

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Modellierung von Notfallplänen mit Hilfe des Stochastic
Ressource-Constraint Project Scheduling Problem
Formalismus

Verfasserin

Josipa Bagaric

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag. rer. soc. oec.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:
Studienrichtung lt. Studienblatt:
Betreuer / Betreuerin:

A 157
Diplomstudium Internationale Betriebswirtschaft
Univ.-Prof. Dr. Walter Gutjahr

Abstract

In einer realen Welt mit stochastischer Umgebung ist es eine stressige Aufgabe, komplexe und sensible Projekte zu verwalten. Diese Arbeit soll dem Leser die große Komplexität der Projektplanung aus deterministischen und stochastischen Gesichtspunkten erläutern. Forschungen auf dem Gebiet der Zeitplanung von stochastischen Projekten mit beschränkten Ressourcen (in weiterer Folge SRCPSP genannt) sind relativ neu und basieren auf gut recherchierten deterministischen RCPSP Problemen. In den folgenden Kapiteln werden diverse Techniken und Standards der untersten Ebene einer berechnungsbasierten Projektplanung behandelt. Um Projektentscheidungsfindungen zu vereinfachen und zu verbessern, wurden in den letzten 60 Jahren unterschiedliche Heuristiken und algorithmische Modelle entwickelt. Die Beschäftigungen mit dem standardisierten *Business Continuity Management* (BKM-Plan) und seinen *best-practice* - Ratschlägen tragen dazu bei, eine heuristische SRCPSP Methodik anhand eines realen *disaster-recovery* - Beispiels darzustellen. Zweck der Zeitplanbeispiele ist es, konzeptionelle Ansätze zu zeigen, welche die Verwaltung von Unfall- und Notsituationen, für alle Arten von Businesszweigen oder anderen Krisenmanagementplänen, ermöglichen.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einführung.....	1
2. Deterministische und stochastische Projektzeitpläne.....	3
2.1 RCPSP.....	5
2.1.1 Konzeptionelles Entscheidungsmodell	6
2.1.2 Serielle und parallele SGS.....	7
2.1.3 Heuristische und Metaheuristische Methoden und Grundsätze	10
2.2 Darstellungsnormen	12
2.2.1 AL Darstellung	12
2.2.2 Random Key Darstellung	13
2.2.3 Darstellung des Zeitplans	13
2.2.4 Prioritätsregelbasierte Darstellung	15
2.2.5 <i>Shift vector</i> Darstellung	16
2.3 PERT Netzplantechnik	17
2.4 SRCPSP.....	18
2.4.1 Strukturelle und nicht-strukturelle stochastische Zufallsinstanzen.....	20
2.4.2 Definition der stochastischen Strategie	22
2.4.3 Prioritätsstrategie.....	25
2.4.4 ES Strategie	26
2.4.5 Vorwahlstrategien	27
2.4.6 Lineare Vorwahlstrategien	29
2.4.7 Aktivitätsbasierte Strategien	30
2.4.8 Proaktive Strategien	30
3. Betriebskontinuitätsmanagement (BKM)	31
3.1 Aktivierung der Programme.....	32
3.2 Aktivierung der Projekte	32
3.3 Risikoanalyse	33
3.3.1 Risikominderungsstrategien	34
3.4 Monitoring und Kontrolle	35
3.5 Implementierung	35

3.6	Testphase und anhaltende Ausbildungsinitiativen	35
3.7	Review Phase	36
4.	<i>Disaster recovery</i> Zeitpläne	37
4.1	Anfangsaufstellung.....	38
4.1.1	Beschreibung des stochastischen Modells	39
4.1.2	Ressourcenverfügbarkeit.....	40
4.1.3	Ressourcen der offiziellen staatlichen Dienststellen.....	42
4.1.4	Ressourcenliste.....	42
4.1.5	Berechnung des Sanitationsverfahrens.....	44
4.1.6	Zeitplan Algorithmus zur Erstellung eines Zeitplans.....	45
4.1.7	Prozessablauf.....	47
4.1.8	Graphische Darstellung des Zeitplans.....	48
4.2	DR-PRC - Problem Klassifizierung	49
4.3	DR-FO (Brandausbruch).....	51
4.3.1	Der Ablauf des Algorithmus (<i>brute force</i>) für den Plan (Kapitel 4.3.3, <i>Abbildung 4.13</i>).....	54
4.3.2	Der Ablauf des Algorithmus (<i>brute force</i>) für den Zeitplan (Kapitel 4.6.2, <i>Abbildung 4.22</i>).....	56
4.3.3	<i>Best case</i> Plan.....	60
4.3.4	<i>Worst case</i> Plan	61
4.4	DR-CH (Chemieunfälle)	62
4.4.1	<i>Best case</i> Plan.....	65
4.4.2	<i>Worst case</i> Plan	66
4.5	DR-BC (Gebäudeeinsturz)	67
4.5.1	<i>Best case</i> Plan.....	69
4.5.2	<i>Worst case</i> Plan	70
4.6	Kombinierte Zeitpläne.....	71
4.6.1	DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.), <i>brute force</i>	72
4.6.2	DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.), <i>brute force</i>	73
4.6.3	DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.), <i>brute force</i>	74
4.6.4	DR-CH(1p.) und DR-BC(2p.), <i>brute force</i>	75
4.6.5	DR-BC(1p.) und DR-CH(2p.), <i>brute force</i>	76
4.6.6	DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), <i>brute force</i>	77
4.6.7	DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), <i>smart</i>	78

4.6.8	DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), <i>brute force</i>	79
4.6.9	DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), <i>smart</i>	80
4.6.10	DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), <i>brute force</i>	81
4.6.11	DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), <i>smart</i>	82
4.6.12	Zusammenfassung	83
4.7	Koncar-KET Beispiel	85
4.7.1	Organisatorische Unterschiede.....	85
4.7.2	Beschreibung der Aktivitäten für Koncar-KET	86
4.7.3	Koncar-KET, Szenario #1	89
4.7.4	Koncar-KET, Szenario #2	90
4.7.5	Koncar-KET, Szenario #3	91
4.7.6	Koncar-KET, Szenario #4	92
4.7.7	Zusammenfassung	93
5.	Resümee und Ausblick.....	95
6.	Literatur	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Beispiel RCSPS - graphische Lösung	6
Abbildung 2.2 Der optimale Zeitplan	6
Abbildung 2.3 Beispiel: shift vector	16
Abbildung 2.4 Beispiel: wie das SRCPSP aus dem RCPSP entsteht.....	19
Abbildung 2.5 GERT-Typ mit struktureller Ungewissheit.....	20
Abbildung 2.6 SRCPSP mit nicht-struktureller Ungewissheit.....	21
Abbildung 2.7 Aufbau eines SRCPSPs.....	23
Abbildung 2.8 Beispiel: Prioritätsstrategie	25
Abbildung 2.9 Beispiel: Vorwahlstrategie	27
Abbildung 2.10 Beispiel: lineare Vorwahlstrategie	29
Abbildung 3.1 Verhältnis zwischen BKM und DR.....	31
Abbildung 3.2 Betriebskontinuitätsmanagement	36
Abbildung 4.1 <i>Disaster recovery</i> Test Kombinationen	38
Abbildung 4.2 Organisatorischer Entwurf	38
Abbildung 4.3 Beispiel: Allokation der Ressourcen.....	43
Abbildung 4.4 Beispiel der Sanitationsaktivitäten.....	44
Abbildung 4.5 Diagramm typen.....	47
Abbildung 4.6 Verhältnis der Typen.....	47
Abbildung 4.9 Ressourcen-Koordinaten	48
Abbildung 4.10 Statistiken.....	48
Abbildung 4.7 Zeitplan Beispiel	48
Abbildung 4.8 Graph legend	48
Abbildung 4.11 DR-PRC	49
Abbildung 4.12 DR-FO Diagramm.....	51
Abbildung 4.13 DR-FO <i>best case</i>	60
Abbildung 4.14 DR-FO <i>worst case</i>	61
Abbildung 4.15 DR-CH Diagramm	62
Abbildung 4.16 DR-CH <i>best case</i>	65
Abbildung 4.17 DR-CH <i>worst case</i>	66
Abbildung 4.18 DR-BC Diagramm	67
Abbildung 4.19 DR-BC <i>best case</i>	69
Abbildung 4.20 DR-BC <i>worst case</i>	70
Abbildung 4.21 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.), <i>brute force</i>	72
Abbildung 4.22 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.), <i>brute force</i>	73
Abbildung 4.23 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.), <i>brute force</i>	74
Abbildung 4.24 DR-CH(1p.) und DR-BC(2p.), <i>brute force</i>	75
Abbildung 4.25 DR-BC (1p.) und DR-CH(2p.), <i>brute force</i>	76
Abbildung 4.26 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), <i>brute force</i>	77
Abbildung 4.27 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), <i>smart</i>	78
Abbildung 4.28 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), <i>brute force</i>	79

Abbildung 4.29 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), <i>smart</i>	80
Abbildung 4.30 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), <i>brute force</i>	81
Abbildung 4.31 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), <i>smart</i>	82
Abbildung 4.32 Koncar-KET, Szenario #1	89
Abbildung 4.33 Koncar-KET, Szenario #2	90
Abbildung 4.34 Koncar-KET, Szenario #3	91
Abbildung 4.35 Koncar-KET, Szenario #4	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Serielle SGS	8
Tabelle 2.2	Parallele SGS.....	9
Tabelle 4.1	Ressourcenverfügbarkeit	42
Tabelle 4.2	DR-PRC Aktivitätstabelle	50
Tabelle 4.3	DR-FO Aktivitätentabelle	52
Tabelle 4.4	DR-CH Aktivitätstabelle	63
Tabelle 4.5	DR-BC Aktivitäten -Tabelle	68
Tabelle 4.6	Projektdauer	83
Tabelle 4.7	Koncar-KET DR-PRC Aktivitätstabelle	86
Tabelle 4.8	Koncar-KET DR-FO Aktivitätstabelle.....	86
Tabelle 4.9	Koncar-KET DR-CH Aktivitätstabelle	87
Tabelle 4.10	Koncar-KET DR-BC Aktivitätstabelle	87
Tabelle 4.11	Koncar-KET Ressourcenverfügbarkeit	87
Tabelle 4.12	Koncar-KET Planungsszenario	88
Tabelle 4.13	Koncar-KET #3 Spez.	88
Tabelle 4.14	Koncar-KET #4 Spez.	88
Tabelle 4.15	Koncar-KET Projektdauer.....	93

Abkürzungsverzeichnis

V	- Aktivitätsmenge
E_O	- Geordnete Menge der Präzedenzbedingungen
G_O	- Ordnungsrelationen der Zeitpläne
R_k	- Ressourcenverfügbarkeit
r_{jk}	- Bedarf der Aktivität j an Ressourcentyp k
p_j	- Aktivitätsdauer j
S, s_j	- Vektor der Anfangszeiten; Anfangszeit der Aktivität j
F, f_j	- Vektor der Beendigungszeiten; Beendigungszeit der Aktivität j
EF_j	- Früheste Beendigungszeit
C_g	- Menge der ausgeführten Aktivitäten zu einem Zeitpunkt
A_g	- Menge der laufenden Aktivitäten zu einem Zeitpunkt
D_g	- Menge der wartenden Aktivitäten
Π, π_α	- Menge der stochastischen Strategien; eine stochastische Strategie
λ	- Aktivitätsliste
ρ	- Random Key Darstellung
π	- Prioritätsregel Darstellung
σ	- Schift Vektor Darstellung
$E[p]$	- Vektor der erwarteten Zeitdauern (stochastische Verteilung)
\vec{d}, \vec{p}	- Wahrscheinlichkeitsvektor der stochastischen Aktivitätsdauer
L	- Liste der Prioritätswerte
\mathcal{F}	- Menge der verbotenen Mengen
κ	- Messfunktion der Strategiebewertung
s	- Auswahlliste der vorgewählten Aktivitäten

1. Einführung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem *ressource-constraint project scheduling*, einem Problem mit stochastischer Aktivitätsdauer. In weiterer Folge wird die Bedeutung dieser Begriffe erklärt.

Im alltäglichen Leben denken wir manchmal, dass Reserven unbegrenzt sind. Leider ist das nicht der Fall. In irgendeiner Art und Weise ist in unserer Umwelt alles begrenzt. Sachen, die wir kaufen oder nutzen sind oft limitiert und darum müssen wir überlegen, wie wir die Ressourcen sinnvoll nutzen können. Es wirft sich die Frage auf, wie man mit weniger mehr bekommen kann. Diese Überlegungen finden auf wissenschaftlicher Ebene in unterschiedlichen Gebieten Anwendung. Gute Beispiele dafür sind Produktion und Planung aber auch viele andere, die hier nicht angeführt werden.

Oft können Ressourcen nicht gleichzeitig genutzt werden. Daher soll ein optimaler Weg zur bestmöglichen Bestimmung der Reihenfolge von Aktivitäten gefunden werden. Dies soll einen falschen Beginn verhindern, durch welchen schon im Prozesslauf sehr große Verluste entstehen könnten. Weiters könnte ein falscher Beginn sogar die Beendigung des Prozesses verhindern. Daher ist während der Planung immer daran zu denken, in welchen Mengen auf Ressourcen zugegriffen werden kann.

Ein letzter Punkt, der näher erklärt werden soll, ist die Aktivitätsdauer. Wie viel Zeit wird für jede Aktivität verwendet?

Wenn wir wissen, wie viel Zeit für jede Tätigkeit eingeplant wird, dann haben wir ein deterministisches Problem mit einer deterministischen Aktivitätsdauer. Sonst ist das Problem stochastisch. Weil die Aktivitätsdauer aber nicht bekannt ist und daher als Zufallsvariable modelliert wird, ist der stochastische Fall viel komplizierter. Darum stellt solch eine Aktivitätsplanung eine große Herausforderung dar.

Die Aktivitätsdauer und in Folge die Produktionsspanne, kann sich in jeder Wiederholung deutlich verlängern. Um die stochastische Aktivitätsdauer als Zufallsvariable zu modellieren verwenden wir historische Daten, um von Beginn an an das Problem herangehen zu können. Somit hätte ein Mangel an historischen Daten größere Abweichungen zur Folge.

Besser ersichtlich wird die oben beschriebene vereinfachte Darstellung beispielsweise bei größeren Geschäftsprozessen und dem *Katastrophen-recovery*, wo das menschliche Leben im Mittelpunkt steht. Da alle realweltlichen Probleme ziemlich komplex sind, spiegelt sich die Komplexität des Problems häufig in einer großen Anzahl von Variablen, Aktivitäten und deren Dauer, sowie der Ressourcenverfügbarkeit wider.

In dieser Arbeit werden viele verschiedene Methoden zur Lösung stochastischer Probleme mit begrenzten Ressourcen dargestellt. Diese Verfahren werden im *Katastrophen-recovery* verwendet. Eine sehr breite potentielle Verfahrensanwendung, in allen *Katastrophen-recovery* Situationen, stellt eine große wissenschaftliche Herausforderung dar, die beste Methode zu finden. Nicht geeignete Methoden können zu schlechteren Lösungen führen.

Wir beginnen mit dem Kapitel 2. In diesem wird die deterministische und stochastische Projektplanung beschrieben. In weiterer Folge werden die Grundkonzepte und Ziele erläutert.

Die Existenz von zahlreichen Artikeln über Projektplanung wird genutzt, um Einsicht in diverse Methoden, Heuristiken und Darstellungsnormen zu bekommen.

Der Unterschied zwischen einem RCPSp und SRCPSp ist eine ungewisse Aktivitätsdauer. Um stochastische Aktivitätsdauern darzustellen, werden Wahrscheinlichkeitsverteilungen benutzt. In dieser Arbeit werden nur diskrete, endliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen benutzt und diese Klasse wird sogar noch weiter auf Zwei-Punkt-Verteilungen eingeschränkt, d.h. nur *best case* und *worst case* von Aktivitätsdauern, zusammen mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten, werden geschätzt.

Da das Katastrophen-*recovery* einen Teil des betrieblichen Kontinuitätsmanagements (BKM) darstellt, wird dieses im dritten Kapitel präsentiert, sodass ein Bild des gesamten Prozesses entsteht. Es wird ein Grundmodell für die Organisation der Aktivitäten während einer Katastrophe dargestellt.

Im Kapitel 4 wird ein imaginäres Katastrophen-*recovery*-Modell dargestellt. Dieses Modell basiert auf drei Hauptsituationen: Brandausbruch (DR-FO), Chemieunfälle (DR-CH) und Gebäudeeinsturz (DR-BC). Jede von diesen Situationen wird mit einer Reihe der Aktivitäten dargestellt, die sowohl gemeinsame als auch eigene Ressourcen verwenden.

Ressourcen basieren auf verschiedenen Rollen und auf technischen Mitteln innerhalb einer Organisation oder eines Unternehmens.

Das Ziel des Modells ist es zu zeigen, wie verschiedene Kombinationen der Situationen die Verwendung der Ressourcen und die gesamte Projektdauer, mit stochastischen Aktivitätsdauern, beeinflussen.

Im zweiten Teil des Kapitels 4 wird die Anwendung der fiktiven Modelle auf wirkliche Situationen im Unternehmen Koncar-KET dargestellt. Dargestellte Zeitpläne stellen keine wirklichen Situationen dar, sondern dienen als Beispiel der Steuerung von stochastischen Projekten.

Kapitel 5 beinhaltet einen Rückblick auf die komplette Problematik der Projektplanung mit ungewisser Aktivitätsdauer und die Anwendung dieser Planung in realweltlichen Geschäftsprozessen.

2. Deterministische und stochastische Projektzeitpläne

Für folgenden Absatz zwei wurde die Darstellung aus Stork[1], Kolisch und Hartmann[2][3], O'Connor[4], Möhring und Stork[5] übernommen.

Der Zweck modellunterstützter Techniken zur Zeitplanung von Projekten ist die Minimierung einer gegebenen Zielfunktion durch möglichst effiziente Nutzung jener Ressourcen, die zur Durchführung der Aktivitäten des jeweiligen Projekts erforderlich sind. In der vorliegenden Arbeit wird in der Regel die gesamte Projektdauer (der sogenannte „*makespan*“) als Zielfunktion herangezogen.

Aktivitäten stellen die kleinsten Einheiten im gesamten Projekt dar. Jede Einheit unterliegt einer Rangfolgeeinschränkung, mit deren Hilfe die Ausführung der Aktivitäten gesteuert wird. Die Rangfolgeeinschränkung besagt, dass die Aktivitäten nach bestimmten Regeln verknüpft sein müssen, d.h. der Ablauf der Aktivitäten darf nicht unterbrochen werden.

Der Bedarf an Ressourcen ist ein wesentlicher Punkt bei der Reihenfolge der Aktivitäten. In jedem Teil des Projekts werden nötige Ressourcen verwendet. In vorliegender Arbeit handelt es sich hierbei hauptsächlich um Personalressourcen. Die Ressourcen werden hier als regenerativ angenommen und können für eine andere Aktivität (sobald sie wieder verfügbar sind) genutzt werden. Personalressourcen sind regenerativ, da sie immer wieder verwendet werden können. Im Gegensatz dazu gibt es nicht regenerative Ressourcen, wie zum Beispiel ein Feuerlöscher, der während des Projektes nicht mehr aufgefüllt werden kann. Im vorliegenden Beispiel sind alle Ressourcen regenerativ.

Die jeweilige Aktivitätsdauer kann deterministisch oder stochastisch sein. Wie bereits gesagt, stellen deterministische eine einfache Variante dar, während die stochastischen viel komplizierter sind.

Die notwendigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen können mit Hilfe historischer Daten modelliert werden.

Aufgrund der Aktivitätsdauer unterscheiden wir zwei Arten von Optimierungsproblemen:

- *Resource constraint project scheduling problem* (RCPSP) (Projektplanung mit begrenzten Ressourcen)
- SRCPSP als stochastische Version des RCPSP

In den folgenden Kapiteln wird auch die PERT Netzplantechnik dargestellt. Ein Teil des praktischen Modells in dem Kapitel 4 beinhaltet eine strukturelle Unbestimmtheit, die für die PERT Netzplantechnik charakteristisch ist. Die strukturelle Unbestimmtheit bezieht sich auf einen Teil des imaginären Prozesses in dem es möglich ist, verschiedene Kombinationen der Aktivitäten hineinzuziehen. Obwohl das in der SRCPSP Modellierung nicht üblich ist, wurde nach dieser Art vorgegangen, um ein realistischeres Problem zu bekommen. Konkret geht es um den imaginären Prozess der „*Sanitation*“.

Aus Sicht des Operations Research wurden Projektplanungsprobleme seit den späten 50er Jahren des 20. Jahrhunderts untersucht. Alles begann mit CPM (*deterministic critical path method*) und PERT Problemen (*Program evaluation research task*). Diese zwei Verfahren waren die Basis für spätere Forschungen und für die Entwicklung von GERT Verfahren (*Graphical evolution and review technique*, Moore et al., 1976) , wie auch von deterministischen RCPSP, wobei SCRPSPP erst seit dem Jahr 2002 näher erforscht wird. [6]

2.1 RCPSP

RCPSP ist eine deterministische Projektplanung mit begrenzten Ressourcen. Diese Probleme wurden von mehreren Autoren erforscht und als NP-schwere (*NP Hard*) Probleme klassifiziert. NP-schwere Probleme gehören zu der Klasse der NP Probleme (NP bedeutet nichtdeterministische Polynomialzeit). NP-schwere Probleme sind mindestens so komplex wie die schwierigsten NP Probleme. [3]

Folgende Formulierungen wurden großteils aus Stork[1] übernommen.

In der Folge wird beschrieben, wie RCPSP funktioniert:

Eine bestimmte Anzahl n der Aktivitäten soll abgeschlossen sein. Das Projekt startet in einem Punkt 0 , der durch eine Pseudoaktivität 0 mit Dauer 0 , und endet im Punkt $n+1$, der durch eine Pseudoaktivität $n+1$, ebenfalls mit Dauer 0 , modelliert wird. Die Prioritätsregel wird auf alle Aktivitäten beginnend mit 0 bis $n+1$ angewendet $(i, j) \in E_0$. Diese Regel besagt, dass die Aktivität j nicht starten kann, bevor die Aktivität i abgeschlossen ist. Zur Problemformulierung wird ein teilweise geordneter Graph $G_0 = (V, E_0)$ verwendet.

Bei der Ausführung werden regenerative Ressourcen $k \in K$ verwendet. Die Ressourcenmenge ist während des Prozesses konstant und deterministisch. Für eine Aktivität kann nur eine bestimmte Menge eingesetzt werden $0 \leq r_{jk} \leq R_k$.

Die Bearbeitungszeit von Aktivität j und die erforderlichen Ressourcen werden durch eine reelle nicht-negative Zahl p_j beschrieben. Das gleiche gilt auch für die Beschränkungen r_{jk} . Die Bearbeitung der Aktivitäten kann nicht unterbrochen werden. Im Start und im Endpunkt sind die erforderlichen Ressourcen auf Null gesetzt. [1]

Eine der möglichen Lösungen ist mit einem Vektor S vorgegeben. Dieser Vektor beinhaltet die Anfangszeit jeder Aktivität. Eine zulässige Lösung muss zeitlich und mit den zu Verfügung stehenden Ressourcen durchführbar sein. Zeitliche Zulässigkeit der Lösung bedeutet, dass man auf Präzedenzbedingungen achten muss. Verfügbare Ressourcen bedeuten, dass die Summe aller eingesetzten Ressourcen (in jedem Moment der Ausführung) kleiner-gleich den verfügbaren Ressourcen sein muss.

Eine Lösung ist dann optimal, wenn die Zielfunktion minimiert ist. Mit Hilfe dieser Funktion ist das Ergebnis – entsprechend der Vorberechnung – in reellen Zahlen dargestellt. In der vorliegenden Arbeit wird als Zielfunktion die Projektdauer angenommen (eng. makespan). Außer der Projektdauer wäre es auch möglich, die Gesamtkosten des Projekts zu minimieren. In diesem Fall werden die Kosten der Ausführung bestimmter Aktivitäten betrachtet.

2.1.1 Konzeptionelles Entscheidungsmodell

Um ein konzeptionelles Entscheidungsmodell darstellen zu können, brauchen wir zusätzliche Formeln. Eine potentielle Lösung kann als Vektor der Beendigungszeiten dargestellt werden. Folgende Formulierungen wurden aus Kolisch & Hartmann [2] übernommen.

$(F_1 F_2 F_j \dots F_n)$ wobei F_j eine Summe der Anfangs- und Laufzeiten der Aktivitäten S_j+p_j ist.

- Die Menge der aktiven Aktivitäten zu einem Zeitpunkt t kann als $A(t) = \{j \in V | F_j - p_j \leq t \leq F_j\}$ angegeben werden.
- Die Menge aller Vorgänger E_0 , die vor der Aktivität j beendet sein sollen, bezeichnet man als P_j .

Die Dauer des ganzen Projekts ist gleich der Dauer der letzten Aktivität, deren Minimierung zur Minimierung der gesamten Dauer führt:

$$(2.1.1) \quad \text{Min } F_{n+1}$$

Zudem wird während der Ausführung auf die Präzedenzbedingungen geachtet. Eine Aktivität j kann erst dann starten, wenn alle ihre Vorgänger P_x bereits fertig sind:

$$(2.1.2) \quad F_x \leq F_j - p_j ; j = 1, \dots, n + 1 ; x \in P_j$$

Die Menge der eingesetzten Ressourcen k muss kleiner-gleich der verfügbaren Menge sein. Nur die im Moment erhältliche Menge darf verbraucht werden:

$$(2.1.3) \quad \sum_{j \in A(t)} r_{jk} \leq R_k ; t \geq 0 ; k \in K$$

Eine weitere Entscheidungsvariable besagt, dass jede Beendigungszeit nach dem Startpunkt 0 sein muss:

$$(2.1.4) \quad F_j \geq 0 ; j = 1, \dots, n + 1$$

Im folgenden, erfundenen Beispiel wird eine optimale Lösung mit fünf Aktivitäten dargestellt ($n=5$). Der Prozess hat eine Dauer von acht Perioden. Alle Aktivitäten verwenden eine Art der Ressourcen $|K|=1$. Die Ressourcenverfügbarkeit k ist 4 Einheiten. Nach der Präzedenzbedingung wird Aktivität 1 zuerst ausgeführt. Alle anderen Aktivitäten können parallel laufen. Startpunkt 0 und Endpunkt 6 verbrauchen keine Ressourcen und haben keine Laufzeit. Die Zahlen über den Aktivitäten stellen die Dauer und die benötigten Ressourcen dar (p_j, r_{jk}).

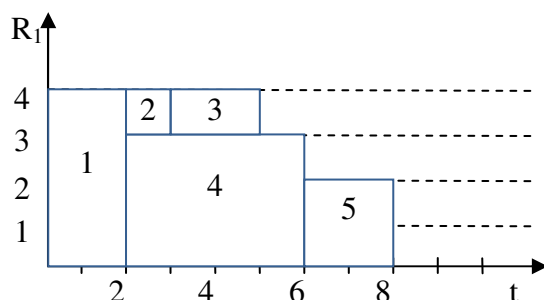


Abbildung 2.2 Der optimale Zeitplan

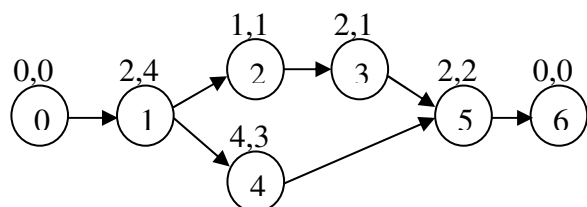


Abbildung 2.1 Beispiel RCSPS - graphische Lösung

2.1.2 Serielle und parallele SGS

Die vorherige Lösung wurde mittels SGS (*schedule generation scheme*) repräsentiert. In der Prozedur, die von Kelley (1963) entwickelt wurde, wird ein Zeitplan schrittweise mit Hilfe vorher kombinierter Zeitpläne als Vorbild für den nächsten noch nicht geplanten Block, abgebildet. In jedem Schritt wird ein Teil des Zeitplans von dem vorherigen Schritt genutzt, um schrittweise einen Plan weiter zu erstellen. Andere Heuristiken wie zum Beispiel prioritätsregelbasierte Heuristiken oder Tabu-Suche Metaheuristik verwenden SGS als Dekodierungsprozedur. Darunter wird verstanden, dass SGS die Daten von anderen Heuristiken verwendet und diese dienen als „Werkzeug“ bei der Abbildung der Pläne. SGS wird weiter unterteilt in parallele (zeitliche) und serielle (Aktivitäten) Typen. Beide Methoden sind sehr wichtig für die numerischen Heuristiken für RCPSP.

Serielle SGS funktioniert in n Schritten. Aktivitäten, die nach der Prioritätsregel angemessen sind, werden hintereinander ausgewählt. Die serielle Prozedur liefert sogenannte aktive Zeitpläne (*active schedules*), wobei wir eine Aktivität nicht ausführen können, bevor eine oder mehrere Aktivitäten verschoben worden sind. In jedem Schritt g mit $g=1, \dots, n$ existieren zwei getrennte Aktivitätsmengen: S_g mit erledigten Aktivitäten und mit jenen D_g die bereit zur Ausführung sind, weil sie im Moment die Präzedenzbedingung erfüllen. Um einen formalen Algorithmus darzustellen, brauchen wir zwei zusätzlichen Mengen: $R'_k(t) = R_k - \sum_{j \in A(t)} r_{j,k}$ – Ressourcenverfügbarkeit zum Zeitpunkt t , und $F'_j = \{F_j \mid j \in S_g\}$ – Beendigungszeiten aller Aktivitäten.

Der Algorithmus nach Kolisch & Hartmann[2] funktioniert wie folgt:

(1) Initialisierung mit künstlichen Aktivitäten: $n=0, F_0 = 0, S_0 = \{0\}$

(2) Für alle Aktivitäten/Schritte $g=1, \dots, n$

(2.1) Finde $D_g, F_g, R'_k(t)$, wobei t die Beendigungszeit der zuletzt geplanten Aktivität von F_g ist.

(2.2) Wähle nächste Aktivität j aus der Menge D_g

(2.3) Berechnung der Beendigungszeit für die Aktivität j , zuerst berechnen wir die frühestmögliche Präzedenzbedingung $EF_j = \max_{x \in P_j} \{F_x\} + p_j$

(2.4) In diesem Schritt wird errechnet, Bezug nehmend auf Ressourcen und weitere Informationen über die Beendigungszeitpunkt der letzten Aktivität, welche Aktivität aufgrund der Präzedenzbedingung den Vorrang hat. Diese Informationen werden mit Hilfe von Rückwärtsrekursion von der oberen Grenze der Projektdauer aus gewonnen:

$F_j = \min\{t \in [EF_j - p_j, LF_j - p_j] \cap F_g \mid r_{j,k} \leq R'_k(t'), k \in K, t' \in [t, t + p_j] \cap F_g\} + p_j$

(2.5) Gib die Aktivität j in die Zeitplan-Menge ein, $S_g = S_{g-1} \cup \{j\}$

(3) Die gesamte Dauer des Projekts ist die Beendigungszeit der letzten Aktivität, $F_{n+1} = \max_{x \in P_{n+1}} \{F_x\}$

Tabelle 2.1 zeigt ein Beispiel einer seriellen SGS Planungsprozedur für alle Lösungen, die in Abbildung 2.1 dargestellt sind.

g	1	2	3	4	5
D_g	{1}	{2,4}	{2,3}	{3}	{5}
j	1	4	2	3	5

Tabelle 2.1 Serielle SGS

Die Zeitpläne für RCPSP werden als Aktivitätenlisten bezeichnet. Diese werden als Präzedenzbedingungslisten $\lambda = \langle j_1, j_2, \dots, j_n \rangle$ beschrieben und besagen, dass eine Aktivität j_x in x^{th} geplant ist. Der oben angeführte Zeitplan kann als leicht veränderter SGS Algorithmus $\lambda = \langle 1, 4, 2, 3, 5 \rangle$ dargestellt werden.

Parallele SGS beschreibt ein iteratives Verfahren mit einer Zeitvariablen t_x , die einen Zeitplan unter Verwendung von abgeschlossenen, aktiven und passenden Aktivitäten zu einem Zeitpunkt darstellt. Die parallele Methode erzeugt Lösungen ohne Verspätung, wobei auch vorausgesuchte Aktivitäten vorher geplant sein können, ohne die Verspätungen anderer Aktivitäten zu verursachen. Zum Iterationszeitpunkt bilden sich nach Kolisch & Hartmann (2000)[2] folgende Mengen:

- Menge der abgeschlossenen Aktivitäten/Ereignisse $C_g = \{j \in V \mid F_j \leq t_g\}$
- Menge der aktiven Aktivitäten/Ereignisse $A_g = \{j \in V \mid F_j - p_j \leq t \leq F_j\}$
- Aktivitäten/Ereignisse, die aufgrund der Präzedenzbedingung auf die Zuteilung warten $D_g = \{j \in V \setminus (C_g \cup A_g) \mid P_j \subseteq C_g \wedge r_{j,k} \leq R'_k(t_g) (k \in K)\}$

Der Algorithmus besteht aus folgenden Schritten: Initialisierung ist die erste Phase, in der der Zeitplan und Mengenelemente gefunden werden. In der zweiten Phase wird eine Aktivitätsuntermenge zu einem Zeitpunkt t_g geplant.

(1) Initialisierung: $g=0, t_g=0, C_0=\{0\}, A_0=\{0\}, R'_k(0)=R_k$, Dummy-Punkt 0 ist initialisiert

(2) Solange $|C_g|+|A_g| \leq n$, alle Aktivitäten abgeschlossen oder geplant sind:

(2.1) Finde $t_g : g=g+1, t_g = \min_{j \in A_g} \{F_j\}$, Aktualisierung der Mengen: $D_g, C_g, A_g, R'_k(t_g)$

(2.2) Aktivitätsuntermenge wird geplant: solange $D_g \neq \emptyset$

(2.2.1) Nimm die Aktivität j von D_g , berechne die Beendigungszeit $F_j=t_g+p_j$

(2.2.2) $D_g, A_g, R'_k(t_g)$

(3) Projektdauer ist die letzte Beendigungszeit: $F_{n+1} = \max_{x \in P_{n+1}} \{F_x\}$

Die Tabelle zeigt, wie das Iterationsverfahren bei paralleler Planung funktioniert. (Abbildung 2.1)

g	1	2	3	4	5	6
t_g	0	2	2	3	5	6
D_g	{1}	{2,3,4,5}	{2,3,5}	{3,5}	{}	{5}
j	1	4	2	3		5

Tabelle 2.2 Parallele SGS

2.1.3 Heuristische und Metaheuristische Methoden und Grundsätze

Folgende Heuristiken wurden grundsätzlich aus Kolisch und Hartmann[2] [3] übernommen.

Priority rule-based heuristics (prioritätsregelbasierte Heuristiken) ist eine Kombination der SGS Prozedur und der Prioritätsauswahl. Es besteht die Möglichkeit, Prioritäten durch verschiedene Faktoren zu bestimmen. Als Beispiel können folgende Faktoren genannt werden: untere und obere Grenzen, Netzwerke, Variablen bezogen auf Zeit und Ressourcen. Die Entscheidung, welche Faktoren man nimmt, hängt einerseits davon ab, ob der *single-pass* oder der *multi-pass*-Ansatz zum Einsatz kommt und andererseits, ob das "Vor/Zurück-" oder das Abtastverfahren angewendet wird. Durch diese Methode können verschiedene Kombinationen erzeugt werden. Nach Ashtiani und Aryanezhad (2008)[8] werden verschiedene Arten der prioritätsregelbasierten Heuristiken sowohl für RCPSP als auch für SRCPSP verwendet.

Bei der *Tabu search metaheuristic* (TS) (Tabu-Suche Metaheuristik) wird die Nachbarschaft der Teillösungen untersucht. Sobald eine Lösung gefunden wird, wird ausgehend von dieser Lösung weitergesucht. Diese Methode wurde von Glover (1989) entwickelt. Ballestin und Leus haben TS und SA mit einer eigenen GRASP Methode auf RCPSP und SRCPSP angewendet. Ihre Anwendungsart hat zu besseren Lösungen geführt. Um eine Wiederholung der Lösungen und Schritte zu vermeiden, wird in jeder Iteration eine Tabu-Liste errichtet. Diese Methode wurde später von mehreren Autoren verbessert, weiterentwickelt und hinsichtlich vieler Probleme angepasst. Für die Lösung der *ressource-constraint*-Probleme kombiniert Klein (2000) die Tabu-Suche mit Hilfe von Aktivitätslisten und seriellen SGS. Beim Tausch eines Elementes in der Nachbarschaft müssen alle Aktivitäten und Prioritätsregeln in Betracht gezogen werden. Thomas und Salhi (1998) verbesserten die Methode durch direkte Manipulation der Zeitpläne mit Hilfe einer selbst erfundenen Reparaturfunktion für alle Lösungen, die aufgebessert werden können. Artigues und al. (2003) entwickelten einen *network insert algorithm* mit dem es möglich ist, bereits gelöschte Aktivitäten wieder in das Netzwerk einzusetzen.[3]

Der *Genetic algorithm* (GA) (Genetischer Algorithmus) wurde von Holland (1975) entwickelt. GA basiert auf vielen Mengen von Anfangslösungen, deren Kombinationen, Mutationen und *crossover*. GA kann an verschiedene Problemarten angepasst werden und ist deswegen wie TS oft für deterministische als auch stochastische Planungsprobleme geeignet. Es wird mit einem initialen Zeitplan gestartet, der mit SGS oder einem anderen Algorithmus erzeugt werden kann. Der Algorithmus kann durch Mutationen oder Verschachtelungen mit anderen Elterngenomen durch *crossover* neue Nachkommen generieren. Der beste Nachkomme wird beibehalten (alle anderen werden verworfen) und weiter als neues Elterngenom benutzt. Eine optimale Lösung muss ähnlich der Zielfunktion sein. Viele Autoren versuchten die Grundidee des Algorithmus zu verbessern, meistens durch Kombination der Aktivitätslistenrepräsentation und paralleler und serieller SGS Generierung. Um eine Entscheidung zu treffen, in welche Richtung (vor/zurück) die Aktivitätsliste geplant werden soll, verwendeten Alcatraz und Moroto (2001) ein zusätzliches Gen. Hartman (2002)

nutzt einen sich selbst anpassenden GA; wieder mit einem zusätzlichen Gen, das serielle und parallele SGS Transformierungen wählt.

