

Jan Lunze

Ereignisdiskrete Systeme

Modellierung und Analyse dynamischer Systeme
mit Automaten, Markovketten und Petrinetzen

4., überarbeitete Auflage

Alle Abbildungen in A4-Vergrößerung

Edition MoRa

2025

21. September 2025

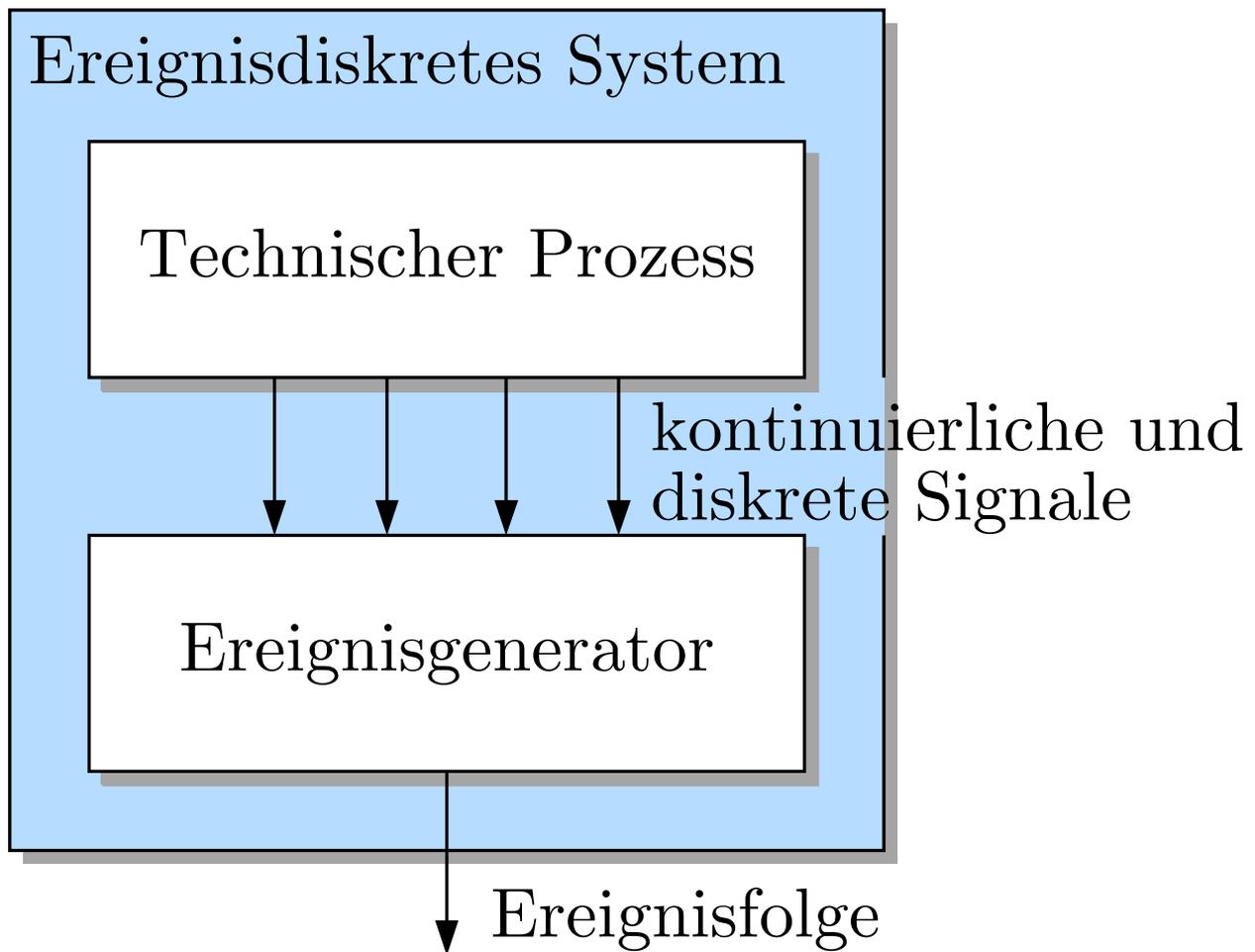
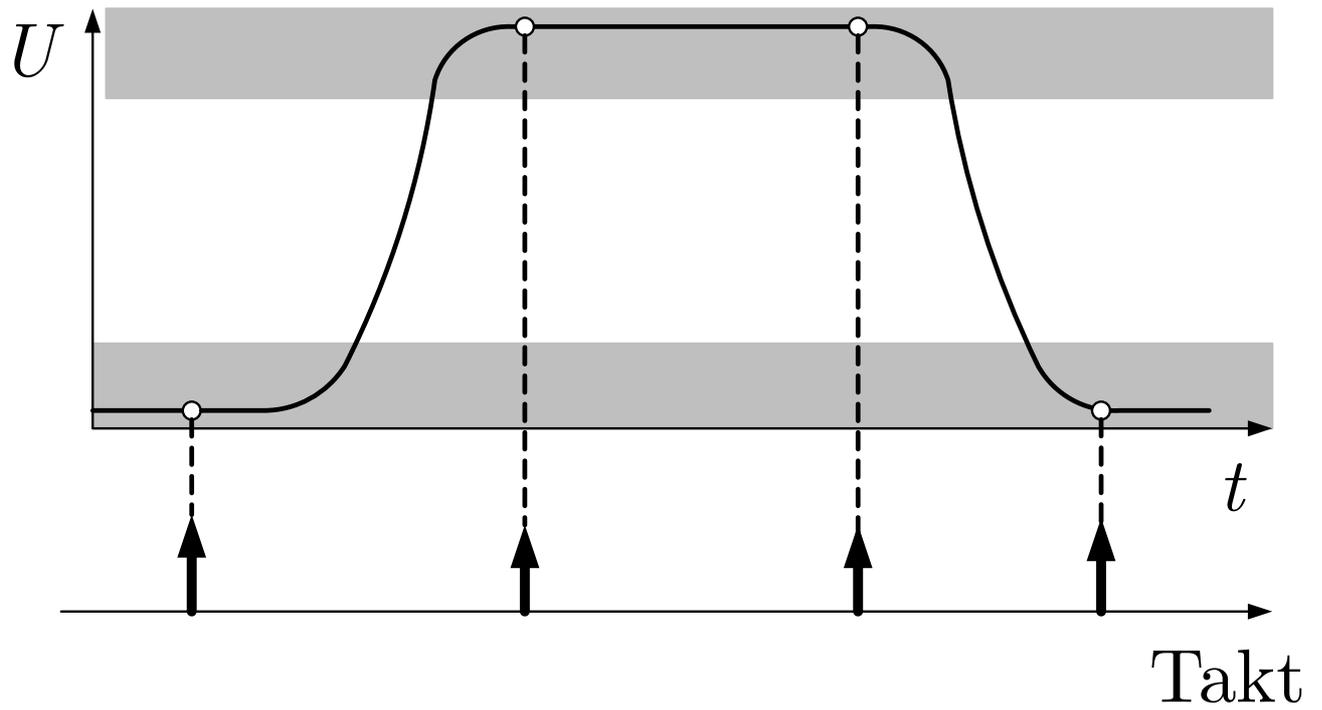


Abb. 1.1: Grundstruktur eines autonomen ereignisdiskreten Systems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 1.2: Spannungsverlauf bei einer digitalen
Schaltung**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

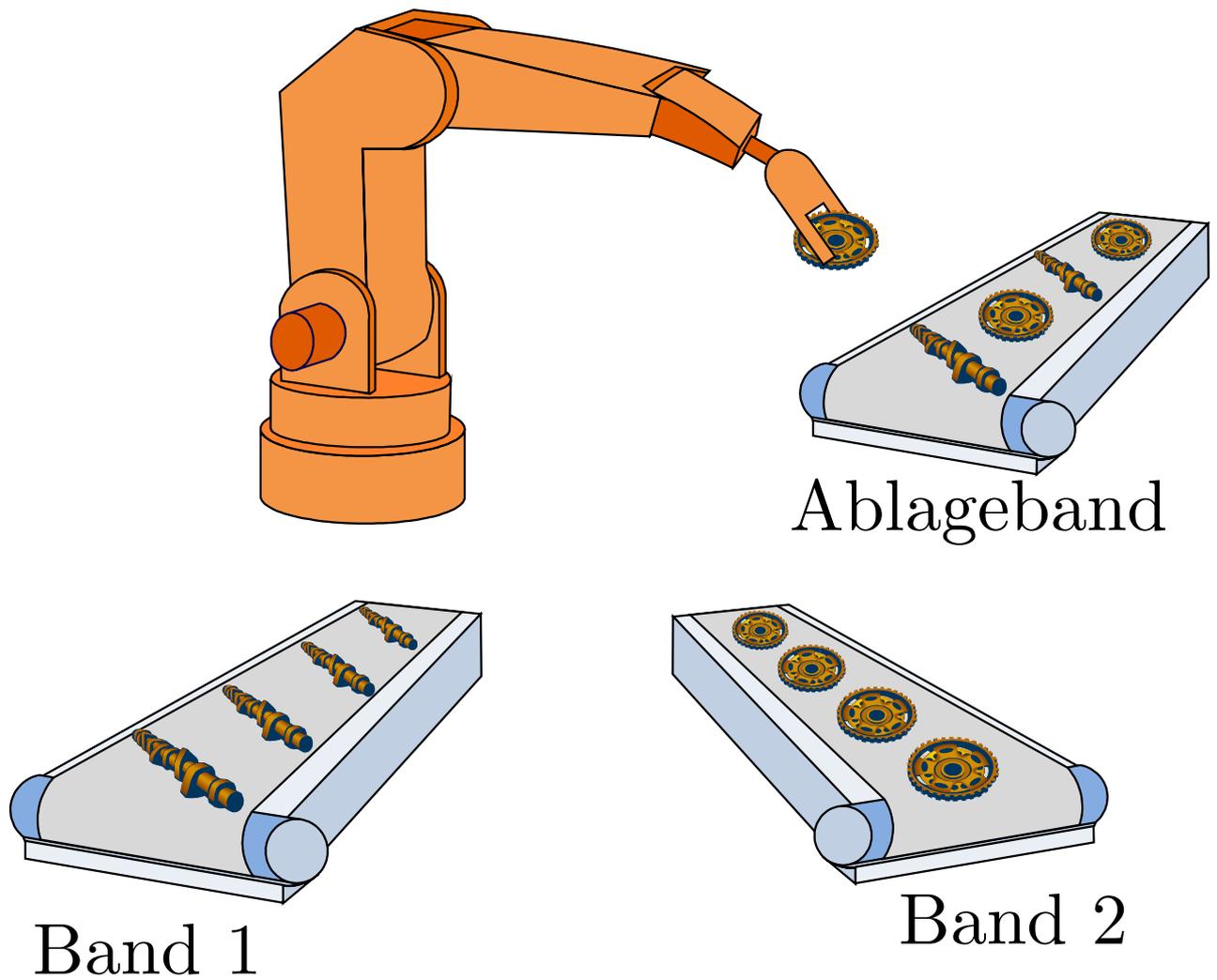


Abb. 1.3: Sortieren von Werkstücken durch einen Roboter

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

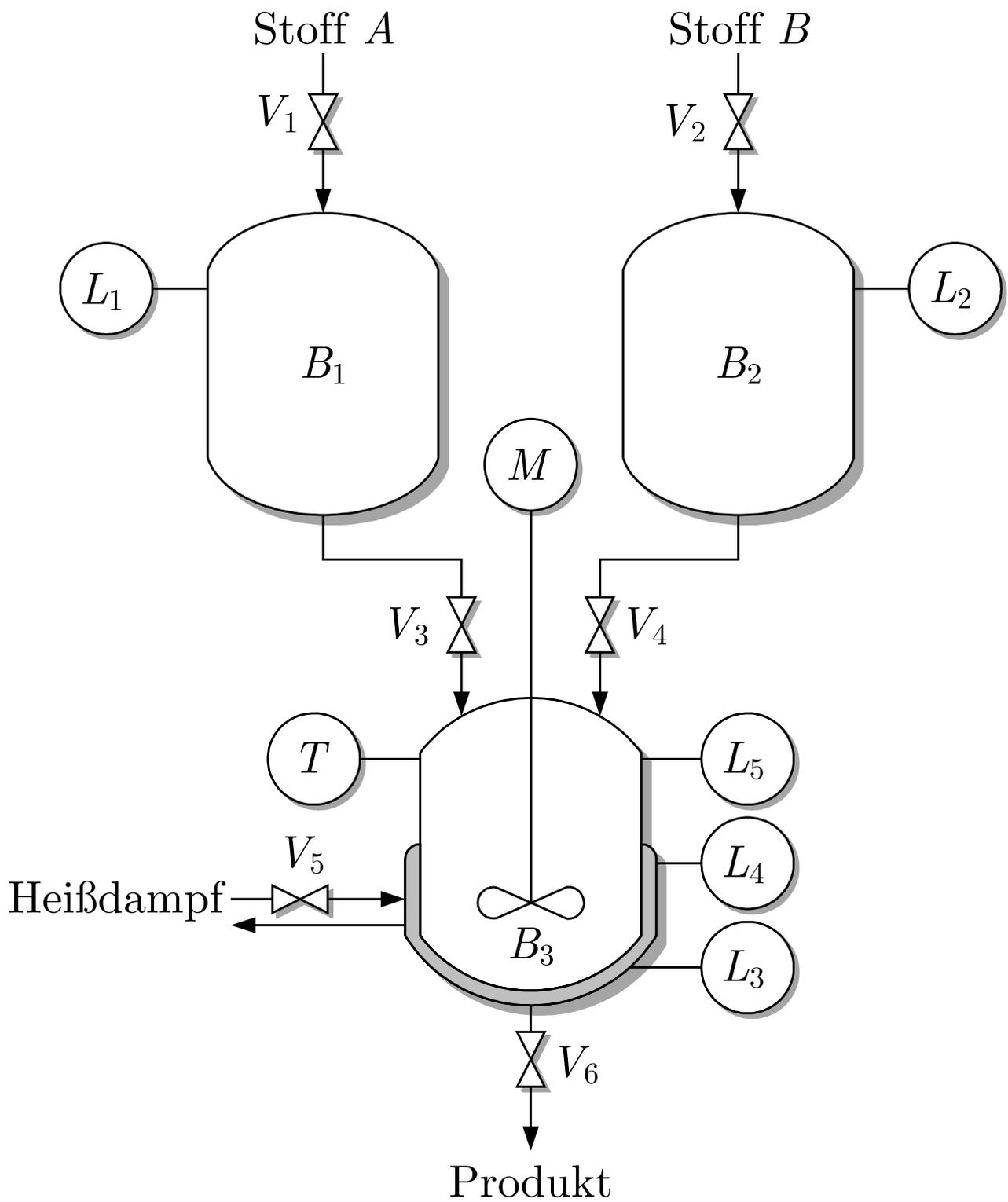


Abb. 1.4: Fließbild eines Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

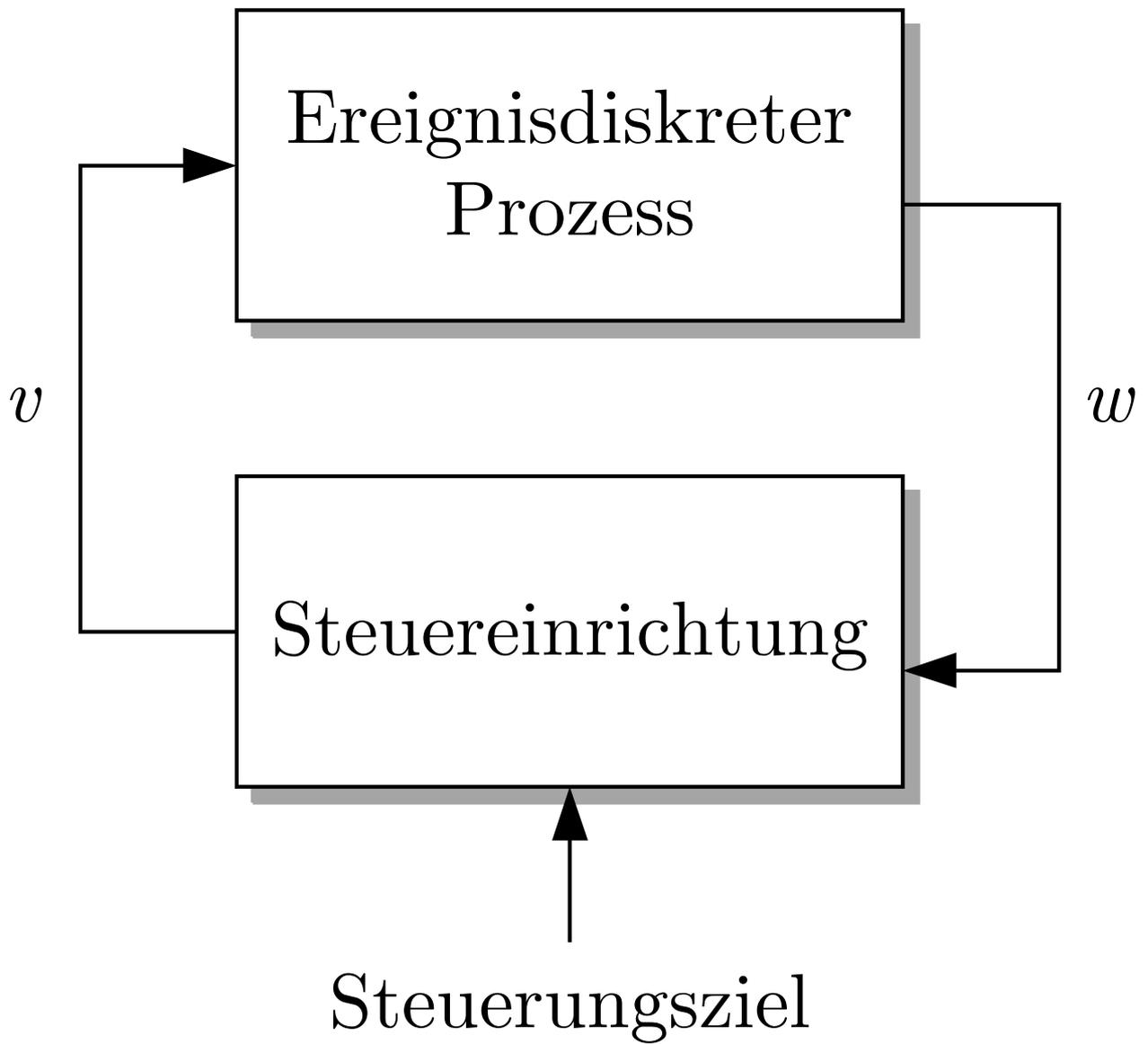


Abb. 1.5: Regelkreis

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

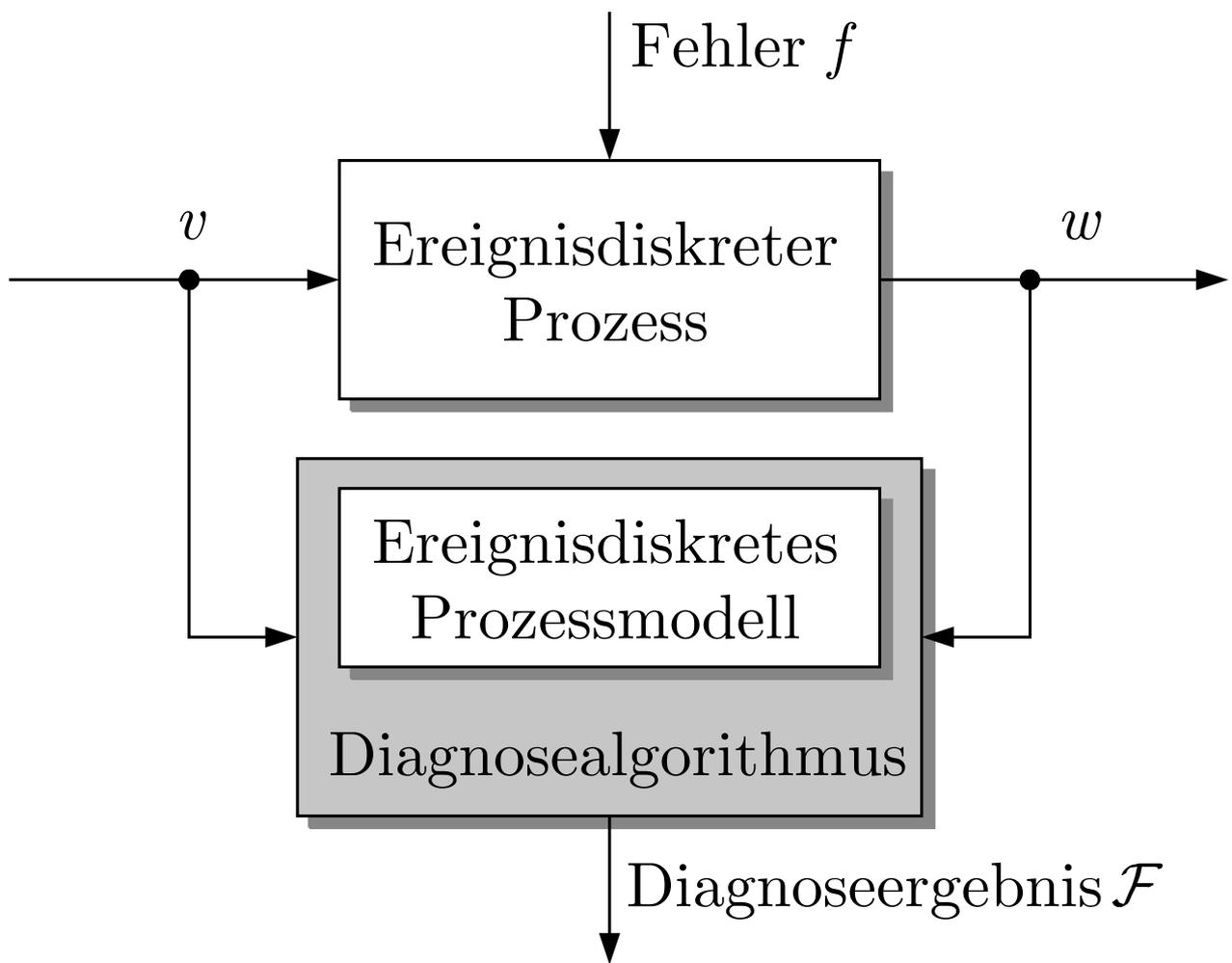


Abb. 1.6: Diagnose ereignisdiskreter Prozesse

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Zustände:

0 – Rahmen 0 wurde gesendet	E – leer	0 – wartet auf Rahmen 0
1 – Rahmen 1 wurde gesendet	0 – belegt mit Rahmen 0	1 – wartet auf Rahmen 1
	1 – belegt mit Rahmen 1	
	A – belegt mit Bestätigungsrahmen	

Abb. 1.7. Spezifikation eines Netzwerkprotokolls

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

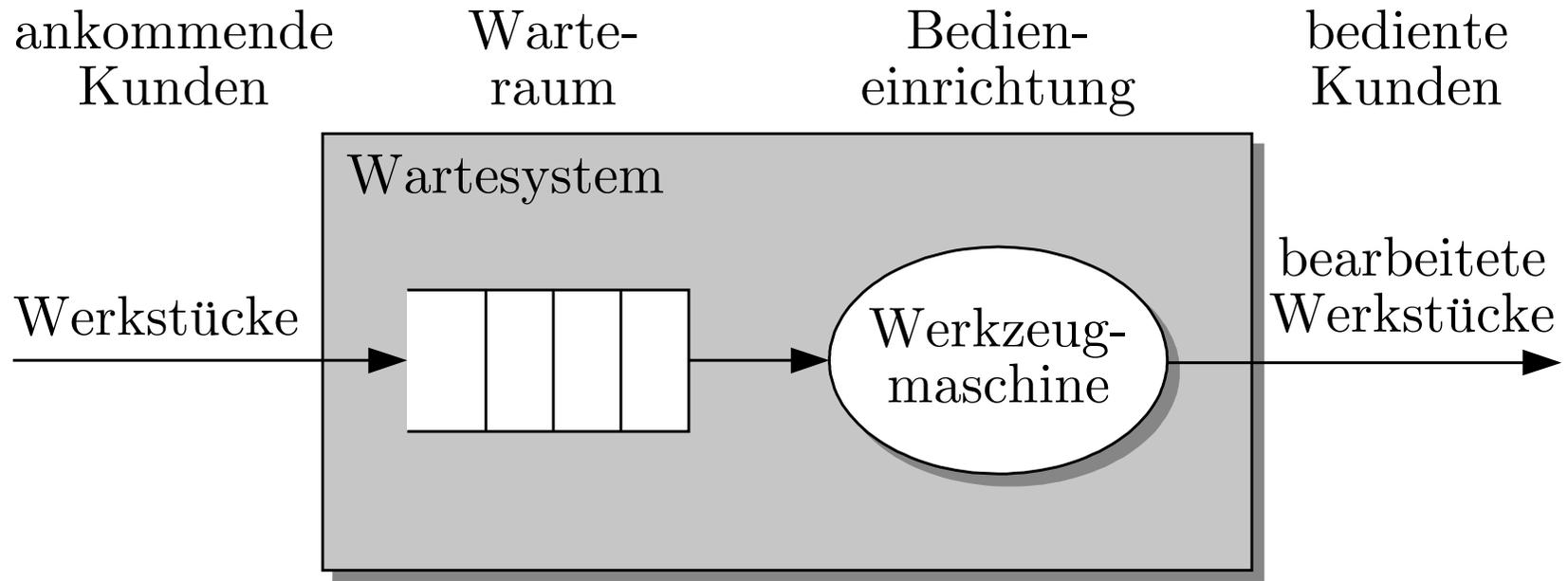


Abb. 1.8. Wartesystem mit einer Werkzeugmaschine

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

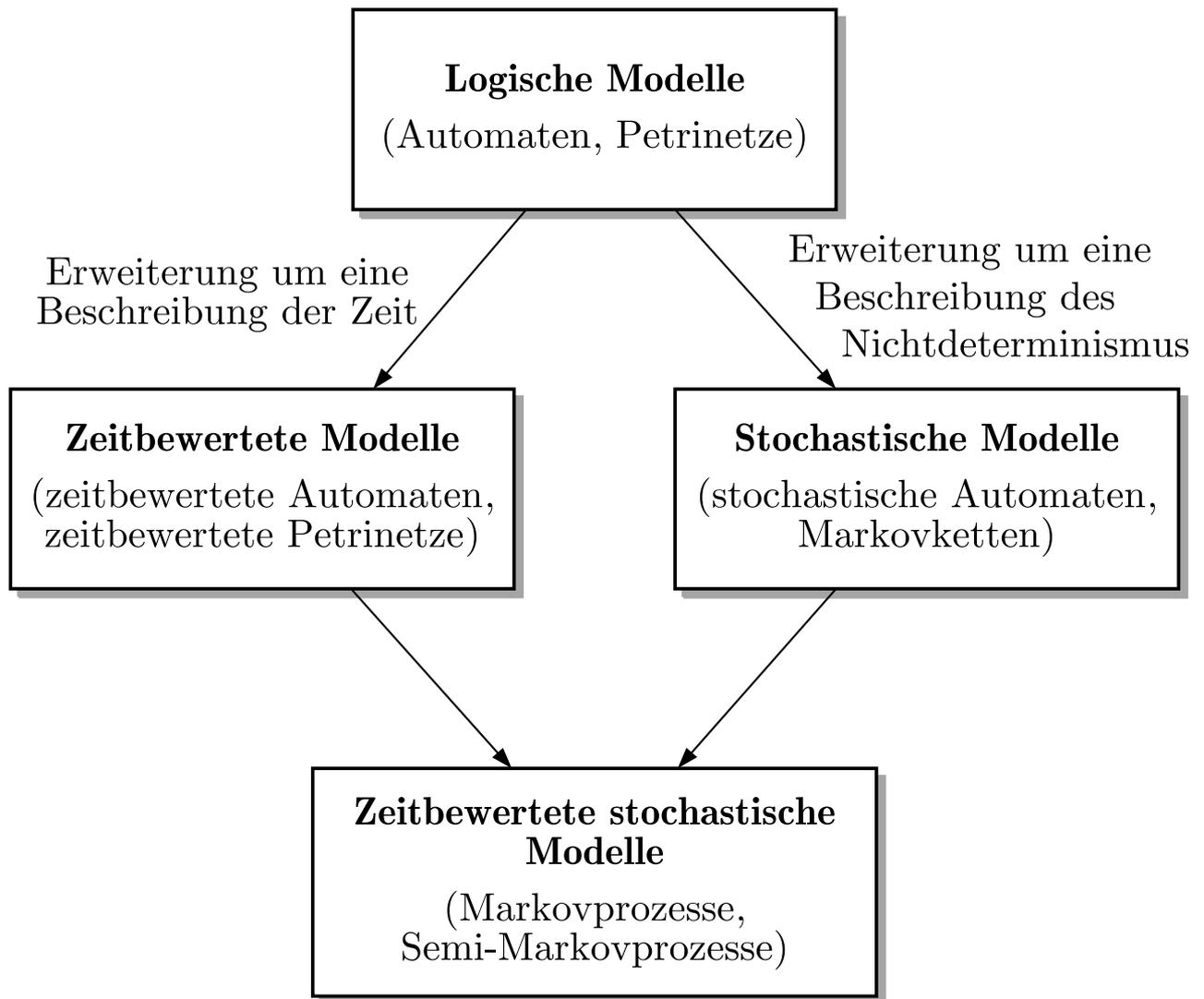


Abb. 1.9: Zusammenhang der in diesem Buch behandelten Modelle ereignisdiskreter Systeme

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

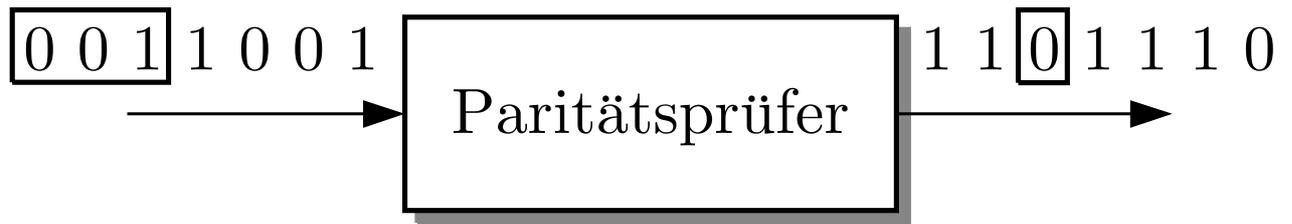


Abb. 2.1: Paritätsprüfung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Abb. 2.2. Ereignisdiskretes System

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

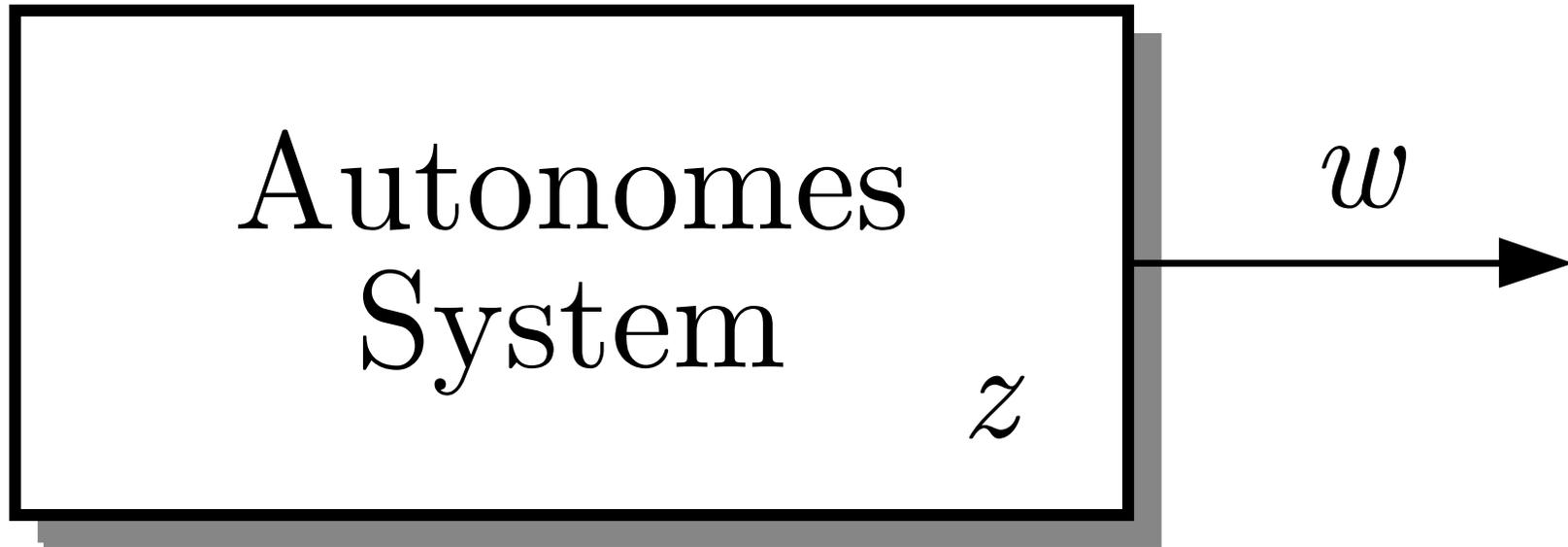


Abb. 2.3. Autonomes System

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

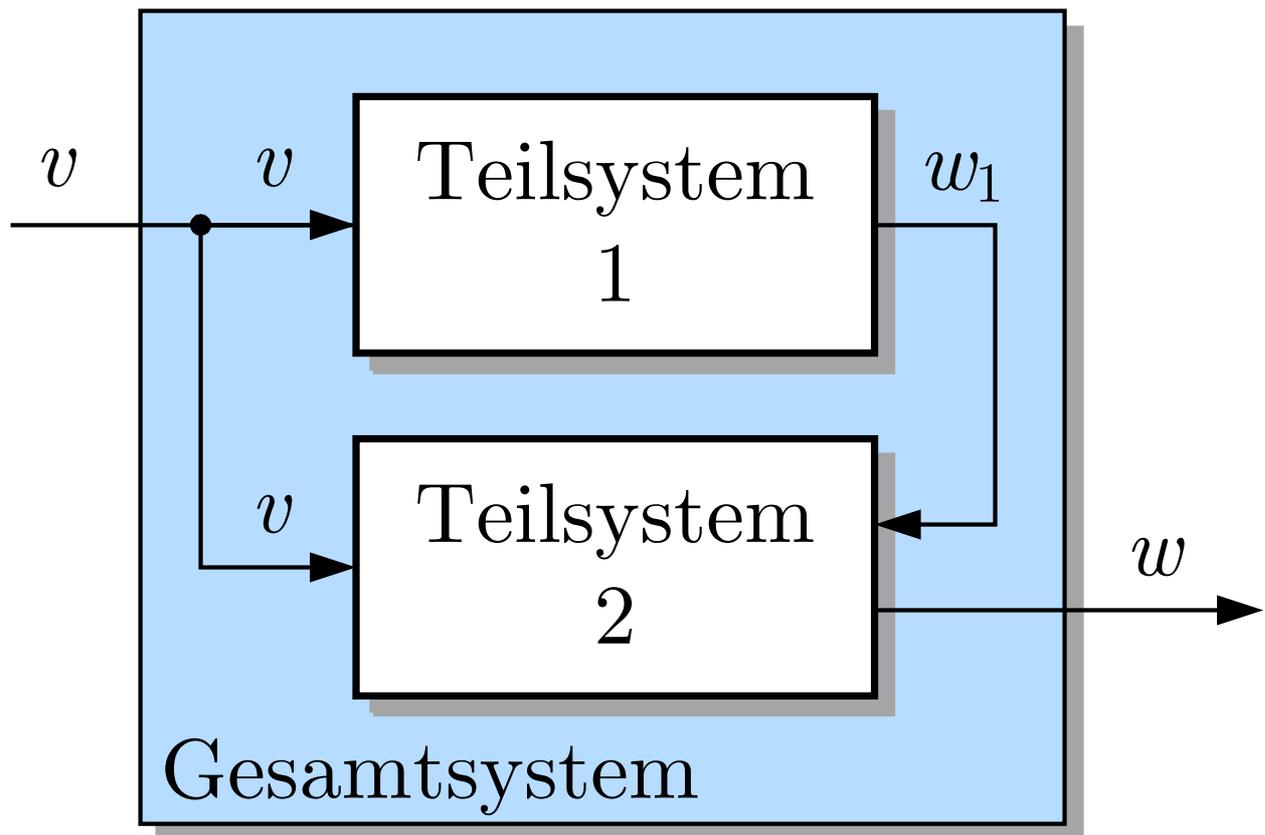


Abb. 2.4: Ein aus zwei Teilsystemen zusammengesetztes System

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

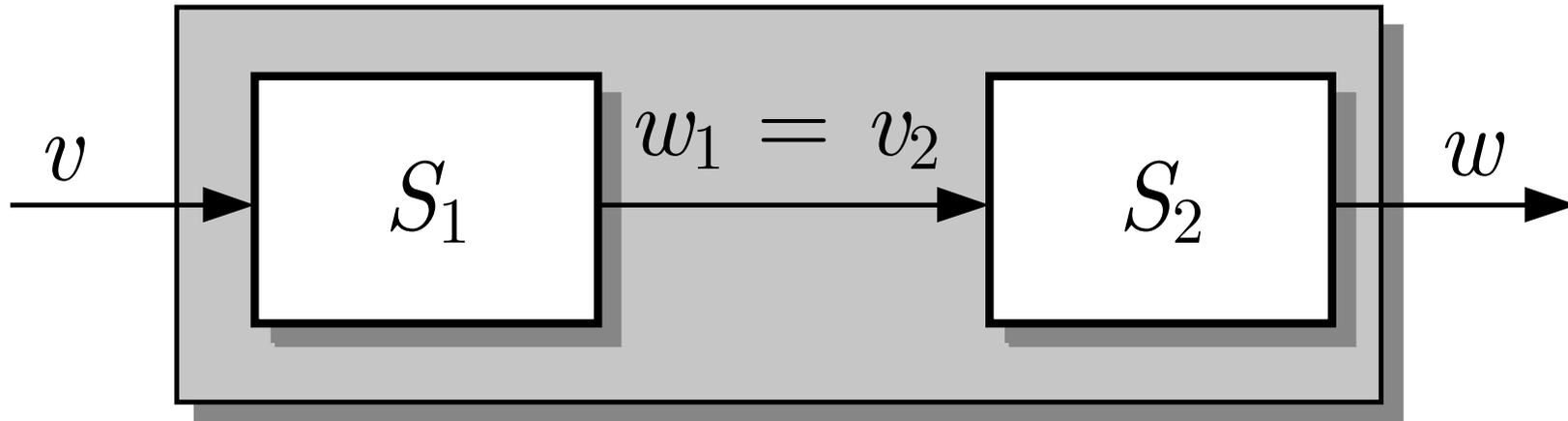


Abb. 2.5. Reihenschaltung zweier Teilsysteme

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

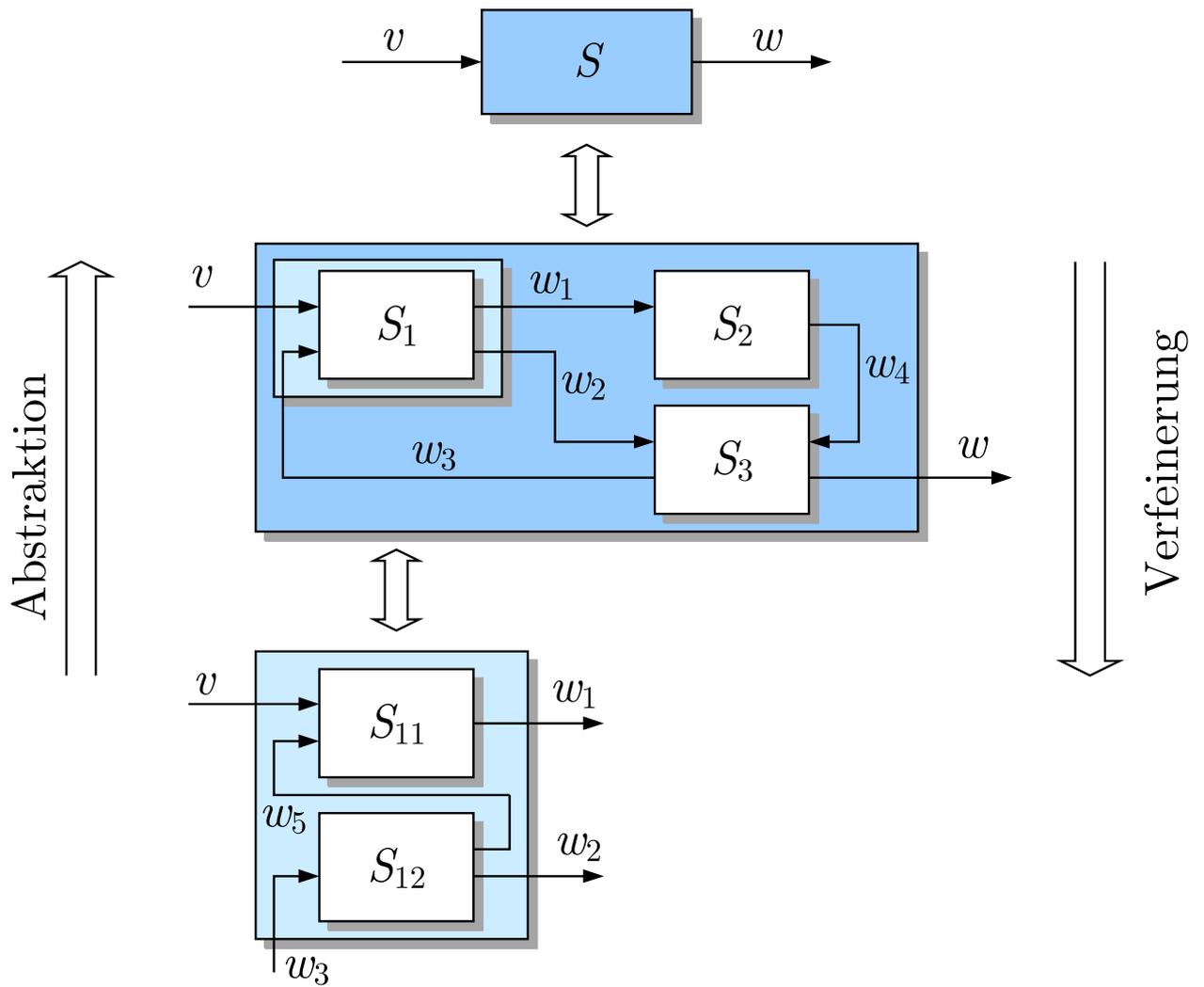


Abb. 2.6: Hierarchische Modellbildung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

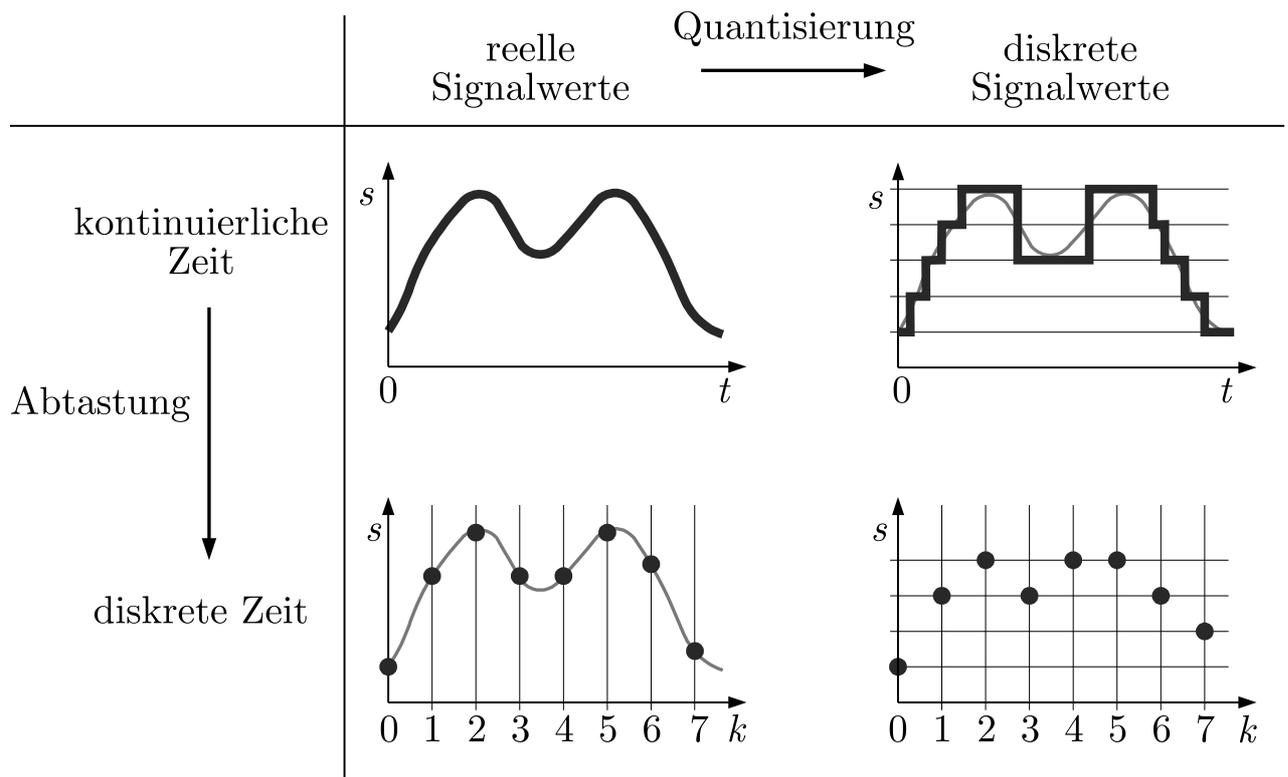


Abb. 2.7: Klassifikation von Signalen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

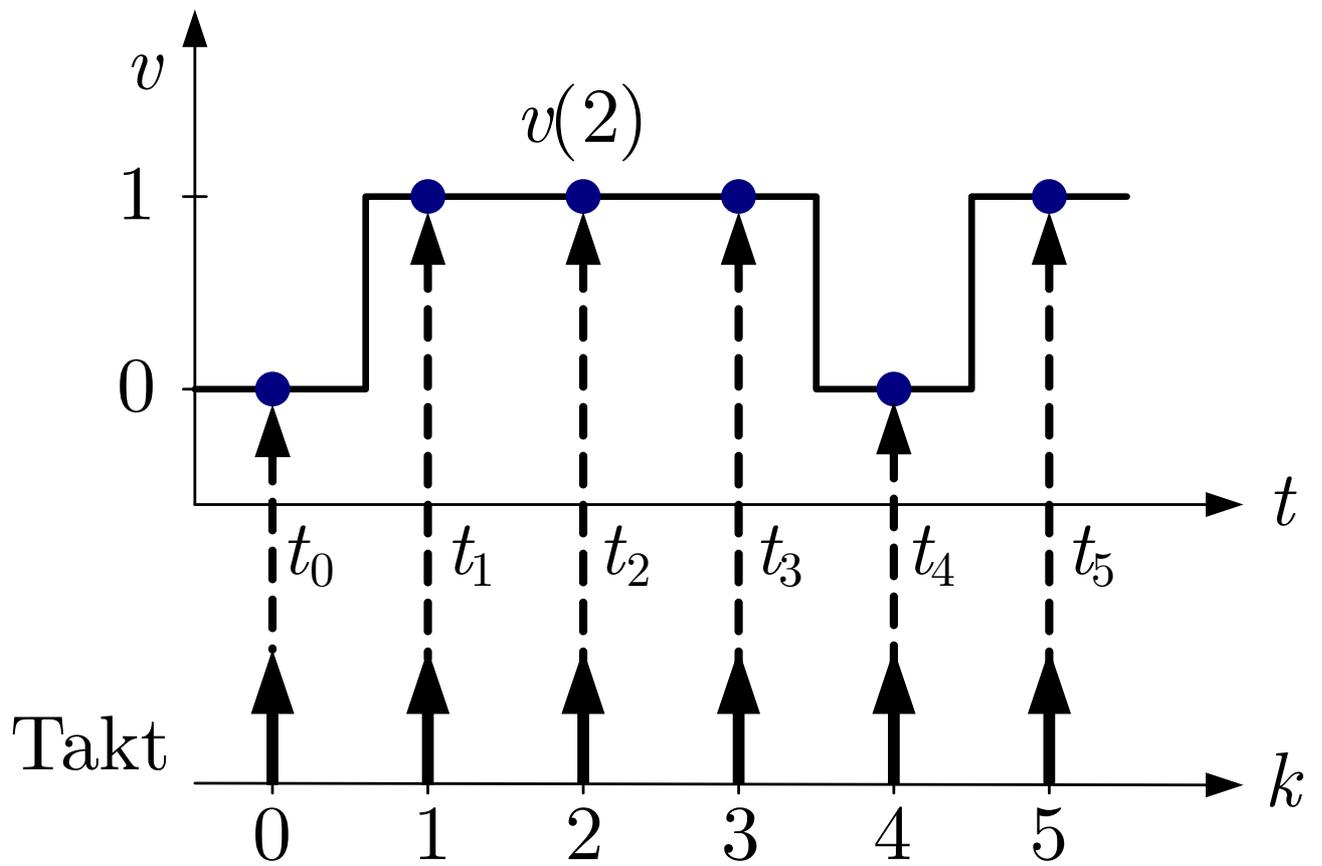


Abb. 2.8: Abgetastetes binäres Signal

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

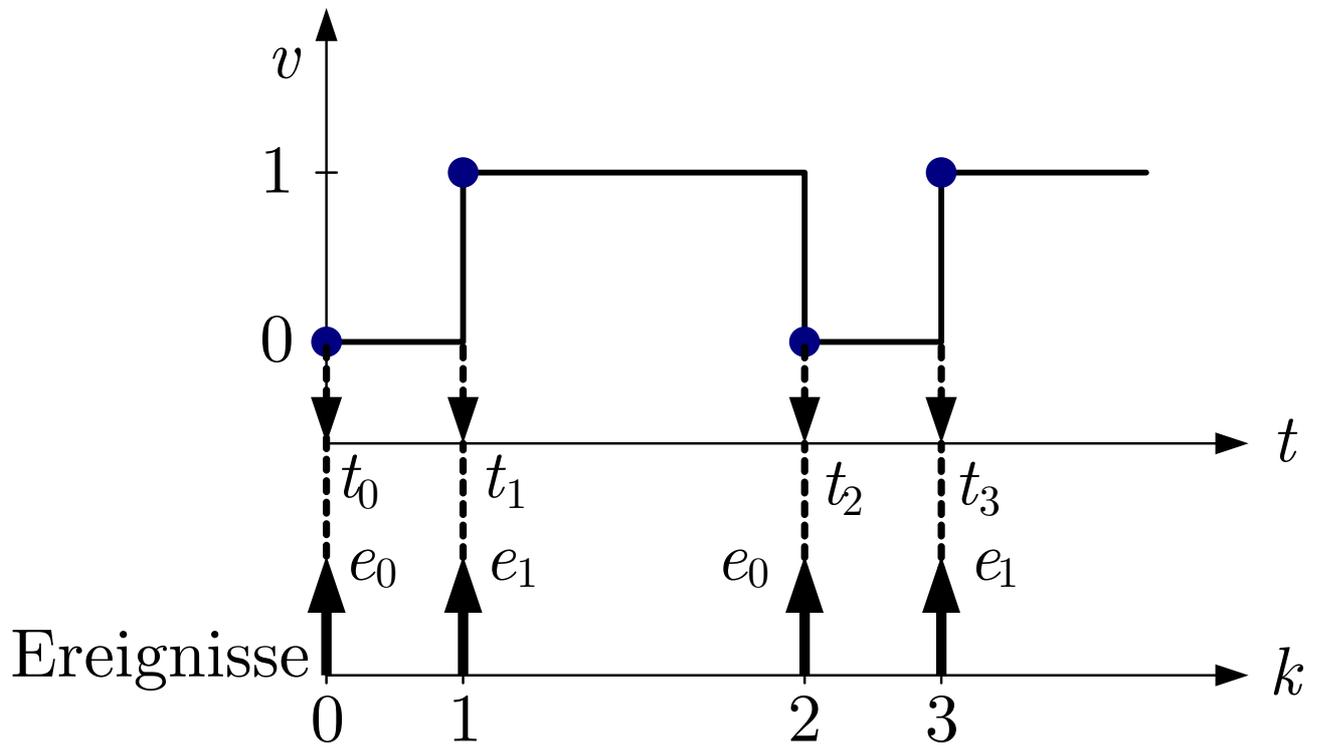


Abb. 2.9: Binäres Signal, das durch Ereignisse beschrieben wird

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

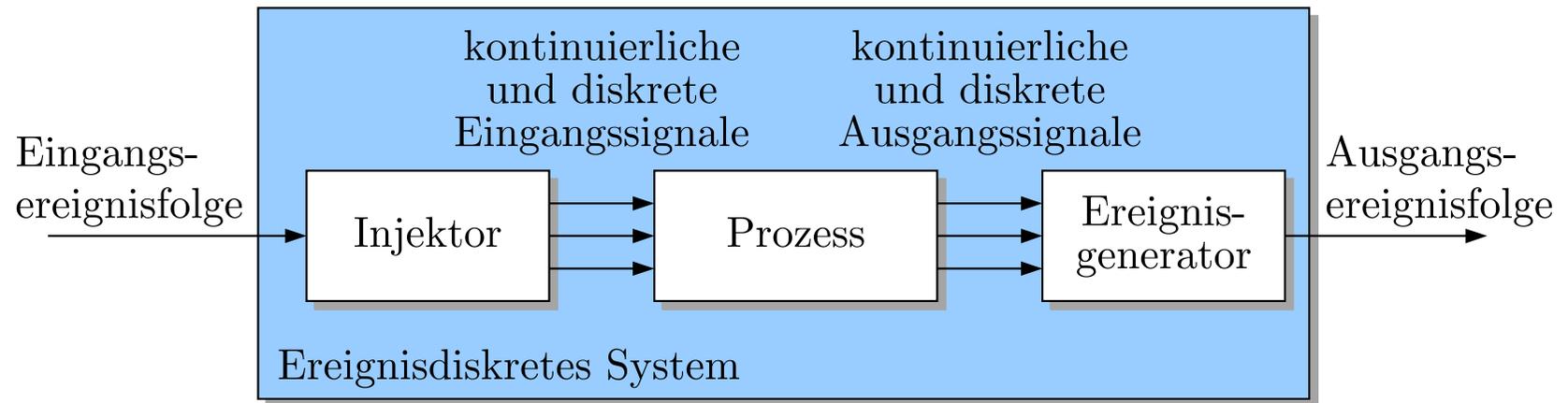


Abb. 2.10. Grundstruktur eines ereignisdiskreten Systems mit Eingang und Ausgang

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

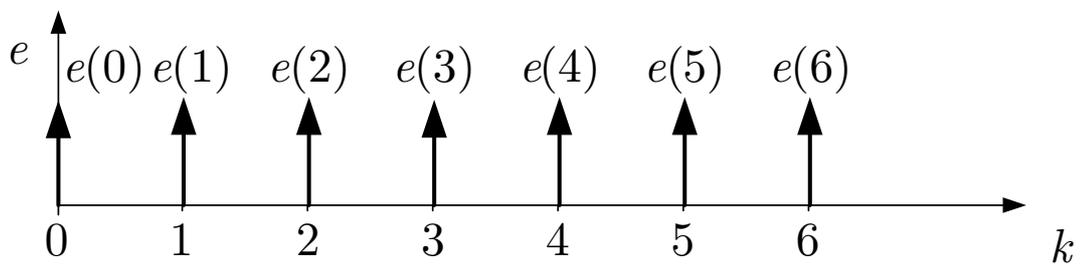
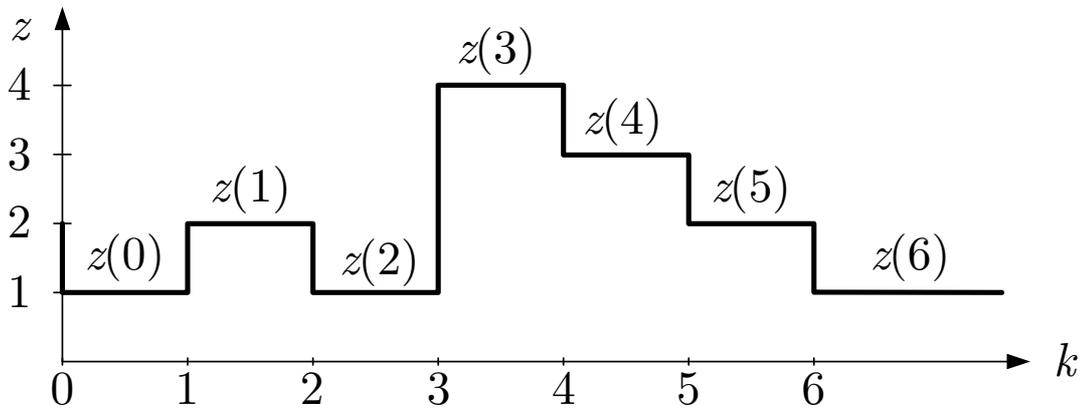
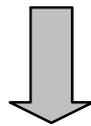
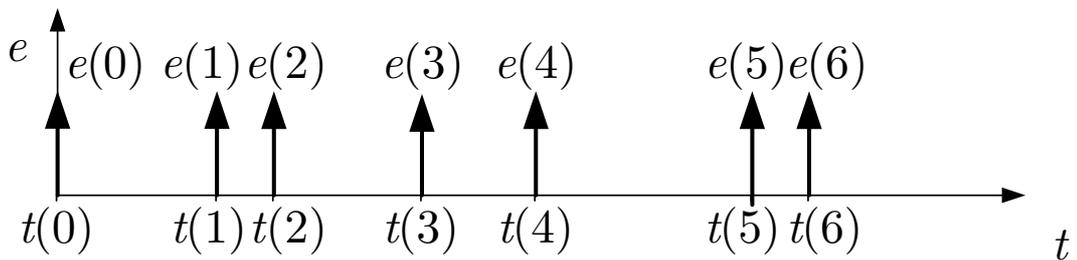
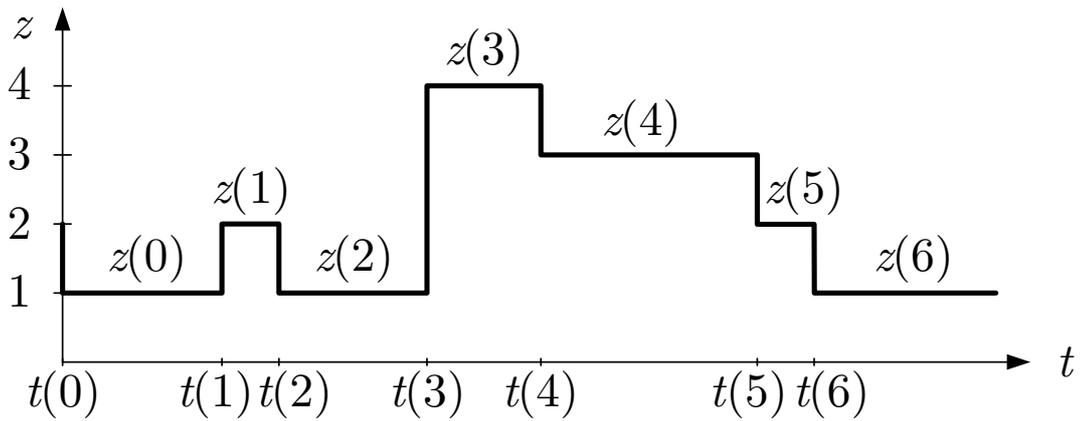


Abb. 2.11. Zeitbewertete Ereignisfolge (oben) und logische Ereignisfolge (unten)

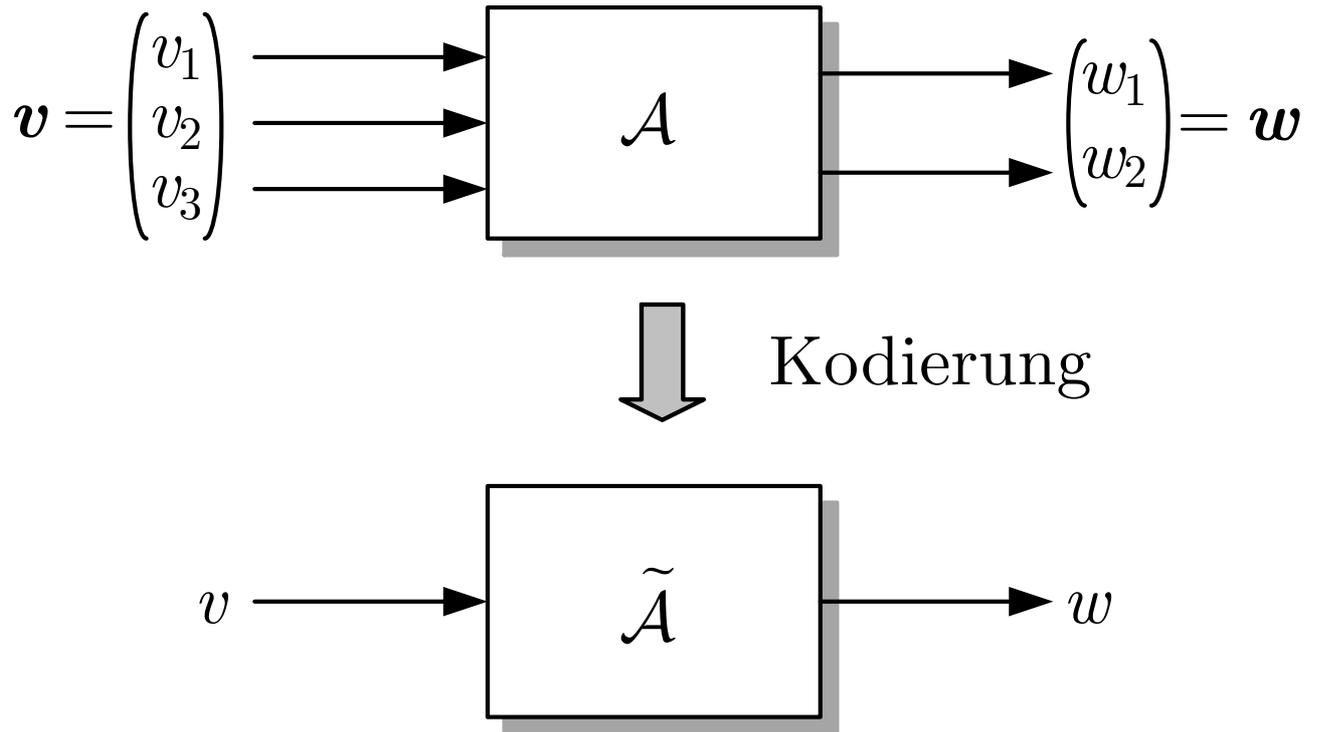


Abb. 2.12: Ereignisdiskretes System mit mehreren Eingangs- und Ausgangsgrößen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

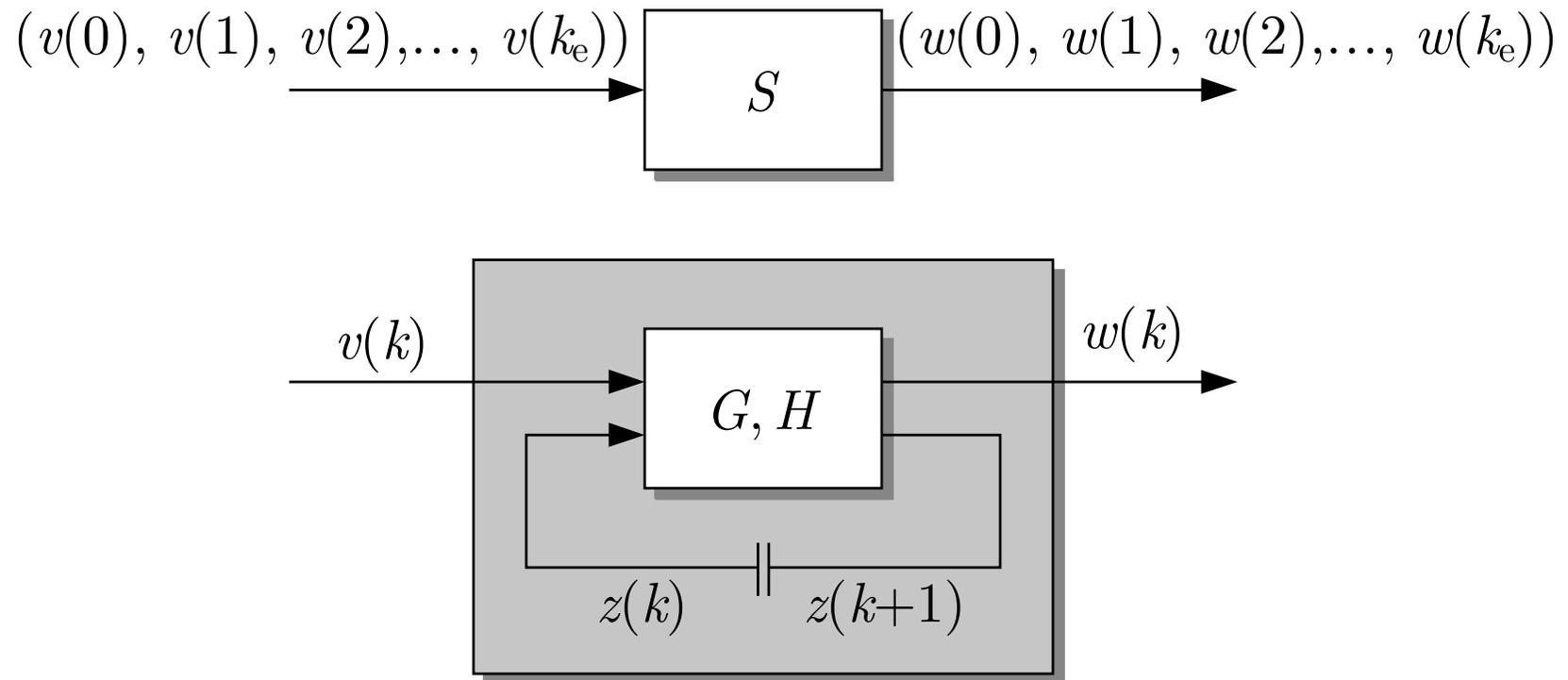


Abb. 2.13. E/A-Beschreibung und Zustandsraumbeschreibung dynamischer Systeme

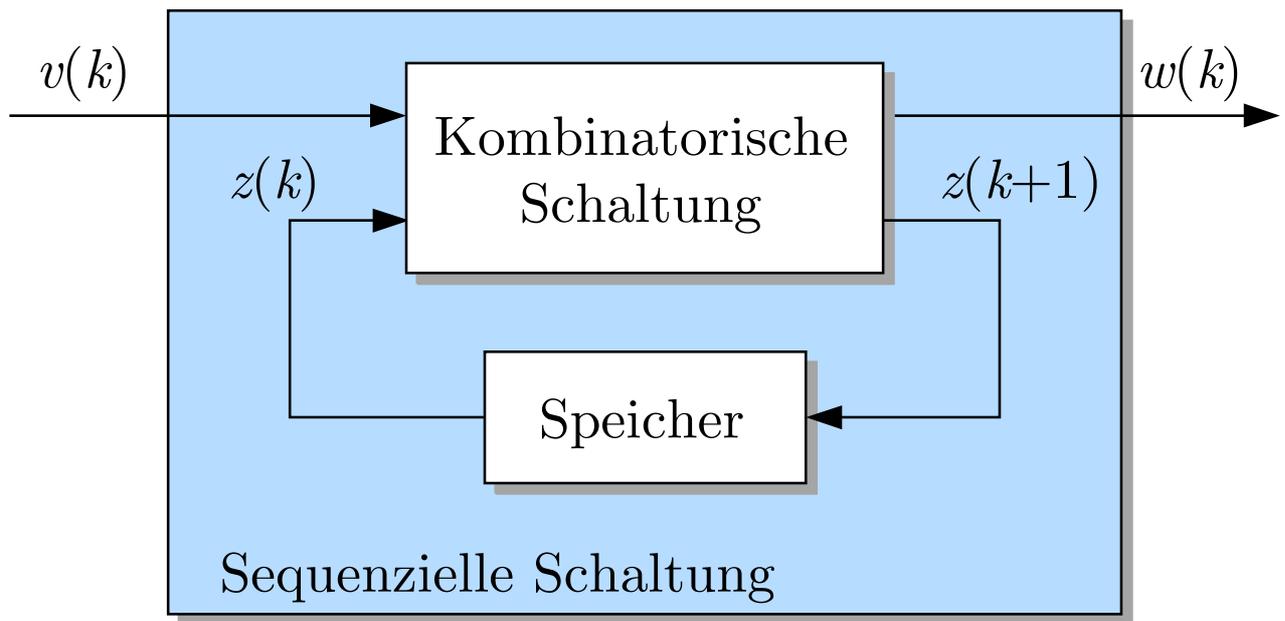


Abb. 2.14: Struktur einer sequentiellen Schaltung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

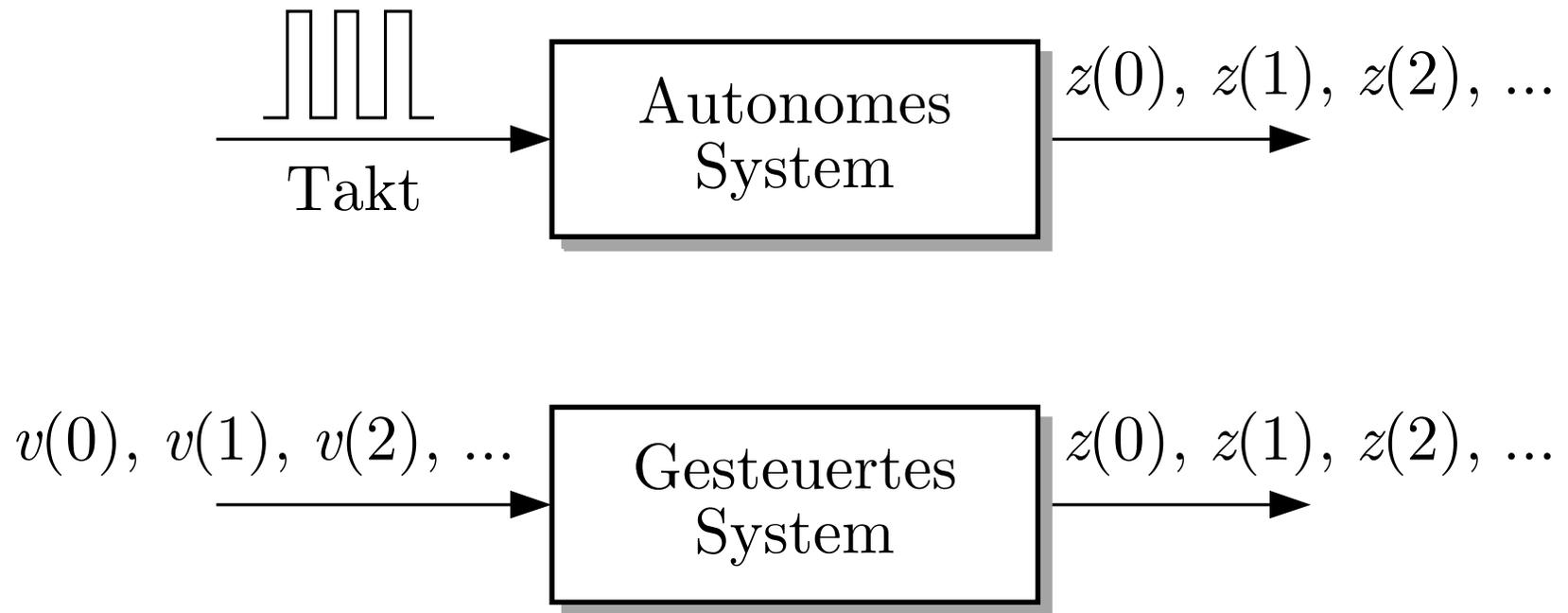


Abb. 2.15. Autonomes und gesteuertes ereignisdiskretes System

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

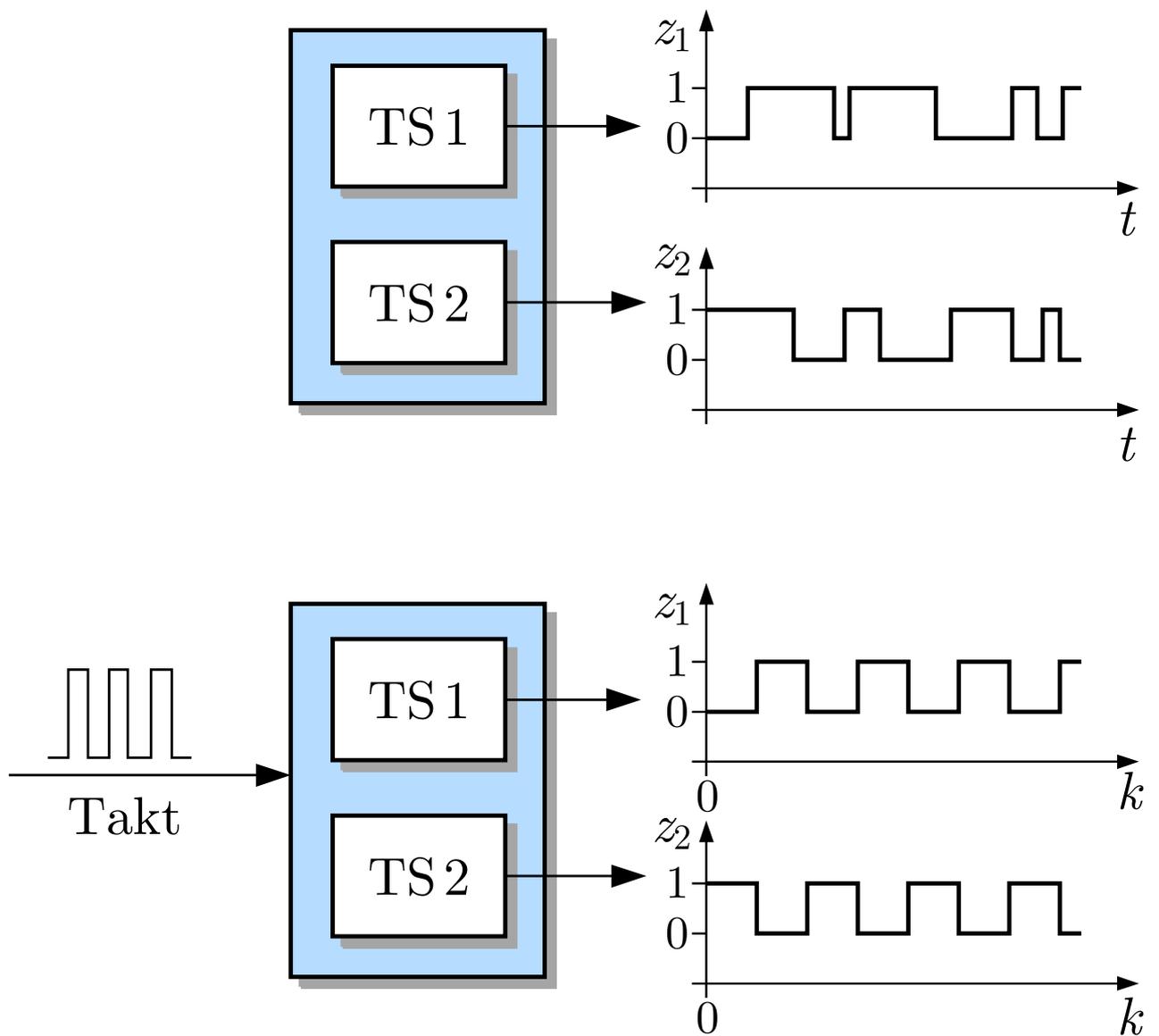


Abb. 2.16: Asynchrones und getaktetes System

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

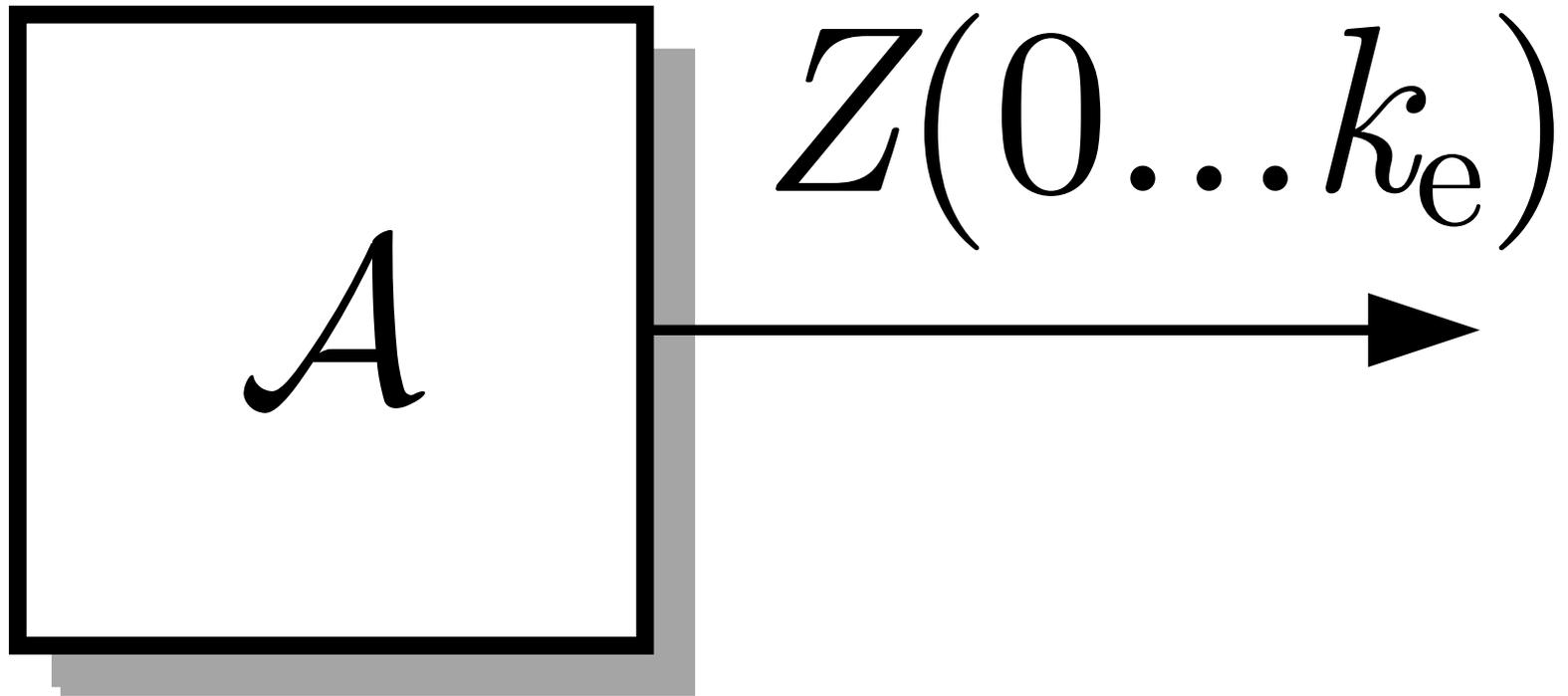


Abb. 3.1. Autonomer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

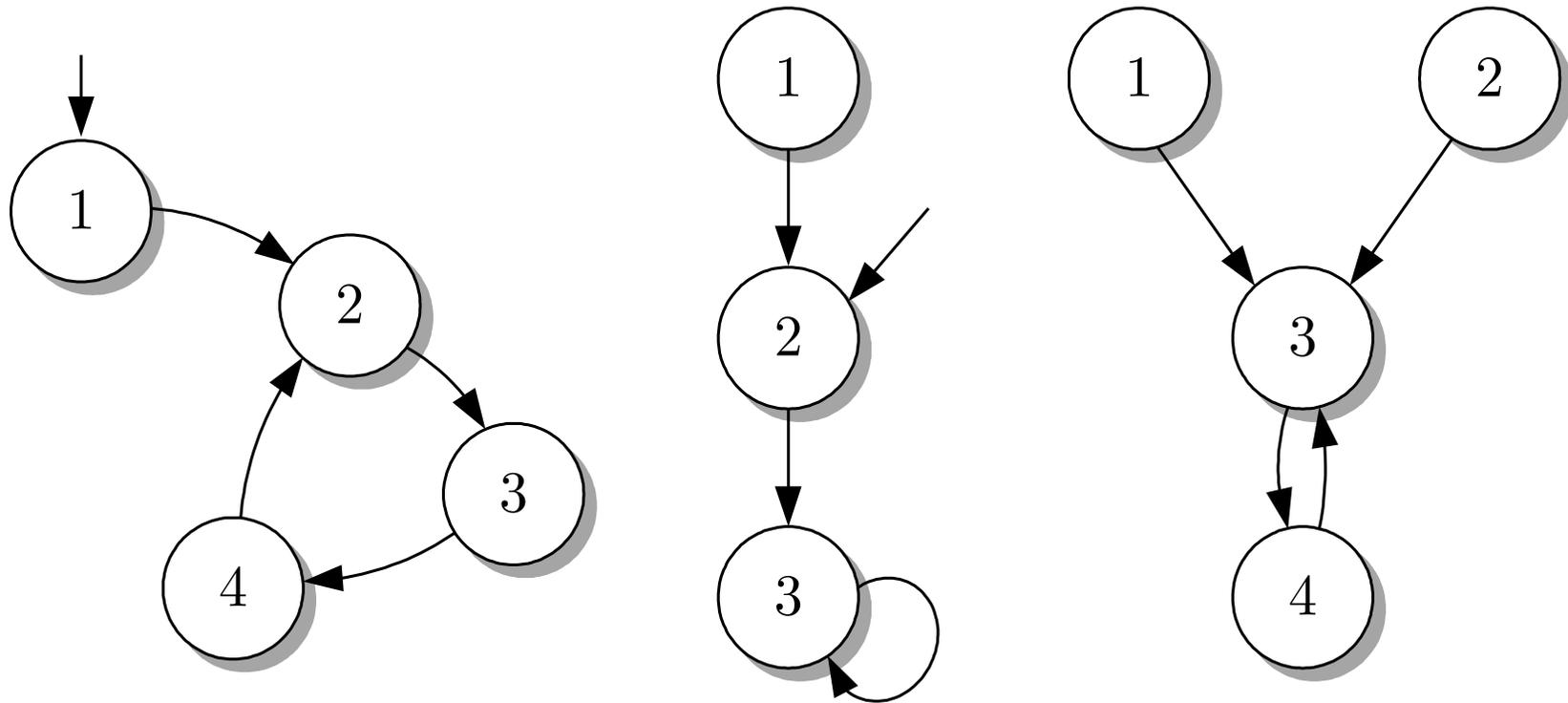


Abb. 3.2. Drei Automatengraphen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

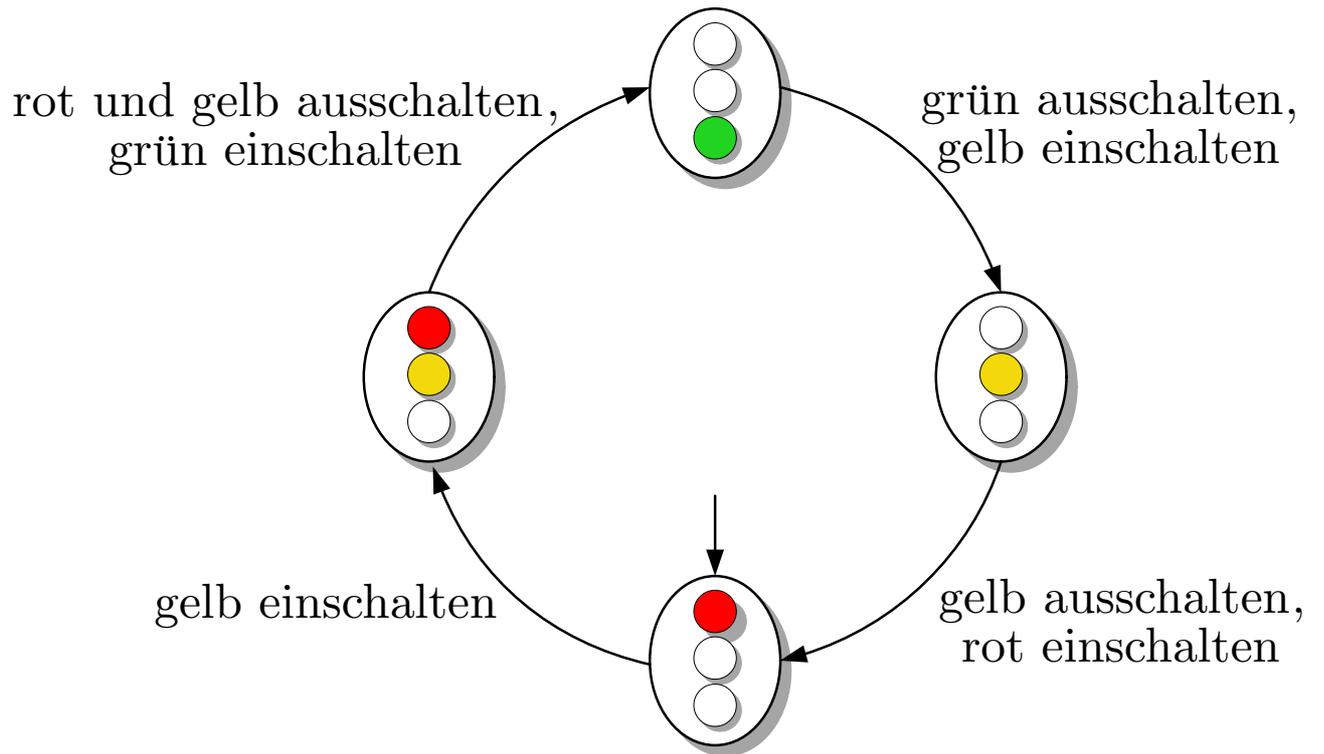


Abb. 3.3: Automatengraph einer Verkehrsampel

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

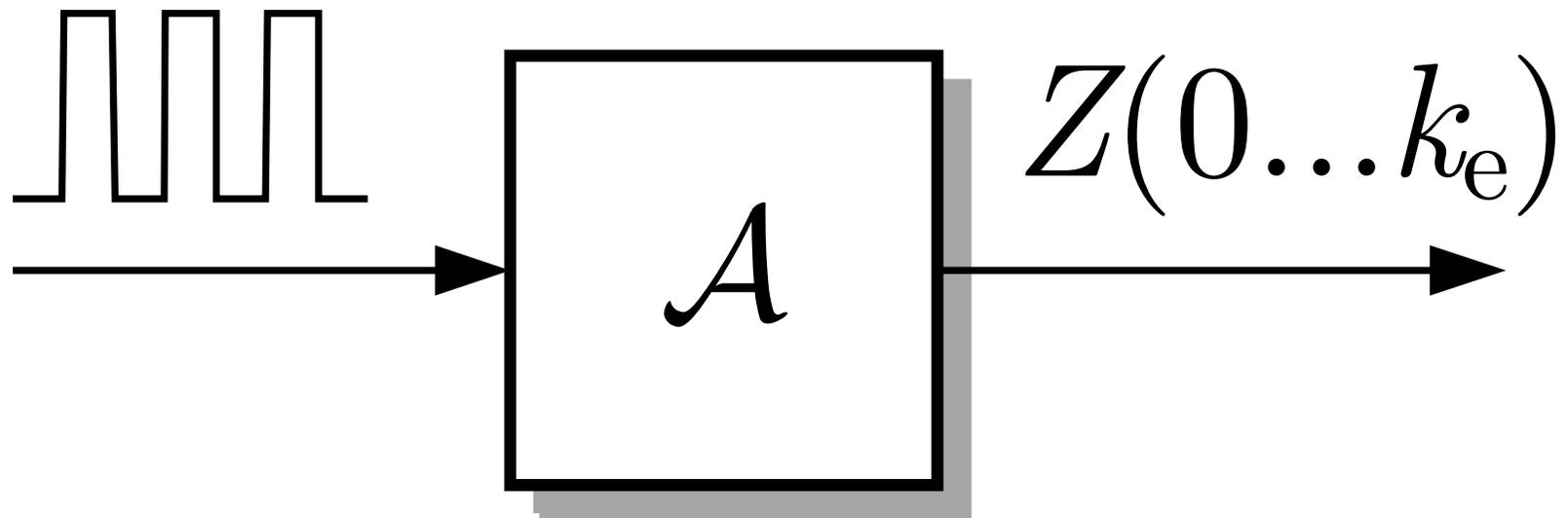


Abb. 3.4. Autonomer Automat mit Takt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

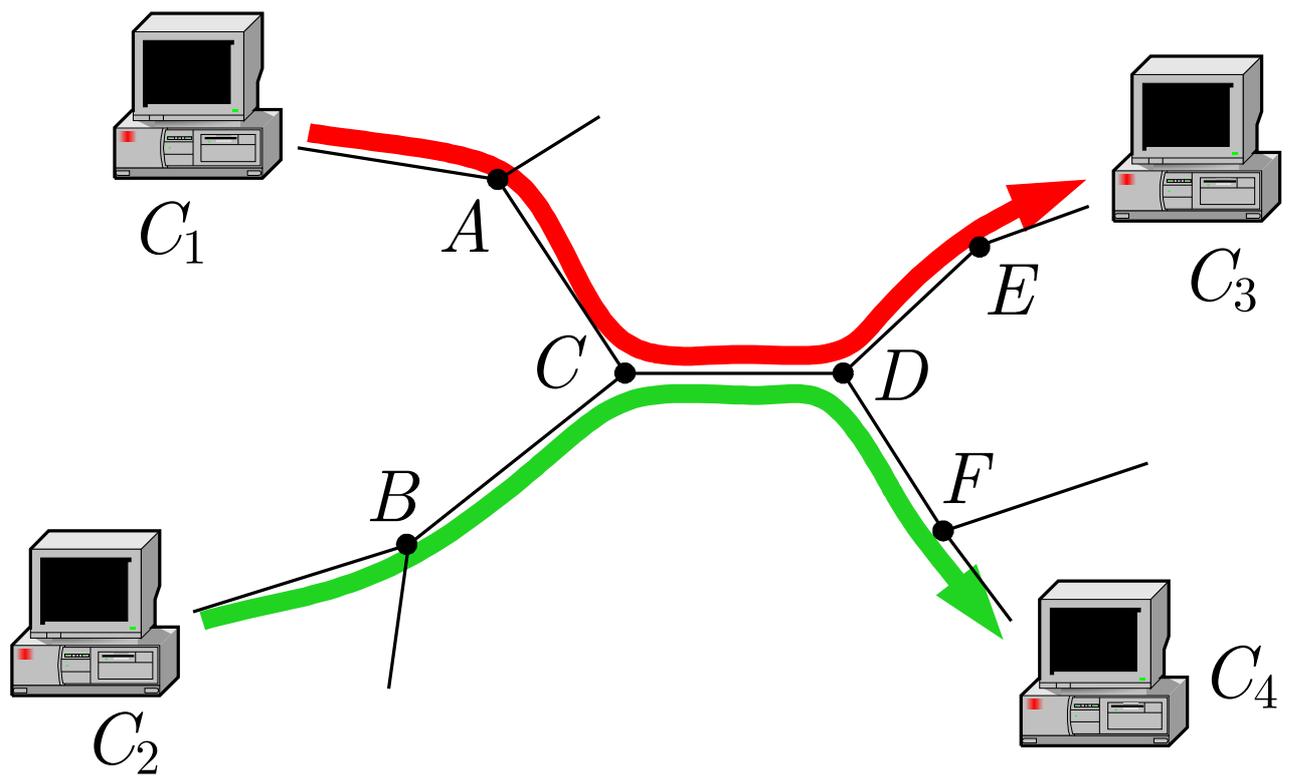


Abb. 3.5: Kommunikation zwischen den Rechnern C_1 und C_3 bzw. C_2 und C_4 über ein gemeinsames Netz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

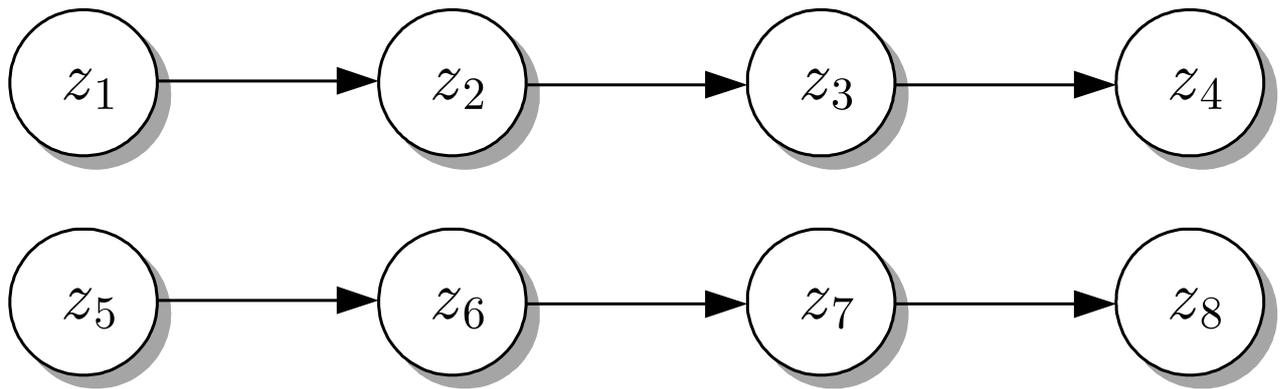


Abb. 3.6: Deterministischer Automat, der die Datenübertragung beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

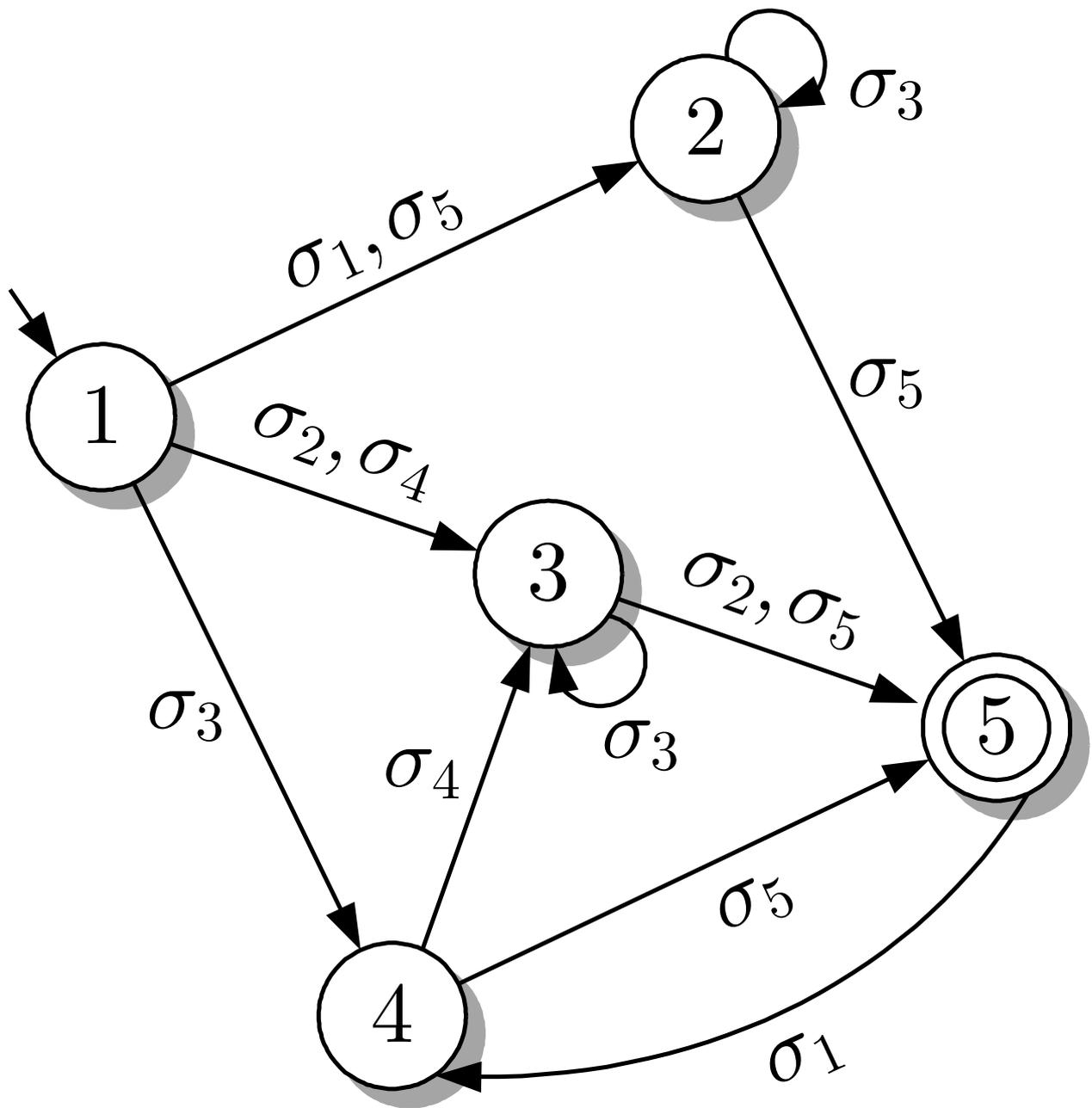


Abb. 3.7: Deterministischer Automat mit Kennzeichnung der Ereignisse

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

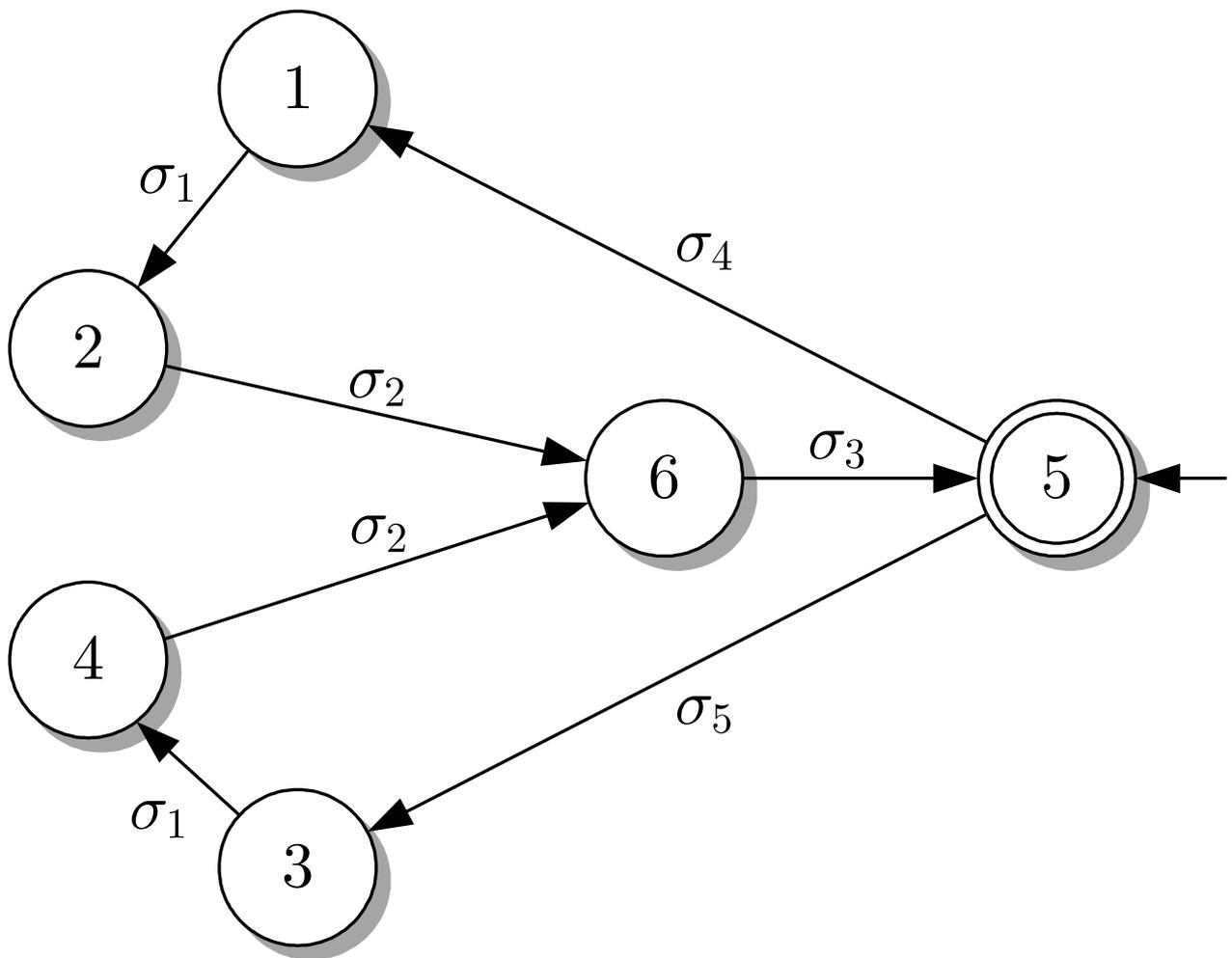


Abb. 3.8: Modell der Roboterbewegung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

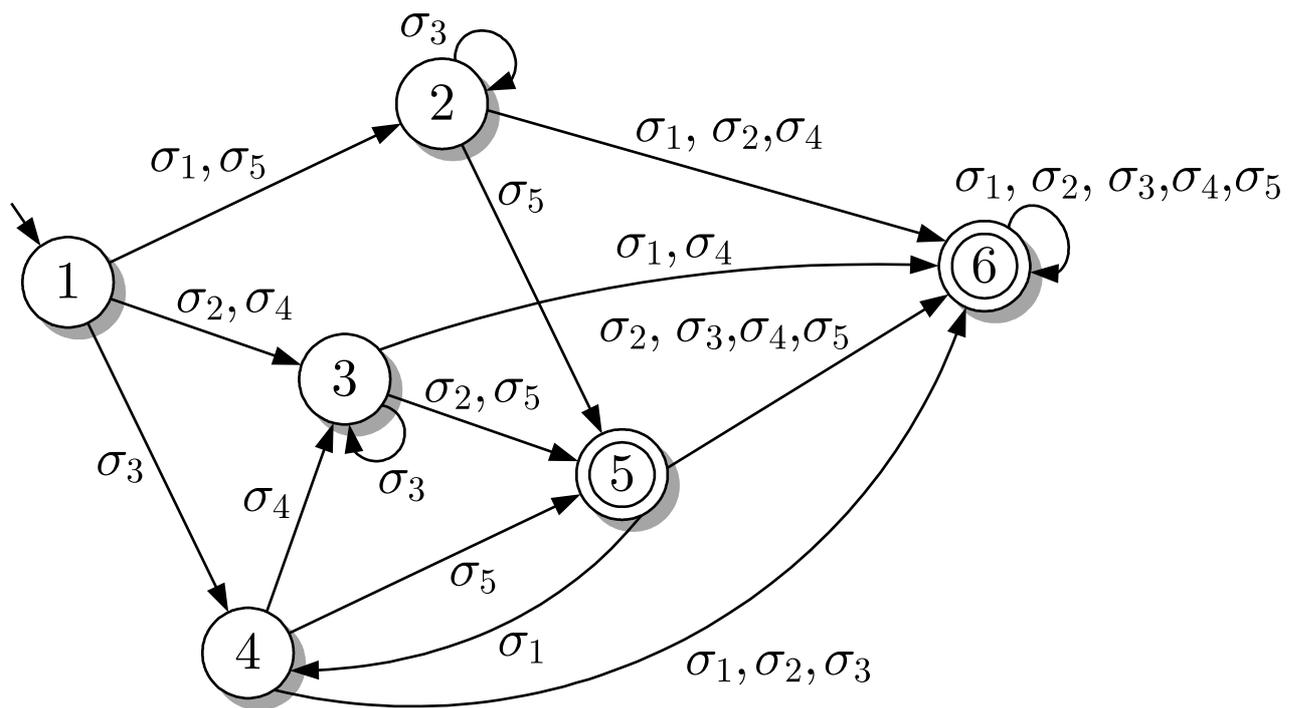


Abb. 3.9: Deterministischer Automat mit total definierter Zustandsübergangsfunktion

