

DIPLOMARBEIT

Die Entwicklung des Produktentstehungsprozesses anhand des
Beispiels eines Klimadummys zum Zwecke der
thermophysiologischen Evaluierung des menschlichen Komforts

Anton Modersohn

Matrikelnummer: 0030066

Studienkennzahl : F748

Betreuer TU Graz: Univ.-Doz. Dr. Mario HIRZ

Betreuer Fa. qpunkt GmbH: DI (FH) Christian KUSSMANN

Einreichdatum: 17.8.2012

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am _____

(Anton Modersohn)

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all the material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, _____

(Anton Modersohn)

Danksagung

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei Univ.-Doz. Dr. Mario Hirz (TU Graz, Institut für Fahrzeugtechnik) für die umfassende Betreuung beim Erstellen dieser Arbeit sehr herzlich. Weiterer Dank gilt Dipl.-Ing. (FH) Christian Kussmann, der, stellvertretend für die "qpunkt GmbH", mir das Erarbeiten dieses Themas ermöglichte und mir mit großem Fachwissen und reichhaltiger Erfahrung zur Seite stand.

Nicht zuletzt möchte ich auch meinen Eltern besonderen Dank aussprechen, da sie mir die Absolvierung meines Studiums ermöglichten und dabei viel Geduld bewiesen haben. Ich widme diese Diplomarbeit meinem Großvater und meinem Vater, von denen ich mein Interesse und meine Begabung für alles Technische geerbt habe.

Zusammenfassung

Das thermische Wohlbefinden der Menschen wird durch eine Vielzahl von Parametern, wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strömungsgeschwindigkeit der umgebenden Luft, etc. bestimmt. Die Bestimmung dieses Wohlbefindens, also des thermisch neutralen Zustandes, stützt sich auf Messungen, subjektive Beurteilungen oder Simulationen mit geeigneten Software-Tools. Diese Diplomarbeit beinhaltet die Konstruktion eines sogenannten "Klimadummys", der, als Messinstrument eingesetzt, die subjektive Beurteilung des menschlichen Komforts durch eine objektive Bestimmung ergänzen bzw. ersetzen können soll. Ermöglicht wird das durch den Einsatz von eigens entwickelten Messstellen, welche die Fähigkeit der menschlichen Haut bezüglich des Empfindens der Körper- bzw. Hauttemperatur nachbilden können.

Die Entwicklung des Klimadummys wurde anhand eines für die Firma qpunkt GmbH im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelten Produktentstehungsprozesses durchgeführt. Dieser Prozess umfasst alle nötigen Schritte von der Produktidee bis zum fertigen Produkt. Alle wichtigen Schlüsselemente, wie das Erstellen eines Lastenheftes und einer Stückliste, das Arbeiten mit einer geeigneten Daten-Struktur, sowie die Darstellung einer Methode zur Versionierung von digitalen Daten, werden in der Arbeit ausführlich behandelt. Der im Zuge der Diplomarbeit erarbeitete Produktentstehungsprozess soll als eine Vorlage für zukünftige Projekte dienen und auf diese Weise die Effizienz in der Produktentwicklung steigern.

Abstract

The perception of thermal comfort in human beings is affected by numerous parameters, such as temperature, humidity and flow speed of the ambient air among others. The determination of thermal comfort is accomplished by measurements, subjective evaluations or simulations by the use of adequate software tools. This diploma thesis gives an overview of the design engineering (CAD) of a so-called "Klimadummy". With its ability to simulate the behaviour of the human skin regarding the sensation of temperature and ambient climatic conditions through specifically developed measuring equipment, this dummy should provide an additional, arguably more objective layer of data to complement the subjective determination of thermal comfort in human beings.

The development process of the *Klimadummy* constitutes the second research task to be discussed within this thesis. The process as such was based on and executed according to a product engineering process, which was specifically tailored to the purposes of *qpunkt GmbH*. This process includes all the steps from the idea to the finished product. The major steps, such as the development of the product requirement documents, bills of material or the versioning of the digital data are explained in greater detail. This product engineering process shall serve as a template for future projects and shall thus enable the company to raise their efficiency in the field of product development.

Inhaltsverzeichnis

1.	EINFÜHRUNG	1
1.1.	ALLGEMEINE PROBLEMBESCHREIBUNG	1
1.2.	ZIEL DER ARBEIT	2
2.	PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS	3
2.1.	PROJEKTPLAN	3
2.2.	DEFINITION DES PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSES	4
2.3.	ORDNERSTRUKTUR	10
2.4.	MARKTFORSCHUNG, MARKTSTUDIE	13
2.5.	LITERATURRECHERCHE, RECHERCHE STAND DER TECHNIK	16
2.5.1.	<i>Thermoregulation</i>	16
2.5.2.	<i>Feuchtigkeitsabgabe</i>	18
2.5.3.	<i>Einfluss der Bekleidung</i>	19
2.5.4.	<i>Thermische Neutralität und Behaglichkeit</i>	21
2.5.5.	<i>PMV-Index</i>	24
2.6.	LASTENHEFT	25
2.7.	LÖSUNGSSUCHE	29
2.7.1.	<i>Brainstorming</i>	30
2.7.2.	<i>Morphologischer Kasten</i>	31
2.8.	KONZEPTIONIERUNG (SKIZZEN, CAD ENTWÜRFE)	33
2.9.	STÜCKLISTE	34
2.10.	ENTWICKLUNGSARBEIT.....	40
2.11.	VERSIONIERUNG DER DIGITALEN DATEN	43
2.12.	ÜBERBLICK ÜBER DEN KLIMADUMMY	48
2.13.	CAD MODELL (KONSTRUKTIONSMETHODIK)	49
2.13.1.	<i>Drahtmodell als Grundlage</i>	50
2.13.2.	<i>Zuweisen von Parametern</i>	53
2.13.3.	<i>Erzeugen einer Konstruktionstabelle</i>	56
2.13.4.	<i>Spantenkonstruktion einer Gliedmaße</i>	58
2.13.5.	<i>Aktualisieren mittels automatisierter Routinen</i>	61
2.14.	DIE MERSTELLEN	63
2.15.	ZUSAMMENHANG HARDWARE - SOFTWARE	66
2.16.	DOKUMENTATION.....	68
2.17.	ZUSAMMENFASSUNG "KLIMADUMMY PROTOTYP"	69
3.	AUSBLICK	71
4.	LITERATURVERZEICHNIS	72
5.	ANHANG	I
5.1.	STÜCKLISTE	I
5.2.	GEWICHTSDIAGRAMM ZUR STÜCKLISTE.....	II
5.3.	KOSTENDIAGRAMM ZUR STÜCKLISTE	III
5.4.	LASTENHEFT	IV
5.5.	MORPHOLOGISCHER KASTEN	V
5.6.	CHECKLISTE ZUR ANFORDERUNGSKLÄRUNG	VI
5.7.	SAMMLUNG PHYSIKALISCHER EFFEKTE	VII
5.8.	FERTIGUNGSZEICHNUNG EINER HAND DES KLIMADUMMYS	VIII
5.9.	GRUNDPOSITIONEN KLIMADUMMY CAD-MODELL.....	IX

Abbildungsverzeichnis

2-1: Projektplan "Klimadummy"	3
2-2: Produktentstehungsprozess "qpunkt GmbH"	5
2-3: 5 Phasen des Produktentstehungsprozesses	6
2-4: Definition der Arbeitspakete	9
2-5: Bestehende Ordnerstruktur "qpunkt"	10
2-6: Ordnerstruktur "Konstruktion"	12
2-7: Mitbewerber "Klima-Manikin" [15]	14
2-8: Überblick bestehender und potentieller Käufer	15
2-9: Temperaturverteilung des menschlichen Körpers bei kalter (links) und warmer (rechts) Umgebung (nach Simon aus Schmidt et al. [11])	16
2-10: Gesamtumsatz Energie "met", ASHRAE Handbook [1]	17
2-11: Wasserdampfabgabe eines bekleideten Menschen ohne körperliche Tätigkeit, Bauphysik - kompakt [12]	18
2-12: Einfluss der Bekleidung auf die Wärmeabgabe, Raumklimotechnik Bd.1 [16]	20
2-13: Gleichgewichtszustand Wärmeproduktion bzw. Wärmeabgabe, Theseus-FE [19]	22
2-14: Körperbereiche mit ihren mittleren Hauttemperaturen, Fiala aus Theseus-FE [19]	23
2-15: Grafische Darstellung der Unterteilung in Körperregionen, Theseus-FE [19]	23
2-16: PMV-Index zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit [4]	24
2-18: Auszug einer Checkliste zur Anforderungsbestimmung, Lindemann; Pahl [13]	26
2-17: Quellen für Anforderungen, Lindemann [13]	26
2-19: Struktureller Aufbau des Lastenheftes	27
2-20: Gliederung des Lastenheftes für einen Rasenmäher	27
2-21: Auszug aus dem Lastenheft Formular	28
2-22: Sammlung physikalischer Effekte, Lindemann [3]	30
2-23: Morphologischer Kasten für den Klimadummy	31
2-24: Sammeln von Auswahl von Varianten	32
2-25: Bewertungsmatrix	32
2-26: Skizzen und Entwürfe zu verschiedenen Entwicklungsschritten des Klimadummys	33
2-27: Übersicht über die verschiedenen Typen von Stücklisten	34
2-28: Grundsätzlicher Aufbau der Stückliste	35
2-29: Stückliste, Teil 1	36
2-30: Stückliste, Teil 2	38
2-31: Balkengrafik der Gewichtsverteilung der einzelnen Baugruppen	39
2-32: Traditioneller Entwicklungsablauf	41
2-33: Simultaneous Engineering	41
2-34: Zeitersparnis beim <i>Frontloading</i> [10]	42
2-35: Entwicklungsvarianten des Klimadummys	43
2-36: Vorteile und Nachteile von open-source Software	45
2-37: Screenshot des Startmenüs der Versionierungs-Software "Git" [6]	46
2-38: Bedienung von "Git" über Windows Explorer	46
2-39: Ansicht des log-files der Versionierung	47
2-41: Hauptkomponenten des Dummys	48
2-40: Hauptabmessungen des Klimadummys	48
2-42: Struktureller Aufbau des CAD-Modells	49
2-43: Drahtmodell mit H-Punkt	50

2-44: Aufbau des Drahtmodells	51
2-45: Erstellen der Achsendrehung, Teil 1	51
2-46: Erstellen der Achsendrehung, Teil 2	52
2-47: Erstellen der Achsendrehung, Teil 3	52
2-48: Freiheitsgrade der Gelenke.....	53
2-49: Parametrisierung CATIA.....	53
2-50: Verknüpfung eines Parameters	53
2-51: Erstellen eines Parameters mit seiner Verknüpfung	54
2-52: Zuweisen eines Parameters, Teil 1.....	54
2-53: Zuweisen eines Parameters, Teil 2.....	55
2-54: Zusammenfassung der Parameter in Sets	55
2-55: Einfügen einer Konstruktionstabelle	56
2-56: Erzeugen einer Konstruktionstabelle.....	56
2-57: Konstruktionstabelle in Excel.....	57
2-58: Excel Tabelle mit der Parameterliste	57
2-59: CATIA-Modell des Unterarms	58
2-60: CATIA-Modell von einer Hand und einem Fuss	59
2-62: Für CATIA Assembly gesetzte Beziehungen	60
2-61: CATIA Manikin überblendet mit Klimadummy-Modell.....	60
2-63: CATIA Makro zum Aktualisieren	61
2-64: Makro-Auswahlfenster in CATIA [3]	62
2-65: Erstellen eines Makros in CATIA [3]	62
2-66: Makroeditor CATIA [3]	62
2-67: Übersichtsliste über die Meßstellenverteilung.....	63
2-68: Verteilung der Meßstellen am Klimadummy	63
2-69: Darstellung einer Meßstelle.....	64
2-70: Abmessungen einer Meßstelle [mm].....	64
2-71: Wärmestromsensoren der Firma Wuntronic GmbH [24]	65
2-72: Farbliche Darstellung des Wohlbefindens	67
2-73: CATIA Rendering des Klimadummys.....	69

1. Einführung

1.1. Allgemeine Problembeschreibung

Überall, wo sich Menschen im täglichen Leben aufhalten, sind sie gewissen klimatischen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Wind, Wetter, Klimaanlage, sehr hohe bzw. sehr niedrige Temperaturen und starke Temperaturschwankungen stören unser thermisches Wohlbefinden. Und immer wenn es darum geht, den thermischen Komfort und das klimatische Wohlbefinden des Menschen zu bewerten, muß man auf mehr oder weniger subjektive Methoden zurückgreifen. Umgebungstemperaturen, relative Luftfeuchte, Luftströmungen, Sonneneinstrahlung und ihre Intensität lassen sich mit relativ geringem Aufwand messen und sind damit wichtige Informationsquellen in Bezug auf das Wohlbefinden in einem gewissen Umfeld, lassen jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf den thermischen Komfort zu. Will man z.B. die Wirksamkeit und die Leistung einer Klimaanlage in einem Auto bewerten, so hat man die Möglichkeit, eine bestimmte Anzahl von Temperaturmessstellen im Innenraum anzubringen und evtl. auch noch die Strömungsgeschwindigkeiten der Luft, die aus den Ausströmdüsen kommt, zu messen. Die Interpretation dieser Messwerte in Zusammenhang mit den Erfahrungen der jeweiligen Entwicklungsingenieure bildet bis dato die Grundlage der Bewertung des thermischen menschlichen Komforts. Natürlich bietet es sich auch an, verschiedene Test-Personen im Fahrzeug Platz nehmen zu lassen, z.B. während diverser Klima-Testfahrten. Doch so viele Testpersonen den Klimakomfort bewerten, so viele verschiedene Ergebnisse wird der Test wahrscheinlich liefern.

Der Einsatz eines Klimadummys bietet nun aber die Möglichkeit, dieses Wohlbefinden weit exakter und, was sehr wichtig ist, unter Ausschluss der subjektiven Bewertungen – zu bestimmen. Der Klimadummy wird als Meß- und Entwicklungsinstrument gesehen, welches objektiv Informationen über den thermischen Komfort für diverse Entwicklungsaufgaben und Problemstellungen liefern kann.

1.2. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Prototypen eines Klimadummys, welcher als Messinstrument eingesetzt den thermischen Komfort des Menschen möglichst gut abbilden soll. Der Dummy ist bestückt mit 48 Messstellen, die gezielt über den ganzen Körper verteilt sind. Diese Messstellen sind schichtartig aufgebaut und bestehen aus einer künstlichen Haut, einem PT100 Temperaturfühler¹, einem Wärmestromsensor und einem Peltierelement. Mithilfe dieses Aufbaues ist der Dummy in der Lage, die Hauttemperatur an der Messstelle gemäß dem menschlichen Vorbild konstant auf einem gewissen Niveau zu halten. Der Wärmestrom, der dabei über diese Messstelle fließt, dient dabei als Maß für das thermische Wohlbefinden. Im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit galt es, den Klimadummy konstruktiv, in Bezug auf Skelett, Materialauswahl, Aussenhautgestaltung, Kühlsystem und Einbindung der Meßelektronik zu entwickeln und ein 3D-CAD Modell zu erstellen. Um die einzelnen Messstellen und das Kühlsystem zu optimieren, kommen geeignete Software-Tools zum Einsatz.

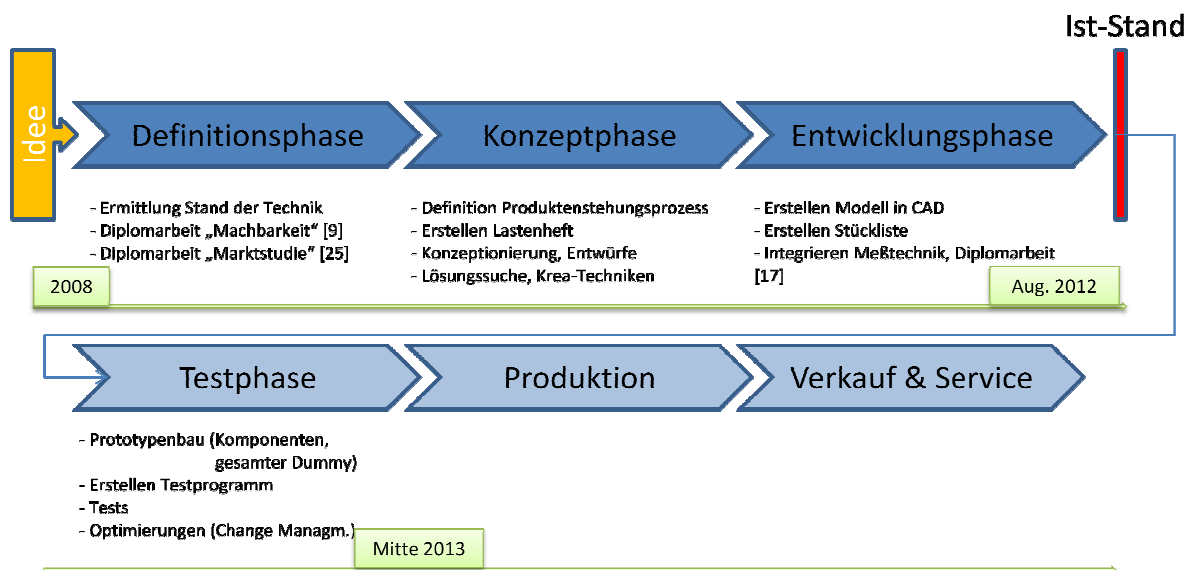
Die Entwicklung dieses Prototypen des Klimadummys sollte entsprechend eines, für die Anforderungen der Fa. qpunkt GmbH zu erarbeitenden Produktentstehungsprozesses ablaufen. Dieser Prozess sollte sich aus bestehenden Vorschriften und Richtlinien ableiten und soll für die Zukunft als Muster-Produktentstehungsprozess in die Firmenabläufe integriert werden. Die daraus entstehenden Formulare und Listen (Lastenheft, Stückliste etc.) sollen zukünftig als Vorlage für weitere Entwicklungsprojekte in der Firma zur Verfügung stehen.

Grundlage bilden unter anderem die Diplomarbeiten von Gernot Herschold ("Machbarkeitsstudie für die Konzeption eines thermophysologisch intelligenten Manikin zur Bestimmung der thermischen Behaglichkeit", 2008, [9]), Mia Zelic ("Global Marketing Research and Market Entering Strategies for an Innovative Klimadummy", 2009, [25]) und Bernhard Schlichtner ("Entwurf eines digitalen Reglers zur Realisierung der thermophysologischen Eigenschaften eines humanoiden Klimadummys", 2009, [17])

¹ PT100 Temperaturfühler gehören zur Gruppe der Widerstandsthermometer. Sie nutzen die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Temperatur des Fühlermaterials zur Ausgabe eines Meßwertes.

2. Produktentstehungsprozess

2.1. Projektplan



2-1: Projektplan "Klimadummy"

Grafik (2-1) zeigt den zeitlichen Ablauf des Projektes "Diplomarbeit Klimadummy" mit seinen aufeinanderfolgenden Phasen und den darin enthaltenen Aufgaben. Beginnend mit der Idee im Jahr 2008, folgte die Definitionsphase, in der die Rahmenbedingungen dieser Entwicklung abgesteckt wurden. Zwei Diplomarbeiten [9,25] bildeten, neben weiteren Recherchen, die Ermittlung des Standes der Technik. In d

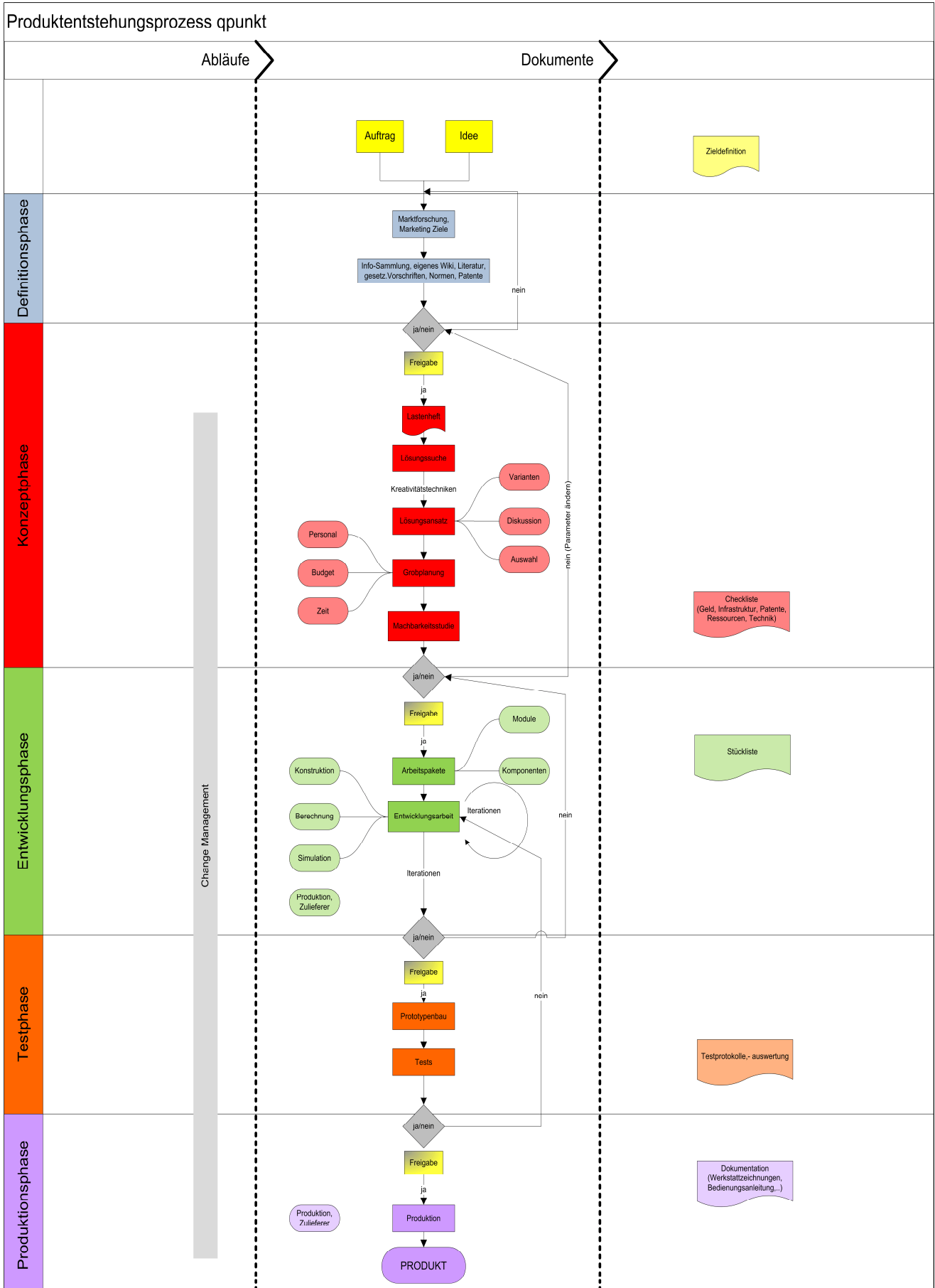
er darauf folgenden Konzeptphase wurde der gesamte Produktentstehungsprozess als zukünftige Vorlage für die Firma qpunkt GmbH erstellt. Weiters erfolgten in dieser Phase die Erstellung des Lastenheftes mit allen Anforderungen, erste Konzeptentwürfe und schlussendlich die Lösungssuche mittels ausgesuchter Kreativitätstechniken. Die Entwicklungsphase beinhaltet das Erstellen des CAD-Modells des Klimadummys und das Ausarbeiten der Stückliste. Weiters wurde an dieser Stelle die Meßtechnik [17] in das Projekt integriert. Der rote Balken markiert den Ist-Stand (August 2012) und damit das Ende dieser Diplomarbeit.

Der Projektplan sieht in der Testphase den Bau einzelner Funktionsträger und eines gesamten Prototypens vor. Das Erstellen eines Testprogrammes und die Durchführung der geforderten Versuche sollten, nach Einfließen von Verbesserungen, bis Mitte 2013 abgeschlossen sein. Als letzter Schritt folgt die Produktion und der Verkauf inklusive Service.

2.2. Definition des Produktentstehungsprozesses

Ziel dieser Arbeit ist es unter anderem, einen Produktentstehungsprozess für die Firma qpunkt GmbH zu formulieren. Da qpunkt bis dato noch wenig Erfahrung mit der Entwicklung eigener (oder in Auftrag gegebener) Produkte gesammelt hat, ist so ein Prozess firmenintern noch nicht etabliert. Mit der Integration dieser Vorlage in bestehende Prozessketten (Auftragsabwicklung, Simulation...) soll eine schrittweises Abarbeiten aller wichtigen Etappen bei der Produktentwicklung ermöglicht werden. Dieser Prozess soll zukünftig als eine Art "Kochrezept" dienen, um von der Idee zum fertigen Produkt zu kommen.

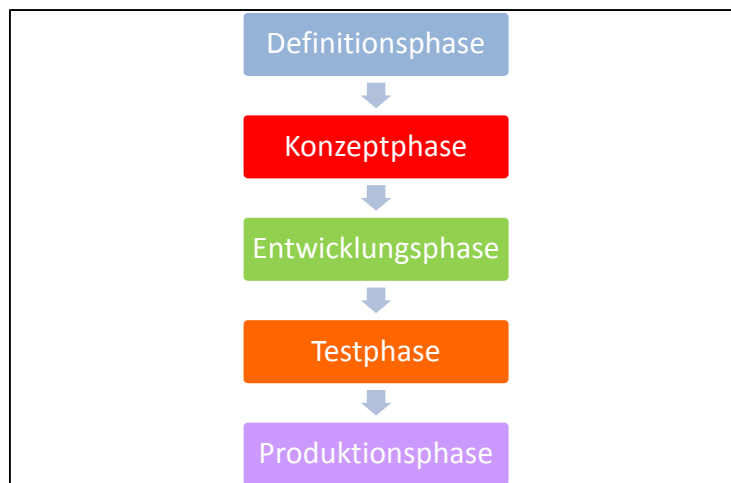
So ein Produktentstehungsprozeß wird nicht für jeden Zweck neu entworfen, basiert er doch grundsätzlich bei allen Firmen, die Produkte entwickeln, auf ähnlichen Arbeitsschritten. Er wird hier jedoch an die Voraussetzungen und Gegebenheiten der Firma qpunkt GmbH angepasst. Die VDI-Richtlinie 4499 ("Grundlage Digitale Fabrik", [21]) und VDI 2221 ("Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte", [20]) liefern, wie noch weitere Literatur, die Grundlage, die zu diesem Prozess geführt hat.



2-2: Produktentstehungsprozess "qpunkt GmbH"

Dieser Produktentstehungsprozess besteht aus 5 Phasen, die der Reihe nach durchlaufen werden, beginnend mit einer Idee bzw. einem Auftrag. Die Idee zu einem Produkt, wie in diesem Fall, für einen Klimadummy, gibt den Anstoß für die Entwicklungstätigkeiten. Jedoch kann es natürlich auch sein, dass man von einem Kunden (extern) mit der Entwicklung eines Produktes beauftragt wird. Das Ergebnis dieser Idee bzw. des Auftrages muß die schriftliche Formulierung des zu erreichenden Zieles sein. Je exakter und ausführlicher dieses Ziel formuliert wird, desto leichter kann man sich daran orientieren bzw. umgekehrt, je ungenauer und "schwammiger" das Ziel formuliert ist, desto eher besteht die Gefahr, dass man vom gewünschten Weg zum fertigen Produkt abweicht. Handelt es sich um eine Eigenentwicklung, wird das Ziel von der Geschäftsführung in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Projektleiter definiert. Wird man zur Entwicklung beauftragt, entsteht die Zielformulierung meist in Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Produktentwickler.

Die 5 Phasen der Produktentstehung gliedern sich wie folgt:



2-3: 5 Phasen des Produktentstehungsprozesses

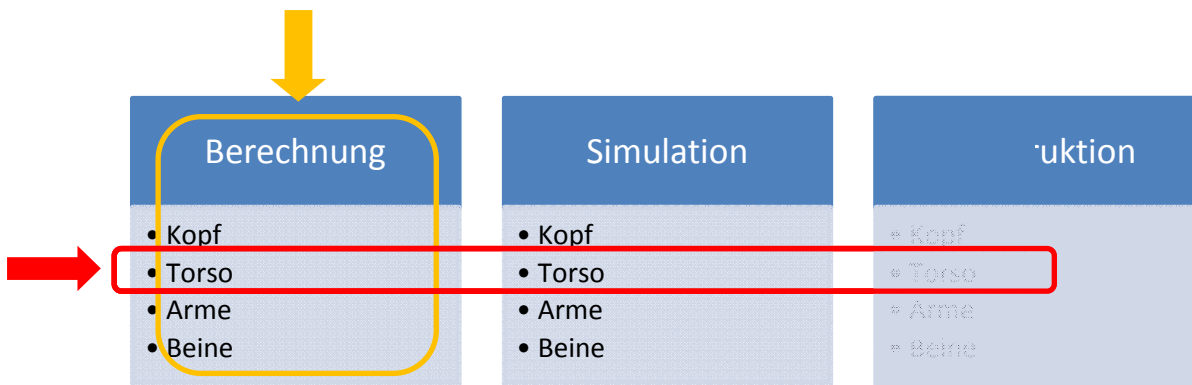
In der Definitionsphase werden die Rahmenbedingungen ausgelotet und definiert. Die Marktstudie ist hier das probate Mittel, um Informationen über den bestehenden Markt zu generieren. Je besser man den Markt und das Verhalten zukünftiger Käufer einschätzen kann, umso gezielter kann man das Produkt daraufhin entwickeln. Die Marketingstrategie leitet sich dann aus den gewonnenen Informationen ab und legt fest, auf welchen Märkten das Produkt verkauft werden soll, in welches Marktsegment das Produkt vorstoßen soll und über welche Vertriebskanäle der Verkauf abgewickelt wird. Weiters müssen in dieser Phase alle das Produkt betreffende Informationen gesammelt werden. Als Informationsquellen können die thematisch passende Literatur (Bücher, Zeitschriften, Internet etc.) und das betriebseigene Wissen (evtl. in Form eines "Wiki-Systems") herangezogen werden. Um rechtlich auf der sicheren Seite zu sein, muß man umfangreiche Untersuchungen anstellen, unter welche Vorschriften und Normen das neue Produkt evtl. fällt. Dem Thema Patent-Recherche ist dabei besonderes Augenmerk zu schenken. Wäre es doch fatal, wenn man unter Einsatz beträchtlicher Mittel (Zeit & Geld) ein Produkt entwickelt und in der Endphase feststellen muß, dass Ähnliches oder Gleiches schon durch ein bestehendes Patent abgesichert ist. So eine Patentrecherche ist ein sehr zeitaufwendiges und teures Unterfangen (sie kann eigenhändig durchgeführt werden, sofern man Zugang zu Patentdatenbanken hat, oder aber durch einen Patentanwalt), ist aber in dieser Phase der Produktentwicklung unverzichtbar. Das Ergebnis dieser Informations-Sammlung sollte zusammengefasst in einem Verzeichnis abgelegt werden, um dem Projekt-Team jederzeit als Nachschlagewerk zur Verfügung zu stehen. Am Ende dieser Informations-Sammlung steht man nun vor der Entscheidung, ob es sich wirtschaftlich auszahlt, das angedachte Produkt wirklich zu entwickeln und den weiteren Prozess in Gang zu setzen. Fällt die Entscheidung zugunsten der Entwicklung, so ist im nächsten Schritt das Lastenheft zu formulieren. Eine negative Beurteilung hat zur Folge, dass das Projekt gestoppt wird oder unter geänderten Voraussetzungen oder Zielsetzungen erneut einer Beurteilung unterzogen wird. Hierzu folgendes Beispiel: Durch eine intensive Recherche muß man feststellen, dass am angedachten Zielmarkt eine Fülle von Mitbewerbern konkurrieren, die alle Produkte mit ähnlichen, wenn nicht sogar gleichen Eigenschaften vertreiben und das eigene Produkt offensichtlich keine Chance hätte, entsprechende Marktanteile zu erobern. Im Zuge des erneuten Durchlaufen der Definitionsphase gelingt es, ein Alleinstellungsmerkmal ("USP" - Unique Selling Proposition) des Produktes zu definieren, welches es ermöglicht, auf dem Markt eine gewisse Anzahl von Käufern anzusprechen. Am Ende der Konzeptphase steht die Erstellung der Machbarkeitsstudie, in Rahmen dieser überprüft werden muß, ob die Geldmittel, Kapazitäten und das nötige know-how vorhanden sind, um dieses Produkt zu entwickeln und auf dem Markt anzubieten. Es sollen auch folgende Fragen geklärt werden: Verletzt man mit dem Produkt in der jetzigen Form bestehenden Patente? Können alle

rechtlichen Vorschriften und Normen eingehalten werden? Hat man die Infrastruktur und die Ressourcen, die nötigen Teile zu fertigen? Und wenn nicht, gibt es Zulieferer, die die gewünschten Teile in der geforderten Zeit anfertigen können? Ist genug Personal vorhanden (in der Entwicklung und in der Fertigung/Montage)?