Simulated annealing (SA) (Simulierte Abkühlung) wurde von Kirkpatrick et al.(1983) entwickelt und stellt eine Erweiterung des einfacheren *greedy*-Algorithmus dar. Dieser ist bekannt als *first fit* Strategie. Diese Methode wird für die RCPSP und SRCPSP verwendet. SA produziert ausgehend von einer initialen Lösung – kleine Veränderungen induzierend – durch Testen auf Realisierbarkeit und Qualität, neue Lösungen. Wenn eine gute Lösung gefunden ist, werden alle anderen gelöscht. Die Lösung wird akzeptiert, wenn sie variable Parameter, bekannt als Temperatur, befriedigt. Der Parameter „Temperatur“ wird durch Ausführen des Algorithmus immer restriktiver. Aufgrund dessen erhält man in jedem Schritt eine bessere Lösung. [2]

Forward-backward improvements (FBI) (vor/zurück Optimierung) generieren einen Zeitplan mit seriellem oder parallelem SGS. Durch Iteration von *Forward-backward* Methoden wird ein optimaler Projektplan generiert. Danach wird noch einmal von links nach rechts umgeplant. Tormos und Lova (2003) fügten noch eine Möglichkeit ein; und zwar ein zusätzliches *forward-backward pass*. Wie oft es verwendet werden kann, hängt von der Qualität des Zeitplans zu einem Zeitpunkt ab. Die FBI Methode wird ausschließlich auf neuen Zeitplänen angewendet und ist eine Methode, die für RCPSP Probleme verwendet wird. [2][3]

Empirische Forschungen, die ab dem Jahr 2000 durchgeführt worden sind, zeigen, dass die besten Metaheuristiken für größere Instanzen GA und SA sind. Die Ursache liegt darin, dass diese Metaheuristiken die Informationen aus vorherigen Zeitplänen nutzen. Um einen optimalen Zeitplan zu bekommen, soll jene AL Repräsentation ausgewählt werden, die sowohl eine gute Ausführung der Aktivitäten ermöglicht, als auch eine optimale Generierung des Zeitplans bietet.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass es keine eindeutige oder „perfekte“ Metaheuristik für jedes Problem gibt. Es hängt vom Willen des Anwenders ab, wie viel Zeit er bereit ist dafür zu investieren und wie lange der Zeitplan dauern kann. Eine weitere wichtige Rolle spielt die Qualität der Lösung. Ist man bezüglich der Lösung mit mäßiger Qualität zufrieden, dann wird die Suche deutlich erleichtert.

Für die Optimierung ist es von Bedeutung, in welcher Instanz man sich befindet. Befindet man sich in einer großen Instanz, wird mit einer anspruchsvollen Methode optimiert.

2.2 Darstellungsnormen

Mit Hilfe der Repräsentationslisten werden verschiedene *priority rule* - Lösungen dargestellt. Eigentlich handelt es sich hierbei um Ergebnisse der Algorithmen, die an sich unlesbar sind. Sie werden mit sogenannten Dekodierungsverfahren umformiert. Algorithmen verwenden unäre binäre Operatoren, um einen neuen Zeitplan zu erstellen. Aufgrund einer oder mehrerer generierter Zeitpläne werden mit Hilfe unärer und binärer Operatoren neue Zeitpläne erstellt. Abhängig von der Qualität der neuen Zeitpläne werden sie angenommen oder verworfen. Auf diese Weise kommt man durch das Iterationsverfahren zum optimalen Zeitplan der Aktivitäten. Am Beispiel des genetischen Algorithmus wäre ein unärer Operator eine Mutation des bereits existierenden Zeitplans oder ein binäres *crossover* von zwei Zeitplänen. Mögliche Darstellungen sind: AL, *random key representations*, *shift vector* und *schedule scheme representations*.

2.2.1 AL Darstellung

Folgende Darstellungen (2.2.1-2.2.5) sind aus Kolisch & Hartmann[2] übernommen.

AL ist eine Reihung der Aktivitäten nach Präzedenzbedingung, wobei die Aktivitäten aufsteigend sortiert sind: $\lambda = \langle j_1, j_2, j_3, \dots, j_n \rangle$. Der Index bezeichnet die Nummer der Aktivität.

Unäre Operatoren können mittels vieler verschiedener Vorgehensweisen angewandt werden. Alle nutzen manche algorithmische Regeln und arbeiten nur auf einem Zeitplan mit kleinen Änderungen der Aktivitäten. Croce (1995) empfiehlt sogenannte paarweise Operatoren während Baar et al (1997) Schaltoperatoren vorschlagen. Serielles SGS wird zur Dekodierungsprozedur für die Generierung der Zeitpläne genutzt. Figur 2.2 stellt ein Beispiel eines Zeitplans, entworfen durch AL Repräsentation mit: $\lambda = \langle 1, 4, 2, 3, 5 \rangle$ dar.

Der unäre Operator *pairwise-interchange* "der paarweise Austausch" tauscht – wenn es möglich ist – zwei Aktivitäten um: $(j_x, j_y) \mid x, y \in \{1, \dots, n\}, x \neq y$. Im Beispiel 2.2 können die Aktivitäten $x=2$ und $y=5$ einfach umgetauscht werden, um einen neuen Zeitplan zu bekommen. Der neue Zeitplan muss nicht besser sein, er soll nur akzeptabel sein: $\lambda' = \langle 1, 5, 2, 3, 4 \rangle$. In unmittelbarem Zusammenhang steht auch der *adjacent pairwise-interchange* (angrenzender paarweiser Austausch) der zwei aktive Ereignisse umtauscht: $(j_x, j_y) \mid x, y \in \{1, \dots, n\}, x \neq y$ ohne auf die Prioritätsregel zu achten $(j_x, j_{x+1}) \mid x \in \{1, \dots, n-1\}$. Die im λ Zeitplan angrenzenden Aktivitäten $x=3$ können sicher umgetauscht werden: $\lambda'' = \langle 1, 4, 3, 2, 5 \rangle$. [2]

Hartman (1997) empfiehlt die Nutzung der binären Operatoren mit dem GA *crossover* mit zwei Elternteilen der möglichen Lösung: $\lambda^{P1} = \langle j_1^{P1}, \dots, j_n^{P1} \rangle$ und $\lambda^{P2} = \langle j_1^{P2}, \dots, j_n^{P2} \rangle$ durch Kombination des ersten Teils von λ^{P1} mit dem zweiten Teil λ^{P2} . Es ist nachgewiesen, dass der Zeitplan auch ausführbar ist.

Am Anfang der Prozedur wird ein Teilungspunkt (x) der Aktivitäten gewählt. Im nächsten Schritt werden die Aktivitäten des ersten Elternteils komplett in den Nachkommenplan kopiert. Danach werden die Aktivitäten von einem zweiten Elternteil ausgewählt (solange sie nicht bereits im Plan vorhanden sind). Die übrigen Aktivitäten werden durch simultane Suche in beiden Elternteilen in den Nachkommenplan kopiert. [2]

2.2.2 Random Key Darstellung

Diese Darstellung wird in vielen Dekodierungsstrukturen verwendet, wo die Aktivitäten als reelle Zahlen gegeben sind: $\rho = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$. Zwei andere Prozeduren, die ähnliche Form haben, sind das *priority value* (Prioritätswert) und das *problem space* (Problemraum) Verfahren. Die anfänglichen Werte können zufällig ausgewählt werden.

Um die möglichen Lösungen zu generieren, werden als Dekodierungsprozedur serielle und parallele SGS genutzt. Im Prozess werden reelle Zahlen verwendet, um die Prioritäten zu bestimmen und zwar mit dem SGS Generierungsschritt x durch Auswahl "der größten" und "der kleinsten" Aktivität. Die ausschließliche Verwendung von SGS wird mindestens eine optimale Lösung produzieren. Für die parallelen Prozeduren kann das nicht mit Sicherheit gesagt werden.

Das Beispiel 2.2 könnte mit folgender Verteilung beginnen: $\rho = (1.00, 0.30, 0.45, 0.77, 0.80)$. Aufgrund dieser Daten kann das oben beschriebene Beispiel geplant werden.

Unäre Operatoren sind gleich bei der AL Darstellung: der *pairwise-interchange* und der *adjacent pairwise-interchange*. Mit Hilfe zusätzlicher Algorithmen werden neue Aktivitäten zufällig ausgewählt, und zwar aus Gleichverteilung $[r_j - \epsilon * r_j, r_j + \epsilon * r_j]$, wobei ϵ eine Konstante ist.

Binäre Operatoren wie zum Beispiel das GA *crossover* sind etwas unterschiedlicher als jene in AL. Das führt dazu, dass der erste Teil vom Nachkommenplan gleich ist wie der erste Elternteil und der zweite Teil gleich wie der zweite Elternteil, ohne dabei doppelte Aktivitäten abzusuchen. [2]

2.2.3 Darstellung des Zeitplans

Diese Methode wurde von Bruckner (1998) entwickelt und basiert auf vier getrennten Mengen der Relationen (C, D, N, F), welche für den *branch-and-bound* Nachbarschaftsalgorithmus bestimmt sind. Die Relationen sind als Paare von zwei Aktivitäten (i, j) gegeben.

Mengenmitglieder unterliegen folgenden Regeln [2]:

- C (Konjunktion), $i < j$, i muss beenden, bevor j startet
- D (Disjunktion), $i - j$, i und j müssen sich nicht teilweise decken
- N (Parallelität), $i || j$, Aktivitäten müssen sich in mindestens einer Periode decken.
- F (Flexibilität), keine Restriktionen

Jedes Aktivitätspaar muss zu einer der getrennten Mengen gehören, wodurch aber keine optimale Lösung garantiert wird. Dekodierungsheuristiken bieten einen Ausführungsplan, der alle Relationen aus den Mengen C und D und die Mehrheit der Relationen aus der Menge N deckt.[2]

2.2.4 Prioritätsregelbasierte Darstellung

Diese Regel basiert auf einer AL, die nach Prioritätsregeln sortiert ist: $\pi = \langle \pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n \rangle$. Regel π_i ist das Mapping zwischen der aktuellen Aktivität j aus der Menge D_x (zu diesem Zeitpunkt) und dem Wert $v(j)$, dem maximalen und minimalen Wert der nächsten ausgewählten Aktivität. Manche spezielle Regeln dienen zur Lösung der Möglichkeiten bei gleichem Entscheidungswert, wie zum Beispiel die Aktivitäten mit kleinster "Adresse". Die Regeln werden nach der Datenstruktur, mit der gearbeitet und gerechnet wird $v(j)$, klassifiziert: ressourcenbasierte, netzwerkbasierte, zeit- und obere/untere Grenze-basierte. Weitere Unterschiede sind: lokale-globale Regelklassen, bezogen auf den Informationszustand und den Bereich, der mit erhältlichen Daten abgedeckt werden kann. Abhängig von der $v(j)$ Funktion, können die Regeln statisch oder dynamisch sein. Der Unterschied liegt darin, dass im dynamischen Fall die Funktion in jedem Schritt berechnet werden muss.

Die wichtigsten Regeln und Entscheidungsfunktionen nach Kolisch & Hartmann[2] sind:

- i. *Most total successors*: (MTS) mit $v(j) = |\bar{S}_j|$, somit benutzen die meisten Nachfolger die Menge von allen direkten und indirekten Nachfolgern der Aktivität j .
- ii. *Latest finish time*: (LFT) mit $v(j) = LF_j$, somit wählt man die Aktivität mit spätester Beendigungszeit mit Hilfe der Rückwärtsrekursionsmethode.
- iii. *Latest start time*: (LST) späteste Anfangszeit mit $v(j) = LF_j - p_j$
- iv. *Greatest rank positional weight*: (GRPW) mit $v(j) = p_j + \sum_{i \in S_j} p_i$
- v. *Minimal slack*: (MSLK) mit $v(j) = LF_j - EF_j$, hier werden Aktivitäten mit minimaler absoluter Schwundzeit zwischen potentiell frühestmöglichem Start- und spätester Beendigungszeit gewählt.
- vi. *Shortest processing time*: (SPT) berechnet die kürzeste Bearbeitungszeit mit der $v(j) = \min \{p_j\}$ Entscheidungsfunktion.
- vii. *Resource scheduling method*: (RSM) mit $v(j) = \max \{0, t_g + p_j - LST(i, j) \mid (i, j) \in AP_g\}$ wobei AP_g die Menge aus allen Aktivitätspaaren (i, j) aus der Entscheidungsmenge D_g ist. RSM wählt die Aktivität mit geringster Priorität.
- viii. *worst case slack*: (WCS), auf RSM basierte Regel mit $v(j) = LST_j - \max \{E_{(i,j)} \mid (i, j) \in AP_g\}$

Dekodierungsprozeduren, die serielle oder parallele SGS nutzen, werden auf die Liste der Regeln angewandt.

Der unäre Operator funktioniert nach folgender Regel: es wird irgendeine Prioritätsregel aus der Liste ausgewählt und durch zufällige Auswahl mit irgendeiner anderen Prioritätsregel umgetauscht.

Der binäre Operator folgt der gleichen Logik wie die *random key*-Darstellung. Der Nachkomme hat Elemente von beiden Elternteilen, ohne zusätzliche Regeln zu verwenden (wie weitere Absuche oder Duplikatsregeln).

2.2.5 Shift vector Darstellung

Eine mit dem *shift vector* präsentierte Lösung ist eine Menge, die ganzzahlig und nicht negativ ist. Jede Zahl aus der Menge stellt den Zeitausgleich zwischen dem Beendigungspunkt der Aktivität, die nach der Präzedenzbedingung sein Vorgänger ist, und der Anfangszeit dieser Aktivität dar. Aus dem Beispiel unten ist ersichtlich, dass Aktivität 1 im Zeitpunkt 3 endet und Aktivität 2 nach dem *shift vector* erst im Zeitpunkt 5 starten kann (3+2). Diese Darstellung wurde von Weiss (1993) erfunden.

Gleich wie bei einer Dekodierungsprozedur ist die Anfangszeit einer Aktivität mit $S_j = \sigma_j + \max\{S_x + p_x \mid x \in P_j\} \mid j = 1, \dots, n + 1$ gegeben. Da diese Prozedur ressourcenunabhängig ist, produziert der Vektor oft unausführbare Lösungen. Diese Lösungen können mittels einer Zielfunktion kontrolliert werden. Die Bestrafungen helfen dabei, die Gesamtdauer möglichst gering zu halten und die obere Grenze des Zeitplans nicht zu überschreiten. [2]

Mit Hilfe eines *shift vector* $\sigma = (0,2,0,1)$ wäre es möglich, aus der *Abbildung 2.3 (a)* einen Zeitplan (b) zu bekommen.

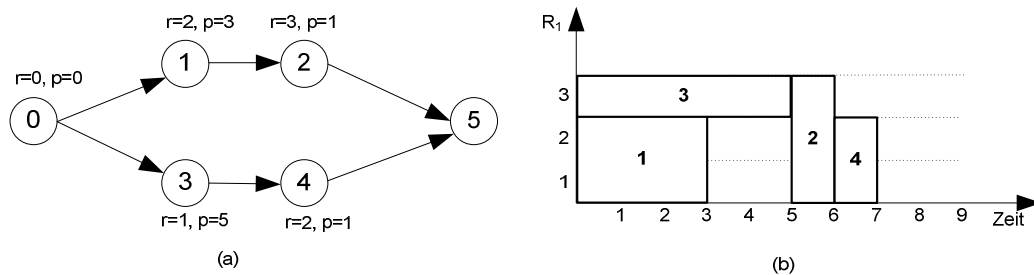


Abbildung 2.3 Beispiel: shift vector

In diesem Fall hat *shift vector* eine zulässige Lösung generiert. Ein Beispiel für eine unzulässige Lösung wäre der folgende Vektor $\sigma = (0,1,0,1)$, weil die Aktivitäten 2 und 3 insgesamt 4 Einheiten der Ressourcen verwenden und die Kapazität nur 3 Einheiten beträgt.

2.3 PERT Netzplantechnik

Die PERT Netzplantechnik wird als Einführung für das Kapitel SRCPSP erklärt. Nach O'Connor [4] und Li & Womer [6] kann eine Lösung durch viele Iterationen des Algorithmus erreicht werden. Es ist wichtig zu erwähnen, dass dies nur auf Probleme mit wenigen Instanzen angewandt werden kann. Ausgenommen von präzisen Methoden kommen andere Methoden zur Berechnung der Verteilung der Bearbeitungszeit aus dem Bereich der Annäherung und der *bounding*-Methodologie. *Bounding*-Methoden können für größere Probleme genutzt werden, während präzise *bounding*-Methoden eher für kleinere Probleme geeignet sind.

Die stochastische oder PERT Netzplantechnik ist dem RCPSP bis auf zwei wichtige Unterschiede ähnlich. Erstens bestehen keine Restriktionen der Ressourcen. Die Aktivität kann starten, sobald ihre Vorgänger (auf Präzedenzbedingungen wird dabei geachtet) fertig sind. Im PERT Domain werden die Aktivitäten mit der Menge der Prioritätsbedingungen bezeichnet und auf einem gerichteten azyklischen Graph dargestellt, wobei die Bögen die Aktivitäten darstellen. Dieser wird formuliert als: $G = (K, B)$, wobei K die Knoten bezeichnet und B die Bögen. Die Menge K kann noch um zwei zusätzliche Knoten erweitert werden: Start- und Endknoten. Die Bögen sind als Paare (i, j) der Aktivitäten formuliert. Dies passiert nach folgendem Grundsatz: "*activity-on-the-node*" (Aktivität am Knoten) bedeutet, dass die Bögen die Prioritätsbedingungen darstellen, d.h. Aktivität i muss abgeschlossen sein, bevor die Aktivität j startet. [4][6]

Zweitens nehmen wir an, dass die Bearbeitungszeit von Aktivitäten p_j stochastisch ist. Mit einem Vektor, der zufällige erwartete Zeitdauern $E[p] = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ beinhaltet, kann man sagen, dass der Vektor mit spezifischer Aktivitätsdauer $p = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ eine deterministische Möglichkeit von sonst zufälliger Zeitverteilung darstellt. [4][6]

Um eine Verteilung der Produktionsspanne stochastischer Netzwerke zu bestimmen, kann der *Simulationsgrundsatz* mittels einer Heuristik mit Hilfe des Vektors $p \in p$ verschiedene Wahrscheinlichkeiten der Zeitverteilung und daraus die Produktionsspanne der einzelnen Punkte im Prozess berechnen. Je mehr Iterationen wir erfassen, desto besser kann eine Verteilung mit analytischen und statistischen Methoden erreicht werden. Diese Methode wurde von Van Slyke (1963), Hartley und Wortham (1966) entwickelt.

2.4 SRCPSP

Das stochastisches *resource-constrained project scheduling* Problem ist eine Kombination von RCPSP und den PERT Netzwerkproblemen. Aktivitäten in SRCPSP sind von begrenzten Ressourcen und Präzedenzbedingungen abhängig. Die Ressourcenverfügbarkeit ist deterministisch und jede Aktivität verbraucht eine zuvor bekannte Menge von einem oder mehreren Ressourcentypen.

Die stochastische Aktivitätsdauer kann auf historischen Daten oder auf Erfahrung basieren. Diese Daten können noch verfeinert und untersucht werden, um ein noch besseres Umfeld zu bekommen. Manche Ereignisse, wie zum Beispiel Katastrophen, können nicht einmal ungefähr vorhergesagt werden. Deshalb müssen diese Daten als Zufallsvariablen modelliert werden.

Die Zielfunktion des SRCPSP ist die Minimierung der erwarteten Projektdauer. Um eine ökonomische Lösung zu bekommen, müssen zusätzliche Faktoren wie zum Beispiel finanzielle Kosten und Bestandskosten berücksichtigt werden. Die Bedeutung dieser für das Projekt ergibt sich aus dem Ressourcenverbrauch, der Projektdurchführung und der Kontrolle.

Die Komplexität des SRCPSP ergibt sich aus der Komplexität unserer Welt, denn ganz unabhängig davon, wie stark wir uns bemühen die Aktivitätsdauern vorher zu schätzen, bleiben sie immer stochastisch. Darin liegt die Wichtigkeit der *operations research*-Forschungen.

Das kann Anhand des Beispiels 2.4 dargestellt werden: Angenommen, wir haben vier Aktivitäten. Die Aktivitäten 1,2 und 4 brauchen eine Ressource von Typ 1, Aktivität 3 braucht 3 Ressourcen von Typ 1. Die Aktivitätsdauer 2,3 und 4 ist deterministisch, Aktivität 1 hat eine stochastische Dauer. In der Abbildung sind die Aktivitäten mit Hilfe der Präzedenzbedingungen verbunden. Es werden die Aktivitäten 0 und 5 hinzugefügt, die die Start- und Endpunkte darstellen (*dummy*).

In der Abbildung (a) ist ein Zeitplan dargestellt, wobei die Aktivitätsdauer 1 eine Zeiteinheit beträgt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass nach der Aktivität 2 die Aktivität 3 und dann Aktivität 4 eingeplant wird. Würden alle Aktivitäten immer gleich bleiben, wäre diese Abbildung ein RCPSP.

In der Abbildung (b) dauert die Aktivität 1 vier Zeiteinheiten. Es ist offensichtlich, dass nach der Aktivität 2 die Aktivität 4 und dann die Aktivität 3 eingeplant wird. Die gesamte Projektdauer wurde von 4 auf 6 Zeiteinheiten verlängert. Im zweiten Fall ergibt sich eine geänderte Reihenfolge der Ausführung der Aktivitäten und die Projektdauer ist nicht proportional zur Verlängerung der Aktivitätsdauer von Aktivität 1. In diesem Beispiel stellen die Abbildungen (a) und (b) eine von möglichen Lösungen eines SRCPSP dar, die jeweils von der Aktivitätsdauer abhängig ist. Aus diesem Grund kann sich die Ausführung des Plans ständig ändern.

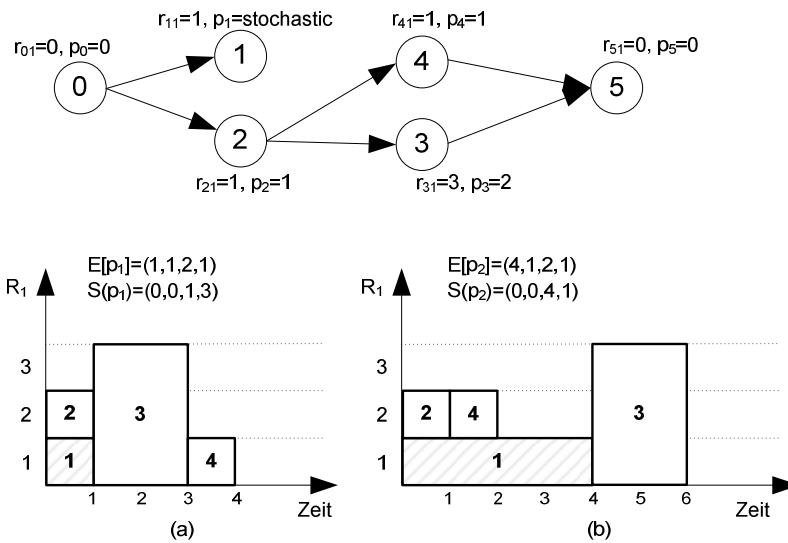


Abbildung 2.4 Beispiel: wie das SRCPSP aus dem RCPSP entsteht

In Zeiten, in denen alles in der Geschäftswelt ständigen Änderungen unterworfen ist, ist es besonders wichtig, einen guten Begriff bezüglich des Unternehmensprozess-Managements zu haben.

Wettbewerb, knappe Ressourcen und schlecht ausgebildete (Mit-) Arbeiter fördern die Notwendigkeit einer gut funktionierenden Verwaltung.

Um hochwertige Pläne mit vielen Aktivitäten zu erstellen, ist die klassische Projektplanung nicht ausreichend.

2.4.1 Strukturelle und nicht-strukturelle stochastische Zufallsinstanzen

Stochastische Probleme können in zwei Probleme unterteilt werden. Diese Probleme werden auf einer abstrakten Ebene modelliert. Der erste Fall sind strukturelle Netzpläne und der zweite Fall ist die ressourcenbegrenzte Zufallsdauer. Beide Modelle werden im Projektmanagement genutzt und stellen den Kern der Netzplanaufstellung dar.

Stochastische Probleme mit struktureller Zufälligkeit sind für Projekte geeignet, bei denen man bis zum Ende des Projekts den Netzplan nicht kennt. Aktivitäten müssen nicht in die Ausführung mit einbezogen werden. Ob sie in die Ausführung mit einbezogen werden, hängt von der vorherigen Aktivität und deren Ergebnis ab. Solche Projekte nennt man GERT (*graphical evaluation and review technique*)-Projekte. Auch stochastische Dauern und Ressourcenverwendung können in das Modell inkludiert werden. Das wichtigste kommt erst zum Schluss, wenn die Struktur aufgebaut und die Instanz bereits abgeschlossen ist. Aus *Abbildung 2.5* ist ersichtlich, dass manche Aktivitäten mit Sicherheit in den Zeitplan einbezogen werden: zum Beispiel #1, #2 und #6. Bei den anderen Aktivitäten muss auf die Vorgänger und deren Wahrscheinlichkeitsfunktionen geachtet werden.

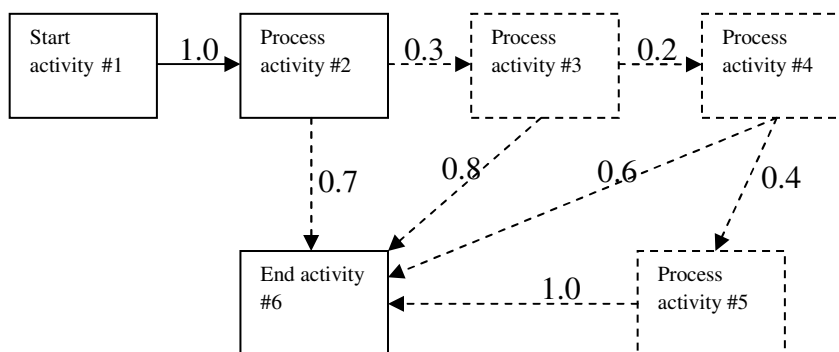


Abbildung 2.5 GERT-Typ mit struktureller Ungewissheit

Stochastische Instanzen mit sogenannter nicht-struktureller Zufälligkeit werden als SRCPSP bezeichnet. In solchen Netzwerken ist der Aufbau des Netzwerks bekannt. Alle Aktivitäten müssen ausgeführt werden, nur die Reihenfolge der Aktivitäten kann in verschiedenen Instanzen variieren, abhängig von der stochastischen Dauer, den Präzedenzbedingungen und der Knappheit der Ressourcen. Die stochastische Aktivitätsdauer kann als Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Varianz gegeben werden.

In *Abbildung 2.6* wurde die stochastische Aktivitätsdauer in folgender Weise angegeben <Dauer, Wahrscheinlichkeit>; zum Beispiel Aktivität 4 verwendet 5 Zeiteinheiten mit Wahrscheinlichkeit 0.77 oder 1 Zeiteinheit mit Wahrscheinlichkeit 0.33. Die Werte $[r_1, r_2, r_3]$ stellen die deterministische Ressourcennutzung dar.

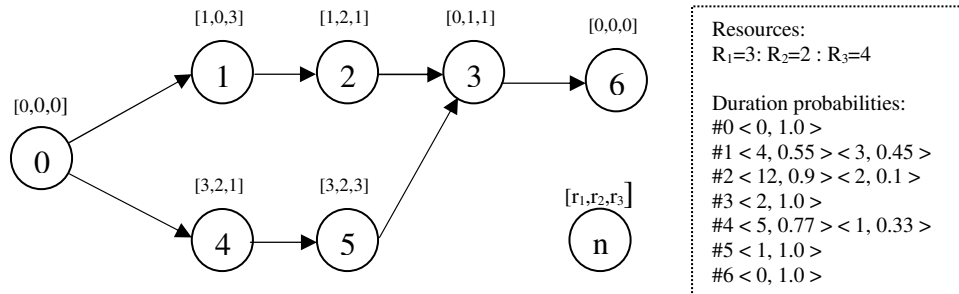


Abbildung 2.6 SRCPSP mit nicht-struktureller Ungewissheit

2.4.2 Definition der stochastischen Strategie

Wegen seiner stochastischen Eigenschaft wurde SRCPSP durch eine Strategie erstellt. Radermacher (1981) hat das Prinzip der dynamischen Programmierung auf das Konzept der stochastischen Strategien angewendet. Es gibt drei Definitionen für stochastische Strategien, die alle möglichen Strategieanwendungen beschreiben. [1][6]

Strategie Π kann als dynamischer Entscheidungsprozess definiert werden. Dieser Prozess beschreibt die nächste Handlung zu einem bestimmten Zeitpunkt, abhängig von der Situation im gegebenen Zeitpunkt (abgeschlossene und noch laufende Aktivitäten und andere Bedingungen). Als Ergebnis bekommt man eine Strategie Π mit dem Vektor der Aktivitätsdauer \vec{d} und der Gesamtdauer des Projekts $C_{max}^{\Pi}(\vec{d})$. Eine optimale Lösung ist mit Strategie Π^* erreicht, welche die Gesamtdauer und deren Zielfunktion minimiert $E(C_{max}^{\Pi^*}(\vec{d}))$.

Eine Strategie kann auch als Funktion $\Pi: R_n^+ \rightarrow R_n^+$ dargestellt werden. Die Funktion zeigt den Vektor der Wahrscheinlichkeiten der Aktivitätsdauer \vec{d} (or \vec{p}) für den Vektor der Anfangszeiten \vec{s} , welcher auf die Präzedenzbedingungen und knappe Ressourcen achtet.

Die dritte Definition ist eine Kombination aus einem kombinatorischen Objekt – wie Aktivitätsreihenfolge oder Prioritätsregel – und einem Algorithmus, welcher die Instanzen wiederherstellt und die Aktivitätsdauer wieder berechnet. Alles wird mit dem Ziel gemacht, eine Optimale Lösung zu bekommen.

Eine Instanz beschreibt die Menge der aktuellen Aktivitätsdauern und deren Anfangszeiten. Verschiedene Szenarien des gleichen Problems können als eine Menge der verschiedenen Strategien dargestellt werden $\Pi_{projekt} = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m)$.

Die gefundenen Lösungen werden mit der Kostenfunktion bewertet $C(\Pi_m)$. Diese dient der Umsetzung des Zeitplans in reelle Zahlen, welche für einen Vergleich geeignet sind.

Radermacher (1981) benutzt die definierte Strategie als Funktion und spezifiziert vier wichtige Tatsachen:

- (i) $C_i^{\Pi}(p) \leq S_j^{\Pi}(p) \mid \forall (i, j) \in E_0$: führt eine vorzügliche mögliche Lösung; Beendigungszeit von einer vorrangigen Aktivität muss kleiner-gleich der Anfangszeit des Nachfolgers sein.
- (ii) $F \not\subseteq \{j \in V \mid S_j^{\Pi}(p) \leq t < C_j^{\Pi}(p)\} \mid \forall t \in R_{\geq}$: verhindert simultane Ausführung der verbotenen Mengen.
- (iii) Wenn *if* $S_j^{\Pi}(p) = t$ für $j \in V$ dann $S_j^{\Pi}(p') = t$ für alle p' die erfüllen:
 - (a) *if* $C_i^{\Pi}(p) \leq t$ dann $p_i = p'_i$
 - (b) *if* $S_i^{\Pi}(p) \leq t < C_i^{\Pi}(p)$ dann $p'_i > t - S_i^{\Pi}(p)$ beschreibt, dass die zu jedem Zeitpunkt erreichten Daten ein Grund für weitere Entscheidungen sind.

- (iv) Strategie Π muss allgemein messbar. Jene Situationen, in denen keine Aktivität läuft, obwohl das Projekt noch nicht beendet ist, müssen vermieden werden. Die gesamte Leerlaufzeit muss möglichst gering gehalten werden. Je länger die Leerlaufzeit ist, desto höhere Kosten entstehen.

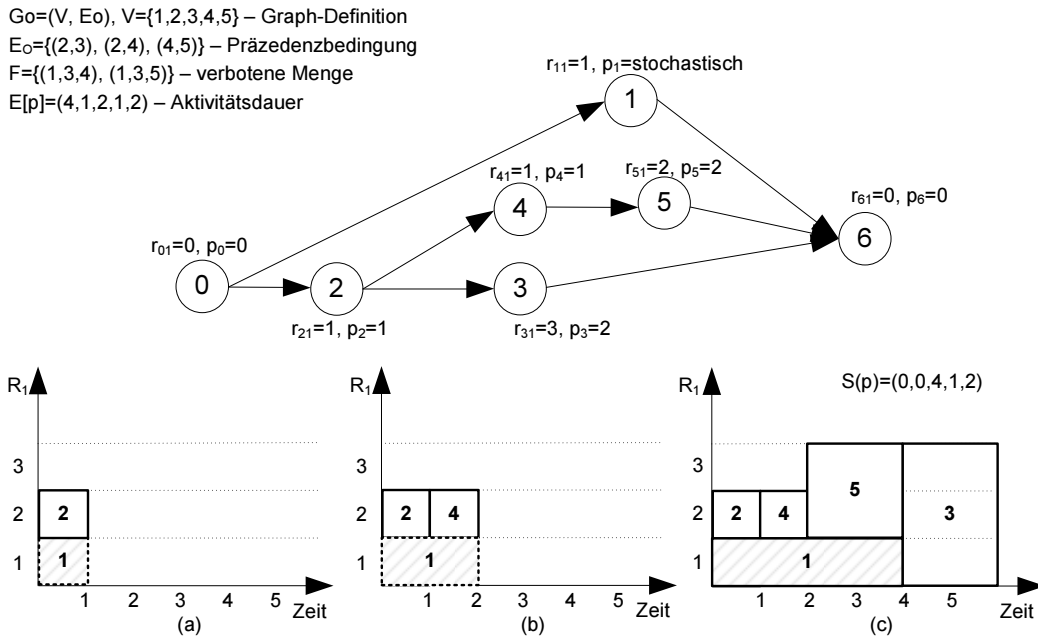


Abbildung 2.7 Aufbau eines SRCPSPs

Das Beispiel 2.7 zeigt den Aufbau eines SRCPSP-Zeitplans nach den oben dargestellten Regeln (i)-(iv).

Alle Aktivitäten, außer Aktivität 1, haben eine deterministische Dauer. Die Präzedenzbedingungen sind in E_0 angegeben. Die verbotene Aktivitätsmenge stellt jene Aktivitäten dar, die nicht gleichzeitig ausgeführt werden können. Eine gleichzeitige Ausführung dieser Aktivitäten ist wegen begrenzter Ressourcen nicht möglich. Die Projektinstanz ist mit beliebigen Zeiten $E[p]$ angegeben. In den Schritten (a)-(b)-(c) ist ersichtlich, wie der Zeitplan generiert wird. In jedem Entscheidungspunkt (Beendigungszeit jeder Aktivität) wird eine neue Aktivität hinzugefügt. Beim Einfügen von Aktivitäten wird auf die Präzedenzbedingungen und die formalen Regeln (i)-(iv) geachtet. Weiters ist aus den Abbildungen (a)-(b)-(c) ersichtlich, dass die Aktivitätsdauer 1 stochastisch und bis zum Endzeitpunkt $t=4$ nicht bekannt ist. Währenddessen werden andere Aktivitäten geplant. Weil beide Aktivitäten in der verbotenen Menge sind, kann Aktivität 3 erst starten, wenn Aktivität 1 abgeschlossen ist. Das kann während des Projekts jederzeit passieren (iii). Man kann auch sehen, dass es keine Leerlaufzeiten (wo keine Aktivität läuft) gibt (iv).

Die Strategieplanung kann bezüglich Heuristiken in zwei Ansätze unterteilt werden:

- *reactive project scheduling* ist nach Radermacher ein dynamischer Prozess der Planung. Der Plan wird ganz von vorne ohne zusätzliche Pläne aufgebaut.
- *proactive project scheduling*, wobei der Anfangsplan mit einem RCPSP-Algorithmus aufgebaut wird und zwar unter der Annahme, dass alle Aktivitäten eine deterministische Dauer haben und der Aufbau von einem neuen, besseren Plan mittels verschiedener Puffermethoden gemacht wird.

Liste der Strategien nach der Regel von Möhring[5]:

- *priority policy*
- *early start policy* (ES)
- *preselective policy*
- *linear preselective policy*
- *activity-based policy*
- *proactive and reactive composite policies*

2.4.3 Prioritätsstrategie

Die Prioritätsstrategie verwendet eine Liste der Prioritätsregel L , in der die Aktivitäten von der höchsten zur niedrigsten Priorität aufgezählt sind. Die Prioritätsliste ist nicht die einzige Bedingung für die Projektplanung. Zusätzlich müssen die Ressourcen und Präzedenzbedingungen in Betracht gezogen werden. In jedem Zeitpunkt, in dem irgendeine Aktivität abgeschlossen ist, wird die Zuteilung einer folgenden möglichen Aktivität nach Präzedenzbedingung und Ressourcenverfügbarkeit überlegt.

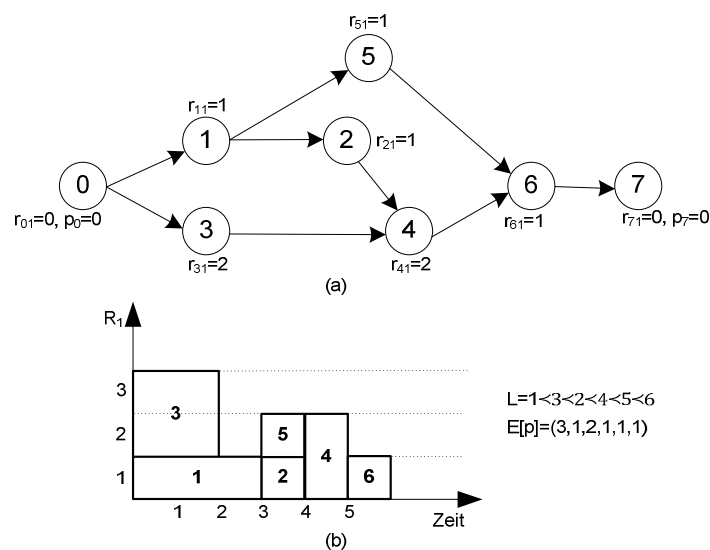


Abbildung 2.8 Beispiel: Prioritätsstrategie

In *Abbildung 2.8* wird ein Beispiel der Projektplanung mit Prioritätsstrategie dargestellt. Die Prioritätsliste ist mit folgenden Werten angegeben: $L=1<3<2<4<5<6$. Im Teil (b) der *Abbildung* ist ein Zeitplan dargestellt, welcher anhand der Prioritätsliste L und der erwarteten Zeitdauern $E[p]=(3,1,2,1,1,1)$ erstellt wurde. Der resultierende Zeitplan wird mittels folgender Liste der Anfangszeiten der Aktivitäten $S(p)=(0,3,0,4,3,5)$ dargestellt. Dieser Zeitplan zeigt, dass, obwohl in der Prioritätsliste die Aktivität #4 höhere Priorität hat als #5, wegen den Präzedenzbedingungen zwischen Aktivitäten #2 und #4, die Aktivität 4 erst nach der Aktivität 5 geplant wird.

