

Leibniz Universität Hannover
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Institut für Produktionswirtschaft
Prof. Dr. Stefan Helber

Hausarbeit im Rahmen der Veranstaltung
Entwicklung von Anwendungssystemen im WiSe 2014/2015
(Veranstaltungs-Nr. 173610)

RCPSP
RCPSP

Andreas Hipp	Robert Matern
Ungerstr. 24	Plathnerstr. 49
30451 Hannover	30175 Hannover
Matr.-Nr. 3027520	Matr.-Nr. 2798160

Abgabedatum: 24.03.2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
Symbolverzeichnis	v
1 Einleitung	1
2 Mathematische Modellformulierung des ressourcenbeschränkten Projektplanungsproblems	2
3 Implementierung des RCPSP mittels Ruby on Rails	4
3.1 Darstellung der Funktionsweise der Anwendung anhand eines Userguides . . .	5
4 Kritische Würdigung des Anwendungssystems	12
5 Fazit	12
Literatur	13
A Anhang	15
A.1 GAMS-Implementierung des Beispiels	15
A.2 Ruby on Rails Programmcode	15

Abbildungsverzeichnis

1	Startseite Projektplanung Applikation	5
2	Anmeldebildschirm	6
3	Fehleranzeige bei Anmeldung	6
4	Profilseite eines Users	7
5	Übersicht der Ressourcen für User	8
6	Profilseite des Administrators	9
7	Übersicht der Ressourcen aus Sicht des Administrators	9
8	Projektplanung mit dem RCPSP - Übersicht	10
9	Fehler aufgrund eines Zyklus‘in der topologischen Reihenfolge	10
10	Einstellung des Starttermins anhand eines Kalendermenüs	11
11	Ergebnis der Kapazitätsplanung	12
12	Ergebnis der Kapazitätsplanung	13

Tabellenverzeichnis

Quellcodeverzeichnis

1	Beispielcode	4
---	------------------------	---

Abkürzungsverzeichnis

Admin	Administrator
GAMS	General Algebraic Modeling System
RCPSP	Resource-Constrained Project Scheduling
RoR	Ruby on Rails
SGS	Schedule Generation Scheme

Symbolverzeichnis

d_i	Dauer von Vorgang i
FE_i	frühestes Ende von Vorgang i
$i, h = 1, \dots, I$	Vorgänge
k_{ir}	Kapazitätsbedarf von Vorgang i auf Ressource r
kp_r	verfügbare Kapazität von Ressource r je Periode
\mathcal{N}_i	Menge der direkten Nachfolger von Vorgang i
$r = 1, \dots, R$	Ressourcen
SE_i	spätestes Ende von Vorgang i
$t, \tau = 1, \dots, T$	Perioden
\mathcal{V}_i	Menge der direkten Vorgänger von Vorgang i
$X_{jt} \in \{0, 1\}$	gleich 1, falls Vorgang j in Periode t endet, sonst 0

1 Einleitung

Aufgrund seiner Schwierigkeit und Bedeutung bedarf es bei einem Projekt meist einer gesonderten Planung, da es sich um eine zeitlich befristete, relativ innovative und risikobehaftete Aufgabe von erheblicher Komplexität handelt.¹ Dementsprechend von großer Bedeutung ist die Planung von Projekten.² Projektplanung ist die Planung aller Arbeitsgänge eines Projekts durch Zuweisung eines Startzeitpunktes, so dass die Zeitbeziehung zwischen den Vorgängen eingehalten und knappe Ressourcenkapazitäten nicht überschritten werden.² Durch das Zerlegen des Projekts in einzelne Arbeitsgänge wird versucht die Komplexität zu reduzieren und eine geordnete Abfolge der Arbeitsgänge zu erstellen, um das Projektziel zu erreichen.³ Projektziele können unterschiedlich kategorisiert werden, z. B. in Sach-, Termin- oder Kostenziele.⁴

Nach DIN 69900 hat ein Arbeitsgang oder ein einzelner Vorgang eines Projekts einen definierten Anfang sowie ein definiertes Ende und dient für das Projekt als Ablaufelement zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens.⁵ Trotz der Zerlegung besitzen die einzelnen Arbeitsgänge des Projekts eine Beziehung, mit der die Reihenfolge der Ablauffolge bestimmbar ist.⁶ Oft wird zur Darstellung der Vorgangsbeziehung ein Vorgangsknoten-Netzplan verwendet.⁷ Ein Arbeitsgang ist i. d. R. verbunden mit dem Einsatz von Ressourcen, welche wiederum mit Kosten verbunden sind. Eine Möglichkeit, das Projektziel unter minimaler Ressourcenverwendung zu erreichen, ist die effiziente Planung der Ablauffolge der Arbeitsgänge eines Projekts.⁸ Damit ist es möglich, mehrere Projekte bei einer gegebenen Zeitvorgabe unter Einhaltung von Ressourcenrestriktionen fertigzustellen bzw. bei konstanter Ressourcenkapazität ein Projekt in kürzerer Zeit abzuschließen.

