

---

# **Modellierung von kontextspezifischen Abhängigkeiten in der ergonomischen Systemgestaltung**

Vom Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt  
zur  
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
angenommene

DISSERTATION

vorgelegt von  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. André Perott  
geboren in Frankfurt am Main

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder  
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl

Tag der Einreichung: 20.10.14  
Tag der mündlichen Prüfung: 14.01.15

Darmstadt 2015

D17

---

- Meiner Familie -

---

---

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Erklärung	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
1..... Einleitung	1
1.1. Aktuelle Herausforderungen und Motivation der Arbeit	1
1.2. Allgemeine Zielsetzung	5
1.3. Vorgehen	7
2..... Stand der Forschung	8
2.1. Quellen der Ergonomie zur Systemgestaltung	8
2.1.1. Gesetze	9
2.1.2. Verordnungen	10
2.1.3. Technische Regeln	11
2.1.4. Normen	12
2.1.5. Kompendien und Handbücher	17
2.1.6. Zusammenfassende Betrachtung der Quellen	19
2.2. Wissensrepräsentation	19
2.2.1. Begriffliche Grundlagen	19
2.2.2. Kognitive Wissensrepräsentation	23
2.2.3. Methoden der Wissensrepräsentation	31
2.2.4. Modellierungsansätze in der Datenverarbeitung	42
2.3. Wissensrepräsentation in der Ergonomie	46
2.3.1. Normalsprachliche Ansätze	46
2.3.2. Klassifikationssysteme der Ergonomie	48
2.3.3. Semantische Netze in der Ergonomie	50
2.3.4. Regelbasierte Systeme in der Ergonomie	55
2.3.5. Softwaregestützte Ansätze in der Ergonomie	55
2.4. Zusammenfassende Betrachtung	57
3..... Ziele des Modellierungsansatzes	59
3.1. Grundlegende Annahmen des Modellierungsansatzes	59
3.2. Zielgruppen des Modellierungsansatzes	64
4..... Entwicklung eines Modellierungsansatzes	67
4.1. Grundlegendes Konzept	67
4.2. Repräsentation von ergonomischen Anforderungen	69
4.3. Repräsentation von Arbeitssystemelementen und deren Ausprägungen	72
4.4. Repräsentation von Zusammenhängen	76
4.4.1. Prüfen auf Einhalten von Anforderungen	77
4.4.2. Variieren einer Anforderung	80

---

4.4.3.	Bestimmen eines funktional abhängigen Parameters	81
4.4.4.	Prüfen auf Konflikte zwischen Parametern	83
4.4.5.	Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern	84
4.4.6.	Qualitative Zusammenhänge zwischen Parametern	85
4.5.	Zusammenfassung	87
5.....	Beispielhafte Anwendung im Kontext der Flugsicherung	92
5.1.	Optimieren der Schriftzeichenhöhen eines Flugsicherungssystem	92
5.2.	Der Wechsel zur positiven Bildschirm polarität in der Flugsicherung	101
6.....	Entwickeln einer computergestützten Anwendungsumgebung	116
6.1.	Ausgangssituation und Handlungsfelder	116
6.1.1.	Wissensrecherche	116
6.1.2.	Wissensanwendung	117
6.1.3.	Wissenstransfer	118
6.2.	Funktionsbeschreibung	119
6.2.1.	Zergliedern des Arbeitssystems in Systemelemente	119
6.2.2.	Darstellen der Wissensbasis für jedes Systemelement	123
6.2.3.	Abbilden der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Systemelementen	128
6.3.	Organisatorische und technische Implementierung	131
6.4.	Vergleich mit dem entwickelten Modellierungsansatz	132
7.....	Diskussion der Ergebnisse	134
8.....	Ausblick	137
9.....	Zusammenfassung	138
	Literaturverzeichnis	140
	Gesetzes-, Verordnungs- und Normenverzeichnis	151
	Grafiklizenzverzeichnis	153
	Anhang	154

---

---

## **Erklärung**

---

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit, abgesehen von den in ihr ausdrücklich genannten Hilfen, selbständig verfasst habe.

---

**Datum, Unterschrift**

---

---

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Vorgehen der Arbeit .....	7
Abbildung 2: Quellenarten sortiert nach Verbindlichkeit mit einigen Beispielen .....	9
Abbildung 3: Abgrenzung des Wissensbegriffs .....	20
Abbildung 4: Kontinuum zwischen Daten, Informationen und Wissen .....	21
Abbildung 5: Die drei Ebenen der Wissensrepräsentation .....	23
Abbildung 6: Beispielhafte propositionale Netzwerkdarstellung eines Satzes.....	24
Abbildung 7: Beispielhaftes semantisches Netz mit Kategorien, Eigenschaften und Verknüpfungen .	25
Abbildung 8: Beispielhaftes Handlungsschema zur ergonomischen Gestaltung in der Flugsicherung	28
Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung eines neuronalen Netzes .....	29
Abbildung 10: Der deklarative, strukturelle und prozedurale Wissensbegriff im Vergleich .....	31
Abbildung 11: Das Münchner Wissensmodell .....	32
Abbildung 12: Transformationsprozess zwischen den verschiedenen Wissensarten .....	33
Abbildung 13: Methoden der Wissensrepräsentation.....	34
Abbildung 14: Beispiel einer Folksonomy .....	35
Abbildung 15: Auszug aus dem Dewey Klassifikationssystem .....	37
Abbildung 16: Beispiel für einen Thesaurus.....	39
Abbildung 17: Beispiel für ein semantisches Netz zur Auslegung der Schriftzeichenhöhe .....	40
Abbildung 18: Beispielhafte Darstellung der Klasse „Studierende“ .....	43
Abbildung 19: Beispielhafte Darstellung einer Ontologie.....	45
Abbildung 20: Screenshot der Webseite "ErgoOnline" .....	46
Abbildung 21: Grafischer Zugang zu Informationen auf ErgoOnline .....	47
Abbildung 22: Schlagwortwolke der Ergonomie.....	47
Abbildung 23: Arbeitssystemmodell .....	48
Abbildung 24: Beispiel für einen objektbezogenen Zugang zu Informationen.....	54
Abbildung 25: Beispiel für einen zielorientierten Zugang zu Informationen.....	54
Abbildung 26: Ergebnis einer Erreichbarkeitsanalyse mit Hilfe von Menschmodellen .....	57
Abbildung 27: Stufen bis zur Anwendungsreife des Modellierungsansatzes .....	66
Abbildung 28: Problemlösezyklus in arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsfragen .....	67

---

Abbildung 29: Grundlegende Komponenten des MoREZ Konzepts.....	68
Abbildung 30: Spannungsfeld der Anforderungsliste .....	70
Abbildung 31: Grafische Darstellung von Anforderungen .....	72
Abbildung 32: Grafische Abbildung von Arbeitssystemelementen und deren Parametern.....	76
Abbildung 33: Einhalten von Anforderungen.....	78
Abbildung 34: Variieren einer Anforderung.....	81
Abbildung 35: Beispiel zum Zusammenhang „Variieren einer Anforderung“ .....	81
Abbildung 36: Bestimmen eines funktional abhängigen Parameters.....	82
Abbildung 37: Beispiel eines funktionalen Zusammenhangs.....	83
Abbildung 38: Prüfen auf Konflikte zwischen Parametern .....	83
Abbildung 39: Beispiel für einen Konflikt zwischen zwei Parametern .....	84
Abbildung 40: Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern.....	85
Abbildung 41: Qualitative Zusammenhänge zwischen Parametern .....	86
Abbildung 42: Beispiel für qualitative Zusammenhänge .....	86
Abbildung 43: EA-Zusammenhang zur Schriftzeichenhöhe .....	94
Abbildung 44: Die Schriftzeichenhöhe als Funktion des Sehabstandes und der Zeichenhöhe in mm .	94
Abbildung 45: AP-Zusammenhang zur Bestimmung der Zeichenhöhe in Bogenminuten.....	95
Abbildung 46: Verschiedene Sitzhaltungen .....	96
Abbildung 47: QP-Zusammenhang zwischen Sehabstand und Arbeitshaltung .....	97
Abbildung 48: VA-Zusammenhang zwischen Visus und der Anforderung Schriftzeichenhöhe.....	98
Abbildung 49: Modell zur Auslegung der Schriftzeichenhöhe .....	100
Abbildung 50: Links eine frühere Luftlagedarstellung und rechts von heute.....	101
Abbildung 51: EA-Zusammenhang zur Bildschirmpolarität .....	102
Abbildung 52: Um die Leuchtdichten $L_{BS}$ und $L_{BSU}$ erweitertes Modell zur Bildschirmpolarität .....	103
Abbildung 53: Um die Beleuchtungsstärke $E_V$ erweitertes Modell zur Bildschirmpolarität.....	104
Abbildung 54: Alternative Modellierung der Leuchtdichte $L_{BS}$ als Konflikt.....	106
Abbildung 55: Um die Anforderungen zur Beleuchtungsstärke $E_V$ erweitertes Modell .....	107
Abbildung 56: Um die Bildschirmklasse und die Leuchtdichte $L_{MS}$ erweitertes Modell .....	109
Abbildung 57: Modellierung des Konfliktes zwischen Tageslicht und negativer Bildschirmpolarität	110

---

Abbildung 58: Um Farbaspekte erweitertes Modell zur Bildschirmpolarität .....	112
Abbildung 59: Modell zur Auslegung der Bildschirmpolarität .....	115
Abbildung 60: Die drei durch den Design Process Guide adressierten Handlungsfelder .....	118
Abbildung 61: Visualisierung der Klassifikation im DPG .....	119
Abbildung 62: Wissensbasis für jedes Systemelement im DPG .....	124
Abbildung 63: Beispielartikel zur Farbkodierung .....	125
Abbildung 64: Darstellen von Anforderungen im DPG zur Farbkodierung .....	126
Abbildung 65: Quellenverzeichnis im DPG zur Farbkodierung .....	127
Abbildung 66: Übersichtsseite im DPG mit spezifizierten Anforderungen .....	127
Abbildung 67: Zusammenhang zwischen der Farbkodierung und der Beleuchtung .....	129
Abbildung 68: Darstellung von qualitativen Zusammenhängen in der Visualisierung des DPGs .....	130
Abbildung 69: Anforderung im DPG zur Bildschirmpolarität .....	130
Abbildung 70: Anforderung im DPG zur Tageslichtbeleuchtung .....	130
Abbildung 71: Darstellung von potentiellen und tatsächlichen Konflikten im DPG .....	131
Abbildung 72: Erstellen eines Konfliktes im DPG .....	131
Abbildung 73: Vorschlag zur Integration ergonomischer Fragestellungen in eine CAD Umgebung ..	137



---

---

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1: Übersicht über die aktuell gültigen Technischen Regeln für Arbeitsstätten.....	12
Tabelle 2: Normen für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen .....	13
Tabelle 3: Relationsarten eines Thesaurus .....	38
Tabelle 4: Junktoren der Aussagenlogik.....	41
Tabelle 5: Rechenregeln der klassischen Aussagenlogik.....	42
Tabelle 6: Struktur- und Verhaltensdiagramme in UML.....	44
Tabelle 7: Zusammenhänge zwischen Anforderungsmerkmalen und Gestaltungsmerkmalen .....	53
Tabelle 8: Repräsentation von ergonomischen Anforderungen in MoREZ mit Beispiel.....	71
Tabelle 9: Anforderungsarten, deren Abkürzungen und zugehörige Datentypen .....	71
Tabelle 10: Tabellarische Repräsentation von Systemparametern .....	74
Tabelle 11: Tabellarische Repräsentation von Hierarchien zwischen Arbeitssystemelementen .....	75
Tabelle 12: Übersicht über die Bedingungen des Zusammenhangs EA.....	79
Tabelle 13: Zusammenfassende Darstellung der Zusammenhangsarten .....	88
Tabelle 14: Empfehlungen zu Schriftzeichenhöhen in verschiedenen Quellen.....	92
Tabelle 15: Empfohlene Leuchtdichten in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen.....	102
Tabelle 16: Zulässige Leuchtdichtewerte, die sich auf dem Bildschirm spiegeln.....	108
Tabelle 17: Klassifikationssystem des DPGs.....	120
Tabelle 18: Vergleich zwischen MoREZ und dem Design Process Guide .....	133
Tabelle 19: Merkmale der Arbeitssystemelemente.....	154
Tabelle 20: Klassifikation nach Kirchner.....	159

---

# 1. Einleitung

---

## 1.1. Aktuelle Herausforderungen und Motivation der Arbeit

Die International Ergonomics Association (IEA) definiert Ergonomie wie folgt:

*“Ergonomics (or human factors) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance” (International Ergonomics Association, 2014).*

Dem entsprechend ist Ergonomie wissenschaftliche Disziplin und Berufsbild zugleich. Als wissenschaftliche Disziplin untersucht sie Zusammenhänge zwischen Mensch und anderen (Arbeits-)Systemelementen. Als Berufsbild wendet sie diese Erkenntnisse an, um die übergreifende Systemleistung und das menschliche Wohlergehen zu optimieren.

Bereits an der Definition ist das starke Interesse der Disziplin an übergeordneten Zusammenhängen und Abhängigkeiten erkennbar. Die Ergonomie hat nicht bestimmte Systemkomponenten im Fokus, sondern interessiert sich vielmehr für das Zusammenspiel verschiedener Systemkomponenten. Die Vielzahl an Zusammenhängen, die bei einer Systementwicklung betrachtet werden müssen, ist dabei die Hauptursache für die hohe Komplexität und zahlreichen Abhängigkeiten in Gestaltungsvorhaben. Durch ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge soll diese Komplexität handhabbar gemacht werden.

Dul et al. (2012, p. 379) leiten basierend auf der obigen Definition drei grundlegende Charakteristika der Ergonomie ab:

1. Die Ergonomie folgt einem Systemansatz
2. Die Ergonomie ist gestaltungsorientiert
3. Die Ergonomie fokussiert zwei miteinander verbundene Zielgrößen: Leistung des Gesamtsystems und menschliches Wohlergehen

Die Ergonomie ist gestaltungsorientiert, d.h. sie betrachtet reale Arbeitssysteme. Ziel ist die Ableitung klarer Implikationen, die Systemleistung und das menschliche Wohlergehen optimieren können. Dieser ausgeprägte „action view“ (vgl. Helander, 1997) unterscheidet die Ergonomie von vielen anderen wissenschaftlichen Disziplinen.

Norros sieht in der gestaltungsorientierten Facette der Ergonomie die größte Herausforderung, da der spezifische praxisorientierte Wissensbedarf häufig in Konflikt mit einer allgemeingültigen wissenschaftlichen Orientierung steht (vgl. Norros, 2014, p. 10). Sie schlägt daher vor, dass die Wissenschaft nur dann bei der Lösung praktischer Probleme unterstützen sollte, wenn das vorhandene Wissen für die Problemlösung nicht ausreichend ist.

Diese Sichtweise erkennt allerdings die hohe Komplexität des Wissens: Problematisch ist nicht die Verfügbarkeit von Wissen, sondern die Anwendung in der Praxis. Es lässt sich beobachten, dass selbst einfache Ergonomie-Prinzipien keine Anwendung in der praktischen Systemgestaltung finden, obgleich sie hinlänglich in Normen, Standards, Richtlinien und Lehrbüchern beschrieben sind. Hollnagel beschreibt dies wie folgt:

*“Most of the problems are described in the HFE literature and the solutions are exceedingly well known - by academics but not always by practitioners and industrial stakeholders. As a profession, we*

---

*do indeed know how to design workplaces to achieve the desired human-system integration and the consequent improvements in performance and well-being. [...]*

*One challenge for HFE practitioners is therefore to be better at doing what we know to do i.e., be better at applying HFE knowledge and experience in practice" (Hollnagel, 2014, p. 43).*

---

Dekker & Nyce führen an, dass der Schritt von Forschungsergebnissen zur Anwendung häufig als unproblematisch erachtet wird. Tatsächlich jedoch ist die Anwendung von Ergonomie-Wissen mit zahlreichen Problemen verbunden (vgl. Dekker & Nyce, 2004, p. 1625).

Ein Problem ergibt sich aus der Flut an verfügbaren Quellen zur ergonomischen Systemgestaltung (vgl. Wilson, 2000; Corlett, 1992). Der praktische Systemgestalter ist vor die große Herausforderung gestellt, aus der unglaublichen Flut an Veröffentlichungen den kleinen Prozentsatz an relevanten Dokumenten für seine konkrete Problemstellung herauszufiltern.

Viele Quellen sind zudem nicht frei zugänglich. Verglichen mit Wissenschaftlern haben Praktiker in der Regel nur begrenzten Zugriff auf Datenbanken, deren Nutzung im akademischen Umfeld selbstverständlich ist. Der Erwerb von Lizenzen lohnt sich häufig nicht für Unternehmen, insbesondere wenn nur wenige Ergonomie-Experten im Unternehmen vertreten sind (vgl. Chung & Shorrock, 2011, p. 419).

Salas (2008) und Meister (1999, pp. 261-262) führen zudem an, dass mit den ausführlichen Forschungsergebnissen häufig keine klaren Implikationen hinsichtlich der Gestaltung verbunden sind. Dies wird in der Literatur häufig als *Übersetzungsproblem* zwischen Forschung und Praxis diskutiert (vgl. Salas, 2008; Dekker & Nyce, 2004; Buckle, 2011).

Hinzu kommt, dass sich das Studiendesign wissenschaftlicher Untersuchungen häufig nicht auf reale Probleme übertragen lässt. In vielen Laborstudien sind die kontrollierten Faktoren von größerem Interesse für die Praxis als die tatsächlich variierten Bedingungen (vgl. Wilson, 2000; Chapanis, 1988; Chiles, 1971). Somit ist die praktische Anwendung des Wissens nach wie vor mit hohen Unsicherheiten verbunden, sodass in diesen Fällen die Relevanz für reale Arbeitssysteme zumindest fragwürdig ist.

Ein weiteres Hindernis ist der hohe Druck in Unternehmen, schnell Ergebnisse bei möglichst geringem Aufwand und geringen Kosten liefern zu müssen (Chung & Shorrock, 2011, p. 415). Die aufwendige Suche nach passenden wissenschaftlichen Studien und deren Bewertung entfällt aus diesem Grund häufig.

Es lässt sich festhalten, dass die Anwendung von ergonomischem Wissen in der Praxis mit einigen Problemen verbunden ist. Wenn die Ergonomie wie in Dul et al. (2012) diskutiert eine gestaltungsorientierte Disziplin ist, die die Optimierung der Leistungsfähigkeit und des menschlichen Wohlbefindens von realen (Arbeits-)Systemen zum Ziel hat, erscheint eine reine Grundlagenforschung nicht ausreichend. Vielmehr muss das Wissen in einer Art und Weise zur Verfügung stehen, dass es in der Praxis Anwendung findet. Alles andere wäre konträr zum oben formulierten Selbstverständnis.

In der Literatur werden *Leitlinien* als möglicher Ansatzpunkt zur Verkleinerung der oben diskutierten Lücke zwischen Theorie und Praxis diskutiert. Leitlinien sind eine Zusammenstellung von Gestaltungswissen und werden in Buchform, als Bericht oder als (nationaler oder internationaler) Standard veröffentlicht. Sinn und Zweck solcher Leitlinien ist die effiziente Unterstützung von

---

Entwicklern bei der Anwendung von Ergonomie-Wissen (vgl. Kim, 2010). Leitlinien können somit eine geeignete Schnittstelle zwischen Forschungsliteratur und Praktikern darstellen, indem sie bestehende Studienergebnisse in leicht anwendbare Gestaltungsregeln überführen (vgl. Smith, 1988) und beugen somit dem oft erwähnten *Übersetzungsproblem*.

Insbesondere können Leitlinien

- bei der Entscheidungsfindung unterstützen,
- als Ideenfinder dienen,
- sicherstellen, dass kein wichtiger ergonomischer Aspekt vernachlässigt wird und
- für die Evaluation verschiedener Alternativen herangezogen werden (vgl. Marshall, Nelson, & Gardiner, 1987).

Es zeigt sich, dass Leitlinien richtig angewendet, die Produktivität erhöhen, Trainingsaufwendungen reduzieren, die Gebrauchstauglichkeit verbessern sowie die allgemeine Produktqualität und Ästhetik steigern können. Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, dass sie die mentale und physische Belastung von Entwicklern in Entwicklungsprojekten reduzieren (vgl. Burns, Vicente, Christoffersen, & Pawlak, 1997; Kim, 2010). Henniger et al. (1995) legen dar, dass sich durch die Anwendung von ergonomischen Leitlinien auch die Anzahl an Iterationen im Rahmen einer menschenzentrierten Entwicklung verringern (aber nicht eliminieren) lassen.

Trotz der Vorteile setzen Entwickler diese Leitlinien bisher kaum systematisch ein (vgl. Kim, 2010, pp. 669-670). Ein Grund ist, dass deren Existenz oftmals gar nicht bekannt ist. Zudem handelt es sich oft um umfangreiche Werke mit mehreren hundert Seiten, in denen bestimmte Informationen nur schwer gefunden werden. Des Weiteren sind die Wissensinhalte unzureichend aufbereitet, abstrakt formuliert und erfordern nach wie vor ein großes Maß an Expertenwissen bzw. Einarbeitung. Insbesondere wenn sich Leitlinien widersprechen und daher priorisiert werden müssen, fühlen sich Systementwickler schnell überfordert (vgl. Mosier & Smith, 1986; Aas & Skramstad, 2010; Kim, 2010).

Perott et al. (2011) befragten Systementwickler der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) zum Umgang mit ergonomischem Wissen. Sie zeigen, dass ein Bewusstsein für Ergonomie eine notwendige Voraussetzung für die Integration ergonomischer Leitlinien in die Gestaltung ist. In vielen Fällen erscheint eine ergonomische Auseinandersetzung nebensächlich, beispielsweise bei der Beschaffung eines Bildschirms. Im Vordergrund stehen oftmals technische Probleme (Definition der Schnittstellen, Entwicklung geeigneter Treiber, etc.), sodass die Herausforderungen der Ergonomie in den Hintergrund treten. Tatsächlich bestehen jedoch zahlreiche ergonomische Anforderungen, z.B. hinsichtlich Größe, Leuchtdichte und Farbtreue, die bereits frühzeitig im Rahmen der Anforderungsermittlung berücksichtigt werden müssen. Sind dem Entwickler diese ergonomischen Aspekte nicht bewusst, so wird er auch nicht nach einer geeigneten Wissensquelle suchen. Aber selbst wenn der Wissensbedarf erkannt wird, erscheint die Recherche nach belastbaren Quellen schwierig: Zu vielfältig ist das Angebot an Handbüchern, Normen, Richtlinien und Fachartikeln, als dass sich ein Nicht-Experte in angemessener Zeit einen Überblick verschaffen könnte.

Eine weitere Problematik betrifft die Anwendung der identifizierten Wissensinhalte auf einen spezifischen Anwendungskontext. In den seltensten Fällen startet eine Systemgestaltung „auf der grünen Wiese“. Vielmehr sind bestimmte Rahmenbedingungen vorgegeben und Vorfestlegungen getroffen, an denen sich ergonomische Anforderungen orientieren müssen. Je nach Rahmenbedingungen ergeben sich unterschiedliche ergonomische Implikationen. Eine isolierte Betrachtung ergonomischer Anforderungen ist in diesem Fall nicht mehr möglich. Vielmehr müssen

---

verschiedene Anforderungen auf Grund bestehender Wechselwirkungen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden (vgl. Perott et al., 2011; Bruder & Leonhardt, 2010). Beispielsweise ist die angestrebte Schriftzeihenhöhe auf einem Bildschirm abhängig von der Sehentfernung des Operateurs zum Sehobjekt. Eine Vorfestlegung der Sehentfernung schränkt somit die Möglichkeiten der Schriftgestaltung ein, bzw. die Vorfestlegung auf eine bestimmte Schriftzeihenhöhe impliziert eine bestimmte Sehentfernung. Béguin (2011) beschreibt dies als *Constraints of Interdependence* und sieht die Abhängigkeiten als Symptom der hohen Komplexität in Gestaltungsprozessen. Nach dieser Sichtweise können die Einzelkomponenten eines Systems nicht unabhängig voneinander gestaltet und optimiert werden (vgl. Béguin, 2011, p. 549). Vielmehr müssen verschiedene ergonomische Anforderungen in einer übergreifenden Betrachtung integriert werden.

Zur Verbesserung der Ausgangssituation schlagen Burns et al. (1997) eine angemessene Berücksichtigung des Gestaltungskontextes und der Rahmenbedingungen vor:

*„HF guidance should be organized in a manner that is steeped in context. This requires detailed, application-specific information including the specification of boundary conditions“ (Burns, Vicente, Christoffersen, & Pawlak, 1997, p. 321).*

Genau dieser Aspekt wird von Normen, Richtlinien und Regelwerken derzeit vernachlässigt. Zwar enthalten die dort beschriebenen Anforderungen durchaus Hinweise darüber, inwieweit andere Gestaltungsaspekte von einer einzelnen Anforderung betroffen sind, allerdings liegen diese Abhängigkeiten weder systematisiert vor, noch werden die daraus resultierenden Implikationen klar ersichtlich.

Die erkannte Notwendigkeit einer übergreifenden Betrachtung bestehender Abhängigkeiten schlägt die Brücke zu den zuvor vorgestellten Charakteristika der Ergonomie. Die Forderung von Dul et al. (2012) nach einem Systemansatz zielt genau auf diesen Aspekt, d.h. eine integrierte Betrachtung ergonomischer Sachverhalte ab. Was genau der Systemansatz ist und welche Betrachtungsebenen er beinhaltet wird derzeit kontrovers diskutiert. Bisher existiert kein einheitliches Verständnis darüber, welche Merkmale einen Systemansatz in der Ergonomie kennzeichnen. Entsprechend gibt es auch keine etablierten Methoden oder Modelle, die eine Gestaltung im Sinne des Systemansatzes sicherstellen. Als Ausgangspunkt schlägt Wilson (2014a, p. 6) folgende Definition für den Systembegriff vor:

*“A system is a set of inter-related or coupled activities or entities (hardware, software, buildings, spaces, communities and people), with a joint purpose, links between the entities which maybe of state, form, function and causation, and which changes and modifies its state and the interactions within it given circumstances and events, and which is conceptualised as existing within a boundary; it has inputs and outputs which may connect in many-to-many mappings; and with a bow to the Gestalt, the whole is usually greater (more useful, powerful, functional, etc) than the sum of the parts.”*

Auch wenn die genaue Ausgestaltung eines Systemansatzes für die Ergonomie derzeit noch mit Unsicherheiten verbunden ist, scheint zumindest bezüglich eines Merkmals Konsens zu bestehen: Im Vordergrund der ergonomischen Betrachtung stehen weniger einzelne Systemelemente, als vielmehr die Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen diesen (vgl. Wilson, 2000; Carayon, et al., 2014).

Bezüglich der verfügbaren Quellen zur ergonomischen Gestaltung lässt sich allerdings genau gegenteiliges beobachten: Bestehende Regelwerke beinhalten sehr detaillierte Anforderungen bezüglich einzelner Systemelemente, treffen aber kaum Aussagen zu Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Anforderungen. Sie beschreiben ein ergonomisch optimales

---

System, welches in der Realität auf Grund zahlreicher Zielkonflikte kaum realisierbar ist. Meist sind in der Praxis bestimmte Rahmenbedingungen unveränderlich vorgegeben oder bestimmte Restriktionen erlauben nicht den vollen Handlungsspielraum, sodass eine Abwägung zwischen verschiedenen Optionen zwingend erforderlich ist. Um allerdings mögliche Implikationen bestimmter gestalterischer Entscheidungen angemessen berücksichtigen zu können, müssen die Abhängigkeiten zwischen Anforderungen und den betroffenen Systemelementen bekannt sein. In Ermangelung eines übergreifenden Systemansatzes erscheint allerdings weitgehend ungeklärt, auf welche Weise Abhängigkeiten systematisch erfasst und berücksichtigt werden können.

Es lässt sich festhalten, dass eine isolierte Auflistung ergonomischer Anforderungen kaum im Sinne des geforderten Systemansatzes sein kann. An einer Methode zur systematischen Betrachtung der Abhängigkeiten fehlt es der Ergonomie bisher. Diese Arbeit beabsichtigt, diese Lücke zu schließen.

## 1.2. Allgemeine Zielsetzung

Diese Arbeit hat die Entwicklung eines Modellierungsansatzes zum Ziel, mit welchem Abhängigkeiten zwischen allgemeinen ergonomischen Anforderungen und spezifischen Systemelementen abgebildet werden können. Diese Modelle können dann in einem konkreten Gestaltungskontext zur Anwendung kommen und Implikationen auf andere Gestaltungsaspekte aufzeigen. Als durchgängiges Beispiel dient dieser Ausarbeitung die Gestaltung von Flugsicherungssystemen in der Deutschen Flugsicherung.

Auf Grund der bereits diskutierten Kontextabhängigkeit können selbst erfahrene Ergonomen auf vermeintlich einfache Fragen oftmals keine eindeutigen Antworten erwidern. Zuvor wurde das Beispiel der Schriftzeichenhöhe vorgestellt. Dieses einfache Beispiel verdeutlicht, dass eine pauschale Angabe einer geeigneten Schriftzeichenhöhe nicht möglich ist. Vielmehr ist die optimale Lösung von anderen Faktoren abhängig. Auf welche Art und Weise bestimmte Systemkomponenten ausgelegt werden sollten, hängt also maßgeblich vom Kontext ab. Der Modellierungsansatz dieser Arbeit soll eine systematische und standardisierte Möglichkeit bieten, solche Abhängigkeiten abzubilden.

Im Folgenden wird der Modellbegriff nach Sheridan (2014) zu Grunde gelegt:

*“A model is a way of representing knowledge for the purpose of thinking, communicating to others, or implementing decisions as in system analysis, design or operation” (vgl. Sheridan, 2014, p. 78).*

Dieser allgemeingültigen Definition entsprechend repräsentiert ein Modell grundsätzlich Wissen. Modelle können als Grundlage dienen, um Sachverhalte im Zuge der Modellierung strukturiert zu durchdenken und um das gewonnene Modellwissen zu kommunizieren bzw. für die Entscheidungsfindung zu nutzen.

Der in dieser Ausarbeitung entwickelte Modellierungsansatz soll die Repräsentation von

- ergonomischen Anforderungen aus bestehenden Regelwerken,
- Gestaltungskontext sowie
- kontextspezifischen Implikationen für die ergonomische Gestaltung

erlauben. Ergonomische Anforderungen, wie sie bereits heute in Normen und anderen Regelwerken beschrieben sind, werden somit erweitert um eine kontextspezifische Betrachtungsebene, die eine integrierte statt isolierte Behandlung ergonomischer Fragestellungen ermöglicht.

---

Darüber hinaus zeigt diese Ausarbeitung exemplarisch, wie der Modellierungsansatz in eine computergestützte Anwendungsumgebung überführt werden kann: Für die DFS wurde auf Basis des Modellierungsansatzes eine Software entwickelt, die den Gestaltern von Flugsicherungssystemen neben ergonomischen Anforderungen auch konkrete Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Systemelementen aufzeigt.

Primäres Ziel dieser Arbeit ist nicht die Entwicklung eines allumfassenden Modells, welches alle Abhängigkeiten in der ergonomischen Systementwicklung aufzeigt und vordefiniert. Vielmehr soll ein Modellierungsansatz erarbeitet werden, der eine standardisierte und strukturierte Modellierung von ergonomischen Anforderungen und deren Abhängigkeiten erlaubt. Erfahrenen Ergonomen aus Forschung und Praxis können diesen Modellierungsansatz anschließend als Werkzeug nutzen, um identifizierte Abhängigkeiten in der ergonomischen Systemgestaltung zu dokumentieren und kommunizieren. Die gestalterische Praxis wiederum kann diese Modelle zur Entscheidungsfindung in schwierigen Situationen und zur Lösung von spezifischen ergonomischen Fragestellungen nutzen. Über die von Forschung und Praxis modellierten Abhängigkeiten würde deutlich, welche anderen Handlungsfelder von einer bestimmten gestalterischen Entscheidung betroffen sind. Allgemeingültige Hinweise würde ersetzt durch konkrete Hilfestellungen (und den damit verbundenen Implikationen), sodass dem im Abschnitt 1.1 diskutierten *Übersetzungsproblem* zwischen Forschung und Praxis angemessen begegnet würde.

Für die Forschung selbst kann der Modellierungsansatz als Anhaltspunkt für die Formalisierbarkeit und Implikationsstärke von Ergonomie-Wissen dienen. Gerade die geringe Implikationsstärke von wissenschaftlichen Studien wird oft kritisiert (vgl. Abschnitt 1.1). Der in dieser Arbeit skizzierte Modellierungsansatz könnte die Erkenntnisse verschiedener Studien integrieren und auf diese Weise Implikationen und mögliche Zusammenhänge zwischen den Erkenntnissen deutlich machen.

Im Verlauf der Arbeit steht vor Allem mikroergonomisches Wissen im Vordergrund der Betrachtung. Die Mikroergonomie fokussiert auf die Interaktion zwischen Mensch und Maschine und somit auf die Gestaltung einer konkreten Mensch-Maschine Schnittstelle. Die Makroergonomie befasst sich hingegen mit organisationalen Aspekten der Arbeit, wie z.B. Ausgestaltung der Arbeitsaufgabe, der Arbeitsteilung oder der Arbeitszeiten (vgl. Hendrick & Kleiner, 2000). Der Übergang zwischen Mikro- und Makroergonomie ist dabei fließend. Karsh, Waterson & Holden (2014) führen zusätzlich den Begriff Mesoergonomie für Betrachtungen von Teamarbeit und Teamstrukturen ein.

Der Fokus auf mikroergonomische Aspekte ist natürlich nicht ausreichend für eine umfassende ergonomische Gestaltung. Die hohe Komplexität soziotechnischer Systeme geht mit hohen Unsicherheiten in der Gestaltung und unvorhergesehenen Ereignissen im Betrieb einher und verlangt deshalb nach flexiblen Arbeitsstrukturen, sodass sich die Organisation an veränderte Rahmenbedingungen anpassen kann. Diese Anpassungsfähigkeit ist ein wesentliches Merkmal resilienter Organisationen (vgl. Dekker et al., 2008). Diese Perspektive bleibt bei einer rein mikroergonomischen Sichtweise unberücksichtigt. Ebenfalls verkennt eine rein mikroergonomische Perspektive den hohen Nutzen durch den Einsatz geeigneter Methoden im Entwicklungsprozess. Beispielsweise diskutiert König (2012) die Vorteile des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses in der Entwicklung eines Flugsicherungssystems.

Nichtsdestotrotz erscheint die Begrenzung auf mikroergonomische Wissensinhalte sinnvoll und sogar notwendig. Ohne Begrenzung führt die hohe Komplexität schnell zu Modellen, in denen alles mit allem verknüpft ist. Im anderen Extrem führt der eigentlich gute Vorsatz, alle relevanten Aspekte zu berücksichtigen, zu Modellen mit lediglich allgemeingültigem Charakter, die auf Grund des hohen

Abstraktionsniveaus keinerlei praktische Relevanz mehr besitzen (vgl. Wilson, 2014, p. 12). Zudem bildet eine adäquate mikroergonomische Gestaltung die Grundlage für alle weiteren Schritte. Somit ist eine mikroergonomische Gestaltung eine notwendige, wenngleich auch nicht hinreichende Bedingung für gebrauchstaugliche Systeme und stellt daher einen geeigneten ersten Ansatzpunkt dar, um den in Abschnitt 1.1 dargestellten Herausforderungen begegnen zu können.

### 1.3. Vorgehen

Abbildung 1 stellt das Vorgehen der Arbeit dar. Aktuelle Herausforderungen und die übergeordneten Ziele der Arbeit wurden bereits vorgestellt. Bevor der eigentliche Modellierungsansatz entwickelt wird, werden in Kapitel 2.1 zunächst die wesentlichen Quellen zur ergonomischen Gestaltung vorgestellt. Sie stellen die Wissensbasis einer ergonomischen Gestaltung dar. Kapitel 2.2 behandelt die verschiedenen Ansätze der Wissensrepräsentation und geht der Frage nach, wie sich Wissen grundsätzlich formal beschreiben lässt. Kapitel 2.3 führt die Kapitel 2.1 und 2.2 zusammen und zeigt existierende Ansätze zur Repräsentation von Ergonomie-Wissen. Kapitel 3 legt dar, warum die bestehenden Ansätze zu kurz greifen und entwickelt Annahmen und Anforderungen, denen der in dieser Arbeit entwickelte Modellierungsansatz (und auch zukünftige Ansätze) genügen sollten. In Kapitel 4 wird schließlich der eigentliche Modellierungsansatz vorgestellt. Diese Arbeit hat nicht zum Ziel, die eigentliche Modellierung vorzunehmen. Vielmehr soll ein übergreifender Modellierungsansatz entwickelt werden, der erfahrenen Ergonomen in Wissenschaft und Praxis als Werkzeug dienen kann, um identifizierte Zusammenhänge der ergonomischen Wissensbasis abzubilden. Nichtsdestotrotz soll der Modellierungsansatz in Kapitel 5 beispielhaft an Fragestellungen der Flugsicherung Anwendung finden. Kapitel 6 stellt schließlich eine computergestützte Umsetzung vor, die für die Deutsche Flugsicherung entwickelt wurde. Eine abschließende Diskussion und einen Ausblick für zukünftige Arbeiten geben die Kapitel 7 und 8.

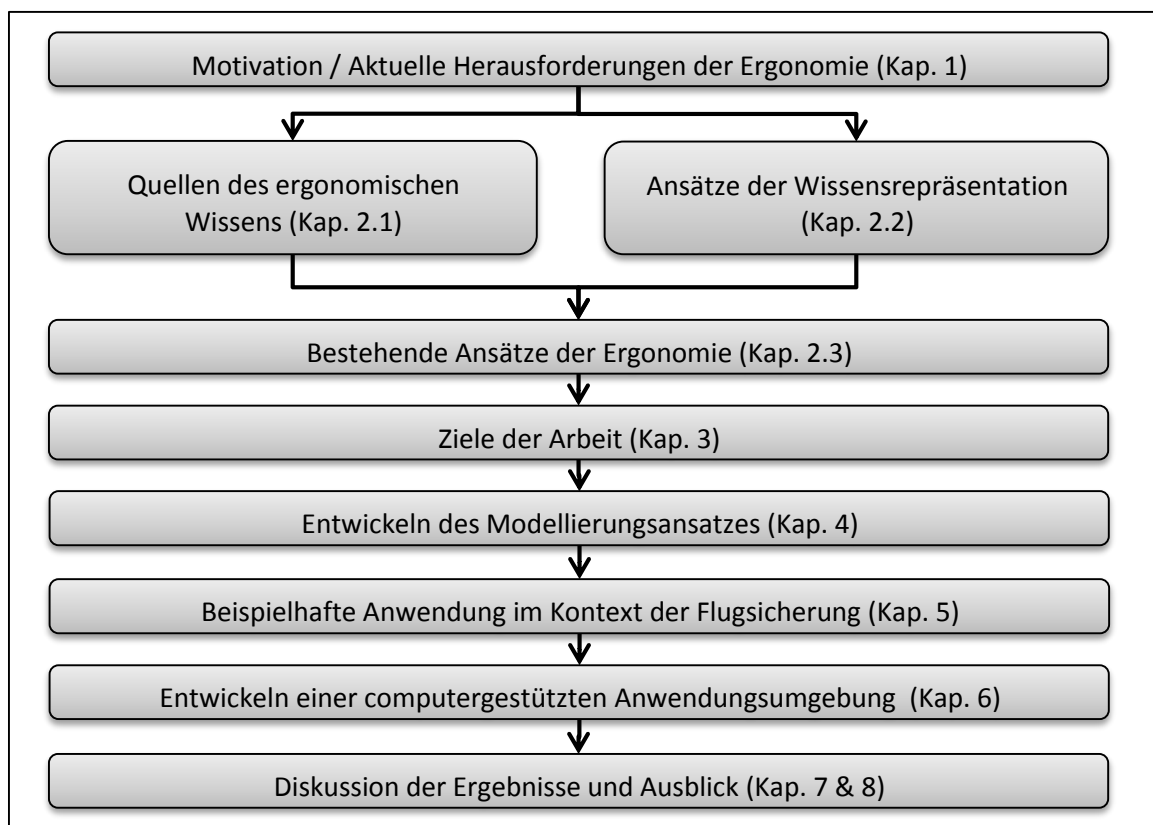


Abbildung 1: Vorgehen der Arbeit



---

## 2. Stand der Forschung

---

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Forschung vorgestellt. Kapitel 2.1 zeigt die Quellen auf, die für eine ergonomische Systemgestaltung grundsätzlich relevant erscheinen. Das dort enthaltene Wissen liegt häufig nur in Dokumentenform, d.h. normalsprachlich vor und ist daher nicht tiefergehend systematisiert. Für eine weiterführende Systematisierung lassen sich Methoden der Wissensrepräsentation heranziehen, welche in Kapitel 2.2 vorgestellt werden. Kapitel 2.3 zeigt schließlich bestehende Ansätze der Ergonomie zur Strukturierung der Wissensinhalte.

Für Beispiele und anwendungsorientierte Überlegungen werden auch in diesem Kapitel exemplarisch Aspekte der Flugsicherung aufgegriffen.

### 2.1. Quellen der Ergonomie zur Systemgestaltung

Eine direkte Übertragung des deutschsprachigen Verständnisses von Arbeitswissenschaft in den internationalen Kontext der Ergonomie (bzw. Human Factors) ist nur bedingt möglich (vgl. Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 9). Zwar sind Ziele, Methoden und Wissensinhalte weitgehend identisch, allerdings unterscheiden sie sich deutlich in der Entstehungsgeschichte.

Im Zeitalter der industriellen Revolution stand die Rationalisierung von Produktionssystemen im Mittelpunkt. In Deutschland wurde diese Sichtweise ab den 60er Jahren ergänzt durch die Idee humanitärer Arbeit. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass humanitäre Arbeitsbedingungen und rationalisierte Produktionsprozesse nicht zwingend in einem Widerspruch stehen müssen, sondern sich vielmehr ergänzen. Eine einseitige Verfolgung des einen oder anderen Zieles führt demnach zu deutlich suboptimalen Gestaltungszuständen (vgl. Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 7).

Aus der Forderung nach humanitärer Arbeit leiten Luczak & Volpert (1987) folgende Ziele an die Arbeitsbedingungen ab:

- Schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen
- Soziale Angemessenheit der Arbeit hinsichtlich Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation
- Ermöglichen der individuellen Entfaltung und persönlichen Weiterentwicklung

Diese Ziele prägen bis heute das deutsche Arbeitsverständnis und begründen die hohe Fürsorgepflicht des Arbeitgebers gegenüber seinen Arbeitnehmern in Deutschland. Jedes Unternehmen muss dieser Fürsorgepflicht gerecht werden. Dies gilt umso mehr, je attraktiverer das Unternehmen auf einem umkämpften Arbeitsmarkt erscheinen möchte.

Zur Umsetzung dieser Ziele können sich Gestalter von Arbeitssystemen verschiedener Quellen bedienen. Einige davon sind rechtsverbindlich (Gesetze und Verordnungen) und stellen somit das Mindestmaß an Fürsorge dar. Andere Quellen haben hingegen eher empfehlenden Charakter (Technische Regeln, Normen und Richtlinien), sodass ein gewisser Handlungsspielraum offen steht. Abbildung 2 stellt die verschiedenen Quellenarten und einige Beispiele absteigend sortiert nach ihrer Verbindlichkeit bzw. aufsteigend nach Anwendbarkeit und Spezifität dar. Diese Quellenarten sollen im Folgenden nun näher betrachtet werden.

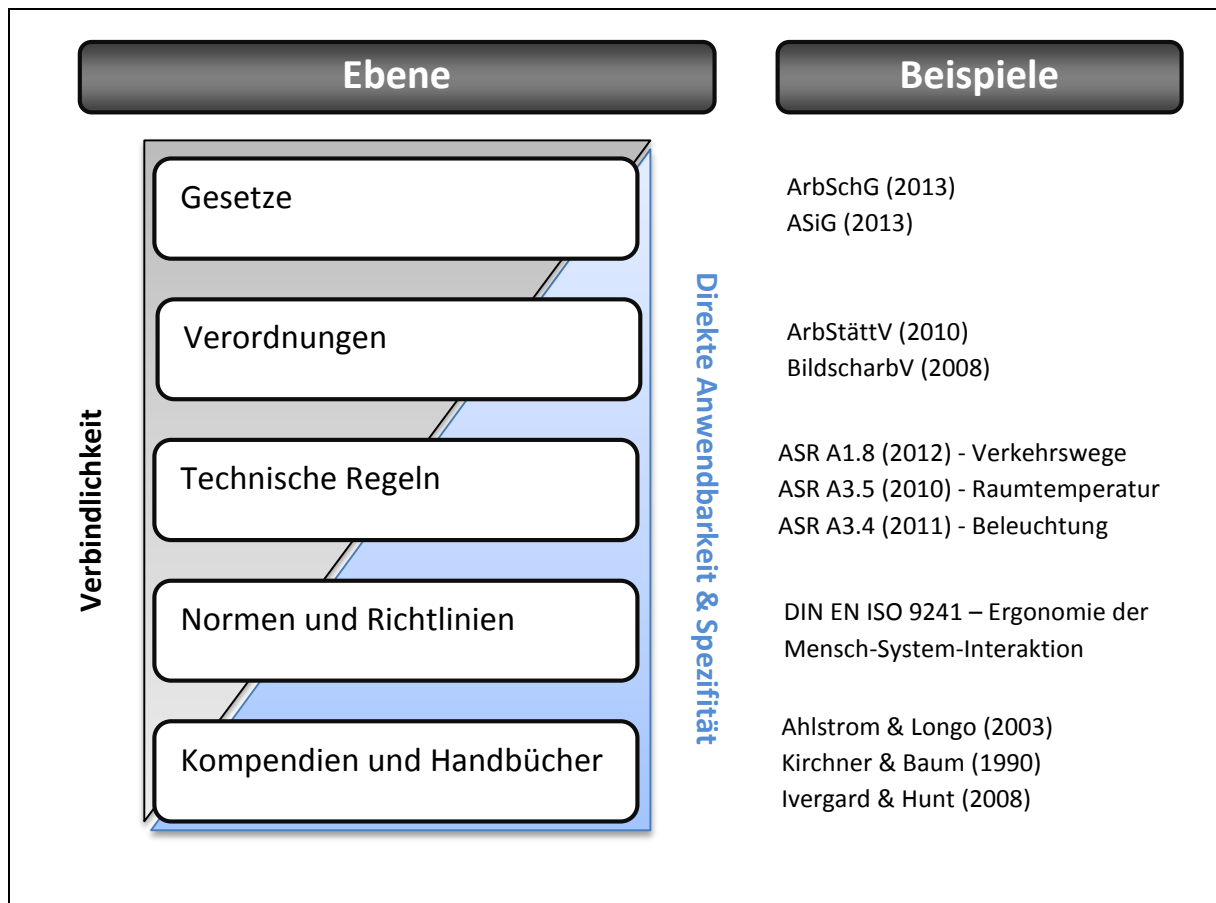


Abbildung 2: Quellenarten sortiert nach Verbindlichkeit mit einigen Beispielen

### 2.1.1. Gesetze

Im Allgemeinen ist das Schutzbedürfnis der Arbeitnehmerseite Basis für staatliche Eingriffe, z.B. mit Hilfe von Gesetzen. Dabei wird häufig auf arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zurückgegriffen, z.B. Grenzen der Überforderung, Schädigung usw. (vgl. Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 20).

Nach Schneider (1996) und Richardi & Wlotzke (1993) lassen sich arbeitsrechtliche Regelwerke wie folgt systematisieren:

- **Grundgesetz** (z.B. Gleichberechtigung von Mann und Frau im Arbeitsleben)
- **Arbeitsrechtliche Gesetze** (z.B. Arbeitszeitgesetz, Arbeitsschutzgesetz, Arbeitssicherheitsgesetz)
- **Kollektives Arbeitsrecht** in Form von Tarifverträgen und Betriebsvereinbarungen
- **Individualarbeitsrecht** in Form von Einzelarbeitsverträgen

Die Instrumente des Kollektiv- und Individualarbeitsrechts umfassen unternehmensspezifische oder personenbezogene Einzelregelungen. Sie stellen für Arbeitsgestalter in der Praxis eine konkrete und vor Allem verbindliche Informationsquelle dar. Allerdings sind sie auf Grund der Einzelfallbetrachtung für eine allgemeingültige Sichtweise, wie es diese Arbeit vorsieht, nicht geeignet. Sie werden daher im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Genau entgegengesetzt verhält es sich mit Gesetzen: Sie regeln keine Einzelfälle sondern allgemeine Sachverhalte. Diese Allgemeingültigkeit bringt eine gewisse inhaltliche Unschärfe mit sich, sodass sich aus den Gesetzestexten in der Regel keine konkreten Vorgaben an Arbeitssysteme ableiten

---

lassen. Dies ist allerdings auch nicht der Sinn und Zweck von Gesetzen. Vielmehr verstehen sich Gesetze als allgemeine Grundsätze, die abstrakt-generelle Verhaltensweisen regeln.

Beispielsweise fordert §5, Abs. 1 ArbSchG (2013), dass der Arbeitgeber die mit der Arbeit verbundenen Gefährdungen beurteilen und daraus ggf. geeignete Maßnahmen des Arbeitsschutzes ableiten muss. §5 Abs. 3 ArbSchG (2013) ergänzt darüber hinaus, woraus sich Gefährdungen im Sinne des Gesetzes ergeben können:

1. die Gestaltung und die Einrichtung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes,
2. physikalische, chemische und biologische Einwirkungen,
3. die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von Arbeitsstoffen, Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit,
4. die Gestaltung von Arbeits- und Fertigungsverfahren, Arbeitsabläufen und Arbeitszeit und deren Zusammenwirken,
5. unzureichende Qualifikation und Unterweisung der Beschäftigten,
6. psychische Belastungen bei der Arbeit.

Wie genau eine Beurteilung durchgeführt werden soll und welche geeigneten Maßnahmen damit verbunden sind lässt das ArbSchG (2013) offen. Nichtsdestotrotz stellt § 4, Nr. 3 ArbSchG (2013) unmissverständlich klar, dass bei Maßnahmen der Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu berücksichtigen sind. Gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse sind solche, die in der Disziplin als gültig anerkannt sind, nicht widerlegt sind und die herrschende Meinung der internationalen Fachwelt darstellen (Rundnagel, 2014).

Was dem Inhalt nach gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse sind, wird in der Regel mit Hilfe von nachrangigen Vorschriften, d.h. Verordnungen, technische Regeln sowie Normen präzisiert. Setzt der Arbeitgeber die Maßnahmen auf seinen Betrieb bezogen möglichst exakt um, ist er auf der „sicheren Seite“: Das ist die sogenannte Vermutungswirkung (Riesenberg-Mordeja, 2005, S. 14). Werden andere Maßnahmen getroffen, so ist die Geeignetheit der Maßnahme vom Arbeitgeber gesondert nachzuweisen. An dieser Stelle wird nochmals die besondere Stellung der Arbeitswissenschaft in Deutschland deutlich. Denn erst durch die Forderung des ArbSchG (2013) nach gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen erhalten die nachrangigen Vorschriften (vgl. Abbildung 2) ihre hohe praktische Bedeutung und Relevanz für die Arbeitssystemgestaltung.

### **2.1.2. Verordnungen**

Verordnungen sind Rechtsnormen zur Konkretisierung der deutschen Gesetze. Sowohl Gesetze wie auch Verordnungen sind verbindlich für die Praxis (vgl. Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 728). Sie werden, anders als Gesetze, von der exekutiven Gewalt erlassen, d.h. durch ein Regierungs- oder Verwaltungsorgan. Damit eine Verordnung in Deutschland erlassen werden kann, bedarf es immer einer formalen Ermächtigungsgrundlage in einem Gesetz (vgl. Bundesministerium der Justiz, 2014). Die Bedingungen für den Erlass von Verordnungen regelt Art. 88 GG (2012).

Streng davon zu unterscheiden sind EU-Verordnungen. EU-Verordnungen können sich an die Europäische Union, an die Mitgliedstaaten oder an die Bürger der Mitgliedstaaten unmittelbar richten und müssen, anders als EU-Richtlinien, nicht erst in nationales Recht überführt werden (vgl. JuraForum, 2014). Wenn im Rahmen dieser Ausarbeitung von Verordnungen die Rede ist, so sind hiermit keine EU-Verordnungen gemeint, sondern Verordnungen der Bundesrepublik Deutschland.

---

Die zwei wichtigsten Verordnungen in diesem Zusammengang sind die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, 2010) und die Bildschirmarbeitsverordnung (BildscharbV, 2008).

Derzeit lässt sich der Trend beobachten, dass Verordnungen den verantwortlichen Unternehmen mehr und mehr Freiraum zur Umsetzung lassen und nur noch wenige konkrete Regelungen treffen. So enthält die ArbStättV (2010) seit der Aktualisierung im Jahr 2004 nur noch allgemeine, grundlegende Schutzziele (vgl. Gutmann & Kollig, 2005, S. 48), wie z.B. die Forderung nach einer ausreichenden Grundfläche von Arbeitsräumen. Detailvorgaben für Mindestgrundflächen von Arbeitsräumen oder Raumhöhen wurden gestrichen.

Als Umsetzung der EU-Bildschirm-Richtlinie wurde im Dezember 1996 die BildscharbV (2008) in Kraft gesetzt. Sie gilt allgemein für die Arbeit an Bildschirmgeräten und somit auch für die Kontrolltätigkeiten der Deutschen Flugsicherung. Allerdings zeigt sich, dass in Leitwarten auf Grund spezifischer Besonderheiten Anforderungen an die Gestaltung der Bildschirmarbeit teilweise anders umzusetzen sind als z.B. im Büro-, Gesundheits- oder Produktionsbereich (Bockelmann, Nickel, & Nachreiner, 2011). Ähnlich zur ArbStättV (2010) enthält auch die BildscharbV (2008) hauptsächlich übergeordnete Gestaltungsziele. Im Anhang der Verordnung lassen sich allerdings für Bildschirmgerät, Tastatur, Arbeitsumgebung und sonstige Arbeitsmittel konkretere Anforderungen finden. Zwar sind auch dort keine konkreten Grenzwerte hinterlegt, nichtsdestotrotz werden die wichtigsten ergonomischen Gestaltungsbereiche zumindest schematisch aufgelistet. So wird beispielsweise gefordert, dass leuchtende oder beleuchtete Flächen keine Blendungen verursachen dürfen und Reflexionen auf dem Bildschirm, soweit wie möglich, zu vermeiden sind. Unklar bleibt allerdings, wann es sich um störende Reflexionen im Sinne der BildscharbV (2008) handelt und für welche Fälle sie als minimiert gelten.

Insgesamt erscheinen auch Verordnungen für den unmittelbaren Einsatz in der praktischen Systemgestaltung als zu abstrakt, insbesondere da die zuständigen Regierungs- oder Verwaltungsorgane mehr und mehr die Angabe von konkreten Grenzwerten zu Gunsten einer Einzelfallbetrachtung im Streitfall vermeiden. Dies erscheint vor dem Hintergrund einer diversen und sich auf Grund des technologischen Fortschritts ständig ändernden Arbeitswelt durchaus sinnvoll. Andererseits erfordern die allgemeingültigen Formulierungen eine weiterführende Präzisierung in den nachrangigen Quellen.

### **2.1.3. Technische Regeln**

Als Unterstufe zu Gesetzen und Verordnungen gibt es das sogenannte „untergesetzliche Regelwerk“. Hierunter fallen technische Regeln (vgl. Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 728). Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) konkretisieren die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung und lösen gemäß § 8 Abs. 2 ArbStättV (2010) die Arbeitsstätten-Richtlinien zur alten Arbeitsstättenverordnung von 1975 ab (vgl. BAuA, 2014).

Entgegen der weit verbreiteten Annahme haben Technischen Regeln für Arbeitsstätten keinen gesetzlichen Charakter (vgl. Meinel, 2011, S. 30). Nichtsdestotrotz gilt für die Technischen Regeln eine Vermutungswirkung. Ein Handeln nach den Technischen Regeln wirkt nach Schlick, Bruder & Luczak (2010, S. 728) wie ein antizipiertes Rechtsgutachten und der Arbeitgeber kann davon ausgehen, dass damit die entsprechende Verordnung passend umgesetzt wird. Im Streitfall ist der

Arbeitgeber durch Einhaltung der Technischen Regeln entsprechend rechtlich geschützt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die aktuell gültigen Technischen Regeln für Arbeitsstätten.

Tabelle 1: Übersicht über die aktuell gültigen Technischen Regeln für Arbeitsstätten in Anlehnung an BAuA (2014)

Kürzel	Name	Ausgabedatum
ASR V3a.2	Barrierefreie Gestaltung von Arbeitsstätten	08/12
ASR A1.2	Raumabmessungen und Bewegungsflächen	09/13
ASR A1.3	Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung	02/13
ASR A1.5/1,2	Fußböden	02/13
ASR A1.6	Fenster, Oberlichter, lichtdurchlässige Wände	01/12
ASR A1.7	Türen und Tore	11/09
ASR A1.8	Verkehrswege	11/12
ASR A2.1	Schutz vor Absturz und herabfallenden Gegenständen, Betreten von Gefahrenbereichen	11/12
ASR A2.2	Maßnahmen gegen Brände	11/12
ASR A2.3	Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan	08/07
ASR A3.4	Beleuchtung	04/11
ASR A3.4/3	Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme	05/09
ASR A3.5	Raumtemperatur	06/10
ASR A3.6	Lüftung	01/12
ASR A4.1	Sanitarräume	09/13
ASR A4.2	Pausen- und Bereitschaftsräume	08/12
ASR A4.3	Erste-Hilfe-Räume, Mittel und Einrichtungen zur Ersten Hilfe	12/10
ASR A4.4	Unterkünfte	06/10

Die einzelnen ASR enthalten teilweise sehr konkrete Vorgaben und Handlungsanweisungen, die direkt in die Arbeitssystemgestaltung integriert werden können. Beispielsweise fordert ASR A3.4 (2011, S. 4) ausreichend Tageslicht und präzisiert diese Anforderung unter Angabe eines Mindesttageslichtquotienten am Arbeitsplatz von 2%. Anhang 1 der ASR A3.4 (2011) enthält darüber hinaus eine Auflistung verschiedener Tätigkeiten und die damit verbundenen Mindestwerte der Beleuchtungsstärke sowie der Farbwiedergabe. Für störende Reflexionen wird, ähnlich wie in der BildscharbV (2008), eine Minimierung gefordert. Allerdings nennt die Technische Regel zumindest beispielhafte Maßnahmen zur Vermeidung und Begrenzung von Reflexionen (ASR A3.4, 2011, S. 10):

- Auswahl geeigneter Leuchtmittel,
- richtige Auswahl und Anordnung der Leuchten,
- Vermeidung von Reflexionen, z. B. durch entsprechende Oberflächengestaltung

Auf Grund der Vermutungswirkung und den konkreten Anforderungen stellen die ASR somit eine wichtige Quelle für Arbeitsgestalter in der Praxis dar.

#### 2.1.4. Normen

Ogleich die ASR relativ umfassend sind, können sie nicht zu jedem ergonomischen Aspekt Stellung beziehen. Daher werden die ASR eher als Grundschatzkatalog verstanden, die gewisse

Mindeststandards am Arbeitsplatz sicherstellen sollen. Das Erfüllen dieser Mindeststandards erscheint in vielen Arbeitsbereichen nicht ausreichend, insbesondere wenn, wie in der Deutschen Flugsicherung, erhöhte Anforderungen an Sicherheit und Effizienz gestellt werden. Normen können die bestehenden Regelungen der ASR ergänzen bzw. präzisieren, falls in den ASR der Stand der Technik für bestimmte Fälle nicht hinreichend beschrieben ist. Denn auch Normen stellen gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse dar und repräsentieren den Stand der Technik (vgl. Dzida, 1995, S. 90) und stehen somit in Verbindung mit § 4, Nr. 3 ArbSchG (2013).

Eine Norm ist nach DIN EN 45020 (2007) ein Dokument, das mit Konsens erstellt und von einer anerkannten Institution angenommen wurde und das für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung Regeln, Leitlinien oder Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse festlegt. Auch Normen haben keine direkte Verbindlichkeit und sind eher als Leitlinien zu verstehen. Es sollen hier lediglich Festlegungen getroffen werden, die zur Standardisierung dienen und weniger zur Durchsetzung bestimmter Pflichtanforderungen (vgl. Zühlke, 2012, S. 177).

Anerkannte Normungsgremien sind auf nationaler Ebene das *Deutsche Institut für Normung* (DIN), auf europäischer Ebene die *Commission Européen de Normalisation* (CEN) und die *European Computer Manufacturers Association* (ECMA) sowie auf internationaler Ebene die *International Standards Organization* (ISO), *International Electrotechnical Committee* (IEC), *Human Factors Society-Human-Computer Interaction Standards Committee* (HFS-HCI), *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), *Open Systems Foundation* (OSF) und die *UNIX International* (UI).

Neben diesen Gremien existieren weitere Verbände, die eigene Richtlinien herausgeben, wie beispielsweise der *Verein Deutscher Ingenieure* oder der *Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik* (VDE).

Eine Auflistung der relevantesten Ergonomie-Normen gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Normen für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen in Anlehnung an Zühlke (2012, S. 179)

Art	Nr.	Titel	Inhalt
DIN	1450	Leserlichkeit von Schriften	Definitionen, Auflistung der Einflussgrößen auf die Leserlichkeit, Hauptkriterien für die Leserlichkeit, räumliche Leserlichkeitsbereiche, Schriftgrößen
DIN	2137	Alphanumerische Tastaturen: Deutsche Tastatur für Text- und Datenverarbeitung	Belegung mit Schriftzeichen; Tastenanordnung und Maße; Belegung von Zeichentasten; Tastenanordnung und -belegung für tragbare Rechner, geteilte und abgewinkelte Tastaturen
DIN	2340	Kurzformen für Benennungen und Namen	Begriffsdefinitionen, Bildungsregeln, Spezialfälle, alphabetisches Register
DIN	4844	Sicherheitskennzeichnung	Begriffe, Grundsätze und Sicherheitszeichen; Sicherheitsfarben
DIN	5034	Tageslicht in Innenräumen	Allgemeine Anforderungen; Grundlagen; Berechnung; Messung
DIN	5035	Beleuchtung mit künstlichem Licht	Begriffe und allgemeine Anforderungen; Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien; Notbeleuchtung; Messung und Bewertung; Beleuchtung von Räumen mit

			Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung
DIN	6164	DIN-Farbenkarte	System der DIN-Farbenkarten
DIN	19227	Grafische Symbole und Kennbuchstaben für die Prozessleittechnik: Darstellung von Aufgaben	Kennbuchstaben zur Darstellung der funktionellen Arbeitsweise, grafische Symbole mit Bedeutungen, Gerätesymbole
DIN	19235	Meldung von Betriebszuständen	Begriffsdefinition, Meldungs-codierung durch Blinken, Töne, Farben
DIN	33402	Körpermaße des Menschen	Begriffe, Messverfahren; Werte; Bewegungsraum; Grundlagen für die Bemessung von Durchgängen, Durchlässen und Zugängen
DIN	33403	Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung	Grundlagen; Einfluss auf den Wärmehaushalt des Menschen; Beurteilungen
DIN	33404	Akustische Gefahrensignale	Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Gestaltungshinweise
DIN	33414	Ergonomische Gestaltung von Warten	Sitzarbeitsplätze: Begriffe, Grundlagen, Maße; kognitive Faktoren; Gestaltungskonzept; Gliederungsschema, Anordnungsprinzipien
DIN	66001	Informationsverarbeitung	Sinnbilder und ihre Anwendung
EN	547	Sicherheit von Maschinen - Körpermaße des Menschen	Ganzkörper-Zugänge an Maschinenarbeitsplätzen Grundlagen für die Bemessung von Zugangsöffnungen Körpermaßdaten
EN	614	Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze	Begriffe und allgemeine Leitsätze Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben
EN	842	Sicherheit von Maschinen - Optische Gefahrensignale	Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung
EN	894	Nutzerinteraktion m. Anzeigen & Stellteilen	Grundlagen; Anzeigen; Stellteile
EN	981	Sicherheit von Maschinen - System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale	Definitionen Ergonomische Leitsätze für die Gestaltung System akustischer und optischer Signale Prüfung
EN	1335	Büromöbel - Büro-Arbeitsstuhl	Maße Sicherheitsanforderungen Prüfverfahren
EN	29241	Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten	Anforderungen an die Arbeitsaufgaben; Anforderungen an visuelle Anzeigen; Farbdarstellungen; Grundsätze der Dialoggestaltung; Informationsdarstellung; Nutzerführung; Dialog m. Menü; Kommandosprache; Bildschirmformulare (identisch zur ISO 9241)

EN	60073	Kodierung von Anzeigegeräten und Bedienteilen durch Farben und ergänzende Mittel	Deutsche Übersetzung der Internationalen Norm IEC 73
EN	60447	Grund und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle	Kennzeichnung, Bedienungsgrundsätze, Betätigung und Wirkung
IEC	73	Bedeutung von Farben	Kennfarben für Leuchtmelder und Druckknöpfe
IEC	16336	Mensch-Maschine-Schnittstelle	Kodierungsgrundsätze für Anzeigen
ISO	7731	Ergonomie - Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten	Akustische Gefahrensignale
ISO	9241	Ergonomie der Mensch-System-Interaktion	Allgemeine Einführung; Anforderungen an die Arbeitsaufgaben; Anforderungen an visuelle Anzeigen; Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung; Anforderungen an die Arbeitsumgebung; Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen; Anforderungen an Farbdarstellungen; Anforderungen an Eingabegeräte; Grundsätze der Dialoggestaltung; Angaben zur Benutzbarkeit; Informationsdarstellung; Nutzerführung; Dialogführung mittels Menüs, Kommandosprache, indirekter Manipulation und Bildschirmformularen
ISO	11064	Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen	Grundsätze für die Gestaltung von Leitzentralen Grundsätze für die Anordnung von Warten mit Nebenräumen Auslegung von Wartenräumen Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen Anzeigen und Stellteile Umgebungsbezogene Anforderungen Grundsätze für die Bewertung von Leitzentralen
ISO	14915	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen	Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen; Multimedia-Navigation und Steuerung; Auswahl und Kombination von Medien
ISO	20282	Einfachheit der Handhabung von Produkten des täglichen Gebrauchs	Gestaltungsanforderungen im Kontext von Anwendungs- und Benutzermerkmalen; Prüfverfahren für öffentlich zugängliche Produkte
VDE	199	Bedeutung von Farben	Identisch zur IEC 73
VDI	2242	Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse	Grundlagen Arbeitshilfen und Literaturzugang
VDI/VDE	3546	Konstruktive Gestaltung von Prozeßleitwarten	Allgemeiner Teil Bautechnische Maßnahmen Ausführung des Leitstandes



			Technische Einrichtungen in Nebenräumen Anordnung von Monitoren
VDI/VDE	3699	Prozessführung mit Bildschirmen	Grundlagen und Begriffe; vorgestaltete Darstellungen; Fließbilder; Kurven; Meldungen;
VDI/VDE	3850	Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen	Grundlagen; Interaktionsgeräte für Bildschirme; Dialoggestaltung für Touchscreens

Tabelle 2 veranschaulicht den hohen Umfang an verschiedenen Regelwerken, die dem Praktiker inzwischen zur Verfügung stehen. Eine Norm, die den ergonomischen Besonderheiten eines Flugsicherungsarbeitsplatzes Rechnung trägt, gibt es trotz der derzeitigen Tendenzen zur europäischen Harmonisierung nicht. Von besonderer Bedeutung, insbesondere vor dem Hintergrund der Flugsicherung, sind zwei Normen: Zum einen die Reihe DIN EN ISO 9241, welche sich allgemein mit der Ergonomie der Mensch-System-Interaktion auseinandersetzt, zum anderen die Reihe DIN EN ISO 11064, welche die ergonomische Gestaltung von Leitzentralen als Sonderfall der Ergonomie betrachtet.

Die Reihe DIN EN ISO 9241 wurde ursprünglich als eine siebzehnteilige Norm zu ergonomischen Anforderungen an Bürotätigkeiten erarbeitet (vgl. DIN EN ISO 9241-303, 2009, S. 2). Derzeit durchläuft die Reihe einen Erneuerungsprozess. Die alten Teile werden dabei nach und nach durch neue Teile mit dem Namen *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion* ersetzt. Die Einschränkung auf Büroarbeit wird damit aufgegeben. Die Norm besitzt Gültigkeit auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene.

DIN EN ISO 9241 enthält detaillierte Vorgaben für Hardware und Software. Darüber hinaus gibt es allgemeine Teile, die übergeordnete Grundsätze, Prinzipien und Gestaltungsprozesse beschreiben. Folgende Teile sind derzeit veröffentlicht und aktuell in Verwendung:

- Teil 1: Allgemeine Einführung
- Teil 2: Anforderungen an die Arbeitsaufgaben – Leitsätze
- Teil 5: Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung
- Teil 6: Anforderungen an die Arbeitsumgebung
- Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze
- Teil 12: Informationsdarstellung
- Teil 13: Benutzerführung
- Teil 14: Dialogführung mittels Menüs
- Teil 15: Dialogführung mittels Kommandosprachen
- Teil 16: Dialogführung mittels direkter Manipulation
- Teil 20: Leitlinien für die Zugänglichkeit der Geräte und Dienste in der Informations- und Kommunikationstechnologie
- Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ersetzt den bisherigen Teil 10)
- Teil 129: Leitlinien für die Individualisierung von User Interfaces
- Teil 143: Formulardialoge (ersetzt den bisherigen Teil 17)
- Teil 151: Leitlinien zur Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für das World Wide Web
- Teil 171: Leitlinien für die Zugänglichkeit von Software
- Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme

- Teil 300: Einführung in Anforderungen und Messtechniken für elektronische optische Anzeigen
- Teil 302: Terminologie für elektronische optische Anzeigen
- Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen
- Teil 304: Prüfverfahren zur Benutzerleistung für elektronische optische Anzeigen
- Teil 305: Optische Laborprüfverfahren für elektronische optische Anzeigen
- Teil 306: Vor-Ort-Bewertungsverfahren für elektronische optische Anzeigen
- Teil 307: Analyse und Konformitätsverfahren für elektronische optische Anzeigen
- Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte
- Teil 410: Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte
- Teil 420: Auswahlmethoden für physikalische Eingabegeräte
- Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion
- Teil 920: Empfehlungen für die taktile und haptische Interaktion

Oben nicht aufgeführte Teile wurden zurückgezogen und/oder im Rahmen der Erneuerung durch andere Teile ersetzt. So wurde beispielsweise Teil 3 (Anforderungen an visuelle Anzeigen) inzwischen durch die Teile 300 - 307 ersetzt. Darüber hinaus gibt es Teile, die bereits als internationale Standards publiziert, allerdings noch nicht in die nationale Normung übernommen wurden (z.B. die Teile 308 – 310).

