

F. Hübner, R. Volk, O. Secer, D. Kühn, P. Sahre, R. Knappik,
F. Schultmann, S. Gentes, P. von Both

MODELLENTWICKLUNG EINES GANZHEITLICHEN
PROJEKTMANAGEMENTSYSTEMS FÜR
KERNTECHNISCHE RÜCKBAUPROJEKTE (MOGAMAR)

SCHLUSSBERICHT DES FORSCHUNGSVORHABENS

F. Hübner, R. Volk, O. Secer, D. Kühn, P. Sahre, R. Knappik,
F. Schultmann, S. Gentes, P. von Both

Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR)

Schlussbericht des Forschungsvorhabens

PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung

Band 24

Eine Übersicht aller bisher in dieser Schriftenreihe
erschienenen Bände finden Sie am Ende des Buches.

Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR)

Schlussbericht des Forschungsvorhabens

von

F. Hübner, R. Volk, O. Secer, D. Kühn, P. Sahre,
R. Knappik, F. Schultmann, S. Gentes, P. von Both

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed
under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License
(CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-ND 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>*

Print on Demand 2018 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2194-2404

ISBN 978-3-7315-0762-8

DOI 10.5445/KSP/1000080517

Schlussbericht

Forschungsvorhaben: Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR)

Gefördert von: Bundesministerium für Bildung und Forschung



Gesamtlaufzeit des Projekts: 01.01.2014 – 31.03.2017

Förderkennzeichen: 02S9113A, 02S9113B, 02S9113C
15S9113A, 15S9113B, 15S9113C

Berichtersteller: Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann (KIT)
Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes (KIT)
Prof. Dr.-Ing. Petra von Both (KIT)
Prof. Dr. rer. nat. Peter Sahre (VKTA)
Dr. rer. nat. Reinhard Knappik (VKTA)
Dipl.-Ing. Daniel Kühn (AREVA)

Autoren: M. Sc. Felix Hübner (KIT)
Dr.-Ing. Rebekka Volk (KIT)
Dipl.-Ing. Oktay Secer (KIT)
Dipl.-Ing. Daniel Kühn (AREVA)
Prof. Dr. rer. nat. Peter Sahre (VKTA)
Dr. rer. nat. Reinhard Knappik (VKTA)
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann (KIT)
Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes (KIT)
Prof. Dr.-Ing. Petra von Both (KIT)

Berichtsdatum: 28.08.2017

Hinweis: Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 02S9113A, 02S9113B und 02S9113C während der Projektträgerschaft des Projektträgers Karlsruhe und unter den Förderkennzeichen 15S9113A, 15S9113B und 15S9113C während der Projektträgerschaft des Projektträgers Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Kurzfassung

In Folge intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnten bisher eine Vielzahl von Techniken und Verfahren zum Rückbau kerntechnischer Anlagen neu- bzw. weiterentwickelt und in der Praxis getestet werden. Verschiedene in der Vergangenheit erfolgreich durchgeführte Rückbauprojekte sowie der Fortschritt bei laufenden Rückbauprojekten belegen, dass die kerntechnischen Anlagen heutzutage technisch sicher zurückgebaut werden können.

Neben der technischen Umsetzung unter Beachtung des radiologischen Schutzes für Mensch und Umwelt, spielt auch die ganzheitliche, betriebswirtschaftliche Betrachtung bei der Planung, Ausführung und Überwachung von kerntechnischen Rückbauprojekten eine sehr große Rolle. Aufgrund des Individual- und Neuheitscharakters auf dem Gebiet der Stilllegung und des Rückbaus kerntechnischer Anlagen existieren nur sehr wenige Erfahrungswerte, sodass die Planung und Ausführung nach wie vor vielen Unsicherheiten unterliegen. Eine Standardisierung und Verallgemeinerung der Prozesse und Verfahren in Anlehnung an Rückbauprojekte des klassischen Ingenieurbaus ist aus diesem Grund schwer herbeizuführen. Die eingesetzten, klassischen Projektmanagementsysteme haben in der praktischen Anwendung gezeigt, dass sie mit ihren Werkzeugen keine ausreichende Kosten- und Ressourceneffizienz bei der Planung und Umsetzung von kerntechnischen Rückbauprojekten bieten. Insbesondere die vielen Unsicherheiten aufgrund fehlender Erfahrungswerte werden in der bisherigen Planung nicht ausreichend berücksichtigt. Dies ist mit ein Grund dafür, dass bisher abgeschlossene bzw. laufende Rückbauprojekte zum Teil deutliche Abweichungen von den ursprünglichen Termin- und Kostenplanungen aufweisen.

Um diesen Abweichungen entgegen zu wirken, ist die Entwicklung eines ganzheitlichen Projektplanungssystems mit einem integrierten Ansatz dringend notwendig, der die Komplexität des Projekts unter Beibehaltung der aktuellen Sicherheitsstandards in Bezug auf Zeit und Ressourcen hinreichend

abbildet, entsprechende Werkzeuge bereithält und somit eine aktive Gestaltung der Managementprozesse ermöglicht. In diesem Zusammenhang spielt die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Planung eine entscheidende Rolle.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, auf Basis von Projektstrukturplänen (PSP) und anderen Projektdokumentationen von abgeschlossenen, laufenden und in Planung befindlichen Rückbauprojekten die Besonderheiten von kerntechnischen Rückbauprojekten zu analysieren. Dabei sollen derzeitige Schwachstellen im Projektmanagement identifiziert werden, die für außerplanmäßige Zeit- und Kostenveränderungen verantwortlich sind. In die Entwicklung eines Ansatzes für ein ganzheitliches Projektplanungssystem für kerntechnische Rückbauprojekte fließen die Analyseergebnisse und die Weiterentwicklung derzeitiger Projektmanagementsysteme ein. Dieser Ansatz soll eine realitätsnahe und integrierte Zeit-, Kosten- und Ressourcenplanung ermöglichen, die insbesondere die Unsicherheiten in der Planung und Ausführung aufgrund fehlender Erfahrungswerte berücksichtigt.

Abstract

As a result of intensive research and development of the dismantling of nuclear power plants, a variety of technologies and procedures have been developed. Various successfully completed dismantling projects in the past as well as the progress of ongoing dismantling projects show that it is already technically possible to dismantle nuclear facilities safely.

Besides the safe technical realization of the dismantling process, it is also very important to consider the holistic and economic view of the planning, execution and monitoring of nuclear dismantling projects. Due to the individual and innovative character, decommissioning and dismantling of nuclear facilities are based on experience. Since not many decommissioning projects have taken place yet, there are only very few experience values. Consequently, planning and execution underlie various uncertainties. For the same reason, it is difficult to standardise and generalise the processes and procedures of decommissioning projects of civil engineering. Current project management systems have proven that in practice they do not provide sufficient cost and resource efficiency at planning and implementing nuclear dismantling projects. Especially the various uncertainties are not sufficiently taken into account during the planning process because of missing empirical data. That is why completed and ongoing dismantling projects of nuclear power plants often show significant deviations between expected and real costs.

To counteract such deviations, the development of a holistic project management system with an integrated approach is urgently needed. At the same time, this project management system should be able to adequately reflect the complexity of the project, enable a proactive approach to design management processes and stay within current safety standards with respect to time and resource constraints. In this context, considering the uncertainties during the planning process is very important.

The aim of this research project is to analyse the special characteristics of nuclear dismantling projects through project plans and other project documentation of completed, ongoing and planned dismantling projects. It concludes to identify current weaknesses in project management which are responsible for unexpected time and cost changes. The results are used for further development of current project management systems to a holistic project management approach for the dismantling of nuclear power plants. This approach shall enable realistic and integrated planning of time, cost and resources, while considering the uncertainties due to missing experience at planning and execution.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
1 Kurzdarstellung	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	2
1.2.1 KIT – Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP)	5
1.2.2 KIT – Abteilung Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)	6
1.2.3 KIT – Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM)	7
1.2.4 AREVA GmbH	7
1.2.5 VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V.	9
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	11
1.3.1 Planung	11
1.3.2 Ablauf	19
1.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand	22
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	26

2	Eingehende Darstellung	29
2.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	29
2.1.1	Ziele des Vorhabens.....	29
2.1.2	Phase I.....	30
2.1.3	Phase II	84
2.2	Zielerreichung	128
2.3	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	134
2.4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	134
2.5	Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	135
2.6	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	138
2.7	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	139
	Literaturverzeichnis.....	141
	Anhang A: Projektmanagementprozesse nach DIN 69901-2:2009	147
	Anhang B: Projektmanagement-prozesse nach ISO 21500:2012	151
	Anhang C: Project Management Process Group nach dem PMBOK-Guide	153
	Anhang D: Auflistung von Projektmanagementmethoden der Projektmanagement-Standards	155
	Anhang E: Kennzahlenbaum.....	157
	Anhang F: Liste kritischer Abweichungen des Praxispartners AREVA	171
	Anhang G: Liste kritischer Abweichungen des Praxispartners VKTA	177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Phasen des Vorhabens zur Entwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für den Rückbau von kerntechnischen Anlagen	12
Abbildung 1.2:	Detaillierte Darstellung der zeitlichen Ausführung des Forschungsprojekts MogaMaR.....	21
Abbildung 1.3:	Visualisierung einer Planung in MS Project	24
Abbildung 2.1:	Ausschnitt aus der Prozessstrukturierung.....	32
Abbildung 2.2:	Klassifikation von Projektmanagement-Standards.....	38
Abbildung 2.3:	Gegenüberstellung der Phasen des Projektlebenszyklus und der Projektmanagementphasen von Saynisch et al. (1979), DIN 69901 und ISO 21500.....	42
Abbildung 2.4:	Wechselwirkungen zwischen den Prozessgruppen mit den wichtigsten Inputs und Outputs.....	43
Abbildung 2.5:	Hierarchiebaum der Kennzahlen [37]	68
Abbildung 2.6:	Illustration der Hierarchieebenen im Kennzahlenbaum [37].....	74
Abbildung 2.7:	Interesse der Stakeholder an den Kennzahlen-Bereichen [37].....	76
Abbildung 2.8:	Aufstellung und Nutzung von Kennzahlen [37].....	79
Abbildung 2.9:	Liste kritischer Abweichungen	83
Abbildung 2.10:	Ausschnitt aus dem Netzplan der Erfahrungsdatenbank zum Rückbau eines Druckwasserreaktors und seiner Internals	86
Abbildung 2.11:	Bestandteile zur Berechnung eines integrierten und optimierten Rückbauplans.....	87
Abbildung 2.12:	Implementierung des Lösungsalgorithmus in Matlab	98

Abbildung 2.13: Schematische Berechnungsergebnisse in Matrizenform	99
Abbildung 2.14: Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse	100
Abbildung 2.15: Schritte des Lösungsalgorithmus zur Bestimmung eines kostenminimalen Rückbauplans	103
Abbildung 2.16: Beispiel zur Auflösung eines Ressourcenkonflikts	104
Abbildung 2.17: Enumerationsbaum mit allen zulässigen Zeitplänen (Schedules).....	106
Abbildung 2.18: Ausschnitt der Visualisierung des optimierten Rückbauplans des Rossendorfer Forschungsreaktors	110
Abbildung 2.19: Ausschnitt der für die Rückbauschritte benötigten Ressourcen	112
Abbildung 2.20: Ausschnitt der Visualisierung des optimierten Rückbauplans des Referenzszenarios des Rückbaus eines Druckwasserreaktors	114
Abbildung 2.21: Ausschnitt aus dem optimierten Rückbauplan des Rückbaus eines Siedewasserreaktors (oben) und Ausschnitt aus dem Rückbauplan des optimierten Szenarios der Verzögerung bei der Zerlegung des Kernmantels des Rückbaus eines Siedewasserreaktors (unten).....	121

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1:	Zeitliche und Kostenabweichungen von der ursprünglichen Projektplanung [3]	4
Tabelle 2.1:	Vergleich der Projektmanagementprozesse	50
Tabelle 2.2:	Vergleich der Themengebiete des Projektmanagements	51
Tabelle 2.3:	Anforderungen an die Projektmanagementsoftware	57
Tabelle 2.4:	Erfüllungsgrad der Software-Anforderungen unterschiedlicher Projektmanagement Software	61
Tabelle 2.5:	Rückbaubeispiel: verschiedene Vorgänge	89
Tabelle 2.6:	Rückbaubeispiel: verschiedene Ausführungsmodi	90
Tabelle 2.7:	Szenarien der Referenzprojekte von AREVA und die jeweiligen Berechnungsergebnisse	116
Tabelle 2.8:	Szenarien des Rückbauprojekts des VKTA und die jeweiligen Berechnungsergebnisse	118
Tabelle 2.9:	Berechnete Szenarien und benötigte Rechendauer	119
Tabelle 2.10:	Zusammenfassung der Zielerreichung des Forschungsvorhabens	129
Tabelle 2.11:	Beitrag zur Erreichung der Teilziele und der dazu notwendige Arbeitsaufwand je Projektpartner	132

1 Kurzdarstellung

Im Folgenden werden die einzelnen Aufgaben- und Bearbeitungspakete der beteiligten Forschungspartner in übersichtlicher Form dargestellt. Die Darstellungen beziehen sich größtenteils auf die geplanten Arbeiten laut Antrag und führen auf, welche Projektpartner in welchem Umfang für die Bearbeitung der jeweiligen Forschungsinhalte verantwortlich waren.

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, auf Basis von Projektstrukturplänen (PSP), Genehmigungsunterlagen, Genehmigungsverfahren und anderen Projektdokumentationen von abgeschlossenen, laufenden und in Planung befindlichen Rückbauprojekten die Besonderheiten von kerntechnischen Rückbauprojekten zu analysieren und ein integriertes Projektmanagementsystem zu entwickeln, das die derzeitigen Abweichungen der Zeit- und Kostenplanung bei der Realisierung reduziert. Dabei sollten derzeitige Schwachstellen im Projektmanagement identifiziert werden, die für außerplanmäßige Zeit- und Kostenveränderungen verantwortlich sind. Anzumerken ist dabei, dass die derzeitige, schlechte Datenlage zu Rückbauaktivitäten bei kerntechnischen Anlagen durch das Projekt verbessert wird.

Analog zum Stand der Technik in der konventionellen Bauplanung und -ausführung sollten die Analyseergebnisse in die Weiterentwicklung derzeitiger Projektmanagementsysteme einfließen und dadurch die Ressourceneffizienz bei kerntechnischen Rückbauprojekten gesteigert werden. Dazu sollten Verfahren mit bereits erteilten Genehmigungen sowie abgeschlossene Projekte identifiziert und analysiert werden. So könnten aus den Erkenntnissen der Verfahrensanalyse beispielsweise generalisierte Genehmigungsverfahren für den Rückbau von kerntechnischen Anlagen erarbeitet werden, die bei zukünftigen Genehmigungs- und Rückbauphasen eingesetzt und somit

auch eingeplant werden. Dies sollte die Genehmigungsdauer verkürzen sowie die Unsicherheiten in Planung und Durchführung reduzieren.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

In Folge intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnte bisher eine Vielzahl von Techniken und Verfahren, wie beispielsweise fernhantierte Zerlege- und Dekontaminationstechniken für den komplexen Einsatz in kerntechnischen Rückbauprojekten, erfolgreich neu- bzw. weiterentwickelt werden [2]. Verschiedene in der Vergangenheit durchgeführte Rückbauprojekte sowie der Fortschritt bei laufenden Rückbauprojekten belegen, dass die kerntechnischen Anlagen heutzutage technisch sicher zurückgebaut werden können [2]. Es besteht hier allerdings noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Neben der technischen Umsetzung unter Beachtung des radiologischen Schutzes für Mensch und Umwelt, spielt auch die ganzheitliche, betriebswirtschaftliche Betrachtung bei der Planung, Ausführung und Überwachung von kerntechnischen Rückbauprojekten eine sehr große Rolle. Daher ist es zwingend notwendig, dass das Projektmanagement bzgl. des Rückbaus kerntechnischer Anlagen weiterentwickelt wird, um die Rückbauergebnisse unter Beibehaltung der aktuellen Sicherheitsstandards in Bezug auf Zeit und Kosten weiter zu verbessern. Aufgrund der hohen Anzahl an Beteiligten sind darüber hinaus auch deren Interaktion beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen und ihr Einfluss auf den Projekterfolg kritisch zu prüfen und zu berücksichtigen.

Durch den Individual- und Neuheitscharakter auf dem Gebiet Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen ist es schwer, eine Standardisierung und Verallgemeinerung der Prozesse und Verfahren in Anlehnung an Rückbauprojekte des klassischen Ingenieurbaus oder des klassischen Rückbaus/ Abbruchs herbeizuführen. Bisher abgeschlossene bzw. laufende Rückbauprojekte zeigen zum Teil deutliche Abweichungen von den ursprünglichen

Termin- und Kostenplanungen auf (vgl. Tabelle 1.1). Diese Abweichungen sind auf viele, unbekannte Faktoren in der Planungs- und Ausführungsphase zurückzuführen. Dazu gehören etwa die Anzahl der notwendigen Genehmigungsverfahren, die Dauer der Genehmigungsprozesse¹ sowie die tatsächliche Realisierungsdauer des Rückbauprojekts und die unzureichenden Möglichkeiten zur Identifikation von Fehlern in der Planungs- und Ausführungsphase unter Anwendung der vorhandenen Projektmanagementsysteme. Darüber hinaus führen die fehlenden Erfahrungswerte im kerntechnischen Rückbau dazu, dass unvorhergesehene Bedingungen während des Rückbaus auftreten können, die wiederum Planabweichungen zur Folge haben.

¹ Die Aspekte der Genehmigungsverfahren und der Dauer der Genehmigungsprozesse wurden im Projekt nicht bearbeitet.

Tabelle 1.1: Zeitliche und Kostenabweichungen von der ursprünglichen Projektplanung [3]

Anlage	Geplante Rückbau-projekt-laufzeit (Stand 12/2000)	Angepasste Rückbau-projekt-laufzeit (Stand 06/2011)	Angepasste Rückbau-projekt-laufzeit (Stand 12/2013)	Geplante Projektge-samtkosten (Stand 12/2000)	Angepasste Projektge-samtkosten (Stand 06/2011)	Angepasste Projektge-samtkosten (Stand 12/2013)	Kostenüber-schreitung zwischen 12/2000 und 12/2013	
							Abs. [€]	Rel. [%]
FRJ – 1	1996 – 2005	1996 – 2010		21,8 Mio €	31,0 Mio €		9,2 Mio €	42%
AVR	1987 – 2012	1987 – 2015	1987 - 2022	400,0 Mio €	443,7 Mio €	564,7 Mio €	164,7 Mio €	41%
KNK	1992 – 2004	1992 – 2019	1992 - 2021	283,0 Mio €	378 Mio €	383,0 Mio €	100,0 Mio €	35%
MZFR	1985 – 2005	1985 – 2015	1985 - 2020	240,0 Mio €	351 Mio €	362,0 Mio €	122,0 Mio €	51%
WAK	1991 – 2009	1991 – 2023 (2035)	1991 - 2029	1.440,0 Mio €	2.631 Mio €	2.278,0 Mio €*	838,0 Mio €	58%
Geest-hacht	2002 – 2010	2002 – 2012	2002 - 2025	36,8 Mio €	93,1 Mio €	166,9 Mio €	130,1 Mio €	354%

* Ab 2013 Zuordnung von Teilkosten zu HDB-Betrieb

Da in den nächsten Jahren sowohl in Deutschland als auch international in größerem Umfang als bisher stillgelegte kerntechnische Anlagen rückgebaut werden [1; 4; 5], besteht ein großer Bedarf, die Abweichungen zwischen geplanten und realen Projektgesamtkosten sowie die Diskrepanzen im Zeitplan zu verringern. Unter diesen betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es notwendig, sich der Analyse und der Verbesserung des praktischen Projektmanagements von Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen zu widmen.

Für die Ausführung des Forschungsvorhabens haben die Projektpartner am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP), der Abteilung Rückbau kerntechnischer und konventioneller Anlagen des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) sowie das Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM) mit dem VKTA - Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. und der AREVA GmbH kooperiert. Mit ihren komplementären Kompetenzen bilden sie ein Konsortium, das über ein umfangreiches Wissen, erforderliche Daten und umfangreiche Fähigkeiten verfügt, um die Ziele des Forschungsvorhabens zu erfüllen.

1.2.1 KIT – Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP)

Das Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP) forscht unter anderem seit vielen Jahren in den Bereichen des nachhaltigen Bauens, des selektiven Rückbaus (bspw. im BMBF-geförderten Projekt ResourceApp zur Projektplanung- und Ressourceneffizienz im Rückbau (Förderkennzeichen 033R092C)), der Kreislaufwirtschaft von Baustoffen sowie des Risikomanagements. In diesem Zusammenhang wurden zum Beispiel Konzepte zu optimierten Rückbau- und Recyclingverfahren durch Kopplung von Gebäudedemontage und Baustoffaufbereitung entwickelt. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens ein Konzept zur Minimierung von Umweltbelastungen beim Rückbau von Hoch- und Tiefbauten durchgeführt. Das Institut führte und führt diverse Projekte zur nachhaltigen Entwicklung im Baubereich durch, wie etwa ein Simulations-

modell zur techno-ökonomischen Bewertung energetischer Gebäudesanierung sowie auch Projekte zur Analyse und Entscheidungsunterstützung bei unsicheren Ereignissen. Das IIP besitzt demzufolge mit seinen 55 wissenschaftlichen Mitarbeitern die erforderliche Erfahrung und Leistungsfähigkeit für die gemeinsame Durchführung des Vorhabens sowie eine breite, für das Projekt relevante Wissensbasis in wirtschaftlichen und bautechnischen Themen, aus der es bei der Bearbeitung schöpfen kann.

Im Rahmen der Projektdurchführung dieses Forschungsprojekts liegt die Verantwortung der Projektleitung beim KIT-IIP.

1.2.2 KIT – Abteilung Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)

Das im Universitätsbereich des KIT eingebundene Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) entstand aus dem Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb. Forschungsschwerpunkte bilden das gesamte maschinentechnische Gebiet im Bauwesen und der Baubetrieb, der insbesondere das Baustellenmanagement und das Projektmanagement im Bauwesen abdeckt. Im Zuge der KIT Gründung wurde das TMB mit einer Professur für Technologie und Management des Rückbaus kerntechnischer Anlagen (heutiger Name: „Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke“) ausgestattet. Hier werden die Verfahren und Techniken des Bauwesens mit den Besonderheiten der Kerntechnik gepaart und das Know-how aller Sparten gebündelt. Diese Abteilung befasst sich mit ihren aktuell 11 wissenschaftlichen Mitarbeitern mit den vorhandenen Rückbautechnologien und der Erfassung und Bearbeitung der Massenströme aus dem Bereich Betrieb, Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen durch technisches Gerät.

1.2.3 KIT – Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM)

Das Fachgebiet BLM des KIT zählt zu den forschungsstärksten Instituten an deutschen Architekturfakultäten und hat international die IT-basierte Planungs- und Prozessunterstützung im Bauwesen entscheidend mitgeprägt.

Building Lifecycle Management impliziert die Integration von Informationen, Prozessen, Akteuren und Werkzeugen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks oder eines städtischen Systems. Dieser Ansatz vernetzt dabei die methodischen Ansätze der Integralen Planung mit den Modellen und Technologien der Bauinformatik.

Schwerpunkte des Fachgebietes BLM sind die Erarbeitung und Anwendung integrativer Planungs- und Kooperationsmethoden, die Entwicklung vernetzter Produktmodelle sowie kollaborativer IT-Werkzeuge.

1.2.4 AREVA GmbH

AREVA weltweit

Als Weltmarktführer im Bereich der Kernenergie besitzt AREVA eine einzigartige Rundum-Kompetenz. Das integrierte Leistungsspektrum beinhaltet den kompletten Kernbrennstoffkreislauf, vom Uran-Bergbau bis hin zur Wiederaufbereitung verbrauchter Brennelemente, die Planung und den Bau von Reaktoren, sämtliche Serviceleistungen für den Kraftwerksbetrieb sowie den Rückbau von kerntechnischen Einrichtungen.

Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Leistungen von AREVA organisatorisch in die Business Units Bergbau (Uranminen), Front End (Anreicherung und Brennelement Fertigung), Reaktoren & Service (Neubau und Service von Kernkraftwerken), Back End (Wiederaufarbeitung und Transport von BE, Rückbau und Standortsanierung) und Erneuerbare Energien (Windenergie Energiespeicherung) gegliedert.

Übergreifend und für alle Business Units tätig gibt es die Organisationseinheit Engineering und Projects. Hier werden alle Engineering Tätigkeiten, wie z. B. Prozesstechnik, Bautechnik, Elektro- und Leittechnik, Maschinentech-
nik, Sicherheitsanalysen, usw. geplant und ausgeführt. Die für dieses Projekt wichtigen Aktivitäten des Rückbaus sind in der Business Group Back End zusammengefasst. Die Rückbauaktivitäten umfassen

- Studien über den Rückbau von Komponenten und kompletten Kernkraftwerken
- Zerlegung von hochradioaktiven Komponenten, wie Reaktordruckbehälter, Kerneinbauten usw.
- Full System Dekontamination und Komponenten-Dekontamination
- Planung und Bau von Aufbereitungsanlagen für mittel- und schwachaktive Abfälle
- Komplettes Brennstoffhandling
- Wiederaufbereitung von Brennelementen
- Transport und Lagerung von abgebrannten Brennelementen
- Reparatur von beschädigten Brennelementen
- Rückbau von kompletten Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs, wie z. B. Brennelement Aufbereitungsanlage, MOX Fabrikationsanlage, Brennstoff Anreicherungsanlage und Sanierung von kontaminierten Böden
- Beteiligung am Rückbau des Schnellen Brütters

AREVA NP GmbH

In der AREVA NP GmbH sind alle deutschlandweiten Aktivitäten der AREVA zusammengeführt. Bevor Siemens und die französische Framatome im Jahr 2001 ihre kerntechnischen Aktivitäten in der AREVA NP (AREVA Nuclear Power) zusammenlegten, hatten beide Unternehmen bereits maßgeblich am Ausbau der Kernenergie in ihren Heimatmärkten und im Ausland mitgewirkt. So wurden von der ehemaligen Siemens Kraftwerksunion (KWU) bzw. ihren Vorgängerunternehmen sämtliche kommerziellen Druckwasser- (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR) in Deutschland, vier weitere DWR-Anlagen in den Niederlanden, der Schweiz, Spanien und Brasilien sowie ein Schwerwasserreaktor in Argentinien gebaut.

Aus der deutsch-französischen Zusammenarbeit entstand auch der sogenannte European Pressurized Water Reactor (EPR), ein DWR mit einer Leistung von 1600 MWel., der zurzeit in dieser Form auch in Finnland, Frankreich und China errichtet wird.

Allein in Deutschland arbeiten derzeit insgesamt rund 3.500 Mitarbeiter an der Entwicklung und Vermarktung von Lösungen für eine CO₂-freie Stromerzeugung. Rund 95% dieser Mitarbeiter sind in den Disziplinen der Nuklearaktivitäten beschäftigt, wozu auch die Aktivitäten des Rückbaus zählen.

1.2.5 VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V.

Der seit 25 Jahren bestehende VKTA Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung ist vor allem in den im Namen bereits genannten Gebieten Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung tätig und hat darüber hinaus im Auftrag des Freistaates Sachsen den Rückbau von kerntechnischen Einrichtungen am Forschungsstandort Rossendorf durchgeführt.

Im Bereich Strahlenschutz führt der VKTA z.B. die Umgebungsüberwachung und die externe und interne dosimetrische Überwachung für den Forschungsstandort Rossendorf durch. Er widmet sich weiterhin der Forschung im Rahmen von Forschungsprojekten, fördert und unterstützt die Weiterbildung von Studenten auf den Gebieten Strahlenschutz und Umwelttechnik und tritt mit seinem akkreditierten Labor für Umwelt- und Radionuklidanalytik als Dienstleister auf. Mit seinen umfangreichen Aktivitäten trägt er zum Know-how-Erhalt auf den Gebieten Rückbau und Radioökologie bei.

Der VKTA betreibt für die Erfüllung seiner Aufgaben entsprechende Einrichtungen, wie z.B. ein Zwischenlager für radioaktive Abfälle, eine Einrichtung zur Behandlung schwach radioaktiver Stoffe, ein Niedrigniveau-Messlabor und eine behördlich bestimmte Inkorporationsmessstelle.

Durch den Rückbau von verschiedenartigen Einrichtungen, wie z. B. Nullleistungsreaktoren, Urantechnikum, Isotopenproduktionsanlagen, Objekte zur

Abfallbehandlung und -lagerung und dem Rossendorfer Forschungsreaktor, sowie durch die Lösung damit zusammenhängender entsorgungstechnischer Aufgaben wurden umfassende Erfahrungen auf den Gebieten Rückbaudurchführung, Dekontamination, Freimessung, Freigabe, Entsorgung sowie Konditionierung und Lagerung von radioaktiven Stoffen und Kernmaterial gesammelt. Diese Erfahrungen werden im Rahmen von Beratungs- und Dienstleistungen vor allem an das Helmholtz-Zentrum Rossendorf weitergegeben.

Der VKTA hatte mit Stand vom 31.12.2016 104 Mitarbeiter.

Der VKTA wurde durch die Fa. Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH (141 Mitarbeiter, davon 61 im Bereich Rückbau und Consulting mit Stand 2016) unterstützt, die unter anderem im Rückbau und in der Stilllegung kerntechnischer Anlagen eine feste Größe ist. Mit ihren Ingenieuren im Bereich Rückbau und Consulting hat sie Kompetenz bei der Aus- und Nachrüstung kerntechnischer Anlagen gesammelt und ist in den folgenden Leistungsfeldern aktiv:

- Erstellung von Stilllegungskonzepten, Ausschreibungsunterlagen und Genehmigungsplanungen
- Strahlenschutzplanung und -kontrolle, Freigabemessung und Dokumentation
- Projekt- und Kostenmanagement
- Lieferung von Hebewerkzeugen, Spezialtraversen und Core Catcher für nukleare Anlagen
- Überholung von Brennelement-Lademaschinen
- Durchführung von Primärkreisdekontaminationen
- Herstellung und Vertrieb von Wasserstoffrekombinatoren
- Entwicklung individueller Rückbautechnologien – z.B. Werkzeuge und Abfallmanagementstruktur
- radioaktive Abfallbehandlung sowie Planungsleistungen für die Zerlegung von radioaktiven Großkomponenten.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Nachfolgend wird ein Überblick über die am Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP), in der Abteilung Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) und im Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sowie von VKTA - Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. und AREVA GmbH zu erbringenden Arbeitspakete gegeben. Hierbei werden die zu erbringenden Leistungen laut Projektantrag vorgestellt. Eine Darstellung der ausgeführten Arbeiten sind in Kapitel 1 aufgeführt.

1.3.1 Planung

Das Forschungsvorhaben wurde von den o.g. Kooperationspartnern in zwei Phasen durchgeführt (vgl. Abbildung 1.1). In einer ersten Phase sollte untersucht werden, welches die entscheidenden zeit- und kostenverursachenden Prozesse im Projektmanagement beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen sind. In der zweiten Phase sollten bestehende Systeme weiterentwickelt beziehungsweise der Ansatz für ein ganzheitliches Projektmanagementsystem für kerntechnische Rückbauprojekte entwickelt werden, um eine realitätsnahe und integrierte Zeit-, Kosten- und Ressourcenplanung zu ermöglichen. Im Rahmen des Ansatzes sollte des Weiteren dem kritischen Weg folgend die maximale Planungssicherheit für das jeweilige Rückbauprojekt ermittelt werden. Abbildung 1.1 zeigt die Arbeitspakete der Projektphasen 1 und 2 auf.

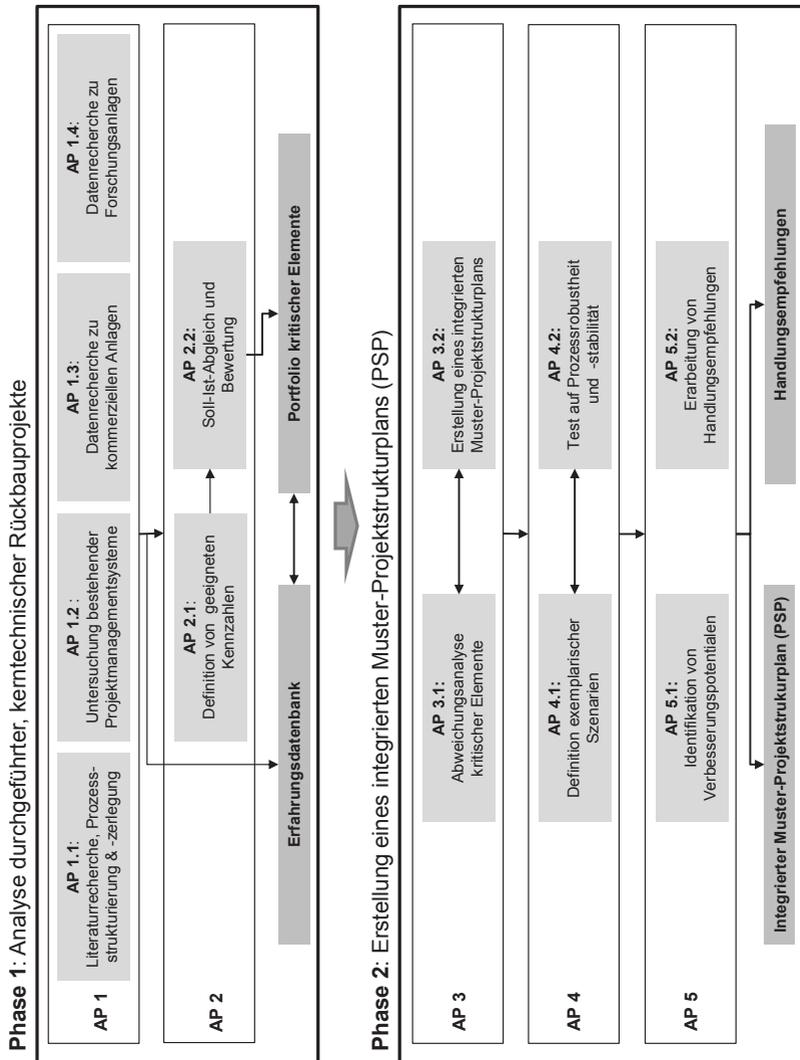


Abbildung 1.1: Phasen des Vorhabens zur Entwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für den Rückbau von kerntechnischen Anlagen

Phase 1: Analyse durchgeführter, kerntechnischer Rückbauprojekte

Die erste Phase umfasst die Analyse von bereits durchgeführten kerntechnischen Rückbauprojekten auf Basis von verfügbaren Unterlagen und enthält die Arbeitspakete 1 und 2 mit den jeweiligen Unterarbeitspaketen. Die geplanten Soll- sowie die realisierten Ist-Projektstrukturpläne (PSP) der einzelnen Projekte sollten zunächst in einzelne Phasen, Arbeitspakete und diese wiederum in einzelne Vorgänge zerlegt (AP 1) und näher untersucht werden (AP 2).

AP 1: Literatur- und Datenrecherche, Zerlegung von Projektstrukturplänen (PSP) realisierter Rückbauprojekte

AP 1.1: Literaturrecherche, Prozessstrukturierung und -zerlegung (Verantwortlich: KIT)

Im Rahmen einer Literaturrecherche sollten Forschungsansätze im Projektmanagement beim Rückbau kerntechnischer Anlagen in Fachveröffentlichungen, Konferenzbeiträgen, sowie Stilllegungs- und Rückbaustudien identifiziert und ausgewertet werden.

Außerdem sollten typische Rückbauphasen (wie Nachbetrieb, Stilllegung, Abtransport der Brennelemente), Arbeitspakete (wie Planung, Betriebsführung, Vergabevorbereitung), Unterarbeitspakete (wie Vorbereitung der Unterlagen, Ausführungsplanung) und Vorgänge (mit ihren Akteuren, Aktivitäten, Zeitdauern, Kosten und Ressourcen, Puffer) identifiziert und in einer hierarchischen Prozessstruktur als Untersuchungsgrundlage festgelegt werden. Bei der Zerlegung sollten Analogien zwischen den bereits durchgeführten, analysierten Projekten aufgedeckt werden, um ähnliche Vorgänge zu vergleichen und zu gruppieren. Entstandene Kosten, Zeit- und Ressourcenaufwendungen sollten entsprechend der vorhandenen Datenbasis und deren Detaillierungsgrad den einzelnen Rückbauphasen, Arbeitspaketen oder Vorgängen zugeordnet werden.

AP 1.2: Untersuchung bestehender Projektmanagementsysteme (Verantwortlich: KIT)

Im Rahmen der Datenrecherche sollten bestehende und auf einzelnen Gebieten eingesetzte Projektmanagementsysteme in Forschung und Praxis identifiziert und hinsichtlich ihrer Funktionalität, Einsatzfähigkeit und praktischen Anwendung im Rückbau kerntechnischer Anlagen untersucht werden, z. B. „CORA CALCOM“ zur Planung der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen, „open RMS“ (Rückbau Management System) und weitere Systeme.

Außerdem sollten die genannten Projektmanagementsysteme insbesondere bezüglich ihrer Schwachstellen untersucht werden, die in die Entwicklung des integrierten Projektstrukturplans (AP 3.2) einfließen sollen.

AP 1.3: Datenrecherche zu kommerziellen Anlagen (Verantwortlich: AREVA)

Im Rahmen der Datenrecherche von bereits durchgeführten Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen sollte in kommerzielle Anlagen und Forschungsanlagen unterschieden werden. Die Datenrecherche für kommerzielle Anlagen sollte Projektpartner AREVA durchführen. Dabei sollten Soll- und Ist-Unterlagen und Informationen zum Zeitablauf, zur Kostenstruktur sowie der eingesetzten PSP, Projektmanagement- und Softwaresysteme in möglichst detaillierter Auflösung im Fokus der Recherche stehen.

Außerdem sollten Daten aus bereits durchgeführten Projekten von AREVA wie dem Rückbau des Reaktordruckbehälters in Würgassen nach der in AP 1.1 definierten Prozessstruktur aufbereitet und in einer Erfahrungsdatenbank bereitgestellt werden.

AP 1.4: Datenrecherche zu Forschungsanlagen (Verantwortlich: VKTA)

Im Rahmen von bereits rückgebauten Forschungsanlagen sollte Projektpartner VKTA eine Datenrecherche durchführen und die erhobenen Daten nach AP 1.1. strukturiert und aufbereitet zur Verfügung stellen. Dabei sollten

Soll- und Ist-Unterlagen und Informationen zum Zeitablauf, zur Kostenstruktur sowie der eingesetzten PSP, Projektmanagement- und Softwaresysteme in möglichst detaillierter Auflösung im Fokus der Recherche stehen.

Außerdem sollten von VKTA Projektmanagementunterlagen zum Rückbau von kerntechnischen Forschungsanlagen (und evtl. von weiteren kerntechnischen Produktionsstandorten, Laboren und Aufbereitungsanlagen) in Deutschland und Österreich aufbereitet und in einer Erfahrungsdatenbank zur Verfügung gestellt werden.

AP 2: Entwicklung geeigneter Kennzahlen und Analyse von Projektstrukturplänen (PSP) realisierter Projekte

AP 2.1: Definition von Kennzahlen (Verantwortlich: KIT)

Um die Projektmanagementdaten verschiedener Rückbauprojekte miteinander zu vergleichen, ist die Definition von relevanten Bezugsgrößen (wie Bauteil, Abbruchmasse, Zeitdauern, Gesamtkosten) notwendig. Darauf aufbauend sollte die Entwicklung von geeigneten ökonomischen, ökologischen und sozialen Kennzahlen erfolgen, welche die Charakteristik von Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen erfassen. Diese Kennzahlen ermöglichen auch das Controlling des Projektfortschritts im Verlauf des Rückbaus. Die erarbeiteten Kennzahlen sollten aber auch zur Analyse des hier entwickelten PSP dienen und Erfolgsfaktoren für den Rückbau kerntechnischer Anlagen identifizieren. Die Entwicklung relevanter Kennzahlen sollte dabei auf Erfahrungen der Praxispartner sowie der Analyse von in Rückbauprojekten bereits eingesetzten Kennzahlen basieren.

Die in AP 2.1 entwickelten und definierten Kennzahlen sollten für die recherchierten Rückbauprojekte im kommerziellen Bereich und im Forschungsbereich soweit wie möglich ermittelt und in der Erfahrungsdatenbank hinterlegt werden, um diese in AP 2.2 näher zu beleuchten. Für die Zukunft könnten die erarbeiteten Kennzahlen beispielsweise aber auch für Prognosen, Aufwandsschätzungen oder zur Zielformulierung neuer Rückbauprojekte eingesetzt werden.

AP 2.2: Soll-Ist-Abgleich und Bewertung (Verantwortlich: KIT)

Die geplanten und realisierten Projektstrukturpläne (PSP) der durchgeführten Rückbauprojekte aus AP 1.1, 1.3 und 1.4 sollten einem umfassenden Soll-Ist-Abgleich unterzogen werden, wobei (soweit vorhanden) auch weitere Projektdokumentationen und Projektabschlussberichte zur Analyse herangezogen werden sollten. Einzelprozesse, Vorgänge und Beziehungen zwischen diesen sollten zu diesem Zweck im Detail auf Höhe und Art der Abweichungen untersucht werden. Anhand der Art und Höhe der Soll-Ist-Abweichungen von Prozessvorgängen und Kennzahlen können kritische Prozesselemente in Bezug auf Termine, Ressourcen, Kosten und Finanzmittel, Qualitätssicherung und das Umfeld beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen identifiziert und bewertet werden. Die ermittelten Kennzahlen aus AP 2.1 sollten dabei als Grundlage zur Identifikation und Bewertung von kritischen Elementen dienen.