Zur Bestimmung der optimalen Ablauffolge der einzelnen Arbeitsgänge eines Projekts kann ein Optimierungsmodell verwendet werden, bei der für eine festgelegten Ablauffolge eines Projekts und unter Berücksichtigung der Ressourcenbeschränkung die Fertigstellungszeit minimiert wird. Im Kapitel 2 wird eine solche Modellformulierung für das ressourcenbeschränkte Projektplanungsproblem vorgestellt. Bezeichnet wird das Projektplanungsproblem unter Einhaltung der Ressourcenbeschränkung oft mit der englischen Bezeichnung des *Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)*. Bei dem RCPSP handelt es sich um eine abstrakte mathematische Modellformulierung. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es das RCPSP in Ruby on Rails (RoR) zu implementieren. Bei RoR handelt es sich um ein

¹Vgl. Voigt und Schewe (2014)

²Vgl. Zimmermann et al. (2006), S. VI

³Vgl. Zimmermann et al. (2006), S. 4

⁴Vgl. Felkai und Beiderwieden (2011), S. 52

⁵Vgl. DIN 69900 (2009), S. 15

⁶Vgl. Kellenbrink (2014), S. 6-7

⁷?????

⁸Vgl. Bartels (2009), S. 11-12

Framework zur Entwicklung von Webdokumenten bzw. Internetseiten.⁹ Es baut auf der Programmiersprache Ruby auf und ist ursprünglich von David Heinemeier Hansson entwickelt.¹⁰ Die Implementierung bedarf einer Verknüpfung von RoR und GAMS¹¹. Unter GAMS wird eine algebraische Modellierungssprache für mathematische Optimierungsprobleme verstanden, mit der das RCPSP gelöst wird.¹² Im Kapitel 3 wird die Entwicklung des Anwendungssystems zum Lösen des RCPSP ausführlich beschrieben. Ergänzt wird diese Arbeit durch eine kritische Würdigung des Anwendungssystems in Kapitel 4 sowie einem Fazit in Kapitel 5.

2 Mathematische Modellformulierung des ressourcenbeschränkten Projektplanungsproblems

Ein Großteil an Projekten besitzt die Eigenschaft eines beschränkten Ressourcenkontingents.¹³ Soll demgemäß die vorgegebene Terminierung des Projektes als zuvor festgesetztes Ziel erreicht werden, muss neben der Reihenfolgerestriktion auch der Ressourcenbedarf der unterschiedlichen Arbeitsgänge sichergestellt werden. Mit der Einhaltung des Ressourcenbedarfs ist es möglich, alle zur Erfüllung des Projektes notwendigen Arbeitsgänge auszuführen und somit letztendlich das Projekt abzuschließen. Neben limitierten Ressourcen, die während des gesamten Projekts nur ein Mal zur Verfügung stehen, wie bspw. das Projektbudget, gibt es Ressourcen, die nach einer bestimmten Anzahl von Perioden erneuert werden können.¹⁴ Erneuerbare Ressourcen sind bspw. die Produktionskapazität einer Maschine oder der Personaleinsatz für ein Projekt. In dieser Arbeit wird der Fokus auf diese erneuerbaren Ressourcen gelegt.

Zur Lösung des ressourcenbeschränkten Projektplanungsproblems kann das Modell RCPSP genutzt werden. Das RCPSP legt durch Fixierung der Aktivitätsstartzeitpunkte den Projektgrundablauf zur Zielerreichung der Minimierung der Projektdauer fest. Dies geschieht unter Einhaltung der Startzeitpunkt- bzw. der Vorrangsbedingung der einzelnen Arbeitsgänge sowie der Kapazitätsbeschränkung der erneuerbaren Ressourcen.¹⁵ Die im folgenden aufgestellte Zielfunktion des RCPSP zur Minimierung der Projektdauer ist die gängige Version,¹⁶ andere Variationen sind aber ebenfalls möglich.¹⁷

Nachfolgend wird das deterministische RCPSP in diskreter Zeit formuliert.¹⁸ Charakteris-

⁹???

¹⁰???

¹¹General Algebraic Modeling System

¹²???

¹³Vgl. Kellenbrink (2014), S. 11

¹⁴Vgl. Neumann-Braun et al. (2003), S. 21-22

¹⁵Vgl. Demeulemeester und Herroelen (2011), S. 23

¹⁶Vgl. Drexel et al. (1997), S. 98

¹⁷Vgl. Talbot (1982), S. 1200

¹⁸???

tisch für eine mathematische Modellformulierung in diskreter Zeit sind die Zeiteinheiten, die den Perioden t, τ entsprechen.

