

Simulation der Dauer von Produktentwicklungsprozessen auf Basis von Design Struktur Matrizen

Thomas Gärtner

Aachen, 5. September 2008



1

Herausforderungen in Produktentwicklungsprojekten

2

Methode der Design Struktur Matrix zur Beherrschung von Komplexität und zur Modellierung von Iterationen und Nacharbeit in Entwicklungsprojekten

3

Entwicklung eines Simulationsmodells zur Abschätzung von Produktentwicklungsdauern und -kosten auf Basis der Design Struktur Matrix

4

Anwendung des Simulationsmodells in der Automobilindustrie

5

Identifikation von Prozessoptimierungspotenzialen durch systematische Parametervariation

Herausforderungen in Produktentwicklungsprojekten: Iterationen und Änderung von Anforderungen

Produktentwicklungsprojekte sind geprägt durch:

■ Iterationen:

- Geplante Iterationen stellen die Qualität sicher (z. B. spiral development process).
- Ungeplante Iterationen korrigieren falsche Informationen sowie ungültige Annahmen und erzeugen Mehrarbeit.
- Gründe für ungeplante Iterationen:
 - falsche Reihenfolge der Tätigkeiten
 - schlechte Kommunikation
 - veränderter Input bewirkt eine Veränderung der Annahmen und Daten
 - Irrtum bei versehentlich fehlerhaften Informationen
 - nicht erfasste falsche Annahmen, die als gesichert angenommen wurden

■ Nachträgliche **Änderung von Produkthanforderungen**:

- geänderte Gesetzgebung und Rahmenbedingungen
- nachträgliche Optimierung des Produktes
- Änderungen in einer parallel laufenden, damit verkoppelten Entwicklung

Die Folge von Iterationen und der Änderung der Produkthanforderungen ist **Mehrarbeit**.

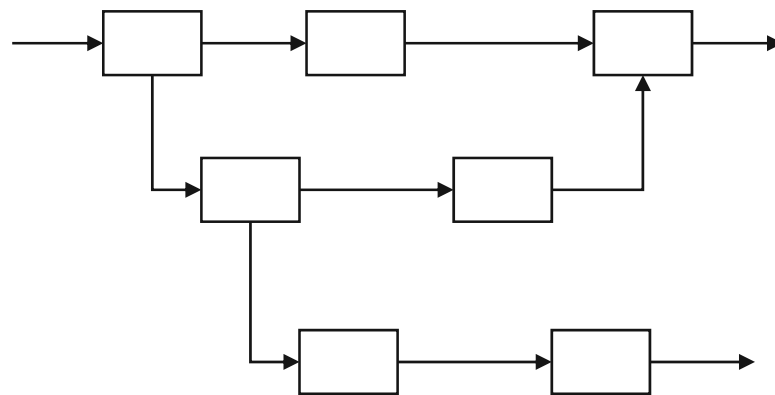
Laut einer Studie von Osborne bei Intel waren 13-70% (im Mittel: 33%) der gesamten Projektzeit Mehrarbeit!¹

¹Quelle: Osborne, Sean M. (1993) *Product Development Cycle Time Characterization through Modeling of Process Iteration*, Master Thesis, MIT, Cambridge, MA.

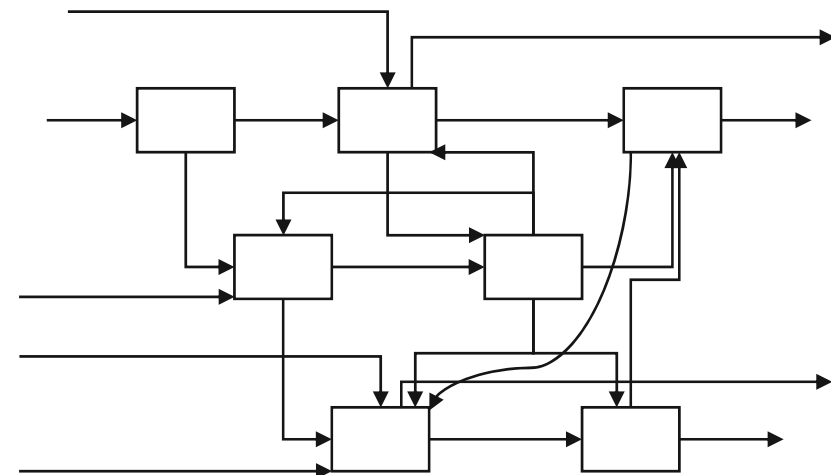
Herausforderungen in Produktentwicklungsprojekten: Komplexität von Informationszusammenhängen

Herausforderung: Erfassung von Informationsflüssen

- Erfasste Beziehungen werden häufig vereinfacht.
- Viele Beziehungen bleiben unberücksichtigt.
- Iterationen sind nicht abbildbar.
- Verkoppelte Aktivitäten sind nicht gut darstellbar.