Bei der Kombination spezifischer Strategien und Projektinstanzen gibt es bezüglich der Strategieausführung manche Misserfolge. In manchen Fällen kann die Prioritätsstrategie keine optimalen Lösungen produzieren. Manchmal verursacht eine kürzere Aktivitätsdauer so eine Rekombination, dass das Projekt trotzdem eine längere Gesamtdauer hat. Dieses Problem nennt man *Graham's anomaly*.

Das ist der Grund warum die Prioritätsstrategien nicht für die stochastische Planung geeignet sind. Trotzdem werden sie aus Vereinfachungsgründen im Kapitel 4 verwendet.

2.4.4 ES Strategie

Folgende Strategien (2.4.4-2.4.7) wurden aus Stork [1] übernommen.

Die *Early start*-Strategie wurde von Radermacher (1981) eingeführt. Sie gehört zur Robust-Klasse und kann als minimal verbotene Menge erklärt werden. Diese Strategie setzt ein kombinatorisches Objekt und eine algorithmische paarweise Darstellung voraus. ES ist eine Unterklasse von *preselective policies* und ist gleichzeitig monoton, kontinuierlich und konvex.

Die minimal verbotene Menge $\mathcal{F} = (F_1, F_2, \dots, F_n)$ beinhaltet eine Mindestserie paarweise dargestellter Aktivitäten, die wegen begrenzter Ressourcen nicht gleichzeitig ausgeführt werden können. Aktivitäten, die sich in der Menge befinden, unterliegen keiner Präzedenzbedingung. Die Mengen F_1 und F_2 können simultan geplant werden.

Wenn wir die teilweise geordnete Menge $G_O = (V, E_O)$ betrachten, die ein Planungsproblem mit V Aktivitäten und E_O Präzedenzbedingungen darstellt, und in einen Graph $G = (V, E) \mid E_O \subseteq E$ mit einer Bedingung F , die nicht existiert, erweitern, stellt dies eine minimale Menge als anti-Kette in G dar. In der Darstellung wird das kombinatorische Objekt genannt. [1]

Der Zeitplan wird danach zu einer Instanz \vec{d} der Bearbeitungszeit, Dauer und Berechnung der frühesten Anfangszeit $S()$ bezüglich des Graphen G . Die Startaktivität, die sogenannte *dummy* Aktivität ist auf Null gesetzt und alle anderen werden mit $S_j(\vec{d}) = \max_{(i,j) \in E} (S_i(\vec{d}) + d_i)$ berechnet. Der Algorithmus des längsten Weges stellt eine Transformationsfunktion der wahrscheinlichen Dauer im potentiellen Zeitplan dar. [1]

Im dargestellten Beispiel aus dem Kapitel 2.4.2 (*Abbildung 2.7*) wird ein Graph mit erweiterter Menge der Präzedenzbedingungen E definiert. Der Graph beinhaltet die Kombinationen der Aktivitäten, deren minimale verbotene Menge keine *anti-chain* in $G=(V, E)$ ist, $E=E_O \cup \{(1,3), (1,4), (1,5), (3,5)\}$. *Anti-chain*-Eigenschaft haben jene Aktivitäten, die keine Verbindung haben. Das heißt, dass sie weder von Ressourcen- noch von Präzedenzbedingungen abhängig sind. Die Ausführung des Zeitplans wird mit Hilfe einer gegebenen rekursiven Funktion S_j durchgeführt. Diese berechnet die Anfangszeiten. Die rekursive Funktion „geht“ durch alle mögliche Graphverzweigungen und ruft sich selbst bei der Berechnung rekursiv auf. Das heißt am Rückweg berechnet sie die Werte für jeden Punkt im Graph. Dadurch erhält man einen Vektor $S(p)=(0,0,4,1,2)$ der Anfangszeiten aller Aktivitäten.

2.4.5 Vorwahlstrategien

Vorwahlstrategien wurden von Ingelund und Radermacher (1983) eingeführt. Diese Strategien sind auch auf minimal verbotene Mengen $\mathcal{F} = (F_1, F_2, \dots, F_n)$ aufgebaut. Eine zusätzliche Anforderung ist, dass ausgewählte Aktivitäten $j \in F$ für jede $F \in \mathcal{F}$ Aktivität j nicht starten können, bevor zumindest eine Aktivität aus $i \in F \setminus \{j\}$ beendet wird. Diese Anforderung muss für jede Instanz \vec{d} aus dem stochastischen Vektor \vec{d} mit wahrscheinlicher Aktivitätsdauer gelten. [1]

Die Strategie Π kann mit Hilfe der kombinatorischen Darstellung beschrieben werden, wobei eine Auswahl durch eine Folge $s = (s_1, s_2, \dots, s_f)$ mit $s_l \in F_l \mid \forall l \in \{1, 2, \dots, f\}$ dargestellt wird. Dieses s_l stellt die vorausgewählte Aktivität von F_l dar, welche aufgeschoben werden muss, bis eine andere Aktivität i aus der gleichen minimal verbotenen Teilmenge nicht beendet ist $S_{s_l}(\vec{d}) \geq \min_{i \in F_l \setminus \{l\}} (S_i(\vec{d}) + d_i)$. Die Zielfunktion der meisten Maßnahmen ist die Minimierung der Projektdauer oder der Beendigungszeit, die durch $C_i^\Pi(\vec{d}) = S_i^\Pi(\vec{d}) + d_i$ beschrieben wird. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe einer Funktion κ , welche die Ergebnisse einer spezifischen Instanz in eine reelle Zahl umsetzt: $\kappa(C^\Pi(\vec{d})) \rightarrow R_{\geq}$. Die optimale Prozedur Π^* minimiert die voraussichtliche Projektdauer $E[\kappa(C^{\Pi^*})] = \inf \{E[\kappa(C^\Pi)]\}$. [1]

Eine alternative Ansicht der vorgewählten Prozedur kann als eine Reihe von teilweise geordneten Mengen gegeben werden $G = (V, E)$. Hierbei stellt jedes G eine Erweiterung der partiell geordneten Menge dar $G_0 = (V, E_0)$ und es wird auf die Vorrang einschränkungen geachtet. [1]

Für jede minimal verbotene Menge F_l und ihrer vorgewählten Aktivität j_l wird in der Prioritätsmenge $E \supseteq E_0$ ein geordnetes Paar der Aktivitäten bereitgehalten $(i, j_l) \mid i \in F_l \setminus \{j_l\}$. Das Problem der Vorwahlstrategie ist die Zahl der potenziellen verbotenen Mengen, die exponentiell von der Anzahl der Projektaktivitäten abhängig sind. Diese Tatsache erschwert eine Berechnung der Projektdauer. Auf der anderen Seite ist bewiesen, dass Vorwahlmaßnahmen keine Grahams Anomalie haben und als Funktion monoton und stetig sind.

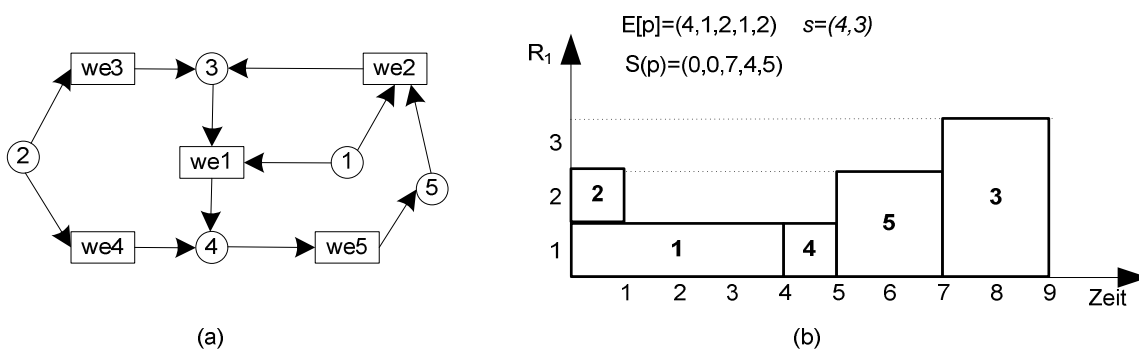


Abbildung 2.9 Beispiel: Vorwahlstrategie

Auf der Grundlage des Beispiels aus dem Kapitel 2.4.2 (*Abbildung 2.7*) und seiner verbotenen Menge, wird in der *Abbildung 2.9* die Vorwahlstrategie gezeigt. Am Anfang werden beliebige Aktivitäten aus der verbotenen Untermenge gewählt. Diese Aktivitäten werden als vorgewählte Aktivitäten mit einer Menge „s“ bezeichnet. Aus der Menge {1,3,4} wurde die Aktivität 4 frei gewählt und aus der Menge {1,3,5} die Aktivität 3. Diese Aktivitäten können erst dann geplant werden, wenn mindestens eine Aktivität aus dieser verbotenen Untermenge bereits abgeschlossen ist, $s=(4,3)$.

Mit Hilfe der Präzedenzbedingungen, der verbotener Menge und der Menge „s“ erhält man einen gerichteten Graph (a), aus dem die Aktivitäten und deren Zusammenhang im Sinne des *wait events* (we) ersichtlich sind. Zum Beispiel: $1 \rightarrow (we) \rightarrow 2$ heißt, dass Aktivität 2 abwarten muss, bis Aktivität 1 abgeschlossen ist. Aufgrund der Daten aus der verbotenen und der vorgewählten Menge bekommt man folgende *wait events*: $we1=(\{1,3\},4)$ und $we2=(\{1,5\},3)$; und aus den Präzedenzbedingungen: $we3=(\{2\},3)$, $we4=(\{2\},4)$, $we5=(\{4\},5)$.

Durch den angezeigten Graph und die angewendeten Formeln

$S_j(p) = \max_{(Wx,j) \in WE} \min_{i \in Wx} (S_i(p) + p_i)$ erhält man den Zeitplan (b), der nicht unbedingt zulässig sein wird. In diesem Fall mit vorgewählten Aktivitäten $s=(4,3)$ und Zeitdauern der Aktivitäten $E[p]=(4, 1, 2, 1,2)$ wird man einen Zeitplan mit folgenden Anfangszeiten der Aktivitäten bekommen: $S(p)=(0, 0, 7, 4, 5)$. Diese Kombination s produziert keinen optimalen Zeitplan, aber die Kombination verschiedener Vorwahlstrategien führt, für eine Instanz des Projekts, zum Zeitplan mit geringster Gesamtdauer.

2.4.6 Lineare Vorwahlstrategien

Eine neue Prozedur, die das Vorwahlstrategieproblem umgeht, heißt lineare Vorwahlstrategie. Sie ist eine Kombination aus einer Listenauswahl s , die in den Vorwahlstrategien genutzt wird und der Prioritätenlisten L aus prioritätsbasierten Strategien. Die Prioritäten der Aktivitäten sind in einer Liste L gegeben. Die Strategie Π heißt Linearvorwahl, wenn die Auswahl $s = (s_1, s_2, \dots, s_f)$ und die lineare Ausdehnung L von G_0 existieren. Für jede der minimal verbotenen Mengen $F_l \mid \forall l \in \{1, 2, \dots, f\}$ existiert eine vorausgewählte Aktivität s_l , so dass alle anderen Aktivitäten aus der minimalen Menge $F_l \setminus \{s_l\}$ vor der Aktivität s_l fertig sind $F_l \setminus \{s_l\} \prec_L s_l$.

Da die linearen Strategien eine Unterklasse der Vorwahlstrategien sind, kann festgestellt werden, dass sie automatisch stetig und monoton sind.[1]

In der Regel wird eine Näherung für die erwarteten Kosten berechnet. Diese basiert auf einer größeren Anzahl von zufälligen Szenarien, welche durch Simulation gewonnen werden. Mit Hilfe der Generierung verschiedene Szenariendauern der stochastischen Aktivitäten wird versucht, einen Zeitplan, der die erwartete Projektdauer befriedigen wird, zu erstellen.

Lineare Prozeduren verkürzen die gesamte Berechnungszeit des Projekts und den Programmspeicherverbrauch. Dies bedeutet, dass der Algorithmus wesentlich besser für diese Strategie funktioniert, als für die klassischen Vorwahlstrategien und daher größere Projekte nun rechnerisch möglich werden. Einige empirische Vergleiche zeigen, dass die durchschnittlichen Kosten der Rechenzeit 10-mal niedriger sind.

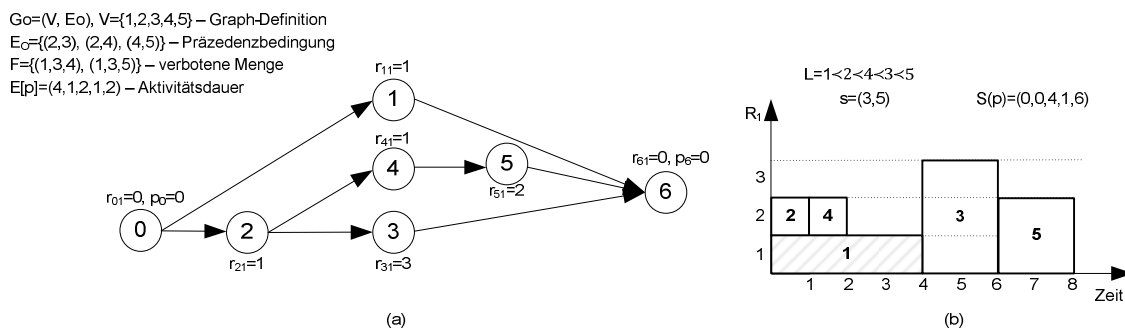


Abbildung 2.10 Beispiel: lineare Vorwahlstrategie

Anhand des Beispiels aus dem Kapitel 2.4.2 wird die Vorgangsweise der linearen Vorwahlstrategie (Abbildung 2.10) dargestellt. Nachdem die verbotene Menge F mit Hilfe des Graphs definiert wurde, wird die Prioritätsliste $L = 1 < 2 < 4 < 3 < 5$ beliebig gewählt. Mit dieser Liste wird anhand der Menge F eine Vorwahlliste s bestimmt. Am Beispiel von der verbotenen Untermenge $\{1, 3, 4\}$ sieht man, dass die Aktivität 3 nach Prioritätsliste die niedrigste Priorität in der Menge hat. Deswegen wird diese Aktivität zuletzt ausgeführt (nach Aktivitäten 1 und 4). Nach diesen Regeln wird der Zeitplan (b) mit Anfangszeiten $S(p) = (0, 0, 4, 1, 6)$ generiert. Diese Prioritätsliste L erzeugt keinen optimalen Zeitplan.

2.4.7 Aktivitätsbasierte Strategien

Das Hauptproblem mit oben beschriebenen Vorwahlstrategien und Linearstrategien ist eine Repräsentation von ressourcenbegrenzten Multipaaren mit verbotenen Mengen, die exponentiell mit der Anzahl der Aktivitäten wachsen. Aktivitätsbasierte Strategien sind höchstwahrscheinlich linear, aber mit dem Unterschied, dass sie keine verbotenen Mengen anfordern, aber die gleiche AL Anordnung nutzen. Aktivitäten werden entsprechend der Liste geplant, wobei Aktivitäten i und j baldmöglichst starten, unter der Bedingung, dass die Anfangszeit der Aktivität j größer-gleich der Anfangszeit der Aktivität i sein muss, wenn i Vorrang hat.

2.4.8 Proaktive Strategien

Nach Demeulemeester & Herroelen [10] und Deblaere, Demeulemeester & Herroelen[11] ist die Hauptidee hinter der Strategie die Nutzung der zweiphasigen Planung. In der ersten Phase wird ein voller oder partial-Plan gebaut. In dieser Phase werden die Knappheit der Ressourcen und die Präzedenzbedingungen ignoriert. Dieser Plan wird anhand historischer Daten aufgebaut und als ein Standard RCPSp generiert.

Mit diesem Startplan kann die zweite Phase der Planung auf zwei verschiedene Weisen angewandt werden. Entweder nutzen wir eine proaktive Strategie mit zusätzlichen Puffermethoden, um die stochastische Planausführung zu sichern, wobei gleichzeitig mit der Berücksichtigung der deterministischen Basis die stochastische Gesamtdauer des Projekts geschützt wird, oder wir beginnen die stochastische Simulation mit dem deterministischen Plan aus der ersten Phase. Während der Ausführung kann der Plan manipuliert werden. Diese Methode hat ein großes Potential bei der Generierung des optimalen Plans und versucht während der Ausführung alle stochastischen Faktoren zu bewältigen. Um die Ergebnisse der Strategien möglichst präzise zu messen, werden zwei verschiedene Messungsmethoden verwendet: *solution stability* und *quality robustness*

Solution stability misst die Unterschiede in der Gesamtdauer der Projektinstanzen durch den Vergleich der Anfangszeiten mit der Basis aus der ersten Phase. Dies wird mit Hilfe von Gewichtungsfaktoren ermittelt. Das Ziel ist die erwartete Abweichung vom optimalen Zeitplan zu minimieren.

Die *Quality robustness*-Messung kontrolliert die Stabilität der Lösung durch Empfehlungen auf ungewisse Ereignisse, die die Gesamtdauer des Projekts deutlich verändern können. Eine beständige Lösung gibt dem Projekt zusätzliche Stabilität und hält uns nahe an der Basis des Verfahrens. Für die Messung kann der Vergleich der erwarteten Funktionen verwendet werden. Außerdem könnte auch SLA Messung (*service level agreement*) angewandt werden. SLA bestimmt die erwartete Diskrepanz zwischen der festgesetzten und der realen Projektausführung.

3. Betriebskontinuitätsmanagement (BKM)

Wie schon Murphys Gesetz besagt, ist ein Unternehmen nur so gut wie seine schwächste Verbindung, die sich im kritischsten Moment äußert. Unternehmen vernachlässigen oft die potentiellen Katastrophen und organisieren das System mit vielen Fehlerquellen. Es wird immer vergessen, dass die Geschäfte und Dienstleistungen ohne BKM nicht fortbestehen können.

Betriebskontinuitätsmanagement beinhaltet eine Reihe von Verfahren, Regeln, Dokumentationen und Risikoanalysen, mithilfe derer man sich auf die kritische Zeit vorbereitet. Unternehmen müssen für alle möglichen Ausfälle bereit sein. Die BKM-Prozedur analysiert verschiedene Arten von Risiken und Drohungen, die den Geschäftsprozess negativ beeinflussen. Alle Teile des Geschäftsprozesses müssen berücksichtigt werden: die Situation zwischen Arbeitern, der erlittene Schaden und eventuelle Erholung des Unternehmens. Die folgenden Absätze in diesem Kapitel wurden mit Hilfe der Forschungen von Gibb, Buchanan[12] und Wilder[13] im Gebiet der BKM-Methodologie erstellt.

Wichtig für das BKM ist der *disaster recovery plan* oder DR. Dieser ist eine Kombination aus der strategischen Entwicklung, Prozeduren und der Infrastruktur, die für kritische Situationen bereit sein muss. DR ist eine gesamte Strategie für das operative Management, für redundante Infrastruktur, Personal, Reorganisation als auch für alle notwendigen alternativen Prozeduren.

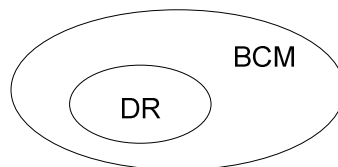


Abbildung 3.1 Verhältnis zwischen BKM und DR

Die Komplexität der Geschäftsprozesse ergibt sich durch die vielen Abhängigkeiten zwischen Personal, IT Infrastruktur, technischer Infrastruktur, ausgelagerten Dienstleistungen, finanzieller Abhängigkeiten, Wetterereignissen und vielen anderen nicht kontrollierbaren Ereignissen. Das Management der Prozesse ist für alltägliche Situationen gut abgestimmt. In der Krisenzeit und wenn unerwartete Probleme auftreten, muss es aber anders reagieren können.

Gibb und Buchanan (2005) schlagen eine neun-Phasen Grundstruktur vor. Diese Struktur dient zur erfolgreichen BKM Durchführung und basiert auf: Aktivierung der Programme, Aktivierung der Projekte, Risikoanalyse, Risiko Migration, Monitoring und Kontrolle, Anwendung, Bewertung, Ausbildung und Training und Überprüfung.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass BKM keine magische Struktur ist, sondern ein Leitfaden für jede Situation im Unternehmen. In jedem Geschäftsumfeld (egal ob es um Mikromanagement oder eher um größere Instanzen geht) soll BKM als ein Basisdokument verwendet werden. In den folgenden Kapiteln werden BKM und Katastrophenmanagement näher erläutert.

3.1 Aktivierung der Programme

Die erste Phase des BKM-s beinhaltet die strategischen Entscheidungen der leitenden Angestellten bei der Einführung der Struktur in alle Geschäftsfelder. Der Initiator des Projekts könnte CIO oder Senior Manager sein, um die Bedeutung des BKM zu betonen.

Seine Rolle ist die Führung einer größeren Gruppe von Angestellten, um ein Charter Dokument zu erstellen. Dieses Dokument beinhaltet höchste BKM Prioritäten und Anleitungen. Es zwingt das Unternehmen, den Wert und die Bereitschaft aller seiner Vermögenswerte neu zu überdenken wie zum Beispiel *know-how*, Personal oder Analyse aller Geschäftsprozesse. Das Dokument dient dazu, die Qualität und Struktur der Organisation zu bewerten und um die Qualitätssicherung zu überwachen.

Der Prozess will sichergehen, dass jeder Geschäftsprozess einen Geschäftsinhaber, eine Person oder ein Team hat, das verantwortlich für seinen Lebenszyklus ist. Bei mehreren Geschäftsprozessen gibt es immer welche, die keinen Leiter haben. Der Geschäftsinhaber geht sicher, dass jede Änderung im Prozess richtig dokumentiert wird, da sie sonst unbeachtet wäre. Auf diese Weise wird die Ressourcennachfrage bekannt und befriedigt.

Das Charter Dokument ist eine Basis für Revision, Compliance, Reporting-, Beschaffungs- und Finanzstrategien. Der einzige Weg, es *up-to-date* zu halten, ist es, in vereinbarten Abständen zu überprüfen.

Im Anschluss an die Führung des Charters, müssen BKM-Manager und Unternehmer ein Programm mit detaillierten Informationen über BKM, verschiedene Projekte, Projektleiter, Meilensteine, Ziele und die Finanzierung schaffen. Projektleiter oder Sponsoren koordinieren ihre spezifischen Programmpläne und versichern, dass sie rechtzeitig und innerhalb der Spezifikationen des Charters durchgeführt werden.

3.2 Aktivierung der Projekte

Basierend auf dem Charter-und Programmplan, sammeln die Projektleiter zusätzliche spezifische Daten über ihre Domänen. Informationen von Unternehmern und / oder anderen Abteilungen werden dazu beitragen, die Projektpläne mit allen verfügbaren Daten über Prozesse, Services und messbare Meilensteine zu versorgen. Damit kann die Ausführung der projektspezifischen Aktivitäten wie Forschung und Entwicklung, Mitarbeiterausbildung, Ressourcen- und Projektkostenmanagement und Überwachung starten.

3.3 Risikoanalyse

Aktivierete Projekte müssen genauer auf potenzielle Risiken analysiert werden. Die Phase der Risikoanalyse kann in drei Schritte unterteilt werden: Identifikation, Bewertung und Business Impact-Analyse oder BIA.

Die *Identifikation Phase* muss die vorhersehbare und unvorhersehbare Ereignisse berücksichtigen, die Geschäftsprozesse gefährden könnten. Diese Analyse muss einem organisatorischen Strukturbaum folgen: Risiko gehört zu den natürlichen Ereignissen. Natürliche Ereignisse oder Wetterereignisse können weiter nach den vorhergesagten Schäden verzweigt werden. Menschliche Risiken lassen sich in Vorfälle und beabsichtigte Handlungen unterteilen. Es ist wichtig, alle möglichen Risiken zu sammeln und ein Register mit zusätzlichen Minderungsmaßnahmen und -ansätzen zu erstellen.

In der *Evaluierungsphase* müssen alle potentiellen Risiken analysiert werden, und ihre eventuelle Erscheinung, Bedeutungsebene und ihre Auswirkungen auf das Geschäft vorhersagt werden. Diese Phase bezieht alle verfügbaren Fachunternehmer-und Unternehmer ein, die aufgrund ihrer Kompetenz auf der untersten Ebene der Prozessimplementierungen tätig sind. Informationen für die Auswertung werden nicht nur von innerhalb eines Unternehmens benötigt, sondern sie werden auch aus anderen Quellen wie Meteorologieinstituten , staatlichen Stellen oder unabhängigen Agenturen erworben . Wegen der Vielzahl der Informationen ist es wahrscheinlich, dass einige analytische Methoden oder Werkzeuge (quantitäts- oder qualitätsbasiert) verwendet werden. (Monte Carlo, Delphi).

In der *Business-Impact-Phase* müssen Informationen über die Wirkungen und Auswirkungen der einzelnen bewerteten Risiken auf den Geschäftsprozess und die Firma berücksichtigt werden. Die Effekte beziehen sich auf den vorübergehenden oder dauerhaften Verlust von Dienstleistungen, auf Probleme mit dem Unternehmen oder mit Geschäftsprozessen.

Die *Risikoanalyse-* Gruppe muss die Informationen entsprechend organisieren, bewerten und kombinieren, um das Risiko zu vermindern. Im Rahmen der Analyse kann das Risiko in abhängige und unabhängige Risikogruppen unterteilt werden. Nachdem das komplette risikobezogene Bild abgeschlossen ist, sollte das BIA Team zusammengehöriges Risiko gruppieren und eine Risiko *Scorecard* erstellen, was zu weiteren Investitionsentscheidungen genutzt werden kann.

3.3.1 Risikominderungsstrategien

Die Risikominderungsphase ist ein wichtiger Klassifizierungsschritt der Risikoanalyse, die der Risiken und Risikogruppen gewidmet ist.

Zwei verschiedene Klassen von Risikominderungsmaßnahmen sind:

- proaktive Ansätze: Übertragung, Minimierung, Absorption und,- Bündelung
- *disaster recovery*-Plan

Die Strategien müssen mit ihren eigenen Risikoszenarien analysiert werden und Unternehmen müssen sich dessen bewusst sein, dass dadurch Kosten entstehen.

Die Ansätze der Risikoübertragung werden mit Versicherungspolicen und mithilfe von Outsourcing durchgeführt. Beim Outsourcing werden im Wesentlichen Aufgaben auf andere Unternehmen mit höherem Niveau an Fachwissen und Know-how übertragen. Grund für die Auslagerung könnten Fachkräftemangel oder finanzielle Aufwendungen sein.

Eine Risikominimierungsstrategie versucht die Folgen vom Misserfolg eines Geschäftsprozesses zu beseitigen. Dies kann in erster Linie mit Redundanz und mit verbesserten Management- und Monitoringtools erreicht werden. Durch Redundanz wird sichergestellt, dass das Geschäft mit minimaler oder keiner Ausfallzeit weiterläuft, aber in finanzieller Hinsicht heißt es, das Material zu verdoppeln, Menschen oder andere Aufwendungen mit Sorgfalt zu gestalten.

Risikoabsorption ist, wenn ein Unternehmen, das Risiko mit anderen Strategien nicht abdecken will und bereit ist, die Sanktionen für die gescheiterten Dienstleistungen zu bezahlen.

Ein kurzfristiger *disaster recovery-Plan* oder DR wird normalerweise auf der größeren Ebene der Infrastruktur geplant, zum Beispiel für die gesamte Anlage oder für verschiedene Gebäude. Der DR wird eingeleitet, wenn ein Dienst im primären Standort oder mit dem Primärteam auf eine gewöhnliche Weise nicht wiederhergestellt werden kann. Der neue Weg von Kommunikationskanälen, Geschäftsprozessschritten oder Infrastruktur an anderen Orten muss so gestaltet werden, dass eine vollständige operative Ebene von Dienstleistungen für Unternehmen vor der Katastrophe erreicht werden kann. *Disaster recovery* ist sehr stressig und ein Team muss für das neue Umfeld und die Prozeduren gut ausgebildet sein. Zwei Hauptziele des DR-Plans sind:

- RTO oder *recovery time objective*, der Zeitrahmen für operative Dienstleistungen
- RPO oder *recovery point objective*, der akzeptable Verlust von Dienstleistungen, Geschäftsprozessen und dem Vermögen des Unternehmens

3.4 Monitoring und Kontrolle

Es ist sehr wichtig für ein BKM ständig alle vereinbarten Implementierungen der Prozeduren zu überwachen und die volle Kontrolle über die BM-Prozesse zu haben. Dies kann mit enger Kommunikation der BKM Projektleiter und Prozessverantwortlichen, durch zusätzliche Überwachungstools und ständige Beteiligung an Bildungs- und Ausbildungsmaßnahmen erreicht werden. Dies ist entscheidend, weil das Personal darüber informiert werden muss, um Kenntnis von der Stabilität des Unternehmens zu haben. Folgende Aktivitäten sollten verwaltet werden:

- Ausbildung von Personal
- Vereinbarte Prozeduren der Testszenarien in kontrollierten Umgebungen und Überprüfung von Ergebnissen
- Bericht über die Handhabung
- Bewertungen von Risiko und Strategie

3.5 Implementierung

Der Prozess der Implementierung muss sich mit der möglichen Verbesserung im Sinne von Prozeduren und der allgemeinen Businessinfrastruktur auf schriftliche BKM Pläne befassen, um zu helfen, die Risikoauswirkungen zu minimieren. Jede Abweichung von den aufgestellten Plänen muss von mehreren Ebenen der Verwaltung genehmigt werden, von dem niedrigsten Unternehmer bis zur höchsten Geschäftsführung. Auch Bewertungen und Aktualisierungen von formellen Verfahren müssen immer wieder überprüft und markiert werden.

3.6 Testphase und anhaltende Ausbildungsinitiativen

Die Testphase ist der größte Stressfaktor, aber die wertvollste Phase des BKM. Alle genehmigten Strategien, Milderungen der Prozesse und *disaster recovery*-Pläne müssen geprüft und in einem realen Arbeitsumfeld mit verfügbaren und engagierten personellen und materiellen Ressourcen ausgewertet werden. Die Ergebnisse können dann mit Neigung zu Verbesserungen und weiteren Änderungen an den ursprünglichen Plänen bearbeitet und bewertet werden. Die beste BKM Strategie ohne richtige und realistische Testphase bedeutet nichts in einer realen Welt geprägt von Unsicherheit. Aufgrund der sich ständig ändernden Technologie und der Anstellung von neuem und unerfahrenem Personal, - hat ordnungsgemäße und rechtzeitige Bildung einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg des BKM. Ansonsten kann es sein, dass Unternehmen unnötige Risikopotentiale aufbaut und dadurch gezwungen ist, einige seiner Aufgaben an andere Stellen auszulagern.

3.7 Review Phase

Das BKM-Management hat eine weitere wichtige Phase zu implementieren und zwar jene zur Überprüfung aller erstellten Dokumentationen und Verfahren. Jedes Unternehmen unterliegt Veränderungen, deswegen müssen neue Risiken bewertet- und an die neue Situation angepasst werden. Dauernder Informationsfluss muss ins BKM- Büro aus allen möglichen Teilen der Firma kommen. Dieser muss analysiert werden und es müssen Vorschläge für Veränderungen im BKM diskutiert und gemacht werden.

Ein einmal entwickeltes und implementiertes BKM muss ständig an interne und externe Änderungen des Prozesses angepasst werden, aber auch auf äußere Einflüsse, wie Technologieentwicklung, soziale und wirtschaftliche Unterschiede überprüft werden.

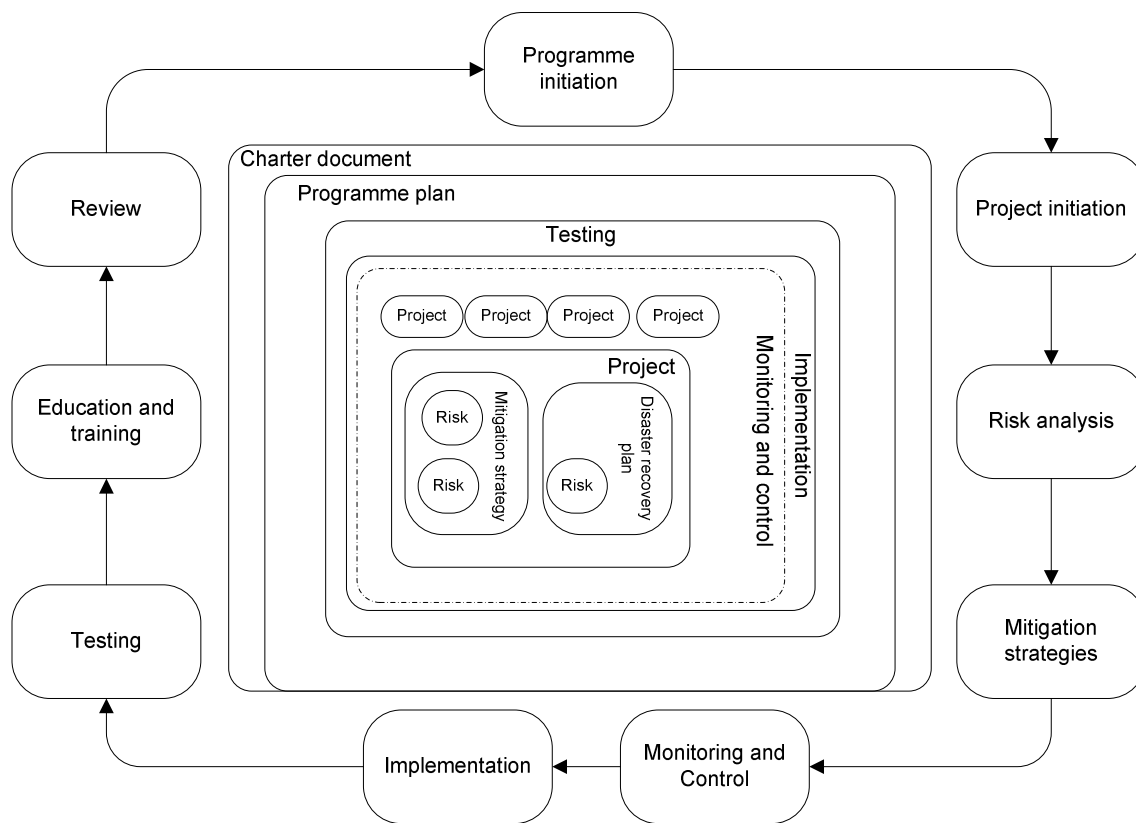


Abbildung 3.2 Betriebskontinuitätsmanagement

4. *Disaster recovery* Zeitpläne

Die praktische Umsetzung des stochastischen Projektmanagements wird anhand von imaginären *disaster recovery*-Plänen für einige mittelständische Unternehmen oder Organisationen dargestellt. Diese Pläne können nicht alle möglichen Situationen und Ereignisse umfassen, sondern nur grundlegenden Schritte und Handlungen in solchen Krisensituationen illustrieren. Stochastische Laufzeiten in den Beispielen werden erfunden und stellen grobe Erwartungen der Dauer verschiedener Aktivitäten dar. Die Zeitpläne werden nicht mit einem kombinatorischen Werkzeug erzeugt, sondern ad-hoc generiert, mit der Absicht, ein paar der besten / schlimmsten Szenarien zu kombinieren. Die DR Pläne decken drei verschiedene Ereignisse ab: Brandausbruch, Chemieunfall und Gebäudeeinsturz.

Die vorbereiteten Fälle werden dann auf zwei echte *disaster-recovery*-Dokumente von einem privaten kroatischen Unternehmen "Koncar-KET Inc." [14] angewendet. Leider ist dieses Dokument auf Standardrichtlinien und Best Practices mit dem Zusatz auf deren interne Führungsstrukturen fokussiert und, weniger auf vorbereitete Aktivitätsketten, Dauer und Ressourcenplanung. Dennoch gibt es genug Daten, die zur Simulation und Planung der imaginären Pläne dienen.

Die dargestellten SRCPS-Formulierungen sind nicht dafür gedacht, realistische Anwendungen zu beschreiben, sondern als Beispiele für eine Anwendung des SRCPSP Formalismus im Bereich *disaster recovery* Management und eventuell als Testdatensätze für Lösungsalgorithmen.

4.1 Anfangsaufstellung

Disaster recovery-Pläne werden anhand drei größerer Störungen betrachtet:

- Brandausbruch, (DR-FO)
- Gefahr durch chemische Flüssigkeit (Chemieunfälle), (DR-CH)
- Gebäudeeinsturz, (DR-BC)

Jede Störung wird getrennt verarbeitet und dann mit anderen kombiniert. Die Idee ist, die Wirkung der Kombination von stochastischen Aktivitäten auf die Dauer der geplanten Pläne in der beschränkten Ressourcenumwelt zu zeigen.

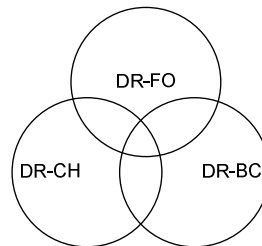


Abbildung 4.1 *Disaster recovery* Test Kombinationen

DR Pläne werden für mittelständische Unternehmen vorhanden sein. Wir können davon ausgehen, dass diese Unternehmen über mehrere Standorte ein begrenzt geschultes Personal für leichtere Vorfälle und Unfallsituationen, vor allem medizinische Teams und Sicherheitsteams für die sofortige Intervention haben. Am zentralen Standort des Unternehmens wird eine Feuerwehr- Crew mit entsprechender Anzahl von Fahrzeugen für eine begrenzte Reihe von Situationen stationiert. Beim zentralen und entfernten Standort gibt es eine zusätzliche Anzahl von Management und Mitarbeitern, für organisierte Verfahren der Evakuierung und andere Aktivitäten, die auf materiellen Schaden und menschliche Verluste vorbereitet sind.

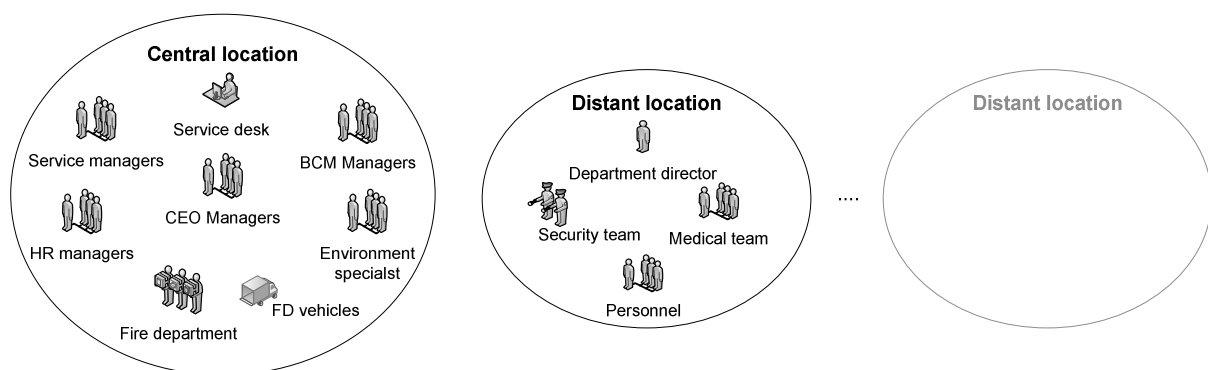


Abbildung 4.2 Organisatorischer Entwurf

4.1.1 Beschreibung des stochastischen Modells

Das beschriebene Beispiel in diesem Kapitel wurde als eine Kombination des standardisierten SRCPSP Modells und bestimmten Charakteristiken aus der PERT Netzplantechnik konzipiert.