DIN EN ISO 11064 behandelt die ergonomische Gestaltung von Leitzentralen und kommt somit dem Kontext der Flugsicherung am nächsten. Sie wurde von der Arbeitsgruppe 8 „*Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen*“ des Technischen Komitees ISO/TC 159 „*Ergonomie*“, Unterkomitee 4 „*Ergonomie der Mensch-System-Interaktion*“, erarbeitet (vgl. DIN EN ISO 11064-1, 2000, S. 1) und hat den Status einer internationalen, europäischen und nationalen Norm. Folgende Teile sind derzeit publiziert und als aktuelle Fassung gültig:

- Teil 1: Grundsätze für die Gestaltung von Leitzentralen
- Teil 2: Grundsätze für die Anordnung von Warten mit Nebenräumen
- Teil 3: Auslegung von Wartenräumen
- Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen
- Teil 5: Anzeigen und Stellteile
- Teil 6: Umgebungsbezogene Anforderungen an Wartenräume
- Teil 7: Grundsätze für die Bewertung von Leitzentralen

Die Norm wurde hauptsächlich in den 90er Jahren entwickelt. Zwar werden einzelne Teile regelmäßig aktualisiert, dennoch verliert DIN EN ISO 11064 mehr und mehr gegenüber der umfassenderen und aktuelleren DIN EN ISO 9241 an Bedeutung.

### **2.1.5. Kompendien und Handbücher**

Neben Normen gibt es zahlreiche weitere Hilfestellungen, die Systemgestalter bei einer ergonomischen Gestaltung unterstützen sollen. Ein Beispiel hierfür sind die gesammelten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. BAuA (2014a) gibt einen Überblick über die gesammelten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse von 2000 bis 2010. Zusätzlich werden regelmäßig von den Berufsgenossenschaften allgemeine Informationen zur Gestaltung von Betriebsstätten veröffentlicht. Eine Übersicht gibt die Internetseite [arbeitssicherheit.de](http://arbeitssicherheit.de) (2013).

---

Darüber hinaus gibt es unzählige weitere Werke, die spezifische Domänen der Ergonomie behandeln. Beispielhaft soll im Folgenden ein kurzer Abriss zur ergonomischen Gestaltung von Flugsicherungssystemen gegeben werden. Wie in Abschnitt 2.1.4 bereits erwähnt, gibt es keine Norm speziell zur Gestaltung von Flugsicherungsarbeitsplätzen. Auch allgemein zu Kontrollräumen ist abgesehen von der DIN EN ISO 11064 wenig aktuelles Material auf normativer Ebene verfügbar. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich ersatzweise einige Standardwerke etabliert haben, die diese Lücke schließen möchten.

Ein Beispiel hierfür ist der *Human Factors Design Standard (HFDS)* (vgl. Ahlstrom & Longo, 2003) der *Federal Aviation Administration (FAA)*. Er wurde von der FAA, die als amerikanische Luftfahrtbehörde auch Flugsicherungsdienste bereitstellt, entwickelt und kann als Referenz bei der Beschaffung neuer Flugsicherungssysteme herangezogen werden. Zielgruppe sind zum einen Ergonomie-Experten in den Flugsicherungen, zum anderen aber auch die Zulieferer und Vertragspartner der Flugsicherungen, welche mit der eigentlichen Systementwicklung beauftragt werden.

Der HFDS gliedert sich in 15 umfangreiche Kapitel und deckt damit alle wichtigen Gestaltungsbereiche ab (vgl. Federal Aviation Administration, 2014):

1. Introduction
2. General Design Requirements
3. Automation
4. Designing Equipment for Maintenance
5. Displays and Printers
6. Controls and Visual Indicators
7. Alarms, Audio, and Voice
8. Computer-Human Interface
9. Input Devices
10. Workplace Design
11. System Security
12. Personnel Safety
13. Environment
14. Anthropometry and Biomechanics
15. User Documentation

Im europäischen Raum gibt es Bestrebungen, die Anforderungen an einen Fluglotsenarbeitsplatz zu integrieren. Dies gilt zum einen für die technische Infrastruktur, aber auch hinsichtlich der Systeminteraktion. Im Rahmen des Projektes *The Integrated Tower Working Position* unter der Leitung von Eurocontrol, einem Dachverband aller Flugsicherungen in Europa, wurden gemeinsame Anforderungen ermittelt und dokumentiert. Ergebnis des Projektes ist eine detaillierte Anforderungsliste sowie Spezifikationen an ein integriertes HMI (vgl. Dubuisson & Lane, 2014).

Daneben haben sich verschiedene Handbücher und Berichte etabliert, die allgemein die Gestaltung von Kontrollräumen näher behandeln (vgl. z.B. Ivergard & Hunt, 2008; Stanton, Salmon, Jenkins, & Walker, 2009; EEMUA 191, 2013; Rajan, Wilson, & Wood, 2005; Bockelmann, Nachreiner, & Nickel, 2012; Noyes & Bransby, 2001).

Zusätzlich kann grundsätzlich auch die Spezialliteratur anderer Kontrollraumdomänen (z.B. Energieerzeugung oder Überwachung von sicherheitskritischen Bereichen) herangezogen werden. Beispielhaft seien an dieser Stelle die *Human Factors Guidelines for Traffic Management Centers* des

---

U. S. Department of Transportation erwähnt (vgl. Kelly, 1999). Zwar ist vor der Anwendung eine Übertragbarkeit der Anforderungen auf den Flugsicherungskontext kritisch zu hinterfragen, allerdings erscheinen viele der behandelten Problemstellungen ähnlich (z.B. hinsichtlich der Anordnung der zahlreich benötigten Bildschirme). Somit kann auch die Fachliteratur anderer Domänen wichtige Hinweise für die Gestaltung bieten.

### **2.1.6. Zusammenfassende Betrachtung der Quellen**

Es lässt sich festhalten, dass Gesetze und Verordnungen zwar eine hohe Verbindlichkeit besitzen, auf Grund der angestrebten Allgemeingültigkeit allerdings wenig konkrete Informationen zur Auslegung von ergonomischen Systemen beinhalten. Konkretisiert werden die allgemeingültigen Anforderungen durch Technischen Regeln sowie Normen und Richtlinien. Sie repräsentieren gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den Stand der Technik und stehen somit in direkter Verbindung mit § 4, Nr. 3 ArbSchG (2013). Werden die Anforderungen aus den Regelwerken eingehalten, so gilt die Vermutungswirkung, d.h. es kann davon ausgegangen werden, dass auch die vorrangigen Gesetze und Verordnungen eingehalten sind. Aus diesem Grund besitzen Technische Regeln sowie Normen und Richtlinien eine hohe Relevanz. Gleichzeitig sind sie hinreichend präzise, um in der praktischen Systemgestaltung Anwendung zu finden. Aus diesem Grund soll der Fokus der Arbeit auf diesen Quellenarten liegen.

Kompendien und Handbücher greifen die Informationen aus den anerkannten Regeln der Technik auf und stellen sie didaktisch ansprechend dar. Somit sind sie für fachfremde Dritte als Einstieg gut geeignet. Da sie allerdings keinerlei Verbindlichkeit besitzen und nur selten über bekanntes Wissen aus Normen und Richtlinien hinausgehen, sollen auch sie im Folgenden vernachlässigt werden.

## **2.2. Wissensrepräsentation**

Kapitel 2.1 stellte die relevanten Quellen für eine ergonomische Gestaltung dar. Dieser Abschnitt soll nun verschiedene Möglichkeiten aufzeigen, wie dieses Wissen grundsätzlich formalisiert und strukturiert werden kann, um auf diese Weise einen besseren Zugang für Praktiker zu ermöglichen.

### **2.2.1. Begriffliche Grundlagen**

Im Fokus dieser Ausarbeitung steht die Modellierung von Abhängigkeiten zwischen Anforderungen und Systemelementen in der ergonomischen Systemgestaltung.

Eine *Abhängigkeit* besteht, wenn zwei oder mehr Systemelemente nicht isoliert voneinander gestaltet werden können, d.h. wenn bestimmte Ausprägungen des einen Systemelements den Lösungsraum eines anderen Systemelements einschränken und umgekehrt. Abhängigkeiten entstehen aber nicht zwingend, sondern können je nach Gestaltungskontext variieren und sind ein Symptom komplexer Gestaltungsvorhaben. Die Komplexität ergibt sich dabei aus der Anzahl an Untersystemen und den zu Grunde liegenden Zusammenhängen (vgl. Meister, 1999, S. 133).

*Zusammenhänge* beschreiben allgemeine Wirkbeziehungen. Durch das Verstehen übergeordneter Zusammenhänge können Abhängigkeiten entsprechend Adressiert werden. Abhängigkeiten können demnach als Symptom komplexer Systeme begriffen werden, während Zusammenhänge die hintergründige Ursache beschreiben. Daher richtet sich das Erkenntnisinteresse mehr auf Zusammenhänge als auf die daraus resultierenden Abhängigkeiten in der Systemgestaltung. Aus diesem Grund soll im Folgenden von Zusammenhängen statt Abhängigkeiten gesprochen werden.

Wie wichtig die Identifikation und Analyse dieser Zusammenhänge für die Ergonomie als wissenschaftliche Disziplin ist, wurde bereits anhand der Definition von Ergonomie verdeutlicht (vgl. Abschnitt 1.1). Darüber hinaus sind Zusammenhänge aber auch ein wesentliches Merkmal von Wissen im Allgemeinen: Erst über das Verstehen von Zusammenhängen wird aus vereinzelt Informationen Wissen generiert. Dem entsprechend beschäftigt sich die Wissensrepräsentation mit der Fragestellung, wie Zusammenhänge zwischen verschiedenen Informationen so abgebildet werden können, dass das Wissen mit einer möglichst hohen Abbildungsgüte konserviert wird. Bevor allerdings konkrete Konzepte und Methoden der Wissensrepräsentation vorgestellt werden, sollen zum besseren Verständnis zunächst die drei Begriffe *Daten*, *Informationen* und *Wissen* voneinander abgegrenzt werden.

Abbildung 3 zeigt die Begriffshierarchie nach Probst, Raub & Romhardt (2010, S. 16). Auf der untersten Ebene der Hierarchie befinden sich einzelne Zeichen wie z.B. Buchstaben oder Zahlen, die sich aus einem definierten Zeichenvorrat (z.B. lateinisches Alphabet, Dezimalzahlssystem) entnehmen lassen. Über ein bestimmtes Regelsystem (Syntax) werden die Zeichen in Daten überführt. Aber erst über eine Semantik erhalten die Daten eine Bedeutung, z.B. dass mit der Zahl 15 die Mindestgröße für Zeichen auf Bildschirmen in Bogenminuten nach DIN EN ISO 9241-303 (2009) gemeint ist. Die Vernetzung von verschiedenen Informationen ermöglicht schließlich deren Nutzung in einem bestimmten Kontext, z.B. die Gestaltung der Schriftgrößen von Flugdaten auf Radarsystemen in der Flugsicherung. Das Verständnis über Zusammenhänge zwischen Informationen kann demnach als Wissen bezeichnet werden.

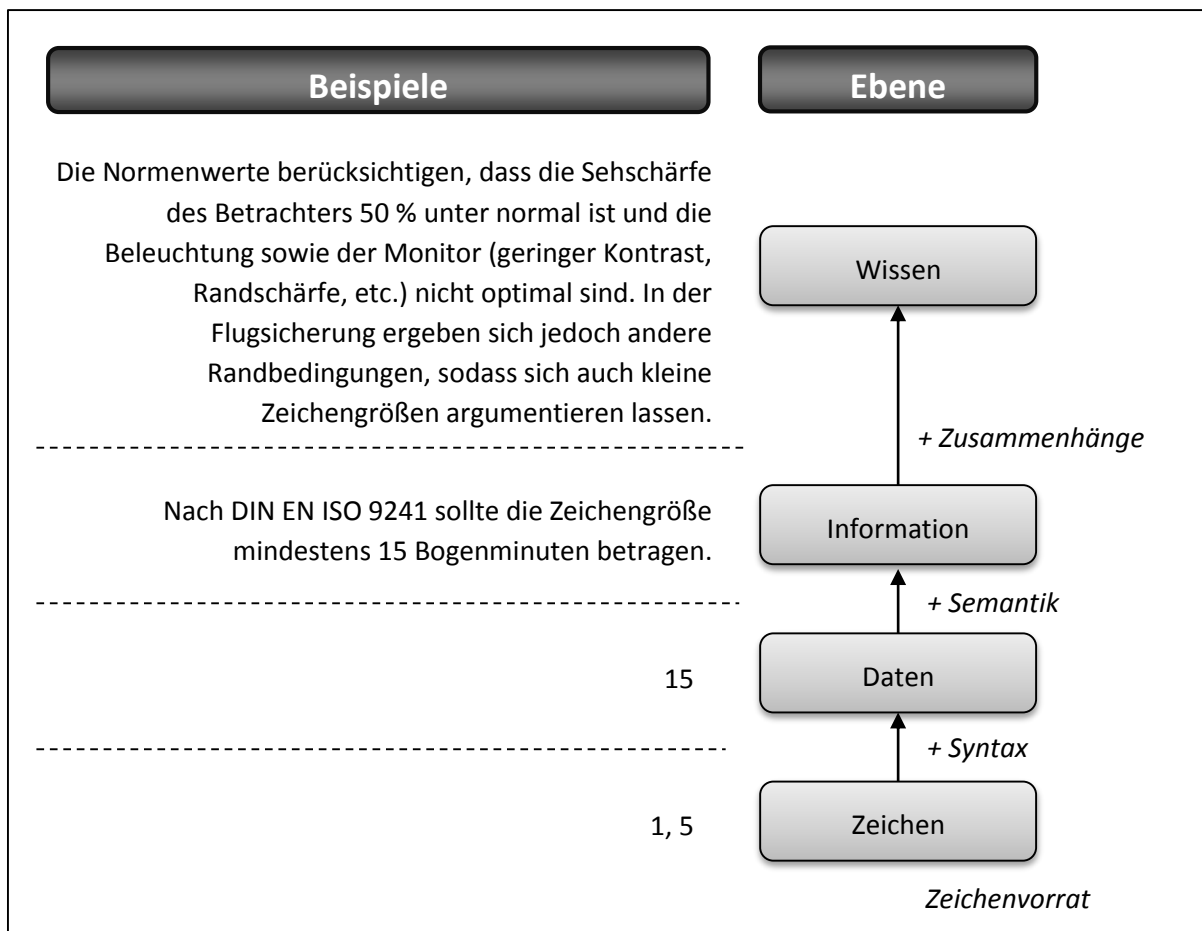


Abbildung 3: Abgrenzung des Wissensbegriffs, in Anlehnung an Probst, Raub & Romhardt (2010)

Die in Abbildung 3 dargestellten Ebenen lassen sich nicht immer scharf voneinander trennen. Aus diesem Grund scheint die Vorstellung eines Kontinuums zwischen den zwei Polen *Daten* und *Wissen* tragfähiger zu sein (Probst, Raub, & Romhardt, 2010, S. 18). In diesem Kontinuum sind Daten eher strukturiert, isoliert und kontext-unabhängig, während Wissen eher unstrukturiert, vernetzt und kontext-abhängig vorliegt und somit leichter in Verhaltensweisen überführt werden kann (vgl. Bodendorf, 2006, S. 2). Abbildung 3 stellt dieses Kontinuum zwischen Daten, Informationen und Wissen dar.

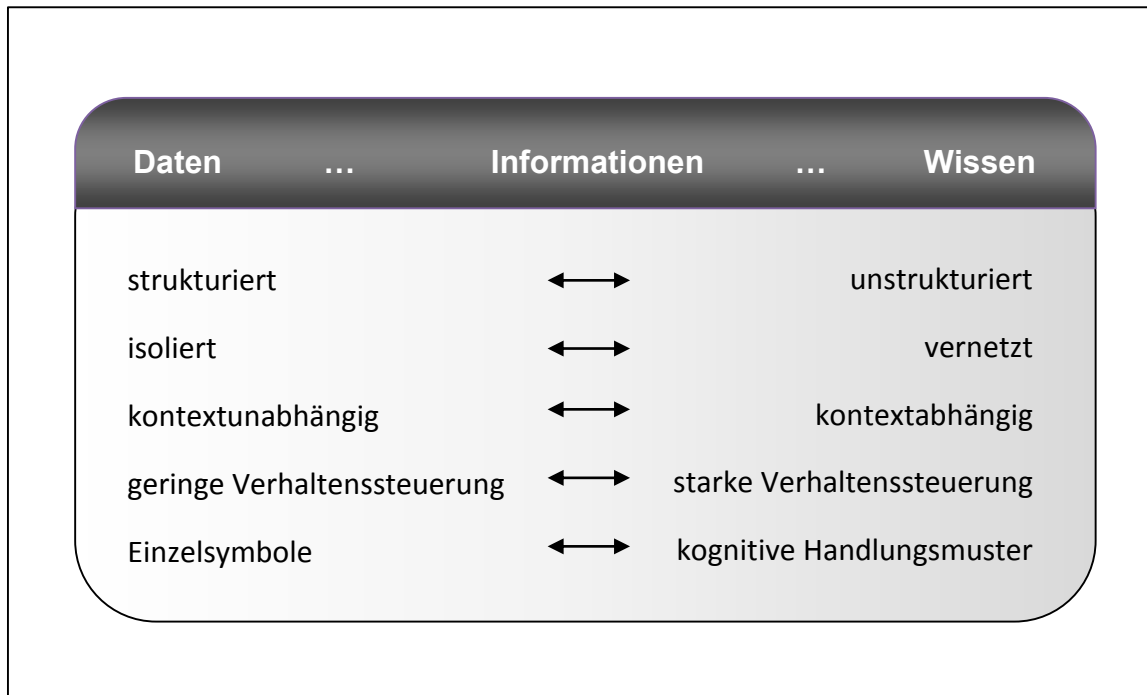


Abbildung 4: Kontinuum zwischen Daten, Informationen und Wissen (Bodendorf, 2006, S. 2)

In Anlehnung an Abbildung 3 wird für diese Arbeit der Daten- und Informationsbegriff nach ISO/IEC 2382-1 (1993) zu Grunde gelegt. Demnach sind Daten eine verkürzte und formalisierte Darstellung von Informationen zur Kommunikation, Interpretation oder Verarbeitung. Informationen wiederum sind mit Bedeutung angereicherte Daten bzw. eine verkürzte Darstellung von Wissen und beziehen sich z.B. auf Fakten, Ereignisse, Dinge, Prozesse oder Ideen (vgl. ISO/IEC 2382-1, 1993).

Weitaus schwieriger zu fassen ist der Wissensbegriff. Wie oben dargestellt bedarf es zur Wissensgenerierung immer eines Handlungsfelds bzw. Anwendungskontextes, in dem bestimmte Informationen zielorientiert miteinander vernetzt werden. Probst, Raub & Romhardt (2010, S. 23) definieren Wissen wie folgt:

*„Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs Zusammenhänge.“*

Ein wesentliches Merkmal von Wissen ist demnach, dass es Ursache-Wirkungs Zusammenhänge für einen bestimmten Kontext herstellen kann und daher effektiv Handlungs- und Verhaltensweisen steuert. Die Art und Weise, wie Informationen miteinander verknüpft werden, bestimmt maßgeblich

---

den eingeschlagenen Lösungsweg und insbesondere, ob die damit verbundenen (neuen) Probleme antizipiert werden.

Nach obiger Definition stellt sich die Frage, inwieweit sich Wissen überhaupt losgelöst vom Menschen abbilden lässt. Die derzeit herrschende Meinung geht davon aus, dass Wissen nicht ohne den Menschen existieren kann (vgl. z.B. Probst, Raub, & Romhardt, 2010; Bodendorf, 2006; North, 2011; Akerkar & Sajja, 2010).

Allerdings existieren auch gegensätzliche Meinungen, dass Wissen durchaus unabhängig vom Menschen kreiert und gespeichert werden kann, auch wenn gegenwärtige Technologien dies noch nicht ermöglichen. So diskutiert beispielsweise Wigg (1999), dass sich Informationen sehr wohl unter Berücksichtigung von Glaubensgrundsätzen, Urteilsvermögen und Lernprozessen zu Wissen losgelöst vom menschlichen Verstand zusammenführen lassen. Ein Forschungsfeld, welches sich dieser Aufgabe widmet ist die *Künstliche Intelligenz* als Teilgebiet der Informatik (vgl. z.B. Ertel, 2013; Russell & Norvig, 2012; Lämmel & Cleve, 2012).

Die Frage, ob Wissen losgelöst vom Menschen existieren kann, ist für diese Arbeit aber nicht entscheidend. Viel entscheidender ist die Frage, wie der Mensch bei der Transformation von Informationen zu Wissen unterstützt werden kann. Akerkar & Sajja (2010, S. 16-17) formulieren diesen Gedanken wie folgt:

*“Knowledge is hidden in data and information like butter in milk. Data and information require suitable processing to generate structured meaningful information to aid decisions making. It is the level of processing that makes the content meaningful and applicable.”*

Unabhängig davon, ob Wissen nun losgelöst vom Menschen existieren kann oder nicht, befasst sich die Wissensrepräsentation mit der Frage, wie sich Wissen und die damit verbundenen Zusammenhänge möglichst verlustfrei abbilden lassen. Die größte Herausforderung dabei ist, auf der einen Seite den Wissenszugang zu vereinfachen, auf der anderen Seite aber die wesentlichen Wissenseseigenschaften zu erhalten. Für die Begriffsdefinition von Wissensrepräsentation schließt sich diese Ausarbeitung Akerkar & Sajja (2010) an:

*“Knowledge representation is a methodology by which a suitable structure is selected to represent a given knowledge component in such a way that operations like storage, retrieval, inference, and reasoning are facilitated without disturbing the required characteristics of the knowledge components. With knowledge representation, real-world knowledge is used for problem solving and reasoning” (vgl. Akerkar & Sajja, 2010, S. 68).*

Wissensrepräsentation soll im Folgenden auf drei verschiedenen Ebenen diskutiert werden:

1. **Kognitive Ebene des Menschen:** Da Wissen wie bereits diskutiert nicht losgelöst vom Menschen existieren kann, stellt sich die Frage, wie Wissen überhaupt im menschlichen Gedächtnis repräsentiert ist. Diese erste Perspektive wird in dem nun folgenden Kapitel 2.2.2 vorgestellt. Im Vordergrund stehen Konzepte, die erklären, wie der Mensch Informationen im Gedächtnis organisiert, strukturiert und vernetzt.
2. **Externalisierende Ebene:** Auch wenn sich Wissen nicht direkt abbilden lässt, so hat der Mensch doch Mittel und Wege gefunden, Wissen mit Hilfe von bestimmten Methoden so in Informationen zu kodieren, dass es wieder leicht in Wissen rücktransformiert werden kann. Diese Ansätze werden in Abschnitt 2.2.3 behandelt. Im Vordergrund der Betrachtung stehen Methoden, mit denen sich Wissen strukturieren, organisieren und konservieren lässt. In der

Datenverarbeitung haben sich zudem einige standardisierte Modellierungssprachen herausgebildet, die auf den zuvor vorgestellten allgemeinen Methoden aufbauen. Diese werden in Kapitel 2.2.4 näher vorgestellt.

3. **Anwendungsorientierte Ebene:** Abschnitt 2.3 stellt schließlich dar, welche konkreten Anwendungen der Wissensrepräsentation in der Ergonomie bereits existieren.

Abbildung 5 stellt die verschiedenen Ebenen der Wissensrepräsentation und deren Inhalte übersichtlich dar, die im Folgenden näher beleuchtet werden.

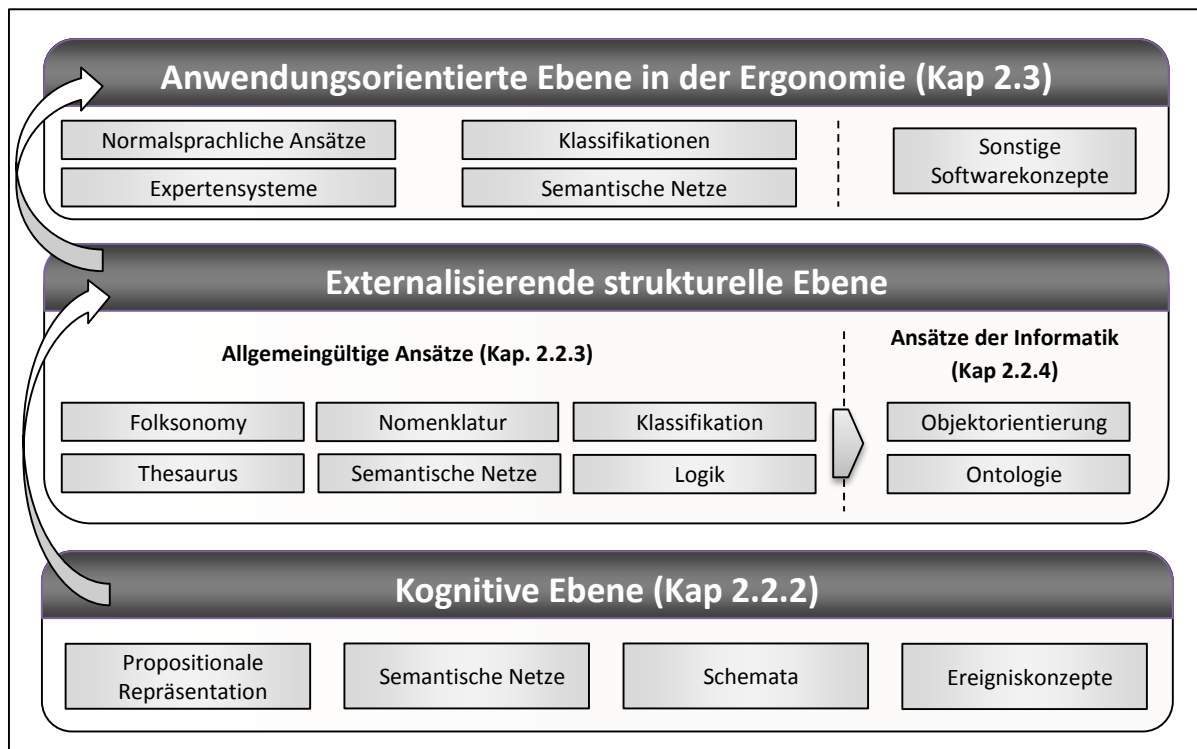


Abbildung 5: Die drei Ebenen der Wissensrepräsentation

### 2.2.2. Kognitive Wissensrepräsentation

Wie in Abschnitt 2.2.1 bereits erwähnt, kann Wissen nach herrschender Meinung nicht ohne menschliches Zutun entstehen: Erst der Mensch kann über das Herstellen von Zusammenhängen zwischen Informationen Wissen kreieren. Die kognitive Psychologie kennt verschiedene Konzepte, die beschreiben auf welche Weise genau Wissen im menschlichen Gedächtnis repräsentiert ist.

Der Mensch speichert Informationen aus den verschiedenen Sinneseindrücken nicht in Reinform, d.h. mit allen Details im Gedächtnis ab. Vielmehr durchlaufen alle Sinneseindrücke einen Filterungsprozess und nur die bedeutungs- und sinngabenden Merkmale einer Information werden nach der Verarbeitung gespeichert. Dies gilt sowohl für sprachliche Botschaften, bei denen nicht der exakte Wortlaut, sondern nur der Nachrichteninhalte abgelegt wird (vgl. Wanner, 1974), als auch für visuelle Informationen, bei denen lediglich eine Interpretation des Bildes gespeichert wird (vgl. Mandler & Ritchey, 1977). Zwar erinnert sich der Mensch anfänglich an Details, allmählich verblasst diese Erinnerung, während die Bedeutung einer Botschaft oder eines Bildes im Gedächtnis erhalten bleibt. Im Folgenden werden einige Konzepte und Modelle vorgestellt, die erklären sollen, wie Informationen im Gedächtnis gespeichert werden und wie sich diese zu Wissen verknüpfen lassen.



## Propositionale Wissensrepräsentation

Die propositionale Wissensrepräsentation nach Klitsch & van Dijk (1978) postuliert, dass komplexe Aussagen in kleinere elementare Wissensseinheiten, sogenannte Propositionen, überführt werden, um dann im Gedächtnis abgespeichert zu werden. So könnte der Satz „Die Schriftzeichenhöhe, die ein Bildschirmzeichen hat und in Bogenminuten angegeben wird, sollte nach DIN EN ISO 9241-303 mindestens 15 betragen“ in folgende Propositionen zerlegt werden:

*P1: HAT(BILDSCHIRMZEICHEN, ZEICHENHÖHE)*

*Normalsprachlich: Ein Bildschirmzeichen hat eine Zeichenhöhe*

*P2: SOLLTE MINDESTENS BETRAGEN (ZEICHENHÖHE, 15, DIN EN ISO 9241-303)*

*Normalsprachlich: Die Zeichenhöhe sollte nach DIN EN ISO 9241-303 (den Wert) 15 betragen*

*P3: WIRD ANGEGEBEN IN (ZEICHENHÖHE, BOGENMINUTEN)*

*Normalsprachlich: Die Zeichenhöhe wird in Bogenminuten angegeben*

Vor dem Doppelpunkt wird angegeben, um welche Proposition es sich handelt. Das anschließende Prädikat bringt die Argumente in der Klammer in Beziehung zueinander.

Propositionale Informationen lassen sich auch mit Hilfe eines Netzwerks repräsentiert (vgl. Anderson, 2013, S. 100-101). Jede Proposition wird durch eine Ellipse dargestellt, die durch beschriftete Pfeile mit ihrem Prädikat und ihren Argumenten verbunden ist. Die Propositionen, die Prädikate und die Argumente werden als *Knoten*, die Pfeile als *Verbindungen* bezeichnet. Das Ergebnis für das oben genannte Beispiel ist in Abbildung 6 dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass sich verschiedene Propositionen die gleichen Argumente teilen können (z.B. P1, P2 und P3 verweisen gleichzeitig auf das Attribut Zeichenhöhe). Diese Überlappung verdeutlicht, dass kleinere Netzwerke in Wirklichkeit zusammenhängende Teile eines größeren Netzwerkes sind, dem sich das Gedächtnis bedient. Auf diese Weise können einzelne Informationen zu Wissen vernetzt werden.

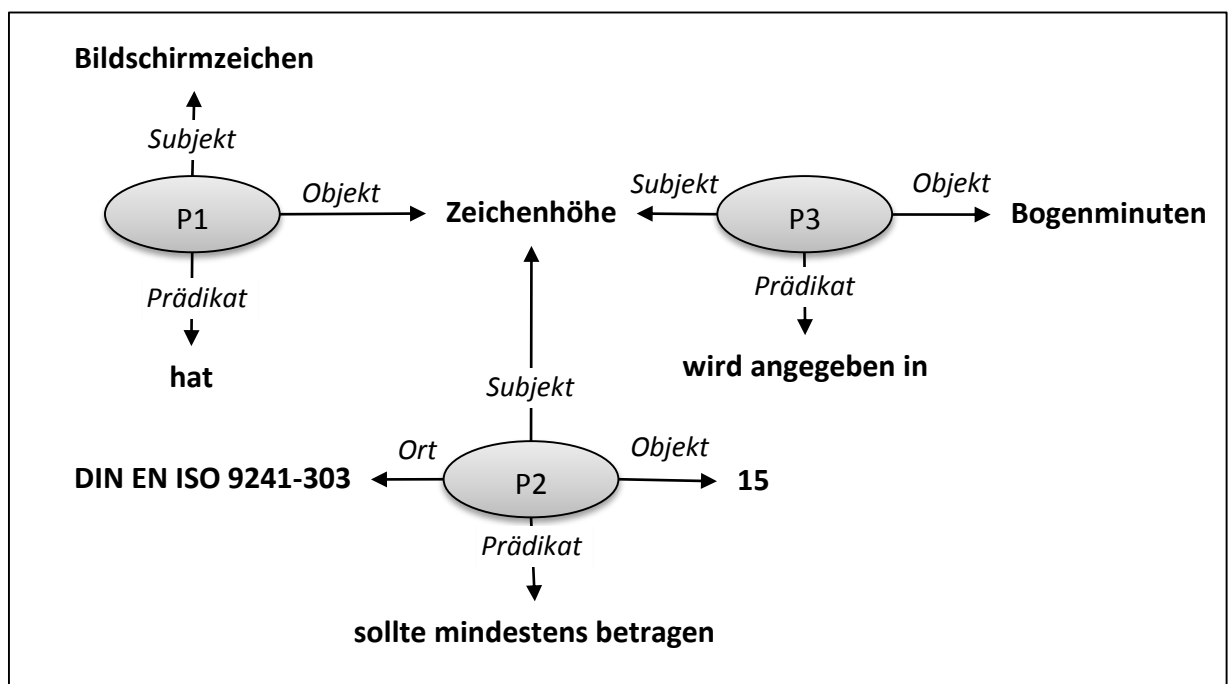


Abbildung 6: Beispielhafte propositionale Netzwerkdarstellung eines Satzes

## Semantische Netze

Propositionale Netzwerke gehen davon aus, dass einzelne Informationen in Prädikate und Attribute zerlegt und als solche gespeichert werden. Collins & Quillian (1969) hingegen nehmen an, dass Menschen Informationen über verschiedene Kategorien abspeichern. Demnach bildet der Mensch eine Information nicht direkt im Gedächtnis ab, sondern gliedert sie vielmehr in ein übergreifendes Ordnungsschema, einem semantischen Netz ein. Mit jeder Kategorie sind bestimmte Eigenschaften verbunden. Zudem stehen die Kategorien untereinander in einem hierarchischen Zusammenhang. Dem zufolge gibt es abstrakte und auch sehr konkrete Kategorien. Abbildung 7 stellt ein Beispiel für die Kategorie *Anzeigegerät* dar. Beispielsweise ist ein *Projektor* eine *elektronische Anzeige* und eine *elektronische Anzeige* ein *Anzeigegerät*. Mit jeder dieser Kategorien sind Eigenschaften verknüpft, z.B. dass ein Projektor eine Anzeigefläche benötigt. Jede untergeordnete Kategorie hat dabei gleichzeitig auch die Eigenschaften der übergeordneten Kategorie. Da es sich bei dem *Projektor* um eine *elektronische Anzeige* handelt, benötigt er beispielsweise genauso Strom wie die übergeordnete Kategorie. Die untergeordnete Kategorie muss allerdings nicht zwingend alle Eigenschaften der übergeordneten Kategorie erben. Beispielsweise gibt es auch elektronische Anzeigen, die nicht den RGB-Farbraum verwenden, obwohl die übergeordnete Kategorie diese Eigenschaft besitzt (z.B. schwarzweiß Monitore). In diesem Fall kann die Eigenschaft in der untergeordneten Kategorie einfach „überschrieben“ werden.

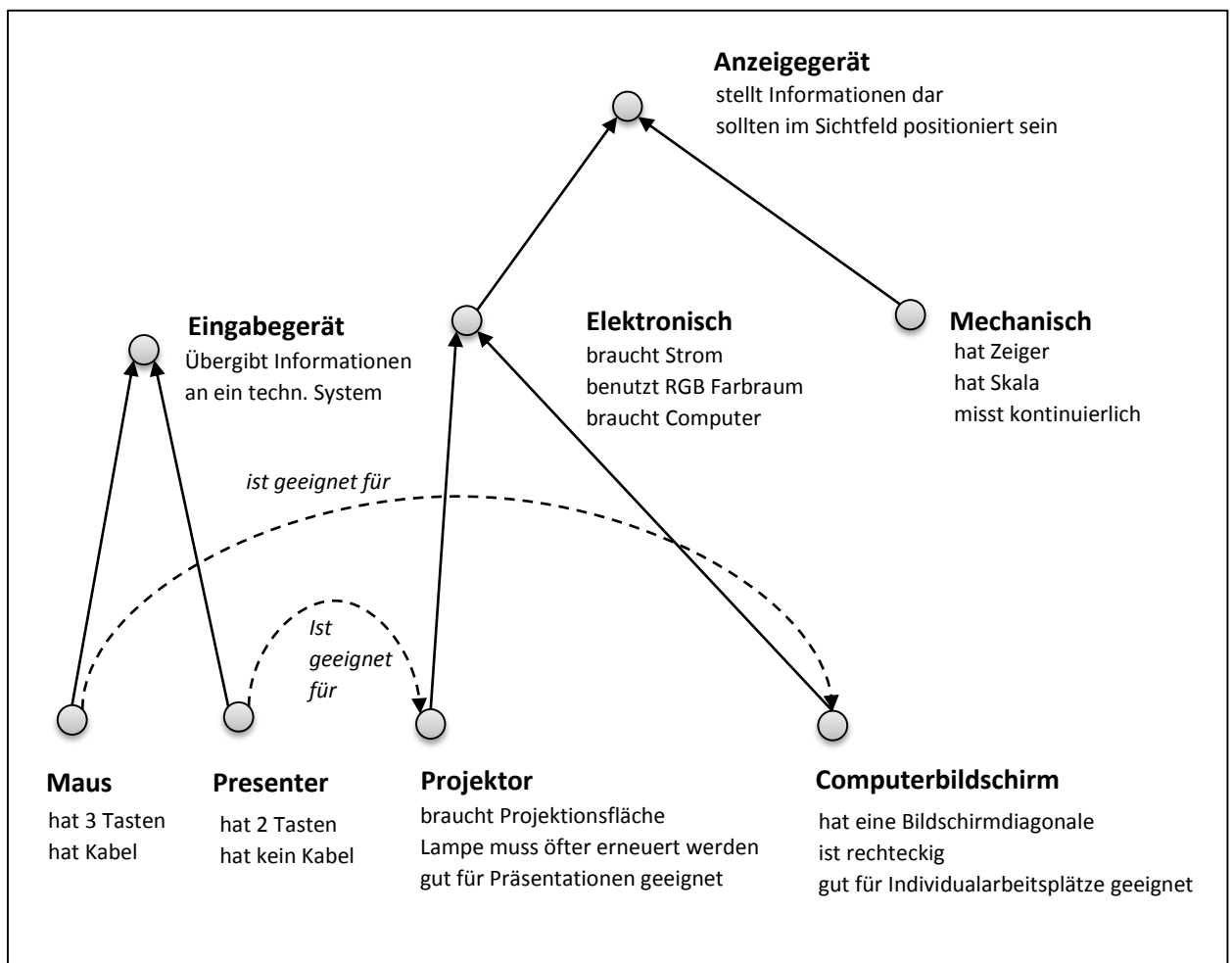


Abbildung 7: Beispielhaftes semantisches Netz mit Kategorien, Eigenschaften und Verknüpfungen

---

Darüber hinaus können verschiedene Kategorien nicht nur hierarchisch, sondern auch frei miteinander verknüpft sein. Beispielsweise gehören „Maus“ und „Presenter“ zu der übergeordneten Kategorie „Eingabegerät“ und sind zunächst nicht mit den Anzeigegeräten semantisch verbunden. Über die Verknüpfung „ist geeignet für“ können die Eingabegeräte allerdings mit bestimmten Anzeigegeräten verknüpft werden. Auf diese Weise entsteht ein semantisches Netz, mit dem sich z.B. abbilden lässt, dass die Maus eher für den Computerbildschirm, der Presenter eher für den Projektor geeignet ist.

Je nachdem, wie oft sich die gebildeten Kategorien in der Realität bestätigen und wie weit verschiedene Kategorien im Netzwerk voneinander entfernt sind, können die Informationen von einem Menschen unterschiedlich schnell zu Wissen miteinander verknüpft werden.

### Schemakonzept

Semantische Netze postulieren, dass Menschen in abstrakten Kategorien denken. Allerdings hat man in der Regel kein abstraktes, sondern ein konkretes Objekt mit bestimmten Eigenschaften vor Augen, wenn man an einen Begriff denkt. Stellt sich eine Person einen Bildschirm vor, so hätte sie vermutlich vor 15 Jahren einen CRT-Bildschirm vor Augen gehabt. Heute würde sie eher an einen LCD Bildschirm denken. Des Weiteren hat die Vorstellung eine bestimmte Größe und vielleicht eine gewisse Farbe. Die Vorstellung von dem abstrakten Begriff „Bildschirm“ ist also für den einzelnen Menschen sehr konkret und zudem scheint sich diese Vorstellung im Zeitverlauf zu verändern. An dieser Stelle zeigt sich die Limitierung von semantischen Netzen. Um das beschriebene Phänomen erklären zu können, wurde in Anlehnung an die frühen Ideen der Informatik das Schemakonzept formuliert (vgl. Bartlett, 1995; Markus, 1977). Bei Schemata (oft auch *Frames* genannt) handelt es sich um Abstraktionen spezifischer Exemplare. Auch Schemata enthalten Attribute (auch Slots genannt), die jedoch spezifische Ausprägungen haben können. Ein Schema für einen Bildschirm könnte wie folgt aussehen:

#### Bildschirm

- **Oberbegriff:** Elektronische Anzeige
- **Teile:** Bildfläche, Standfuß, Bedienelemente
- **Format:** 4:3, 16:9, 16:10
- **Größe:** 19“, 22“, 24“, 27“
- **Eingänge:** VGA, DVI, HDMI
- **Gehäuse:** Kunststoff, Aluminium
- **Typ:** Flachbildschirm, Röhrenbildschirm
- **Funktion:** Zeigt Informationen an

In diesem Beispiel sind z.B. *Format*, *Größe* und *Gehäuse* Schema-Attribute und *Kunststoff* und *Aluminium* spezifische Ausprägungen dieser Attribute. Durch das Belegen der Attribute mit konkreten Ausprägungen wird das allgemeine Schema für ein bestimmtes Objekt individualisiert.

Die in einem Schema hinterlegten Attribute und Ausprägungen nennt man auch Standardwerte (*default-Werte*) eines Schemas. Sie können überschrieben werden, wenn ein neuer Gegenstand nicht in das gedankliche Schema passt (z.B. ein quadratischer Monitor mit einem Sonderformat von 1:1).

Zu jedem Schema gehört zudem ein Oberbegriff, sodass sich mit Hilfe von Schemas, ähnlich wie bei semantischen Netzen, auch eine Hierarchie aufspannen lässt. Das untergeordnete Schema erbt dabei

---

alle Attribute des übergeordneten Schemas. Da beispielsweise das übergeordnete Schema *Elektronische Anzeige* Strom für den Betrieb benötigt, trifft dies auch für das untergeordnete Schema *Bildschirm* zu. Über das Attribut *Teile* können Beziehungen zu anderen Schemata hergestellt werden. So lässt sich beispielsweise darstellen, dass Bildschirme aus einer Bildfläche, einem Standfuß und bestimmten Bedienelementen bestehen. Spezifische Eigenschaften dieser Elemente sind dann in den zugehörigen eigenständigen Schemata hinterlegt.

Hört der Mensch den Begriff *Bildschirm*, so kann er aus seiner Schemarepräsentation ableiten, dass es sich dabei um eine elektronische Anzeige handelt, die entweder als Flachbildschirm oder Röhrenbildschirm ausgelegt ist. Darüber hinaus besteht ein Bildschirm üblicherweise aus einer Bildfläche, Bedienelemente und Standfuß. Auf diese Weise baut sich der Mensch eine Vorstellung von dem Gegenstand, ohne ihn tatsächlich zu sehen. Die Ausprägungen, die sich in der Realität am häufigsten bestätigen, sieht man dann gedanklich vor sich.

### **Handlungsschemas und Skripte**

Propositionale Repräsentation, Semantische Netzwerke und Schemata bilden begriffliche Objekte ab. Sie können allerdings nicht erklären, wie der Mensch Handlungswissen abspeichert. Erlernt ein Mensch das Autofahren, so ist die Kenntnis über die Komponenten eines Fahrzeuges und deren Eigenschaften (z.B. Gaspedal, Gangschaltung, Blinker, etc.) nicht ausreichend. Vielmehr müssen bestimmte Handlungsweisen im Umgang mit diesen Komponenten erlernt werden. Daher wurden von Schank & Abelson (1977, S. 36 ff.) sogenannte Skripte als Handlungsschema für die Repräsentation von Ereignissen vorgeschlagen. Ein Skript ist eine Handlungssequenz, auf die das menschliche Gedächtnis für bestimmte Ereignisse zurückgreifen kann. Die Autoren verdeutlichen dies anhand eines Restaurantbesuches. Typischerweise wissen die Besucher eines Restaurants bereits vor dem Betreten des Lokals sehr genau, welche Schritte mit hoher Wahrscheinlichkeit zu durchlaufen sind. Im Folgenden ist ein Skript in Anlehnung an Schank & Abelson (1977) dargestellt.

1. Betreten des Restaurants
  - a. *Öffnen der Tür*
  - b. *Freie Tische suchen*
  - c. *Freien Tisch auswählen*
  - d. *Zu freien Tisch gehen*
  - e. *An den freien Tisch setzen*
2. Bestellung aufgeben
  - a. *Speisekarte anfordern*
  - b. *Speisen- und Getränkeauswahl anschauen*
  - c. *Speisen und Getränke auswählen*
  - d. *Kellner die Bereitschaft zum Bestellen signalisieren*
  - e. *Bestellung aufgeben*
3. Bestellung verzehren
  - a. *Auf Bestellung warten*
  - b. *Speisen und Getränke verzehren*
  - c. *Teller und Gläser werden abgeräumt*
4. Verlassen des Restaurants
  - a. *Kellner die Bereitschaft zum Bezahlen signalisieren*
  - b. *Rechnung überprüfen*
  - c. *Betrag bezahlen*

- d. Trinkgeld geben
- e. Restaurant verlassen

Diese Schritte sind in Form eines mentalen Skriptes gespeichert und können bei Bedarf abgerufen werden. Psychologische Untersuchungen haben die kognitive Realität von Skripten untersucht und konnten dabei weitreichende Übereinstimmungen zwischen den repräsentierten Skripten und den von Testpersonen angegebenen Vorgehensweisen nachweisen (vgl. Abelson, 1981; Bower, Black, & Turner, 1979).

Perott et al. (2011) geben ein Beispiel für ein übergeordnetes Handlungsschema im Kontext der ergonomischen Gestaltung von Flugsicherungssystemen. Basierend auf mehreren Workshops wurde ein Prozess erarbeitet, welcher die Vorgehensweise der Workshopteilnehmer in Bezug auf eine ergonomische Gestaltung repräsentiert. Abbildung 8 stellt das Ergebnis dar. Da es sich bei den Workshopteilnehmern hauptsächlich um erfahrene Systemgestalter handelt, ist wenig verwunderlich, dass sich das abgeleitete Handlungsschema stark an etablierten ingenieurwissenschaftlichen Prozessen orientiert (wie z.B. Pahl & Beitz, 2013). Für eine ausführlichere Beschreibung des Handlungsschemas wird an dieser Stelle auf Perott et al. (2011) verwiesen.

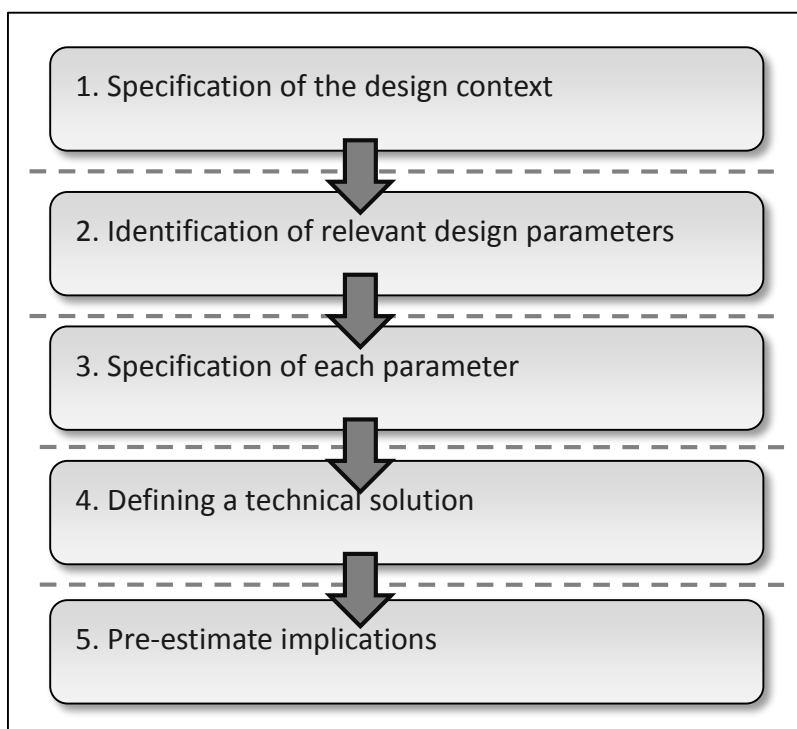


Abbildung 8: Beispielhaftes Handlungsschema zur ergonomischen Gestaltung in der Flugsicherung (Perott et al., 2011, S. 1051)

### Neuronale Netze

Die bisherig vorgestellten Ansätze waren alle symbolsprachlich orientiert. Sie postulieren Wissenseinheiten, die sich jeweils durch ihren symbolischen Gehalt abbilden lassen. Eine Limitierung symbolsprachlicher Ansätze ergibt sich aus dem Anspruch, reale Prozesse und Strukturen des Gedächtnisses abbilden zu wollen (vgl. Clancey, 1992). Tatsächlich reflektieren symbolsprachliche Ansätze eher eine externe Realität, d.h. sie können Objekte und Ereignisse außerhalb der Kognition angemessen beschreiben. Diese Ansätze sagen aber nichts darüber aus, wie das Gedächtnis

---

tatsächlich funktioniert (interne Realität). Insbesondere die Frage, welche Wissensanteile direkt repräsentiert sind und welche auf Anforderung generiert werden, stellt für die experimentelle Erforschung menschlicher Wissensrepräsentation eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit dar (Dutke, 1994, S. 68).

Ein Gegenentwurf zu symbolsprachlichen Ansätzen sind neuronale Netze. Demnach besteht das menschliche Gehirn aus mit Synapsen verbundenen Neuronen, die in charakteristischer Weise miteinander aktiv sind (vgl. Kastner-Koller & Deimann, 2007, S. 111). In einem neuronalen Netz führt ein Input zu einer Aktivitätsausbreitung im Netz und kann je nach Verarbeitung zu verschiedenen Outputs führen. Prozesse laufen dabei parallel und nicht sequenziell ab. Ein Neuron kann in drei Bereiche unterteilt werden: Die Dendriten, der Zellkörper und das Axon. Die Dendriten übernehmen hauptsächlich die Inputfunktion und nehmen die Signale anderer Neuronen auf. Der Zellkörper verarbeitet den Input und generiert daraus einen Output (auch Aktionspotential genannt), der entlang des Axons ausgegeben wird (vgl. Kastner-Koller & Deimann, 2007, S. 112). Vereinfacht lässt sich ein Neuron somit als ein Knoten mit mehreren Ein- und Ausgängen darstellen. Durch die Verknüpfung verschiedener Neuronen ergibt sich dann das neuronale Netzwerk (vgl. Abbildung 9). Ob und wie stark verschiedene Neuronen miteinander reagieren, ergibt sich aus individuellen Lernprozessen. Je häufiger zwei Neuronen miteinander aktiv sind, umso bevorzugter werden sie auch miteinander reagieren. Die Reaktion verschiedener Neuronen manifestiert sich dann als Erinnerung in unserem Gedächtnis.

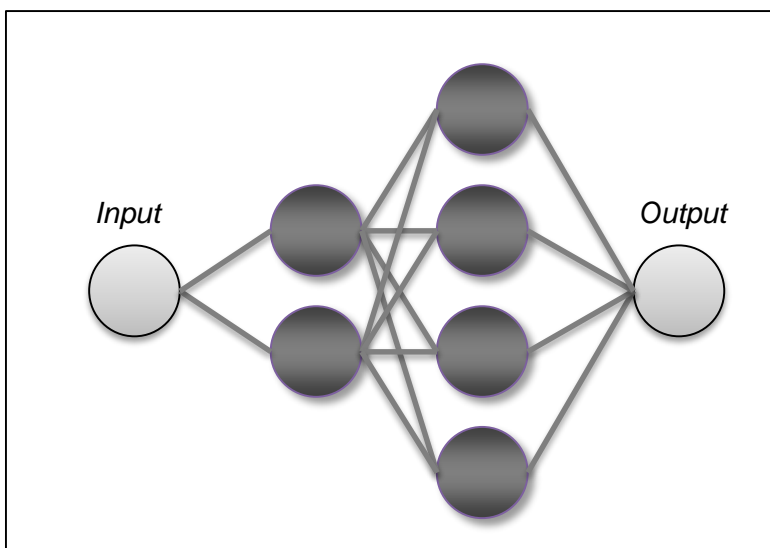


Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung eines neuronalen Netzes

Diese Arbeit hat nicht den Anspruch zu erklären, wie das menschliche Gedächtnis tatsächlich funktioniert. Vielmehr steht die Diskussion im Vordergrund, wie sich Wissen derart strukturieren lässt, dass es für den Menschen möglichst leicht zugänglich ist. Ob das Wissen nun tatsächlich durch einen der zuvor dargestellten symbolsprachlichen Konzepte repräsentiert ist, ist hierfür zweitrangig. Wahrscheinlicher ist, dass sich das menschliche Gedächtnis in seiner Komplexität überhaupt nicht symbolsprachlich repräsentieren lässt (vgl. Jonassen, Beissner, & Yacci, 1993, S. 12). Für die Strukturierung und Vernetzung von Informationen leisten die oben vorgestellten psychologischen Konzepte allerdings einen hervorragenden Beitrag. Dies ist unabhängig von der Fragestellung, wie genau Erinnerungen physiologisch im Gedächtnis gespeichert und abgerufen werden. Aus diesem Grund soll das Konzept des neuronalen Netzwerkes an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

---

## Zusammenfassende Betrachtung

Zur Integration der oben diskutierten psychologischen Ansätze der Wissensrepräsentation schlagen Jonassen, Beissner & Yacci (1993) die Unterscheidung von deklarativem, prozeduralem und strukturellem Wissen vor.

- **Deklaratives Wissen** (Wissen, dass...) ist das Wissen über Fakten und Begriffe und dient dazu, bestimmte Begriffe zu beschreiben. Diese Beschreibung setzt kein Verständnis der Objekte an sich voraus. Beschrieben werden kann deklaratives Wissen über Schemata.
- **Prozedurales Wissen** (Wissen, wie...) beschreibt, wie das deklarative Wissen angewendet wird. Es umfasst somit das praktisch nutzbare Wissen und stellt bewusste oder unbewusste Handlungsroutinen dar. Prozedurales Wissen beschreibt, auf welche Weise bestimmte Tätigkeiten durchgeführt werden sollten. Dies ist stark abhängig vom konkreten Anwendungskontext. Beschrieben werden kann prozedurales Wissen durch Skripte, die allerdings nur für einen spezifischen Anwendungskontext Gültigkeit besitzen und sich i.d.R. nicht generalisieren lassen.
- **Strukturelles Wissen** (Wissen, warum...) umfasst das tiefe Verständnis darüber, warum bestimmte Dinge so sind wie sie sind. Strukturelles Wissen zeigt, wie deklaratives Wissen miteinander verknüpft ist, sodass neue Schemata und Skripte höherer Ordnung erstellt werden können. Strukturelles Wissen kann somit als Mediator zur Transformation von deklarativem Wissen in prozedurales Wissen verstanden werden. Erst wenn der Mensch übergeordnete Zusammenhänge versteht, kann er daraus angemessenes prozedurales Wissen für verschiedene Anwendungskontexte und Situationen ableiten.

Deklaratives Wissen kann nur vorhanden oder nicht vorhanden sein, während prozedurales Wissen in unterschiedlichen Ausprägungsgraden vorliegen und durch Übung verbessert werden kann. Prozedurales Wissen steuert das Verhalten des Menschen. Es muss dem Träger weder bewusst noch in irgendeiner Form verbalisierbar sein. Im Gegensatz dazu kann deklaratives Wissen in der Regel sehr gut verbalisiert und allein durch Mitteilung erworben werden (vgl. Dutke, 1994, S. 66).

Das prozedurale Wissen ist für den Problemlösungsprozess die wichtigste Wissensform. Es wird benötigt, um komplexe Problemstellungen in einem spezifischen Anwendungskontext lösen zu können. Allerdings lässt es sich nicht oder nur sehr schwierig direkt abbilden. Deklaratives Wissen ist leicht abbildbar, reicht aber alleine zur Lösung komplexer Probleme nicht aus. Wenn sich prozedurales Wissen nicht abbilden lässt und deklaratives Wissen nicht ausreichend ist, stellt sich die Frage, wie der Mensch bei der Entwicklung prozeduralen Wissens zumindest unterstützt werden kann. Hierbei spielt die dritte Wissensform, das strukturelle Wissen, eine entscheidende Rolle. Strukturelles Wissen repräsentiert zwar nicht direkt das benötigte Handlungswissen, unterstützt aber bei der Transformation von deklarativem Wissen in prozedurales Wissen, indem die wesentlichen Zusammenhänge aufgezeigt werden.

Jonassen, Beissner & Yacci beschreiben das Wesen von strukturellem Wissen wie folgt:

*“It is not enough to “know that”. In order to “know how”, you must “know why”. Structural knowledge provides the conceptual bases for “why”; it describes how the declarative knowledge is interconnected. Procedural knowledge is dependent on complex interconnections between ideas. For example, the dictum “warm air rises” entails connections between air and its modifier, warm as opposed to cold. That warm air rises is predicated on a causal relationship between warm and rising, the basis of the principle of convection. Structural knowledge, the understanding of these relationships, enables*

*learners to from the connections that they need to use scripts or complex schemas" (Jonassen, Beissner, & Yacci, 1993, S. 4).*

Strukturelles Wissen repräsentiert also die Zusammenhänge zwischen deklarativen Wissenseinheiten. Über das Verständnis dieser Zusammenhänge kann der Mensch schließlich kontextspezifisches prozedurales Wissen herleiten. Abbildung 10 stellt die drei Wissensbegriffe im Vergleich dar und verdeutlicht den Transformationsprozess von deklarativem Wissen in prozedurales Wissen mit Hilfe von strukturellem Wissen.

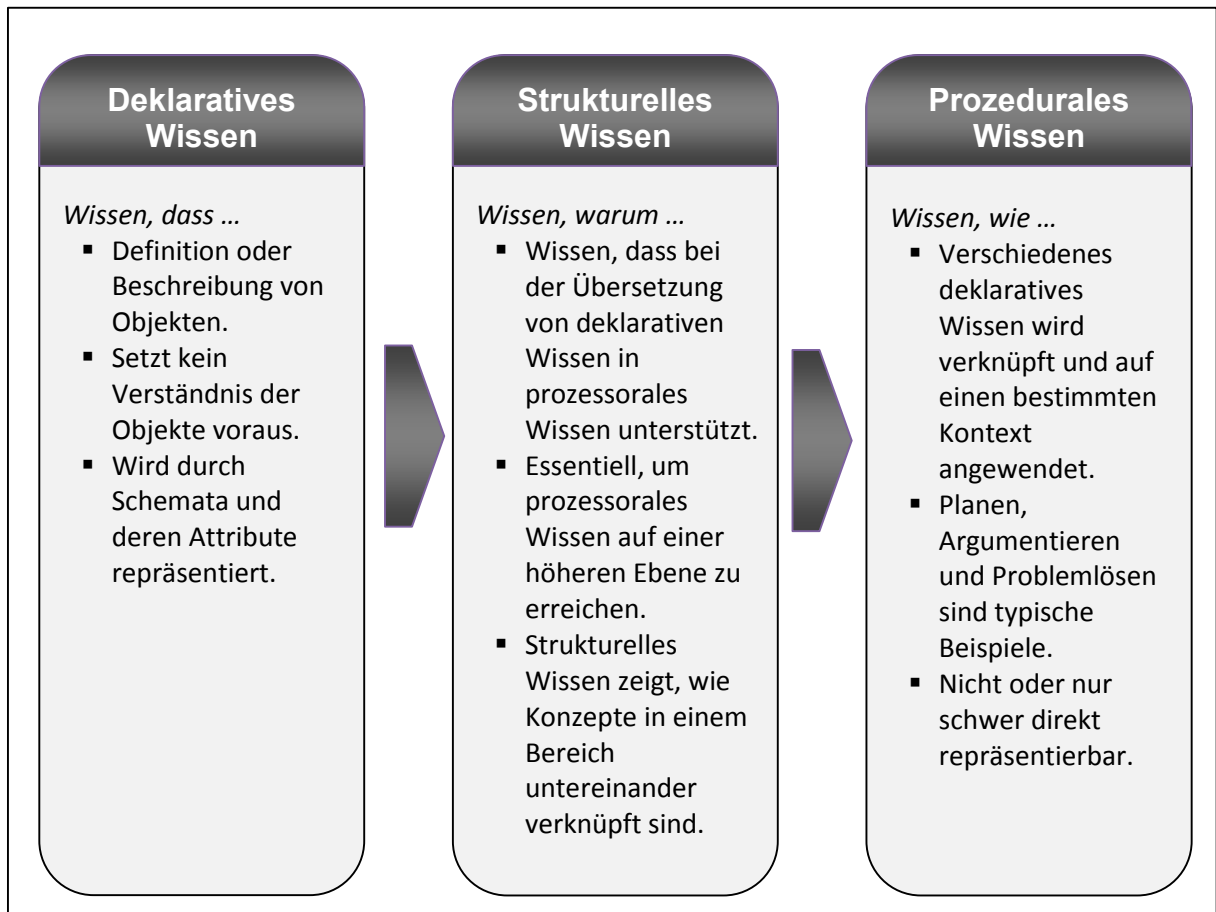


Abbildung 10: Der deklarative, strukturelle und prozedurale Wissensbegriff im Vergleich

### 2.2.3. Methoden der Wissensrepräsentation

Nachdem Abschnitt 2.2.2 verschiedene kognitiv psychologische Konzepte vorgestellt hat, wie Wissen des menschlichen Gedächtnisses repräsentiert werden kann, soll dieses Kapitel nun Methoden für die Externalisierung von Wissen vorstellen.

Die Historie der Wissensrepräsentation reicht weit zurück. Schon immer haben Menschen versucht, Wissen in eine systematische Ordnung zu stellen. Ein Hauptanwendungsfeld in der Historie der Wissensrepräsentation ist die Katalogisierung von Büchern für Bibliotheken. Heute werden die Ansätze der Wissensrepräsentation genutzt, um die immer größer werdende Flut an Informationen besser handzuhaben und für den Endnutzer leichter zugänglich zu machen.

Wie bereits in Abschnitt 2.2.1 diskutiert, kann Wissen nicht losgelöst vom Menschen existieren. Nichtsdestotrotz hat der Mensch verschiedene Strategien entwickelt, um Wissen für die Nachwelt zu konservieren. Dabei soll Wissen derart in Informationen transformiert werden, dass es sich möglichst



leicht, ohne Verluste und unabhängig von der jeweiligen Person wieder zurück in Wissen überführen lässt. Zur besseren Erklärung des Vorgangs eignet sich das *Münchener Modell* (vgl. Reinmann-Rothmeier, 2001). Das Münchener Modell verwendet die Wasser-Analogie, um den Transformationsprozess zu verdeutlichen. Wie Wasser kann Wissen demnach drei Aggregatzustände annehmen: Gasförmig, flüssig und gefroren. Reinmann-Rothmeier (2001) erklärt den Verlauf zwischen den Aggregationsformen wie folgt:

*„Wissen ist etwas, das eigentlich ständig in Bewegung ist und sich in dieser Bewegung einmal mehr dem Pol des „gefrorenen“ Informationswissens nähert, das gut greifbar und damit auch leicht handhabbar ist und einmal mehr dem Pol des „gasförmigen“ Handlungswissens herankommt, das schwer zugänglich und wenig steuerbar ist“ (Reinmann-Rothmeier, 2001, S. 16).*

Im gefrorenen Aggregatzustand ist Wissen in Informationen kodiert und kann somit gut (z.B. durch Verfassen eines Textes) konserviert werden. Bei Bedarf kann diese Information von einem anderen Individuum abgerufen werden (z.B. durch Lesen des Textes). Dabei werden die kodierten Informationen vom menschlichen Verstand wieder in Wissen transformiert, indem die aufgenommenen Informationen in einen breiteren Zusammenhang gesetzt werden. Das Wissen ist in diesem Zustand wieder verflüssigt. Um das verflüssigte Wissen in eine Handlung zu überführen, werden darüber hinaus alle bisherigen Erfahrungen, unterbewusste Verhaltensmuster und übergeordnete Handlungsprinzipien berücksichtigt. Diese liegen in einem gasförmigen Aggregatzustand vor und lassen sich gar nicht oder nur schwer wiedergeben, bzw. transformieren.

Abbildung 11 stellt das Münchener Modell und den Transformationsprozess zwischen den Aggregatzuständen grafisch dar.

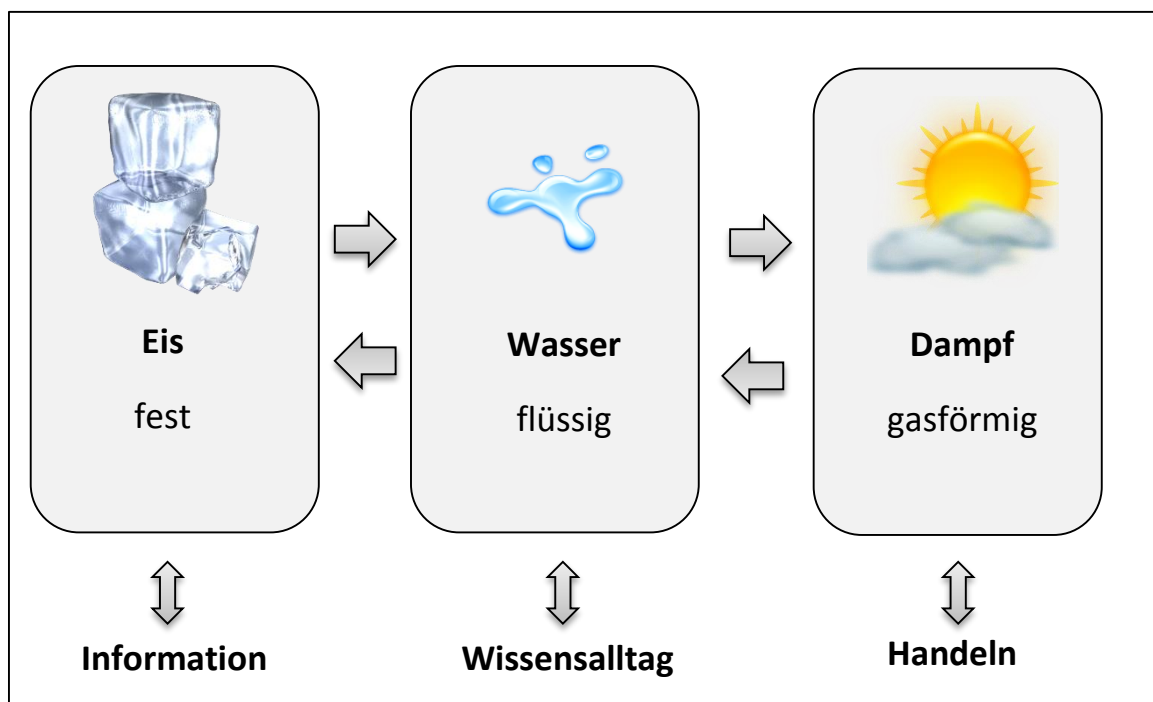


Abbildung 11: Das Münchener Wissensmodell (Reinmann-Rothmeier, 2001, S. 16)

Das Münchener Modell hat eine hohe Ähnlichkeit mit den in Abschnitt 2.2.2 diskutierten Begriffen von Jonassen, Beissner & Yacci (1993) (vgl. Abbildung 10). Der feste Aggregatzustand steht dabei für das deklarative Wissen, welches relativ leicht repräsentiert werden kann, während der gasförmige Aggregatzustand dem prozeduralen Wissen entspricht, welches gar nicht oder nur schwer



- **Adäquatheit, Expressivität und Mächtigkeit**, also wie eindeutig, umfangreich und flexibel die Sprache den benötigten Realweltausschnitt darstellen kann.

Stock & Stock (2008) unterscheiden verschiedene Methoden der Wissensrepräsentation je nach Ausdrucksstärke der Methode und nach Umfang der Wissensdomäne. Abbildung 13 stellt die verschiedenen Methoden der Wissensrepräsentation dar. Diese sollen im Folgenden nun kurz in ihren Ansätzen dargestellt werden.