Außerdem sollte anhand geeigneter Kennzahlen auch eine Bewertung hinsichtlich der Wichtigkeit von Prozesselementen für die Stabilität des Gesamtprozesses erfolgen. Diese Ergebnisse sollten um Expertenbefragungen ergänzt und entsprechend ihrer Art und Höhe in einem „Portfolio kritischer Elemente“ zusammengefasst werden.

Phase 2: Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans (PSP)

Auf Basis der Analyse bereits abgeschlossener, kerntechnischer Rückbauprojekte (Phase 1) sollte in Phase 2 ein ganzheitliches Projektmanagementsystem in Form eines integrierten Projektstrukturplans, der den Projektablauf optimiert, entwickelt werden. Die Projektphase 2 umfasst die Arbeitspakete 3, 4 und 5 sowie die zugehörigen Unterarbeitspakete, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

AP 3: Abweichungsanalyse

AP 3.1: Abweichungsanalyse kritischer Elemente (Verantwortlich: KIT)

Innerhalb dieses Arbeitspakets sollte im Rahmen einer Ursachenanalyse im Detail beleuchtet werden, inwieweit interne oder externe Ursachen für die Abweichung bei kritischen Elementen verantwortlich sind. Hierbei sollte auch untersucht werden, welche möglichen Maßnahmen bei kritischen Elementen erforderlich wären, um Prozessstabilität zu gewährleisten.

Außerdem sollten Beziehungen zwischen einzelnen Vorgängen, Arbeitspaketen und Rückbauphasen näher beleuchtet und deren Abhängigkeiten analysiert werden. Dabei sollte insbesondere die Praxiserfahrung der Projektpartner AREVA und VKTA in die Analyse einbezogen werden.

AP 3.2: Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans (PSP) (Verantwortlich: KIT)

Für die Erstellung eines integrierten PSP sollte auf die Ergebnisse aus AP 1.1 und AP 1.2 sowie aus AP 3.1 zurückgegriffen werden. Der zu erarbeitende PSP sollte aus den in AP 1.1 definierten Rückbauphasen, Arbeitspaketen, Unterarbeitspaketen und Vorgängen bestehen. Die jeweiligen Phasen, Arbeitspakete, Unterarbeitspakete und Vorgänge sollten durch die in AP 3.1 analysierten Beziehungen (z.B. sequentiell, parallel, zyklisch) miteinander zum integrierten PSP verbunden werden. Dabei sollte insbesondere die angemessene Einbettung von kritischen Elementen in den PSP berücksichtigt werden. Der integrierte PSP sollte im Rahmen des Projektes mit einer geeigneten Methode (bspw. durch Netzplantechnik oder durch gerichtete Graphen) und in einer geeigneten Art und Weise realisiert werden.

In einem zweiten Schritt sollten redundante und nicht notwendige Elemente weitestgehend aus dem integrierten PSP eliminiert und dieser hinsichtlich minimaler Zeitdauer und Kosten optimiert werden. Elemente, die im Hinblick auf Zeit, Kosten und Ressourcen weniger effizient sind, sollten auf Möglichkeiten der Substitution, Anpassung und der Nutzung von Synergien

untersucht werden. Weiter sollten die in Rückbauprojekten durchzuführenden Arbeiten soweit wie möglich zu Clustern zusammengefasst werden, um so jene Arbeiten zu identifizieren, die parallel ausgeführt werden können.

Als Grundlage dieser Arbeiten sollten Projektmanagement-Methoden nach DIN 69901 sowie weitere unterstützende und ergänzende Methoden herangezogen werden. Beispielsweise können bei der Analyse und Optimierung der Einzelprozesse, Vorgänge und deren Beziehungen Methoden des Simultaneous Engineering (verteilte gleichzeitige Entwicklung), Prinzipien des Lean Managements (Muda) und das Last Planner System angewendet werden.

AP 4: Szenarioanalyse

AP 4.1: Definition exemplarischer Szenarien (Verantwortlich: KIT)

Zum Test des in AP 3.2 entwickelten Projektstrukturplans sollten in AP 4.1 zusammen mit den Praxispartnern geeignete Szenarien entwickelt werden. Dazu sollten kritische Elemente sowie interne und externe Rahmenbedingungen auf ihre Eintrittswahrscheinlichkeit hin untersucht und durch ihre Variation mögliche Szenarien für unterschiedliche Prozessebenen (je Rückbauphase, Arbeitspaket oder Unterarbeitspaket) entwickelt werden.

AP 4.2: Test auf Prozessrobustheit und –stabilität (Verantwortlich: KIT)

Zur Untersuchung des in AP 3.2 entwickelten PSP sollte dieser einer Szenarioanalyse, basierend auf den in AP 4.1 erarbeiteten Szenarien für Rückbauprojekte kerntechnischer Anlagen, unterzogen werden. Dabei sollte der PSP auf seine Prozessrobustheit und –stabilität hin getestet werden, d.h. inwieweit kritische Elemente robust in den Rückbauprozess eingegliedert bzw. eingeplant sind. Außerdem sollte das PSP-Verhalten auch auf weitere, in AP 2.1 entwickelte Kennzahlen hin untersucht und mögliche Abweichungen analysiert werden.

Abhängig von den Testergebnissen, sollte im Rahmen dieses Arbeitspakets der entwickelte PSP, falls notwendig, hinsichtlich Prozessstabilität oder Redundanz weiter angepasst werden.

AP 5: Handlungsempfehlungen und Ergebnisverbreitung

AP 5.1: Identifikation von Verbesserungspotentialen (Verantwortlich: KIT)

Die Identifikation von Verbesserungspotentialen sollte auf der vorhergehenden Erstellung und Optimierung des PSP (AP 3), der Szenarioanalyse (AP 4) sowie auf einem Soll-Ist-Abgleich mit dem integrierten Projektstrukturplan und den PSP aus bereits durchgeführten Rückbauprojekten basieren. Dabei sollten Potentiale auf unterschiedlichen Prozessebenen identifiziert und diese aktoursspezifisch zusammengestellt und analysiert werden.

AP 5.2: Erarbeitung von Handlungsempfehlungen (Verantwortlich: KIT)

Auf Basis der in AP 5.1 identifizierten Verbesserungspotentiale sollten aktoursspezifische Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, die zum optimierten Rückbau von kerntechnischen Anlagen und zur Einhaltung der Zeit- und Kostenrahmen führen können. Dabei sollte auch eine Maßnahmenliste entwickelt werden, die aktoursspezifische Maßnahmen zum Umgang mit kritischen Elementen des Rückbaus kerntechnischer Anlagen beinhaltet.

Die aus diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse sollten die Datenlage im kerntechnischen Rückbau verbessern und im Rahmen der Handlungsempfehlungen und des Maßnahmenplans direkt in Stilllegungs- und Rückbauprojekte einfließen können.

1.3.2 Ablauf

Wie in Kapitel 1.3.1 beschrieben, erfolgte die Bearbeitung des Forschungsvorhabens in zwei Projektphasen. Zu Projektbeginn wurde mit einer Gesamtdauer von 3 Jahren geplant, d.h. geplanter Projektstart war der 01.01.2014

und geplantes Projektende der 31.12.2016. Die geplanten Arbeitspakete wurden weitestgehend in der Zeit erfolgreich bearbeitet und abgeschlossen. Lediglich Arbeiten in AP 3.2. verzögerten sich etwas, da das ursprünglich geplante Verfahren zur Berechnung eines kostenoptimierten Rückbauplans (AP 3.2) aufgrund sehr hoher Rechenzeiten nicht anwendbar war und weitere Rechenverfahren untersucht und implementiert werden mussten.

Diese Untersuchungen und Implementierungen nahmen im Projektplan nicht vorgesehene Zeit in Anspruch. Des Weiteren waren zur Identifikation von Verbesserungspotentialen (AP 5.1) und den daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen (AP 5.2) weitere, laut Projektantrag nicht geplante, bilaterale Treffen notwendig, die zu einer zusätzlichen zeitlichen Verzögerung führten. In Absprache mit dem Projektträger wurde daher das Projekt kostenneutral um 3 Monate verlängert, um das Forschungsprojekt erfolgreich abschließen zu können. Insgesamt ergab sich eine Gesamtprojektlaufzeit von 39 Monaten (vgl. Abbildung 1.2).

Federführend und verantwortlich für die meisten Arbeitspakete war das KIT-IIP im Rahmen der Projektleitung. Projekttreffen zur detaillierten Aufgabenverteilung, zur Besprechung von Arbeitsergebnissen und zur Information der Projektpartner waren in einem zweimonatlichen Turnus vorgesehen. Halbjährlich wurden Zwischenberichte mit dem jeweils aktuellen Projektstand erstellt und dem Projektträger vorgelegt. Zum Projektabschluss wurde der vorliegende, umfassende Schlussbericht mit den erarbeiteten Projektergebnissen verfasst und dem Projektträger übergeben.

1.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Bei kerntechnischen Rückbauprojekten kommen i.d.R. klassische Projektmanagementsysteme, die über Jahre in der Bauwirtschaft und anderen Wirtschaftszweigen entwickelt wurden und sich dort etabliert haben, zum Einsatz. Darüber hinaus werden nach Erfahrung von AREVA zur Planung und Überwachung kerntechnischer Rückbauprojekte auch häufig Standard-Programme, wie beispielsweise Word oder Excel, verwendet. Die eingesetzten, klassischen Projektmanagementsysteme haben in der praktischen Anwendung gezeigt, dass sie mit ihren Werkzeugen keine ausreichende Kosten- und Ressourceneffizienz bei der Umsetzung von kerntechnischen Rückbauprojekten bieten. Dies ist mit Standard-Programmen noch schwieriger zu erfüllen. Folglich weisen abgeschlossene und noch laufende kerntechnische Rückbauprojekte teilweise erhebliche Abweichungen von der ursprünglichen Zeit- und Kostenplanung auf (vgl. Tabelle 1.1 in Kapitel 1.2)

Die Planung kerntechnischer Rückbauprojekte erfolgte bisher, indem einzelne Planungsschritte und der Rückbau von Teilbereichen von jeweiligen Experten erarbeitet wurden, sodass sehr gute Individuallösungen für Teilbereiche der Anlagen verfügbar waren, aber nicht immer optimale Gesamtergebnisse erreicht wurden. In der Regel erfolgt aufgrund der erwarteten, langen Projektdauer eine gestufte Planung, in welcher zunächst die zeitrelevanten Parameter,

wie Vorgangsdauer, Pufferzeiten, frühester und spätester Anfangs- und Endzeitpunkt des einzelnen Vorgangs, festgelegt werden und darauf aufbauend die Ressourcen verteilt und die Kosten bestimmt werden. Diese Vorgehensweise wird den komplexen Anforderungen des kerntechnischen Rückbaus nicht gerecht. Vorteile bietet dagegen – neben der Betrachtung der Genehmigungsverfahren – eine integrierte Termin- (Zeit-), Kosten- und Ressourcenplanung des Rückbaus.

Des Weiteren wird die Planung bisher meist mit mehreren, verschiedenen Tools und Werkzeugen ausgeführt, die bislang aufgrund fehlender oder schlechter Schnittstellen nicht miteinander gekoppelt sind. Eine integrierte Kosten-, Ablauf- und Ressourcenplanung ist somit mit den bisher verwendeten Planungssystemen nur schwer zu bewerkstelligen. Häufig wird die zeitliche Planung mit anderen Planungswerkzeugen erstellt als die Ressourcen- oder Kostenplanung, sodass bei Terminänderungen die Ressourcen- oder Kostenplanung nicht immer angepasst wird (oder umgekehrt). Die verwendete Software wird darüber hinaus bislang lediglich zur Abbildung einer „im Kopf erstellten Planung“ eingesetzt. Eine Optimierung der Planung hinsichtlich verschiedener Zielkriterien (Dauer- oder Kostenminimierung) findet in der Regel nicht statt.

Einblicke in die Planung abgeschlossener bzw. derzeit noch laufender kerntechnischer Rückbauprojekte zeigen, dass beispielsweise für die zeitliche Planung Software wie MS Project oder Primavera P6 verwendet wurden/werden (Ausführungen zu den in diesem Abschnitt genannten Software-Programmen sind Kapitel 2.1.2.2.4 zu entnehmen). Diese Programme erlauben es, dass zeitliche Anordnungen von Vorgängen und die für die Ausführung benötigten Ressourcen abgebildet werden können. Die Auflistung und graphische Darstellung der Vorgänge kann beispielsweise mit Hilfe von Gantt-Charts visualisiert werden (vgl. Abbildung 1.3).

Die Kostenplanungen werden häufig mit Hilfe von SAP-Software abgebildet und die anfallenden Massenströme werden beispielsweise mit CORA CALCOM geplant und überwacht. CORA CALCOM ist ein auf MS Access basierendes Planungswerkzeug, welches bereits Vorschläge zu auszuführenden Vorgängen machen kann. Allerdings ist es immer noch dem Planer überlassen, die richtige Anordnung der Vorgänge, deren Dauer, benötigte Ressourcen und die anfallenden Kosten zu bestimmen.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass eine Abbildung einer zuvor manuell erstellten Planung mit den auf dem Markt verfügbaren und in der Rückbauplanung eingesetzten Programmen sehr gut möglich ist. Allerdings sind die einzelnen Software-Programme nicht über Schnittstellen miteinander gekoppelt, sodass gegenseitige Einflüsse und Abhängigkeiten nur manuell eingetragen werden und durch eine fehlende Kopplung der eingesetzten Planungssoftware fehleranfällig sind. Beispielsweise können aufgrund der Komplexität der kerntechnischen Rückbauprojekte bei Änderungen der zeitlichen Planung nicht alle Abhängigkeiten, z.B. zu den Kosten oder der Beschaffungsplanung, nachvollzogen werden, sodass die Planungen in verschiedenen Programmen nicht konsistent sind.

Des Weiteren stellen die klassischen Projektmanagementsysteme eine reihenfolgeabhängige und vorwiegend reaktive Vorgehensweise dar und sind für eine aus betriebswirtschaftlicher Sicht effiziente Anwendung in kerntechnischen Rückbauprojekten weniger geeignet. Dies ist vor allem den Umständen geschuldet, dass einerseits wenige Erfahrungswerte und damit viele Unsicherheiten in der Planausführung bestehen [5; 6] und andererseits eine hinreichend detaillierte Planung des gesamten Rückbaus bzw. gesamter Rückbauphasen für das Genehmigungsverfahren notwendig ist [7]. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist vielmehr eine proaktive Planung kerntechnischer Großprojekte auf einer hinreichend detaillierten Ebene unter der Berücksichtigung von Unsicherheiten notwendig. Allerdings kann eine solche Planung mit den derzeit zur Verfügung stehenden Tools und Werkzeugen nicht erfolgen.

Daher ist die Entwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems mit einem integrierten Ansatz, der die Komplexität des Projekts in Bezug auf

Zeit, Kosten und Ressourcen hinreichend abbildet und Unsicherheiten berücksichtigt, entsprechende Werkzeuge bereithält und somit eine aktive Gestaltung der Managementprozesse ermöglicht, dringend notwendig.

In der Literatur existieren bereits einige Methoden, die zur Optimierung einer Projektrückbauplanung eingesetzt werden können. Beispielsweise hat Schultmann [8] einen Algorithmus für die Rückbauplanung von Gebäuden implementiert, der allerdings keine Unsicherheiten berücksichtigt und nur für Projekte mit ca. 20 Vorgängen optimiert. Volk [9] hat diesen Ansatz für die Rückbauplanung von Gebäuden hinsichtlich der Integration von Unsicherheiten auf Basis von Szenarien und Robustheitsmaßen weiterentwickelt und an Fallstudien mit über 500 Bauteilen und 60 Vorgängen im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich getestet. Bartels [10] hat eine Methode entwickelt, mit der die Rückbauplanung kerntechnischer Anlagen möglich sein soll. Allerdings berücksichtigt Bartels keine Unsicherheiten und plant aus Komplexitätsgründen das Rückbauprojekt in Zeitscheiben von 3 Monaten, was einen zu hohen Abstraktionsgrad hinsichtlich der Erfordernisse eines Genehmigungsverfahrens darstellt.

Insgesamt sind die Anforderungen an ein ganzheitliches und integriertes Projektmanagementsystem für komplexe Großprojekte unter der Berücksichtigung von Unsicherheiten mit der Weiterentwicklung der existierenden Projektplanungsmethoden zu vereinen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden daher Projektplanungsmethoden hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht und gemäß den genannten Anforderungen weiterentwickelt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das beschriebene Forschungsprojekt wurde federführend vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ausgeführt. Das KIT wurde durch das Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP), die Abteilung Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) und das Fachgebiet

Building Lifecycle Management (BLM) des Karlsruher Instituts für Technologie vertreten. Die Projektleitung lag bei Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann und M. Sc. Felix Hübner am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP).

Die Daten zur Projektausführung wurden von den Praxispartnern AREVA GmbH und VKTA - Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden diese Daten, soweit es die im VKTA und AREVA vorliegenden Basisdaten zuließen, an die Anforderungen des KIT angepasst. Informationen zu den einzelnen Projektpartnern sind den Kapiteln 1.2.1 bis 1.2.5 zu entnehmen.

2 Eingehende Darstellung

Ausgehend von der geplanten Vorgehensweise aus Kapitel 1.3.1 wird im Folgenden auf die Ausführung des Projekts, die Projektergebnisse, deren Verwertungs- bzw. Verwendungsmöglichkeiten und die Verwendung der Mittel eingegangen.

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

In diesem Abschnitt werden zunächst das Ziel und die Teilziele des Forschungsprojekts nochmals zusammengefasst dargestellt und den Teilzielen die ausgeführten Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts sowie die dabei erzielten Forschungsergebnisse gegenübergestellt. Der Grad der Zielerreichung aller Teilziele wird zuletzt übersichtlich dargestellt.

2.1.1 Ziele des Vorhabens

Übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Besonderheiten von kerntechnischen Rückbauprojekten sowie die derzeitigen Schwachstellen im Projektmanagement zu identifizieren, um mit Hilfe dieser Erkenntnisse einen integrierten Muster-Projektstrukturplan zu erstellen. Bei diesem übergeordneten Ziel ergeben sich folgende Teilziele:

- Erstellung einer hierarchischen Prozessstruktur von Rückbauvorgängen und dazugehörigen Eigenschaften (Dauer, Kosten, benötigte Ressourcen) (AP 1)

- Identifikation und Abgrenzung zu bestehenden Projektmanagementsystemen (AP 1)
- Erstellung einer Erfahrungsdatenbank basierend auf der hierarchischen Prozessstruktur für kommerzielle Anlagen (AP 1)
- Erstellung einer Erfahrungsdatenbank basierend auf der hierarchischen Prozessstruktur für Forschungsanlagen (AP 1)
- Identifikation und Entwicklung geeigneter Kennzahlen zur Erfassung der Charakteristik von kerntechnischen Rückbauprojekten (AP 2)
- Identifikation von kritischen Elementen in den Projekten der Praxispartner (AP 2)
- Identifikation von Plan-Abweichungsursachen (AP 3)
- Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans (AP 3), der hinsichtlich verschiedener Szenarien robust ist (AP 4)
- Definition exemplarischer Rückbauszenarien (AP 4)
- Identifikation von Verbesserungspotentialen (AP 5)
- Erarbeitung akteursspezifischer Handlungsempfehlungen zur Einhaltung der Zeit- und Kostenrahmen (AP 5)

2.1.2 Phase I

Im Folgenden wird auf die einzelnen Arbeitsgebiete und Arbeitspakete der Phase I des Forschungsvorhabens näher eingegangen. Die folgenden Beschreibungen sind gemäß des Antrags (vgl. auch Kapitel 1.3.1) thematisch gruppiert. Hervorzuheben ist, dass die Abgrenzung zum Stand der Technik, d.h. zu bereits existierenden Projektmanagementsystemen, als Motivation und für das weitere Vorgehen im Forschungsvorhaben essentiell ist. Aus diesem Grund wird dieser Teil in Kapitel 2.1.2.2 besonders detailliert beschrieben.

2.1.2.1 Literaturrecherche, Prozessstrukturierung & -zerlegung (AP 1.1)

Im Rahmen des AP 1.1 wurde der Prozess des Rückbaus kerntechnischer Anlagen zunächst in Einzelschritte zerlegt. Dazu wurden Erkenntnisse aus einer Literaturrecherche zum Projektmanagement (insbesondere die Struktur

der „International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations“ [11]) und die von den Projektpartnern AREVA und VKTA bereits zur Verfügung gestellten Daten verwendet. AREVA übergab dem KIT Daten der Projekte „Zerlegung des Reaktordruckgefäßes und der dazugehörigen Einbauten des KKW Würgassen“ sowie des Projekts „Zerlegung der Reaktordruckgefäßeinbauten des KKW Stade“. Der VKTA hat dem KIT den Gesamtterminplan und vier Terminpläne für die einzelnen Rückbauphasen des Rückbaus des Rossendorfer Forschungsreaktors in verschiedenen Detaillierungsgraden (VKTA 1 - 4) übergeben.

Überlegungen zur Analyse von Genehmigungsunterlagen zur Identifikation relevanter Rückbauaktivitäten wurden verworfen, da sich einerseits die Unterlagen je Bundesland unterscheiden und andererseits eine möglichst übertragbare, auf internationalen Standards beruhende Prozessstruktur gefunden werden sollte. Die Projektpartner hatten sich darüber hinaus darauf geeinigt, dass lediglich alle Aktivitäten auf der Baustelle, aber keine Planungs- und Genehmigungsarbeiten berücksichtigt werden. Daten zur Abschlussdokumentation wurden dagegen als Prozessschritt(e) berücksichtigt.

Bei der Erstellung der Prozessstruktur wurde darauf geachtet, dass alle potentiell durchführbaren Einzelschritte aufgeführt werden, sodass möglichst alle Rückbaustrategien abbildbar sind. Den Einzelschritten wurden im Anschluss eine eindeutige Nummerierung und einheitliche Begriffe zugeordnet. Um eine harmonisierte Struktur des Rückbauprozesses zu erhalten, wurden die Einzelschritte in verschiedenen Detaillierungsebenen zusammengefasst. Insgesamt wurden die Einzelschritte in fünf Rückbauphasen mit jeweils weiteren Detaillierungsebenen eingeordnet. Ein Ausschnitt der in Excel implementierten Prozessstrukturierung ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

Die Excel-Datei diente als noch leere Erfahrungsdatenbank und die darin aufgeführten Einzelschritte wurden durch die fortlaufenden Weiterarbeiten mit den vorhandenen Daten in AP 1.3 und AP 1.4 ergänzt. Dazu wurde in der Erfahrungsdatenbank eine Matrix angelegt, die je Vorgang u.a. Daten zu Zeitdauern, benötigten Ressourcen, Vorgängerbeziehungen und Kosten erfasst (vgl. Abbildung 2.1). Die Struktur der Erfahrungsdatenbank wurde parallel zum Ausfüllen mit Daten (AP 1.3 und AP 1.4) in Abstimmung mit den Praxispartnern agil angepasst und weiterentwickelt. Die Struktur und der Aufbau der Erfahrungsdatenbank wurden so konstruiert, dass die eingetragenen Daten von dem zu entwickelten Optimiermodell (AP 3.2) nutzbar sind.

Das Teilziel „Erstellung einer hierarchischen Prozessstruktur von Rückbauvorgängen und dazugehörigen Eigenschaften (Dauer, Kosten, benötigte Ressourcen)“ wurde erfolgreich erreicht, indem in einem ersten Schritt das Gesamtprojekt des Rückbaus kerntechnischer Anlagen in Einzelschritte zerlegt und hierarchisch strukturiert wurde (sog. Erfahrungsdatenbank ohne Daten). Hierbei orientiert sich die hierarchische Prozessstruktur von Rückbauvorgängen stark am ISDC. Darüber hinaus wurde das Teilziel erreicht, indem in einem zweiten Schritt für jeden Vorgang, der in der hierarchischen Prozessstruktur aufgelistet ist, Daten wie beispielsweise Vorgangsdauer, Vorgänger und benötigte Ressourcen eingefügt wurden (ausgefüllte Erfahrungsdatenbank).

2.1.2.2 Untersuchung bestehender Projektmanagementsysteme (AP 1.2)

Zur effizienten Durchführung von Projekten und zur Identifikation von Verbesserungspotentialen bereits durchgeführter Rückbauprojekte wurden in AP 1.2 bestehende Projektmanagementsysteme untersucht, die bei Rückbauprojekten eingesetzt werden. Hierbei wurden für die Untersuchung die Systeme in drei Klassen unterteilt und einzeln analysiert: Projektmanagement-Standards, Projektmanagement-Software und Projektmanagement-Methoden. Als weltweit verbreitetste Projektmanagement-Standards wurden der PMBOK-Guide (Guide to the Project Management Body of Knowledge) des Project Management Institutes (PMI), der ICB (Individual Competence Baseline) der International Project Management Association (IPMA) und

PRINCE2 (Projects in Controlled Environments) des Office of Government Commerce (OGC) identifiziert und untersucht. Alle drei Standards beschreiben die in den verschiedenen Projekt-Phasen (Initialisierung bis Projektabschluss) und Wissensgebieten (z.B. Risiko-, Beschaffungs- oder Stakeholdermanagement) gemachten Erfahrungen und anwendbaren Methoden in einer ähnlichen Form. Je Standard werden verschiedene Schwerpunkte gesetzt, insgesamt jedoch gibt jeder der untersuchten Standards ähnliche Empfehlungen für das Projektmanagement. Neben den Projektmanagement-Standards wurden die Projektmanagement-Softwarepakete MS Project von Microsoft, Primavera P6 von Oracle, CORA CALCOM von Siempelkamp und OpenRMS von der Gesellschaft für integrierte Systemplanung mbH (GiS) untersucht. Während sich MS Project und Primavera P6 auf die Termin-, Kosten- und Ressourcenplanung spezialisieren, liegen die Schwerpunkte von CORA CALCOM und OpenRMS auf der Massenbilanzierung und den Stoffströmen während des Rückbaus. Als Projektmanagement-Methoden wurden die Methoden des kritischen Pfads (CPM), PERT (Program Evaluation and Review Technique) und GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) identifiziert. Alle Analyse-Ergebnisse werden im Folgenden detaillierter aufgeführt. Da sich sowohl die Standards als auch die Software und Methoden auf Projekte beziehen, wird zunächst der Begriff „Projekt“ definiert und die Charakterisierung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen als Projekt beschrieben. Darüber hinaus wird darauf eingegangen, was das Projektmanagement ist und was seine Aufgaben sind. Diese Grundlagen sollen insbesondere dem Verständnis der Projektmanagement-Standards und Projektmanagement-Methoden dienen.

2.1.2.2.1 Rückbau kerntechnischer Anlagen als Projekt

In der DIN-Norm DIN 69901-5:2009 wird ein Projekt definiert als ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist, z.B. Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen, projektspezifische Organisation.“ Reiß charakterisiert Projekte darüber hinaus als Sonderaufgaben, die insbesondere aufgrund ihres breiten Kompetenzbedarfs aus der Primärorganisation ausgelagert werden müssen, um individuell bearbeitet zu werden [12]. Neben dem breiten Kompetenzbedarf werden in der Literatur weitere Merkmale aufge-

führt, welche versuchen die Aufgaben innerhalb der Projekte zu spezifizieren. Die am häufigsten verwendeten Merkmale sind dabei die zeitliche Befristung, die Komplexität sowie die relative Neuartigkeit bzw. Einzigartigkeit der Projektaufgaben, die durch den Einsatz von Verbrauchsgütern, Nutzungsgütern und Arbeitskräften eine bestimmte Zielsetzung verfolgen [13; 14; 15]. Ó Conchúir spezifiziert die in einem Projekt verfolgte Zielsetzung dadurch, dass ein Projekt ein in der Regel einzigartiges Ergebnis liefert, wie beispielsweise ein Produkt oder einen Service, welches auch als „Project Product“ bezeichnet wird [14; 16]. Projekte sind aufgrund ihrer Einzigartigkeit nicht oder nur selten wiederholbar, sodass keine detaillierten Vorgehensweisen zur Bearbeitung eines Projekts aufgestellt werden können. Vielmehr ist jedes Projekt individuell zu bearbeiten [14].

Die zeitliche Befristung eines Projekts ist dadurch gekennzeichnet, „dass die einzelnen durchzuführenden [...] [Vorgänge] entweder in der kürzest möglichen oder in einer durch das angestrebte Kostenniveau bestimmten Ausführungszeit realisiert werden sollen“ [17]. Projekte als befristete Vorhaben „bringen deshalb ein instabiles Element in ein auf Dauer angelegtes organisatorisches System“ [13]. Corsten et al. merken an, dass die zeitliche Befristung ex ante gegeben sein muss, um sie von anderen Unternehmungen abzugrenzen, deren Auflösung sich erst ex post ergibt [18].

Um zu verdeutlichen, dass der Umgang mit Projekten bereits vor über 40 Jahren aktuell war, wird im Folgenden unter anderem auf die Ausführungen von Saynisch et al. aus dem Jahr 1979 zurückgegriffen. Saynisch et al. beschreiben den Projektablauf als eine „auf „Lernen“ ausgerichtete sequentielle Entscheidungsprozedur“, die aus einer Hierarchie und Sequenzierung vieler Problemlösungsprozesse mit mehreren Iterationszyklen besteht [15]. Diese Prozesse werden in den Projektlebenszyklus als allgemeingültige Lebensphasen eingebettet. Saynisch et al. definieren folgende allgemeine Projektlebensphasen: Problemanalyse, konzeptionelle Grundlegung, detaillierte Gestaltung, Realisation, Nutzung und Außerdienststellung (vgl. Abbildung 2.3). Die **Problemanalyse** beschäftigt sich mit der Entwicklung und Präzisierung der Zielsetzung eines Projekts. Ausgehend vom Projektziel werden in der **konzeptionellen Grundlegung** die Entwurfsanforderungen

zur Projektrealisierung, alternative Lösungswege und deren Realisierbarkeit überprüft. In der **detaillierten Gestaltung** werden die durchzuführenden Maßnahmen inkl. aller Teilsysteme im Gegensatz zur konzeptionellen Gestaltung genauer ausgearbeitet und konkretisiert. Die identifizierten Maßnahmen werden in der **Realisierung** in die Wirklichkeit umgesetzt und anschließend in der Phase der **Nutzung** auf Verbesserungspotentiale hin untersucht sowie mögliche Änderungen werden angepasst. In der letzten Phase eines Projekts, der **Außerdienststellung**, werden die gesammelten Erfahrungen aus dem Projekt zusammengetragen und das Projekt wird zu seinem Abschluss gebracht [15]. Für den Baubetrieb, zu dem auch der Rückbau zu zählen ist, lassen sich die genannten Phasen ebenfalls in die genannten Projektphasen aufteilen [15].

Nicht jedes Projekt durchläuft alle der genannten Phasen. Vielmehr werden für die speziellen Bedürfnisse unterschiedlicher Branchen auf Basis der allgemeingültigen Lebensphasen individuelle Phasenmodelle definiert [15]. Außerdem ist der Projektablauf ein Lernprozess, der sich beim Durchlaufen der einzelnen Lebensphasen ergibt [15] und bei dem die vielen Unsicherheiten eines Projekts während des Projektablaufs durch neue Informationen und Erfahrungen fortlaufend reduziert werden [19].

Ziel eines Projekts ist es, aus sich bietenden Chancen einen Nutzen zu erzeugen. Das Projektziel liegt somit in der Schaffung eines vorher definierten Nutzens [20]. Um ein Projekt mit einem möglichst großen Nutzen abschließen zu können, muss das Projekt professionell durch seine Lebenszyklusphasen geführt und an die aktuellen Gegebenheiten kontinuierlich angepasst werden. Der Lenkprozess eines Projektes durch seine Lebensphasen wird als *managen* oder auch als *Projektmanagement* bezeichnet.

Das Management von Projekten wird durch DIN 69901-5:2009 als die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“ definiert. Nach Ansicht einiger Autoren sind in den Definitionen für das Projektmanagement keine wissenschaftlich tragfähigen Definitionen zu sehen, da unter anderem die nicht abschließende Aufzählung von Merkmalen der Begriffsdefinition eines Projekts keine eindeutige Bestimmung

eines Projekts zulässt. Damit sei auch die Definition des Projektmanagements nach DIN 69901-5:2009 nicht eindeutig fassbar. Der Begriff Projektmanagement ist in starkem Maße durch seine Verwendung in der Praxis geprägt, in der die pragmatische Vorgehensweise höher gewichtet wird als eine Definition des Begriffs [21].

2.1.2.2.2 Projektmanagement-Standards

In den 1970er Jahren wurden immer mehr Unternehmen im In- und Ausland mit der Notwendigkeit der Einführung des Projektmanagements konfrontiert, da viele Kunden zunehmend individuelle Problemlösungen wünschten. Die individuelle Bearbeitung der Kundenwünsche wurde in Unternehmen in der Form von Projekten ausgeführt. Zu Beginn des Projektmanagements unterschieden sich die angewandten Methoden, Verfahren und Vorgehensweisen von Projekt zu Projekt teilweise sehr stark. Dadurch wurden einige Probleme sichtbar, die eine Übertragbarkeit der in einem Projekt gesammelten Erfahrungen auf neue Projekte erschwerten. In den 1960er Jahren wurde erkannt, dass Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Projekten existieren, sodass die Übertragung von Wissen und eine Standardisierung des Projektmanagements die Realisierung von Projekten erleichtern können. Aus diesem Grund tauschen sich die Projektverantwortlichen untereinander aus und standardisieren die gesammelten Erfahrungen vergangener Projekte in sogenannten Projektmanagement-Standards als Empfehlungen für zukünftige Projekte [14; 15; 22]. Häufig werden Projektmanagement-Standards auch als Projektmanagement-Systeme bezeichnet, da sie alle Projektmanagementphasen in einem System umfassen.

Nach DIN 69901-5:2009 ist ein Projektmanagementsystem ein „System von Richtlinien, organisatorischen Strukturen, Prozessen und Methoden zur Planung, Überwachung und Steuerung von Projekten“. Des Weiteren steht in DIN 69901-5:2009, dass es „das generelle Ziel des Einsatzes von Projektmanagementsystemen [...] [sei], Projekte erfolgreich zu realisieren.“ Je nach Projekt und Situation können diese Ziele beispielsweise die Erfüllung von Vorgaben und Erwartungen des Auftraggebers, eine systematische Projektüberwachung sowie eine effiziente und effektive Planung, Durchführung und Abschluss eines Projekts unter den vorgegebenen Qualitätsanforderungen

sein. Die Erreichung der Ziele kann durch die Einführung und die Nutzung von Standards in Organisationen unterstützt werden. Grau führt dazu zwei prinzipielle Motive an, wie ein Standard zur Zielerreichung beitragen kann [23]. Einerseits unterstützt der Standard die Arbeit und die Prozesse innerhalb der Organisation durch die Vorgabe bzw. den Vorschlag bestimmter Prozesse und Methoden, sodass die Qualität der Arbeit und die Arbeitsergebnisse verbessert werden. Andererseits kann ein Standard dazu beitragen, die Zusammenarbeit mit Kunden und Anbietern zu erleichtern. Dies wird nicht nur durch empfohlene Prozesse und Methoden erreicht, sondern insbesondere durch das geschaffene Vertrauen, welches durch die Nutzung eines Standards suggeriert wird. [23]

Grau klassifiziert vier Arten von Standards, die im Projektmanagement Anwendung finden (vgl. Abbildung 2.2).

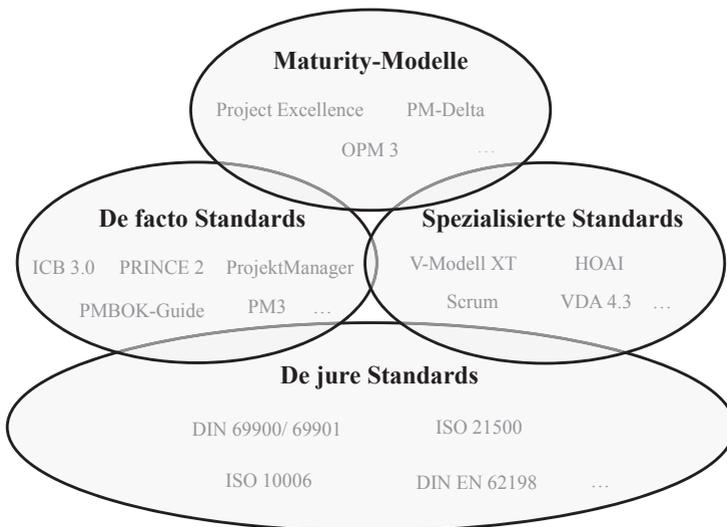


Abbildung 2.2: Klassifikation von Projektmanagement-Standards (eigene Darstellung nach [23])

Als Basis für das Projektmanagement existieren Standards, die rechtlichen Charakter besitzen. Hierbei handelt es sich in der Regel um sogenannte

Normen oder rechtliche bzw. de jure-Standards. Die International Standard Organization (ISO) gibt auf internationaler Ebene derartige Normen vor, an denen sich nationale Normierungsgremien orientieren, um unter den Vorgaben der ISO nationale Normen auszugeben. Nationale Normierungsgremien sind beispielsweise das American National Standards Institute (ANSI), das British Standards Institute (BSI) oder das Deutsche Institut für Normung (DIN). In einigen Fällen sind auch die europäischen Standards (EN) von Bedeutung, da diese durch Gesetze oder Verträge obligatorisch werden können. [23]

Als weitere Art von Projektmanagement-Standards klassifiziert Grau Projektmanagement-Standards, die auf Basis der rechtlichen Standards für ein bestimmtes Themengebiet bzw. für einen speziellen Industriezweig entwickelt worden sind. Beispielsweise existieren Standards für Architekten und Ingenieure (Honorarordnungen für Architekten und Ingenieure (HOAI)), für die IT (V-Modell XT, Scrum) oder die Automobilbranche (VDA 4.3). Grau gibt bei den spezialisierten Standards zu bedenken, dass diese im eigentlichen Sinne des Wortes „Standard“ (wie oben beschrieben) nicht als solche bezeichnet werden dürften. Da dies aber trotzdem häufig der Fall ist, führt Grau diese als eigene Gruppe der Standards auf [23].

Neben den auf bestimmte Industriesegmente spezialisierten Standards benennt Grau sogenannte de facto Standards, die auf der Basis der rechtlichen Standards aufbauen. De facto Standards beinhalten Informationen und Erfahrungen professioneller Gemeinschaften über das Projektmanagement im Allgemeinen. Das zusammengetragene Wissen der Projektmanager wird in Büchern zu einem sogenannten Body of Knowledge zusammengefasst [22; 23]. Die weltweit anerkanntesten de facto Standards werden im Folgenden beschrieben und einander sowie den de jure Standards gegenübergestellt und analysiert. Aufbauend auf den de facto Standards und den spezialisierten Standards wird versucht, ein exzellentes und hervorragendes Projektmanagement zu liefern. Um einen Anreiz für ein solches Projektmanagement zu geben, existieren sogenannte Maturity-Modelle, wie beispielsweise internationale Auszeichnungen für exzellente Projekte und vorbildliches Projektmanagement. Die Auszeichnungen dienen nicht nur als Anreiz für ein hervorra-

gendes Projektmanagement, sondern sollen gleichzeitig die Möglichkeit bieten, aus vorbildlichem Projektmanagement für zukünftige Projekte zu lernen [23].

Es ist anzumerken, dass eine eindeutige Einordnung von Projektmanagement-Standards zu den einzelnen Gruppen nicht immer eindeutig möglich ist. Einige Standards können zwei Gruppen zugeordnet werden. Beispielsweise ist der PMBOK-Guide zwar an sich ein de facto Standard, da er auf Basis der Erfahrungen von Projektmanagern erstellt wurde/wird, allerdings ist dieser auch von der ANSI anerkannt und könnte daher auch als de jure Standard aufgeführt werden [24]. Aus dem genannten Grund der Erfahrungssammlung im PMBOK-Guide wird dieser im Folgenden den de facto Standards zugeordnet. Es gibt auch Überschneidungen von de jure und spezialisierten Standards. Beispielsweise werden in DIN 18007:2000-05 Konzepte, Vorgehen und Anwendungsfälle für Rückbauarbeiten beschrieben.

Wie bereits angedeutet, dienen die de jure sowie die de facto Standards als Grundlage und Richtlinien für ein allgemeines Projektmanagement. Des Weiteren konnten bei den Recherchen im Rahmen des Forschungsvorhabens keine auf den Rückbau kerntechnischer Anlagen spezialisierten Projektmanagement-Standards identifiziert werden. Aus diesem Grund werden de jure und de facto Standards im Folgenden hinsichtlich ihrer Relevanz für den kerntechnischen Rückbau genauer untersucht und im Anschluss einander gegenübergestellt. Zunächst werden die allgemeinen Grundlagen des Projektmanagements anhand der de jure Standards sowie allgemeiner Projektmanagement-Literatur vorgestellt.

De jure Standards

De jure Standards bieten Leitlinien zu den Begriffen und Prozessen des Projektmanagements, um die erfolgreiche Durchführung von Projekten zu unterstützen [20]. Mit der ISO 21500:2012 hat die ISO auf internationaler Ebene einen Leitfaden für das Projektmanagement ausgegeben. Ziele der ISO 21500:2012 sind:

- Das Verständnis der Grundsätze und der Praxis für das Projektmanagement zu verbessern.
- Eine gemeinsame Basis für den Vergleich verschiedener Projektmanagement-Standards und -Praktiken zu schaffen.
- Als Vorlage für die Erstellung nationaler Normen und de facto Standards zu dienen, sodass diese in den Kernbereichen übereinstimmen.