Nach erfolgter Freigabe wird in der Konzeptphase mit der Erstellung des Lastenheftes (siehe Kapitel 2.6) begonnen. Im Lastenheft sind die geforderten Eigenschaften, in Form von Merkmal und Ausprägung, detailliert aufgelistet. Dieses Dokument bildet die Vorlage für die kommende Entwicklung, unterliegt aber, in kleinem Ausmaß, einem immerwährenden Änderungsprozess, da zu Beginn der Entwicklung möglicherweise nicht alle Funktionen genau definiert und beziffert werden können. Dieses Dokument ist also "lebendig" zu führen und immer wieder an den Stand der Entwicklung anzupassen. Ein Beispiel: Es wird die Funktion "Kühlkreislauf zur Wärmeabfuhr der Meßstellen" für den Klimadummy anfangs definiert und im Laufe der Entwicklung stellt sich heraus, dass durch Änderung des geforderten Temperaturbereiches eine aktive Kühlung der Meßstellen gar nicht mehr nötig ist. Diese geforderten Eigenschaften müssen im nächsten Schritt ("Lösungssuche") nun in geeigneter Form umgesetzt werden (siehe Kapitel 2.7).

Haben sich eine oder mehrere Lösungsvarianten ergeben, so liegt es am Team, diese Möglichkeiten zu diskutieren und zu bewerten. Der Teamleiter fungiert an dieser Stelle als Moderator und führt durch den Entscheidungsprozess. Die Varianten, die an dieser Stelle erst einmal hinten angereiht werden, sollten aber auf jeden Fall in einer geeigneten Form dokumentiert werden, um sie später einmal, sollte die gewählte Variante nicht zu Ziel führen, wieder aufgreifen zu können. Die grobe Planung in Bezug auf Zeit, Geld und Personal erfolgt im nächsten Schritt. Der Teamleiter hat nun die Aufgabe einen geeigneten Zeitplan aufzustellen, in dem schon die Milestones (Zwischenziele) festgelegt sind. Es bietet sich an, an jedem Ende der einzelnen Phasen einen Milestone zu setzen, denn diese Meilensteine dienen im Sinne des Projektmanagements der Erfolgskontrolle und Projektüberwachung. Im Rahmen einer solchen Team-Besprechung wird vom Teamleiter die Freigabe für weiteres Vorgehen eingeholt und der zu diesem Zeitpunkt aktuelle Datenstand als neuer Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung definiert.

Am Beginn der Entwicklungsphase werden nun die Arbeitspakete verteilt. Die Verteilung kann je nach Fachbereich bzw. Disziplinen erfolgen (CAD-Konstruktion, CFD-Simulation etc.), oder aber nach Komponenten oder Modulen (angelehnt an die Stückliste) passieren. Grafik 2-4 zeigt eine Möglichkeit zur Verteilung der Arbeitspakete. Diese Entwicklungsschritte verstehen sich als iterativer Prozess, denn es ist davon auszugehen, dass sie in mehreren Durchgängen durchlaufen werden müssen.



Während der Entwicklungstätigkeit ist darauf zu achten, dass ein enger Kontakt zu möglichen Zulieferern und Entwicklungspartnern bestehen bleibt. Auch die für die Produktion zuständige Abteilung oder ein externer Produktionspartner muß in dieser Phase laufend mit einbezogen werden. Bestimmendes Dokument in dieser Phase ist die Stückliste, deren Erstellung und Verwendung in Kapitel 2.9 näher erläutert wird.

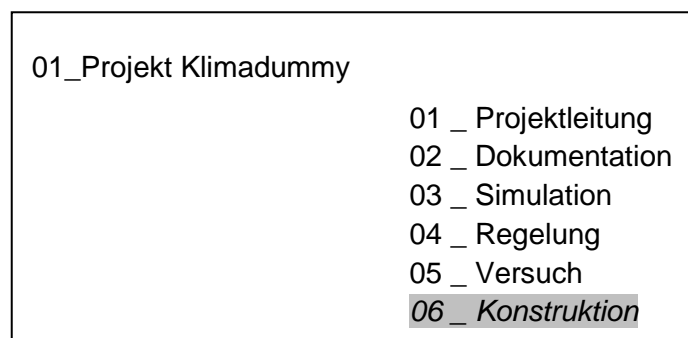
Ist die Freigabe am Ende der Entwicklungsphase erteilt, beginnt die Testphase mit dem Aufbau des ersten Prototypen oder Versuchsträgers. Mit diesem ersten Funktionsmuster werden normalerweise eine Reihe von Tests durchgeführt. Diese Tests können entsprechend einer betreffenden Vorschrift ausgewählt werden, oder durch ein eigens festgelegtes Testprogramm vorgegeben werden. Für den Prototypen des Klimadummys würde es bedeuten, dass zuerst die allgemeine Funktion in der Werkstatt überprüft würde, um dann umfangreiche Tests in einer Klimakammer durchzuführen. Zur Dokumentation müssen diese Versuche protokolliert (evtl. mittels Testprotokollen, Foto- oder Videoaufnahmen etc.) und innerhalb der dafür vorgesehenen Ordnerstruktur abgelegt werden. Hat das Produkt die geforderten Tests bestanden und ist die Freigabe erteilt, so tritt man in die letzte Phase, die Produktionsphase, ein. Das serienreife Produkt entsteht, evtl. zuerst im Rahmen einer Vorserie, um die Produktionsabläufe bzw. die Qualität zu überprüfen und in Folge dann als fertiges Serienprodukt. Bevor diese Phase anläuft, müssen alle nötigen Fertigungszeichnungen erstellt (im Rahmen der Ordnerstruktur abgelegt) und etwaige Bedienungsanleitungen und Gebrauchshinweise formuliert sein.

Wie in der Grafik 2-2 (Gesamtprozess) ersichtlich, erstreckt sich der graue Balken des Change Managements von der Konzeptionsphase bis hinunter zur Produktionsphase.

Unter dem Begriff des Change Managements [23] versteht man ganz allgemein den Prozess der Anpassung und Veränderung der Abläufe in einem Unternehmen, um auf geänderte Voraussetzungen zu reagieren. Firmen agieren in einem immer dynamischer werdenden Umfeld, auf das zielgerichtet reagiert werden muß, in Form von Änderungen technischer, organisatorischer oder personeller Struktur. Das Change Management in Bezug auf den Produktentstehungsprozess umfasst alle Tätigkeiten, die nötig sind, wenn in einem Schritt der Produktentstehung eine Änderung vorgenommen wird oder werden muß. Ergibt sich der Bedarf nach einer grundlegenden Änderung des Produktes schon in der Konzeptphase, ist der Aufwand noch entsprechend gering. Stellt sich jedoch erst in der Testphase heraus, dass das Produkt gewisse geforderte Funktionen nicht darstellen kann, bedarf es schon eines erhöhten Aufwandes, diesen Fehler zu korrigieren, da womöglich der Entstehungsprozess im Bereich Konzeptphase neu begonnen werden muß. Wird man auf einen etwaigen Produktfehler aufmerksam, wenn sich das Produkt schon im Kundengebrauch befindet, so kann das einen veritablen "Image-Schaden" und hohe Kosten verursachen.

2.3. Ordnerstruktur

Mit der Ordnerstruktur ist die Organisation der digitalen Dateien auf der Festplatte bzw. auf der Serverstruktur gemeint. Eine geeignete Ordnerstruktur stellt sehr wichtige Grundlage zum geordneten Umgang mit den Daten dar, die sich im Laufe einer Produktentwicklung ansammeln. Diese Struktur soll für die gesamte Firma einheitlich gestaltet sein, damit jeder Mitarbeiter, egal zu welchem Projekt er Daten sucht oder generiert, sofort den richtigen Ort findet, an dem die Daten abgelegt sind bzw. abzulegen sind. Qpunkt arbeitet bereits mit einer bewährten Ordnerstruktur, was die bestehenden Arbeitsbereiche betrifft und diese wird nun um den Punkt "06_Konstruktion" erweitert. Generell gilt bei dem Umgang mit digitalen Daten besondere Sorgfalt in Bezug auf Sicherung und Weitergabe. Sollten einmal Konstruktionsdaten verloren gehen, stellt das einen großen zeitlichen und finanziellen Verlust dar. Hier der bestehende Aufbau der Ordner im Arbeitsbereich:

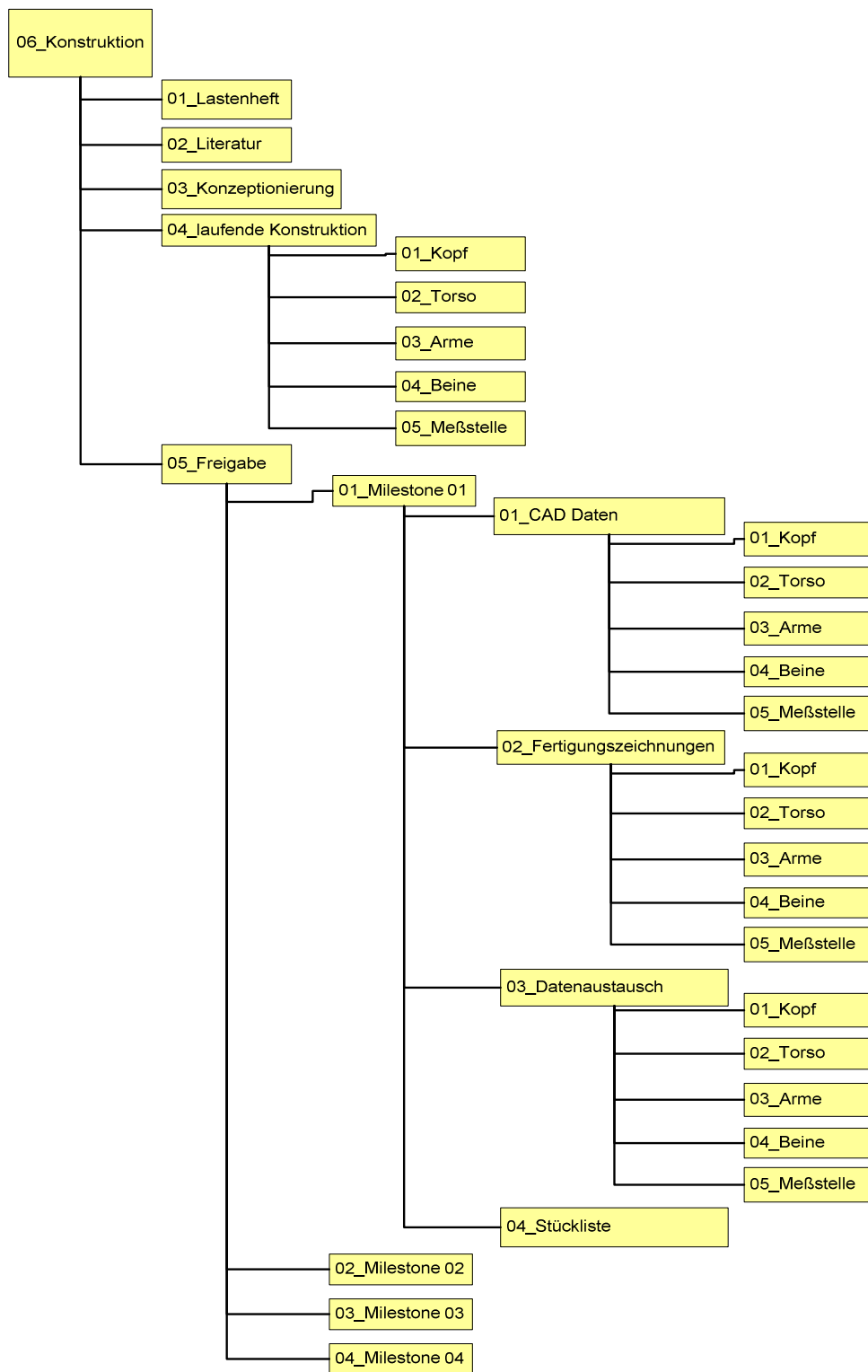


2-5: Bestehende Ordnerstruktur "qpunkt"

Der Ordner "Projektleitung" umfasst alle organisatorischen Belange (Projektmanagement) zu dem jeweiligen Projekt, in "Dokumentation" werden alle wichtigen Berichte und Präsentationen abgelegt. Der Ordner "Simulation" dient als Arbeitsbereich für jegliche Simulationstätigkeiten (CFD-Berechnungen, etc.). Unter "Regelung" und "Versuch" werden alle Daten für ebendiese beiden Bereiche gesichert und neu dazu kommt, wie oben erwähnt, der Ordner "06_Konstruktion". Diese Ordnerstruktur (Bild 2-5) wurde auf die Bedürfnisse der Firma qpunkt angepasst und in das bestehende System eingegliedert. Das Lastenheft soll in einem eigenen Ordner ("01_Lastenheft") abgelegt werden, da es während der gesamten Konstruktionsphase als wegweisendes Dokument herangezogen wird und es deswegen leicht zu finden sein soll. Unter "02_Literatur" werden alle begleitenden Dokumente gespeichert, die mit dem laufenden Projekt zu tun haben. Dieser Ordner dient somit als eine Art Nachschlagewerk, sollte er doch Ergebnisse von Fachliteratur-Recherchen, betreffende Normen und gesetzliche Vorschriften beinhalten. Ordner "03_Konzeptionierung" dient zur Sicherung aller anfallenden Skizzen und Entwürfe. Er kann sowohl gescannte Hand-Skizzen als auch erste CAD-Konstruktionen enthalten. Der Ordner "04_laufende Konstruktion" dient, wie der Namen schon verrät, als Arbeitsbereich für die laufenden Konstruktionstätigkeiten und er selbst gliedert sich wiederum, der besseren Übersicht halber, in die Hauptbaugruppen des Produktes.

Der Ordner "05_Freigabe" beinhaltet alle wichtigen Projektdaten zu dem jeweiligen Meilenstein. Er dient damit im Sinne einer Fortschritts-Kontrolle zur Projektüberwachung. Zu dem jeweiligen Milestone (diese wurden bereits am Anfang des Projektes definiert und sind hier nur beispielhaft mit 4 Stück festgelegt) wird der Datenstand, sofern die Freigabe durch den Projektleiter erfolgt ist, "eingefroren". Die CAD Daten, die Fertigungszeichnungen, die für den Datenaustausch bereitgelegten Daten und die Stückliste unterliegen einem *Schreibschutz* und können somit von den Projektmitarbeitern nur *gelesen* werden, aber nicht mehr aus Versehen überschrieben werden. Wird also z.B. für einen externen Zulieferer die Fertigungszeichnung eines bereits fertig gestellten Bauteiles benötigt, so findet man sie unter dem gegenwärtigen Meilenstein und kann sich sicher sein, die aktuellste Version abzurufen. Jeder Milestone-Ordner enthält die selben Unterverzeichnisse (01 - 04), die wiederum in die Hauptbaugruppen unterteilt sind.

Um das Arbeiten im Ordner "04_laufende Konstruktion" zu erleichtern, bietet sich die Verwendung einer Versionierungs-Software an. Diese bietet die nötige Übersicht über die anfallenden Daten und stellt die aktuellste Version der jeweiligen Datei zur Verfügung (siehe Kapitel 2.11). Kann man auf so eine unterstützende Software nicht zurückgreifen, muß man die Versionierung der Daten manuell vornehmen, da sonst in kurzer Zeit die Übersicht über die Konstruktionsdaten verloren geht.



2-6: Ordnerstruktur "Konstruktion"

2.4. Marktforschung, Marktstudie

Nachdem im ersten Schritt die Idee bzw. das Ziel, also zum Beispiel ein neues Produkt, klar definiert wurde, muß man sich nun ausführlich Gedanken über folgende Punkte machen: Wer soll das Produkt kaufen? Wo findet man zukünftige Kunden? Welche Kunden will man ansprechen? Wie muß das Produkt aussehen, damit es eben diese Kundenschichten anspricht? Welche Mitbewerber sind auf dem Zielmarkt noch vertreten? Was können die Produkte der Konkurrenz? Hat das Produkt ein Alleinstellungsmerkmal? Ist der Markt gesättigt, oder gibt es noch eine Lücke, in die es sich vorzustößen lohnt? Alle diese Fragen sollten am Ende einer Marktforschung bzw. Marktstudie beantwortet sein.

Nach Olbrich [14] stellt die Beschaffung der Informationsgrundlagen die zentrale Aufgabe der Marktforschung dar. Die Entwicklung neuer Produkte und ihre Markteinführung bergen für ein Unternehmen Risiken, aber auch Chancen. Die Risiken bestehen in einer misslungenen Markteinführung, Chancen ergeben sich, falls es gelingt, latente Bedürfnisse zukünftiger Kunden zu identifizieren und diese durch entsprechende Produkte zu befriedigen. Eine weitere Aufgabe stellt die Kontrolle der eingesetzten Marketinginstrumente dar. Der zukünftige Markt kann dabei nicht pauschal als Ganzes betrachtet werden, sondern muß in unterschiedliche Nachfragergruppen unterteilt werden. Diese Gruppen sind dabei so einzuteilen, dass die Bedürfnisse innerhalb einer Gruppe möglichst homogen, jedoch zwischen den Gruppen möglichst heterogen sind.

Die folgenden Absätze stellen eine Zusammenfassung der Diplomarbeit mit dem Titel "Global Marketing Research and Market Entering Strategies for an Innovative Klimadummy" von Mia Zelic dar [25].

Um Information über den zukünftigen Markt zu bekommen, hat man die Möglichkeit, Umfragen, Fallstudien oder Experimente zu machen. In diesem Fall wurden umfangreiche Umfragen in Form von schriftlichen Fragebögen, Telefoninterviews und email-Korrespondenz geführt. Die Fragebögen waren auf 3 verschiedene Adressaten zugeschnitten: Firmen, die bereits mit "Klima-Manikins" arbeiten oder sie herstellen, Universitäten, die mit Klima-Dummys arbeiten und potentielle Kunden. Die Auswahl der Fragebogen-Empfänger wurde mit Mitarbeitern der Firma qpunkt GmbH abgesprochen, die an der Entwicklung des Klimadummys beteiligt sind. Grafik 2-7 zeigt einen Ausschnitt der Mitbewerber, ihrer Produkte und deren Eigenschaften.

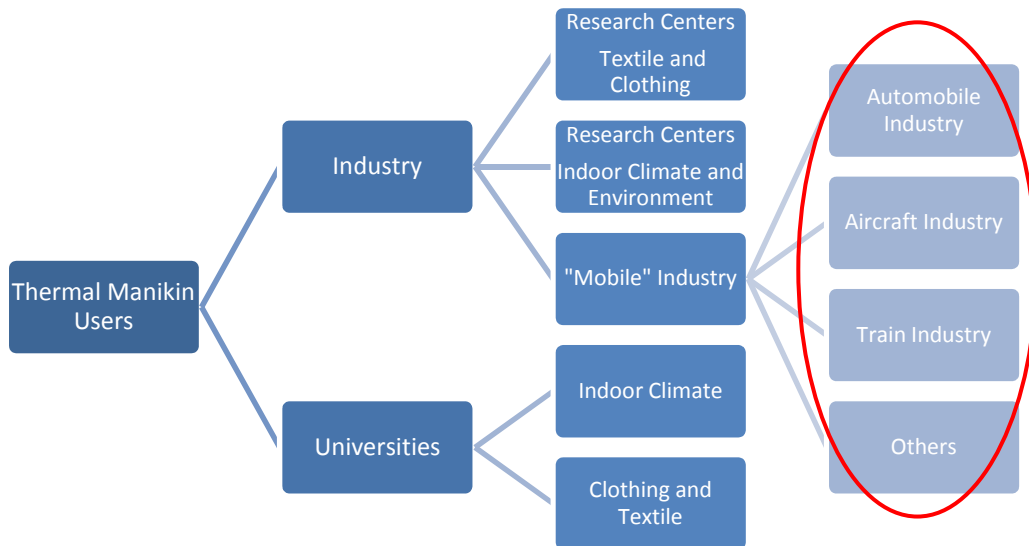
Man sieht deutlich, dass jedes "Klima-Manikin", seinem Einsatzgebiet entsprechend, gewisse Funktionen darstellen kann, jedoch keines alle Funktionen erfüllen kann. Sehr interessant, vor allem in Bezug auf die Entwicklung des qpunkt-Klimadummys ist die Information, dass keines der unten angeführten Produkte die Möglichkeit hat, eine Bewegung im Bereich der Wirbelsäule auszuführen. Der Punkt "light weight" weist auf das Gewicht des Dummys und damit indirekt auf das Handling hin. Weniger als 35kg gilt offensichtlich als noch als akzeptabel, während gewisse Produkte sogar über 60kg wiegen. Praktisch alle Dummys sind mit Bekleidung versehen, jedoch nicht alle Produkte bieten die Möglichkeit, das thermo-physiologische Verhalten des Menschen abzubilden.

		Articulated manikin	Articulated in waist & spine	Light weight	Ability to wear clothes	Water resistant	Ability to sweat	Able to breathe	Advanced thermo physiological model	Complex/Complicated	Introduction course	Intended for sales
Composites USA	Fixed male	-	-	*	X	X	-	*	-	-	-	X
	Fixed female	-	-	*	X	X	-	*	-	-	-	X
	Articulating male	X	-	*	X	X	-	*	-	-	-	X
CORD Group Limited	TIM	X	-	*	X	X	X	*	-	*	*	X
	TOM	X	-	-	X	X	X	*	*	*	*	X
Empa and HuManikin	SAM	X	-	*	X	-	X	-	X	*	*	X
	Henry	X	-	*	X	*	-	X	-	*	*	X
	James	*	-	*	X	X	-	-	-	*	*	X
GW Elektronik	DRESSMAN	X	-	X	X	X	*	-	X	-	-	-
MTNW	Newton	X	-	X	X	-	X	X	-	*	*	X
	Nemo	X	-	-	X	X	X	-	-	*	*	X
	ADAM	X	-	-	X	-	X	X	X	X	*	X
PT Teknik	Female	X	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X
	Male	X	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X
	Male car	X	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X
Sixtau and CRF	P.A.Co	X	-	X	-	*	X	-	X	*	*	X
LTH	Tore	X	-	X	X	-	X	-	X	-	X	-
	Lars	X	-	X	X	-	X	-	X	-	X	-
Hohenstein Institute	Charlie 3	-	-	*	X	*	-	-	X	*	-	-
	Charlie 4	X	-	*	X	*	-	-	X	*	-	-
	Charlene	-	-	*	X	*	-	-	X	*	-	-

2-7: Mitbewerber "Klima-Manikin" [15]

Nachdem nun Informationen über die Mitbewerber (die wichtigsten sind PT Teknik, Composites USA und MTNW) vorliegen, beinhaltet der nächste Schritt die Analyse der zukünftigen Kunden. Wie schon eingangs erwähnt, muß man sich Gedanken machen, wer das Produkt kaufen könnte und dabei kann man zwischen Kunden unterscheiden, die ein Produkt dieser Art zum ersten Mal kaufen und Kunden,

die schon Klimadummys in Verwendung haben, aber eventuell auf das neue Produkt umsteigen würden. Grafik 2-8 zeigt bestehende Kunden nach Beschäftigungsfeldern unterteilt und die rote Markierung gibt einen Hinweis auf potentielle Nutzer.



2-8: Überblick bestehender und potentieller Käufer

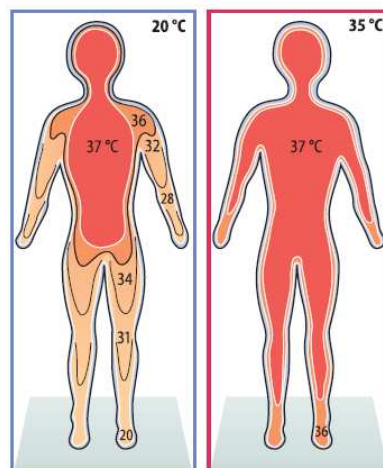
Laut Ergebnis der Befragung kostet ein "einfacher" Klimadummy ca. 70.000 Euro. Für einen Dummy mit vollem Funktionsumfang werden im Schnitt ca. 90.000 Euro verlangt. Die Firma qpunkt schätzt den Verkaufspreis ihres Produktes auf rund 50.000 Euro bei einem "marktüblichen" Verkauf von 4 Stk. pro Jahr. Die Marktstudie weist auch darauf hin, dass kein besonderer Vertriebskanal von Nöten sei - der direkte Verkauf vom Hersteller zum Nutzer bietet sich somit an. Dummys des unteren Preissegments bieten nur wenige Funktionen, wie z.B. Wasserbeständigkeit, geringes Gewicht und die Fähigkeit sie mit Kleidung zu versehen. Leistungsfähigere Dummys bieten neben o.g. Fähigkeiten auch noch folgende Funktionen: Auswahl zwischen männlichem und weiblichem Modell, Darstellung von Schwitzen durch gezielte Feuchtigkeitsabgabe, Darstellung der Atmung durch Bewegung des Brustkorbes und den Betrieb des Dummys, unterstützt durch eine thermo-physiologische Software. Der qpunkt Klimadummy reiht sich im oberen Segment der Mitbewerber ein. Seine Vorteile gegenüber der Konkurrenz liegen in der noch genaueren Darstellung des thermo-physiologischen Verhaltens, das auch unter transienten Umgebungsbedingungen genaue Messungen liefern soll. Die Komplexität des gesamten Dummys wird möglichst gering gehalten, was die Voraussetzung für einen störungsfreien Betrieb und eine einfache Wartung schafft. Weiters besitzt nur der qpunkt Dummy die Möglichkeit zur Bewegung im Bereich der Wirbelsäule (Vorbeugen im Bereich des Lendenwirbels)

2.5. Literaturrecherche, Recherche Stand der Technik

Dieses Kapitel beinhaltet die technischen Einflussgrößen auf Klimadummys und die physiologischen Mechanismen, die zum Erhalten der Körpertemperatur des Menschen nötig sind.

2.5.1. Thermoregulation

Der menschliche Körper ist mit einem Thermoregulationsmechanismus ausgestattet, der es ihm erlaubt, die Körpertemperatur, also die Temperatur der inneren Organe und der Haut, auf einem gewissen Wert zu halten. Das Gehirn, zum Beispiel, ist nur in einem sehr engen Temperaturbereich um 37°C voll funktionsfähig. Die Hauttemperatur wiederum liegt im Mittel nach Fiala [5] über die Hautoberfläche verteilt bei durchschnittlichen 34,4°C. Als "Temperaturfühler" dienen Kalt- und Warmrezeptoren, welche ungleichmäßig über die Hautoberfläche verteilt sind und sich auch in inneren Organen und am zentralen Nervensystem wiederfinden. Erfühlt der Körper Differenzen zwischen den Soll- und Ist-Temperaturen, werden temperaturregelnde Mechanismen in Gang gesetzt (Lang [11]).



2-9: Temperaturverteilung des menschlichen Körpers bei kalter (links) und warmer (rechts) Umgebung (nach Simon aus Schmidt et al. [11])

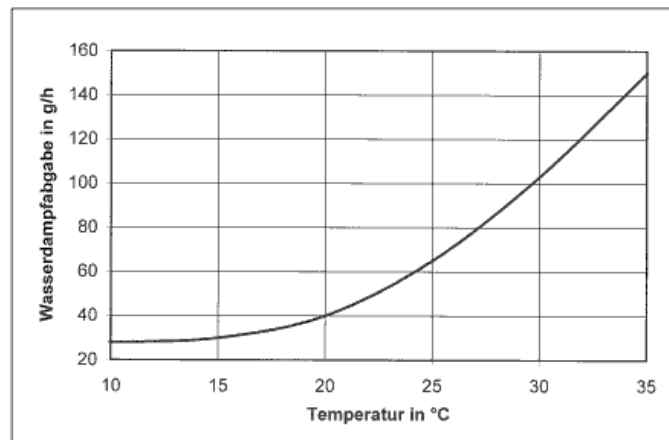
Wird ein Überschreiten der Soll-Temperaturen erkannt (die Körpertemperatur ist zu hoch), so wird durch Verringerung der Muskelarbeit die Wärmeproduktion eingeschränkt und mittels Vasodilatation (Erweitern der Blutgefäße) wird die Wärmeabgabe an die Umgebung gesteigert. Diese Wärmeabgabe, welche nicht gleichmäßig über die ganze Körperoberfläche verteilt ist, erfolgt über Strahlung, Atmung (Respiration), Konvektion über die Hautoberfläche und Verdunstung. Den anteilmäßig größten Beitrag zur Wärmeabgabe stellt die Schweißproduktion- und Absonderung dar. Mittels Verdampfen der Feuchtigkeit an der Hautoberfläche wird dem Körper sehr effektiv Wärme entzogen.

