

Diploma Thesis

Change Process of Resource Planning

Process Optimisation – Software Comparison – Recommendation for Action

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Change-Prozess der Einsatzmittelplanung

Prozessoptimierung – Software-Vergleich – Handlungsempfehlung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Michael Reiter, BSc

Matr.Nr.: 00826494

unter der Anleitung von

Assistant Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz**, M.Sc.

BM Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christoph Winkler**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

Technische Universität Wien

Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im April 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
2	Methodik	17
2.1	Business Process Model and Notation (BPMN)	17
2.1.1	BPMN-Objekte	18
2.1.2	Prozessflüsse und -logik	21
2.1.3	Beispiel	24
2.2	Analytic Hierarchy Process (AHP)	27
2.2.1	Die Vorgehensweise im AHP	27
2.2.2	Die Prinzipien und Axiome des AHP	28
2.2.3	Decision Modeling – Hierarchischer Modellaufbau	30
2.2.4	Bewertungsmatrizen und -skalen	30
2.2.5	Konsistenz der Bewertungsmatrix	33
2.2.6	Evaluierung der Bewertungsmatrix	37
2.2.7	Berechnung des Haupt-Eigenvektors	38
2.2.8	Konsistenzprüfung	40
2.2.9	Aggregation der Bewertungen	41
2.2.10	Sensitivitätsanalyse	42
3	Prozessanalyse und -optimierung	45
3.1	Aufbauorganisation	45
3.2	Problemstellung	46
3.3	Orientierender Grobprozess	47
3.3.1	Dokumente der Projektabwicklung	47
3.3.2	Orientierender Grobprozess und Dokumenteneinsatz	49
3.3.3	Informationsfluss/-cluster	49
3.3.4	Abgrenzung/Systemgrenzen	51
3.4	Prozesserfassung	53
3.4.1	Projektakquise	53
3.4.2	Projektvorbereitung	55
3.4.3	Vorbereitende Maßnahmen	55
3.4.4	Geräteverwaltung	57
3.4.5	Personaleinsatzplanung	57
3.4.6	Kritik an der aktuellen Einsatzmittelplanung	63
4	Prioritätenfindung	65
4.1	Ebene: Hauptkriterien	65
4.1.1	Bewertungskriterien	65
4.1.2	Beurteilung und Auswertung	67
4.1.3	Interpretation	67

4.2	Ebene: Subkriterien	68
4.2.1	Elementgruppe: Allgemeine Funktionen	68
4.2.2	Elementgruppe: Einsatzmittelplanung	70
4.2.3	Elementgruppe: Vertragsbedingungen und Kosten	72
4.2.4	Elementgruppe: Geräteverwaltung	73
4.2.5	Elementgruppe: Personalverwaltung	74
4.2.6	Elementgruppe: Reporting	76
4.2.7	Elementgruppe: Usability	76
4.2.8	Elementgruppe: Mobilität	79
4.3	Aggregation	79
5	Use-Cases	83
5.1	Einleitung	83
5.2	Use-Cases	83
5.2.1	Personalverwaltung	83
5.2.2	Geräteverwaltung	85
5.2.3	Einsatzmittelplanung	85
6	Softwareevaluierung	91
6.1	Markterkundung und Software-Selektion	91
6.1.1	Liste der engeren Auswahl	92
6.1.2	Evaluerte Software	92
6.2	Vorgehensweise bei Softwareevaluierung und -auswertung	95
6.2.1	Softwaretests und Bewertungsschema	95
6.2.2	Bewertungsgenauigkeit	96
6.2.3	Auswertung	98
7	Ergebniszusammenstellung und Handlungsempfehlung	99
7.1	Einführung in die Ergebnisinterpretation	99
7.1.1	Ergebnisdarstellung und Diagramminterpretation	99
7.1.2	Bewertungsskala und Abbildungsfunktion	100
7.2	Ergebnisauswertung der Alternativen	101
7.2.1	Auswertung: Usability	102
7.2.2	Auswertung: Einsatzmittelplanung	107
7.2.3	Auswertung: Geräteverwaltung	118
7.2.4	Auswertung: Personalverwaltung	120
7.2.5	Auswertung: Vertrag/Kosten	124
7.2.6	Auswertung: Mobilität	126
7.2.7	Auswertung: Reporting	127
7.2.8	Auswertung: Allgemeine Funktionen	130
7.3	Aggregation und Handlungsempfehlung	131
7.3.1	Aggregation	132
7.3.2	Handlungsempfehlung	134
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	137

Abkürzungsverzeichnis

A/V	Abschreibung und Verzinsung
AAH	Aufgabenangemessenheit
AHP	Analytic Hierarchy Process
allg.	allgemein(e)
ÄM	Änderungsmanagement
Ass.	Assoziation
AT	Arbeitstag
BAW	Betriebsaufwand
BDA	Betondeckenausbau
BDP	Bedarfsplanung
Bespr.	Besprechung
BGL	Baugeräteliste
BOD	Bodenstabilisierung
BPMN	Business Process Model and Notation 2.0
bspw.	beispielsweise
BVW	Baustellenverwaltung
bzgl.	bezüglich
BZPL	Bauzeitplan
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CI	Consistency Index
CR	Consistency Ratio
DB	Datenbank
dbzgl.	diesbezüglich
dgl.	dergleichen
EKF	Erwartungskonformität
EMP	Einsatzmittelplanung
ERP	Enterprise Resource Planning
etc.	et cetera
exkl.	exklusive
FIO	Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächentechnik
FKT	Funktionalität
FTL	Fehlertoleranz
GAD	Geräteadministration
gem.	gemäß
GEP	Geräteinsatzplanung
GERF	Geräteerfassung
gewP	gewerbliches Personal
GF	Geschäftsführer
ggf.	gegebenenfalls
ggstl.	gegenständlich
HZ	Hauptziel
i. A.	im Allgemeinen
i. d. R.	in der Regel
IMP	Implementierung

inkl.	inklusive
insb.	insbesondere
insg.	insgesamt
IVK	Individualisierbarkeit
kfmn.	kaufmännisch
KGF	kaufmännischer Geschäftsführer
KOS	Kosten
KW	Kalenderwoche
LFK	Lernförderlichkeit
lin.	linear
LÖU	Lösungsumfang
LS	Likert-Skala
lt.	laut
MOB	Mobilität
MTA	Maschinen-/Technische Abteilung
o.	oder
PAD	Personaladministration
PEP	Personaleinsatzplanung
PERF	Personalerfassung
Pkt.	Punkt
PL	Projektleiter
PL StV	Projektleiter Stellvertreter
Prot.	Protokoll
PV	Präferenzvektor
QAL	Qualität
rd.	rund
REP	Reporting
Rep.	Reparatur
resp.	respektive
<i>RI</i>	Consistency Index of Random Matrices
RUB	Rollen-/Berechtigungskonzept
SBF	Selbstbeschreibungsfähigkeit
SBK	Steuerbarkeit
SPS	SharePoint-Server
SRM	Simple Rocking Model
SST	Schnittstellen
STB	Stabilität
SUP	Support
techn.	technisch
TGF	technischer Geschäftsführer
u.	und
UML	Unified Modeling Language
Urlb.	Urlaub
USE	Usability
VFÜ	Verfügbarkeitsplanung
vgl.	vergleiche
VTM	Vertragsmodell

z. B. zum Beispiel

zus. zusätzlich

Genderhinweis

Alle personenbezogene Bezeichnungen der gegenständlichen Diplomarbeit sind geschlechtsneutral zu verstehen. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird entweder die weibliche oder die männliche Schreibweise gewählt und gilt sinngemäß für alle Geschlechtsidentitäten.

Kurzfassung

Mit fortschreitender Digitalisierung in Unternehmen gehen Veränderungen in der Abwicklung etablierter Arbeitsprozesse einher, die sich durch die eigene Unternehmenshistorie eingestellt haben. Das direkte Überführen dieser tradierten Abläufe in ein digitales System führt dabei nicht immer zu einer Effizienzsteigerung. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die vormals analogen Prozesse ohne jegliche Anpassung ins Digitale übernommen werden. Der konträre Fall, bei dem ein digitales System gewählt wird, das nicht mit den eigenen Arbeitsprozessen zusammenspielt, birgt ebenfalls die Gefahr, den Change-Prozess zum Scheitern zu bringen. Es gilt daher, die Balance zwischen den beiden Extremen zu finden. Einerseits dürfen die eigenen analogen Prozesse nicht stur ins Digitale übernommen werden, sondern müssen analysiert und für die digitale Abwicklung optimiert werden. Andererseits gilt es, ein potentes System zu wählen, das gleichzeitig keine komplette Umstellung der etablierten Abläufe notwendig macht.

Diese Diplomarbeit hilft einem österreichischen Bauunternehmen, einen Teil der Projektabwicklung, nämlich die Einsatzmittelplanung, zu optimieren. Aufgrund der Unternehmenshistorie gliedert sich das betroffene Unternehmen in mehrere Fachbereiche, die jeweils für sich Bauprojekte abwickeln. Sie setzten dabei für die interne Projektabwicklung verschiedene (digitale) Hilfsmittel bzw. Dokumente ein. Es gilt, die vorhanden Mehraufwände in der Datenerfassung und Verwaltung zu reduzieren. Dazu werden die firmeninternen Prozessketten in der Projektabwicklung abgebildet, um sie besser zu verstehen und anschließend den Abwicklungsaufwand mithilfe digitaler Mittel zu reduzieren. Zusätzlich muss sich das Unternehmen, als Tochter eines großen Konzerns, an vorgegebenen Prozessen orientieren. Dadurch entstehen Doppelgleisigkeiten und eine dezentrale Verwaltung der vorhandenen Informationen, wodurch ein unternehmensweiter Überblick erschwert wird. Um die Prozessabwicklung über die Fachbereiche zu optimieren, müssen alle relevanten Daten verknüpft und zentral administriert werden. Dies soll auf Basis einer gemeinsamen Softwarelösung umgesetzt werden. Ziel ist es, die Abläufe der verschiedenen Abteilungen zusammenzulegen und eine Softwareanwendung zu finden, die zukünftig eine gemeinsame Basis für die Einsatzmittelplanung darstellt.

Dazu werden im ersten Schritt die administrativen Arbeitsprozesse erfasst und in der *Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN)* dargestellt. Die BPMN-Diagramme zeigen die erwähnten Doppelgleisigkeiten deutlich auf und lassen den Mehrwert einer Zusammenlegung der Informationen erkennen. Anhand der erfassten Prozessketten werden klassische Use-Cases der Projektabwicklung ausgearbeitet, die für die späteren Softwaretests herangezogen werden. Mithilfe der Methode des *Analytic Hierarchy Prozess (AHP)* werden Anforderungen an eine Softwarelösung definiert und gewichtet, um ein Anforderungsprofil für eine potentielle Software festzulegen. Dieses Anforderungsprofil ist spezifisch auf die Bedürfnisse des Unternehmens angepasst und in Zusammenarbeit mit der Abteilung für *Innovation und Technologie* des Mutterkonzerns ausgearbeitet. Aus einer Marktrecherche und Vor-Selektion mehreren Anwendungen gehen vier Programme hervor, die anhand des definierten Anforderungsprofils im Rahmen des AHP verglichen und ausgewertet werden. Die Bewertung erfolgt auf Basis einer hierarchischen Entscheidungsstruktur im Sinne des AHP mit Haupt- und Subkriterien. Mit der Struktur des AHP erfolgt die Bewertung der vier gewählten Softwarealternativen, die sich für die Abwicklung einer unternehmensweiten Einsatzmittelplanung eignen. Dabei werden die Alternativen hinsichtlich 30 Subkriterien anhand einer Likert-Skala bewertet und im Rahmen des AHP miteinander verglichen.

Die Ergebnisauswertung bringt eine Softwareanwendung als deutlichen Favoriten hervor, die das individuelle Anforderungsprofil des Unternehmens, im Vergleich zu den anderen Anwendungen, am besten erfüllt. Das Ergebnis spiegelt den gewonnenen Eindruck während der Softwaretests ausgesprochen gut wider und zeigt, dass mit einer genauen Prozessanalyse mittels BPMN und ausgearbeitetem Anforderungsprofil mittels AHP eine geeignete Anwendung gefunden werden kann.

Abstract

As digitalisation in companies progresses, there are also changes in the handling of established work processes correlating with the company's own history. The direct transfer of these traditional processes into a digital system does not always lead to an increase in efficiency. This is particularly the case when the former analogue processes are transferred to digital without any adaptation. If on the contrary, a digital system is chosen that does not interact with one's own work processes, the change process is also at danger of a standstill. It is therefore vital to find a balance between the two extremes. On the one hand, previously established analogue processes must not be rigidly transferred into the digital domain, but must be analysed and optimised for digital processing. On the other hand, it is necessary to choose a potent system that at the same time does not require a complete restructuring of the already established processes.

The purpose of this diploma thesis is to help an Austrian construction company to optimise part of its project handling, namely resource planning. Due to its corporate history the company concerned is divided into several areas of expertise, each of which handles construction projects by itself. They use various (digital) tools and documents for internal project management. The aim is to reduce the additional work involved in data acquisition and administration. For this purpose, the company-internal process chains are mapped in order to better understand them and subsequently reduce the processing effort using digital means. In addition, the company, as a subsidiary of a large corporation, has to adhere to predefined processes. This results in duplication and decentralised management of existing information, which makes it harder to gain a company-wide overview. In order to optimise process handling across the specialist departments, all relevant data must be linked and centrally administered. This is to be implemented on the basis of a common software solution. The aim is to merge the processes of the various departments and to find a software application that will provide a common basis for resource planning in the future.

In the first step, the administrative work processes are recorded and presented in the *Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN)*. The BPMN diagrams show the mentioned duplication clearly and furthermore show the increase in value due to consolidation of information. Based on the acquired process chains, classic use cases of project management are developed, which are used for subsequent software tests. Using the *Analytic Hierarchy Process (AHP)* as a method, requirements for a software solution are defined and weighted in order to define a requirements profile for potential software. This requirement profile is specifically adjusted to the needs of the company and worked out in cooperation with the *Innovation and Technology Department* of the parent company. Market research and pre-selection of several applications resulted in four programmes which are then compared and evaluated on the basis of the defined requirement profile within the AHP framework. The evaluation is based on a hierarchical decision structure in the sense of the AHP with main and sub-criteria. The AHP structure is used to evaluate the four selected software alternatives that are suitable for processing enterprise-wide resource planning. The alternatives are evaluated with regard to 30 sub-criteria using a Likert scale and compared with each other within the scope of the AHP.

The result evaluation clearly favours one software application that in comparison to the others, best meets the individual requirement profile of the enterprise. The result fully reflects the impression obtained during the software test and shows that a suitable application can be found with a precise process analysis using BPMN and a developed requirement profile using AHP.

Kapitel 1

Einleitung

Für Bauunternehmen stellt die Vorbereitungsphase einen wesentlichen Teil bei der Abwicklung von Bauprojekten dar. Dabei wird der Bauablauf im Voraus projiziert und die vorhandenen Ressourcen dem geplanten Bauvorhaben zugeteilt. Mit fortschreitender Digitalisierung werden zunehmend Planungsschritte digital erledigt, die vormals analog durchgeführt wurden. Bei der Transformation der analogen Prozesse auf digitale, läuft man Gefahr, die Analogen – ohne Anpassung an das neue Umfeld – ins Digitale zu übernehmen. Das bedeutet, dass die analogen Prozesse an sich nicht überdacht und evaluiert werden, bevor begonnen wird, diese zu digitalisieren. Zusätzlich werden durch die Digitalisierung zunehmend mehr Daten generiert, die es dann auch zu verwalten gilt.

Diese Diplomarbeit wird in Zusammenarbeit mit einem österreichischen Bauunternehmen durchgeführt, das ebenfalls viele ihrer Planungsprozesse digital abwickelt, aber sich aufgrund der historischen Entwicklung mit vielen Doppelgleisigkeiten quält. Bei den Gesprächen mit den beteiligten Personen sind folgende Problemstellungen aufgezeigt worden:

- *Ich weiß nicht, auf welcher Baustelle meine Leute aktuell eigentlich sind.*
- *Wenn jemand ausfällt, muss ich alle Leute durchtelefonieren, bis ich jemanden finde, der die fehlende Person ersetzen kann.*
- *Wer ist mit welchem Auto unterwegs?*
- *Viel Information ist an eine gewisse Person gebunden. Es gibt keine Datenquelle, wo sämtliche Informationen zentral gespeichert werden.*
- *Da gibt es eine Liste, in der die Information steht, aber ich weiß nicht genau, wo die liegt.*
- *Die Kostenstellen müssen in mühsamer Einzelarbeit im Baustellennachlauf bzw. am Monatsende zu zweit durchgeführt werden. Es werden hierbei zwei Ressourcen auf Tätigkeiten gebunden, die eigentlich automatisiert werden können.*
- *Daten werden nicht einmalig zentral verwaltet, sondern müssen oft mehrmals administriert werden.*
- *Es gibt keinen Überblick über alle Baustellen aller Baubereiche.*
- *Es gibt keine einheitliche Vorgehensweise bei der Bauzeitplanung, denn es kommen unterschiedliche Dokumente zum Einsatz.*

Dies beschreibt eine Situation, die sich bei einer langsamen und unkontrollierten Digitalisierung administrativer Prozesse entwickeln kann.

Das Bauunternehmen gliedert sich in mehrere Fachbereiche, die jeweils für sich Bauprojekte abwickeln. Dieser Umstand begünstigt naturgemäß den „Wildwuchs“ an Dokumenten und Arbeitsbehelfen für die Projektabwicklung. Bei einer Untersuchung wurden in Summe 60 Dokumente festgestellt, die zur Abwicklung von Standardprojekten zum Einsatz kommen. Bei genauerer Betrachtung stellt sich heraus,

dass viele Informationen doppelt geführt werden oder Informationen, die inhaltlich zusammen gehören, nicht beieinander liegen.

Als Teil eines Konzerns ist das Unternehmen zusätzlich gezwungen, einige Prozesse der Muttergesellschaft zu übernehmen. Das bedeutet, dass sich die Digitalisierung der Projektabwicklung aufgrund einer Vielzahl unterschiedlicher Abhängigkeiten und Einwirkungen ohne eine vorgegebene Linie entwickelt hat.

Um der weiter voranschreitenden unkontrollierten Entwicklung entgegenzuwirken, soll unternehmensweit die Einsatzmittelplanung vereinheitlicht werden. Für die Ressourcenzuteilung wird eine am Markt verfügbare Software gesucht, mit der möglichst viele Doppelgleisigkeiten beseitigt werden können und es möglich ist, einen Überblick über alle Abteilungen zu bekommen.

Die gegenständliche Diplomarbeit gliedert sich in die folgenden Abschnitte:

1. Prozesserfassung und -analyse
2. Ermittlung des persönlichen Anforderungsprofils
3. Ausarbeitung von Use-Cases
4. Festlegung möglicher Lösungen und Testung
5. Auswertung und Handlungsempfehlung

Nach der Erläuterung der angewendeten Methoden in Kapitel 2 werden zunächst die Prozesse der Einsatzmittelplanung erfasst und mittels Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN) dargestellt (vgl. Kapitel 3). Anhand der Erkenntnisse hilft in Kapitel 4 der Analytic Hierarchy Process (AHP), ein, den Vorstellungen des Unternehmens entsprechendes Anforderungsprofil an eine Softwarelösung auszuarbeiten. Dabei werden die unterschiedlichen Aspekte einer Softwareanwendung hinsichtlich ihrer Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit untersucht. Den Kernaufgaben der Einsatzmittelplanung, Personalverwaltung, Geräteverwaltung und Einsatzmittelplanung gilt dabei besonderes Augenmerk.

Nach einer Marktrecherche werden die ausgewählten Softwarelösungen in Kapitel 6 anhand des Anforderungsprofils untersucht und getestet. Die Tests nutzen eigene Use-Cases, die Konflikte im Planungsprozess auslösen sollen, um die Robustheit der Softwaresysteme zu erörtern. Die Use-Cases sind in Kapitel 5 ausgearbeitet und erläutert.

Schließlich werden im Kapitel 7 die Ergebnisse der Softwareanalyse dargestellt und eine Handlungsempfehlung abgegeben.

Kapitel 2

Methodik

Jeder größeren Veränderung gehen schwierige Entscheidungen voraus, die weitreichende Folgen für den zukünftigen wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens haben können.

Bevor Entscheidungen großen Ausmaßes getroffen werden können, müssen die Grundlagen erarbeitet und aufbereitet werden. Sind Geschäftsprozesse Gegenstand des Entscheidungsprozesses, so ist die Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN) ein erprobtes Tool, um Prozesse verständlich und einheitlich abzubilden. Die BPMN standardisiert die Darstellung von Abläufen, auf deren Basis Geschäftsprozesse einheitlich beschrieben und analysiert werden können. In dieser Arbeit werden die erfassten Prozesse mittels BPMN dargestellt. Abschnitt 2.1 gibt einen Überblick über die Grundzüge dieser Methode.

Im Rahmen komplexer Entscheidungsfindungen sind viele unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen. Ein Ansatz, um alle entscheidungsrelevanten Einflüsse in die Entschlussfassung zu integrieren, ist der Analytic Hierarchy Process (AHP). Er stellt eine Methode dar, um multidimensionale Entscheidungen systematisch zu erfassen und für die Aufgabenstellung das beste Resultat zu erzielen. Bei einem Auswahlproblem mit vorliegenden Alternativen kann so die beste Option herausgearbeitet werden. Dieser ist bereits in vielen Fällen aus unterschiedlichen Bereichen erfolgreich angewendet worden [18, S. 100 ff.].

In dieser Arbeit wird der AHP angewendet, um im Rahmen eines Change-Prozesses die geeignetste Software zur Einsatzmittelplanung zu finden.

2.1 Business Process Model and Notation (BPMN)

Die BPMN ist ein Standard, um Geschäftsprozesse einheitlich darzustellen. Es werden Aktivitäten und Aufgaben mit deren Abhängigkeit zu Ereignissen und Bedingungen dargestellt. Die Berücksichtigung von internen und externen Einflüssen auf die Prozesse können einfach dargestellt werden. Ziel des BPMN ist es, Prozesse ganzheitlich abzubilden und so den Ablauf vom Startereignis bis zum gewünschten Endergebnis (resp. -ereignis) darzustellen. Die BPMN ist dafür konzipiert, definierte Prozess darzustellen. Sie eignet sich nicht, um alle Prozesse eines Unternehmens oder einer Organisation im Sinne einer ganzheitlichen Prozesslandschaft abzubilden [5, S. 28].

Dieses Kapitel beschreibt die Grundzüge der BPMN in Anlehnung an [5] „*Praxishandbuch BPMN 2.0*“ von Freund u. a., das praxisnahe und anschaulich die Regeln der BPMN behandelt. Nach Freund u. a. sind die drei häufigsten Anwendungsfälle der BPMN [5, S. 2]:

1. *Bestehende Prozesse organisatorisch und/oder durch IT zu verbessern*
2. *Bestehende Prozesse zu dokumentieren*
3. *Neue Prozesse einzuführen*

In der ggstl. Arbeit treffen insb. die ersten beiden Anwendungsfälle zu. Zur Verbesserung der Einsatzmittelplanung werden im Rahmen der BPMN die folgenden Schritte unternommen, um eine passende Lösung für das Unternehmen zu finden.

1. Prozesserhebung
2. Prozessdokumentation
3. Prozessanalyse
4. Prozesskonzeption

Zunächst wird ein Auszug der grundlegenden Objekte dargestellt. Dann wird die Art und Weise, wie Modelle zu lesen und zu verstehen sind, dargelegt. Hier wird speziell auf *Gateways* und *Ereignisse* eingegangen. Schließlich wird ein Prozessmodell Schritt für Schritt untersucht.

Die Prozessanalyse der erhobenen Abläufe erfolgt in Abschnitt 3. Die Use-Cases, auf denen die Bewertung der Softwarebewertung fußt, werden in Abschnitt 5 in der BPMN dargestellt.

2.1.1 BPMN-Objekte

Prozessmodelle bestehen aus einer Verknüpfung von unterschiedlichen Symbolen, die in folgende fünf Gruppen einteilen werden können:

- Flussobjekte, wie Aktivitäten, Aufgaben, Ereignisse und Gateways
- Verbindende Objekte, wie Sequenzflüsse und Assoziationen
- Datenobjekte und -speicher sowie Nachrichten
- Pools und Lanes
- Artefakte

Diese Objektgruppen sind in den nachfolgenden Abschnitten genauer beschrieben und werden in Abschnitt 2.1.3 anhand des „orientierenden Grobprozesses“ (vgl. Abb. 2.9) im Detail beleuchtet.

2.1.1.1 Flussobjekte

Aktivitäten, Ereignisse und Gateways können als *Flussobjekte* zusammengefasst werden. Sie stellen die grundlegenden Aufgaben/Aktivitäten dar, beschreiben Ablaufbedingungen und werden über Sequenzflüsse miteinander verbunden. In Abb. 2.1 sind die Flussobjekte dargestellt.

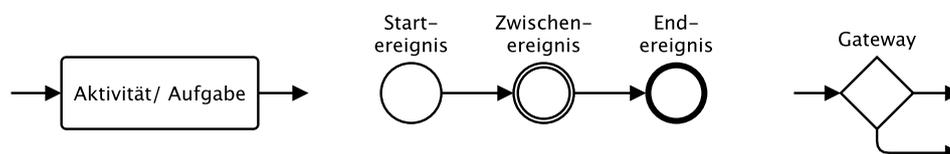


Abb. 2.1: Darstellung der Flussobjekte

Aktivitäten bzw. Aufgaben werden in der BPMN als abgerundetes Rechteck dargestellt. Sie stellen das fundamentale Element eines Prozessmodells dar und beschreiben eine konkrete Tätigkeit. Diese Tätigkeit kann durch eine Person oder durch ein System bearbeitet bzw. ausgeführt werden. Je nach Betrachtungsskala kann das eine kleine Tätigkeit sein, wie beispielsweise eine Listeneintragung, oder eine weitaus umfangreichere Tätigkeit, wie z. B. eine Vertragsverhandlung.

Ereignisse werden als Kreis dargestellt und können am Anfang als *Startereignis* und am Ende als *Endereignis* eines Prozessmodells vorhanden sein. Start- und Endereignisse müssen nicht verpflichtend modelliert werden. Wird jedoch ein Startereignis modelliert, so muss auch ein Endereignis dargestellt werden (siehe [5, S. 33]). In der ggstl. Arbeit werden alle Prozessmodelle mit zumindest einem Start- und Endereignis dargestellt. Zusätzliche Zwischenereignisse dienen der expliziten Darstellung von System- und Prozesszuständen. Sie können durch einen Prozess selbst ausgelöst, oder durch ein äußeres Event aktiviert werden.

Gateways beschreiben Logik und Abhängigkeiten des Prozessmodells und werden als Raute dargestellt. Sie aktivieren einen oder mehrere nachstehende Sequenzflüsse nach definierten Bedingungen, warten auf die Aktivierung durch einen eingehenden Sequenzfluss oder synchronisieren mehrere eingehende Sequenzflüsse. Da Gateways in der BPMN große Bedeutung zukommen, widmet sich Abschnitt 2.1.2.1 ihrer Funktionen und Ausprägungen im größeren Detail.

2.1.1.2 Verbindende Objekte

Verbindende Objekte, auch Kanten, Pfade, oder Konnektoren genannt, beschreiben die Verbindungsart und -richtung zwischen Flussobjekten, Daten, Pools, Lanes sowie Artefakten. Abb. 2.2 veranschaulicht unterschiedliche, verbindende Elemente.



Abb. 2.2: Darstellung der Verbindenden Objekte

Sequenzflüsse verbinden Aktivitäten, Gateways und Ereignisse miteinander. Sie definieren die Abfolge der Aktivitäten/Aufgaben und beschreiben so den gesamten Prozessverlauf. Sequenzflüsse können Lanes kreuzen und Aktivitäten unterschiedlicher Bahnen miteinander verbinden – das Kreuzen einer Poolberandung ist im Rahmen der BPMN nicht zulässig. Sequenzflüsse werden als Pfeil mit ausgefüllter Pfeilspitze dargestellt.

Nachrichtenflüsse stellen einen gerichteten Informationsaustausch dar. Sie können über Poolberandungen hinaus geführt werden und so Ereignisse in anderen Pools auslösen. Nachrichtenflüsse können, in Kombination mit Nachrichten-Ereignissen, die Abfolge eines Informationsaustausches abbilden. Sie werden als gestrichelte Linie mit einem Kreis am Ausgangspunkt und geschlossener Pfeilspitze am Ende dargestellt.

Assoziationen und gerichtete Assoziationen setzen Artefakte mit Flussobjekten in Verbindung. Sie werden als gepunktete Linie dargestellt und können durch eine Pfeilspitze die Richtung der (gerichteten) Assoziation beschreiben.

2.1.1.3 Pools und Lanes

Pools und Lanes (vgl. Abb. 2.3) beschreiben die Zuständigkeitsbereiche der Rollen im Prozessfluss. Sie begrenzen das untersuchte System und teilen die abgebildeten Prozesselemente den Teilnehmern zu. Je nach Betrachtungsskala und dargestelltem Prozess können bspw. Niederlassungen, Abteilungen oder sogar spezifische Rollen wie „Projektleiter“ (PL) und „PL StV“ eines Unternehmens beschrieben werden.

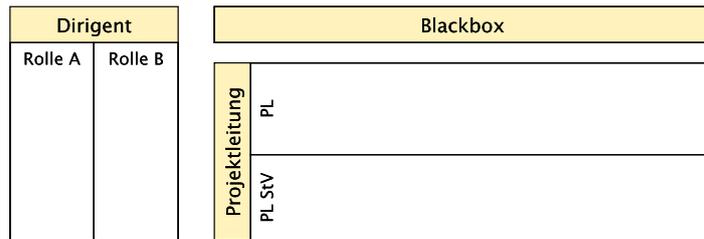


Abb. 2.3: Darstellung von Pools, Lanes und einer Blackbox

Pools beschreiben die übergeordnete Struktur des Prozesses und stellen so die Prozessgrenzen dar. Der „Besitzer“ des Pools wird auch *Dirigent* genannt. Er ist für die Koordination des eingebetteten Prozesses verantwortlich. Jeder Pool kann in mehrere Lanes untergliedert werden, um spezifische Rollen abzubilden. Sequenzflüsse können, im Gegensatz zu Nachrichtenflüssen und Assoziationen, die Umrandung eines Pools nicht kreuzen. Eine Sonderform des Pools ist die *Blackbox*. Sie wird verwendet, wenn der eingeschlossene Prozess nicht näher relevant ist.

Lanes untergliedern Pools in mehrere Bereiche und bieten die Möglichkeit, die Zuständigkeit der durchzuführenden Aktivitäten und Aufgaben innerhalb eines Prozesses abzubilden. In der Literatur wird dringend davon abgeraten, Lanes als „spezifische Person“ zu sehen. Das Konzept sollte weiter gefasst werden und als teilnehmende Rolle verstanden werden. Je nach Betrachtungsskala und Prozess können Lanes bspw. einen Sachbearbeiter oder eine ganze Fachabteilung repräsentieren.

2.1.1.4 Datenobjekte und Nachrichten

Datenobjekte repräsentieren eine Dateneinheit, die zunächst nicht näher definiert ist. Es kann sich dabei um ein Dokument, eine Liste, einen Datensatz oder eine andere Form von „Daten“ handeln.

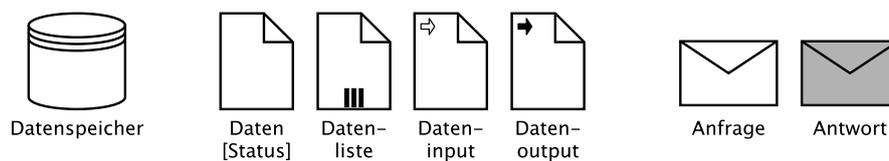


Abb. 2.4: Darstellung der Daten-Objekte

Datenspeicher stellt dauerhaft gespeicherte „Daten“ dar. Als einfaches Beispiel dient eine Mitarbeiterdatenbank. Sie besteht aus zahlreichen Datensätzen und ggf. internen Abhängigkeiten. Die Datenbank kann befüllt, ausgelesen oder abgeändert werden und stellt so eine zentrale Informationsquelle dar.

Datenobjekte werden als ein Blatt Papier dargestellt und können unterschiedlichste „Daten“ repräsentieren. Der Status des Datenobjekts wird in eckiger Klammer dargestellt. Speziell bei der Darstellung von Genehmigungsprozessen ist das eine wesentliche Information, die man im Prozessmodell darstellen möchte. Zusätzliche Symbole am Datenobjekt spezifizieren, ob es sich z. B. um einen *Daten-Input* oder *Daten-Output* handelt. Dies wird über einen eingblendeten Pfeil in der linken oberen Ecke konkretisiert.

Der Rechnungslauf kann als einfaches Beispiel herangezogen werden. Die Aufmaßblätter der im Leistungszeitraum erbrachten LV-Positionen dienen als *Daten-Input* für die Erstellung der Abschlagsrechnung (*Daten-Output*). Ein *Listen-Symbol* am unteren Rand würde die Daten als Sammlung mehrerer

Datensätze spezifizieren, da die abgerechneten LV-Positionen einer Datenliste entspricht. Die muss in weiterer Folge auch Datenzeile für Datenzeile kontrolliert werden.

Nachrichtenobjekte können als Anfrage oder Antwort modelliert werden. Sie gehen meist mit den Nachrichten-Ereignissen oder Aktivitäten des Typs *Empfangen* und *Senden* einher.

2.1.1.5 Artefakte

Artefakte sind zusätzliche Symbole, die zur Verständlichkeit des Prozessmodells beitragen. Eigene individuelle Symbole können ebenfalls als Artefakte in ein Prozessmodell aufgenommen und eingearbeitet werden.

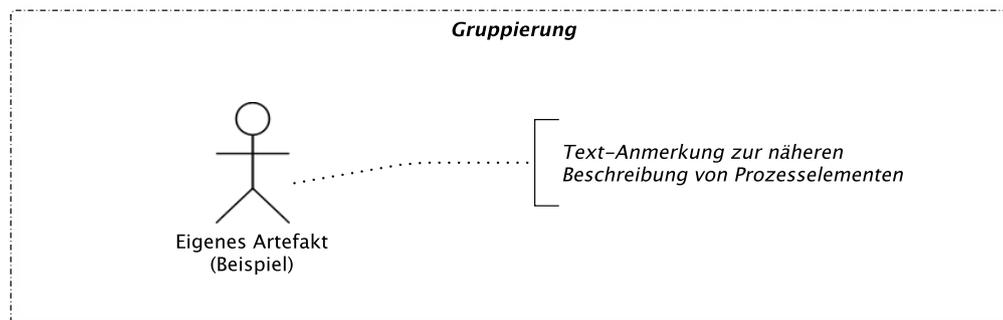


Abb. 2.5: Darstellung der Artefakt-Objekte

Freie Anmerkungen erlauben es, zusätzliche Kommentare einzufügen. Speziell bei Schleifen sind sie für die Beschreibung des Abbruchkriteriums notwendig. Auch an Gateways werden sie häufig zur Konkretisierung der Funktionalität bzw. Bedingungen verwendet.

Gruppierungen fassen einzelne Elemente des Prozessmodells zusammen. Sie werden als strich-punktierte Umrandung mit eingeschriebener Bezeichnung dargestellt.

Eigene Symbole können in der BPMN als Artefakte verwendet werden. Das ermöglicht, das Prozessmodell für einen konkreten Anwendungsfall anzupassen. In Abb. 2.5 ist bspw. das Symbol „Actor“ aus der Unified Modeling Language (UML) als Artefakt in das BPMN übernommen worden.

2.1.2 Prozessflüsse und -logik

Für die korrekte Interpretation eines Prozessmodells müssen einige wichtige Konzepte verstanden werden. Insbesondere das Konzept des *Prozess-Token* erleichtert die Abfolge parallel laufender Prozesse korrekt zu interpretieren.

Prozess-Instanz Ein dargestellter Prozess stellt immer eine bestimmte Abfolge von Tätigkeiten bzw. Aufgaben dar. Jedes Mal, wenn dieser Prozess durchlaufen wird, spricht man von einer Prozessinstanz. Der abgebildete Prozess wird *instanziiert*. Beispielsweise ist der Prozess einer Rechnungsprüfung einmal definiert. Dieser Prozess ist unabhängig von der Anzahl der Rechnungen, aber jede eintreffende Rechnung löst eine Instanz des Prozesses aus.

Prozess-Token Das Konzept eines Prozess-Tokens erleichtert das Lesen eines Prozessmodells. Jedes Mal, wenn ein Prozess instanziiert wird, entsteht ein Token. Dieser Token stellt beim Durchlaufen des Modells den aktuellen Zustand der Prozessinstanz dar. Er bewegt sich vom Ausgangspunkt zum ersten Flussobjekt und verharrt dort, bis alle Kriterien erfüllt sind, um weiter zu wandern. Bei Aktivitäten ist das der Fall, wenn die Aufgabe vollständig abgeschlossen wurde. Dieser Token besitzt die Fähigkeit, sich selbst zu duplizieren und wieder zu verschmelzen. Speziell bei Gateways ist dieses Konzept sehr relevant, um den Prozess vollständig zu verstehen.

Gateways und Ereignisse beeinflussen ein Prozessmodell maßgeblich. Im nachstehenden Kapitel wird speziell auf jene näher eingegangen, die im Zuge dieser Arbeit häufig zur Anwendung kommen.

2.1.2.1 Gateways

Die in Abb. 2.6 dargestellten Gateways werden in der ggstl. Arbeit hauptsächlich verwendet. Die BPMN bietet neben den abgebildeten Gateways noch weitere, sie kommen jedoch in den Prozessdarstellungen der ggstl. Arbeit nicht zur Anwendung.

XOR-Gateways leiten eintreffende Token entsprechend der definierten Bedingung an exakt einen Sequenzfluss weiter (*XOR-Split*) oder warten auf den ersten eintreffenden Token, wenn mehrere Sequenzflüsse einmünden (*XOR-Join*). Sie werden auch „Datenbasiertes exklusives Gateway“ genannt [5, S. 34]. Ein *Blanko Gateway* (leere Raute) ist gleichbedeutend mit einem *XOR-Gateway* und leitet den eintreffenden Token nur an exakt ein nachfolgendes Element weiter. Über *XOR-Gateways* können auch zu treffende Entscheidungen in einem Prozess modelliert werden. So wird der Token – abhängig von der getroffenen Entscheidung – an den korrespondierenden Pfad weitergeleitet.

AND-Gateways bzw. *Parallele-Gateways* werden mit einem Plus in der Raute dargestellt. Das AND-Gateway dupliziert einen eintreffenden Token und leitet ihn simultan an alle ausgehenden Sequenzflüsse weiter. Alle nachgereihten Flussobjekte werden über die Token aktiviert. Obwohl das Gateway *paralleles Gateway* heißt, müssen die parallel geschalteten Aktivitäten nicht gleichzeitig durchgeführt werden. Lediglich die Aktivierung aller nachgereihten Aktivitäten erfolgt parallel. Werden mehrere Sequenzflüsse über ein *AND-Gateway* zusammengeführt, dann wartet das Gateway, bis von jedem Sequenzfluss ein Token eingetroffen ist. Ist das der Fall, so verschmelzen alle eingegangenen Token zu einem. Das Gateway leitet diesen Token schließlich über den ausgehenden Sequenzfluss weiter. Dieser Umstand verleiht dem Gateway auch den Beinamen *Synchronisation*.

Ereignisbasierte Gateways sind immer mit nachstehenden Ereignissen verbunden. Ein eingetroffener Token verweilt so lange im Gateway, bis ein nachstehendes Ereignis ausgelöst wird. Der Token wird sodann an den entsprechenden Sequenzfluss weitergegeben. Das *Ereignisbasierte Gateway* wird durch einen doppelten Kreis mit eingeschriebenem Pentagon dargestellt.

2.1.2.2 Ereignisse

Bei Ereignissen unterscheidet man prinzipiell zwischen *Start-*, *Zwischen-* und *Endereignissen*. Jeder Typ wird über einen definierten Kreisrand dargestellt. *Startereignisse* haben einen einfachen Kreisrand, *Zwischenereignisse* werden mit doppeltem Kreisrand symbolisiert und *Endereignisse* besitzen einen dicken Kreisrand.

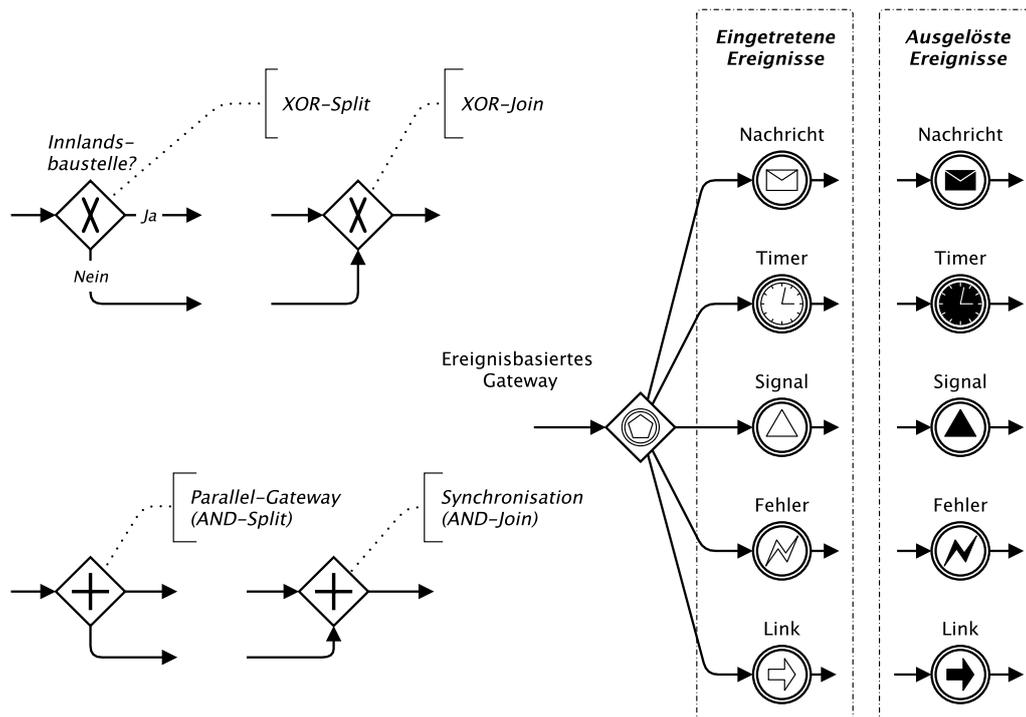


Abb. 2.6: Die wichtigsten Gateways für die ggstl. Arbeit im Überblick. Rechts sind einige eintretende Ereignisse dargestellt und daneben ihre ausgelösten Gegenstücke

Symbole in der Kreismitte konkretisieren die *Ereignis-Art*. Die BPMN bietet eine Vielzahl an unterschiedlichen Symbolen zur Darstellung von bestimmten Situationen, wie bspw. Fehler-, Timer-, Eskalations-, Abbruch- oder Mehrfachereignisse.

Im Falle des Typs *Zwischenereignis* wird weiters in *eingetretene Ereignisse* und *ausgelöste Ereignisse* unterteilt. Diese Unterscheidung ist für die Prozessinterpretation von hoher Wichtigkeit, da sie großen Einfluss auf den Prozessfluss besitzt. Das eingeschriebene Symbol im Ereignisfeld ist bei eingetretenen und ausgelösten Ereignissen gleich. Sie unterscheiden sich nur durch die farbliche Ausfüllung des Symbols

Eingetretene Ereignisse beschreiben Ereignisse, die durch einen äußeren Umstand herbeigeführt werden. Das heißt, ein Token verweilt so lange auf einem *eingetretenen Ereignis*, bis dieses auch wirklich eingetreten ist. Erst dann wird der Token über einen Prozesspfad an das nachfolgende Element weitergeleitet. Das eingeschriebene Symbol des eingetretenen Ereignisses ist nicht ausgemalt.

Ausgelöste Ereignisse hingegen werden unmittelbar durch den Vorgänger ausgelöst und leiten den Token sofort an das nachstehende Prozesselement weiter. Sie können als „Statusmeldungen“ des Prozesslaufes interpretiert werden und geben so Auskunft über abgeschlossene Prozessteile. Ausgelöste Ereignisse werden durch das schwarze Einfärben der Symbole im Ereignisobjekt kenntlich gemacht.

Ein Auszug relevanter Gateways und Ereignistypen ist in Abb. 2.6 abgebildet.

2.1.2.3 Weitere Spezifikationen der BPMN-Prozessdarstellung

Die BPMN gibt einen Rahmen für die Darstellung von Prozessen vor, der auch Raum für eigene Anpassungen und Interpretationen zulässt. So ist bspw. die Richtung der Prozessdarstellung nicht komplett vorgegeben. In der ggstl. Arbeit werden die Prozessmodelle – analog zur Schreibrichtung –

von links nach rechts und oben nach unten dargestellt. Auch Start- und Endereignisse sind für die Modellierung nicht zwingend erforderlich. Sie werden in dieser Arbeit dennoch konsequent modelliert.

Ereignisse können mit unterschiedlichen Umrandungen dargestellt werden. Die Umrandung der BPMN-Symbole definiert die Art und den Typ des Ereignisses. Eine einfache Linie beschreibt ein *Anfangsereignis*, während eine dicke Umrandung ein *Endereignis* darstellt. *Zwischenereignisse* werden mit einer doppelten Umrandung visualisiert (vgl. Abb. 2.7).

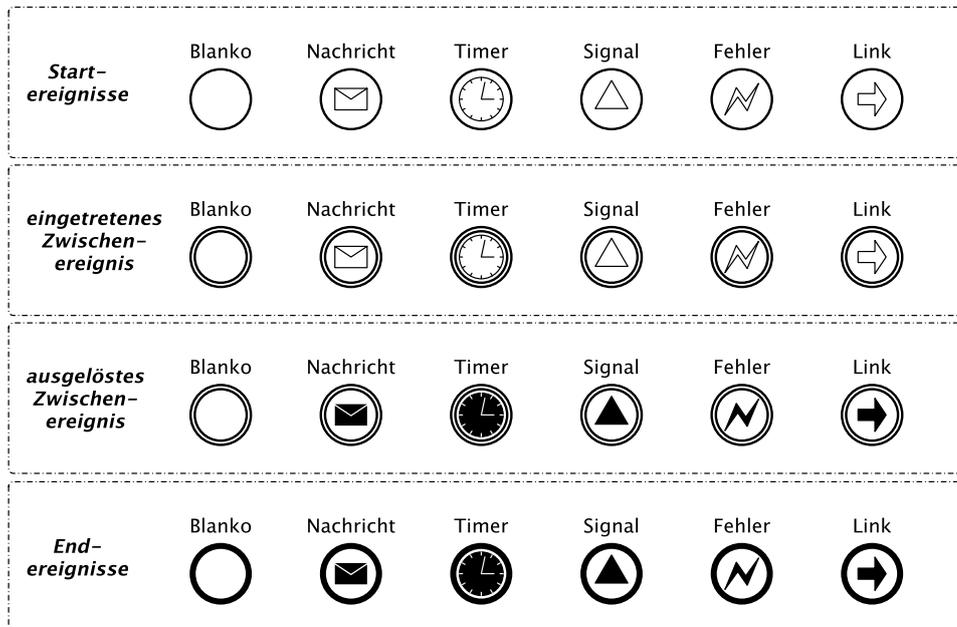


Abb. 2.7: Ereignisse mit unterschiedlicher Umrandung und deren Bedeutung

Aktivitäten können durch zusätzliche Symbole genauer spezifiziert werden. Man unterscheidet hierbei zwischen *Markierungen*, die das Ausführungsverhalten von Aktivitäten beschreiben, und Symbolen, die den *Aufgaben-Typ* näher erläutern. Markierungen werden mittig am unteren Rand angeordnet, wohingegen Aufgaben-Typen in der linken oberen Ecke durch ein Symbol gekennzeichnet werden. In Abb. 2.8 sind die Symbole näher beschrieben.

2.1.3 Beispiel

Anhand des in Abb. 2.9 modellierten Prozesses wird die BPMN im Detail erläutert. Der Prozess beschreibt den übergeordneten Ablauf der Bauprojektabwicklung von der Akquise bis hin zur Fertigstellung.

- Eröffnet sich die Möglichkeit einer Angebotslegung, so erzeugt dieser Umstand eine Instanziierung des modellierten Prozesses. Ein Token wird im *Startereignis* „Angebotsmöglichkeit“ erzeugt und wandert zur ersten *Aktivität*.
- Um ein Angebot legen zu können, müssen die, für die Ausführung notwendigen Ressourcen verfügbar sein. Der Token verweilt so lange auf der *Aktivität* „Ressourcenverfügbarkeit prüfen“, bis diese vollständig abgeschlossen ist, bevor er zum ersten Gateway weiter wandert.
- In Abhängigkeit freier Ressourcen kann der Token am *XOR-Split* nur einen der beiden Pfade beschreiten. Sind nicht genügend Ressourcen vorhanden, wird der Token über ein weiteres Gateway zum Endereignis *Terminierung* weitergeleitet. Trifft ein Token in einem Endereignis „Terminierung“

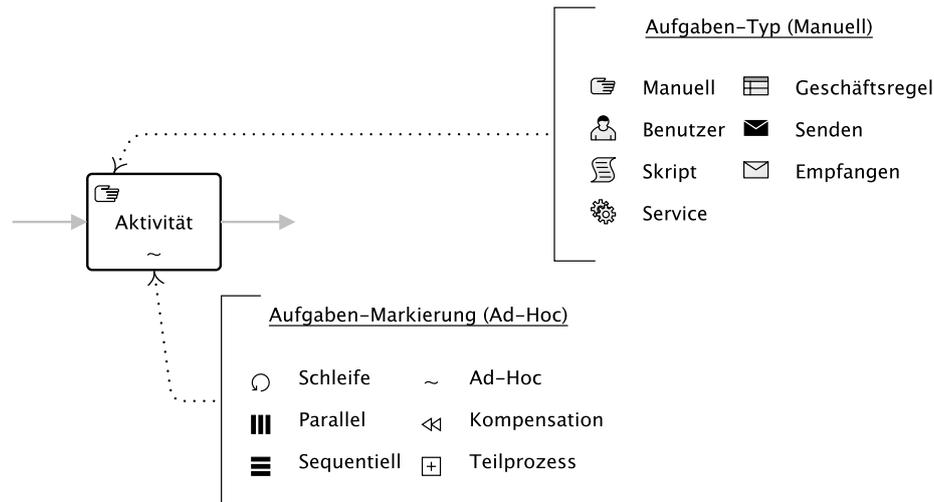


Abb. 2.8: Aktivitäten mit Aufgaben-Markierungen am unteren Rand zentriert und Aufgaben-Typen links oben in der Ecke

ein, wird die Prozessinstanz unmittelbar komplett abgebrochen. Dabei ist unerheblich, ob sich noch weitere Token im Umlauf befinden oder nicht.

- Sind ausreichend Ressourcen verfügbar, so folgt der Token dem Sequenzfluss weiter zum *AND-Gateway*. Dieser dupliziert den Token, um alle ausgehenden Pfade mit einem Token bedienen zu können. Sie wandern gleichzeitig zu beiden nachfolgenden Elementen.
- Die Daten zur Angebotslegung werden in die Konzerndatenbank eingetragen, während gleichzeitig die Kalkulation zur Angebotslegung erstellt wird. Teile der *Aktivitäten* können gänzlich unabhängig voneinander durchgeführt werden, wie bspw. das Eintragen der Basisdaten zur Angebotslegung. Beide Aktivitäten können einander aber auch beeinflussen, sodass ggf. der Eintrag in der Datenbank erst mit beigefügter Angebotskalkulation vollständig abgeschlossen ist. Derartige Abhängigkeiten werden hier nicht explizit dargestellt. Die Modellierung des Prozesses lässt solche Abhängigkeiten zu, ohne sie explizit aufzugreifen. Sie werden über die *Synchronisation* abgefangen.
- Erst wenn von beiden Aktivitäten ein Token eingelangt ist, verschmelzen diese wieder zu einem und gleiten entlang des Sequenzflusses zur *Aktivität* „Angebot legen“.
- Das nächste Gateway ist ein *ereignisbasiertes Gateway* mit drei angeschlossenen *eingetretenen Zwischenereignissen*. Der Instanz-Token bleibt so lange in diesem Gateway bis eines der nachgeordneten Ereignisse tatsächlich eintritt. Die beiden Ereignisse „Absage“ und „keine Rückmeldung“ sind beide mit einem *XOR-Join* verbunden. Trifft ein Token über eines der beiden Ereignisse am Gateway ein, so wird die Absage in der Datenbank vermerkt und schließlich die Instanz terminiert.
- Tritt das *Ereignis* „Auftragserteilung“ ein, so werden parallel die Aufgabe „Geräte und Personal disponieren“ sowie „Material bestellen“ initiiert.
- Über die *Aktivität* „Arbeitsvorbereitung“, das *eingetretene Ereignis* „Baubeginn“, die *Schleife* „Baustellenabwicklung“ sowie die *Aktivität* „(Teil-)Abnahme“ wandert der Token schließlich zur „Fertigstellung“, dem *Endereignis* des Prozesses. Der Token verschwindet im *Endereignis* und beendet die ausgeführte Instanz.

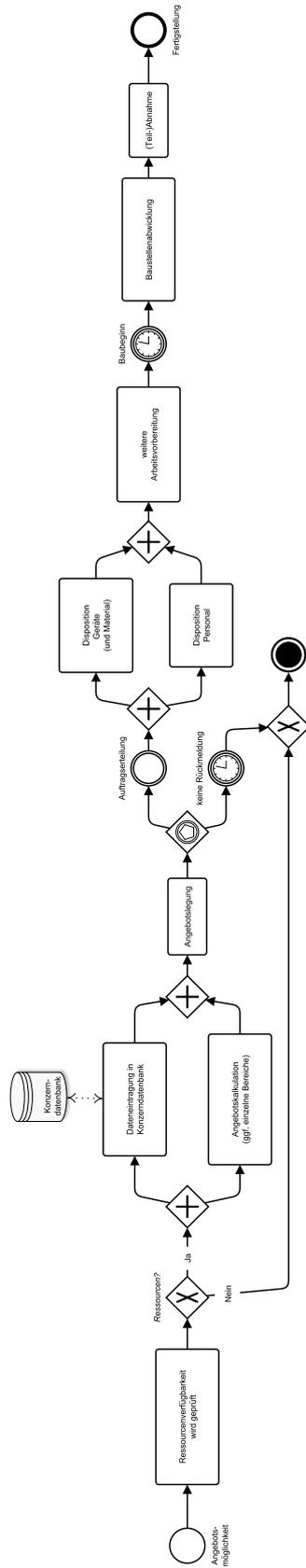


Abb. 2.9: Darstellung des orientierenden Grobprozesses

2.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Der AHP ist ein Instrument zur Entscheidungsfindung, entwickelt in den 1970er-Jahren. Es geht auf Saaty zurück und wurde entwickelt, um Entscheidungsträgern ein Framework bereitzustellen, analytisch-fundierte Schlüsse in komplexen Fragestellungen zu ziehen [6, 11]. Die Methode ist durch einen vordefinierten Ablauf klar geregelt und ermöglicht dadurch, nachvollziehbare und begründbare Entscheidungen herbeizuführen. Das Grundkonzept basiert auf der Methode der paarweisen Vergleichen und ähnelt der Nutzwertanalyse. Im Gegensatz zur Nutzwertanalyse werden die Gewichtungen der Bewertungskriterien im Prozess errechnet und nicht a priori festgelegt. Der AHP eignet sich daher sehr gut, um die Priorität bzw. Relevanz verschiedener Entscheidungseinflüsse herauszuarbeiten. Liegen bereits mögliche (Lösungs-)Alternativen vor, so können diese über den AHP bewertet werden.

Als plakatives Beispiel sei hier die Standortwahl eines Unternehmens genannt. Aspekte wie Arbeitsmarktsituation, Ausbildungsniveau, Lohnniveau, Steuern, logistische Anbindungen und viele weitere gilt es in der Standortentscheidung zu berücksichtigen. Der AHP hilft die Gewichtung dieser Einflüsse für das konkrete Entscheidungsproblem herauszuarbeiten. Liegen nur 3 Standorte zur Auswahl, so kann mittels AHP der „best fit“, in Abhängigkeit der betrachteten Aspekte, gefunden werden.