Dokumentierter Informationsfluss



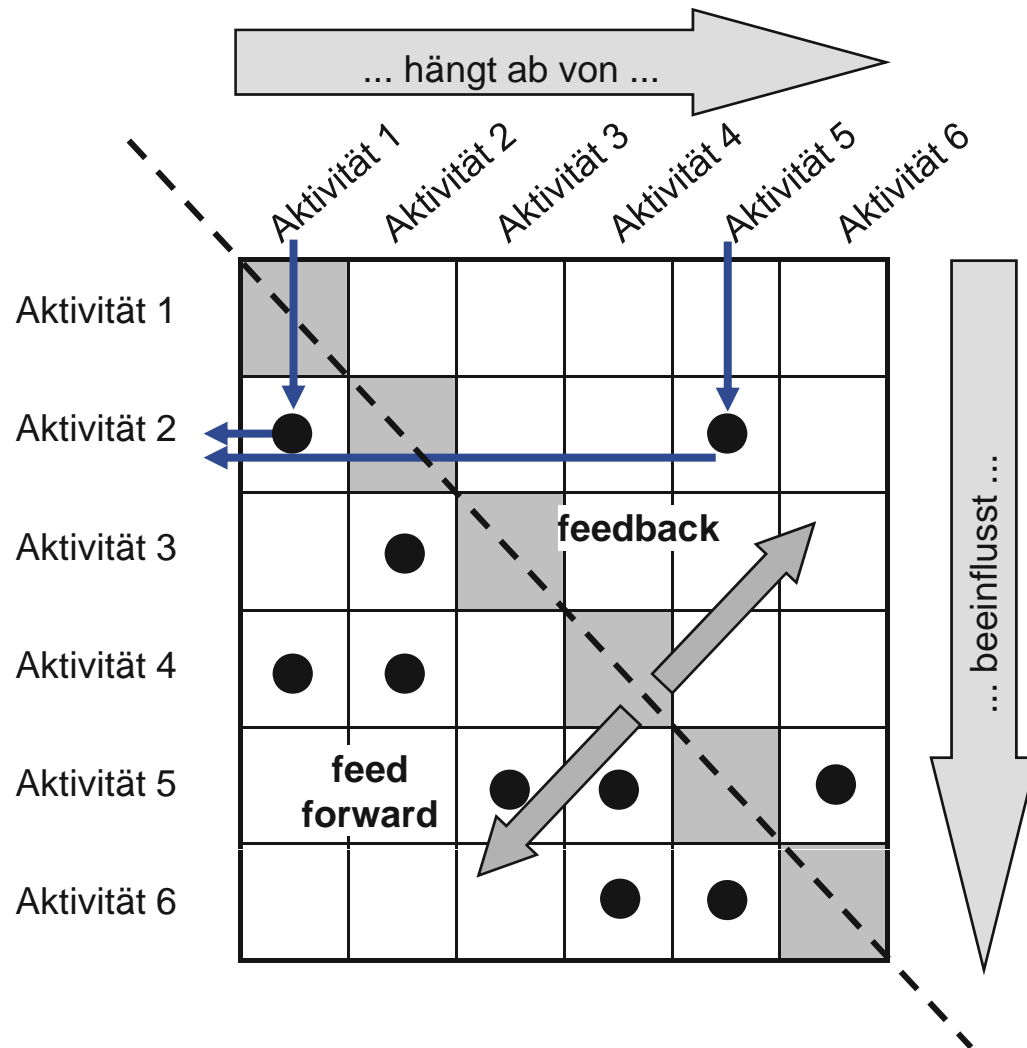
Realer Informationsfluss

Herausforderung der Projektplanung in Produktentwicklungsprozessen:

Die Abschätzung von Produktentwicklungsdauern ist schwierig aufgrund komplexer Informationszusammenhänge, Iterationen und der Änderungen von Anforderungen.

Design Struktur Matrix

Darstellung von Informationszusammenhängen



In der Design Struktur Matrix (DSM) können die Abhängigkeiten von Informationen zwischen Aktivitäten eines Prozesses dargestellt werden.

Vorteile:

- Abbildung von komplexen und hochgradig verkoppelten Prozessen möglich
- Iterationen darstellbar
- kompakte Darstellungsform
- Grad der Abhängigkeit darstellbar

Nachteile:

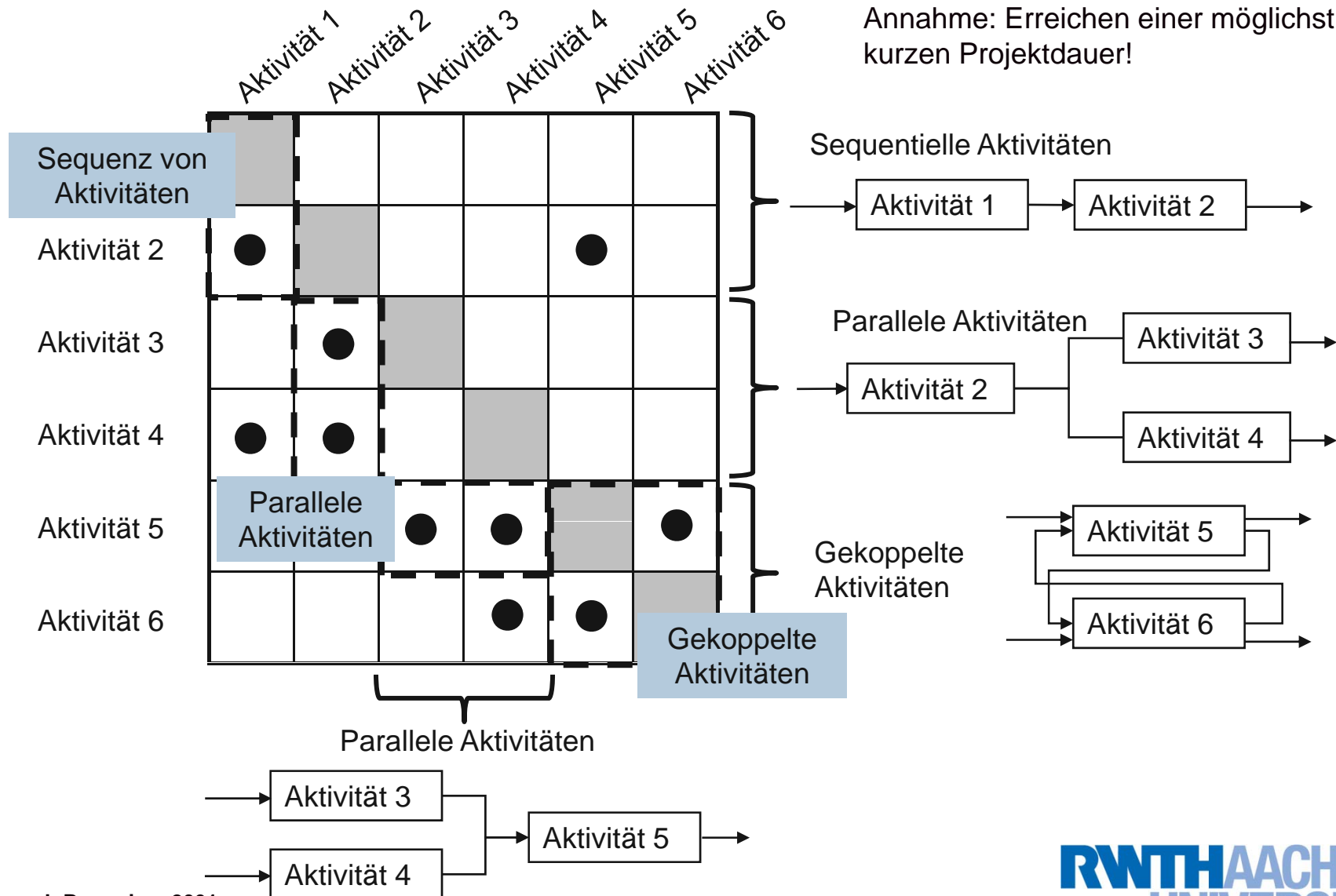
- erklärungsbedürftige Notation
- Verzweigungen nicht eindeutig abbildbar

Quelle: nach Browning, 2001

© Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen

Ableiten von Ablaufstrukturen aus der Design Struktur Matrix

Annahme: Erreichen einer möglichst kurzen Projektdauer!