Im Jahr 2009 hat das Deutsche Institut für Normung in der DIN 69901:2009 in fünf Teilen Leitlinien für das Projektmanagement in Deutschland ausgegeben. Die Leitlinien der ISO 21500:2012 sowie der DIN 69901:2009 ähneln sich sehr, da die ISO 21500:2012 auf dem PMBOK-Guide und der DIN 69901-2:2009 basiert [25]. Die rechtlichen Grundlagen des Projektmanagements werden im Folgenden anhand der Vor- und Gegenüberstellung der beiden Normen beschrieben.

In der DIN 69901-2:2009 werden zum Managen von Projekten fünf Stufen, sogenannte Projektmanagementphasen vorgestellt. Auch die ISO 21500:2012 schlägt fünf Phasen für das Management von Projekten vor, welche als Prozessgruppen des Projektmanagements bezeichnet werden.

Um den Lenkungsprozess eines Projektes durch seine Lebensphasen zu verdeutlichen, können die Projektmanagementphasen bzw. die Prozessgruppen den Phasen des Projektlebenszyklus direkt gegenüber gestellt werden (vgl. Abbildung 2.3).



Abbildung 2.3: Gegenüberstellung der Phasen des Projektlebenszyklus und der Projektmanagementphasen von Saynisch et al. (1979), DIN 69901 und ISO 21500

Sowohl in der DIN 69901:2009 als auch in der ISO 21500:2012 wird ein Projekt zunächst gestartet, indem das Projektziel, das Leistungsspektrum sowie die Projektphasen definiert werden. Auf dieser Basis wird das Projekt im Detail geplant. Der aufgestellte Plan dient als Grundlage für die Umsetzung und Durchführung der Vorgänge. Mögliche Planabweichungen müssen im Rahmen des Controllings erkannt und diesen gegengesteuert werden. Zuletzt wird ein Projekt entweder vor oder mit der Erreichung des Projektziels abgeschlossen. Bei Projektabschluss werden die gesammelten Erfahrungen ermittelt und dokumentiert.

Zwischen den einzelnen Projektmanagementphasen bzw. den Prozessgruppen existieren verschiedene Wechselwirkungen und gegenseitige Einflüsse. Diese sind in Abbildung 2.4 exemplarisch anhand der Prozessgruppen der ISO 21500 dargestellt.

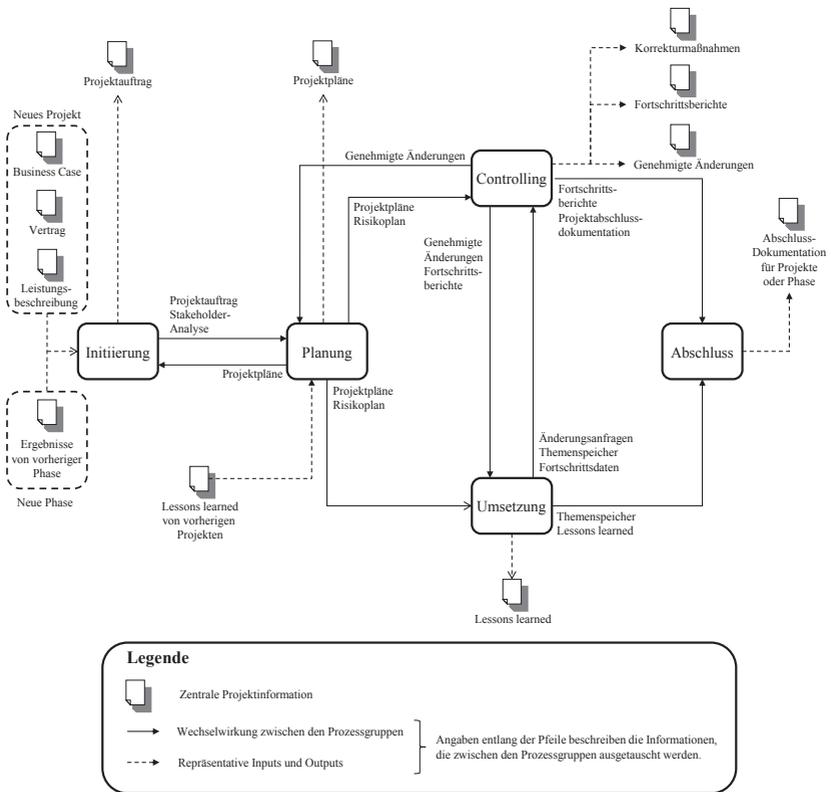


Abbildung 2.4: Wechselwirkungen zwischen den Prozessgruppen mit den wichtigsten Inputs und Outputs (Quelle: ISO 21500:2012)

DIN 69901-2:2009 definiert neben den Projektmanagementphasen sogenannte Projektmanagementprozesse, die in elf Prozess-Untergruppen zusammengefasst werden. Die Projektmanagementprozesse werden in einer Matrix jeweils einer Projektmanagementphase und einer Prozess-Untergruppe zugeordnet (vgl. Anhang A). Eine sehr ähnliche Darstellungsweise verwendet auch die ISO 21500:2012, indem sie neben den Prozessgruppen zehn Themengruppen definiert. In einer Matrix werden sogenannte Projektmanagementprozesse sowohl einer Themen- als auch einer Prozessgruppe zugeordnet (vgl. Anhang B). Sowohl in der DIN 69901-2:2009 als auch in der ISO 21500:2012 wird

jeder Projektmanagementprozess beschrieben sowie Inputs und Outputs aufgelistet. In der DIN 69901-2:2009 werden zusätzlich mögliche Methoden sowie Vorgänger- und Nachfolgerprozesse definiert.

De facto Standards

Da die de facto Standards das Wissen von Projektmanagern zusammentragen und bündeln, werden diese in vielen Unternehmen als Grundlage für das Projektmanagement eingesetzt. Dabei beruhen die de facto Standards in der Regel auf den Vorgaben bzw. Vorschlägen der rechtlichen Standards.

Obwohl mit der ISO 21500:2012 ein internationaler Standard für das Projektmanagement veröffentlicht wurde, ersetzt diese nicht nationale Normen oder Standards, sondern ist eher dazu gedacht, eine internationale Harmonisierung im Projektmanagement herbeizuführen. Dazu bietet die Norm die Definition von Begriffen und Konzepten für das Projektmanagement und ein durchgängiges Prozessmodell, das im Wesentlichen auf dem amerikanischen PMBOK-Guide und der deutschen Norm DIN 69901-2:2009 basiert. Die ISO 21500:2012 kann somit als Anleitung eines Projektmanagement-Prozessmodells oder als Basis für die Abwicklung internationaler Projekte angesehen werden [14; 25]. Für das detaillierte, operative Projektmanagement existieren weltweit zahlreiche de facto Standards, die Hinweise oder Vorgaben zur Durchführung von Projekten geben. Jedes Unternehmen sollte sich bei der Durchführung bestimmter Projekte für einen Standard des Projektmanagements entscheiden, um derartige Projekte erfolgreich durchführen zu können. Die Wahl des Standards sollte sorgfältig durchdacht sein, da sie unter Umständen Einfluss auf die Prozesse, die Dokumentation, das Training und andere operative Bereiche über eine lange Zeitspanne hinweg hat. Die Entscheidung für oder gegen einen Standard kann dabei beispielsweise dadurch beeinflusst werden, ob der jeweilige Standard in der Region, dem Land oder dem Kontinent verbreitet ist oder ob der Standard mit dem bisherigen Projekt- und Qualitätsmanagement vereinbar ist bzw. diese durch den Standard ohne großen Aufwand erweitert werden können [14].

Es existieren weltweit mehrere Organisationen, die de facto Standards zum Management von Projekten anbieten. Die Organisationen mit den weltweit

meisten Mitgliedern bzw. Anwendern der Standards sind das Project Management Institute (PMI), die International Project Management Association (IPMA) und das Cabinet Office der britischen Regierung (Office of Government Commerce (OGC)) [14].

Da die de jure Standards die Erfahrungen im Projektmanagement sammeln (z.B. Planungsmethoden) und diese auch für das Projektmanagement sowie das im Rahmen dieses Forschungsprojekts zu erarbeitenden Projektmanagement- und Projektplanungssysteme relevant sein können, werden die de jure Standards der oben genannten Organisationen detaillierter untersucht.

PMBOK-Guide

Das im Jahr 1969 in den USA gegründete Project Management Institute (PMI) ist ein durch das American National Standards Institute (ANSI) anerkannter Entwickler für Standards im Projektmanagement [14; 16; 22; 26]. Das Institut bietet mehrere Zertifizierungsprogramme an, die teilweise durch das ANSI nach der ISO 17024:2012 akkreditiert wurden. Die Zertifizierung als Project Management Professional (PMP) ist zudem nach ISO 9001:2008 als Standard des Qualitätsmanagements anerkannt [24; 26].

Das PMI gibt seine globalen Standards für das Projektmanagement im sogenannten PMBOK-Guide (Guide to the Project Management Body of Knowledge) vor. Dieser Guide wird weltweit anerkannt [14; 16]. Darin wird das Vorgehen zur Bearbeitung von Projekten anhand eines einheitlichen Wegs (den sogenannten Project Management Processes) mit Standardbegriffen beschrieben. In jeder Situation muss der Projektmanager entscheiden, inwieweit das vorgeschlagene Vorgehen in einem konkreten Projekt angewendet werden kann [14; 24].

Im Folgenden beziehen sich alle Ausführungen über den PMBOK-Guide auf die fünfte Edition des Leitfadens aus dem Jahr 2013, welche zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung die aktuellste Version war. Zunächst werden im PMBOK-Guide die Begriffe Projekt und Projektmanagement definiert. In diesem Zusammenhang wird die Interaktion des Projektmanagements mit anderen organisatorischen Bereichen, wie beispielsweise dem Projektmana-

ger, das Portfoliomanagement oder das Projektmanagement Informationssystem (PMIS), und deren Aufgaben beschrieben [14; 24]. Darauf aufbauend behandelt Kapitel zwei den Produktlebenszyklus und die damit verbundenen Stakeholder [14; 24]. Kapitel drei führt in die Project Management Processes ein. Die insgesamt 47 Prozesse werden in fünf Kategorien, den sogenannten Project Management Process Groups, gruppiert [24].

Die Prozesse werden zusätzlich in zehn Wissensbereiche, den sogenannten Knowledge Areas, gruppiert. Eine Knowledge Area stellt einen kompletten Satz von Konzepten, Bedingungen und Aktivitäten bereit, um ein Projekt erfolgreich durchzuführen. Die Prozesse werden in einer Matrix einer Knowledge Area und einer Process Group eindeutig zugeordnet (vgl. Anhang C) [14; 24].

In den Kapiteln vier bis zwölf werden die Inhalte der zehn Knowledge Areas jeweils detaillierter beschrieben. Dabei werden für jeden Wissensbereich der notwendige Input, zur Ausführung hilfreiche Tools und Techniken sowie die jeweiligen Outputs des Prozesses aufgeführt.

ICB - Individual Competence Baseline

Im Jahr 1965 wurde die International Project Management Association (IPMA) in der Schweiz gegründet [27]. Die IPMA ist eine übergeordnete internationale Organisation für mehr als 55 nationale Projektmanagement-Organisationen, der unter anderem auch die Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement (GPM) angehört [28; 29]. Die Vision der IPMA ist es, die Professionalität im Bereich des Projektmanagements zu fördern [30]. Dazu gibt die IPMA einen internationalen Leitfaden für das Projektmanagement bekannt, die sogenannte Individual Competence Baseline (ICB), welche für die jeweiligen nationalen Mitgliedorganisationen als Grundlage zur Erstellung der National Competence Baseline (NCB) dient. In die NCB fließen insbesondere kulturelle Aspekte des jeweiligen Staates mit ein [30; 31]. Im ICB werden Vorschläge zum Umgang im Projektmanagement unterbreitet, allerdings werden eigene Beiträge und Anpassungen in einem konkreten Projekt nicht ausgeschlossen [30].

So wie das PMI bietet auch die IPMA ein Zertifizierungssystem für Projektmanager an. Das vierstufige Zertifizierungssystem basiert auf der Individual Competence Baseline [14; 30]. Im Folgenden beziehen sich die Ausführungen auf die ICB 4.0, die zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts die aktuellste Version war.

Nach einer Einführung definiert die ICB zunächst den Begriff der Kompetenz und wer die Nutzer der ICB sind. In Kapitel drei werden die Begriffe Projekt, Programm und Portfolio definiert und der Aufbau der ICB beschrieben.

Insgesamt beschreibt die ICB 28 Kompetenzelemente, die im sogenannten **Eye of Competence** in drei zentralen Kompetenzbereichen des Projektmanagements aufgeführt werden:

- Perspective competences: Bereich der Projektmanagement-Kontextkompetenz, d.h. Elemente, die mit dem Projektkontext zusammenhängen.
- People competences: Bereich der Sozialkompetenz, d.h. persönliche Elemente der Projektmanagementkompetenz.
- Practice competences: Bereich der Fach- und Methodenkompetenz als grundlegende Elemente der Projektmanagementkompetenz.

Jedes Kompetenzelement wird zunächst beschrieben und es werden mögliche Prozessschritte aufgezeigt. Des Weiteren werden die von einem Kompetenzelement angesprochenen Themenfelder des Projektmanagements, wie beispielsweise Projektmanagement-Pläne, aufgezählt. Diese Themenfelder dienen als eine Art Taxonomie zur Klassifizierung der einzelnen Kompetenzelemente. Für jedes Kompetenzelement werden darüber hinaus Schlüsselkompetenzen auf der operativen Projektebene beschrieben sowie die Hauptbeziehungen zu anderen Kompetenzelementen aufgezeigt.

PRINCE2 – Projects in Controlled Environment

Im Jahr 1975 hat die Firma Simpact Systems Ltd den Projektmanagement-Standard² PROMT erstellt, der 1979 durch die britische Central Computer and Telecommunications Agency (CCTA) als Standard für alle Informationssystem-Projekte der britischen Regierung festgelegt worden ist. Der Standard PROMT ist 1989 weiterentwickelt und in PRINCE umbenannt worden. Seit dem Jahr 1996 wird PRINCE im Zuge seiner Überarbeitung und Vereinfachung als PRINCE2 bezeichnet. Die aktuelle Version des PRINCE2 ist im Jahr 2009 vom Office of Government Commerce (OGC), welches nach der Umbenennung der CCTA in die OGC entstanden ist, veröffentlicht worden [32]. Mittlerweile wird PRINCE2 in über 150 Organisationen nicht nur für IT-Projekte, sondern für die Bearbeitung vielfältiger Projekte eingesetzt [33; 34; 35].

Der Standard PRINCE2 wird im Buch „Managing Successful Projects with PRINCE2“ detailliert beschrieben [34; 35]. PRINCE2 setzt sich aus vier integrierten Bausteinen zusammen: Grundprinzipien, Themen, Prozessen und der Projektumgebung [34; 35].

Die Grundprinzipien stellen allgemeine Regeln dar, die auf in der Praxis bewährten Grundsätzen beruhen. Nur wenn alle sieben Grundprinzipien des PRINCE2 angewendet werden, handelt es sich nach der Aussage des OGC um ein echtes PRINCE2-Projekt [34; 35].

Die Aspekte des Projektmanagements, die nach Ansicht des OGC bei der Abwicklung eines Projekts behandelt werden müssen, sind in sieben Themen beschrieben. Alle sieben Themen müssen in einem Projekt zur Anwendung kommen, wobei der Umfang und die Ausgestaltung jedes Themas gemäß Grundprinzip sieben (Anpassung an die Projektumgebung) an das jeweilige

² Viele Ausführungen zu PRINCE2 sprechen von einer Projektmanagement-Methode. Nach DIN 69901-5 sowie nach der Definition in diesem Bericht handelt es sich bei PRINCE2 aber nicht um eine Methode, sondern um einen Standard, der Richtlinien und Hinweise für das Projektmanagement (vor-)gibt. Zur Definition einer Methode sei auf Kapitel 2.1.2.2.3 verwiesen.

Projekt angepasst werden sollte. Für jedes Thema werden der Zweck, Definitionen, der PRINCE2-Ansatz und die Verantwortlichkeiten aufgeführt [34; 35].

Das schrittweise Vorgehen im Projektlebenszyklus wird durch die Prozesse beschrieben. Daraus wird ersichtlich, dass das Projektmanagement nach PRINCE2 einem prozessbasierten Ansatz folgt, der eine strukturierte Abfolge von Vorgängen und Aktivitäten durchläuft, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Die in PRINCE2 beschriebenen Prozesse werden den Ebenen „Lenken“, „Managen“ und „Liefen“ zugeordnet. Für jede Ebene existieren verschiedene verantwortliche Personen. Grundlegende, wichtige Entscheidungen auf einer sehr aggregierten Ebene werden durch den Lenkungsausschuss aus strategischer Sicht des Gesamtunternehmens heraus getroffen. Diese Weisungen dienen dem Programm- sowie dem Projektmanager, um ein konkretes Projekt zu steuern. Dazu gibt dieser wiederum dem Teammanager Aufgaben zur Ausführung einzelner Arbeitspakete, stellt die Qualität des Projekts sicher und reagiert auf Risiken und Änderungen. Auf operativer Ebene führt der Teammanager mit seinen Mitarbeitern die Arbeitspakete aus und liefert ein Produkt oder einen Service. [34; 35]

Zusammenfassung und Ergebnisse der Untersuchung der Projektmanagement-Standards

Jeder der fünf vorgestellten Standards gibt Handlungshinweise und Richtlinien, um ein Projekt erfolgreich zu managen. Je Standard werden unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt: ISO 21500 sowie DIN 69901 geben eine generelle Übersicht über das Projektmanagement, wobei detailliertere Informationen aus den de facto Standards entnommen werden können. Einen umfassenden Überblick über alle Phasen geben insbesondere der PMBOK-Guide und PRINCE2, wobei der PMBOK-Guide viele Hinweise zu anwendbaren Methoden enthält. Die ICB fokussiert sich insbesondere auf die Kontext- und Sozialkompetenz.

Auch wenn die Schwerpunkte etwas anders gesetzt sind und die Handlungshinweise unterschiedlich angeordnet oder aggregiert werden, existiert insgesamt zwischen den Standards eine große Schnittmenge der Handlungsempfehlungen für das Projektmanagement.

Die Projektmanagementphasen werden in allen Projektmanagement-Standards auf unterschiedliche Art und Weise beschrieben. Während der PMBOK-Guide und PRINCE2 sowie die Normen DIN 69901-2:2009 und ISO 21500:2012 die Phasen explizit beschreiben und die verschiedenen Kompetenzbereiche den einzelnen Schritten des definierten Prozesses zuordnen, beschreibt die ICB alle Tätigkeiten des gesamten Projektmanagementlebenszyklus in den einzelnen Kompetenzelementen, ohne eine explizite Zuordnung zu den einzelnen Phasen des Projektmanagements vorzunehmen. Alle Phasen eines Projekts werden in den „practice competences“ der ICB angesprochen. Der direkte Vergleich der Projektmanagementphasen der ISO 21500:2012 mit den Prozessgruppen des PMBOK-Guides, den in PRINCE2 genannten Prozessen sowie den Prozess-Untergruppen der DIN 69901-2:2009 fällt dagegen einfacher aus (vgl. Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Vergleich der Projektmanagementprozesse

ISO 21500	PMBOK-Guide	DIN 69901-2	ICB	PRINCE2	
Initiating	Initiating Process Group	Initialisierung	(Results orientation/project design/Requirements and objectives)	Starting up a Project	Directing a Project Managing a Stage Boundary
		Definition		Initiating a Project	
Planning	Planning Process Group	Planung	Plan and control (Strategy/ Scope/ Time/ Quality/ Finance/	Managing Product Delivery	
Implementing	Executing Process Group	Steuerung		Resources/ Procurement/ Risk and opportunity/	
Controlling	Monitoring and Controlling Process Group		Abschluss	Change and transformation)	
Closing	Closing Process Group				

Die Projektmanagement-Standards weisen nicht nur Ähnlichkeiten in den Prozessen des Projektmanagements, sondern auch Ähnlichkeiten in den inhaltlichen Punkten des Projektmanagements auf. Wie in Tabelle 2.2 verdeutlicht wird, führen alle fünf Standards die gleichen Themengebiete des Projektmanagements an. Diese werden allerdings teilweise in unterschiedlichen Gruppen aggregiert. In Tabelle 2.2 werden die Prozess-Untergruppen der DIN 69901-2:2009, die Knowledge Areas des PMBOK-Guides, die „practice competences“ der ICB sowie die Themen des PRINCE2 den Themengruppen der ISO 21500:2012 gegenübergestellt. Um die Inhalte der verschiedenen Gruppen den Projektmanagementphasen der DIN-Norm zuzuordnen, müssen aufgrund der überlappenden Inhalte manche Gruppen doppelt oder aggregiert aufgeführt werden.

Tabelle 2.2: Vergleich der Themengebiete des Projektmanagements

ISO 21500	DIN 69901-2	PMBOK	ICB 3.0	PRINCE2
Integration	Ziele	Project Integration Management	Project management success/ Project requirements & objectives/ Scope & deliverables	Business Case/ Progress
Stakeholder	Nicht explizit angesprochen (Information/ Kommunikation/ Dokumentation)	Project Stakeholder Management	Interested parties/ Project requirements & objectives	Nicht explizit angesprochen (Organization)
Inhalte	Ziele/ Projektstruktur	Project Scope Management	Project Management Success/ Project structures	Eindeutige Zuordnung schwierig (Business Case)

Ressourcen	Ressourcen/ Organisa- tion	Project Human Resource Management	Teamwork/ Resources/ Project Organi- zation	Plans/ Organisa- tion
Termine	Ablauf und Termine	Project Time Management	Scope & deliverables/ Time & project phases/ (Start- up/ Close-out)	Plans
Kosten	Kosten und Finanzen	Project Cost Management	Cost & finance	Plans
Risiko	Risiko/ Änderungen	Project Risk Management	Risk & oppor- tunity/ Changes/ Problem resolution	Risk/ Change
Qualität	Qualität	Project Quality Management	Quality	Quality
Beschaffung	Verträge und Nach- forderungen	Project Pro- curement Management	Procurement & contract	Plans
Kommuni- kation	Information/ Kommuni- kation/ Dokumenta- tion	Project Com- munications Management	Control & reports/ Infor- mation & documentation/ Communication	Progress

Im Gegensatz zu den inhaltlichen Ähnlichkeiten der Standards bei den Projektmanagementphasen und den Projektmanagementprozessen sticht die ICB durch die Verhaltens- sowie die Kontextkompetenz-Elemente hervor. Hinweise für die soziale und personale Kompetenz sowie die kontextbezogenen Kompetenzen im Projektmanagement werden von keinem anderen der untersuchten Projektmanagement-Standards derart explizit beschrieben. Lediglich die ISO 21500:2012 gibt bei der Beschreibung der verschiedenen Stakeholder von Projekten zu bedenken, dass neben den technischen auch verhaltensbezogene und kontextbezogene Kompetenzen extrem wichtig seien. Detailliertere Hinweise werden aber auch in der ISO 21500:2012 nicht

gegeben. Im Rahmen von MogaMaR sind diese Kompetenzen nicht eingeflossen, allerdings sollten diese in zukünftigen Forschungsprojekten berücksichtigt werden.

Die Termin- sowie die Ressourcenplanung sind eng mit dem Kostenmanagement verzahnt. Die direkten und indirekten Projektkosten resultieren aus der Termin- und Ressourcenplanung und beeinflussen diese im Gegenzug, wenn nicht genügend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund sollten in einem Projekt bei der Planung die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der Termin-, Kosten-, Ressourcen- und Beschaffungsplanung berücksichtigt werden. Jeder der untersuchten Projektmanagement-Standards spricht daher von einer integrierten Ablauf-, Kosten- und Ressourcenplanung. Darüber hinaus geben alle untersuchten Standards zu bedenken, dass die jeweiligen Handlungshinweise allgemein gehalten sind und daher an die aktuelle Situation jedes Projekts angepasst werden müssen. Der Projektmanager muss je Projekt die geeigneten Methoden und Instrumente (vgl. Abschnitt 2.1.2.2.3) wählen. Durch die jeweiligen Standards werden lediglich gewisse Regeln und Richtlinien vorgegeben, die im Projektmanagement eingehalten werden sollen.

In Bezug auf den Rückbau kerntechnischer Anlagen sind Projektmanagement-Standards wichtige Instrumente, um diese Projekte effizient und effektiv auszuwählen, zu planen sowie durchzuführen. Die in den Standards genannten Hinweise geben den Projektmanagern wichtige Hinweise für ihr Management. Zur Erreichung der Zielsetzung des vorliegenden Forschungsvorhabens sind Projektmanagement-Standards nur teilweise relevant, da sie zwar Rahmenbedingungen setzen, aber keine entscheidenden Verbesserungen anstoßen können. Einerseits geben sie eine Struktur des Projektmanagements vor und grenzen die Tätigkeiten des Forschungsvorhabens gegenüber anderen Themengebieten ab. Andererseits werden einige Methoden zur Planung genannt, die unter anderem im folgenden Kapitel 2.1.2.2.3 beschrieben und in Anhang D näher untersucht sowie analysiert werden.

Nach der Einordnung in diesem Abschnitt (2.1.2.2.2) wird deutlich, dass sich das vorliegende Forschungsvorhaben MogaMaR insbesondere mit Fragestellungen in der Phase der Planung beschäftigt und sich hierbei insbesondere

auf die Themengebiete der Zeit, Kosten, Ressourcen und Risiken fokussiert. Für die Beantwortung der eingangs formulierten Fragestellungen sind daher die im Folgenden beschriebenen Projektmanagementmethoden (siehe Abschnitt 2.1.2.2.3) von größerer Bedeutung.

2.1.2.2.3 Projektmanagementmethoden

Um auch umfangreiche, komplexe und neuartige Projekte zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen, sind neben erfahrenen Mitarbeitern im Projektmanagement effiziente Methoden zur Projektplanung, Projektkontrolle und Projektsteuerung notwendig [15]. Nach der Definition der DIN 69901-5:2009 ist eine Projektmanagementmethode eine „Vorgehensweise zur Lösung projekttypischer Fragen und Aufgaben.“ Die untersuchten Projektmanagement-Standards (vgl. 2.1.2.2.2) schlagen eine Vielzahl an Projektmanagementmethoden vor. Eine Auswahl dieser Methoden ist in Anhang D aufgeführt. Für die Planung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen ist insbesondere die integrierte Ablauf-, Kosten- und Ressourcenplanung von Bedeutung. Diese wird insbesondere durch Methoden der Netzplantechnik abgedeckt. Aus diesem Grund wird im Folgenden grundlegend auf die Netzplantechnik eingegangen. Eine ausführliche Untersuchung der Methoden für die Planung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen ist Bestandteil von AP 3.2 (Kapitel 2.1.3.2).

Zur Unterstützung des Projektmanagements bei der Ablaufplanung wird in der Literatur an vielen Stellen die Netzplantechnik (NPT) angeführt [15; 36]. Laut DIN 69900:2009 wird Netzplantechnik definiert als „auf Ablaufstrukturen basierende Verfahren zur Analyse, Beschreibung, Planung, Steuerung, Überwachung von Abläufen, wobei Zeit, Kosten, Ressourcen und weitere Größen berücksichtigt werden können.“ Die Netzplan-Methode beschreibt dabei die „Art und Weise des Vorgehens nach detaillierten Regeln der Darstellung, der Berechnung usw. von Netzplänen, z.B. Program Evaluation and Review Technique (PERT), Metra Potential Methode (MPM) und Critical Path Method (CPM).“ Die Netzplantechnik ist eine Methode, die sich besonders für die Projektplanung eignet und die verschiedene Verfahren als Varianten besitzt [15]. Bereits in den 1950er Jahren wurden mit CPM (Critical Path-Method), MPM (Metra Potential-Method) und PERT (Program

Evaluation and Review Technique) die ersten Verfahren der NPT entwickelt. Diese Verfahren wurden auf vielfältige Weise weiterentwickelt und durch neue Verfahren ergänzt [15; 36]. Beispielsweise wurden in den 1970er Jahren die Verfahren GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) und GAN (General Activity Networks) entwickelt.

Während bei der jährlichen Revisionsplanung aufgrund wiederkehrender Vorgänge Erfahrungswerte für die Zeitdauern und die Vorrangbeziehungen aller Vorgänge vorliegen, reicht für diese Planung die Verwendung der Kritischen-Pfad-Methode (CPM) aus. Die Verwendung der CPM-Methode wird zusätzlich darin bestärkt, dass bei der Revisionsplanung die schnellstmögliche Durchführung der Revision und weniger die Ressourcenplanung im Vordergrund steht. Dies ist damit zu begründen, dass der Stillstand während der Revision mit durchschnittlich einer Million Euro pro Tag höhere Kosten verursacht, als das Lösen von Konflikten mit Hilfe zusätzlicher finanzieller Mittel. Lediglich die visuelle Darstellung durch PERT-Diagramme eignet sich nach Aussagen der Experten zur vereinfachten Darstellung der Vorgangs-Reihenfolgen der Rückbauplanung.

Für die Rückbauplanung kerntechnischer Anlagen müssen andere Verfahren der Netzplantechnik angewendet werden, als dies bei den sog. Business-as-usual-Tätigkeiten der Fall ist. Insbesondere für den Rückbau kerntechnischer Anlagen liegen keine ausreichenden Erfahrungswerte vor [5; 6], um eine deterministische Planung, z.B. mit der CPM-Methode, durchführen zu können. Es wird dazu geraten, Verfahren zu verwenden, die Schwankungen der Zeitdauern sowie Unsicherheiten in der Reihenfolgeplanung abdecken. In diesem Kontext bietet sich beispielsweise die Verwendung des Verfahrens GERT an, um die Anforderungen an die Rückbauplanung kerntechnischer Anlagen zu erfüllen. Nachteil bei der Verwendung von GERT ist, dass auch für die Schwankungen der Zeitdauern Daten erhoben werden müssen.

Außerdem mangelt es an praktikablen Verfahren, die die Vielzahl der möglichen Abhängigkeiten beispielsweise für einen kerntechnischen Rückbau innerhalb eines allgemeinen GERT-Netzplanes erfassen können [18].

Da die Verfahren wie GERT trotz einiger Nachteile die Planung unter Unsicherheit am besten abbilden können, wird sich die Untersuchung der Projektmanagementmethoden für das Forschungsprojekt MogaMaR in AP 3.2 auf dieses Gebiet konzentrieren.

2.1.2.2.4 Projektmanagementsoftware zur Projektplanung

Um verschiedene Software-Produkte zur Projektplanung bewerten zu können, werden zunächst Anforderungen für die Projektplanung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen formuliert. Im Anschluss werden verschiedene auf dem Markt existierende Software-Produkte identifiziert und den Anforderungen gegenübergestellt. Durch den Abgleich gegenüber den Anforderungen sind Entwicklungsbedarfe für zukünftige Software-Produkte zur Unterstützung des Projektmanagements kerntechnischer Rückbauprojekte ersichtlich. Des Weiteren sind die identifizierten Entwicklungsbedarfe Grundlage für die Entwicklung der Methodik zur integrierten Projektplanung und der Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans im Rahmen dieses Forschungsvorhabens.

Folgende Anforderungen an Software-Lösungen zur Projektunterstützung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen wurden identifiziert (vgl. Tabelle 2.3).

Gemäß den Erfahrungen von AREVA werden zur Projektplanung und Überwachung kerntechnischer Rückbauprojekte häufig Standard-Programme, wie beispielsweise Word oder Excel, verwendet. Da diese Programme nicht speziell für das Projektmanagement entwickelt wurden, erfüllen diese die oben aufgeführten Anforderungen nicht. Aus diesem Grund wurde in diesem Forschungsprojekt insbesondere Software untersucht, die speziell für das Projektmanagement entwickelt wurde. Als Projektmanagement-Software wurden MS Project, Primavera P6, CORA CALCOM sowie OpenRMS identifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung und Erfüllung der genannten Anforderungen untersucht.

Tabelle 2.3: Anforderungen an die Projektmanagementsoftware

Anforderungen an die Projektplanung des kerntechnischen Rückbaus
Verschiedene Aggregationsebenen darstellbar
Integrierte Termin-, Kosten- und Ressourcenplanung
Schnittstellen zu anderer Software
Abfallmanagement
Beachten ökonomisches Prinzip (Warnmeldungen)
Zyklen/ Schleifen
Unsicherheiten in Vorgangsausprägungen
Informationsupdates und Entscheidungspunkte
Re(-active) Scheduling, d.h. Anpassung der Planung
Zeitauern der Prozessschritte abbildbar
Vorrangbeziehungen berücksichtigt
Ressourcenerfassung und begrenzte Ressourcen berücksichtigt
Modi: Verschiedene Ressourcen zur alternativen Ausführung eines Prozessschritts einsetzbar
Vorgänge unterbrechbar (Zeitpunkte=wann und Zeitspanne=wie lange)
Orte der Ausführung der Prozessschritte
Visuelle Darstellung
Optimierung der Planung
Unbeschränkte Zugriffsmöglichkeit (Cloud-Lösung)

MS Project

MS Project ist eine von Microsoft entwickelte Projektmanagement-Software. Der Vorteil liegt insbesondere in den guten Schnittstellen zu anderen MS Office-Programmen. Allerdings hat sich gezeigt, dass diese Software zur integrierten Planung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen nur eingeschränkt

geeignet ist, da MS Project lediglich einen zuvor erdachten Plan visualisieren kann. Die Erstellung oder Optimierung eines Plans ist nicht möglich.

Primavera P6

Dieses Software-System wurde von der Firma Oracle entwickelt und soll speziell für den Einsatz des Multiprojektmanagements geeignet sein. Da leider nur wenig öffentlich zugängliche Untersuchungen zu dieser Software existieren, kann nicht jede einzelne Anforderung bewertet werden. Sofern eine Aussage zu einer Anforderung nicht getroffen werden kann, wird dies mit einem „?“ symbolisiert.

CORA CALCOM

CORA CALCOM ist ein von Siempelkamp (NIS Ingenieurgesellschaft mbH) entwickeltes Program- bzw. Software-System, welches entweder auf Basis einer MS-Access oder auf Basis einer ORACLE-Datenbank nutzbar ist. Da CORA CALCOM auf MS Access bzw. einer ORACLE-Datenbank basiert, kann somit CORA CALCOM streng genommen nicht als eigenständige Projektmanagementsoftware bezeichnet werden. Da es sich bei diesem System aber um ein softwarebasiertes Planungstool handelt, wird es in dieser Einteilung der Projektmanagementsoftware zugeordnet.

CORA steht für Component Registration and Analysis und ist ein Modul zur Entsorgungsplanung. Durch die Erfassung des abzubauenen Inventars können in der Entsorgungsplanung u.a. Massen, Aktivitätsniveaus, Verpackung oder Entsorgungswege geplant und dokumentiert werden. Auf Basis von CORA ermöglicht das Modul CALCOM (Calculation and Cost Management) die Planung und Kalkulation auf Basis der Inventardaten aus CORA. Dazu wird eine hierarchische Strukturierung des Stilllegungsprojektes, eine Aufstellung der Projekt- und Kostenstrukturen, die Ablauf- und Terminplanerstellung sowie die Ressourcenplanung über Schnittstellen an MS Project oder Primavera ermöglicht.

CORA CALCOM bietet somit insgesamt die Möglichkeit zur Datenaufnahme, um die Entsorgungsplanung im System selbst und eine detaillierte, robustere

Termin-/Ablaufplanung sowie Ressourcenplanung in konventioneller Projektmanagement-Software wie MS Project oder Primavera zu ermöglichen.

OpenRMS

OpenRMS ist ein ganzheitliches Managementsystem für die Stilllegung und den Rückbau von kerntechnischen Anlagen, wobei das derzeit verfügbare System als Basislösung verstanden wird, das den individuellen Anforderungen jedes Projekts angepasst werden muss. Insgesamt werden folgende Komponenten des Projektmanagements abgebildet:

- Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren: Abwicklung der Genehmigungsprozesse mit den Behörden
- Rückbaudurchführung/Arbeitsscheine: Arbeitserlaubnis
- Reststoffmanagement: Verfolgung des Wegs des Reststoffs vom Rückbau bis zur Abgabe aus der Anlage
- Strahlenschutz: Dosisleistungsatlas, Kontaminationsatlas, Abgaben radioaktiver Stoffe, Umgebungsüberwachung, tätigkeitsbezogene Dosiserfassung
- Freimessungen der Gebäudestrukturen: Dokumentation des Freigabeverfahrens
- Dokumentation

Die Basistechnologie von OpenRMS ist OpenJET (JET = java based engineering tool). Dieses bietet folgende Vorteile:

- zugrunde gelegte Standard-Technologien: Java, CORBA und XML,
- Unabhängigkeit von spezifischen Betriebssystemen, Hardwareplattformen und Datenbank-Management-Systemen
- Netzwerkfähigkeit im firmeneigenen Intranet
- Verbindung zu Komponenten von Fremdanwendungen, z.B. MS Office

OpenRMS ist lauffähig auf Servern mit den Betriebssystem UNIX oder Windows 2000/NT/XP. Zur Laufzeit wird eine Java Virtual Machine vorausgesetzt. Als Datenbank wird eine relationale Datenbank wie Oracle oder SQL Server empfohlen.

So wie bei Primavera P6 können aufgrund fehlender detaillierter Informationen nicht alle Anforderungen untersucht werden. Sofern eine Anforderung nicht überprüft werden konnte, wird dies mit einem „?“ symbolisiert. Prinzipiell ist nach Aussage des Herstellers eine individuelle Anpassung von OpenRMS an jedes Projekt möglich.

Zusammenfassung der Erkenntnisse verwendeter Projektmanagement-Software

Insgesamt zeigt sich, dass es bereits einige Software-Produkte auf dem Markt gibt, die auch für die Planung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen eingesetzt werden. Die Untersuchung der Softwareprodukte MS Project, Primavera P6, CORA-CALCOM sowie OpenRMS zeigt, dass diese die verschiedenen Anforderungen für die Planung kerntechnischer Rückbauprojekte in unterschiedlicher Weise erfüllen bzw. noch Erweiterungsbedarf besteht (vgl. Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4: Erfüllungsgrad der Software-Anforderungen unterschiedlicher Projektmanagement Software

Anforderungen an die Projektplanung des kerntechnischen Rückbaus	MS Project	Primavera P6	CORA-CALCOM	Open-RMS
	Erfüllt/ Nicht erfüllt			
Verschiedene Aggregationsebenen darstellbar	Ja	Ja	Ja	?
Integrierte Termin-, Kosten- und Ressourcenplanung	Unzureichend: Eine grundlegende Ressourcen- und Kostenplanung ist in MS Project möglich, allerdings ist diese für große Rückbauprojekte unzureichend (z.B. Schnittstellen zu anderen Programmen sind unzureichend)	Ja	Ja → Datenaufnahme in CORA-CALCOM, Daten dienen zur robusteren Termin- und Ressourcenplanung in MS Project oder Primavera, integrierte Kostenplanung	?
Schnittstellen zu anderer Software	Teilweise (v.a. MS Office Programme)	Ja	Teilweise: MS Office, MS Project, Primavera	Ja: MS Office
Abfallmanagement	Nein	?	Ja, Entsorgungsplanung wesentlich in CORA-CALCOM	Ja
Beachten ökonomisches Prinzip (Warnmeldungen)	Teilweise	?	Nicht geklärt	?

Zyklen/ Schleifen	Nein	?	Da Terminplanung ausgelagert: siehe MS Project und Primavera	?
Unsicherheiten in Vorgangsausprägungen	Nein	?		?
Informationsupdates und Entscheidungspunkte	Nein	?		?
Re(-active) Scheduling, d.h. Anpassung der Planung	Nein	?		?
Zeitdauern der Prozessschritte abbildbar	Ja	Ja		?
Vorrangbeziehungen berücksichtigt	Ja	Ja		?
Ressourcenerfassung und begrenzte Ressourcen berücksichtigt	Ja	Ja		?
Modi: Verschiedene Ressourcen zur alternativen Ausführung eines Prozessschritts einsetzbar	Nein	?		?
Vorgänge unterbrechbar (Zeitpunkte = wann und Zeitspanne = wie lange)	Ja	?		?
Orte der Ausführung der Prozessschritte	Nicht explizit (indirekt als Ressource darstellbar)	?		

Visuelle Darstellung	Gantt-Diagramm	Ja	In MS Office oder Primavera sowie deren Schnittstellen	?
Optimierung der Planung	Nein	Nein	Nein	Nein
Unbeschränkte Zugriffsmöglichkeit (Cloud-Lösung)	Nein	Ja	Nein	?

Hervorzuheben ist, dass alle untersuchten Software-Produkte lediglich einen „im Kopf erstellten Plan“ visualisieren. Eine Optimierung der Planung ist mit keinem der untersuchten und im kerntechnischen Rückbau verwendeten Software-Produkte möglich. Dies ist allerdings eine essentielle Voraussetzung, um Zeit oder Kosten im Rahmen der Projektplanung einzusparen. Somit ergibt sich hieraus eine zentrale Forschungslücke, die durch das Forschungsvorhaben MogaMaR geschlossen werden soll.

2.1.2.3 Datenrecherche zu kommerziellen Anlagen (AP 1.3)

Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Sichtung der Planungsunterlagen der Projekte „Zerlegung des Reaktordruckgefäßes und der dazugehörigen Einbauten des KKW Würgassen“ sowie des Projektes „Zerlegung der Reaktordruckgefäßeinbauten des KKW Stade“. Darüber hinaus wurde der Ist-Zustand dieser Projekte durch die Befragung beteiligter Mitarbeiter bei AREVA aufgenommen. Ein wesentliches Ergebnis der Analyse ist, dass die Durchführungsarbeiten vor Ort teilweise von der ursprünglichen Planung abgewichen sind, da es aufgrund von unvorhergesehenen Gegebenheiten (Störungen beim RG-Kran, Ausfallzeiten von Equipment, Schwierigkeiten bei Zerlegearbeiten aufgrund von unerwarteten Materialeigenschaften, etc.) zu kurzfristigen Änderungen kam.