Meixner u. a. haben sich im Buch „Wissensmanagement und Entscheidungstheorie“ [9] ausführlich mit den praxisrelevanten Aspekten dieser Methode auseinandergesetzt. In Anlehnung an das Buch werden die folgenden Abschnitte an die Methodik und ihre Besonderheiten heranführen.

In komplexen Fragestellungen ist es ohne systematische Vorgehensweise nicht einfach, alle relevanten Aspekte zu berücksichtigen und so zielführende Entscheidungen zu treffen. In der Literatur wird der Autokauf häufig als zugängliches Beispiel für eine komplexe Aufgabe herangezogen. Die Frage nach dem passenden Auto klingt zunächst banal. Dies wird unmittelbar nicht einmal als „Problem“ wahrgenommen. Naheliegende Aspekte, die die Kaufentscheidung beeinflussen, scheinen zunächst leicht erkannt. Das zukünftige Auto soll finanziell tragbar sein, gut gefallen und ausreichend Komfort bieten. Bei näherer Betrachtung kann sich diese Aufgabenstellung jedoch deutlich vielschichtiger herausstellen als zunächst angenommen. „Finanziell tragbar“ abstrahiert i. A. Anschaffungskosten, Betriebskosten (Strom, Benzin, Diesel), durchschnittliche Reparaturkosten und ggf. Finanzierungskosten. All diese Aspekte gilt es in den Entscheidungsprozess einzubinden. Da es sich hier um Informationen handelt, die für alle Autos leicht verfügbar sind und alle in € gemessen werden können, ist ein Vergleich nicht weiter schwierig. Hinsichtlich des Komforts kann nicht mehr so einfach differenziert werden, denn es existiert keine definierte Skala für „Komfort“. Über den AHP ist es möglich, auch solche *nicht messbaren* Merkmale zu berücksichtigen. So kann auch die Ausstattung des Autos mit bspw. Sitzheizung, Mehrzonen- oder Klimaautomatik, integriertes Navigationssystem, Beinfreiheit und Stauraum etc. im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden. Eine eingebaute Mehrzonen-Klimaautomatik ist möglicherweise nicht kaufentscheidend, aber dennoch besser als eine reguläre Klimaautomatik. Zusätzlich erschweren unterschiedliche Ausstattungsvarianten des gleichen Modells die Entscheidung. Betrachtet man nun die gesamte Entscheidungsaufgabe detaillierter, so ergeben sich zwangsläufig folgende Fragestellungen: Was ist mir Komfort wert? Auf wieviel Sicherheit verzichte ich für mehr Komfort? Lohnt sich der Aufpreis für Zusatzpakete? Wieviel Preisunterschied ist notwendig, um eine andere Automarke zu kaufen?

Mit Hilfe des AHP können derartige Entscheidungsprobleme systematisch bearbeitet werden, um letztlich eine optimale Lösung zu erzielen.

2.2.1 Die Vorgehensweise im AHP

Der AHP ist klar definiert und gliedert sich in die folgenden Schritte:

1. Definition der Fragestellung bzw. des Hauptziels, der (Sub-)Kriterien und Alternativen
2. Erstellung des Entscheidungsmodells durch strukturiertes, hierarchisches Anordnen aller Elemente
3. Erstellen und Befüllen der Bewertungsmatrizen für alle Elemente
4. Berechnen oder Abschätzen des lokalen Prioritätenvektors je Bewertungsmatrix
5. Überprüfung der Konsistenz jeder Bewertungsmatrix und des Systems
6. Aggregation der lokalen Prioritäten zu globalen Prioritäten
7. Überprüfung des Ergebnisses und ggf. Anpassung des Modells
8. Sensitivitätsanalyse
9. Interpretation und Dokumentation

Auf die einzelnen Schritte wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer eingegangen. Beispiele helfen dabei, die Methode besser zu verstehen.

2.2.2 Die Prinzipien und Axiome des AHP

Um den AHP anwenden zu können, werden einige Anforderungen an die Aufgabenstellung (resp. das Problem) und den Entscheidungsträger gestellt. Nur, wenn diese Anforderungen eingehalten werden, stellt der AHP eine potente Lösungsstrategie für das Problem dar.

2.2.2.1 Prinzipien

Meixner u. a. fassen diese Anforderungen mit den „Prinzipien des analytischen Denkens“ [9, S. 176 ff.] wie folgt zusammen:

Aufbau von Hierarchien Die Aufgabenstellung kann innerhalb der betrachteten Systemgrenze vollständig abgebildet werden. Sie kann in kleinere Aufgabenstellungen (resp. Kriterien/Merkmale/Attribute) aufgeteilt und in einer hierarchischen Struktur angeordnet werden. Dieses Prinzip kann mehrfach angewendet werden, um weitere Sub-Ebenen zu inkludieren. Abschnitt 2.2.3 widmet sich diesem Prinzip näher.

Prioritätensetzung Es ist dem Entscheidungsträger möglich, die untergeordneten Elemente in ihren Hierarchieebenen mittels paarweisen Vergleichen in Beziehung zu setzen. Das ist für alle Elemente des Systems möglich. Für diese Vergleiche stehen neben der klassischen Bewertungsskala S nach Saaty auch weitere Skalen zur Verfügung. Dem Thema der Bewertung und der Bewertungsskalen widmet sich Abschnitt 2.2.4.3.

Logische Konsistenz Der Entscheidungsträger ist fähig, die Elemente in Bezug auf ein Merkmal konsistent miteinander zu verknüpfen. Die Elementgruppierungen müssen daher auf Basis logisch-konsistenter Merkmalsausprägungen erfolgen. Das bedeutet, dass alle gruppierten Elemente hinsichtlich eines Merkmals vergleichbar sein müssen (vgl. Abschnitt 2.2.5). Auch die Bewertung muss logisch-konsistent sein. Wenn die Merkmalsausprägung von A doppelt so stark ist wie jene von B , und jene von B doppelt so stark wie jene von C , so muss die Ausprägung von C viermal so groß sein wie jene von A . Da der Konsistenz im AHP eine hohe Wichtigkeit beigemessen wird, erläutert Abschnitt 2.2.5 dieses Thema im Detail.

2.2.2.2 Die vier Axiome des AHP

Der AHP basiert auf der Methode der paarweisen Vergleiche. Betrachtet man zwei unterschiedliche Elemente A_i und A_j in Bezug auf ihre Merkmalsausprägung C , so ergeben sich folgende Bewertungen P_C :

$$A_i >_C A_j \rightarrow P_C(A_i, A_j) > 1 \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \text{ und } i \neq j \quad (2.1)$$

$$A_i \approx_C A_j \rightarrow P_C(A_i, A_j) = 1 \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \text{ und } i \neq j \quad (2.2)$$

Ist die untersuchte Merkmalsausprägung A_i größer als jene von A_j , so erfolgt die Bewertung mit einem Wert größer > 1 , gem. der *Saaty-Skala* \mathbb{S} . Sind beide Ausprägungen etwa gleich, so wird mit 1 bewertet. Folglich ergibt sich der Vergleich eines Elements mit sich selbst immer zu 1:

$$P_C(A_i, A_j) \equiv 1 \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \text{ und } i = j \quad (2.3)$$

Saaty legte seine Bewertungsskala \mathbb{S} als Menge aller natürlichen Zahlen von 1 bis 9 fest:

$$\mathbb{S} = \{s \in \mathbb{N} \mid 1 \leq s \leq 9\} \quad (2.4)$$

Sind die die Merkmalsausprägungen exakt messbar, so kann das Verhältnis der exakten Werte verwendet werden. Können die Ausprägungen nur qualitativ gegenübergestellt werden, wird auf die *Saaty-Skala* \mathbb{S} zurückgegriffen, um quantitative Ergebnisse zu generieren. In der Literatur [4, S. 166] kommen neben der *Saaty-Skala* \mathbb{S} auch andere Bewertungsskalen zum Einsatz, wie in Abschnitt 2.2.4.3 näher erläutert wird.

Die folgenden Axiome¹ werden dem AHP gem. [14] zugrunde gelegt und sind jedenfalls zu berücksichtigen.

Axiom 1: Das Reziprozität-Axiom

Das Reziprozitäts-Axiom besagt, dass zwei in Beziehung gebrachte Merkmale in beide Richtungen konsistent miteinander verknüpft sein müssen. Betrachtet man die Größe eines Hauses als Merkmal C , so muss folgendes gelten: Ist Haus A_1 doppelt so groß wie Haus A_2 , so muss Haus A_2 halb so groß sein wie Haus A_1 .

$$P_C(A_i, A_j) = P_C(A_j, A_i)^{-1} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.5)$$

Dieses Axiom ist bei Entscheidungsproblemen mit vielen Elementen nicht immer einfach einzuhalten. Es spielt daher in der Konsistenzprüfung der Bewertungsmatrizen eine wesentliche Rolle (siehe Abschnitt 2.2.5).

Axiom 2: Das Endlichkeits-Axiom

In der gesamten Entscheidungsstruktur gibt es kein Element, dessen Merkmalsausprägung unendlich viel besser (resp. schlechter) ist als ein anderes der gleichen Bewertungsmatrix. Dementsprechend muss es immer einen Wert geben, der das Verhältnis der Merkmalsausprägungen von A_i und A_j wiedergibt und von ∞ (resp. 0) verschieden ist.

$$P_C(A_i, A_j) \neq \infty \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.6)$$

¹ Der Duden definiert ein Axiom als: *absolut richtig erkannter Grundsatz; gültige Wahrheit, die keines Beweises bedarf.*

Axiom 3: Das Hierarchie-Axiom

Es gibt zwischen den einzelnen Elementen keine Abhängigkeiten, die eine hierarchische Anordnung der Elemente/Attribute unterbinden. Das Entscheidungsproblem kann widerspruchsfrei als Hierarchie dargestellt werden.

Axiom 4: Das Adäquatheits-Axiom

Die vollständige Abbildung der Problemdarstellung innerhalb der betrachteten Systemgrenzen ist möglich. Der Entscheidungsträger hat die angemessene Darstellung des Problems im AHP sicherzustellen und darauf zu achten, dass die Ergebnisse mit den Erwartungen vereinbar sind. Der AHP bedient sich einer mathematischen Grundlage, generiert aber kein ausschließlich rationales Ergebnis. Es ist von der Struktur des Entscheidungsproblems und den Ansichten des Entscheidungsträgers/Anwenders abhängig.

2.2.3 Decision Modeling – Hierarchischer Modellaufbau

Ein wesentlicher Vorteil des AHP ist, dass die zu untersuchende Fragestellung zunächst vollständig erfasst und strukturiert werden muss. Das Hauptziel muss klar definiert sein und bildet den Ausgangspunkt für die Modellstruktur. Die Notwendigkeit einer strukturierten Anordnung aller Einflüsse fördert so das Verständnis des Problems. Das Strukturieren des Entscheidungsmodells wird als *decision modeling* bezeichnet.

Jedes Modell besteht aus einem *Hauptziel*, mehreren *Kriterien* und *Alternativen*. Sie werden alle als *Elemente* des Modells bezeichnet. In Abhängigkeit der Aufgabenstellung können die Kriterien auch *Attribute*, *Merkmale* oder *Kategorien* genannt werden. Je nach hierarchischer Ebene unterscheidet man weiters *Sub-Kategorien* und *-Kriterien*.

Anhand des einfachen Modells in Abb. 2.10 wird die Systematik des AHP erörtert. Die eingezeichneten Linien beschreiben die hierarchische Anordnung. Die schwarzen Linien werden im weiteren Verlauf näher beleuchtet. Das Modell besitzt unter dem *Hauptziel* (Level 0) eine Ebene mit vier *Bewertungskriterien* (Level 1). Jedes *Kriterium* beschreibt ein spezifisches Merkmal/Attribut der Alternativen, anhand denen die Bewertung stattfinden soll. Mit welcher Gewichtung die Kriterien in die Gesamtbewertung einfließen, ist zunächst noch nicht definiert.

Aus den drei verfügbaren *Alternativen* (Level 2) soll jene gefunden werden, die das deklarierte Hauptziel am besten erfüllt. Das geschieht anhand der ausgewählten Bewertungskriterien (Level 1). Für die Bewertung ist es, im Rahmen des AHP, nicht zwingend erforderlich, dass die Merkmalsausprägungen an einer genormten Skala messbar sind. Es können bspw. auch zwei *Farben*, oder das *Aussehen* zweier Objekte miteinander verglichen werden.

Für viele Problemstellungen ist eine Untergliederung der Kriterien in weitere Subkriterien notwendig, um das Entscheidungsproblem korrekt abzubilden. In Referenz auf die Untersuchungen von Miller [10] empfiehlt Saaty [13, S. 13] die Anzahl der Elementgruppen auf 7 ± 2 Elemente zu begrenzen. Zu viele Elemente würden die kognitive Kapazität eines Entscheidungsträgers übersteigen.

2.2.4 Bewertungsmatrizen und -skalen

Unter der Voraussetzung, dass die Axiome 3 und 4 eingehalten sind, werden die Elemente entsprechend ihrer hierarchischen Anordnung miteinander verglichen. Die Bewertung erfolgt über paarweise Vergleiche der Elemente und wird in Bewertungsmatrizen zusammengestellt. Jede Bewertungsmatrix dient der Errechnung *lokaler Gewichte* der betrachteten Elementgruppe.

Überall, wo die Verbindungslinien zusammentreffen, erfolgt die Bewertung über paarweise Vergleiche

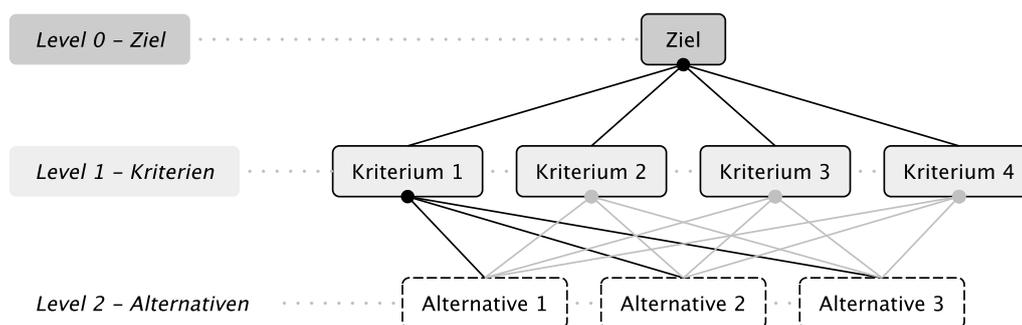


Abb. 2.10: Prinzipskizze der hierarchischen Anordnung von Hauptziel, Kriterien und Alternativen. Die Anordnung kann um zusätzliche Kriterien-Ebenen erweitert werden. Die Verbindungslinien beschreiben die hierarchische Anordnung. Die runden Knotenpunkte der Verbindungslinien symbolisieren eine notwendige Bewertungsmatrix. Es ist ersichtlich, dass alle Alternativen hinsichtlich jedes Kriteriums gegeneinander verglichen werden müssen

aller einlangenden Elemente. Das in Abb. 2.10 dargestellte System bedarf in Summe 5 quadratischer Bewertungsmatrizen. Diese sind in der Abbildung als runde Knotenpunkte dargestellt. Die Anzahl der zusammenlaufenden Verbindungen beschreibt die notwendige Dimension der $n \times n$ -Matrix. Zwischen Level 1 und den Alternativen des Levels 2 sind insgesamt vier 3×3 -Bewertungsmatrizen notwendig. Eine weitere Bewertungsmatrix (hier 4×4) ist für die Zusammenführung der Kriterien zum Hauptziel notwendig.

Die schwarz angedeutete „Matrix“ unter *Hauptkriterium 1* beschreibt den Vergleich aller Alternativen in Bezug auf ihre Merkmalsausprägung des *Kriterium 1*. Selbiges ist in weiterer Folge für die drei weiteren Kriterien durchzuführen. In Summe ergeben die *lokalen Gewichte* einer Bewertungsmatrix immer 100 % und führen die hierarchisch darunter angeordneten Elemente zusammen.

2.2.4.1 Elementgruppen

In den folgenden Abschnitten wird häufig auf eine Elementgruppe/-gruppierung referenziert. Diese *Elementgruppe* ist durch ein *Eltern*-Element und alle hierarchisch untergeordnete *Kind*-Elemente definiert. Sie können, je nach Betrachtung, Kriterien/Merkmale/Attribute, Sub-Kriterien/-Merkmale/-Attribute etc. oder auch Alternativen abbilden.

Am Beispiel in Abb. 2.10 ist eine Elementgruppe das *Hauptziel* und die *Kriterien 1* bis *4*. Eine weitere Elementgruppierung ist bspw. *Kriterium 1* und alle *Alternativen*.

2.2.4.2 Bewertungsmatrix

Für jede Elementgruppierung ist eine Bewertungsmatrix auszufertigen. Alle zusammengeführten *Kinder* (Unterelemente) müssen miteinander paarweise verglichen werden. Am Beispiel der Elementgruppe, bestehend aus „Ziel“ und „Kriterium 1“ bis „Kriterium 4“ (vgl. Abb. 2.10), ergeben sich die paarweisen Vergleiche gem. Tab. 2.1. Da im Knotenpunkt vier Verbindungen zusammenlaufen, entspricht die Bewertung einer 4×4 -Matrix.

Die Kriterien müssen hinsichtlich des *Hauptziels* miteinander verglichen werden, um die lokalen Gewichtungen zu errechnen. Im Wesentlichen beschreibt diese Gewichtung den Einfluss der *Kriterien* auf das *Hauptziel*. Die 100 % werden entsprechend der Bewertung aus den paarweisen Vergleichen aufgeteilt. Die exemplarische Auswertung der Elementgruppe *Hauptziel* und *Kriterien* ist in Abschnitt 2.2.6 beschrieben. Anschließend ist selbiges Prinzip für die weiteren Elementgruppierungen anzuwenden. So sind als nächstes alle Alternativen hinsichtlich des Kriterium 1 paarweise miteinander zu vergleichen. In

Abb. 2.10 ist diese Bewertung als schwarze Verbindungen von Kriterium 1 zu den Alternativen dargestellt. Diese Auswertung gibt die Reihung und Präferenz der Alternativen in Bezug auf das Kriterium 1 wieder.

Tab. 2.1: Beispiel: Bewertungsmatrix zwischen Level 0 und Level 1 für den paarweisen Vergleich der Kriterien gem. Abb. 2.10. Unter Berücksichtigung der Axiome des AHP können einige Vergleiche entfallen (grau), da der Vergleich $P_{Ziel}(K_2, K_1)$ jenem $P_{Ziel}(K_1, K_2)^{-1}$ entspricht. Der Vergleich mit sich selbst ergibt 1

Ziel	Kriterium K_1	Kriterium K_2	Kriterium K_3	Kriterium K_4
Kriterium K_1	1	$P_{Ziel}(K_1, K_2)$	$P_{Ziel}(K_1, K_3)$	$P_{Ziel}(K_1, K_4)$
Kriterium K_2	$P_{Ziel}(K_1, K_2)^{-1}$	1	$P_{Ziel}(K_2, K_3)$	$P_{Ziel}(K_2, K_4)$
Kriterium K_3	$P_{Ziel}(K_1, K_3)^{-1}$	$P_{Ziel}(K_2, K_3)^{-1}$	1	$P_{Ziel}(K_3, K_4)$
Kriterium K_4	$P_{Ziel}(K_1, K_4)^{-1}$	$P_{Ziel}(K_2, K_4)^{-1}$	$P_{Ziel}(K_3, K_4)^{-1}$	1

Gemäß des Reziprozitäts-Axioms genügt die Bewertung des oberen Dreiecks einer Bewertungsmatrix. Jene des unteren Dreiecks entsprechen gem. Gleichung (2.5) den reziproken Werten und können daher entfallen. Jeder Eigen-Vergleich eines Kriteriums ergibt per Definition 1 und kann in der Bewertung ebenfalls entfallen. Die Anzahl der tatsächlich durchzuführenden Vergleiche $N_{\text{Vergleiche}}$ einer $n \times n$ -Bewertungsmatrix reduziert sich somit auf:

$$N_{\text{Vergleiche}} = \frac{n \cdot (n - 1)}{2} \quad (2.7)$$

Der Aufwand steigt parabelförmig mit der Anzahl der Elemente (vgl. Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Die Anzahl der notwendigen Vergleiche in Abhängigkeit der Dimension einer $n \times n$ -Bewertungsmatrix

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$N_{\text{Vergleiche}}$	1	3	6	10	15	21	28	36	45	55	66

Eine Bewertungsmatrix \mathbf{A} mit den *Bewertungen* a_{ij} ist somit folgendermaßen definiert:

$$\mathbf{A}_C = a_{C,ij} = \begin{bmatrix} P_C(A_1, A_1) & \dots & P_C(A_1, A_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_C(A_n, A_1) & \dots & P_C(A_n, A_n) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

2.2.4.3 Bewertungsskalen

Im AHP erfolgt die Bewertung der Kriterien mittels paarweiser Vergleiche über die Bewertungsmatrix. Darin liegt eine wesentliche Stärke der Methode, denn der paarweise Vergleich bedarf nicht zwingend einer genormten Skala. Die Eintragungen sind ausschließlich über Verhältnisse bewertet. Saaty beschreibt diese Eigenschaft treffend [15, S. 26]:

Either pounds or kilograms can be used to measure weight, but the ratio of the weight of two objects is the same for both scales. An extension of this idea is that the weights of an entire set of objects whether in pounds or in kilograms can be standardized to read the same by normalizing. [...] The weights (2.21, 4.42) in pounds and (1, 2) in kilograms, are both given by (1/3, 2/3) in the standard ratio scale form.

Eine relative Skala ist daher unumgänglich, um sowohl messbare als auch unmessbare Einschätzungen abbilden zu können und in die Prioritätenfindung zu berücksichtigen [13, S. 12].

2.2.4.4 Bewertung

Der Bewertungsablauf erfolgt wie in Tab. 2.1 beschrieben. Da nur der obere Dreiecksbereich der Matrix zu befüllen ist, kann mit dem Eintrag a_{12} gestartet werden. Das Kriterium 1 wird zunächst mit Kriterium 2 und dann mit alle weiteren Kriterien verglichen (vgl. erste Zeile der Tabelle). Sind die Merkmalsausprägungen messbar (bspw. kg, m, €), so können die exakten Werte in Relation gebracht werden. Die Bewertung $A_{C,ij}$ ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Merkmalsausprägung C der beiden Elemente $A_{C,1}$ und $A_{C,2}$:

$$a_{C,ij} = \frac{A_{C,i}}{A_{C,j}} = P_C(A_i, A_j) \quad (2.9)$$

Im ggstl. Fall wird die Relevanz der Kriterien im Bezug auf das Hauptziel beurteilt. Da dies nicht direkt messbar ist, wird auf die *Saaty-Skala* \mathbb{S} zurückgegriffen. Mittels der *Saaty-Skala* \mathbb{S} können auch „unmessbare“ Merkmale in der Bewertung berücksichtigt werden. Das Merkmal „Aussehen“, das beispielsweise beim Autokauf eine wesentliche Rolle spielt, kann nicht mit einer genormten Skala erfasst werden. Im Vergleich mit einer anderen Alternative kann hingegen zunächst qualitativ entschieden werden, dass bspw. Auto A besser aussieht als Auto B. Die qualitative Bewertung resp. Abschätzung erfolgt anschließend auf Basis der *Saaty-Skala* \mathbb{S} .

Auch hinsichtlich der Bewertungsskala beruft sich Saaty [13, S. 13] auf die Untersuchungen von Miller [10] und beschränkt die Skala mit 9 Stufen. In Tab. 2.3 sind die Bedeutungen der Werte aus \mathbb{S} zusammengefasst. Dominiert das Zeilenkriterium das Spaltenkriterium, so erfolgt eine Bewertung $a_{ij} = \{s \in \mathbb{S} \mid s > 1\}$ gem. Gleichung (2.1). Überwiegt die Relevanz des betrachteten Spaltenkriteriums jenes des Zeilenkriteriums, so erfolgt die Bewertung gem. Reziprozitäts-Axiom (vgl. Gleichung (2.5)).

In der Literatur finden sich unterschiedliche Skalen zur Bewertung [4, S. 166], die zwar auf der Skala von Saaty aufsetzen, aber diese mittels mathematischer Funktion auf eine andere abbilden. Tab. 2.3 zeigt eine Gegenüberstellung der linearen Skala nach Saaty mit anderen Skalen.

Gemäß Untersuchungen [4, S. 172] unterschiedlicher Skalen stellt die lineare Skala nach Saaty \mathbb{S} eine ausgeglichene Variante dar. Ein Vergleich von Harker u. a. zeigt, dass der Definitionsbereich der Skala nach Saaty $\{1 \dots 9\}$ andere lineare Definitionsbereiche wie bspw. $\{1 \dots 5\}$ oder $\{1 \dots 15\}$ hinsichtlich physikalischer Interpretation übertreffen (vgl. [7, S. 1390 ff]). Aus diesem Grund erfolgt die Gewichtung der Kriterien in dieser Arbeit auf der linearen Skala nach Saaty.

Hingegen für die Elementgruppen der Blätter² (Alternativenvergleich) wird in der ggstl. Arbeit auf die *Potenz-Skalierung* zurückgegriffen. Im Alternativenvergleich sind keine physikalisch interpretierbaren Größen relevant, sondern eine qualitative Aussage über die bessere Software.

2.2.5 Konsistenz der Bewertungsmatrix

Ein wesentlicher Teil des AHP ist die Konsistenzprüfung der Bewertungsmatrix. Axiom 1 und 2 sowie die *Prinzipien des analytischen Denkens* geben bereits einige Regeln zum Aufbau konsistenter Bewertungsmatrizen vor. Das Konsistenz-Prinzip soll anhand eines simplen Beispiels demonstriert werden.

² Blätter: Die Blätter einer hierarchischen Baumstruktur sind jene letzten Elementen, die keine weiteren Unterelemente besitzen.

Tab. 2.3: Die Saaty-Skala \mathbb{S} für relative Ausprägung eines Merkmals und verschiedene Abbildungsfunktionen $f : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}^*$. Liegen exakte Relationen vor, so können die Abbildungsfunktionen ebenfalls angewendet werden. Bewertungen < 1 sind zuerst gem. Reziprozitäts-Axiom umzurechnen

Linear	Definitionen \ Skalen	Wurzel	Invers-Lin.	Potenz	Geometrisch
$s \in \mathbb{S}$	Abbildung ¹ $f : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}^*$	$s \mapsto \sqrt{s}$	$s \mapsto \frac{9}{10-s}$	$s \mapsto s^2$	$s \mapsto 2^{s-1}$
1.00	gleiche Ausprägung	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	<i>Zwischenwert</i>	1.41	1.13	4.00	2.00
3.00	etwas größere Ausprägung	1.73	1.29	9.00	4.00
4.00	<i>Zwischenwert</i>	2.00	1.50	16.00	8.00
5.00	erheblich größere Ausprägung	2.24	1.80	25.00	16.00
6.00	<i>Zwischenwert</i>	2.45	2.25	36.00	32.00
7.00	sehr viel größere Ausprägung	2.65	3.00	49.00	64.00
8.00	<i>Zwischenwert</i>	2.83	4.50	64.00	128.00
9.00	absolut dominierend	3.00	9.00	81.00	256.00

¹ Die Abbildungsfunktionen können auch auf exakte Verhältnisrelationen angewendet werden

Einfaches Beispiel Vergleicht man mehrere Zahlenwerte, so kann man diese über ihr Verhältnis zu einander in Beziehung setzen. Es seien A, B und C beliebige, positive, von 0 verschiedene Zahlen über die folgende Beziehungen bekannt sind:

$$A = 2B \rightarrow \frac{A}{B} = 2 \quad (2.10)$$

$$B = 3C \rightarrow \frac{B}{C} = 3 \quad (2.11)$$

Die Reihung der Werte ist klar erkennbar und die Verhältnisse zu einander explizit darstellbar. Die zugehörige Einheit ist unerheblich, da nur die Verhältnisse der Ausprägungen in die Bewertung einfließen:

$$A \overset{2}{\underbrace{\quad}} B \overset{3}{\underbrace{\quad}} C \quad (2.12)$$

Die folgenden paarweise Vergleiche entsprechen den Relationen aus Gleichung (2.12):

$$P_C(A, B) = 2 \quad (2.13)$$

$$P_C(B, C) = 3 \quad (2.14)$$

Demnach muss der Vergleich A zu C 6 ergeben:

$$P_C(A, C) = 2 \cdot 3 = 6 \quad (2.15)$$

Die Bewertungsmatrix \mathbf{A}_C nach Gleichung (2.8), unter Berücksichtigung der Axiome des AHP, lautet folglich:

$$\mathbf{A}_C = a_{C,ij} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Diese Bewertungsmatrix ist vollkommen konsistent, da alle Verhältnisse der Einträge widerspruchsfrei zusammenstimmen. Die Relation von A/C ist in keiner der beiden Gleichungen (siehe (2.10) und (2.11)) explizit gegeben – aber das Verhältnis von A/C wird impliziert.

Zur Berechnung der Verhältnismäßigkeiten von A , B und C kann folgendes Gleichungssystem aufgestellt werden:

$$A = 2 \cdot (3 \cdot C) \quad (2.17)$$

$$B = 3 \cdot C \quad (2.18)$$

$$A + B + C = 1 \quad (2.19)$$

Daraus folgt:

$$A = \frac{6}{10}, \quad B = \frac{3}{10}, \quad C = \frac{1}{10} \quad (2.20)$$

Mit den Ergebnissen:

$$A = 60\%, \quad B = 30\%, \quad C = 10\% \quad (2.21)$$

Die errechneten Gewichtungen entsprechen den Relationen nach (2.10) und (2.11) und ergeben in Summe 100%. Die Berechnung nach der *AHP-Methode* wird in Abschnitt 2.2.6 beschrieben.

Konsistenzkriterien der Bewertungsmatrix Inkonsistenzen können nicht immer vermieden werden. Im Rahmen des AHP sind Inkonsistenzen in gewissem Ausmaß zulässig. Inkonsistenzen können auch positive Effekte auf die Auswertung haben (vgl. Abschnitt 2.2.7).

Konsistente Matrizen haben die Eigenschaft, dass nur ein Eigenwert von Null verschieden ist. Das bedeutet, dass der Rang der Bewertungsmatrix zu $\text{Rang}(\mathbf{A}) = 1$ ergibt und folglich nur ein linear unabhängiger Spalten- bzw. Zeilenvektor existiert. Eine konsistente Bewertungsmatrix ist daher keine *reguläre Matrix*. Darüber hinaus entspricht der, von 0 verschiedene, Eigenwert λ_{\max} der Spur der Matrix $\text{Spur}(\mathbf{A}) = n$, wie Saaty [13, S. 13] beweist.

Folgende Kriterien müssen demnach auf eine konsistente Matrix zutreffen:

$$\text{Rang}(\mathbf{A}) = 1 \quad (2.22)$$

$$\text{Det}(\mathbf{A}) = 0 \quad (2.23)$$

$$\text{Spur}(\mathbf{A}) = n = \lambda_{\max} \quad (2.24)$$

Betrachtet man die in Gleichung (2.16) gegebene Matrix, so ist sofort erkennbar, dass es sich um keine reguläre Matrix handeln kann. Sowohl die Zeilen als auch die Spalten sind ein Vielfaches voneinander und somit linear abhängig ($\det(\mathbf{A}) = 0$).

Für eine komplett konsistente Matrix muss gem. [13, S. 12] folgende Gleichung für alle Elemente erfüllt sein:

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik} \quad \forall i, j, k = \{1, \dots, n\} \quad (2.25)$$

Vollkommene Konsistenz ist insb. dann nicht immer möglich, wenn die Merkmale nicht direkt messbar sind, sondern abgeschätzt werden. Dieser Umstand soll folgendes Beispiel verdeutlichen.

Beispiel: Flächenvergleich Jedes der Elemente aus Abb. 2.11a hat eine andere Form. Eine Gruppierung hinsichtlich der Merkmalsausprägung „Flächeninhalt“ ist zulässig³, da diese dem Anspruch der logischen Konsistenz genügt (vgl. Abschnitt 2.2.2.1).

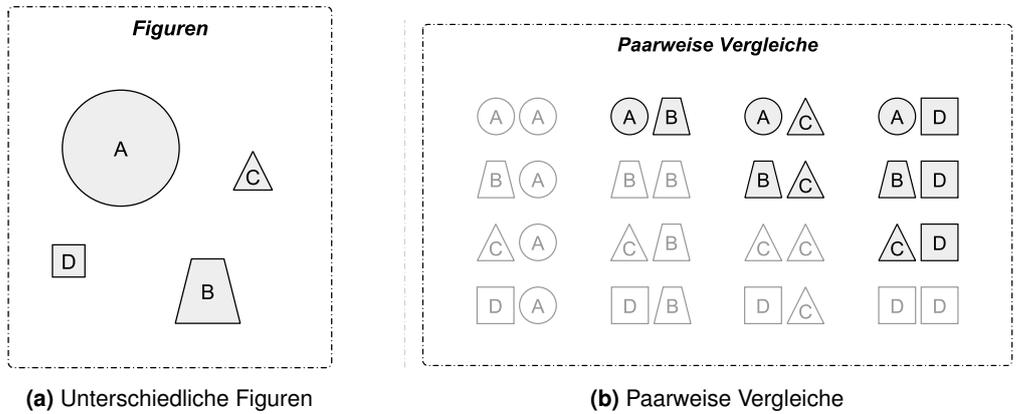


Abb. 2.11: Darstellung der unterschiedlichen Figuren (a) und den paarweisen Vergleichen (b). Jene Bewertungen, die gem. den Axiomen des AHP entfallen können, sind ausgegraut dargestellt

Die aufzustellenden Vergleiche sind in Abb. 2.11b dargestellt. Unter Einbeziehung des Reziprozitäts-Axioms und der Berücksichtigung der Einser in der Diagonale reduziert sich die Anzahl der notwendigen Vergleiche gem. Gleichung (2.7) auf sechs Stück. Jeder Vergleich wird separat – ohne Kontext der anderen Figuren – durchgeführt und in einer Bewertungs-Matrix erfasst.

Die Schätzungen der sechs relevanten Vergleiche können in einer grafischen Darstellung veranschaulicht werden (siehe Abb. 2.12). Jeder Pfeil beschreibt einen Vergleich und ist mit dem geschätzten Faktor versehen.

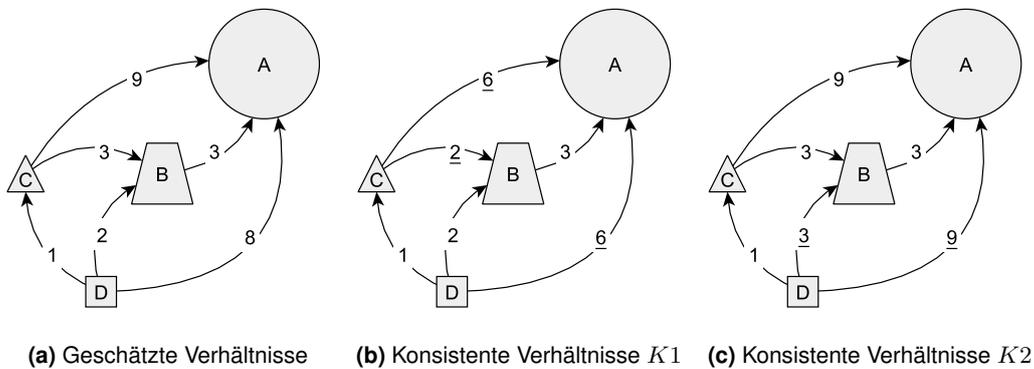


Abb. 2.12: Die geschätzten Verhältnisse der Flächen in (a) weisen Inkonsistenzen auf. Zwei konsistente Schätzungen sind in den Abbildungen (b) und (c) dargestellt. Die abgeänderten Werte sind jeweils unterstrichen

Betrachtet man die geschätzten Verhältnisse (Abb. 2.12a), so erkennt man einige Inkonsistenzen. Die beiden Pfade $D \rightarrow B \rightarrow A$ und $D \rightarrow A$ sind nicht vereinbar, da $2 \cdot 3 \neq 8$. Ebenso können die Pfade im Dreieck \triangle_{CBD} nicht stimmen, da $D \rightarrow C \rightarrow B$ nicht $C \rightarrow D \rightarrow B$ entspricht ($1 \cdot 3 \neq 1 \cdot 2$).

Zwei mögliche, konsistente Aufstellungen sind in den Abb. 2.12b und 2.12c dargestellt. Die zugehörigen Matrizen sind in Tab. 2.4 der geschätzten Matrix A_S gegenübergestellt. Die Matrix zur Abschätzung A_S hat einen Rang von 4, da die Zeilen- bzw. Spaltenvektoren linear unabhängig sind. A_S erfüllt

³ Gemäß Axiom 2 darf kein Merkmal verglichen werden, bei dem ein Element eine unendliche (resp. keine) Ausprägung besitzt. Ein Vergleich über die Anzahl der Ecken wäre – wegen des Kreises – folglich nicht möglich.

nicht die Kriterien einer konsistenten Matrix (vgl. Gleichung (2.22)). Die Einträge der konsistenten Matrizen \mathbf{A}_{K1} und \mathbf{A}_{K2} sind nach Gleichung (2.25) widerspruchsfrei und weisen daher einen Rang von 1 auf. Die vorgenommenen Anpassungen der Matrix, um auf eine konsistente Matrix zu kommen, sind hervorgehoben.

Tab. 2.4: Die geschätzte Bewertungsmatrix der Flächeninhalte \mathbf{A}_S aus Abb. 2.12 sowie zwei konsistente Alternativmatrizen (\mathbf{A}_{K1} und \mathbf{A}_{K2}) mit ähnlichen Einträgen. Die Änderungen gegenüber der Schätzung wurden hervorgehoben

	Schätzung \mathbf{A}_S				Matrix \mathbf{A}_{K1}				Matrix \mathbf{A}_{K2}			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
A	1	3	8	9	1	3	<u>6</u>	<u>6</u>	1	3	<u>9</u>	9
B	1/3	1	3	2	1/3	1	<u>2</u>	2	1/3	1	3	<u>3</u>
C	1/8	1/3	1	1	<u>1/6</u>	<u>1/2</u>	1	1	<u>1/9</u>	1/3	1	1
D	1/9	1/2	1	1	<u>1/6</u>	1/2	1	1	1/9	<u>1/3</u>	1	1
	Rang(\mathbf{A}_S) = 4				Rang(\mathbf{A}_{K1}) = 1				Rang(\mathbf{A}_{K2}) = 1			

Im folgenden Abschnitt wird die Auswertung einer Bewertungsmatrix erläutert und anschließend die Ergebnisse der drei Matrizen \mathbf{A}_S , \mathbf{A}_{K1} und \mathbf{A}_{K2} den realen Verhältnissen der Flächeninhalte gegenübergestellt. Es wird sich zeigen, dass die inkonsistente Matrix nicht zwangsläufig „schlechter“ ist als eine konsistente Matrix. Ein großer Vorteil des AHP ist sogar, dass Inkonsistenzen in gewissem Rahmen zulässig sind. Das entspricht auch etwas mehr der Realität. In diesem Beispiel „bewahren“ die Inkonsistenzen sogar Information.

2.2.6 Evaluierung der Bewertungsmatrix

Die Evaluierung einer Bewertungsmatrix wird nachstehend erklärt und anhand der Schätzung \mathbf{A}_S aus dem vorigen Kapitel demonstriert. Zunächst müssen die Spaltenvektoren der Bewertungsmatrix normalisiert werden. Dazu errechnet man die Spaltensummen c_i (engl. „column“) aller Elemente n :

$$c_i = \sum_{j=1}^n a_{ji} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.26)$$

Anschließend sind die Spaltenvektoren mithilfe der Spaltensummen zu normalisieren. Die Matrix mit den normalisierten Werten b_{ij} wird *Evaluationsmatrix* \mathbf{B} genannt.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{c_j} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.27)$$

Die Normalisierung beschreibt den Beitrag (= *Gewichte* bzw. *Prioritäten*) der einzelnen Elemente zur Spaltensumme. Bei konsistenten Bewertungen sind alle Werte einer Zeile gleich. Sie unterscheiden sich, wenn Inkonsistenzen vorliegen. In Tab. 2.5 ist eine inkonsistente Evaluationsmatrix mit variierenden Zeileneinträgen zu sehen. Addiert man alle normalisierten Einträge einer Zeile, so erhält man den angenäherten Eigenvektor \mathbf{R}_S :

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.28)$$

Die Summe der Einträge des angenäherten Eigenvektors \mathbf{R} entspricht der Anzahl der zu vergleichenden Elemente n der Bewertungsmatrix:

$$n = \sum_{i=1}^n r_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2.29)$$

Normiert man den Eigenvektor \mathbf{R} über die Anzahl der Elemente n , so erhält man die Einträge w_i des Präferenzvektors \mathbf{W} :

$$w_i = \frac{r_i}{n} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2.30)$$

Somit definiert sich der Präferenzvektor \mathbf{W} wie folgt:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Diese Vorgehensweise wird *Methode nach Saaty* genannt.

Tab. 2.5: Berechnung der Evaluationsmatrix \mathbf{B}_S , des Eigenvektors \mathbf{R}_S und des Präferenzvektors \mathbf{W}_S am Beispiel der Bewertungsmatrix \mathbf{A}_S aus Tab. 2.4. Inkonsistente Matrizen besitzen variierende Zeileneinträge in der Evaluationsmatrix

Bewertungsmatrix \mathbf{A}_S					Evaluationsmatrix \mathbf{B}_S					\mathbf{R}_S	\mathbf{W}_S
(a_{ij})	A	B	C	D	(b_{ij})	A	B	C	D	r_i	w_i
A	1	3	8	9	A	0,64	0,62	0,62	0,69	2,57	0,641
B	1/3	1	3	2	B	0,21	0,21	0,23	0,15	0,80	0,201
C	1/8	1/3	1	1	C	0,08	0,07	0,08	0,08	0,30	0,076
D	1/9	1/2	1	1	D	0,07	0,10	0,08	0,08	0,33	0,082
c_i	1,57	4,83	13	13	\sum	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,000

Fortsetzung Beispiel Flächenvergleich Die gemittelten Werte über die normierten Zeilen w_i entsprechen der Annäherung des Haupt-Eigenvektors der Matrix. Die Abschätzung des Haupt-Eigenvektors führt neben der Reihenfolge der Präferenzen auch zur Quantifizierung. So ergibt sich im Beispiel gem. Tab. 2.5 eine Reihung von $A \succ B \succ D \succ C$ mit den Gewichten $w_A = 64,2\%$, $w_B = 20,1\%$, $w_D = 8,2\%$ und $w_C = 7,6\%$. Der konkrete Fall lässt, aufgrund der linearen Bewertungsskala, eine physikalische Interpretation zu. Die errechneten „Präferenzen“ können als relative Flächeninhalte aller Figuren interpretiert werden. Bedient man sich der *Saaty-Methode* zur Abschätzung des Eigenvektors, so können die Ergebnisse verbessert werden, indem man die Bewertungsmatrix zuerst quadriert. Durch mehrfache Quadratur der Bewertungsmatrix \mathbf{A} kann die Differenz zum analytischen Eigenvektor reduziert werden [1, S. 12].

2.2.7 Berechnung des Haupt-Eigenvektors

Die Berechnung der Eigenvektoren einer quadratischen Matrix kann auch analytisch über das charakteristische Polynom erfolgen. Die analytische Berechnung ist unabhängig von der Konsistenz der Bewertungsmatrix möglich. Im Rahmen des AHP werden dennoch Anforderungen an die Konsistenz der

Bewertungsmatrizen gestellt, wie in Abschnitt 2.2.5 näher beschrieben ist. Es sei \mathbf{A} eine $n \times n$ -Matrix, dann errechnen sich die Eigenwerte λ und -vektoren \vec{w} aus der folgenden Gleichung,

$$\mathbf{A}\vec{w} = \lambda\vec{w}, \quad (2.32)$$

wobei nur nicht-triviale Lösungen relevant sind.

$$\underbrace{(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I})}_{=0} \cdot \vec{w} = 0 \quad (2.33)$$

Die Eigenwerte λ und zugehörigen Eigenvektoren \vec{w} ergeben sich so aus:

$$\|\mathbf{A} - \lambda \cdot \mathbf{I}\| = 0 \quad (2.34)$$

$$\rightarrow \lambda_{1,\dots,n}; \vec{w}_{\lambda_{1,\dots,n}} \quad (2.35)$$

Für den AHP ist nur der zum größten Eigenwert λ_{\max} gehörende Eigenvektor \vec{w}_{λ} relevant. Bei konsistenten Bewertungsmatrizen sind, bis auf den größten Eigenwert λ_{\max} , alle Eigenwerte Null. λ_{\max} nimmt den Wert der Dimension der Bewertungsmatrix n an. Die Abschätzungen des Eigenvektors und die analytische Berechnung einer konsistenten Matrix ergeben den selben Präferenzvektor.

Fortsetzung Beispiel Flächenvergleich Der Vergleich der Abschätzung mit den berechneten Werten zeigt, dass die Annäherung ein gutes Resultat erzielt:

$$\mathbf{W}_S = \begin{bmatrix} 64,1 & 20,1 & 7,6 & 8,2 \end{bmatrix}^T \quad [\%] \quad (2.36)$$

$$\mathbf{W}_{S,\lambda} = \begin{bmatrix} 64,2 & 20,0 & 7,4 & 8,4 \end{bmatrix}^T \quad [\%] \quad (2.37)$$

Betrachtet man die eingangs erstellten Bewertungsmatrizen \mathbf{A}_S , \mathbf{A}_{K1} und \mathbf{A}_{K2} und errechnet die Präferenzvektoren mittels analytischer Eigenwertberechnung, so kommt man zu folgenden Ergebnissen:

$$\mathbf{W}_{S,\lambda} = \begin{bmatrix} 64,2 & 20,0 & 7,4 & 8,4 \end{bmatrix}^T \quad [\%] \quad (2.38)$$

$$\mathbf{W}_{K1,\lambda} = \begin{bmatrix} 60,0 & 20,0 & 10,0 & 10,0 \end{bmatrix}^T \quad [\%] \quad (2.39)$$

$$\mathbf{W}_{K2,\lambda} = \begin{bmatrix} 64,3 & 21,4 & 7,1 & 7,1 \end{bmatrix}^T \quad [\%] \quad (2.40)$$

Der geschätzte Prioritätenvektor \mathbf{A}_S ist den beiden konsistenten Vektoren ähnlich. Beide konsistenten Vektoren $\mathbf{A}_{K1,\lambda}$ und $\mathbf{A}_{K2,\lambda}$ weichen in den einzelnen Einträgen nur maximal 5,2%-Punkte von der Schätzung ab. Die konsistenten Ergebnisse weisen die Formen C und D jeweils als gleich groß aus.

Exakte Flächenberechnung Zum Vergleich der Ergebnisse mit den exakt ermittelten Flächeninhalten wird folgende Matrix \mathbf{A}_R aufgestellt:

$$\mathbf{A}_R = \begin{bmatrix} 1 & 3,03 & 12,61 & 9,08 \\ & 1 & 4,17 & 3,00 \\ \vdots & \ddots & 1 & 0,72 \\ & \dots & & 1 \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Mit Eintragungen im unteren Dreieck gem. Reziprozitäts-Axiom erhält man den folgenden Präferenzvektor $\mathbf{W}_{R,\lambda}$:

$$\mathbf{W}_{R,\lambda} = \left[65,8 \quad 21,7 \quad 5,25 \quad 7,25 \right]^T \quad [\%] \quad (2.42)$$

Der Vergleich aller Ergebnisse mit jenen der echten Flächenverhältnisse zeigt, dass die ursprüngliche Schätzung $\mathbf{W}_{S,\lambda}$, trotz Inkonsistenzen in der Bewertung eine gute Näherung zur tatsächlichen Aufteilung darstellt. Die Quadratsumme der Abweichungen aller Komponenten von $\mathbf{W}_{S,\lambda}$ zu $\mathbf{W}_{R,\lambda}$ ist mit 11,41 höher als jene von $\mathbf{W}_{K2,\lambda}$ zu $\mathbf{W}_{R,\lambda}$ mit 6,01. Die Schätzung $\mathbf{W}_{S,\lambda}$ schafft es jedoch, im vorliegenden Fall, die Reihenfolge korrekt zu bestimmen, wohingegen die beiden konsistenten Matrizen die Präferenz C und D jeweils gleich bewerten.

Die Schätzung liefert, trotz leichter quantitativer Ungenauigkeiten, ein qualitativ besseres Ergebnis der Aufgabenstellung.

2.2.8 Konsistenzprüfung

Als Maß der Konsistenz einer Bewertungsmatrix ist lt. Saaty [13, S. 12] folgender Consistency Index (CI) gem. nachstehender Formel heranzuziehen:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.43)$$

Der errechnete CI wird mit dem durchschnittlichen CI zufällig erzeugter Matrizen Consistency Index of Random Matrices (RI) gleicher Dimension verglichen. Das Verhältnis von CI zu RI wird Consistency Ratio (CR) genannt und soll den Wert 0,10 nicht überschreiten. Bei konsistenten Matrizen stimmen der größte Eigenwert λ_{\max} und die Dimension n überein und Gleichung (2.43) ergibt folglich immer 0.

$$CR = \frac{CI}{RI} \leq 0,10 \quad (2.44)$$

Dieses Kriterium ist notwendig, um sicherzustellen, dass die Differenzen der errechneten Präferenzen nicht zu stark von jenen einer konsistenten Matrix abweichen [13, S. 14]. Die Werte aus Tab. 2.6 sind für $n \times n$ -Matrizen nach der Saaty-Skala heranzuziehen. Für andere Skalen sind entsprechende RI als Vergleichsgröße heranzuziehen.

Tab. 2.6: RI : Mittelwert des CI für zufällig generierte Bewertungsmatrizen nach Saaty-Skala \mathbb{S} und die Abbildung $s \mapsto s^2$, in Abhängigkeit der Dimension n [4, S. 170]

RI	n:	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
s		0,525	0,882	1,110	1,250	1,341	1,404	1,451	1,486	1,514	1,536
$s \mapsto s^2$		10,218	24,961	42,854	61,247	79,429	97,238	114,769	132,105	149,33	166,434

Wird die Konsistenzanforderung CR nicht erreicht, so muss die Bewertungsmatrix überarbeitet werden. Die größten Abweichungen des Konsistenzkriteriums nach Gleichung (2.25) liefert einen Anhaltspunkt für die größte Inkonsistenz.

Fortsetzung Beispiel Flächenvergleich Zur Konsistenzprüfung der Schätzung wird der CI errechnet und dem RI gegenübergestellt.

$$\lambda_{S,max} = 4,022 \quad (2.45)$$

$$CI = 0,007 \quad (2.46)$$

$$RI = 0,882 \quad (2.47)$$

$$CR = 0,008 \leq 0,10 \quad \checkmark \quad (2.48)$$

Es wird mit der Bewertungsmatrix gem. (2.44) ein ausreichend hohes Konsistenzniveau erreicht.

2.2.9 Aggregation der Bewertungen

Unter der Aggregation versteht man im AHP die Zusammenführung der *lokalen Präferenzen* zum globalen Präferenzvektor (PV) P_{Ges} . Er kompiliert die Ergebnisse aller Bewertungsmatrizen zu einem globalen Ergebnisvektor, der die Rangfolge der Alternativen beschreibt.

Betrachtet man ein System (vgl. Abb. 2.13) mit 3 Kriterien und 3 Alternativen, so müssen 4 *lokale PV* errechnet werden. Der erste PV $W_{Kriterien}$ beschreibt die Gewichtung der drei Kriterien. Die drei weiteren PV beschreiben jeweils die Relevanz der Alternativen hinsichtlich des untersuchten Kriteriums. $W_{Alt.(Krit 1)}$ gibt die relative Priorität der Alternativen in Bezug auf Kriterium 1 wieder. $W_{Alt.(Krit 2)}$ und $W_{Alt.(Krit 3)}$ beschreiben, analog dazu, die Präferenz der Alternativen in Bezug auf die Bewertungskriterien 2 und 3.

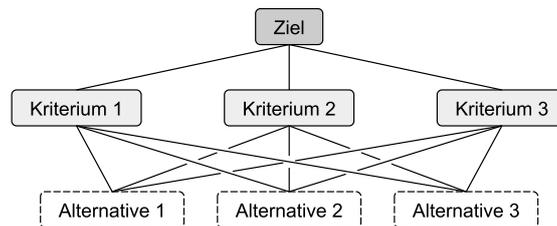


Abb. 2.13: Systemdarstellung

Für das System aus Abb. 2.13 sind die nachstehenden Bewertungsmatrizen und deren PV gegeben.

Die paarweisen Vergleiche der Kriterien sowie der lokale Präferenzvektor ergeben:

$$A_{Kriterien} = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 0,50 \\ 1,00 & 2,00 & 1,00 \end{bmatrix} \rightarrow W_{Kriterien} = \begin{bmatrix} 0,3275 \\ 0,2599 \\ 0,4126 \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

Die lokalen Gewichte der Alternativen belaufen sich zu:

$$\mathbf{A}_{\text{Alt. (Krit 1)}} = \begin{bmatrix} 1,00 & 5,00 & 2,00 \\ 0,20 & 1,00 & 0,25 \\ 0,50 & 4,00 & 1,00 \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{W}_{\text{Alt. (Krit 1)}} = \begin{bmatrix} 0,5695 \\ 0,0974 \\ 0,3331 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

$$\mathbf{A}_{\text{Alt. (Krit 2)}} = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 0,50 \\ 1,00 & 1,00 & 0,20 \\ 2,00 & 5,00 & 1,00 \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{W}_{\text{Alt. (Krit 2)}} = \begin{bmatrix} 0,2247 \\ 0,1655 \\ 0,6098 \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

$$\mathbf{A}_{\text{Alt. (Krit 3)}} = \begin{bmatrix} 1,00 & 0,33 & 6,00 \\ 3,00 & 1,00 & 9,00 \\ 0,17 & 0,11 & 1,00 \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{W}_{\text{Alt. (Krit 3)}} = \begin{bmatrix} 0,2785 \\ 0,6631 \\ 0,0585 \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

Die CR sind jeweils $< 0,10$ und ergeben sich zu:

$$CR_{\text{Kriterien}} = 0,051 \leq 0,10 \quad \checkmark \quad (2.53)$$

$$CR_{\text{Alt. (Krit 1)}} = 0,023 \leq 0,10 \quad \checkmark \quad (2.54)$$

$$CR_{\text{Alt. (Krit 2)}} = 0,090 \leq 0,10 \quad \checkmark \quad (2.55)$$

$$CR_{\text{Alt. (Krit 3)}} = 0,051 \leq 0,10 \quad \checkmark \quad (2.56)$$

Der globale Ergebnisvektor errechnet sich aus der Summe der Präferenzanteile der lokalen Ergebnisvektoren. Diese Präferenzanteile werden mit dem Prioritätenvektor der Kriterien gewichtet.

Diese Berechnung kann durch folgende Matrizenoperation abgebildet werden:

$$\mathbf{P}_{\text{Ges}} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{\text{Alt. (Krit 1)}} & \mathbf{W}_{\text{Alt. (Krit 2)}} & \mathbf{W}_{\text{Alt. (Krit 3)}} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{W}_{\text{Kriterien}} \quad (2.57)$$

$$\mathbf{P}_{\text{Ges}} = \begin{bmatrix} 0,5695 & 0,2247 & 0,2785 \\ 0,0974 & 0,1655 & 0,6631 \\ 0,3331 & 0,6098 & 0,0585 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,3275 \\ 0,2599 \\ 0,4126 \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

$$\mathbf{P}_{\text{Ges}} = \begin{bmatrix} 0,3598 \\ 0,3485 \\ 0,2917 \end{bmatrix} \begin{matrix} \dots \text{ Alternative 1} \\ \dots \text{ Alternative 2} \\ \dots \text{ Alternative 3} \end{matrix} \quad (2.59)$$

Die Ergebnisse der Alternativen fallen für das konkrete Beispiel sehr knapp aus. In solchen Fällen ist eine erneute Betrachtung der Projektstruktur und der Bewertungen notwendig.

$$P_{\text{Alt. 1}} = 35,98\%, \quad P_{\text{Alt. 2}} = 34,85\%, \quad P_{\text{Alt. 3}} = 29,17\% \quad (2.60)$$

2.2.10 Sensitivitätsanalyse

Ein wichtiger Indikator für die Robustheit einer Entscheidung ist die Sensitivitätsanalyse [8, 17]. Dabei wird getestet, wie sich das System verändert, wenn sich die Gewichtungen der zugrunde gelegten Bewertungsmatrizen verschieben.