Quelle: nach Browning, 2001

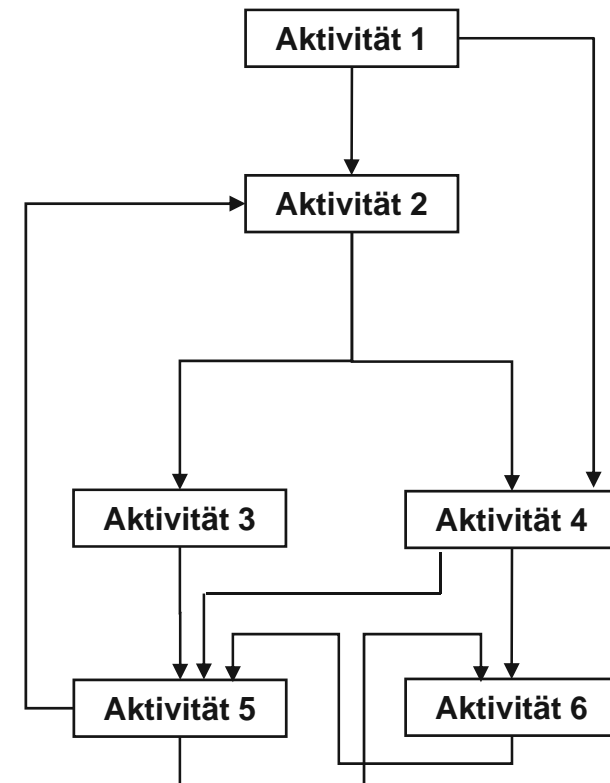
© Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen

Vergleich der Abbildung eines Projektes in einer DSM und in einem Workflow

Design Struktur Matrix:

	Aktivität 1	Aktivität 2	Aktivität 3	Aktivität 4	Aktivität 5	Aktivität 6
Aktivität 1						
Aktivität 2	●					●
Aktivität 3		●				
Aktivität 4	●	●				
Aktivität 5			●	●		●
Aktivität 6				●	●	

Workflowdarstellung:

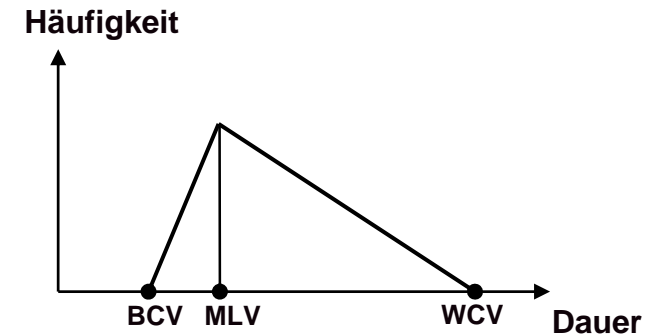


Charakteristika des Simulationsmodells:

- Simulationsmodell zur Abschätzung der Produktentwicklungsdauer und -kosten auf Basis der DSM
- Monte Carlo Simulation, implementiert in MATLAB
- Abbildung mehrfacher Iterationen im Projekt
- Berücksichtigung von Varianzen der Dauern und Kosten der Aktivitäten
- Berücksichtigung von Änderungen der Produkthanforderungen im Projekt
- Abbildung von Lerneffekten über mehrere Iterationen
 - Abnahme der Iterationswahrscheinlichkeit
 - Abnahme der Mehrarbeit
- Unterschiedliche Möglichkeiten zur Analyse der Ergebnisse
 - Abbildung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dauer und Kosten eines Projektes
 - Darstellung der Dauer-Kosten-Abhängigkeiten
 - Erstellung von Gantt-Charts
- Risikomanagement durch Vergleich verschiedener Projektszenarien mittels systematischer Parametervariation
- Ableitung von Prozessoptimierungspotenzialen

Benötigter Input für das Simulationsmodell

- Dauer und Kosten von Aktivitäten als Dreiecksverteilung
- Abhängigkeitsmatrix: Verkopplung der Aktivitäten durch Informationsabhängigkeiten
- Wahrscheinlichkeitsmatrix: Wahrscheinlichkeit für das Auslösen einer Iteration
- Mehrarbeitsmatrix: Anteil der Arbeit einer Aktivität, der in einer Iterationsschleife erneut durchgeführt werden muss
- Matrix zur Abnahme der Iterationswahrscheinlichkeit: Über die Anzahl der Iterationsschleifen sinkt die Wahrscheinlichkeit für weitere Iterationen



Zusätzlich für Produktänderungen:

- Änderungsvektor: Angabe des Änderungsgrades eines Bauteils bzw. einer Funktion
- Änderungszeitpunkt
- Produktmatrix: Verkopplung der Bauteile/Funktionen
- Prozess-Produkt-Domain-Mapping-Matrix: Verbindung der Prozess- mit der Produktsicht

Mehrarbeitsmatrix	Produktmatrix															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M			
Funktion des Bauteils definieren	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0,33	0	0	0,25	0,25	0,25	0	0	0,33	0
elektrische Funktionsweise festlegen	0,2	0	0,15	0,2	0	0	0,25	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0
Funktionsumfang der Software festlegen	0,2	0,25	0	0	0	0	0,2	0	0	0,25	0,25	0,25	0	0	0	0
mechanische Funktionsweise festlegen	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,15	0,15	0	0	0
Lastenheft festschreiben	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lieferant auswählen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pflichtenheft ausarbeiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mechanische Funktion entwickeln	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0,25	0	0	0,2
elektrische Funktion entwickeln	0	0,8	0	0	0	0	0	0,33	0,2	0,1	0,25	0,3	0	0	0	0
Software entwickeln	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0,25	0	0,25	0,35	0	0	0	0
Test am HL	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0,75	0,75	0	0	0	0	0	0	0
Test am Motorprüfstand	0	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0
Versuchsprotokoll	0	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0
Bauteil freigeben	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
Software freigeben	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Produktionstest	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
Job #1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Abbildung von Wahrscheinlichkeiten für Iterationen in der Design Struktur Matrix