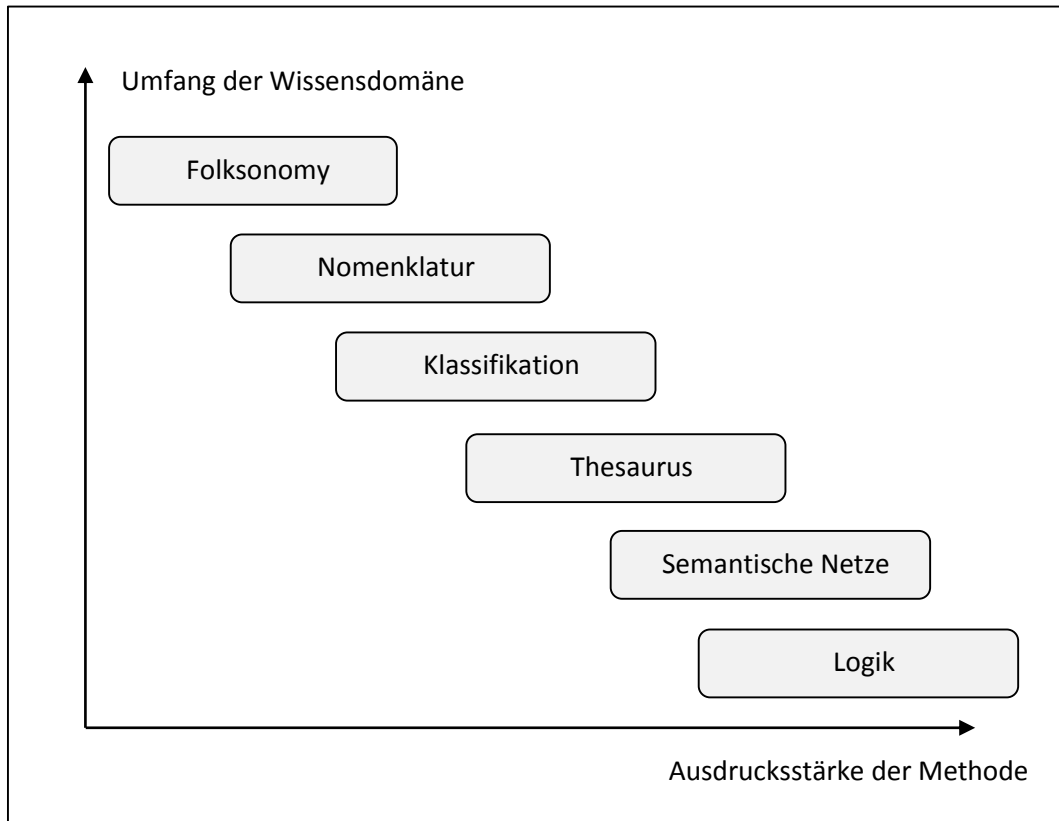


Abbildung 13: Methoden der Wissensrepräsentation in Anlehnung an Stock & Stock (2008, S. 42)

### Folksonomy

In einer Folksonomy werden bestimmte Informationen (z.B. Dokumente, Bilder, Musik) durch Nutzung eines sozialen Netzwerkes mit Schlagworten (auch Tags genannt) versehen. Durch diese Verschlagwortung mit frei wählbaren Begriffen entsteht ein Beziehungsnetzwerk aus Tags, Benutzern und Informationen. Dieses Beziehungsnetzwerk wird Folksonomy genannt (vgl. Schmitz et al. 2006, S. 280). Der Begriff vereint die beiden Begriffe „folk“ und „taxonomy“ und unterstreicht somit den Bottom-Up Gedanken des Ansatzes (vgl. Vander Wal, 2014): Nicht einzelne Experten erstellen ein klar definiertes Vokabular, sondern eine größere Gemeinschaft, in der jeder Teilnehmer die Schlagworte frei wählen kann. Auf diese Weise entsteht ein breites Vokabular, ohne dass bestimmte Notationen beachtet werden müssen.

Abbildung 14 zeigt ein Beispiel einer Folksonomy, in der drei Nutzer für drei Bilder Schlagworte vergeben. Je nach Verschlagwortung ergeben sich unterschiedliche Verknüpfungen. In diesem Beispiel sind das Auto und das Flugzeug durch das Schlagwort „schnell“ miteinander verknüpft. Gleichzeitig ergibt sich über das Schlagwort „gestreift“ eine Verknüpfung des Autos mit dem Zebra. Zudem sind Nutzer 1 und Nutzer 2 miteinander verbunden, zum einen, da sie beide das Auto mit einem Schlagwort versehen haben, zum anderen, da sie beide das Schlagwort „schnell“ vergeben

haben. Auch Nutzer 2 und Nutzer 3 sind verknüpft, da sie beide dem Flugzeug ein Schlagwort zugeordnet haben.

Das Beispiel verdeutlicht, dass Folksonomies gut geeignet sind, um schnell und unkompliziert eine große Menge an Informationen zu vernetzen. Zudem wird die nutzerspezifische Sprache für die Verschlagwortung verwendet. Über Häufigkeitsverteilungen können zudem Rückschlüsse über die Wichtigkeit einer bestimmten Information bzw. eines bestimmten Schlagwortes gezogen werden. Ein oft anzutreffendes Ergebnis des Vorgangs sind sogenannte Schlagwortwolken, die besonders wichtige Schlagworte z.B. über eine Einfärbung oder eine vergrößerten Darstellung kennzeichnen.

Ein Nachteil ist, dass sich eine Folksonomy kaum kontrollieren lässt und äußerst anfällig für eine unpräzise Sprachnutzung ist: Wörter können im Singular oder im Plural verwendet, zusammen oder auseinander geschrieben, abgekürzt oder vollständig ausgeschrieben werden. Zudem gibt es keinerlei Kontrolle auf Synonyme und Homonyme. Sie sind somit wenig präzise und besitzen eine geringe Ausdrucksstärke (vgl. Stock & Stock, 2008, S. 162).

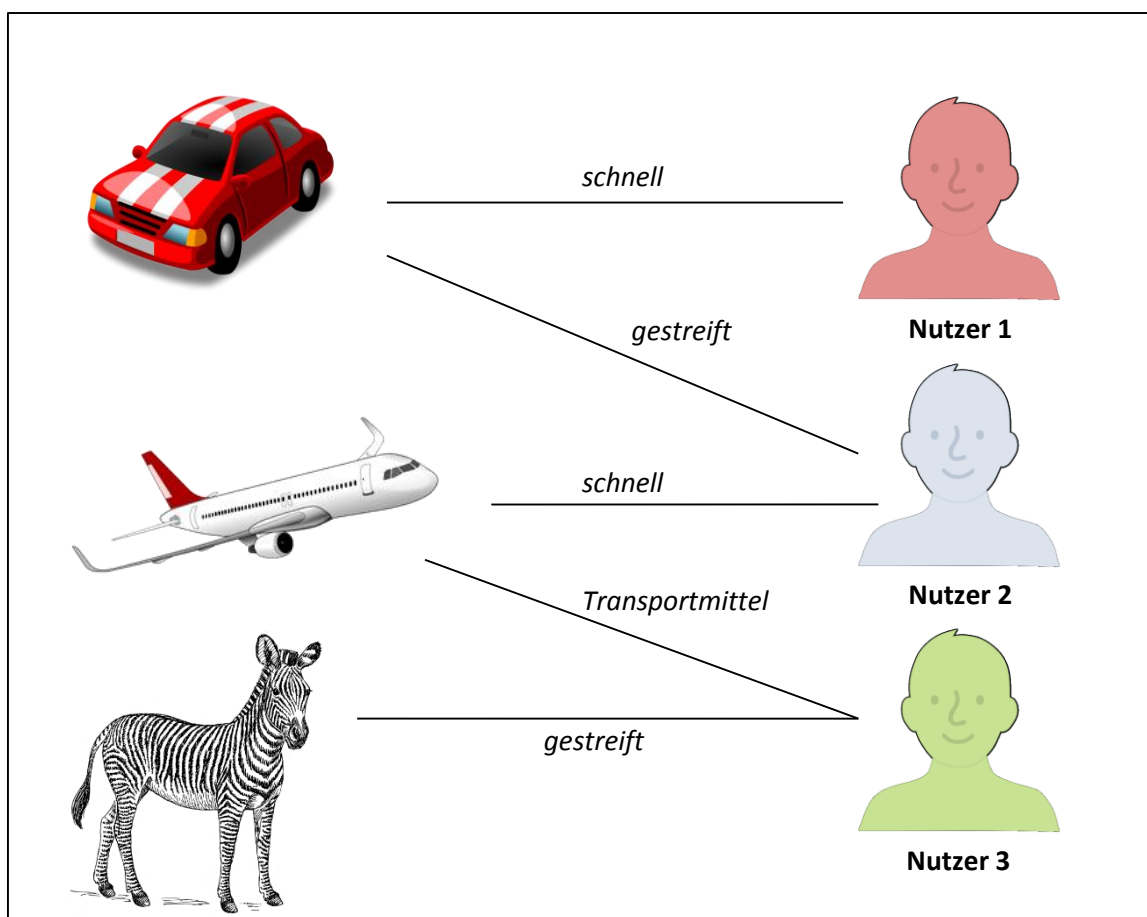


Abbildung 14: Beispiel einer Folksonomy

### Nomenklaturen

Eine Alternative zu den unpräzisen Folksonomies sind kontrollierte Nomenklaturen. Die Funktionsweise ist ähnlich: Auch eine Nomenklatur greift auf Schlagwörter zurück. Anders als eine Folksonomy besitzt eine Nomenklatur allerdings ein kontrolliertes Vokabular. Es dürfen nur solche Begriffe als Schlagwort verwendet werden, die ausdrücklich zugelassen sind. Die Sammlung aller Schlagworte sowie aller Verweise auf Schlagworte nennt man Nomenklatur (vgl. Stock & Stock, 2008,

---

S. 176). Ein Nachteil ist der hohe Aufwand für die Erstellung und Pflege der Schlagworte, insbesondere bei einer großen Anzahl an Informationen.

Durch die kontrollierten Begriffe sind Nomenklaturen bestens geeignet, um Sprachdefekte wie Synonyme und Homonyme zu vermeiden. Synonyme sind unterschiedliche Benennungen für denselben Begriff (z.B. „Apfelsine“ und „Orange“). Homonyme sind übereinstimmende Benennungen für unterschiedliche Begriffe (z.B. „Strauß“ als Vogelart und „Strauß“ als Blumengebinde). Synonyme werden in einer Nomenklatur zusammengeführt. Wenn ein Benutzer also beispielsweise nach dem Begriff „Apfelsine“ sucht, dann ist in der Nomenklatur hinterlegt, dass es sich dabei um ein Synonym zu „Orange“ handelt und der Benutzer kann direkt zur entsprechenden Information weitergeleitet werden. Homonyme werden in Nomenklaturen voneinander getrennt. Sucht ein Nutzer beispielsweise nach dem Schlagwort „Strauß“, so wird er darauf hingewiesen, dass unter dem Schlagwort „Strauß“ mehrere Informationen abgelegt sind, einmal der Strauß als Vogel und einmal als Blumengebinde.

Ein Anwendungsbeispiel für eine Nomenklatur findet sich in der Anatomie, in der menschliche Körperbestandteile eindeutig benannt werden. Für die anatomische Nomenklatur wird die lateinische und griechische Sprache verwendet. Ein anatomischer Begriff setzt sich eindeutig durch die Kombination von drei Teilen zusammen: Dem betroffenen Körperteil, einer Ortsangabe sowie ggf. einer Richtungsangabe (vgl. z.B. Dauber, 2005). So bezeichnet z.B. „Arteria thoracica lateralis“ wörtlich übersetzt die „Arterie am Brustkorb, die seitlich gelegen ist“ bzw. umgangssprachlich die seitliche Brustkorbarterie.

Nomenklaturen enthalten grundsätzlich keine hierarchischen Relationen (vgl. Stock & Stock, 2008, S. 176). Dies ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zur Klassifikation, die stets mit Hierarchierelationen arbeitet.

### **Klassifikation**

Ein Klassifikationssystem definiert Kategorien oder auch Klassen, die bestimmte Merkmale zusammenfassen. Den Klassen werden Begriffe zugeordnet, die wiederum in einer hierarchischen Beziehung zueinander stehen und durch eine Notation (z.B. Zahlen- oder Buchstabenbezeichnungen) beschrieben werden (vgl. Fröscher, 2014, S. 44). Bailey (1994) schlägt vor, dass das Ziel einer Klassifikation eine maximale Heterogenität zwischen den Kategorien sein sollte, bei gleichzeitiger maximaler Homogenität innerhalb einer Kategorie.

Ein Beispiel stellen moderne Bibliotheksklassifikationen dar. Die heute am weitesten verbreitetste und einflussreichste Bibliotheksklassifikation baut auf einem Zehnersystem auf und geht auf Dewey zurück. Er war selbst Bibliothekar und veröffentlichte 1876 erstmals seine Einteilung der Wissenschaften (vgl. OCLC, 2014). Grundlage des zu dieser Zeit bahnbrechenden Systems ist die Einteilung des gesamten Wissens in zehn Hauptklassen (0 bis 9), wobei sich jede Hauptklasse wiederum in zehn Unterklassen (ebenfalls 0 bis 9) und jede Unterklasse in weitere zehn Unterklassen teilt. Diese Unterteilung kann soweit fortgeführt werden, bis auch engste Themen hierarchisch eingegliedert sind. So klassifiziert z.B. die Nr. 300 die Sozialwissenschaft; die Nr. 340 das Recht, die Nr. 341 das internationale Recht. Das System wird laufend strukturell optimiert und dem aktuellen Wissensstand angepasst. Eine komplette Übersicht über die Klassen der deutschen Ausgabe des Dewey Dezimalsystems gibt die Deutsche National Bibliothek (2014). Abbildung 15 stellt die zehn Hauptklassen sowie einen Auszug der Unterklassen beispielhaft dar.

Der Wissenszugang wird für die Nutzer durch die Verwendung normalsprachlicher Begriffe vereinfacht. Grundsätzlich können die Kategorien auch mit mehreren Begriffen benannt werden. Durch das Notationssystem sind die Kategorien aber immer eindeutig. Hiermit löst man sowohl Probleme der Synonymie, da alle Synonyme in die Kategorie-Benennung aufgenommen werden können, als auch der Homonymie, indem die homonymen Worte jeweils auf die unterschiedlichen Kategorien verweisen (vgl. Stock & Stock, 2008, S. 222).

- 000 Informatik, Informationswissenschaft, allgemeine Werke
- 100 Philosophie und Psychologie
- 200 Religion
- 300 Sozialwissenschaften
- 400 Sprache
- 500 Naturwissenschaften und Mathematik
- 600 Technik, Medizin, angewandte Wissenschaften
  - 610 Medizin und Gesundheit
  - 620 Ingenieurwissenschaften
    - 621 Angewandte Physik
    - 622 Bergbau und verwandte Tätigkeiten
    - 623 Militär- und Schiffstechnik
    - 624 Ingenieurbau
    - 625 Eisenbahn- und Straßenbau
    - 626 [Unbesetzt]
    - 627 Wasserbau
    - 628 Sanitär- und Kommunaltechnik; Umwelttechnik
    - 629 Andere Fachrichtungen der Ingenieurwissenschaften
  - 630 Landwirtschaft
  - 640 Hauswirtschaft und Familie
  - 650 Management, Öffentlichkeitsarbeit
  - 660 Chemische Verfahrenstechnik
  - 670 Industrielle Fertigung
  - 680 Industrielle Fertigung für einzelne Verwendungszwecke
  - 690 Hausbau, Bauhandwerk
- 700 Künste und Unterhaltung
- 800 Literatur

Abbildung 15: Auszug aus dem Dewey Klassifikationssystem (vgl. Deutsche National Bibliothek, 2014)

Die Nachteile von Klassifikationen ergeben sich aus deren Starrheit und die streng auf Hierarchien begrenzten Relationen. Beziehungen zwischen Objekten auf gleicher Hierarchiestufe können nicht abgebildet werden (vgl. Kienreich & Strohmaier, 2006, S. 363).

### **Thesaurus**

Ein Thesaurus bildet ebenfalls begriffliche Hierarchien ab, kennt aber (anders als die Klassifikation) weitere Relationsarten neben der Hierarchie. Nach ISO 25964-1 (2011) ist ein Thesaurus durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Begriffe und Bezeichnungen werden eindeutig aufeinander bezogen, indem
  - Synonyme möglichst vollständig erfasst werden,
  - Homonyme besonders gekennzeichnet werden,
  - für jeden Begriff eine Bezeichnung festgelegt wird, die den Begriff eindeutig vertritt.
- Beziehungen zwischen Begriffen werden dargestellt

Somit setzt sich auch der Thesaurus aus einem kontrollierten Vokabular zusammen. Darüber hinaus kennt ein Thesaurus die in Tabelle 3 dargestellten Relationsarten. Abbildung 16 zeigt ein Beispiel für einen Thesaurus zur Schriftzeichengestaltung.

Tabelle 3: Relationsarten eines Thesaurus, in Anlehnung an Stock & Stock (2008)

Relationstyp	Beschreibung	Beispiel
Oberbegriff	Verschiedene spezifische Begriffe werden unter einem allgemeineren Begriff zusammengefasst.	Zitrone, Apfelsine und Grapefruit werden unter dem Begriff Zitrusfrucht zusammengefasst.
Unterbegriff	Ein allgemeiner Begriff wird in spezifischere Begriffe aufgegliedert.	Naturwissenschaft wird in Chemie, Physik und Biologie aufgegliedert.
Synonymie	Synonyme werden zu einem stellvertretendem Begriff zusammengeführt	Fotographie, Photographie, Photo und Foto werden zu Fotografie zusammengeführt
Homonymie	Bei einer Benennung, die unterschiedliche Bedeutungen aufweist, wird jeweils ein Homonymzusatz zum Begriff gegeben.	Tau <Seil> Tau <beschlagener Niederschlag> Tau < griechischer Buchstabe>
Zerlegung	Mehrwortausdrücke, die einen zusammengesetzten Begriff benennen, werden in Kombinationsbegriffen zerlegt.	Bibliotheksstatistik wird zerlegt in „Bibliothek“ und „Statistik“
Assoziation	Thematisch verwandte Begriffe, die weder sprachlich noch hierarchisch verwandt sind, können über eine Assoziationsrelation miteinander verknüpft werden	Die Begriffe Professor, Student und Universität werden auf Grund ihrer thematischen Verwandtschaft miteinander verknüpft.

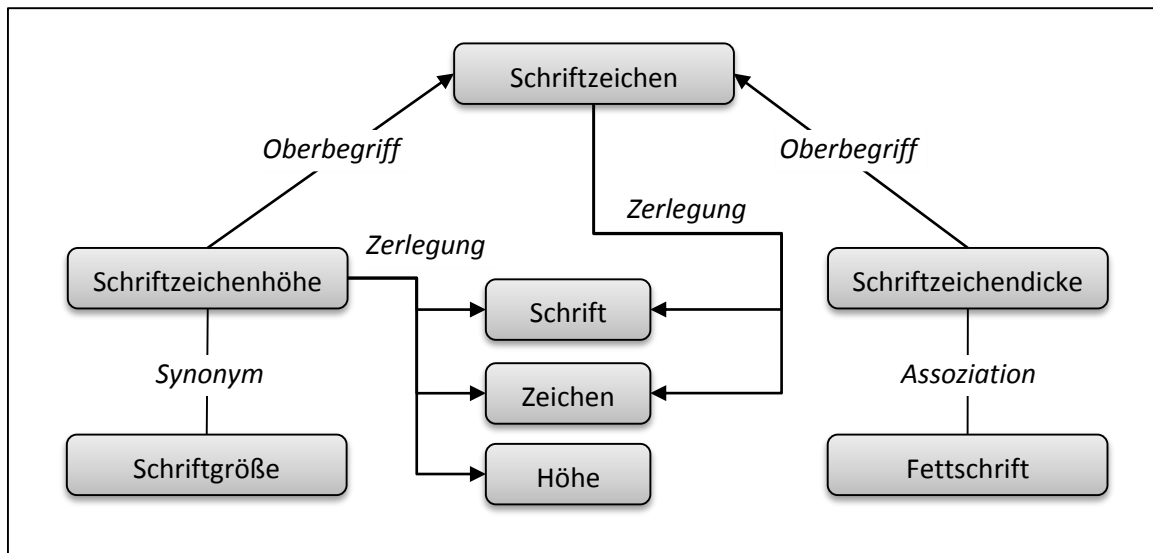


Abbildung 16: Beispiel für einen Thesaurus

Zwar erlaubt ein Thesaurus gegenüber einer Klassifikation zusätzliche Relationen neben der Hierarchie, allerdings ist auch ein Thesaurus limitiert auf die in Tabelle 3 dargestellten Relationen. Ein Semantisches Netz hebt diese Einschränkung endgültig auf und erlaubt völlig freie Relationen.

### Semantische Netze

Semantische Netze gehen auf die in Kapitel 2.2 bereits beschriebene gleichnamige kognitionspsychologische Modellvorstellung zurück, in welcher Menschen Informationen über verschiedene Kategorien in einer Netzwerkstruktur abspeichern. Inzwischen spielen semantische Netze auch für die formale Wissensrepräsentation und künstliche Intelligenz eine große Rolle und die Frage nach der kognitiven Plausibilität tritt mehr und mehr in den Hintergrund (vgl. Reimer, 1991, S. 81).

Semantische Netzwerke sind grafische Beschreibungen von Wissen, die sich aus Knoten und Kanten zusammensetzen (vgl. Akerkar & Sajja, 2010, S. 73). Die Kanten können zum einen eine Hierarchie und somit eine Klassifikation abbilden. Zum anderen sind aber auch beliebige andere Relationen zwischen verschiedenen Kategorien auf beliebigen Hierarchieebenen möglich.

Davon abgesehen gibt es keine einheitlich festgelegten Merkmale von semantischen Netzen. Prinzipiell können alle auf einen Graph-Formalismus basierenden Repräsentationen als semantische Netze aufgefasst werden (Reimer, 1991, S. 82). Das macht Semantische Netze für eine Vielzahl von Anwendungsfällen attraktiv, da sie einfach und intuitiv anwendbar sind. Andererseits bedarf es klarer Modellierungsregeln, um bei komplexen semantischen Netzwerken überhaupt Implikationen ableiten zu können. Daher schlägt Reimer (1991, S. 82 ff.) einige Vereinbarungen für die Wissensrepräsentation mit semantischen Netzen vor:

- **Annahme der Namenseindeutigkeit:** In einem semantischen Netz werden zwei Knoten unterschiedlicher Beschriftung als verschieden angesehen.
- **Einmaligkeit von Knoten:** In einem semantischen Netzwerk treten keine zwei Knoten gleicher Beschriftung auf.
- **Eigenschaften von Knoten:** Knoten repräsentieren Konzepte, die bestimmte Eigenschaften besitzen können.



- **Vererbung:** Eigenschaften übergeordneter Knoten werden an alle untergeordneten Knoten über die Hierarchierelation vererbt. Ererbte Beschreibungsmerkmale werden nicht explizit repräsentiert.
- **Beziehung zwischen Knoten:** Eine semantische Beziehung eines Knotens zu einem anderen Knoten wird durch eine Kante zwischen beiden Knoten dargestellt. Die Kantenbeschriftung kennzeichnet den Kantentyp.
- **Einführung von Beziehungskanten:** In einem semantischen Netz sind möglichst nur solche Beziehungskanten zu verwenden, die durch ein Repräsentationskonstrukt im zugehörigen Repräsentationsmodell bereitgestellt werden oder die den Status von Grundvokabular besitzen.

Abbildung 17 zeigt ein Beispiel für ein semantisches Netz zur Auslegung der Schriftzeihenhöhe. Die Relationen „ist\_Teil\_von“ und „ist\_eine“ sind dabei hierarchische Relationen, die übrigen Verbindungen hingegen frei definiert.

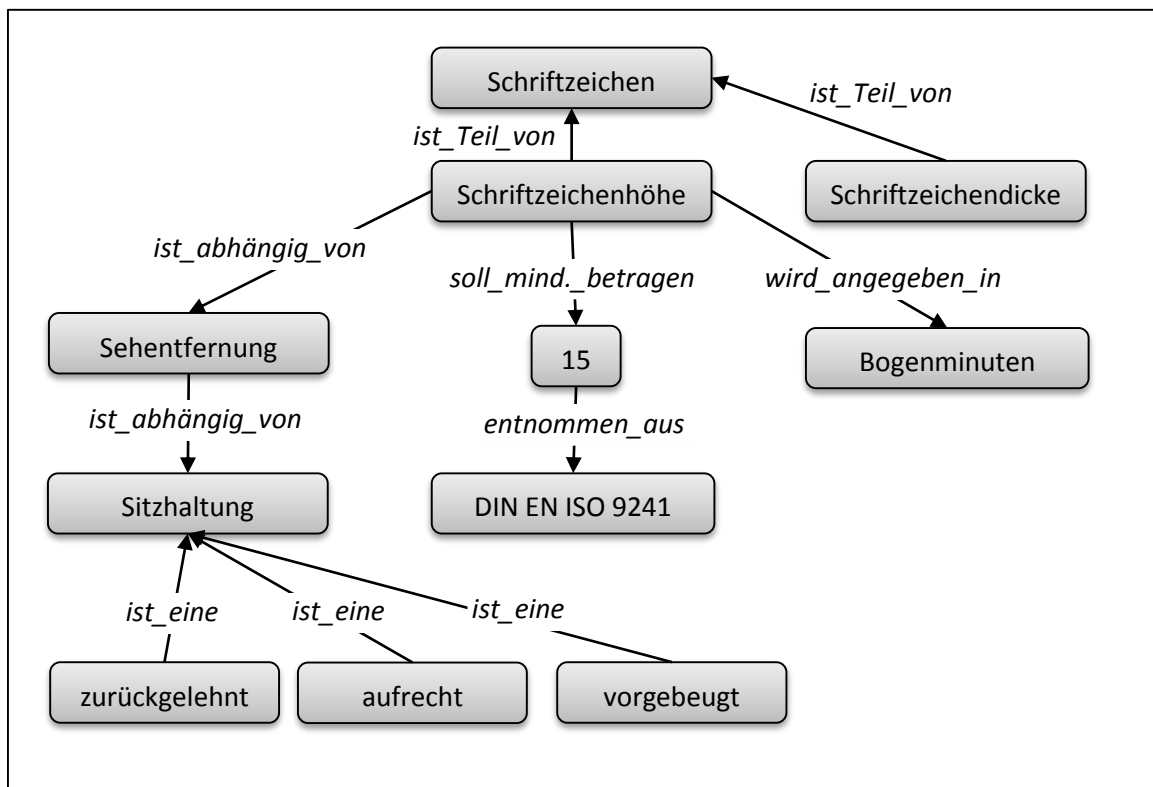


Abbildung 17: Beispiel für ein semantisches Netz zur Auslegung der Schriftzeihenhöhe

Der Nachteil semantischer Netze liegt in der schnell zu umfangreichen und unübersichtlichen Darstellung komplexerer Sachverhalte (vgl. Dittmann, 2002, S. 29). Da Art, Name und Umfang der Relationen frei gewählt werden können, besteht die Gefahr der Überflutung. Zudem können regelhafte Zusammenhänge und einschränkende Bedingungen nur sehr umständlich repräsentiert werden (vgl. Reimer, 1991, S. 148).

### Logik und regelbasierte Systeme

Die Repräsentation von regelhaften Zusammenhängen und einschränkenden Bedingungen ist mit Hilfe der Logik hingegen gut möglich (vgl. Reimer, 1991, S. 41). Die meisten Logiksysteme bauen auf der klassischen Aussagenlogik auf, die im Folgenden näher vorgestellt wird.

In der Aussagenlogik werden Aussagen über logische Operatoren (auch Junktoren genannt) miteinander verknüpft. Aussagen sind Behauptungen, die entweder wahr oder falsch sein können (Prinzip der Zweiwertigkeit). Darüber hinaus können verschiedene atomare Aussagen durch Junktoren zu einer neuen Aussage zusammengesetzt werden, wobei sich der Wahrheitswert (*wahr* oder *falsch*) der neuen Aussage eindeutig durch die Wahrheitswerte der Teilaussagen bestimmt (Prinzip der Extensionalität) (vgl. Merz & Wüthrich, 2013, S. 8-9). Tabelle 4 gibt eine Übersicht über Junktoren der Aussagenlogik.

Beispielsweise handelt es sich bei den Sätzen

A: „Ergonomie ist eine wissenschaftliche Disziplin“ und

B: „Ergonomie ist ein Berufsbild“

jeweils um Aussagen, die beide wahr sind. Dementsprechend sind auch die Verknüpfungen „A UND B“ sowie „A ODER B“ wahr. „A UND NICHT B“ wäre dem entsprechend falsch, da die zusammengesetzte Aussage „Ergonomie ist eine wissenschaftliche Disziplin und kein Berufsbild“ falsch ist.

Tabelle 4: Junktoren der Aussagenlogik (vgl. Schenke, 2013, S. 8)

Name	Alphanummerische Kennzeichnung	Symbol	Bedeutung
Konjunktion	A UND B	$A \wedge B$	Nur wenn A und B zugleich wahr sind, ist auch „A UND B“ wahr.
Disjunktion	A ODER B	$A \vee B$	„A ODER B“ ist wahr wenn mindestens eine der Aussagen A oder B wahr ist.
Negation	NICHT A	$\neg A$	Keht den Wahrheitswert einer Aussage um.
Materielle Implikation	WENN A, DANN B	$A \Rightarrow B$	A ist eine hinreichende Bedingung für B. Sie ist aber nicht zugleich notwendig, d.h. es gibt andere mögliche Bedingungen, die ebenfalls zum Eintreten von B führen.
Äquivalenz	A GENAU DANN, WENN B	$A \Leftrightarrow B$	A ist eine notwendige und hinreichende Bedingung für B. Es kommt nicht vor, dass A erfüllt ist, ohne dass B erfüllt ist.

Zusätzlich gibt es, ähnlich wie bei den Grundrechenarten auch, einige Vereinfachungsregeln. Tabelle 5 gibt eine kompakte Übersicht. Für eine ausführlichere Behandlung der Aussagenlogik sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. z.B. Beierle & Kern-Isberner, 2006; Ertel, 2013; Küchlin & Weber, 2005; Schenke, 2013).

Ein weit verbreitetes Anwendungsfeld der Aussagenlogik stellen regelbasierte Systeme dar. Üblicherweise arbeiten regelbasierte Systeme mit deterministischen Regeln in einer klassisch-logischen Umgebung. Regeln werden gerne in Produktionssystemen zur Steuerung eingesetzt, wobei die Konsequenz einer Regel oft mit einer Aktion verbunden ist. Ein Beispiel ist die Regel „*Wenn der Druck zu hoch ist, dann öffne das Ventil*“. Daher werden solche Regeln oft auch als Produktionsregeln bezeichnet (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2006, S. 71).

Regeln sind formalisierte Konditionalsätze der Form

„*Wenn (if) A dann (then) B*“

Dies bedeutet: „Wenn A wahr ist, dann schließe, dass auch B wahr ist“. Oft wird A auch als *Prämisse* und B als *Konklusion* bezeichnet. (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2006, S. 71). In der Aussagenlogik finden Regeln eine Entsprechung in der materiellen Implikationen (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 5: Rechenregeln der klassischen Aussagenlogik (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2006, S. 46)

Name	Aussage	Äquivalente Aussage
Idempotenz	A UND A A ODER A	A A
Kommutativität	A UND B A ODER B	B UND A B ODER A
Assoziativität	A UND ( B UND C) A ODER ( B ODER C)	(A UND B) UND C (A ODER B) ODER C
Absorbtion	A UND ( A ODER B) A ODER ( A UND B)	A A
Distributivität	A UND ( B ODER C) A ODER ( B UND C)	(A UND B) ODER (A UND C) (A ODER B) UND (A ODER C)
Doppelnegation	NICHT NICHT A	A

Regeln sind sehr mächtig und stellen gleichzeitig einen guten Kompromiss zwischen Verständlichkeit und formalen Ansprüchen der Wissensrepräsentation dar. Insbesondere können sie die übrigen Repräsentationsmethoden hervorragend ergänzen, um regelhafte Zusammenhänge abbilden zu können. Ein Nachteil können widersprüchliche Ableitungen sein, die sich insbesondere bei komplexen Sachverhalten mit einer großen Anzahl an Regeln ergeben oder aber wenn bestimmte Regeln Ausnahmen besitzen. In diesem Fall sind aufwendige Konsistenzprüfungen notwendig.

## 2.2.4. Modellierungsansätze in der Datenverarbeitung

Neben den in Abschnitt 2.2.3 dargestellten allgemeingültigen Methoden haben sich in der Informatik formale Sprachen etabliert, mit denen Wissen aus Sicht der Datenverarbeitung repräsentiert werden kann. Zwei wesentliche Ansätze in diesem Zusammenhang sind die *objektorientierte Modellierung* sowie die *Ontologie*. Beide Ansätze sollen nachfolgend kurz erläutert werden.

### Objektorientierte Modellierung

Der objektorientierte Ansatz dient zur Erzeugung von Computerprogrammen und beschäftigt sich mit der Modellierung von Objekten und deren Objektbeziehungen (vgl. Küchlin & Weber, 2005, S. 89). Jedes Objekt besteht aus Daten und Operationen. Daten beschreiben die Eigenschaften und die Operationen die Verhaltensweisen eines Objektes. Über Nachrichten, die zwischen den Objekten ausgetauscht werden, lassen sich die Operationen eines Objektes auslösen.

Objekte, die über eine übereinstimmende Menge von Attributen und Methoden verfügen, lassen sich zu einer Klasse zusammenfassen. Dabei kann eine Klasse auch als Unterklasse in einer anderen Klasse enthalten sein (vgl. Bewersdorff, 2014; Poetzsch-Heffter, 2009). Klassen werden über allgemeine Attribute und Methoden beschrieben.

Ein wesentliches Merkmal des objektorientierten Ansatzes ist die Vererbung. Als Vererbung wird die Fähigkeit von Klassen bezeichnet, die Attribute und Methoden ihrer übergeordneten Klasse zu übernehmen. Dabei können geerbte Attribute und Methoden auch verändert bzw. neue Attribute und Methoden definiert werden, welche in der übergeordneten Klasse nicht beschrieben sind (vgl.

Braun, Esswein, & Greiffenberg, 2006, S. 20). Über die Instanziierung lassen sich schließlich spezifische Objekte mit bestimmten Daten (entsprechend der Klassenattribute) und Operationen (entsprechend der Klassenmethoden) ableiten.

An dieser Stelle wird die hohe Ähnlichkeit mit dem Schemakzept deutlich, welches die kognitive Wissensverarbeitung des Menschen beschreibt und bereits in Kapitel 2.2.2 vorgestellt wurde.

Für die objektorientierte Modellierung steht mit der *Unified Modeling Language* (UML) eine weit verbreitete standardisierte Beschreibungssprache zur Verfügung (vgl. Schäling, 2015). Ein wesentlicher Bestandteil von UML ist das Klassendiagramm, welches die Klassenstruktur eines Modells abbildet. Abbildung 18 zeigt exemplarisch, wie sich die Klasse „Studierende“ mit Hilfe von UML abbilden lässt. Über das Klassendiagramm lassen sich die Beziehungen der Klassen untereinander darstellen wie z.B. Ober- und Unterklassen sowie die Vererbung von Attributen und Methoden.

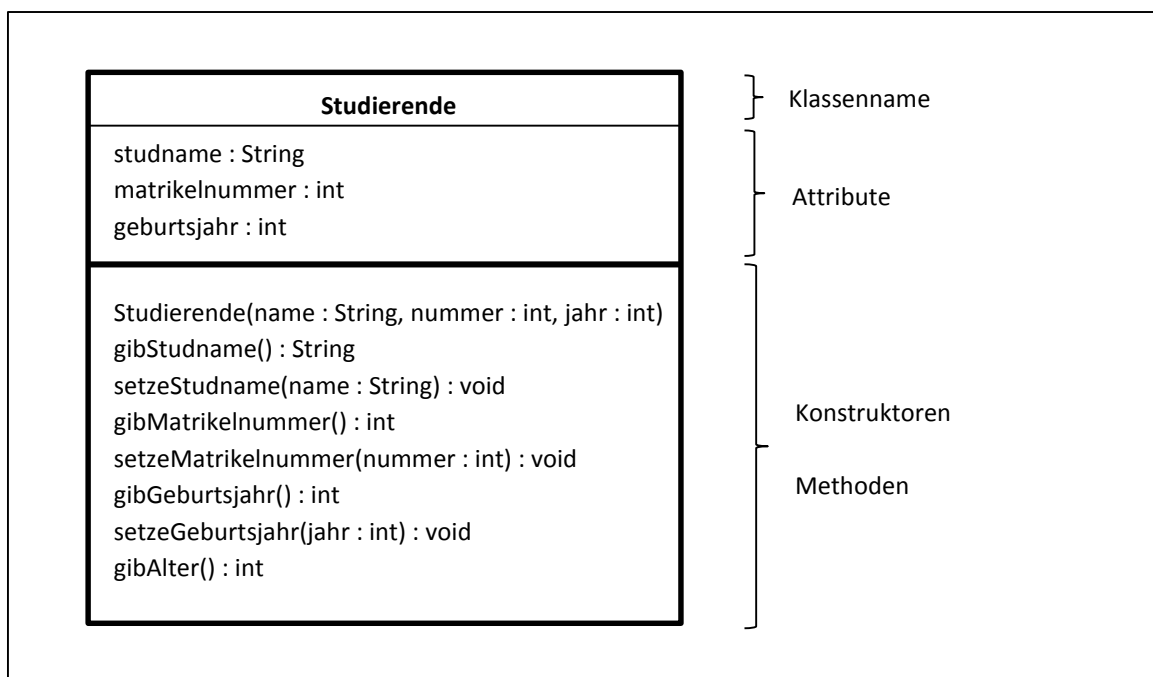


Abbildung 18: Beispielhafte Darstellung der Klasse „Studierende“ (Müller & Weichert, 2011, S. 143)

Neben dem Klassendiagramm stellt UML weitere Diagrammtypen bereit. Insgesamt existieren 13 verschiedene Diagrammtypen. Hierbei lassen sich Strukturdiagramme und Verhaltensdiagramme unterscheiden. Tabelle 6 zeigt die verschiedenen Diagrammtypen von UML unterschieden nach Struktur- und Verhaltensdiagrammen.

Für die Modellierung der UML-Diagramme stehen dem Modellierer verschiedene Tools zur Verfügung. Inzwischen existieren über 100 verschiedene Modellierungsprogramme, die sich je nach verfügbaren Diagrammtypen, unterstützten Plattformen (z.B. Linux, Windows, Java) sowie der Möglichkeit zur automatischen Codegenerierung (zur weiterführenden Programmierung) unterscheiden. Eine Übersicht über verfügbare UML Modellierungswerkzeuge gibt Jeckle (2015).

UML ist somit eine umfangreiche Modellierungssprache zur Beschreibung von Softwareanwendungen, welche bereits vor der eigentlichen Programmierung der Software eingesetzt werden kann. Somit eignet sich UML insbesondere zur Modellierung konzeptioneller

---

Überlegungen, die zur Kommunikation zwischen Software Entwicklern, Auftraggebern und Anwendern dienen kann (vgl. Frank, 2000).

Tabelle 6: Struktur- und Verhaltensdiagramme in UML, in Anlehnung an Schäling (2015)

Strukturdiagramme	Verhaltensdiagramme
Klassendiagramm	Use-Case-Diagramm
Objektdiagramm	Aktivitätsdiagramm
Komponentendiagramm	Zustandsautomat
Kompositionsstrukturdiagramm	Sequenzdiagramm
Verteilungsdiagramm	Kommunikationsdiagramm
Paketdiagramm	Timing-Diagramm
	Interaktionsübersichtsdiagramm

Für eine Ausführliche Beschreibung von UML und der in Tabelle 6 dargestellten Diagrammtypen sei auf die Spezifikation der aktuellen UML-Version 2.4.1 verwiesen (vgl. Object Management Group, 2011).

## Ontologien

Ursprünglich stammt der Begriff Ontologie aus der Philosophie und bezeichnet die Disziplin, die sich mit der allgemeinen Existenz von Dingen und den Grundlagen des Seins befasst. Nach Bachmann (2010, S. 28) basiert die Ontologie auf Theorien über Beständigkeit, Veränderlichkeit, Identität, Klassifikation sowie Kausalität und beschäftigt sich mit Fragen wie:

- Welche Arten von Objekten existieren?
- Wie unterscheiden sich diese voneinander?
- Was sind die Eigenschaften eines Gegenstands und in welcher Beziehung stehen sie zu ihm?
- Welche Eigenschaften können in welchem Ausmaße geändert werden, so dass noch vom gleichen Gegenstand gesprochen werden kann?

Heute wird darunter hauptsächlich ein Ansatz in der Informatik verstanden, mit dem das Wissen über die Bedeutung und die Beziehungen von Begriffen computerverständlich und formalsprachlich abgebildet werden kann. Ein nicht zu unterschätzendes Problem der Datenverarbeitung ergibt sich aus der Aufgabe, Ausschnitte der realen Welt in eine geeignete Darstellungsform zu überführen, sodass diese mit Hilfe des Computers manipuliert werden können (vgl. Stuckenschmidt, 2009, S. 5). Hierfür spielt das Verständnis über die Bedeutung und Beziehungen der Begriffe aus der realen Welt eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund stellen Ontologien für die Datenverarbeitung ein wichtiges Forschungs- und Anwendungsfeld dar.

Eine bekannte Anwendung der Ontologie ist das *Semantic Web*. Hierbei sollen Webseiten und die Verknüpfungen zwischen diesen mit semantischen Informationen angereichert werden (vgl. Bachmann, 2010, S. 32). Auf diese Weise kann auch der Computer die Bedeutung von Dingen interpretieren und so beim Auffinden einer relevanten Information im Internet besser unterstützen.

Gruber (2009) definiert den Begriff Ontologie wie folgt:

*“an ontology defines a set of representational primitives with which to model a domain of knowledge or discourse. The representational primitives are typically classes (or sets), attributes (or properties), and relationships (or relations among class members). The definitions of the representational*

*primitives include information about their meaning and constraints on their logically consistent application. In the context of database systems, ontology can be viewed as a level of abstraction of data models, analogous to hierarchical and relational models, but intended for modeling knowledge about individuals, their attributes, and their relationships to other individuals.” (Gruber, 2009, S. 1963)*

In dieser Definition sind auch die grundlegenden Ideen der Objektorientierung wiederzufinden, d.h. auch eine Ontologie beschreibt Klassen, die sich zu individuellen Objekten instanzieren lassen. Auch das Prinzip der Vererbung wird von der Ontologie aufgegriffen. Zusätzlich integriert die Ontologie die in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Ansätze (vgl. Theil, 2007, S. 24):

- Nomenklatur,
- Klassifikation,
- Thesaurus und
- Semantisches Netz.

Abbildung 19 zeigt beispielhaft eine Ontologie, die sich aus den drei Klassen *Person*, *Country* und *Pet* zusammensetzt. Aus den Klassen lassen sich entsprechend des objektorientierten Ansatzes einzelne Instanzen ableiten, z.B. Matthew und Gemma als Individuen der Klasse *Person*. Über ein semantisches Netz sind die allgemeinen Beziehungen zu anderen Klassen definiert:

- Jede Person lebt in einem Land (*livesInCountry*).
- Jede Person kann ein Haustier besitzen (*hasPet*).
- Jede Person kann Geschwister haben (*hasSibling*).

Diese Beziehungen lassen sich ebenfalls instanzieren. So lebt Matthew in England, besitzt das Haustier Fluffy und hat Gemma als Schwester.

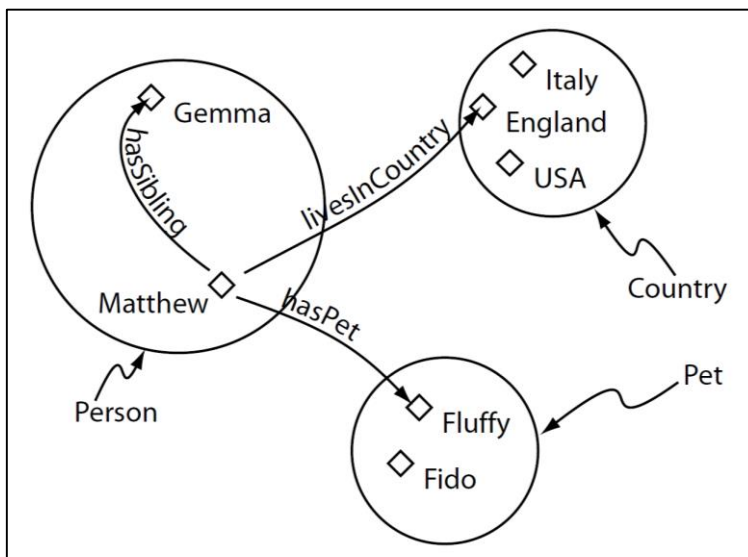


Abbildung 19: Beispielhafte Darstellung einer Ontologie (Horridge, 2011, S. 12)

Die *Web Ontology Language* (OWL) ist eine standardisierte und weit verbreitete Sprache zur Erstellung von Ontologien (vgl. Bechhofer, 2009, S. 2009). Spezifiziert und veröffentlicht wurde OWL im Jahr 2004 vom World Wide Web Consortium (W3C). Derzeit wird OWL durch 19 Standards beschrieben. Eine Auflistung aller Dokumente gibt das W3C (2015). Ein bekannter Editor zur Erstellung von OWL Ontologien ist die Open Source Anwendung Protégé, die von der Stanford University in Kalifornien entwickelt wurde (vgl. Stanford Center for Biomedical Research, 2015).

Ontologien gewinnen in Forschung und Praxis mehr und mehr an Bedeutung. Theil (2007) zeigt beispielsweise, wie sich Ontologien zur Wissensstrukturierung und –repräsentation im Produktentwicklungsprozess und insbesondere in einer 3D-CAD Umgebung einsetzen lassen. Mecke (2011) nutzt Ontologien zur Repräsentation von Unsicherheitsinformation und Maltzahn (2013) demonstriert, wie sich auf Basis semantischer Ähnlichkeit von Anforderungen bereits etablierte Gestaltungslösungen zur Wiederverwendung ableiten lassen.

## 2.3. Wissensrepräsentation in der Ergonomie

Auf Grund der hohen Praxisrelevanz der in Abschnitt 2.1 vorgestellten Quellen haben sich zahlreiche Hilfsmittel herausgebildet, um bei der Anwendung ergonomischer Regelwerke zu unterstützen. Ein Ziel dabei ist, den enormen Umfang an Wissen einer Systematisierung zuzuführen, um es schnell auffinden und strukturiert abarbeiten zu können. Im Folgenden werden diese Ansätze nun näher vorgestellt.

### 2.3.1. Normalsprachliche Ansätze

Eine große Zahl der Hilfestellungen ist normalsprachlich repräsentiert, d.h. unter Verwendung normaler Vokabeln und Grammatik. Ergänzt wird die normalsprachliche Repräsentation häufig durch weitere, mehr formalisierte Methoden der Wissensrepräsentation, z.B. einer Klassifikation. Ein Beispiel hierfür ist die Webseite ErgoOnline (vgl. Gesellschaft Arbeit und Ergonomie, 2014). Die Wissensinhalte sind mit Hilfe von Fließtext in Artikeln beschrieben. Zugänglich sind die Artikel über eine Klassifikation (siehe Navigationsleiste auf der linken Seite von Abbildung 20). So ist der Artikel zur Farbgestaltung zugänglich über folgende Kategorien:

*Software → Ergonomische Maskengestaltung → Farbgestaltung*

Auf der rechten Seite von Abbildung 20 ist der Artikel „Farbgestaltung“ mit verwandten Themen und gültigen Rechtsquellen verknüpft.

The screenshot shows the ErgoOnline website interface. At the top left is the 'ergo online' logo. The main header contains the text 'Arbeit im Büro gesund gestalten' and a navigation bar with links for 'Aktuelles', 'Einstieg', 'Navigation', 'Newsletter', 'Hilfe', and 'Suche'. Below the navigation bar, a breadcrumb trail reads 'Startseite >> Software >> Ergonomische Maskengestaltung >>'. The main content area is titled 'Farbgestaltung' by 'Wolfgang Schneider'. It features an 'Übersicht' section with two bullet points: 'Farben sollen dezent verwendet werden.' and 'Farben sollten nicht als einziges Mittel verwendet werden, Informationen zu kodieren.' Below this is a section 'Farbe transportiert Informationen' explaining that color helps in recognizing information quickly. Another section 'Farbe dezent verwenden' states that color is used to highlight information. At the bottom, 'Grundregeln' are listed: 'Nie alleine Farbe als Codierung verwenden, nur als unterstützendes Mittel Informationen hervorzuheben.', 'Farbe sparsam einsetzen.', and 'Es sollten bestimmte Kombinationen von extremen (gesättigten) Farben strikt vermieden werden.' The right sidebar contains sections for 'Rechtsquellen' (listing DIN EN ISO 9241), 'Verwandte Themen' (with links to 'Linien und Abstände', 'Informationsgruppierung und fachliche Gestaltung', and 'Schrift'), 'Inhaltsverzeichnis' (with links to 'Farbe dezent verwenden', 'Farbkombinationen', 'Vordergrundfarben, Kontraste', 'Keine gesättigten Farben verwenden', 'Psychologische Wirkung', and 'Sehwinkel und Farbdarstellung'), 'Bezug des Regelwerks' (with links to 'Gesetze und Regelwerke'), and 'Sponsor Fachartikel' (listing 'F. Holl').

Abbildung 20: Screenshot der Webseite "ErgoOnline" (Gesellschaft Arbeit und Ergonomie, 2014)

Darüber hinaus bietet die Seite einen Einstieg über Schlagwörter an, die unter Anderem grafisch repräsentiert werden. Dargestellt ist ein Bildschirmarbeitsplatz. Durch einen Klick auf das entsprechende Arbeitssystemelement, erhält der Nutzer nähere Informationen zum Thema (siehe Abbildung 21).



Abbildung 21: Grafischer Zugang zu Informationen auf ErgoOnline (Gesellschaft Arbeit und Ergonomie, 2014)

Ein weiteres Beispiel stellt Kirchners Wiki der arbeitswissenschaftlichen Begriffe dar (vgl. Kirchner 2014). Auch hier sind die Wissensinhalte mit Hilfe eines normalsprachlichen Fließtextes beschrieben und über eine Klassifikation zugänglich. Zusätzlich sind die Artikel mit Schlagworten versehen, die gesucht oder direkt ausgewählt werden können. Abbildung 22 zeigt die dazugehörige Schlagwortwolke, wobei oft angewählte Schlagworte größer dargestellt sind.



Abbildung 22: Schlagwortwolke der Ergonomie (Kirchner 2014)



Diese zwei Beispiele dienen nur zur Illustration. Daneben gibt es zahlreiche weitere Portale mit ähnlichen Funktionen und Inhalten (vgl. z.B. Laurig W. , 2014; Bibliothek Arbeitssicherheit, 2014; ErgonomicsInfo, 2014), die an dieser Stelle nicht tiefergehend behandelt werden sollen.

### 2.3.2. Klassifikationssysteme der Ergonomie

Die zuvor dargestellten Klassifikationen entstanden aus dem praktischen Bedürfnis, einen systematischen Zugriff auf die hinterlegten Wissensinhalte zu ermöglichen. Darüber hinaus gibt es auch theoretisch motivierte Klassifikationssysteme in der Ergonomie. Ein wichtiger Ansatz, der die wesentlichen Komponenten und die Zusammenhänge eines Arbeitssystems strukturiert aufzeigen soll, ist das Arbeitssystemmodell. DIN EN ISO 6385 (2004) definiert ein *Arbeitssystem* als System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen.

Allgemein kann ein Arbeitssystem durch die Elemente

- Arbeitsperson(en),
- Arbeitsauftrag,
- Arbeitsaufgabe,
- Eingabe,
- Ausgabe,
- Arbeitsmittel,
- Arbeitsobjekte und
- Umwelteinflüsse

beschrieben werden.

Damit ist ein Ordnungsschema zur systematischen Beschreibung beliebiger Arbeitsplätze gegeben (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010). Abbildung 23 stellt das Arbeitssystemmodell dar.

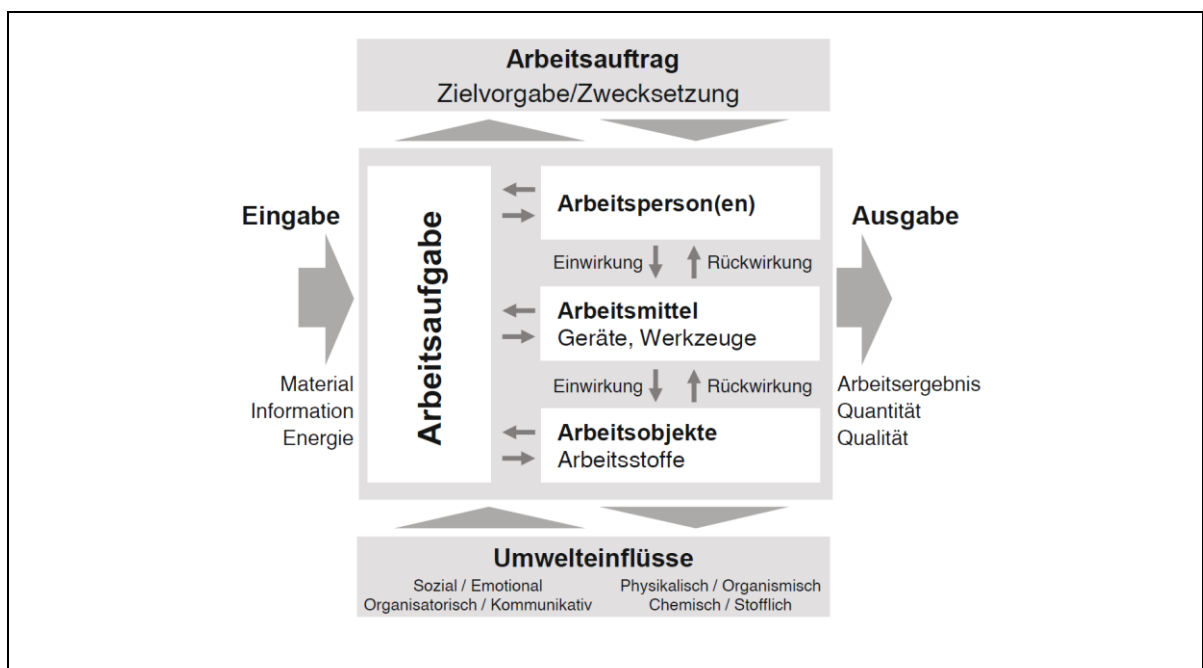


Abbildung 23: Arbeitssystemmodell (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010)

---

Die beschriebenen Arbeitssystemelemente können wiederum eigene Subsysteme oder Systemelemente beinhalten. Durch die Kaskadierung entsteht eine Hierarchie an Subsystemen und Arbeitssystemelementen.

Das in Abbildung 23 dargestellte Arbeitssystemmodell ist relativ abstrakt und enthält keine Unterkategorien der einzelnen Systemelemente. Auch die Zusammenhänge zwischen den Arbeitssystemelementen werden nicht näher beschrieben. DIN EN ISO 9241-11 (1998, S. 10) ergänzt den Begriff des „Nutzungskontext“, sodass sich die einzelnen Arbeitssystemelemente bezüglich ihrer Merkmale detaillierter beschreiben lassen. Eine vollständige Auflistung ist in Anhang 1 gegeben. An dieser Stelle sei beispielhaft nur die Klasse Arbeitsperson dargestellt:

- Arbeitsperson
  - Fertigkeiten und Wissen
    - Erfahrungen mit dem Produkt
    - Erfahrungen mit dem System
    - Erfahrungen mit der Arbeitsaufgabe
    - Erfahrungen mit der Organisation
    - Übungsgrad
    - Fertigkeiten mit dem Eingabemittel
    - Qualifikationen
    - Sprachfertigkeiten
    - Allgemeine Kenntnisse
  - Persönliche Merkmale
    - Alter
    - Geschlecht
    - Physische Fähigkeiten
    - Physische Grenzen und Behinderungen
    - Intellektuelle Fähigkeiten
    - Einstellungen
    - Motivation

Basierend auf dem Arbeitssystemmodell und verschiedenen anderen theoretischen Konzepten der Ergonomie entwickelte Perott (2009) ein Klassifikationsschema zur Einordnung ergonomischer Anforderungen. Die Oberklassen dieses Systems sind:

- A) Anforderungen an die technologische Umgebung
- B) Anthropometrische Anforderungen an das Arbeitssystem
- C) Sicherheitsrelevante Anforderungen an das Arbeitssystem
- D) Physiologische Anforderungen an das Arbeitssystem
- E) Informatorische Anforderungen an das Arbeitssystem
- F) Organisatorische Anforderungen an das Arbeitssystem
- G) Gesellschaftliche Anforderungen an das Arbeitssystem

Diese Oberklassen lassen sich ebenfalls weiter untergliedern. Den untersten Klassen ordnet Perott dann jeweils ergonomische Anforderungen aus Normen und Richtlinien zu. Aus Anhang 2 lässt sich die vollständige Klassifikation entnehmen.

Eine weitere sehr umfangreiche Klassifikation erarbeitete Gawron (1991). Sie dient zur Strukturierung von Forschungsvorhaben und Systembewertungen. Insbesondere soll sie dazu

---

beitragen, alle wichtigen Aspekte der Ergonomie zu identifizieren, die die menschliche Leistungsfähigkeit direkt oder indirekt beeinflussen können. Die Liste basiert auf Erfahrungen aus der Luftfahrtindustrie, Produktionsindustrie und dem Militärbereich. Der Umfang erstreckt sich auf 59 Seiten und kann daher in dieser Arbeit nicht vollständig wiedergegeben werden. Als Oberklassen sind folgende Punkte enthalten:

1. Environment
2. Mission
3. Human
4. System
5. Equipment
6. Social Factors

### 2.3.3. Semantische Netze in der Ergonomie

Die bisher vorgestellten Ansätze sind reine Klassifikationsansätze. Sie bilden lediglich Hierarchierelationen ab. Sonstige Zusammenhänge bleiben aber außen vor. Eine Ausnahme bildet das Arbeitssystemmodell, welches auf sehr abstrakter Ebene Zusammenhänge andeutet. Völlig unklar bleibt allerdings, wie genau verschiedene Systemelemente zusammenwirken. Somit sind die bisher skizzierten Ansätze zwar gut zum Strukturieren von Problemstellungen geeignet, gehen aber kaum über die Möglichkeiten einer Klassifikation hinaus.

Einen weiterführenden Ansatz stellt Kirchner (2008) vor. Er entwickelte ebenfalls eine Klassifikation, wobei die Kategorien untereinander vernetzt sind. Auf diese Weise verdeutlicht er wichtige Zusammenhänge der ergonomischen Systemgestaltung. Auch wenn die Repräsentation der Zusammenhänge tabellarisch erfolgt, lässt sich durchaus von einem semantischen Netz sprechen.

Ein Auszug Kirchners Klassifikation ist in Anhang 3 dargestellt. Neben den dort dargestellten Kategorien

- O: Gestaltungsobjekte,
- A: Anforderungsmerkmale und
- G: Gestaltungsmerkmale

werden von Kirchner zusätzlich die Kategorien

- E: Zielgruppe/Benutzer,
- B: Ergonomische Gestaltungsbereiche,
- L: Lebensphasen des technischen Erzeugnisses und
- F: Tätigkeiten des Menschen

beschrieben.

Über Tabellen bringt er die Merkmale der Kategorien O, A und G in Zusammenhang. Tabelle 6 stellt dies beispielhaft für das Gestaltungsobjekt *O7: Stellteil* dar. Aus Tabelle 7 kann der Systemgestalter ablesen, welche ergonomischen Anforderungsmerkmale mit welchen ergonomischen Gestaltungsmerkmalen zusammenhängen. Die *Griffigkeit eines Stellteils (A11)* lässt sich beispielsweise über die *Form (G5)*, die *Größe (G6)* und den *Stoff (G9)* beeinflussen. Darüber hinaus sind in der rechten oberen Ecke weitere Gestaltungsobjekte benannt, die Einfluss auf die Stellteilgestaltung haben oder die selbst von der Stellteilgestaltung beeinflusst werden.

---

Beispielsweise wird die Gestaltung der *Konsole (O14)* von der *Stellteilgestaltung (O7)* beeinflusst (und umgekehrt). Für jedes in Anhang 3 dargestellte Gestaltungsobjekt (O) beschreibt Kirchner eine eigene Tabelle. Auf diese Weise wird abgebildet, wie verschiedene Gestaltungsobjekte (O) miteinander in Verbindung stehen und wie Anforderungsmerkmale (A) über die Gestaltungsmerkmale (G) beeinflusst werden können.

Einen ähnlichen Weg schlägt Becker-Biskaborn (1975) zur Strukturierung ergonomischer Erkenntnisse zum Arbeitsschutz ein. Hierzu wird zunächst ein semantisches Netz von ergonomischen Zielen erstellt. Dieses enthält 97 Ziele, die in den zwei obersten Zielen „Humanität der Arbeitsdurchführung verbessern“ und „Wirtschaftlichkeit des Arbeitsergebnisses verbessern“ zusammenlaufen. Die Ziele können sich gegenseitig sowohl positiv (Zielbeitrag) als auch negativ (Zielkonflikt) beeinflussen. Zusätzlich werden die Ziele mit gestaltbaren Objekten verknüpft, über die die Zielerreichung beeinflusst werden kann. Gestaltbare Objekte werden über eine Nomenklatur abgebildet. Diese stellt sich wie folgt dar (vgl. Becker-Biskaborn, 1975, S. 77-78):

1. Abschirmungen von Gefahrenstellen
2. Anzeigeteile, akustische
3. Anzeigeteile, optische
4. Arbeitsablauf
5. Arbeitsflächen
6. Arbeitshaltung
7. Arbeitszeit
8. Beleuchtung
9. Bewegungsablauf
10. Fußböden
11. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe
12. Informationen
13. Klima
14. Lasten
15. Maschinen
16. Mechanische Schwingungen
17. Pausen
18. Räume
19. Schall
20. Schilder
21. Schutzmaßnahmen, persönliche
22. Sitze
23. Stellteile, Fuß-
24. Stellteile, Hand-
25. Strahlung
26. Stützen
27. Tätigkeitsstruktur
28. Verkehrswege
29. Werkzeuge

Auf diese Weise wird ein systematischer Zugang zu ergonomischen Informationen auf zwei Wegen ermöglicht: Zum einen über den objektbezogenen Zugang, d.h. je nach betrachtetem Objekt werden die beeinflussbaren Ziele ermittelt, zum anderen über den zielbezogenen Zugang, d.h. je nach

---

betrachtetem Ziel werden geeignete Gestaltungsobjekte ermittelt. Über assoziative Verweise können die Themen zusätzlich verknüpft werden.

Abbildung 24 gibt ein Beispiel für einen objektbezogenen Zugang zum Thema akustische Anzeigeteile, Abbildung 25 ein Beispiel für einen zielorientierten Zugang zu dem Ziel „Informationsvollständigkeit sicherstellen“.



## **2 Anzeigeteile, akustisch**

Folgende Ziele sollten bei der Gestaltung berücksichtigt werden:

Arbeitsphysiologische Funktionsgerechtigkeit sicherstellen, durch Frequenzwahl, Schalldruck, zeitliche Folge der Anzeige, Anordnung des akustischen Anzeigeteils.

Informationen, aufgabengerechte, sichern, durch Art und Auslegung der akustischen Anzeige (Frequenzzusammensetzung, zeitliche Folge, Schalldruck, Dauer, Richtung, Entfernung, Bewegung), Kopplung mit optischer Anzeige (siehe dort), (siehe auch Unterziele).

Informationseindeutigkeit sicherstellen, durch einheitliche Festlegung (Frequenzzusammensetzung, zeitliche Folge, zeitlicher Schalldruck)

[...]

Abbildung 24: Beispiel für einen objektbezogenen Zugang zu Informationen (Becker-Biskaborn, 1975, S. 80)

## **46 Informationsvollständigkeit sicherstellen**

Wirkt auf Oberziel:

42 Informationen, aufgabengerechte, sicherstellen

Das Ziel ist beeinflussbar durch die Gestaltung der

Anzeigeteile, akustische,

durch die akustische Anzeige ergänzende Sekundärinformationen, z.B. durch optische Anzeigeteile (siehe dort).

Anzeigeteile, optische,

durch Beschriftung, Maßstabsangaben, Dimensionsangaben, Wahl der technischen Modalität (z.B. Weg-, Geschwindigkeitsanzeige), Art der Anzeige (Istwert-, Sollwert-, Bereich-, Vor-Anzeige), Skalenauslegung;

Informationen,

durch Art und Umfang, Ausprägung der Information, Wahl der technischen Modalität

Abbildung 25: Beispiel für einen zielorientierten Zugang zu Informationen (Becker-Biskaborn, 1975, S. 117)

---

## 2.3.4. Regelbasierte Systeme in der Ergonomie

Ende der 80er Jahre gewannen Expertensysteme an Bedeutung und waren auch in der Ergonomie Bestandteil umfangreicher Untersuchungen. Beierle & Kern-Isberner (2006) definieren ein Expertensystem wie folgt:

„Ein Expertensystem ist ein Computersystem (Hardware und Software), das in einem gegebenen Spezialisierungsbereich menschliche Experten in Bezug auf ihr Wissen und ihre Schlussfolgerungsfähigkeit nachbildet“ (Beierle & Kern-Isberner, 2006, S. 12).

Das in einem Expertensystem hinterlegte Wissen besteht aus Fakten und Regeln. Diese Regeln werden mit Hilfe von Produktionsregeln (Wenn-Dann-Beziehungen) repräsentiert, die bereits in Kapitel 2.2.3 gemeinsam mit der Aussagenlogik vorgestellt wurden. Diese Produktionsregeln können vom Computersystem verstanden und verarbeitet werden, um dem Nutzer schließlich das Ergebnis verständlich präsentieren zu können. Als Synonym zu Expertensystemen wird häufig auch von wissensbasierten Systemen gesprochen.

Bruder (1993) zeigt, wie ein Expertensystem für ergonomische Fragestellungen genutzt werden kann. Als Beispiel dient die Ermittlung der Erholungszeit basierend auf belastungsanalytischen Vorgaben. Die Fakten des Expertensystems werden dabei über sogenannte *Frames* abgebildet. *Frames* sind dabei deckungsgleich mit dem im Kapitel 2.2.2 vorgestellten Schemakonzept. In den *Frames* können die bestehenden Erkenntnisse zur Erholungszeit hinterlegt werden. Über die Problemlösungskomponente können dann Schlussfolgerungen gezogen werden. Dabei stellen die vom Benutzer eingegebenen Belastungsdaten die Ausgangssituation des Problemlösungsprozesses dar. Ein erster Regelsatz leitet die vorliegenden Teilbelastungsarten (z.B. aus der Arbeitsaufgabe oder der physikalischen Arbeitsumgebung) ab. Aus diesen abgeleiteten Teilbelastungen werden die ermüdungsrelevanten Teilbelastungen unter Verwendung bekannter Erträglichkeitsgrenzen bestimmt. Ein zweiter Regelsatz ermittelt Untersuchungen oder Erfahrungen, bei denen genau diese Teilbelastungen Untersuchungsgegenstand waren und überprüft zudem, inwieweit die Erkenntnisse auf die angegebene Ausgangssituation anwendbar sind. Die übertragbaren Erkenntnisse werden dem Benutzer angezeigt (vgl. Bruder, 1993, S. 91-98).

Neben dem System von Bruder gibt es weitere Beispiele für Expertensysteme, z.B.

- Laurig & Rombach (1989): Expertensystem zur Bewertung von Hebe- und Tragearbeiten
- Burgard, Lüttringhaus-Kappel & Plümer (1992): Expertensystem für die Gestaltung einer ergonomischen Beleuchtung unter Tage
- Palil (1996): Expertensystem für die Gestaltung von Fahrzeuginnenräumen
- Gilad & Karni (1999): Expertensystem für verschiedene Facetten der ergonomischen Gestaltung
- Kaljun & Dolsak (2011): Expertensystem zur Entwicklung von Handwerkzeugen

## 2.3.5. Softwaregestützte Ansätze in der Ergonomie

Neben den bereits genannten Ansätzen existieren softwaregestützte Lösungen, die unabhängig von einer bestimmten Repräsentationsmethoden ergonomisches Wissen für den Nutzer aufbereiten.

Ein Beispiel hierfür ist EKIDES (*Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System*). Das Softwaretool richtet sich an Konstrukteure, Arbeitsgestalter, Sicherheitsingenieure und



---

Arbeitsmediziner. Die theoretische Grundlage bildet das Belastungs-Beanspruchungskonzept. Das Ziel ist die Minimierung der aus Aufgabenstellung, Umwelt und Maschinengestaltung resultierenden Belastungen und damit die vom Menschen empfundene Beanspruchung (vgl. Schmidtke & Jastrzebska-Fraczek, 2014). EKIDES ist in verschiedene, voneinander unabhängige Module unterteilt und kann dem Anwender als Kompendium dienen. Enthalten sind Informationen zur ergonomischen Gestaltung (z.B. anthropometrische Körpermaße, Kräfte, rechtliche Rahmenbedingungen), aber auch Methodenwissen (z.B. zur Gefährdungsanalyse, Akzeptanzanalyse und Belastungsanalyse).

Ein weiteres Tool stellt ErgoCheck dar, welches eine einfache und praxisnahe Umsetzung der VDI/VDE 3850 ermöglichen soll (vgl. Röse, 2000). Im Vordergrund steht die Auslegung und Bewertung von Benutzerschnittstellen. Das Programm besteht aus drei Modulen: Infosystem, Checksystem und Auswertungssystem. Im Infosystem sind Richtlinienexte, Erläuterungen und Umsetzungsbeispiele hinterlegt. Das Checksystem besteht aus einem interaktiven Fragebogen, der die Umsetzung der in der VDI/VDE 3850 genannten Empfehlungen mittels Ratingskala erfragt. Das Auswertungssystem errechnet, basierend auf den Antworten aus dem Fragebogen, bestimmte Kennwerte. Darüber hinaus wird auch eine ergonomische Gesamtbewertung vorgenommen. Auf Basis dieser Ergebnisdarstellung kann der Anwender ergonomische Schwachstellen bezüglich seiner Benutzerschnittstelle ableiten.

Einen weiteren möglichen Ansatz stellt das Projekt GUIDE2ux vor. Dabei handelt es sich um einen Prototyp, der das Design von Benutzerschnittstellen in Echtzeit auf Usabilityschwächen überprüft (vgl. Meskens, et al., 2011; Loskyll & Meixner, 2010). Während der Gestalter eine graphische Benutzerschnittstelle entwirft, überprüft ein Hintergrundprogramm, inwieweit die konzipierte Benutzerschnittstelle kompatibel zu den Anforderungen aus ergonomischen Normen ist. Werden bestimmte Anforderungen verletzt, so wird eine Meldung mit dem erkannten Problem ausgegeben. Sobald das Problem vom Gestalter behoben wurde, verschwindet der Hinweis. Es zeigt sich allerdings, dass sich ein Großteil der Anforderungen aus Normen nicht in GUIDE2ux abbilden lässt. Nur ein kleiner Teil lässt sich derart formalisieren, dass eine automatisierte Kontrolle in Echtzeit möglich ist.

