteilung* der Bereitstellung des Wissens in expliziten Formen,
- der *Wissensnutzung* seinem Einsatz, seiner Verwendung,
- der *Wissensüberalterung* und des *Vergessens* seinem Wertverfall und Verlust.

Die Wissenslangzeitbewahrung wird analog der Produktbewahrung als eine Auskopplung des tragenden Strangs des in diesem Fall aktiven Wissenspools aufgefasst.

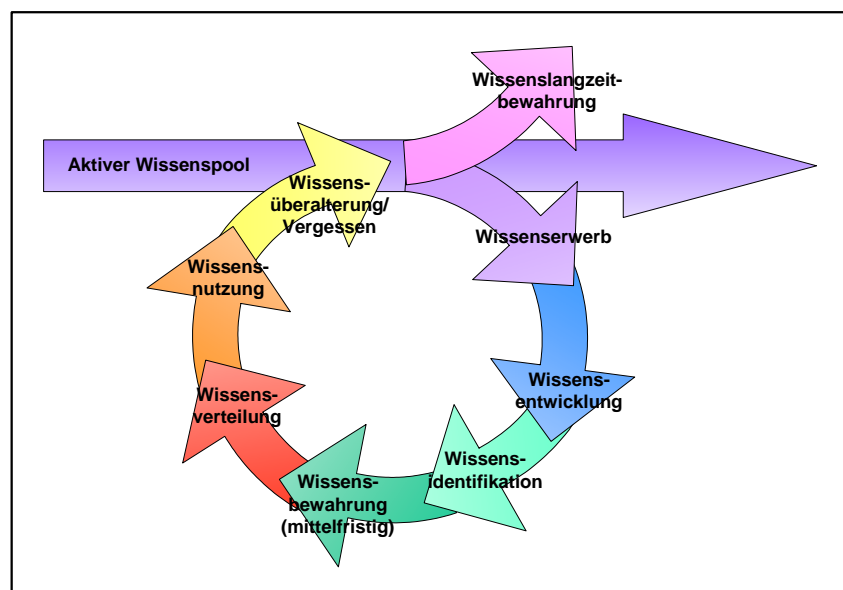


Bild 2-8: Einzelner Wirbel der Produktlebenszyklenkette Wissen

## 2.2.4 Bedeutung von Wissen

Da Wissen Voraussetzung und Mittel von Einfluss, Geltung und Macht sein kann, war es lange Zeit Privileg bestimmter Gesellschaftsgruppen, -stände und -schichten. Hierdurch besitzt Wissen im Grunde genommen eine sehr wichtige soziale Dimension. Sie ist in dem Grundrecht der Garantie des gleichen Zugriffs auf Wissen für jeden Menschen zu sehen, aus welchem das Verantwortungsbewusstsein im Umgang mit Wissen in einem Jeden erwachsen sollte.

Wissen ist stets mehr als die Summe seiner Teile, es ist sehr wertvoll und schafft bei seinem gezielten Einsatz neue Werte. Hierin liegt sein zentraler Wert, denn es bildet die Grundlage für das Können, welches in seiner Anwendung durch aktives Handeln zur Kompetenz wird. [Herbst 2000] Diesen Vorgang illustriert [North 1999] mit seiner Darstellung der Wissens-treppe, als dessen letzte Stufe er die Wettbewerbsfähigkeit der Wissensträger sieht.

Aufgrund der exponierten mannigfaltigen Bedeutung des Wissens für unsere heutige Gesellschaft, von der man ja nicht ohne Grund als Wissensgesellschaft spricht, kann in diesem Kapitel nur kurz auf einige Aspekte ihres großen Spektrums ansatzweise eingegangen werden, sie werden sich vor dem Hintergrund dieser Arbeit den technisch-wirtschaftlichen Belangen widmen.

Betriebswirtschaftlich gesehen bildet sich Wissen durch Anwendung von Informationen innerhalb des unternehmerischen Umfelds. Es stellt für eine Organisation so ein Wertschöpfungspotential dar und gilt als eine höherwertige Form von Information [Davenport/Prusak 1998]. Effizient genutzt verschafft Wissen am Markt Vorteile durch hochwertigere Produkte, geschicktere Kostenverteilungen und bessere Platzierungen. Daher beeinträchtigen Wissensverluste durch das Ausscheiden von Mitarbeitern oder auch das Auflösen von Teamstrukturen, Reorganisationen und Outsourcing-Maßnahmen u. U. den Geschäftserfolg erheblich, dies kann bis zu einem Kompetenzverlust reichen, was von Organisationsentscheidern nicht immer hinreichend bedacht wird. Die heute massiv steigende Bedeutung von Wissen als eine der Hauptressourcen in modernen Geschäftsprozessen führt [North 1999] auf drei wirtschaftlich relevante Triebkräfte zurück:

- die *Informations- und Kommunikationstechnologien*, sie beschleunigen Transaktionen und reduzieren deren Kosten,
- den *strukturellen Wandel zur Informations- und Wissensgesellschaft*, Wissen wird zu einer knappen Ressource und Informations- und Wissensmärkte entstehen,
- die *Globalisierung*, lokaler und globaler Wettbewerb steigen an, internationale Lernprozesse beschleunigen sich.



Aufgrund dieser Veränderungen auf den Wirtschaftsmärkten werden beispielsweise Produktionsstätten der Unternehmen international verlagert, es werden dafür dann eigens Tochterfirmen in den so genannten Billiglohnländern für arbeitsintensive Produktionen gegründet, um die anfallenden Fertigungskosten zu senken. Der resultierende Abbau von Arbeitsplätzen an ehemals traditionsreichen Produktionsstandorten führt in der Regel in Folge zu nicht unerheblichen Wissensverlusten, teilweise sogar bis hin zum Verlernen von Fertigkeiten. Auch wirkt sich dies in der Gesellschaft aus. So kann das eigentliche Wissensvermögen u. U. sogar zum eigenen Nachteil des Einzelnen oder dem von Organisationen werden, werden für seine Inanspruchnahme die Kosten aus wirtschaftlicher Sicht zu hoch. Denn auch für den Einzelnen selbst stellt sein persönliches Wissen einen Wert, seinen eigenen Marktwert als Ressource da. Insbesondere in den wissensintensiven Arbeitsdisziplinen der Ingenieurwissenschaften und Informationstechnologien sind fundiertes technisches Know-how und Know-why sowie verantwortungsbewusste Handlungssicherheit und persönliche Reife für die meisten Tätigkeiten unverzichtbar. Es ist zwar durchaus möglich, gewisse Teilbereiche des Wissens auf die Informationsebene zu verlagern und z. B. durch Software bearbeiten zu lassen, die Umsetzung der Information in Wissen ist jedoch letztendlich immer eine Leistung, die von den Menschen selbst, beispielsweise vom Produktentwickler, vorgenommen werden muss. Welche verschiedenen Aspekte des Wissensensatzes z. B. in einem Produktentstehungsprozess zum Tragen kommen, zeigt der [Berliner Kreis 2002 a] in einer Expertise.

Datentechnisch gesehen gewinnt Wissen in verschiedenerlei Hinsicht stetig an Bedeutung. Die Informations- und Kommunikationstechniken werden bedingt durch kontinuierlichen Wissensensatz in Hard- und Software immer leistungsfähiger und durch so genannte Low-Cost-Produkte für eine größer werdende Zahl an Anwendern bezahlbarer, man denke z. B. an den Boom der Multimediatechniken. Ihre Möglichkeiten revolutionieren aber auch das Daten- und Informationshandling, Wissen lässt sich rechnergestützt in einer Vielzahl elektronischer Repräsentationen in digitalen Dokumenten und in Datenbanken ablegen, in Netzwerken speichern, verwalten und transferieren. Einzelne Computerapplikationen können in begrenzten Rahmen ferner wissensähnliche Kontexte selbständig erzeugen. Das Internet ermöglicht einen internationalen Wissensaustausch in Sekunden.

Doch bergen in Abhängigkeit künftiger Entwicklungen die neuen Möglichkeiten des elektronischen Wissenshandlings auch ihre Gefahren: Daten-, Informations- und Wissensverlust durch Hardwareausfälle und softwaretechnische Spionage verbunden mit Sabotage oder Benutzerfehler, technisches Veralten von Hardwarekomponenten und Softwaresystemapplikationen oder fehlendes Portieren und Aktualisieren von Daten-, Informations- und Wissensbeständen, fehlendes zusätzliches Dokumentieren in anderen Medien. Insbesondere die sich zurzeit vollziehende Umstellung von rein papiergebundener Arbeitsweise auf eine rein rechnergestützte führt zu Brüchen in den organisationalen Wissensbeständen. Und dies wird auch nachhaltig Auswirkungen auf zukünftige fachliche Wissensbestände haben, da es

heute noch nicht abschätzbar ist, bis in welcher entfernter Zukunft elektronische Daten von heute noch lesbar sind.

Abschließend ist noch darauf zu verweisen, dass Wissen prinzipiell durch die Dimensionen Allgemeinheit, Herkunft, Funktion, Präzision und Repräsentation charakterisiert werden kann und sich dementsprechend in verschiedenen Wissensformen darstellen lässt. Wissen kann somit

- *implizit* oder *explizit*, d. h. personengebunden oder personenunabhängig,
- *objekt-* oder *relationszentriert*, also gegenstands- oder kontextbezogen,
- *deklarativ* oder *prozedural*, als Faktenwissen oder Wissen über Vorgehensweisen,
- *zentral* oder *distributiv*, organisatorisch zusammengefasst oder verteilt,
- in *singulärer* oder *multipler Darstellung*, d. h. nur in einer Form oder aber mehreren, sowie
- als *Menge von Aussagen* oder als *Simulationsmodell*, d. h. als textuelle Beschreibung oder als virtuelles Modell

vorliegen [John 2000]. Für detailliertere Erklärungen wird auf die Literatur verwiesen.

## 2.2.5 Wissensprodukte

Nach [Rogulic 2000] wird die Wissensdimension einer Kompetenz von dem Wissensinhalt und der Wissensform geprägt. Hierbei unterscheidet der Wissensinhalt von seinem Ansatz her drei verschiedene Grundformen:

- das *Faktenwissen* (*“know what“*), es beschreibt das Wissen über konkrete Fakten und Ereignisse,
- das *Prozesswissen* (*“know how“*), es umfasst das Wissen zur Durchführung von Entwicklungsprozessen, und
- das *Erklärungswissen* (*“know why“*), hierunter fällt das Wissen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen und Kausalkettenzusammenhänge.

Die Wissensform beschreibt ferner, wie Wissen seinem Charakter nach vorliegt, also im Wesentlichen, ob explizit oder implizit. Zusätzlich beinhaltet die Wissensdimension der Kompetenz aber auch noch eine Form kodierten Wissens, worunter man das Wissen versteht, das in Abbildungen, textuellen Beschreibungen, Daten und Formeln verkörpert in Büchern und Dokumenten, Computerdateien, Datenbanken, Software oder Videos gespeichert ist.

[Probst/Raub/Romhardt 1999] bezeichnen diese Verkörperungen, da es sich bei ihnen um explizites, personenunabhängiges Wissen handelt, als Wissensprodukte. Sind diese käuflich erwerbbar und besitzen sie ihrem Wesen nach eine längerfristige Allgemeingültigkeit, werden sie auch Wissenskonserven genannt. Erst ihre sinnvolle Integration in bestehende Wissensbasen realisiert durch gezieltes menschliches Handeln ihr Potential.

Auch werden immateriell-rechtliche Güter vielfach als Wissensprodukte angesehen, erlaubt ihr Erwerb doch den Einsatz von Forschungs- und Entwicklungsleistungen Dritter beispielsweise über Patente, Lizenz- und Franchiseverträge für eigene Zwecke. Und ebenso sind die materiellen Zielprodukte selbst als Wissensträger, in denen sich „gefrorenes Wissen“ materialisiert hat, wie [Probst/Raub/Romhardt 1999] es umschreiben, als eine Art Sekundärform der Wissensprodukte aufzufassen, denn aus ihnen lässt sich über eine geeignete Vielzahl von Analysen sehr viel ihres Produktwissens im Rahmen des so genannten Reverse Engineering erschließen.

Das immer wieder bekannt werdende bewusste Trachten Einzelner nach dem Erzielen von Marktvorteilen über die Aneignung von Wissen aus persönlichen bzw. organisationsinternen Wissensprodukten auf dem Wege der illegalen Weitergabe und Vervielfältigung sowie dem systematischen Nachahmen von einzelnen oder mehreren offen gelegten Produktmerkmalen bis hin zur Fertigung nicht genehmigter Plagiate zeigt, welches wertvolle Wissenspotential in Wissensprodukten steckt.

## **2.2.6 Wissensmanagementsysteme**

Wissensmanagement (WM), auch Knowledge Management (KM) genannt, stellt, so [Herbst 2000], ein strategisches Führungskonzept dar, mit dem eine Organisation ihr relevantes Wissen ganzheitlich, ziel- und zukunftsorientiert als eine Wert steigernde Ressource gestaltet, indem die eigene Wissensbasis aus individuellem und kollektivem Wissen bewusst, aktiv und systematisch in Hinblick auf angestrebte Ziele entwickelt wird. Ihre stetige Nutzung verbunden mit dem betriebswirtschaftlichen Anspruch, Kosten- und Zeitersparnisse zu ermöglichen, lässt Wissensmanagement somit als ein probates Mittel erscheinen, Organisationsziele qualitativ besser und quantitativ schneller zu erreichen. Im industriellen Verständnis wird Wissensmanagement daher sehr häufig mit Daten- und Informationsmanagement gleichgesetzt [Berliner Kreis 2002 a].

Denn erst durch praktiziertes Wissensmanagement wird es möglich, einen Informationspool aufzubauen und ihn so zu erweitern, dass am Entwicklungsprozess beteiligte Personen direkt bzw. zeitnah auf umfassende, vernetzte und detaillierte Informationen zur Entscheidungsfindung zurückgreifen können. Deshalb verwundert es auch nicht, wenn in der sehr zahlreichen, insbesondere wirtschaftswissenschaftlichen Fachliteratur zum Thema Wissen die unterschiedlichsten Wissensmanagementkonzepte existieren und propagiert werden.

Traditionelle Konzepte des Wissensmanagements orientieren sich dabei im Wesentlichen in zwei Hauptrichtungen; zum einen bieten sie einfache praxisorientierte Lösungen für Prozessbeteiligte an, Wissensmanagement aktiv zu steuern, zum anderen versuchen sie, über Bewertungs- und Ausrichtungsansätze der Wissensbasen der Organisationen, Wissensmanagement zu implementieren [Kuppinger/Woywode 2000]. Erfolgreiches Wissensmanagement bedeutet also gleichermaßen die bewusste Investition in Mensch, Organisation und Technik.

Einer der wichtigsten kritischen Erfolgsfaktoren im Wissensmanagement bezieht sich neben der Managementunterstützung auf das so genannte Knowledge Sharing in der organisatorischen Gestaltung von Wissensprozessen sowie deren technologischer Infrastruktur. Ausführlich stellt dies beispielsweise [Remus 2002] dar. Vergleicht man die einzelnen in der Literatur behandelten Wissensmanagementaktivitäten untereinander, so fällt auf, dass generell durchaus sehr unterschiedliche Unterscheidungen anzutreffen sind, wobei die zehn im Folgenden Aufgezählten diese wohl hinreichend repräsentieren [Remus 2002]:

- *Wissen identifizieren*, also transparent machen,
- *Wissen entwickeln*, somit aufnehmen bzw. erfassen,
- *Wissen erwerben* und damit sammeln,
- *Wissen bewerten*, d. h. evaluieren,
- *Wissen aufbereiten*, hierunter sind Vorgänge des Organisieren, Klassifizieren, Kombinieren, Integrieren, Formalisieren und Publizieren zu verstehen,
- *Wissen bewahren* durch gezielte Speicherung, Kodifizierung und Sicherung,
- *Wissen verteilen* im Sinne von Teilen, Transferieren und Publizieren,
- *Wissen suchen*, dies entspricht bewusstem Navigieren und Zugreifen,
- *Wissen anwenden*, quasi nutzen, einbetten, weiter- und wieder verwenden und
- *Wissen weiterentwickeln* und damit den Kenntnisstand verbessern und erweitern.

Diese Aktivitäten erlauben, Managementprozesse in logische Phasen zu strukturieren. Geht es dabei insbesondere um die Strukturierung von Expertenwissen, kann eine Orientierung an dem Stufenmodell von Dreyfus und Dreyfus, so [Petkoff 1998], welches die Aneignung von Fertigkeiten in Kompetenzschritte gliedert, helfen zu verstehen, welche Lernprozesse verbunden mit der persönlichen Reife des Einzelnen die Entwicklung zum fachlichen Experten hin durchläuft. Es wird unterschieden in

- den *Novizen*, er eignet sich erste kontextfreie Regeln auf klar umrissenen Fakten und -merkmale an,

- den *fortgeschrittenen Anfänger*, er beherrscht zu einem größeren Umfang kontextfreie Regeln und praktische Erfahrungen, welche das Erkennen von situationsspezifischen Besonderheiten ermöglicht,
- den *kompetent Handelnden*, er kann aufgrund systematischer Erfahrungen planvoll handeln,
- den *situationsgerecht Handelnden*, er kann Situationen intuitiv verstehen und unbewusst situationsgerechte Pläne auswählen, und
- den *Experten*, er löst, vorausgesetzt es treten keine außergewöhnlichen Schwierigkeiten auf, weder bewusst Probleme, noch trifft er Entscheidungen, er handelt einfach so, wie er üblicher Weise an die Aufgaben herangeht.

Abschließend sei darauf verwiesen, dass sich umfassende Darstellungen wissenschaftlicher Ausführungen zu Wissensmanagement insbesondere in [Remus 2002], [Schimmel 2002], und [Stoeber 2001] finden. [Braun 2000], [Doblies 1998], [Langenberg 2001] und [Liese 2004] beschäftigen sich beispielsweise speziell mit der ingenieurtechnischen Integration von Wissensmanagement in die Phasen der Produktentstehung, und sehr wirtschaftspraxisnahe Darstellungen finden sich u. a. in [Davenport/Prusak 1998], [Gentsch 1999], [Herbst 2000], [North 1999] und [Probst/Raub/Romhardt 1999].

## 2.2.7 Wissensbewahrung

Einmal erworbenes Wissen steht nicht automatisch für immer zur Verfügung, es bedarf gewisser Managementanstrengungen, gezielt Individual- und Organisationswissen für die Zukunft zu bewahren, so [Probst/Raub/Romhardt 1999]. Diese Absicherung zählt zu den wichtigsten Aufgaben eines effizienten Wissensmanagements, d. h. es müssen Prozesse zur Selektion des Bewahrungswürdigen, seine angemessene Speicherung und seine regelmäßige Aktualisierung bewusst gestaltet werden. Hierbei sollte auch auf verschiedenste organisationale Speichermedien für Wissen gesetzt werden, denn alles grundlegende Wissen, welches in Zukunft Dritten nutzbar sein könnte, sollte prinzipiell bewahrt werden.

So ist es in der Produktentwicklung beispielsweise unbedingt sinnvoll, teilweise sogar zwingend erforderlich, dass alle bewusst zielgerichtet erzeugten Informationen aufbewahrt und soweit wie möglich in nachfolgenden Wertschöpfungsprozessen weiter verwendet werden. Auf der Grundlage einer vorhandenen Informationsbasis fällt es zudem bei zukünftigen Entwicklungsprojekten leichter, optimale Problemlösungen zu generieren, wenn auf bereits Bekanntes zurückgegriffen werden kann [Anderl/Beuthel 2003]. Besonders vor dem Hintergrund zunehmender Spezialisierungen und damit verbundener wirtschaftlicher Outsourcing-Aktivi-

täten spielt die Bewahrung und Wiederverwendung von Informationen in Geschäftsprozessen eine wichtige Rolle. [Langenberg 2001]

Während sich bei Menschen in Organisationen das Problem ergibt, dass personenunabhängige Wissensbewahrung infolge von Fluktuation, Vergessen oder Desinteresse an ihre Grenzen stößt, ermöglichen Datenbanken, Expertensysteme oder computergestützte Informationssysteme längerfristig einen systematischen und personenunabhängigen Zugriff auf archivierte Informationen. Auch Papier gebundene Dokumentationen kommen hierbei in Betracht. Aus diesem Grund stellt sich Wissensbewahrung insbesondere in wirtschaftlich aktiven Organisationen als ein permanenter Erneuerungsprozess dar, der durch ständige aktive Bemühungen aufrecht erhalten werden muss, da sowohl durch die Fluktuation von Mitarbeitern wie auch durch technische Ausfälle genutzter Speichermedien u. U. sehr viel spezifisches Wissen verloren gehen kann, welches sich womöglich nur mit erheblichem finanziellem Aufwand durch Zuführung von außen erneut erwerben lässt.

Ganz generell, dies sei als Fazit zur Wissensbewahrung aufgestellt, sollte alle Wissensbewahrung als Quelle neuer Wissensschöpfung angesehen werden, die es gilt aktiv für die Zukunft zu gestalten und zu nutzen, denn das Weiterleben von Wissen, seine bewusste, gezielte Weitergabe in der Erziehung und Bildung einer Gesellschaft sowie das Vererben von persönlichen Erfahrungen über Generationen hinweg sichert die Wissensbasis der künftigen Menschheit.

Bleibt an dieser Stelle noch anzumerken, dass zwar die Fachliteratur zu Wissen und insbesondere zu Wissensmanagement den Begriff der Wissensbewahrung prinzipiell reflektiert, sein Geltungsbereich hierbei aber im Wesentlichen nur die nähere Zukunft, welche für abzuschätzende wirtschaftliche Betrachtungen noch sinnvoll erscheint, beispielsweise für Gewährleistungszeiträume, einschließt. An eine nachhaltige Langzeitbewahrung, wie sie den Hauptfokus dieser Arbeit darstellt, wird bislang, so scheint es, noch nicht offen in der Fachliteratur nachgedacht. Dies mag damit zusammenhängen, dass zurzeit gerade erst das Thema der „einfachen“ Wissensbewahrung ein nachhaltiges steigendes Interesse erfährt.

## **2.3 Begriffsklärung *Produktwissen***

Nach der Darstellung der Begrifflichkeiten von Produkt und Wissen erfolgt hier nun die Zusammenführung zu dem Begriff des Produktwissens. Um Parallelen in der Begrifflichkeit erkennen zu können, wird eine annähernd gleiche Betrachtungsweise zu seiner Entstehung, seinem Lebenszyklus und seiner Bedeutung gewählt. Auch wird der Aspekt der Produktwissensbewahrung deshalb an dieser Stelle kurz aufgegriffen. Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass hier nur die jeweilige Zusammenführung der zuvor dargestellten Sachverhalte von Produkt und Wissen in Bezug auf das Produktwissen dargestellt werden soll.

Weiterführende grundlagenbezogene Literatur zu diesem Kapitel findet sich u. a. in [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001], [Ehrlenspiel 1995], [Koller 1994], [Otto/ Wood 2001], [Pahl u. a. 2003], [Schichtel 2002], [Spur/Krause 1997].

### 2.3.1 Begriffliches Verständnis

Eine begriffliche Definition für Produktwissen ist weder im [Duden 1989], noch in einem allgemeinen Lexikon wie dem von [Meyers 1987] zu finden. Dies deutet daraufhin, das man den Begriff *Produktwissen* sprachlich als ein zusammengesetztes Nomen auffassen muss, das in seinem Grundwesen dem zweiten Wort entspricht, also ein Wissen darstellt, und das durch das erste Hauptwort in seinem Charakter spezifiziert wird; hierin drückt sich somit der Produktbezug aus. Produktwissen ist demnach eine Wissensklasse, welche alles Wissen zu Produkten in sich subsummiert.

Orientiert an der Definition von Wissen nach [Probst/Raub/Romhardt 1999, S. 46] ergibt sich so in Anbetracht der eigenen Umschreibung des Verständnisses von Produkten:

*Produktwissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von produktbezogenen Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen, die Produkte in ihrer Realisierung als technische Erzeugnisse zum Zwecke ihrer formgebenden Herstellung betreffen. Das Produktwissen stützt sich auf Daten, Informationen und originär personengebundenen Wissen, denn es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge.*

Eindeutige Definitionen oder zumindestens allgemeine Umschreibungen, was unter Produktwissen verstanden werden soll, finden sich in der Fachliteratur nicht. Wird dieser Begriff verwandt, so lässt sich seine Bedeutung aus dem Kontext erschließen oder es wird ein entsprechender Hinweis zur Abgrenzung bzw. Auffassung des Autors gegeben. So verstehen [Spur/Krause 1997] beispielsweise produktbezogenes Forschungswissen, Konstruktionswissen und Prozesswissen hierunter, [Heynen 2001] im Wesentlichen für seine Arbeit ein berechnungsspezifisches Produktwissen als Untermenge des gesamten Konstruktionswissens über Produkte, welches sich ferner auch noch methoden- und entwicklungsphasenspezifisch darstellt. In der Informatik wird häufig Produktwissen als Wissen zu Softwareprodukten im Sinne der Kenntnisse zu den einzelnen Produktversionen verstanden.

Der Strukturbaum in Bild 2-9 soll analog zu den Darstellungen in Kapitel 2.1.1 und 2.2.1 abschließend einen Überblick über die Gliederung von Produktwissen im Sinne dieser Arbeit geben. Es wird eine Grundeinteilung in naturwissenschaftliches Grundlagenwissen, fachspezifisches Faktenwissen und prozedurales Wissen vorgenommen. Das naturwissenschaftliche Wissen teilt sich dann entsprechend weiter in die vier für ingenieurtechnische Gegenstände

relevanten Grundwissenschaften Physik, Chemie, Mathematik und Informationstechnik samt ihren Fachdisziplinen auf. Das fachspezifische Faktenwissen fasst das Wissen der Ergonomie, der Produktentstehungstechnik, der Rechtswissenschaft und der Wirtschaftswissenschaft zusammen. Ihre Einzeldisziplinen der nächsten Ebene sind die Systemergonomie und die Anthropometrische Ergonomie, die Planungswissen und die Konstruktionslehre, die Arbeitsvorbereitung und die Fertigung. Ferner kommen noch die Rechtsgrundwissenschaften und die Rechtsdogmatik sowie die Betriebswirtschaftslehre und Volkswirtschaftslehre hinzu. Unter dem prozeduralen Wissen wird an dieser Stelle das Methoden- und Erfahrungswissen verstanden. Ihre Einzeldisziplinen sind die Begriffsbildung, die methodischen Vorgehensweisen, das situative Wissen, das Prozesswissen sowie die Sachkompetenz.