Den Gesamtenergieumsatz fasst Fanger [4] zu einer Größe mit der Bezeichnung "met" (metabolische Rate bzw. Aktivitätsgrad) zusammen. 1 met entspricht der Wärmeabgabe von 58 W/m² Körperoberfläche (ein durchschnittlich großer Mann mit 170 cm Körpergröße und einem Gewicht von 69 kg hat eine Hautoberfläche von ca. 1,8 m²). Das ASHRAE - Handbook [1] bietet eine umfangreiche Übersicht über diverse körperliche Tätigkeiten und die jeweiligen Aktivitätsgrade. Tabelle 2-10 zeigt zusammengefasst die Bandbreite dieser Größen und beinhaltet im Speziellen auch Tätigkeiten, die dem zukünftigen Einsatzfeld des Klimadummys entsprechen. Je nach Art und Anzahl der Bekleidungsschichten erfolgt dann der Wärmeaustausch mit der Umgebung.

	met	W/m ²
Resting		
Sleeping	0,7	40
Reclining	0,8	45
Seated, quiet	1,0	60
Standing, relaxed	1,2	70
Walking (on level surface)		
3,2 km/h	2,0	115
4,3 km/h	2,6	150
6,4 km/h	3,8	220
Office Activities		
Reading, seated	1,0	55
Writing	1,0	60
Typing	1,1	65
Driving/Flying		
Car	1,0-2,0	60-115
aircraft, routine	1,2	70
aircraft, instrumental landing	1,8	105
aircraft, combat	2,4	140
heavy vehilce	3,2	185
Miscellaneous Leisure Activities		
Dancing	2,4-4,4	140-255
Tennis	3,6-4,0	210-270
Basketball	5,0-7,6	290-440
Wrestling	7,0-8,7	410-505

2-10: Gesamtumsatz Energie "met", ASHRAE Handbook [1]

2.5.2. Feuchtigkeitsabgabe



2-11: Wasserdampfabgabe eines bekleideten Menschen ohne körperliche Tätigkeit, Bauphysik - kompakt [12]

Wie schon in Kapitel 2.5.1 erwähnt, stellt die Feuchtigkeitsabgabe eine wichtige Funktion zur Wärmeregulation des menschlichen Körpers da. Lang [11] erklärt die Wärmeabgabe durch Verdunstung als eine Funktion des Dampfdruckes der Haut und der Luft. Der Dampfdruck wiederum hängt von der Temperatur und Feuchtigkeit der Hautoberfläche bzw. der Luft ab. Tatsächlich kann also Wärme mittels Verdunstung nur abgegeben werden, wenn der Dampfdruck der Haut größer ist als jener, der sie umgebenden Luft. Auch wenn die Luft vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist, ist eine Wärmeabgabe noch möglich, jedoch nur, wenn die Hauttemperatur höher ist als die Temperatur der Umgebungsluft. Nur bei sehr heißer und feuchtigkeitsgesättigter Umgebungsluft stößt dieser Mechanismus an seinen Grenzen und der gebildete Schweiß rinnt über die Hautoberfläche ohne jegliche Verdunstungswirkung ab. Dies sind die Gründe, warum Menschen eine "trockene" Hitze als angenehmer empfinden als eine schwüle, also feuchte, Hitze. Die Haut ist aber auch ohne Schweißabsonderung nicht ganz trocken, sondern verliert durch Diffusion über die Hautoberfläche ständig Wasser, wenn auch nur sehr wenig. Weiters wird auch durch die Atemluft, die mit ca. 37°C den Körper verlässt, eine gewisse Menge an Wasserdampf - und damit Wärme - an die Umgebung abgegeben.

Grafik 2.11 zeigt die Wasserdampfabgabe eines normal bekleideten Menschen, welcher keine körperliche Tätigkeit ausübt, als Funktion der Umgebungstemperatur. Bei sehr starker körperlicher Tätigkeit, zum Beispiel beim Sport, kann die Wasserdampfabgabe sogar Werte von bis zu 2000 g/h erreichen.

Für den späteren Einsatzzweck des Klimadummys relevant ist aber der in Grafik 2.11 ersichtliche Bereich von ca. 30 - 150 g/h (siehe Lastenheft, Funktion 1.14). Der Dummy soll ja das "Mikro-Klima" der Versuchsumgebung (Fahrzeugkabine, Zugabteil, etc.) in gleicher Weise beeinflussen, wie das auch ein Mensch tun würde. Ein interessanter Nebennutzen durch die Funktion der Feuchtigkeitsabgabe ergibt sich z.B. für Autositzhersteller. Es wäre möglich eine gewisse Menge an Wasserdampf über Rücken und Hinterseite der Oberschenkel des Dummys abzugeben, um so die Feuchtigkeitsbeständigkeit der Sitzmaterialien zu testen.

2.5.3. Einfluss der Bekleidung

Die Bekleidung des Menschen als Trennschicht zwischen Körper und Umgebungsklima stellt einen wichtigen Faktor in Bezug auf das thermische Wohlbefinden dar [11]. Die wärmedämmenden Eigenschaften der Bekleidung beeinflussen in großem Maße den Wärmeaustausch des Körpers mit der Umgebung. Der Wärmeleitwiderstand der jeweiligen Kleidungsstücke wird messtechnisch mit einem sogenannten "thermal Manikin", einer beheizten Puppe, experimentell bestimmt und liefert Daten für die unten angeführte Tabelle 2-12. Die Dämmung wird als Wärmeleitwiderstand in $[m^2KW]$ angegeben und auch als relatives Maß in "clo" (1 clo entspricht dem Wärmeleitwiderstand von $0,155 m^2KW$). Das Oberflächenverhältnis " f_{cl} " gibt Auskunft über das Verhältnis der durch die jeweilige Bekleidung verdeckten Hautoberfläche und der unbedeckten Oberfläche. Der bezogene Wärmeleitwiderstand einer nackten Person beträgt 0 clo, einer typischen leichten Sommerbekleidung 0,5 clo und einer Winterbekleidung 1,0 clo. Alle in Tabelle 2-12 angeführten Werte beziehen sich auf stehende Personen. Der bezogene Wärmeleitwiderstand kann sich um bis zu 0,2 clo bei sitzenden Personen durch die dämmende Eigenschaft der Sitzoberfläche erhöhen. Natürlich beeinflussen auch Körper- und Luftbewegungen den Wärmeaustausch innerhalb und ausserhalb der Bekleidung. [Fanger, (4)]

Bekleidung	Oberflächen- verhältnis f_{cl}	Wärmeleitwiderstand	
		bezogen [clo]	absolut [m ² K/W]
Unterhose, T-Shirt, Shorts, leichte Strümpfe, Sandalen	1,10	0,30	0,050
Slip, Unterkleid, Strumpfhose, leichtes Kleid mit Ärmeln, Sandalen	1,15	0,45	0,070
Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Sandalen	1,15	0,50	0,080
Slip, Strumpfhose, Bluse mit kurzen Ärmeln, Rock, Sandalen	1,25	0,55	0,085
Unterhose, Hemd, leichte Hose, Socken, Schuhe	1,20	0,60	0,095
Slip, Unterkleid, Strumpfhose, Kleid, Schuhe	1,20	0,70	0,105
Unterhose, Hemd, Hose, Socken, Schuhe	1,20	0,70	0,110
Unterhose, Jogginganzug, lange Socken, Sportschuhe	1,20	0,75	0,115
Slip, Unterkleid, Bluse, Rock, dicke Kniestrümpfe, Schuhe	1,30	0,80	0,120
Slip, Bluse, Rock, kragenloser Pullover, dicke Kniestrümpfe, Schuhe	1,30	0,90	0,140
Unterhose, Unterhemd mit kurzen Ärmeln, Hemd, Hose, Pullover mit V-Ausschnitt, Socken, Schuhe	1,25	0,95	0,145
Unterhose, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,30	1,00	0,155
Slip, Strumpfhose, Bluse, Rock, Weste, Jacke	1,35	1,00	0,155
Slip, Strumpfhose, Bluse, langer Rock, Jacke, Schuhe	1,45	1,10	0,170
Unterhose, Unterhemd mit kurzen Ärmeln, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,35	1,10	0,170
Unterhose, Unterhemd mit kurzen Ärmeln, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Socken, Schuhe	1,35	1,15	0,180
Lange Unterwäsche, Hemd, Hose, Pullover mit V-Ausschnitt, Jacke, Socken, Schuhe	1,35	1,30	0,200
Kurze Unterwäsche, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Mantel, Socken, Schuhe	1,50	1,50	0,230

2-12: Einfluss der Bekleidung auf die Wärmeabgabe, Raumklimatechnik Bd.1 [16]

Punkt 1.8 des Dummy-Lastenhefts (siehe Anhang Seite IV, Punkt 5.4) verweist in diesem Sinne auf die Möglichkeit des Bekleidens. Der Klimadummy sollte bzgl. der Oberfläche der Materialien und der Beweglichkeit (siehe Freiheitsgrade) der Gliedmaßen die Möglichkeit bieten, ihn mit handelsüblichen Kleidungsstücken versehen zu können, um die isolierende Wirkung der Textilien realitätsnah zu berücksichtigen.

2.5.4. Thermische Neutralität und Behaglichkeit

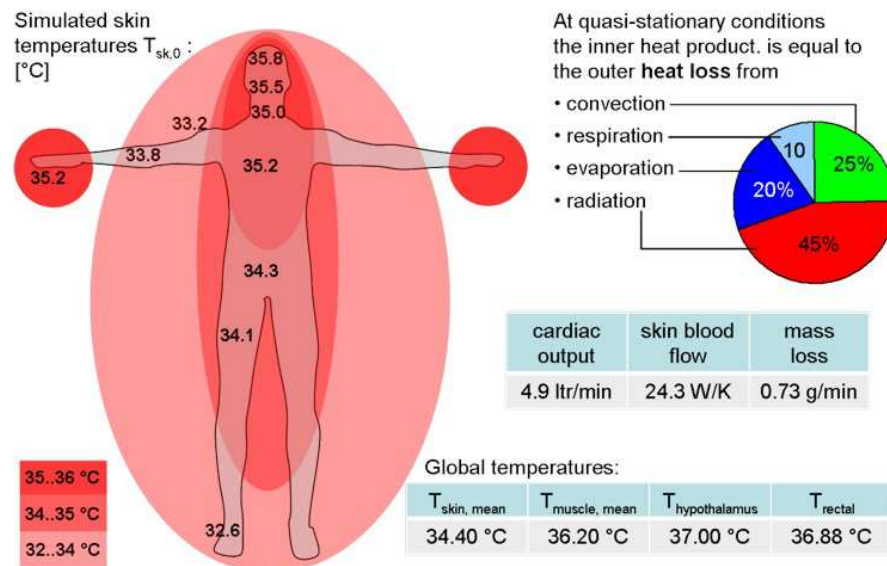
Die messtechnische Bestimmung der Größe "Thermische Behaglichkeit" ist nun die Hauptaufgabe, für die der Klimadummy vorgesehen ist. Wie schon anfangs erwähnt, unterliegt die Beschreibung des thermischen Wohlbefindens durch Testpersonen zum größten Teil rein subjektiven Empfindungen. Man stelle sich vor, dass ein Fahrzeughersteller zur Bewertung der Klimatisierung eines noch in der Entwicklung befindlichen Fahrzeuges verschiedene Testpersonen dazu auffordert, für die Absolvierung einer bestimmten Testfahrt im Innenraum Platz zu nehmen und ihre jeweiligen Eindrücke in Bezug auf die Wirkungsweise der Klimatisierung wiederzugeben. Eine gewisse Tendenz (z.B. die Mehrzahl der Personen findet es zugig im Innenraum) wird man aus dem Ergebnis erkennen können, aber so viele verschiedene Testpersonen beteiligt sind, so viele verschiedene Meinungen wird das Ergebnis unterm Strich wohl liefern.

Der Begriff thermische Behaglichkeit ist eng verbunden mit der thermischen Neutralität, aber was genau ist mit der thermischen Neutralität gemeint? Subjektiv betrachtet ist das nach Fanger [4] ein Zustand, bei dem der Mensch mit seiner thermischen Umgebung zufrieden ist, sich thermisch neutral fühlt und es nicht wärmer oder kälter wünscht. Rein objektiv entspricht das einem Gleichgewicht zwischen Wärmeproduktion und Wärmeabfuhr. Folgende Formel beschreibt das Streben des Thermoregulationsmechanismus nach dem Konstanthalten der Körpertemperatur.

$$K = R + C = M - W - E_{dif} - E_{sw} - E_{res} - C_{res}$$

<i>K</i>	<i>Wärmestrom durch die Kleidung [W/m²]</i>
<i>R</i>	<i>Wärmestrom durch Strahlung [W/m²]</i>
<i>C</i>	<i>Wärmestrom durch Konvektion [W/m²]</i>
<i>M</i>	<i>Gesamtenergieumsatz [W]</i>
<i>W</i>	<i>mechanische Arbeit [W]</i>
<i>E_{dif}</i>	<i>latente Wärmeabgabe durch Wasserdampfdiffusion durch die Haut [W]</i>
<i>E_{sw}</i>	<i>latente Wärmeabgabe durch sensible Transpiration über die Hautoberfläche [W]</i>
<i>E_{res}</i>	<i>latente Wärmeabgabe durch Atmung [W]</i>
<i>C_{res}</i>	<i>sensible Wärmeabgabe durch Atmung [W]</i>

Wie schon eingangs erwähnt, versucht der Körper seine Temperatur im Mittel über die gesamte Hautoberfläche auf annähernd 34,4°C zu halten. Theseus-FE [19] liefert mit seiner Simulation des thermisch neutralen Zustandes mit unten angeführten Randbedingungen folgendes Ergebnis in Bezug auf die lokalen Körpertemperaturen:



2-13: Gleichgewichtszustand Wärmeproduktion bzw. Wärmeabgabe, Theseus-FE [19]

Randbedingungen:

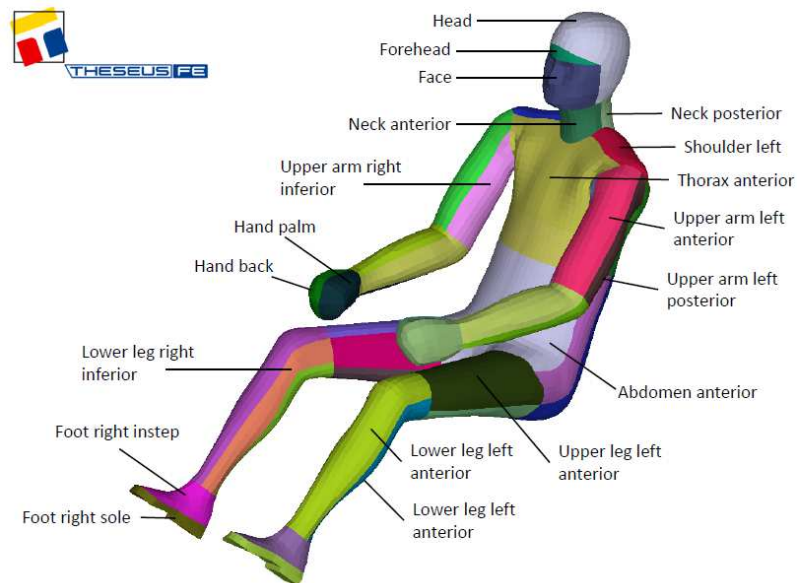
Position:	stehend
Umgebungstemperatur:	30°C
Luftgeschwindigkeit:	0,05 m/s
rel. Luftfeuchtigkeit:	40%
Metabolismus:	87 W/m ²
Bekleidungsstatus:	unbekleidet

Aus der Grafik 2-13 sieht man deutlich, dass an den wichtigsten Körperregionen, Kopf und Oberkörper (enthält die wichtigsten Organe), die Kerntemperatur auf ca. 35,8°C gehalten wird, während die Temperatur an der Hautoberfläche von Extremitäten schon um bis zu 5°C geringer ist.

Fiala [5] geht noch genauer auf die einzelnen Körperregionen ein und unterteilt im Rahmen seiner Dissertation den ganzen Körper in 48 sinnvolle Bereiche und definiert auch für diese die Hautoberflächentemperaturen im thermisch neutralen Zustand. An diesen 48 Bereichen orientiert sich der Klimadummy in weiterer Folge auch bzgl. Anzahl und Positionierung der Meßstellen (Grafik 2-14).

T_skin	Lfd. Nummer	Hauttemperatur [°C]	T_skin	Lfd. Nummer	Hauttemperatur [°C]	T_skin	Lfd. Nummer	Hauttemperatur [°C]
Forehead	1	35,64	Arm l up ant	17	33,71	Leg l up ant	33	34,09
Head	2	35,78	Arm l up post	18	33,67	Leg l up post	34	34,09
Face	3	35,47	Arm l up inf	19	34,30	Leg l up inf	35	34,31
Neck ant	4	35,07	Arm l low ant	20	33,71	Leg l low ant	36	34,09
Neck post	5	35,04	Arm l low post	21	33,67	Leg l low post	37	34,09
Shoulder left	6	33,18	Arm l low inf	22	34,30	Leg l low inf	38	34,31
Shoulder right	7	33,18	Arm r up ant	23	33,71	Leg r up ant	39	34,09
Thorax up ant	8	35,07	Arm r up post	24	33,67	Leg r up post	40	34,09
Thorax up post	9	35,03	Arm r up inf	25	34,30	Leg r up inf	41	34,31
Thorax up inf	10	35,86	Arm r low ant	26	33,71	Leg r low ant	42	34,09
Thorax low ant	11	35,07	Arm r low post	27	33,67	Leg r low post	43	34,09
Thorax low post	12	35,03	Arm r low inf	28	34,30	Leg r low inf	44	34,31
Thorax low inf	13	35,86	Hand l back	29	35,05	Foot l instep	45	32,58
Abdomen ant	14	34,20	Hand l palm	30	35,42	Foot l sole	46	32,53
Abdomen post	15	34,15	Hand r back	31	35,05	Foot r instep	47	32,58
Abdomen inf	16	34,95	Hand r palm	32	35,42	Foot r sole	48	32,53

2-14: Körperbereiche mit ihren mittleren Hauttemperaturen, Fiala aus Theseus-FE [19]



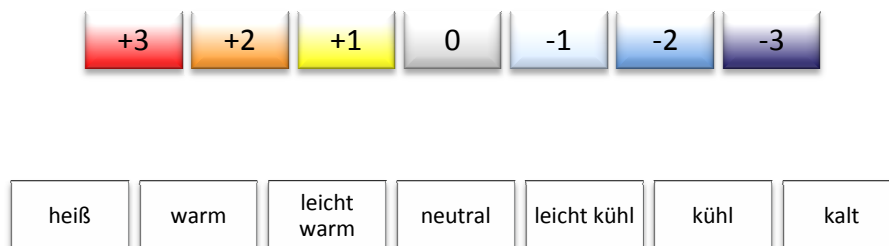
2-15: Grafische Darstellung der Unterteilung in Körperregionen , Theseus-FE [19]

Für Fanger [4] ist der Zustand der thermischen Neutralität nur eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung in Bezug auf die gefühlte Behaglichkeit des Menschen. Hauttemperatur und Schweißabsonderung müssen bei der jeweiligen metabolischen Rate Werte annehmen, die als neutral empfunden werden.

Der Zustand des "Schwitzens" ist oft gleichbedeutend mit "es ist mir zu warm", was zur allgemeinen Annahme führt, dass sich Schwitzen und thermische Behaglichkeit gegenseitig ausschließen. Experimente haben aber gezeigt, dass eine deutliche Transpiration bei starker körperlicher Tätigkeit durchaus erwünscht ist (im Sinne eines natürlichen Wärmeregulations-Mechanismus), währenddessen die Transpiration während einer leichteren, sitzenden Tätigkeit als unangenehm empfunden wird. Bei höheren Aktivitäten, z.B. 3 *met*, ist die Körperkerntemperatur um ca. 0,5°C höher als bei 1 *met*, aber zur Kompensation (eben durch Transpiration) wird eine um etwa 3°C niedrigere Hauttemperatur als angenehm empfunden.

2.5.5. PMV-Index

Um nicht immer mit diesen umfangreichen Gleichungen arbeiten zu müssen, hat Fanger [4] den PMV- Index definiert. Dieser Index dient zur Quantifizierung der menschlichen Temperaturempfindung und gliedert sich wie folgt in eine 7-teilige Skala:



Die Abkürzung PMV steht für "Predicted Mean Vote" (erwartete mittlere Beurteilung) und gibt die durchschnittliche Beurteilung der klimatischen Bedingungen an. Wird eine große Anzahl von Testpersonen einem vorher definierten Raumklima ausgesetzt und bittet man sie um Beurteilung anhand dieser 7-teiligen Skala, so lässt sich die mittlere Beurteilung mit diesem Index vorhersagen. Der Index errechnet sich aus Einsetzen der Randbedingungen in die Behaglichkeitsgleichung.

2.6. Lastenheft

Das Lastenheft gibt die Eigenschaften und Funktionen des zu entwickelnden Produktes vor. Es baut auf eine sorgfältigen Analyse der Funktionen, die ein Produkt später einmal darstellen soll, auf. Es ist somit ein wichtiger Baustein im Rahmen des Anforderungsmanagements. Lindemann [13] beschreibt die Aktivitäten rund um das Anforderungsmanagement als Identifikation, Dokumentation, Strukturierung, Analyse, Abstimmung und Kommunikation, Anpassung und Pflege der Anforderungen. Die Anforderungen werden am Anfang eines Entwicklungsprojektes in dem zu diesem Zeitpunkt möglichen Umfang definiert und im Laufe des Entwicklungsprozesses laufend konkretisiert und angepasst und letztendlich zur Erfolgskontrolle herangezogen.

Anforderungen stellen laut Lindemann [13] geforderte Eigenschaften dar, sei es für ein Produkt oder für einen Entwicklungsprozess. Sie lassen sich durch Merkmale und Ausprägungen beschreiben. Ein Merkmal beschreibt dabei das Bezugsobjekt bzw. stellt den Namen dar und die Ausprägung quantifiziert den Sollwert für das Anforderungsmerkmal. Für den Klimadummy wäre eine Anforderung beispielsweise "Betriebsspannung 12-24 V". Es handelt sich hierbei um das Merkmal "Betriebsspannung" mit der Ausprägung "12-24 Volt".

Die Anforderungsliste ist in Bezug auf die Dokumentation und Strukturierung der Anforderungen sicher das beste Hilfsmittel. Diese Liste gibt in zwei verschiedenen Ausprägungen, einerseits als Lastenheft (DIN 69905) und andererseits als Pflichtenheft (DIN 69905). Das Lastenheft umfasst die Gesamtheit aller Leistungen und Lieferungen, die der Auftraggeber einfordert, während das Pflichtenheft die vom Auftragnehmer erarbeiteten Realisierungsvorhaben in Bezug auf die geforderten Anforderungen darstellt. Die Analyse der Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten der Anforderungen untereinander hilft besonders, wenn es gilt, Zielkonflikte zu identifizieren. Diese Konflikte sind oft nicht vermeidbar, jedoch ergeben sich mit dem Setzen von Prioritäten gewisse Entwicklungsschwerpunkte, die eine Handhabung dieser Probleme erlaubt.

Um möglichst alle Anforderungen eines neuen Produktes oder einer Geschäftsidee zusammentragen zu können, muss man sich einer Reihe von Quellen bedienen. Die für das Produkt relevanten Quellen müssen zuerst identifiziert werden, um die Anforderungen aus den jeweiligen Bereichen zusammentragen zu können. Folgende Grafik 2-17 gibt einen Überblick über mögliche Quellen.



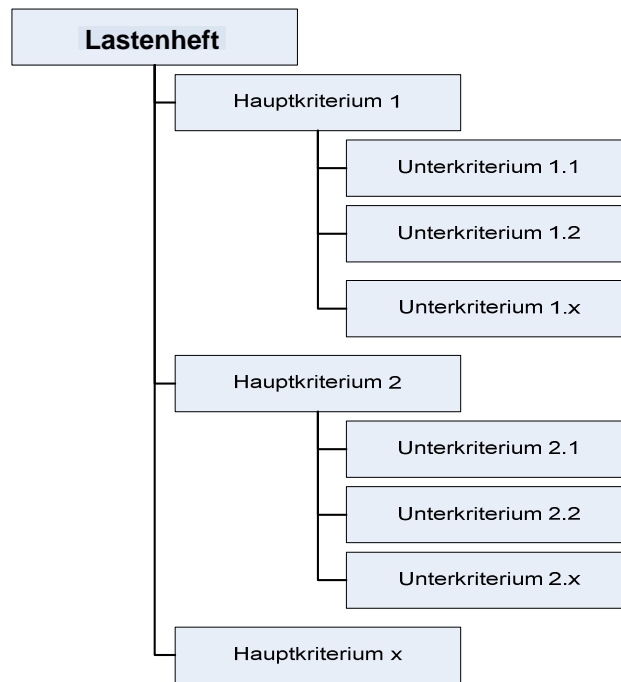
2-17. Quellen für Anforderungen, Lindemann [13]

Als Arbeitsbehelf für das Zusammentragen der Anforderungen kommen auch "Checklisten" zum Einsatz. In diesen Checklisten finden sich die häufigsten Anforderungsarten, die im Rahmen einer Entwicklung vorkommen können, unterteilt in allgemeine Hauptmerkmale (Grafik 2-18). Eine vollständige Checkliste findet sich im Anhang (Seite VI, Punkt 5.6)

Hauptmerkmale	Beispiele
Geometrie	Größe, Höhe, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluß, Ausbau und Erweiterung
Stoff	Physikalische, chemische, biologische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsproduktes, Hilfsstoffe,...
Montage	Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierungen,...

2-18: Auszug einer Checkliste zur Anforderungsbestimmung, Lindemann; Pahl [13]

Nachdem die Anforderungen zusammengetragen und definiert wurden, ist der nächste Schritt die Strukturierung und Dokumentation dieser Informationen. Diese Liste, in Folge für den internen Gebrauch der Firma qpunkt GmbH Lastenheft genannt, stellt also eine Sammlung der Anforderungen an ein zukünftiges Produkt dar und dient natürlich auch der Erfolgskontrolle. Im Rahmen dieser Arbeit entstand ein Lastenheft-Formular als Vorlage für weitere Entwicklungsaufgaben. Der Aufbau dieser Liste ist aus folgender Grafik 2-19 ersichtlich (Auszug). Die gesamte Liste befindet sich im Anhang (Seite IV, Punkt 5.6)



2-19: Struktureller Aufbau des Lastenheftes

Bild 2.19 zeigt den strukturellen Aufbau des Lastenheftes. Der besseren Übersicht halber fasst man die Anforderungen des Produktes thematisch zusammen. Da die Entwicklungsschwerpunkte beim Klimadummy in der Konstruktion und der Meß- u. Regelungstechnik samt Software liegen, bietet sich eine Unterteilung in Hardware- und Software-Funktionen an. Andere Produkte wiederum verlangen eine andere, an sie angepasste, Unterteilung. Denkbar wäre auch eine Staffelung nach den Hauptbauelementen eines Produktes. Bestünde das Entwicklungsziel z.B. im Konstruieren eines Rasenmähers, wäre die folgende (unvollständige) Unterteilung sinnvoll:

Lastenheft "Rasenmäher":

1. Fahrwerk
 - 1.1 Reifengröße
 - 1.2 Reifenbreite
 - 1.3 Höhenverstellung (...)
2. Mähwerk
 - 2.1 Messeranzahl
 - 2.2 Rotor (...)
3. Motor
 - 3.1 Drehzahl
 - 3.2 Größe
 - 3.3 Gewicht
 - 3.4 Geräuschentwicklung (...)
4. Chassis
 - 4.1 Gewicht
 - 4.2 Abmessungen
 - 4.3 Motorverkleidung (...)

2-20: Gliederung des Lastenheftes für einen Rasenmäher

LASTENHEFT "Prototyp KLIMADUMMY"						Stand 8.5.2012		
Lfd. Nr. (Ziel)	Beschreibung/Name der Anforderung	Priorität*	exakt min/max	Einheit	Verant- wortlichkeit	Änderungen		
						Ä.-Grund	Datum	Person
1	Hardware							
1.1	Gewicht	1	20	kg	AM			
1.2	Aussehen wie Mensch	2			AM			
1.3	Freiheitsgrade Gelenke	1			AM			
1.4	Robustheit	1			AM			
1.5	Hemmung der Gelenke	1			AM			
1.6	Verwendung von Rückhaltegurten	2			AM			
1.7	Belastungsprofil Versuchsfahrt	2			AM			
1.8	Bekleidung	1			AM			
1.9	Temperaturbereich	2	-40 bis +90	°C	AM			
1.10	Feuchtigkeitsschutz	2			AM			
1.11	Überhitzung, Kurzschluss	1			AM			
1.12	32 Messstellen				AM			
	48 Messstellen	2			AM	Angleich an "Fiala"-	26.03.2012	AM
1.13	Wärmeabgabe	2	60 bis 100	W/m ²	AM			
1.14	Feuchtigkeitsabgabe	3	30 bis 200	g/h	AM			
1.15	Betriebsspannung	2	12 bis 24	V	AM			
1.16	Akku-Puffer	3	2	h	AM			
1.17	Reparaturfreundlichkeit	2			AM			
1.18	Betriebsarten	1			AM			
1.19	Datenaustausch	2			AM			
1.20	Signale	2			AM			
1.21	Initialisierungszeit	3	10	min	AM			
1.22	Kühlkreislauf/Heizkreislauf f.d. Meßstellen	1			AM	angepasst an "Woh	30.03.2012	AM

2-21: Auszug aus dem Lastenheft Formular

Zur Handhabung des Lastenheftes: Die laufende Nummer gliedert die Anforderungen und es ist auch sinnvoll, diverse Bereiche zu definieren, die inhaltlich zusammenhängen. Im Fall des Klimadummys wären das "Hardware" und "Software". In anderen Fällen wäre eine Unterteilung in die Hauptmerkmale denkbar. Diese erste Spalte wird auch gleich zur Erfolgskontrolle herangezogen und erledigte Ziele werden "grün" markiert, noch offene Ziele "rot". So kann man auf einen Blick den Fortschritt der Entwicklungsarbeit erkennen. Die zweite Spalte zeigt die Anforderung an sich, welche allgemein und lösungsneutral formuliert werden sollte, um möglichst viele Freiheiten bei der Lösungsfindung zu garantieren. Die Priorität gewichtet die Anforderungen um darzustellen, in welchen Bereichen die Entwicklungsschwerpunkte liegen. Die folgenden beiden Spalten beinhalten den exakten Zahlenwert, also die Ausprägung des jeweiligen Merkmales. Je exakter diese festgelegt wird, um so eher hat man die Tendenz sich an diesen Werten zu orientieren und nicht im Laufe der Entwicklung von den Sollvorgaben abzuweichen. Klar ist jedoch, dass nicht für alle Merkmale ein exakter Zahlenwert vorgegeben werden kann, vor allem nicht bei Projektbeginn. Gewisse Werte werden sich erst im Laufe des Entwicklungsprozesses herausstellen - sie sollten aber ehestbaldig in das Lastenheft eingepflegt werden. Die Angabe eines Toleranzbereiches ist an dieser Stelle ebenfalls möglich. Die Verantwortlichkeit (gekennzeichnet z.B. mittels Initialen) gibt Auskunft über die Personen, deren Aufgabe es ist, sich um die Erfüllung der zugewiesenen Merkmale zu kümmern.