Alle Aktivitäten in diesem Modell unterliegen den Präzedenzbedingungen. Sie nutzen gewisse Ressourcenmengen. Die Aktivitätsdauer wurde mit zwei möglichen Situationen (*best case*, *worst case*) und Wahrscheinlichkeitsdauern definiert.

Um ein realweltliches Problem bezogen auf eine Katastrophe zu erstellen, wurde der Prozess „Sanitation“ eingeführt. Dieser Prozess wird formal mit Hilfe einer Kombination aus der strukturellen Unbestimmtheit der Aktivitäten von der PERT Darstellung- und einer SRCPSP-Formulierung dargestellt. Die Sanitation wurde mit initialen stochastischen Zeitdauern beschrieben, wie alle anderen Aktivitäten in diesem Beispiel auch. Die wirkliche Dauer der Sanitation beeinflussen drei verschiedene Ereignisse/Aktivitäten:

- Aktivität #4.3, die zur Verkürzung der Sanitationsdauer seitens der unternehmensinternen Feuerwehrteams (FD Ressource) beiträgt.
- Aktivitäten #11.3, #12.3, die zur Verkürzung der Sanitationsdauer seitens der offiziellen Dienststellen OFFD und OBHD Ressourcen beiträgt.
- Aktivität #4.4 beschreibt einen besonderen Einfluss auf die Verkürzung der Sanitationsdauer seitens des FD Teams, das von einem Standort an einen anderen verlagert wurde.

Eine detaillierte Beschreibung der Sanitation wird im Kapitel 4.1.5 (Berechnung des Sanitationsverfahrens) dargestellt. Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Sanitation keine Aktivität ist, sondern ein Prozess, den oben angeführte Ereignisse beeinflussen.

Aufgrund der Ungewissheit der Ereignisse, die den Prozess der Sanitation beeinflussen, können wir sagen, dass eine bestimmte Kombination der Aktivitäten besteht, die im Prozess teilnehmen können. Diese Kombination der Aktivitäten wird erst während der Ausführung bekannt.

Im ersten Teil der Arbeit wurde ein solches Beispiel der Modellierung nicht beschrieben, da eine derartige Modellierung in der Literatur nicht gefunden wurde. Obwohl das die Regeln der Modellierung des standardisierten SRCPSP verletzt, war es interessant zu erforschen, wie eine solche Kombination die Komplexität des SRCPSP beeinflusst.

4.1.2 Ressourcenverfügbarkeit

Um einen Einfluss der knappen Ressourcen auf die *disaster recovery* Projektdauer zu zeigen, verwenden wir vier verschiedene Arten von Ressourcen. Hinsichtlich der Nutzung werden einige von ihnen zusätzlichen Regeln folgen. Diese Regeln werden uns dabei helfen, realweltliche organisatorische Abläufe in die SRCPSP Projekte zu bringen. Personelle und materielle Ressourcen werden wegen der Einfachheit der Nutzung mit Abkürzungen dargestellt: Verfügbarkeit und Ortsmarkierung {cl-*central location*, dl-*distant location*}, (abbr- Abkürzung, avail-Verfügbarkeit, loc-Standort). Die minimale verwendete Zeiteinheit beträgt 5 Minuten und alle stochastischen Zeitdauern werden in der Form <minutes, probability> gegeben. Deterministische Dauern werden mit Wahrscheinlichkeit als <minutes, 1.0> angegeben.

Obwohl hier eine Zweipunktverteilung verwendet wird, was sicherlich nur eine sehr grobe Annäherung an die Realität darstellt, wurde diese Modellierung herangezogen, da das Modell auch in dieser Form schon sehr komplex wird.

Die Liste der Führungskräfte besteht aus Spezialisten an zentralen oder entfernten Standorten. Deren Nutzung wird per Telefon oder durch andere Mittel der Kommunikation erworben. Wir gehen davon aus, dass sie ihren primären Standort nicht tauschen. Sie koordinieren aber vor Ort wichtige Entscheidungen bezüglich des Personals:

- (MP1, 1, cl) - CEO oder *chief executive officer*: verantwortlich für alle Angelegenheiten im Unternehmen: sie werden bei wichtigen Entscheidungen beteiligt. In zentraler Lage
- (MP2, 2, cl) - *Service-manager*: verantwortlich für das Service Management und Koordination von *disaster-recovery*-Operationen, zwei Personen in zentraler Lage, verwenden Telefonkommunikation, wenn nötig
- (MP3, 2, cl) - BKM-Manager: verantwortlich für BKM, Koordination und DR-Plan Hinrichtungen, zwei Personen in zentraler Lage
- (MP4, 3, dl) - Abteilung: verantwortlich für Vor-Ort-Betriebs und Prozessmanagement, eine Person an jedem entfernten Standort
- (MP5,2, cl) - HR oder *human resource manager*: verantwortlich für die Koordination der Humanressourcen
- (MP6,1, cl) - Spezialist für Umweltthemen: hat eine wichtige Rolle bei der Vor-Ort-Koordination, hilft dabei bessere Entscheidungen mit seinen Ratschlägen zu erreichen
- (SD, 2, cl) - Service desk: operative Verantwortung für Benachrichtigung und Alarmierung in der ersten Phase, Berichterstattung des Problems

Die Feuerwehr spielt eine wesentliche und zentrale Rolle in allen DR-Plänen. Da alle Standort-DR Verfahren die Feuerwehr als wichtige Variable für sanitäre Zwecke beinhalten, ist die Verwaltung und Nutzung der Feuerwehrabteilung eine der wichtigsten Aufgaben in diesen Beispielen. Die wichtigsten Merkmale und speziellen Regeln sind:

- (FD, 2, cl) - die Feuerwehr- Crew besteht aus insgesamt zehn Personen in zentraler Lage. Sie werden in zwei Gruppen von jeweils fünf Personen pro Fahrzeug eingeteilt oder sie werden als Team nur ein Fahrzeug mit allen zehn Personen nutzen.
- Regel 1: Jeder Mensch kann die Sanitations- / Rettungszeit um fünf Minuten der insgesamt verbleibenden Aktivitätsdauer verkürzen. Diese Regel wurde hinzugefügt wegen der Eigenschaft von FD Ressourcen, die nicht eindeutig ist. Im Fall der Projektausführung mit einem DR Plan und mit einer FD Ressource mit einem Team von zehn Personen, wird sich die Sanitationsdauer um 50 Minuten verkürzen. Im Fall von zwei laufenden DR Plänen trägt jede FD Ressource zur Verkürzung der Sanitation um 25 Minuten bei.

Offizielle Fahrzeuge der Feuerwehr sind die wichtigsten Ressourcen, die in Kombination mit der FD Crew für alle DR Verfahren verwendet werden können. Die wichtigsten Eigenschaften sind:

- (VEH, 2, cl) - insgesamt zwei Fahrzeuge stehen in zentraler Lage zur Verfügung
- Regel 1: Jedes Fahrzeug kann, wenn nötig, bis zu fünf FD Besatzungsmitglieder mitnehmen.
- Regel 2: Jedes Fahrzeug wartet auf Verlegung an einen entfernten Standort
- Regel 3: Ein Fahrzeug kann zwischen entfernten Orten (mit allen Mitgliedern) verlegt werden, um sanitäre Verfahren an einem anderen Ort zu beschleunigen
- Regel 4: Im Fall knapper Ressourcen können einige Standorte FD / VEH Ressourcen nur durch (#4.4) einen Standortwechsel und nicht von einer zentralen Lage bekommen.

Weitere personelle Ressourcen (Teams) werden stationiert und an DR Verfahren beteiligt. Diese Teams können nicht auf andere Standorte verlagert werden. Deren Hauptzweck ist die Linderung gefährlicher Situationen und Hilfe bei medizinischen Unfällen:

- (SEC, 3 dl) - Securityteam: verantwortlich für die Sicherung und DR Koordination. Ein Team wird an jedem entfernten Standort positioniert.
- (MED, 3 dl) - Medicalteam: verantwortlich für die schnelle Vor-Ort-Ausbildung. Ein Team wird an jedem entfernten Standort positioniert.

4.1.3 Ressourcen der offiziellen staatlichen Dienststellen

Die Sanitation jeder Katastrophe erfordert die Hilfe einer offiziellen staatlichen Dienststelle. Deren Teams beschleunigen den gesamten Prozess mit Hilfe eigener Feuerwehreinheiten (FD) und anderen Teams.

- (OFFD, 2) - Offizielle Brandbekämpfungsabteilung, genutzt für Brandausbruch DR-FO und Gebäudeeinsturz DR-BC
- Regel 1: wird die verbleibende Zeit für die Sanitation / Rettung um 30 Minuten verkürzt
- (OBHD, 1) - Offizielle Biogefährdungsabteilung wird für Chemieunfälle (DR-CH) verwendet
- Regel 1: wird die Sanitationsdauer um 45 Minuten reduziert

4.1.4 Ressourcenliste

Tabelle 4.1 stellt eine Liste der verfügbaren Ressourcen dar. Es ist zu bemerken, dass zwei verschiedene Arten von Ressourcen vorhanden sind: globale und standortsabhängige Ressourcen. Globale Ressourcen, wie zum Beispiel MP2 sind mit der Bezeichnung R_n definiert. Diese Ressourcen sind für alle Aktivitäten verfügbar, unabhängig davon, in welchem DR Plan sie verwendet werden. (die gleichzeitige Ausführung von drei DR Plänen ist erlaubt).

Die zweite Art von Ressourcen wie zum Beispiel MED ist vom Standort und dem Plan, in dem es ausgeführt wird- abhängig. Die Bezeichnung R_{10-2p} zeigt, dass sich die Ressourcennummer 10, beim Standort 2p befindet. (2p heißt zweite Priorität, beziehungsweise zweite DR Planung). Diese Ressourcen sind ausschließlich für jene DR Planaktivitäten verfügbar, die an diesem Standort ausgeführt werden.

	Ressource (R_n)																		
	MP1	MP2	MP3	MP4	MP4	MP4	MP5	MP6	FD	VEH	SEC	SEC	SEC	MED	MED	MED	SD	OFFD	OBHD
Ressourcen-Verfügbarkeit	R_1	R_2	R_3	R_{4-1p}	R_{4-2p}	R_{4-3p}	R_5	R_6	R_7	R_8	R_{9-1p}	R_{9-2p}	R_{9-3p}	R_{10-1p}	R_{10-2p}	R_{10-3p}	R_{11}	R_{12}	R_{13}
	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1

Tabelle 4.1 Ressourcenverfügbarkeit

Abbildung 4.3 zeigt ein Beispiel, wie die Ressource MP4 der Aktivität 3.1 zugeordnet wird. Aus der Tabelle ist nicht ersichtlich, welche Ressource MP4 die Aktivität 3.1 nutzen wird. Das hängt davon ab, welcher DR Plan ausgeführt wird. Wenn ein Zeitplan dritte Priorität (3p, Ausführung an drittem Standort) hat, dann wird die Ressource R_{4-3p} verwendet.

	Res								
Aktivität	MP1	MP2	MP3	MP4	MP4	MP4	MP5	MP6	FD
t/(r _{ik})	R ₁	R ₂	R ₃	R _{4-1p}	R _{4-2p}	R _{4-3p}	R ₅	R ₆	R ₇
#3.1		1	1	1	1	1		1	
#5.1									
#6.1									
#4.1				1	1	1			

Abbildung 4.3 Beispiel: Allokation der Ressourcen

4.1.5 Berechnung des Sanitationsverfahrens

Die Kombination von zwei Sub-Aktivitäten von dem Sanitationsverfahren erschwert die Berechnungen. In diesen Beispielen wird eine einfache Arithmetik verwendet.

Nehmen wir an, dass eine Sanitationsverfahrenszeit $SP_{Init.Zeit}$ 150 Minuten beträgt. Das erste Team, das vor Ort ankommt, ist die unternehmenseigene Feuerwehr (FD) mit fünf Personen. Wie im Kapitel Ressourcenverfügbarkeit erwähnt wurde, kann jeder Mensch den gesamten Prozess um fünf Minuten beschleunigen. Daher ist ihr Beitrag $Cont_{FD} = Men \times 5$. Die offizielle Brandbekämpfungsabteilung (OFFD) kommt nach $\Delta = 15$ Minuten und leistet einen Beitrag $Cont_{FD}=30$ Minuten.

Die neue Sanitationszeit wird wie folgt berechnet $SP_{real} = SP_{Init.Zeit} - Cont_{FD} - \Delta - Cont_{FD}$. In diesem Beispiel beträgt sie 80 Minuten.

Das erste Team arbeitet 80 Minuten, während das zweite Team, wenn es ankommt die übrige Zeit bis auf 80 Minuten mithilft.

In der Abbildung unten können wir sehen, dass das FD-Team an der Stelle (#4.2) ankommt und den Löschvorgang (#4.3) durchführt. Das OFFD Team kommt ein bisschen später (#11.2) und arbeitet zusammen mit FD bis die Zeit abgelaufen ist SP_{real} .

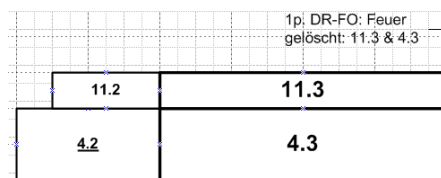


Abbildung 4.4 Beispiel der Sanitationsaktivitäten

Es ist wichtig zu bemerken, dass bei der Kombination von mehreren DR-Plänen, wenn beide FD und VEH Ressourcen genutzt werden, der dritte Standort nicht das FD-Team von dem zentralen Standort (#4.2), sondern von anderen Standorten mit (#4.4) Verlagerungsaktivitäten bekommt.

4.1.6 Zeitplan Algorithmus zur Erstellung eines Zeitplans

Für das Beispiel der Projektplanung wurde ein Algorithmus, der nach dem Prinzip der Prioritätsstrategie (aus dem Kapitel 2.4.3) funktioniert, dargestellt. Dieser Algorithmus wurde *brute force* benannt, da er möglichst früh alle Aktivitäten starten will, ohne Rücksicht darauf, ob der Plan optimal ist oder nicht.

Dieser Algorithmus betrachtet die drei verschiedenen DR Pläne gleichzeitig, daher muss man darauf achten, welchem DR Plan eine Aktivität gehört, weil die Pläne bestimmte Aktivitäten untereinander teilen. Eine zusätzliche Anforderung des Algorithmus ist die Vorgangsweise der Sanitation. Wegen der Sanitation werden nicht standardisierte Listen und Mengen eingeführt, um diesen imaginären Prozess zu simulieren.

Die Eingangsdaten des Algorithmus sind:

- Zuteilung der Priorität zu jedem DR Plan
- Sanit.Init.Zeiten: $SZeit_{1p}$, $SZeit_{2p}$, $SZeit_{3p}$
- Verfügbare Ressourcen: R
- Aktivitätsmenge für jeden DR Plan: V_{1p} , V_{2p} , V_{3p}
- Menge der Präzedenzbedingungen für jeden DR Plan: E_{1p} , E_{2p} , E_{3p}
- Prioritätsliste für jeden DR Plan: L_{1p} , L_{2p} , L_{3p}

Abhängig davon, nach welcher Reihenfolge die Prioritäten (1p, 2p, 3p) den DR Plänen zugeteilt werden, werden ihre Aktivitäten geplant.

1. Initialisierung : die Prioritäten der DR Pläne, Hilfsvariablen und Mengen nach 1p, 2p, 3p setzen

- a) Prioritäten werden gesetzt: $DR_{1p}, DR_{2p}, DR_{3p} := \{ DR-FO \mid DR-CH \mid DR-BC \}$
- b) Aktivitätsmenge wird definiert: $V_{1p}, V_{2p}, V_{3p} := \{ V_{(DR-PRC)} + V_{(DR-FO)} \mid V_{(DR-PRC)} + V_{(DR-CH)} \mid V_{(DR-PRC)} + V_{(DR-BC)} \}$
- c) gemeinsame Prioritätsliste wird definiert: $L_{1p}, L_{2p}, L_{3p} := \{ L_{(DR-PRC)} + L_{(DR-FO)} \mid L_{(DR-PRC)} + L_{(DR-CH)} \mid L_{(DR-PRC)} + L_{(DR-BC)} \}$
- d) gemeinsame Präzedenzbedingungen werden definiert: $E_{1p}, E_{2p}, E_{3p} := \{ E_{O(DR-PRC)} + E_{O(DR-FO)} \mid E_{O(DR-PRC)} + E_{O(DR-CH)} \mid E_{O(DR-PRC)} + E_{O(DR-BC)} \}$, bei der Verbindung zweier Präzedenzbedingungsmengen, ist es notwendig ein neues Präzedenzpaar einzufügen, um diese zwei Mengen zu verbinden.
- e) Menge der verfügbaren Ressourcen wird definiert R
- f) Sanit.Init.zeit wird bestimmt: $SZeit_{1p}, SZeit_{2p}, SZeit_{3p}$
- g) Aktivitätsmenge, die in der Sanitation beteiligt sein können (Aktivität, Zeitanteil : $SAktiv_{1p}, SAktiv_{2p}, SAktiv_{3p} := \{ (i, Z_i) \dots \}$
- h) Ressourcenlisten, die während der Sanitation verwendete Ressourcen beinhalten: $SRes_{1p}, SRes_{2p}, SRes_{3p}$, in die Liste wird die Ressource eingegeben, zum Beispiel $\{ FD, OFFD, OBHD \}$
- i) Aktivitätsmengen für den Standortwechsel $SReloc_{xp}$, $x \in \{1,2,3\} := \{ (i, Z_i) \}$, wenn Standortwechsel vom FD/VEH Team möglich ist (Aktivität #4.4), wird ein Standort bestimmt $x \in \{1,2,3\}$ und Daten werden in die Menge $SReloc_{xp}$ eingegeben. Wenn FD Team mit 5 Personen an den Standort 2p verlagert wird, werden der Menge folgende Daten zugeteilt: $SReloc_{2p} = \{ (4.4, 25 \text{ Minuten}) \}$
- j) $S_A = \{ \emptyset \}$ ist die Liste mit Aktivitätsnummern. Sie beinhaltet die Aktivitäten nach der Reihenfolge der Ausführung. Wenn die Aktivität t #2.2 iz DR_{1p} geplant wird, wird ihre Nummer mit dem Suffix der Priorität in die Liste $S_A = \{ 2.2-1p \}$ eingegeben.
- k) Liste $S = (\emptyset)$ beinhaltet den Startpunkt der Aktivitäten.
- l) Variable der abgeschlossenen Aktivität - i, und für die Ausführung ausgewählte Aktivität - j
- m) Liste der aktiven Aktivitäten $Active = \{ \emptyset \}$
- n) Zeitvariable $t := 0$

2. solange nicht geplante Aktivitäten aus der Menge existieren: $V_{1p} \cup V_{2p} \cup V_{3p} / \{4.4\}$ oder aktive Aktivitäten $Active \neq \{ \emptyset \}$ existieren, (Aktivitäten 4.4-Standortwechsel werden nicht in Betracht genommen)

2.1 Im Zeitpunkt $t = 0$ oder im Beendigungszeitpunkt der Aktivität $i \in Active$ oder im Beendigungszeitpunkt der Sanitation $SZeit_{xp}$, $x \in \{1,2,3\}$

2.2 Wenn die Ausführung der Aktivität i abgeschlossen ist, und sie nicht in der Menge $SReloc_{xp}$, $x \in \{1,2,3\}$ ist:

- entferne aus der Liste $Active = Active / \{i\}$
- entferne Ressourcen aus der Menge R

2.3 wenn die Aktivität $i \in SReloc_{xp}$, $x \in \{1,2,3\}$ (nur #4.4) abgeschlossen ist:

- zusätzliche Ressourcen FD/VEH werden der Sanitation zugeteilt: $SRes_{xp} = SRes_{xp} \cup \{FD\}$
- Sanitationsdauer wird verkürzt: $SZeit_{xp} = SZeit_{xp} - Z_{i,(i \in SReloc_{xp})}$
- entferne aus der Liste $SReloc_{xp} = SReloc_{xp} / \{i\}$
- entferne aus der Liste $Active = Active / \{i\}$

2.4 wenn die Sanitation abgeschlossen ist $SZeit_{xp}$, $x \in \{1,2,3\}$

- entferne die Ressourcen aus der Menge $SRes_{xp}$, $SRes_{xp} = \{ \emptyset \}$
- entferne aus der Liste die aktiven Aktivitäten aller Sanitationsbeteiligten, $Active = Active / SActiv_{xp}$

2.4.1 wenn die DR Pläne existieren, die FD Ressourcen brauchen, dann:

- plane die Aktivität #4.4, $Active = Active \cup \{4.4\}$
- gib in die Liste $S_A = S_A \cup \{4.4\}$ ein
- ergänze die Liste der Startzeitpunkte $S = S \cup \{t\}$
- gib in $SReloc_{xp} = SReloc_{xp} \cup \{4.4\}$ ein
- besetze die Ressourcen aus R

2.5 Wenn nicht geplante Aktivitäten j in V_{1p} existieren

2.5.1 wähle aus der Menge V_{1p} Aktivität j nach Prioritätsstrategie, die:

- höchste Priorität in L_{1p} hat
- nach Präzedenzbedingungen aus E_{1p}
- ausreichend verfügbare Ressourcen R hat

2.5.2 besetze die Ressourcen aus R

2.5.3 wenn Aktivität j zu den Sanitationsaktivitäten gehört: $j \in SActiv_{1p}$

- dann verkürze die Sanitationsdauer $SZeit_{1p} = SZeit_{1p} - Z_{j,(j \in SActiv_{1p})}$
- gib besetzte Ressourcen $\{FD \mid OFFD \mid OBHD\}$ in $SRes_{1p} = SRes_{1p} \cup \{FD\}$ ein

2.5.4 Aktivitätsplanung:

- gib in die Liste $Active = Active \cup \{j\}$ ein
- entferne aus der Menge $V_{1p} = V_{1p} / \{j\}$
- gib in die Liste $S_A = S_A \cup \{j\}$ ein
- ergänze die Liste der Startzeitpunkte $S = S \cup \{t\}$

2.6 Wenn nicht geplante Aktivitäten j in V_{2p} existieren

- wiederhole wie in 2.5 für DR_{2p}

2.7 Wenn nicht geplante Aktivitäten j in V_{3p} existieren

- wiederhole wie in 2.5 für DR_{3p}

Das Ergebnis des Algorithmus sind folgende Listen: S_A i S , die Daten über Reihenfolge und Anfangszeiten der Aktivitäten aus der Menge V beinhalten.

4.1.7 Prozessablauf

Der Prozessfluss der Aktivitäten besteht aus Objekten in der Prinzipskizze und Beziehungen zwischen ihnen. Auch Sonderfälle der Beziehung wurden eingeführt, um diese imaginäre DR Situationen zu unterstützen.

Jede Aktivität wird mit einer Aktivitätsnummer und einer kurzen Beschreibung vorgestellt. Die Nummern werden im Format #n.r dargestellt, wobei die Vorsilbe n ein Team, Gruppe oder einen Bereich der Aktivität beschreibt, und der Suffix r, n Sub-Aktivitäten bezeichnet.

Folgende Diagrammtypen werden verwendet:

- process activity*: Verwendet einige Ressourcen und nutzt deterministische und stochastische Zeit
- decision activity* : In diesem Projekt wird nur ein logischer und informativer Projektstatus mit Ausnahme von DR Service-Plänen verwendet, für die eine explizite Anweisung gegeben wird.
- Status, der für Informationszwecke verwendet wird.

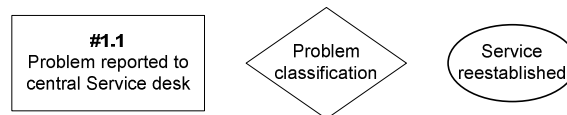


Abbildung 4.5 Diagramm typen

Während des gesamten Projekts verwendete Verbindungen:

- Standardverbindung, Rangfolgeneinschränkungen: Die zweite Aktivität muss zunächst abwarten, bis die erste Aktivität beendet ist. (durchgezogene Linie)
- Informationsverbindungen zwischen Prozessentscheidungsaktivitäten und Zuständen (gestrichelte Linie)
- Gruppenverbindungen: Aktivitäten innerhalb der Gruppe arbeiten zusammen für den gemeinsamen Sanitationsprozess, dh Offizielle Feuerwehr OFFD und FD Unternehmensteam arbeiten zusammen, um die Sanitation zu beschleunigen. (Strich-Punkt-Linie)

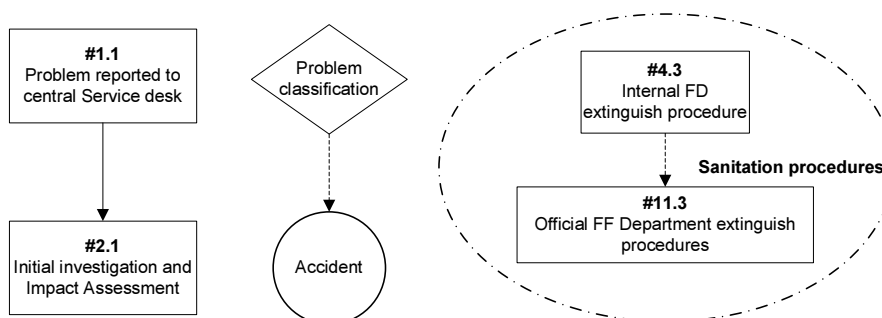


Abbildung 4.6 Verhältnis der Typen

4.1.8 Graphische Darstellung des Zeitplans

Der Graph zur Darstellung des Zeitplans verwendet Ressource / Zeit-Koordinaten (Gantt-Diagramm), um die Tätigkeiten an der Projektzeitachse zu zeigen. Die gleiche Grafik wird für mehrere aktive DR-Pläne verwendet.

Das Ressourcen-Koordinatensystem wird wie folgend ergänzt:

- Ressourcenmengen am zentralen Standort, dh für Feuerwehrfahrzeuge VEH: 1, 2
- Teams am zentralen Standort, dh FD Teams: 1p., 2p.
- Offizielle OFFD Teams und OBHD Abteilungen: 1p., 2p.
- Teams am entfernten Standort, dh Security Team SEC am 1p., 2p.und 3p. Standort

Standortmarkierungen (1p., 2p., 3p.) geben an, wie die Problemmeldungen an den *service desk* abschickt werden. Gleichzeitig bezeichnen diese Markierungen die Prioritäten bei der Meldung.

	3p.
SEC	2p.
	1p.
OBHD	1p.
OFFD	1p.
	1p.
FD	2p.
	1p.
VEH	2
	1



Abbildung 4.8 Graph legend

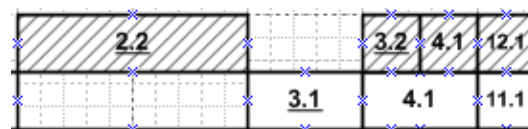


Abbildung 4.7 Zeitplan Beispiel

Abbildung 4.9 Ressourcen-Koordinaten

Verschiedene DR Zeitpläne auf der gleichen Grafik verwenden ein unverwechselbares Hintergrundfüllmuster zur besseren Erkennung. Unterstrichene Zahlen bedeuten, dass die Aktivität mehrere Ressourcen verwendet.

Wichtige Meilensteine werden zusätzlich mit Beschriftungen und einer kurzen Beschreibung markiert "Feuer löschen: 11.3 & 4.3 DR-FO". In diesem Beispiel bezieht sich "1st DR-FO" auf den ersten aktiven DR Brandausbruchplan. Die Zahlen 11.3 und 4.3 beziehen sich auf Tätigkeiten, die zu diesem Meilenstein beitragen und in unserem konkreten Beispiel beziehen sich die zwei Zahlen auf Firmen FD und Offizielle OFFD Teams in der kombinierten Arbeit am Sanitationsverfahren. Das Sanitationsverfahren wird als primäres Ziel fett gedruckt. In der Grafik unten werden einige Statistiken und Gesamtkosten für den DR Plan angezeigt.

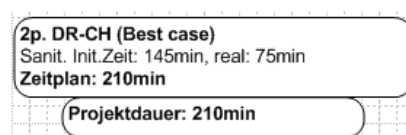


Abbildung 4.10 Statistiken

4.2 DR-PRC - Problem Klassifizierung

Ein gemeinsamer Schritt in allen DR Plänen ist die Problembenachrichtigung via BKM-Maßnahmen. Diese Gruppe von Schritten benötigt verschiedene Geschäftsführer und Spezialisten für schnelle Entscheidungen. Das gemeinsame Ziel ist es, die berichtete Situation zu bearbeiten und das Problem wie folgt zu klassifizieren: Inzident, Unfall oder Notfall. Alle vereinbarten DR Verfahren sollen beginnen, um einen Katastrophenfall zu vermindern. DR-PRC wird für jedes neu gemeldete Problem unabhängig initiiert und eine gemeinsame zentrale Ressourcenstelle wird für alle Standorte verwendet.

Aktivitätsdiagramm

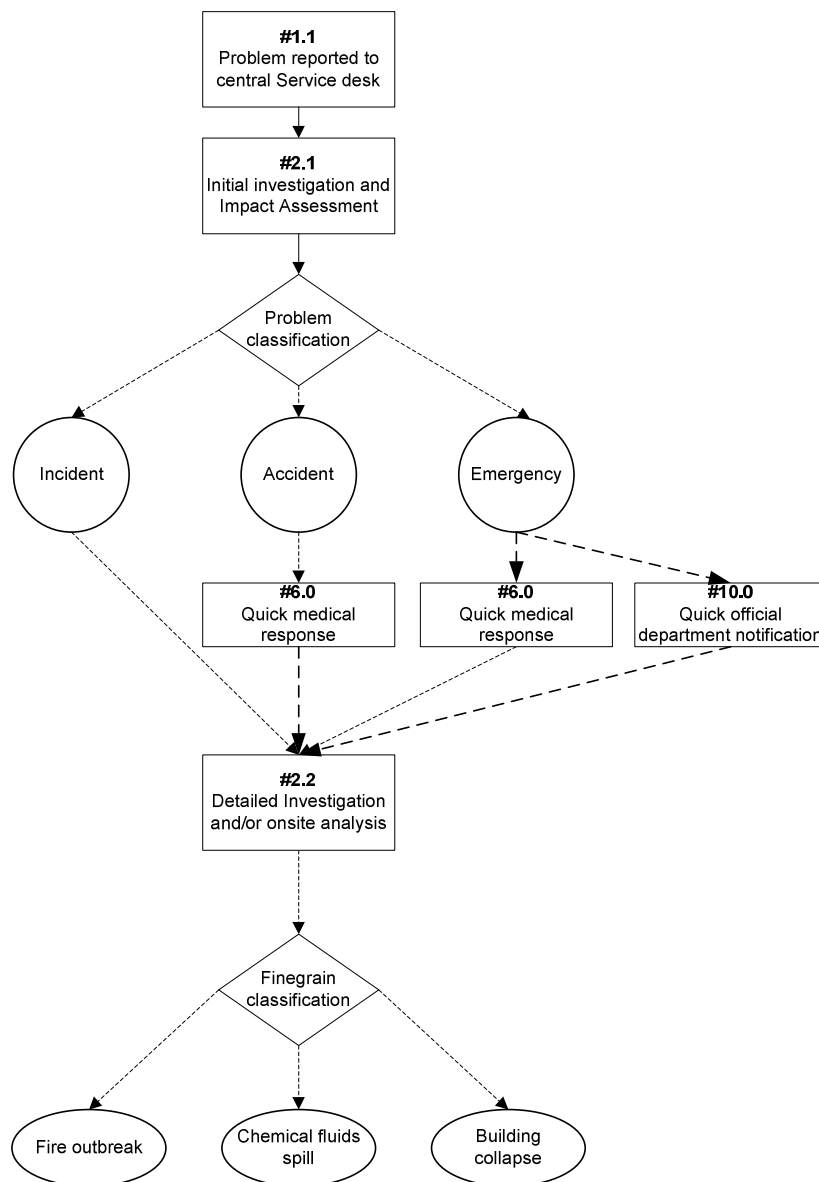


Abbildung 4.11 DR-PRC

Beschreibung der Aktivitäten

Aktivität /(f _k)	Ressource (R _k)																			Dauer	
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	OBHD R ₁₃	best	worst
#1.1																	1			<5, 0.5>	<10, 0.5>
#2.1		1	1	1	1	1														<10, 0.8>	<20, 0.2>
#6.0													1	1	1					<10, 1.0>	
#10.0			1																	<5, 1.0>	
#2.2	1	1	1	1	1	1	1	1												<20, 0.7>	<30, 0.3>

Tabelle 4.2 DR-PRC Aktivitätstabelle

Abbildung 4.11 zeigt einen Graph mit folgenden Daten (Aktivitätsmenge V, Menge der Präzedenzbedingungen E_O und Prioritätsliste L):

- $V_{(DR-PRC)} = \{ 1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2 \}$
- $E_{O(DR-PRC)} = \{ (1.1, 2.1), (2.1, 6.0), (2.1, 10.0), (2.1, 2.2) \}$
- $L_{(DR-PRC)} = 1.1 < 2.1 < 6.0 < 10.0 < 2.2$

Wie bereits erwähnt, wird jeder spezifische DR-Plan wie DR-FO, DR-CH und DR-BC mit neuer Instanz der DR-PRC gestartet. Am Anfang (#1.1) nimmt ein Service Desk (SD) einen Notruf von einem Unternehmen eines entfernten Standorts entgegen. Erste Ermittlungen und eine BKM-Folgenabschätzung werden von Service Manager (MP2), BKM-Manager (MP3) und Abteilungsleiter (MP4) aus dem fernen Ort durchgeführt. Ein Problem wird wie folgt untergeteilt:

- Inzident: kleinere Störungen ohne menschliche Verluste oder Sachschäden
- Unfall: ernsteres Problem mit möglicher menschlichen / materiellen Gefahr
- Notfall: erhebliche Störung mit potenziellem Verlust an Menschenleben, Sachschäden oder anderem Einfluss auf die Umwelt.

Unsere DR-FO und DR-CH Pläne für Notfälle beziehen offizielle, staatliche Stellen ein, und daher wird DR-BC als Unfall behandelt.

Die zusätzliche Benachrichtigung (#10.0) wird an die offizielle Abteilung vom Unternehmen und dem BKM-Manager (MP3) gesendet, und zur gleichen Zeit reagieren die medizinischen Teams (MED) schnell, wenn es notwendig ist (#6.0). Nach der Klassifizierung wird das Team versammelt, um strategische Entscheidungen über DR Pläne und Schadensminderung zu treffen (#2.2) und die Organisation der personellen und materiellen Ressourcen zu machen. Dieses Team sollte CEO (MP1), Service-Manager (MP2), BKM-Manager (MP3), Abteilungsleiter (MP4), HR-Spezialist (MP5) und einen Spezialisten für Umwelteinflüsse (MP6) mit einbeziehen. Nach ihrer Entscheidung wird einer der DR Pläne gestartet und es wird eine weitere Koordination zwischen Abteilungsleiter und anderen Spezialisten am zentralen Standort mit nötigen Kommunikationsmitteln eingeführt. Zeitpläne der DR-PRC werden nicht unabhängig gemacht, sondern in Kombination mit anderen DR-Plänen.

4.3 DR-FO (Brandausbruch)

Aktivitätsdiagramm

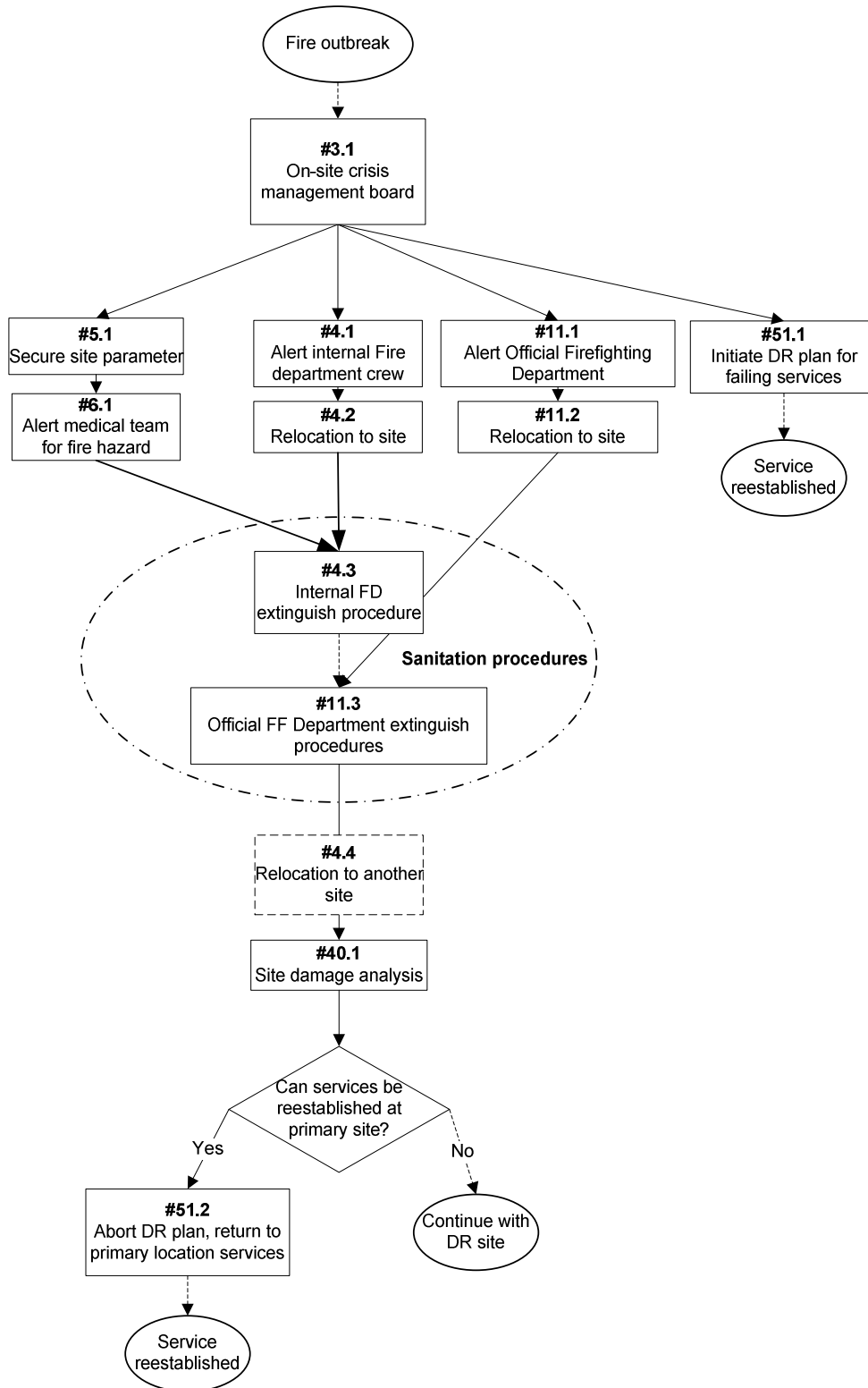


Abbildung 4.12 DR-FO Diagramm

Das Hauptproblem beim Brandausbruch ist das Feuer zu löschen und den Schaden so schnell wie möglich zu minimieren. Der gesamte Prozess der Sanitation ist in zwei verschiedenen Sub-Aktivitäten zusammengefasst: (#4.3) Interne Feuerwehr (FD) Verfahren und (#11.3) Offizielle Brandbekämpfungsabteilung (OFFD). Jede dieser beiden Aktivitäten hilft bei der Beschleunigung des Löschprozesses. In einzelnen DR-Plänen kann FD zwei Fahrzeuge verwenden, und zwar zehn Personen in Gruppen jeweils fünf Personen in einem Team, wobei jede Person die Löschzeit um 5 Minuten und bei OFFD um 30 Minuten verkürzt.