Einen ähnlichen Weg gehen auch Du et al. (2009). Sie schlagen vor, ergonomisches Wissen direkt in eine 3D CAD Modellierungsumgebung einzubinden. Hierzu wurden anthropometrische Daten (Körpergröße in stehender Haltung, Körpermaße in sitzender Haltung, Armreichweiten, etc.) in einer Microsoft ACCESS Datenbank hinterlegt. Über eine Schnittstelle Namens CAEMS (Computer Aided Ergonomics Management System) sind diese Daten in der CAD-Umgebung verfügbar und können direkt für die Parametrisierung herangezogen werden. Einen analogen Ansatz in dieser Richtung stellen Feyen et al. (2000) vor. Ähnliche Resultate sind aber auch über die Nutzung von Menschmodellen in einer CAD Umgebung ohne komplexe Wissensmanagementkomponente möglich. Steuer (2012) überprüfte, welche Erkenntnisse sich durch den Einsatz von Menschmodellen in der Flugsicherung ableiten lassen. Es zeigt sich, dass sich Menschmodelle hervorragend eignen, um ergonomische Anforderungen an Freiraum, Erreichbarkeit, Sichtbedingungen, Kraft und Sicherheit bereits in der CAD Gestaltung zu überprüfen. Abbildung 26 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Erreichbarkeitsanalyse mit Hilfe von Menschmodellen in der Deutschen Flugsicherung.



Abbildung 26: Ergebnis einer Erreichbarkeitsanalyse mit Hilfe von Menschmodellen (Steuer, 2012)

## 2.4. Zusammenfassende Betrachtung

Kapitel 2.1 stellte die primären Quellen zur ergonomischen Gestaltung aus anwendungsorientierter Sicht vor. Auf Grund der hohen Inhaltsschärfe gegenüber Verordnungen und Gesetzen stellen technische Regeln, Normen und Richtlinien die wichtigsten Quellen dar. Die in diesen Regelwerken enthaltenen Anforderungen sind rechtlich zwar nicht verbindlich, verkörpern jedoch den Stand der Technik, dessen Berücksichtigung § 4, Nr. 3 ArbSchG (2013) explizit fordert.

Diese Regelwerke beinhalten meist eine sehr ausführliche und umfängliche Darstellung ergonomischer Anforderungen. Die große Vielfalt an verfügbarem Ergonomie-Wissen stellen fachfremde Systemgestalter vor die große Herausforderung, die relevanten Quellen vor dem Hintergrund der eigenen Problemstellung identifizierten, bewerten und anwenden zu müssen. Zudem werden die Anforderungen in den Regelwerken weitgehend isoliert voneinander betrachtet. Durch die hohe Anzahl an Zusammenhängen in der ergonomischen Gestaltung, können einzelne Systemelemente allerdings kaum getrennt voneinander gestaltet werden. Je nach Gestaltungskontext müssen verschiedene ergonomische Anforderungen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden, um so die übergeordnete Systemleistung und das menschliche Wohlbefinden zu optimieren. Dies setzt allerdings ein Verständnis über die grundlegenden Zusammenhänge in der ergonomischen Gestaltung voraus.

Der Zusammenhangsbegriff ist eng an den Wissensbegriff gekoppelt. Kapitel 2.2 stellte daher grundsätzliche Konzepte der Wissensrepräsentation vor, mit deren Hilfe sich Zusammenhänge abbilden lassen. Erst wenn Zusammenhänge zwischen verschiedenen Informationen erkannt werden, entsteht höherwertiges prozedurales Wissen. Dabei lässt sich prozedurales Wissen nicht direkt repräsentieren. Stattdessen unterstützt strukturelles Wissen den Menschen bei der Transformation von deklarativen in prozedurales Wissen.

---

Kapitel 2.3 stellte bereits bestehende Ansätze der Ergonomie vor, die den in Kapitel 1.1 dargestellten Herausforderungen begegnen sollen. Es zeigt sich, dass sich bisher kein übergreifender Ansatz zur Integration ergonomischer Anforderungen in die praktische Systemgestaltung etabliert hat (für eine tiefergehende Bewertung bestehender Ansätze, vgl. Kapitel 3.1). Darüber hinaus erscheint kaum geklärt, welche Arten von Zusammenhängen in der Ergonomie überhaupt existieren und welche Merkmale sie charakterisieren. Dies zeigt sich auch an dem Umstand, dass die in Kapitel 2.2 vorgestellten Konzepte der Wissensrepräsentation bisher kaum in der Ergonomie genutzt werden.

---

### 3. Ziele des Modellierungsansatzes

---

Vor dem Hintergrund des von Dul et al. (2012) geforderten Systemansatzes soll der Fokus der Ergonomie auf den Zusammenhängen anstelle der Spezifikation einzelner Systemelemente liegen. Trotz der Forderung nach einem übergreifenden Systemansatz erscheint allerdings weitgehend ungeklärt, wie Zusammenhänge in der Ergonomie systematisch erfasst und berücksichtigt werden können (vgl. Kapitel 1.1).

Zwar fordert der Systemansatz eine zusammenhangsorientierte Sichtweise auf Problemstellungen, nichtsdestotrotz bleibt die Ergonomie einer Möglichkeit zur systematischen und formalen Beschreibung schuldig. Diese Ausarbeitung beabsichtigt einen ersten Beitrag zur Lösung des Widerspruchs zu leisten.

Übergeordnetes Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Modellierungsansatzes, der es erlaubt, die wesentlichen Zusammenhänge in der ergonomischen Systemgestaltung und die daraus resultierenden Abhängigkeiten abzubilden. Hierzu sollen zum einen die Anforderungen aus den relevanten Regelwerken (Kapitel 2.1), zum anderen bestehende Ansätze der Wissensrepräsentation (Kapitel 2.2) und der Ergonomie (Kapitel 2.3) berücksichtigt werden. Ziel dabei ist nicht die eigentliche Modellierung, sondern die Bereitstellung eines übergeordneten Modellierungsansatzes, der die Repräsentation von Zusammenhängen erlaubt.

#### 3.1. Grundlegende Annahmen des Modellierungsansatzes

Bevor der eigentliche Modellierungsansatz vorgestellt wird, sollen zunächst einige grundlegende Annahmen abgeleitet werden, die das Fundament für alles Weitere bilden. Diese Annahmen stellen die Postulate der Ausarbeitung dar, auf die der in Kapitel 4 vorgestellte Modellierungsansatz aufbaut. Die Annahmen ergeben sich aus einer integrierten Betrachtung der identifizierten Herausforderungen aus Kapitel 1.1 und dem in Kapitel 2 dargestellten Stand der Forschung. Zusätzlich dienen sie zur Abgrenzung gegenüber den bereits existierenden Ansätzen der Ergonomie, die bereits in Kapitel 2.3 vorgestellt wurden.

Die in Kapitel 2.1 beschriebenen Regelwerke bilden die Basis der ergonomischen Gestaltung. Die Einhaltung der dort hinterlegten Anforderungen gilt als Gradmesser der ergonomischen Güte eines Systems. Von besonderem Interesse sind dabei Normen und Richtlinien (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2), da sie einerseits konkrete Handlungsanweisungen enthalten und andererseits in Verbindung mit § 4, Nr. 3 ArbSchG (2013) eine gewisse rechtliche Relevanz besitzen (vgl. Kapitel 2.1). Auch wenn eine reine Auflistung von Anforderungen nicht ausreichend erscheint, so ist deren Kenntnis dennoch eine notwendige Bedingung für gebrauchstaugliche Systeme. Entsprechend lautet Annahme 1:

*Annahme 1: Anforderungen aus ergonomischen Regelwerken spiegeln den idealisierten Zielzustand einer ergonomischen Gestaltung wider bzw. geben zulässige Bereiche vor und dienen somit als Gradmesser der ergonomischen Qualität.*

Anforderungen stehen aber nicht für sich allein, sondern werden auf reale Systemelemente angewendet. Auch Kirchner (2008) und Becker-Biskaborn (1975) erachten den Bezug zu konkreten Systemelementen als essenziell. Beide erstellen einen Katalog an Systemelementen, wobei Kirchner Anforderungsmerkmale und Becker-Biskaborn ergonomische Ziele mit diesen in Zusammenhang setzt. Dies steht im Einklang mit der geforderten gestaltungsorientierten Sichtweise der Ergonomie (vgl. Kapitel 1.1): Letztlich müssen Anforderungen auf konkrete Systemelemente angewendet

---

werden. Dabei korrespondieren Anforderungen und die tatsächliche Auslegung der Systemelemente nicht zwingend. Oftmals zwingen bestimmten Rahmenbedingungen dazu, bewusst von ergonomischen Anforderungen abzuweichen. Daher ist eine Betrachtung ergonomischer Anforderungen (Soll-Zustand) alleine nicht ausreichend, sondern bedarf der Erweiterung um eine weitere Betrachtungsebene: Die konkret zu gestaltenden Systemelemente (Ist-Zustand). Dies führt zu Annahme 2:

*Annahme 2: Die Beschreibung von Anforderungen und die tatsächliche Umsetzung sind zwei getrennte Sichtweisen. Die Anforderungen geben einen idealisierten Zustand vor (d.h. normativ, wie etwas sein sollte), während die tatsächliche Ausprägung der Systemelemente den realen Gestaltungskontext (d.h. deskriptiv, wie etwas tatsächlich ist) beschreibt und von den Anforderungen abweichen kann. Für eine zusammenhangsorientierte Betrachtung sind beide Sichtweisen relevant: Anforderungen und konkrete Systemelemente.*

Als mögliches Ordnungsschema zur Gliederung der Systemelemente kennt die Ergonomie das bereits vorgestellte Arbeitssystemmodell (vgl. Kapitel 2.3 und Abbildung 23). Das Modell enthält eine allgemeingültige Auflistung typischer Arbeitssystemelemente, die sich jeweils tiefer untergliedern lassen. Mögliche Klassifikationen zur Konkretisierung des Arbeitssystemmodells ergeben sich z.B. aus DIN EN ISO 9241-11 (1998), Gawron (1991), Perott (2009), Becker-Biskaborn (1975) und Kirchner (1990).

Wie bereits mehrfach diskutiert steht eine isolierte Betrachtung einzelner Anforderungen und Systemelemente im Widerspruch zum Selbstverständnis der Ergonomie. Gerade die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Systemelementen machen eine Umsetzung in der Praxis schwierig und sind eine Hauptquelle für die hohe Komplexität in Gestaltungsvorhaben. Dabei entstehen Abhängigkeiten vor Allem durch den jeweiligen Gestaltungskontext und vorherrschenden Rahmenbedingungen, unter denen ergonomische Anforderungen umgesetzt werden müssen (vgl. Kapitel 1.1 und 2.1.6). Je nach Gestaltungskontext können bestimmte Abhängigkeiten relevant sein oder auch nicht. Daraus ergibt sich Annahme 3:

*Annahme 3: Die Implikationen aus Betrachtung der Zusammenhänge sind nicht statisch, sondern verändern sich in Abhängigkeit des Gestaltungskontextes.*

Aus Annahme 3 ergibt sich der Hauptunterschied zu den Ansätzen von Kirchner (2008) und Becker-Biskaborn (1975). Beide Ansätze leiten allgemeingültige Zusammenhänge her, die unabhängig vom Kontext jederzeit und unbedingt gelten. Kirchner betrachtet hauptsächlich Zusammenhänge zwischen Anforderungsmerkmalen und Gestaltungsmerkmalen. Im Vordergrund steht die Frage, über welche Gestaltungsmerkmale bestimmte Anforderungsmerkmale beeinflusst werden können. Beispielsweise beeinflusst die Form eines Stellteils, wie schnell dieses Stellteil betätigt werden kann (siehe *Tabelle 7*). Dieser Zusammenhang ist allgemeingültig und unabhängig von gestalterischen Randbedingungen. Auf Grund der Allgemeingültigkeit lassen sich allerdings auch keine weiterführenden Implikationen ableiten, z.B. wie genau die Form des Stellteils beschaffen sein muss, um eine schnellere Bedienung zu erreichen.

Einen ähnlichen Weg schlägt Becker-Biskaborn ein, wobei ein größerer Fokus auf die Herleitung der ergonomischen Zielehierarchie liegt. Darauf aufbauend leitet er ab, wie sich ergonomische Ziele und Gestaltungsobjekte gegenseitig beeinflussen. So lässt sich das Ziel „Informationsvollständigkeit sicherstellen“ über „Art und Umfang der Information“, „Ausprägung der Information“ und „Wahl der

---

technischen Modalität“ beeinflussen. Unter welchen Bedingungen allerdings eine bestimmte „technische Modalität“ angemessen ist, bleibt auch bei ihm offen.

Ein weiterer Unterschied ergibt sich aus dem Anspruch auf Vollständigkeit. Da Kirchner und Becker-Biskaborn einen allgemeingültigen Ansatz verfolgen, sind die dort formulierten Zusammenhänge zwar relativ abstrakt, aber dafür weitgehend vollständig. Beide Ansätze versuchen, alle möglichen Zusammenhänge für die Praxis vorzudenken. Der Gestalter muss die im Vorfeld identifizierten Zusammenhänge lediglich in seinem Gestaltungskontext anwenden (Top-Down-Ansatz). Einen Gegenentwurf zu dieser Perspektive stellt diese Ausarbeitung vor. Anstatt ein großes vordefiniertes Modell mitsamt allen möglichen Zusammenhängen vorzugeben, wird die Entwicklung einer standardisierten Modellierungssprache vorgeschlagen. Dieser Modellierungsansatz dient Ergonomieexperten in Wissenschaft und Praxis als Werkzeug, um Zusammenhänge zu konkreten Fragestellungen abzubilden. Auf diese Weise entsteht zwar kein umfassendes und universelles Abbild aller Zusammenhänge, aber dafür mehrere konkrete kleine Modelle, die anschließend in eine ganzheitliche Sichtweise überführt werden können (Bottom-Up-Ansatz). Ergonomie-Fachfremde können die von der Fachwelt entwickelten Modelle dann für ihre spezifischen Praxisprobleme heranziehen.

Das bedeutet nicht, dass mit Hilfe des Modellierungsansatzes nur Einzelfälle modelliert werden können. Genau Gegenteiliges ist der Fall. Es lassen sich allgemeingültige Zusammenhänge modellieren, allerdings durch die Betrachtung konkreter Sachverhalte. Über eine Synthese wird die Einzelfallbetrachtung in ein allgemeingültiges Modell überführt. Die Betrachtungsweise kehrt sich also lediglich um: Nicht etwas Abstraktes wird modelliert und auf etwas Konkretes angewendet. Stattdessen wird ein konkretes Problem betrachtet und anschließend allgemeingültig modelliert, sodass es im Anschluss auf ähnlich konkrete Sachverhalte Anwendung finden kann. Dies passt auch zur theoretischen Vorstellung, dass Wissen nur in einem konkreten Kontext entstehen kann (vgl. Kapitel 2.2.1). Ohne konkreten Gestaltungskontext ist eine Verknüpfung von Informationen zu höherwertigem Wissen kaum denkbar. Erst durch Anwendung verschiedener Informationen in einem konkreten Kontext bestätigen sich alte und zeigen sich neue Zusammenhänge.

Dies führt zu Annahme 4:

*Annahme 4: Nicht alle Zusammenhänge können theoretisch im Vorfeld erdacht werden, sondern ergeben sich während der Problemlösung und im Umgang mit ergonomischem Wissen. Statt der Entwicklung eines Universalmodells erscheint die Entwicklung eines formalen Modellierungsansatzes vielversprechender, der die Modellierung kleiner Teilprobleme unter Berücksichtigung des Gestaltungskontextes und den daraus resultierenden Implikationen erlaubt. Anschließend können die standardisierten Teilmodelle auf einer höheren Betrachtungsebene integriert werden.*

Auch die in Kapitel 2.3 dargestellten Expertensysteme möchten konkrete Implikationen auf Basis bestimmter Rahmenbedingungen ableiten. Die großen Hoffnungen, die seit den 80er Jahren in Expertensysteme gesetzt wurden, konnten jedoch nur teilweise erfüllt werden (vgl. Lehner, 2008, S. 232; Beierle & Kern-Isberner, 2006, S. 11-12; Budnick, Bloswick, & Brown, 2011, S. 1009). Eine Schwierigkeit ergibt sich insbesondere dann, wenn Expertensysteme ergonomische Herausforderungen als deterministisch logisches Problem begreifen, welches sich alleine über logisches Schlussfolgern lösen lässt. Beierle & Kern-Isberner (2006) führen an, dass sich menschliche Experten dadurch auszeichnen, dass sie oft intuitiv richtig handeln, ohne ihre Entscheidung

---

begründen zu können und auf diese Weise auch schwierige Probleme unter Verwendung von unvollständigem und unsicherem Wissen lösen können. Aus diesen Gründen kann Expertenwissen oft nicht als solches repräsentiert werden. Nichtsdestotrotz zeigen die in Kapitel 2.3 vorgestellten Expertensysteme, dass eine Anwendung für gut abgegrenzte und deterministische Teilprobleme durchaus möglich ist. Für eine Repräsentation übergreifender Zusammenhänge erscheinen Expertensysteme allerdings wenig geeignet.

In Abgrenzung zu Expertensystemen wird daher Annahme 5 formuliert:

*Annahme 5: Die ergonomische Systemgestaltung kann nicht als deterministisches System begriffen werden. Eine formal logische und somit automatisierte Problemlösung ist nicht möglich. Der Gestalter kann lediglich durch Bereitstellung identifizierter Zusammenhänge und den damit verbundenen Implikationen bei der Auswahl der vielversprechendsten Alternative unterstützt werden.*

Bereits heute gibt es zahlreiche Softwaretools, die Systementwickler bei der Berücksichtigung ergonomischer Aspekte unterstützen sollen (vgl. Kapitel 2.3). Viele der verfügbaren Systeme sind lediglich elektronische Kompendien, die Informationen normalsprachlich repräsentieren und daher keine systematische Berücksichtigung der Zusammenhänge unterstützen. Dieser Umstand macht eine Nutzung des Wissens in der praktischen Systemgestaltung schwierig. Zudem bedürfen normalsprachliche Ansätze notwendiger Weise einem Kompromiss aus Umfang und Informationstiefe. Werden alle relevanten Informationen dargestellt, entstehen leicht Kompendien von 1000 Seiten und mehr (vgl. z.B. Ahlstrom & Longo, 2003). Werden hingegen nur die wichtigsten Informationen bereitgestellt, ist die Informationsmenge zwar übersichtlich, aber oftmals auch allgemeingültig und wenig spezifisch.

Weiterführende softwaregestützte Ansätze erscheinen derzeit wenig vielversprechend. Röse (2000) führt mit dem ErgoCheck eine ergonomische Kennziffer ein, die über das Ausfüllen eines elektronischen Fragebogens ermittelt werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, verschiedene Produkte oder Gestaltungsalternativen bzgl. ergonomischer Kriterien zu vergleichen. Konkrete Vorschläge zur Verbesserungen werden von der Software allerdings nicht unterbreitet. Das Konzept GUIDE2ux (vgl. Meskens, et al., 2011; Loskyll & Meixner, 2010) erscheint als ein vielversprechender Ansatz, insbesondere da Empfehlungen in Echtzeit während der Gestaltung einer grafischen Benutzerschnittstelle erfolgen. Allerdings ist das Tool thematisch auf grafische Benutzerschnittstellen limitiert. Andere Aspekte der Ergonomie bleiben außen vor. Zudem zeigte sich während der Umsetzung, dass viele der Anforderungen aus Normen und Richtlinien schwer zu formalisieren sind und sich nicht in das starre Korsett der Datenbankstruktur überführen lassen. Ähnliche Erfahrungen ergeben sich auch aus dem Umgang mit Expertensystemen, die nur in einem sehr gut abgegrenzten Anwendungsbereich ihren Nutzen entfalten können.

Bisher scheint kaum geklärt, woraus sich die Wissenskomplexität in der Praxis ergibt, welche Zusammenhänge hierbei eine Rolle spielen und inwiefern das ergonomische Wissen überhaupt formalisiert werden kann. Daher möchte diese Ausarbeitung nochmal einen Schritt zurückgehen und zunächst ein übergeordnetes Konzept zur Modellierung ergonomischer Zusammenhänge als Basis entwickeln. Dieses Konzept kann anschließend validiert und beliebig erweitert werden. Erst danach erscheint eine Diskussion sinnvoll, wie eine geeignete Softwarearchitektur ausgestaltet sein kann.

---

Der objektorientierte Ansatz zur Software-Entwicklung und somit auch UML betonen besonders stark die Modellbildung vor der Programmierung und damit das Herausarbeiten einer abstrakten Software-Architektur (vgl. Küchlin & Weber, 2005, S. 92; Schäling, 2015) bzw. eines Systementwurfs (vgl. Müller & Weichert, 2011, S. 137). Ein wesentliches Ziel von UML ist somit die Beschreibung einer Softwareanwendung vor ihrer eigentlichen Umsetzung, um auf diese Weise komplexe Umsetzungsprojekte besser planen und strukturieren zu können (vgl. Object Management Group, 2015).

Auch die Ontologie-Entwicklung adressiert hauptsächlich Herausforderungen der Datenverarbeitung. So beschreiben Mizoguchi & Ikeda (1996) das übergeordnete Ziel einer Ontologie-Entwicklung wie folgt:

*“To provide a basis of building models of all things in which computer science is interested”*

Da das Ziel dieser Ausarbeitung explizit nicht die Entwicklung einer Softwarearchitektur ist, erscheinen sowohl UML als auch die Ontologie ungeeignet für das weitere Vorgehen. Der Modellierungsansatz dieser Arbeit soll gerade nicht mögliche Datenmodelle zur Realisierung von Softwareanwendungen diskutieren, sondern zunächst allgemeingültige Charakteristiken von ergonomischem Wissens aus Sicht der eigenen Disziplin ableiten. Im Vordergrund steht die fundamentale Frage nach der Anatomie des Ergonomiewissens selbst und dessen Nutzung in einem spezifischen ergonomischen Anwendungskontexts.

Soll der Modellierungsansatz Verbreitung in der eigenen Disziplin finden, muss er schnell und ohne große Einarbeitung anwendbar sein. UML und OWL sind mächtige Sprachen, allerdings erscheint es wenig praktikabel mit Hilfe von UML-Modellen bzw. OWL-Modellen einen Diskurs in der Ergonomie über Eigenschaften und Zusammenhänge des disziplinen-eigenen Wissens zu führen, insbesondere da jeder Ergonom zur Modellerstellung und -analyse zunächst die jeweilige Sprache erlernen müsste.

Zudem besitzen auch Modelle der Datenverarbeitung Limitationen, mit denen der Modellierer individuell umgehen muss. So ist OWL beispielsweise kaum geeignet, um allgemeingültige Produktionsregeln abzubilden, wie sie für die Entwicklung von Expertensystemen benötigt werden (vgl. Bechhofer, 2009, S. 2009). Eine aktuelle Forschungsfrage ist daher, wie diese Limitation durch Ergänzung einer regelbasierten Modellierungssprache aufgehoben werden kann (vgl. z.B. Yang et al., 2009; Matheus et al., 2003; Dong, Yang, & Su, 2011). Ein Vorschlag ist die Integration der *Semantic Web Rule Language* (SWRL) in die Ontologieerstellung, welche selbst wiederum auf der *Rule Markup Language* (RuleML) beruht. Hierzu wurde dem World Wide Web Consortium W3C ein Vorschlag vorgelegt, welcher sich aktuell in der Diskussion befindet (vgl. Horrocks et al., 2004) und ggf. im Rahmen des W3C Prozesses (vgl. W3C, 2014) weitergeführt wird.

Diese Arbeit soll und kann aber keinen Beitrag zur Lösung dieser oder anderer Fragestellungen der Datenverarbeitung leisten. Im Vordergrund steht die Erarbeitung eines übergeordneten Konzeptes, welches den Umgang mit der Wissensdomäne „Ergonomie“ allgemeingültig beschreiben kann. Basierend auf diesen Erkenntnissen sollten nachfolgende Arbeiten klären, welche Modelle der Datenverarbeitung am besten geeignet sind, um dieses Konzept softwaretechnisch umzusetzen.



---

Aus diesen Überlegungen ergibt sich Annahme 6:

*Annahme 6: Im Vordergrund steht die Diskussion eines übergreifenden Konzepts zur Beschreibung von kontextspezifischen Zusammenhängen aus Sicht der Ergonomie. Nachfolgende Arbeiten sollten darauf aufbauend klären, welche Modelle der Datenverarbeitung am besten zur rechnergestützten Umsetzung geeignet sind und wie ggf. die damit verbundenen Herausforderungen und Limitationen bewältigt werden können.*

Das bedeutet aber nicht, dass eine softwareseitige Unterstützung nicht sinnvoll ist. Etabliert sich der in dieser Arbeit vorgestellte Modellierungsansatz zu einer standardisierten Beschreibungssprache von ergonomischen Zusammenhängen, erscheint eine Unterstützung durch Software nicht nur sinnvoll, sondern notwendig. Anders scheint eine Nutzung der mit Hilfe des Modellierungsansatzes erstellten Modelle kaum denkbar, insbesondere da sich der spätere Modellnutzer weniger für das Modell an sich, sondern eher für die daraus resultierenden Implikationen interessiert. Kapitel 6 stellt daher exemplarisch eine mögliche technische Umsetzung auf Basis des Modellierungsansatzes vor.

### **3.2. Zielgruppen des Modellierungsansatzes**

Abschließend möchte dieser Abschnitt die verschiedenen Zielgruppen des Modellierungsansatzes vorstellen. Zwei Zielgruppen ergeben sich bereits aus der zu Beginn vorgestellten Ergonomie-Definition: Wissenschaft und praktische Gestaltung. Darüber hinaus soll aber auch der Modellierer explizit als Zielgruppe aufgeführt werden. Eine weitere Zielgruppe stellt die technische Umsetzung dar. Zwar soll der Modellierungsansatz lösungsneutral sein (vgl. Kapitel 3.1), dennoch erscheint eine Unterstützung durch Software zu einem späteren Zeitpunkt durchaus sinnvoll, sodass die technische Umsetzung an dieser Stelle bereits berücksichtigt werden soll.

Daraus ergeben sich folgende Zielgruppen, die nun kurz vorgestellt werden sollen:

- Forscher
- Modellierer
- Experten der informationstechnischen Realisierung
- Praktische Anwender

#### **Forscher als Zielgruppe**

In der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion nimmt die Komplexität in der Systemgestaltung einen hohen Stellenwert ein (vgl. Walker et al. 2009; Ciliers, 2005; Göbel, 2009; Dekker, 2012). Derzeit gibt es allerdings keinen Ansatz, der Komplexität zufriedenstellend beschreiben kann, geschweige denn handhabbar macht. Ein Modellierungsansatz, der Zusammenhänge in der Ergonomie abbildet, könnte zumindest einen Teil der Komplexität von ergonomischem Wissen erklären. Die Komplexität und die damit verbundenen zahlreichen Abhängigkeiten in der ergonomischen Systementwicklung sind Gründe, warum Ergonomie-Normen und Richtlinien selten zum Einsatz kommen. Durch die formalistische Modellierung alltäglicher Gestaltungsfragen lässt sich feststellen, welche Faktoren die Anwendung des Wissens in bestimmten Domänen schwierig macht. Auf diese Weise lassen sich wichtige Zusammenhänge identifizieren und schließlich Rückschlüsse bezüglich der didaktischen Aufbereitung des Ergonomie-Wissens ableiten. Auch durch den in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz lässt sich Komplexität natürlich nicht restlos erklären, allerdings könnten zumindest die bekannten Zusammenhänge abgebildet werden. Durch die Bestandsaufnahme, welche Zusammenhänge in der Ergonomie-Literatur bereits beschrieben sind, lassen sich zudem bisher unbehandelte oder

---

unzureichend beschriebene Zusammenhänge identifizieren und ggf. in praxisrelevante Forschungsfragen überführen.

Insbesondere könnten nachfolgende Studien folgende Fragen klären:

- Sind die in dieser Ausarbeitung allgemein beschriebenen Zusammenhänge vollständig?
- Ist der Modellierungsansatz auch in anderen Domänen neben der Flugsicherung nutzbar?
- Kann der Modellierungsansatz langfristig als nützliches Hilfsmittel bestätigt werden?

Diese Fragen kann diese Ausarbeitung natürlich nicht abschließend beantworten. Vielmehr ist hierfür ein breiter Diskurs über verschiedene Domänen der Ergonomie notwendig.

### **Modellierer als Zielgruppe**

Der eigentliche Modellierungsansatz richtet sich nicht an Fachfremde, sondern an erfahrene Ergonomie-Experten aus Wissenschaft und Praxis. Sie können Zusammenhänge erkennen, bewerten und entsprechend mit Hilfe des Modellierungsansatzes abbilden und dokumentieren. Hierdurch gehen Lösungswege im Laufe der Zeit nicht verloren, sondern bleiben in einer allgemeingültigen, formalen und standardisierten Beschreibungsweise für ähnliche Fragestellungen konserviert.

Wenn der Modellierungsansatz breitflächig zum Einsatz kommen soll, muss dieser einfach anwendbar sein, d.h. prinzipiell ohne zusätzliche Hilfsmittel und allein durch Lektüre dieser Ausarbeitung (d.h. ohne spezifisches Methodenwissen). Gleichzeitig muss der Modellansatz aber gewissen Formalismen genügen, sodass die beschriebenen Zusammenhänge eindeutig verständlich sind und nicht von der Interpretation des Betrachters abhängen.

### **Die Experten der informationstechnischen Realisierung als Zielgruppe**

Bevor die entwickelten Modelle in der praktischen Anwendung vollumfänglich genutzt werden können, ist ein weiterer Schritt notwendig: Die Überführung des Modellierungsansatzes in eine computergestützte Anwendungsumgebung. Die Software könnte insbesondere bei der Auswertung und Analyse bestehender Modelle und der darin beschriebenen Zusammenhänge dienen. Durch die Überführung in ein ergonomisches Wissensnetzwerk könnten auch fachfremde Anwender ergonomische Probleme auf der Basis der zuvor entwickelten Modelle lösen. Zudem würde für die Forschung sichtbar, welche Zusammenhänge bisher nicht ausreichend betrachtet wurden, bzw. wo sich in der Wissenslandschaft offene Forschungsfragen befinden.

Ein Beispiel für eine Anwendungsumgebung ist in Kapitel 6 näher beschrieben.

### **Die praktischen Anwender als Zielgruppe**

Langfristig soll der Modellierungsansatz bei der Lösung von Ergonomie-Problemen in der Praxis unterstützen. Der Anwender kann dann (eine entsprechende Softwareunterstützung vorausgesetzt) Zusammenhänge zwischen verschiedenen Systemelementen analysieren und somit Wechselwirkungen zwischen gestalterischen Entscheidungen besser abschätzen. Zudem erhält er eine Übersicht über bestehende Anforderungen aus relevanten Regelwerken und den damit verbundenen Implikationen.

Dieses Ziel ist allerdings nicht unmittelbar zu erreichen, sondern bedarf einiger Zwischenschritte. Der in dieser Arbeit beschriebene Modellierungsansatz kann lediglich eine erste Grundlage bilden. Erst

wenn genügend Fragestellungen modelliert sind, können diese miteinander verknüpft und direkt in der Praxis angewendet werden. Aus den oben skizzierten Zielgruppen lässt sich der in Abbildung 27 dargestellte Weg bis zur Anwendungsreife herleiten. Jede Entwicklungsstufe weist dabei Rückkopplungen zu den vorgelagerten Stufen auf. Diese Arbeit eröffnet Stufe Eins mit der Einführung und Diskussion des im Folgenden vorgestellten Modellierungsansatzes zur Repräsentation von ergonomischem Wissen. Kapitel 5 zeigt exemplarisch, wie mit Hilfe des Modellierungsansatzes konkrete Modelle entwickelt werden können (Stufe 2). Kapitel 6 zeigt schließlich, wie der Modellierungsansatz in eine computergestützte Anwendungsumgebung überführt werden kann.

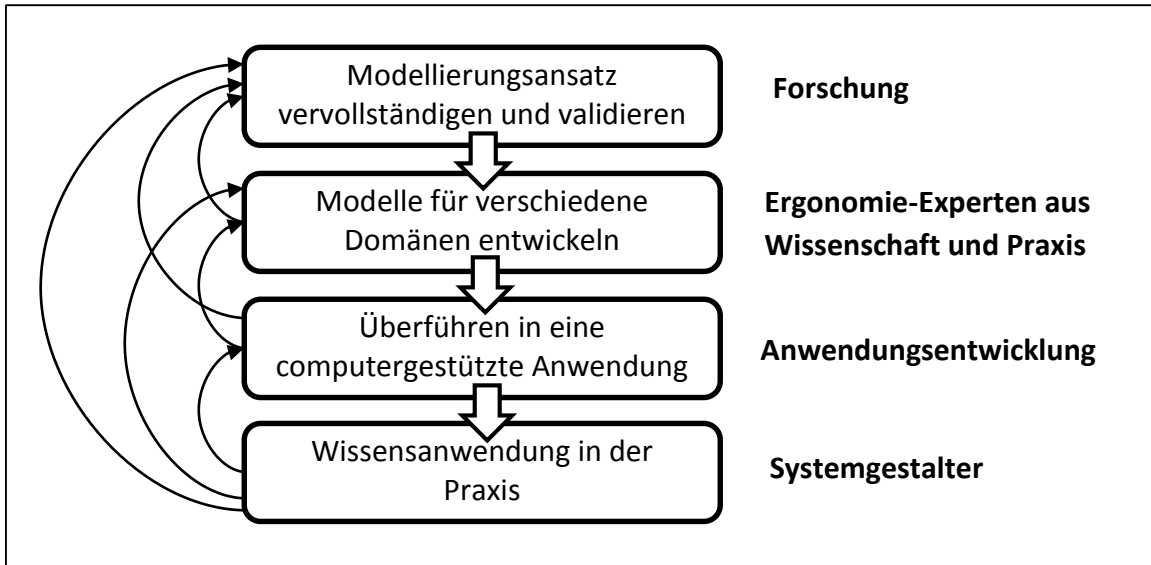


Abbildung 27: Stufen bis zur Anwendungsreife des Modellierungsansatzes

---

## 4. Entwicklung eines Modellierungsansatzes

---

Dieses Kapitel erarbeitet auf Grundlage der zuvor behandelten Inhalte einen **Modellierungsansatz zur Repräsentation ergonomischer Zusammenhänge** (im Folgenden kurz als MoREZ bezeichnet). Hierzu behandelt Kapitel 4.1 die übergeordnete konzeptionelle Idee von MoREZ, bevor die Kapitel 4.2 bis 4.4 einzelne Modellkomponenten im Detail vorstellen.

### 4.1. Grundlegendes Konzept

Da MoREZ einen Beitrag zur Integration von ergonomischem Wissen in die Praxis leisten soll, sollten beide Facetten in der Modellbildung vertreten sein: Dies beinhaltet zum einen ergonomische Anforderungen aus Normen und Richtlinien, zum anderen aber auch die Gestaltungsrealität der Arbeitssystementwickler in der Praxis (vgl. Annahme 2 aus Kapitel 3.1).

Ergonomie-Anforderungen beschreiben den Zielzustand eines Arbeitssystems, z.B. die optimale Höhe eines Arbeitstisches oder aber geeignete Positionen für Stellteile. Im Idealfall sind diese Anforderungen allesamt eingehalten. Wie genau Anforderungen in MoREZ repräsentiert sind, ist in Kapitel 4.2 näher erläutert.

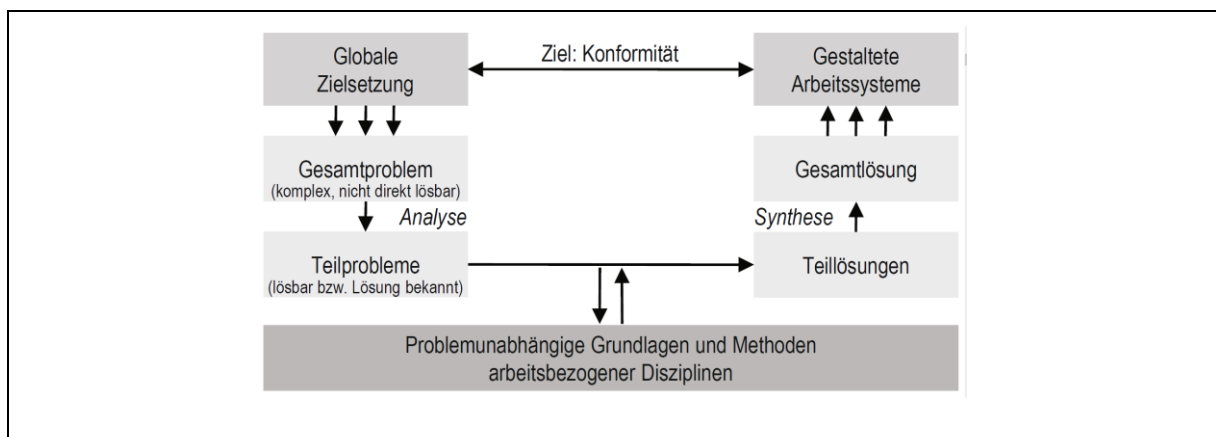


Abbildung 28: Problemlösezyklus in arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsfragen (Schlick, Bruder, & Luczak, 2010, S. 11)

Allerdings ist eine Repräsentation von ergonomischen Anforderungen alleine nicht ausreichend, da sie lediglich einen idealisierten Zielzustand beschreiben, der sich nicht zwingend mit der Gestaltungsrealität decken muss. Die Komplexität von Gestaltungsvorhaben erhöht sich, wenn Abweichungen vom ergonomischen Idealzustand erforderlich sind (z.B. auf Grund von limitierenden Technologien, bestehenden Arbeitsverfahren oder Zielkonflikten) oder aber wenn der Idealzustand die Realität unzutreffend beschreibt (z.B. auf Grund von Arbeitssystembesonderheiten). In aller Regel wird es dem Gestalter nicht möglich sein, das Arbeitssystem alleine nach ergonomischen Gesichtspunkten auszulegen. Viele andere Facetten wie Zeitvorgaben oder Budget beeinflussen seine Entscheidungen. Daher lässt es sich oftmals nicht vermeiden, bewusst von ergonomischen Anforderungen abzuweichen. Schlick, Bruder & Luczak (2010) beschreiben diesen Vorgang als *Problemlösezyklus in arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsfragen*. Das Gesamtproblem ist komplex und nicht direkt lösbar und muss daher in lösbare Teilprobleme zerlegt werden. Problemunabhängige Grundlagen und Methoden der Arbeitswissenschaft können anschließend dabei unterstützen, die Teilprobleme in Teillösungen zu überführen. Dies kann allerdings nicht unabhängig von der globalen Zielsetzung erfolgen. Eine zentrale Herausforderung ist Konformität

zwischen der globalen Zielsetzung und dem gestalteten Arbeitssystem herzustellen. Abbildung 28 stellt den Problemlösezyklus der Arbeitswissenschaft grafisch dar.

Aus den oben genannten Gründen erscheint es sinnvoll, die tatsächliche Projektrealität und die darin getroffenen Entscheidungen für die Modellbildung zu berücksichtigen. Dies geschieht durch Spezifikation der auszulegenden Arbeitssystemelemente (z.B. Arbeitstischhöhe). Spezifikationen sind Entscheidungen darüber, wie ein Arbeitssystemelement tatsächlich ausgelegt werden soll. Die Spezifikation kann in Übereinstimmung oder gegenläufig zu ergonomischen Anforderungen erfolgen. Wie genau Arbeitssystemelemente in MoREZ repräsentiert sind, ist in Kapitel 4.3 näher erläutert.

Die Implikationen, die sich aus bestimmten gestalterischen Entscheidungen ergeben, sind schwer abzuschätzen. Meist hat eine bestimmte Entscheidung Einfluss auf eine bestimmte andere Entscheidung. Nur in den seltensten Fällen lassen sich Systemelemente isoliert voneinander auslegen. Die Implikationen von gestalterischen Entscheidungen werden in MoREZ über Zusammenhänge abgebildet. Wie genau Zusammenhänge in MoREZ repräsentiert sind, ist in Kapitel 4.4 näher erläutert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich MoREZ aus drei Komponenten zusammensetzt:

- **Ergonomische Anforderungen**, die den ergonomischen Zielzustand repräsentieren,
- **Arbeitssystemelemente**, die die Projektrealität (bzw. den Gestaltungskontext) repräsentieren, d.h. wie die Arbeitssystemelemente tatsächlich ausgelegt werden und
- **Zusammenhänge**, die die Wechselwirkung bestimmter Entscheidungen auf andere Arbeitssystemelemente und Anforderungen im Modell repräsentieren.

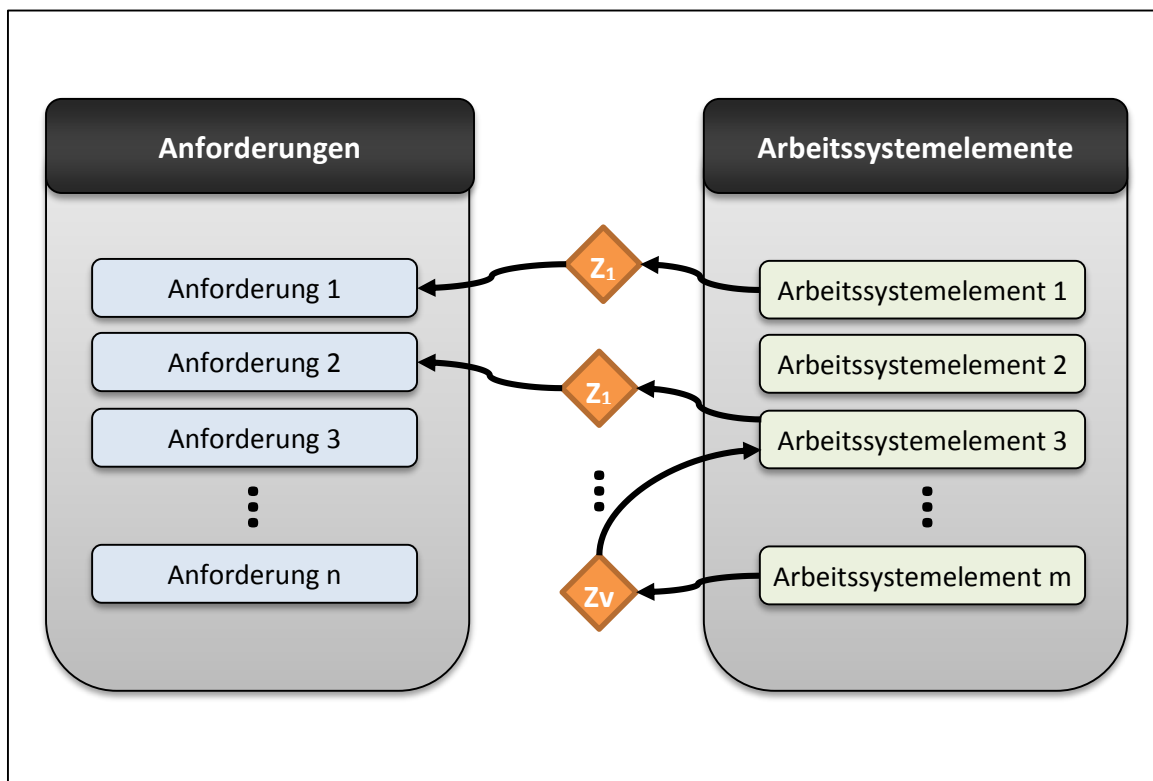


Abbildung 29: Grundlegende Komponenten des MoREZ Konzepts

---

Abbildung 29 fasst die konzeptionellen Überlegungen grafisch zusammen. Auf der linken Seite sind die Anforderungen aufgelistet, die eingehalten werden sollten. Auf der rechten Seite sind die Arbeitssystemelemente und ihre tatsächlichen Ausprägungen (z.B. Tischhöhe = 65 cm) spezifiziert. Die Zusammenhänge sind als gelbe Rauten dargestellt und repräsentieren Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Modellkomponenten. Die Pfeile verkörpern dabei die Richtung des Zusammenhangs und geben an, in welche Richtung Daten an andere Modellkomponenten übergeben werden. Beispielsweise steht die Auslegung des Arbeitssystemelements 3 in einem Zusammenhang mit der Auslegung des Arbeitssystemelements m, welcher durch  $Z_v$  beschrieben ist. Die Gestaltung des Arbeitssystemelements 3 wiederum hat Einfluss auf die Einhaltung der Anforderung 2 (repräsentiert durch  $Z_1$ ).

In den folgenden Kapiteln sollen nun die drei Komponenten näher betrachtet werden. Die verschiedenen Arten von Zusammenhängen und deren Eigenschaften sind in Kapitel 4.4 näher beschrieben.

## 4.2. Repräsentation von ergonomischen Anforderungen

Dieses Kapitel soll aufzeigen, wie in MoREZ ergonomische Anforderungen repräsentiert sind und behandelt somit die linke Hälfte des in Abbildung 29 dargestellten grundlegenden Konzeptes.

Allgemein beschreibt eine Anforderung ein Erfordernis oder eine Erwartung, das oder die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend ist (vgl. DIN EN ISO 9000, 2005). Berücksichtigt werden dabei die Interessen des Kunden, die Interessen des eigenen Unternehmens aber auch Gesetze, Standards und Vorschriften (vgl. Pahl & Beitz, 2013). Dieses Spannungsfeld ist in Abbildung 30 dargestellt.

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Repräsentation von Anforderungen aus Gesetzen, Standards und Vorschriften, da diese allgemeingültig und daher auf eine Vielzahl von ergonomischen Problemfeldern anwendbar sind. Selbstverständlich können die Interessen des Kunden oder aber die Interessen des eigenen Unternehmens ein Abweichen von Gesetzen, Standards und Vorschriften erforderlich machen. Solche Anforderungen spiegeln dann allerdings keine allgemeingültigen ergonomischen Prinzipien wider, sondern sind Einzelfallentscheidungen.

In dieser Arbeit sollen unter *ergonomischen Anforderungen* Erfordernisse oder Erwartungen aus Standards, Vorschriften und Gesetzen mit Ergonomiebezug verstanden werden, die den angestrebten Zustand eines Arbeitssystems beschreiben.

Grundsätzlich unterscheiden sich Anforderungen in der Ergonomie nicht von Anforderungen in anderen Disziplinen. Nach Art der Verbindlichkeit lassen sich Forderungen von Wünschen abgrenzen. Forderungen müssen unter allen Umständen erfüllt werden, ansonsten ist die Umsetzung nicht akzeptabel. Wünsche müssen nicht, aber sollten erfüllt werden und rechtfertigen unter Umständen einen geringen Mehraufwand (vgl. Pahl & Beitz, 2013, S. 334). Entsprechend nach Art der Verbindlichkeit lassen sich *Muss-Anforderungen* von *Soll-Anforderungen* unterscheiden. Darüber hinaus beschreiben *Kann-Anforderungen* mögliche Optionen und Freiheitsgrade, die der Entwickler ausschöpfen kann, aber nicht muss. Beispielsweise wird eine positive Bildschirm polarität (Soll-Anforderung) für die meisten Anwendungen empfohlen, allerdings ist auch eine negative Bildschirm polarität (Kann-Anforderungen) explizit zulässig (vgl. DIN EN ISO 9241-303, 2009, S. 16).

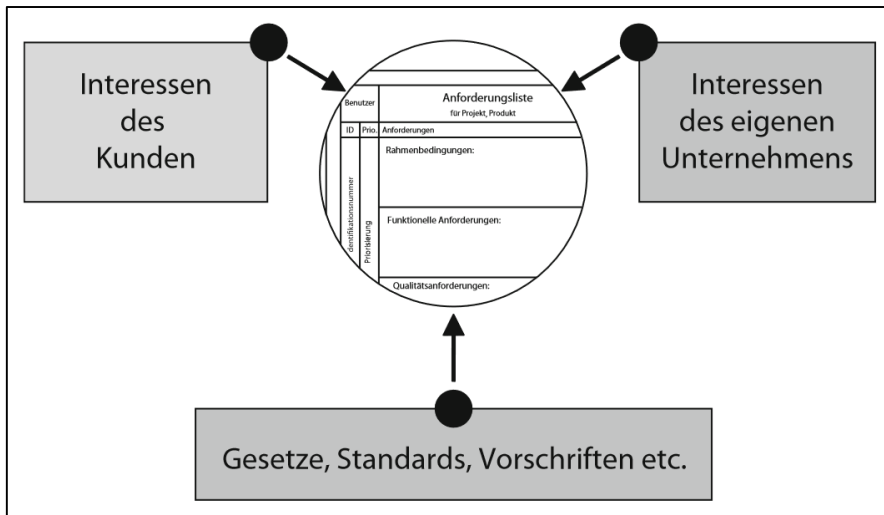


Abbildung 30: Spannungsfeld der Anforderungsliste (Pahl & Beitz, 2013, S. 321)

Auch für ergonomische Anforderungen gilt, dass sie zwecks Nachprüfbarkeit so weit wie möglich quantifizierbar sein sollten. Nicht immer lassen sich ergonomische Anforderungen allerdings quantifizieren. Falls eine Präzisierung durch Zahlenangaben nicht möglich ist, müssen verbale Aussagen möglichst eindeutig formuliert werden (Pahl & Beitz, 2013, S. 324).

Nach Art der Quantifizierung lassen sich folgende Anforderungsarten unterscheiden (vgl. Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 397):

- **Festanforderung oder Zielanforderungen:** Vorgegeben ist ein fester Wert, der erreicht werden muss/soll.
- **Intervallforderung oder Bereichsanforderung:** Vorgegeben ist ein Wertebereich, bestehend aus einem Minimalwert und einem Maximalwert, zwischen dem der tatsächliche Wert liegen muss/soll.
- **Mindestanforderung:** Vorgegeben ist ein Mindestwert, der nicht unterschritten werden darf/soll.
- **Maximalanforderung:** Vorgegeben ist ein Maximalwert, der nicht überschritten werden darf/soll.

Darüber hinaus sollen ergänzend noch folgende Anforderungsarten eingeführt werden, die keine konkreten Zahlenwerte, sondern qualitative Systemeigenschaften fordern:

- **Binäre Anforderung:** Vorgegeben ist eine bestimmte Eigenschaft, die zutreffend oder unzutreffend sein muss/soll. Beispielsweise könnte eine Anforderung vorschreiben, dass ein Arbeitsstuhl über Rollen verfügen muss (wahr) oder eben nicht (falsch).
- **Aufzählungsanforderung:** Vorgegeben sind bestimmte Eigenschaften, die ein Arbeitssystem erfüllen muss. Während die binäre Anforderung nur die Werte „wahr“ oder „falsch“ annehmen kann, kann die Aufzählungsanforderung eine beliebige Zeichenkette annehmen. Beispielsweise können die Rollen am Arbeitsstuhl je nach Untergrund „weich“, „hart“ oder „universell“ ausgelegt sein. Eine Aufzählungsanforderung könnte so beispielsweise harte Rollen für Teppichboden vorschreiben.

Tabelle 8 zeigt, wie ergonomische Anforderungen aus Normen und Richtlinien in MOREZ repräsentiert werden können.

Tabelle 8: Repräsentation von ergonomischen Anforderungen in MoREZ mit Beispiel

Nr.	Name	Anforderungstext	Anf. Art	Muss	Soll	Kann	Einheit
1	Schall- druck am Arbeits- platz	Der A-bewertete Schalldruckpegel sollte 35dB(A) nicht überschreiten darf 45dB(A) nicht überschreiten	MAX	55	35	--	dB(A)
2	Bild- schirm- polarität	Die Bildschirm- polarität sollte positiv sein (d.h. dunkle Zeichen auf hellem Hintergrund). Sie kann allerdings auch negativ sein (helle Zeichen auf dunklem Hintergrund).	AUF	--	Positiv- darstellung	Negativ- darstellung	--
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Jede Anforderung hat einen *Namen* sowie einen *beschreibenden Text*. Die *Anforderungsart* gibt vor, ob es sich um eine Fest-, Bereichs-, Mindest-, Maximal-, Binäre- oder Aufzählungsanforderung handelt. Je nach Anforderungstyp ergibt sich automatisch der entsprechende Datentyp, mit dem der jeweilige Anforderungswert hinterlegt wird. Der Datentyp steht dabei für den zulässigen Zeichenvorrat, mit dem der Anforderungswert gebildet werden kann (vgl. begriffliche Abgrenzung von Daten, Informationen und Wissen aus Abbildung 3).

Tabelle 9: Anforderungsarten, deren Abkürzungen und zugehörige Datentypen

Anforderungsart	Abkürzung	Datentypen für Anforderungswerte
Festanforderung	FE	Reelle Zahl
Bereichsanforderung	BE	Intervall reeller Zahlen
Mindestanforderung	MIN	Reelle Zahl
Maximalanforderung	MAX	Reelle Zahl
Binäre Anforderung	BIN	Boolean
Aufzählungsanforderung	AUF	Zeichenkette

Tabelle 9 stellt die verschiedenen Anforderungsarten, deren Abkürzungen sowie die zugehörigen Datentypen dar. Die eigentlichen Werte werden, je nach Verbindlichkeit der Anforderung, in den Spalten *Muss*, *Soll*, *Kann* eingetragen. Jede Anforderung muss in mindestens einer der Spalten „*muss*“, „*soll*“ oder „*kann*“ einen Eintrag haben. Eine Anforderung kann aber auch in mehreren Spalten Einträge besitzen. Beispielsweise könnte eine Anforderung in der Flugsicherung lauten, dass die Geräuschemission am Arbeitsplatz 35dB(A) nicht überschreiten sollte, da ansonsten das Konzentrationsvermögen beeinträchtigt wird. 55 dB(A) dürfen nicht überschritten werden, da ansonsten die Sprachverständlichkeit maßgeblich herabgesetzt wird (vgl. DIN EN ISO 9241-6, 1999, S. 27-28). In diesem Beispiel wäre die Anforderungsart eine Maximalanforderung (da ein bestimmter Wert nicht überschritten werden darf), der Wert der Mussanforderung wäre 55 und der Wert der



Sollanforderung 35. Unter *Einheit* lässt sich, falls es sich bei dem Anforderungswert um eine Zahl handelt, die zugehörige physikalische Einheit dokumentieren, im obigen Beispiel also dB(A) (A-bewerteter Schalldruckpegel).

Die in Tabelle 8 dargestellte tabellarische Auflistung von Anforderungen ist natürlich wenig geeignet, um später Zusammenhänge zwischen verschiedenen Anforderungen und Arbeitssystemelementen aufzuzeigen. Alternativ lassen sich einzelne Anforderung auch grafisch darstellen (siehe Abbildung 31). Das blaue Feld zeigt die eigentliche Anforderung mit ihrem Anforderungsnamen. Die eckigen Klammern vor dem Anforderungsnamen kennzeichnen die Anforderungsart durch Angabe der Abkürzung (vgl. Tabelle 9). Die eigentlichen Werte (Muss, Soll, Kann) werden farbkodiert dargestellt, wobei Rot den Muss-Wert, Orange den Soll-Wert und Grün den Kann-Wert repräsentiert. Ist einer der drei Werte nicht vergeben, so kann er in der grafischen Darstellung ausgelassen werden. Auf der rechten Hälfte in Abbildung 31 sind zwei Beispiele analog zu Tabelle 8 dargestellt.

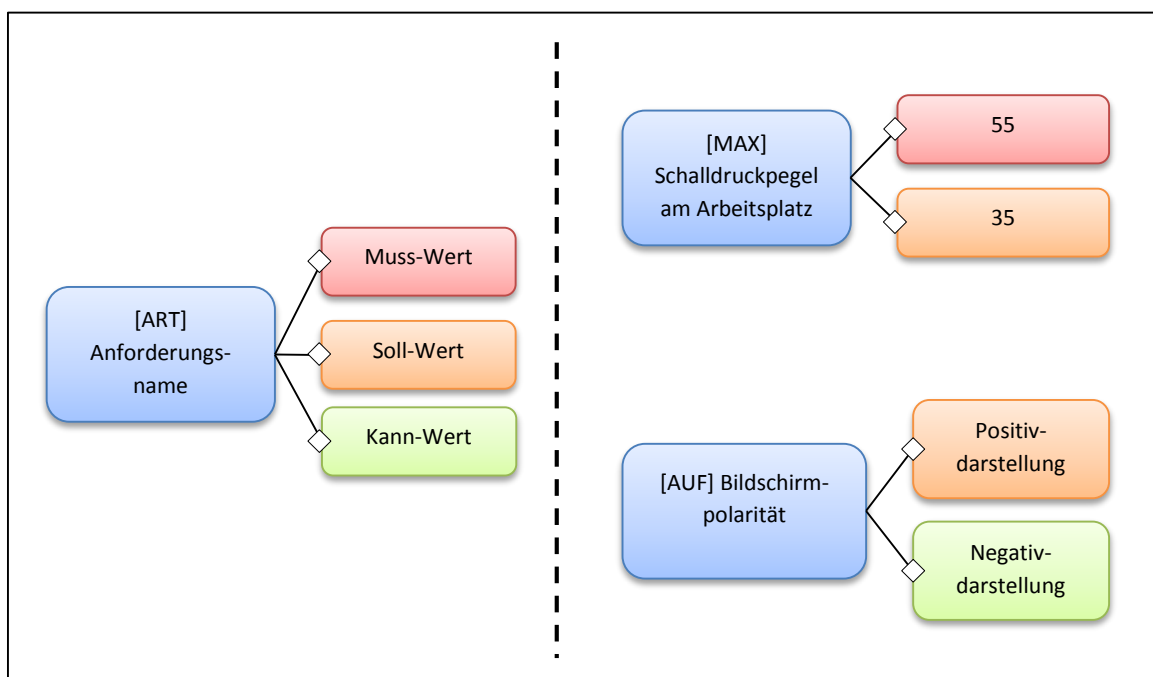


Abbildung 31: Grafische Darstellung von Anforderungen - links allgemein, rechts zwei Beispiele

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass für Anforderungslisten in der Praxis weitere wichtige Informationen dokumentiert werden müssten, wie z.B. Quelle einer Anforderung, Verantwortlichkeit, Erstellungsdatum oder Version (vgl. Pahl & Beitz, 2013, S. 322). Diese Arbeit fokussiert allerdings Zusammenhänge in der ergonomischen Systementwicklung, sodass diese Informationen aus konzeptioneller Sicht keine wesentliche Bedeutung haben. Daher sollen sie im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt werden. Gegebenenfalls können sie bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt in den Modellierungsansatz integriert werden.

### 4.3. Repräsentation von Arbeitssystemelementen und deren Ausprägungen

Wie in Kapitel 4.1 diskutiert ist eine alleinige Repräsentation von idealtypischen ergonomischen Anforderungen nicht ausreichend. Zahlreiche Zusammenhänge ergeben sich erst durch Berücksichtigung des realen Gestaltungskontextes, in dem bestimmte gestalterische Entscheidungen getroffen werden oder als Vorfestlegung bereits getroffen wurden. Bevor Kapitel 4.4 aufzeigt, wie

---

sich Zusammenhänge repräsentieren lassen, soll an dieser Stelle zunächst die Modellierung von gestalterischen Entscheidungen vorgestellt werden.

Ausgangspunkt für die Überlegungen in diesem Kapitel ist die Idee, dass Entscheidungen immer in Bezug auf bestimmte Arbeitssystemelemente getroffen werden. Grundlage des Gedankens stellt das Arbeitssystemmodell der Arbeitswissenschaft dar (vgl. Abschnitt 2.3). Wie bereits beschrieben, können Arbeitssystemelemente in eigene Subsysteme oder Systemelemente zergliedert werden. Durch die Kaskadierung entsteht eine Hierarchie an Subsystemen und Arbeitssystemelementen. Typischerweise lassen sich die Eigenschaften der Arbeitssystemelemente durch charakteristische Arbeitssystemparameter näher beschreiben, die es auszulegen gilt.

In dieser Ausarbeitung werden unter *Arbeitssystemparameter* (im Folgenden einfach *Systemparameter* oder nur *Parameter* genannt) konkrete technische oder nichttechnische Eigenschaften der Arbeitssystemelemente verstanden. So hat ein Bildschirm als Systemelement beispielsweise die Parameter *Bildschirmdiagonale*, *Bildschirmauflösung* oder *Farbwiedergabeindex*.

Diese Idee entspricht weitgehend dem Schema-Konzept aus Kapitel 2.2.2, wobei Arbeitssystemelemente den Schemata und die auszulegenden Parameter den Attributen entsprechen. Da *Annahme 6* aus Kapitel 3.1 einen lösungsneutralen Ansatz fordert, sollen die in der Arbeitswissenschaft üblichen Begriffe nicht zu Gunsten des Schemakonzeptes aufgegeben werden, sodass im Folgenden weiterhin von Systemelementen und Parametern statt Schemata und Attributen gesprochen wird.

An dieser Stelle enden allerdings die Gemeinsamkeiten mit dem Arbeitssystemmodell der Arbeitswissenschaft. In Abgrenzung zum Arbeitssystemmodell (vgl. Abbildung 23) ist das Ziel dieser Ausarbeitung nicht die Analyse eines Arbeitssystems. MoREZ versteht sich nicht als Analysemodell sondern als Modell zur Wissensrepräsentation. Während die Arbeitssystemmodellierung die Funktionsweise eines Arbeitssystems besser verstehen möchte, will diese Ausarbeitung Möglichkeiten zur Repräsentation allgemeingültiger Zusammenhänge aufzeigen. Die später in Kapitel 4.4 dargestellten Zusammenhänge entsprechen daher nicht zwingend dem Ergebnis aus einer Arbeitssystemanalyse.

Im Folgenden sind insbesondere die Arbeitssystemelemente von Interesse, die zur Einhaltung oder Nichteinhaltung der zuvor modellierten Anforderungen führen. Ob eine Anforderung eingehalten wird oder nicht, ist abhängig von der konkreten Ausgestaltung eines Arbeitssystemelements, genauer gesagt von dessen Parametrisierung. In den meisten Fällen korrespondieren die Parameter der Systemelemente mit den zuvor modellierten Anforderungen: Gibt es eine Anforderung zur Bildschirmpolarität, so muss es auch ein Arbeitssystemelement (inkl. Parameter) hierzu geben, das festlegt, ob eine positive Bildschirmpolarität oder eine negative Bildschirmpolarität im konkreten Gestaltungskontext verwendet wird.

Grundsätzlich lassen sich Systemparameter, ähnlich wie Anforderungen, in Tabellen repräsentieren. Tabelle 10 stellt den Aufbau mit zwei Beispielen dar. Jeder Parameter hat einen Namen sowie eine Beschreibung. Der Datentyp spezifiziert, welche Werte für den Parameter erwartet werden. Folgende Datentypen können in MoREZ unterschieden werden:

- **Reelle Zahl:** Der Parameter kann eine reelle Zahl annehmen.

- **Aufzählungstyp:** Der Parameter kann eine der im Vorfeld definierten Zeichenketten annehmen.
- **Boolean:** Der Parameter kann entweder den Wert *Wahr* oder den Wert *Falsch* annehmen.

Falles es sich bei dem Datentyp um eine reelle Zahl handelt, gibt die Spalte *Einheit* die zugehörige physikalische Einheit an. Die Spalte *Arbeitssystemelement* ordnet dem Parameter das Arbeitssystemelement zu, welches durch die Auslegung des Parameters gestaltet wird.

Tabelle 10: Tabellarische Repräsentation von Systemparametern

Nr.	Name	Beschreibung	Datentyp	Einheit	Arbeits-Systemelement
1	Schall- druck am Arbeits- platz	Der A-bewertete Schalldruckpegel ist ein an die auditive Wahrnehmung des Menschen angepasster Schalldruckpegel.	Reelle Zahl	dB(A)	Lärm
2	Bild- schirm- polarität	Die Bildschirm- polarität gibt an, ob helle Zeichen auf dunklem Hintergrund (negativ) oder dunkle Zeichen auf hellem Hintergrund (positiv) verwendet werden.	Aufzählung:  Positivdarstellung Negativdarstellung	--	Bildschirm
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Arbeitssystemelemente können untereinander in einer hierarchischen Beziehung stehen. Beispielsweise gehört Lärm zusammen mit Klima, Vibrationen, Strahlung, Beleuchtung und Arbeitsstoffen zu den *physikalischen Umgebungsbedingungen* eines Arbeitsplatzes. Wie solche Hierarchien zwischen Arbeitssystemelementen dargestellt werden können, zeigt Tabelle 11. Hierzu wird jedem Arbeitssystemelement genau ein übergeordnetes Arbeitssystemelement zugeordnet. Für den Aufbau der Hierarchie kann auf bestehende Klassifikationsansätze der Ergonomie zurückgegriffen werden. Diese wurden bereits in Kapitel 2.3 vorgestellt.

Sowohl Tabelle 10 als auch Tabelle 11 lassen sich, ähnlich wie Anforderungen auch, grafisch darstellen (siehe Abbildung 32). Die linke Hälfte von Abbildung 32 zeigt eine allgemeine Darstellung von Systemelementen. In der Mitte befindet sich ein Arbeitssystemelement, welches durch zwei Parameter näher bestimmt wird. In der Darstellungsweise unterscheiden sich Parameter von Arbeitssystemelementen insofern, als dass sie bestimmte Werte annehmen können. Dies wird über ein graues Rechteck angedeutet, welches zugleich den zugehörigen Datentyp enthält, der für den Parameter erwartet wird (reelle Zahl, Boolean und Aufzählungstyp mit den vordefinierten

Zeichenketten). Im Gegensatz hierzu besitzen Arbeitssystemelemente keinen Datentyp, da es sich bei ihnen lediglich um ein abstraktes Objekt handelt, welches erst durch die konkrete Auslegung der zugehörigen Parameter näher bestimmt wird.

Tabelle 11: Tabellarische Repräsentation von Hierarchien zwischen Arbeitssystemelementen

Nr.	Name	übergeordnetes Systemelement
1	Lärm	Physikalische Umgebung
2	Klima	Physikalische Umgebung
3	Beleuchtung	Physikalische Umgebung
4	Physikalische Umgebung	Arbeitsumgebung
5	Soziale Umgebung	Arbeitsumgebung
⋮	⋮	⋮

Des Weiteren lassen sich in Abbildung 32 zwei Arten von Verbindungslinien zwischen den Elementen unterscheiden. Endet die Verbindungslinie mit einer weißen Raute, so gehören die verbundenen Elemente zum gleichen Objekt (gleiche Tabellenzeile). Verbindungslinien, die mit einer schwarzen Raute enden deuten hingegen an, dass es sich um einen hierarchischen Zusammenhang zwischen verschiedenen Tabellenzeilen handelt, d.h. verschiedene Objekte werden miteinander verbunden.

Die rechte Hälfte von Abbildung 32 zeigt analog zu den Beispieleinträgen in Tabelle 10 und Tabelle 11 eine vereinfachte Klassifikation in Anlehnung an Perott (2009, S. 16). Entsprechend dieser Klassifikation lässt sich die Arbeitsumgebung unterteilen in eine physikalische und soziale Arbeitsumgebung. Die physikalische Arbeitsumgebung wird durch Klima, Lärm und die Beleuchtung näher bestimmt (vernachlässigt sind hier Strahlung, Vibration und Arbeitsstoffe). Der Lärm am Arbeitsplatz wird über den Parameter *Schalldruckpegel* bewertet.<sup>1</sup> Der zweite Eintrag in Tabelle 10 enthält die Bildschirm polarität, die ebenfalls in Abbildung 32 integriert ist, thematisch aber nicht mit der Arbeitsumgebung verbunden ist.

Mit Hilfe dieser grafischen Darstellungsweise lassen sich auch unabhängig von Tabellen Klassifikationen zu beliebigen Arbeitssystemen aufstellen. Problemlos könnte die grafische Darstellung ohne Informationsverluste in eine tabellarische Darstellung überführt werden. Auch umgekehrt kann die tabellarische Darstellung in die grafische Darstellung überführt werden. Lediglich die Tabellenspalten *Beschreibung* und *physikalische Einheit* werden in der grafischen Darstellung ausgespart und somit nicht repräsentiert.

<sup>1</sup> Natürlich spielen weitere Faktoren für die subjektive Wahrnehmung eine Rolle, wie z.B. die Frequenz. Für das Verständnis dieses Beispiels ist das aber unerheblich.

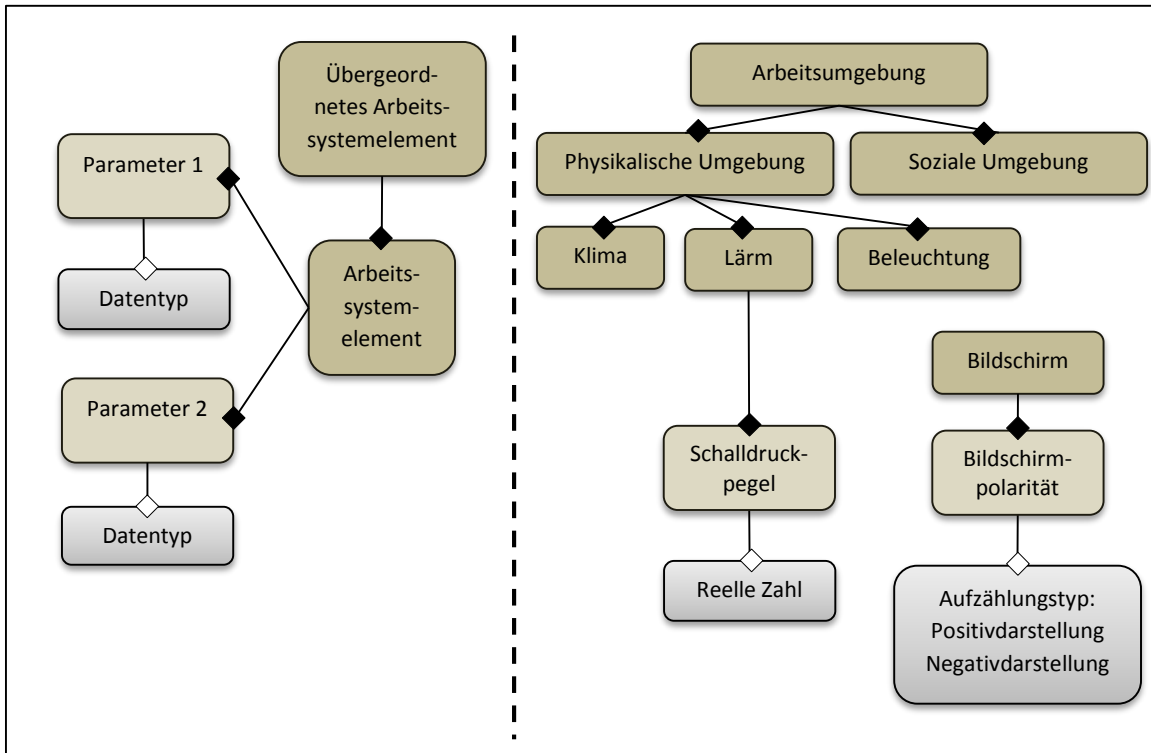


Abbildung 32: Grafische Abbildung von Arbeitssystemelementen und deren Parametern

Bereits eine gut ausgearbeitete Klassifikation kann dem Gestalter wertvolle Hinweise liefern, welche ergonomischen Facetten für die Gestaltung eines Arbeitssystems relevant sind. Insbesondere kann sie dafür Sorge tragen, dass keine wichtigen ergonomischen Prinzipien bei der Gestaltung vergessen werden. Einem ähnlichen Prinzip folgen Checklisten (vgl. z.B. Bockelmann, Nickel, & Nachreiner, 2011) und einige andere Methoden (vgl. Kapitel 2.3). Somit ist der Ansatz einer Klassifikation nicht grundsätzlich neu.

