Brenk Systemplanung
Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich technischen Umweltschutz

Whitepaper

Monte-Carlo-Risikomanagement

Dr. Tobias Hein | t.hein@brenk.com | Februar 2024

Kurzzusammenfassung

Die Bewältigung komplexer Herausforderungen auf fachlicher und nichtfachlicher Ebene gehört für viele Projektmanager mittlerweile zum arbeitstäglichen Standard. Häufig müssen viele Aspekte in den Entscheidungsprozess für die Erreichung von Projektzielen einbezogen werden, siehe schematisch Abbildung 1.

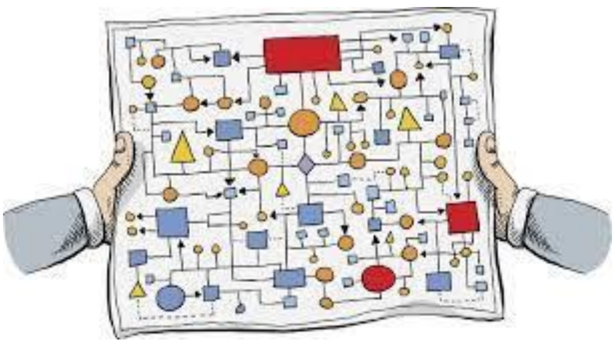

Abbildung 1: Komplexes Projekt (https://www.it-daily.net/it-management/projekt-personal/komplexe-it-projekte-effizient-managen)

Das Monte-Carlo-Risikomanagement (MC) bietet die Möglichkeit, Projekte einen entscheidenden Schritt voranzubringen. Ziel dieser Methodik ist es, alle am Projekt beteiligten Entscheidungsträger auf datenbasierter Grundlage eine Entscheidungshilfe an die Hand zu geben, indem Annahmen quantifiziert, deren Auswirkungen im komplexen Zusammenspiel der Projekteinflüsse fixiert und Projektkonsequenzen modelliert werden.

Im vorliegenden White-Paper soll MC-Risikomanagement am Beispiel der Projektterminplanung erläutert werden. Es wird auf das Zusammenspiel von Unsicherheiten und auf die steigende Nichtlineariät in realen Projekten eingegangen. Die Auswirkungen werden anhand von MC-Berechnungen zum Vertrauensniveau der Projektdauern sowie zu (termin-)kritischen Projektpfaden dargestellt.

Hintergrund

Die Bewältigung vielseitiger Projektherausforderungen gehört für Projektmanager mittlerweile zum arbeitstäglichen Standart, da viele technische Prozesse und Randbedingungen in den Entscheidungsprozessen für die Erreichung von Projektzielen berücksichtigt und hierbei häufig auch Stakeholderinteressen einbezogen werden müssen. Es gilt, effektiv vorzugehen und Stakeholder aktiv zu überzeugen. Gleichzeitig zeigen uns sich rasch entwickelde Technologien wie Cloud Computing und künstliche Intelligenz, welche Möglichkeiten Daten und deren Analyse bzw. Modellierungen für Effizienz und Überzeugungskraft haben können.

In diesem Kontext kann Monte-Carlo-(MC)Risikomanagement helfen, Projektmanager zu entscheidenden Schritten nach vorne zu verhelfen. Ziel dieser Methodik ist es, alle am Projekt beteiligten Entscheidungsträger auf datenbasierter Grundlage eine Entscheidungshilfe an die Hand zu geben. Mit diesem Verfahren werden (mit Unsicherheiten behaftete) Projektgegebenheiten und Planungsannahmen quantifiziert, deren Auswirkungen im komplexen Zusammenspiel der Projekteinflüsse fixiert und Projektkonsequenzen modelliert. Hierzu werden Verteilungen von Eintrittswahrscheinlichkeiten mit den Methoden der Monte-Carlo-Simulation (daher auch die Bezeichnung „MC“) miteinander verknüpft, um Unwägbarkeiten und Unsicherheiten im Projekt zu fassen und zu würdigen. Die Ergebnisse der Modellierung, d.h. die Ergebnisse der Risikobetrachtung, fließen anschließend in projektspezifische Entscheidungsprozesse ein.

MC-Risikomanagement bietet gegenüber rein auf Fachwissen und damit einhergehend auf zumeist nicht variabler Planung basierten Entscheidungen mehrere zentrale Vorteile, nämlich die Fixierung und Transparenz der Annahmen, Quantifizierung der Ergebnisse auf das Projekt mit Angabe von Vertrauensniveaus und gewichteten (termin-)kritischen Projektpfaden als Entscheidungshilfen und die klare Einbingung der Stakeholder. Damit trägt diese Methodik entscheidend zur Einhaltung von Terminen und Budget bei. Schlussendlich kann die Evaluationsphase nach Projektabschluss entscheidend verbessert werden.