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

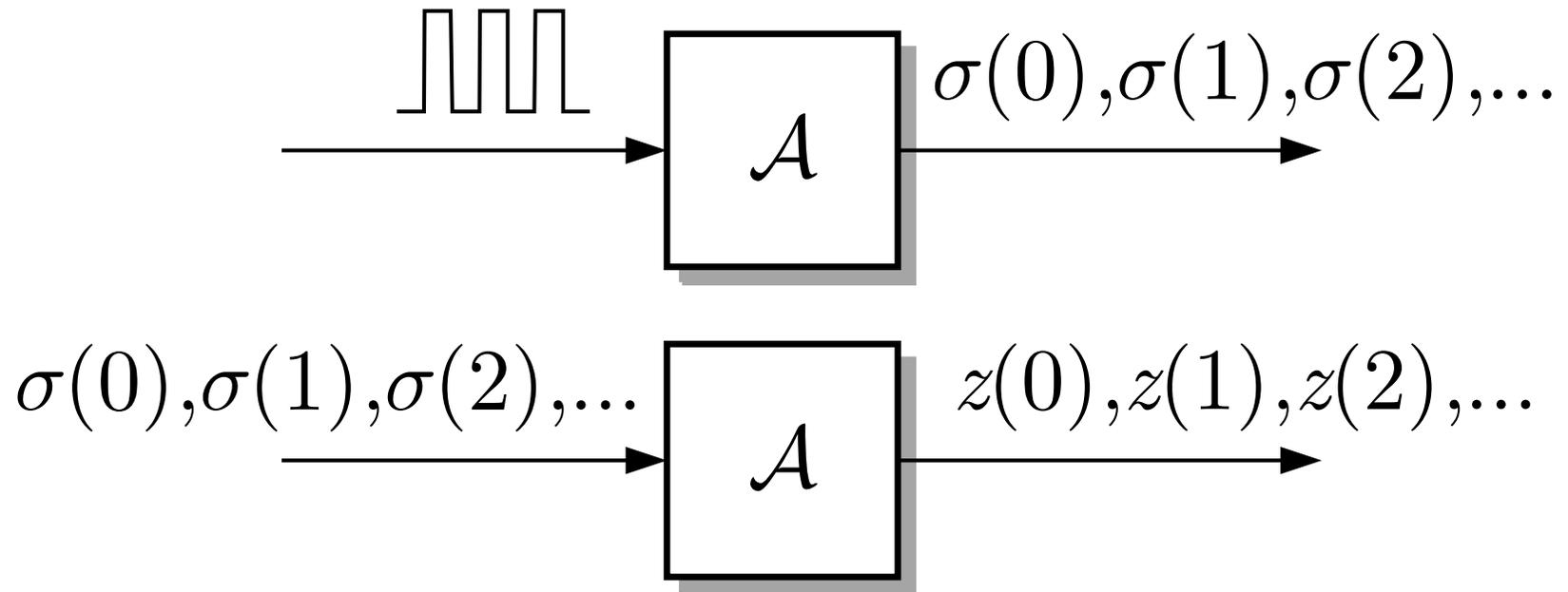


Abb. 3.10. Verwendung von Σ -Automaten als Generator und Akzeptor von Ereignisfolgen

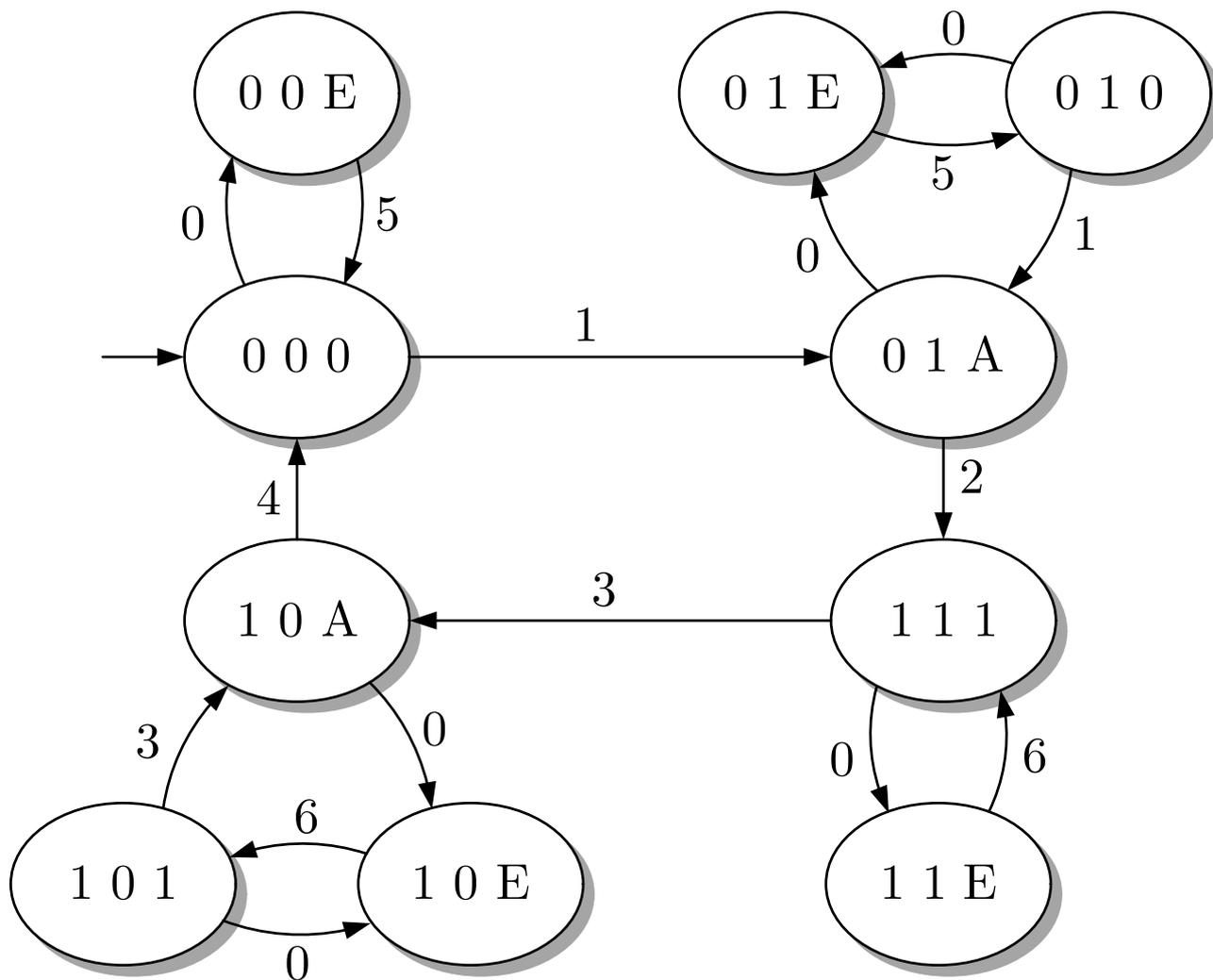


Abb. 3.11: Deterministischer Automat, der das Verhalten des Netzwerks bei der Übertragung eines Datenpakets beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

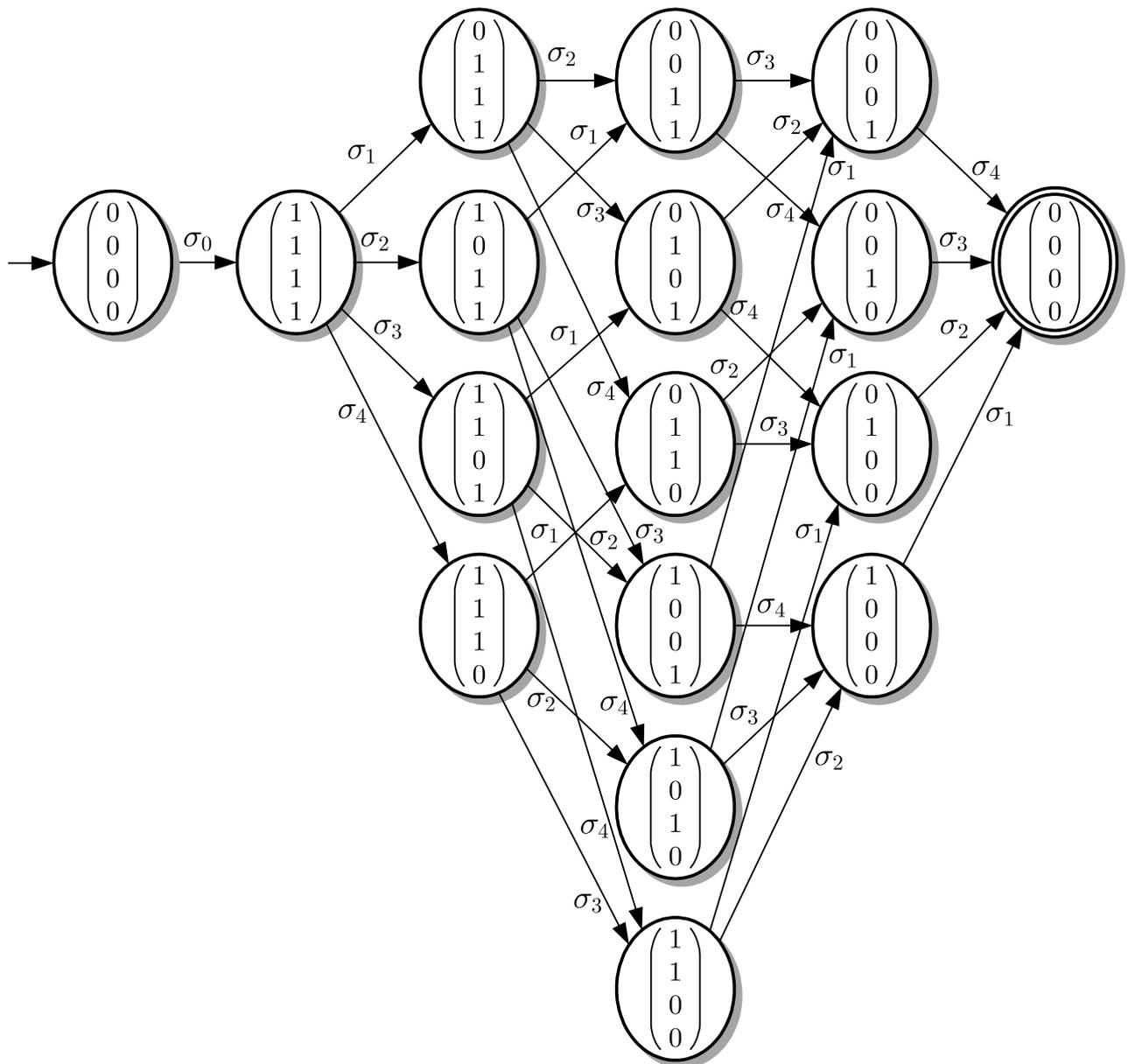


Abb. 3.12: Darstellung der Arbeitsweise eines Parallelrechners mit vier Prozessoren durch einen deterministischen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

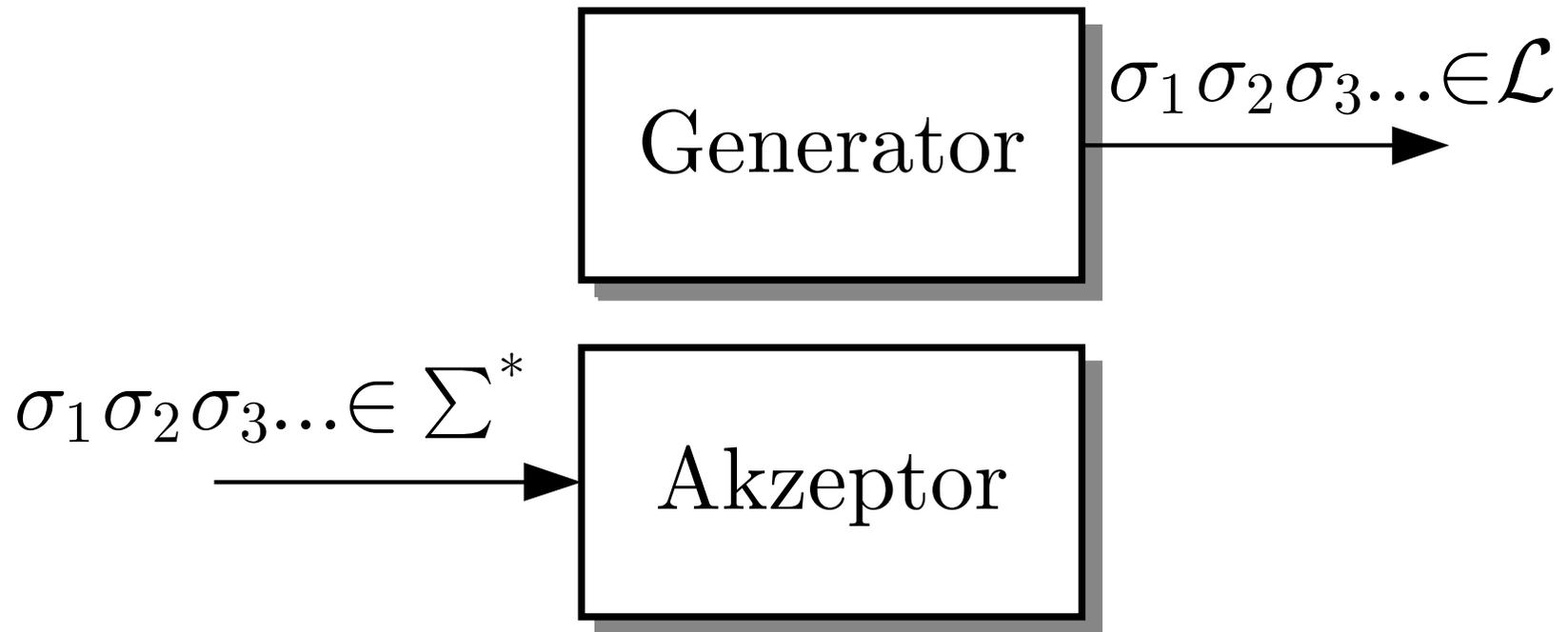


Abb. 3.13. Deterministischer Automat als Akzeptor bzw. Generator einer formalen Sprache

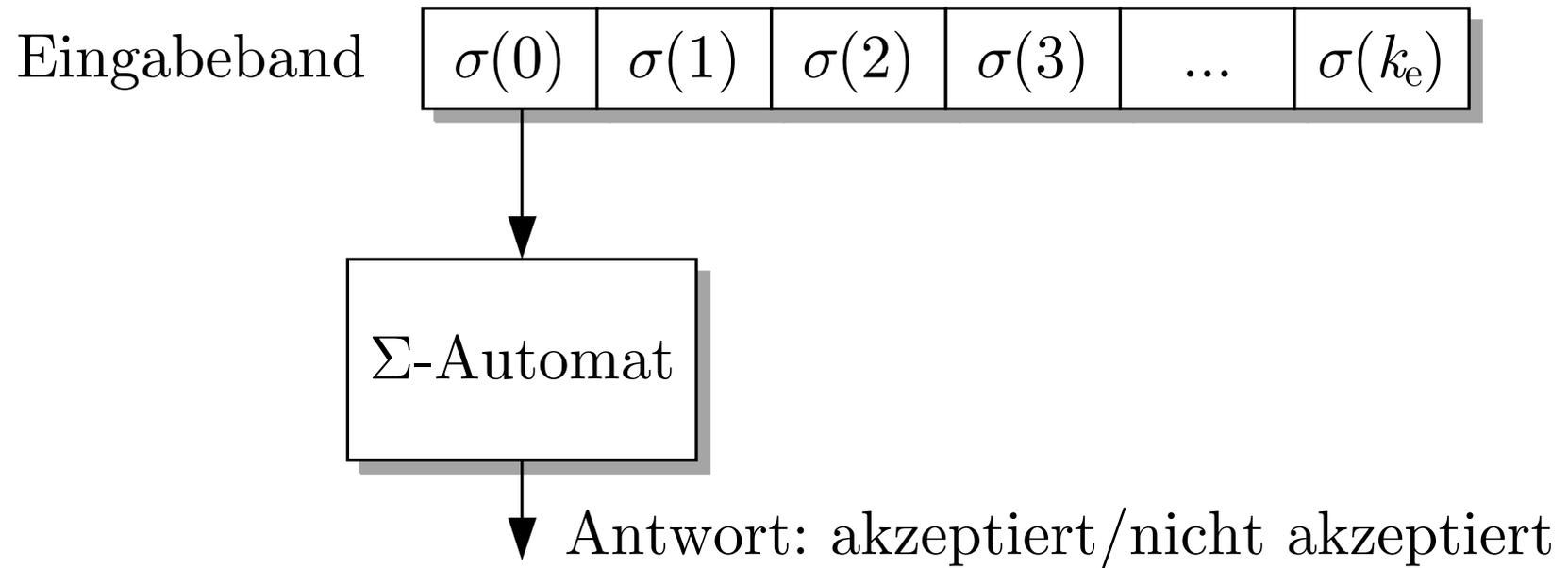


Abb. 3.14. Σ -Automat als Akzeptor

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

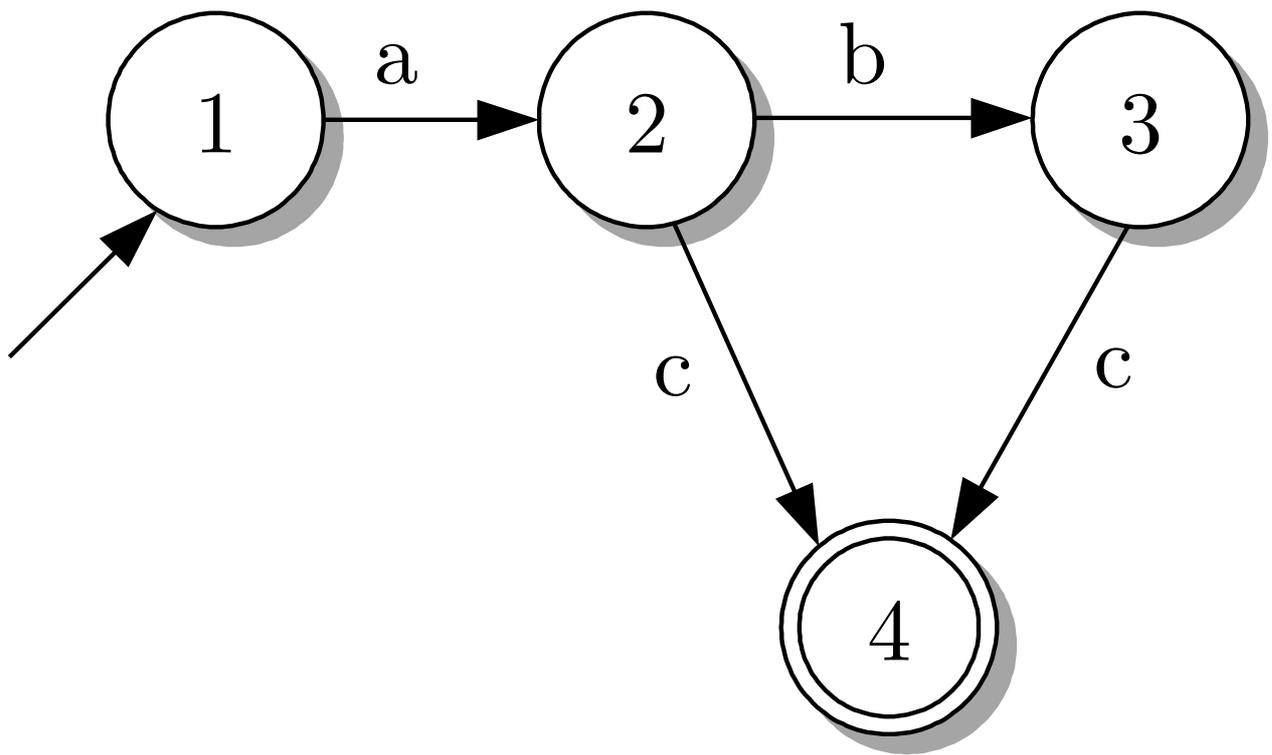


Abb. 3.15: Automat zur Erläuterung der verallgemeinerten Zustandsübergangsfunktion

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

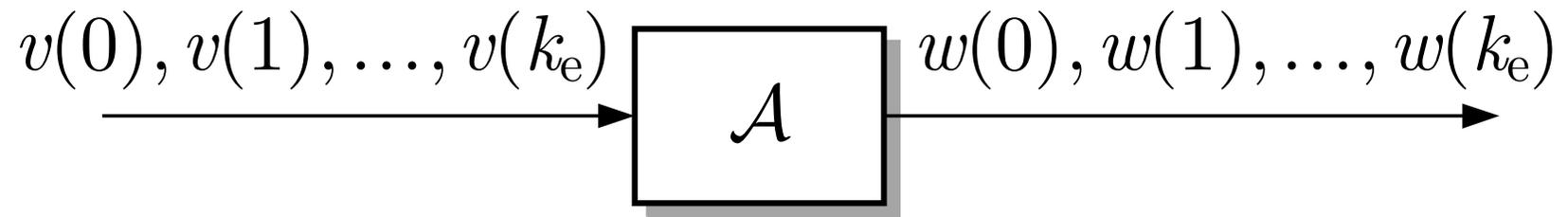


Abb. 3.16. Deterministischer E/A-Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

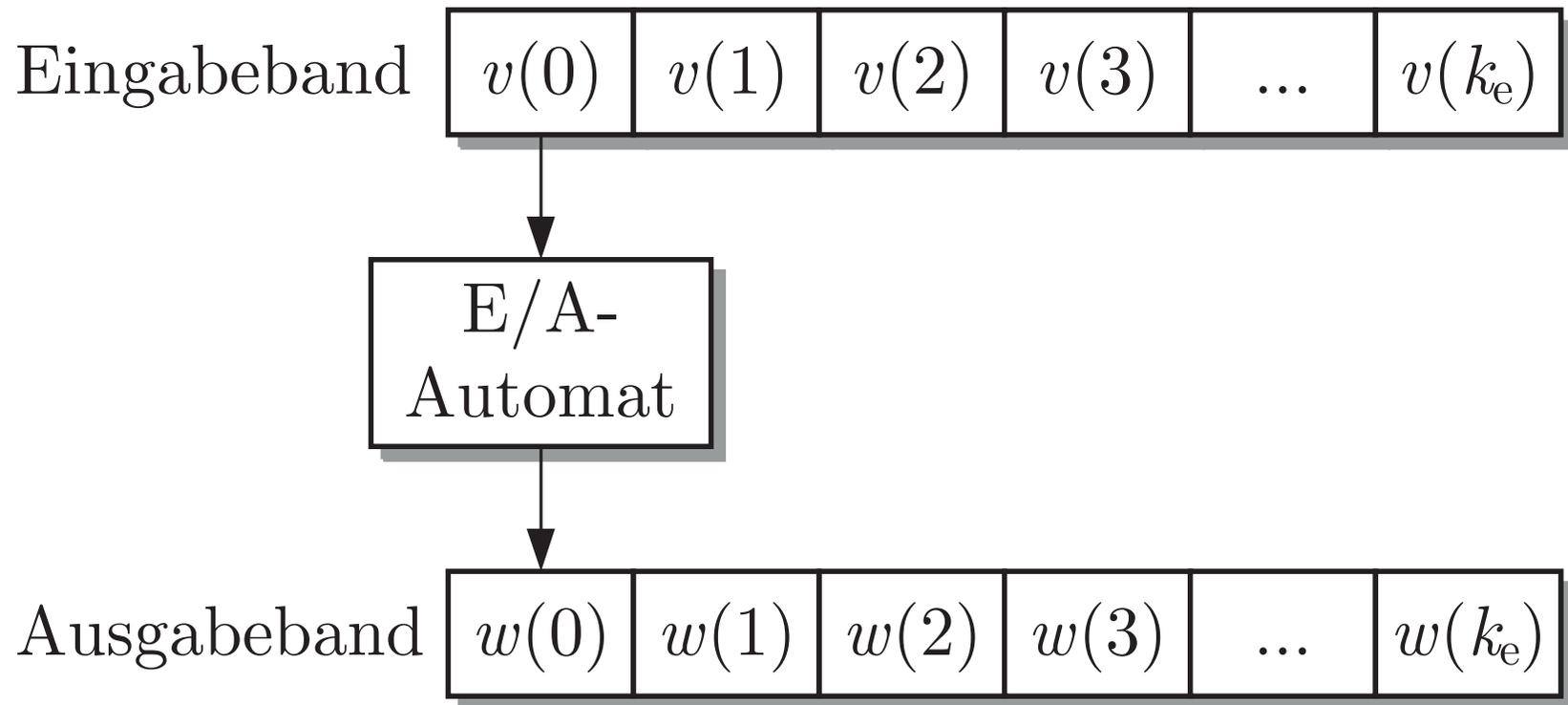


Abb. 3.17. Automat mit Eingang und Ausgang als Erweiterung des Σ -Automaten

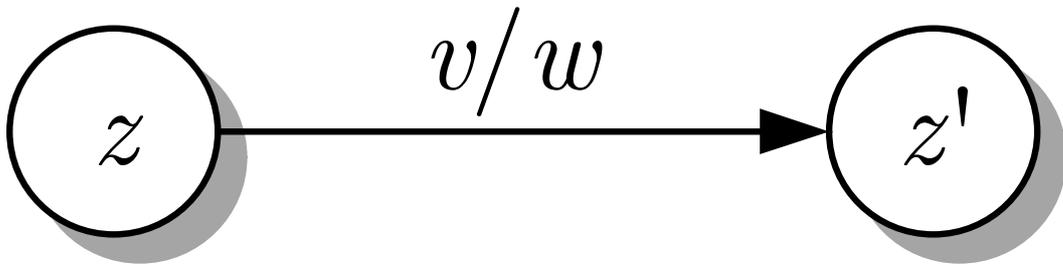


Abb. 3.18: Kante im Graphen eines E/A-Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

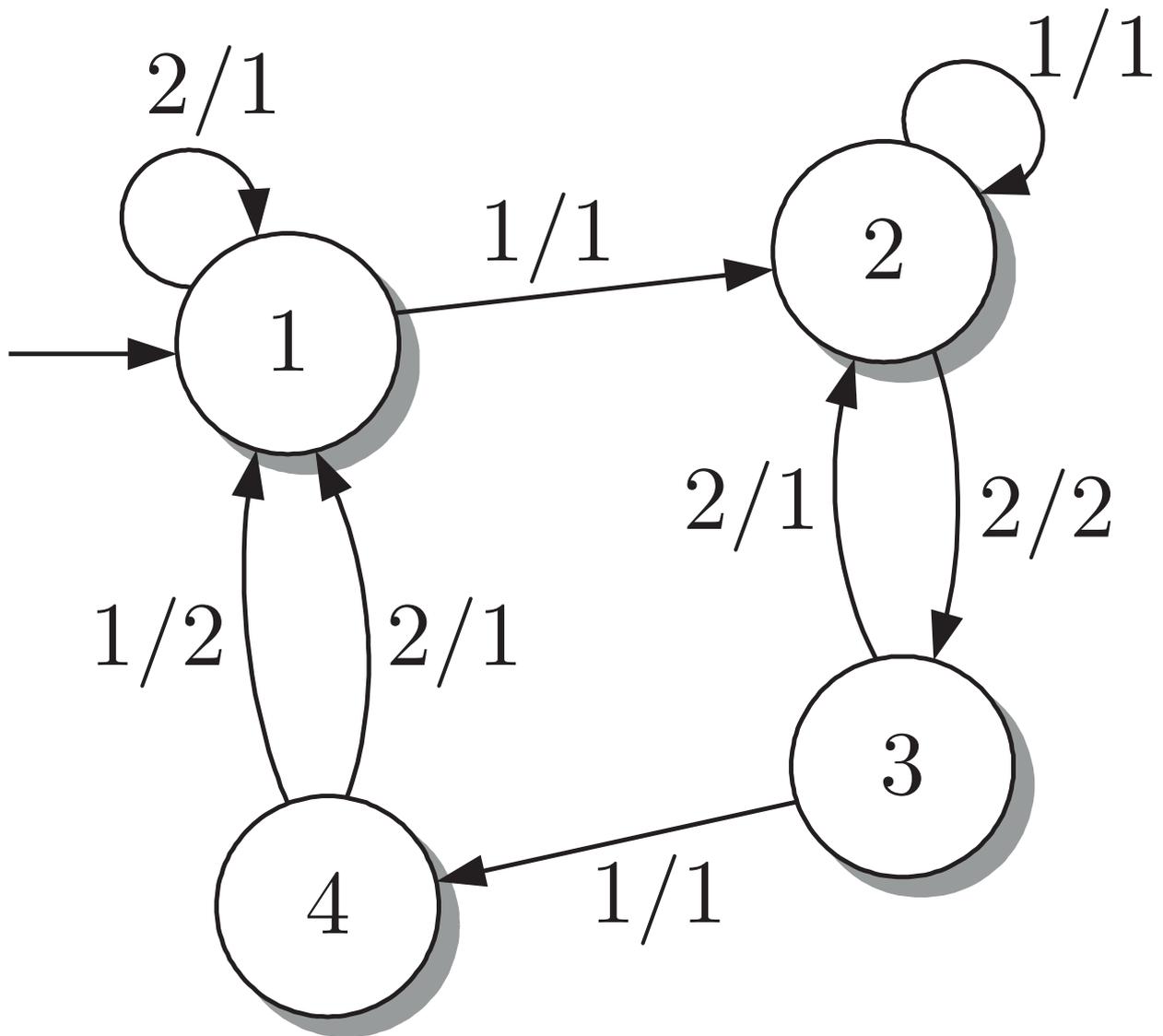


Abb. 3.18: Automatengraph eines deterministischen E/A-Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

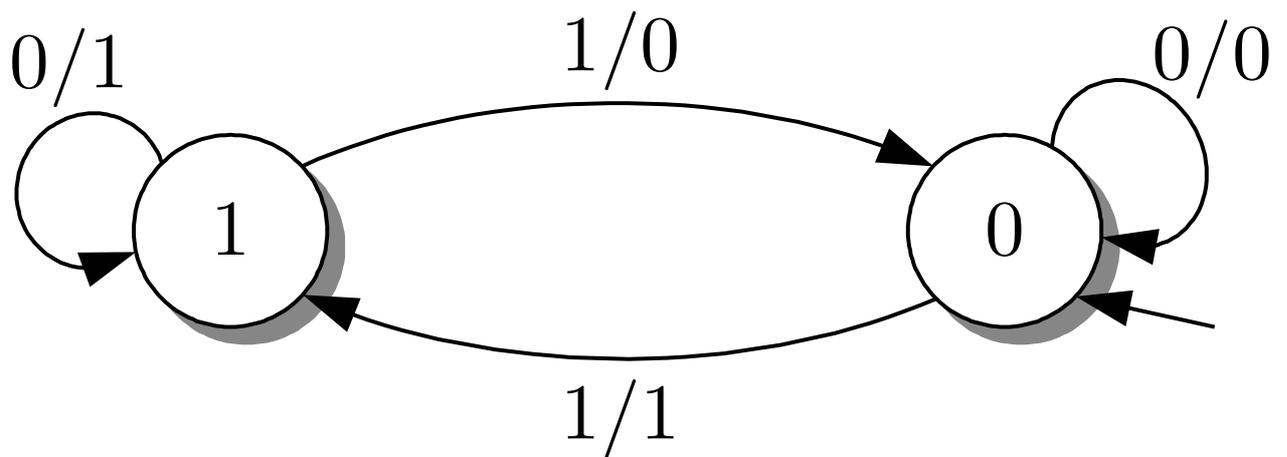


Abb. 3.19: E/A-Automat zur Beschreibung des Paritätsprüfers

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

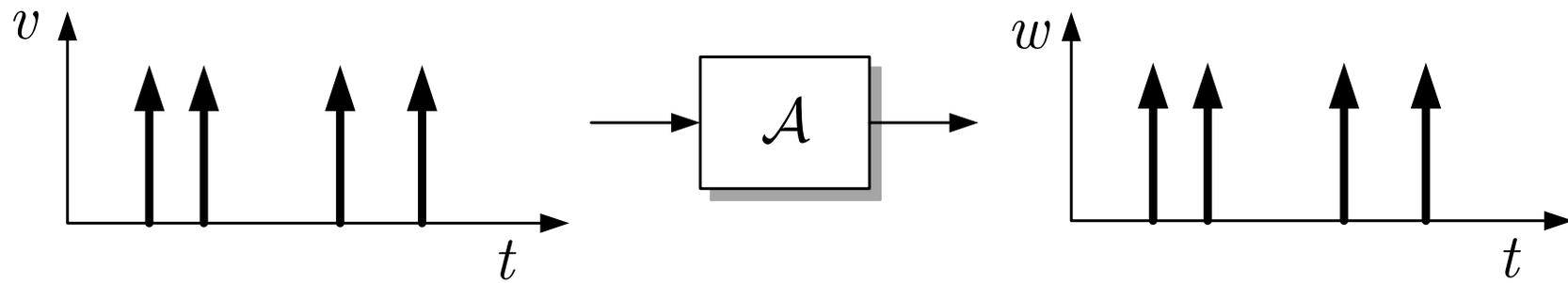


Abb. 3.20. Echtzeitautomat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

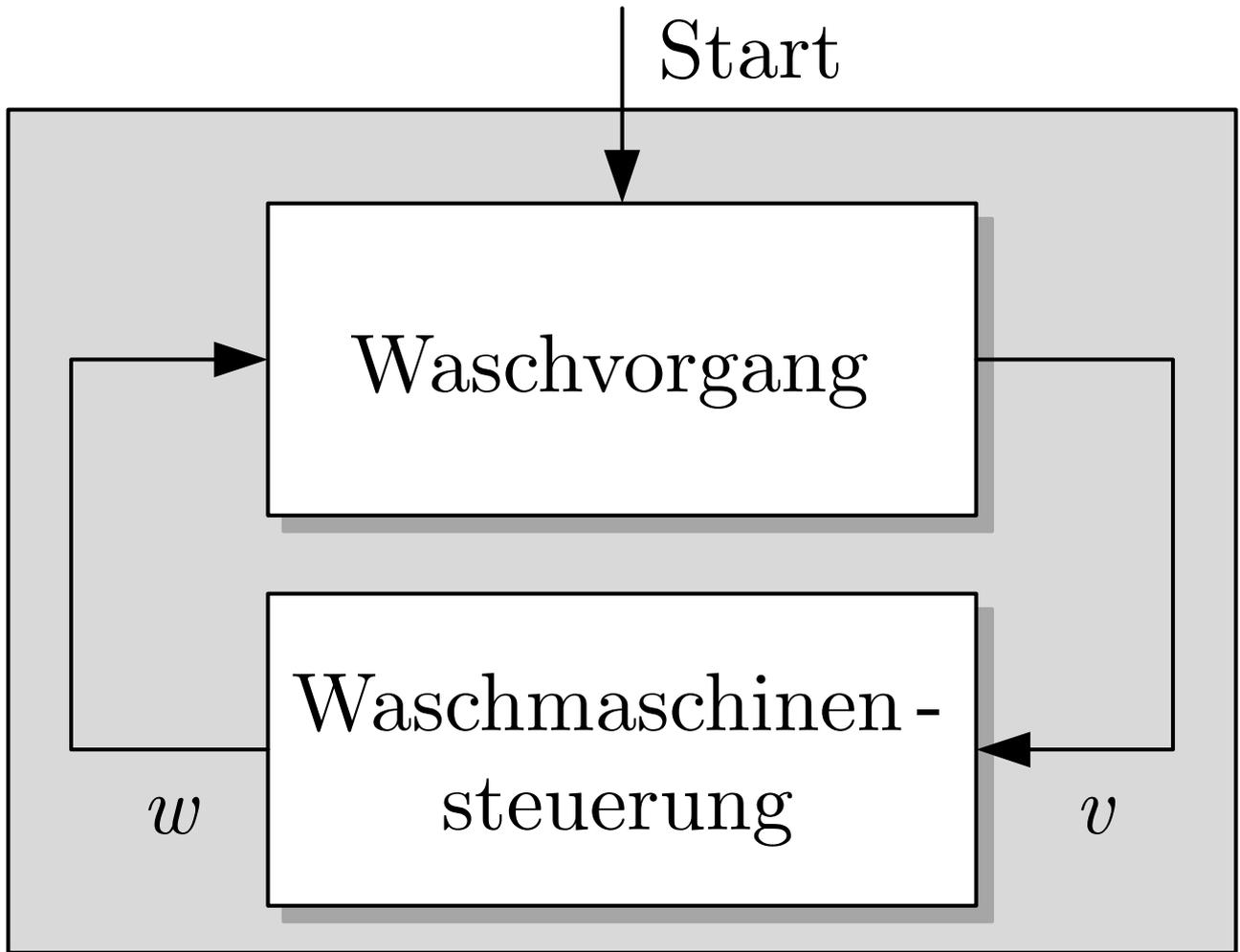


Abb. 3.21: Blockschaltbild einer Waschmaschine

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

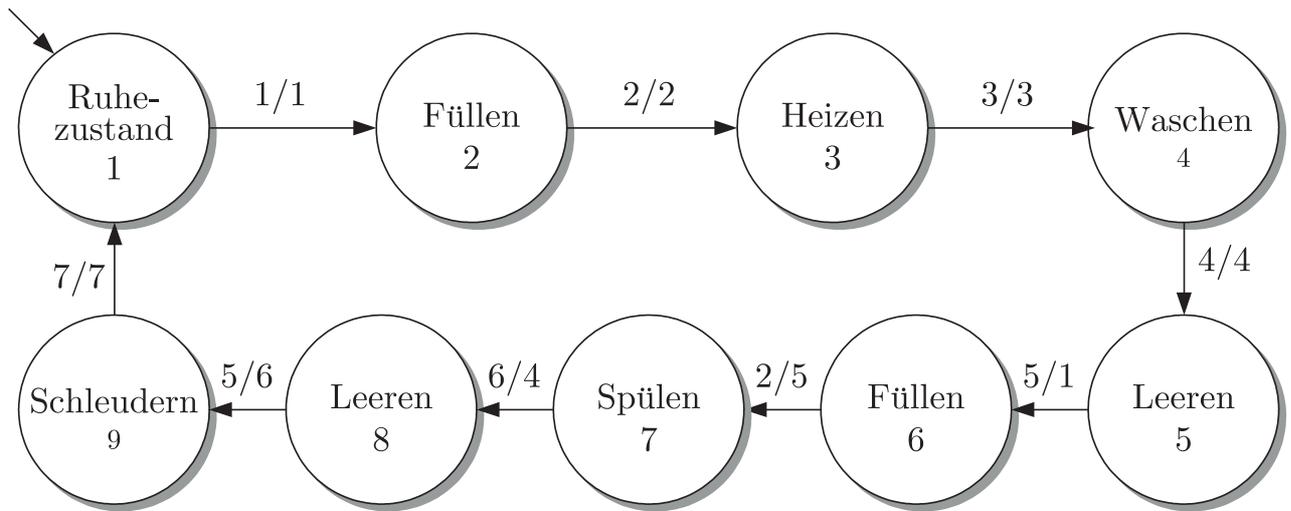


Abb. 3.22: Darstellung der Waschmaschinensteuerung als deterministischer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

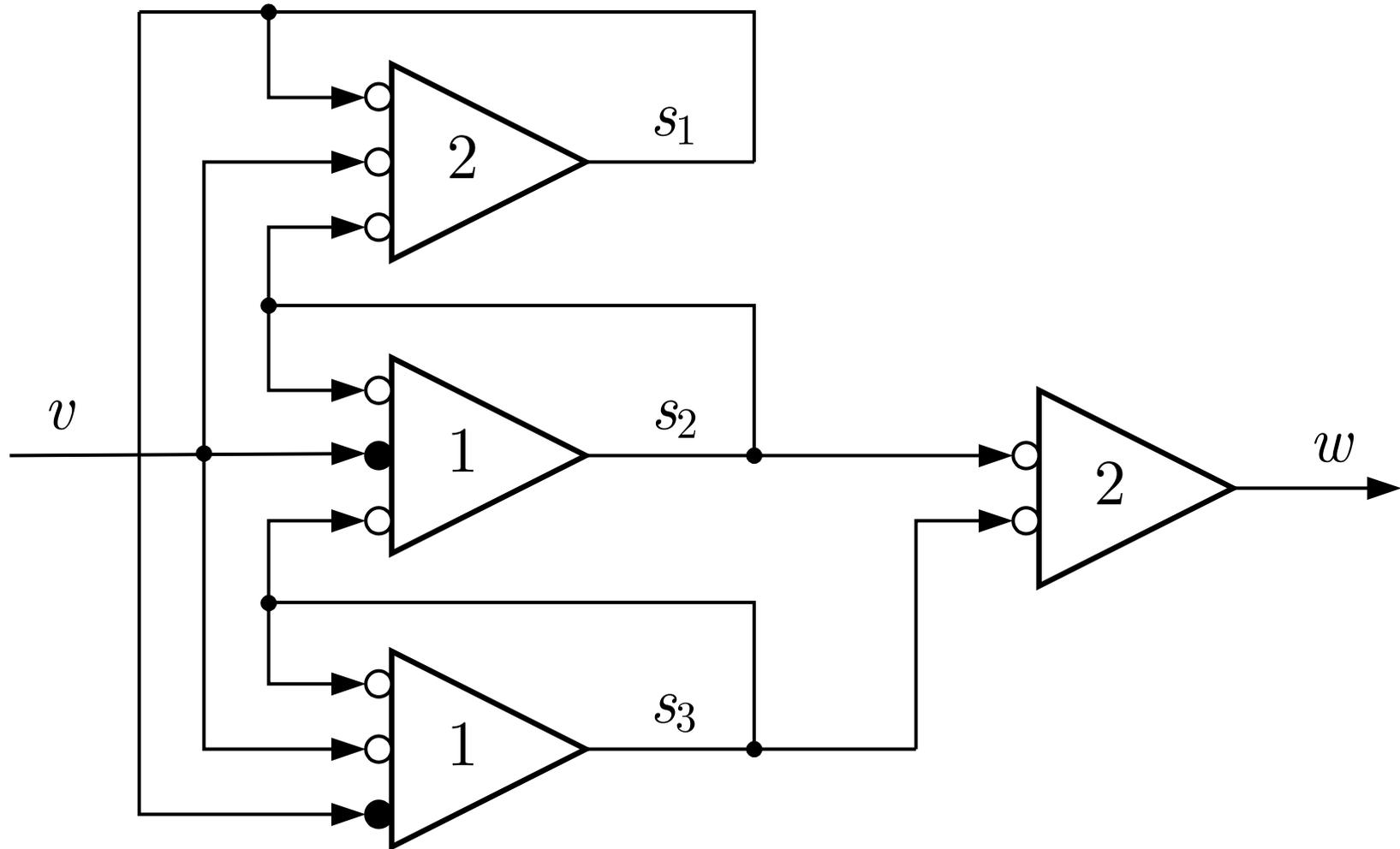


Abb. 3.23. Neuronennetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

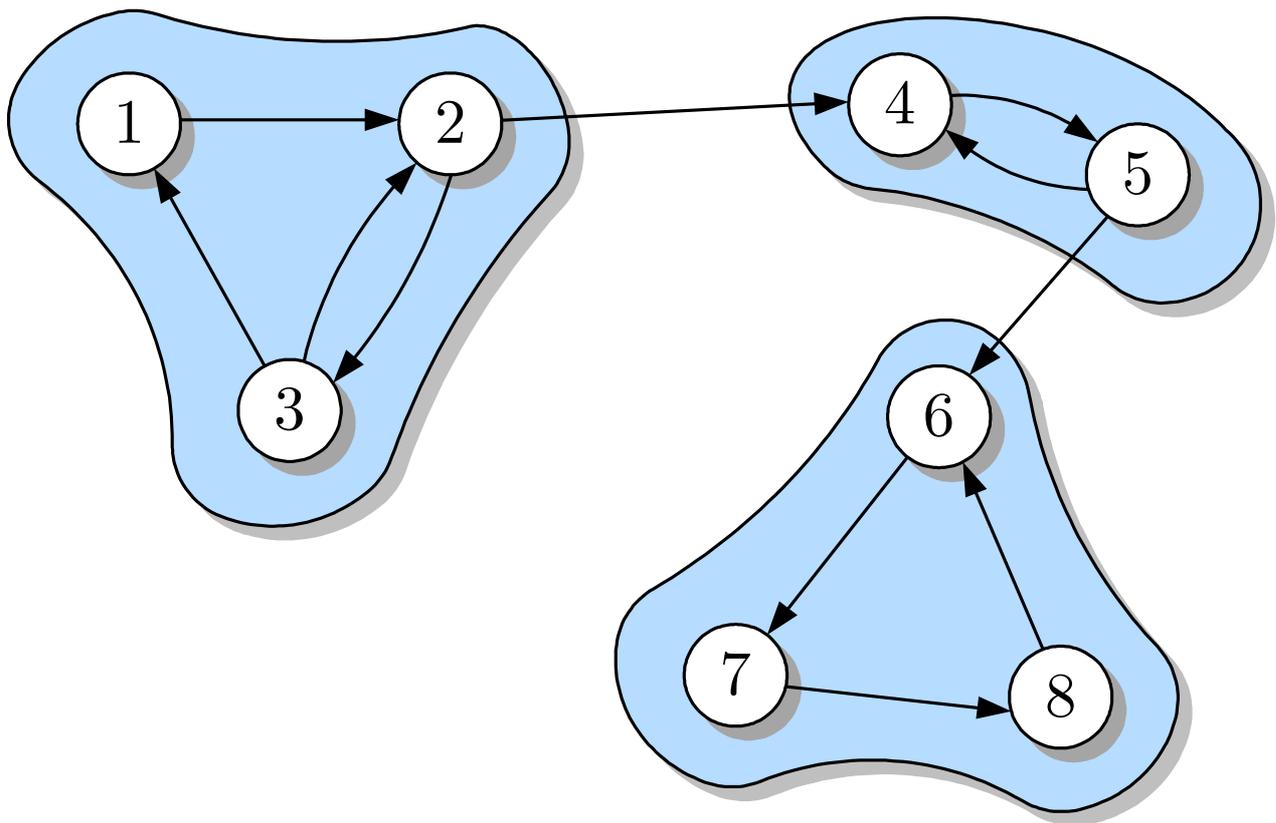


Abb. 3.24: Zerlegung der Zustandsmenge in Teilmengen stark zusammenhängender Zustände

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

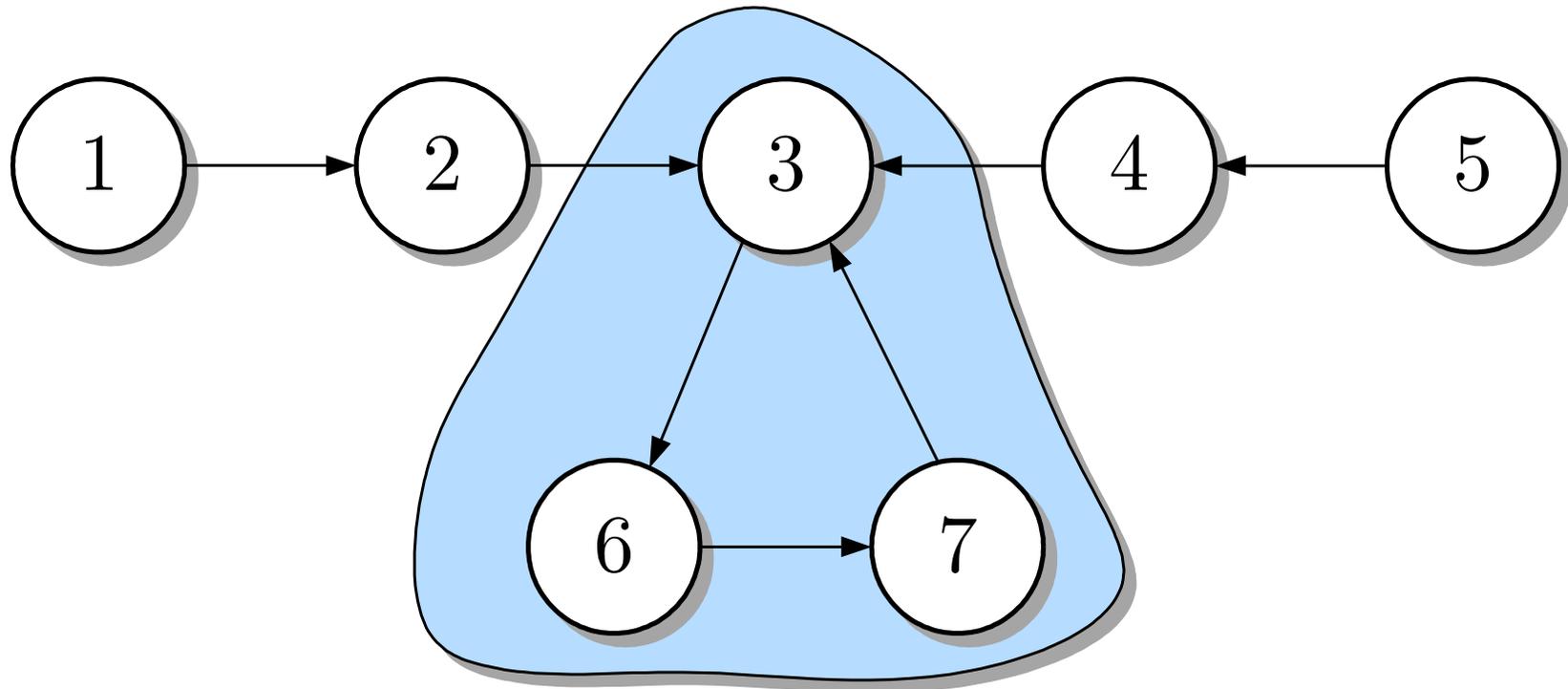


Abb. 3.25. Automat mit periodischer Zustandsmenge

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

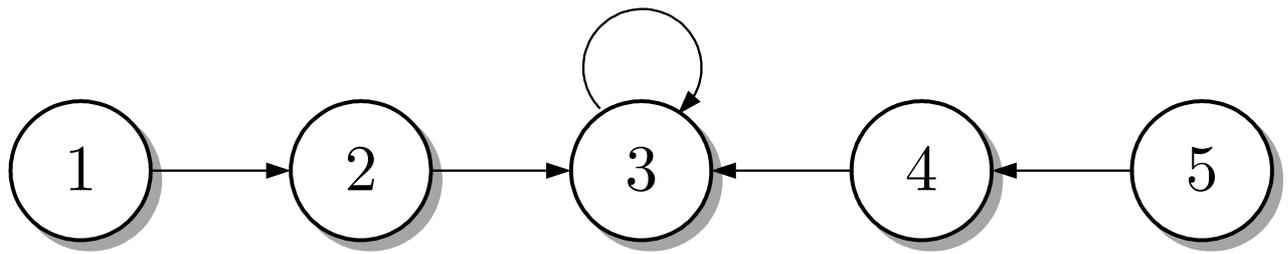


Abb. 3.26: Reduzibler deterministischer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

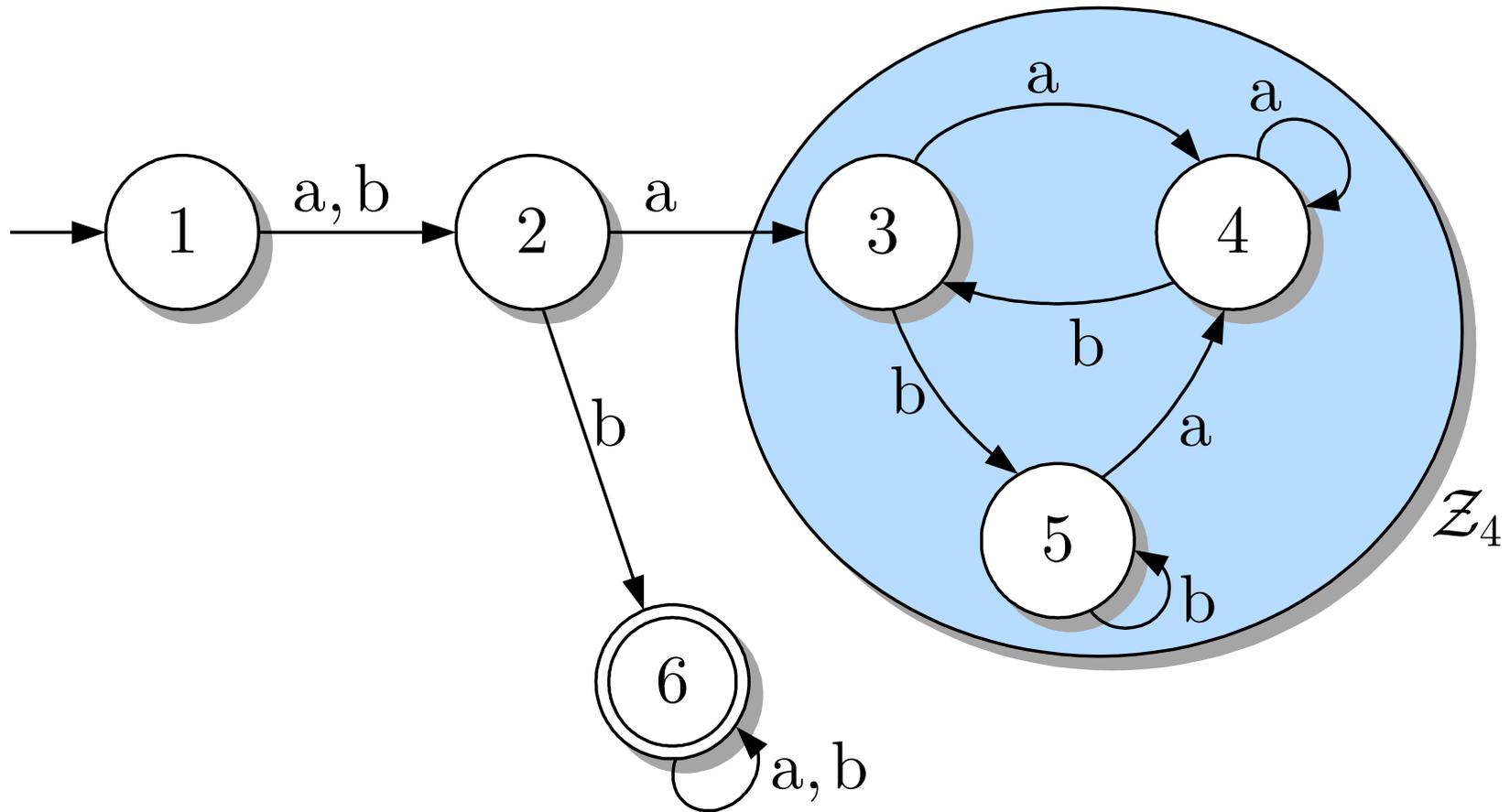


Abb. 3.27. Zerlegung eines Σ -Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

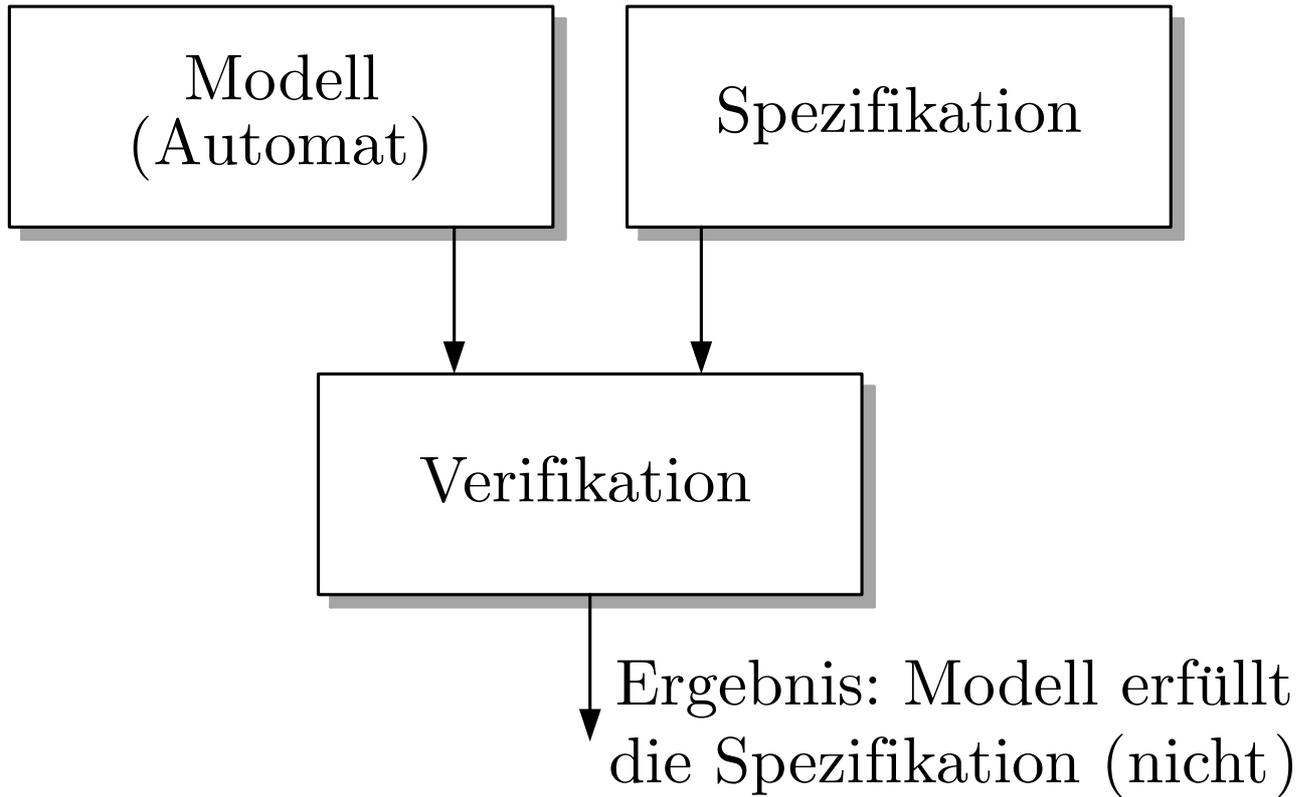


Abb. 3.28: Verifikation von Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

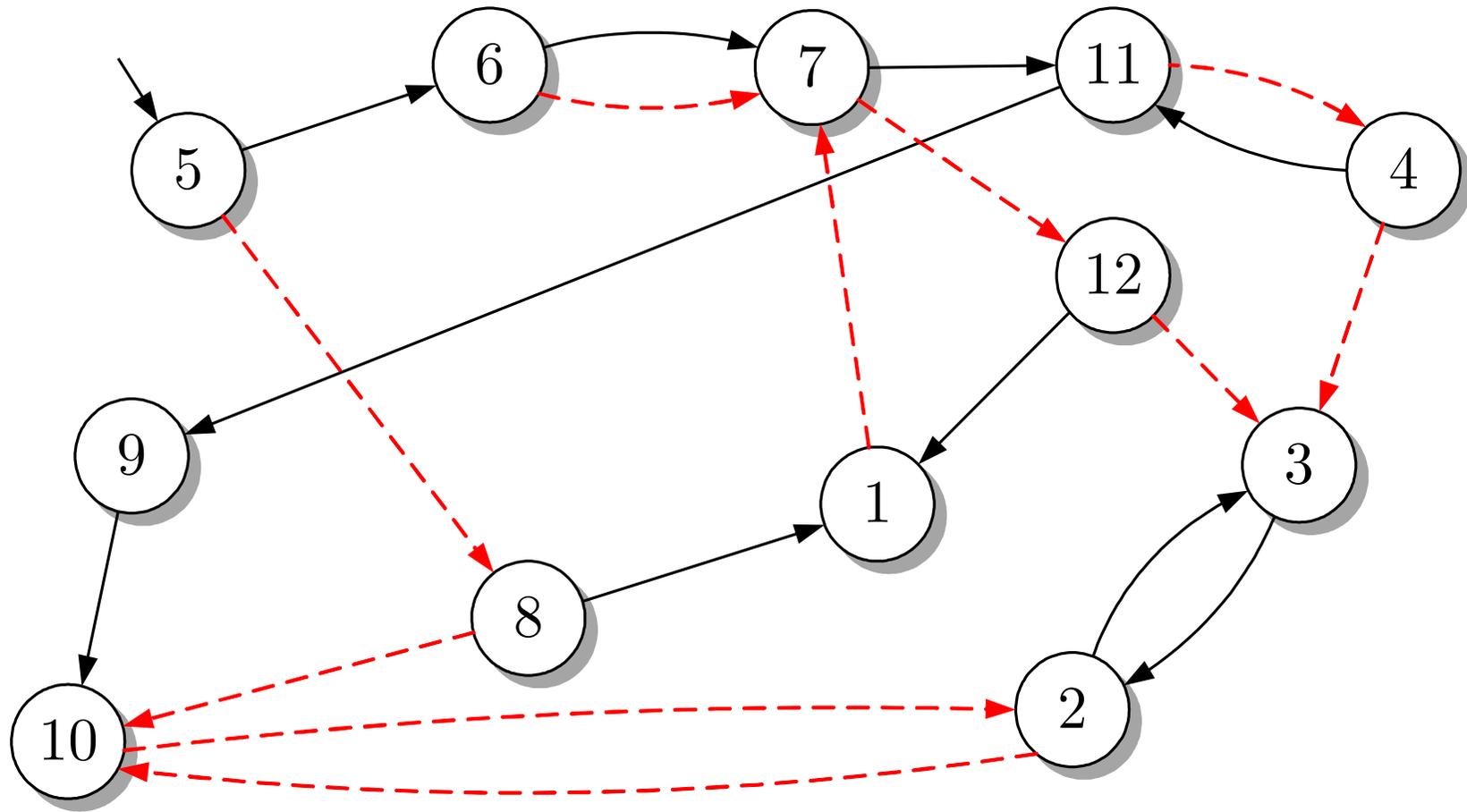


Abb. 3.29. Deterministischer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

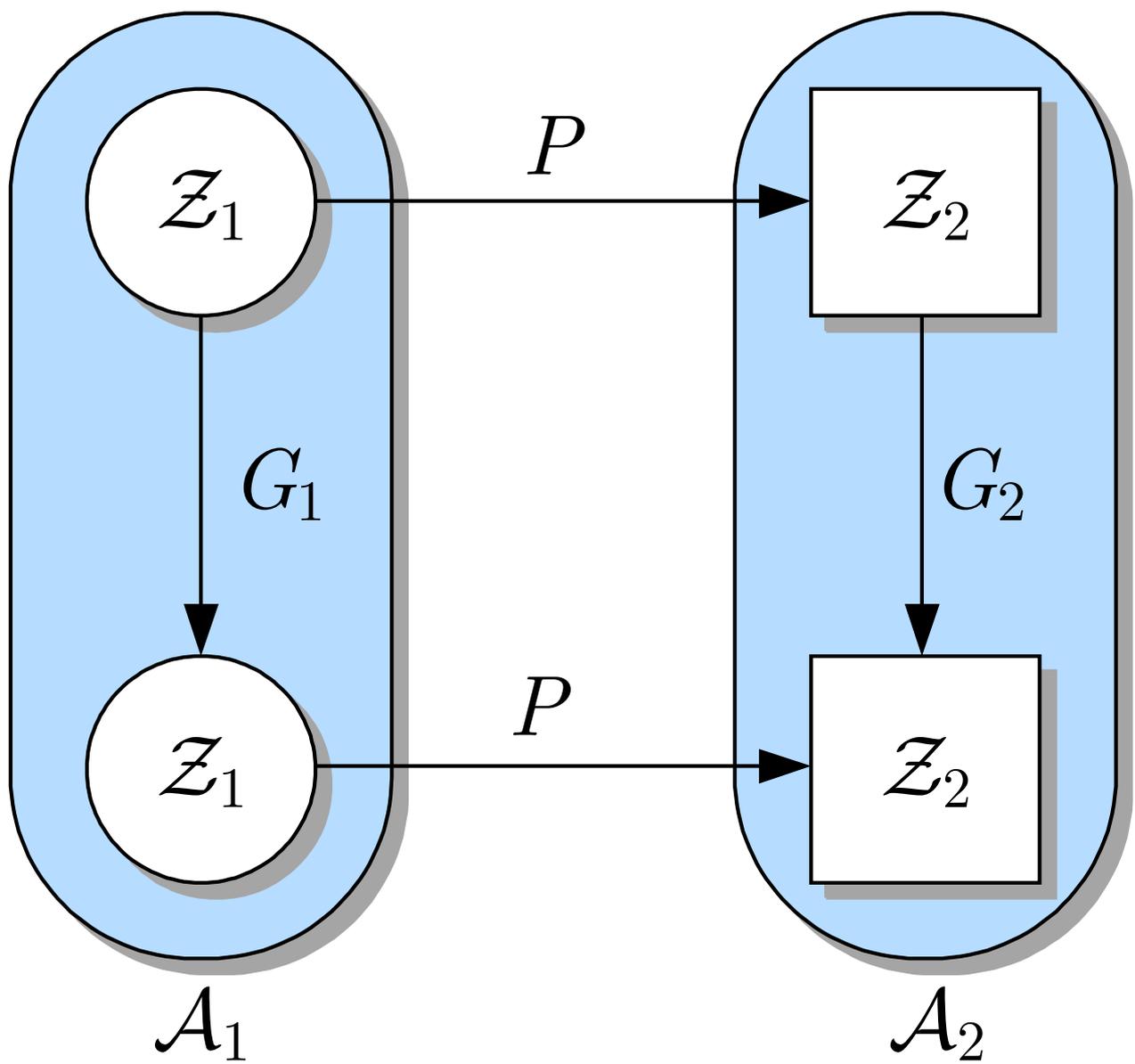


Abb. 3.30: Interpretation von Gl. (3.51)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

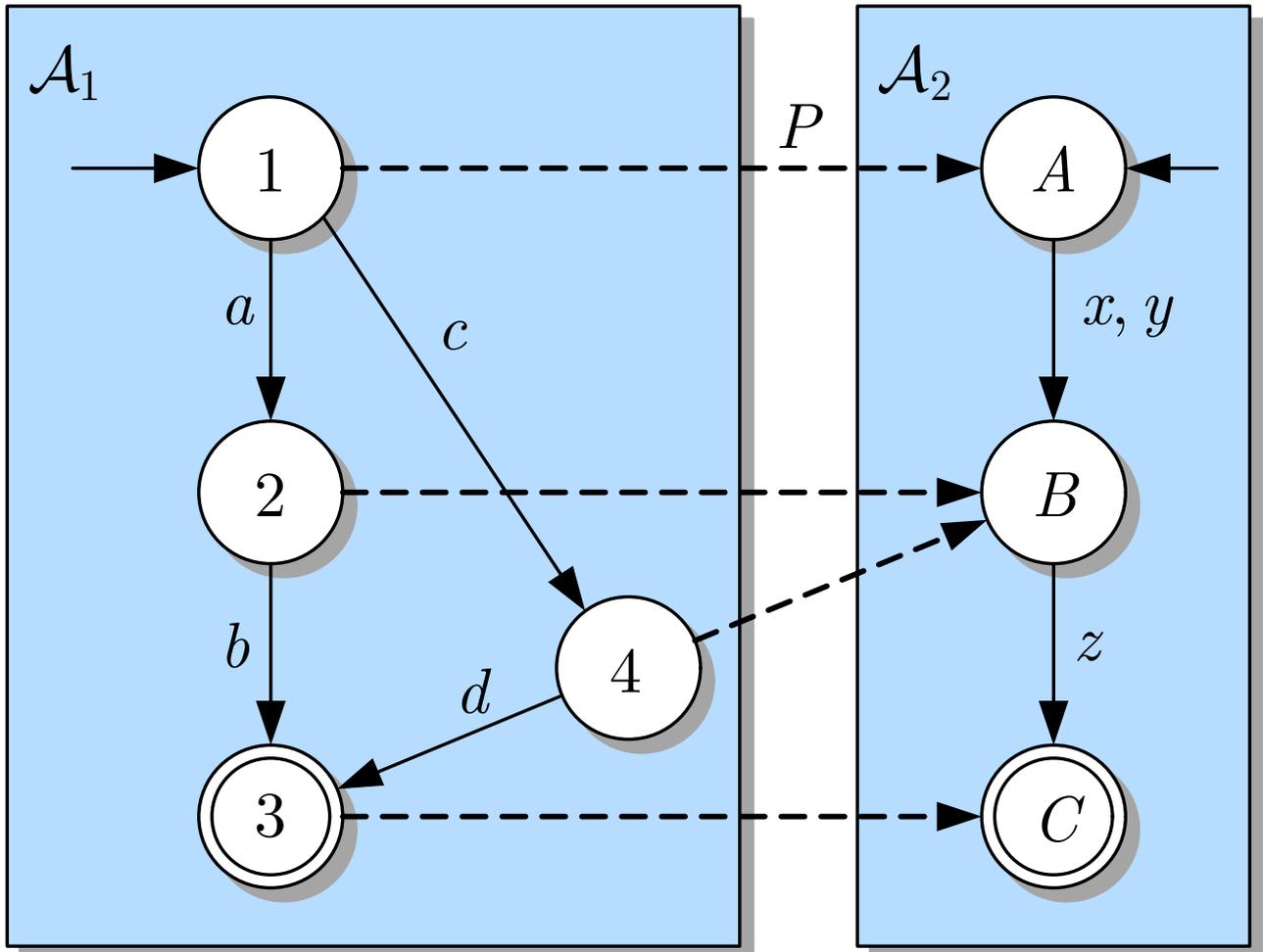


Abb. 3.31: Automat \mathcal{A}_1 und sein homomorphes Bild \mathcal{A}_2

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

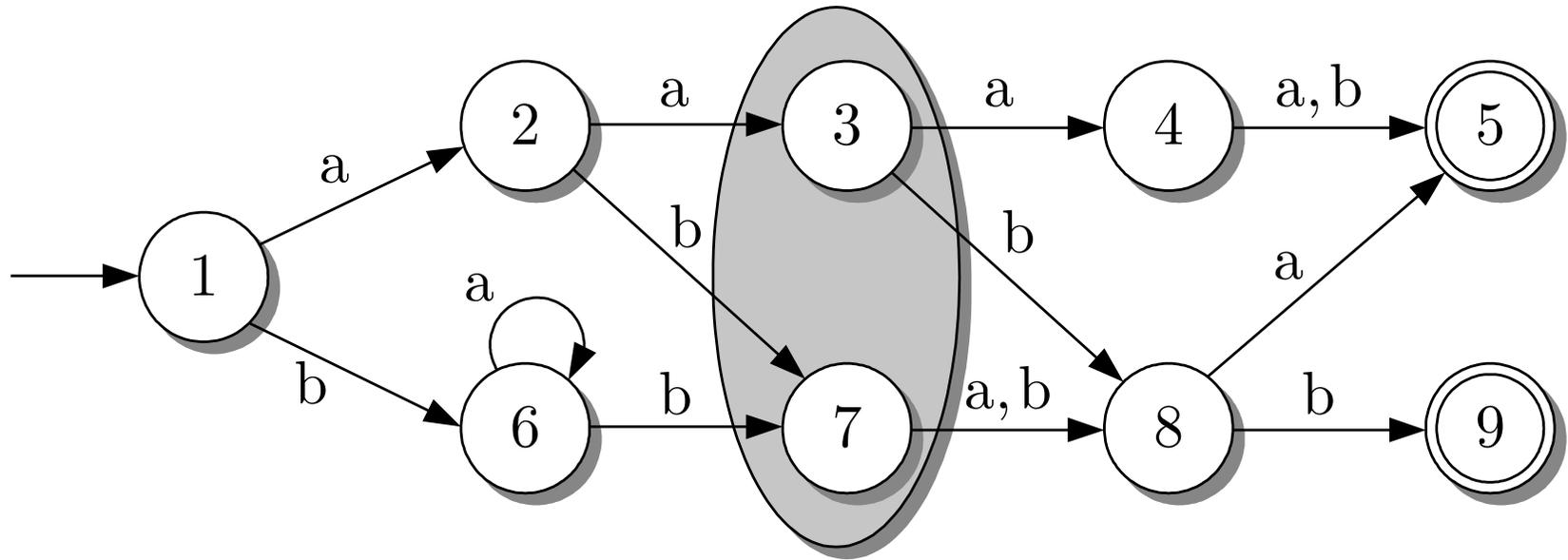


Abb. 3.32. Automat mit den äquivalenten Zuständen 3 und 7

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

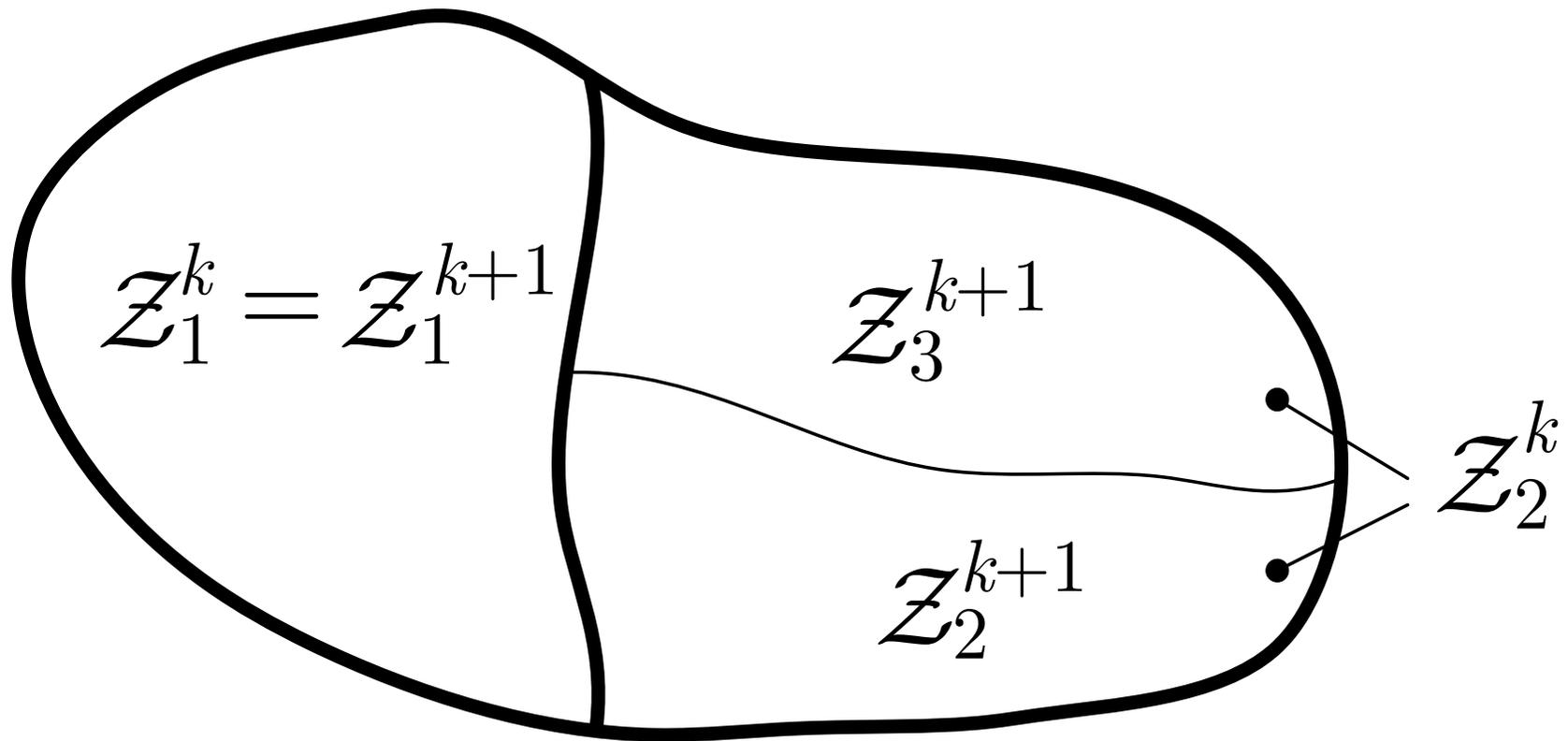


Abb. 3.33. Verfeinerung der Äquivalenzklassen für k -äquivalente Zustände zu Äquivalenzklassen für $(k + 1)$ -äquivalente Zustände

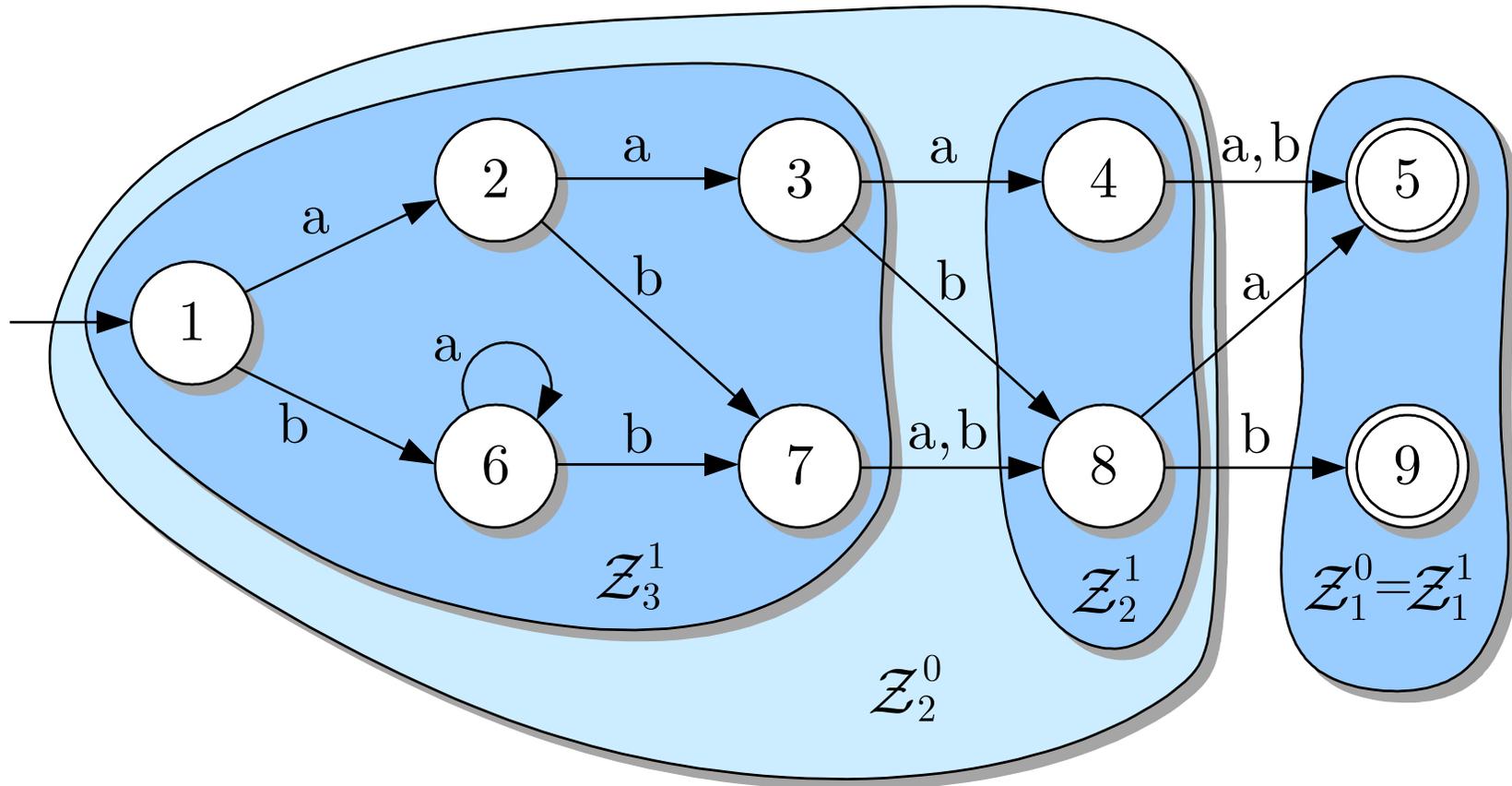


Abb. 3.34. Schrittweise Zerlegung der Zustandsmenge eines Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

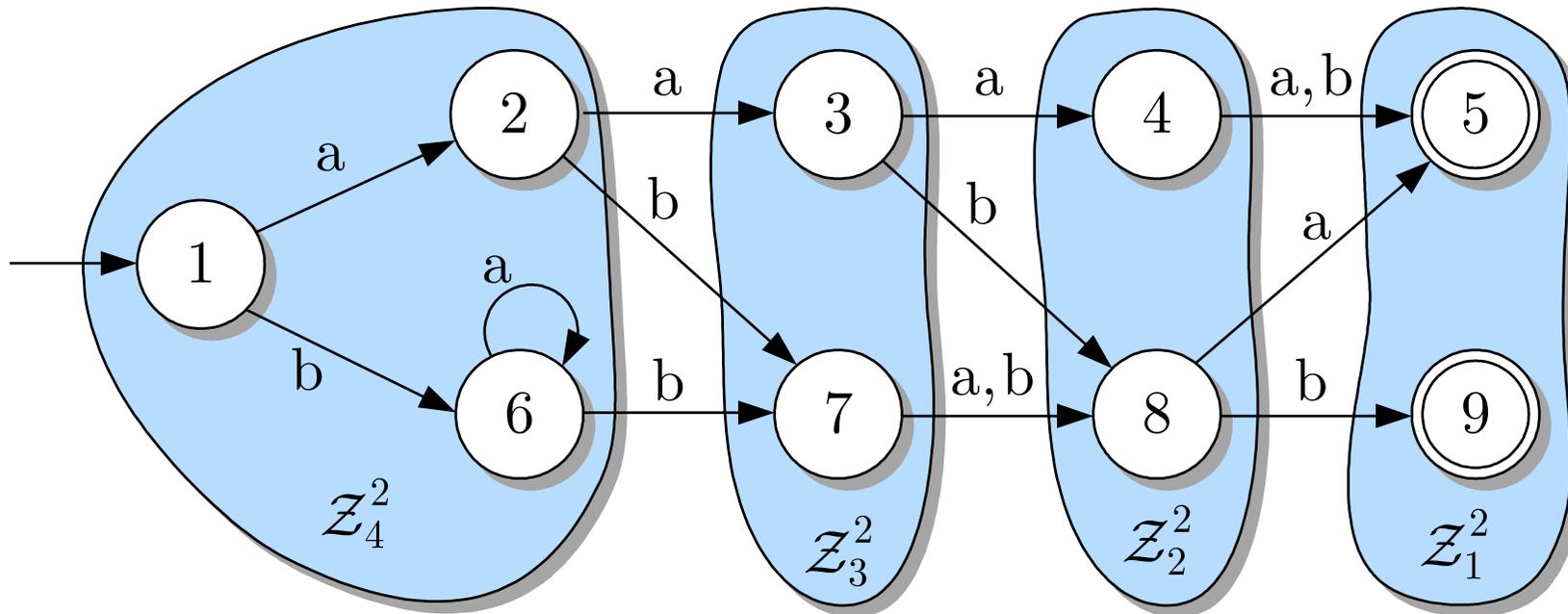


Abb. 3.35. Zerlegung der Zustandsmenge in 2-äquivalente Zustände

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

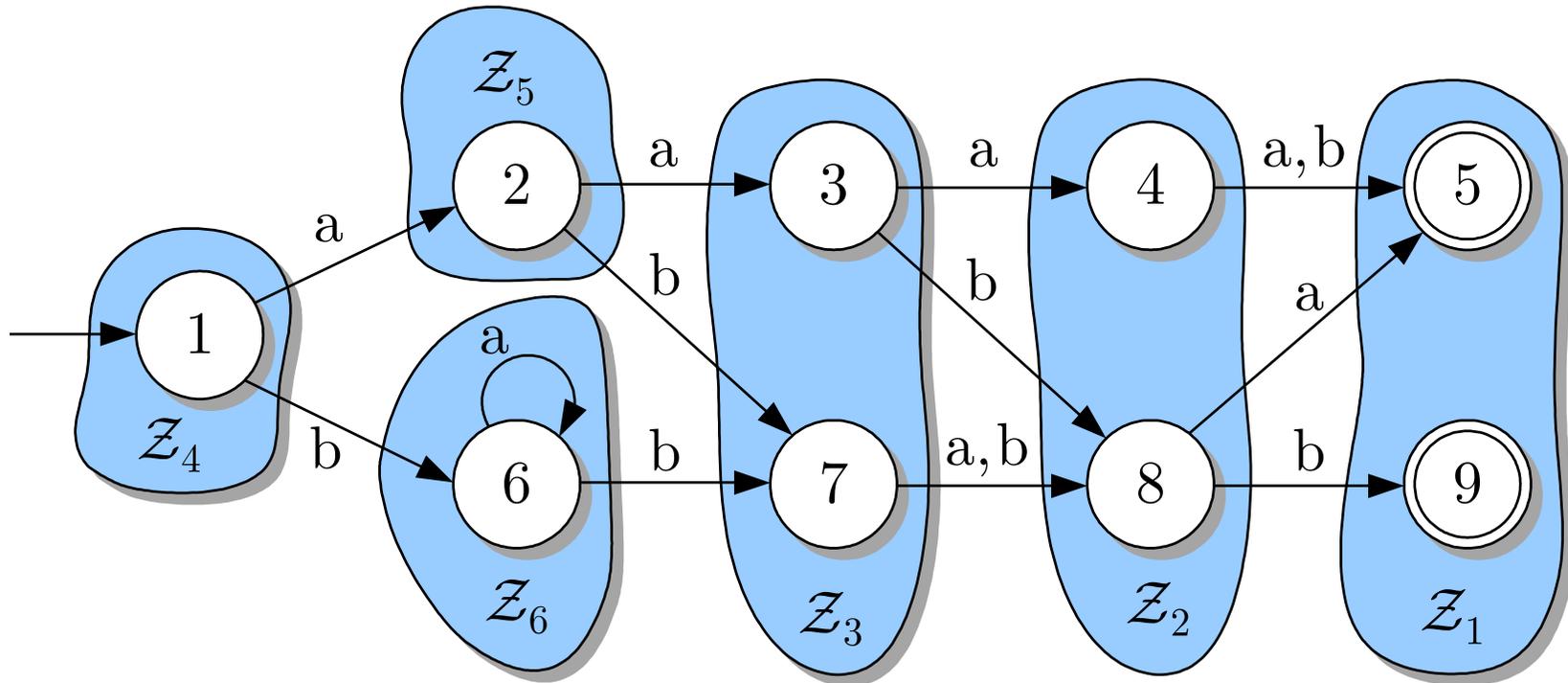


Abb. 3.36. Zerlegung der Zustandsmenge in 3-äquivalente Zustände

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

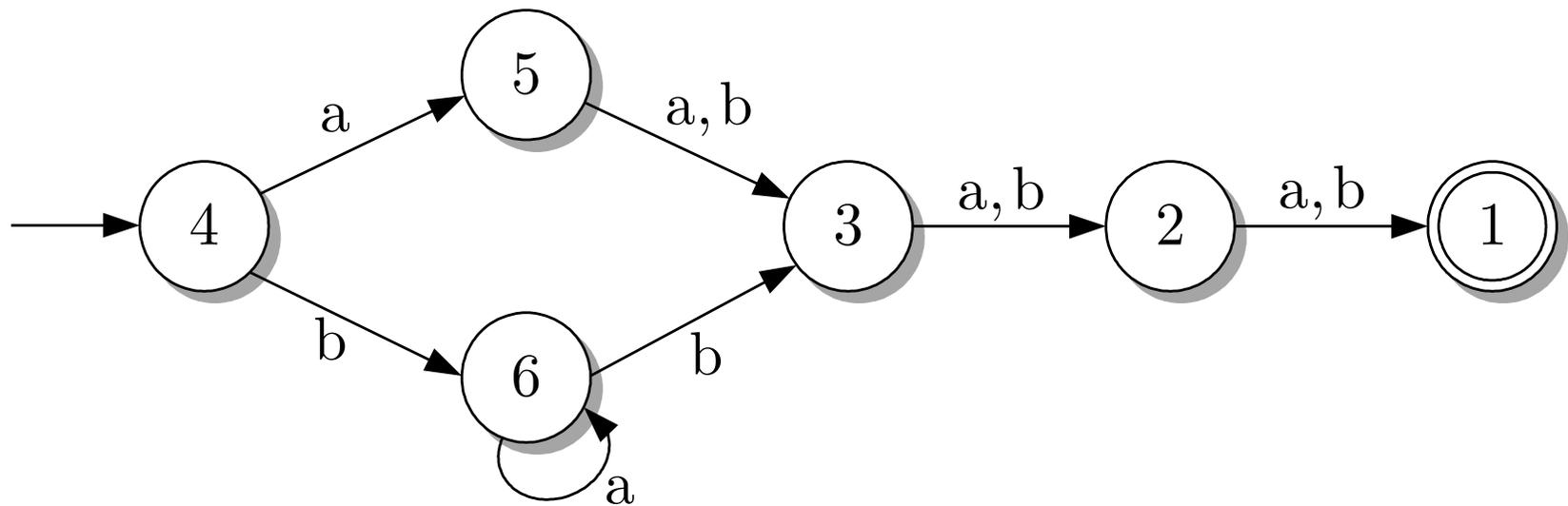


Abb. 3.37. Minimaler Automat, der äquivalent zum Automaten aus Abb. 3.32 ist

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

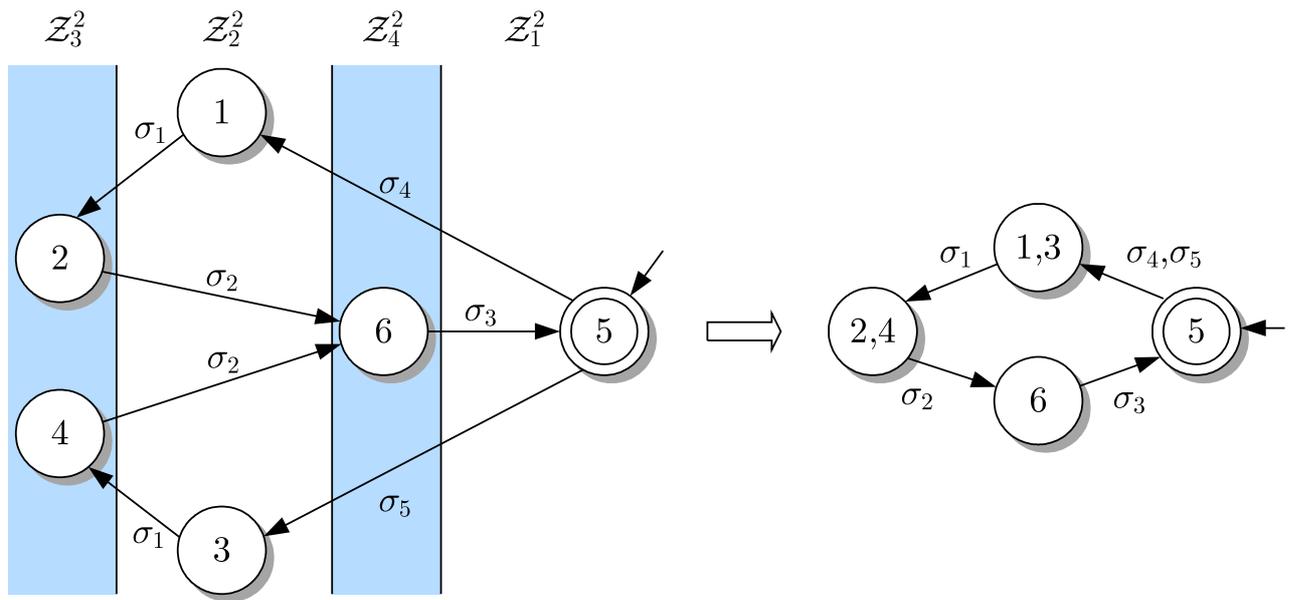


Abb. 3.38: Minimaler Automat (rechts), der die Sprache des Roboters (links) akzeptiert

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

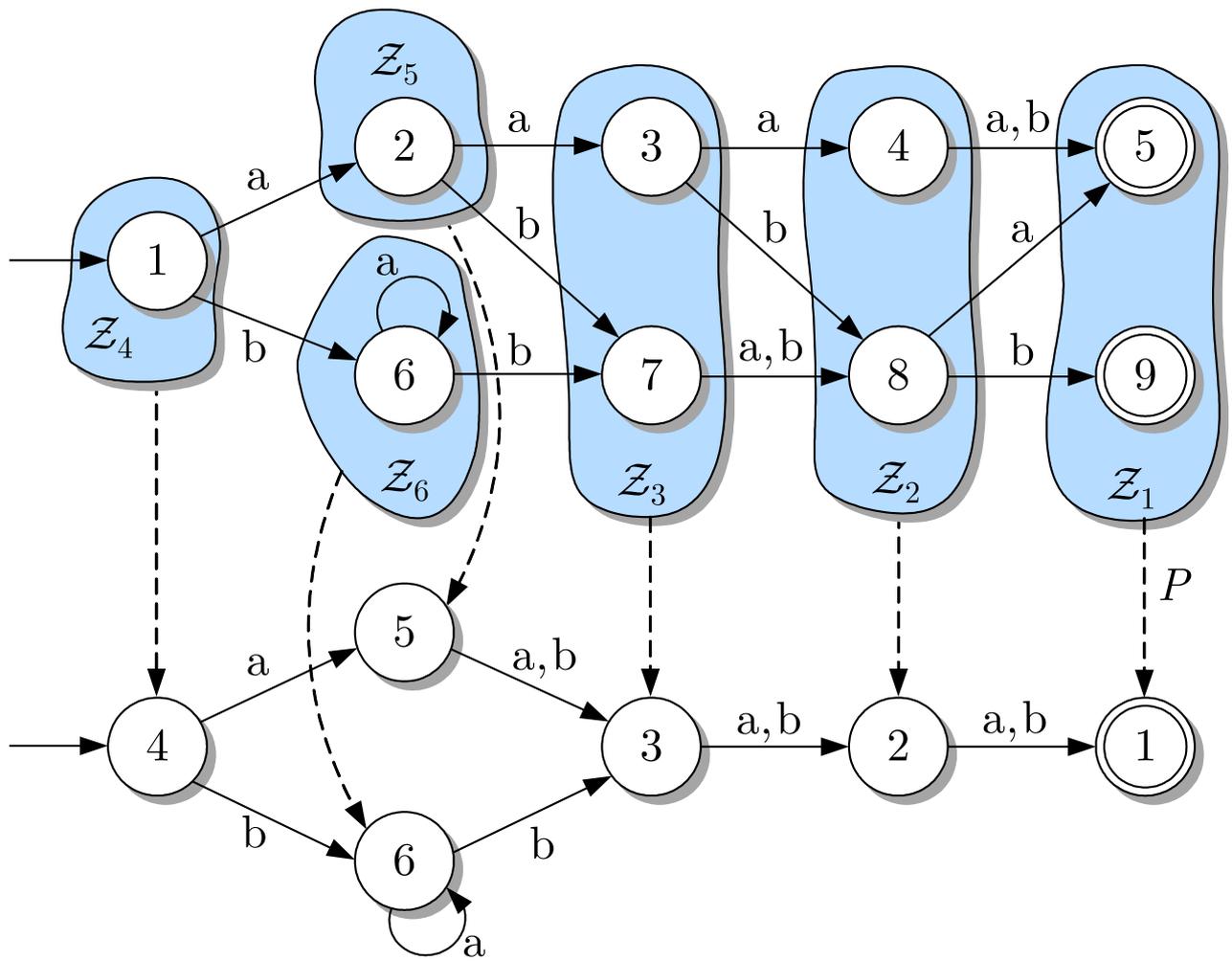


Abb. 3.39: Homomorphie zwischen dem Automaten aus Abb. 3.32 und seinem Minimalautomaten aus Abb. 3.37

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

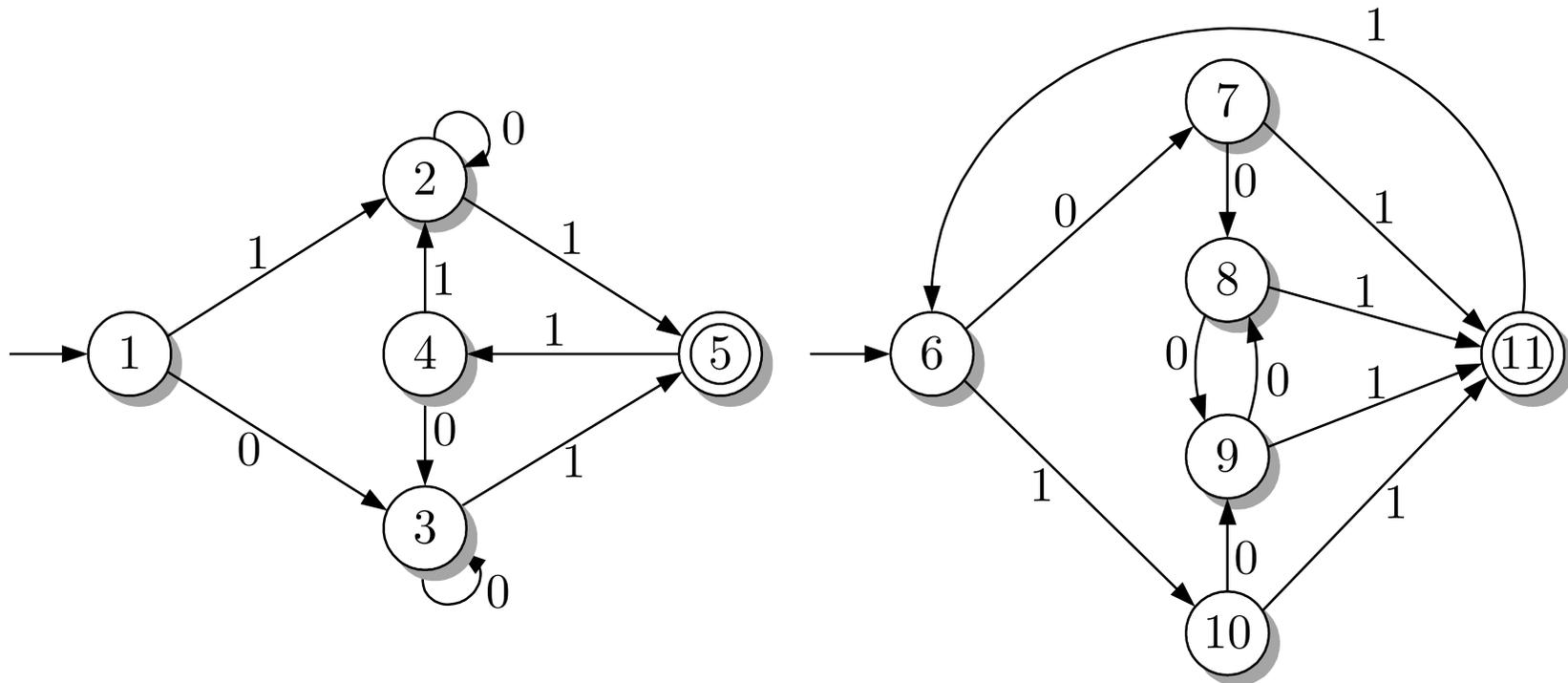


Abb. 3.40. Zwei Automaten, die über dieselbe Ereignismenge $\Sigma = \{0, 1\}$ definiert sind

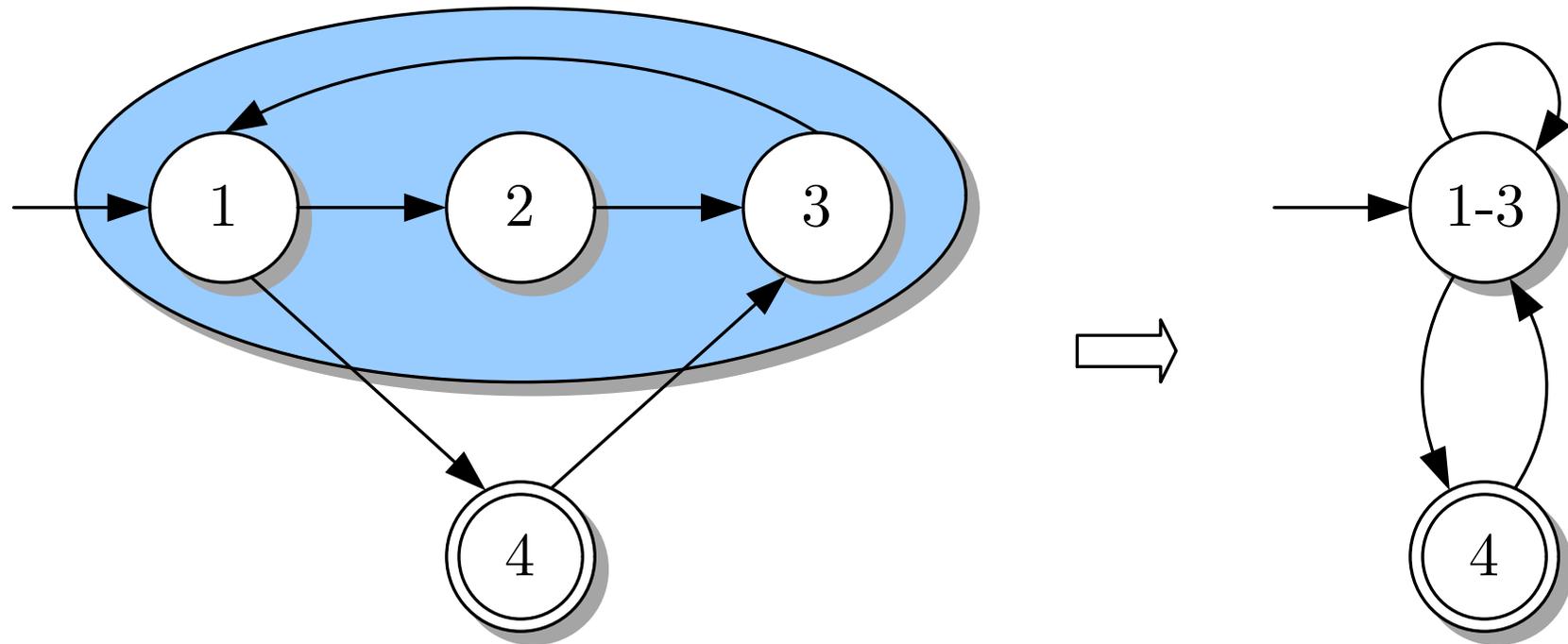


Abb. 3.41. Hierarchische Modellbildung mit Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Abb. 3.42. Kante des Automatengraphen eines erweiterten Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

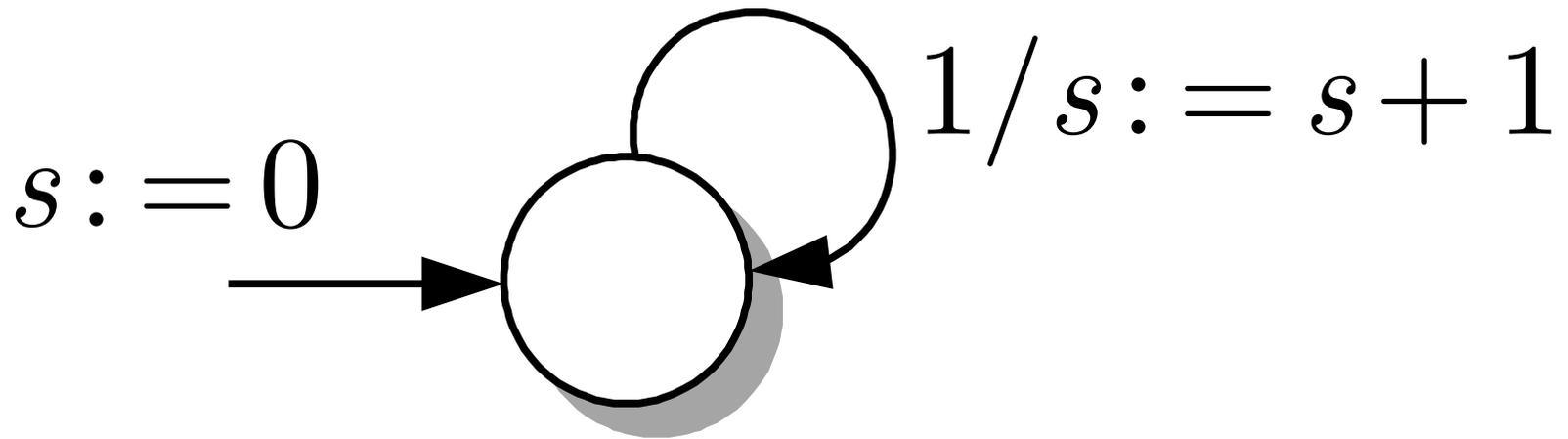


Abb. 3.43. Darstellung eines Zählers

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

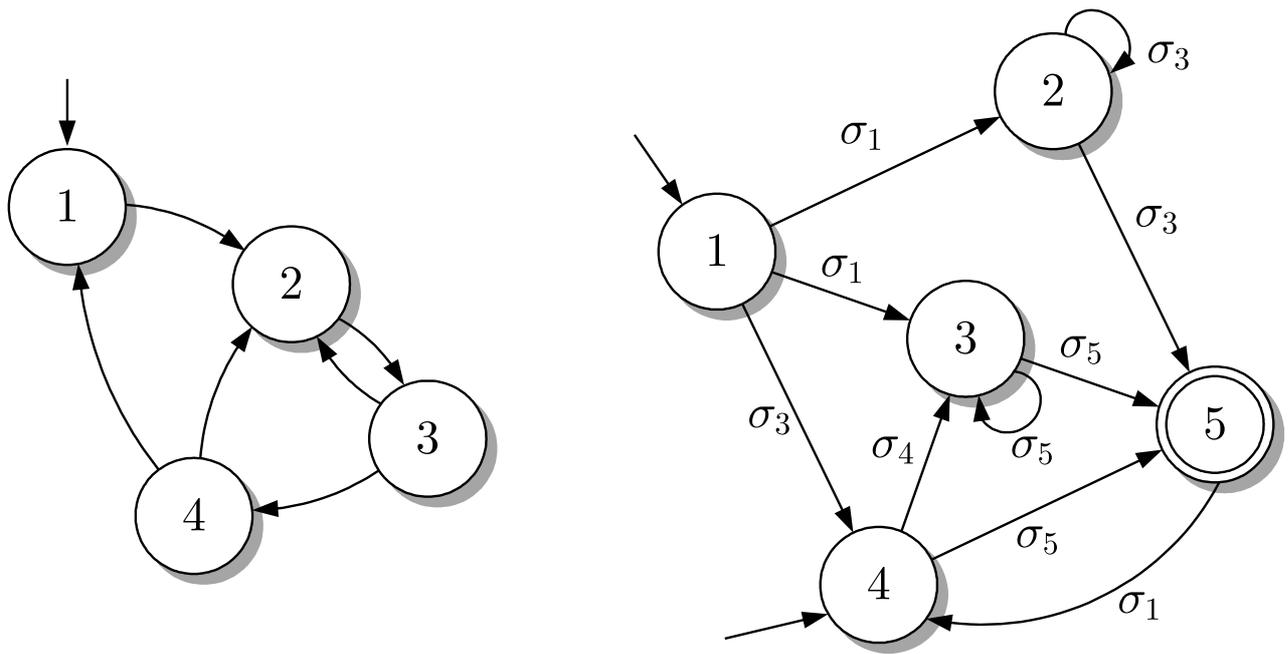


Abb. 4.1: Automatengraphen nichtdeterministischer Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