Unklar ist allerdings nach wie vor, wie Zusammenhänge zwischen Anforderungen und Arbeitssystemelementen abgebildet werden können. Dies soll nun im folgenden Kapitel beschrieben werden.

#### 4.4. Repräsentation von Zusammenhängen

Zwei wesentliche Komponenten des in Abbildung 29 dargestellten Konzepts wurden bereits diskutiert. Kapitel 4.2 erörterte, wie die Anforderungen aus Normen und Richtlinien abgebildet werden können (linke Seite der Abbildung). Kapitel 4.3 stellte dar, wie relevante Arbeitssystemelemente und deren auszulegende Parameter allgemein modelliert werden können (rechte Seite der Abbildung). Bisher wurden beiden Seiten isoliert voneinander beschrieben. Dieses Kapitel soll nun illustrieren, wie Zusammenhänge zwischen den bisher dargestellten Modellkomponenten berücksichtigt werden können.

Ein Zusammenhang in MoREZ beschreibt die Beziehung zwischen Arbeitssystemelementen, Arbeitssystemparametern und/oder ergonomischen Anforderungen. Wie Abbildung 29 zeigt, werden Zusammenhänge in MoREZ mit Hilfe von gelben Rauten abgebildet. Das Buchstabenkürzel in der Raute zeigt an, um welche Art von Zusammenhang es sich handelt.

---

Die Pfeile repräsentieren den Datenfluss zwischen den betroffenen Modellkomponenten. Ein eingehender Pfeil zeigt an, dass bestimmte Werte (von Anforderungen oder Systemparameter) an einen Zusammenhang übergeben werden. Dieser Wert wird (je nach Art des Zusammenhangs) in einer bestimmten Form verarbeitet oder modifiziert und anschließend ggf. an einen anderen Systemparameter oder eine andere Anforderung übergeben (ausgehender Pfeil).

Die Zusammenhänge sollen vor Allem Implikationen von bestimmten Gestaltungsentscheidungen aufzeigen. Für die Beschreibung dieser Implikationen soll auf die *klassische Aussagenlogik* zurückgegriffen werden. Mit Hilfe der Aussagenlogik lassen sich, wie bereits in Kapitel 2.2.3 erläutert, einfache Regeln durch formalisierte Konditionalsätze der Form

„Wenn (if) A dann (then) B“

aufstellen, wobei A und B jeweils Aussagen sind, die entweder wahr oder falsch sein können. Dabei können A und B jeweils auch durch Junktoren zusammengesetzte Aussagen sein, wobei sich deren Wahrheitswert (*wahr* oder *falsch*) eindeutig durch die Wahrheitswerte der Teilaussagen bestimmt. Oft wird A auch als *Prämisse* und B als *Konklusion* bezeichnet (siehe Abschnitt 2.2.3 zur Aussagenlogik).

Im Folgenden werden nun die einzelnen Zusammenhängearten vorgestellt. Dabei wird nicht der Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Vielmehr handelt es sich um einen Vorschlag für eine erste Zusammenstellung, die sich problemlos erweitern lässt, falls sich die Auflistung als nicht ausreichend erweist. Wie Kapitel 5 beispielhaft zeigen wird, reichen sie allerdings bereits aus, um komplexe Sachverhalte modellieren zu können.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sich auch die einzelnen Zusammenhängearten jeweils in eine Tabellendarstellung überführen lassen, ähnlich wie die zuvor behandelten Systemelemente und Anforderungen. Darauf wird im Folgenden allerdings verzichtet und die rein grafische Darstellung verwendet. Falls dieses Modell zu einem späteren Zeitpunkt computergestützt umgesetzt werden soll, müssten diese Tabellen natürlich entwickelt werden. Für die konzeptionellen Überlegungen dieser Ausarbeitung ist dies allerdings nicht notwendig.

#### 4.4.1. Prüfen auf Einhalten von Anforderungen

Ein offensichtlicher Zusammenhang ergibt sich aus der Verknüpfung der Parameterwerte mit den vorgeschriebenen Anforderungswerten. Die Anforderungen geben bestimmte Werte oder Wertebereiche vor, wobei die Parameter des Arbeitssystems innerhalb dieser Grenzen liegen sollten. Dieser Sachverhalt lässt sich über den Zusammenhang „Einhalten von Anforderungen“ darstellen. Hierzu werden folgende Werte an den Zusammenhang übergeben:

- Der Parameterwert  $p$  des auszulegenden Arbeitssystemparameters  $P$
- Die Anforderungswerte  $a_{\text{MUSS}}$ ,  $a_{\text{SOLL}}$  und  $a_{\text{KANN}}$  der zugrunde gelegten Anforderung  $A$

Abbildung 33 zeigt, wie der Zusammenhang in MoREZ dargestellt wird. Das EA in der Raute kennzeichnet diesen Zusammenhang als „Prüfen auf Einhalten von Anforderungen“. Zur Vereinfachung werden  $a_{\text{MUSS}}$ ,  $a_{\text{SOLL}}$  und  $a_{\text{KANN}}$  nicht einzeln durch Pfeile dargestellt, sondern in einem Pfeil (hier mit der Beschriftung  $a$ ) zusammengefasst. Gemeint ist natürlich, dass alle Werte der Anforderung  $A$  übergeben werden.

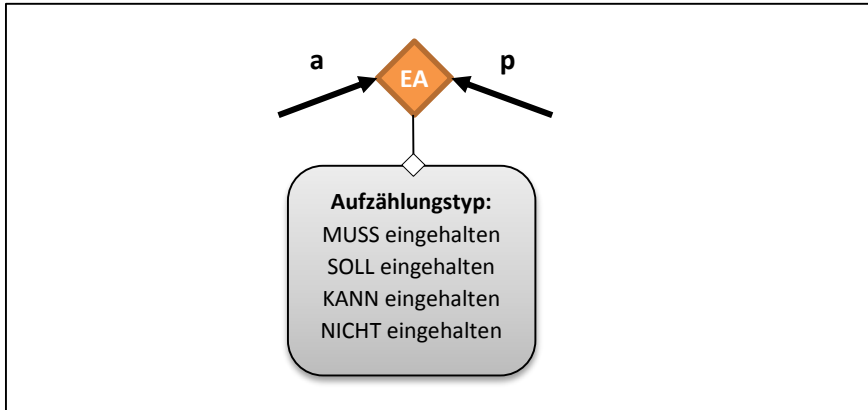


Abbildung 33: Einhalten von Anforderungen

Die Bedingung, die der Parameterwert  $p$  erfüllen muss, damit die Anforderung eingehalten ist, ergibt sich zu einem aus den Anforderungswerten  $a_{\text{MUSS}}$ ,  $a_{\text{SOLL}}$  und  $a_{\text{KANN}}$ , zum anderen aus der Anforderungsart: Festanforderung, Bereichsanforderung, Mindestanforderung, Maximalanforderung, binäre Anforderung, Aufzählungsanforderung (vgl. Tabelle 9).

Handelt es beispielsweise um eine Maximalanforderung, ergeben sich folgende Bedingungen für das Einhalten der Anforderung:

- $p \leq a_{\text{MUSS}}$
- $p \leq a_{\text{SOLL}}$
- $p \leq a_{\text{KANN}}$

Ist keine der Bedingungen erfüllt, so ist die Anforderung nicht eingehalten. Je nachdem, welche Bedingung erfüllt ist, kann der Zusammenhang  $EA$  folgende Zustände annehmen:

- „*MUSS eingehalten*“, wenn der Parameterwert  $p$  der zugrundeliegenden Mussbedingung genügt.
- „*SOLL eingehalten*“, wenn der Parameterwert  $p$  der zugrundeliegenden Sollbedingung genügt.
- „*KANN eingehalten*“, wenn der Parameterwert  $p$  der zugrundeliegenden Kannbedingung genügt.
- „*NICHT eingehalten*“ wenn der Parameterwert  $p$  keiner der Bedingungen genügt.

Tabelle 12 stellt alle Bedingungen des Zusammenhangs in Abhängigkeit der Anforderungsart dar. Sind mehrere Bedingungen erfüllt, so nimmt der Zusammenhang  $EA$  den höherwertigeren Zustand an. Dabei gilt, dass „*MUSS eingehalten*“ höherwertiger ist als „*SOLL eingehalten*“ und „*SOLL eingehalten*“ höherwertiger ist als „*KANN eingehalten*“.

Selbstverständlich ließen sich die Bedingungen aus Tabelle 8 auch über die Aussagenlogik abbilden. Allerdings erscheint dies weder notwendig noch sinnvoll: Nicht notwendig, da sich die Regeln eindeutig aus der Anforderungsart ergeben und nicht sinnvoll, da dies für die modellierende Person einen zusätzlichen Aufwand bedeutet und darüber hinaus eine mögliche Quelle für logische Widersprüche darstellt.

Tabelle 12: Übersicht über die Bedingungen des Zusammenhangs EA

Anforderungsart	Bedingungen	Zustand von EA
Festanforderung	$p \approx a_{\text{MUSS}}$	„MUSS eingehalten“
	$p \approx a_{\text{SOLL}}$	„SOLL eingehalten“
	$p \approx a_{\text{KANN}}$	„KANN eingehalten“
Mindestanforderung	$p \geq a_{\text{MUSS}}$	„MUSS eingehalten“
	$p \geq a_{\text{SOLL}}$	„SOLL eingehalten“
	$p \geq a_{\text{KANN}}$	„KANN eingehalten“
Maximalanforderung	$p \leq a_{\text{MUSS}}$	„MUSS eingehalten“
	$p \leq a_{\text{SOLL}}$	„SOLL eingehalten“
	$p \leq a_{\text{KANN}}$	„KANN eingehalten“
Bereichsanforderung <sup>2</sup>	$a_{1,\text{MUSS}} \leq p \leq a_{2,\text{MUSS}}$	„MUSS eingehalten“
	$a_{1,\text{SOLL}} \leq p \leq a_{2,\text{SOLL}}$	„SOLL eingehalten“
	$a_{1,\text{KANN}} \leq p \leq a_{2,\text{KANN}}$	„KANN eingehalten“
Binäre Anforderung	$p = a_{\text{MUSS}}$ , wobei $p \in B; a_{\text{MUSS}} \in B$	„MUSS eingehalten“
	$p = a_{\text{SOLL}}$ wobei $p \in B; a_{\text{SOLL}} \in B$	„SOLL eingehalten“
	$p = a_{\text{KANN}}$ wobei $p \in B; a_{\text{KANN}} \in B$	„KANN eingehalten“
Aufzählungsanforderung	$p = a_{\text{MUSS}}$ , wobei p und $a_{\text{MUSS}}$ Zeichenketten sind	„MUSS eingehalten“
	$p = a_{\text{SOLL}}$ , wobei p und $a_{\text{SOLL}}$ Zeichenketten sind	„SOLL eingehalten“
	$p = a_{\text{KANN}}$ , wobei p und $a_{\text{KANN}}$ Zeichenketten sind	„KANN eingehalten“

<sup>2</sup> Eine Besonderheit der Bereichsanforderung ist, dass kein einzelner Wert an den Zusammenhang übergeben wird, sondern ein zulässiges Intervall. Entsprechend gibt es ein oberes Ende und ein unteres Ende des Intervalls, die durch die Zahlen 1 (unteres Ende) und 2 (oberes Ende) gekennzeichnet sind.



---

Voraussetzung für die oben beschriebene Funktionsweise ist natürlich, dass  $a$  und  $p$  den gleichen Datentyp besitzen (reelle Zahl, Boolean oder Aufzählungstyp). Ansonsten können die Werte nicht entsprechend den Bedingungen aus Tabelle 12 verglichen werden.

#### 4.4.2. Variieren einer Anforderung

In vielen Fällen lassen sich allgemeingültige Werte für ergonomische Anforderungen angeben. Oftmals sind die Werte einer Anforderung allerdings variabel und ergeben sich erst aus dem jeweiligen Gestaltungskontext. Beispielsweise ergeben sich je nach auszuführender Tätigkeit unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtungsstärke im Raum (vgl. ASR A3.4, 2011). Während bei der Papierherstellung beispielsweise 300lx ausreichend sind, werden für sehr feine Montagearbeiten 750lx gefordert. Der Arbeitskontext entscheidet also oftmals über bestimmte Anforderungswerte.

In MoREZ lassen sich solche Sachverhalte mit Hilfe des Zusammenhangs „Variieren einer Anforderung“ (VA) beschreiben. Der Wert einer Anforderung ergibt sich dabei aus einem oder mehreren Parametern. Sind in der Anforderungstabelle bereits entsprechende Standardwerte hinterlegt, so werden diese ggf. überschrieben.

Abbildung 34 zeigt eine allgemeine Darstellung des Zusammenhangs VA. Die Eingangsgrößen des Zusammenhangs setzen sich aus beliebig vielen Parameterwerten  $p_1$  bis  $p_n$  zusammen. Die Ausgangsgrößen stellen die Werte  $a_{MUSS}$ ,  $a_{SOLL}$  und  $a_{KANN}$  dar, die an eine bestimmte Anforderung übergeben werden. Die Anforderungswerte werden hier (zum Zweck der Vereinfachung) erneut als ein einzelnes  $a$  dargestellt. Auf welche Weise sich auf Grundlage der Parameterwerte  $p_1$  bis  $p_n$  die Anforderungswerte  $a_{MUSS}$ ,  $a_{SOLL}$  und  $a_{KANN}$  ergeben, regeln formalisierte Konditionalsätze der Form:

- $a_{MUSS} = f_1(p_1, \dots, p_n)$  WENN [Bedingung]
- $a_{SOLL} = f_2(p_1, \dots, p_n)$  WENN [Bedingung]
- $a_{KANN} = f_3(p_1, \dots, p_n)$  WENN [Bedingung]

Dabei ist die Konklusion  $a_{MUSS} = f_1(p_1, \dots, p_n)$  zur besseren Menschenlesbarkeit der Prämisse vorangestellt. Die einzelnen Anforderungswerte ergeben sich aus einem beliebigen funktionalen Zusammenhang  $f(p_1, \dots, p_n)$ . Das ist aber nicht zwingend so. Die Funktion  $f(p_1, \dots, p_n)$  kann auch einfach eine konstante Zahl oder eine konstante Zeichenkette sein (wenn die Anforderung eine Zeichenkette als Wert erwartet).

Die anschließende Prämisse (hinter dem WENN) setzt sich aus verschiedenen Aussagen (z.B.  $p_1=3$  UND  $p_2<5$  UND  $p_3>6$ ) zusammen, wobei die Parameter  $p_1$  bis  $p_n$  in die Prämisse einschließen können. Die Prämisse bestimmt also die Bedingungen, unter denen der funktionale Zusammenhang zur Anwendung kommt. Trifft keine Bedingung zu, so wird der Anforderungswert nicht variiert und behält seinen Standardwert.

Selbstverständlich ist die Anzahl der Konditionalsätze für jeden Anforderungswert  $a_{MUSS}$ ,  $a_{SOLL}$  und  $a_{KANN}$  nicht auf 1 beschränkt. Je nach Anzahl der Bedingungen können beliebig viele Konditionalsätze formuliert werden.

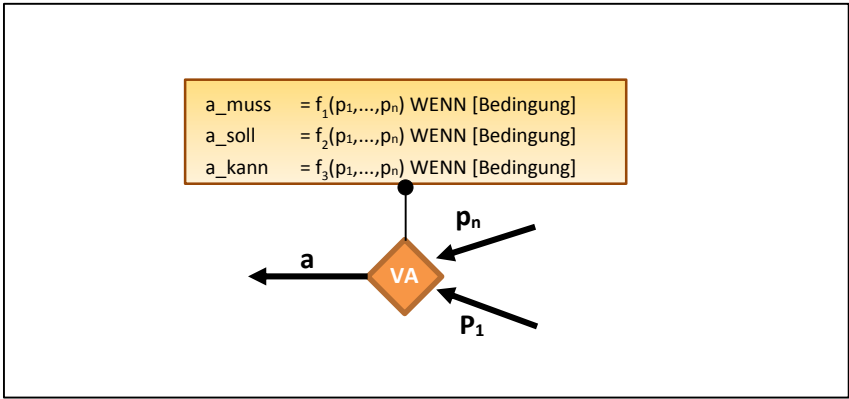


Abbildung 34: Variieren einer Anforderung

Das oben genannte Beispiel der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz könnte mit folgenden Konditionalsätzen beschrieben werden:

- $a_{MUSST} = 300$  WENN Arbeitsaufgabe = „Papierherstellung“
- $a_{MUSST} = 750$  WENN Arbeitsaufgabe = „feine Montagearbeiten“

Abbildung 35 stellt dar, wie dieses Beispiel modelliert aussieht. Ist keine der Bedingungen erfüllt, so wird für  $a_{MUSST}$  in diesem Beispiel ein Standardwert von 500lx zu Grunde gelegt.

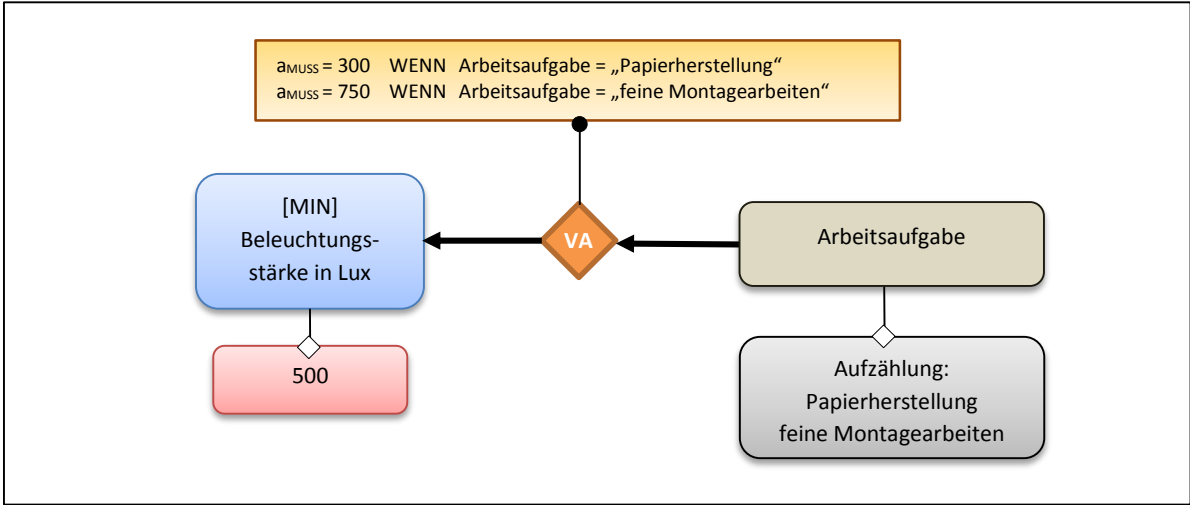


Abbildung 35: Beispiel zum Zusammenhang „Variieren einer Anforderung“

**4.4.3. Bestimmen eines funktional abhängigen Parameters**

Oftmals lassen sich bestimmte Parameter nicht direkt auslegen. Vielmehr ergibt sich die Auslegung indirekt über die Festlegung anderer Parameter im Arbeitssystem. Meist handelt es sich dabei um ergonomische Hilfsgrößen, die bestimmte Systemeigenschaften vor dem Hintergrund menschlicher Leistungs- oder Wahrnehmungsgrenzen bewerten.

Ein Beispiel hierfür ist die Farbgestaltung. Typischerweise wird der RGB-Farbraum zur Spezifikation von Farben in Software verwendet. Heutige selbstleuchtende Anzeigeräte funktionieren nach dem Prinzip der additiven Farbmischung (d.h. jeder Monitor hat die drei Farbkanäle Rot, Grün und Blau, die unterschiedlich angesteuert werden). Daher ist es aus technischer Sicht durchaus sinnvoll, Farben durch das Mischungsverhältnis der Rot/Grün/Blau Anteile zu beschreiben. Dies ist allerdings eine rein

technische Sichtweise und sagt nichts über die menschliche Wahrnehmung der Farben aus. Daher wird für eine ergonomische Betrachtung oftmals der CIELUV Farbraum (vgl. DIN EN ISO 9241-303, 2009) herangezogen. In diesem Farbraum entsprechen die Abstände zwischen zwei Farbpunkten in etwa dem vom Menschen wahrgenommenen Farbunterschied. Über Formeln können die Farben vom RGB Farbraum in den CIELUV Farbraum transformiert werden. Schader et al. (2012) zeigen, wie der CIELUV Farbraum bei der Farbkodierung von Systemzuständen Anwendung finden kann.

Ein weiteres Beispiel ist die Angabe von Schriftzeichenhöhen in Bogenminuten. In der Praxis werden Schriftzeichenhöhen entweder in Millimeter oder aber in Pixel definiert. Mit diesen Angaben alleine lässt sich allerdings nichts darüber aussagen, ob die Zeichenhöhe aus Nutzerperspektive zu groß oder zu klein gewählt wurde. Sitzt die Person näher am Bildschirm, erscheint das Zeichen größer. Sitzt er weiter weg vom Bildschirm, erscheint es entsprechend kleiner. Über einen funktionalen Zusammenhang, der den Sehabstand berücksichtigt, kann die Schriftzeichenhöhe in die Einheit Bogenminute transferiert werden. Mit Hilfe dieser Kennzahl sind dann Empfehlungen zur Schriftzeichenhöhe und somit eine ergonomische Auslegung möglich.

Da solche ergonomischen Hilfsgrößen zur Bewertung technischer Systeme nicht ungewöhnlich sind, sollten sie auch in MoREZ beschrieben werden können. Hierzu wird der Zusammenhang „Bestimmen eines funktional abhängigen Parameters“ (AP) eingeführt.

Im Gegensatz zum zuletzt beschriebenen Zusammenhang VA handelt es sich hier nicht um einen konditionalen Zusammenhang, der nur unter bestimmten Voraussetzungen gültig ist. Vielmehr werden mit Hilfe des AP-Zusammenhangs bedingungslose und funktionale Zusammenhänge beschrieben. Wird beispielsweise eine bestimmte Farbe durch den RGB-Code definiert, so lässt sich immer ein eindeutig korrespondierender CIELUV Farbcode ableiten. Auch aus Sehabstand und Schriftzeichenhöhe in Millimeter ergibt sich immer eine äquivalente Angabe in Bogenminuten. Eine Modellierung von Bedingungen ist nicht notwendig.

Abbildung 36 zeigt, wie ein funktionaler Zusammenhang zwischen Parametern modelliert werden kann. Eingangsgrößen des Zusammenhangs können beliebig viele Parameterwerte  $p_1, \dots, p_n$  sein. Über den funktionalen Zusammenhang  $f(p_1, \dots, p_n)$  wird der Wert  $p_x$  bestimmt und an den Parameter  $P_x$  übergeben (ausgehender Pfeil).

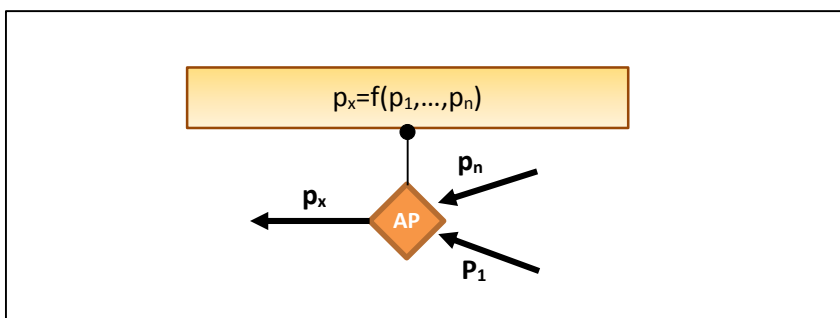


Abbildung 36: Bestimmen eines funktional abhängigen Parameters

Abbildung 37 zeigt beispielhaft einen AP Zusammenhang zur Schriftzeichenhöhe. Der *Sehabstand* und die *Zeichenhöhe in Millimeter* werden an den AP-Zusammenhang übergeben. Dieser berechnet auf Grundlage der zugehörigen Funktion eine Ausgangsgröße, die an den Systemparameter „*Zeichenhöhe in Bogenminuten*“ übergeben wird. In Kapitel 5.1 wird dieses Beispiel nochmals aufgegriffen. Dort wird auch der Hintergrund zum Thema *Zeichenhöhe* und die in Abbildung 37

dargestellte Formel im Detail erläutert. An dieser Stelle soll es genügen, das Prinzip des AP-Zusammenhangs zu verdeutlichen.

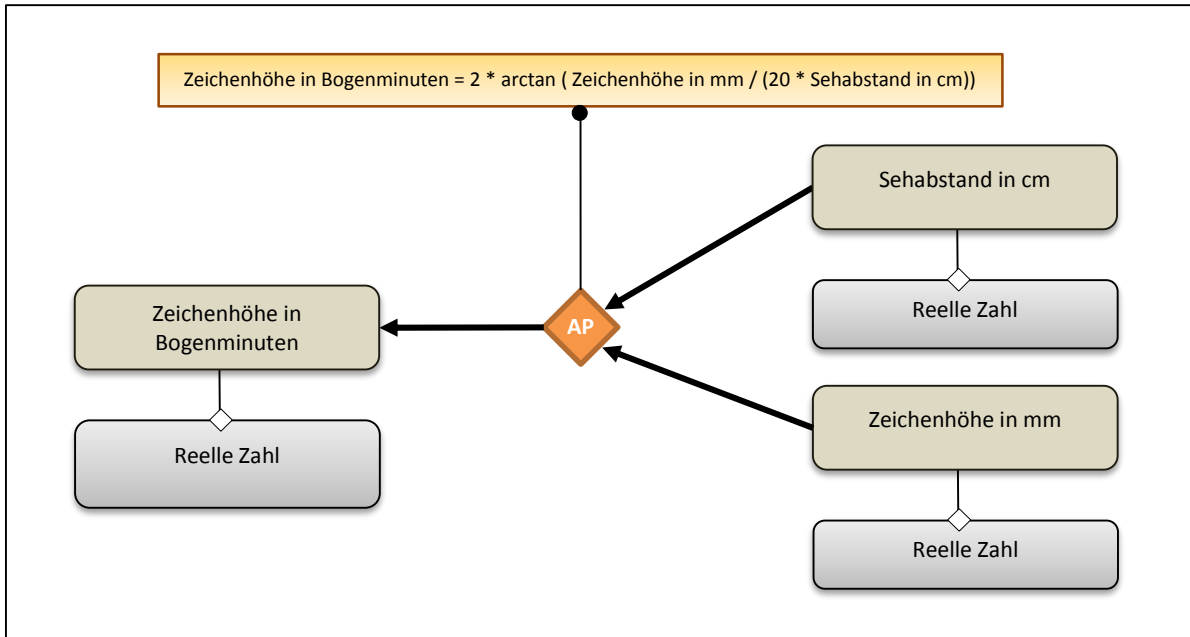


Abbildung 37: Beispiel eines funktionalen Zusammenhangs

#### 4.4.4. Prüfen auf Konflikte zwischen Parametern

Normalerweise beschreiben Anforderungen einen Zielzustand. In der Regel ist diese Beschreibung positiv formuliert, wie etwas zu sein hat. Darüber hinaus gibt es in der Ergonomie aber zahlreiche Empfehlungen darüber, was unterlassen werden sollte. Solche Anforderungen zur Unterlassung haben häufig einen direkten Bezug zum Gestaltungskontext und diskutieren einzelne Lösungen, die in Kombination zu Problemen führen können.

Beispielsweise sollten bestimmte Farbkombinationen vermieden werden, wie z.B. Magenta auf Grün, Rot auf Schwarz oder Grün auf Weiß (vgl. Ahlstrom & Longo, 2003). Ein weiteres Beispiel stellt die Bildschirmpolarität dar: Wird ein Raum mit Hilfe von Tageslicht beleuchtet, sollte eine negative Bildschirmpolarität (d.h. helle Schrift auf dunklem Hintergrund) vermieden werden.

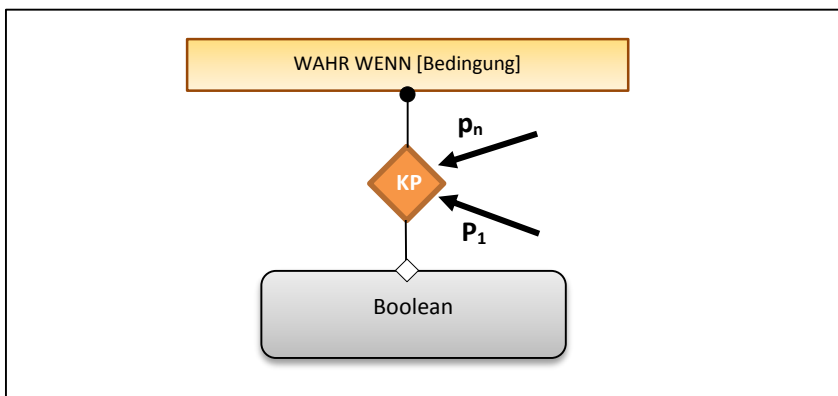


Abbildung 38: Prüfen auf Konflikte zwischen Parametern

Es gibt also bestimmte Kombinationen von Parameterwerten, die nicht gemeinsam auftreten sollten. Ähnliche Ansätze gibt es ebenfalls in anderen Bereichen, beispielsweise bei der Konfiguration von

Computern (bestimmte Mainboards können nicht gemeinsam mit bestimmten Prozessoren verwendet werden) oder bei der Konfiguration von Kraftfahrzeugen. Auch in der ergonomischen Systemgestaltung gibt es solche Konflikte zwischen Systemparametern. Sie treten unter bestimmten Bedingungen auf, sodass sie prinzipiell mit Hilfe von Konditionalsätzen abgebildet werden können.

Abbildung 38 zeigt, wie sich Konflikte allgemein im Modell abbilden lassen. Eingangsgrößen stellen beliebig viele Parameterwerte dar, die miteinander in Konflikt stehen können. Die Bedingung eines Konfliktes wird über einen Konditionalsatz festgelegt, wobei die Prämisse beschreibt, unter welcher Bedingung die Konklusion „Konflikt vorhanden“ wahr ist. Trifft die Bedingung zu, ist ein Konflikt vorhanden und der Zusammenhang KP nimmt den Zustand „wahr“ an. Trifft die Bedingung nicht zu, hat der Zusammenhang KP den Zustand „falsch“, d.h. es liegt kein Konflikt vor.

Abbildung 39 zeigt einen KP-Zusammenhang in Anlehnung an das oben genannte Beispiel.

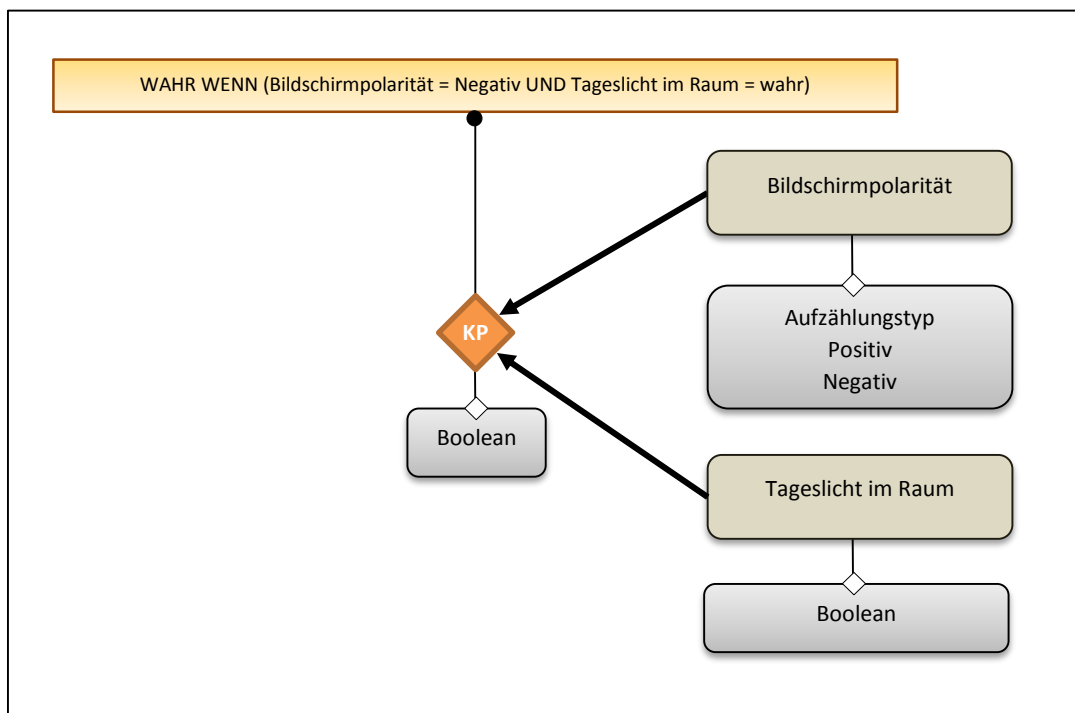


Abbildung 39: Beispiel für einen Konflikt zwischen zwei Parametern

#### 4.4.5. Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern

Der zuvor vorgestellte Zusammenhang KP überprüft ein Arbeitssystem auf sich gegenseitig ausschließende Parameterwerte. Natürlich gibt es aber auch den umgekehrten Fall, dass sich zwei Parameter gegenseitig bedingen, d.h. die Ausprägung eines Parameters bedingt notwendigerweise eine bestimmte Ausprägung bei einem anderen Parameter. Besitzt ein Raum beispielsweise eine Beleuchtungsstärke von weniger als 200lx, so empfiehlt DIN EN ISO 5035-7 (2004) den Einsatz von separaten Arbeitsplatzleuchten an jedem Arbeitsplatz.

Im Grunde kann eine solche „notwendige Ergänzung zwischen Parametern“ (EP) ähnlich erfolgen wie die Modellierung von Konflikten. Die Prämisse des Konditionals enthält die Bedingung, mit der sich zwei Parameter notwendigerweise ergänzen sollten. Ist die Bedingung erfüllt, so erhält die „Notwendige Ergänzung“ EP den Zustand „wahr“. Ist die Bedingung nicht erfüllt, erhält sie den Zustand „falsch“. Abbildung 40 zeigt die allgemeine Darstellung des Zusammenhangs.

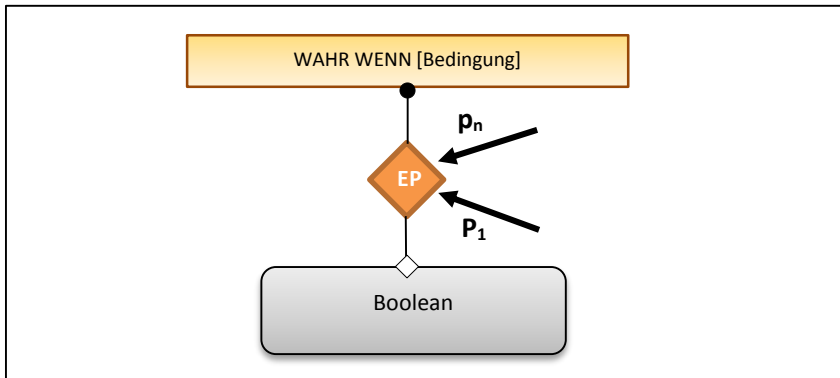


Abbildung 40: Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern

#### 4.4.6. Qualitative Zusammenhänge zwischen Parametern

Die Kapitel 4.4.1 bis 4.4.5 behandelten relativ formalisierte Zusammenhänge zwischen den Modellkomponenten. In vielen Fällen ist eine derart formalisierte Repräsentation allerdings nicht möglich. Um solche Zusammenhänge nicht vernachlässigen zu müssen, soll dieses Kapitel eine Möglichkeit vorstellen, wie qualitative, d.h. normalsprachliche Zusammenhänge in das Modell integriert werden können.

Beispiele für qualitative Aussagen sind z.B. folgende:

*Bevor die Beleuchtung konzipiert wird, sollte die Anordnung der Arbeitsplätze im Raum feststehen. Nachträglich ist ein arbeitsplatzbezogenes Beleuchtungskonzept nur schwer umzusetzen.*

oder

*Bei Touchscreens können häufig ungewollte Reflexionen auftreten, da sie im Gegensatz zu normalen Bildschirmen häufig nicht vertikal, sondern horizontal eingebaut werden. Bei der Wahl einer geeigneten Einbauposition sollte dies bedacht werden.*

Beide Aussagen sind schwierig zu formalisieren. Die erste, da es sich nur um einen Hinweis zur zeitlichen Abfolge handelt (erst das eine, dann das andere), die zweite Aussage, weil Reflexionen nicht zwingend entstehen (je nach Position der Leuchten und je nach Ausrichtung des Touchscreens). Oder anders: Es gibt keinen zuverlässigen Formalismus, der die Aussage „Spiegelungen im Touchscreen vorhanden“ alleine auf Grundlage von Parameterwerten als *wahr* oder *falsch* bewerten kann. Nur weil ein Touchscreen horizontal eingebaut ist, treten nicht zwangsläufig Reflexionen auf.

Dennoch sollten qualitative Aussagen Berücksichtigung finden, da sie trotz der schwierigen Operationalisierbarkeit einen hohen Stellenwert haben. Abbildung 41 stellt hierzu eine einfache Möglichkeit dar. Eingangsgrößen können hierbei beliebige Parameter sein, zwischen denen ein qualitativer Zusammenhang beschrieben werden soll. Eine Zeichenkette beschreibt den qualitativen Zusammenhang. Eine weiterführende Verarbeitung über Bedingungen oder Funktionen findet nicht statt. Je nach Pfeilrichtung kann festgelegt werden, ob es sich um einen zeitlichen Zusammenhang handelt (d.h. mit Richtung) oder um einen rein inhaltlichen Zusammenhang (ohne Richtung).

Im Falle eines zeitlichen Zusammenhangs gibt es eingehende Pfeile (von zeitlich vorgelagerten Parametern) und ausgehende Pfeile (von zeitlich nachgelagerten Parametern). Auf diese Weise

lassen sich einfache Prozessketten modellieren. Gibt es ausschließlich eingehende Pfeile, so handelt es sich um einen rein inhaltlichen Zusammenhang, ohne zeitliche Richtung.

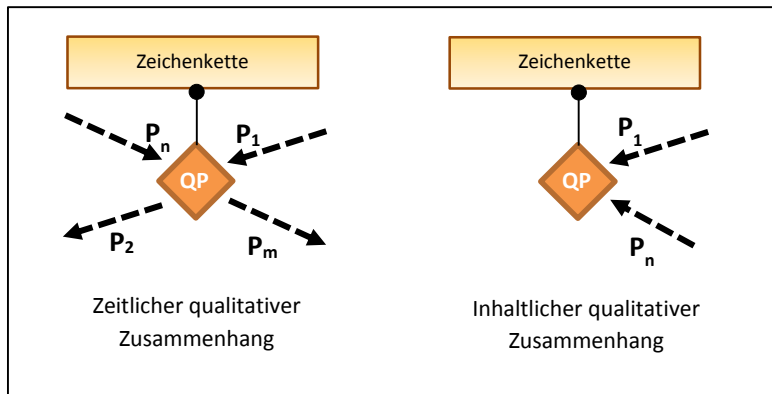


Abbildung 41: Qualitative Zusammenhänge zwischen Parametern

Eine Besonderheit des qualitativen Zusammenhangs zwischen Parametern (QP-Zusammenhang) ist, dass die Pfeile keine Parameterwerte repräsentieren. In den zuvor beschriebenen Zusammenhängen repräsentierten die Pfeile konkrete Werte (von Anforderungen oder Parametern), die an den Zusammenhang übergeben oder vom Zusammenhang ausgegeben werden. In diesem Fall verdeutlichen die Pfeile lediglich einen zeitlichen oder inhaltlichen Zusammenhang. Aus diesem Grund sind sie gestrichelt dargestellt. Da qualitative Zusammenhänge keine Werte berücksichtigen, können mit ihrer Hilfe nicht nur Parameter, sondern auch übergeordnete Arbeitssystemelemente verknüpft werden.

Abbildung 42 zeigt zwei Beispiele, wie qualitative Zusammenhänge in MoREZ verwendet werden können.

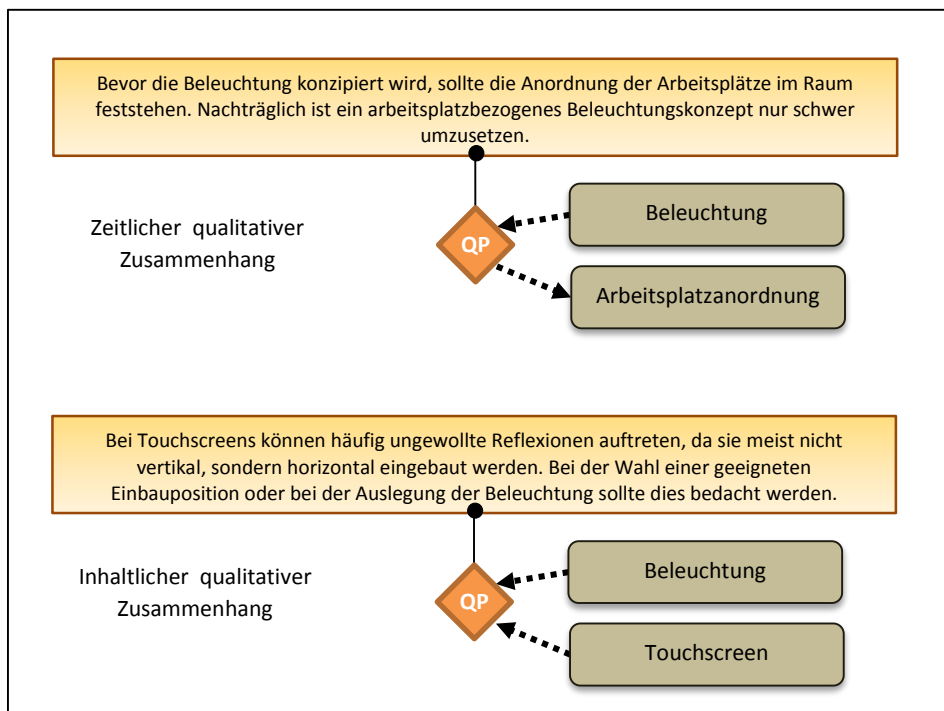


Abbildung 42: Beispiel für qualitative Zusammenhänge

---

## 4.5. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich MoREZ aus drei Modellkomponenten zusammensetzt:

- Ergonomische Anforderungen
- Arbeitssystemelemente und deren Parameter
- Zusammenhänge

Kapitel 4.2 zeigte, wie sich *ergonomische Anforderungen* in MoREZ repräsentieren lassen. Eine Anforderung wird beschrieben durch

- den Anforderungsnamen,
- die Anforderungsart (Festanforderung, Intervallanforderung, Mindestanforderung, Maximalanforderung, Binäre Anforderung, Aufzählungsanforderung),
- den Anforderungswerten (Muss, Soll und Kann) sowie
- den Datentyp (der sich jedoch eindeutig aus der Anforderungsart ergibt).

Kapitel 4.3 beschrieb, wie sich *Arbeitssystemelemente* und deren *Parameter* in MoREZ abbilden lassen. Parameter werden beschrieben durch

- den Parameternamen,
- den Datentyp (reelle Zahl, Boolean, Zeichenkette), sowie
- dem zugeordneten Arbeitssystemelement

Dabei ist zu beachten, dass auch Arbeitssystemelemente untereinander in einem hierarchischen Verhältnis stehen können, d.h. jeweils ein übergeordnetes Arbeitssystemelement besitzen können.

In den Kapiteln 4.4.1 bis 4.4.6 wurden insgesamt sechs *Zusammenhangsarten* beschrieben. Alle Zusammenhangsarten sind abschließend nochmal in Tabelle 13 zusammengefasst. Beschrieben sind jeweils Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie die grundsätzliche Funktionsweise jeder Zusammenhangsart. Der Zustand, den die Zusammenhangsart annehmen kann, ist ebenfalls angegeben. Da die Modellierung graphisch erfolgt, zeigt die letzte Spalte eine allgemeine Darstellungsweise für jede Zusammenhangsart.

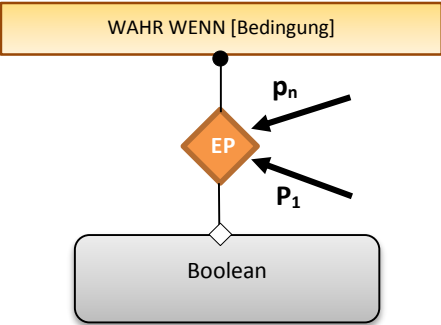
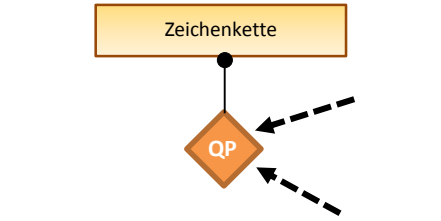
Das nun anschließende Kapitel 5 soll MoREZ anhand zweier Beispiele illustrieren und darüber hinaus verdeutlichen, dass diese sechs elementaren Zusammenhänge bereits ausreichen, um komplexe Ergonomie-Sachverhalte in einer standardisierten Art und Weise beschreiben und dokumentieren zu können.



Tabelle 13: Zusammenfassende Darstellung der Zusammenhangsarten

Name	Eingangsgrößen	Ausgangsgrößen	Annehmbare Zustandsgrößen	Beschreibung	Darstellung
<b>Prüfen auf Einhalten von Anforderung (EA)</b>	Genau ein Parameterwert  Genau ein Anforderungswert	Keine	Aufzählungstyp: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SOLL Anforderung eingehalten</li> <li>• MUSS Anforderung eingehalten</li> <li>• KANN Anforderung eingehalten</li> <li>• Anforderung nicht eingehalten</li> </ul>	Der Zusammenhang prüft, inwiefern der Wert eines Parameters zu den hinterlegten SOLL, MUSS, KANN Bedingungen der Anforderung passt und nimmt den entsprechenden Zustand an.	
<b>Variieren einer Anforderung (VA)</b>	Beliebig viele Parameterwerte	Genau ein Anforderungswert	Keine	Meistens lassen sich eindeutige und allgemeingültige Werte für ergonomische Anforderungen angeben. Oftmals sind die Werte einer Anforderung allerdings variabel und ergeben sich aus dem jeweiligen Gestaltungskontext.  Der Wert einer variablen Anforderung ergibt sich funktional aus den Werten von Parametern. Sind bereits Standardwerte hinterlegt, so werden diese ggf. überschrieben.  Die konkreten Anforderungswerte (Muss, Soll und Kann) bestimmen sich über die	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math>a_{\text{muss}} = f_1(p_1, \dots, p_n) \text{ WENN [Bedingung]}</math>  <math>a_{\text{soll}} = f_2(p_1, \dots, p_n) \text{ WENN [Bedingung]}</math>  <math>a_{\text{kann}} = f_3(p_1, \dots, p_n) \text{ WENN [Bedingung]}</math> </div>

				<p>Funktionen <math>f(p_1, \dots, p_n)</math>. Für jeden Anforderungswert (muss, soll, kann) können beliebig viele Funktionen definiert werden. Über Konditionalsätze lassen sich Bedingungen formulieren, unter denen die jeweiligen Anforderungen variiert werden.</p>	
<p><b>Bestimmen eines abhängigen Parameters (AP)</b></p>	<p>Beliebig viele Parameterwerte</p>	<p>Genau ein Parameterwert</p>	<p>Keine</p>	<p>Oftmals lassen sich bestimmte Parameter nicht direkt auslegen. Vielmehr ergibt sich der Wert indirekt über die Festlegung anderer Parameter.</p> <p>Die Funktion <math>f(p_1, \dots, p_n)</math> legt fest, wie sich ein Parameterwert aus anderen Parameterwerten bestimmt.</p>	
<p><b>Prüfen auf Konflikt zwischen Parametern (KP)</b></p>	<p>Beliebig viele Parameterwerte</p>	<p>Keine</p>	<p>Boolean:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• True (Konflikt vorhanden)</li> <li>• False (Konflikt nicht vorhanden)</li> </ul>	<p>Es gibt bestimmte Kombinationen von Parameterwerten, die nicht gemeinsam auftreten sollten. Sie stehen in einem Konflikt zueinander.</p> <p>Die Bedingung für einen Konflikt wird über einen Konditionalsatz abgebildet, wobei die Prämisse die Bedingung beschreibt, unter welcher die Konklusion „Konflikt vorhanden“ wahr ist. Trifft die Bedingung zu, ist ein Konflikt vorhanden und der Zusammenhang KP nimmt den Zustand „wahr“ an. Trifft die Bedingung nicht zu, hat der Zusammenhang KP den Zustand „falsch“, d.h. es liegt kein Konflikt vor.</p>	

<p><b>Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern (EP)</b></p>	<p>Beliebig viele Parameterwerte</p>	<p>Keine</p>	<p>Boolean:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• True (Bedingung eingehalten)</li> <li>• False (Bedingung nicht eingehalten)</li> </ul>	<p>Der Zusammenhang beschreibt den genau gegenteiligen Fall eines Konfliktes, nämlich dass sich zwei Parameterwerte gegenseitig bedingen. Die Ausprägung eines Parameters bedingt notwendigerweise eine bestimmte Ausprägung bei einem anderen Parameter.</p> <p>Die Prämisse des Konditionals enthält die Bedingung, mit der sich zwei Parameter notwendigerweise ergänzen sollten. Ist die Bedingung erfüllt, so erhält EP den Zustand „wahr“. Ist die Bedingung nicht erfüllt, erhält EP den Zustand „falsch“.</p>	
<p><b>Darstellen von qualitativen inhaltlichen Zusammenhängen (QP)</b></p>	<p>Beliebig viele Parameter oder Systemelemente</p>	<p>keine</p>	<p>Keine</p>	<p>Qualitative Zusammenhänge beschreiben schwer zu formalisierende, normalsprachliche Zusammenhänge.</p> <p>Eingangsgrößen können hierbei beliebige Parameter oder auch übergeordnete Systemelemente sein, zwischen denen ein qualitativer Zusammenhang beschrieben werden soll. Eine Zeichenkette beschreibt den qualitativen Zusammenhang normalsprachlich.</p> <p>Gibt es ausschließlich eingehende Pfeile, so handelt es sich um einen rein inhaltlichen Zusammenhang, d.h. ohne zeitliche Richtung.</p>	

				<p>Eine Besonderheit dieses Zusammenhangs ist, dass die Pfeile keine Parameterwerte repräsentieren. Aus diesem Grund sind sie gestrichelt dargestellt.</p>	
<p><b>Darstellen von qualitativen zeitlichen Zusammenhängen (QP)</b></p>	<p>Beliebig viele Parameter oder Systemelemente</p>	<p>Beliebig viele Parameter oder Systemelemente</p>	<p>Keine</p>	<p>Im Gegensatz zum qualitativen inhaltlichen Zusammenhang gibt es beim qualitativen zeitlichen Zusammenhang neben den einführenden Pfeilen auch beliebig viele ausgehende Pfeile.</p> <p>Die eingehenden Pfeile stellen eine Verbindung zu zeitlich vorgelagerten Parametern oder Systemelementen her. Die ausgehenden Pfeile stellen eine Verbindung zu zeitlich nachgelagerten Parametern oder Systemelementen her. Auf diese Weise lassen sich einfache Prozessketten modellieren.</p> <p>Eine Zeichenkette beschreibt den zeitlichen Zusammenhang näher.</p> <p>Eine Besonderheit dieses Zusammenhangs ist, dass die Pfeile keine Parameterwerte repräsentieren. Aus diesem Grund sind sie gestrichelt dargestellt.</p>	

---

## 5. Beispielhafte Anwendung im Kontext der Flugsicherung

---

In diesem Kapitel soll MoREZ an zwei Beispielen Anwendung finden. Dies dient zum einen der Illustration und zum anderen als erster (nicht abschließender) Nachweis der grundsätzlichen Anwendbarkeit. Hierzu wird das Modell Schritt für Schritt aufgebaut. Die einzelnen Modellierungsschritte spiegeln den Erkenntnisgewinn über die Projektphasen wider und werden sequenziell mit Fortschreiten des Wissens erweitert. Zur Modellierung wird die Software *yED Graph Editor* verwendet (yWorks, 2014).

Folgende zwei Beispiele werden dargestellt:

- Optimieren der Schriftzeichenhöhen eines Flugsicherungssystem
- Wechsel von einer negativen Bildschirm polarität zur positiven Bildschirm polarität

### 5.1. Optimieren der Schriftzeichenhöhen eines Flugsicherungssystem

Ausgangspunkt für dieses Beispiel stellt die Einführung eines neuen Air Traffic Management Systems dar. Im Rahmen der Schulung von Fluglotsen kam es zu gehäuften Rückmeldungen, dass bestimmte Zeichenhöhen in einigen Fenstern des Systems als zu klein empfunden werden.

Eine arbeitswissenschaftliche Studie untersuchte, inwieweit die eingesetzten Zeichengrößen und Schrifttypen den relevanten Normen, Richtlinien und Empfehlungen genügen und welche Maßnahmen sich daraus ggf. ergeben.

Ein erster Schritt stellt die Identifikation relevanter ergonomischer Anforderungen dar. Typischerweise werden Empfehlungen zu Schriftzeichenhöhen in der Literatur in Bogenminuten angegeben. Tabelle 14 fasst die Empfehlungen aus verschiedenen Quellen zusammen.

Tabelle 14: Empfehlungen zu Schriftzeichenhöhen in verschiedenen Quellen

Quelle	Empfehlung
DIN EN ISO 9241-303 (2009)	Die Zeichenhöhe muss mindestens 16 Bogenminuten betragen. Für die meisten Aufgaben werden Zeichenhöhen im Bereich von 20 bis 22 Bogenminuten bei lateinischen Zeichen [...] empfohlen.
DIN EN ISO 11064-4 (2004)	Die Mindesthöhe unbunter lateinischer Zeichen auf Bildschirmen muss 15 Winkelminuten einschließen (nach ISO 9355-2). Empfohlen werden jedoch 18 Winkelminuten bis 20 Winkelminuten (nach ISO 9241-3). <i>Hinweis: ISO 9241-3 wurde ersetzt durch ISO 9241-303</i>
DIN EN 894-2 (2009)	Die empfohlenen Zeichenhöhen werden erreicht, wenn der Sehwinkel im Bereich von 18 bis 22 Bogenminuten liegt.  Noch geeignete Zeichenhöhen liegen im Bereich von 15 bis 18 Bogenminuten.

	Zeichenhöhen für von weniger als 15 Bogenminuten sind ungeeignet.
BGI 650 (2009)	Gute Lesbarkeit wird erreicht, wenn z.B. [...] die Höhe der Großbuchstaben ohne Oberlänge (Zeichenhöhe) unter einem Sehwinkel zwischen 22 Bogenminuten und 31 Bogenminuten erscheint [...].
FAA Human Factors Design Guide (Ahlstrom & Longo, 2003)	Die Zeichenhöhe sollte bei Aufgaben, bei denen die Leserlichkeit wichtig ist mindestens 16 Bogenminuten betragen. Für eine bessere Leserlichkeit wird eine Zeichengröße zwischen 20 und 22 Bogenminuten bevorzugt.
Font Requirements for Next Generation Air Traffic Management Systems (Broadbent, 2000)	Für eine gute Leserlichkeit wird eine Zeichenhöhe zwischen 20 und 22 Bogenminuten empfohlen.

Im Grunde fordern alle in Tabelle 14 beschriebenen Anforderungen Mindestwerte in einer ähnlichen Größenordnung. Lediglich die Informationen der Berufsgenossenschaften empfehlen für eine gute Lesbarkeit 22-31 Bogenminuten (vgl. BGI 650, 2009). Allerdings sind sie ggü. den DIN Normen als nachrangig zu werten. Integriert man die Anforderungen aus Tabelle 14, lassen sich prinzipiell folgende Wertebereiche unterscheiden:

- **Muss-Anforderung:** Der Sehwinkel muss mindestens 16 Bogenminuten betragen.
- **Soll-Anforderung:** Empfohlen werden Werte ab 20 Bogenminuten.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Modellierung mit MoREZ eindeutige Anforderungswerte für die Muss-, Soll- und Kann-Anforderungen benötigt werden. Das Herunterbrechen der in Tabelle 14 beschriebenen (z.T. heterogenen) Anforderungen auf den Muss-Wert von 16 Bogenminuten und den Soll-Wert von 20 Bogenminuten obliegt grundsätzlich dem Modellierer und seinem Expertenvotum. Die Festlegung auf einen Anforderungswert ergibt sich aus der Priorisierung und Abwägung verschiedener Quellen. Diesen Abwägungsprozess kann der Modellierungsansatz nicht unterstützen. MoREZ bildet lediglich das Resultat dieses Abwägungsprozesses ab.

Abbildung 43 zeigt, wie sich die ermittelte Muss- und Soll-Anforderung in MoREZ darstellen lässt. Hierfür wird eine Mindestanforderung modelliert. Wie in Kapitel 4.2 dargestellt, erwartet eine Mindestanforderung eine reelle Zahl für die Muss-, Soll- und Kann-Werte. In diesem Beispiel beträgt der Muss-Wert 16 Bogenminuten und der Soll-Wert 20 Bogenminuten. Der Kann-Wert entfällt (alternativ könnte hier der empfohlene Wert der BGI 650 hinterlegt werden). Rechts in Abbildung 43 ist der zugehörige Parameter abgebildet. Er repräsentiert die tatsächlich ausgelegten Bogenminuten im Gestaltungsvorhaben, die natürlich den geforderten Werten entsprechen können, aber nicht zwingend müssen. Der *EA-Zusammenhang* (vgl. Abschnitt 4.4.1) verknüpft die allgemeingültige Anforderung aus der Literatur und den zugehörigen Parameter im konkreten Gestaltungsvorhaben.

Hierzu wird die tatsächlich gewählte Schriftzeichenhöhe mit den Werten der Mindestanforderung verglichen. Je nach Erfüllungsgrad erhält der EA-Zusammenhang den Zustand

- *MUSS* eingehalten,
- *SOLL* eingehalten oder
- *NICHT* eingehalten.

Da kein KANN-Wert für die Anforderung hinterlegt ist, kann der EA-Zusammenhang den Zustand „KANN eingehalten“ auch nicht annehmen.

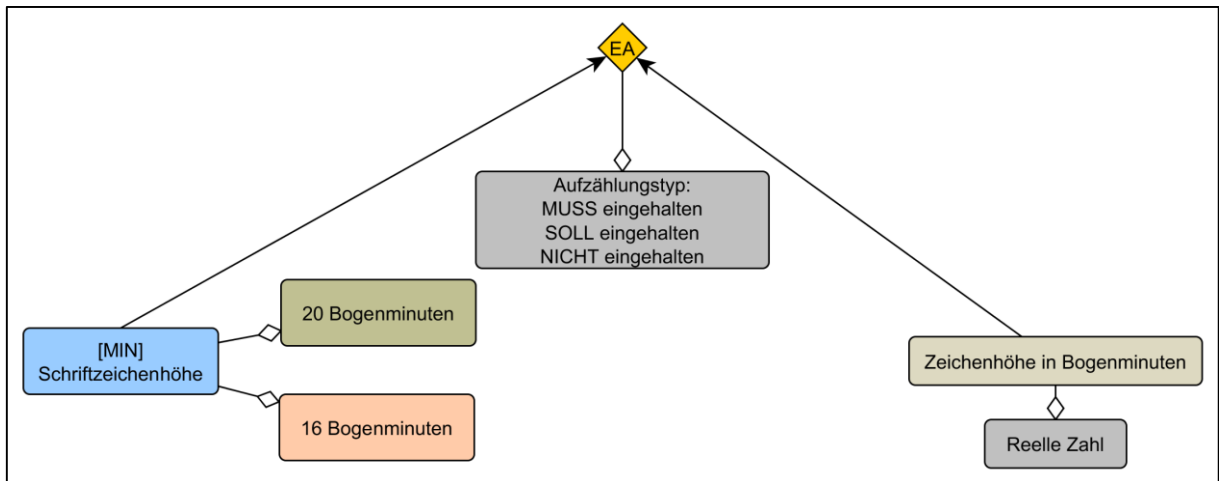


Abbildung 43: EA-Zusammenhang zur Schriftzeichenhöhe

Natürlich wird die Zeichenhöhe in der Gestaltungspraxis nicht in Bogenminuten ausgelegt, sondern meist in Millimeter. Da die vom Mensch wahrgenommene Zeichenhöhe aber nicht nur von der Größe des eigentlichen Zeichens abhängt, sondern ebenfalls von der Sehentfernung, werden in der Ergonomie Zeichenhöhen üblicherweise in Bogenminuten angegeben. Eine Bogenminute entspricht 1/60 Grad und ist der Winkel, unter dem ein Schriftzeichen auf der Netzhaut abgebildet wird. Auf diese Weise erhält man eine Kennzahl, unabhängig ist von den konkreten Maßen des Arbeitsplatzes. Abbildung 44 zeigt, wie die Schriftzeichenhöhe in Bogenminuten in Abhängigkeit des Sehabstandes und der Zeichenhöhe in mm ermittelt werden kann.

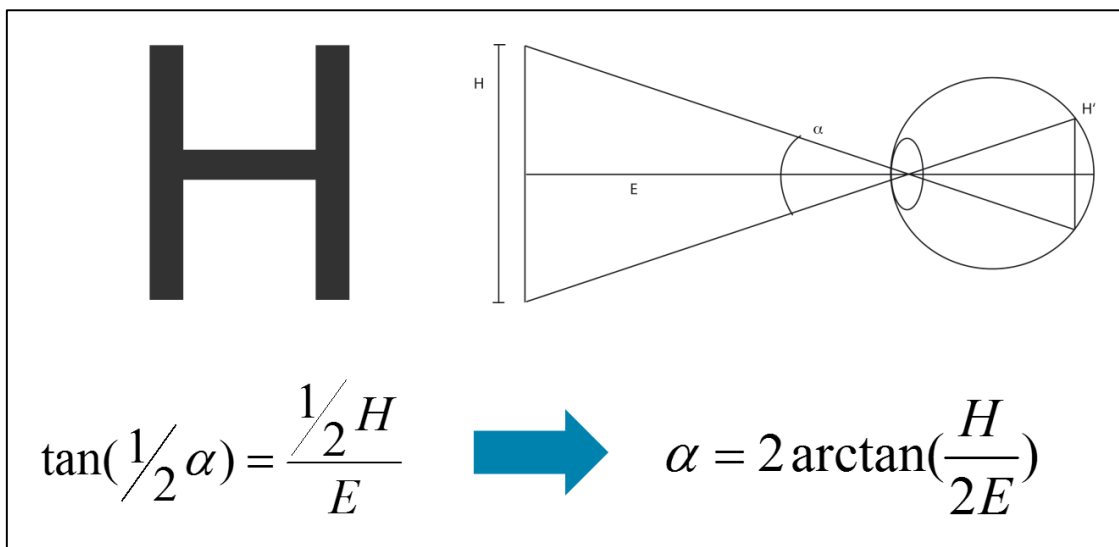


Abbildung 44: Die Schriftzeichenhöhe als Funktion des Sehabstandes und der Zeichenhöhe in mm

Der in Abbildung 44 gezeigte Sachverhalt soll nun mit Hilfe eines *AP-Zusammenhangs* (vgl. Kapitel 4.4.3) in das Modell integriert werden. Benötigt werden hierzu zwei weitere Parameter. Zum einen der *Sehabstand* (in cm), zum anderen die *Zeichenhöhe* auf dem Bildschirm (in mm). Beide Werte werden über reelle Zahlen repräsentiert. Beiden Systemparametern ist zudem jeweils ein übergeordnetes Arbeitssystemelement zugeordnet: Der *Sehabstand* ist ein Parameter der *Bildschirmanordnung* und die *Zeichenhöhe* (neben Zeichenbreite, Zeichenstrichbreite, etc.) ein Parameter des *Schriftzeichens*. In einem *AP-Zusammenhang* werden die Werte beider Parameter zusammengeführt. Über den beschriebenen funktionalen Zusammenhang wird ein neuer Wert generiert, welcher dem Parameter „*Zeichenhöhe in Bogenminuten*“ übergeben wird. Auch dabei handelt es sich um eine reelle Zahl. Die nach oben links ausgehende Verbindung vom Parameter „*Zeichenhöhe in Bogenminuten*“ führt in den zuvor modellierten *EA-Zusammenhang*.

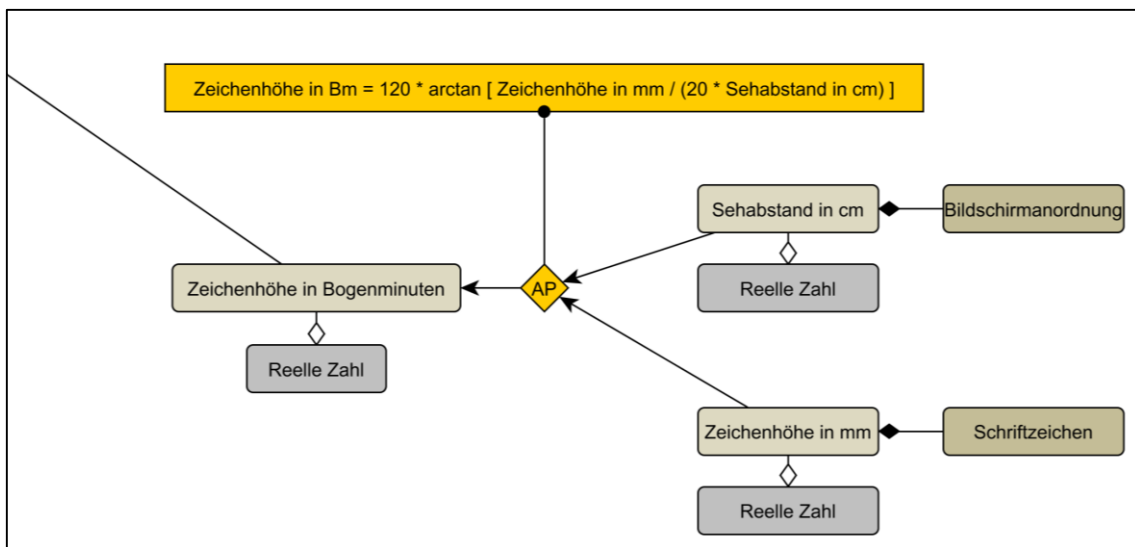


Abbildung 45: AP-Zusammenhang zur Bestimmung der Zeichenhöhe in Bogenminuten

Selbstverständlich ließe sich die Richtung des in Abbildung 45 dargestellten Zusammenhangs beliebig ändern. Eine Alternative wäre, dass sich der Parameter „*Zeichenhöhe in Millimeter*“ aus dem Parameter „*Zeichenhöhe in Bogenminuten*“ sowie dem Parameter „*Sehabstand*“ ergibt. Genauso gut könnte sich der *Sehabstand* aus „*Zeichenhöhe in Bogenminuten*“ und „*Zeichenhöhe in Millimeter*“ ergeben. Je nachdem, welche der drei Perspektiven modelliert wird, ändern sich Funktion und Pfeilrichtung. Im Ergebnis sind aber alle drei Perspektiven äquivalent, da sie sich eindeutig (durch Umformen der Gleichung) auseinander ableiten lassen. Eine intelligente Software, die auf das Modell zurückgreift, kann durch berechnen der Umkehrfunktion Rückschlüsse in beliebiger Richtung ziehen. Voraussetzung ist lediglich, dass zwei der drei Parameter bestimmt sind.

Der nächste Schritt behandelt die Frage, welcher *Sehabstand* (d.h. der Abstand zwischen dem Bildschirm und dem Auge des Benutzers) für die Ermittlung der Schriftzeichenhöhe zu Grunde gelegt werden sollte. Übliche *Sehabstände* bei Kontrollaufgaben lassen sich in Anlehnung an DIN EN ISO 11064-4 (2004) ermitteln. Dort werden verschiedene Arbeitshaltungen diskutiert, die in Abbildung 46 dargestellt sind. Je nach zugrunde gelegter Arbeitshaltung ergibt sich ein anderer *Sehabstand* zum Bildschirm.