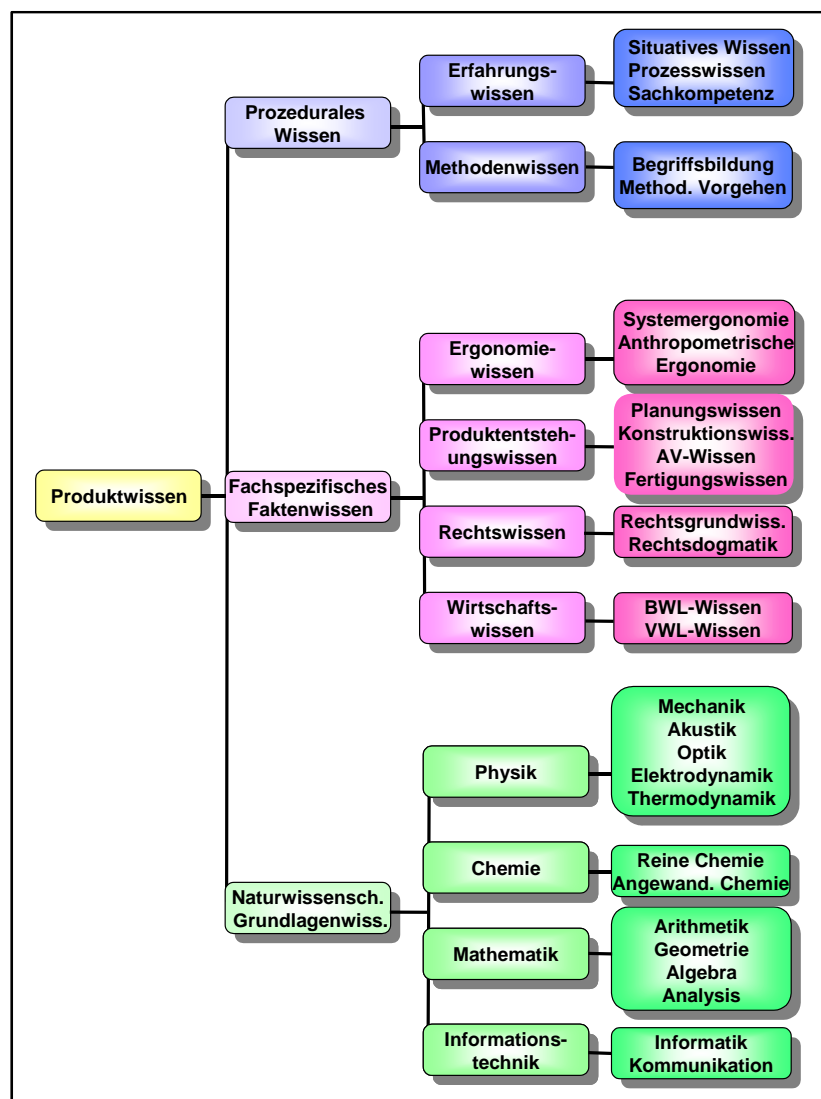


Bild 2-9: Strukturbaum *Produktwissen*



### **2.3.2 Entstehung von Produktwissen**

Die moderne Datenverarbeitung verändert sich in unserer heutigen Zeit in eine Richtung, in der Daten nicht nur berechnet und gespeichert werden, sondern in Form von Informationen interpretiert, aufbereitet und anwendergerecht bereitgestellt werden können. Während sich Produktdaten als bloße Zeichenfolge ohne besondere Verwendungshinweise ansehen lassen, ist für Produktinformationen charakteristisch, dass sie Kenntnisse über Abläufe, Tatsachen oder Ereignisse in Bezug auf spezielle Produkte vermitteln. Im Vergleich zu den Daten ist ihnen ein bestimmter Problembezug zu eigen, sie besitzen eine bestimmte Zweckorientierung mit eigener Semantik, aus welcher das jeweilige Produktwissen entsteht. Die stetige Anwendung von Produktwissen in seinen Fachdisziplinen wird mit seiner Routine zum Können und manifestiert sich letztlich in einer Produktwissenskompetenz, auf welche gemäß Treppenmodell von [North 1999] an oberster Stelle nur noch die Wettbewerbsfähigkeit folgt.

Produktwissen entsteht vom Prinzip her auf genauso vielfältigen Wegen, wie sie zuvor für das Wissen allgemein dargestellt worden sind, Wissensgrundlagen werden in der Regel mit der Erziehung, Schulbildung und Ausbildung vermittelt, darüber hinaus wächst es implizit in jedem Menschen gemäß seinen Interessen an dem jeweiligen einzelnen Produkt. Im Falle von organisationalem Produktwissen bedeutet dies, dass gezielt Methoden des Produktdatenmanagements und Wissensmanagements anzuwenden sind, um eine explizite kollektive Wissensbasis zum jeweiligen benötigten Produktwissen auf- und auszubauen, welche dann auch das erworbene Produktwissen bewahren lässt.

Es wird hierunter das gesamte Wissen rund um ein Produkt verstanden, welches durch seine Produktentwicklung und -weiterentwicklung entsteht und sich in der Versions- und Variantenbildung fortsetzt und welches sich ferner über seinen Produktlebenszyklus aufsummiert. So entsteht durch Grundlagen-, Fach- und Erfahrungswissen zusammen mit Prozess- und Lebenszykluswissen verbunden mit gesellschaftssoziologischen Aspekten das Produktwissen eines betrachteten Produkts.

### **2.3.3 Produktlebenszyklus *Produktwissen***

Als eine Wissensklasse durchlebt das Produktwissen natürlich auch nahezu die gleichen charakteristischen Lebenszyklen wie das Wissen allgemein, es entsteht und veraltet, es wird erworben und wieder vergessen. Je nach Betrachtungsweise kann diese Sachlage als natürlicher Lauf der Dinge völlig unerheblich sein oder aber auch absolut fatal, stellt das spezifische Produktwissen beispielsweise die Grundlage einer wirtschaftlichen Unternehmung dar.

In Bild 2-10 wird entsprechend der im Kapitel 2.2.3 vorgestellten Produktlebenszykluskette des Wissens hier ein Kettenwirbel der Produktlebenszykluskette für das Produktwissen vorgestellt. Seine Phasen sind

- die *Produktmotivation* als Antrieb, sich mit einem Produkt näher zu befassen,
- die *Produktrecherche* als das Zusammentragen aller geeigneten auffindbaren expliziten Daten-, Informations- und Wissensbestände zu einem Produkt,
- die *Informationsinterpretation* als ein Strukturieren und Auswerten der zusammengetragenen Fakten,
- die *Wissenserkenntnis* als die Speicherung neuen Produktwissens,
- die *Wissenspublikation* als Externalisierung des neuen Produktwissens,
- die *Wissensapplikation* als Einsatz und Anwendung des Produktwissens sowie
- die *Wissensselektion* und der *Wissensverlust* als Vorstufe des Bewahrens oder Vergessens von Produktwissen.

Die Produktwissenslangzeitbewahrung wird analog der Produktbewahrung sowie der Wissenslangzeitbewahrung als eine Auskopplung des tragenden Strangs, hier des aktiven Produktwissenspools, aufgefasst.

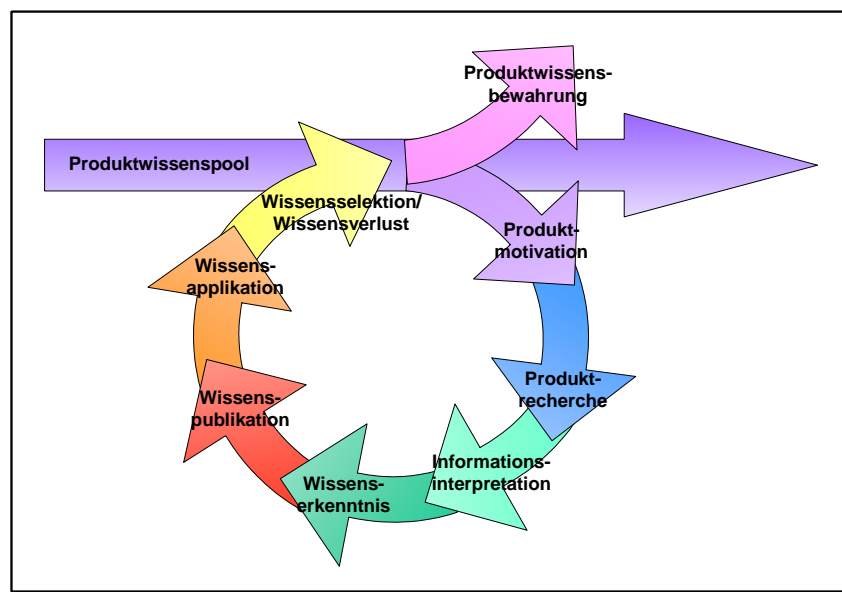


Bild 2-10: Einzelner Wirbel der Produktlebenszyklenkette *Produktwissen*

### 2.3.4 Bedeutung von Produktwissen

Produktwissen, insbesondere Produktspezialwissen, ist heute einer der bedeutendsten Produktions- und Wirtschaftsfaktoren weltweit für Organisationen. Es entscheidet über Wettbewerbsvorteile am Markt sowie über produktionswirtschaftliche Effektivität. Es bildet die Ausgangsbasis für leistungsstarke Innovationen, in dem es das spezifische Know-what, Know-

how und Know-why für einzelne Produkte über ihre jeweiligen Entwicklungslinien zusammenträgt. Einzelne Aspekte wie z. B. das Design eines gegenständlichen Produkts in seinen Farben und Materialien spiegeln hierbei jeweils den Zeitgeist des gesellschaftssoziologischen Geschmacks ihrer Zeit wieder. Auch sind Produktentwicklungslinien ein Abbild der technischen Leistungsfähigkeit der Gesellschaft zu ihrer jeweiligen Zeit, sie geben Auskunft über technische Lösungen und konstruktive Vorlieben.

Produktwissen lässt sich durch frühzeitige Bereitstellung von Expertenwissen, durch gezielte Wissensgenerierung und -bestätigung durch geeignete Simulationen und Berechnungen sowie Informationsbereitstellungen erweitern. Auch das Feedback aus Produktlebenszyklen, Bewertungs- und Optimierungsmethoden sowie organisationale Entscheidungsunterstützungen helfen, Produktwissen stetig zu mehren. [Bugow 1996]

Produktwissen lässt sich datentechnisch gesehen zwar mittlerweile sehr gut in Wissensdokumenten und Wissensprodukten konservieren, jedoch reicht für seine Bewahrung eine reine Archivierung des Spezialwissens in PDM- und Dokumentenmanagementsystemen bzw. auf singulären elektronischen Speichermedien nicht aus, denn man muss nicht nur wissen, dass, wo und wie man etwas gespeichert hat, sondern man sollte auch mit seinem Inhalt, dem abgelegten Was vertraut sein. Ferner gilt es stets den etwaigen Wissensverlust durch Hardware-Systemausfall bzw. softwaretechnischen Verlust zu bedenken. Dies macht eine permanente Pflege des Digitalbestands unverzichtbar. Infolge führt sie mitunter zu einer parallel gepflegten konservativen Wissensbewahrung mittels papiergebundener Medien zurück.

Aus historischer Sicht ist technisches Produktwissen eines der wichtigsten Wissensquellen über die Menschheit, bildet es doch in ihm direkt das jeweilige „erdgeschichtliche“ Leistungsvermögen dieser ab. Auch lassen sich über die verschiedenen Entwicklungsstände sehr gut technische Schwächen und Fehlentwicklungen in und von einzelnen Produkten im Rückblick nachvollziehen. Ihre Erkenntnisse können den zukünftigen Produktentwicklungen wiederum optimierend zugute kommen.

### **2.3.5 Produktwissensprodukte**

Gemäß den Ausführungen über Wissensprodukte in Kapitel 2.2.5 lassen sich demnach unter Produktwissensprodukten all diejenigen Verkörperungen von allem *Faktenwissen* (*“know what“*), *Prozesswissen* (*“know how“*) und *Erklärungswissen* (*“know why“*) verstehen, welche eigenständigen, speziellen Darstellungen von explizitem, personenunabhängigem Wissen konzentriert auf einzelne Produkte in ihren Versionen und Varianten, auf Produktarten oder auf Produktklassen entsprechen. Sind diese käuflich erwerbbar und besitzen sie ihrem Wesen nach eine längerfristige Allgemeingültigkeit, kann man sie somit auch im Sinne von [Probst/Raub/Romhardt 1999] als Produktwissenskonserven bezeichnen.

### **2.3.6 Produktwissensmanagement**

Innerhalb eines Produktentstehungsprozesses beinhaltet der Begriff des Produktwissens die erforderlichen Methoden, Fakten und Regeln über den zu erwartenden Produktlebenszyklus, die Produktbaugruppen und Produktdaten in technischer wie auch wirtschaftlicher Hinsicht. Dieses Wissen ist zudem entweder allgemein, branchen-, unternehmens- oder einzelproduktspezifisch. Ihnen allen ist gemein, dass all dies heute in jedem Wirtschaftsunternehmen bewusst gesammelt und bewahrt werden sollte und daher sämtliche entstehenden Dokumente und Applikationen einer Produktentwicklung zumindestens zentral zu speichern und geeignet zu archivieren sind. Diese Aufgaben leisten heutige PDM- und Dokumentenmanagementsysteme prinzipiell, jedoch fehlt ihnen in der Regel noch der bewusste Ansatz zur wirklichen Wissensbewahrung, der inhaltlichen Verknüpfung, Auffindbarkeit und Offenlegung von gespeichertem Wissen in Produktentwicklungslinien gestützt auf ein jeweiliges zentrales Integriertes Produktmodell gemäß der ISO 10303.

Hieraus gefolgert müssen sich PDM-Systeme in den nächsten Jahren zwingend durch geeignete Integration der Wissensmanagementaktivitäten zu entsprechend so genannten PWM-Systemen, Produktwissensmanagement-Systemen, weiterentwickeln, will man ernsthaft von dem Ansatz einer Langzeitarchivierung zu einer Langzeitbewahrung von Produktwissen übergehen. Aus ihm ergäben sich auf dem Wege des Product Knowledgeing so genannte Computer Aided Kems, virtuelle produktbezogene Wissensschätze [Anderl/Beuthel 2003].

### **2.3.7 Bewahrung von Produktwissen**

Prinzipiell gilt die Kernaussage, dass mit der Etablierung von Wissensmanagementstrukturen Produktdatenmanagement auf Dauer noch effizienter betrieben werden kann. Ob dies auch zu einer verstärkten echten Bewahrung von Produktwissen in derartigen Systemen führt, muss die Zukunft zeigen.

Hiervon ganz abgesehen, sollte der Hauptaspekt der Produktwissensbewahrung ohnehin in der bewussten Langzeitbewahrung von wichtigen Sekundärquellen der Produkte, ihren Dokumentationen in Bild, Wort und Ton und ihren CAD-Modellen, DMU- und VR-Applikationen gesehen werden. Diese sollten sogar bei der heutigen Flut anfallender Produktdaten als ausgewählte Dokumente und Modelle bewusst gesondert verwahrt und gepflegt werden. Auch sind zusätzlich noch eigens hierfür erstellte Informationsgraphiken und Informationssimulationen denkbar, welche es erlauben, u. a. die Aspekte des nichttechnischen Produktwissen durch geeignete Visualisierungen in explizite Kontexte zum Produkt zu setzen.

## 3 Virtuelle 3D-Gestaltvisualisierungen

Die menschliche Wahrnehmung erfolgt situationsbezogen in einer räumlich dreidimensionalen, sich zeitlich verändernden Umwelt, so dass auch die aufsummierten resultierenden Sinneseindrücke des Menschen hieran angepasst stets räumlich zeitbezogen von ihm interpretiert werden. Hierbei spielt sowohl die rationale wie auch die emotionale Wahrnehmung dieser eine große Rolle. Um ihre Grundlagen vorzustellen, werden nachfolgend zunächst kurz die Hauptaspekte der menschlichen Wahrnehmung aufgezeigt, an welche sich eine Übersicht über die grundlegenden möglichen Gestaltungsmerkmale einer 3D-Gestaltvisualisierung anschließt. Das Kapitel endet mit einem Blick auf die wichtigsten Arten virtueller 3D-Gestaltvisualisierungen.

### 3.1 Menschliche Wahrnehmung

Um rechnergenerierte 3D-Visualisierungen wahrnehmungstheoretisch gestützt zu erstellen, bedarf es einiger grundlegender Kenntnisse der menschlichen Wahrnehmung, welche zumeist zwar intuitiv als solche bereits richtig eingesetzt werden, an dieser Stelle jedoch die spätere wissenschaftliche Herleitung der entwickelten Methode begründend kurz explizit vorgestellt werden sollen.

Weiterführende grundlagenbezogene Literatur zu diesem Kapitel findet sich u. a. in [Eichhorn 1990], [Ellis/Kaiser/Grunwald 1993], [Gibson 1973], [Gibson 1982], [Goldstein 2002], [Guski 2000], [Hajos 1991], [Hornung/Miram1980], [Johannsen 1993], [Knodel/Bayrhuber 1983], [Mayer 2000], [Miram 1978], [Murch/Woodworth 1978], [Schmidtke 1993], [Zimbardo 1992].

- **Wahrnehmungsprozess**

Die Wahrnehmung ist ein physiopsychischer Prozess der Gewinnung und Verarbeitung von Informationen aus äußeren und inneren Reizen, welcher zumeist zu einem bewussten Erfassen von Gegenständen und Vorgängen führt. Unterstützt und teilweise mitbestimmt wird er sowohl durch Empfindungen wie auch durch Gedächtnisinhalte, Interessen, Gefühle, Stimmungen und Erwartungen. [Meyers 1987]

Um die verschiedenen Reize wahrzunehmen, die auf den Menschen in seiner Umwelt einwirken, besitzt er unterschiedliche Arten von Rezeptoren. Diese nehmen die Reize auf und leiten sie als Nervenimpulse in das Gehirn. Hier werden sie gefiltert, strukturiert und in den vorhandenen Wissensstand integriert. Dabei erfolgt auch eine Interpretation, denn nur so lässt sich die Vielzahl aufgenommener Informationen überhaupt verarbeiten. In etwa

$10^{10}$  bit/s nimmt der Mensch an Reizen aus seiner Umwelt auf, wovon sein Gehirn jedoch je nach Konzentrationszustand nur bis zu  $10^2$  bit/s verarbeitet. [Mayer 2000]

Die Wahrnehmung muss daher als ein Aufeinandertreffen der den Menschen umgebenden äußeren Reize seiner persönlichen Umwelt mit seinen inneren, als Sinneserfahrung bereits bekannten Reizmustern verstanden werden. Ihr Prozess umfasst sowohl die Rezeption, die Reizaufnahme durch die Sinnesorgane, wie auch die Perzeption, die eigentliche Reizwahrnehmung. Die Reizaufnahme selber stellt hierbei für die Sinnesorgane nur einen peripheren Prozess dar [C. Beuthel 1997].

Die Sinnesmannigfaltigkeit an sich besitzt nach [Schmidtke 1993] die vier Grunddimensionen

- die *Zeitlichkeit*,
- die *Räumlichkeit*,
- die *Qualität* und
- die *Intensität*.

Der Mensch verfügt über fünf Arten von Sinnesorganen, es sind dies

- die *Augen* zur visuellen Reizaufnahme, dem Sehen,
- die *Ohren* zur auditiven Reizaufnahme, dem Hören,
- die *Nase* zur olfaktorischen Reizaufnahme, dem Riechen,
- die *Zunge* zur gustatorischen Reizaufnahme, dem Schmecken,
- die *Haut* zur haptischen Reizaufnahme, dem Fühlen.

[Geldard 1972], welcher wahrnehmungsprozessorientiert die menschlichen Sinne als Systeme auffasst, zählt als sechstes zudem das vestibuläre System auf, welches den Gleichgewichtssinn des Menschen betrifft. Ferner unterscheidet [Bormann 1994] zusätzlich noch das kinästhetische System. Es vermittelt dem Menschen Wahrnehmungen über die Lage sowie den Zustand seiner Muskeln und Gelenke, über Bewegungen von Körperpartien und auf sie einwirkende Kräfte. Eine Klassifikation nach Art der Reizung führte [Sherrington 1906] zu der Unterteilung in

- ein *exterozeptives System*, es umfasst alle Reize, welche von außen auf den Menschen einwirken,
- ein *interozeptives System*, dies meint alle Sinneseindrücke, welche innerhalb des Körpers entstehen, dies sind im Wesentlichen die Gefühle, sowie

- ein *propriozeptives System*, es bündelt die Reize, die aus den Körperbewegungen resultieren.

[Stevens 1996] erweiterte diese Systemgliederung noch um ein viertes System: die Wahrnehmung von Fantasien. Als diese versteht er die Erinnerungen des Menschen, seine Vermutungen sowie seine Vorstellungen und die von ihm gemachten Planungen.

Die eigentliche Reizwahrnehmung, so [Guski 2000], entspricht einem kognitiven Prozess, welcher sich im Nervensystem des Gehirns vollzieht. In ihm werden aus den aufgenommenen Reizen zusammenhängend Formen, verknüpfte Strukturen und Informationen, so dass durch ihn die Vorgänge der Merkmalsbildung und Mustererkennung zu wesentlichen Bestandteilen der Wahrnehmung werden [Zimbardo 1992].

Das Begriffsverständnis von Wahrnehmung und Empfindung variiert in der Fachliteratur in nahezu gleicher Weise wie es dies, wie im Kapitel 2 gezeigt, für den Wissensbegriff tut, weshalb an dieser Stelle auch nicht detaillierter hierauf eingegangen wird. Ebenso existieren sehr vielfältige verschiedene Ansichten darüber, ob der Wahrnehmungsprozess als in sich ungeteilt (siehe z. B. [Gibson 1982]), zweiteilig als eine Folge von Reizempfindung und Wahrnehmung [Hajos 1991] oder gar dreigeteilt als eine Sequenz aus Reizempfindung, Wahrnehmung und Kognition [Rock 1975] verstanden werden sollte.

Anhand der Darstellung in Bild 3-1, welche sich auf ein Modell nach [Murch/Woodworth 1978] stützt, wird kurz der Wahrnehmungsprozess in seinen Grundzügen erläutert.

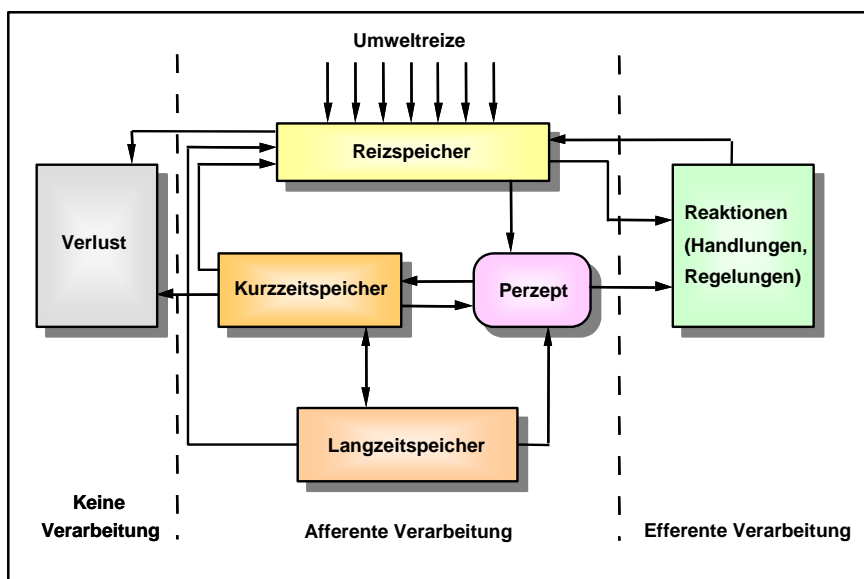


Bild 3-1: Wahrnehmungsprozess nach [Murch/Woodworth 1978]

Im Wesentlichen unterscheidet man im Wahrnehmungsprozess dreierlei Möglichkeiten der Reizverarbeitung. Die direkteste Verarbeitungsweise ist die efferente, vom Reizspeicher aufgenommene Umweltreize lösen ohne eine Vorverarbeitung Reaktionen aus. Erfolgt eine Vorverarbeitung, so spricht man von der afferenten Verarbeitung, welches bedeutet, dass die Reize in eine Wahrnehmung, ein so genanntes Perzept, umgesetzt und dann in das so genannte Kurzzeitgedächtnis, den Kurzzeitspeicher, verschoben werden. Von hier aus erfolgt entweder über den Reizspeicher, welcher auch eine zeitliche Pufferfunktion erfüllt, eine Reaktion auf die Wahrnehmung oder ihre Information geht verloren. Auch können von hieraus in besonderer Weise selektierte Perzepte im so genannten Langzeitgedächtnis relativ dauerhaft zwischengespeichert werden, um bei Bedarf in den Wahrnehmungsprozess eingebunden zu werden. Werden aufgenommene Umweltreize aufgrund der Filterung des Reizspeichers nicht verarbeitet, entspricht dies ihrem direkten Verlust.

Das beschriebene Modell zeigt so, dass alle Wahrnehmungen, die im Kurz- oder Langzeitgedächtnis eines Menschen gespeichert sind, mindestens einmal als Perzept verarbeitet worden sind. Da Kurz- und Langzeitgedächtnis hierdurch die Reizaufnahme beeinflussen und die Perzeptselektion steuern, können sie auch Reaktionen auf Perzepte auslösen und das Entstehen von so genannten Gedächtnisbildern ermöglichen, welche ohne direkte Reizaufnahme von außen entstehen [C. Beuthel 1997].

Schlussfolgernd bedeutet dies, dass sich implizites Wissen als einzelne Sammlungen von Perzepten und ihren Verknüpfungen in Kurz- und Langzeitgedächtnis eines Menschen auffassen lässt, auf welchen ebenso seine mehr oder minder spontanen Wahrnehmungsempfindungen als Reaktionen beruhen. In Bezug auf wissensverknüpfende Handlungen sind dies vor allem

- die *Assoziation* als ursächliche Verknüpfung von Vorstellungen,
- die *Emotion* als spontane Gefühlsregung bzw. Gemütsbewegung, sowie
- die *Illusion* als eine nicht gegebene Sachverhalte vortäuschende Wirkung von Wahrnehmungen.

Bei ihrem gezielten Einsatz, quasi ihrer bewussten Mitverknüpfung, können sie den Wissenserwerb sowie auch die Wissensbewahrung nachhaltig durch die von ihnen initiierten Denkprozesse zu Parallelitäten und gedanklichen Fortsetzungen bzw. Ergänzungen unterstützen.



## • Wahrnehmungstheorien

Eine Vielzahl von Einzelprozessen beginnend an den Rezeptoren der Sinnesorgane leistet im Wahrnehmungsprozess des Menschen die Zusammenfassungen, Differenzierungen und Komprimierungen der aufgenommenen Informationen seiner ihn umgebenden Umwelt.

Um diese als Teilvorgänge des Wahrnehmungsprozess genauer erfassen und untersuchen zu können, wurden von verschiedenen Forschern der Wahrnehmungspsychologie basierend auf unterschiedlichen wissenschaftlichen Ansätzen insbesondere Theorien zur Visuellen Wahrnehmung entwickelt, welche gezielt das Erkennen und Interpretieren dieser Wahrnehmungsteilprozesse unterstützen sollen. Denn in der angelsächsischen Wahrnehmungspsychologie entwickelte sich schon in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts die Tendenz, generell der Wahrnehmung eine größere Kompetenz und Reichweite bei der Aufnahme von Informationen aus der Umwelt zuzuschreiben.