Nachfolgend soll MC-Risikomanagement am Beispiel der Terminplanung gezeigt werden. Weitere Beispiele sind quantitative SWOT-Analysen oder strategische Umsatzplanungen in Unternehmen.

MC-Risiskomanagement in der Projektterminplanung

Die Terminplanung in komplexen Projekten stellt eine besondere Herausforderung für Projektmanager dar. Dies ist im Wesentlichen durch folgende Faktoren bedingt:

- Begrenzte Ressourcen, insbesondere auch Personalressourcen
- Diverse Projektbeteiligte, dazu zählen unter anderem Eigenpersonal aus verschiedenen Fachabteilungen, Fremdfirmen mit unterschiedlichen Spezialisierungen, Behörden mit unterschiedlichen Zusatändigkeitsbereichen, etc.
- Starke fachliche Abhängigkeiten von Folgearbeiten auf zu leistende Vorarbeiten
- Unwägbarkeiten wie die wechselnde Verfügbarkeit von Personal und Material (z .B. aufgrund gestörter Lieferketten) oder äußere Einflüssen (z. B. saisonale Witterungseinflüsse)
- Hoher Zwang zur Parallelisierung von Arbeiten

- Grad der Unbestimmtheit des Projektzieles bzw. herausforderndes Anforderungsmanagement
- Unklarheiten bei Methodik und/oder Methoden zur Erreichung des Projektziels

Trotz dieser Herausforderungen sind Projektmanager gehalten, bestmögliche und verlässliche Terminplanungen regelmäßig zu liefern, meistens bereits startend in der Angebotsphase.

Das nachfolge Beispiel entwickelt den Einfluss einer sich steigernden Komplexität auf die Angabe eines Endtermins für ein Projekt. Das Beispiel ist zur Illustration der Methodik und der Resultate einfach gehalten.

Beispiel 1:

Wir nehmen zunächst folgende Situation an: Ein Projekt verläuft linear und lässt sich in zwei Tasks (Arbeitspakte) unterteilen. Die Zeitdauer der beiden Tasks ist jeweils mit einer Unsicherheit behaftet, siehe nachfolgende Abbildung 2.

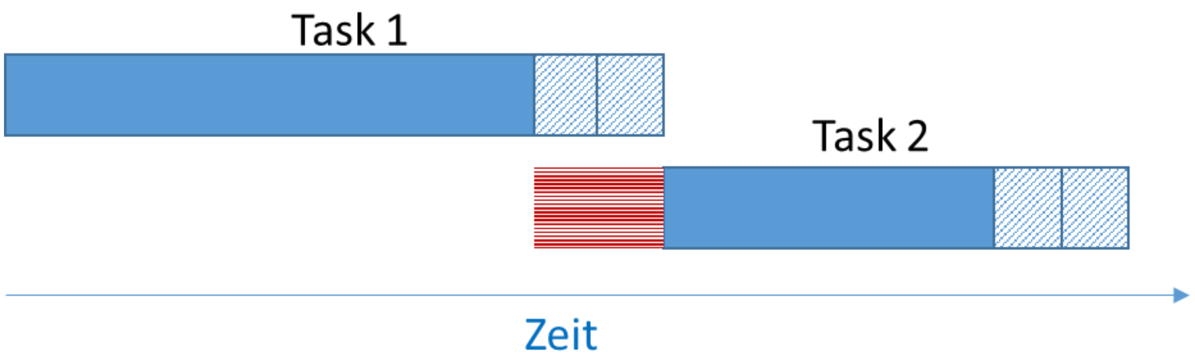

Abbildung 2: Zeitstrahl für Projekt nach Beispiel 1

Die Blau schraffierten Flächen stellen die Unsicherheit der Zeitdauern dar. Durch die Unsicherheit der Dauer von Task 1 ist der genaue Fertigstellungszeitpunkt zu Task 1 unbekannt. Dadurch ist der Startzeitpunkt des auf den Ergebissen des Task 1 aufbauenden Task 2 unbekannt (rot schraffiete Fläche). Task 2 hat zusätzlich selbst eine Unsicherheit in der Bearbeitungsdauer. Im Endergebnis ist der Fertigstellungszeitpunkt des Projektes demnach ungewiss. Zur Quantifizierung der Unsicherheiten der Projektdauer , d.h. mit welcher Wahrscheinlichkeit ist welcher Fertigstellungszeitraum zu erwarten, eignet sich eine MC-Simulation[1] der Situation. Wir nehmen an, dass die Einbindung und Befragung der Projektbeteiligten für Task 1 und Task 2 folgende Einschätzung für die Bearbeitungsdauern ergeben hat, siehe Abbildung 3.

[1] Monte-Carlo-Simulation (auch MC-Simulation oder Monte-Carlo-Studie) ist ein Verfahren aus der Stochastik bzw. Wahrscheinlichkeitstheorie, bei dem wiederholt Zufallsstichproben einer Verteilung mithilfe von Zufallsexperimenten gezogen werden.