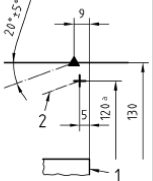

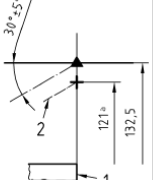

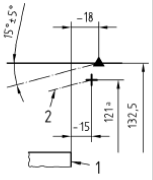
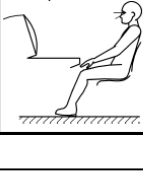
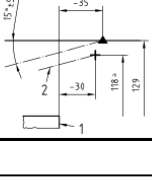
Sitzhaltung	Neigung der normalen Sehachse	Entsprechende Tätigkeit	Bemerkungen	Augenpunkte ▲ 95. Perzentil + 5. Perzentil Beispiel
	$20^\circ \pm 5^\circ$	Überwachen mit hoher Aufmerksamkeit, Stellteile betätigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schultergelenk oberhalb Pultkante</li> <li>nur kurzfristig einzunehmende Haltung</li> <li>das 5. Perzentil bestimmt die maximale Greifweite</li> </ul>	
	$30^\circ \pm 5^\circ$	Tippen, Schreiben (von Hand), Stellteile betätigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Greifweite des 5. Perzentils reicht bis zu 50 cm ab Pultkante</li> <li>die Augenpunkte befinden sich genau oberhalb der Pultkante</li> </ul>	
	$15^\circ \pm 5^\circ$	Überwachen	<ul style="list-style-type: none"> <li>die Augenpunkte sind bis zu 18 cm (95. Perzentil) von der Pultkante entfernt</li> </ul>	
	$15^\circ \pm 5^\circ$	Langzeit-Überwachung, Gespräche mit anderen Personen	<ul style="list-style-type: none"> <li>die Augenpunkte sind bis zu 35 cm (95. Perzentil) von der Pultkante entfernt</li> </ul>	

Abbildung 46: Verschiedene Sitzhaltungen nach DIN EN ISO 11064-4 (2004)

Dieser Zusammenhang ist schwierig zu formalisieren, da für die Bestimmung des Sehabstandes nicht nur die Arbeitshaltung alleine ausschlaggebend ist. Es spielen weitere Faktoren eine Rolle, z.B. Tiefe des Arbeitstisches (auf dem der Bildschirm platziert ist), Höhenverstellbarkeit des Arbeitstisches oder individuelle Verstellbarkeit des Bildschirms. Natürlich könnte man versuchen, alle Faktoren im Modell abzubilden, allerdings würde die Darstellung sehr schnell komplex und unhandlich. Zudem ginge dies an der gestalterischen Realität vorbei. In der Regel ist es in der praktischen Anwendung völlig ausreichend, mit Hilfe eines Maßbandes Sehabstände zu ermitteln. Eine aufwendige Ermittlung über relative Maße ist selten notwendig. Um den Zusammenhang zwischen Sehabstand und Arbeitsposition zu berücksichtigen, begnügt sich die Ausarbeitung an dieser Stelle mit einem qualitativen QP-Zusammenhang (vgl. Kapitel 4.4.6). Dieser soll darauf hinweisen, dass zunächst eine Arbeitshaltung zu Grunde gelegt werden sollte, bevor der Sehabstand ermittelt wird. Hierzu wird ein neuer Parameter *Arbeitshaltung* eingeführt. Der Datentyp ist eine Aufzählung und erwartet als Wert eine der vier Arbeitshaltungen „vorgebeugt“, „aufrecht“, „zurückgelehnt“ oder „entspannt“. Über einen *QP-Zusammenhang* werden die Parameter *Arbeitshaltung* und *Sehabstand* miteinander verbunden. Dabei handelt es sich um einen zeitlichen qualitativen Zusammenhang (bevor man den Sehabstand messen kann, muss eine bestimmte Arbeitshaltung zugrunde gelegt werden), wobei die Pfeile den zeitlichen Ablauf widerspiegeln. Abbildung 47 stellt einen Ausschnitt des erweiterten Modells dar.

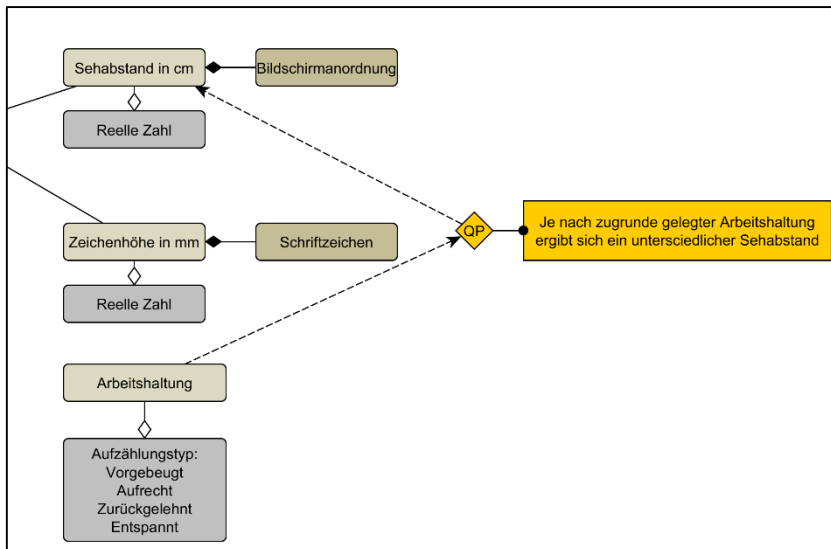


Abbildung 47: QP-Zusammenhang zwischen Sehabstand und Arbeitshaltung

Im Grunde wären an dieser Stelle die wichtigsten Zusammenhänge beschrieben, um die Zeichenhöhe nach den Regeln der Technik auszulegen. Es zeigt sich allerdings, dass eine Anwendung der empfohlenen Anforderung im Flugsicherungskontext zu Problemen führen kann. Insbesondere die Luftlagedarstellung besitzt eine hohe Informationsdichte und ist daher problematisch. Die Verwendung großer Schriftzeichen geht einher mit einem erhöhten Platzbedarf auf dem Bildschirm. Darunter kann nicht nur die Übersichtlichkeit leiden, sondern auch die Leserlichkeit, wenn sich Informationen gegenseitig verdecken. Auch subjektiv erachten Lotsen eine Auslegung der Schriften nach den empfohlenen Anforderungswerten häufig als zu groß.

Grundsätzlich beziehen sich die Anforderungen aus Normen nicht speziell auf den Flugsicherungskontext, sondern sind „generelle, von Technologie, Aufgaben und Umgebung unabhängige Leistungsspezifikationen und Empfehlungen“. So werden auch „Aspekte der Sehschärfe älterer Menschen“ berücksichtigt (DIN EN ISO 9241-303, 2009, S. 6).

Die empfohlenen Werte gehen davon aus, dass auch Betrachter mit einer Sehschärfe von 50 % unter normal die dargestellten Informationen lesen können (vgl. DIN EN ISO 11064-4, 2004). Eine korrigierte Sehschärfe von weniger als 70% auf einem Auge führt allerdings bereits zur Untauglichkeit für die Fluglotsentätigkeit (vgl. Nachrichten für Luftfahrer - Teil II, 1999). Entsprechend handelt es sich bei den Fluglotsen um ein ausgewähltes Kollektiv, welches bestimmte Anforderung an die Sehschärfe erfüllen muss und regelmäßig kontrolliert wird.

Die Mindestanforderung von 16 Bogenminuten übertragen auf einen Visus von 0,7 entspricht in etwa einer korrigierten Mindestanforderung von 11,4 Bogenminuten. Der Empfehlungswert von 20 Bogenminuten entspricht in etwa einer korrigierten Mindestanforderung von ca. 14,3 Bogenminuten. Streng genommen handelt es sich dabei nicht um einen linearen Zusammenhang: Eine Person mit einem Visus von 0,3 verspürt bei einer Verdopplung auf 0,6 eine stärkere Verbesserung als eine Person mit einem ohnehin guten Visus von 0,7 auf 1,4. Eine solche logarithmische Abstufung der Sehschärfe wird üblicherweise mit Hilfe von psychometrischen Funktionen beschrieben (vgl. Lachenmayr, Friedburg, Hartmann, & Buser, 2006, S. 17).

Näherungsweise soll im Folgenden allerdings auf eine lineare Beschreibung zurückgegriffen werden. Für den Mindestwert und die empfohlene Schriftzeichenhöhe ergibt sich dann:

$$\text{Mindestschriftzeichenhöhe in Bogenminuten} \approx \frac{8}{\text{Visus des Betrachters}}$$

$$\text{Empfohlene Schriftzeichenhöhe in Bogenminuten} \approx \frac{10}{\text{Visus des Betrachters}}$$

Die Anforderung an die Schriftzeichenhöhe ändert sich also, je nachdem welcher Visus für den Betrachter zu Grunde gelegt wird. Dieser Sachverhalt soll nun in das Modell mit Hilfe eines VA-Zusammenhangs (vgl. Kapitel 4.4.2) einfließen. Hierzu wird ein neuer Parameter *Visus* eingeführt, der eine reelle Zahl als Wert erwartet (siehe Abbildung 48). Da der Visus eine Eigenschaft des Menschen ist, wird dieser als übergeordnetes Systemelement eingeführt.

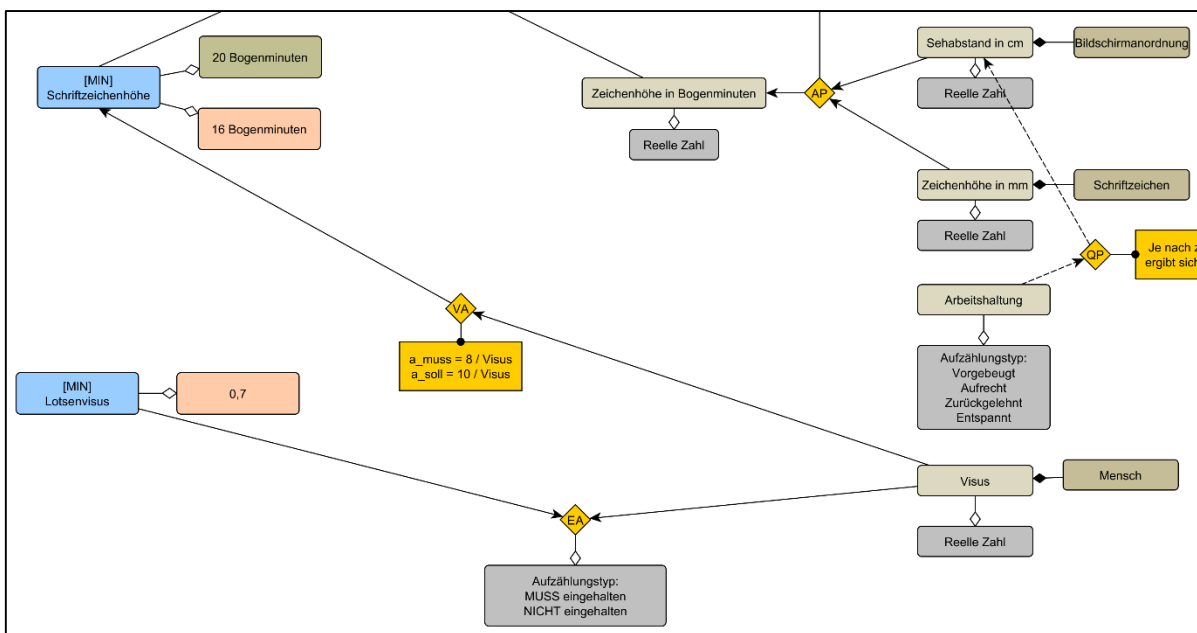


Abbildung 48: VA-Zusammenhang zwischen Visus und der Anforderung Schriftzeichenhöhe

Der Visuswert wird an den VA-Zusammenhang übergeben. Entsprechend den oben beschriebenen Formeln werden daraus die angepassten Anforderungswerte  $a_{\text{MUSS}}$  und  $a_{\text{SOLL}}$  ermittelt und an die Anforderung *Schriftzeichenhöhe* übergeben. Ist also ein konkreter Visus hinterlegt, gelten die aktualisierten Werte, ansonsten die Standardwerte (Mindestens 16 Bogenminuten, empfohlen 22 Bogenminuten). Konditionalsätze sind in diesem Beispiel nicht erforderlich, da der Zusammenhang bedingungslos ist, d.h. immer gilt.

Da im Kontext der Flugsicherung ein Visus von 0,7 für das Ausführen von Lotsentätigkeiten erforderlich ist, wird dies als Mindestanforderung im Modell berücksichtigt (siehe Abbildung 48). Über eine weitere EA-Anforderung wird überprüft, ob der Parameter *Visus* der Anforderung genügt. Da lediglich ein Muss-Wert hinterlegt ist, kann der EA-Zusammenhang auch nur die beiden Zustände „MUSS eingehalten“ und „NICHT eingehalten“ annehmen.

Abbildung 49 stellt das in diesem Kapitel erstellte Modell noch einmal vollständig dar. Obwohl das Thema Schrifthöhengestaltung vermeintlich trivial erscheint, bedarf dessen Modellierung bereits fünf Systemparameter, zwei Anforderungen sowie fünf Zusammenhänge. Die Komplexität entsteht in

---

diesem Beispiel durch die zahlreichen Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Systemparametern sowie durch die Rückkopplung auf die Anforderung *Schriftzeichenhöhe*.

Auch wenn dieses Modell noch relativ überschaubar ist, lassen sich daraus bereits allgemeingültige Ansatzpunkte für die praktische Schrifthöhengestaltung ableiten. Je nach Szenario ergeben sich für den Praktiker verschiedene Stellschrauben, um die Anforderung einzuhalten.

- Ist der Sehabstand fest vorgegeben (z.B. weil Tisch und Monitor untrennbar miteinander verbunden sind), kann eine Optimierung über die absolute Schriftzeichenhöhe auf dem Bildschirm erfolgen. Die Schriftzeichen können entsprechend solange erhöht werden, bis unter Berücksichtigung des Sehabstandes die Anforderung eingehalten ist.
- Ist die absolute Schriftzeichenhöhe fest vorgegeben, kann eine Optimierung über den Sehabstand erfolgen. Der Sehabstand kann solange verringert werden, bis unter Berücksichtigung der absoluten Zeichenhöhe die Anforderung eingehalten ist.
- Ein hoher Sehabstand verbunden mit kleinen Schriftzeichen hat direkten Einfluss auf die Arbeitshaltung. Unter Umständen lehnen sich die Nutzer des Systems nach vorne, um die Schriftzeichen noch erkennen zu können. Es besteht dann die Gefahr von gesundheitsschädlichen Zwangshaltungen. Aus diesem Grund wird empfohlen, zuerst die Arbeitshaltung festzulegen und erst anschließend den Sehabstand auszulegen. Mit anderen Worten: Bevor die Schriftzeichenhöhe sinnvoll ausgelegt werden kann, muss die gewünschte Arbeitsposition zu Grunde gelegt werden. Aus dieser Arbeitsposition ergibt sich anschließend der Sehabstand und erst darauf aufbauend kann die eigentliche Schriftzeichenhöhe ausgelegt werden. Gleichzeitig stellt die Arbeitshaltung eine mögliche Stellschraube zur Gestaltung der Schriftzeichenhöhe dar: Wird eine aufrechte Sitzhaltung zu Grunde gelegt, kann gegenüber einer entspannten Sitzhaltung ein geringerer Sehabstand erreicht werden. Somit wäre die Anforderung an die Schriftzeichenhöhe in Bogenminuten bei einer aufrechten Sitzhaltung leichter einzuhalten.
- Sind sowohl Sehabstand als auch absolute Zeichenhöhe vorgegeben, stellt die Anforderung an den Visus eine weitere mögliche Stellschraube dar. Beispielsweise könnte die Anforderung an die Sehleistung des Personals (z.B. durch strengere Auswahlkriterien, regelmäßige Augenuntersuchungen, etc.) erhöht werden. Auf diese Weise sinkt die Anforderung an die Schriftzeichenhöhe in Bogenminuten, sodass sie leichter eingehalten werden kann.

Im Folgenden soll nun ein etwas komplexeres Beispiel herangezogen werden: Der Wechsel von einer Negativdarstellung zu einer Positivdarstellung.

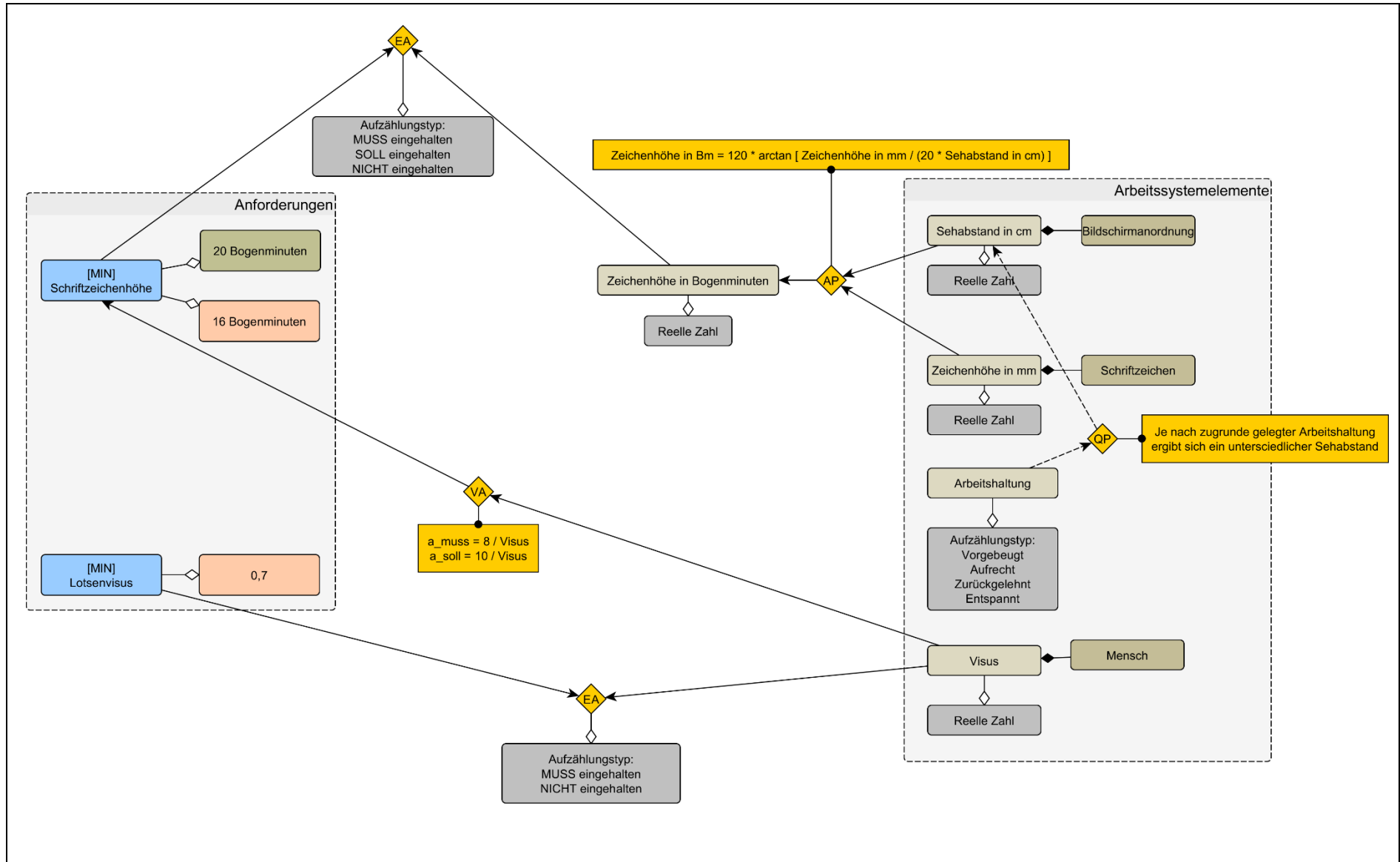


Abbildung 49: Modell zur Auslegung der Schriftzeichenhöhe

## 5.2. Der Wechsel zur positiven Bildschirm polarität in der Flugsicherung

Auf Grund technologischer Limitationen erfolgte die Luftlagedarstellung lange Zeit über eine negative Bildschirm polarität, auch Negativdarstellung genannt (d.h. helle Vordergrundzeichen auf dunklem Hintergrund). Frühere Luftlagedarstellungen wurden über einfache Kathodenstrahlröhren realisiert. Der Elektrodenstrahl regt dabei den Phosphor zum Leuchten an, sodass, ähnlich wie beim analogen Oszilloskop, einfarbige Darstellungen erzeugt wurden. Zwar hat sich die Technik in der Flugsicherung seit damals drastisch verändert, dieses Prinzip der negativen Bildschirm polarität ist aber bis heute als Artefakt der damaligen Zeit in Kontrollräumen zu finden. Abbildung 50 zeigt links eine Darstellung, die durch eine Kathodenstrahlröhre erzeugt wurde. Im Vergleich dazu rechts eine aktuelle Darstellung aus dem Betriebsraum in Langen. Zwar ist die Darstellung inzwischen mehrfarbig, an dem grundsätzlichen Prinzip der Negativdarstellung hat sich allerdings wenig geändert.



Abbildung 50: Links eine frühere Luftlagedarstellung (Schmal, 2014) und rechts von heute

Aus ergonomischer Sicht ist eine positive Bildschirm polarität nach DIN EN ISO 9241-303 (2009) mit zahlreiche Vorteilen verbunden:

- Verminderung der Hell-zu-Dunkel-Adaptation des Auges;
- geringere Beanspruchung der Augen;
- Verbesserung der Leserlichkeit durch besseres Erkennen von Zeichen bei gleichem Kontrast;
- geringere Wahrnehmung unvermeidbarer Reflexionen;
- bessere Leserlichkeit für die meisten älteren Menschen;
- ausgewogeneres Leuchtdichteverhältnis zwischen dem Bildschirm und den Wänden des Raumes

Aus diesen Gründen hat die DFS beschlossen, zukünftige Systeme mit einer positiven Bildschirm polarität zu betreiben.

Grundsätzlich empfiehlt DIN EN ISO 9241-303 (2009) für die meisten Anwendungen eine positive Bildschirm polarität, erklärt allerdings ausdrücklich auch eine negative Bildschirm polarität als zulässig. Diese Anforderung lässt sich leicht über eine Aufzählungsanforderung in MoREZ abbilden. Ein EA-Zusammenhang kann zusätzlich überprüfen, ob die Anforderung durch den entsprechenden Systemparameter *Bildschirm polarität* eingehalten ist. Abbildung 51 stellt dies dar.

Die Wahl der Bildschirm polarität hat weitreichende Folgen für die Gestaltung anderer Systemelemente. Insbesondere die Auslegung des Bildschirms und der Beleuchtung ist davon betroffen.

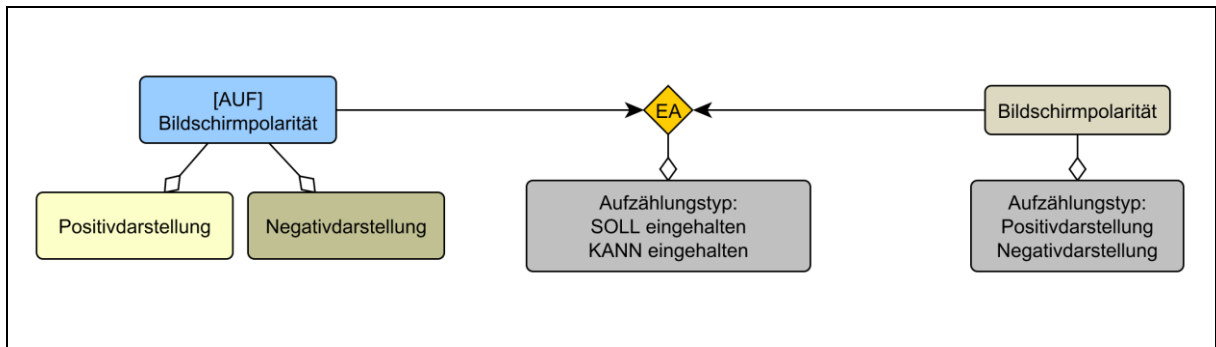


Abbildung 51: EA-Zusammenhang zur Bildschirm polarität

DIN 5035-7 enthält einige Vorgaben zur Beleuchtung in Abhängigkeit zur Bildschirm polarität. Tabelle 15 zeigt empfohlene Leuchtdichten in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen in Abhängigkeit von der Bildschirm polarität. Die Anforderungen an die Leuchtdichten in Räumen variieren in Abhängigkeit der Bildschirm polarität. Hierdurch soll der Leuchtdichtenkontrast im Blickfeld des Nutzers möglichst gering gehalten werden. Somit ist es intuitiv einsichtig, dass die Leuchtdichten der Umgebung bei einer positiven Bildschirm polarität heller und bei einer negativen Bildschirm polarität dunkler sein sollten. Beispielhaft wird an dieser Stelle lediglich die Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes  $L_{BS}$  und die Leuchtdichten größerer Flächen hinter Bildschirmen  $L_{BSU}$  modelliert. Die Integration der übrigen Leuchtdichten  $L_{AM}$ ,  $L_T$  und  $L_U$  kann analog erfolgen.

Tabelle 15: Empfohlene Leuchtdichten in Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen in Abhängigkeit der Bildschirm polarität (DIN EN ISO 5035-7, 2004)

Arbeitsmittel, Einrichtungsgegenstände und Raumbegrenzungsflächen		Bildschirm polarität	
		positiv	negativ
Bildschirmhintergrund	$L_{BS}$	100 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>
Arbeitsmittel, z.B. Beleg, Papiervorlage	$L_{AM}$	100 cd/m <sup>2</sup>	100 cd/m <sup>2</sup>
Schreib-/Arbeitsstischoberfläche	$L_T$	30 bis 80 cd/m <sup>2</sup>	30 bis 80 cd/m <sup>2</sup>
Größere Flächen im Raum	$L_U$	10 bis 1 000 cd/m <sup>2</sup>	10 bis 200 cd/m <sup>2</sup>
Größere Flächen, die sich hinter dem Bildschirm befinden	$L_{BSU}$	10 bis 500 cd/m <sup>2</sup>	10 bis 50 cd/m <sup>2</sup>

Die Anforderungen an  $L_{BS}$  und  $L_{BSU}$  sollen über einen VA-Zusammenhang dargestellt werden, denn je nach Ausprägung des Systemparameters *Bildschirm polarität* variieren die Anforderungen an die Leuchtdichten. Abbildung 52 zeigt die Erweiterung des Modells. Hierzu werden zunächst zwei neue Anforderungen eingeführt: Zum einen die Festanforderung (Zielwert) für die Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes  $L_{BS}$ , zum anderen die Bereichsanforderung für die Leuchtdichte von größeren Flächen hinter dem Bildschirm  $L_{BSU}$ . Beide Anforderungen besitzen grundsätzlich einen Soll-Wert, der jedoch nicht fest hinterlegt werden kann. Daher ist für die Sollwerte im Modell lediglich ein Platzhalter  $L_{bs\_soll}$  bzw.  $L_{bsu\_soll}$  hinterlegt. Welchen Wert die Platzhalter annehmen sollen, ergibt sich aus den VA-Zusammenhängen. Die Konditionalsätze enthalten die entsprechende Bedingung aus Tabelle 15. Beispielsweise nimmt der Anforderungswert  $L_{bsu\_soll}$  das Intervall 10-500 an, falls die Bildschirm polarität positiv ist. Ist die Bildschirm polarität negativ, so nimmt der Anforderungswert

*Lbsu\_soll* das Intervall 10-50 an. Zur Vervollständigung wurde für beide Leuchtdichteanforderungen auch jeweils ein entsprechender Systemparameter modelliert. Über einen EA-Zusammenhang wird überprüft, ob die Anforderung eingehalten ist.

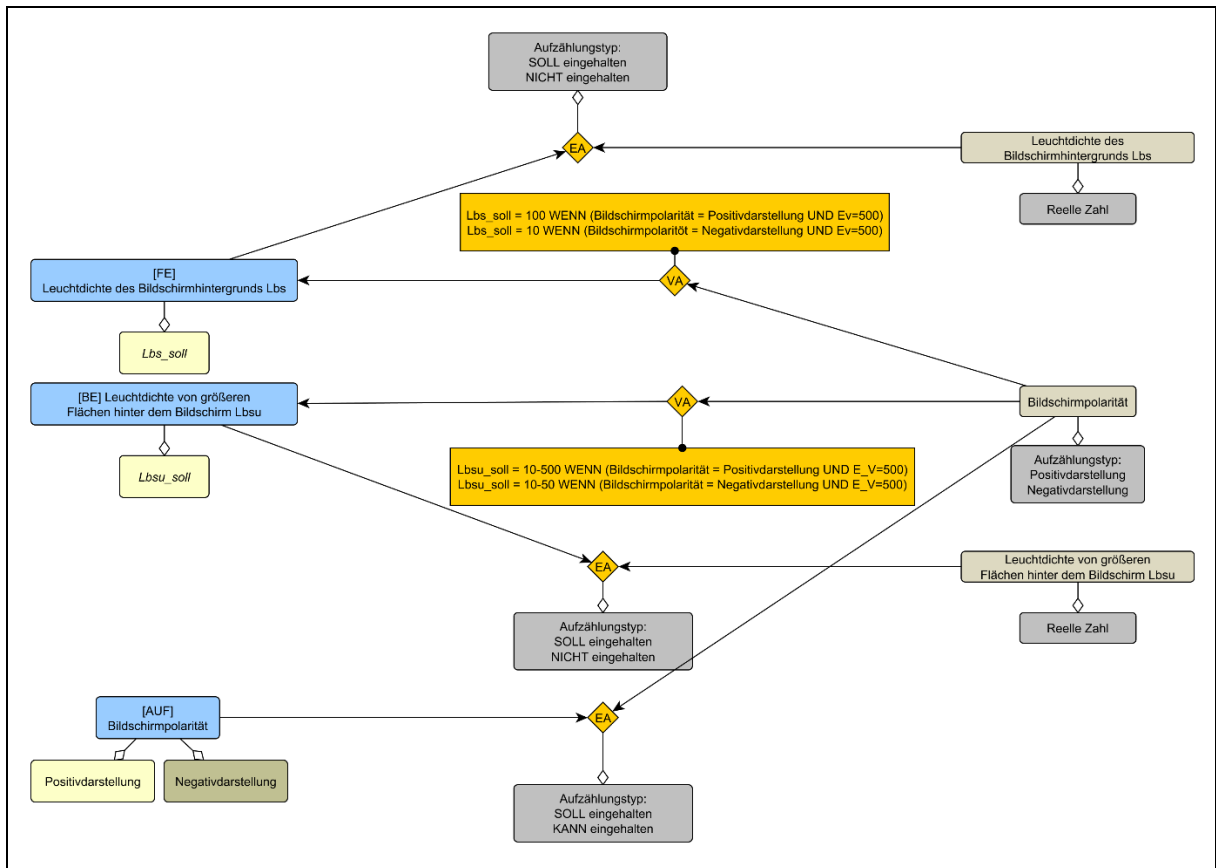


Abbildung 52: Um die Leuchtdichten  $L_{BS}$  und  $L_{BSU}$  erweitertes Modell zur Bildschirm polarität

Zu beachten ist, dass die in Tabelle 15 empfohlenen Werte lediglich für eine horizontale Beleuchtungsstärke von 500 lx Gültigkeit besitzen (vgl. DIN EN ISO 5035-7, 2004). Für die meisten Anwendungsfälle, wie z.B. Büroarbeit, ist diese Voraussetzung gegeben, sodass die empfohlenen Werte problemlos angewendet werden können. Es sind allerdings auch Arbeitsumgebungen denkbar, die aus verschiedensten Gründen keine horizontale Beleuchtungsstärke von 500 lx erreichen. Ein Beispiel hierfür ist der aktuelle Betriebsraum der Flugsicherung in Langen. In diesem Fall gelten die Empfehlungen aus Tabelle 15 nur eingeschränkt.

Abbildung 53 zeigt, wie die Einschränkung durch die Beleuchtungsstärke in das Modell integriert werden kann. Hierzu wird der Systemparameter *Horizontale Beleuchtungsstärke  $E_v$*  eingeführt, dessen Zahlenwert ebenfalls an die beiden VA-Zusammenhänge übergeben wird. Die Konditionalsätze der VA-Zusammenhänge werden erweitert um die Bedingung 500 lx. Beispielsweise soll der Anforderungswert *Lbsu\_soll* (nur) dann das Intervall 10-50 annehmen, wenn die Bildschirm polarität positiv ist UND die horizontale Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt.

DIN EN ISO 5035-7 (2004) macht keine Angaben dazu, wie sich die empfohlenen Leuchtdichtewerte aus Tabelle 15 in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke verändern und inwieweit diese Empfehlungswerte zumindest näherungsweise auch für andere Beleuchtungsstärken angewendet werden können. Entsprechend kann auch MoREZ hierzu keinerlei Aussage treffen. Das Modell kann den späteren Modellanwender lediglich darauf hinweisen, dass die Anforderungswerte für die Leuchtdichten  $L_{BSU}$  und  $L_{BS}$  sowohl von der Bildschirm polarität als auch von der horizontalen



Beleuchtungsstärke abhängen. Abseits der 500 lx stehen allerdings keine exakten Empfehlungswerte zur Verfügung. Auch bei der Abwägung, inwieweit der Modellanwender näherungsweise die Werte für 500 lx zu Grunde legen möchte, kann das Modell nicht unterstützen. Nichtsdestotrotz wird an dieser Stelle deutlich, wie der Modellierungsansatz die Arbeitswissenschaft bei der Identifikation von Wissenslücken unterstützen kann, um bedarfsgerecht neue Forschungsfragen anzustoßen. Auf diese Weise kann die Wissensbasis systematisch vervollständigt werden. In diesem Beispiel betrifft das die Fragestellung nach angemessenen Leuchtdichten am Arbeitsplatz in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke.

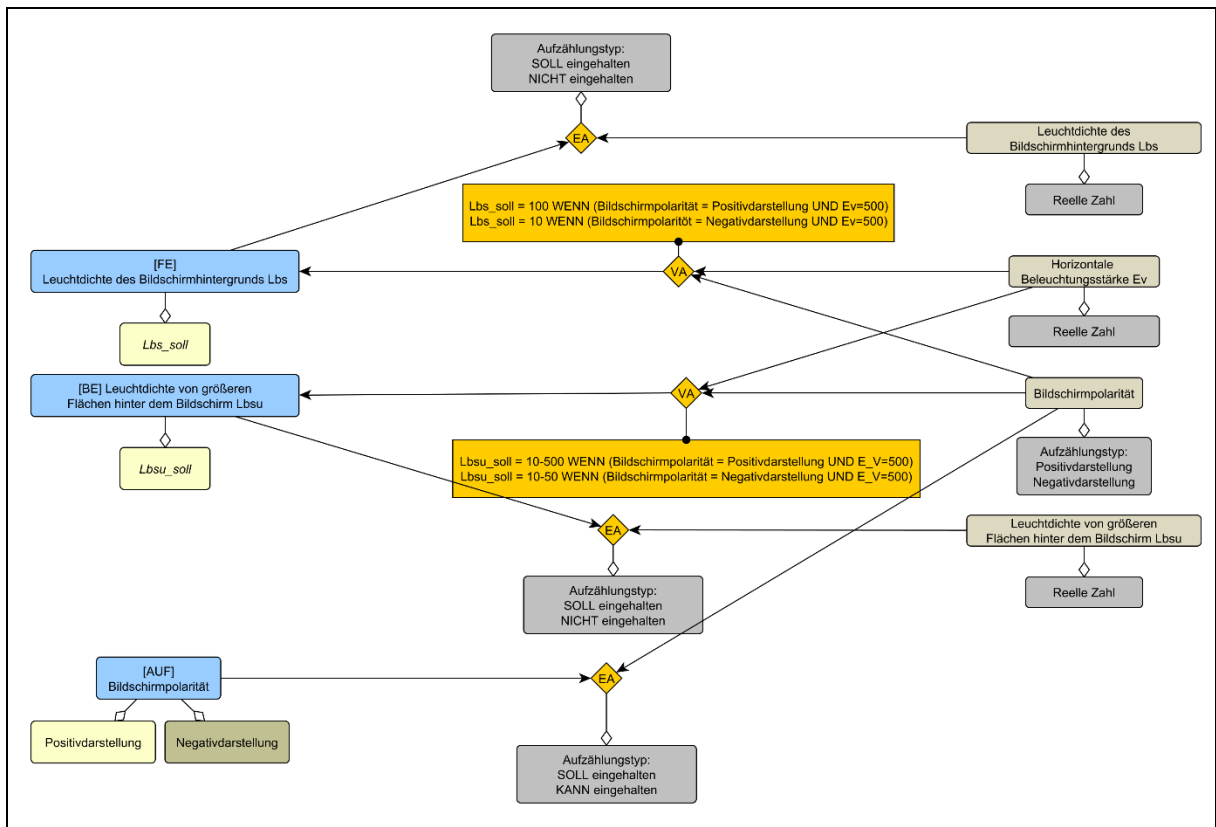


Abbildung 53: Um die Beleuchtungsstärke  $E_V$  erweitertes Modell zur Bildschirmpolarität

Grundsätzlich ließe sich der in Abbildung 53 dargestellte Sachverhalt auch mit Hilfe eines KP-Zusammenhanges (Konflikt) abbilden. In diesem Fall könnte man gleichzeitig auf die Modellierung der Anforderungen zu  $L_{BS}$  und  $L_{BSU}$  verzichten. Abbildung 54 zeigt beispielhaft eine alternative Modellierung mit Hilfe eines KP-Zusammenhangs anhand der Leuchtdichte  $L_{BS}$ .

Hierzu werden die drei Werte der Systemparameter *Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes*, *Horizontale Beleuchtungsstärke* und *Bildschirmpolarität* an den KP-Zusammenhang übergeben. Dieser erzeugt einen Konflikt, sobald der folgende Konditionalsatz erfüllt ist:

*WAHR WENN (Bildschirmpolarität=Positivdarstellung UND  $E_V=500$  UND NICHT  $L_{BS}=100$ ) ODER (Bildschirmpolarität=Negativdarstellung UND  $E_V=500$  UND NICHT  $L_{BS}=10$ )*

In diesem Fall wird also ein Konflikt erzeugt, wenn die Bildschirmpolarität positiv ist, eine Beleuchtungsstärke von 500 lx vorliegt und die Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes nicht 100  $cd/m^2$  entspricht. Ebenfalls wird ein Konflikt erzeugt, wenn die Bildschirmpolarität negativ ist, eine Beleuchtungsstärke von 500 lx vorliegt und die Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes nicht 10  $cd/m^2$  beträgt.

---

Welche Art der Modellierung gewählt wird liegt im Ermessen des Modellierers. Im obigen Beispiel ist die zweite Methode allerdings mit einigen Nachteilen verbunden. Zum einen wird die Anforderung an  $L_{BS}$  ausschließlich über einen Konflikt abgebildet. Eine korrespondierende Anforderung zu dem Systemparameter wird in diesem Fall nicht benötigt, da die Einhaltung der Anforderung alleine durch den Konflikt geprüft wird. Bei der Leuchtdichte des Bildschirmhintergrunds handelt es sich allerdings um eine ergonomisch wichtige Kenngröße für die Systemauslegung. Es würde beim Modellnutzer der Eindruck vermittelt, es ginge bei der Leuchtdichte des Bildschirmhintergrunds lediglich um die Vermeidung eines Konfliktes mit der Bildschirmpolarität und der Beleuchtungsstärke. Dem ist aber nicht so, da eine ergonomisch sinnvoll gewählte Bildschirmleuchtdichte maßgeblich zur ergonomischen Gesamtqualität beiträgt. Zum anderen wäre der Konflikt auch relativ leicht für den Modellnutzer zu lösen, indem die Beleuchtungsstärke erhöht oder vermindert wird. Dies würde zwar im Sinne des Modells eine angemessene Lösung darstellen, für die praktische Gestaltung wäre der Sachverhalt aber völlig unzureichend gelöst. Der Umstand, dass bei 400 lx kein Konflikt erzeugt wird ist schließlich alleine der Tatsache geschuldet, dass für diese Beleuchtungsstärke keine konkreten Empfehlungswerte für die Leuchtdichten im Raum existieren.

Die erste Alternative hingegen verdeutlicht, dass grundsätzlich Anforderungen zur Auslegung der Leuchtdichten im Raum existieren. Normen und Richtlinien geben allerdings nur konkrete Anforderungswerte für eine Beleuchtungsstärke von 500 lx vor. Für andere Beleuchtungsstärken trifft das Modell keinerlei Aussage und lässt die Anforderung offen: Es liegt dann in der Verantwortung des Modellnutzers geeignete Werte zu ermitteln. Der aktuelle Stand der Technik wird somit durch die in Abbildung 53 dargestellte Modellierungsweise präziser repräsentiert.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass sich das in Abbildung 54 dargestellte Modell auch über einen EP-Zusammenhang (notwendige Ergänzung) darstellen lässt. Der Konditionalsatz in diesem Fall müsste entsprechend abgeändert werden:

*WAHR WENN (Bildschirmpolarität=Positivdarstellung UND  $E_v=500$  UND  $L_{bs}=100$ ) ODER  
(Bildschirmpolarität=Negativdarstellung UND  $E_v=500$  UND  $L_{bs}=10$ )*

Die notwendige Ergänzung wäre demnach eingehalten, wenn die Bildschirmpolarität positiv ist, die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt und die Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes  $100 \text{ cd/m}^2$  beträgt, bzw. wenn die Bildschirmpolarität negativ ist, die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt und die Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes  $10 \text{ cd/m}^2$  beträgt. Aber auch in diesem Fall entspräche die Botschaft an den Modellnutzer nicht der eigentlichen Intention, da sich die im Konditionalsatz beschriebenen Wertekombinationen nicht zwingend und notwendigerweise ergänzen. Denn auch in diesem Fall gibt es zahlreiche weitere sinnvolle Wertekombinationen, zu denen die Norm lediglich keine Aussage trifft.

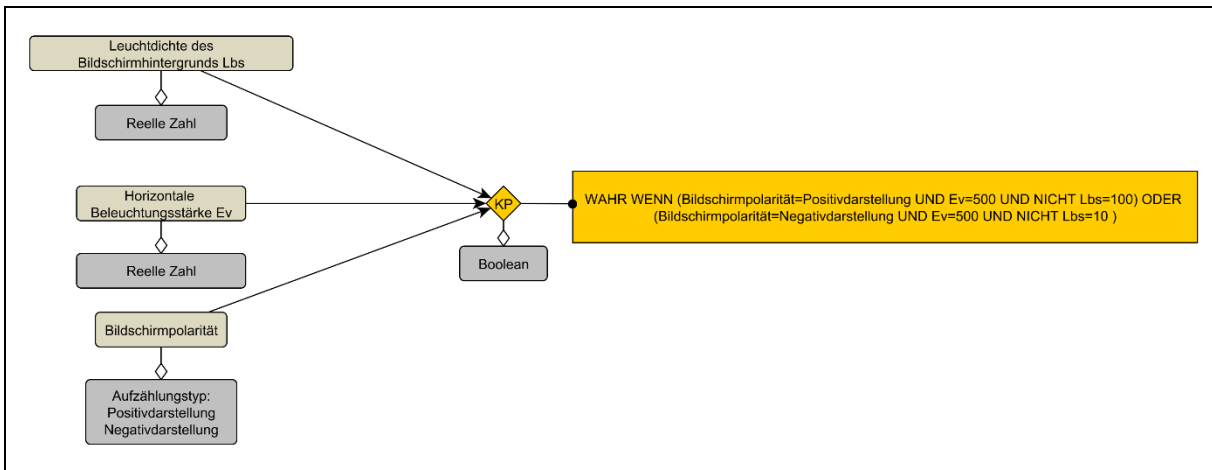


Abbildung 54: Alternative Modellierung der Leuchtdichte  $L_{BS}$  als Konflikt

Auch zur Auslegung der horizontalen Beleuchtungsstärke existieren relativ genaue Vorgaben. ASR A3.4 (2011) enthält im Anhang 1 eine Auflistung verschiedener Arbeitsplätze und Tätigkeiten, für die jeweils Mindestwerte für die Beleuchtungsstärke hinterlegt sind. Ob also die Voraussetzung zur Anwendung der in Tabelle 15 hinterlegten Werte (Beleuchtungsstärke von 500 lx) erfüllt ist, lässt sich aus den technischen Regeln für Arbeitsstätten entnehmen. Beispielsweise werden für Büroräume 500 lx gefordert. Für Verkaufsräume sind 300 lx ausreichend. Für sehr feine Montagearbeiten (z.B. Messinstrumente) werden hingegen 1000 lx gefordert. Kontrollräume, wie es sie auch in der Flugsicherung gibt, sollten ebenfalls mindestens 500 lx erreicht werden.

Abbildung 55 zeigt, wie diese Betrachtung mit einem weiteren VA-Zusammenhang integriert werden kann. Zunächst wird für die *horizontale Beleuchtungsstärke Ev* eine entsprechende Mindestanforderung hinzugefügt. Der variable Muss-Anforderungswert  $Ev_{muss}$  ergibt sich dabei aus der Art des Innenraumes, wie sie in ASR A3.4 (2011) beschrieben sind (z.B. 500 lx bei Kontrollräumen). Zu diesem Zweck wurde auch der Systemparameter *Art des Innenraums* in das Modell aufgenommen. Bei diesem Systemparameter handelt es sich um einen Aufzählungstyp, der als Wert die verschiedenen Raumarten in Anlehnung an ASR A3.4 (2011) annehmen kann. Um nicht den Rahmen dieser Arbeit zu sprengen, sind an dieser Stelle lediglich *Bürraum*, *Kontrollraum*, *Verkaufsraum* und *Feinmontage* beispielhaft abgebildet. Die Ausprägung des Systemelements (*Art des Innenraumes*) wird an den VA-Zusammenhang übergeben. Über die Konditionalsätze

$$\begin{aligned}
 Ev_{muss} &= 500 \text{ WENN } (\text{Art des Innenraumes} = (\text{Bürraum ODER Kontrollraum})) \\
 Ev_{muss} &= 300 \text{ WENN } (\text{Art des Innenraumes} = \text{Verkaufsraum}) \\
 Ev_{muss} &= 1000 \text{ WENN } (\text{Art des Innenraumes} = \text{Feinmontage})
 \end{aligned}$$

wird bestimmt, welchen Wert die Mindestanforderung annimmt. Selbstverständlich könnte der Konditionalsatz

$$Ev_{muss} = 500 \text{ WENN } (\text{Art des Innenraumes} = (\text{Bürraum ODER Kontrollraum}))$$

auch in die zwei Konditionalsätze

$$\begin{aligned}
 Ev_{muss} &= 500 \text{ WENN } (\text{Art des Innenraumes} = \text{Kontrollraum}) \\
 Ev_{muss} &= 500 \text{ WENN } (\text{Art des Innenraumes} = \text{Bürraum})
 \end{aligned}$$

überführt werden.

Wählt der Modellnutzer beispielsweise als Art des Innenraumes *Kontrollraum*, so nimmt die Anforderung *Horizontale Beleuchtungsstärke* den geforderten Mindestwert von 500 lx an. Über den EA-Zusammenhang wird geprüft, inwieweit dieser Anforderungswert mit dem gleichnamigen Systemparameter übereinstimmt. Wird für die tatsächliche Beleuchtungsstärke im Raum ebenfalls 500 lx ausgewählt, so ist die Anforderung eingehalten. In diesem Fall nimmt auch die Anforderung *Leuchtdichte des Bildschirmhintergrundes* in Abhängigkeit der gewählten Bildschirmpolarität den entsprechenden Wert von 10 cd/m<sup>2</sup> bzw. 100 cd/m<sup>2</sup> an. Je nach Situation könnte sich der Modellnutzer entweder für eine positive Bildschirmpolarität entscheiden, dann ist für den Monitor eine Hintergrundleuchtdichte von 100 cd/m<sup>2</sup> gefordert oder er könnte sich (z.B. weil der Bildschirm keine Hintergrundleuchtdichte von 100 cd/m<sup>2</sup> erreicht) für eine negative Bildschirmpolarität entscheiden. Im ersteren Fall wäre gleichzeitig die Soll-Anforderung an die Bildschirmpolarität eingehalten. Auch der letztere Fall wäre zulässig. Zwar wäre die Empfehlung zur positiven Bildschirmpolarität nicht eingehalten, allerdings gestattet die Anforderung *Bildschirmpolarität* durch den spezifizierten Kann-Wert durchaus auch eine negative Bildschirmpolarität.

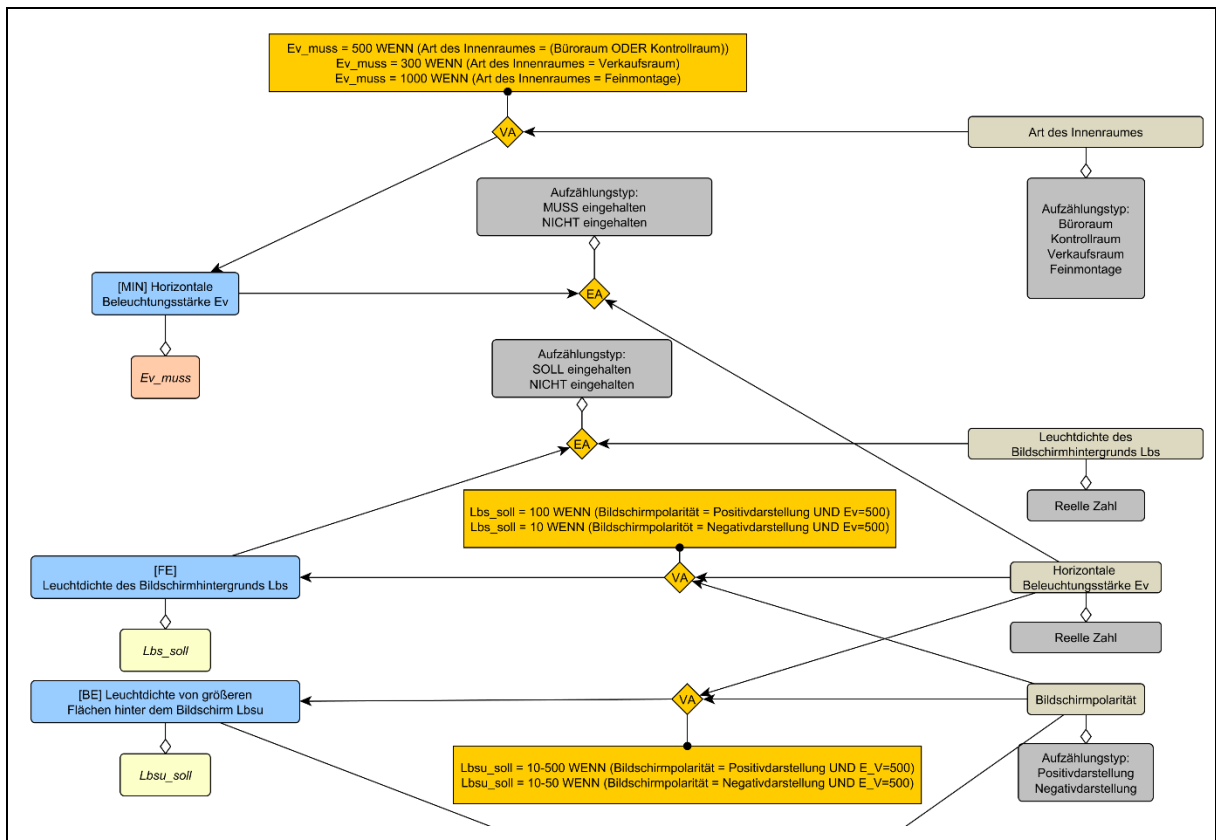


Abbildung 55: Um die Anforderungen zur Beleuchtungsstärke  $E_V$  erweitertes Modell zur Bildschirmpolarität

Weitere wichtige Anforderungen mit Bezug zur Bildschirmpolarität ergeben sich aus der Vermeidung möglicher Reflexionen auf den Bildschirmen. Eine Kenngröße in diesem Zusammenhang stellt die Bildschirmklasse nach DIN EN ISO 9241-7 (1998) dar. Die Bildschirmklasse teilt die Bildschirme nach der Güte der Entspiegelung und Sichtbarkeit in drei Klassen (hoch, mittel, gering) ein. Zwar wurde die Norm zwischenzeitlich zurückgezogen und durch DIN EN ISO 9241-302 (2009) ersetzt, dennoch findet die Bildschirmklasse häufig noch Anwendung. So stellt beispielsweise die aktuell gültige DIN EN ISO 5035-7 (2004) Anforderungen an Leuchten in Abhängigkeit der Bildschirmklasse auf (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16: Zulässige Leuchtdichtewerte von Leuchten und Raumflächen, die sich für den Nutzer auf dem Bildschirm spiegeln, in Abhängigkeit von der Bildschirmgüte bezüglich Entspiegelung und Sichtbarkeit sowie von der Polarität des Bildschirms (DIN EN ISO 5035-7, 2004)

Bildschirmklasse nach DIN EN ISO 9241-7 (1998)	I		II		III	
Güte des Bildschirms bezüglich Entspiegelung und Sichtbarkeit	hoch		mittel		gering	
Bildschirm polarität	positiv (hell)	negativ (dunkel)	positiv (hell)	negativ (dunkel)	positiv (hell)	negativ (dunkel)
Leuchten, die sich auf dem Bildschirm spiegeln Mittlere Leuchtdichte	$\leq 1\,000\text{ cd/m}^2$		$\leq 200\text{ cd/m}^2$		$\leq 200\text{ cd/m}^2$	
Leuchtende Raumflächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln mittlere Leuchtdichte maximale Leuchtdichte	$\leq 1\,000\text{ cd/m}^2$ $\leq 2\,000\text{ cd/m}^2$		$\leq 200\text{ cd/m}^2$		$\leq 400\text{ cd/m}^2$	

Im nun folgenden Abschnitt sollen die Zusammenhänge aus Tabelle 16 in das Modell integriert werden. Dies soll am Beispiel der Anforderungen an Leuchtdichten von Leuchten, die sich auf dem Bildschirm spiegeln ( $L_{Ms}$ ), erfolgen.

Um diese Erweiterung vorzunehmen, müssen zunächst zwei neue Anforderungen erstellt werden: Die *Bildschirmklasse* und die *mittlere Leuchtdichte von Leuchten, die sich in Bildschirmen spiegeln  $L_{Ms}$* . Hinsichtlich der Bildschirmklasse wird für die meisten Anwendungen die Klasse 1 gefordert. Zwar werden auch wenige Ausnahmen diskutiert, allerdings handelt es sich dabei um spezielle Anwendungsfälle, die im Folgenden vernachlässigt werden sollen. Daher wird die Anforderung an die Bildschirmklasse als Muss-Anforderung nach Bildschirmklasse 1 modelliert. Da es sich bei der Bildschirmklasse um eine Kategorie handelt und nicht um eine Zahl, wird die Anforderung als Aufzählungstyp modelliert.

Bei den in Tabelle 16 dargestellten Leuchtdichtewerten handelt es sich um strikte Wertobergrenzen, sodass es sich bei dieser Anforderung um eine Muss-Anforderung mit Maximalwert handelt. Entsprechend erfolgt auch die Modellierung. Da der Anforderungswert variabel ist und nicht fest vorgegeben werden kann, wird für die Wertobergrenze der Platzhalter  $L_{Ms\_muss}$  vergeben.

Ebenfalls wird für die beiden Anforderungen jeweils ein gleichnamiger Systemparameter erstellt. Über einen EA-Zusammenhang wird überprüft, inwieweit die Systemparameter die Anforderungswerte einhalten.

Die in Tabelle 16 dargestellte Abhängigkeit soll über einen VA-Zusammenhang realisiert werden. Hierzu werden die Werte der Systemparameter *Bildschirmklasse* und *Bildschirm polarität* an den Zusammenhang übergeben. Der Konditionalsatz bestimmt, welcher Wert an die Anforderung *Mittlere Leuchtdichte von Leuchten, die sich auf dem Bildschirm spiegeln  $L_{Ms}$*  übergeben wird. In Anlehnung an Tabelle 16 ergeben sich folgende Konditionalsätze:

$$L_{Ms\_muss} = 1000 \text{ WENN (Bildschirmklasse} = 1 \text{ ODER (Bildschirmklasse} = 2 \text{ UND Bildschirm polarität} = \text{positiv))}$$

$L_{ms\_muss} = 200$  WENN (Bildschirmklasse =3 ODER (Bildschirmklasse =2 UND Bildschirmpolarität=negativ))

Folgt der Modellnutzer der Forderung nach Bildschirmklasse 1, so ergibt sich daraus direkt der Anforderungswert für die Leuchtdichte  $L_{MS}$ , unabhängig von der Bildschirmpolarität. Abbildung 56 stellt die Erweiterung des Modells dar.

Aus dem Modell wird deutlich, welche Auswirkungen eine Abweichung von der geforderten Bildschirmklasse 1 mit sich bringt: Die zulässigen Leuchtdichten (für Leuchten, die sich auf dem Bildschirm spiegeln) nehmen rapide ab. Sehr wahrscheinlich müssten, je nach der von ASR A3.4 (2011) geforderten Beleuchtungsstärke, aufwendige Sondermaßnahmen getroffen werden, um die Reflexionen angemessen minimieren zu können.

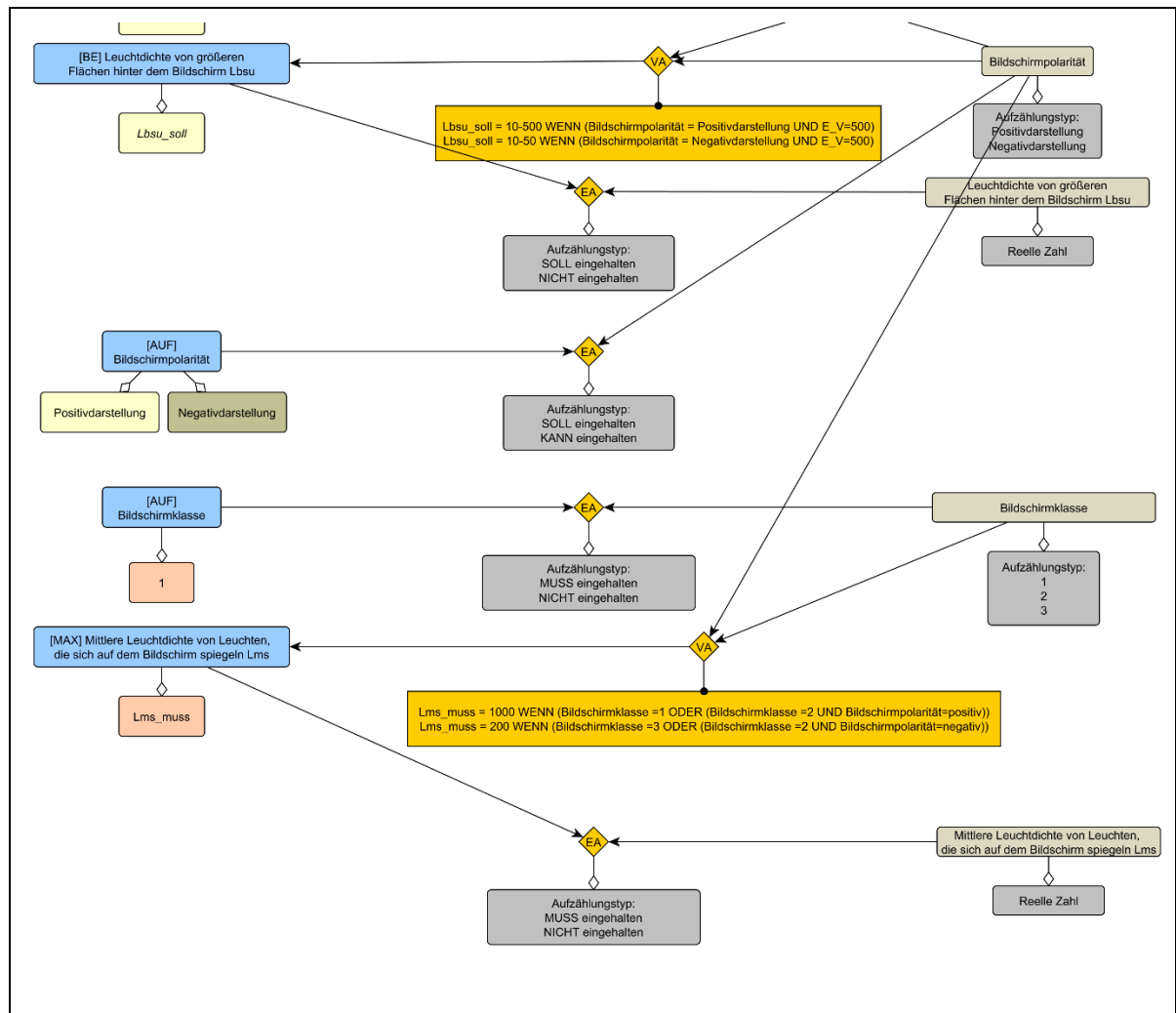


Abbildung 56: Um die Bildschirmklasse und die Leuchtdichte  $L_{MS}$  erweitertes Modell zur Bildschirmpolarität

Die Erfahrung zeigt, dass eine negative Bildschirmpolarität anfälliger hinsichtlich Reflexionen ist. Höhere Beleuchtungsstärken und somit auch Tageslicht werden durch eine negative Bildschirmpolarität in der Regel ausgeschlossen. Dieser Erfahrungswert soll ebenfalls in das Modell über einen KP-Zusammenhang integriert werden.

Zu diesem Zweck wird zunächst eine Anforderung nach Tageslicht erstellt. Tageslicht weist Güteigenschaften (z. B. die Dynamik, die Farbe, die Richtung, die Menge des Lichts) auf, die in ihrer Gesamtheit von künstlicher Beleuchtung nicht zu erreichen sind. Im Allgemeinen hat Tageslicht eine positive Wirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen und gilt daher als verpflichtende Vorgabe für neu einzurichtende Arbeitsplätze (vgl. ASR A3.4, 2011). In diesem Modell wird das Tageslicht über eine binäre Muss-Anforderung abgebildet: Entweder es ist Tageslicht im Raum vorhanden oder nicht. Über einen EA-Zusammenhang wird die Anforderung mit dem entsprechenden Systemparameter *Tageslicht* verbunden, der ebenfalls über einen booleschen Datentyp repräsentiert wird.

Der KP-Zusammenhang zwischen dem Systemparameter *Bildschirmpolarität* und *Tageslicht* überprüft nun, inwieweit folgender Konditionalsatz erfüllt ist:

*WAHR WENN (Bildschirmpolarität=Negativdarstellung  
UND Tageslicht=true)*

Entsprechend wird dem Modellnutzer genau dann ein Konflikt angezeigt, wenn Tageslicht und eine negative Bildschirmpolarität gemeinsam zum Einsatz kommen. Abbildung 57 stellt den Konflikt dar. Zur besseren Übersicht wurden die nicht vom KP-Zusammenhang betroffenen Systemparameter und Anforderungen in der Abbildung ausgespart.

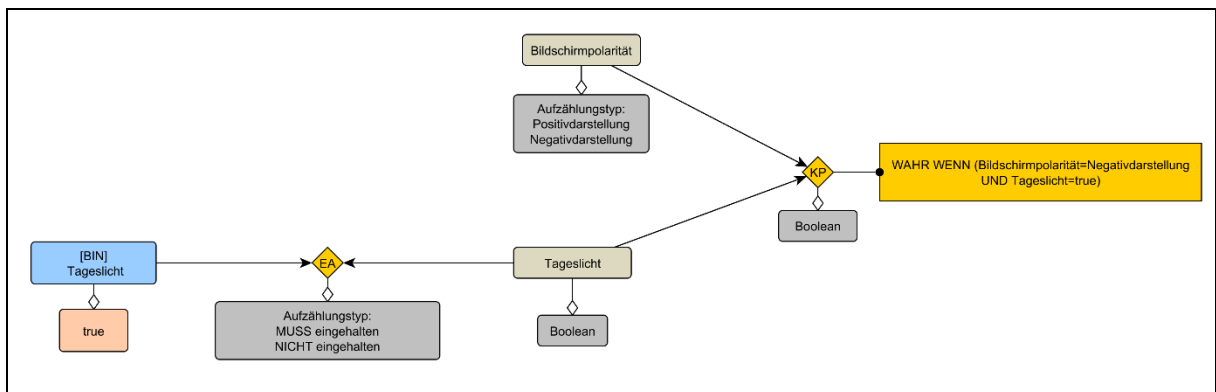


Abbildung 57: Modellierung des Konfliktes zwischen Tageslicht und negativer Bildschirmpolarität

Darüber hinaus enthält DIN EN ISO 9241-303 (2009) Empfehlungen zur Farbverwendung in Abhängigkeit zur Bildschirmpolarität.

Für Texte, die in negativer Bildschirmpolarität dargestellt werden, gilt:

- Blau ( $v' < 0,2$ ) auf einem dunklen Hintergrund darf nicht verwendet werden;
- Rot ( $u' > 0,4$ ) auf einem dunklen Hintergrund sollte vermieden und darf nicht auf einem spektral extremen blauen ( $v' < 0,2$ ) Hintergrund verwendet werden.

Für Texte, die in positiver Bildschirmpolarität dargestellt werden, gilt:

- spektral extremes Blau ( $v' < 0,2$ ) darf nicht auf einem spektral extremen roten ( $u' > 0,4$ ) Hintergrund verwendet werden.
- spektral extremes Rot ( $u' > 0,4$ ) darf nicht auf einem spektral extremen blauen ( $v' < 0,2$ ) Hintergrund verwendet werden.

---

Farben werden in der Ergonomie häufig mit Hilfe des CIELUV Farbraums beschrieben. Dabei handelt es sich um einen gleichabständigen, dreidimensionalen Farbraum, der näherungsweise das menschliche Farbempfinden widerspiegelt (vgl. DIN EN ISO 9241-302, 2009). Die  $u'$ -Achse liegt dabei in Richtung Rot-Grün, die  $v'$ -Achse in Blau-Gelb-Richtung. Aus beiden Achsen ergeben sich Farbton und Farbsättigung. Die dritte L-Achse beschreibt die Helligkeit einer Farbe.

In der praktischen Systemgestaltung würde man die Farben natürlich nicht mit Hilfe des CIELUV-Farbraums spezifizieren. Üblicherweise erfolgt die Spezifikation von Farbe auf elektronischen Bildschirmgeräten mit Hilfe von additiven Farbräumen, wie z.B. dem RGB Farbraum (vgl. hierzu auch Abschnitt 4.4.3). Über Formeln können die Farben vom RGB Farbraum allerdings in den CIELUV Farbraum transformiert werden.

Auch dies lässt sich in MoREZ abbilden (vgl. Abbildung 58). Hierzu werden zunächst die benötigten Systemparameter zur Beschreibung der Vordergrundfarbe und der Hintergrundfarbe eingeführt. Jede Farbe setzt sich aus genau einem Farbachsenwert  $u'$ , einem Farbachsenwert  $v'$  sowie einem Helligkeitswert  $L$  zusammen. Jeder der Werte kann über eine reelle Zahl repräsentiert werden. Dementsprechend werden folgende Systemparameter für die Beschreibung einer Vorder- und Hintergrundfarbe benötigt:

- Helligkeit  $L$  Vordergrund
- Farbachse  $u'$  Vordergrund
- Farbachse  $v'$  Vordergrund
- Helligkeit  $L$  Hintergrund
- Farbachse  $u'$  Hintergrund
- Farbachse  $v'$  Hintergrund

Nun können die weiter oben diskutierten Anforderungen modelliert werden. Der zu modellierende Zusammenhang soll folgendes abbilden: Wenn eine positive Bildschirm polarität vorliegt, ist die Verwendung einer Vordergrundfarbe mit  $v' < 0,2$  auf einer Hintergrundfarbe mit  $u' > 0,4$  unzulässig. Dies gilt auch für den inversen Fall, d.h. Hintergrundfarbe  $v' < 0,2$  und Vordergrundfarbe  $u' > 0,4$ . Diese Bedingung kann über einen KP-Zusammenhang abgebildet werden. Hierzu werden die Werte der Farbachsen  $u'$  und  $v'$  sowohl für die Vordergrund- als auch für die Hintergrundfarbe an den Zusammenhang übergeben. Eine weitere Eingangsgröße stellt die Bildschirm polarität dar. Über folgenden Konditionalsatz wird überprüft, ob ein Konflikt vorliegt:

*WAHR WENN (Bildschirm polarität = Positivdarstellung UND (Farbachse  $v'$  Vordergrund  $< 0,2$  UND Farbachse  $u'$  Hintergrund  $> 0,4$ ) ODER (Farbachse  $u'$  Vordergrund  $> 0,4$  UND Farbachse  $v'$  Hintergrund  $< 0,2$ )))*

Die Umsetzung der Farbanforderung für die Negativdarstellung kann analog erfolgen.

Wie bereits erwähnt, werden Farben in der Praxis häufig mit Hilfe des RGB-Farbraums spezifiziert. Auch dies soll im Folgenden berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wird sowohl für die Hintergrundfarbe als auch für die Vordergrundfarbe jeweils ein neuer Systemparameter eingeführt, der den RGB-Wert über eine reelle Zahl repräsentiert:

- Vordergrundfarbe RGB
- Hintergrundfarbe RGB



Die Umrechnung der RGB Farben in den CIELUV Farbraum kann über einen AP-Zusammenhang erfolgen. Die Umrechnung ist nicht trivial und setzt einiges Grundverständnis zur Farbtheorie voraus, sodass eine Erklärung zur Umrechnung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Der interessierte Leser sei auf Lindbloom (2014) verwiesen. Wichtige Gleichungen und Tools zur Umrechnung werden dort übersichtlich zusammengefasst und diskutiert. An dieser Stelle soll es genügen, die einzelnen Farbachsen  $u'$ ,  $v'$  und  $L$  als abhängige Funktion der RGB-Werte zu verstehen. Wie genau diese Funktion aussieht ist für das weitere Vorgehen nicht relevant.

Abbildung 58 stellt einen Ausschnitt des Modells zur Bildschirm polarität mit den erweiterten Modellkomponenten dar. Die Systemparameter *RGB Vordergrundfarbe* und *RGB Hintergrundfarbe* wurden zudem dem übergeordneten Arbeitssystemelement *Farbgestaltung* zugeordnet.