Eine einfache Möglichkeit die Sensitivität zu untersuchen, stellt die Methode nach Hurley [8] dar. Dabei werden die Einträge aller Bewertungsmatrizen mit α potenziert. Der Exponent α wird auf die einzelnen Einträge in den Bewertungsmatrizen angewendet, die lokalen PV neu errechnet und schließlich

zum globalen PV aggregiert. Diese Methode ist einfach umzusetzen, da sie lediglich die Variation eines Parameters α benötigt. So wird ermöglicht, den globalen PV zu untersuchen, bei gleichzeitiger Bewahrung der Rangfolge der lokalen PV.

$$\mathbf{A}^{(\alpha)} = a_{ij}^{\alpha} \quad \forall i, j \in (1, \dots, n), \text{ mit } \alpha > 0 \quad (2.61)$$

Im Bereich $\alpha > 1$ „explodieren“ die Einträge der Matrix und die dominanten Gewichte des PV werden verstärkt. Große Einträge des PV werden gegenüber $\alpha = 1$ vergrößert und kleine Werte werden reduziert. Im Bereich von $\alpha < 1$ „implodieren“ die Einträge und nähern sich entsprechend an.

Wendet man diese Methode auf alle lokalen Bewertungsmatrizen des Systems an und errechnet den global Ergebnisvektor, so können Rückschlüsse auf die Sensibilität des Systems gezogen werden. Obwohl die Reihung der Einträge in den lokalen PV erhalten bleiben, kann sich die Reihung des globalen Ergebnisvektors ändern.

Der Ergebnisvektor $\mathbf{P}^{(\alpha=1,00)}$ zeigt, dass die Alternative 1 mit rd. 36,0% etwa 1,1%-Punkte vor der Alternative 2 liegt.

Führt man die Sensitivitätsanalyse im Bereich $0,5 \leq \alpha \leq 1,5$ durch, so erhält man den Gesamtverlauf des Zielvektors. Abb. 2.14 und Tab. 2.7 zeigen, wie sich die Rangfolge der Alternativen Alt. 1 und Alt. 2 im Bereich von $\alpha \approx 1,25$ umkehrt.

Tab. 2.7: Sensitivitätsanalyse des globalen Ergebnisvektors im Bereich von $0,50 \leq \alpha \leq 1,50$. Bei einem Parameterwert von $\alpha \approx 1,125$ ist eine Änderung der Rangfolge der Alternativen 1 und 2 zu erkennen

α	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,125	1,250	1,375	1,500
Alt. 1	0,361	0,363	0,363	0,362	0,360	0,357	0,353	0,348	0,343
Alt. 2	0,327	0,330	0,335	0,341	0,348	0,357	0,366	0,377	0,387
Alt. 3	0,312	0,307	0,302	0,297	0,292	0,286	0,281	0,275	0,269
Σ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

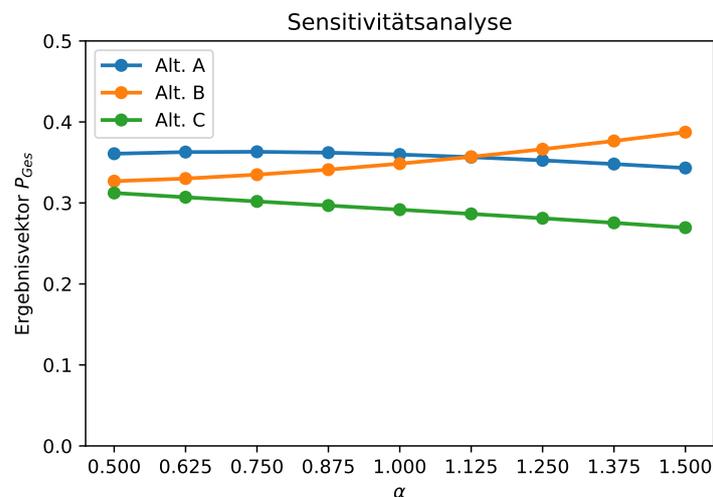


Abb. 2.14: Sensitivitätsanalyse des Ergebnisvektors $\mathbf{P}_{\text{Ges}}^{(\alpha)}$ für das Gesamtsystems in Abhängigkeit des Exponenten α

Im konkreten Fall sollte die Sensitivitätsanalyse den Entscheidungsträger veranlassen, das Modell zu überprüfen. Das Resultat dieses AHP ist möglicherweise nicht eindeutig genug, da alle drei Alternativen zu nahe beieinander liegen. Um eine stabilere Lösung zu finden, müssen ggf. die Kriterien verändert werden.

Kapitel 3

Prozessanalyse und -optimierung

Im Rahmen der Prozessanalyse und -optimierung werden zunächst der Aufbau und die Historie des Unternehmens beleuchtet, um die etablierte Prozessabwicklung im richtigen Kontext darzustellen. Anschließend erfolgt die Festlegung der Systemgrenzen anhand der Darstellung des Grobprozesses und den dabei eingebundenen Dokumenten, bevor die Prozesse im Detail analysiert werden. Die Analyse zeigt deutlich das Optimierungspotential, dass mithilfe einer Softwarelösung ausgeschöpft werden soll.

3.1 Aufbauorganisation

Das untersuchte österreichische Unternehmen ist im Straßenbau tätig und in drei wesentliche bauausführende Fachbereiche und den Gerätepark unterteilt. Es deckt alle Bauleistungen von der Bodenstabilisierung, Betondeckenbau bis hin zur Fugen- und Oberflächentechnik im In- und Ausland ab.

Betondeckenausbau (BDA) Die Abteilung für Betondeckenausbau (BDA) hat sich auf die Herstellung von Straßen- und Platzflächen aus Beton spezialisiert. Neben Großaufträgen von Autobahn- und Schnellstraßenabschnitten, bei denen große Betonfertiger zum Einsatz kommen, sind auch kleine Projekte mit händischer Fertigung Bestandteil des Leistungsbildes. Die Flächenherstellung für Stellplätze, logistische An-/Ablieferung oder auch Flugbetriebsflächen fallen ebenfalls ins Spektrum der angebotenen Bauleistungen. Das Team der Abteilung BDA umfasst etwa 40 Personen gewerblichen Personals (GewP) und stellt damit die größte Abteilung im Unternehmen dar.

Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächentechnik (FIO) Diese Abteilung umfasst, als zweitgrößte Abteilung, einen Pool von ca. 25 Personen. Die Leistungen sind breit gefächert und reichen von Oberflächenbehandlung bis hin zur Sanierung von Schäden an Betonfahrbahnen. Die angebotenen Leistungen unterscheiden sich von der Abteilung BDA auch in Hinblick auf den Lebenszyklus einer betonierten oder asphaltierten Straße. Zwar liegen die Leistungen der Fugenausbildung von Betonflächen am Anfang des Lebenszyklus einer Betonfahrbahn, aber die Leistungen des *Grooving*¹ oder *Grinding*² sind zumeist zu einem späteren Zeitpunkt im Leben einer Betonfläche notwendig. Das ist insb. der Fall, wenn der Zustand der Betondecke die Ansprüche an Ebenheit, Griffigkeit oder der normgemäßen Entwässerung nicht mehr eingehalten werden kann [12, S. 46]. In Bezug auf die Instandsetzung sind auch Sanierungen von Eck- und Randabbrüchen, Abplatzungen und anderen Beschädigungen wie bspw. Netz-, Quer- oder Längsrisse Teil des Aufgabenbereichs der Abteilung.

¹ Grooving: Eine Sanierungsmethode, um die Aquaplaninggefahr der Fahrbahn zu reduzieren. Dabei werden feine Rillen in die Oberfläche eingeschnitten, um den Abtransport des Wassers zu begünstigen [12, S. 48].

² Grinding: Durch das Abschleifen der Oberfläche mittels einer Vielzahl an dicht gedrängter Rillen werden Unebenheiten über größere Strecken begradigt. Diese Methode wird auch eingesetzt, um zusätzlich die Lärmentwicklung auf dem behandelten Abschnitt zu reduzieren [12, S. 52].

Bodenstabilisierung (BOD) Die Abteilung für Bodenstabilisierung (BOD) wickelt Projekte zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Fahrbahnuntergrunds ab. Diese Vorleistungen stellen die Tragschicht für einen weiteren Aufbau von Fahrbahndecken dar. Mit knapp 10 Personen ist das die kleinste Abteilung des Unternehmens und agiert aufgrund der Historie sowie der kleinen Größe relativ autonom und unabhängig von den anderen Abteilungen.

Maschinen-/Technische Abteilung (MTA) Diese kleine Abteilung agiert mit ca. 10 Personen. Sie ist zuständig für den gesamten Fuhrpark und die ordnungsgemäße Bereitstellung, Wartung und Reparatur der Geräte. Sie wickelt zusätzlich die Aufrüstung, Bereitstellung und den Transport der Einbaugeräte für die Baustellen ab.

Die administrative Verwaltung des Unternehmens, wie bspw. Buchhaltung, Personalverwaltung etc., findet zentral statt. Darüber hinaus ist seit knapp fünf Jahren der 100 %-ige Anteilseigner dieses Unternehmens ein großer österreichischer Baukonzern. Dieser Umstand bedingt gewisse Schnittstellen zwischen dem Konzern und der Tochterfirma. Darüberhinaus sind die Geschäftsführer der Tochter im Konzern tätig. Ursprünglich ist das Unternehmen aus einer Arbeitsgemeinschaft mehrerer Firmen hervorgegangen, bis sich die aktuellen rechtlichen Verhältnisse eingestellt haben. Das Zusammenspiel dieser Umstände hat bis heute einen prägenden Einfluss auf die interne Struktur, die Abteilungen sowie die Abwicklung der Bauprojekte.

3.2 Problemstellung

Trotz Änderung der rechtlichen Situation und verwaltungstechnische Eingliederung in den Konzern haben sich einige gewohnte Prozesse und Arbeitsweisen nicht geändert, außer bspw. in der Baugeräteverwaltung. Die meisten Baugeräte werden zwar weiterhin auf der operativen Ebene von der Tochter verwaltet, aber zumindest die administrative Erfassung und teilweise auch die Verwaltung hat zusätzlich auf Konzernebene zu erfolgen. Neue Baumaschinen werden nicht mehr über das Tochterunternehmen, sondern über den Fuhrpark des Konzerns angeschafft und an die Tochter vermietet.

Prozesse aus der alten Unternehmensstruktur sind zum Teil weiterhin unverändert als Vorgänge im Projektalltag integriert. Insbesondere die getrennten Abteilungen agieren entsprechend ihrer Historie weiterhin eigenständig. Jede Abteilung setzt für die interne Projektabwicklung verschiedene (digitale) Hilfsmittel bzw. Dokumente ein. Dadurch wird die Übersicht über die aktuellen Projekt auf Unternehmensebene erschwert. Probleme, die sich aufgrund uneinheitlicher und dezentraler Informationsverwaltung ergeben, sind unter anderem folgende:

- Keine Übersicht über die im Einsatz befindlichen Baugeräte
- Fehlende Übersicht über kurzfristig verfügbares Personal
- Keine zentrale Erfassung von Ausfällen und bei Krankheit des Personals
- Kein Übersichtsdokument über die Gesamtheit der Projekte aller Abteilungen
- Die Dokumente der Projektabwicklung liegen an unterschiedlichen Ablageorten
- Keine einheitliche Projektadministration in den Abteilungen

Unterschiede in der Projektabwicklung der einzelnen Abteilungen sollen reduziert und die administrative Projektdurchführung auf eine gemeinsame Linie gebracht werden. Aus diesem Grund erhielt die Abteilung für *Innovation und Technologie* des Mutterkonzerns die Aufgabe, die vorhandenen Arbeitsprozesse

zu begutachten. Prozesse sowie Dokumente der Projektabwicklung sollen mittels einer gemeinsamen Softwareanwendung vereinheitlicht werden.

Ziel ist es, die Abläufe der verschiedenen Abteilungen zu analysieren und eine Softwareanwendung zu finden, die zukünftig eine gemeinsame Basis für die Einsatzmittelplanung darstellt. Die ggstl. Diplomarbeit soll bei

1. der *Prozessfassung*,
2. Herausarbeitung von *Use-Cases*,
3. Erstellung des *Anforderungsprofils* für eine einheitliche Softwarelösung,
4. *Eingrenzung* geeigneter Anwendungen,
5. *Softwarevergleich* anhand des Anforderungsprofils
6. und schließlich bei der *Handlungsempfehlung*

helfen. In diesem Kapitel werden die Prozesse sowie die verwendeten Arbeitsunterlagen analysiert. In Kapitel 5 erfolgt die Ausarbeitung klassischer Use-Cases.

3.3 Orientierender Grobprozess

Die Erhebung der Prozesse erfolgte in zwei Schritten. Zum einen wurden alle Dokumente, die in der Projektabwicklung zur Anwendung kommen, aufgelistet (vgl. Abschnitt 3.3.1) und zum anderen wurde die Projektabwicklung auf grober Ebene als Prozesskette dargestellt (siehe Abschnitt 3.3.2). Anschließend erfolgte die genaue Untersuchung der relevantesten Vorgänge.

3.3.1 Dokumente der Projektabwicklung

Als Grundlage für die Prozessanalyse wurde eine Liste zusammengestellt, in der alle Dokumente, die standardmäßig in der Projektabwicklung verwendet werden, erfasst sind. Die Liste umfasst jene 60 Dokumenten, die regelmäßig für die Abwicklung von Bauprojekten in Verwendung sind. Dabei sind ausschließlich Standarddokumente einbezogen, die für die administrative und operative Abwicklung notwendig sind. Anlassbezogene Dokumente oder andere Arbeitsunterlagen, die nicht standardmäßig zum Einsatz kommen, sind nicht berücksichtigt. Diese Zusammenstellung ist in Tab. 3.1 dargestellt.

Auf die gelisteten Dokumente wird fortan in folgender Art referenziert: Ist ein spezifisches Dokument gemeint, so wird die Nummer in eckiger Klammer geschrieben und ein „D“ für „Dokument“ vor die Nummer gesetzt. Dementsprechend wird auf die „*Fuhrparkliste*“, die in mit der Nummer 40 geführt wird, mittels [D. 40] - „*Fuhrparkliste*“ oder kurz [D. 40] referenziert. Verweise auf eine Gruppe zusammenhängender Dokumente werden mittels Bindestrich dargestellt (bspw. [D. 26–38]) und bei mehreren einzelnen Dokumente mit Komma getrennt (bspw. [D. 25, 40]).

In der Auflistung ist ebenfalls ausgewiesen, wo sich das Dokument in der firmeninternen Dokumenten- und Ablagestruktur befindet. Betrachtet man die Ablageorte, so ist erkenntlich, dass inhaltlich ähnliche bzw. sich ergänzende Dokumente teilweise an verschiedenen Orten abgelegt sind oder – im Falle von [D. 57] - „*Personaleinteilung*“ – gar nicht im Netzwerk auffindbar sind. Darüberhinaus sind neben den vorhandenen SharePoint-Server (SPS) auch noch ein Netzlaufwerk „P“ für die Dokumentenverwaltung in Verwendung. Somit sind die Dokumente bzw. Informationen zusätzlich auf unterschiedliche Ablagestrukturen verteilt.

Inhaltliche Überschneidungen liegen auch bei Dokumenten vor, die am selben Server abgelegt sind. Die folgenden Dokumente sind bspw. für eine ähnliche Aufgabenstellung im Einsatz, nämlich die Verwaltung

Tab. 3.1: Zusammenstellung der 60 regelmäßig verwendeten Dokumente zur Projektabwicklung inkl. Angabe des Ablageorts. Beinahe alle Dokumente sind entweder auf einem der beiden SharePoint-Server (SPS) abgelegt oder befinden sich auf dem Netzlaufwerk „P:“

Nummer	Ablage	Name	zus. Information
1–6	P:	Bautagesberichte etc.	Berichte und Aufmaßblätter (Poliere)
7–9	P:	LS intern - FIO/BDA/BOD	Formblätter Lieferscheine
10–23	P:	QM-Plan 3.0	Qualitätsmanagement
24	SPS 1	Bestandsliste LP	Material und Arbeitsstoffe
25	SPS 1	Einsatzliste Großgeräte	Geräteverwaltung
26–38	SPS 2	Kalkulationsdokumente etc.	Kalk.-Formblätter und Vorbemerkungen
39	SPS 1	Arbeitsstoffe all	Material und Arbeitsstoffe
40	SPS 2	Fuhrparkliste	Geräteverwaltung
41	SPS 1	Tagesübersicht	Angestelltes Personal
42	SPS 1	Urlaubsplanung	Angestelltes Personal
43	SPS 1	EKST-Liste	Angestelltes Personal
44	P:	Quartierliste	Personalverwaltung
45	P:	Wochenbericht	Personalverwaltung
46	SPS 1	Passwortliste	Personalverwaltung
47	SPS 1	Personalliste	Personalverwaltung
48	SPS 1	Urlaubsliste	Personalverwaltung
49	SPS 1	Wochenbericht	Zeiterfassung und Abrechnung
50	SPS 1	Stundenliste Monatsbericht	Zeiterfassung und Abrechnung
51	SPS 1	Monatsbericht	Zeiterfassung und Abrechnung
52	SPS 1	Urlaub-Krankenstand	Personalverwaltung
53	SPS 1	ZA-Stunden	Personalverwaltung
54	SPS 1	Bauzeitplan DE Personal	Bauzeitplan
55–56	SPS 1	Unfallmeldung	Unfallmeldung und Bericht
57	??	Personaleinteilung	Zuteilung gewerbliches Personal
58	SPS 2	Projektliste Stabilisierung 2018	Bauzeitplan
59	SPS 1	Arbeitseinteilung 2018 NEU	Bauzeitplan
60	SPS 1	Bauzeitplan	Bauzeitplan

der Abwesenheit von gewerblichem und angestelltem Personal. Man vergleiche die Dokumentenbezeichnungen:

- [D. 42] - „*Urlaubsplanung*“
- [D. 48] - „*Urlaubsliste*“
- [D. 52] - „*Urlaub-Krankenstand*“

Wie die Dateinamen bereits erkennen lassen, liegen inhaltliche Überschneidungen vor bzw. sind Informationen, die dem gleichen Zweck dienen, auf mehrere Dokumente verteilt. Eine derartige Verwaltung von Informationen erschweren die Abwicklung des täglichen Geschäftsbetriebs. Der Unterschied zwischen den Dokumenten [D. 42] und [D. 52] besteht darin, dass ersteres für die Erfassung und Verwaltung von angestelltem Personal im Einsatz ist und letzteres für gewerbliches Personal. Zwar sind die Vertragsverhältnisse von angestelltem und gewerblichem Personal unterschiedlich, aber die Urlaubsverwaltung sollte im Sinne einer zentralen Erfassung in gleicher Art und Weise und am selben Ort administriert werden. Die bisherige Vorgangsweise widerspricht also dem Grundgedanken, dass gleiche Informationen an der selben Stelle aufzubewahren sind.

Ein weiterer Aspekt ist die uneinheitliche Ablagestruktur. Das Dokument [D. 25] - „*Einsatzliste Großgeräte*“ ist beispielsweise auf dem unternehmensinternen SharePoint-Server 1 (SPS 1) abgelegt, während [D. 40] - „*Fuhrparkliste*“ auf dem SPS 2 zu finden ist. Beide Dokumente beinhalten Informationen zu den vorhandenen Geräten der verschiedenen Abteilungen. [D. 40] beinhaltet ausschließlich Daten über den Bestand und die Zuteilung des Fuhrparks zu den Baubereichen beinhaltet, wohingegen in [D. 25] zusätzlich Informationen zu der Aufteilung der Gerätekosten auf die Kostenträger (Baustellen) hinterlegt sind.

Im Rahmen der ggstl. Diplomarbeit gilt es eine bestmögliche Lösung zu finden, mittels einheitlicher Softwareanwendung derartige Doppelgleisigkeiten aus den Standardprozessen der Abteilungen zu entfernen. Um im Zuge dieser Vereinheitlichung nicht falsche Prozesse zu digitalisieren, werden zunächst die Prozessketten der Projektabwicklung analysiert. Der Verwaltungsaufwand soll durch den Einsatz einer geeigneten Software reduziert und nicht noch ein zusätzliches System in die Projektabwicklung integriert werden.

3.3.2 Orientierender Grobprozess und Dokumenteneinsatz

Um im Zuge der Ausarbeitung den Zusammenhang zwischen den erfassten Dokumenten/Informationen und der tatsächlichen Projektabwicklung abzubilden, wird der Projektabwicklungsprozess des Unternehmens mittels BPMN dargestellt. Dies geschieht zunächst auf einer groben Ebene, um zuerst die Systemgrenzen der Untersuchung festzulegen. Der erfasste Grobprozess ist in Abb. 3.1 dargestellt und wurde in Abschnitt 2.1.3 im Detail erläutert. Die Systemgrenzen werden in Abschnitt 3.3.4 beschrieben und festgelegt.

3.3.3 Informationsfluss/-cluster

Betrachtet man die erfassten Dokumente, so können sie gem. nachstehender Auflistung geclustert werden. Dies hilft bei der Festsetzung der Systemgrenzen und der späteren Definition der Use-Cases.

- Kalkulation: [D. 26–38]
- Qualitätsmanagement: [D. 10–23]
- Material und Arbeitsstoffe: [D. 24, 39]

- Berichte der Baustellenabwicklung: [D. 1–6]
- Lieferscheine: [D. 7–9]
- Unfallmeldungen: [D. 55–56]
- Geräteverwaltung: [D. 25–40]
- Bauzeitplan: [D. 54, 58–60]
- Personalverwaltung (gewerblich): [D. 44–48, 52, 53, 57]
- Personalverwaltung (angestellt): [D. 41–43, 47]
- Zeiterfassung und Abrechnung: [D. 49–51, 53]

In Abb. 3.2 sind die geclusterten Dokumente den zugehörigen Aktivitäten gem. BPMN mittels Assoziation zugeordnet. Jene Aktivitäten und die damit assoziierten Dokumente (Kalkulation: [D. 26–38]) vor dem eingetretenen Ereignis „Auftragserteilung“ sind nicht mehr berücksichtigt.

3.3.4 Abgrenzung/Systemgrenzen

Anhand des Grobprozesses (vgl. Abb. 3.2) und den geclusterten Dokumenten ergeben sich Einschränkungen im Analyseumfang. Zusätzlich sind die Umstände aus der Firmenhistorie und der aktuellen Eigentümersituation zu berücksichtigen:

- Für die Kalkulation und Angebotslegung gibt es genau definierte konzerninterne Vorgaben, an die sich das Tochterunternehmen halten muss. Die Angebotskalkulation und -legung erfolgt durch das Unternehmen selbst, aber sämtliche Angebote müssen zusätzlich in der Konzerndatenbank erfasst werden. Der Prozess der Angebotslegung fällt aus dem Untersuchungsbereich. Die Beschaffung der notwendigen Informationen zur Feststellung, ob genügend Ressourcen für ein geplantes Projekt zur Verfügung stehen, muss hingegen über das zukünftige System abgedeckt sein.
- Obwohl die Einsatzmittelplanung auch Einsatzstoffe, also Material, beinhaltet, wird dieser Teil explizit aus der Untersuchung ausgeschlossen. Die Bestellung und weiterführende Abwicklung wird vom jeweiligen Bauleiter selbstständig und individuell mit dem unternehmensinternen Einkauf bearbeitet.
- Dokumente zur operativen Projektabwicklung, wie Qualitätsmanagement der Baustelle, Lieferscheine, Berichtswesen oder Unfallmeldungen, sind ebenfalls nicht im Zuge der Einsatzmittelplanung zu berücksichtigen.
- Die Zeiterfassung des Personals soll zukünftig über eine vom Konzern vorgegebene Anwendung erfolgen. Aus diesem Grund entfällt dieser Aspekt ebenfalls aus den Untersuchungen.

Detaillierte Prozessanalysen müssen folglich nur für die allgemeine *Einsatzmittelplanung* (exkl. Material) erfolgen. Dazu zählen

- die Baustellenerfassung und -verwaltung,
- die Personaleinsatzplanung und
- die Geräteeinsatzplanung

sowie die kurzfristigen Dispositionsvorgänge. Der nächste Abschnitt widmet sich der Prozesserfassung und -analyse.

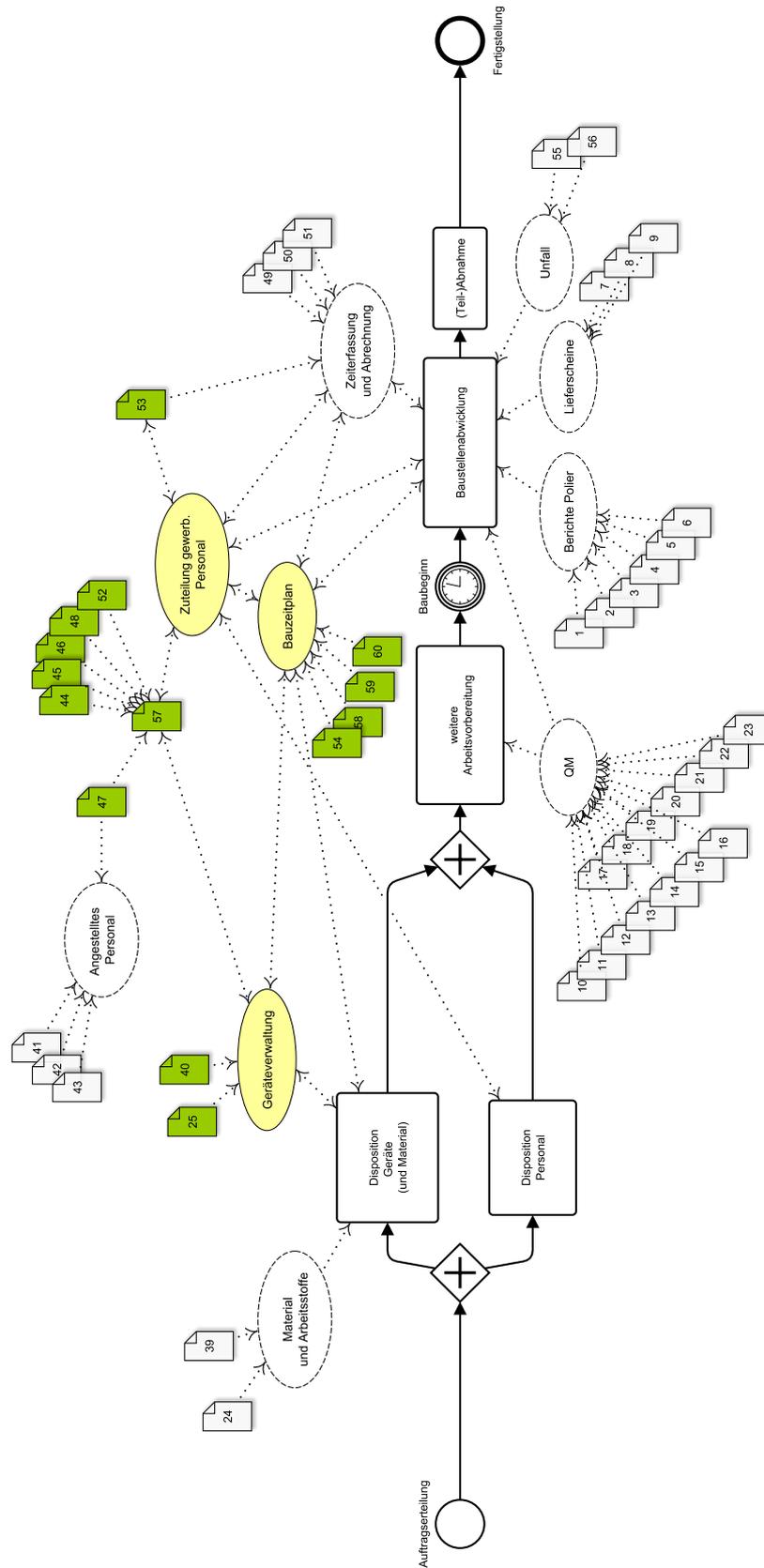


Abb. 3.2: Darstellung des orientierenden Grobprozesses mit dem Clustering der Dokumente. Die grün hervorgehobenen Dokumente fallen in die Sphäre der Einsatzmittelplanung

3.4 Prozesserfassung

Die Prozessketten wurden vor Ort im Rahmen von Besprechungen mit den Bereichsleitern der Abteilungen erarbeitet. In mehreren Runden sind mittel BPMN die Vorgänge ausgearbeitet und dargestellt worden. Jene Dokumente, die für die Einsatzmittelplanung relevant sind, sind zur näheren Analyse bereitgestellt. Daraus entstanden die folgenden Prozessketten, die direkt die Einsatzmittelplanung betreffen:

- Projektakquise
- Projektabwicklung (Projektleiter)
- Projektvorbereitung
- Gerätezuteilung
- Personalzuteilung
- Projektabwicklung (Bauleiter)

Anhand der BPMN-Diagramme werden die genannten Arbeitsvorgänge in den nächsten Abschnitten im Detail beschrieben.

3.4.1 Projektakquise

Die Projektakquise erfolgt in allen Abteilungen nach dem gleichen Schema, aber es werden andere Unterlagen verwendet. Das Schema ist inkl. der benötigten Dokumente in Abb. 3.3 abgebildet.

- Die Angebotslegung erfolgt über die Bereichsleitung bzw. die Geschäftsführung des Unternehmens. Der Ressourcenplan wird grob geprüft, ob ausreichend Personal für die Arbeiten zur Verfügung steht. Je nach Abteilung erfolgt diese Prüfung in einer der Dokumente [D. 54, 58–60] oder in einem Microsoft Outlook Kalender, in dem die Abteilung BOD ihre Planungen vornehmen. Abb. 3.3 macht deutlich, dass die notwendige Information für die grobe Ressourcenprüfung über mehrere Dokumente, zwei Servern und einen Outlook-Kalender verstreut ist. Es gibt also keinen Bauzeitplan (BZPL), der bereichsübergreifende Information bereitstellt. Sofern die Ressourcen verfügbar sind, wird die Angebotskalkulation durchgeführt.
- Das Angebot wird gem. firmeninternen Geschäftsregeln, in Abhängigkeit des Auftragswerts und dem Ausführungsort, geprüft und freigegeben. Wird ein gewisser Schwellenwert überschritten, so hat die Freigabe durch den technischen Geschäftsführer (TGF) zu erfolgen. Übersteigt der Angebotswert einen höheren Schwellenwert, so muss der kaufmännischer Geschäftsführer (KGF) das Angebot freigeben. Bis 2 Mio. € Angebotssumme erfolgt die Freigabe durch einen Prokuristen. Angebote, die diese Summe überschreiten, müssen durch den Geschäftsführer (GF) freigegeben werden. Da das Unternehmen eine Tochter eines Konzerns ist, erfolgt neben der Angebotslegung und Freigabe gem. den Geschäftsregeln auch die separate Erfassung des Angebots in der konzernweiten Datenbank. Für die Kalkulation der Aufträge sind die Dokumente [D. 26–38] zu verwenden.
- Die Akquiseprojekte werden, je nach Abteilung, dezentral in den diversen BZPL-Listen erfasst. Zukünftig soll diese Erfassung zentral über eine Anwendung erfolgen.
- Je nachdem, ob der Zuschlag erteilt worden ist oder nicht, wird entweder die Auftragserteilung oder die Absage in der zentralen Datenbank hinterlegt. Bei einer Absage endet der Prozess durch die „Terminierung“. Bei der Auftragsbestätigung wird der technische Bereichsleiter der zuständigen Abteilung informiert und die Projektvorbereitung kann beginnen.

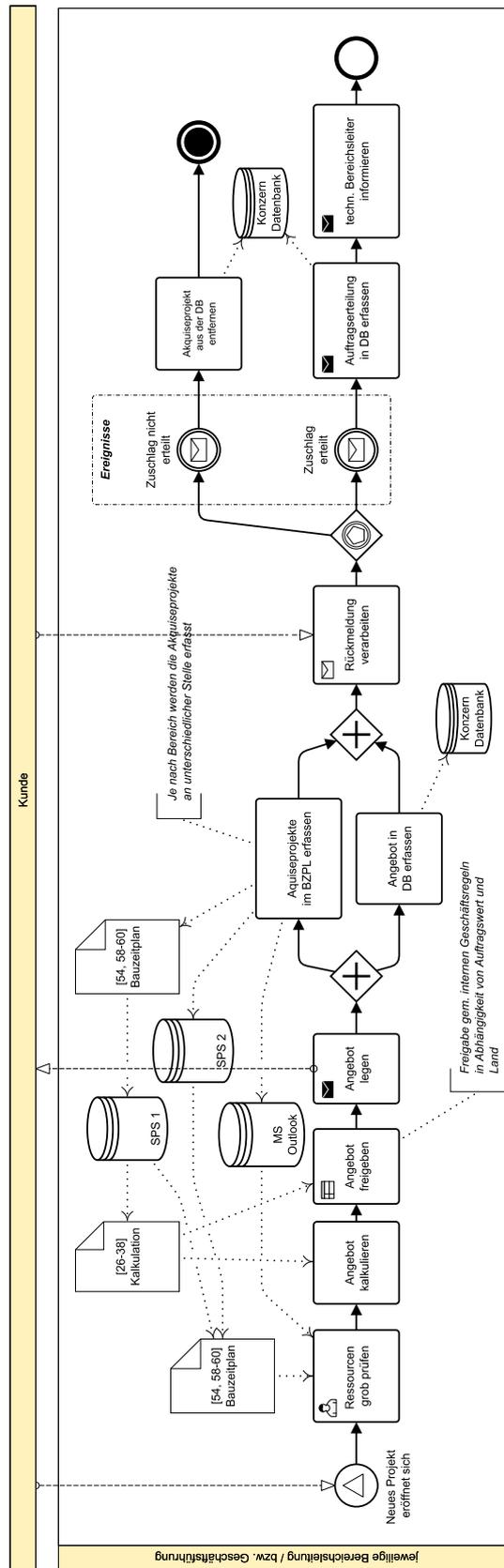


Abb. 3.3: Darstellung der Prozesskette der Projektakquise. Je nach betrachteter Abteilung sind unterschiedliche Dokumente für die Ressourcenprüfung in Verwendung – es gibt keine zentrale Erfassung der aktiven und avisierten Bauprojekte

3.4.2 Projektvorbereitung

Die vereinfachte Projektvorbereitung aus Sicht des Projektleiters ist in Abb. 3.4 dargestellt. Auf die Aktivität „*vorbereitende Maßnahmen unternehmen*“ wird separat eingegangen (vgl. Abschnitt 3.4.3).

- Sobald ein Auftrag erteilt ist, beginnen die vorbereitenden Maßnahmen. Der zuständig Projektleiter trägt die geplante Bauzeit in den BZPL ein und avisiert so sein Projekt. Je nach Baubereich wird dafür ein anderes Dokument verwendet. Die Dokumente [D. 52, 58–60] liegen zum Teil an unterschiedlichen Ablageorten und die Abteilung BOD verwaltet ihre Baustellen in einem Outlook-Kalender. Die Ressourcenzuteilung (Personal und Maschinen) erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt zentral durch die jeweils zuständige Stelle.
- Das Projekt wird vom Projektleiter auf die Agenda der nächsten Baustellenbesprechung gesetzt. Diese findet i. d. R. alle zwei Wochen statt. Die Festlegung des Bauleiters findet in der Baustellenbesprechung statt.
- Bei der nächsten Baustellenbesprechung werden die aktuellen Baustellen thematisiert und durchgesprochen. An der Baustellenbesprechung nehmen i. d. R. nur zwei Baubereiche teil, da der Dritte (BOD) größtenteils autonom seine Projekte abwickelt. Werden Baustellen behandelt, die von allen drei Baubereichen bearbeitet werden, dann nehmen entsprechend alle Baubereiche teil.
- Während der Baudurchführung ist der technische Bereichsleiter jeweils am Monatsende mit der Bauerfolgsrechnung bzw. am Ende der Baustelle zus. mit der Nachkalkulation beschäftigt.

3.4.3 Vorbereitende Maßnahmen

Die Vorbereitungen des Projektleiter (PL) laufen i. d. R. nach dem Schema aus Abb. 3.5 ab. Dieser Prozess stellt die zusammengeklappte Aktivität aus Abb. 3.4 inkl. Abstimmungsprozess mit der kaufmännischen Abteilung dar.

- Der Projektleiter wird mittels Nachricht über die erfolgreiche Angebotslegung informiert und startet mit den vorbereitenden Maßnahmen. Dadurch wird das *Startereignis* ausgelöst. Der *Token* wandert bis zum *AND-Split* und aktiviert gleichzeitig vier Aufgaben:
 1. Das Projekt wird auf dem BZPL avisiert. Wie bereits erwähnt, erfolgt das je nach Abteilung in einem anderen Dokument oder sogar in einem Outlook-Kalender. Dabei werden zus. grobe Kennzahlen der Baustelle und die Art der Arbeiten hinterlegt.
 2. Der Projektleiter nominiert einen Bauleiter, der das Bauprojekt abwickeln soll.
 3. Für die Baustelle wird bei der kaufmännischen Abteilung um die Kostenstelle angefragt. Die Anfrage aktiviert im *Pool* der kaufmännischen Bereichsleitung das *Startereignis*. Die *Aufgabe* „Kostenstelle festlegen“ wird entsprechend der etablierten Geschäftsregeln abgeschlossen und eine Kostenstelle festgelegt. Diese wird dem PL bekanntgegeben und beendet damit die Prozesskette der kaufmännischen Abteilung. Der PL hinterlegt anschließend die Kostenstelle im BZPL.
 4. Neben den genannten Aktivitäten hat der PL auch die Aufgabe die Baustelle auf die Agenda der nächsten Baustellenbesprechung zu setzen, um den Bauleiter zu fixieren und die zuständigen Personen für Personal- und Geräteverwaltung über den kommenden Einsatz zu informieren.
- Die *Token* der abgeschlossenen Aufgaben wandern weiter zur *Synchronisation*, auf der sie so lange verweilen, bis die *Token* aller vier Stränge zusammengelaufen sind und wieder zu einem

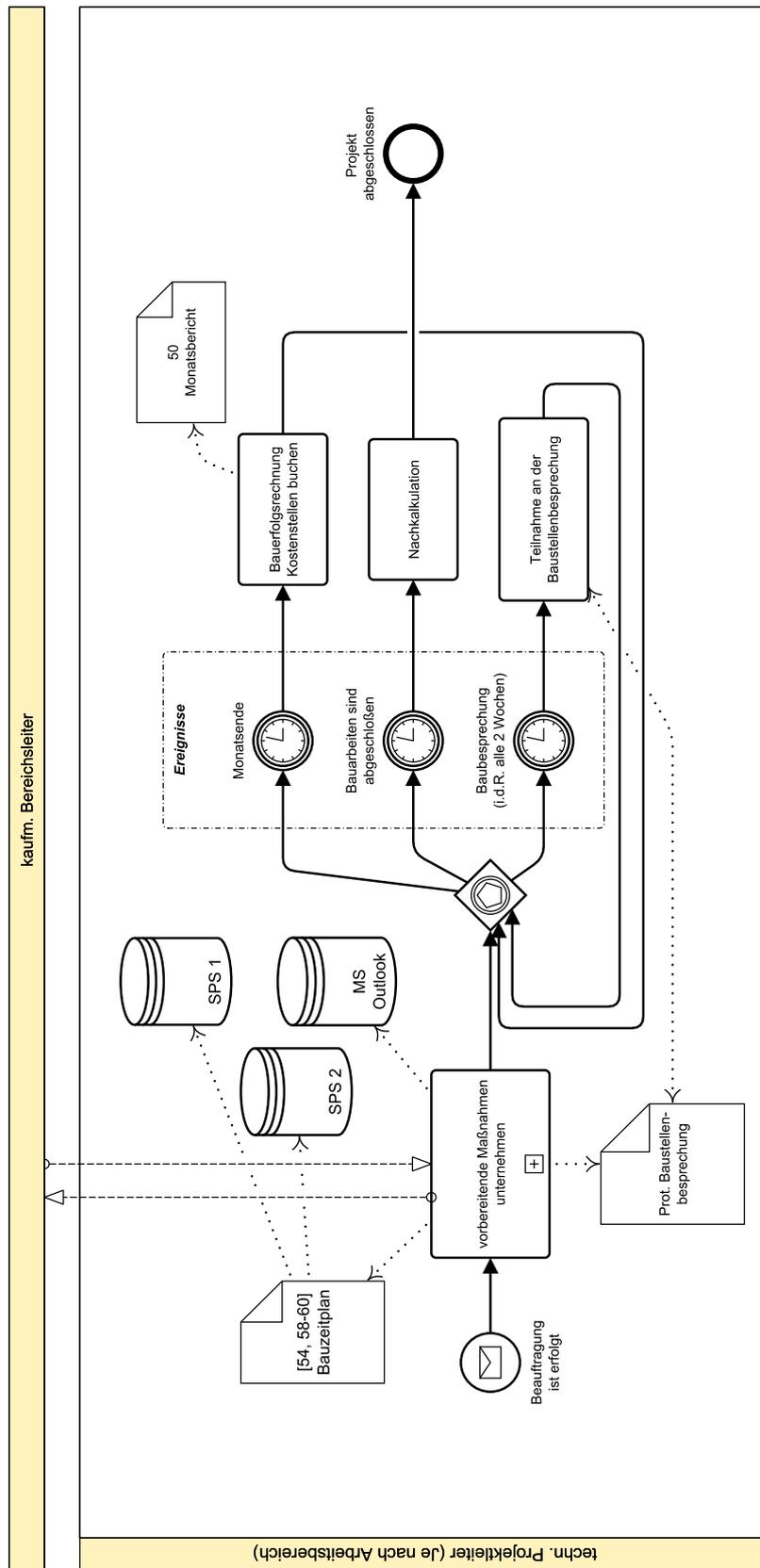


Abb. 3.4: Die Projektabwicklung aus Sicht eines Projektleiters. Auch hier sind die unterschiedlichen Dokumente und deren Ablageorte ersichtlic

verschmelzen. Erst wenn das geschehen ist, kann der Prozess fortgesetzt werden und das Endereignis beendet den abgebildeten Prozess.

Hier liegt eines der grundlegenden Probleme der dezentralen Einsatzmittelplanung. Schon die Erfassung der Projekte und Baustellen erfolgt nicht in das selbe Dokument bzw. die gleiche Datenbank.

3.4.4 Geräteverwaltung

Die Geräteverwaltung übernimmt übergeordnet die Abteilung Maschinen-/Technische Abteilung (MTA). Die Gerätezuordnung erfolgt dabei zum größten Teil „*im Kopf*“³, also ohne schriftliche Dokumentation, wo sich welche Baumaschine im Einsatz befindet. Der reguläre Prozess ist in Abb. 3.6 dargestellt und läuft wie nachstehend beschrieben:

- In der Regel findet alle zwei Wochen eine Baustellenbesprechung statt, in der die aktuellen und avisierten Projekte besprochen werden. Aus Sicht der MTA wird dadurch das *Startereignis* ausgelöst und die Aufgabe „An Baustellenbesprechung teilnehmen“ durchgeführt. Dabei kommt es vor, dass Zuordnungen bereits direkt in der Baustellenbesprechung fixiert werden.
- Nach der Baustellenbesprechung wird das Besprechungsprotokoll versendet und in der Planung berücksichtigt.
- Je nach dem, ob der Einsatzzeitpunkt schon ein bis zwei Wochen nahe herangerückt ist, oder bspw. ein (Ersatz-)Gerät urgiert wird, erfolgt die Verfügbarkeitsprüfung. Da in keinem Dokument die aktuelle Zuteilung der Baugeräte verfolgt wird, muss alles direkt mit der Abteilung MTA besprochen und abgeklärt werden. Nachdem der *Instanztoken* im *Link-Endereignis* verschwindet, wird das *Link-Startereignis* ausgelöst.
- Sofern die planmäßig eingesetzten Geräte oder im Falle der Urgenz das Ersatzgerät verfügbar sind, erfolgt die Zuteilung auf die Baustelle. Auch das wird in keinem Dokument oder einer Datenbank systematisch erfasst – sondern erfolgt nur „*im Kopf*“. Wenn kein passendes Gerät eingesetzt werden kann, dann wird entweder versucht eine neue Zeitschiene für das Bauprojekt zu organisieren oder ein Alternativgerät.
- Ist die Zuteilung der Baugeräte erledigt, wird – sofern notwendig – der Gerätetransport an die Einsatzstelle organisiert, bevor schließlich der Prozess beendet wird.

Bei den Gesprächen mit den Mitarbeitern des Unternehmens wurde erläutert, dass die Zuteilung durch die MTA trotz fehlender systematischer Dokumentation i. d. R. relativ reibungslos funktioniert. Problematisch ist nur, dass die Informationen nirgendwo gespeichert werden und somit eine Abhängigkeit zur MTA gegeben ist.

3.4.5 Personaleinsatzplanung

Die Personaleinsatzplanung (PEP) funktioniert analog zur Geräteeinsatzplanung über eine zentrale Stelle. Der in Abb. 3.7 dargestellte Prozess zeigt die Einsatzplanung auf einer groben Ebene. Die konkrete Ausarbeitung der Personalzuteilung wird in Abb. 3.8 näher erläutert.

- In der Baustellenbesprechung werden aktuelle und avisierte Projekt besprochen. Auch die zuständige Person für die Personaleinsatzplanung nimmt daran teil. Die Baustellenbesprechungen finden i. d. R. alle zwei Wochen statt und instanziiert damit den Prozess der PEP.

³ Zitat eines im Unternehmen beschäftigten Mitarbeiters.

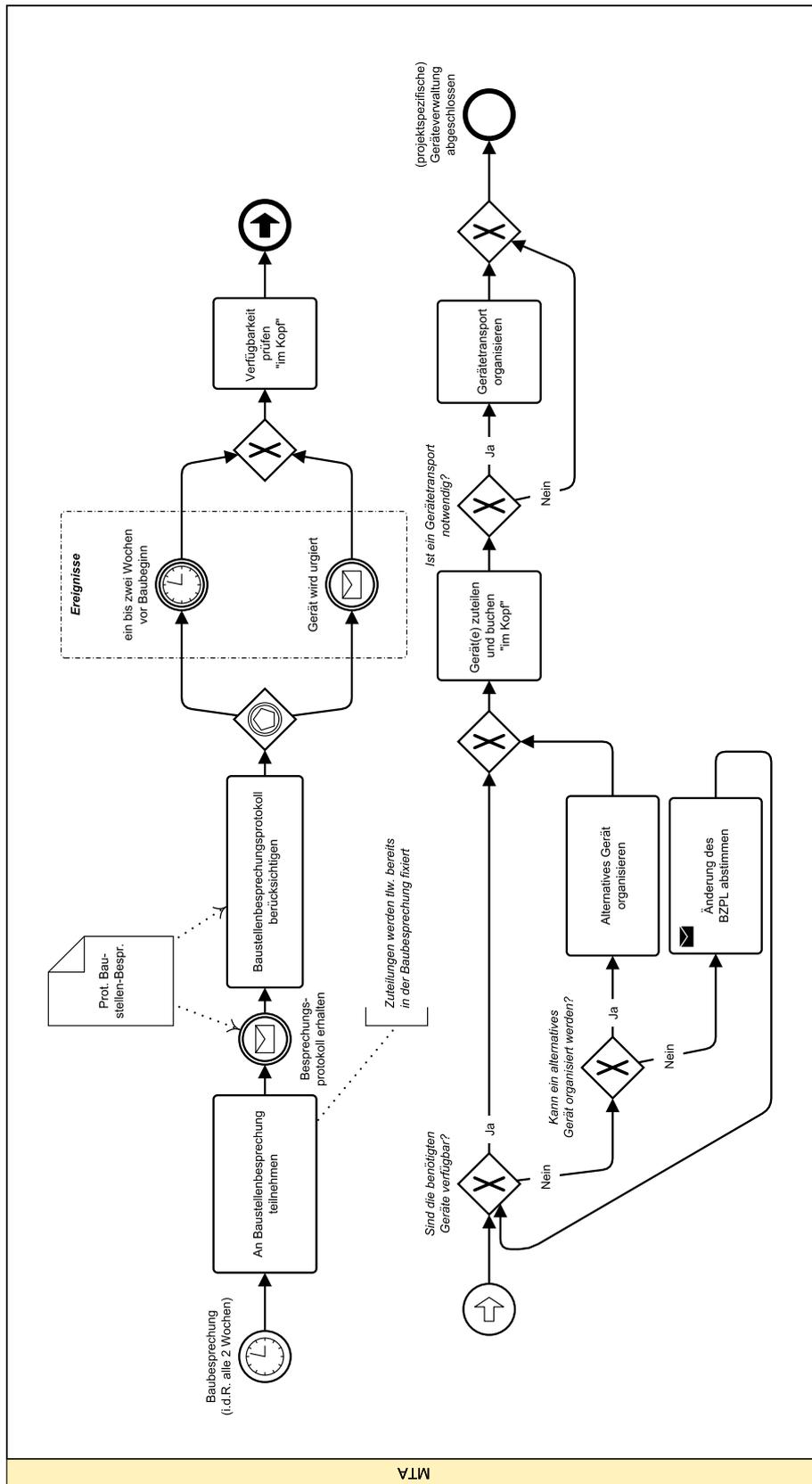


Abb. 3.6: Die Geräte werden zwar zentral erfasst, aber die Zuteilung der Geräte auf die Baustellen erfolgt i. d. R. ohne schriftliche Erfassung durch die zuständige Person

- Nach der Teilnahme an der Besprechung wird das Protokoll als Grundlage für die weitere Planung verwendet. Diese findet für konkrete Projekte in etwa ein bis zwei Wochen vor Baubeginn statt.
- Die Personalzuteilung erfolgt auf Basis vieler unterschiedlicher Dokumente. Diese sind in diesem Prozessdiagramm nicht explizit abgebildet, da eine detailliertere Aufschlüsselung der Personalzuteilung in Abb. 3.8 dargestellt wird. Das Ergebnis der Personalzuteilung ist ein Excel-Dokument [D. 57] für die Baubereiche BDA und Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächentechnik (FIO). Die Abteilung BOD verwaltet ihr Personal selbstständig über Outlook.
- An einem Donnerstag oder Freitag vor Baubeginn wird vom Personalverantwortlichen die ausgearbeitete Personalzuteilung an alle Bauleiter übermittelt.

Von den Bauleitern ist explizit mitgeteilt worden, dass es i. d. R. keine Parteien gibt, die regelmäßig Bauprojekte miteinander abwickeln, sondern dass die Zuteilung sehr flexibel gestaltet ist. Umso wichtiger ist es, eine robuste Anwendung zu verwenden, mit der die Personalzuteilung einfach durchführbar ist und die die verantwortliche Person bei ihrer Arbeit bestmöglich unterstützt.

Im Detail funktioniert die Personalzuweisung gemäß der Prozessabbildung in Abb. 3.8 unter der Verwendung von insg. fünf unterschiedlichen Dokumenten. Die folgende Vorgehensweise beschreibt den Inhalt der *zusammengeklappten Aktivität* „Personalzuteilung ausarbeiten“ aus dem in Abb. 3.7 dargestellten Prozess:

- Sobald der Prozess über das *Startereignis* angestoßen wird, werden die beiden darauffolgenden Aktivitäten gleichzeitig aktiviert. Zunächst müssen der BZPL, in dem die geplanten Bauvorhaben avisiert sind, und die Personalliste, in der sämtliches gewerbliches Personal erfasst ist, aufgerufen werden. Anhand der beiden Listen kann der Personalbedarf festgestellt werden.
- Für eine widerspruchsfreie Zuteilung müssen mehrere Faktoren gleichzeitig berücksichtigt werden. Zum einen darf das Personal, das eingesetzt werden soll, keine Abwesenheit wie Urlaub, Karenz o. dgl. vorgemerkt haben. Zum anderen müssen Ausfälle aufgrund von Krankheit oder anderer außerplanmäßigen Verhinderung⁴ berücksichtigt werden. Zuletzt muss das einsatzbereite Personal alle notwendigen Qualifikationen mit sich bringen, um das Bauprojekt erfolgreich abwickeln zu können.
- Erst wenn die Informationen aus all den Quellen zusammengeführt wurden, kann der *Instanztoken* zum ersten *XOR-Gateway*. Sofern ausreichend Personal vorhanden ist, kann die Zuteilung abgeschlossen werden.
- Ist nicht ausreichend verfügbares Personal vorhanden, so kann versucht werden, Leihpersonal von anderen Baustellen oder von einer Fremdfirma zu organisieren. Wenn das gelingt, kann die Personaldisposition abgeschlossen und im Dokument [D. 57] gespeichert werden.
- Wenn nicht ausreichend Personal vorhanden ist und kein Leihpersonal aufgetrieben werden kann, leitet das *XOR-Gateway* den *Instanztoken* zur Aktivität „Änderung des Bauzeitplans abstimmen“. Zu diesem Zeitpunkt kann aus Sicht des Personalverantwortlichen keine Aktion gesetzt werden, bis die Bauausführung auf einen Zeitraum verlegt wird, in dem wieder genügend Personal verfügbar ist, um die Personaleinsatzplanung abzuschließen.

Das Ergebnis des Prozesses ist das Dokument [D. 57], das in regelmäßigen Abständen an die Bau- und Bereichsleiter des Unternehmens versendet wird. Jedoch ist die Liste nicht zentral abgelegt und niemand, außer der Ersteller, hat direkten Zugriff auf die Liste. Das stellt bei einer transparenten und flexiblen

⁴ Da dieser Prozess in gleicher Form auch bei kurzfristiger Personaldisposition durchlaufen wird, ist diese Aufgabe erfasst. Für die planmäßige Zuteilung des Personals kann diese Aktivität entfallen.

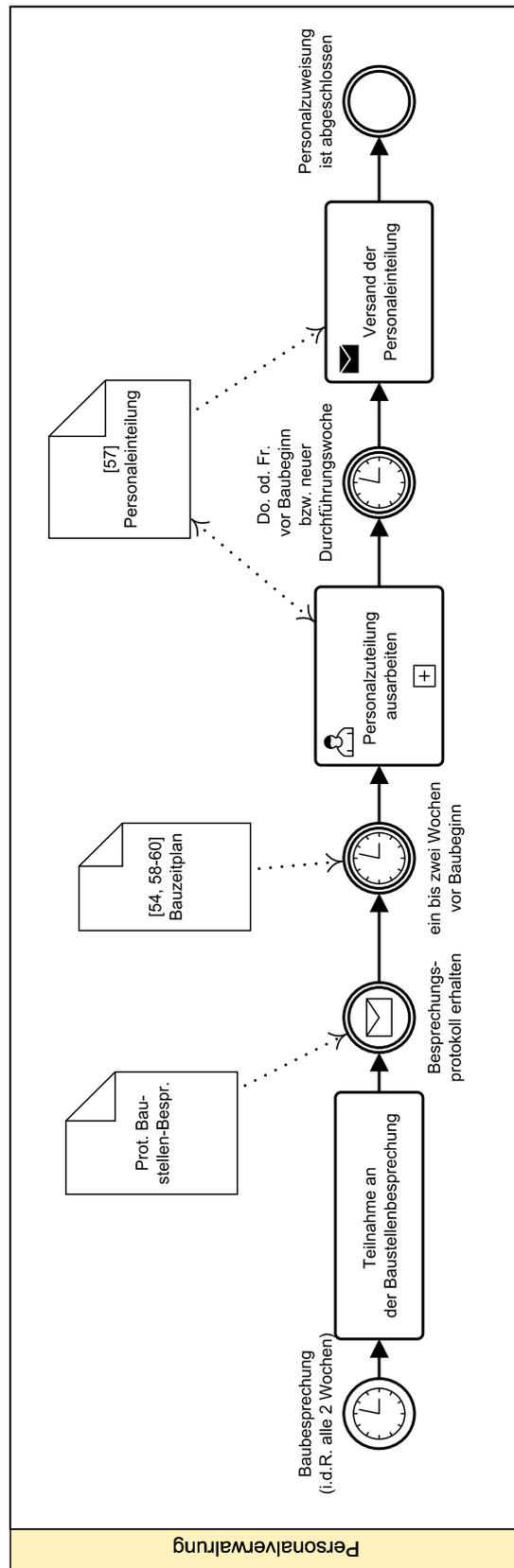


Abb. 3.7: Darstellung des groben Prozesses, der das Ausarbeiten der Personalzuteilung beinhaltet

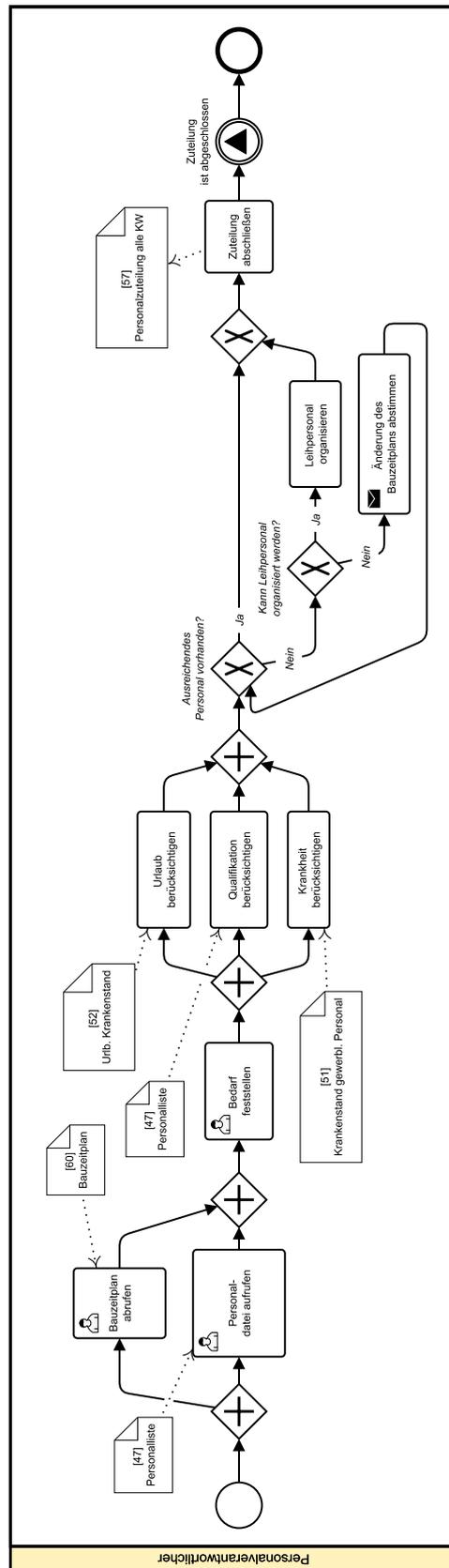


Abb. 3.8: Die detaillierte Ausarbeitung der Personalzuteilung umfasst eine Vielzahl verschiedener Dokumente. Als Ergebnis gibt es nur eine „Hard-Copy“ der Zuteilung. Die originale Datei ist nicht einsehbar und so müssen Änderungen immer erneut versendet werden

Personaleinsatzplanung ein Problem dar und soll im Zuge der Umstellung auf eine Softwareanwendung behoben werden.