So hat jeder, der im Entwicklungsprozess mitwirkt, die Möglichkeit, den richtigen Ansprechpartner zu finden, was vor allem in mittleren bis großen Firmenstrukturen eine große Erleichterung darstellt.

Das Lastenheft versteht sich als bindendes Dokument, in dem die am Anfang der Entwicklung definierten Ziele klar dargestellt sind. Es ist jedoch auch ein "lebendiges" Dokument, dessen Inhalt sich im Laufe der Entwicklungsarbeit ständig, in gewissem Rahmen, verändern kann. Um diese Veränderungen zu dokumentieren, gibt es die Rubrik "Änderungen". Hier sollte ersichtlich sein, welche Person - und vor allem aus welchem Grund - eine Änderung einer Zielvorgabe vorgenommen hat. Eine solche Änderung hat nicht eigenmächtig zu erfolgen, sondern immer mit Absprache mit dem Projektleiter bzw. mit dem Kunden. Das vollständige Lastenheft zum "Prototyp Klimadummy" ist im Anhang zu finden (Seite IV, Punkt 5.6).

In dieser Arbeit wurde der Schwerpunkt auf die Funktionen der "Hardware" gelegt. Wie in der Marktstudie gezeigt, stellen die Handhabung und das Einrichten (Einstellen einer Position) des Dummys ein wichtiges Verkaufsargument dar. Diese Forderungen werden durch die Punkte "1.1 Gewicht", "1.4 Robustheit" und "1.5 Hemmung der Gelenke" dargestellt. Die Betriebssicherheit ("Schutz vor Überhitzung, Kurzschluß und Feuchtigkeit") stellt ebenfalls einen sehr wichtigen Punkt dar, da der Dummy nicht nur in trockenem Umgebungsklima eingesetzt wird, sondern unter diversen klimatischen Umgebungsbedingungen den thermischen Komfort abbilden können soll.

2.7. Lösungssuche

Bei der Lösungssuche begibt man sich nun in einen Bereich des Produktentwicklungsprozesses, in dem die Kreativität der involvierten Personen besonders gefordert ist, gilt es doch die zuvor definierten Anforderungen in einer geeigneten Art und Weise zu realisieren. Im Lastenheft hat schon eine Gliederung in Teilgebiete bzw. einzelne Anforderungen stattgefunden und für jede dieser Anforderungen müssen nun Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Praktisch jede Darstellung einer Funktion lässt sich auf einen physikalischen Effekt zurückführen oder hat ihr Vorbild in der Natur (Stichwort Bionik).

Als Hilfsmittel gibt es Tabellen und Aufzählungen von vielen physikalischen Effekten. Einen Auszug aus einer "Sammlung der physikalischen Effekte" zeigt folgende Tabelle 2-22.

Kategorie	Physikalischer Effekt	Kategorie	Physikalischer Effekt
Statik starrer Körper	Hebel (einseitig)	Dynamik	Trägheit (translatorisch)
	Hebel (zweiseitig)		Trägheit (rotatorisch)
	Keil		Stoß (allgemein)
	Kniehebel		Stoß (elastisch)
	Übertotpunkt		Corioliskraft
	Seileck		Zentrifugalkraft
	Flaschenzug		Gravitation
Elastizität starrer Körper	Elastische Dehnung		Präzessionsmoment
	Elastische Biegung		Hysterese
	Scherung		Plastische Verformung
	Torsion		
	Querkontraktion		

2-22: Sammlung physikalischer Effekte, Lindemann [3]

In der Literatur findet sich noch eine Vielzahl anderer Methoden und Hilfestellungen, zusammengefasst unter dem Titel "Kreativitätstechniken". Zwei von diesen Methoden sollen ich hier näher erklärt werden, da sie bei der Entwicklung des Klimadummys zur Anwendung gekommen sind.

2.7.1. Brainstorming

Das Brainstorming [15] ist wohl die weitverbreitetste Methode zur Problemlösung und Ideengenerierung. Sie beruht vor allem darauf, dass zur Problemlösung das Wissen mehrerer Personen genutzt wird, denkpsychologische Blockaden ausgeschaltet werden und das Kommunikationsverhalten der Teilnehmer gestrafft wird. Es wird hier nicht näher auf die Vorgehensweise dieser Methode eingegangen, weil sie hinreichend bekannt ist, es wird aber auf die 4 Grundregeln [15] hingewiesen, die oft missachtet werden, deren Einhaltung aber sehr wichtig für eine erfolgreiche Durchführung sind.

- Jegliche Kritik oder Wertung von geäußerten Ideen ist während des Problemlösungsprozesses unangebracht und sollte auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden.
- Die Ideen anderer Teilnehmer können und sollen aufgegriffen und weiterentwickelt werden.
- Die Teilnehmer können und sollen ihrer Phantasie freien Lauf lassen, ohne dabei Angst zu haben, kritisierend zurückgewiesen zu werden.
- Es sollen möglichst viele Ideen in kurzer Zeit produziert werden. In dem Fall gilt Quantität vor Qualität

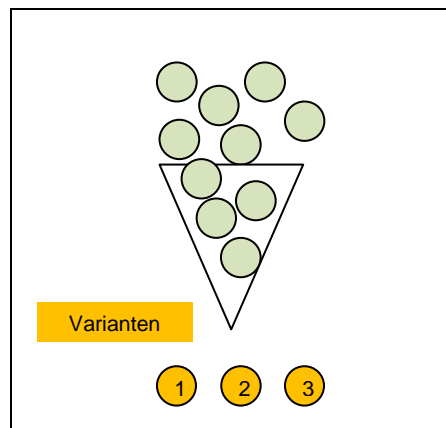
2.7.2. Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten ist eine Methode, die der Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky [9-15] entwickelt hat. Diese Methode bietet den Vorteil, dass auf einen Blick mehrere Merkmale und ihre Ausprägungen bestimmt werden können, diese zusammen übersichtlich dargestellt werden, um dann matrizenhaft einen Überblick über die Varianten zu bieten (Grafik 2-23).

Parameter	Ausprägung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Skelett	Metallrohre	Metallprofile	Holzstangen	Kunststoffrohre	Kunststoffprofile			
Haut, Aussenhülle	Schaumstoff	Laser-Sinter	GFK	Latex	Blech	Stoff	Acryl	Kohlefaser
Anbringen Aussenhülle am Skelett	Verschraubt	Geclipst	Klettverschluss	Magnet	Zusammengebunden	Nut/Feder	Saugnapf	
Gelenkfixierung	Formschluß	Kraftschluß	Magnetkraft	Kleben				
	(Verzahnung)	(Klemmung)						
Farbe Aussenhülle	hautfarben	weiß	transparent	grau	holzfarben	signalfarben		
Wärmeproduktion (&Abgabe)	PTC	Heizlack	chemisch	Reibung				

2-23: Morphologischer Kasten für den Klimadummy

Die Vorgehensweise, um diese Ausprägungs-Matrix zu erstellen, ist nun folgende: In der ersten Spalte werden die Parameter aufgelistet und zu jedem Parameter (zeilenweise) wird eine gewisse Anzahl von möglichen Ausprägungen eingetragen (1-8). Diese verschiedenen und oft auch ausgefallen Ausprägungen können zum Beispiel das Ergebnis eines Brainstormings sein. Ist die Matrix befüllt, kann man nun mit Hilfe einer Linie (hier rot, grün, gelb) jegliche Kombination von Ausprägungen zusammenstellen. So ergibt sich für die rote Variante folgende Zusammensetzung: Das Skelett des Dummys besteht aus Metallrohren, die Außenhaut wird aus Blechen gebaut. Diese Bleche werden mittels Magnetkraft an dem Skelett befestigt und die Gelenke fixieren sich durch Kraftschluss. Der Dummy hat eine graue Lackierung und die Funktion der Wärmeproduktion- bzw. Abgabe wird durch einen Heizlack realisiert. Die Varianten "gelb" und "grün" stellen wiederum jeweils einen ganz anderen Lösungsweg da. Der Morphologische Kasten bietet also eine sehr gute Übersicht über etwaige Lösungswege und dokumentiert sie in einer Weise, dass jederzeit im Laufe des Entwicklungsprozesses darauf zurückgegriffen werden kann



2-24: Sammeln von Auswahl von Varianten

Welche Verfahren auch immer angewendet werden, um die geforderten Lösungen zu generieren, es werden sich anfangs mehr und später immer weniger Varianten anbieten, die es zu verfolgen gilt. Es kann sein, dass sich am Ende dieses Ideenfindungsprozess nur eine, quasi "die richtige" Lösung ergibt, es kann andererseits natürlich auch sein, dass zwei oder mehrere Varianten übrig bleiben, die es nun im Rahmen des Entwicklungsteams zu diskutieren und zu bewerten gilt. Führt die gewählte Variante 1 etwa in eine entwicklungstechnische Sackgasse, so hat man die Möglichkeit, ohne den ganzen Prozess der Lösungssuche neu zu durchlaufen, auf Variante 2 oder 3 auszuweichen.

Um die mittels voriger Methode (Grafik 2-23) generierten Varianten bewerten und damit einen Favoriten definieren zu können, bietet sich die Erstellung einer Bewertungsmatrix an. Die Bewertungskriterien entsprechen den Parametern aus dem morphologischen Kasten, nur werden sie hier ihrer Bedeutung nach gewichtet. Die Summe der Gewichtung ergibt immer 1 bzw. 100%. Jede Ausprägung der jeweiligen Variante wird dann mittels Vergabe von 1-10 Punkten (1 Punkt = Funktion nicht erfüllt, 10 Punkte= Funktion sehr gut erfüllt) bewertet. Die jeweiligen Bewertungen der Varianten werden dann mit ihrer entsprechenden Gewichtung multipliziert und diese Ergebnisse werden dann für jede Variante aufsummiert. Für die Variante 1 bedeutet dies beispielhaft:

$$(0,3 \times 8) + (0,25 \times 9) + (0,1 \times 4) + (0,15 \times 7) + (0,1 \times 3) + (0,1 \times 7) = 7,1 \text{ Punkte}$$

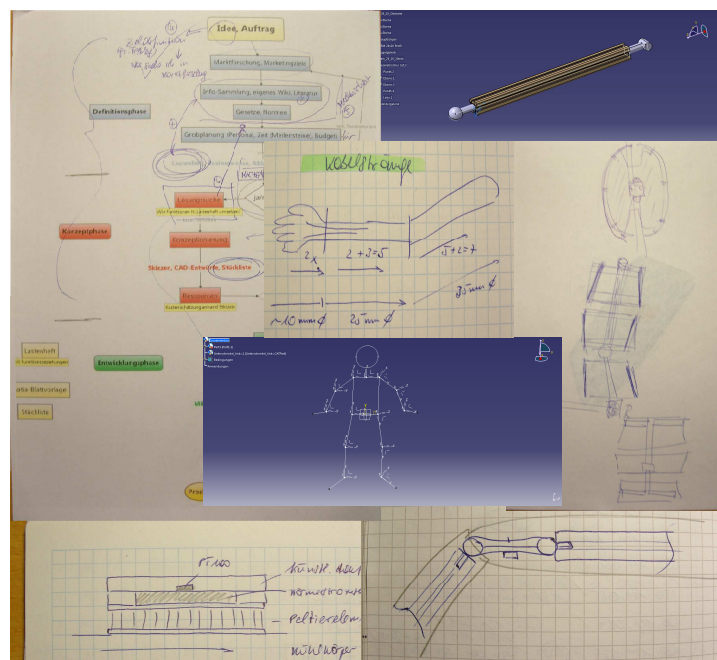
Bewertungskriterium	Gewichtung	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		1	Bewertung	2	Bewertung	3	Bewertung
Skelett	0,3	Metallrohre	8	Holzstange	4	Metallprofile	8
Haut, Aussenhülle	0,25	Blech	9	Kohlefaser	7	Schaumstoff	7
Anbringen Aussenhülle am Skelett	0,1	Magnet	4	Nut/Feder	6	Geclipst	8
Gelenkfixierung	0,15	Kraftschluß	7	Magnetkraft	3	Magnetkraft	3
Farbe Aussenhülle	0,1	grau	3	signalfarben	7	w eiß	4
Wärmeproduktion (&Abgabe)	0,1	Heizlack	7	chemisch	6	PTC	7
			7,1		5,3		6,5

2-25: Bewertungsmatrix

Mit dem Ergebnis der Berechnung der Bewertungsmatrix steht nun eine eindeutige Reihenfolge fest. Durch Änderung der Gewichtung oder Verwendung eines anderen Punkteschemas (z.B.: 1 Punkt = Funktion nicht erfüllt, 3 Punkte = Funktion zufriedenstellend erfüllt, 9 Punkte = Funktion sehr gut erfüllt) kann sich die oben angeführte Reihenfolge wiederum ändern.

2.8. Konzeptionierung (Skizzen, CAD Entwürfe)

In der Phase der Konzeptionierung ist noch nicht die vollständige Lösung des Problems gefordert, vielmehr entstehen hier Ideen und Vorschläge zur Umsetzung bestimmter Teilbereiche und Teilfunktionen. Das Ergebnis der Lösungssuche wird hier aufgegriffen und weiter "verarbeitet". Viele dieser Konzepte für Teillösungen können dann in Summe zur Gestaltung des gesamten Produktes führen. Die Konzeptionierung folgt keiner festen Vorgangsweise, soll doch die Kreativität nicht beeinträchtigt werden. Es entstehen Handskizzen und erste Entwürfe, vielleicht sogar schon die ersten CAD-Zeichnungen. Alternativen werden anhand ihrer Tauglichkeit bewertet und weiterentwickelt und am Ende zu einem Ganzen zusammengefügt.



2-26: Skizzen und Entwürfe zu verschiedenen Entwicklungsschritten des Klimadummys

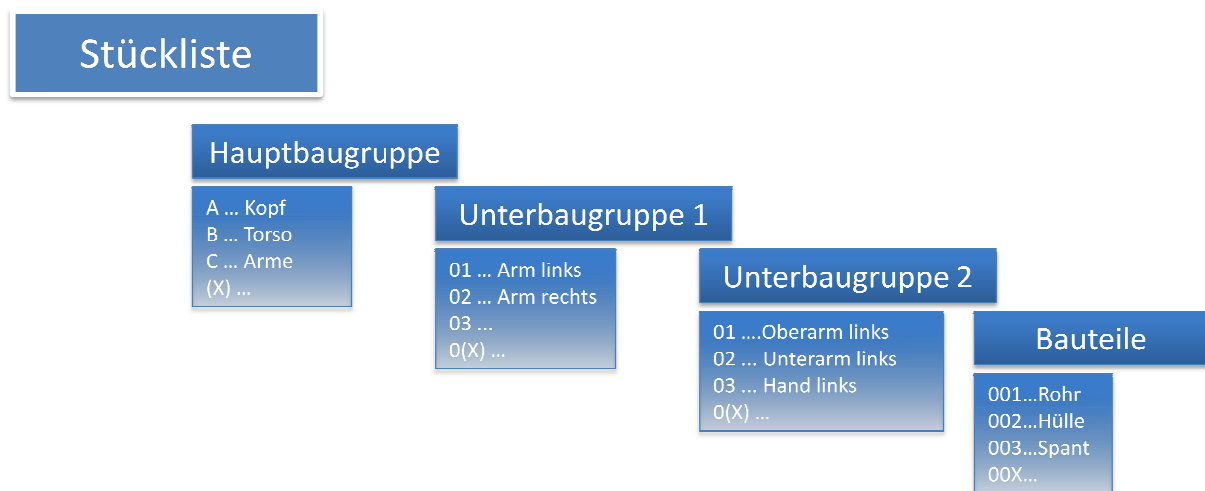
2.9. Stückliste

Die Stückliste ist das zentrale Dokument eines Produktes. Es zeigt tabellarisch die Zusammensetzung des gesamten Produktes, aufgeschlüsselt in Baugruppen, die in Hierarchien unterteilt sind. Wie tief gestaffelt diese Tabelle gestaltet ist hängt wesentlich von der Anzahl der beteiligten Einzelteile und somit von der Komplexität ab. Aus welchen Rubriken diese Stückliste besteht, kann je nach Bedarf variieren. Für größere Firmen oder Betriebe, deren Hauptzweck die Auftragsfertigung ist, bieten sich diverse Software-Lösungen an, die die Verwaltung der Stückliste automatisiert übernehmen können. Diese Tools sind meist Bestandteil eines integrierten PDM-Systems (Product Data Management). Da die Implementierung einer solchen Software aber mit großen Kosten verbunden ist, bleibt als Alternative die manuelle Erstellung der Stückliste, in diesem Fall auf Basis von MS Excel. Grundsätzlich kann man nach Wannowetsch [22] zwischen folgenden Stücklisten-Typen unterscheiden (Bild 2-27):

Typ	Inhalt
Dispositionsstückliste	Mengenstückliste; Unterscheidung nach Fremdfertigung oder Eigenfertigung
Konstruktionsstückliste	Stückliste mit relevanten technischen Details
Ersatzteilstückliste	Für Wartung und Reparatur
Mengenstückliste	Zusammenstellung der Bestandteile des Produktes; quantitative Dokumentation
Strukturstückliste	Zeigt, in welcher Fertigungsstufe eine Baugruppe/ Bauteil verwendet wird
Baukastenstückliste	Enthält Baugruppen einer Fertigungsstufe, die direkt in die übergeordnete Baugruppe eingehen
Variantenstückliste	Beschreibt mehrere sich nur geringfügig unterscheidende Erzeugnisse

2-27: Übersicht über die verschiedenen Typen von Stücklisten

Um für die Firma qpunkt eine passende Stückliste zu erstellen, wurden firmenintern Gespräche mit betreffenden Personen geführt und bestehende Listen anderer Unternehmen verglichen. Es hat sich eine Mischung aus Dispositions- und Mengestückliste als passend herauskristallisiert. Diese Liste wird ergänzt durch mehrere Grafiken, die einen besseren Überblick über den Status der Produktentwicklung geben sollen. Die auf den nächsten Seiten folgenden Bilder (2-29, 2-30) geben eine Übersicht über die einzelnen Bereiche der Stückliste. Für die Arme des Klimadummys wurde die Liste exemplarisch ausgefüllt.



2-28: Grundsätzlicher Aufbau der Stückliste

In Bild 2-28 ist der grundsätzliche Aufbau der Stückliste in seiner gestaffelten Form zu sehen. Mit der Hauptgruppe (sie beinhaltet die größte Unterteilung des Produktes) beginnend, gliedert sich die Liste in immer kleiner werdende Einheiten (Unterbaugruppe 1, Unterbaugruppe 2), bis sie schließlich bei jedem einzelnen Bauteil mit seiner eindeutigen Teilenummer endet. Durch diese gestaffelte Form kann man das gesamte Produkt sehr übersichtlich in seine Bestandteile aufgelöst werden.

STÜCKLISTE		"Klimadummy, Prototyp"							
1		Unterbaugruppe 1		Unterbaugruppe 2		Bauteile			
Hauptbaugruppe									
Kopf	A								
Torso	B								
Arme	C								
2,556	kg	Arm, links 01		Oberarm, links 01					
200	€	Gewicht, CAD		Gewicht, CAD					
Gewicht		1,075 [kg]		0,595 [kg]		Bezeichnung			
real	geschätzt	Gewicht, real		Gewicht, real		Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
78,87%	21,13%	0,32 [kg]		0,11 [kg]		001	1		Alurohr, D_a 32mm, S=2mm
2,016	0,54					002	3		Alublech, s=2mm
2,556						003	2		Fichtenolz, s=10mm
						004	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						005	3	Hauptbaugruppe E	
						006	12	DIN 10642	
						007	3	0,5m, 6-polig	
						008	3	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	1		Alurohr, D_a 20mm, S=2mm
						002	3		Alublech, s=2mm
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						006	3	Hauptbaugruppe E	
						007	12	DIN 10642	
						008	3	1m, 6-polig	
						009	3	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.464.39	ITEM Gelenk 5 20x20
						003	1		Fichtenolz, s=10mm
						004	1		Fichtenolz, s=10mm
						005	2	Hauptbaugruppe E	
						006	8	DIN 10642	
						007	3	1,5m, 6-polig	
						008	2	6-polig	
						Bezeichnung			
						Lfd.Nr.	Stück	Bemerkung	Halbzeug
						001	2		Alublech, s=2mm
						002	1	0.0.4	

Die Rubrik Bauteil (3) gibt detailliert Auskunft über Bezeichnung (Name des Bauteils), Stückzahl, Bemerkungen (z.B. Polanzahl des Steckers, Normen, Bezugsquelle, etc.), Halbzeug, Gewicht (real und geschätzt), Kosten (real und geschätzt), Lieferant, Verantwortlichkeit (wer hat das Bauteil gezeichnet bzw. wer kümmert sich um die Fertigung?), und beinhaltet je eine Link zur 3D Zeichnung, zur Fertigungszeichnung und die Teilenummer (6). Die Teilenummer darf nur einmal innerhalb des gesamten Produktes vergeben werden und setzt sich aus dem Pfad der Bauteilgruppierung zusammen. Für das Oberarmgelenk des linken Armes zum Beispiel ergibt sich folgende Teilenummer:

Kopf **A** → Arm, links **01** → Oberarm, links **01** → Gelenk **004**

Teilenummer "Gelenk, Oberarm links": **A 01 01 004**

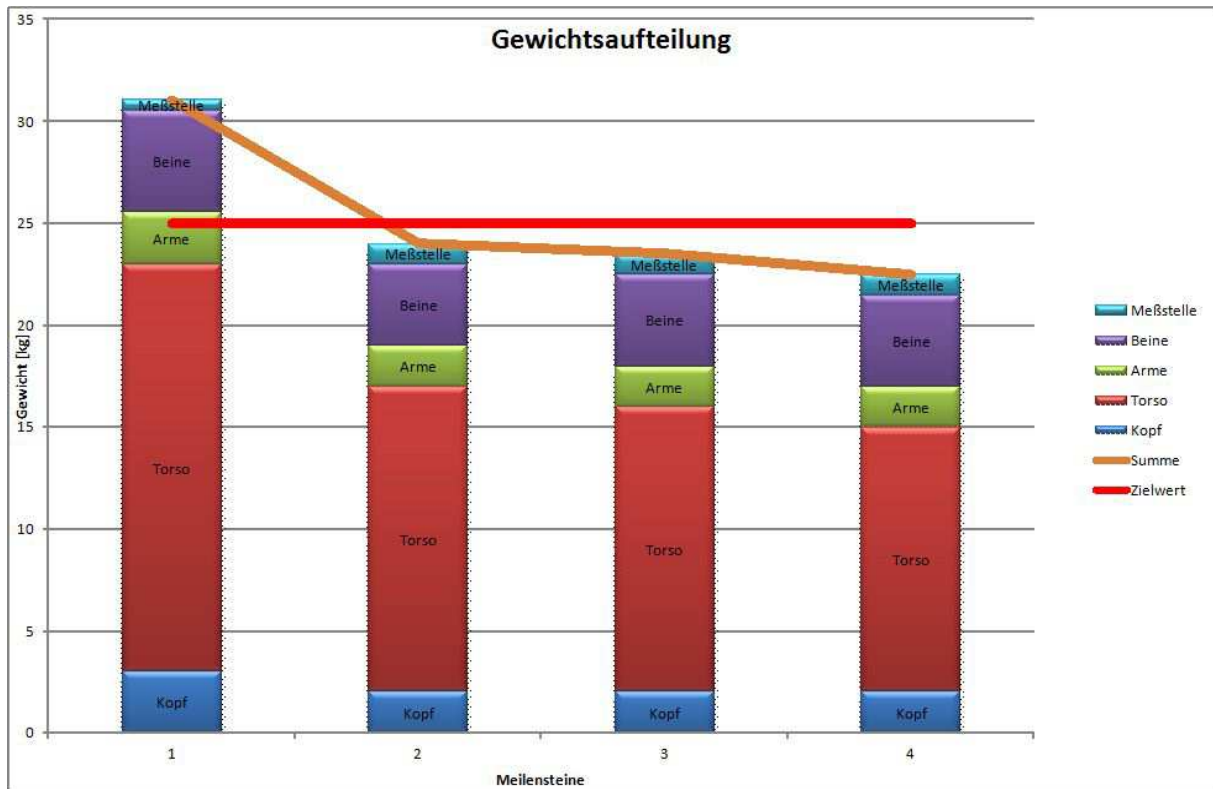
Nicht immer ist das Gewicht (4b) der einzelnen Bauteiles von Anfang an bekannt, deswegen wird zwischen dem geschätzten und dem realen Gewicht unterschieden. Gewisse Bauteile werden z.B. als Normteile (Schrauben, Stecker etc.) zugekauft und damit ist das Gewicht bekannt. Wird jedoch ein Bauteil selber gestaltet, bleibt nur die Möglichkeit der Schätzung oder, wie in diesem Fall, der Bestimmung des Gewichts mit Hilfe des CAD-Systems. Im Laufe der Konstruktion werden die Informationen immer zahlreicher und gegen Ende sollte das Real-Gewicht jedes Bauteiles feststehen. Das Tortendiagramm (4a) dient als eine Art Anzeiger über den Fortschritt der Gewichtsbestimmung. Für jede Hauptbaugruppe ist hier auf einen Blick ersichtlich, wie weit die Entwicklung fortgeschritten ist, sprich die Gewichtsschätzung durch die reale Bestimmung ersetzt wurde. Ähnliches wird für die Kosten-Ermittlung (5b) eingesetzt. Der Preis von zugekauften Teilen ist bekannt, die Kosten von selbst erstellen Teilen werden anfangs noch geschätzt. Bewährt sich diese Stückliste im praktischen Gebrauch, wäre als weiterer Schritt eine Differenzierung der Kosten in Materialkosten, Fertigungskosten, Verpackungs- und Versandkosten denkbar. Der zweite Anzeiger (5a) gibt ebenfalls ein Verhältnis an - diesmal zwischen geschätzten und realen Kosten. Die beiden Spalten "3D CAD" und "Werkstattzeichnung" (7) sind für einen Hyperlink zu den jeweiligen Dokumenten vorgesehen.

In der Einführungsphase dieser Stückliste ist noch keinerlei Automatismus vorgesehen, jedoch bietet Excel via Visual Basic die Möglichkeit gewisse Abläufe zu programmieren. Um den Umgang mit der Liste zu erleichtern, könnte man zum Beispiel programmieren, dass sich auf Knopfdruck eine neue Hauptbaugruppe mit ihren Unterteilungen einfügen lässt, um so den Aufbau der Stückliste wesentlich beschleunigen zu können.

The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet representing a Bill of Materials (BOM) structure. The table is organized into three main sections, each with a blue header row. Red callout boxes labeled 3, 4b, 5b, 6, and 7 point to specific cells in the spreadsheet.

Gewicht, real [kg]	Gewicht, geschätzt [kg]	Kosten, real [€]	Kosten, geschätzt [€]	Lieferant	Verantwortlichkeit	CAD 3D	Werkstattzeichnung	Teilenummer
0,2	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0101001
0,354	0	0	10		AM	hyperlink	hyperlink	C0101002
0,034	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0101003
0	0,01	0	12		AM	hyperlink	hyperlink	C0101004
0	0,1	500	0		AM	hyperlink	hyperlink	C0101005
0,001	0	0	0,05		AM	hyperlink	hyperlink	C0101006
0,005	0	0	0,1		AM	hyperlink	hyperlink	C0101007
0,001	0	0	0,5		AM	hyperlink	hyperlink	C0101008
0,595	0,11	500	28,65					
Gewicht, real [kg]	Gewicht, geschätzt [kg]	Kosten, real [€]	Kosten, geschätzt [€]	Lieferant	Verantwortlichkeit	CAD 3D	Werkstattzeichnung	Teilenummer
0,068	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0102001
0,224	0	0	10		AM	hyperlink	hyperlink	C0102002
0,019	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0102003
0,028	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0102004
0	0,01	0	12		AM	hyperlink	hyperlink	C0102005
0	0,1	0	500		AM	hyperlink	hyperlink	C0102006
0,001	0	0	0,05		AM	hyperlink	hyperlink	C0102007
0,005	0	0	0,1		AM	hyperlink	hyperlink	C0102008
0,001	0	0	0,5		AM	hyperlink	hyperlink	C0102009
0,346	0,11	0	531,65					
Gewicht, real [kg]	Gewicht, geschätzt [kg]	Kosten, real [€]	Kosten, geschätzt [€]	Lieferant	Verantwortlichkeit	CAD 3D	Werkstattzeichnung	Teilenummer
0,035	0	0	10		AM	hyperlink	hyperlink	C0103001
0,01	0	0	12		AM	hyperlink	hyperlink	C0103002
0,029	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0103003
0,053	0	0	3		AM	hyperlink	hyperlink	C0103004
0	0,1	0	500		AM	hyperlink	hyperlink	C0103005
0,001	0	0	0,05		AM	hyperlink	hyperlink	C0103006
0,005	0	0	0,1			hyperlink	hyperlink	C0103007
0,001	0	0	0,5			hyperlink	hyperlink	C0103008
0,134	0,1	0	528,65					

2-30: Stückliste, Teil 2



2-31: Balkengrafik der Gewichtsverteilung der einzelnen Baugruppen

Die Balkengrafik (2-31) ist ebenfalls Teil der Stückliste und sie dient der Übersicht und Steuerung während der Produktentwicklung. Qpunkt verwendet solche Grafiken bereits im Bereich Projektmanagement und Personalplanung - folglich war es naheliegend, diese Diagramme auch bei der Produktentwicklung einzusetzen. Es gibt den Verlauf der Gewichts-Entwicklung zu den jeweiligen Stichtagen (Meilensteinen) an. Die rote Linie stellt den Maximalwert da, dessen berschreiten es zu vermeiden gilt und die orange Linie entspricht der Tendenz der Entwicklung. Die einzelnen Hauptbaugruppen werden stapelweise mit ihrem jeweiligen Gewicht aufgelistet und somit bietet sich die Möglichkeit, auf einen Blick zu erkennen, welche Teile die Schwersten sind und wo es am ehesten Sinn macht anzusetzen, wenn es um Gewichtsreduktion geht. Eine Grafik selben Typs für die Kostenverteilung wurde ebenfalls erstellt und ist im Anhang (Seite III, Punkt 5.3) zu finden.