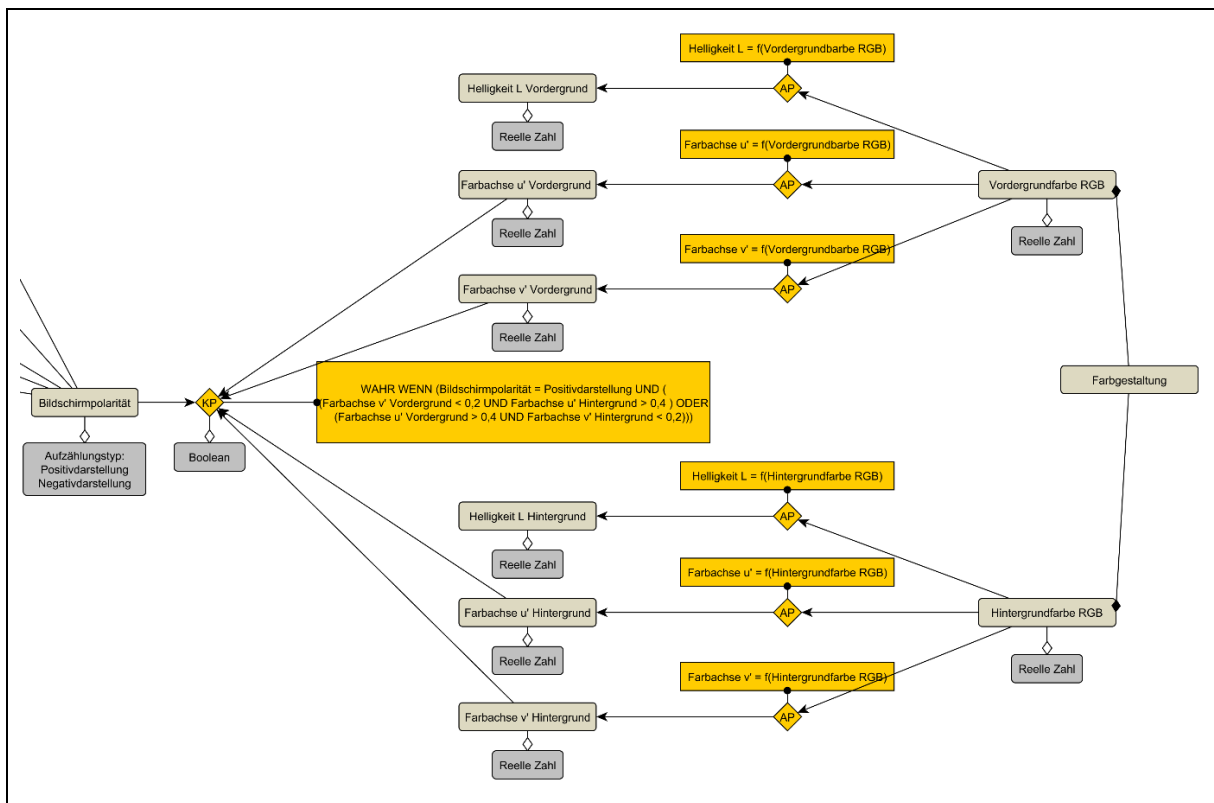


Abbildung 58: Um Farbaspekte erweitertes Modell zur Bildschirm polarität

Damit sind die wichtigsten Komponenten zur Bildschirm polarität beschrieben. Selbstverständlich könnte man das Modell beliebig um weitere Farb- oder Beleuchtungsaspekte erweitern, welche dann ebenfalls indirekt Einfluss auf die Bildschirm polarität haben. Abbildung 59 zeigt das Modell zur Bildschirm polarität nochmal in seiner Vollständigkeit.

Abschließend soll noch der folgende Hinweis aus DIN EN ISO 9241-303 (2009) berücksichtigt werden, dass viele Menschen mit geringem Sehvermögen eine negative Bildpolarität bevorzugen. Da es sich hierbei um keinen quantifizierbaren, sondern um einen rein inhaltlichen Zusammenhang handelt, kann dies über einen QP-Zusammenhang realisiert werden. Hierzu wird ein weiterer Systemparameter *Visus in %*, der über eine reelle Zahl repräsentiert wird, in das Modell eingefügt. Da keine zeitliche Abfolge beschrieben werden soll, zeigen beide Pfeile in Richtung QP-Zusammenhang. Auch dieser Zusammenhang ist in der Übersicht (vgl. Abbildung 59) dargestellt.

Der Systemparameter *Visus in %* war ebenfalls im vorherigen Modell zur Schriftzeihenöhe (vgl. Kapitel 5.1) vertreten, sodass man hierüber beide Modelle miteinander vernetzen könnte. Soll

---

beispielsweise die Schriftzeichenhöhe für ein System mit einer älteren Benutzergruppe gestaltet werden, so sind nun nicht mehr nur Schriftzeichenhöhe und Sehabstand geeignete Stellschrauben zur Optimierung, sondern auch die Bildschirm polarität (mit allen ihren sonstigen Abhängigkeiten).

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass sich auch relativ komplexe Sachverhalte mit Hilfe von MoREZ abbilden lassen. Für den Praktiker lassen sich aus dem in Abbildung 59 dargestellten Modell einige wichtige Implikationen ableiten, wenn er sich mit der Bildschirm polarität auseinandersetzt:

- Entscheidet sich ein Gestalter z.B. auf Grund von Zielvorgaben für eine positive Bildschirm polarität, so geht dies Hand in Hand mit der Auslegung der Leuchtdichten am Arbeitsplatz. Grundsätzlich gilt: Je heller die Arbeitsumgebung, desto sinnvoller ist eine positive Bildschirm polarität. Entsprechend werden für eine positive Bildschirm polarität höhere Leuchtdichten am Arbeitsplatz gefordert.
- Der Gestalter bzw. Modellnutzer erhält den Hinweis, dass auf Grund der positiven Bildschirm polarität auch höhere Anforderungen an die Leuchtdichte  $L_{BS}$  des Anzeigemediums gestellt werden. Gleichzeitig müssen auch die Flächen hinter dem Bildschirm gewisse Leuchtdichten erreichen, um einen homogenen Leuchtdichtekontrast im Gesichtsfeld des Operators zu erreichen. Dies vermeidet eine ständige Adaption des Auges an unterschiedliche Leuchtdichten.
- Ebenfalls würde der Modellnutzer darauf hingewiesen, dass die Anforderungen an die Leuchtdichten nicht ausschließlich von der Bildschirm polarität abhängen, sondern auch von der Beleuchtungsstärke im Raum.
- Um sinnvolle Anforderungen an Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken festlegen zu können, erfordert das Modell allerdings zunächst eine Entscheidung bezüglich der im Raum auszuführenden Tätigkeit. Für die meisten Tätigkeiten, darunter auch Büro- und Kontrolltätigkeiten werden üblicherweise 500 lx gefordert.
- Für den Fall einer Beleuchtungsstärke von 500 lx existieren exakte Empfehlungswerte bezüglich der Leuchtdichten im Raum. Über den VA-Zusammenhang würde somit für die Hintergrundleuchtdichte  $L_{BS}$  des Monitors ein Wert von 100  $\text{cd}/\text{m}^2$  und für große Flächen hinter dem Monitor eine Leuchtdichte  $L_{BSU}$  im Bereich 10 bis 500  $\text{cd}/\text{m}^2$  gefordert.
- Für eine andere Beleuchtungsstärke im Raum als 500lx würde das Modell, entsprechend dem aktuellen Stand der Technik, keine klaren Vorgaben liefern. Es läge dann im Ermessen des Modellnutzers, inwiefern er dennoch auf die Empfehlungswerte für 500 lx zurückgreifen möchte oder sich Expertenrat zur individuellen Bewertung der Situation hinzuzieht. Das Ergebnis einer ergonomischen Beratung könnte dann wieder in das Modell integriert werden.
- Eine weitere Rückmeldung an den Gestalter wäre, dass sich durch die Wahl der Positivdarstellung auch eine Anforderung an die maximale Leuchtdichte von Leuchten ergibt, die sich im Bildschirm spiegeln. Welchen Grenzwert die Anforderung genau besitzt, hängt wiederum von der gewählten Bildschirmklasse des Bildschirms ab, der in der Zielumgebung genutzt werden soll. Wird die höchste Entspiegelungsklasse gewählt, kann die Leuchtdichte der Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln, höher sein. Für die in der Norm geforderte Bildschirmklasse 1 und der Positivdarstellung ergäbe sich eine Wertobergrenze für  $L_{MS}$  von 1000  $\text{cd}/\text{m}^2$ .
- Ebenfalls würde dem Modellnutzer verdeutlicht, dass die Wahl der Bildschirm polarität auch Einfluss auf die Farbnutzung hat. Bestimmte Farbkombinationen schließen einander (in

---

Abhängigkeit der Bildschirm polarität) aus. Über einen Konflikt würde der Modellnutzer auf eine Verletzung der Empfehlungen hingewiesen.

- Über den qualitativen Zusammenhang QP erfährt der Modellnutzer zudem, dass Nutzer mit eingeschränktem Visus oftmals eine negative Bildschirm polarität bevorzugen. Soll das System explizit solche Nutzer berücksichtigen, so wird über eine Vernetzung mit dem Modell aus Abschnitt 5.1 deutlich, dass eine gute Lesbarkeit auch über die Schriftzeichenhöhe beeinflusst werden kann.

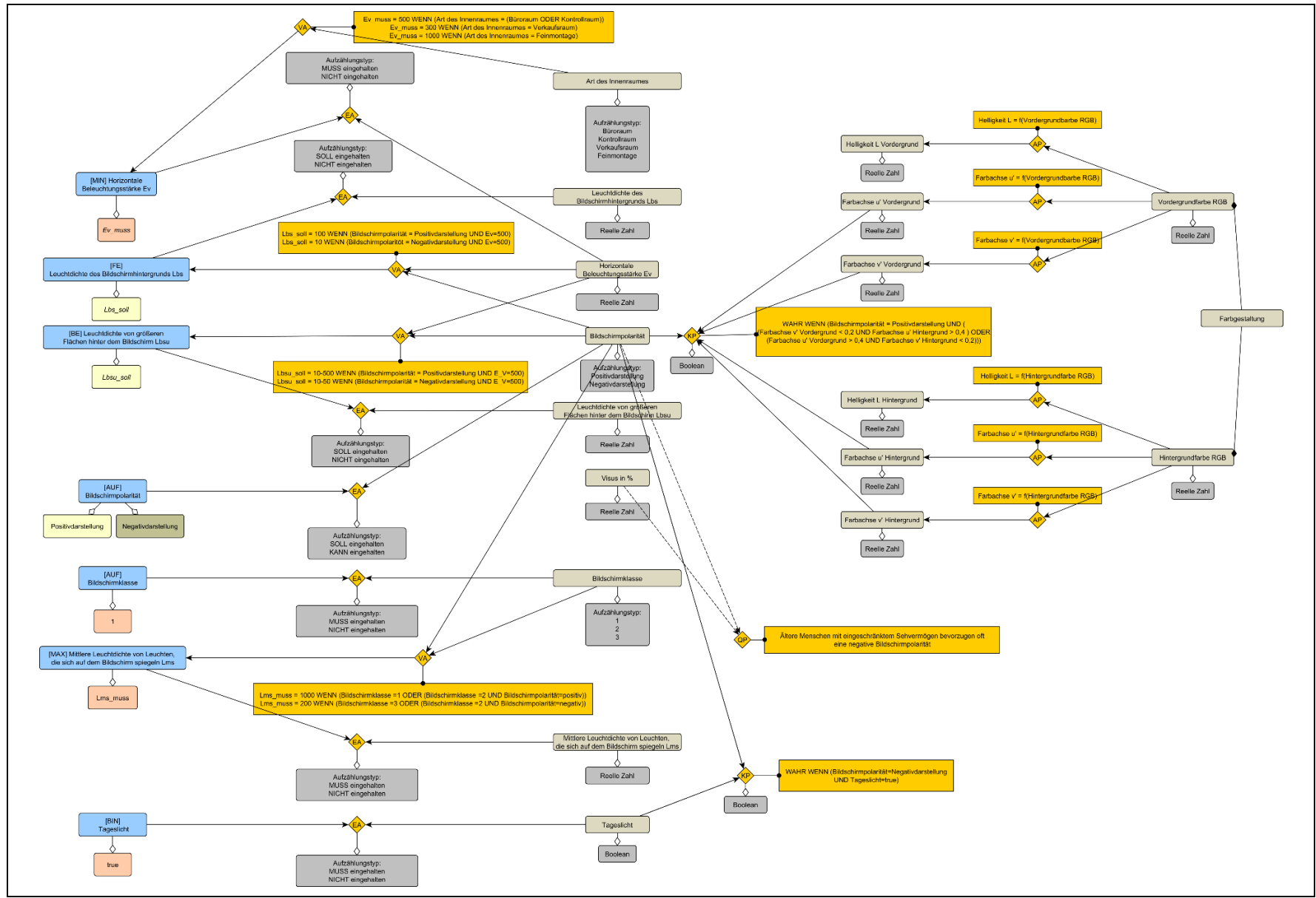


Abbildung 59: Modell zur Auslegung der Bildschirm polarität

---

## 6. Entwickeln einer computergestützten Anwendungsumgebung

---

Dieses Kapitel beschreibt exemplarisch, wie sich MoREZ in eine computergestützte Anwendungsumgebung überführen lässt. In Zusammenarbeit mit der Deutschen Flugsicherung entstand der *Design Process Guide* (DPG), eine Software, die Systementwickler in der DFS bei der Berücksichtigung ergonomischer Fragestellungen unterstützen soll. Kapitel 6.1 stellt die Ausgangssituation und die in der DFS identifizierten Handlungsfelder dar, die durch den DPG adressiert werden sollen. Anschließend beschreibt Kapitel 6.2 die Funktionen der Software. Kapitel 6.3 schildert knapp die organisatorische und technische Implementierung, bevor Kapitel 6.4 den Bezug zu MoREZ herstellt und darlegt, welche Aspekte aus MoREZ bereits im DPG abgebildet sind und welche nicht.

### 6.1. Ausgangssituation und Handlungsfelder

Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) hat die sichere, geordnete und flüssige Abwicklung des Luftverkehrs zum Ziel (vgl. §27c, Abs. 1, LuftVG, 2013). Auch wenn die Flugzahlen kurzfristig einen Rückgang verzeichneten, wird langfristig mit weiterem Wachstum gerechnet (vgl. Eurocontrol, 2013). Dies setzt die Deutsche Flugsicherung auch weiterhin unter Druck, bestehende Kapazitäten zu erhöhen, ohne dabei die hohen Sicherheitsstandards zu gefährden.

Für die Bewältigung dieser Aufgabe kommt der ergonomischen Gestaltung von Flugsicherungssystemen eine hohe Bedeutung zu. Durch die Bereitstellung neuartiger Assistenz- und Automationskonzepte erhofft sich das Unternehmen eine effizientere und effektivere Abwicklung des anfallenden Verkehrs. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass sich die Vorteile nicht zwangsläufig ergeben. Vielmehr muss das System ergonomisch sinnvoll gestaltet sein. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Arbeitslast steigt, obwohl Gegenteiliges beabsichtigt war (vgl. Bainbridge, 1983; Sarter, Woods, & Billings, 1997; Hollnagel & Woods, 2005).

Um die DFS bei der Behandlung ergonomischer Fragestellungen zu unterstützen, wurde der *Design Process Guides* (DPG) entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Softwaretool, das fachfremden Gestaltern helfen soll, relevante ergonomische Aspekte frühzeitig zu identifizieren und angemessen zu berücksichtigen. Insbesondere soll das Tool Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen ergonomischen Aspekten verdeutlichen. Viele Anforderungen, die sich aus MoREZ ergeben, konnten bereits bei der Entwicklung des DPGs berücksichtigt werden. Um die Komplexität der Software für den ersten Umsetzungsschritt überschaubar zu halten, wurden allerdings bewusst einige Vereinfachungen getroffen. Eine Gegenüberstellung der Funktionen des DPGs mit den Anforderungen aus MoREZ lässt sich aus Kapitel 6.4 entnehmen.

Basierend auf sechs Workshops mit DFS-Entwicklern leiteten Perott et al. (2011) verschiedene Handlungsfelder zum Umgang mit Ergonomie-Wissen ab, bei denen der DPG unterstützen soll: *Wissensrecherche*, *Wissensanwendung* und *Wissenstransfer*. Diese drei Handlungsfelder werden im Folgenden näher erläutert.

#### 6.1.1. Wissensrecherche

Bevor Ergonomiewissen Anwendung finden kann, müssen die relevanten Quellen zunächst identifiziert werden. Häufig ist den Systementwicklern aber gar nicht bewusst, dass ihre derzeitige Aufgabe einen Ergonomiebezug hat. Dieses Bewusstsein ist aber zwingend erforderlich, da ansonsten auch eine systematische Behandlung ergonomischer Fragestellungen unterbleibt.

---

Eine weitere Herausforderung betrifft die Suche nach zuverlässigen Quellen. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, existieren zahlreiche verschiedene Normen, Richtlinien und Regelwerke. Für einen fachfremden Dritten erscheint eine Bewertung, welche Quellen von Relevanz sind und welche unter Umständen vernachlässigt werden können, schwierig. Zusätzliche Unsicherheiten ergeben sich, sobald sich Quellen widersprechen und daher gegeneinander abgewogen werden müssen. Darüber hinaus erlauben Termindruck und Projektfristen häufig kein ausgiebiges Studium der Quellen. Viele der Quellen sind zudem nicht frei zugänglich und können nur schwer gefunden werden.

Entsprechend soll der DPG

- bei der Identifikation ergonomierelevanter Systemelemente unterstützen und
- direkten Zugriff auf das relevante Wissen bieten.

### **6.1.2. Wissensanwendung**

Nachdem die relevanten Quellen identifiziert wurden, muss der Entwickler das recherchierte Wissen auf den spezifischen Gestaltungskontext anwenden. Dabei gilt es zahlreiche Besonderheiten der Flugsicherung zu berücksichtigen. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, inwiefern das Wissen überhaupt auf den Flugsicherungskontext übertragen werden kann. Beispielsweise handelt es sich bei den Fluglotsen um ein ausgewähltes Kollektiv, welches besondere Fähigkeiten (z.B. räumliches Denkvermögen) und Voraussetzungen (z.B. hinsichtlich Sehschärfe) vorweisen muss. Diesen Besonderheiten werden die Anforderungen in Normen und Richtlinien kaum gerecht.

Zudem werden Anforderungen oftmals isoliert voneinander betrachtet. Dies führt dazu, dass auch die Entwickler ihr Problem lokal und getrennt von anderen Gestaltungsbereichen bearbeiten. Eine solche Herangehensweise mag die singuläre Problematik angemessen lösen, für das Gesamtsystem führt dies jedoch oftmals zu suboptimalen Ergebnissen. Sollen beispielsweise Reflexionen auf den Bildschirmen reduziert werden, stellt eine Erhöhung der Leuchtdichte des Bildschirms durchaus eine angemessene Maßnahme dar. Um ein ausgewogenes Leuchtdichteverhältnis zu gewährleisten, müssten dann allerdings auch die Leuchtdichten der übrigen Bildschirme angepasst werden. Dies kann wiederum in Konflikt mit der Empfehlung stehen, dass die Leuchtdichte von Bildschirmen  $100 \text{ cd/m}^2$  betragen sollte (vgl. DIN EN ISO 9241-303, 2009). Vielversprechender wäre eine integrierte Problemlösung, die verschiedene Systemelemente umfasst. Beispielsweise könnte die Leuchtdichte des Monitors erhöht und gleichzeitig die Beleuchtungsstärke im Raum etwas gesenkt werden. Zusätzlich könnte auch die Position des Bildschirms (z.B. durch Neigung des Bildschirms) oder des kompletten Arbeitsplatzes im Raum variiert werden, sodass sich kritische Leuchten nicht mehr spiegeln. Andererseits könnte auch die Position der Leuchten selbst angepasst werden, indem z.B. das arbeitsplatzbezogene Beleuchtungskonzept dem raumbezogenen Beleuchtungskonzept vorgezogen wird. An diesem Beispiel wird deutlich, dass eine Optimierung einzelner Systemelemente oftmals zu kurz greift.

Entsprechend soll der DPG

- das relevante Wissen vor dem Hintergrund der Flugsicherung aufbereitet zur Verfügung stellen, sodass die Entwickler die Anwendbarkeit nicht erneut überprüfen müssen sowie
- Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Systemelementen aufzeigen, sodass Probleme integriert statt isoliert voneinander gelöst werden können.

### 6.1.3. Wissenstransfer

Die Entwicklung eines neuen Flugsicherungssystems ist ein komplexes Unterfangen, welches einen Zeithorizont von bis zu einer Dekade beanspruchen kann. In dieser Zeit entsteht eine große Menge an flugsicherungsspezifischem Wissen. Werden das gewonnene Wissen und die angesammelten Erfahrungen nicht dokumentiert, gehen sie langfristig verloren. Zudem erschwert der lange Entwicklungszeitraum die spätere Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt unter bestimmten Bedingungen getroffen wurden. Wird bewusst von ergonomischen Anforderungen abgewichen, so sollten die Gründe für interessierte Mitarbeiter jederzeit ersichtlich sein.

Derzeit gibt es in der DFS keinen übergeordneten Prozess, der den Wissenstransfer sicherstellt. Vielmehr hängt es maßgeblich vom sozialen Netzwerk des Entwicklers ab, ob überhaupt und welche Informationen weitergegeben werden.

Entsprechend soll der DPG

- neue Erkenntnisse mit Ergonomiebezug dokumentieren,
- bereits vorhandene Erkenntnisse vor dem Hintergrund flugsicherungsspezifischer Erfahrungen kontinuierlich überprüfen und
- den Wissenstransfer unabhängig vom persönlichen sozialen Netzwerk der Entwickler fördern.

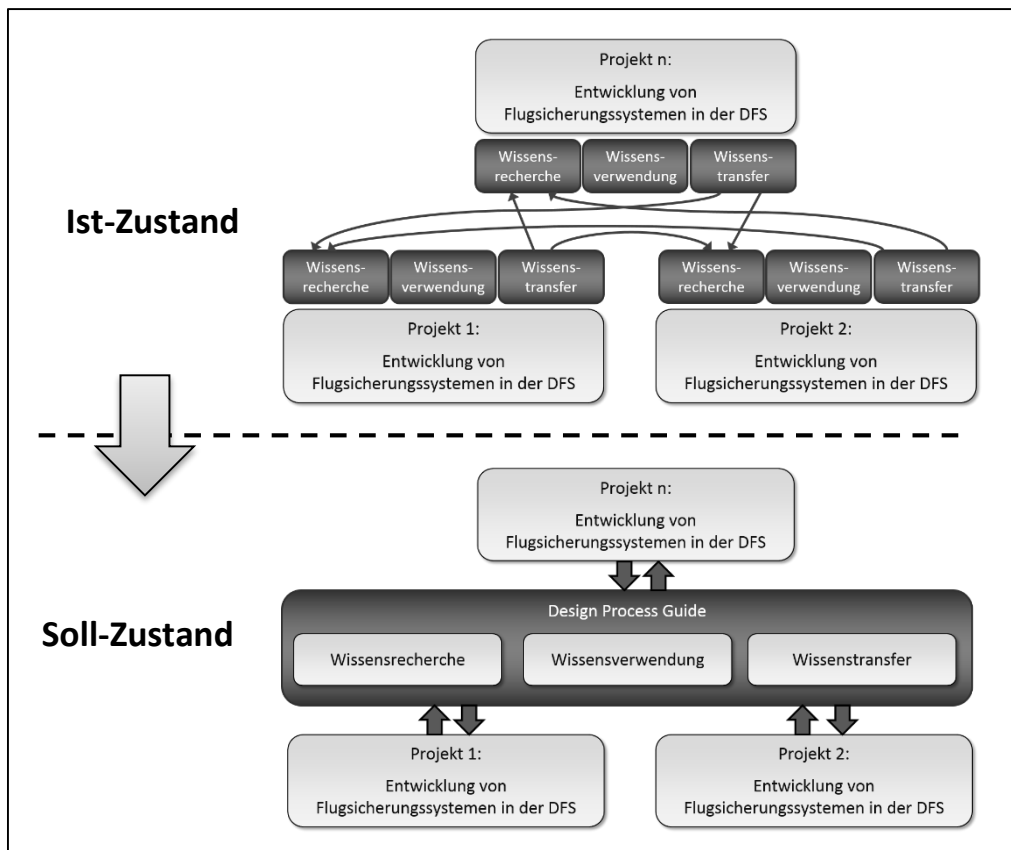


Abbildung 60: Die drei durch den Design Process Guide adressierten Handlungsfelder

Abbildung 60 stellt die Idee des Design Process Guides grafisch dar. In der Flugsicherung gibt es zahlreiche Projekte, die sich im Kern aber alle mit der gleichen Aufgabe beschäftigen: Der

Entwicklung von Flugsicherungssystemen. Bisher ist der Umgang mit ergonomischem Wissen weitgehend unorganisiert und somit Aufgabe der einzelnen Projekte. Ob und in welchem Umfang Wissen verteilt wird, hängt maßgeblich vom persönlichen privaten Netzwerk ab (obere Darstellung in Abbildung 60). Der Design Process Guide soll die drei Handlungsfelder *Wissensrecherche*, *Wissensverwendung* und *Wissenstransfer* zusammenführen und somit zukünftig als zentrale Anlaufstelle für ergonomisches Wissen im Unternehmen dienen (untere Darstellung in Abbildung 60).

## 6.2. Funktionsbeschreibung

Dieses Kapitel soll nun die konkrete Umsetzung des Design Process Guides vorstellen, die den Entwickler bei den in Abschnitt 6.1 dargestellten Handlungsfeldern unterstützen soll. Hierzu erfüllt der DPG folgende drei Funktionen:

- Zergliederung des Arbeitssystems in Systemelemente
- Darstellen der Wissensbasis für jedes Systemelement
- Abbilden der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Systemelementen

Diese drei Funktionen des DPGs sollen im Folgenden nun näher vorgestellt werden.

### 6.2.1. Zergliedern des Arbeitssystems in Systemelemente

Entwickler der DFS denken üblicherweise in Systemelementen (vgl. Perott et al., 2012a, S. 244). In der Regel stehen einzelne Systemelemente im Vordergrund, die es zu gestalten gilt. Unklar erscheint allerdings, welche ergonomischen Aspekte genau bei der Gestaltung eines Systemelements beachtet werden müssen. Um den Zugriff auf die Wissensbasis zu erleichtern, wurde im Vorfeld eine Klassifikation erstellt, die Systemelemente auf verschiedenen Hierarchiestufen darstellt. Berücksichtigt wurden zum einen existierende Ansätze (vgl. Kapitel 2.3.2), aber auch Besonderheiten der Flugsicherung. Tabelle 17 stellt die zu Grunde gelegte Klassifikation dar. Abbildung 61 zeigt, wie diese Klassifikation in der Software dargestellt wird.

Demnach lassen sich im DPG drei übergeordnete Gestaltungsbereiche unterscheiden:

- A) Arbeitsplatz
- B) Arbeitsraum
- C) Mensch-Maschine-Schnittstelle

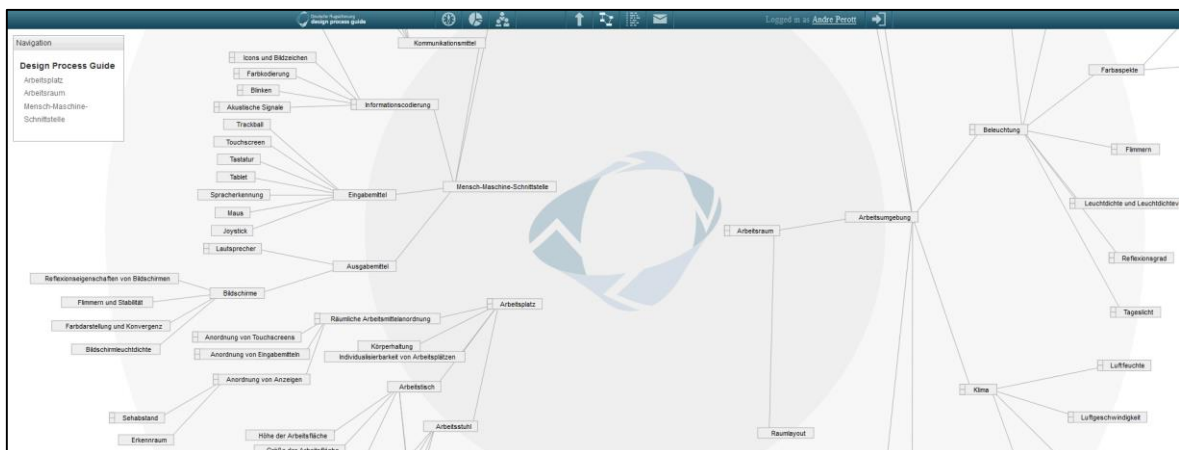


Abbildung 61: Visualisierung der Klassifikation im DPG



Tabelle 17: Klassifikationssystem des DPGs

## **A Arbeitsplatz**

### A.1 Räumliche Arbeitsmittelanordnung

#### A.1.1 Anordnung von Anzeigen

##### A.1.1.1 Erkennenraum

##### A.1.1.2 Abstand

#### A.1.2 Anordnung von Eingabemitteln

#### A.1.3 Anordnung von Touchscreens

### A.2 Arbeitstisch

#### A.2.1 Höhe der Arbeitsfläche

#### A.2.2 Bein- und Fußraum

#### A.2.3 Größe der Arbeitsfläche

#### A.2.4 Abstützung für Hände, Handgelenke, Unterarme

#### A.2.5 Belastbarkeit und Sicherheitsanforderungen der Arbeitsfläche

### A.3 Arbeitsstuhl

#### A.3.1 Untergestell

#### A.3.2 Sitzfläche

#### A.3.3 Armlehne

#### A.3.4 Rückenlehne

### A.4 Arbeitsplatztyp

### A.5 Körperhaltung

### A.6 Individualisierbarkeit von Arbeitsplätzen

## **B Arbeitsraum**

### B.1 Raumlayment

#### B.1.1 Raumfläche

#### B.1.2 Raumhöhe

#### B.1.3 Ein- und Ausgänge

#### B.1.4 Wege und Fluchtwege

B.1.5 Besucherkanzel

B.1.6 Arbeitsplatzanordnung/-layout

B.2 Arbeitsumgebung

B.2.1 Beleuchtung

B.2.1.1 Beleuchtungsstärke

B.2.1.2 Leuchtdichte bzw. Leuchtdichteverhältnis

B.2.1.3 Tageslicht

B.2.1.4 Blendung

B.2.1.4.1 Direktblendung

B.2.1.4.2 Reflexblendung

B.2.1.5 Reflexionsgrad

B.2.1.6 Farbaspekte

B.2.1.6.1 Farbwiedergabe

B.2.1.6.2 Lichtfarbe

B.2.1.7 Flimmern

B.2.2 Klima

B.2.2.1 Temperatur

B.2.2.2 Luftfeuchte

B.2.2.3 Luftgeschwindigkeit

B.2.2.4 Wärmestrahlung

B.2.3 Akustik und Lärm

B.2.4 Vibrationen

B.2.5 Strahlung

B.2.6 Ästhetik

## **C Mensch-Maschine-Schnittstelle**

C.1 Ausgabemittel

C.1.1 Optisch

C.1.1.1 Bildschirme

C.1.1.2 Projektoren

---

## C.1.2 Akustisch

### C.1.2.1 Lautsprecher

### C.1.2.2 Kopfhörer

## C.2 Informationscodierung

### C.2.1 Farbkodierung

### C.2.2 Blinken

### C.2.3 Akustische Signale

### C.2.4 Icons und Bildzeichen

### C.2.5 Schrift

#### C.2.5.1 Zeichenhöhe

#### C.2.5.2 Schriftstil

#### C.2.5.3 Zeichenformat

#### C.2.5.4 Wortabstand

#### C.2.5.5 Zeilenabstand

### C.2.6 Gestalt

#### C.2.6.1 Position/Ort und Orientierung

#### C.2.6.2 Linien & Schraffuren

#### C.2.6.3 Form

### C.2.7 Animation

## C.3 Interaktion

### C.3.1 Menü

#### C.3.1.1 Menü-Struktur

#### C.3.1.2 Menü-Navigation

#### C.3.1.3 Menü-Darstellung

### C.3.2 Dialoge der Formularbearbeitung

### C.3.3 Manipulation von Objekten

#### C.3.3.1 Zeigen und Auswählen

#### C.3.3.2 Ziehen

#### C.3.3.3 Skalierung von Objekten

---

C.3.3.4 Drehen von Objekten

C.3.3.5 Scrollen

C.4 Eingabemittel

C.4.1 Tastatur

C.4.2 Maus

C.4.3 Trackball

C.4.4 Touchscreen

C.4.5 Spracherkennung

C.4.6 Joystick

C.5 Kommunikationsmittel

C.5.1 Telefon

C.5.2 Headset

C.5.3 Mikrofon

Der Nutzer kann über eine Suchfunktion die Klassifikation nach bestimmten Zeichenketten durchsuchen, um auf diese Weise schneller zu dem relevanten Systemelement zu gelangen. Darüber hinaus können für jede Klasse Synonyme vergeben werden (z.B. Schriftgröße als Synonym für Zeichenhöhe), welche von der Suchfunktion berücksichtigt werden. Homonyme spielen in der Ergonomie keine große Rolle und werden vom DPG daher auch nicht behandelt.

### **6.2.2. Darstellen der Wissensbasis für jedes Systemelement**

Wählt der Nutzer (entweder über die Klassifikation oder über die Suchfunktion) ein Systemelement aus, erhält er nähere Informationen zur ergonomischen Gestaltung. Art und Umfang des Inhalts variieren dabei je nach Hierarchiestufe des Systemelements. Während übergeordnete Systemelemente eher allgemeingültige Informationen enthalten, sind untergeordnete Systemelemente sehr detailliert durch Anforderungen und Gestaltungshinweise beschrieben.

Der grundsätzliche Aufbau der Wissensbasis ist aber für jedes Systemelement identisch. Abbildung 62 zeigt die allgemeine Struktur. Demnach setzt sich die Wissensbasis für jedes Systemelement aus folgenden Komponenten zusammen:

- Artikel (normalsprachlicher Fließtext)
- Anforderungen
- Relevante Quellen zur ergonomischen Gestaltung

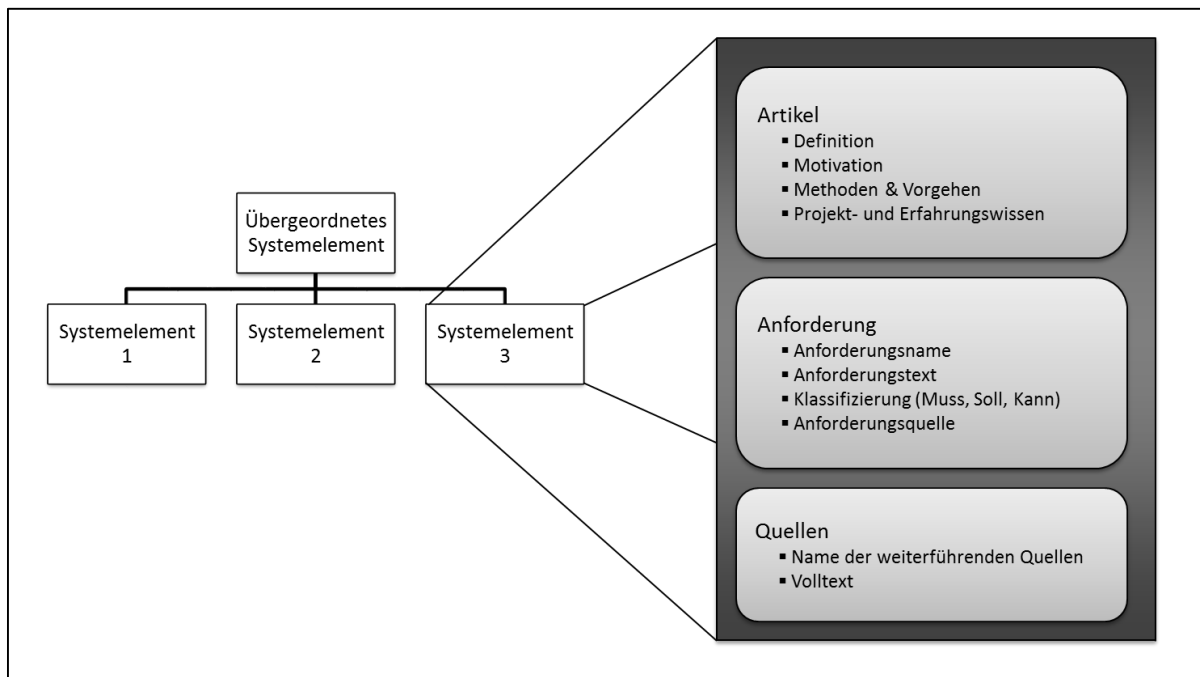


Abbildung 62: Wissensbasis für jedes Systemelement im DPG

Der Artikel enthält Hintergrundinformationen zu dem jeweiligen Systemelement und ist in vier Abschnitte eingeteilt, die jeweils folgende Fragestellungen adressieren:

- **Definition:**
  - Wie wird das Systemelement in der Literatur definiert?
  - Welche ergonomischen Aspekte umfasst das Systemelement?
- **Motivation:**
  - Welche Vorteile hat eine ergonomische Gestaltung des Systemelements?
  - Welche Gefahren birgt eine Vernachlässigung ergonomischer Kriterien?
- **Methoden & Vorgehen:**
  - Wie kann eine ergonomische Gestaltung erreicht werden?
  - Welche Methoden können dabei unterstützen?
- **Projekt- und Erfahrungswissen:**
  - Welche Erfahrungen wurden in der DFS bereits gesammelt?
  - Welche flugsicherungsspezifischen Studien und Untersuchungen existieren bereits?

Abbildung 63 zeigt einen Beispielartikel zur Hierarchiestufe *C2.1 Farbkodierung*.

Neben dem normalsprachlichen Artikel enthält der DPG zu jedem Systemelement formale Anforderungen, welche an die entsprechenden Regelwerke aus Kapitel 2.1 angelehnt sind, dabei aber den Besonderheiten der Flugsicherung Rechnung tragen. Die Anforderungen bestehen jeweils aus einem Anforderungsname, einem Anforderungstext sowie aus einer Klassifizierung (d.h. ob es sich um eine Muss-, Soll- oder Kann-Anforderung handelt, vgl. hierzu Kapitel 4.2). Darüber hinaus können Anforderungen auf spezifische Quellen referenzieren.

Abbildung 64 zeigt, wie Anforderungen im DPG (hier am ebenfalls am Beispiel der Farbkodierung) dargestellt werden. Für jede Anforderung kann der Nutzer den Erfüllungsgrad dokumentieren. Hierzu bietet der DPG diskrete Entscheidungsmerkmale an, aus denen der Nutzer auswählen kann. Zusätzlich kann vom Anwender auch ein Freitext hinterlegt werden, um den aktuellen Stand zu

beschreiben oder um die Entscheidung zu begründen. Auf diese Weise lässt sich jederzeit nachvollziehen, welche Anforderungen in welchem Umfang eingehalten sind.

Deutsche Luftfahrt  
design process guide
Logged in as **Andre Perott**

Farbkodierung

**Navigation**

Design Process Guide  
Mensch-Maschine-  
Schnittstelle  
Informationscodierung

**Farbkodierung**

— Verknüpfungen —

Beleuchtung ↻

Farbwiedergabe ↻

Grundlagen

Anforderungen

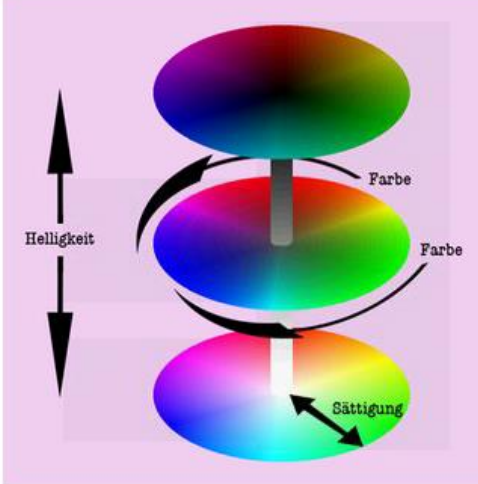
Quellen

Verknüpfungen

**Definition:**

In der Ergonomie ist Farbe eine Möglichkeit Informationen auf Anzeigen zu kennzeichnen. Die Kennzeichnung dient der direkten Assoziation oder Zuordnung zu einer bestimmten Gruppe.

Die Wirkung von Farbe ist durch drei voneinander unabhängige Faktoren definiert, die alle zur Farbkodierung herangezogen werden können: Farbton (Wellenlänge), Farbsättigung (Maß für die Buntheit) und Helligkeit (VDI 3850-1, 2000). Daraus lassen sich sogenannte Farbräume aufbauen, die sich aus den drei Dimensionen zusammensetzen. Abbildung 1 stellt dies schematisch dar. Dabei gibt es je nach Anwendungsfall zahlreiche unterschiedliche Farbräume.



Das Diagramm zeigt einen 3D-Farbraum als Kugel. Die vertikale Achse ist mit 'Helligkeit' beschriftet und hat Pfeile nach oben und unten. Die horizontale Achse ist mit 'Farbe' beschriftet und zeigt einen Farbkreis. Die diagonale Achse ist mit 'Sättigung' beschriftet und zeigt die Intensivierung der Farben an. Die Kugel ist in drei Ebenen unterteilt, die jeweils einen Farbkreis zeigen, um die Veränderung der Farbsättigung und -helligkeit zu veranschaulichen.

*Abbildung 1: Das Konzept des Farbraums (Graf, 2008)*

**Motivation:**

Eine Farbgestaltung nach den unten genannten Vorgaben kann folgende Faktoren positiv beeinflussen: - Angemessene Farbzustände, d.h. die Farbe passt zu der Farbfunktion (eine grüne Farbe für einen Alarm wäre beispielsweise unangemessen). - Gut wahrnehmbare Farbzustände, d.h. der Kontrast der Farbe zum Hintergrund ist ausreichend groß. - Gute Unterscheidbarkeit der Farbzustände, d.h. die Farben sind so gewählt, dass verschiedene Zustände anhand der Farben eindeutig unterschieden werden können.

**Methoden & Vorgehen:**

In Anlehnung an [Kirchner/Baum \(1988\)](#) und [Jørgard \(2009\)](#) wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen: 1. Definition der Farbfunktionen / Farbbedeutung (Farbkonzept) 2. Gestalten des Standardfarbensatz 3. Evaluation der gewählten Farben im Arbeitskontext

**1. Definition der Farbfunktionen / Farbbedeutung (Farbkonzept)**

Bevor überhaupt konkrete Farben ausgewählt werden können, muss zunächst entschieden werden, welche Botschaft überhaupt durch eine Einfärbung kommuniziert werden soll. Einige Farben sind in ihrer Bedeutung bereits vorfestgelegt und dürfen nicht

Abbildung 63: Beispielartikel zur Farbkodierung

Ist der Erfüllungsgrad einer Anforderung noch nicht ermittelbar, kann der Nutzer ein Lesezeichen (grüner Stern in Abbildung 64) setzen. Über eine Auflistung aller gesetzten Lesezeichen gelangt er zu einem späteren Zeitpunkt zu den noch offenen Anforderungen.

Die diskreten Entscheidungsmerkmale, die den Erfüllungsgrad einer Anforderung widerspiegeln, korrespondieren weitgehend mit den Parameterwerten in MoREZ. Wie die Parameter in MoREZ

beschreiben auch die diskreten Entscheidungsmerkmale im DPG die tatsächliche Umsetzung und können durchaus von den genannten Anforderungen abweichen. Allerdings erlaubt der DPG auf Grund technischer Limitationen keine Eingabe konkreter Zahlenwerte. Somit kann der Nutzer im Beispiel von Abbildung 64 lediglich die Verwendung von 7 -11 Farben hinterlegen, nicht aber von genau 8 Farben. Diese Einschränkung sollte in zukünftigen Versionen des DPGs aufgehoben werden.

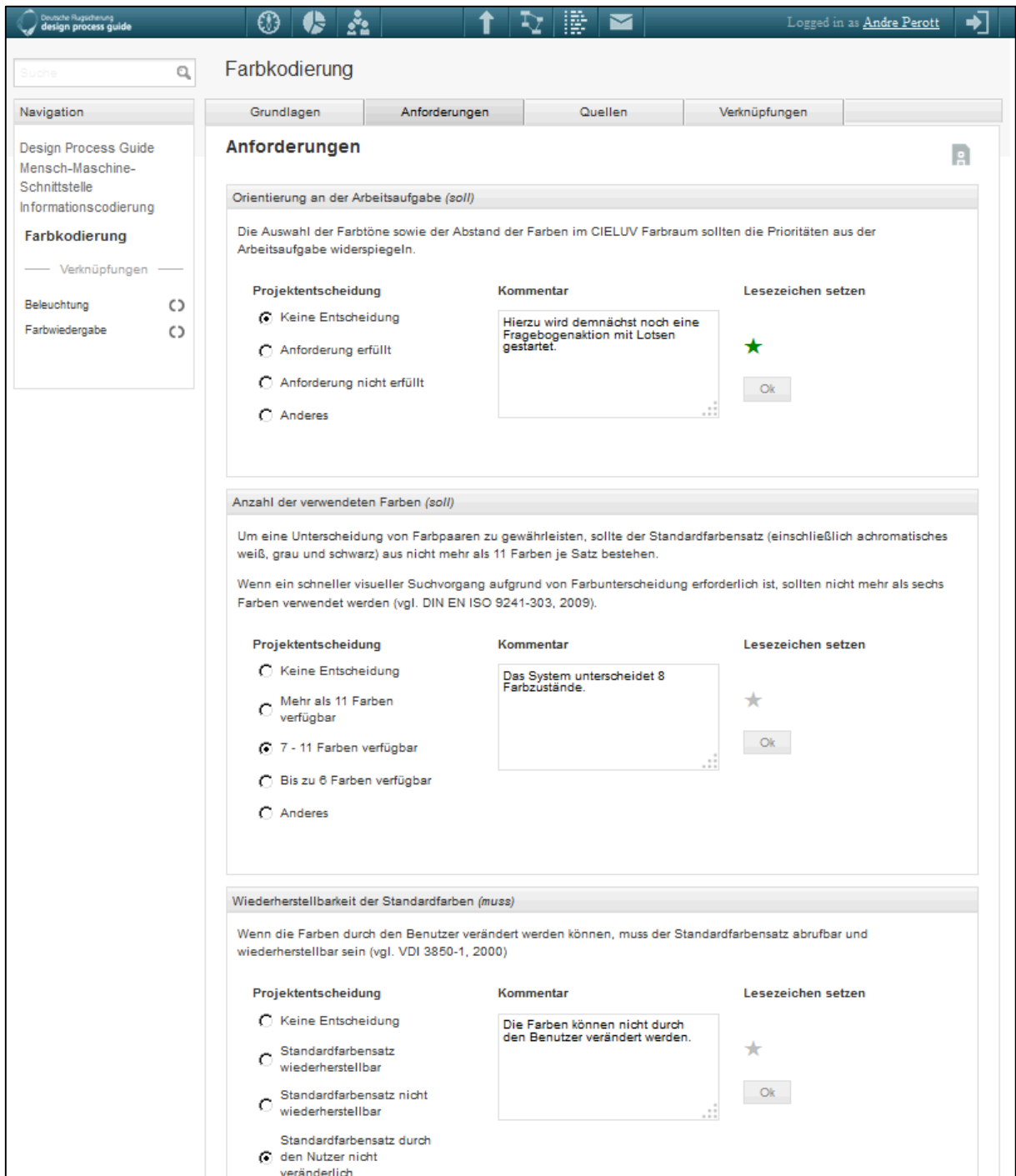


Abbildung 64: Darstellen von Anforderungen im DPG zur Farbkodierung

Neben Anforderungen und normalsprachlichen Artikel enthält der DPG auch ein Quellenverzeichnis, welches eine Übersicht über die relevante Literatur gibt. Ist der Volltext verfügbar, wird ein entsprechender Link angeboten. Abbildung 65 zeigt hierzu einen Screenshot.

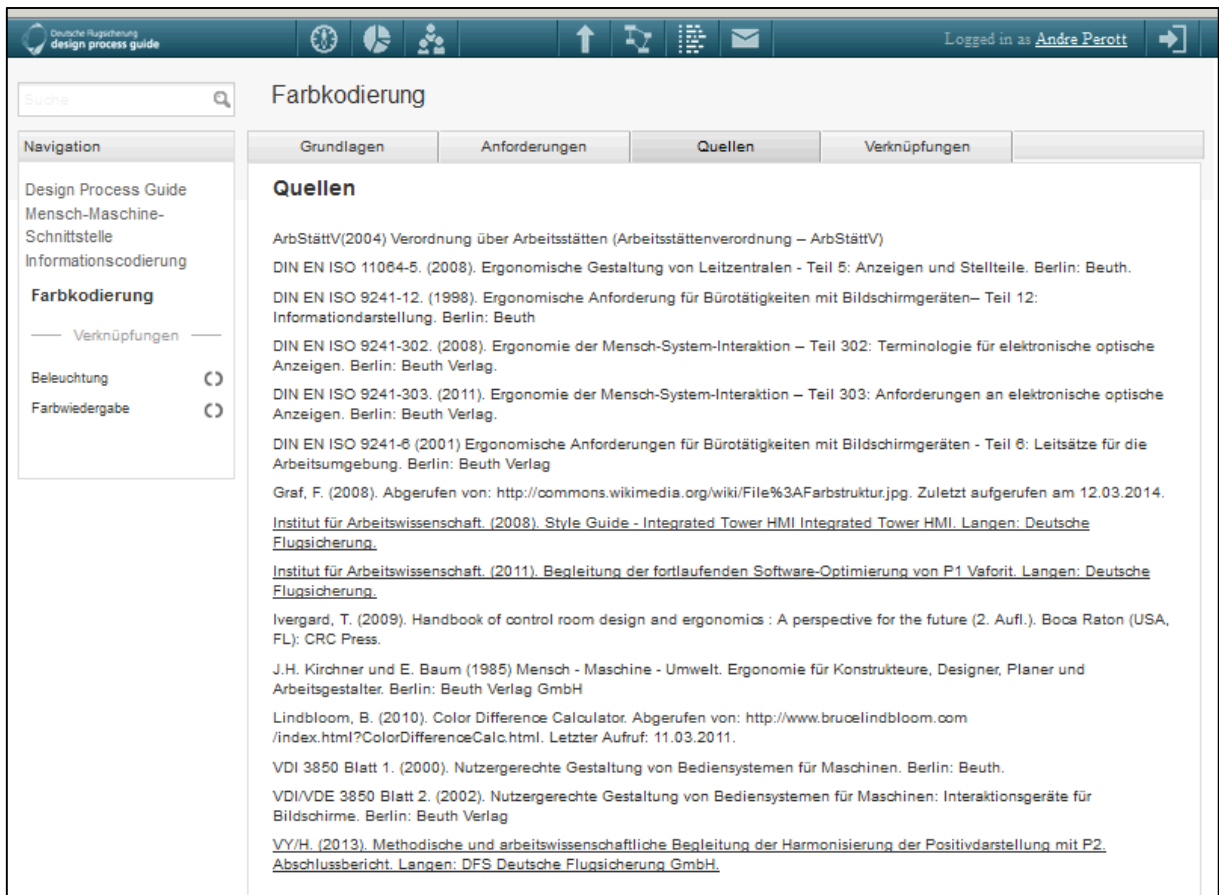


Abbildung 65: Quellenverzeichnis im DPG zur Farbkodierung

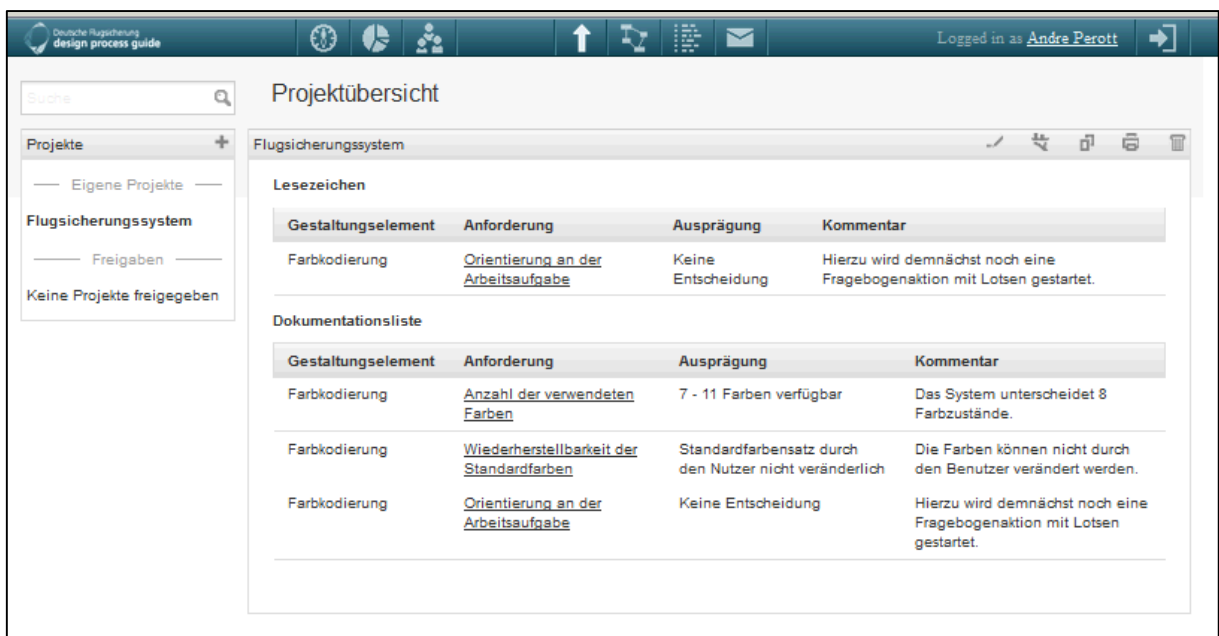


Abbildung 66: Übersichtsseite im DPG mit spezifizierten Anforderungen und gesetzten Lesezeichen

In einer Übersicht führt der DPG schließlich alle Eingaben des Nutzers zusammen. Auf diese Weise kann sich der Anwender eine individuelle Liste an ergonomischen Anforderungen zusammenstellen und sieht auf einen Blick, welche Bereiche der Klassifikation bereits spezifiziert wurden und welche Bereiche noch offen sind. Abbildung 66 zeigt die Übersichtsseite im DPG.



---

### 6.2.3. Abbilden der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Systemelementen

Als drittes Funktionsmerkmal zeigt der DPG Zusammenhänge zwischen verschiedenen Systemelementen auf. In der derzeitigen Umsetzung können in Anlehnung an MoREZ bereits qualitative Zusammenhänge (QP-Zusammenhänge) und Konflikte (KP-Zusammenhänge) abgebildet werden.

Abbildung 67 demonstriert, wie qualitative Zusammenhänge im DPG abgebildet werden. Im dort dargestellten Beispiel existieren hinsichtlich der Farbgestaltung zwei Zusammenhänge: Zum einen hinsichtlich der Beleuchtung und zum anderen hinsichtlich der Farbwiedergabe des Bildschirms. Beide Zusammenhänge sind ausführlich beschrieben, finden sich in verkürzter Form aber auch in der Navigationsleiste (linker Rand von Abbildung 67) wieder. Wird das Thema Farbkodierung über die Visualisierung ausgewählt, sind dort ebenfalls die Zusammenhänge sichtbar (vgl. Abbildung 68).

Die im DPG hinterlegten Zusammenhänge sind immer über beide Systemelemente zugänglich. Für das in Abbildung 67 dargestellte Beispiel bedeutet das, dass der Zusammenhang zwischen Farbkodierung und Bildschirm sowohl über das Systemelement *Farbkodierung* als auch über das Systemelement *Bildschirm* abrufbar ist.

Darüber hinaus unterstützt der DPG die Anzeige von Konflikten zwischen zwei diskreten Entscheidungsmerkmalen (die der Benutzer bei den Anforderungen ausgewählt hat). In Kapitel 5.2 wurde bereits diskutiert, dass eine negative Bildschirm polarität unter Tageslichtbedingungen vermieden werden sollte. Dieser Sachverhalt wurde in MoREZ über einen KP-Zusammenhang (Konflikt) abgebildet (vgl. Abbildung 59). Dieses Beispiel lässt sich leicht auf den DPG übertragen. Abbildung 69 zeigt die Anforderung im DPG zur Bildschirm polarität. Zu der jeweiligen Anforderung kann der Nutzer den Erfüllungsgrad dokumentieren, d.h. welche Bildschirm polarität tatsächlich gewählt wurde. Das graue Ausrufezeichen deutet in diesem Fall darauf hin, dass die Wahl einer negativen Bildschirm polarität den Lösungsraum bei der Beleuchtung einschränkt, d.h. bei einer negativen Bildschirm polarität sollte Tageslicht nur beschränkt oder gar nicht zum Einsatz kommen. Fährt der Nutzer mit der Maus über das Ausrufezeichen, erhält er nähere Informationen. Unabhängig von dem Hinweis kann sich der Nutzer natürlich trotzdem für eine negative Bildschirm polarität entscheiden. Wird zu einem späteren Zeitpunkt die Beleuchtung ausgelegt, so wird auch an dieser Stelle ein entsprechender Hinweis gegeben (vgl. Abbildung 70). Diesmal ist das Ausrufezeichen rot dargestellt, denn wenn Tageslicht als Option gewählt wird, entsteht ein tatsächlicher Konflikt auf Grund der vorherigen Auswahl zur negativen Bildschirm polarität.

Sowohl potentielle Konflikte (d.h. es wurde eine Option ausgewählt, die möglicherweise einen Konflikt erzeugt, wobei die Konfliktbedingung noch nicht erfüllt ist) als auch tatsächliche Konflikte (d.h. die Bedingung für den Konflikt ist erfüllt, da zwei einander ausschließende Optionen gewählt wurden) werden sowohl in der Übersicht als auch in der Visualisierung angezeigt. Dabei sind potentielle Konflikte gelb, tatsächliche Konflikte rot und rein qualitative Zusammenhänge blau dargestellt (vgl. Abbildung 71).

Deutsche Rüstplanung design process guide Logged in as Andre Perott

## Farbkodierung

Navigation: Design Process Guide, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Informationscodierung, **Farbkodierung**, Verknüpfungen, Beleuchtung, Bildschirme

Grundlagen | Anforderungen | Quellen | Verknüpfungen | Konflikte

### Verknüpfungen

Farbkodierung ↔ Beleuchtung

Die Wahl der Lichtfarbe sollte sicherstellen, dass sowohl Warn- und Sicherheitsfarben als auch farbodierte Objekte oder Diagramme zuverlässig als solche erkannt werden (z. B. auf Schalttafeln oder auf Sicherheitszeichen).

Auch die Wahl der Bildschirm polarität und Beleuchtungsstärke (bzw. Leuchtdichten) am Arbeitsplatz sind eng miteinander verknüpft. In einer hellen Arbeitsumgebung (insbesondere wenn Tageslicht einfällt) sollte eine positive Bildschirm polarität zum Einsatz kommen. In schwierigen Arbeitsumgebungen mit Tag Nacht Wechsel kann es sinnvoll sein, zwei Farbensätze (Positiv- und Negativdarstellung) zur Verfügung zu stellen.

Dokumente

DIN EN ISO 9241-6 (2001) Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung. Berlin: Beuth Verlag

---

Farbkodierung ↔ Bildschirme

Der Computer-Bildschirm beeinflusst maßgeblich, wie Farben tatsächlich angezeigt werden. Die Erfahrung zeigt, dass die theoretischen Farbwerte, die in der Software hinterlegt sind, erheblich von den tatsächlich angezeigten Farbwerten abweichen können.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft, wie zwei verschiedene Monitore die Farbdarstellung unterschiedlich beeinflussen. Während der 2K Bildschirm die Abstände verringert, vergrößert der EYE-Monitor die zuvor gewählten Farbabstände.

Aus diesem Grund sollte der Monitor zum einen über

- Hohe Farbreueit/Farbtreue (d.h. die richtigen Farben werden angezeigt)
- Farbgleichmäßigkeit (d.h. an jeder Stelle des Bildschirms werden Farben gleich angezeigt)
- Möglichkeit der Farb- und Helligkeitskalibrierung verfügen.

**Legende**

- 0 =  $\Delta E_1^*$
- 1 =  $\Delta E_2^*$
- 5 =  $\Delta E_3^*$
- 10 =  $\Delta E_4^*$

**Abweichungen 2K-Monitor**

Tetra M 2K	L*	a*	b*	Farbe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	-22	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	24	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	68	-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	-81	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	170	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	-80	-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	-24	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	-78	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	72	-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	21	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Abweichungen EYE-Monitor**

Safety M 2K	L*	a*	b*	Farbe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	-10	-133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	94	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	78	-113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	-85	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	137	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	-69	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	-12	-158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	-72	-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	78	-114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	11	132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dokumente

Institut für Arbeitswissenschaft (2011) Begleitung der fortlaufenden Software-Optimierung von P1 Vaforit. Jänner: Deutsche

Abbildung 67: Zusammenhang zwischen der Farbkodierung und der Beleuchtung bzw. Farbwiedergabe des Bildschirms

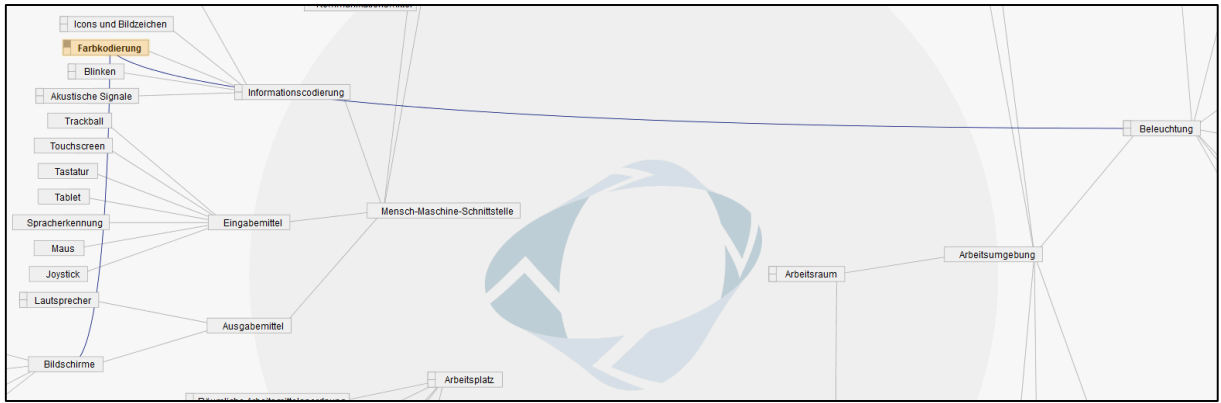


Abbildung 68: Darstellung von qualitativen Zusammenhängen in der Visualisierung des DPGs

**Bildschirmpolarität (soll)**

Sowohl positive als auch negative Polarität kann verwendet werden. Für die meisten Anwendungen ist die positive Bildpolarität vorzuziehen (vgl. DIN EN ISO 9421-303, 2008).

Auch in der DFS sollte insbesondere für Räume mit tageslichtähnlichen Verhältnissen eine Positivdarstellung verwendet werden.

Projektentscheidung	Kommentar	Lesezeichen setzen
<input type="radio"/> Keine Entscheidung		
<input type="radio"/> Verwendung einer positiven Bildschirmpolarität		★
<input checked="" type="radio"/> Verwendung einer negativen Bildschirmpolarität	<input type="text" value="Tageslicht: Unter Tageslichtbedingungen sollte eine negative Bildschirmpolarität vermieden werden."/>	
<input type="radio"/> Anderes		

Abbildung 69: Anforderung im DPG zur Bildschirmpolarität

**Tageslichtbeleuchtung (muss)**

Eine Beleuchtung mit Tageslicht ist der Beleuchtung mit ausschließlich künstlichem Licht vorzuziehen.

Projektentscheidung	Kommentar	Lesezeichen setzen
<input checked="" type="radio"/> Keine Entscheidung		
<input type="radio"/> Tageslicht vorhanden	<input type="text" value="Farbkodierung: Unter Tageslichtbedingungen sollte eine negative Bildschirmpolarität vermieden werden."/>	
<input type="radio"/> Ausschließlich künstliche Beleuchtung		
<input type="radio"/> Anderes		

Abbildung 70: Anforderung im DPG zur Tageslichtbeleuchtung

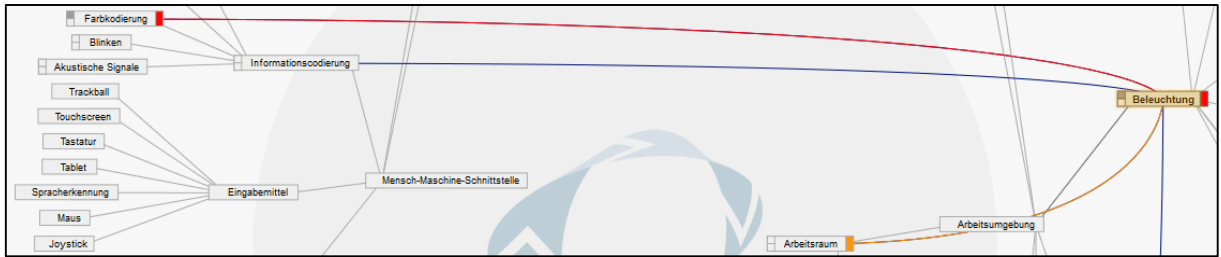


Abbildung 71: Darstellung von potentiellen und tatsächlichen Konflikten im DPG

### 6.3. Organisatorische und technische Implementierung

Der Design Process Guide steht im Intranet der DFS für unternehmensinterne Systemgestalter zur Verfügung. Da es sich um eine Webanwendung handelt, ist für den Zugriff lediglich ein Browser nötig. Programmiert wurde die Software von der 9elements GmbH in Bochum unter Verwendung des Frameworks Ruby on Rails.

Die Inhalte werden von einem Redaktionsteam der DFS ständig gepflegt und erweitert. Hierzu steht eine separate Redaktionsoberfläche zur Verfügung. Abbildung 72 zeigt beispielhaft, wie sich mit Hilfe der Redaktionsoberfläche ein Konflikt erstellen lässt. Über DFS-interne Prozesse soll sichergestellt werden, dass neu gewonnene Erkenntnisse direkt in den Design Process Guide einfließen, sodass diese anschließend allen Nutzern zur Verfügung stehen. Um auch langfristig eine hohe Wissensqualität sicherzustellen, können die Nutzer selbst keine Inhalte einstellen oder modifizieren. Dies obliegt dem DFS Redaktionsteam, welches neue Studien, Normen und Projektberichte auf Relevanz prüft, entsprechend für den Flugsicherungskontext aufarbeitet und anschließend in den DPG einarbeitet.

Abbildung 72: Erstellen eines Konfliktes im DPG

---

## 6.4. Vergleich mit dem entwickelten Modellierungsansatz

Es lässt sich festhalten, dass der DFS Design Process Guide bereits viele Anforderungen umsetzt, die sich aus MoREZ ergeben. Wie MoREZ kann auch der Design Process Guide Anforderungen aus Normen und Richtlinien abbilden. Über eine Klassifikation von Systemelementen greift der Nutzer auf bestimmte Informationen zu und erhält nähere Informationen. Durch die Klassifikation wird direkt ersichtlich, welche Systemelemente von einer ergonomischen Gestaltung betroffen sind.

Wie MoREZ dokumentiert der DPG die tatsächliche Auslegung der Systemelemente. Der Anwender kann also bewusst von ergonomischen Anforderungen abweichen. Über die im DPG hinterlegten Zusammenhänge wird er auf die möglichen Implikationen hingewiesen.

Bisher sind im Design Process Guide nur Konflikte (KP-Zusammenhang) und qualitative Zusammenhänge (QP-Zusammenhang) abbildbar. Eine weitere Einschränkung gegenüber MoREZ ergibt sich aus dem Umstand, dass der Anwender nur diskrete Entscheidungsmerkmale hinterlegen kann. Die Angabe von exakten Werten (z.B. der tatsächlichen Tischhöhe) ist somit nicht möglich. Stattdessen wählt der Nutzer lediglich aus fest vorgegebenen Wertebereichen aus (z.B. Tischhöhe kleiner als 55 cm, Tischhöhe von 55 bis 65 cm oder Tischhöhe größer als 65 cm). Diese Limitation stellt den größten Unterschied zu MoREZ dar und sollte in zukünftigen Versionen aufgehoben werden. Vorher erscheint eine Integration weiterer Zusammenhängearten aus MoREZ kaum sinnvoll.

Anders als MoREZ unterscheidet der Design Process Guide nicht scharf zwischen Systemelementen und Systemparametern. Die Systemparameter im DPG sind an die Anforderungen gebunden und im engeren Sinne keine Ausprägung der Systemelemente selbst. Dahinter verbirgt sich die Idee, dass zu jeder ergonomischen Anforderung eine gestalterische Entscheidung getroffen werden muss, die dazu führt, dass die Anforderung entweder eingehalten ist oder nicht. MoREZ bildet dies über den EA-Zusammenhang ab. Für die Umsetzung des DPGs wurde bewusst auf eine scharfe Trennung von Anforderungen und Systemparameter verzichtet. Die Vereinfachung, dass gestalterische Entscheidungen in Verbindung mit konkreten ergonomischen Anforderungen getroffen werden erscheint wenig problematisch, insbesondere, da in MoREZ ohnehin jeder Systemparameter in der Regel über einen EA-Zusammenhang mit einer Anforderung verknüpft ist (vgl. z.B. Abbildung 49 und Abbildung 59).

Tabelle 18 zeigt zusammenfassend einen direkten Vergleich zwischen MoREZ und dem DPG. Zahlreiche Aspekte aus MoREZ konnten bereits im DPG Berücksichtigung finden. Dennoch wäre für zukünftige Versionen eine stärkere Formalisierung von Anforderungen und Systemparameter wünschenswert, sodass weitere Zusammenhängearten aus MoREZ integriert werden können.

Darüber hinaus bietet der Design Process Guide aber auch Funktionen, die über MoREZ hinausgehen. So bietet der DPG neben den formalen Anforderungen auch einen Fließtext in Artikelform, welcher Hintergründe, Fachbegriffe und Methoden zur Gestaltung näher beschreibt. Ergonomische Anforderungen sind in der Regel für fachkundige Experten gedacht, sodass sie für Fachfremde häufig nicht ohne weiteres verständlich sind. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Anreicherung der formalen Anforderungen mit Fließtext durchaus sinnvoll. Auch wenn die Idee von zentralisierten Texten im Web (z.B. Wikis, Blogs, Foren) nicht grundsätzlich neu ist, zeigt es doch, wie sich MoREZ durchaus mit anderen verfügbaren Ansätzen und Technologien kombinieren lässt.