Wahrscheinlichkeitsmatrix				50 % Wahrscheinlichkeit, dass nach „mechanische Funktionen festlegen“ eine Iteration zu „elektrische Funktionsweise festlegen“ erfolgt.													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	P	Q	R	S	T
Funktion des Bauteils definieren	0	0.1	0.2	0.1	0	0	0.15	0	0	0	0.001	0.005	0.005	0	0	0.001	0
elektrische Funktionsweise festlegen	0.8	0	0.25	0.5	0	0	0.1	0	0	0	0.001	0.005	0.01	0	0	0	0
Funktionsumfänge der Software festlegen	0.8	0.75	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0.001	0.01	0.01	0	0	0	0
mechanische Funktionen festlegen	0.5	0.66	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.01	0.015	0	0	0	0
Lastenheft festschreiben	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lieferant auswählen	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pflichtenheft auswerten	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mechanische Funktion entwickeln	0	0	0	0.9	0	0	1	0	0.4	0	0	0.1	0.1	0	0	0.005	0
elektrische Funktion entwickeln	0	0.9	0	0	0	0	1	0.6	0	0.6	0.25	0.15	0.1	0	0	0	0
Software entwickeln	0	0	0.9	0	0	0	1	0	0.8	0	0.75	0.33	0.25	0	0	0	0
Test am HIL							1	0	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0
Test am Motorprüfstand							1	0.9	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0
Versuchsfahrt							1	0.75	0.5	0.8	0	0	0	0	0	0	0
Bauteil freigeben							1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Software freigeben							1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
Produktionstest							0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
Job #1							0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

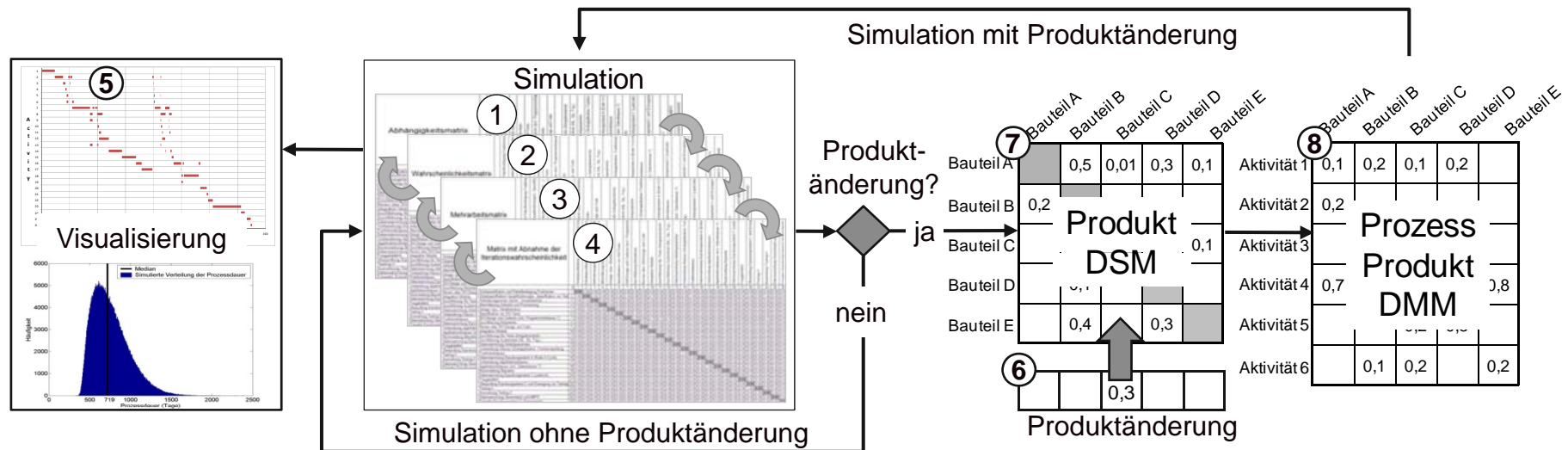
75 % Wahrscheinlichkeit, dass „elektrische Funktionsweise festlegen“ Mehrarbeit für „Funktionsumfänge festlegen“ erzeugt.

... hängt ab von ...

... beeinflusst ...

Entwicklung eines Simulationsmodells

Das Konzeptmodell



Elemente des Simulationsmodells:

1. Abhängigkeitsmatrix
2. Iterationswahrscheinlichkeitsmatrix
3. Mehrarbeitsmatrix
4. Matrix mit Abnahme der Iterationswahrscheinlichkeit
5. Visualisierung (Gantt-Charts, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Dauer-Kosten-Abhängigkeit)
6. Produktänderungsvektor
7. Produkt-DSM
8. Prozess-Produkt-DMM

Erläuterung der Funktionsweise des Simulationsmodells

Aktivitäten		Dauer [Tage]		
		BCV	MLV	WCV
Funktionen definieren	1	10	10	10
Software entwickeln	2	10	10	10
Hardware entwickeln	3	10	10	10
Testphase	4	10	10	10

Abhängigkeitsmatrix		1	2	3	4
Funktionen definieren	1	0	0	0	0
Software entwickeln	2	1	0	0	0
Hardware entwickeln	3	1	0	0	0
Testphase	4	1	1	1	0

Gantt-Chart ohne Iteration			
Funktionen definieren	10 Tage		
Software entwickeln		10 Tage	
Hardware entwickeln		10 Tage	
Testphase			10 Tage

Erläuterung der Funktionsweise des Simulationsmodells

Iterationswahrscheinlichkeit		1	2	3	4
Funktionen definieren	1	0	0	0	0
Software entwickeln	2	0	0	0	0.8
Hardware entwickeln	3	0	0	0	0
Testphase	4	0	1	0	0