Modell RCPSP

$$\min Z = \sum_{t=FE_I}^{SE_I} t \cdot X_{I,t} \quad (1)$$

unter Beachtung der Restriktionen

$$\sum_{t=FE_i}^{SE_i} X_{it} = 1 \quad i = 1, \dots, I \quad (2)$$

$$\sum_{t=FE_h}^{SE_h} t \cdot X_{ht} \leq \sum_{t=FE_i}^{SE_i} (t - d_i) \cdot X_{it} \quad i = 1, \dots, I; h \in \mathcal{V}_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{\tau=\max(t, FE_i)}^{\tau=\min(t+d_i-1, SE_i)} k_{ir} \cdot X_{i\tau} \leq kp_r \quad r = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$X_{it} \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I}; t \in \{FE_i, \dots, SE_i\} \quad (5)$$

Es wird ein Projekt betrachtet, dass aus I unterschiedlichen Arbeitsgängen besteht. Jeder Arbeitsgang i hat eine definierte Menge von zu erledigenden Vorgängerarbeitsgängen $h \in \mathcal{V}_i$. Des Weiteren ist für die Fertigstellung des Projekts die Abarbeitung der Arbeitsgänge in topologischer Reihenfolge notwendig. D. h. der Vorgänger h hat stets eine kleinere Ordnungszahl als sein Nachfolger i ($h < i$) und muss zur Fortsetzung des Projektverlaufs beendet sein. Die Bearbeitungsdauer eines Arbeitsgangs i wird mit dem Parameter d_i festgelegt. Bei dem RCPSP in diskreter Zeit wird die Annahme getroffen, dass die Dauer durch einen ganzzahligen Parameter abgebildet wird. Der Startzeitpunkt des Projekts ist $t = 0$ und erstreckt sich über einen Gesamtzeitraum von T Perioden. Um die Reihenfolgebedingungen einzuhalten, werden einem Projekt zwei Dummy-Arbeitsgänge „Beginn“ ($i = 1$) und „Ende“ ($i = I$) hinzugefügt, welche mit einer Dauer von 0 Zeiteinheiten bewertet werden.¹⁹ Dadurch wird der Projektbeginn und das Projektende exakt terminiert. k_{ir} stellt die benötigten Kapazitäten der erneuerbaren Ressource r bei der Durchführung von Arbeitsgang i dar. Die Ressourcen $r \in R$ sind in einer Periode innerhalb des Umfangs ihrer Kapazität kp_r nutzbar. Da es sich um erneuerbare Ressourcen handelt, stehen diese zu jeder neuen Periode in vollem

¹⁹Vgl. Zimmermann et al. (2006), S. 66

Umfang erneut zur Verfügung. Ungenutzte Ressourcen sind jedoch nicht auf nachfolgende Arbeitsgänge und Perioden übertragbar.²⁰ Um den Fertigstellungszeitpunkt der einzelnen Arbeitsgänge i festlegen zu können, wird der Modellformulierung in diskreter Zeit die binäre Entscheidungsvariable X_{it} hinzugefügt.²¹ Diese Binärvariable nimmt den Wert 1 an, falls der Arbeitsgang i zum Zeitpunkt t beendet wird.

Mittels der Zielfunktion (1) wird der Fertigstellungszeitpunkt des Projekts minimiert. Dafür wird der Zeitraum zwischen dem frühesten und spätesten Fertigstellungszeitpunkt FE_I und SE_I aller durchzuführenden Arbeitsgänge I betrachtet. Nebenbedingung (2) stellt sicher, dass ein Arbeitsgang i zwischen dem jeweiligen für diesen Arbeitsgang geltenden frühesten und spätesten Fertigstellungszeitpunkt nur exakt ein Mal durchgeführt wird. Die Reihenfolgerestriktion wird mit der Nebenbedingung (3) eingehalten. Sie stellt sicher, dass jeder Vorgänger $h \in \mathcal{V}_i$ beendet ist, bevor der Arbeitsgang i startet. Der Term $(t - d_i)$ garantiert für den Arbeitsgang i , dass dieser erst beginnt, sobald der Vorgänger h mit der Dauer d_i abgeschlossen ist. Der Parameter kp_r spiegelt die Kapazitätsgrenze für eine erneuerbare Ressource r je Periode t wieder. In Nebenbedingung (4) findet zum einen eine formale Darstellung dieser Kapazitätsbegrenzung statt. Zum anderen wird der Ressourcenverzehr während der gesamten Bearbeitungsdauer der Fertigstellung beachtet, in dem der Kapazitätsbedarf k_{ir} aller Arbeitsgänge I summiert wird. Eben diese Summe wird schließlich durch kp_r beschränkt. Mit der Nebenbedingung (5) wird die Binärvariable X_{it} für den Zeitraum $t = \{FE_i, \dots, SE_i\}$ formal definiert. Aufgrund der Reihenfolgebeziehung (3) darf der jeweils betrachtete Arbeitsgang nur in diesem Zeitraum fertiggestellt werden. Die gemischt-ganzzahlige Modellformulierung lässt sich durch Standard-Lösungsverfahren exakt lösen.²²