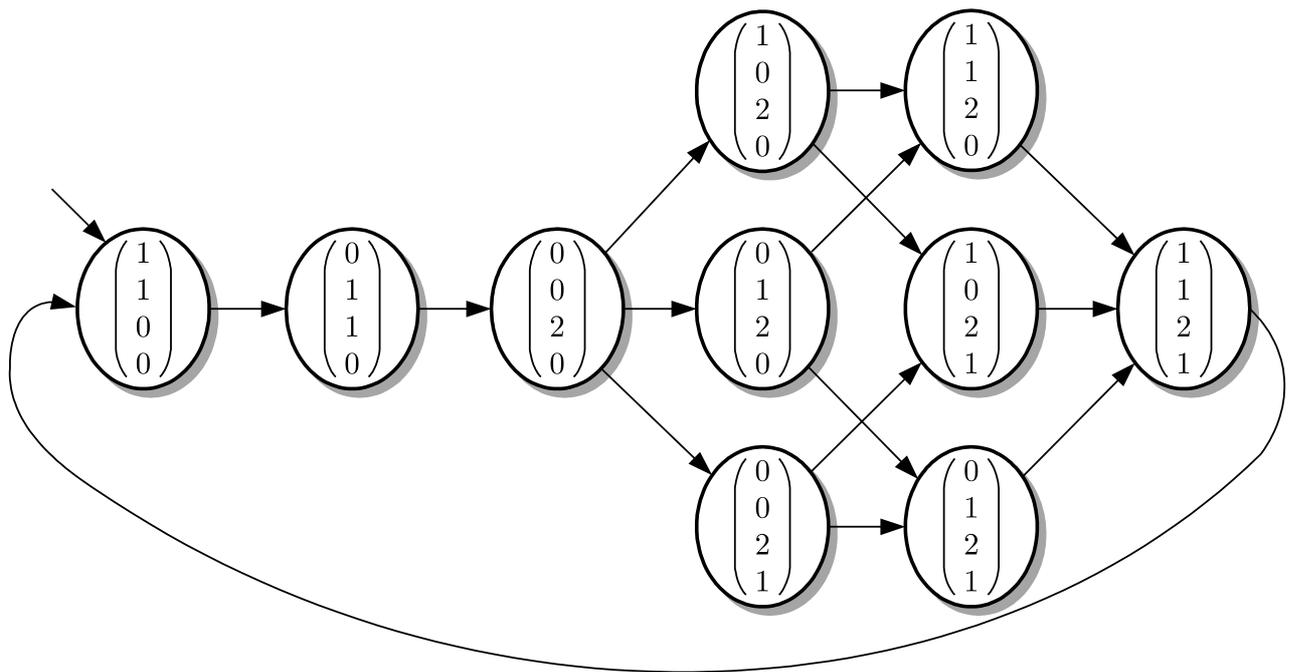


Abb. 4.2: Beschreibung des Batchprozesses durch einen nichtdeterministischen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

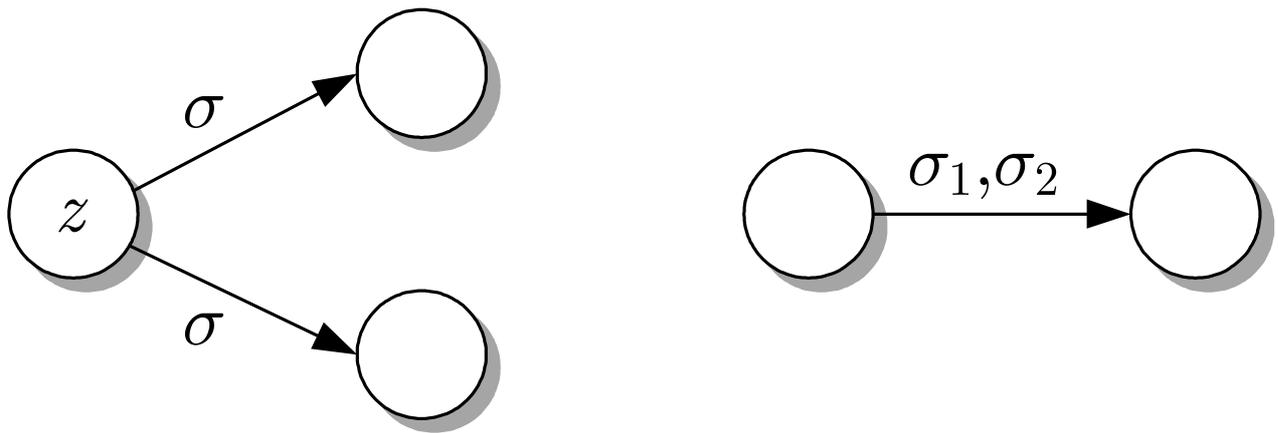


Abb. 4.3: Nichtdeterministischer Zustandsübergang (links) und nichtdeterministische Ereignisfolge (rechts)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

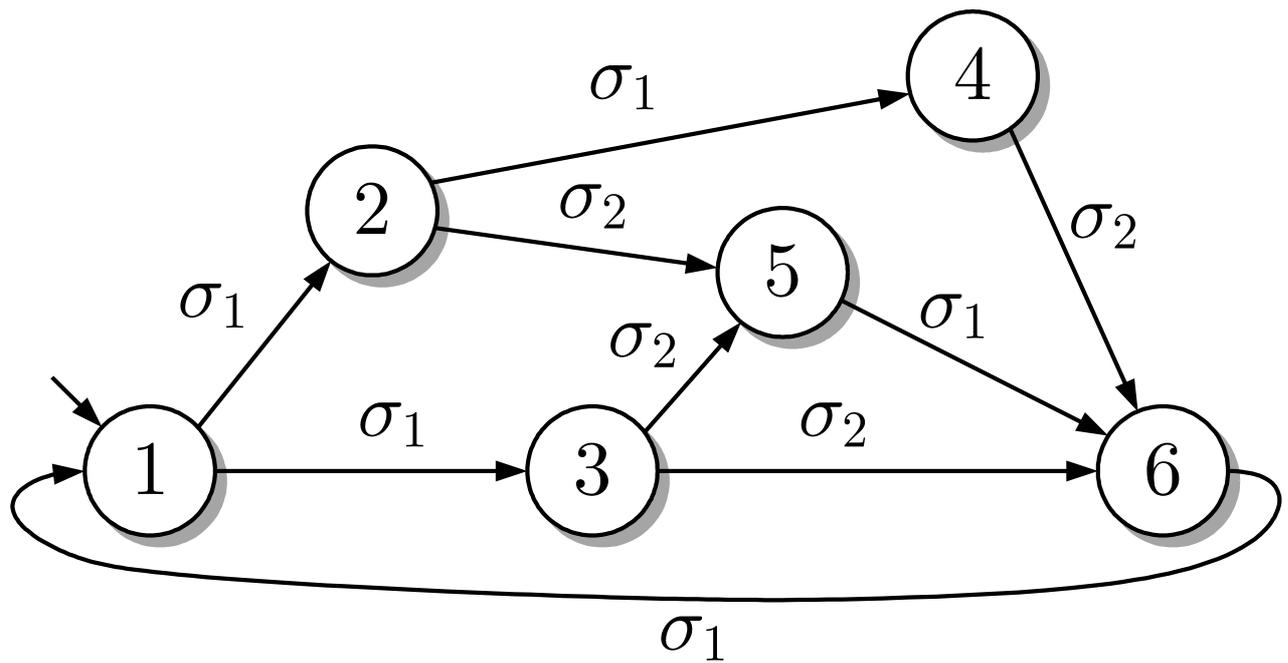


Abb. 4.4: Nichtdeterministischer Σ -Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

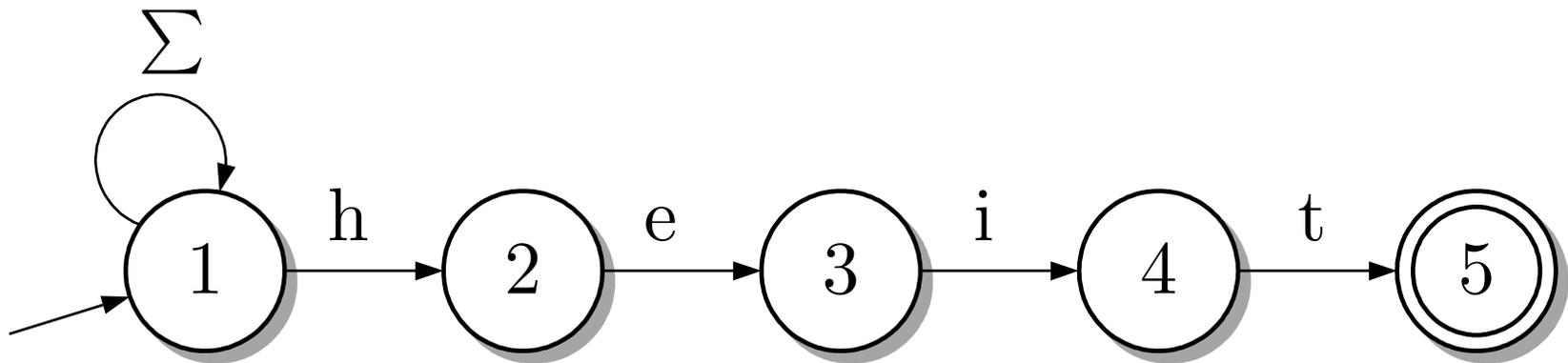


Abb. 4.5. Akzeptor für Wörter mit der Endung „heit“

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

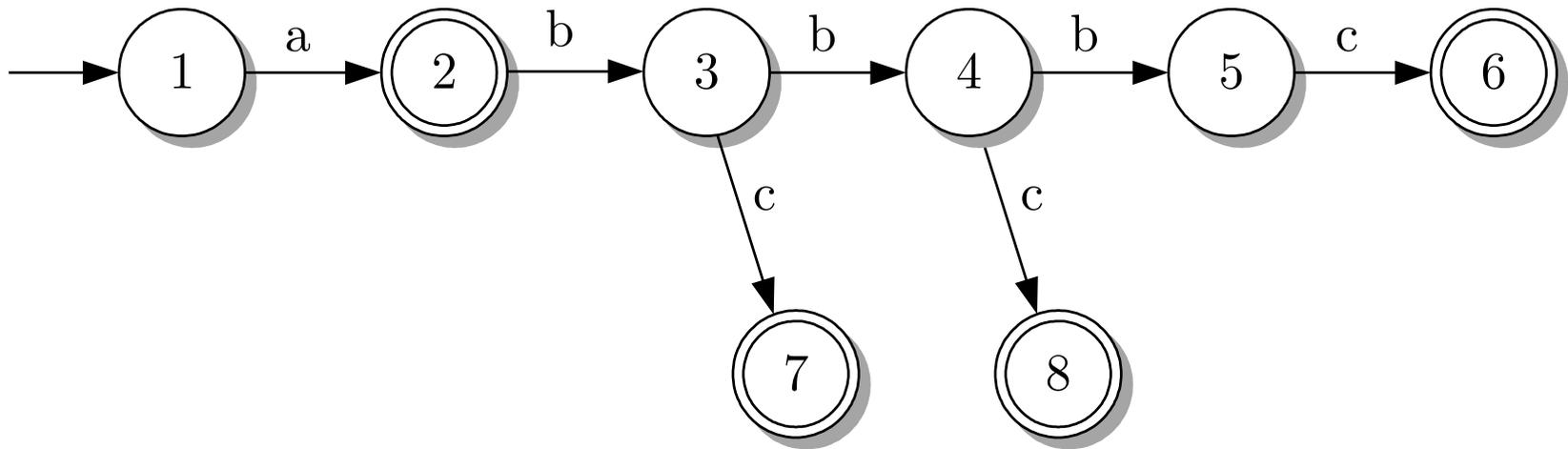


Abb. 4.6. Automat, der die Sprache \mathcal{L}_1 akzeptiert

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

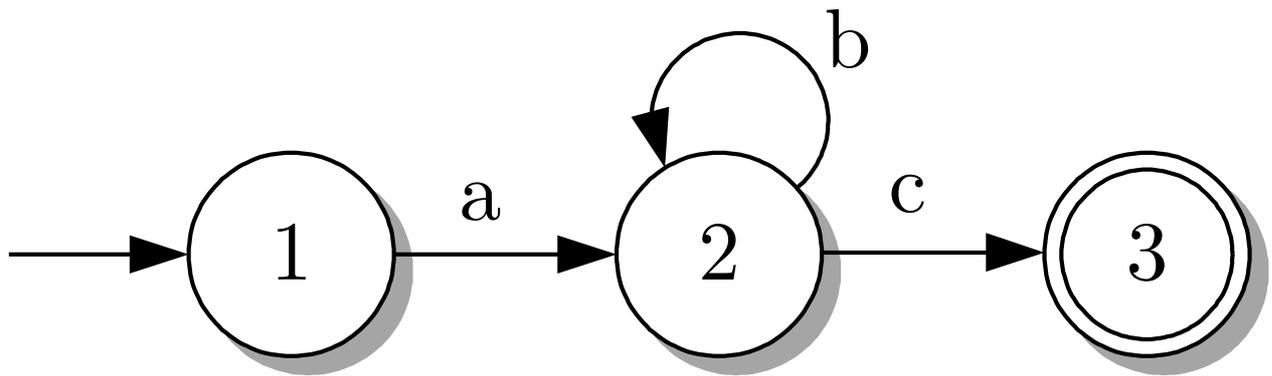


Abb. 4.7: Automat, der die Sprache \mathcal{L}_2 akzeptiert

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

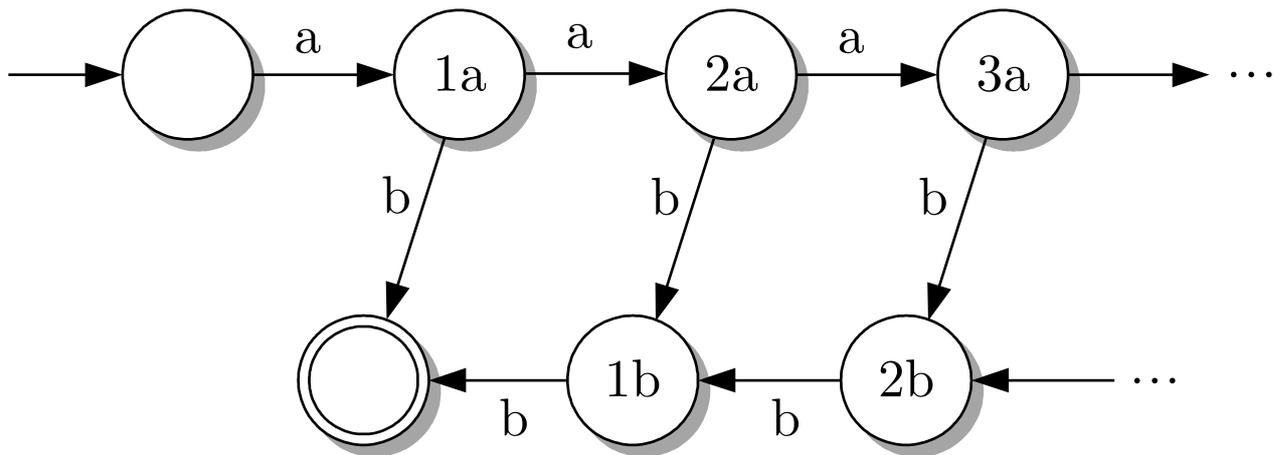


Abb. 4.8: Automat, der die Sprache \mathcal{L}_3 akzeptiert

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

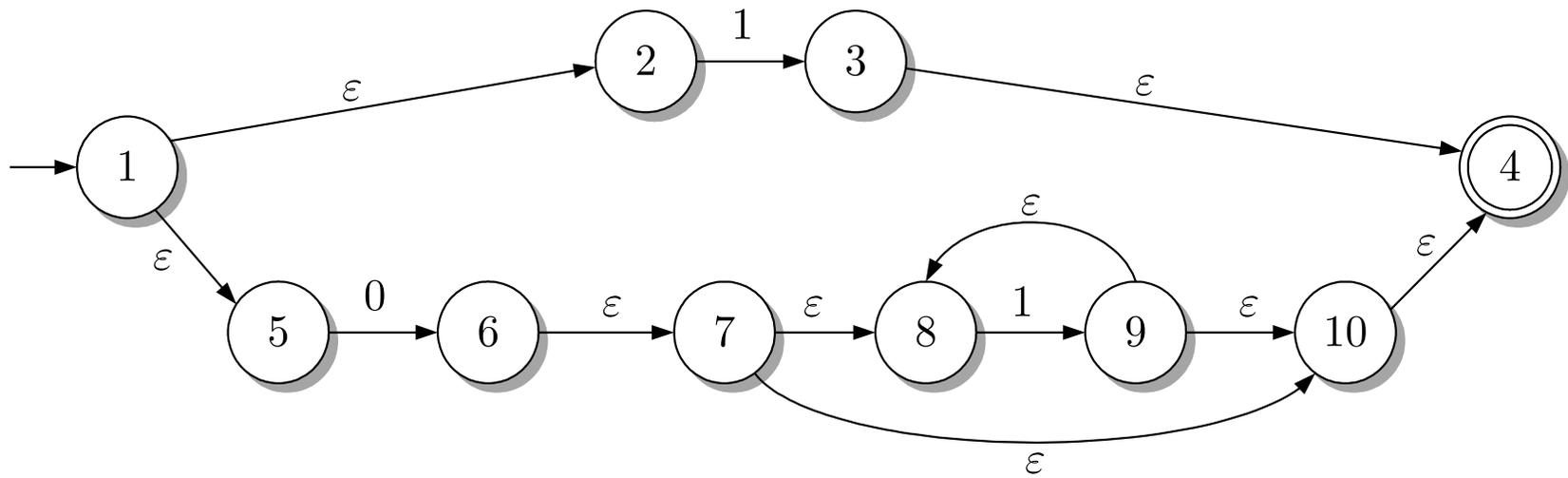


Abb. 4.9. Nichtdeterministischer Automat mit ε -Übergängen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

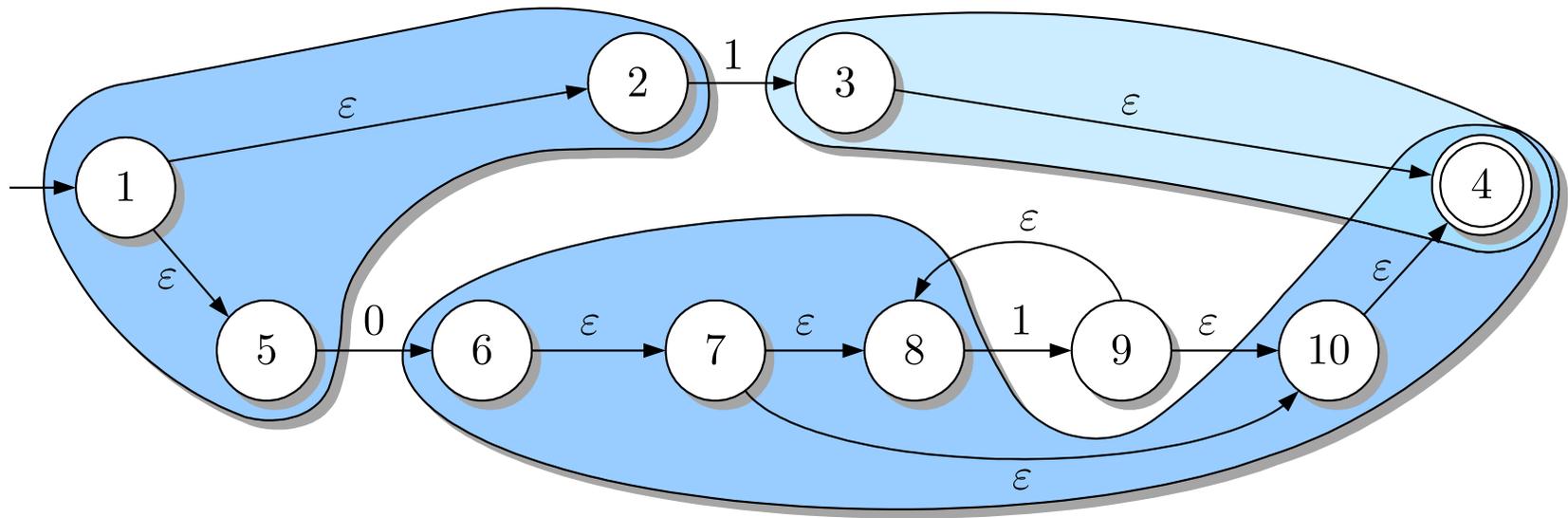


Abb. 4.10. Automat aus Abb. 4.9 mit Kennzeichnung der ϵ -Hüllen der Zustände 1, 3 und 6

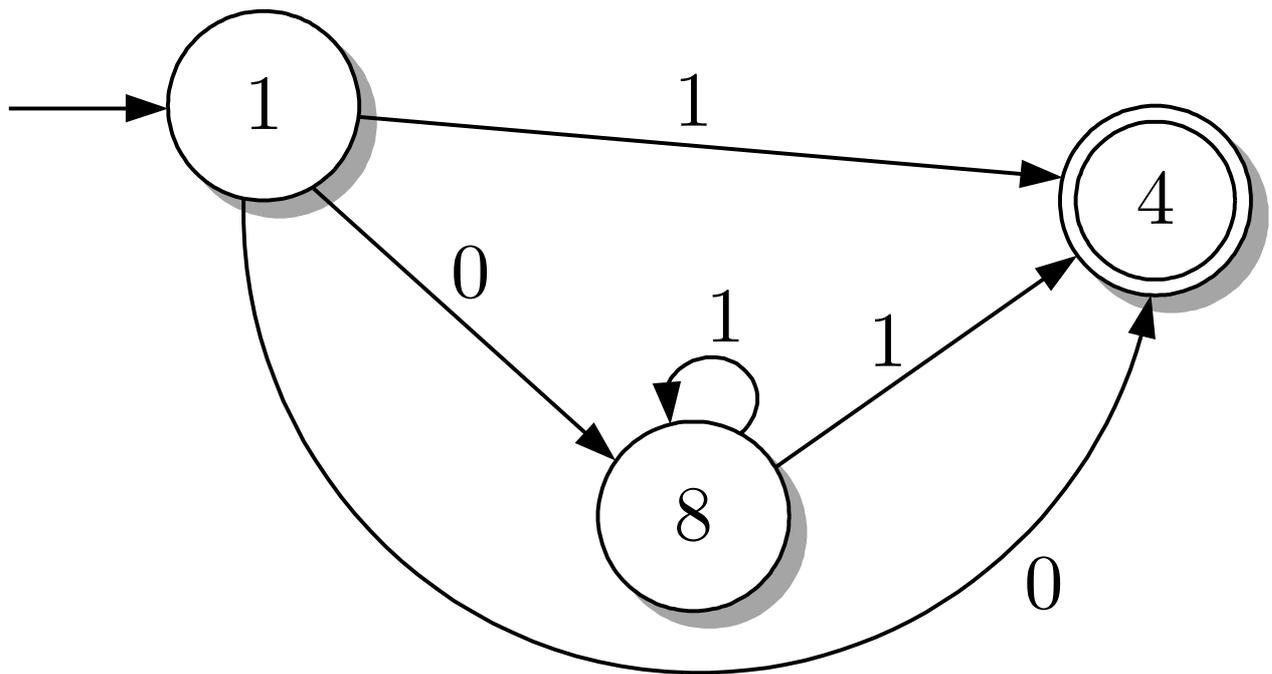


Abb. 4.11: Äquivalenter Automat zu Abb. 4.9

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

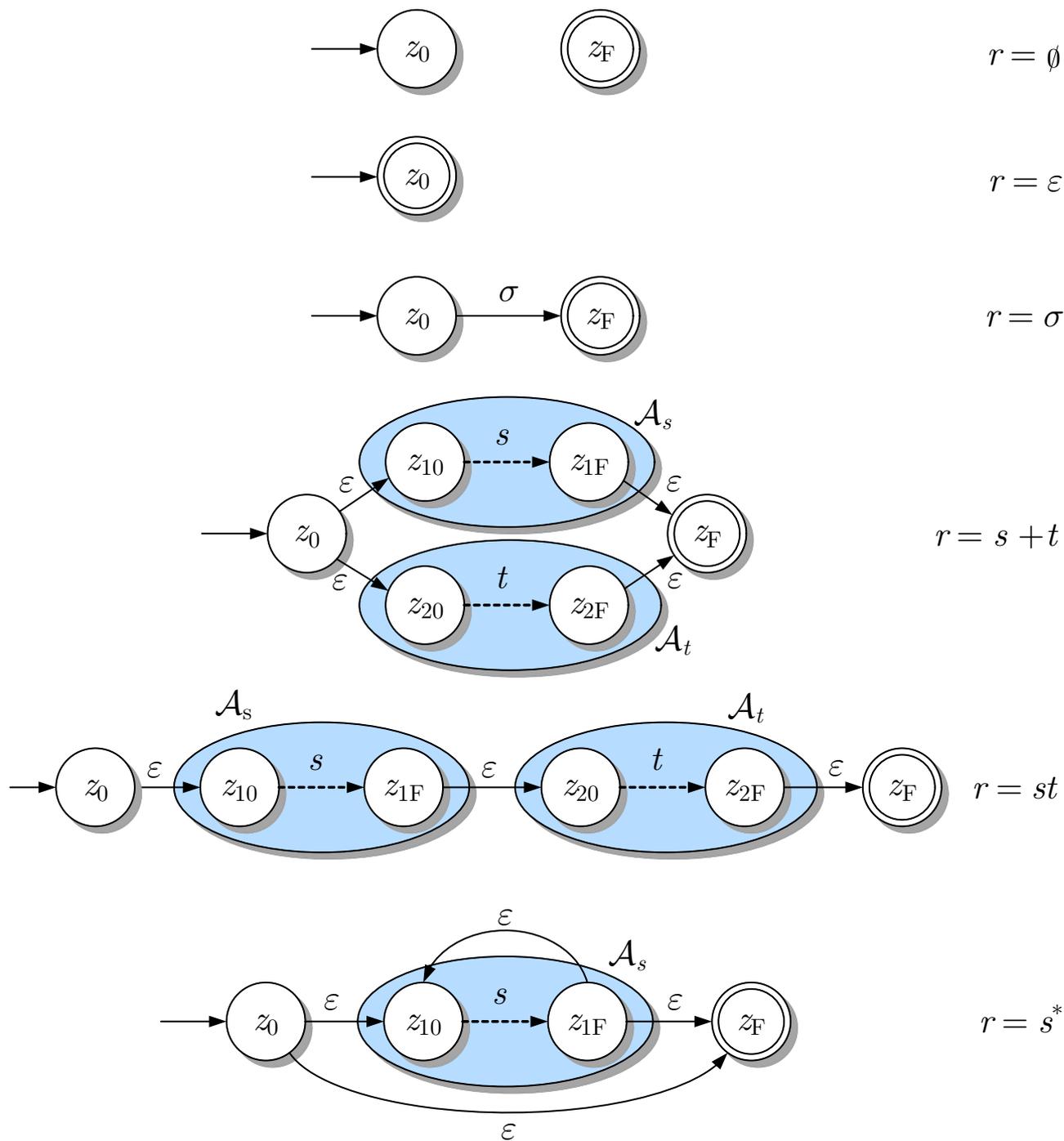


Abb. 4.12: Akzeptoren für reguläre Mengen

J. LUNZE: Ereignisdiskrete Systeme, Edition MoRa 2025

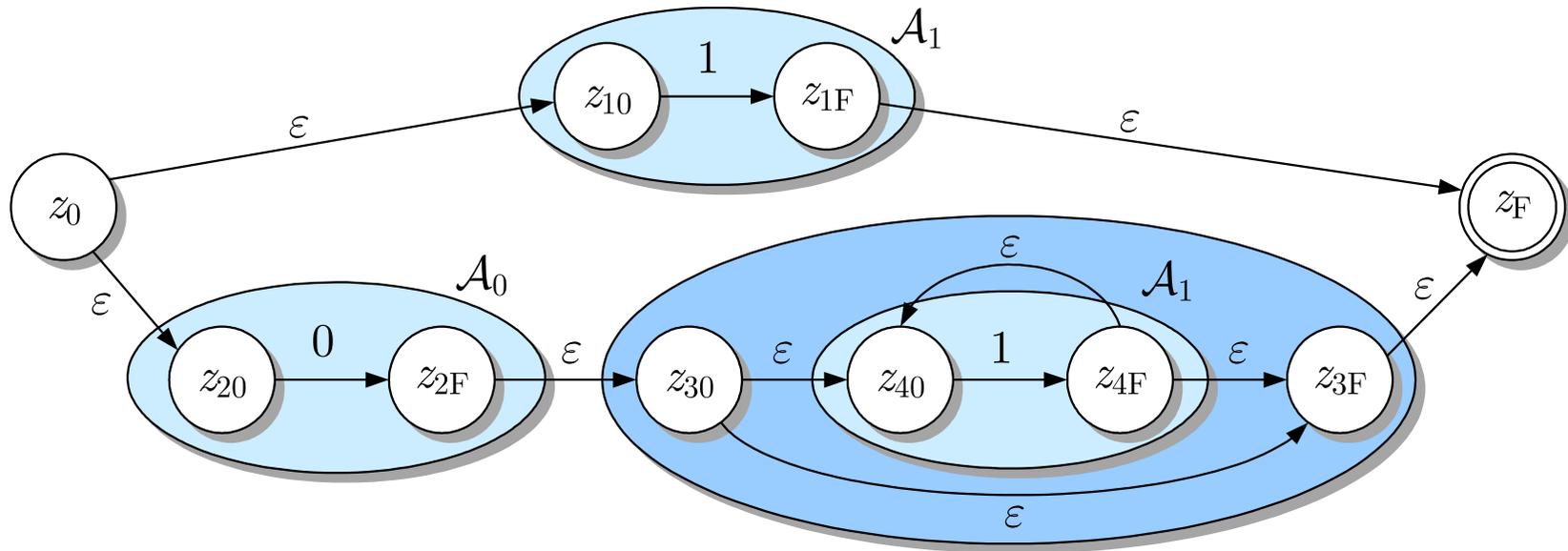


Abb. 4.13. Akzeptor für die Sprache $1 + 01^*$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

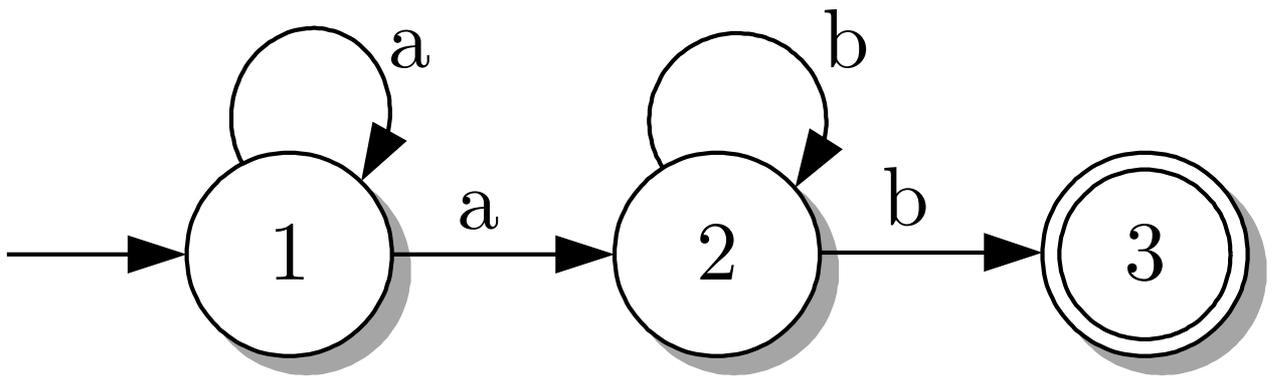


Abb. 4.14: Akzeptor der Sprache \mathcal{L}_4

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

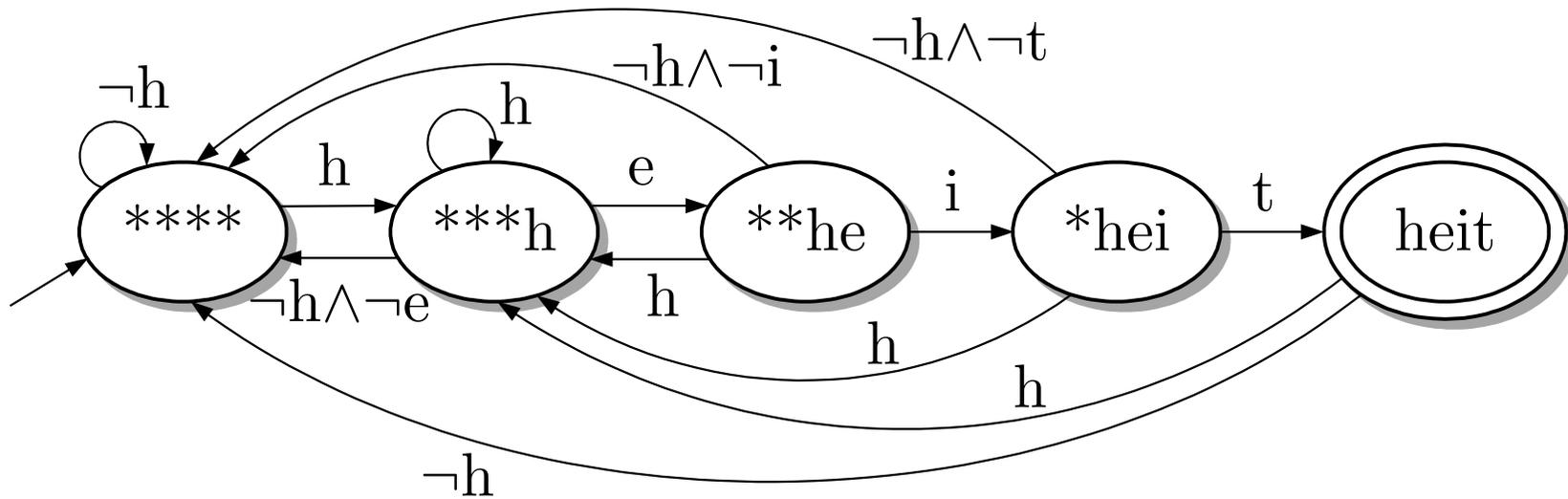


Abb. 4.15. Deterministischer Automat, der dieselbe Sprache akzeptiert wie der in Abb. 4.5 gezeigte nichtdeterministische Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

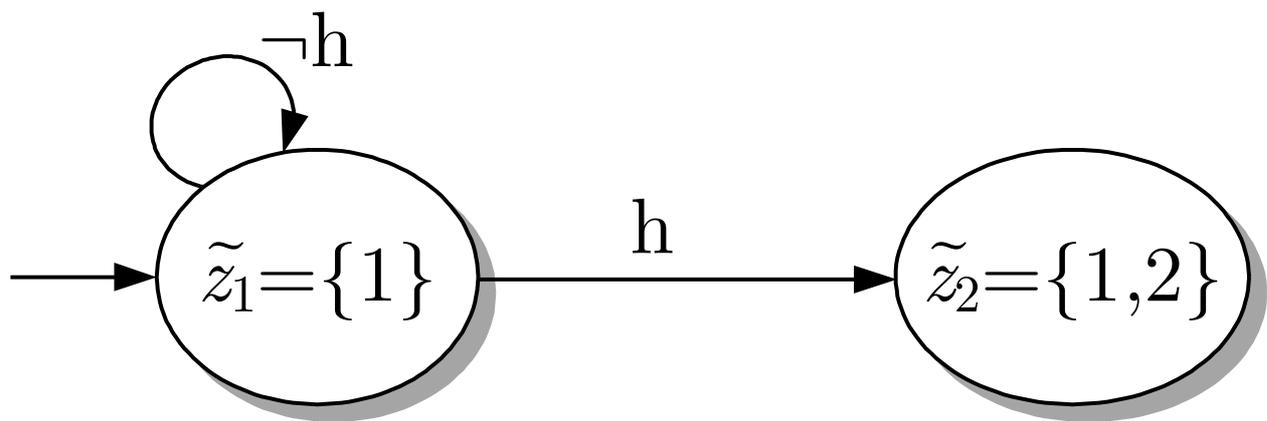


Abb. 4.16: Teil des deterministischen Akzeptors, der nach dem ersten Iterationsschritt von Algorithmus 4.1 erhalten wurde

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

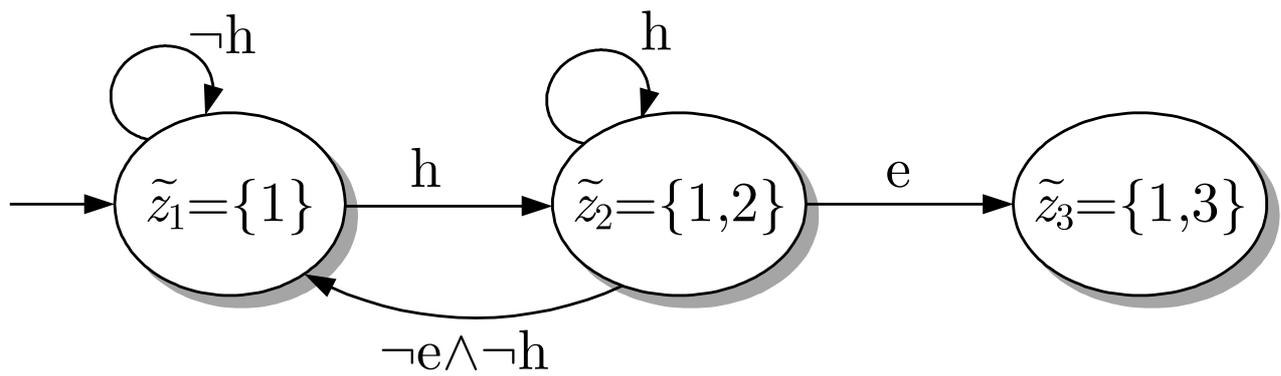


Abb. 4.17: Teil des deterministischen Akzeptors, der nach dem zweiten Iterationsschritt erhalten wurde

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

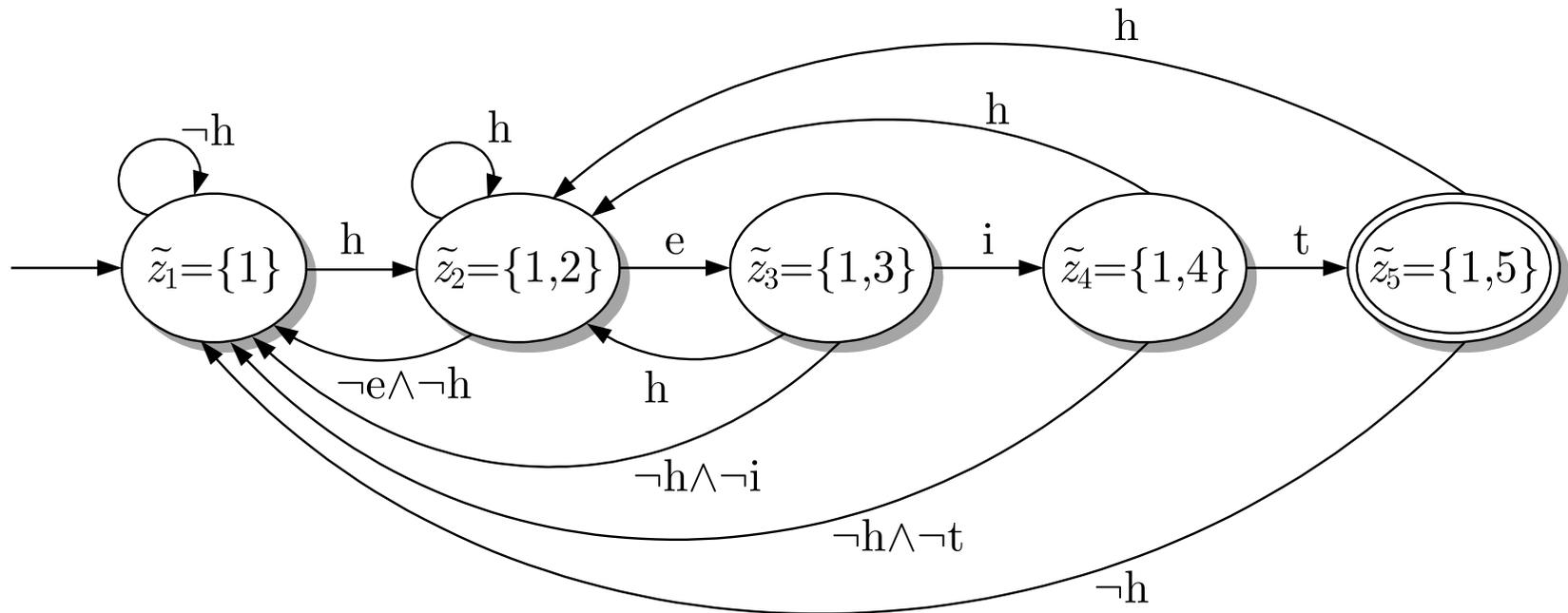


Abb. 4.18. Deterministischer Akzeptor für Wörter mit der Endung „heit“

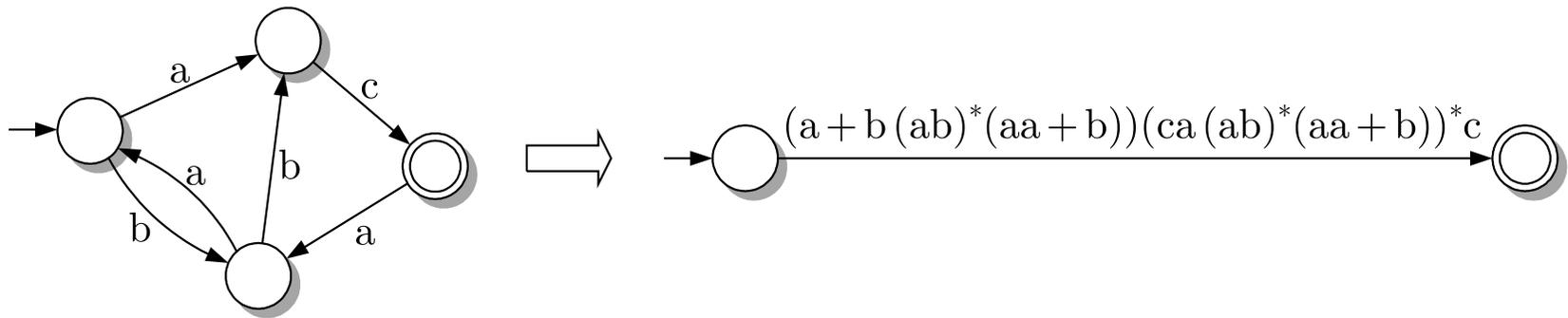


Abb. 4.19. Lösungsweg

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

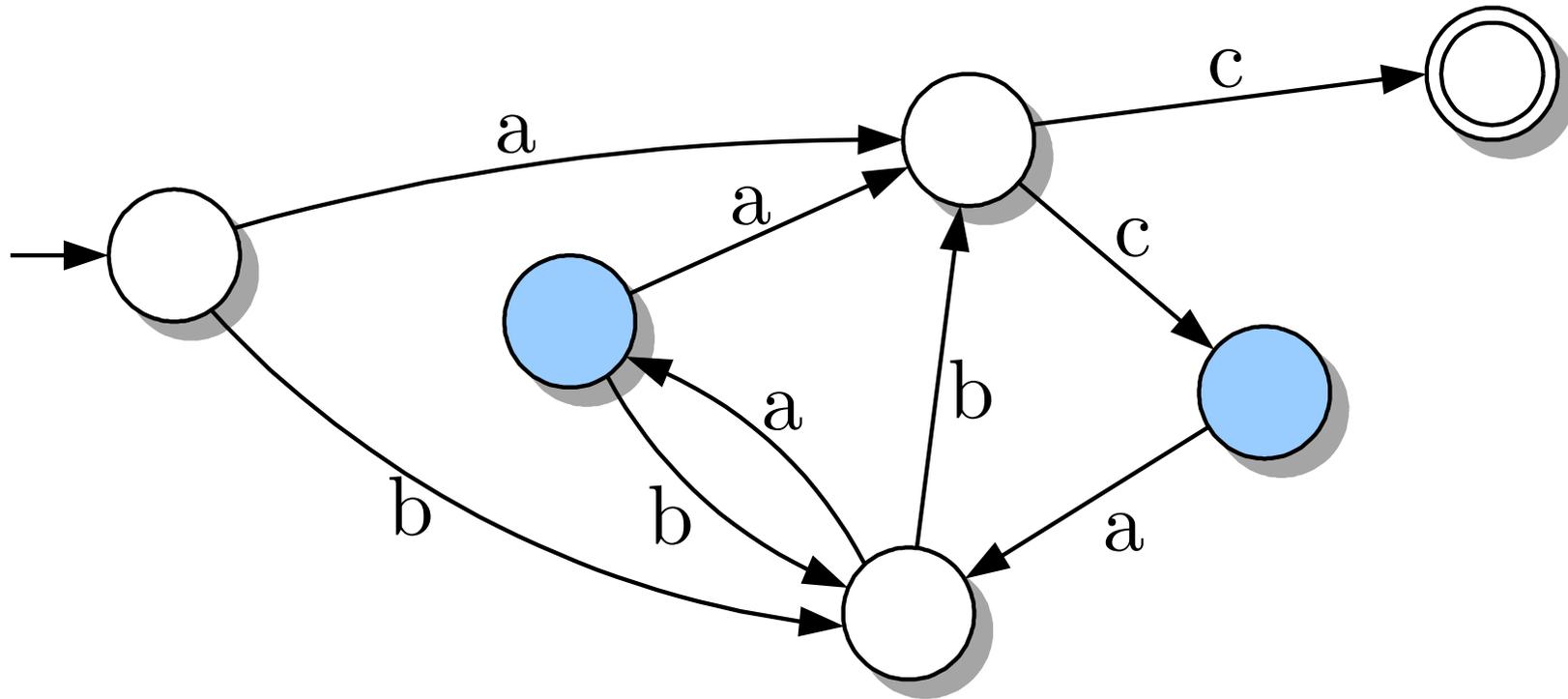


Abb. 4.20. Einführung eines separaten Anfangs- und Endzustands

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

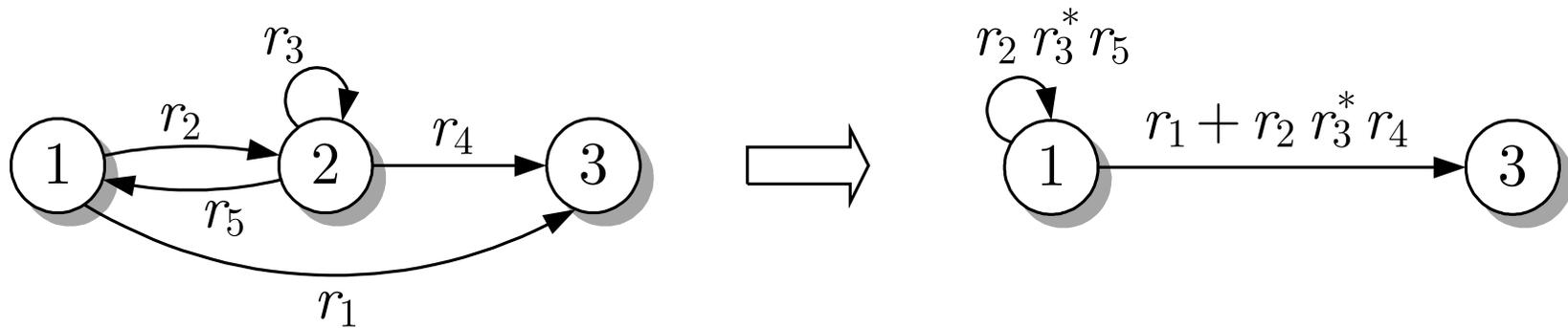


Abb. 4.21. Prinzip der Zustandselimination

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

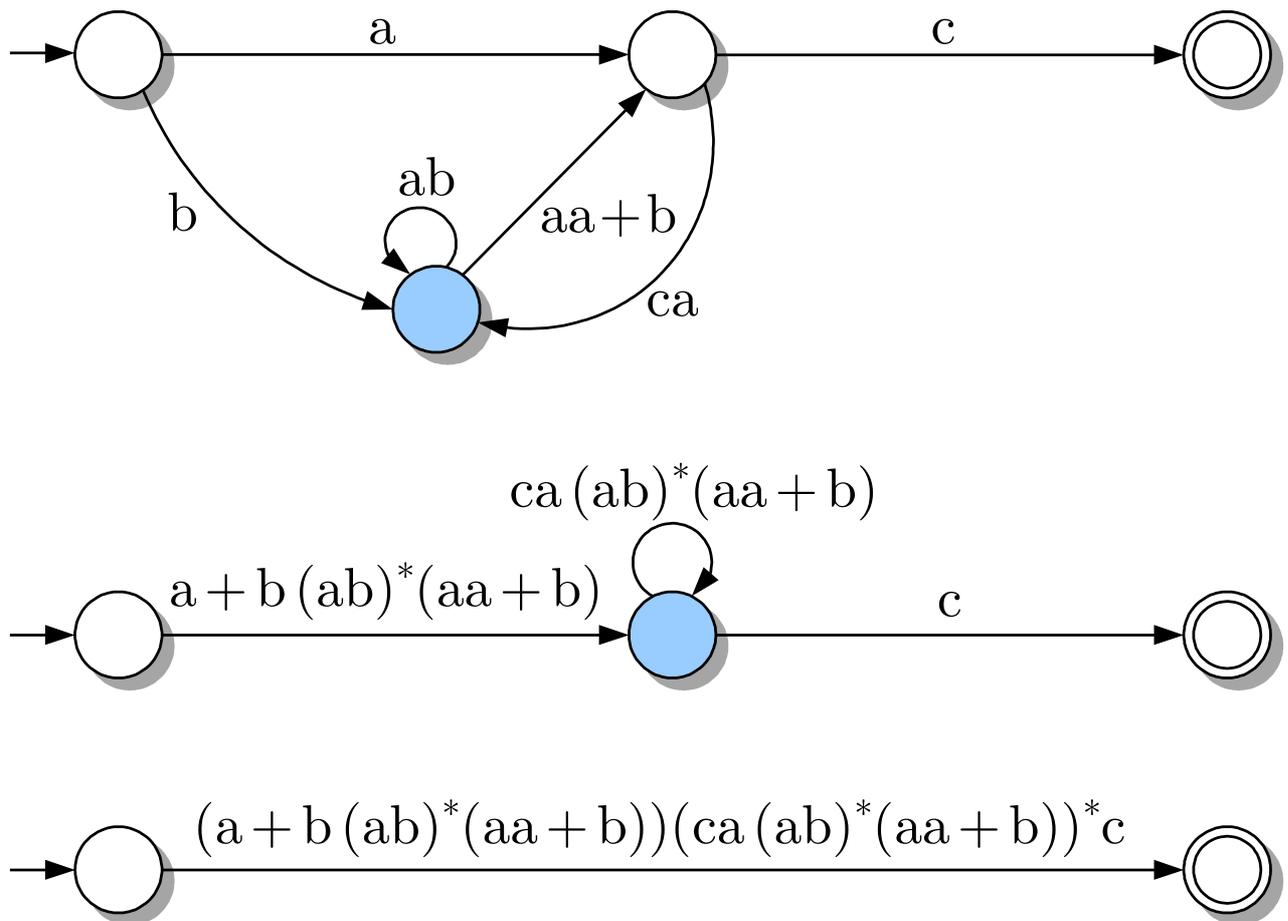


Abb. 4.22: Schrittweise Elimination von Zuständen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

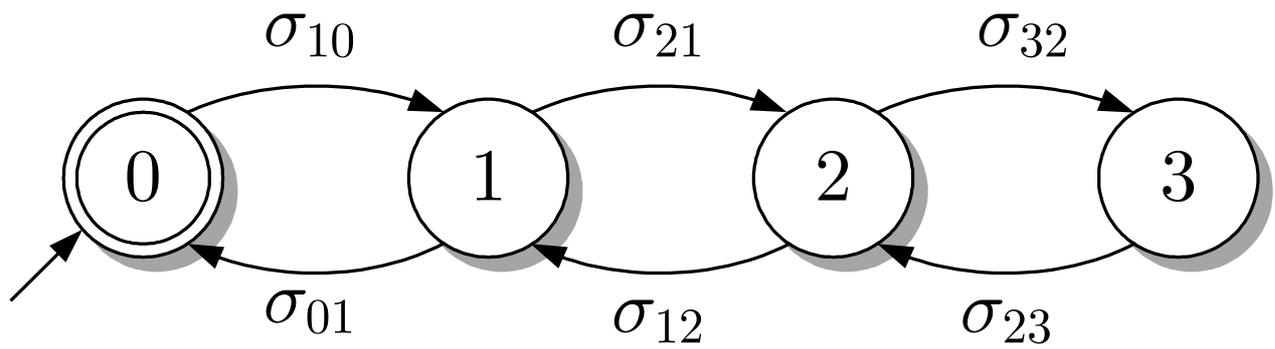


Abb. 4.23: Automat, der die Bewegung eines Fahrstuhls beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

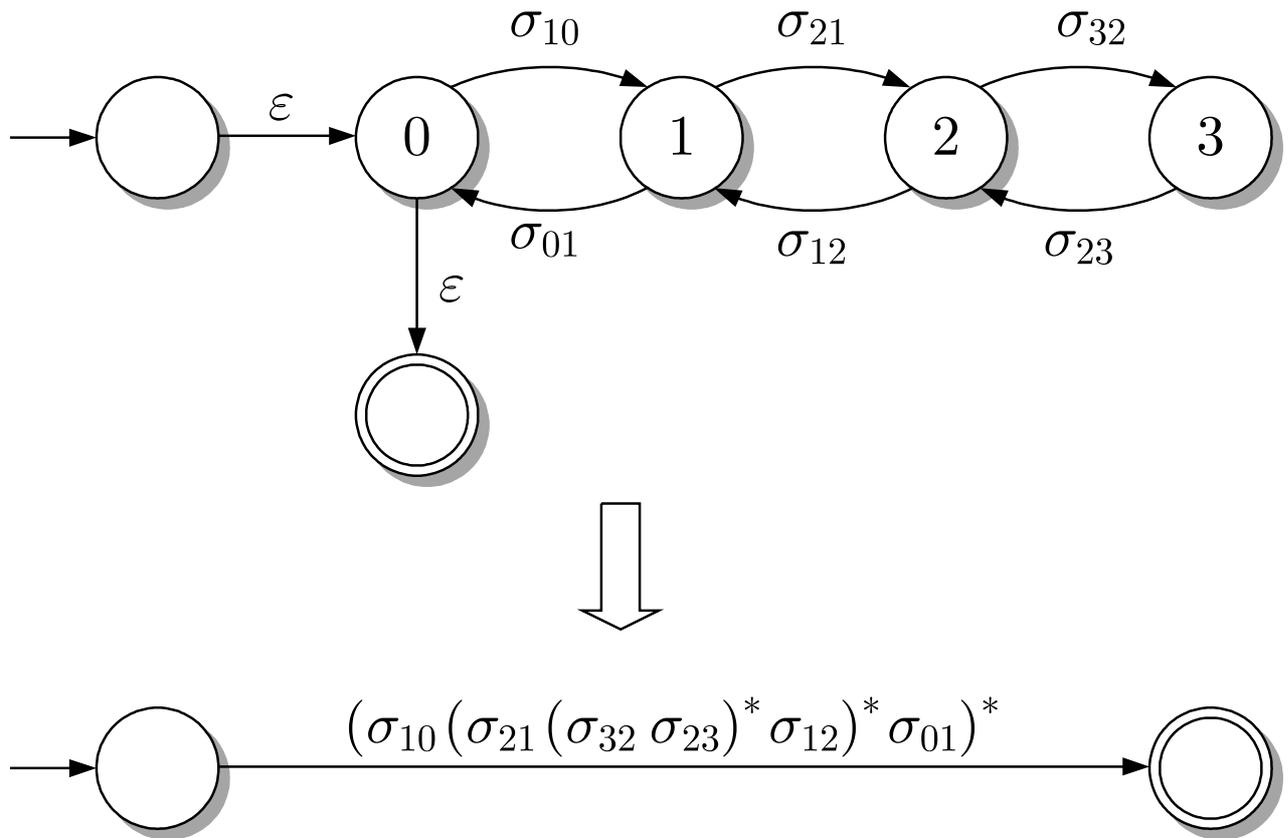


Abb. 4.24: Ableitung des regulären Ausdrucks für den Fahrstuhl

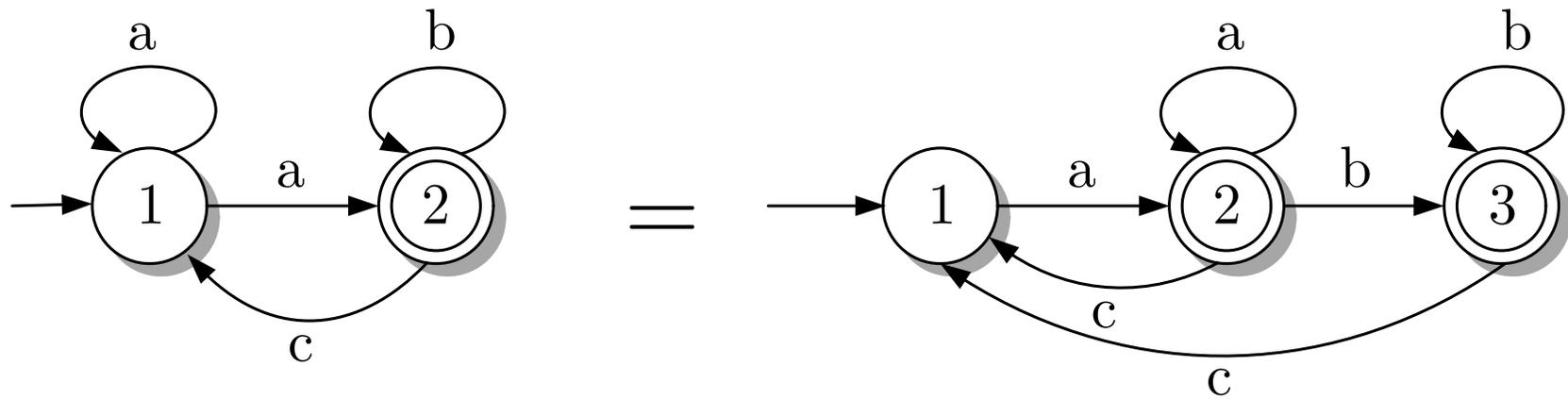


Abb. 4.25. Äquivalenz zwischen deterministischem und nichtdeterministischem Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

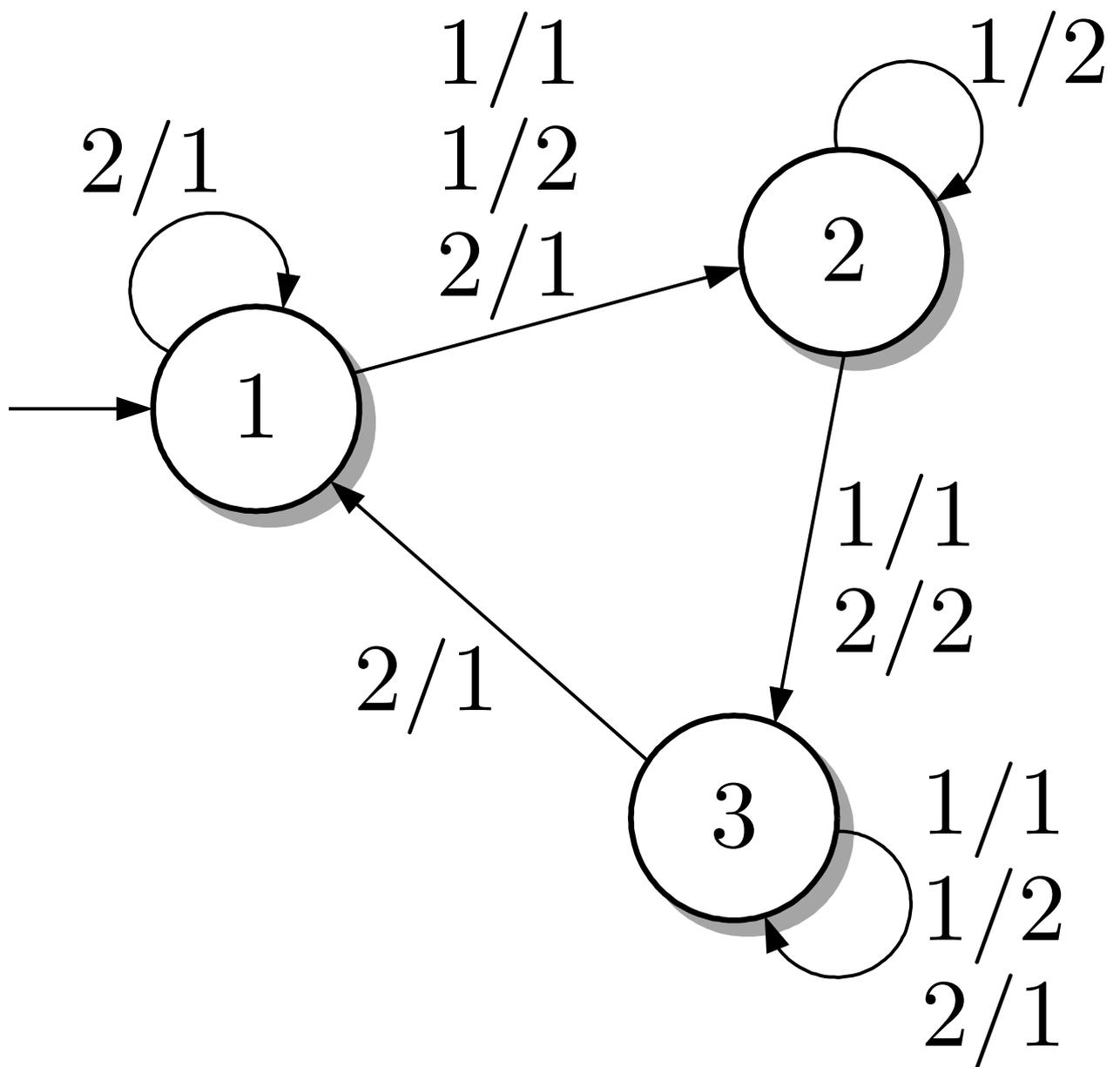


Abb. 4.26: Nichtdeterministischer E/A-Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

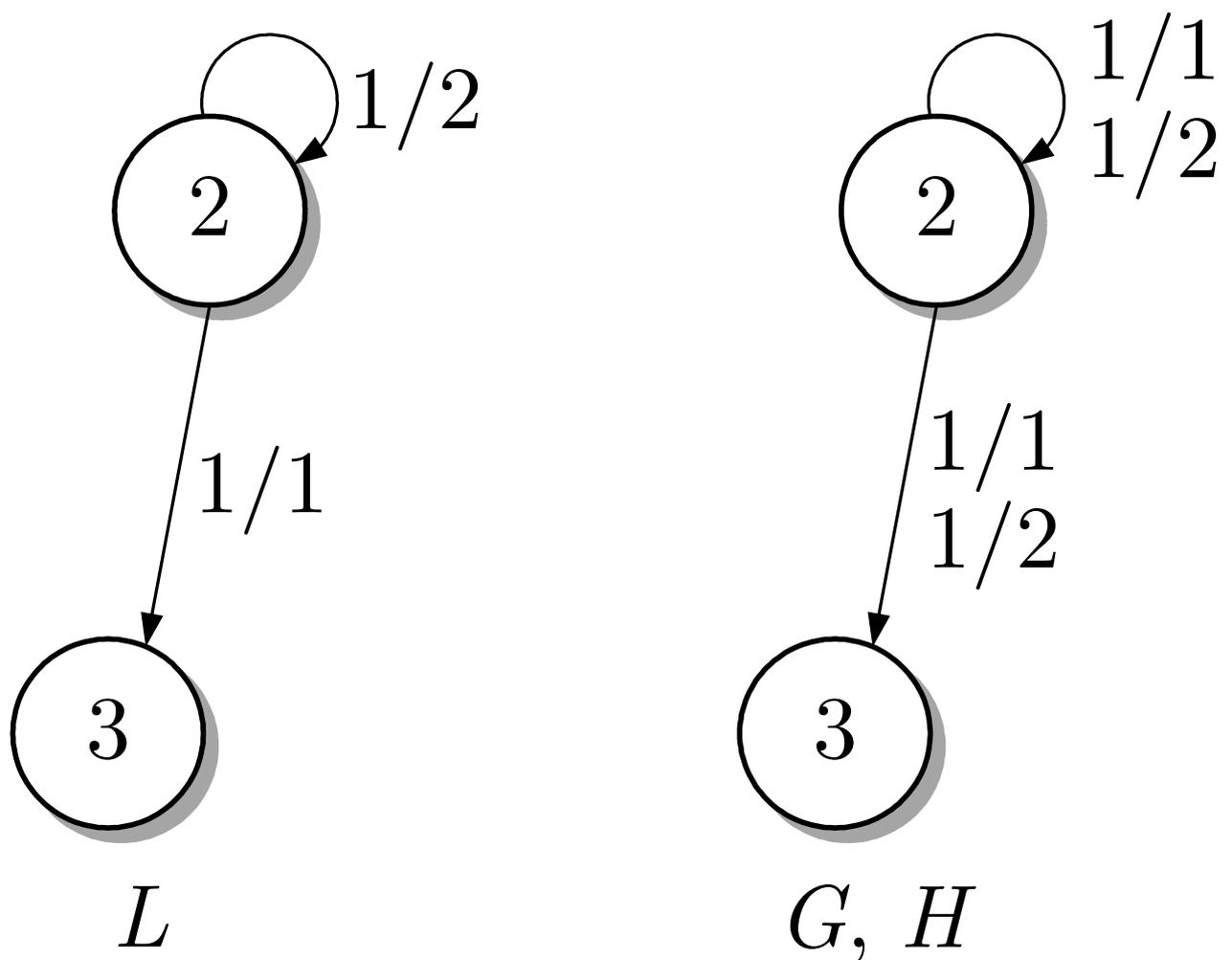


Abb. 4.27: Vergleich der Darstellungen eines nichtdeterministischen Automaten durch die Verhaltensrelation L bzw. die Funktionen G und H

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

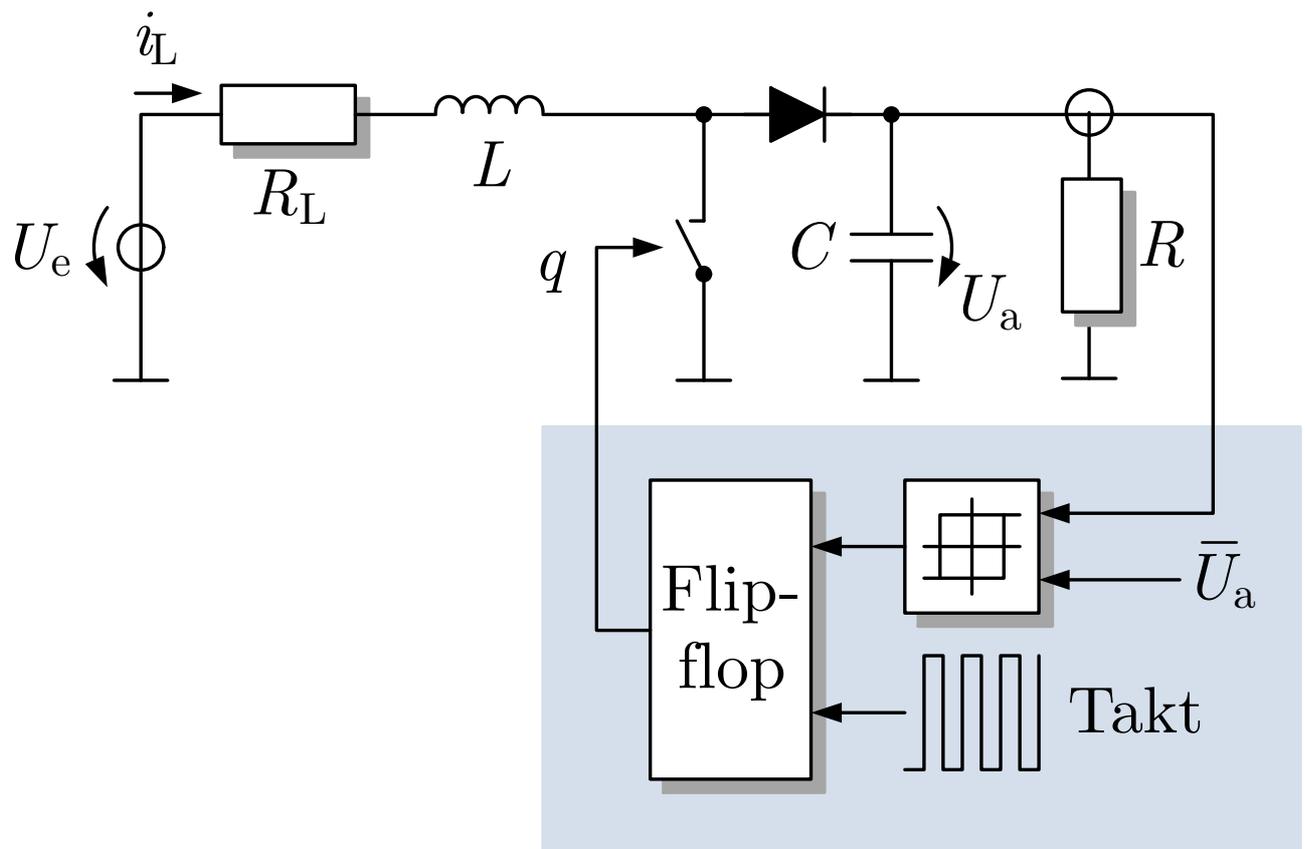


Abb. 4.28: Gleichspannungswandler

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

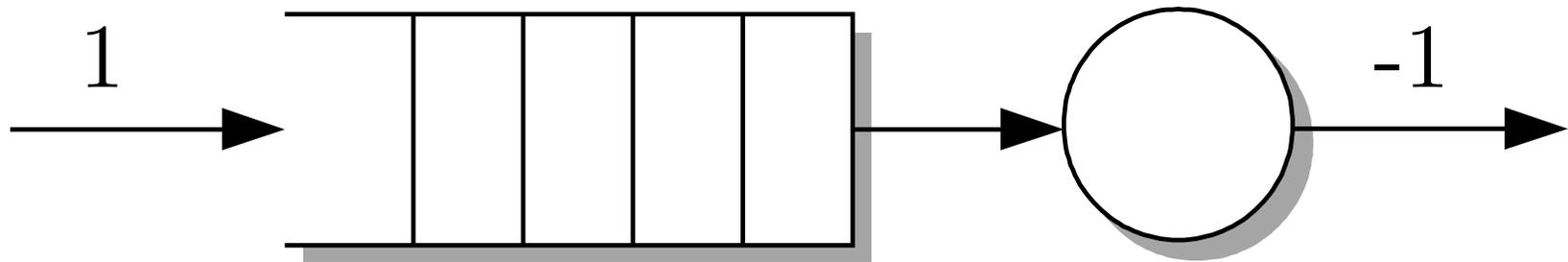


Abb. 4.29. Warteschlange mit 5 Plätzen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

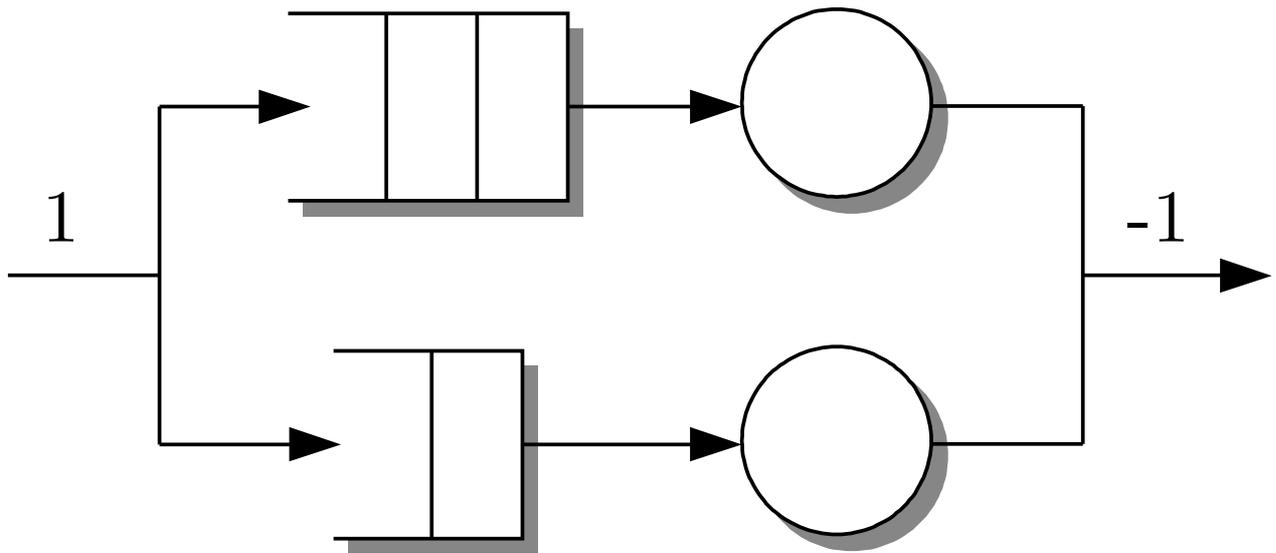
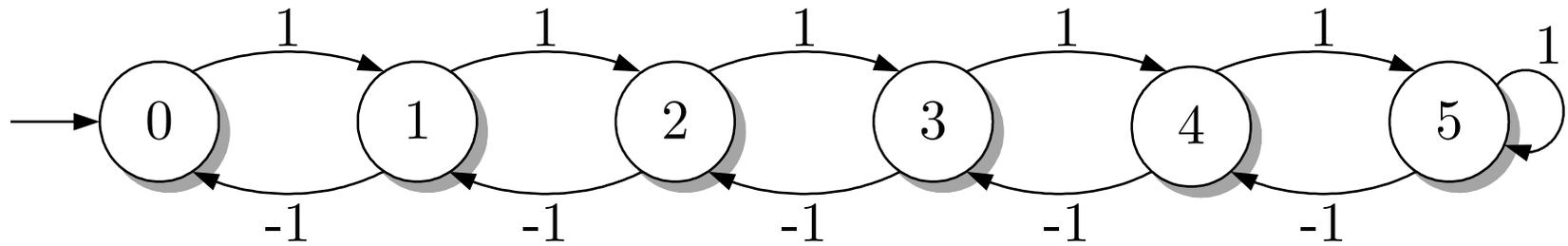


Abb. 4.29: Parallelbetrieb von zwei Maschinen mit getrennten Warteschlangen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 4.30. Deterministischer Automat zur Beschreibung der Warteschlange aus
Abb. 4.29**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

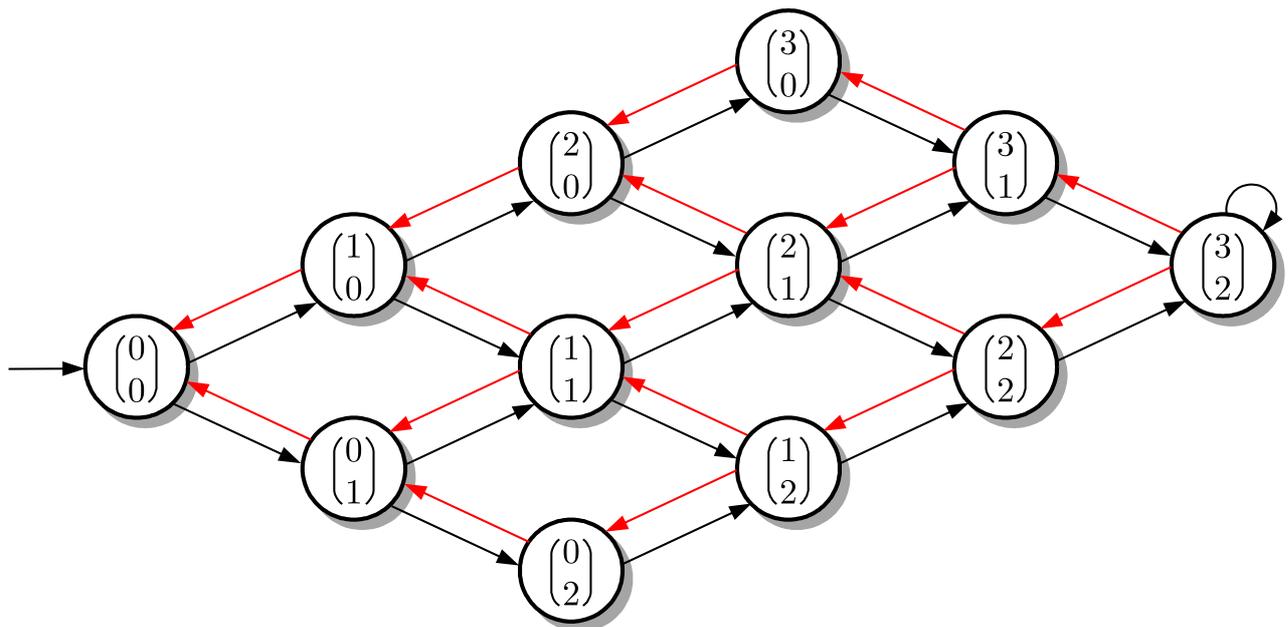


Abb. 4.31: Nichtdeterministischer Automat, der den Parallelbetrieb von zwei Maschinen beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

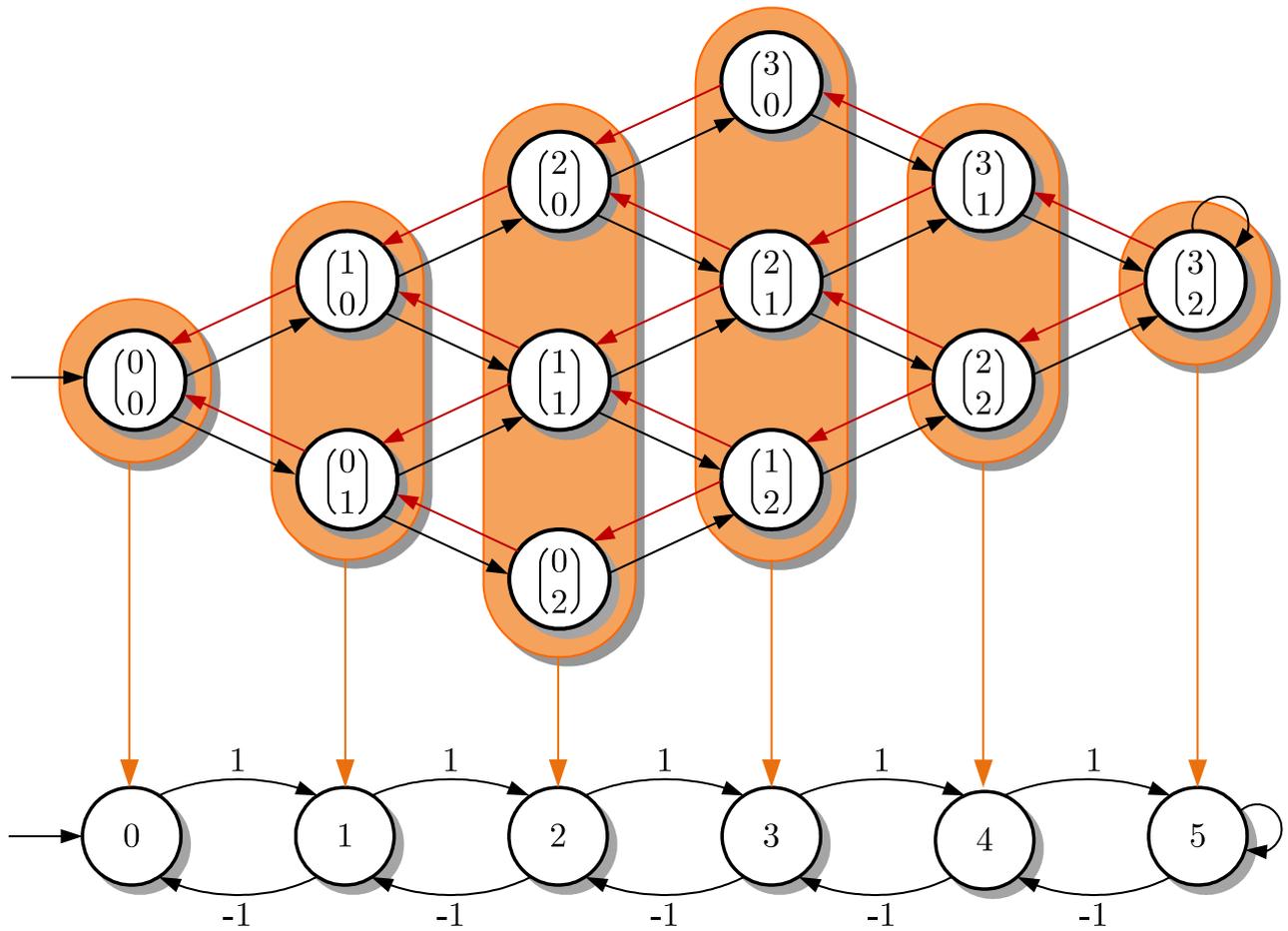


Abb. 4.32: Homomorphismus zwischen den Modellen aus Abb. 4.30 und 4.31

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

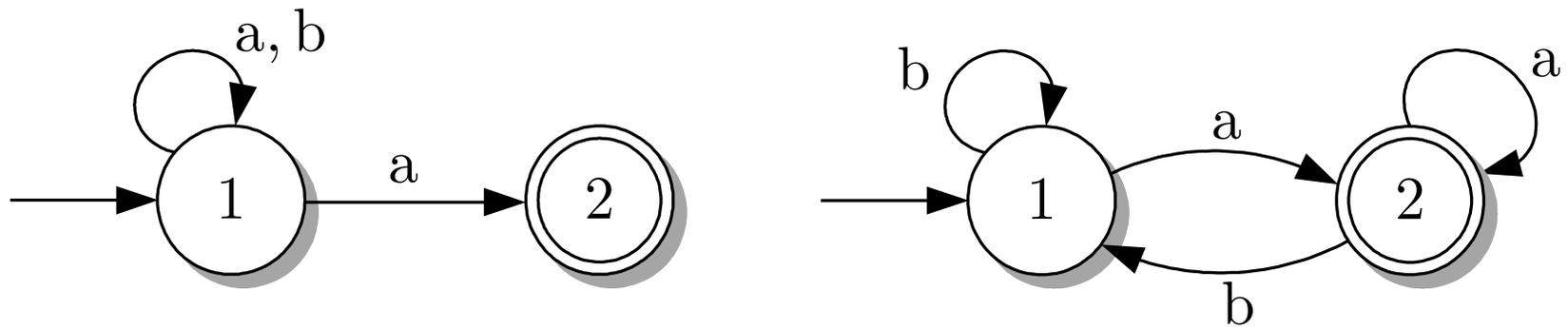


Abb. 4.33. Zwei äquivalente minimale nichtdeterministische Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

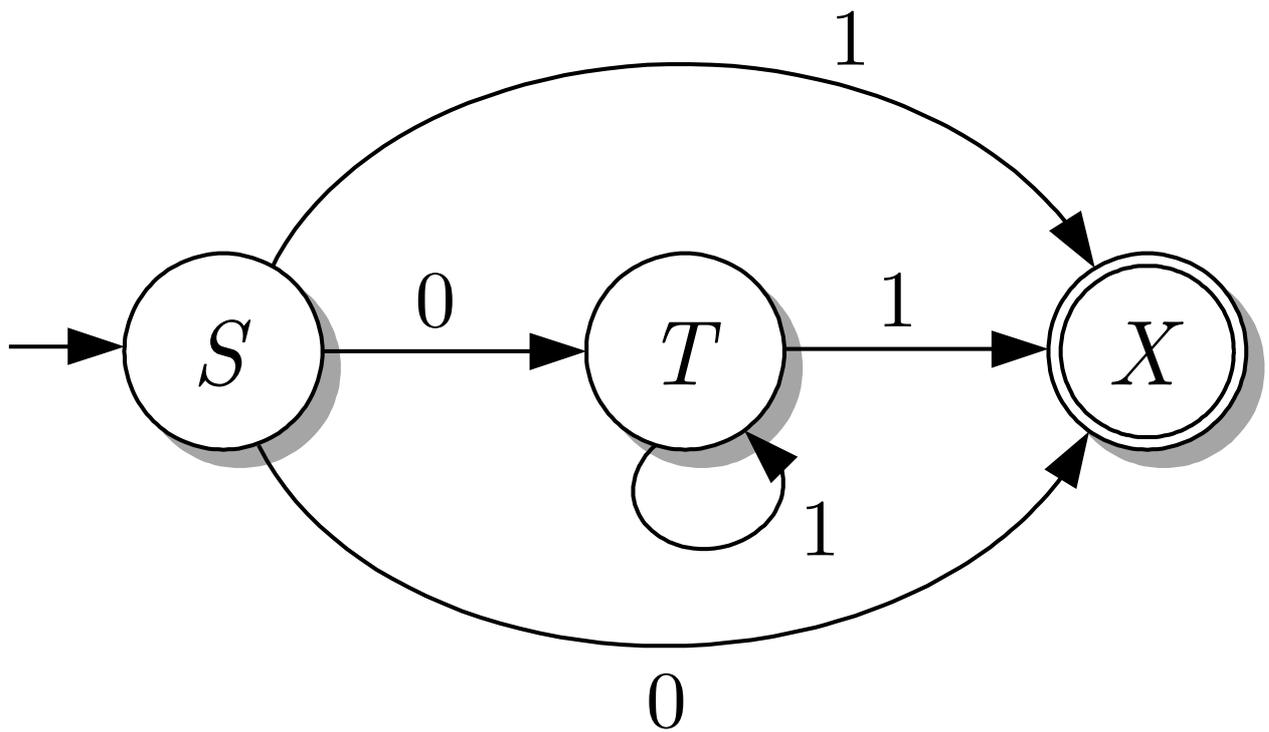


Abb. 4.34: Akzeptor der durch die Grammatik aus Beispiel 4.14 beschriebenen regulären Sprache

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

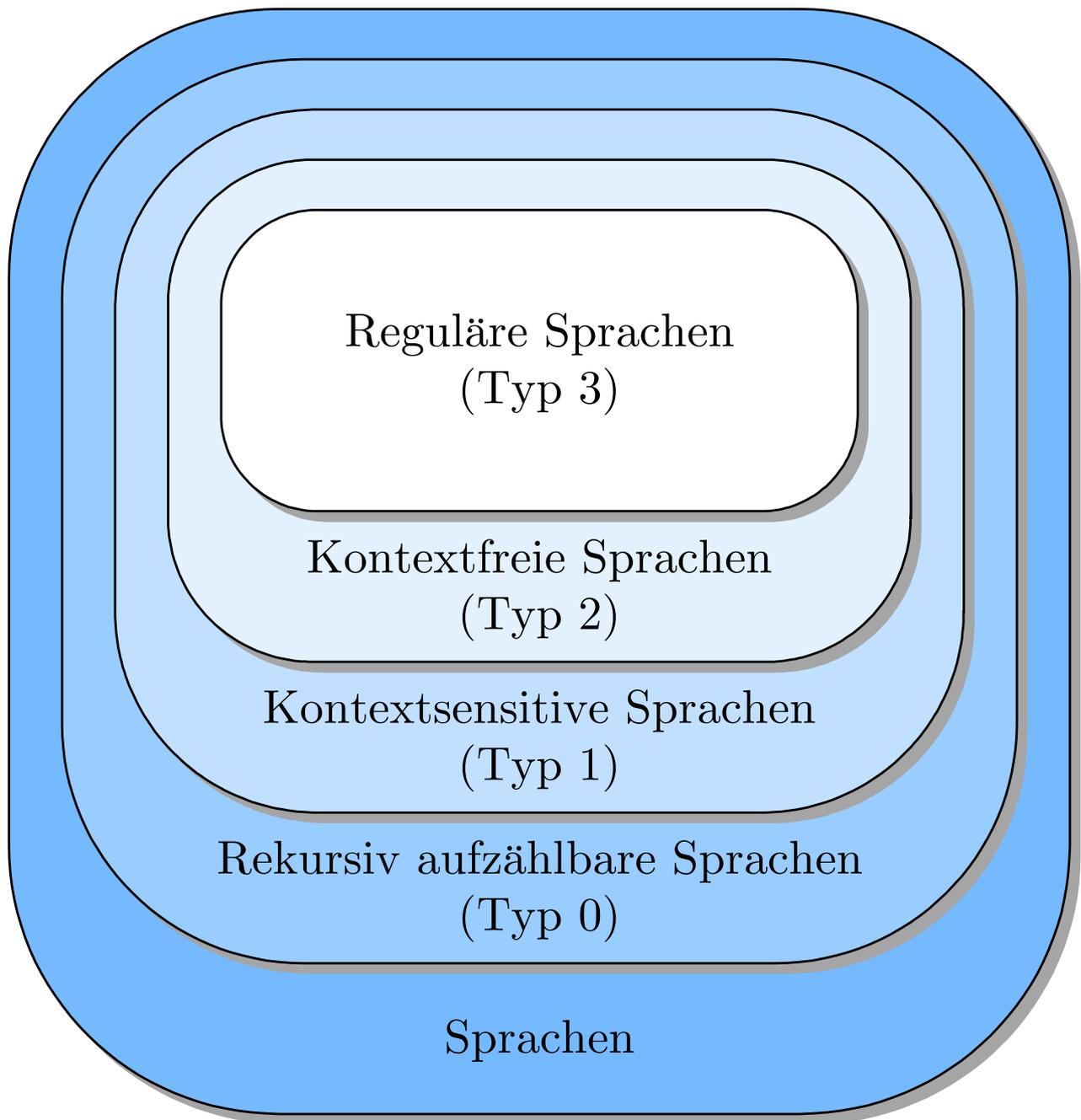


Abb. 4.35: Chomsky-Hierarchie formaler Sprachen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

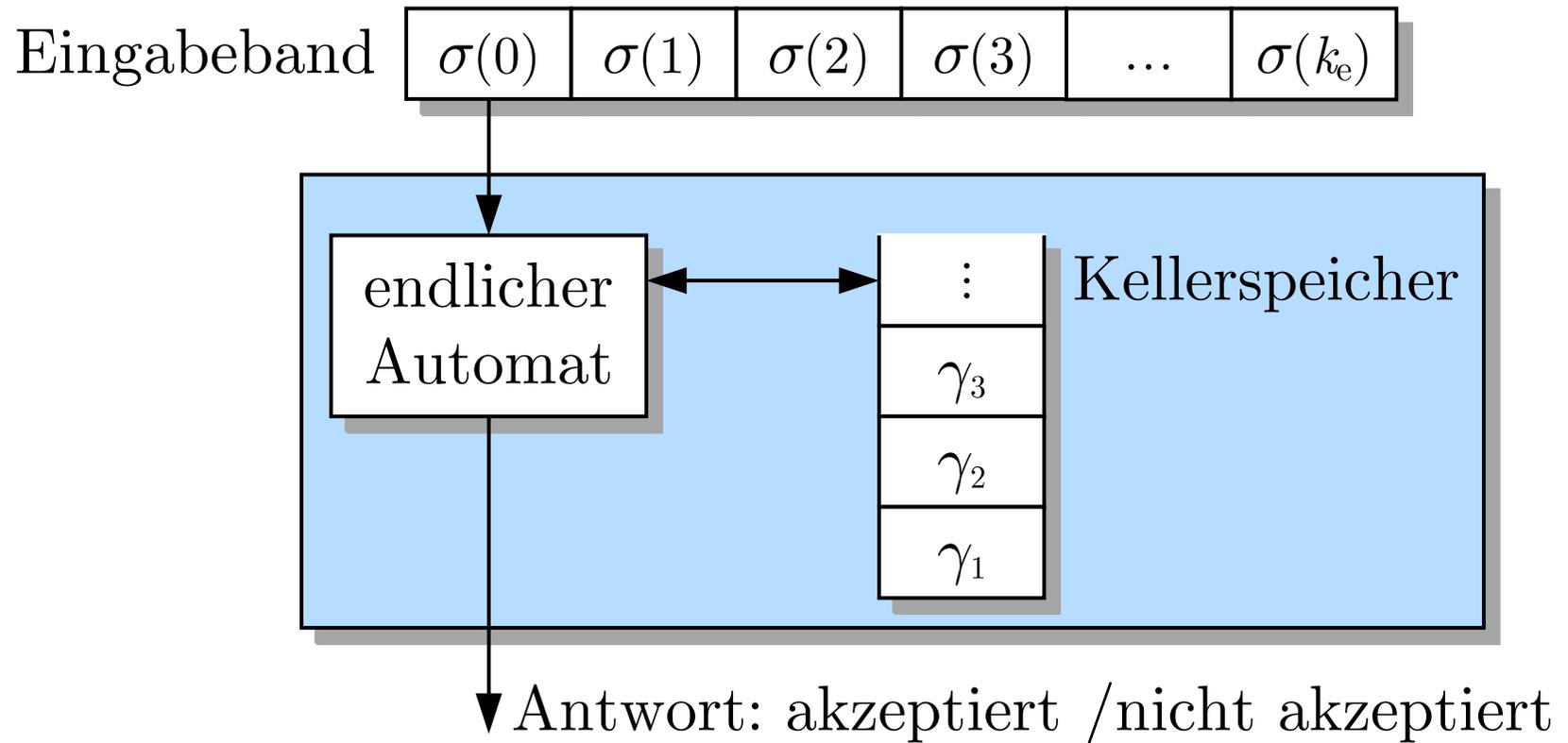


Abb. 4.36. Kellerautomat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

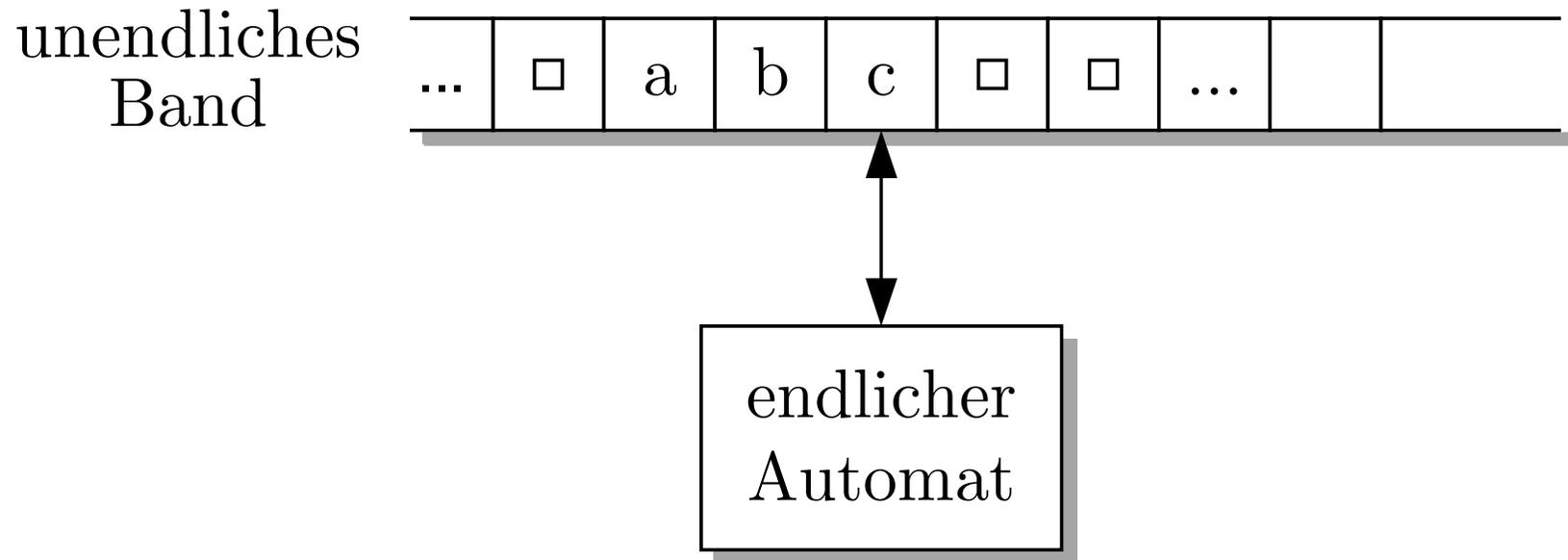


Abb. 4.37. Turingmaschine

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

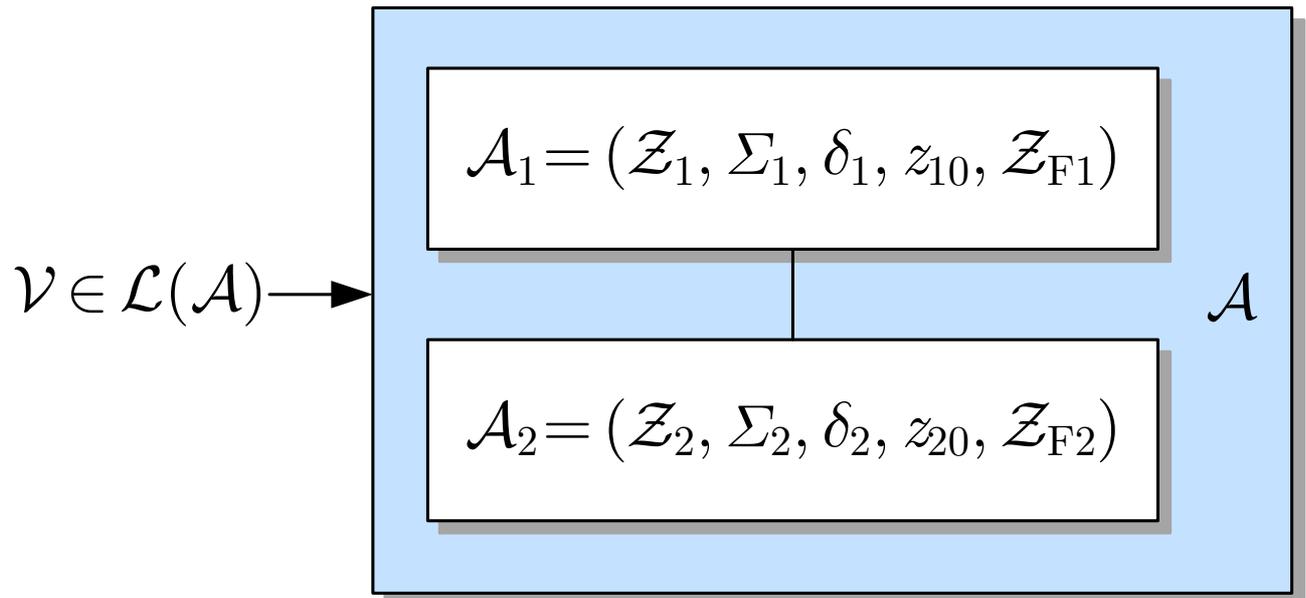


Abb. 5.1: Zusammenschaltung zweier Σ -Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

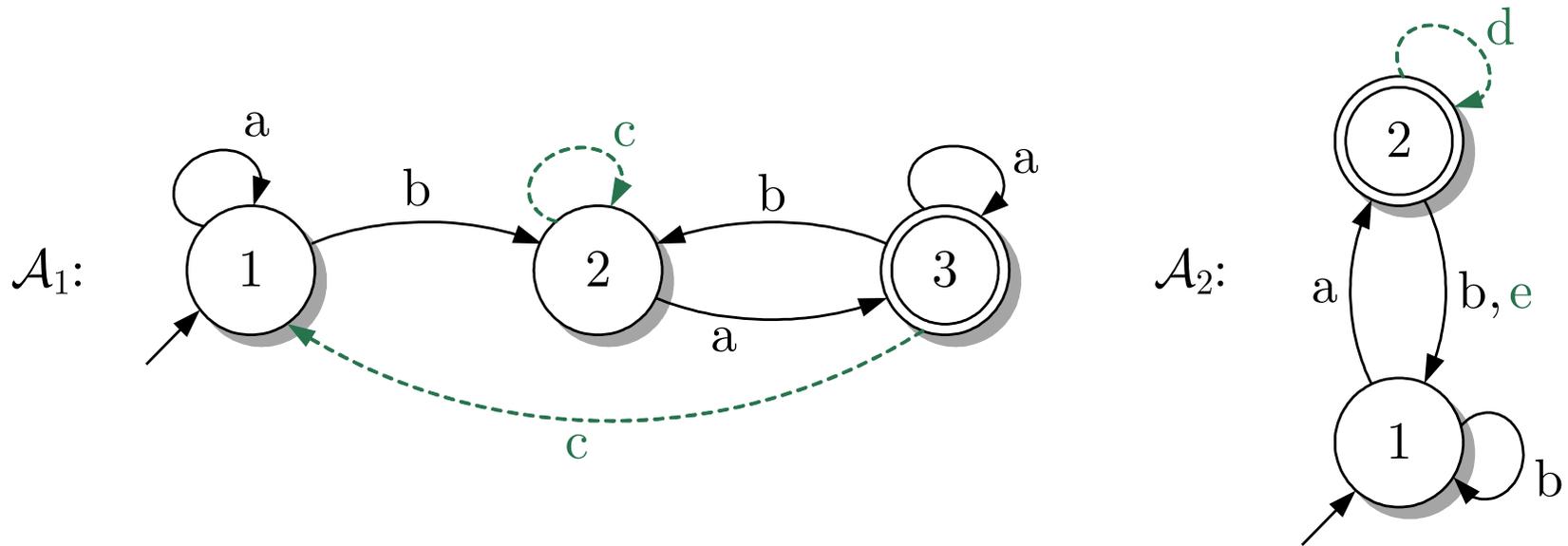


Abb. 5.2. Zwei Σ -Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

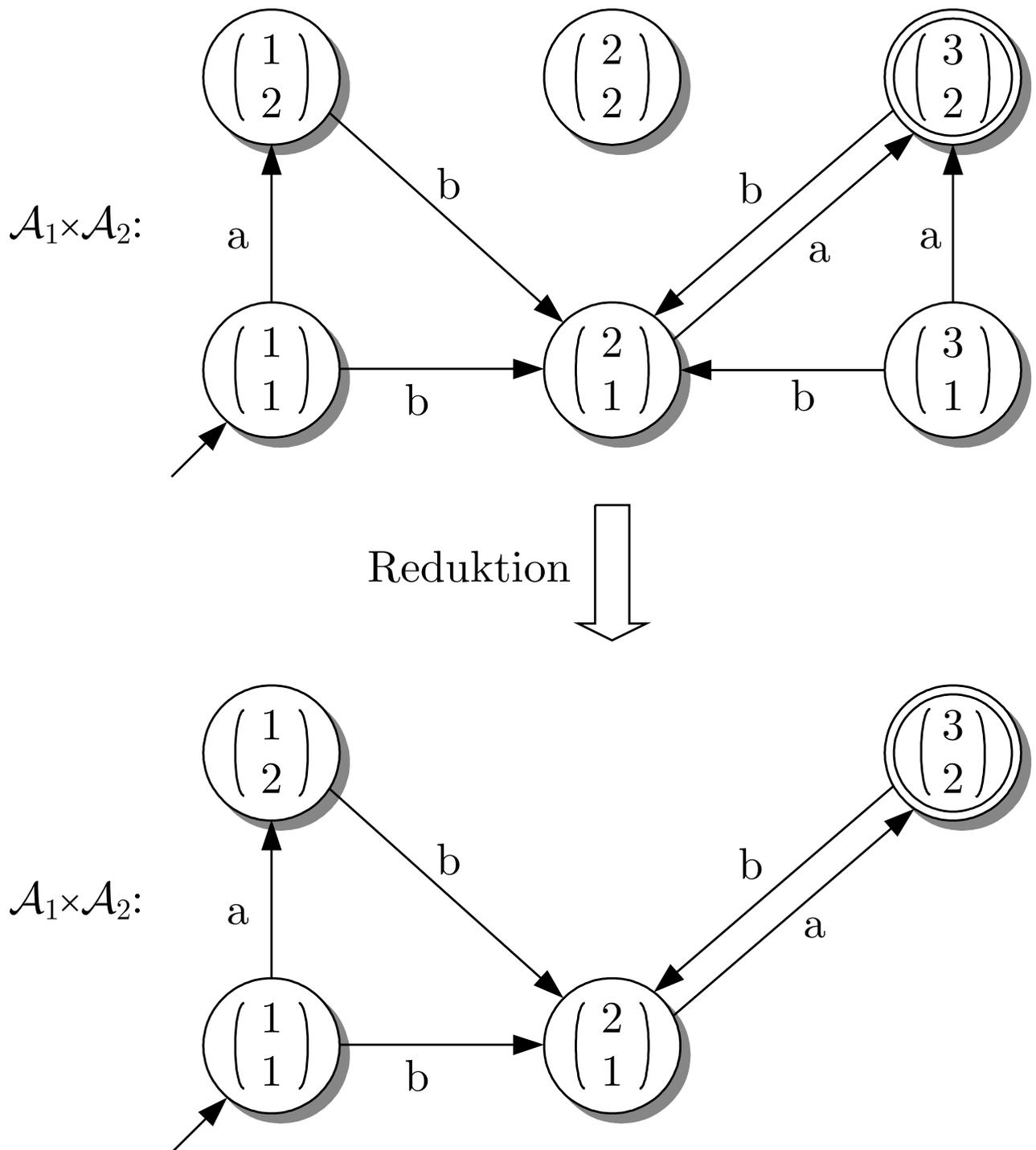


Abb. 5.3: Produkt der Σ -Automaten aus Abb. 5.2

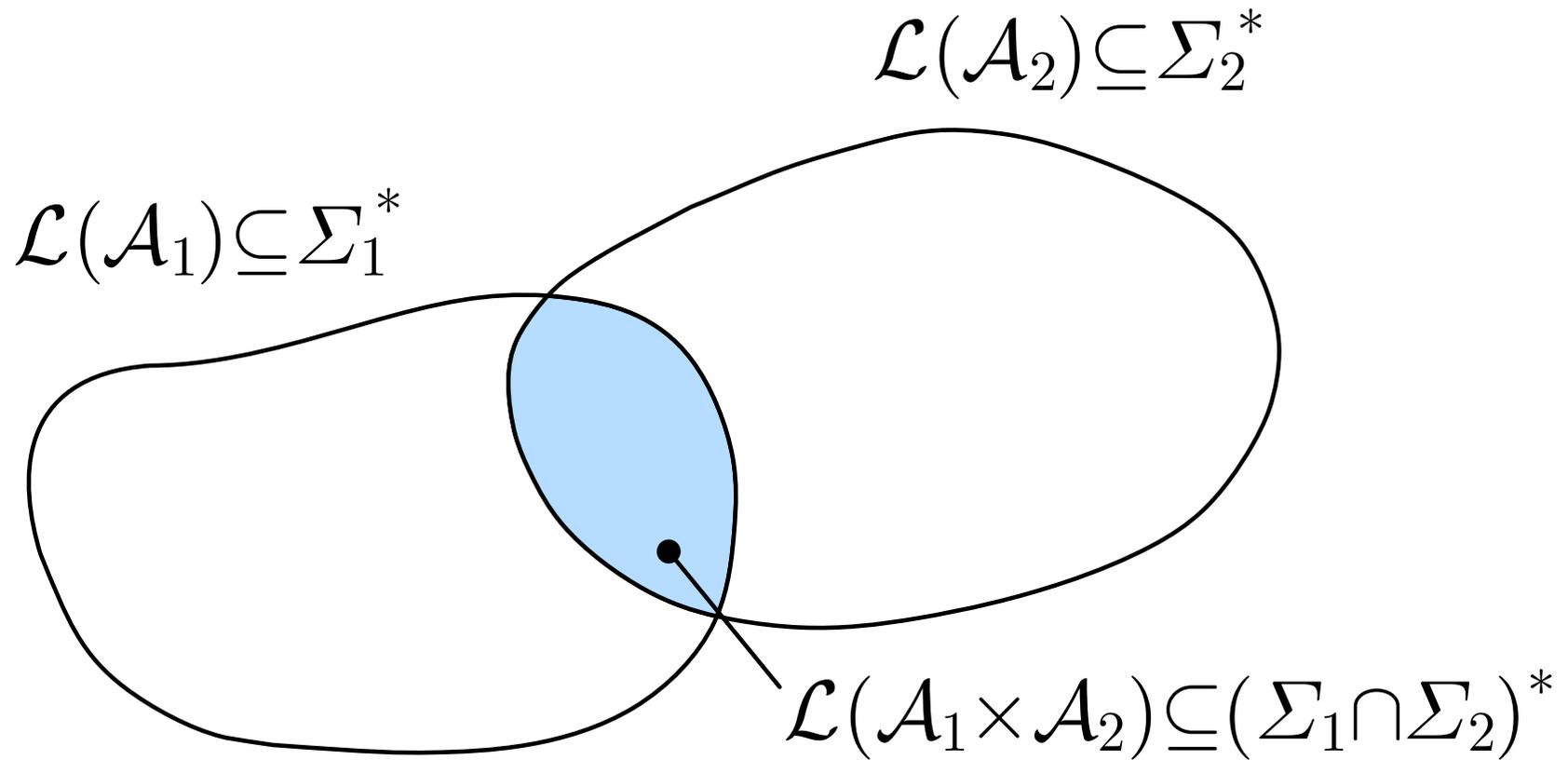


Abb. 5.4. Sprache des Produktautomaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