3.4.6 Kritik an der aktuellen Einsatzmittelplanung

Die Personaleinteilung erfolgt zum Teil zentral, mit Ausnahme der Abteilung BOD. Der Zuteilungsprozess wird „digital“ abgewickelt, aber die Originaldatei ist lokal auf einem Computer abgelegt und somit nicht allgemein zugänglich. Änderungen können vom Verfasser an der lokalen Datei vorgenommen werden, aber die Datei muss anschließend erneut verteilt werden. Das bedeutet, dass es keine zugängliche Datenquelle gibt, auf die zugegriffen werden kann, wenn bspw. kurzfristig nach einer Ersatzperson gesucht wird.

Die Baustellen werden separat erfasst und sind nicht mit Informationen zur Ressourcenverfügbarkeit verknüpft. Dementsprechend können zwar geplante Einsätze den Bauzeitplänen entnommen werden, aber sie geben weder Auskunft über die eingesetzten Personen oder Gerätschaften. Genau diese Verknüpfung von Ressourcen auf der einen Seite und den projektierten Bauvorhaben auf der anderen Seite würde den administrativen Aufwand einer Planung deutlich reduzieren. Mit der aktuellen Umsetzung sind die Daten – aus der Historie der Abteilungen bedingt – getrennt und werden nicht zu einem aussagekräftigen gesamtheitlichen Bauzeitplan inkl. zugehöriger Ressourcen verknüpft.

Die gewonnenen Einblicke in die aktuellen Prozesse dienen als Grundlage für die Prioritätenfindung. Um eine passende Software zu finden, muss zunächst ein Anforderungsprofil erstellt werden, mit dem eine Software gefunden werden kann, die die eigene Art, Projekte abzuwickeln bestmöglich vereinfacht und ergänzt. Zusätzlich gibt es weitere Aspekte zu beachten, wie notwendigen monetären Aufwendungen oder die Zufriedenheit der Nutzer. Schließlich sind die Anwender diejenigen, die letztlich mit der Anwendung Baustellen projektieren müssen. Das folgende Kapitel widmet sich der Ausarbeitung der Prioritätenfindung und dem daraus resultierenden Anforderungsprofils.

Kapitel 4

Prioritätenfindung

In gemeinsamen Gesprächen mit den Geschäftsführern des Unternehmens sowie dem zuständigen Projektleiter aus der Abteilung *Innovation und Technologie* des Mutterkonzerns, wurden die Ziele des Change-Prozesses abgesteckt. Einen wesentlichen Punkt stellt die Akzeptanz der Veränderung bei den Usern dar. Es war klar, dass die Akteure mit der Anpassung eine Erleichterung der eigenen Arbeit erfahren müssen. Zunächst erfolgte die Erarbeitung aller Aspekte, die eine Software mitbringen muss, um im Alltag bestehen zu können. Dazu wurden die Prozesse analysiert und Verbesserungspotenzial aufgezeigt (vgl. Abschnitt 3).

Für die Softwareentscheidung gilt es zunächst die Prioritäten herauszuarbeiten, die für eine Entscheidungsfindung relevant sind. Um den Prioritätenvektor zu berechnen und die Einflusskriterien zu gewichten, erfolgt die Befüllung der Bewertungstabellen mit den paarweisen Vergleichen auf Haupt- und Subkriterienebene. In diesem Kapitel sind die Kriterien sowie die zugehörigen Subkriterien näher beschrieben. Die Auswertung der Bewertungstabellen und der berechnete Prioritätenvektor werden ebenso dargestellt und interpretiert.

Die Aggregation der Ergebnisse auf die Ebene des Hauptziels (*globale Gewichtung*) erfolgt in Abschnitt 4.3. Daraus ergibt sich das Anforderungsprofil für die anschließende Evaluierung der Softwarelösungen.

4.1 Ebene: Hauptkriterien

Das gesamte Entscheidungsmodell ist in Abb. 4.1 abgebildet. Die Festlegung der Aspekte sowie die paarweisen Vergleiche haben in Abstimmung mit den entscheidungsberechtigten Person aus der Fachabteilung für „Innovation und Technologie“ sowie der KGF des Unternehmens stattgefunden.

Die Hauptaspekte für die Entscheidungsfindung ergeben sich aus der Prozessanalyse (vgl. Abschnitt 3)). Mit nur acht zu untersuchenden Merkmalen ist die im AHP empfohlene Beschränkung der Kriterien eingehalten (vgl. Abschnitt 2.2.3). In oberster Ebene gilt es die unterschiedlichen Aspekte einer Softwarelösung aufzuschlüsseln.

4.1.1 Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien der ersten Ebene fließen in die Elementgruppe des *Hauptziels* ein. Sie werden einander paarweise gegenübergestellt und bewertet. Die Ergebnisse sind in Tab. 4.1 dargestellt.

- Allgemeine Funktionen
- Einsatzmittelplanung
- Vertrag und Kosten
- Geräteverwaltung

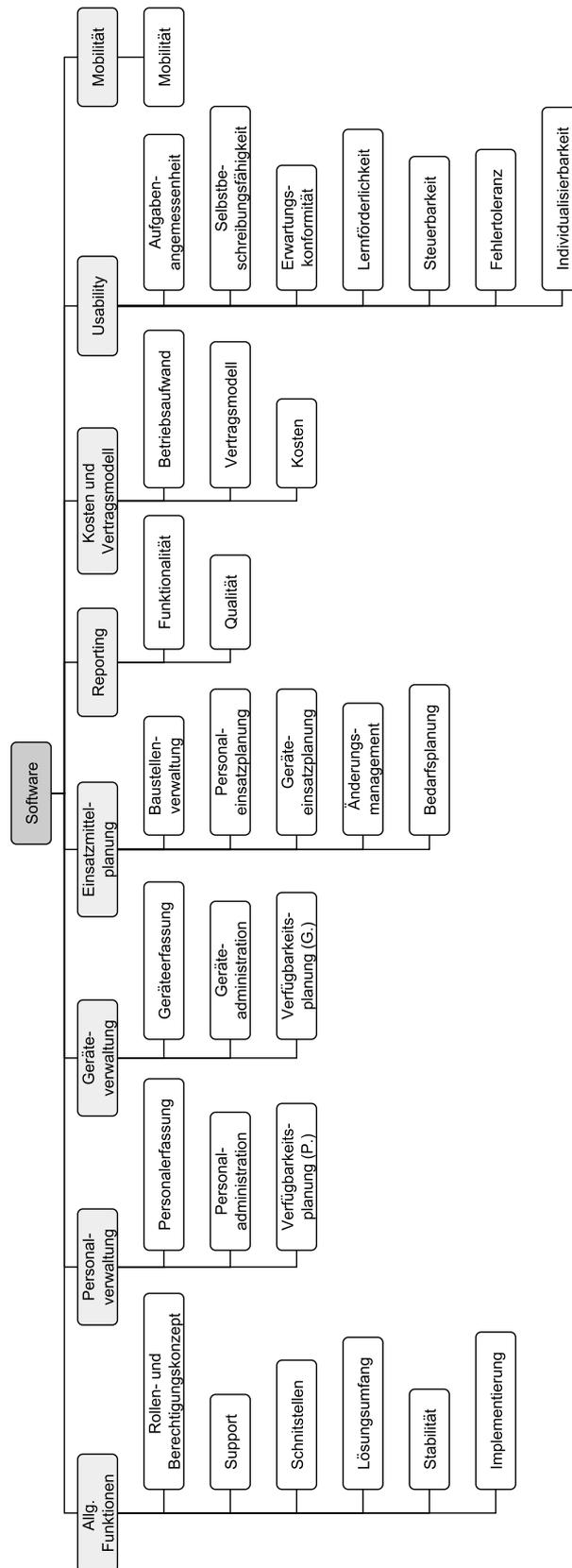


Abb. 4.1: Darstellung der hierarchischen Anordnung aller Kriterien und untergeordneten Subkriterien, die im AHP berücksichtigt werden

- Personalverwaltung
- Reporting
- Usability
- Mobilität

4.1.2 Beurteilung und Auswertung

Die nachstehenden Ergebnisse stellen das Resultat eines Abstimmungsprozesses dar (vgl. Axiom 4 in Abschnitt 2.2.2.2). Die erste Bewertung wurde überarbeitet, da sie zu weit von den Einschätzungen des Entscheidungsträgers abgewichen sind. Anfänglich ergaben sich rd. 31 % für die Kategorie *Usability*, was in den Augen der verantwortlichen Personen deutlich zu hoch war. Zusätzlich kam die Kategorie *Kosten/Vertrag* bei nur knapp 3 % zu liegen. Dies war für die Entscheidungsträger deutlich zu niedrig, infolgedessen die Beurteilung überarbeitet und das Kriterium *Kosten/Vertrag* schließlich auf rd. 10 % angehoben wurde.

In Tab. 4.1 sind die finalen Ergebnisse aus der Beurteilung zusammengestellt. Die Bewertungen nach Saaty [13, S. 13] sind größtenteils im Bereich ≤ 3 erfolgt. Der Schwellenwert für konsistente Matrizen ist mit $CR=0,099$ eingehalten.

Tab. 4.1: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum Hauptziel (HZ) und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls dargestellt.

Hauptziel	allg. F.	EMP	V/K	GAD	PAD	REP	USE	MOB	PV
Allg. Funktionen	1,000	0,250	0,333	0,333	0,333	2,000	0,333	0,500	0,0535
EMP	4,000	1,000	2,000	1,000	1,000	3,000	0,333	2,000	0,1462
Vertrag/Kosten	3,000	0,500	1,000	0,500	0,500	0,500	0,500	4,000	0,1096
GAD	3,000	1,000	2,000	1,000	1,000	3,000	0,333	2,000	0,1403
PAD	3,000	1,000	2,000	1,000	1,000	3,000	0,333	2,000	0,1403
REP	0,500	0,333	2,000	0,333	0,333	1,000	0,200	1,000	0,0658
USE	3,000	3,000	2,000	3,000	3,000	5,000	1,000	1,000	0,2599
MOB	2,000	0,500	0,250	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000	0,0844
$\lambda_{\max} = 8,978$ $CI = 0,140$ $RI = 1,404$ $CR = 0,099 \leq 0,10 \checkmark$									

4.1.3 Interpretation

Die Gewichtung zeigt, dass die *Usability* mit 25,99 % die größte Relevanz im Entscheidungsprozess einnimmt. Die Kernfunktionalitäten der *Einsatzmittelpfplanung*, *Geräteverwaltung* und *Personalverwaltung* nehmen in Summe 42,68 % der Gewichtung ein. Die restlichen vier Betrachtungsaspekte werden nur mit rd. einem Drittel in die Bewertung aufgenommen. Abb. 4.2 stellt die Aufteilung der Gewichtung zusammen.

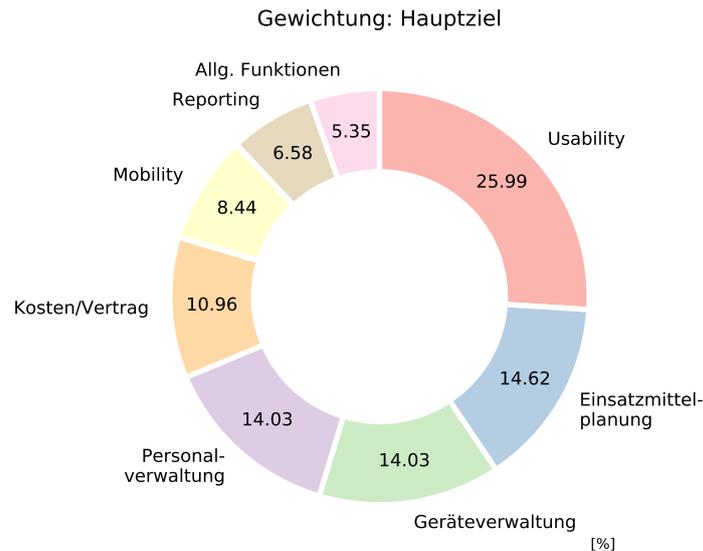


Abb. 4.2: Darstellung des PV hinsichtlich des Hauptziels

4.2 Ebene: Subkriterien

Die Kriterien, die direkten Einfluss auf das Hauptkriterium haben, sind in weitere Subkriterien unterteilt. Jedem der Subkriterien kommt eine gewisse Relevanz zu, die sich mittels Auswertung der paarweisen Vergleiche errechnen lässt. Dieser Abschnitt beschreibt für jedes Hauptkriterium die Verteilung der eigenen Priorität auf seine Subkriterien.

4.2.1 Elementgruppe: Allgemeine Funktionen

Das Hauptkriterium der Elementgruppe *Allgemeine Funktionen* beschreibt jene Ansprüche, die prinzipiell an eine unternehmensweiten Softwarelösung gestellt werden – unabhängig ihrer spezifischen Kompetenz. Das umfasst neben funktionellen Aspekten wie Zugriffsverwaltung oder Schnittstellen, auch die Stabilität des Programms in der Nutzung oder den bereitgestellten Support.

4.2.1.1 Bewertungskriterien

Rollen- und Berechtigungskonzept Für die Verwendung eines Programms sind mehrere Aspekte hinsichtlich des Rollen- und Berechtigungssystems relevant, die das Thema des Zugriffsrechts berühren. Zur erfolgreichen Kollaboration in einem System, das mehrere Aufgabenbereiche abdeckt, ist es notwendig, dass die Teilnehmer über ausreichende Berechtigungen im System verfügen. Bereiche, die für die Erfüllung der eigenen Aufgabe nicht relevant sind, sollten nach Möglichkeit nicht zugänglich sein – oder nur in dem Umfang, dass keine unerwünschten Änderungen am System vorgenommen werden können. Diese kann ggf. über ein Rechte-Konzept gesteuert werden, das zumindest zwischen Lese- und Schreibrechten unterscheidet. Zu Dokumentationszwecken ist die Nachvollziehbarkeit der Zugriffe/Änderungen im System wünschenswert.

Support Im Betrieb sowie im Testlauf werden ggf. Fragestellungen auftauchen, die man alleine über die Systeminteraktion nicht direkt selbst beantwortet kann. Um das Problem zu überwinden, ist es wichtig, dass man zeitnahe Informationen zur selbstständigen Lösung finden kann oder eine Instanz zur Verfügung steht, an die man sich als Anwender wenden kann.

Schnittstellen Einen wichtigen Aspekt jedes Softwarepakets stellt die Eigenschaft dar, bereits verfügbare Daten in das System zu importieren oder Daten für die Weiterverwendung außerhalb des Systems zu nutzen. Das System sollte daher über die Möglichkeit verfügen Daten aus dem System auslesen bzw. in das System einlesen zu können.

Lösungsumfang Der Umfang der Software sollte so eng wie möglich geschnürt sein, sodass alle Kernaufgaben vollständig abgebildet sind, aber zus. Funktionen durch ihre Präsenz nicht unnötig irritieren. Das kann durch das Freischalten von Modulen o. dgl. gewährleistet werden. Die Software darf keine Beschränkungen enthalten, die bei normalem Betrieb in absehbarer Zeit erreicht werden können.

Stabilität Stabilität des Systems ist für den Betrieb von großer Wichtigkeit. Ausfälle und/oder Systemfehler sollten bei normalem Betrieb nach Möglichkeit gar nicht vorkommen.

Implementierungsaufwand Die Implementierung des Systems soll einfach realisierbar sein. Systemvoraussetzungen für (mobile) Endgeräte überschreiten nicht den aktuellen Konzernstandard. Es sind keine großen Aufrüstungen notwendig, um das System für den Betrieb einzusetzen.

4.2.1.2 Beurteilung und Auswertung

Die Bewertung der Elementgruppe ist in Tab. 4.2 zusammengestellt. Der errechnete PV ist in Abb. 4.3 grafisch aufbereitet. Der maximale Eigenvektor λ_{\max} entspricht annähernd der Dimension der Matrix und der Konsistenzschwellenwert von 0,10 wird mit 0,003 deutlich unterschritten.

Tab. 4.2: Bewertungsmatrix der Elementgruppe bezüglich der *allgemeinen Funktionen* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls dargestellt.

<i>Allg. Funktionen</i>	RUB	SUP	SST	LÖU	STB	IMP	PV
Rollen-/Berechtigungskonzept (RUB)	1,000	6,000	1,000	3,000	1,000	3,000	0,2632
Support (SUP)	0,167	1,000	0,167	0,500	0,167	0,500	0,0439
Schnittstellen (SST)	1,000	6,000	1,000	2,000	1,000	3,000	0,2475
Lösungsumfang (LÖU)	0,333	2,000	0,500	1,000	0,333	1,000	0,0946
Stabilität (STB)	1,000	6,000	1,000	3,000	1,000	3,000	0,2632
Implementierung (IMP)	0,333	2,000	0,333	1,000	0,333	1,000	0,0877
$\lambda_{\max} = 6,018 \quad CI = 0,004 \quad RI = 1,250 \quad CR = 0,003 \leq 0,10 \checkmark$							

4.2.1.3 Interpretation

Betreffend die allgemeinen Funktionen zeigt sich deutlich, dass die beiden Aspekte *Stabilität* und *Rollen- und Berechtigungskonzept* mehr als die Hälfte der gesamten Priorität umfassen. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, dass ein Programm, dessen Zugriffe nicht administrativ verwaltet werden können oder das nicht stabil läuft, keiner Verbesserung der IST-Situation entspricht. Die Schnittstellen nehmen mit 24,75% ein weiteres Viertel ein. Der Anspruch wird gestellt, dass eine Anwendung nicht ausschließlich in sich geschlossen funktioniert, sondern auch die Möglichkeit besitzt, vorhandene Daten einzulesen/zu verarbeiten oder Daten für andere Anwendungen bereitzustellen.

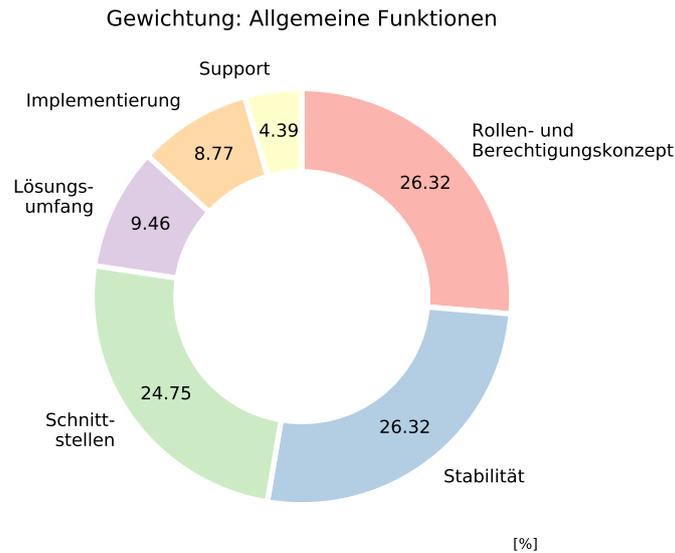


Abb. 4.3: Darstellung der errechneten Gewichte für die allgemeinen Funktionen. Das *Rollen- und Berechtigungskonzept* und die *Stabilität* erreichen jeweils knapp 26 %

4.2.2 Elementgruppe: Einsatzmittelplanung

Die Einsatzmittelplanung stellt den wesentlichen Teil der gesuchten Softwarelösung dar. Sie umfasst die Erfassung und Verwaltung von Baustellen sowie die Zuteilung der Ressourcen. Hier erfolgt die Verknüpfung des Personals und der Geräte. Änderungen in den Ressourcen, die sich direkt oder indirekt auf die Einsätze auswirken, müssen in der Einsatzmittelplanung schnell und einfach berücksichtigt werden können. In gleicher Weise müssen die Auswirkungen der Änderungen im Einsatzplan die Konsequenzen auf Ebene der Ressourcen darstellen können.

4.2.2.1 Bewertungskriterien

Bedarfsplanung Ziel der Bedarfsplanung ist es, einfach Bauprojekte zu avisieren. Dies kann auf mehrere Arten funktionieren. Zum einen, dass der Termin im Voraus klar definiert ist („termintreues Projekt“), zum anderen kann ein Projekt in einem Ausführungszeitraum durchgeführt werden und das Aviso richtet sich nach der Verfügbarkeit eines speziellen Geräts („maschinentreues Projekt“) oder dem notwendigen Personal („personaltreues Gerät“). Das System sollte so gestaltet sein, dass beim Anlegen der Projekte genau dieser Zusammenhang von Personal, Gerät und Terminen abgebildet werden kann.

Änderungsmanagement Wichtiger Aspekt der Einsatzmittelplanung stellt das Änderungsmanagement dar. Projekte können sich kurzfristig durch Personalausfall, Geräteausfall oder anderen Umständen (z. B. Wetter) ändern. Um mit diesen Umständen effizient umgehen zu können, bedarf es eines Softwaresystems, das die Möglichkeiten zur Anpassung von bereits angelegten Projekten ausreichend gut beherrscht.

Baustellenverwaltung Wesentlicher Teil der Einsatzmittelplanung ist die Baustellenverwaltung mit allen relevanten Informationen wie Adresse, Auftraggeber, Zuständigkeitsbereich, Bauleiter, Kostenstelle etc. Die grundlegende Information sollte im System verfügbar gemacht werden können.

Personaleinsatzplanung Ziel ist es, das System dahingehend zu testen, ob der Zuweisungsprozess von Personal auf die Projekte in einfacher Art und Weise möglich ist. Weiters soll erörtert werden, inwieweit das Programm bei der Lösung dieser Aufgabe behilflich ist. Der Zuweisungsprozess sollte dahingehend

designt sein, als das verfügbare Personen hervorgehoben oder zur Disposition angezeigt werden kann, um eine Doppelbuchung zu verhindern. Kommt es zu einer spontanen Änderung (z. B. durch Krankenstand) sollte das System die Möglichkeit bieten, auf einfachem Wege einen Ersatz für die fehlende Besetzung zu finden.

Geräteeinsatzplanung Analog zur Personaldisposition muss die Funktionalität der Disposition auch für Geräte und Maschinen verfügbar sein.

4.2.2.2 Beurteilung und Auswertung

Die Bewertung der Elementgruppe ist in Tab. 4.3 zusammengestellt. Der errechnete PV ist in Abb. 4.4 grafisch aufbereitet. Die Bewertung ist annähernd konsistent. Die leichte Abweichung wird durch die Eintragungen a_{12} bzw. den an der Hauptdiagonale gespiegelten Eintrag a_{21} hervorgerufen. Durch die „Berichtigung“ auf den Wert $a_{12} = \frac{1}{a_{21}} = 0,250$ ergäbe sich eine konsistente Matrix.

Tab. 4.3: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zur *Einsatzmittelplanung (EMP)* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.

<i>Einsatzmittelplanung</i>	BDP	ÄM	BVW	PEP	GEP	PV
Bedarfsplanung (BDP)	1,000	0,333	0,500	0,500	0,500	0,0980
Änderungsmanagement (ÄM)	3,000	1,000	2,000	2,000	2,000	0,3491
Baustellenverwaltung (BVW)	2,000	0,500	1,000	1,000	1,000	0,1843
Personaleinsatzplanung (PEP)	2,000	0,500	1,000	1,000	1,000	0,1843
Geräteeinsatzplanung (GEP)	2,000	0,500	1,000	1,000	1,000	0,1843
$\lambda_{\max} = 5,010 \quad CI = 0,002 \quad RI = 1,110 \quad CR = 0,002 \leq 0,10 \checkmark$						

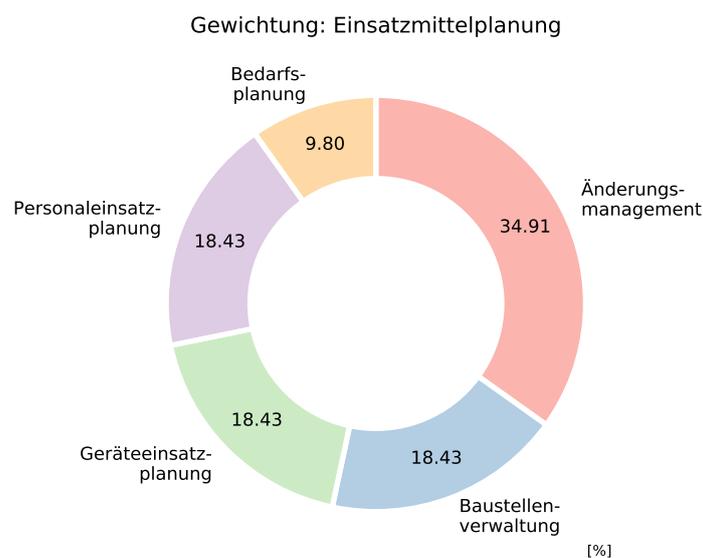


Abb. 4.4: Das Auswertungsergebnis des Hauptkriteriums *Einsatzmittelplanung*

4.2.2.3 Interpretation

Die *Einsatzmittelplanung* hat mit 14,62% nach der *Usability* mit 25,99% den größten Einfluss auf das Hauptziel und spielt daher in der Bewertung eine wichtige Rolle. Dem *Änderungsmanagement* wird hinsichtlich der *Einsatzmittelplanung (EMP)* die meiste Relevanz beigemessen.

4.2.3 Elementgruppe: Vertragsbedingungen und Kosten

4.2.3.1 Bewertungskriterien

Betriebsaufwand (BAW) Die mit der Anschaffung verbundenen Kosten sollen möglichst gering sein. Darüber hinaus sollte der Betrieb der Softwarelösung auch ohne zus. Equipment erfolgen können. Es werden keine „Dongles“ oder ähnliche Gegenstände – die nicht dem eigentlichen Erfüllungszweck dienen – für den Betrieb benötigt.

Vertragsmodell (VTM) Speziell in kleineren Unternehmen ist die Skalierbarkeit einer Software ein wichtiger Aspekt. Das Ziel ist es, flexible Verträge abzuschließen, die sich direkt am Gebrauch orientieren. Daher wird der Anspruch an ein klar geregeltes Abrechnungssystem gestellt, dessen (Mindest-)Vertragsdauer möglichst nicht vorgeschrieben ist. Darüber hinaus soll eine Änderung der Anzahl benötigter Lizenzen einfach zu bewerkstelligen sein und sich prognostizierbar auf die Kosten auswirken.

Kosten (KOS) Die Kosten für den Betrieb des Systems muss mit dem vorhandenen Budget vereinbar sein und darf keine zu hohen Overhead-Kosten verursachen.

4.2.3.2 Beurteilung und Auswertung

Die Bewertung der Elementgruppe ist in Tab. 4.4 zusammengestellt. Der errechnete PV ist in Abb. 4.5 grafisch aufbereitet.

Tab. 4.4: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum *Vertrag/Kosten* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium *CR* aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.

<i>Vertrag/Kosten</i>	BAW	VTM	KOS	PV
Betriebsaufwand (BAW)	1,000	2,000	1,000	0,400
Vertragsmodell (VTM)	0,500	1,000	0,500	0,200
Kosten (KOS)	1,000	2,000	1,000	0,400
$\lambda_{\max} = 3,000$	$CI = 0,000$	$RI = 0,525$	$CR = 0,000$	$\leq 0,10 \checkmark$

4.2.3.3 Interpretation

Für das Unternehmen überwiegen die Aspekte *Betriebsaufwand* und *Kosten* deutlich das *Vertragsmodell*. Fast die gesamte Bewertung (80%) geht auf die Betriebskosten und den Betriebsaufwand zurück. Das Betreiben der Anwendung soll umstandslos ablaufen und ohne zus. Geräte wie z. B. „Dongles“ oder anderes spezielles Equipment erfolgen. Dies soll zu möglichst kostengünstigen Konditionen erfolgen. Den vertraglichen Regelungen wird weniger Wichtigkeit beigemessen.

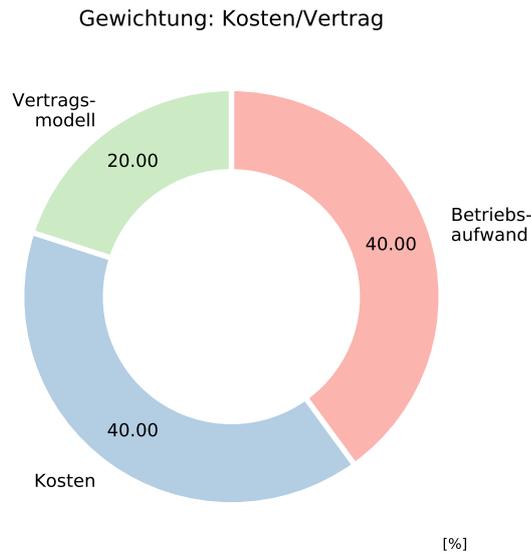


Abb. 4.5: Darstellung des Präferenzvektors für das Hauptkriterium *Kosten/Vertrag*

4.2.4 Elementgruppe: Geräteverwaltung

Die Geräteverwaltung stellt in der Einsatzmittelplanung einen wichtigen operativen Aspekt dar. Neuanschaffungen, An- bzw. Vermietungen müssen erfasst und verfolgt werden.

4.2.4.1 Bewertungskriterien

Geräteerfassung (GERF) Zur Verwaltung des Fuhr- und Maschinenparks müssen die Geräte mit allen notwendigen Attributen erfasst werden. Die Informationen, die für den operativen Betrieb notwendig sind, werden aktuell in [D. 40] aufgenommen und verfolgt. Dies umfasst Daten, Identifikations- und Seriennummern, Typ, Baujahr, Fahrzeugkennzeichen, Kennwerte etc.

Verfügbarkeitsplanung (VFÜ) Aktuell gibt es keine Liste oder Anwendung, in der der Maschineneinsatz einsehbar ist. Die Zuteilung erfolgt „im Kopf“ der zuständigen Person. Das Avisieren einer Wartung oder Reparatur muss möglich sein, um diese Information in der Einsatzmittelplanung berücksichtigen zu können.

Geräteadministration (GAD) Neuanschaffungen, Änderungen des Equipments und Vermietungen müssen hinterlegt und verfolgt werden können – ebenso Daten zu den letzten Wartungen und Reparaturen.

4.2.4.2 Beurteilung und Auswertung

Die Bewertung der Elementgruppe ist in Tab. 4.5 zusammengestellt. Der errechnete PV ist in Abb. 4.6 grafisch aufbereitet.

4.2.4.3 Interpretation

In der *Geräteverwaltung* spielt die *Verfügbarkeitsplanung* mit 60 % die größte Rolle. Da die *Geräteerfassung* und *-administration* nur einen geringen Anteil der Bearbeitungszeit in Bezug auf die Lebensdauer eines Geräts ausmacht, wird ihnen in Summe 40 % zugewiesen und sie fallen zu gleichen Teilen ins Gewicht.

Tab. 4.5: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum *Geräteverwaltung* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.

<i>Geräteverwaltung</i>	GERF	VFÜ	GAD	PV
Gerätefassung (GERF)	1,000	0,333	1,000	0,200
Verfügbarkeitsplanung (VFÜ)	3,000	1,000	3,000	0,600
Geräteadministration (GAD)	1,000	0,333	1,000	0,200
$\lambda_{\max} = 3,000$	$CI = 0,000$	$RI = 0,525$	$CR = 0,000 \leq 0,10 \checkmark$	

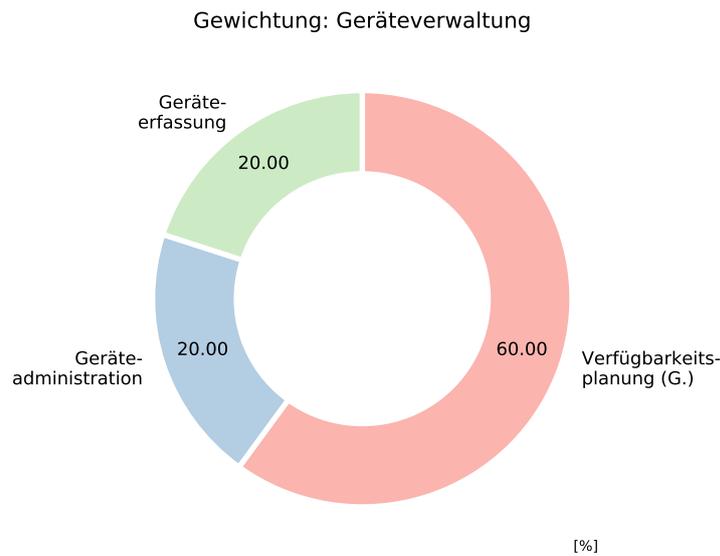


Abb. 4.6: Darstellung der Bewertungsauswertung hinsichtlich des Hauptkriteriums *Geräteverwaltung*

4.2.5 Elementgruppe: Personalverwaltung

In der Einsatzmittelpassung gehört die Personalverwaltung zu einem der wichtigsten Aspekte. Die Verwaltung des Personals hat zentral zu funktionieren, um nach Möglichkeit redundante Datenbestände zu vermeiden.

4.2.5.1 Bewertungskriterien

Personalerfassung (PERF) Für die Personalverwaltung ist zunächst die Notwendigkeit gegeben, das gewerbliche und angestellte Personal zu erfassen. Mit diesem Prozess können zusätzliche Informationen wie Qualifikationen und relevante Dokumente (z. B. Führerschein, Arbeitsgenehmigung etc.) in den Datensätzen abgelegt werden. Auch Daten zur Kleidergröße und Schutzausrüstung sind für die operative Abwicklung von Relevanz und daher ebenfalls zu erfassen.

Personaladministration (PAD) Änderungen in den Datensätzen der Personaldatenbank müssen ohne große Umstände durchführbar sein. Darunter fallen Anpassungen der persönlichen Stammdaten, des Qualifikationsstatus nach Weiterbildung, der Verfügbarkeitsstatus (bspw. ab-/angemeldet) etc.

Verfügbarkeitsplanung (VFÜ) Einen weiteren wesentlichen Aspekt in der Personalplanung stellt die Verfügbarkeitsplanung dar. Die personalverantwortliche Person muss auf Abruf eine Übersicht über freie, gebundene oder verhinderte Kapazitäten haben, um kurzfristige operative Personaldispositionen durchführen zu können (vgl. Abschnitt 1).

4.2.5.2 Beurteilung und Auswertung

In Tab. 4.6 ist die Bewertungsmatrix der Elementgruppe zusammengestellt. Die vorhandene Inkonsistenz wird über den Unterschied der Einträge in a_{31} und a_{32} hervorgerufen, sofern die *Personalverwaltung* und die *Personalerfassung* für gleich wichtig gehalten werden. Der errechnete PV der inkonsistenten Bewertungsmatrix ist in Abb. 4.7 grafisch aufbereitet.

Tab. 4.6: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zur *Personalverwaltung* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.

<i>Personalverwaltung</i>	PERF	PAD	VFÜ	PV
Personalerfassung (PERF)	1,000	1,000	0,500	0,2402
Personaladministration (PAD)	1,000	1,000	0,333	0,2098
Verfügbarkeitsplanung (VFÜ)	2,000	3,000	1,000	0,5499
$\lambda_{\max} = 3,018$ $CI = 0,009$ $RI = 0,525$ $CR = 0,017 \leq 0,10 \checkmark$				

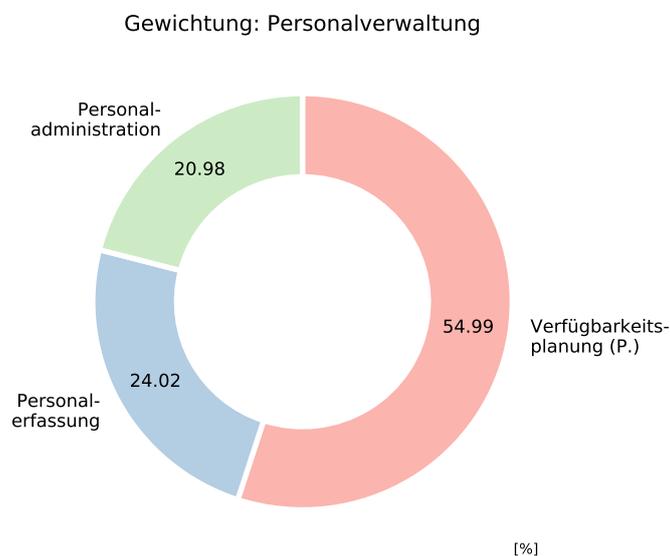


Abb. 4.7: Grafische Darstellung des PV des Hauptkriteriums *Personalverwaltung*

4.2.5.3 Interpretation

Die Bewertung fällt ähnlich zu jener der *Geräteverwaltung* aus. Auf die *Verfügbarkeitsplanung* entfällt mit 54,99% der größte Teil der Gewichtung, vor der *Personalerfassung* mit 24,02% und der *Personaladministration* mit 20,98%.

4.2.6 Elementgruppe: Reporting

Daten, die in der Anwendung erfasst und verwaltet werden, müssen oftmals in repräsentativer Form gedruckt, abgelegt oder übermittelt werden. Der Sammelbegriff „Reporting“ fasst dabei alle Ausgaben zusammen, die mithilfe der Anwendung erstellt und zur weiteren Verwendung aufbereitet werden können.

4.2.6.1 Bewertungskriterien

Qualität (QAL) Die Berichte sollen so gestaltet sein, dass die dargestellte Information ordentlich und sauber erkennbar ist. Anpassungen an den Berichten sollen selbstständig möglich sein, um bspw. projektspezifische Logos aufzudrucken. Die erstellten Berichte sollen, unabhängig von der dargestellten Information, ein möglichst kohärentes Erscheinungsbild aufweisen.

Funktionalität (FKT) Neben den Kernbereichen gibt es noch andere Funktionen, die die Software abbilden können muss. Diese Funktionalitäten umfassen das Darstellen von Informationen, Generieren von eigens benötigten Listen oder Abruf von spezifischen Daten.

4.2.6.2 Beurteilung und Auswertung

Die Bewertungsmatrix der Elementgruppe ist in Tab. 4.7 zusammengestellt. Die Matrix ist vollkommen konsistent und der errechnete PV ist in Abb. 4.8 grafisch aufbereitet.

Tab. 4.7: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum *Reporting* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.

<i>Reporting</i>	QAL	FKT	PV
Qualität (QAL)	1,000	1,000	0,5000
Funktionalität (FKT)	1,000	1,000	0,5000
$\lambda_{\max} = 2,000$	$CI = 0,000$	$RI = 0,000$	$CR = 0,000 \leq 0,10 \checkmark$

4.2.6.3 Interpretation

Die Bewertung der *Funktionalität* sowie *Qualität* ergibt eine Gewichtung von 50% zu 50%, da ihre Relevanz als gleichrangig angesehen wird. Obwohl die Aufteilung für beide Aspekte gleich gewichtet ist, gleicht sie mögliche Unterschiede in der Anzahl der Bewertungsfragen je Kategorie aus.

4.2.7 Elementgruppe: Usability

Die Usability spielt für das Unternehmen eine wesentliche Rolle und besitzt mit knapp 26% die größte Gewichtung. Die Bewertung der Software erfolgt anhand der Vorgaben der Normen *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung* [2] und *Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen – Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen* [3]. Diese Norm stellt die Grundsätze der Dialoggestaltung dar, „[...] um die wichtigsten Gesichtspunkte der Gebrauchstauglichkeit bei der Gestaltung interaktiver Systeme zu identifizieren“ [2, S. 7]. Sie sind im Folgenden kurz zusammengefasst.

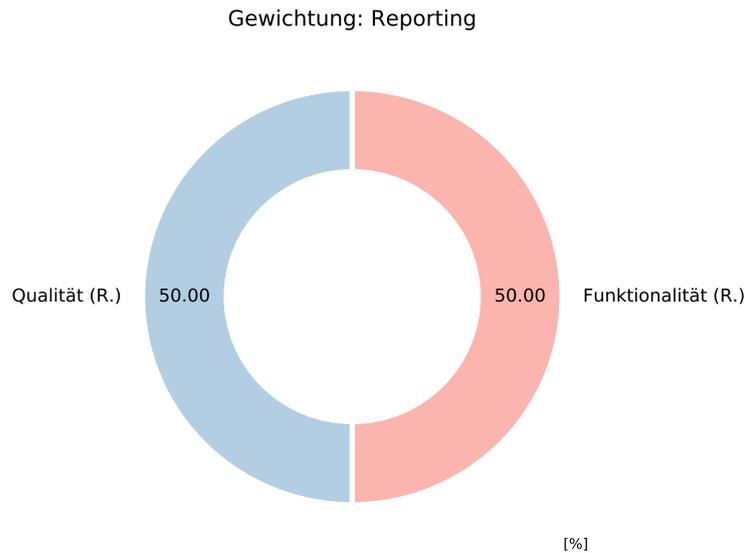


Abb. 4.8: Die Gewichtung des *Reportings* setzt sich zu gleichen Teilen aus der Qualität und Funktionalität zusammen

4.2.7.1 Bewertungskriterien

Aufgabenangemessenheit (AAH) Unter der Aufgabenangemessenheit wird die Fähigkeit verstanden, den Anwender bei seiner Aufgabenerledigung zu unterstützen. Das Programm ist so entworfen, dass sich der Ablauf und die notwendigen Dialogschritte am Benutzer orientieren und sich der Benutzer nicht an das System anpassen muss. Dazu zählt bspw., dass Ein- und Ausgaben der Aufgabe angemessen dargestellt resp. abgefragt werden. Typische Werte sollen nach Möglichkeit bereits automatisch voreingestellt sein (z. B. das heutige Datum bei einem Buchungsvorgang).

Selbstbeschreibungsfähigkeit (SBF) Die Selbstbeschreibungsfähigkeit charakterisiert die Eigenschaft, sich ohne spezielle Vorkenntnisse in den Dialogen zurechtzufinden und ohne externe Hilfe auszukommen. Der Dialog sollte den Benutzern zu allen notwendigen Eingaben leiten, um Vorgänge positiv abzuschließen. Bei Eingabeaufforderungen soll die Abfrage derart gestaltet sein, dass dem Benutzer klar ist, welche Information verlangt wird und in welchem Format diese bereitzustellen ist.

Erwartungskonformität (EKF) Die Erwartungskonformität fasst mehrere Aspekte zusammen. So soll einerseits die Applikation eine der Branche entsprechende Sprache besitzen und den kulturellen Konventionen entsprechen. Andererseits sollen gewohnte Funktionalitäten in der Anwendung berücksichtigt werden. Von erwartungskonformen Programmen erwartet man bspw., dass die Tastenkombinationen `Strg + C` für Kopier- oder `Strg + V` für Einfügevorgänge verfügbar sind. Die Erwartungskonformität bewertet auch die Konsistenz in der Dialogführung, was die Positionierung der Schaltflächen (z. B. „OK“ befindet sich im Dialog immer rechts unten) oder, was die Funktionalität anderer Steuerelemente betrifft (z. B. das „X“ rechts oben in der Ecke entspricht „Fenster schließen“).

Lernförderlichkeit (LFK) Ein lernförderliches Programm unterstützt den Anwender dabei, die Nutzung der Anwendung schnell zu verstehen und zu erlernen. Rückmeldungen des Systems zu Zwischen- und Endergebnissen sollen dem Nutzer ermöglichen, den Fluss der Prozesse zu erfassen und Abläufe vorherzusagen zu können. Die Anwendung sollte so gestaltet sein, dass jeder Benutzer mit möglichst geringem Lernaufwand das Programm betreiben kann.

Steuerbarkeit (SBK) Steuerbarkeit umfasst die Möglichkeiten, die Interaktion mit dem System im Umfang und in der Geschwindigkeit zu beeinflussen. So sollen getätigte Schritte revidiert oder abgebrochen werden können, oder auch eine Fortsetzung von abgebrochenen Schritten möglich sein. Vordefinierte Einstellungen sollten abänderbar sein und unterschiedliche Methoden zur Erreichung eines Ziels angeboten werden. Am Beispiel eines Dokumenten-Uploads auf ein Portal können dem User die Möglichkeiten geboten werden, das Dokument via „Drag’n’Drop“ direkt in den Browser zu ziehen. Als Alternative kann ein Upload mittels „Explorer-Navigation“ zum gewünschten Pfad und anschließender Selektion der gewünschten Datei gestartet werden.

Fehlertoleranz (FTL) Eine ergonomische Dialogführung ist so konzipiert, dass der Anwender durch die Dialoge geführt wird und möglichst keine Fehler auftreten können. Eingaben sollen nach Möglichkeit schon während des Eingabeprozesses geprüft werden, um dem User etwaige Fehleingaben sofort anzuzeigen. Der Aufwand zur Fehlerbehebung sollte auf ein Minimum reduziert sein.

Individualisierbarkeit (IVK) Die Individualisierbarkeit der Anwendung wird ebenfalls berücksichtigt. Der Nutzer soll dazu in der Lage sein, das Programm nach seinen Bedürfnissen zu verändern. Dies kann bedeuten, dass unterschiedliche Spracheinstellungen zur Verfügung stehen oder bspw. Datenzeilen in einer Datenbank neben der Dateneingabe im Zeilenformat auch über eine Eingabemaske befüllt werden können.

4.2.7.2 Beurteilung und Auswertung

Die Bewertung der Elementgruppe ist in Tab. 4.8 zusammengestellt. Der errechnete PV ist in Abb. 4.9 grafisch aufbereitet.

Tab. 4.8: Bewertungsmatrix der Elementgruppe zur *Usability* und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium *CR* aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls dargestellt. Die Bewertungsmatrix weist nur eine geringe Inkonsistenz auf.

<i>Usability</i>	AAH	SBF	EKF	LFK	SBK	FTL	IVK	PV
AAH	1,000	1,000	6,000	3,000	6,000	3,000	6,000	0,3164
SBF	1,000	1,000	6,000	3,000	5,000	3,000	6,000	0,3086
EKF	0,167	0,167	1,000	0,500	1,000	0,500	1,000	0,0527
LFK	0,333	0,333	2,000	1,000	2,000	1,000	3,000	0,1126
SBK	0,167	0,200	1,000	0,500	1,000	0,500	1,000	0,0542
FTL	0,333	0,333	2,000	1,000	2,000	1,000	2,000	0,1055
IVK	0,167	0,167	1,000	0,333	1,000	0,500	1,000	0,0501
$\lambda_{\max} = 7,020$ $CI = 0,003$ $RI = 1,341$ $CR = 0,003 \leq 0,10 \checkmark$								

4.2.7.3 Interpretation

Die Bewertung ergibt, dass die beiden Gesichtspunkte der *Aufgabenangemessenheit* und der *Selbstbeschreibungsfähigkeit* mit jeweils ca. 31% als am relevantesten befunden werden. Zusammen nehmen diese beiden Aspekte 62,5% des Kriteriums *Usability* ein. Auf *Lernförderlichkeit* und *Fehlertoleranz* entfallen

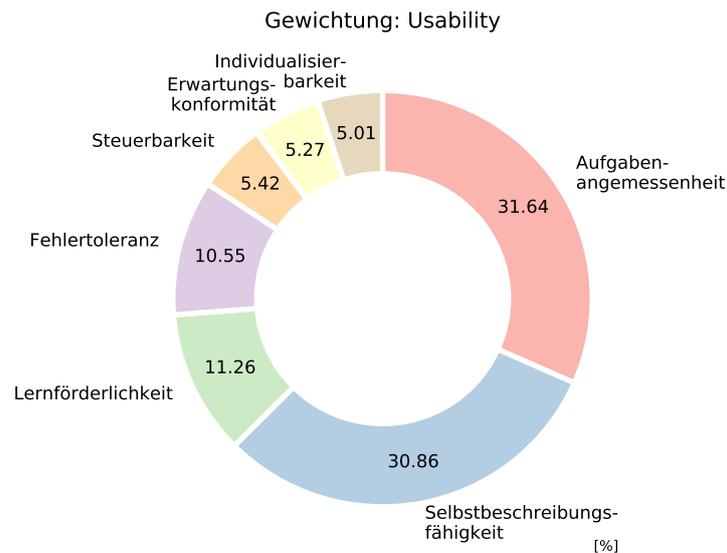


Abb. 4.9: Ergebnisauswertung des PV hinsichtlich des Hauptkriteriums *Usability*

jeweils knapp 11 %. Das verbleibende $\frac{1}{6}$ ist auf die Gesichtspunkte *Steuerbarkeit*, *Erwartungskonformität* und *Individualisierbarkeit* aufgeteilt.

4.2.8 Elementgruppe: Mobilität

Dieses Kriterium hat keine untergeordneten Elemente und entspricht daher keiner „Elementgruppe“. Die Bewertung der Mobilität wird direkt in der Elementgruppe *Hauptziel* berücksichtigt.

4.3 Aggregation

Die Aggregation der lokalen Prioritäten auf die globale Ebene führt zu den in Tab. 4.9 gelisteten globalen Prioritäten. Sie beschreiben den Einfluss der Subkriterien auf das Hauptziel.

Die ersten 8 der 30 Kriterien fließen mit insgesamt rd. 55 % in die Gesamtbewertung ein (vgl. Abb. 4.10). Dieses Ergebnis spiegelt die Einschätzung der Entscheidungsträger gut wieder. Die Kategorie *Mobilität* hat keine Subkategorien und schlägt daher zu 100 % mit einer Gewichtung von 8,44 % durch. Knapp dahinter finden sich die Kernaufgaben *Verfügbarkeitsplanung (Geräte)*, *Verfügbarkeitsplanung (Personal)* und das *Änderungsmanagement* in der Einsatzmittelplanung in der Reihung. Ebenfalls hoch bewertet sind die beiden Gesichtspunkte *Aufgabenangemessenheit* und *Selbstbeschreibungsfähigkeit* der Kategorie Usability. Mit jeweils 4,38 % erreichen die Aspekte *Betriebsaufwand* und *Kosten* den 7. und 8. Platz in der Reihung der Gewichte. Die weiteren 22 der 30 Kriterien teilen sich untereinander die verbleibenden rd. 45 %.

Überraschend ist, dass die Kategorie *Mobilität* einen derart großen Einfluss auf die Bewertung hat. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass es keine zugehörigen Subkategorien gibt, auf die sich die Gewichtung des Kriteriums aufteilen muss. Dennoch wird diese Auswertung von den Entscheidungsträgern für gut befunden.

Tab. 4.9: Aggregation der lokalen Prioritäten der Subkriterien zu globalen Gewichten. Das globale Gewicht stellt den Einfluss des Subkriteriums auf das Hauptziel dar

Kriterium	lokales Gewicht	Subkriterium	lokales Gew.	globales Gew.
Usability	25,99 %	Aufgabenangemessenheit	31,64 %	8,22 %
		Selbstbeschreibungsfähigkeit	30,86 %	8,02 %
		Lernförderlichkeit	11,26 %	2,93 %
		Fehlertoleranz	10,55 %	2,74 %
		Steuerbarkeit	5,45 %	1,41 %
		Erwartungskonformität	5,27 %	1,37 %
		Individualisierbarkeit	5,01 %	1,30 %
Einsatzmittelplanung	14,62 %	Änderungsmanagement	34,91 %	5,10 %
		Baustellenverwaltung	18,43 %	2,70 %
		Personaleinsatzplanung	18,43 %	2,70 %
		Geräteeinsatzplanung	18,43 %	2,70 %
		Bedarfsplanung	9,80 %	1,43 %
Geräteverwaltung	14,03 %	Verfügbarkeitsplanung (G.)	60,00 %	8,42 %
		Gerätefassung	20,00 %	2,81 %
		Geräteadministration	20,00 %	2,81 %
Personalverwaltung	14,03 %	Verfügbarkeitsplanung (P.)	54,99 %	7,71 %
		Personalerfassung	24,02 %	3,37 %
		Personaladministration	20,98 %	2,94 %
Vertrag/Kosten	10,96 %	Betriebsaufwand	40,00 %	4,38 %
		Kosten	40,00 %	4,38 %
		Vertragsmodell	20,00 %	2,19 %
Mobilität	8,44 %	Mobilität	100,00 %	8,44 %
Reporting	6,58 %	Funktionalität (R.)	50,00 %	3,29 %
		Qualität (R.)	50,00 %	3,29 %
Allg. Funktionen	5,35 %	Rollenkonzept	26,32 %	1,41 %
		Stabilität	26,32 %	1,41 %
		Schnittstellen	24,75 %	1,32 %
		Lösungsumfang	9,46 %	0,51 %
		Implementierung	8,77 %	0,47 %
		Support	4,39 %	0,23 %

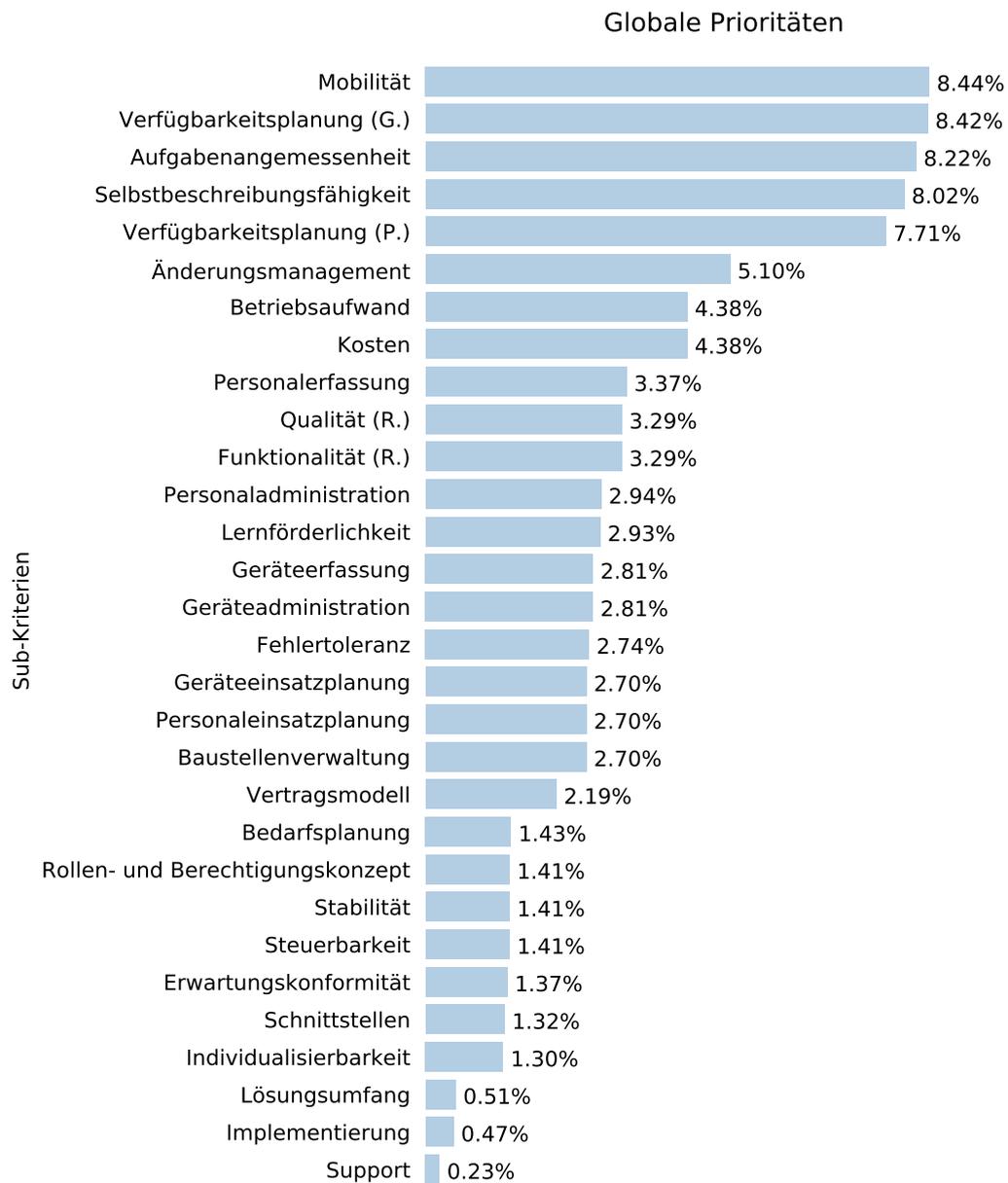


Abb. 4.10: Die aggregierten globalen Gewichte der Subkriterien, sortiert nach Relevanz bzgl. des Hauptziels

Kapitel 5

Use-Cases

5.1 Einleitung

Eine Softwarelösung zu verwenden, deren Output fehlerhaft oder gänzlich falsch ist, führt keinesfalls zu einer Verbesserung des Abwicklungsprozesses. Unter dem Begriff Use-Case wird in der Softwareentwicklung ein spezifischer Anwendungsfall verstanden, für den der Nutzer eine Softwarelösung verwendet. Das ausgearbeitete Anforderungsprofil (vgl. Abschnitt 4.1) zeigt die drei operativen Kerngebiete, in denen die zukünftige Softwareanwendung eingesetzt werden soll:

1. Einsatzmittelplanung
2. Geräteverwaltung
3. Personalverwaltung

Um die Funktionalität der untersuchten Anwendungen stichprobenartig zu testen, sind die folgenden Use-Cases entwickelt worden, sodass speziell in der Einsatzmittelplanung gewollt Konflikte eingearbeitet werden. Beispielsweise soll *nicht verfügbares Personal* auf Projekte gebucht werden oder Geräte, die sich zurzeit in Reparatur befinden, Baustellen zugeteilt werden. Es wird versucht, die praxisnahen Use-Cases mithilfe der jeweiligen Softwarelösung zu bearbeiten und die Eignung der Software hinsichtlich des jeweiligen Aspekts zu bewerten. Dabei gilt es herauszufinden, wie robust sich das System verhält und wie es mit derartigen Aufgabenstellungen umgehen kann.