Die Sanitationsprozedur wird mit folgenden Wahrscheinlichkeiten modelliert $\langle 120, 0.6 \rangle$ und $\langle 150, 0.4 \rangle$.

Beschreibung der Aktivitäten

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																		Dauer					
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	OBHD R ₁₃	best	worst			
#3.1		1	1	1	1	1		1														$\langle 10, 0.9 \rangle$	$\langle 20, 0.1 \rangle$	
#5.1											1	1	1										$\langle 5, 1.0 \rangle$	
#6.1														1	1	1							$\langle 5, 1.0 \rangle$	
#4.1				1	1	1																	$\langle 10, 1.0 \rangle$	
#4.2									1	1													$\langle 20, 0.5 \rangle$	$\langle 30, 0.5 \rangle$
#11.1				1	1	1																	$\langle 5, 1.0 \rangle$	
#11.2																		1					$\langle 15, 0.8 \rangle$	$\langle 30, 0.2 \rangle$
#51.1			1																				$\langle 15, 1.0 \rangle$	
#4.3									1															siehe FD spezif.
#11.3																		1						siehe OFFD spezif.
#4.4									1	1														$\langle 15, 1.0 \rangle$ wenn notwendig
#40.1		1	1	1	1	1																		$\langle 15, 1.0 \rangle$
#51.2			1																					$\langle 15, 1.0 \rangle$

Tabelle 4.3 DR-FO Aktivitätentabelle

Abbildung 4.12 zeigt den Graph mit folgenden Daten (Aktivitätsmenge V, Menge der Präzedenzbedingungen E_O und Prioritätsliste L):

- $V_{(DR-FO)} = \{ 3.1, 5.1, 4.1, 11.1, 51.1, 6.1, 4.2, 11.2, 4.3, 11.3, 4.4, 40.1, 51.2 \}$
- $E_{O(DR-FO)} = \{ (3.1, 5.1), (3.1, 4.1), (3.1, 11.1), (3.1, 51.1), (5.1, 6.1), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (6.1, 4.3), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4), (4.3, 40.1), (11.3, 40.1), (40.1, 51.2) \}$
- $L_{(DR-FO)} = 3.1 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 6.1 < 51.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4 < 40.1 < 51.2$

Besondere Hinweise:

- Bei (#4.2) der Verlagerung und (#4.3) dem Löschverfahren vom FD Team werden wir ein Fahrzeug mit allen zehn Personen verwenden.
- Punkt (#4.4) FD Verlagerung an einen anderen Standort wird übersprungen, da das der einzige DR-Plan ist
- Nach der Schadensanalyse (#40.1) wird der DR-Plan für abgebrochenes Service wieder an dem primären Standort gestartet (#51.2)

Am Anfang (#3.1) wird ein Krisenmanagement vor Ort organisiert, und zwar inklusive BKM, Umweltmanager und Abteilungsleiter. Nach der Abstimmung muss der Sicherheitsdienst den Standort durchsuchen(#5.1) und das medizinische Team alarmieren (#6.1). Parallel dazu wird das FD Team alarmiert (#4.1) und an den Standort geschickt (#4.2). Gleichzeitig wird das offizielle OFFD alarmiert (#11.1), das bereits auf dem Weg zum Standort sein soll (#11.2). Das FD Team des Unternehmens, nachdem es verlegt wurde (#4.2), wartet auf das medizinische Team (#6.1), OFFD kann aber mit dem Löschen beginnen (#11.3), sobald sie eintreffen (#11.2). Der BKM-Manager beginnt mit dem Service-DR-Plan an einem sekundären Standort, um die Produktion wieder zu starten. Das Gesundheitsschutz-FD Team wird, wenn nötig (im Hintergrund), an einen anderen Ort (#4.4) verlegt. Danach folgt die Standortschadensanalyse (#40.1) und der Abbruch des DR-Plans am primären Standort.

4.3.1 Der Ablauf des Algorithmus (*brute force*) für den Plan (Kapitel 4.3.3, *Abbildung 4.13*)

Der folgende Ablauf des Algorithmus am Beispiel DR-FO Planung (Kapitel 4.3.3, *Abbildung 4.13*) zeigt ein einfaches Beispiel, weil keine Zusammenhänge zwischen kombinierten Plänen vorhanden sind.

Eingangsdaten:

Sanitation Init. Zeit(DR_{1p}) = 120 Minuten

$V_{(DR-PRC)} = \{ 1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2 \}$

$E_{O(DR-PRC)} = \{ (1.1, 2.1), (2.1, 6.0), (2.1, 10.0), (2.1, 2.2) \}$

$L_{(DR-PRC)} = 1.1 < 2.1 < 6.0 < 10.0 < 2.2$

$V_{(DR-FO)} = \{ 3.1, 5.1, 4.1, 11.1, 51.1, 6.1, 4.2, 11.2, 4.3, 11.3, 4.4, 40.1, 51.2 \}$

$E_{O(DR-FO)} = \{ (3.1, 5.1), (3.1, 4.1), (3.1, 11.1), (3.1, 51.1), (5.1, 6.1), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (6.1, 4.3), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4), (4.3, 40.1), (11.3, 40.1), (40.1, 51.2) \}$

$L_{(DR-FO)} = 3.1 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 6.1 < 51.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4 < 40.1 < 51.2$

Hinweis: Hier wird nur ein DR Plan geplant. Daher werden zur besseren Übersicht keine Suffixe der Prioritäten (1p,2p,3p) angegeben. Aktivität #4.4 aus der Liste V wird nicht genutzt, weil es keinen Bedarf eines Standortwechsels der Ressourcen zu einem anderen DR Plan gibt.

1. Initialisierung:

- a) DR_{1p} := DR-FO
- b) $V_{1p} := V_{(DR-PRC)} + V_{(DR-FO)} \Rightarrow \{ 1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 5.1, 4.1, 11.1, 51.1, 6.1, 4.2, 11.2, 4.3, 11.3, 4.4, 40.1, 51.2 \}$
- c) $L_{1p} := L_{(DR-PRC)} + L_{(DR-FO)} \Rightarrow 1.1 < 2.1 < 6.0 < 10.0 < 2.2 < 3.1 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 6.1 < 51.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4 < 40.1 < 51.2$
- d) $E_{1p} := E_{O(DR-PRC)} + E_{O(DR-FO)} \Rightarrow \{ (1.1, 2.1), (2.1, 6.0), (2.1, 10.0), (2.1, 2.2), (2.2, 3.1), (3.1, 5.1), (3.1, 4.1), (3.1, 11.1), (3.1, 51.1), (5.1, 6.1), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (6.1, 4.3), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4), (4.3, 40.1), (11.3, 40.1), (40.1, 51.2) \}$, zusätzliches Präzedenzpaar wird eingeführt (2.2, 3.1)
- e) R
- f) SZeit_{1p} := 120
- g) SAktiv_{1p} := { (4.3, 50), (11.3,30) }
- h) SRes_{1p} := { ∅ }
- i) SReloc_{1p} := { ∅ }
- j) S_A = { ∅ }
- k) S = (∅)
- l) i := 0, j := 0
- m) Active = { ∅ }
- n) t := 0

Ablauf: (im Anfangszeitpunkt t und/oder im Beendigungszeitpunkt):

- t=0) (2.5.1) j=1.1, (2.5.4) Active={1.1}, $V_{1p} = V_{1p} / \{1.1\}$, $S_A = \{1.1\}$, S=(0)
- t=5) (2.2) i=1.1, Active={∅}, (2.5.1) j=2.1, (2.5.4) Active={2.1}, $V_{1p} = V_{1p} / \{2.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1\}$, S=(0,5)
- t=15) (2.2) i=2.1, Active={∅}, (2.5.1) j=6.0, (2.5.4) Active={6.0}, $V_{1p} = V_{1p} / \{6.0\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0\}$, S=(0,5,15)
- t=15) Active={6.0}, (2.5.1) j=10.0, (2.5.4) Active={6.0,10.0}, $V_{1p} = V_{1p} / \{10.0\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0\}$, S=(0,5,15,15)
- t=20) (2.2) i=10.0, Active={6.0}, (2.5.1) j=2.2, (2.5.4) Active={6.0, 2.2}, $V_{1p} = V_{1p} / \{2.2\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2\}$, S=(0,5,15,15, 20)
- t=25) (2.2) i=6.0, Active={2.2}

t=40) (2.2) i=2.2, Active={∅}, (2.5.1) j=3.1, (2.5.4) Active={3.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{3.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40)$

t=50) (2.2) i=3.1, Active={∅}, (2.5.1) j=4.1, (2.5.4) Active={4.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{4.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50)$

t=50) Active={4.1}, (2.5.1) j=5.1, (2.5.4) Active={4.1, 5.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{5.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50)$

t=50) Active={4.1, 5.1}, (2.5.1) j=51.1, (2.5.4) Active={4.1, 5.1, 51.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{51.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,50)$

t=55) (2.2) i=5.1, Active={4.1, 51.1}, (2.5.1) j=6.1, (2.5.4) Active={4.1, 51.1, 6.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{6.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,50,55)$

t=60) (2.2) i=6.1, Active={4.1, 51.1}, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,50,55)$

t=60) (2.2) i=4.1, Active={ 51.1}, (2.5.1) j=11.1, (2.5.4) Active={ 51.1, 11.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{11.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60)$

t=60) Active={ 51.1, 11.1}, (2.5.1) j=4.2, (2.5.4) Active={ 51.1, 11.1, 4.2}, $V_{ip} = V_{ip} / \{4.2\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60)$

t=65) (2.2) i=11.1, Active={ 51.1, 4.2}, (2.5.1) j=11.2, (2.5.4) Active={ 51.1, 4.2, 11.2}, $V_{ip} = V_{ip} / \{11.2\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65)$

t=65) (2.2) i=51.1, Active={4.2, 11.2}, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65)$

t=80) (2.2) i=11.2, Active={4.2 }, (2.5.1) j=11.3, (2.5.3)Sanit.START SZeit_{ip}=120-30=90Minuten, SRess_{ip}={OFFD} (2.5.4) Active={4.2, 11.3}, $V_{ip} = V_{ip} / \{11.3\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80)$

t=80) (2.2) i=4.2, Active={11.3 }, (2.5.1) j=4.3, (2.5.3)Sanit.START SZeit_{ip}=90-50=40Minuten, SRess_{ip}={OFFD, FD} (2.5.4) Active={11.3, 4.3}, $V_{ip} = V_{ip} / \{4.3\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3, 4.3\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80,80)$

t=120) (2.4)Sanit.ENDE SRess_{ip}={∅}, Active={∅}, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3, 4.3\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80,80)$

t=120) Active={∅}, (2.5.1) j=40.1, (2.5.4) Active={ 40.1}, $V_{ip} = V_{ip} / \{40.1\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3, 4.3, 40.1\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80,80,120)$

t=135) (2.2) i=40.1, Active={∅}, (2.5.1) j=51.2, (2.5.4) Active={ 51.2}, $V_{ip} = V_{ip} / \{51.2\}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3, 4.3, 40.1, 51.2\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80,80,120,135)$

t=150) (2.2) i=51.2, Active={∅}, $V_{ip} = \{ 4.4 \}$, $S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3, 4.3, 40.1, 51.2\}$, $S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80,80,120,135)$

Ergebnisse:

SZeit_{ip} = 40 Minuten , Sanitationsdauer

$S_A = \{1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 4.1, 5.1, 51.1, 6.1, 11.1, 4.2, 11.2, 11.3, 4.3, 40.1, 51.2\}$,

Ausführungsliste

$S = (0,5,15,15, 20,40,50,50,55,60,60,65,80,80,120,135)$, Anfangszeiten

Totalzeit(DR_{ip}) = 150 Minuten

4.3.2 Der Ablauf des Algorithmus (*brute force*) für den Zeitplan (Kapitel 4.6.2, *Abbildung 4.22*)

Das folgende Beispiel zeigt den Ablauf des Algorithmus für die kombinierte FO(1p) und DR-BC(2p) Planung. (Kapitel 4.6.2, *Abbildung 4.6.2*). In diesem Beispiel wird der Standortwechsel des FD Teams zwischen zwei DR Plänen dargestellt.

Eingangsdaten:

Sanitation Init. Zeit(DR_{1p}) = 120 Minuten

Sanitation Init. Zeit(DR_{2p}) = 100 Minuten

$V_{(DR-PRC)} = \{ 1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2 \}$

$E_{O(DR-PRC)} = \{ (1.1, 2.1), (2.1, 6.0), (2.1, 10.0), (2.1, 2.2) \}$

$L_{(DR-PRC)} = 1.1 < 2.1 < 6.0 < 10.0 < 2.2$

$V_{(DR-FO)} = \{ 3.1, 5.1, 4.1, 11.1, 51.1, 6.1, 4.2, 11.2, 4.3, 11.3, 4.4, 40.1, 51.2 \}$

$E_{O(DR-FO)} = \{ (3.1, 5.1), (3.1, 4.1), (3.1, 11.1), (3.1, 51.1), (5.1, 6.1), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (6.1, 4.3), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4), (4.3, 40.1), (11.3, 40.1), (40.1, 51.2) \}$

$L_{(DR-FO)} = 3.1 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 6.1 < 51.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4 < 40.1 < 51.2$

$V_{(DR-BC)} = \{ 3.4, 5.1, 4.1, 11.1, 4.2, 4.3, 11.2, 11.3, 4.4 \}$

$E_{O(DR-BC)} = \{ (3.4, 5.1), (3.4, 4.1), (3.4, 11.1), (5.1, 4.3), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4) \}$

$L_{(DR-BC)} = 3.4 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4$

Hinweis: Da es sich hier um die Planung von zwei DR Plänen handelt, haben die Aktivitäten in den Mengen einen Suffix (-1p, -2p).

1. Initialisierung:

a) DR_{1p} := DR-FO, DR_{2p} := DR-BC

b) $V_{1p} := V_{(DR-PRC)} + V_{(DR-FO)} \Rightarrow \{ 1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.1, 5.1, 4.1, 11.1, 51.1, 6.1, 4.2, 11.2, 4.3, 11.3, 4.4, 40.1, 51.2 \}$;

$V_{2p} := V_{(DR-PRC)} + V_{(DR-BC)} \Rightarrow \{ 1.1, 2.1, 6.0, 10.0, 2.2, 3.4, 5.1, 4.1, 11.1, 4.2, 4.3, 11.2, 11.3, 4.4 \}$

c) $L_{1p} := L_{(DR-PRC)} + L_{(DR-FO)} \Rightarrow 1.1 < 2.1 < 6.0 < 10.0 < 2.2 < 3.1 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 6.1 < 51.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4 < 40.1 < 51.2$;

$L_{2p} := L_{(DR-PRC)} + L_{(DR-BC)} \Rightarrow 1.1 < 2.1 < 6.0 < 10.0 < 2.2 < 3.4 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4$

d) $E_{1p} := E_{O(DR-PRC)} + E_{O(DR-FO)} \Rightarrow \{ (1.1, 2.1), (2.1, 6.0), (2.1, 10.0), (2.1, 2.2), (2.2, 3.1), (3.1, 5.1), (3.1, 4.1), (3.1, 11.1), (3.1, 51.1), (5.1, 6.1), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (6.1, 4.3), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4), (4.3, 40.1), (11.3, 40.1), (40.1, 51.2) \}$, zusätzliches Präzedenzpaar wird eingeführt (2.2, 3.1) ;

$E_{2p} := E_{O(DR-PRC)} + E_{O(DR-BC)} \Rightarrow \{ (1.1, 2.1), (2.1, 6.0), (2.1, 10.0), (2.1, 2.2), (2.2, 4.4), (3.4, 5.1), (3.4, 4.1), (3.4, 11.1), (5.1, 4.3), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4) \}$, zusätzliches Präzedenzpaar wird eingeführt (2.2, 3.4)

e) R

f) SZeit_{1p} := 120 ; SZeit_{2p} := 100

g) SAktiv_{1p} := { (4.3, 25), (11.3,30) } ; SAktiv_{2p} := { (4.3, 25), (11.3,30) }

h) SRess_{1p} := { Ø } ; SRess_{2p} := { Ø }

i) SReloc_{1p} := { Ø } ; SReloc_{2p} := { Ø }

j) S_A = { Ø }

k) S = (Ø)

l) i := 0, j := 0

m) Active = { Ø }

n) t := 0

Ablauf (im Anfangszeitpunkt t und/oder im Beendigungszeitpunkt):

- $t=0$) (2.5.1) $j=1.1-1p$, (2.5.4) $\text{Active}=\{1.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{1.1\}$, $S_A=\{1.1-1p\}$, $S=(0)$
- $t=0$) (2.6.1) $j=1.1-2p$, (2.6.4) $\text{Active}=\{1.1-1p, 1.1-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{1.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p\}$, $S=(0,0)$
- $t=5$) (2.2) $i=1.1-1p$, $\text{Active}=\{1.1-2p\}$ (2.5.1) $j=2.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{1.1-2p, 2.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{2.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p\}$, $S=(0,0,5)$
- $t=5$) (2.2) $i=1.1-2p$, $\text{Active}=\{2.1-1p\}$ (2.6.1) $j=2.1-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{2.1-1p, 2.1-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{2.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p\}$, $S=(0,0,5,5)$
- $t=15$) (2.2) $i=2.1-1p$, $\text{Active}=\{2.1-2p\}$ (2.5.1) $j=6.0-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{2.1-2p, 6.0-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{6.0\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15)$
- $t=15$) (2.2) $i=2.1-2p$, $\text{Active}=\{6.0-1p\}$ (2.5.1) $j=10.0-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{6.0-1p, 10.0-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{10.0\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15)$
- $t=15$) $\text{Active}=\{6.0-1p, 10.0-1p\}$ (2.6.1) $j=6.0-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{6.0\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15)$
- $t=20$) (2.2) $i=10.0-1p$, $\text{Active}=\{6.0-1p, 6.0-2p\}$ (2.5.1) $j=2.2-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{6.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{2.2\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20)$
- $t=25$) (2.2) $i=6.0-1p$, $\text{Active}=\{6.0-2p, 2.2-1p\}$ $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20)$
- $t=25$) (2.2) $i=6.0-2p$, $\text{Active}=\{2.2-1p\}$ $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20)$
- $t=40$) (2.2) $i=2.2-1p$, $\text{Active}=\{\emptyset\}$ (2.6.1) $j=2.2-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{2.2-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{2.2\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40)$
- $t=60$) (2.2) $i=2.2-2p$, $\text{Active}=\{\emptyset\}$ (2.5.1) $j=3.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{3.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{3.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60)$
- $t=60$) $\text{Active}=\{3.1-1p\}$ (2.6.1) $j=3.4-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{3.1-1p, 3.4-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{3.4\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60)$
- $t=70$) (2.2) $i=3.1-1p$ $\text{Active}=\{3.4-2p\}$ (2.5.1) $j=4.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{3.4-2p, 4.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{4.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70)$
- $t=70$) (2.2) $i=3.4-2p$ $\text{Active}=\{4.1-1p\}$ (2.5.1) $j=5.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{5.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70)$
- $t=70$) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p\}$ (2.5.1) $j=5.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{5.1.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70)$
- $t=70$) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-1p\}$ (2.6.1) $j=4.1-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-1p, 4.1-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{4.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1, 4.1-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70)$
- $t=70$) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-1p, 4.1-2p\}$ (2.6.1) $j=5.1-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-1p, 4.1-2p, 5.1-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{5.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1, 4.1-2p, 5.1-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,70)$
- $t=75$) (2.2) $i=5.1-1p$ $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 4.1-2p, 5.1-2p\}$ (2.5.1) $j=6.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{6.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,75)$
- $t=75$) (2.2) $i=4.1-2p$ $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-2p\}$ (2.6.1) $j=4.2-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{4.2\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,75,75)$
- $t=75$) (2.2) $i=5.1-2p$ $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 6.1-1p, 4.2-2p\}$ (2.6.1) $j=11.1-2p$ (2.6.4) $\text{Active}=\{4.1-1p, 5.1-1p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p\}$, $V_{2p}=V_{2p}/\{11.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,75,75,75)$
- $t=80$) (2.2) $i=4.1-1p$ $\text{Active}=\{5.1-1p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p\}$ (2.5.1) $j=11.1-1p$ (2.5.4) $\text{Active}=\{5.1-1p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p\}$, $V_{1p}=V_{1p}/\{11.1\}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 5.1.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p\}$, $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,75,75,75,80)$

- t=80) (2.2) i=6.1-1p Active={51.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p } (2.5.1) j=4.2-1p (2.5.4) Active={51.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p}, $V_{1p} = V_{1p} / \{4.2\}$, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80)$
- t=80) (2.2) i=11.1-2p Active={51.1-1p, 4.2-2p, 11.1-1p, 4.2-1p } (2.6.1) j=11.2-2p (2.6.4) Active={51.1-1p, 4.2-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p}, $V_{2p} = V_{2p} / \{11.2\}$, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80)$
- t=85) (2.2) i=51.1-1p Active={4.2-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p}, Active={4.2-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p}, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80)$
- t=85) (2.2) i=11.1-1p Active={4.2-2p, 4.2-1p, 11.2-2p} (2.5.1) j=11.2-1p (2.5.4) Active={4.2-2p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85)$
- t=90) (2.2) i=4.2-2p Active={ 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p } (2.6.1) j=4.3-2p (2.6.3) Sanit.START.DR_{2p} SZeit_{2p} =100-25=75Minuten, $S_{Res_{2p}} = \{FD\}$ (2.6.4) Active={4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90)$
- t=95) (2.2) i=11.2-2p Active={4.2-1p, 11.2-1p, 4.3-2p } (2.6.1) j=11.3-2p (2.6.3) Sanit.START.DR_{2p} SZeit_{2p} =75-30=45Minuten, $S_{Res_{2p}} = \{FD, OFFD\}$ (2.6.4) Active={4.2-1p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95)$
- t=100) (2.2) i=4.2-1p Active={ 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p } (2.5.1) j=4.3-1p (2.5.3) Sanit.START.DR_{1p} SZeit_{1p} =120-25=95Minuten, $S_{Res_{1p}} = \{FD\}$ (2.5.4) Active={ 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100)$
- t=100) (2.2) i=11.2-1p Active={4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p } (2.5.1) j=11.3-1p (2.5.3) Sanit.START.DR_{1p} SZeit_{1p} =95-30=65Minuten, $S_{Res_{1p}} = \{FD, OFFD\}$ (2.5.4) Active={ 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 11.3-1p, 11.3-1p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100)$
- t=130) (2.4) Sanit.ENDE.DR_{2p} $S_{Res_{2p}} = \{\emptyset\}$, Active={ 4.3-1p, 11.3-1p } (2.4.1) Standortwechsel j=4.4-2p, Active={ 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p }, $S_{Reloc_{1p}} = \{4.4-2p\}$, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130)$
- t=145) (2.3) i=4.4-2p, $S_{Res_{1p}} = \{FD, OFFD, FD\}$, SZeit_{1p} =65-25=40Minuten, $S_{Reloc_{1p}} = \{\emptyset\}$, Active={ 4.3-1p, 11.3-1p }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130)$
- t=145) (2.4) Sanit.ENDE.DR_{1p} $S_{Res_{1p}} = \{\emptyset\}$, Active={ \emptyset }, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130)$
- t=145) (2.4) $S_{Res_{1p}} = \{\emptyset\}$, Active={ \emptyset }, (2.5.1) j=40.1-1p (2.5.1) Active={ 40.1-1p }, $V_{1p} = V_{1p} / \{40.1\}$, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p, 40.1-1p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130,145)$
- t=160) (2.2) i=40.1-1p, Active={ \emptyset }, (2.5.1) j=51.2-1p (2.5.1) Active={ 51.2-1p }, $V_{1p} = V_{1p} / \{51.2\}$, $S_A = \{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p, 40.1-1p, 51.2-1p\}$, $S = (0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130,145,160)$

$t=175$) (2.2) $i=51.2-1p$, $Active=\{ \emptyset \}$, $S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p, 40.1-1p, 51.2-1p \}$,
 $S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130,145,160)$

Ergebnisse:

$SZeit_{1p} = 45$ Minuten , Sanitationsdauer

$SZeit_{2p} = 45$ Minuten , Sanitationsdauer

$S_A=\{1.1-1p, 1.1-2p, 2.1-1p, 2.1-2p, 6.0-1p, 10.0-1p, 6.0-2p, 2.2-1p, 2.2-2p, 3.1-1p, 3.4-2p, 4.1-1p, 5.1-1p, 51.1, 4.1-2p, 5.1-2p, 6.1-1p, 4.2-2p, 11.1-2p, 11.1-1p, 4.2-1p, 11.2-2p, 11.2-1p, 4.3-2p, 11.3-2p, 4.3-1p, 11.3-1p, 4.4-2p, 40.1-1p, 51.2-1p \}$, Ausführung-Liste

$S=(0,0,5,5,15,15,15,20,40,60,60,70,70,70,70,70,75,75,75,80,80,80,85,90,95,100,100,130,145,160)$, Anfangszeiten

Totalzeit(DR_{1p}) = 175 Minuten

Totalzeit(DR_{2p}) = 130 Minuten

4.3.3 Best case Plan

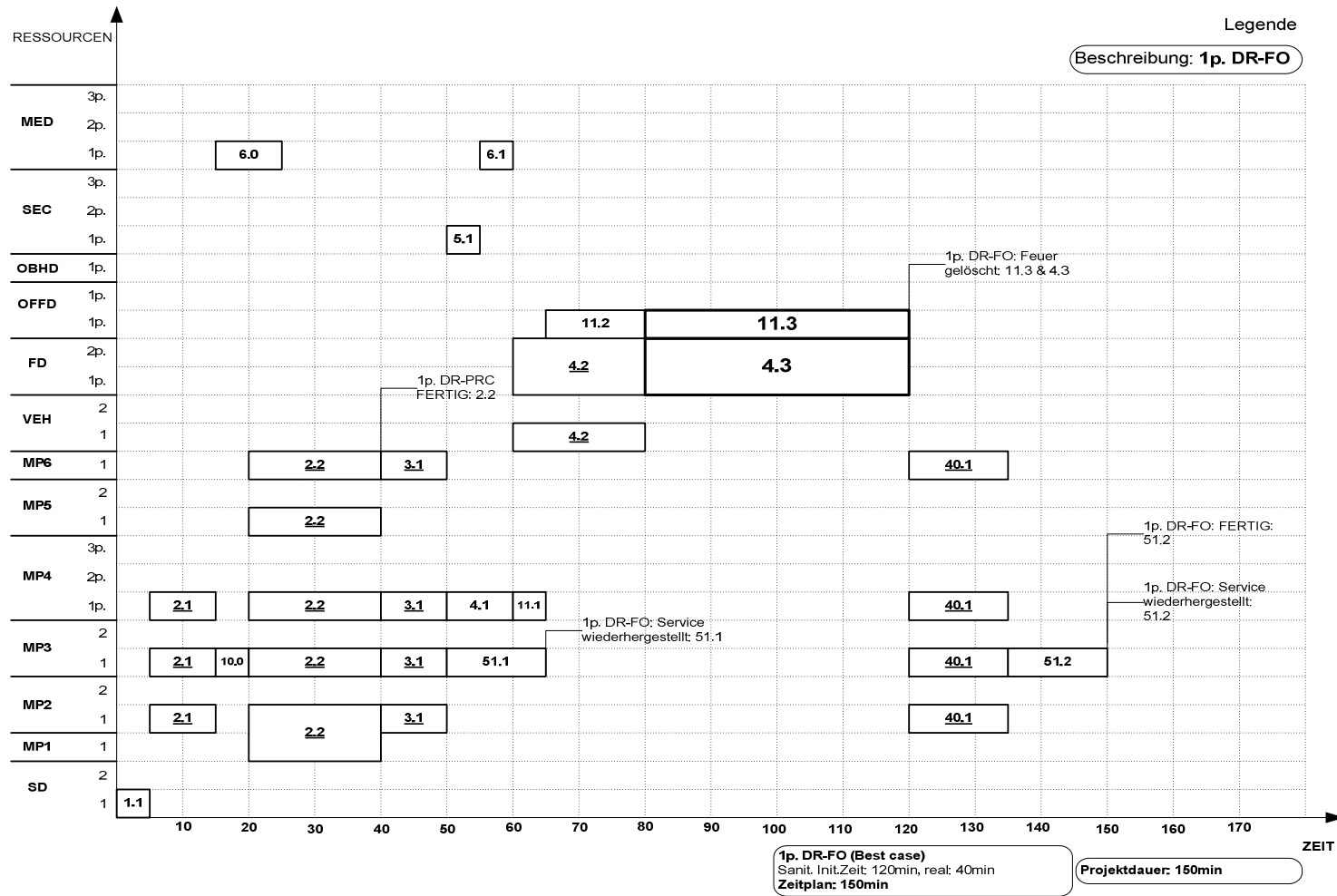


Abbildung 4.13 DR-FO best case

4.3.4 Worst case Plan

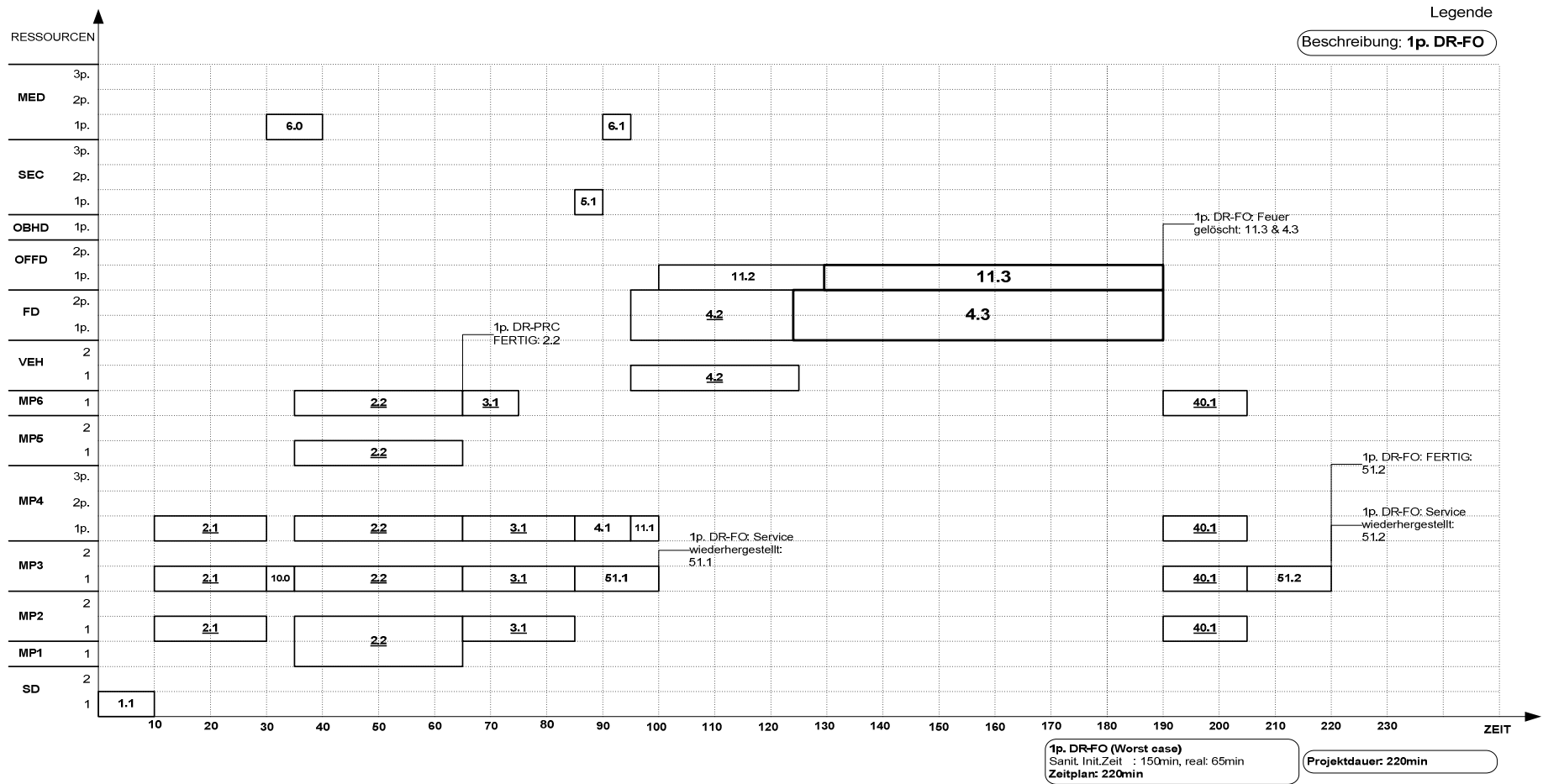


Abbildung 4.14 DR-FO worst case

4.4 DR-CH (Chemieunfälle)

Aktivitätsdiagramm

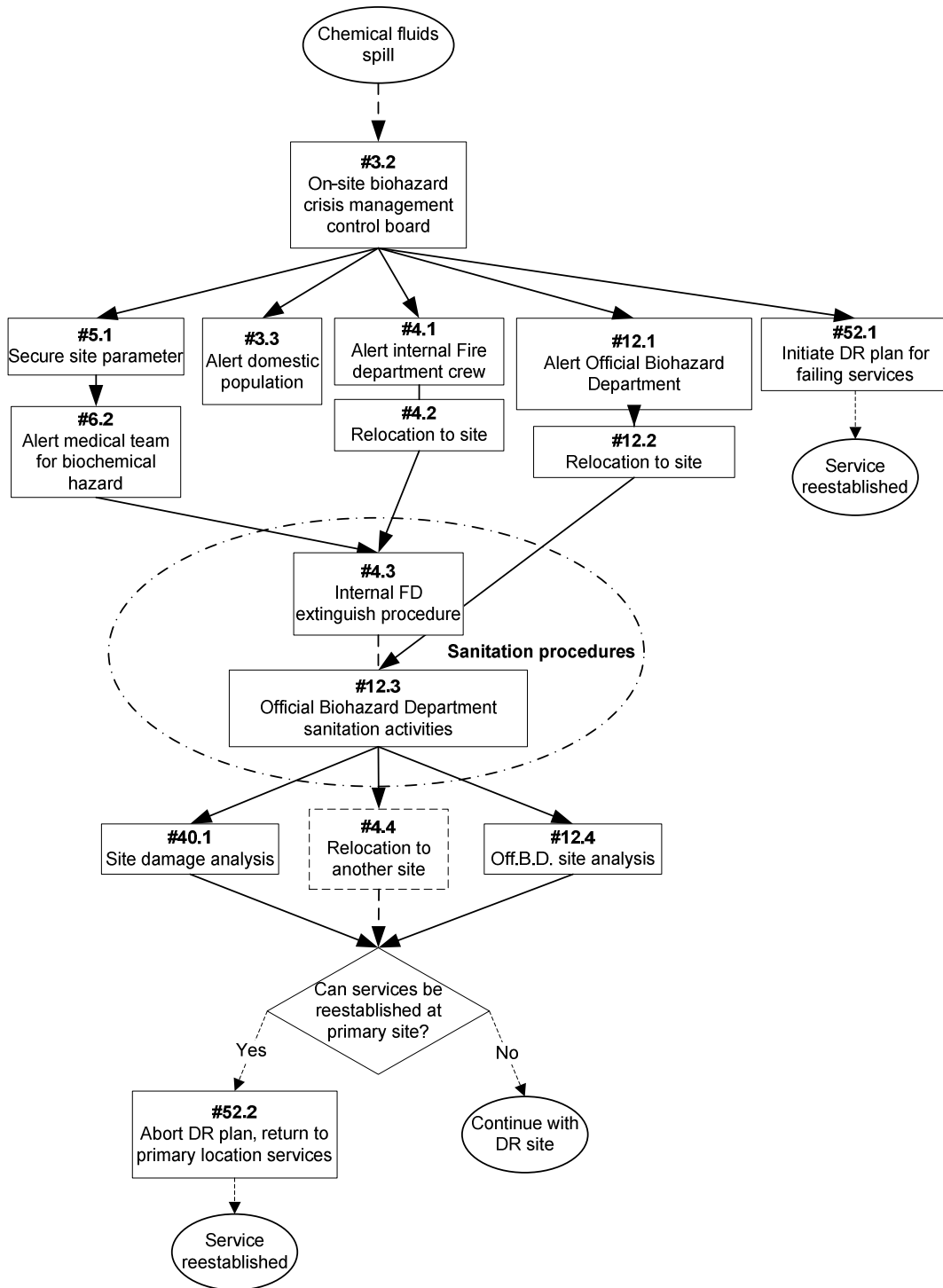


Abbildung 4.15 DR-CH Diagramm

Dieses Szenario setzt die Verschüttung einer gefährlichen Flüssigkeit voraus und erfordert eine schnelle Reaktion. Die Gesundheit von Menschen ist noch nicht gefährdet, aber es besteht die Gefahr dazu. Die Sanitation ist in zwei Tätigkeiten in den folgenden Abteilungen zusammengefasst: (#4.3) Interne Feuerwehr (FD) und (#12.3) Offizielle Biogefährdungsabteilung (OBHD). FD Personen verkürzen die Löschzeit um 5 Minuten und OBHD Personen um 45 Minuten. Es ist erforderlich, dass Standortverlagerungen und alle anderen Aktivitäten schneller passieren.