Der Mensch, so [Klöcker 1980], ist ein Augenwesen oder abstrahierter ausgedrückt ein Augenlebewesen. Dies meint, dass alle anderen in seiner Welt vorkommenden Signalmedien beim Menschen zugunsten einer sehr ausgeprägten Wahrnehmung von Form- und Farbsignalen, überwiegend von Formsignalen, in den Hintergrund getreten sind. 60 bis 80 % aller Informationen erfasst der Mensch über seine Augen. Daher wird dem Auge insbesondere in der abendländischen Kultur seit jeher eine Schlüsselposition unter den Sinnesorganen zugesprochen, es gilt als Sinnbild des Geistes und Verbündeter der Vernunft.

Wahrnehmungsprozesse laufen zudem heute vielfach über mediale Vermittlungen ab, wodurch die Wahrnehmungstheorien nahezu auch zu Medientheorien werden, denn die „klassischen“ Arbeitsfelder der Wahrnehmungspsychologie haben sich um deren Gegenstandsbe- reiche und ihre neuen Fragestellungen erweitert. Ihre Erkenntnisse werden beispielsweise in der Medienergonomie für die intuitive Interaktion Mensch-Maschine angewandt, weshalb die Lehre der Wahrnehmungspsychologie und ihrer Theorien zunehmend in die Curricula moderner technischer Informations- und Kommunikationsstudiengänge eingebunden werden. Denn gemeinsame Schnittstellen sind neben Aspekten des allgemeinen Gestaltungswissens und Informationsdesigns ebenso Aspekte zur Nachrichtentechnik, ihrer Informationsverarbeitung und dem Wissensmanagement. Auch greift man in Visualisierungsfragen moderner Forschungsfelder wie dem Webdesign oder der rechnergestützten Produktentwicklung gerne gezielt auf wahrnehmungstheoretisches Wissen zu Marketingwirkungen und bildender Kunst zurück.

Die Fachliteratur kennt bislang als grundlegende Wahrnehmungstheorien zum visuellen Wahrnehmen vier Ansätze zur Formerkennung, deren kurze Vorstellung das Verständnis der im Folgenden erarbeiteten Gestaltungsmerkmale der 3D-Gestaltvisualisierung stützen soll:

- die *Formentheorie* bzw. *Template Theory* entstammt der computergestützten Bilderkennung, nach ihr setzt sich die gesamte Welt aus bekannten Formen zusammen, bei deren Anblick diese stets mit gespeicherten Grundformen verglichen werden und erst bei auftretender Überdeckung als Körper oder Muster erkannt werden [Neisser 1967]/[Uhr 1966],
- den *Informationsverarbeitungsansatz*, die so genannte *Feature Theory*, sie geht von einer Zerlegung der aufgenommenen Informationen in einfache abstrakte Einheiten, den Features, aus, Formen werden durch Vergleich erkannt [Garner 1962]/[Leeuwenberg 1968],
- die *Gestalttheorie* besagt, dass das Ganze anders bzw. mehr ist als die Summe seiner Teile, die Wahrnehmung berücksichtigt so als ganzheitlicher Prozess insbesondere die Zusammenhänge. Hierzu wurden eigens Gestaltungsgesetze zur Nähe und Ähnlichkeit, guten Fortsetzung und Geschlossenheit aufgestellt [Mayer 2000]/[Zimbardo 1992],
- den *ökologischen Ansatz*, den *Ecological Approach*, von James Gibson, welcher sich zwar inhaltlich an der Gestalttheorie orientiert, jedoch ihr zugrunde legt, dass die visuelle Wahrnehmung des Menschen für das Sehen auf dem Erdboden bei aufrechtem Gang ausgelegt ist, also für ein Handeln in einer dreidimensionalen Welt [Gibson 1973]/[Gibson 1982].

Hingewiesen sei in ihrem Zusammenhang darauf, dass diese Theorien in der Literatur relativ selten explizit als Theorien bzw. theoretische Ansätze ausgewiesen und kumuliert dargestellt werden, zumeist basieren jedoch die inhaltlichen Darstellungen der einzelnen Literaturquellen einschlägig auf einer ihrer Sichtweisen. Eine kurze Gegenüberstellung findet sich beispielsweise in [C. Beuthel 1997], [Guski 2000] und [Schmidt 2002].

## 3.2 Gestaltungsmerkmale der 3D-Gestaltvisualisierung

Die Visualisierung von Daten, Informationen und Wissen beinhaltet die Erzeugung geeigneter Bilder oder Bildsequenzen, welche diese hinreichend veranschaulichen. Hierzu werden die Eigenschaften der Ausgangsdaten auf visuelle Attribute, auf Gestaltungsmerkmale abgebildet. In diesem Kapitel wird zunächst kurz der allgemeine Visualisierungsprozess vorgestellt, bevor näher auf die möglichen Gestaltungselemente von 3D-Gestaltvisualisierungen eingegangen wird.

Weiterführende grundlagenbezogene Literatur zu diesem Kapitel findet sich u. a. in [Becher 2002], [Bertin 1982], [Carterette/Friedman 1978], [Eichhorn/Jaquart 1990], [Foley u. a. 1994], [Gibson 1982], [Haase 2000], [Murch/Woodworth 1978], [Schumann/Müller 2000].

## • Visualisierungsprozess

Ziel des Visualisierungsprozesses ist es, abstrakte Daten, die zumeist in nicht geometrischer Form vorliegen, in Bildern zu veranschaulichen. Die Schritte des hierzu zu durchlaufenden Prozesses werden auch als Visualisierungspipeline bezeichnet. Sie umfasst im Wesentlichen drei Schritte, in denen die Rohdaten zum späteren Bild bzw. den späteren Bildern transformiert werden [Schumann/Müller 2000]:

- das *Filtering*, in ihm werden Rohdaten zu aufbereiteten Daten,
- das *Mapping*, die aufbereiteten Daten werden zu Geometriedaten,
- das *Rendering*, hier werden die Geometriedaten in Bilddaten umgesetzt.

Jede der drei genannten Verfahrensweisen hat für sich hierbei verschiedene Funktionen auszuführen. Es sind dies nach [Oliveira 2003]

- für das *Filtering* die Interpolation, die Glättung im Sinne der Signalverarbeitung, die Fehlerkorrektur, die Reduktion von Daten sowie die Analyse der Daten als Berechnung von Gradienten, Normalen, Krümmungen etc.,
- für das *Mapping* die Auswahl, Platzierung, Skalierung und Parametrisierung von Grafikprimitiven bzgl. ihrer Geometrie und Materialeigenschaften,
- für das *Rendering* die Einstellung von Kameraparametern hinsichtlich Blickrichtung, Skalierung etc. sowie das Einstellen von Renderingstilen.

Der Mappingprozess stellt den eigentlichen Hauptschritt im Visualisierungsprozess da, denn in ihm wird die eigentliche Daten-zu-Geometrie-Abbildung durchgeführt, bei der Datenwerte auf geometrische Primitive einschließlich zugehöriger Attribute abgebildet werden [Schumann/Müller 2000]. Verfahren der sich anschließenden Bildgenerierung, welche in der Regel mittels gängiger Softwarepakete durchgeführt wird, sind sehr zahlreich bekannt, weshalb auf ihre weitere Darstellung an dieser Stelle verzichtet wird und stattdessen auf die Literatur, z. B. [Foley u. a. 1994] verwiesen wird. Aus der Sicht der Visualisierung unterscheidet man noch vier grundlegend wählbare Darstellungsarten ihrer Umsetzung, diese Wahl muss bereits zum Mapping festgelegt werden. Es sind dies

- die *realitätsnahen Visualisierungen*, sie versuchen die Beobachtungsräume der Datenerhebung möglichst realistisch wiederzugeben bzw. bilden die Daten auf natürliche Szenen ab,

- die *abstrahierten Visualisierungen*, sie abstrahieren Details und veranschaulichen Daten z. B. bewusst durch Falschfarben und/oder Audiosignale,
- die so genannten *mentalen Visualisierungen*, sie fassen äußere und innere Strukturen zusammen und zeigen so Kontexte auf, und
- die *Animationen*, in ihnen verändern sich die Visualisierungen zeitabhängig.

Zusammengefasst lässt sich der beschriebene Visualisierungsprozess in einem Modell nach [Schumann/Müller 2002], welches sich auf [Robertson 1994] stützt, wie in Bild 3-2 gezeigt, darstellen. Dieses Modell berücksichtigt den Nutzer und seine mögliche Einflussnahme auf den Prozess.

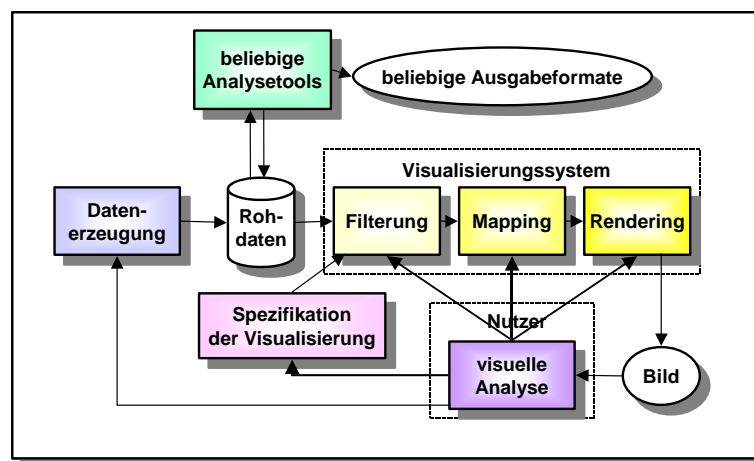


Bild 3-2: Visualisierungsprozess nach [Schumann/Müller 2000]

## • Gestaltungsmerkmale der 3D-Gestaltvisualisierung

Ziel jeder Visualisierung ist es, neben der Darstellung der Daten selbst ebenso stets die sie verknüpfenden Zusammenhänge mit aufzuzeigen. Nach [Bertin 1982] gibt es drei verschiedene Informationsstufen, die in einer Visualisierung vermittelt werden können:

- die *Stufe 1*, Informationen werden in direkter Form abgebildet, d. h. zu jeder Information existiert eine spezifische Ausprägung von visuellen Attributen,
- die *Stufe 2*, das Wesentliche sowie Untersuchungsergebnisse werden verdeutlicht, diese Visualisierungen dienen in erster Linie der Kommunikation, sowie
- die *Stufe 3*, sie zeigt die Gesamtheit aller in den Daten verborgenen Informationen und lässt sich somit für grundsätzliche Erkenntnisse, beispielsweise für Entscheidungsziele, nutzen.

Obgleich die Frage, welche Visualisierungsmethode für eine aufgeworfene Fragestellung am sinnvollsten erscheint und wie sie sich am effektivsten nutzen lässt, sehr wichtig ist, wird dies, so [Schumann/Müller 2002], gerade in der konkreten Anwendung von computergestützten Visualisierungen leider nur sehr selten hinterfragt. Dieses Problem ist jedoch mitunter von hoher Bedeutung, da ungeeignete Visualisierungen zu falschen Interpretationen und falschen Schlüssen mit Fehlentscheidungen führen können. Da nicht jede Visualisierung in geeigneter Weise die verborgenen Datenzusammenhänge dem Betrachter offenbart, wirft sich somit die Frage nach dem Was auf, das die Visualisierungsqualität bestimmt und beeinflusst. Sie lässt sich nur in Betracht des Bearbeitungsziels näher bestimmen. [Schumann/Müller 2002, S. 7] sehen die Qualität einer Visualisierung als ein Maß der Fähigkeit des Betrachters an, den Kontext der realen Welt aus der jeweiligen Visualisierung zu rekonstruieren, d. h. die wahrgenommenen Strukturen mit den tatsächlich existenten Korrelationen zwischen den Parametern der Visualisierungsdaten abzugleichen und zu schlussfolgern. Sie definieren daher: *“Die Qualität einer Visualisierung definiert sich durch den Grad, in dem die bildliche Darstellung das kommunikative Ziel der Präsentation erreicht. Sie lässt sich als das Verhältnis von der vom Betrachter in einem Zeitraum wahrgenommenen Information zu der im gleichen Zeitraum zu vermittelnden Information beschreiben. Die Qualität einer Visualisierung ist somit in starkem Maße abhängig von den Charakteristika der zugrunde liegenden Daten und ihren Eigenschaften, dem Bearbeitungsziel, den Eigenschaften des Darstellungsmediums sowie den Wahrnehmungskapazitäten und den Erfahrungen des Betrachters.“*

Auch sind ferner übliche Metaphern eines Anwendungsgebiets sowie spezielle Konventionen, z. B. gebräuchliche Symbole und Darstellungsformen, zu den Einflussgrößen von Visualisierungen hinzuzuzählen, denn der Betrachter soll sich letztendlich durch die Visualisierung ein mentales Modell, d. h. ein Vorstellungsbild des Inhalts, des Dargestellten aufbauen können, dass den tatsächlichen Gegebenheiten und zugrunde liegenden Zusammenhängen entspricht. Hierfür hat eine Visualisierung expressiv, effektiv und angemessen zu sein.

Da gemäß [Lippardt 2000] bei der visuellen Gestaltung gerade bildlicher Produktmodelle auf die Art und Weise, wie optische Informationen bei ihrer Wahrnehmung vom Menschen verarbeitet und manipuliert werden, zu achten ist, damit bei der Betrachtung dieser Modelle im Gedächtnis des Betrachters dann auch diejenigen Informationen entstehen, die übermittelt werden sollen, sind zum Erreichen dieses Ziels somit die verschiedenen wahrnehmungstheoretischen Gestaltsmerkmale bewusst als Gestaltungsmittel einer Visualisierung zu kombinieren. Da über die Netzhaut des menschlichen Auges, physikalisch gesehen, jeweils nur ein zweidimensionales Bild der Umwelt erfasst wird, beruht der eigentliche Wahrnehmungsprozess des Sehens im Prinzip auf ebenen Darstellungen, deren inhaltliche Erfassung als dreidimensionaler Seheindruck erst bei der Perzeptbildung im Gehirn aus der Kombination der zwei Netzhautbilder resultiert. Dies spiegelt sich in der wahrnehmungstheoretischen Literatur, siehe beispielsweise die Ansätze der Wahrnehmungstheorien, als ein solches bei der

Beschreibung und Diskussion der Gestaltsmerkmale wieder. Für die Betrachtung und Anwendung dieser im Kontext echter, mathematisch auf 3D-Geometriemodellen basierender, dreidimensionaler Visualisierungen, wie sie die 3D-Modelle der modernen CAx-Softwaretools präsentieren, bedeutet dies jedoch, dass sie in ihrem Verständnis und somit ihrer Umschreibung auf diesen Fokus bezogen eigens angepasst werden müssen.

Die nachfolgende Auflistung gibt eine Übersicht, welche prinzipiellen Gestaltungsmerkmale der Visualisierung sich im Falle einer auf einem 3D-Modell basierenden 3D-Gestaltvisualisierung hierfür somit unterscheiden und einsetzen lassen. Es sind dies

- die *Form*, hierunter werden Linien, Winkel, Konturen und ihre Kompositionen zu Flächen, Körpern und Figuren verstanden,
- das *Feature*, es entspricht der Konstellation einer strukturorientierten Gruppierung von Formen-, Flächen- und/oder Körpermustern als Geometriemuster,
- der *Detailierungsgrad*, er ist Kennzeichen der Modellierungstiefe im Sinne der Darstellungspräzision, in ihm erkennbare Objektgrößenunterschiede, Verdeckungen und Unschärfen entsprechen Tiefenhinweisen,
- der *Darstellungsmodus*, man unterscheidet zwischen Punktwolken, Drahtgitter, Flächenmodellen und Soliddarstellungen, sie zeigen die geometrische Baugruppenstrukturierung von Objekten,
- die *Perspektive*, in Abhängigkeit von der Betrachterposition weist sie die räumliche Ausrichtung und Ausdehnung von Objektbaugruppen aus, lässt so auch relative Größenunterschiede erkennen,
- die *Farbe*, sie wird als Eigenschaft eines Körpers erkannt und gilt infolge dessen als ein Erkennungszeichen, sie löst Assoziationen und Stimmungen aus, besitzt Signalwirkung und ggf. eine eigene Symbolik,
- die *Transparenz*, sie erlaubt den Durchblick durch Hüllgeometrien und Verdeckungen zum Zweck der Sicht auf perspektivisch Verborgenes,
- die *Textur*, im Sinne der Wahrnehmung kann sie als ein aufmodelliertes Bild oder ebenes geometrisches Muster plan sein, als eine Oberflächenstruktur räumlich strukturiert,
- die *Hintergrundrelation*, sie dient der Raumwahrnehmung, Entfernungs- und Tiefenwahrnehmung im Falle räumlich verteilter Objekte, ein räumlicher Hintergrund im Sinn eines virtuellen Szenarios dient der Visualisierung von Einsatz- und Aufenthaltsorten,

- die *Navigation*, durch sie verändert der Betrachter seinen relativen Bezug, d. h. seinen Standort, seine Blickrichtung und/oder seinen Blickwinkel auf die dargestellten Objekte,
- die *Modellausleuchtung*, durch das Zusammenspiel dargestellter Farbhelligkeit, Farbsättigung und des Farbkontrasts werden die Visualisierungsschärfe und Klarheit der optischen Distanzen wahrgenommen, sie beeinflussen den plastischen Eindruck der Objekte,
- die *Lichtreflexion*, sie unterstützt zum einen das Einschätzen von Neigungen verschiedener Flächen zueinander, zum anderen verstärkt sie den Eindruck assoziierter Materialeigenschaften,
- der *visuelle Spezialeffekt*, er dient in der Regel der Verstärkung bzw. Perfektion eines plastischen realen Eindrucks von Objekten durch Visualisierung beispielsweise von Schatten, Spiegelungen und Gravitation, er kann aber auch Stimmungen z. B. durch Nebel erzeugen oder Farbverläufe, um Messwertfelder beispielsweise von Spannungen darzustellen,
- die *Bewegungsdynamik*, eingesetzt löst sie den stärksten visuellen Reiz aus und wird noch vor statischen Objekten wahrgenommen, sie erzielt die Veränderung eines Raumbezugs durch wechselnde Verdeckung und Freigabe von Objekten bei Transformationen und relativen Positionsänderungen im Falle von Rotationen und Translationen,
- der *Audioeffekt*, er unterstützt die Raum- und Bewegungswahrnehmung durch Schall, auch kann er der Objektbestimmung durch Eigengeräusche dienen oder als Ereignissignal fungieren,
- die *Interaktion*, sie entspricht einer Aktualisierungsdynamik, welche als Reaktion einer softwaretechnischen Applikation auf vom Betrachter durchgeführte Handlungen ausgelöst wird,
- die *Kraftrückkopplung*, sie gibt dem Betrachter, den Einsatz eines geeigneten Ausgabegeräts vorausgesetzt, ein taktiles Feedback, erlaubt ihm so aktive und passive Objektberührungen sowie -vibrationen nachzuempfinden, welche Kräfte, Gewichte und mechanische Widerstände simulieren,
- der *Informationszusatz*, er erlaubt Anmerkungen und Zusätze in Form von Notizen, Bemaßungen und Symbolen. Handelt es sich hierbei um Beschriftungen und grafische Ergänzungen, die mit Lagebezug zu räumlichen Objekten versehen bzw. platziert sind, so spricht man von Annotationen. Sie finden verstärkt bei technischen Produktdarstellungen Anwendung, welche im Sinne der klassischen Technischen 2D-

Zeichnungen als Bearbeitungsvorgaben für den Herstellungsprozess oder Montageanleitungen dienen.

Ihre Kombinationen, die wichtigsten sind hierbei diejenigen von Formen und Farben, bestimmen gemäß ihrer gewählten qualitativen wie auch quantitativen Zusammensetzungen jeweils den Inhalt von Gestaltvisualisierungen, denn ihre Ausprägungen transferieren wahrnehmungstheoretisch die von dem Autor einer Visualisierung bildlich anschaulich umgesetzten Daten und Informationen in ihrem Kontext zu ihren Betrachtern; die gewünschten Aussagen, welche vermittelt werden sollen, werden quasi visuell zwischengespeichert. Da Erstellung und Betrachtung einer Visualisierung in der Regel zeitversetzt verlaufen und die Visualisierung sich auch nicht durch Betrachtung abnutzt oder verbraucht, tritt der Zustand einer Wissensbewahrung ein. Nun entscheidet letztlich der Erhalt der erstellten Visualisierung in ihrem Speicherzustand darüber, ob sie und das in ihr kodierte Wissen für eine längere bzw. lange Zeit bewahrt werden.

### **3.3 Arten virtueller 3D-Gestaltvisualisierungen**

Das Spektrum der Arten von 3D-Gestaltvisualisierungen ist groß, es reicht von einfachen perspektivischen Handskizzen bis hin zu vollständig ausmodellierten, volltexturierten, interaktiven virtuellen Gestaltmodellen von Lebewesen und Sachgegenständen. Auch Realbilder in Form von Fotografien und Filmsequenzen sind hierunter zu verstehen. Der Grad ihrer Virtualisierung wird von der jeweils eingesetzten rechnergestützten Visualisierungsmethode bestimmt, wobei sich deren Möglichkeiten gerade heute mit dem steigenden Zuwachs an Leistungsfähigkeit der Computer sowohl in quantitativer wie auch in qualitativer Hinsicht stetig mehren.

Daher wird sich zur Eingrenzung der Betrachtungen in dieser Arbeit bewusst nur auf die rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen bezogen, welche vor dem produktentstehungstechnologischen Hintergrund ingenieurtechnischer gegenständlicher Produkte nachhaltig von Belang sind. Ihnen gemeinsam ist, dass ihre Visualisierungen jeweils ein virtuelles, vollständig konstruktiv entwickeltes 3D-Produktgestaltmodell bzw. eine abgeleitete Abbildung dieser präsentieren. Denn die Basis einer jeden „echten“ 3D-Visualisierung ist stets ein dreidimensionales Modell aller dargestellten Objekte, welches mathematisch behandelt werden kann und derart manipulierbar ist, dass es den geometrischen Abbildungsgesetzen der Projektion, Rotation und Transformation folgt [C. Beuthel 1997].

Nachfolgend werden kurz die im Weiteren konkret in die Betrachtungen der Methodenentwicklung zur Bewahrung von Produktwissen einbezogenen 3D-Produktgestaltmodelle prä-



sentiert sowie die Informationsgrafiken und Informationssimulationen vorgestellt. Für ausführlichere Informationen wird auf die Fachliteratur verwiesen.

Weiterführende grundlagenbezogene Literatur zu diesem Kapitel findet sich u. a. in [Anderl 2003 b], [Berliner Kreis 2001], [Bormann 1994], [Foley u. a. 1994], [Jansen/Scharfe 1999], [Roller 1995], [Schumann/Müller 2000], [Spur/Krause 1997], [Weber 2003].

## • **Virtuelle rechnergenerierte 3D-Produktgestaltmodelle**

In der heutigen ingenieurtechnischen Produktentstehung sind im Zuge der zunehmenden Virtualisierung ihrer Teilprozesse im Wesentlichen drei virtuelle rechnergenerierte 3D-Produktgestaltmodelle von Bedeutung. Es sind dies

- das *3D-CAD-Modell*, welches als Geometriebasis des künftigen Produkts Grundlage jeder modernen virtuellen Produktentwicklung ist,
- das *Digital Mock-Up*, welches als digitale Produktattrappe zu Simulationszwecken zu meist nur vereinfacht aus einem 3D-CAD-Modell ausgeleitet wird, sowie
- das *VR-Modell*, welches in der Produktentstehung durch Konvertieren aus einem 3D-CAD-Modell entsteht und je nach Fokus in dem eingesetzten VR-System in seinen Eigenschaften, seinen Bewegungen und seinem Verhalten editiert wird.

Hierbei repräsentiert ein 3D-CAD-Modell im Wesentlichen die geometrische Beschaffenheit eines technischen Produkts, seine Produktgestalt und -struktur. Dieses kann gemäß des gewählten, ihm zugrunde liegenden geometrischen Grundobjekts der Modellbildung durch ein Punkt-, Linien-, Flächen- oder Volumenmodell erfolgen, doch fällt hierbei dem Volumenmodell aufgrund seiner heutigen Leistungsfähigkeit, insbesondere in Hinblick auf seine Weiterverwendungsmöglichkeiten in den der Produktkonstruktion parallel und nachgelagerten Teilprozessen der Produktentstehung, mittlerweile die größte Bedeutung zu. Je nach eingesetzter Modelllogik werden Volumenmodelle im Weiteren in generative, akkumulative und hybride Modelle unterschieden. Da zur Beschreibung technischer Produkte die geometrischen Modellierungen jedoch allein nicht ausreichen, so [Spur/Krause 1997], werden 3D-CAD-Modelle ferner um eine so genannte technische Modellierung ergänzt. In ihr werden den Modellen zum einen technische Eigenschaften als nicht die Geometrie beeinflussende Elemente wie beispielsweise Material, Toleranzen oder Oberflächenbearbeitung zugewiesen und zum anderen Zusammenhänge zwischen den Geometrieelementen als funktionale Informationen in Form der so genannten Features im Sinne der die Geometrie beeinflussenden Elemente ergänzt. Unter den Features sind hierbei jeweils spezielle Aggregationen von Konstruktionsmerkmalen hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Werte, Relationen und Zwangsbe-

dingungen zu einer gemeinsamen charakteristischen Einheit als Form-, Body-, Operation- oder Enumerativ-Feature zu verstehen. [Fröhlich 2003]/[Gräb 2001]

Das Digital Mock-Up ist das digitale Modell eines CAD-basierten virtuellen Produkts, das die Bauteilgeometrie sowie die Baugruppenstruktur beinhaltet. Meistens entsteht seine geometrische Gestalt hierbei durch Tessellierung aus einem 3D-CAD-Modell (derivative Vorgehensweise), aber auch die Nutzung des originären Digital Masters des CAD-Modells als native Vorgehensweise ist möglich [Anderl/Beuthel/Pfeifer-Silberbach 2003]. Das DMU dient im Wesentlichen als Informations- und Kommunikationswerkzeug zur Modellanalyse, welches primär zur Absicherung und Optimierung der Produktgestalt hinsichtlich seiner räumlichen und funktionellen Gestaltung eingesetzt wird [Kleiner 2003]. Hierzu bieten DMU-Systeme zahlreiche Funktionen, welche beispielsweise zur Untersuchung von Bauräumen und Kollisionen mittels kinematischer Simulationen das virtuelle Produkt in seinen Funktionen visualisieren, denn die Zielsetzung des DMU ist jeweils die aktuelle, konsistente Verfügbarkeit multipler Sichten auf die konstruktiv entworfene Produktgestalt, das erwartete Funktionspektrum des zukünftigen Produkts in seiner Auslegung wie auch weitere technologische Zusammenhänge. Insbesondere die Zusammenführung heterogener Modelle aus verschiedenen CAD-Systemen ist ein wichtiger Anwendungsfall der DMUs [Liese 2004]. Ergebnisse werden ggf. in Form von Änderungen wieder in das CAD-Modell zurückgeführt. Hingewiesen wird in diesem Zusammenhang noch darauf, dass sich bzgl. der Auffassung darüber, was ein DMU ist, zumeist ein deutlicher Unterschied im Verständnis zwischen wissenschaftlich-theoretisch orientierten Ingenieuren und Vertretern der Industrie erkennen lässt. Ingenieure in der Industrie verstehen ein DMU fast immer nicht als ein Modell, sondern als eine Aktivität, die einem Zweck dient und auf eine digitale Vorlage zurückgreift [Prygunkov 2002].