Die Use-Cases sollen als Basis für den Softwarevergleich in Kapitel 6 fungieren und orientieren sich inhaltlich an den ausgearbeiteten Prioritäten bzw. dem erstellten Anforderungsprofil des Unternehmens (vgl. Abschnitt 4.1). Sämtliche, in den nachstehenden Tabellen dargestellte Informationen sind aus datenschutztechnischen Gründen anonymisiert und stellen exemplarische Werte dar. Das betrifft insb. Namen, Versicherungsnummern, Projekte, Projektnummern und Geräte-Identifikationsnummern.

5.2 Use-Cases

Um im Zuge der Untersuchungen aussagekräftige Bewertungen vornehmen zu können, sind die folgenden Use-Cases entwickelt worden. Auf diese wird zurückgegriffen, wenn sich die Bewertungen nicht schon ohnehin durch die Nutzung der jeweiligen Anwendung ergeben. Mithilfe dieser entwickelten Szenarien werden absichtlich inhaltliche Widersprüche in das System eingegeben, um zu sehen, wie robust die Anwendungen reagieren und diese Konflikte behandeln.

5.2.1 Personalverwaltung

Neben den rudimentären Funktionen der *Personalerfassung* und dem *Änderungsmanagement* sollen in der *Verfügbarkeitsplanung* abwicklungstechnisch relevantere Anwenderfälle untersucht werden. Das

entwickelte Konzept in der *Personalverwaltung* wird später für die *Einsatzmittelplanung* von Bedeutung sein. Die nachstehenden personenbezogenen Referenzen beziehen sich auf Tab. 5.1.

Tab. 5.1: Zusammenstellung möglicher notwendiger Daten für die Personalerfassung. Neben der Zuteilung zu den Baubereichen Betondeckenausbau (BDA), Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächentechnik (FIO) und Bodenstabilisierung (BOD) sind auch zusätzliche Qualifikationen wie Betontechnologie 1 (BT 1) bzw. BT 2 erfasst

Nr	Vor- / Nachname	Bereich	Bauleiter	SV-Nr	Führerschein	Qualifikation	Equipment
1	Darijo Leon	BDA	Ja	2222 19 01 87	A, B	Polier, Ersthelfer	Hose Typ 1, Helm
2	Adalbert Ulrich	DST	Ja	2222 01 09 67	B	BT 1, Polier	Hose Typ 4, Helm
3	Gabriel Roland	FIO	Ja	2222 12 04 81	B, C, E	Polier	Brille, Helm
4	Ivan Zvonimir	BDA	-	2222 29 08 74	B	Ladekran, Stapler	Hose Typ 4, Helm
5	Seweryn Duško	BDA	Ja	2222 01 01 80	A, B, C1, C, F	Ersthelfer	Hose Typ 1, Helm
6	Ludwig Stipan	BOD	-	2222 07 05 74	B	Polier, Stapler	Helm, Brille
7	Cem Wenzeslau	BOD	-	2222 04 04 68	B	BT 1, Polier	Hose Typ 4, Helm
8	Giorgio David	FIO	-	2222 15 02 88	A, B	Ersthelfer	Hose Typ 1, Helm
9	Albrecht Müller	FIO	-	2222 02 10 83	B, C, E, F	BT 1, BT 2	Hose Typ 1, Helm

Personalerfassung

- Neue Personen sind inkl. aller zus. Informationen zu erfassen (vgl. Tab. 5.1).
- Dem Datensatz einer Person soll ein Dokument (z. B. Scan des Führerscheins) angefügt werden.

Änderungsmanagement

- Nachdem die Personen angelegt sind, sollen die persönlichen Daten von Person 1 abgeändert werden.
- Person 2 hat sich krankgemeldet und fällt bis Ende der Woche aus.

Verfügbarkeitsplanung

- Person 5 möchte für zwei Wochen Urlaub beantragen (25.03.2019 – 05.04.2019).
- Dieser Antrag soll direkt über das System gestellt werden.
- Die Abwesenheit von Person 5 wird im System gespeichert.
- Der aktuelle Urlaubsstand von Person 5 soll abgerufen werden.
- Die Abwesenheit von Person 5 soll nicht als normaler Urlaub gebucht werden, sondern bspw. als Sonderurlaub, Karenz etc.

Diese Vorgehensweise hat den Hintergrund, dass zu einem späteren Zeitpunkt ein Bauprojekt, auf das Person 5 zugewiesen ist, in seine Urlaubswoche verschoben wird und der Konflikt durch das System aufgezeigt werden soll (vgl. Abschnitt 5.2.3). Darüber hinaus muss geprüft werden können, ob die Person überhaupt ausreichend Anspruch auf Urlaub hat. Die Abwesenheit soll deswegen als Sonderurlaub oder ähnliches gebucht werden, da bspw. in [D. 52] zwischen mehr als sechs unterschiedlichen Abwesenheitsarten unterschieden wird. Diese Funktionalität soll nach Möglichkeit auch in der neuen Anwendung vorhanden sein.

5.2.2 Geräteverwaltung

Analog zur *Personalverwaltung* sind auch die Testszenarien der *Geräteverwaltung* ausgearbeitet worden. Die Referenzen in diesem Kapitel beziehen sich auf Tab. 5.2.

Geräteerfassung

- Neue Geräte sind inkl. zusätzlicher Informationen zu erfassen (vgl. Tab. 5.2).
- Dem Gerät 1 soll der Kaufvertrag als Anhang beigefügt werden.

Änderungsmanagement

- Das Gerät 1 (Abteilung BDA) wird umgerüstet und erhält dadurch eine neue interne ID.
- Das Gerät wird einem neuen Baubereich zugeordnet. Der bestehende Datensatz soll entsprechend abgeändert werden.

Verfügbarkeitsplanung

- Es soll geprüft werden, wann das Gerät 2 (Abteilung BOD) das letzte Mal bei der Reparatur war.
- Eine Reparatur für Gerät 2 (BOD) soll für März 2019 avisiert werden.
- Der nächste freie Wartungstermin Gerät 1 (BOD) soll gefunden und avisiert werden.

5.2.3 Einsatzmittelplanung

Die *Einsatzmittelplanung* gliedert sich in insgesamt fünf Teilbereiche. Diese Kernfunktion basiert auf den Informationen aus der *Geräteverwaltung* und der *Personalverwaltung*. Die personenbezogenen Referenzen verweisen auf Tab. 5.1 und jene die die Geräte betreffen, beziehen sich auf Tab. 5.2.

Baustellenverwaltung

Die fiktiven Baustellen sind in Tab. 5.3 erfasst. Ihnen ist jeweils ein Bauleiter mit Arbeitspartie zugewiesen sowie ein Baugerät aus Tab. 5.2.

- Es werden die termintreuen Projekte gem. Tabelle angelegt und mit den Basisdaten versehen.

Tab. 5.2: Gerätepool für die Use-Cases mit zusätzlichen Informationen. Die Geräte sind den Bereichen Betondeckenausbau (BDA), Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächen-technik (FIO) und Bodenstabilisierung (BOD) zugeteilt, haben interne und externe Identifikationsnummern hinterlegt sowie weitere Informationen zum Baujahr, der Nummer und Kennwert der Baugeräteliste (BGL). Weiters sind Ansätze für den mittleren Neuwert (mittl. NW), Abschreibung und Verzinsung (A/V) sowie Reparatur (Rep.) angegeben

Nr	Bereich	Gerät	ID int.	ID ext.	Baujahr	BGL	Kennwert	Mittl. NW €	A/V €	Rep. €
1	BOD	Vibro-Grabenwalze	4.000.1230	214-VW-00884	2010	D.8.40	148	35.000	1.300	900
2	FIO	Hyd.Bagger Raupe	4.000.0517	810-HB-00123	2012	D.1.02	29	60.000	1.500	1.000
3	BDA	Radlader	4.000.1284	112-AC-00140	2008	D.1.00	159	375.000	8.300	6.000
4	Pool	Auto A	4.000.5501	201-CA-04010	2010	-	5	25.000	900	600
5	Pool	Auto B	4.000.5502	201-CA-04011	2010	-	5	30.000	1.200	750
6	Pool	Transporter	4.000.5600	201-CA-05001	2015	-	9	55.000	1.700	900

Tab. 5.3: Zusammenstellung der Baustellen (Bstl.) für die Anwendungstests. Erfasst werden Daten zum Status, dem Ausführungszeitraum (Ausf.-Z.), Auftragsvolumen, dem zuständigen Bauleiter und seiner Partie sowie das verwendete Gerät. In Klammer gesetzte Geräte ergeben sich aus den Use-Cases

Nr.	Bereich	Baustelle	Status	Ausf.-Z.	Auftragsvolumen €	Bauleiter	Arbeiter	Baugeräte
1	BDA	Tullner Hautplatz	Geplant	11.-15.03.2019	960.000	1	4, 5	3
2	BOD	A9 Klaus - St. Pankraz	Geplant	18.-29.03.2019	1.200.000	2	6, 7	1, (2)
3	FIO	A2 Gleisdorf West	In Planung	08.-26.04.2019	4.500.000	3	8, 9	2
4	BDA	A7 km 11.049-14.160	In Planung	08.-12.04.2019	2.250.000	1	5	3
5	BDA	1090 Wien	Geplant	04.-08.03.2019	1.100.000	5	6, 4	1
6	BDA	Kreisverkehr Heiligenblut	Geplant	01.-05.04.2019	350.000	1	4	4, (5)
7	BOD	Industriehalle Oberwart	Geplant	01.-05.04.2019	70.000	2	7	6

- Die Baustellen gehören zu unterschiedlichen Baubereichen und das jeweilige Auftragschreiben soll dem Projekt angehängt werden.
- Die Zuweisung des Bauleiters erfolgt ebenfalls gem. Tabelle.
- Der Status aller Projekte soll entsprechend dem Status der Tabelle gesetzt werden.
- Die angegebene Kostenstelle sollen hinterlegt werden.
- Für die Baustelle 3 sollen die ersten beiden Tage als Baustelleneinrichtung ausgewiesen werden.

Personaladministration

Hierbei soll getestet werden, wie praktikabel die Planung des Personaleinsatzes auf Baustellen ist und ob die notwendigen Informationen über Abwesenheit oder Zuteilung zu den Abteilungen angezeigt werden.

- Die Zuteilung des Personals für Projekt 1 (Abteilung BDA), 2 (BOD) und 3 (FIO) erfolgt gem. Tabelle
- Auf die Baustelle 2 (BOD) werden Person 6 und 7 gebucht, wobei Person 7 erst in der 13. Kalenderwoche (KW) auf der Baustelle eingesetzt wird.
- Bei der Zuteilung des Personals auf das Projekt 4 (BDA) ist darauf zu achten, dass nur die Personen 1, 4 und 5 zur Verfügung stehen, da die Personen 3, 8 und 9 bereits verplant sind. Gleichzeitig soll von der Anwendung dargestellt werden, dass die Personen 2, 6 und 7 zwar verfügbar sind, aber für den Bereich BOD tätig sind.

Geräteadministration

- Gerät 1 (BOD) wird über die gesamte Projektdauer auf Projekt 2 (BOD) zugewiesen. Gerät 2 (FIO) wird über die gesamte Projektdauer auf Projekt 3 (FIO) zugewiesen.
- Auf die Baustelle 2 (BOD) ist Gerät 1 (BOD) gebucht und zusätzlich soll Gerät 4 (Pool) für die zweite Arbeitswoche eingesetzt werden.

Änderungsmanagement

Im *Änderungsmanagement* sollen Konflikte erzwungen werden. Die Anwendungen sollen bei ungültigen bzw. widersprüchlichen Eingaben den Nutzer darauf hinweisen und ihm helfen, sie zu lösen.

- Projekt 5 (BDA) soll um eine Arbeitswoche nach hinten verschoben werden. Person 4, die zu der Zeit bereits auf dem Projekt 1 (BDA) eingesetzt ist, kann jedoch nicht gleichzeitig auf zwei Baustellen arbeiten.

Es wird erwartet, dass dieser Konflikt durch das System erkannt und kommuniziert wird.

- Da nun Person 4 doppelt gebucht wäre, muss eine Auswechslung auf Projekt 5 (BDA) vorgenommen werden. Das Personal, das urspr. auf Projekt 5 (BDA) gebucht wurde, muss nun so verändert werden, dass Person 4 herausgenommen und durch eine verfügbare Person ersetzt wird.

Es soll nur verfügbares Personal auf Projekte gebucht werden können. Nicht verfügbares Personal sollte möglichst nicht auswählbar oder gänzlich ausgeblendet sein. Im konkreten Fall muss die Anwendung die Information vermitteln, dass kein weiteres Personal aus Abteilung BDA zur Verfügung steht.

- Für Projekt 7 (BOD) ist ein falsches Auto (Gerät 4 (Pool)) zugeteilt und muss gegen ein anderes Auto getauscht werden.

Die Erwartung an die Software ist, dass nur verfügbare Geräte auf ein Projekt gebucht werden können. Nicht verfügbare Geräten sollten analog zum Personal möglichst nicht auswählbar oder gänzlich ausgeblendet sein.

- Projekt 4 (BDA) muss eine Woche nach vorne verlegt werden. Auf dem Projekt ist Person 5 eingesetzt. Diese Person hat jedoch Urlaub für diesen Zeitraum beantragt.

Die Verschiebung verursacht, dass Person 5 ebenfalls mitverschoben wird. Durch den geplanten Urlaub von Person 5 im selben Zeitraum (siehe Punkt Verfügbarkeitsplanung im Bereich der Personalverwaltung) entsteht ein Konflikt, der durch das System gemeldet werden muss.

Bedarfsplanung

- Person 4 muss aufgrund seiner speziellen Kompetenzen eine Baustelle betreuen. Der Baustellenbeginn ist flexibel und soll ab KW 10/2019 starten, sobald Person 4 verfügbar ist.

Das erwartete Ergebnis ist folgendes: Der frühestmögliche Zeitpunkt für die Baustelle ist ab 18.03.2019, da in den beiden Wochen zuvor Person 4 bereits auf Baustellen eingesetzt ist. Sollten in dieser Woche die Arbeiten nicht durchgeführt werden können, so ist Person 4 erst wieder ab 08.04.2019 unverplant.

- Für ein Projekt ist ein spezielles Gerät (Gerät 1) notwendig. Der ehestmögliche Termin ab KW 12, für eine Dauer von 3 Arbeitstagen (AT), ist zu finden.

Da Gerät 1 in den beiden Kalenderwochen 11 und 12 im Einsatz ist, darf die Softwareanwendung erst eine Buchung ab 01.04.2019 zulassen bzw. auf einen sonstigen Widerspruch hinweisen.

Kapitel 6

Softwareevaluierung

In Zusammenarbeit mit dem Mutterkonzern ist der Vorgang zur Softwareevaluierung in folgender Weise abgestimmt worden. Dabei gilt es eine Anwendung zu finden, die in den drei Kernpunkten der Projekt- abwicklung *Einsatzmittelplanung*, *Geräteverwaltung* und *Personalverwaltung* größtmögliche Kompetenz aufweist und gleichzeitig dem Anforderungsprofil (vgl. Abschnitt 4.1) entspricht. Ein mehrstufiges Auswahlverfahren hat vier Anwendungen hervorgebracht, die anschließend genau getestet und bewertet worden sind. Die Stufen des Auswahlverfahrens sind:

1. Markterkundung und Erfassung möglicher Anwendungen
2. Vor-Selektion jener Anwendungen, die alle drei Kernaufgaben abbilden können
3. Liste der engeren Wahl in Abstimmung mit den Entscheidungsträgern des Konzerns
4. Testung und Evaluierung der Software aus der engeren Wahl
5. Aggregation und Interpretation der Ergebnisse
6. Handlungsempfehlung für ausgiebige Testung in der Praxis

In den nachfolgenden Abschnitten sind die durchgeführten Schritte näher beschrieben. Abschnitt 6.1 beschreibt die Schritte 1–3. Die Anwendungen, die der Evaluierung unterzogen werden (Schritt 3), sind in Abschnitt 6.1.2 vorgestellt. Die Vorgehensweise bei der Evaluierung und Auswertung (Schritt 4) ist in Abschnitt 6.2 ausgeführt. Anschließend sind gem. den Schritten 4–5 die lokalen Auswertungen sowie Ergebnisaggregation und -interpretation in Abschnitt 7.3 dargelegt. Ein deutliches Endergebnis mit entsprechender Handlungsempfehlung ist unter Abschnitt 7.3.2 zu finden.

Die Marktrecherche hat im Zeitraum des zweiten Halbjahrs 2018 stattgefunden und die gemeinsame Festlegung der zu untersuchenden Software ist im November 2018 getroffen worden. Die Reihung der Anwendungen erfolgt nach dem Alphabet und davon kann keine inhaltliche Aussage abgeleitet werden.

6.1 Markterkundung und Software-Selektion

Der Markt bietet eine Vielzahl an (Online-)Applikationen, die zur Erleichterung des operativen Geschäfts mit den Schlagwörtern „Einsatzplanung“, „Ressourcenplanung“, „Personalplanung“ etc. angeboten werden. Dementsprechend hat der erste Schritt der Markterkundung gegolten, um mögliche Softwarelösungen zu finden. Zunächst sind alle Programme uneingeschränkt gelistet geworden. In weiterer Folge sind die gefundenen Anwendungen auf ihre vermeintliche Tauglichkeit geprüft und jene Programme ausgeschlossen worden, die offensichtlich nicht das gesamte Spektrum der gewünschten Leistungen abdecken können. Die Kriterien für die Vor-Selektion sind so gewählt, dass die notwendigen Kernaufgaben für den Anwendungsfall in der Lösung abgebildet werden. Diese umfassen die folgenden Kernkompetenzen:

1. *Einsatzmittelplanung*

2. Personalverwaltung

3. Geräteverwaltung

Die nachstehende Liste führt beispielhaft Online-Softwareanwendungen an, die aufgrund fehlender Eignung mit der Vor-Selektion ausgeschlossen worden sind:

- *CoreSystems*: Fokus auf Personaleinsatzplanung, keine Einsatzmittelplanung. Hier wird ebenfalls das Hauptaugenmerk auf die Einsatzplanung von Personal gelegt.
- *Fast lean smart*: Eine Software für Außendienstmitarbeiter insb. für Vertriebsmitarbeiter.
- *PROCESS HR*: Hauptaugenmerk auf Personaleinsatzplanung, ohne Einsatzmittelplanung. Es wird keine ausreichende Möglichkeit geboten Einsatzgeräte zu verwalten.
- *Seak*: Eine Anwendungslösung für den Handel. Der Slogan der Software: „Einsatzplanung und Zeitwirtschaft im Handel“.
- *Shyftplan*: Dienstplanerstellung und -verwaltung insb. für Gastro-Betriebe. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Koordination von Schichtzeiten und kurzfristiger Disposition von Personal in Betrieben.

6.1.1 Liste der engeren Auswahl

Jene Softwareanwendungen, die im Zuge der Vor-Selektion nicht ausgeschlossen wurden, sind in Abstimmung mit der Projektleitung des Bereichs Innovation der Abteilung „Technologiemanagement und Innovation“ des Mutterkonzerns auf eine Liste der engeren Wahl reduziert worden. Diese umfasst die folgenden Anwendungen:

- *123-Erfasst*: „Einfach smarter bauen.“
- *ABPro3*: „Branchenlösung für Bauhaupt- und Baunebengewerbe.“
- *BauSU*: „Disposition und Einsatzplanung.“
- *BPO Einsatzplanung*: „Einsatzplanung. Alle Einsätze egal ob Asphalt, Erdbau oder allgemeiner Tiefbau können zentral geplant werden.“
- *INNOSOFT Einsatzplanung*: „Die Innosoft Einsatzplanung ist ein umfangreiches Instrument zur Steuerung von Einsätzen, Ressourcen und Projekten.“
- *Planungstafel* bzw. *Visual Planning*[®]: „Visual Planning[®] ist das Ideale Instrument für die elektronische Ressourcen-Planung im Unternehmensumfeld.“
- *Project Worx*: „Die webbasierte Projektmanagement-Software für Ihr Unternehmen.“

6.1.2 Evaluierte Software

In gemeinsamer Durchsprache und Zusammenarbeit mit den Entscheidungsträgern des Konzerns und der Tochtergesellschaft hat sich die Liste der engeren Wahl auf vier zu evaluierende Anwendungen reduziert. Alle vier Anwendungen werden in diesem Kapitel kurz vorgestellt.

6.1.2.1 123-Erfasst (123)

Die Anwendung *123-Erfasst*¹ ist eine Softwarelösung des Unternehmens NEVARIS Bausoftware GmbH mit Sitz in Deutschland. NEVARIS ist ein Unternehmen, dass für Bauunternehmen, Architekten und Planer verschiedene Softwarelösungen vertreibt. Neben *123-Erfasst* ist die *AUER Success* ein bekanntes Produkt des Unternehmens. Als Teil der NEMETSCHKE Group gehört NEVARIS zur gleichen Unternehmensgruppe wie bspw. folgende branchenbekannte Firmen:

- ALLPLAN Deutschland GmbH
- Solibri Inc.
- SCIA N.V.
- GRAPHISOFT SE

Im weiteren Verlauf der ggstl. Arbeit wird diese Anwendung mit der Abkürzung *123* geführt. *123* verspricht webbasierte Personaladministration, Zeiterfassung, Lohnverarbeitung, Baugeräteverwaltung, Baustellendokumentation etc. Es ist über jeden Webbrowser erreichbar und anhand spezieller Anwendung auf mobilen Endgeräten einsetzbar. Obwohl prinzipiell die Verwaltung online erfolgt, ist es möglich, offline Daten zu erfassen und diese bei vorhandener Verbindung zu synchronisieren.

6.1.2.2 BauSU (BSU)

Die Anwendung BauSU (*BSU*) ist ein von der Bau-Software Unternehmen GmbH entwickeltes Programm zur Abwicklung aller Bereiche eines Bauunternehmens. Der Funktionsumfang umfasst laut Webauftritt² zahlreiche Administrationsbereiche mit bspw. folgenden Modulen:

- Lohnbuchhaltung
- Bau-Betriebssteuerung
- Kalkulation
- Finanzbuchhaltung
- Einkauf
- Geräteverwaltung
- Materialwirtschaft

Die Referenzliste der Software zählt allein in Österreich mehr als 30 Unternehmen, die für die Projektentwicklung *BSU* verwenden. Die Liste der Referenzen in Deutschland umfasst weitere, knapp 120 Unternehmen, die teilweise bereits seit 1988 Kunden der BauSU sind.

Das deutsche Unternehmen mit Sitz in Wedemarkt bietet für Windows entwickelte Installations-Software an. Prinzipiell ist die Software für die lokale Installation auf einem Rechner entwickelt, kann jedoch mittels Server-Lizenz ebenfalls in einem unternehmensinternen Netzwerk verwendet werden. Mit dem Modul „*BauSU[®] mobil*“ und vorhandener Server-Lizenz können, bei aktiver Internetverbindung, Bearbeitungen mittels mobilem Endgerät erfolgen.

¹ <https://www.123erfasst.de>, Zugriff 17.2.2019

² <https://www.bausu.de>, Zugriff 28.11.2018

6.1.2.3 BPO – Volz Consulting (BPO)

Gemäß Webauftritt³ ist *BPO* auf Beratungsleistungen und Prozessoptimierung spezialisiert. Der angebotene Umfang , umfasst Softwarelösungen aus dem Bereich der Beton- und Asphaltherstellung sowie deren Einbau vor Ort. Im Mutterkonzern ist eine Software des Anbieters (zum Einbau-Monitoring) bereits in Verwendung und wird dabei mit Erfolg eingesetzt. Das Unternehmen Volz Consulting GmbH aus Deutschland hat sich gem. den Modulen, die das Unternehmen in seinem Portfolio an Lösungen anbietet, auf folgende Bereiche spezialisiert:

- Transportbeton
- Erdbau
- Asphalteinbau
- Einsatzplanung
- Flottenmanagementsysteme

In den Untersuchungen der ggstl. Arbeit wird das Modul der Einsatzplanung untersucht und hinsichtlich des Anforderungsprofils bewertet. Neben der eigenen Referenz des Mutterkonzerns sind gemäß den Angaben des Online-Auftritts⁴ des Herstellers die vertriebenen Anwendungen in mehr als 10 Ländern im Einsatz und diese verwalten damit über 100 Einbaukolonnen. Die Liste der Referenzen auf der Website umfasst rd. 30 Unternehmen, die zum vorwiegenden Teil im Bereich des Straßen-, Erd- und Tiefbaus tätig sind.

Da die Zusammenarbeit mit der Firma BPO weitergeführt werden soll, wird auch die Anwendung zur Einsatzmittelplanung für das Tochterunternehmen untersucht. Insbesondere aus dem Umstand heraus, dass der Entwickler die Lösung speziell für den Straßenbau entwickelt, sind die Erwartungen an die Softwarelösung hoch. In weiterer Folge wird die Software in der ggstl. Arbeit mit dem Kürzel *BPO* geführt.

6.1.2.4 PROJECT WORX (PRW)

Das Unternehmen MByte Software Development GmbH aus Linz entwickelte die Anwendung „PROJECT WORX“ (*PRW*) und vertreibt diese als Projektmanagement-Plattform. Über Schnittstellen können externen Softwarelösungen wie „*BMD*“, „*SAP*“ oder „*MicroSoft Exchange*“ mit *PRW* verknüpft werden.

Die Anwendung *PRW* bietet:

- Ressourcenmanagement über mehrere Tätigkeitsfelder und Unternehmensbereiche
- Projektplanung mittels GANTT-Diagrammen
- Multi-Projektübersicht, die Einblick in die Projekte der Abteilungen geben
- Dokumentenmanagement für Projekte
- Übergreifendes Berichtswesen

PRW wirbt auf dem Onlineauftritt⁵ mit übersichtlichen Multi-Projektübersichten und Multi-Projektmanagement sowie Termin- und Ressourcenplanung. Neben den angeführten Funktionen können über das Programm auch Angebote erstellt, die Rechnungslegung durchgeführt und das Projektcontrolling betrieben werden.

³ <https://volzconsulting.de>, Zugriff 18.10.2018

⁴ <https://www.bausu.de>, Zugriff 15.11.2018

⁵ <https://www.projectworx.net>, Zugriff 17.2.2019

6.2 Vorgehensweise bei Softwareevaluierung und -auswertung

Auf Basis der Prozessanalyse und in Abstimmung mit den Entscheidungsträgern der Tochterfirma bzw. der Projektverantwortlichen im Mutterkonzern wurden zu den jeweiligen Bewertungskriterien Fragen ausgearbeitet, mit denen eine Bewertung erfolgen kann. Die Bewertungsfragen inkl. den vergebenen Bewertungspunkten sind im Anhang zusammengestellt.

6.2.1 Softwaretests und Bewertungsschema

Für jede Anwendung ist jeweils eine Testversion angefragt worden, um sie den Bewertungen zu unterziehen. Die Bewertung erfolgt anhand eines ausgearbeiteten Bewertungsbogen, der auf den Use-Cases basiert und in Abstimmung mit dem Projektverantwortlichen des Unternehmens ausgearbeitet wurde. Das Bewertungsschema ist an eine *Likert-Skala* angelehnt, bei der man die eigene Zustimmung zu einer Aussage mithilfe von vorgegebenen Antwortmöglichkeiten festlegt (vgl. Tab. 6.1).

Likert-Skala und Einschränkungen Die Likert-Skala (LS) ist eine Methode, um die Einstellung einer Person(en) gegenüber einer Aussage gemessen und analysiert wird. Diese Art der Befragung wird sehr häufig in der Marktforschung eingesetzt [16]. Obwohl die Testungen der Anwendungen in der ggstl. Arbeit nicht für mehrere Personen angedacht ist, soll dennoch die Möglichkeit der Skalierung des Tests möglich sein.

Das gewählte Punktesystem besteht aus einer Skala von 1 bis 5 Punkten. Kann die Aussage bzw. Aufgabenstellung durch eine Software nicht abgedeckt werden, so wird diese als „Keine Aussage möglich“ bewertet und 0 Punkte vergeben. Trifft die Aussage definitiv nicht auf das untersuchte Programm zu, so wird diese Fragestellung mit „trifft nicht zu“ bewertet und sie erhält bei dieser Frage nur 1 Punkt. Trifft die Aussage eher nicht zu, dann wird die Bewertung „trifft eher nicht zu“ ausgewählt, und aus dieser Frage ergibt sich eine Bewertung mit 2 Pkt. Bei Aussagen, die nur zum Teil zutreffen und die Beurteilung mit „teils-teils“ ausfällt, werden 3 Pkt. verbucht. Analog dazu erfolgt die Bewertung mit den Punkten 4 und 5 für positive Bewertungen mit „trifft eher zu“ und „trifft zu“.

In der Untersuchung wird auf 5 Bewertungspunkte zurückgegriffen, um die Möglichkeit zu schaffen, sich einer Aussage gegenüber neutral zu verhalten. Prinzipiell ist es möglich, eine beliebige Anzahl an Wahlmöglichkeiten für eine *Likert-Skala* heranzuziehen. Bei einer geraden Anzahl wird jedoch die Möglichkeit der neutralen Entscheidung genommen und der Befragte muss sich für eine der beiden möglichen Richtungen entscheiden.

Tab. 6.1: Bewertungsschema in Anlehnung an die *Likert-Skala*

Wert	Zustimmungsgrad
1	Die Aussage trifft nicht zu
2	Die Aussage trifft eher nicht zu
3	Die Aussage trifft teils-teils zu
4	Die Aussage trifft eher zu
5	Die Aussage trifft zu
0	Keine Aussage ist möglich

Da es sich bei der *Likert-Skala* um diskrete Optionen handelt, können ihnen frei gewählte Werte zugeordnet werden. Dabei gibt es keine „richtige“ numerische Interpretation der Wahlmöglichkeiten. In der ggstl. Arbeit sind den Optionen die Zahlenwerte nach Tab. 6.1 zugewiesen. Mathematisch interpretiert

bedeutet das, dass der Abstand von „*trifft eher zu*“ zu „*trifft zu*“ gleich groß ist, wie jener von „*trifft eher zu*“ zu „*trifft teils-teils zu*“. Die Wahloptionen sind somit in Bezug auf die Wertigkeit abstandsgleich. Ein Attribut, das nicht gemessen oder untersucht werden kann, wirkt Null Punkte. Bei einer Software, die dieses Merkmal zwar aufweist, aber negativ mit „*trifft nicht zu*“ bewertet wird, erhält dennoch einen Punkt. Das entspricht dem gleichen Punktezuwachs, wie die Verbesserung von „*trifft eher zu*“ zu „*trifft zu*“. Das bedeutet, dass eine schlechte Implementierung eines Merkmals, im Gegensatz zur vollständigen Abwesenheit, um das Gleiche besser ist, als eine „*sehr gute*“ Umsetzung zu einer „*guten*“.

Um derartigen Verzerrungen in der Bewertung entgegenzuwirken, wird wie später in Abschnitt 7.1.2 näher erläutert wird, die Auswertung mittels AHP über eine Abbildungsfunktion relativiert.

6.2.2 Bewertungsgenauigkeit

Zur Behebung oder Vermeidung eines Problems können unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt werden. Zusätzlich können die Ansätze in der Software-Entwicklung verschieden implementiert werden. Deshalb muss das Bewertungsschema ausreichend Flexibilität bieten, um verschiedene auch unterschiedliche Konzepte miteinander vergleichen zu können. Das folgende Beispiel aus der Kategorie *Usability* ► *Fehlertoleranz* soll diesen Umstand demonstrieren.

Beispiel In einer Anwendung soll, neben weiteren Eingaben, ein Zeitfenster angegeben und gespeichert werden, das durch einen Starttermin und einen Endtermin festgelegt wird. Die Bedingungen für die Datumseingabe umfasst lediglich die logische Prüfung, ob das Ende nach dem Start liegt. Wenn das nicht der Fall ist, so soll auf den Konflikt hingewiesen werden. Die Speicherung einer logisch falschen Eingabe soll durch das System verhindert werden. Folgende Lösungsansätze können möglicherweise implementiert sein:

1. Ein direktes Pop-up mit Hinweis auf den Konflikt wird eingeblendet. Mit diesem Zwischendialog muss aktiv interagiert werden, um mit der Eingabe fortzufahren. Die kann bspw. über Buttons wie *Abbrechen*, *Bearbeiten* oder *Bestätigen* durchgeführt werden. Erst wenn der Fehler behoben wird, kann der Dialog fortgesetzt werden.
2. Ein visueller Hinweis auf den Konflikt wird eingeblendet. Das kann möglicherweise durch das Einblenden eines Symbols (Ampel, Rufzeichen, Fragezeichen etc.) oder eine andere Veränderung (Schriftart/-farbe etc.) in der Anwendung erfolgen. Trotz Hinweis auf den Fehler kann der Konflikt vorerst ignoriert bleiben und der aktuelle Prozess mit der Eingabe weiterer relevanter Daten fortgesetzt werden. Vor dem Speichern wird darauf hingewiesen, dass nicht alle Eingaben korrekt sind.
3. Es ist eine Einschränkung implementiert, sodass der Konflikt gar nicht entstehen kann. Beispielsweise wird die Auswahl des Zeitraums über einen Kalender eingetragen, bei dem zuerst der Starttermin gewählt werden muss und dann sämtliche Termine davor nicht mehr anwählbar sind.
4. Die falsche Eingabe wird zugelassen und der Dialog kann weiter bearbeitet werden. Es erfolgt keine Indikation auf die Fehleingabe. Beim Abschlussprozess des Dialogs (speichern) findet eine Überprüfung der eingetragenen Daten statt, mit anschließender Aufforderung zur Korrektur der Fehleingabe mithilfe des Hinweises „*Überprüfen Sie bitte Ihre Eingaben!*“.

Neben den illustrierten Implementierungen können auch zahlreiche weitere Methoden oder Mischformen entwickelt und eingesetzt werden. In Bezug auf die genannten Beispiele würde dieser Aspekt der Anwendung mit folgender Aussage aus dem Bewertungsbogen bewerten werden.

Aussage: *Das interaktive System unterstützt den Benutzer dabei, Eingabefehler zu entdecken und zu vermeiden.*

Ist der genannte Dialog repräsentativ⁶ für die gesamte Anwendung, so ergeben sich folgende Bewertungen. Möglichkeit 1 erfüllt das Kriterium eindeutig, indem vor Korrektur des Fehlers jede weitere Handlung unterbunden wird. Diese Implementierung ist somit mit 5 Punkten zu bewerten. Ebenso ist für die Varianten 2 und 3 eine 5-Punkte-Bewertung gerechtfertigt. Gesetzt den Fall, dass es bei Variante 4 keine weitere Kennzeichnung des falschen Eingabefelds gibt, erscheint eine Bewertung mit mehr als 3 Punkten nicht geeignet. Zwar wird auf einen Fehler hingewiesen, aber das geschieht ohne Hervorhebung oder textlich, als eine andere Form der Spezifizierung der Eingabemaske. So ist es weder möglich, den fehlerhaften Input schnell zu entdecken, noch wird der Anwender dabei unterstützt, die Fehleingabe zu vermeiden.

Betrachtet man die beschriebenen Dialoge unter dem Gesichtspunkt einer weiteren Aussage des Sub-Kriteriums *Usability* ► *Fehlertoleranz*, so ergeben sich differenziertere Bewertungen.

Aussage: *Die Prüfung der Gültigkeit und Korrektheit von Daten findet statt, bevor das interaktive System die Eingabe verarbeitet.*

Variante 3 erreicht die höchste Bewertung durch den Umstand, dass ein derartiger Fehler gar nicht auftreten kann bzw. der Nutzer schon durch die fehlende Auswahlmöglichkeit eines Enddatums vor dem Starttermin auf eine unmögliche Eingabe hingewiesen wird. 5 Punkte sind auch der Variante 2 zuzusprechen, da der Arbeitsfluss durch das visuelle Zeichen nicht unterbrochen wird. Die Dateneingabe kann fortgesetzt werden und der konkrete Hinweis bleibt so lange vorhanden, bis der Fehler behoben wird. Obwohl der Arbeitsfluss durch das „Pop-up“ bei Variante 1 unterbrochen wird, wird das untersuchte Kriterium erfüllt. Die Unterbrechung darf trotz „schlechterer“ Umsetzung der Prüfungsroutine keinen Abzug verursachen, da die Gültigkeitsprüfung vor dem Abschluss des Dialogs stattfindet. Die letzte Variante kann nur einen Punkt erhalten, da die Validierung der Eingabe erst mit Beendigung des Dialogs geschieht.

Die Bewertung anhand der *Likert-Skala* stellt sich hierbei als äußerst dienlich heraus, da sie genügend Flexibilität zur Beurteilung zulässt. Sie ermöglicht unterschiedliche Lösungsansätze miteinander zu vergleichen. Die Einschränkung der fehlenden „mathematischen Interpretationsmöglichkeit“ der diskreten Werte (vgl. [16]) ist in der ggstl. Aufgabenstellung nicht direkt relevant, da eine qualitative Einschätzung mit der Bewertung dennoch möglich ist. Abschnitt 7.1.2 beschreibt, wie die Bewertungsergebnisse in der Methode des AHP berücksichtigt werden.

Beispiel Die Bewertung der Alternativen aus Tab. 6.1 hinsichtlich des Kriteriums *Usability* ► *Steuerbarkeit* betragen nach der LS {20; 18; 17; 16} Punkte. Für jede Alternative wird festgelegt ob die Aussage (F.1–F.4) zutrifft und in welchem Ausmaß. Lediglich die Alternativen Alt. C und Alt. D müssen negative Bewertungen verbuchen (siehe Tab. 6.2, Frage F.2) und Alt. B ist mit einer neutralen Einschätzung der Aussage bewertet.

Die erzielten Punkte des Sub-Kriteriums *Usability* ► *Steuerbarkeit* werden anschließend den Ergebnissen aller Alternativen gegenübergestellt, um die Auswertung vorzunehmen. Die Vergleiche der erreichten Punktesummen aus Tab. 6.2 sind in der Bewertungsmatrix (6.1) für den oberen Dreiecksbereich exemplarisch ausgefüllt.

⁶ In allen untersuchten Anwendungen sind viele unterschiedliche Dialoge vorhanden. Ein einzelner „guter“ Dialog alleine ist daher nicht aussagekräftig genug, um für die gesamte Anwendung eine Aussage zu treffen. In der getroffenen Bewertung ist der Gesamteindruck über alle aufgerufenen Dialoge berücksichtigt.

Tab. 6.2: Bewertung der vier Alternativen hinsichtlich des Sub-Kriteriums *Steuerbarkeit* nach *Likert-Skala*

Kriterium: <i>Usability</i> ► <i>Steuerbarkeit</i>		Alt. A	Alt. B	Alt. C	Alt. D
F.1	Die Interaktionsgeschwindigkeit wird durch den Benutzer gesteuert und ist nicht durch das System vorgegeben.	5	5	5	4
F.2	Der Benutzer hat die Steuerung darüber, wie der Dialog fortgesetzt wird.	5	5	5	5
F.3	Dialogschritte können zurückgenommen werden.	5	3	2	2
F.4	Bei Zweckmäßigkeit können voreingestellte Werte abgeändert werden.	5	5	5	5
Σ		20	18	17	16

6.2.3 Auswertung

Je Sub-Kategorie werden alle erreichten Bewertungen nach *Likert-Skala* einer Software addiert und den kumulierten Punkten der anderen Alternativen gegenübergestellt. Schließlich erfolgt die Prioritätenfindung über eine Bewertungsmatrix gem. AHP.

Beispiel Bei der Bewertung eines Kriteriums kann die Bewertungsmatrix mithilfe der paarweisen Vergleiche erstellt werden. Die Punktebewertungen aus Tab. 6.1 lassen sich (unter Berücksichtigung des Reziprozitäts-Axiom) in folgender Bewertungsmatrix zusammenfassen:

$$A_{\text{Steuerbarkeit}} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{20}{18} & \frac{20}{17} & \frac{20}{16} \\ & 1 & \frac{18}{17} & \frac{18}{16} \\ \vdots & \ddots & 1 & \frac{17}{16} \\ \dots & & & 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Die Einträge der Matrix in Gleichung (6.1) können anschließend auf einer anderen Skala abgebildet werden. In der ggstl. Arbeit wird für die Auswertung der Alternativen auf die *Potenz-Skala* zurückgegriffen, wie in Abschnitt 7.1.2 erläutert wird.

Kapitel 7

Ergebniszusammenstellung und Handlungsempfehlung

Dieses Kapitel widmet sich der Ergebnisauswertung. Die Auswertungen der Alternativen sind mithilfe eines Ring-Diagramms aufbereitet. Zunächst wird die Darstellungsart erläutert und dann die Ergebnisse je Kategorie analysiert. Zu beachten ist, dass die Auswertung lediglich eine Bestandsaufnahme der aktuellen Entwicklungssituation darstellt. Sie dient lediglich dem Zweck, eine Handlungsempfehlung für das Unternehmen zu erarbeiten, um kurzfristig eine der untersuchten Anwendungen in den Arbeitsprozess einzubinden.

7.1 Einführung in die Ergebnisinterpretation

Die Ergebnisse der Auswertungen sind in Prozent angegeben. Dabei handelt es sich ausschließlich um relative Bewertungen. Von den errechneten Werten kann keine direkte Aussage über die absolute Qualität einer Anwendung abgeleitet werden. Die abgebildeten Ringdiagramme beschreiben einzig die lokalen relativen Präferenzen einer Software im Vergleich zu den anderen untersuchten Anwendungen. Dies erfolgt immer bezogen auf ein bestimmtes (Sub-)Kriterium. Gemäß der hierarchischen Anordnung werden die Ergebnisse schließlich zu einem Gesamtergebnis aggregiert.

Das Resultat beschreibt, wie gut eine Anwendung auf ein eigens erstelltes Anforderungsprofil im Vergleich zu anderen Alternativen abschneidet. Aspekte, die in diesen Anforderungen nicht beachtet, aber durch eine Software sehr gut abgebildet werden, können in dieser Auswertung dennoch nicht berücksichtigt werden. Funktionen, wie *Vor-Ort-Zeiterfassung*, *Materialbestellungen*, *Einbau-Monitoring*, *Ausschreibung* etc., sind nicht Teil des Anforderungsprofils und fließen daher in die Untersuchung nicht ein.

7.1.1 Ergebnisdarstellung und Diagramminterpretation

In Abb. 7.1 ist ein Beispiel dargestellt, um die Interpretation des Diagramms zu erläutern. Die Überschrift beschreibt das untersuchte Merkmal. Je nach betrachteter Hierarchieebene kann es sich bspw. um ein Kriterium, Subkriterium oder eine andere hierarchische Ebene handeln. In den nachstehenden Auswertungen werden ausschließlich die Endknoten der Hierarchie untersucht. Hier werden immer die Alternativen bezüglich eines Subkriteriums gegenübergestellt. Die Anordnung der Diagramme entspricht dem lokalen Gewicht des untersuchten Subkriteriums.

Die Alternativen *Alt. A*, *Alt. B*, *Alt. C* und *Alt. D* sind fix positioniert und alphabetisch im Uhrzeigersinn aufgetragen. Der zur Alternative korrespondierende Ring beschreibt den jeweils erreichten Bewertungsanteil hinsichtlich des (Sub-)Kriteriums. Die berechnete Priorität ist als Zahlenwert über das Ringsegment gelegt. Die beiden Werte im Kreisinneren beschreiben die Gewichtung des aktuellen (Sub-)Kriteriums in der übergeordneten Elementgruppe. Der Wert ohne Klammer beschreibt die *lokale*

Priorität in der Elementgruppe und die *globale Priorität* im aggregierten Gesamtsystem ist als Klammerausdruck dargestellt. Dementsprechend ergibt die Summe der *lokalen Gewichte* immer 100 %, wenn mehrere Diagramme von (Sub-)Kriterien einer Elementgruppe abgebildet sind.

Alle Zahlenwerte im Diagramm sind in Prozent angegeben. Die verwendete Bewertungsskala wird in der Abbildung jeweils in der rechten unteren Ecke dargelegt. Da in diesem Kapitel die Alternativen miteinander verglichen werden, wird in der Bewertungsmatrix eine Abbildung auf die *Potenz-Skala* durchgeführt, wie in Abschnitt 7.1.2 näher erläutert wird.

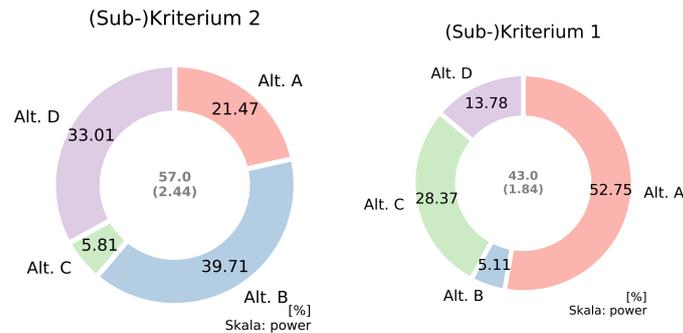


Abb. 7.1: Beispielhafte Auswertungsgrafik zweier (Sub-)Kriterien der gleichen Elementgruppe

Interpretation eines Beispiels Die Diagramme in Abb. 7.1 beschreiben die Prioritätenvektoren der Alternativen in Bezug auf ein Sub-Kriterium. Die Reihung der Abbildungen erfolgt nach der *lokalen Priorität* in der eigenen Elementgruppe. Aus den ausgewerteten Bewertungsmatrizen ergeben sich folgende Prioritäten der Alternativen:

- Subkriterium 2 (mit 57 % lokalem Gewicht):
 1. Alternative B mit 39,71 %
 2. Alternative D mit 33,10 %
 3. Alternative A mit 21,47 %
 4. Alternative C mit 5,81 %
- Subkriterium 1 (mit 43 % lokalem Gewicht):
 1. Alternative A mit 52,75 %
 2. Alternative C mit 28,37 %
 3. Alternative D mit 13,78 %
 4. Alternative B mit 5,11 %

Zusammen ergeben die beiden Auswertungen 100 % der Priorität der übergeordneten Elementgruppe. Dabei trägt *Subkriterium 2* insgesamt 57 % bei und der Beitrag von *Subkriterium 1* beläuft sich auf 43 %. Der Einfluss auf das Hauptziel ist gem. Aggregation mit 2,44 % resp. 1,84 % gewichtet. Die Anmerkung am unteren Rand besagt, dass der Auswertung die *Potenz-Skala* (*power*) zugrunde gelegt wird.

7.1.2 Bewertungsskala und Abbildungsfunktion

Die Auswertung der Alternativen wird auf Basis der *Potenz-Skala* durchgeführt (siehe Abschnitt 2.2.4.4). Dies ist darauf zurückzuführen, dass es durch die Axiome des AHP nicht möglich ist, eine Merkmalsausprägung mit 0 zu bewerten, denn dies würde dem 2. Axiom widersprechen.

Erreicht eine Alternative nur eine Punkte-Bewertung von 0 in einem Subkriterium, so müssen die Vergleiche mit den anderen Anwendungen limitiert werden. Die mit 0 bewertete Alternative erhält in der Bewertungsmatrix eine Eintragung von $1/9$ für alle Vergleiche mit einer „besseren“ Alternative. Dadurch erreicht die mit 0 bewertete Anwendung einen Wert von $0,1\bar{1}$ in der Bewertungsmatrix und jede Alternative mit einer Punktezahl > 0 ist im Vergleich „nur“ 9-fach besser. In weiterer Folge ergibt dieser Umstand, dass im Zuge der Berechnung des Prioritätenvektors auch ein Teil auf die Alternative fällt, die mit 0 bewertet ist.

Dies entspricht nicht den Vorstellungen des Entscheidungsträgers, da eine Alternative, die keine Punkte erreicht, auch möglichst keine Priorität in der Auswertung erhält. Um im Rahmen des AHP diesen „Fehler“ in der Auswertung zu minimieren, wird auf die *Potenz-Skala* gesetzt.

Da bei der Untersuchung eine qualitative Aussage im Vordergrund steht, kann die durch die Abbildungsfunktion hervorgerufene Verzerrung in der Auswertung vernachlässigt werden. Der Fokus wird darauf gelegt, eine schlechte Alternative durch die Methodik deutlich besser darzustellen. Die *Potenz-Skala* erhöht bei gleicher Punktezahl den Gradienten der errechneten Prioritäten.

Beispiel Die Punkte-Bewertung vierer Alternativen ergibt folgendes Ergebnis:

- Alternative A: 8 Punkte
- Alternative B: 7 Punkte
- Alternative C: 0 Punkte
- Alternative D: 10 Punkte

Die PV für beide Skalen sind in Abb. 7.2 dargestellt. Die Auswertung der paarweisen Vergleiche auf Basis der Saaty Skala ergibt einen PV (in %) von $\{24,50; 43,31; 3,51; 28,68\}$. Hier ergeben sich rd. 3,5 % für eine Alternative, die nur 0 Punkte erreicht. Durch die Verwendung der *Potenz-Skala* kann dieser Prozentsatz um fast eine Zehnerpotenz reduziert werden und entspricht somit mit nur rd. 0,38 % eher den Erwartungen der Entscheidungsträger (vgl. Axiom 4 in Abschnitt 2.2.2.2).

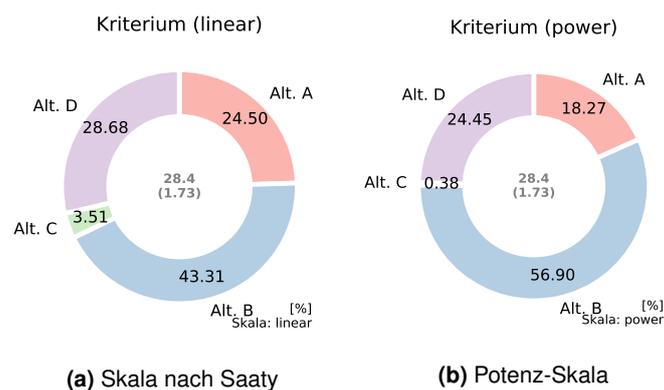


Abb. 7.2: Beispielhafte Auswertung gleicher Punktebewertungen mit unterschiedlichen Skalen. Das Diagramm (a) beschreibt die Auswertung der Bewertungsmatrix über die lineare Skala nach Saaty. Die Abbildung (b) stellt die Auswertung des PV auf Basis der *Potenz-Skala* (Abbildungsfunktion $s \mapsto s^2$) dar

7.2 Ergebnisauswertung der Alternativen

In den folgenden Abschnitten sind die Anwendungen hinsichtlich der Kriterien bewertet. An geeigneter Stelle sind ausgewählte Screenshots der Anwendungen beigefügt. Diese gezeigten Momentaufnahmen

erscheinen repräsentativ für den Gesamteindruck der Anwendung und sollen die Bewertung untermauern. Der zusammengestellte Bewertungsbogen inkl. vergebener Punkte ist im Anhang dargestellt.

7.2.1 Auswertung: Usability

123 Die Anwendung *123* ist in der Hauptkategorie *Usability* hervorragend aufgestellt. Speziell in Bezug auf die *Aufgabenangemessenheit*, *Selbstbeschreibungsfähigkeit*, *Erwartungskonformität* und *Steuerbarkeit* kann sie alle Punkte erreichen und übertrifft in jedem genannten Subkriterium ihre Konkurrenten.

Bei keiner anderen Anwendung war der Einstieg in das Programm so einfach wie bei *123*. Die Navigation funktioniert intuitiv und wird über die Menüauswahl auf der linken Seite bedient. Die verwendeten Begriffe sind eindeutig und lassen auf die, zunächst ausgeblendeten, Unterpunkte schließen. Das Erscheinungsbild wirkt über die gesamte Anwendung hinweg sehr einheitlich und lässt den Nutzer schnell mit dem Programm vertraut werden.

Die Darstellung von Information kann vom Anwender selbst gesteuert werden, indem nur relevante Felder eingeblendet und je nach gewünschter Datenspalte sortiert sowie gefiltert werden (vgl. Abb. 7.3). In ähnlicher Art werden die Datensätze in den anderen Bereichen der Software ebenfalls dargestellt.

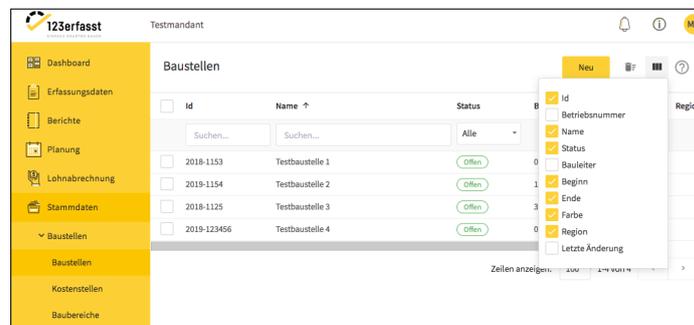


Abb. 7.3: Die Darstellung der erfassten Daten kann vom Benutzer frei gesteuert werden. Die Abbildung zeigt den Bereich „Baustellen“, bei dem nach Name, ID, Status etc. sortiert und gefiltert werden kann. Nicht relevante Informationen können ausgeblendet werden

Eine weitere Stärke der Software besteht darin, dass lediglich die Information dargestellt wird, die für die aktuelle Bearbeitung notwendig ist. Bei der Personenverwaltung sind bspw. für die Erfassung einer neuen Person nur der Vor- und der Nachname notwendig (vgl. Abb. 7.4). Optional können ein Bild und ein externer Link ebenfalls vergeben werden, aber im Grunde ist damit der Prozess abgeschlossen.