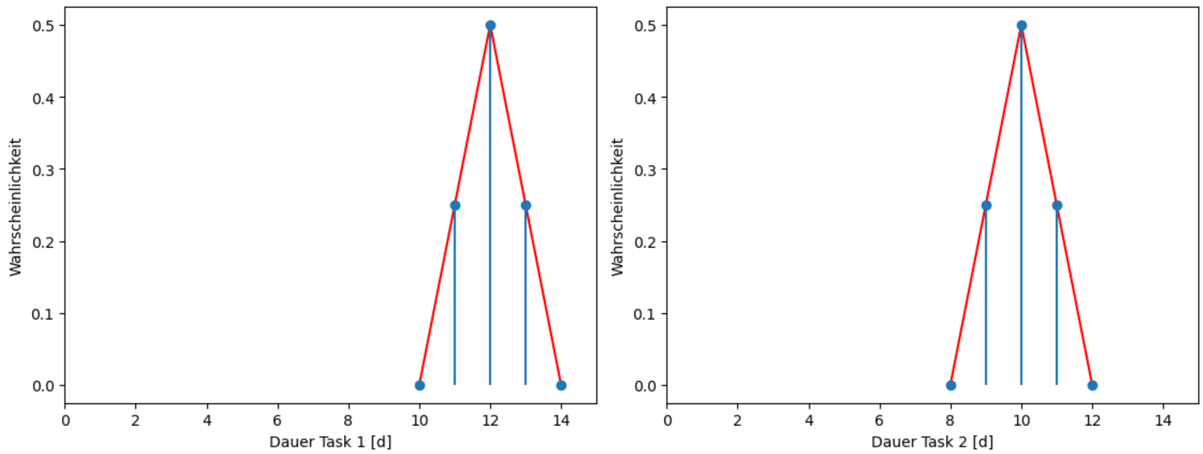

Abbildung 3: Quantifizierung der Unsicherheiten der Dauern der beiden Tasks in Beispiel 1

Zur mathematischen Beschreibung der Verteilungen eignen sich Dreiecksfunktionen, die einen Minimalwert, einen Modalwert (wahrscheinlichster Wert) und einen Maximalwert für die Bearbeitungsdauer haben. Demnach ist Task 1 nach 10 bis 14 Tagen fertiggestellt, wobei die höchste Wahrscheinlichkeit bei 12 Tagen liegt (Schreibweise [10|12|14]). Für Task 2 gilt entsprechend [8|10|12].

MC-Simulation mittels 100.000 unabhängigen Zufallsexperimenten (N =100.000) aus diesen beiden Verteilungen und Verküpfung der Ergebnisse ergibt folgendes Resultat für die Gesamtprojektdauer, siehe Abbildung 4. Das Ergebnis zeigt, dass die wahrscheinlichte Projektdauer 22 Tage ist (med 22.0). Dieses Ergebnis entspricht vollständig der Intuition, wonach die Summe der Modalwerte der Tasks exakt 22 ergibt. Darüber hinaus sind mit der Methodik weitere wesentliche Erkenntnisse zu gewinnen, nämlich dass mit einem Vertrauensniveau[2] von 95% die Projektduer von ca. 24 Tagen (95.0% 23.9) eingehalten ist bzw. bei postiven Projektverlauf mit dem Vertrauensniveau 5% die Projektdauer gut 20 Tage (5.0% 20.1) dauert. Im Vergleich erlaubt die einfache Abschätzung lediglich die Aussage, dass minimal 18 Tage und maximal 26 Tage benötigt werden. Eine Aussage zum Vertrauensniveau kann über die einfache Abschätzung aber nicht gegeben werden.

Die Stärke der MC-Modellierung zeigt sich spätestens dann, wenn einfache Abschätzungen nicht mehr möglich sind und Vertrauensniveaus zur Bewertung von Projektrisiken auf den Zeitplan essentiell benötigt werden. Nachfolgende Beispiele bauen auf dem ersten auf und führen nichtlineare Zusammenhänge und Abhängigkeiten ein.

[2] Der Begriff „Vertrauensniveau“ entspricht der „Zuverlässigkeit der Aussage“.