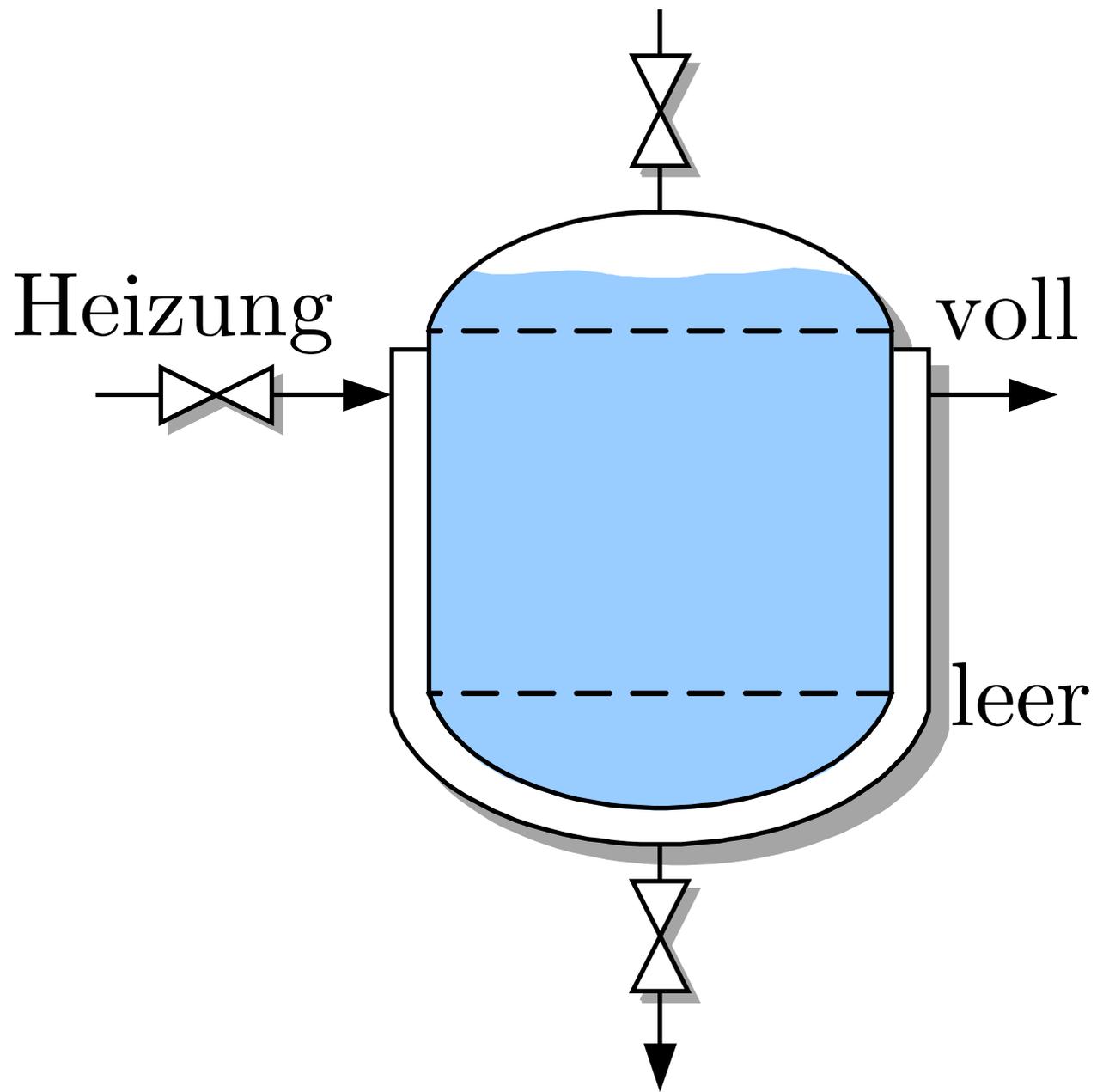


Abb. 5.5: Reaktor

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

Reaktormodell \mathcal{A}

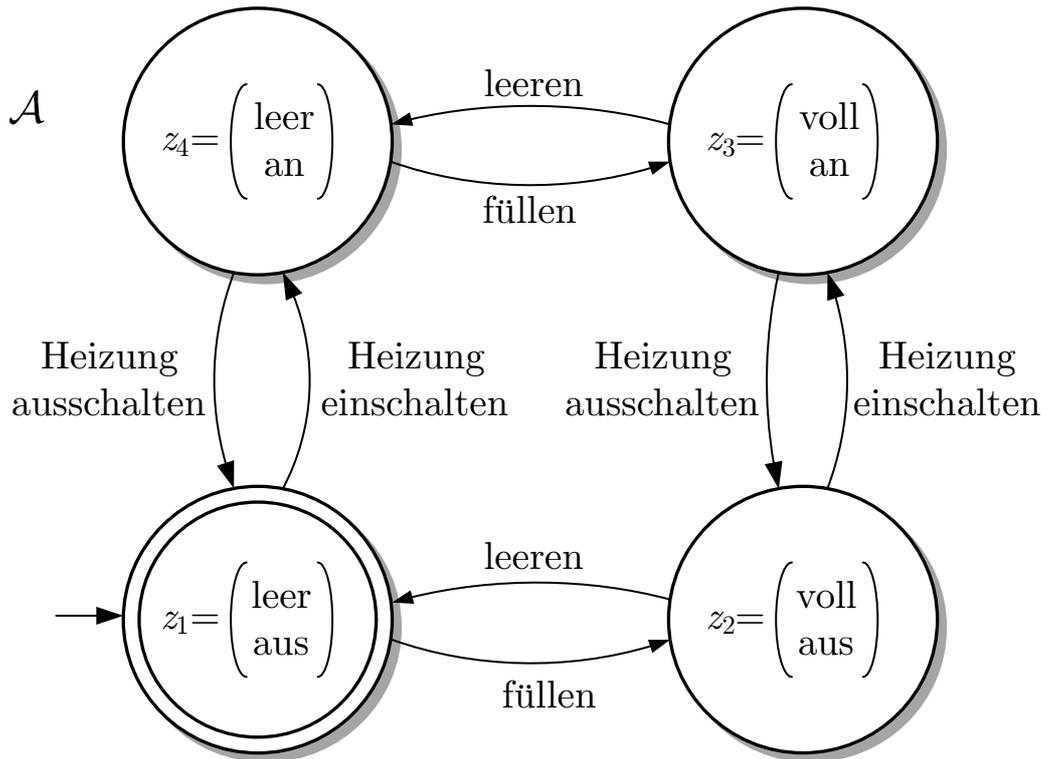
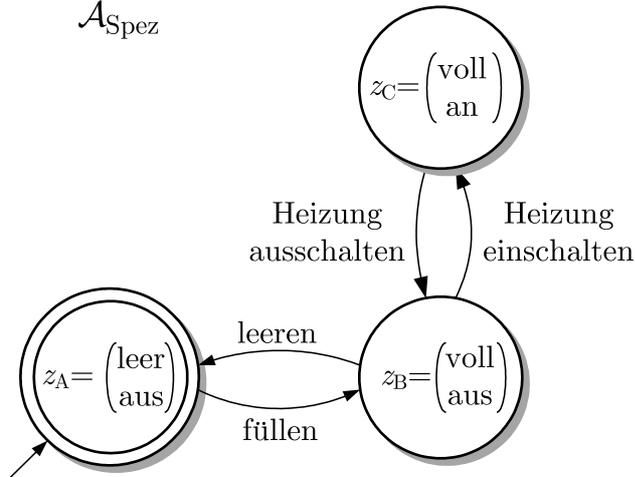


Abb. 5.6: Darstellung des Reaktorverhaltens durch einen deterministischen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

Spezifikation

$\mathcal{A}_{\text{Spez}}$



Produktautomat

$\mathcal{A} \times \mathcal{A}_{\text{Spez}}$

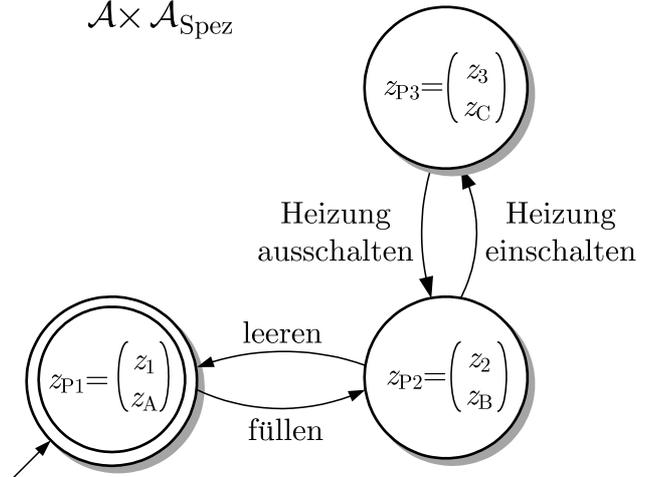


Abb. 5.7: Spezifikationsautomat (links) und Produktautomat (rechts) für die Sicherheitsüberwachung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

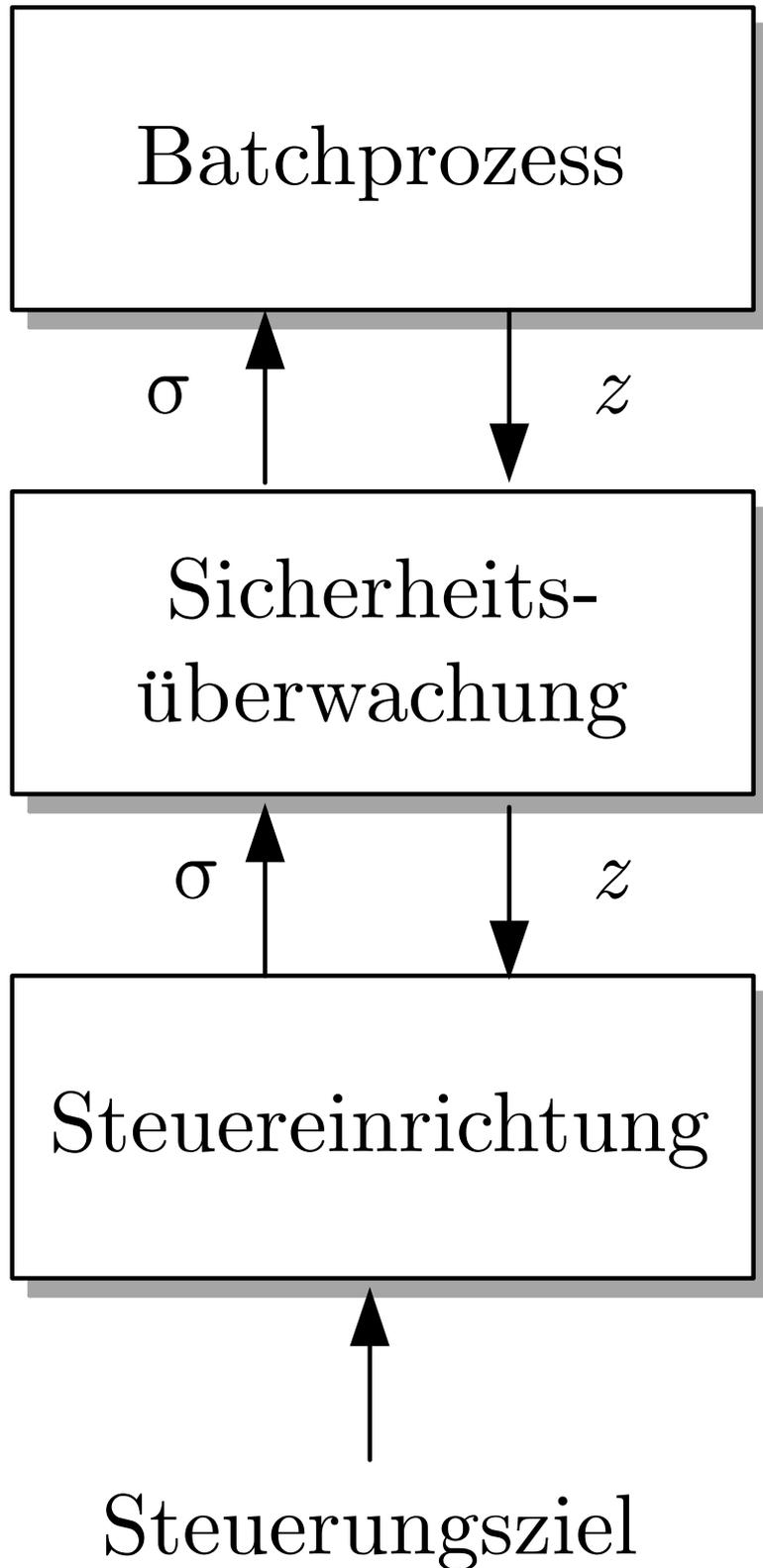


Abb. 5.8. Batchprozess mit Sicherheitsüberwachung

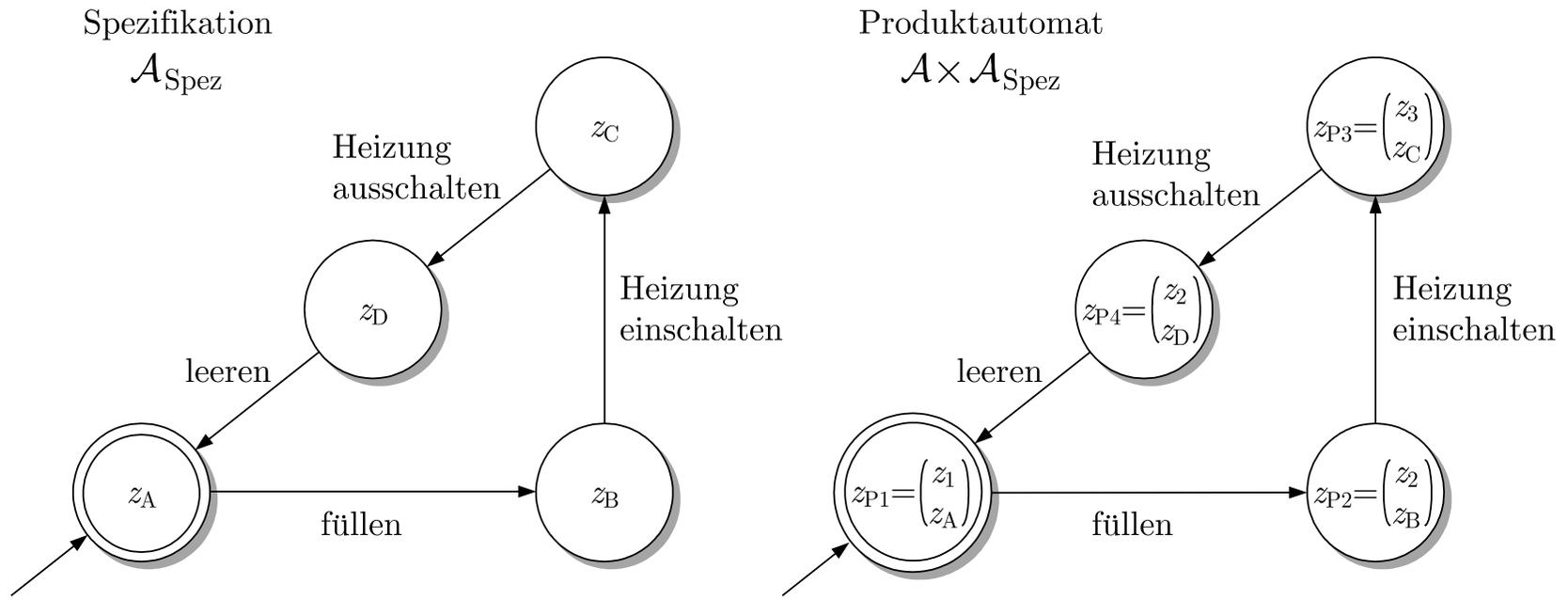


Abb. 5.9. Spezifikationsautomat (links) und Produktautomat (rechts) für die Steuerung des Batchprozesses

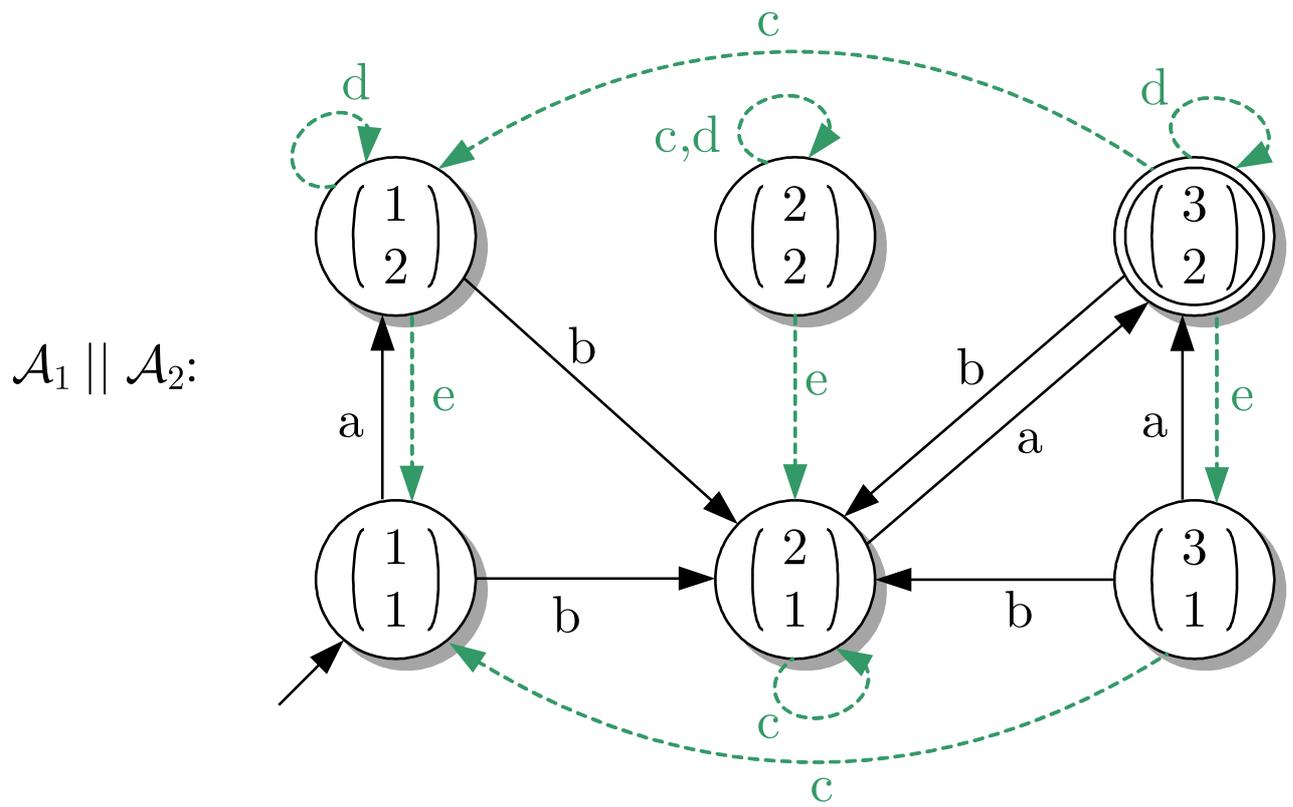


Abb. 5.10: Parallele Komposition der Σ -Automaten aus Abb. 5.2

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

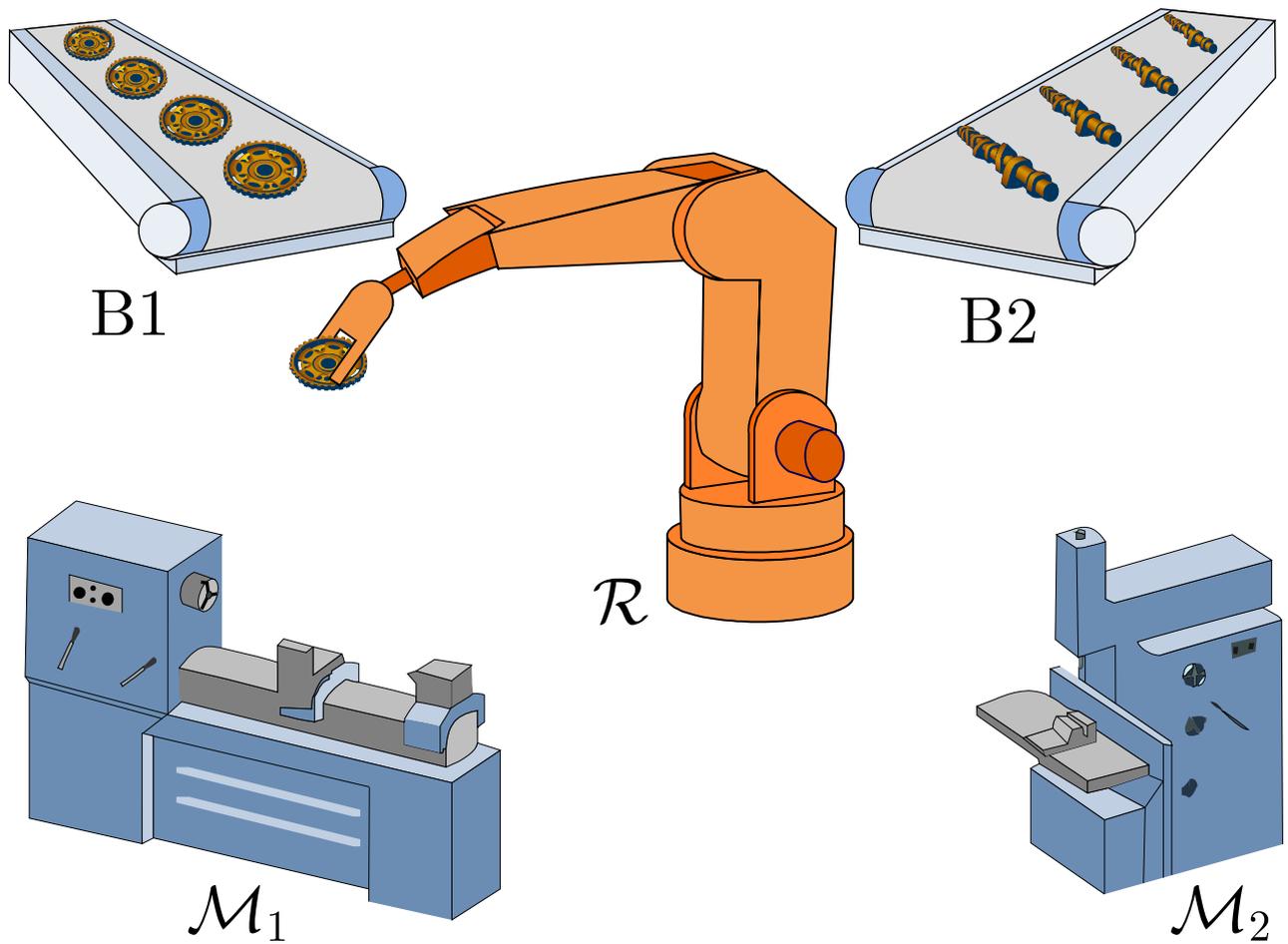


Abb. 5.11: Fertigungszelle mit zwei Bändern, zwei Maschinen und einem Roboter

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

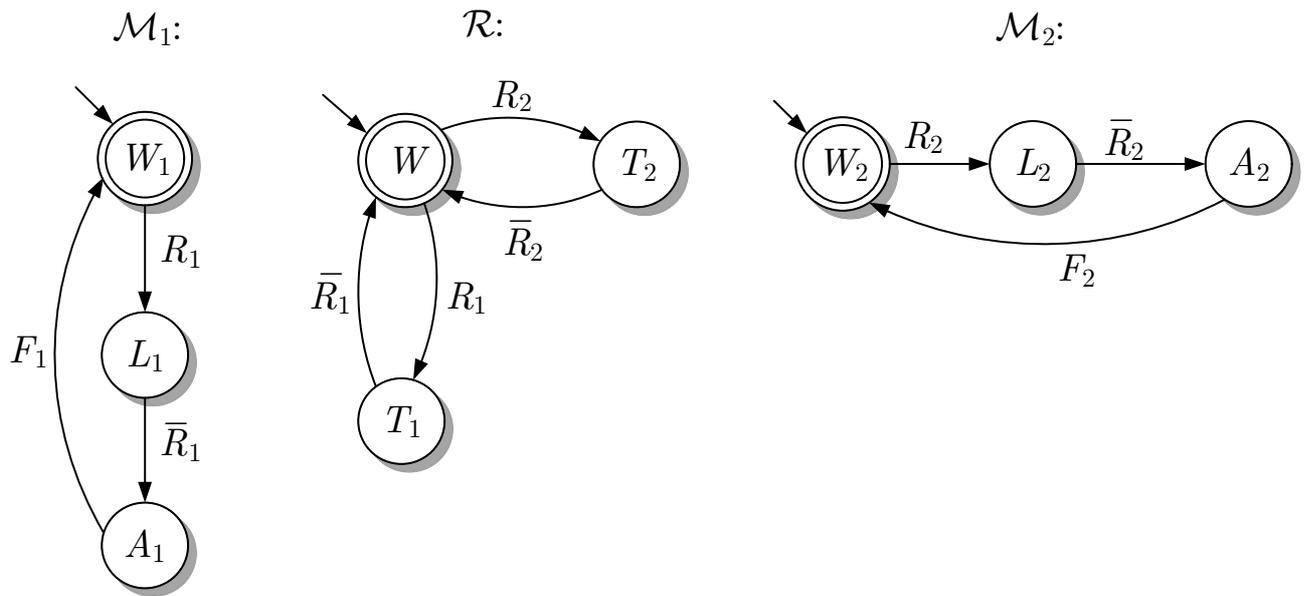


Abb. 5.12: Beschreibung der Maschinen und des Roboters durch deterministische Σ -Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

$\mathcal{M}_1 || \mathcal{R}$:

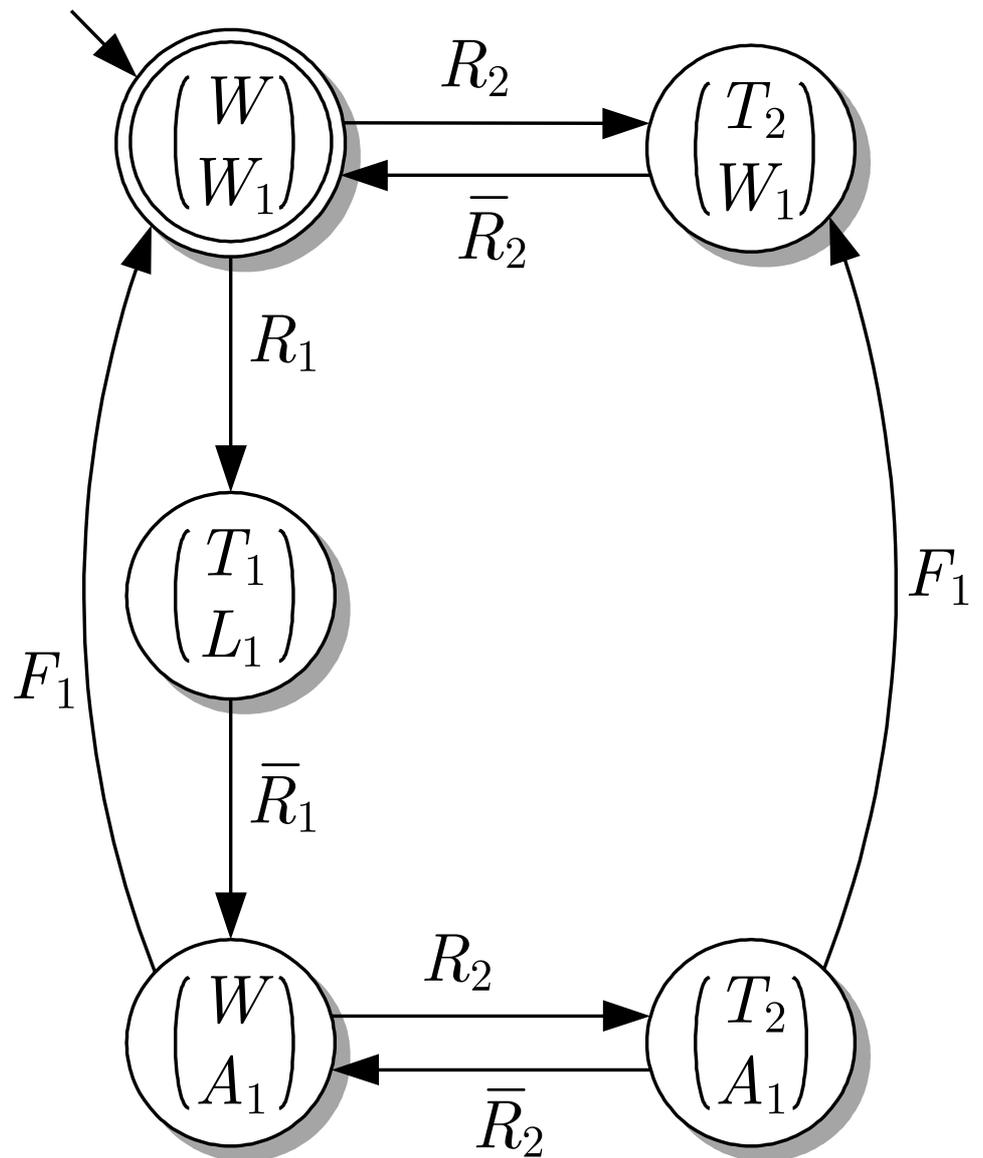


Abb. 5.13: Parallele Komposition der Automaten \mathcal{M}_1 und \mathcal{R}

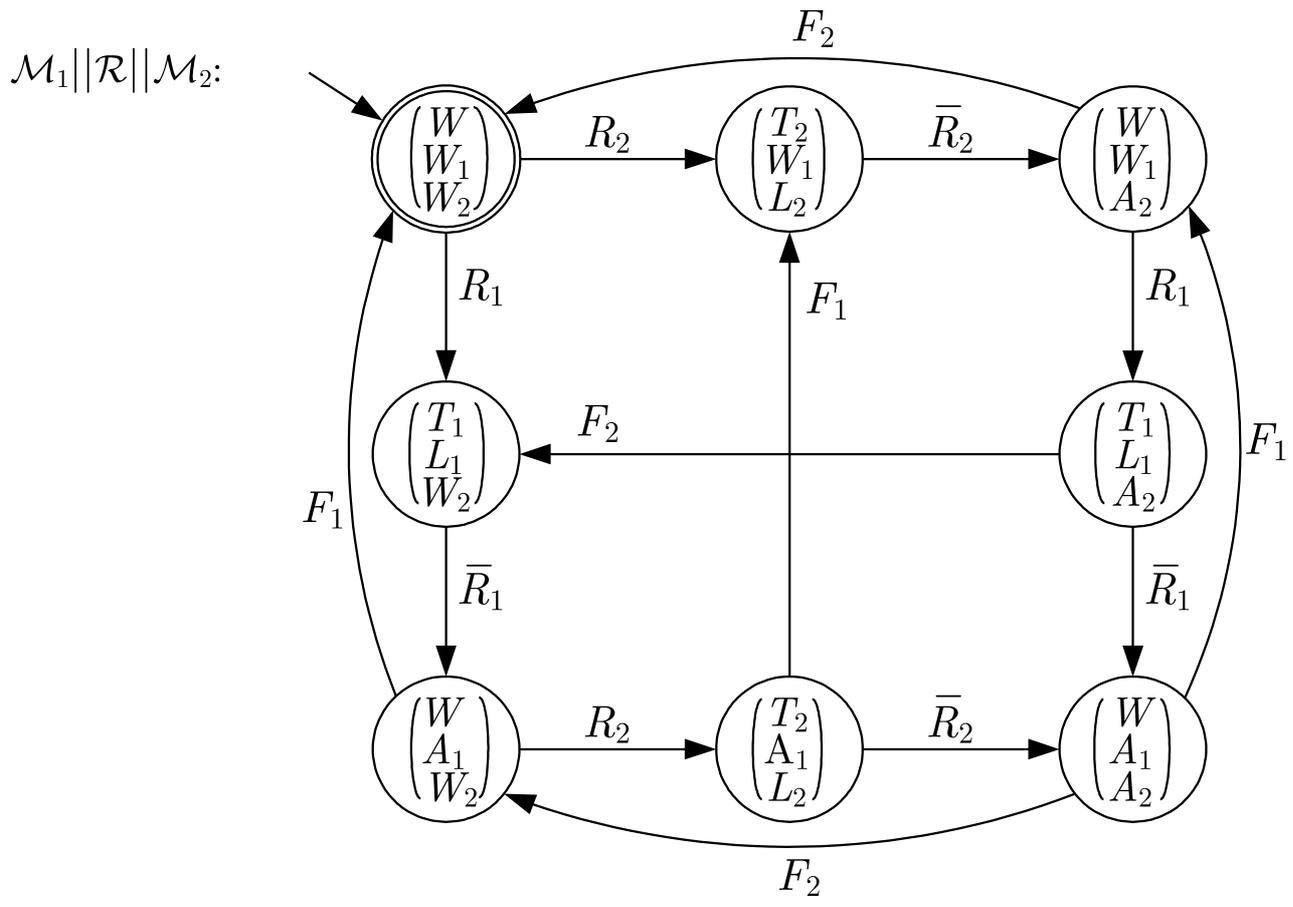


Abb. 5.14: Parallele Komposition der Automaten, die beide Maschinen und den Roboter beschreiben

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

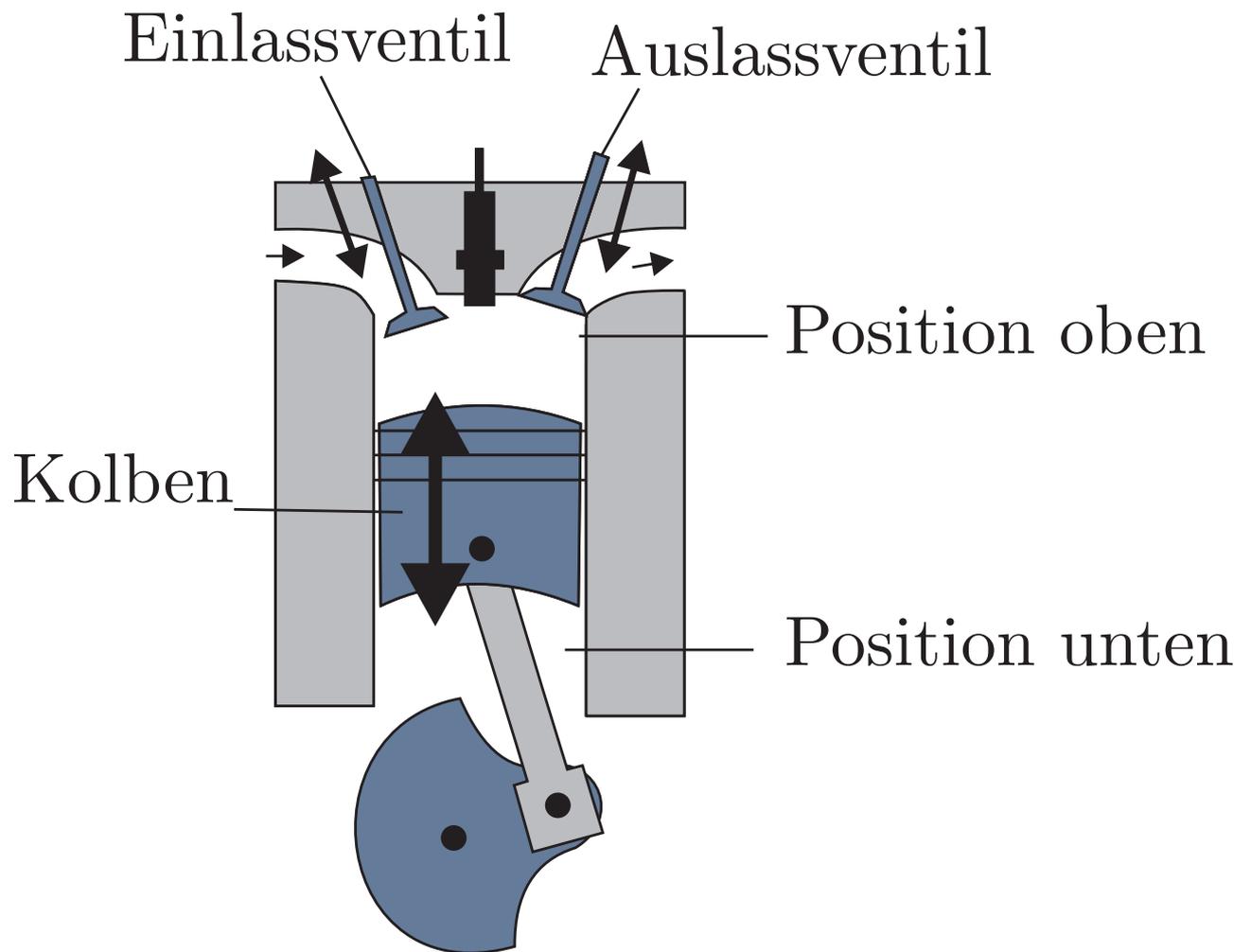


Abb. 5.15: Querschnitt durch einen Viertakt-Motor

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

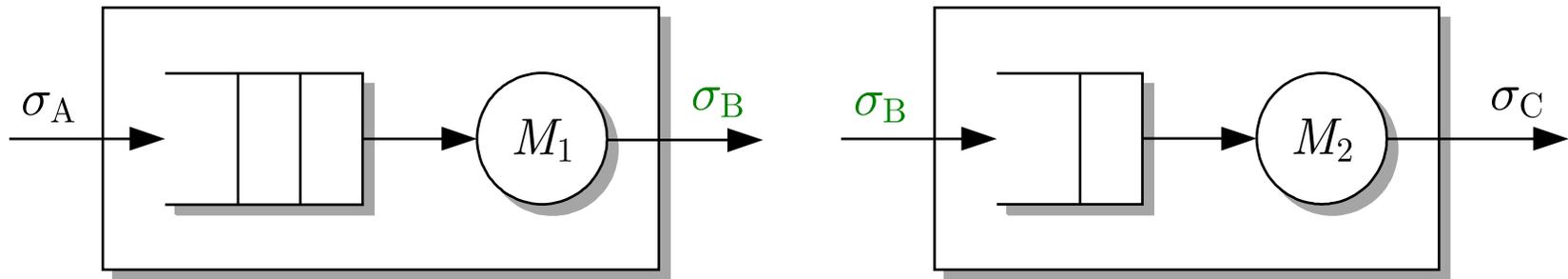


Abb. 5.16. Zwei Werkzeugmaschinen mit Warteschlangen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

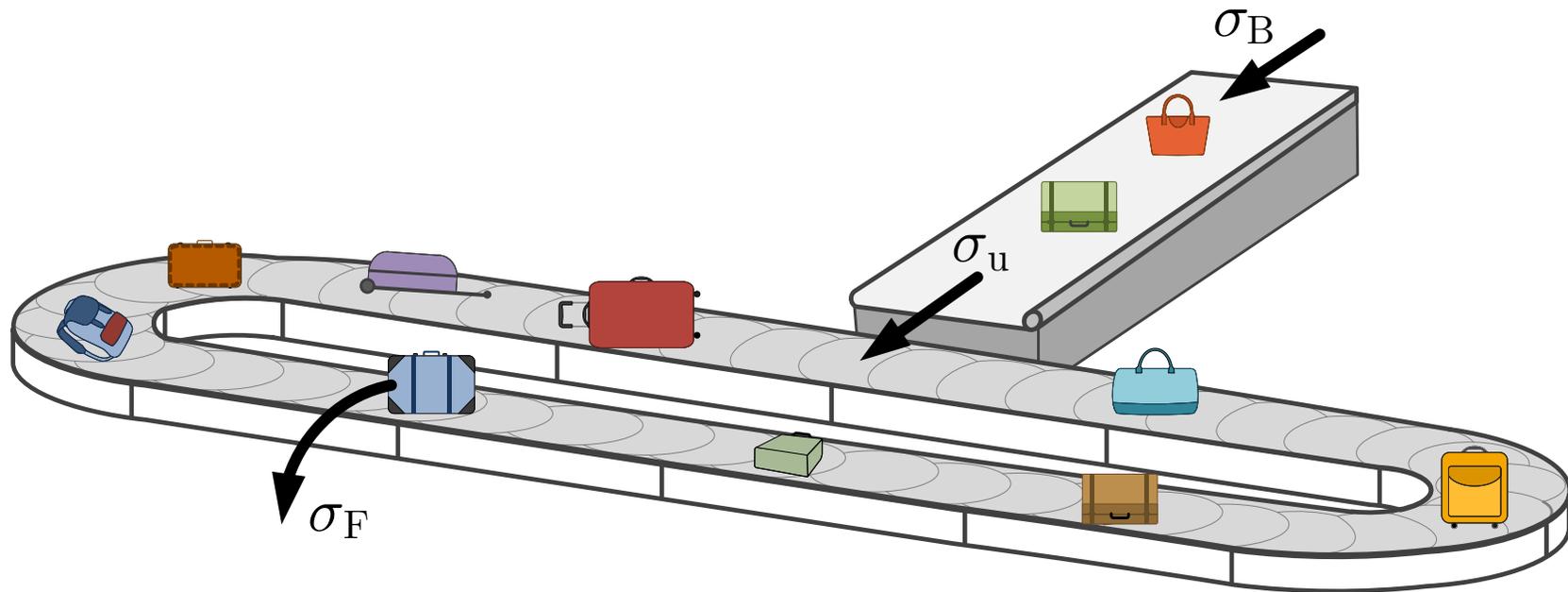


Abb. 5.17. Kofferrückgabebänder

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

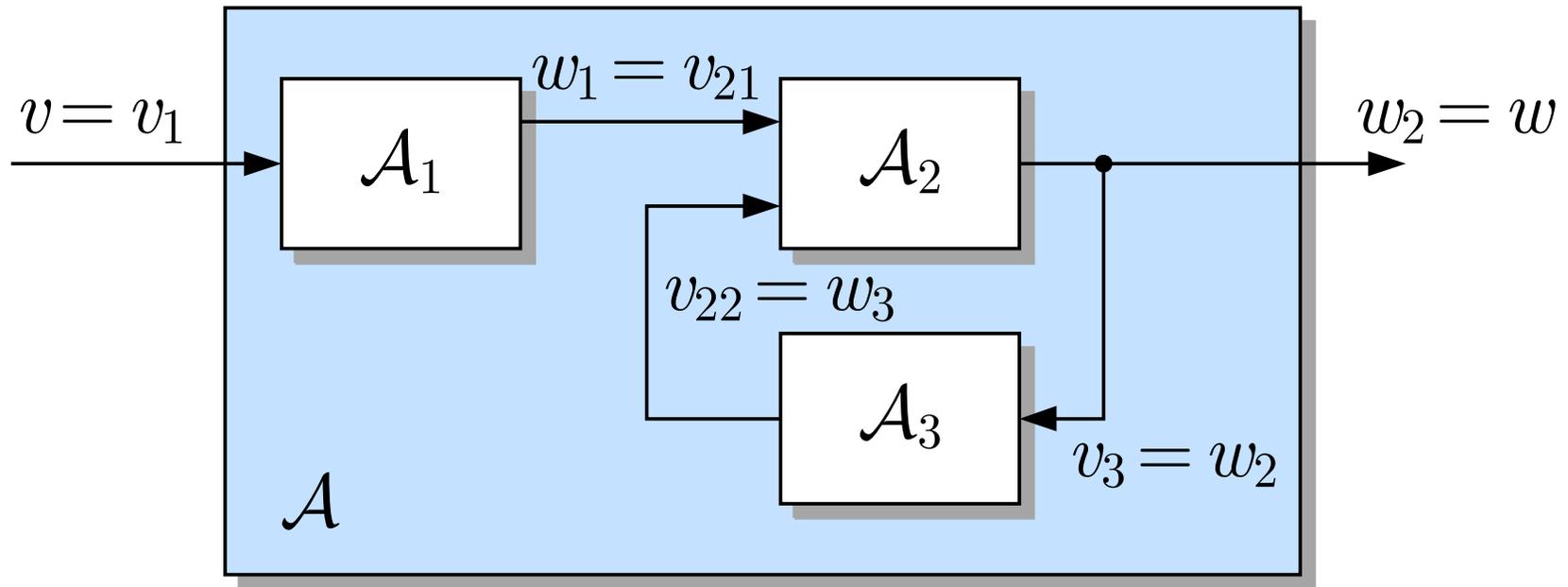


Abb. 5.18. Beispiel für die Zusammenschaltung von E/A-Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

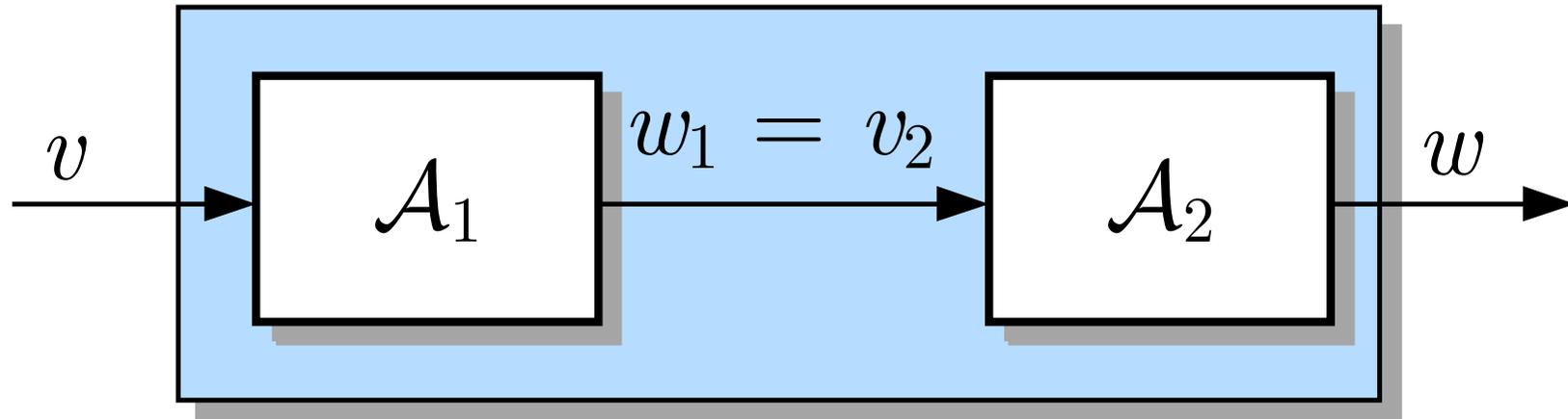


Abb. 5.19. Reihenschaltung zweier Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

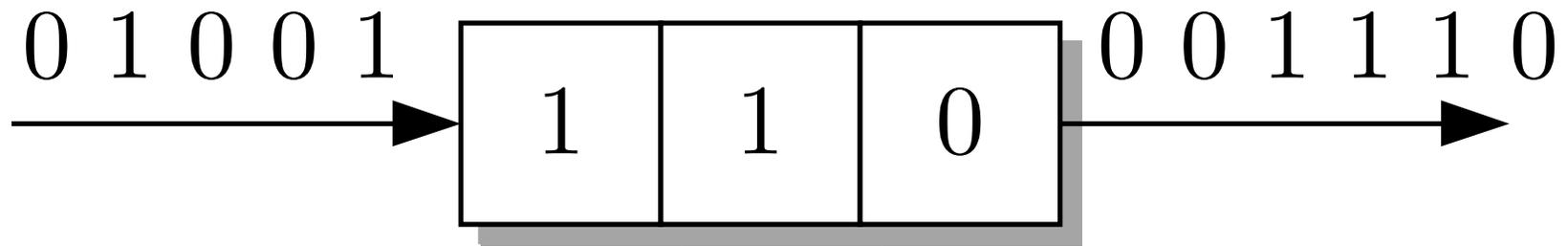


Abb. 5.20. Schieberegister mit drei Speichern

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

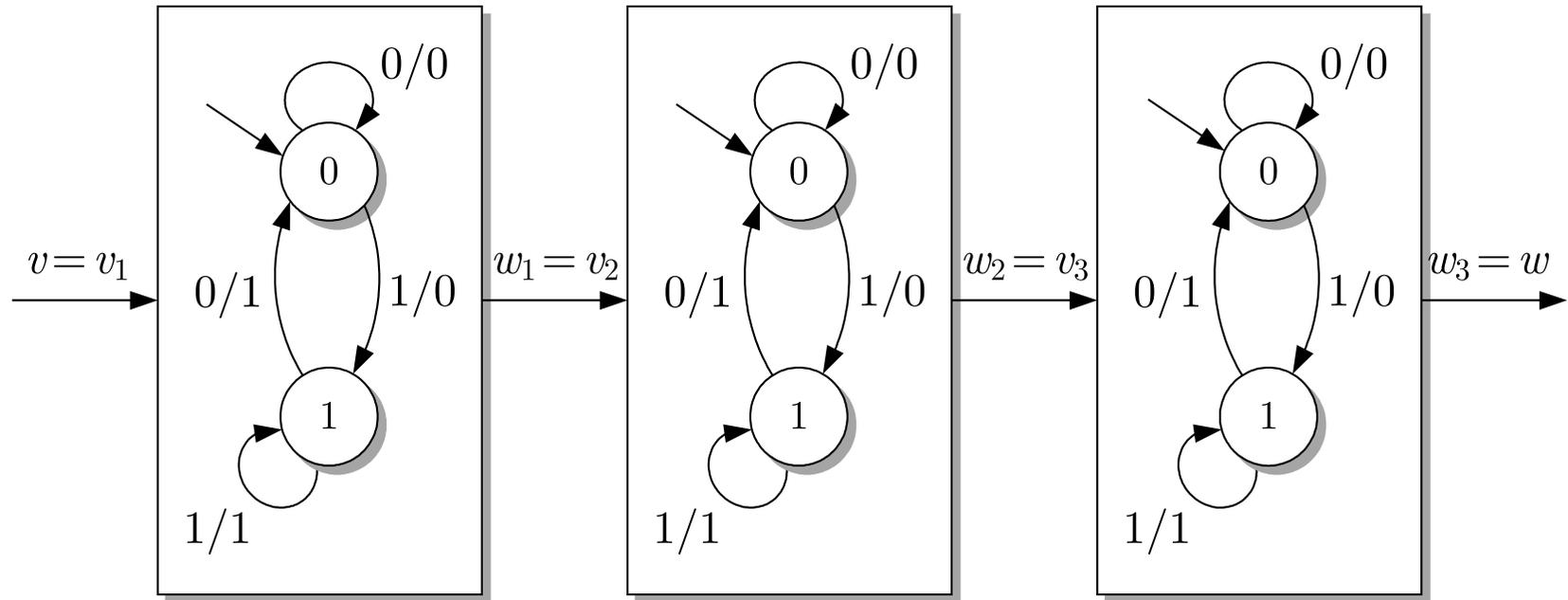


Abb. 5.21. Darstellung des Schieberegisters als Reihenschaltung dreier E/A-Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

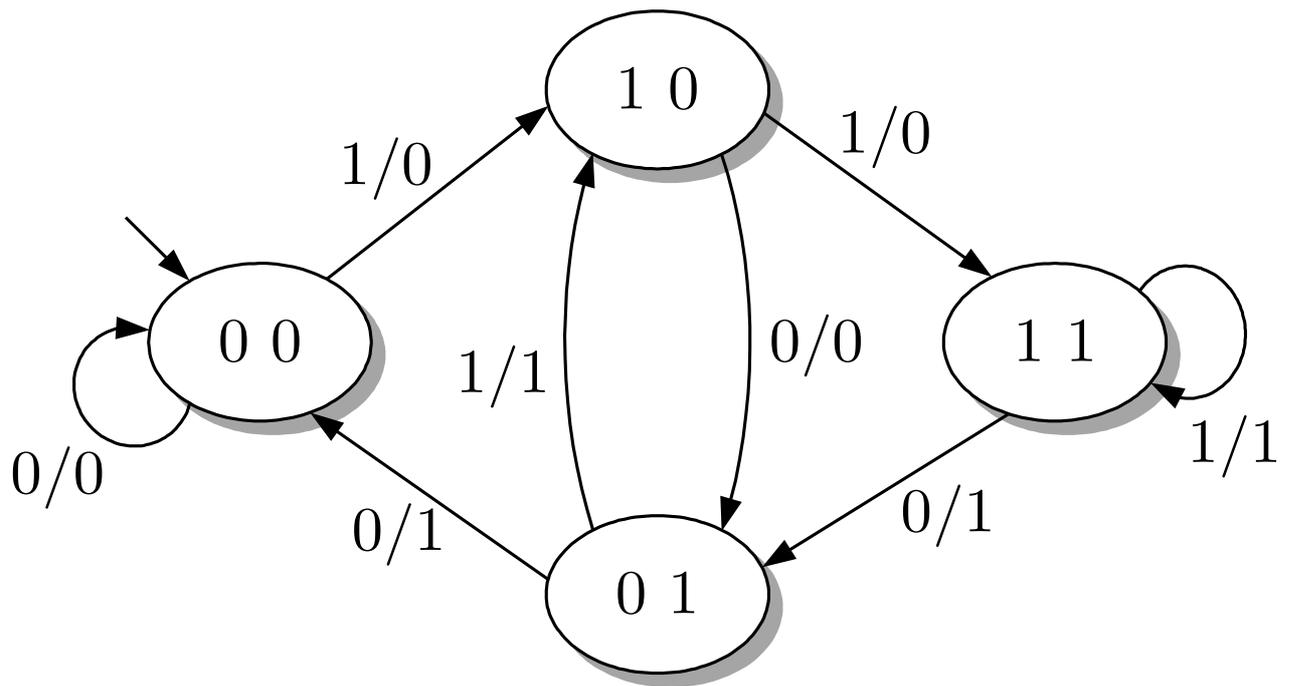


Abb. 5.22: Zusammenfassung der beiden linken E/A-Automaten des Schieberegisters zum Automaten \mathcal{A}_{12}

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

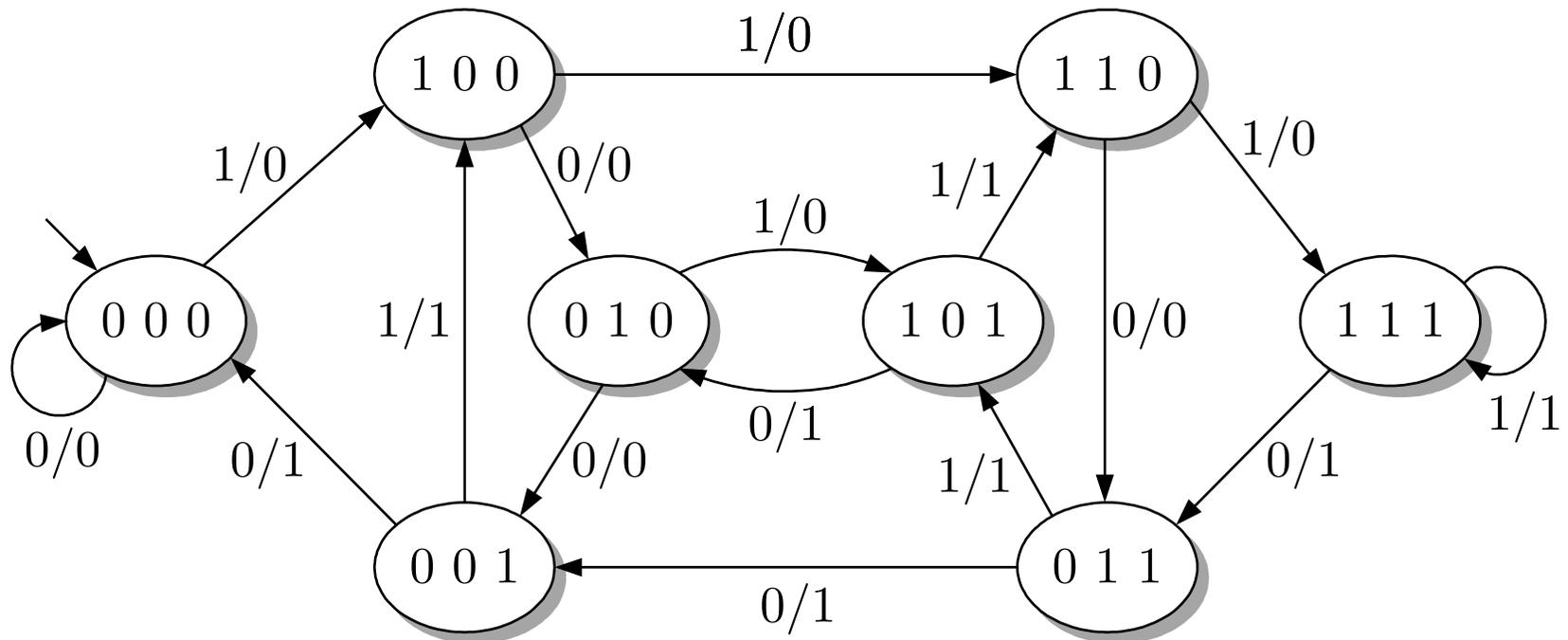


Abb. 5.23. Darstellung des gesamten Schieberegisters als deterministischer E/A-Automat \mathcal{A}

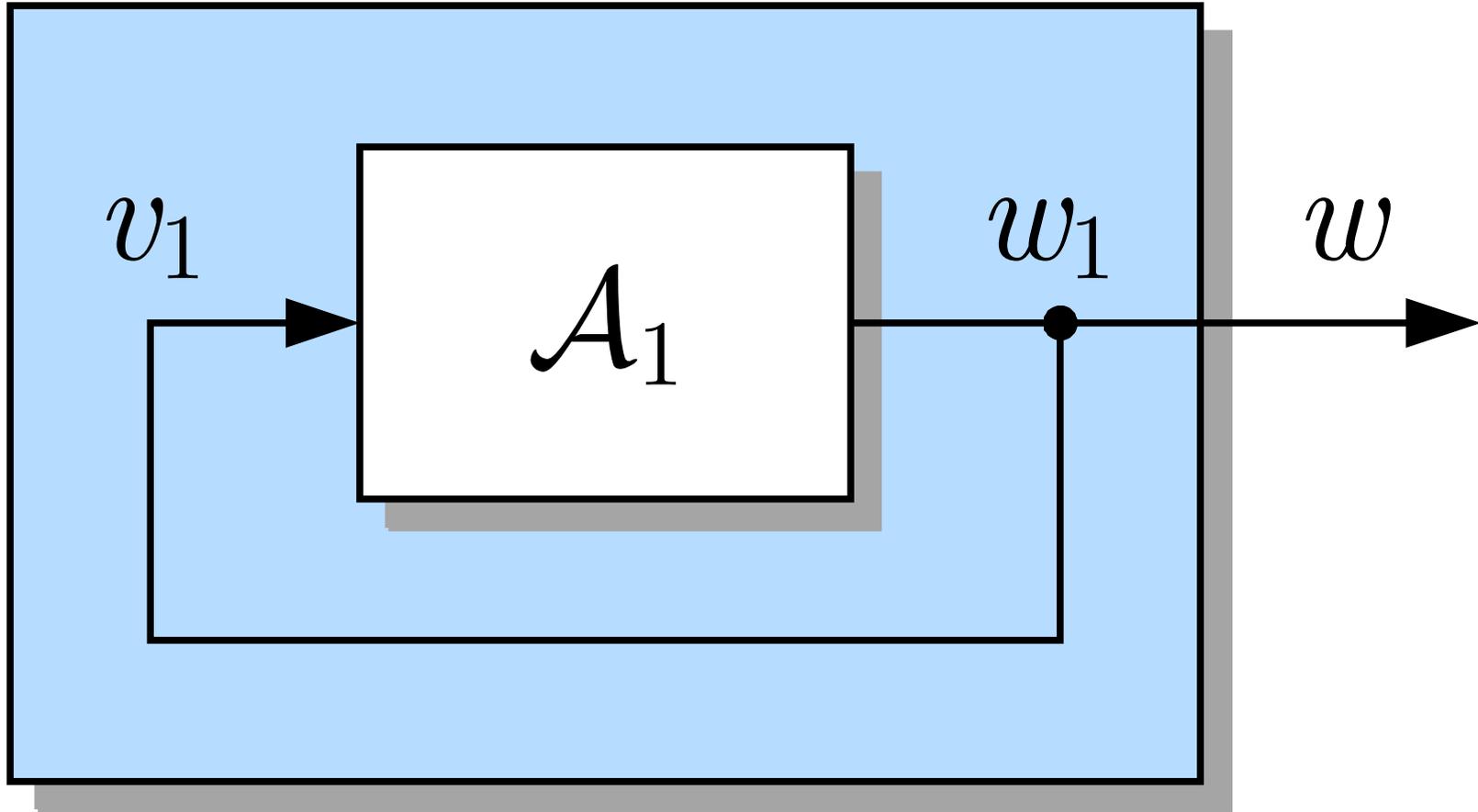


Abb. 5.24. Rückführautomat \mathcal{A}

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

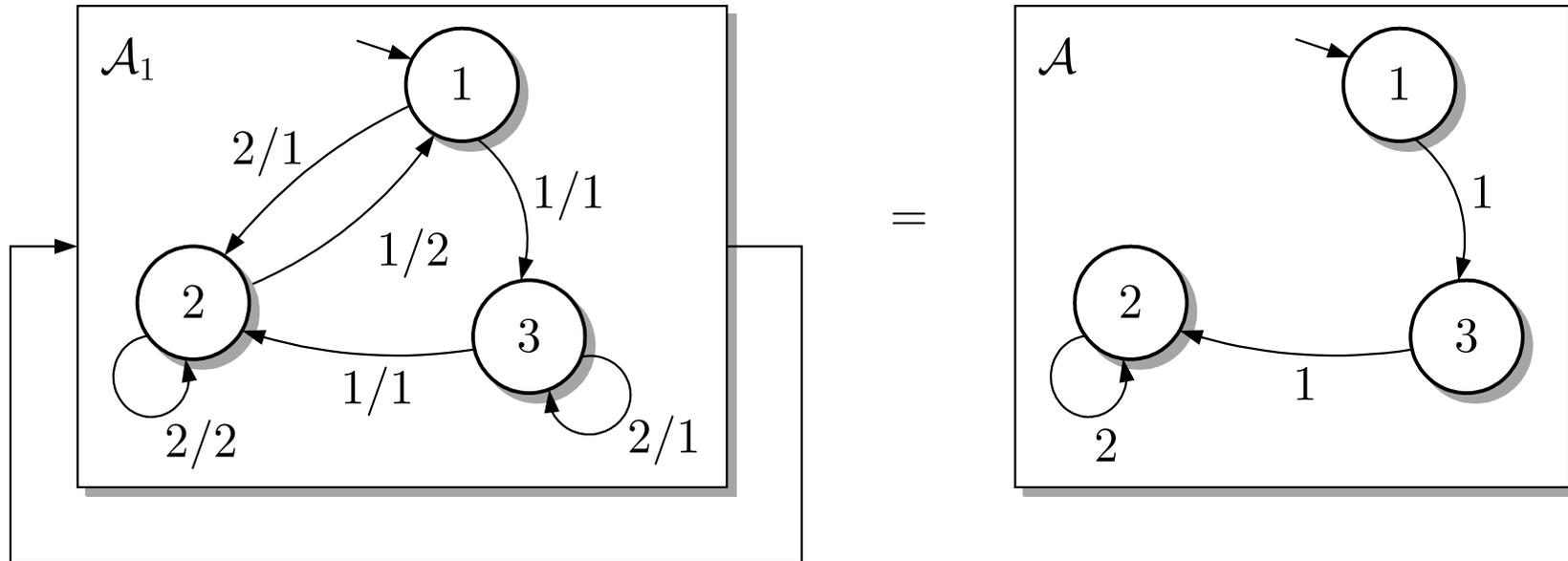


Abb. 5.25. Moore-Automat mit Rückkopplung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

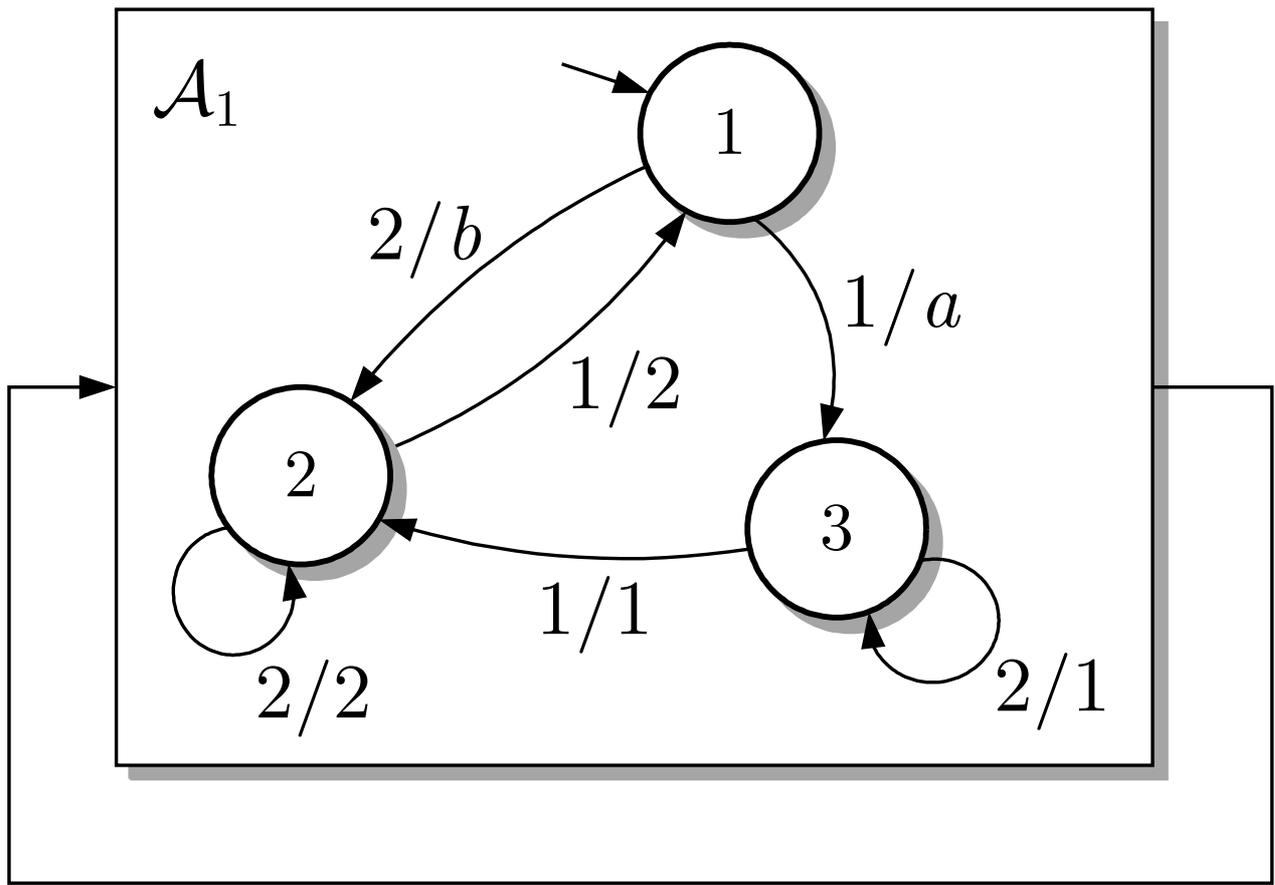


Abb. 5.26: Mealy-Automat mit Rückkopplung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

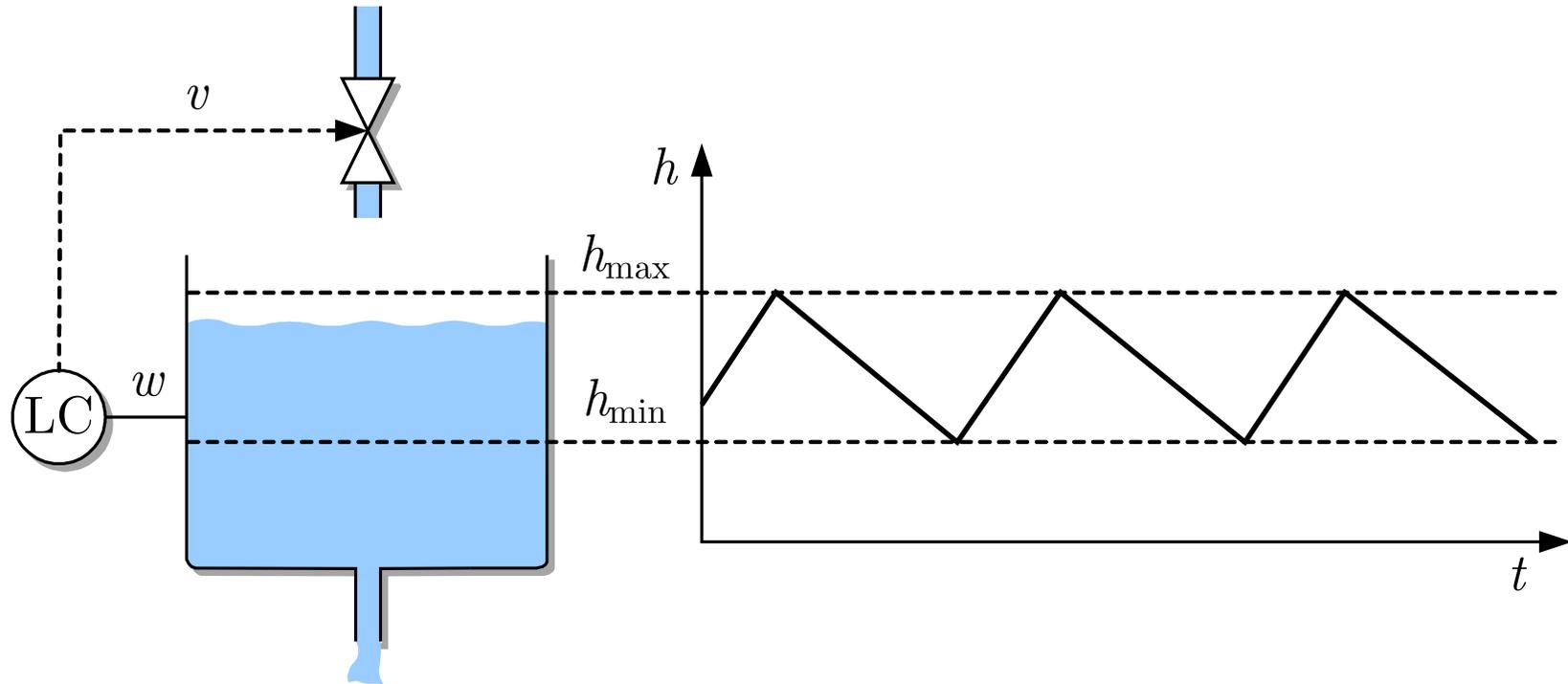


Abb. 5.27. Füllstandsregelung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

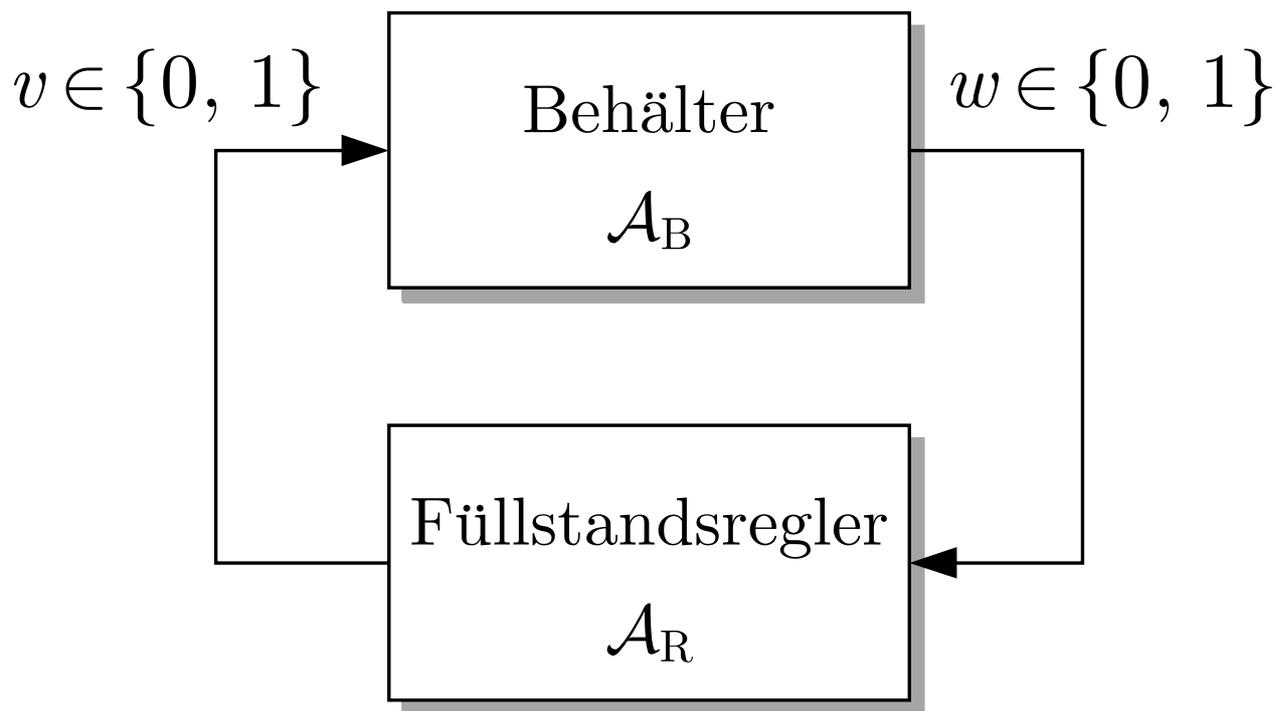


Abb. 5.28: Blockschaltbild der Füllstandsregelung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

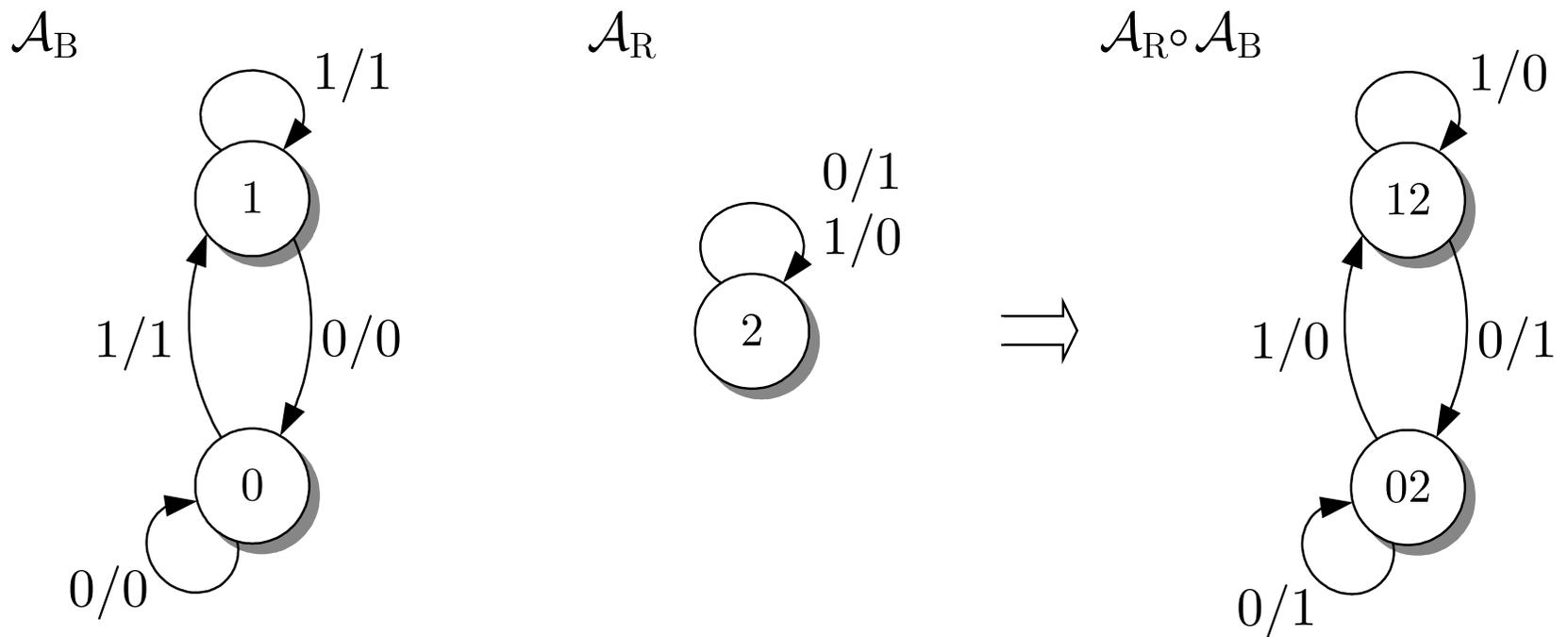


Abb. 5.29. Erstes Modell der Füllstandsregelung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

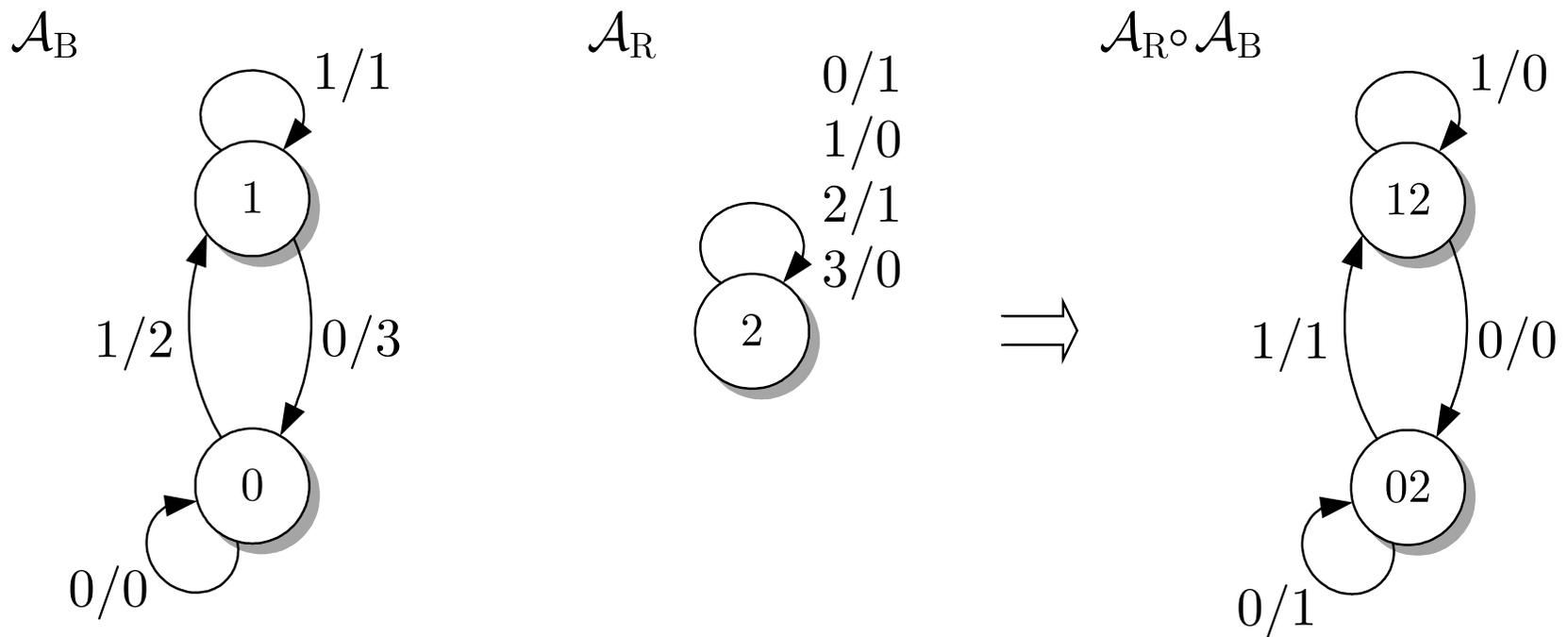


Abb. 5.30. Zweites Modell der Füllstandsregelung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

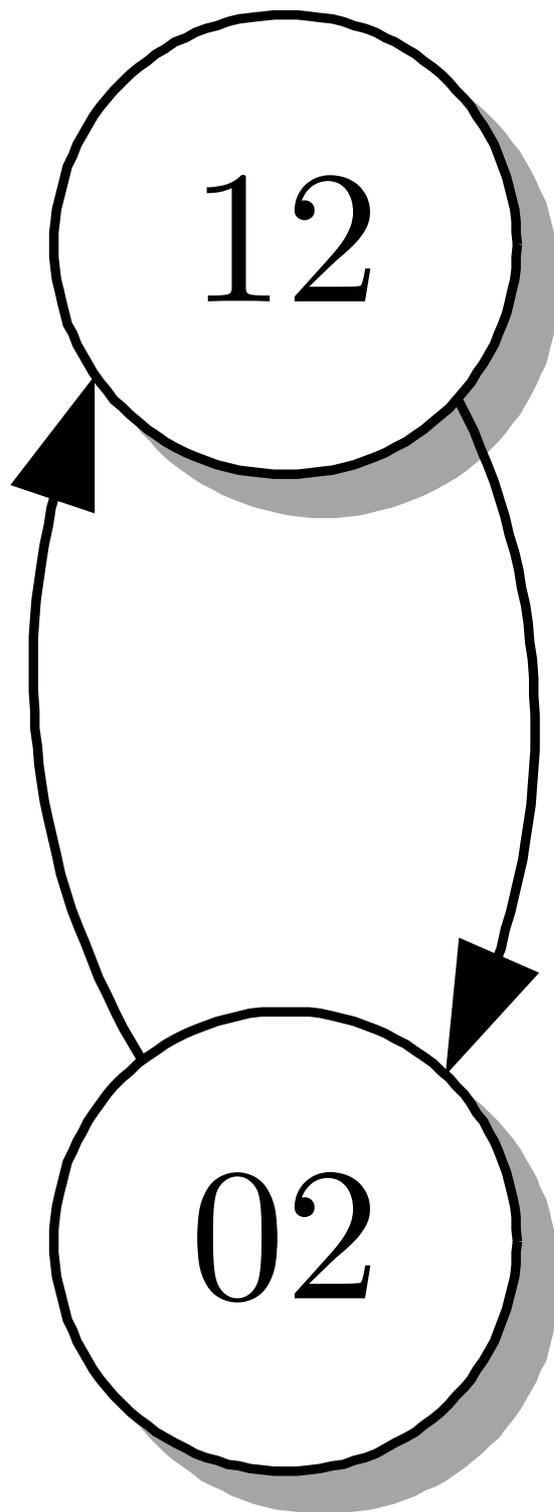


Abb. 5.31. Rückkopplungsautomat zur Beschreibung der Füllstandsregelung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

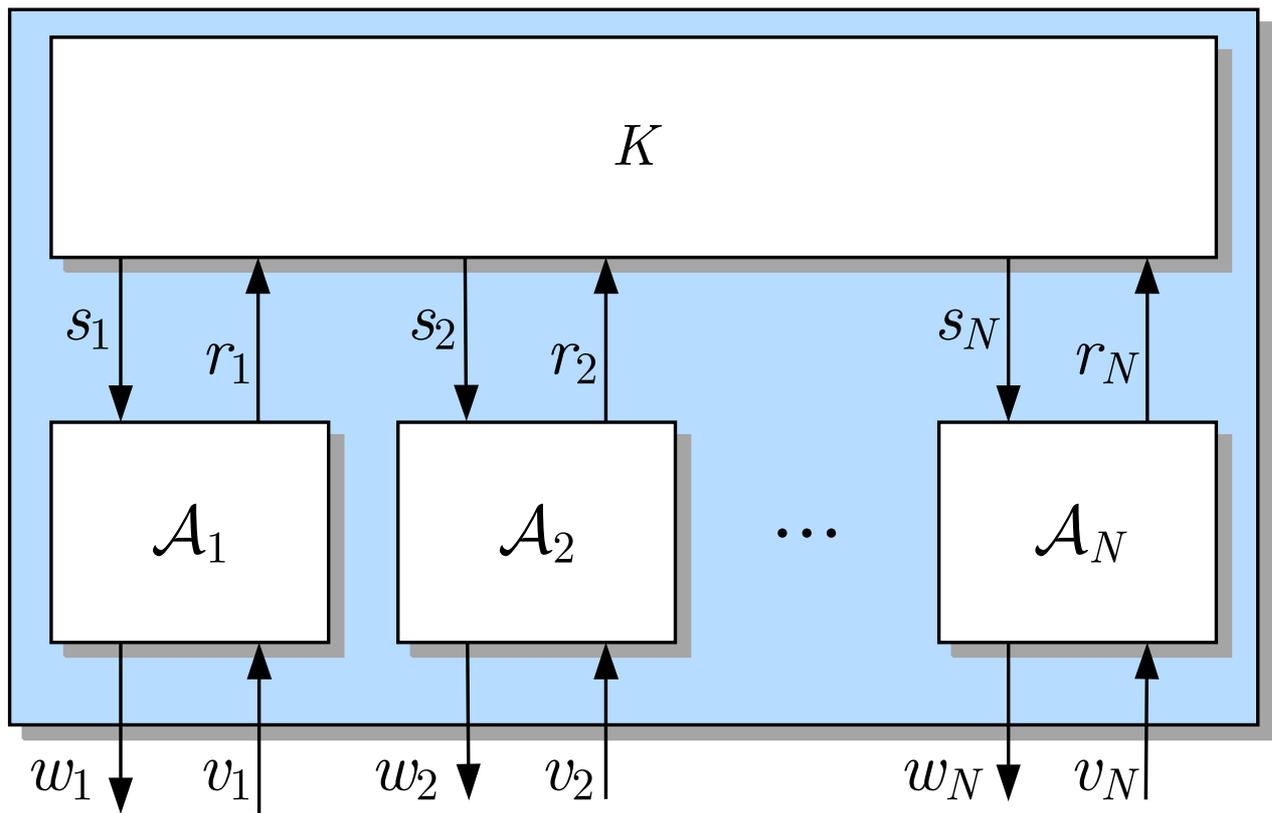


Abb. 5.32: Automatenetz in allgemeiner Darstellung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

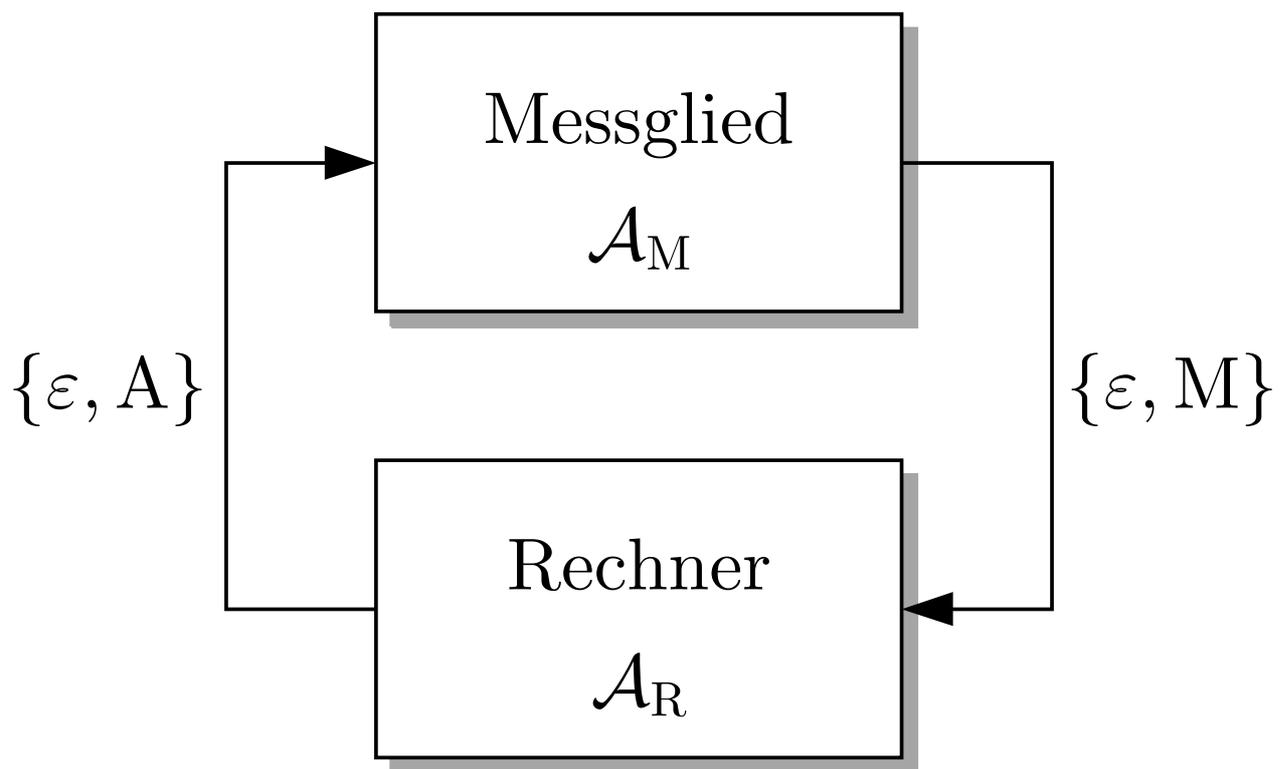
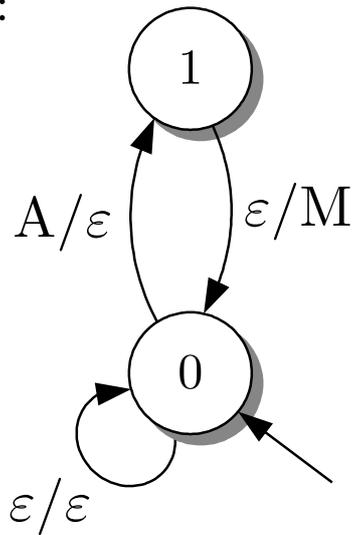


Abb. 5.33: Kopplung von Messglied und Rechner

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

$\mathcal{A}_M:$



$\mathcal{A}_R:$

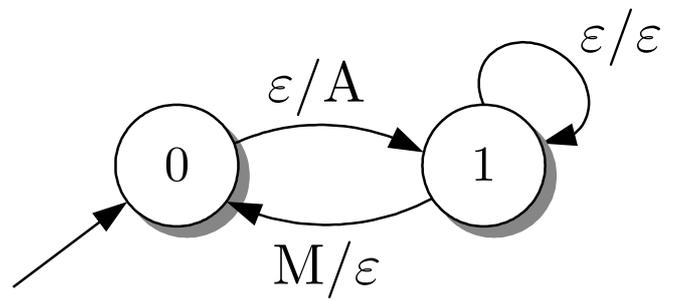


Abb. 5.34: Automaten, die das Verhalten des Rechners und des Messglieds beschreiben

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

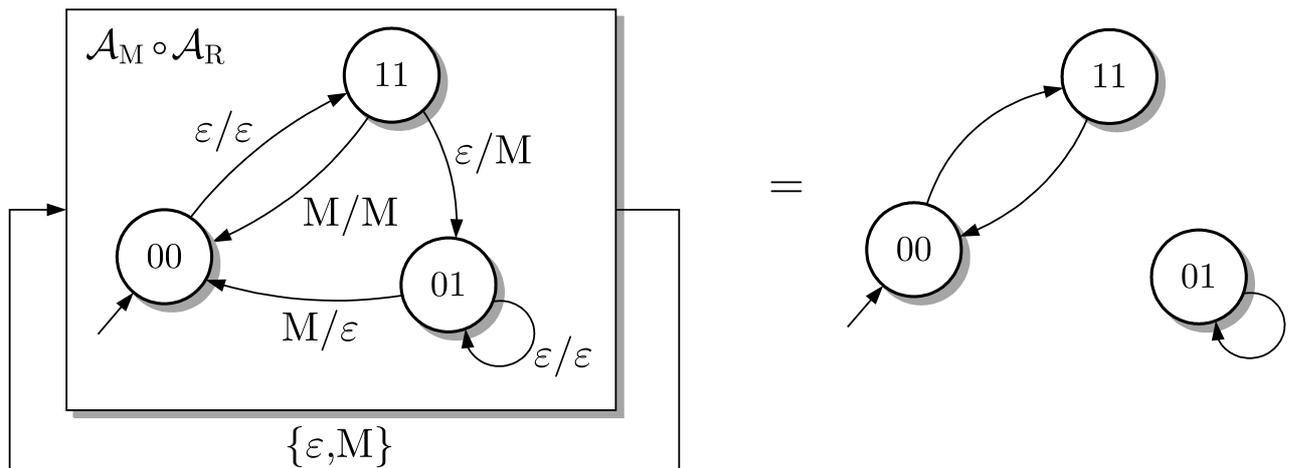


Abb. 5.35: Reihenschaltung $\mathcal{A}_M \circ \mathcal{A}_R$ (links) und Rückführautomat (rechts)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

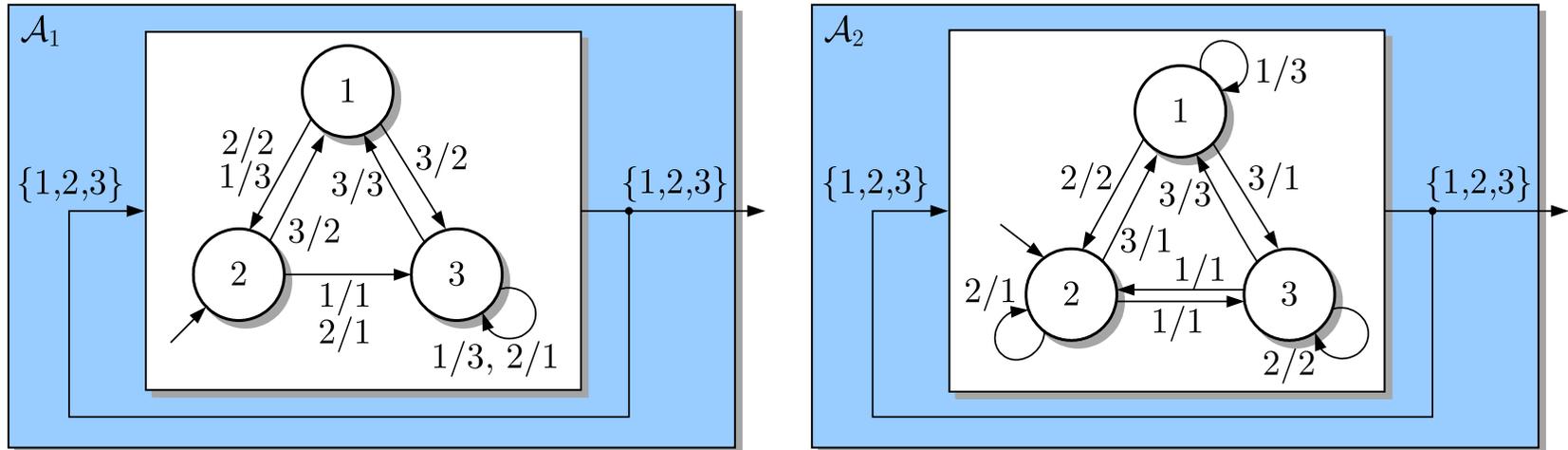


Abb. 5.36. Zwei rückgekoppelte Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Abb. 5.37. Rolltreppensteuerung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

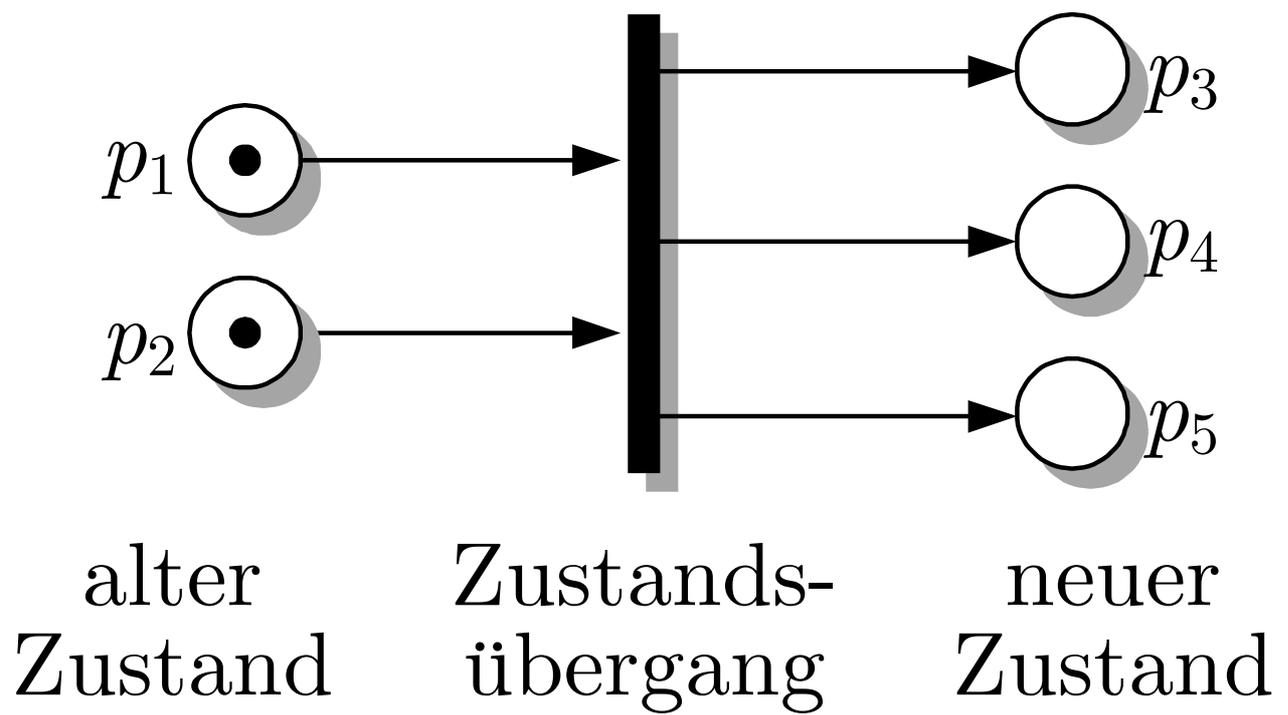


Abb. 6.1: Elemente eines Petrinetzes

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

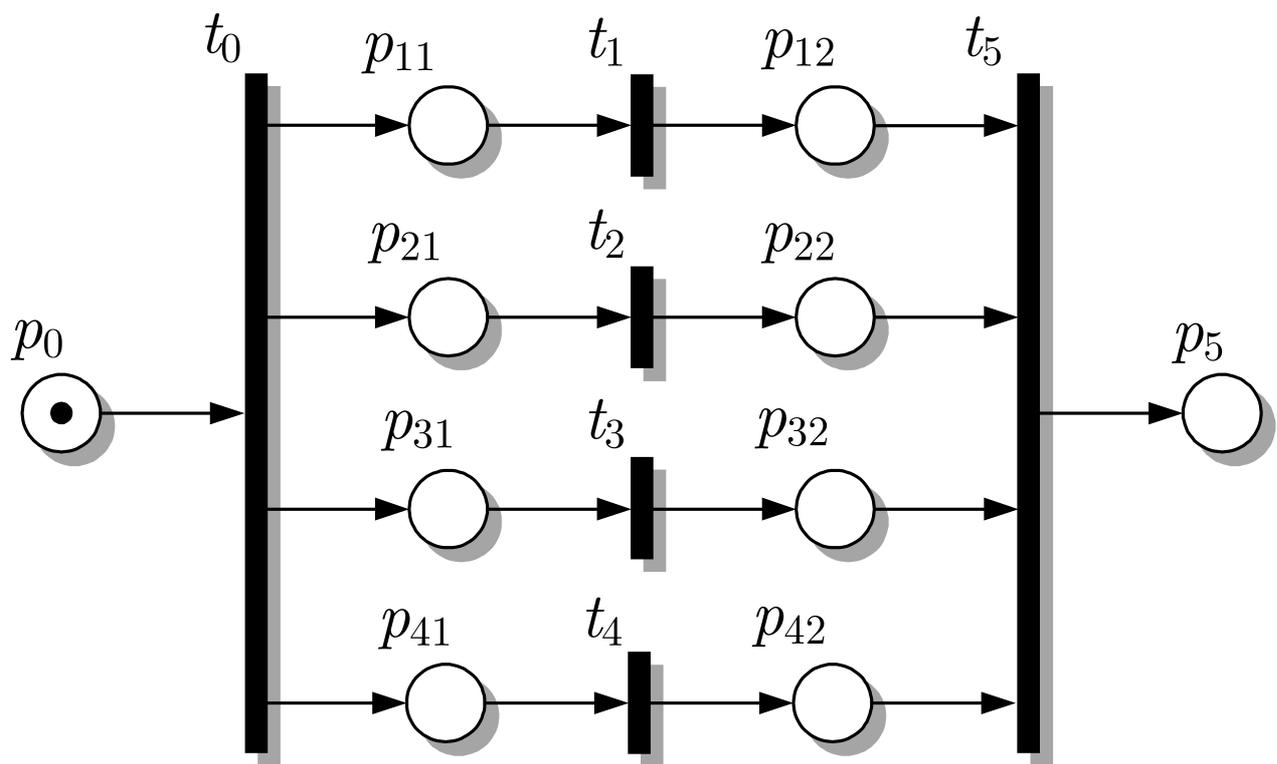


Abb. 6.2: Darstellung der Arbeitsweise eines Parallelrechners mit vier Prozessoren durch ein Petrinetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