Bei der damaligen Planung des Projektes wurden die heutigen Projektmanagement-Anforderungen, wie z.B. eine systematische Projektstrukturierung, nicht angewendet. Die damaligen Planungsunterlagen wie Terminpläne und

Kalkulationen stimmten in der Strukturierung nicht überein, was eine detaillierte Kostenverfolgung erschwerte.

Nach der Datenrecherche und Analyse der in der Vergangenheit abgeschlossenen Projekte „Zerlegung des Reaktordruckgefäßes und der dazugehörigen Einbauten des KKW Würzgassen“ sowie des Projektes „Zerlegung der Reaktordruckgefäßeinbauten des KKW Stade“ stellte sich heraus, dass die Unterlagen nicht dem heutigen Verständnis einer Projektplanung und Projektverfolgung genügen. Die geplante Untersuchung der tatsächlichen Kosten und der benötigten Zeit für die Durchführung konnte somit nicht gegen die ursprünglichen Plandaten verifiziert werden. Als Basisdaten für die Erfahrungsdatenbank wurden somit Plandaten eines Referenzkonzeptes jeweils für den Rückbau eines Druck- und eines Siedewasserreaktors herangezogen, die auf Grundlage der Lessons Learned der vergangenen beiden Projekte und auf Grundlage neuester technologischer Erkenntnisse eine realistische Vorgehensweise mit entsprechenden Zeiten und Kosten widerspiegeln. Dabei wurden grundlegende Angaben je Vorgang bzgl. Vorgängern/Nachfolgern, Zeitdauern und Ressourcen vorgenommen. Die Eintragungen der vorhandenen Daten decken allerdings nicht den kompletten Bereich der Erfahrungsdatenbank ab, da die Informationen auf den Rückbau der Reaktordruckgefäßeinbauten, des Reaktordruckgefäßes und des Biologischen Schildes beschränkt sind.

2.1.2.4 Datenrecherche zu Forschungsanlagen (AP 1.4)

Im Rahmen der Datensammlung in AP 1.4 wurden an den Projektpartner KIT der Gesamtterminplan und vier Terminpläne für die einzelnen Rückbauphasen des Rückbaus des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR) in verschiedenen Detailierungsgraden (VKTA 1 – 4) übergeben. Die in den Terminplänen enthaltenen Arbeitsschritte waren – neben den Daten von AREVA und der „International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations“ – eine der Basisinformationen für die vom KIT vorgeschlagene Struktur der Erfahrungsdatenbank. Im Prozess der Optimierung der Struktur der Erfahrungsdatenbank wurde u.a. eine Erfassung von Verbesserungsvorschlägen angeregt, die im Laufe der betrachteten Rückbauvorhaben abgeleitet werden können.

Es wurden darüber hinaus folgende Kosten des Rückbaus des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR) erhoben. Dabei wurden zunächst Kosten für

- vorbereitende Maßnahmen,
- Bereitstellung von Ausrüstungen,
- Dienstleistungen beim Rückbau,
- Rückbau Elektro- und Lufttechnik,
- Dekontamination,
- arbeitsbegleitender Strahlenschutz,
- Freimessen/Freigeben,
- Reststoffentsorgung,
- Gebäudeabbruch,
- Planungs-, Projekt- und Baustellenleitung und
- Betriebskosten

ermittelt.

Im Zuge des Ausfüllens der Erfahrungsdatenbank mit Daten entstanden verschiedene Fragestellungen, die anhand von ausgewählten Arbeitsschritten zum Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors mit dem Projektpartner KIT in bilateralen Gesprächen erörtert wurden. Die vom VKTA übergebenen Terminpläne wurden für verschiedene Rückbauphasen für den Zeitraum von 2001 bis 2018 erstellt. Insbesondere zu Beginn der ersten Rückbauphasen war die o. g. Kostenstruktur nicht vorhanden. Es waren zeitaufwendige Unterlagensichtungen sowie aufwendige Kosten- und Vorgangszusammenfassungen notwendig, um die Erfordernisse der Erfahrungsdatenbank zu erfüllen. Im Ergebnis davon stellte der VKTA dem Projektpartner KIT einen weiteren, detaillierten Terminplan zum Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors vor, der die bereits übergebenen vier Terminpläne (VKTA 1 - 4) des VKTA untermauert und Einzelvorgänge hinsichtlich ihrer tatsächlichen Ausführung konkretisiert. Im Verlauf der Arbeiten zur Datenrecherche für den RFR gemäß AP 1.4 musste festgestellt werden, dass eine evtl. vorgesehene Einbeziehung einer Reaktoranlage in Österreich nicht möglich war. Die aus einem IAEA-Projekt, unter Mitarbeit des VKTA, vorhandenen Daten konnten nicht sinnvoll in die Struktur der Erfahrungsda-

tenbank eingepflegt werden und eine weitere Datenbeschaffung war im vorgegebenen Projektrahmen nicht möglich.

2.1.2.5 Definition von geeigneten Kennzahlen (AP 2.1)

Auf Basis vorhandener Planungsunterlagen werden Projekte während ihrer Durchführung überwacht und gesteuert. Dazu werden zur Projektbearbeitung Arbeitsfreigaben vergeben, Statusermittlungen über technische Leistungsdaten, Termin- und Kostendaten erbracht sowie Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt, um Planabweichungen zu identifizieren und eventuell Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Dabei spielt insbesondere die integrierte Kosten- und Terminüberwachung eine zentrale Rolle, da Korrekturmaßnahmen an der Terminplanung wiederum großen Einfluss auf die Kostenplanung haben und dadurch zu weiteren Planabweichungen führen können. Eine integrierte Termin- und Kostenplanung sowie die Definition von geeigneten Kennzahlen zur Messung des Projekterfolgs sind also bereits vor der Projektdurchführung notwendig, um Sensitivitäten zwischen den Planungen zu identifizieren und mögliche Planänderungen zu antizipieren [15].

Im Rahmen des AP 2.1 konnten Kennzahlen für verschiedene Bereiche des Projektmanagements und den kerntechnischen Rückbau identifiziert werden. Die Kennzahlen decken insgesamt die fünf Gebiete Fortschritt/ Projektergebnis, Finanzen, Gesundheit & Sicherheit, Umwelteinwirkungen sowie sozioökonomische Einflüsse ab. Je Gebiet wurden Kennzahlen hierarchisch für verschiedene Detaillierungsebenen erarbeitet (Anhang E). Die während der Bearbeitung des AP 2.1 erarbeiteten Erkenntnisse werden im Folgenden näher beschrieben.

Ein (Rückbau-) Projekt erreicht seine gesteckten Ziele nur, wenn es so überwacht wird, dass die in das Projekt involvierten Parteien den (Rückbau-)Prozess einfach und verständlich nachvollziehen und verstehen können. Zum besseren Verständnis und zur effizienten Überwachung und Steuerung eines Projekts werden Kennzahlen, sogenannte Indikatoren, verwendet [37]. Die Begriffe Kennzahl und Indikator werden im Folgenden synonym verwendet.

Die Kennzahlen ermöglichen es, auf operativer als auch auf organisatorischer Ebene zu jedem beliebigen Zeitpunkt darzustellen, was gerade in einem Projekt passiert, indem die Leistung, der Zustand und bereits erreichte Teilziele des Projekts gemessen und in einer aggregierten Form als Kennzahl veranschaulicht werden [37].

Kennzahlen unterscheiden sich grundsätzlich zwischen sogenannten Progress-Indikatoren und Performance-Indikatoren. Während Progress-Indikatoren als Kennzahlen zur Verdeutlichung des Fortschritts eines Projekts fungieren, z.B. die prozentuale Planerreicherung der zeitlichen Planung des Rückbaus, werden Performance-Indikatoren als Kennzahlen zur allgemeinen Leistungsbeschreibung eines Projekts genutzt, z.B. die Masse rückgebauter Gebäudeteile pro Mann-Stunde. Da mit der Verbesserung der Leistung (Performance) innerhalb eines Projekts auch der Fortschritt (Progress) unter der Voraussetzung hinreichender Effektivität verbessert wird, werden in der Regel die Performance-Indikatoren zur Bewertung und Kontrolle des Projekts herangezogen. Performance-Indikatoren repräsentieren somit die Leistung im Gegensatz zum Fortschritt eines Projekts auf einer höheren Ebene der Kennzahlenhierarchie [37]. Die Kennzahlenhierarchie ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

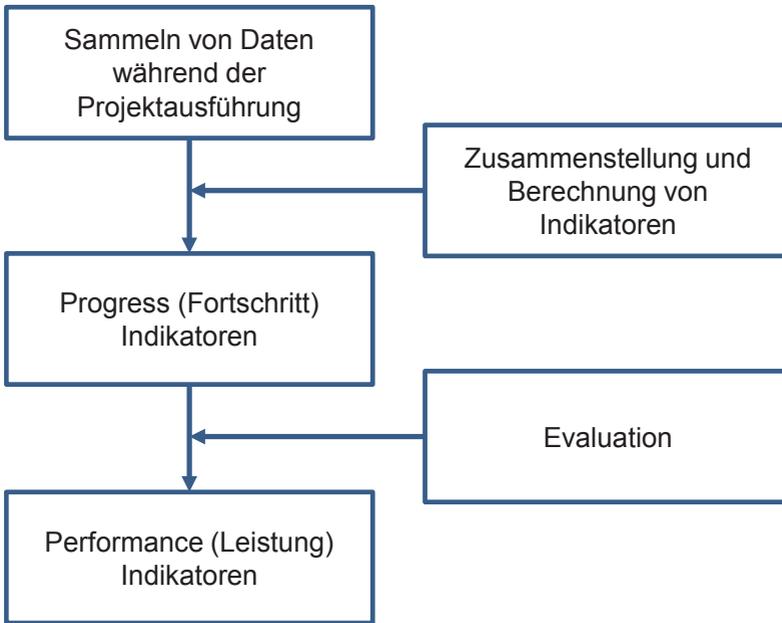


Abbildung 2.5: Hierarchiebaum der Kennzahlen [37]

In der Kennzahlenhierarchie werden zunächst Daten des Projekts gesammelt und verdichtet, um daraus Progress-Indikatoren zu errechnen. Durch die Evaluation der Progress-Indikatoren können allgemeine Aussagen zur Leistung der Projektausführung getroffen werden. Diese Erkenntnisse werden als Leistungskennzahlen (Performance-Indikatoren) dargestellt [37].

Zur Projektausführung sollte ein fundierter Plan vorliegen. Allerdings wird dieser Plan während der Projektausführung nicht vollumfänglich verfolgt werden können, da es an vielen Stellen zu Änderungen in der Ausführung kommen wird. Diese Planabweichungen müssen erkannt werden, sodass Gegenmaßnahmen getroffen werden können, um zur Erreichung des Projektziels beizutragen und um das Projekt vor Abweichungen oder dem Scheitern zu bewahren. Insbesondere zum Controlling und im Risikomanagement werden Kennzahlen als Alarmsignale verwendet, um Planabweichungen frühestmöglich zu erkennen [37, 38]. Dazu werden Indikatoren des Projekt-

plans den Indikatoren bei der Projektausführung gegenübergestellt oder es werden direkte Vergleiche zwischen Projektplan und dem ausgeführten Projekt in einem Indikator verdeutlicht [38].

Bei der Projektüberwachung, der sogenannten Performance Control, wird zwischen zwei Arten der Überwachung unterschieden: Die Task Performance Control und die Technical Performance Control [15]. „Bei der Task Performance [Control] handelt es sich um die Überwachung des Erfüllungsstandes der im Leistungsverzeichnis spezifizierten Leistung, während es sich bei der Technical Performance Control um die Überwachung der in der Spezifikation beschriebenen technischen Leistungsvorgaben handelt.“ [15]. Zur Überwachung beider Arten der Performance ist die Verknüpfung der Kostenplanung mit der Terminplanung unbedingte Voraussetzung.

Die verschiedenen, für ein Projekt als relevant angesehenen Kennzahlen werden in einem sogenannten Kennzahlensystem zusammengefasst. Damit diese Kennzahlen effektiv genutzt werden können, sollten einige Grundprinzipien beachtet werden [37]:

- Grundprinzip 1: Der Nutzen und das Ziel des Systems an Kennzahlen sollten eindeutig kommuniziert werden und mit den Projektzielen vereinbar sein.
- Grundprinzip 2: Die Anforderungen der Nutzer der Kennzahlen sollten identifiziert, verstanden und in die Struktur sowie die Auswahl der Kennzahlen einfließen.
- Grundprinzip 3: Die ausgewählten Kennzahlen sollten die relevanten Attribute in einer eindeutigen, zeitnahen und effizienten Art und Weise reproduzierbar messen.
- Grundprinzip 4: Die berechneten Kennzahlen sollten zum Verständnis der Projekt-Performance beitragen und Hilfestellungen für die Vorhersage der zukünftigen Performance liefern.
- Grundprinzip 5: Es sollten Vorkehrungen zur Verbesserung des Kennzahlensystems getroffen werden.

Grundprinzip 1 besagt, dass die gewählten Kennzahlen mit dem Projektziel und dem dazu geplanten Vorgehen vereinbar sein und diese widerspiegeln sollen. In Bezug auf den Rückbau kerntechnischer Anlagen ist das Projektziel die sogenannte „Grüne Wiese“. Um dieses Ziel zu erreichen, berücksichtigen die Rückbaupläne verschiedene Nebenbedingungen und Teilschritte, wie beispielsweise die Dekontamination und den Abbau eines Gebäudes mit einem vorgegebenen Budget und in einer vorgegebenen Zeitspanne. Das Ziel sowie die Performance des Vorgehens zur Erreichung des Projektziels sollten durch Kennzahlen abgedeckt und eindeutig kommuniziert werden. Da insbesondere bei Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen die Erreichung des Projektziels von den Interessen der Stakeholder abhängt, müssen diese und weitere Einflussfaktoren auf den Projekterfolg durch Kennzahlen beschrieben werden. Um eindeutige und aussagekräftige Kennzahlen zur Beschreibung des Projektziels sowie der Planausführung zu erhalten, müssen die Ziele des Kennzahlensystems besonders geregelt und gerechtfertigt werden.

In einem Rückbauprojekt existiert eine Vielzahl an Stakeholdern, die über den Projektverlauf informiert werden möchte. Dies ist insbesondere bei kerntechnischen Rückbauprojekten eine wichtige Voraussetzung, da der Rückbauprozess sehr stark von den Interessen und daraus resultierenden Einflüssen der Stakeholder abhängt. Aus diesem Grund besagt **Grundprinzip 2**, dass allen Stakeholdern eines Projekts mit Hilfe von Kennzahlen die gewünschten Informationen zur Verfügung gestellt werden können. Dazu müssen zunächst die Stakeholder und ihre relevanten Interessen identifiziert werden, um auf Basis dieser Informationen ein Kennzahlensystem zu gestalten, das effektiv und ökonomisch den Bedürfnissen der Stakeholder begegnet.

Das auf den Projektzielen und den Interessen der Stakeholder basierende Kennzahlensystem sollte sorgfältig ausgewählt werden, da die Erstellung sowie die Analyse der Kennzahlen aufwändig ist und zu viele sowie unstrukturierte Daten bei der Projektevaluierung verwirren. **Grundprinzip 3** schlägt daher eine sorgfältige Auswahl des Kennzahlensystems vor, das die relevanten Informationen eindeutig und prägnant repräsentiert.

Die Eindeutigkeit und Aussagekräftigkeit des gewählten Systems an Kennzahlen ist nach **Grundprinzip 4** Voraussetzung, um zum Verständnis beim Stakeholder beizutragen.

Nach **Grundprinzip 5** sollten die erzeugten Kennzahlen regelmäßig auf ihre Validität, Relevanz und Aussagekraft hin untersucht werden. Insbesondere aufgrund von Planänderungen oder Erfahrungswerten anderer Rückbauprojekte kerntechnischer Anlagen sollte eine Anpassung des Kennzahlensystems regelmäßig überprüft werden.

2.1.2.5.1 Bedeutung und Nutzen von Kennzahlen

Der Projektmanager ist verantwortlich für die Erreichung des Projektziels. Für das Management sind Kennzahlen eine essentielle Voraussetzung, da sie dem Projektmanager einen Überblick über den Ausführungsprozess des Projekts bieten [37]. Damit der Projektmanager einen guten Überblick über den Rückbauprozess bei kerntechnischen Anlagen erhält, sollten mit Hilfe von Indikatoren insbesondere folgende Aspekte verdeutlicht werden [37]:

- Verdeutlichung des Fortschritts eines Stilllegungsprojekts im Vergleich zum eigentlichen Projektziel (Zielerreichungsgrad), z.B. um vor Ort Lizenzänderungen vornehmen zu können.
- Verdeutlichung des Projektfortschritts durch wichtige Meilensteine, z.B. Gegenüberstellung des geplanten und des tatsächlichen Zeitpunkts, zu dem ein Gebäude abgerissen wird bzw. werden sollte.
- Gegenüberstellung der erwarteten Kosten gegenwärtiger Leistungen eines Projekts und der ursprünglichen Kostenschätzung (Kostenabweichung)
- Leistungsmessung bei der Projektdurchführung gegenüber den spezifischen Projektplänen, z.B. Soll-Ist-Abgleich des Rückbaufortschritts.
- Berichte zu relevanten Sicherheitsthemen, z.B. verlorene Zeit durch Unfälle.
- Kommunikation von Stakeholdern als sensibel wahrgenommene Themen, z.B. die Zwischenlagerung und Entsorgung radioaktiver Abfälle.
- Vergleiche zwischen verschiedenen Projekten durchführen, z.B. Kostenvergleiche bei der Abfallverwertung.

Zunächst muss entschieden werden, welche Kennzahlen in einem Projekt berücksichtigt werden sollen. Diese Entscheidung kann von Projekt zu Projekt unterschiedlich sein. Die als relevant eingestuft und in einem Projekt berücksichtigten Kennzahlen werden dem Kennzahlensystem eines Projekts zugeordnet. In einem zweiten Schritt werden die Kennzahlen des Kennzahlensystems erstellt und analysiert. Die Analyseergebnisse dienen wiederum als Entscheidungsgrundlage für Managemententscheidungen in einem Projekt [37]. Im Folgenden werden die beiden Schritte der Erstellung eines Kennzahlensystems sowie das Aufstellen und Auswerten dieser Kennzahlen genauer beschrieben.

2.1.2.5.2 Erstellung eines Kennzahlensystems

Unter Berücksichtigung der genannten Grundprinzipien lässt sich ein Vorgehen zur Erstellung eines Kennzahlensystems ableiten: Zunächst werden die Rollen und Verantwortlichkeiten der Stakeholder eines Projekts identifiziert. Eine zentrale Rolle nimmt der Projektmanager ein, der für die Zielerreichung durch das Management eines Projekts verantwortlich ist. Neben dem Projektmanager existieren weitere Stakeholder, denen Informationen über das Projekt übergeben werden, da sie einen Einfluss auf die Zielerreichung bzw. die Umsetzung eines Projekts besitzen. Dazu zählen beispielsweise Genehmigungsbehörden, Unterauftragnehmer oder die Öffentlichkeit. In Abhängigkeit von den identifizierten Stakeholdern werden die Interessen der Nutzer der Kennzahlen identifiziert, kategorisiert und nach ihrer Relevanz zur Erreichung des Projektziels (auch in Abhängigkeit der identifizierten Rollen) geordnet. Auf Basis der geordneten Interessen der Kennzahlennutzer wird entschieden, welche Bereiche eines Projekts durch Kennzahlen abgedeckt werden. Gemäß Grundprinzip 3 wird eine Auswahl an Kennzahlen getroffen, um nicht durch zu viele und unstrukturierte Daten den Nutzer der Kennzahlen zu verwirren. Für kerntechnische Rückbauprojekte können insbesondere folgende Bereiche durch Kennzahlen beschrieben werden (die Reihenfolge der aufgeführten Kennzahlen repräsentiert nicht ihre Wichtigkeit in Bezug auf kerntechnische Rückbauprojekte) [37]:

- Kennzahlen zur Gesundheit und Sicherheit: Wird das Projekt sicher im Sinne der Gesundheit und des Schutzes der Mitarbeiter und Öffentlichkeit durchgeführt?
- Kennzahlen zu Umwelteinwirkungen: Wird durch das Projektmanagement der Bearbeitung von Materialien, Abfällen, Abwässern und Störungen angemessen begegnet?
- Kennzahlen zu Finanzen: Wurde das Projekt adäquat geplant und budgetiert? Befindet sich das Projekt in den vorgegebenen finanziellen Schranken?
- Kennzahlen bzgl. des Projekt-Ergebnisses: Stimmt der Ablaufplan, der Kostenplan und andere Erwartungen mit den Planungen überein? Verläuft das Projekt nach dem geplanten Zeitplan?
- Kennzahlen der sozioökonomischen Einflüsse: Wird Einflüssen und Verpflichtungen adäquat begegnet?

Die IAEA empfiehlt, die Kennzahlen in einem hierarchisch gegliederten Baum einzuordnen. Zur Illustration der Performance des Gesamtprojektes (Hierarchieebene 0) werden die oben genannten Bereiche (Hierarchieebene 1) aggregiert. Je Bereich werden detailliertere Kennzahlen für Teilbereiche auf verschiedenen Hierarchieebenen aufgeführt. Umgekehrt betrachtet sind auf der untersten Hierarchieebene, d.h. an den Blättern des Kennzahlenbaums, sehr detaillierte Kennzahlen zu speziellen Themen des Rückbauprojekts zu finden. Je mehr sich eine Hierarchieebene der Wurzel des Hierarchiebaums (Hierarchieebene 0) nähert, desto aggregierter sind die Kennzahlen. In Abbildung 2.6 ist ein Ausschnitt eines Kennzahlenbaums für den Rückbau kerntechnischer Anlagen aufgeführt. Aufgrund seiner Größe wird in der Abbildung lediglich ein Strang des Baumes aufgeführt. Die gestrichelten Linien sollen verdeutlichen, dass es weitere Äste in dem Kennzahlenbaum gibt. Ein ausführlicher Kennzahlenbaum für den Rückbau kerntechnischer Anlagen ist in Anhang E aufgeführt.

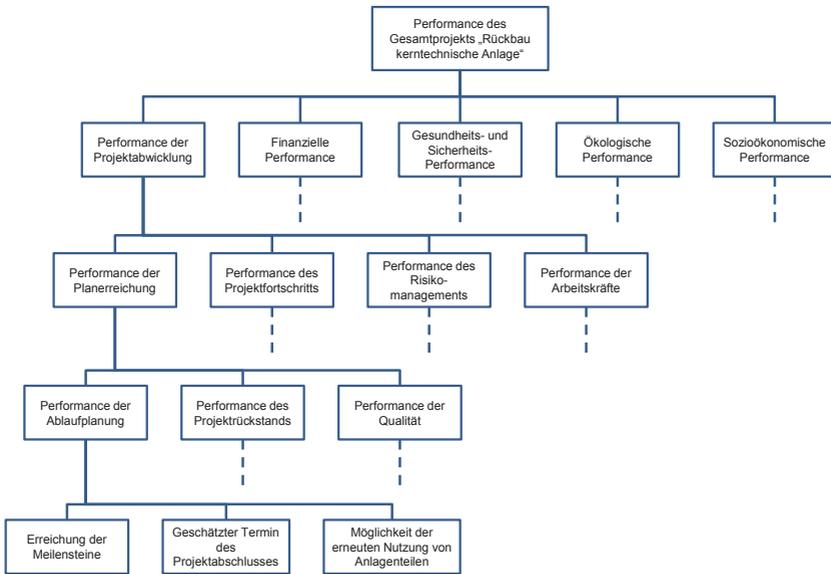


Abbildung 2.6: Illustration der Hierarchieebenen im Kennzahlenbaum [37]

In den genannten Bereichen auf der ersten Hierarchieebene werden unterschiedliche Kennzahlen in das Kennzahlensystem aufgenommen. Welche Kennzahlen gewählt werden, ist von verschiedenen Einflüssen abhängig. Diese Einflüsse werden im Folgenden kategorisiert und beschrieben.

Prinzipiell ist die Zusammenstellung des Kennzahlensystems von zwei Einflüssen abhängig: Den anlagen- und rückbauabhängigen Einflüssen sowie den Einflüssen der Stakeholder.

Die anlagen- und rückbauabhängigen Einflüsse sind zunächst auf die physische Natur der Anlage zurückzuführen. Die Kennzahlen sollten der Komplexität, der Größe und den Gefahrstoffen einer Anlage angemessen gewählt werden. Je komplexer, größer oder gefährlicher (bspw. hinsichtlich des Strahlenschutzes) das Rückbauprojekt ist, desto detailliertere Kennzahlen sollten gewählt werden, um den Rückbauprozess adäquat bewerten zu können. Für den Rückbau einer kerntechnischen Anlage sollten die gewählten

Kennzahlen insbesondere aufgrund der von der Anlage ausgehenden Gefahr in Form ionisierender Strahlung die Sicherheit und den Umgang mit radioaktiven Stoffen widergeben. Des Weiteren sind aufgrund der Komplexität und Größe der kerntechnischen Anlagen detaillierte Kennzahlen notwendig, um den Rückbauprozess effektiv und zeitnah verfolgen zu können. [37]

Abhängig vom Betrieb der Anlage ergeben sich weitere Einflüsse auf die Wahl der Kennzahlen. Je länger die Anlage in Betrieb war und je mehr Zwischenfälle es während des Betriebs gab, desto detaillierter sollten die Kennzahlen gewählt werden. Des Weiteren sind je nach der aktuellen Phase des Rückbaus einer Anlage unterschiedliche Kennzahlen notwendig. Auch an dieser Stelle sollten aufgrund der dauerhaften Sicherheitsanforderungen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen detaillierte Kennzahlen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen erstellt werden. Je nach Betrieb und Vorfällen einer Anlage können zusätzlich individuell weitere Kennzahlen für kritische Bereiche des Rückbaus erhoben und dem Kennzahlensystem hinzugefügt werden [37].

Um ein Rückbauprojekt bestmöglich kontrollieren und steuern zu können, benötigt der Projektmanager bestimmte Kennzahlen. Dazu zählen insbesondere Kennzahlen, um den zeitlichen Verlauf sowie die dabei entstehenden Kosten des Rückbaus einer kerntechnischen Anlage zu beobachten. Diese Kennzahlen spiegeln den Progress sowie die Performance des gesamten Projekts wider und sind somit Grundlage für die Steuerung des gesamten Rückbauprojekts. Aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für das Gesamtprojekt werden diese Kennzahlen als Key Performance Indicators (KPIs) bezeichnet. Auch bei kerntechnischen Rückbauprojekten sollten die KPIs zur Kontrolle des zeitlichen Ablaufs des Rückbaus und der finanziellen Aufwendungen dem Kennzahlensystem hinzugefügt werden. [37]

Abhängig von externen Einflüssen müssen oder können weitere Kennzahlen erstellt werden. Existieren in einem Land viele Erfahrungswerte für die Planung und Durchführung des aktuellen Projekts oder gibt es die Möglichkeit eines Benchmarkings, dann können Kennzahlen für Vergleiche herangezogen werden. In einigen Fällen sind aufgrund bestimmter Vorgaben der Regulierungsbehörden bestimmte Kennzahlen verpflichtend zu erstellen. Insbesondere beim Rückbau kerntechnischer Anlagen sollten Kennzahlen als

Möglichkeit des Benchmarkings zwischen ähnlichen Anlagentypen verwendet werden, um auf den Erfahrungen anderer kerntechnischer Rückbauprojekte aufzubauen. [37]

Neben den anlagen- und rückbauabhängigen Einflüssen auf die Wahl der Kennzahlen nehmen auch die Stakeholder Einfluss auf die Zusammenstellung des Kennzahlensystems. Die IAEA hat einige Stakeholder identifiziert und deren Interessen bezüglich der oben genannten Bereiche der Hierarchieebene 1 des Kennzahlenbaums analysiert (vgl. Abbildung 2.7). Je höher das Interesse eines Stakeholders bezüglich eines Bereichs ist, desto detaillierter sollten für diesen Bereich Kennzahlen zur Verfügung gestellt werden. [37]

	Gesundheit und Sicherheit	Umwelteinwirkungen	Finanzen	Projekt-Ergebnis	Sozio-ökonomische Einflüsse
Regulatoren/ Aufsichtsbehörden	Red	Red	Yellow	Blue	White
Projektteam	Red	Blue	Red	Red	Yellow
Lizenzinhaber der Anlage	Red	Red	Red	Red	Blue
Anlagenbesitzer	Blue	Blue	Red	Blue	Red
Topmanagement/ Vorstand/ Geschäftsführung	Blue	Blue	Red	Blue	Yellow
Auftragnehmer	Red	Yellow	Red	Red	White
Internationale Organisationen (IAEA, OECD/ NEA, EU etc.)	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
NGOs	Red	Red	White	Yellow	Blue
Andere Länder	Yellow	Red	White	Yellow	Yellow
Fondsanbieter	White	White	Red	Blue	Yellow
Lokale Gemeinde	Red	Red	Yellow	Blue	Red
Regierung	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red
Gewerkschaften	Red	Yellow	Yellow	Blue	Red
Öffentlichkeit	Yellow	Yellow	White	Yellow	Blue

Legende	
Hohes Interesse	Red
Mittleres Interesse	Yellow
Wenig Interesse	Blue
Unerhebliches Interesse	White

Abbildung 2.7: Interesse der Stakeholder an den Kennzahlen-Bereichen [37]

Aus Sicht des Projektmanagers muss dieser zwar alle Kennzahlen vorhalten, um die Erreichung des Projekterfolgs sicherzustellen und alle einflussnehmenden Stakeholder zufrieden stellen zu können. Allerdings kann zum Management des Rückbauprojekts kerntechnischer Anlagen eine Priorisierung der Bereiche vorgenommen werden. Um ein kerntechnisches Rückbauprojekt zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen, besitzt der Projektmanager (als Teil des Projektteams) besonderes Interesse am Projektergebnis, den Finanzen sowie an der Gesundheit der Mitarbeiter und der Sicherheit der Anlage. Der Grund für das verstärkte Interesse an diesen Bereichen liegt an ihrem großen Einfluss auf den Projekterfolg.

Mit Blick auf den Kennzahlenbaum werden die Kennzahlen aller Bereiche der ersten Hierarchieebene benötigt, um eine Kennzahl des Gesamtprojekts liefern zu können. Aus diesem Grund sollten zur Gesamtbewertung des Projekts (Hierarchieebene 0) die Kennzahlen aller Bereiche (Hierarchieebene 1) betrachtet werden.

Für jedes Projekt müssen im jeweiligen Kennzahlensystem die individuellen Bedingungen eines Projekts berücksichtigt werden (anlagen- und rückbauabhängige sowie Einflüsse der Stakeholder). Der gesamte Kennzahlenbaum mit allen Hierarchieebenen und einer Zusammenstellung möglicher Kennzahlen für kerntechnische Rückbauprojekte befindet sich im Anhang E. Da aus Sicht des Projektmanagers, wie bereits festgestellt, insbesondere die Erreichung des Projektziels, die Finanzen sowie die Gesundheit und Sicherheit relevant sind, sollten diese im Rahmen des Forschungsvorhabens ausführlicher betrachtet werden.

2.1.2.5.3 Aufstellung und Nutzung von Kennzahlen

Die als Relevant eingestuften Kennzahlen des Kennzahlensystems werden regelmäßig während des Projektablaufs als Grundlage unterschiedlicher Entscheidungen erstellt. Die IAEA schlägt folgende Zeitabstände zur Berechnung von Kennzahlen vor [37]:

- Monatlich, für eine schnelle Bestätigung des Projektfortschritts und Aktionen
- Vierteljährlich, um die Prognosen der erwarteten Budgetnutzung zu aktualisieren
- Jährlich, um die Ergebnisse der Finanz- und Sicherheitsparameter zu berichten
- Nach Projekt-Meilensteinen, insbesondere nach dem Projektabschluss (bspw. auch von Teilprojekten).

Der Gesamtprozess von der Erstellung bis zur Nutzung der Kennzahlen ist in Abbildung 2.8 dargestellt. Zur Aufstellung von Kennzahlen müssen zunächst Daten während der Projektausführung gesammelt werden. Dazu muss in einem Projekt individuell definiert werden, wie und welche Rohdaten gesammelt und wie aus diesen Daten Progress-Indikatoren berechnet werden. Anschließend muss die Art und Weise der durchzuführenden Evaluation zur Erstellung von Leistungs-Indikatoren (Performance-Indikatoren) beschrieben werden. Die entwickelten Performance-Indikatoren können sowohl den Stakeholdern zur Information als auch für eine Trendanalyse für den Projektmanager dienen. Die Trendanalyse wird meist aufgrund der besseren Verständlichkeit mit Hilfe von bildlichen Darstellungen, wie Graphen zur Darstellung eines Trends oder farbiger Markierungen zur Illustration von Plan-Ist-Vergleichen, verdeutlicht. Die auf Grundlage der Performance-Indikatoren durchgeführte Trendanalyse wird für das Risikomanagement genutzt und kann zur Durchführung von Planänderungen führen.

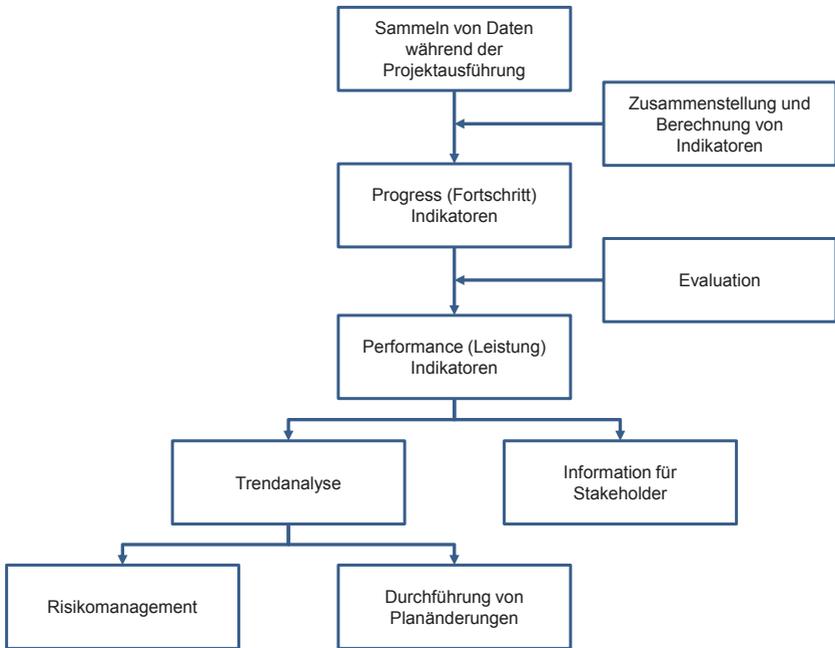


Abbildung 2.8: Aufstellung und Nutzung von Kennzahlen [37]

In regelmäßigen Abständen sollte überprüft werden, ob die Wahl der Indikatoren in ihrer Qualität und Quantität ausreichend ist. In diesem Zusammenhang wird geprüft, ob die Vorgaben eingehalten werden, wo und wie Rohdaten zur Erstellung von Kennzahlen gesammelt oder geändert werden sowie ob das Kennzahlensystem durch das Weglassen einiger Kennzahlen reduziert bzw. durch weitere relevante Kennzahlen ergänzt werden sollte.

Die Überwachung des Projekts ist auf verschiedenen Detaillierungsebenen sowie in verschiedenen Themenbereichen eines Projekts notwendig. Um das gesamte Projekt auf einer niedrigen Detaillierungsebene, d.h. aus strategischer Sicht, bewerten zu können, bietet sich der Kosten-, der Planungs- sowie der Leistungsindex an. Zur Task Performance Control zählen der Kosten- und der Planungsindex [15]:

$$\text{Kostenindex} = \frac{\text{Plan-Kosten (PK)}}{\text{Ist-Kosten (IK)}}$$

Der Kostenindex gibt an, inwieweit die geplanten Kosten des Gesamtprojekts bereits unter- bzw. überschritten sind. Somit gibt der Kostenindex an, ob das geplante Budget zur Projektausführung ausreicht oder nicht. Sofern der Kostenindex >1 ist, sind die bisher angefallenen Kosten geringer als die insgesamt geplanten Kosten. Bei einem Kostenindex von 1 sind die geplanten Kosten erreicht. Wenn in diesem Zustand weitere Arbeiten ausgeführt werden müssen, werden die geplanten Projektgesamtkosten überschritten (Kostenindex <1).

$$\text{Planungsindex} = \frac{\text{Abgeschlossene Tätigkeiten (t}_A\text{)}}{\text{Abgeschlossene Tätigkeiten (t}_A\text{)} + \text{Planungsverzug } (\Delta t)}$$

Der Planungsindex gibt an, ob das Projekt bzgl. der auszuführenden Tätigkeiten im Plan ist oder nicht. Sofern der Planungsindex <1 ist, ist die Projektausführung im Vergleich zum Plan in Verzug. Bei einem Planungsindex >1 ist die Projektausführung dem Projektplan in der Ausführung der Tätigkeiten voraus.

Der Leistungsindex ist der Technical Performance Control zuzuordnen [15]:

$$\text{Leistungsindex} = \frac{\text{Arbeitswert (AW)}}{\text{Ist-Kosten (IK)}}$$

mit dem Arbeitswert (AW): Die auf den Projektstand bezogenen geplanten Kosten.

Bei einem Leistungsindex >1 ist das Projekt günstiger als geplant. Je größer der Index, desto geringer sind die bisher angefallenen Kosten gegenüber den auf den Projektstand bezogenen geplanten Kosten. Sofern der Leistungsindex <1 ist, sind die tatsächlichen bisher angefallenen Kosten höher als die auf den Projektstand bezogenen geplanten Kosten und je kleiner der Leistungsindex ist, desto teurer ist das Projekt gegenüber dem Plan. Bei einem Leistungsindex von 1, stimmen die geplanten auf den Projektstand bezogenen Kosten mit den tatsächlichen bisher angefallenen Kosten überein.

2.1.2.5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Nutzen für das Forschungsvorhaben

Die Ausführungen haben gezeigt, dass es viele verschiedene Kennzahlen gibt, die in einem (Rückbau-)Projekt verwendet werden können, um den Projektfortschritt zu kontrollieren und zu überwachen. Für den Rückbau kerntechnischer Anlagen ergeben sich relevante Kennzahlen, die auf verschiedenen Hierarchieebenen mehr oder weniger detaillierte Informationen über ein Projekt bzw. den Projektfortschritt geben (vgl. Anhang E).

Der Projektfortschritt bzw. Planabweichungen werden vor allem durch den Vergleich des Projektplans mit dem Ist-Zustand des Projekts bewertet bzw. identifiziert. Somit sind die in Anhang E genannten Kennzahlen theoretisch nutzbar, um einen Soll-Ist-Abgleich der durchgeführten kerntechnischen Rückbauprojekte der Praxispartner durchzuführen. Da im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ein hinsichtlich der geplanten Dauer und Kosten planmäßig ausführbarer Plan erstellt werden soll, können aggregiert insbesondere der Kosten- und Planungsindex auf verschiedenen Planungsebenen angewendet werden, d.h. diese Indizes können für einen Soll-Ist-Abgleich (AP 2.2) sowohl auf der Ebene einzelner (Unter-)Arbeitspakete als auch auf der Ebene des Gesamtprojekts eingesetzt werden.

Insgesamt bietet sich der Einsatz von Kennzahlen für das Projektcontrolling an, um wie bereits beschrieben während der Projektausführung Abweichungen und das Ausmaß dieser Abweichungen des Ist-Zustandes vom Projektplan zu identifizieren. Des Weiteren können Kennzahlen auch für den Vergleich verschiedener Pläne verwendet werden. Dazu muss ein Plan als Basisszenario festgelegt werden. Mit diesem Basisszenario können andere Pläne verglichen werden. Abweichungen eines Plans vom Basisszenario können mit Hilfe von Kennzahlen dargestellt werden. Mit Hilfe des Vergleichs aller Pläne kann bei der Projektplanoptimierung gezeigt werden, dass der optimale Plan hinsichtlich des Optimierungskriteriums (z.B. minimale Projektkosten oder minimale Projektgesamtdauer) besser ist als andere Pläne. Sofern kein Optimierprogramm zur Verfügung steht, bestünde die Möglichkeit alle möglichen Pläne paarweise mit Hilfe von Kennzahlen zu vergleichen, um auf diese Weise eine Rangordnung der Pläne bzgl. der Optimalität

hinsichtlich des Zielkriteriums aufzustellen. Aufgrund der Vielzahl an möglichen Plänen lässt sich dies allerdings nur selten in der Realität umsetzen (vgl. Kapitel 2.1.3.2.1). Aus diesem Grund bietet sich zur Optimierung von Projektplänen der Einsatz von computergestützten Algorithmen an. Diese Algorithmen können automatisiert den beschriebenen Vergleich aller möglichen Szenarien ausführen (beispielsweise mit Hilfe bestimmter Kennzahlen). Aufgrund der Vielfalt möglicher Szenarien bietet sich allerdings der Einsatz intelligenter Algorithmen an, die nicht alle Alternativen miteinander vergleichen, sondern mit Entscheidungsregeln bestimmte Szenarien ausschließen, um die Menge an zu vergleichenden Plänen zu reduzieren (vgl. Kapitel 2.1.3.2.3).