3 Implementierung des RCPSP mittels Ruby on Rails

```
$ Put your code here.
>> Put your code here.
```

Quellcode 1 Beispielcode

```
if draw
  print([outputpath, 'mygraph.eps'], '-depsc')
end
```

²⁰Vgl. Kellenbrink (2014), S. 12

²¹Vgl. Pritsker et al. (1969), S. 94

²²z. B. mittels eines Branch-and-Bound-Verfahrens, Vgl. Kellenbrink (2014), S. 14

3.1 Darstellung der Funktionsweise der Anwendung anhand eines Userguides

Die Funktionsweise der mit *Ruby-on-Rails* programmierten Anwendung *"Projektplanung"* zur Lösung der Kapazitäts- und Kostenplanung des *RCPSP* lässt sich am anschaulichsten mit Hilfe eines Userguides darstellen. Neben der Besonderheiten, die durch das Problem der Projektplanung auftreten, können im selben Zuge auch die Spezifika der einzelnen Benutzerrollen aufgezeigt werden.

Zunächst wird die Anwendung aus der Sicht eines Anwenders betrachtet, der sich nicht in die Applikation eingeschrieben hat. Konkret kann man sich darunter einen potentiellen Mitarbeiter des entsprechenden Projektes vorstellen, der sich über die Projektplanung informieren möchte, um sich gegebenenfalls als User anzumelden. Nach dem Start des Ruby-Servers und der Eingabe von *"http://localhost:3000/"* in die Adresszeile eines beliebigen Browsers gelangt dieser auf die Startseite der Projektplanung (siehe Abbildung 1). Dort hat er zum einen die Möglichkeit, sich anzumelden bzw. sich einzuloggen, für den Fall, dass er bereits User der Anwendung ist.

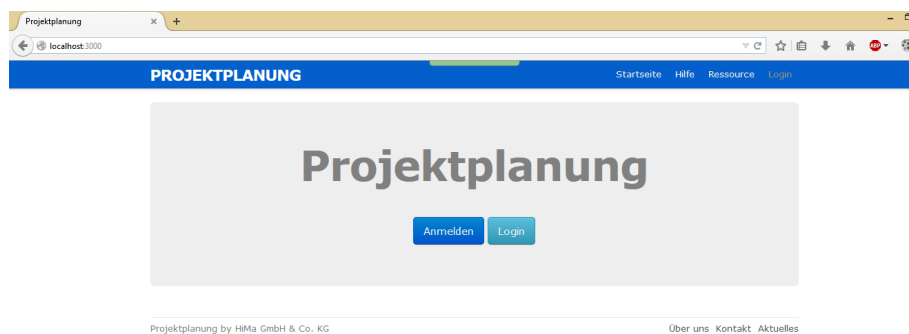


Abbildung 1 Startseite Projektplanung Applikation

Neben Links wie *Hilfe* und *Kontakt* findet sich ein Link *Ressourcen* zur einer Übersicht, in der alle Ressourcen des Projektes gelistet sind. Neben den jeweiligen Ressourcennamen befindet sich ein Button *Bewerben*, der mit der Anmeldeseite verlinkt ist (siehe Abbildung 2). Der Link *Hier geht es zur Anmeldung* führt ebenfalls dorthin. Beschließt sich der Besucher der Seite, sich für das Projekt anzumelden, muss er alle Felder des Anmeldeformulars befüllen.

Neben dem Namen, einer Mailadresse und eines konformen Passwortes sind projektspezifische Informationen zur erfolgreichen Registrierung nötig. Im Feld *Arbeitszeit pro Tag* muss ein entsprechender Wert eingegeben werden, den der neue User bereit ist, pro Tag für das Projekt an Zeit zu investieren. Wird in diesem Feld keine ganze Zahl, sondern eine Dezimalzahl oder ein Wort eingegeben, kann die Anmeldung im System nicht stattfinden. Es wird

Projektplanung | Melde Dich an

PROJEKTPLANUNG

Startseite Hilfe Ressource Login

Melde Dich an

Name

Email

Arbeitszeit pro Tag

Welche Ressource?

Ressource1

Passwort

Bestätigung

Erzeuge mein Konto

Du hast ein Konto? [Hier geht es zum Login!](#)

Abbildung 2 Anmeldebildschirm

ein Fehler angezeigt, der das Defizit aufzeigt und behoben werden muss (siehe Abbildung 3).

PROJEKTPLANUNG

Startseite Hilfe Ressource Login

Melde Dich an

The form contains 1 error.

- Capacity ist keine Zahl

Name

Andreas

Email

an@dreas.de

Arbeitszeit pro Tag

hallo

Welche Ressource?