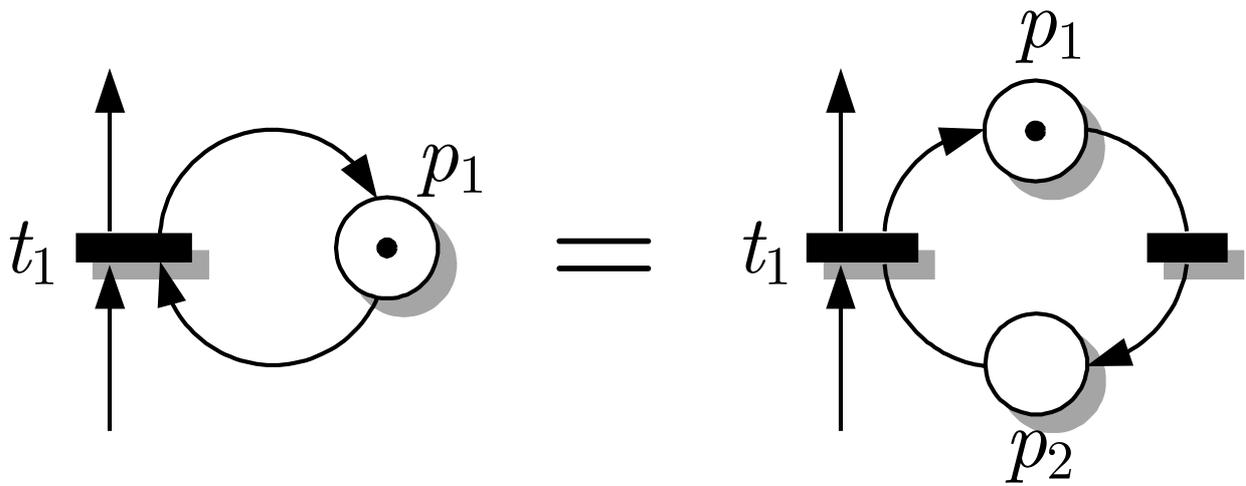


Abb. 6.3: Schlinge (links), die durch Einführung einer zusätzlichen Stelle und einer Transition eliminiert wird (rechts)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

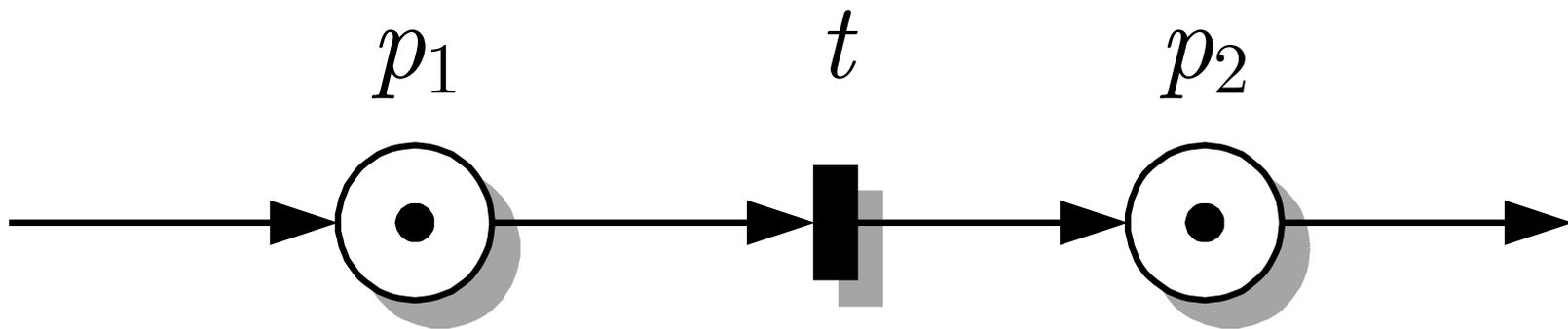


Abb. 6.4. Kontakt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

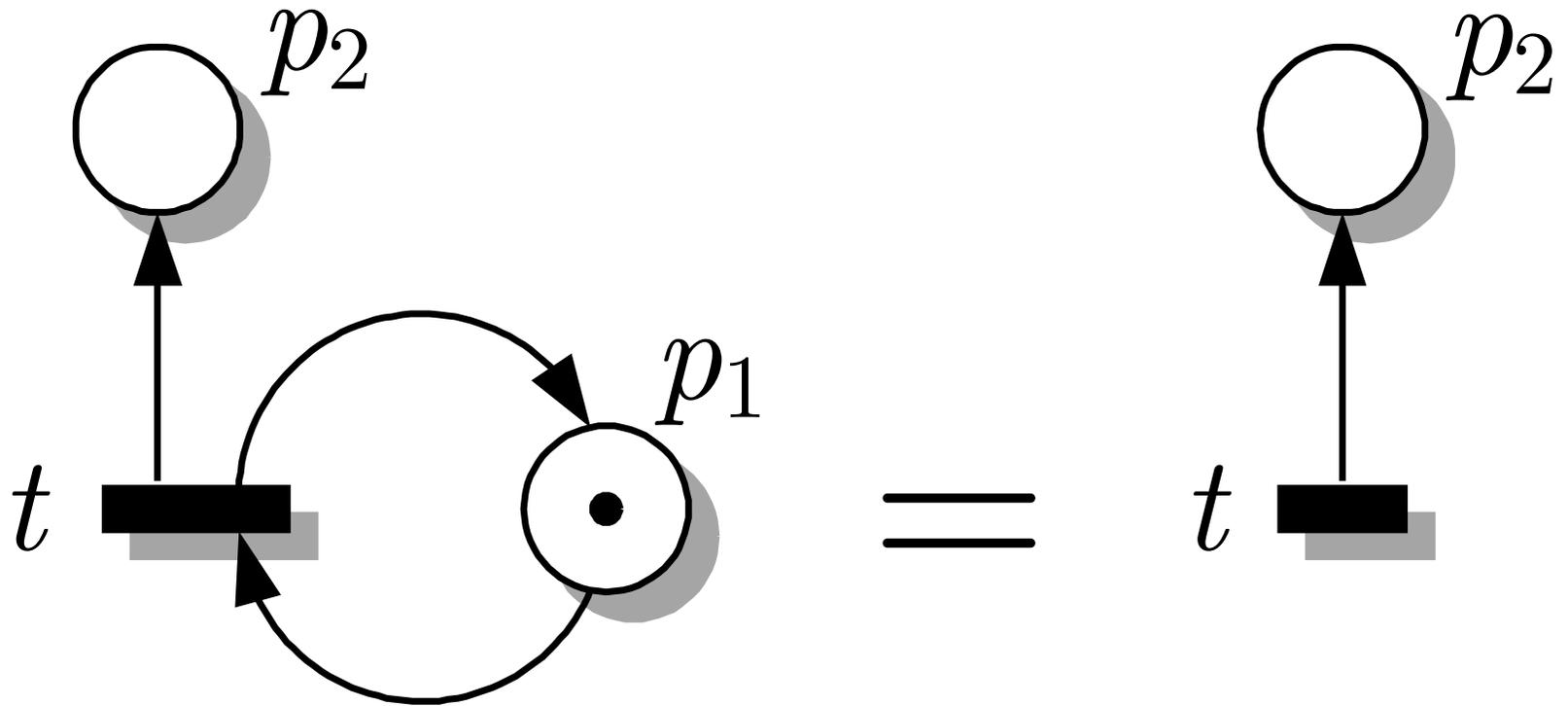


Abb. 6.5. Ständig aktivierte Transition

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

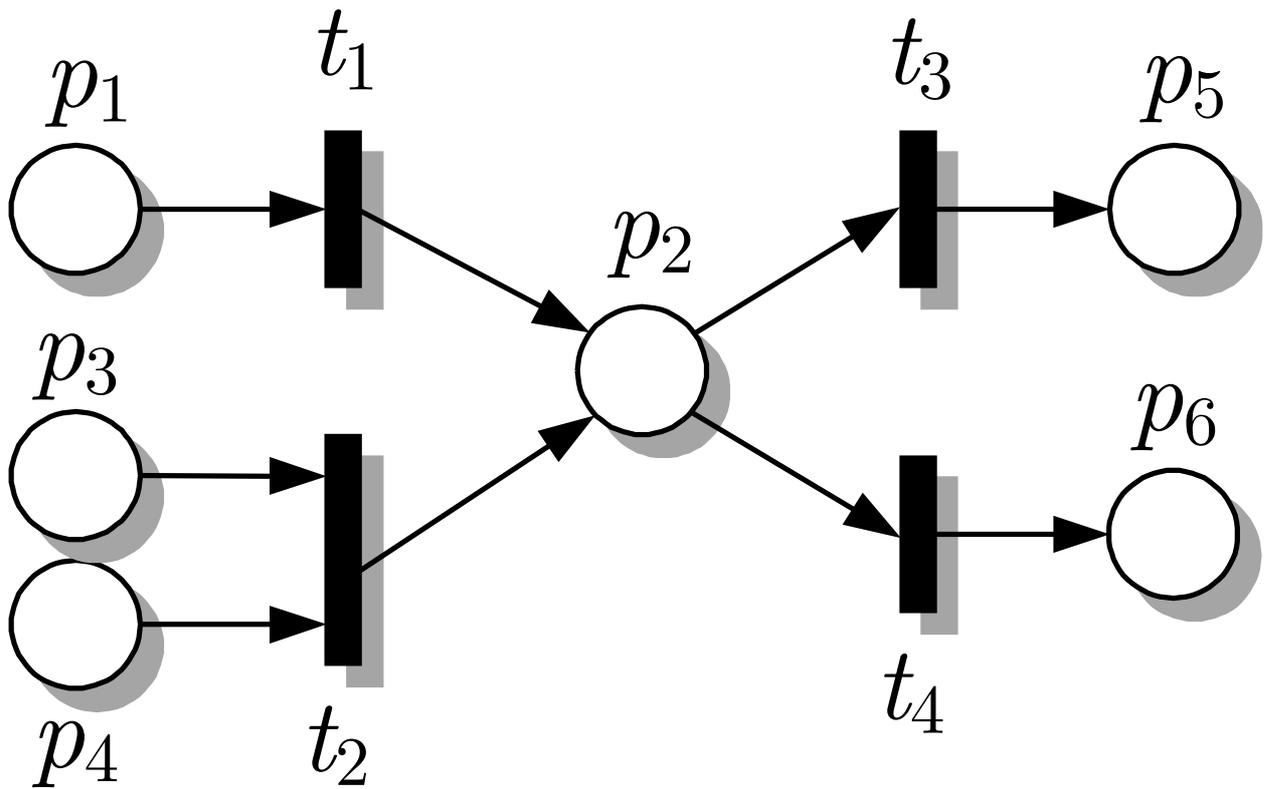


Abb. 6.6: Erläuterung des Begriffes B/E-Netz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

Bedingungen, unter denen der Prozess ablaufen kann

Prozess läuft ab

Bedingungen, die nach Ablauf des Prozesses erfüllt sind

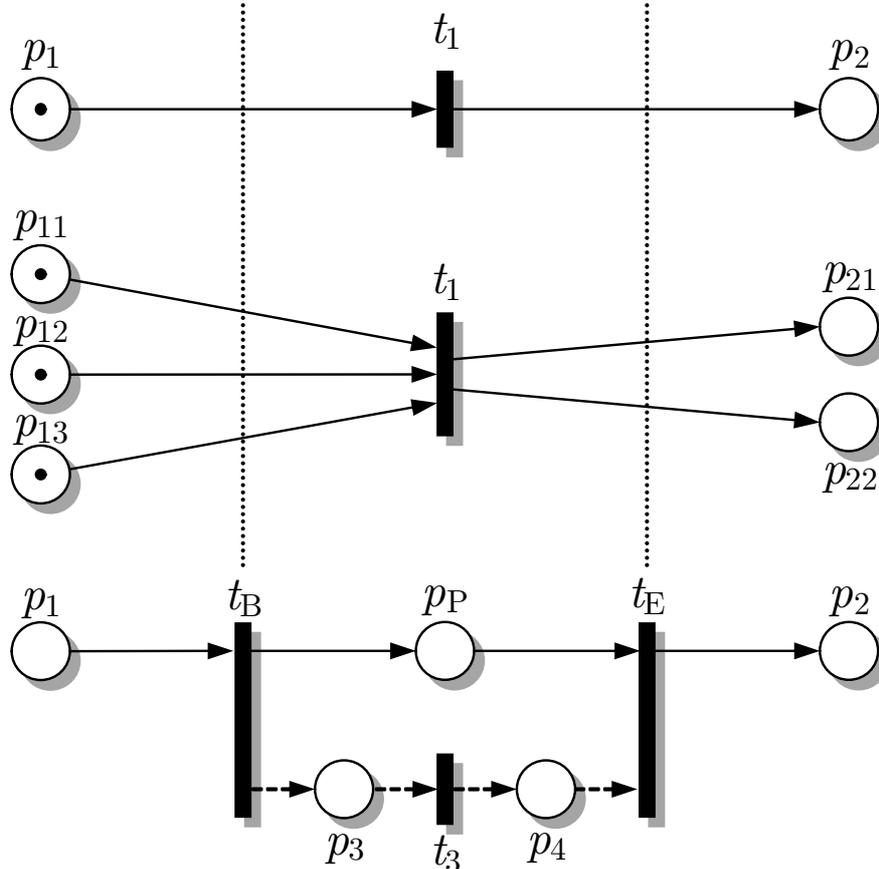


Abb. 6.7: Prozessorientierte Modellierung mit Petrinetzen

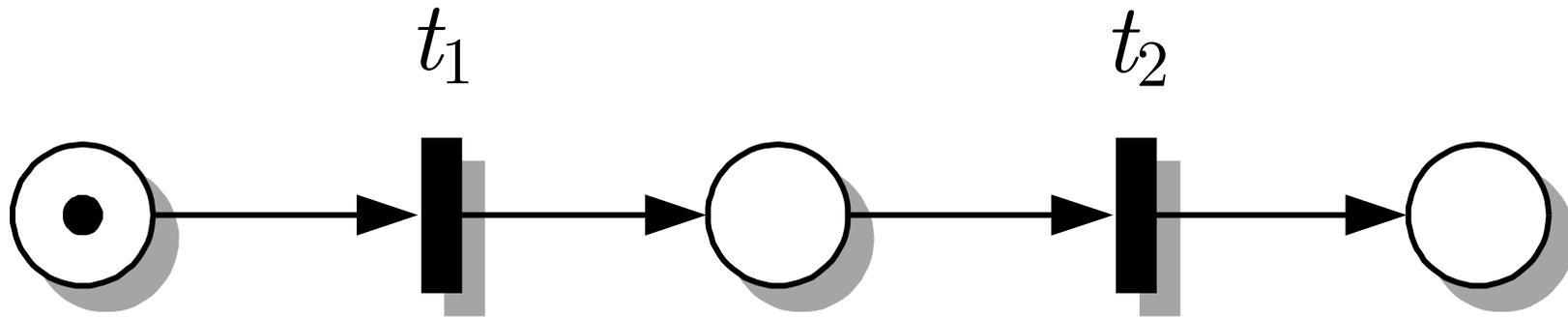
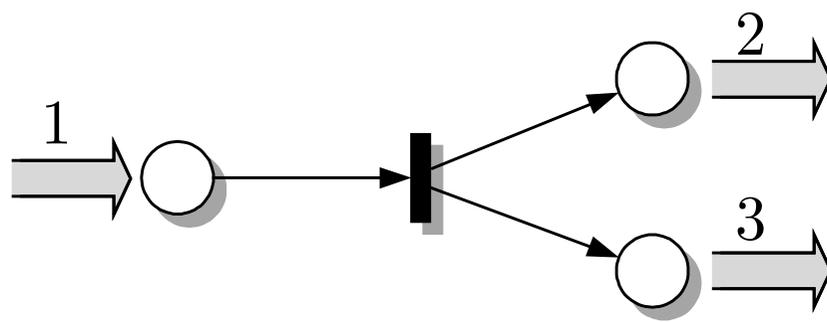
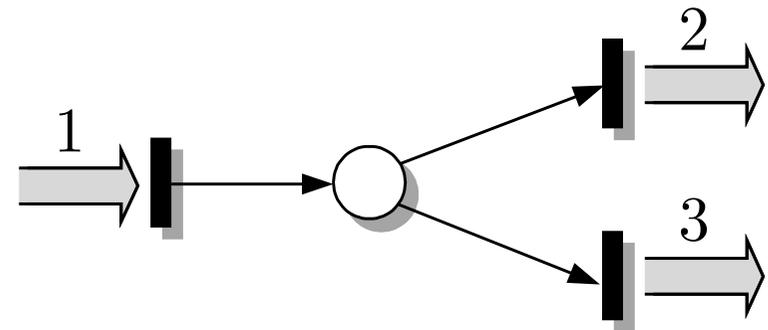


Abb. 6.8. Kausalität in Petrinetzen

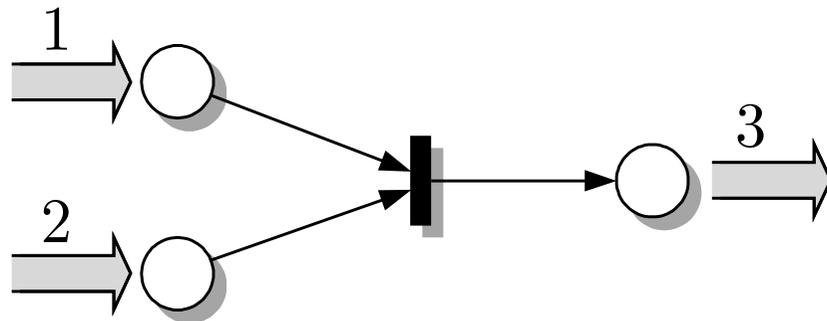
J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



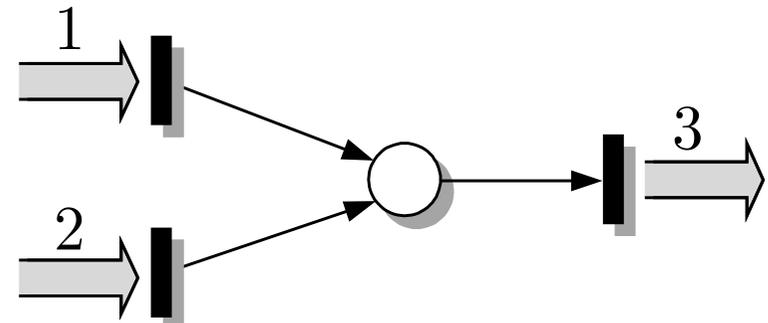
Aufspaltung



Auswahl



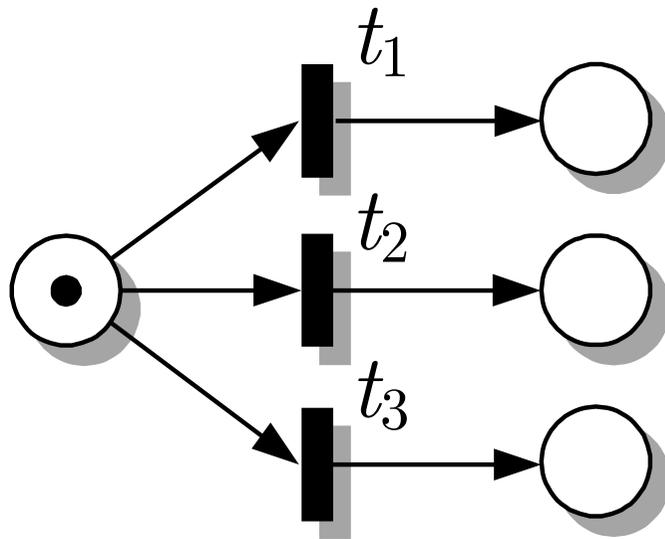
Synchronisation



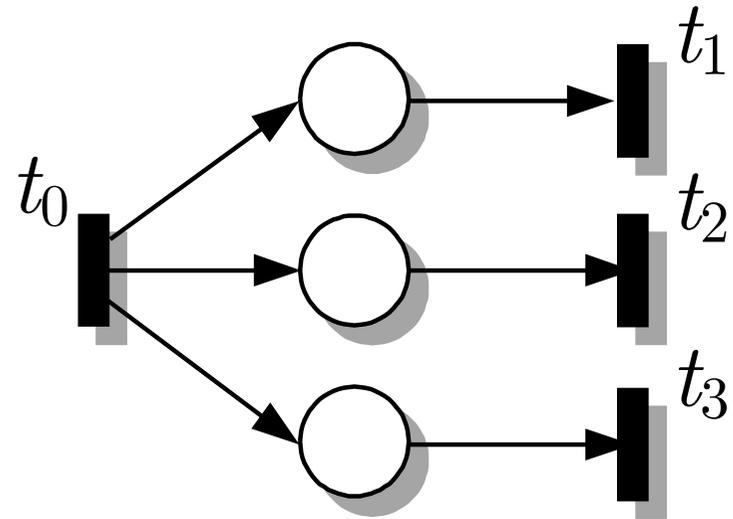
Begegnung

Abb. 6.9. Vier Standardsituationen in Petrinetzen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Auswahl



Nebenläufigkeit

Abb. 6.10. Nichtdeterministische Elemente in einem Petrinetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

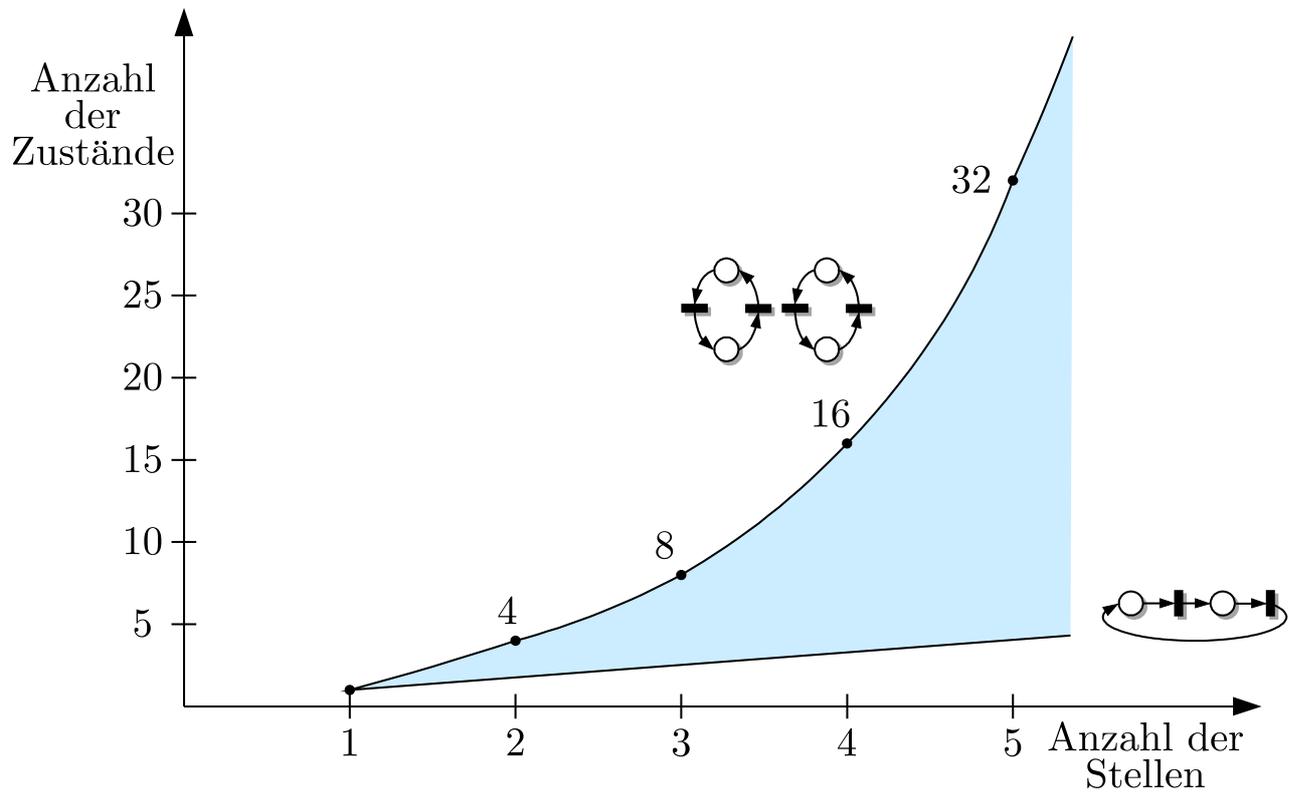


Abb. 6.11: Anzahl der mit einem Petrinetz darstellbaren Systemzustände

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

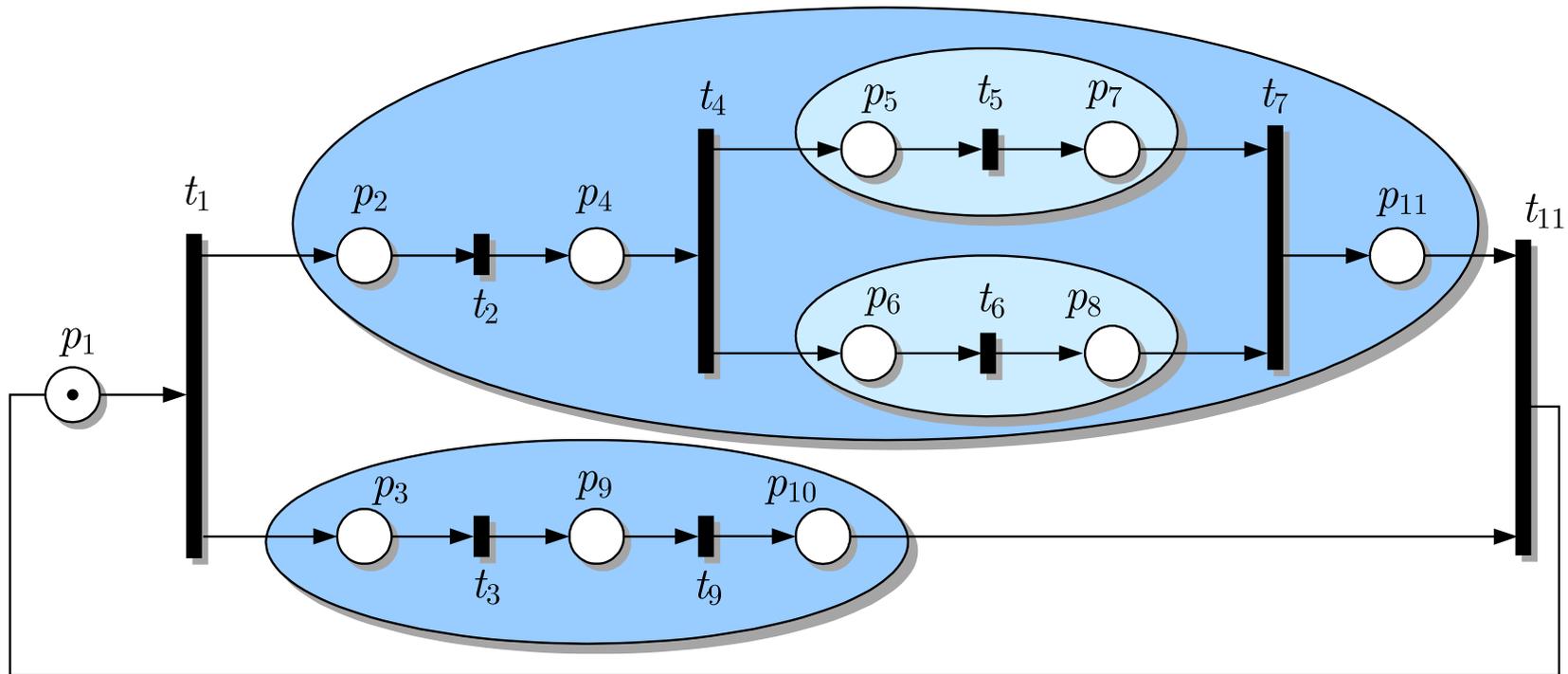


Abb. 6.12. Synchronisationsgraph

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

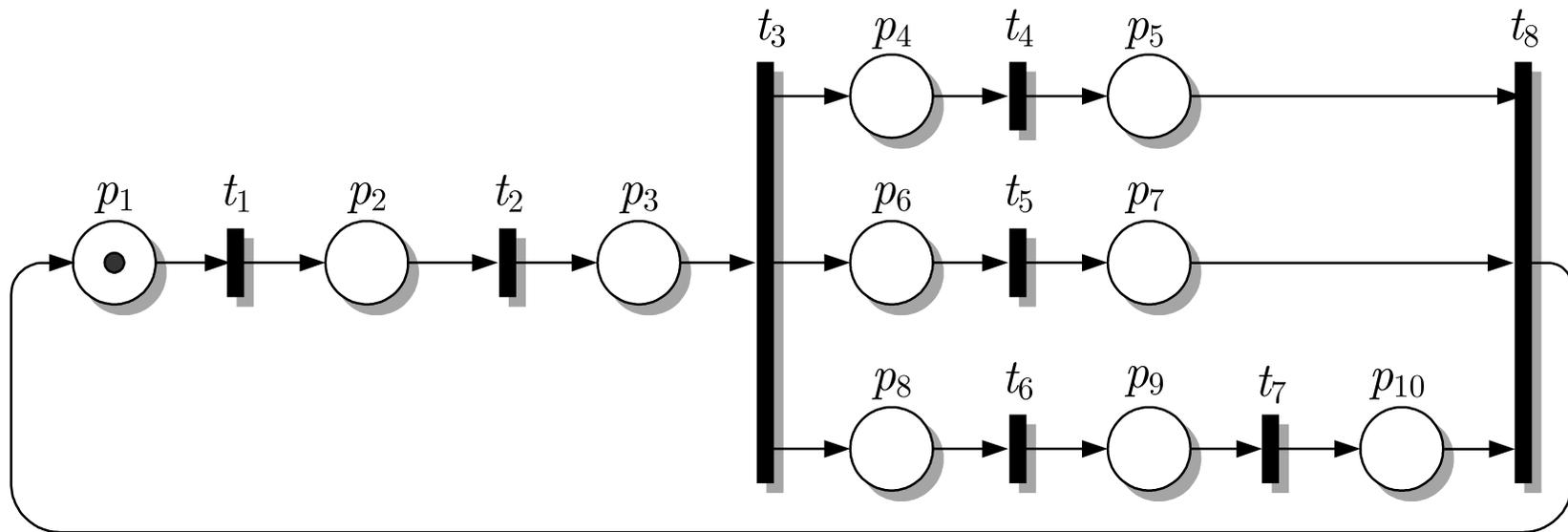


Abb. 6.13. Beschreibung des Batchprozesses durch ein Petrinetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

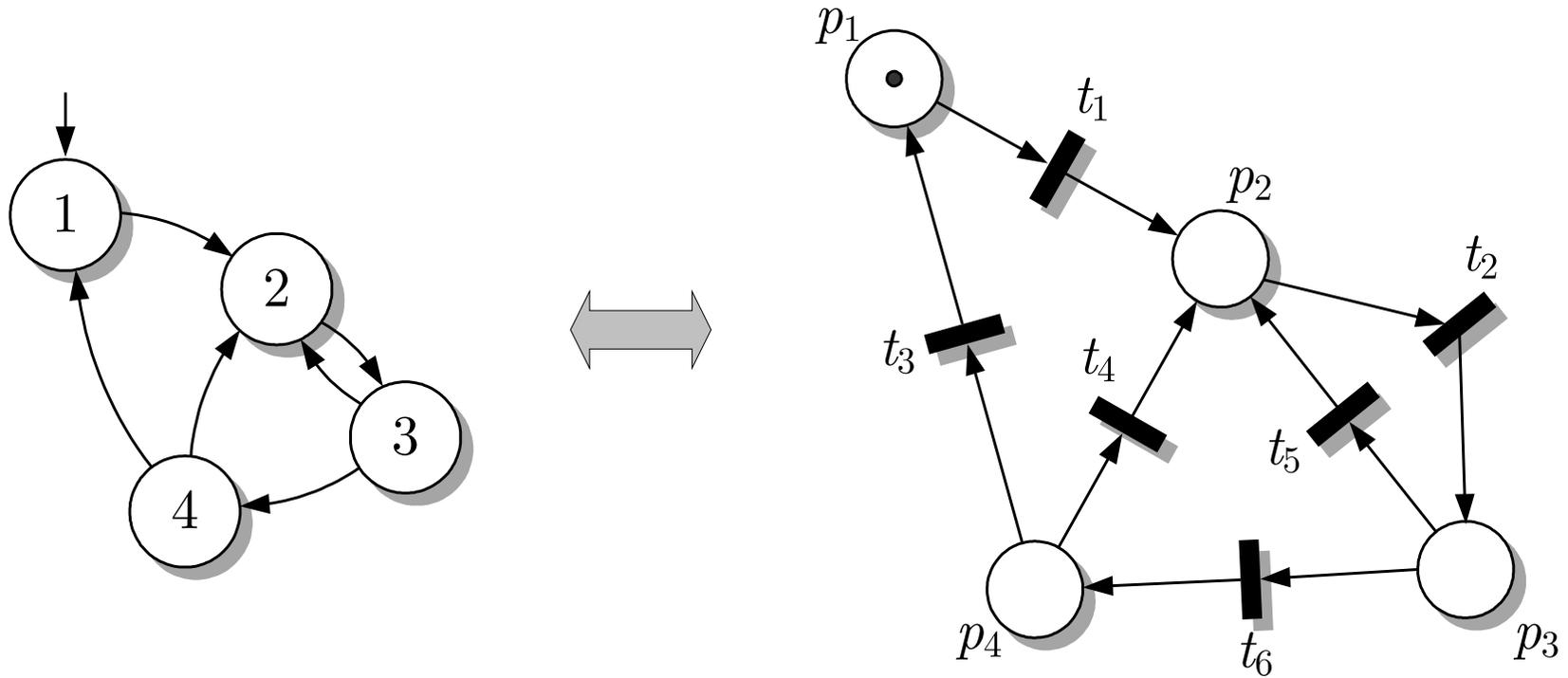


Abb. 6.14. Nichtdeterministischer Automat aus Abb. 4.1 und äquivalentes Petrinetz

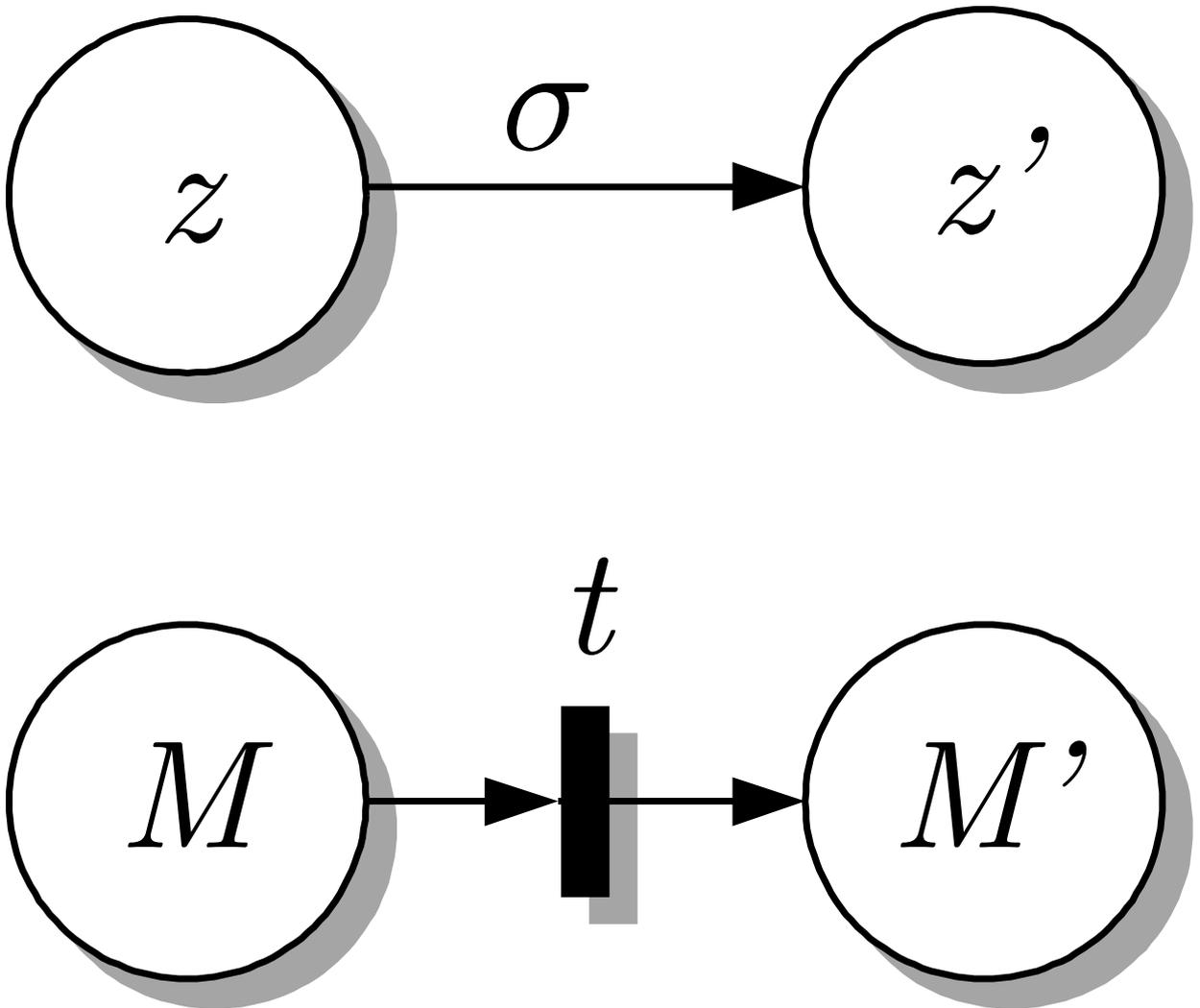


Abb. 6.15: Darstellung von Ereignissen in Σ -Automaten und Zustandsmaschinen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

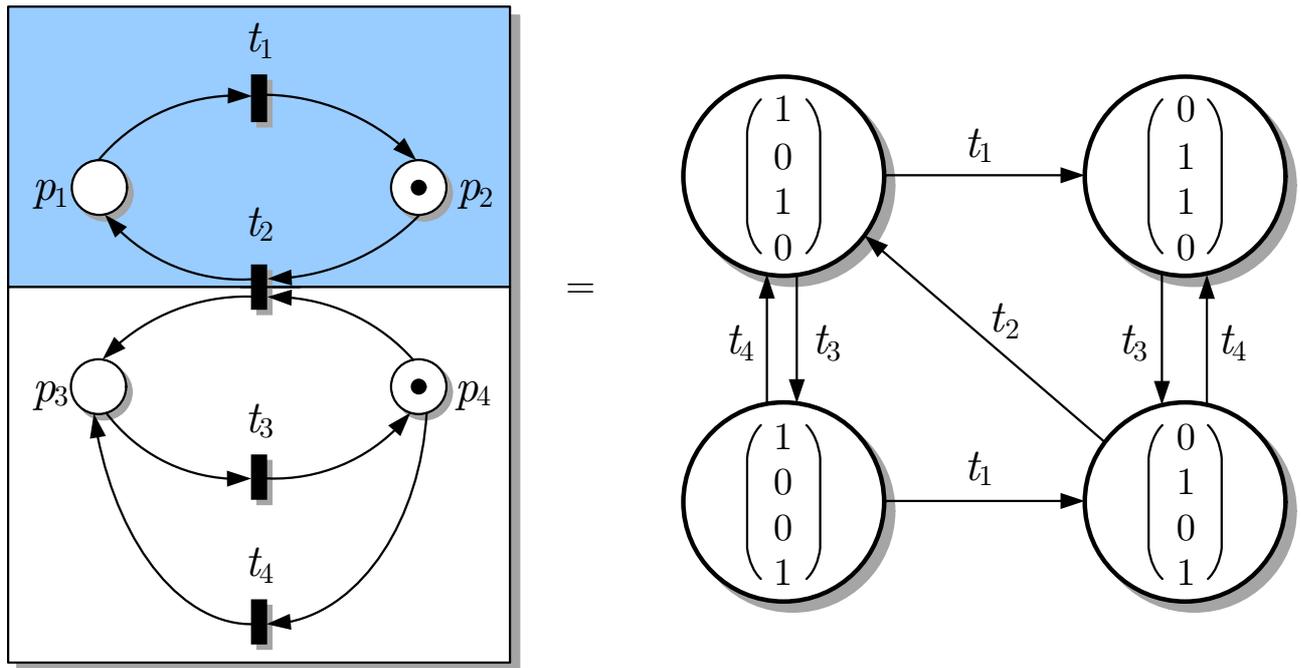


Abb. 6.16: Petrinetz und äquivalenter Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

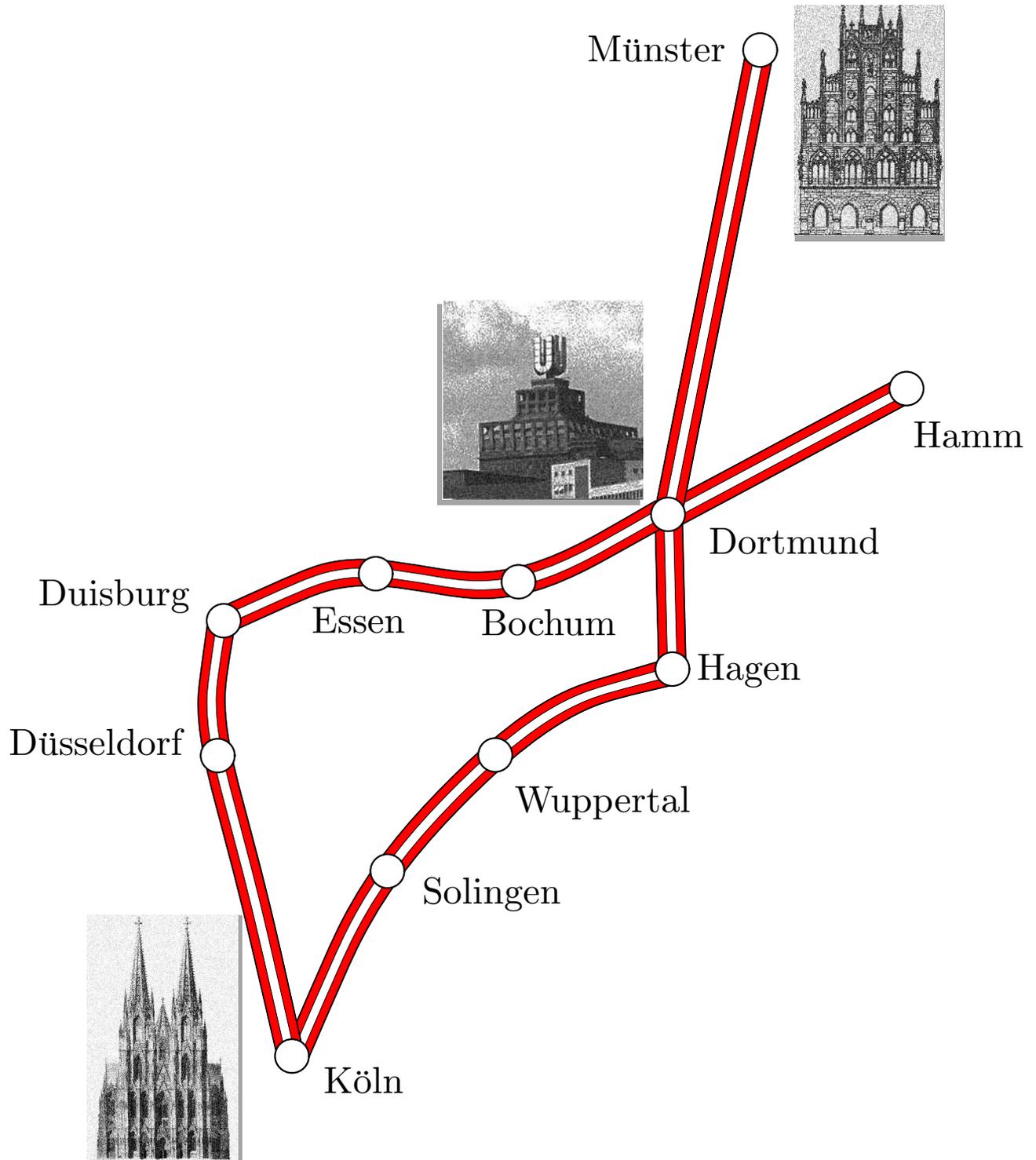


Abb. 6.17: Ausschnitt aus dem ICE-Netz der Deutschen Bahn

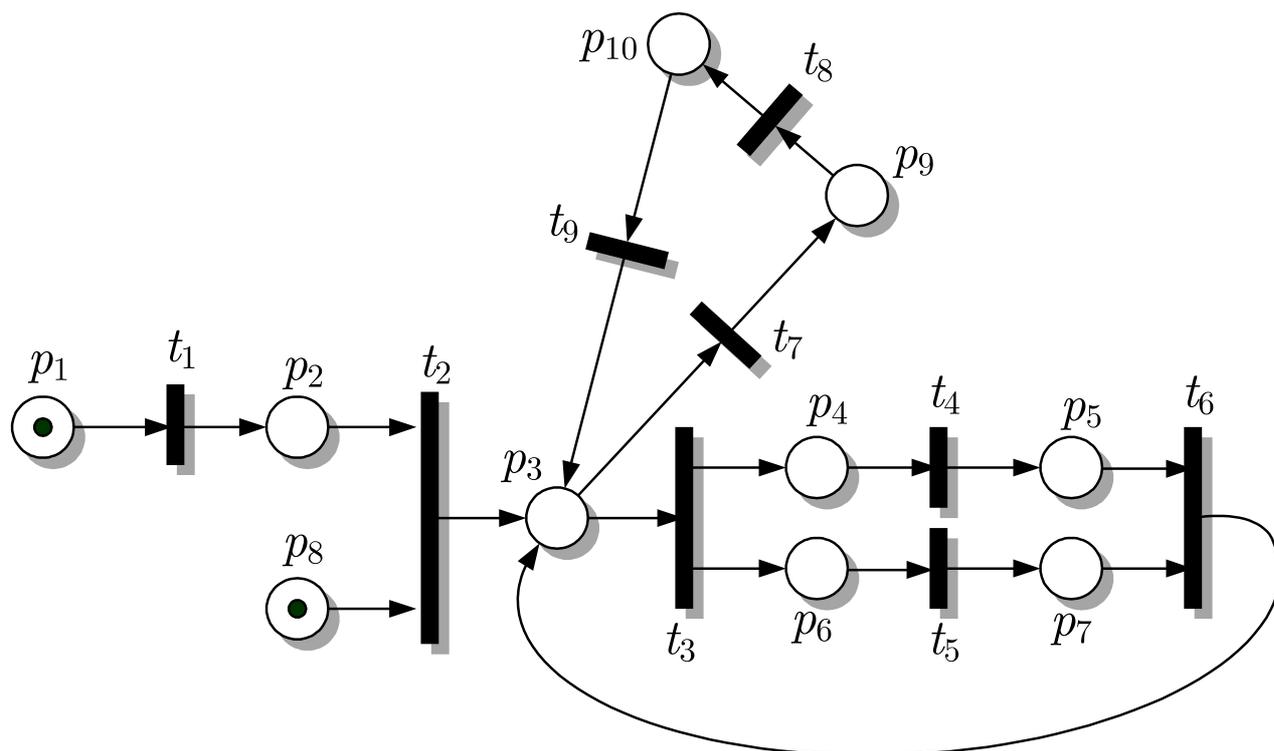
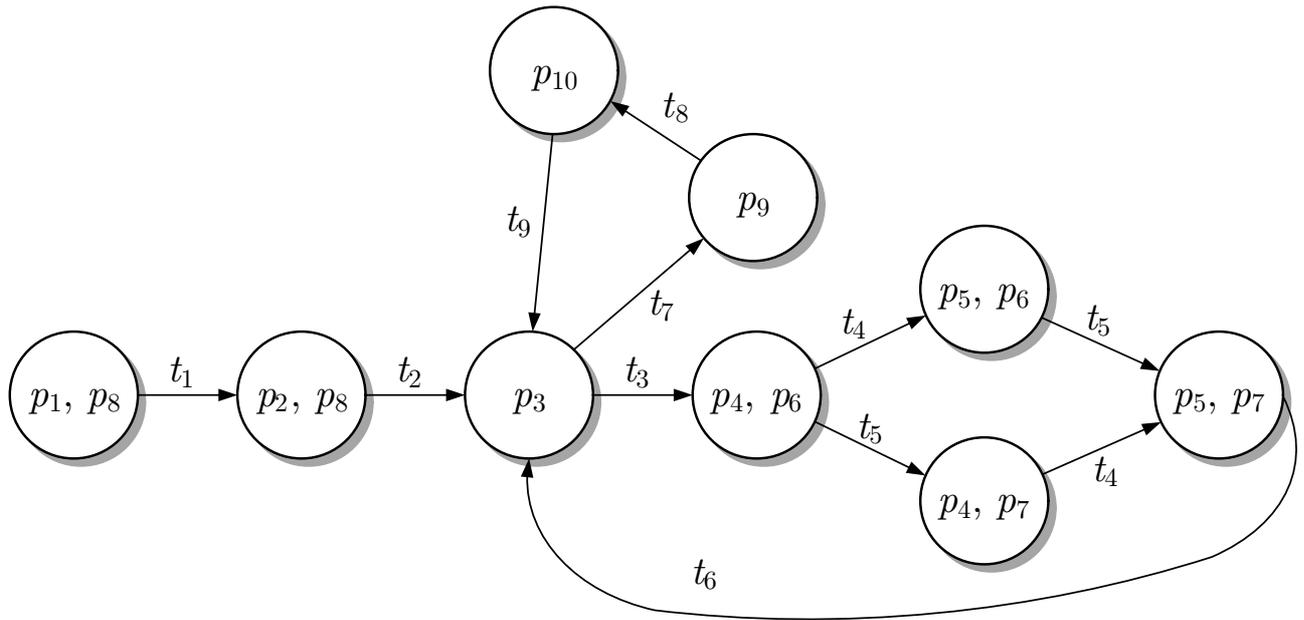


Abb. 6.18: Petrinetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 6.19: Erreichbarkeitsgraph des Petrinetzes aus
Abb. 6.18**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

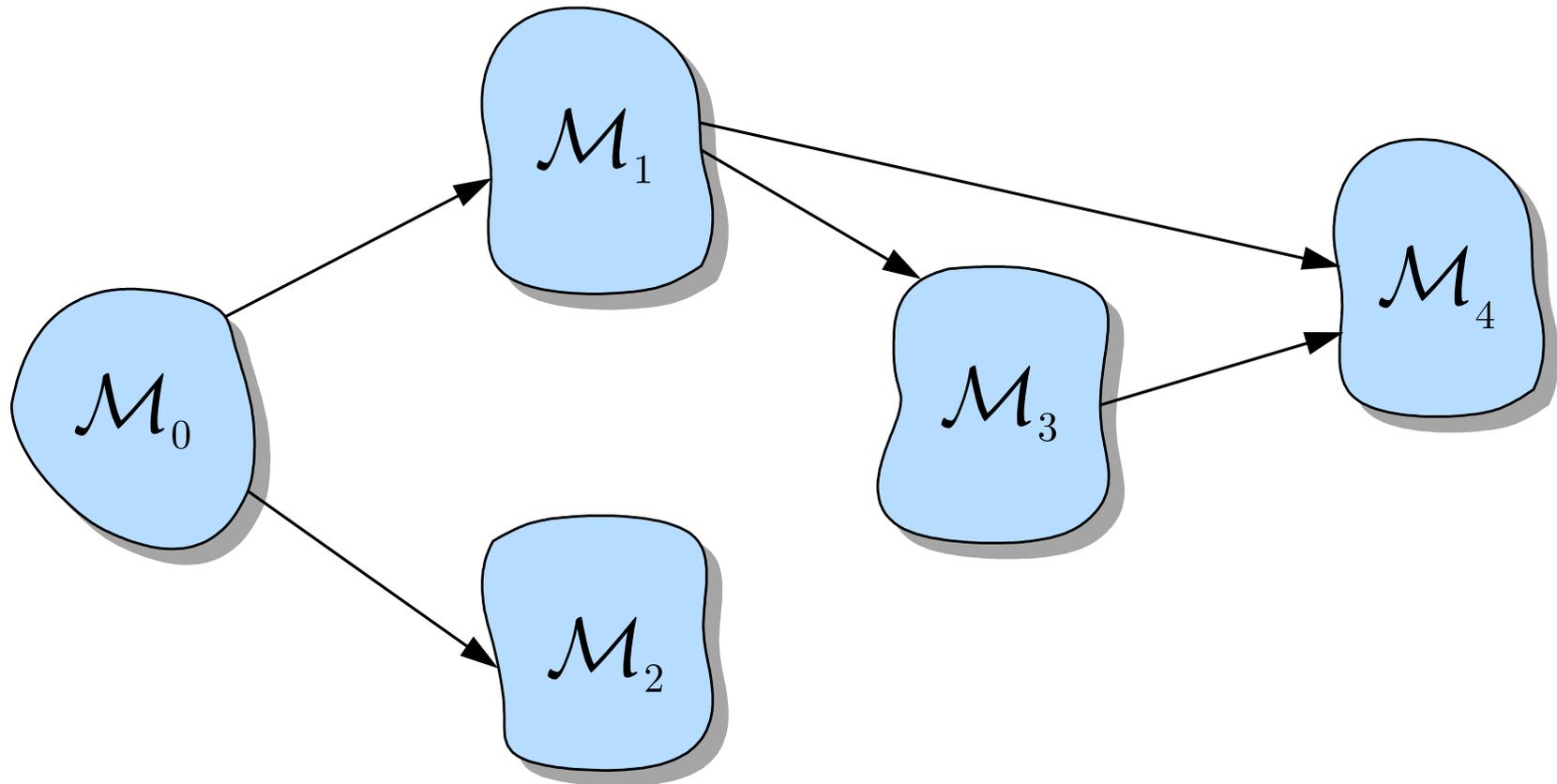


Abb. 6.20. Partitionierung des Erreichbarkeitsgraphen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

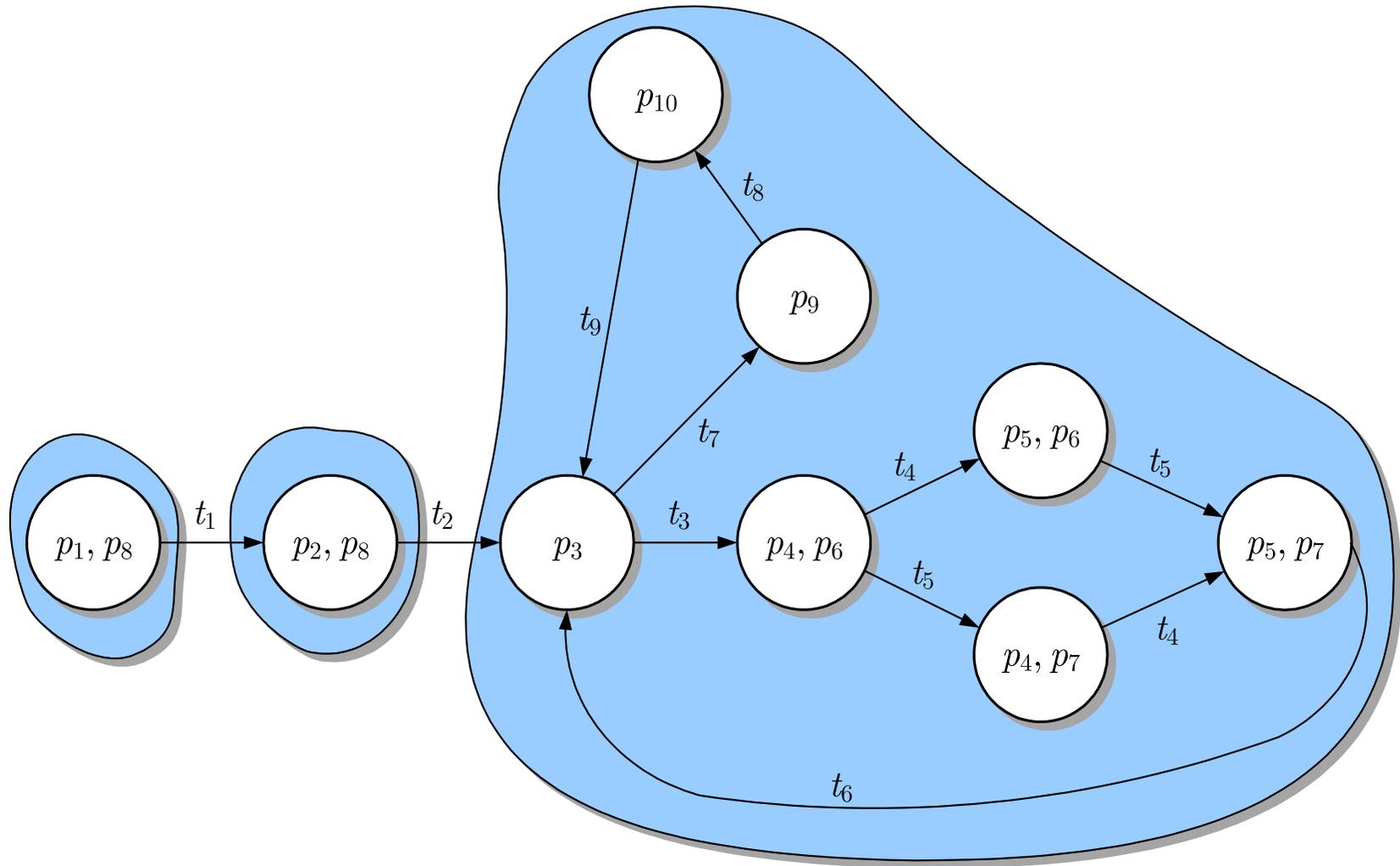


Abb. 6.21. Zerlegung des Erreichbarkeitsgraphen aus Abb. 6.19 in stark zusammenhängende Komponenten

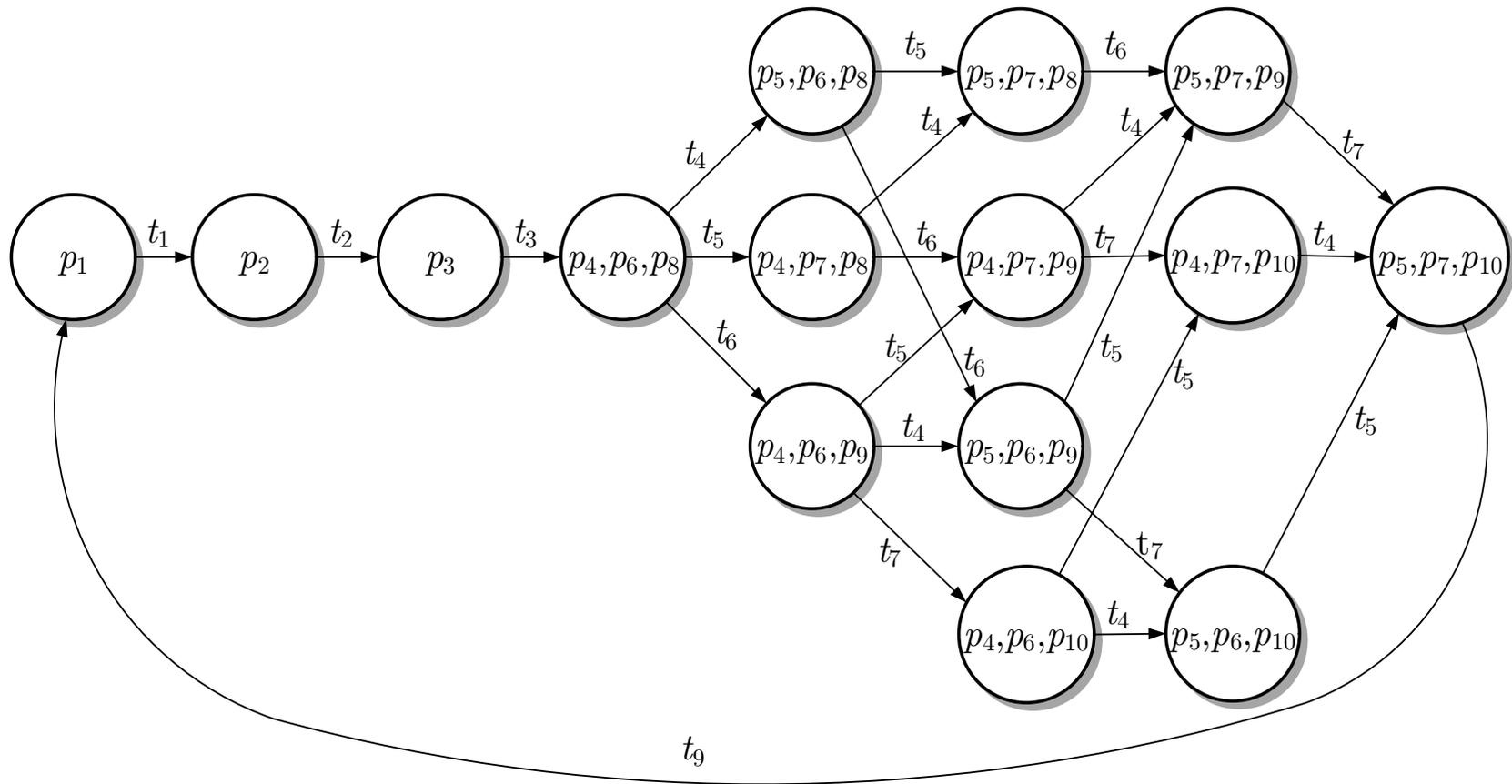


Abb. 6.22. Erreichbarkeitsgraph des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

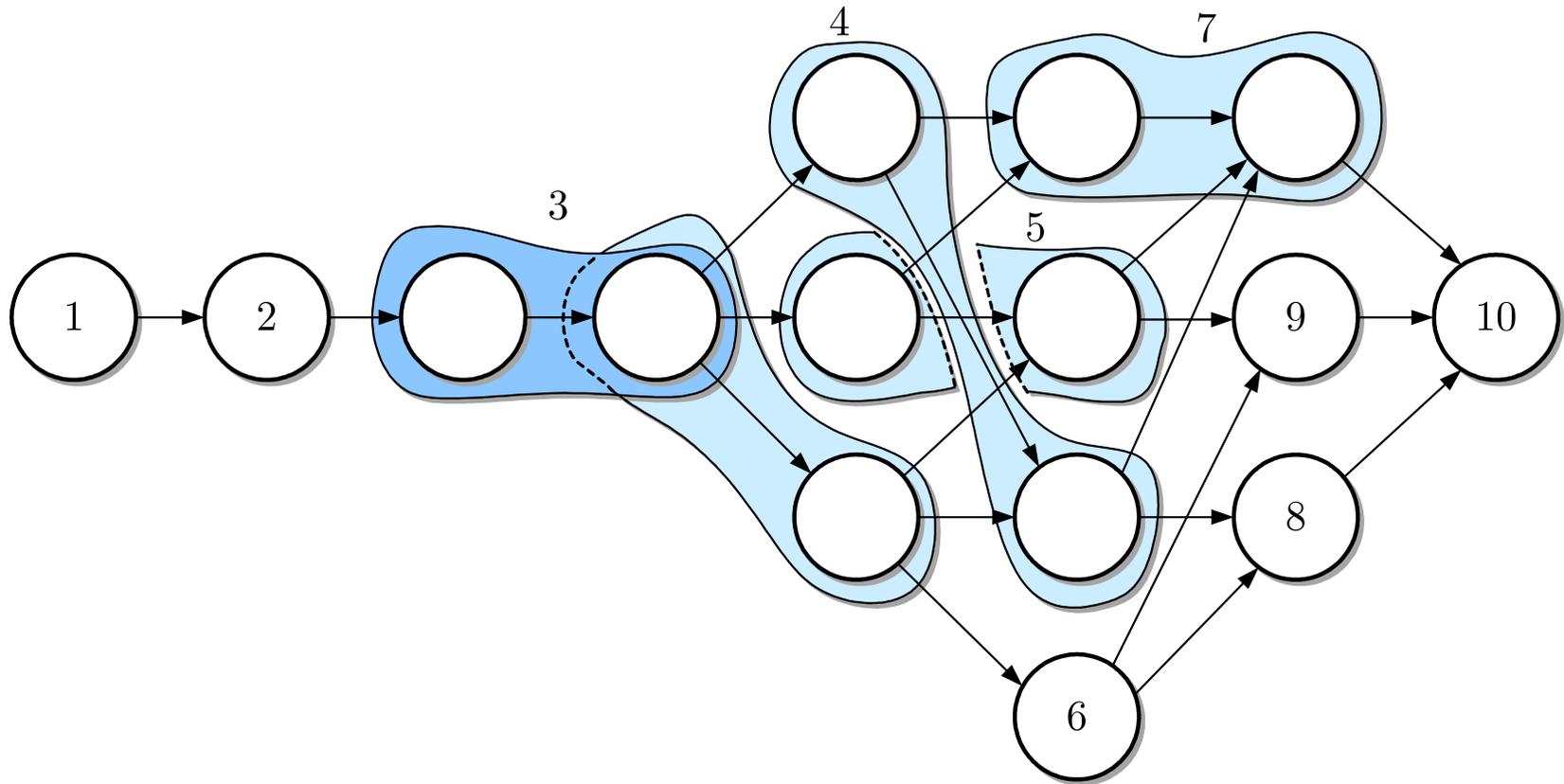


Abb. 6.23. Zusammenfassung von Knoten im Erreichbarkeitsgraphen des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

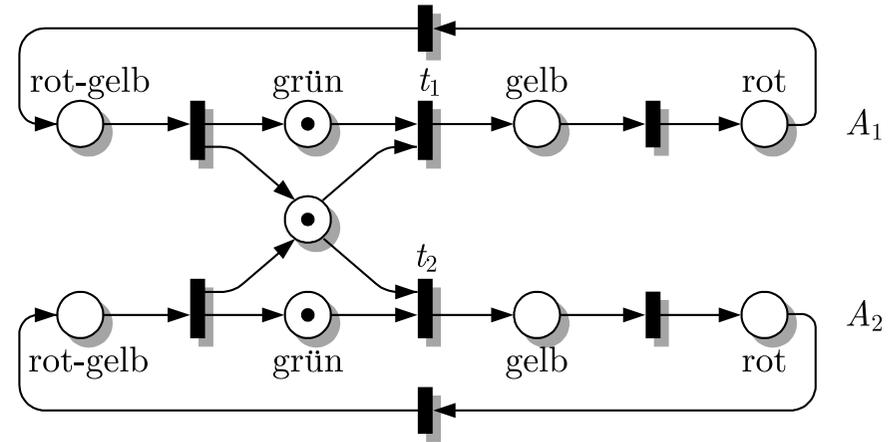
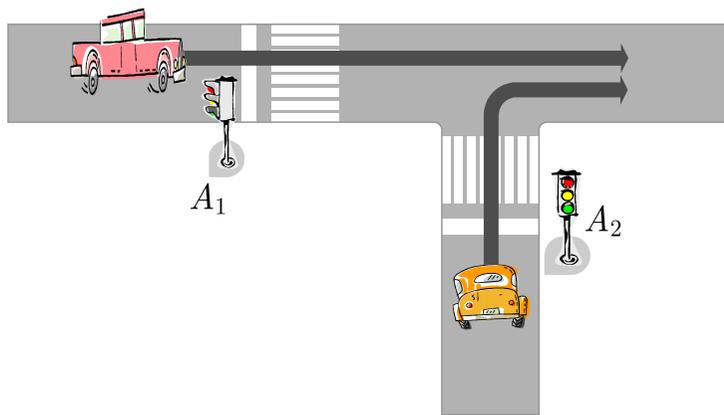


Abb. 6.24. Steuerung einer Verkehrsampel

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

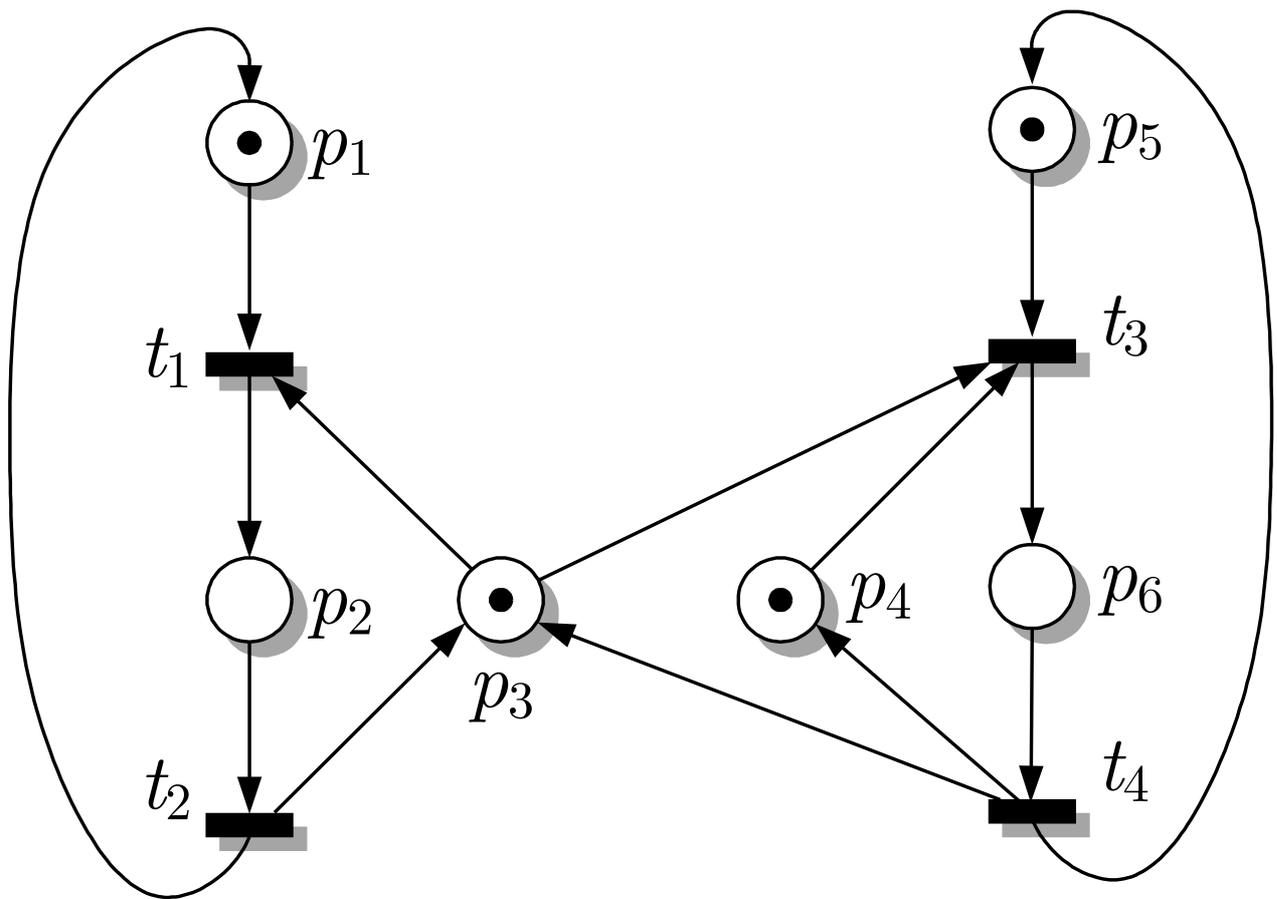
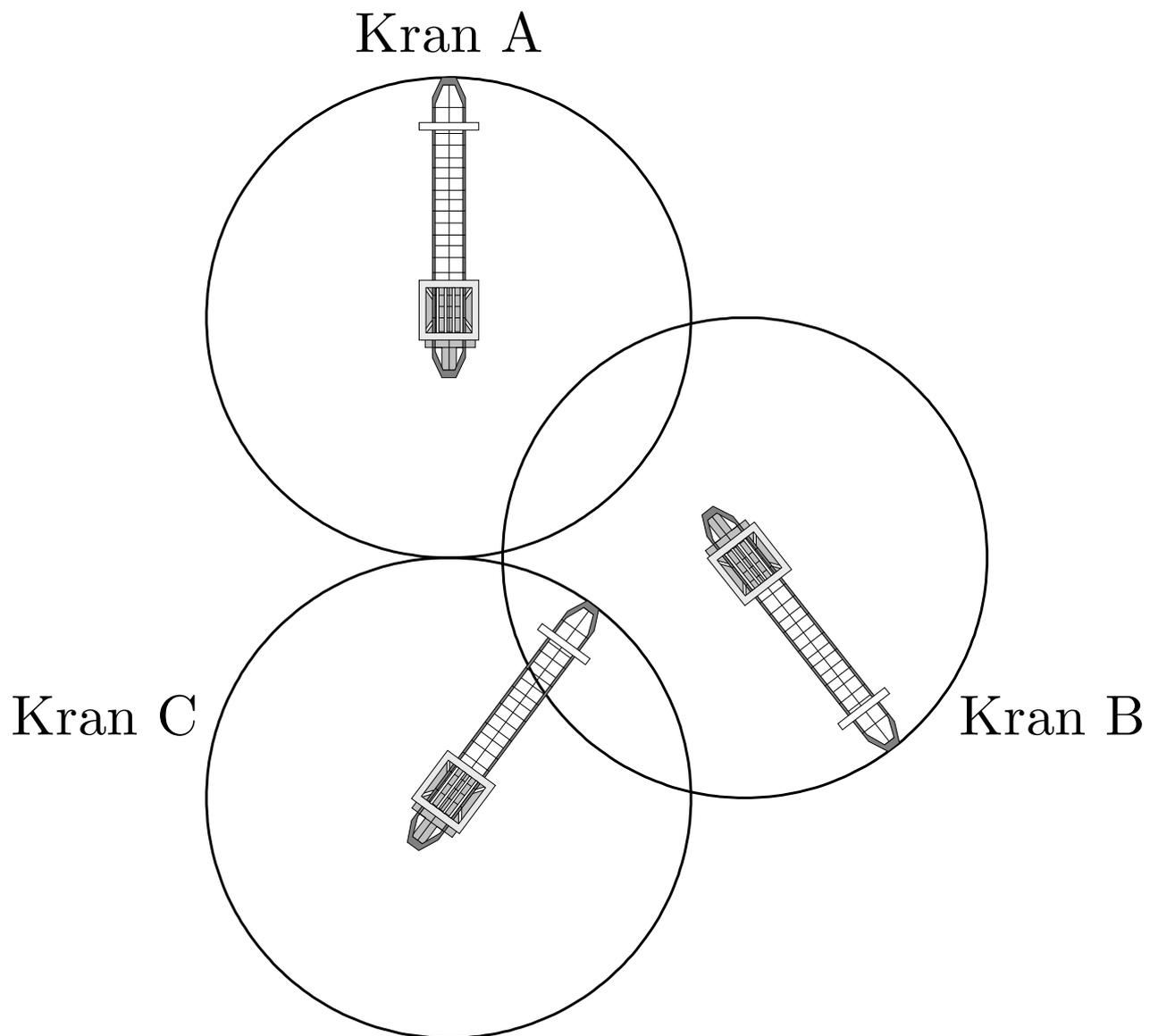


Abb. 6.25: Petrinetz zur Darstellung der Signalübertragung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 6.26: Anordnung der Kräne auf der Baustelle
(Draufsicht)**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

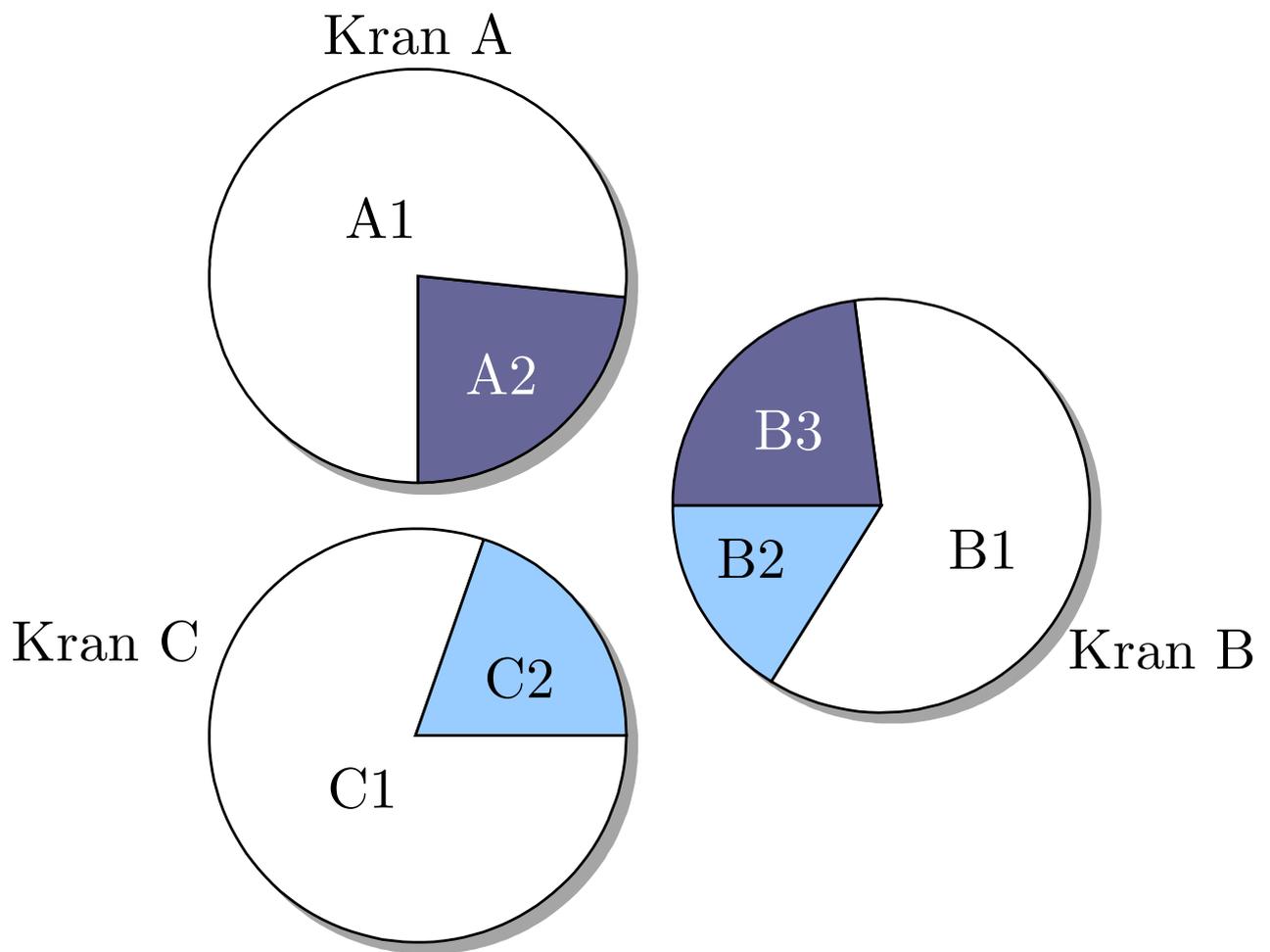


Abb. 6.26: Kollisionsbereiche der KrÄne

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

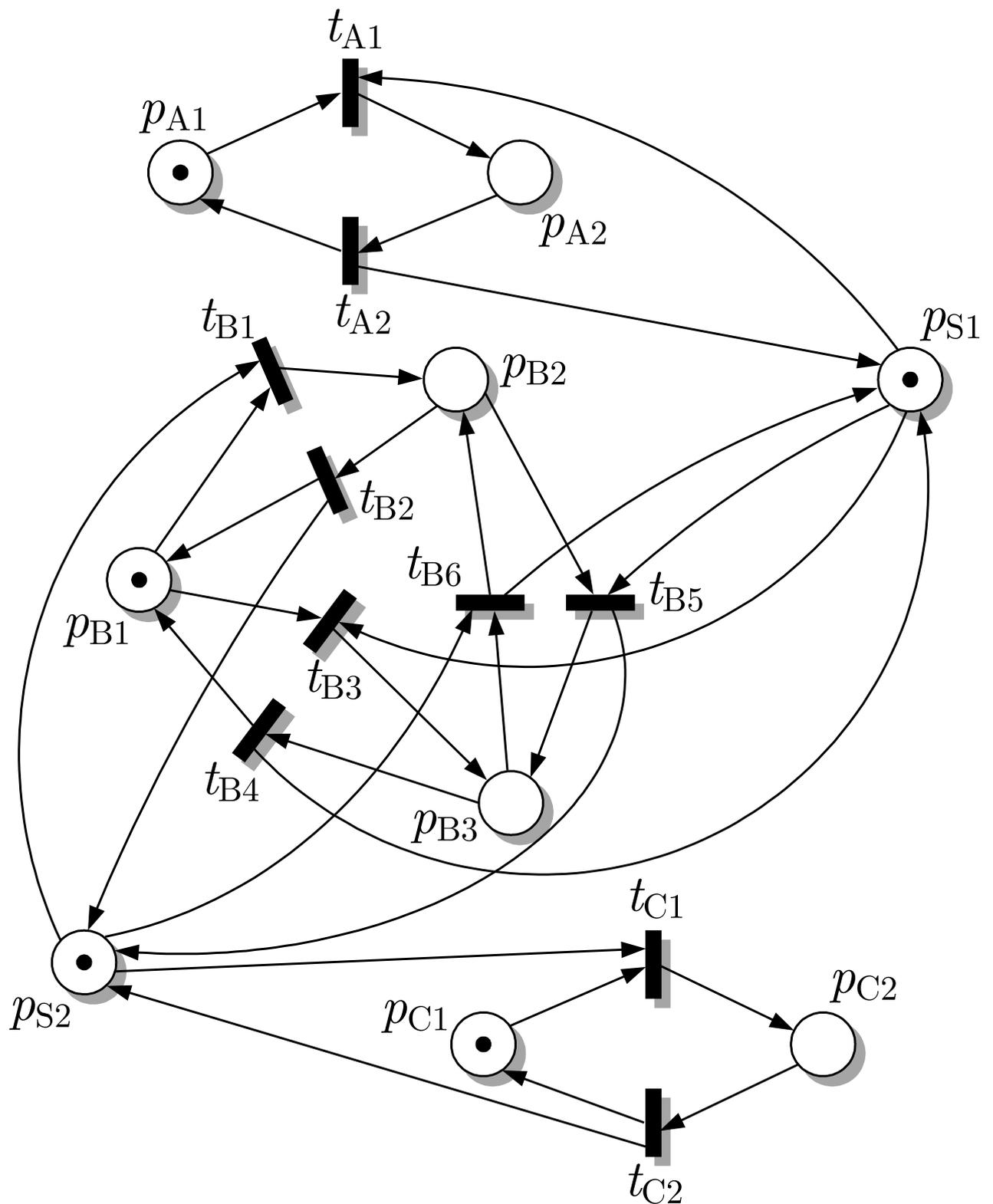


Abb. 6.27: Modell der gesteuerten Kräne

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

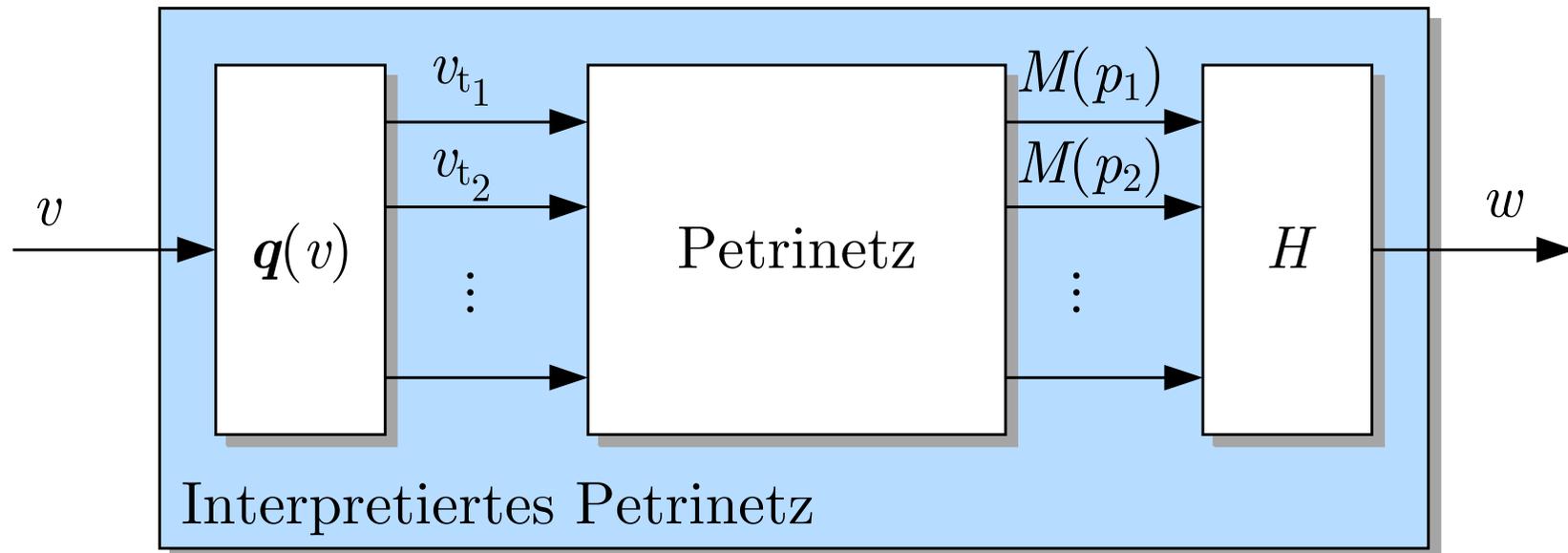


Abb. 6.28. Steuerungstechnisch interpretiertes Petrinetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

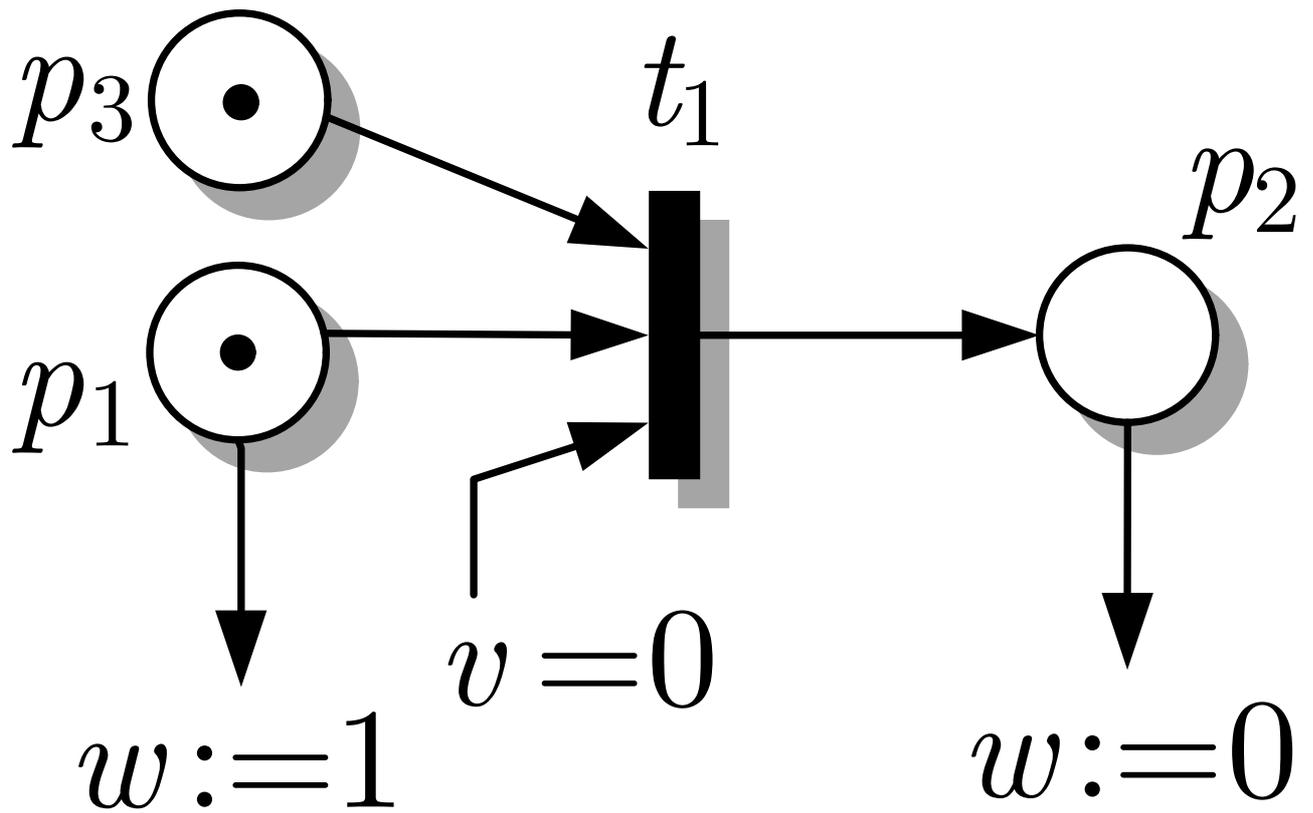


Abb. 6.29: Elemente eines interpretierten Petrinetzes

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

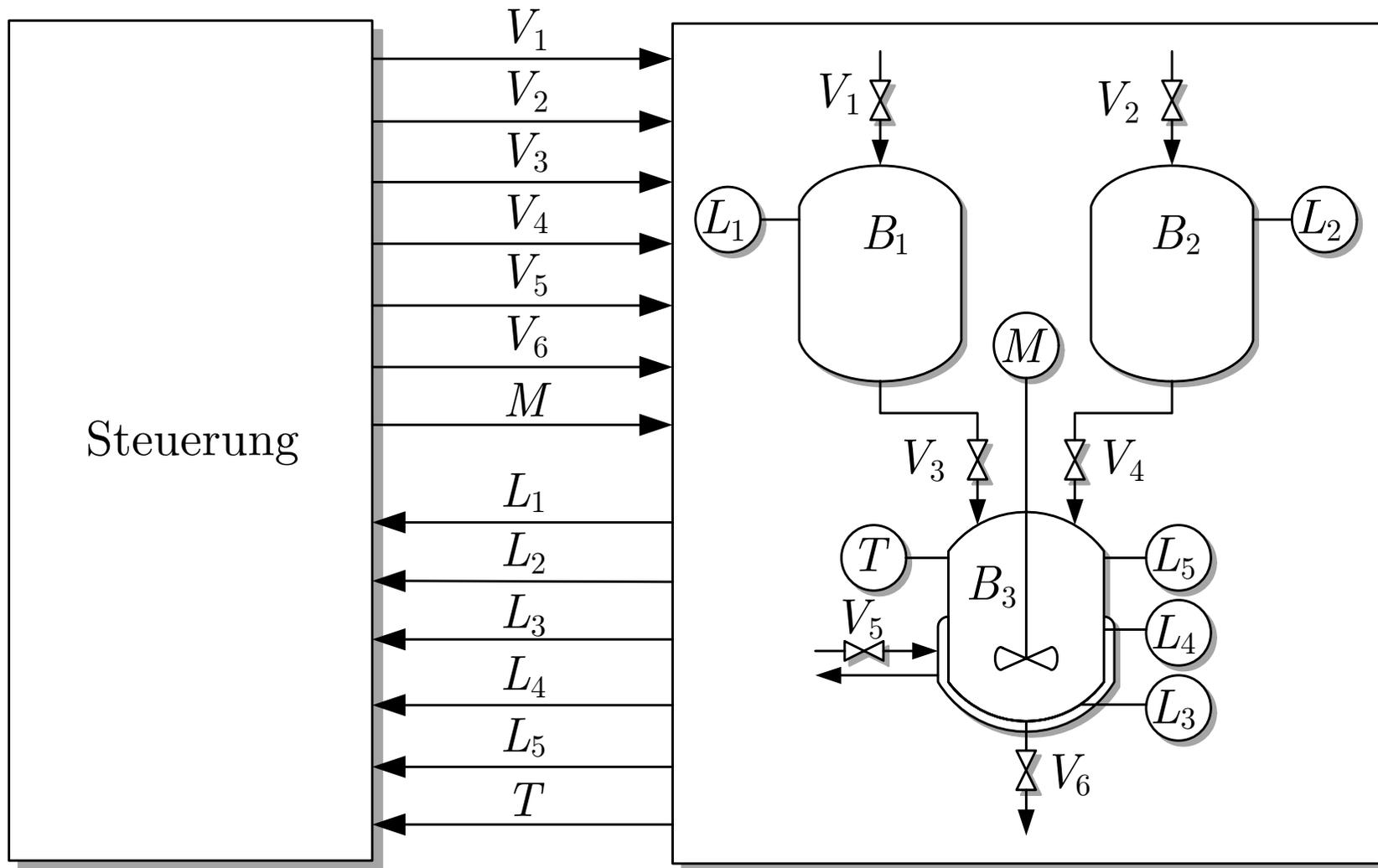


Abb. 6.30. Steuerung des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

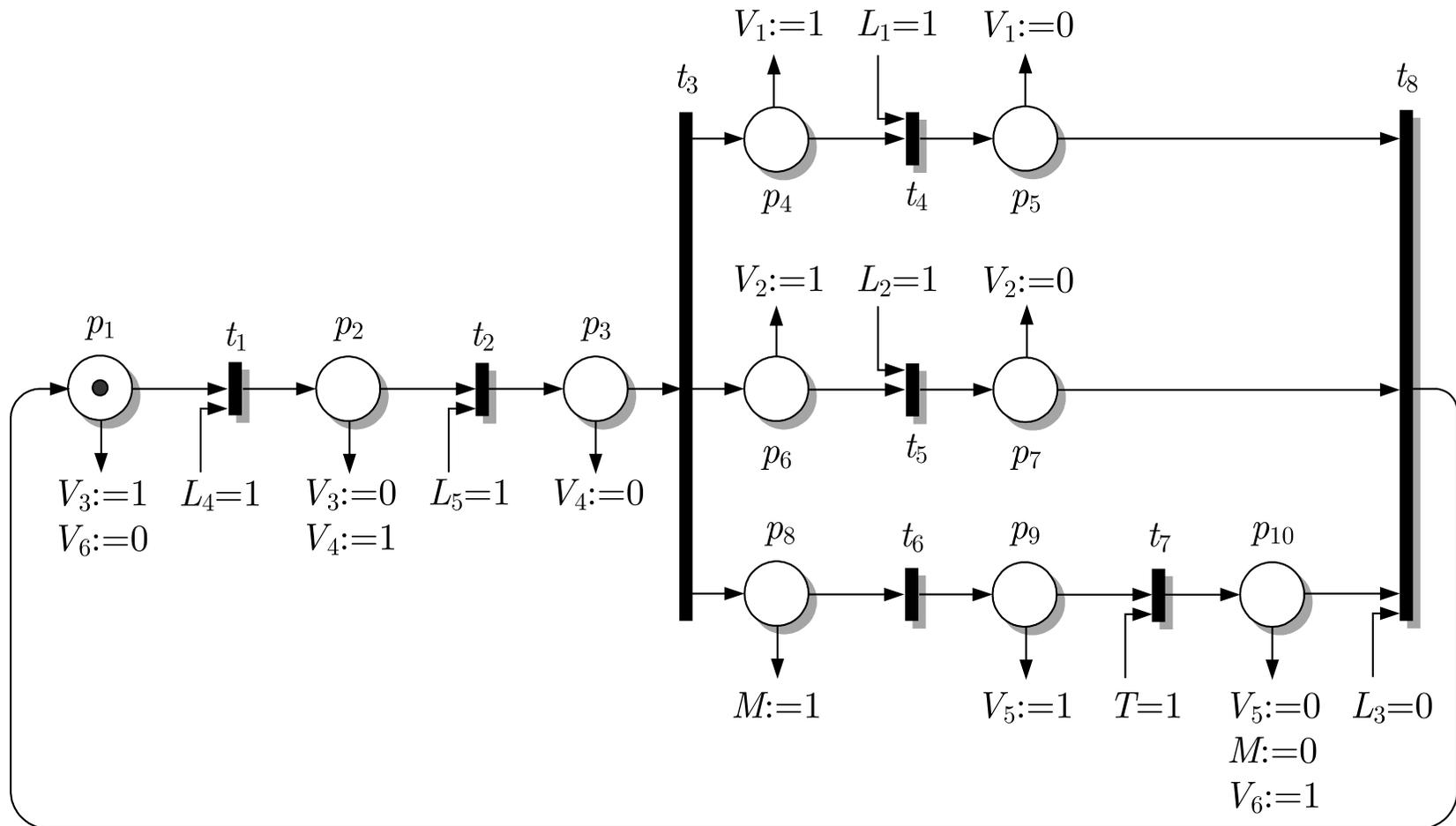


Abb. 6.31. Steuerungsalgorithmus für den Batchprozess

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

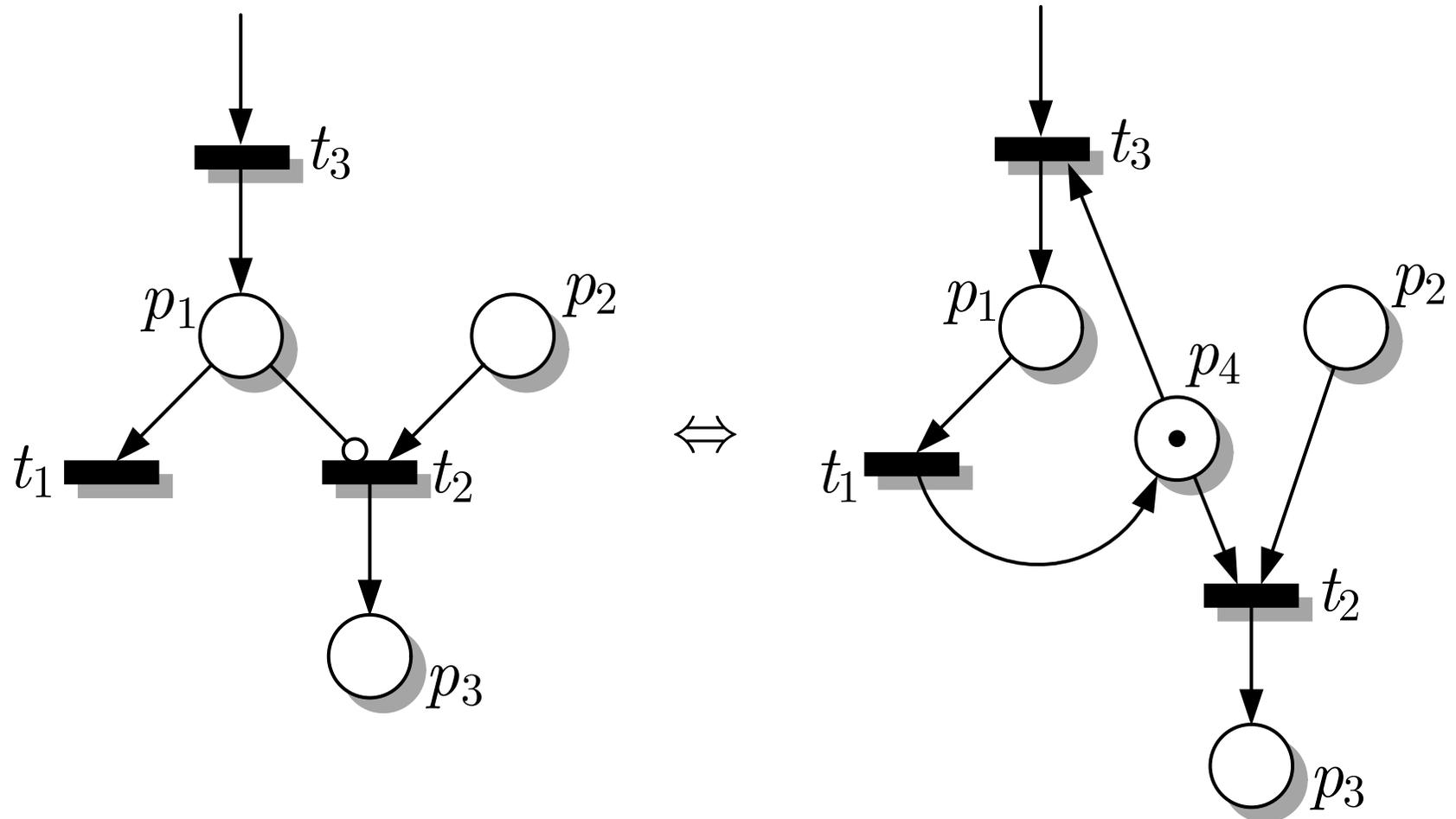


Abb. 6.32. Definition einer InhibitorKante

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

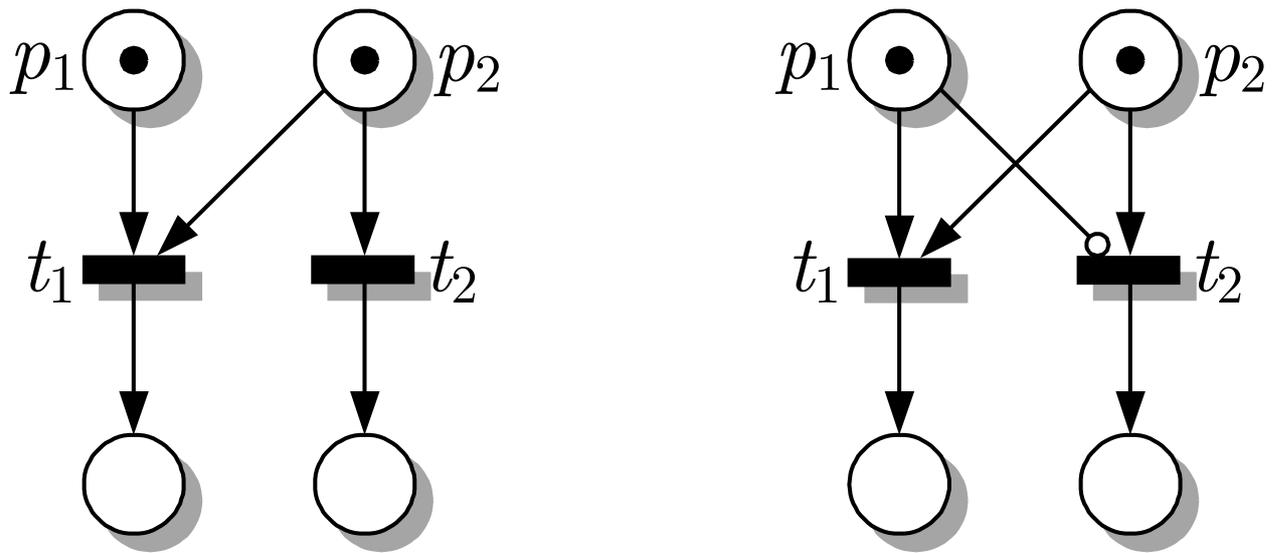


Abb. 6.33: Priorisierung des Schaltens der Transition t_2 mit Hilfe einer Inhibitorkante