Die Sanitationsprozedur wird mit folgenden Wahrscheinlichkeit modelliert $\langle 145, 0,8 \rangle$ und $\langle 160, 0,2 \rangle$.

Beschreibung der Aktivitäten

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																	Dauer					
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	OBHD R ₁₃	best	worst		
#3.2		1	1	1	1	1	1														$\langle 5, 0,8 \rangle$	$\langle 10, 0,2 \rangle$	
#5.1										1	1	1										$\langle 5, 0,7 \rangle$	$\langle 15, 0,3 \rangle$
#6.2														1	1	1						$\langle 15, 0,8 \rangle$	$\langle 20,02 \rangle$
#3.3								1														$\langle 15, 1,0 \rangle$	
#4.1				1	1	1																$\langle 5, 1,0 \rangle$	
#4.2									1	1												$\langle 10, 0,5 \rangle$	$\langle 15, 0,5 \rangle$
#12.1				1	1	1																$\langle 5, 1,0 \rangle$	
#12.2																			1			$\langle 10, 0,9 \rangle$	$\langle 15, 0,1 \rangle$
#52.1			1				1															$\langle 30, 1,0 \rangle$	
#4.3									1													siehe FD spezif.	
#12.3																				1		siehe OBHD spezif.	
#4.4									1	1												$\langle 15, 1,0 \rangle$ wenn notwendig	
#40.1		1	1	1	1	1		1														$\langle 15, 1,0 \rangle$	
#12.4																				1		$\langle 20, 0,8 \rangle$	$\langle 30,0,2 \rangle$
#52.2			1				1															$\langle 15, 1,0 \rangle$	

Tabelle 4.4 DR-CH Aktivitätstabelle

Abbildung 4.15 zeigt den Graph mit folgenden Daten (Aktivitätsmenge V, Menge der Präzedenzbedingungen E_O und Prioritätsliste L):

- $V_{(DR-CH)} = \{ 3.2, 5.1, 3.3, 4.1, 12.1, 52.1, 6.2, 4.2, 12.2, 4.3, 12.3, 40.1, 4.4, 12.4, 52.2 \}$
- $E_{O(DR-CH)} = \{ (3.2, 5.1), (3.2, 3.3), (3.2, 4.1), (3.2, 12.1), (3.2, 52.1), (5.1, 6.2), (4.1, 4.2), (12.1, 12.2), (6.2, 4.3), (4.2, 4.3), (12.2, 12.3), (4.3, 40.1), (4.3, 4.4), (12.3, 12.4), (40.1, 52.2), (12.4, 52.2) \}$
- $L_{(DR-CH)} = 3.2 < 4.1 < 12.1 < 4.2 < 12.2 < 5.1 < 6.2 < 3.3 < 52.1 < 4.3 < 12.3 < 4.4 < 40.1 < 12.4 < 52.2$

Besondere Hinweise:

- Bei der (#4.2) Verlagerung und (#4.3) dem Löschverfahren wird für das FD Team ein Fahrzeug mit allen zehn Personen verwendet
- Punkt (#4.4) FD Verlagerungen zu anderen Standorten wird übersprungen
- Nach der Schadensanalyse vor Ort (#40.1) wird der DR-Plan für den Service wieder zum primären Standort gebracht (#52.2)

Der wesentliche Unterschied zum DR-FO-Plan ist eine zusätzliche (#3.3) Alarmierung der Bevölkerung vor den sanitären Verfahren und die OBHD Ortsanalyse (#12.4). In einigen Aktivitäten wie (#3.2), (#52.1) und (#52.2) spielt der HR Manager (MP5) wegen der Mitarbeiterreorganisation eine Rolle. Das *Worst-Case*-Szenario bringt einige Probleme durch den Vorrang und die Abhängigkeiten zwischen (#5.1) - (#6.2) - (#4.3) mit sich, weil das FD-Team verpflichtet ist, auf das medizinische Team zu warten.

4.4.1 Best case Plan

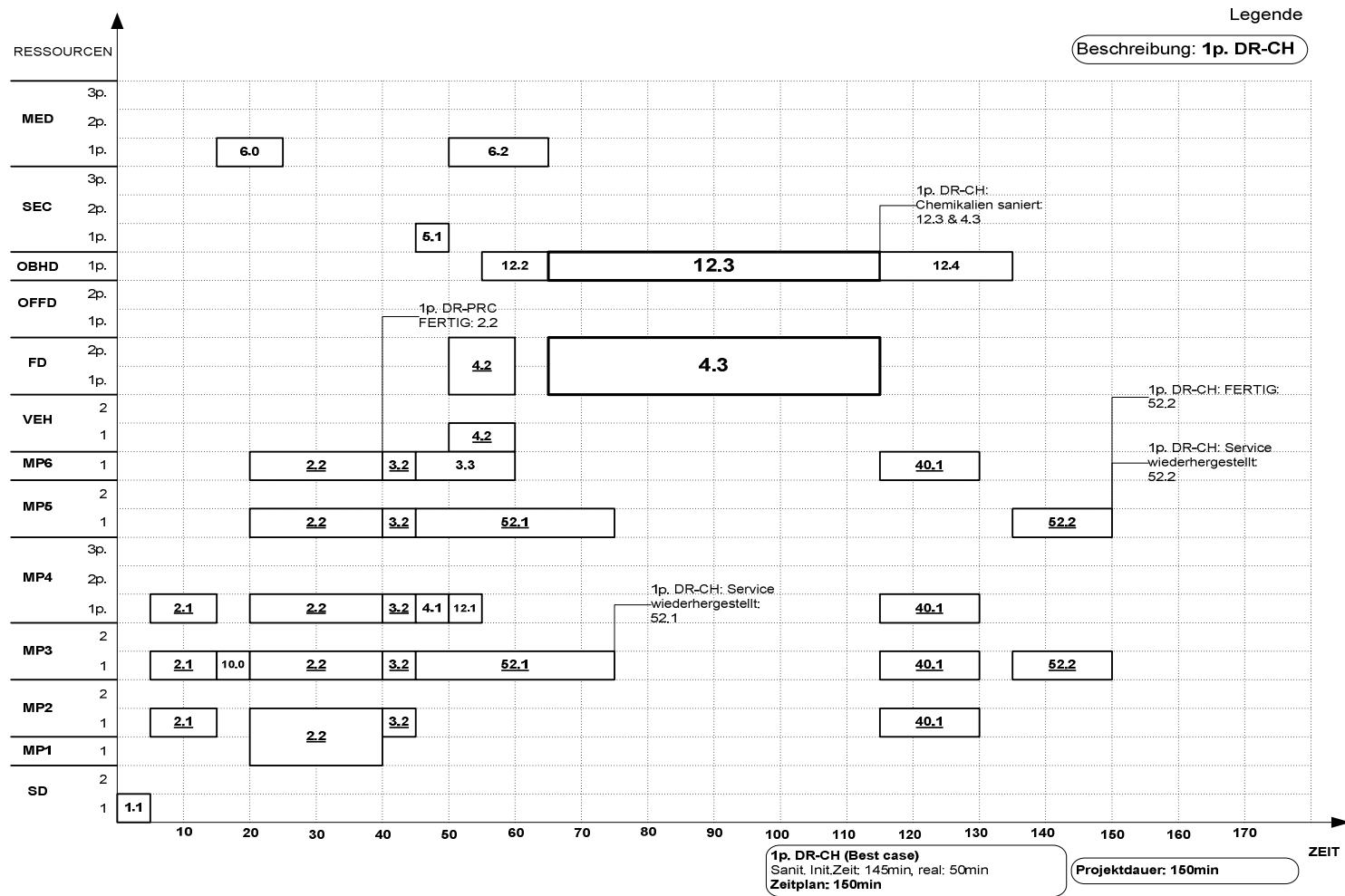


Abbildung 4.16 DR-CH best case

4.4.2 Worst case Plan

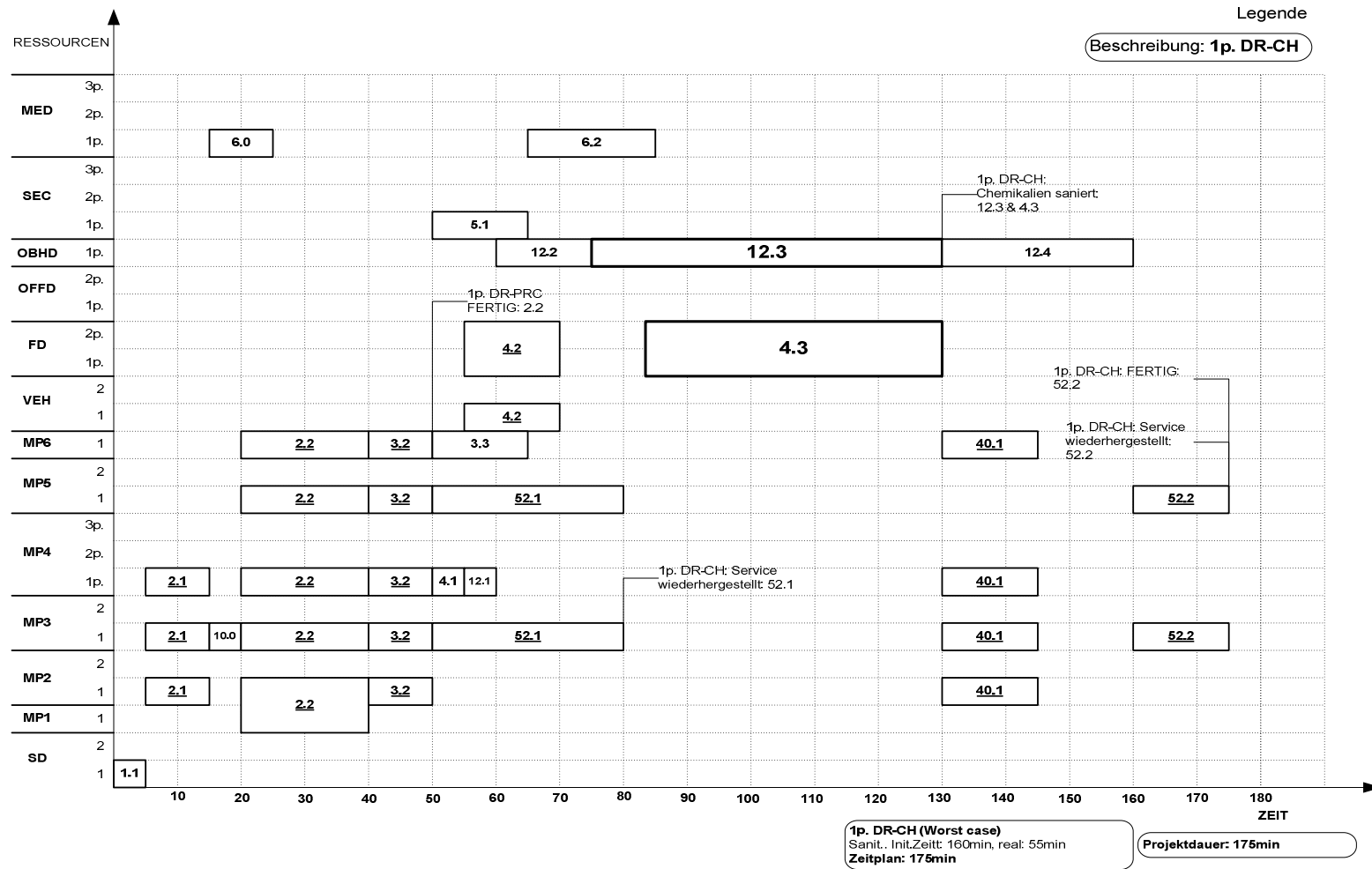


Abbildung 4.17 DR-CH worst case

4.5 DR-BC (Gebäudeeinsturz)

Dieses Kollapsszenario ist viel einfacher als die vorigen. Es wird vermutet, dass ein Gebäude niedriger Wichtigkeit eingestürzt ist. FD und OFFD Teams sind vor Ort erforderlich, nur um sicherzustellen, dass keine Menschen im Inneren eingeschlossen sind. Es muss auch festgestellt werden, ob eine Brand-oder-Gasgefahr besteht. Alle Aktivitäten sollen kurz sein und es besteht keine Gefahr für den Firmenservice. Das Sanitationsverfahren sollte nicht lange dauern.

Aktivitätsdiagramm

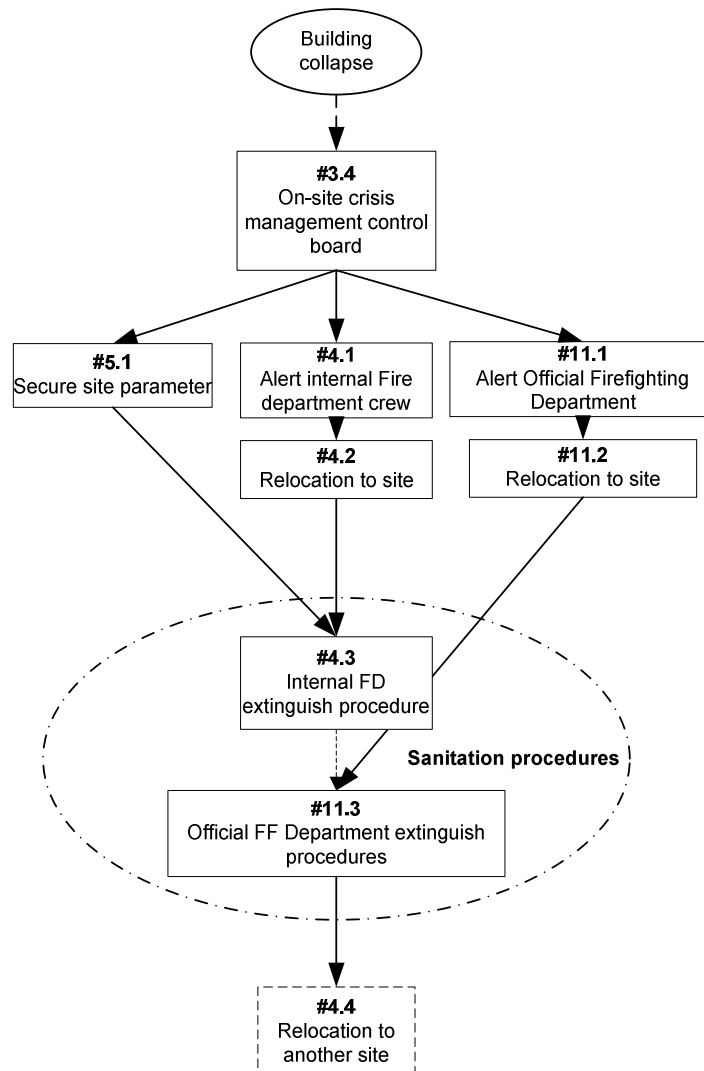


Abbildung 4.18 DR-BC Diagramm

Beschreibung der Aktivitäten

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																			Dauer		
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	OBHD R ₁₃	best	worst	
#3.4				1	1	1	1														<10, 0.9>	<15, 0.1>
#5.1											1	1	1								<5, 1.0>	
#4.1				1	1	1															<5, 1.0>	
#4.2									1	1											<15, 0.6>	<20, 0.4>
#11.1				1	1	1															<5, 1.0>	
#11.2																		1			<15, 0.7>	<20, 0.3>
#4.3									1												siehe FD spezif.	
#11.3																		1			siehe OFFD spezif.	
#4.4									1	1											<15, 1.0> wenn notwendig	

Tabelle 4.5 DR-BC Aktivitäten -Tabelle

Abbildung 4.18 zeigt den Graph mit folgenden Daten (Aktivitätsmenge V, Menge der Präzedenzbedingungen E_O und Prioritätsliste L):

- $V_{(DR-BC)} = \{ 3.4, 5.1, 4.1, 11.1, 4.2, 4.3, 11.2, 11.3, 4.4 \}$
- $E_{O(DR-BC)} = \{ (3.4, 5.1), (3.4, 4.1), (3.4, 11.1), (5.1, 4.3), (4.1, 4.2), (11.1, 11.2), (4.2, 4.3), (11.2, 11.3), (4.3, 4.4) \}$
- $L_{(DR-BC)} = 3.4 < 4.1 < 11.1 < 4.2 < 11.2 < 5.1 < 4.3 < 11.3 < 4.4$

Die Sanitationsprozedur wird mit folgenden Wahrscheinlichkeiten modelliert: <100, 0,75> und <120, 0,25>.

Wegen der Einfachheit und der potentiell kurzen Projektdauer, dem geringeren Ressourcenbedarf und keinem DR-Plan für mangelnde Dienstleistungen wird es interessant sein zu sehen, wie andere Prioritäten in kombinierten DR Plänen allgemeine Auswirkungen auf komplizierte Projektzeitpläne haben.

4.5.1 Best case Plan

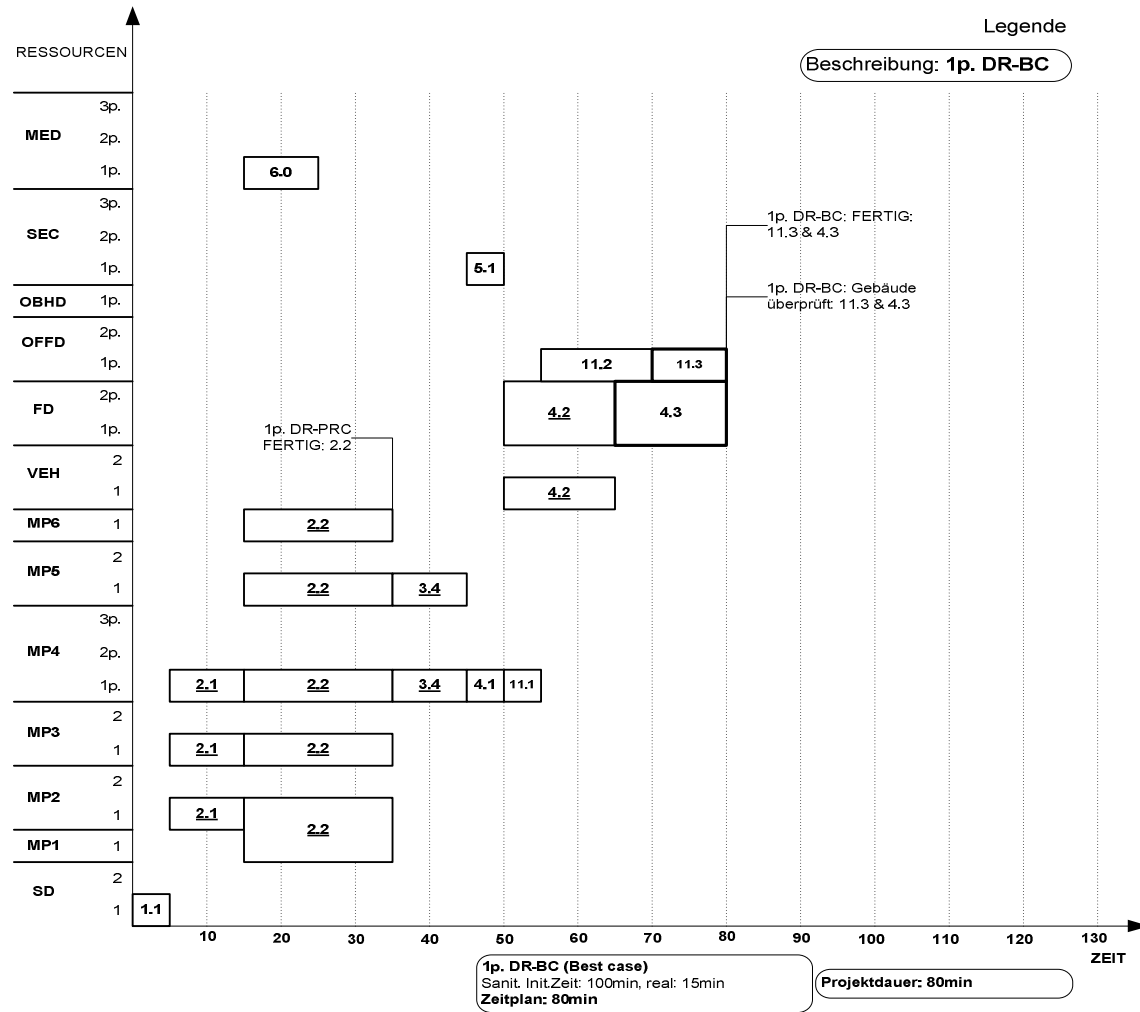


Abbildung 4.19 DR-BC best case

4.5.2 Worst case Plan

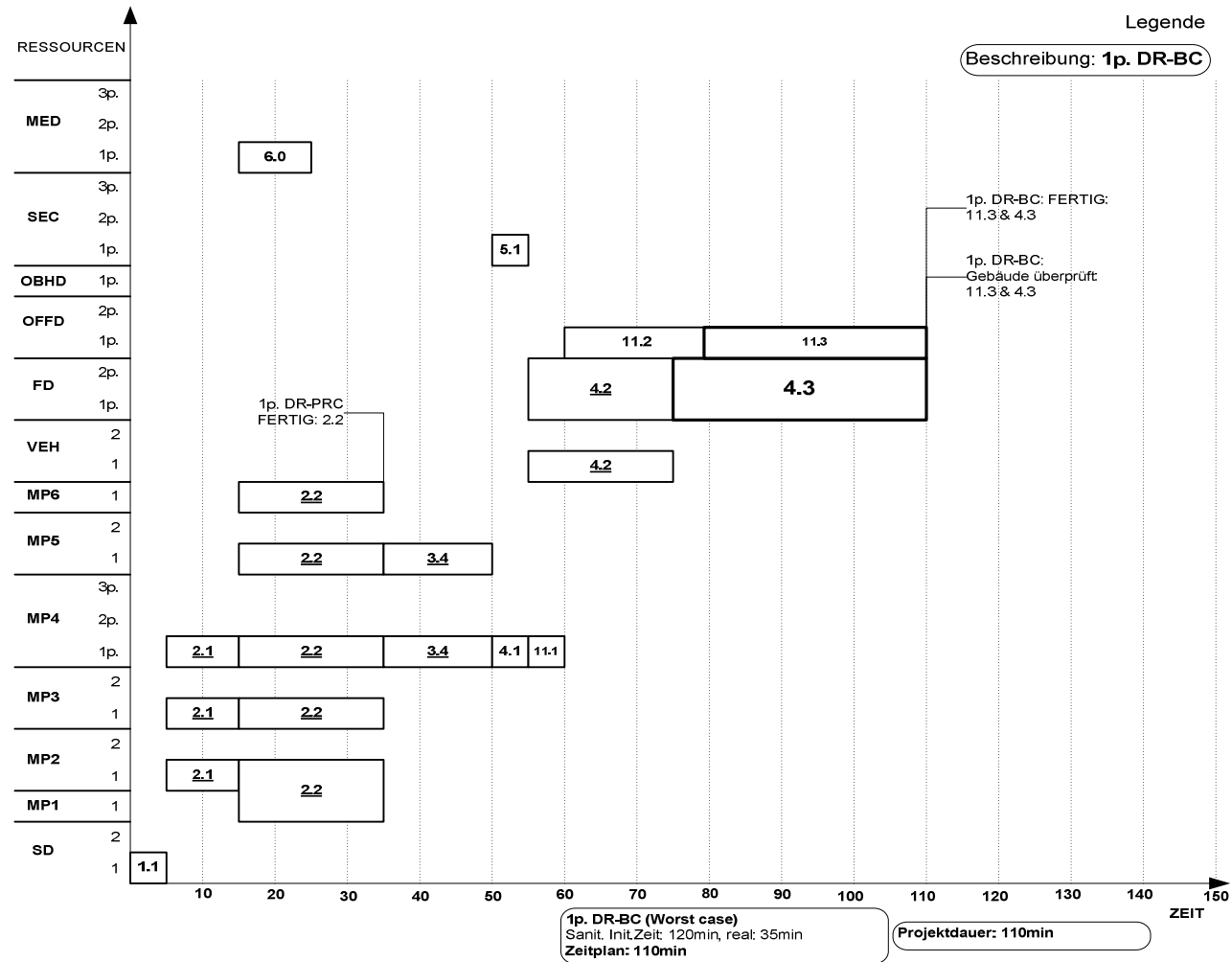


Abbildung 4.20 DR-BC worst case

4.6 Kombinierte Zeitpläne

Nach den vorläufigen *best / worst case* Planungsszenarien mit einzelnen aktiven DR Plänen, sind genug Informationen vorhanden, um die jeweiligen Projektdauern zu messen. Diese Basislinien werden mit komplizierten kombinierten Zeitplänen verglichen.

Kombinierte Zeitpläne sind nur dann ausführbar, wenn die Summe notwendiger offizieller Abteilungsressourcen nicht die Menge der verfügbaren Ressourcen überschreitet. Da es nur zwei OFFD Teams und ein OBHD Team gibt, sind nur diejenigen Kombinationen der DR Pläne erlaubt, bei denen die Anzahl gegebener Ressourcen nicht überschritten wird. Mit anderen Worten, es ist nicht möglich einen Zeitplan von zwei gleichzeitig aktiven DR-CH (chemische Gefahren) Plänen zu testen, weil es keine zwei OBHD Teams gibt.

Ein wichtiges Merkmal der kombinierten Zeitpläne ist die Bestellung oder Priorisierung von DR Plänen aufgrund der knappen Ressourcen im Bereich der Führungskräfte und der FD Teams im Unternehmen. Eine unterschiedliche Sortierung und Kombination der gleichen DR Pläne wird ausgeführt, um die besten Ansätze- aber nur für einige "verdächtige" Kombinationen -zu zeigen. Alle Zeitpläne werden nach ihrer *best case* Situation verwendet, wenn nichts anderes angegeben ist.

Zwei andere Zeitplanansätze werden genutzt:

- *Brute-force*-Programmplanung: Die Aktivitäten verschiedener DR Pläne werden nacheinander geplant, wobei nur auf die Priorität und Ressourcenverfügbarkeit geachtet wird, dh für den Triple DR-Plan und die Aktivitäten (#1.1) wird zuerst die erste Prioritätsaktivität geplant, danach 2p. und 3p. Eine detaillierte Beschreibung folgt im Kapitel 4.1.6
- *Smart*: Diese Methode plant in einem Schritt alle DR-PRC Aktivitäten von einem DR Plan. Alle anderen Aktivitäten werden wie in der *brute force* Methode geplant. Im Beispiel DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) werden alle DR-PRC Aktivitäten, die dem DR-FO Plan angehören, gleichzeitig geplant. Erst danach werden die Aktivitäten für DR-CH geplant.

Kombinierte Zeitpläne (Planungsprioritätsanzeige):

- DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.), *brute force*
- DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.), *brute force*
- DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.), *brute force*
- DR-CH(1p.) und DR-BC(2p.), *brute force*
- DR-BC(1p.) und DR-CH(2p.), *brute force*
- DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.) , *brute force*
- DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), *smart*
- DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), *brute force*
- DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), *smart*
- DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), *brute force*
- DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), *smart*

4.6.1 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.), brute force

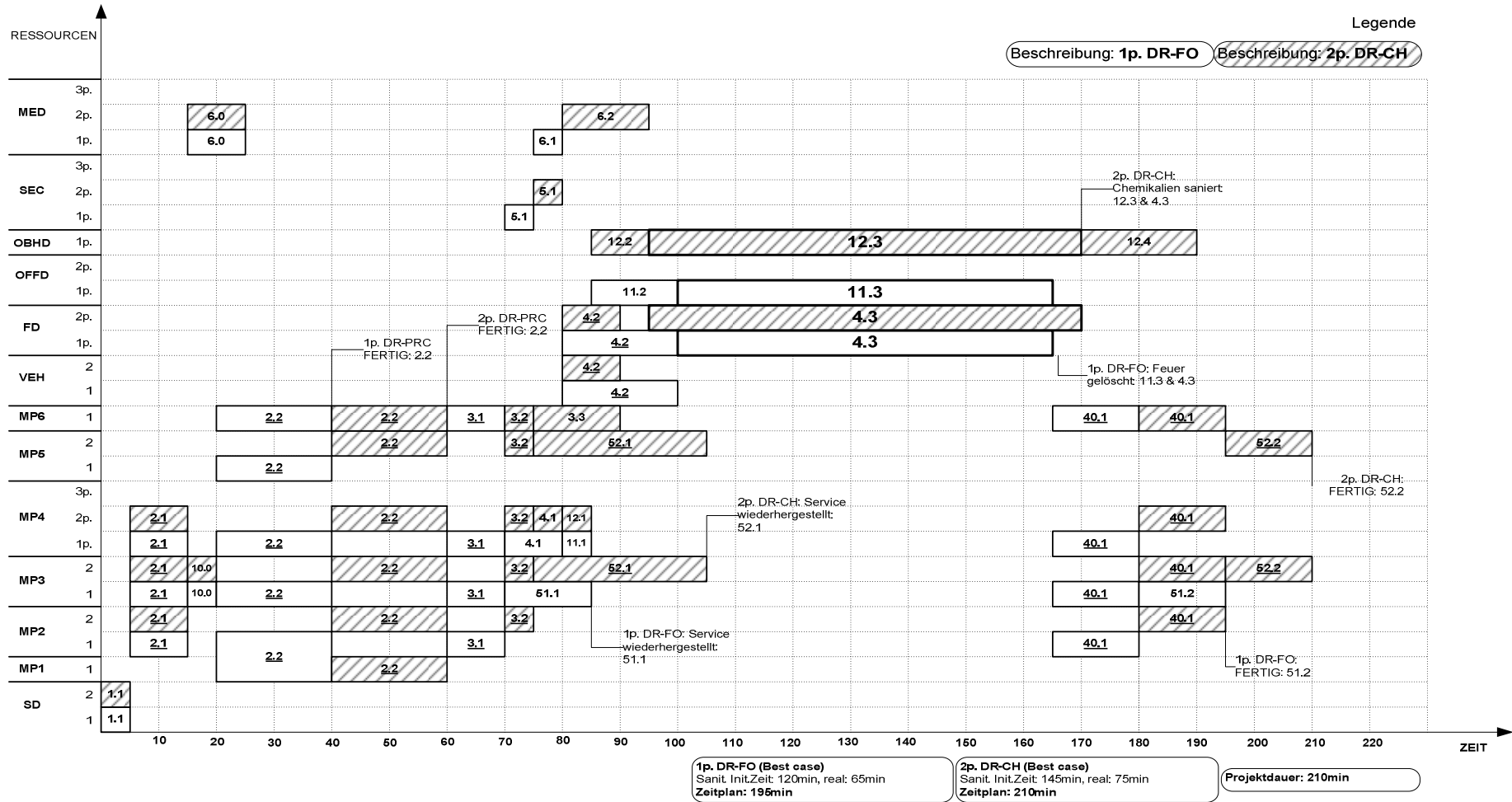


Abbildung 4.21 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.), brute force

4.6.2 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.), brute force

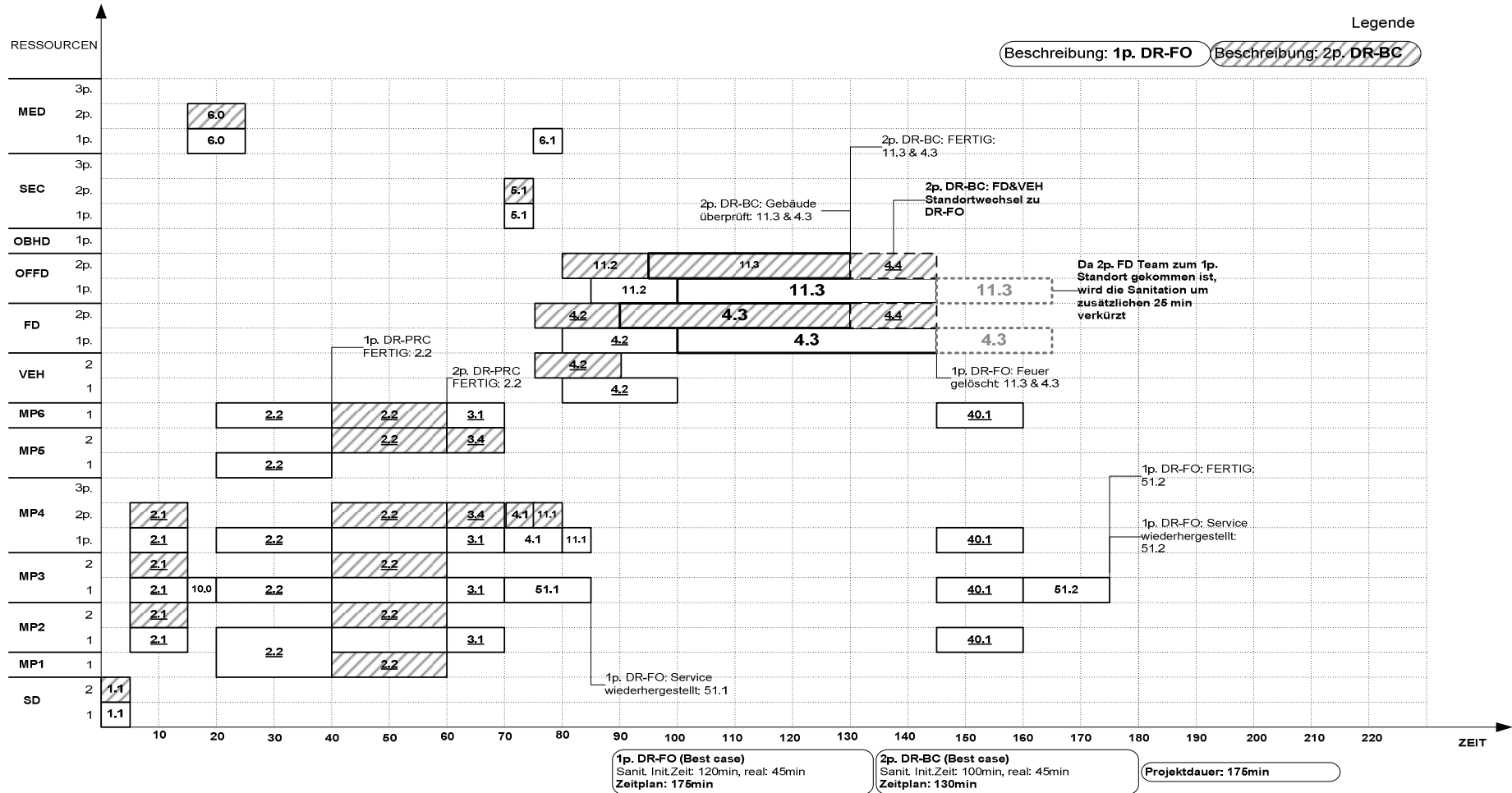


Abbildung 4.22 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.), brute force

4.6.3 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.), brute force

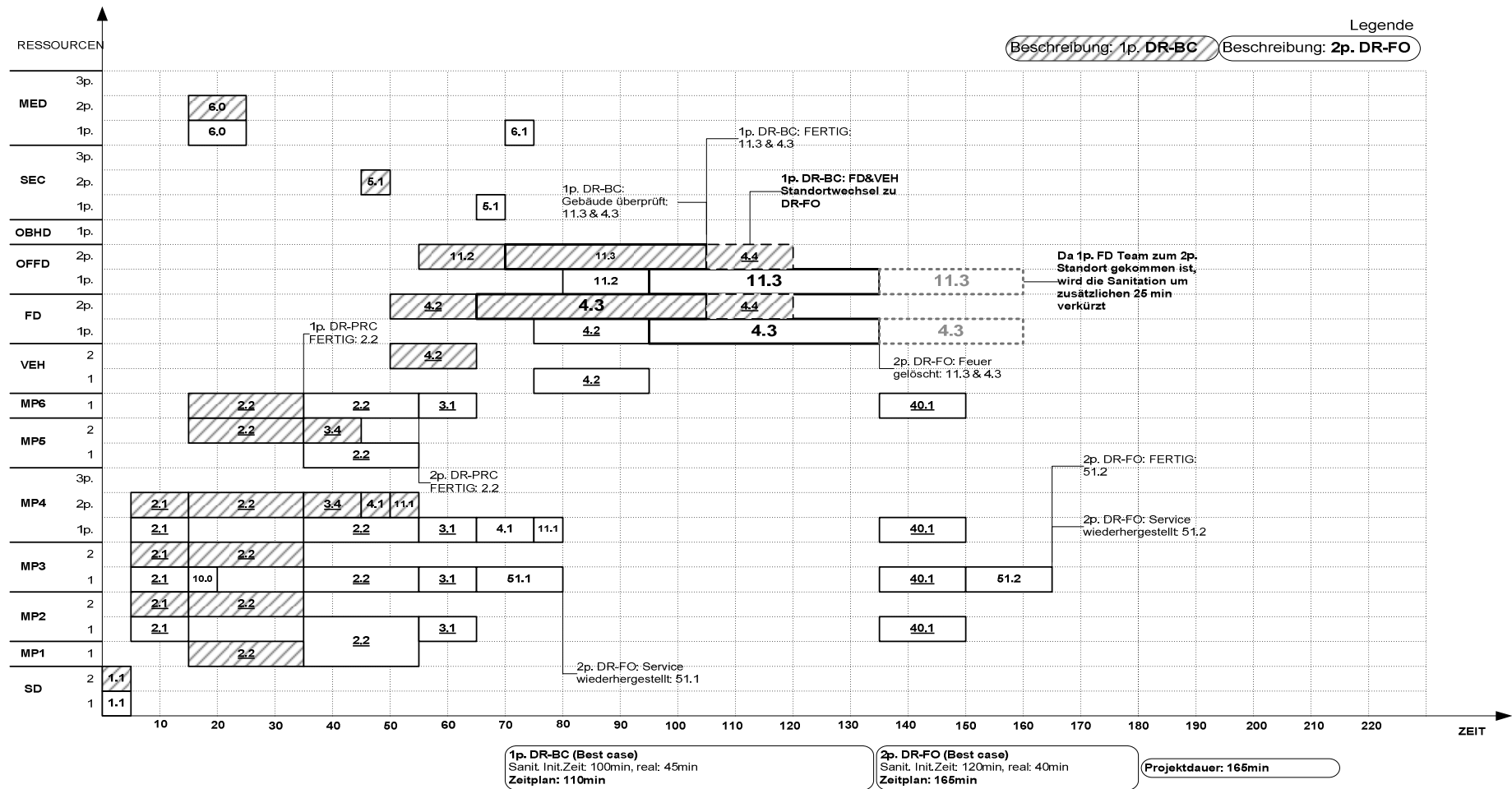


Abbildung 4.23 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.), brute force