VR-Modelle entsprechen jeweils einem erzeugten dreidimensionalen Gestaltmodell, welches um die Abbildung seines Verhaltens in der virtuellen Welt erweitert wird. Die Erzeugung der VR-Modelle erfolgt so zumeist über flächen- und volumenorientierte 3D-CAD-Systeme, welches jedoch abhängig von den Schnittstellen der eingesetzten VR-Systeme ist [Berliner Kreis 2001]. Zur Abbildung der Bewegungen und Reaktionen des VR-Modells werden dann im Weiteren Simulationsprogramme der VR-Software der VR-Systeme genutzt. Da sich das Wesen der VR aus einer Verbindung von dreidimensionaler Computergrafik, immersiver Gestaltung und Interaktionsmöglichkeiten für den Betrachter in Echtzeit ergibt, werden sehr hohe Anforderungen an das VR-Modell und seine virtuelle Einsatzumgebung gestellt [Beuthel 1997]. [Stytz 1996] formuliert sie als *sensory fidelity*, *physics fidelity*, *modeling fidelity*, *fidelity considering actor behavior*, *time fidelity*, *information fidelity*, *fidelity of input devices* und *system fidelity*. Insbesondere der Forderung nach der Wahrnehmungsgenauigkeit, der *sensory fidelity*, ist hierbei große Beachtung zu schenken, will man den Betrachter vor unangenehmen Neben- bzw. Nachwirkungen seiner virtuellen Erlebnisse bewahren, denn sehr viele Menschen reagieren beispielsweise mit Übelkeit und Schwindelgefühlen auf Differen-

zen und Verzögerungen in den Sinnesempfindungen. Je nach Wertschätzung, nach Maß der die VR-Applikationen bestimmenden Faktoren der Immersivitäten, Interaktionsmöglichkeiten und Echtzeitberechnungen ergeben sich unterschiedliche Klassifizierungen des Einsatzes von VR-Modellen: Nach [Utermöhle 1995] sind es vier Grundtypen hinsichtlich der Visualisierungsformen - die Immersive-, Telepresence-, Mixed Reality- und Fish-Tank-Systeme, nach [Völter 1995] hinsichtlich funktionaler Gesichtspunkte die Immersive VR, Desktop VR, Pseudo VR und Inverse VR. [Elzer/Joubert 1996] grenzen bzgl. der Reaktionsleistungen der VR-Systeme hinsichtlich des Aspekts der Echtzeitberechnungen der Interaktionen die Quick-time VR von der „Echten VR“ ab.

- **Informationsgrafiken und -simulationen**

Für die Vermittlung komplizierter Zusammenhänge und Hintergründe reichen häufig einfache Bilder und Illustrationen alleine nicht aus. Hier können so genannte Infografiken die didaktische Lösung sein, denn Informationsgrafiken, in ihrer Kurzform als Infografiken bezeichnet, bilden in der Regel die Wirklichkeit nicht direkt ab, sondern visualisieren eigens aufbereitet zumeist recht plakativ ihre abstrakten Vorgänge, die allein durch ein Abbild des zu betrachtenden Gegenstands nicht aussagekräftig und verständlich sind. Sie entstammen der Visualisierung von Informationen in der Publizistik, Werbung und Öffentlichkeitsarbeit. Da potenzielle Betrachter mittlerweile durch die Bildersprache der Multimediamedien stark geprägt sind, haben sie sich bereits zu einem unverzichtbaren Bestandteil der modernen öffentlichen Kommunikation entwickelt, weshalb sie häufig gar nicht mehr als solche wahrgenommen werden. [Jansen/Scharfe 1999]

Und gerade auch für technisch-wissenschaftliche Wissenspräsentationen z. B. in Vorträgen und Lehrveranstaltungen oder zur expliziten Wissensspeicherung und damit letztlich auch faktischen Wissensbewahrung lassen sich Infografiken hervorragend einsetzen, wenn gleich sie bislang als solche in diesen Bereichen noch nicht so bewusst verbreitet sind. Doch unterstützen die heutigen moderne CAX-Tools ihren Einsatz stärker denn je. Als eine Form des fachlichen Infotainments (Informationsentertainment) erlauben sie es, ihren strategischen, inhaltlich-qualitativ anspruchsvollen Einsatz vorausgesetzt, fachlich hochkarätig ansprechend und doch unterhaltsam zu präsentieren.

Infografiken leben von den grafischen Elementen, so lassen sich 3D-rechnergenerierte Produktvisualisierungen sehr gut als Sachbilder grundlegend einsetzen, welche dann aber beispielsweise noch um Schnitte, Struktur- und Prozessbilder im Kontext ergänzt oder in Bildfolgen dargestellt werden könnten, womit sich abstraktere Informationen in die Visualisierung einbinden lassen und so im Falle von Produktwissen z. B. eine Zusatzkopplung von nichttechnischem Produktwissen ermöglichen.

Macht man dann noch den Schritt von Bildfolgen einer Infografik zu animierten Bildsequenzen von Infografiken, kommt man quasi zu Informationssimulationen. Hierunter sollen rechnergestützte Animationen verstanden werden, welche gestützt auf rechnergenerierte 3D-Gestaltmodelle Fachwissen zu einem digitalen Produkt durch Präsentationen verschiedener kombinierter CAD-, DMU- und VR-Anwendungen vermitteln.

## 4 Langzeitbewahrung von Produktwissen

Bewahren heißt laut [Duden 1989] etwas zu hüten, aufzubewahren, d. h. etwas ist zu behalten und ggf. zu pflegen, damit es Bestand hat. Im Falle von Wissen führt dies auf den Aspekt seiner Nachhaltigkeit, denn Wissen ist gemäß seines Charakters etwas, das in sich unsterblich und flüchtig ist, schon sein längerfristiger Nichtgebrauch kann unbemerkt zu Verlusten führen. Daher sollen in diesem Kapitel einige grundlegende Gedanken zur Thematik der Langzeitbewahrung und damit Nachhaltigkeit von Produktwissen als der Hauptintention dieser Arbeit aufgezeigt werden.

Doch wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass es *nicht* der Gegenstand dieser Arbeit ist, detailliert Speicher- und Archivierungsmethoden von Rechnersystemen in ihren Hard- und Softwarekomponenten in diesem Zusammenhang zu untersuchen oder Aussagen über ihren Langzeiterhalt sowie ihre Bewahrung zu treffen. Hiermit verbunden gilt entsprechendes für Detailbetrachtungen geeigneter Speicherformen, ihre unterschiedlichen Formate wie auch für die physikalischen Realisierungen möglicher zur Wissensbewahrung eingesetzter Medien. Ihre Fragestellungen sind derart komplex, dass sie eigenständige Forschungsarbeiten wie beispielsweise diejenigen von [Löbber 2002] und [Malle 1997] rechtfertigen.

Die nachfolgenden kurzen Ausführungen zum Zeitaspekt der Wissensbewahrung, zu ihren Speicherformen und Medien sollen daher nur ansatzweise aufzeigen, welches Spektrum an eigens hierauf zu beziehenden Wissenszusammenzuträgen, aufzubereiten und aufzubauen ist, will man eine Langzeitbewahrung von Produktwissen bewusst ernsthaft nachhaltig initiieren und pflegen.

### 4.1 Zeitaspekt der Bewahrung von Produktwissen

Neben der grundsätzlichen Entscheidung für das Grundmotiv, Produktwissen als Tatbestand bewahren zu wollen, ist in seinem Zusammenhang auch über die Ausrichtung seines Bewahrungszeitraums nachzudenken, da in seiner Abhängigkeit verschiedene Vorgehensweisen in Betracht kommen. Dies sind zum einen die Wahl der einzusetzenden Wissensträger und zum anderen die Wahl der Speicherorte, Speicherformate und konkreten Inhalte. Ebenso sollte auch über den die Sicherung vorbereitenden Aufwand wie auch im Weiteren den dann evtl. andauernden, fälligen Pflegeaufwand zur Zielerreichung nachgedacht werden, um jeweils fallbezogen die möglichst optimalen Entscheidungen zu treffen.

Die Motivation zu dieser Arbeit ist es, die bewusste Langzeitbewahrung von Produktwissen ingenieurtechnischer Produkte zu initiieren, d. h. es wird durch sie der bestmögliche Erhalt hierzu selektierter langlebiger Informationen über technische Produkte angestrebt. Sie sollen als solche verstanden werden, die im Wesentlichen zu den Grundinformationen eines Pro-

dukts zu zählen sind und somit tendenziell zu seinem Produktgenerierungswissen. Hierunter lassen sich das Gestaltswissen, das Funktionswissen sowie das Verhaltenswissen eines Produkts zählen. Doch sollten darüber hinaus, sofern möglich, auch weitere grundlegende Informationen anderer Phasen des jeweiligen spezifischen Produktlebenszyklus sinnvoll bewahrt werden.

Zur näheren Umschreibung, was unter langlebigen Informationen verstanden werden soll, wird abgeschätzt, dass ein Arbeitsleben eines Organisationsmitarbeiters regulär in etwa zwischen 30 und 50 Jahren, d. h. seinem maximalen Arbeitsleben in einer Organisation, entspricht, was als eine mittelfristige Bewahrung angesehen wird. Hieraus folgt, dass man unter Langlebigkeit etwas verstehen sollte, was sicherlich auch ein zweites Arbeitsleben einschließt, man gelangt so auf mindestens 60 bis 100 Jahre, welches wiederum quasi dem Erhalt des Wissenstands der „eigenen“ Großeltern entspräche. Dieser Ansatz ergibt sich aus der Sichtweise des personengebundenen möglichen aktiven Vererbens von Wissen, insbesondere von produktbezogenen Unternehmensinterna.

Ein weiterer inhaltsbezogener Ansatz führt zu den individuellen Zeiträumen der jeweiligen Entwicklungs- und Nutzungsphasen von einzelnen Produkten im Generellen und ihrem Wissensnachlauf als „veraltete Ausgangssituation“ für auf sie aufbauende Neu- und Weiterentwicklungen. Als hierin eingeschlossen werden auch die etwaigen rechtlichen Verpflichtungen zur Datenarchivierung von wirtschaftlich relevanten Projektdokumenten zu den einzelnen Produkten, ihren Systemen und Komponenten verstanden. Hinzu kommt dann noch ihre u. U. erreichte geschichtliche, gesellschaftspolitische und wirtschaftliche Bedeutung. Dies führt von fallweisen Spannbreiten von wenigen Jahren zu Jahrhunderten. Und da in ihrem Grundsatz die Langlebigkeit ihre aktive Bewahrung beinhaltet, erscheint der Ansatz der personenbezogenen Sichtweise für die Ausführungen dieser Arbeit als zielführender.

An dieser Stelle ist einmal ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass man Bewahrung von Wissen heute lediglich nur beabsichtigen und mittels geeigneter Methoden als solches anstossen kann. Ob es sich wirklich gemäß den eigenen Zielvorstellungen über die Zeit erfüllen lässt, werden erst die nachfolgenden Generationen erkennen und einschätzen können. Der Aspekt angestrebter Langzeitbewahrung muss auch nicht zwingend einer Speicherung für die Ewigkeit gleichkommen, doch motivieren häufig sehr visionäre Ziele viel eher dazu, die wirklich entscheidenden Schritte auch ernsthaft zielgerichtet umzusetzen. Denn der Einsatz von Technologie alleine kann weder Wissen archivieren noch bewahren, er kann nur die Schritte hierzu fördern.

Die Aussagen zu geschätzten Lebensdauern von potenziellen Medien zur Langzeitverwahrung schwanken enorm. Unter bestmöglichen Lagerungsbedingungen, hierzu zählen dann Faktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lichtverhältnisse, eingesetzte Materialien, Abnutzung, rechnet man heute für elektronische Medien einen Zeitraum von 15 bis 100 Jahren,

wobei die singulären Speichermedien wie Disketten, CDs und DVDs gegenüber den Magnetbändern und Festplatten am oberen Ende mit durchaus 70 bis 100 möglichen Jahre, rein physikalisch gesehen, zu finden sind. Was aber dabei noch nicht geklärt ist, ist ihre Lesbarkeit hinsichtlich zukünftiger, dann gebräuchlicher Systeme. Damit können elektronische Daten, grob abgeschätzt, maximal für die Zeit eines Menschenlebens gespeichert werden, doch was kommt danach? Die obige Annahme, dass eine Langzeitbewahrung mindestens in den Zeitraum von 60 bis 100 Jahren fallen sollte, wird damit unter glücklichen Umständen für elektronische Daten und Informationen als Bestandteile bewahrenswerten Produktwissens gerade erfüllt. Hierzu sei angemerkt, dass dies der Grund ist, warum heute noch vieles an wichtigen Dokumenten für eine Langzeitarchivierung abgefilmt wird, womit man im schlechtesten Fall nur eine Beleuchtungsquelle zur Visualisierung benötigt.

Denn der Blick auf mögliche real-gegenständliche Speichermedien von Produktwissen zeigt, dass bei ihnen wahrscheinlich unter optimalen Bedingungen wesentlich längere Standzeiten zu erreichen sind, doch benötigen sie andere Speicherkapazitäten in Form von realem Raum und ein anderes gesellschaftliches Verständnis zu ihrer Bewahrung in dem Sinne, dass gerade jetzt, wo an der Schwelle zum 3. Jahrtausend alles Wissenswerte eigentlich digital abgelegt wird und zu seiner fortgesetzten Existenzsicherung auch überwiegend als solches abgelegt werden sollte, vielleicht doch das ein oder andere gegenständlich konservativ zu behalten wäre. Geänderte Lebensweisen in der Gesellschaft, ihrer Häuslichkeit, ihres Hangs zum Bewahren für womöglich schlechtere (Kriegs-)Zeiten, ihres Wertverständnisses für Erworbenes etc. lassen leider immer weniger „echte“ Langzeitspeicher überleben – die Dachböden unserer Vorfahren, auf denen sich verschiedenste Wissensschätze einstmals verloren und so bis heute überlebten ... Auch sind moderne Produktionsverfahren, beispielsweise wie das von Papier, heute so kostenoptimiert, dass vielfach veränderte Produktionsweisen und variierte Zusammensetzungen der eingesetzten Rohstoffe die Haltbarkeiten bzw. deren Standzeiten gegenüber denen der früheren Jahrhunderte sehr weit absenken, womit ihr Bewahren über eine sehr lange Zeit womöglich so schon selbst zu einer eigenen Herausforderung wird.

## **4.2 Speicherformen zur Bewahrung von Produktwissen**

Produktwissen sollte zu seiner gezielten expliziten Speicherung prinzipiell sorgfältig ausgewählt, auf Redundanz geprüft und hinsichtlich seiner Bewahrungsabsicht in dem hierfür notwendigen aktuellen und zukünftigen Aufwand bewertet werden, damit beispielsweise nicht unnötig zahlreiche, belanglose Sammlungen einzelner Produktdaten und -informationen ohne ersichtlichen Kontext bewahrt werden, um deren Bedeutung eigentlich nur die Autoren dieser selbst wissen.

Das Wissensmanagement unterscheidet grundlegend drei Speicherformen zur Wissensbewahrung:

- die *individuelle Wissensspeicherung* in und von Einzelpersonen,
- die *kollektive Wissensspeicherung* redundant verteilt auf eine Personengruppe oder von ihr bzw. für sie explizit aufbereitet und
- die *elektronische Wissensspeicherung*, welche in der Regel explizites Wissen in speziell aufbereiteten Dokumenten sichert, aber auch im Falle von softwaretechnischen Expertensystemen eine implizite Speicherung ermöglicht.

Alle drei Formen beinhalten wie dargestellt sowohl die Möglichkeiten der Speicherung jeweils impliziten Wissens wie auch entsprechend expliziten Wissens, d. h. dass der Mensch als Wissensträger sowohl sein individuelles Wissen in seinem Inneren trägt, dieses aber auch für sich explizit elektronisch oder auf Papier dokumentieren könnte. Für die kollektive Wissensspeicherung bedeutet dies, dass es sowohl organisationales Wissen geben kann, welches lediglich repliziert von mehreren Wissensträgern einer Organisation implizit individuell bewahrt wird, dass es aber auch explizit vorliegen kann, welches der angestrebte Hauptfall sein sollte. Die Hauptform der elektronischen Wissensspeicherung wird zwangsläufig die explizite Form in Dokumenten und Datenfiles sein, jedoch sollten der Vollständigkeit halber auch die teilweise angestrebten Möglichkeiten von rechnerischen Expertensystemen nicht ungenannt bleiben, welche ggf. das von ihnen selbständig gelernte Wissen quasi implizit vorhalten.

Digitale Dokumente und Datenfiles lassen sich gängigerweise je nach Datenumfang und Datensicherungsmethode physikalisch entweder auf eingebauten Computerfestplatten bzw. Festplatten in externen Gehäusen speichern oder auf Magnetbändern, auf DVDs oder CDs sowie in zunehmenden Maße heute auch auf Micro Vaults im Sinne von Memorysticks und Flash Cards. Der Einsatz von 3,5- und 5,25 Zoll-Disketten sowie Disketten für Zip-Laufwerke und Wechselfestplatten ist mittlerweile stark rückgängig, teilweise bereits nahezu unüblich und daher für eine längerfristig beabsichtigte Bewahrung von elektronischen Daten auch nicht mehr empfehlenswert. Bei einer prinzipiellen zentralen Speicherung der digitalen Daten auf Computern in Organisationsrechnernetzwerken besteht ferner die Möglichkeit zeitkontinuierlich permanent Zugriffe auf die Daten über Internet bzw. Intranet zu erlauben, welches die stete Wissensbewahrung an sich sehr positiv unterstützt.

Allen digitalen Speichermethoden ist jedoch gemeinsam, dass sie über die Zeit gesehen einer recht sorgfältigen Pflege bedürfen, um ihren Daten- und damit Informationsbestand wirklich längerfristig sicher zu sichern, d. h. es sollten neben der Gewährleistung möglichst optimaler Lagerungsbedingungen der Datenträger turnusmäßig die Lesbarkeit sowie die Aus-



fürbarkeit der gespeicherten Daten überprüft werden und es sollten auch neue Abspeicherungen quasi als Refreshs erfolgen, um der natürlichen Alterung der eingesetzten Speichermedien entgegenzuwirken. Hinzu kommen noch Aspekte der bewussten redundanten Datensicherung, ggf. sogar in verschiedenen Datenformaten und Datenqualitäten auf unterschiedlichen Datenträgern. Gegenüber den nativen Datenformaten der Softwareapplikationen, in welchen die Daten erstellt werden, ist davon auszugehen, dass sich bei der Verwendung von neutralen Datenformaten die Daten absehbar länger auch in neueren Rechnersystemen und neuen Softwareapplikationen verarbeiten lassen. Doch sollte dennoch auch über die Pflege bzw. den Erhalt der originären Rechnersysteme und Softwareapplikationen von Fall zu Fall, d. h. in Abhängigkeit der zu bewahrenden Datenbestände der jeweiligen Applikationen nachgedacht werden und dies auch über gesetzliche Gewährleistungspflichten hinaus, da bei Konvertierungen in neutrale Datenformate durchaus Informationsverluste auftreten.

Hinzu kommt, dass mit der Speicherung auch zwingend eine organisierte, dokumentierte Ablage, ein Archivieren mit Zusatzinformationen zu erfolgen hat, welches das spätere Wiederauffinden der Daten ermöglicht, denn der große Nachteil elektronischer Daten ist in dieser Hinsicht eindeutig ihre fehlende charakteristische visuelle Gestalt, an der man sie individuell schnell wieder erkennen könnte. Organisierte digitale Archivierungen erfolgen daher zumeist über Datenbanksysteme mit Ablageverweis, welche jedoch einen kontinuierlichen Pflegeaufwand bedürfen.

Denkt man an gegenständliche Produktwissensspeicher, so steht an erster Stelle die Bewahrung des real-gegenständlichen Produkts selbst in seinem Original bzw. einem seiner Exemplare, wenn möglich. Im Weiteren folgen ggf. Nachbauten und Modelle. Doch auch ihre papiergebundenen Visualisierungen und Dokumentationen in Bild und Schrift bzw. bei traditionellen filmgebundenen Aufnahmen diese in Bild und Ton sind hierzu zu zählen, lässt sich doch ihr Daten- und Informationsinhalt sofort gemäß seiner visuellen Gestalt produktbezogen erfassen. Im Gegensatz zur elektronischen Datenspeicherung benötigen die gegenständlichen Speicherformen jedoch wesentlich mehr realen Raum, insbesondere wenn man die Produkte selbst zu ihrer Bewahrung einlagert und diese dabei dann mehr Speicherplatz benötigen als beispielsweise einen Platz in einem Regal oder einer handlichen Kiste. Hingegen fällt ihr Pflegeaufwand bei gut vorbereiteter bewusster Einlagerung relativ gering aus. Aber auch sie sind prinzipiell vor ihrem Zerfall der Zeit bestmöglich zu schützen und ab und an bzgl. ihrer Funktionstauglichkeit zu prüfen.

### **4.3 Wissensmedien der Bewahrung von Produktwissen**

Als Wissensmedien der Bewahrung von Produktwissen werden im Rahmen dieser Arbeit all diejenigen Wissensquellen und Wissensträger verstanden, in denen nicht allein nur Daten und Informationen in Listen, Tabellen, Datenbanken etc. gespeichert sind bzw. von denen

bewahrt werden, sondern welche primär verknüpftes Einzelwissen als Wissenskombinationen und -sammlungen beinhalten. Sie können damit quasi als „Nachschlagewerke“ fungieren. Aufzählen lassen sich hierunter

- zuallererst verständlicherweise die *Menschen* selbst, als Quelle allen impliziten Wissens stellen sie natürlich das Hauptmedium dar,
- *Webseiten* in Intra- bzw. Internet, sie erlauben die organisations- bzw. weltweite international verteilte Speicherung von Produktwissen in Kompetenznetzwerken und verschiedensten Applikationen, man denke an virtuelle Museen und Lexika,
- *Monografien*, also selbständige Bibliographien in Form von Büchern bzw. Umdrucken, welche einschlägiges Produktwissen konzentriert z. B. ausführlich in Abbildungen darstellen,
- *wissenschaftliche Zeitschriftenartikel*, welche in der Regel einzelne spezielle Aspekte eines Produktwissens näher, aus teils sehr unterschiedlichen Sichten aufbereiten,
- *Konferenzbeiträge*, welche zum Zeitpunkt ihres Erscheinen zumeist zwar relativ aktuell sind, jedoch aufgrund gängiger Begrenzungen hinsichtlich ihres publizierten Umfangs ihrer Darstellungen häufig an wissenschaftlich-fachlicher Tiefe zu wünschen übrig lassen,
- *Produktdokumentationen* wie beispielsweise Broschüren und Filmsequenzen, aber auch Handbücher, welche Einzelproduktbeschreibungen oder Serienproduktbeschreibungen zum Teil mit großer Detailtiefe sowie aus unterschiedlichen Sichten beinhalten,
- *singuläre Abbildungen*, hierunter werden beispielsweise Skizzen, Technische Zeichnungen und Infografiken verstanden, welche bewusst in Zusammenhang mit einem technischen Produkt, aber gesondert für sich entstanden sind,
- *Sammlungen von Realbildern* als Fotos, Dias und Filmsequenzen, welche das echte real existente Produkt in seiner Wirklichkeit, in seinem Alltag, beispielsweise seiner Entstehung sowie seines Gebrauchs abbilden,
- *Softwareapplikationen* im Sinne ihrer virtuellen Modelle und Simulationen des Computer Aided Stylings (CAS), des Computer Aided Designs (CAD), der Digital Mock-Ups (DMU) sowie der Virtual Reality (VR), die es erlauben, die konstruktive sowie geplante, untersuchte Vergangenheit (von ihrem bewahrten Zeitpunkt aus gesehen) zu rekonstruieren und nachzuempfinden, und letztlich
- die *realen Produkte* selbst, d. h. ihre Originale, ihre Nachbauten und Modelle in allen ihren Eigenschaften.

Im Detail soll an dieser Stelle nicht weiter auf die aufgelisteten Wissensmedien eingegangen werden, da ihre ausführliche Diskussion den Rahmen dieser Arbeit, wie zu Kapitelanfang bereits erwähnt, überschreitet und allgemeine Grundkenntnisse, die vorgestellten Wissensmedien im dargestellten Kontext aufzufassen und einzuschätzen, sollten vorhanden sein.

## **5 Konzeption einer Visualisierungsmethode zur Bewahrung von Produktwissen in 3D-Gestaltvisualisierungen**

Aufbauend auf die in Kapitel 3 vorgestellten Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung und den Einsatz der Gestaltungsmerkmale der Visualisierung rechnergenerierter 3D-Produktgestaltvisualisierungen wird das Konzept einer Visualisierungsmethode für die Langzeitbewahrung von Produktwissen vorgestellt, welche sich auf die Entwicklung einer Vorgehensweise stützt, gezielt Wissen in rechnergenerierten Visualisierungen zu speichern. In ihrem ersten Schritt erfolgt eine wahrnehmungspsychologische Interpretation von 3D-Gestaltvisualisierungen, welche es erlaubt, in einem zweiten Schritt aus deren Erkenntnissen eine einsetzbare Kodierung als gezielte Abbildung von Produktwissen abzuleiten. Aus ihnen lässt sich dann in Folge ein Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zu den 3D-Gestaltvisualisierungsarten folgern, dessen bewusste Anwendung dem methodischen Vorgehen entspricht. Eine Ergebnisdiskussion zum Abschluss des Kapitels soll kurz die Reichweite der konzipierten Methode aufzeigen.

### **5.1 Ordnungsschema zur Interpretation von 3D-Gestaltvisualisierungen**

Betrachtet ein Mensch eine Visualisierung, so interpretiert er intuitiv das Gesehene gemäß seinem wahrnehmungspsychologischen und kognitiven Vermögen. Dies lässt sich als eine Art der natürlichen Wissensdekodierung verstehen, geht man von dem Fall aus, dass ein Mensch mit einer ihm unbekanntem 3D-Produktgestaltvisualisierung konfrontiert wird und diese nun seinem Verständnis gemäß inhaltlich erfasst. Hierbei begründen gefühlsmäßig und wissensgestützte Interpretationen der in der Darstellung verwendeten Gestaltungselemente die analytische Dekodierung der abgebildeten Modellinformationen sowie die Ableitung des mit ihnen verknüpften Produktwissens, welches nachfolgend dargestellt wird.