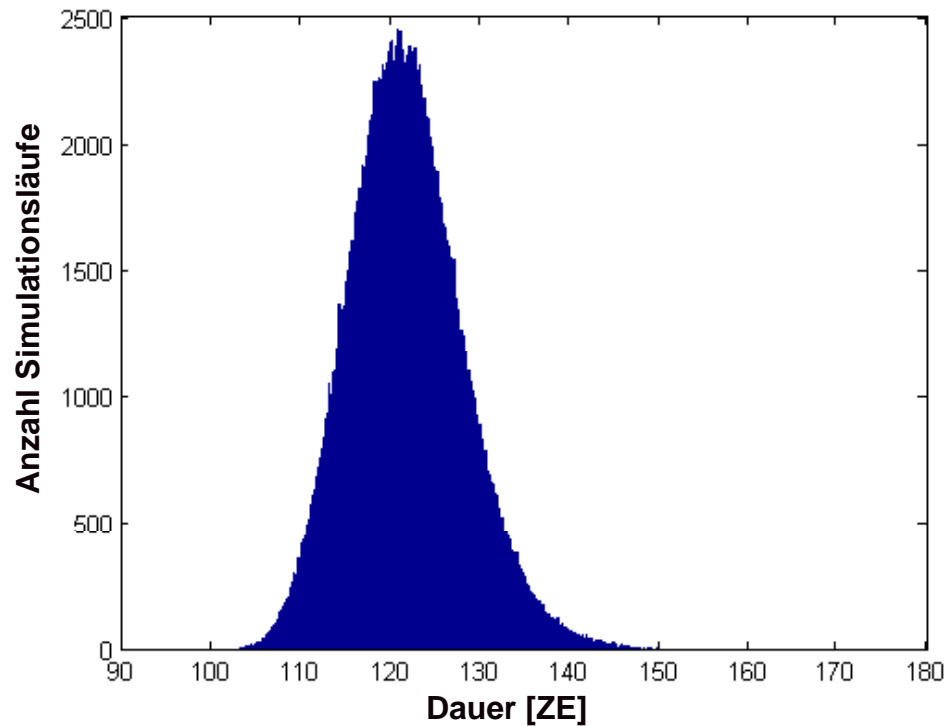
Mehrarbeitsmatrix		1	2	3	4
Funktionen definieren	1	0	0	0	0
Software entwickeln	2	0	0	0	0.6
Hardware entwickeln	3	0	0	0	0
Testphase	4	0	0.5		0

Abnahme der Iterationsw.		1	2	3	4
Funktionen definieren	1	0	0	0	0
Software entwickeln	2	0	0	0	0.9
Hardware entwickeln	3	0	0	0	0
Testphase	4	0	0	0	0

Gantt-Chart mit Iteration					
Funktionen definieren	10 Tage				
Software entwickeln		10 Tage		6 Tage	
Hardware entwickeln		10 Tage			
Testphase			10 Tage		5 Tage

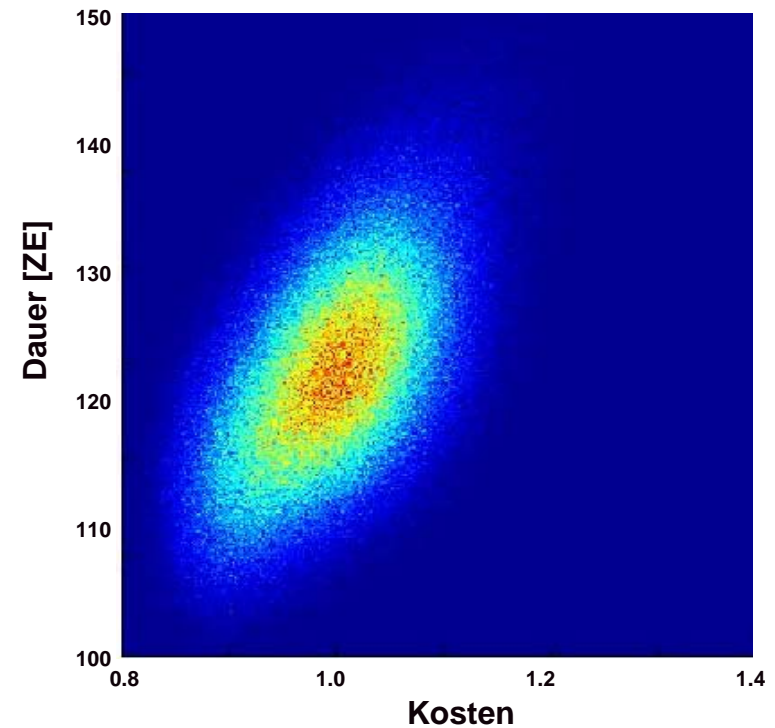
Beispiel: Entwicklung der Software eines Steuergerätes im Antriebsstrang

Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dauer



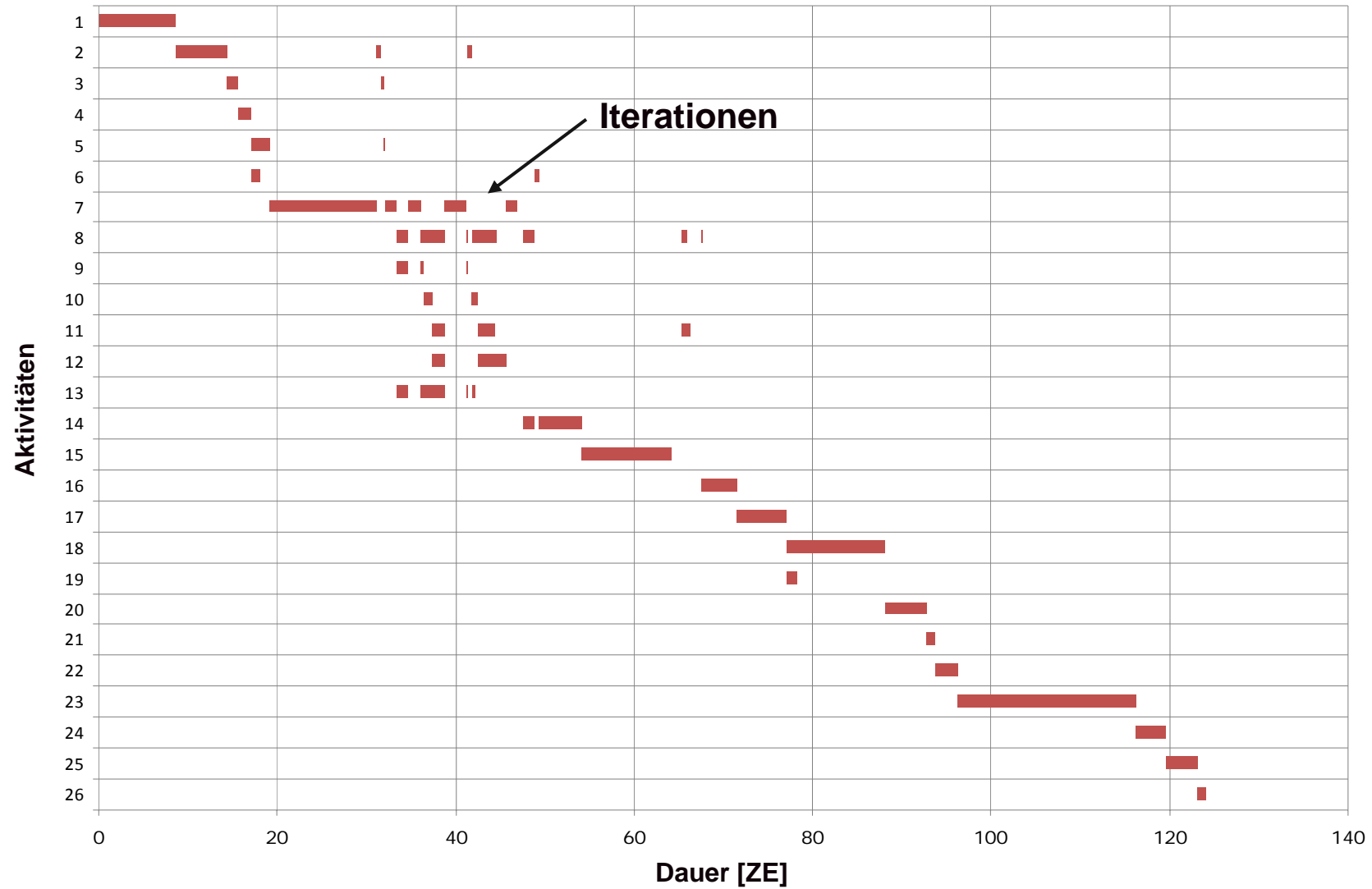
Mittelwert: 121.9
Modus: 121.2
Varianz: 40.78
5% Perzentil: 112.06
95% Perzentil: 132.80