Je nachdem, wozu die Person erfasst wird, können anschließend weitere relevante Informationen angegeben werden. Um eine Zutrittsfreigabe zum System zu bekommen, muss der Teil für „Benutzer“ ausgefüllt werden, indem weitere – nur für das Rollen- und Berechtigungskonzept relevante – Informationen wie Login, Rolle, Passwort etc. erfasst werden. Soll die angelegte Person im Personal-Pool aufscheinen, so sind lediglich die geforderten Informationen im Bereich „Mitarbeiter“ auszufüllen. Personenbezogene Daten wie Telefonnummer, Emailadresse, Geburtsdatum etc. werden in der Sektion „ Kontaktdetails“ befüllt.

Diese Art der Informationserfassung verschafft der Anwendung auch im Bereich *Steuerbarkeit* alle Punkte. Der Erfassungsprozess der Person wird vom Anwender gesteuert und nicht vom System vorgegeben. In der Projektabwicklung bedeutet dies, dass Personal sehr früh in der Anwendung erfasst werden kann, auch wenn spezifische Daten wie bspw. die Sozialversicherungsnummer noch nicht verfügbar sind. Die Dialogsteuerung ist für annähernd alle Dialoge in der Software *123* implementiert.

Die Überprüfung der Eingaben erfolgt allerdings immer erst mit dem Abschluss des Dialogs. Eine Validierung der Daten während des Eingabeprozesses, sodass beispielsweise geprüft wird, ob die eingetragene Emailadresse ein „@“ in der Zeichenkette aufweist, findet nicht statt. Erst wenn der Versuch

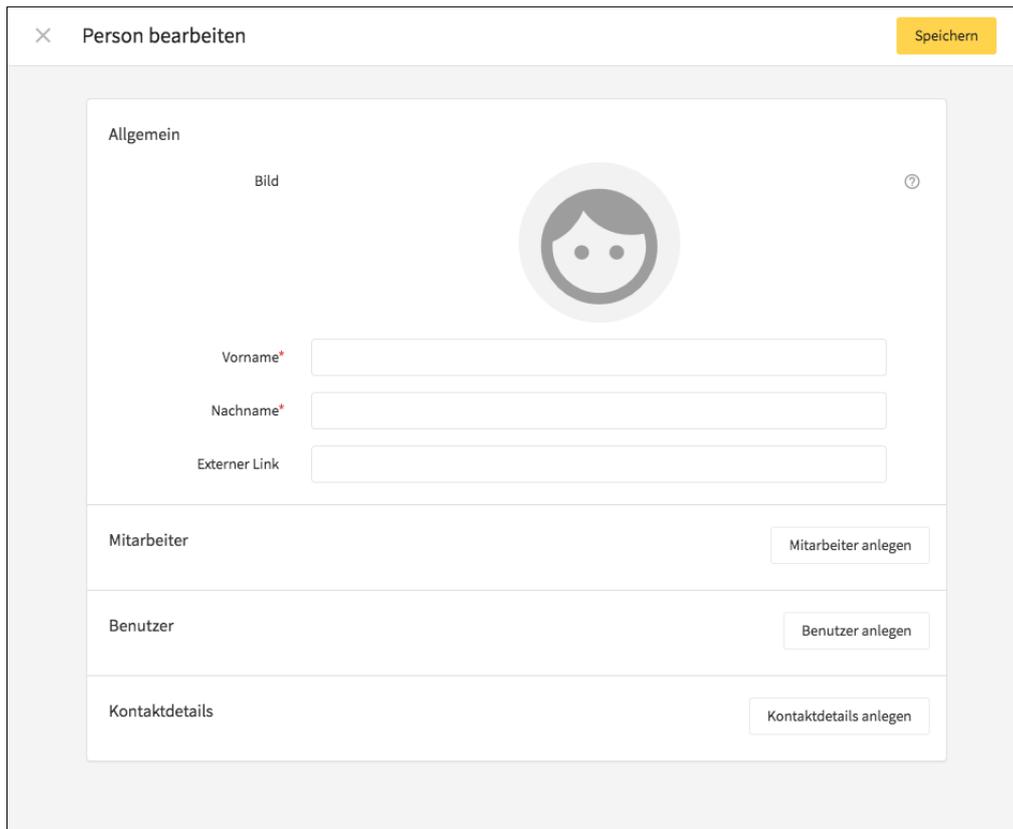


Abb. 7.4: Nur zwei Informationen sind notwendig, um eine Person in der Anwendung 123 zu erfassen. Dafür wird lediglich der Vor- und Nachname benötigt

unternommen wird, den Datensatz zu speichern, wird auf den Fehler hingewiesen. Felder, die vom System als fehlend oder falsch interpretiert werden, werden visuell hervorgehoben und dies erleichtert dem Benutzer, die korrekte Information einzutragen.

BSU Die Tests mit *BSU* sind aufgrund überladener Benutzeroberfläche und nur schwer nachvollziehbaren Funktionalitäten am schlechtesten ausgefallen. In den Subkategorien *Aufgabenangemessenheit*, *Selbstbeschreibungsfähigkeit* und *Lernförderlichkeit* erreicht die Anwendung nur den letzten Platz. Das wird am Beispiel der Baustellenverwaltung klar, wie in Abb. 7.5 ersichtlich ist. Bei der Erfassung einer neuen Baustelle wird zu viel Information dargestellt. In der Navigationsleiste am linken Bildrand können Menüpunkte aufgerufen werden, die von „*Stammdaten*“, „*KoSt-Grp.*, *Kr.*, *Hierarchie*“, über „*Briefverkehr*“ bis hin zu „*Ext. Dokumente*“ reicht. Informationen über Vertragsstrafen sind beim erstmaligen Anlegen einer Baustelle nicht unmittelbar relevant.

In gleicher Weise erfolgt die Informationsflut bei anderen Modulen der Software. Um neue Nutzer anzulegen und ihnen Zugriff auf das System zu genehmigen, muss der Dialog aus Abb. 7.6 aufgerufen werden. Neben Einstellungsmöglichkeiten zu „*Bediener*“, *Dongle*“, oder „*E-Mail*, *Signatur*“ findet sich der relevante Dialog an letzter Stelle, um neue Berechtigungen zu vergeben.

Je nach Modul wechselt das Programm die Farbe, was für den Anwender nach einer gewissen Eingewöhnungsphase möglicherweise bei der Arbeit als visuelle Stütze hilft. Für den Erstkontakt mit der Software wirkt das Programm dadurch sehr unruhig und überanstrengt den Anwender. Zusätzlich sind vielen Bedienfeldern und Steuerungselementen Nummern vorangestellt oder die zugehörigen Tastenkombinationen mitabgebildet. Die Intention dahinter ist vermutlich, die Navigation zu erleichtern. Stattdessen erreicht die zusätzliche Information den Eindruck einer gedrängten und unübersichtlichen Benutzeroberfläche zu verstärken.

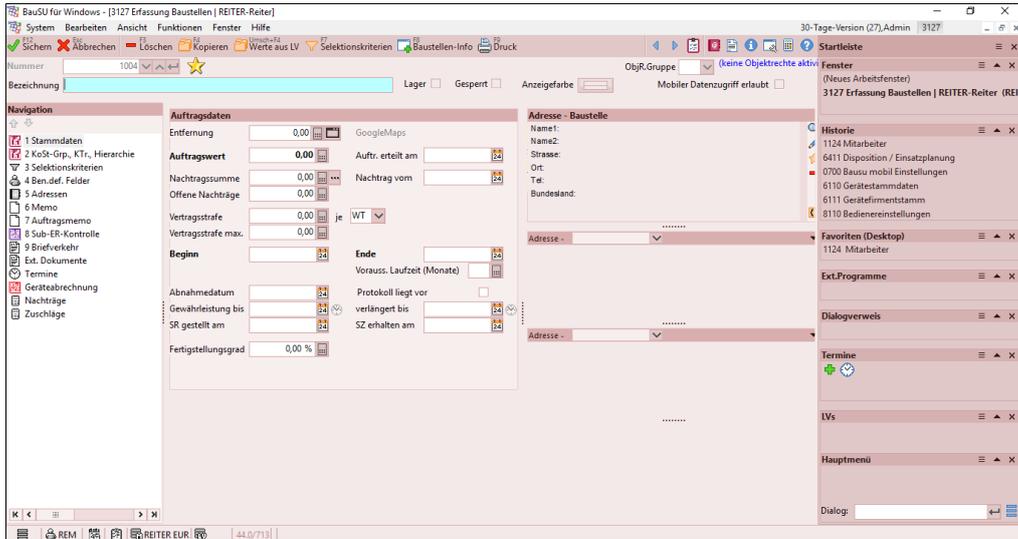


Abb. 7.5: Darstellung der administrativen Baustellenverwaltung in der Anwendung *BSU*. Der Bildschirm ist mit Informationen überladen und es ist nicht ersichtlich, welche Daten für die Bearbeitung notwendig sind und welche erst zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt werden können

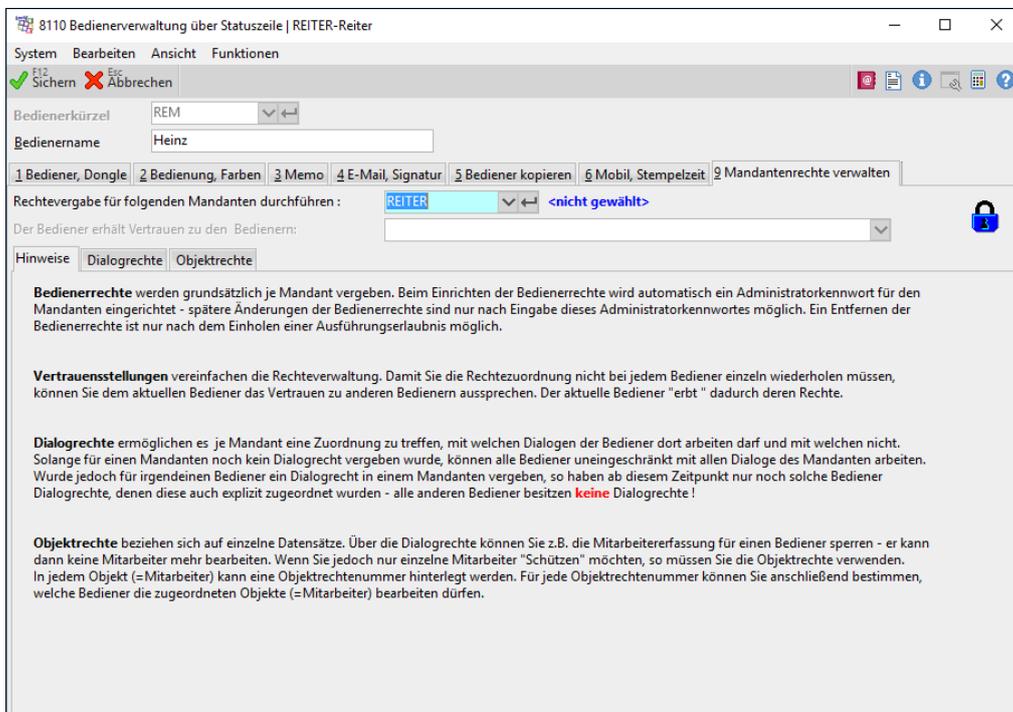


Abb. 7.6: Der Dialog zur Berechtigungsvergabe in der Anwendung *BSU*. Die eigentlich relevante Einstellung befindet sich im letzten Registerblatt. Dort wird zunächst eine Beschreibung eingeblendet, bevor die eigentlichen Konfigurationen vorgenommen werden können

Die *Erwartungskonformität* ist i. d. R. gegeben, denn auf die meisten Handlungen folgt zumeist eine Rückmeldung, die den Nutzer über die erfolgreiche Durchführung oder eine Fehl Eingabe informiert. Das Vokabular entspricht dem Fachjargon und ist für Anwender aus der Baubranche vertraut. Die Dialoge sind zumeist gleich aufgebaut und können mit der **[ESC]**-Taste abgebrochen oder mit **[F12]** gespeichert werden (vgl. Abb. 7.5 und Abb. 7.6).

Der Startbildschirm kann von den Benutzern selbstständig angepasst werden, wie in Abb. 7.7 ersichtlich ist. Dabei können jene Module, die für die eigenen Aufgabenbereiche am häufigsten genutzt werden, direkt prominent platziert werden. Für die Module ist ein eigenes Raster vorgesehen, dass viel Platz für die „Modul-Kacheln“ bietet.

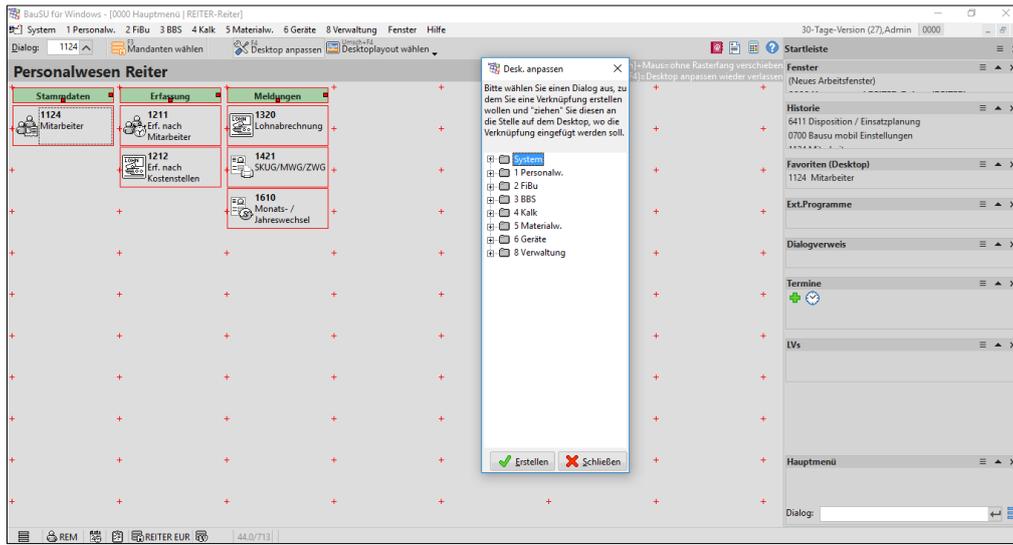


Abb. 7.7: Die Startseite kann von den Benutzern angepasst werden, um jene Module anzuzeigen, die für den eigenen Arbeitsprozess bzw. Aufgabenbild am relevantesten sind

BPO In Sachen *Aufgabenangemessenheit* kann *BPO* mittelmäßig abschneiden und erreicht 18 der möglichen 25 Punkte. Bei einigen Anwendungsschritten gib es voreingestellte Werte, wie bspw. beim Export des Einsatzmittelplans, bei dem das heutige Datum automatisch als Standardwert eingetragen ist. Die Art und Weise, wie die Daten dargestellt werden, entsprechen auch den aufgabenspezifischen Erwartungen. Zumeist werden nur relevante Informationen angezeigt, da häufig Abläufe bzw. Aufgaben in kleinen Gruppen zusammengefasst werden, die man über das Menü separat ansteuern muss. Das ermöglicht, den sichtbaren Teil des Dialogs auf die notwendigen Informationen zu reduzieren. Diese Systematik zieht sich durch die gesamte Anwendung, wie im Menü „*Stammdaten*“ ersichtlich ist (vgl. Abb. 7.8).

Für eigens erstellte Zusatzfelder, die man den Stammdaten hinzufügen kann, sind ausschließlich Textfelder verfügbar, die nicht für alle Datentypen (z. B. Datum, Zahlen) geeignet erscheint. Das Zwischenspeichern von Daten muss manuell erfolgen und dabei wird ein „Pop-up“ des Browsers dargestellt. Auf dem „Pop-up“ wird der Text „*Speichern erfolgreich.*“ angezeigt und man kann es nur mit einer Schaltfläche **[OK]** schließen. Während dieser Dialog geöffnet ist, können keine weiteren Interaktion auf dem Webportal durchgeführt werden, bis der Dialog geschlossen wird.

Die Navigation in der Einsatzmittelplanung ist zumeist nicht intuitiv. Abb. 7.9 zeigt das Benutzerinterface der Ressourcenplanung. Neue Einsätze werden über den Button „*Neuer Einsatz*“ erstellt. Erstellte Eingaben werden dann über den schwarzen Button darüber gespeichert. Um in die Einstellungen der Baustelle zu gelangen, muss der kleine „*Play-Button*“ in der Zeile der Kalenderansicht gedrückt werden. Das bedeutet, dass die geordnete Funktionalität für die EMP zwar vorhanden, aber nicht ergonomisch im-

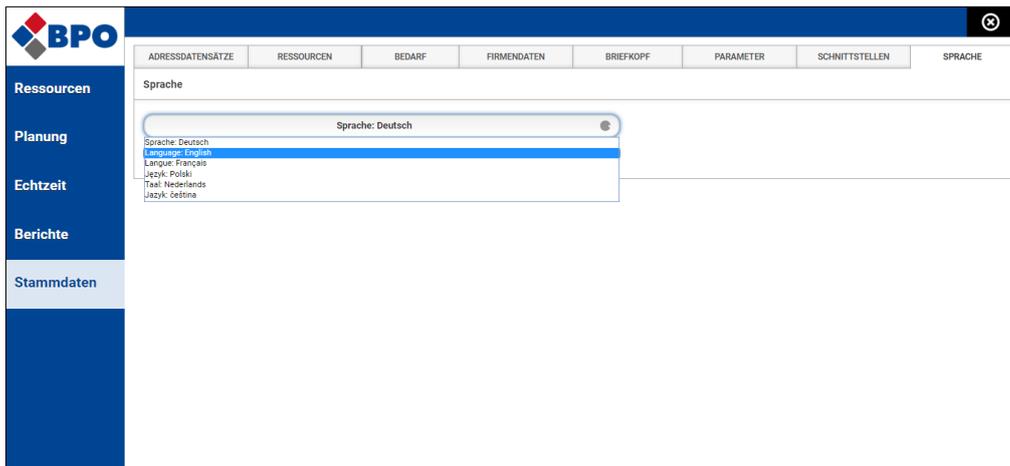


Abb. 7.8: Darstellung der vorhandenen Auswahlmöglichkeiten für die Sprachdarstellung im Menüpunkt „Stammdaten“. Am oberen Rand ist die horizontale Navigationsleiste dargestellt, über die man spezifische Dialoge der „Stammdaten“ aufrufen kann

plementiert ist. Die relevanten Schaltflächen sind in unterschiedlicher Form, Größe und Farbe vorhanden. Zusätzlich verteilen sich die Schaltflächen über das gesamte Interface.

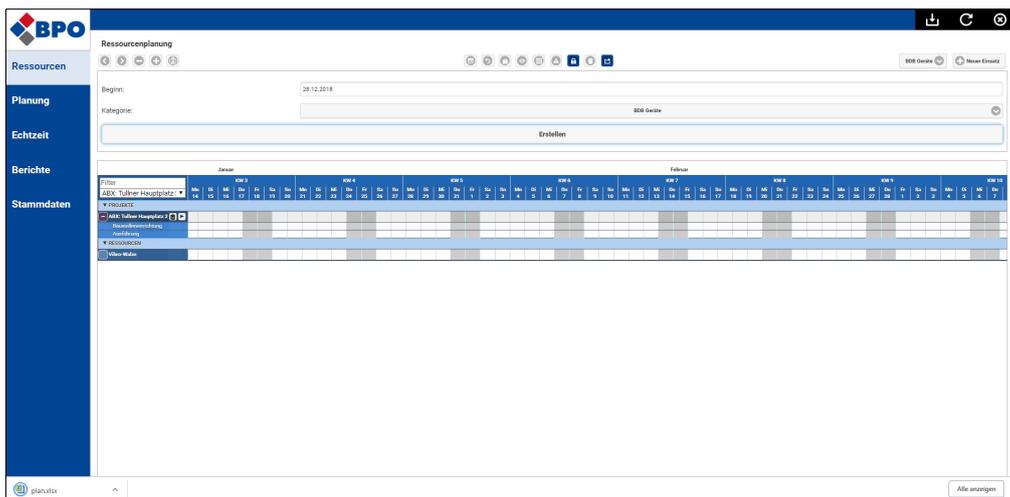


Abb. 7.9: Userinterface bei der Ressourcenplanung. Die Buttons zur Interaktion sind über die gesamte Breite verteilt und weisen teils gravierende Unterschiede im Aussehen auf. Ganz rechts oben mit schwarzem Hintergrund befinden sich die Buttons für „Speichern“, „Neu Laden“ und „Abbrechen“. Darunter der Button zum Anlegen neuer Datensätze in grau. Mittig, die Schaltflächen zur Bearbeitung der Datensätze in quadratischer Form und deutlich kleiner. In Summe ergibt sich ein uneinheitliches Bild

PRW Die Anwendung *PRW* erreicht in den meisten Subkategorien den zweiten Platz. Die Navigation in der Anwendung ist benutzerfreundlich aufgebaut und ermöglicht ein schnelles Wechseln von der Projektübersicht zum „Portfolio“ – einer Multi-Projektübersicht. Im Portfolio erfolgt die Verwaltung von Personal und Geräten, die den Projekten zugeteilt werden können. Der Navigationsbalken am oberen Rand hilft bei der Orientierung, indem das aktuell aufgerufene Modul visuell hervorgehoben wird. Aktionen des jeweilig angewählten Moduls befinden sich erwartungsmäßig an der rechten Seite angeordnet.

In der Regel ist die Dialogführung gut durchdacht und zeigt zumeist nur notwendige Informationen an. Zusätzliche Einstellungen sind in weiterführenden Dialogen bearbeitbar. Beim Aufruf solcher Dialoge

werden diese über dem aktuellen Fenster dargestellt. Dies hat den Vorteil, dass zusammengehörige Daten gruppiert sind, aber das Stapeln der Pop-ups verdeckt die zuvor eingegebene Information, wie in Abb. 7.25 zu erkennen ist.

Die *Individualisierbarkeit* ist mittelmäßig umgesetzt. Der Anwender kann bei den meisten Dateneingaben nicht zwischen verschiedenen Methoden wählen. Im Bereich der Ressourcenplanung sind mehrere Ansichten und Bearbeitungsmodi verfügbar. Prinzipiell ist der Aufbau der Dialogführung einheitlich und vorhersehbar.

Auf Fehleingaben wird erst hingewiesen, wenn der Abschluss des Dialogs initiiert wird. Eine Validierung des Dateninputs während des Eingabeprozesses findet nicht statt. In Abb. 7.10 ist eine Fehlermeldung zu sehen, die bei einer unvollständigen Eingabe dargestellt wird. In der Anwendung wird darauf hingewiesen, dass die E-Mailadresse fehlt, aber das konkrete Feld in der die ausständige Information eingetragen gehört, wird nicht hervorgehoben.

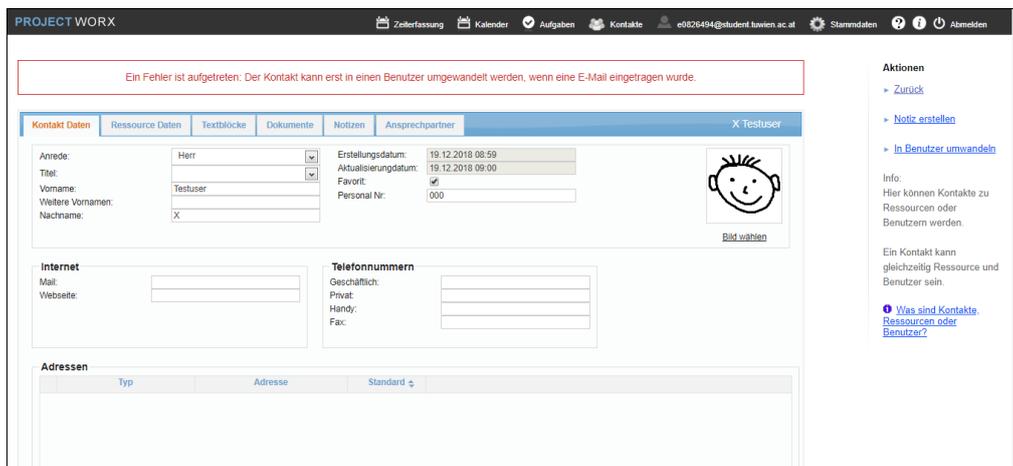


Abb. 7.10: Darstellung einer Fehlermeldung in der Anwendung *PRW*. Der Benutzer wird über eine Fehleingabe informiert, aber die genaue Angabe, welches Eingabefeld den Fehler verursacht hat, wird visuell nicht hervorgehoben

Ergebnis

Die *Usability* fließt mit knapp 26 % in die Gesamtbewertung ein und stellt damit die größte Relevanz für das Hauptziel dar. Jene Alternativen, die in diesem Bereich die größten Prioritäten erzielen können, haben im Gesamtergebnis einen deutlichen Vorsprung. Abb. 7.11 fasst die Einzelergebnisse der Subkriterien zusammen.

In allen untersuchten Aspekten der *Usability* kann die Software *123* mehr als ein Viertel der Gewichtung erzielen. In den ersten beiden Sub-Kategorien *Aufgabenangemessenheit* und *Selbstbeschreibungsfähigkeit*, die in Summe fast 60 % des lokalen Gewichts ausmachen, kann *123* jeweils mehr als ein Drittel für sich verbuchen. Auch bei den nächsten beiden Subkriterien (insg. rd. 20 % lokales Gewicht) hält *123* jeweils mehr als ein Drittel. Die Anwendung *BSU* erreicht bei 5 von 7 untersuchten Merkmalen die geringste Priorität. Software *BPO* und *PRW* liegen jeweils im Mittelfeld, wobei *PRW* – bis auf die Kategorie *Steuerbarkeit* – besser als *BPO* abschneidet. Die Zusammenstellung der lokalen Präferenzen ist dem Balkendiagramm in Abb. 7.12 zu entnehmen.

7.2.2 Auswertung: Einsatzmittelplanung

In der EMP werden die Aspekte des *Änderungsmanagements*, der *Baustellenverwaltung*, der *Personal- und Geräteinsatzplanung* sowie *Bedarfsplanung* untersucht. Sie stellen aus administrativer Sicht den wichtigsten Teil des Anforderungsprofils dar. Der Einfluss auf das Hauptziel ist mit rd. 15 % an zweithöchster Stelle.

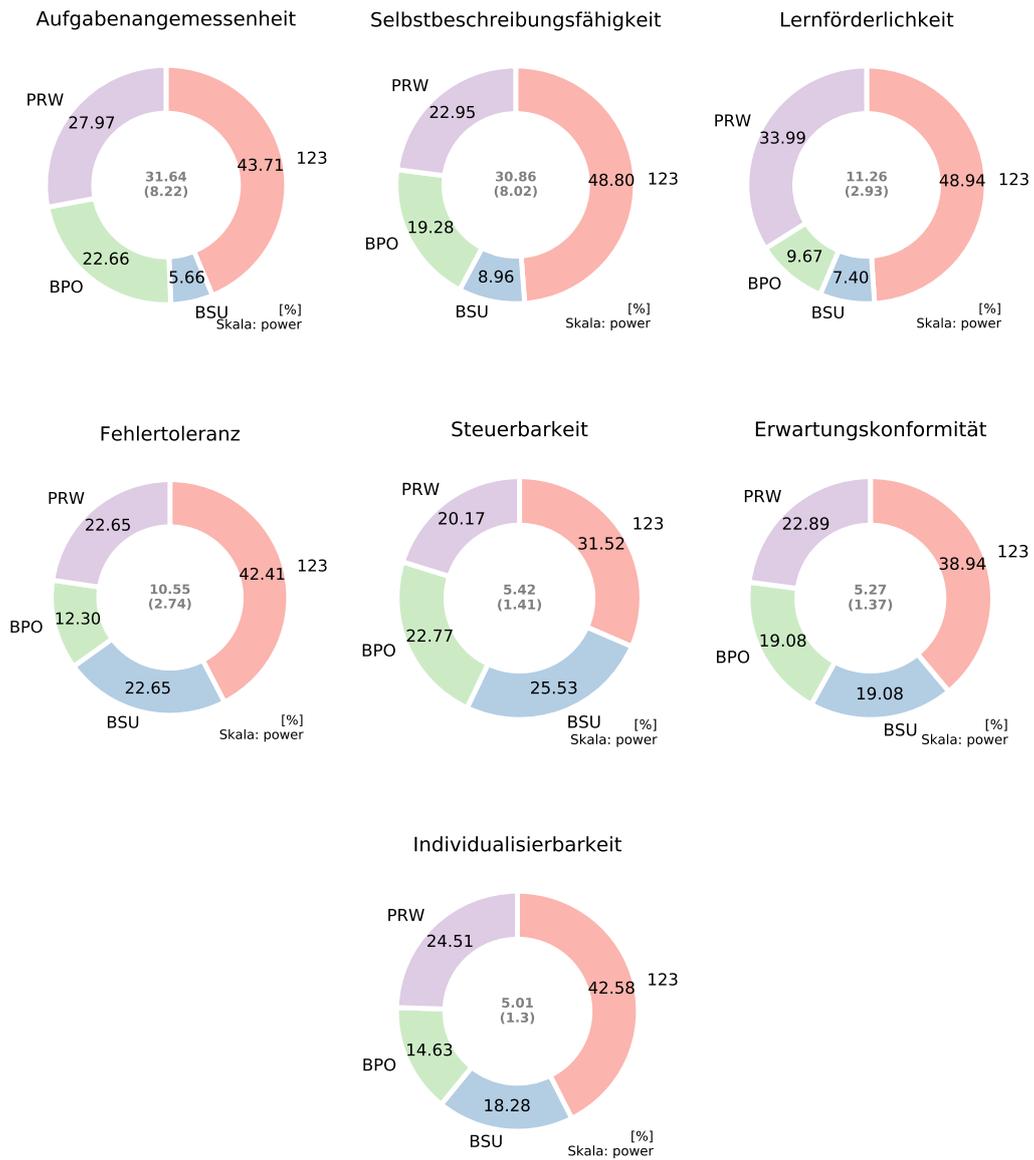


Abb. 7.11: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Usability*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit knapp 26 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht.

Auswertung nach Hauptkriterium:
Usability

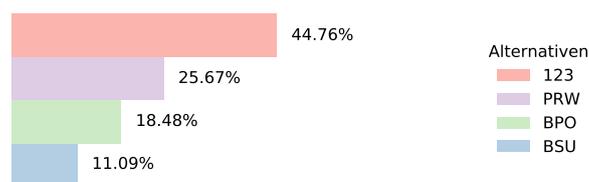


Abb. 7.12: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Usability*

123 Die Anwendung *123* verfügt über eine ausgereifte Einsatzmittelplanung und kann in zwei von fünf Subkriterien alle Punkte erreichen. Eines der Subkriterien ist das *Änderungsmanagement*, das mit einem lokalen Gewicht von knapp 35 % in die Bewertung einfließt. Bei diesem erreicht *123* insg. 35 Punkte, was einen Vorsprung von über 10 Punkten gegenüber den anderen Anwendungen bedeutet.

In den Stammdaten werden Personen und Geräte in zwei unterschiedlichen Modulen erfasst und administriert. Im Stammdaten-Modul „*Baustellen*“ können neben den konkreten Baustellen auch zusätzliche Gliederungsstrukturen erfasst werden, wie bspw. Baubereiche, Bauteile, Baustellentypen, Tätigkeitsbereiche und viele mehr (vgl. Abb. 7.13). Die Listen können sehr einfach abgeändert, ergänzt und für Bearbeitungen sortiert und gefiltert werden.

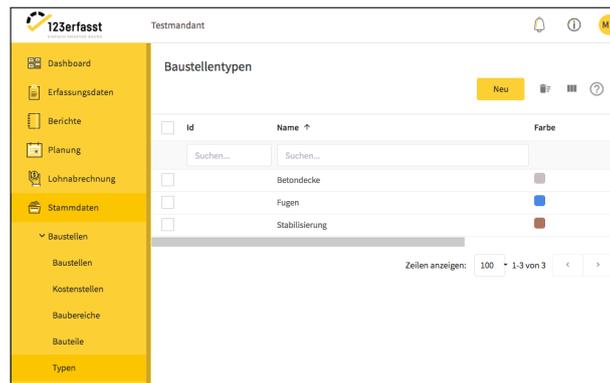


Abb. 7.13: *123* bietet die Möglichkeit, eigene Baustellentypen zu erstellen und ihnen eine eigene Farbcodierung zuzuweisen. Die Such-, Filter- und Sortierfunktion steht in allen Bereichen in der gleichen Art zur Verfügung

Die Planung von Einsätzen erfolgt im Modul „*Planung*“ über eine Kalenderansicht, die unterschiedliche Anzeigen darstellen kann. Gegliedert nach Baustellen werden die Baustellen als Balken im Kalender angezeigt und analog dazu kann man je nach Auswahl Mitarbeiter, Teams oder Geräte als Zeilen angezeigt bekommen. Die Bearbeitung der Einträge erfolgt dynamisch und Balken können ohne großen Aufwand mittels Drag’n’Drop im Kalender verschoben werden. Im Seitenstreifen neben der Kalenderansicht werden die jeweils anderen Auswahlmöglichkeiten zusätzlich angezeigt. So kann man bspw. in der Hauptansicht eine Baustelle anwählen und aus dem seitlichen Menü ein Team auswählen und in den Kalender ziehen, sodass das Team der Baustelle zugeordnet wird. Wird eine Ressource aus dem seitlichen Menü in den Kalender und auf einen anderen Balken gezogen, so wird die Ressource an die gesamte Baustelle geheftet. In Abb. 7.14 ist bspw. das Team „*Betondecken*“ mit dem Gerät „*Betondeckenfertiger*“ verknüpft worden.

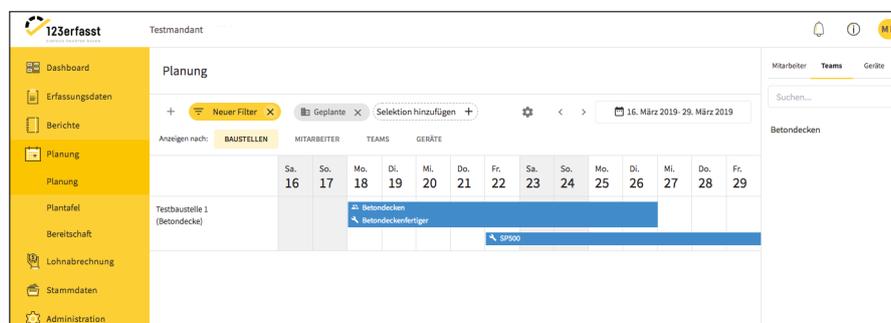


Abb. 7.14: Die implementierte Filterfunktion ist ein sehr potentes Tool, das bei der Einsatzmittelplanung sehr hilfreich ist. Die gefilterte Baustelle und darauf gebuchte Einsatzmittel werden in der Kalenderansicht angezeigt. Am rechten Seitenrand können weitere Ressourcen (z. B. Mitarbeiter, Team oder Geräte) ganz einfach mittels Drag’n’Drop zugeteilt werden

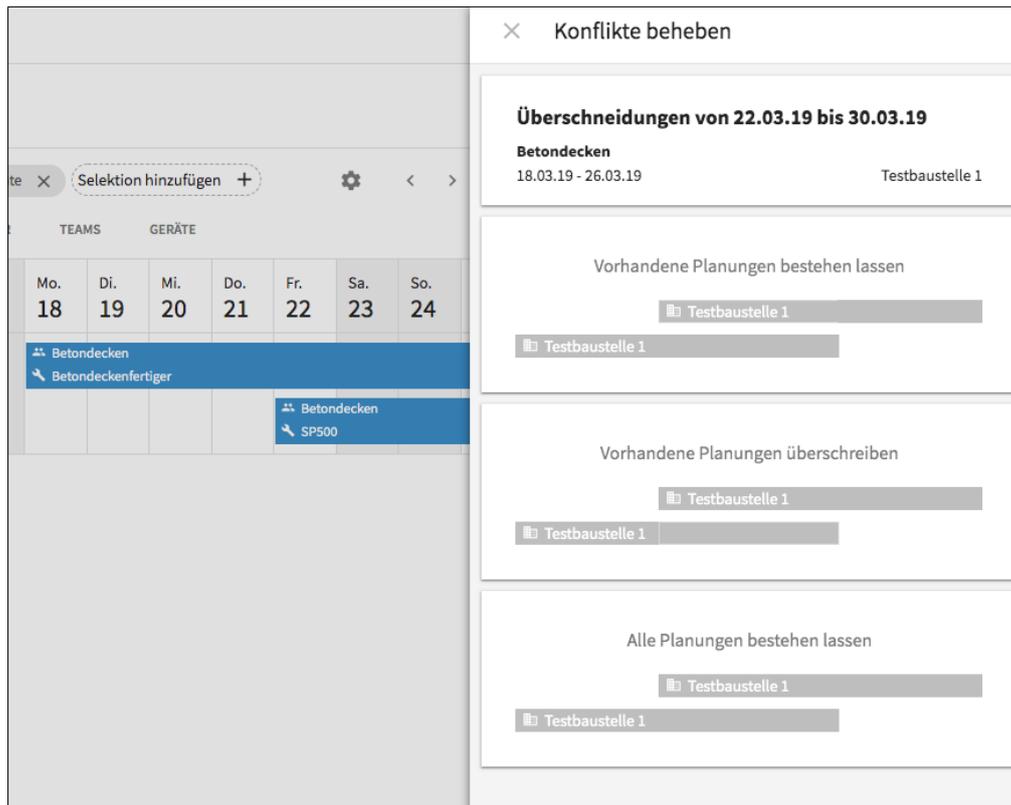


Abb. 7.15: Fügt man dem in Abb. 7.14 dargestellten Geräteeinsatz „SP500“ das Team „Betondecken“ an, so entsteht ein Konflikt, der sofort dargestellt wird und dem Nutzer mögliche Lösungsvorschläge unterbreitet

Fügt man das gleiche Team noch auf das Gerät „SP500“ hinzu, so entsteht ein Konflikt, da sich die Teams zeitlich überschneiden (vgl. Abb. 7.15). Im Falle von Personalausfällen kann eine kurzfristige Disposition ohne große Schwierigkeit durchgeführt werden. Für den gewählten Tag werden mögliche Ersatzarbeiter direkt in der Seitenleiste angezeigt, wie in Abb. 7.16 ersichtlich ist. Dies reduziert den Verwaltungsaufwand maßgeblich und lässt eine Optimierung der Einsatzmittelplanung zu.

Die Möglichkeit der Dokumentenablage ist aktuell nicht vorhanden. Auftragsschreiben, Werkvertrag oder ähnlich relevante Dokumente müssen separat in einem anderen System administriert werden. Abgesehen davon ist die *Einsatzmittelplanung* für den Anwender leicht zu verstehen und einfach zu verwenden.

Zusätzlich bietet die Anwendung 123 die Funktionalität, Feiertage und Betriebsurlaube im Voraus einzustellen. Tageweise können die SOLL-Stunden für Tage festgelegt, für ein ganzes Jahr erfasst und als Vorlage gespeichert werden. In Abb. 7.17 sind drei Tagesprofile für 07:00 Uhr bis 17:00 (rot), 16:00 (grau) und 15:00 Uhr (violett) festgelegt. Diese Profile können im Voraus für das aktuelle Jahr und als Vorlage für kommende Jahre gespeichert werden. In der Personalverwaltung kann einzelnen Personen auch ein spezifisch definiertes Zeitprofil zugeteilt werden.

BSU Die Einsatzmittelplanung kann aufgrund der fehlenden Stammdaten (siehe Abschnitt 7.2.3 und Abschnitt 7.2.4) nicht beurteilt werden.

BPO Die Projekterfassung erfolgt über das Modul „Planung“ und fällt rudimentär aus. Für neue Projekte gibt es nur sehr eng vordefinierte Informationen, die hinterlegt werden können (vgl. Abb. 7.18 und Abb. 7.19). Es kann ein Projektname vergeben, ein Bauleiter und Einbaumeister zugewiesen sowie

The screenshot shows a resource planning interface. At the top, there are navigation icons (bell, info, MR) and a 'DRUCKEN' (Print) button. Below is a calendar grid for the week of January 9th to 18th. The days are labeled with their abbreviations (MI, DO, FR, SA, SO, MO, DI) and numbers. The 18th is highlighted in green. Below the calendar, there are several rows of resource assignments, with names like 'Beto', 'David', and 'Gior' and status 'konf fertig'. On the right side, there is a search bar 'Mitarbeiter durchsuchen' and a list of resources under the heading 'Unverplante am 18.01 x'. The list includes names and roles such as 'Duško, Seweryn (Maler)', 'Leon, Danjo (Betonbauer)', etc.

Abb. 7.16: Bei kurzfristig notwendiger Personaldisposition muss in der Ressourcenplanung lediglich der Tag angewählt werden und mögliche freie Ressourcen werden in der rechten Seitenspalte für einen Einsatz vorgeschlagen

The screenshot shows a software interface for personnel planning. At the top, there are navigation icons (bell, info, MR) and buttons for 'Neu', 'Löschen', 'Kopieren', 'Zuweisungen', and 'Bearbeiten'. Below is a monthly grid for the year 2019, with columns for months and days. The grid shows planned hours (SOLL) for each day, with values like 9.00, 8.00, 7.00, etc. Below the grid, there is a table with columns: Nummer, Früherster Beginn, von, bis, von, bis, von, bis, von, bis, von, bis, spätestes Ende, Std. The table contains three rows of data representing different shifts or tasks.

Abb. 7.17: Die Jahresvorlage der SOLL-Stunden für Personal

die relevante Mischanlage festgelegt werden. Einzig der Name ist in diesem Dialogfeld frei wählbar, die anderen Informationen müssen vorher bereits in den Stammdaten verfügbar gemacht sein.

Im Gegensatz zu *123* oder *PRW* werden Baustellen direkt im EMP eines zuvor definierten Projekts erstellt und nicht über ein separates Modul. Baustelleneinträge erfolgen über ein angewähltes Zeitfenster im Kalender und neben der Kostenstellen und Baustellennummer gibt es keine zusätzliche Information, die hinterlegt werden kann (vgl. Abb. 7.20). Der Status des Projekts (z. B. „in Akquise“) kann nicht dargestellt werden.

Abb. 7.18: Darstellung des Interfaces zur Projekterstellung

Abb. 7.19: In der Ressourcenplanung muss ein neuer Einsatz über den Button rechts oben angelegt werden und dann über den kleine Button, der aussieht wie eine „Checkbox“, links bestätigen. Die Skalierung der Tage und der Felder des Kalenders stimmen nicht überein

Die Handhabung der Ressourcenplanung im BZPL ist nicht ausgereift und daher sehr fehleranfällig. Eingetragene Baustellen werden teilweise nicht gespeichert und sind beim erneuten Laden der Seite verschwunden. Dies passiert trotz manuellem Speichervorgang, dessen Rückmeldung via Dialogbox „Speichern erfolgreich.“ irreführend erscheint. Jedes Projekt kann in Teilprozesse untergliedert werden, auf dessen Basis die konkrete (Bedarfs-)Planung des Projekts unternommen wird. Der Umfang der Planung ist auf den Straßenbau angepasst und so steht es dem Anwender frei „Anlagen“, „Material“, „Bedarf“, „Entladeort“ etc. festzulegen bzw. zu bearbeiten (vgl. Abb. 7.20).

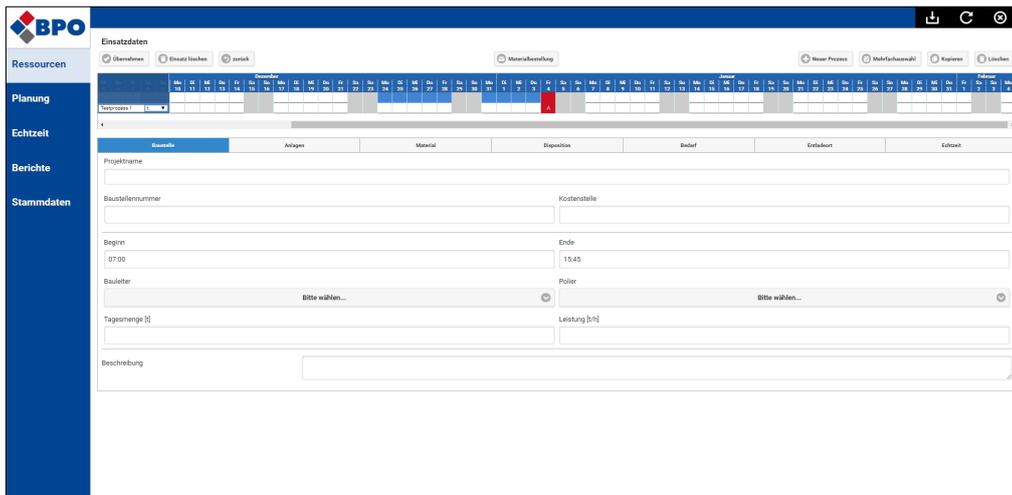


Abb. 7.20: In BPO können Einsätze in Teilprozesse zerlegt werden. Die Angaben zur Baustelle umfassen nur wenige Daten. Die Darstellung dieser Daten ist über den gesamten Bildschirm gestreckt

Die *Personaleinsatzplanung* gestaltet sich etwas schwierig, da die Skalierung des Ressourcenplans nicht korrekt dargestellt wird. Die Darstellung der Tage am oberen Rand der Kalenderansicht erscheint zu den Zellen des Kalenders versetzt, wie in Abb. 7.21 ersichtlich ist. Durch diese Skalierungsproblematik ist eine exakte Tagesauswahl nur schwer möglich und beeinträchtigt damit stark die EMP. Auf Konflikte bei Urlaubsanträgen wird auf einer separaten Seite hingewiesen (vgl. Abb. 7.22). Projektverschiebungen sind durch die Implementierung nicht realisierbar, sondern müssen neu erstellt werden. Freie Ressourcen sind leicht zu identifizieren, da jede Instanz aus Personal und Gerät eine eigene Zeile im BZPL für Buchungen zur Verfügung hat. Feiertage sind im System nicht hinterlegt und müssen daher selbstständig vom Anwender in der Planung berücksichtigt werden.

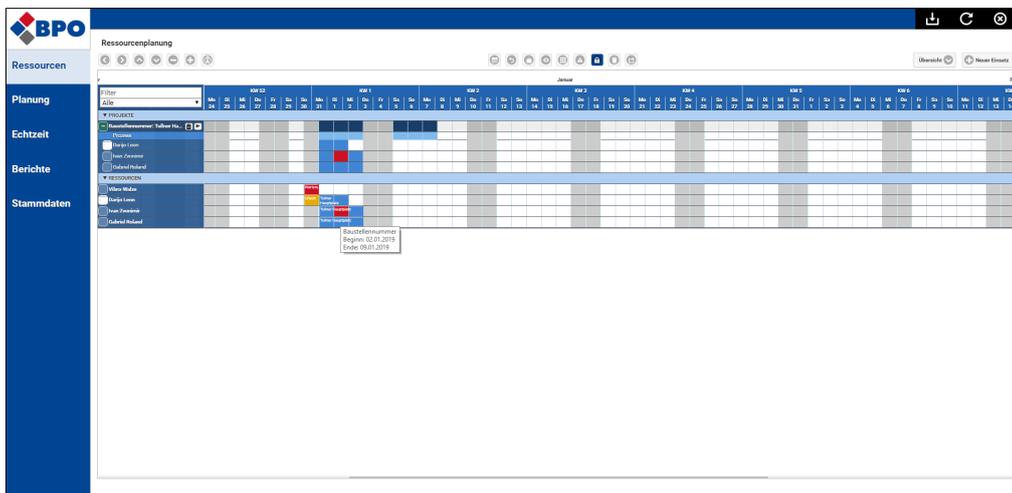


Abb. 7.21: In der Ressourcenplanung werden Projekte und Ressourcen übereinander dargestellt. Auch hier ist die Skalierung der Überschriften (Tag und Datum) nicht mit der Skalierung der Kalenderzellen stimmig

PRW Neue Projekte sind einfach anzulegen und können mit umfangreichen Basisdaten bestückt werden. Dokumente können über eine eigens erstellte Ordnerstruktur den Projekten angehängt werden. Wichtige Daten, wie bspw. Werkvertrag, Auftragschreiben oder Ausschreibungsunterlagen, können so inkl. Beschlagnahme und Ablagestruktur administriert werden.



Abb. 7.22: Konflikte werden nur beim Aufruf der Kollisionsprüfung dargestellt. Das System stellt automatisch Vorschläge zur Problembeseitigung zur Verfügung

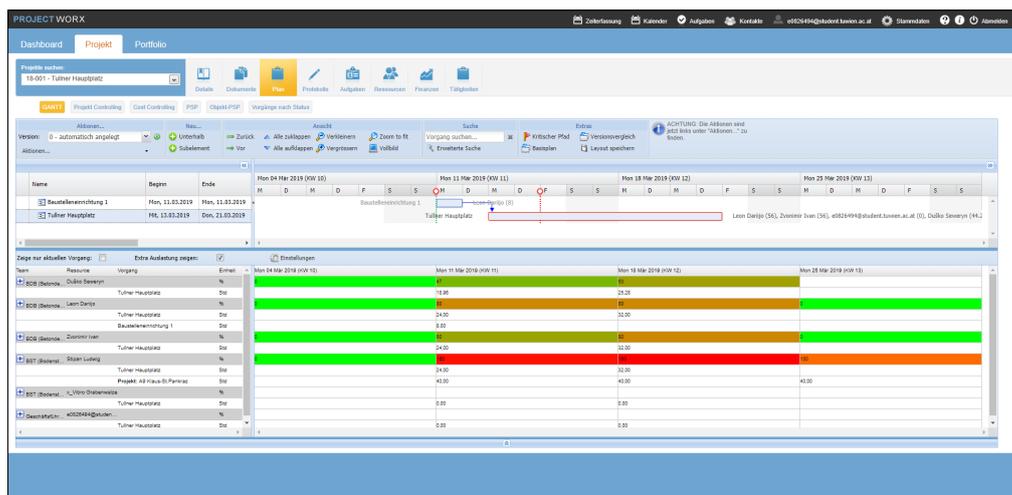


Abb. 7.23: Die GANTT-Darstellung eines Projekts mit zwei Vorgängen. Darunter ist die Ressourcenansicht eingebündelt, die mittels Farbindikation die Verfügbarkeit von Personal und Geräten beschreibt

Die Zuteilung der Personalressourcen erfolgt über das Modul „Planung“. Es kann zwischen unterschiedlichen Ansichten gewählt werden (vgl. Abb. 7.23) und beinhaltet eine Übersicht der verfügbaren Ressourcen. Zusätzlich können alle verfügbaren Personen über Filtermöglichkeiten von einem bestimmten Team und mit spezifischen Qualifikationen gefunden werden. Gleichzeitig erhält man Informationen zur Auslastung der gefundenen Person. Diese Funktionalität kann folgendermaßen erläutert werden: Zunächst wird die Suchanfrage auf ein Team eingeschränkt (Abb. 7.25) und dann der Führerschein der Klasse B als Anforderungsdetail festgelegt (Abb. 7.24). Diese Funktionalität ist sehr gut umgesetzt und ermöglicht in der Personaleinsatzplanung kurzfristige Dispositionen durchzuführen. Die Planung erfolgt auf Basis von GANTT-Diagrammen, deren Balken Ressourcen zugeteilt werden. Dabei können Einsatzmittel immer nur auf einen gesamten Balken gebucht werden. Sollte ein Prozess in den letzten beiden Tagen eine weitere Ressource benötigen, so muss der originale Balken entsprechend in Teilvorgänge unterteilt werden, um das zusätzliche Einsatzmittel auf den zweiten Vorgang zu buchen. Warnungen über Konflikte erfolgen nur, wenn die Doppelbuchung im selben Projekt passiert und der Dialog der Ressourcenplanung gestartet wird (vgl. Abb. 7.26).

In Sachen *Änderungsmanagement* stellt sich die Anwendung als nicht sehr stabil heraus. Veränderungen im Balkendiagramm werden mittels Drag'n'Drop angenommen, aber die hinterlegten Abhängigkeiten gehen zum Teil verloren. Entstandene Konflikte werden dabei ebenfalls nicht konsequent registriert bzw. dem Anwender mitgeteilt.

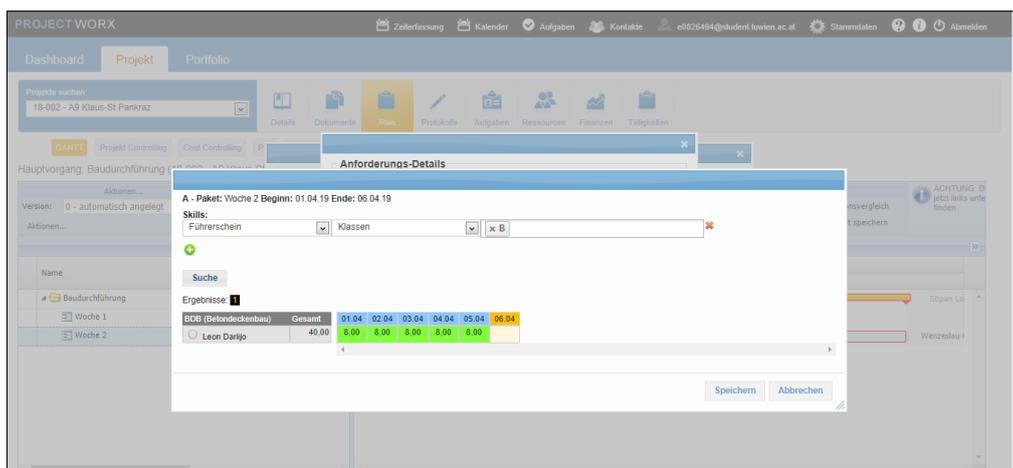


Abb. 7.24: Darstellung der Personaleinsatzplanung in der Anwendung *PRW* mit der Fähigkeit, nach spezifischen Qualifikationen zu suchen. Für einen geplanten Einsatz wird verfügbares Personal gesucht, das eine Lenkerberechtigung für Klasse-B-Fahrzeuge besitzt. Die Auslastung der verfügbaren Personen ist direkt im Ergebnis der Suchanfrage abgebildet

Ergebnis

Die *Einsatzmittelplanung* beeinflusst das Gesamtergebnis mit rd. 15% und stellt damit das zweitwichtigste Kriterium dar. Die Bewertungsergebnisse der Alternativen sind in Abb. 7.27 abgebildet. Die Anwendung *BSU* kann bei keinem der untersuchten Merkmale in diesem Bereich mehr als ein halbes Prozent erreichen. Das liegt daran, dass ohne aufwändige Einrichtung des Programms mit allen Abhängigkeiten keine Einsatzmittelplanung möglich ist.

In allen Bereichen schafft es die Anwendung *123*, einen überwiegenden Anteil zu verbuchen. Im *Änderungsmanagement*, das mit Abstand das wichtigste Subkriterium der *Einsatzmittelplanung* darstellt, erzielt das Programm mit seiner Art der Implementierung über die Hälfte des Prioritätenvektors. Dieses Subkriterium geht mit 5,1% direkt in die Gesamtauswertung des Hauptziels ein.

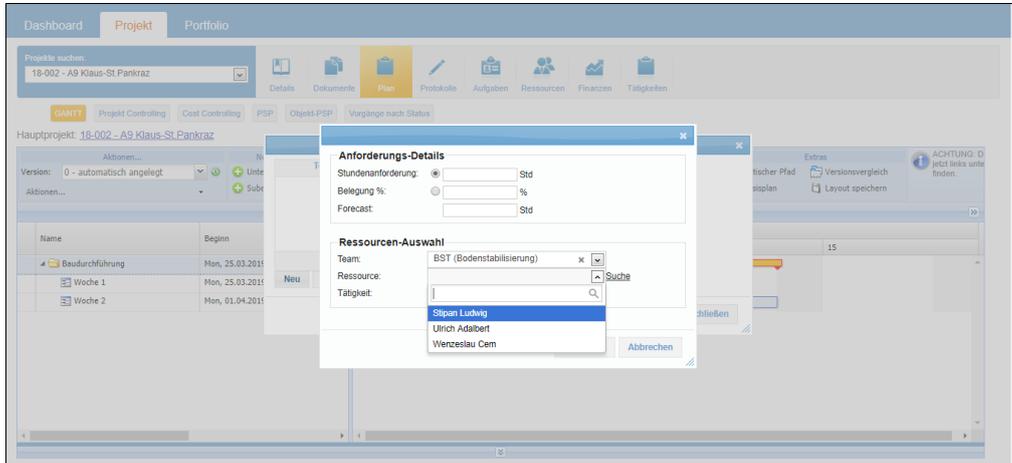


Abb. 7.25: PRW bietet erweiterte Such- und Filteroptionen bei der Ressourcenplanung. Diese spezifischeren Dialoge werden über „Pop-ups“ eingeblendet und überdecken zuvor eingetragene Daten

Vorgang Projekt:

Aktionen: Aktualisieren, Export

Filtern: Von: 18.03.2019, Bis: 14.04.2019, Team: Alle Teams anzeigen, Percentage: alle möglichen, Skala: Wöchentlich, Liste: Vorgang, Zeige projektübergreifende Gesamtauslastung.