#### **5.1.1 Dekodierungsprozess**

Bei vorgegebener Gestaltvisualisierung, welche z. B. in Form eines 3D-Gestaltmodells, eines Modellbilds, einer Bildsequenz des Modells, einer Simulationsapplikation, einer Interaktiven Applikation, einer Infografik oder Infosimulation vorliegt, lässt sich Wissen als Interpretation von Modellinformationen herauslesen, welche beim Betrachten der Visualisierung über die eingesetzten Gestaltungsmerkmale dieser assoziiert werden.

Es ergibt sich hieraus ein Dekodierungsprozess von den als Reize aufgenommenen Gestaltvisualisierungsmerkmalen über die zugehörigen assoziierten Modellinformationen hin zu dem interpretierten Produktwissen bezogen auf das im Fokus der Betrachtung stehende Produkt. Die Assoziationen erfolgen hierbei nahezu unwillkürlich beim Anblick der Visualisierung, sie entstehen intuitiv je nach Vorkenntnissen und Wissensstand des Betrachters zu dem visualisierten Produkt und werden häufig als ein eigener Dekodierungsschritt gar nicht wahrgenommen, da üblicherweise der Interpretation einer Visualisierung, dem Herauslesen ihres Wissens und in diesem Fall konkret ihres Produktwissens alle Aufmerksamkeit zukommt. Je nach Erfassen der Zusammenhänge zwischen einzelnen Gestaltvisualisierungsmerkmalen, ihrer Bedeutung für die Aussagen dieser und hierbei erfolgten ersten Reaktionen des Betrachters auf das Gesehene, ergibt sich ein erster bewusster Wissens Eindruck, der im Weiteren durch aktives Überlegen und eingehendere Interpretationen wie auch gedankliche Abwägungen verfeinert und vertieft wird.

Da die Bezeichnung Gestaltvisualisierungsmerkmal sehr lang ist, wird sie im Weiteren verkürzt als Visualisierungsmerkmal geführt, denn die beschriebenen Schritte des Dekodierungsprozesses werden im Folgenden als

- Assoziationstabelle *Visualisierungsmerkmal – Modellinformation*,
- Interpretationstabelle *Modellinformation – Produktwissenskategorie* und
- Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Produktwissenskategorie* aufgezeigt.

Hierbei ist das Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Produktwissenskategorie* als Zielerstellung dieses Kapitels anzusehen, denn aus ihm lässt sich herauslesen, mit welchen Visualisierungsmerkmalen prinzipiell welche Wissensaspekte eines Produkts dargestellt werden können. Auch erlaubt es, ausgehend von dem Wunsch, ein bestimmtes Wissen zu einem Produkt zu visualisieren, zielgerichtet geeignete Visualisierungsmerkmalskombinationen als Ergebnisdarstellungen umzusetzen.

### **5.1.2 Assoziationstabelle *Visualisierungsmerkmal – Modellinformation***

Als erster Schritt des Dekodierungsprozesses erfolgt eine assoziative Wahrnehmung der gesehenen Visualisierungsmerkmale, ihnen werden intuitiv Modellinformationen zur visualisierten Produktgestalt zugeordnet. Die Tabelle 5-1 zeigt daher als Assoziationstabelle die Zuordnung möglicher Modellinformationen einer Gestaltvisualisierung zu den Visualisierungsmerkmalen, die in Kapitel 3.2 aufgestellt wurden. An dieser Stelle wird nachdrücklich darauf verwiesen, dass die erfolgte Einteilung der wahrnehmungstheoretischen Merkmale nicht mit der

Einteilung der konstruktionstechnischen Gestaltungsmerkmale in [VDI 2223] „Methodisches Entwerfen technischer Produkte“ übereinstimmt bzw. mit deren Gliederungskonzept vergleichbar ist. Denn Fokus der Tabelle ist aus wahrnehmungstheoretischer Sicht die primäre visuelle Zerlegung einer gesehenen Produktpräsentation in ihre optischen Wirkungsfaktoren, nicht der konstruktive Aufbau des gezeigten technischen Produkts!

<b>Visualisierungsmerkmal</b>	<b>Modellinformation</b>
<b>Form</b>	Geometriestruktur
<b>Feature</b>	Geometriemuster
<b>Detaillierungsgrad</b>	Modellierungstiefe/Interessenfokus
<b>mehrere Darstellungsmodi</b>	Geometriestruktur
<b>Perspektive</b>	räumliche Objektansicht
<b>Farbe</b>	Material
<b>Transparenz</b>	Sicht auf Verborgenes
<b>Textur</b>	Materialoberfläche
<b>Hintergrundrelation</b>	Modellraumanordnung
<b>Navigation</b>	Änderung Betrachtersicht
<b>Modellausleuchtung</b>	Objektstruktur/Material
<b>Lichtreflexion</b>	Flächenanordnung
<b>visueller Spezialeffekt</b>	Verstärkung Einzeleffekt
<b>Bewegungsdynamik</b>	zeitlich-räumliche Veränderungen
<b>Audioeffekt</b>	objektbezogene Tonsequenzen
<b>Interaktion</b>	Aktion und Reaktion
<b>Krafrückkopplung</b>	Taktile Reiz
<b>Informationszusatz</b>	Notizen/Bemaßungen/Symbole

Tab. 5-1: Assoziationstabelle *Visualisierungsmerkmal – Modellinformation*

Die Auflistungsreihenfolge der Visualisierungsmerkmale wird ebenfalls Kapitel 3.2 entnommen, sie entspricht einer Staffelung (Abnahme) ihres informativen Charakters, anteilig im Verhältnis zur Gesamtinformation der Visualisierung gesehen. Mit ihr verbunden ist in den meisten Visualisierungsfällen ferner ein steigender Realisierungsaufwand bei ihrem Einsatz. Alle aufgeführten wahrnehmungstheoretischen Visualisierungsmerkmale werden voneinander unabhängig in Relation zum Produktkörper, seiner visualisierten Form definiert, wodurch sie additiv frei zur Formdarstellung kombinierbar sind. Hierin begründet sich auch der Verzicht auf hinsichtlich der assoziierten Modellinformationen denkbare Clusterungen zu Merkmalsgruppen, denn in ihrer Folge würden die Aussagen der späteren Ordnungsschemata oberflächlich bzw. unscharf.

## Im Einzelnen signalisieren

- die *Formen* in ihrer Kombination die Geometriestruktur des Gestaltmodells,
- die *Features* vorhandene zusammengehörige Geometriemuster,
- die möglichen *Detaillierungsgrade* die dargestellten Modellierungstiefen sowie den jeweiligen Interessenfokus,
- *mehrere* wählbare *Darstellungsmodi* die Feinheiten der gegebenen Geometriestruktur des Gestaltmodells, erlauben insbesondere Visualisierungen der inneren Strukturen und Rückschlüsse über die eingesetzten Modellierungsmethoden,
- die *Perspektiven* konstruktive Details und Kontexte räumlicher Objektansichten,
- die *Farben* die Vermutung assoziativ zuordenbarer verschiedener Materialien,
- *Transparenzen* Sichten auf Verborgenes, d. h. verdeckte Kanten und Flächen, aber auch ganze innenliegende Gestaltstrukturen,
- die *Texturen* die Verschiedenartigkeiten von Materialoberflächen, ihre charakteristischen Strukturen und Bearbeitungen,
- evt. *Hintergrundrelationen* mögliche Modellraumanordnungen, in denen das Gestaltmodell positioniert wurde,
- Möglichkeiten zur *Navigation* erlaubte Änderungen der Betrachtersichten in Abhängigkeit von Standort und Blickwinkel,
- die *Modellausleuchtungen* sowohl unterstützend die Objektstruktur wie auch das Material,
- *Lichtreflexionen* im Wesentlichen die verschiedenen Flächenanordnungen der Objektgestalt, auch unterstützen sie den Eindruck assoziierter Materialeigenschaften,
- *visuelle Spezialeffekte* im Allgemeinen die Verstärkung von Einzeleffekten z. B. durch den Zusatz von Schatten und Spiegelungen,
- eingesetzte *Bewegungsdynamiken* zeitlich-räumliche Veränderungen des visualisierten Gestaltmodells und/oder seiner Umgebung in Abhängigkeit von der aktuellen Betrachtersicht,
- *Audioeffekte* objektbezogene Tonsequenzen, welche die Visualisierung geeignet inhaltlich unterstützen sollten,
- *Interaktionsmöglichkeiten* eine gegebene Freiheit von Aktion und Reaktion des Betrachters, die Visualisierung zu erleben,

- *Kraftrückkopplungen* bei Vorhandensein geeigneter Ausgabemedien taktile Reize des Gestaltmodells und
- *Informationszusätze* die Möglichkeiten über zusätzliche Notizen, Bemaßungen oder Symbole der Visualisierung weitere Informationen zu entnehmen.

### 5.1.3 Interpretationstabelle *Modellinformation – Produktwissenskategorie*

Ausgehend von den detektierten Modellinformationen der Tabelle 5-1, welche eine rechner-generierte 3D-Gestaltvisualisierung demnach beinhalten kann, lässt sich im zweiten Teil-schritt die Interpretationstabelle *Modellinformation – Produktwissenskategorie*, wie sie die nachfolgende Tabelle 5-2 darstellt, als Zuordnung für ein produktspezifisches Detailwis-sen zu einzelnen Modellinformationen herleiten. Diese Herleitung entspricht der jeweiligen Interpretation der verschiedenen Modellinformationsarten.

Von den möglichen Modellinformationen, welche das Ergebnis der Assoziationsrelationen in Tabelle 5-1 sind, kann man somit wie folgt auf die Zugehörigkeit zu einer Wissenskategorie spezifischen Produktwissens, welches eine 3D-Gestaltvisualisierung eines betrachteten Pro-dukts beinhaltet, schließen:

<i>Modellinformation</i>	<i>Produktwissenskategorie</i>
<b>Geometriestruktur</b>	äußere Objektgestalt/Objektstruktur
<b>Geometriemuster</b>	konstruktive Gestaltelemente
<b>Modellierungstiefe/Interessenfokus</b>	Bauraum/Normteile/Fremdkomponenten/Darstellungspräzision
<b>räumliche Objektansicht</b>	Objektgröße/-gestalt
<b>Material</b>	Grundwerkstoff
<b>Sicht auf Verborgenes</b>	innere Objektgestalt
<b>Materialoberfläche</b>	Grundwerkstoff/Oberflächenbe- und -verarbeitung
<b>Modellraumanordnung</b>	räumlicher Kontext/Gebrauchskontext/Objektgröße
<b>Änderung Betrachtersicht</b>	räumlicher Kontext bzgl. Objektgestalt und Umgebung
<b>Objektstruktur</b>	Objektgestalt
<b>Flächenanordnung</b>	Objektgestalt/-geometrie
<b>Verstärkung Einzeleffekt</b>	ggf. visuelle Sonderinformation
<b>zeitlich-räumliche Veränderungen</b>	dynamische/kinematische Effekte und Objektverhalten
<b>objektbezogene Tonsequenzen</b>	Eigen-/Umweltgeräusche
<b>Aktion und Reaktion</b>	immersiv Erfahrung von Funktionen/naturwissenschaftlichen Effekten
<b>Taktile Reiz</b>	immersiv Erfahrung von Gewicht/Kraft/mechanischen Widerständen
<b>Notizen/Bemaßungen/Symbole</b>	Zusatzinformationen/Produktdaten

Tab. 5-2: Interpretationstabelle *Modellinformation – Produktwissenskategorie*



- von den *Geometriestrukturen* auf die jeweiligen äußeren Objektgestalten bzw. die ganzen Objektstrukturen der Produkte, da der Mensch insbesondere bei den schattierten Darstellungen primär zusammenhängende Hüllgeometrien wahrnimmt,
- von den *Geometriemustern* auf verschiedene konstruktive Gestaltelemente: Form-, Body-, Operation- oder Enumerativ-Features, denn der Mensch lernt typische Fälle von Formanordnungen als Funktionselemente und feste Baugruppe kennen,
- von den *Modellierungstiefen* und dem *Interessenfokus* auf jeweilige Bauräume und Darstellungspräzisionen, evt. auch auf Normteile und Fremdkomponenten, welche lediglich angedeutet werden, der häufigere Umgang mit Detaillierungsgraden in der Visualisierung lehrt ihre Bedeutung,
- von den *räumlichen Objektansichten* auf die verschiedenen Objektgrößen, aber auch die Gesamtproduktgestalt, das menschliche Gehirn setzt perspektivische Darstellungen naturgemäß in dreidimensional wahrgenommene Räumlichkeit um, Objekte erhalten relative Größen,
- von den assoziierten *Materialien* auf die wahrscheinlich verwendeten Grundwerkstoffe der Produkte, hier bedient sich der Mensch seiner Grundkenntnisse über die Charakteristika der verschiedenen Materialien, z. B. derer zu farbigem Aussehen und wirtschaftlicher Verwendung,
- von den *Sichten auf Verborgenes* auf die jeweiligen inneren Objektausgestaltungen der Produkte, verdeckte Formen ergeben in ihrer Summe innere Hüllgeometrien,
- von den assoziierten *Materialoberflächen* auf die wahrscheinlich eingesetzten Grundwerkstoffe und deren vermutliche Oberflächenbe- und -verarbeitung, persönliches Fachwissen zu Werkstoffen, ihrem Einsatz und ihrer Verarbeitung dienen der Interpretation,
- von den jeweiligen *Modellraumanordnungen* auf räumliche Kontexte oder Gebrauchskontexte zu den Produkten, aber auch auf deren verhältnismäßig erfasste Objektgrößen, räumliche Anordnungen werden in Relationen zu Objekten und deren Größen gesehen,
- von den *Änderungen der Betrachtersichten* auf räumliche Kontexte bzgl. der grundlegenden Produktgestalten und ggf. ihrer Umgebung, verschiedene visuelle Eindrücke zu einem fokussierten Hauptobjekt werden additiv zusammengefügt,
- von den *Objektstrukturen* auf die jeweiligen Produktgestalten, Strukturen werden vornehmlich als Hüllgeometrien interpretiert,

- von den wahrgenommenen *Flächenanordnungen* auf die Produktgestalten und ihre Geometrien, die räumlichen Positionierungen von Flächen sind oftmals charakteristisch für die geometrische Ausprägung von Bauteilkörpern,
- von den *Verstärkungen von Einzeleffekten* ggf. auf visuelle Sonderinformationen, optische Betonungen verweisen auf dargestellte Feinheiten und Präzisionen,
- von *zeitlich-räumlichen Veränderungen* auf dynamische bzw. kinematische Effekte und/oder die Produktverhalten, dynamische Visualisierungen kennzeichnen veränderliche Objektrelationen,
- von *objektbezogenen Tonsequenzen* auf Eigengeräusche der visualisierten Produkte bzw. welche ihrer Umwelt, Gehörtes wird in Bezug zu Gesehenem gesetzt,
- von *Aktionen und Reaktionen* auf immersive Erfahrungen des Erlebens von Funktionen der Produkte bzw. von naturwissenschaftlichen Effekten, welchen sie bzw. ihre visualisierte Umwelt unterliegen, denn betrachterabhängige dynamische Visualisierungen vermitteln persönliche Integrität,
- von *taktilen Reizen* auf immersive Erfahrungen des Erlebens von Gewichten, Kräften und mechanischen Widerständen der Produkte bzw. ihres visualisierten Umfelds, taktile Reize schüren eine persönliche Betroffenheit des Betrachters,
- von *Notizen, Bemaßungen und/oder Symbolen* auf Zusatzinformationen und ggf. auf Produktdaten, denn häufig werden insbesondere bei technischen Abbildungen die zwingend einzuhaltenden geometrischen Randbedingungen der konstruktiven Objekte in Form genormter Kürzel und Symbole zugefügt.

#### **5.1.4 Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Produktwissenskategorie***

In Konsequenz der beiden zuvor erstellten Tabellen 5-1 und 5-2 lässt sich das gesuchte Ordnungsschema zur Interpretation von 3D-Gestaltvisualisierungen als eine Matrix (siehe Tabelle 5-3) aufstellen, welche sich aus den durch Hintereinanderkopplung der beiden Tabellen gefolgerten Dreiecksbeziehungen der *Visualisierungsmerkmale zu den Produktwissenskategorien* ergebenden Relationen zuordnet: Formal ausgedrückt ergibt sich in logischer Konsequenz aus  $A \Rightarrow B$  und  $B \Rightarrow C$ , dass sich  $A \Rightarrow C$  aufstellen lässt. Gingen aus einer Modellinformationsart in Tabelle 5-2 mehrere mögliche Kategorien von Produktwissen hervor, so wurden diese für das Ordnungsschema in Tabelle 5-3 vereinzelt, da sie zu unterscheidende Wissensaspekte repräsentieren. Allen wahrnehmungstheoretisch existierenden Relationen wird gemäß ihrer Verkettung nach Tabelle 5-1 und 5-2 jeweils ein Haken zugewiesen.

Visualisierungsmerkmal	Produktwissenskategorie																					
	Objektgeometrie	Objektgestalt	Objektstruktur	Objektgröße	konstruktive Gestaltelemente	Normteile	Fremdkomponenten	Bauraum	Grundwerkstoff	Oberflächenbe- und -verarbeitung	Darstellungspräzision	räumlicher Kontext	Gebrauchskontext	Eigen-Umweltgeräusche	Objektverhalten	kinematische Effekte	dynamische Effekte	immersive mechanisch-taktile Erfahrung	visuelle Sonderinformation	Zusatzinformation	Produktdaten	
Form	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓											
Feature	✓	✓	✓		✓	✓					✓											
Detaillierungsgrad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓											
mehrere Darstellungsmodi	✓	✓	✓		✓	✓		✓			✓											
Perspektive		✓		✓				✓			✓	✓										
Farbe		✓						✓														
Transparenz		✓	✓					✓			✓											
Textur		✓						✓	✓	✓												
Hintergrundrelation				✓							✓	✓	✓							✓		
Navigation	✓	✓	✓	✓				✓			✓	✓						✓				
Modellausleuchtung		✓		✓				✓	✓	✓												
Lichtreflexion		✓						✓	✓	✓												
visueller Spezialeffekt		✓						✓	✓		✓									✓		
Bewegungsdynamik			✓		✓								✓		✓	✓	✓	✓				
Audioeffekt											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Interaktion											✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Kraftrückkopplung																		✓				
Informationszusatz																			✓	✓	✓	✓

Tab. 5-3: Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal* – *Produktwissenskategorie*

Detailliert bedeutet dies, dass aus der Sicht der Visualisierungsmerkmale

- *Formen* die Objektgeometrien, -gestalten, ihre Strukturen und Größen beeinflussen und hierüber auch Aussagen zu Bauräumen und Darstellungspräzisionen geben, welches beispielsweise im Falle der Darstellung von konstruktiven Gestaltelementen, Normteilen und Fremdkomponenten zum Tragen kommt,
- *Features* einzelne Objektgeometrien als konstruktive Gestaltelemente repräsentieren, was sich in den Objektgestalten sowie ihren Strukturen niederschlägt, sie können beispielsweise zur einfachen Visualisierung von Normteilen definiert werden,
- *Detaillierungsgrade* alles formbeeinflusste Wissen unterstützen und je nach ihrer Wahl Einzelmerkmale stärker hervorheben,
- Wechsel zwischen *mehreren Darstellungsmodi* im Wesentlichen Möglichkeiten bieten, die Objektgestalten, ihre Objektgeometrien und -strukturen, ggf. auch bei konstruktiven Gestaltelementen und Normteilen, geeignet für Bauraumbetrachtungen und Prüfungen der Darstellungspräzisionen zu visualisieren,

- *Perspektiven* die Objektgestalten, ihre Größen und Bauräume je nach Darstellungspräzision besser erkennen und einschätzen lassen, ggf. auch einen Bezug zu räumlichen Kontexten geben können,
- *Farben* durch ihre unwillkürliche wahrnehmungstheoretische Interpretation intuitiv als Grundwerkstoffe erfasst werden, welche nicht unerheblich den Eindruck der Produktgestalten mitbestimmen,
- *Transparenzen* helfen können, die Struktur von Objektgestalten besser zu erkennen und Bauräume einzuschätzen, ferner verleihen sie im Sinne der Darstellungspräzision Sicht auf Verborgenes,
- *Texturen* eine Objektgestalt durch Präzision der eingesetzten Grundwerkstoffe sowie ihrer Oberflächenverarbeitungen im Sinne der Darstellungspräzision realer erscheinen lassen,
- *Hintergrundrelationen* Objektgestalten und ihre Größen in räumliche bzw. Gebrauchskontexte setzen, dass sie Eigen- und Umweltgeräuschen sowie visuellen Sonderinformationen einen Bezug geben,
- *Navigationsmöglichkeiten* es erlauben, die jeweiligen Objektgestalten, ihre Geometrien, Strukturen und Größen sowie ihre Bauräume aus verschiedenen Betrachtersichten zu sehen, Darstellungspräzisionen und räumliche Kontexte besser zu erkennen wie auch ggf. immersive mechanisch-taktile Erfahrungen zu unterstützen,
- *Modellausleuchtungen* Objektgestalten in ihren Größen, Werkstoffen und Oberflächenverarbeitungen plastischer visualisieren, dies dient der Darstellungspräzision,
- *Lichtreflexionen* die Objektgestalten bzgl. ihrer Grundwerkstoffe und Oberflächenverarbeitungen in ihrer Darstellung präzisieren,
- *visuelle Spezialeffekte* als visuelle Sonderinformationen die Objektgestalten bzgl. ihrer Grundwerkstoffe und Oberflächenverarbeitungen plastischer visualisieren können, dass sie räumliche Kontexte schaffen können,
- *Bewegungsdynamiken* Objektstrukturen und konstruktive Gestaltelemente in ihren Objektverhalten in Gebrauchskontexten durch kinematische und dynamische Effekte zeigen, dass sie immersive mechanisch-taktile Erfahrungen ermöglichen,
- *Audioeffekte* räumliche und Gebrauchskontexte der Objekte durch Eigen- und Umweltgeräusche verstärken, dass sie Objektverhalten in Verbindung mit kinematischen und dynamischen Effekten betonen können,
- *Interaktionen* das persönliche Erfahren von Objektverhalten, kinematischen und dynamischen Effekten in räumlichen und Gebrauchskontexten ermöglichen und auch

das Wahrnehmen von Objekteigen- und Umweltgeräuschen sowie immersive mechanisch-taktile Erfahrungen erlauben können, dass sie darüber hinaus noch das Abrufen von Zusatzinformation und Produktdaten anbieten können,

- *Kraftrückkopplungen* immersive mechanisch-taktile Erfahrungen ermöglichen und
- *Informationszusätze* visuellen Sonderinformationen, Zusatzinformationen und Produktdaten entsprechen können.

Und aus der Sicht des Produktwissens bedeutet dies, dass

- die *Objektgeometrien* durch die Formen, die Features sowie die dargestellten Detaillierungsgrade bestimmt werden, welche sich insbesondere durch Wechselmöglichkeiten bei den Darstellungsmodi und durch Navigation offenbaren,
- die *Objektgestalten* von den eingesetzten Formen, Features, Detaillierungsgraden, Farben und Texturen abhängen, dass Wechselmöglichkeiten der Darstellungsmodi und der Perspektive durch Navigation ihre ganzheitliche Betrachtung unterstützen, dass Transparenz, Modellausleuchtung, Lichtreflexion und visuelle Spezialeffekte ihre Erscheinung noch verstärken,
- die *Objektstrukturen* von den Formen und Features bestimmt werden, dass Wechselmöglichkeiten der Darstellungsmodi, Navigation und Bewegungsdynamik wie auch der Einsatz von Detaillierungsgraden und Transparenz ihre ganzheitliche Erfassung unterstützen,
- die *Objektgrößen* in Abhängigkeit der Formen, der Detaillierungsgrade, der Perspektiven, ggf. der Hintergrundrelationen und Modellausleuchtungen erfasst werden, dass Navigation dieses Erfassen unterstützt,
- die *konstruktiven Gestaltelemente* sich aus Formen und Features ergeben, dass ihre Visualisierungen bei Wechseln der Detaillierungsgrade oder Darstellungsmodi oder bei Bewegungsdynamiken u. U. vereinfacht erfolgen,
- die *Normteile* im Wesentlichen von Formen und Features bestimmt werden, in Abhängigkeit von Detaillierungsgraden oder Wechsel der Darstellungsmodi u. U. vereinfacht dargestellt werden,
- die *Fremdkomponenten* in ihrer Visualisierung allein durch Formen und gewählte Detaillierungsgrade bestimmt werden,
- die gezeigten *Bauräume* durch die Formen und Detaillierungsgrade bestimmt werden, durch Wechsel der Darstellungsmodi und Perspektiven, durch Transparenzen und Navigation besser abgeschätzt werden können,

- sich die *Grundwerkstoffe* durch Farben und Texturen kodieren lassen, dass Modellausleuchtungen, Lichtreflexionen und visuelle Spezialeffekte ihre visuelle Wirkung verstärken,
- sich die *Oberflächenbe- und -verarbeitungen* durch Texturen darstellen lassen, dass Modellausleuchtungen, Lichtreflexionen und visuelle Spezialeffekte ihre visuelle Wirkung verstärken,
- sich die *Darstellungspräzisionen* durch den Einsatz der Formen, Features und Texturen in ihren Detaillierungsgraden ausdrücken, durch Modellausleuchtungen und Lichtreflexionen erhöhen lassen, durch eine Wechselmöglichkeit der Darstellungsmodi, der Perspektiven und dem Einsatz von Transparenzen und Navigation besser nachvollziehen lassen,
- sich *räumliche Kontexte* durch eine Kombination aus Hintergrundrelationen, Audioeffekten und visuellen Spezialeffekten ergeben, welche durch Navigation, somit Perspektivwechsel, und Interaktionen erfahrbar werden,
- sich *Gebrauchskontexte* durch eine Kombination aus Hintergrundrelationen, Bewegungsdynamiken und Audioeffekte ergeben, welche durch Interaktion erfahrbar werden,
- *Eigen-/Umweltgeräusche* als Audioeffekte Hintergrundrelationen und Interaktionen verdeutlichen,
- sich *Objektverhalten* durch Bewegungsdynamiken, Audioeffekte und Interaktionsmöglichkeiten visualisieren lassen,
- das sich *kinematische Effekte* durch Bewegungsdynamiken, Audioeffekte und Interaktionsmöglichkeiten visualisieren lassen,
- das sich *dynamische Effekte* durch Bewegungsdynamiken, Audioeffekte und Interaktionsmöglichkeiten visualisieren lassen,
- das sich *immersive mechanisch-taktile Erfahrungen* als Krafrückkopplungen durch Bewegungsdynamiken und Navigation und Interaktionsmöglichkeiten visualisieren lassen,
- sich *visuelle Sonderinformationen* in Form von Hintergrundrelationen, visuellen Spezialeffekten und Informationszusätzen darstellen lassen,
- das *Zusatzinformationen* als Informationszusätze z. B. bei Interaktionen Anwendung finden,
- das *Produktdaten* z. B. bei Interaktionen Informationszusätze sein können.