Abhängigkeit der Dauer und Kosten



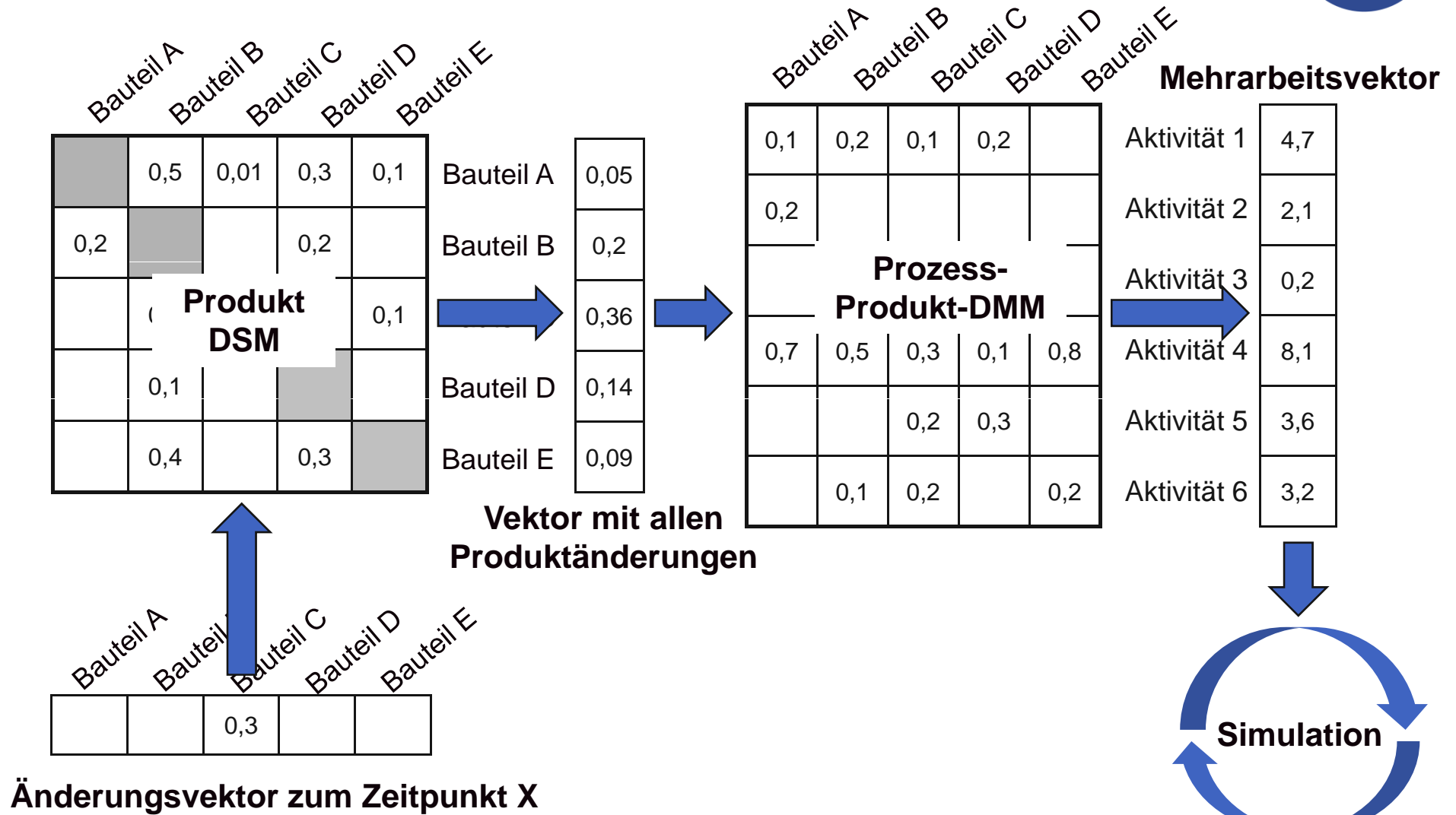
Simulation ohne Produktänderung

Projektdarstellung im Gantt-Chart



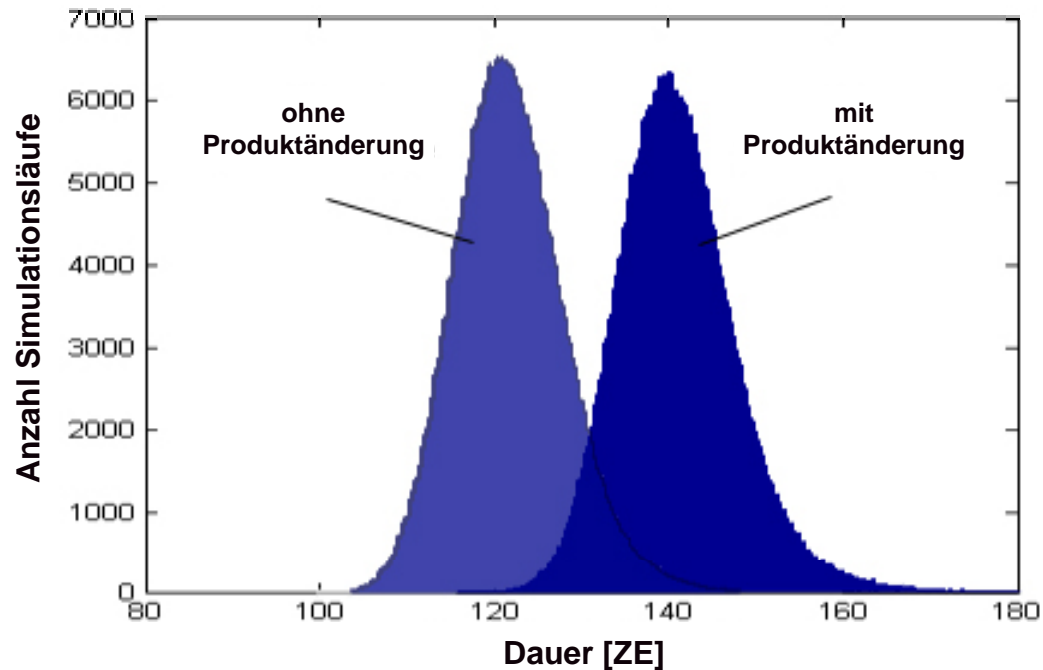
Simulation mit Produktänderung

Verknüpfung der Prozess- mit der Produktsicht

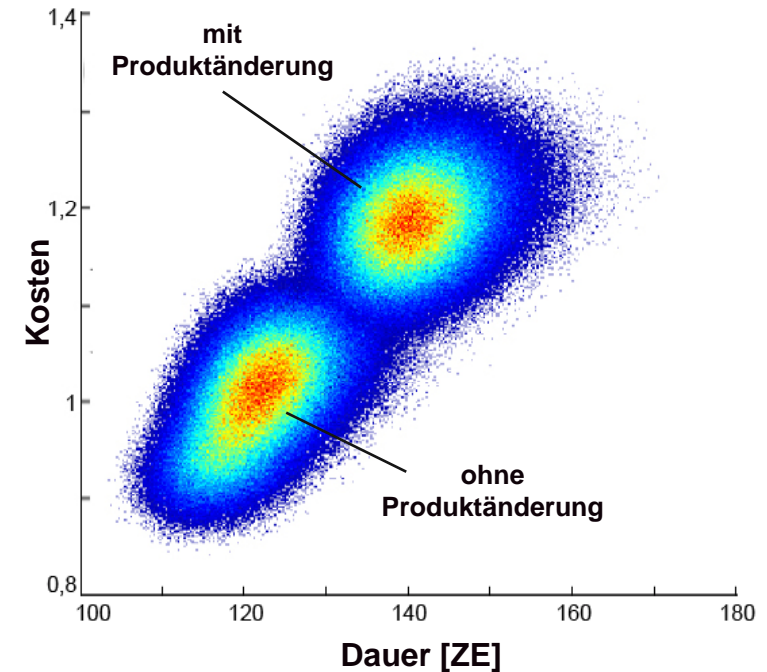


Beispiel: Änderung der Anforderung im Projekt: „CAN-Buslast reduzieren“

Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dauer

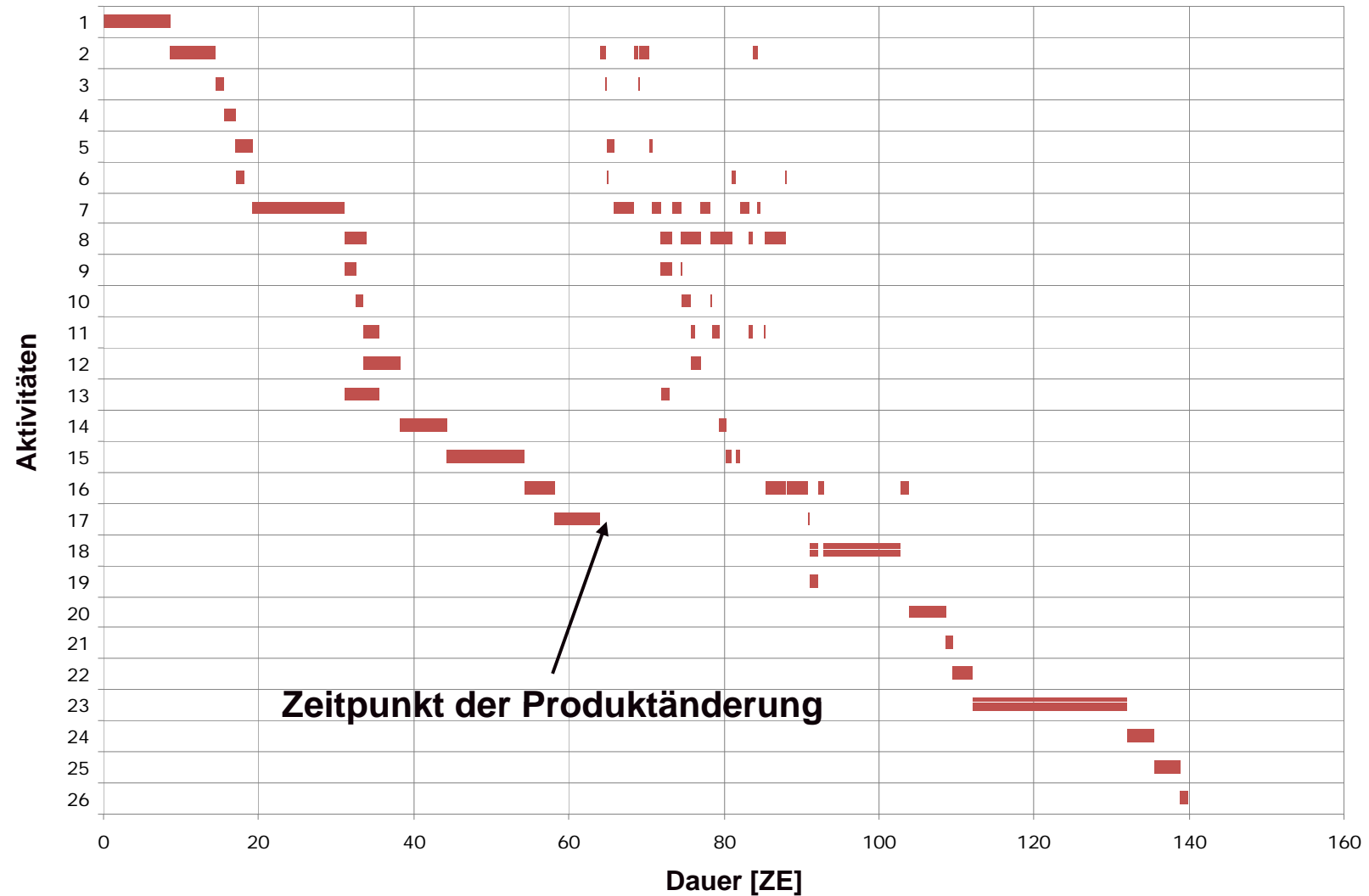


Abhängigkeit der Dauer und Kosten



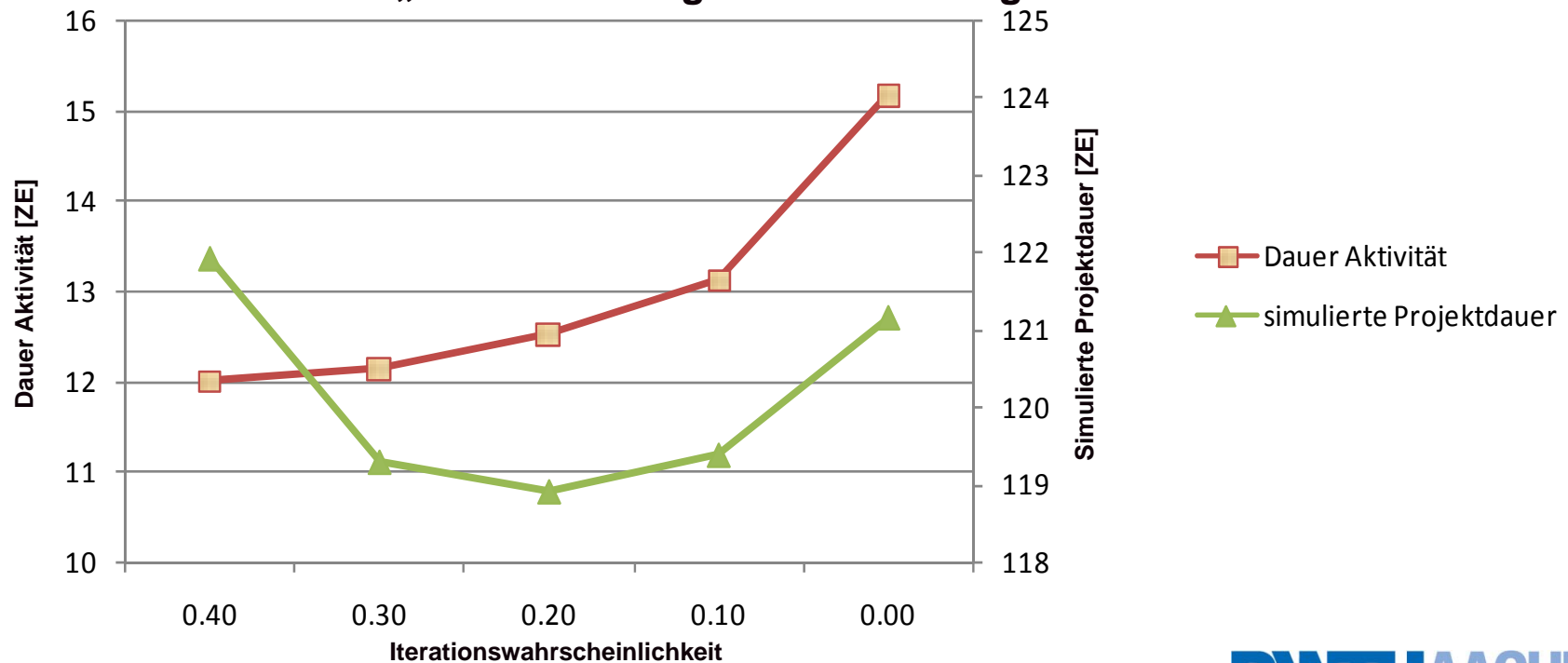
	Ohne	Mit Produktänderung
Mittelwert	121,86	140,48
Median	121,51	139,97
Varianz	40,78	47,72