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

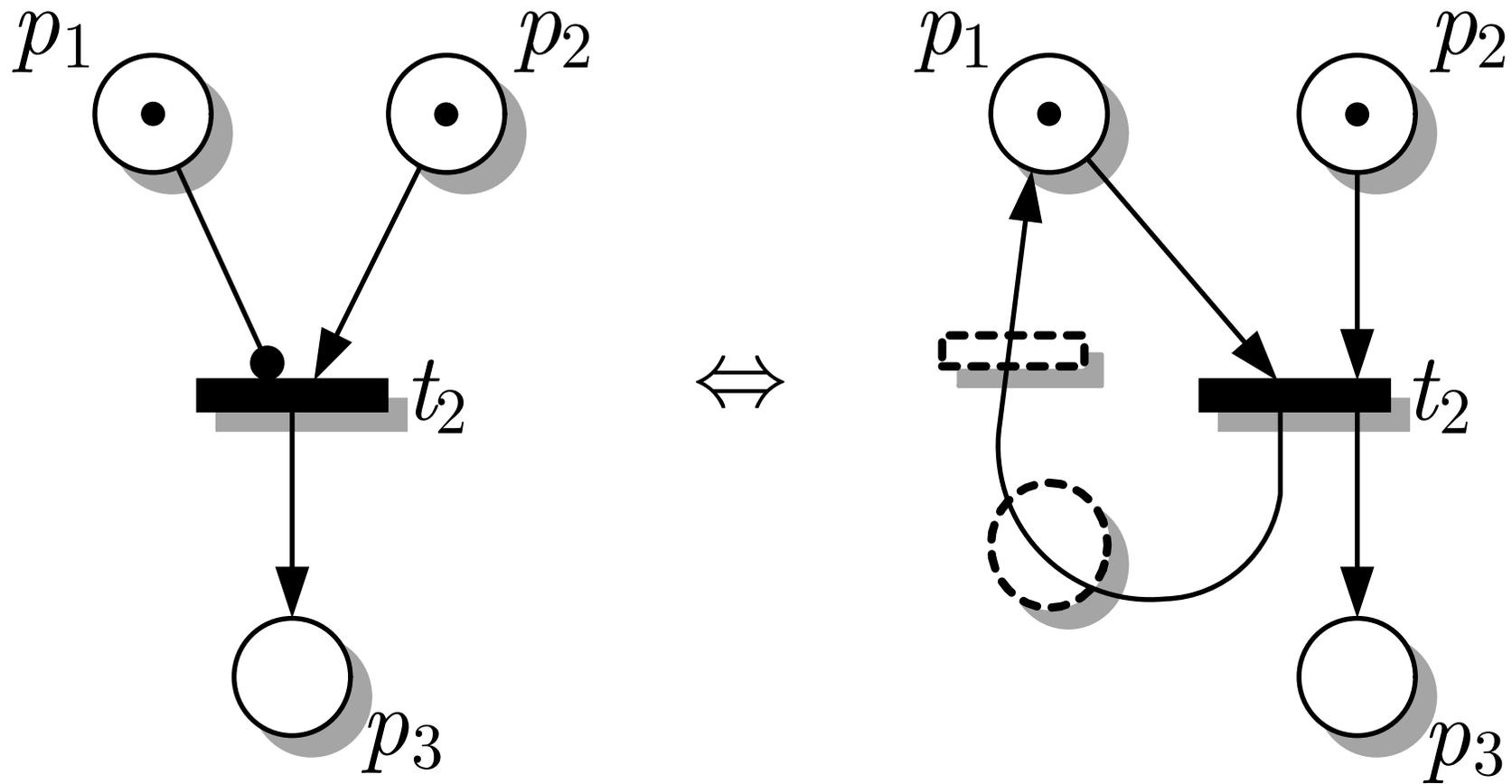


Abb. 6.34. Definition einer Testkante

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

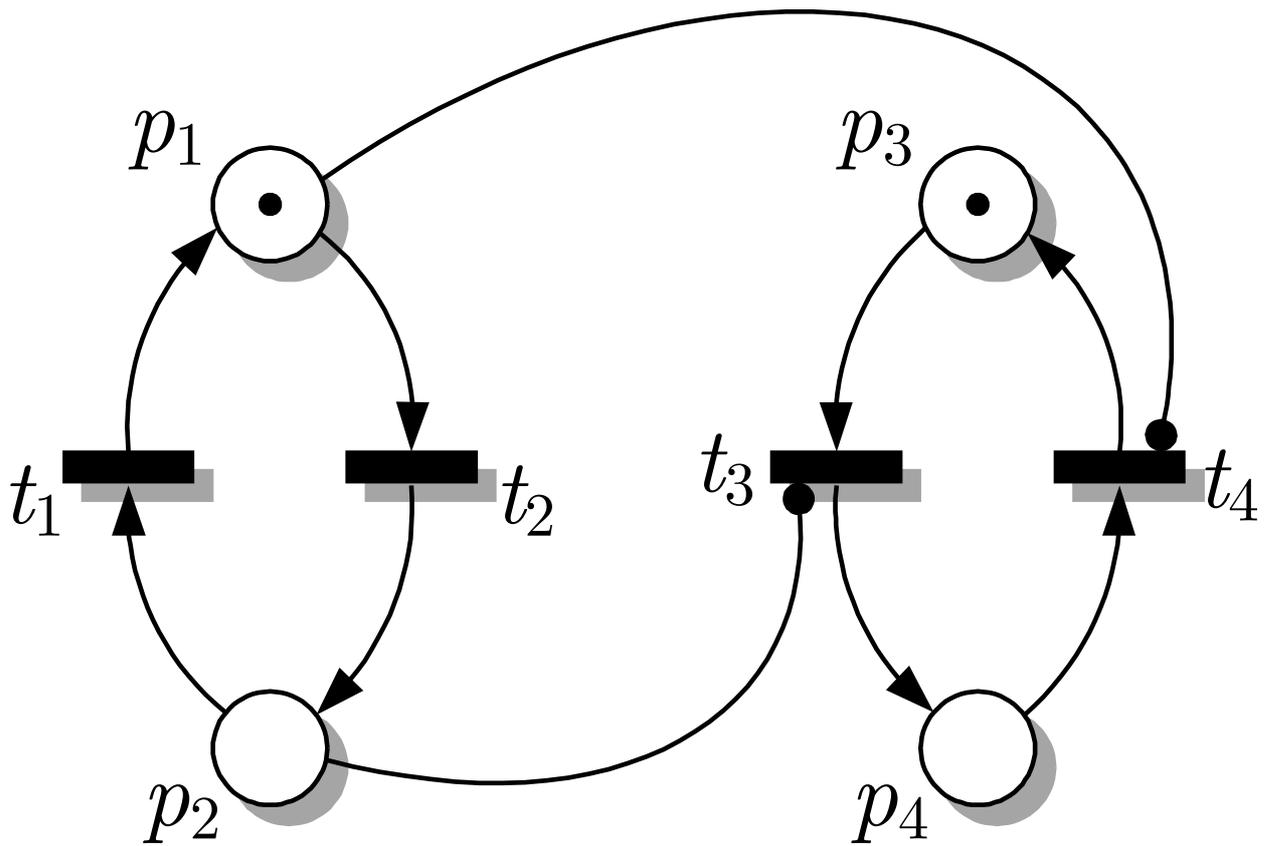


Abb. 6.35: Darstellung eines Verhaltens der Regelstrecke der Füllstandsregelung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

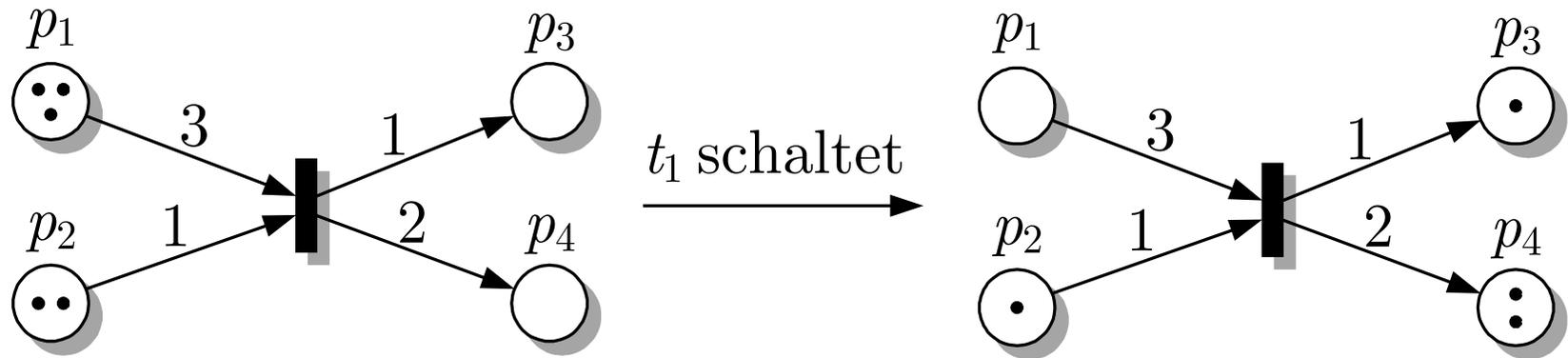


Abb. 6.36. S/T-Netz ohne Kapazitätsbeschränkungen der Stellen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

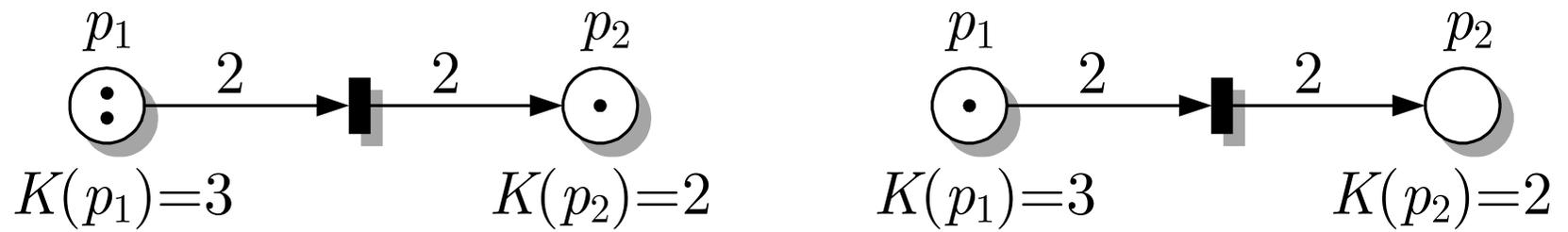


Abb. 6.37. S/T-Netz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

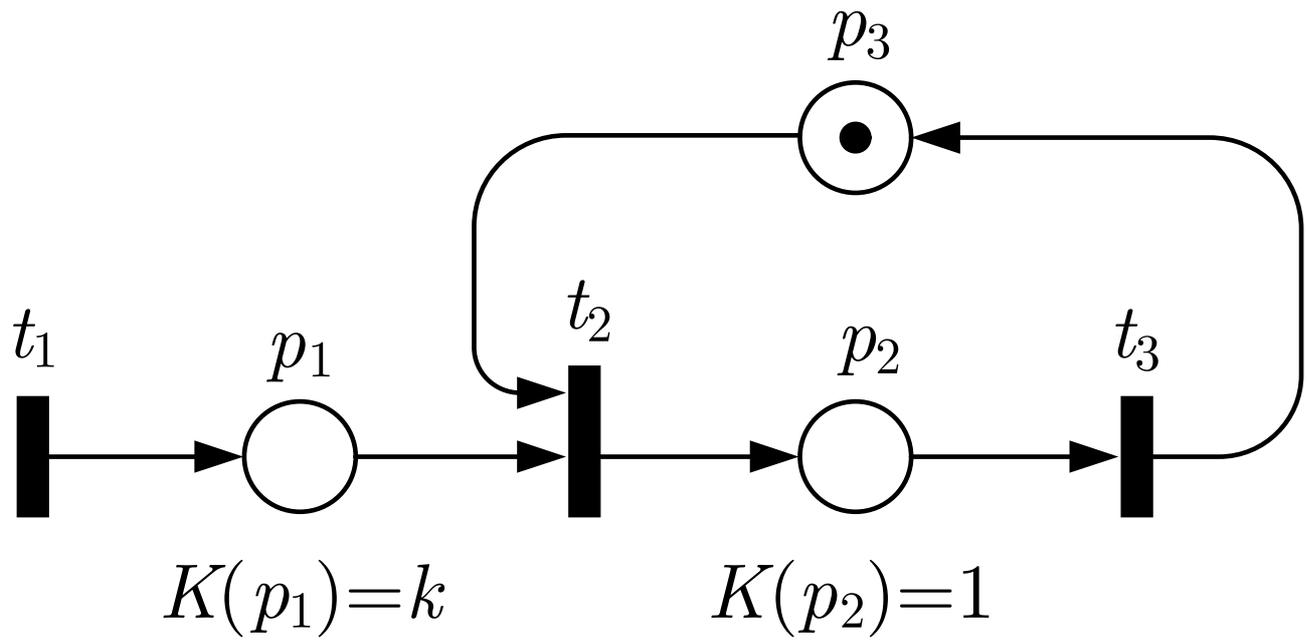


Abb. 6.38: Beschreibung eines Wartesystems durch ein Petrinetz mit Kapazitätsbeschränkung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

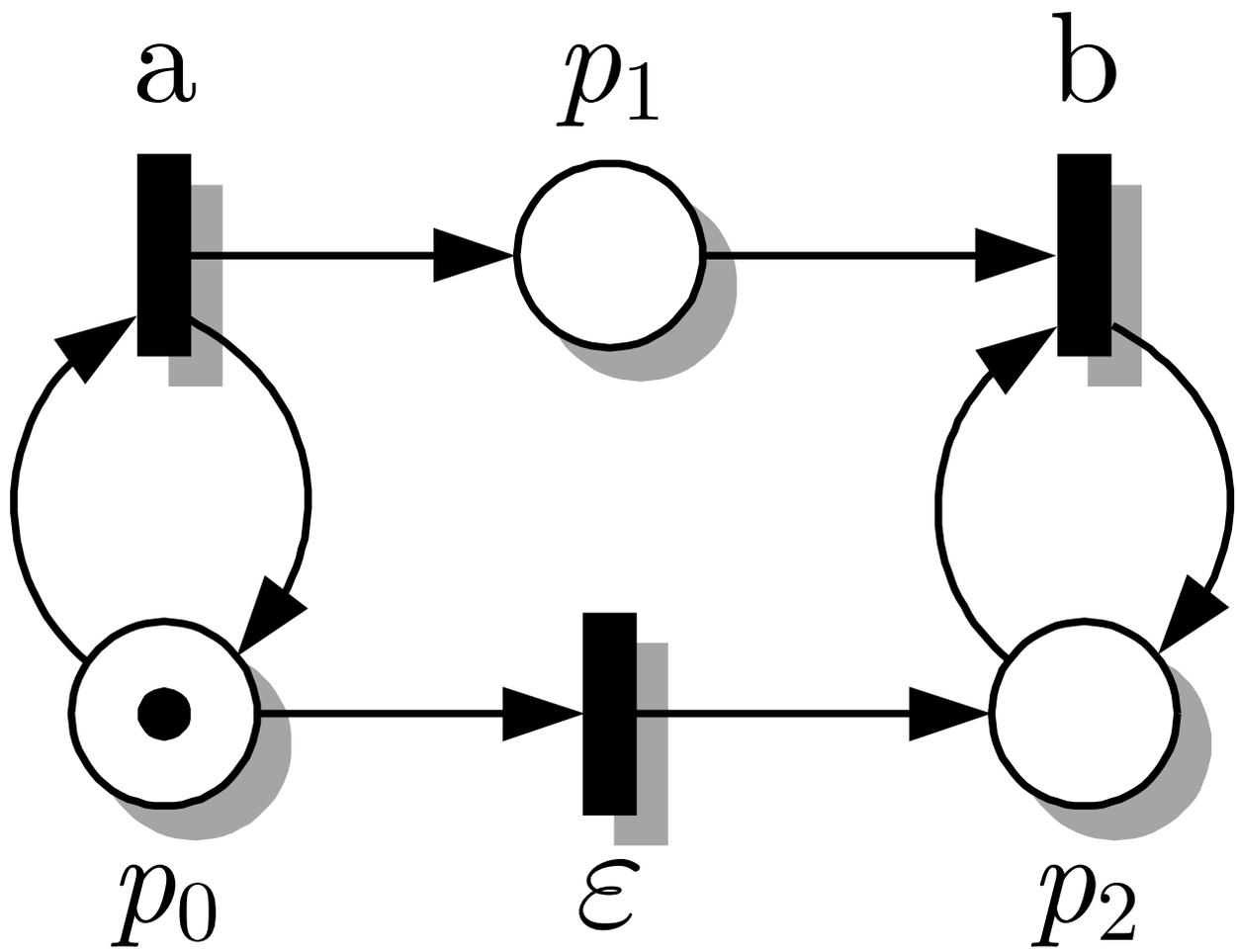


Abb. 6.39: Beispiel für ein S/T-Netz mit nicht regulärer Sprache

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

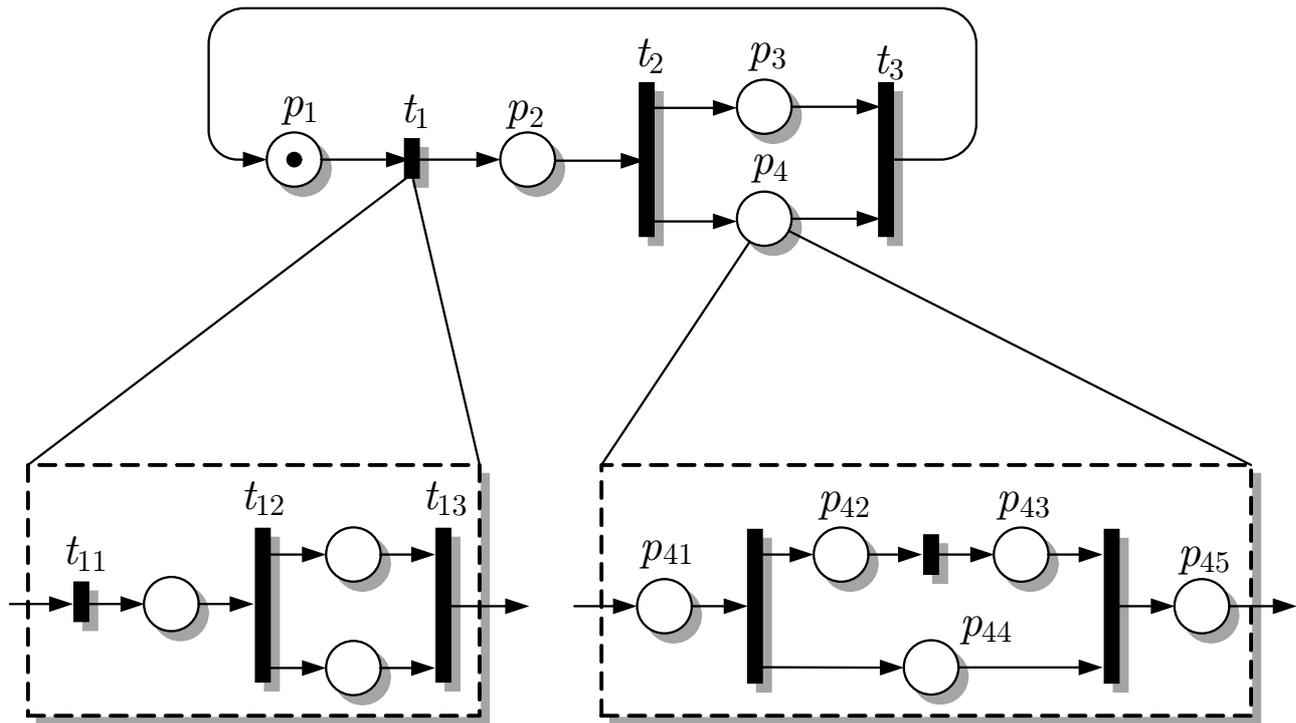


Abb. 6.40: Hierarchisches Petrinetz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

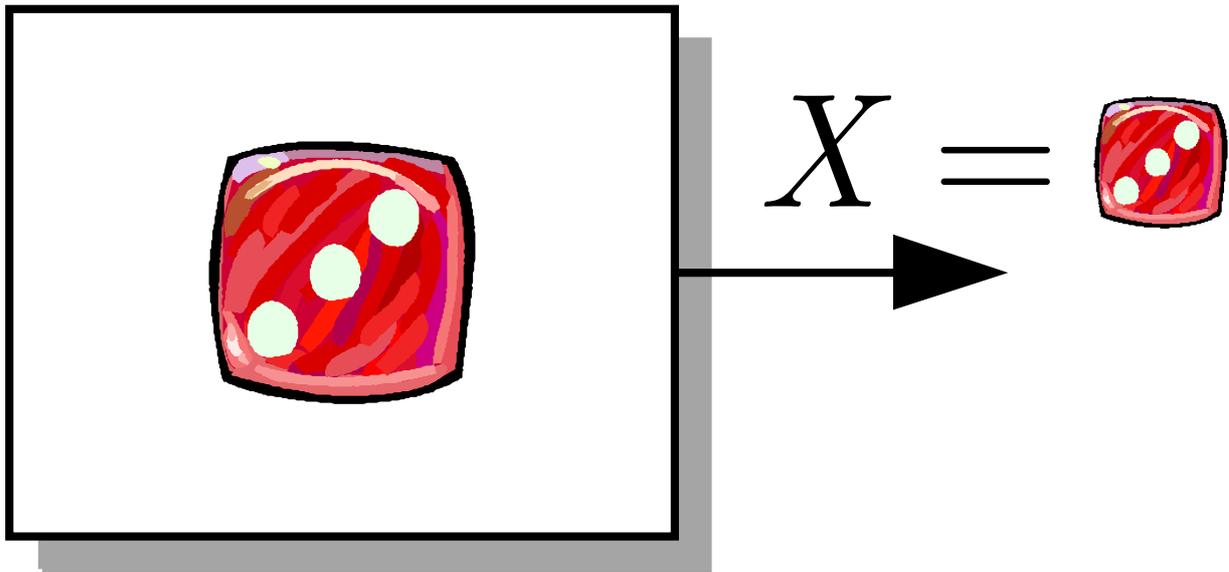


Abb. 7.1: Zufallsexperiment, das der Zufallsvariablen X einen Wert zuweist

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

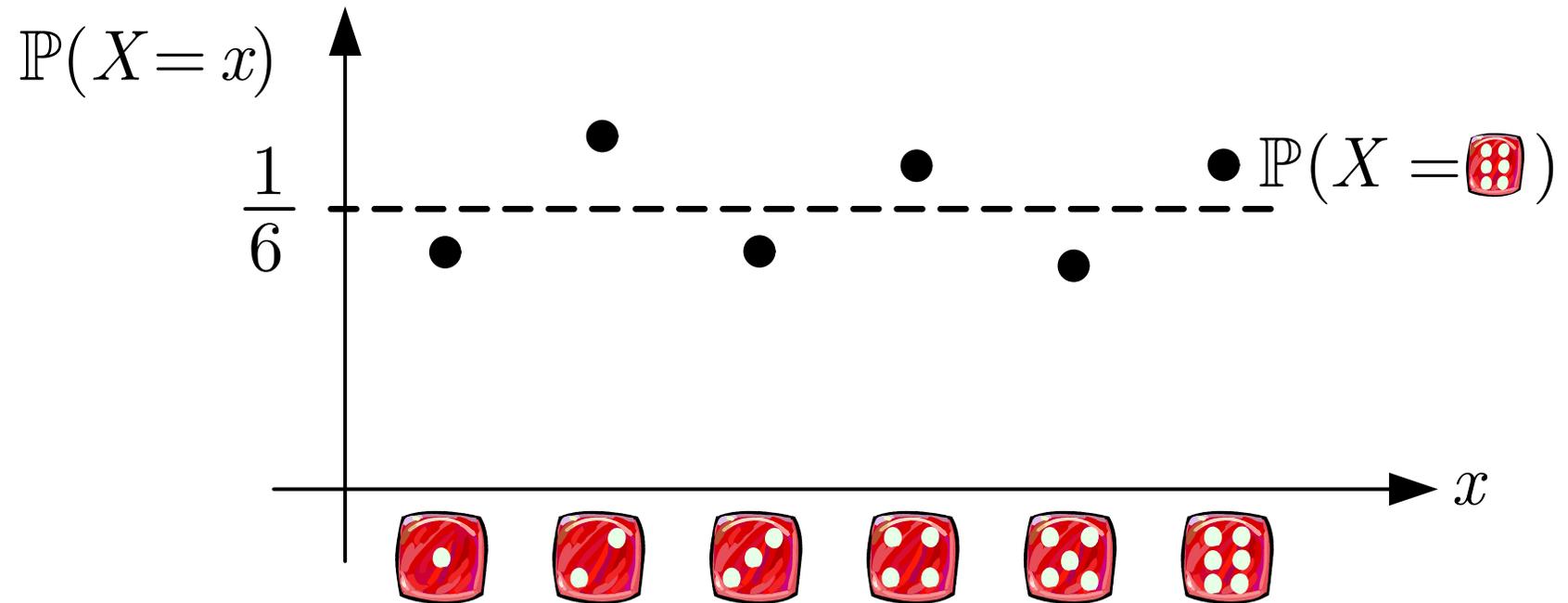


Abb. 7.2. Wahrscheinlichkeitsverteilung für einen Würfel

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

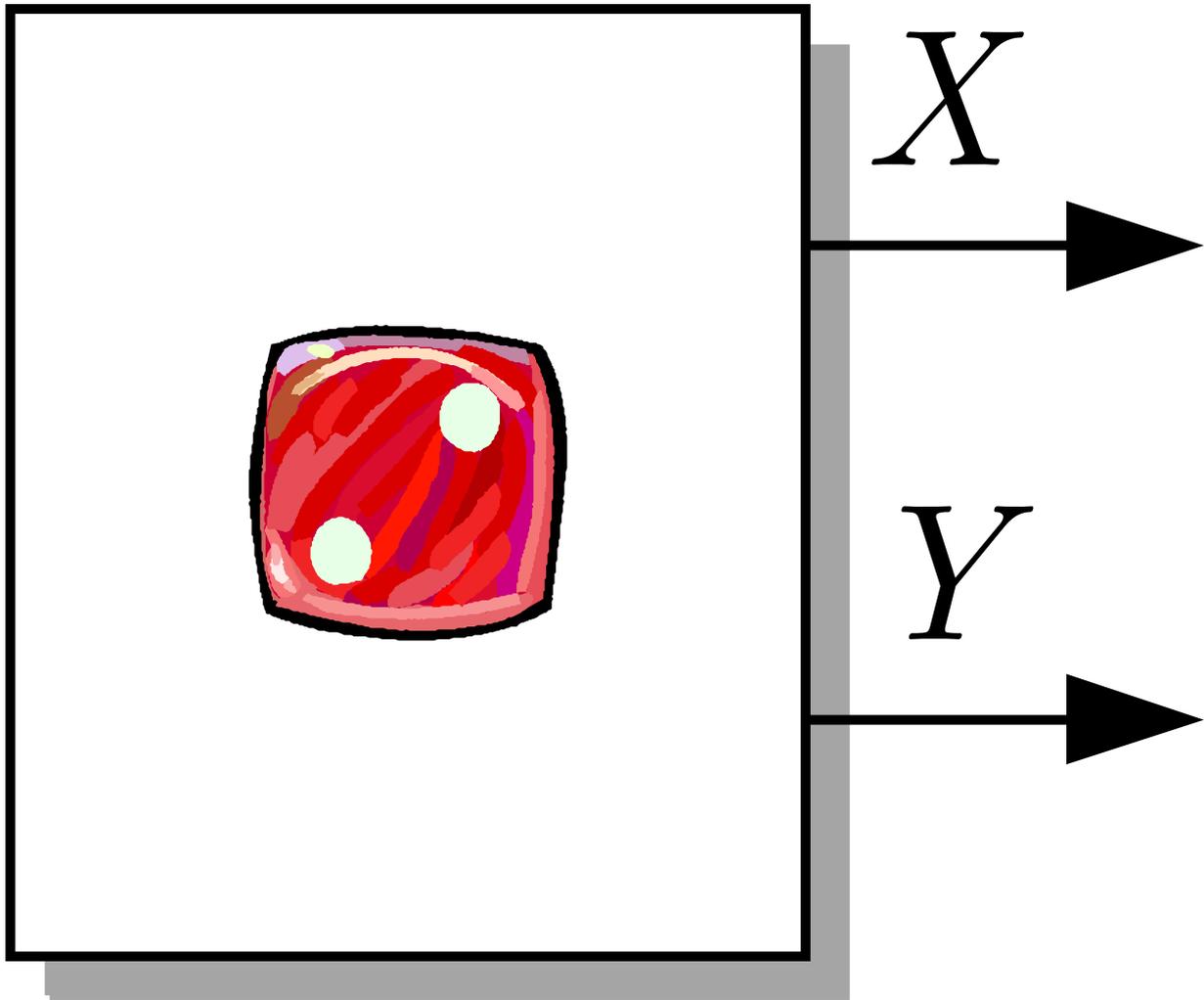


Abb. 7.3: Zufallsprozess, der zwei Ereignisse erzeugt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

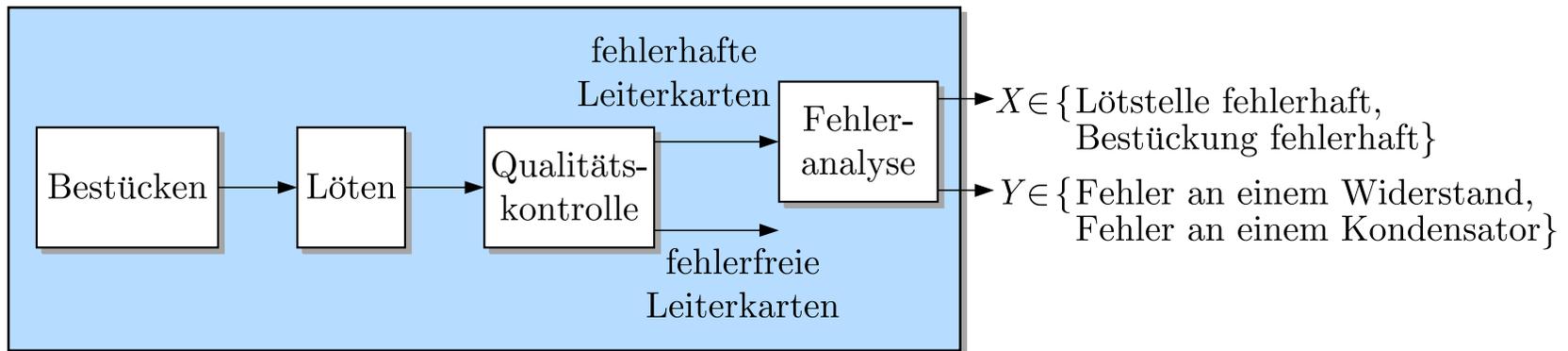


Abb. 7.4. Leiterkartenfertigung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

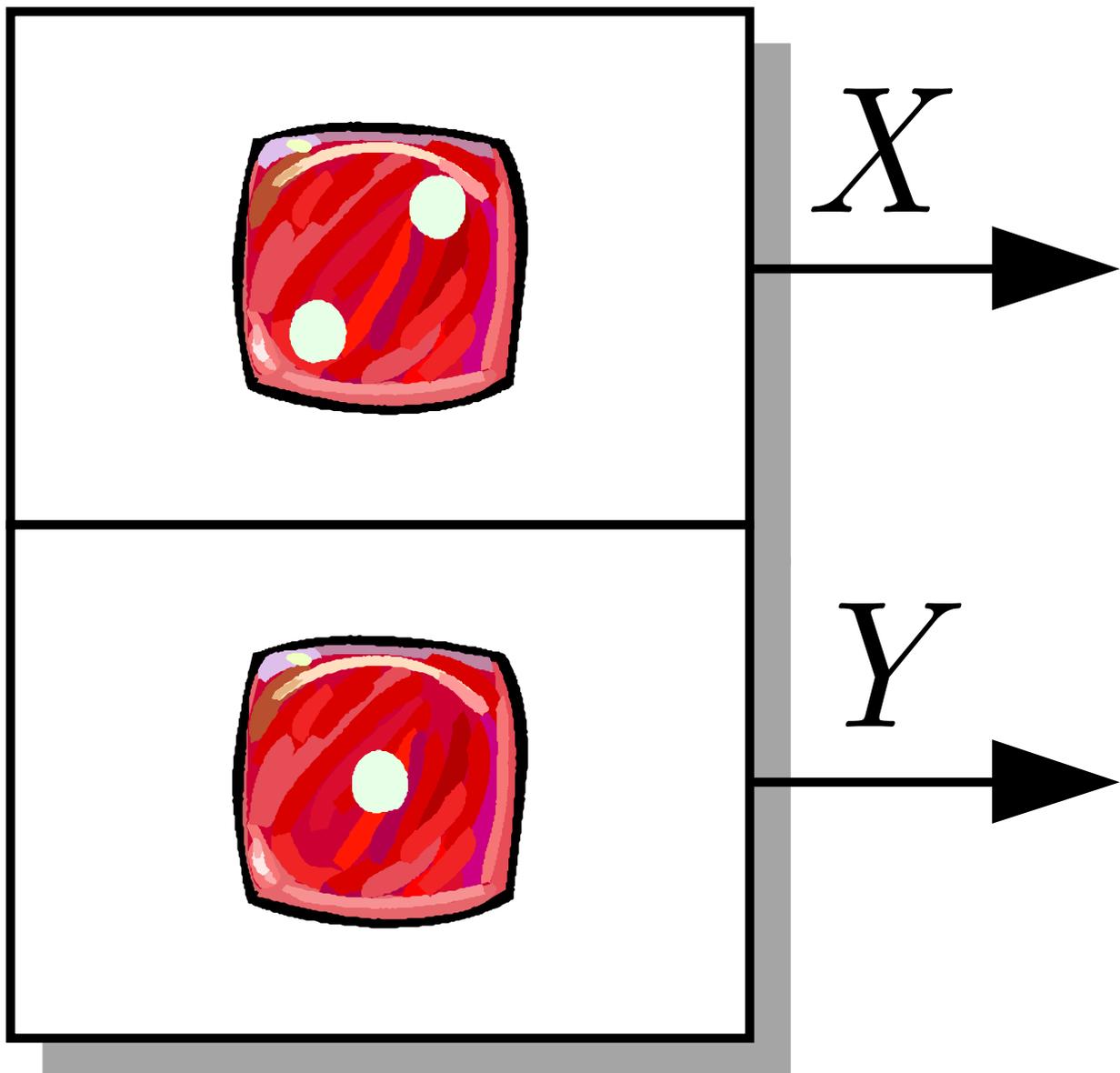


Abb. 7.5: Zufallsprozess mit zwei unabhängigen Zufallsvariablen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

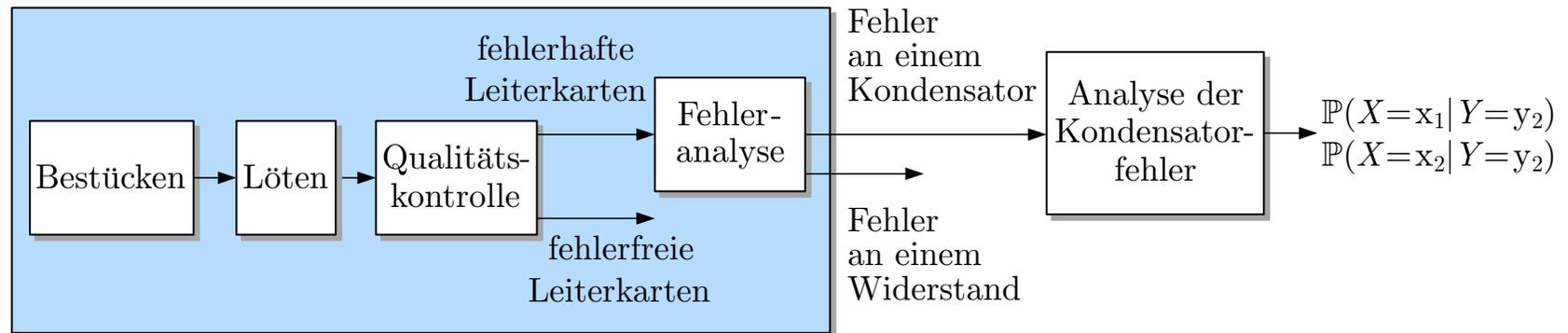


Abb. 7.6. Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeit $\mathbb{P}(X = x | Y = y_2)$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

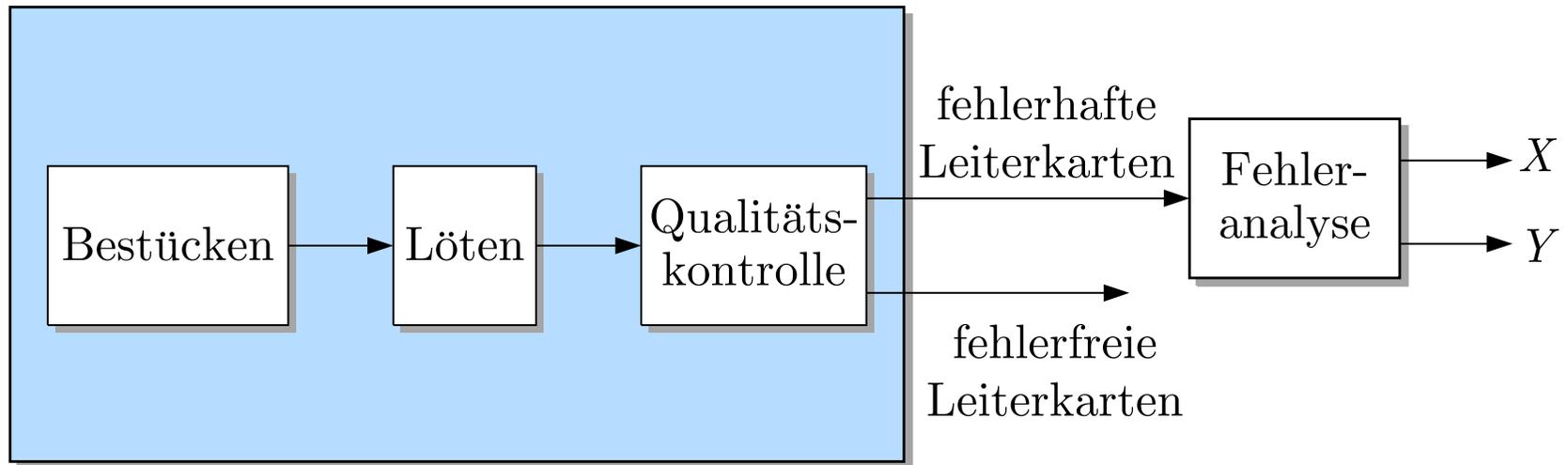


Abb. 7.7. Betrachtung aller produzierten Leiterkarten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Abb. 7.8. Stochastischer Prozess

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

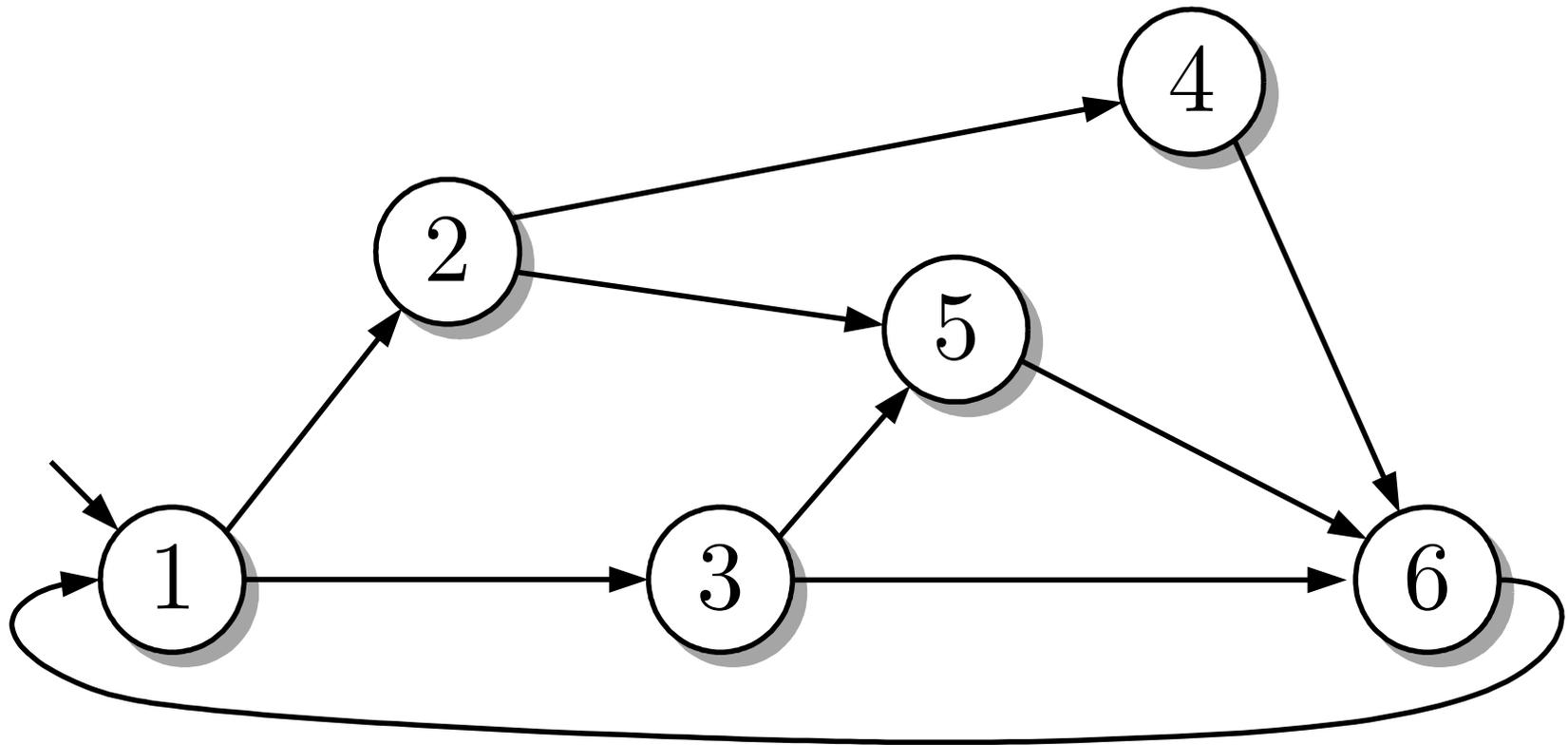


Abb. 7.9. Nichtdeterministischer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

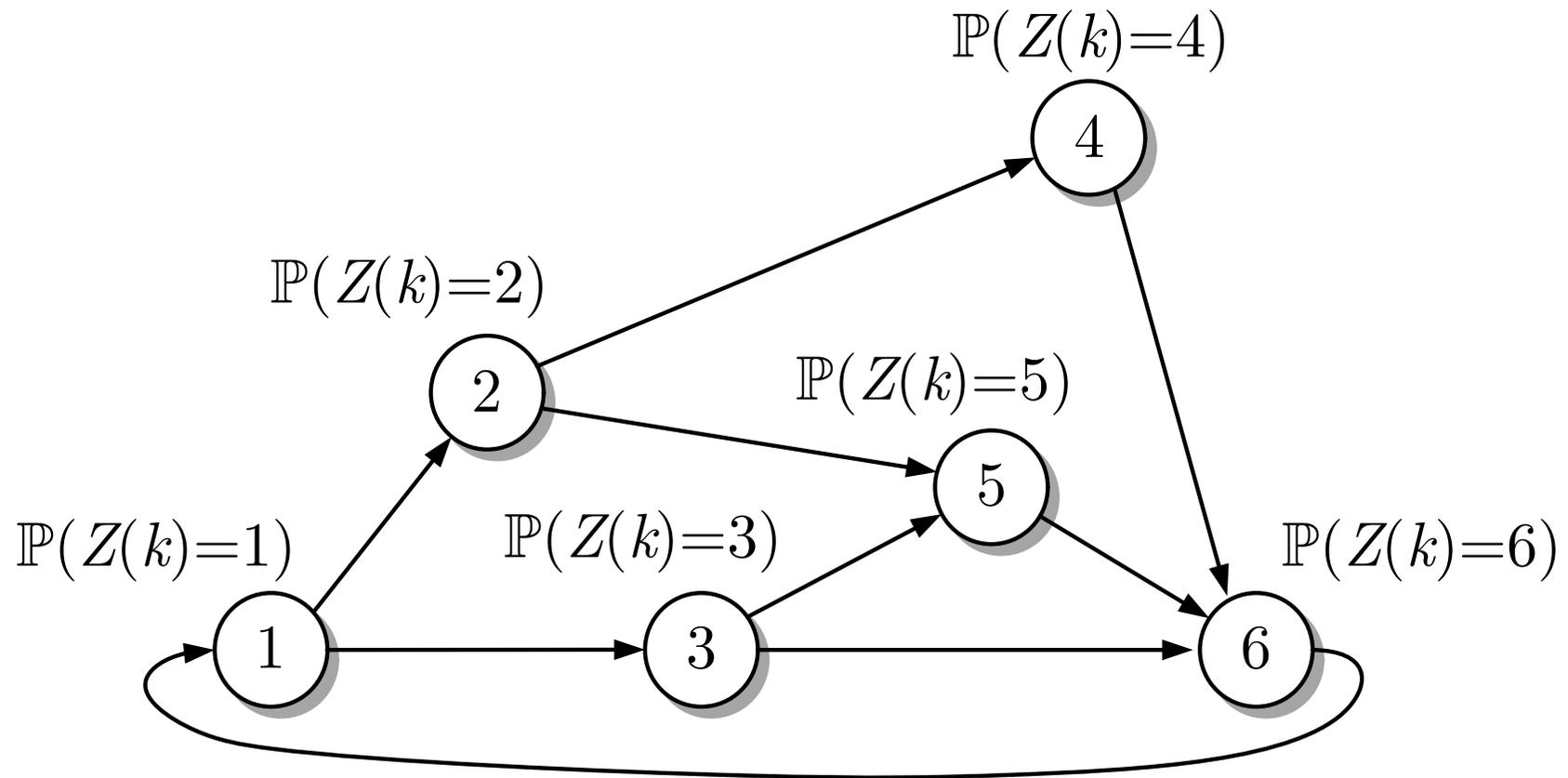


Abb. 7.10. Beschreibung des Zustands eines nichtdeterministischen Automaten als Wahrscheinlichkeitsverteilung $\mathbb{P}(Z(k))$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

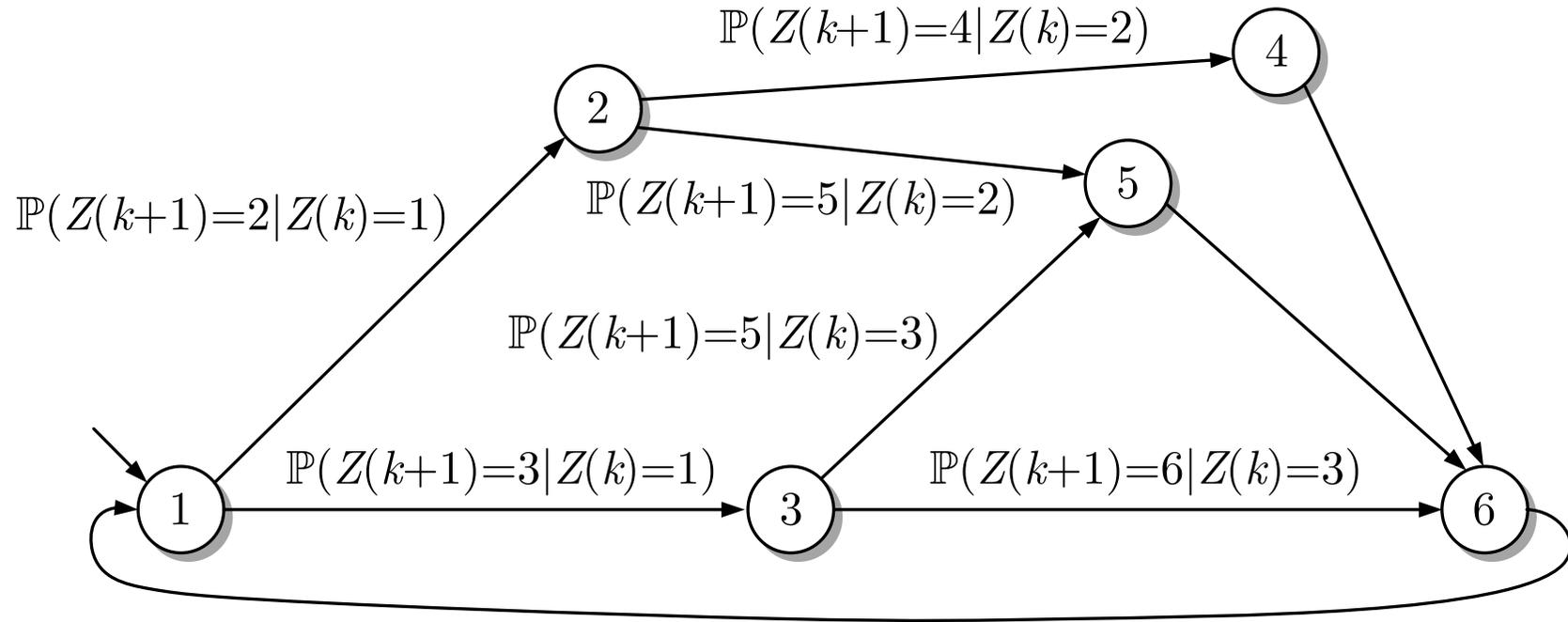


Abb. 7.11. Erweiterung des nichtdeterministischen Automaten zum stochastischen Automaten

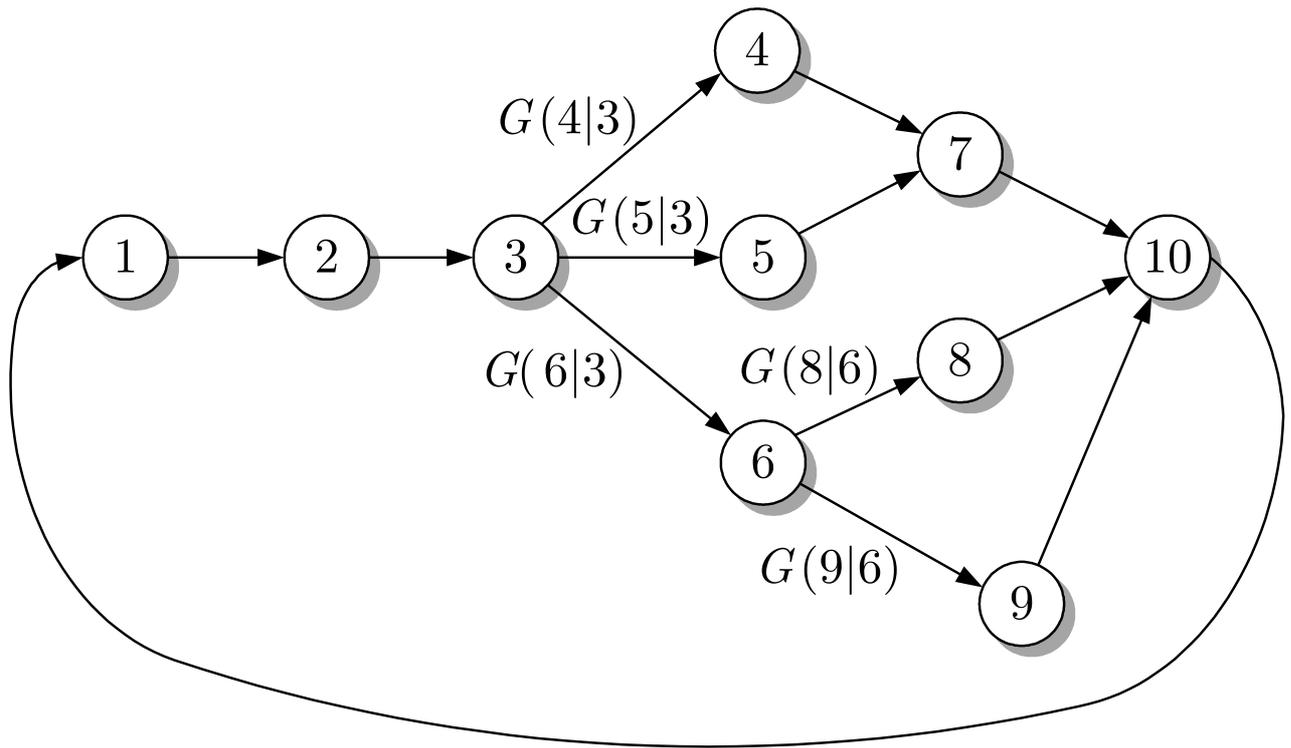


Abb. 7.12: Beschreibung des Batchprozesses durch einen stochastischen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

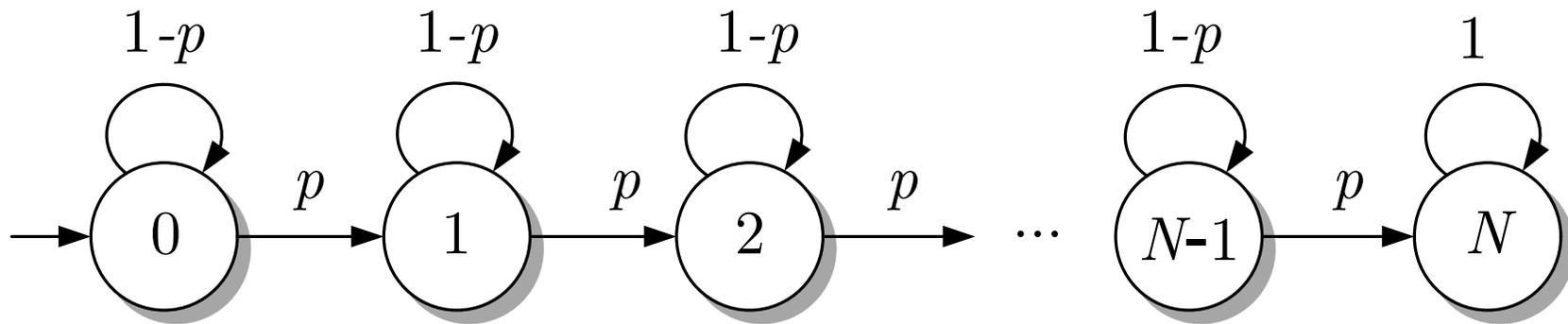


Abb. 7.13. Markovkette des Bernoulliprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

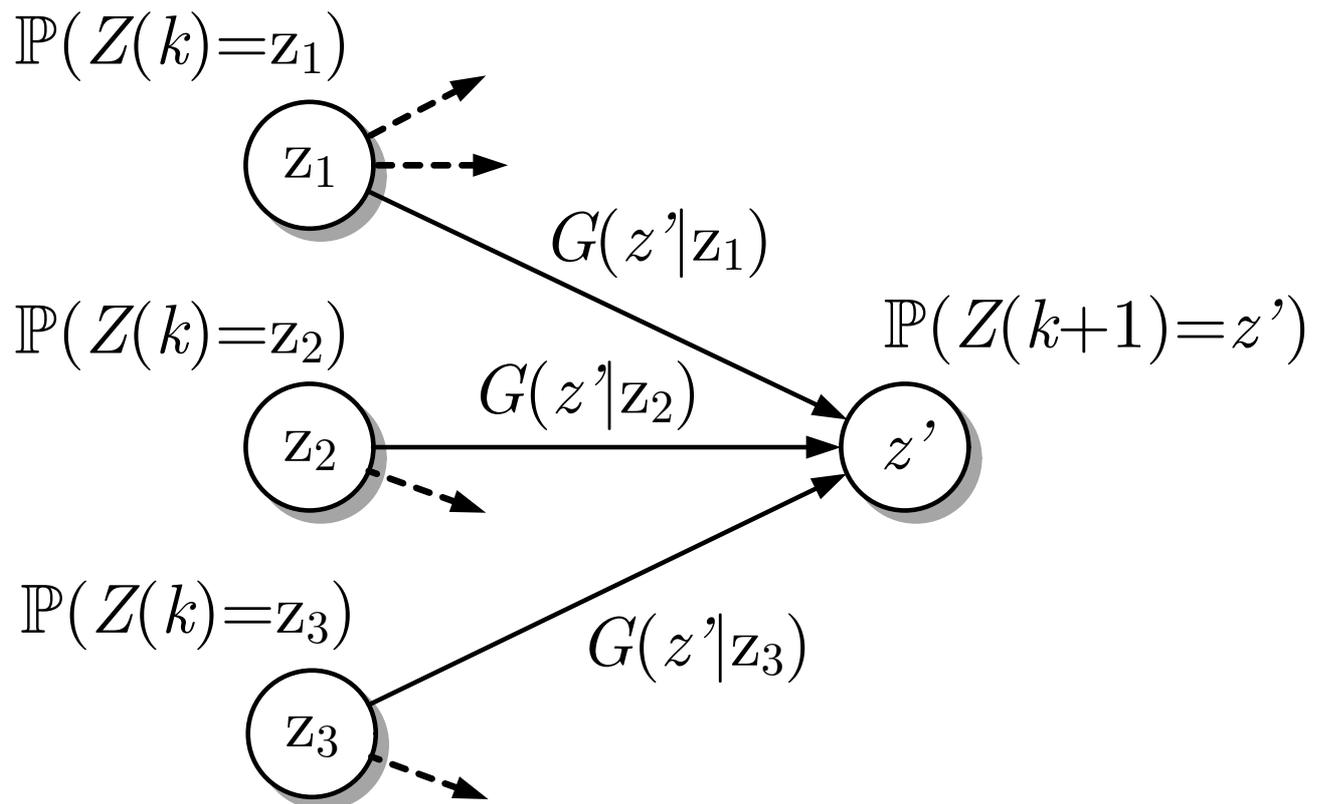


Abb. 7.14: Interpretation der Chapman-Kolmogorov-Gleichung

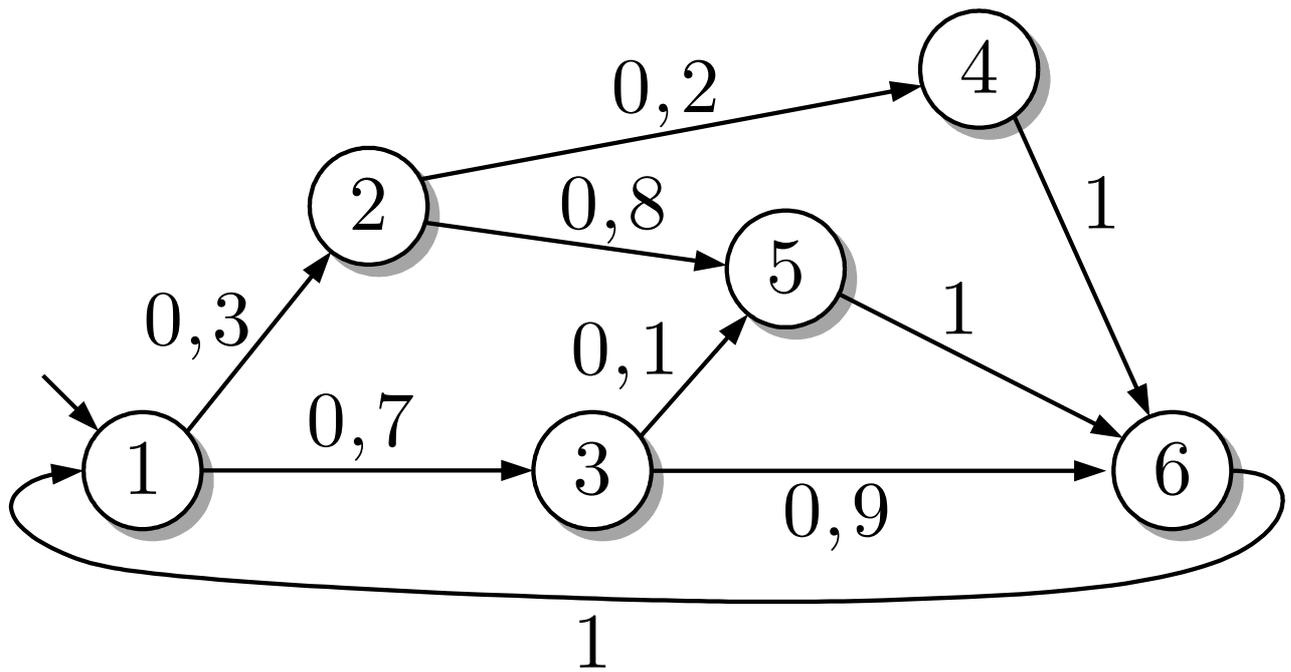


Abb. 7.15: Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

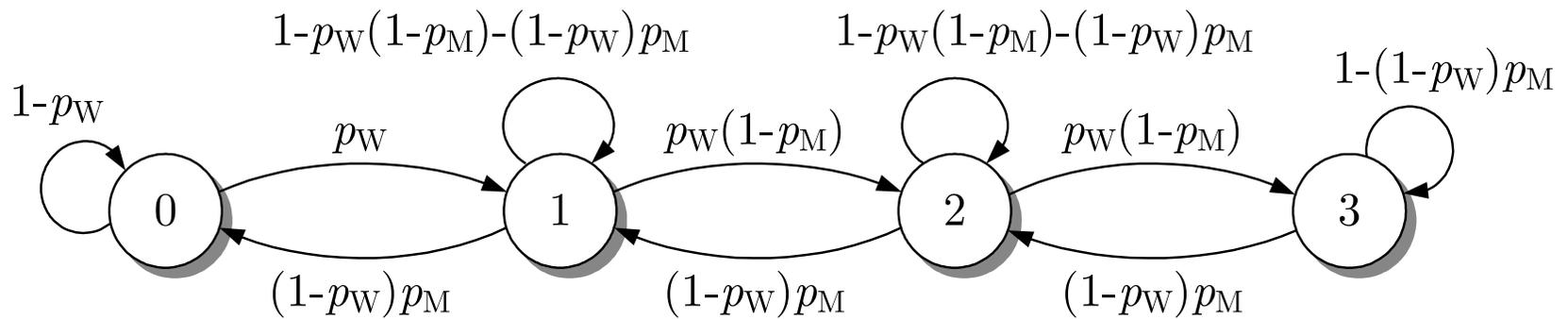


Abb. 7.16. Markovkette, die die Warteschlange vor der Werkzeugmaschine beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

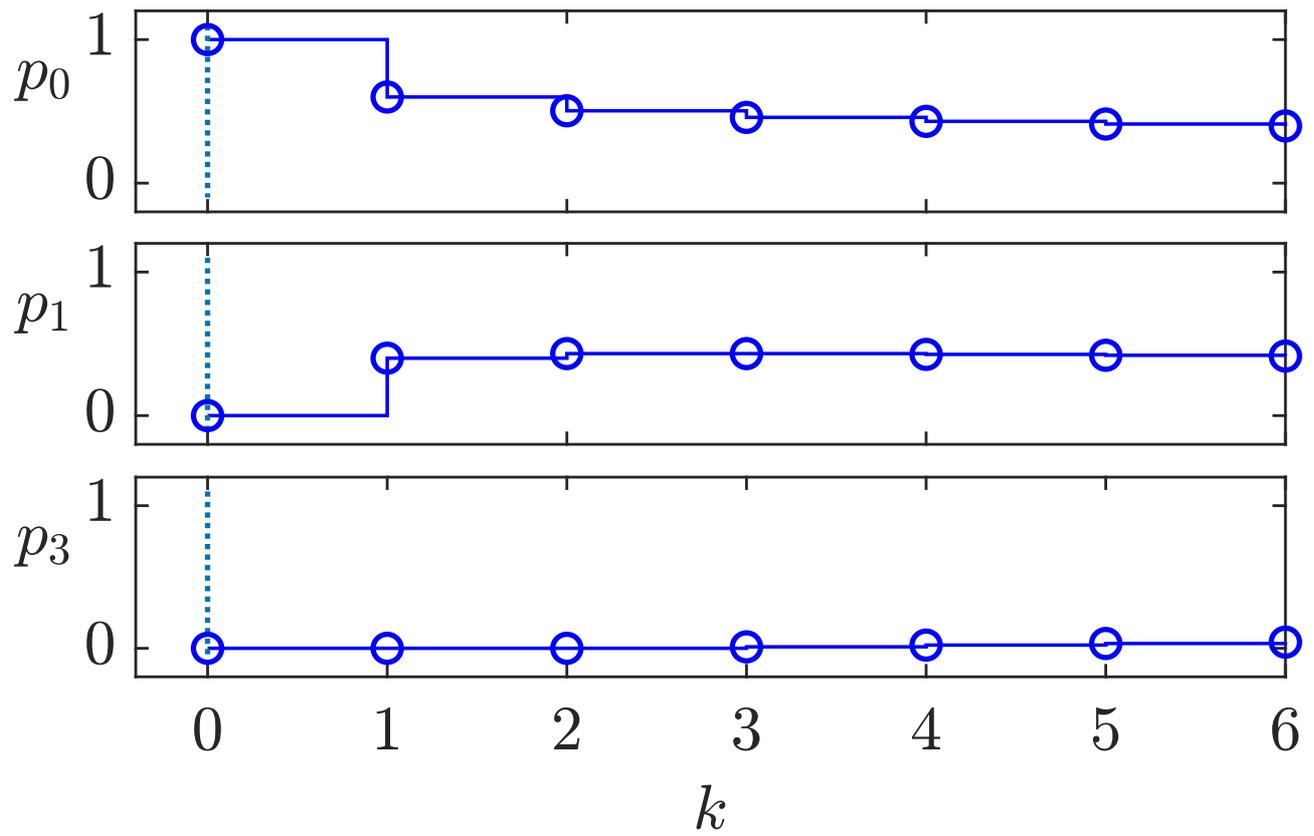


Abb. 7.17: Verhalten des Wartesystems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

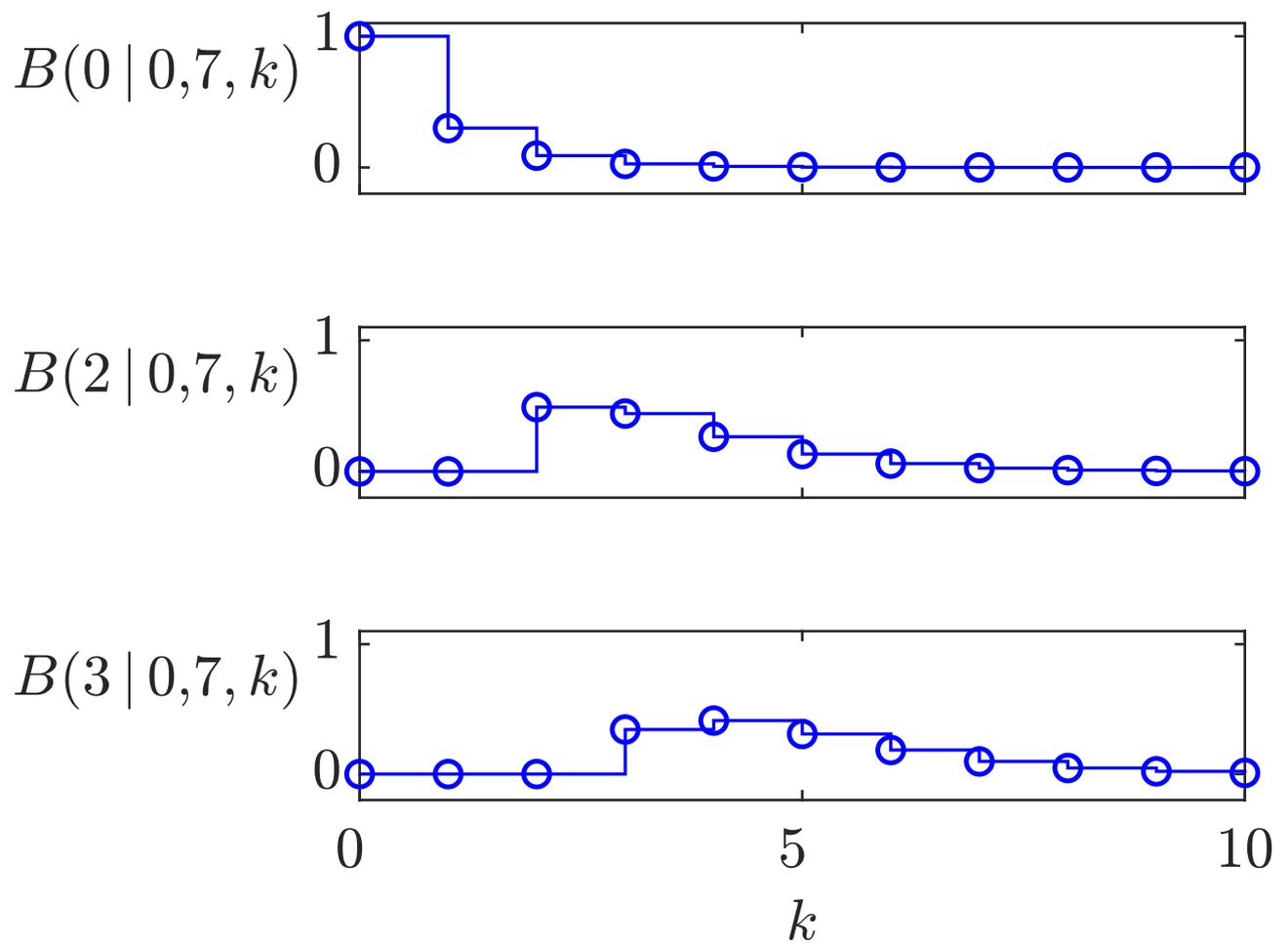


Abb. 7.18: Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Bernoulliprozesses in den Zuständen 0, 2 und 3 für $p = 0,7$

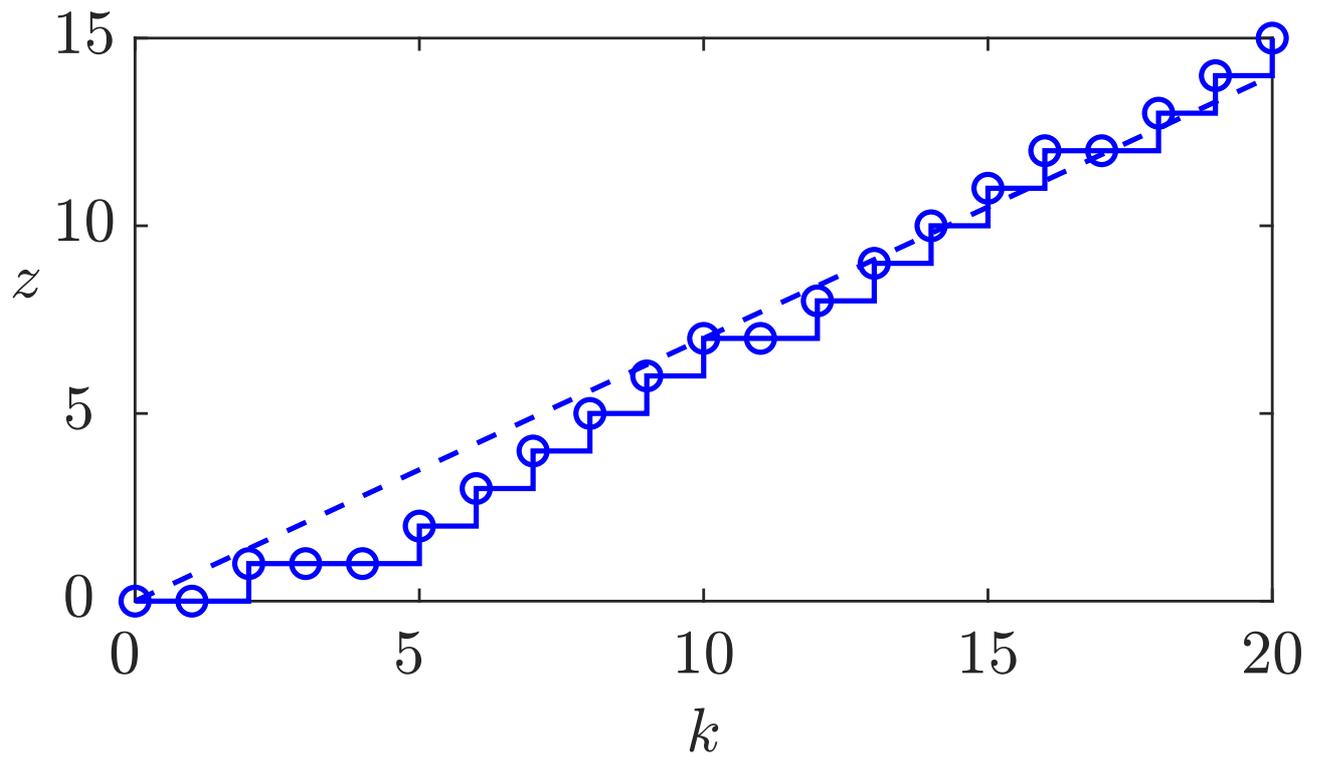


Abb. 7.19: Erwartungswert und eine Realisierung des Bernoulliprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

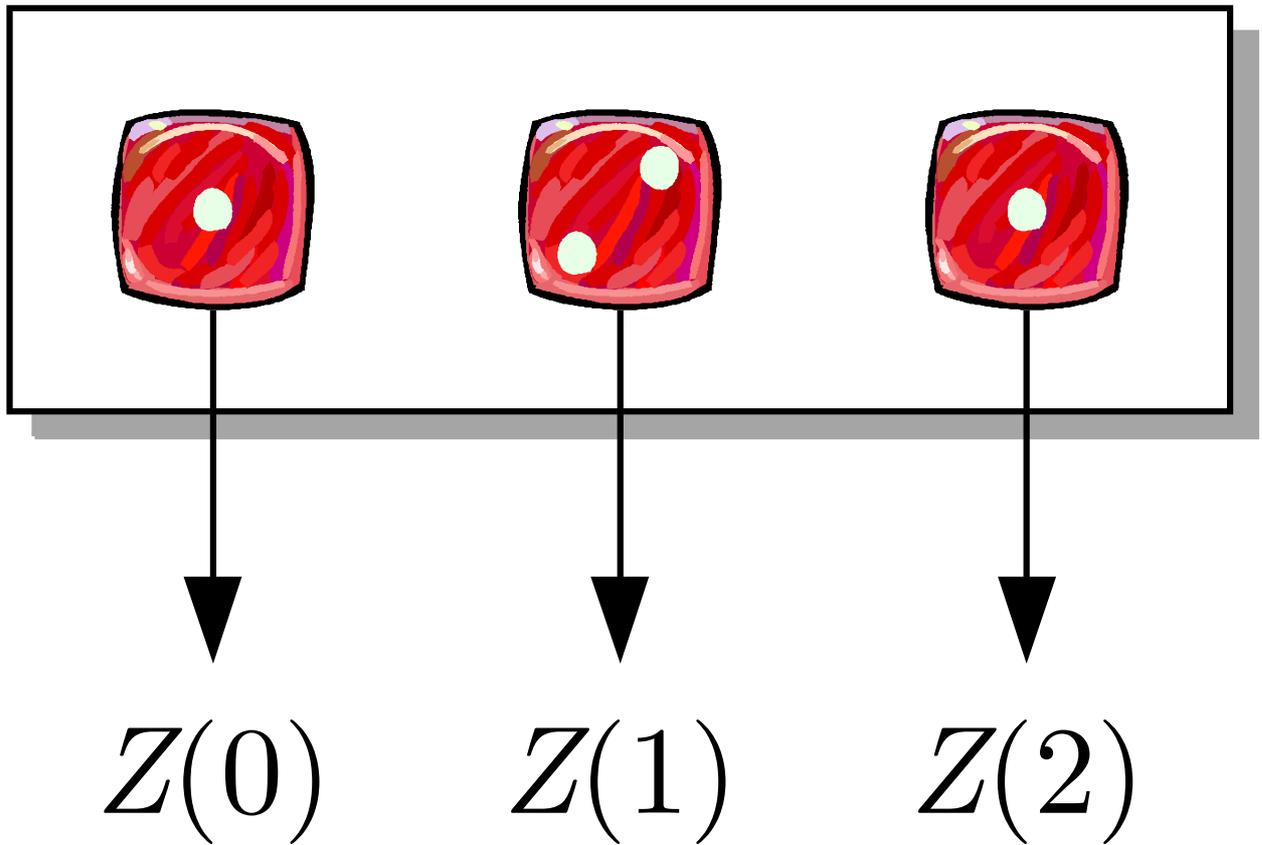


Abb. 7.20: Drei unabhängige Würfel

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

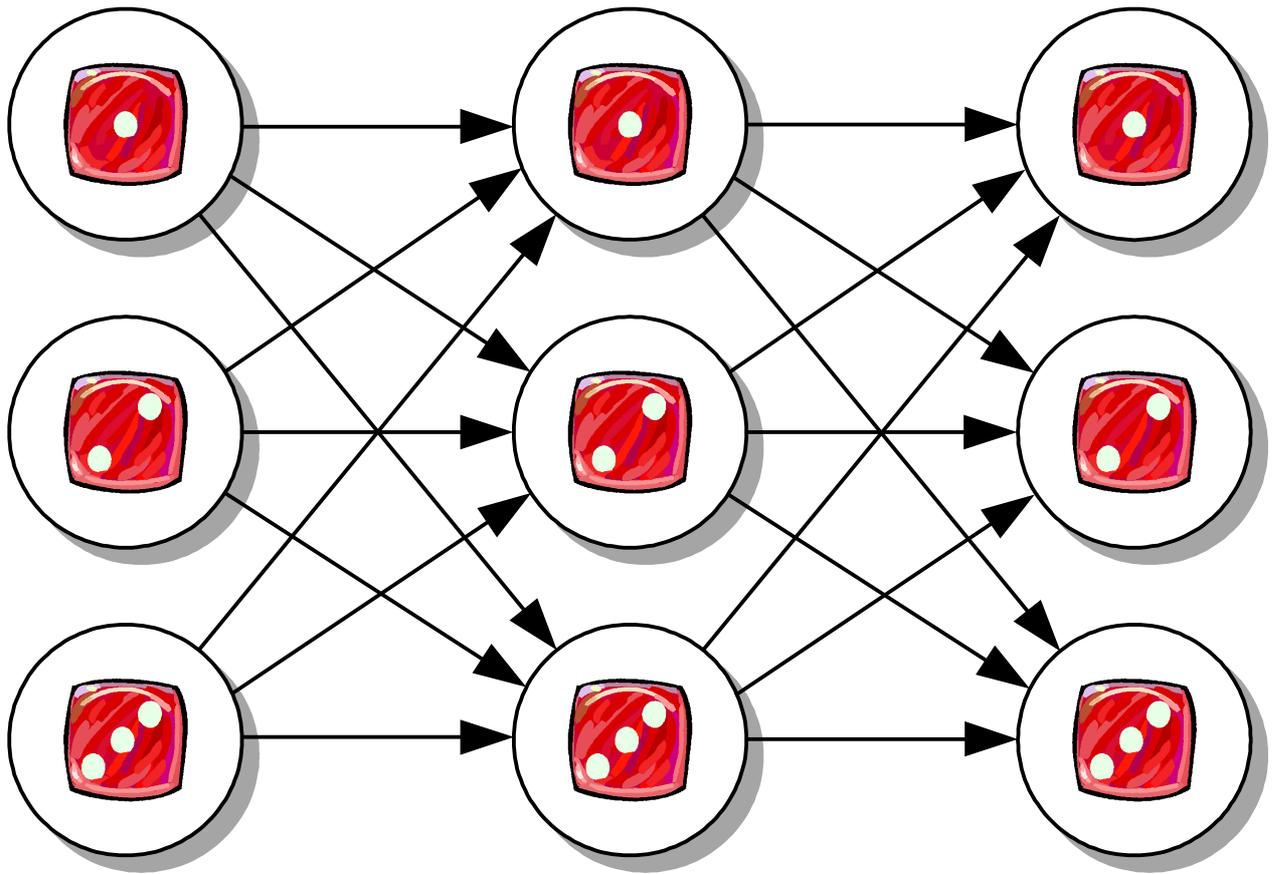


Abb. 7.21: Markovkette, die das Verhalten der drei unabhängigen Würfel beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

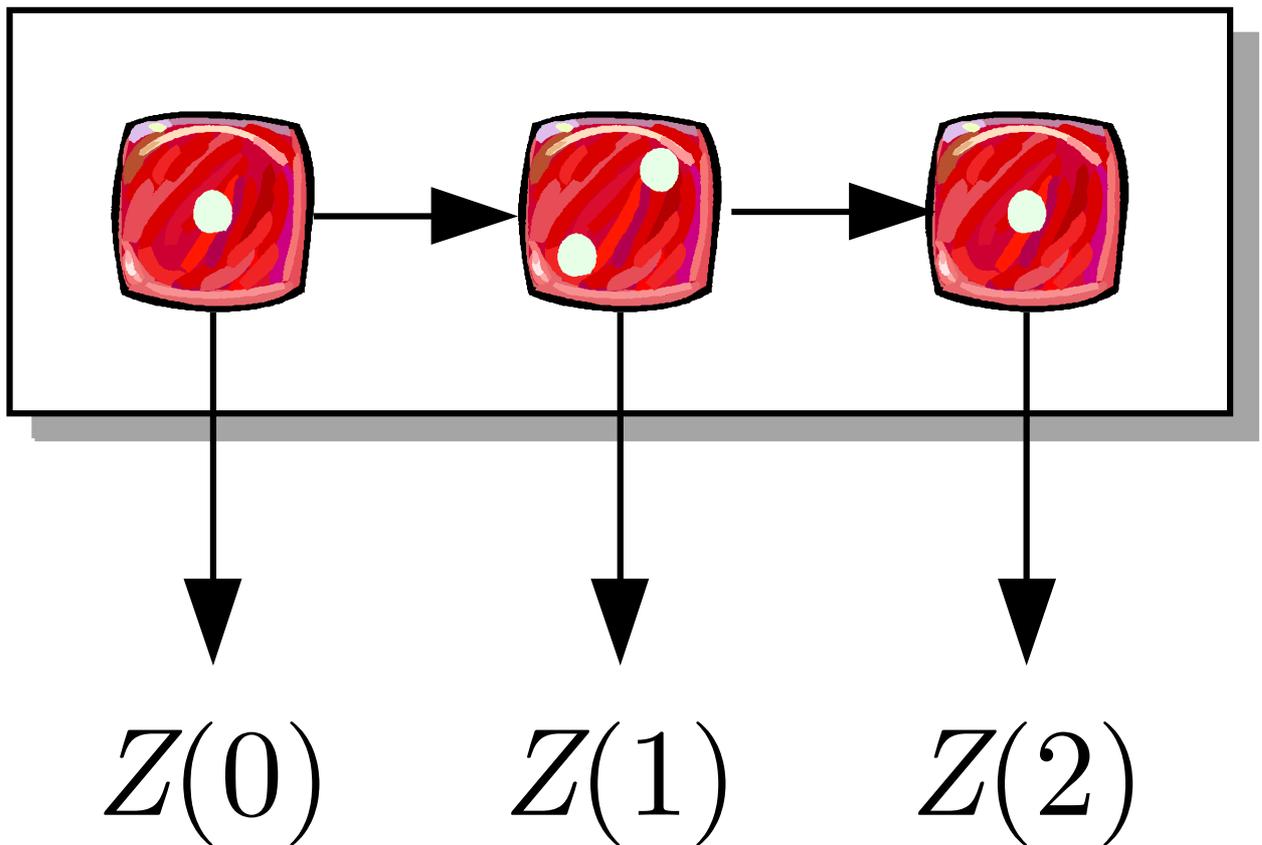


Abb. 7.22: Würfel, von denen jeder das Verhalten des nachfolgenden Würfels beeinflusst

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

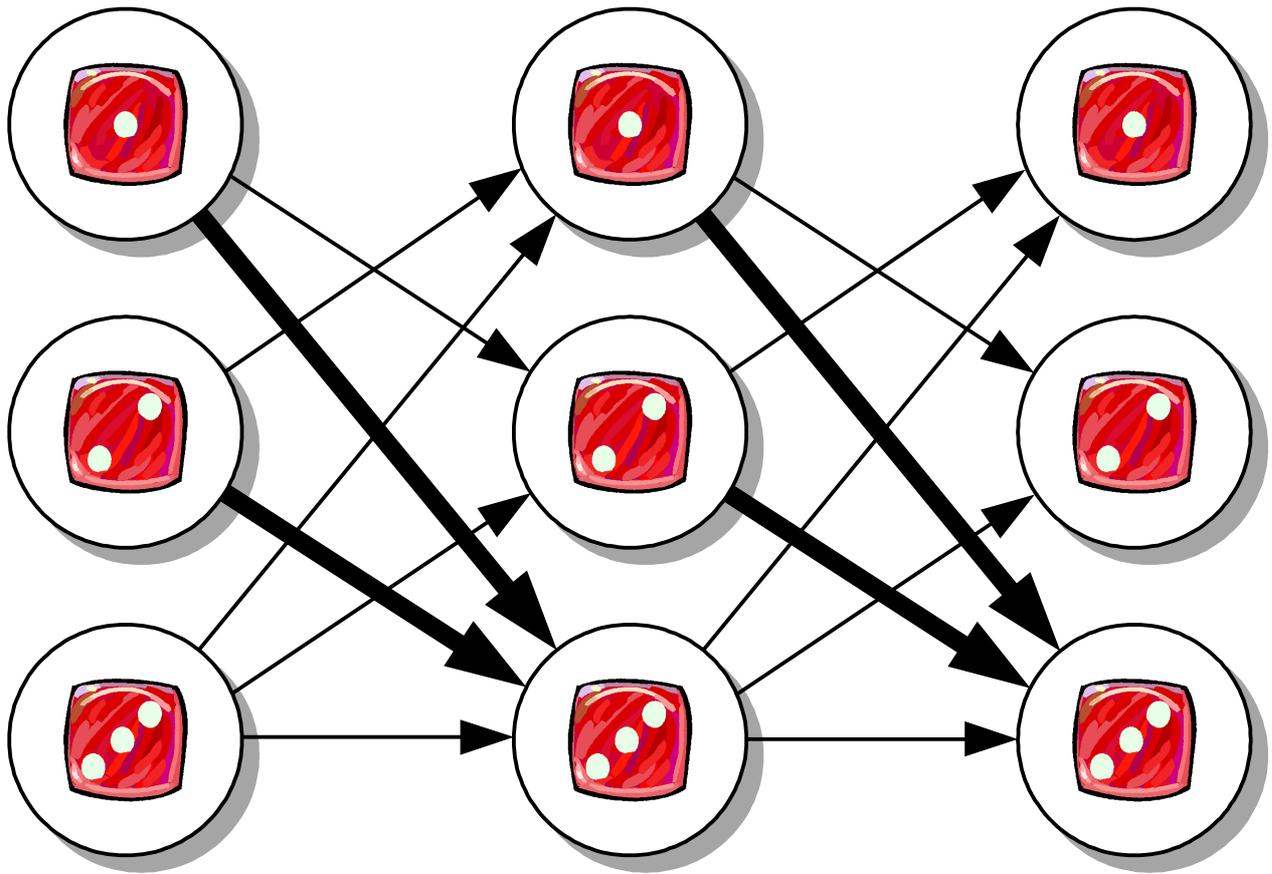


Abb. 7.23: Markovkette zur Beschreibung von drei Würfeln, von denen jeder das Verhalten des nachfolgenden beeinflusst

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

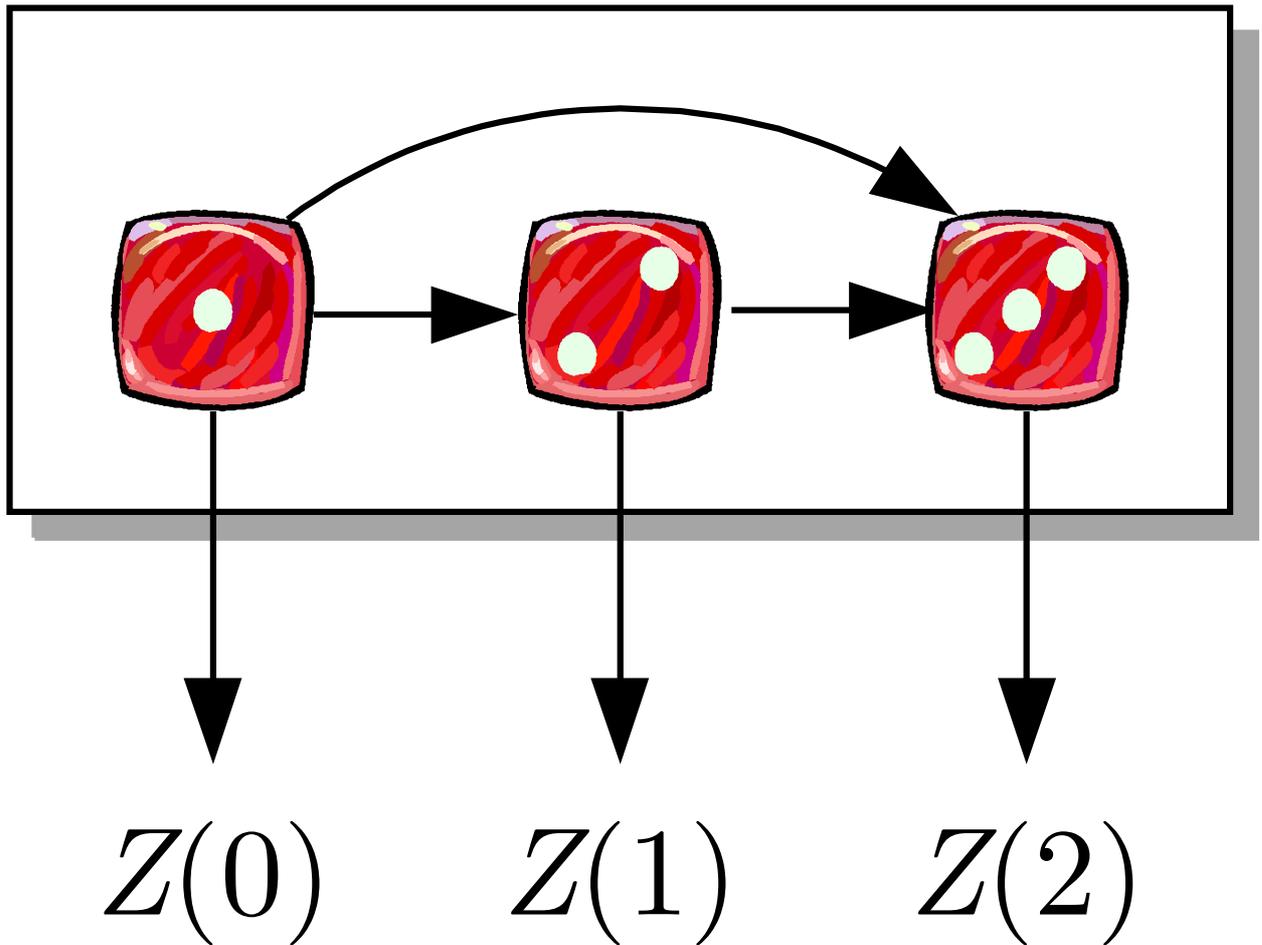


Abb. 7.24: Drei Würfel, von denen die ersten beiden das Verhalten des dritten beeinflussen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

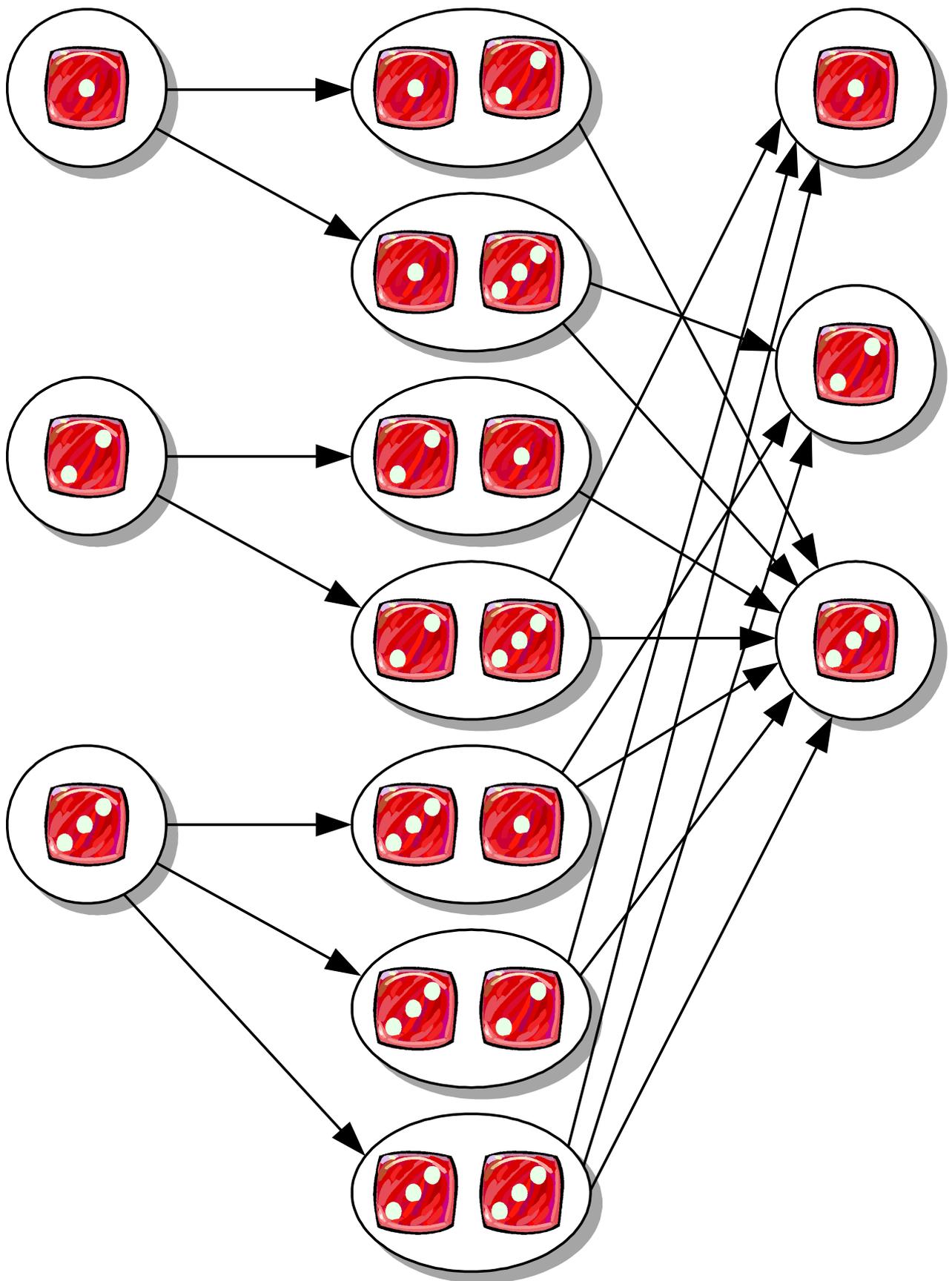


Abb. 7.25: Markovkette mit erweitertem Zustand zur Beschreibung der drei Würfel aus Abb. 7.24

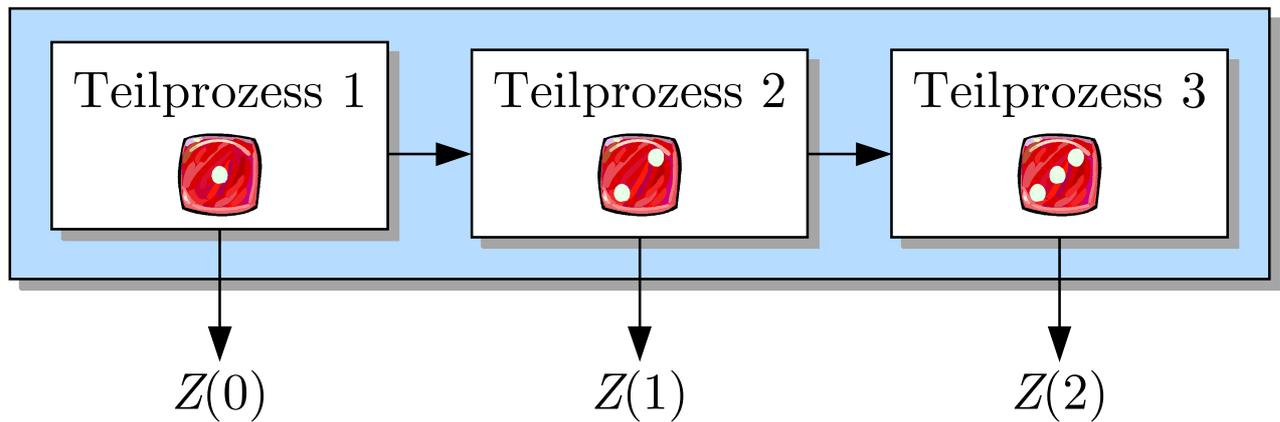


Abb. 7.26: Technischer Prozess mit drei unsicheren Teilprozessen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

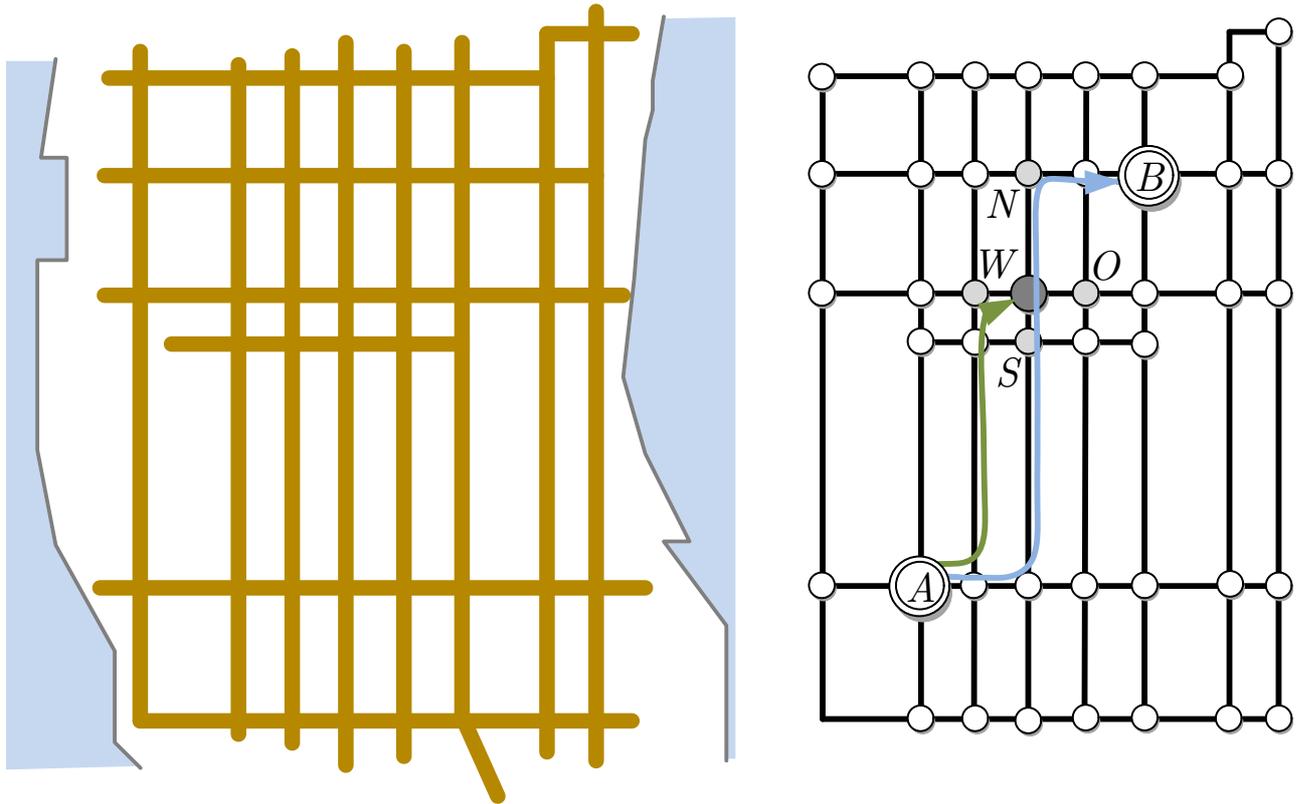
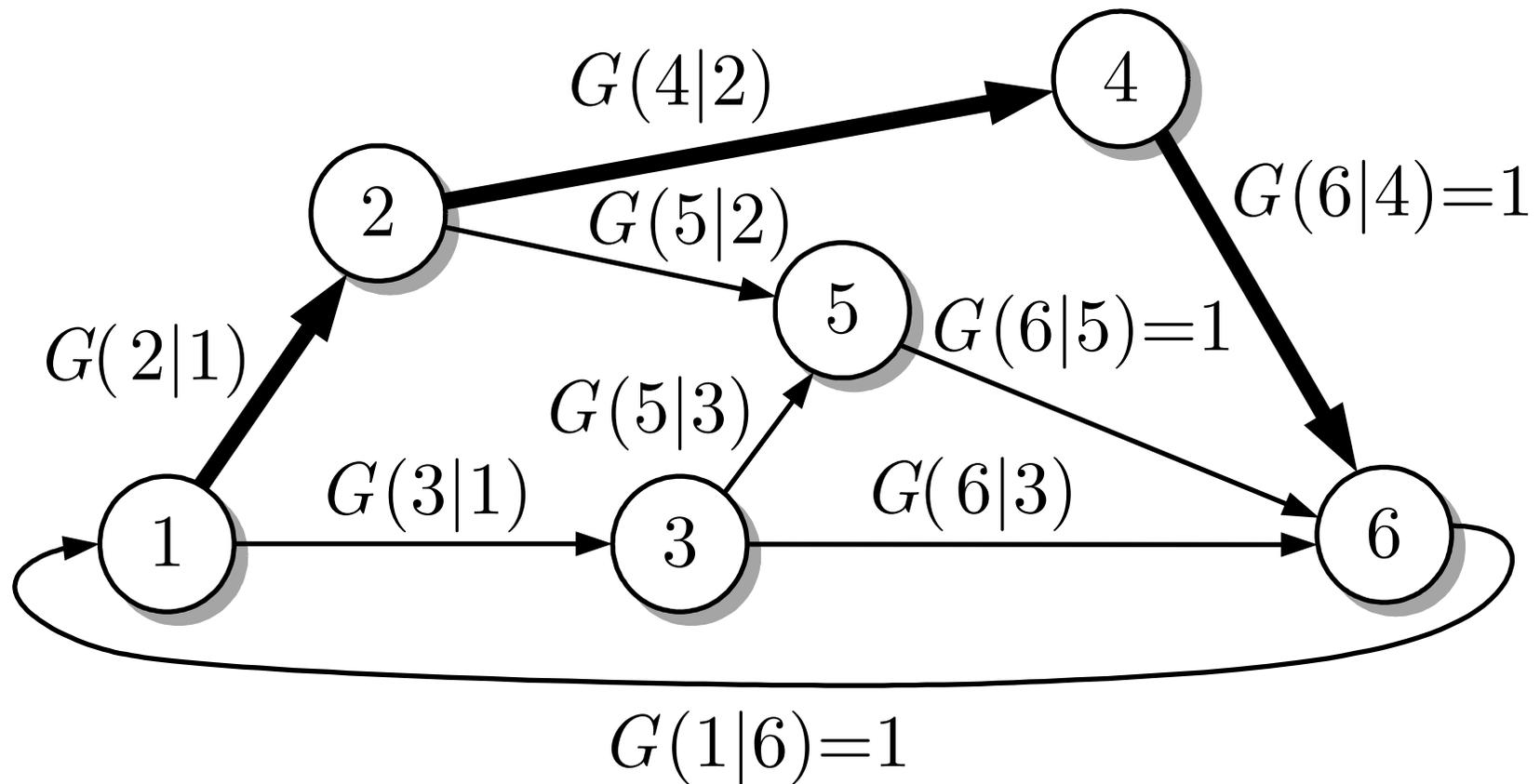


Abb. 7.27: Ausschnitt aus dem Stadtplan von Manhattan (links) und Interpretation als Automatengraph (rechts)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 7.28. Berechnung der Wahrscheinlichkeit für die
Zustandstrajektorie $Z(0...3) = (1, 2, 4, 6)$**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

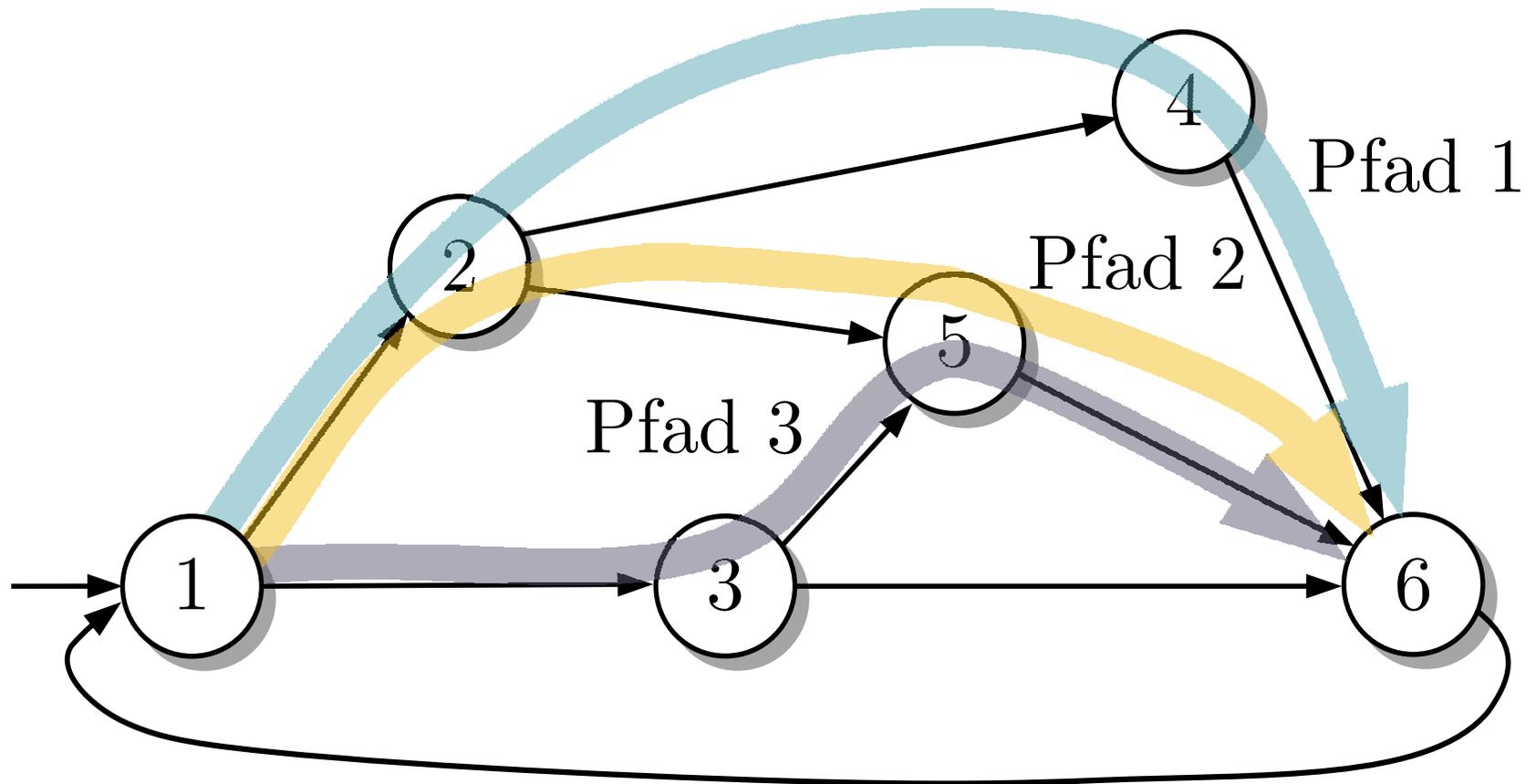


Abb. 7.29. Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit $\mathbb{P}(Z(3)=6)$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