## 5.2 Abbildung von Produktwissen in 3D-Gestaltvisualisierungen

Aus den Erkenntnissen des zuvor aufgezeigten Dekodierungsprozesses lässt sich nun intuitiv eine einsetzbare Kodierung als gezielte Abbildung von Produktwissen, im betrachteten Fall im Wesentlichen von Produktentstehungswissen für ingenieurtechnische Produkte, ableiten. Denn ausgehend von dem Wunsch, bestimmtes spezifisches Produktwissen gezielt in einer rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierung abzubilden, lässt sich aus dem zuvor entwickelten Ordnungsschema auf die möglichen einzusetzenden Visualisierungsmerkmale für das Erzeugen der relevanten zu kodierenden Informationen für das Produktwissen schließen. Für den beabsichtigten Wissenstransfer ist damit als nächstes ein 3D-Gestaltmodell als Basis für die Visualisierung zu wählen und letztlich die Form der angestrebten Visualisierung für deren Umsetzung festzulegen. Nachfolgend werden nun diese Schritte dargestellt.

### 5.2.1 Kodierungsprozess

Bei vorgegebenem Produktentstehungswissen, welches man gerne in einer 3D-Gestaltvisualisierung bewahren möchte, lassen sich durch bewusst genutzte wahrnehmungspsychologische Illusionen über die Gestaltvisualisierungsmerkmale Informationen in virtuellen rechnergenerierten 3D-Gestaltmodellen hinterlegen. Denn hat der Mensch einmal gelernt, wie sich welche Wissensinhalte prinzipiell in 3D-Gestaltvisualisierungen abbilden lassen, erlauben ihm seine kognitiven Fähigkeiten, hieraus auch den jeweiligen Umkehrschluss zu folgern.

Für den angestrebten Kodierungsprozess bedeutet dies, dass man ausgehend von dem zuvor entwickelten Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Produktwissenskategorie* (Tabelle 5-3) aus diesem die darstellenden Visualisierungsmerkmale für das zu transferierende Produktwissen bestimmt und sich im Anschluss für eines der geeigneten 3D-Gestaltmodelle als Visualisierungsbasis entscheidet, auf welches man die Visualisierungsmerkmale anwenden möchte. Abschließend hat noch die Festlegung der später genutzten Visualisierungsform zu erfolgen - eine Wahl, die Aspekte des angestrebten Einsatzes, der beabsichtigten Bewahrungsweise etc. einschließt.

So ergeben sich die Teilschritte des Kodierungsprozesses letztlich als ein Aufstellen eines

- Ordnungsschemas *Visualisierungsmerkmal – Virtuelles Modell*,
- Ordnungsschemas *Virtuelles Modell – Visualisierungsform* und
- Ordnungsschemas *Visualisierungsmerkmal – Visualisierungsform*.

## 5.2.2 Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Virtuelles Modell*

Das in Tabelle 5-4 gezeigte Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Virtuelles Modell* stellt in seiner Zuordnung dar, welche Visualisierungsmerkmale für die Visualisierung welcher rechnergenerierten 3D-Gestaltmodelle eingesetzt werden können.

<i>Visualisierungsmerkmal</i>	<i>Virtuelles Modell</i>		
	<i>CAD-Modell</i>	<i>DMU</i>	<i>VR-Modell</i>
<b>Form</b>	✓	✓	✓
<b>Feature</b>	✓	✓	✓
<b>Detaillierungsgrad</b>	✓	✓	✓
<b>mehrere Darstellungsmodi</b>	✓	✓	
<b>Perspektive</b>	✓	✓	✓
<b>Farbe</b>	✓	✓	✓
<b>Transparenz</b>	✓	✓	✓
<b>Textur</b>	✓	✓	✓
<b>Hintergrundrelation</b>		✓	✓
<b>Navigation</b>	✓	✓	✓
<b>Modellausleuchtung</b>	✓	✓	✓
<b>Lichtreflexion</b>	✓	✓	✓
<b>visueller Spezialeffekt</b>	✓	✓	✓
<b>Bewegungsdynamik</b>	✓	✓	✓
<b>Audioeffekt</b>		✓	✓
<b>Interaktion</b>			✓
<b>Kraftrückkopplung</b>			✓
<b>Informationszusatz</b>	✓	✓	✓

Tab. 5-4: Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Virtuelles Modell*

Erkennen lässt sich, dass sich die Visualisierungsmerkmale

- *Form, Feature, Detaillierungsgrad, Perspektive, Farbe, Transparenz, Textur, Navigation, Modellausleuchtung, Lichtreflexion, visueller Spezialeffekt, Bewegungsdynamik* und *Informationszusatz* in allen drei 3D-Modellen einsetzen lassen,
- der Wahl zwischen *verschiedenen Darstellungsmodi* nur im CAD-Modell und u. U. im DMU umsetzen lassen,
- *Hintergrundrelation* und *Audioeffekt* nur im DMU und VR-Modell integrieren lassen und
- *Interaktion* und *Kraftrückkopplung* nur in das VR-Modell einbinden lassen.



Für die virtuellen Modelle bedeutet dies, dass

- das *CAD-Modell* alle Visualisierungsmerkmale bis auf die Hintergrundrelation, den Audioeffekt, die Interaktion und Krafrückkopplung einbinden kann,
- das *DMU* prinzipiell jedes der Merkmale außer der Interaktion und der Krafrückkopplung abbilden kann und
- das *VR-Modell* alle aufgeführten Visualisierungsmerkmale bis auf die Wahl zwischen verschiedenen Darstellungsmodi berücksichtigen kann.

### 5.2.3 Ordnungsschema *Virtuelles Modell – Visualisierungsform*

Für die folgende Zuordnung, welche Visualisierungsformen sich für welche der 3D-Modelle für eine Langzeitbewahrung eignen, wurden zunächst die möglichen Visualisierungsformen zusammengestellt:

- die virtuellen *Modelle* selbst,
- *Modellbilder*, hierunter werden Screenshots und ausgeleitete 3D-Ansichten der Modelle verstanden,
- *Bildsequenzen von den Modellen* als aufgezeichnete Kurzfilme, welche beispielsweise die Rundum-Ansicht eines Modells präsentieren,
- *Simulationsapplikationen* als Visualisierungen von Funktionen, dynamischen und kinematischen Effekten bzw. Verhaltensweisen des betrachteten Produkts,
- *Interaktive Applikationen*, sie sind als VR-Anwendungen zu verstehen,
- *Infografiken* als einfache 2D-Visualisierungen von 3D-Modellbildern in Kombination mit verschiedensten, vielfach grafischen Zusatzinformationen,
- *Infosimulationen* als Bildsequenzen der Kombination verschiedenster 3D-Gestaltvisualisierungen mit Spektren von 2D-Bildern und Zusatzinformationen.

Die Tabelle 5-5 zeigt das aufgestellte Ordnungsschema *Virtuelles Modell – Visualisierungsform*, worin sich für die Visualisierungsformen ergibt, dass sich zu erstellende Abbildungen als

- *Modelle*, *Modellbilder*, *Bildsequenzen vom Modell*, *Simulationsapplikationen*, *Infografiken* und *Infosimulationen* für alle drei betrachteten virtuellen Modelle eignen,
- *Interaktive Applikationen* nur in Verbindung mit einem VR-Modell realisieren lassen.

<i>Visualisierungsform</i>	<i>Virtuelles Modell</i>		
	<i>CAD-Modell</i>	<i>DMU</i>	<i>VR-Modell</i>
<b>Modell</b>	✓	✓	✓
<b>Modellbild</b>	✓	✓	✓
<b>Bildsequenz von Modell</b>	✓	✓	✓
<b>Simulationsapplikation</b>	✓	✓	✓
<b>Interaktive Applikation</b>			✓
<b>Infografik</b>	✓	✓	✓
<b>Infosimulation</b>	✓	✓	✓

Tab. 5-5: Ordnungsschema *Virtuelles Modell – Visualisierungsform*

Für die virtuellen Modelle bedeutet dies, dass

- vom *CAD-Modell* und *DMU* alle Visualisierungsformen bis auf die interaktive Applikation erstellt werden können und
- vom *VR-Modell* prinzipiell alle Visualisierungsformen abgeleitet werden können.

Für die Wahl der Visualisierungsform gilt es so letztlich, zu seiner Entscheidung bedacht abzuwägen, für wen und welchen Einsatzzweck genau die Visualisierung erstellt wird, damit Aufwand und Nutzen in einem verträglichen Verhältnis bleiben. Auch sollte über die Ablageumstände bzw. die absehbaren Archivierungsweisen gut nachgedacht werden, gerade wenn es sich um eine Visualisierungserstellung für die Langzeitbewahrung handelt. Denn es ist grundsätzlich zu entscheiden, ob man 3D-Applikationen oder 2D-Abbildungen dieser, evt. sogar auf Papier, bewahren will; ferner stehen aufgezeichnete Simulationen gegenüber dem Erhalt „echter“ Interaktionsmöglichkeiten zur Diskussion bzw. im Weiteren dann Überlegungen, ob man das Produktwissen somit in immersiven VR-Applikationen, in Desktop-VR-Applikationen oder Pseudo-VR-Applikationen speichern und bewahren will. Je nachdem gilt es ebenso auch die zugehörigen Rechnersystemspezifika mit zu bewahren und geeignete Auswahlen bzgl. der digitalen Datenformate zu treffen.

#### **5.2.4 Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Visualisierungsform***

Zusammengeführt folgt aus den Tabellen 5-4 und 5-5 die nachfolgende Tabelle 5-6, welche als Ordnungsschema die *Visualisierungsmerkmale* den *Visualisierungsformen* gegenüber-

stellt. Allen Realisierungsmöglichkeiten wird gemäß ihrer Verkettung der Tabellen 5-4 und 5-5 jeweils ein Haken zugewiesen.

Visualisierungsmerkmal	Visualisierungsform						
	Modell	Modellbild	Bildsequenz von Modell	Simulationsapplikation	Interaktive Applikation	Infografik	Infosimulation
Form	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Feature	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Detaillierungsgrad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
mehrere Darstellungsmodi	✓		✓			✓	✓
Perspektive	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Farbe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transparenz	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Textur	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hintergrundrelation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Navigation	✓		✓	✓	✓		✓
Modellausleuchtung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lichtreflexion	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
visueller Spezialeffekt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bewegungsdynamik	✓		✓	✓	✓		✓
Audioeffekt	✓		✓	✓	✓		✓
Interaktion	✓				✓		
Kraftrückkopplung	✓				✓		
Informationszusatz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. 5-6: Ordnungsschema *Visualisierungsmerkmal – Visualisierungsform*

Aus ihr lässt sich erkennen, dass sich der Einsatz der Visualisierungsmerkmale

- *Form, Feature, Detaillierungsgrad, Perspektive, Farbe, Textur, Hintergrundrelation, Modellausleuchtung, Lichtreflexion, visueller Spezialeffekt* und *Informationszusatz* für alle Visualisierungsformen eignet,
- *Transparenz* für alles bis auf die Interaktive Applikation eignet,
- *Navigation, Bewegungsdynamik* und *Audioeffekt* in allen Visualisierungsformen bis auf die Modellbilder und Infografiken integrieren lässt,
- *mehrere Darstellungsmodi* wählen zu können, nur für die Modelle, ihre Bildsequenzen und Infografiken bzw. Infosimulationen eignet, und
- *Interaktion* und *Kraftrückkopplung* nur für das VR-Modell selbst sowie die Interaktive Applikation ergibt.

Wählt man die Sichtweise der Visualisierungsformen, so ergibt sich für

- die *Modelle*, dass alle Visualisierungsmerkmale prinzipiell anwendbar sind,
- die *Modellbilder*, bei ihnen entfallen die Darstellungsmodi-Wechsel, die Navigation, die Bewegungsdynamik, der Audioeffekt, die Interaktion und die Krafrückkopplung als einsetzbare Visualisierungsmerkmale,
- *Bildsequenzen von den Modellen*, bei ihnen entfallen die Interaktion und die Krafrückkopplung,
- *Simulationsapplikationen*, bei ihnen entfallen die Darstellungsmodi-Wechsel, die Interaktion und die Krafrückkopplung,
- *Interaktive Applikationen*, es entfallen die Darstellungsmodi-Wechsel und die Transparenz,
- *Infografiken*, sie verfügen nicht über Möglichkeiten zur Navigation, Bewegungsdynamik und für Audioeffekte, Interaktion und Krafrückkopplungen, und
- *Infosimulationen*, sie können keine Interaktion und Krafrückkopplung berücksichtigen.

### **5.3 Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zur 3D-Gestaltvisualisierung**

Resultat des vorgestellten Dekodierungsprozesses ist ein Ordnungsschema, welches die eingesetzten Visualisierungsmerkmale mit dem abgebildeten Produktwissen verknüpft. Resultat des abgeleiteten Kodierungsprozesses ist eine Matrix, die die Visualisierungsmerkmale den wählbaren Visualisierungsformen gegenüberstellt. Führt man diese beiden Ordnungsschemata nun noch zusammen, so lässt sich hierüber in dem dritten Hauptschritt ein Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zu den 3D-Gestaltvisualisierungsformen aufstellen (siehe Tabelle 5-7). Es lässt Aussagen darüber zu, welche Visualisierungsformen sich für die Präsentation welcher einzelner Wissensaspekte eines Produktwissens eignen, will man diese für eine Langzeitbewahrung bewusst und gezielt in 3D-Produktgestaltvisualisierungen einsetzen. Jede aus den Schemata der Tabellen 5-3 und 5-6 gefolgerten, geeigneten Kombinationen aus Produktwissenskategorie und Visualisierungsform wird hierbei durch einen Haken gekennzeichnet.

Zur Ermittlung, welches im jeweiligen Fall die vermutlich geeignetste Visualisierungsform ist, sollte als erstes das wunschgemäß zu bewahrende Produktwissen zusammengetragen werden. Seine Summation und sein Abgleich mit dem Wissenstransfer bezogenen Schema füh-

ren dann quasi auf die Formen der möglichen strategischen „Produktwissensdokumente“, welche nach ihrer Erstellung bewahrt werden sollten.

Produktwissenskategorie	Visualisierungsform						
	Modell	Modellbild	Bildsequenz von Modell	Simulationsapplikation	Interaktive Applikation	Infografik	Info-simulation
Objektgeometrie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Objektgestalt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Objektstruktur	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Objektgröße	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
konstruktive Gestaltelemente	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Normteile	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fremdkomponenten	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bauraum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Grundwerkstoff	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oberflächenbe- und -verarbeitung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Darstellungspräzision	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
räumlicher Kontext				✓	✓	✓	✓
Gebrauchskontext				✓	✓	✓	✓
Eigen-/Umweltgeräusche				✓	✓		✓
Objektverhalten				✓	✓		✓
kinematische Effekte	✓		✓	✓	✓		✓
dynamische Effekte	✓		✓	✓	✓		✓
immersive mechanisch-taktile Erfahrung					✓		
visuelle Sonderinformation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zusatzinformation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Produktdaten	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. 5-7: Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema zur 3D-Gestaltvisualisierung

Ohne an dieser Stelle noch ein weiteres Mal die Tabellenkombinationen alle im Einzelnen ausführlich zu beschreiben, ist deutlich erkennbar, dass zur Visualisierung des Produktwissens hinsichtlich

- der *Objektgeometrie, der Objektgestalt, der Objektstruktur, der Objektgröße, der konstruktiven Gestaltelemente, der Normteile, der Fremdkomponenten, der Bauräume, der Grundwerkstoffe, der Oberflächenverarbeitung, der Darstellungspräzision, der visuellen Sonderinformationen, der Zusatzinformationen* und der *Produktdaten* alle vorgestellten 3D-Gestaltvisualisierungsformen geeignet sind,
- des *räumlichen Kontextes, des Gebrauchskontextes, der Eigen- und Umweltgeräusche, des Objektverhaltens, der kinematischen und dynamische Effekte* sowie der *immersiven mechanisch-taktilen Erfahrung* jeweils nur diejenigen Visualisierungsformen in Betracht kommen, die die zugehörigen Aktivitäten auch darstellen können. Dies sind zumeist die Simulationsapplikationen sowie die interaktiven Applikationen. Der Wunsch ihrer Langzeitbewahrung erfordert ggf. sehr große Aufwände.

Betrachtet man die einzelnen Visualisierungsformen, so verwundert es daher auch nicht, dass es allein die verschiedenen Applikationen sind, die eigentlich alles (die taktilen Erfahrungen an dieser Stelle unberücksichtigt) in 3D-Gestaltvisualisierungen integrierbares Produktwissen darstellen können. Ihre Fähigkeit, Produktkontexte verbunden mit Effekten und möglichem Objektverhalten zu visualisieren, zeigt ihre Stärke, weshalb sie letztlich auch zunehmend für das Produktengineering entwickelt und eingesetzt werden.

Doch ist es die Fülle der Realisierungsmöglichkeiten des Schemas, welche die Richtigkeit des wissenschaftlichen Ansatzes der Wissen integrierenden 3D-Gestaltvisualisierungsmethode bestätigt. Denn alle statischen produkteigenen Wesensmerkmale lassen sich mit allen betrachteten Visualisierungsformen vermitteln. Nur die beabsichtigte zeitgleiche Kodierung von Umfeldwissen und/oder dynamischen Produkteigenschaften schränkt die Auswahl der betrachteten Visualisierungsformen ein. Dies eröffnet dem Autor einer zu bewahrenden Präsentation, diejenige von ihm in Abhängigkeit des Darstellungswunsches favorisierte Visualisierungsform zu wählen, die fallweise die bestmögliche langzeitliche Informationssicherung erwarten lässt.

## 5.4 Wissen integrierende 3D-Gestaltvisualisierungsmethode

Die Wissen integrierende 3D-Gestaltvisualisierungsmethode ergibt sich gemäß den vorangegangenen Darstellungen in diesem Kapitel als ein Resümee der in Konsequenz formulierten Vorgehensweise der zweckgerichteten Nutzung des erarbeiteten Wissenstransferbezogenen Schemas. Und da sich die Qualität einer Visualisierung stets durch den Grad, in dem die jeweilige bildliche Darstellung das kommunikative Ziel erreicht, definiert (siehe Kapitel 3.2), sollten Visualisierungen so stets optimal auf die jeweiligen Bedürfnisse der im Wesentlichen angesprochenen Betrachterzielgruppe abgestimmt werden. Im Falle der Langzeitbewahrung von Produktwissen bedeutet dies, dass gerade auf die wahrnehmungspsychologisch richtige Kodierung der Wissensaspekte zu achten ist, damit in der Zukunft möglichst keine falschen Rückschlüsse auf spezielles Produktwissen gezogen werden.

Als Schritte der entwickelten Methode ergeben sich, wie in Bild 5-1 dargestellt:

- ⇒ als **1. Schritt** die bewusste, sorgfältige Wahl der zu visualisierenden Wissensaspekte eines speziellen Produktwissens gemäß einer zweckorientierten, zielführenden Absicht,
- ⇒ als **2. Schritt** die Auswahl der geeignet erscheinenden, gewünschten Visualisierungsform aus dem Wissenstransferbezogenen Ordnungsschema (Tab. 5-7),

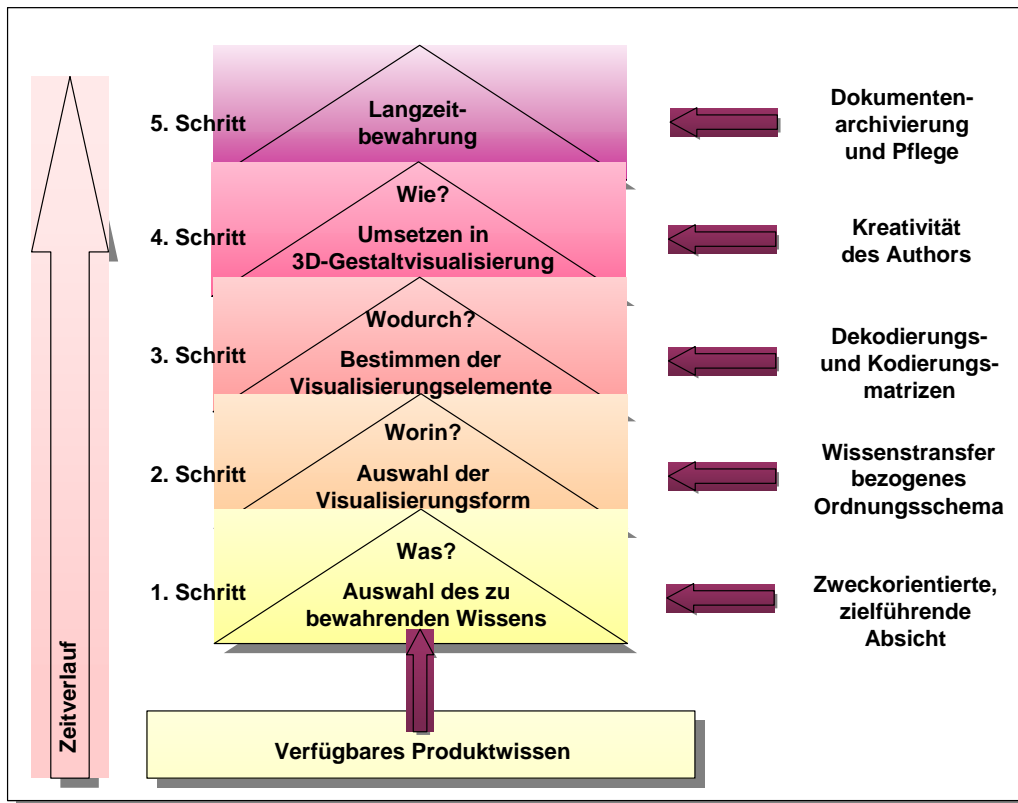


Bild 5-1: Wissen integrierende 3D-Gestaltvisualisierungsmethode

- ⇒ als **3. Schritt** der Abgleich der einzusetzenden Visualisierungsmerkmale, ihr Bestimmen über die Dekodierungs- und Kodierungsmatrizen der Tabellen 5-3 und 5-6,
- ⇒ als **4. Schritt** die Realisierung der 3D-Gestaltvisualisierung als ein bildhaftes Umsetzen des beabsichtigten zu bewahrenden Produktwissens im Rahmen der Kreativität des Authors und
- ⇒ als **5. Schritt** ihr Bewahren mit dem Ziel der Langzeitbewahrung gestützt auf eine bewusste, zweckgerichtet gesonderte Dokumentenarchivierung und seine Pflege. Hierzu zählt ggf. auch ein bestmögliches Aufbewahren eines passend dazu lauffähigen Computersystems.

Das primäre Einsatzfeld der Wissen integrierenden 3D-Gestaltvisualisierungsmethode ist das Wissensgebiet der technischen Produktentstehung. Sein Konstruktionswissen lässt sich am sinnfälligsten in den 3D-Gestaltvisualisierungen präsentieren, da es dessen klassische Gestaltmerkmale nach VDI 2223 als eindeutiges Faktenwissen in den CAD-Modellen abbildet, diese aus ihnen aufgebaut werden. Das in ein CAD-Modell integrierte Wissen kann so auch aus dessen singulären situativen Abbildungen relativ vollständig erfasst werden.

Da ein DMU gegenüber den CAD-Modellen mit ihrem Fokus auf konstruktive Details vorwiegend das Bauteil-Komponenten-Systemwissen wie auch Funktions-, Effekte- und Prozesswissen eines Produktwissens visualisiert, wird eine singuläre statische Abbildung von ihm nur in wenigen Fällen die beabsichtigte Wissensdarstellung hinreichend nachvollziehbar transferieren können. Denn es tritt der Darstellungsanspruch hoher Detaillierungsgrade oftmals zugunsten ganzheitlicher Sichten auf Strukturen und Produktverhalten in den Hintergrund.

VR-Modelle eignen sich insbesondere zur Bewahrung von Erfahrungswissen. Denn in ihnen lassen sich Funktions-, Effekte- und Prozesswissen technischer Produkte als individuell erlebbare situative Visualisierungen nachvollziehen. Die große Stärke ihrer Abbildungsform ist ihre Immersivität, welche jedoch computertechnisch einen relativ hohen Aufwand bedarf, nicht nur aus Sicht der softwaretechnischen Realisierung ihrer Szenarien. Da somit mit einer zu bewahrenden VR-Applikation auch jeweils eine lauffähige Softwareumgebung wie Hardwareausstattung archiviert und gepflegt werden muss, sollte zuvor Nutzen zu Aufwand sehr sorgsam abgeschätzt werden.

## 5.5 Ergebnisdiskussion

Als Hauptaussage der Erfolgsabschätzung zu der entwickelten 3D-Gestaltvisualisierungsmethode lässt sich angeben, dass sich aus einer 3D-Gestaltvisualisierung stets nur das herauslesen lässt, was man zuvor bewusst, also mit Absichten verbunden, in sie hinein gesteckt hat. Doch kann der Ansatz der entwickelten Methode ein geeigneter Weg sein, neben vom heutigen Standpunkt aus evt. neu erlangtem Wissen, welches man direkt für eine Langzeitbewahrung vorbereiten möchte, auch insbesondere altes, noch bekanntes Wissen für eine Übernahme in das Konzept der Langzeitbewahrung vorzusehen und mit der Zeit bewusst hierzu in geeignete Visualisierungsformen zu übertragen.

Erscheint einem die vorgestellte entwickelte Methode, Produktwissen gezielt in rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen zu bewahren, auf den ersten Blick als nur sehr begrenzt, so ändert sich dies bei weiterem zielgerichteten Vertiefen und Nachdenken über diese. Denn betrachtet man einmal phasenweise konsequent den Produktlebenszyklus in Bild 5-2 und schaut, welche Arten von Wissen prinzipiell in den einzelnen Phasen anfallen und ob und wie sich diese mit der neuen Methode visualisieren lassen, fällt auf, dass man mit Kreativität sicherlich recht vieles hiervon geschickt abbilden kann, was zunächst nicht direkt als „konstruktiv visualisierbar“, also an eine 3D-Gestaltvisualisierung koppelbar, scheint.

- Hinsichtlich des *Forschungswissens* kommen überwiegend Infografiken in Betracht, aber auch einzelne Simulationen, welche die komplexen Zusammenhänge zu visualisieren vermögen.