2.1.2.6 Soll-Ist-Abgleich (AP 2.2)

In gemeinsamen Gesprächen zwischen AREVA, VKTA und dem KIT wurde deutlich, dass das ursprünglich angedachte Vorgehen des „Soll-Ist-Abgleichs und Bewertung“ (AP 2.2) mit Hilfe der in AP 2.1 definierten Kennzahlen nicht möglich ist. Es erfolgten mehrfache Anpassungen, Weiterentwicklungen und Optimierungen der Plan-Daten von AREVA und VKTA im Zuge des Rückbaus. Dadurch ist eine einheitliche Gegenüberstellung zwischen Soll- und Ist-Daten (Soll-Ist-Vergleich) sowie die Integration dieser Daten in die Erfahrungsdatenbank nur selten auf einer Detaillierungsebene durchführbar. Um dennoch kritische Elemente der Rückbauplanung zu definieren und um diese möglichst einer detaillierten Abweichungsanalyse zu unterziehen (AP 3.1), haben sich die Projektpartner auf die Erstellung einer „Liste kritischer Abweichungen“ geeinigt (vgl. Abbildung 2.9). In dieser Liste wurden die wesentlichen Abweichungen von geplanten Zeitdauern und Kosten der von AREVA und VKTA durchgeführten kerntechnischen Rückbauprojekte anhand von Erfahrungsberichten in verschiedenen Detaillierungsebenen aufgelistet. In Anhang F ist die Liste kritischer Abweichungen des Praxispartners AREVA und in Anhang G die Liste kritischer Abweichungen des Praxispartners VKTA aufgeführt.

Weiterhin wurden in der „Liste kritischer Abweichungen“ Daten zur Bewertung der Abweichungen, Gründe sowie Gegenmaßnahmen der Abweichungen und weitere Verbesserungsvorschläge bereits durchgeführter kerntechnischer Rückbauprojekte gesammelt.

2.1.3 Phase II

Phase II des Forschungsvorhabens beinhaltet im Kern die Entwicklung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans (eine Diskussion des Begriffs ist in Kapitel 2.1.3.2 aufgeführt), der anhand exemplarischer Szenarien überprüft wird. Des Weiteren werden durch die Berechnungen eines Muster-Projektstrukturplans Verbesserungsvorschläge und Handlungsempfehlungen für zukünftige kerntechnische Rückbauprojekte bestimmt.

2.1.3.1 Abweichungsanalyse kritischer Elemente (AP 3.1)

Laut Antrag sollte eine Abweichungsanalyse kritischer Elemente aufbauend auf einem Soll-Ist-Abgleich (AP 2.2) ausgeführt werden. Wie bereits in Kapitel 2.1.2.6 beschrieben, konnte der Soll-Ist-Abgleich nicht wie im Antrag vorgesehen ausgeführt werden (vgl. Begründung in Kapitel 2.1.2.6). Aus diesem Grund hatten sich alle Projektpartner auf die Erstellung einer „Liste kritischer Abweichungen“ geeinigt. In dieser Liste wurden die wesentlichen Abweichungen von geplanten Zeitdauern und Kosten der von AREVA und VKTA durchgeführten kerntechnischen Rückbauprojekte anhand von Erfahrungsberichten in verschiedenen Detaillierungsebenen aufgelistet. Alle Abweichungen wurden auf betroffene bzw. verursachende Vorgänge bezogen. Diese Vorgänge stellen somit kritische Elemente in der Projektplanung dar, d.h. es sind Vorgänge, die zu Planabweichungen bei der Planausführung führen können.

Die aufgetretenen Abweichungen wurden unter anderem hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Zeit, Kosten und andere Vorgänge des Gesamtprojekts untersucht. Des Weiteren wurden eine Analyse der einzelnen Gründe der

aufgetretenen Abweichungen, mögliche Gegenmaßnahmen und allgemeine Verbesserungsvorschläge durchgeführt und in der Liste zusammengetragen.

2.1.3.2 Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans (AP 3.2)

Ziel des Arbeitspakets 3.2 ist es, einen integrierten Muster-Projektstrukturplan zu erstellen, der aus Rückbauphasen, Arbeitspaketen, Unterarbeitspaketen und Vorgängen besteht. Dieser Plan soll integriert sein, d.h. es sollten die jeweiligen Phasen, Arbeitspakete, Unterarbeitspakete und Vorgänge durch die in AP 3.1 analysierten Beziehungen (z.B. sequentiell, parallel, zyklisch) miteinander zum integrierten PSP verbunden werden. Ein Projektstrukturplan nach DIN 69901:2009 („vollständige, hierarchische Darstellung aller Elemente (Teilprojekte, Arbeitspakete) der Projektstruktur als Diagramm oder Liste“) ist durch die Erfahrungsdatenbank für jeweils den Druckwasser- und den Siedewasserreaktor sowie den Forschungsreaktor Rossendorf als Liste dargestellt. Hierbei beinhaltet die Erfahrungsdatenbank eine hierarchische Darstellung aller Elemente (vgl. Kapitel 2.1.2.1). Eine alternative Darstellungsweise als Diagramm kann mit Hilfe eines Netzplans erfolgen. Da die Darstellung des gesamten Netzplans aller drei Reaktortypen in diesem Bericht zu unübersichtlich wäre, wird in Abbildung 2.10 exemplarisch ein Ausschnitt der Darstellung der Erfahrungsdatenbank des Druckwasserreaktors gezeigt.

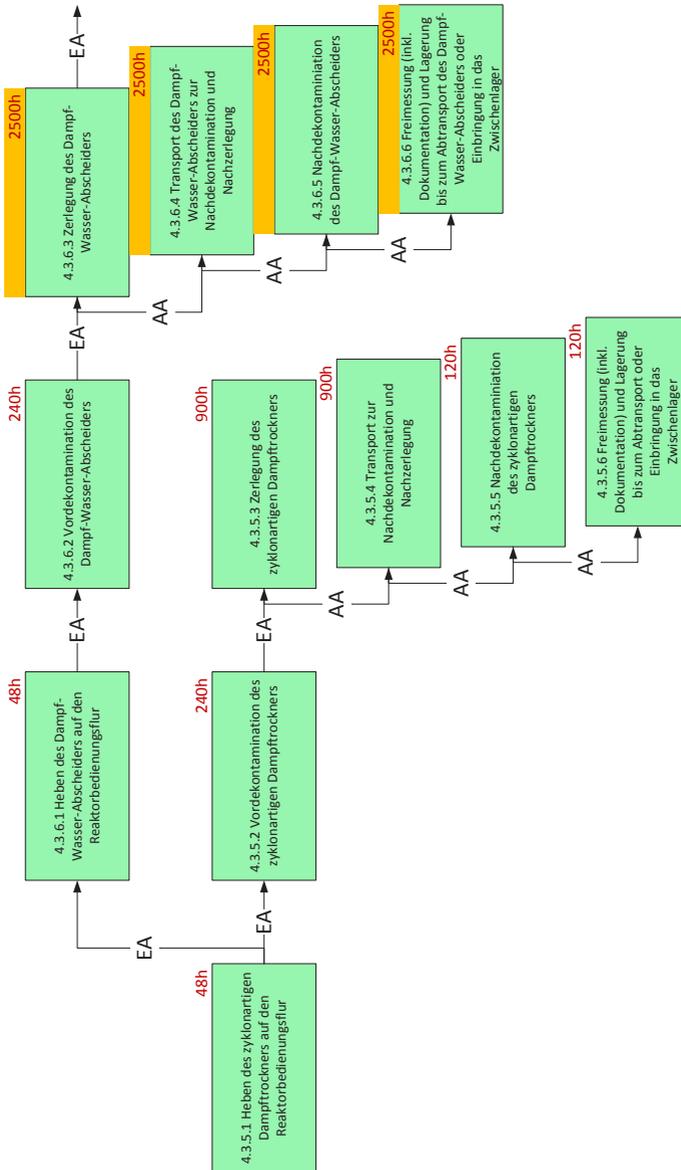


Abbildung 2.10: Ausschnitt aus dem Netzplan der Erfahrungsdatenbank zum Rückbau eines Druckwasserreaktors und seiner Internals

Der Netzplan in Abbildung 2.10 verdeutlicht, dass es fest vorgegebene Vorgangsreihenfolgen gibt, die eingehalten werden müssen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass neben den sequentiell auszuführenden Vorgängen parallele Ausführungsstränge existieren.

Als weiterer Arbeitsinhalt von AP 3.2 soll für ein spezifisches kerntechnisches Rückbauprojekt ein optimierter Rückbauplan mit errechneten Startzeitpunkten je Vorgang bestimmt werden, der einem zuvor festgelegten Zielkriterium genügt. Ein solcher berechneter Ablaufplan wird im Folgenden als integrierter und optimierter Rückbauplan bezeichnet. Da sich die Projektpartner darauf geeinigt haben, dass ein hinsichtlich der Rückbaukosten optimierter Plan bestimmt werden soll, wird auch von einem kostenoptimierten Rückbauplan gesprochen. Wie im Folgenden gezeigt wird, ist zur Bestimmung eines solchen Plans eine computergestützte Berechnungsmethode notwendig (Begründung ist Kapitel 2.1.3.2.1 zu entnehmen). Diese Berechnungsmethode wird im Folgenden als Optimiermodell bezeichnet.

Damit ein integrierter, kostenoptimierter Rückbauplan berechnet werden kann, werden zwei Schritte angewendet (vgl. Abbildung 2.11). Zunächst sind relevante Daten (1) für ein zu berechnendes Rückbauprojekt anzugeben. Diese werden in ein Optimiermodell (2) importiert. Das Optimiermodell berechnet auf Basis der importierten Daten einen integrierten und kostenoptimierten Rückbauplan (3).

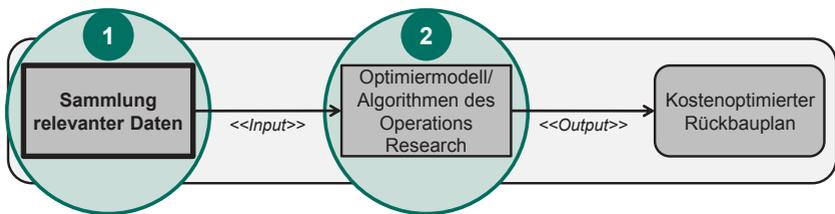


Abbildung 2.11: Bestandteile zur Berechnung eines integrierten und optimierten Rückbauplans

Als Input für das Optimiermodell werden die aus den Arbeitspaketen AP 1.3 sowie AP 1.4 gesammelten Daten von AREVA und VKTA verwendet. Die

Daten sind jeweils für den Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR) sowie für den Rückbau eines Druckwasser- und den Rückbau eines Siedewasserreaktors in einem eigenen Dokument der Erfahrungsdatenbank enthalten. Das Optimiermodell basiert auf der Modellierung von Algorithmen des Operations Research und berechnet einen hinsichtlich der Projektgesamtkosten optimierten Rückbauplan unter der Berücksichtigung des Ressourceneinsatzes, der Projektdauer und der Projektkosten. Im Rahmen der Modellierung eines Lösungsalgorithmus zur Optimierung der kerntechnischen Rückbauplanung wird häufig von einem Optimiermodell gesprochen. Da dieses Optimiermodell Berechnungen für einen kostenoptimierten Rückbauplan durchführt, kann dieses auch als optimierender Planungsansatz oder als optimierendes Planungssystem bezeichnet werden. Im Folgenden werden die Begriffe Optimiermodell und optimierendes Planungssystem synonym verwendet.

Der Grund, weshalb ein Optimiermodell zur Bestimmung eines optimierten Rückbauplans benötigt wird, ist dem folgenden Kapitel 2.1.3.2.1 zu entnehmen. Anschließend wird das Vorgehen zur Bestimmung eines passenden Algorithmus sowie aufgetretene Probleme bei der Bestimmung vorgestellt. Zuletzt wird der als passend identifizierte und modifizierte Algorithmus beschrieben und es werden Berechnungsergebnisse präsentiert.

2.1.3.2.1 Grund für den Einsatz eines Optimiermodells

Der Rückbau einer kerntechnischen Anlage muss gemäß den genehmigungsrechtlichen Vorgaben hinreichend detailliert geplant werden. Wie bereits in Kapitel 1.4 beschrieben wurde, ist eine rollierende Planung, d.h. reaktiv auf den eintretenden Bedingungen angepasste Planung während der Projektausführung, nicht zielführend. Vielmehr ist eine hinreichend detaillierte Planung für den gesamten Rückbau oder einzelne Rückbauphasen vorzulegen. Dies bedeutet, dass ein Rückbauplan für einen relativ großen Projektumfang vorzulegen ist.

Dazu sind viele verschiedene Vorgänge, die jeweils einzusetzenden Maschinen und die Reihenfolge der Vorgänge festzulegen. Aufgrund der Größe des Projekts ist eine solche Planung ohne die Unterstützung einer computerge-

stützten Lösungsfindung nicht zu optimieren, da die gesamte Planung sowie die vielfachen Abhängigkeiten sowie Ausführungsalternativen nicht zu überblicken sind. Dies soll in diesem Kapitel anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

Es sei angenommen, dass 6 Vorgänge einzuplanen sind (vgl. Tabelle 2.5).

Tabelle 2.5: Rückbaubeispiel: verschiedene Vorgänge

Auszuführende Vorgänge	Benötigte Mitarbeiter [Anzahl]	Dauer [Tage]
Vorgang 1	8	21
Vorgang 2	10	28
Vorgang 3	20	24
Vorgang 4	6	12
Vorgang 5	12	10
Vorgang 6	4	8

Sofern keine Vorrangbeziehungen zwischen den Vorgängen bestehen, existieren 720 mögliche Reihenfolgen der Vorgänge. Die Anzahl ergibt sich, indem $n = 6$ Vorgänge in $n!$, d.h. $6! = 720$, möglichen Reihenfolgen ausgeführt werden können.

Die Komplexität erhöht sich, wenn ein Vorgang mit unterschiedlichen Ressourcen, wie beispielsweise Maschinen, ausgeführt werden kann. Die unterschiedlichen Ausführungsarten eines Vorgangs mit dem gleichen Ergebnis werden als Modi bezeichnet. Beispielsweise können Dekontaminationsvorgänge, bei denen die Oberfläche einer kontaminierten Wand entfernt werden muss, mit unterschiedlichen Verfahren ausgeführt werden, wobei das gleiche Ergebnis (eine dekontaminierte Wand) resultiert. Je eingesetzter Ressource wird zwar das gleiche Ergebnis erzielt, allerdings benötigt jede Ausführungsalternative eine unterschiedliche Dauer und verursacht unterschiedliche Kosten. Wird die Wandoberfläche beispielsweise mit Hilfe einer Handfräse abgetragen, dann wird eine bestimmte Dauer benötigt und es fallen bestimmte

Kosten (für das Personal und die Handfräse) an. Die Wandoberfläche könnte aber auch automatisiert mit einem Manipulator abgetragen werden.

Tabelle 2.6: Rückbaubeispiel: verschiedene Ausführungsmodi

Auszuführende Vorgänge	Benötigte Mitarbeiter [Anzahl]	Dauer [Tage]	Technik 1		Technik 2	
			Dauer [Tage]	Kosten (30€/Tag) [€]	Dauer (ca. 70%) [Tage]	Kosten (500€/Tag) [€]
Vorgang 1	8	21	21	630	15	7.500
Vorgang 2	10	28	5	150	30	2.300
Vorgang 3	20	24	24	720	17	8.500
Vorgang 4	6	12	12	360	8	4.000
Vorgang 5	12	10	10	300	7	3.500
Vorgang 6	4	8	14	600	9	3.300

Sofern je Vorgang zwei Ausführungsalternativen bestehen und keine Reihenfolgebeziehungen zwischen den Vorgängen existieren (vgl. Tabelle 2.6), bestehen 46.080 unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten bei nur 6 Vorgängen. Die 46.080 Ausführungsmöglichkeiten ergeben sich, da $n = 6$ Vorgänge jeweils in zwei Modi ($m = 2$) ausgeführt werden können. Dies ergibt $n! * m^n$, d.h. $6! * 2^6 = 46.080$ Ausführungsalternativen.

Die Komplexität kann sich weiter erhöhen, wenn Unsicherheiten in der Planung berücksichtigt werden sollen. Aus diesem Grund verliert ein Planer bei händischer Planung sehr schnell den Überblick, sodass die Erstellung eines optimierten Rückbauplans für das Gesamtprojekt unmöglich ist. Aus diesem Grund soll ein Planer durch ein Optimiermodell zur Findung eines optimierten Rückbauplans für das Gesamtprojekt unterstützt werden.

2.1.3.2.2 Vorgehen zur Bestimmung und Anwendung eines Optimiermodells

Um ein Optimiermodell anwenden zu können, muss zunächst ein passender Algorithmus identifiziert und anschließend der Algorithmus in einem Optimierprogramm implementiert werden. Im Anschluss wird das Optimierprogramm getestet und angewendet. Hierzu wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens 6 Schritte ausgeführt, auf die im Folgenden eingegangen wird:

1. Aufstellen eines formalen mathematischen Modells
2. Aufstellen eines Lösungsalgorithmus
3. Implementieren des Lösungsalgorithmus in Matlab.
4. Testen des implementierten Lösungsalgorithmus (Szenarioanalysen, Test auf Prozessrobustheit und -stabilität etc.)
5. Anwenden des Lösungsalgorithmus
6. Interpretation und Anwendung der Lösung

Aufstellen eines formalen mathematischen Modells

Damit ein passender Lösungsalgorithmus gefunden werden kann, muss zunächst geklärt werden, nach welchen Eigenschaften des Algorithmus gesucht wird. Aus diesem Grund wird das Problem zunächst mathematisch formuliert [10].

$$\min f(S, M) \tag{1}$$

u. d. N.

$$S_0 = 0 \tag{2}$$

$$S_j - S_i \geq \delta_{ij} \quad (i, j) \in E \tag{3}$$

$$r_e^\rho(S, M, t) \leq R_e \quad t \in [0, \bar{d}], e \in \mathfrak{R}^\rho \tag{4}$$

$$r_n^\gamma(S, M, t) \leq R_n \quad t \in [0, \bar{d}], n \in \mathfrak{R}^\gamma \tag{5}$$

$$S_i \geq 0, M_i \in \mathcal{M}_i \quad i \in V \tag{6}$$

S	Zeitplan/Schedule
M_i	Moduzuweisung für Vorgang i (sofern der Index des Vorgangs weggelassen wird, bezieht sich die Angabe auf die Modezuweisung für alle relevanten Vorgänge)
\mathcal{M}_i	Modusmenge: Menge möglicher Ausführungsmöglichkeiten für Vorgang i
f(S, M)	Zielfunktionswert, der abhängig vom gewählten Schedule und der gewählten Modezuweisung ist
S_0	Startzeitpunkt des Dummy-Vorgangs 0
(i, j)	Kante (E) im Vorgangspfeilnetzplan, welche anzeigt, dass Vorgang i vor Vorgang j ausgeführt wird.
E	Menge aller Vorgangsbeziehungen
V	Menge aller Vorgänge
S_i	Startzeitpunkt von Vorgang i

δ_{ij}	Mindestabstand zwischen den Vorgängen i und j
$r_e^p(S, M, t)$	Ressourceninanspruchnahme der erneuerbaren Ressource e bei der Ausführung von Ablaufplan S mit der Modezuweisung M zum Zeitpunkt t
R_e	Kapazität, d.h. verfügbare Anzahl, der erneuerbaren Ressource e
\mathfrak{R}^p	Menge aller verfügbaren erneuerbaren Ressourcen
$r_n^y(S, M, t)$	Ressourceninanspruchnahme der nicht-erneuerbaren Ressource n bei der Ausführung von Ablaufplan S mit der Modezuweisung M zum Zeitpunkt t
R_n	Kapazität, d.h. verfügbare Anzahl, der nicht-erneuerbaren Ressource n
\mathfrak{R}^y	Menge aller verfügbaren nicht-erneuerbaren Ressourcen
\bar{d}	Maximale Projektgesamtdauer

Diese mathematische Formulierung sagt aus, dass eine Zielfunktion (1) existiert, die unter der Berücksichtigung eines Zeitplans (Schedules) S , d.h. der zu bestimmenden Startzeitpunkte der einzelnen Vorgänge, und unter der Berücksichtigung verschiedener Modi aus der Menge M minimiert werden soll. Die Minimierung soll unter den Nebenbedingungen (2) – (6) erfolgen. Nebenbedingung (2) sagt aus, dass die Planung zum Zeitpunkt 0 startet (Startzeitpunkt des Dummy-Vorgangs $S_0 = 0$). Des Weiteren werden Vorrangbeziehungen zwischen den einzelnen Vorgängen (3) und Ressourcenbeschränkungen erneuerbarer (4) sowie nicht-erneuerbarer Ressourcen (5) berücksichtigt. Alle Vorgänge starten nach dem Zeitpunkt 0 und es können nur Modi gewählt werden, die zur Verfügung stehen (6). Unter erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Ressourcen wird folgendes verstanden [8, 39]: **Erneuerbare Ressourcen** besitzen eine beschränkte Verfügbarkeit je Periode. Sofern diese Ressourcen zur Bearbeitung eines Vorgangs in einer bestimmten Periode bis zu ihrer Kapazitätsgrenze benötigt werden, steht diese nicht zur gleichen Zeit für andere Vorgänge zur Verfügung. Sobald allerdings der die Ressourcen in Anspruch nehmende Vorgang abgeschlossen ist, stehen die Ressourcen wieder zur Verfügung. Die Verwendung einer erneuerbaren Ressource kann somit als Gebrauch, aber nicht als Verbrauch beschrieben werden. Als Beispiele sind hierbei Maschinen oder Personal zu nennen.

Nicht-erneuerbare Ressourcen besitzen eine beschränkte Verfügbarkeit für das gesamte Projekt. Die Verwendung einer nicht erneuerbaren Ressource kann somit als Verbrauch beschrieben werden. Es handelt sich hierbei beispielsweise um Budget oder Material.

Da die oben angegebene mathematische Formulierung sehr allgemein gehalten ist, wird im Folgenden eine konkrete mathematische Formulierung hinsichtlich eines speziellen Lösungsalgorithmus vorgestellt.

$$\text{MIN } \Phi(x) = \left(\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EF_j}^{LF_j} c_{jm} \cdot x_{jmt} \right) + (c_l \sum_{m=1}^{M_J} \sum_{t=EF_J}^{LF_J} t \cdot x_{jmt}) \quad (7)$$

u. d. N.

$$\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EF_j}^{LF_j} x_{jmt} = 1 \quad j = 1, \dots, J \quad (8)$$

$$\sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=EF_i}^{LF_i} t \cdot x_{imt} \leq \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EF_j}^{LF_j} (t - d_{jm}) \cdot x_{jmt} \quad j = 2, \dots, J, i \in P_j \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} q_{jmr} \sum_{\tau=\max\{t, EF_j\}}^{\min\{t+d_{jm}-1, LF_j\}} x_{jmr\tau} \leq Q_{rt} \quad r \in R, t = 1, \dots, \bar{T} \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} q_{jmn} \sum_{\tau=EF_j}^{LF_j} x_{jmr\tau} \leq Q_n \quad n \in N \quad (11)$$

$$x_{jmt} \in \{0,1\} \quad \begin{array}{l} j = 1, \dots, J, \\ m = 1, \dots, M_j, \\ t = EF_j, \dots, LF_j \end{array} \quad (12)$$

x_{jmt}	Binärvariable: $x_{jmt} = 1$, wenn Vorgang j zum Zeitpunkt t in Mode m ausgeführt wird
EF_j	Frühester Endzeitpunkt des Vorgangs j
LF_j	Spätester Endzeitpunkt des Vorgangs j
M_j	Menge möglicher Modi für Vorgang j
J	Letzter auszuführender Vorgang des Projekts
c_{jm}	Anfallende Kosten zur Ausführung des Vorgangs j in Mode m
c_l	Indirekte Kosten, z.B. Restbetriebskosten, die pro Zeiteinheit konstant sind

d_{jm}	Dauer zur Ausführung des Vorgangs j in Mode m
P_j	Menge der Vorgänger des Vorgangs j
q_{jmr}	Menge der Inanspruchnahme der erneuerbaren Ressource r während der Ausführung von Vorgang j in Mode m
Q_{rt}	Kapazität, d.h. verfügbare Menge der erneuerbaren Ressource r zum Zeitpunkt t
R	Menge verfügbarer erneuerbarer Ressourcen
\bar{T}	Maximale Projektgesamtdauer
q_{jmn}	Menge der Inanspruchnahme der nicht-erneuerbaren Ressource n während der Ausführung von Vorgang j in Mode m
Q_n	Kapazität, d.h. verfügbare Menge der nicht-erneuerbaren Ressource n
N	Menge verfügbarer nicht-erneuerbarer Ressourcen

Diese mathematische Formulierung ist als binäres Optimierproblem formuliert. Jede Ausführungsalternative eines Vorgangs j wird durch eine Binärvariable repräsentiert. Die Binärvariable x_{jmt} ist 1, wenn Vorgang j in Mode m zum Zeitpunkt t ausgeführt wird. Sonst ist die Binärvariable 0 (vgl. Nebenbedingung (12)). In der Zielfunktion (7) werden die Kosten c_{jm} , die bei der Ausführung des Vorgangs j im Mode m anfallen, sowie die indirekten Kosten c_I (z.B. Restbetriebskosten), die abhängig von der Projektdauer anfallen, minimiert. Die Minimierung findet unter den Nebenbedingungen statt, dass jeder Vorgang j nur in einem Mode m und zu einem Zeitpunkt t ausgeführt werden darf (8), dass die Vorrangbeziehungen der Vorgänge (wobei d_{jm} die Dauer des Vorgangs j in Mode m angibt) (9) und dass die Beschränkung der erneuerbaren (10) und nicht-erneuerbaren Ressourcen (11) berücksichtigt werden.

Aufstellen eines Lösungsalgorithmus

Sofern das Optimierproblem mathematisch formuliert wurde, wird ein Lösungsalgorithmus gesucht, der das Problem mathematisch lösen kann. Bei dem Optimierproblem handelt es sich um ein Projektplanungsproblem bzw. ein Scheduling-Problem, bei dem für die auszuführenden Vorgänge bestimmt werden soll, wann welcher Vorgang unter der Zuhilfenahme welcher Ressourcen ausgeführt wird.

Prinzipiell besteht die Möglichkeit, dass alle potentiell ausführbaren Ablaufpläne hinsichtlich des Optimierkriteriums (z.B. den minimalen Kosten) miteinander verglichen werden. Der Vergleich der verschiedenen Ablaufpläne könnte beispielsweise durch den Einsatz von Kennzahlen (vgl. Kapitel 2.1.2.5) unterstützt werden. Allerdings steigt, wie in Kapitel 2.1.3.2.1 gezeigt wurde, mit zunehmender Anzahl an Vorgängen und Ressourcenalternativen sowie mit der Genauigkeit der Unsicherheitsbetrachtung die Anzahl potentiell ausführbarer Ablaufpläne stark an. Insbesondere bei großen Projekten mit vielen Vorgängen, wie bei der Planung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen, ist die Anzahl an potentiell ausführbaren Ablaufplänen so groß, dass diese computergestützt nicht in endlicher Zeit verglichen werden können, d.h. die Rechenzeit kann schnell bei mehreren Wochen liegen.

Um die Rechenzeit zu verkürzen, werden intelligente Algorithmen eingesetzt, die durch regelbasierte Verfahren hinsichtlich des Zielkriteriums schlechtere Pläne schneller aussortieren, sodass in kürzerer Zeit der optimale Plan oder ein annähernd optimaler Plan gefunden wird. Solche Algorithmen der Optimierung werden im Rahmen des sogenannten Operations Research erforscht, wobei das spezielle Themengebiet der Planung von Startzeitpunkten aller auszuführenden Vorgänge unter der Zuhilfenahme bestimmter Ressourcen als „Scheduling“ bezeichnet wird. Der Ablaufplan mit den Startzeitpunkten der einzelnen Vorgänge wird „Schedule“ genannt. Sofern ein Schedule bestimmt werden soll und Vorgangsbeziehungen zwischen Vorgängen (z.B. technisch bedingte Reihenfolgen beim Rückbau) sowie Ressourcen mit einer beschränkten Verfügbarkeit (z.B. ein verfügbarer Reaktorkran) berücksichtigt werden sollen, wird diese Art des Projektplanungsproblems im Rahmen des Operations Research als RCPSP (resource constrained project scheduling

problem) bezeichnet [40; 41]. Das RCPSP kann sowohl zur Einzel- als auch zur Multiprojektplanung eingesetzt werden [42]. Des Weiteren kann das RCPSP sowohl als sogenanntes single- als auch als multi-mode Problem (MRCPSPP) angewendet werden, wobei unter einem Mode verschiedene Ausführungsvarianten eines Vorgangs verstanden werden [8; 43].

Der Prozess der Identifikation eines Lösungsalgorithmus für das Projektplanungsproblems im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird in Kapitel 2.1.3.2.3 näher beschrieben.

Implementieren des Lösungsalgorithmus in Matlab

Nachdem ein Lösungsalgorithmus identifiziert wurde, wird dieser in einer Entwicklungsumgebung implementiert. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Lösungsalgorithmen im Programm Matlab 2015b (64 bit) implementiert (vgl. Abbildung 2.12).

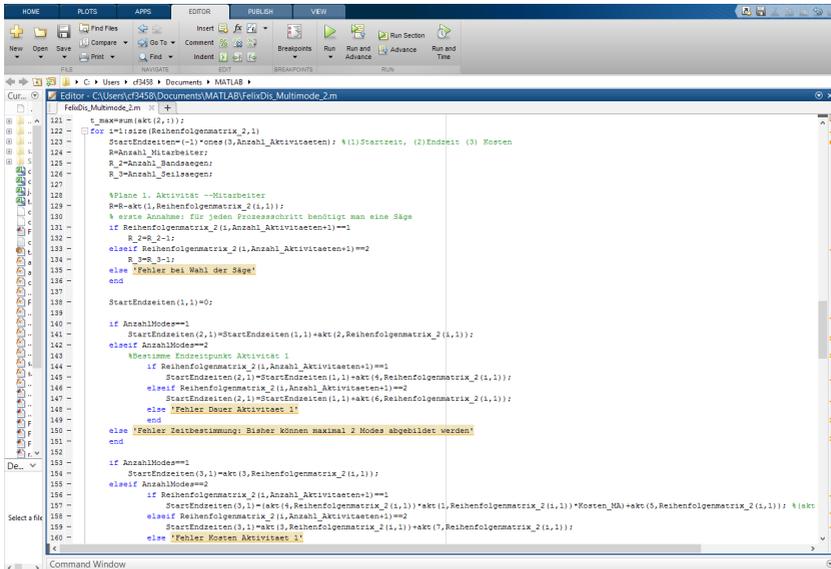


Abbildung 2.12: Implementierung des Lösungsalgorithmus in Matlab

Testen des implementierten Lösungsalgorithmus (Test auf Prozessrobustheit und -stabilität etc.)

Im Zuge der Tests für Prozessrobustheit und -stabilität wird überprüft, ob der Lösungsalgorithmus tatsächlich für das ursprüngliche Problem und insbesondere für diese Problemklasse anwendbar ist. Grund für diese Überprüfung ist, dass die identifizierten Lösungsalgorithmen allgemein für die Problemklasse des Scheduling anwendbar sind, aber nicht für solche großen Projektplanungsprobleme ausgelegt wurden, die im Bereich der kerntechnischen Rückbauplanung zu erwarten sind. Aus diesem Grund muss überprüft werden, ob ein Lösungsalgorithmus auch für das Projektplanungsproblem eines gesamten kerntechnischen Rückbauprojekts anwendbar ist.

Anwenden des Lösungsalgorithmus

Im Zuge der Tests wird der Lösungsalgorithmus mit Hilfe konkreter Daten angewendet. Sobald eine Rechnung reibungslos funktioniert, errechnet das Optimiermodell einen kostenoptimierten Rückbauplan. Die Ergebnisse werden in Matlab in Matrizen dargestellt (vgl. schematische Darstellung in Abbildung 2.13).

optimale_Anordnungen_Kosten =

1	4	3	2	1	1	2	1	2	57	79390
2	4	3	1	2	1	2	2	1	57	79390
3	4	2	3	1	1	1	2	2	57	79390
4	4	2	1	3	1	1	2	2	57	79390
5	4	1	2	3	1	2	1	2	57	79390
6	4	1	3	2	1	2	2	1	57	79390
7	3	4	2	1	2	1	1	2	57	79390
8	3	4	1	2	2	1	2	1	57	79390
9	3	2	4	1	2	1	1	2	57	79390
10	3	2	1	4	2	1	2	1	57	79390
11	3	1	2	4	2	2	1	1	57	79390
12	3	1	4	2	2	2	1	1	57	79390
13	2	3	4	1	1	2	1	2	57	79390
14	2	3	1	4	1	2	2	1	57	79390
15	2	4	3	1	1	1	2	2	57	79390
16	2	4	1	3	1	1	2	2	57	79390
17	2	1	4	3	1	2	1	2	57	79390
18	2	1	3	4	1	2	2	1	57	79390
19	1	3	2	4	2	2	1	1	57	79390
20	1	3	4	2	2	2	1	1	57	79390
21	1	2	3	4	2	1	2	1	57	79390
22	1	2	4	3	2	1	1	2	57	79390
23	1	4	2	3	2	1	1	2	57	79390
24	1	4	3	2	2	1	2	1	57	79390

Abbildung 2.13: Schematische Berechnungsergebnisse in Matrizenform

Interpretation und Anwendung der Lösung

Um die Berechnungsergebnisse besser verstehen zu können, wird die Lösung in eine leichter verständliche Form übersetzt, beispielsweise in einen Gantt-Chart (vgl. schematische Darstellung der Übersetzung in ein Gantt-Chart in Abbildung 2.14) aus der Nutzer leicht den Projektplan (zeitlichen Ablauf der Vorgänge) ablesen können.

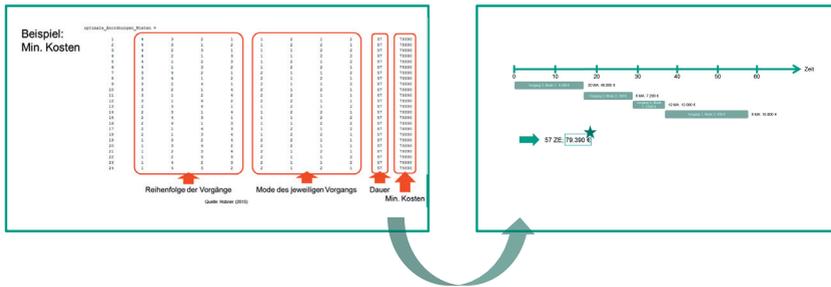


Abbildung 2.14: Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse

2.1.3.2.3 Das identifizierte Lösungsverfahren

Das in Kapitel 2.1.3.2.2 skizzierte Vorgehen zur Bestimmung eines Lösungsalgorithmus zur Bestimmung eines kostenoptimierten Rückbauplans wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens angewendet. Wie bereits erwähnt, existieren bereits einige Lösungsalgorithmen für Projektplanungsprobleme, allerdings sind diese entweder für spezielle Anwendungsgebiete mit bestimmten Eigenschaften oder Bedingungen entwickelt worden oder sie können nicht für die Planung von Projekten einer solchen Größe (mit einer hohen Anzahl an Vorgängen und Ressourcen) angewendet werden. Um einen passenden Lösungsalgorithmus zu identifizieren, wurde zunächst das von Schultmann beschriebene Projektplanungsproblem für die Rückbauplanung von Gebäuden [8] implementiert. Da dieser Lösungsweg für Probleme mit wenigen Vorgängen (meist unter 20 Vorgänge) entwickelt wurde, wurden Anpassungen vorgenommen. Das Projektplanungsproblem wurde als binäres Problem formuliert und es wurde versucht dieses mit Hilfe des Solvers CPLEX zu lösen. Problematisch war, dass die Probleminstanzen für die Tests

mit ca. 120 Vorgängen zu groß waren, um eine Lösung zu berechnen. Bereits die Erstellung der Matrizen für die Übergabe an den Solver benötigte 32,5 GB Arbeitsspeicher. Da eine Berechnung auf einem handelsüblichen Computer nicht möglich war, wurde die Berechnung auf einem leistungsstarken Computer mit ausreichend Arbeitsspeicher ausgeführt (Quad-Core AMD Opteron™ 1,91 GHz; 64 GB Arbeitsspeicher). Auf diesem Computer war die Übergabe der Matrizen möglich, allerdings traten bei der Berechnung Laufzeitprobleme auf, d.h. nach 8 Tagen hatte der Algorithmus bei einem Problem mit 120 Vorgängen noch keine kostenminimale Lösung gefunden.

Zur Lösung der Laufzeitprobleme wurden weitere Berechnungsmethoden analysiert und es wurden Anpassungen an den identifizierten Algorithmen vorgenommen. Auf diese Weise konnte ein Algorithmus aufgestellt werden, mit dem Berechnungen ohne Laufzeitprobleme ausgeführt werden können. Der entwickelte Algorithmus, der stabil läuft und der für Projekte mit vielen Vorgängen in endlicher Zeit (je nach Komplexität 30 Sekunden bis 5 Minuten) ein Ergebnis berechnen kann, beinhaltet somit bereits einen Teil der Arbeitsinhalte aus AP 4.2 („Test auf Prozessrobustheit und –stabilität“).

Der für das im Rahmen dieses Forschungsprojekt identifizierte und weiterentwickelte Lösungsalgorithmus basiert auf dem Verfahren, welches bereits von Bartels zur Bestimmung eines Rückbauplans im kerntechnischen Rückbau eingesetzt wurde [10]. Dieser Lösungsalgorithmus war allerdings ursprünglich darauf ausgelegt einen Plan in Zeitscheiben von 3 Monaten zu berechnen, was einen zu hohen Abstraktionsgrad hinsichtlich des Genehmigungsverfahrens darstellt. Aus diesem Grund waren weitere Anpassungen notwendig, sodass in endlicher Zeit ein kostenoptimierter Rückbauplan in der geforderten zeitlichen Auflösung berechnet werden kann. Eine wesentliche Vereinfachung stellte der Verzicht auf nicht-erneuerbare Ressourcen (z.B. Budget oder Material) dar. Da die von den Praxispartnern zur Verfügung gestellten Daten lediglich Bedarfe von erneuerbaren Ressourcen (Personal und Maschinen) beinhalten, konnte auf die Überprüfung und Implementierung der nicht-erneuerbaren Ressourcen (z.B. Verbrauchsmittel wie Verschleißteile oder verfügbares Budget) verzichtet werden. Dies ist damit zu begründen, dass Größen, die als nicht-erneuerbare Ressourcen dargestellt

werden müssten, nicht Bestandteil der Optimierung sind. Einerseits ist die Budgetierung in der Zielfunktion bereits enthalten und muss daher nicht als Nebenbedingung formuliert werden. Andererseits werden die Materialkosten über die variablen Kosten der erneuerbaren Ressourcen abgedeckt.

Des Weiteren beinhalten die Daten der Praxispartner keine Informationen über die Ausführungen in verschiedenen Modes, d.h. in verschiedenen Ausführungsarten, die jedoch zum gleichen Ergebnis führen würden. Dies stellt einen weiteren Grund dar, weshalb auf nicht-erneuerbare Ressourcen verzichtet werden kann, da diese im sogenannten ein-Mode-Fall nicht entscheidungsrelevant sind. Des Weiteren konnte das Planungssystem durch die Berücksichtigung von lediglich einem Mode weiter vereinfacht werden. Da nur der ein-Mode-Fall untersucht wird, wurde vereinfachend der Rückbauplan mit der geringsten Dauer berechnet, da dieser dem kostenminimalen Rückbauplan entspricht. Lediglich im Multi-Mode-Fall könnte ein Trade-off zwischen der Dauer und den Kosten entstehen, da beispielsweise ein Vorgang in einem Mode eine kürzere Ausführungsdauer besitzt (und damit zu geringeren Restbetriebskosten führt), aber höhere vorgangsbezogene Kosten verursacht. Diese Alternativen müssen nur im Multi-Mode-Fall untersucht werden. In der Regel kann allerdings bei kerntechnischen Rückbauprojekten davon ausgegangen werden, dass die Projektdauer (insbesondere aufgrund der hohen Restbetriebskosten) den kostenbestimmenden Faktor im Rückbauplan darstellt [2]. Aus diesem Grund kann auch im Multi-Mode-Fall ein Projektplan mit minimaler Dauer vereinfachend als kostenminimaler Rückbauplan interpretiert werden.

Das entwickelte und getestete Lösungsverfahren und die erforderlichen Anpassungen an bestehende Lösungsverfahren werden im Folgenden genauer beschrieben. Dies umfasst auch den Multi-Mode-Fall, da dieser im bestehenden Algorithmus bereits vorgesehen war und durch kleinere Anpassungen (bei gleichzeitiger Verschlechterung der Rechenzeit) durchgeführt werden könnte. Wie bereits beschrieben, müsste im Multi-Mode-Fall noch eine Analyse bzgl. der Kosten durchgeführt werden.