Tabelle 18: Vergleich zwischen MoREZ und dem Design Process Guide

Modell- komponente	Repräsentation in MoREZ	Umsetzung im DPG
<b>Ergonomische Anforderungen</b>	Die Anforderungen werden durch den <i>Anforderungsnamen</i> , der <i>Anforderungsart</i> (Festanforderung, Intervallanforderung, Mindestanforderung, Maximalanforderung, Binäre Anforderung, Aufzählungsanforderung), den <i>Anforderungswerten</i> (Muss, Soll und Kann) sowie dem <i>Datentyp</i> (der sind jedoch eindeutig aus der Anforderungsart ergibt) beschrieben (vgl. Kapitel 4.2).	Der DPG beschreibt ergonomische Anforderungen unter Angabe des <i>Anforderungsnamens</i> , der <i>Anforderungspriorität</i> (muss, soll, kann) sowie des <i>Anforderungstextes</i> .  Die eigentlichen Anforderungswerte sind Teil des Anforderungstextes (d.h. Teil der Zeichenkette) und im Gegensatz zu MoREZ nicht weiter formalisiert. Auch die Angabe der Anforderungsart entfällt im DPG. Entsprechend können die Anforderungswerte im DPG auch nicht weiter verarbeitet werden.
<b>System- elemente</b>	Arbeitssystemelemente sind konkrete Gestaltungsobjekte. Dabei ist zu beachten, dass auch Arbeitssystemelemente untereinander in einem hierarchischen Verhältnis stehen können, d.h. jeweils ein übergeordnetes Arbeitssystemelement besitzen können (vgl. Kapitel 4.3).	Auch im DPG kann eine Hierarchie an Arbeitssystemelementen problemlos abgebildet werden.
<b>System- parameter</b>	Arbeitssystemelemente werden über ihre spezifischen <i>Parameter</i> näher charakterisiert. Parameter werden durch den <i>Parameternamen</i> , den <i>Datentyp</i> (reelle Zahl, Boolean, Zeichenkette) sowie das zugeordnete <i>Arbeitssystemelement</i> beschrieben (vgl. Kapitel 4.3).	<i>Systemparameter</i> werden im DPG nicht direkt repräsentiert. Stattdessen kann der Nutzer aus <i>diskreten Entscheidungsmerkmalen</i> auswählen, die für jede ergonomische Anforderung angeboten werden. Konkrete Zahlenwerte können nicht vom Nutzer hinterlegt werden.
<b>Zusammen- hänge</b>	MoREZ unterscheidet folgende Zusammenhangsarten (vgl. Kapitel 4.4): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfen auf Einhalten von Anforderungen (EA)</li> <li>• Variieren einer Anforderung (VA)</li> <li>• Bestimmen eines abhängigen Parameters (AP)</li> <li>• Prüfen auf Konflikt zwischen Parametern (KP)</li> <li>• Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern (EP)</li> <li>• Darstellen von qualitativen Zusammenhängen (QP)</li> </ul>	Derzeit können im <i>DPG qualitative Zusammenhänge</i> und <i>Konflikte</i> zwischen diskreten Entscheidungsmerkmalen abgebildet werden.

---

## 7. Diskussion der Ergebnisse

---

Insgesamt erscheint MoREZ als vielversprechender Ansatz zur systematischen Integration von ergonomischem Wissen in die praktische Systemgestaltung. Anforderungen aus anerkannten Regelwerken werden nicht isoliert betrachtet, sondern in ihren Zusammenhängen. Bisher wurden ergonomische Anforderungen lediglich als Beschreibung eines idealtypischen Systems verstanden und hatten keinen Bezug zum realen Gestaltungskontext. MoREZ verknüpft diese idealisierte Sichtweise der Normen und Richtlinien mit der gestaltungsorientierten Perspektive der Ergonomie. Durch den starken Fokus auf Zusammenhänge statt einzelner Systemelemente folgt der Modellierungsansatz der Forderung nach einem Systemansatz und leistet darüber hinaus einen Beitrag zur aktuellen Diskussion, wie ein solcher ausgestaltet sein könnte.

Des Weiteren lässt sich feststellen, dass MoREZ auf die allgemeinen Methoden der Wissensrepräsentation zurückgreift (vgl. Kapitel 2.2.3), aber keine von diesen vollständig übernimmt. Der Modellierungsansatz ist mehr als ein semantisches Netz, da nicht nur die Bedeutung von Begriffen repräsentiert wird, sondern darüber hinaus auch Implikationen basierend auf bestimmten Randbedingungen. MoREZ ist aber auch kein regelbasiertes System. Anders als regelbasierte Systeme begreift MoREZ die Ergonomie nicht als deterministisches System. Üblicherweise arbeiten regelbasierte Systeme mit deterministischen Regeln in einer klassisch-logischen Umgebung (Beierle & Kern-Isberner, 2006, S. 71). Deterministische Regeln sind Regeln, die immer gelten, also ohne Ausnahme. Auf diese Weise lässt sich ein Aussagensystem auf innere Konsistenz prüfen (z.B. in der elektronischen Schaltalgebra) und es lassen sich einzelne Aussagen beweisen. Häufig werden deterministische Systeme auch verwendet, um automatisierte Schlussfolgerungen ableiten zu können. Eine automatisierte Beweisführung zur Ermittlung der ergonomischen Wahrheit ist nicht das Ziel von MoREZ. Die Ergonomie ist kein deterministisches System (vgl. Cook & Woods, 1994). Vielmehr existieren zahlreiche konkurrierende Ziele, die ständig gegeneinander abgewogen werden müssen. Ob eine Implikation wahr oder falsch ist, liegt alleine im Ermessen des Gestalters und seinem individuellem und organisationalen Zielsystem. Somit versteht sich MoREZ eher als Werkzeug zur Komplexitätsbewältigung und zur Analyse von ergonomischen Inkonsistenzen im Arbeitssystem.

Grundsätzlich erscheint der Einsatz des Modellierungsansatzes nicht beschränkt auf Probleme der Flugsicherung. Überall, wo die Anwendung ergonomischer Regelwerke sinnvoll, aufgrund der hohen Komplexität aber schwierig erscheint, kann die Nutzung des Modellierungsansatzes einen Vorteil bedeuten. Nicht untersucht wurde, inwieweit auch makroergonomisches Wissen (Gestaltung der Arbeitsaufgabe, Arbeitsabläufen, Teamstrukturen, Organisationsstrukturen, Prozesse, etc.) in die Betrachtung integriert werden kann. Häufig enthalten die Regelwerke keine expliziten Anforderungen an die makroergonomischen Gestaltungsbereiche. Zudem lassen sie sich häufig nicht so eindeutig parametrisieren wie physische Systemkomponenten. Dies erschwert eine eindeutige Modellierung. Nachfolgende Studien könnten diesen Sachverhalt näher untersuchen.

Eine wesentliche grundlegende Annahme der Ausarbeitung ist, dass nicht alle Zusammenhänge vorausgedacht werden können (vgl. Kapitel 3.1). Vielmehr ergeben sie sich aus einem bestimmten Kontext und lassen sich anschließend wieder verallgemeinern. Dies geht Hand in Hand mit dem in Kapitel 2.2.1 hergeleiteten Wissensbegriff: Wissen entsteht erst durch Verknüpfung verschiedener Informationen in einem ganz bestimmten Anwendungskontext. Ohne spezifischen Kontext ist neues Wissen demnach nur schwer vorstellbar. Entsprechend erscheint der Versuch, alle möglichen Zusammenhänge der Ergonomie für die Praxis theoretisch vorzudenken, wenig sinnvoll. Aus diesem Grund entwickelte diese Arbeit einen übergeordneten Modellierungsansatz, der es erlaubt

---

Zusammenhänge auf eine standardisierte Art und Weise abzubilden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt für ähnliche Fragestellungen wieder zu nutzen. Somit stellt der Modellierungsansatz keine unmittelbare Lösung für die Praxis dar. Erst die Modelle, die mit Hilfe des Ansatzes erstellt werden, bieten eine konkrete Hilfestellung. Bevor also das ergonomische Wissen aktiv (von fachfremden Gestaltern) genutzt werden kann, müssen notwendiger Weise zunächst geeignete Modelle von der ergonomischen Gemeinschaft entwickelt werden.

Es stellt sich die Frage, wie die so erstellten Modelle wieder zusammengeführt werden können. Die in Abbildung 49 und Abbildung 59 beispielhaft hergeleiteten Modelle beinhalten beide das Systemelement „Visus in %“, sodass eine Zusammenführung beider Modelle nur folgerichtig scheint. Aber nicht zwingend werden Systemelemente einheitlich benannt. Anstelle von Visus wäre auch der Begriff Sehstärke denkbar. Für eine Integration verschiedener Modelle ist eine einheitliche Nomenklatur bzw. Klassifikation unabdingbar. Bisher werden Begriffe in der Ergonomie aber nicht einheitlich verwendet. Insbesondere Begriffe aus Fachliteratur und Alltagssprache entsprechen sich häufig nicht. Beispielsweise wird umgangssprachlich eher von der Tischhöhe gesprochen, während die Regelwerke (z.B. DIN EN 527-1, 2011; DIN EN ISO 9241-5, 1999; DIN EN ISO 11064-4, 2004) allgemeiner von der Arbeitsflächenhöhe sprechen. Ein weiteres Beispiel ist die Schriftzeichenhöhe (DIN EN ISO 9241-303, 2009), die umgangssprachlich eher als Schriftgröße bezeichnet wird. Die Erweiterung von MoREZ durch ein kontrolliertes Vokabular (z.B. durch Nutzung eines Thesaurus) könnte hier Abhilfe schaffen. Werden die Begriffe einheitlich verwendet bzw. semantisch miteinander vernetzt, so lassen sich die verschiedenen Modelle problemlos zusammenführen. Eine weitere vorstellbare Alternative wäre die Nutzung von MoREZ in einem sozialen Netzwerk. In diesem Fall könnte sich ein Vokabular von selbst ergeben, indem die Gemeinschaft Modelle untereinander austauscht, anpasst und vernetzt. Langfristig könnte sich dann eine Folksonomy herausbilden (vgl. Kapitel 2.2.3).

Ist ein ergonomischer Thesaurus erst einmal entwickelt, wäre ein Katalog an Gestaltungselementen denkbar, aus dem die Gestalter ihr konkretes Strukturmodell zusammensetzen. Im Baukastensystem könnten die Gestalter aus einer Hierarchie an ergonomierelevanten Systemelementen ihr individuelles Arbeitssystemmodell erzeugen. Über die Klassifikation würde deutlich, welche ergonomischen Systemparameter (z.B. Bildschirmdiagonale, Farbtreue, Leuchtdichte, Auflösung) bei der Gestaltung eines bestimmten Systemelements (z.B. Bildschirm) von Relevanz sind. Anschließend könnte das bekannte Wissen über Zusammenhänge auf diese spezifische Struktur übertragen werden. Der Gestalter hätte dann eine an seine konkrete Problemstellung angepasste Auswertung der Zusammenhänge, basierend auf den mit MoREZ erstellten Modellen.

Dies würde allerdings das Bilden verschiedener Instanzen von Systemelementen erfordern. Kapitel 5.1 entwickelte ein Beispielmodell zur Gestaltung der Schriftzeichenhöhe. Ein reales Gestaltungsvorhaben hat vermutlich nicht nur eine einzige Schrift, die auf einem einzigen Monitor angezeigt wird, sondern mehrere. Dem entsprechend würde ein Gestalter aus dem Baukastensystem nicht nur eine Schrift, sondern mehrere Schriften auswählen wollen. Eine generalisierte Sichtweise auf das Problem „Schriftzeichenhöhe“ wäre dann nicht mehr zielführend, vielmehr müssten einzelne Instanzen (z.B. Schriftgröße auf Radarbildschirm, Schriftgröße auf Backupsystem, Schriftgröße auf Kommunikationssysteme, etc.) gebildet werden. Eine offene Frage ist, inwiefern die modellierten Zusammenhänge auf einzelne Instanzen übertragbar sind. Würde man die Zusammenhänge einfach auf jede Instanz der Schriftzeichenhöhe anwenden, bestünde die Gefahr, dass sich die Zusammenhänge nicht mehr eindeutig zuordnen lassen, sinnwidrig werden oder Widersprüche



---

erzeugen. Zudem könnten Zusammenhänge relevant werden, die vor der Instanziierung nicht betrachtet wurden (z.B. Zusammenhänge zwischen verschiedenen Schriften). Nachfolgende Studien könnten diesen Sachverhalt näher untersuchen.

Der *Design Process Guide* der Deutschen Flugsicherung demonstriert die generelle softwaretechnische Umsetzbarkeit von MoREZ. Der DPG zeigt Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Systemelementen auf, sodass Probleme integriert statt isoliert voneinander gelöst werden können. Die größte Einschränkung ergibt sich aus dem Umstand, dass nur diskrete Parameterwerte hinterlegt werden können. Eine regelbasierte Verarbeitung der Parameterwerte ist somit kaum möglich. Zukünftige Versionen des Design Process Guides sollten diese Einschränkung aufheben und neben den Konflikten und qualitativen Zusammenhängen weitere Zusammenhangsarten aus MoREZ integrieren.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die bloße Einhaltung von Gestaltungsempfehlungen aus Normen und Richtlinien kein gebrauchstaugliches System garantiert. Auch im Umkehrschluss kann nicht behauptet werden, dass die Nichteinhaltung einer Norm zwingend zu schlechten Resultaten führt. Ein Verstoß gegen die anerkannten Regeln der Technik begründet bestenfalls die Vermutung eines ergonomischen Mangels. Zudem sind Normen und Richtlinien zeitlich befristet. Die Gestaltungsgrundsätze ändern sich mit den Erkenntnissen der Wissenschaft. Dies führt dazu, dass sich auch die Wissensinhalte ständig ändern: Neue Normen entstehen und bestehende Normen werden ergänzt oder zurückgezogen (Perott, 2009, S. 78). Dieser Umstand bedeutet, dass auch die mit MoREZ entwickelten Modelle einem ständigen Anpassungsdruck unterworfen sind. Der starke Fokus auf anerkannte Regeln der Technik kann zudem die Kreativität ersticken (vgl. Dahm, 2006, S. 130). Insbesondere wenn die Gestaltung innovativer Systeme im Vordergrund steht, kann das Beharren auf anerkannten Regeln der Technik eher kontraproduktiv wirken. Die Gestaltung einer innovativen Mensch-Maschine-Interaktion ist in diesem Zusammenhang mehr Kunst als Wissenschaft (vgl. Bennett & Flach, 2011; Ehn, 1989) und lässt sich kaum mit starren Vorgaben und Empfehlungen beschreiben.

## 8. Ausblick

Nachfolgende Studien sollten MoREZ an weiteren praktischen Fragestellungen validieren. Dabei ist von besonderem Interesse, ob die in Kapitel 4.4 beschriebenen Zusammenhängearten vollständig sind und ob sie die wesentlichen Aspekte im Umgang mit ergonomischen Regelwerken abbilden können. Ebenfalls sollte genauer untersucht werden, ob sich bestimmte Einschränkungen bezüglich anderer Anwendungsdomänen (z.B. Gesundheitswesen, Büroarbeitsplätze, Leitwarten in Kraftwerken) ergeben. Weitere Studien sollten auch überprüfen, inwieweit die mit MoREZ erstellten Modelle eindeutig sind, d.h. allein durch sich selbst und ohne weitere Erläuterungen durch Dritte interpretiert werden können.

Darüber hinaus sollten mögliche Konzepte zur Integration verschiedener MoREZ-Modelle diskutiert werden. Voraussetzung hierfür erscheint die Erstellung eines Thesaurus bzw. einer Klassifikation möglicher Systemelemente. Zwar gibt es hier bereits erste Ansätze, keiner ist aber direkt übertragbar auf den hier vorgestellten Modellierungsansatz.

Soll sich MoREZ langfristig als Standard zur Modellierung von Zusammenhängen etablieren, ist zudem die Entwicklung einer computergestützten Anwendungsumgebung empfehlenswert. Die Software sollte zum einen bei der Modellierung selbst, zum anderen aber auch fachfremde Praktiker bei der Analyse der erstellten Modelle unterstützen. Ein erster Ansatzpunkt in diese Richtung stellt der in Kapitel 6 vorgestellte *Design Process Guide* dar, auf dem zukünftige Studien aufbauen können.

Sollte sich MoREZ als Standard zur Repräsentation ergonomischer Zusammenhänge bestätigen, könnten weitere Studien mögliche Schnittstellen zu bereits etablierten Softwaretools, wie z.B. CAD Programmen diskutieren. Ein mögliches Konzept für eine solche CAD-Integration demonstrieren Heister et al. (2010). Abbildung 73 zeigt, wie in diesem Konzept eine Erhöhung der Tischhöhe zu einem Konflikt mit der Oberkante des Bildschirms führt.

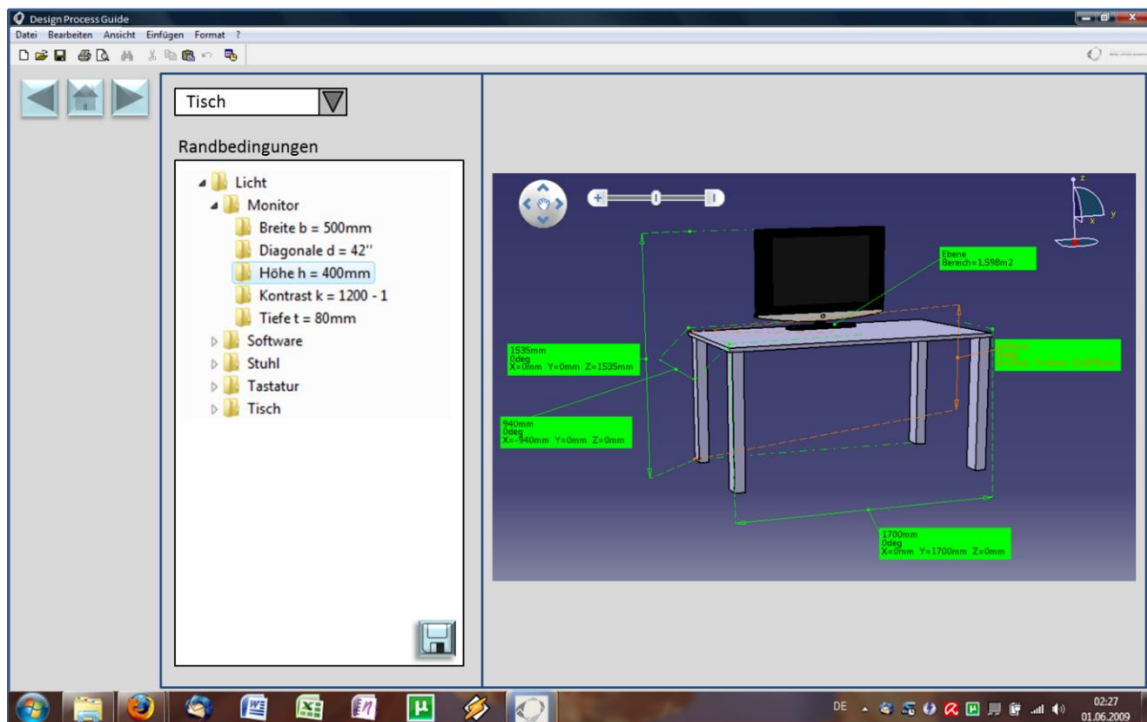


Abbildung 73: Vorschlag zur Integration ergonomischer Fragestellungen in eine CAD Umgebung (vgl. Heister et al., 2010, S. 38)

---

## 9. Zusammenfassung

---

Auf Grund der engen Verzahnung mit § 4, Nr. 3 ArbSchG (2013) haben arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse, wie sie in Normen und Richtlinien beschrieben sind, eine hohe Bedeutung in der praktischen Systemgestaltung. Es zeigt sich allerdings, dass diese kaum systematisch eingesetzt werden. Bestehende Regelwerke beinhalten sehr detaillierte Anforderungen bezüglich einzelner Systemelemente, treffen aber kaum Aussagen zu Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Anforderungen. Vielmehr beschreiben sie ein aus Sicht der Ergonomie optimales System, welches in der Realität auf Grund zahlreicher Zielkonflikte kaum realisierbar ist und den realen Gestaltungskontext außer Acht lässt.

Eine isolierte Auflistung ergonomischer Anforderungen erscheint kaum im Sinne des Selbstverständnisses der Ergonomie, die eine zusammenhangsorientierte Sichtweise fordert. An einer Methode zur systematischen Betrachtung der Zusammenhänge fehlt es der Ergonomie allerdings bisher. Diese Arbeit hatte die Entwicklung eines Modellierungsansatzes zum Ziel, mit welchem Zusammenhänge zwischen allgemeinen ergonomischen Anforderungen und spezifischen Systemelementen abgebildet werden können. Diese Modelle können dann in einem konkreten Gestaltungskontext zur Anwendung kommen und wesentliche Zusammenhänge darstellen, bzw. Implikationen auf andere Gestaltungsaspekte aufzeigen.

Da der Zusammenhangsbegriff eng mit dem Wissensbegriff verbunden ist, bilden die Ansätze der Wissensrepräsentation die theoretische Grundlage dieser Arbeit. Erst durch das Verstehen der Zusammenhänge kann über das Vernetzen verschiedener Informationen höherwertigeres Wissen entstehen.

Der in dieser Arbeit entwickelte Modellierungsansatz setzt sich aus drei Modellkomponenten zusammen:

- **Ergonomische Anforderungen**, die den ergonomischen Zielzustand repräsentieren,
- **Arbeitssystemelemente**, die die Projektrealität (bzw. den Gestaltungskontext) repräsentieren, d.h. wie die Arbeitssystemelemente tatsächlich ausgelegt werden und
- **Zusammenhänge**, die die Wechselwirkung bestimmter Entscheidungen auf andere Arbeitssystemelemente und Anforderungen im Modell repräsentieren.

Die Anforderungen werden durch den *Anforderungsnamen*, die *Anforderungsart* (Festanforderung, Intervallanforderung, Mindestanforderung, Maximalanforderung, Binäre Anforderung, Aufzählungsanforderung), die *Anforderungswerte* (Muss, Soll und Kann) sowie dem *Datentyp* (der sind jedoch eindeutig aus der Anforderungsart ergibt) beschrieben.

Arbeitssystemelemente sind konkrete Gestaltungsobjekte, die durch deren *Parameter* näher charakterisiert werden. Parameter werden durch den *Parameternamen*, den *Datentyp* (reelle Zahl, Boolean, Zeichenkette) sowie dem zugeordneten *Arbeitssystemelement* beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass auch Arbeitssystemelemente untereinander in einem hierarchischen Verhältnis stehen können, d.h. jeweils ein übergeordnetes Arbeitssystemelement besitzen können.

Ein Zusammenhang beschreibt die Beziehung zwischen Arbeitssystemelementen, Arbeitssystemparametern und/oder ergonomischen Anforderungen. Die Pfeile repräsentieren den Datenfluss zwischen den betroffenen Modellkomponenten. Insgesamt werden in dieser

---

Ausarbeitung sechs Zusammenhangsarten unterschieden und hinsichtlich ihrer Funktionsweise detailliert beschrieben. Benannt nach ihrer Funktionsweise sind das:

- Prüfen auf Einhalten von Anforderungen (EA)
- Variieren einer Anforderung (VA)
- Bestimmen eines abhängigen Parameters (AP)
- Prüfen auf Konflikt zwischen Parametern (KP)
- Prüfen auf notwendige Ergänzung zwischen Parametern (EP)
- Darstellen von inhaltlichen und zeitlichen qualitativen Zusammenhängen (QP)

Diese sechs Zusammenhangsarten reichen bereits aus, um komplexe Sachverhalte im Umgang mit Normen und Richtlinien abbilden zu können. Dies wird anhand von zwei praktischen Beispielen der Flugsicherung verdeutlicht. Das eine Beispiel fokussiert die Auslegung der Schriftzeichenhöhe, das andere den Wechseln von einer positiven zur negativen Bildschirm polarität.

Insgesamt erscheint der Modellierungsansatz als eine vielversprechende Möglichkeit zur systematischen Integration von ergonomischem Wissen in die praktische Systemgestaltung. Anforderungen aus anerkannten Regelwerken werden nicht isoliert betrachtet, sondern in ihren Zusammenhängen. Durch den starken Fokus auf Zusammenhänge statt einzelner Systemelemente folgt der Modellierungsansatz der Forderung nach einem Systemansatz und leistet darüber hinaus einen Beitrag zur aktuellen Diskussion, wie ein solcher ausgestaltet sein könnte.

Daneben stellte die Ausarbeitung den Design Process Guides als computergestützte Anwendungsumgebung vor, die auf den Ideen des entwickelten Modellierungsansatzes aufbaut. Bei dem Design Process Guide handelt es sich um eine Software, die Zugriff auf relevantes Ergonomiewissen im Flugsicherungskontext erlaubt und wichtige Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Systemelementen aufzeigt.

Zukünftige Arbeiten sollten den Modellierungsansatz an weiteren Beispielen validieren, eine einheitliche Klassifikation zur Integration der mit dem Ansatz erstellten Modelle entwickeln sowie eine weiterführende Softwareunterstützung bereitstellen, die gezielt bestehende Limitationen des Design Process Guides adressiert.

---

## Literaturverzeichnis

---

- Aas, A. L., & Skramstad, T. (2010). A case study of ISO 11064 in control centre in the Norwegian petroleum industry. *Applied Ergonomics*, 42, S. 62-72.
- Abelson, R. (1981). Psychological Status of the Script Concept. *American Psychologist*, 36(7), S. 715-729.
- Ahlstrom, V., & Longo, K. (2003). *Human Factors Design Standard (HF-STD-001)*. Atlantic City International Airport, NJ: Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center.
- Akerkar, R. A., & Sajja, P. S. (2010). *Knowledge-Based Systems*. Sudbury (MA): Jones and Bartlett.
- Anderson, J. R. (2013). *Kognitive Psychologie* (7., erw. und überarb., neu gestalt. Aufl.). Berlin/Heidelberg: Springer.
- arbeitssicherheit.de. (2013). *Verzeichnis der BG-Vorschriften, BG-Regeln und BG-Informationen sowie staatlicher Arbeitsschutzvorschriften*. Abgerufen am 07. Oktober 2014 von [http://www.arbeitssicherheit.de/media/BGVR/BGVR\\_Verzeichnis\\_Stand\\_Juni\\_2013.pdf](http://www.arbeitssicherheit.de/media/BGVR/BGVR_Verzeichnis_Stand_Juni_2013.pdf)
- Bachmann, A. (2010). *Methoden- und Werkzeugunterstützung für Ontologie-basierte Software-Entwicklung, von der Philipps-Universität Marburg angenommene Dissertation*. Marburg/Lahn: Philipps-Universität Marburg.
- Bailey, K. D. (1994). *Typologies and Taxonomies: An Introduction to Classification Techniques*. Thousand Oaks (CA): Sage.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), S. 775–779.
- Bartlett, F. C. (1995). *Remembering - A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- BAuA. (2014). *Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)*. Abgerufen am 17. Juni 2014 von Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/ASR.html>
- BAuA. (2014a). *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse (2000-2010)*. Abgerufen am 07. Oktober 2014 von Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: <http://www.baua.de/de/Publikationen/AWE/Band4/AWE-Band4.html>
- Bechhofer, S. (2009). OWL: Web Ontology Language. In L. Liu, & M. T. Özsu, *Encyclopedia of Database Systems* (S. 2008-2009). Boston: Springer.
- Becker-Biskaborn, G.-U. (1975). *Ergonomische Erkenntnissammlung für den Arbeitsschutz mit Informationssystem - Band I*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung.
- Béguin, P. (2011). Acting within the Boundaries of Work Systems Development. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 21(6), S. 543-554.
- Beierle, C., & Kern-Isberner, G. (2006). *Methoden wissensbasierter Systeme* (3. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg.

- 
- Bennett, K. B., & Flach, J. M. (2011). *Display and Interface Design. Subtle Science, Exact Art*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Bewersdorff, J. (2014). *Objektorientierte Programmierung mit JavaScript*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- BGI 650. (2009). *Bildschirm- und Büroarbeitsplätze - Leitfaden für die Gestaltung*. Wiesbaden: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung.
- Bibliothek Arbeitssicherheit. (2014). *arbeitssicherheit.de*. Abgerufen am 18. Juli 2014 von <http://www.arbeitssicherheit.de/>
- Bockelmann, M., Nachreiner, F., & Nickel, P. (2012). *Bildschirmarbeit in Leitwarten*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Bockelmann, M., Nickel, P., & Nachreiner, F. (2011). Bildschirmarbeit in Leitwarten - Teil 1: Entwicklung einer Checkliste zur Überprüfung von ergonomischen Gestaltungsanforderungen. *56. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft* (S. 493-496). Darmstadt: GfA-Press.
- Bodendorf, F. (2006). *Daten- und Wissensmanagement* (3. Aufl.). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Bower, G. H., Black, J. B., & Turner, T. J. (1979). Scripts in Memory for Text. *Cognitive Psychology*, *11*, S. 177-220.
- Braun, R., Esswein, W., & Greiffenberg, S. (2006). *Einführung in die Programmierung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Broadbent, S. (2000). *Front Requirements for Next Generation Air Traffic Management Systems*. Brüssel: Eurocontrol.
- Bruder, R. (1993). *Entwicklung eines wissensbasierten Systems zur belastungsanalytisch unterscheidbaren Erholungszeit*. Düsseldorf: VDI.
- Bruder, R., & Leonhardt, J. (2010). Der DFS Design Process Guide zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in der Flugsicherung. *56. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft* (S. 227-230). Darmstadt: GfA-Press.
- Buckle, P. (2011). The perfect is the enemy of the good - ergonomics research and practice. *Ergonomics*, *54*(1), S. 1-11.
- Budnick, P. M., Bloswick, D. S., & Brown, R. D. (2011). Ergonomics and Concurrent Design. In A. Bhattacharya, & J. D. McGlothlin, *Occupational Ergonomics* (2. Aufl., S. 997-1014). Boca Raton (FL): CRC Press.
- Bundesministerium der Justiz. (2014). *Handbuch der Rechtsförmlichkeit - Teil C: Stammgesetze*. Abgerufen am 16. Juni 2014 von [http://hdr.bmj.de/page\\_c.6.html](http://hdr.bmj.de/page_c.6.html)
- Burgard, W., Lüttringhaus-Kappel, S., & Plümer, L. (1992). Knowledge-Based Design for Ergonomic Lighting for Underground Scenarios. In J. Siekmann, J. Goos, J. Hartmanis, F. Belli, & F. Radermacher, *Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*. (S. 491-494). Berlin/Heidelberg: Springer.

- 
- Burns, C. M., Vicente, K. J., Christoffersen, K., & Pawlak, W. S. (1997). Towards viable, useful and usable human factors design guidance. *Applied Ergonomics*, 28(5/6), S. 311-322.
- Carayon, P., Wetterneck, T. B., Rivera-Rodriguez, A. J., Hundt, A. S., Hoonakker, P., Holden, R., & Gurses, A. P. (2014). Human factors systems approach to healthcare quality and patient safety. *Applied Ergonomics*, 45(1), S. 14-25.
- Chapanis, A. (1967). The Relevance of Laboratory Studies to Practical Situations. *Ergonomics*, 10(5), 557-577.
- Chapanis, A. (1988). Some generalizations about generalization. *Human Factors*, 30(3), S. 253-267.
- Chiles, W. D. (1971). Complex performance: the development of research criteria applicable in the real world. In W. T. Singleton, J. G. Fox, & D. Whitfield, *Measurement of man at work: An appraisal of physiological and physical criteria in man-machine systems* (S. 159-164). London: Taylor & Francis.
- Chung, A. Z., & Shorrock, S. T. (2011). The research-practice relationship in ergonomics and human factors - surveying and bridging the gap. *Ergonomics*, 54(5), S. 413-429.
- Ciliers, P. (2005). Complexity, Deconstruction and Relativism. *Theory, Culture & Society*, 22(5), S. 255-267.
- Clancey, W. (1992). Representations of Knowing: In Defense of Cognitive Apprenticeship. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 3(2), S. 139-168.
- Collins, A. M., & Quillian, R. M. (1969). Retrieval Time from Semantic Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, S. 240-247.
- Cook, R., & Woods, D. (1994). Operating at the Sharp End: The Complexity of Human Error. In M. Bogner, *Human Error in Medicine* (S. 255-310). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Corlett, E. N. (1992). Ergonomics - a science or a technology. In S. Kumar, *Advances in industrial ergonomics and safety IV* (S. xxv-xxxii). London: Taylor & Francis.
- Dahm, M. (2006). *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson Studium.
- Dauber, W. (2005). *Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie* (9. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Dekker, S. (2012). Complexity, signal detection, and the application of ergonomics: Reflections on a healthcare study. *Applied Ergonomics*, 43(3), S. 468-472.
- Dekker, S. W., & Nyce, J. M. (2004). How can ergonomics influence design? Moving from research findings to future systems. *Ergonomics*, 47(15), S. 1624-1639.
- Dekker, S., Hollnagel, E., Woods, D., & Cook, R. (2008). *Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems*. Lund: Lund University School of Aviation.
- Deutsche National Bibliothek. (2014). *Übersichten zur DDC 22*. Abgerufen am 10. Juli 2014 von [http://www.ddc-deutsch.de/Subsites/ddcdeutsch/DE/DDCprodukte/DDCuebersichten/DDCuebersichten\\_node.html](http://www.ddc-deutsch.de/Subsites/ddcdeutsch/DE/DDCprodukte/DDCuebersichten/DDCuebersichten_node.html)

- 
- Dittmann, L. (2002). *Sprachen zur Repräsentation von Wissen*. Essen: Universität Essen.
- Dong, M., Yang, D., & Su, L. (2011). Ontology-based service product configuration system modeling and development. *Expert Systems with Applications*, 38(9), S. 11770-11786.
- Du, S., Wu, Q., Wang, Y., & Yi, Z. (2009). Study of method for computer aided ergonomics knowledge management and design aiming at product design. *IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design* (S. 1176-1180). Wenzhou: IEEE.
- Dubuisson, S., & Lane, R. (2014). *Integrated Tower Working Position*. Abgerufen am 20. Juni 2014 von Eurocontrol: [http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard\\_page/proj\\_ITWP.html](http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/proj_ITWP.html)
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., . . . van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(6), S. 377-395.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehen - Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Dzida, W. (1995). Standards for user-interfaces. *Computer Standards & Interfaces*, 17(1), S. 89-97.
- EEMUA 191. (2013). *Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement* (3. Aufl.). London: The Engineering Equipment and Materials Users' Association.
- Ehn, P. (1989). The Art and Science of Designing Computer Artifacts. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 1, S. 21-42.
- Ehrlenspiel, K., & Meerkamm, H. (2013). *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (5. überarb. und erw. Aufl.). München/Wien: Carl Hanser.
- ErgonomicsInfo. (2014). *ergonomics-info.com*. Abgerufen am 18. Juli 2014 von <http://www.ergonomics-info.com>
- Ertel, W. (2013). *Grundkurs Künstliche Intelligenz - Eine praxisorientierte Einführung* (3. Aufl.). Wiesbaden: Springer.
- Eurocontrol. (2013). *Challenges of Growth 2013*. Brüssel: European Organisation for the Safety of Air Navigation.
- Federal Aviation Administration. (2014). *Human Factors Design Standard (HFDS)*. Abgerufen am 20. Juni 2014 von <http://hf.tc.faa.gov/hfds/default.htm>
- Feyen, R., Liu, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G., & Joseph, B. (2000). Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design. *Applied Ergonomics*, 31(3), 291-300.
- Frank, U. (2000). Die Unified Modeling Language (UML) - ein bedeutsamer Standard für die konzeptionelle Modellierung. *Das Wirtschaftsstudium (wisu)*, 5, S. 709-718.
- Fröscher, M. (2014). *Wissensmanagement 2.0*. Hamburg: Disserta.



- 
- Gawron, V. J. (1991). Human-Factors Taxonomy. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 35(18), S. 1284-1287.
- Gesellschaft Arbeit und Ergonomie. (2014). *ErgoOnline*. Abgerufen am 18. Juli 2014 von <http://www.ergo-online.de/>
- Gilad, I., & Karni, R. (1999). Architecture of an expert system for ergonomics analysis and design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, S. 205-221.
- Göbel, M. (2009). Complexity in Ergonomics. In C. Schlick, *Industrial Engineering and Ergonomics* (S. 347-361). Dordrecht/Heidelberg/London/New York: Springer.
- Gruber, T. (2009). Ontology. In L. Liu, & M. Özsu, *Encyclopedia of Database Systems* (S. 1963-1965). Boston: Springer.
- Gutmann, J., & Kollig, M. (2005). *Gesundheit und Arbeitsschutz - Vorschriften einhalten, Maßnahmen durchführen*. Planegg: Haufe.
- Heister, R., Christ, A., Dong, L., Fürstmann, P., & Golenishcheva, O. (2010). *Entwicklung eines Design Process Guides für die Gestaltung von Fluglotsensystemen - Advanced Design Project (ADP) an der Technischen Universität Darmstadt*. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.
- Helander, M. G. (1997). Forty years of IEA: Some reflections on the evolution of ergonomics. *40*(10), S. 952-961.
- Hendrick, H. W., & Kleiner, B. M. (2000). *Macroergonomics: An Introduction to Work System Design*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Henninger, S., Haynes, K., & Reith, M. W. (1995). A framework for developing experience-based usability guidelines. In *Proceedings of the Symposium on Designing Interactive Systems* (S. 43-53). New York: ACM Press.
- Hollnagel, E. (1987). Information and reasoning in intelligent decision support systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27, S. 665-678.
- Hollnagel, E. (2014). Human factors/ergonomics as a systems discipline? "The human use of human beings" revisited. *Applied Ergonomics*, 45(1), S. 40-44.
- Hollnagel, E., & Woods, D. (2005). *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Hollnagel, E., Woods, D., & Leveson, N. (2006). *Resilience Engineering*. Farnham: Ashgate.
- Horridge, M. (2011). *A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools - Edition 1.3*. Manchester: The University Of Manchester.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., & Dean, M. (2004). *SWRL: A Semantic Web Rule Language - Combining OWL and RuleML*. Abgerufen am 22. Januar 2015 von <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>
- International Ergonomics Association. (2014). *What is ergonomics? - Definition and Domains of ergonomics*. Abgerufen am 27. Mai 2014 von <http://www.iea.cc/whats/>

- 
- Ivergard, T., & Hunt, B. (2008). *Handbook of Control Room Design and Ergonomics: A Perspective for the Future* (2. Aufl.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Jeckle, M. (2015). *UML-Tools*. Abgerufen am 17. Januar 2015 von <http://www.jeckle.de/umltools.html>
- Jonassen, D. H., Beissner, K., & Yacci, M. (1993). *Structural Knowledge: Techniques for Representing, Conveying, and Acquiring Structural Knowledge*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- JuraForum. (2014). *EU-Verordnung*. Abgerufen am 16. Juni 2014 von <http://www.juraforum.de/lexikon/eu-verordnung>
- Kaljun, J., & Dolsak, B. (2011). Ergonomic design knowledge built in the intelligent decision support system. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), S. 162–171.
- Karsh, B.-T., Waterson, P., & Holden, R. J. (2014). Crossing levels in systems ergonomics: A framework to support mesoergonomic inquiry. *Applied Ergonomics*, 45(1), S. 45-54.
- Kastner-Koller, U., & Deimann, P. (2007). *Psychologie als Wissenschaft* (2., aktual. Aufl.). Wien: Facultas.
- Kelly, M. J. (1999). *Preliminary Human Factors Guidelines for Traffic Management Centers*. Atlanta: Federal Highway Administration.
- Kienereich, W., & Strohmaier, M. (2006). Wissensmodellierung - Basis für die Anwendung semantischer Technologien. In T. Pellegrini, & A. Blumauer, *Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 359-371). Heidelberg: Springer.
- Kim, H. (2010). Effective organization of design guidelines reflecting designer's design strategies. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, S. 669-688.
- Kirchner, J.-H. (2008). *Ergonomische Gestaltung und Beurteilung*. Braunschweig: Abteilung Arbeitswissenschaft des Instituts für Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Braunschweig.
- Kirchner, J.-H. (2014). *Begriffe: Ergonomie-Design-Arbeitswissenschaft-Arbeitssicherheit*. Abgerufen am 18. Juli 2014 von <https://jh-kirchner.wiki.zoho.com>
- Kirchner, J.-H., & Baum, E. (1990). *Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsgestalter*. München: Hanser.
- Klitsch, W., & van Dijk, T. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, S. 363-394.
- König, C. (2012). *Analyse und Anwendung eines menschenzentrierten Gestaltungsprozesses zur Entwicklung von Human-Machine-Interfaces im Arbeitskontext am Beispiel Flugsicherung, von der TU Darmstadt angenommene Dissertation*. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.
- Küchlin, W., & Weber, A. (2005). *Einführung in die Informatik* (3. Aufl.). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.

- 
- Lachenmayr, B., Friedburg, D., Hartmann, E., & Buser, A. (2006). *Auge - Brille - Refraktion* (4. überarb. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Lämmel, U., & Cleve, J. (2012). *Künstliche Intelligenz* (4., aktual. Aufl.). München: Hanser.
- Laurig, W. (2014). *ErgonAssist*. Abgerufen am 18. Juli 2014 von <http://www.ergonassist.de/>
- Laurig, W., & Rombach, V. (1989). Expert systems in ergonomics: requirements and approach. *Ergonomics*, 32(7), S. 795-811.
- Lehner, F. (2008). *Wissensmanagement - Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung* (2. Aufl.). Wien: Hanser.
- Lindbloom, B. (2014). *Useful Color Equations and Color Calculators*. Abgerufen am 15. Mai 2014 von <http://www.brucelindbloom.com/>
- Loskyll, M., & Meixner, G. (2010). Einsatz von Wissensmanagement-Systemen zur Unterstützung des USEWARE-Engineering-Prozesses. *Proceedings of USEWARE 2010*. Baden-Baden: VDI Wissensforum.
- Luczak, H., & Volpert, W. (1987). *Arbeitswissenschaft. Kerndefinition - Gegenstandskatalog - Forschungsgebiete*. Eschborn: RKW.
- Maltzahn, S. (2013). *Simultane Anforderungs- und Architekturdefinition auf Basis semantischer Ähnlichkeit von Anforderungen*. Aachen: Shaker.
- Mandler, J. M., & Ritchey, G. H. (1977). Long-term memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(4), S. 386-396.
- Markus, H. (1977). Self-schemata and processing information about the self. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35(2), S. 63-78.
- Marshall, C., Nelson, C., & Gardiner, M. M. (1987). Design guidelines. In M. M. Gardiner, & B. Christie, *Applying Cognitive Psychology to User-interface Design* (S. 221-278). Chichester, UK: Wiley.
- Matheus, C., Kokar, M., Baclawski, K., & Letkowski, J. (2003). Constructing RuleML-Based Domain Theories on top of OWL Ontologies. In M. Schröder, & G. Wagner, *Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web* (S. 81-94). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mecke, K. (2011). *Ontologiebasierte Repräsentation und Verarbeitung von Information bezüglich Unsicherheit in der virtuellen Produktentwicklung*. Aachen: Shaker.
- Meinel, H. (2011). *Betrieblicher Gesundheitsschutz* (5., vollst. überarb. u. aktual. Aufl.). Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg: ecomed.
- Meister, D. (1999). *The history of human factors and ergonomics*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Merz, M., & Wüthrich, M. (2013). *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler*. München: Vahlen.
- Meskens, J., Loskyll, M., Seißler, M., Luyten, K., Coninx, K., & Meixner, G. (2011). GUIDE2ux: a GUI Design Environment for Enhancing the User eXperience. *Proceedings of the 3rd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems* (S. 137-142). Pisa: ACM.

- 
- Mizoguchi, R., & Ikeda, M. (1996). *Towards Ontology Engineering - Technical Report AI-TR-96-1*. Osaka: The Institute of Scientific and Industrial Research.
- Mosier, J. N., & Smith, S. L. (1986). Application of guidelines for designing user interface software. *Behaviour and Information Technology*, 5(1), S. 39-46.
- Müller, H., & Weichert, F. (2011). *Vorkurs Informatik* (2. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Nachrichten für Luftfahrer - Teil II. (1999). *Richtlinien des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen für die Feststellung der körperlichen Tauglichkeit des Flugsicherungsbetriebspersonals*. Offenbach: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.
- Norros, L. (2014). Developing human factors/ergonomics as a design discipline. *Applied Ergonomics*, 45(1), S. 61-71.
- North, K. (2011). *Wissensorientierte Unternehmensführung* (5. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- Noyes, J., & Bransby, M. (2001). *People in Control - Human Factors in Control Room Design*. London: Institution of Engineering and Technology.
- Object Management Group. (2011). *Unified Modeling Language (UML) v2.4.1*. Abgerufen am 17. Januar 2015 von <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/>
- Object Management Group. (2015). *Introduction to OMG's Unified Modeling Language*. Abgerufen am 17. Januar 2015 von [http://www.omg.org/gettingstarted/what\\_is\\_uml.htm](http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm)
- OCLC. (2014). *How one library pioneer profoundly influenced modern librarianship*. Abgerufen am 10. Juli 2014 von <http://www.oclc.org/dewey/resources/biography.en.html>
- Pahl, & Beitz. (2013). *Konstruktionslehre* (8. vollst. überarb. Aufl.). (J. Feldhusen, & K.-H. Grote, Hrsg.) Berlin/Heidelberg: Springer.
- Palil, D. (1996). *An ergonomics design knowledge based expert system - vom Department of Manufacturing Engineering angenommene Dissertation*. Loughborough: Loughborough University of Technology.
- Perott, A. (2009). *Entwicklung von Anforderungen und Bewertungskriterien für innovative Medientechnik in der Flugsicherung, Diplomarbeit am Institut für Arbeitswissenschaft*. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.
- Perott, A., Schader, N., Bruder, R., & Leonhardt, J. (2012). Development of a knowledge management system for complex domains. *Work - A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41, S. 2757-2764.
- Perott, A., Schader, N., Leonhardt, J., & Bruder, R. (2011). Facing Human Factors in Air Traffic Control: A New Approach to Include Ergonomic Requirements in Workstation Design. *Tagungsband des 60. Deutschen Luft- und Raumfahrtkongresses* (S. 1045-1053). Bremen: DGLR.
- Perott, A., Schader, N., Leonhardt, J., & Bruder, R. (2012a). The implementation of a Design Process Guide for Advanced Ergonomics in Air Traffic Management (ATM) design. *Proceedings of the 30th European Association for Aviation Psychology (EAAP) Conference* (S. 240-246). Sardinia: EAAP.

- 
- Poetzsch-Heffter, A. (2009). *Konzepte objektorientierter Programmierung* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Probst, G., Raub, S., & Romhardt, K. (2010). *Wissen managen - Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen* (6., überarb. u. erw. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- Rajan, J. A., Wilson, J. R., & Wood, J. (2005). Control facilities design. In J. R. Wilson, & N. Corlett, *Evaluation of human work* (S. 389-425). Boca Raton (FL): Taylor & Francis.
- Reimer, U. (1991). *Einführung in die Wissensrepräsentation*. Stuttgart: Teubner.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2001). *Wissen managen: Das Münchner Modell (Forschungsbericht Nr. 131)*. München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Richardi, R., & Wlotzke, O. (1993). *Münchener Handbuch zum Arbeitsrecht*. München: Beck.
- Riesenberg-Mordeja, H. (2005). Neue Unübersichtlichkeit: Deregulierung verspricht mehr Klarheit und Praxisnähe, führt aber zum Gegenteil. *Gute Arbeit*, 17(12), S. 11-14.
- Röse, K. (2000). ErgoCheck - ein Tool zur Unterstützung der nutzergerechten Gestaltung von Bediensystemen bei Maschinen, als neuer Ansatz zur Arbeit mit Richtlinien. *MMI Interaktiv*, 4.
- Rundnagel, R. (2014). *Übersicht Arbeitsschutzrecht*. Abgerufen am 16. Juni 2014 von ErgoOnline: [http://www.ergo-online.de/site.aspx?url=html/rechtsgrundlagen/ueberblick/uebersicht\\_arbeitsschutzrecht.htm](http://www.ergo-online.de/site.aspx?url=html/rechtsgrundlagen/ueberblick/uebersicht_arbeitsschutzrecht.htm)
- Russell, S., & Norvig, P. (2012). *Künstliche Intelligenz - Ein moderner Ansatz* (3. aktual. Aufl.). München: Pearson.
- Salas, E. (2008). At the turn of the 21st century: reflections on our science. *Human Factors*, 50(3), 351-353.
- Sarter, N. B., Woods, D., & Billings, C. E. (1997). Automation Surprises. In G. Salvendy, *Handbook of Human Factors & Ergonomics* (2. Aufl., S. 1926-1943). New York: Wiley.
- Schader, N., Perott, A., Heister, R., Leonhardt, J., & Bruder, R. (2012). A user-centred approach to colour-coding in ATC. *Proceedings of the 30th European Association for Aviation Psychology (EAAP) Conference* (S. 206-212). Sardinia: EAAP.
- Schäling, B. (2015). *Der moderne Softwareentwicklungsprozess mit UML - Einführung*. Abgerufen am 17. Januar 2015 von <http://www.highscore.de/uml/einfuehrung.html>
- Schank, R., & Abelson, R. (1977). *Scripts Plans Goals and Understanding*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Schenke, M. (2013). *Logikkalküle in der Informatik*. Wiesbaden: Springer.
- Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft* (3., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Heidelberg/Dordrecht/London/New York: Springer.

- 
- Schmal, M. (2014). *Düsseldorf Radar*. Abgerufen am 08. Mai 2014 von <http://home.arcor.de/markus.schmal/>
- Schmidtke, H., & Jastrzebska-Fraczek, I. (2014). *EKIDES – Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System*. Abgerufen am 24. Juli 2014 von Lehrstuhl für Ergonomie, Sportgeräte und -materialien: <http://www.lfe.mw.tum.de/forschung/methoden-und-laboreinrichtungen/ekides/>
- Schmitz, C., Hotho, A., Jäschke, R., & Stumme, G. (2006). Kollaboratives Wissensmanagement. In T. Pellegrini, & A. Blumauer, *Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 273-290). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Schneider, R. (1996). Rechtliche Rahmenbedingungen für Arbeitsgestaltung und Arbeitsverhältnis. In W. Eversheim, & G. Schuh, *Produktion und Management „Betriebshütte“, Teil 2* (7. Aufl., S. 12/1 - 12/11). Berlin: Springer.
- Sheridan, T. B. (2014). Evaluating models in systems ergonomics with a taxonomy of model attributes. *Applied Ergonomics*, 45(1), S. 78-84.
- Smith, S. L. (1988). Standards versus guidelines for designing user interface software. *Behaviour & Information Technology*, 5(1), S. 47-61.
- Solso, R. L. (2004). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Springer.
- Stanford Center for Biomedical Research. (2015). *Protégé: A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems*. Abgerufen am 21. Januar 2015 von <http://protege.stanford.edu/>
- Stanton, N. A., Salmon, P., Jenkins, D., & Walker, G. (2009). *Human Factors in the Design and Evaluation of Central Control Room Operations*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Steuer, J. (2012). *Digital Human Modelling zur ergonomischen Beurteilung von Flugverkehrskontrollarbeitsplätzen in der DFS Deutsche Flugsicherung*. Darmstadt: Master Thesis am Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt.
- Stock, W. G., & Stock, M. (2008). *Wissensrepräsentation*. München: Oldenbourg.
- Struder, R. (2012). *Ontologien*. Abgerufen am 21. Januar 2015 von Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-encyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Wissensmanagement/Wissensmodellierung/Wissensrepräsentation/Semantisches-Netz/Ontologien>
- Stuckenschmidt, H. (2009). *Ontologien - Konzepte, Technologien und Anwendungen*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer.
- Tabet, S., & Dean, M. (2015). *SWRL - Issues List and Language Extensions*. Abgerufen am 22. Januar 2015 von <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>
- Theil, M. (2007). *Wissensstrukturierung und -repräsentation im Produktentwicklungsprozess*. Aachen: Shaker.

- 
- Unland, R. (2014). *Wissensrepräsentation*. Abgerufen am 08. Juli 2014 von Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-encyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Wissensmanagement/Wissensmodellierung/Wissensrepräsentation>
- Vander Wal, T. (2014). *Folksonomy Coinage and Definition*. Abgerufen am 08. Juli 2014 von <http://vanderwal.net/folksonomy.html>
- W3C. (2014). *World Wide Web Consortium Process Document*. Abgerufen am 22. Januar 2015 von <http://www.w3.org/2014/Process-20140801/>
- W3C. (2015). *OWL Web Ontology Language Current Status*. Abgerufen am 21. Januar 2015 von [http://www.w3.org/standards/techs/owl#w3c\\_all](http://www.w3.org/standards/techs/owl#w3c_all)
- Walker, G., Stanton, N., Salmon, P., Jenkins, D., & Raffery, L. (2009). *Mapping the Study of Complexity to Human Factors: An Initial Study (HFIDTC/2/WP2.17/5)*. Human Factors Integration Defence Technology Centre.
- Wanner, E. (1974). *On remembering, forgetting, and understanding sentences - a study of the deep structure hypothesis*. Berlin: De Gruyter.
- Wigg, K. M. (1999). Successful knowledge management is an integrated whole - Not an assembly of individual pieces. *Knowledge, 1*, S. 179-202.
- Wilson, J. R. (2000). Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics, 31*(6), S. 557-567.
- Wilson, J. R. (2014). System ergonomics: Looking into the future - Editorial for special issue on systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics, 45*(1), S. 3-4.
- Wilson, J. R. (2014a). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics, 45*(1), S. 5-13.
- Yang, D., Miao, R., Wu, H., & Zhou, Y. (2009). Product configuration knowledge modeling using ontology web language. *Expert Systems with Applications, 36*(3), S. 4399-4411.
- yWorks. (2014). *yEd Graph Editor*. Abgerufen am 18. März 2014 von [http://www.yworks.com/de/products\\_yed\\_about.html](http://www.yworks.com/de/products_yed_about.html)
- Zühlke, D. (2012). *Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systeme* (2., neu bearb. Aufl.). Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.

---

## **Gesetzes-, Verordnungs- und Normenverzeichnis**

---

- ArbSchG. (2013). *Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996, zuletzt geändert am 19.10.2013*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- ArbStättV. (2010). *Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004, zuletzt geändert am 19.07.2010*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- ASiG. (2013). *Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit vom 12. Dezember 1973, zuletzt geändert am 20. April 2013*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- ASR A1.8. (2012). *Technische Regel für Arbeitsstätten: Verkehrswege*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- ASR A3.4. (2011). *Technische Regeln für Arbeitsstätten: Beleuchtung*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- ASR A3.5. (2010). *Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- BetrSichV. (2011). *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- BildscharbV. (2008). *Bildschirmarbeitsverordnung vom 4. Dezember 1996, zuletzt geändert am 18.12.2008*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- DIN EN 45020. (2007). *Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten - Allgemeine Begriffe*. Berlin: Beuth.
- DIN EN 527-1. (2011). *Büromöbel - Büro-Arbeitstische - Teil 1: Maße*. Berlin: Beuth.
- DIN EN 894-2. (2009). *Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 2: Anzeigen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 11064-1. (2000). *Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 1: Grundsätze für die Gestaltung von Leitzentralen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 11064-4. (2004). *Ergonomische Gestaltung von Leitzentralen - Teil 4: Auslegung und Maße von Arbeitsplätzen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 5035-7. (2004). *Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 6385. (2004). *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9000. (2005). *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-11. (1998). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit*. Berlin: Beuth.



- 
- DIN EN ISO 9241-302. (2009). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 302: Terminologie für elektronische optische Anzeigen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-303. (2009). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-4. (1998). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 4: Anforderungen an die Tastatur*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-5. (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-6. (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung*. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 9241-7. (1998). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen*. Berlin: Beuth.
- GG. (2012). *Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- ISO 25964-1. (2011). *Information und Dokumentation - Thesauri und die Interoperabilität mit anderen Vokabularen - Teil 1: Thesauri zur Informationssuche*. Berlin: Beuth.
- ISO/IEC 2382-1. (1993). *Information technology -- Vocabulary -- Part 1: Fundamental terms*. Beuth: Berlin.
- LuftVG. (2013). *Luftverkehrsgesetz vom 1. August 1922, zuletzt geändert am 7. August 2013*. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

---

## Grafiklizenzverzeichnis

---

Airbus A320 von PolyLingua. Verwendet in Abbildung 14. Frei und ohne Einschränkungen verwendbar. Heruntergeladen von <https://openclipart.org/detail/183655/airbus-a320-by-polylingua-183655> am 03.09.2014.

Clouds, sun, weather icon von Everaldo Coelho. Verwendet in Abbildung 11. Lizenziert unter LGPL. Heruntergeladen von [https://www.iconfinder.com/icons/18095/clouds\\_sun\\_weather\\_icon#size=256](https://www.iconfinder.com/icons/18095/clouds_sun_weather_icon#size=256) am 03.09.2014.

Ice Cubes von Aha-Soft. Verwendet in Abbildung 11. Lizenziert unter Creative Commons. Heruntergeladen von [https://www.iconfinder.com/icons/127309/clean\\_clear\\_cold\\_cool\\_cubes\\_freeze\\_gem\\_ice\\_iced\\_jewel\\_precious\\_water\\_icon#size=512](https://www.iconfinder.com/icons/127309/clean_clear_cold_cool_cubes_freeze_gem_ice_iced_jewel_precious_water_icon#size=512) am 03.09.2014.

Little red racing car von Onsemeliot. Verwendet in Abbildung 14. Frei und ohne Einschränkungen verwendbar. Heruntergeladen von <https://openclipart.org/detail/177652/little-red-racing-car-by-onsemeliot-177652> am 03.09.2014.

Spit, water icon von Oliver Scholtz. Verwendet in Abbildung 11. Frei verwendbar für den nichtkommerziellen Gebrauch. Heruntergeladen von [https://www.iconfinder.com/icons/23860/spit\\_water\\_icon#size=128](https://www.iconfinder.com/icons/23860/spit_water_icon#size=128) am 03.09.2014.

Zebra von Pearson Scott Foresman. Verwendet in Abbildung 14. Frei und ohne Einschränkungen verwendbar. Heruntergeladen von [http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Category:PD-ScottForesman&from=Z#mediaviewer/File:Zebra\\_%28PSF%29.png](http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Category:PD-ScottForesman&from=Z#mediaviewer/File:Zebra_%28PSF%29.png) am 03.09.2014.

## Anhang

### Anhang 1

Tabelle 19: Merkmale der Arbeitssystemelemente nach DIN EN ISO 9241-11 (1998)

Arbeitsperson	Arbeitsaufgabe	Arbeitsmittel
<p><b>Benutzertyp</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repräsentative Benutzer</li> <li>• Nicht repräsentative und indirekte Benutzer</li> </ul> <p><b>Fertigkeiten und Wissen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfahrungen mit dem Produkt</li> <li>• Erfahrungen mit dem System</li> <li>• Erfahrungen mit der Arbeitsaufgabe</li> <li>• Erfahrungen mit der Organisation</li> <li>• Übungsgrad</li> <li>• Fertigkeiten mit dem Eingabemittel</li> <li>• Qualifikationen</li> <li>• Sprachfertigkeiten</li> <li>• Allgemeine Kenntnisse</li> </ul> <p><b>Persönliche Merkmale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter</li> <li>• Geschlecht</li> <li>• Physische Fähigkeiten</li> <li>• Physische Grenzen und Behinderungen</li> <li>• Intellektuelle Fähigkeiten</li> <li>• Einstellungen</li> <li>• Motivation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgabenerlegung</li> <li>• Aufgabenbezeichnung</li> <li>• Aufgabenhäufigkeit</li> <li>• Aufgabendauer</li> <li>• Häufigkeit von Ereignissen</li> <li>• Handlungsspielraum</li> <li>• Physische und mentale Anforderungen</li> <li>• Aufgabenabhängigkeiten</li> <li>• Aufgabenergebnisse</li> <li>• Gefährliche Auswirkungen von Fehlern</li> <li>• Sicherheitskritische Erfordernisse</li> </ul>	<p><b>Allgemeine Beschreibung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktbezeichnung</li> <li>• Produktbeschreibung</li> <li>• Hauptanwendungsbereiche</li> <li>• Wichtige Funktionen</li> </ul> <p><b>Spezifikationen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardware</li> <li>• Software</li> <li>• Materialien</li> <li>• Dienstleistungen</li> <li>• Weiteres</li> </ul>

Umgebung		
Organisatorische	Technische	Physische
<p><b>Struktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsstunden</li> <li>• Gruppenarbeit</li> <li>• Funktion</li> <li>• Arbeitspraxis</li> <li>• Hilfestellung</li> <li>• Unterbrechungen</li> <li>• Führungsstruktur</li> <li>• Kommunikationsstruktur</li> </ul> <p><b>Einstellung und Kultur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorschriften</li> </ul>	<p><b>Konfiguration</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardware</li> <li>• Software</li> <li>• Referenzmaterial</li> </ul>	<p><b>Arbeitsbedingungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atmosphäre</li> <li>• Akustik</li> <li>• Klima</li> <li>• Wahrnehmungsbedingungen</li> <li>• Umgebungsstabilität</li> </ul> <p><b>Arbeitsplatzgestaltung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Größe und Einrichtung</li> <li>• Körperhaltung</li> <li>• Arbeitsplatz</li> </ul>

---

<ul style="list-style-type: none"><li>• Organisatorische Ziele</li><li>• Geschäftsbeziehung</li></ul> <p><b>Arbeitsgestaltung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mischarbeit</li><li>• Leistungsmessung</li><li>• Ergebnismeldung</li><li>• Arbeitstempo</li><li>• Selbstständigkeit</li><li>• Entscheidungsfreiheit</li></ul>		<p>Arbeitsplatzsicherheit</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gesundheitsgefährdung</li><li>• Schutzkleidung und - vorrichtungen</li></ul>
---	--	--

---

## **Anhang 2**

Klassifikation zur Einordnung ergonomischer Anforderungen nach Perott (2009):

### **A) Anforderungen an die technologische Umgebung**

- A1) Anforderungen an die physikalische oder chemische Umgebung
  - Klima
  - Lärm
  - Vibrationen
  - Beleuchtung
  - Strahlung
  - Arbeitsstoffe
- A2) Anforderungen an die soziale Umgebung
  - Arbeitsteilung
  - Hierarchie
  - Vorgesetztenverhalten
  - Partizipations- und Mitspracherechte
  - Kommunikations- und Teamkultur

### **B) Anthropometrische Anforderungen an das Arbeitssystem**

- B1) Anforderungen an die Körperhaltung
- B2) Anforderungen an die Arbeitsplatzabmessungen
  - Zugang zu den Arbeitsmitteln
  - Sitzarbeitsplatz
  - Steharbeitsplatz
- B3) Anforderungen bezüglich des Gesichts- und Blickfeldes
- B4) Anforderungen an die Hand-Arm-Funktionen
- B5) Anforderungen an die Bein-Fuß-Funktionen

### **C) Sicherheitsrelevante Anforderungen an das Arbeitssystem**

### **D) Physiologische Anforderungen an das Arbeitssystem**

- D1) Anforderungen an statische Muskelarbeit
  - Anforderungen an statische Haltungsarbeit
  - Anforderungen an statische Haltearbeit
- D2) Anforderungen an dynamische Muskelarbeit
  - Anforderungen an einseitige dynamische Muskelarbeit

- 
- Anforderungen an schwere dynamische Muskelarbeit

### **E) Informatorische Anforderungen an das Arbeitssystem**

- E1) Anforderungen an Anzeigen
  - Optische Anzeigen
  - Akustische Anzeigen
  - Taktile Anzeigen
  - Vestibuläre Anzeigen
  - Olfaktorische Anzeigen
  - Gustatorische Anzeigen
  - Thermische Anzeigen
  - Kinästhetische Anzeigen
  - Schmerzübermittelnde Anzeigen
- E2) Anforderungen an Stellteile
  - Steuerung mit dem Hand-Arm-System
  - Steuerung mit dem Bein-Fuß-System
  - Steuerung mit der Stimme
  - Steuerung mit dem Kopf-Gesicht-System
  - Steuerung mit dem Rumpf
  - Steuerung mit den Nervenpotentialen
- E3) Anforderungen an die Software
  - Aufgabenangemessenheit
  - Lernförderlichkeit
  - Fehlerrobustheit
  - Selbstbeschreibungsfähigkeit
  - Individualisierbarkeit
  - Steuerbarkeit
  - Erwartungskonformität

### **F) Organisatorische Anforderungen an das Arbeitssystem**

- F1) Anforderungen an den Arbeitsinhalt
- F2) Anforderungen an die Arbeitsverteilung
- F3) Anforderungen an die Arbeitszeitregelung
  - Tägliche Arbeitszeit
  - Pausengestaltung und Erholungszeit
  - Schicht- und Nachtarbeit

- 
- F4) Arbeitsstrukturelle Anforderungen
  - F5) Anforderungen an die Arbeitsbewertung und das Entgelt

## Anhang 3

Tabelle 20: Klassifikation nach Kirchner (2008)

<b>O    Gestaltungsobjekte</b>	
<b>(1)</b>	<b>Abgeschlossenes technisches Erzeugnis – einschl. Arbeitsplatz (technisches Erzeugnis als Ganzes)</b>
O1	Maschine, technische Anlage
O2	Gerät, Werkzeug, Instrument
O3	Schaltwarte, Überwachungszentrale
O4	Werkstatt-, Kontroll-, Büroarbeitsplatz, Bedienungs-, Beratungs-, Abfertigungsplatz
O5	Fahrzeug, Verkehrsmittel, Transportmittel
O6	Gebäude, Raum, räumlicher Bereich
<b>(2)</b>	<b>Elemente, mit denen der Mensch in Kontakt tritt</b>
O7	Stellteil
O8	Griffe, Greifstelle
O9	Montage-, Rüst-, Demontagestelle, Haltevorrichtung
O10	Arbeitsgegenstand, Werkstück, Arbeits-, Hilfsstoff, Verpackung, Transport-, Aufbewahrungsbehälter
O11	Teilebehälter, Ablage, Regal, Schrank
O12	Mittel zur Informationsdarbietung
O13	Sprech-, Seh-, Hörhilfe
O14	Arbeitsfläche, Werk-, Arbeitstisch, Konsole, Pult
O15	Sitz, Stuhl, Bank, Stütze
O16	Zugang, Verkehrsweg, Tür, Tor, Treppe, Leiter, Rampe, Galerie
O17	Fußboden, Wand, Raumdecke
O18	Einrichtung für Umgebungsbedingungen
O19	Einrichtung gegen Gefährdungen/Einrichtung zur Arbeits-/ Gebrauchssicherheit
O20	Persönliche Schutzausrüstung, Spezialkleidung
<b>(3)</b>	<b>Organisationsmittel für die Benutzung des technischen Erzeugnisses</b>
O21	Vorschrift, Anweisung, Anleitung
O22	Dialog Mensch-Maschine, Dialog Mensch-Rechner
O23	Prozessführung

<b>A    Ergonomische Anforderungsmerkmale</b>	
<b>(1)</b>	<b>Ergonomische Anforderungsmerkmale aus dem aktiven menschlichen Beitrag zur Erfüllung der Aufgabe in einem Wirksystem</b>
A1	Notwendigkeit {Aufgabenangemessenheit; Anpassbarkeit}
A2	Zweckmäßigkeit; Wirksamkeit {Aufgabenangemessenheit; Anpassbarkeit; Fehlerrobustheit}
A3	Einfachheit; Verständlichkeit {Aufgabenangemessenheit; Selbstbeschreibungsfähigkeit; Steuerbarkeit}
A4	Schnelligkeit; Leistung {Aufgabenangemessenheit; Steuerbarkeit}
A5	Genauigkeit {Aufgabenangemessenheit; Steuerbarkeit}
A6	Zuverlässigkeit; Verlässlichkeit; Konsistenz {Steuerbarkeit}
A7	keine Fehlhandlungs-, Fehlbetätigungsmöglichkeit, unbeabsichtigte Betätigung {Fehlerrobustheit}
A8	leichte, schnelle Erlernbarkeit {Erlernbarkeit}
A9	Sicht-, Beobachtungs-, Kontrollmöglichkeit {Steuerbarkeit}; Wahrnehmbarkeit; Verständlichkeit; keine Störungen; Förderung, Anziehung der Aufmerksamkeit;



	Erkennbarkeit; Unterscheidbarkeit, keine Verwechslungsmöglichkeit; Übersichtlichkeit
A10	Erreichbarkeit; Möglichkeit des schnellen Tätigkeitswechsels
A11	Greifbarkeit; Griffigkeit
A12	Eindeutigkeit; Sinnfälligkeit {Erwartungskonformität}
A13	keine unbefugte Betätigung
<b>(2)</b>	<b>Ergonomische Anforderungsmerkmale aus Rückwirkungen und Auswirkungen auf den Menschen im Wirksystem und auf unbeteiligte Außenstehende</b>
A14	angemessene Beanspruchung; geringe Ermüdung
A15	keine Belästigung; Behaglichkeit; Bequemlichkeit; Wohlbefinden
A16	keine Verletzungsgefahr
A17	keine Gesundheitsschädigung, -beeinträchtigung
A18	Anregung; Abwechslung; keine Monotonie; keine enge zeitliche Bindung
A19	Entwicklungs-, Entfaltungsmöglichkeit; keine Über-, Unterforderung
A20	Zufriedenheit; Befriedigung

<b>G</b>	<b>Gestaltungsmerkmal</b>
G1	Art – Funktion, Verfahren, Wirkprinzip, Art und Intensität des Effekts, Auswirkungen
G2	Funktionsverteilung – Art der Tätigkeit
G3	Art der Elemente – Aufbau, Einzelteile, Betätigungsart
G4	Zahl – Anzahl, Aufteilung
G5	Form – Gesamtform, Formelemente, Gliederung
G6	Größe – Abmessung, Reichweite, Fläche
G7	Lage – Anordnung, Zuordnung, Abstand, Richtung/Ausrichtung
G8	Energie – Stellkraft, Stellweg, Widerstand, Dämpfung, Druck
G9	Stoff – Material, Farbe, Oberfläche
G10	spezielle Vorkehrungen, Einrichtungen zu Umgebungseinflüssen
G11	spezielle Vorkehrungen, Einrichtungen gegen Gefährdungen – Sicherheits-/Schutzeinrichtungen
G12	Information – Kennzeichnung, Beschriftung
G13	Zusatzeinrichtungen besonderer Art