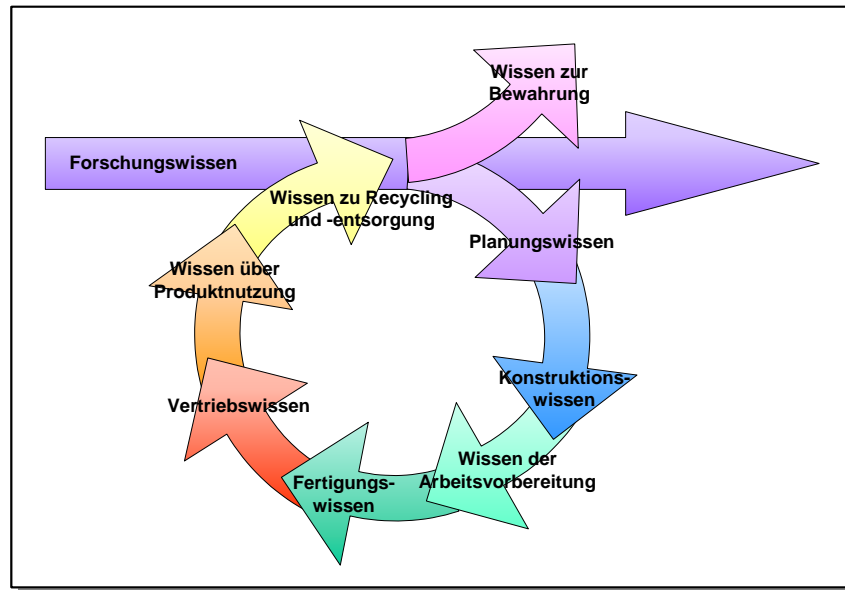


Bild 5-2: Allgemeines Phasenwissen im Produktlebenszyklus

- In der *Planungsphase* fällt verschiedentlich organisatorisches Wissen zu Produktideen, Marketing, Fertigung und Wirtschaftlichkeit an, welches für die Aufbereitung in Infografiken geeignet ist.
- Für die große Vielfalt des *Konstruktionswissens* steht das ganze Spektrum der Gestaltvisualisierungen der 3D-CAD-/DMU-/VR-Modelle zur Verfügung.
- Auch das *Wissen der Arbeitsvorbereitung* hinsichtlich Arbeitsplanung und -steuerung der nachgelagerten Produktfertigung eignet sich für Infografiken, vereinzelt auch für Infosimulationen.
- *Fertigungswissen* lässt sich am besten in Simulationen bewahren. Überblicksweise kommen auch zusätzlich Infografiken in Betracht.
- Das *Vertriebswissen* ist in seinem Spektrum sehr breitgefächert, so dass man sich verstärkt den Infografiken und Simulationen hierbei zur Sachverhaltsdokumentation widmen sollte. Aber auch VR-Applikationen für eigene machbare Erfahrungen, die Produkte kennen zu lernen, sollten bedacht werden.
- Auch das *Wissen über die prinzipielle Produktnutzung* lässt sich sicherlich am besten mittels Infografiken und Simulationen quasi als Technische Dokumentationen aufbereiten und sichern.

- Das *Wissen zu Recycling und -entsorgung* zu dokumentieren, zielt im Wesentlichen auf Simulationen, aber auch Infografiken ab und
- bzgl. des *Wissen zur Bewahrung*: hier sind alle vorgestellten Visualisierungsformen in Betracht zu ziehen, um möglichst kreativ jeweils die besten Lösungen für die verschiedenen Wissensaspekte des jeweiligen Produktwissens zu finden.

Und ebenso zeigt der Blick auf den verkürzten allgemeinen Strukturbaum des Produktwissen (Bild 2-9) in Bild 5-3, dass sich viele seiner Wissenskategorien zwar nicht auf den ersten Blick über eine direkte Zuordnung zu den über die wahrnehmungstheoretischen Visualisierungselemente darstellbaren Produktwissenskategorien der Tab. 5-3 in die 3D-Gestaltvisualisierungen umsetzen lassen, aber mit etwas Überlegen geschickt insbesondere in Kombinationen in Infografiken und Infosimulationen integrieren ließen. Schaut man auf die Kategorie des fachspezifischen Faktenwissens so ließen sich einzelne Aspekte der Rechts- und Wirtschaftswissen über zusätzliche Grafiken vermitteln. Gleiches gilt für das Ergonomiewissen, sofern man bei ihm nicht auf konkrete Simulationen zurückgreifen könnte. Auch für naturwissenschaftliches Grundlagenwissen ist dies für physikalische, chemische und informationstechnische Sachverhalte denkbar. Für mathematische Belange und Prozedurales Wissen könnte dies schwierig werden. Ihre Inhalte lassen sich kaum grafisch-selbsterklärend auf einfache Weise darstellen.

An dieser Stelle sei ferner darauf hingewiesen, dass es sich bei speziellen Dokumenten zur Langzeitbewahrung in den nächsten Jahren zumeist um eigens für die Bewahrung erstellte Grafiken und Simulationen handeln wird, da bislang noch keine PDM-Konzepte soweit reichen, als dass sie für die Langzeitbewahrung eine gesonderte Dokumentenarchivierung betreiben und zudem selektierte Dokumente zur Bewahrung prinzipiell „einfach im laufenden Betrieb“ des Tagesgeschäfts anfallen.

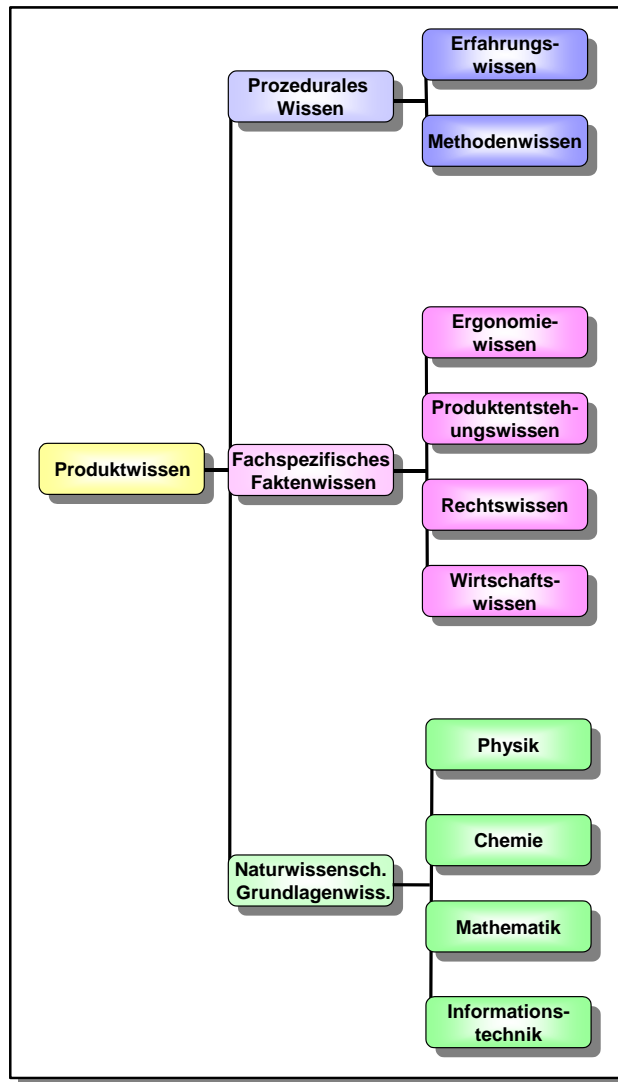


Bild 5-3: Verkürzter Strukturbaum *Produktwissen*

## 6 Beurteilung der 3D-Gestaltvisualisierungsmethode

Abschließend wird durch ein paar Visualisierungsbeispiele kurz ansatzweise gezeigt, wie man sich die praktische Umsetzung bzw. Anwendung der 3D-Gestaltvisualisierungsmethode zur Langzeitbewahrung von Produktwissen vorstellen kann. Eine wissenschaftliche Validierung ist durch den gewählten Thesenaspekt der Langzeitbewahrung nicht möglich, denn erst in ca. 100 Jahren ließe sich überprüfen, ob sich heutige 3D-Gestaltvisualisierungen richtig interpretieren ließen.

Ansatzweise wären Probandentests auch heute schon denkbar, sie benötigten dann aber sehr kritische spezielle Auswahlverfahren von aussagekräftigen Testgruppen sowie gezielte Schulungen bzw. sorgfältige Wissensprüfungen. Ebenso müssten die eingesetzten Fallbeispiele wahrnehmungstheoretisch sehr durchdacht und ihrerseits geprüft sein. Denn sie müssten von ihrer Konzeption her zwingend der Wissenschaftlichkeit von Benutzertest in allen Belangen ihrer Fachlichkeit und der Statistik entsprechen. Aus diesen Anforderungen ergäben sich mehrstufige sehr umfangreiche, zeitaufwendige Testreihen, welche sich im zeitlichen Rahmen des vorliegenden Dissertationsvorhaben allein schon aufgrund des personellen Aufwands nicht verwirklichen ließen.

### 6.1 Fallbeispiele

Als anschauliche Fallbeispiele werden drei Visualisierungen vom Opel Raketenwagen RAK 2 gewählt, dessen Original von 1928 leider in den Wirren des zweiten Weltkriegs, eingeschlossen aller werksseitigen Originaldokumentationen, verloren ging und dessen heutiges CAD-Modell 2001 als Rekonstruktion eines studentischen Projekts durch fünf Studenten des Fachgebiets Datenverarbeitung in der Konstruktion der TU Darmstadt erstmalig neu entstand.

Das Bild 6-1 zeigt eine Sicht auf das CAD-Modell des RAK 2, die Karosserie, eigentlich aus schwarzem Blech wird transparent, quasi gläsern dargestellt, damit man auch einen Blick auf seine innere, detaillierte Baustruktur, soweit sich diese rekonstruieren ließ, erhält. Die gewählte Perspektive, beispielsweise, wie auch die Modellausleuchtung sorgen für einen aussagekräftigen Gesamteindruck der Fahrzeuggestalt. Auffällig sind ferner die Farbgebungen gelber und grüner Gestänge. Sie sind als typische unzweckmäßige Farbeinstellungen der CAD-Modellierung im Sinne der Langzeitbewahrung anzusehen, denn man hat damals die eingesetzten Stähle im Karosserieinneren nicht bunt gestrichen. Heute assoziiert man mit

diesen Farben vielfach den Werkstoff Kunststoff als eingesetztes Bauteilmaterial, welches hinsichtlich der Rückschlüsse auf Produktwissen zu Fehlinterpretationen führen würde.

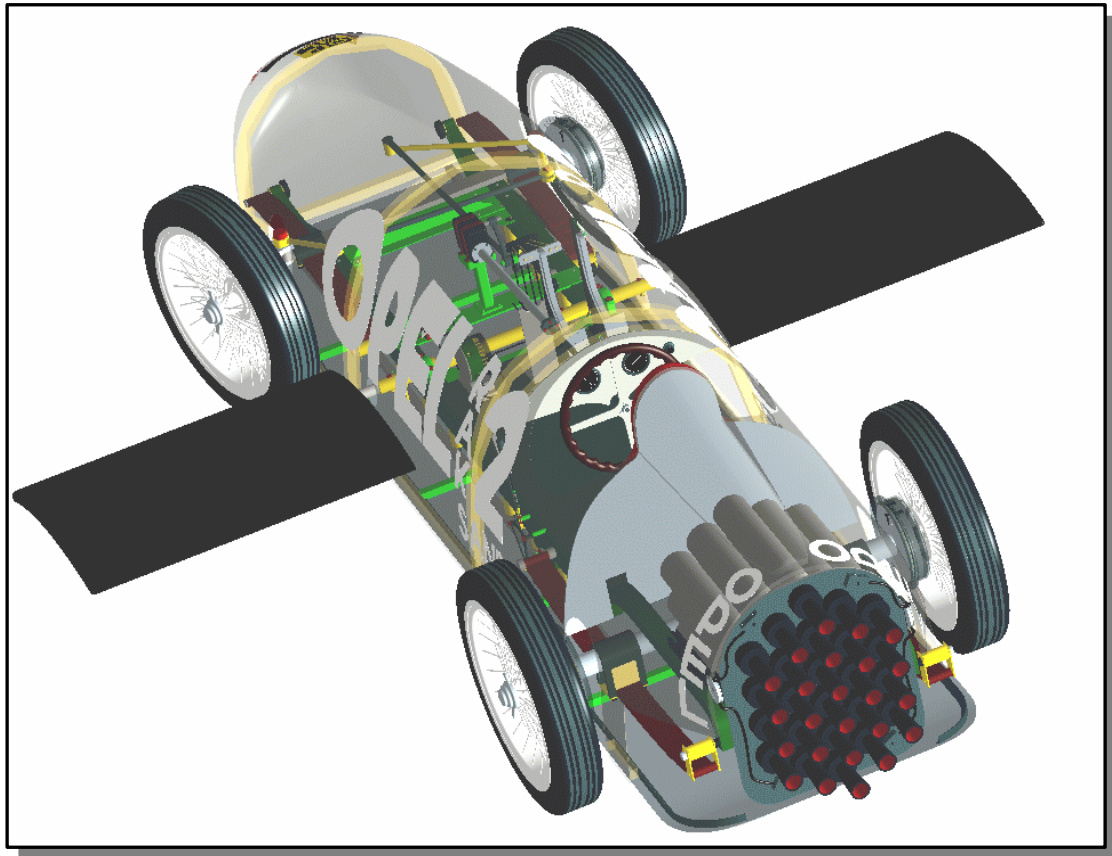


Bild 6-1: RAK 2 als 3D-CAD-Modell

Den RAK 2 als DMU zeigt das Bild 6-2, die abgebildete Sicht ist gegenüber der in Bild 6-1 stark verändert. Deutlich sichtbar der eingesetzte Beleuchtungseffekt, die Objektgestalt ist noch relativ gut einschätzbar, da der Mensch räumliche Darstellungen auf Bildern intuitiv um die dritte Dimension und das Objekt selbst um seine verdeckten Konturen ergänzt. Doch fehlt auf diesem Bild beispielsweise jegliche Visualisierung innen liegender Baugruppen. Es entspricht quasi einer Hüllendarstellung. Auch fehlt zum Abschätzen der wirklichen Fahrzeugabmaße die Sicht auf den zweiten Flügel. Die jeweils gewählten Farbwerte als Grundwerkstoffe auffassen zu können, erfüllt sich hier schon eher, denn das Bild wirkt plastischer und damit realer.

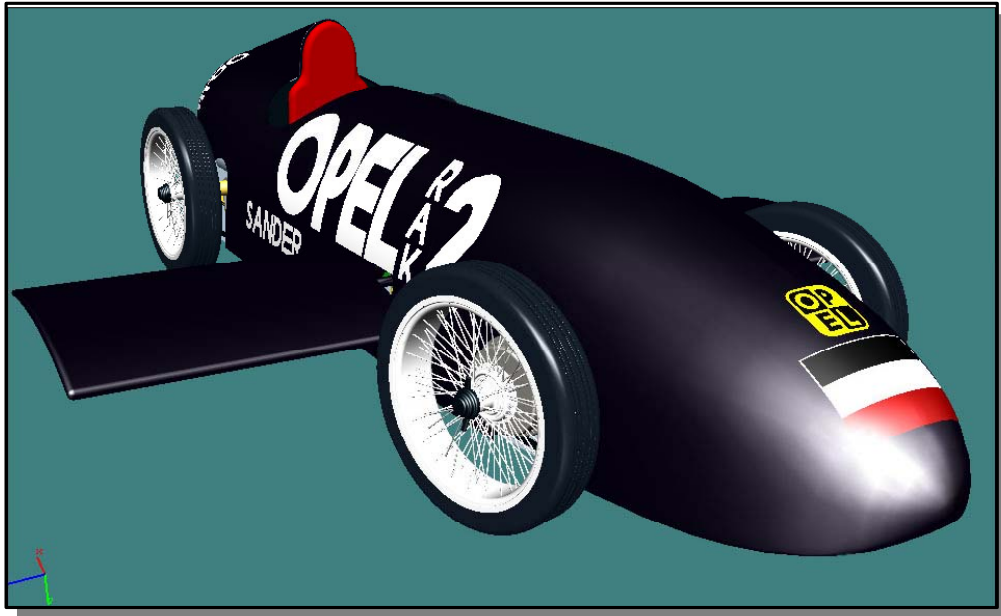


Bild 6-2: RAK 2 als DMU

Zur Demonstration, was einfacher Weise eine Infografik sein kann, entstand das Bild 6-3. Es zeigt eine Explosionsdarstellung von dem RAK 2, ergänzt zum einen um die Abbildung der Baugruppenstruktur in Unigraphics (links oben), dem 3D-CAD-System, mit dem der RAK modelliert wurde, aber auch noch im Weiteren ergänzt um eine Stückliste und eine Benennung dessen (links unten), was die Grafik zeigt. Die Zuordnungen der Zahlen, die der Explosionsdarstellung hinzugefügt wurden, entsprechen den Positionsnummern der Stückliste. So lässt sich aus der Explosionsdarstellung z. B. der Zusammenbau abschätzen.

Der Verweis der Nummern gibt ferner Hinweise auf die Zahl der verbauten Einheiten und zugeordnete Sachnummern sowie die Benennungen in der Stückliste.

Mit Hilfe der Baugruppenstruktur, ihrem Abgleich lässt sich die Explosionsdarstellung noch etwas besser verstehen. Doch deutlich erkennbar die hierbei bzgl. ihres Grundwerkstoffs sehr leicht fehlinterpretierbaren verschiedenfarbigen CAD-Modell-Einzelteile, ihre Abbildung könnte an dieser Stelle die Darstellung eines Spielzeugsmodells vermuten lassen.

Denkt man an mögliche computergenerierte Animationen, Simulationen und VR-Applikationen, welche vorteilhaft Produktwissen des RAK 2 auf lange Sicht bewahren könnten, so fallen einem schnell Darstellungsaspekte wie eine Animation des 3D-CAD-Modells ein, welche verschiedene Sichten und Details des Modells zeigt, eine Zusammenbausimulation eines RAK 2-DMU, eine Simulation seines Raketenantriebs oder gar eine VR-Applikation, den RAK 2 noch einmal selbst fahren zu können.

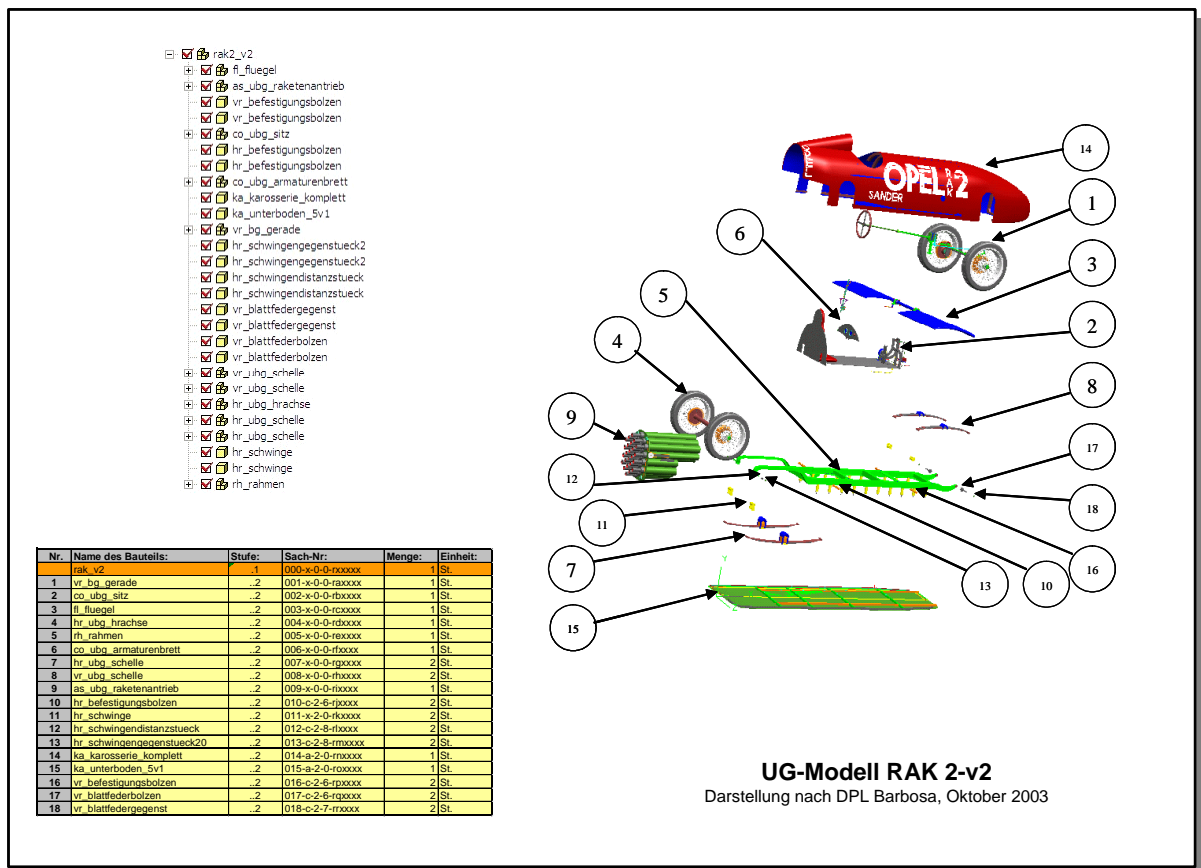


Bild 6-3: Infografik RAK 2

## 6.2 Bewertung der 3D-Gestaltvisualisierungsmethode zur Produktwissensbewahrung

Die vorgestellten Fallbeispiele zeigen ansatzweise, was die 3D-Gestaltvisualisierungsmethode leisten kann, wichtig ist hierbei die Vorstellung der späteren Ausgangssituation: bestenfalls hält irgendwann in ferner Zukunft jemand eine dieser erstellten 3D-Gestaltvisualisierungen, für ihn gänzlich unbekannt, in der Hand. Was kann er dann rein wahrnehmungsgestützt aus diesen herauslesen? Denn bei bewusster, genauerer Betrachtung wird es noch wesentlich mehr sein als alles das auf den gewissen ersten Blick. Darstellungsfeinheiten werden erst bei gewecktem Interesse für den Betrachter auffällig und lösen ihrerseits Interpretationen gemäß seines eigenen Wissenstands aus. Doch sollte einem dabei bewusst sein, dass der gewisse Ersteindruck einer Visualisierung für deren Assoziationen sehr entscheidend ist und somit auch dafür, auch noch fortgesetzt betrachtet zu werden. Je nach behaftem Dokument wird sich sein Betrachter ganz unterschiedliche Bilder von dem visualisierten Gegenstand machen, was darauf hinweist, dass man auch mit der Absicht der Lang-

zeitbewahrung sehr vorsichtig und gezielt bewusst umgehen sollte, damit die bewahrten Informationen qualitativ wirklich leisten können, was man bei ihrer Erstellung bewusst zielgerichtet an Wissen transportieren wollte. Dies zeigt auch, dass es wahrscheinlich keine flüchtig erstellten oder zufällig entstandenen Visualisierungen sein werden bzw. sein sollten, da ihre Informationstiefe vermutlich nicht ausreicht bzw. ihre Möglichkeiten nicht ausschöpft. Bewahren als bewusstes informelles Speichern setzt implizit voraus, dass eine hinreichend zielgerichtete Selektion und Optimierung des zu bewahrenden Wissens stattgefunden hat. Angestrebt wird das kleine hoaussagefähige Cluster an Visualisierungen, nicht die Masse.

Im konkreten Bezug auf das ingenieurtechnische Produktwissen, welches Fokus dieser Arbeit ist, zeigen die Fallbeispiele vom RAK sehr schön, was durch Rekonstruktionen an neuem Wissensfundament für eigene Weiterentwicklungen gelegt werden kann, dessen Bewahrung es heute anzustoßen gilt. Initiiert man in dieser Weise schon heute das „professionelle“ Bewahren von aktuellem Produktwissen, so erwachsen hierüber mit der Zeit sehr große konzentrierte Wissensschätze, quasi als Computer Aided Kems [Anderl/Beuthel 2003]

Abschließend lässt sich die vorgestellte Visualisierungsmethode zur Bewahrung von Produktwissen in 3D-Gestaltvisualisierungen als ein leistungsfähiger wissenschaftlich viel versprechender Ansatz zur Langzeitbewahrung von Produktwissen beurteilen, der zukünftig weiter ausgebaut werden sollte. Sowohl in qualitativer wie auch in quantitativer Hinsicht bietet er noch sehr viel Ausbaupotential, welches beispielsweise durch eine gezielte Unterstützung durch Benutzertests eruiert werden könnte.



# 7 Zusammenfassung und Ausblick

## 7.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Grundlagenforschung dar. Ihre Untersuchung des Stands der Technik der Begriffe Produkt, Wissen und Produktwissen zeigt, welche individuellen Spektren ihres Verstehens und ihrer Bedeutung diesen Begriffen jeweils zukommt. Sie sind zentrale Begriffe unserer heutigen modernen wirtschaftsorientierten Wissensgesellschaft, ihre Inhalte entsprechen den wichtigsten Wettbewerbsfaktoren produzierender Wirtschaftsunternehmen, doch wird bis heute das Thema der strategischen Langzeitbewahrung von diesen noch unterschätzt und so zum Teil verdrängt. Die bewusste Langzeitbewahrung von Produkten und ihrem zugehörigen Wissen mit Erwartungshorizonten über die gesetzlich vorgeschriebenen Gewährleistungsfristen hinaus wird bislang, so scheint es, nicht in Unternehmensportfolios gesehen, denn unter Wissensbewahrung im Sinne des Wissensmanagements wird langläufig die Sicherung eines mittelfristigen Erhalts von Daten, Informationen und Wissen in einer Organisation verstanden, deren prinzipielle Offenlegung nicht beabsichtigt ist.

Daher wurden kurz die menschliche Wahrnehmung mit dem Wahrnehmungsprozess wie auch der Visualisierungsprozess vorgestellt und einige Gedanken zur Langzeitbewahrung hinsichtlich dem zeitlichen Aspekt, möglicher Speicherformen und Wissensmedien aufgeführt. Den Kern der Arbeit stellt die Konzeption einer Visualisierungsmethode zur Langzeitbewahrung von ingenieurtechnischem Produktwissen mit Hilfe von rechnergenerierten 3D-Gestaltvisualisierungen dar. Sie beruht auf dem Ansatz, dass der Mensch ganz natürlicherweise einen Großteil seines Wissens in einer Art gedanklicher Bilder, bildlichen Vorstellungen von Wissensaspekten und ihren Verknüpfungen in Kontexten zu Sachständen, verwahrt, weshalb er dies auch bewusst explizit mit Produktwissen machen könnte. Abgeleitet von der natürlichen Dekodierung von Modellinformation aus 3D-Gestaltvisualisierungen mit ihrer anschließenden Interpretation und dem daraus zu folgernden Kodierungsprozess, wurde über Tabellen und Matrizen ein Wissenstransferbezogenes Ordnungsschema aufgestellt, welches erlaubt Produktwissen Visualisierungsformen zuzuordnen und durch ihre Umsetzung dann Produktwissen bestmöglich für eine Langzeitbewahrung vorzubereiten. Abschließend erfolgten eine kurze Diskussion und Bewertung anhand von Fallbeispielen.