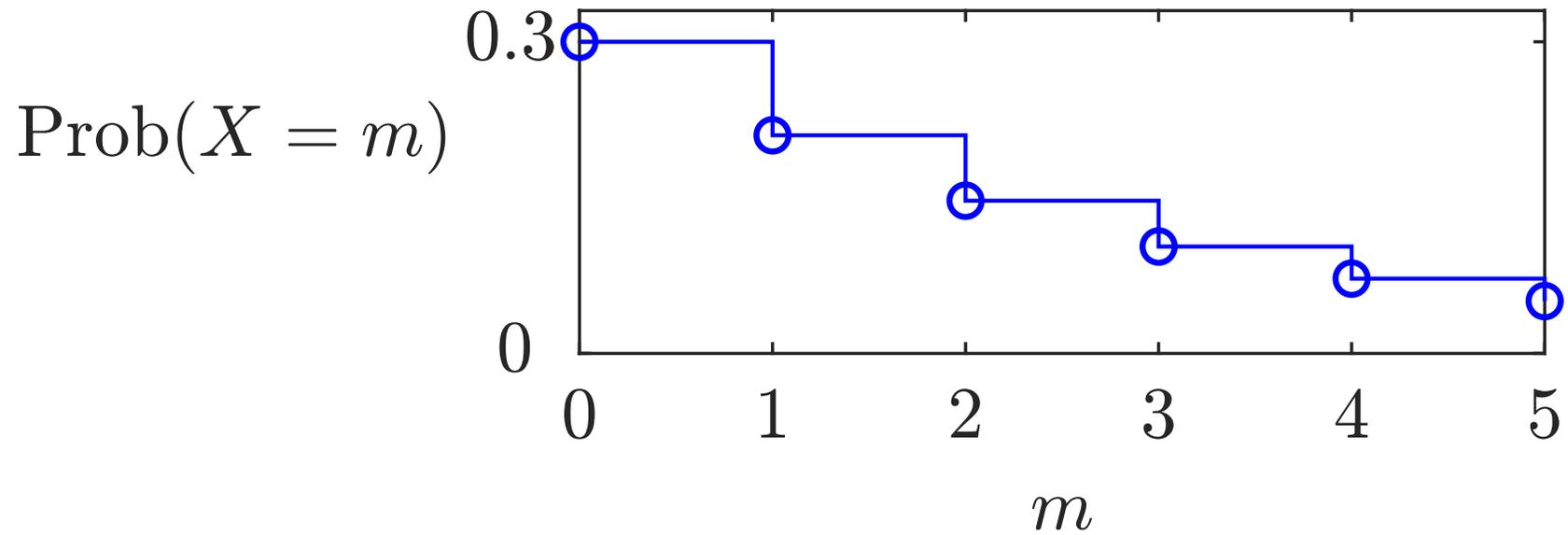


Abb. 7.30. Geometrische Verteilung $\mathbb{P}(X = m) = q^m(1 - q)$ **für** $q = 0,3$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

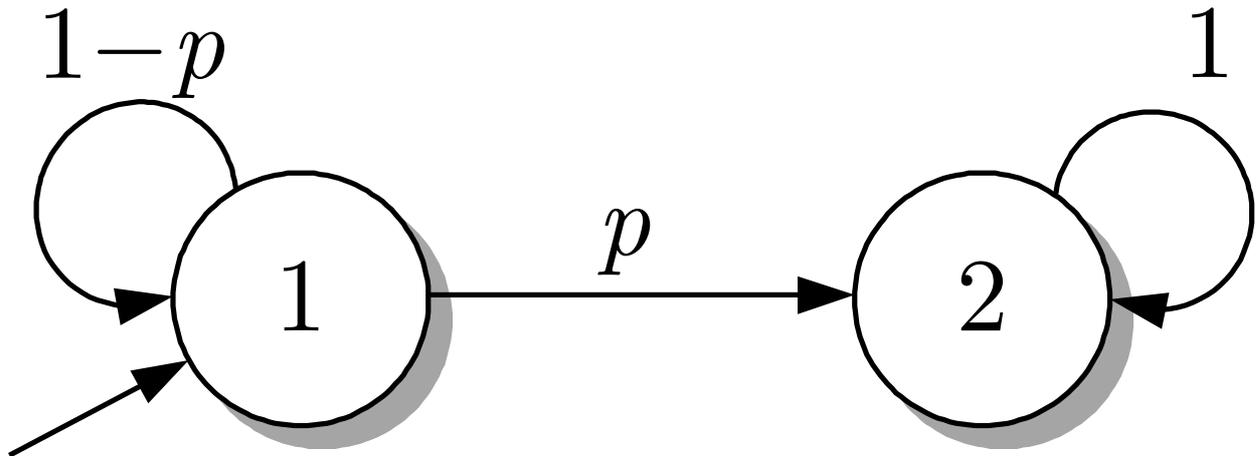


Abb. 7.31: Markovkette zur Beschreibung der Datenübertragung in einem Netz

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

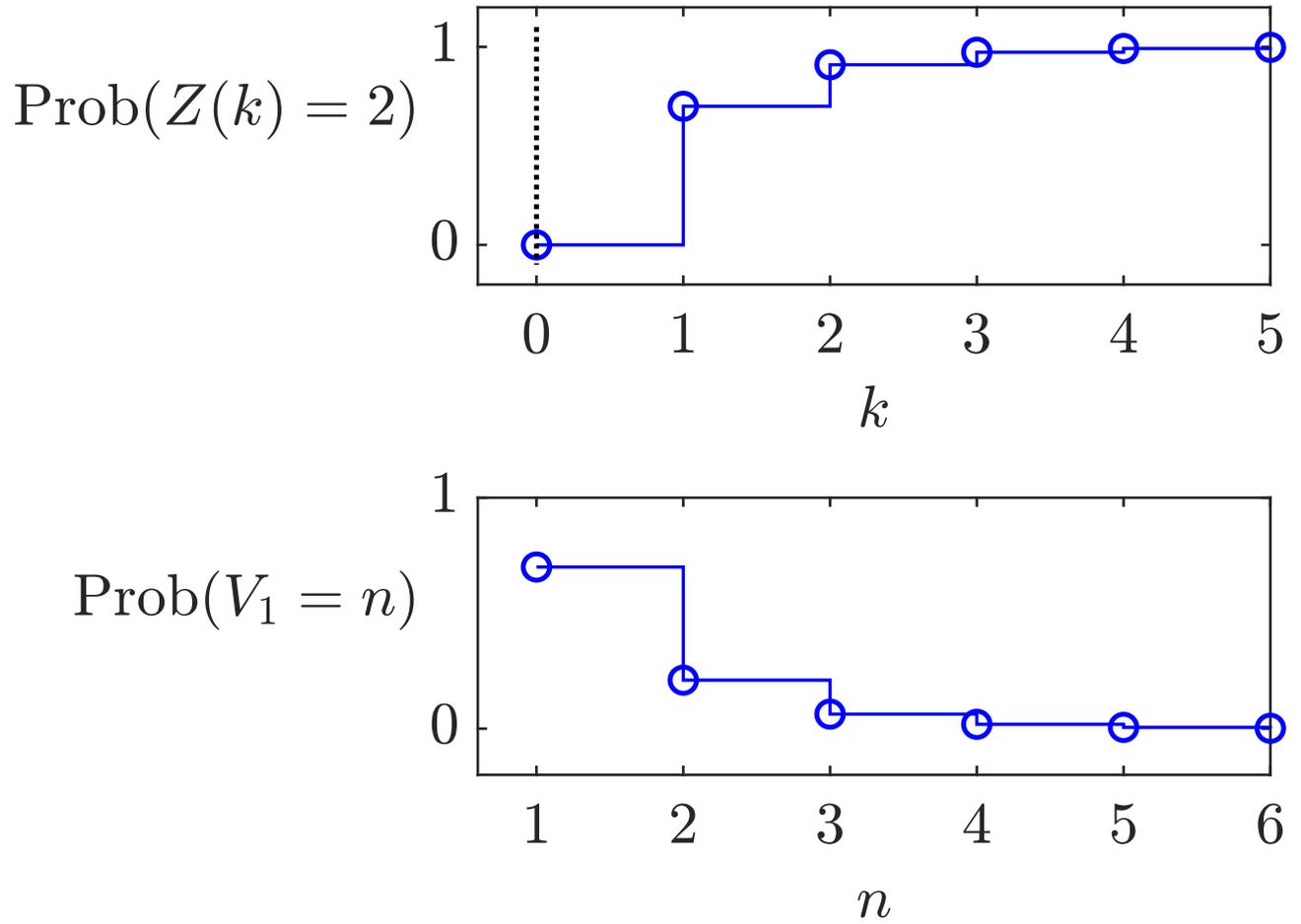
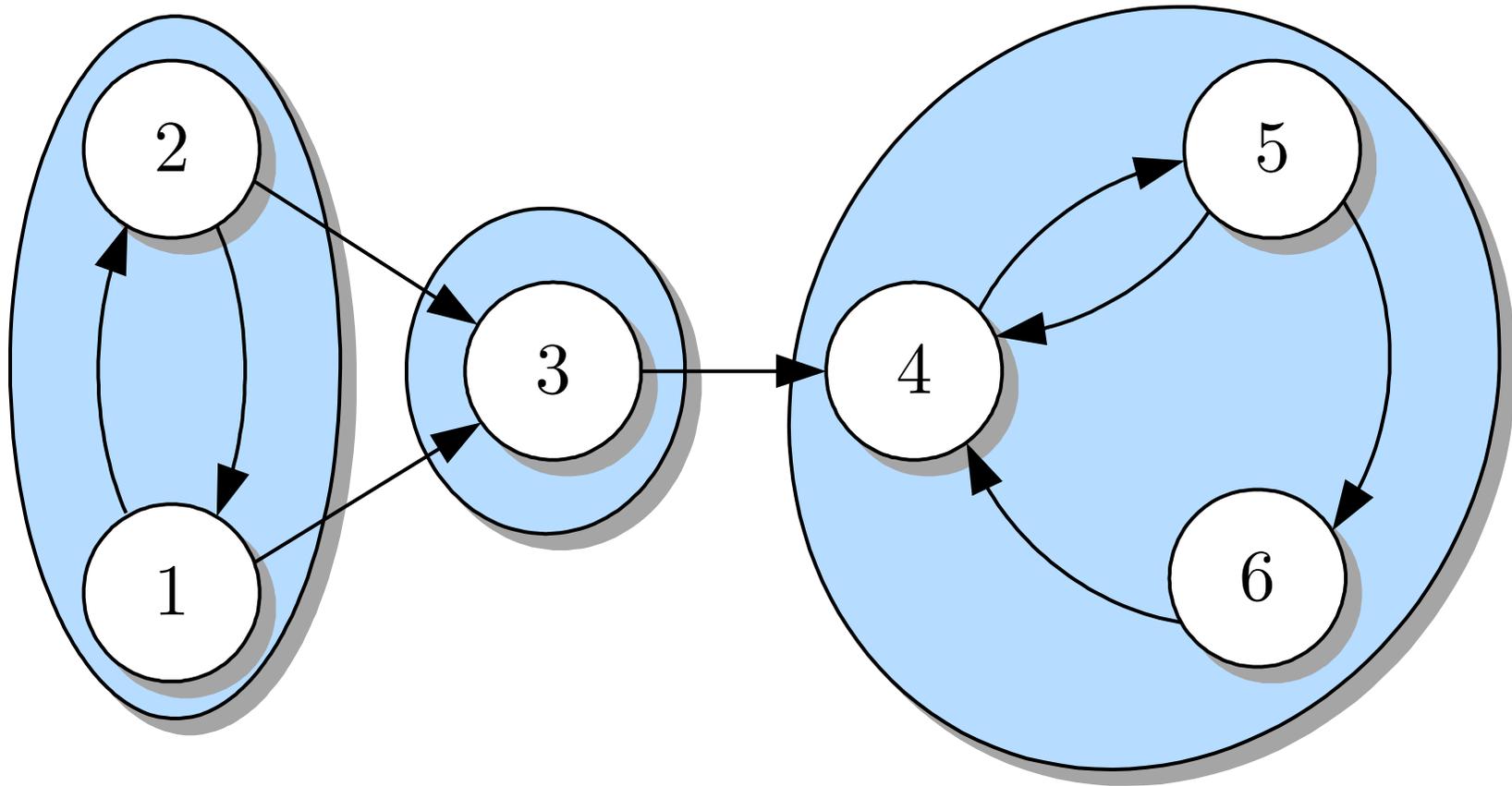


Abb. 7.32: Verhalten des Funknetzes

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



„Wahrscheinlichkeitsfluss“

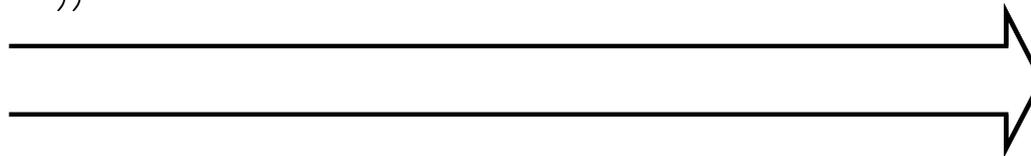


Abb. 7.33. Reduzible Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

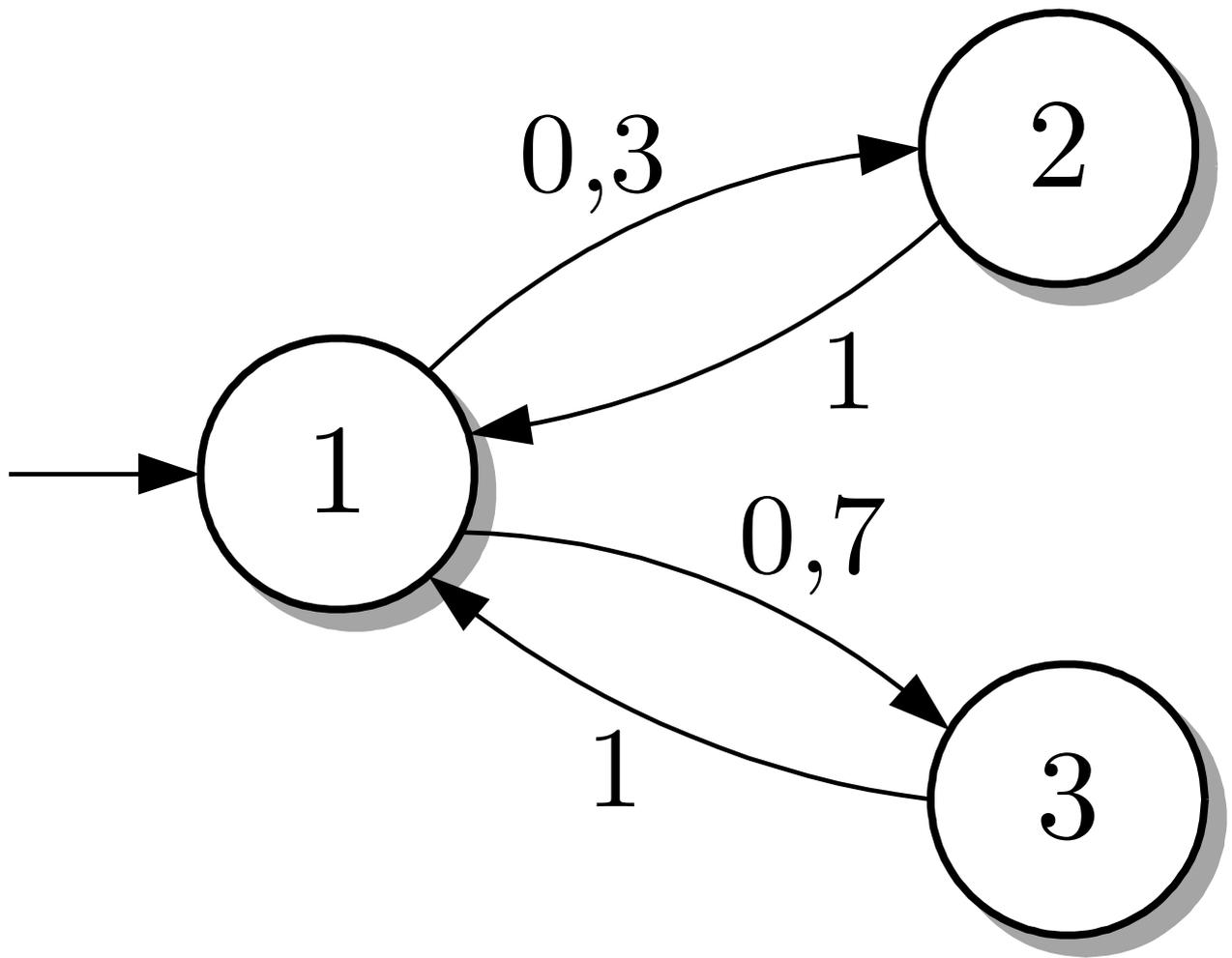
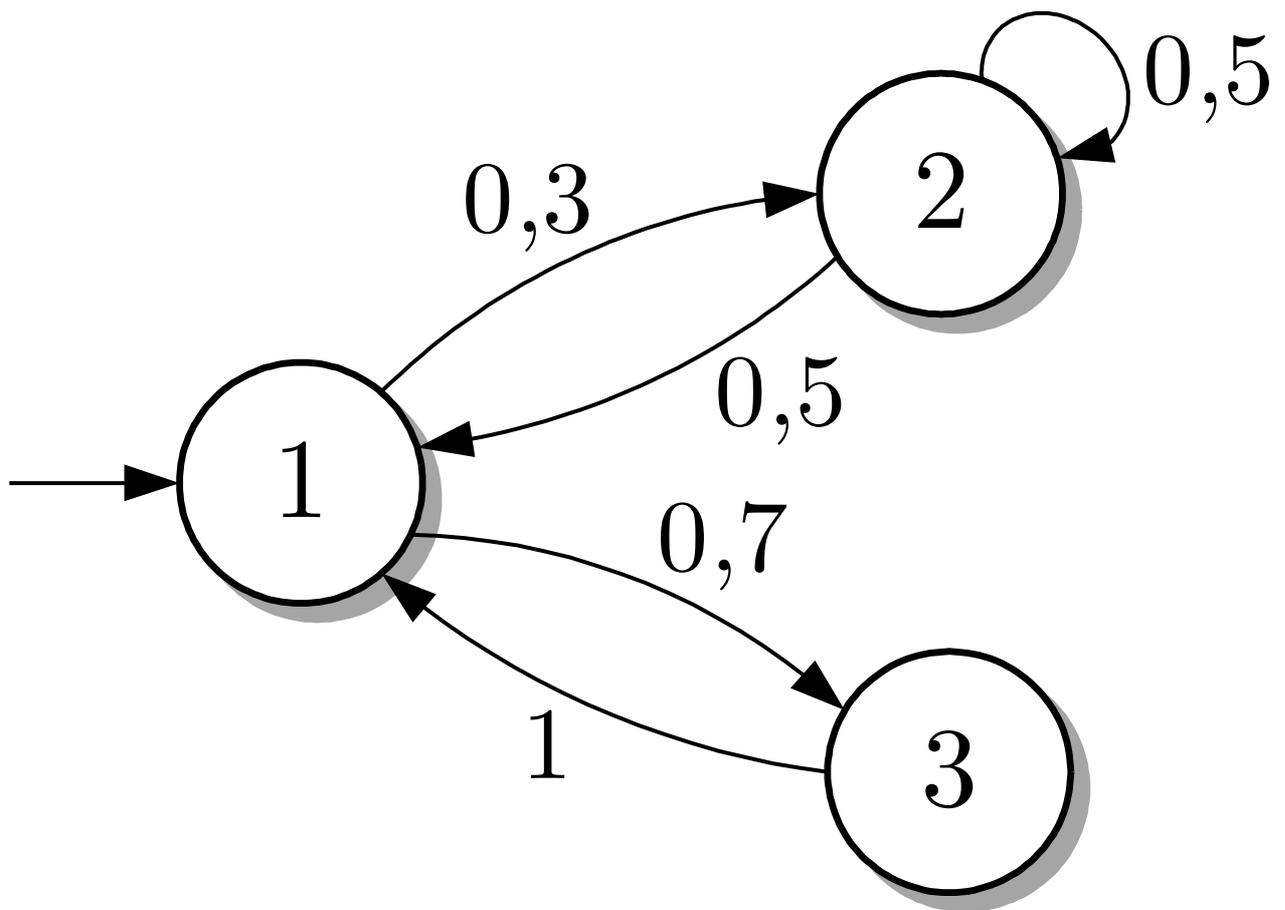


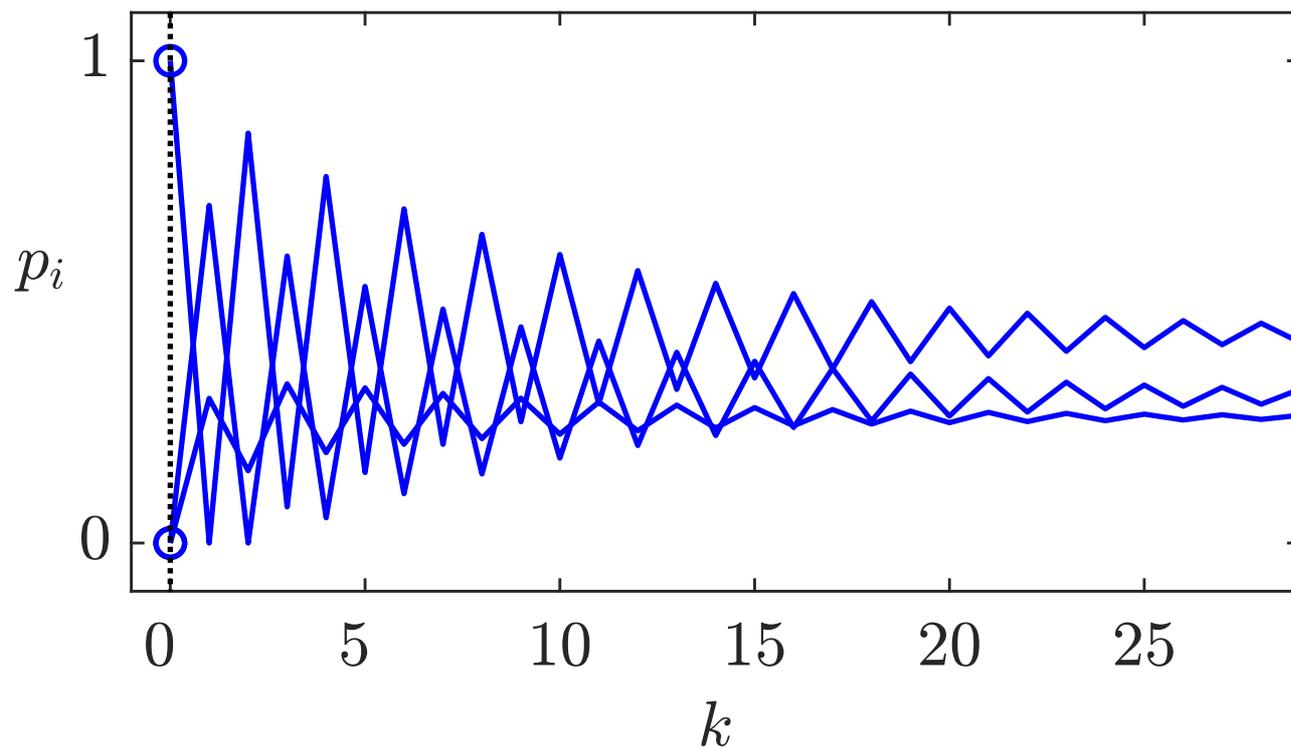
Abb. 7.34: Periodische Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 7.35: Nichtperiodische Markovkette:
Automatengraph**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 7.35: Nichtperiodische Markovkette:
Zustandswahrscheinlichkeitsverteilung**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

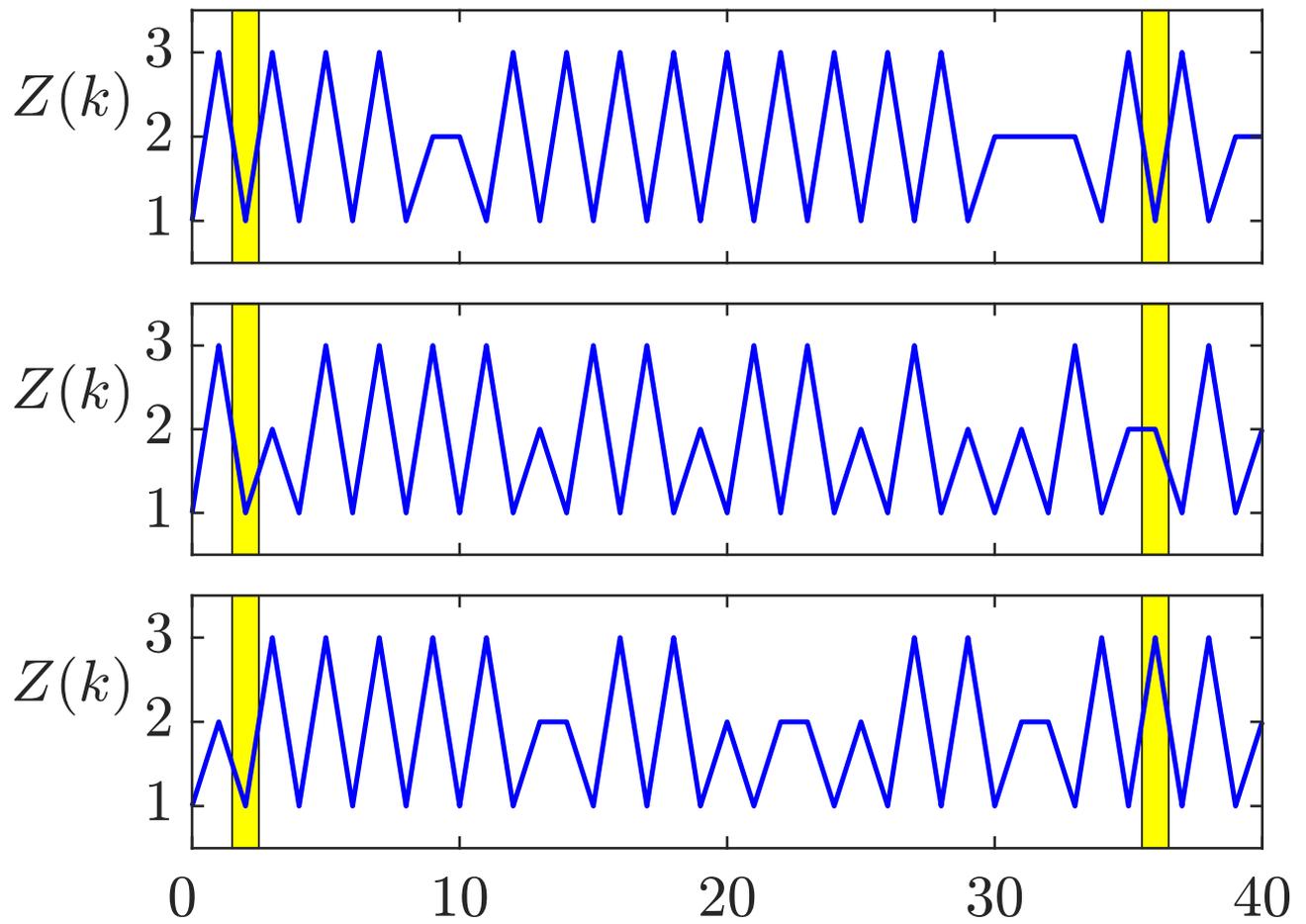


Abb. 7.36: Drei Realisierungen der Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

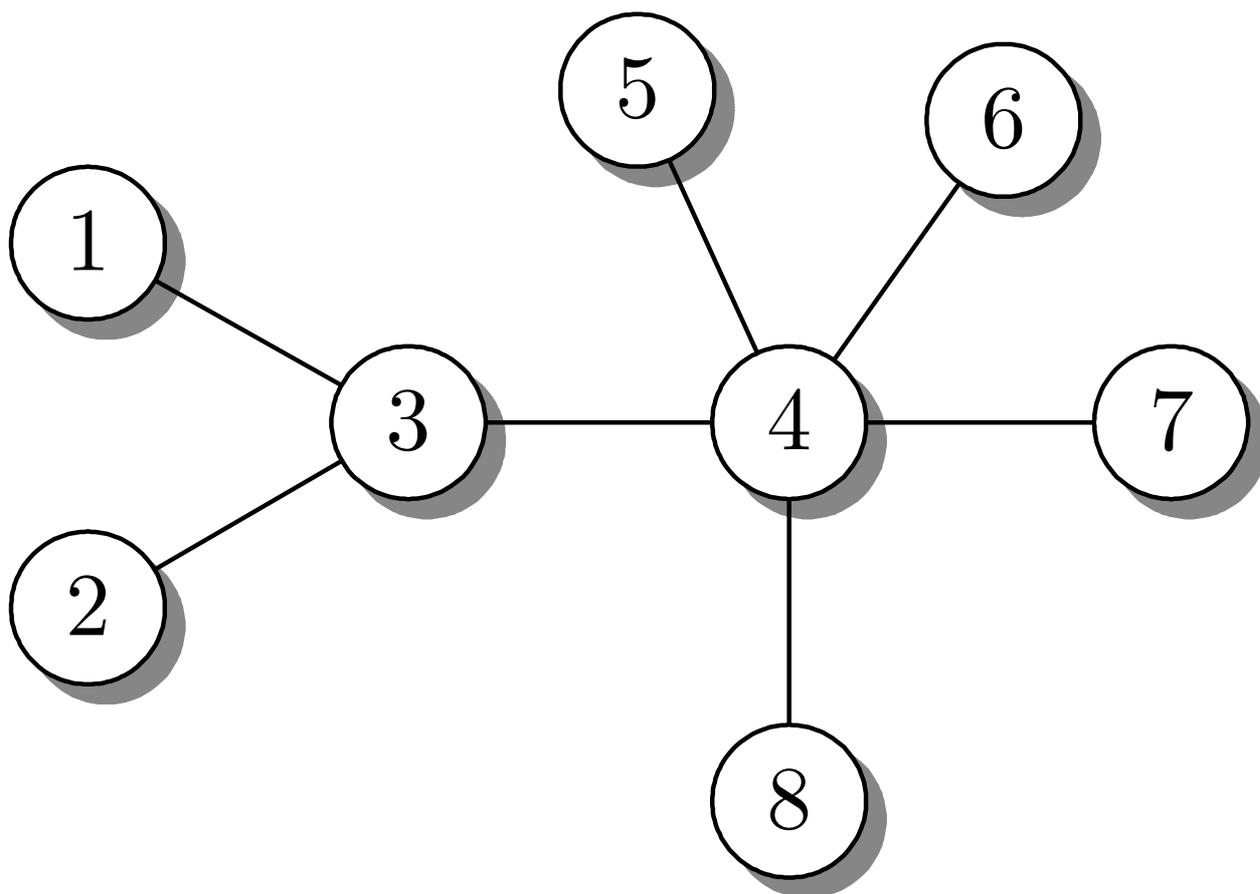


Abb. 7.37: Sehr kleiner Ausschnitt aus dem Internet

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

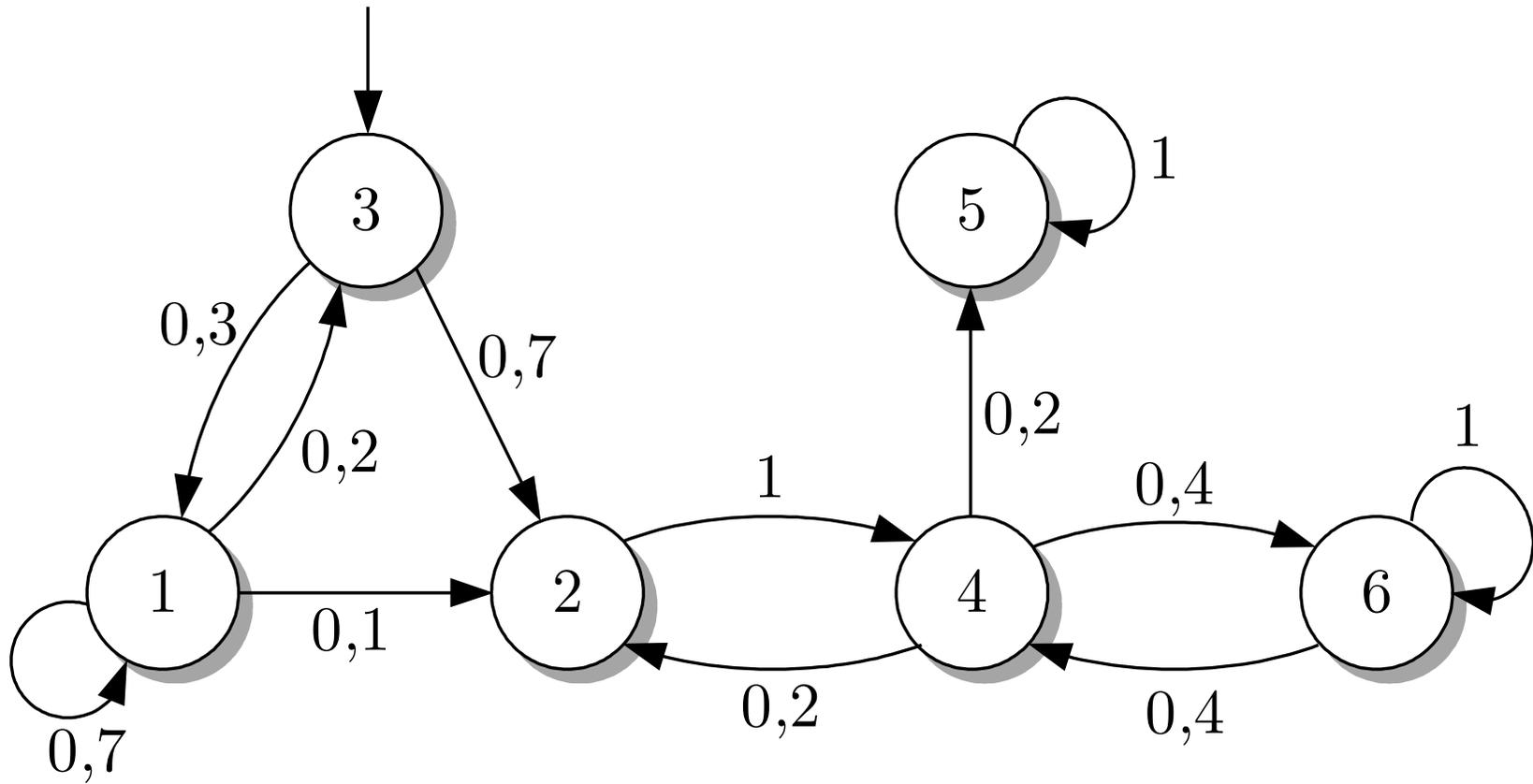


Abb. 7.38. Eine Markovkette?

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

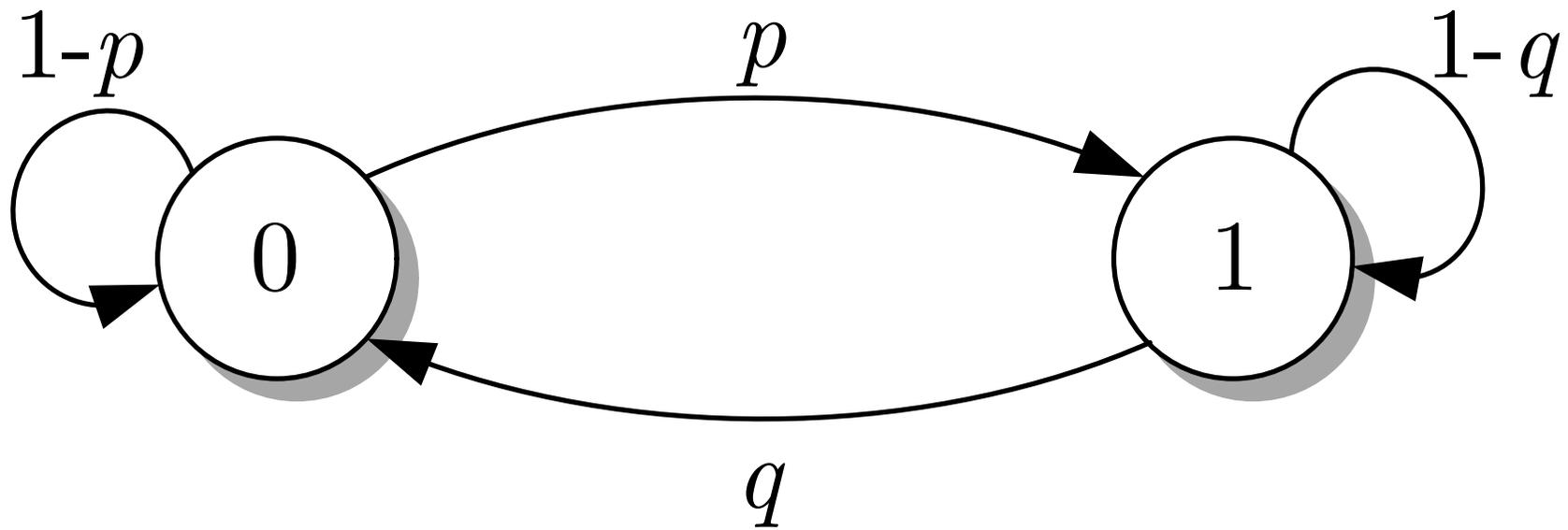


Abb. 7.39. Modell des Übertragungskanals zwischen zwei Rechnern

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

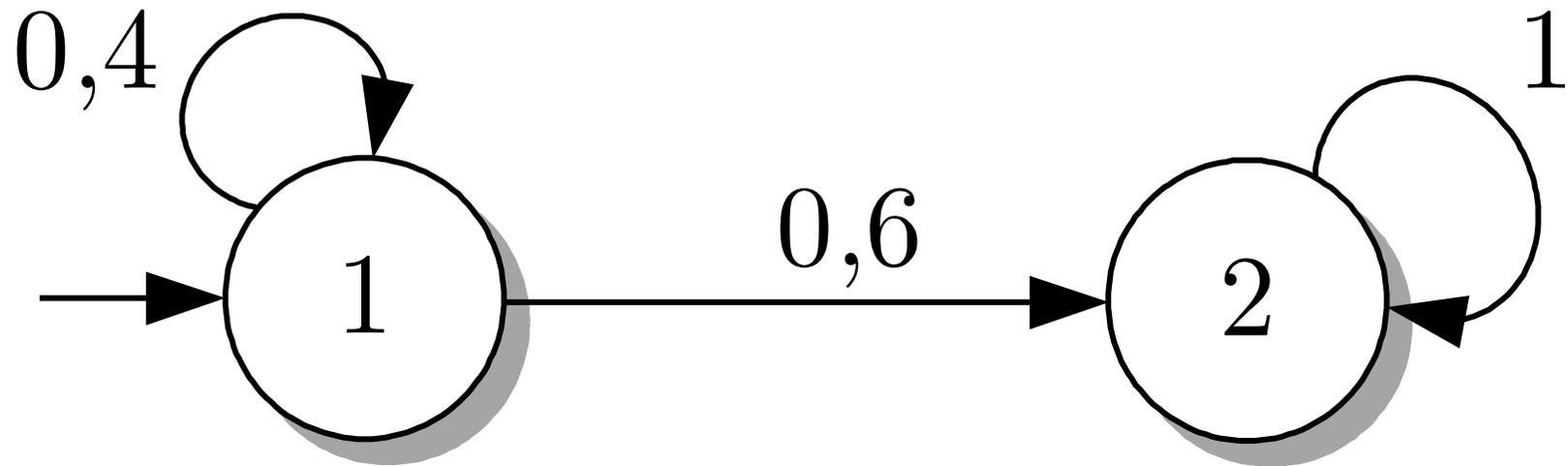


Abb. 7.40. Markovkette mit zwei Zuständen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

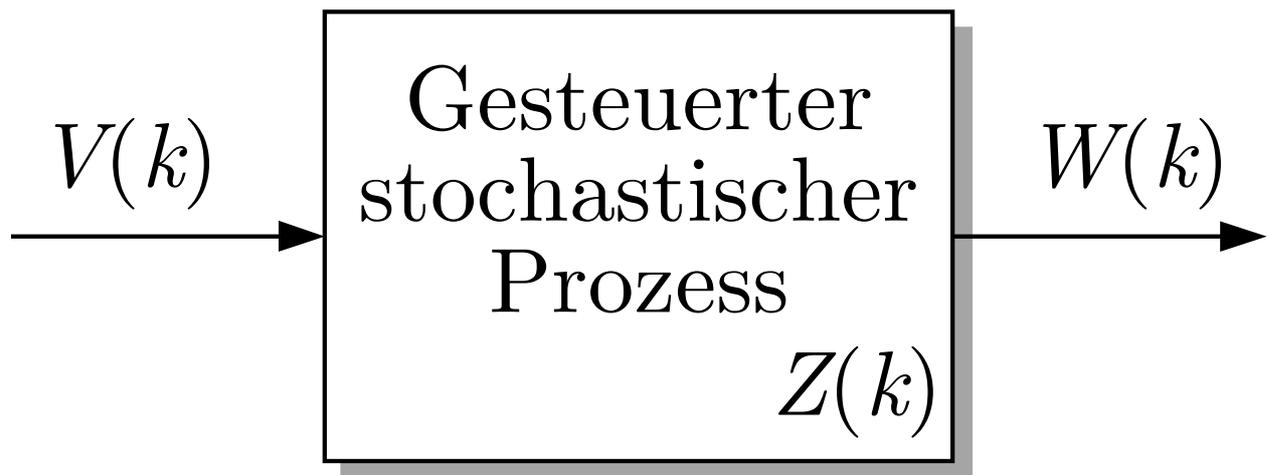


Abb. 7.41: Stochastischer Prozess mit Eingang und Ausgang

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

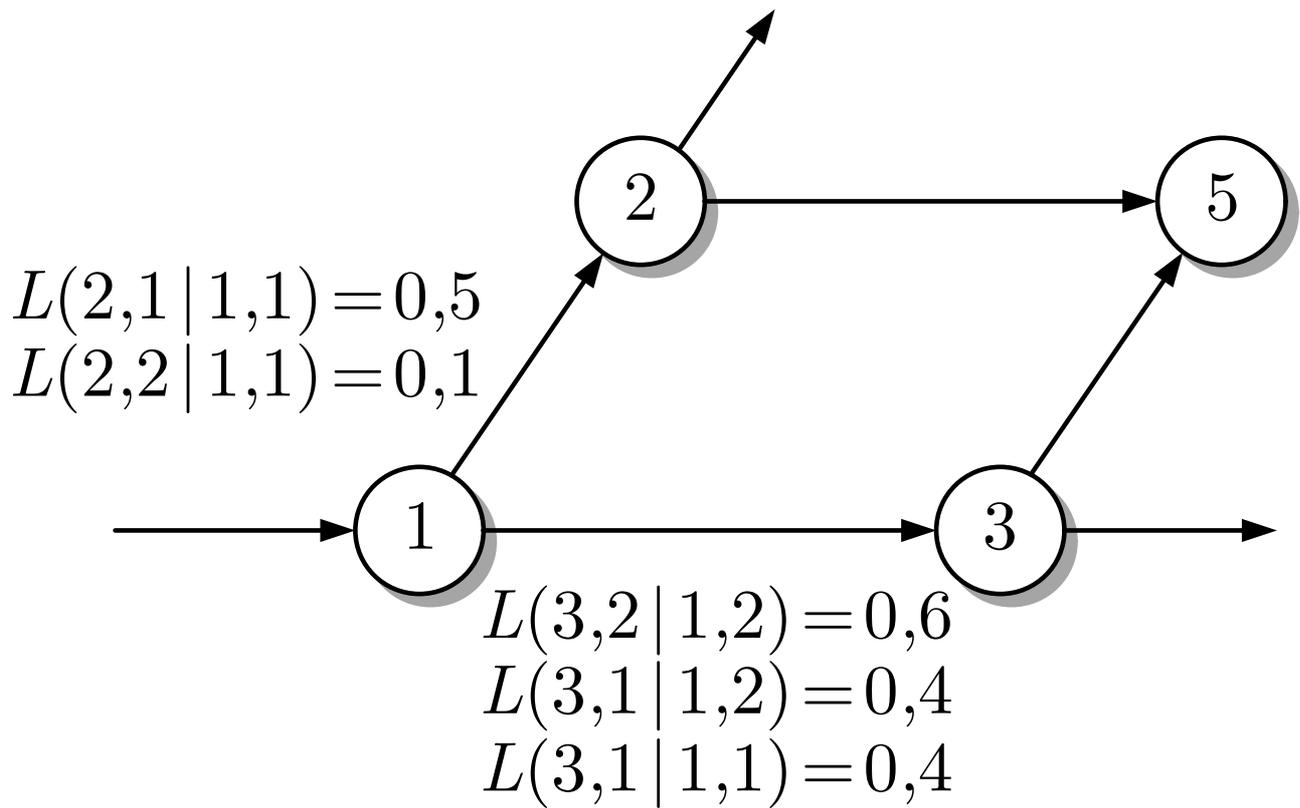


Abb. 7.42: Ausschnitt aus dem Graphen eines stochastischen E/A-Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

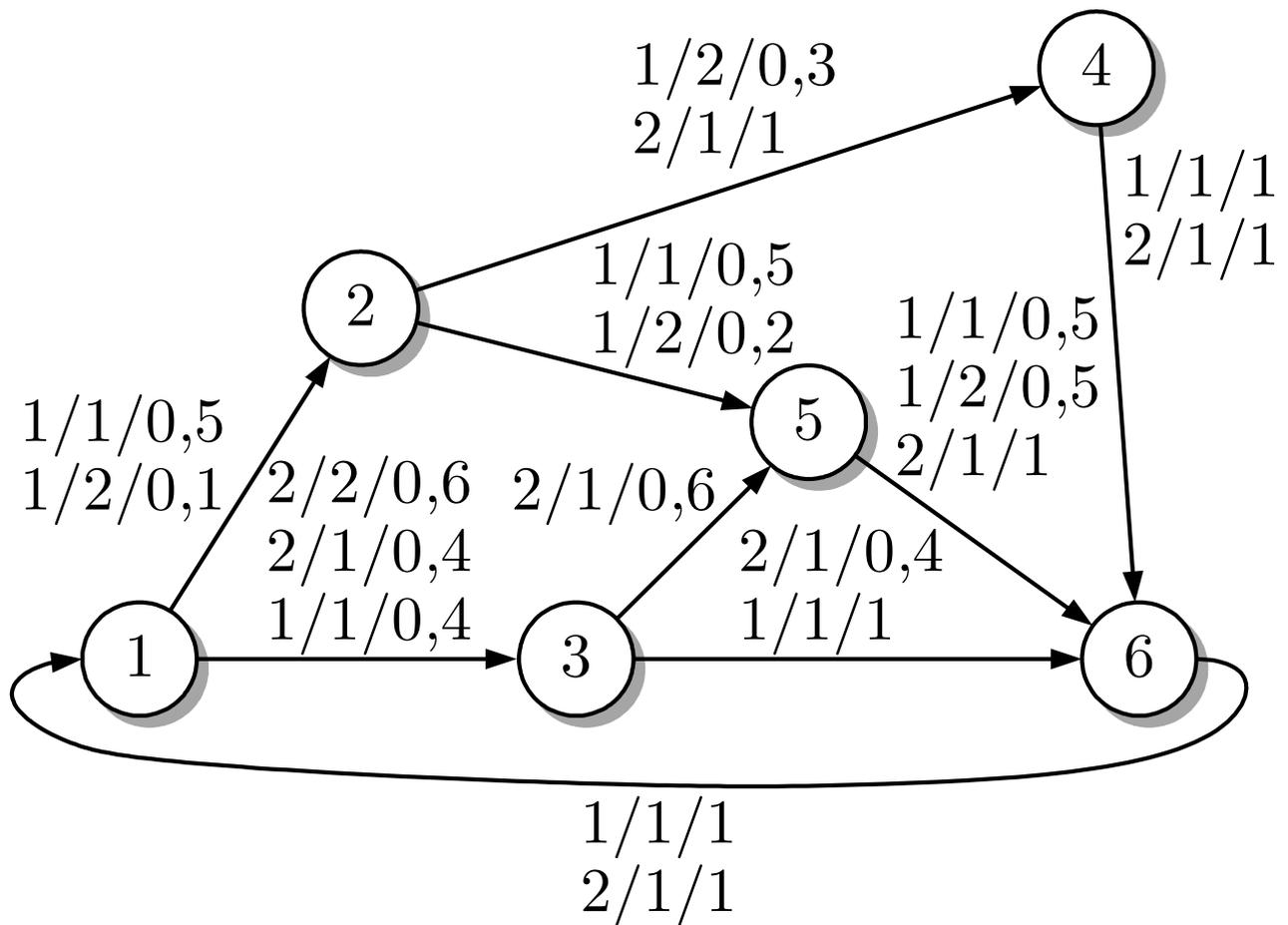


Abb. 7.43: Beispiel für einen stochastischen Automaten mit Eingang und Ausgang

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

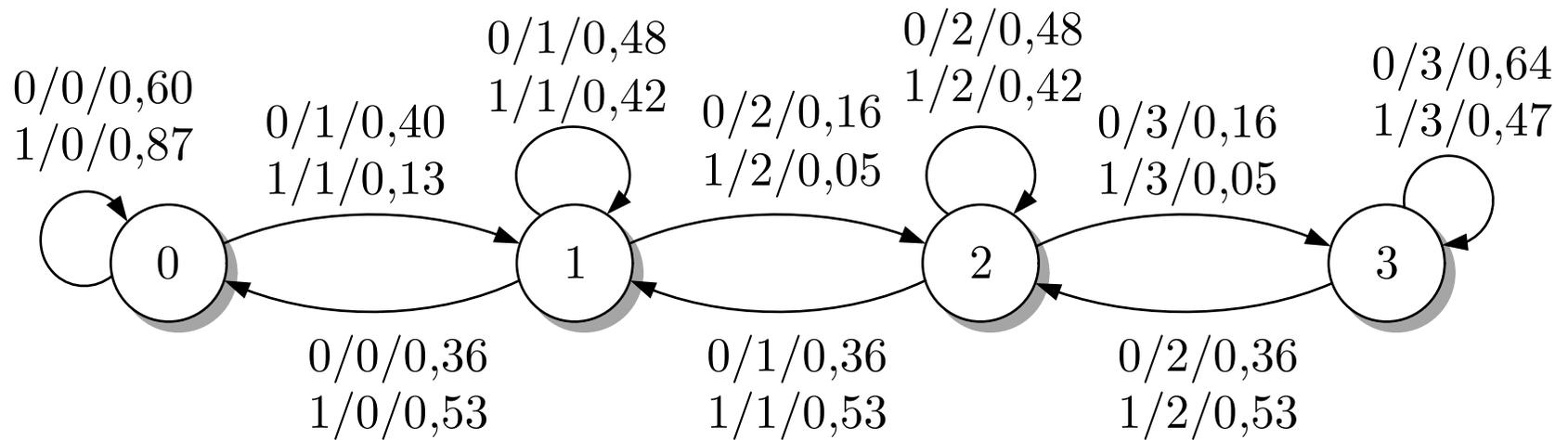


Abb. 7.44. Modell der Warteschlange vor einer gesteuerten Werkzeugmaschine

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

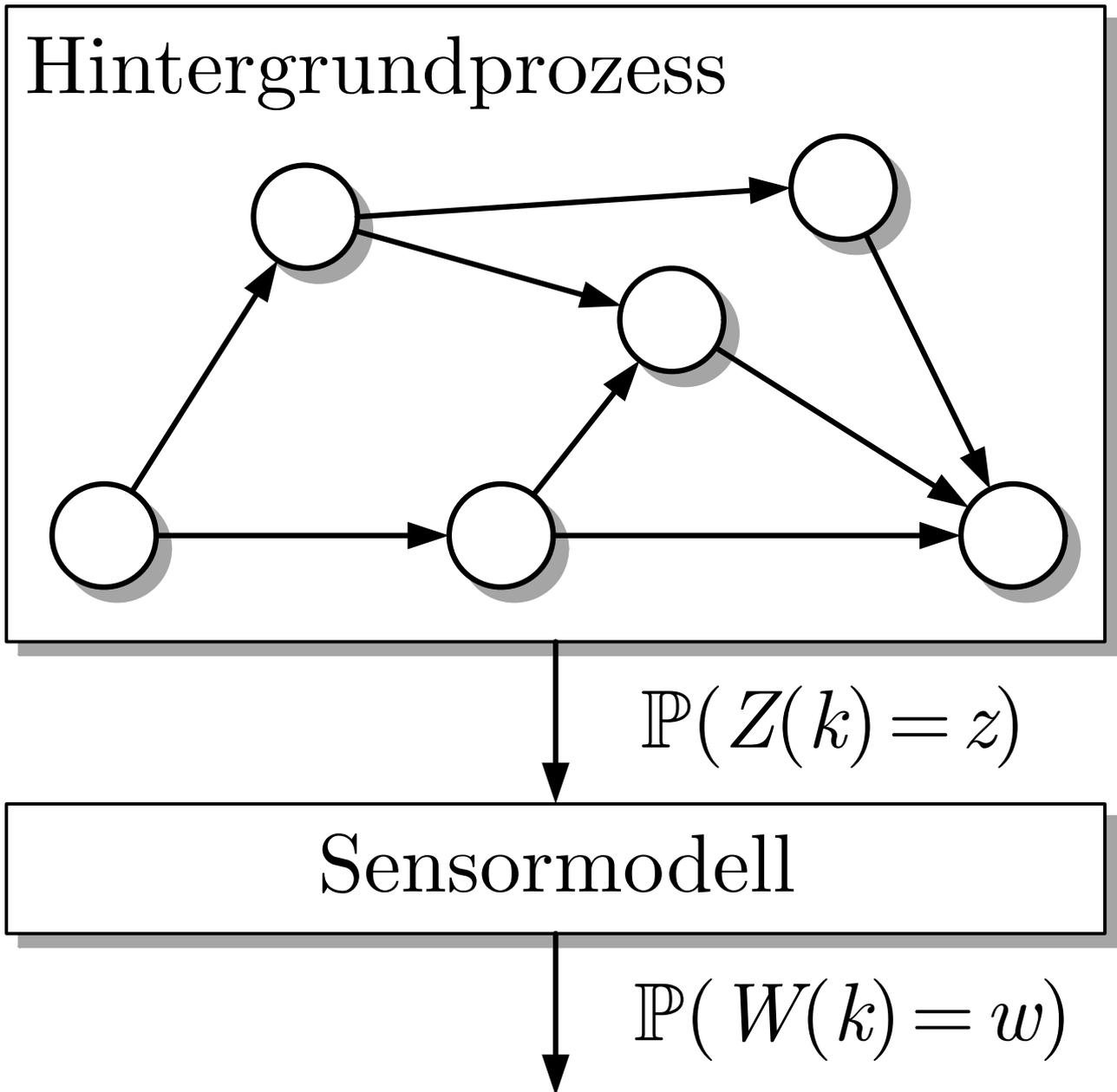


Abb. 7.45: Strukturbild verdeckter Markovketten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

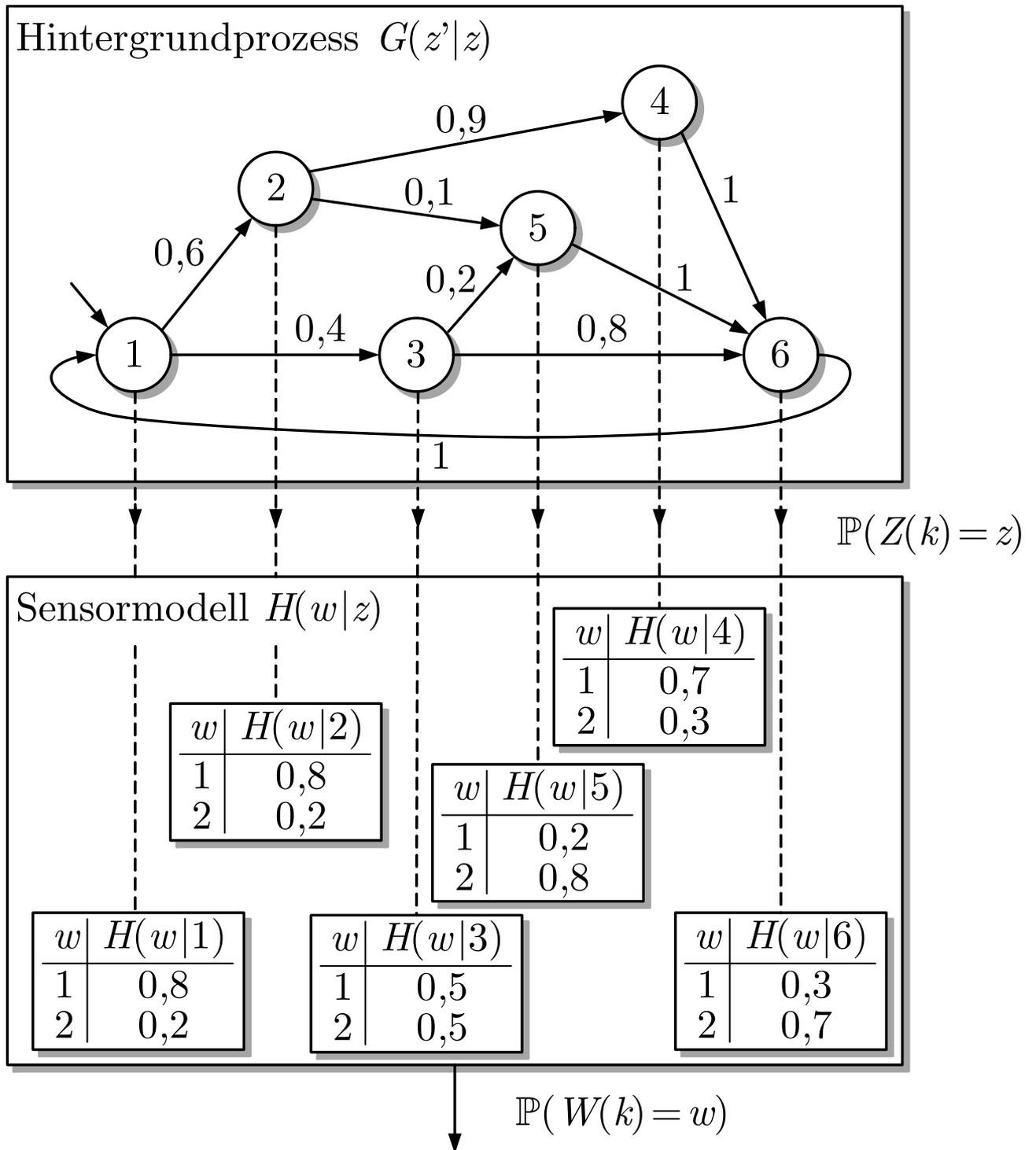


Abb. 7.46: Verdecktes Markovmodell

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

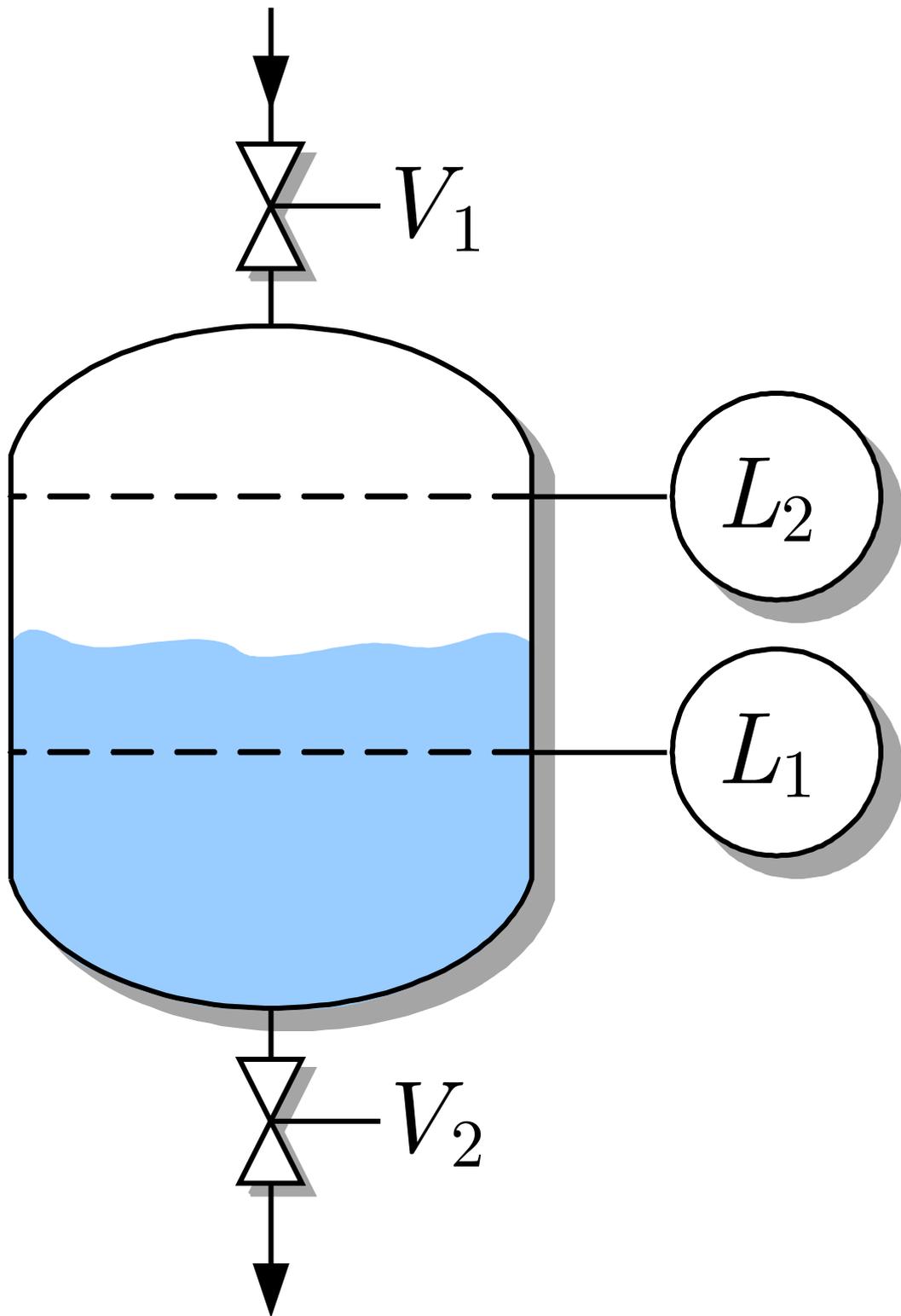


Abb. 7.47. Ausschnitt eines Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

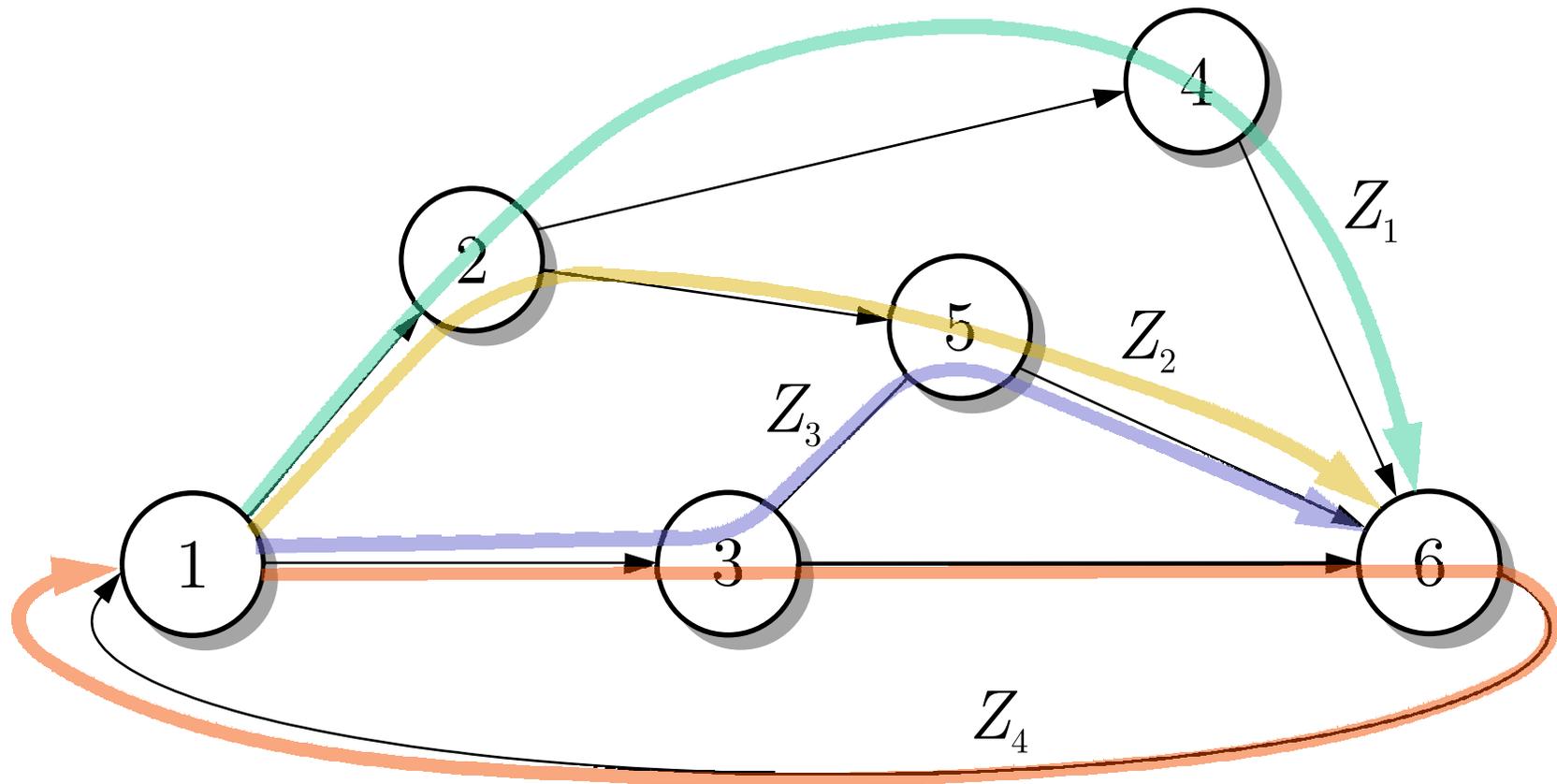


Abb. 7.48. Vier mögliche Zustandsfolgen der betrachteten Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

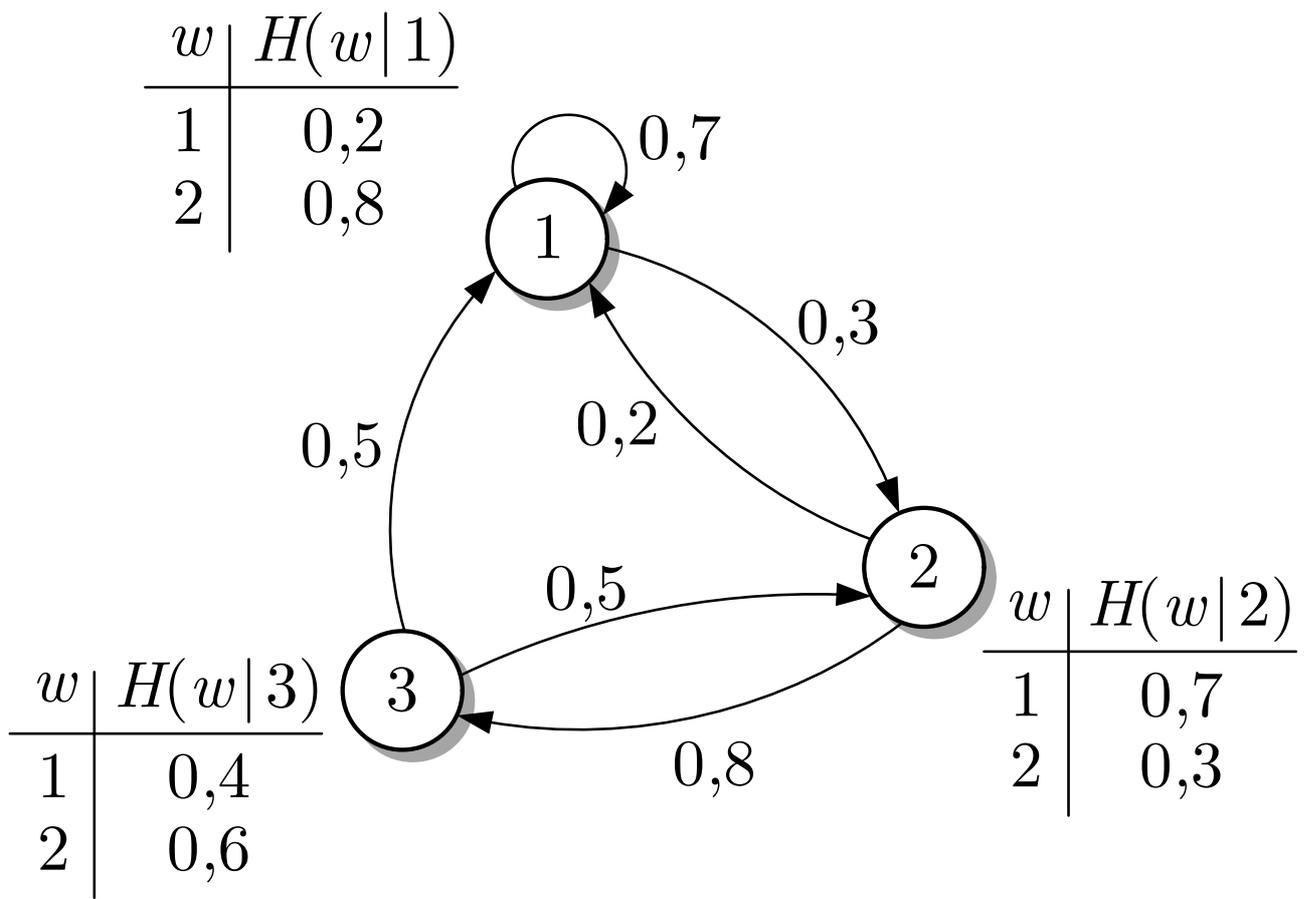


Abb. 7.49: Verdeckte Markovkette zur Erläuterung des Viterbi-Algorithmus

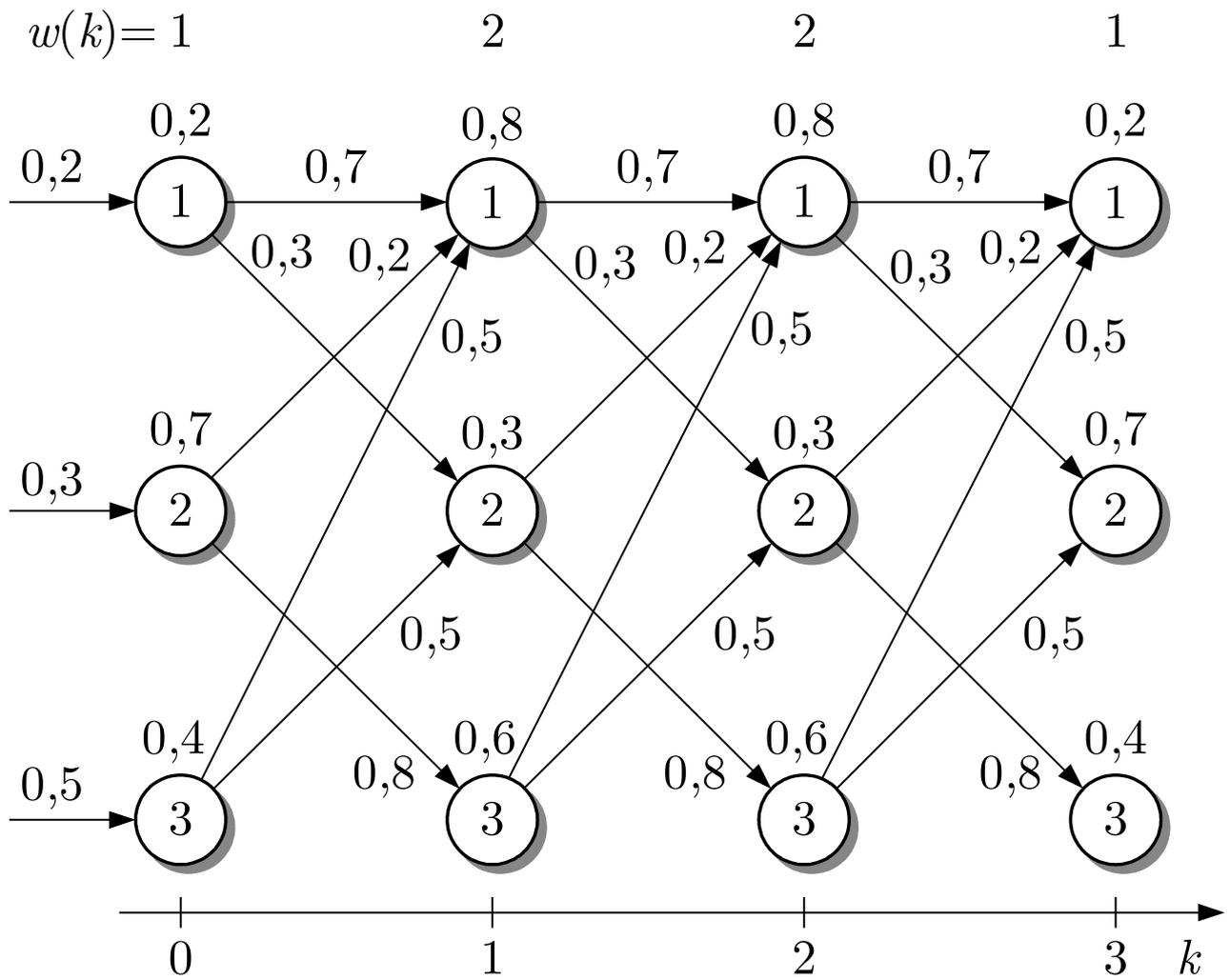


Abb. 7.50: Grafische Darstellung der Zustandsfolgen für eine Markovkette mit drei Zuständen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

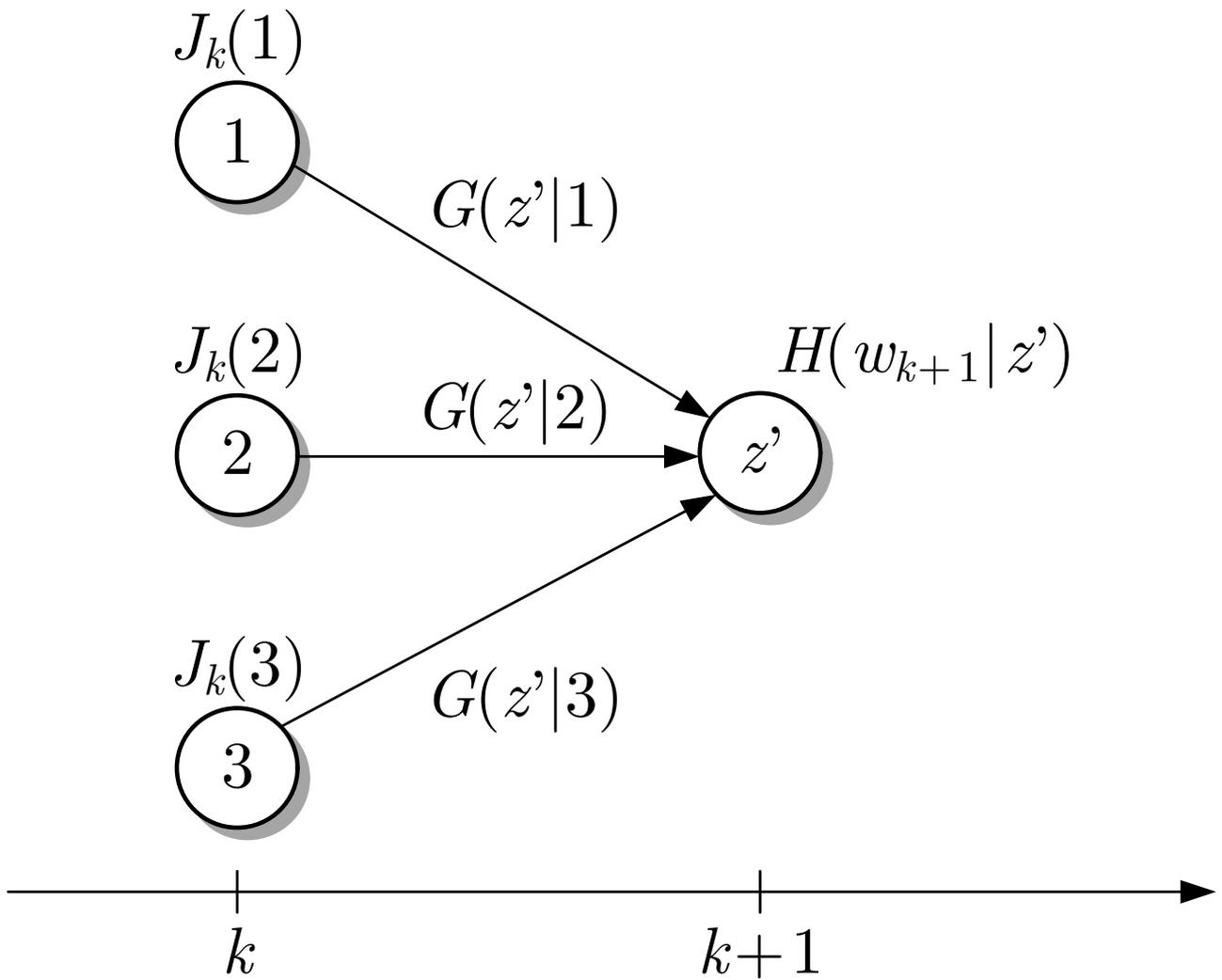


Abb. 7.51: Grundidee des Viterbi-Algorithmus

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

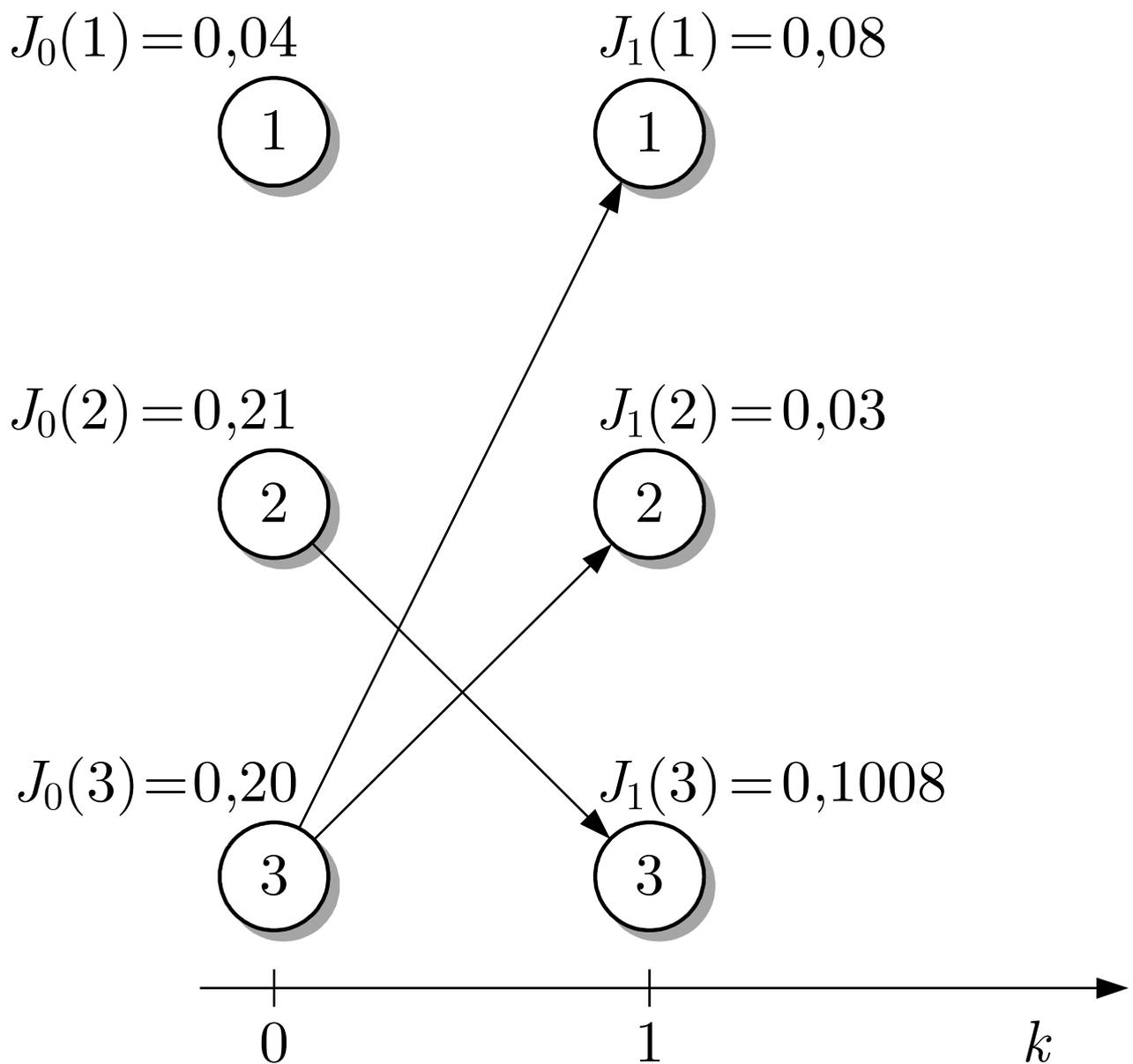


Abb. 7.52: Ergebnis des Viterbi-Algorithmus nach dem ersten Schritt

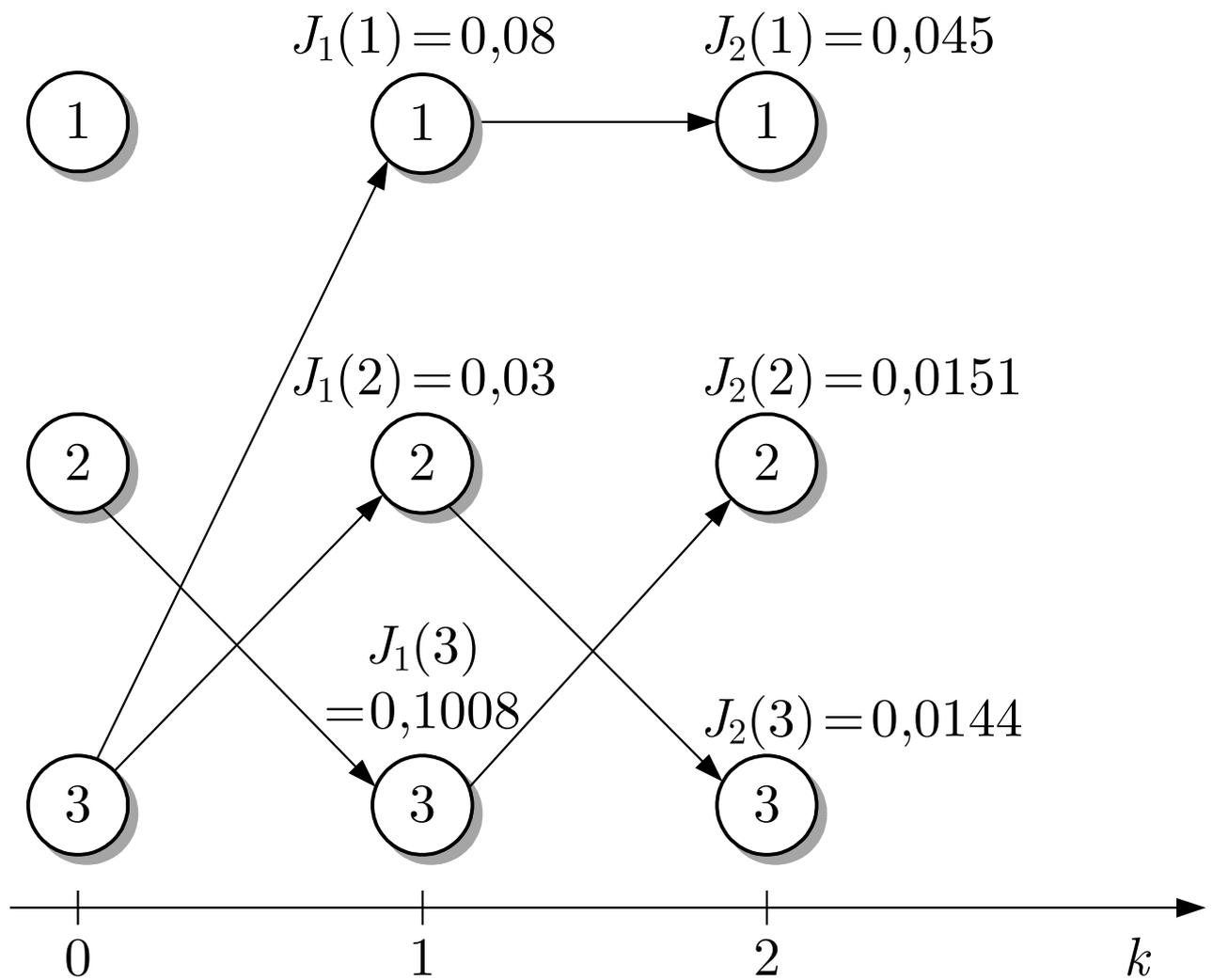


Abb. 7.53: Ergebnis des Viterbi-Algorithmus nach dem zweiten Schritt

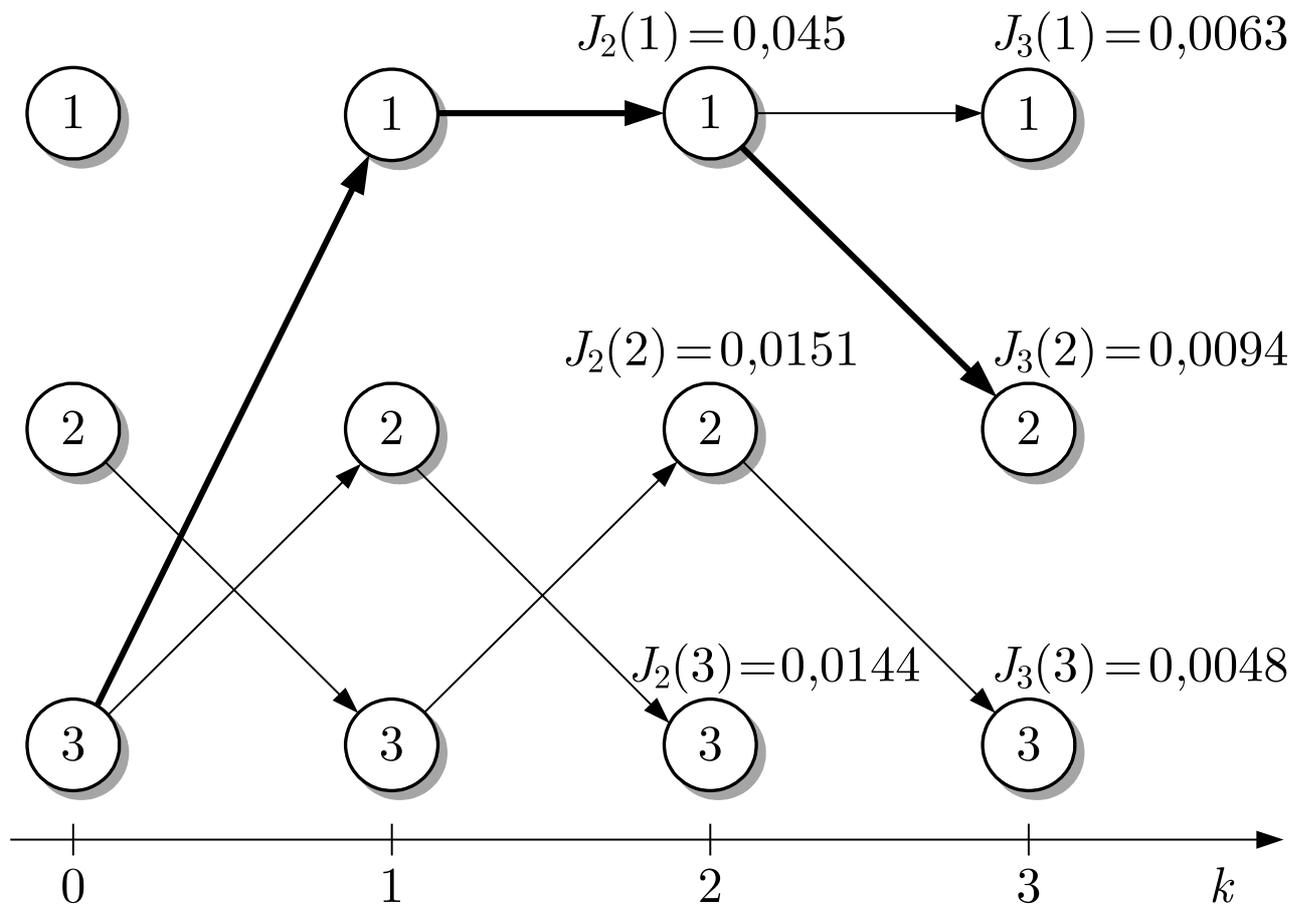


Abb. 7.54: Lösung des Detektionsproblems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

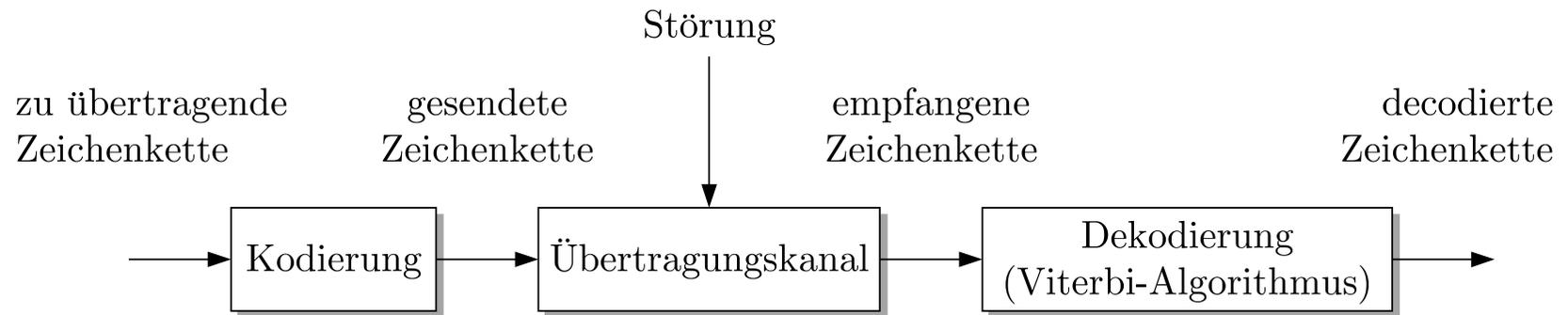


Abb. 7.55. Anwendung des Viterbi-Algorithmus in der Nachrichtenübertragung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

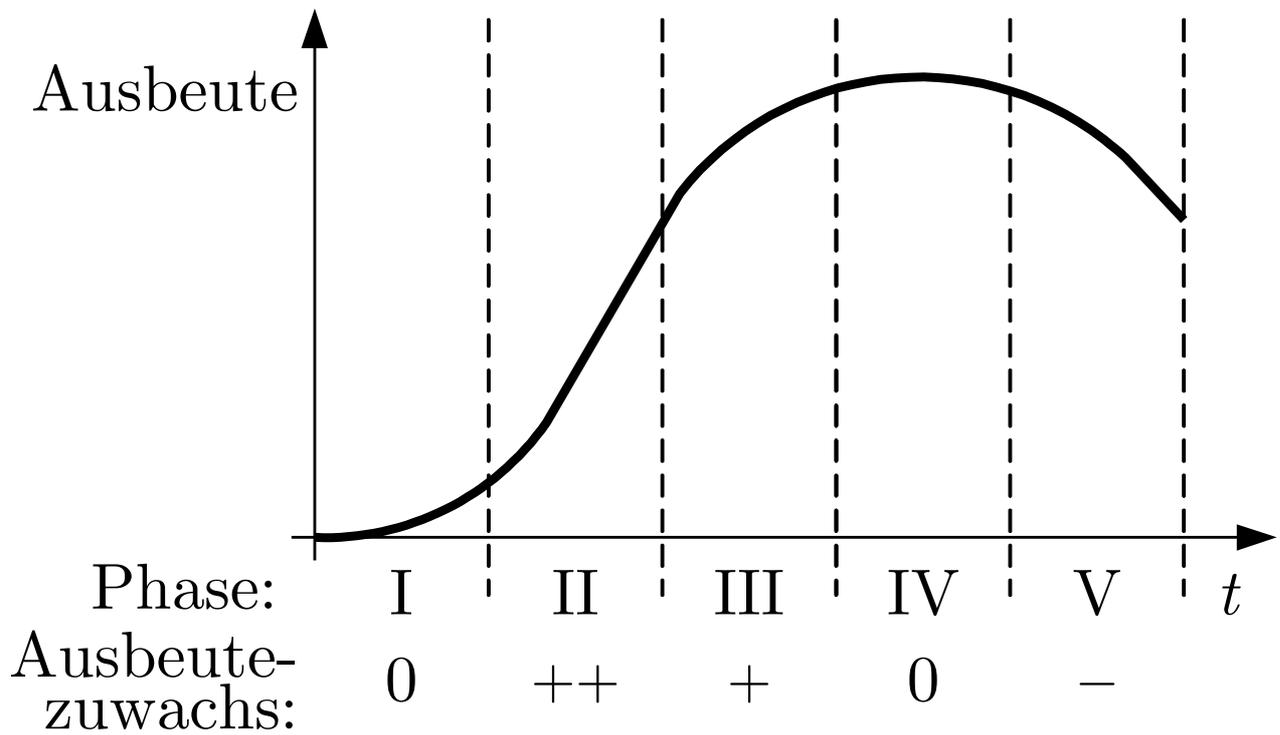


Abb. 7.56: Typischer Verlauf der Ausbeute eines Bioprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

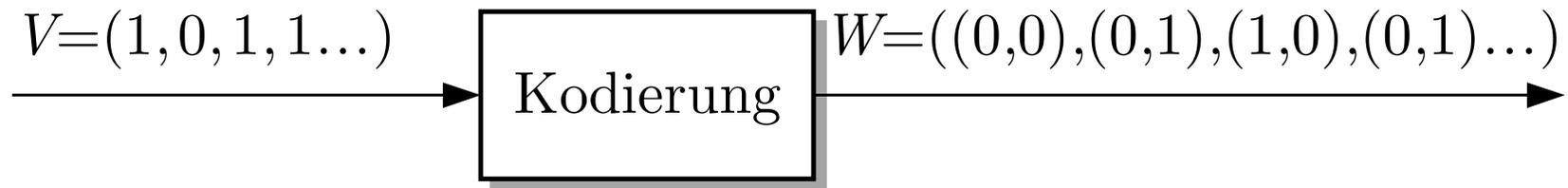


Abb. 7.57. Kodierung mit einem einfachen Faltungscod

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

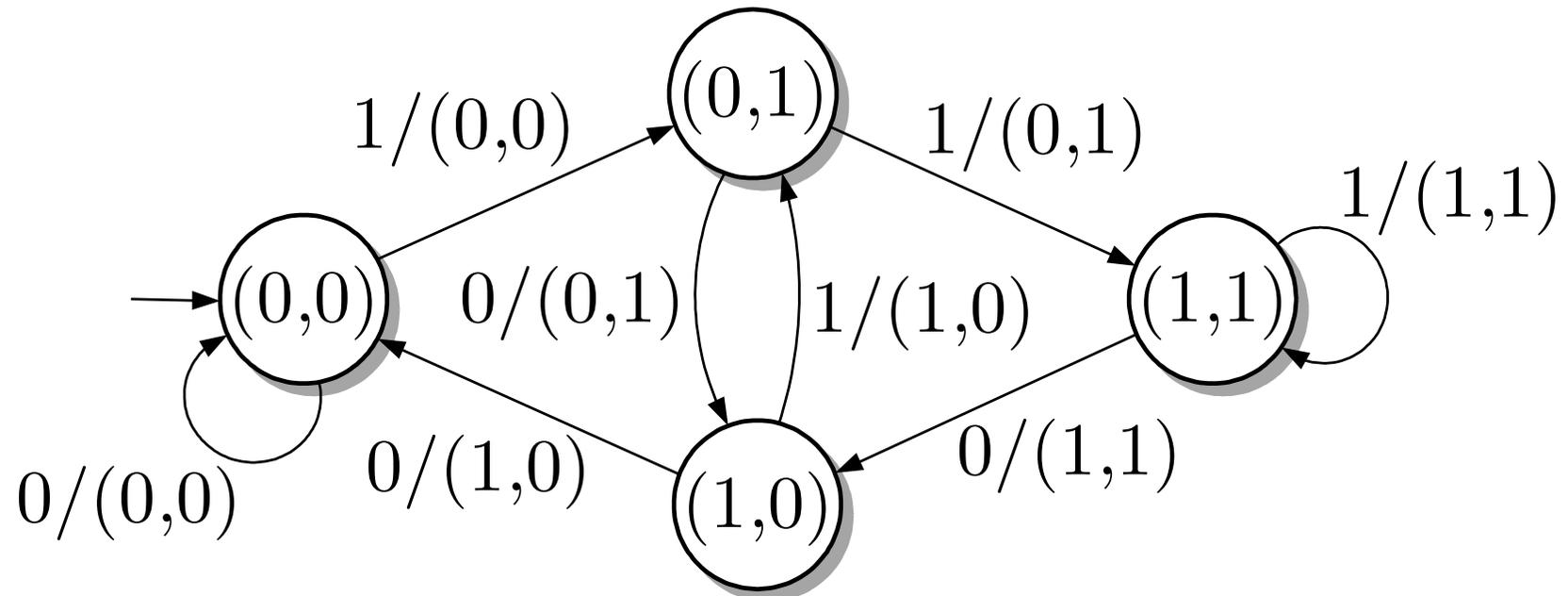


Abb. 7.58. Deterministischer E/A-Automat, der eine Zeichenkette nach dem beschriebenen Faltungscodiert

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

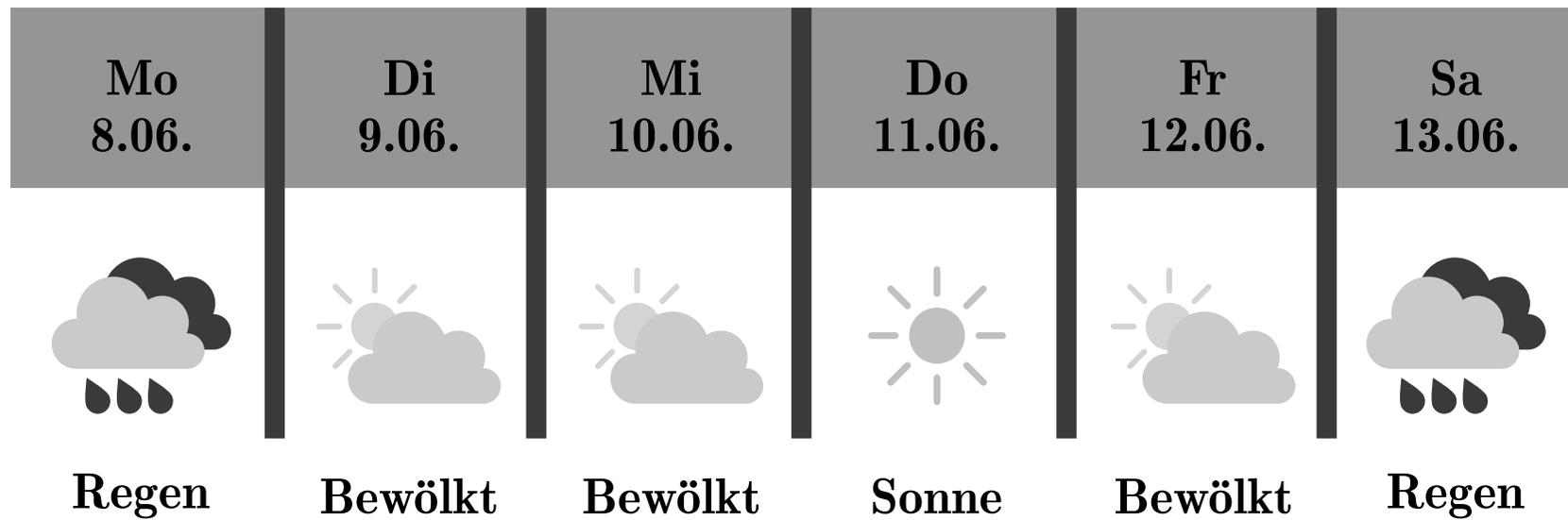


Abb. 7.59. Wettervorhersage

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

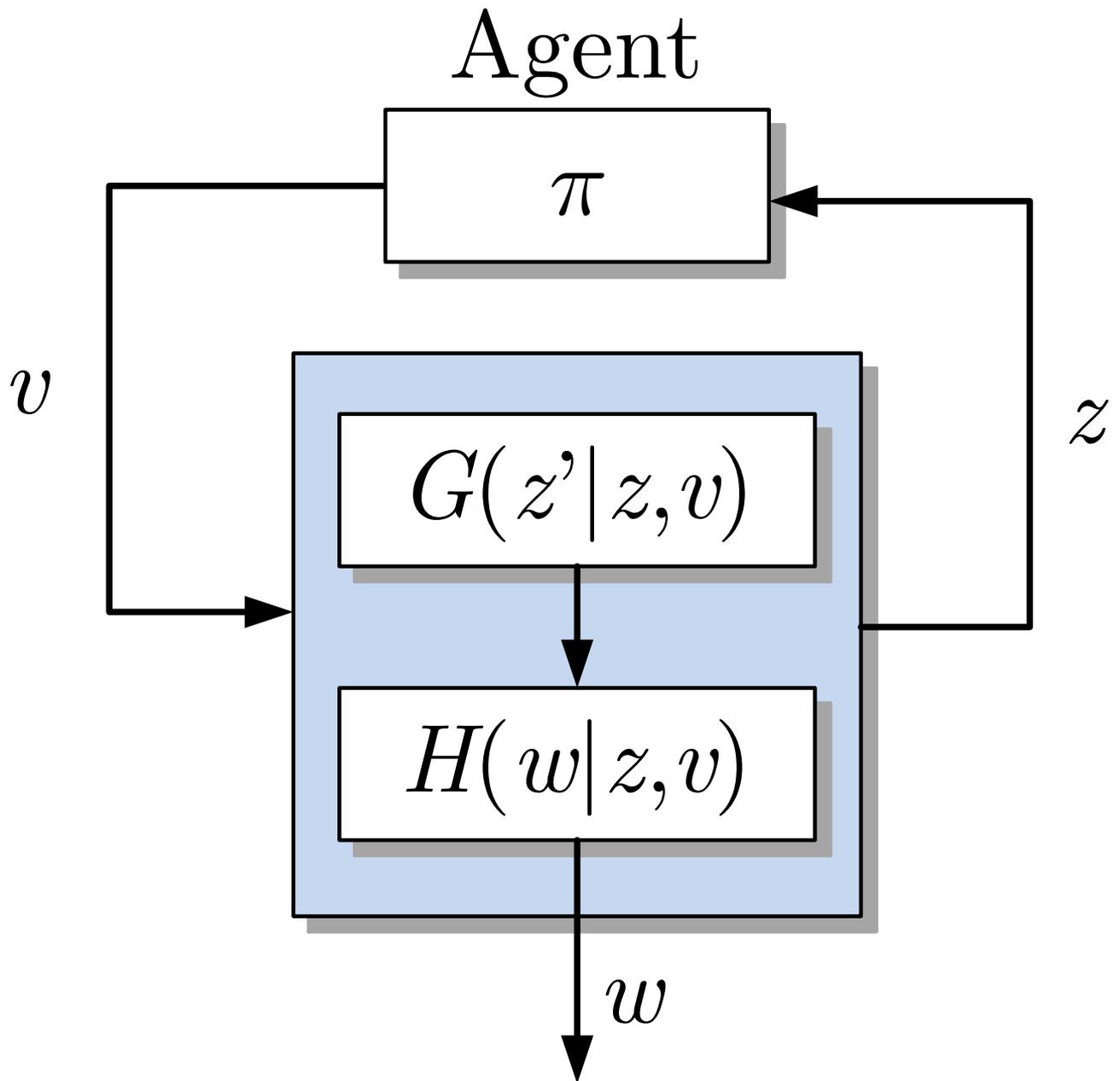


Abb. 7.60: Gesteuerter stochastischer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