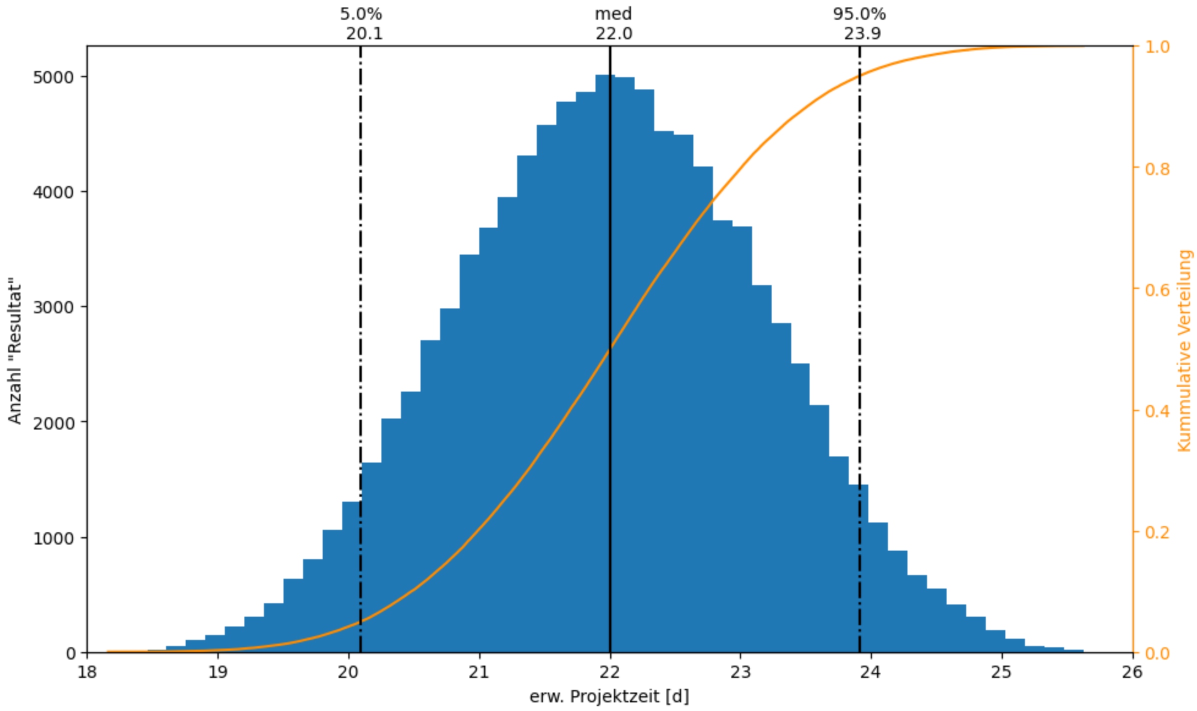

Abbildung 4: Ergebnis der MC-Modellierung für Beispiel 1

<u>*Beispiel 2:*</u>

Als Beispiel für einen nichtlinearen Zusammenhang dient folgendes Beispiel, bei dem im Vergleich zum ersten Beispiel ein neuer Task 3 mit den Parametern [9|11|13] eingeführt wird, der allerdings parallel zu Task 2 stattfindet (siehe Abbildung 5) . Das Projekt kann also nur dann als abgeschlossen verstanden werden, wenn sowohl Task 2 als auch Task 3 beendet sind. Dabei sind die Dauern der beiden Tasks derart, dass mit gewisser Wahrscheinlichkeit entweder der eine oder der andere für die Gesamtdauer verantwortlich ist und damit den sogenannten (termin-)kritischen Pfad des Projektes bestimmt. Dies ist schematisch in Abbildung 5 gezeigt.

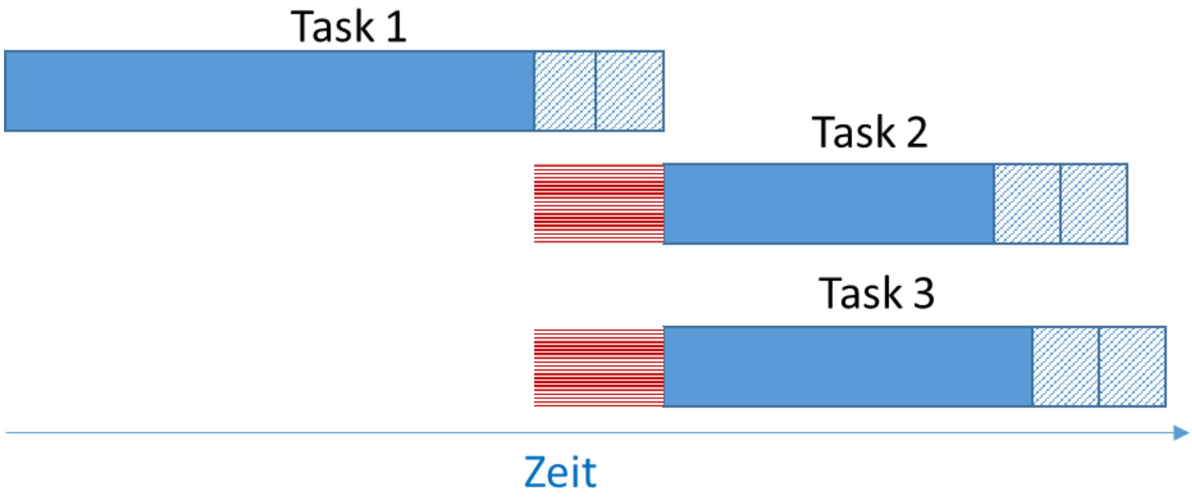

Abbildung. 5: Zeitstrahl für Projekt mit zwei parallel ablaufenden Tasks nach Beispiel 2