2.10. Entwicklungsarbeit

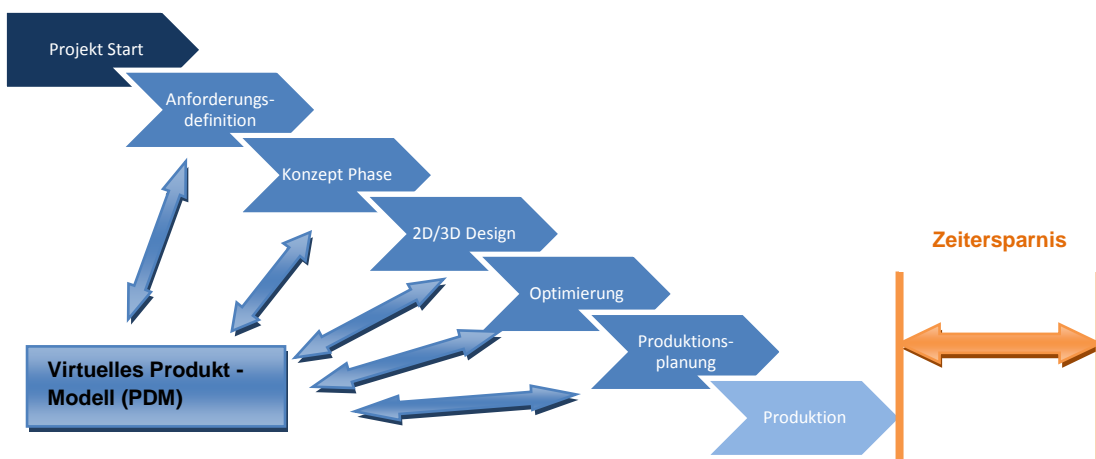
Eigentlich könnte man die gesamte Prozesskette vereinfacht mit dem Begriff Entwicklungsarbeit zusammenfassen, jedoch passiert in dieser Phase der eigentliche Kern der Entwicklung. Jede Firma hat ihr besonderes Fachgebiet, in dem sie ihre Erfahrung und Stärken einbringen kann und diese kommen dann verstärkt in dieser Phase zum Einsatz. Die Disziplinen Berechnung, Simulation und Konstruktion bilden die drei Säulen im Arbeitsprozess rund um die Entwicklung. Deswegen empfiehlt es sich, die Arbeitspakete, die hier zu bilden sind, entsprechend der Fachgebiete aufzustellen. Wie die Grafik 2-4 in Kapitel 2-2 zeigt, lassen sich diese Pakete entsprechend der jeweiligen Disziplinen gestalten oder passend zu den jeweiligen Hauptbaugruppen teilen (die Stückliste ist auch hier wieder das maßgebliche Dokument). Ein Entwickler (Entwicklungsteam), der z.B. im Bereich Konstruktion tätig ist, hat also die Aufgabe, sämtliche Bauteile der Hauptbaugruppen zu konstruieren und sie, mittels geeignetem Datenformat, an die folgende Disziplin weiterzugeben. Die Simulationsabteilung erhält somit die nötigen Daten und kann ihrerseits mit der Entwicklungstätigkeit fortfahren. Die Arbeitspakete können aber auch entsprechend der Hauptbaugruppen aufgeteilt werden. Für den Klimadummy würde sich demnach eine Aufteilung nach Kopf, Torso, Beinen und Armen ergeben und die jeweiligen Entwicklungsteams hätten mit ihrem zugeteilten Bauteil die Disziplinen parallel zu durchlaufen. Diese Art der Paketaufteilung kommt vermehrt in kleineren Firmen zum Einsatz, bei denen es evtl. noch keine getrennten Fachabteilungen gibt.

Ein wichtiger Aspekt im Rahmen dieser Entwicklungstätigkeit ist das Datenmanagement, also das Handling und die Bereitstellung der Daten. Es wird sich im Laufe dieser Phase schnell eine Menge von digitalen Daten ansammeln und die Gefahr ist groß, relativ rasch den Überblick darüber zu verlieren. Denn innerhalb einer Disziplin muss immer an dem jeweils aktuellem Datenstand gearbeitet werden und für den Fall, dass ein Fehler auftaucht, dessen Entstehung weiter zurück liegt, sollte technisch die Möglichkeit bestehen, auf diesen alten Datenstand zurück greifen zu können. Diese "Versionierung" genannte Vorgehensweise kann entweder manuell (durch sinnvolles Benennen der Dateien mit einer laufenden Nummer oder einem Datums-Anhang), oder aber mit Hilfe einer geeigneten Software durchgeführt werden (siehe Kapitel 2-11). Weiters müssen neutrale Datei-Formate (IGES, STEP) definiert werden, die den Austausch zwischen der jeweiligen Software ermöglichen.

Die zwei gängigsten Methoden der Produktentwicklung stellen das "Simultaneous Engineering" und der Prozess des "Frontloading" dar. Die Vorgehensweise beim *Simultaneous Engineering* [7] besteht aus dem Überlappen der normalerweise nacheinander ablaufenden Arbeitsschritte. Sobald ein Arbeitsschritt ausreichend Information und Daten für den folgenden Schritt bereitstellen kann, wird dieser bereits begonnen, unabhängig davon, ob der vorhergehende Prozess vollkommen beendet ist. Diese Methode spart kostbare Entwicklungszeit und bietet die Möglichkeit, etwaige Fehler bereits sehr früh erkennen und somit ausbessern zu können. Grafik 2-32 zeigt den traditionellen Ablauf einer Produktentwicklung, bei der die Schritte der Reihe nach abgearbeitet werden, im Vergleich zu dem Ablauf des *Simultaneous Engineering* (Grafik 2-33).



2-32. Traditioneller Entwicklungsablauf



2-33: Simultaneous Engineering

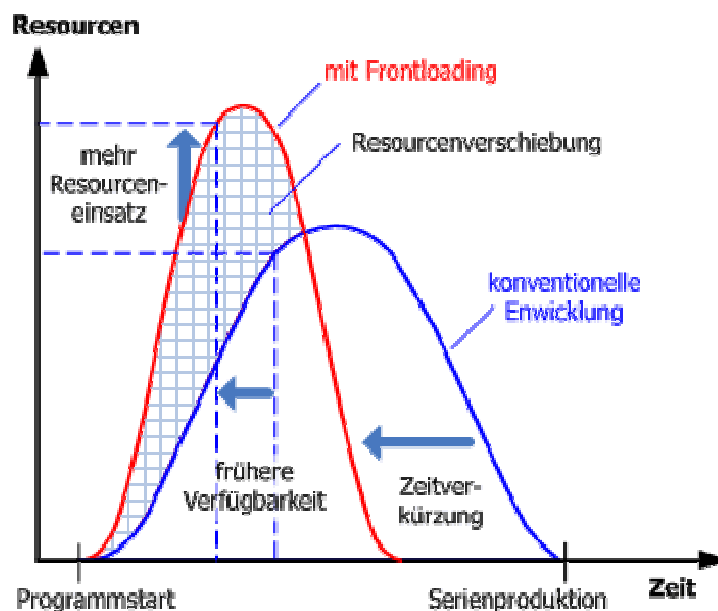
Frontloading, als weitere Methode [2] in der Produktentwicklung, zeichnet sich durch das Vorverlegen von Problemlösungen in eine frühe Phase der Produktentwicklung aus. Als Basis dient die Erkenntnis, daß eine solche frühe Problemlösung sehr viel zeit- und kosteneffizienter ist, als in einer späten Phase der Entwicklung. Ziel ist es, möglichst viel Wissen über das Produkt in einer frühen Phase zu erlangen und gleichzeitig die Entscheidungszeitpunkte möglichst spät in den Prozess zu legen, um den Handlungsspielraum (Reagieren auf Veränderung am Markt bzw. bei Konkurrenzprodukten) zu erweitern. Die Literatur unterscheidet 2 verschiedene Ansätze des *Frontloading*:

- Reaktiver Ansatz: Wissenstransfer von Projekt zu Projekt

Ähnlichkeiten zwischen bereits abgeschlossenen und laufenden Projekte sollen im Sinne des Synergieeffektes genutzt werden, d.h. Lösungen aus vergangenen Projekten sollen in das neue Projekt übernommen werden, um dort das Auftreten von Schwierigkeiten verhindern zu können.

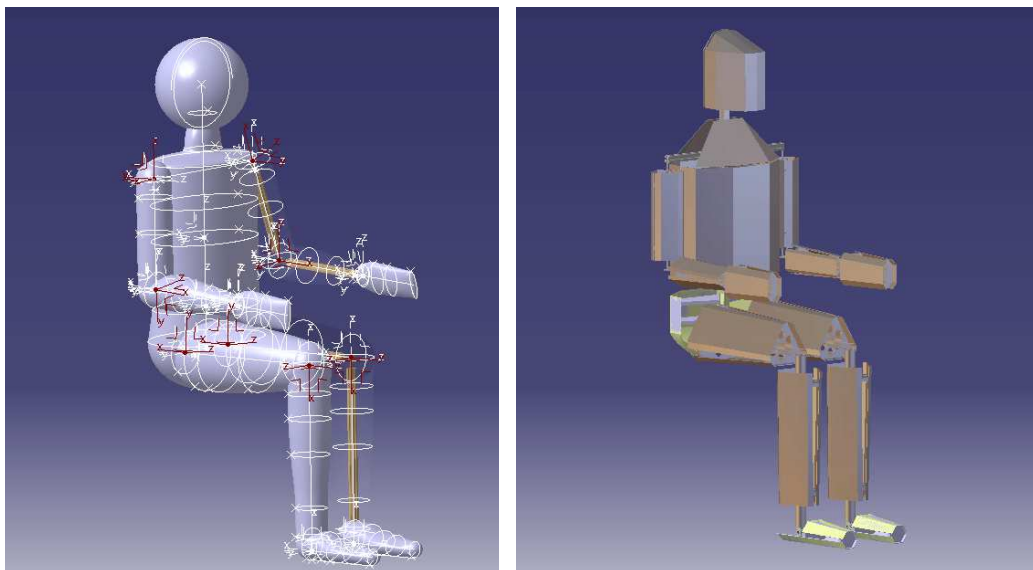
- Präventiver Ansatz zur Problemlösung

Zielt nicht auf eine Problemvermeidung an, sondern speziell auf eine frühe Lösung von Problemen durch Erhöhung von Problemlösungskapazitäten in einer frühen Phase. Die Anzahl der frühen Tests und Versuche soll erhöht und der Testplan so ausgelegt werden, daß Versuche überlappend und, im besten Fall, parallel erfolgen. Damit können in kurzer Zeit Probleme aufgezeigt und einer Lösung zugeführt werden.



2-34: Zeiterparnis beim *Frontloading* [10]

Diese Konstruktions-, Berechnungs- und Simulationsschritte innerhalb der Entwicklungsarbeit verstehen sich als iterativer Vorgang, da davon auszugehen ist, dass ein Durchlauf der Entwicklungskette nicht sofort die richtige, passende Lösung liefert. In der Realität sieht es vielmehr so aus, dass oft ein gewisses Bauteil in mehreren Modifikationen vorliegt und für diese Varianten mehrfache Simulations- und Berechnungsschritte nötig sind. Oder aber es wird die Entwicklungskette durchlaufen und später stellt sich heraus, dass sich gewisse grundlegende Bauteile stark verändert haben, die einen neuen Durchlauf erfordern. Bild 2-35 zeigt das Modell des Klimadummys in einer früheren Form (links), bei dem die Gliedmaßen noch, dem menschlichen Vorbild entsprechend, eine runde Form haben. Im Laufe der Entwicklung hat sich aber die "eckige", mit 3 geraden Blechen versehene, Form als geeigneter herausgestellt, da die flachen Meßstellen somit besser in die Aussenhülle integrierbar sind. Hätte man beispielsweise eine Festigkeitsberechnung der runden Gliedmaßen durchgeführt, wäre nach Änderung der Geometrie ein weiterer Berechnungsdurchlauf nötig.



2-35: Entwicklungsvarianten des Klimadummys

2.11. Versionierung der digitalen Daten

Im Laufe einer Produktentwicklung oder eines anderen Entwicklungsprojektes werden laufend digitale Daten jeglicher Art produziert und abgelegt. Man kann sich vorstellen, dass relativ schnell die "kritische" Datenmenge erreicht ist, bei der man den Überblick verliert.

Diverse Dokument und vor allem CAD-Daten werden ständig aktualisiert und weiterbearbeitet und so kann es vorkommen, dass von ein und derselben Datei mehrere Versionen vorliegen, möglicherweise nicht einmal nachvollziehbar betitelt. Der zuständige Projektmitarbeiter bekommt dabei selbst Schwierigkeiten, die richtigen Dateiversionen zu eruieren und für andere Mitarbeiter, die am selben Projekt arbeiten, ist es schon ein Ding der Unmöglichkeit, sich in der Dateien-Vielfalt zurecht zu finden.

Der erste Schritt, um diese Datenmenge, bestehend aus Dokumenten, Tabellen, CAD-Daten etc., in den Griff zu bekommen, ist die Verwendung einer, wie in Kapitel 2-2 vorgestellten, Ordnerstruktur. Dort werden die Daten dem Zusammenhang nach abgelegt und können so leichter gefunden werden. Die einfachste Art der Versionierung wäre das Durchnummerieren oder das Einfügen eines Datums-Anhangs in den Dateinamen, wie z.B. "Diplomarbeit_01" oder "Diplomarbeit_2012_04_12". Diese Methode mag bei geringen Dateimengen und bei gewissen Dateitypen (Dokumente, Tabellen etc.) vielleicht funktionieren, arbeitet man jedoch mit CAD-Daten, benötigt man eine andere Versionierungs-Strategie. CAD Programme reagieren meist empfindlich auf das Ändern des Dateinamens, stellt er doch das eindeutige Erkennungsmerkmal innerhalb einer Konstruktion dar. Ist in einem Unternehmen bereits eine SAP-Unternehmenssoftware etabliert, so bietet diese mittels diverser Pakete auch ein PDM-System an, das die Verwaltung und Versionierung automatisiert übernimmt. Steht so eine umfangreiche Software-Struktur nicht zur Verfügung, gibt es noch andere Möglichkeiten, die Versionierung der Dateien zu bewerkstelligen. Folgende Funktionen sollte so eine Software realisieren können:

- Versionierung jeglicher Art von digitalen Daten, ohne den Dateinamen selbst zu verändern.
- Die Möglichkeit eine Datei (z.B. bei einer CAD-Konstruktion, ein Bauteil) eindeutig einem Bearbeiter zuzuweisen, damit nicht zugleich auf ein und dieselbe Datei zugegriffen werden kann. Es sollte im Dateimanagementsystem (z.B. über den Windows Explorer) klar ersichtlich sein, welche Datei (welches Bauteil) von wem momentan gesperrt ist, also gerade bearbeitet wird.
- Zur besseren Nachvollziehbarkeit sollte erkennbar sein, wer wann die Veränderung an einer Datei vorgenommen hat (mittels "log-file").
- Stellt sich bei einer aktuellen Dateiversion ein schwerwiegender Fehler heraus, sollte man die Möglichkeit haben, auf einen beliebigen alten Versions-Stand zurückgreifen zu können, um diesen als neue Basis zum Weiterarbeiten zu verwenden.

- Basiert die Versionierungssoftware auf einer Server-Architektur, so bietet sich quasi als Nebeneffekt eine getrennte Sicherung der Dateien an.

Beschäftigt man sich etwas genauer mit dem Thema Versionierung, stößt man im Internet unweigerlich auf diverse Tools, die die oben genannten Funktionen darstellen können. Eine Variante stellt die Software "Subversion" [18] dar. Es ist dies eine open-source Versionierungssoftware, die auf Basis der gängigsten Betriebssysteme (Win32, Unix, OS/2, MacOS) läuft. Die Vorgehensweise ist bei allen diesen Programmen grundsätzlich dieselbe: Es wird eine Art Datenspeicher angelegt (Repository), in dem die laufenden Daten abgelegt und automatisch versioniert werden. Diese Versionierung erfolgt aber nicht durch Änderung des Dateinamens, sondern wird anhand des "Zeitstempels" (siehe Meta-Datei) durchgeführt. Die Übersicht über den Veränderungsverlauf wird durch sogenannte Log-Files sichtbar gemacht, sollte ein Zurückspringen zu einem alten Versions-Stand nötig sein. Da diese Vorgehensweise unabhängig von der Art der Datei ist, lassen sich damit z.B. nicht nur Textdateien laufend ändern, sondern auch CAD-Dateien, die an einem Zusammenbau (Assembly) beteiligt sind. Zur Inbetriebnahme dieser Software sind zwei grundlegende Schritte notwendig: Einerseits die Installation der Software auf dem Server und andererseits das Installieren und Einrichten des GUI (Graphical User Interface) auf den jeweiligen Arbeits- Rechnern. Dieses GUI, also die Benutzeroberfläche, ist ebenfalls als open-source Software erhältlich und für SVN (Subversion) selbst sind inzwischen mehrere Bediener-Programme verfügbar. Vor- und Nachteile dieser open-source Software sind unten angeführt:

Vorteile:	Nachteile:
Kostenlos erhältlich	Software wird ständig ausgebaut, es ist aber bei open-source Projekten nie sicher, wie lange das Produkt gewartet wird
Einfach zu installieren und einzurichten im Vergleich zu komplexen PDM-Systemen	Kein Telefon- oder email- Support zu erwarten

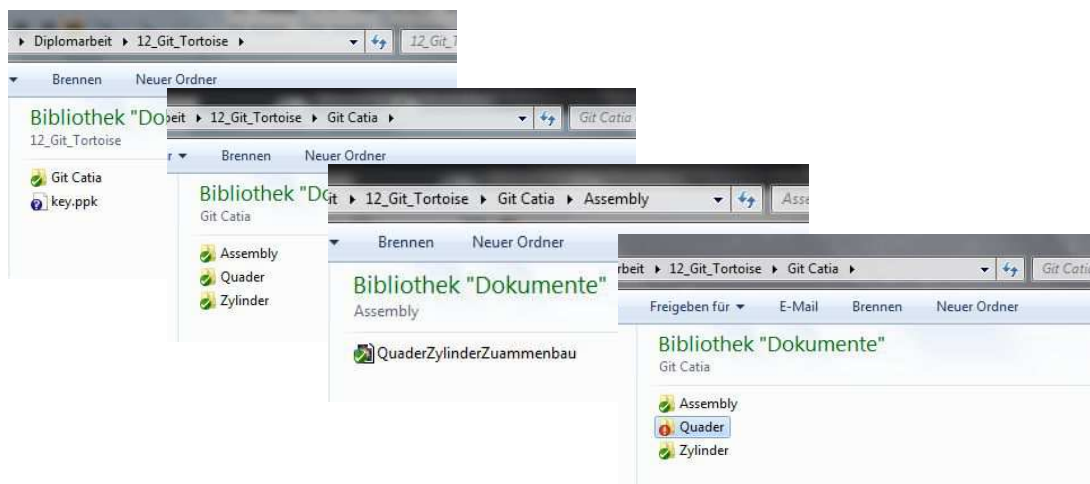
2-36: Vorteile und Nachteile von open-source Software

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden erste Versuche zur Versionierung mit einem Produkt namens "GIT" [6] unternommen. Diese Software bietet in etwa die gleichen Möglichkeiten wie SVN, läuft aber bereits "stand-alone" auf einem Rechner ohne Netzwerkanbindung. Somit ist eine Datenverwaltung auch ohne aufwendige Server-Struktur möglich. Auch für diese open-source Software stehen eine Reihe von Client-Programmen zur Verfügung - in diesem Fall wurde "GIT Gui" ausgewählt, weil es unter anderem eine Bedienung mittels Kontextmenü im Windows Explorer erlaubt.



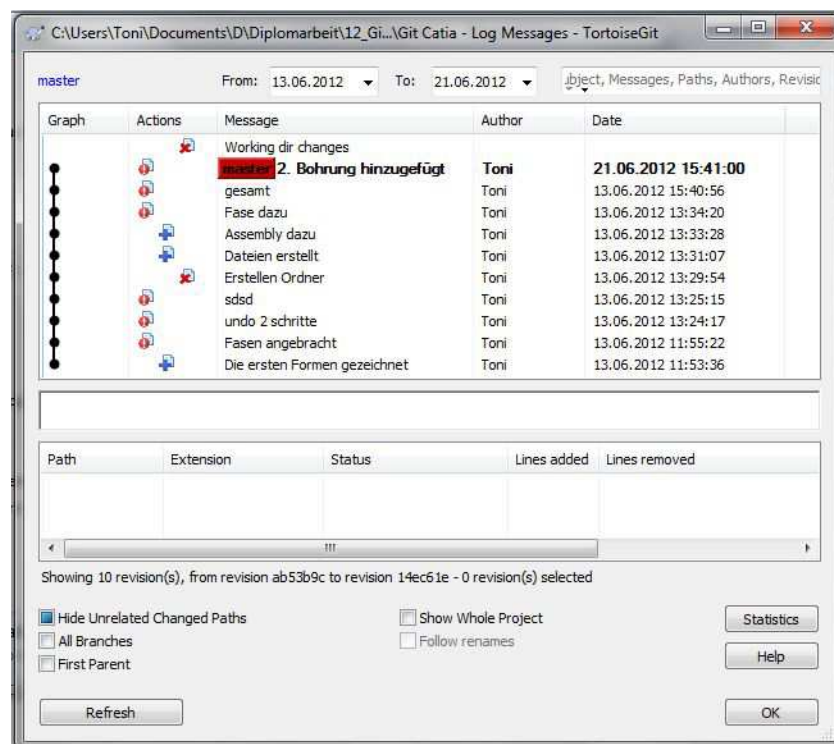
2-37: Screenshot des Startmenüs der Versionierungs-Software "Git" [6]

GIT legt auf dem Rechner lokal eine Art Datenspeicher (siehe "repository") an, über den die Versionierung abläuft. Es wird immer der komplette aktuelle Datenstand abgespeichert und steht jederzeit zur Bearbeitung zu Verfügung. Der Nachteil der kompletten Speicherung, im Gegensatz zur Synchronisation, besteht im raschen Anwachsen der Datenmenge. GIT bietet aber auch mit dem Tool "GitHub" die Möglichkeit zur Auslagerung der Daten auf einen externen Internet-Server, zu dem eine verschlüsselte Verbindung aufgebaut werden kann. Somit lassen sich die Daten auch von anderen Projektmitarbeitern abrufen, die nicht am selben Firmenstandort arbeiten.



2-38: Bedienung von "Git" über Windows Explorer

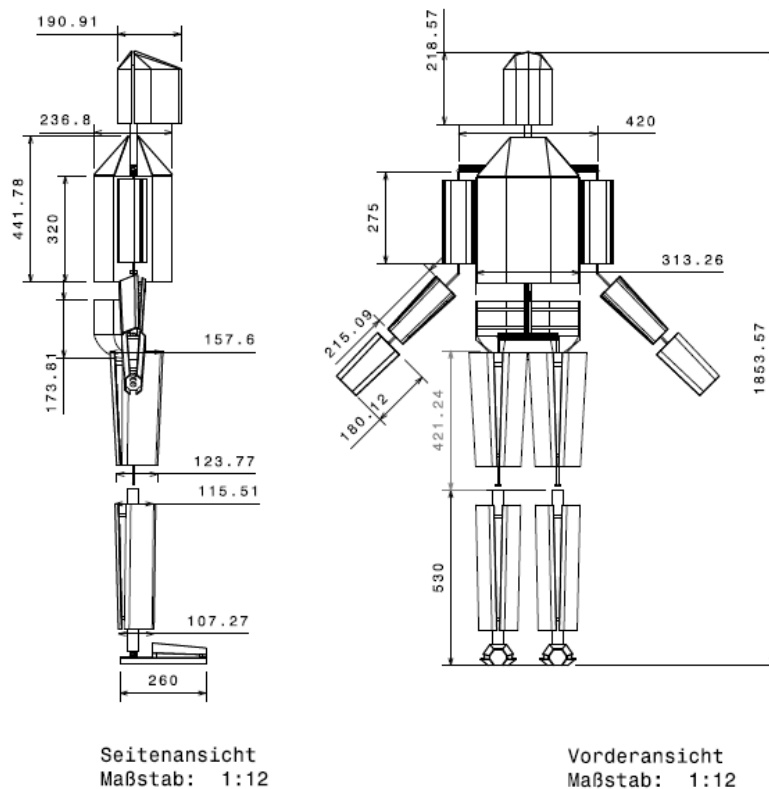
Wie vorher erwähnt, integriert sich GIT in den Windows Explorer und fügt neue Symbole für die betroffenen Dateien ein. Bild 2-38 zeigt einen einfachen Aufbau eines Assemblies mit zwei Bauteilen. Der grüne Haken (Bild 2-38) symbolisiert, dass die betreffende Datei auf dem neuesten Stand ist, während ein rotes Rufzeichen eine kürzlich geänderte, noch nicht ins repository aktualisierte Datei kennzeichnet. Über das Kontextmenü (rechte Maustaste) des Arbeitsverzeichnisses lässt sich das "log-file" öffnen, in dem der Verlauf der Veränderungen, die diese Datei erfahren hat, dargestellt ist (Bild 2-39).



2-39: Ansicht des log-files der Versionierung

Diese Art der Versionierung lebt davon, dass man beim Aktualisieren, sprich beim Ablegen in das "repository", die getätigten Schritte stichwortartig beschreibt, weil diese Kommentare dann im Verlauf sichtbar sind und somit zur Rückverfolgung dienen. An oberster Stelle ist rot hervorgehoben der neueste Stand bzw. der letzte Schritt dargestellt ("2. Bohrung hinzugefügt") und es ist jederzeit möglich, einen alten Stand als neuen "Master" zu definieren und diesen als neuen Ausgangspunkt für weitere Schritte zu verwenden.

2.12. Überblick über den Klimadummy



2-40: Hauptabmessungen des Klimadummys

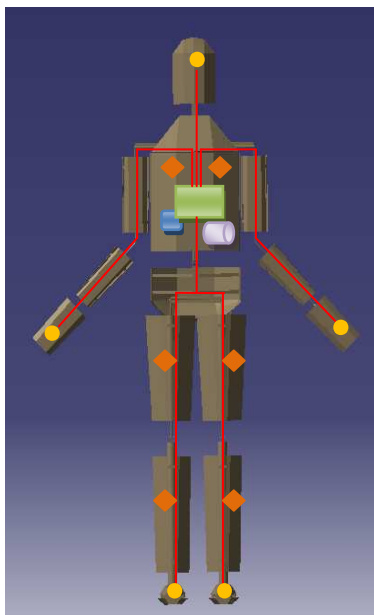
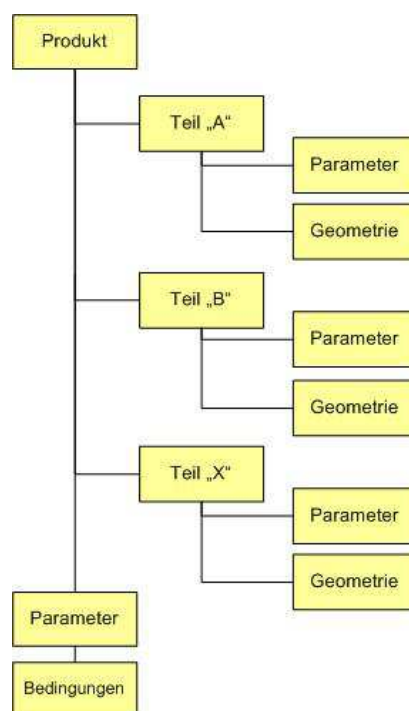


Bild 2-40 zeigt die Hauptabmessungen des Klimadummys und in Bild 2-41 sind die Hauptkomponenten dargestellt. Das grüne Rechteck im Torso des Dummys stellt die zentrale Meß- und Auswerteelektronik dar, zur der die gesammelten Kabelstränge aus den jeweiligen Gliedmaßen (rote Linien) geführt werden. Die gelben Punkte stehen stellvertretend für die, über den gesamten Körper, verteilten Meßstellen. Das blaue Rechteck veranschaulicht die Position eines PTC-Zuheizers. Wird die Heizfunktion, die über die Wärmeleistung der Peltierelemente hinausgeht, mittels Heizlack realisiert, so wären die lackierten Flächen entsprechend der orangen Symbole verteilt. Der Akku (violett) ist ebenfalls im Torso verbaut.

2-41: Hauptkomponenten des Dummys

2.13. CAD Modell (Konstruktionsmethodik)

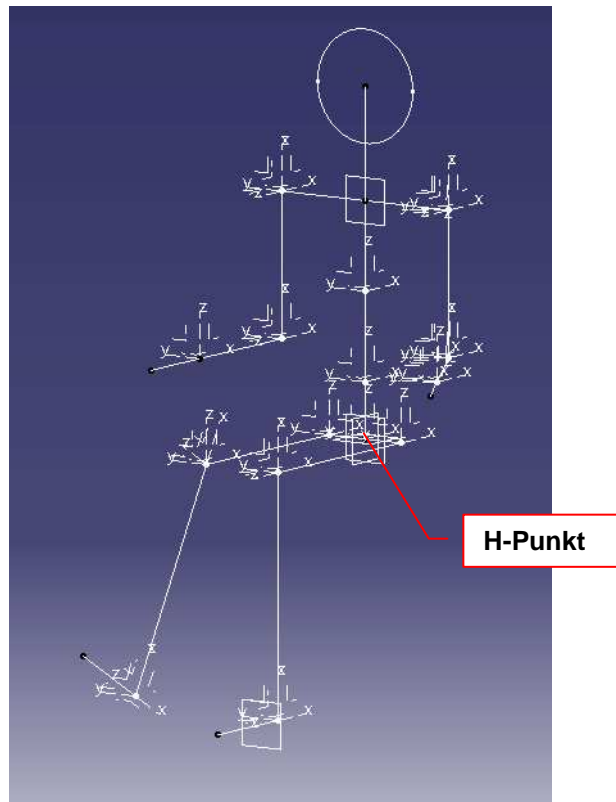
In diesem Kapitel werden einige ausgewählte Vorgehensweisen der CAD Konstruktion des Klimadummys näher beschreiben, da sie einen guten Einblick in das Entstehen und die Struktur des digitalen Modells bieten. Konstruiert wurde das Modell des Dummys mittels der CAD-Software CATIA V5 R19 [3]. Dieses Klimadummy-Modell wurde unter Ausnutzung der parametrisch-assoziativen Fähigkeiten der CAD Software aufgebaut, was eine einfache Dimensionsänderungen der Gliedmaßen genauso erlaubt, wie deren Winkeländerung an den jeweiligen Gelenken. Es empfiehlt sich, der besseren Übersicht wegen, alle CAD-Modelle entsprechend der unten stehenden Baum-Struktur (Grafik 2-42) aufzubauen. An der Spitze steht das Produkt (im "Assembly-Design" zusammengestellt), das wiederum aus den verschiedenen Bauteile (Parts) besteht. Der Klimadummy selbst setzt sich aus folgenden Bauteilen, entsprechend der menschlichen Physiognomie zusammen: Kopf, Torso, Hüfte, Oberarm links und rechts, Unterarm links und rechts, Hand links und rechts, Oberschenkel links und rechts, Unterschenkel links und rechts, Fuß links und rechts. Die einzelnen Bauteile wiederum bestehen aus ihrer Geometrie und einem Parameter-Set, über dies die Längenänderung bzw. Winkeländerung der Gliedmaßen zu steuern ist. Die folgenden Unterkapitel beschreiben die Schlüsselstellen der CAD-Modellerstellung des Dummys und sollen als eine Art Nachschlagewerk für nachfolgende ähnliche Konstruktionen dienen.