Ressource1

Abbildung 3 Fehleranzeige bei Anmeldung

Desweiteren kann eine der vorhandenen Ressourcen ausgewählt werden, in dessen Gruppe der neue Mitarbeiter eingeordnet werden möchte. Findet keine Anmeldung auf der Seite statt, sind keine weiterführenden Tätigkeiten möglich. Die Startseite liefert keine weiterführenden Informationen und bei der Eingabe von anderen Links in die Adresszeile des Browsers wird man jederzeit zur *Login*-Seite geführt, da alle Daten für nicht angemeldete Anwender gesperrt sind. Die Verlinkung "*http://localhost:3000/rcpsp/*" öffnet zwar die Seite der Projektplanung, alle angezeigten Buttons führen aber ebenfalls direkt zur Anmeldemaske.

Um die Applikation nutzen zu können, ist demzufolge die Anmeldung als User zwingend notwendig. Findet diese entweder nach erstmaliger Registrierung über den Link *Anmelden* oder über *Login* statt, wird die eigene Profilseite angezeigt (siehe Abbildung 4).

Projektplanung | Susi Sorglos

Arbeitszeit pro Tag: 2

Rolle im Projekt: Ressource1

[Einstellung](#)

Name	Vorgangsdauer	FA*	SA*	FE*	SE*
Beispielvorgang1	2	0	0	2	2
Beispielvorgang2	5	2	2	7	7
Beispielvorgang4	3	11	11	14	14
Beispielvorgang6	4	7	10	11	14
Beispielvorgang7	5	14	14	19	19
Beispielvorgang9	2	7	17	9	19
Beispielvorgang10	3	2	11	5	14
Beispielvorgang11	5	5	14	10	19
Beispielvorgang12	2	19	19	21	21

[Zurück](#)

*FA=frühester Anfangszeitpunkt, SA=spätester Anfangszeitpunkt, FE=frühester Endzeitpunkt und SE=spätester Endzeitpunkt in Tagen nach Start des Projekts.

Abbildung 4 Profilseite eines Users

Die Profilseite gibt einen Überblick über all die Daten, die für den User in Hinblick auf das Projekt relevant sind. Es werden die Daten dargestellt, die bei der Anmeldung angegeben wurden (Arbeitszeit, Rolle im Projekt) sowie die Vorgänge, die durch die Wahl der Ressource für diesen User relevant sind, in denen er also arbeiten muss. Zu jedem Vorgang wird die Dauer und gegebenenfalls die Zeitspanne angegeben, wann er jeweils stattfindet. Die Grenze liegt zwischen dem frühesten Startzeitpunkt FA_i und spätesten Endzeitpunkt SE_i des Vorgangs i . Ob diese Tabelle mit Daten gefüllt ist, hängt davon ab, ob das Kapazitäts- bzw. Kostenplanungsproblem bereits gelöst wurde. Möchte der User seine Daten, wie z.B. die Wahl der Ressource oder die Quantität der Arbeitszeit, ändern, gelangt er über den Button *Einstellung* zu einer Seite, die äquivalent aufgebaut ist wie die Anmeldeseite, um dort seine Daten zu aktualisieren. Nach korrekter Eingabe können die Daten über den Button *Speichere Änderungen* gesichert werden. Auf der Profilseite erscheint daraufhin eine Anzeige *"Profil updated"* mit der Bestätigung, dass das Profil aktualisiert wurde. Im Vergleich zum fremden Anwender gelangt der angemeldete User außerdem in der Kopfzeile über den Link *Mitarbeiter* über eine Übersicht aller Mitarbeiter, die für das Projekt auf dieser Applikation angemeldet sind. Die Profilseite jedes Mitarbeiters kann betrachtet werden mit all den Informationen, die auch auf der eigenen Profilseite einzusehen sind. Es können jedoch keine Änderungen vorgenommen werden. Neben der Verlinkung zu der Übersicht der Mitarbeiter lässt sich in der Kopfzeile ein Feld *Menü* finden, dass die Unterpunkte *Profil*, *Einstellungen* und *Logout* enthält. Die Verlinkung *Profil* stellt eine Verlinkung zur Profilseite dar, unter *Einstellungen* kann das eigene Profil aktualisiert werden.

Unter *Ressourcen* kann der User, wie auch der nicht angemeldete Anwender, zur Übersicht der vorhandenen Ressourcen gelangen. Die Anzeige stellt sich für den angemeldeten User jedoch vielfältiger dar, als für den einfachen Anwender (siehe Abbildung 5).

PROJEKTPLANUNG

Startseite

Hilfe

Ressource

Mitarbeiter

Menü

Übersicht der Ressourcen

Die Projektzusatzkosten betragen 504 Geldeinheiten. Die Optimierung erfolgte mit einem Datenstand vom 17.03.2015.