MC-Sampling mittels *N* = 100.000 ergibt folgendes Resultat für die Gesamtprojektdauer, siehe Abbildung 6. Das Ergebnis zeigt, dass die wahrscheinlichte Projektdauer 23 Tage ist (med 23.1). Dieses Ergebnis entspricht ebenfalls der Intuition, wonach die Summe der Modalwerte der wesentlich bestimmenden Tasks 1 und 3 den Wert 23 ergibt.

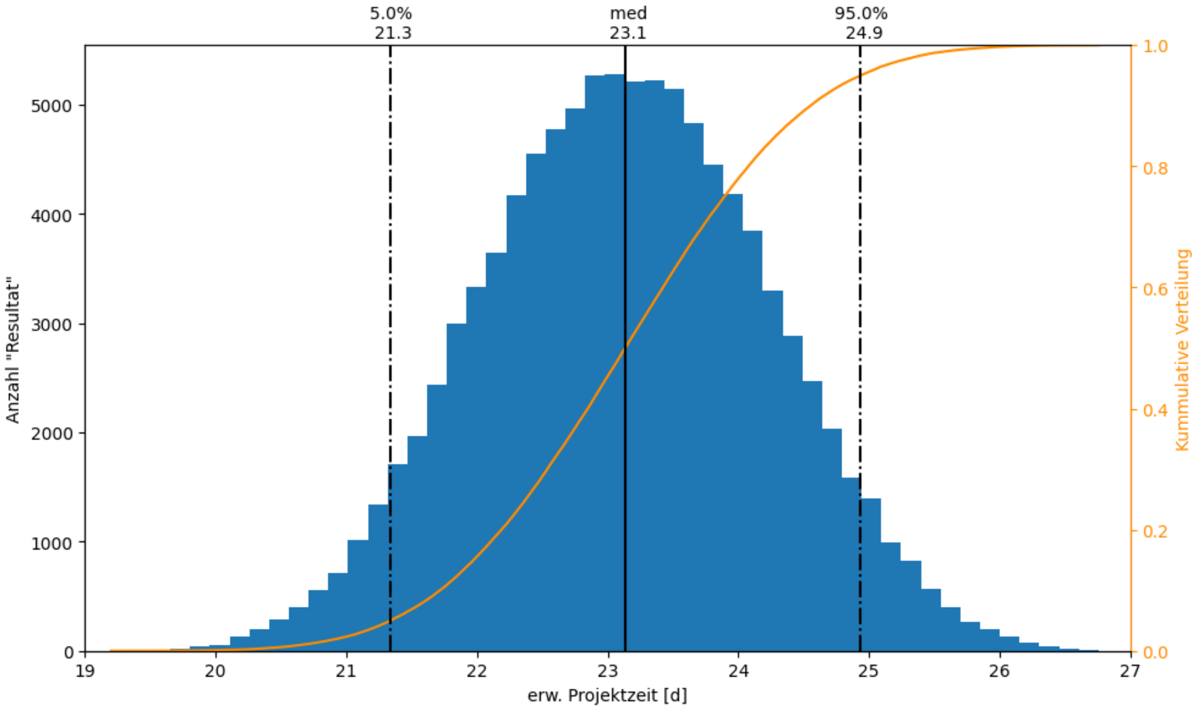

Abbildung 6: Ergebnis der MC-Modellierung für Beispiel 2

Hier lohnt sich ein weiterer Blick auf das Thema des (termin-)kritischen Projektpfades.