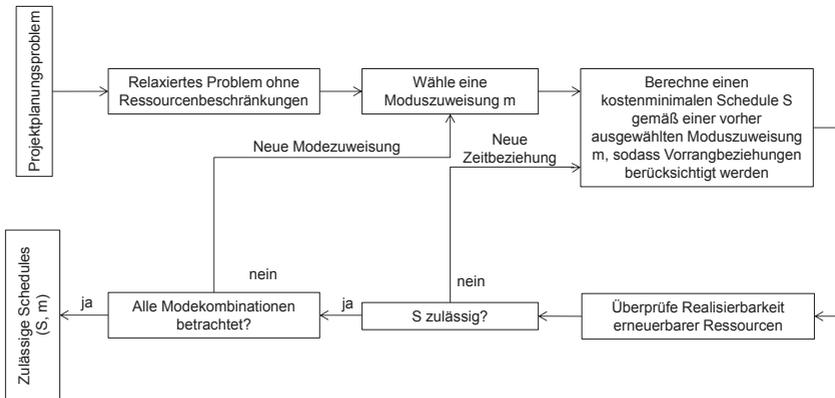


Abbildung 2.15: Schritte des Lösungsalgorithmus zur Bestimmung eines kostenminimalen Rückbauplans

Grundsätzlich durchläuft der Algorithmus die in Abbildung 2.15 aufgeführten Schritte. Zunächst werden die einzuplanenden Vorgänge als relaxiertes Problem behandelt. Das bedeutet, dass lediglich die Vorrangbeziehungen zwischen den Vorgängen, aber nicht die Ressourcenbeschränkungen berücksichtigt werden. Folglich werden so viele Vorgänge wie es die Vorrangbeziehungen zulassen zunächst parallel eingeplant. Im Anschluss wird ein Modus gewählt, d.h. eine Ausführungsalternative jedes Vorgangs. Mit dieser Information wird die Reihenfolge der Vorgänge unter der Berücksichtigung der Vorrangbeziehungen angepasst. Erst danach wird überprüft, ob die Ressourcenbeschränkungen der erneuerbaren Ressourcen eingehalten wurden. Diese Überprüfung wird je Zeitschritt im Projektablauf durchgeführt, wobei zum Zeitpunkt 0 begonnen wird. Sofern eine Überschreitung der Ressourcenbeschränkung festgestellt wird, werden die Startzeitpunkte der betroffenen Vorgänge so verschoben, sodass neue, zulässige Zeitpläne (Schedules) entstehen. Exemplarisch soll das beschriebene Vorgehen zur Lösung von Ressourcenkonflikten an einem Beispiel beschrieben werden (vgl. Abbildung 2.16).

i	0	1	2	3	4	5	6	7
ES_i	0	1	4	3	3	4	5	10
d_i	0	2	3	2	1	1	4	3
r_i^e	0	3	3	1	1	2	1	0

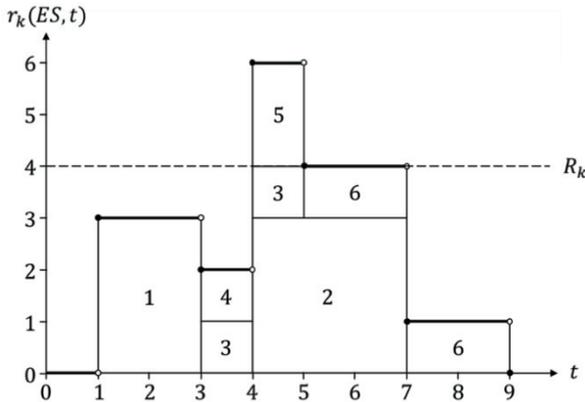


Abbildung 2.16: Beispiel zur Auflösung eines Ressourcenkonflikts

Für die Demontage eines Bauteils sind insgesamt sieben Vorgänge ($i = 1 \dots 7$) auszuführen. Jeder der Vorgänge besitzt eine spezifische Ausführungsdauer d_i und benötigt eine bestimmte Anzahl der Ressource r_e , beispielsweise Mitarbeiter. Gemäß den technischen Vorrangbeziehungen sind die frühesten Startzeitpunkte ES_i der einzelnen Vorgänge gegeben. Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse können an dem Bauteil maximal vier Mitarbeiter arbeiten. Der resultierende Zeitplan S ist in einem Diagramm dargestellt, das die Ressourceninanspruchnahme in Abhängigkeit der Zeit und dem zugrunde gelegten relaxierten Schedule ES zeigt. Zum Zeitpunkt $t=4$ können gemäß des gewählten Modus nach dem relaxierten Problem (d.h. nur Berücksichtigung der Vorrangbeziehungen) die Vorgänge 2, 3 und 5 starten. Allerdings benötigen alle drei Vorgänge insgesamt 6 Einheiten der erneuerbaren

Ressourcen Mitarbeiter, wobei nur 4 Einheiten dieser Ressource gleichzeitig am Bauteil arbeiten können (exogen vorgegebene Ressourcenbeschränkung von Ressource Mitarbeiter (k) beträgt $R_k=4$). Somit besteht zum Zeitpunkt $t=4$ ein Ressourcenkonflikt der erneuerbaren Ressource Mitarbeiter. Um diesen Konflikt zu lösen, wird zunächst die sogenannte aktive Menge des Schedules ES zum Zeitpunkt $t=4$ bestimmt: $\mathcal{A}(ES, 4) = \{2,3,5\}$. Die aktive Menge beinhaltet alle Vorgänge, die zum Zeitpunkt $t=4$ bei der Ausführung des Schedules ES ausgeführt werden könnten und in diesem Fall zu einem Ressourcenkonflikt beitragen. Da der Ressourcenkonflikt durch diese Vorgänge verursacht wird, wird die aktive Menge in diesem Fall auch als Verbotene Menge F bezeichnet. Um den Konflikt zu lösen, d.h. eine Verschiebung der Vorgänge vorzunehmen, sodass die Ressourcenbeschränkung eingehalten wird, wird die sogenannte Menge aller minimalen Verzögerungsalternativen bestimmt. Diese Menge beinhaltet alle Vorgänge, durch deren Verschieben der Ressourcenkonflikt zum Zeitpunkt $t=4$ behoben werden könnte. Hierbei werden nur Vorgänge berücksichtigt, die minimal verschoben werden müssen, um den Konflikt zu beheben. Sicherlich könnten auch noch weitere Vorgänge gleichzeitig verschoben werden, um den Ressourcenkonflikt zu beheben, allerdings würde dann die Ressourcenbeschränkung weiter unterschritten als dies notwendig wäre. In unserem Beispiel ist die Menge aller minimalen Verzögerungsalternativen $\mathcal{D}:=\{\{2\}, \{5\}\}$. Dies bedeutet, dass entweder der Vorgang 2 oder der Vorgang 5 in die Zukunft verschoben werden könnte, um zum Zeitpunkt $t=4$ die Ressourcenbeschränkung $R_k=4$ einzuhalten. Durch das Lösen des Ressourcenkonflikts zum Zeitpunkt $t=4$ entstehen zwei neue Zeitpläne, die zum Zeitpunkt $t=4$ zulässig sind. Für beide Zeitpläne wird der Projektverlauf weiter durchlaufen, um weitere Ressourcenkonflikte zu identifizieren und zu lösen. Da durch das Lösen eines Ressourcenkonflikts jeweils mehrere neue Zeitpläne entstehen, potenziert sich die Anzahl zulässiger Zeitpläne. Diese Zeitpläne werden in einem Enumerationsbaum festgehalten. Sobald alle Zeitschritte in allen Zeitplänen durchlaufen und somit alle Ressourcenkonflikte behoben sind, entsteht ein Enumerationsbaum mit allen zulässigen Zeitplänen an den Blättern des Baumes (vgl. Abbildung 2.17).

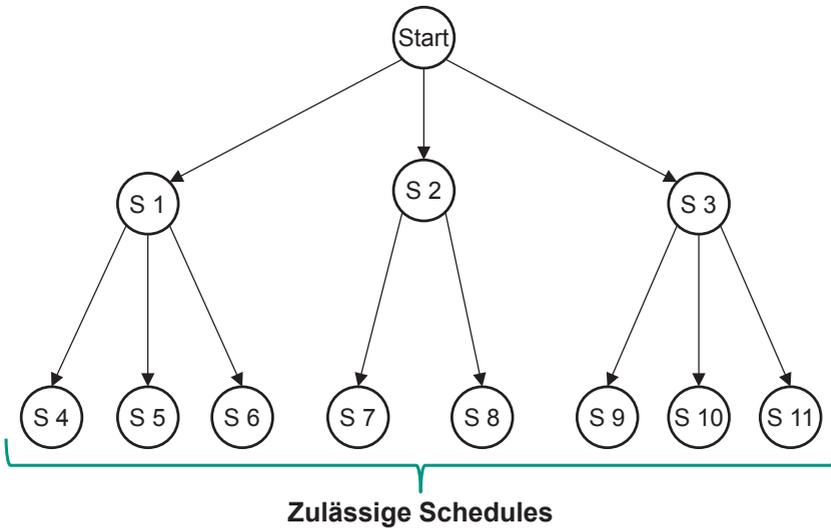


Abbildung 2.17: Enumerationsbaum mit allen zulässigen Zeitplänen (Schedules)

Sofern alle Modekombinationen berücksichtigt wurden, entsteht je Modekombination m ein solcher Enumerationsbaum. In einem letzten Schritt müssen die zulässigen Zeitpläne an den Blättern der Enumerationsbäume verglichen werden, um den kostenminimalen Zeitplan unter ihnen zu identifizieren. Damit diese Evaluation effizienter ist, wird der Enumerationsbaum bereits bei seiner Erstellung nach den Projektgesamtkosten geordnet, indem beim Auflösen von Ressourcenkonflikten jeweils der Schedule mit den günstigeren Kosten nach links geschrieben wird. Insgesamt werden je Auflösung eines Ressourcenkonflikts die entstehenden Schedules nach ihren verursachenden Kosten von links aufsteigend sortiert. Mit Hilfe der Kombination einer Tiefen- und Breitensuche kann durch diese Ordnung effizienter ein kostenminimaler Rückbauplan identifiziert werden.

Der Algorithmus wurde des Weiteren verbessert, indem die Suche nach der Menge aller minimalen Verzögerungsalternativen als Heuristik ausgelegt wurde. Der Algorithmus hat bisher bei einem Ressourcenkonflikt zunächst überprüft, ob alle einelementigen Mengen an Vorgängen eine minimale Verzögerungsmenge bilden können. Anschließend wurden alle zweielemen-

tigen, dann alle dreielementigen usw. Mengen an Vorgängen untersucht. Dies hat teilweise zu sehr langen und aufwändigen Rechnungen geführt. Daher wurde ein Pre-processing implementiert, das eine Abschätzung über die Mindestanzahl an Elementen in der Menge aller minimalen Verzögerungsalternativen berechnet. Diese Abschätzung wird anhand eines Vergleichs der Überschreitung der Ressourcenkapazitätsgrenze mit der maximalen Inanspruchnahme aller Vorgänge durchgeführt. Die Suche nach der Menge aller minimalen Verzögerungsalternativen beginnt nach dem Pre-processing bei Mengen mit der zuvor bestimmten Mindestanzahl je minimaler Verzögerungsalternative. Aufgrund dieser Heuristik kann nicht gewährleistet werden, dass wirklich der kostenminimale Rückbauplan gefunden wird. Es hat sich aber gezeigt, dass durch diese Heuristik häufig der kostenminimale oder ein nur geringfügig vom kostenminimalen Plan abweichender Rückbauplan berechnet werden kann. Aufgrund der deutlichen Rechenzeitverkürzung mit Hilfe dieser Heuristik bietet sich deren Verwendung an. Gleichzeitig bedeutet dies, dass im Folgenden nicht von einem kostenminimalen, sondern von einem kostenoptimierten Plan gesprochen wird. Zukünftig könnte beim Einsatz von leistungstärkeren Rechnern auf die Heuristik verzichtet werden, und somit in akzeptabler Rechenzeit ein kostenminimaler Zeitplan berechnet werden.

Der Vorteil des entwickelten Optimiermodells liegt im Gegensatz zur bisherigen „händischen Planung“ darin, dass in sehr kurzer Zeit ein optimierter Plan für ein gegebenes Szenario berechnet werden kann. Die Optimierung eines Plans ist mit zunehmender Komplexität nur noch mit Hilfe computergestützter Algorithmen möglich (vgl. Kapitel 2.1.3.2.1). Das entwickelte Optimiermodell ermöglicht eine Optimierung des Rückbauplans hinsichtlich der Kosten. Des Weiteren kann mit Hilfe des Optimiermodells ein optimierter Rückbauplan auf einem handelsüblichen PC in Abhängigkeit von der Anzahl an Vorgängen in wenigen Sekunden bis zu wenigen Minuten berechnet werden (vgl. Tabelle 2.9 in Kapitel 2.1.3.3). Somit bietet sich das Optimiermodell insbesondere für Szenario- und Sensitivitätsanalysen sehr gut an (vgl. Kapitel 2.1.3.3).

2.1.3.2.4 Berechnungsergebnisse mit Hilfe des entwickelten Optimiermodells

Das implementierte Lösungsverfahren wurde anhand der in AP 1.3 und AP 1.4 zusammengetragenen und strukturierten Erfahrungsdaten getestet. Somit wurde für das reale und bereits durchgeführte Projekt des VKTA ex post ein kostenoptimierter Rückbauplan berechnet. Wie bereits in Kapitel 2.1.2.3 beschrieben, beinhalten die von AREVA verfügbaren Unterlagen abgeschlossener Projekte lediglich Daten, die nicht dem heutigen Verständnis einer Projektplanung und Projektverfolgung genügen. Aus diesem Grund erarbeitete AREVA jeweils für einen Druckwasser- und einen Siedewasserreaktor auf Basis neuester Erfahrungswerte ein Referenzszenario. Die beiden Referenzszenarien wurden mit Hilfe des Optimiermodells hinsichtlich der Kosten optimiert.

Alle Berechnungsergebnisse wurden jeweils bilateral zwischen dem jeweiligen Praxispartner und dem KIT im Hinblick auf ihre Validität mit den realen Projektdaten abgestimmt. Dabei wurden kleinere Übertragungsfehler³ identifiziert und behoben sowie Vorgänger-/Nachfolgerbeziehungen korrigiert.

Rückbauplanung des Rossendorfer Forschungsreaktors

Die berechneten Ablaufpläne enthalten Kosten und Zeiträume, die aufgrund der geringen Freiheitsgrade bzgl. der Vorgangsbeziehungen und alternativen Ressourcen (die vom VKTA zur Verfügung gestellten Daten enthielten lediglich die Ressource Mitarbeiter) den Daten in der Erfahrungsdatenbank des VKTA entsprechen.

Der hinsichtlich der Kosten optimierte Rückbauplan enthält 91 Vorgänge und konnte in 519 Sekunden berechnet werden (Angaben zur Rechnerleistung sind in Kapitel 2.1.3.3 aufgeführt). Die Rückbaudauer wurde mit 5.774 Tagen und die Rückbaukosten mit 20.675.400 Euro berechnet. Die Kosten sind lediglich anhand der angegebenen tatsächlichen Vorgangskosten bzw. Plankosten aufsummiert, da keine variablen Kosten pro Zeiteinheit oder

³ Die Art von Übertragungsfehlern und der Umgang mit diesen wird in Kapitel 2.1.3.4 beschrieben.

Beschaffungskosten von Maschinen angegeben werden konnten. Aufgrund geringer Freiheitsgrade bzgl. der Vorgangsbeziehungen entspricht die zeitliche Abfolge den in der Erfahrungsdatenbank angegebenen Reihenfolgen. Somit resultiert die Projektdauer direkt aus den angegebenen Vorgangsbeziehungen. Die Berechnungsergebnisse spiegeln sowohl in den Zeiten als auch in den Kosten den tatsächlichen Projektablauf wieder.

Die Visualisierung der Berechnungsergebnisse zeigt, dass einige Vorgänge sequentiell und andere parallel ausgeführt werden können (vgl. Abbildung 2.18). Mit Hilfe der Darstellung als Gantt-Diagramm ist es möglich, visuell sehr schnell den kritischen Pfad, parallele und sequentielle Vorgangsabfolgen zu erkennen. Des Weiteren wird in den Balken des Gantt-Diagramms die Anzahl benötigter Mitarbeiter angegeben.

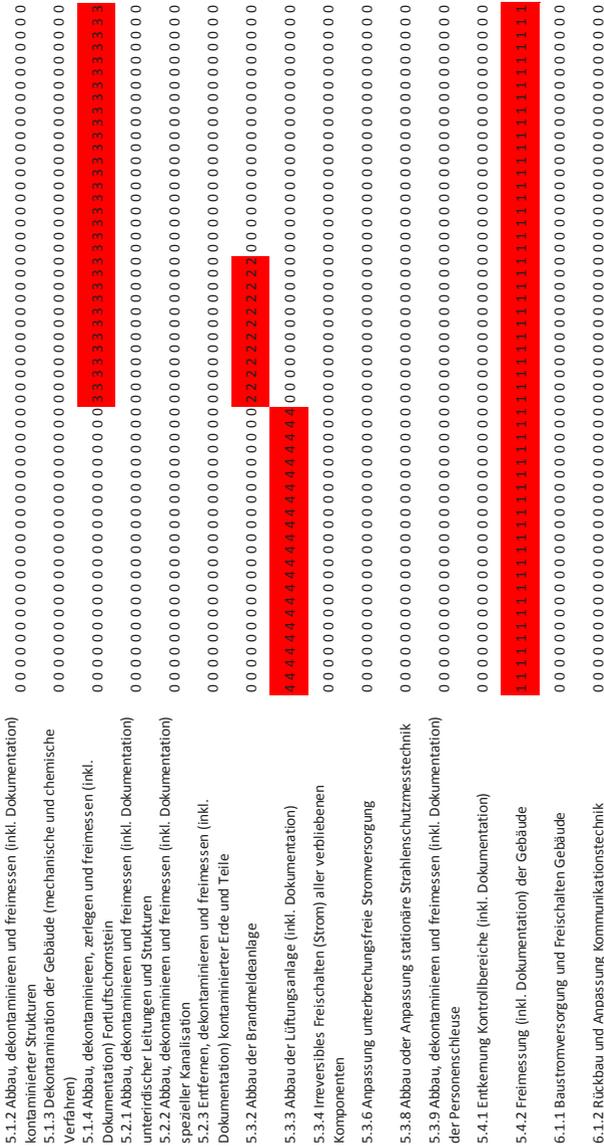


Abbildung 2.18: Ausschnitt der Visualisierung des optimierten Rückbauplans des Rossendorfer Forschungsreaktors

Rückbauplanung eines Druckwasser- und eines Siedewasserreaktors

Aufgrund der bisherigen Trennung der Vergabe von Projekten zum Rückbau der RDB-Einbauten sowie zu Projekten zum Rückbau des RDBs wurden diese in der Vergangenheit separat kalkuliert und geplant. Das in diesem Forschungsvorhaben entwickelte Optimiermodell bietet erstmals die Gelegenheit einen Gesamtplan beider Teilprojekte zu erstellen und damit einhergehend das aufgestellte Lösungsverfahren zu verifizieren. Aufgrund ungenauer Ausgangsdaten von abgeschlossenen Rückbauprojekten wurden als Inputdaten für die Berechnungen Eingangsdaten von vergleichbaren RDB-Einbauten-Referenzprojekten herangezogen. Dies hatte zwar zur Folge, dass ein direkter Vergleich zwischen Ist- und Soll-Werten nicht hergestellt werden konnte, trotzdem bildeten die Rahmenbedingungen der Referenzprojekte eine realistische Einschätzung der tatsächlichen Abläufe.

Das **Referenzszenario für den Rückbau eines Druckwasserreaktors** beinhaltet 42 Vorgänge und ein optimierter Rückbauplan wurde in 20 Sekunden berechnet (Angaben zur Rechnerleistung sind in Kapitel 2.1.3.3 aufgeführt). Gemäß dem berechneten Plan dauert der Rückbau 638 Tage und verursacht Kosten in Höhe von 16.378.500 Euro. Die Abfolge der Vorgänge wurde anhand der Berücksichtigung der vorgegebenen Vorgangsbeziehungen sowie der Verfügbarkeit der zur Ausführung der Vorgänge notwendigen Ressourcen berechnet. Insgesamt wurden 41 unterschiedliche Ressourcenarten (vgl. Abbildung 2.19) sowie deren vorgegebenen Verfügbarkeiten berücksichtigt. Die Kosten errechneten sich anhand der Beschaffungskosten der benötigten Ressourcen, der variablen Kosten der Transportmittel sowie den variablen Kosten für das benötigte Personal. Es wurde angenommen, dass das Personal während des gesamten Rückbaus benötigt wird.

	4.2.3 Einbau eines Beckenbodenschutzes und Einzug einer Arbeitsbühne im Brennelementlagerbecken und im Reaktorbecken		4.2.4.1 Fluten von Flut- und Brennelementlagerbecken und Reaktorbecken		4.2.4.2 Installation Zerlegemaschinen und Vorbereitung Zerlegeplätze		4.2.4.3 Einbringen eines Wasserropfes/Abschirmbehälters zur Vermeidung der Abrasiv-Ausbreitung beim WASS-Verfahren	
	1	0	1	0	1	0	1	0
1	Beckenbodenschutz							
2	Zerlegemaschine, Wasserropf							
3	Mast und Drehteil mit Mastbandsäge							
4	WRS - Wasserreinigung (Grob- und Feinfiltration, Hydrozyklon)							
5	WASS (Pumpe und Zubehör)							
6	CAMC (mit Manipulator)							
7	Arbeitsbühne mit Krananlage							
8	Ablängsäge							
9	Kreissäge mit Lineal am Mast							
10	Puffergestelle, Einsätze							
11	Überwachungssysteme							
12	Hydraulik							
13	Band- und Stichsäge(n) für manuelle Handhabung							
14	Scher-Werkzeuge							
15	Traversen, Hebezeuge, Gestänge, etc.							
16	Greifer und Haltevorrichtungen							
17	Mock-Ups							
18	Hydraulische Trennung							
19	Aufständerung, Seilsäge etc. für DT-Zerlegung							
20	WASS-Applikation							
21	Trennschleifer und lokale Absaugung							
22	Topfsäge und Innenhohlschneider							
23	Bandgestation (NZ SSFR-Kopf)							
24	Abdrückvorrichtung							
25	Niblerstation							
26	Applikation Drehteiler und Mast (Verspannungen)							
27	Anpasssteile Werkzeuge, Spezialgreifer etc.							
28	Verbrauchsmaterialien							
29	BEWB mit Lanzengreifer							
30	Boizenpanner (Hydraulische Drehmomentschlüssel)							
31	Deckeltraverse							
32	DT-Auflager-/Ausänderungskonstruktion							
33	Flutkompensator							
34	Kastenabschleifmaschine							
35	Personal vor Ort							
36	RG-Kran							
37	RG-Kran mit Gestänge und Lanzengreifer							
38	RG-Kran mit Greifer							
39	Systemdekont. AMDA							
40	Tragkorb mit Abschirmbehälter und Bodenschutzplatte							
41	Transparmitteln							

Abbildung 2.19: Ausschnitt der für die Rückbauschritte benötigten Ressourcen

Wie bereits beschrieben, konnten aufgrund ungenauer Ausgangsdaten von abgeschlossenen Rückbauprojekten keine Eingangsdaten dieser abgeschlossenen Rückbauprojekte zur Optimierung verwendet werden. Aus diesem Grund wurden zur Berechnung Inputdaten vergleichbarer Referenzprojekte verwendet. Das Ergebnis der Berechnung basierend auf den zugrundeliegenden Eingangsdaten ist plausibel und ist mit der Planung der Einzelprojekte (Planung des Rückbaus der RDB-Einbauten und Planung des Rückbaus des RDBs) vergleichbar. Es gilt zu beachten, dass die Vorgänge beim Rückbau der RDB-Einbauten bzw. des RDBs eine sequenzielle Vorgehensweise bedingen. Aus diesem Grund hätte eine (deutliche) Verbesserung der Berechnungsergebnisse nach der Optimierung auf einen Fehler im Algorithmus hingedeutet. Trotz des zu einer händischen Planung sehr ähnlichen Berechnungsergebnisses zeigt sich sehr deutlich der Vorteil des Optimiermodells, indem explizit nach dem gewünschten Zielkriterium der Planung (Minimierung der Kosten) ein optimierter Plan erstellt werden kann. Des Weiteren bietet das Optimiermodell den Vorteil der Plausibilitätsprüfung verschiedener Planungsalternativen. Die Berechnungen zur Plausibilitätsprüfung können in wenigen Sekunden durchgeführt werden, wogegen eine händische Planung hinsichtlich unterschiedlicher Alternativen mehrere Tage dauern kann.

Um schneller nachvollziehen zu können, welche und wie viele Ressourcen ein Vorgang benötigt, wird diese Information als Ergebnis des Optimiermodells ausgegeben (vgl. Abbildung 2.19).

Die visuelle Darstellung des optimierten Rückbauplans als Gantt-Diagramm zeigt, dass einige Vorgänge sequentiell und andere parallel ausgeführt werden können (vgl. Abbildung 2.20). An dieser Darstellung kann der Kritische Pfad visuell sehr schnell identifiziert werden.

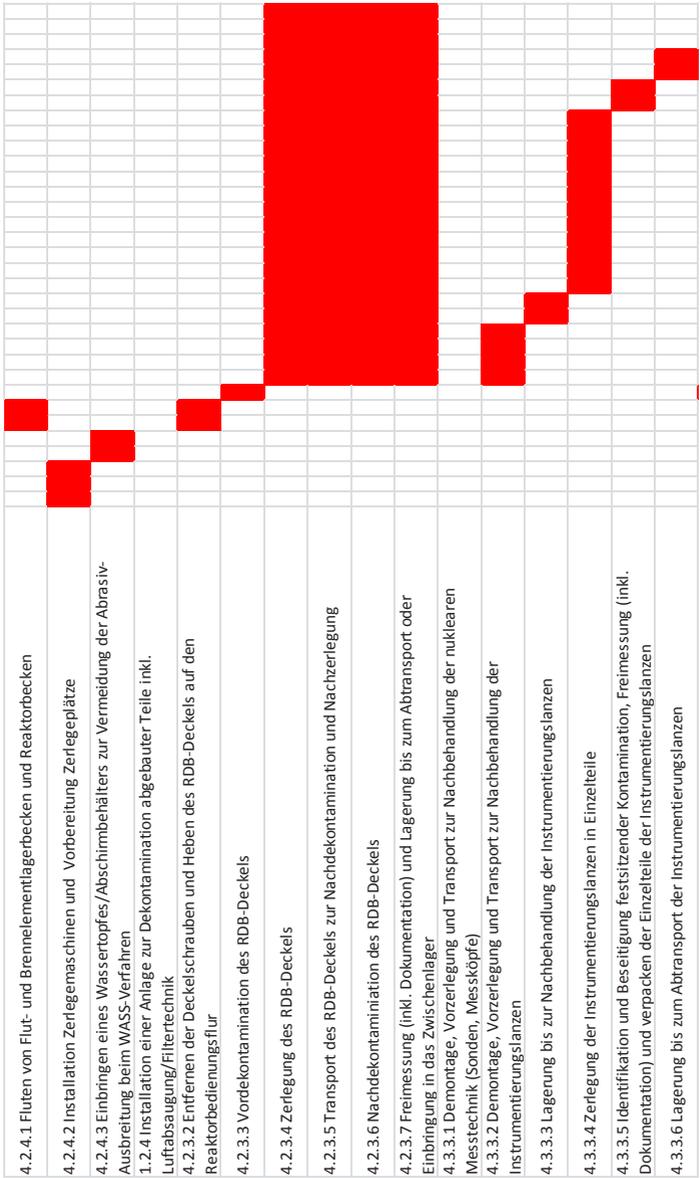


Abbildung 2.20: Ausschnitt der Visualisierung des optimierten Rückbauplans des Referenzszenarios des Rückbaus eines Druckwasserreaktors

Das **Referenzszenario für den Rückbau eines Siedewasserreaktors** beinhaltet 56 Vorgänge und ein optimierter Rückbauplan wurde in 48 Sekunden berechnet (Angaben zur Rechnerleistung sind in Kapitel 2.1.3.3 aufgeführt). Die Projektdauer sowie die Projektkosten wurden wie beim Referenzszenario des Rückbaus eines Druckwasserreaktors berechnet. Der Rückbau gemäß dem optimierten Plan dauert 617 Tage und kostet 16.078.500 Euro.

Wie bereits bei der Auswertung des berechneten Referenzszenarios für den Rückbau eines Druckwasserreaktors beschrieben, ist auch beim Referenzszenario für den Rückbau eines Siedewasserreaktors zumeist sequentiell vorzugehen. Daher ist auch das Berechnungsergebnis dieses Referenzszenarios basierend auf den zugrundeliegenden Eingangsdaten plausibel und ist mit der Planung der Einzelprojekte (Planung des Rückbaus der RDB-Einbauten und Planung des Rückbaus des RDBs) vergleichbar. Ebenso hätte eine (deutliche) Verbesserung der Berechnungsergebnisse nach der Optimierung auf einen Fehler im Algorithmus hingedeutet und die kurze Dauer zur Erstellung des Rückbauplans verdeutlicht den Vorteil des Optimiermodells im Gegensatz zur händischen Planung.

Die visuelle Darstellung der Ergebnisse erfolgt in gleicher Weise wie beim Referenzszenario des Rückbaus eines Druckwasserreaktors.

2.1.3.3 Definition exemplarischer Szenarien (AP 4.1)

Allgemein ist es möglich, durch die Variation von einsetzbaren Ressourcen, geänderten Vorgangsreihenfolgen, Verzögerungen etc. verschiedene Szenarien zu konstruieren und mit Hilfe des im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelten Optimiermodells in wenigen Sekunden einen optimierten Plan unter den gegebenen Voraussetzungen zu berechnen. Mit Hilfe dieser Variationsmöglichkeit bekommt ein Planer sehr schnell einen Überblick über verschiedene mögliche Szenarien und kann sehr schnell Sensitivitätsanalysen durchführen.

Die Praxispartner definierten für ihre Rückbauprojekte jeweils exemplarische Szenarien für einen anderen möglichen Projektverlauf. Die Daten und Parameter der Szenarien wurden jeweils in einer Excel-Liste mit der Struktur der

Erfahrungsdatenbank (Zeilen- und Spalteneinträge entsprechend der Erfahrungsdatenbank) für die anschließende Szenarioanalyse und Projektoptimierung zusammengetragen.

Die Daten bzgl. der Szenarien des Praxispartners AREVA führen insbesondere potentielle Verzögerungen verschiedener Vorgänge auf. Hierbei wurden die in der Liste kritischer Abweichungen von AREVA (vgl. Anhang F) beschriebenen Abweichungen herangezogen. Diese Abweichungen basieren auf den Erfahrungen von AREVA bereits durchgeführter kerntechnischer Rückbauprojekte. Da diese keine projektspezifischen Abweichungen darstellen, können diese Abweichungen auch im Referenzszenario auftreten und werden daher für dieses berücksichtigt. Auf Basis dieser Daten wurde je möglicher Verzögerung jeweils ein Szenario berechnet und eine Projektplanoptimierung durchgeführt. In Tabelle 2.7 sind einige Szenarien aufgeführt. Jeweils ist die berechnete Projektdauer in Tagen, die berechneten Projektkosten in Euro und die Auswirkungen der Szenarien auf den Gesamtplan aufgeführt. Es ist anzumerken, dass die Daten von AREVA lediglich die Berücksichtigung der Beschaffungskosten von Maschinen zulässt. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass das Personal während des gesamten Rückbaus benötigt wird. Aus diesem Grund sind die Projektkosten proportional zur Projektdauer.

Tabelle 2.7: Szenarien der Referenzprojekte von AREVA und die jeweiligen Berechnungsergebnisse

Szenario		Projekt-dauer [Tage]	Projekt-kosten [Euro]	Auswirkung auf Gesamtplan
Reaktortyp	Beschreibung des Szenarios			
Druckwasserreaktor	Basisszenario	638	16.378.500	-
	Szenario: Verzögerung Transport des Unteren Kerngerüsts von 1 um 8 Tage auf 9 Tage	646	16.462.500	Da der Vorgang auf dem kritischen Pfad liegt, ergibt sich eine Verzögerung des Gesamtprojekts um 8 Tage.

Siedewasserreaktor	Basisszenario	617	16.078.500	-
	Szenario: Verzögerung Zerlegung Kernmantel von 25 um 45 Tage auf 70 Tage	617	16.078.500	Lediglich eine Verlängerung der Ausführung des betroffenen Vorgangs. Da dieser allerdings nicht auf dem kritischen Pfad liegt, hat die Verzögerung keine Auswirkung auf den Gesamtplan.
	Szenario: Verzögerung des Ausbaus und des Transports des Oberen Kerngerüsts zum Zerlegen von 10 um 9 Tage auf 19 Tage	626	16.173.000	Da der Vorgang auf dem kritischen Pfad liegt, ergibt sich eine Verzögerung des Gesamtprojekts um 9 Tage.
	Szenario: Verzögerung des Ausbaus, des Transports und Zerlegung des Unteren Kerngerüsts von 20 um 53 Tage auf 73 Tage	670	16.635.000	Da der Vorgang auf dem kritischen Pfad liegt, ergibt sich eine Verzögerung des Gesamtprojekts um 53 Tage.

Der Praxispartner VKTA hatte Daten bzgl. des Szenarios der Dekontamination der Heißen Zellen sowie der Szenarien Totalabbruch und Teilabbruch des Kellers im Forschungsreaktor Rossendorf zur Verfügung gestellt. Die Gegenüberstellung der berechneten Ergebnisse der Szenarien Total- und Teilabbruch zeigen, dass beim Totalabbruch die Kosten auf der Datengrundlage erwartungsgemäß höher ausgefallen sind, wobei die Gesamtlaufzeit um rund 200 Tage geringer ist. Die Betriebs- und Personalkosten wurden vom VKTA als feste Größe erfasst, allerdings nicht in der Variabilität, dass sie bei Laufzeitänderungen im Optimiermodell automatisch angepasst werden können. Diese müssten von Hand nachgeführt werden, was zu einer Verringerung oder Aufhebung des Kostenabstands zwischen Total- und Teilabbruch führen würde. In Tabelle 2.8 sind die einzelnen Szenarien aufgeführt. Jeweils ist die berechnete Projektdauer in Tagen, die berechneten Projektkosten in Euro und die Auswirkungen der Szenarien auf den Gesamtplan aufgeführt.

Tabelle 2.8: Szenarien des Rückbauprojekts des VKTA und die jeweiligen Berechnungsergebnisse

Szenario		Projekt-dauer [Tage]	Projekt-kosten [Euro]	Auswirkung auf Gesamtplan
Reaktor-typ	Beschreibung des Szenarios			
Forschungsreaktor	Basisszenario	5.774	20.675.400	-
	Szenario: Teilabbruch Keller	5.701	20.301.500	Der Aufwand für Dekontaminationsmaßnahmen ist wegen niedriger Freigabewerte deutlich höher und nicht exakt zu kalkulieren. Aufgrund der fehlenden Daten bzgl. der Kosten bleiben diese konstant.
	Szenario: Totalabbruch Keller	5.505	20.675.400	Im Gegensatz zum Teilabbruch werden beim Totalabbruch alle unterirdischen Gebäudestrukturen abgebrochen und entfernt. Im Gegensatz zum Teilabbruch dauert der Totalabbruch 196 Tage kürzer, weil Verfüllung einfacher ist, Abdichtungen (schadstoffhaltig) nicht verbleiben und nicht gesichert werden müssen und weil die Dekontamination infolge höherer Freigabewerte der Baustruktur weniger aufwendig ist.
	Dekontamination Heiße Zellen	6.082	21.362.400	Die Berechnung bestätigt die damals intuitiv getroffene Entscheidung, die Heißen Zellen nicht zu dekontaminieren sondern innerhalb des Gebäudes abzubrechen. Durch die Dekontamination der Heißen Zellen erhöht sich die Zeit im Gegensatz zum Abbruch um 381 Tage.

Insgesamt wird bei der Berechnung der verschiedenen Szenarien der Vorteil des Optimiermodells deutlich. Durch die Variation der Eingabeparameter, wie beispielsweise unterschiedliche Vorgangsdauern, können verschiedene Szenarien konstruiert werden. Die Berechnung eines kostenoptimierten Plans dauert in Abhängigkeit der Anzahl an Vorgängen je Szenario wenige Sekunden bis zu wenigen Minuten (vgl. Tabelle 2.9), sodass in kurzer Zeit optimierte Ablaufpläne unterschiedlicher Szenarien berechnet und gegenübergestellt werden können.

Tabelle 2.9: Berechnete Szenarien und benötigte Rechendauer

Szenario			Rechen- dauer* [Sekunden]
Reaktor- typ	Beschreibung des Szenarios	Anzahl Vorgänge	
Druckwas- serreaktor	Basisszenario	42	20
	Szenario: Verzögerung Transport des Unteren Kerngerüsts von 1 um 8 Tage auf 9 Tage	42	15
Siedewas- serreaktor	Basisszenario	56	48
	Szenario: Verzögerung Zerlegung Kernmantel von 25 um 45 Tage auf 70 Tage	56	46
	Szenario: Verzögerung des Ausbaus und des Transports des Oberen Kerngerüsts zum Zerlegen von 10 um 9 Tage auf 19 Tage	56	49
	Szenario: Verzögerung des Ausbaus, des Transports und Zerlegung des Unteren Kerngerüsts von 20 um 53 Tage auf 73 Tage	56	50
For- schungs- reaktor	Basisszenario	91	519
	Szenario: Teilabbruch Keller	97	510
	Szenario: Totalabbruch Keller	97	507
	Abbruch Heiße Zellen	113	142

* Auf einem PC mit:

- Windows 8 (64 bit)
- Matlab 2015b (64 bit)
- Prozessor: Intel® Core™ i5-4300U CPU @ 1.90GHz 2.50GHz
- 8GB RAM

2.1.3.4 Test auf Prozessrobustheit und -stabilität (AP 4.2)

Die jeweils zwischen AREVA und KIT sowie VKTA und KIT bilateral abgestimmten Berechnungsergebnisse der verschiedenen Szenarien wurden soweit überprüft, dass sowohl potentielle Übertragungsfehler der Inputdaten als auch Berechnungsfehler im Optimiermodell behoben werden konnten. Übertragungsfehler können beispielsweise beim manuellen Eintragen der realen, bislang unstrukturiert vorliegenden Daten in die zur Berechnung entwickelte, strukturierte Excel-Datei (Erfahrungsdatenbank) entstehen. Die Daten liegen den Praxispartnern in unterschiedlichen Dateien und Formaten vor. Zur Berechnung wurden diese in ein einheitliches Format in die Excel-Datei übertragen. Beim Übertragen traten teilweise kleinere Fehler auf, sodass beispielsweise Zyklen (Selbstreferenzierung oder kreisförmige Referenzierung von Vorgangsreihenfolgen) im Projektverlauf entstanden. Zyklen verhindern die Anwendung des entwickelten Lösungsverfahrens. Um solche oder ähnliche Fehler zu vermeiden, wurde jeweils eine Vor-Analyse der Daten durchgeführt. Alle Auffälligkeiten (= potentielle Übertragungsfehler) wurden im Anschluss bilateral mit dem jeweiligen Praxispartner besprochen und bei Bedarf behoben. Insgesamt konnten realistische und theoretisch ausführbare Projektpläne berechnet werden. Darüber hinaus wurde mit Hilfe verschiedener Szenarien (AP 4.1) des Praxispartners AREVA überprüft, inwieweit kritische Elemente, wie beispielsweise Vorgänge mit Verzögerungen, in den Rückbauplan integriert werden können, ohne dass diese große Auswirkungen auf die Ausführbarkeit des Plans haben. In diesem Zusammenhang konnten Szenarien entwickelt werden, die solche kritischen Elemente nicht auf dem sogenannten kritischen Pfad ausführen, sondern zumeist parallel und damit unabhängig von anderen Vorgängen ausführen und Pufferzeiten ermöglichen. Dadurch haben Verzögerungen keine oder geringere Auswirkungen auf die Ausführbarkeit der Rückbaupläne. Dies lässt sich beispielsweise am Szenario der Verzögerung bei der Zerlegung des Kernmantels beim Rückbau eines Siedewasserreaktors (vgl. Kapitel 2.1.3.3) verdeutlichen. Der Vorgang, der laut Szenario einer zeitlichen Verzögerung unterliegen kann, („Zerlegung des restlichen Kernmantels“) liegt nicht auf dem sogenannten Kritischen Pfad (siehe oberes Bild in Abbildung 2.21). Dadurch wirkt sich eine verlängerte Ausführungsdauer dieses Vorgangs nicht auf das Gesamtprojekt aus.

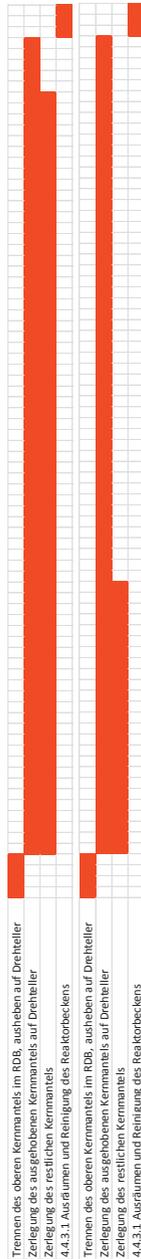


Abbildung 2.21: Ausschnitt aus dem optimierten Rückbauplan des Rückbaus eines Siedewasserreaktors (oben) und Ausschnitt aus dem Rückbauplan des optimierten Szenarios der Verzögerung bei der Zerlegung des Kernmantels des Rückbaus eines Siedewasserreaktors (unten)

2.1.3.5 Identifikation von Verbesserungspotentialen (AP 5.1)

Die Identifikation von Verbesserungspotentialen sollte laut Antrag basierend auf der Erstellung des Ablaufplans (laut Antrag „basiert auf der vorhergehenden Erstellung und Optimierung des PSP“), der Szenarioanalyse sowie dem Soll-Ist-Abgleich erfolgen. Diesbezüglich konnten einerseits Verbesserungspotentiale des bestehenden Entscheidungsunterstützungswerkzeugs als mögliche Weiterentwicklungen (beispielsweise in zukünftigen Forschungsprojekten) und andererseits Verbesserungspotentiale für zukünftige Rückbauprojekte identifiziert werden.