2-42: Struktureller Aufbau des CAD-Modells

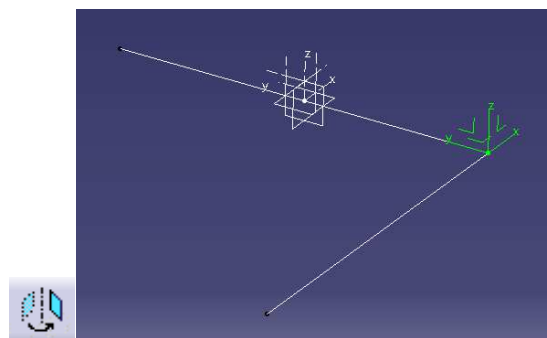
2.13.1. Drahtmodell als Grundlage

In den meisten Fällen ist es sinnvoll, den Aufbau des Modells mit einer Skelettgeometrie (Drahtmodell) zu beginnen. Erstens bietet sie einen guten Überblick über die geometrischen Abmessungen und zweitens erleichtert es die Arbeit, wenn mehrere Konstrukteure zugleich am selben Modell arbeiten, da gewisse "Eckpunkte", deren Lage sich nicht mehr ändern, als Referenzpunkte dienen können. Im Falle von Menschen-Modellen wird in der Fahrzeugindustrie als Referenzpunkt häufig der "H-Punkt" (hip-point, Grafik 2-43) herangezogen. Er befindet sich in der Mitte einer gedachten waagrecht Linie zwischen den beiden Hüftgelenken und bildet quasi den Drehpunkt zwischen Oberschenkel und Torso. Mit Hilfe dieses genormten Punktes lässt das Dummy-Modell sehr einfach in anderen Geometrien (z.B. einer virtuellen Fahrzeugkabine) platzieren.



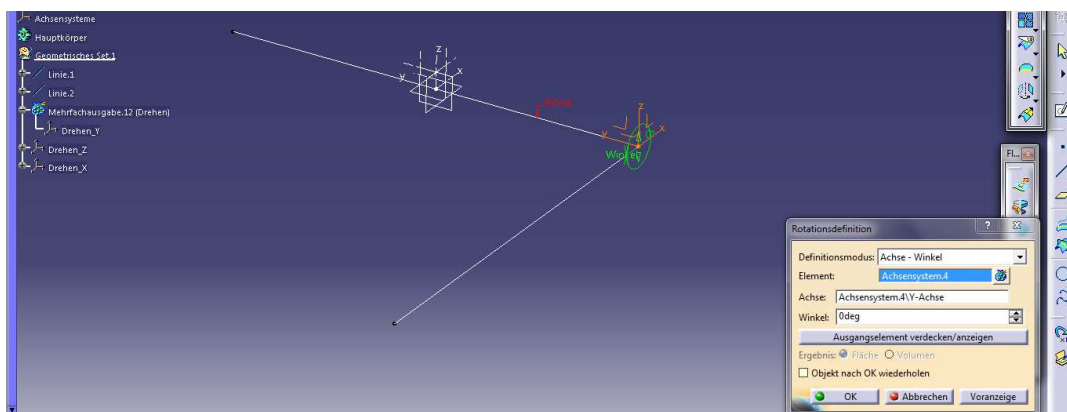
2-43: Drahtmodell mit H-Punkt

Das Koordinatensystem orientiert sich an der DIN 70000, so dass die x-Achse gegen die Fahrtrichtung zeigt, die y-Achse auf die rechte Seite und die z-Achse nach oben weist. Im Folgenden wird das Erstellen der Drahtgeometrie eines Körperteils gezeigt, welche mit den Funktionen "Drehen" und "Verschieben" realisiert wurde. Diese beiden Funktionen sind deswegen gewählt worden, weil sie die Möglichkeit einer späteren Parametrisierung zwecks Änderung der Winkel in den Gelenken der Gliedmaßen erlauben. Ausgehend von einer Geraden, die den Schultergürtel darstellt, wird am einen Ende dieser Linie ein Koordinatensystem eingefügt, welches für das Schultergelenk steht. Es folgt eine weitere Gerade (Punkt-Richtung), ausgehend vom Koordinatenursprung des grünen Systems in Richtung der x-Achse.

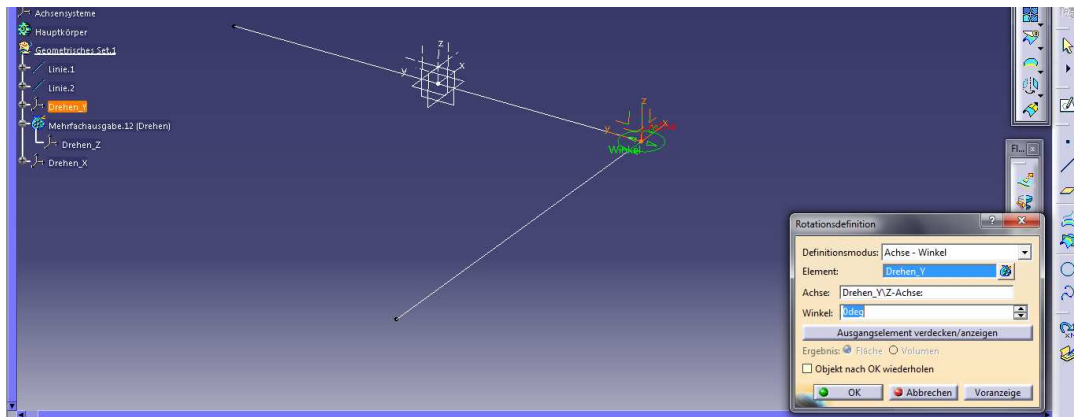


2-44: Aufbau des Drahtmodells

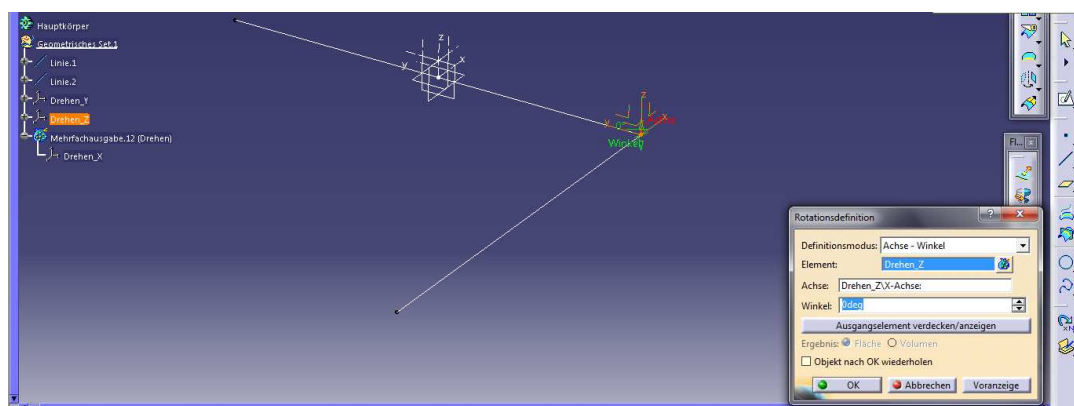
Mit der Funktion "Drehen" werden der Reihe nach die drei Drehungen des grünen Achsensystems erzeugt. Die erste Drehung (drehen um die y-Achse, "Drehen_Y") bezieht sich auf die y-Achse des grünen Koordinatensystems, die zweite Drehung (drehen um die z-Achse, "Drehen_Z") bezieht sich auf die erzeugte Funktion "Drehen_Y" und die letzte Drehung (drehen um die x-Achse, "Drehen_X") bezieht sich auf die vorhergehende Drehung "Drehen_Z". So entstehen insgesamt 3 Drehungen, die jeweils auf einander aufbauen, was es erlaubt, die Gliedmaße in eine Richtung zu drehen, um dann von dort ausgehend, eine weitere Drehung zu realisieren.



2-45: Erstellen der Achsendrehung, Teil 1



2-46: Erstellen der Achsendrehung, Teil 2



2-47: Erstellen der Achsendrehung, Teil 3

Jetzt ist es gewährleistet, dass jede Drehung von der vorhergehenden abhängig ist. Als nächstes wird die Richtungsdefinition der Geraden des Oberarmes von der x-Achse des grünen Koordinatensystems auf die Richtung "Drehen_X/X-Achse" geändert, damit sie sich bei den jeweiligen Winkeländerungen auch wirklich mit dreht. Mit der Konstruktion des Ellbogens geht man analog vor, mit dem Unterschied, dass zusätzlich mit der Funktion "Verschieben"



die letzte Drehung (Drehen_X) auf das Ende der Linie, also zum Ellbogen, verschoben wird und somit als neuer Ausgangspunkt für die folgenden Drehungen des Ellbogens dient. Die Drehungen in den Gelenken entsprechen den Freiheitsgraden des menschlichen Körpers. Auf die Drehung der Finger und der Zehen kann bei diesem Modell verzichtet werden, da diese Funktion nicht gefordert ist. Sehr wichtig hingegen ist die Darstellung der Drehung der Wirbelsäule in x-Richtung auf Höhe eines Lendenwirbels (entspricht dem "Vorbeugen"), da kein am Markt befindlicher Klimadummy diese Bewegung ausführen kann (siehe Marktstudie Kapitel 2-4).

Gelenk	Freiheitsgrad "f"	entsprechende Bewegung
Hals	2	Drehen, Nicken
Lendenwirbel	1	Beugen
Schulter	3	Einwärts/Auswärtsdrehen Vorwärts/Rückwärtsschieben Abspreizen/Herandrehen
Ellbogen	2	Drehen, Beugen
Hand	2	Drehen, Beugen
Hüfte	3	Beugen, Einwärts/Auswärtsdrehen Abspreizen/Herandrehen
Knie	2	Drehen, Beugen
Knöchel	2	Drehen, seitlich Kippen

2-48: Freiheitsgrade der Gelenke

2.13.2. Zuweisen von Parametern

Das verwendete CAD-System Catia V5 [3] bietet die Möglichkeit, Abmessungen und Winkel mit Parametern zu versehen. Das bringt den Vorteil, dass man, wenn man z.B. die Länge eines Bauteiles verändern will, nicht immer im Skizziermodus die Bemaßung ändern muß, sondern bequem mittels eines Parametersets die gewünschte Länge ändern kann. Das funktioniert natürlich auch mit Winkel-Bemaßungen, was sich besonders beim Modell des Klimadummys anbietet, da der Dummy so relativ einfach in die gewünschte Haltung gebracht werden kann. Folgende Schritte sind dafür abzuarbeiten:

Unter dem Start-Button findet sich beim Punkt "Knowledgware" der Menüpunkt "Knowledge-Advisor". Durch drücken des Buttons "Parameterset hinzufügen"



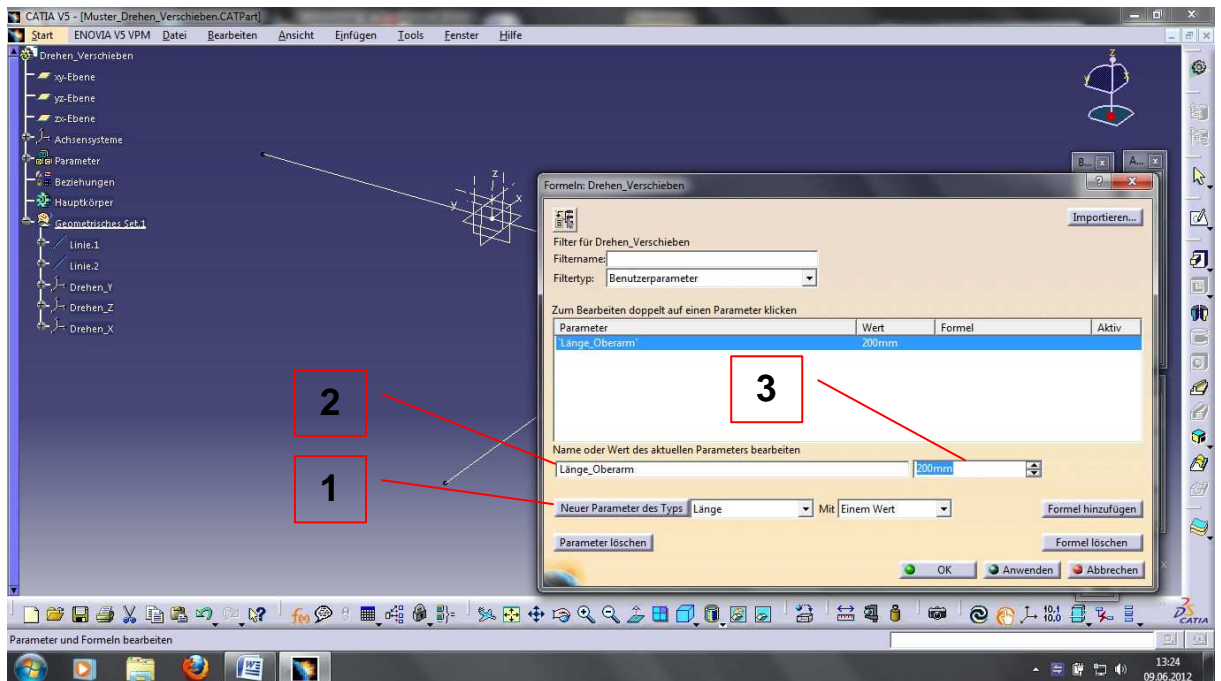
2-49: Parametrisierung CATIA

wird automatisch in der Baumstruktur ein Parameterset eingegliedert. Wechselt man wieder zurück in das Part Design, hat man nun die Möglichkeit, eine Bemaßung mit einem Parameter zu verknüpfen. Mit drücken des Buttons "Formel"



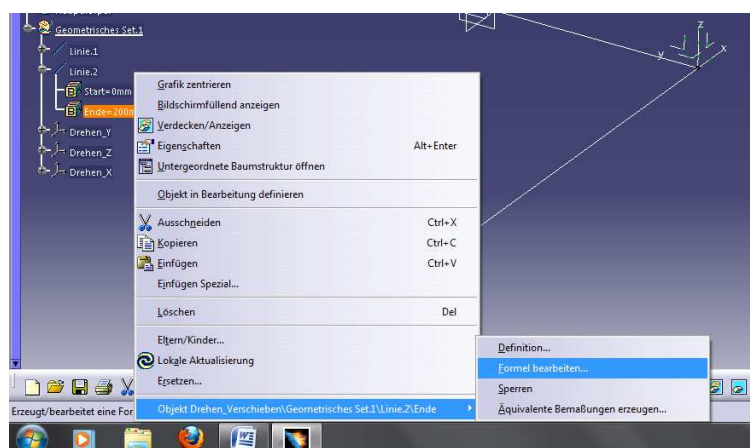
2-50: Verknüpfung eines Parameters

öffnet sich nun folgendes Auswahlfeld (2-51). Zuerst wird (1) ein neuer Parameter des Typs "Länge" eingefügt. Hier besteht auch die Möglichkeit, einen Parameter des Typs "Winkel" auszuwählen. Der neue Parameter kann nun (2) beschriftet werden, wie in diesem Fall mit "Länge_Oberarm". Und unter Punkt (3) kann eine Anfangslänge definiert werden, die der Parameter nach Bestätigen dieses Auswahlfensters gleich ausführen soll.



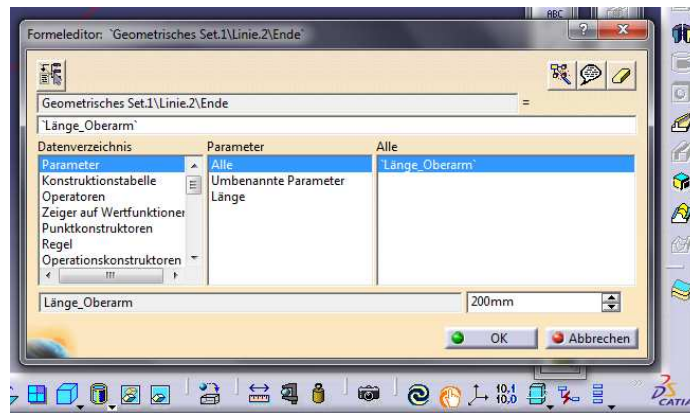
2-51: Erstellen eines Parameters mit seiner Verknüpfung

Im Strukturbaum findet man nun unter dem Punkt "Parameter" den eigenen Parameter, entsprechend der durchgeführten Benennung. Jetzt muß nur noch die zugehörige Längenbemaßung dem erstellten Parameter zugewiesen werden. Dies geschieht mit der Auswahl der "Linie" im Strukturbaum, die rechte Maustaste öffnet das Kontextmenü und unter "Formel bearbeiten"



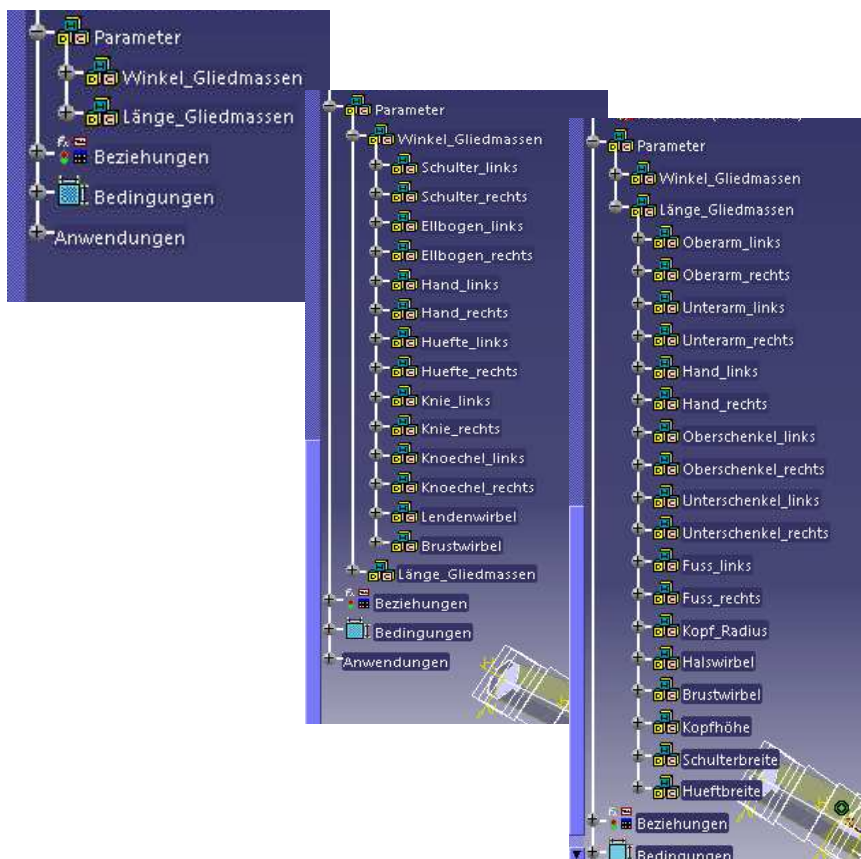
2-52: Zuweisen eines Parameters, Teil 1

kann man nun das Ende der Linie dem Parameter "Länge_Oberarm" zuweisen. Ab sofort hat man die Möglichkeit, die Länge des Oberarms durch einen Doppelklick auf den zugehörigen Parameter zu verändern.



2-53: Zuweisen eines Parameters, Teil 2

Da sich im Laufe der Konstruktion eine große Anzahl von Parametern ergeben wird, kann man diese im "Assembly-Design" zusammenfassen, wie auf unten stehendem Bild 2.54 ersichtlich.

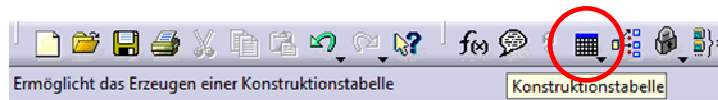


2-54: Zusammenfassung der Parameter in Sets

2.13.3. Erzeugen einer Konstruktionstabelle

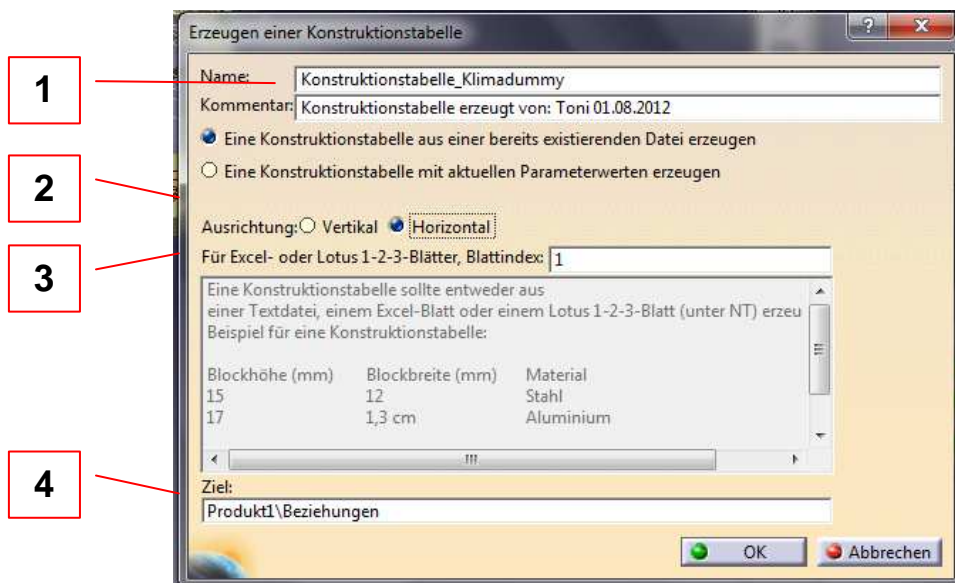
CATIA [3] bietet mit dem Erstellen einer "Konstruktionstabelle" eine Möglichkeit, wie man die Parameter extern steuern kann. Mit dieser Funktion wird eine Microsoft Excel-Tabelle erzeugt, welche alle bis dato erstellen Parameter und ihre jeweiligen Werte enthält. Das bringt den Vorteil, daß die Steuerung des Modells von einer übersichtlichen Tabelle aus gehandhabt werden kann. Die gewünschten Parameter werden in der Excel-Datei geändert und eine Aktualisierung in CATIA führt die getätigten Änderungen dann auf einen Mausklick gesammelt aus.

Mit dem Button "Konstruktionstabelle"



2-55: Einfügen einer Konstruktionstabelle

gelangt man zu folgendem Auswahlfenster. Die Tabelle kann mit einem Namen (1) versehen werden (hier "Konstruktionstabelle_Klimadummy") und weiters muß die Funktion (2) "Eine Konstruktionstabelle mit aktuellen Parameterwerten erzeugen" ausgewählt werden. Die Aufzählung der Parameter in der Excel-Tabelle kann wahlweise vertikal oder horizontal aufgestellt werden. Unter dem Punkt (4) "Ziel" kann explizit der Ort im Strukturbaum bestimmt werden, an dem die Konstruktionstabelle eingefügt werden soll.



2-56: Erzeugen einer Konstruktionstabelle

Nach Bestätigen mit "Ok" erscheint ein weiteres Auswahlfenster, durch das man noch die Möglichkeit hat, eine Auswahl zu treffen, welche von den bestehenden Parametern man in die Tabelle übernehmen will. Hat man eine Auswahl getroffen, kann man nun die Excel-Tabelle abspeichern. Die Tabelle (Grafik 2-57) wird nun erzeugt und der entsprechende Eintrag im Strukturbaum angezeigt.

	A	B
1	'Dummy\Lendenwirbel\Drehen Lendenwirbel y\Winkel` (deg)	0
2	'Dummy\Brustwirbel\Drehen Brustwirbel y\Winkel` (deg)	0
3	Dummy\Schulter_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90
4	Dummy\Schulter_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
5	Dummy\Schulter_links\Drehen_X\Winkel (deg)	30
6	Dummy\Ellbogen_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	90

2-57: Konstruktionstabelle in Excel

Die Werte der so erzeugten Konstruktionstabelle können nun entweder durch "Doppelclick" auf das entsprechende Symbol im Strukturbaum oder durch externes Öffnen der Excel-Tabelle und anschließendem Aktualisieren geändert werden.

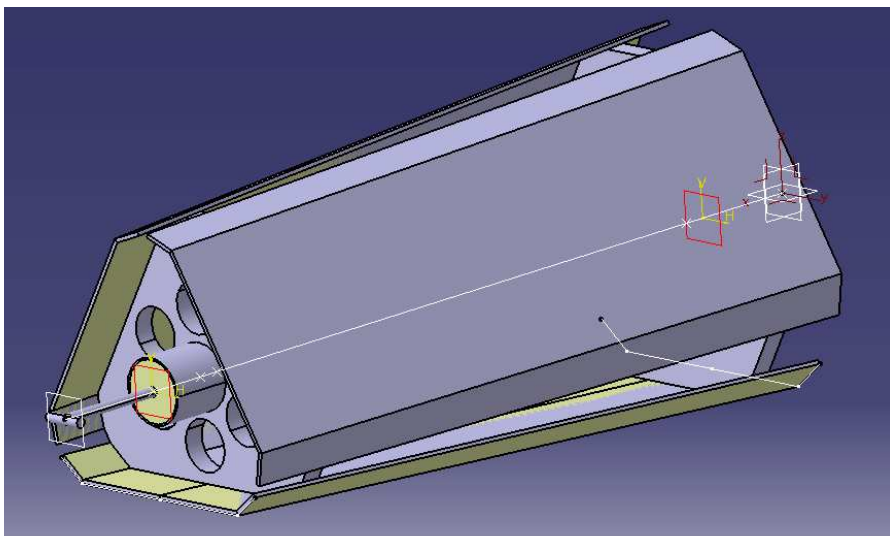
Da das Modell des Klimadummys hauptsächlich in einer sitzenden Position zum Einsatz kommt, wird diese als "Grundhaltung" bezeichnet und die dazu gehörenden Werte der Winkel-Parameter finden sich in folgender Tabelle (hier nur ein Auszug - die Konstruktionstabelle für eine weitere Haltung ist im Anhang zu finden, Seite IX, Punkt 5.9):

'Dummy\Lendenwirbel\Drehen Lendenwirbel y\Winkel` (deg)	0
'Dummy\Brustwirbel\Drehen Brustwirbel y\Winkel` (deg)	0
Dummy\Schulter_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90
Dummy\Schulter_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Schulter_links\Drehen_X\Winkel (deg)	30
Dummy\Ellbogen_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	90
Dummy\Ellbogen_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Ellbogen_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0
Dummy\Hand_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	0
Dummy\Hand_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Hand_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0
Dummy\Huefte_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	0
Dummy\Huefte_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Huefte_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0
Dummy\Knie_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90
Dummy\Knie_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Knie_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0
Dummy\Knoechel_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	90
Dummy\Knoechel_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Knoechel_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0
Dummy\Schulter_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90
Dummy\Schulter_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0
Dummy\Schulter_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	0
Dummy\Ellbogen_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	90
Dummy\Ellbogen_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0

2-58: Excel Tabelle mit der Parameterliste

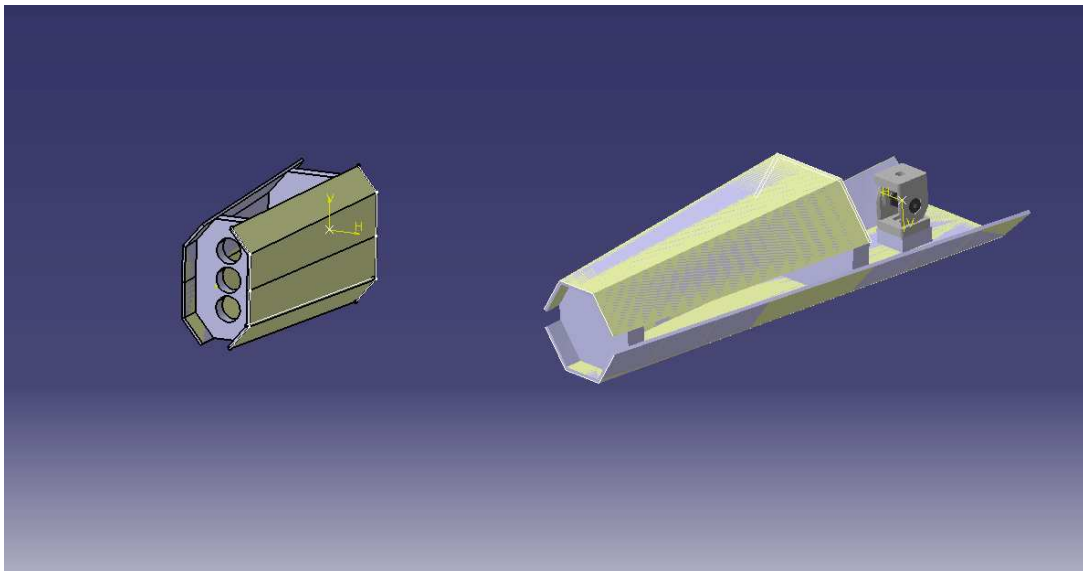
2.13.4. Spantenkonstruktion einer Gliedmaße

Nachdem die Drahtgeometrie als Grundgerüst erstellt wurde, folgt im nächsten Schritt die Konstruktion der einzelnen Körperteile. Die Gliedmaßen sind alle nach dem gleichen Prinzip aufgebaut: Den "Knochen" bildet ein Metallrohr, an dessen Ende jeweils ein Gelenk angebracht ist. Dieses Rohr dient als tragende Konstruktion und bietet in seinem Inneren Platz, um die Kabelstränge führen zu können. Die Außenhaut besteht aus jeweils 3 gleichmäßig über den Umfang verteilten Blechprofilen, die mittels Spanten mit dem Rohr verbunden werden. Diese Blechprofile laufen, bis auf den parallel gestalteten Oberarm, konisch in Richtung Ende der Gliedmaße zusammen, was der Kontur der menschlichen Körperteile entspricht. Die Spanten sind zwecks Gewichtsreduzierung mit mehreren Bohrungen versehen. Vom Drehpunkt des Gelenks nach innen hin ist jeweils eine parallele Ebene mittels Offset erzeugt worden (hier in rot dargestellt). Innerhalb dieser 2 Ebenen erstreckt sich die Blech-Hülle. Wird nun mittels Parameter-Steuerung die Länge der Gliedmaße verändert, so bleibt der Abstand zwischen dem jeweiligen Gelenk-Mittelpunkt und dem Anfang der Aussenhaut immer konstant und nur die Länge der Bleche ändert sich. Auch bei den Gliedmaßen wird, wie beim Drahtmodell schon gezeigt, mittels Parameter-Set die Länge gesteuert, die sich von Gelenkmittelpunkt zu Gelenkmittelpunkt erstreckt.