Name	Gesamt- kapazität	Kosten/ ME	Grund- kosten	Zusatz- kosten/ ME	Zusatz- einheiten	Zusatzkosten Gesamt	Gesamtkosten	
Ressource1	10	2	62	8	63	504	566	Anzeigen
Ressource2	10	3	42	5	0	0	42	Anzeigen

Projektplanung by HiMa GmbH & Co. KG

Über uns Kontakt Aktuelles

Abbildung 5 Übersicht der Ressourcen für User

Für den User sind alle Eigenschaften der verschiedenen Ressourcen einsehbar. Es werden die Gesamtkapazität, Kosten pro ME, Grundkosten und Zusatzkosten pro ME angezeigt. Wurde bereits eine Lösung für das Problem der Kostenplanung ermittelt, werden die kalkulierten Werte für die Zusatzeinheiten, gesamten Zusatzkosten und die Gesamtkosten pro Ressource dargestellt. Zudem wird der Zielfunktionswert, bei der Kostenplanung die gesamten anfallenden Zusatzkosten, in Verbindung mit dem Zeitpunkt der Optimierung über der Tabelle dargestellt. Über den Button *Anzeigen* sind die Eigenschaften einer Ressource separat einsehbar. Da der User bzw. Mitarbeiter in diesem Modell durch die Planung innerhalb des Projektes eingeteilt wird und seine Rechte nicht über die Organisation der eigenen Daten hinaus reicht, hat er keine weiteren Kompetenzen bei der Nutzung dieser Applikation.

Die Verwaltung der Mitarbeiter und die Organisation sowie Durchführung der Projektplanung kann ausschließlich nach der Anmeldung als Administrator erfolgen. Der Admin gilt in dieser Anwendung als durchführende Gewalt, er trägt den Namen *Example User*. Nach der erfolgreichen Anmeldung erscheint zunächst erneut die Profilseite, aufgebaut wie beim einfachen User. Im Gegensatz zu normalen Usern bietet die Seite dem Admin jedoch zusätzliche Handlungsspielräume neben der einfachen Auflistung der Vorgänge (siehe Abbildung 6). Er hat die Möglichkeit, die Dauer der Vorgänge abzuändern oder Vorgänge aus dem Projekt zu löschen. In gleicher Weise stellt sich die Ausweitung der Kompetenzen bei den Ressourcen dar. Über die Verlinkung *Ressourcen* können nun die Ressourcen ebenfalls gelöscht oder die Eigenschaften (Kosten und Zusatzkosten je ME) verändert werden. Desweiteren kann über den Button *Neue Ressource anlegen* eben dies vollzogen werden.

Um nun zur Kernaufgabe der Applikation, der Projektplanung, zu gelangen, kann entweder der Button *Zurück zur Projektplanung* getätigt werden, oder in der Kopfzeile wird unter *Menü* der Unterpunkt *Projektplanung* ausgewählt (siehe Abbildung 8). Wie bereits erwähnt, hat nur der Admin die Berechtigung, dieses Menü aufzurufen. Im oberen Bereich der Seite sind die Verlinkungen zur Verwaltung der nötigen Inputs zur Lösung beider Planungs-

PROJEKTPLANUNG

[Startseite](#)
[Hilfe](#)
[Ressource](#)
[Mitarbeiter](#)
[Menu](#)

Example User

Arbeitszeit pro Tag: 2
Rolle im Projekt: Ressource1

Einstellung

Name	Vorgangsdauer	FA*	SA*	FE*	SE*			
Beispielvorgang1	2	0	0	2	2	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang2	5	2	2	7	7	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang4	3	11	11	14	14	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang6	4	7	10	11	14	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang7	5	14	14	19	19	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang9	2	7	17	9	19	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang10	3	2	11	5	14	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang11	5	5	14	10	19	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang12	2	19	19	21	21	Anzeigen	Ändern	Löschen

Zurück

*FA=frühester Anfangszeitpunkt, SA=spätester Anfangszeitpunkt, FE=frühester Endzeitpunkt und SE=spätester Endzeitpunkt in Tagen nach Start des Projekts.

Abbildung 6 Profilseite des Administrators

PROJEKTPLANUNG

[Startseite](#)
[Hilfe](#)
[Ressource](#)
[Mitarbeiter](#)
[Menu](#)

Übersicht der Ressourcen

Die Projektzusatzkosten betragen 504 Geldeinheiten. Die Optimierung erfolgte mit einem Datenstand vom 17.03.2015.

Name	Gesamt- kapazität	Kosten/ ME	Grund- kosten	Zusatz- kosten/ ME	Zusatz- einheiten	Zusatzkosten Gesamt	Gesamtkosten			
Ressource1	10	2	62	8	63	504	566	Anzeigen	Ändern	Löschen
Ressource2	10	3	42	5	0	0	42	Anzeigen	Ändern	Löschen

Neue Ressource anlegen

Zurück zur Projektplanung

Projektplanung by HiMa GmbH & Co. KG

Über uns Kontakt Aktuelles

Abbildung 7 Übersicht der Ressourcen aus Sicht des Administrators

problematiken angesiedelt. Neben den bereits behandelten Links zu den Vorgängen und Ressourcen finden sich Verlinkungen zu den Vorgangsrelationen und Vorgang-Ressourcen-Kombinationen.