4.6.4 DR-CH(1p.) und DR-BC(2p.), brute force

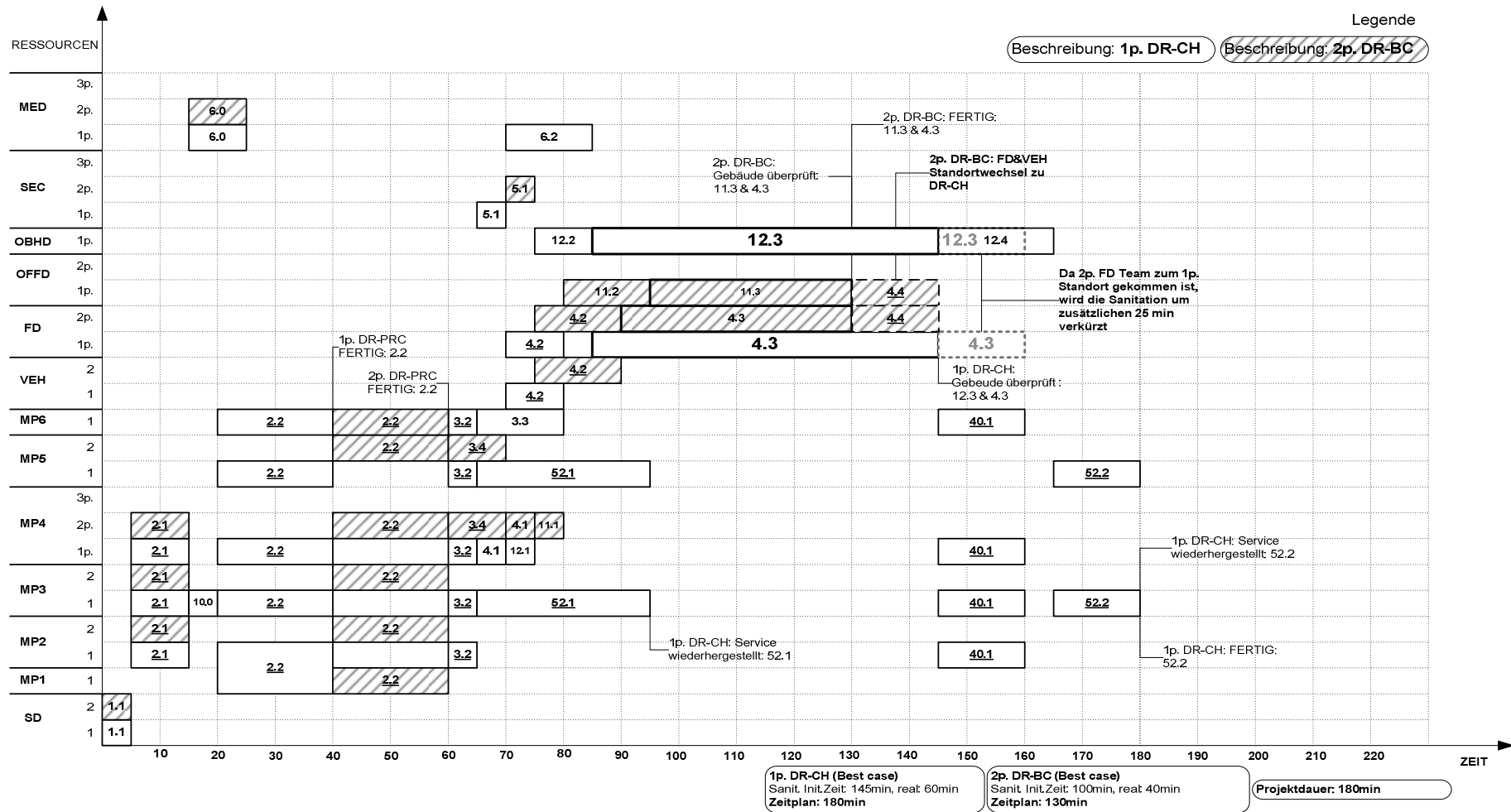


Abbildung 4.24 DR-CH(1p.) und DR-BC(2p.), brute force

4.6.5 DR-BC(1p.) und DR-CH(2p.), brute force

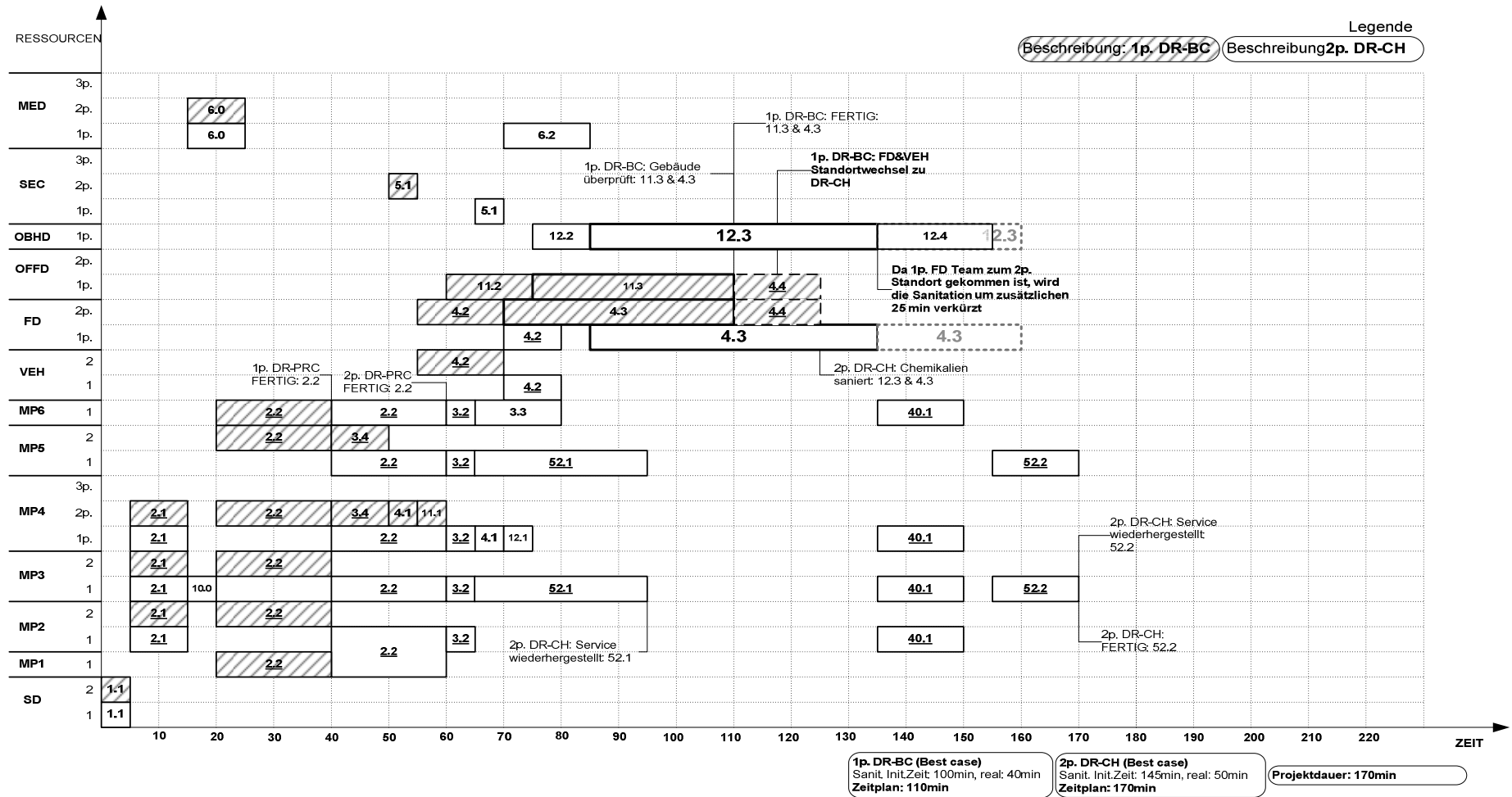


Abbildung 4.25 DR-BC (1p.) und DR-CH(2p.), brute force

4.6.6 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), brute force

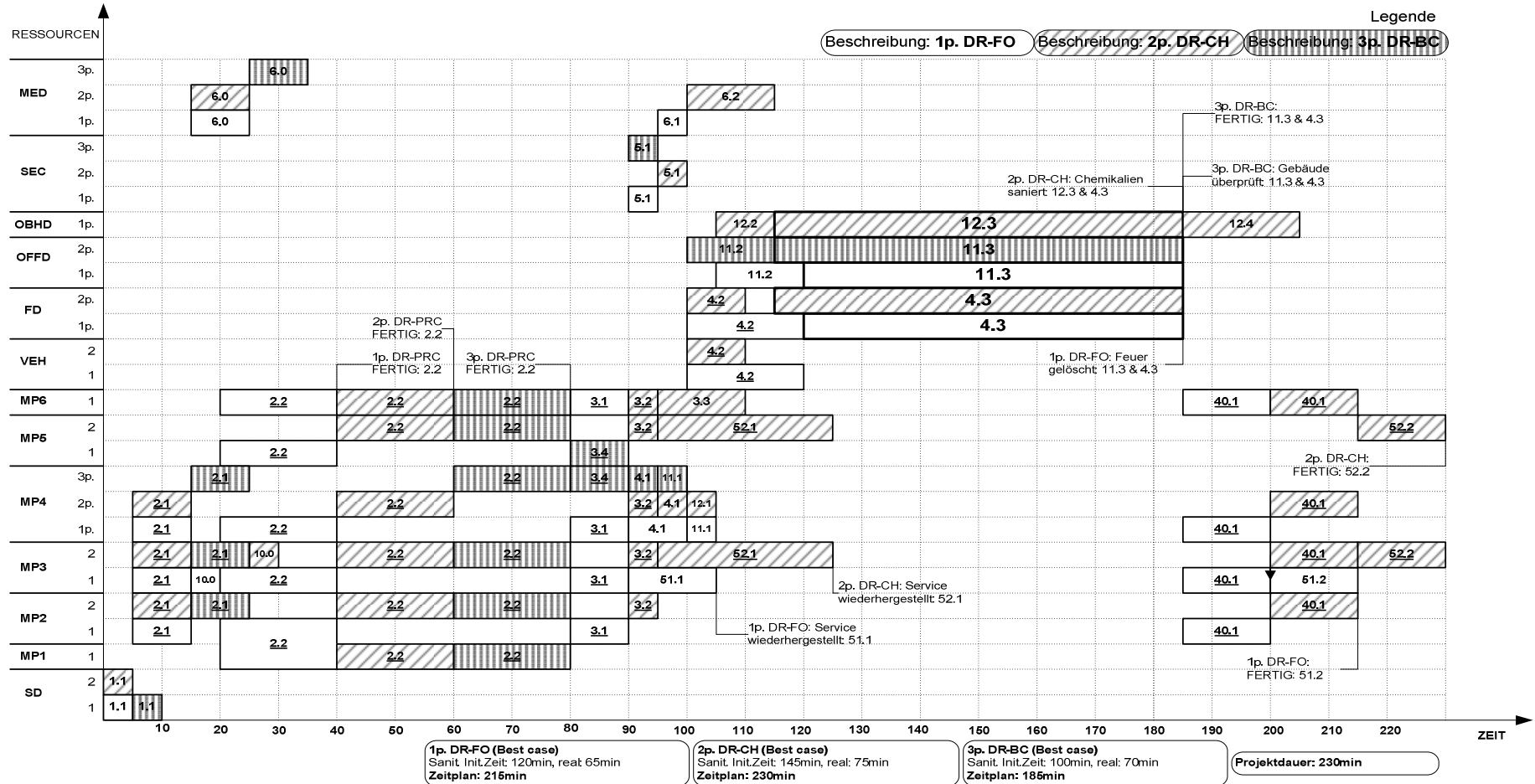


Abbildung 4.26 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), brute force

4.6.7 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), smart

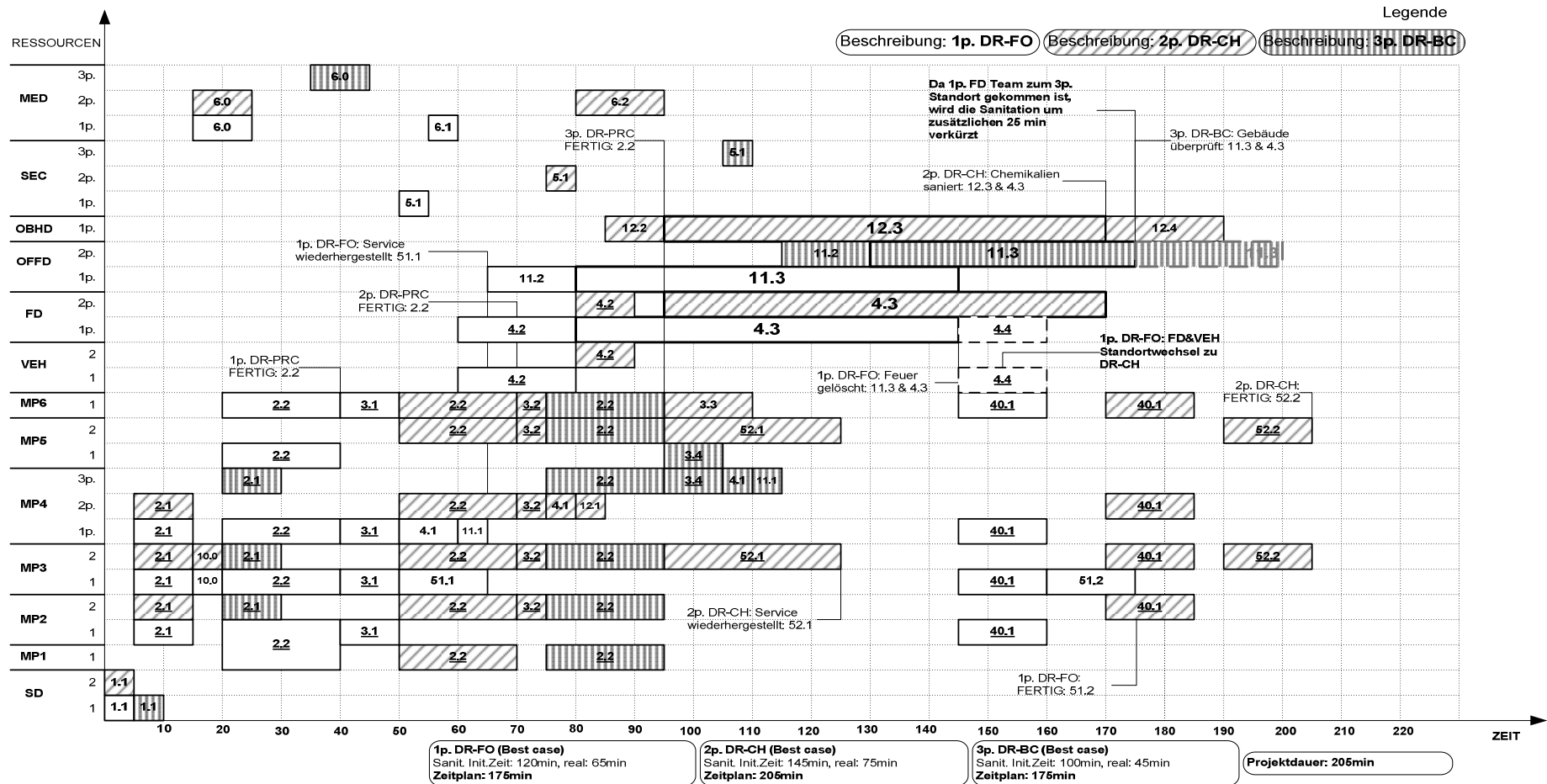


Abbildung 4.27 DR-FO(1p.) und DR-CH(2p.) und DR-BC(3p.), smart

4.6.8 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), brute force

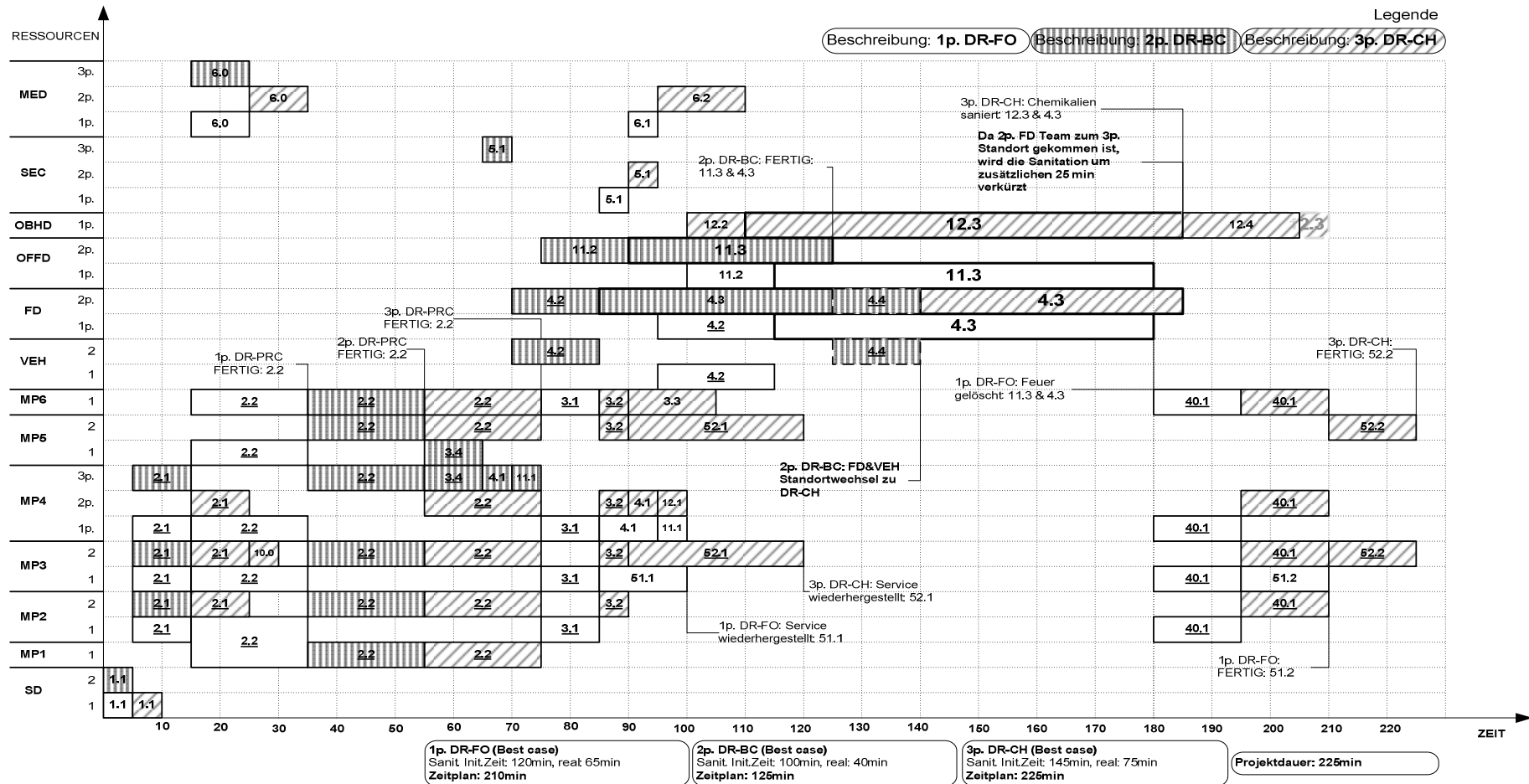


Abbildung 4.28 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), brute force

4.6.9 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), smart

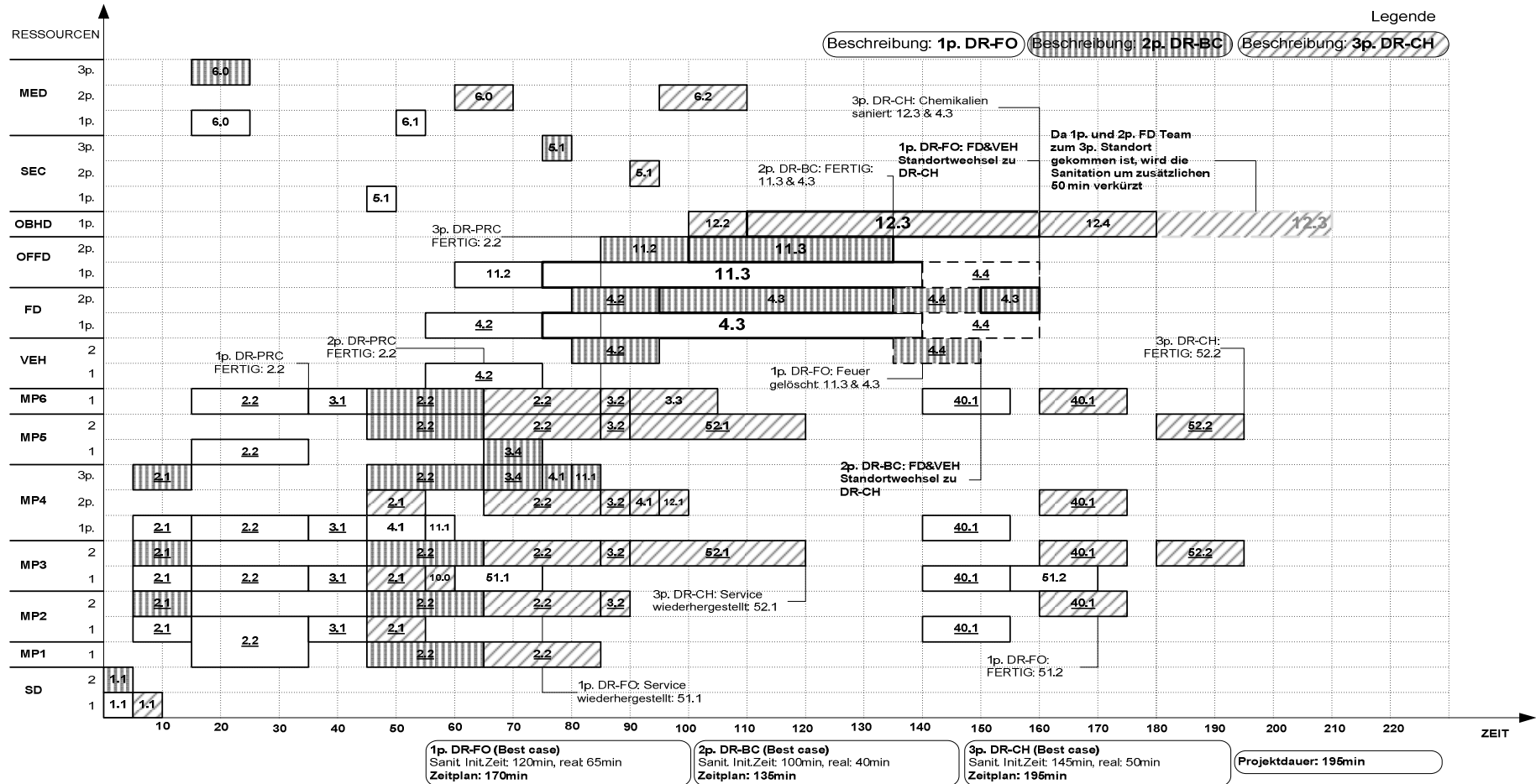


Abbildung 4.29 DR-FO(1p.) und DR-BC(2p.) und DR-CH(3p.), smart

4.6.10 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), brute force

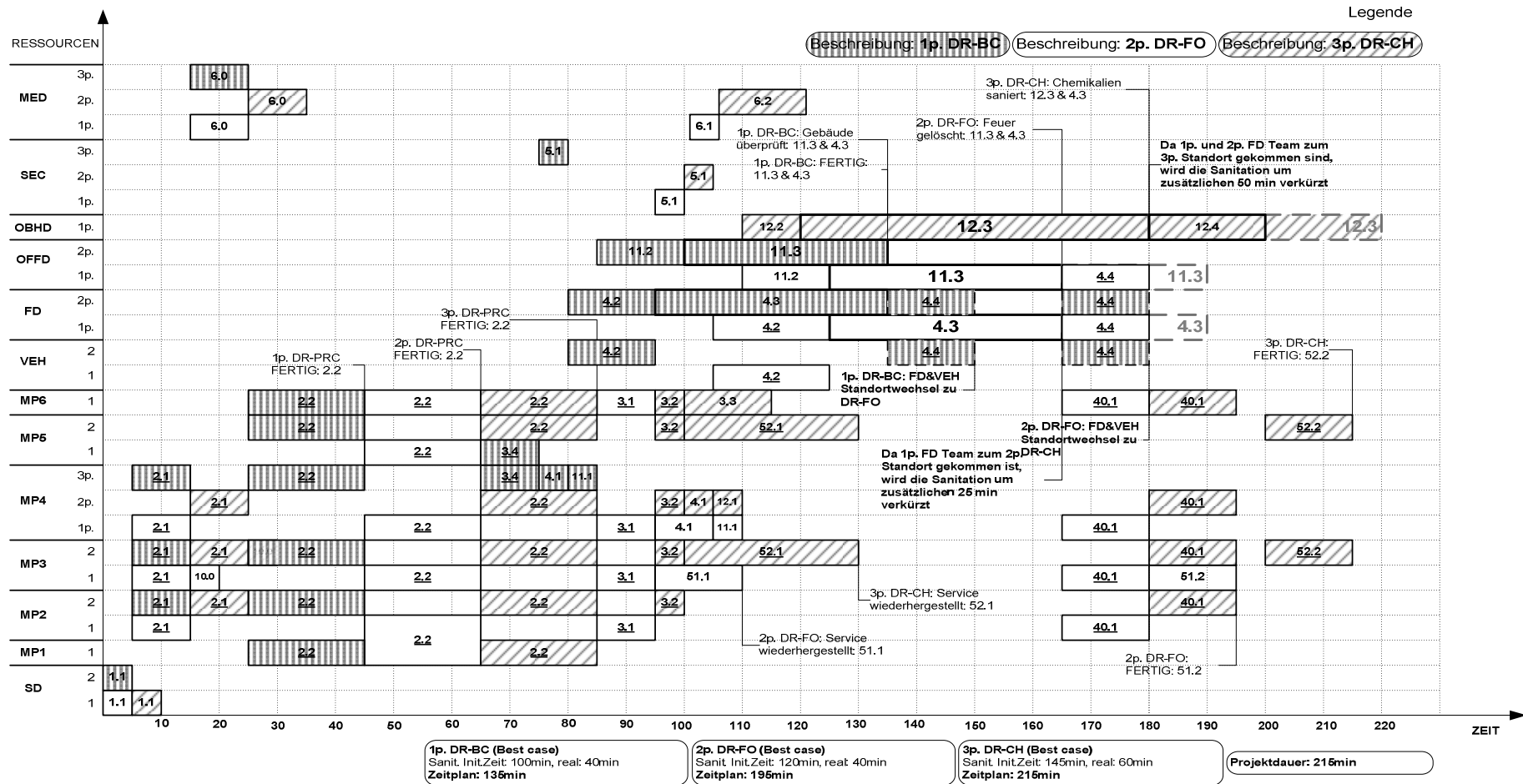


Abbildung 4.30 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), brute force

4.6.11 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), smart

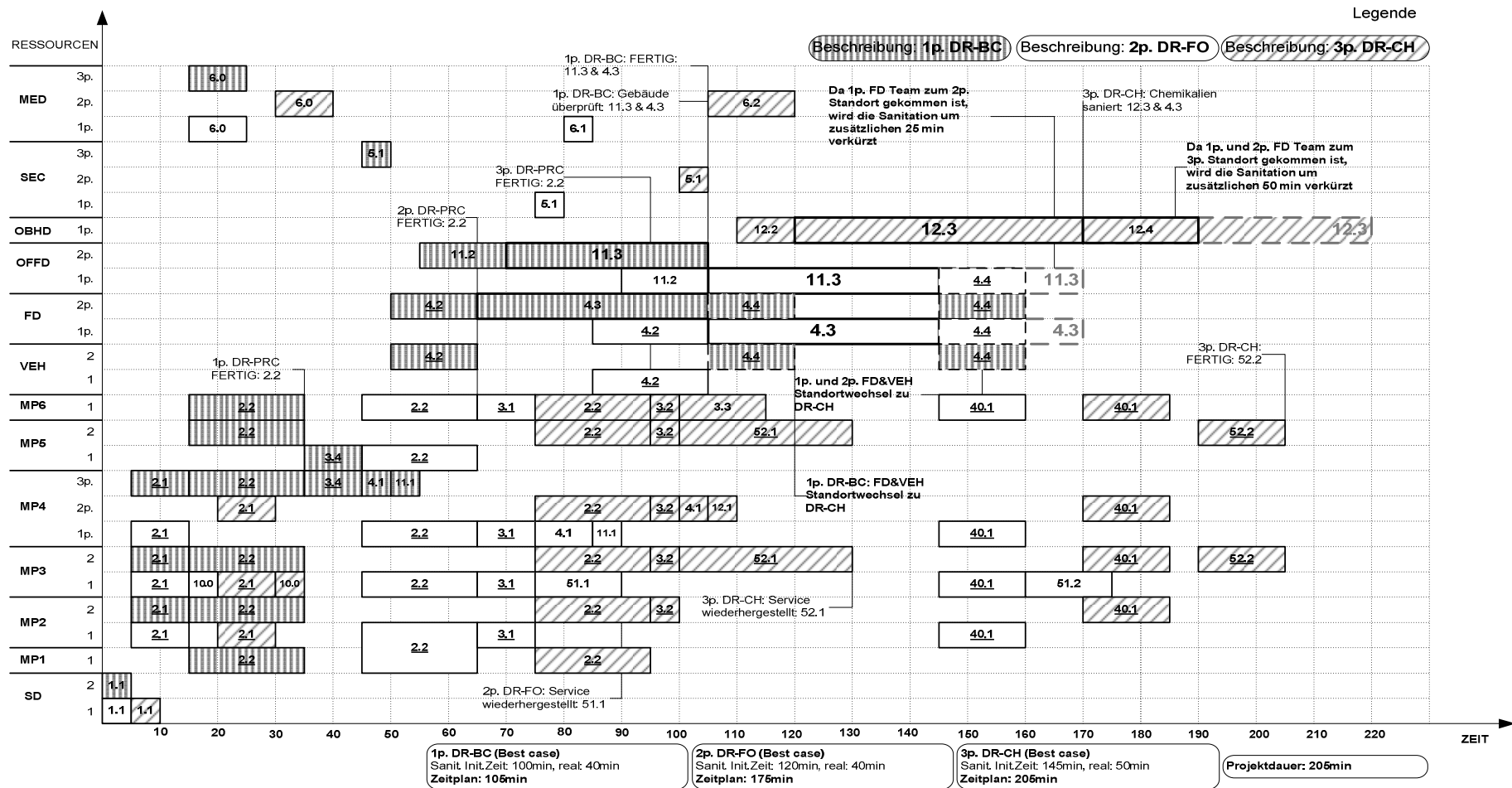


Abbildung 4.31 DR-BC(1p.) und DR-FO(2p.) und DR-CH(3p.), smart

4.6.12 Zusammenfassung

Gesammelte Daten von geplanten Einzel- und kombinierten DR-Plänen können nicht als echte Referenz genutzt werden, da diese Zusammenstellung eigentlich imaginäre Disaster Recovery-Pläne beinhaltet. Diese Beispiele zeigen einige Unterschiede in der Ausführung und den Sanitationsdauern der verschiedenen Szenarien und Zeitpläne.

Die Datentabelle beinhaltet id/name und DR Pläne im Zusammenhang mit verschiedenen Planungsprioritäten: 1p., 2p., 3p.. Jeder DR-Plan wird mittels Sanitationsinitialisierungszeit zu Beginn der Planung, der real erreichten Sanitationsdauer „Tatsächliche Dauer“ und dem gesamten DR Zeitplan beschrieben. Die insgesamt benötigte Zeit hat den gleichen Wert wie der längste Zeitplan.

Id	Priorität	1p.				2p.				3p.				Total
	Name	DR	Sanit. Init.Zeit	Tatsäch. Dauer	Zeitplan	DR	Sanit. Init.Zeit	Tatsäch. Dauer	Zeitplan	DR	Sanit. Init.Zeit	Tatsäch. Dauer	Zeitplan	
#1	DR-FO best case	DR-FO	120	40	150									150
#2	DR-FO worst case	DR-FO	150	65	220									220
#3	DR-CH best case	DR-CH	145	50	150									150
#4	DR-CH worst case	DR-CH	160	55	175									175
#5	DR-BC best case	DR-BC	100	15	80									80
#6	DR-BC worst case	DR-BC	120	35	110									110
#7	DR-FO(1.) und DR-CH(2.), brute-force	DR-FO	120	65	195	DR-CH	145	75	210					210
#8	DR-FO(1.) und DR-BC(2.), brute-force	DR-FO	120	45	175	DR-BC	100	45	130					175
#9	DR-BC(1.) und DR-FO(2.), brute-force	DR-BC	100	45	110	DR-FO	120	40	165					165
#10	DR-CH(1.) und DR-BC(2.), brute-force	DR-CH	145	60	180	DR-BC	100	40	130					180
#11	DR-BC(1.) und DR-CH(2.), brute-force	DR-BC	100	40	110	DR-CH	145	50	170					170
#12	DR-FO(1.) und DR-CH(2.) und DR-BC(3.), brute-force	DR-FO	120	65	215	DR-CH	145	75	230	DR-BC	100	70	185	230
#13	DR-FO(1.) und DR-CH(2.) und DR-BC(3.), smart	DR-FO	120	65	175	DR-CH	145	75	205	DR-BC	100	45	175	205
#14	DR-FO(1.) und DR-BC(2.) und DR-CH(3.), brute-force	DR-FO	120	65	210	DR-BC	100	40	125	DR-CH	145	75	225	225
#15	DR-FO(1.) und DR-BC(2.) und DR-CH(3.), smart	DR-FO	120	65	170	DR-BC	100	40	135	DR-CH	145	50	195	195
#16	DR-BC(1.) und DR-FO(2.) und DR-CH(3.), brute-force	DR-BC	100	40	135	DR-FO	120	40	195	DR-CH	145	60	215	215
#17	DR-BC(1.) und DR-FO(2.) und DR-CH(3.), smart	DR-BC	100	40	105	DR-FO	120	40	175	DR-CH	145	50	205	205

Tabelle 4.6 Projektdauer

Einzelne DR Zeitpläne von #1 bis #6 sind in zwei Varianten angegeben: *best* und *worst case*. Es ist wichtig anzumerken, dass nicht nur die Sanitationsdauer im schlimmsten Fall schlechter ist, sondern auch alle anderen Zeiten der Aktivitäten, wie bereits in den Aktivitätsbeschreibungen angegeben wurde. Wir können sehen, dass, obwohl die *worst case* Sanitationsdauer größer als im besten Fall ist, die erreichte Sanitationsdauern in der Regel kürzer sind als man erwarten konnte. Dh. die Zielzeit von #4 (160) ist um 15 Minuten länger als die Zeit von #3 (145). Die erreichte Sanitationsdauer ist aber nur um 5 Minuten länger als im schlechtesten Fall. Dies ergibt sich aus den Unterschieden in den Ankunftszeiten an den Standorten (von FD und OBHD Teams) und aus der Berechnung der verbleibenden Zeit. Wir können feststellen, dass DR-BC Pläne die kürzeste Sanitations- und- Gesamtzeit erreichen.

DR-FO und DR-CH haben im Durchschnitt gleiche Sanitationsdauern, DR-FO hat aber im schlimmsten Fall eine längere Gesamtdauer.

Bei den DR Zeitplänen von #7 bis #11 können wir mit der *brute-force*-Methode sehen, dass DR-FO und DR-CH Kombinationen zur längsten Projektdauer führen. Alle anderen Kombinationen mit DR-BC erreichen bessere Zeiten. Das stochastische Verhalten tritt auf, weil DR-BC in der Ausführung kürzer ist und es genügend Zeit für ihre FD/VEH Ressourcen gibt, um an einen anderen Standort verlagert zu werden und damit ihre Sanitationsprozesse zu beschleunigen. Nicht nur die Sanitationsdauer wird verkürzt, sondern auch der ganze DR Zeitplan. Wenn DR-BC als erste Priorität markiert ist, neigt die Projektdauer dazu, noch besser zu sein, als dies in #8-#9 und #10-#11 ersichtlich ist. Dies ergibt sich weil DR-BC schneller endet und deren Verlagerung auch anderen DR Plänen hilft, kürzer zu werden. Wir können auch sehen, dass eine vollständige Dauer von zwei Plankombinationen kürzer als die Summe ihrer einzelnen Pläne ist.

Drei DR-Plan Kombinationen werden mit zwei verschiedenen Planungsmethoden durchgeführt. *Brute force* plant die Aktivitäten in den Runden durch alle drei DRs. Die *Smart* Methode kombiniert eine Reihe von Aufgaben, in der Hoffnung schnelle Inbetriebnahme der Sanitation zu erreichen. *Smart* erreicht wesentlich bessere Ergebnisse und sogar um bis zu 30 Minuten kürzere Zeitpläne. Es fällt auf, dass der Übergang des DR-BC-Plans von der Priorität 3p. auf 2p. oder 1p. kürzere Pläne und schnellere Sanitationen generiert.

Dies ist deutlicher bei der *brute-force* Methode als in anderen anspruchsvollen Beispielen. Stochastische Sanitationsprozesse können den gesamten Zeitplan stark manipulieren. Nachdem alle Zeitplananalysen durchgeführt wurden, ist ersichtlich, dass die knappen Ressourcen des eigenen Führungspersonals großen Einfluss auf den gesamten Zeitplan haben. Mit nur einem zusätzlichen MP6 könnten viel bessere Pläne generiert werden. Andererseits könnte diese Verstärkung im ersten Teil der Planung (DR-PRC Teil) eine negative Auswirkung auf weitere Sanitationen haben.

Die Komplexität dieser relativ einfachen Pläne und deren Kombination ist offensichtlich, wenn man bedenkt, dass eine Reihe von stochastischen Lösungen oder möglichen Prozeduren nur dann gemacht wird, nachdem alle möglichen Permutationen aller stochastischen Aktivitätsdauern und deren Zeitpläne aufgezeichnet würden. Wir können feststellen, dass dies eine wirklich komplizierte Aufgabe für einen Menschen wäre. Deswegen ist die einzige Lösung die Nutzung von Computeralgorithmen und IT-Infrastruktur.

4.7 Koncar-KET Beispiel

Zuvor geplante DR-Pläne werden in diesem Kapitel auf ein reales Beispiel der kroatischen Firma "KONCAR-Power Plant and Electric Traction Engineering Inc." (KONCAR-KET) angewandt. Koncar-KET ist das wichtigste öffentliche Engineeringunternehmen im Rahmen der "KONCAR-Electrical Industries Inc." Seine Haupttätigkeit auf "turn-key" Basis ist der Bau von komplexen elektrischen Anlagen und Anlagen zur Energieerzeugung, Übertragung und Verteilung für Industrie und Transport.