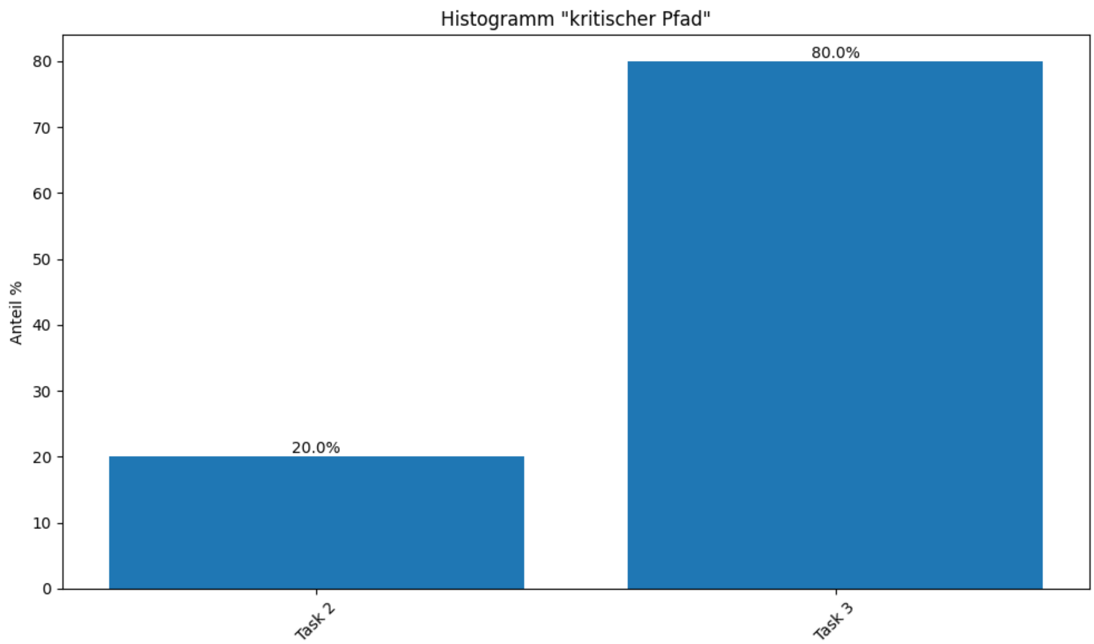

Abbildung 7: (Termin-)kritischer Projektpfad in Beispiel 2

Die entsprechende Auswertung der MC-Simulationen bezüglich der Rolle von Task 2 und Task 3 sind in Abbildung 7 gezeigt. (Task 1 beeinflusst immer den (Termin-)kritischen Pfad, da er Task 2 und Task 3 vorgelagert ist). Demnach ist in 80 % der Fälle Task 3 der kritische Pfad.

Beispiel 3:

Um abschließend den Einfluss von weiteren nichtlinearen Zusammenhängen in Projekten zu demonstrieren, wird Beispiel 2 um zwei Sachverhalte erweitert: Zum einen werden zwei weitere auf der Fertigstellung der parallelen Tasks 2 und 3 aufbauende Tasks 4 [8|10|12] und 5 [9|11|13] eingeführt. Zum anderen werden diese Tasks mit dynamischen Verzögerungen (sog. Penalties) von je zwei Tagen versehen, sobald die Projektdauer zum Projektzwischenstand nach Task 2/3 den Wert von 23 Tagen (siehe Beispiel 2) überschritten hat; dann gilt Task 4p [10|12|14] und Task 5p [11|13|15]. Mit dieser Methodik kann beispielsweise dem Umstand Rechnung getragen werden, dass Verzögerungen in frühen Projektphasen aufgrund von sich daraus später ergebenden Engpässen in Personal- und /oder Materialverfügbarkeiten negative Einflüsse auf die Projektbearbeitung haben können. Die Situation ist in Abbildung 8 dargestellt.

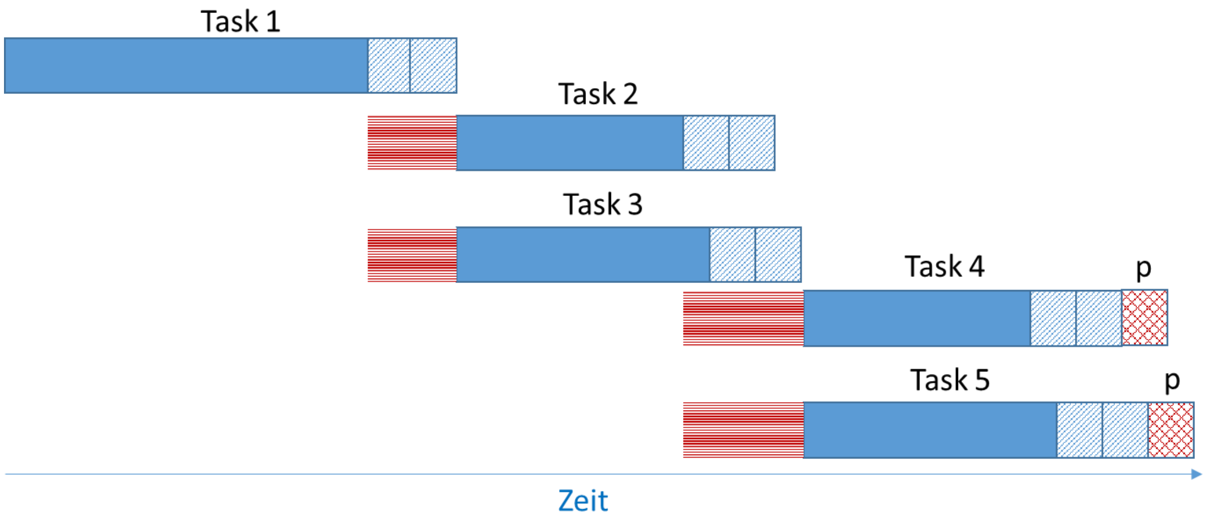

Abbildung. 8: Zeitstrahl für Projekt mit je zwei parallel ablaufenden Tasks nach Beispiel 3