Die Übersicht der Relationen zwischen den Vorgängen stellt eine Auflistung eines jeden Vorgänger und Nachfolger dar. Der Admin kann diese Relationen löschen oder neue anlegen. Wenn er sich dazu entschließt, eine neue anzulegen, ist zu beachten, dass ein Strukturplan eines Projektes keine Zyklen beinhalten darf. Damit Zyklen verhindert werden, findet beim Prozess des Anlegens einer neuen Vorgangsrelation eine Prüfung statt. Beinhaltet die neu angelegte Relation einen Zyklus, tritt ein Fehler auf und die Relationen muss überarbeitet werden (siehe Abbildung 9). So wird verhindert, dass der Strukturplan Zyklen enthält.

Der Button *Vorgang-Ressourcen-Kombination* führt zu einer Übersicht der verschiedenen Ressourcen zu den Vorgängen. Neben der Auflistung können die Kombnationen verändert,

Abbildung 8 Projektplanung mit dem RCPSP - Übersicht

Abbildung 9 Fehler aufgrund eines Zyklus in der topologischen Reihenfolge

gelöscht oder neu erstellt werden. Bei der Veränderung oder Erstellung ist zu beachten, dass die Angabe des Kapazitätsbedarfs nur mit Hilfe einer ganzen Zahl erfolgen darf. Entsprechend der Kapazitätsangabe bei der Bearbeitung eines Profils erscheint bei jeder anderen Art von Eingabe ein Fehler, der die Datenspeicherung verhindert.

Nachdem all diese Daten geprüft und gegebenenfalls verändert wurden, steht die Basis sowohl für die Optimierung der Kapazitäts- als auch der Kostenplanung. Bevor der Optimierungsprozess stattfinden kann, müssen noch einige Rahmenbedingungen geprüft werden. Da die Optimierung mit dem Programm *GAMS* stattfindet, muss die Applikation auf dieses Programm zurückgreifen können. Dafür muss *GAMS* auf dem hiesigen Computer installiert sein. Nach der Recherche des Installationsortes muss der korrekte Pfad in das Feld eingetragen werden, in dem der Beispielpfad zu sehen ist. Nach der Eingabe wird der Pfadzugriff durch *Verzeichnis aktualisieren* gesichert (siehe Abbildung 8). Neben den Programmpfad muss ein

Termin ausgewählt werden, zu dem das Projekt startet (siehe Abbildung 10). Anhand dieses Startdatums werden alle Daten bezüglich der Vorgänge berechnet, zudem stellt der Starttermin bei der Kostenplanung einen wichtigen Faktor dar. Durch die Betätigung des Feldes, das ein Muster anzeigt, öffnet sich ein Kalendermenü, in dem ein beliebiges Datum ausgewählt werden kann.

Abbildung 10 Einstellung des Starttermins anhand eines Kalendermenüs

Nachdem das *GAMS*-Verzeichnis und der Starttermin eingestellt wurden, kann die Kapazitätsplanung durch die Betätigung des Buttons *Optimiere Kapazitätsplanung* durchgeführt werden. Nach einer kurzen Rechenzeit, währenddessen der Button, mit dem die Optimierung gestartet wurde, auf den Rechenprozess hinweist, leitet die Applikation den Admin direkt zu der Übersicht der Vorgänge. Wie bereits dargestellt (siehe Abbildung 6), sind hier alle möglichen Zeitpunkte dargestellt, an denen die einzelnen Vorgänge stattfinden können. Zusätzlich wird die Projektdauer über der Tabelle und der kritische Pfad, durch den die Projektdauer erzielt wird, in die Tabelle geschrieben (siehe Abbildung 11). Die Kapazitätsplanung ist mit dem Einlesen der Ergebnisse abgeschlossen.

Über den Button *Zurück zur Projektplanung* gelangt der Admin zurück zur Verwaltungsseite. Bevor die der optimale Kostenplan für das vorhandene Projekt berechnet werden kann, muss zunächst äquivalent zur Einstellung des Starttermins eine Deadline eingerichtet werden. Dies funktioniert erneut über ein Kalendermenü. Es sollte bei der Bestimmung der Deadline darauf geachtet werden, dass die Deadline in einem sinnvollen Verhältnis zum Starttermin steht. Eine zu kurze oder lange Zeitspanne zwischen den beiden Terminen kann zu unbrauchbaren Ergebnissen führen. Wurde eine geeignete Deadline ausgewählt und die Optimierung des Kostenplans gestartet, öffnet sich nach einer kurzen Rechenzeit die Übersicht der Res-

Übersicht der Vorgänge

Die minimale Projektdauer beträgt 31 Zeiteinheiten. Die Optimierung erfolgte mit einem Datenstand vom 18.03.2015.