Verbesserungspotentiale des entwickelten Entscheidungsunterstützungswerkzeugs

- Daten geeigneter Projekte zur detaillierteren Analyse und Validierung wären wünschenswert, vor allem im Hinblick auf mögliche (grundlegende) Varianten bei der Vorgehensweise. Im Forschungsprojekt MogaMaR wurden bereits Daten des Rossendorfer Forschungsreaktors zur Analyse und Validierung bzgl. des Rückbaus einer gesamten kerntechnischen Anlage verwendet. Zur weiteren Validierung des Optimiermodells für den Einsatz zur Planung kerntechnischer Rückbauprojekte von Forschungsreaktoren wären Daten weiterer Forschungsreaktoren wünschenswert.
- Bzgl. der Analyse und Validierung des Optimiermodells mit Daten eines Leistungsreaktors wurde im Rahmen des Forschungsprojekts MogaMaR jeweils auf Daten des Rückbaus eines Referenzprojekts für Druckwasser- und auf Daten des Rückbaus eines Referenzprojekts für Siedewasserreaktoren zurückgegriffen. Besser auswertbare Daten eines tatsächlich durchgeführten Rückbauprojekts eines Leistungsreaktors wären wünschenswert. Des Weiteren beinhalten die Daten von AREVA bzgl. des Rückbaus von Leistungsreaktoren Informationen zu den Arbeiten der RDB-Internals, des RDBs und des Biologischen Schilfs. Daten zu den darüber hinaus gehenden Rückbauarbeiten würden eine Validierung des Optimiermodells unterstützen.

- „Zeitliche“ Berücksichtigung von Ressourcen, d.h. die Berücksichtigung der genauen Einsatzzeitpunkte von verwendeten Ressourcen, da diese nicht zwangsläufig über die gesamte Vorgangsdauer in Benutzung sind. Als mögliche Weiterentwicklung könnte die Dauer der Ressourceninanspruchnahme als eigener Vorgang modelliert werden. In diesem Fall ist die Einführung direkter Nachfolger, d.h. Vorgänge, die ohne zeitliche Verzögerung direkt im Anschluss ausgeführt werden müssen, notwendig. Diese Weiterentwicklung hinsichtlich der direkten Nachfolger ist auch für weitere Projektschritte relevant, beispielsweise sollten die Vorgänge zum Zerlegen der RDB-Internals und des RDBs direkt hintereinander ohne die Unterbrechung anderer Vorgänge ausgeführt werden.
- Konkretisierung der Ressourcen: Unterscheidung zwischen zeitabhängigen variablen Kosten (z.B. Personal oder (Rest)Betriebskosten) und vorgangsabhängigen variablen Kosten (Equipment) sowie ggf. externen Ressourcen (Betreiberpersonal: nicht kostenrelevant, aber für den Ablauf ggf. notwendig)
- In diesem Zusammenhang sollte das Modell hinsichtlich sogenannter nicht-erneuerbaren Ressourcen (z.B. Verbrauchsmaterial) und kumulativen Ressourcen (z.B. Pufferlager) weiterentwickelt werden.
- Berücksichtigung des Ausführungsortes der Vorgänge, damit nicht Vorgänge, die am gleichen Ort ausgeführt werden, parallel eingeplant werden, wobei der Platz bei paralleler Ausführung nicht ausreicht. Der Ort könnte im Optimiermodell beispielsweise als erneuerbare Ressource modelliert werden.
- Weiterentwicklung des Optimieralgorithmus, sodass der Multi-Mode-Fall berücksichtigt werden kann. Damit einhergehend muss auch die Zielfunktion angepasst werden, da auch Ablaufpläne kostenminimal sein können, die länger dauern als Alternativpläne, d.h. in der Zielfunktion müssen die Kosten (und nicht wie bisher die Dauer) minimiert werden.

- Berücksichtigung von Stoffflüssen und Stoffströmen in der Ablaufplanung. Dadurch könnte einerseits eine Optimierung (Kosten, Dauer sowie Engpässe in der Lagerung oder Engpässe verfügbarer Behälter) hinsichtlich der Abfallbehandlung und/oder der logistischen Prozesse (z.B. Transport, Pufferlagerung, Bearbeitung, Verpackung) erfolgen.
- Berücksichtigung der zeitlichen Abstände zwischen den auszuführenden Vorgängen. Insbesondere bei der Datensammlung des Praxispartners AREVA hat sich gezeigt, dass zeitliche Abstände (Mindest- oder Maximalabstände) zwischen Vorgängen sowie die Art der Vorrangbeziehung detaillierter erfasst hätten werden können. Neben der bereits erfassten Vorrangbeziehung „Ende-Anfang“ (d.h. der Startzeitpunkt eines Vorgangs findet nach dem Ende seines Vorgängers bzw. seiner Vorgänger statt) sollten insbesondere die alternativen Vorrangbeziehungen „Ende-Ende“, „Anfang-Ende“ sowie „Anfang-Anfang“ abbildbar sein, um die Planung den realen Bedingungen noch besser anzupassen.
- Zur Bestimmung eines robusten, d.h. möglichst planmäßig ausführbaren Rückbauplans, könnte das bestehende Entscheidungsunterstützungswerkzeug um die automatische Erstellung von Szenarien und die Evaluierung der berechneten kostenoptimierten Szenarien hinsichtlich ihrer Robustheit erweitert werden. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise könnten Unsicherheiten während der Projektausführung bereits in der Planung berücksichtigt werden.
- Die Verwendung des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs ist bisher nur mit der Kenntnis des Programms Matlab und einigen Programmierkenntnissen möglich. Fehler, die auf fehlerhaften Eingaben der Daten, z.B. Zyklen, beruhen, führen zunächst zu Berechnungsfehlern im Modell, die teilweise manuell erkannt und in den Daten behoben werden müssen. Kleinere Abfragen zum Abfangen solcher Fehler sind bereits implementiert, allerdings könnte dies noch sehr ausgeweitet werden. Darüber hinaus könnte die Bedienoberfläche vereinfacht

werden, sodass das Entscheidungsunterstützungswerkzeug ohne Programmierkenntnisse intuitiv anwendbar ist. Mit Hilfe einer nutzerfreundlichen Bedienoberfläche könnte auch die Auswertung der Berechnungsergebnisse nutzerfreundlicher implementiert werden.

- Das Entscheidungsunterstützungswerkzeug sollte mit Schnittstellen zu im Rückbau gängigen Software-Produkten ausgestattet sein, um einerseits Daten für eine Berechnung importieren zu können und andererseits um Berechnungsergebnisse in andere Software-Programme zu exportieren. Des Weiteren können bestehende Software-Programme zur Erfassung und Verfolgung von Reststoffen mit dem Entscheidungsunterstützungswerkzeug gekoppelt werden.

Verbesserungspotentiale für zukünftige Rückbauprojekte

- Reduzierung der Fehleranfälligkeit durch strukturierte Datenhaltung (entweder über Schnittstellen oder einheitliche Vorgangsbezeichnung). Die zur Planung verwendeten Daten sollten auf mögliche Fehler, wie z.B. Zyklen, überprüft werden. Dies könnte mit Hilfe von Algorithmen überprüft werden.
- Normierung der Vorgangsbezeichnung (ähnlich zu DIN 276) mit der einheitlichen Bauteilcodierung und damit der einheitlichen, bauteilbezogenen Vorgangsbezeichnung im Leistungsverzeichnis erleichtert die Kommunikation und verringert die Fehleranfälligkeit
- Es zeigt sich, dass mit Hilfe einer ausführlichen Szenarioanalyse Planabweichungen vorgebeugt hätte werden können. Dabei sollten folgende Szenarien überprüft werden:
 - Planabweichungen bei der Ausführung von Vorgängen, z.B. aufgrund technischer Probleme,
 - Planabweichungen, die durch einen Unterauftrag verursacht werden (d.h. externe Gründe für Planabweichungen beachten),
 - Planabweichungen aufgrund begrenzter Ressourcen,

- Planabweichungen bei der Ausführung von Vorgängen aufgrund radiologischer oder strahlenschutztechnischer Probleme.
- Um Planabweichungen vorzubeugen, sollten Vorgänge, die mit höherer Wahrscheinlichkeit vom Plan abweichen, detaillierter analysiert und nicht auf den kritischen Pfad eingeplant werden.

2.1.3.6 Erarbeitung von Handlungsempfehlungen (AP 5.2)

Basierend auf den identifizierten Verbesserungspotentialen wurden aktueur-spezifische Handlungsempfehlungen erarbeitet, die zum optimierten Rückbau von kerntechnischen Anlagen und zur Einhaltung der Zeit- und Kostenrahmen führen können.

Empfehlungen für den Planer des Rückbaus:

- Zur Reduzierung der Fehleranfälligkeit sollten eine strukturierte Datenhaltung (inkl. einer Schnittstellenentwicklung für eine automatisierte Datenübertragung im Rahmen der Projektplanung) und eine normierte Vorgangsbezeichnung eingeführt werden. Mit Hilfe einer Schnittstelle zwischen verwendeter Projektmanagement-Software zum Entscheidungsunterstützungswerkzeug können die geplanten Abläufe mit Ressourcen, Kosten und weiteren Daten im Entscheidungsunterstützungswerkzeug unterfüttert werden.
- Allgemein sollten integrierte (Multi-)Projektmanagement-Methoden zur Erarbeitung eines optimalen bzw. optimierten Rückbauplans für das Gesamtprojekt und nicht für optimale Teillösungen eingesetzt werden.
- Als Handlungsempfehlung kann somit folgendes abgeleitet werden: Die berechneten, optimierten Lösungen bieten aufgrund der schnellen Berechnung einen guten Überblick über das Rückbauprojekt, allerdings sollten diese Pläne analysiert und falls nötig minimale Anpassungen vorgenommen werden. Beispielsweise ist mit Hilfe der be-

rechneten Pläne sehr schnell zu sehen, an welchen Stellen weitere sinnvolle Vorrangbeziehungen eingefügt werden können.

- Als weitere Handlungsempfehlung bietet es sich an, mit Hilfe des Optimierprogramms Szenarioanalysen durchzuführen. Mit Hilfe des Entscheidungsunterstützungssystems ist die Berechnung optimierter Szenarien sehr schnell möglich. Aufgrund der übersichtlichen Struktur der Erfahrungsdatenbank als Input für das Optimiermodell können die Inputdaten schnell abgewandelt und eine neue Berechnung angestoßen werden. Die Berechnungsergebnisse können kurze Zeit später analysiert werden. Die Erstellung verschiedener Szenarien mit Hilfe des Optimierprogramms bietet einen großen Vorteil, um einerseits das Rückbauprojekt und seine wechselseitig abhängigen Vorgänge zu verstehen und andererseits um die Auswirkungen bei Änderungen des Plans zu analysieren.
- Mit Hilfe alternativer Szenarien können bereits in der Planungsphase vorbeugend Ausweichlösungen (Back-up) geplant werden. Im Falle eines Auftretens identifizierter Ausfällen/ Hindernissen/Verzögerungen in der Ausführungsphase, stünden somit die alternativen Lösungswege/Arbeitsablaufpläne, mit allen notwendigen Mitteln, sowohl terminlich als auch ressourcenseitig, sofort zur Verfügung
- Mit Hilfe der Szenarioanalysen können insbesondere kritische Vorgänge identifiziert werden, die bei Verzögerungen zu gravierenden Planabweichungen führen können und somit Einfluss auf das Gesamtprojekt nehmen. Es ist daher zu empfehlen, dass solche Vorgänge identifiziert und detaillierter analysiert werden. Einerseits bietet sich eine Analyse hinsichtlich der möglichen Ursachen und ihrer Vermeidung an. Dadurch können Probleme bei der Ausführung (beispielsweise technische oder organisatorische Probleme) identifiziert und womöglich behoben werden. In diesem Zusammenhang können insbesondere Kostenabweichungen vermieden werden. Andererseits sollte (mit Hilfe des Optimierprogramms) überprüft werden, ob diese Vorgänge so eingeplant werden können, dass sie bei einer Verzögerung

keinen oder nur geringen Einfluss auf das Gesamtprojekt nehmen. Beispielsweise könnten solche Vorgänge parallel ausgeführt werden und nicht auf dem sogenannten kritischen Pfad liegen. Damit ist ein zeitlicher Puffer für solche Vorgänge vorhanden.

Handlungsempfehlungen für die Genehmigungsbehörde:

- Einheitliche Vorgaben und Standardisierung der gewünschten Antragsunterlagen für das Genehmigungsverfahren.
- Ggf. Veränderung des Genehmigungsprozesses für eine dynamischere Rückbauplanung und damit ein effizienteres und schnelleres Genehmigungsverfahren

Handlungsempfehlungen für den Gesetzgeber:

- Verpflichtung zur Bereitstellung der Erfahrungswerte bzw. geeigneter Projektkennzahlen für Planer zur Erhöhung der Rückbaukompetenz bei der Planung zukünftiger Projekte

2.2 Zielerreichung

Nach der Darstellung der Ziele und Teilziele in Kapitel 2.1.1 und den durchgeführten Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens (Kapitel 2.1.2 und 2.1.3) wird im Folgenden die Zielerreichung der einzelnen Teilziele zusammengefasst (vgl. Tabelle 2.10). Die Art der Zielerreichung und eine detaillierte Beschreibung der dazu ausgeführten Arbeiten sind in den jeweiligen Kapiteln 2.1.2 und 2.1.3 aufgeführt.

Tabelle 2.10: Zusammenfassung der Zielerreichung des Forschungsvorhabens

Teilziel	Geplante Zielerreichung in...	Ziel erreicht?	Beschreibung der Arbeiten in...
Erstellung einer hierarchischen Prozessstruktur von Rückbauvorgängen und dazugehörigen Eigenschaften (Dauer, Kosten, benötigte Ressourcen)	AP 1	Ja	AP 1.1 → Kapitel 2.1.2.1
Identifikation und Abgrenzung zu bestehenden Projektmanagementsystemen	AP 1	Ja	AP 1.2 → Kapitel 2.1.2.2
Erstellung einer Erfahrungsdatenbank basierend auf der hierarchischen Prozessstruktur für kommerzielle Anlagen	AP 1	Ja	AP 1.3 → Kapitel 2.1.2.3
Erstellung einer Erfahrungsdatenbank basierend auf der hierarchischen Prozessstruktur für Forschungsanlagen	AP 1	Ja	AP 1.4 → Kapitel 2.1.2.4
Identifikation und Entwicklung geeigneter Kennzahlen zur Erfassung der Charakteristik von kerntechnischen Rückbauprojekten	AP 2	Ja	AP 2.1 → Kapitel 2.1.2.5
Identifikation von kritischen Elementen in den Projekten der Praxispartner	AP 2	Ja	AP 3.1 → Kapitel 2.1.3.1
Identifikation von Planabweichungsursachen	AP 3	Ja	AP 3.1 → Kapitel 2.1.3.1
Erstellung eines integrierten Musterprojektstrukturplans, der hinsichtlich verschiedener Szenarien robust ist	PSP in AP 3 und Robustheit in AP 4	Ja	AP 3.2 → Kapitel 2.1.3.2 AP 4.2 → Kapitel 2.1.3.4
Definition exemplarischer Rückbauszenarien	AP 4	Ja	AP 4.1 → Kapitel 2.1.3.3
Identifikation von Verbesserungspotentialen	AP 5	Ja	AP 5.1 → Kapitel 2.1.3.5
Erarbeitung akteursspezifischer Handlungsempfehlungen zur Einhaltung der Zeit- und Kostenrahmen	AP 5	Ja	AP 5.2 → Kapitel 2.1.3.6

Anhand einer Literaturrecherche und der Analyse der von den Praxispartnern AREVA und VKTA an KIT übergebenen Daten wurde eine einheitliche Struktur zur Sammlung von Erfahrungswerten erstellt. Es wurde insbesondere darauf geachtet, dass alle potentiell durchführbaren Einzelschritte aufgeführt werden, sodass möglichst alle Rückbaustrategien abbildbar sind. Jedem Einzelschritt wurde eine eindeutige Nummerierung zugewiesen und jeder Einzelschritt kann in einer niedrigeren Detaillierungsebene zu einem aggregierten Schritt zusammengefasst werden. Die erstellte Struktur orientiert sich sehr stark am sogenannten ISDC (vgl. Kapitel 2.1.2.1) und strukturiert alle auszuführenden Einzelschritte zum Rückbau einer kerntechnischen Anlage hierarchisch (sog. Erfahrungsdatenbank ohne Daten). Das Grundgerüst zur strukturierten Sammlung von Daten wurde von AREVA mit Daten, wie beispielsweise Vorgangsdauer, Vorgänger und benötigte Ressourcen, eines Referenzprojekts für den Rückbau eines Druckwasser- und mit Daten eines Referenzprojekts für den Rückbau eines Siedewasserreaktors gefüllt. Der VKTA bereitete die ihm verfügbaren Daten (wie beispielsweise Vorgangsdauer, Vorgänger und benötigte Ressourcen) für den Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors entsprechend der erarbeiteten Struktur auf. Insgesamt konnten somit jeweils eine ausgefüllte Erfahrungsdatenbank für Siede- und Druckwasserreaktoren (Erfahrungsdatenbanken für kommerzielle Anlagen) und eine ausgefüllte Erfahrungsdatenbank für Forschungsreaktoren erstellt werden.

Anhand einer detaillierten Analyse von Projektmanagementsystemen wurden Projektmanagementstandards, Projektmanagementsoftware und Projektmanagementmethoden analysiert und untersucht.

In einer ausführlichen Literaturrecherche wurden für den Rückbau kerntechnischer Anlagen relevante Kennzahlen identifiziert. Diese Kennzahlen konnten allerdings nicht auf die Daten der Praxispartner angewendet werden, da ein Abgleich zwischen Soll- und Ist-Daten nicht möglich war. Aus diesem Grund wurden kritische Elemente mit Hilfe einer Liste kritischer Abweichungen basierend auf den Erfahrungswerten der Praxispartner zusammengetragen. In dieser Liste wurden des Weiteren Ursachen für Planabweichungen

und mögliche Gegenmaßnahmen für zukünftige Rückbauprojekte zusammengetragen.

Die Erfahrungsdatenbanken für Siede- und Druckwasserreaktoren sowie die Erfahrungsdatenbank für Forschungsreaktoren stellen aufgrund ihrer hierarchischen Darstellung aller Einzelschritte jeweils einen integrierten Muster-Projektstrukturplan dar (als Liste dargestellt). Hierin sind die einzuhaltenden Vorgangsbeziehungen und die Beziehungen zwischen einzelnen Arbeitsschritten dokumentiert. Zur visuellen Veranschaulichung wurden diese integrierten Muster-Projektstrukturpläne jeweils als Netzplan dargestellt. Basierend auf den Erfahrungsdatenbanken wurde je Projekt, d.h. je Referenzszenario für den Rückbau eines Druckwasser- und eines Siedewasserreaktors sowie für den Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors, mit Hilfe eines Optimiermodells ein integrierter, kostenoptimierter Rückbauplan berechnet. Die Praxispartner trugen darüber hinaus Daten für exemplarische Szenarien zusammen, die für das Optimiermodell als Berechnungsgrundlage genutzt wurden. Je Szenario wurde mit Hilfe des Optimiermodells ein integrierter, kostenoptimierter Rückbauplan berechnet. Es konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe des Optimiermodells automatisiert ein integrierter, kostenoptimierter Rückbauplan berechnet werden kann. Des Weiteren wurde gezeigt, dass die Berechnung eines integrierten, kostenoptimierten Rückbauplans abhängig von der Anzahl an Vorgängen lediglich wenige Sekunden bis zu wenigen Minuten dauert. Dies ermöglicht die schnelle Berechnung unterschiedlicher Szenarien für eine Szenario- und Sensitivitätsanalyse.

Zuletzt wurden Verbesserungspotenziale für das entwickelte Entscheidungsunterstützungswerkzeug und Verbesserungspotenziale für zukünftige Rückbauprojekte identifiziert und zusammengetragen. Darauf aufbauend wurden akteursspezifische Handlungsempfehlungen identifiziert und aufgelistet.

Der Beitrag zur Erreichung der Teilziele und der dazu notwendige Arbeitsaufwand wird in der Tabelle 2.11 je Projektpartner aufgezeigt. Hierbei handelt es sich beim VKTA um den Personalaufwand des VKTA-Personals, wobei es weitere Leistungen (z.B. Projekttreffen), die die Arbeitspakete übergreifend betreffen, gab. Diese können den einzelnen Arbeitspaketen nicht zugeordnet werden.

Tabelle 2.11: Beitrag zur Erreichung der Teilziele und der dazu notwendige Arbeitsaufwand je Projektpartner

Arbeitspaket	Teilziel	Inhalt des Beitrags	Beitrag durch Projektpartner	Aufwand in Personennennungen
AP 1	Erstellung einer hierarchischen Prozessstruktur von Rückbauvorgängen und dazugehörigen Eigenschaften (Dauer, Kosten, benötigte Ressourcen)	Literaturrecherche, Analyse der Daten von AREVA und VKTA	KIT	10
AP 1	Identifikation und Abgrenzung zu bestehenden Projektmanagementsystemen	Literaturrecherche	KIT	6
AP 1	Erstellung einer Erfahrungsdatenbank basierend auf der hierarchischen Prozessstruktur für kommerzielle Anlagen	Sammlung von Daten, Aufbereitung und Eintragen in das leere Dokument der Erfahrungsdatenbank	AREVA	8
AP 1	Erstellung einer Erfahrungsdatenbank basierend auf der hierarchischen Prozessstruktur für Forschungsanlagen	Sammlung von Daten, Aufbereitung und Eintragen in das leere Dokument der Erfahrungsdatenbank	VKTA	8
AP 2	Identifikation und Entwicklung geeigneter Kennzahlen zur Erfassung der Charakteristik von kerntechnischen Rückbauprojekten	Literaturrecherche	KIT	6
AP 2	Identifikation von kritischen Elementen in den Projekten der Praxispartner	Erstellung des Dokuments zur Erfassung kritischer Elemente	KIT	2
		Erarbeitung kritischer Elemente und Eintragen in das leere Dokument	AREVA	4
		Erarbeitung kritischer Elemente und Eintragen in das leere Dokument	VKTA	4

Arbeitspaket	Teilziel	Inhalt des Beitrags	Beitrag durch Projektpartner	Aufwand in Personennominalen
AP 3	Identifikation von Plan-Abweichungsursachen	Interpretation der kritischen Elemente und Abweichungen	KIT	6
PSP in AP 3 und Robustheit in AP 4	Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans, der hinsichtlich verschiedener Szenarien robust ist	Erstellen eines Muster-Projektstrukturplans jeweils für Druckwasser-, Siedewasser- und Forschungsreaktoren. Erstellen eines Optimiermodells zur Bestimmung eines kostenoptimierten Rückbauplans	KIT	28
AP 4	Definition exemplarischer Rückbauszenarien	Erarbeitung von Szenarien für Druckwasser- und Siedewasserreaktoren anhand der Liste kritischer Abweichungen	KIT	6
AP 5	Identifikation von Verbesserungspotentialen	Erarbeitung von Szenarien für den Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktor	VKTA	4
AP 5	Erarbeitung akteurspezifischer Handlungsempfehlungen zur Einhaltung der Zeit- und Kostenrahmen	Erarbeitung von Verbesserungspotentialen u. a. anhand der Berechnungsergebnisse Erarbeitung von Handlungsempfehlungen u. a. anhand der Berechnungsergebnisse und der Verbesserungspotentiale	KIT	6
			KIT	3

2.3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Kostenrahmen wurde, wie im beantragten Förderantrag beschrieben, eingehalten. Die im Projektantrag vorgesehene Zeitplanung des Projektes wurde um drei Monate überschritten. Es wurde ein gemeinsamer Antrag für eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung (bis 31.03.2017) gestellt, der von der Projektträgerschaft bewilligt wurde.

2.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, um die Projektziele zu erfüllen. Alle Arbeitspakete konnten vollumfänglich und bis auf wenige Ausnahmen planmäßig bearbeitet werden. Die erzielten vielversprechenden Ergebnisse sind ein wichtiger Schritt zur verbesserten Planung von Rückbauprojekten und zur Verwertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens (vgl. Kapitel 2.5), die von den Projektpartnern im Rahmen der aktuellen Fördermöglichkeiten verfolgt werden wird.

Aufgrund der aktuellen Altersstruktur der kerntechnischen Anlagen weltweit werden in den kommenden Jahrzehnten vermehrt kerntechnische Anlagen zurückgebaut werden (müssen). Die Erfahrungen bisheriger kerntechnischer Rückbauprojekte zeigen, dass der Rückbau technisch sicher möglich ist, dass es allerdings sehr häufig zu erheblichen Planabweichungen kommt. Diese resultierten in der Regel in längeren Rückbaudauern und in Kostensteigerungen. Um Dauern und Kosten zu reduzieren, ist eine effiziente Planung des Rückbaus notwendig. Mit Hilfe des in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Planungswerkzeugs kann die Planung des Rückbaus einer kerntechnischen Anlage schnell vorgenommen werden. Darüber hinaus wird ein kostenoptimierter Rückbauplan bestimmt und es können aufgrund der geringen Rechenzeit schnell verschiedene Szenarien berechnet und einander gegenüber

gestellt werden. Dadurch können Risiken beim Rückbau besser analysiert und diesen entgegen gewirkt werden. Des Weiteren geben die Verbesserungsvorschläge und Handlungsempfehlungen im bisherigen Planungsprozess wichtige Hinweise, um Dauern und Kosten bei kerntechnischen Rückbauprojekten zu reduzieren.

2.5 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die IEA rechnet in ihrem World Energy Outlook 2014 bis zum Jahr 2040 mit der Stilllegung und dem Rückbau von weltweit fast 200 Reaktoren [1]. Allein in Europa werden nach Schätzungen der Europäischen Kommission bis zum Jahr 2025 mehr als ein Drittel der 143 Reaktoren der EU-27 stillgelegt und anschließend rückgebaut [4].

Ziel aller kerntechnischen Rückbauprojekte ist eine sichere und zügige Durchführung der Arbeiten. Zeit im Sinne der Projektlaufzeit ist hier meist der kostenbestimmende Faktor, der durch die entsprechende Auswahl von Verfahren und Techniken minimiert werden muss. Der erreichte Entwicklungsstand vieler Techniken ist mittlerweile relativ hoch, so dass diese nur noch wenig Potential für Technologiesprünge vorhalten. Dagegen bieten die bisher eher vernachlässigten Projektmanagementsysteme, vor allem bei einer spezifischen Anpassung an die speziellen Anforderungen von kerntechnischen Rückbauprojekten viele Möglichkeiten einer Zeit- und Kostenoptimierung sowohl in der Planungs- als auch in der Ausführungsphase.

Die aus diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse können direkt in die Stilllegungsprojekte der Industriepartner eingegliedert werden:

AREVA

Aufgrund der Neu-Organisation der bei AREVA für die Planung von kern-technischen Rückbauprojekten zuständigen Abteilung besteht in naher Zukunft kein Nutzen des Optimiermodells. Allerdings bieten die in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse eine wichtige Grundlage für die zukünftige Entscheidungsfindung. Beispielsweise können die Rechercheergebnisse zu Projektmanagement-Standards und zu Projektmanagement-Software dazu beitragen, eine Entscheidung zu einer Auswahl bzw. Anpassung eines Standards oder einer Software fundierter auszuführen. Bei einer entsprechenden Weiterentwicklung des Optimiermodells, könnte dieses ebenfalls zum Einsatz kommen.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts wurden neue Zerlege-Projekte vor allem auf Basis vergangener Projekte und den umfangreichen Erfahrungen der Mitarbeiter geplant. Auch wenn im Großen und Ganzen aufgrund der Einbauweise der Komponenten eine relativ sequentielle Reihenfolge bei der Zerlegung vorgegeben ist und es somit wenige Variationsmöglichkeiten zu geben scheint, könnten sich durch parallele Bearbeitungsplätze und den Einsatz des in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Rechenmodells zur Optimierung von Rückbauprojekten ggf. weitere alternative Vorgehensmöglichkeiten ergeben. Somit bietet das Programm das Potential, geplante und kalkulierte Projekte einer weiteren Vervollkommnung zu unterziehen, da insbesondere im Rahmen von Angebotserstellungen, aber auch in der Ausführung von Zerlegeprojekten, eine durchdachte Vorgehensstrategie unter Berücksichtigung benötigter sowie vorhandener Ressourcen und oftmals einengenden Zeitvorgaben ausschlaggebend für eine erfolgreiche Bearbeitung sein kann. Auch im Falle des Eintretens von unvorhergesehenen Ereignissen bei einer Projektausführung und sich der daraus ergebenden Notwendigkeit einer Anpassungsplanung bietet sich dieses Tool an. Sei es um (wie beschrieben) weitere Vorgehensweisen nach bestimmten Kriterien (Kosten oder Zeit) herauszufinden oder auch als Baustein der Qualitätssicherung. Diese Möglichkeit ist natürlich auch bei der normalen Planung eine Option.

Für eine Detailplanung sind Erweiterungen des Optimiermodells notwendig. Zu diesen Erweiterungen zählen beispielsweise eine Ergänzung von Limitie-

rungsfaktoren wie Orte der Zerlegung oder Stoffströme beim Rückbau. Eine Ergänzung um Orte der Zerlegung in die Berechnungslogik ist notwendig, um auszuschließen, dass nach der Berechnung möglicherweise parallel auszuführende Tätigkeiten am selben Bearbeitungsplatz stattfinden und nicht genügend Arbeitsplatz zur Verfügung steht. Stoffströme konventionell oder atomrechtlich zu entsorgender Massen müssen mit der Behälterplanung sowie der Zwischenlagerung und der dazu notwendigen Logistik abgestimmt sein. Auch die zeitliche Zuordnung einer Ressource auf einen Vorgang ist ggf. weiter zu verfeinern. Nicht jede Ressource ist zwangsläufig während der kompletten Tätigkeit an eine Komponente gebunden (z.B. der Reaktorkran), sodass diese mehrfach eingesetzt werden kann. Zurzeit ist diese Fragestellung durch eine Aufteilung der Tätigkeit in zwei zusammengehörige Teiltätigkeiten gelöst.

VKTA

Der VKTA sieht für sich keine Verwertbarkeit der im Rahmen dieses Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse.

KIT

Das KIT und insbesondere das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) sehen in den erarbeiteten Projektergebnissen ein großes Potential sowohl für die Forschung als auch für die praktische Anwendung bei einer Weiterentwicklung des bereits erstellten Planungsmodells. Aus diesem Grund ist das IIP bestrebt, die erarbeiteten Erkenntnisse in der Planung des Rückbaus von kerntechnischen Anlagen und im Speziellen das Wissen bzgl. der Planungsmethodik und der Optimierverfahren für dieses Anwendungsgebiet zu erweitern. Ziel des IIP ist es, in weiteren Forschungsarbeiten das in diesem Forschungsvorhaben erarbeitete Planungsmodell zu erweitern, sodass es einfacher nutzbar ist (beispielsweise hinsichtlich der Nutzerfreundlichkeit) und vor allem noch realistischere Ergebnisse berechnet (beispielsweise unter der Berücksichtigung von Massenströmen und Logistiknetzwerken).

Weitere Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden auf Fachveranstaltungen, wie beispielsweise den nationalen Konferenzen Kontec 2015 und GOR 2016 sowie der internationalen Konferenz Conference on Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering in Paris vorgestellt. Durch die Teilnahme an Tagungen, Ausstellungen und Messen werden die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht. Außerdem erfolgte 2016 eine Publikation im Fachmagazin „Abbruch aktuell“ zur Verbreitung der Projektidee und -ergebnisse.

Weiterhin eröffnet das Projekt ein neues Forschungsfeld der Projektplanung von Großprojekten unter besonderen sicherheitstechnischen Rahmenbedingungen. Die Projektergebnisse werden zudem im Rahmen der Lehre eingesetzt.

Dieses Forschungsvorhaben ermöglicht es deutschen Unternehmen, ihr Know-how im Bereich der Stilllegung und des Rückbaus kerntechnischer Anlagen auszubauen, eine weltweit führende Rolle auf diesem Gebiet einzunehmen und der nationalen als auch der internationalen Know-how-Nachfrage auf diesem Gebiet nachzukommen. Aufgrund der steigenden weltweiten Nachfrage sind weitere Forschungen zur Effizienzsteigerung und Kostenreduktion im Bereich des Projektmanagements vom Rückbau kerntechnischer Anlagen sinnvoll.

2.6 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Ergebnisse Dritter im Bereich eines ganzheitlichen Projektmanagements in Bezug auf den Rückbau kerntechnischer Anlagen wurden nach Kenntnis der Autoren während der Laufzeit des Vorhabens nicht bekannt.

2.7 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden auf der Kontec 2015, der Conference on Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering 2016 sowie der GOR 2016 vorgestellt. Die Präsentationen auf diesen Konferenzen sowie ein Beitrag im Journal "Built Environment Project and Asset Management" werden im Folgenden aufgelistet:

Hübner, Felix; Volk, Rebekka; Kühlen, Anna; Schultmann, Frank (2017): Review of project planning methods for deconstruction projects of buildings. In: Built Environment Project and Asset Management 7 (2). DOI: 10.1108/BEPAM-11-2016-0075.

Hübner, F.; Volk, R.; Semme, J.; Schultmann, F. (2016). Improvement of nuclear decommissioning and dismantling planning via experience exchange and optimisation methods. Proceedings of the 3rd Conference on Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering, Paris, 5.-9. September 2016, NUGENIA, Vortrag und Paper.

Hübner, F.; Volk, R.; Schultmann, F. (2016). Scheduling of complex projects under uncertainty using the example of nuclear facility dismantling. International Conference on Operations Research (GOR 2016), 30.08. – 02.09.2016, Hamburg, Vortrag.

Hübner, F.; Seçer, O.; Stengel, J.; Schultmann, F.; Gentes, S. (2015). Process structure as a basis for the planning stage of project management for the decommissioning of nuclear facilities. KONTEC 2015: 12. Internationales Symposium "Konditionierung Radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.-27. März 2015 einschließlich 12. Statusbericht des BMBF "Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen", 11 S., Kontec, Hamburg, Poster und Paper.

Literaturverzeichnis

- [1] IEA – International Energy Agency (2014): World Energy Outlook 2014.
- [2] Thierfeldt, Stefan; Schartmann, Frank (2012): Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen. Erfahrungen und Perspektiven. 4. Neu bearbeitete Auflage, Brenk Systemplanung GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.
- [3] PTKA – Projektträger Karlsruhe (2000-2012): Halbjahresberichte der Zuwendungsempfänger, 2000-2013. Online im Internet: URL <http://www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/PTE-S_FB01.pdf> Stand: März 2001, Abfrage am: 26.07.2017; <https://www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/PTE_S-FB23.pdf> Stand: März 2012, Abfrage am: 26.07.2017 sowie <https://www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/PTE_S-FB27.pdf> Stand: April 2014, Abfrage am: 26.07.2017.
- [4] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen (2012): Final Report – EU Decommissioning Funding Methodologies.
- [5] Europäische Kommission (2016): Communication from the commission: Nuclear Illustrative Programme. COM(2016) 177 final. Online im Internet: URL <<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-177-EN-F1-1.PDF>> (Stand: 04.04.2016, Abfrage am: 02.02.2017).
- [6] OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2016): Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants. Nuclear Energy Agency Organisation for economic co-operation and development. NEA No. 7201.
- [7] Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach §7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensverordnung – AtVfV)

- [8] Schultmann, Frank (1998): Kreislaufführung von Baustoffen. Stoffflussbasiertes Projektmanagement für die operative Demontage- und Recyclingplanung von Gebäuden. Berlin: Erich Schmidt (Baurecht und Bautechnik, Bd. 10).
- [9] Volk, Rebekka (2017): Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Produktion und Energie, Band 20.
- [10] Bartels, Jan-Hendrik (2009): Anwendung von Methoden der ressourcenbeschränkten Projektplanung mit multiplen Ausführungsmodi in der betriebswirtschaftlichen Praxis. Rückbauplanung für Kernkraftwerke und Versuchsträgerplanung in Automobilentwicklungsprojekten. Dissertation. Wiesbaden: Gabler.
- [11] OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2012): International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations. NEA No. 7088. Paris: OECD Publishing.
- [12] Reiß, Michael (1995): Projektmanagement. In: Hans Corsten und Michael Reiss (Hg.): Handbuch Unternehmensführung. Konzepte-Instrumente-Schnittstellen. Wiesbaden: Gabler, S. 447–457.
- [13] Frese, Erich; Graumann, Matthias; Theuvsen, Ludwig (2012): Grundlagen der Organisation. Entscheidungsorientiertes Konzept der Organisationsgestaltung. 10. Aufl. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler (Lehrbuch).
- [14] Ó Conchúir, Deasún (2012): Overview of the PMBOK® Guide. Paving the Way for PMP® Certification. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [15] Saynisch, Manfred; Schelle, Heinz; Schub, Adolf (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Operations Research/ Arbeitsgruppe Netzplantechnik und Projektmanagement (1979): Projektmanagement – Konzepte, Verfahren, Anwendungen. München, Wien: Oldenbourg.
- [16] PMI – Project Management Institute (2017): About Standards. Online im Internet: URL <<http://www.pmi.org/PMBOK-Guide-and-Standards/Standards-Overview.aspx>> (Stand: 2017, Abfrage am: 02.02.2017).

- [17] Dülfer, Eberhard (1982): Projekte und Projektmanagement im internationalen Kontext. Eine Einführung. In: Eberhard Dülfer (Hg.): Projektmanagement – international. Stuttgart: Poeschel, S. 1-30.
- [18] Corsten, Hans; Corsten, Hilde; Gössinger, Ralf (2008): Projektmanagement. Einführung. 2. Aufl. München: Oldenbourg (Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre).
- [19] Krauch, Helmut (1970): Die organisierte Forschung. Neuwied: Luchterhand.
- [20] ISO 21500 (2012): Guidance on project management.
- [21] Lechler, Thomas (1997): Erfolgsfaktoren des Projektmanagements. Frankfurt am Main, New York: P. Lang (Entscheidungsunterstützung für ökonomische Probleme, Bd. 15).
- [22] Garel, Gilles (2013): A history of project management models: From pre-models to the standard models. In: Journal of Project Management 31, S. 663-669.
- [23] Grau, Nino (2013): Standards and Excellence in Project Management – In Who Do We Trust? In: Procedia - Social and Behavioral Sciences 74, S. 10–20. 26. IPMA World Congress, Kreta, Griechenland, 2012.
- [24] PMI Project Management Institute (2013) A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide), 5th ed., Project Management Institute, Newtown Square, Pa.
- [25] GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (2012): ISO 21500 "Guidance on Project Management" veröffentlicht. Online im Internet: URL <http://www.gpm-ipma.de/ueber_uns/aktuelles_blog/detail/article/iso-21500-guidance-on-project-management-veroeffentlicht.html> (Stand: 11.09.2012, Abfrage am: 02.02.2017).
- [26] PMI – Project Management Institute (2014): Project management Professional (PMP) Handbook. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- [27] IPMA International Project Management Association (2015): IPMA History. Online im Internet: URL <<http://ipma.ch/about/ipma-history/>> (Stand: 2015, Abfrage am: 02.02.2017).

- [28] IPMA International Project Management Association (2015): About IPMA. Online im Internet: URL <<http://ipma.ch/about/>> (Stand: 2015, Abfrage am: 02.02.2017).
- [29] GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (2017): Über uns. Online im Internet: URL <http://www.gpm-ipma.de/ueber_uns/organisation.html> (Stand: 2017, Abfrage am: 02.02.2017).
- [30] IPMA International Project Management Association (2015) ICB – Individual competence baseline for Project, Programme and Portfolio Management, 4th ed, International Project Management Association (IPMA).
- [31] GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (2009): ICB - IPMA competence baseline Version 3.0 in der Fassung als Deutsche NCB 3.0 – National Competence Baseline. Nürnberg: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement.
- [32] ILX Group (2017): What is PRINCE2? Online im Internet: URL <<http://www.prince2.com/what-is-prince2>> (Stand: 2017, Abfrage am: 02.02.2017).
- [33] AXELOS (2017): About PRINCE2. Online im Internet: URL <<http://www.prince-officialsite.com/AboutPRINCE2/AboutPRINCE2.aspx>> (Stand: 2017, Abfrage am: 02.02.2017).
- [34] OGC – Office of Government Commerce (2009): Managing Successful Projects with PRINCE2. 5. Auflage. Norwich: TSO.
- [35] OGC – Office of Government Commerce (2009): Erfolgreiche Projekte managen mit PRINCE2. 5. Auflage. Norwich: TSO.
- [36] Domschke, Wolfgang; Drexl, Andreas (2007): Einführung in Operations Research. Mit 63 Tabellen. 7., überarb. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- [37] IAEA – International Atomic Energy Agency (2011): Selection and Use of Performance Indicators in Decommissioning. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.1.
- [38] Drews, Günter/ Hillebrand, Norbert/ Dr. Kärner, Martin/ Peipe, Sabine/ Rohrschneider, Uwe (2014): Praxishandbuch Projektmanagement, 1. Auflage, Freiburg, München: Haufe.

- [39] Neumann, Klaus; Schwindt, Christoph (1999): Project scheduling with inventory constraints. Report WIOR-572, Technical Report der Universität Karlsruhe.
- [40] Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K.; Pesch, E. (1999): Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models and methods. In: *European Journal of Operational Research* (112), S. 3–41.
- [41] Hartmann, Sönke; Briskorn, Dirk (2010): A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. In: *European Journal of Operational Research* 207 (1), S. 1–14. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.11.005.
- [42] Herroelen, Willy; Leus, Roel (2004): Robust and reactive project scheduling: a review and classification of procedures. In: *International Journal of Production Research* 42 (8), S. 1599–1620.
- [43] Schwindt, Christoph; Zimmermann, Jürgen (Hg.) (2015): *Handbook on project management and scheduling* Vol. 1.