MC-Sampling mittels *N* = 100.000 ergibt folgendes Resultat für die Gesamtprojektdauer, siehe Abbildung 9. Es zeigt sich, dass die zusätzlichen Nichtlinearitäten in der Projektabfolge erhebliche Auswirkungen auf den Gesamtbearbeitungszeitraum haben und sich eine bi-modale Verteilung[3] ergibt. In diesem Fall muss die Angabe einer wahrscheinlichsten Bearbeitungsdauer von knapp 36 Tagen (med 35.7) vorsichtig interpretiert werden, da die Wahrscheinlichkeitsverteilung der erwarteten Projektdauer hier zwei ausgeprägte Maxima und dadurch bedingt eine vergleichsweise hohe Breite aufweist. Diese Breite wird durch die alleinige Angabe der wahrscheinlichsten Bearbeitungsdauer nicht adäquat gewürdigt. Sinnvoller erscheint hier mindestens die zusätzliche Angabe des Vertrauensniveaus von 95% für die erwartete Projektdauer von gut 38 Tagen (95.0 % 38.4).

Dieses Beispiel gestiegener Komplexitäten, modelliert durch zusammenhängende Nichtlinearitäten, zeigt eindrucksvoll, warum das reine Heranzeihen von fixen Bearbeitungsdauern bzw. Mittelwerten von Bearbeitungszeiträumen schnell zu falschen Ergebnissen für Gesamtprojektbearbeitungsdauern führen kann und in der Folge Realliserungszeíträume sich insgesamt verzögern und Kosten die vorgesehenen Budgets überschreiten können.

[3] Eine bimodale Verteilung ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung oder Häufigkeitsverteilung, bei der die Dichte bzw. deren Schätzung zwei besonders ausgeprägte lokale Maxima aufweist.

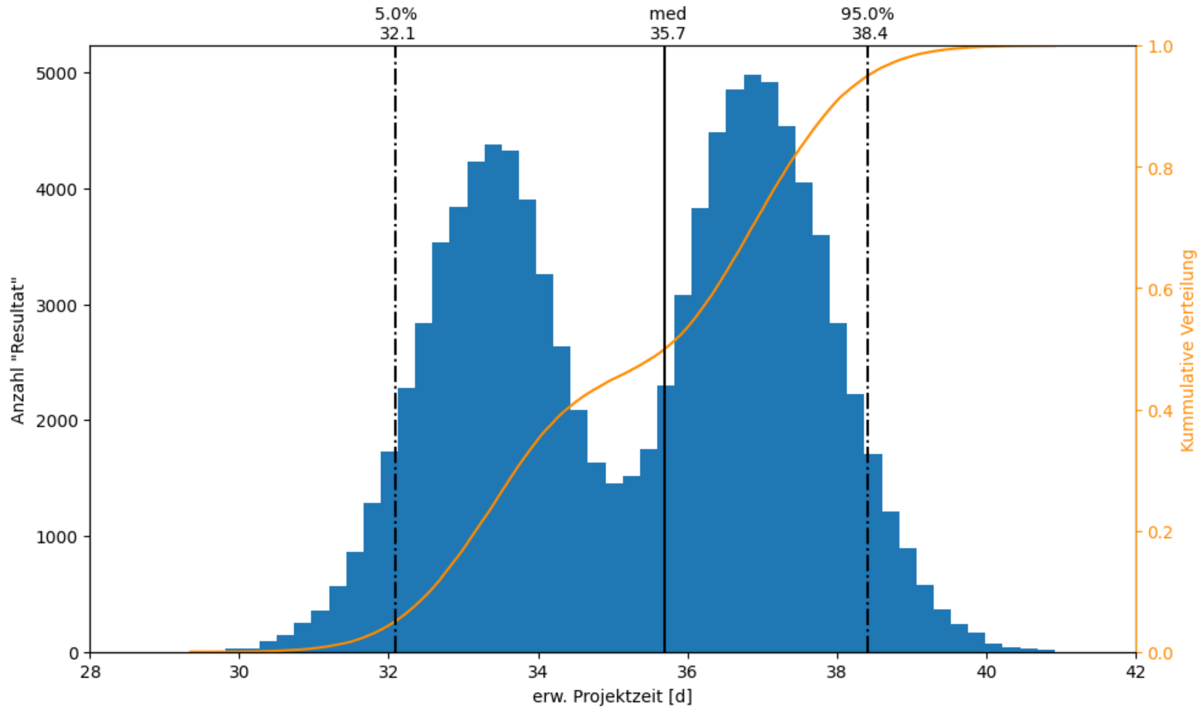

Abbildung 9: Ergebnis der MC-Modellierung für Beispiel 3

Auch hier lohnt sich ein Blick auf den (termin-)kritischen Projektpfad. Dieser ist nun deutlich komplexer zusammengesetzt, siehe Abbildung 10. Die genauen Zahlenwerte ermöglichen eine Wichtung der Projektrisiken untereinander und somit den Fokus auf wesentliche Pfade für den Projektmanager.