5% Perzentil	112,05	130,22
95% Perzentil	132,80	152,50

Simulation mit Produktänderung: Projektdarstellung im Gantt-Chart



Hypothese: Eine Verlängerung der Bearbeitungsdauer einer Aktivität führt zu einer besseren Qualität ihres Outputs (Turnquist 2003) und damit zu einer geringeren Iterationswahrscheinlichkeit. Dadurch kann ggf. die Projektdauer gesenkt werden.

Betrachtung der Iteration von „Review über Software-Design“ nach „Software-Design und Codierung“





Zusammenfassung:

- Design Struktur Matrix als Methodik zur Modellierung komplexer Projekte
- Vorhersage- und Optimierungsmodell für die Dauer und Kosten von CE-Projekten
- Berücksichtigung der Haupteinflussfaktoren für die ungeplante Verlängerung von Projekten: Iterationen und die Änderung von Produkthanforderungen
- Durchführung von Parameterstudien zur Ableitung von Maßnahmen zur Prozessverbesserung
- Validierung anhand verschiedener Entwicklungsprojekte

Geplante Schritte:

- Implementierung der Möglichkeit Tätigkeiten zu überlappen
- Durchführung weiterer Verifikationsstudien
- Umsetzung der Prozessoptimierungsmaßnahmen

**VIELEN DANK
für Ihre Aufmerksamkeit**

Dipl.-Ing. Univ.
Thomas Gärtner



RWTH Aachen - Institut für Arbeitswissenschaft
Bergdriesch 27 • D-52062 Aachen
Tel.: 0241 / 80-99465
t.gaertner@iaw.rwth-aachen.de