Name	Kapazität	Zugeteilt	Frei	W12-2019	W13-2019	W14-2019	W15-2019
--- Alle Ressourcen ---	480	200	280	67 %	67 %	100 %	67 %
BST (Bodenstabilisierung)	480	200	280	67 %	67 %	100 %	67 %
Stipan Ludwig	160	120	40	67 %	100 %	200 %	67 %
Ulrich Adalbert	160	40	120	67 %	100 %	0 %	67 %
Wenzeslau Cem	160	40	120	67 %	67 %	100 %	67 %

Ressourcen-Zuteilungen Gruppe: Keine, Filtern: [] Ok

Team	Ressource	Projekt	Vorgang	%	Anf.	Ges.	W12-2019	W13-2019	W14-2019	W15-2019
BST (Bodenstabilisierung)	Stipan Ludwig	A9 Klaus-St.Pankraz	Baudurchführung	---	0	80		40	40	
BST (Bodenstabilisierung)	Stipan Ludwig	A9 Klaus-St.Pankraz	Woche 2	---	0	40			40	

Abb. 7.26: Überbuchungen des Personals werden in der Ressourcenübersicht mittels Farbindikation hervorgehoben

Der Alternativenvergleich der verbleibenden Subkategorien fällt zugunsten 123 aus. *BPO* und *PRW* teilen sich den verbleibenden Anteil jeweils untereinander auf. Dabei gelingt es *BPO* nur bei *Einsatzplanung* ► *Geräteeinsatzplanung* einen größeren Anteil als *PRW* zu erreichen.



Abb. 7.27: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Einsatzmittelplanung*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit knapp 15 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht.

Auswertung nach Hauptkriterium:
Einsatzmittelplanung

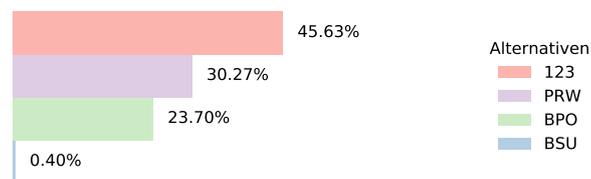


Abb. 7.28: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Einsatzmittelplanung*

Die Zusammenstellung der lokalen Präferenzen ergibt das in Abb. 7.28 dargestellte Balkendiagramm. Mit knapp 46 % kann 123 mit rd. 15 %-Punkten Vorsprung auf *PRW* die höchste Relevanz in der Einsatzmittelplanung für sich entscheiden. Die Auswertung von *BSU* ergibt durch die Berechnungsmethode einen vernachlässigbaren Prozentsatz von 0,40 %.

7.2.3 Auswertung: Geräteverwaltung

Die *Geräteverwaltung* ist im Unternehmen bislang nur über eine zuständige Person und die beiden Listen [D. 25] und [D. 40] erfolgt. Ein Ziel der Umstellung auf ein neues System ist die Zusammenführung und die zentrale Administration der Baustellengeräte. Bietet eine Anwendung die Fähigkeit, den gesamten Umfang abzubilden, so können die Listen aufgelöst werden.

123 Bezüglich der *Geräteerfassung* bietet die Anwendung *123* die Möglichkeit, den Geräten einen externen Link via Textfeld bzw. Hyperlink-Feld zu hinterlegen. Darüber ist bspw. eine rudimentäre Verbindung zum unternehmensinternen SPS umsetzbar, um etwa gerätespezifische Dokumente abzulegen oder auf eine Reparaturliste zu verweisen. Über diesem „Work-Around“ können einige Schwachpunkte ausgeglichen werden. Die *Verfügbarkeitsplanung* ist über die Funktion „Plantafel“ zum Teil einfach zustande zu bringen. Termine für Wartungen und Reparaturen können avisiert und verfolgt werden, wenn man sich damit behilft, ein eigenes Projekt für Wartung und Reparatur anzulegen. Über alle Subkriterien können *123* nur 14 von insg. 20 Punkten zugesprochen werden. In Summe ist die *Geräteadministration* mittels *123* ohne große Probleme durchführbar.

BSU Mit der Anwendung *BSU* ist es nicht einfach, neue Geräte anzulegen, da der Umfang der zu verwaltenden Informationen sehr groß ist. Für Geräte besteht die Möglichkeit, Daten zu den folgenden Bereichen zu hinterlegen: „Allgemeines“, „Kostenarten“, „Verrechnungssätze“, „Fristen“ oder „Zusatzgeräte“. Ebenso bietet die Dokumentenablage für gerätespezifische Dokumente (zu) viele Einstelloptionen (vgl. Abb. 7.29). Zusätzlich können die Geräteinstanzen zu „Gerätegruppen“ hinzugefügt und zus. „Gliederungsebenen“ eingezogen werden. Als komplettes ERP-System bedarf es dieser Informationen für die weitere Verwaltung von bspw. Abrechnung oder Rechnungslegung. Für die untersuchten Use-Cases sind die meisten dieser Funktionen nicht relevant.

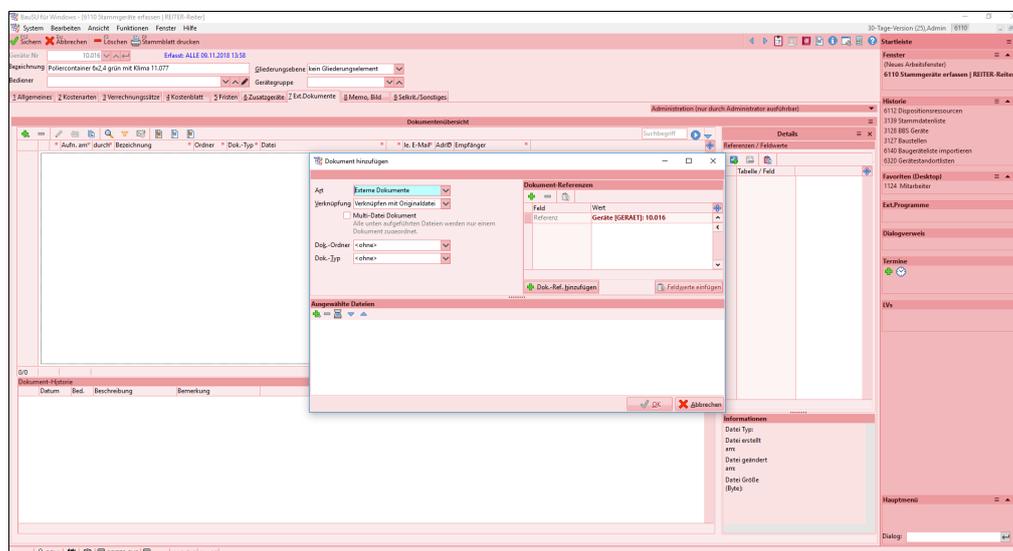


Abb. 7.29: Interface zur Dokumentenablage für gerätespezifische Unterlagen. Es können Dokumentenordner und -typen angelegt werden, um alle relevanten Informationen abzulegen

BPO Für die Geräteverwaltung bietet *BPO* die Funktionalität, für verschiedene Ressourcen unterschiedliche Kategorien anzulegen. Jede Kategorie kann mit eigens erstellten Zusatzfeldern bestückt werden. So kann eine Kategorie für Geräte erstellt werden, die alle notwendigen Informationen von bspw. Reparaturen, Aufrüstungen, Wartungen etc. abbilden kann. Diese Funktionalität ist in analoger

Weise für die Personalverwaltung umgesetzt (vgl. Abschnitt 7.2.4). Dabei sind die zus. Felder auf simple Textfelder beschränkt. Das Textfeld der Inventarnummer ist als fixer Bestandteil umgesetzt. Prinzipiell ist die Abänderung sämtlicher Werte ohne großen Aufwand möglich und schnell umzusetzen.

Die Zuteilung zu den „*Ressourcen-Kategorien*“ erfolgt beim Anlegen der entsprechenden Ressource. In Abhängigkeit der gewählten Kategorie sind die zugehörigen Zusatzfelder eingeblendet und können befüllt werden. Abgesehen von einem Bild, können an die Ressourcen keine weiteren Dokumente angehängt werden.

Diese Funktion besitzt in der aktuellen Implementierung zwei nachteilige Effekte. Möchte man für die unternehmensinternen Gruppen die Geräte separat erfassen, so müssen zwei Gruppen angelegt und administriert werden. Felder, die für beiden Gruppen maßgeblich sind (z. B. SAP-Nummer), müssen bei beiden Gruppen manuell erstellt werden. Eine Gruppenshierarchie mit übergeordneten Gruppen, deren Felder an die Untergruppen ihre Felder vererben, wäre für das untersuchte Unternehmen von großem Vorteil. Der zweite Nachteil entsteht bei der Löschung von Zusatzfeldern einer „*Ressourcen-Kategorie*“. Dabei wird allen Instanzen dieser Kategorie das Feld inkl. aller Inhalte entfernt.

PRW Für die Geräteerfassung gibt es bei *PRW* kein eigenes Modul. Geräte sind analog zu Personen zu erfassen und befinden sich auch im selben Datenpool. Die Handhabung erfolgt als „Person“ mit einem zus. Attribut, das den Datensatz als Gerät deklariert. Diese Zusammenlegung ist für eine optimale Geräteadministration (GAD) nicht geeignet. Eine Inventarnummer für Geräte kann nicht separat vergeben werden. Sie wird im System der Personal-ID gleichgesetzt und in gleicher Weise administriert. Diese Zusammenlegung von Gerät und Personal erlaubt es auch nicht, Wartungsdaten oder Reparaturdaten für Geräte zu hinterlegen. Dadurch kann die Anwendung im gesamten Kriterium *Geräteverwaltung*, mit einem Punkt Vorsprung, die vorletzter Stelle erreichen. Von insg. 50 möglichen Punkten kann *PRW* nur knapp die Hälfte verbuchen (24 Punkte).

Ergebnis

Im Subkriterium *Geräteverwaltung* ► *Verfügbarkeitsplanung*, das lokal eine Gewichtung von 60 % hat, können *123* und *BPO* gemeinsam rd. $\frac{3}{4}$ der Gewichtung einnehmen (vgl. Abb. 7.30). Hinsichtlich der *Geräteverwaltung* ► *Geräteerfassung* können gleich drei der untersuchten Programme jeweils knapp 30 % verbuchen. Der Umstand, dass *PRW* Geräte strukturtechnisch als Person erfasst und nur als „Gerät“ deklariert, widerspricht den Erwartungen. In gleicher Weise erreicht *PRW* eine schlechte Bewertung.

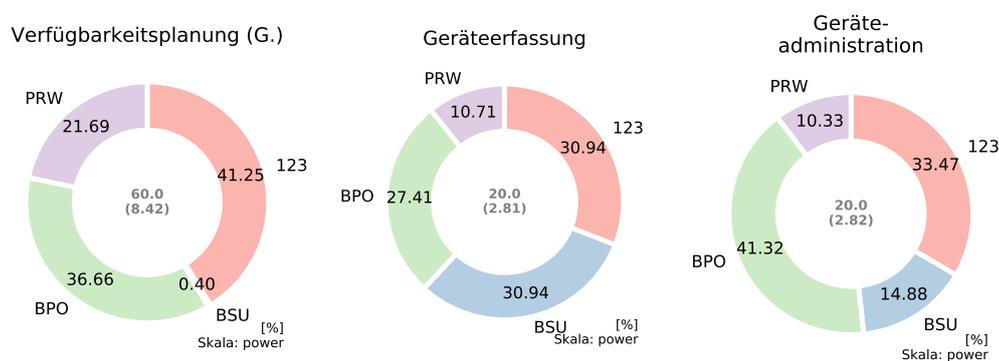


Abb. 7.30: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Geräteverwaltung*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 14 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht

Zusammengestellt errechnen sich die lokalen Präferenzen des Kriteriums *Geräteverwaltung* wie im Balkendiagramm in Abb. 7.31 dargestellt. Aufgrund unzureichender bzw. umständlicher Geräteadminis-

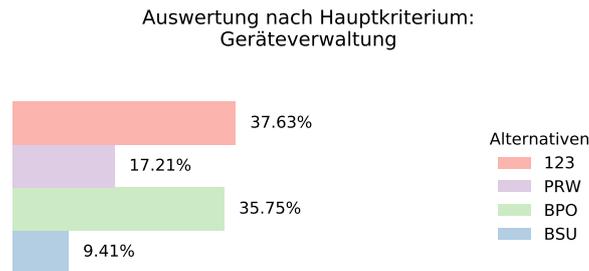


Abb. 7.31: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Geräteverwaltung*

tration können die Anwendungen *PRW* und *BSU* nur rd. 17% und rd. 9% erlangen. Die beiden anderen Programme liegen mit grob 38% (*123*) und 36% (*BPO*) knapp beieinander.

7.2.4 Auswertung: Personalverwaltung

Im Bereich der Personalverwaltung sticht die *PRW* überragend hervor. Die Implementierung der Personalverwaltung ist bei keiner anderen untersuchten Software in gleichem Umfang und gleicher Qualität vorhanden.

123 Die für die Projektabwicklung notwendige Administration von Personal ist mit *123* leicht zu bewerkstelligen. Speziell das Erfassen von neuem Personal ist in einfacher Weise abzuwickeln (vgl. Abb. 7.32). Es können keine Kompetenzen oder Qualifikationen des Personals direkt über das System verwaltet werden, lediglich eine Zuteilung auf „*Personaltyp*“ kann erfolgen. Die Zuteilung zu unterschiedlichen Teams ist mit der Software möglich und kann somit die gestellten Anforderungen bzgl. der Baubereiche gut abbilden. Besonders hervorzuheben ist weiters, dass für jedes Team und jeden Typ eine eigene Farbe festgelegt werden kann. Dies erleichtert die Interpretation des BZPL erheblich.

Im Anwendungsumfang gibt es die Möglichkeit, eigenständig Formulare zu erstellen und diese für das Personal freizugeben. Diese „*Personalformulare*“ können mit spezifischen Eingabefeldern versehen (Datumfeld, Textfeld etc.) und zus. mit Regeln hinterlegt werden (vgl. Abb. 7.33). Im Zuge des Softwaretests ist ein Antragsformular für Urlaub erstellt worden. So können Urlaubsanträge direkt über das System gestellt und bearbeitet werden. Formulare sind auch über die mobilen Endgeräte verfügbar (vgl. Abb. 7.44c).

BSU Eine Personalverwaltung ohne vorherige Einstellungen von Kostenstellen und Abrechnungsschemata ist bei der Software *BSU* nicht möglich. Um Personen korrekt administrieren zu können, müssen zuvor – für den Nutzer unverständliche – Abhängigkeiten aufgelöst werden. Auch nach Anfrage beim Hersteller war es nicht möglich, Testdaten anzulegen oder eine Bearbeitung vorzunehmen. Die Anwendung *BSU* hat daher in allen Subkategorien nur einen einzigen Punkt erreichen können (*Personalverwaltung* ► *Personalerfassung*) und dieser repräsentiert die Wertung „*trifft nicht zu*“.

BPO Bei der *Personalverwaltung* ► *Personalerfassung* können in der Anwendung *BPO* „*Ressourcenkategorien*“ mit frei definierten Feldern erstellt werden. Erstellt man eine Kategorie für „Personal“, so können für alle relevante Informationen Zusatzfelder erzeugt werden, um bspw. den Eintritt ins Unternehmen oder die Sozialversicherungsnummer zu speichern. Dabei ist es jedoch nur möglich, Textfelder als Eingabeelement vorzusehen. Möchte man über diese Kategorie-Funktion unterschiedliche Abteilungen verwalten, so müssen die Zusatzfelder bei allen Kategorien auf dem Letztstand gehalten werden. Die Reihenfolge der Felder und deren Name kann nachträglich nicht geändert werden. Im Falle der Entfernung eines Feldes

Person bearbeiten Speichern

Mitarbeiter

Id* 23984

Personaltyp* Bauleiter

Betriebsnummer

Einstellungszeitraum **Eintritt*** 16. Nov. 2018 **Austritt***

Personalart* gewerblich Angestellte(r)

Regelwerk

Kostenstelle Sammlerprojekte Stkm

Stundenlohn

Lohnabrechnung

Aktiv

Verfügbarkeit Weberfassung Mobil

Notiz

Baustellen Testbaustelle 1 (Betondecke) X Testbaustelle 4 (Betondecke) X

Teams

Formulare 001 - Urlaubsantrag X

Abb. 7.32: Formular zum Erfassen neuer Mitarbeiter. Dieser Dialog stellt die Erweiterung zur „Personenerfassung“ dar (vgl. Abb. 7.4)

Personalformulare bearbeiten Speichern

Name* Urlaubsantrag

Beschreibung Urlaubsantrag erstellen

Unterformular

Personalauswahl Alle Teammitglieder Gruppe Selbst

Formularvorschau

Startdatum (Überdatum) Enddatum (Enddatum)

Urlaubsgrund (Urlaubsgrund)* Testungstermin

Regeln

Hilft Nutzer unter bestimmten Bedingungen aktiviert oder inaktiviert

Regel hinzufügen

Zuweisungen

Personal David, Dennis, Oliver, Severin, Lars, David, Oliver, Michael

Exportvorlage

Zurück hochladen

Abb. 7.33: 123 bietet ein Framework, um eigene Formulare zu erstellen und diese mit speziellen Regeln zu hinterlegen und/oder nur einem bestimmten Personenkreis freizugeben

wird diese Löschung ohne Warnung für sämtliche assoziierten Datensätze durchgeführt. Des Weiteren sieht die Anwendung *BPO* keinen Upload von personenbezogenen Dokumenten vor. Das Hinterlegen eines Fotos im System ist implementiert (vgl. Abb. 7.34) und für alle angelegten Personen verfügbar.

Abb. 7.34: Bei *BPO* können für Ressourcen-Gruppen eigene Felder erstellt werden, um damit gewünschte Daten zu erfassen

Der Status von Personen kann nicht erfasst werden (angemeldet, krank, Karenz etc.), was die Verfügbarkeitsplanung erschwert. Über die Zusatzfelder können derartige Informationen über Personen administriert werden, jedoch werden die angelegten Zusatzfelder im Zuteilungsprozess nicht angezeigt oder berücksichtigt.

Abwesenheitsmeldungen können direkt über die Anwendung eingetragen werden und sind so leicht administrierbar. Es wird zwischen Urlaub, 1/2-Urlaub und Krankheit unterschieden, wie in Abb. 7.35 zu sehen ist. Abwesenheiten sind übersichtlich im Ressourcenplan dargestellt (vgl. Abb. 7.36).

Abb. 7.35: Abwesenheit kann über die Wahl einer der großen Kacheln direkt eingetragen werden

PRW Die Anwendung *PRW* bietet die Möglichkeit, alle gem. [D. 47] erforderlichen Informationen einer Person im System zu hinterlegen. Dokumente können in eigenen Projektordnern gespeichert, Beslagwortungen angehängt und das System so als Ablagesystem verwendet werden. Einen derartigen Umfang bietet keine andere untersuchte Anwendung.

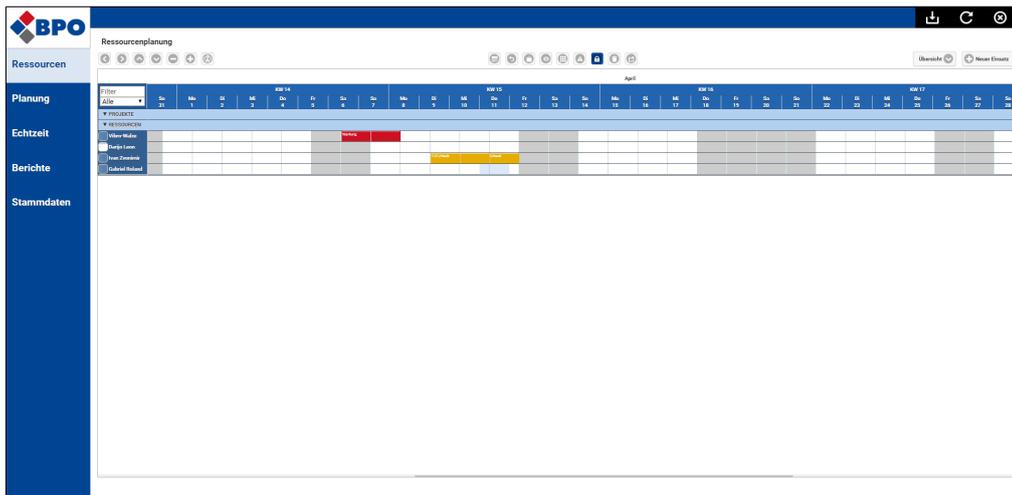


Abb. 7.36: Im Ressourcenplan werden eingetragene Abwesenheiten, wie bspw. Urlaub, bei Personen oder Wartung bei Geräten angezeigt

Das implementierte Gerüst zur Verwaltung der personenbezogenen Kompetenzen ist in der Anwendung *PRW* besonders ausgereift. Eine Verwaltungsstruktur kann nach Belieben erstellt und befüllt werden. Diese Funktionalität wird unter dem Begriff „Skills“ geführt (vgl. Abb. 7.37) und bietet die Möglichkeit, die Kompetenzen des Personals zu verwalten. Eine hierarchische Anordnung erlaubt es die vorhandenen Informationen aus [D. 47] wie Führerscheine (A, B, C1 etc.), Scheine (wie bspw. Stapler-, Bagger- oder Kranfahrerschein), Ausbildungen (Vorarbeiter oder Polier etc.) und auch Schulungen (bspw. Ersthelfer- oder Winterschulung etc.) vollständig abzubilden und dem Personal zuzuweisen. Die zentrale Personalverwaltung ermöglicht eine Zuteilung des Personals zu verschiedenen Teams, Arbeitsbereichen und auch zu unterschiedlichen Standorten (vgl. Abb. 7.38).

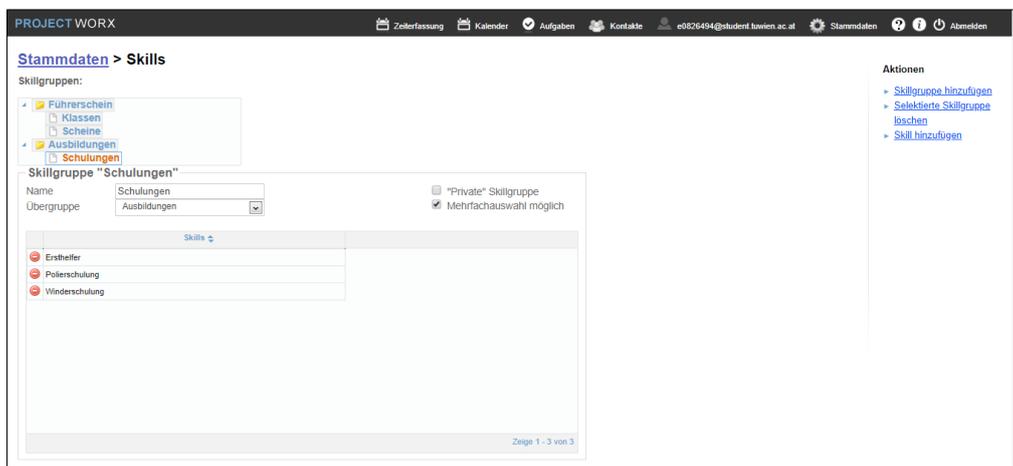


Abb. 7.37: Darstellung der Kompetenzverwaltung des Personals in den Stammdaten der Anwendung. Die Art der Implementierung ermöglicht das Erstellen und hierarchisches Anordnen von Kompetenzgruppen und Kompetenzen unterschiedlichster Art

Die Abwicklung der Urlaubsanträge ist über das System von *PRW* ohne großen Aufwand durchführbar. Urlaubsanträge werden im System erfasst und können dort direkt stattgegeben werden. Der verbleibende Urlaub ist dadurch immer auf aktuellem Stand und jede Person des Unternehmens hat direkte Einsicht auf das eigene Urlaubskontingent sowie die gestellten Abwesenheitsanträge (vgl. Abb. 7.39).

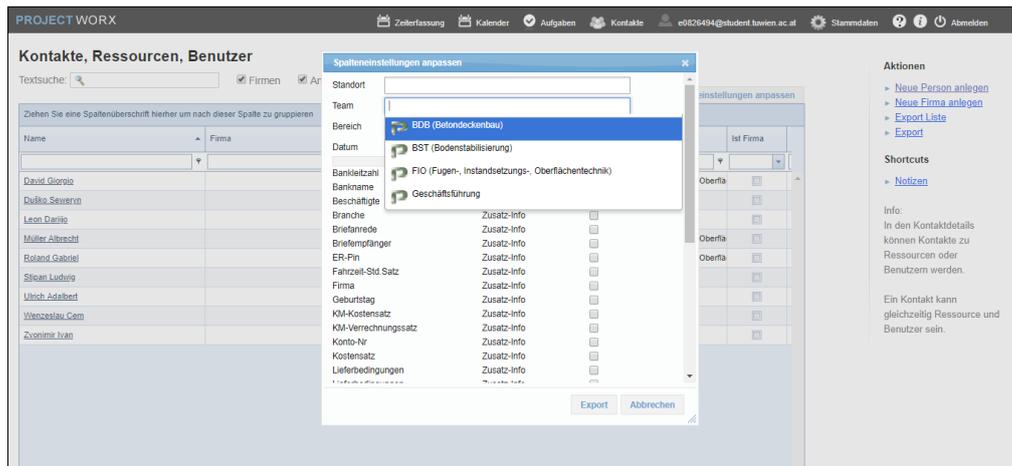


Abb. 7.38: Das Personal wird zentral erfasst und kann unterschiedlichen Teams zugeteilt werden

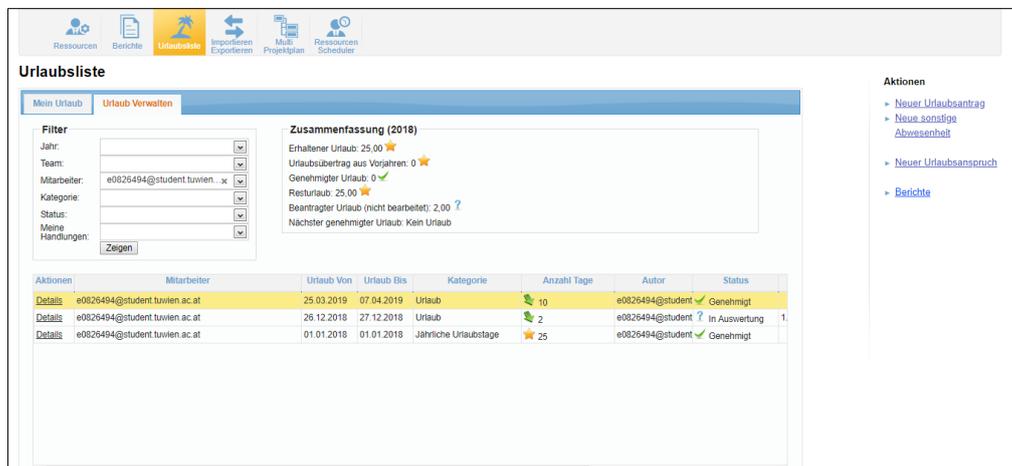


Abb. 7.39: Urlaubsanträge werden direkt über das System eingereicht und bearbeitet

Ergebnis

Bei der Kategorie *Personalverwaltung* kann *PRW* alle Subkriterien für sich entscheiden. In der Sub-Kategorie *Personalverwaltung* ► *Personalerfassung* (lokales Gewicht: rd. 24 %) kann *PRW* eine Priorität von rd. 80 % erreichen. Dies liegt daran, dass die Software ausreichende Funktionalität bietet, die alle Anforderungen vollkommen erfüllt. Speziell in der Personalerfassung können 20 Punkte gewonnen werden, während die anderen Anwendungen nur {8; 1; 6} Punkte verbuchen können. Da der Umfang der Personalerfassung von *123* nicht annähernd die Informationen gem. [D. 47] abbilden kann, entfallen im Subkriterium *Personalverwaltung* ► *Personalerfassung* in Summe 12 Punkte. Ohne diesen Punkteentfall könnte *123* annähernd die gleiche Bewertung erreichen wie *PRW*. *BSU* kann in der gesamten Kategorie nur einen Punkt ergattern.

Die Zusammenstellung der lokalen Präferenzen zeigt deutlich die Dominanz der Software *PRW* (vgl. Abb. 7.41). Mit rd. 52 % sichert sich *PRW* den ersten Platz mit grob 18 %-Punkten Vorsprung auf die zweitplatzierte Software *123*. Die *Personalverwaltung* schlägt analog zur *Geräteverwaltung* mit knapp 14 % in der Gesamtauswertung zu Buche.

7.2.5 Auswertung: Vertrag/Kosten

123 Das Vertragsmodell ist simpel und orientiert sich an der Benutzerzahl mit erweiterten Handlungsfähigkeiten. Nutzer, die bspw. nur zur Zeiterfassung oder andere operative Tätigkeiten mit der Anwendung

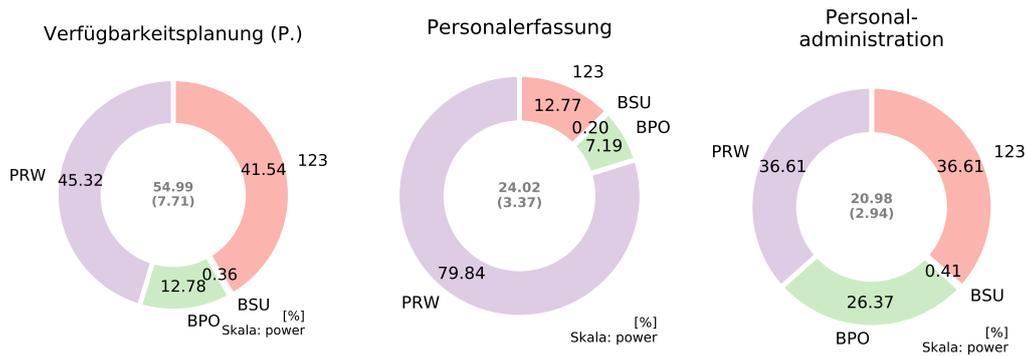


Abb. 7.40: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Personalverwaltung*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 14% in der Gesamtauswertung ins Gewicht.

Auswertung nach Hauptkriterium:
Personalverwaltung

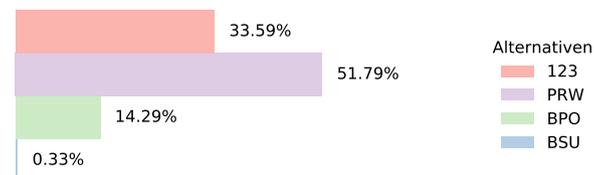


Abb. 7.41: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Personalverwaltung*

abwickeln, sind kostenlos. Personen, die administrativ auf das System zugreifen und bspw. Lohnverrechnung, Materialverwaltung oder ähnliche Funktionen verwenden, werden mit einer Pauschale pro Monat verrechnet. Dadurch ist eine dynamische Skalierung bei gleichzeitiger Kostensicherheit möglich.

BSU Die Anwendung *BSU* kann in Bezug auf das Kriterium *Vertrag/Kosten* nicht vollständig beurteilt werden, da für eine unternehmensweite Ausrollung der Software eine Netzwerklizenz notwendig ist und diese nicht Gegenstand der Untersuchungen war. In Abhängigkeit der Nutzeranzahl und der zu benutzenden Module variiert der Preis und kann erst bei konkret vorliegenden Spezifikationen angeboten werden.

BPO Wie in der Vorstellung der Software erwähnt (vgl. Abschnitt 6.1.2.3), war diese Anwendung bzw. der Auslauf eines bestehenden Vertrags die Ursache dafür, dass Untersuchungen gestartet werden, um eine alternative Anwendung zur Einsatzmittelplanung zu finden. Die voraussichtlichen monetären Aufwendungen für die angebotene Leistung soll hinterfragt werden. Daher kann *BPO* in den Subkriterien *Kosten/Vertrag* ► *Vertragsmodell* und *Kosten/Vertrag* ► *Kosten* nur etwa die Hälfte der möglichen Punkte verbuchen.

PRW Der Betriebsaufwand für die Software ist abhängig davon, ob die Software auf eigenen Servern gehostet werden soll oder als „Miet-Konzept“ vom Anbieter zur Verfügung gestellt wird. Dies wirkt sich auf die Betriebskosten des Systems aus. Der Webauftritt¹ stellt die notwendigen Informationen zur

¹ <https://www.projectworx.net/>, Zugriff am: 16.2.2018

Verfügung, um eine Kostensicherheit für die Einführung der Software zu bekommen. Es kann zwischen drei Modellen gewählt werden, die sich im Leistungsumfang unterscheiden.

Ergebnis

Bezogen auf das Subkriterium *Kosten/Vertrag* ► *Betriebsaufwand* (vgl. Abb. 7.42) können die Anwendungen *123* und *BPO* jeweils knapp ein Drittel erzielen. Das letzte Drittel teilen sich *PRW* und *BSU*. Diese Subkategorie ist die einzige, in der *BSU* relevante Anteile erreichen kann. Hinsichtlich der Kosten liegt *123* mit rd. 40 % an erster Stelle, gefolgt von *PRW* und *BPO* mit rd. 33 % resp. rd. 26 %. *PRW* kann bzgl. dem Subkriterium *Vertragsmodell* einen 46 %-Anteil erreichen.

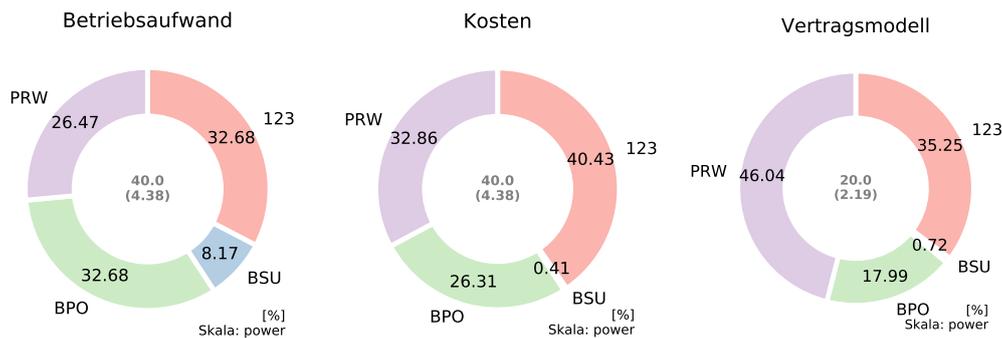


Abb. 7.42: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Kosten/Vertrag*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 11 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht

Auswertung nach Hauptkriterium:
Kosten/Vertrag

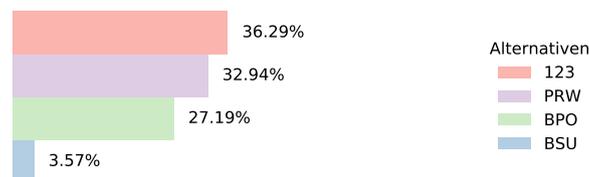


Abb. 7.43: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Kosten/Vertrag*

Die Aggregation der Alternativenauswertung gem. Subkriterien auf die Ebene des Hauptkriteriums *Kosten/Vertrag* ergibt die in Abb. 7.43 dargestellte Prioritätenverteilung. Annähernd 96 % verteilen sich auf die ersten drei Alternativen. *123* kann mit rd. 36 % den größten Teil verbuchen und liegt vor *PRW* (ca. -3 %) und *BPO* (ca. -6 %). Mit knapp 11 % fließt die Kategorie *Kosten/Vertrag* in die Gesamtauswertung des Hauptziels ein und besitzt damit grob den gleichen Einfluss auf das Gesamtergebnis wie die Kriterien *Reporting* und *Allgemeine Funktionen* zusammen.

7.2.6 Auswertung: Mobilität

In der Kategorie Mobilität teilen sich die Anwendungen in zwei Gruppen. Eine Gruppe, die es ermöglicht, via mobilem Endgerät zuzugreifen, und eine Gruppe, bei der lediglich die lokale Verwendung möglich ist. Zu erster Gruppe zählen die Systeme von *123*, *BPO* und *PRW*, während *BSU* der letzten Gruppe zuzuzählen ist. Für den Test der Mobilität wurde ein iPhone 6S Plus (2015, iOS Version 11.4.1) als

Testgerät genutzt. Die Standardgeräte des Unternehmens werden ebenfalls mit dem iOS Betriebssystem betrieben.

123 Die Anwendung *123* kann, bis auf den Offline-Betrieb, bei allen untersuchten Fragen die volle Punktezahl erreichen. Der Offline-Betrieb kann nur mit drei Punkten bewertet werden, da nur die Handy-Applikation mit Einschränkungen offline nutzbar ist. Für den mobilen Zugriff auf *123* werden eigens entwickelte Anwendungen für die Betriebssysteme iOS und Android zur Verfügung gestellt. Abb. 7.44 zeigt beispielhaft die Benutzeroberfläche für verschiedene Anwendungszwecke. Die Oberfläche des Startbildschirms (vgl. Abb. 7.44a) ist übersichtlich gestaltet und besitzt große Kacheln zur Navigation. Jede Kachel entspricht einer definierten Funktionalität und kann für jeden Anwender oder für eine Anwendergruppe separat freigegeben werden. So können bspw. die Kacheln für „Leistungen“ oder „Geräte“ nur den Polieren zugänglich gemacht werden.

Frei definierbare Formulare können im Webportal erstellt werden und anschließend über mobile Endgeräte ausgefüllt und eingereicht werden. Im Zuge der Softwaretests wurde das Formular „*Urlaubsantrag*“ erstellt und zur mobilen Bearbeitung freigegeben. In Abb. 7.44c ist der Urlaubsantrag aufgerufen, kann bearbeitet und abgesendet werden.

Die Möglichkeit, personelle Ausfälle direkt vor Ort zu erfassen und in die Datenbank zu übertragen, ist durch die Funktion „*Abwesenheiten*“ auf benutzerfreundliche Art und Weise implementiert (vgl. Abb. 7.44b). Neben der Abwesenheitsdauer können auch Informationen zur Abwesenheitsart eingetragen werden. Mit Einträgen in das bereitgestellte Textfeld können zus. Anmerkungen zur Abwesenheit festgehalten werden.

BSU Im Bereich *Offlinebetrieb* kann *BSU* die höchste Punktezahl erreichen, da durch die lokale Installation der Offlinebetrieb ohne Probleme erfolgen kann. Zufolge des lokalen Betriebs der Software sind jedoch alle anderen Fragestellungen hinsichtlich der *Mobilität* mit „*trifft nicht zu*“ zu bewerten.

BPO Die Software ist mit gängigen mobilen Endgeräten über den Webbrowser aufrufbar, aber es steht keine eigens entwickelte Applikation zur Verfügung. Das Webportal von *BPO* bietet eine spezielle Ansicht für mobile Endgeräte, bei der Buttons u. dgl. größer dargestellt werden, um die Eingabe per Touchscreen zu erleichtern.

PRW Das Unternehmen, das *PRW* entwickelt, bietet keine eigene Anwendung für mobile Endgeräte an. Der Aufruf der Webseite ist mittels mobilem Webbrowser möglich, aber es gibt keine eigens entwickelte Web-Ansicht für Mobilgeräte wie Handys oder Tablets.

Ergebnis

Das Hauptkriterium *Mobilität* beinhaltet nur ein „Subkriterium“. Das Ergebnis dieser Auswertung geht daher mit einer Gewichtung von 100 % direkt in den Kriterien-Anteil *Mobilität* des Hauptziels ein. Dadurch erreicht dieses „Subkriterium“ mit 8,44 % den größten globalen Einfluss auf das Hauptziel. In Abb. 7.45 ist die Auswertung der Gegenüberstellung der vier Alternativen abgebildet. Mit knapp 50 % kann *123* den größten Teil des Gewichts für sich entscheiden. Dieses Ergebnis spiegelt direkt die Zusammenstellung der lokalen Präferenzen (vgl. Abb. 7.46) wider.

7.2.7 Auswertung: Reporting

123 Die Anwendung *123* kann bei annähernd allen Fragen bzgl. des Reportings fünf Punkte für sich verbuchen. Die einzigen Abzüge gibt es für die eingeschränkte Möglichkeit Berichtsvorlagen zu speichern (Anpassungen werden immer wieder auf Default-Werte zurückgesetzt), und beim Aspekt des direkten Exports.

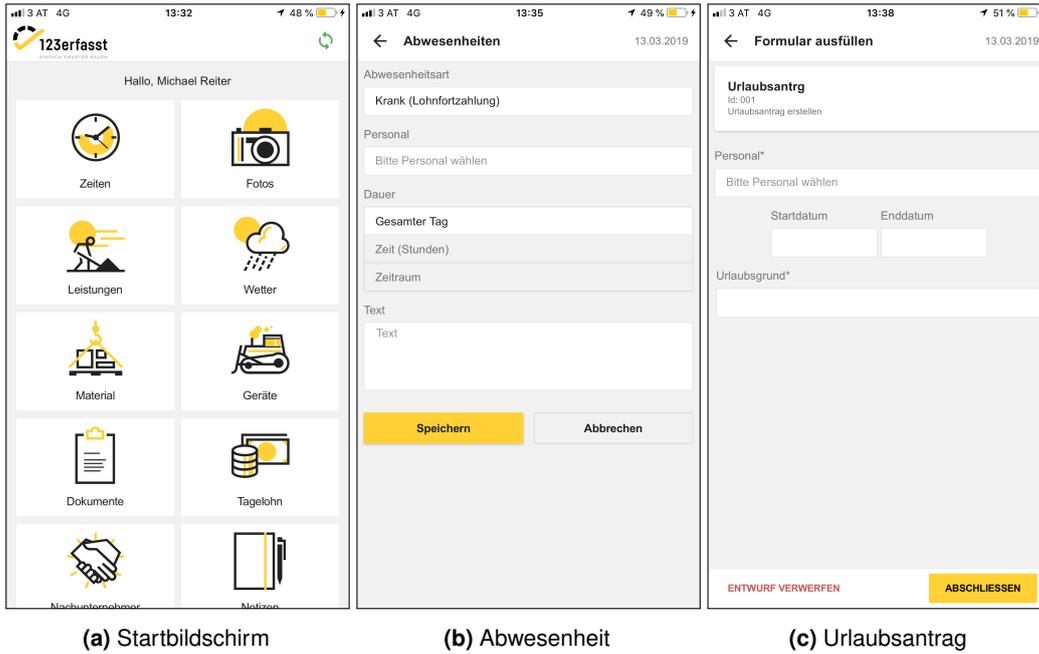


Abb. 7.44: Darstellung der Benutzeroberfläche der Softwareapplikation (App) auf einem mobilen Endgerät (Betriebssystem iOS). Abbildung (a) zeigt den Startbildschirm mit großen Symbolen zur Navigation. Die beiden anderen Abbildungen zeigen Eingabemasken für die Erfassung von Personalausfällen (b) und zur Bearbeitung vordefinierter Formulare (c) zur direkten Eingabe

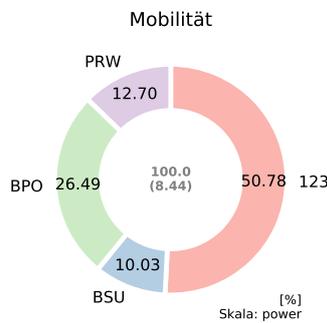


Abb. 7.45: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Mobilität*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 14% in der Gesamtauswertung ins Gewicht

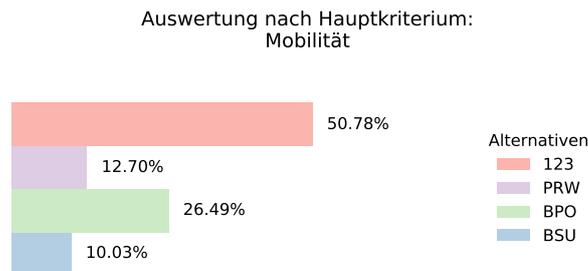


Abb. 7.46: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Mobilität*

BSU Bei der Software von *BSU* konnte aufgrund der fehlenden Einsatzmittelplanung die Funktionalität des Reportings nur eingeschränkt getestet werden. Der aktuelle Einsatzort von Maschinen und Personal konnte (aufgrund fehlender Zuteilung) nicht überprüft werden. Jene Berichte die generiert wurden, sind überwiegend positiv ausgefallen.

BPO Die Möglichkeit, Berichte anzupassen und als Vorlage zu speichern, ist bei *BPO* nicht gegeben. Vorgefertigte Berichte, wie bspw. ein Einsatzplan im *XLSX*-Dateiformat, stehen für den Export zur Verfügung. Dieser ist jedoch aufgrund der unnötig dargestellten Leerzeilen nicht praktikabel. Mit diesem Bericht ist es dennoch möglich, die Lokalisierung von eingesetzten Ressourcen durchzuführen.

PRW *PRW* erfüllt, ähnlich wie *123*, beinahe alle Kriterien zu 100 %. Beide Anwendungen erreichen bei der Bewertung gem. Anhang in Summe 52 von 55 möglichen Punkten im Hauptkriterium *Reporting*.

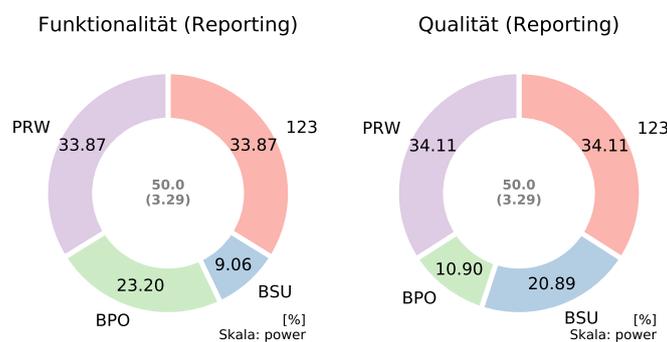


Abb. 7.47: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Reporting*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 6,5 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht

Ergebnis

Da beide Sub-Kriterien zu gleichen Teilen in die Auswertung des Hauptkriteriums einfließen, ergibt sich die lokale Präferenz der Alternativen als Mittelwert der jeweiligen Zuteilungen (vgl. Abb. 7.47). Das Balkendiagramm in Abb. 7.48 zeigt die lokalen Ergebnisse der Softwarevergleiche hinsichtlich des *Reportings*.

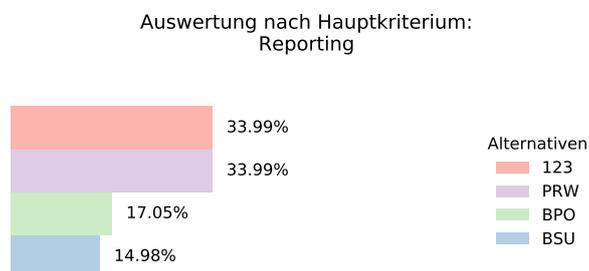


Abb. 7.48: Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium *Reporting*

Die Anwendungen *123* und *PRW* erreichen jeweils rd. 34 %, während der restliche Teil zu annähernd gleichen Anteilen an *BSU* und *BPO* ergeht. Das Ergebnis dieser Zusammenstellung ist mit rd. 6,7 % nur im geringen Ausmaß für das Hauptziel relevant.

7.2.8 Auswertung: Allgemeine Funktionen

Alle untersuchten Anwendungen können Benutzerkonten anlegen und zugehörige Berechtigungen administrieren. Die Zugriffsberechtigungen sind häufig modular aufgebaut, sodass gewisse Funktionen nur bestimmten Rollen (bspw. Administratoren, Projektleitern etc.) zur Verfügung stehen. Die Berechtigungsvergabe ist zumeist einfach abzuwickeln. Größere Unterschiede stellen sich in den anderen Subkriterien heraus (vgl. Abb. 7.49).

123 Schnittstellen zu anderen Programmen sind fast bei allen untersuchten Anwendungen zumindest für Teilbereiche verfügbar. Eine besonders potente Schnittstelle ist hingegen für die Anwendung *123* implementiert. Hier sind die Entwickler sehr weit gegangen und haben eine eigene Programmierschnittstelle implementiert bzw. freigegeben. Diese Web-API² ermöglicht mittels üblicher HTTP³-Methoden (GET, POST und DELETE), Daten(-sätze) direkt über das Protokoll abzurufen und zu verändern. Der Umfang der Software ist – neben der Zeiterfassung und Lohnverrechnung – auf die Einsatzmittelplanung ausgelegt. Die Module sind sehr kompakt und übersichtlich implementiert und der Zugriff funktioniert Plattformübergreifend via Webbrowser (oder Handy-App). Der Support ist via E-Mail oder Kontaktformular verfügbar und auf der Website werden Antworten zu häufig gestellten Fragen dargestellt. Im Zuge der Untersuchungen sind keine Systemfehler aufgetreten und das System lief sehr zuverlässig.

BSU Für den Betrieb der Software *BSU* ist eine Installation auf einem Computer oder einem internen Server notwendig. Für die Installation und das Setup war die Hilfestellung des Herstellers notwendig. Die Verwaltung von zusätzlichen Anwendern ist möglich, aber nicht einfach durchzuführen. Die Software ist ausschließlich für das Betriebssystem Microsoft Windows verfügbar. Der Funktionalitätsumfang der Anwendung übersteigt jenen der anderen Anwendungen bei weitem. Sie ist im wesentlichen eine Anwendung für Enterprise Resource Planning (ERP), mit der man alle Arbeitsprozesse eines Bauunternehmens von Akquise bis Rechnungslegung abbilden kann. Zur Selbsthilfe stehen ausgearbeitete Dokumente im Umfang von mehreren hundert Seiten im PDF-Format zur Verfügung. Für die Testvariante wurde nur eingeschränkter Telefonsupport angeboten. Das Testen gleichzeitiger Zugriffe war durch die lokale Installation nicht möglich.

BPO In der Anwendung *BPO* ist die Handhabung des Rollen- und des Berechtigungskonzepts nicht so einfach möglich, wie bspw. bei *123* oder *PRW*. Für den Support stehen Kontaktinformationen zur Verfügung, aber Unterlagen zur Selbsthilfe wie bspw. ein Web-Tutorial, FAQ o. dgl. werden zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht angeboten. Schnittstellen sind nur teilweise und in geringem Umfang implementiert. Es können Stammdaten für Mischgut als CSV-Datei⁴ heruntergeladen werden. Weiters bietet die Anwendung die Möglichkeit, die Parameter der Stammdaten über eine „Parameterdatei“ im JSON-Format⁵ zu verarbeiten. Obwohl der Umfang sehr limitiert ist, funktioniert der Datenaustausch an den implementierten Stellen sehr einfach. Für die operative Abwicklung relevante Daten, wie bspw. Personaldaten, Gerätedaten etc., gibt es keine verfügbare Schnittstelle. Die Software ist sehr spezifisch und der Umfang daher eng geschnürt. Das Unternehmen *BPO* bietet unterschiedliche Anwendungen für verschiedene Verwendungsgebiete auf dem Markt an (vgl. Abschnitt 6.1.2.3). Datensätze werden bei der Eingabe erst nach manuellem Sichern im System abgespeichert. Bei Wechsel auf eine andere Website können somit bereits eingetragene (aber nicht gespeicherte) Daten verloren gehen. Die Implementierung der Software ist ohne großen Aufwand über den Aufruf der Website möglich.

² API: Application Programming Interface

³ HTTP: Hypertext Transfer Protocol

⁴ CSV: Comma Separated Values. Eine Datei, die Datensätze als Text in Reihen und (mittels Komma getrennten) Spalten darstellen kann.

⁵ JSON: JavaScript Object Notation. Eine Datei, die Daten als Text in genormter Struktur abbilden kann.

PRW Die Anwendung *PRW* bietet eine sehr einfache Abwicklung der Verwaltung von Rollen- und Berechtigungen. Der Support ist über mehrere Quellen erreichbar und bietet ausreichend Material zur Selbsthilfe an. Dateneingaben werden automatisch vom System gespeichert und die Änderungen erfolgen zumeist in „real-time“. Abzüge in der Bewertung gab es für *PRW* für die sehr eingeschränkte Möglichkeit, Daten in das System einzulesen und fehlende Referenzen in der Baubranche.



Abb. 7.49: Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums *Allgemeine Funktionen*. Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 5,5 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht

Ergebnis

Bezogen auf die Gesamtbewertung erreichen die *allg. Funktionen* mit rd. 5,35 % nur den letzten Platz. In allen betrachteten Sub-Kategorien können alle vier Anwendungen Punkte erreichen. In den drei bedeutendsten Sub-Kriterien (*Rollen- und Berechtigungskonzept*, *Stabilität* und *Schnittstellen*) kann 123 die Anforderungen am besten erfüllen. Bezüglich der *Allg. Funktionen* ► *Schnittstellen* gelingt es 123 durch die implementierte Web-API eine Bewertung von über 55 % zu erreichen.

In Summe ergibt sich eine Prioritätenverteilung gem. Abb. 7.50. Die Anwendung 123 kann mit rd. 40 % den größten Anteil für sich entscheiden. Software *PRW* und *BPO* können rd. 26 % resp. 20 % erreichen und *BSU* kommt mit rd. 15 % nur auf den letzten Platz.

7.3 Aggregation und Handlungsempfehlung

Die in Abschnitt 7 ausgeführten Auswertungen ergeben für die untersuchten Anwendungen jeweils prozentuelle Gewichtungen je Subkriterien (*lokale Gewichte*). Da sich das lokale Gewicht immer nur auf das übergeordnete Hauptkriterium – und nicht das Hauptziel – bezieht, müssen die einzelnen Bewertungsergebnisse im Kontext der gesamten AHP-Struktur gestzt werden (vgl. Abschnitt 4.3). Die

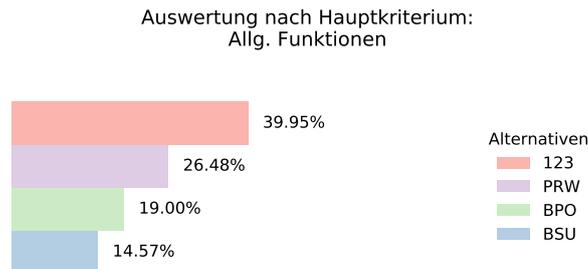


Abb. 7.50: Aggregation der Alternativen-Vergleiche auf lokale Relevanz für das Hauptkriterium *Allg. Funktionen*

so ermittelten *globalen Gewichte* beschreiben die direkte Relevanz für das Hauptziel und können zu einer gesamtheitlichen Gewichtung aggregiert werden.

7.3.1 Aggregation

Die Auswertung nach den Hauptkriterien ist in Abb. 7.51 mittels Balkendiagramm dargestellt. Jeder Gruppierung entspricht dem Aggregat aus den zugehörigen Subkriterien. So sind bspw. in der Kategorie *Reporting* die Ergebnisse der Unterkategorien *Reporting* ► *Funktionalität* und *Reporting* ► *Qualität* entsprechend ihrer Gewichtungsfaktoren zusammengeführt. Die Bewertungskriterien sind nach dem Gesamteinfluss auf das Hauptziel gereiht (vgl. Abb. 4.2), die Reihung innerhalb der Gruppierung erfolgt nach dem erzielten Gesamtergebnis der Alternativen. Aus dem Diagramm können demnach die *globalen Gewichte* der Alternativen, aufgeschlüsselt nach Hauptkriterien, entnommen werden.

Die Software *123* übertrifft in annähernd jeder Hauptkategorie die anderen Alternativen. In Sachen *Usability* (ca. 26 % Gesamteinfluss auf das Hauptziel) kann *123* mit knapp 12 % den Spitzenwert aller globalen Gewichte erzielen. Mit fast 3 % erringt *BSU* in der gleichen Kategorie nur den letzten Platz – jedoch gelingt es der Software *BSU* in keinem anderen Kriterium einen so hohen Gewichtsanteil im Hauptziel zu erreichen.