Informationen über die Firmenorganisation und *disaster-recovery*-Pläne wurden vom offiziellen Dokument "Notfallplanung" mit der Versionsnummer 8300-EP-4.4.7-001 aus dem Jahr 2001 übernommen.[14]

Die Koncar-Beispiele werden anhand drei komplexer DR-Pläne dargestellt.

4.7.1 Organisatorische Unterschiede

Obwohl sich die Führungsstruktur von Koncar-KET von der in unserem Beispiel etwas unterscheidet, gibt es immer noch genug Ähnlichkeiten, um eine vorbereitete Planung simulieren zu können. Verwendete Personalaktivitäten werden in Aktivitätstabellen dargestellt. Die Anzahl der Koncar-KET Service Desk-Agenten (SD Ressource) ist größer als für unsere Zwecke benötigt wird. Eine weitere Ressource wird beim Gantt Diagramm hinzugefügt. Das Wichtigste ist, dass sie auch eigene Feuerwehrtteams von 30 Personen besitzen, die in unternehmenseigenen Fahrzeugen an einen Standort gesendet werden können. Die amtliche kroatische Feuerwehr OFFD ist ebenfalls verfügbar und kann simuliert werden. Zum Gantt Diagramm werden daher zusätzliche Ressourcen auf der y-Koordinate, nämlich drei FD Teams und drei VEHs hinzugefügt.

Leider hat die amtliche kroatische Biogefährdungsabteilung keine Teams für die schnelle Reaktion vor Ort und daher gibt es keine Beteiligung eines OBHD Teams in dieser Simulation. Zeitpläne für DR-FO, DR-CH und DR-BC P bleiben wie im Original, jedoch mit kleinen Unterschieden bezüglich der Aktivitäten (#51.1, #51.2, #52.1, #52.2). Diese Aktivitäten beziehen sich auf das Starten und Stoppen von DR Plänen am primären Standort. Da bei Koncar-KET Dienstleistungen sehr komplex sind, ist es unmöglich, sie an einem anderen Standort zu implementieren. Die Zeit wurde in Tagen und Wochen berechnet und ist nicht für diesen Zeitplan geeignet.

4.7.2 Beschreibung der Aktivitäten für Koncar-KET

Die Koncar-KET-Aktivitäten unterscheiden sich etwas von denen im Originalplan. Meist in Bezug auf die gewünschten Zeiten für die Verlegungen (#4.2, #4.4, #11,2) und die Teamanalyse beim zentralen und den entfernten Standorten. Die erwarteten Zeiten sind länger, und es sind keine OBHC Ressourcen verfügbar. Stattdessen können OFFD Ressourcen in DR-CH Plänen (#12.1, #12.2, #12.3, #12.4) verwendet werden.

Wichtige Auswirkungen hat die Anwesenheit von FD-Teams auf DR-CH Standorte, die während der Schadensanalyse erforderlich sind. (#40.1). Dies hat allerdings einen negativen Einfluss auf die Sanitation an den anderen Standorten. Auch einige Managementressourcen werden bei einigen Aktivitäten unterschiedlich genutzt.

DR-PRC (Problemklassifizierung)

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																		Dauer	
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	best	worst
#1.1																		1	<5, 0.5>	<10, 0.5>
#2.1		1	1	1	1	1													<15, 0.8>	<25, 0.2>
#6.0														1	1	1			<20, 1.0>	
#10.0			1																<5, 1.0>	
#2.2	1		1				1	1											<15, 0.6>	<30, 0.4>

Tabelle 4.7 Koncar-KET DR-PRC Aktivitätstabelle

DR-FO (Brandausbruch)

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																		Dauer	
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	best	worst
#3.1		1		1	1	1	1												<10, 0.9>	<20, 0.1>
#5.1											1	1	1						<5, 1.0>	
#6.1														1	1	1			<5, 1.0>	
#4.1				1	1	1													<5, 1.0>	
#4.2									1	1									<25, 0.5>	<35, 0.5>
#11.1				1	1	1													<5, 1.0>	
#11.2																		1	<15, 0.8>	<30, 0.2>
#51.1																				
#4.3									1										siehe FD spezif.	
#11.3																		1	siehe OFFD spezif.	
#4.4									1	1									<30, 1.0> wenn notwendig	
#40.1	1	1	1	1	1	1		1			1	1	1						<25, 1.0>	
#51.2																				

Tabelle 4.8 Koncar-KET DR-FO Aktivitätstabelle

DR-CH (Chemieunfälle)

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																Dauer			
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	best	worst
#3.2		1		1	1	1	1	1						1	1	1			<15, 0.8>	<30, 0.2>
#5.1											1	1	1						<5, 0.7>	<15, 0.3>
#6.2														1	1	1			<15, 0.8>	<20.02>
#3.3								1											<5, 1.0>	
#4.1				1	1	1													<5, 1.0>	
#4.2									1	1									<25, 0.5>	<35, 0.5>
#12.1				1	1	1													<5, 1.0>	
#12.2																	1		<15, 0.8>	<30, 0.2>
#52.1																				
#4.3									1											siehe FD spezif.
#12.3																		1		siehe OFFD spezif.
#4.4									1	1									<30, 1.0> wenn notwendig	
#40.1	1	1		1	1	1		1			1	1	1					1	<25, 1.0>	
#12.4																				
#52.2																				

Tabelle 4.9 Koncar-KET DR-CH Aktivitätstabelle

DR-BC (Gebäudeeinsturz)

Aktivität /(r _{ik})	Ressource (R _k)																Dauer			
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	best	worst
#3.4	1	1		1	1	1	1												<10, 0.9>	<30, 0.1>
#5.1											1	1	1						<5, 1.0>	
#4.1				1	1	1													<5, 1.0>	
#4.2									1	1									<15, 0.5>	<35, 0.5>
#11.1				1	1	1													<5, 1.0>	
#11.2																	1		<15, 0.7>	<30, 0.3>
#4.3									1											siehe FD spezif.
#11.3																		1		siehe OFFD spezif.
#4.4									1	1									<30, 1.0> wenn notwendig	

Tabelle 4.10 Koncar-KET DR-BC Aktivitätstabelle

Ressourcen- Verfügbarkeit	Ressource (R _k)																		
	MP1 R ₁	MP2 R ₂	MP3 R ₃	MP4 R _{4-1p}	MP4 R _{4-2p}	MP4 R _{4-3p}	MP5 R ₅	MP6 R ₆	FD R ₇	VEH R ₈	SEC R _{9-1p}	SEC R _{9-2p}	SEC R _{9-3p}	MED R _{10-1p}	MED R _{10-2p}	MED R _{10-3p}	SD R ₁₁	OFFD R ₁₂	OBHD R ₁₃
	1	2	2	1	1	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	3	0

Tabelle 4.11 Koncar-KET Ressourcenverfügbarkeit

Kombinierte stochastische Zeitpläne für KONCAR-KET:

#	Beschreibung des Szenarios	Sanit. Target		
		DR-FO	DR-CH	DR-BC
1	best case Aktivitätsdauern	120	150	120
2	alle DR-FO Aktivitäten im worst case	120	150	120
3	Zufahrt zu den DR-FO und DR-CH Standorten verstopft, #4.2,#11.2 und #12.2 Aktivitätsdauer im	120	150	120
4	Zufällig ausgewählte Aktivitätsdauer zwischen best und worst case	200	110	150

Tabelle 4.12 Koncar-KET Planungsszenario

Spezifikationsdauer für Szenario #3:

Szenario #3		Szenario #3	
DR-FO Plan		DR-CH Plan	
Aktivität	Dauer	Aktivität	Dauer
#4.2	35	#4.2	35
#11.2	30	#12.2	30

Tabelle 4.13 Koncar-KET #3 Spez.

Spezifikationsdauer für Szenario #4:

Szenario #4		Szenario #4		Szenario #4	
DR-PRC Dauer für FO		DR-PRC Dauer für CH		DR-PRC Dauer für BC	
Aktivität	Dauer	Aktivität	Dauer	Aktivität	Dauer
#1.1	10	#1.1	5	#1.1	10
#2.1	25	#2.1	25	#2.1	15
#6.0	15	#6.0	15	#6.0	15
#10.0	5	#10.0	5	#10.0	0
#2.2	30	#2.2	30	#2.2	20
Szenario #4		Szenario #4		Szenario #4	
DR-FO Plan		DR-CH Plan		DR-BC Plan	
Aktivität	Dauer	Aktivität	Dauer	Aktivität	Dauer
#3.1	10	#3.2	15	#3.4	10
#5.1	5	#5.1	5	#5.1	5
#6.1	5	#6.2	15	#4.1	5
#4.1	5	#3.3	5	#4.2	15
#4.2	25	#4.1	5	#11.1	5
#11.1	5	#4.2	25	#11.2	30
#11.2	15	#12.1	5	#4.3	Sanit. Zeit
#4.3	Sanit. Zeit	#12.2	15	#11.3	Sanit. Zeit
#11.3	Sanit. Zeit	#4.3	Sanit. Zeit	#4.4	25
#4.4	25	#12.3	Sanit. Zeit		
#40.1	25	#4.4	25		
		#40.1	25		

Tabelle 4.14 Koncar-KET #4 Spez.

4.7.3 Koncar-KET, Szenario #1

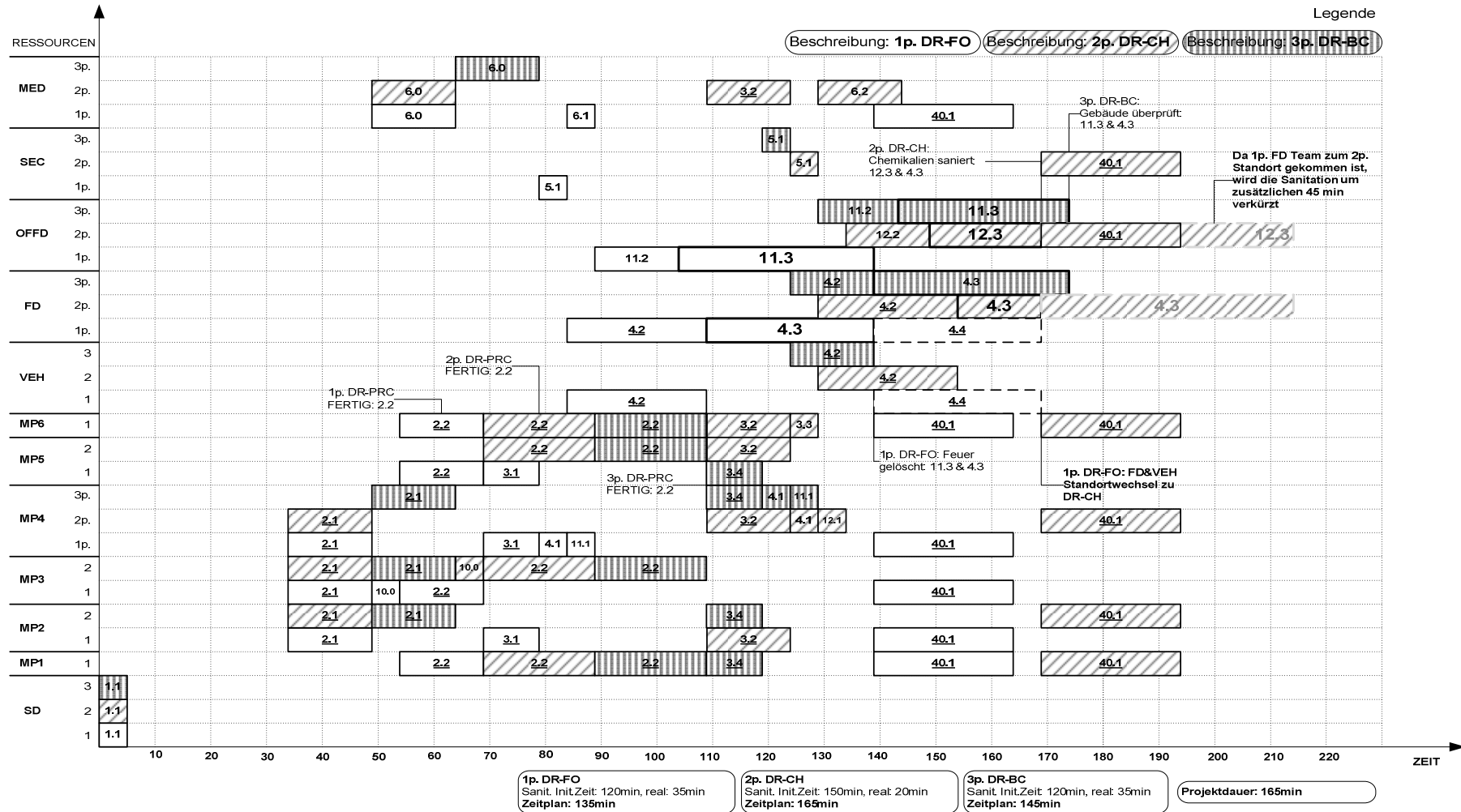


Abbildung 4.32 Koncar-KET, Szenario #1

4.7.4 Koncar-KET, Szenario #2

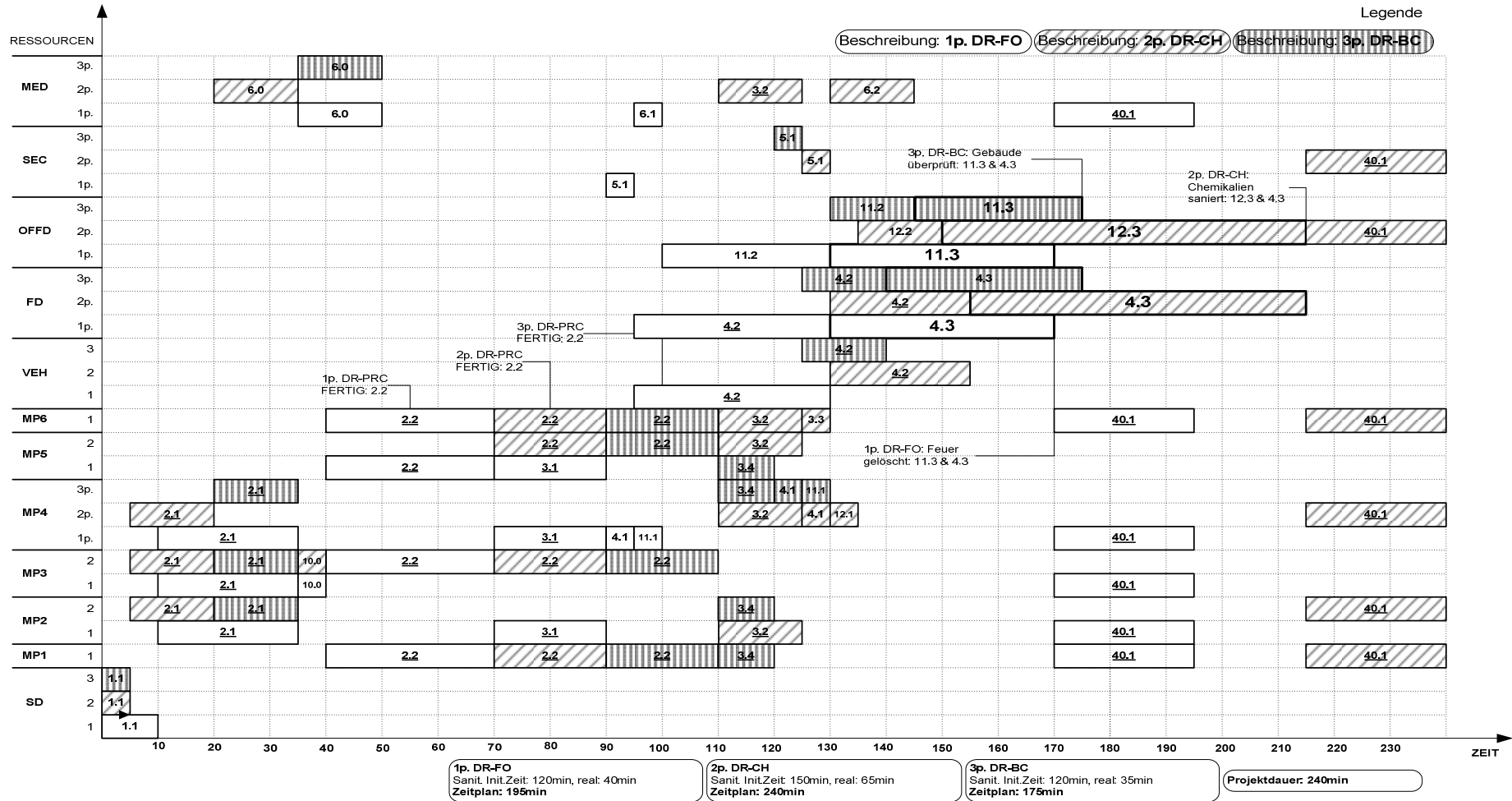


Abbildung 4.33 Koncar-KET, Szenario #2

4.7.5 Koncar-KET, Szenario #3

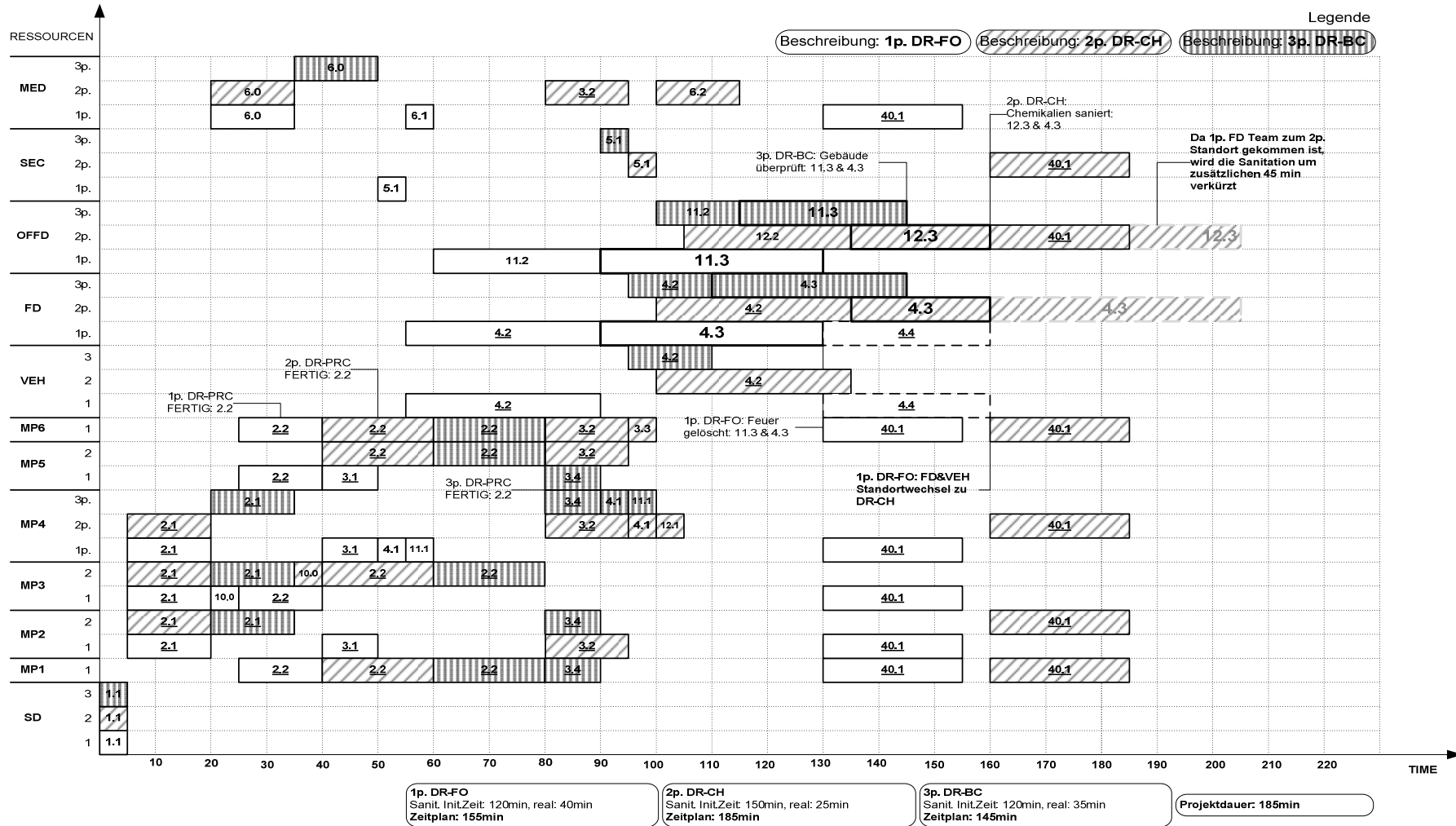


Abbildung 4.34 Koncar-KET, Szenario #3

4.7.6 Koncar-KET, Szenario #4

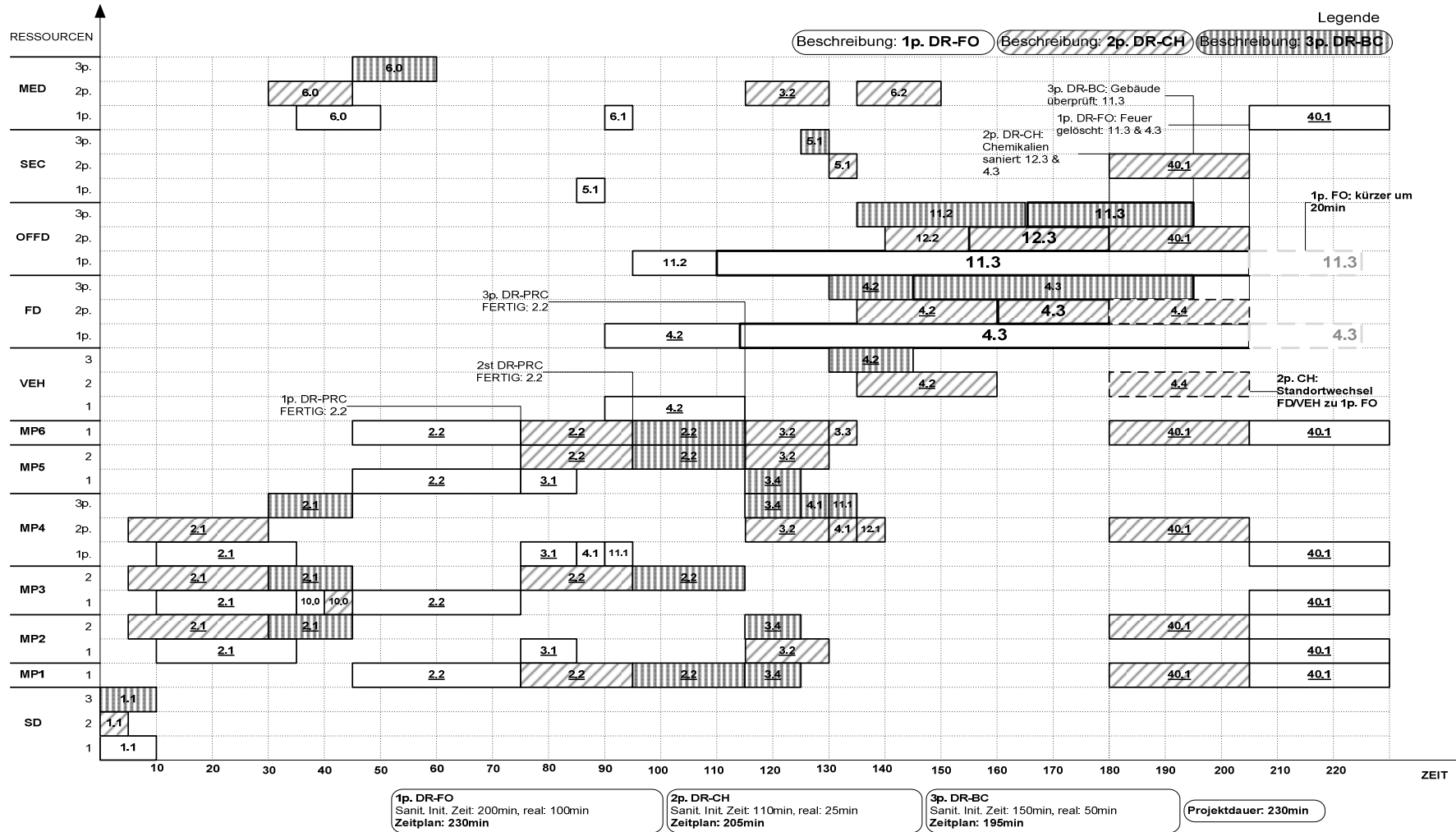


Abbildung 4.35 Koncar-KET, Szenario #4

4.7.7 Zusammenfassung

Die Koncar-KET *disaster-recovery* Zeitpläne wurden mit Wahrscheinlichkeitszeiten erzeugt, die nur teilweise von deren Dokument "Notfallplanung" gesammelt wurden.[14] Aus dem Plan ist ersichtlich, wie lange die Zufahrt und Sanitation der FD und OFFD Teams dauert. Diese Daten basieren auf der Grundlage historischer Daten aus früheren Katastrophen und praktischen empirischen DR-Tests, die sie jedes Jahr regelmäßig durchführen. Alle anderen Daten über die Dauer sind erfunden, da keine echten Daten vorhanden sind. Prioritäten in dieser Projektplanung sind gleich wie im Kapitel 4.6.6 (DR-FO (1p.) und DR-CH (2p.) und DR-BC (3p.)). Bei der Planung wird die *brute-force* Methode verwendet.

Id	Priorität Name	1p.				2p.				3p.				Total
		DR	Sanit. Init.Zeit	Tatsäch. Dauer	Zeitplan	DR	Sanit. Init.Zeit	Tatsäch. Dauer	Zeitplan	DR	Sanit. Init.Zeit	Tatsäch. Dauer	Zeitplan	
#1	Szenario 1	DR-FO	120	35	135	DR-CH	150	20	165	DR-BC	120	35	145	165
#2	Szenario 2	DR-FO	120	40	195	DR-CH	150	65	240	DR-BC	120	35	175	240
#3	Szenario 3	DR-FO	120	40	155	DR-BC	150	25	185	DR-CH	120	35	145	185
#4	Szenario 4	DR-FO	200	100	230	DR-BC	110	25	205	DR-CH	150	50	195	230

Tabelle 4.15 Koncar-KET Projektdauer

Die Daten aus der Koncar-KET Projektplanung zeigen, was für einen Einfluss die stochastischen Tätigkeiten auf die Sanitationsdauer und die DR-Pläne haben. Das erste Szenario (#1) ist im Grunde die *best case* Situation. Die Unterschiede zum ursprünglichen Plan sind einige Zeitdauern, und nicht ausgeführte Aktivitäten, bezüglich der unterbrochenen DR Service am sekundären Standort (#51.1, #51.2, #52.1, #52.2). Das Entfernen dieser Aktivitäten aus den Koncar Zeitplänen hat eine positive Auswirkung auf den Zeitplan, da dieser nun um 15 Minuten kürzer ist. Die erreichte Sanitation und die Planungszeiten sind erwartungsgemäß kürzer als im Zeitplan #12, obwohl die gewünschte Sanitationsdauer höher angesetzt wurde. Ein weiterer Grund ist, dass Koncar-KET drei FD Teams zu jeweils zehn Personen hat und ihr Beitrag mit zusätzlichen fünf Personen pro Standort die Sanitation um 25 Minuten verkürzt. Es gibt auch Verlagerungen (#4.4) von FD-Teams vom ersten Standort DR-FO zum zweiten DR-CH, die zusätzlich die DR-CH Zeit um 45 Minuten verkürzen (nicht um 50 Minuten wie erwartet wurde und zwar deswegen, weil die Sanitation 5 Minuten vor der Ankunft des ersten FD Teams fertig war). Mit deren Hilfe war die DR-CH Sanitation in 20 Minuten fertig, was die niedrigste Zeit in allen Zeitplänen ist.

Das zweite Szenario (#2) sagt voraus, dass alle Aktivitäten in Bezug auf die DR-FO (einschließlich DR-PRC) länger dauern (ungünstigster Fall). Unter diesen Bedingungen ergibt sich der bisher längste Zeitplan. Dieser dauert insgesamt 240 Minuten. Der Grund für diesen drastischen Unterschied ist die Verzögerung aller DR-VRCs aufgrund nicht ausreichend vorhandener Führungskräfte, die für die erste Phase jedes DR-Plans erforderlich sind. Ein wichtiger Punkt ist, dass es keine Zeit mehr für Standortverlagerungen (#4.4) von FD Teams gibt. Die Folge dieser Probleme ist die deutliche Verlängerung von DR-FO und DR-CH Zeitplänen. Nur DR-BC hat seine ursprüngliche Sanitationsdauer, aber diese ist noch immer

länger als im Szenario #1. Mit diesem einfachen Beispiel aus der Praxis ist offensichtlich, wie ein Teil des Zeitplans (mit stochastischem Verhalten) den Rest der Aktivitäten beeinflussen kann.

das dritte Szenario (#3) setzt voraus, dass Fahrwege zwischen zentralen und entfernten DR-FO und DR-CH Standorten verstopft sind und alle Aktivitäten von FD und OFFD bei Verlagerungen die schlechtesten Werte haben (#4.2, #11,2, #12,2). Es ist interessant, dass so etwas kleinere Auswirkung auf den Zeitplan hat, als im Szenario #2. Die Sanitationsdauer ist gleich oder etwas höher als im Szenario #1. Die Gesamtdauer ist um 20 Minuten länger und nicht um 75 Minuten wie im Szenario #1. Die Veränderung der Fahrzeiten hat wenig Einfluss auf die Sanitationsdauer, weil es genug Zeit für die Verlagerung von FD zwischen DR-FO und DR-CH gibt.

Im vierten Szenario (#4) haben alle Aktivitätsdauern durchschnittliche Werte. Auch die gewünschte Sanitationsdauer für DR-FO und DR-BC ist etwas höher, während DR-CH kürzer ist. Aus dem Ergebnis ist ersichtlich, dass die Sanitation und die Planungszeit länger ist, die Gesamtdauer ist aber noch immer besser als im Szenario #2.

Die Daten aus diesen vier Szenarien werden für die Planung und das Management verwendet. Es ist aber klar, dass eine optimale stochastische Strategie nur die vollständige Simulation aller Aktivitäten mit stochastischer Dauer abdeckt. Solch eine Strategie wird in der Krisenzeit sehr hilfreich sein.

5. Resümee und Ausblick

RCPSP und SRCPSP können zur Optimierung verschiedener realweltlicher Projekte genutzt werden. Im Unterschied zum RCPSP, ist die Optimierung des SRCPSPs viel komplexer. Der Grund dafür liegt in der ungewissen Aktivitätsdauer. In einem deterministischen Modell ist die Aktivitätsdauer vorher bekannt, daher ist es viel einfacher einen Algorithmus für die Optimierung zu verwenden.

Stochastische Modelle erfordern eine völlig neue Denkweise bezüglich der Optimierung, weil es nicht möglich ist, die Aktivitätsdauer vorher zu schätzen. Ein stochastischer Zeitplan ist während der Planung bis zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht bekannt. Daher werden verschiedene Strategien genutzt, um die Modellierung zu vereinfachen.

Eine der einfachsten Strategien ist die Prioritätsstrategie, die mithilfe einer gegebenen Prioritätsliste funktioniert. Für bestimmte Instanzen der Aktivitätsdauer wird ein Zeitplan durch Beachten der Prioritätsliste, der Präzedenzbedingungen und der Ressourcenverfügbarkeit erstellt. Diese Strategie wurde in dieser Diplomarbeit verwendet, um die Ausführung des beschriebenen komplizierten Modells zu vereinfachen. Andere Strategien verwenden zusätzliche Regeln, die verschiedene Kombinationen der Aktivitäten beinhalten, um die Ausführung des Modells zeitlich zu verkürzen.

Das Modell, das in dieser Diplomarbeit beschrieben wurde, verwendet die *disaster recovery* Regeln, die im BKM (Betriebskontinuitätsmanagement) erklärt wurden. BKM beschreibt die Verwendung der Personalressourcen, die in dieser Arbeit eine wichtige Rolle spielen.

Das hier beschriebene SRCPSP wurde um die zusätzliche Logik der PERT Netzplantechnik erweitert. Im Modell wird ein imaginärer Prozess "Sanitation" verwendet. Die Sanitation wurde eingeführt, um die Simulation von *disaster recovery* an einem Standort zu erstellen. Charakteristisch für diesen Prozess ist, dass es keine streng definierten Aktivitäten gibt, die diesen Prozess beschreiben. Zum Beispiel können in einem Löschvorgang verschiedene Ressourcen verwendet werden. Welche Aktivitäten in die Sanitation inkludiert werden, bleibt bis zum Startpunkt der Sanitation unbekannt. Die Unbestimmtheit der Aktivitätsmengen, die in die Sanitation inkludiert werden, erinnert strukturell an die PERT Netzplantechnik.

Das Modell beschreibt drei wichtige *disaster recovery* Pläne, die für folgende Situationen geeignet sind: Brandausbruch, Chemieunfall und Gebäudeeinsturz. Diese Pläne verwenden gemeinsame als auch eigene Ressourcen. Bei diesen drei Plänen ist es möglich, die Ressourcen von einem zu einem anderen Standort, zum Zweck zusätzlichen Sanitationsaktivitäten, zu verlagern. Zusätzliche Ressourcen könnten die Gesamtdauer des Sanitationsprozesses, der bereits läuft, verkürzen. Bei solch einer Art der Modellierung ist es nicht möglich, nur die Prioritätsstrategie zu verwenden, sondern man benötigt auch einen Algorithmus (*brute force*), der den Sanitationsprozess implementiert.

Der Algorithmus kontrolliert die Sanitationsaktivitäten und plant gleichzeitig die Aktivitäten von allen Plänen nach ihrer gegebenen Priorität ein. Neben der Prioritätsliste wird auch die

Priorität des DR Plans bestimmt. Bei zwei gleichen DR Plänen, die gleichzeitig ausgeführt werden, hat die Aktivität vom höher rangigen Plan Priorität. In der *smart* Version des Algorithmus wird eine ganze Gruppe der Aktivitäten (aus DR-PRC) gemeinsam geplant. Die Folge der *smart* Planung ist, dass die Sanitation früher startet und früher endet, deswegen können die Sanitationsressourcen einem anderen Plan zugeteilt werden. Dadurch erhält man kürzere Projektdauern.

Mit der Kombination von drei verschiedenen *disaster recovery* Plänen mit unterschiedlichen Ausführungsprioritäten, stochastischen Aktivitätsdauern und Sanitationsdauern und der Anwendung des *brute force* und des *smart* Algorithmus, wird man eine größere Anzahl an Simulationen bekommen. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass die Reihenfolge der Ausführung von DR Plänen den größten Einfluss auf die Projektdauer hat. In erstem Teil der Arbeit wurden nur Kombinationen von *best* und *worst case* Aktivitätsdauern betrachtet. Für eine größere Anzahl an Simulationen mit verschiedenen stochastischen Aktivitätsdauern wäre es notwendig, ein Computermodell zu entwickeln. In zweitem Teil der Arbeit, wo das Modell auf die *disaster-recovery*-Planung der Firma Koncar-KET angewendet wurde, wurden verschiedene Szenariendauern verwendet, wie zum Beispiel: *worst case* Aktivitätsdauern nur von bestimmten Aktivitäten, die Kombination eines bestimmten DR Plans mit *worst case* Aktivitätsdauern und zufällig ausgewählte Aktivitätsdauern zwischen *best* und *worst case*. Es ist zu bemerken, dass wenn zumindest ein DR Plan *worst case* Aktivitätsdauern hat, dann wird die Projektdauer bei allen anderen aktiven Plänen deutlich verlängert.

Das Ziel dieser Diplomarbeit war es, die verschiedenen Möglichkeiten zur Lösung von SRCPSP Plänen zu erforschen. Deswegen wurde in dieser Arbeit ein erweitertes SRCPSP Modell dargestellt. Wie bereits erwähnt, wurde eine solche Art der Modellierung, die stochastische Aktivitätsdauern, Ressourcenverfügbarkeit und partielle strukturelle Unbestimmtheit kombiniert, in der Literatur nicht gefunden, daher könnte diese Modellierung weiter erforscht werden.

6. Literatur

- [1] Stork Frederik, Stochastic resource-constrained project scheduling, Technischen Universität Berlin, Berlin 2001.
- [2] Kolisch Rainer, Sönke Hartmann, Heuristic algorithms for solving the resource-constrained project scheduling problem: classification and computational analysis, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2000
- [3] Kolisch Rainer, Sönke Hartmann, Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update, European Journal of Op. Research 147, 2006
- [4] Derek O'Connor, Exact and Approximate Distributions of Stochastic PERT Networks, University College Dublin, Dec 13, 2007
- [5] Rolf Möhring, Frederik Stork, Linear Preselective Policies for Stochastic Project Scheduling, June 30, 1998
- [6] Haitao Li, Keith Womer, Stochastic Resource-Constrained Project Scheduling and Its Military Applications, Department of Logistics and Operations Management, University of Missouri, PHALANX MARCH 2011, 17-21
- [7] Michael R. Garey and David S. Johnson (1979). Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W.H. Freeman. ISBN 0-7167-1045-5
- [8] B. Ashtiani, R. Leus and M. Aryanezhad, A novel class of scheduling policies for the stochastic resource-constrained project scheduling problem, Faculty of Business and Economics, Leuven 2008, 1-9
- [9] Francisco Ballestin, Roel Leus, Resource-constrained project scheduling for timely project completion with stochastic activity durations, Department of Decision Sciences and Information Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, Jul 2007
- [10] Erik Demeulemeester, Willy Herroelen, Robust Project Scheduling, Foundations and Trends in Technology, Information and OM: Vol. 3, 2010
- [11] Filip Deblaere, Erik Demeulemeester, Willy Herroelen, Proactive policies for the stochastic resource-constrained project scheduling problem, Research Center for Operational Management, Faculty of Business and Economics, Leuven, Belgium, 2011
- [12] Forbes Gibb, Steven Buchanan, A framework for business continuity management, University of Strathclyde, UK, 2005, 1-14
- [13] Dan Wilder, The new business continuity model, CBRA, 2008, 1-58
- [14] Koncar, INZENJERING ZA ENERGETIKU I TRANSPORT ZAGREB, Planiranje u slučaju iznenadne opasnosti (EMERGENCY PLANNING), "Notfallplanung", die Versionsnummer 8300-EP-4.4.7-001 aus dem Jahr 2001

Curriculum Vitae

Persönliches:

Name: Josipa Bagaric

Geboren: 28.08.1981 in Mostar, Bosnien und Herzegowina

Staatsangehörigkeit: Kroatien

Ausbildung:

1996 – 2000: Allgemeines Gymnasium in Ljubuski, Bosnien und Herzegowina

2000 – 2003: Betriebswirtschafts-Studium in Mostar, Bosnien und Herzegowina

2003 – 2012: Betriebswirtschafts-Studium an der Universität Wien

Sonstiges:

Sprachkenntnisse: Kroatisch, Deutsch, Englisch