Anhang

A. Projektmanagement- prozesse nach DIN 69901-2:2009

	Initialisierung	Definition	Planung	Steuerung	Abschluss
1. Ablauf und Termine		D.1.1 Meilensteine definieren	P.1.1 Vorgänge planen P.1.2 Terminplan erstellen P.1.3 Projektplan erstellen	S.1.1 Vorgänge anstoßen S.1.2 Termine steuern	
2. Änderungen			P.2.1 Umgang mit Änderungen planen	S.2.1 Änderungen steuern	
3. Information/ Kommunikation/ Dokumentation	I.3.1 Freigabe erteilen	D.3.1 Information, Kommunikation und Berichtswesen festlegen D.3.2 Projektmarketing definieren D.3.3 Freigabe erteilen	P.3.1 Information, Kommunikation, Berichtswesen und Dokumentation planen P.3.2 Freigabe erteilen	S.3.1 Information, Kommunikation, Berichtswesen und Dokumentation steuern S.3.2 Abnahme erteilen	A.3.1 Projektabschlussbericht erstellen A.3.2 Projektdokumentation archivieren
4. Kosten und Finanzen		D.4.1 Aufwände grob schätzen	P.4.1 Kosten- und Finanzmittelplan erstellen	S.4.1 Kosten und Finanzmittel steuern	A.4.1 Nachkalkulation erstellen
5. Organisation	I.5.1 Zuständigkeit klären I.5.2 PM-Prozesse auswählen	D.5.1 Projekt-kern-team bilden	P.5.1 Projektorgani-sation planen	S.5.1 Kick-off durchführen S.5.2 Projektteam bilden S.5.3 Projektteam entwickeln	A.5.1 Abschluss-besprechung durchführen A.5.2 Leistungen würdigen A.5.3 Projektorgani-sation auflösen
6. Qualität		D.6.1 Erfolgskriterien definieren	P.6.1 Qualität-sicherung planen	S.6.1 Qualität sichern	A.6.1 Projekt-erfahrungen sichern
7. Ressourcen			P.7.1 Ressourcen-plan erstellen	S.7.1 Ressourcen steuern	A.7.1 Ressourcen rückführen
8. Risiko		D.8.1 Umgang mit Risiken festlegen D.8.2 Projektfeld/ Stakeholder analysieren D.8.3 Machbarkeit bewerten	P.8.1 Risiken analysieren P.8.2 Gegenmaß-nahmen zu Risiken planen	S.8.1 Risiken steuern	
9. Projektstruktur		D.9.1 Grobstruktur erstellen	P.9.1 Projekt-strukturplan erstellen P.9.2 Arbeitspakete beschreiben P.9.3 Vorgänge beschreiben		
10. Verträge und Nachforderungen		D.10.1 Umgang mit Verträgen definieren D.10.2 Vertragsinhalte mit Kunden festlegen	P.10.1 Vertragsinhalte mit Lieferanten festlegen	S.10.1 Verträge mit Kunden und Lieferanten abwickeln S.10.2 Nachforderungen steuern	A.10.1 Verträge beenden
11. Ziele	I.11.1 Ziele skizzieren	D.11.1 Ziele definieren D.11.2 Projektinhalte abgrenzen		S.11.1 Zielerreichung steuern	

B. Projektmanagement- prozesse nach ISO 21500:2012

Themengruppen	Prozessgruppen				
	Initiierung	Planung	Umsetzung	Controlling	Abschluss
Integration	4.3.2 Erstellen des Projektauftrags	4.3.3 Erstellen der Projektpläne	4.3.4 Koordinieren der Projektarbeiten	4.3.5 Controlling der Projektarbeiten 4.3.6 Controlling von Änderungen	4.3.7 Abschließen von Projektphasen oder des Projekts 4.3.8 Sammeln der Lessons Learned
Stakeholder	4.3.9 Ermitteln der Stakeholder		4.3.10 Stakeholdermanagement		
Inhalte		4.3.11 Definieren des Leistungsumfangs 4.3.12 Erstellen des Projektstrukturplans 4.3.13 Definieren der Arbeitspakete		4.3.14 Leistungscontrolling	
Ressourcen	4.3.15 Zusammenstellen des Projektteams	4.3.16 Schätzen des Ressourcenbedarfs 4.3.17 Festlegen der Projektorganisation	4.3.18 Weiterentwickeln des Projektteams	4.3.19 Controlling der Ressourcen 4.3.20 Management des Projektteams	
Termine		4.3.21 Festlegen der Abfolge von Arbeitspaketen und Aktivitäten 4.3.22 Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen und Aktivitäten 4.3.23 Erstellen des Terminplans		4.3.24 Termincontrolling	
Kosten		4.3.25 Schätzen der Kosten 4.3.26 Erstellen des Projektbudgets		4.3.27 Kostencontrolling	
Risiko		4.3.28 Ermitteln der Risiken 4.3.29 Risikobewertung	4.3.30 Risikobehandlung	4.3.31 Risikocontrolling	
Qualität		4.3.32 Qualitätsplanung	4.3.33 Qualitätssicherung	4.3.34 Qualitätskontrolle	
Beschaffung		4.3.35 Planen der Beschaffung	4.3.36 Auswählen von Lieferanten	4.3.37 Steuern der Beschaffungen	
Kommunikation		4.3.38 Planen der Kommunikation	4.3.39 Bereitstellen von Informationen	4.3.40 Kommunikationsmanagement	
ANMERKUNG Es ist nicht der Zweck dieser Tabelle, eine zeitliche Abfolge der Vorgänge festzulegen. Ihr Zweck ist es, Themen- und Prozessgruppen abzubilden.					

C. Project Management Process Group nach dem PMBOK-Guide

Knowledge Areas	Project Management Process Groups				
	Initiating Process Group	Planning Process Group	Executing Process Group	Monitoring and Controlling Process Group	Closing Process Group
4. Project Integration Management	4.1 Develop Project Charter	4.2 Develop Project Management Plan	4.3 Direct and Manage Project Work	4.4 Monitor and Control Project Work 4.5 Perform Integrated Change Control	4.6 Close Project or Phase
5. Project Scope Management		5.1 Plan Scope Management 5.2 Collect Requirements 5.3 Define Scope 5.4 Create WBS		5.5 Validate Scope 5.6 Control Scope	
6. Project Time Management		6.1 Plan Schedule Management 6.2 Define Activities 6.3 Sequence Activities 6.4 Estimate Activity Resources 6.5 Estimate Activity Durations 6.6 Develop Schedule		6.7 Control Schedule	
7. Project Cost Management		7.1 Plan Cost Management 7.2 Estimate Costs 7.3 Determine Budget		7.4 Control Costs	
8. Project Quality Management		8.1 Plan Quality Management	8.2 Perform Quality Assurance	8.3 Control Quality	
9. Project Human Resource Management		9.1 Plan Human Resource Management	9.2 Acquire Project Team 9.3 Develop Project Team 9.4 Manage Project Team		
10. Project Communications Management		10.1 Plan Communications Management	10.2 Manage Communications	10.3 Control Communications	
11. Project Risk Management		11.1 Plan Risk Management 11.2 Identify Risks 11.3 Perform Qualitative Risk Analysis 11.4 Perform Quantitative Risk Analysis 11.5 Plan Risk Responses		11.6 Control Risks	
12. Project Procurement Management		12.1 Plan Procurement Management	12.2 Conduct Procurements	12.3 Control Procurements	12.4 Close Procurements
13. Project Stakeholder Management	13.1 Identify Stakeholders	13.2 Plan Stakeholder Management	13.3 Manage Stakeholder Engagement	13.4 Control Stakeholder Engagement	

D. Auflistung von Projektmanagementmethoden der Projektmanagement-Standards

Eignung für	Projektplanung (Grober Inhalt und Vorgang im Projekt)	Scope Management	Create WBS	Termin-/ Ablaufplanung	Kostenmanagement	Ressourcen- management	Risikomanagement
Methode							
Experten- Meinungen	X	X	X	X	X	X	X
Meeting	X	X		X	X	X	X
Project Management Information System	X						
Brainstorming	X						
Analytische Techniken: Regressionsanalyse, Kausalanalyse, Gruppierung, Simulation, Trendanalyse, Variationsanalyse, FMEA: Failure Mode and effect analysis, FTA: Fault tree analysis, Tools	X			X	X		X
Interviews		X					
Fokusgruppen, z.B. mit qualifizierten Stakeholdern		X					
Gruppen- Kreativitäts- Techniken: Brainstorming, Mind Mapping		X					

D Auflistung von Projektmanagementmethoden der Projektmanagement-Standards

Gruppen-Entscheidungs-Methoden. Delphi-Methode, Mehrheitsentscheidungen etc.		X					
Fragebogen und Umfragen		X					
Beobachtung		X					
Prototypen		X					
Benchmarking		X					
Kontextdiagramme		X					
Dokumenten-Analyse		X					
Produktanalyse		X					
Alternativen-Generierung		X		X			
Dekomposition			X	X			
Inspektion: Mischen, untersuchen, validieren							
Variationsanalyse		X					
Pufferplanung				X			
3 Punkt Schätzung: Best-, Worst-, Most Likely Case				X	X		
CPM				X			
CCM				X			
PERT				X			
MPM							
GERT				X			
RCPSP				X			
Simulation				X			
Gantt				X			
Analogien					X		
Bottom-up-Schätzung					X		
Historische Daten					X		
Kennzahlen für Controlling					X		
Networking						X	
SWOT							X
Make-or-buy-Analyse						X	
Marktanalyse						X	

E. Kennzahlenbaum

Kennzahlen zur Bewertung des Gesamtprojekts

Hierarchieebene 0	Kennzahlen zur Performance des Gesamtprojekts
Hierarchieebene 1	Kennzahlen zur Performance bzgl. des Projekt-Ergebnisses Kennzahlen zur Performance der Finanzen Kennzahlen zur Performance der Gesundheit und Sicherheit Kennzahlen zur Performance der Umwelteinwirkungen Kennzahlen zur sozioökonomischen Performance

Kennzahlen zur Performance bzgl. des Projekt-Ergebnisses

Hierarchieebene 1: Kennzahlen zur Performance bzgl. des Projekt-Ergebnisses		
Hierarchieebene 2	Hierarchieebene 3	Hierarchieebene 4
Kennzahlen zur Performance der Planerreicherung	Kennzahlen zur Performance der Ablaufplanung	Erreichung der Meilensteine
		Geschätzter Termin des Projektabschlusses
		Möglichkeit der erneuten Nutzung von Anlagenteilen
	Kennzahlen zur Performance des Projektrückstands	Zeitliche Plan-Ist-Abweichung
		Anzahl überfälliger Tätigkeiten
	Kennzahlen zur Performance der Qualität	Aufkommen der Nacharbeit
Kennzahlen zur Performance des Projektfortschritts	Kennzahlen zur geleisteten Arbeit nach Gebieten	Planerreichungsgrad: Brennstäbe im Abklingbecken/ abtransportiert
		Planerreichungsgrad: produzierte Abfall
		Menge des Abfalls, der gelagert, aufbereitet und entsorgt wurde
		Fortschritt der Dekontamination der Anlage/ Anlagenteilen
		Fortschritt der Demontage der Anlage/ Anlagenteilen
		Saniertes Gebiet [%]
	Reduktion verseuchter Anlagenteile	% der Anlagenteile, die noch verseucht sind

Kennzahlen zur Performance des Risikomanagements	Einschränkungen des Ablaufplans	Anzahl Vorgänge mit langer Vorlaufzeit
		Anzahl Elemente des kritischen Pfads
	Quantitatives Risikomanagement	Schätzung technischer und finanzieller Unsicherheiten
		Unsicherheits-Level
	Risiken der Stakeholder	Schätzung der Zufriedenheit der Stakeholder
	Regulatorische Risiken	Lizenzen/Zustimmungen ausstehend [% zu allen benötigten]
Vertragsrisiken	Menge an Ausstattungen und Ressourcen, die von externen Organisationen bereit gestellt werden	
Kennzahlen zur Performance der Arbeitskräfte	Arbeitskräfte	Anzahl Arbeitskräfte (Vollzeit-Äquivalent)
		% Unterauftragnehmer
		Benötigte Fertigkeiten/berufliche Anforderungen
	Kompetenz	% definierter Rollen und Zuständigkeiten
		Benötigtes Training/Weiterbildung
		% besuchter/veranstalteter Weiterbildungen

Kennzahlen zur Performance der Finanzen

Hierarchieebene 1: Kennzahlen zur Performance der Finanzen		
Hierarchieebene 2	Hierarchieebene 3	Hierarchieebene 4
Haftung des Fonds-Managements	Eignung des Fonds	% der Projektkosten, die durch den Fonds beglichen werden
		% der Mittel des Fonds für den Rückbau genutzt
	Plan-Ist-Vergleich herabgesetzter Haftung	
	Risikomanagement des Fonds	% des verbleibenden Kontingents
Finanzmanagement des Projekts	Budget-Übereinstimmung	Plan-Ist-Vergleich der Ausgaben
		Rate der Ausgaben im Rest des Jahres
		% der Inanspruchnahme der Risikogelder
	Angemessenheit des Budgets	Zukünftige Budgetausgaben vs. Geplante Ausgaben
		Getätigte Rückstellungen/Einsparungen
		Generiertes Einkommen
		Finanzierungskosten
	Kostenverursacher	Aggregierte Aufstellung eines Plan-Ist-Vergleichs jedes Bereichs (Abfall, Rückbau, Arbeitskräfte etc.)
Wirtschaftlichkeit	Anreize innerhalb des Projekts	Zielerreichung
	Anreize für Subunternehmer	Zielerreichung

Wertmanagement	Generierter Wert	
	Cost Performance Index	
		Schedule Performance Index
		Wert/ Kosten bei Projektabschluss

Kennzahlen zur Performance der Gesundheit und Sicherheit

Hierarchieebene 1: Kennzahlen zur Performance der Gesundheit und Sicherheit		
Hierarchieebene 2	Hierarchieebene 3	Hierarchieebene 4
Sicherheit und Gesundheit bei Rückbautätigkeit	Reduktion von Gefahrenstoffen	Sicherheit und Umweltschädigungen
		Plan-Ist-Vergleich der Reduktion von Gefahrenstoffen
	Zwischenfälle	Anzahl dokumentierter nuklearer und radiologischer Zwischenfälle
		Anzahl gemeldeter nuklearer und radiologischer Zwischenfälle
		Technische Qualität/ Bedeutung der Zwischenfälle und betroffene Vorgänge
		Durchgeführte Unfalluntersuchung
		INES Events
Anzahl Feuerwehreinsätze		

	Zustand der Anlage	Anzahl Sicherheitsdefekte, die nicht innerhalb der Behebungszeit (24 Stunden) in einem Monat
		Gesamtanzahl von Anlagen-defekten
		Anzahl durchgeführter Reparaturen für das Sicherheitssystem
		Anzahl physisch nicht begonnener Modifikationen, die mindestens seit 12 Monaten eine Erlaubnis besaßen
		Anzahl physisch nicht abgeschlossener Modifikationen, die mindestens seit 12 Monaten physisch beendet wurden
	Herausforderungen der Sicherheitssysteme	Anzahl der Verletzung von Bedingungen und Grenzwerten, die für die Sicherheit erforderlich sind
		Anzahl an Feueeralarmen
	Sicherheitssysteme	Anzahl an Sicherheitssystemen, die außer Betrieb sind
		Anzahl an Fehlern im Sicherheitssystem
		% der Verfügbarkeit der Sicherheitssysteme
		Aufgedeckte und unerkannte Fehler des Sicherheitssystems
		Ausführungsfehler des Sicherheitssystems
		Kühlwassersystem

	Notfallvorkehrungen	% der angemessenen Notfallübungen, die im aktuellen Jahr durchgeführt wurden
		Erkenntnisse während der Notfallübungen
		Performance der Notfallübungen (Probleme oder problemlose Durchführung)
		Einschätzung der Notfallorganisation zu Notfallübungen
		Zuverlässigkeit der Alarmfunktion
	Radiologischer Schutz der Öffentlichkeit	Maximale Strahlungsdosis an der Grundstücksgrenze der Anlage
		% des erlaubten Limits an Strahlung
		Durchschnittliche Strahlungsdosis an der Grundstücksgrenze der Anlage
		Technologien zur Überprüfung austretender radiologischer Stoffe
	Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter	Konventionelle Gesundheits- und Sicherheitsmaßnahmen
Gesamtanzahl meldungspflichtiger Zwischenfälle		
Zeit seit letztem Unfall, der zu Verzögerungen geführt hat		
Radiologischer Schutz der Mitarbeiter		Gesamtdosis vs. geplante Dosis
		Durchschnittliche Dosisbelastung

		Maximale individuelle Dosisbelastung
		Anzahl an Zwischenfällen mit Kontaminierung
		Anzahl an Zwischenfällen mit innerer Kontamination
		Resultierende Dosis in % nach dem ALARA Budget
		Effektivität der beruflichen radiologischen Überwachung
Sicherheitskultur	Einstellung zur Sicherheit	Anzahl nichteingehaltener Sicherheitsbestimmungen
		% überfälliger Korrekturmaßnahmen
		% abgelehnter Kontrollen/Überwachung der Arbeitstätigkeit
		% der Zwischenfälle, die auf menschliches Versagen zurückzuführen sind
		% der Zwischenfälle, die auf mangelndes Training zurückzuführen sind
		Anzahl aktueller Verbesserungsmaßnahmen
		Anzahl aufgedeckter Fehler im Konfigurationsmanagement
		% vakanter Kernkompetenzen
		Bemühungen für Verbesserungen

		Anzahl unabhängiger interner Sicherheits- und Qualitätsinspektionen
		Anzahl an Entdeckungen durch die Sicherheits- und Qualitätsinspektionen
		Durchschnittliche Zeit, bis die Entdeckungen der Sicherheits- und Qualitätsinspektionen geklärt werden
		Anzahl ähnlicher oder wiederholter Abweichungen und Fehler
	Führungsstil und Management	% beauftragter Manager für Sicherheit
		Anzahl noch zu begutachtende Fälle
Sicherheit	Physischer Schutz	

Kennzahlen zur Performance der Umwelteinwirkungen

Hierarchieebene 1: Kennzahlen zur Performance der Umwelteinwirkungen		
Hierarchieebene 2	Hierarchieebene 3	Hierarchieebene 4
Umweltmanagement	Einführung eines Umweltplans	Anzahl erreichter Ziele [%]
		Erhaltene Zustimmung
Abfall- und Materialmanagement	Zwischenfälle	Verschmutzung: Anzahl Zwischenfälle der Kategorie 1 und 2 pro Jahr
		Verletzen von Genehmigungen: Anzahl Verletzungen von Genehmigungen der Kategorie 1 und 2 pro Jahr

	Radioaktivität	Beseitigung von Material (in Tonnen und % der zerlegten Teile)
		Erzeugter Abfall, der freigegeben werden muss (% und Tonnen der zerlegten Teile)
		% mittel-radioaktiver Abfall, der nach den Vorgaben der Genehmigungsbehörde verpackt und konditioniert wurde
	Nicht-radioaktives Material	Beseitigung von Material (in Tonnen und % der zerlegten Teile)
		Erzeugter Abfall, der freigegeben werden muss (% und Tonnen der zerlegten Teile)
		Giftmüll (Tonnen und % der gesamten zerlegten Teile)
Emissionsmanagement	Radioaktivität	Luftemissionen (Bq und % der Grenzwerte)
		Flüssige Emissionen (Bq und % der Grenzwerte)
		Jährliche flüssige Emission von Alpha-Strahlern (Bq und % der Grenzwerte)
		Jährliche flüssige Emission von Beta-Strahlern (Bq und % der Grenzwerte) (außer Tritium)
		Jährliche flüssige Emission von Gamma-Strahlern (Bq und % der Grenzwerte) (außer Tritium)

		Jährliche flüssige Emission von Tritium (Bq und % der Grenzwerte)
		Jährliche Emission von Technetium-99 bei der Wiederaufbereitung (Bq und % der Grenzwerte)
		Kritische emittierte Gruppendosis (mSv und % der Grenzwerte)
	Nicht-radioaktives Material	Luftemissionen (Aufkommen und % der Grenzwerte)
		Flüssige Emissionen (Aufkommen und % der Grenzwerte)
		Emission von Nitraten und Nitriten des kontrollierten Wassers (Aufkommen und % der Grenzwerte)
Störungsmanagement	Verbrauch	Gesamtzahl genutzter natürlicher Ressourcen
		Genutzte Elektrizität
		Wasserverbrauch (ohne Kühlwasser)
		Energieverbrauch
		Recyceltes Metall (Tonnen)
		Recyceltes Papier (Tonnen)
	Aktivitäten abhängig	Lärmpegel
		Verkehrsaufkommen
		Stauberzeugung
		Erzeugte Treibhausgase in und außerhalb der Anlage (inkl. Transport)
Ökosystem	Artenvielfalt	

Kennzahlen zur sozioökonomischen Performance

Hierarchieebene 1: Kennzahlen zur sozioökonomischen Performance		
Hierarchieebene 2	Hierarchieebene 3	Hierarchieebene 4
Engagement der Stakeholder	Treffen	% der Anwesenden bei regulären Treffen zur Terminplanung, die Eigentümer sind
		% der Fragen, die im Vergleich zum ersten Treffen gestellt werden
		% geplanter zu ungeplanten Treffen
	Ressourcen	% Personenstunden im Vergleich zum gesamten Management
		Höhe der Zuschüsse für das sozioökonomische Team
		Zuschüsse zur Finanzierung neuer Geschäftsmodelle
		Zuschüsse für Gemeinschaftsprojekte
Lokale Wirtschaft	Einfluss auf die Beschäftigung	% Beschäftigter zu den ursprünglichen Beschäftigten im Leistungsbetrieb
		% Änderung der Beschäftigungsrate im Vergleich zum Projektstart
		Vergleich des Wertes der vertraglichen Ressourcen und der hauseigenen Ressourcen
		% des lokal angestellten Personals
		% Änderungen der Steuereinnahmen der lokalen Gemeinde

Zukünftige Nutzung der Anlage	Nicht-nukleare Nutzung der Anlage/ des Grundstücks	Investitionen neuer Unter- nehmen in die Anlage/ das Grundstück
		Neue Unternehmen, die an dem Ort der früheren Anlage registriert sind
	Nukleare Nutzung der Anlage/ des Grundstücks	Datum des vorgeschlagenen Datums für die erneute Nutzung
		Wert der Anlage/ des Grund- stücks für den neuen Eigen- tümer

F. Liste kritischer Abweichungen des Praxispartners AREVA

AREVA	Zentrale Abweichung (Vergleich mit anderen Praxispartnern?)	Wichtigkeit oder Relevanz der Abweichung?	Ursache der Abweichung?	Mögliche Auswirkungen auf die Qualität der Arbeit?	Mögliche Auswirkungen auf die Arbeit?	Beurteilung	Mögliche Strategien
4.3.7.3 Einbringen von DOK in die DOK als per se DOK Bereitstellung von Informationen/Ergebnissen Dokumentation	Zentrale Abweichung (Vergleich mit anderen Praxispartnern?) +98	Wichtigkeit oder Relevanz der Abweichung? +110000	Ursache der Abweichung? Dokumentation der nicht-geplanten Informationen auf Seite 98 Sonder: Keine	Mögliche Auswirkungen auf die Arbeit? Keine, dh. Auswirkungen in Form von	Beurteilung Qualitätsbeeinträchtigung durch die Bereitstellung von Informationen, die nicht in der DOK vorgesehen sind. Keine Beeinträchtigung der Qualität, sondern nur eine Verunsicherung der Beteiligten.	Mögliche Strategien Keine	
4.3.7.2 Zentralisierung der Verantwortung der Abwärtswirtschaftlichen Zusammenarbeit der	Zentrale Abweichung (Vergleich mit anderen Praxispartnern?) +102	Wichtigkeit oder Relevanz der Abweichung? +760000	Ursache der Abweichung? Dokumentation der nicht-geplanten Informationen auf Seite 98 Sonder: Keine	Mögliche Auswirkungen auf die Arbeit? Keine, dh. Auswirkungen in Form von	Beurteilung Keine Beeinträchtigung der Qualität, sondern nur eine Verunsicherung der Beteiligten.	Mögliche Strategien Keine	
4.3.7.2 Zentralisierung der Verantwortung der Abwärtswirtschaftlichen Zusammenarbeit der	Zentrale Abweichung (Vergleich mit anderen Praxispartnern?) +20000	Wichtigkeit oder Relevanz der Abweichung? +20000	Ursache der Abweichung? Dokumentation der nicht-geplanten Informationen auf Seite 98 Sonder: Keine	Mögliche Auswirkungen auf die Arbeit? Keine, dh. Auswirkungen in Form von	Beurteilung Keine Beeinträchtigung der Qualität, sondern nur eine Verunsicherung der Beteiligten.	Mögliche Strategien Keine	

	Zusätzliche Kosten-/Abweichung (in €)	Zusätzliche oder monetäre Auswirkungen auf das Gesamtprojekt?	Zusätzliche oder monetäre Auswirkungen auf andere Prozessschritte?	Zentrale für die Abweichungen	Mögliche Gründe beim Auftreten der Verzögerung	Bei akzeptierten Abweichungen vorzuziehende Planung vor dem Grundlastbau dieser Prozessschritte	Verhaltensvorschlag für zukünftige Projekte	Bemerkung	Mögliche Szenarien
4.3.7.7 Abbau, Ziegung, Dokumentation untere Container mit Abwille	-72	Zusätzl. keine Kosten, keine	Zusätzl. Prozessschritt wurde wie geplant mit 4.3.7.6. mit 24 AT Verzugschritt, später am 1. AT Einlass des "Hilgenschlepper" (Kü-Bühne) (4.3.8.0) aufgrund Verzögerung im 1. AT. Dort wurde eine Verzögerung von 21 AT erzeugt.	Zielzeit, keine Kosten, keine	Zielzeit, keine Kosten, keine	Keine Änderung der Reihenfolge der Prozessschritte	Übernahme von Erfahrungswerten bezüglich der Ausführungsdauer für die "Verweilzeit der Dauer der Prozessschritte in der Verweilzeit der Dauer der Prozessschritte	Die Kostenabweichung aus dem Abschluss des Prozessschrittes ist auf ca. -50.000 EUR reduziert. Eigentlich M.A.S.S. auf 4.3.7.7 mit 21 AT Verzögerung erzeugt, Verzögerung in 4.3.8.5 Ziehung im Bereich (LUG)	- Variation der Dauern - Abnehmter Ressourcen
4.3.8.1 Transport (MG) auf Auszubehoren im Puffbereich	+148	Zusätzl. keine Kosten, keine, da Verzugs vom Kunden verursacht	Zusätzl. keine Kosten, keine	Verzögerung des nachfolgenden Prozessschrittes 4.3.8.2 um 144 Stunden, keine	Keine, keine Abweichungen in Kauf nehmen	Keine Änderung der Reihenfolge der Prozessschritte, keine Verzögerung	Übernahme Erfahrungswerte bzgl. der Dauer und Kosten Prozessschritte in der Verweilzeit der Dauer berücksichtigen	Übernahme Erfahrungswerte bzgl. der Dauer und Kosten Prozessschritte in der Verweilzeit der Dauer berücksichtigen	
4.3.8.2 Demontage von Befestigungsmaterialien (Gehäusen, Metall)	-72	Zusätzl. keine Kosten, keine	Zusätzl. keine Kosten, keine	Verzögerung aus 4.3.8.1, was vom Kunden verursacht (Vollverzögerung)	Keine, keine	Keine Änderung der Reihenfolge	Übernahme Erfahrungswerte	Übernahme Erfahrungswerte	
4.3.8.3 Trennung der Abwille vom Kernmaterial	0	keine	keine	Abstellen Ziegung der KS-Verzögerung der nachfolgenden Vorgängen	keine	keine	keine	keine	
4.3.8.4 Transport des KMG in den 1002 zur Demontage	+1056	Zusätzl. keine Kosten, keine	Zusätzl. keine Kosten, keine	Abstellen Ziegung der KS-Verzögerung der nachfolgenden Vorgängen	keine	keine	keine	keine	- alternative Rückbauschritte

AREVA		Liste kritischer Abweichungen										KIT Karlsruher Institut für Technologie	
Baureife/Vertrag/Unterabschnitt/Arbeitspaket	Zusätzliche Kosten-/Einsparung/Abschreibungs [0] / [Bau]	Zusätzliche Kosten-/Einsparung/Abschreibungs [0] / [Bau]	Zusätzliche oder monetäre Auswirkungen auf das Gesamtprojekt?	Zusätzliche oder monetäre Auswirkungen auf andere Prozessschritte?	Gültigkeit für die Abweichung(en)	Mögliche Gegenmaßnahmen bei Vermeidung der Verzögerung	Bei aufgetretenen Verzögerungen vorzuziehende Planungsalternativen (Prozessschritte und Ressourcen) und deren Auswirkungen (und nicht die andere) vorzuziehen werden	Voraussetzungen für die Einhaltung der vertraglichen Pflichten	Bemerkung	Mögliche Szenarien			
4.3.2 Verpackung der Umlaufverpackung zum Abtransport oder zur Entsorgung	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine				
4.3.4.1 Ziehen, Zulegen und Versenden der Frischbatterien	-204	-200.000	Zusätzl. der nachfolgende Prozessschritt wurde um 204 Minuten verlängert. Kosten: keine Auswirkungen	keine	- Verzögerung aufgrund überlagerten Prozessschritts der Maschinen reduziert.	keine, d.h. Abweichungen in Kauf nehmen	Keine Änderung der Reihenfolge der Prozessschritte, lediglich eine zeitliche Verzögerung	Übernahme Erfahrungswerte bzgl. der Dauer und Kosten - Verabläßigt die Dauer der Prozessschritte - Erprobung der Dauer hinsichtlich genügend Zeitpuffer		- Probleme mit Ressourceneinsatz (Ressourcen geteilt, alternative Ressource muss verwendet werden)			
4.3.5.3 Ziehen des Durchhockens	+132	+200.000	Zusätzl. keine tief parallel zu anderen Aktivitäten, keine Auswirkungen	keine	- Verzögerung der Maschine nicht relevant, dadurch geringere Zeitgefahrzeit	keine, d.h. Abweichungen in Kauf nehmen	Keine Änderung der Reihenfolge der Prozessschritte, lediglich eine zeitliche Verzögerung	Übernahme Erfahrungswerte bzgl. der Dauer und Kosten - Verabläßigt die Dauer hinsichtlich genügend Zeitpuffer		- Probleme mit Ressourceneinsatz (Ressourcen geteilt, alternative Ressource muss verwendet werden)			
4.3.5.6 Nachkolonisation des Durchhockens	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine					
4.3.3 Ziehung des Abschreibers	-342	-130.000	Zusätzl. der nachfolgende Prozessschritt wurde um 342 Stunden nach vorne verschoben	keine	- Verzögerung aufgrund überlagerten Prozessschritts der Maschinen reduziert.	keine, d.h. Abweichungen in Kauf nehmen	Keine Änderung der Reihenfolge der Prozessschritte, lediglich eine zeitliche Verzögerung	Übernahme Erfahrungswerte bzgl. der Dauer der Prozessschritte in der Verhinderung der Verzögerungen		- Probleme mit Ressourceneinsatz (Ressourcen geteilt, alternative Ressource muss verwendet werden)			
4.3.4 Transport des Dampf/Wasser-Nachkolonisations	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine					
4.3.2.5 Nachkolonisation des Dampf/Wasser-Nachkolonisations	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine					
4.3.2.5 Nachkolonisation des Dampf/Wasser-Nachkolonisations	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine					
4.3.2.5 Nachkolonisation des Dampf/Wasser-Nachkolonisations	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine					
4.3.2.5 Nachkolonisation des Dampf/Wasser-Nachkolonisations	0	0	keine	keine	keine	keine	keine	keine					

G. Liste kritischer Abweichungen des Praxispartners VKTA

Liste kritischer Abweichungen

Betroffener Vorgang/ Unterrepräsentativ Arbeitspaket¹	Zeitliche Abweichung [h]	Kosten- Abweichung [Euro]	Zeitliche oder monetäre Auswirkungen auf das Gesamtprojekt?	Zeitliche oder monetäre Auswirkungen auf andere Prozessschritte?	Gründe für die Abweichung(en)	Mögliche Gegenmaßnahmen beim Auftreten der Verzögerung	Bei Auftreten von Abweichungen vorzuziehende oder in der Reihenfolge der ursprünglichen Planung für zukünftige Projekte und den Grund vorzuziehende Prozessschritte (und nicht andere) vorgesehene wurden	Versarungsanordnungen für zukünftige Projekte	Mögliche Szenarien
3.3.5 Dekontamination der Freizeitanlagen im Helle Zellen	+1.600	+257.500	Zielzeit: 900 h für Deckenabrüche, Einbau von 2000 Mauerwerksteinen, Erweiterung Einhausung FRR-Baukörper, 800 h für Abruch der Hellen Zellen. Zusätzlich: 600 h für Einbau von 2000 Mauerwerksteinen und gleichzeitig durch Wegfall Unterrepräsentativpaket 3.3.4 und Abruch Helle Zellen im Rahmen des Umbaus um 80.000 Euro reduziert.	Zielzeit: Nachfolgende Vorhaben mussten in Summe um 1.000 h nach hinten verschoben werden. Konsequenz: keine Auswirkungen	- Die Dekontamination der Hellen Zellen ersicht der Durchführungen der Hellen Zellen und in den Einbauten nicht zum Abschluss geführt werden.	- Abweichungen in Kauf nehmen; das Entfernen der Aufzüge (3.3.4) ersicht als gesonderter Arbeitspaket und in den Abruch integriert. - Planungsarbeiten wurden frühzeitig in Angriff genommen	- Nicht auf kritischen Pfad liegen. - Puffer einbauen - frühzeitige auffürliche Freigabe der Freigabebereiche für die Gebäuteile oder ggf. gleich Abruch planen	- Umplanung von effektivem Rückbau zum Abruch aufgrund nicht festmessbarer Einbauten	Mögliche Szenarien
5.3.2 Abbau Brandmeldeanlage	+160	+22.000	Zielzeit: 80 h für Schalthebeln ohne Auswirkungen; 40 h Schalthebeln vor Ort, da mehrere Anpassungen; 40 h für die Montage von Brandmeldeanlagen. Konsequenz: keine Auswirkungen Euro gespart	Zielzeit: Nachfolgende Vorhaben mussten in Summe um 40 h nach hinten verschoben werden. Konsequenz: keine Auswirkungen	- Ziele für Schalthebeln ersicht. Beantragungen und Dokumentation in der Sicherheitszentrale wurden. - Abbau in mehreren Teilstritten entsprechend diesen optimierten Demontageabläufe unter Berücksichtigung des Brandschutzes	- keine Änderung der Reihenfolge der Prozessschritte, lediglich eine zeitliche Verzögerung	- Verweilzeit der Dauer der Verlegung der Dauer beschleunigen - nicht auf kritischen Pfad liegen. - Puffer einbauen - detailliertere Planung	- Verweilzeit der Dauer der Verlegung der Dauer beschleunigen, lediglich eine zeitliche Verzögerung	- Verzögerungen/ Beschädigung der Schalthebeln
6.2 Abbau Gebäude			Zielzeit: keine, jedoch muss Abruch unter Stahlverbandsbedingungen erfolgen Konsequenz: keine verlässlichen Daten vorliegend	Zielzeit: keine, da abschließende Schritte, keine verlässlichen Daten vorliegend	- Es war vorgesehen, den Abruch der Gebäude nach vorangehender Freimessung und Freigabe der Bauteile zu planen. Die Vorbereitung der Freigabe zeigen, dass dies nicht möglich ist		- Verweilzeit der Dauer der Verlegung der Dauer beschleunigen - nicht auf kritischen Pfad liegen. - Puffer einbauen - in anderen Projekten sind mehrere bekannt und bei anderen Projekten zu berücksichtigen. - Rückbau Gebäude inkl. Freimessen in die Rückbauplanung integrieren	- Verzögerungen oder Beschädigungen bei der Rückbau der Gebäude	

PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung



ISSN 2194-2404

- Band 1** National Integrated Assessment Modelling zur Bewertung umweltpolitischer Instrumente.
Entwicklung des otello-Modellsystems und dessen Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland. 2012
ISBN 978-3-86644-853-7
- Band 2** Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE). 2013
ISBN 978-3-86644-857-5
- Band 3** Frederik Trippe
Techno-ökonomische Bewertung alternativer Verfahrenskonfigurationen zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL) Kraftstoffen und Chemikalien. 2013
ISBN 978-3-7315-0031-5
- Band 4** Dogan Keles
Uncertainties in energy markets and their consideration in energy storage evaluation. 2013
ISBN 978-3-7315-0046-9
- Band 5** Heidi Ursula Heinrichs
Analyse der langfristigen Auswirkungen von Elektromobilität auf das deutsche Energiesystem im europäischen Energieverbund. 2013
ISBN 978-3-7315-0131-2

- Band 6** Julian Stengel
**Akteursbasierte Simulation der energetischen
Modernisierung des Wohngebäudebestands
in Deutschland.** 2014
ISBN 978-3-7315-0236-4
- Band 7** Sonja Babrowski
**Bedarf und Verteilung elektrischer Tagesspeicher im
zukünftigen deutschen Energiesystem.** 2015
ISBN 978-3-7315-0306-4
- Band 8** Marius Wunder
**Integration neuer Technologien der
Bitumenkalthandhabung in die Versorgungskette.** 2015
ISBN 978-3-7315-0319-4
- Band 9** Felix Teufel
**Speicherbedarf und dessen Auswirkungen auf
die Energiewirtschaft bei Umsetzung der politischen
Ziele zur Energiewende.** 2015
ISBN 978-3-7315-0341-5
- Band 10** D. Keles, L. Renz, A. Bublitz, F. Zimmermann, M. Genoese,
W. Fichtner, H. Höfling, F. Sensfuß, J. Winkler
**Zukunftsfähige Designoptionen für den deutschen
Strommarkt: Ein Vergleich des Energy-only-Marktes
mit Kapazitätsmärkten.** 2016
ISBN 978-3-7315-0453-5
- Band 11** Patrick Breun
**Ein Ansatz zur Bewertung klimapolitischer Instrumente
am Beispiel der Metallerzeugung und -verarbeitung.** 2016
ISBN 978-3-7315-0494-8
- Band 12** P. Ringler, H. Schermeyer, M. Ruppert, M. Hayn,
V. Bertsch, D. Keles, W. Fichtner
**Decentralized Energy Systems,
Market Integration, Optimization.** 2016
ISBN 978-3-7315-0505-1

- Band 13** Marian Hayn
Modellgestützte Analyse neuer Stromtarife für Haushalte unter Berücksichtigung bedarfsorientierter Versorgungssicherheitsniveaus. 2016
ISBN 978-3-7315-0499-3
- Band 14** Frank Schätter
Decision support system for a reactive management of disaster-caused supply chain disturbances. 2016
ISBN 978-3-7315-0530-3
- Band 15** Robert Kunze
Techno-ökonomische Planung energetischer Wohngebäudemodernisierungen: Ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsmodell auf Basis einer vollständigen Finanzplanung. 2016
ISBN 978-3-7315-0531-0
- Band 16** A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann, M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke, S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim
ISA: Immissionsschutz beim Abbruch - Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch. 2017
ISBN 978-3-7315-0534-1
- Band 17** Konrad Zimmer
Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten. 2016
ISBN 978-3-7315-0537-2
- Band 18** Kira Schumacher, Wolf Fichtner and Frank Schultmann (Eds.)
Innovations for sustainable biomass utilisation in the Upper Rhine Region. 2017
ISBN 978-3-7315-0423-8

- Band 19** Sophia Radloff
Modellgestützte Bewertung der Nutzung von Biokohle als Bodenzusatz in der Landwirtschaft. 2017
ISBN 978-3-7315-0559-4
- Band 20** Rebekka Volk
Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty. 2017
ISBN 978-3-7315-0592-1
- Band 21** Erik Merkel
Analyse und Bewertung des Elektrizitätssystems und des Wärmesystems der Wohngebäude in Deutschland. 2017
ISBN 978-3-7315-0636-2
- Band 22** Rebekka Volk (Hrsg.)
Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen beim Rückbau von Infrastruktur und Produkten („ResourceApp“): Schlussbericht des Forschungsvorhabens. 2017
ISBN 978-3-7315-0653-9
- Band 23** Thomas Kaschub
Batteriespeicher in Haushalten unter Berücksichtigung von Photovoltaik, Elektrofahrzeugen und Nachfragesteuerung. 2017
ISBN 978-3-7315-0688-1
- Band 24** Felix Hübner, Rebekka Volk, Oktay Secer, Daniel Kühn, Peter Sahre, Reinhard Knappik, Frank Schultmann, Sascha Gentes, Petra von Both
Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR): Schlussbericht des Forschungsvorhabens. 2018
ISBN 978-3-7315-0762-8



Der vorliegende Schlussbericht fasst die Ergebnisse des BMBF-geförderten Verbundprojekts MogaMaR (Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte) zusammen. Das Forschungsprojekt adressiert die Entwicklung eines ganzheitlichen Projektplanungssystems mit einem integrierten Ansatz für kerntechnische Rückbauprojekte. Hierzu wurden zunächst bestehende Projektmanagement- und Projektplanungssysteme identifiziert und analysiert. Aufgrund des sich hieraus ergebenden Bedarfs eines optimierenden Projektplanungssystems für kerntechnische Rückbauprojekte wurde ein Planungssystem zur Erstellung eines integrierten Muster-Projektstrukturplans erstellt. Mit Hilfe von Projektdaten, die von den Praxispartnern AREVA und VKTA aufbereitet und zur Verfügung gestellt wurden, konnte das entwickelte Planungssystem getestet werden. Zudem wurden zur Reduktion der Planungsunsicherheit mit den verfügbaren Praxisdaten verschiedene Szenarien generiert und entsprechende Rückbaupläne berechnet. Durch eine Analyse dieser Rückbaupläne wurden Verbesserungspotentiale sowie Handlungsempfehlungen für zukünftige kerntechnische Rückbauprojekte abgeleitet.

ISSN 2194-2404
ISBN 978-3-7315-0762-8