Name	Vorgangs- dauer	Anzahl Vorgänger	Anzahl Ressourcen	FA*	SA*	FE*	SE*	Kritischer Pfad			
Beispielvorgang1	2	0	1	0	24	2	26	2	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang2	5	1	1	2	26	7	31	7	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang3	4	1	1	7	31	11	35	11	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang4	3	1	1	11	35	14	38	14	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang5	5	1	1	2	29	7	34	7	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang6	4	2	1	7	34	11	38	11	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang7	5	2	1	14	38	19	43	19	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang8	5	1	1	2	36	7	41	16	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang9	2	1	1	7	41	9	43	29	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang10	3	1	1	2	35	5	38	22	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang11	5	1	1	5	38	10	43	27	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang12	2	4	1	19	43	21	45	31	Anzeigen	Ändern	Löschen

Abbildung 11 Ergebnis der Kapazitätsplanung

sourcen. Auf dieser Seite werden die Projektkosten und die Zusatzkosten, die jede Ressource durch Einhaltung der Deadline verursachen, ausgelesen (siehe Abbildung 7). Bei der Kostenplanung ist jedoch nicht nur relevant, wie hoch die Kosten zur Durchführung des Projektes sind, sondern auch die Zeitpunkte, zu denen die Vorgänge stattfinden. Um dies zu untersuchen, bietet sich dem Admin die Möglichkeit, ein weiteres Mal die Seite mit der Übersicht der Vorgänge aufzurufen. Auf dieser Seite wurde angestoßen durch die Berechnung des optimalen Kostenplans der entsprechende kritische Pfad mit allen frühesten und spätesten Zeitpunkten in die Tabelle eingelesen und die alten Ergebnisse der Kapazitätsplanung überschrieben (siehe Abbildung 12). Somit sind alle Informationen des Kostenplans einsehbar, die Kostenplanung ist ebenfalls abgeschlossen.

4 Kritische Würdigung des Anwendungssystems

5 Fazit

Übersicht der Vorgänge

Name	Vorgangs- dauer	Anzahl Vorgänger	Anzahl Ressourcen	FA*	SA*	FE*	SE*	Kritischer Pfad			
Beispielvorgang1	2	0	1	0	0	2	2	2	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang2	5	1	1	2	2	7	7	7	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang3	4	1	1	7	7	11	11	11	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang4	3	1	1	11	11	14	14	14	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang5	5	1	1	2	5	7	10	7	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang6	4	2	1	7	10	11	14	12	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang7	5	2	1	14	14	19	19	19	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang8	5	1	1	2	12	7	17	16	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang9	2	1	1	7	17	9	19	19	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang10	3	1	1	2	11	5	14	8	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang11	5	1	1	5	14	10	19	17	Anzeigen	Ändern	Löschen
Beispielvorgang12	2	4	1	19	19	21	21	21	Anzeigen	Ändern	Löschen

Abbildung 12 Ergebnis der Kapazitätsplanung

Literatur

- Bartels, J.H. (2009): Projektplanung–Grundlagen und Anwendungsbeispiele. In: Anwendung von Methoden der ressourcenbeschränkten Projektplanung mit multiplen Ausführungsmodi in der betriebswirtschaftlichen Praxis. Springer, S. 7–42.
- Demeulemeester, E. und Herroelen, W. (2011): Robust project scheduling. Bd. 3. Now Publishers Inc.
- DIN 69900 (2009): Projektmanagement - Netzplantechnik; Beschreibung und Begriffe. In: Berlin: Beuth.
- Drexler, A.; Kolisch, R. und Sprecher, A. (1997): Neuere Entwicklungen in der Projektplanung. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, S. 95–120.
- Felkai, R. und Beiderwieden, A. (2011): Analysieren und Formulieren von Projektzielen. In: Projektmanagement für technische Projekte. Springer, S. 45–64.
- Kellenbrink, C. (2014): Einführung in die ressourcenbeschränkte Projektplanung. In: Ressourcenbeschränkte Projektplanung für flexible Projekte. Springer, S. 5–18.
- Neumann-Braun, K.; Schwindt, C. und Zimmermann, J. (2003): Project scheduling with time windows and scarce resources: temporal and resource-constrained project scheduling with regular and nonregular objective functions. Springer.
- Pritsker, A.A.B.; Waiters, L.J. und Wolfe, P.M. (1969): Multiproject scheduling with limited resources: A zero-one programming approach. In: Management science. Bd. 16, Nr. 1, S. 93–108.

- Talbot, F.B. (1982): Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: The nonpreemptive case. In: Management Science. Bd. 28, Nr. 10, S. 1197–1210.
- Voigt, K.I. und Schewe, G. (2014): Definition Projekt Version 7 - Gabler Wirtschaftslexikon.
- Zimmermann, J.; Stark, C.; Rieck, J. et al. (2006): Projektmanagement. In: Projektplanung. Springer Berlin Heidelberg, S. 1–113.

A Anhang

A.1 GAMS-Implementierung des Beispiels

A.2 Ruby on Rails Programmcode