Die *Einsatzmittelplanung* (Gesamtgewicht etwa 15 %) kann ebenfalls *123* für sich entscheiden und liegt dabei mit beinahe 50 % Vorsprung vor der insg. zweitplatzierten Anwendung *PRW*. Diese kann nur rd. 4,5 % erreichen. Die Softwareanwendung *BSU* erreicht in dieser Kategorie sowie in der Kategorie *Personalverwaltung* weniger als 0,1 % und somit die schlechtesten Ergebnisse der Gesamtauswertung. Diese Bewertung geht auf die komplizierten Programmzusammenhänge von Personalverwaltung mit anderen Modulen zurück, die für den Nutzer nicht selbstständig und nur mit großem Aufwand handhabbar sind.

Für die Geräteverwaltung scheinen die beiden Webanwendungen *123* und *BPO* im gleichen Maße geeignet. Beide erreichen jeweils in etwa 5 % von dem ca. 14 %-igen globalen Anteil der Kategorie am Hauptziel. Die global verbleibenden 4 % teilen sich die Anwendungen *PRW* und *BSU* im groben Verhältnis von 2 : 1.

Ein überragendes Ergebnis kann *PRW* in der Hauptkategorie *Personalverwaltung* erzielen. Hier kann *PRW*, ebenfalls mit knapp 50 % Vorsprung, einen größeren Anteil als *123* für sich verbuchen. Durch die geringere Gewichtung bzgl. des Hauptziels entspricht das einem globalen Gewicht von nur rd. 7 %. Dieses gute Resultat ist auf die ausgereifte Kompetenz- und Qualifikationsverwaltung inkl. Dokumentenablage zurückzuführen.

Hinsichtlich des Kriteriums *Kosten/Vertrag* liegen alle Anbieter, abgesehen von *BSU*, mit ähnlichen Ergebnissen beieinander. Für die beiden Hauptkriterien *Reporting* und *Allg. Funktionen* zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Der gemeinsame Anteil am Hauptziel liegt für die Hauptkriterien *Kosten/Vertrag*,

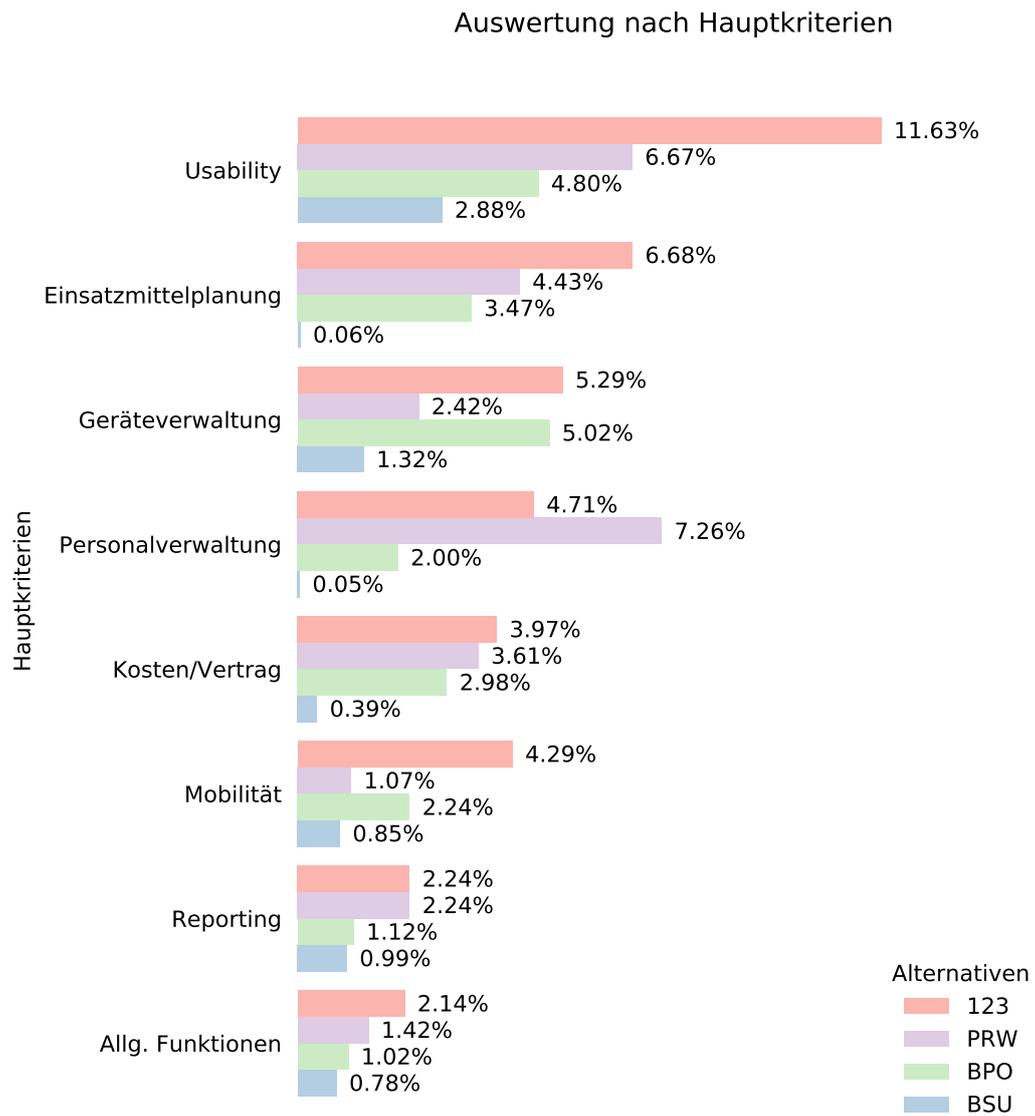


Abb. 7.51: Aggregierter Einfluss der Kategorien auf das Hauptziel

Reporting und *Allg. Funktionen* in Summe bei ca. 23 %. Das entspricht in etwa dem alleinigen Anteil der *Usability* am Hauptziel.

In Sachen *Mobilität* kann *123* durch die umfangreiche Applikation für mobile Geräte über 50 % erreichen und schlägt damit jegliche Konkurrenz. Zwar ermöglichen die Webapplikationen ebenfalls einen Zugriff auf die Anwendung, aber nur über den Webbrowser selbst und nicht über eine eigens entwickelte Anwendung (vgl. Abschnitt 7.2.6).

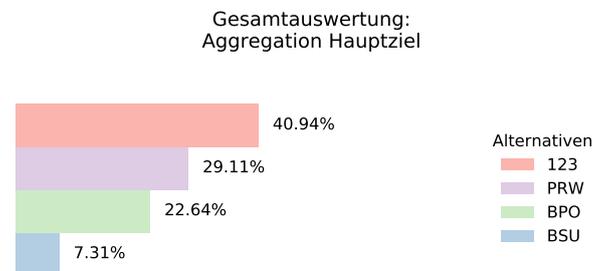


Abb. 7.52: Aggregation aller Alternativen-Vergleiche auf globale Ebene

Die Gesamtauswertung aller Alternativen bezogen auf das Hauptziel ist in Abb. 7.52 abgebildet. Es ergibt sich ein Gesamtgewicht von rd. 41 % für die Anwendung *123*. Der Vorsprung zu der zweitbesten Alternative *PRW* beträgt etwas mehr als 10 %-Punkte. *PRW* erreicht eine Priorität von knapp 30 %, während *BPO* nur rd. 22 % für sich geltend machen kann. Trotz mehrerer Wertungen unter 1 % (vgl. Abb. 7.51) kann *BSU* rd. 7 % für sich verbuchen. Dabei gehen fast 3 %-Punkte auf ein einziges Kriterium zurück, nämlich die *Usability*.

7.3.2 Handlungsempfehlung

Ein derartiges Ergebnis scheint etwas ungewöhnlich, da insb. der Sieger „nur“ grob 40 % erreicht. Zu beachten ist, dass sich die gesamte Priorität (=100 %) auf alle Alternativen – entsprechend der Ergebnisse entlang der hierarchischen Struktur – aufteilt. Ähnlich hohe Werte in der Gesamtauswertung bedeuten, dass die untersuchten Alternativen vergleichbare Funktionalitäten besitzen. Sind alle Alternativen absolut gleichwertig, so würde sich im ggstl. Fall (bei vier Alternativen) ein Gesamtergebnis von je 25 % ergeben.

Setzt man den erreichten Anteil des Siegers als Basis für den Vergleich mit den Prioritäten der anderen Alternativen, so ergibt sich folgendes Bild:

1. *123*: 100 %
2. *PRW*: rd. 70 %
3. *BPO*: rd. 55 %
4. *BSU*: rd. 18 %

Das bedeutet, dass *123* das, mittels AHP erstellte, Anforderungsprofil vergleichsweise am besten erfüllt und die anderen Anwendungen schlechter abschneiden. Es wird keine Aussage darüber getroffen, in welchem Ausmaß das geforderte Profil erfüllt wird.

Die Bewertung im Anhang gibt Einblick auf die Punktezahl und zeigt, dass *123* nicht nur im AHP den größten Anteil erreicht, sondern (unter Berücksichtigung der Gewichtung der Hauptkriterien) auch über 90 % der möglichen Punkte verbucht. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Einschätzung, die im Zuge der Testungen gemacht wurde. Darüber hinaus kann mittels *123* die Zeiterfassung des Baustellenpersonals über das Mobiltelefon erfolgen. Es besteht sogar die Möglichkeit, mittels GPS-Tracking einen Umkreis

um eine Baustelle zu legen, in dem die Bauarbeiter automatisch Ein- und Auschecken können. Dies ist jedoch nicht Teil des Untersuchungsumfangs und daher nicht in die Bewertung eingeflossen. Da bereits mit einem anderen Anbieter Gespräche über eine Stundenerfassung des Personals laufen, sollte auch diese Funktionalität erwähnt und weiter verfolgt werden. Dies wäre für zukünftige Prozessgestaltungen des Unternehmens vorteilhaft.

Ein Vorteil, der bereits in der Bewertung berücksichtigt wurde, aber nochmalig betont wird, ist die implementierte Web-API der Software. Über diese Schnittstelle können sehr einfach und auf universelle Art und Weise (**HTTP-Requests**) Daten aus dem System gelesen und so für weitere Anwendungen oder Auswertungen verwendet werden.

Die Möglichkeit, eigene Formulare zu erstellen und so eigene Workflows, ohne externen Support, zu implementieren, ist ebenfalls ein schlagkräftiges Argument für *123*. Diese können nach Belieben geändert, ergänzt oder zus. Formulare erstellt und direkt über das mobile Endgerät eingereicht werden. Wenn keine aktive Internetverbindung vorhanden ist, werden eingetragene Daten so lange auf dem Gerät gespeichert, bis sie über eine aktive Verbindung an die Server geschickt werden können.

Die vielversprechenden Resultate im Bereich *Usability* bei gleichzeitiger starker Kompetenz in den anderen Bereichen, lässt den Schluss zu, dass mit *123* weiterführende praxisbezogene Test durchgeführt werden sollen. Der einzige Bereich, in dem sich *123* geschlagen geben muss, ist die Personalverwaltung, da *PRW* in diesen Belangen ein durchwegs solides System entwickelt und auf den Markt gebracht hat.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Umstellung von etablierten Prozessen in einem Unternehmen ist keine leichte Angelegenheit. Das Personal steht den (geplanten) Veränderungen meist skeptisch gegenüber, da es die aktuelle Arbeitsweise gewohnt ist. Der Faktor Mensch ist, speziell bei der Digitalisierung seiner Arbeitsprozesse, nicht aus den Augen zu lassen. Digitale Systeme sollen das Personal bei der Arbeit unterstützen und für den Nutzer entwickelt sein. Der Anwender soll nicht genötigt werden, sich einem neuen System zu unterwerfen. Die Interaktion mit den Personen aus den verschiedenen Abteilungen hat gezeigt, dass der Change-Prozess mit Interesse verfolgt, aber nicht weniger kritisch hinterfragt wird.

Die angewendeten Methoden, um eine möglichst gelungene Lösung zu finden, müssen nicht nur technisch verstanden werden. Um sie korrekt anzuwenden, muss man sich mit den Grenzen der Methoden auseinandersetzen und die Rahmenbedingungen der „Werkzeuge“ verstehen. Die folgenden persönlichen Erkenntnisse wurden im Zuge der Arbeit gemacht:

1. *Prozessanalyse*: Eine erfolgreiche Prozessanalyse funktioniert nur dann, wenn grundlegende Festlegungen zu den folgenden Parametern vorliegen:
 - a) *Systemgrenzen*: Zur Erstellung von Prozessketten ist einer der wichtigsten Schritte die Festlegung der Systemgrenzen. Die Ziele der Untersuchung müssen im Voraus klar definiert und so konkret wie möglich festgehalten werden. Noch wichtiger als die Formulierung der Ziele ist die Festlegung der Nicht-Ziele. Es ist von entscheidender Bedeutung zu erfassen, was *nicht* zu berücksichtigen ist, um den Fokus nur auf die relevanten Prozesse zu legen.
 - b) *Betrachtungsskala*: Die Ebene, auf der Prozesse analysiert werden, spielt eine entscheidende Rolle. Ein Prozess, der auf einer groben Skala ohne zu hohen Detaillierungsgrad dargestellt wird, ermöglicht es, einen Überblick über die zu untersuchenden Vorgänge zu erhalten. Die abgebildeten Aktivitäten können nach Relevanz sortiert werden und nur jene, die für das Ziel der Prozessanalyse am wichtigsten erscheinen, detaillierter betrachtet und modelliert werden.
 - c) *„The Happy Path“*: Dieses Konzept ist aus der Informatik entlehnt und beschreibt in einer Anwendung die fehlerfreie Verkettung der Vorgänge, die zur Erreichung des gewünschten Ziels führen. Es existieren keine Prozessschritte oder Eingaben, die fehlerhaft sind. In gleicher Weise sollen Prozessketten, ausgehend von dem Standardprozess und ohne jeglichen Fehler oder externe Beeinträchtigung, erfasst werden. Wenn dieser Prozess modelliert ist, können die relevantesten Abweichungen vom Standardprozess abgebildet werden.
2. *Mathematisches Modelle*: Angewandte mathematische Modelle und Werkzeuge müssen technisch und *inhaltlich* verstanden werden, um korrekt angewendet zu werden.
 - a) *Analytic Hierarchy Prozess*: Die Anwendung des AHP ermöglicht mittels Eigenwertermittlung das Errechnen von „Prioritäten“ beliebiger Genauigkeit. Dies ist möglich, da es sich hierbei um eine Methode der linearen Algebra handelt. In der Realität stellt diese mathematische Operation im Rahmen des AHP nur ein *Hilfsmittel* zur numerischen Darstellung von Präferenzen dar,

die zwar mathematisch schlüssig sind, aber mit den Vorstellungen des Entscheidungsträgers vereinbar sein müssen. Die Ergebnisse sollen eine *qualitative* Einschätzung der Situation darstellen, die mit einem quantitativen *Indikator* versehen sind. Es gilt die Ergebnisse nicht auf die exakte Kommastelle zu interpretieren.

- b) *Skalierung und Interpretation*: Bei der Anwendung des AHP müssen neben dem mathematischen Verständnis auch die zugehörige Interpretation beachtet werden. Für den Vergleich der Flächeninhalte ist die lineare Skala notwendig, da diese zur Aufgabenstellung passt und physikalisch sinnvoll interpretiert werden kann (vgl. Abschnitt 2.2.6). Im Zuge der Bewertung der Software-Alternativen hat sich die *Potenz-Skala* als passend herausgestellt. Diese ist aber nur im Zusammenspiel mit der gewählten Likert-Skala und dessen numerischer Interpretation zielführend.
- c) *Likert-Skala*: Die Likert-Skala stellt eine Methode zur Erfassung von persönlichen Einstellungen dar. Die Wahl der zugewiesenen Punkte für die Optionen sowie die Anzahl der Wahlmöglichkeiten sind dem Ersteller freigestellt und können die Ergebnisse deutlich beeinflussen. Es wurden fünf Optionen mit jeweils gleichem numerischen Werteabstand gewählt. Die Interpretation der Zahlenwerte wurde über die Skalierung bzw. Abbildungsfunktion im Zuge des AHP vorgenommen.

3. *Change Prozess*: Ein Change-Prozess wird von den betroffenen Personen deutliche besser aufgenommen, wenn die Ziele und der Prozess offen und klar kommuniziert werden. Als größte Angst wurde die Furcht vor Mehraufwand in der Projektabwicklung wahrgenommen. Wichtig ist jedoch, dass nicht alle Prozesse im Sinne der „Digitalisierung“ einfach auf ein digitales System übertragen werden. Vielmehr ist es das Ziel, dass bei dieser Gelegenheit die Prozesse kritisch hinterfragt werden und verbesserte Abläufe implementiert und digitalisiert werden.

4. *Usability*: Dass der Usability in der Einführung bzw. Umstellung digitaler System ein großer Einfluss beigemessen werden sollte, ist nicht überraschend – hingegen, dass die mittels AHP errechnete Relevanz zwischen knapp 30 % und 26 % (vgl. Abschnitt 4.2.7) erreicht und letztlich mit 10 %-Punkten Vorsprung vor den drei Kernaufgaben in das Anforderungsprofil der Softwareanwendung aufgenommen wurde, schon.

Die ggstl. Arbeit hat gezeigt, dass mit einfachen Mitteln und einer systematischen Vorgehensweise auch eine komplexe Aufgabenstellung, wie eine firmenweite Einführung einer neuen Softwarelösung, analytisch und zielgerecht durchgeführt werden kann. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind als Orientierungshilfe im Zuge des Change-Prozesses zu verstehen.

Schlussbemerkung

Bei Beendigung der Diplomarbeit gab es bereits eine firmeninterne Vorstellung von 123, die durchwegs positiv angekommen ist. Das Unternehmen plant nun, eine größere Testphase durchzuführen, bei der die Software an einem konkreten Bauprojekt eingesetzt wird.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Darstellung der Flussobjekte	18
2.2	Darstellung der Verbindenden Objekte	19
2.3	Darstellung von Pools, Lanes und einer Blackbox	20
2.4	Darstellung der Daten-Objekte	20
2.5	Darstellung der Artefakt-Objekte	21
2.6	Die wichtigsten Gateways für die ggstl. Arbeit im Überblick. Rechts sind einige eintretende Ereignisse dargestellt und daneben ihre ausgelösten Gegenstücke	23
2.7	Ereignisse mit unterschiedlicher Umrandung und deren Bedeutung	24
2.8	Aktivitäten mit Aufgaben-Markierungen am unteren Rand zentriert und Aufgaben-Typen links oben in der Ecke	25
2.9	Darstellung des orientierenden Grobprozesses	26
2.10	Prinzipiskizze der hierarchischen Anordnung von Hauptziel, Kriterien und Alternativen. Die Anordnung kann um zusätzliche Kriterien-Ebenen erweitert werden. Die Verbindungslinien beschreiben die hierarchische Anordnung. Die runden Knotenpunkte der Verbindungslinien symbolisieren eine notwendige Bewertungsmatrix. Es ist ersichtlich, dass alle Alternativen hinsichtlich jedes Kriteriums gegeneinander verglichen werden müssen	31
2.11	Darstellung der unterschiedlichen Figuren (a) und den paarweisen Vergleichen (b). Jene Bewertungen, die gem. den Axiomen des AHP entfallen können, sind ausgegraut dargestellt	36
a	Unterschiedliche Figuren	36
b	Paarweise Vergleiche	36
2.12	Die geschätzten Verhältnisse der Flächen in (a) weisen Inkonsistenzen auf. Zwei konsistente Schätzungen sind in den Abbildungen (b) und (c) dargestellt. Die abgeänderten Werte sind jeweils unterstrichen	36
a	Geschätzte Verhältnisse	36
b	Konsistente Verhältnisse $K1$	36
c	Konsistente Verhältnisse $K2$	36
2.13	Systemdarstellung	41
2.14	Sensitivitätsanalyse des Ergebnisvektors $P_{Ges}^{(\alpha)}$ für das Gesamtsystems in Abhängigkeit des Exponenten α	43
3.1	Der orientierende Grobprozess einer Standard-Projektentwicklung	50
3.2	Darstellung des orientierenden Grobprozesses mit dem Clustering der Dokumente. Die grün hervorgehobenen Dokumente fallen in die Sphäre der Einsatzmittelplanung	52
3.3	Darstellung der Prozesskette der Projektakquise. Je nach betrachteter Abteilung sind unterschiedliche Dokumente für die Ressourcenprüfung in Verwendung – es gibt keine zentrale Erfassung der aktiven und avisierten Bauprojekte	54
3.4	Die Projektentwicklung aus Sicht eines Projektleiters. Auch hier sind die unterschiedlichen Dokumente und deren Ablageorte ersichtlich	56
3.5	Darstellung des Standardprozesses der Projektverwaltung. Die Aufgaben umfassen das Avisieren der Baustelle, Zuteilen eines designierten Bauleiters und Abstimmung der Kostenstelle	58

3.6	Die Geräte werden zwar zentral erfasst, aber die Zuteilung der Geräte auf die Baustellen erfolgt i. d. R. ohne schriftliche Erfassung durch die zuständige Person	59
3.7	Darstellung des groben Prozesses, der das Ausarbeiten der Personalzuteilung beinhaltet	61
3.8	Die detaillierte Ausarbeitung der Personalzuteilung umfasst eine Vielzahl verschiedener Dokumente. Als Ergebnis gibt es nur eine „Hard-Copy“ der Zuteilung. Die originale Datei ist nicht einsehbar und so müssen Änderungen immer erneut versendet werden	62
4.1	Darstellung der hierarchischen Anordnung aller Kriterien und untergeordneten Subkriterien, die im AHP berücksichtigt werden	66
4.2	Darstellung des PV hinsichtlich des Hauptziels	68
4.3	Darstellung der errechneten Gewichte für die allgemeinen Funktionen. Das <i>Rollen- und Berechtigungskonzept</i> und die <i>Stabilität</i> erreichen jeweils knapp 26%	70
4.4	Das Auswertungsergebnis des Hauptkriteriums <i>Einsatzmittelplanung</i>	71
4.5	Darstellung des Präferenzvektors für das Hauptkriterium <i>Kosten/Vertrag</i>	73
4.6	Darstellung der Bewertungsauswertung hinsichtlich des Hauptkriteriums <i>Geräteverwaltung</i>	74
4.7	Grafische Darstellung des PV des Hauptkriteriums <i>Personalverwaltung</i>	75
4.8	Die Gewichtung des <i>Reportings</i> setzt sich zu gleichen Teilen aus der Qualität und Funktionalität zusammen	77
4.9	Ergebnisauswertung des PV hinsichtlich des Hauptkriteriums <i>Usability</i>	79
4.10	Die aggregierten globalen Gewichte der Subkriterien, sortiert nach Relevanz bzgl. des Hauptziels	81
7.1	Beispielhafte Auswertungsgrafik zweier (Sub-)Kriterien der gleichen Elementgruppe . .	100
7.2	Beispielhafte Auswertung gleicher Punktebewertungen mit unterschiedlichen Skalen. Das Diagramm (a) beschreibt die Auswertung der Bewertungsmatrix über die lineare Skala nach Saaty. Die Abbildung (b) stellt die Auswertung des PV auf Basis der <i>Potenz-Skala</i> (Abbildungsfunktion $s \mapsto s^2$) dar	101
	a Skala nach Saaty	101
	b Potenz-Skala	101
7.3	Die Darstellung der erfassten Daten kann vom Benutzer frei gesteuert werden. Die Abbildung zeigt den Bereich „ <i>Baustellen</i> “, bei dem nach Name, ID, Status etc. sortiert und gefiltert werden kann. Nicht relevante Informationen können ausgeblendet werden .	102
7.4	Nur zwei Informationen sind notwendig, um eine Person in der Anwendung <i>123</i> zu erfassen. Dafür wird lediglich der Vor- und Nachname benötigt	103
7.5	Darstellung der administrativen Baustellenverwaltung in der Anwendung <i>BSU</i> . Der Bildschirm ist mit Informationen überladen und es ist nicht ersichtlich, welche Daten für die Bearbeitung notwendig sind und welche erst zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt werden können	104
7.6	Der Dialog zur Berechtigungsvergabe in der Anwendung <i>BSU</i> . Die eigentlich relevante Einstellung befindet sich im letzten Registerblatt. Dort wird zunächst eine Beschreibung eingeblendet, bevor die eigentlichen Konfigurationen vorgenommen werden können . . .	104
7.7	Die Startseite kann von den Benutzern angepasst werden, um jene Module anzuzeigen, die für den eigenen Arbeitsprozess bzw. Aufgabenbild am relevantesten sind	105
7.8	Darstellung der vorhandenen Auswahlmöglichkeiten für die Sprachdarstellung im Menüpunkt „ <i>Stammdaten</i> “. Am oberen Rand ist die horizontale Navigationsleiste dargestellt, über die man spezifische Dialoge der „ <i>Stammdaten</i> “ aufrufen kann	106

7.9	Userinterface bei der Ressourcenplanung. Die Buttons zur Interaktion sind über die gesamte Breite verteilt und weisen teils gravierende Unterschiede im Aussehen auf. Ganz rechts oben mit schwarzem Hintergrund befinden sich die Buttons für „Speichern“, „Neu Laden“ und „Abbrechen“. Darunter der Button zum Anlegen neuer Datensätze in grau. Mittig, die Schaltflächen zur Bearbeitung der Datensätze in quadratischer Form und deutlich kleiner. In Summe ergibt sich ein uneinheitliches Bild	106
7.10	Darstellung einer Fehlermeldung in der Anwendung <i>PRW</i> . Der Benutzer wird über eine Fehleingabe informiert, aber die genaue Angabe, welches Eingabefeld den Fehler verursacht hat, wird visuell nicht hervorgehoben	107
7.11	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Usability</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit knapp 26 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht.	108
7.12	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Usability</i>	108
7.13	<i>123</i> bietet die Möglichkeit, eigene Baustellentypen zu erstellen und ihnen eine eigene Farbcodierung zuzuweisen. Die Such-, Filter- und Sortierfunktion steht in allen Bereichen in der gleichen Art zur Verfügung	109
7.14	Die implementierte Filterfunktion ist ein sehr potentes Tool, das bei der Einsatzmittelplanung sehr hilfreich ist. Die gefilterte Baustelle und darauf gebuchte Einsatzmittel werden in der Kalenderansicht angezeigt. Am rechten Seitenrand können weitere Ressourcen (z. B. Mitarbeiter, Team oder Geräte) ganz einfach mittels Drag'n'Drop zugeteilt werden . . .	109
7.15	Fügt man dem in Abb. 7.14 dargestellten Geräteeinsatz „ <i>SP500</i> “ das Team „ <i>Betondecken</i> “ an, so entsteht ein Konflikt, der sofort dargestellt wird und dem Nutzer mögliche Lösungsvorschläge unterbreitet	110
7.16	Bei kurzfristig notwendiger Personaldisposition muss in der Ressourcenplanung lediglich der Tag angewählt werden und mögliche freie Ressourcen werden in der rechten Seitenspalte für einen Einsatz vorgeschlagen	111
7.17	Die Jahresvorlage der SOLL-Stunden für Personal	111
7.18	Darstellung des Interfaces zur Projekterstellung	112
7.19	In der Ressourcenplanung muss ein neuer Einsatz über den Button rechts oben angelegt werden und dann über den kleine Button, der aussieht wie eine „Checkbox“, links bestätigen. Die Skalierung der Tage und der Felder des Kalenders stimmen nicht überein	112
7.20	In <i>BPO</i> können Einsätze in Teilprozesse zerlegt werden. Die Angaben zur Baustelle umfassen nur wenige Daten. Die Darstellung dieser Daten ist über den gesamten Bildschirm gestreckt	113
7.21	In der Ressourcenplanung werden Projekte und Ressourcen übereinander dargestellt. Auch hier ist die Skalierung der Überschriften (Tag und Datum) nicht mit der Skalierung der Kalenderzellen stimmig	113
7.22	Konflikte werden nur beim Aufruf der Kollisionsprüfung dargestellt. Das System stellt automatisch Vorschläge zur Problembeseitigung zur Verfügung	114
7.23	Die GANTT-Darstellung eines Projekts mit zwei Vorgängen. Darunter ist die Ressourcenansicht eingeblendet, die mittels Farbindikation die Verfügbarkeit von Personal und Geräten beschreibt	114
7.24	Darstellung der Personaleinsatzplanung in der Anwendung <i>PRW</i> mit der Fähigkeit, nach spezifischen Qualifikationen zu suchen. Für einen geplanten Einsatz wird verfügbares Personal gesucht, das eine Lenkerberechtigung für Klasse-B-Fahrzeuge besitzt. Die Auslastung der verfügbaren Personen ist direkt im Ergebnis der Suchanfrage abgebildet	115

7.25	<i>PRW</i> bietet erweiterte Such- und Filteroptionen bei der Ressourcenplanung. Diese spezifischen Dialoge werden über „Pop-ups“ eingeblendet und überdecken zuvor eingetragene Daten	116
7.26	Überbuchungen des Personals werden in der Ressourcenübersicht mittels Farbindikation hervorgehoben	116
7.27	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Einsatzmittelplanung</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit knapp 15% in der Gesamtauswertung ins Gewicht.	117
7.28	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Einsatzmittelplanung</i> .	117
7.29	Interface zur Dokumentenablage für gerätespezifische Unterlagen. Es können Dokumentenordner und -typen angelegt werden, um alle relevanten Informationen abzulegen . . .	118
7.30	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Geräteverwaltung</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 14% in der Gesamtauswertung ins Gewicht	119
7.31	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Geräteverwaltung</i> . . .	120
7.32	Formular zum Erfassen neuer Mitarbeiter. Dieser Dialog stellt die Erweiterung zur „ <i>Personenerfassung</i> “ dar (vgl. Abb. 7.4)	121
7.33	<i>123</i> bietet ein Framework, um eigene Formulare zu erstellen und diese mit speziellen Regeln zu hinterlegen und/oder nur einem bestimmten Personenkreis freizugeben	121
7.34	Bei <i>BPO</i> können für Ressourcen-Gruppen eigene Felder erstellt werden, um damit gewünschte Daten zu erfassen	122
7.35	Abwesenheit kann über die Wahl einer der großen Kacheln direkt eingetragen werden . .	122
7.36	Im Ressourcenplan werden eingetragene Abwesenheiten, wie bspw. Urlaub, bei Personen oder Wartung bei Geräten angezeigt	123
7.37	Darstellung der Kompetenzverwaltung des Personals in den Stammdaten der Anwendung. Die Art der Implementierung ermöglicht das Erstellen und hierarchisches Anordnen von Kompetenzgruppen und Kompetenzen unterschiedlichster Art	123
7.38	Das Personal wird zentral erfasst und kann unterschiedlichen Teams zugeteilt werden . .	124
7.39	Urlaubsanträge werden direkt über das System eingereicht und bearbeitet	124
7.40	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Personalverwaltung</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 14% in der Gesamtauswertung ins Gewicht.	125
7.41	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Personalverwaltung</i> . .	125
7.42	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Kosten/Vertrag</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 11% in der Gesamtauswertung ins Gewicht	126
7.43	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Kosten/Vertrag</i>	126
7.44	Darstellung der Benutzeroberfläche der Softwareapplikation (App) auf einem mobilen Endgerät (Betriebssystem iOS). Abbildung (a) zeigt den Startbildschirm mit großen Symbolen zur Navigation. Die beiden anderen Abbildungen zeigen Eingabemasken für die Erfassung von Personalausfällen (b) und zur Bearbeitung vordefinierter Formulare (c) zur direkten Eingabe	128
	a Startbildschirm	128
	b Abwesenheit	128
	c Urlaubsantrag	128
7.45	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Mobilität</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 14% in der Gesamtauswertung ins Gewicht .	128

7.46	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Mobilität</i>	128
7.47	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Reporting</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 6,5 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht .	129
7.48	Zusammenstellung der lokalen Relevanz für das Hauptkriterium <i>Reporting</i>	129
7.49	Die detaillierte Auswertung der vier Alternativen hinsichtlich des Kriteriums <i>Allgemeine Funktionen</i> . Diese Ergebnisse fallen in Summe mit rd. 5,5 % in der Gesamtauswertung ins Gewicht	131
7.50	Aggregation der Alternativen-Vergleiche auf lokale Relevanz für das Hauptkriterium <i>Allg. Funktionen</i>	132
7.51	Aggregierter Einfluss der Kategorien auf das Hauptziel	133
7.52	Aggregation aller Alternativen-Vergleiche auf globale Ebene	134

Tabellenverzeichnis

2.1	Beispiel: Bewertungsmatrix zwischen Level 0 und Level 1 für den paarweisen Vergleich der Kriterien gem. Abb. 2.10. Unter Berücksichtigung der Axiome des AHP können einige Vergleiche entfallen (grau), da der Vergleich $P_{Ziel}(K_2, K_1)$ jenem $P_{Ziel}(K_1, K_2)^{-1}$ entspricht. Der Vergleich mit sich selbst ergibt 1	32
2.2	Die Anzahl der notwendigen Vergleiche in Abhängigkeit der Dimension einer $n \times n$ -Bewertungsmatrix	32
2.3	Die Saaty-Skala \mathbb{S} für relative Ausprägung eines Merkmals und verschiedene Abbildungsfunktionen $f : \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}^*$. Liegen exakte Relationen vor, so können die Abbildungsfunktionen ebenfalls angewendet werden. Bewertungen < 1 sind zuerst gem. Reziprozitäts-Axiom umzurechnen	34
2.4	Die geschätzte Bewertungsmatrix der Flächeninhalte \mathbf{A}_S aus Abb. 2.12 sowie zwei konsistente Alternativmatrizen (\mathbf{A}_{K1} und \mathbf{A}_{K2}) mit ähnlichen Einträgen. Die Änderungen gegenüber der Schätzung wurden hervorgehoben	37
2.5	Berechnung der Evaluationsmatrix \mathbf{B}_S , des Eigenvektors \mathbf{R}_S und des Präferenzvektors \mathbf{W}_S am Beispiel der Bewertungsmatrix \mathbf{A}_S aus Tab. 2.4. Inkonsistente Matrizen besitzen variierende Zeileneinträge in der Evaluationsmatrix	38
2.6	RI : Mittelwert des CI für zufällig generierte Bewertungsmatrizen nach <i>Saaty-Skala</i> \mathbb{S} und die Abbildung $s \mapsto s^2$, in Abhängigkeit der Dimension n [4, S.170]	40
2.7	Sensitivitätsanalyse des globalen Ergebnisvektors im Bereich von $0, 50 \leq \alpha \leq 1, 50$. Bei einem Parameterwert von $\alpha \approx 1,125$ ist eine Änderung der Rangfolge der Alternativen 1 und 2 zu erkennen	43
3.1	Zusammenstellung der 60 regelmäßig verwendeten Dokumente zur Projektabwicklung inkl. Angabe des Ablageorts. Beinahe alle Dokumente sind entweder auf einem der beiden SharePoint-Server (SPS) abgelegt oder befinden sich auf dem Netzlaufwerk „P:“	48
4.1	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum Hauptziel (HZ) und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls dargestellt.	67
4.2	Bewertungsmatrix der Elementgruppe bezüglich der <i>allgemeinen Funktionen</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls dargestellt.	69
4.3	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zur <i>Einsatzmittelplanung (EMP)</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.	71
4.4	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum <i>Vertrag/Kosten</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.	72
4.5	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum <i>Geräteverwaltung</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium CR aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.	74

4.6	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zur <i>Personalverwaltung</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium <i>CR</i> aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.	75
4.7	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zum <i>Reporting</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium <i>CR</i> aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls ausgewiesen.	76
4.8	Bewertungsmatrix der Elementgruppe zur <i>Usability</i> und der errechnete Prioritätenvektor (PV). Der Eigenwert λ_{\max} und das Konsistenzkriterium <i>CR</i> aus der Konsistenzprüfung sind ebenfalls dargestellt. Die Bewertungsmatrix weist nur eine geringe Inkonsistenz auf.	78
4.9	Aggregation der lokalen Prioritäten der Subkriterien zu globalen Gewichten. Das globale Gewicht stellt den Einfluss des Subkriteriums auf das Hauptziel dar	80
5.1	Zusammenstellung möglicher notwendiger Daten für die Personalerfassung. Neben der Zuteilung zu den Baubereichen Betondeckenausbau (BDA), Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächentechnik (FIO) und Bodenstabilisierung (BOD) sind auch zusätzliche Qualifikationen wie Betontechnologie 1 (BT 1) bzw. BT 2 erfasst	84
5.2	Gerätepool für die Use-Cases mit zusätzlichen Informationen. Die Geräte sind den Bereichen Betondeckenausbau (BDA), Fugen-, Instandsetzungs- und Oberflächentechnik (FIO) und Bodenstabilisierung (BOD) zugeteilt, haben interne und externe Identifikationsnummern hinterlegt sowie weitere Informationen zum Baujahr, der Nummer und Kennwert der Baugeräteliste (BGL). Weiters sind Ansätze für den mittleren Neuwert (mittl. NW), Abschreibung und Verzinsung (A/V) sowie Reparatur (Rep.) angegeben	86
5.3	Zusammenstellung der Baustellen (Bstl.) für die Anwendungstests. Erfasst werden Daten zum Status, dem Ausführungszeitraum (Ausf.-Z.), Auftragsvolumen, dem zuständigen Bauleiter und seiner Partie sowie das verwendete Gerät. In Klammer gesetzte Geräte ergeben sich aus den Use-Cases	87
6.1	Bewertungsschema in Anlehnung an die <i>Likert-Skala</i>	95
6.2	Bewertung der vier Alternativen hinsichtlich des Sub-Kriteriums <i>Steuerbarkeit</i> nach <i>Likert-Skala</i>	98
A1	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Allgemeine Funktionen</i>	iii
A2	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Personalverwaltung</i>	iv
A3	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Geräteverwaltung</i>	v
A4	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Einsatzmittelplanung</i>	vi
A6	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Reporting</i>	viii
A7	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Kosten und Vertragsmodell</i>	ix
A8	Bewertungsbogen für die Hauptkategorie <i>Personalverwaltung</i>	x

Literaturverzeichnis

- [1] P. Cabala. „Using the analytic hierarchy process in evaluating decision alternatives“. In: *Operations research and decisions* 20.1 (2010), S. 5–23.
- [2] CEN. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Norm EN ISO 9241-110:2006. B-1050 Brüssel: Europäisches Komitee für Normierung (CEN), Apr. 2006.
- [3] CEN. *Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen – Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen*. Norm EN ISO 14915-1:2002. B-1050 Brüssel: Europäisches Komitee für Normierung (CEN), Nov. 2002.
- [4] J. Franek und A. Kresta. „Judgment scales and consistency measure in AHP“. In: *Procedia Economics and Finance* 12 (2014), S. 164–173.
- [5] J. Freund und B. Rücker. *Praxishandbuch BPMN 2.0*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017.
- [6] R. de F.S.M. Russo und R. Camanho. „Criteria in AHP: a systematic review of literature“. In: *Procedia Computer Science* 55 (2015), S. 1123–1132.
- [7] P. T. Harker und L. G. Vargas. „The theory of ratio scale estimation: Saaty’s analytic hierarchy process“. In: *Management science* 33 (11) (1987), S. 1383–1403.
- [8] W. Hurley. „The analytic hierarchy process: A note on an approach to sensitivity which preserves rank order“. In: *Computers & Operations Research* 28 (2) (2001), S. 185–188.
- [9] O. Meixner und R. Haas. *Wissensmanagement und Entscheidungstheorie*. Berggasse 5, 1090 Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG, 2010.
- [10] G. A. Miller. „The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information.“ In: *Psychological review* 63 (2) (1956), S. 81.
- [11] E. Mu und M. Pereyra-Rojas. *Practical Decision Making: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions*. Bd. 2. Springer, 2017.
- [12] V. Popova. „Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen für Betonfahrbahnen“. Magisterarb. Technische Universität Wien, 2011.
- [13] T. L. Saaty. „How to make a decision: the analytic hierarchy process“. In: *European journal of operational research* 48 (1) (1990), S. 9–26.
- [14] T. L. Saaty. „Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process“. In: *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas* 102 (2) (2008), S. 251–318.
- [15] T. L. Saaty und L. G. Vargas. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. 2nd*. Bd. 175. Springer Science & Business Media, 2012.
- [16] P. J. Sandiford und J. Ap. „Important or Not? A Critical Discussion of Likert Scales and ‘Likert-type’ Scales as Used in Customer Research“. In: *12th Annual CHME Hospitality Research Conference: Trend and developments in hospitality research, Sheffield Hallam University, Sheffield, South Yorkshire, England*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/307093882>. 2003.
- [17] E. Triantaphyllou und A. Sánchez. „A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods“. In: *Decision sciences* 28 (1) (1997), S. 151–194.
- [18] F. Zahedi. „The analytic hierarchy process—a survey of the method and its applications“. In: *interfaces* 16 (4) (1986), S. 96–108.

ANHANG – Bewertungsbögen

Tab. A1: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Allgemeine Funktionen*

123	BSU	BPO	PRW	Allg. Funktionen
15	12	13	15	Rollen- und Berechtigungskonzept
5	5	5	5	Jeder User erhält einen eigenen Account
5	5	4	5	Unterschiedliche Rollen und Berechtigungen können administriert werden
5	2	4	5	Der Aufwand zur Rollen- und Berechtigungsadministration ist gering
10	9	5	10	Support
5	5	1	5	Es ist umfangreiches Material zur Selbsthilfe verfügbar (Web, User-Manual etc.)
5	4	4	5	Der Support ist einfach über mehrere Kanäle erreichbar (Email, Hotline, Web-Formular etc.)
10	4	4	7	Schnittstellen
5	1	2	5	Schnittstellen zum Auslesen von Daten für andere Programme sind in großem Umfang vorhanden
5	3	2	2	Schnittstellen zum Einlesen von Daten aus anderen Programmen sind in großem Umfang vorhanden
14	11	10	10	Software-Umfang
5	1	4	4	Die Software ist nicht mit Funktionen/Modulen überladen, die nicht dem Anforderungsprofil entsprechen
5	5	5	5	Die Anzahl der zu bearbeitenden Einheiten (hier: Projekte, Personen, Geräte) ist nicht beschränkt
4	5	1	1	Nachrichten/Alerts/Hinweise können direkt im System übermittelt werden
20	11	15	15	Zuverlässigkeit
5	1	4	4	Es treten selten Fehlermeldungen auf (Programmabsturz, Verbindungsfehler, DB-Fehler etc.)
5	0	5	5	Die Software kann ohne Probleme von mehreren Usern gleichzeitig verwendet werden
5	5	1	5	Änderungen an Datensätzen werden „in real time“ vom System übernommen
5	5	5	1	Der Hersteller ist am Markt bekannt und kann Referenzen in der Baubranche aufweisen
15	8	15	15	Implementierung
5	2	5	5	Die Implementierung des Systems im Unternehmen ist einfach zu bewerkstelligen
5	5	5	5	Die Systemvoraussetzungen für Endgeräte übersteigen nicht jene aktueller Standardgeräte
5	1	5	5	Die Software ist betriebssystemübergreifend

Tab. A2: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Personalverwaltung*

123	BSU	BPO	PRW	Personalverwaltung
8	1	6	20	Personalerfassung
5	1	3	5	Personaldaten können einfach angelegt werden
1	0	1	5	Kompetenzen/Qualifikationen des Personals können einfach erfasst werden
1	0	1	5	Dokumente können den Personen einfach beigefügt werden (z. B. Führerschein-Scan)
1	0	1	5	Personaldaten können in ausreichendem Umfang (vgl. Personalliste [D. 47]) erfasst werden
10	0	8	10	Personaladministration
5	0	5	5	Personaldaten können einfach abgeändert werden
5	0	3	5	Es ist einfach möglich, den Verfügbarkeitsstatus von Personen zu ändern
19	0	8	20	Verfügbarkeitsplanung
4	0	1	5	Über das System kann direkt Urlaub beantragt werden
5	0	5	5	Abwesenheit kann einfach avisiert werden
5	0	1	5	Der Urlaubstand des Personals kann leicht verfolgt werden
5	0	1	5	Abwesenheitsarten können einfach erfasst werden

Tab. A3: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Geräteverwaltung*

123	BSU	BPO	PRW	Geräteverwaltung
17	17	16	10	Gerätefassung
5	2	5	3	Maschinen können einfach angelegt werden
5	5	5	2	Maschinen können individuelle Nummern zugeteilt werden
3	5	1	4	Maschinen können Dokumente hinterlegt werden
4	5	5	1	Der Umfang der Gerätefassung ist ausreichend (vgl. Liste „Geräteliste“)
9	6	10	5	Geräteadministration
5	3	5	3	Gerätedaten können einfach abgeändert/aktualisiert werden
4	3	5	2	Maschinenaufrüstungen können verfolgt werden
14	0	13	9	Verfügbarkeitsplanung
3	0	3	1	Reparaturen werden im System gespeichert und können nachverfolgt werden
4	0	3	2	Termine für Reparaturen können einfach gefunden und avisiert werden
3	0	3	2	Wartungen werden im System gespeichert und können nachverfolgt werden
4	0	4	4	Termine für Wartungen können einfach gefunden und avisiert werden

Tab. A4: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Einsatzmittelplanung*

123	BSU	BPO	PRW	Einsatzmittelplanung
41	0	22	38	Baustellenverwaltung
5	0	2	4	Es ist einfach, ein neues Projekt anzulegen
5	0	2	4	Es ist einfach möglich, Baustellen mit Basisdaten (Adresse, Auftraggeber) zu versehen
5	0	1	5	Es ist einfach möglich, Projekten unterschiedlichen Abteilungen zuzuweisen
3	0	1	5	Es ist einfach möglich, Dokumente (z. B. Auftragsschreiben) dem Projekt im System anzuhängen
5	0	5	5	Es ist einfach möglich, einer Baustelle einen Bauleiter zuzuteilen
5	0	1	5	Es ist möglich, einer Baustelle einen Status zuzuteilen und einfach ersichtlich welchen Status eine Baustelle hat (in Akquise, in Planung, beauftragt etc.)
5	0	5	1	Es ist einfach möglich, ein Projekt einer Kostenstelle zuzuweisen
5	0	1	4	Alle für den Prozess notwendigen Informationen können im System hinterlegt werden
3	0	4	5	Es ist einfach möglich, unterschiedliche Arbeitsschritte darzustellen (z. B. Baustelleneinrichtung, Baudurchführung etc.)
23	0	45	47	Personaleinsatzplanung
5	0	3	4	Es ist einfach möglich, Personen auf Einsätze zu buchen
5	0	3	5	Es ist einfach möglich, Personen auf Teile einer Baustelle zu buchen
5	0	5	3	Nicht verfügbares Personal kann nicht verplant werden bzw. es wird auf die Einschränkung hingewiesen
5	0	4	5	Alternativen zu nicht verfügbarem Personal können vom System dargestellt werden
3	0	4	5	Die Bereichszuteilung ist bei der Personaldisposition ersichtlich
19	0	15	14	Geräteinsatzplanung
5	0	3	4	Es ist einfach möglich, Maschinen auf Einsätze zu buchen
4	0	3	4	Es ist einfach möglich, Maschinen auf Teilprojekte zu buchen
5	0	5	3	Nicht verfügbare Geräte können nicht verplant werden bzw. es wird auf die Einschränkung hingewiesen
5	0	4	3	Alternativen zu nicht verfügbaren Ressourcen können vom System dargestellt werden
35	0	20	22	Änderungsmanagement
5	0	1	3	Ein angelegtes Projekt kann ohne großen Aufwand zeitlich verschoben werden

Fortsetzung auf der Folgeseite

123	BSU	BPO	PRW	Einsatzmittelplanung
5	0	1	2	Entstandene Konflikte beim Abändern von Projekten werden dargestellt
5	0	3	5	Es ist einfach möglich, das Personal von Einsätzen zu ändern
5	0	4	3	Es ist einfach möglich, bei Ausfall einer Person eine verfügbare Alternative zu finden
5	0	3	3	Es ist einfach möglich, Geräte von Einsätzen zu ändern
5	0	4	2	Es ist einfach möglich, bei Ausfall eines Geräts eine verfügbare Alternative zu finden
5	0	4	4	Im Änderungsmanagement wird Abwesenheit (z. B. Urlaub, Kur etc.) berücksichtigt
20	0	13	15	Bedarfsplanung
5	0	4	5	Es ist einfach, ein termintreues Projekt zu avisieren
5	0	4	3	Es ist einfach, ein personentreues Projekt zu avisieren
5	0	4	3	Es ist einfach, ein maschinenreues Projekt zu avisieren
5	0	1	4	Es ist einfach möglich, Feiertage/Betriebsurlaub o. dgl. im Voraus zu administrieren

Tab. A6: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Reporting*

123	BSU	BPO	PRW	Reporting
29	15	24	29	Funktionalität
5	0	5	5	Der aktuelle Einsatzort einer Person kann einfach ermittelt werden
5	0	5	5	Der aktuelle Einsatzort einer Maschine kann einfach ermittelt werden (inkl. Rep)
5	5	5	5	Speziell vorgefertigte Berichte stehen zur Verfügung
4	4	1	5	Eigene Berichte können generiert und als Vorlage gespeichert werden
5	1	5	5	Ein Bauzeitplan kann einfach dargestellt werden
5	5	3	4	Übersichtlisten (z. B. Gerätebestand, Personal im Einsatz etc.) können dargestellt werden
23	18	13	23	Qualität
5	5	3	4	Die Berichte sind inhaltlich präzise und treffend ausgeführt
5	0	0	5	Anpassungen der Reports können vorgenommen werden (z. B. Logos, Kopfzeilen, Disclaimer etc.)
5	5	3	5	Die Berichte sind übersichtlich und leicht verständlich gestaltet
5	3	3	4	Die Informationen werden bereichsübergreifend kohärent dargestellt
3	5	4	5	Berichte sind zum direkten Export (pdf.-Export, Druck) geeignet

Tab. A7: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Kosten und Vertragsmodell*

123	BSU	BPO	PRW	Kosten und Vertragsmodell
10	5	10	9	Betriebsaufwand
5	0	5	4	Der Betrieb ist in der Erhaltung nicht sehr aufwändig
5	5	5	5	Für die Verwendung ist kein spezielles Zusatzequipment notwendig (Dongle, Sensoren etc.)
7	1	5	8	Vertragsmodell
4	1	3	5	Das Vertragsmodell ist im Voraus klar geregelt
3	0	2	3	Das Vertragsmodell ist flexibel aufgebaut (Vertragsart, Vertragsdauer, Fristenlauf etc.)
8	0	6	7	Kosten
3	0	2	2	Die Kosten für das System überschreiten nicht das verfügbare Budget
5	0	4	5	Das Vertragsmodell lässt gute Prognoseabschätzungen der zu erwartenden Kosten zu

Tab. A8: Bewertungsbogen für die Hauptkategorie *Personalverwaltung*

123	BSU	BPO	PRW	Usability
25	9	18	20	Aufgabenangemessenheit
5	1	4	3	Dem Benutzer werden Informationen angezeigt, die im Zusammenhang mit der erfolgreichen Erledigung der Arbeitsaufgabe stehen
5	1	3	3	Es werden keine Informationen angezeigt, die nicht für die erfolgreiche Erledigung relevanter Arbeitsaufgaben benötigt werden
5	2	4	5	Die Form der Eingabe und Ausgabe ist der Arbeitsaufgabe angepasst
5	4	5	5	Für bestimmte Arbeitsaufgaben ganz typische Werte sind dem Benutzer automatisch als vorgestellte Werte verfügbar
5	1	2	4	Es werden nur nötige Dialogschritte angezeigt und unnötige Dialogschritte werden vermieden
35	15	22	24	Selbstbeschreibungsfähigkeit
5	1	2	5	Der Einstieg in das Programm ist einfach und dauert nicht lange
5	1	3	2	Die Software hat eine <i>saubere</i> und intuitive Benutzeroberfläche
5	1	2	2	Die Navigation durch das Programm ist intuitiv und leicht verständlich
5	3	2	3	Die bei jedem Dialogschritt angezeigte Information leitet den Benutzer, sodass der Dialog erfolgreich abgeschlossen werden kann
5	1	3	3	Während der Interaktion mit dem System ist es i. d. R. nicht notwendig, Benutzer-Handbücher oder andere externe Informationen heranzuziehen
5	4	5	4	Bei Eingaben werden dem Benutzer Informationen zu den geforderte Eingabewerte bereitgestellt
5	4	5	5	Bei Eingaben werden dem Benutzer Informationen zu den geforderten Formaten und Einheiten bereitgestellt
30	21	21	23	Erwartungskonformität
5	5	5	4	Das System verwendet Vokabular, das dem Benutzer vertraut ist bzw. auf Grund seiner Kenntnisse und Erfahrungen verwendet wird
5	4	2	5	Auf Handlung des Benutzers erfolgt unmittelbar eine passende Rückmeldung
5	1	3	3	Informationen sind so strukturiert und organisiert, wie es für den Benutzer als natürlich empfunden wird

Fortsetzung auf der Folgeseite

123	BSU	BPO	PRW	Usability
5	5	5	5	Die Formate entsprechen kulturellen und sprachlichen Konventionen
5	3	3	3	Das Dialogverhalten und die Informationsdarstellung ist innerhalb der Arbeitsaufgabe und über ähnliche Arbeitsaufgaben hinweg konsistent
5	3	3	3	Eine bestimmte Eingabeposition, die auf der Grundlage von Benutzererwartungen vorhersehbar ist, hat diese Position voreingestellt (z. B. Button „OK“ immer rechts unten)
18	7	8	15	Lernförderlichkeit
4	1	1	3	Es sind geeignete Unterstützungen bereitgestellt, damit der Benutzer mit dem Dialog vertraut wird
4	2	2	4	Rückmeldungen und Erläuterungen unterstützen den Benutzer, ein konzeptionelles Verständnis vom interaktiven System zu bilden
5	3	2	5	Der Dialog stellt ausreichende Rückmeldungen über Zwischen- und Endergebnisse von Handlungen bereit, damit die Benutzer von erfolgreich ausgeführten Handlungen lernen
5	1	3	3	Das System ermöglicht den Benutzern die Arbeitsaufgabe mit minimalem Lernaufwand auszuführen
20	18	17	16	Steuerbarkeit
5	5	5	4	Die Interaktionsgeschwindigkeit wird durch den Benutzer gesteuert und ist nicht durch das System vorgegeben
5	5	5	5	Der Benutzer hat die Steuerung darüber, wie der Dialog fortgesetzt wird
5	3	2	2	Dialogschritte können zurückgenommen werden
5	5	5	5	Bei Zweckmäßigkeit können voreingestellte Werte abgeändert werden
26	19	14	19	Fehlertoleranz
5	3	2	4	Das interaktive System unterstützt den Benutzer dabei, Eingabefehler zu entdecken und zu vermeiden
5	5	3	3	Das interaktive System verhindert, dass irgendeine Benutzer-Handlung zu undefinierten Systemzuständen oder zu Systemabbrüchen führen kann
5	4	3	1	Wenn sich ein Fehler ereignet, wird dem Benutzer eine Erläuterung zur Verfügung gestellt, um die Beseitigung des Fehlers zu erleichtern
3	3	3	2	Fehlerkorrekturen, die das System automatisch vornehmen kann, werden dem Benutzer dargestellt, sodass er diese korrigieren kann

123	BSU	BPO	PRW	Usability
3	2	1	5	Die Prüfung der Gültigkeit und Korrektheit von Daten findet statt, bevor das interaktive System die Eingabe verarbeitet
5	2	2	4	Die zur Fehlerbehebung erforderlichen Schritte sind minimal
29	19	17	22	Individualisierbarkeit
5	4	3	5	Das System sieht Techniken zur Anpassung an die charakteristischen Eigenschaften von Benutzern vor
5	5	4	5	Der Benutzer hat die Möglichkeit, zwischen unterschiedlichen Dialogtechniken zu wählen (z. B. Combi-Feld)
5	3	2	2	Der Benutzer hat die Möglichkeit, die Art zu wählen, in der Eingabe-/Ausgabe-Daten dargestellt werden (Format u. Typ)
5	3	2	3	Individuelle Einstellungen eines Dialoges können rückgängig gemacht werden, um dem Benutzer zu erlauben, zu den ursprünglichen Einstellungen zurückzukehren
4	4	2	2	Die Möglichkeit die Dialogsprache zu ändern ist vorhanden und bietet eine große Auswahl
5	0	4	5	Die Sprache kann jeder Account für sich selbst festlegen