## 7.2 Ausblick

Alles in allem zusammengefasst bietet die vorliegende Arbeit einen wissenschaftlich neuartigen Ansatz, welcher zukünftig fortgesetzte Grundlagenforschung initiieren könnte. Denn in ihr wird eine wahrnehmungstheoretisch gestützte Methode zur Langzeitbewahrung ingenieurtechnischen Produktwissens mittels rechnergenerierter 3D-Gestaltvisualisierungen dargestellt, welche zukünftig an Bedeutung gewinnen wird, stellt doch das „Heil“ der elektronischen Datenverarbeitung mit seinen Handlungsvorzügen zugleich auch ein mögliches „Unheil“ an immer stärker anwachsenden Datenfluten redundant gespeicherter Daten und Informationen dar. Im Sinne der Wissensbewahrung, insbesondere unter dem Aspekt der Langzeitbewahrung von Produktwissen bedeutet dies, dass es zukünftig zahlreiche neue Methoden zu entwickeln gilt, welche sowohl eine aktive bewusste Selektion zu bewahrendem Produktwissens gezielt unterstützen wie auch den Prozess der Bewahrung selbst.

Dies könnte beispielsweise mit der Festlegung neuer Ordnungsmerkmale in PDM-Systemen beginnen, die es erlauben, künftig die Dokumentenablage auch nach Wissensstichworten durchsuchen zu können oder Strukturbäume für das in ihnen abgelegte Produktwissen aufzubauen, um aktiv Wissenserkenntnis in den Archivbeständen zu betreiben. Es ergäbe sich hierdurch womöglich noch ein weiterer Einfluss auf die Dokumentengestaltung, denn es ist durchaus denkbar, wahrnehmungspsychologische Parameter für die gängigen, eingesetzten Visualisierungsmerkmale unternehmensweit einzuführen, beispielsweise dergestalt, dass Farben für Materialien wahrnehmungssinngemäß unternehmensweit vorgegeben werden, was ein besseres Gefühl für den eigenen Umgang mit den eingesetzten Grundwerkstoffen erzielen könnte, ihr Handling u. U. damit auch einfacher gestaltet. Auch könnte daraus folgen, dass eigens Dokumente erstellt werden müssen, die den Ansprüchen an eine Langzeitbewahrung entsprechen. Hierzu könnten insbesondere Infografiken und Infosimulationen neu ins Blickfeld geraten, bieten sie doch die Chance durch den Einsatz von Kreativität mehr Wissen zwecks seiner Bewahrung durch Kontextbildung zu verdichten und leichthandhabbar abzuspeichern.

Insgesamt könnten und sollten in weiteren Arbeiten die bisherigen Randbedingungen und bewussten Ausgrenzungen dieser Arbeit in Betrachtungen und Untersuchungen einbezogen werden: sowohl in die Richtung der Repräsentationen der Gestaltvisualisierungsmerkmale wie auch in Richtung der Realisierung der Bewahrung der technischen Systeme heutiger moderner CAx-Tools. Ebenso könnte hierzu das Einbeziehen der Blickwinkel anderen Fachwissens und anderer Fachdisziplinen interessant sein oder auch die Betrachtung weiterer Kategorien der rechnergestützten Gestaltvisualisierungsformen im 2D- wie auch 3D-Umfeld.

Denn aus all ihrem Wissen ließe sich zum Schluss womöglich ein virtueller 3D-Produktgestalt-Lebenslaufmodellierer als Computer Aided Ken bauen, in welchem das zu bewahrende

Produktwissen derart hinterlegt wird, dass er beliebige Simulationen aus den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus konkret an einem Gestaltmodell adhoc visualisieren könnte: beispielsweise wie mit der Zeit der Kunststoff eines Staubsaugergehäuses vergilbt, das Gehäuse zusehens Kratzer bekommt, Ecken abplatzen oder ein Kabelbruch auftritt. Denn Wissen lässt sich am besten in Bildern bzw. Visualisierungen für seine Bewahrung, insbesondere seine Langzeitbewahrung speichern.

# Quellenverzeichnis

**[Anderl 2003 a]** ANDERL, Reiner: *Produktdatentechnologie B – Produktdatenmanagement*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Vorlesungsskript, 2003

**[Anderl 2003 b]** ANDERL, Reiner: *Produktdatentechnologie A – CAD-Systeme und CAx-Prozessketten*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Vorlesungsskript, 2003

**[Anderl/Beuthel 2001]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina: The Design Engineer in the 21st Century - Visions for a Workplace in Future. In: QMS (Hrsg.): *Proceedings PDT Days 2001 (Brussels)*. Sandhurst : QMS, 2001, S. 223-226

**[Anderl/Beuthel 2002 a]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina: Virtual Reconstruction of Historical Automobiles - a case study exemplified by the Opel rocket-driven car RAK 2. In: STELZER, R. ; FICHTNER, D.: *Proceedings CAD 2002 - Corporate Engineering Research*. Bonn : GI German Informatics Society, 2002, S. 281-287

**[Anderl/Beuthel 2002 b]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina: Conservation of Historical Knowledge of Engineering by Virtual Reconstruction - its Use for Advanced Product Development. In: QMS (Hrsg.): *Proceedings PDT Europe 2002 (Torino)*. Sandhurst : QMS, 2002, S. 181-186

**[Anderl/Beuthel 2002 c]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina: Educational Aspects of Conserving Historical Knowledge of Engineering by Virtual Reconstruction. In: LEBERL, Franz ; FERKO, Andrej (Hrsg.): *East-West-Vision 2002*. Wien : Österreichische Computer Gesellschaft 2002, S. 81-86

**[Anderl/Beuthel 2002 d]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina: Information Reuse of Historical Knowledge of Engineering by Virtual Reconstruction. In: Subramanya, S. R.: *Computer Applications in Industry and Engineering (San Diego 2002)*. Cary : ISCA, 2002, p. 73-76

**[Anderl/Beuthel 2003]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina: Product Knowledgeing – Establishing Computer Aided Kems. In: QMS (Hrsg.): *Proceedings PDT Europe 2003 (Manchester)*. Sandhurst : QMS, 2003, p. 121-124

**[Anderl/Beuthel/Pfeifer-Silberbach 2003]** ANDERL, Reiner ; BEUTHEL, Regina; PFEIFER-SILBERBACH, Ullrich: DMU-Prozesse in der Produktentwicklung - ihre Einbindung in die industriellen Prozesse. In: *ProduktDatenJournal* 2003, Nr. 1, S. 38-41

**[Anderl/Trippner 2000]** ANDERL, Reiner ; TRIPPNER, Dietmar: *STEP*. Wiesbaden : Teubner, 2000

**[Arlt 2000]** ARLT, Martin: *Agentenbasierte Systemarchitekturen für Produktdatenmanagement-Systeme*. Aachen : Shaker, 2000

**[Becher 2002]** BECHER, Stefan: *Erstellung virtueller 3D-Produktpräsentationen für IT-Unternehmen*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Diplomarbeit, 2002

**[Berliner Kreis 2001]** BERLINER KREIS WISSENSCHAFTLICHES FORUM FÜR PRODUKTENTWICKLUNG E. V. (Hrsg.): *Technology monitoring 1/01 – Virtual Reality*. Paderborn : Druckerei Reike GmbH, 2001

**[Berliner Kreis 2002 a]** BERLINER KREIS WISSENSCHAFTLICHES FORUM FÜR PRODUKTENTWICKLUNG E. V. (Hrsg.): *Technology monitoring 1/02 - Wissen und Kreativität*. Paderborn : Druckerei Reike GmbH, 2002

- [Berliner Kreis 2002 b]** BERLINER KREIS WISSENSCHAFTLICHES FORUM FÜR PRODUKTENTWICKLUNG E. V. (Hrsg.): *Technology monitoring 1/02 – Product Lifecycle Management*. Paderborn : Druckerei Reike GmbH, 2002
- [Bertin 1982]** BERTIN, J.: *Graphische Darstellungen und die graphische Weiterverarbeitung der Information*. Berlin : de Gruyter, 1982
- [C. Beuthel 1997]** BEUTHEL, Carsten M.: *Dreidimensionale Prozeßvisualisierung zur Führung technischer Anlagen am Beispiel eines Kohlekraftwerks*. Clausthal-Zellerfeld : Papierflieger, 1997
- [Beuthel 1997]** BEUTHEL, Regina: *Eignung und Nutzen von VR-Techniken für Aufgaben der Prozeßleittechnik - eine Abschätzung*. TU Clausthal, Fachbereich MVT, Diplomarbeit, 1997
- [Birkhofer/Kloberdanz/Berger 2001]** BIRKHOFFER, H. ; KLOBERDANZ, H. ; BERGER, B.: *Produktentwicklung I (PE I) Wintersemester 2001/2002*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Vorlesungsskript, 2001
- [Bormann 1994]** BORMANN, Sven: *Virtuelle Realität. Genese und Evaluation*. Bonn : Addison-Wesley, 1994
- [Braun 2000]** BRAUN, Peter: *Objektorientierte Wissensarchivierung und -verarbeitung in modellassozierten Gestaltungs- und Berechnungssystemen*. Aachen : Shaker, 2000
- [Brodbeck1999]** BRODBECK, Karl-Heinz: *Entscheidung zur Kreativität*. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1999
- [Bugow 1996]** BUGOW, Rainer: *Die Bereitstellung von Teilebibliotheken im rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß*. Berlin : DIN, 1996
- [Bullinger 1999]** BULLINGER, Hans Jörg: EDM: vom Datenmanagement zum Wissensmanagement. In: DAIMLERCHRYSLER (Hrsg.): *Proceedings EDM Forum 1999 (Fellbach)*. Stuttgart : DaimlerChrysler, 1999
- [Carterette/Friedman 1978]** CARTERETTE, Edward C. ; FRIEDMAN, Morton P. (Hrsg.): *Handbook of Perception. Bd. 8: Perceptual Coding*. New York : Academic Press, 1978
- [Claassen 2002]** CLAASSEN, Erik: *Entwicklung eines CAD-Iterationsmanagements für die Virtuelle Produktentwicklung*. Aachen : Shaker, 2002
- [Davenport/Prusak 1998]** DAVENPORT, Thomas ; PRUSAK, Laurence: *Wenn Ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiß: das Praxisbuch zum Wissensmanagement*. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1998
- [Doblies 1998]** DOBLIES, Matthias: *Globales Produktdatenmanagement zur Verbesserung der Produktentwicklung*. Berlin : Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, 1998
- [Duden 1989]** DROSDOWSKI, Günther (Hrsg.): *Duden Deutsches Universalwörterbuch*. Mannheim : Dudenverlag, 1989
- [Ehrlenspiel 1995]** EHRENSPIEL, Klaus: *Integrierte Produktentwicklung*. München : Hanser, 1995
- [Eichhorn 1990]**, EICHHORN, Dieter R. (Hrsg.): *11.1 Warum das Wissen über die Wahrnehmung des Menschen so wichtig für die Produktion und Präsentation von Medien ist ... Grundlagen der Wahrnehmungspsychologie. 1. Teil: Wahrnehmung der Welt*. Tiefenbronn : MEDIEN-INFOTHEK-VERLAG, 1990

**[Eichhorn/Jaquart 1990]** EICHHORN, Dieter R. ; JAQUART, Sabine (Hrsg.): *11.1 Warum das Wissen über die Wahrnehmung des Menschen so wichtig für die Produktion und Präsentation von Medien ist ... Grundlagen der Wahrnehmungspsychologie. 2. Teil: Visuelle Wahrnehmung.* Tiefenbronn : MEDIEN-INFOTHEK-VERLAG, 1990

**[Eigner/Stelzer 2001]** EIGNER, Martin ; STELZER, Ralph: *Produktdatenmanagement-Systeme.* Berlin : Springer, 2001

**[Eigner u. a.1991]** EIGNER, Martin ; HILLER, Christine ; SCHINDEWOLF, Stephan ; SCHMICH, Matthias: *Engineering Database – Strategische Komponenten in CIM-Konzepten.* München : Hanser, 1991

**[Ellis/Kaiser/Grunwald 1993]** ELLIS, Stephen R. ; KAISER, Mary K. ; GRUNWALD, Arthur J. (Hrsg.): *Pictorial communication in virtual and real environments.* 2. Aufl. London : Taylor & Francis, 1993

**[Elzer/Joubert 1996]** ELZER, P. F. ; JOUBERT, G. R.: *Neue Medien im Museum. Untersuchung über die Möglichkeiten des Einsatzes rechnergestützter Systeme für die Informationsvermittlung und die Visualisierung unzugänglicher Denkmalbereiche.* Clausthal-Zellerfeld : Informationstechnisches Zentrum der Technischen Universität Clausthal, 1996

**[Ferguson 1993]** FERGUSON, Eugene S.: *Das innere Auge – Von der Kunst des Ingenieurs.* Basel : Birkhäuser, 1993

**[Foley u. a. 1994]** FOLEY, James D. ; VAN DAM, Andries ; FEINER, Steven K. ; HUGHES, John F. ; PHILLIPS, Richard L.: *Grundlagen der Computergraphik.* Bonn : Addison-Wesley, 1994

**[Frey 1999]** FREY, Siegfried: *Die Macht des Bildes. Der Einfluß der nonverbalen Kommunikation auf Kultur und Politik.* Bern : Hans Huber, 1999

**[Fröhlich 2003]** FRÖHLICH, Arnulf: *Integration des Prüffeldes in die virtuelle Produktentstehung.* Aachen : Shaker, 2003

**[Garner 1962]** GARNER W. R.: *Uncertainty and Structure as Psychological Concepts.* New York : John Wiley, 1962

**[Gebhardt 2000]** GEBHARDT, Andreas: *Rapid Prototyping.* München : Hanser, 2000

**[Geldard 1972]** GELDARD, F. A.: *The Human Senses.* 2. Auflage. New York : John Wiley and Sons, 1972

**[Gentsch 1999]** GENTSCH, Peter: *Wissen managen mit innovativer Informationstechnologie.* Wiesbaden : Gabler, 1999

**[Gibson 1973]** GIBSON, James J.: *Die Wahrnehmung der visuellen Welt.* Weinheim : Beltz, 1973 (amerikanischer Originaltitel: *The Perception of the Visual World*, 1950)

**[Gibson 1982]** GIBSON, James J.: *Die Sinne und der Prozeß der Wahrnehmung.* 2. Auflage. Bern : Verlag Hans Huber, 1982 (amerikanischer Originaltitel: *The Senses Considered as Perceptual Systems*, 1966)

**[Goldstein 2002]** GOLDSTEIN, E. Bruce: *Wahrnehmungspsychologie.* Heidelberg : Spektrum, 2002

**[Gräb 2001]** GRÄB, Robert: *Parametrische Integration von Produktmodellen für die Entwicklung mechatronischer Produkte.* Aachen : Shaker, 2003

**[Guski 2000]** GUSKI, Rainer: *Wahrnehmung.* 2. Auflage. Stuttgart : Kohlhammer, 2000

- [Gutenberg 1983]** GUTENBERG, Erich: *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Band 1: Die Produktion.* Berlin : Springer 1983
- [Haase 2000]** HAASE, Helmut: *Die Qualität wissenschaftlich-technischer Visualisierungen.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2000
- [Hajos 1991]** HAJOS, Anton: *Einführung in die Wahrnehmungspsychologie.* Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991
- [Herbst 2000]** HERBST, Dieter: *Erfolgsfaktor Wissensmanagement.* Berlin : Cornelsen, 2000
- [Herrmann/Mambrey/Shire 2003]** HERRMANN, Thomas ; MAMBREY, Peter ; SHIRE, Karen (Hrsg.): *Wissensgenese, Wissensteilung und Wissensorganisation in der Arbeitspraxis.* Wiesbaden : Westdeutscher Verlag, 2003
- [Heynen 2001]** HEYNE, Christoph: *Wissensmanagement im Berechnungsprozess der Produktentwicklung.* Düsseldorf : VDI Verlag, 2001
- [Hornung/Miram 1980]** HORNING, Gerhard ; MIRAM, Wolfgang: *Verhaltenslehre.* Hannover : Schroedel, 1980
- [Jansen/Scharfe 1999]** JANSEN, Angela ; SCHARFE, Wolfgang: *Handbuch der Infographik.* Berlin : Springer, 1999
- [Johannsen 1993]** JOHANNSEN, Gunnar: *Mensch-Maschine-Systeme.* Berlin : Springer, 1993
- [John 2000]** JOHN, Harald: *Modellierungstechnik zur Integration von Prozesswissen in ein Produktmodell.* Aachen : Shaker, 2002
- [Kern 1979]** KERN, Werner (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Band 7.* Stuttgart : Poeschel, 1979
- [Kleiner 2003]** KLEINER, Sven: *Föderatives Informationsmodell zur Systemintegration für die Entwicklung mechatronischer Produkte.* Aachen : Shaker, 2003
- [Klingelhöffer 2002]** KLINGELHÖFFER, Peter: *House of Information - Entwicklung eines web-basierten projektbezogenen Fachkompetenz-Informationssystems.* TU Darmstadt, Fachbereich 16, Studienarbeit, 2002
- [Klöcker 1980]** KLÖCKER, Ingo: *Die Produkt-Form und menschliches Verhalten. Eine Untersuchung von psycho-physiologischen Ursachen und Wirkungen, Elementen und Kriterien der Gestaltung von Geräten, Maschinen, Anlagen und Fahrzeugen.* Technische Universität Hannover, Fakultät Bauwesen, Dissertation, 1980
- [Knodel/Bayrhuber 1983]** KNODEL, Hans ; BAYRHUBER, Horst: *Linder Biologie.* 19. Auflage. Stuttgart : J. B. Metzler, 1983
- [Koller 1994]** KOLLER, Rudolf: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau.* Berlin : Springer, 1994
- [Krastel 2002]** KRASTEL, Marcus: *Integration multidisziplinärer Simulations- und Berechnungsmodelle in PDM-Systeme.* Aachen : Shaker, 2002
- [Kuppinger/Woywode 2000]** KUPPINGER, Martin ; WOYWODE, Michael: *Vom Intranet zum Knowledge Management.* München : Hanser, 2000
- [Langenberg 2001]** LANGENBERG, Lars: *Firmenspezifische Wissensportale für die Produktentwicklung.* Aachen : Shaker, 2001

- [Leeuwenberg1968]** LEEUWENBERG, E. L. J.: *Structural Information of Visual Patterns*. The Hague, NL : Mouton, 1968
- [Lettau 1991]** LETTAU, Hans Georg: *Grundwissen Marketing*. München : Heyne, 1991
- [Liebrecht 2004]** LIEBRECHT, Tim: *Konzept eines Versions- und Variantenmanagements für ein PDM-System*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Diplomarbeit, 2004
- [Liese 2004]** LIESE, Harald: *Wissensbasierte 3D-CAD Repräsentation*. Aachen : Shaker, 2004
- [Lippardt 2000]** LIPPARDT, Sven: *Gezielte Förderung der Kreativität durch bildliche Produktmodelle*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2000
- [Löbber 2002]** LÖBBERT, Arndt: *Beurteilung der Eignung von Softwaresystemen für eine lange Lebensdauer*. Clausthal-Zellerfeld : Papierflieger, 2002
- [Malle 1997]** MALLE, Bernhard: *Ein Beitrag zur Langzeitarchivierung von Produktdaten*. Hamburg : Verlag Dr. Kovac, 1997
- [Mayer 2000]** MAYER, Horst O.: *Einführung in die Wahrnehmungs-, Lern- und Werbe-Psychologie*. München : Oldenbourg, 2000
- [Meyers 1987]** DIGEL, Werner (Red.): *Meyers Grosses Taschenlexikon*. Mannheim : B.I.-Taschenbuchverlag, 1987
- [Miram 1978]** MIRAM, Wolfgang: *Informationsverarbeitung*. Schroedel : Hannover 1978
- [Murch/Woodworth 1978]** MURCH, Gerald M. ; WOODWORTH, Gail L.: *Wahrnehmung*. Stuttgart : Kohlhammer, 1978
- [Neisser 1967]** NEISSER, U.: *Cognitive Psychology*. New York : Appleton-Century-Crofts, 1967
- [Nöllke 1998]** NÖLLKE, Matthias: *Kreativitätstechniken*. Planegg : STS Verlag, 1998
- [North 1999]** NORTH, Klaus: *Wissensorientierte Unternehmensführung*. Wiesbaden : Gabler 1999
- [Oliveira 2003]** OLIVEIRA, Nuno: *Untersuchung der Vielfalt von Produktpräsentationen zwischen Emotion und Illusion für das Engineering Marketing*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Studienarbeit, 2002
- [Otto/Wood 2001]** OTTO, Kevin N. ; WOOD, Kristin L.: *Product Design*. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2001
- [Pahl u. a. 2003]** PAHL, Gerhard ; BEITZ, Wolfgang ; FELDHUSEN, Jörg ; GROTHE, Karl-H.: *Konstruktionslehre*. Berlin : Springer, 2003
- [Petkoff 1998]** PETKOFF, Boris: *Wissensmanagement*. Bonn : Addison Wesley, 1998
- [Probst/Raub/Romhardt 1999]** PROBST, Gilbert ; RAUB, Steffen ; ROMHARDT, Kai: *Wissen managen*. Wiesbaden : Gabler, 1999
- [ProdHaftG 1989]** N. N.: *Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz – ProdHaftG)*. In: C. H. BECK VERLAG (Hrsg.): *Bürgerliches Gesetzbuch*. 31. Auflage. München : dtv, 1990



- [Prygunkov 2002]** PRYGUNKOV, Ilja: *DMU-Prozesse in der Produktentwicklung - ihre Einbindungsmöglichkeiten in Betracht von Marktanforderungen und Zielen*. TU Darmstadt, Fachbereich 16, Diplomarbeit, 2002
- [Remus 2002]** REMUS, Ulrich: *Prozessorientiertes Wissensmanagement*. Universität Regensburg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Dissertation, 2002
- [Robertson 1994]** ROBERTSON, P. K. ; DE FERRARI, L.: Systematic approaches to visualization: is a reference model needed. In: ROSENBLUM U. A. (Hrsg.): *Scientific Visualization*. Los Alamitos : Academic Press, 1994, S.287-305
- [Rock 1975]** ROCK, I.: *An Introduction to Perception*. New York : Macmillan, 1975
- [Rogulic 2000]** ROGULIC, Branka: *Praxisorientiertes Wissensmanagement: Identifikation von Kernkompetenzen als Voraussetzung für ein erfolgreiches Wissensmanagement*. Bad Homburg : Schindler Verlag, 2000
- [Roller 1995]** ROLLER, Dieter: *CAD – Effiziente Anpassungs- und Variantenkonstruktion*. Berlin : Springer, 1995
- [Schichtel 2002]** SCHICHEL, Markus: *Produktdatenmodellierung in der Praxis*. München : Hanser, 2002
- [Schimmel 2002]** SCHIMMEL, André: *Wissen und der Umgang mit Wissen in Organisationen*. TU Dresden, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Dissertation, 2002
- [Schmidt 2002]** SCHMIDT, Bernd B.: *Die Macht der Bilder*. Aachen : Shaker, 2002
- [Schmidtke 1993]** SCHMIDTKE, Heinz: *Lehrbuch der Ergonomie*. 3. Aufl. München : Hanser, 1993
- [Schöttner 1999]** SCHÖTTNER, Josef: *Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie*. München : Hanser, 1999
- [Schumann/Müller 2000]** SCHUMANN, Heidrun ; MÜLLER, Wolfgang: *Visualisierung*. Berlin : Springer, 2000
- [Sherrington 1906]** SHERRINGTON, C. S.: *The Integrative Action of the Nervous System*. London : Constable, 1906
- [Spur/Krause 1997]** SPUR, Günter ; KRAUSE, Frank-Lothar: *Das virtuelle Produkt*. München : Hanser, 1997
- [Stevens 1996]** STEVENS, John O.: *Die Kunst der Wahrnehmung. Übungen der Gestalt-Therapie*. 14. Aufl. Gütersloh : Kaiser, 1996 (aus dem Amerikanischen)
- [Stoeber 2001]** STOEBER, Marc: *Knowledge Management*. Rhein-Ruhr-Universität Bochum, Dissertation, 2001
- [Stytz 1996]** STYTZ, Martin R.: Distributed Virtual Environments. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* (1996), Ausgabe Mai, S. 19-31
- [Uhr 1966]** UHR, L.: *Pattern Recognition*. New York : Wiley, 1966
- [Utermöhle 1995]** UTERMÖHLE, Michael. Realität als Multiple Choice. In: *iX* (1995), Nr. 5, S. 68-83

- [VDI 2221]** VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte – VDI 2221*. Berlin : Beuth, 1993
- [VDI 2223]** VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Methodisches Entwerfen technischer Produkte – VDI 2223*. Berlin : Beuth, 2004
- [Völter 1995]** VÖLTER, Stefan A.: *Virtual Reality in der Medizin I - Stand, Trends, Visionen*. Mannheim : GeSI, 1995
- [Vogel 2000]** VOGEL, Uwe: *Informationsmodell für die Organisation des Produktentwicklungsprozesses im virtuellen Unternehmen*. Aachen : Shaker, 2000
- [Wartzack 2001]** WARTZACK, Sandro: *Predictive Engineering – Assistentensystem zur multikulturellen Analyse alternativer Produktkonzepte*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2001
- [Wasmer 1998]** WASMER, Anna M.: *Methodische Vorgehensweise beim Entwurf von Mappings zwischen Produktmodellen*. Aachen : Shaker, 1998
- [Weber 2003]** WEBER, Peter: *Digital Mock-up im Maschinenbau*. Aachen : Shaker, 2003
- [Wehlitz 2000]** WEHLITZ, Pamela: *Nutzenorientierte Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems*. TU München, Fakultät für Maschinenwesen, Dissertation, 2000
- [Zimbardo 1992]** ZIMBARDO, Philip G.: *Psychologie*. 5. Aufl. Berlin : Springer, 1992

# Lebenslauf

Name: Beuthel, geb. Riebenstahl  
Vorname: Regina  
Geburtsdatum: 07. Januar 1967  
Geburtsort: Schleswig  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: verheiratet

## Grundschule:

1973 - 1977 Wilhelminenschule, Schleswig - Klasse 1-4

## Gymnasium:

1977 - 1981 Uwe-Jens-Lornsenschule, Schleswig - Klasse VI-UIII  
1981 - 1986 Angelaschule, Osnabrück - Klasse 9-13 (kath. Internat)  
Abschlussqualifikation: Abitur

## Studium:

Oktober 1986 -  
Februar 1997 Dipl.-Studium des Maschinenbaus an der TU Clausthal  
mit der Studienrichtung „Elektrotechnik im Maschinenwesen“,  
Fachrichtung „Energietechnik“  
Abschlussqualifikation: Dipl.-Ing. Maschinenbau (TU)

## Wissenschaftliche

### Tätigkeit:

Oktober 1989 -  
Oktober 1994 Durchgehend hilfswissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut  
für Elektrische Energietechnik, zusätzlich zeitgleich, aber wech-  
selnd am Institut für elektrische Informationstechnik sowie am  
Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik

Februar 1999 -  
März 2004 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Datenverarbei-  
tung in der Konstruktion, FB Maschinenbau, TU Darmstadt

seit April 2004 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Soziologie,  
FB Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften, TU Darm-  
stadt, Forschungsprojekt ProIT Professionals