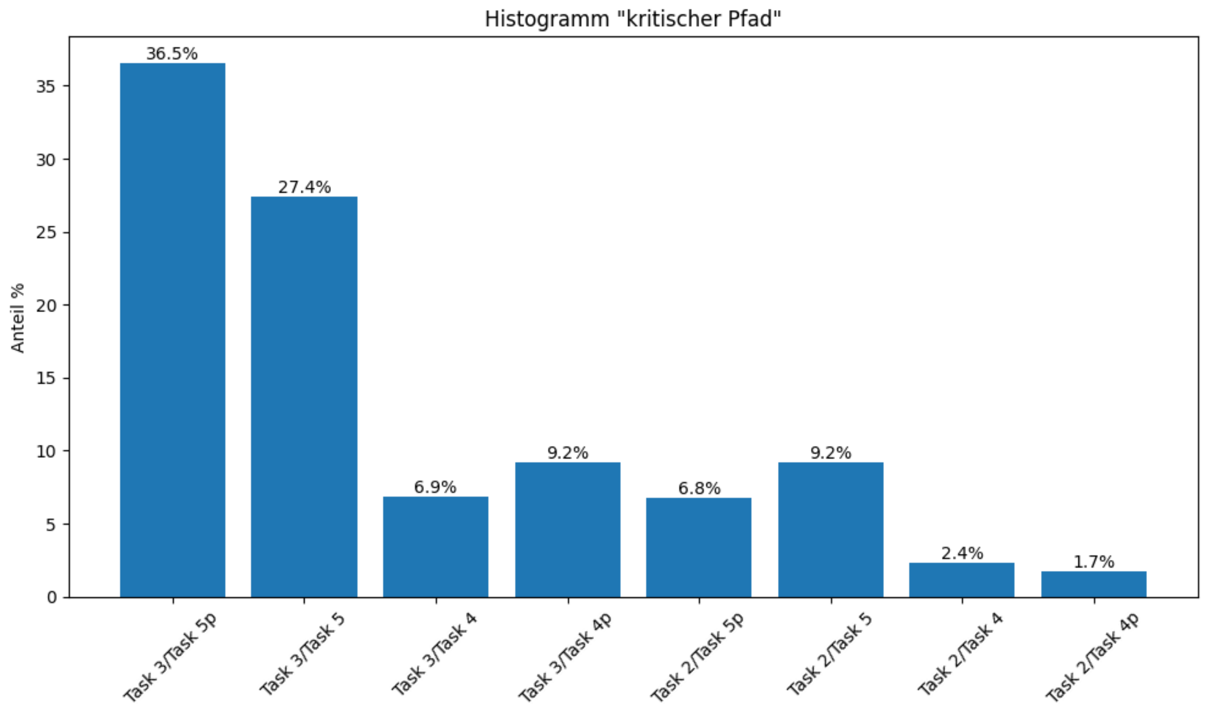

Abbildung 10: (Termin-)kritischer Projektpfad in Beispiel 3

Ausblick

Die gezeigten Beispiele demonstrieren, dass die MC-Methodik für das Risikomanagement in der Terminplanung komplexer Projekte entscheidende Vorteile bieten. Beispielsweise müssen bei intensiven, mehrjährigen Großprojekten in der Regel mehrere Dutzend voneinander abhängige Tasks in den ablaufzeitlichen Kontext gesetzt werden und schnell Übersichten zu terminkritischen Pfaden erstellt werden. Hinzu kommt eine gewisse Dynamik bei sich ändernden Randbedingungen. Eine zielführende Bewertung von Projektrisiken bietet daher das MC-Risikomanagement.

Die Stärke des MC-Risikomanagements zeigt sich über die gezeigten Ergebnisse hinausgehend in zwei Punkten. Zum einen erzwingt die Quantifizierung der Projektannahmen die frühzeitige und stetige Einbindung aller relevanten Stakeholder. Dies führt erfahrungsgemäß zu einer verbesserten Projektbearbeitung, weil u. a. Haltepunkte frühzeitig identifiziert und angegangen werden können. Zum anderen birgt die Methodik einen hohen Grad an Transparenz der Entscheidungsprozesse in sich. Zu allen Zeitpunkten des Projektes können Vorgesetzte, Kunden und Geldgeber im bestmöglichen Sinne mitgenommen und überzeugt werden. Dies stärkt das gegenseitige Vertrauen und letztendlich die Projektnachhaltigkeit entscheidend.