2-59: CATIA-Modell des Unterarms

Um eine Schätzung des Gewichtes für die Stückliste zu ermöglichen, wird den Bauteilen in CATIA [3] ein Material zugewiesen. Die Außenhaut sowie das Rohr besteht aus Aluminium, wobei die Spanten für den Prototypen aus Holz hergestellt werden. Füße und Hände werden grundsätzlich entsprechend den anderen Körperteile konstruiert, nur entfällt das Rohr als tragendes Teil, da diese Körperteile relativ klein ausfallen und somit keine tragende Konstruktion benötigen. Bild 2-60 zeigt links eine Hand und rechts einen Fuß.



2-60: CATIA-Modell von einer Hand und einem Fuss

Die beiden Torso-Teile (Brustkorb und Gesäß) und der Kopf werden ebenfalls mittels einer Spanten-Konstruktion aufgebaut. Hier ist jedoch an gewissen Stellen ein Verschweißen der Aussenbleche nötig. Die Funktion des Rückgrats und der Schulter des Dummys übernimmt ein Aluminium-Profil (Firma ITEM [8], 20x20mm). Die CAD Daten zu den ITEM Profilen und anderen Bauteilen, z.B. Gelenken, sind über deren Website für diverse CAD Formate kostenlos herunterladbar.



2-61: CATIA Manikin überblendet mit Klimadummy-Modell

CATIA bietet unter den Menüpunkten "Arbeitswissenschaften" und "Human Builder" eine Workbench, mit der man vorgefertigte Manikins in diversen Positionen und Haltung erzeugen kann. Weiters bietet sich die Auswahlmöglichkeit zwischen Geschlecht, relativer Körpergröße und ethnischer Herkunft. So ein Manikin als "95% Mann" (bedeutet, dass 95 aller Männer kleiner sind) wurde als Vorlage in das Assembly integriert und diente bei der Festlegung der Geometrie der Körperteile des Klimadummys als eine Art Schablone. Das CATIA-Manikin wurde ebenfalls mittels H-Punkt platziert. Bild 2-61 zeigt den Klimadummy übereinandergelegt mit dem transparent dargestellten CATIA-Manikin. Man sieht, dass die Gesamtkontur und die Proportionen der Gliedmaßen in etwa übereinstimmen.

Sind alle Körperteile fertig konstruiert, werden sie im Assembly-Design mittels Beziehungen an das Drahtmodell gehängt. Die folgenden drei Beziehungen müssen pro Gliedmaße gesetzt werden, damit gewährleistet ist, dass sie einer Drehung eines Körperteiles des Drahtmodells auch folgen:

Beziehung	Drahtmodell	Körperteil
ident	Koordinatenursprung im Gelenk	Drehpunkt Gelenk
ident	Linie, die für Gliedmaße steht	Mittelachse der Gliedmaße
parallel	ZX-Ebene/Drehen_X	Entsprechende Ebene aus Koordinatensystem Drehpunkt Gelenk

2-62: Für CATIA Assembly gesetzte Beziehungen

2.13.5. Aktualisieren mittels automatisierter Routinen

Im Laufe der Konstruktion dieses CAD-Modells mit CATIA [3] wurde immer wieder auf verschiedenen Versionen der Software gearbeitet, was grundsätzlich kein Problem darstellt, da die Versionen abwärtskompatibel sind. Jedoch sind vermehrt Schwierigkeiten beim Aktualisieren aufgetreten. Nachdem einer oder mehrere Parameter geändert wurden, um den Dummy beispielsweise in eine andere Position zu bringen, sollte sich das Modell nach Drücken des "Aktualisieren-Buttons" den Vorgaben entsprechend anpassen. Dies ist leider nicht immer der Fall gewesen, was ein Ändern der Parameter recht aufwendig machte, da alle Beziehungen händisch aktualisiert werden mussten. Abhilfe schafft ein einfaches Makro-Programm, dessen Ausführung die Aktualisierung aller Beziehungen in einem Schritt ermöglicht. Grafik 2-63 zeigt den Inhalt des Makros.

```
Sub CATMain()
    On Error Resume Next
    Err.Clear

    Dim MyProduct As Product
    Set MyProduct =
CATIA.ActiveDocument.Product

    Dim MyProductConnections As
Constraints
    Set MyProductConnections =
MyProduct.Connections("CATIAConstraints")

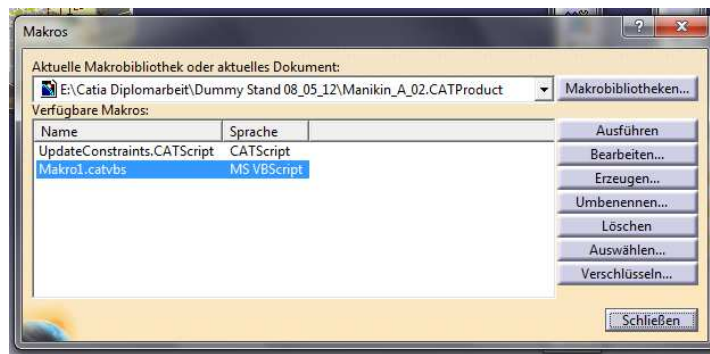
    Dim iConnection As Constraint
    Dim use1 As Selection
    Set use1 =
CATIA.ActiveDocument.Selection
    use1.Clear

    MyProduct.Aktualisieren

    For Each iConnection In
MyProductConnections
        use1.Add iConnection
    Next
    CATIA.StartCommand "Aktualisieren"
End Sub
```

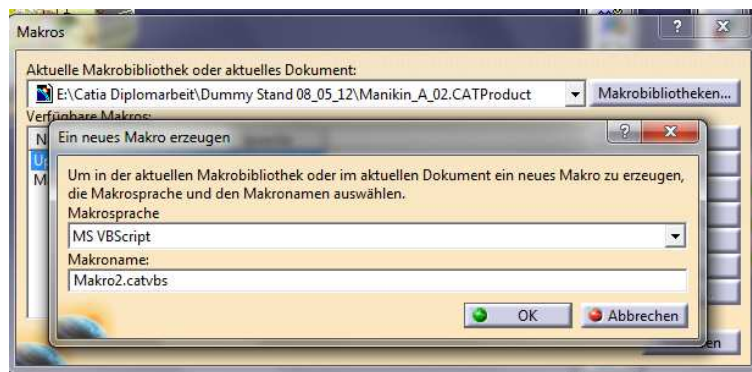
2-63: CATIA Makro zum Aktualisieren

Um ein Makro in CATIA [3] erstellen zu können, muß man über die Menüzeile (Tools → Makro → Makros) das Makro- Auswahlfenster öffnen (Bild 2-64). Dort hat man die Möglichkeit, Makros zu verwalten (Erzeugen, Bearbeiten, Ausführen, Umbenennen, etc.).



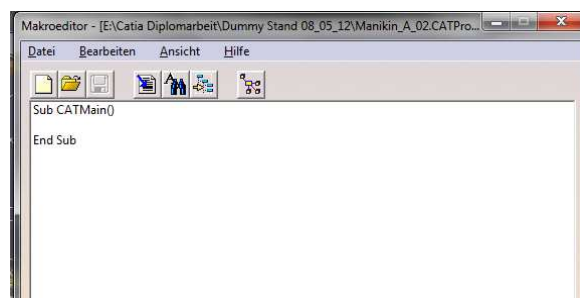
2-64: Makro-Auswahlfenster in CATIA [3]

Durch Klicken des Buttons "Erzeugen..." gelangt man zu einem weiteren Menü (Bild 2-65), bei dem man nun die Möglichkeit hat, ein neues Makro zu generieren (wahlweise in der Programmiersprache MS Visual Basic Script oder mit Hilfe der CATIA [3] eigenen Sprache "CATScript". Das in dieser Arbeit angeführte Makro wurde für CATScript verfasst.



2-65: Erstellen eines Makros in CATIA [3]

Nachdem die Programmiersprache ausgewählt und dem Makro ein Namen zugeteilt wurde, erscheint es in der in Bild 2-60 gezeigten Liste. Mit Klicken auf die Funktion "Bearbeiten" öffnet sich der Editor (Bild 2-66), in dem der Makrotext eingegeben werden kann. Jedes Makro, das in CATScript verfasst wird, muß mit dem Text "Sub CATMain()" beginnen und mit der Ziele "End sub" aufhören - dazwischen wird der Programmcode eingefügt. Zum Ausführen des Makros wählt man im Menü (siehe Bild 2-64) den Button "Ausführen".



2-66: Makroeditor CATIA [3]

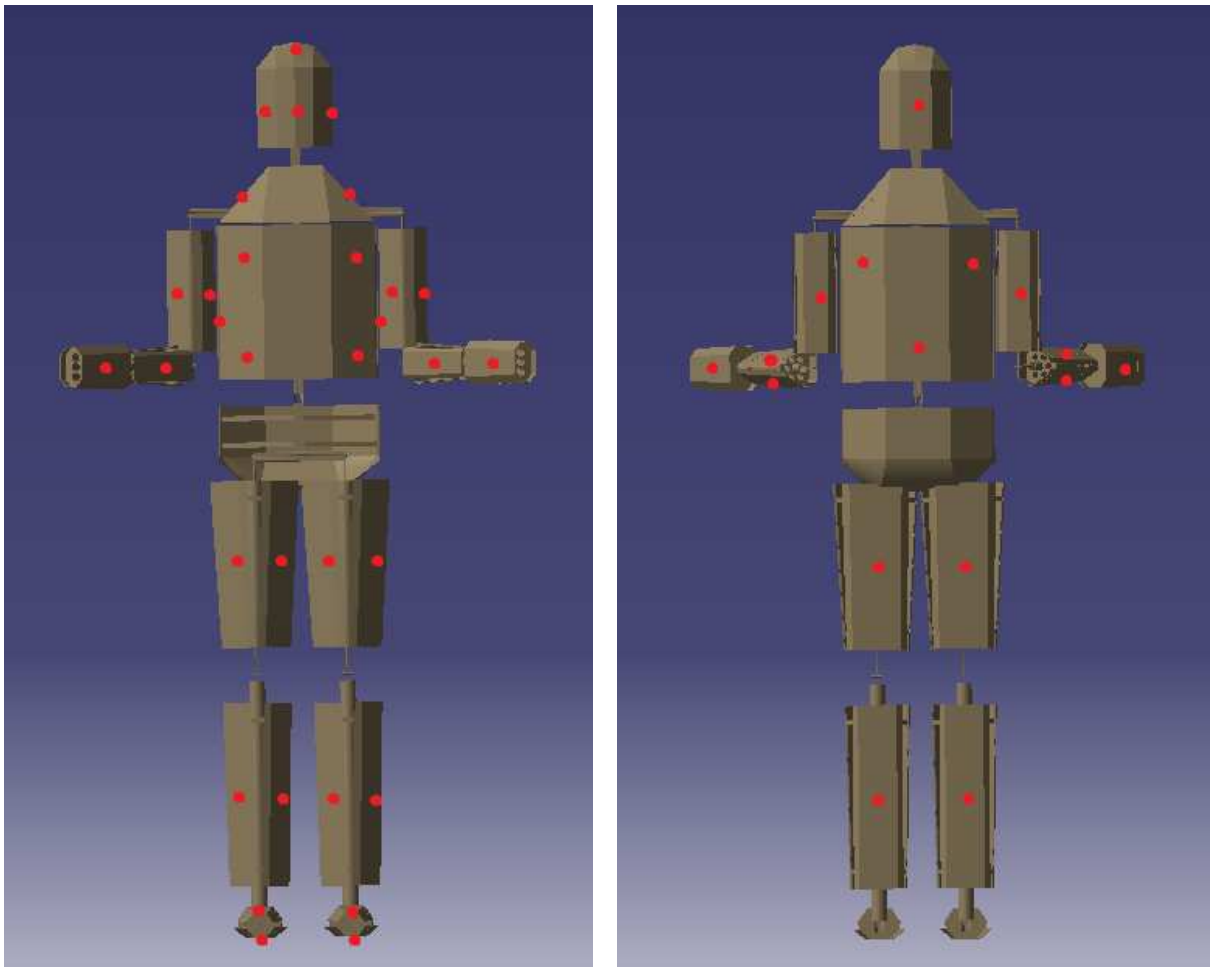
2.14. Die Meßstellen

Die Kernelemente, um die Eingangsgrößen zur Bestimmung des thermischen Komforts ermitteln zu können, stellen 48 Meßstellen dar. Sie sind wie folgt über den ganzen Körper des Dummy verteilt:

Bereich	Kopf	Torso	Oberarm	Unterarm	Hand	Oberschenkel	Unterschenkel	Fuß
Anzahl	5	11	6	6	4	6	6	4

2-67: Übersichtsliste über die Meßstellenverteilung

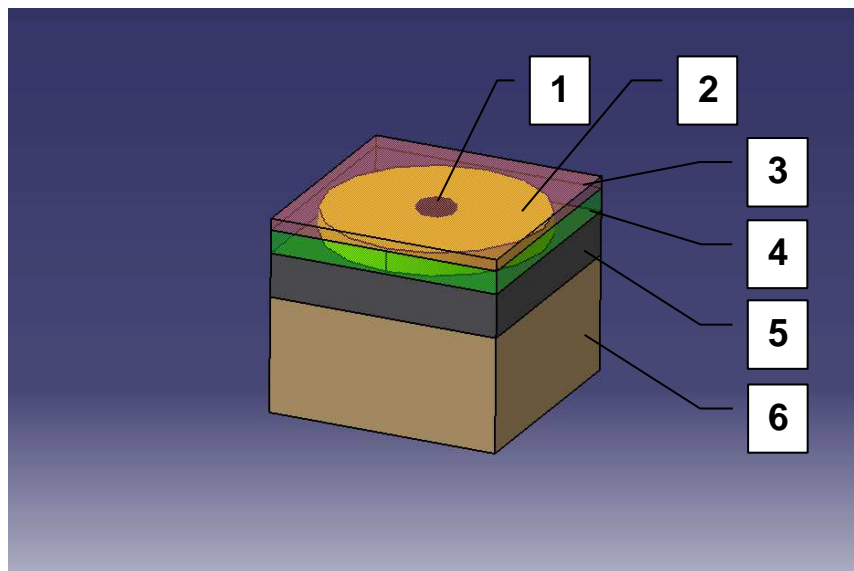
Folgende Grafik 2-68 zeigt die Verteilung der Meßstellen auf dem Klimadummy.



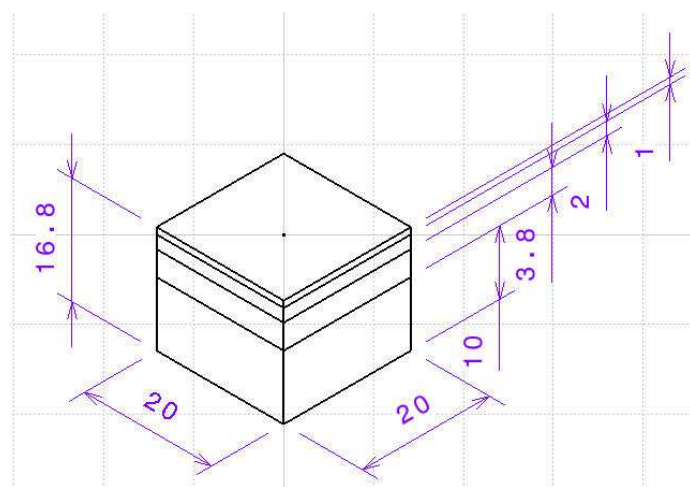
2-68: Verteilung der Meßstellen am Klimadummy

Eine Meßstelle besteht aus einem schichtartigen Aufbau einer Acryl-Aussenhaut, einem PT-100 Widerstandsthermometer, einem Wärmestromsensor, einem Peltierelement und evtl. einem Kühlkörper bzw. einem elektrischen Klein-Lüfter (Axial-Lüfter). Die Zwischenräume sind mit einer wärmeleitenden Schicht bzw. Paste ausgefüllt. Bild 2-69 zeigt den Aufbau einer solchen Meßstelle.

- 1 PT-100
- 2 Wärmestromsensor
- 3 Acryl-Haut
- 4 Wärmeleitschicht
- 5 Peltierelement
- 6 Elektro-Lüfter bzw. Kühlkörper



2-69: Darstellung einer Meßstelle



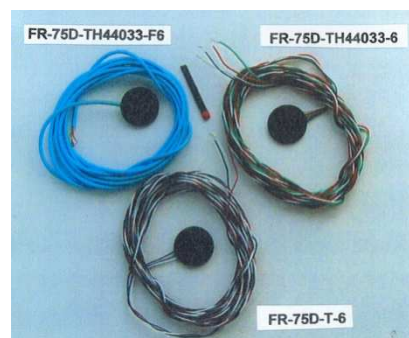
2-70: Abmessungen einer Meßstelle [mm]

Die ca. 1mm dicke Acrylhaut simuliert die Eigenschaften der menschlichen Haut, sowohl in Bezug auf Wärmeleitung, als auch in Bezug auf den Emissionsgrad. Diese dünne Acrylschicht stellt aber in diesem Fall keinen nennenswerten Wärmeleitwiderstand dar, jedoch kommt der Simulation des Emissionsverhaltens der menschlichen Haut eine sehr große Bedeutung zu. Die Haut hat einen sehr hohen Emissionsgrad (ca. 0,97) und absorbiert somit fast die gesamte langwellige Wärmestrahlung, was einen markanten Wärmeeintrag in die Meßstelle darstellt. Aus diesem Grund sollte die Aussenfläche der Acrylschicht mit einem Lack in "Hautfarbe" versehen sein.

Die Auswahl der Komponenten zur Temperaturmessung, Wärmestrommessung und der Wärmepumpe wurde im Rahmen der Diplomarbeit "Entwurf eines digitalen Reglers zur Realisierung der thermophysiologicalen Eigenschaften eines humanoiden Klimadummys" von Bernhard Schlichtner angeführt [17]. Die Meßstelle hatte ursprünglich eine Oberfläche von 40mm x 40mm, aber im Laufe der Entwicklung des Klimadummys stellte sich heraus, dass die Meßstelle auch mit kleineren Komponenten darstellbar ist, was der Platzierung im ohnehin knappen Bauraum entgegen kam. Das Peltierelement gibt hier also die maximalen Abmessungen für die anderen Komponenten vor und somit verkleinert sich die Meßstelle auf eine Fläche von 20mm x 20mm. Die Firma "Quick-Ohm Küpper & Co GmbH" hat in dieser Größe z.B. das Peltierelement des Typs "QC-31-1.4-6.0" im Programm.

Bezüglich Temperaturmessung stellte sich die Auswahl zwischen einem Thermoelement, einem Widerstandsthermometer und einem integrierten Schaltkreis (IC). Die Entscheidung fiel auf das Widerstandsthermometer (PT100), weil die Vorteile (Austauschbarkeit ohne Neukalibrierung, hohe Genauigkeit, sehr kleine Bauweise und einfache Auswertung) deutlich überwogen.

Zur Wärmestrommessung war in o.g. Diplomarbeit ursprünglich ein Wärmestromsensor der Firma Wuntronic GmbH [24] mit einem Durchmesser von 25,4mm angedacht, da sich aber die Größe der Meßstelle deutlich verringerte, kann auf den kleineren Typ "FR-75D-6" (19mm Durchmesser) zurückgegriffen werden.



2-71: Wärmestromsensoren der Firma Wuntronic GmbH [24]

Jedes dieser drei elektrischen Bauteile (PT100, Wärmestromsensor, Peltierelement) benötigt eine 2-polige Verkabelung. Wenn zusätzlich ein elektrischer Lüfter verbaut wird, kommt noch ein 2-poliges Kabel dazu. Das bedeutet, dass pro Meßstelle ein 6- bzw. 8-poliges Kabel in Richtung zentraler Auswerteelektronik verlegt werden muß. Für den Oberarm ergibt sich dann ein Kabelstrang am Übergang Oberarm-Schulter von 48 bzw. 64 Kabeln. Deswegen gilt besondere Sorgfalt beim Installieren der Kabel, besonders an den Gelenken, bzgl. Beweglichkeit und Knickschutz. Das Ziel der Kabelstränge, aus den jeweiligen Körperteilen kommend, ist die Auswerteelektronik, die im Inneren des Torso untergebracht ist.

2.15. Zusammenhang Hardware - Software

Wie in Kapitel 2.13 erwähnt, wird die Steuerung und das Auslesen der Meßstellen von einer Auswerteelektronik übernommen. Diese Schaltungen wurden im Rahmen der Diplomarbeit von Bernhard Schlichtner [17] entworfen und sind praktisch für die Produktion eines Prototypen freigegeben. Die Elektronik wird in einer Box untergebracht, welche im Torso des Klimadummys verbaut wird. Sie besteht aus den Komponenten: Stromversorgung, USB-Schnittstellen, 64 Anschlüssen für PT100, 64 Anschlüssen für Wärmestromsensoren und Verbindung zu den Leistungstreibern der Peltierelemente. Die Stromaufnahme dieser Komponenten wird auf ca. 350W geschätzt, was einen Betrieb über das fahrzeugeigene Bordnetz ermöglichen sollte.

Mit Thesues-FE (P+Z Engineering, [19]) befindet sich eine Software am Markt, die die komplette Darstellung eines virtuellen Klima-Manikins bewerkstelligen kann. Das Programm ist in der Lage, sämtlich Reaktionen des menschlichen Körpers auf klimatische Änderungen abzubilden und somit die Einregelung auf den thermisch neutralen Zustand darzustellen. Genau diese Funktion wird auch von dem realen Klimadummy erwartet und so bietet es sich an, diese bestehende Software für den Betrieb der Dummys zu adaptieren. Im Lastenheft sind unter Punkt 2 die Anforderungen an die Software aufgelistet und die wichtigsten Funktionen seien an dieser Stelle erklärt:

2.1 Parametrisierung:

Die Software sollte in der Lage sein, eine Parametrisierung des Dummy-Zustandes zu erlauben. Das bedeutet, dass man im Vorfeld der Messung einstellen können soll, in welchem Aktivitätsgrad sich der Dummy befindet (ruhend, leicht angestrengt, stark angestrengt).

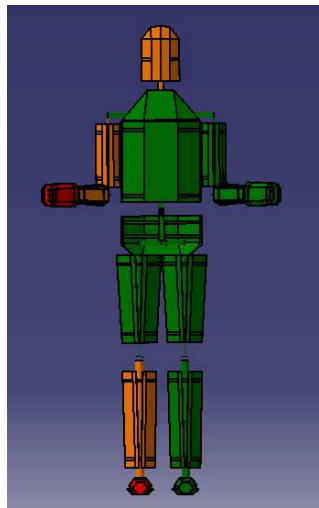
2.2 Initialisierung:

Unter Initialisierung ist das Herstellen der Betriebsbereitschaft gemeint. Der Dummy muß sich, je nach voreingestelltem Metabolismus, mittels der Software-Steuerung auf "Betriebstemperatur" bringen und mittels optischem Signal zeigen, dass die Messung gestartet werden kann.

2.6 Anzeigen:

Die Standard-Bildschirmansicht während einer Messung sollte folgende Informationen liefern:

- grafische Abbildung (Bild 2-72) des gesamten Klimadummys und Einfärbung der Körperteile entsprechend dem Wohlbefinden (rot → ausserhalb thermischer Neutralität, orange → im Grenzbereich zum Wohlbefinden, grün → thermische Neutralität). Weiters sollen die Meßstellen eingezeichnet und ihre aktuellen Temperaturwerte angezeigt werden und ergänzend dazu wäre eine Darstellung des PMV-Index sehr sinnvoll.



2-72: Farbliche Darstellung des Wohlbefindens

- Die über den gesamten Dummy gemittelte Temperatur und der gemittelte Wärmestrom sollen dargestellt werden.
- Nach Auswählen einer Meßstelle, soll die dazugehörige mittlere Temperatur und der mittlere Wärmestrom ersichtlich sein.
- Die Umgebungstemperatur und die relative Feuchte der Umgebung sollen permanent ersichtlich sein.

- Der Gesamtwärmestrom, den der Dummy aktuell an die Umgebung abgibt, soll angezeigt werden.

- Das Erreichen der Betriebsbereitschaft, der Akkuzustand und ein etwaiger Netzbetrieb sind darzustellen.

Da der Klimadummy hauptsächlich in Fahrzeugkabinen oder ähnlichen abgeschlossenen Räumen zum Einsatz kommt, muß die Verbindung zum Auswerterechner kabellos erfolgen.

2.16. Dokumentation

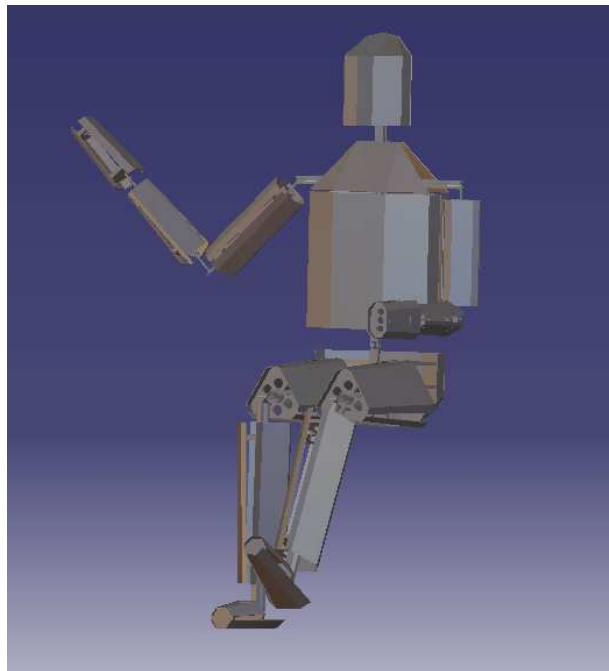
Die Produktdokumentation umfasst mehrere Schritte, die parallel zum gesamten Entstehungsprozess laufen müssen. In jeder einzelnen Phase entstehen Dokumente und Unterlagen, deren geordnete Ablage für den weiteren Produktlebenszyklus von großer Bedeutung ist, da sie z.B. Informationen in Bezug auf Montage, Fertigung, Nutzung und Service bieten können und müssen. Die Produktdokumentation beinhaltet nach Lindemann [13] folgende Punkte:

- Fertigungsunterlagen zur Herstellung von Bauteilen (technische Zeichnungen, Stücklisten,...)
- Montageanleitungen inkl. Montagewerkzeuge als Grundlage für den Montageprozess in der Produktion
- Transportunterlagen mit Beschreibung der Transportverpackung
- Verkaufsverpackungen
- Werbeunterlagen und Produktkataloge
- Bedienungsanleitungen für Anwender
- Trainingsunterlagen für den Vertrieb oder Reparaturservice
- Reparaturunterlagen
- Dokumentation zum Recycling bzw. zur Verschrottung

Lindemann [13] weist auch darauf hin, dass z.B. die Grundlage zur Strukturierung der Fertigungsunterlagen sich an der Produktstruktur zu orientieren hat (siehe Stückliste). Um die Arbeitsschritte in der Fertigung abbilden zu können, haben sich in der Praxis sogenannte Montagevorranggraphen bewährt, aus denen ersichtlich ist, in welcher Reihenfolge das Produkt montiert wird. Zur Produktdokumentation in dieser Diplomarbeit gehören unter anderen die Stückliste und eine Werkstattzeichnung, die sozusagen als Vorlage für kommende Zeichnungen dienen soll (siehe Anhang Seite VIII, Punkt 5.8).

2.17. Zusammenfassung "Klimadummy Prototyp"

Der Prototyp des Klimadummys stützt sich auf eine tragende Konstruktion aus Metallrohren diverser Durchmesser, die von gebogenen und geschweißten Blechplatten umgeben sind, welche die Außenhaut darstellen. Die Gliedmaßen sind mit jeweils drei identischen Blechprofilen beplankt, die gleichmäßig über den Umfang verteilt sind und mittels einer Spantenkonstruktion mit den Rohren verbunden werden. Um den Dummy in gewisse Lagen und Positionen bringen zu können, werden Gelenke in den Drehpunkten der Körperteile verbaut und auch die Wirbelsäule ist an einer Stelle (auf Höhe Lendenwirbel) beugbar. Die Meßstellen, bestehend aus einem Temperaturfühler, einem Wärmestromsensor, einem Peltierelement und einer Acrylschicht, sind nach einem ausgesuchten Schema über den ganzen Körper verteilt und liefern die Eingangsgrößen für die Auswerteelektronik, die im Bereich Torso verbaut ist. Durch die Peltierelemente besteht die Möglichkeit, die Meßstellen auf einem gewissen Temperaturniveau zu halten, welches der menschlichen Hauttemperatur unter gewissen Umgebungsbedingungen entspricht. Um die Gesamtwärmeabgabe eines Menschen an die Umgebung zu bewerkstelligen, wird eine weitere Wärmequelle benötigt (PTC etc.). Das Einstellen des thermischen Gleichgewichtszustandes, also die Steuerung der Meßstellen, basiert auf einer eigens konzipierten Meßschaltung, die auf eine bereits bestehenden Software (virtuelle Bestimmung des menschlichen Komforts) zurückgreifen kann.



2-73: CATIA Rendering des Klimadummys

Der Klimadummy soll überall dort zum Einsatz kommen, wo es um die Bestimmung des menschlichen Thermal-Komforts geht und wo eine subjektive Beurteilung durch eine objektive Messungen ersetzt werden soll. Das Anwendungsspektrum erstreckt sich vom Fahrzeuginnenraum über Zugabteile bis hin zu Wohnräumen. Da man den Dummy mit Kleidung versehen kann, ist es möglich den Wärmedurchgang von der Haut zur Umgebung realitätsnah abzubilden.

Welche Vorteile kann die Firma qpunkt durch diesen, in der Arbeit vorgestellten, Produktenstehungsprozess ziehen? Einerseits werden die einzelnen Arbeitsschritte in eine klar definierte Reihenfolge gebracht, deren schrittweises Abarbeiten schlußendlich zu einem fertigen Produkt führt. Das bringt, im Vergleich zu einer unstrukturierten Vorgehensweise, eine Effizienzsteigerung der Produktentwicklung mit sich, da kostbare Entwicklungszeit gespart werden kann, bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualität der Ergebnisse. Andererseits bietet dieser Prozess mit Hilfe der Definition der Milestones (mit anschließender Freigabe des Entwicklungsstandes) eine Art Erfolgskontrolle in Sinne des Projektmanagements. Etwaige Entwicklungsprobleme können so relativ früh aufgedeckt und korrigiert werden. Der korrekte Umgang mit den, im Entwicklungsprozess anfallenden, Daten wird durch Verwendung einer Versionierungssoftware sichergestellt, was auch eine Maßnahme zur Effizienzsteigerung darstellt.

3. Ausblick

Das Projekt "Klimadummy" ist mit Ende dieser Diplomarbeit nur mehr wenige Schritte vom wirklichen Aufbau des ersten Prototypen entfernt. Die grundsätzlichen Überlegungen über die Machbarkeit eines solchen Dummys wurden getätigt und eine umfangreiche Marktstudie zeigt die Chancen und Potentiale in zukünftigen Märkten auf. Die nächsten Schritte werden unter anderem aus dem Erstellen und Adaptieren der Software für den eigentlichen Meßbetrieb bestehen. Diese Tätigkeit wird evtl. ein Form einer weiteren Diplomarbeit ausgeschrieben. Ist die Betriebssoftware einsatzbereit, wäre es vorstellbar, dass zur allgemeinen Funktionsüberprüfung ein gesamter Arm (Oberarm, Unterarm, Hand) aufgebaut wird, bestückt mit den Meßstellen und mit der Steuerungs- und Auswerteelektronik verbunden. Laufen diese Tests erfolgreich ab und stehen die erforderlichen finanziellen Mittel zur Verfügung, steht einem Aufbau eines kompletten Klimadummy-Prototypen nichts mehr im Wege.

Die Einführung des erstellten Produktentstehungsprozesses mit seinen Dokumenten und Vorlagen ist nicht direkt an die Freigabe von Mitteln gebunden und kann somit kurz nach Beendigung dieser Diplomarbeit in die Wege geleitet werden. Der nächste Schritt wird es sein, daß der Prozess den, mit der Produktentwicklung betrauten, Mitarbeitern vorgestellt und die Handhabung der Entwicklungshilfen (Brainstorming, Morphologischer Kasten, Bewertungsmatrix) und der Dokumente (Lastenheft, Stückliste) erklärt wird. Die erste Zeit der Verwendung muß man als eine Art Einführungsphase betrachten, in dem sich Stärken und mögliche Schwächen des Prozesses abzeichnen können. Letztere gilt es auszubessern, bevor der Prozess in die Anwendungsphase übergeht und somit voll in die Firmenabläufe integriert ist.

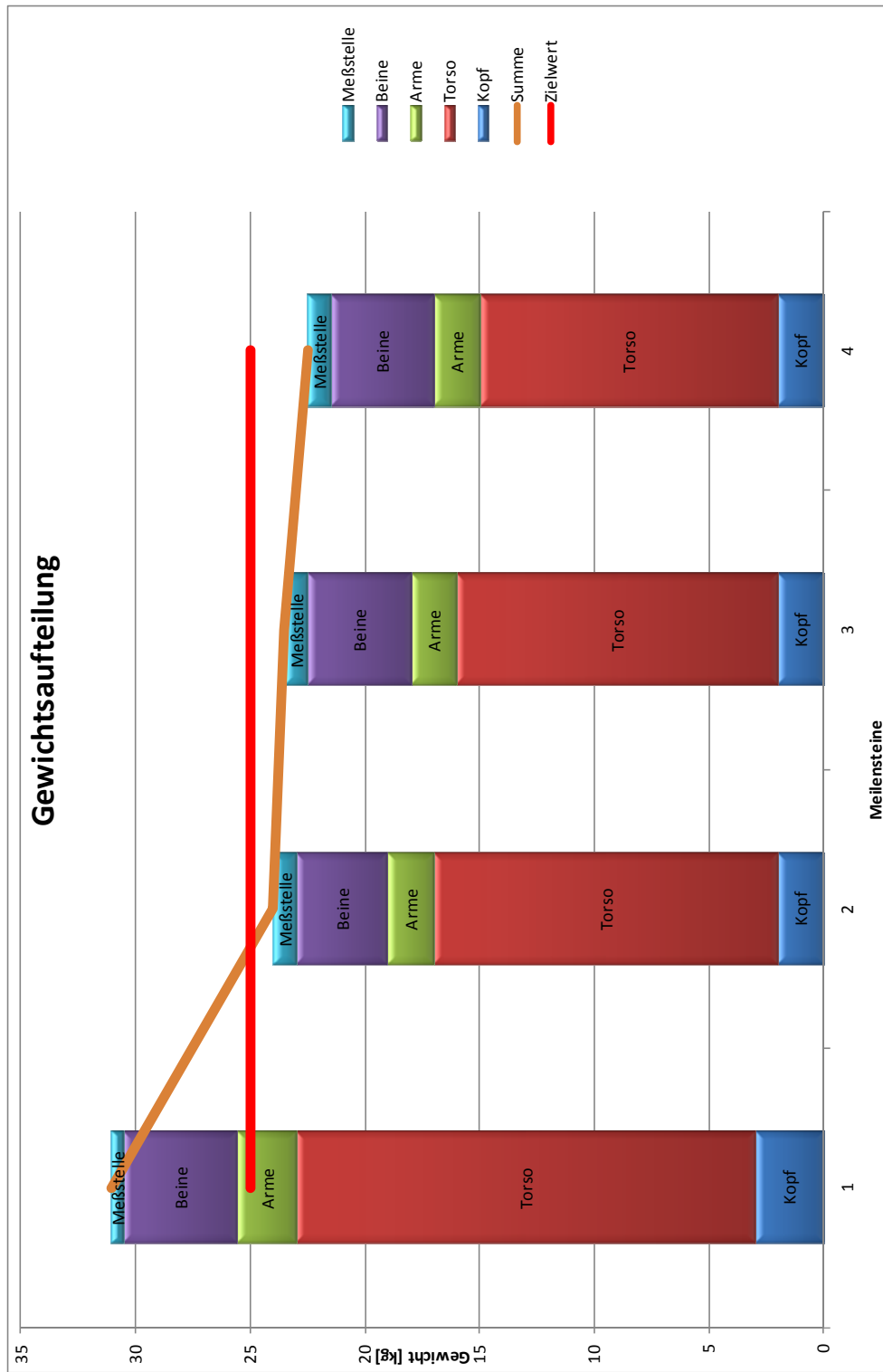
Der routinemäßige Einsatz der Versionierungssoftware bedingt ausführliche Probeläufe an eigens dafür erstellten Test-Modellen, um den richtigen Umgang mit dieser Software erlernen zu können. Sinnvoll wäre in der Anfangsphase eine Installation dieser Software auf einzelnen Rechnern (stand-alone), um dann mit Erlangen der Bedienungssicherheit die Software über die firmeninterne Serverstruktur laufen zu lassen.

4. Literaturverzeichnis

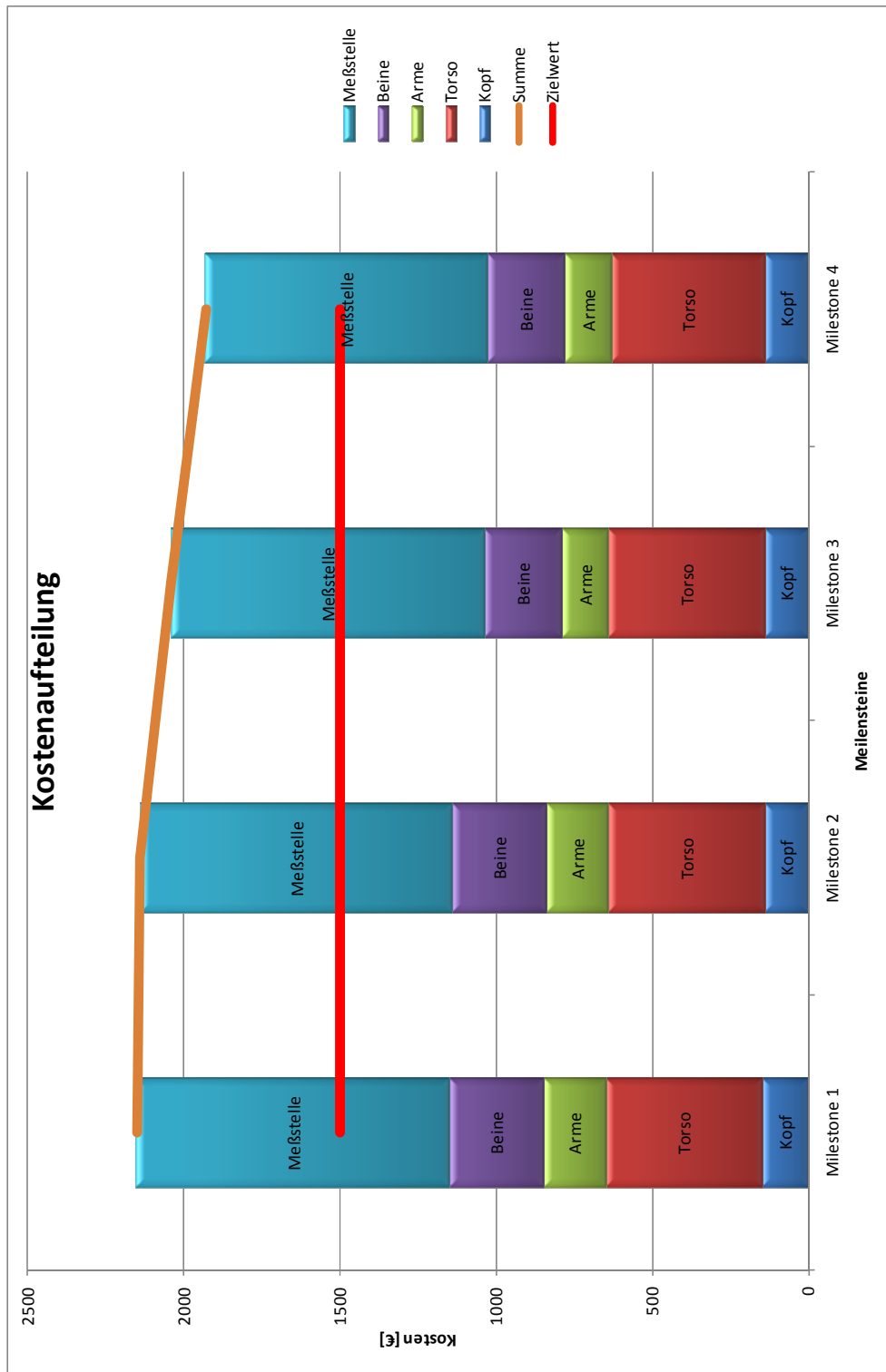
- [1] **ASHRAE Handbook** (2001), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ISBN 1883413877
- [2] **Bayer**, Helmut; (19.10.2011), Folien zur Vorlesung " Lean Management", HS Ulm
- [3] **CATIA V5 R19**; CAD-Software; <http://www.3ds.com/products/catia/>; Dassault Systemes, (3.8.2012)
- [4] **Fanger**, P.O. (1970), Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-019915-9
- [5] **Fiala**, Dusan (1998), Dynamic Simulation of Heat Transfer and Thermal Comfort, Institute of Energy and Sustainable Development (De Montfort University Leicester) und Joseph-von-Egle Institut für angewandte Forschung (FH Stuttgart)
- [6] **Git**; <http://git-scm.com/>, (3.8.2012)
- [7] **Hirz**, Mario; Product Data Management in Automotive Engineering, Skriptum zur LV "CAx in Automotive Engineering", Wintersemester 2011/12
- [8] **ITEM Industrietechnik GmbH**; <http://www.item24.de/> (3.8.2012)
- [9] **Herschold**, Gernot (2008), Machbarkeitsstudie für die Konzeption eines thermophysologisch intelligenten Manikin zur Bestimmung der thermischen Behaglichkeit, Diplomarbeit FH Joanneum
- [10] **inggo.com**, MDESIGN-Bauteil Bibliothek, TEDATA Gesellschaft für technische Informationssysteme mbH, www.inggo.com, (3.8.2012)
- [11] **Lang**, Florian; **Lang**, Philipp (2007), Basiswissen Physiologie, Springer Medizin Verlag, ISBN 978-3-540-71401-9
- [12] **Liersch**, Klaus; **Langner**, Normen (2008), Bauphysik kompakt (Wärme, Feuchte, Schall), Bauwerk, ISBN 978-3-89932-181-4
- [13] **Lindemann**, Udo; **Ponn**, Josef (2011), Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte, Springer Verlag, ISBN 978-3-642-20579-8
- [14] **Olbrich**, Rainer; **Battenfeld**, Dirk; **Buhr**, Carl-Christian (2012), Marktforschung, Springer-Lehrbuch ISBN 978-3-642-24345-5 (eBook)
- [15] **Plankenauer**, Elisabeth; **Premm**, Georg, Skriptum Kreativitätstechniken Auflage 2010, TU Graz, Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung
- [16] **Rietschel**, Hermann (1994), Raumklimatechnik Band 1, Springer Verlag, ISBN 3540544666

- [17] **Schlichtner**, Bernhard (2009), Entwurf eines digitalen Reglers zur Realisierung der thermophysiologischen Eigenschaften eines humanoiden Klimadummys", Diplomarbeit FH Joanneum
- [18] **Subversion**, <http://subversion.apache.org/>, The Apache Software Foundation (3.8.2012)
- [19] **THESEUS-FE** (2007), Theory Manual, P+Z Engineering GmbH, München, <http://www.theseus-fe.com/>
- [20] **VDI-Richtlinie 2221**, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Mai 1993
- [21] **VDI-Richtlinie 4499**, Digitale Fabrik Grundlage, Februar 2008
- [22] **Wannenwetsch**, Helmut (2007), Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, VDI Springer, ISBN 978-3-540-29756-7
- [23] **Wohinz**, Josef W., et al. (2006-2007), Skriptum Industriebetriebslehre, TU Graz, Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung
- [24] **WUNTRONIC**; Fa. Wuntronic GmbH, München, <http://www.wuntronic.de/>, (3.8.2012)
- [25] **Zelic**, Mia (2009), Global Marketing Research and Market Entering Strategies for an Innovative Klimadummy, Diplomarbeit TU Graz

5.2. Gewichtsdiagramm zur Stückliste



5.3. Kostendiagramm zur Stückliste



5.4. Lastenheft

LASTENHEFT "KLIMADUMMY"				Stand 8.5.2012		erreicht	geändert	Ziel	Grund der Änderung
Lfd. Nr.	Beschreibung/Name der Anforderung	Gewichtung*	min/lexakt/max	Einheit	Erläuterung				
1	Hardware								
1.1	Gewicht	3	20	kg	von einer Person handhabbar				
1.2	Aussehen wie Mensch	2			in den Abmessungen und Proportionen dem menschlichen Körper nachempfunden				
1.3	Freiheitsgrade Gelenke	3			Bewegung der Gelenke entsprechen der Freiheitsgrade der jeweiligen Gelenke um alle sitzenden Positionen darstellen zu können				
1.4	Robustheit	3			muss Werkstattribetrieb aushalten				
1.5	Hemmung der Gelenke	3			Gelenke müssen in voreingestellter Stellung verbleiben, auch bei Versuchsfahrten				
1.6	Verwindung von Rückhaltegurten	2			muss angriffbar sein				
1.7	Belastungsprofil Versuchsfahrt	2			muss üblichen Belastungsprofilen in Fahrzeugen standhalten				
1.8	Bekleidung	3			bekleidbar mit handelsüblicher Kleidung				
1.9	Temperaturbereich	2	-40 bis +90	°C	Umgebungstemperatur				
1.10	Feuchtigkeitsschutz	2			Schutz der Elektronik vor Feuchtigkeit und Kondenswasser				
1.11	Überhitzung, Kurzschluss	3			Schutz der Bauteile vor thermischer Überhitzung und elektrischem Kurzschluss				
1.12	Messstellen	2			Messstellenverteilung laut Skizze und Beschreibung				
1.13	Wärmeabgabe	2	60 bis 100	W/m²	Verteilung nach "Fiala"		26.03.2012, Modersohn	Angleich an Fiala-Modell	
1.14	Feuchtigkeitsabgabe	1	30 bis 200	g/h	Dummy muss Wärme entsprechend menschlichem Metabolismus emittieren, 60W ruhig sitzend, 100W leichte Tätigkeit				
1.15	Betriebsspannung	2	12 bis 24	V	für Verwendung in PKW und NKW				
1.16	Akku-Puffer	1	2	h	Akku-Puffer zum autonomen Betrieb, falls Spannungsversorgung nicht vorrätig oder unterbrochen				
1.17	Reparaturfreundlichkeit	2			einfache Zugänglichkeit zum Innenleben zwecks Wartung, Fehlersuche				
1.18	Betriebsarten	3			1) Kühlen 2) Heizen mit Feuchtigkeitsabgabe				
1.19	Daten austausch	2			kabellose Verbindung mit Mess-/Auswertrechner				
1.20	Signale	2			für Betriebsbereitschaft, optisch				
1.21	Initialisierungszeit	1	10	min	maximale Dauer zum Herstellen der Betriebsbereitschaft				
1.22	Kühnkreislauf/Heizkreislauf f.d. Messstellen	3			geschlossener Flüssigkeitskreislauf um die Kühlung/Heizung der Messstellen (Pelletenelemente) sicherzustellen		26.03.2012, Modersohn	Da Dummy im Bereich sehr hoher und sehr niedriger Temperaturen garantiert ausserhalb "Wohlfühlbereich" arbeitet, ist Kühlung/Heizung nicht nötig	
2	Software								
2.1	Parametrisierung	2			Metabolismus nach Geschlecht, Aktivitätsgrad				
2.2	Initialisierung	3			Hochfahren und Herstellen der Betriebsbereitschaft				
2.3	Standardmodus	3			Anzeige des FIM-Index				
2.4	Auswertung	2			im selben Tool oder externer Software				
2.5	Datenmanagement	2			interne Datenaufzeichnung (loggen) und zugleich Echtzeitübertragung der aktuellen Messwerte				
2.6	Anzeigen	3			1) Tm, gpunkt, m über gesamten Dummy gemittelt 2) Tm, gpunkt, m je Messstelle 3) Tm, Umgebung, relative Feuchte Umgebung 4) Wärmestrom von Dummy an Umgebung 5) Betriebsbereitschaft, Akku, Trennung vom Netz 6) Farbige Abbild vom Dummy, drehbar, alle Messstellen eingezeichnet und Temperaturen gemäß Farbskala blau-rot				

5.5. Morphologischer Kasten

		Ausprägung							
Parameter		1	2	3	4	5	6	7	8
Skelett		Metallrohre	Metalprofile	Holzstangen	Kunststoffrohre	Kunststoffprofile			
Haut, Aussenhülle		Schaumstoff	Laser-Sinter	GFK	Latex	Blech	Stoff	Acryl	Kohlefaser
Anbringen Aussenhülle am Skelett		Verschraubt	Geclipst	Klettverschluss	Magnet	Zusammengebunden	Nut/Feder	Saugnapf	
Gelenkfixierung		Formschluß (Verzahnung)	Kraftschluß (Klemmung)	Magnetkraft	Kleben				
Farbe Aussenhülle		hautfarben	weiß	transparent	grau	holzfarben	signalfarben		
Wärmeproduktion (&Abgabe)		PTC	Heizlack	chemisch	Reibung				
			Variante 1						
			Variante 2						
			Variante 3						

5.6. Checkliste zur Anforderungsklä rung

(Lindemann, [7])

Hauptmerkmale	Beispiele
Geometrie	Größe, Höhe, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau und Erweiterung
Kinematik	Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
Kräfte	Kraftgröße, Kraftrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen, Dynamisches Verhalten
Energie	Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Reibung, Ventilation, Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung
Stoff	Physikalische, chemische, biologische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsproduktes, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetze u. ä.), Materialtransport, Logistik
Signal	Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalforn
Sicherheit	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit, CE-Sicherheitsiegel
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Formgestaltung, Haptik, Gebrauchstauglichkeit
Fertigung	Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessungen, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögliche Qualität und Toleranzen, Beschaffungsmöglichkeiten
Kontrolle	Prüfmöglichkeit, besondere Vorschriften (TÜV, ASME, DIN, ISO, CE, AD-Merkblätter)
Montage	Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung, Inbetriebnahme, Endprüfung
Transport	Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen, Container, Luftfracht
Gebrauch	Geräuscharmut, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen)
Instandhaltung	Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung
Recycling	Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwendung, Weiterverwertung, Endlagerung, Beseitigung
Kosten	Zulässige Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisation, Betriebskosten
Termin	Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit

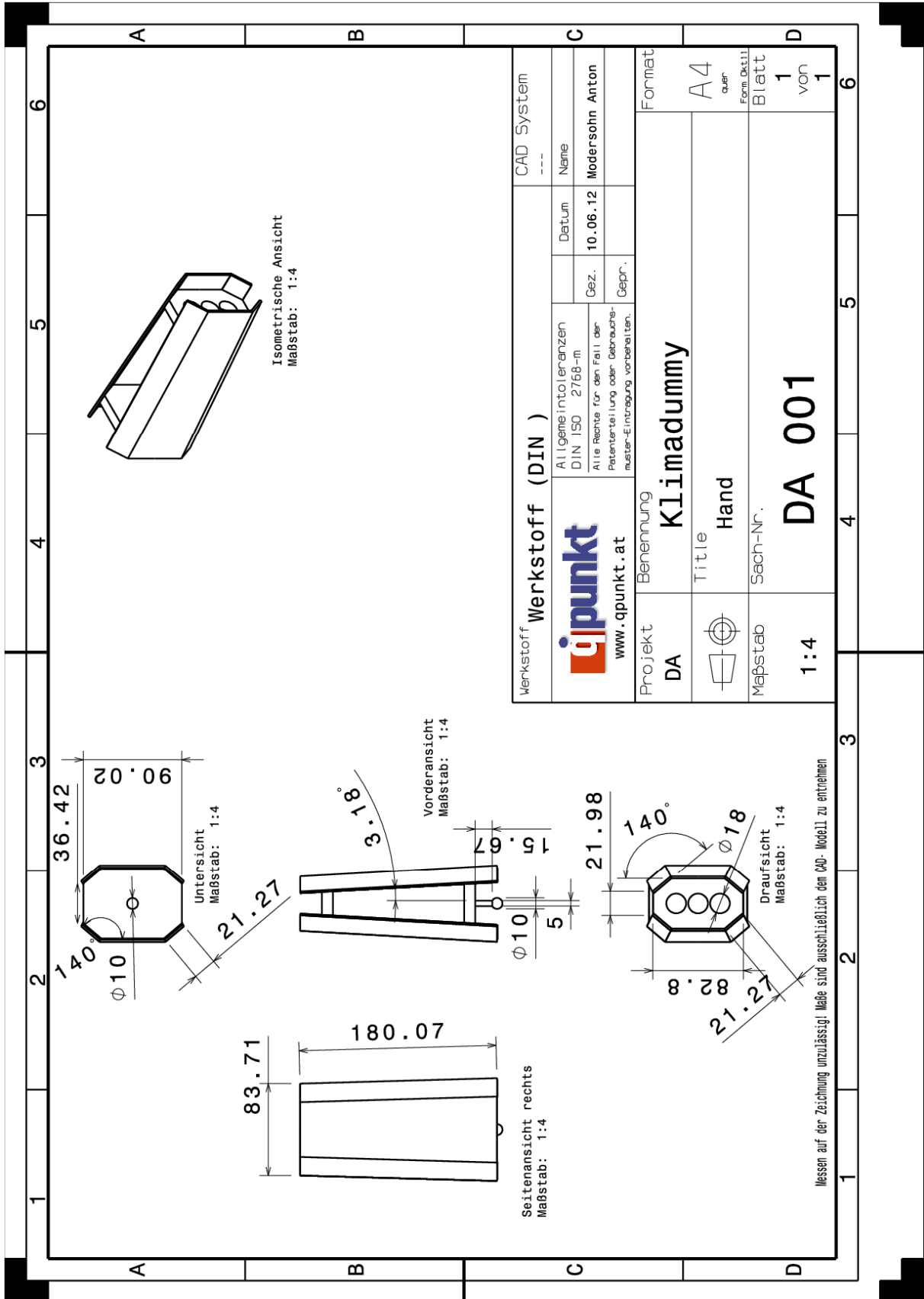
5.7. Sammlung physikalischer Effekte

(Lindemann [9])

Kategorie	Nr.	Physikalischer Effekt
Statik starrer Körper	01	Hebel (einseitig)
	02	Hebel (zweiseitig)
	03	Keil
	04	Kniehebel
	05	Übertotpunkt
	06	Selleck
	07	Flaschenzug
Elastizität fester Körper	08	Elastische Dehnung
	09	Elastische Biegung (1)
	10	Elastische Biegung (2)
	11	Scherung
	12	Torsion
	13	Querkontraktion
Dynamik	14	Trägheit (translatorisch)
	15	Trägheit (rotatorisch)
	16	Stoß (allgemein)
	17	Stoß (elastisch)
	18	Corioliskraft
	19	Zentrifugalkraft
	20	Gravitation
	21	Präzessionsmoment
	22	Hysterese
	23	Plastische Verformung
Reibung	24	Coulomb'sche Reibung
	25	Rollende Reibung
	26	Umschlingungsreibung
	27	Stick-Slip-Effekt
Schwingungen	28	Gravitationspendel
	29	Resonanz
	30	Eigenfrequenz
Molekularkräfte	31	Stehende Welle
	32	Kohäsion fester Körper
	33	Adhäsion
	34	Kapillardruck
	35	Kapillarwirkung
	36	Diffusion
	37	Osmose
	38	Piezo-Effekt

Kategorie	Nr.	Physikalischer Effekt
Ideale Gase	39	Gesetz von Gay Lussac
	40	Gesetz von Boyle-Mariotte
Ruhende Flüssigkeiten	41	Druckkraft
	42	Druckfortpflanzung
	43	Gravitationsdruck
	44	Auftrieb
Strömungen	45	Gesetz von Toricelli
	46	Kontinuitätsgleichung
	47	Gesetz von Bernoulli
	48	Staudruck
	49	Gesetz von Hagen-Poiseuille
	50	Druckabfall (Rohrleitung)
	51	Viskose Reibung
	52	Magnuseffekt
	53	Profilauftrieb
	54	Strömungswiderstand
Elektrik	55	Gesetz von Ohm
	56	Elektrische Ladung
	57	Coulomb'sche Kraft
	58	Elektrostatische Anziehung (Abstoßung)
	59	Dielektrische Wärmeverluste
Magnetismus	60	Magnetische Anziehung (Abstoßung)
	61	Magnetostraktion
Elektromagnetismus	62	Elektromagnetische Anziehung (Abstoßung)
	63	Gesetz von Biot-Savart
	64	Induktion (1)
	65	Induktion (2)
	66	Lorentzkraft
	67	Hall-Effekt
	68	Wirbelstrom (1)
	69	Wirbelstrom (2)
Elektrische Leitung	70	Thermoeffekt
	71	Peltier-Effekt
	72	Halbleiter
	73	Transistoren
	74	Elektrokinetischer Effekt
	75	Stoßionisation
	76	Laser
	77	Vakuumentladung
Wärmelehre	78	Änderung des Aggregatzustandes
	79	Wärmedehnungsanomalie
	80	Wärmedehnung
Wärmetransport	81	Konvektion
	82	Wärmeleitung
	83	Wärmespeicherung
	84	Wärmestrahlung
Akustik	85	Seite
	86	Dopplereffekt
	87	Schalldruck

5.8. Fertigungszeichnung einer Hand des Klimadummys



5.9. Grundpositionen Klimadummy CAD-Modell

KONSTRUKTIONSTABELLE "KLIMADUMMY"		
	stehend	sitzend
Dummy\Lendenwirbel\Drehen Lendenwirbel y\Winkel` (deg)	0	0
Dummy\Brustwirbel\Drehen Brustwirbel y\Winkel` (deg)	0	0
Dummy\Schulter_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90	-90
Dummy\Schulter_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Schulter_links\Drehen_X\Winkel (deg)	30	0
Dummy\Ellbogen_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	90	90
Dummy\Ellbogen_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Ellbogen_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Hand_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Hand_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Hand_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Huefte_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90	0
Dummy\Huefte_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Huefte_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knie_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	0	-90
Dummy\Knie_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knie_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knoecheel_links\Drehen_Y\Winkel (deg)	90	90
Dummy\Knoecheel_links\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knoecheel_links\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Schulter_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90	-90
Dummy\Schulter_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Schulter_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	-30	0
Dummy\Ellbogen_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	90	90
Dummy\Ellbogen_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Ellbogen_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Hand_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Hand_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Hand_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Huefte_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	-90	0
Dummy\Huefte_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Huefte_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knie_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	0	-90
Dummy\Knie_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knie_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knoecheel_rechts\Drehen_Y\Winkel (deg)	90	90
Dummy\Knoecheel_rechts\Drehen_Z\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Knoecheel_rechts\Drehen_X\Winkel (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Schulter_Links\Schulter_links_y-Rotation` (deg)	-90	-90
Dummy\Parameter_Winkel\Schulter_Links\Schulter_links_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Schulter_Links\Schulter_links_x-Rotation` (deg)	30	0
Dummy\Parameter_Winkel\Ellbogen_Links\Ellbogen_links_y-Rotation` (deg)	90	90
Dummy\Parameter_Winkel\Ellbogen_Links\Ellbogen_links_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Hand_Links\Hand_Links_y-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Hand_Links\Hand_Links_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Schulter_Rechts\Schulter_Rechts_y-Rotation` (deg)	-90	-90
Dummy\Parameter_Winkel\Schulter_Rechts\Schulter_Rechts_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Schulter_Rechts\Schulter_Rechts_x-Rotation` (deg)	-30	0
Dummy\Parameter_Winkel\Ellbogen_Rechts\Ellbogen_Rechts_y-Rotation` (deg)	90	90
Dummy\Parameter_Winkel\Ellbogen_Rechts\Ellbogen_Rechts_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Hand_Rechts\Hand_Rechts_y-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Hand_Rechts\Hand_Rechts_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Huefte_Links\Huefte_Links_y-Rotation` (deg)	-90	0
Dummy\Parameter_Winkel\Huefte_Links\Huefte_Links_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Huefte_Links\Huefte_Links_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Knie_Links\Knie_Links_y-Rotation` (deg)	0	-90
Dummy\Parameter_Winkel\Knie_Links\Knie_Links_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Knoecheel_Links\Knoecheel_Links_y-Rotation` (deg)	90	90
Dummy\Parameter_Winkel\Knoecheel_Links\Knoecheel_Links_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Knoecheel_Links\Knoecheel_Links_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Huefte_Rechts\Huefte_Rechts_y-Rotation` (deg)	-90	0
Dummy\Parameter_Winkel\Huefte_Rechts\Huefte_Rechts_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Huefte_Rechts\Huefte_Rechts_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Knie_Rechts\Knie_Rechts_y-Rotation` (deg)	0	-90
Dummy\Parameter_Winkel\Knie_Rechts\Knie_Rechts_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Knoecheel_Rechts\Knoecheel_Rechts_y-Rotation` (deg)	90	90
Dummy\Parameter_Winkel\Knoecheel_Rechts\Knoecheel_Rechts_z-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Knoecheel_Rechts\Knoecheel_Rechts_x-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Lendenwirbel\Lendenwirbel_y-Rotation` (deg)	0	0
Dummy\Parameter_Winkel\Brustwirbel\Brustwirbel_y-Rotation` (deg)	0	0