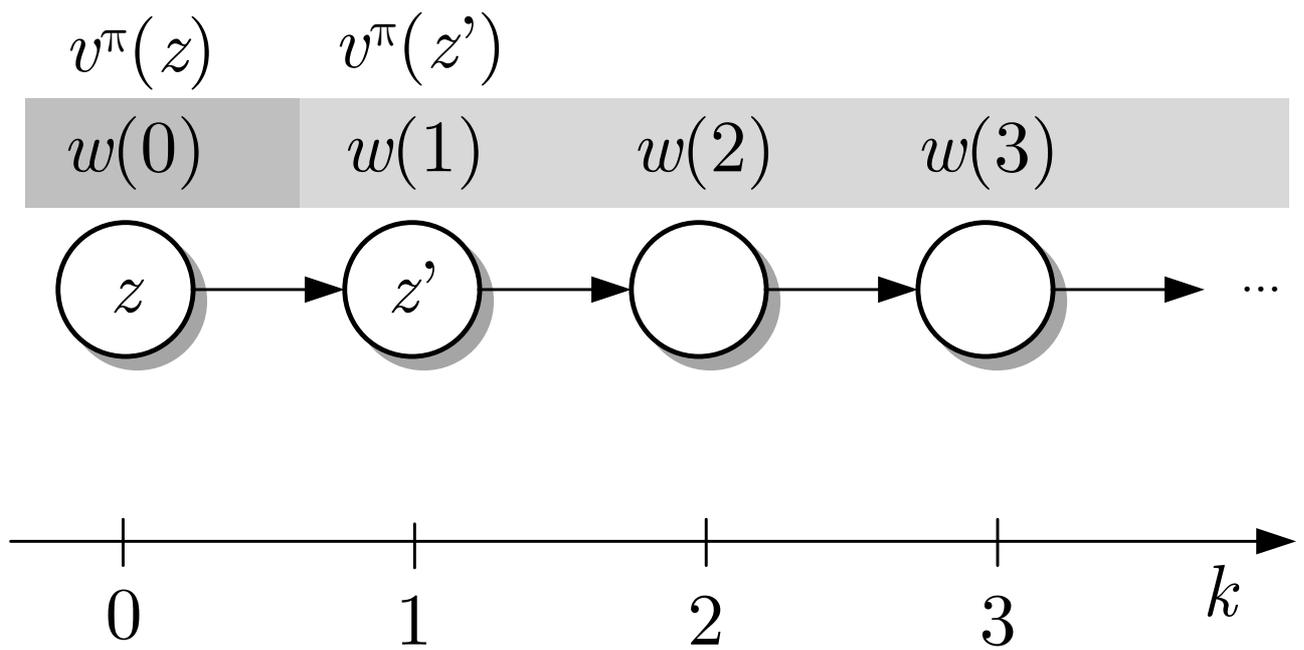


Abb. 7.61: Berechnung der Wertefunktion bei deterministischem Verhalten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

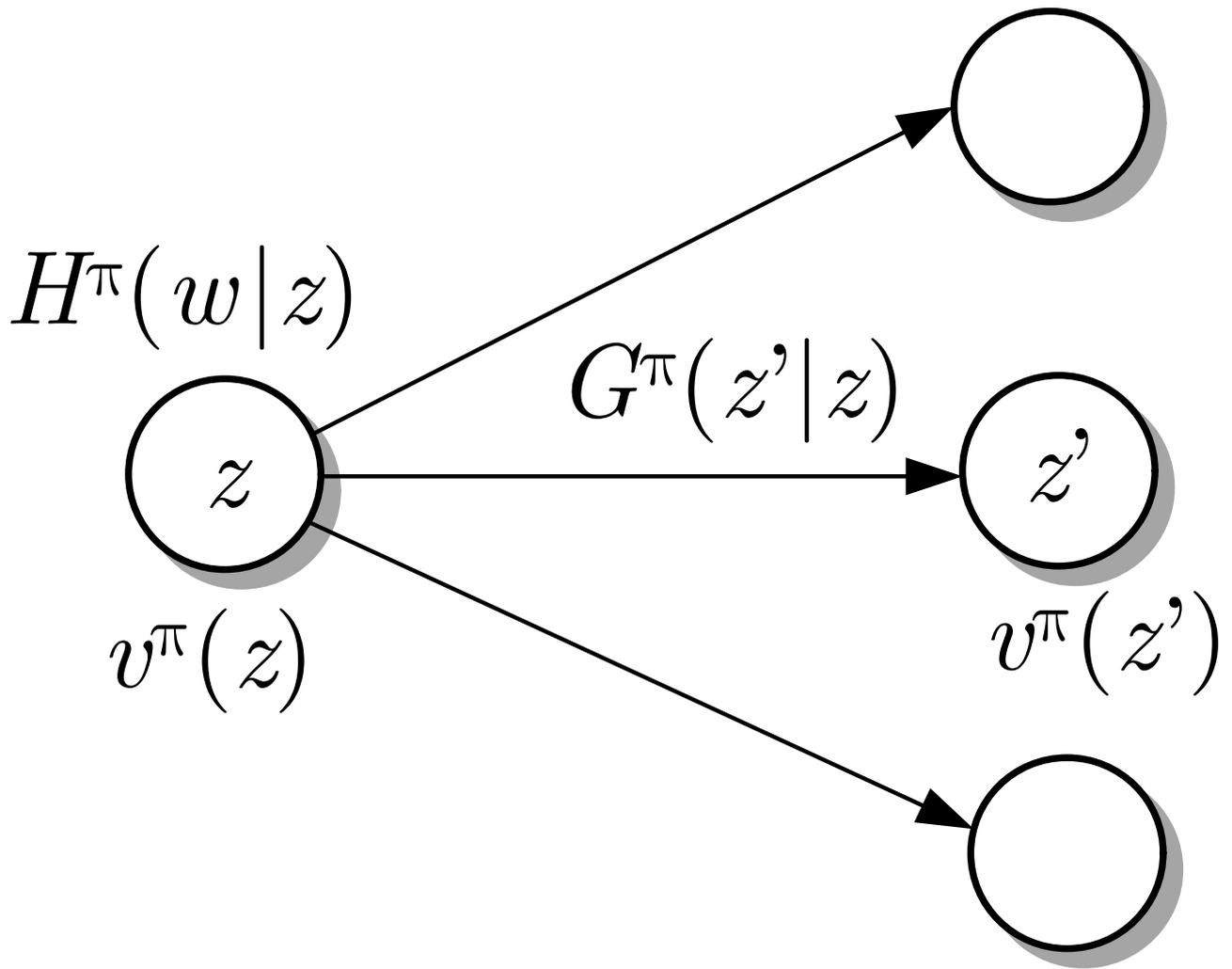


Abb. 7.62: Zustandsübergang des gesteuerten stochastischen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

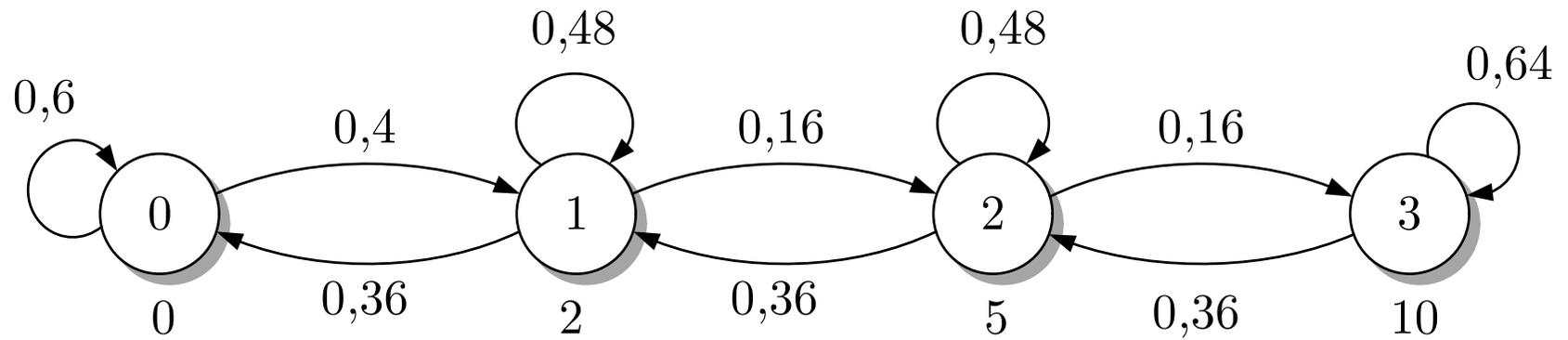


Abb. 7.63. Modell der Warteschlange vor einer Werkzeugmaschine

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

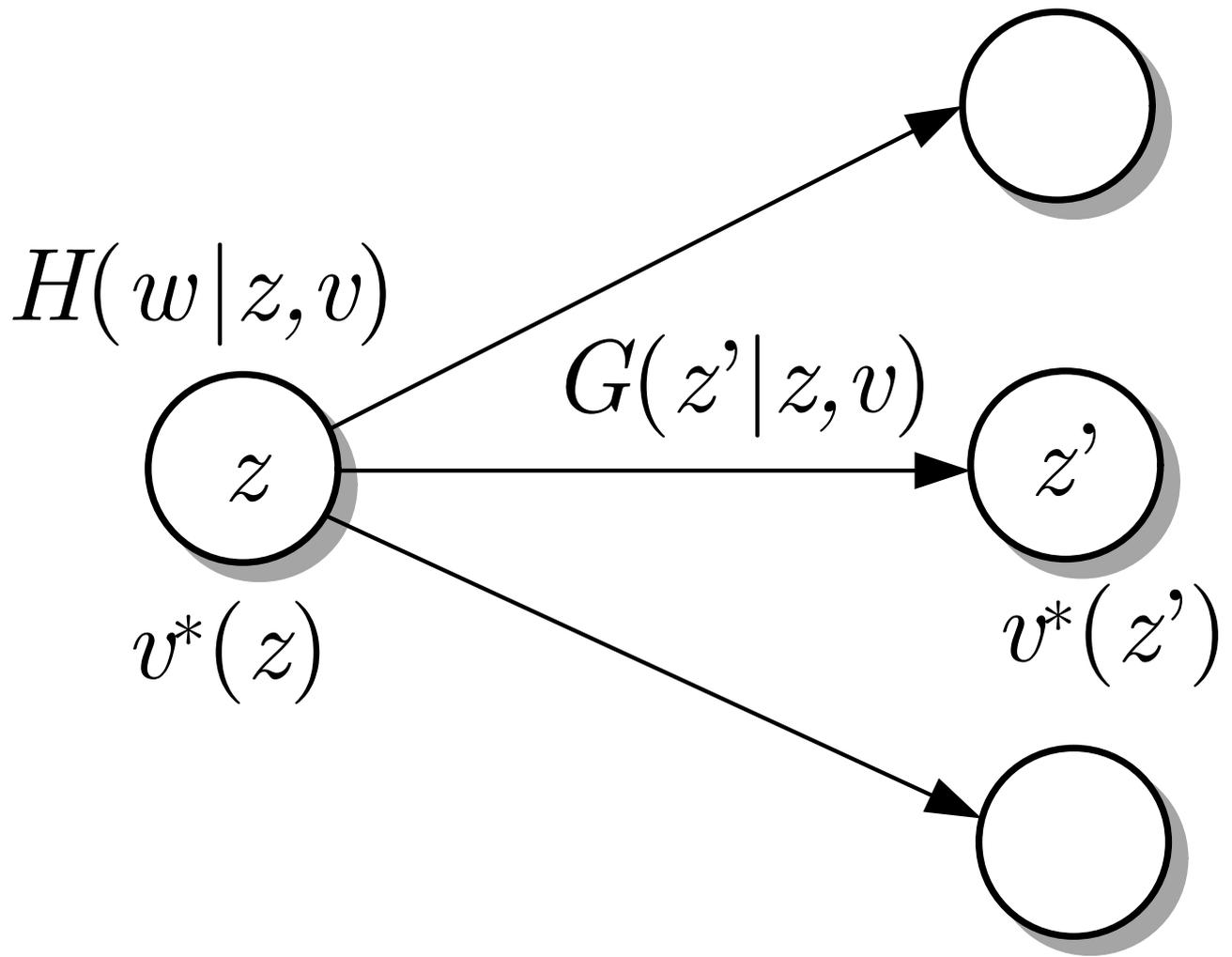


Abb. 7.64: Interpretation der Bellmanschen Optimalitätsgleichung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

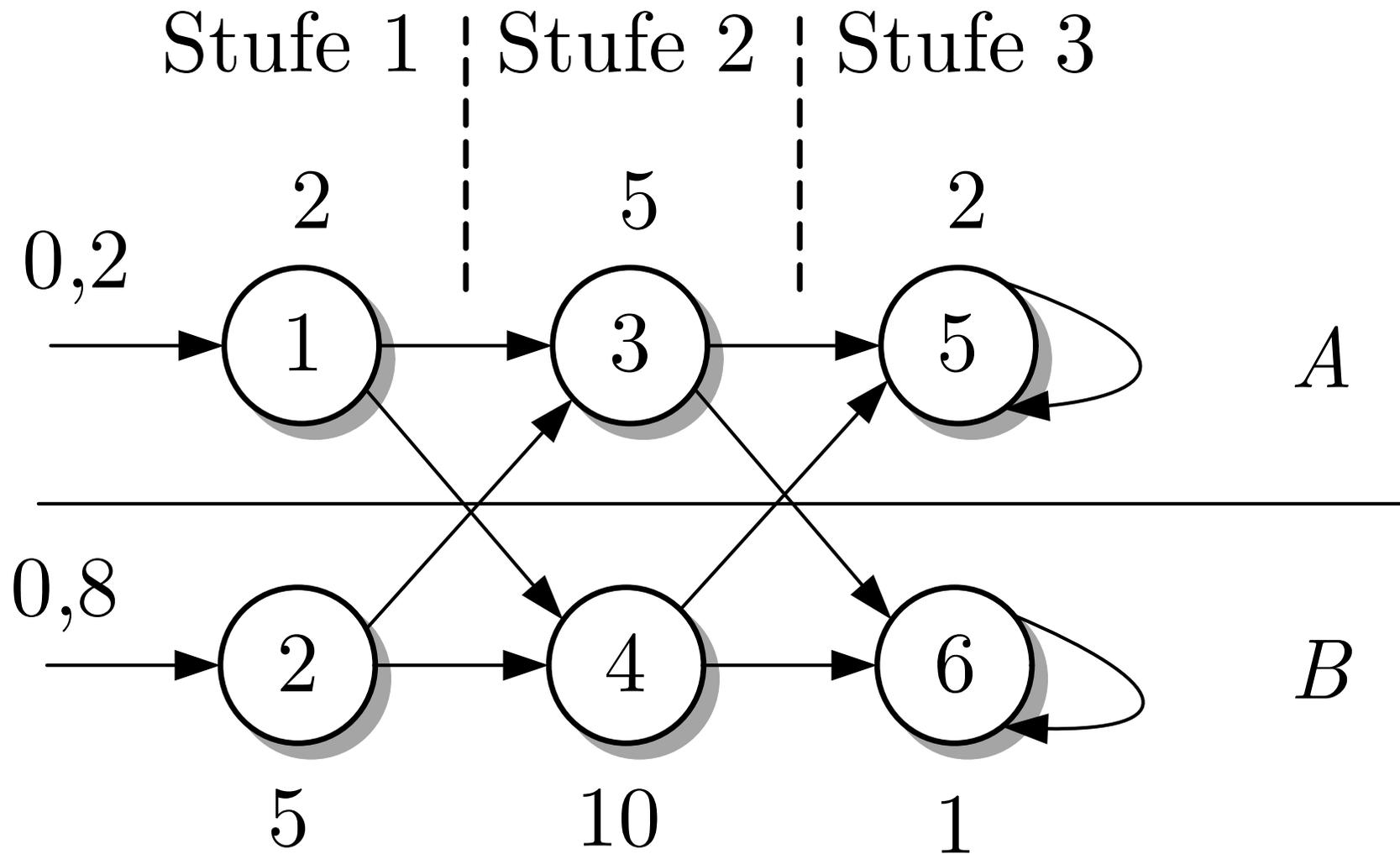


Abb. 7.65. Stochastischer Automat für das Markov-Entscheidungsproblem

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

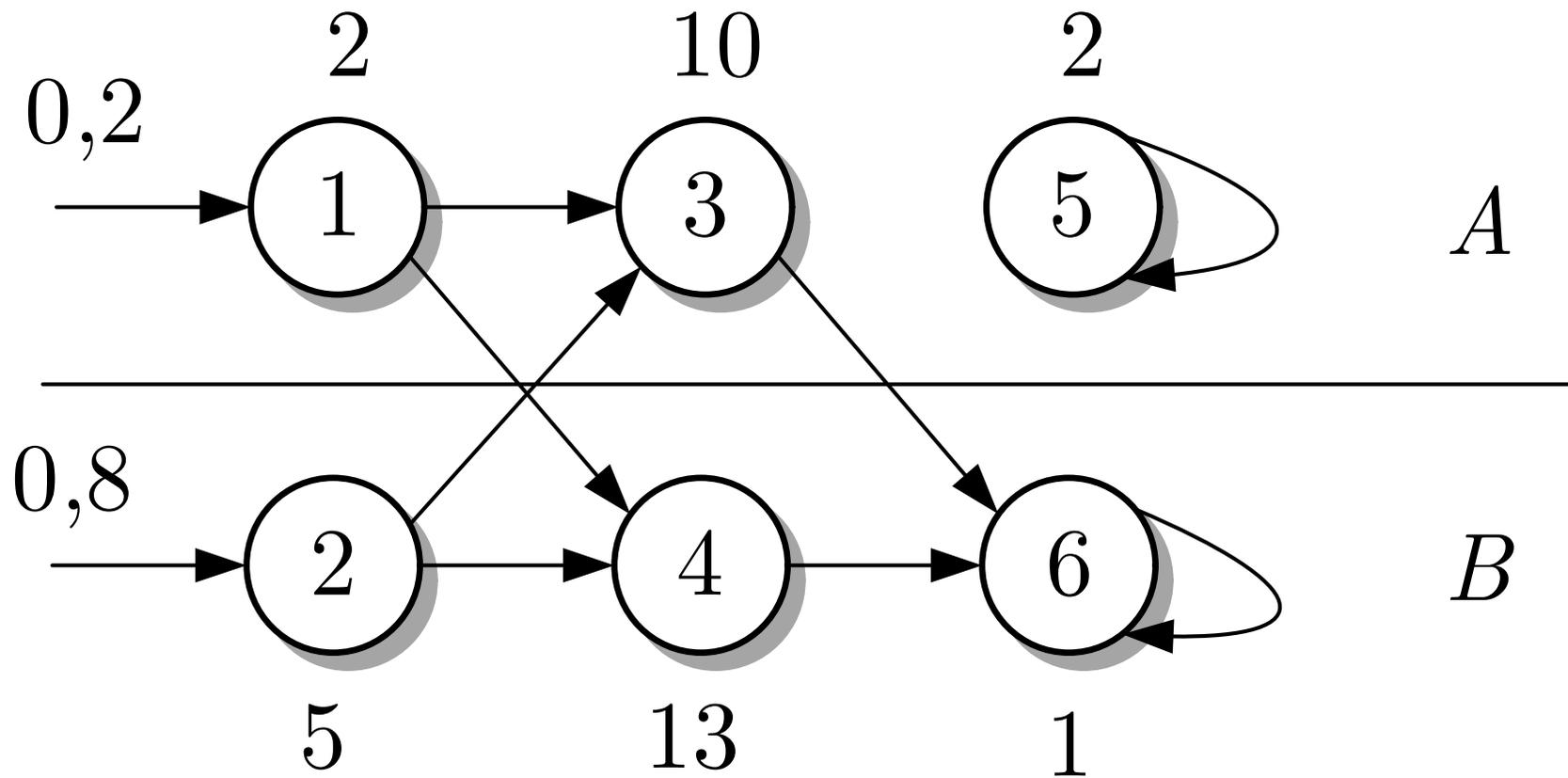


Abb. 7.65. Markovkette, die den gesteuerten Fertigungsprozess beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

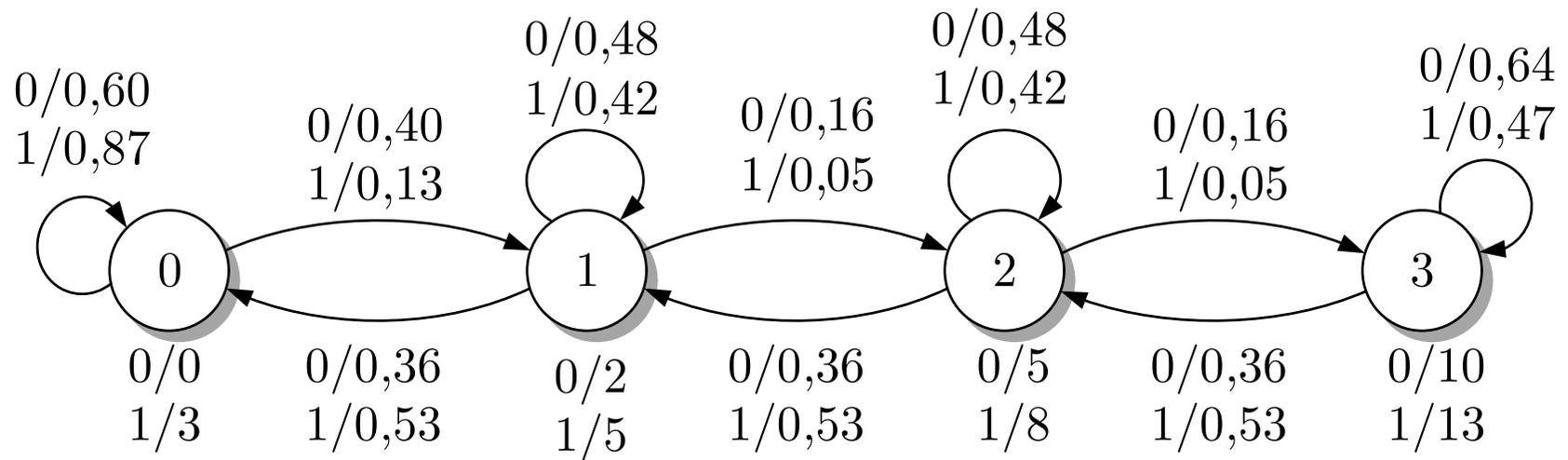


Abb. 7.66. Modell der Warteschlange vor einer gesteuerten Werkzeugmaschine

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

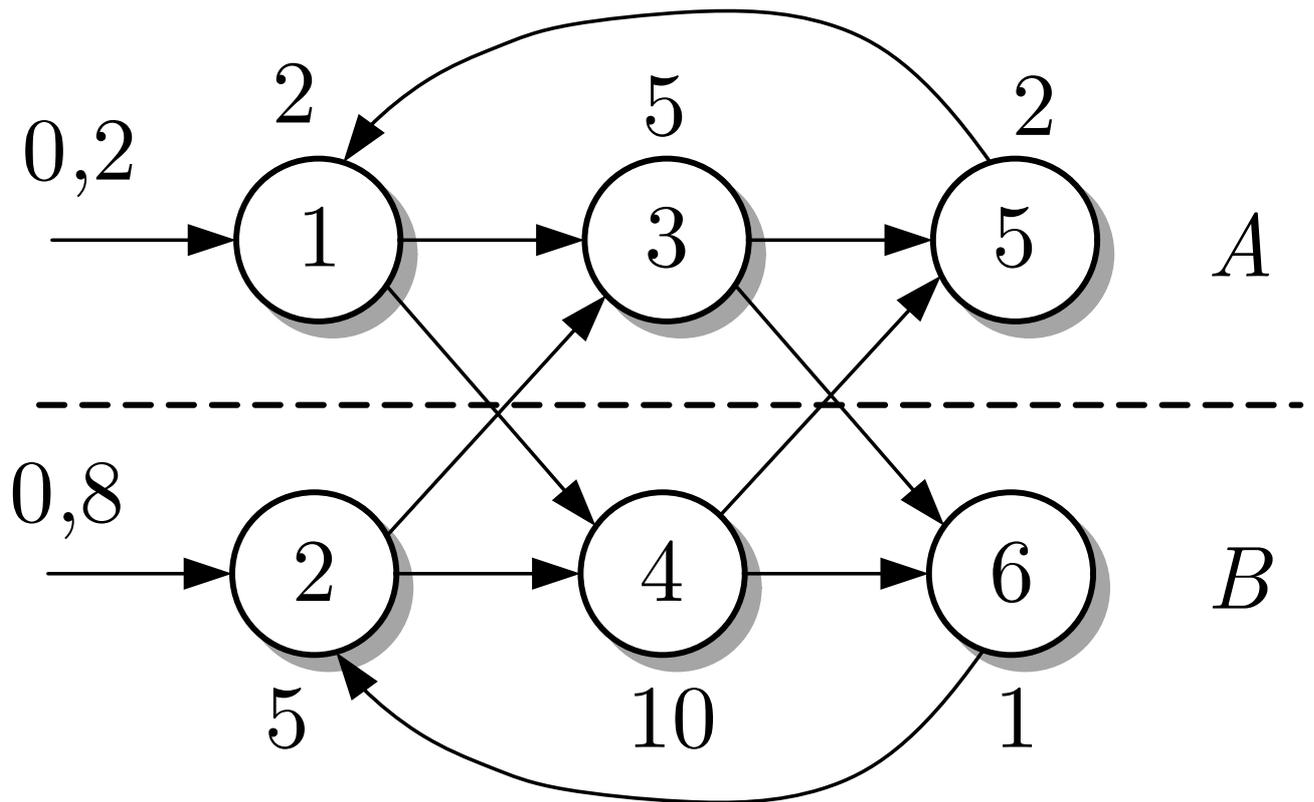


Abb. 7.67: Modell eines zyklischen Fertigungsprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

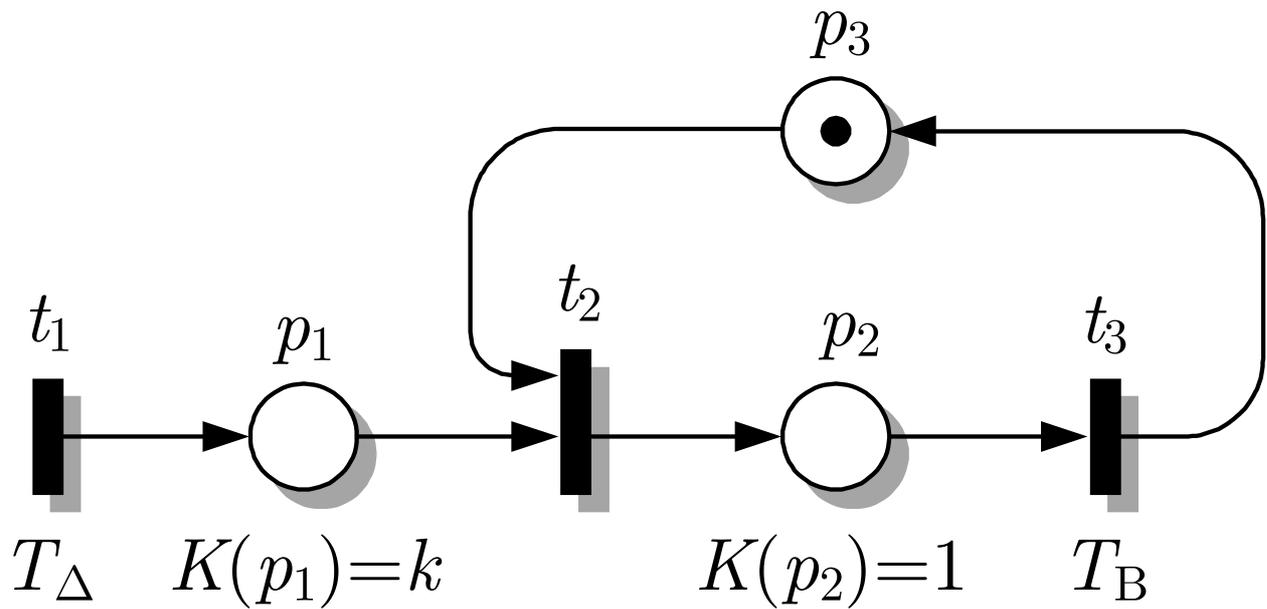


Abb. 8.1: Beschreibung eines Wartesystems durch ein Petrinetz mit zeitbewerteten Transitionen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

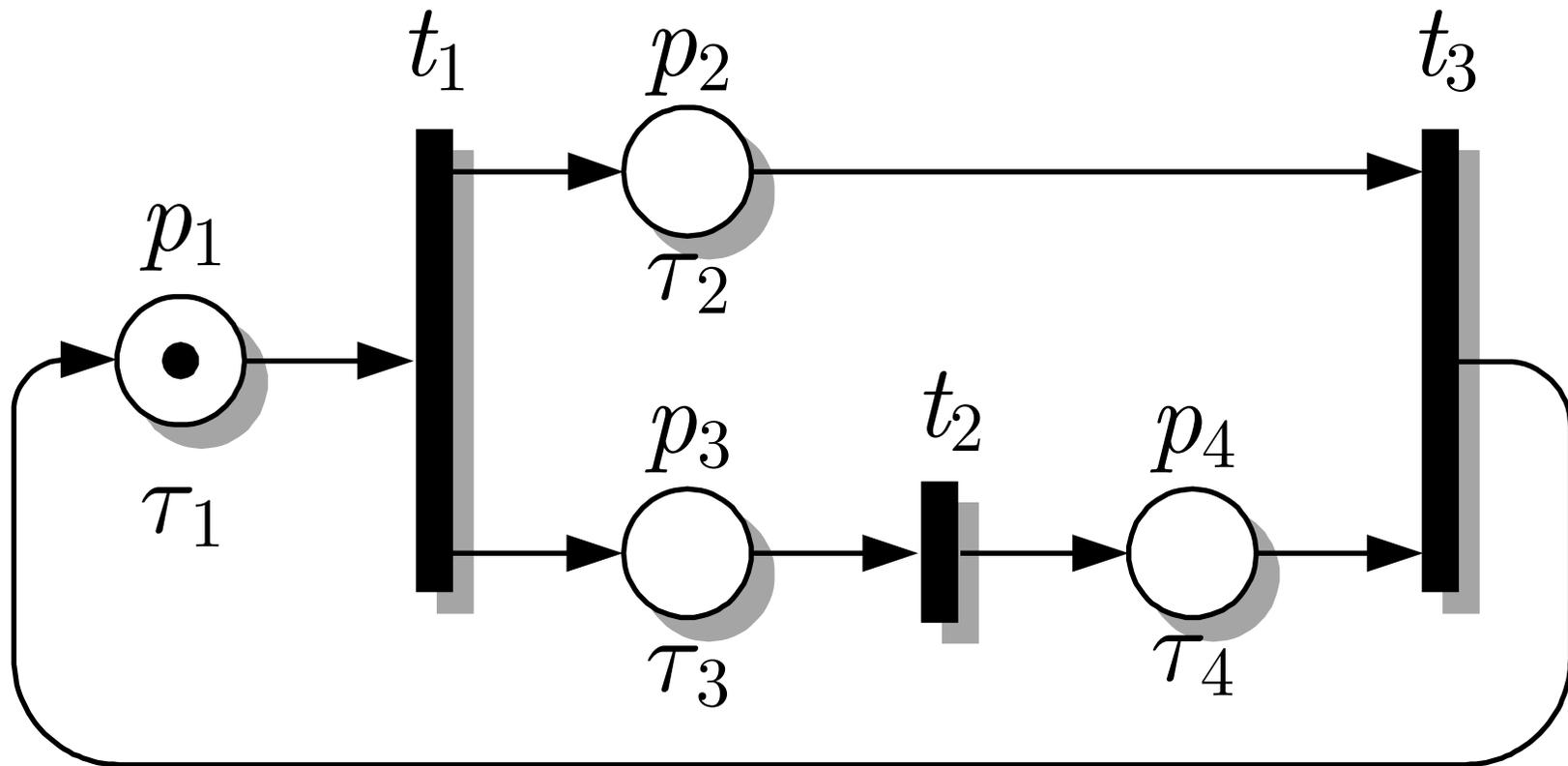


Abb. 8.2. Zeitbewerteter Synchronisationsgraph

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

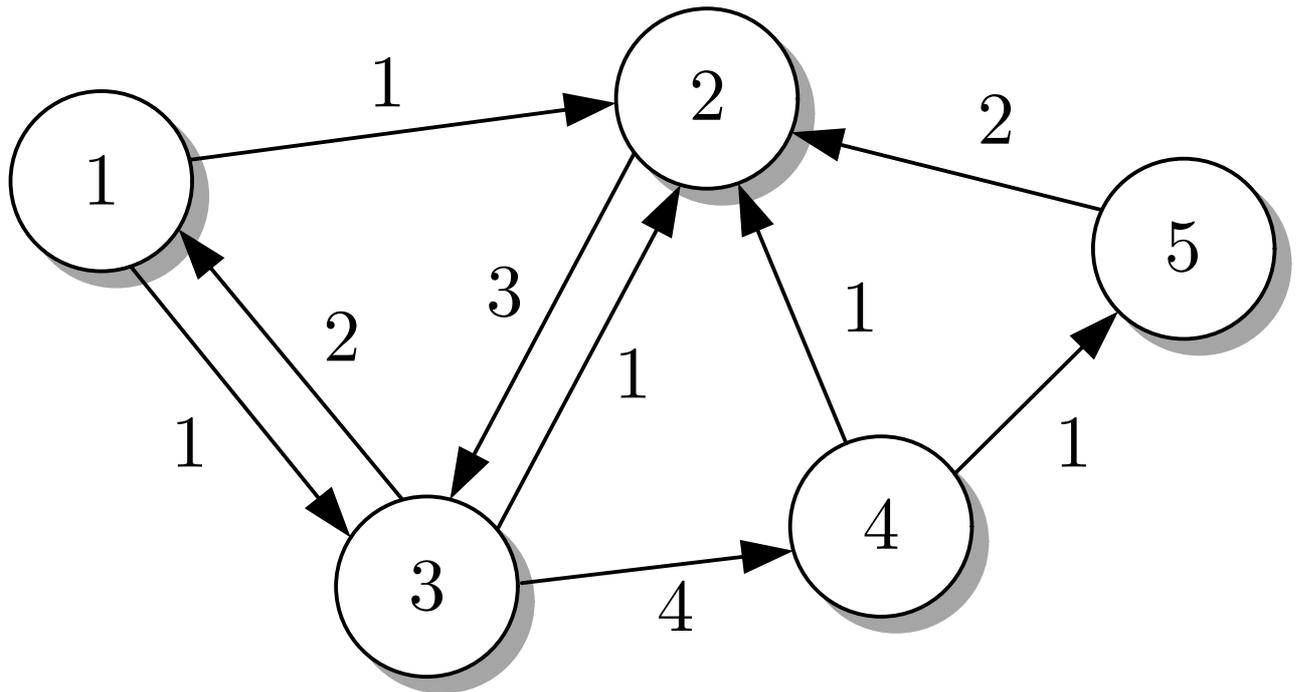


Abb. 8.3: Gerichteter Graph zur Matrix A

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

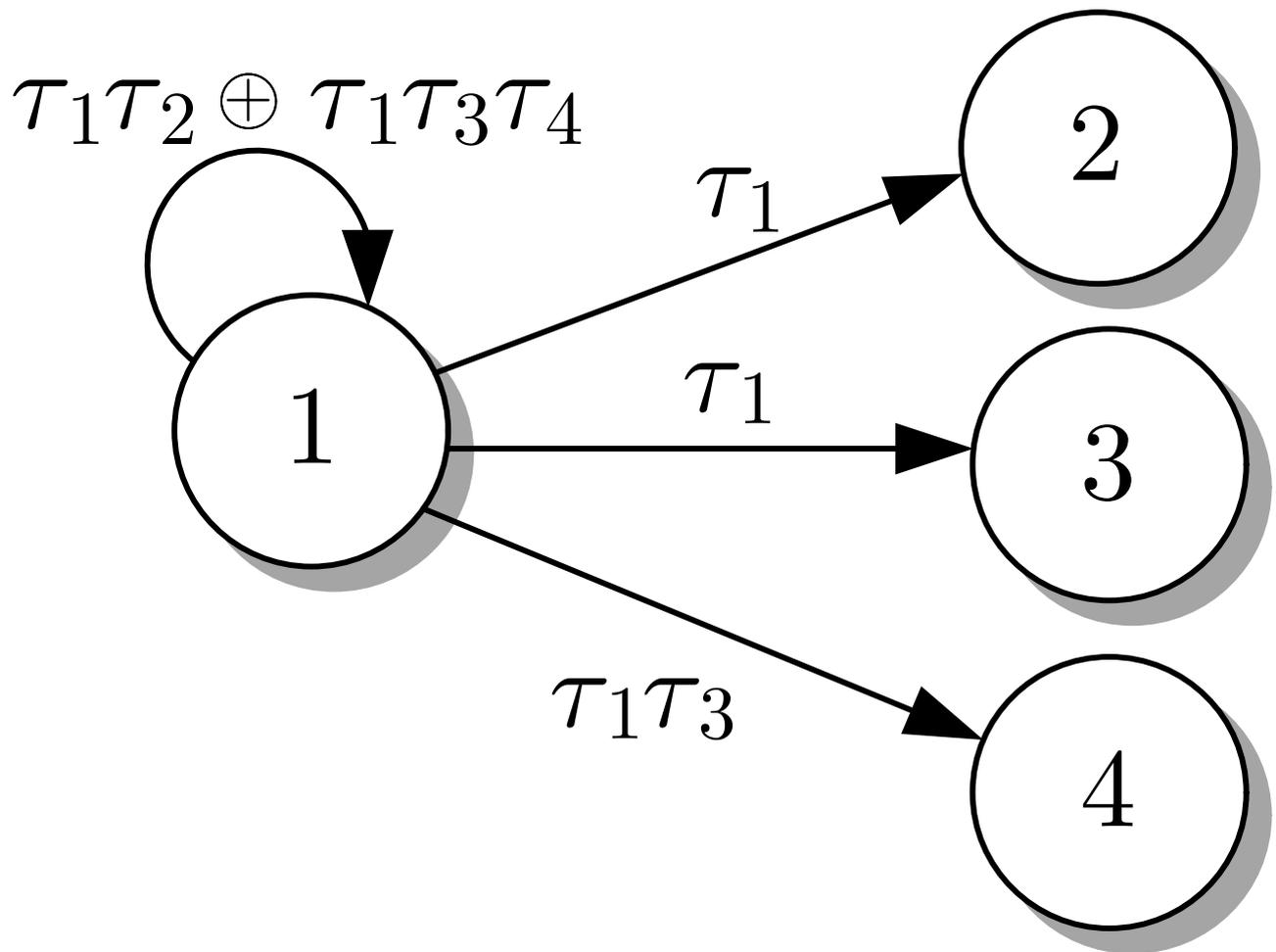


Abb. 8.4: Gerichteter Graph mit der Adjazenzmatrix

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

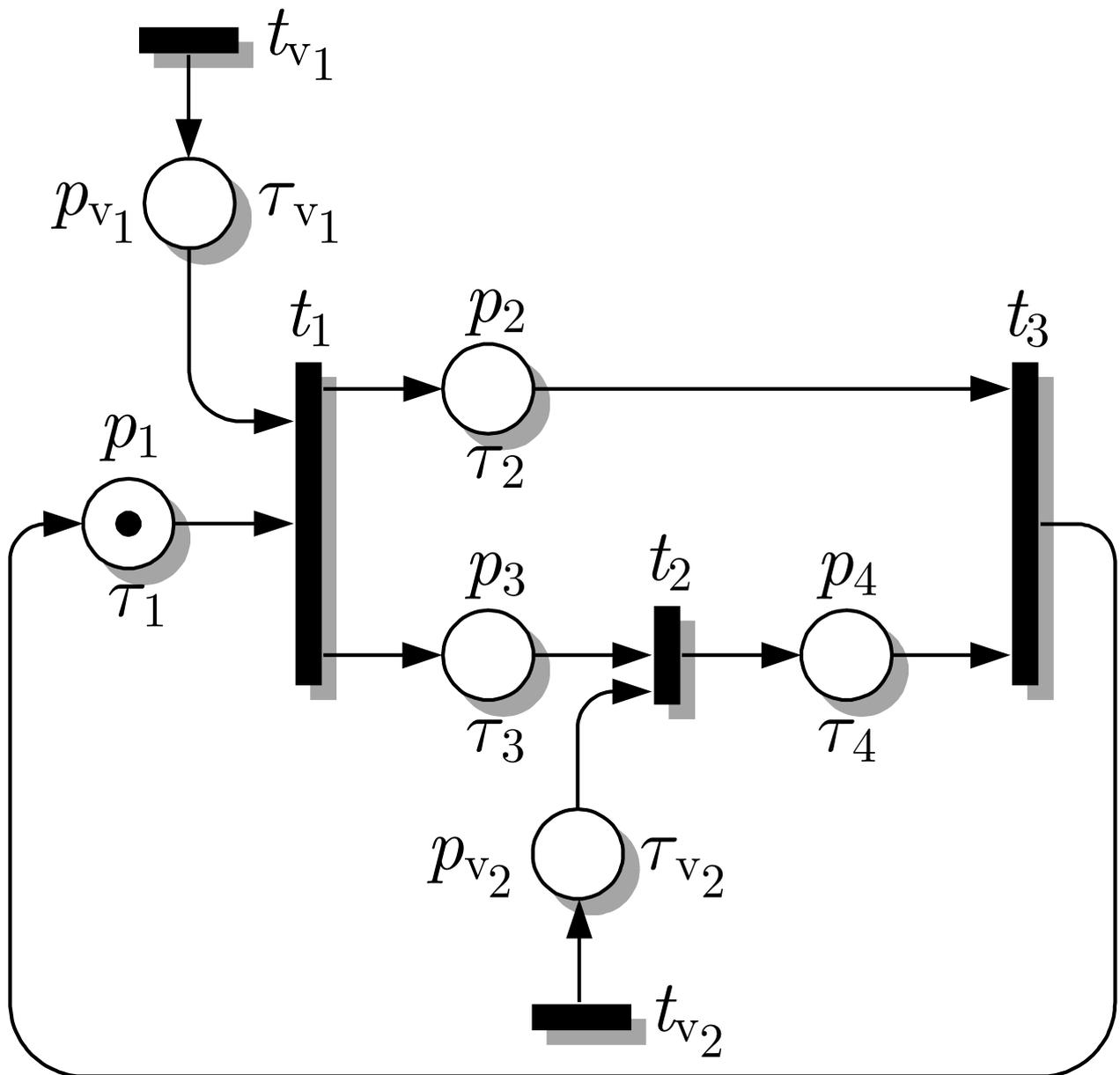


Abb. 8.5: Synchronisationsgraph mit Eingang

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

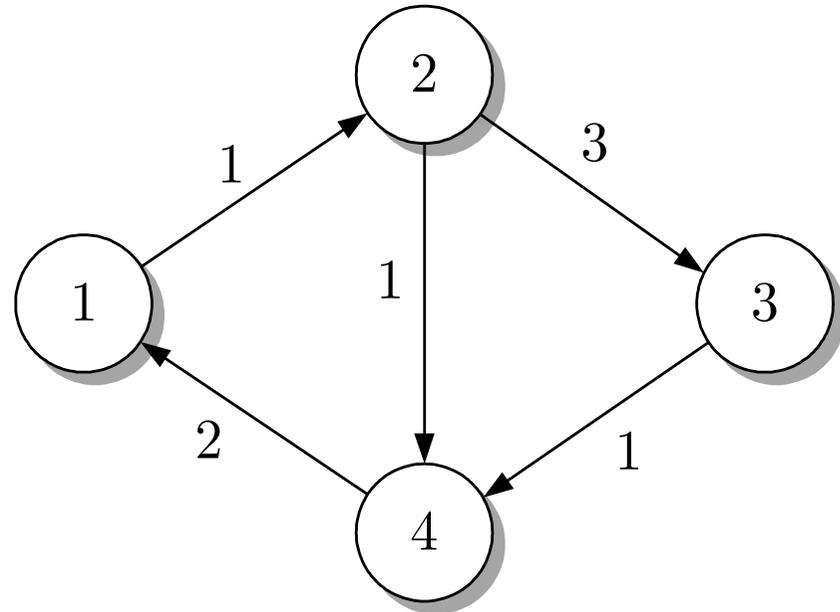
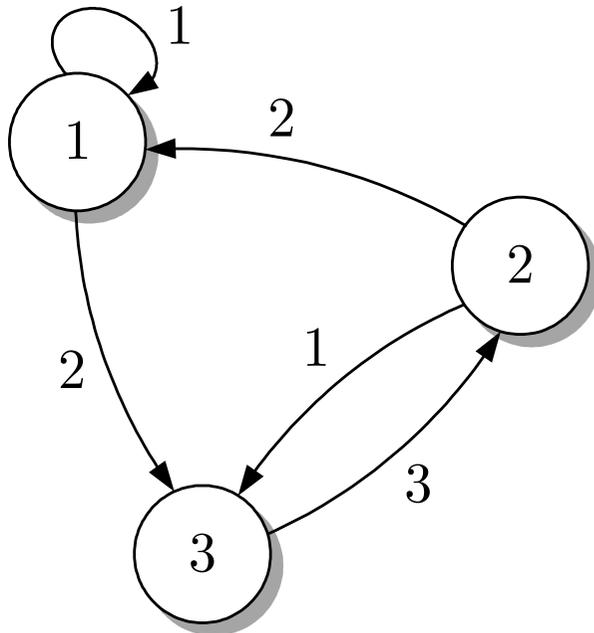


Abb. 8.6. Zwei gerichtete Graphen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

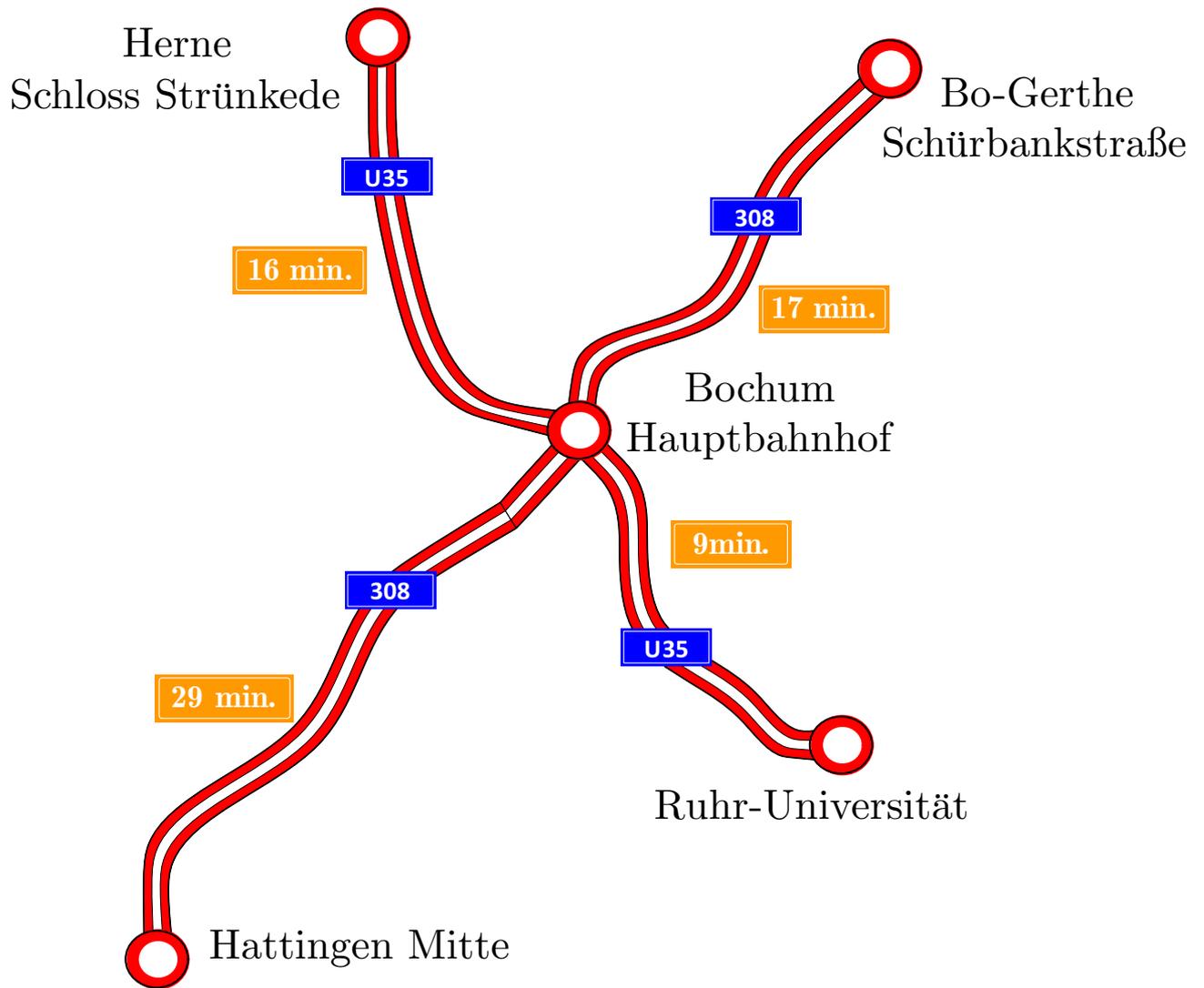


Abb. 8.7: Ausschnitt aus dem Nahverkehrsnetz der Stadt Bochum

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

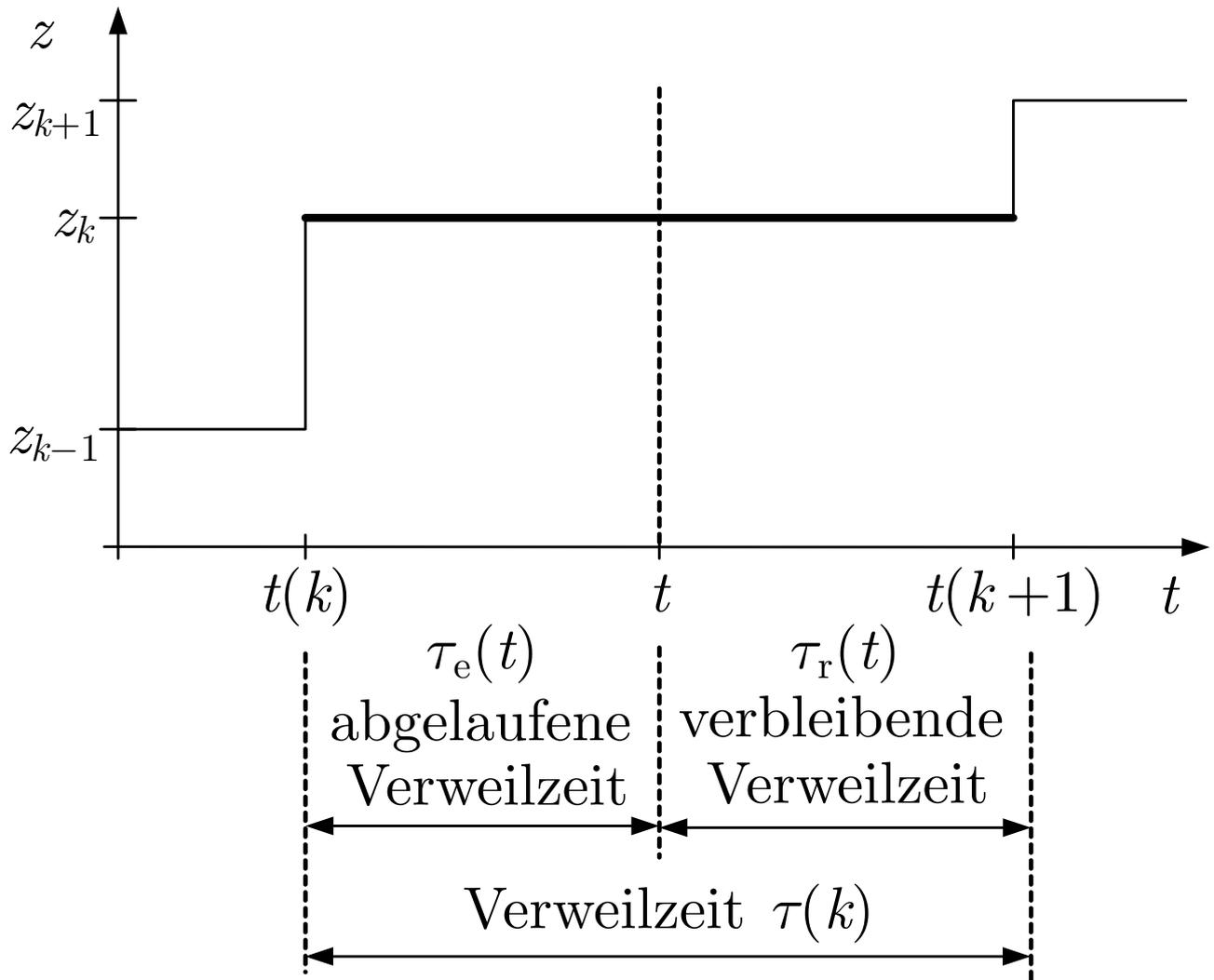


Abb. 9.1: Verweilzeit im Zustand $z(k)$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

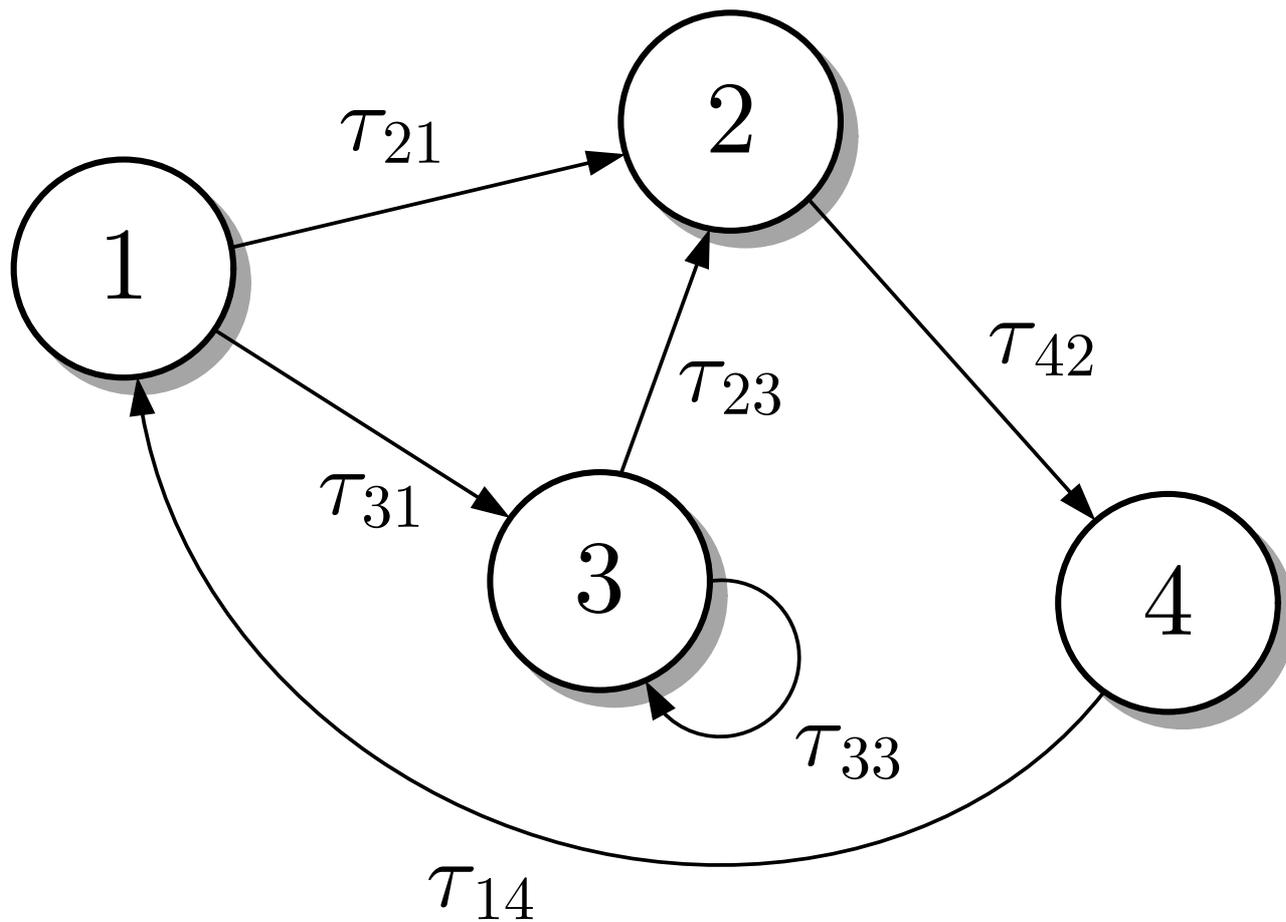


Abb. 9.2: Automat mit zeitbewerteten Zustandsübergängen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

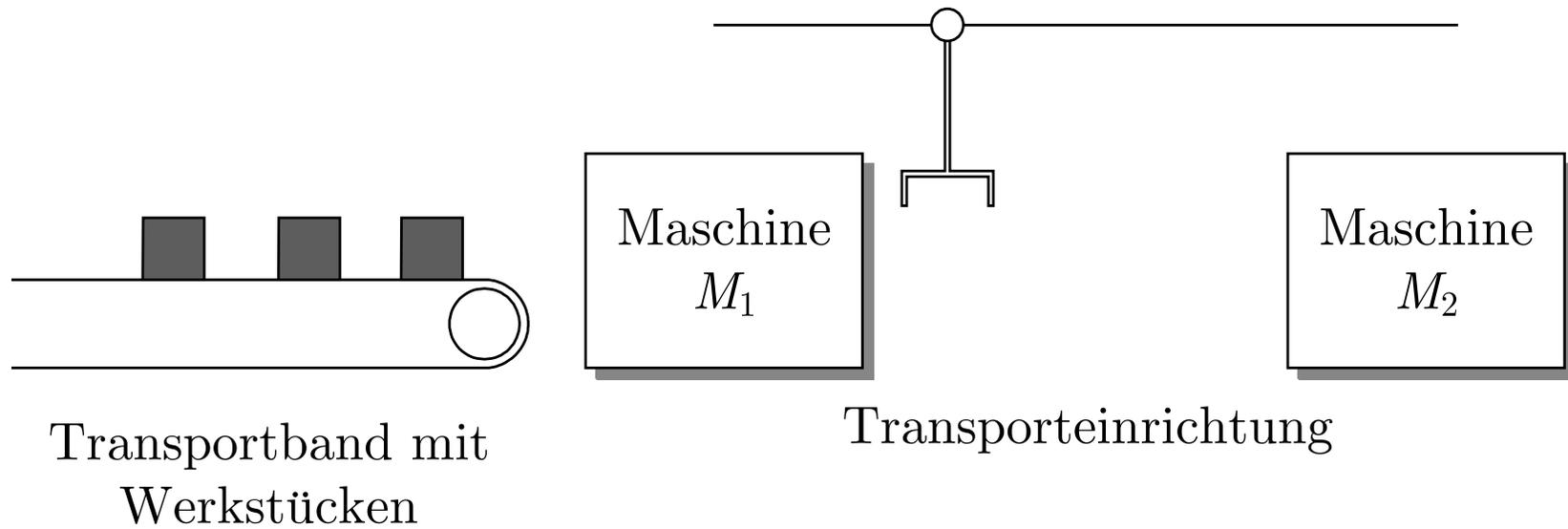


Abb. 9.3. Zwei Werkzeugmaschinen, zwischen denen Werkstücke durch eine Transporteinrichtung transportiert werden

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

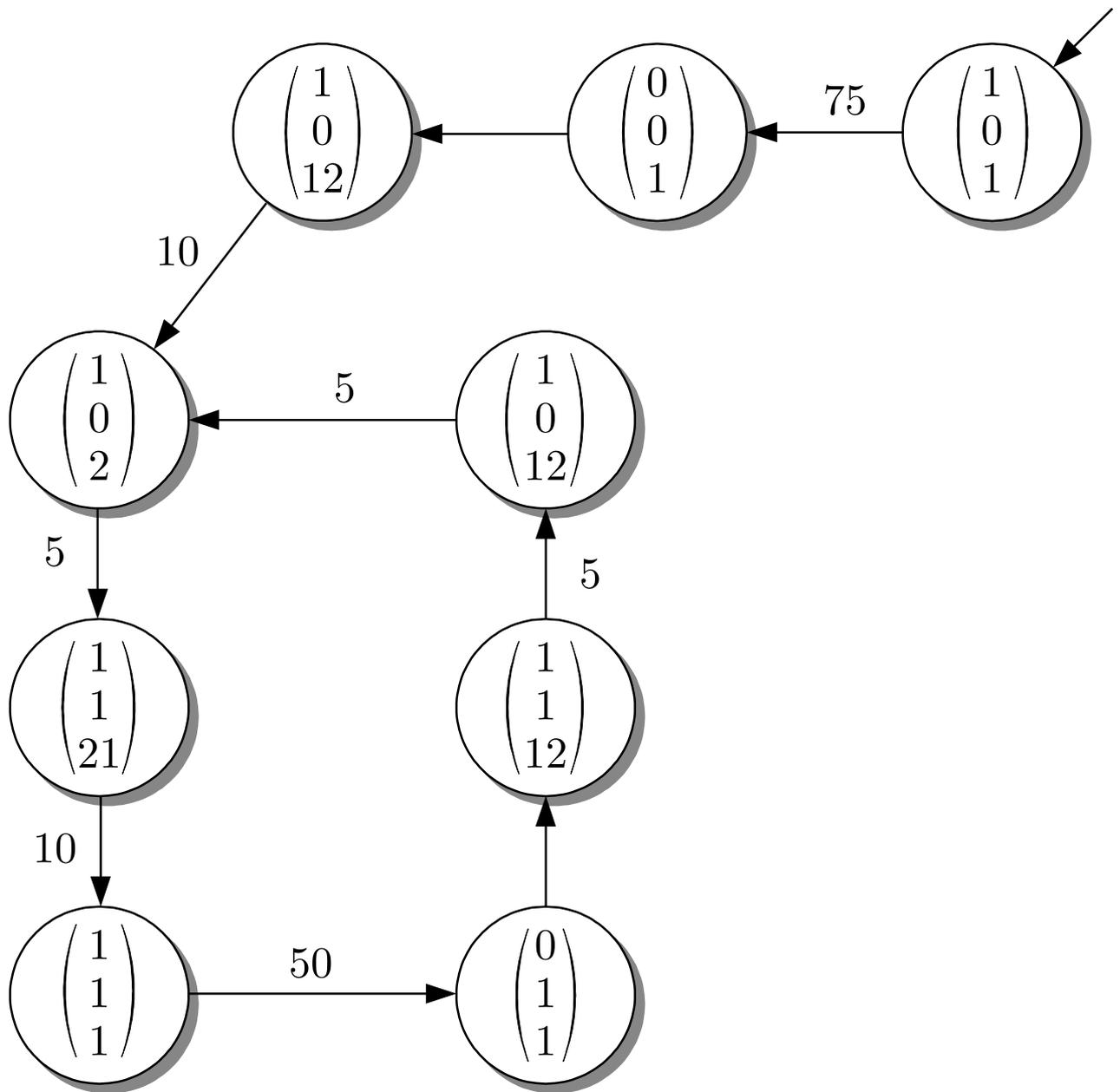


Abb. 9.4: Beschreibung der Fertigungszelle durch einen zeitbewerteten Automaten

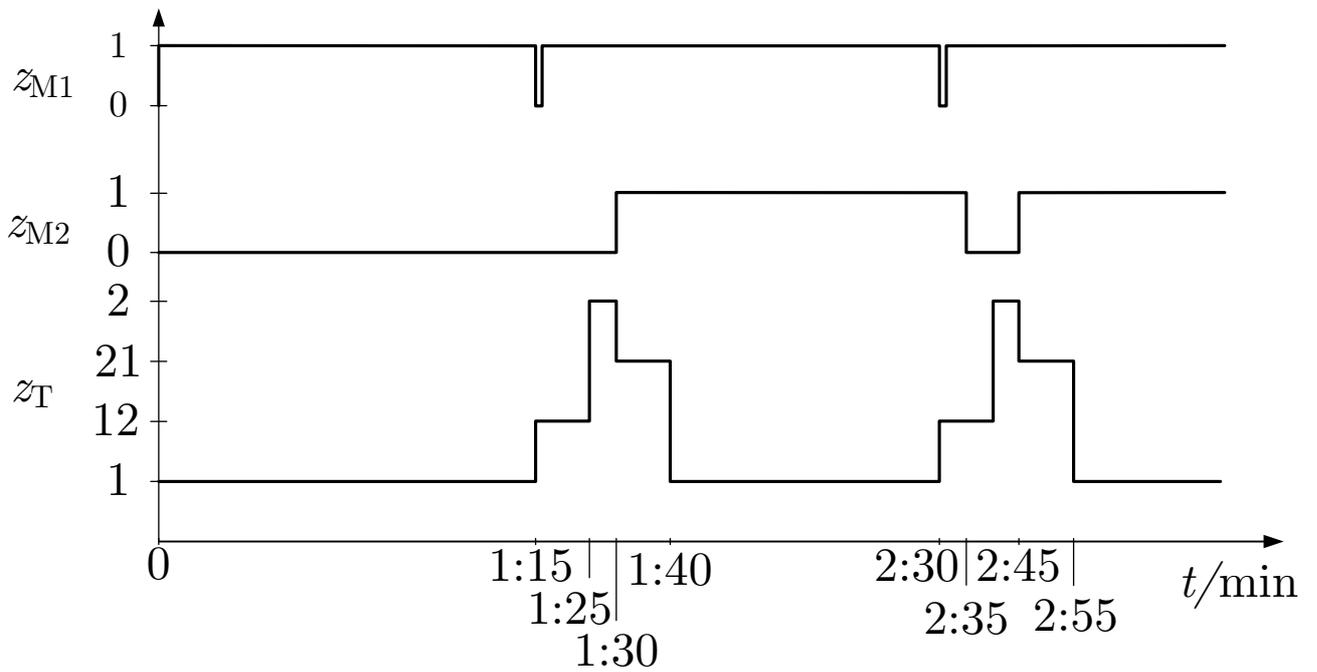


Abb. 9.5: Zeitbewertete Darstellung der Arbeitsweise der Fertigungszelle

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

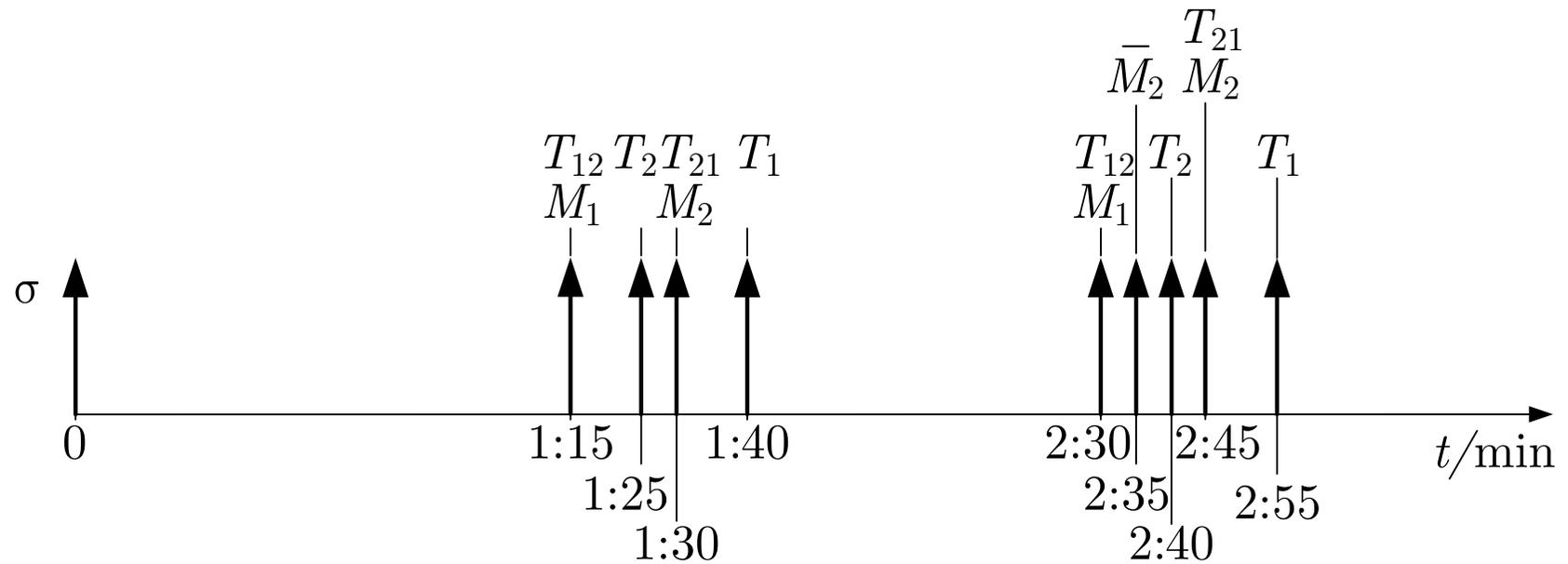


Abb. 9.6. Ereignisse, die bei den in Abb. 9.3 gezeigten Werkzeugmaschinen auftreten

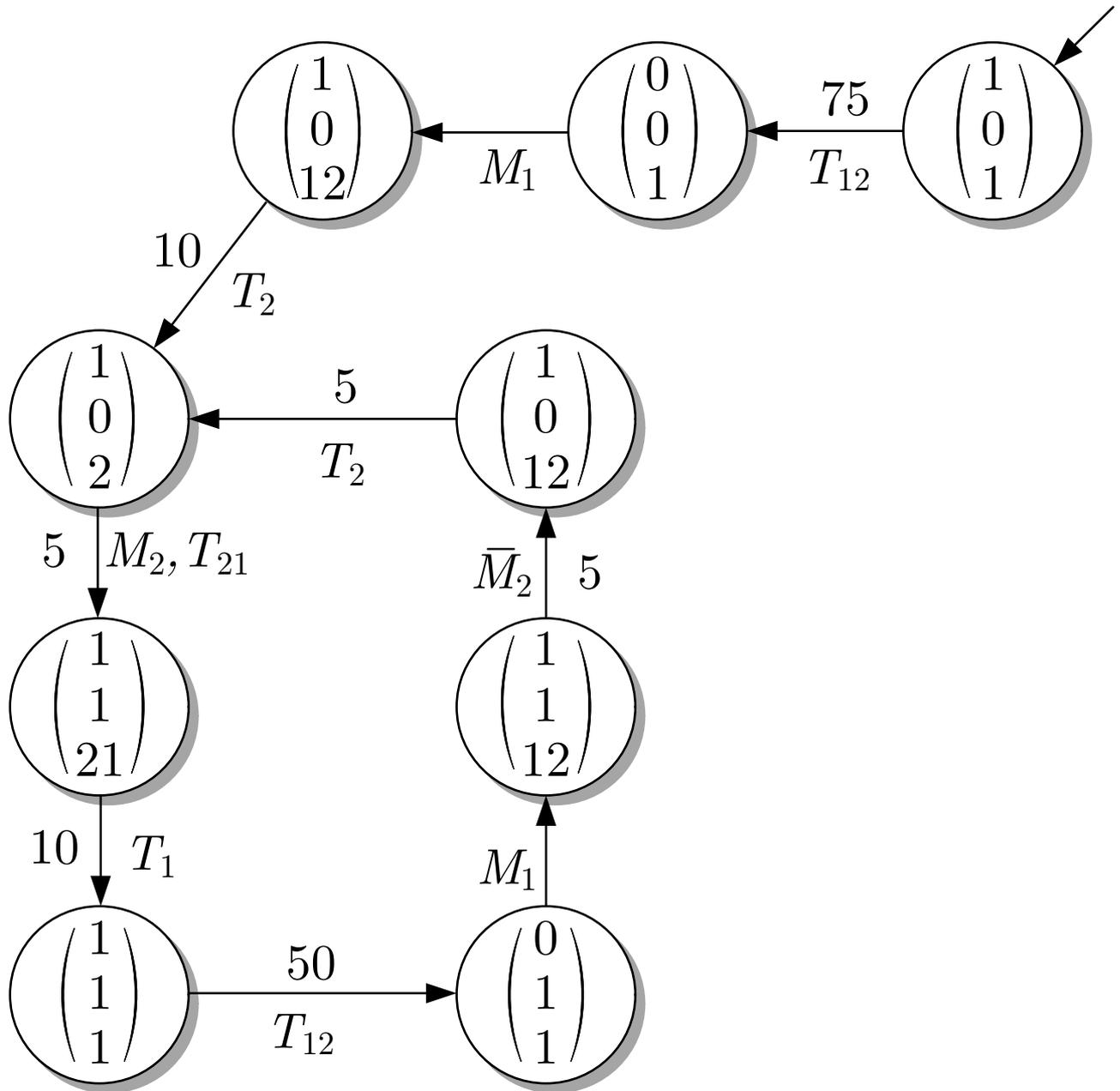


Abb. 9.7: Erweiterung des Modells der Fertigungszelle zum zeitbewerteten Σ -Automaten

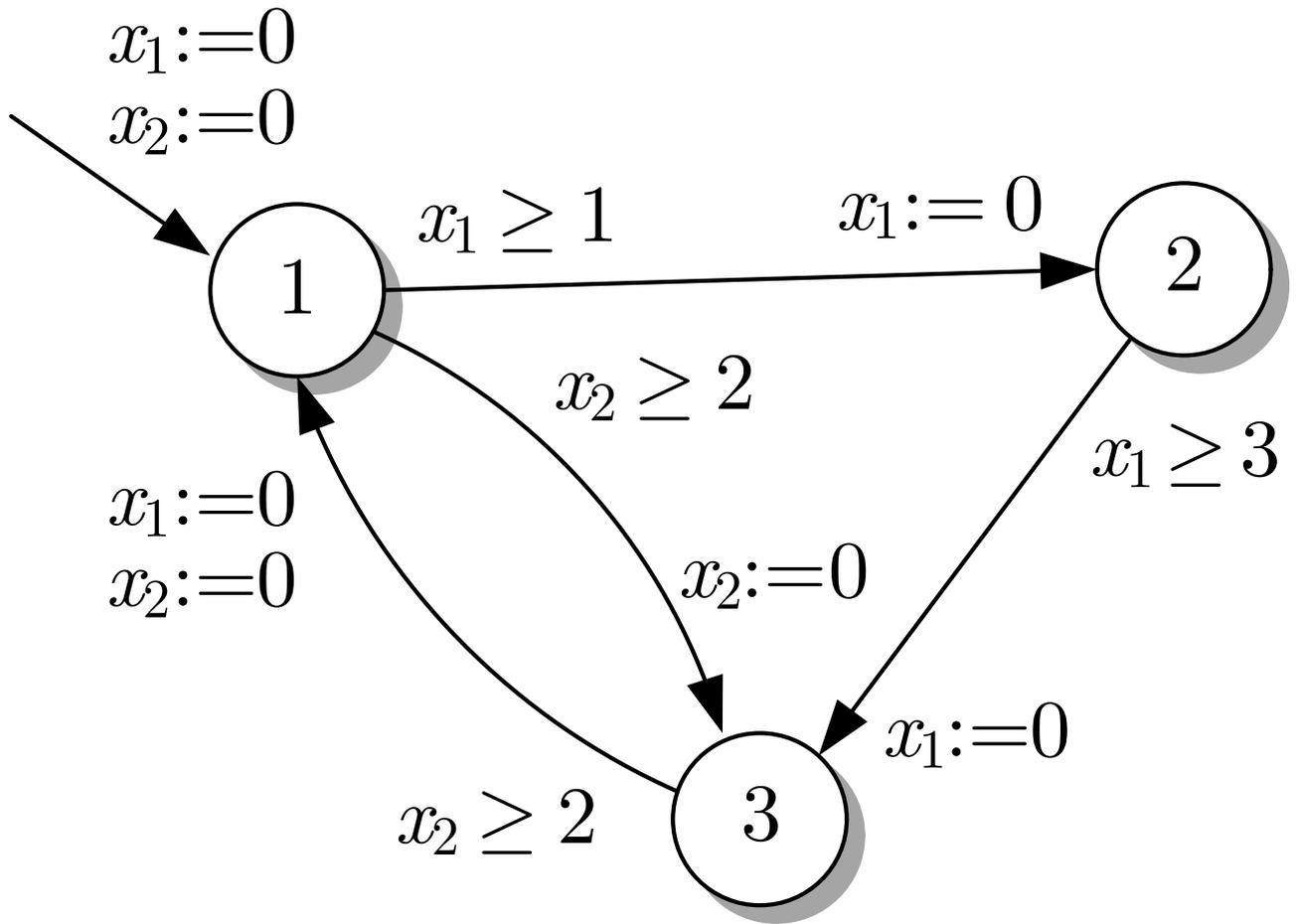


Abb. 9.8: Zeitbewerteter Automat mit zwei Uhren

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

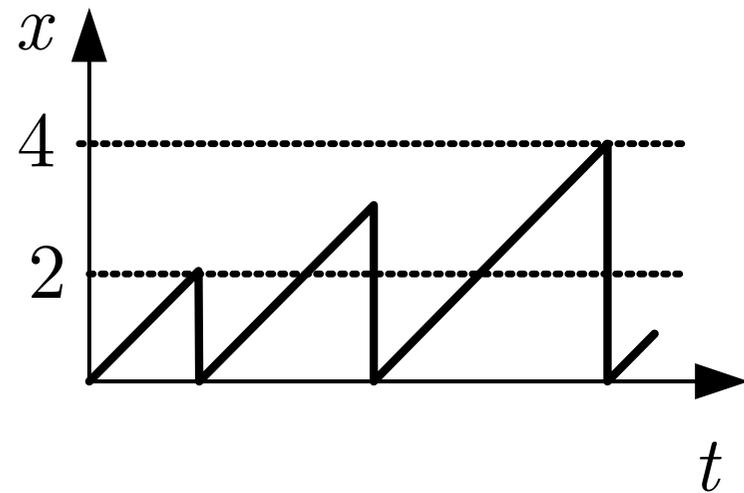
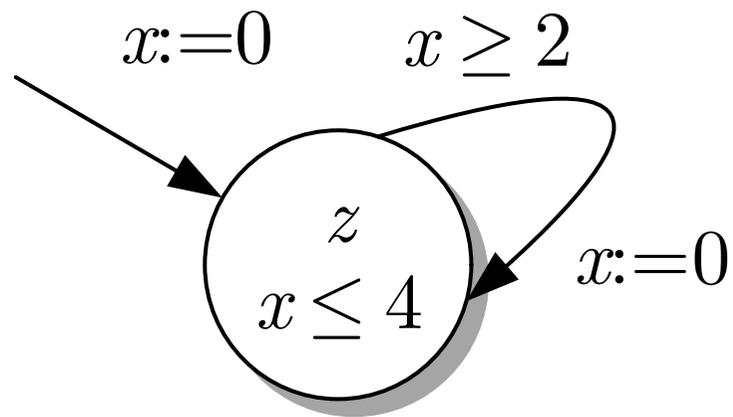


Abb. 9.9. Zur Bedeutung der Invarianten und Übergangsbedingungen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

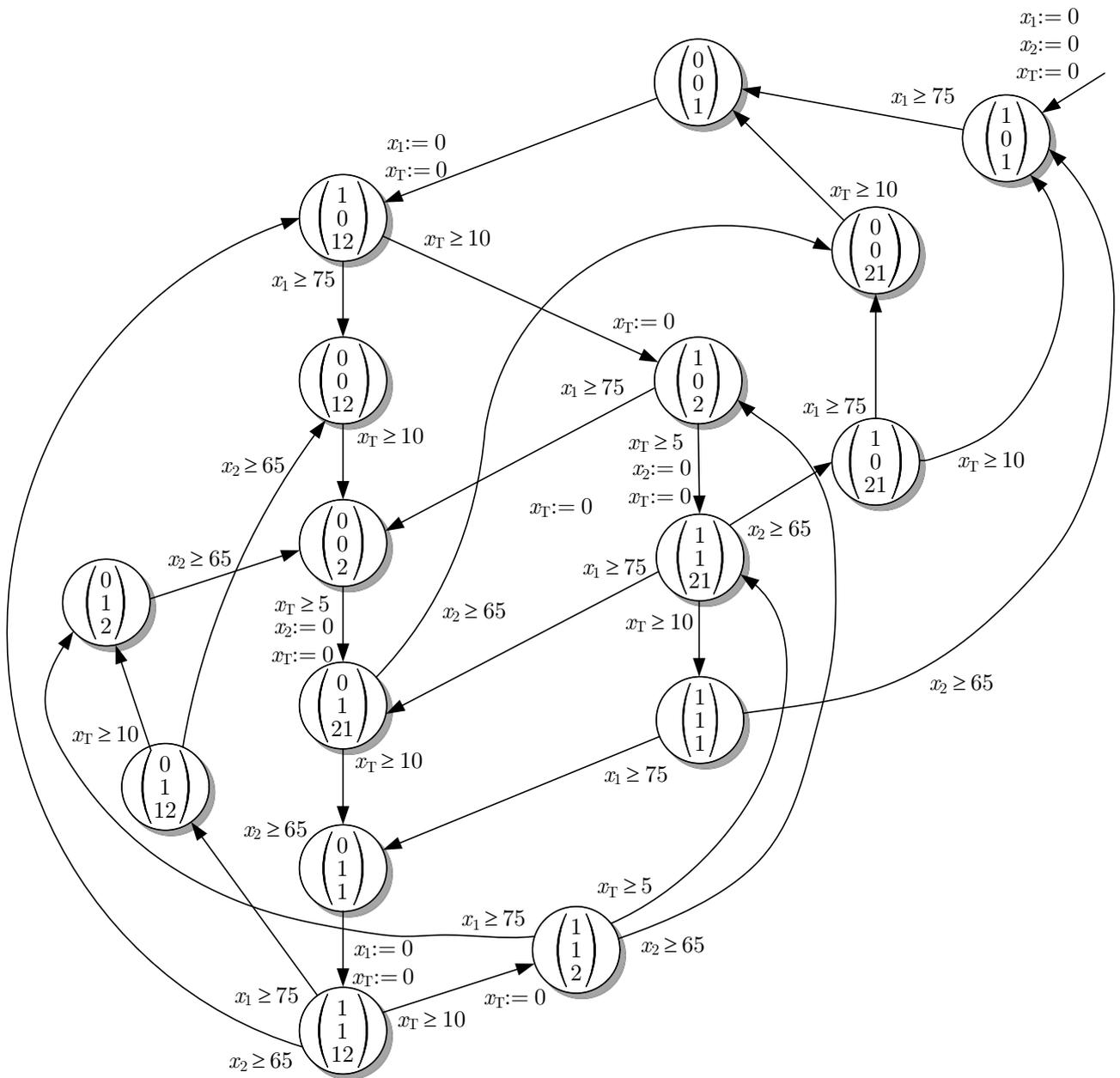


Abb. 9.10: Darstellung der Fertigungszelle durch einen zeitbewerteten Automaten mit drei Uhren

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

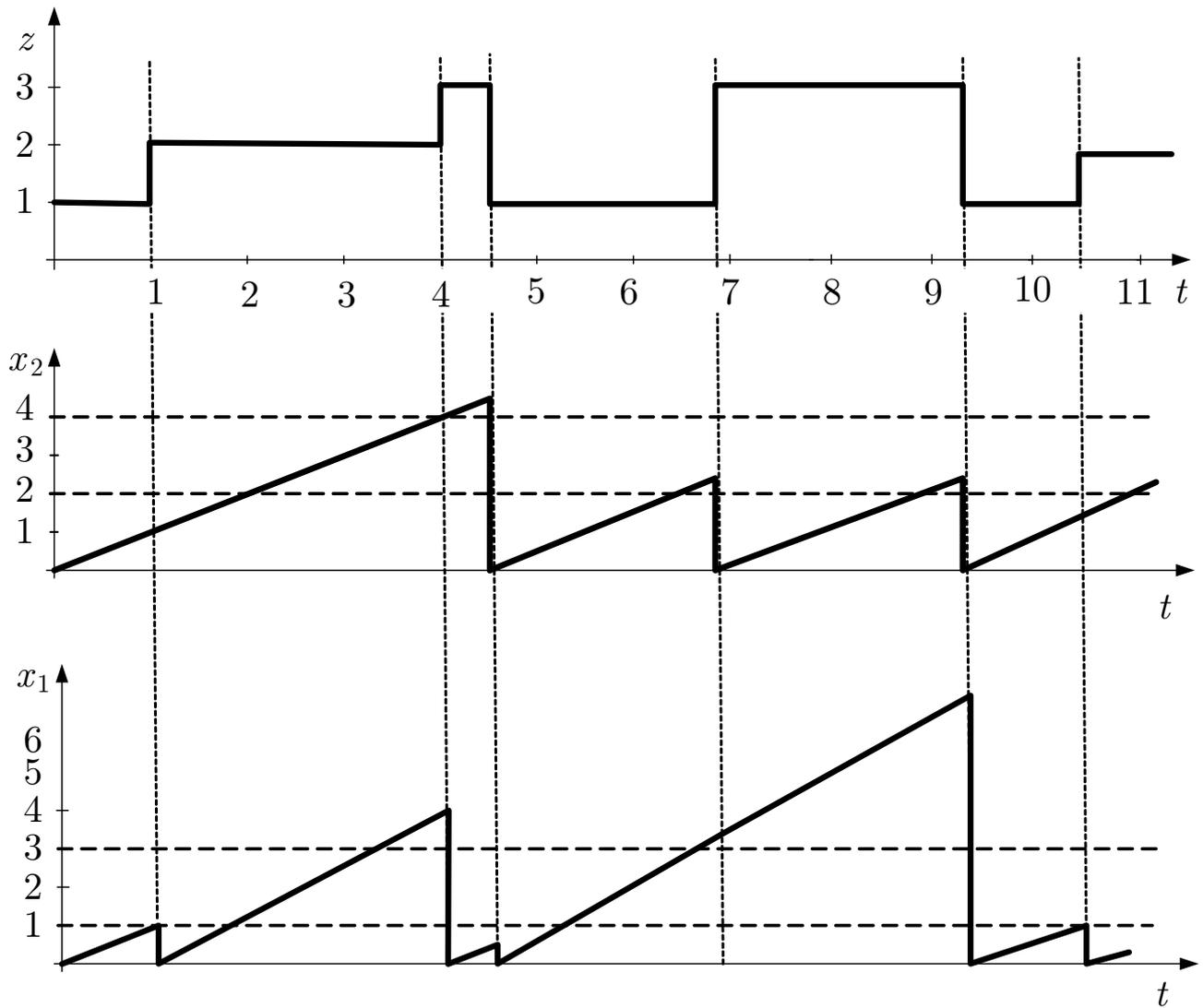


Abb. 9.11: Verhalten des zeitbewerteten Automaten aus Abb. 9.8

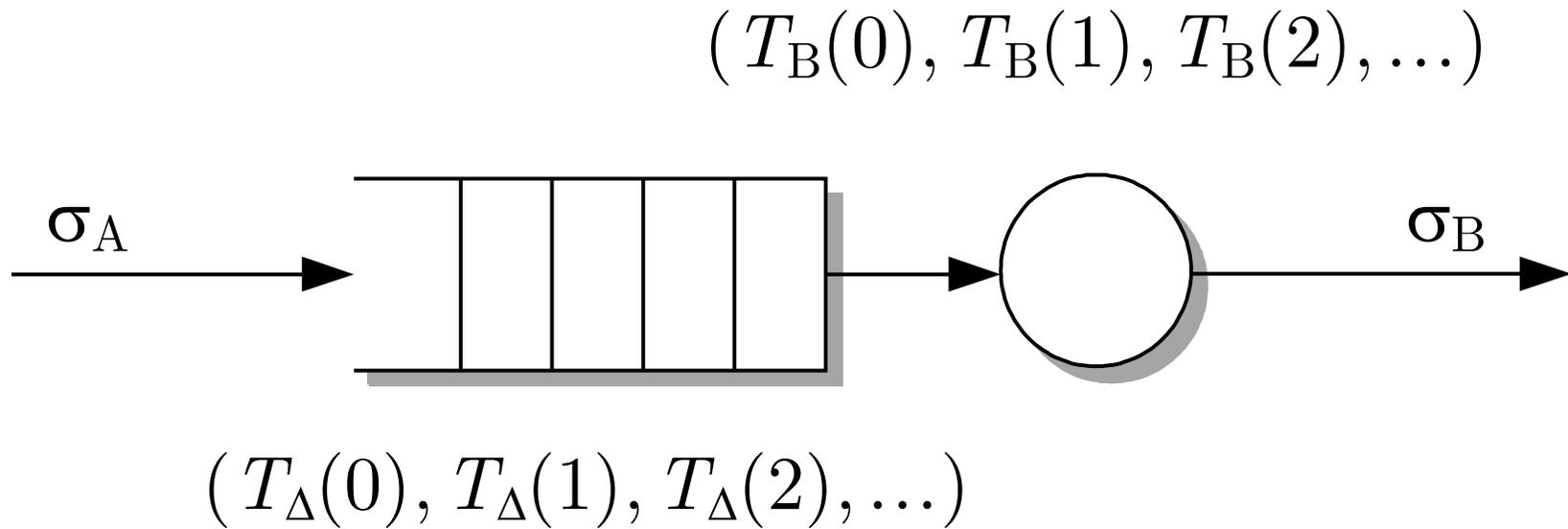


Abb. 9.12. Wartesystem mit zeitlichen Informationen über die Ankunft und die Bedienung von Kunden

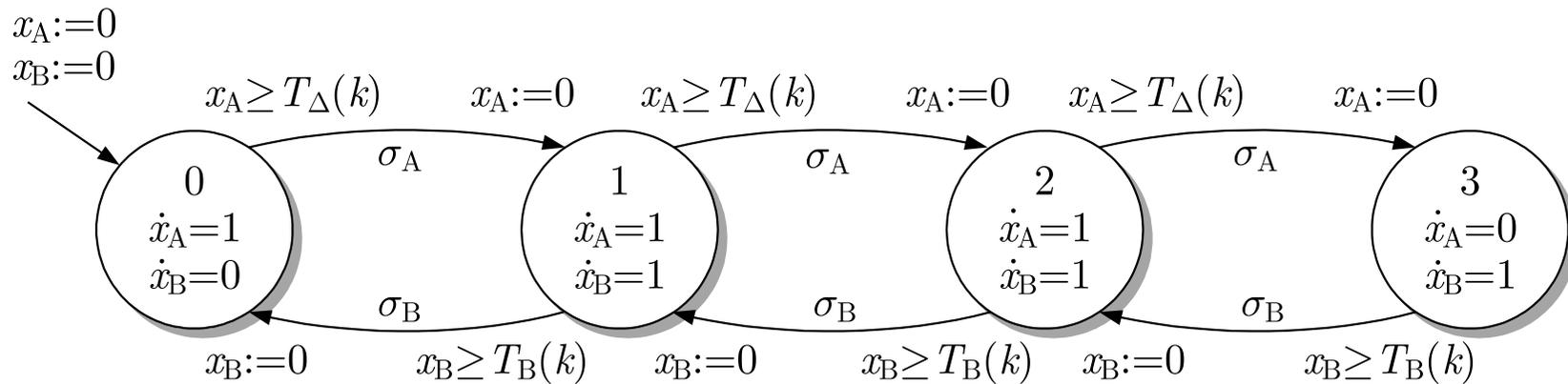


Abb. 9.13. Automatengraph des zeitbewerteten Automaten, der ein Wartesystem beschreibt

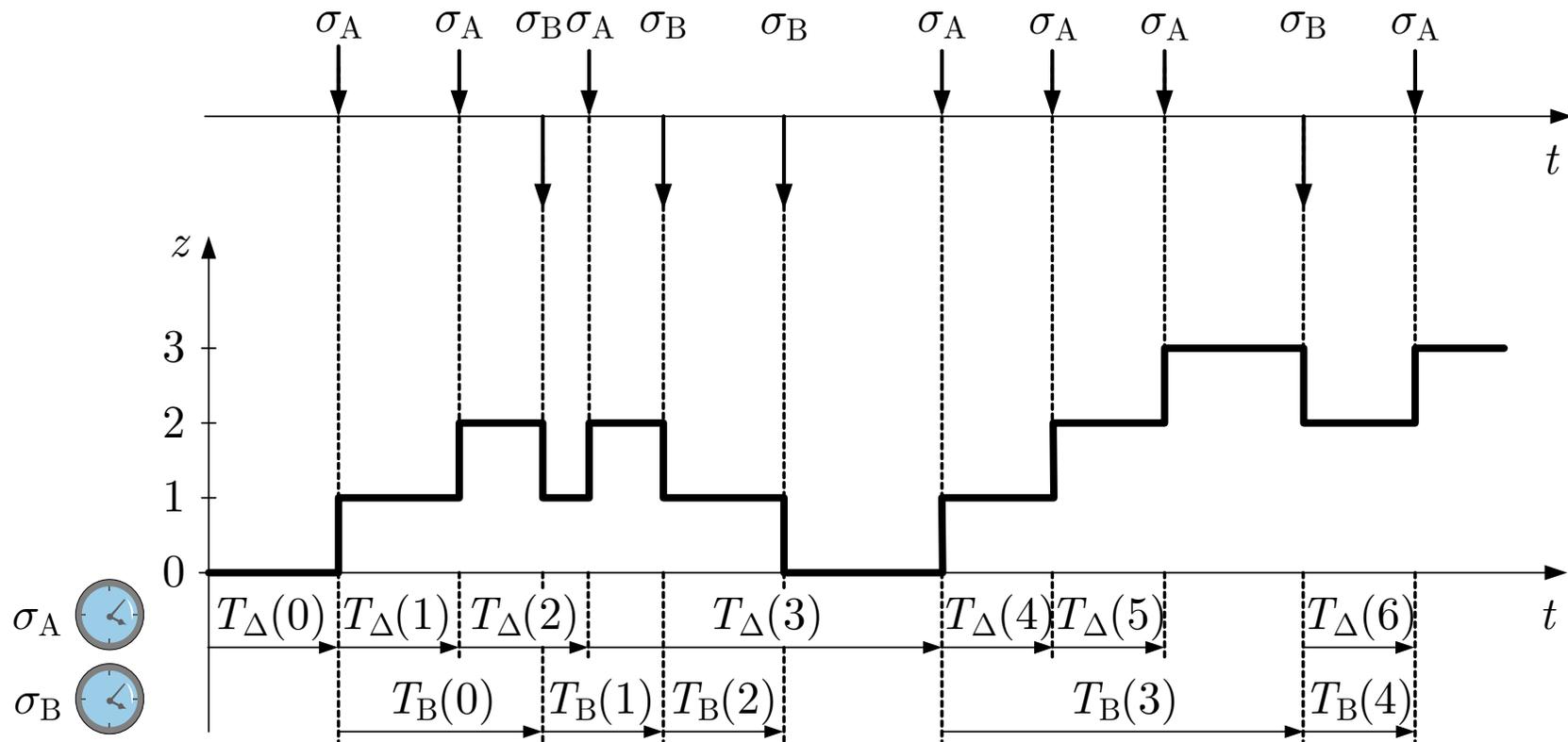


Abb. 9.14. Verhalten des Wartesystems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

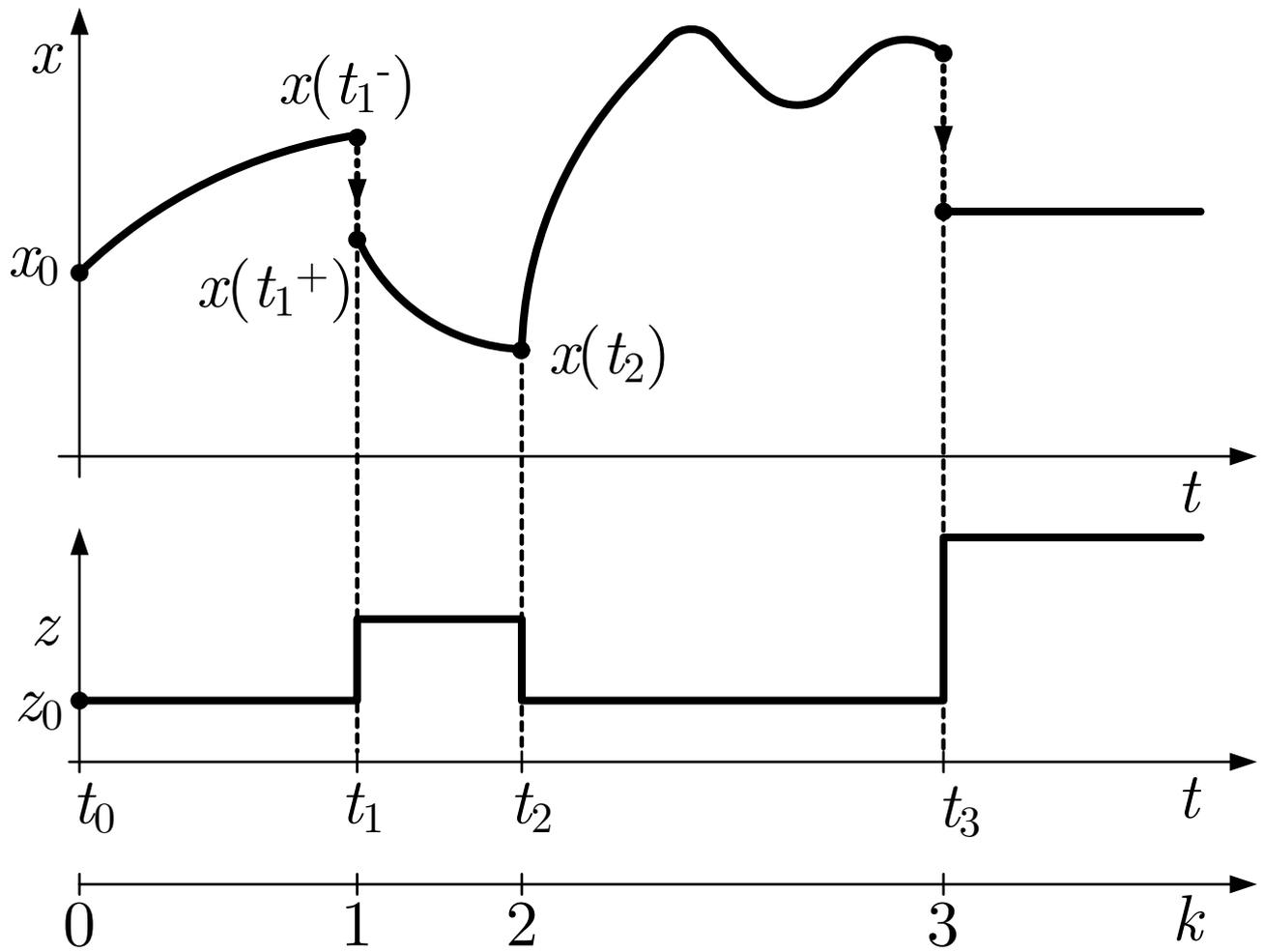


Abb. 9.15: Typische Trajektorie eines hybriden Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

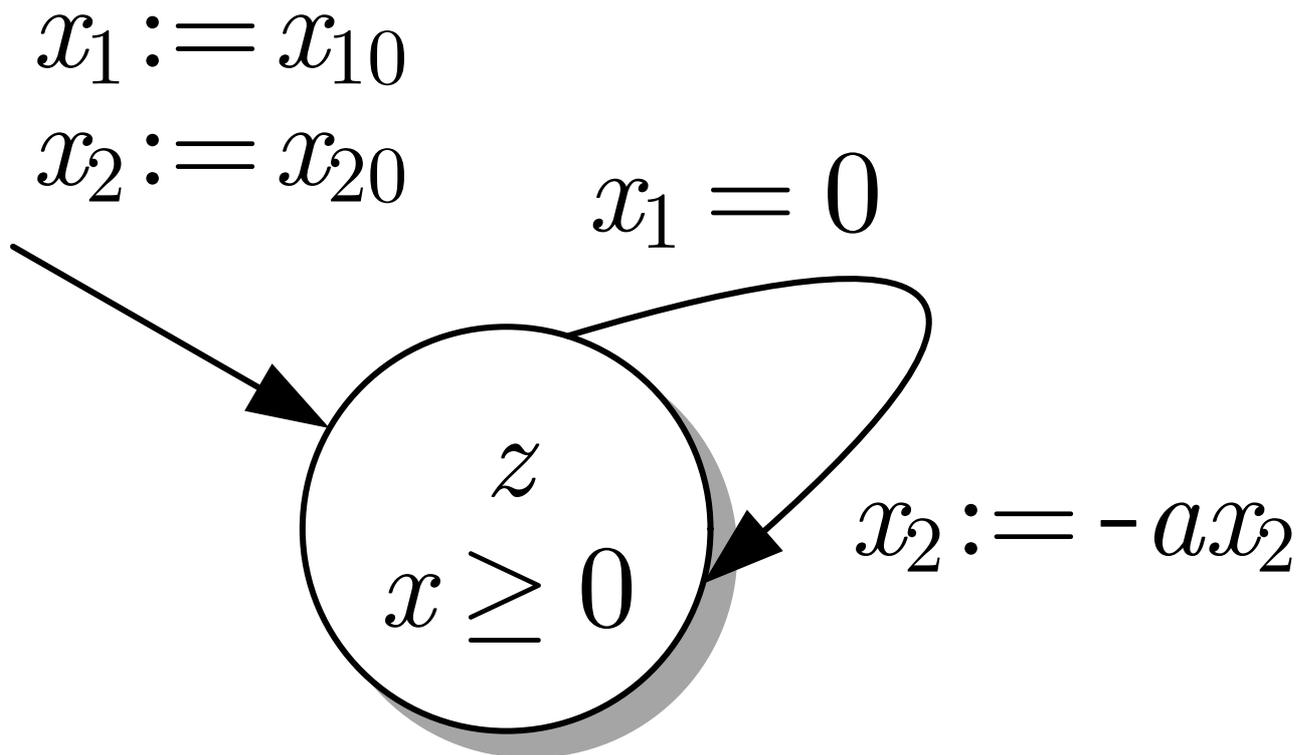


Abb. 9.16: Beschreibung eines springenden Balls durch einen hybriden Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

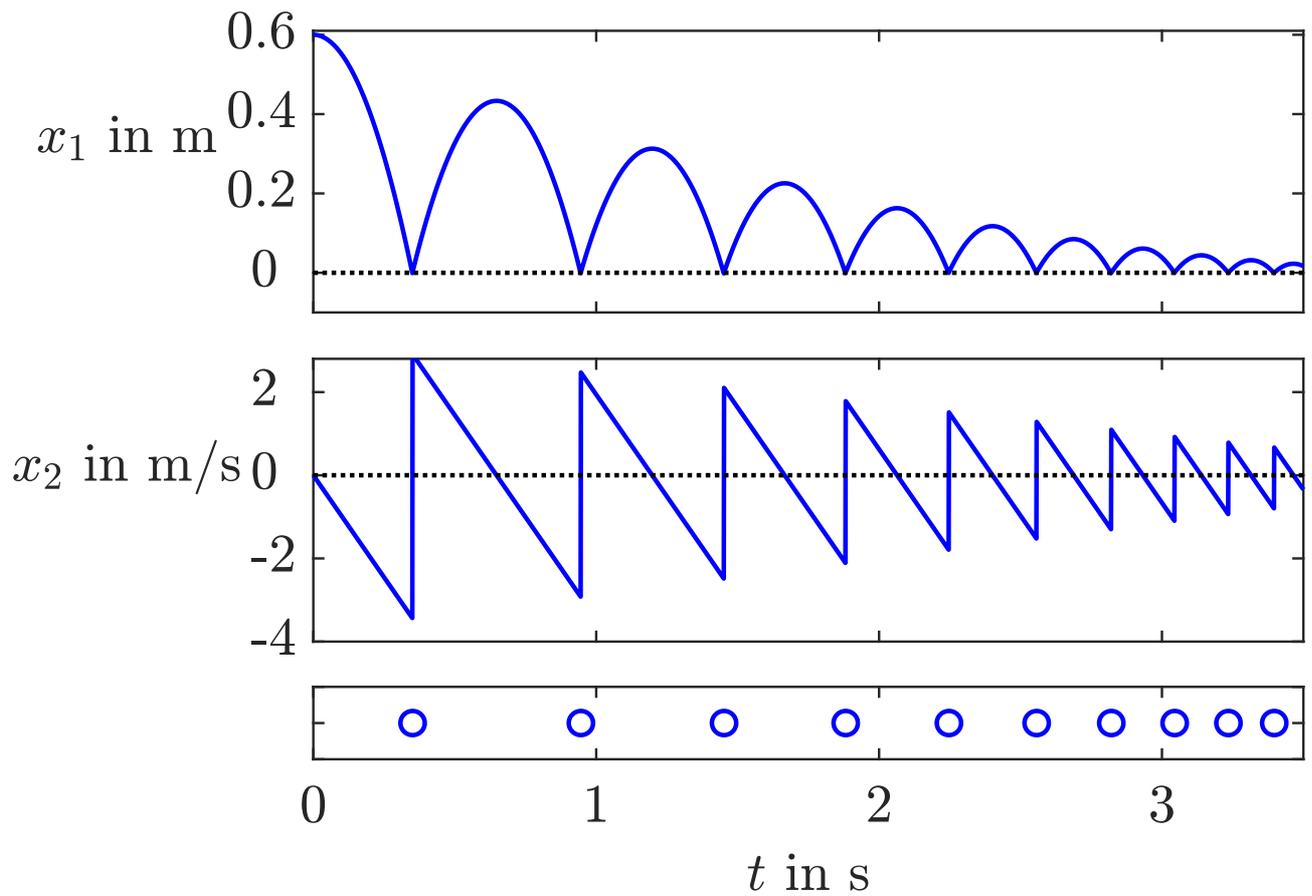


Abb. 9.17: Verhalten des springenden Balls

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

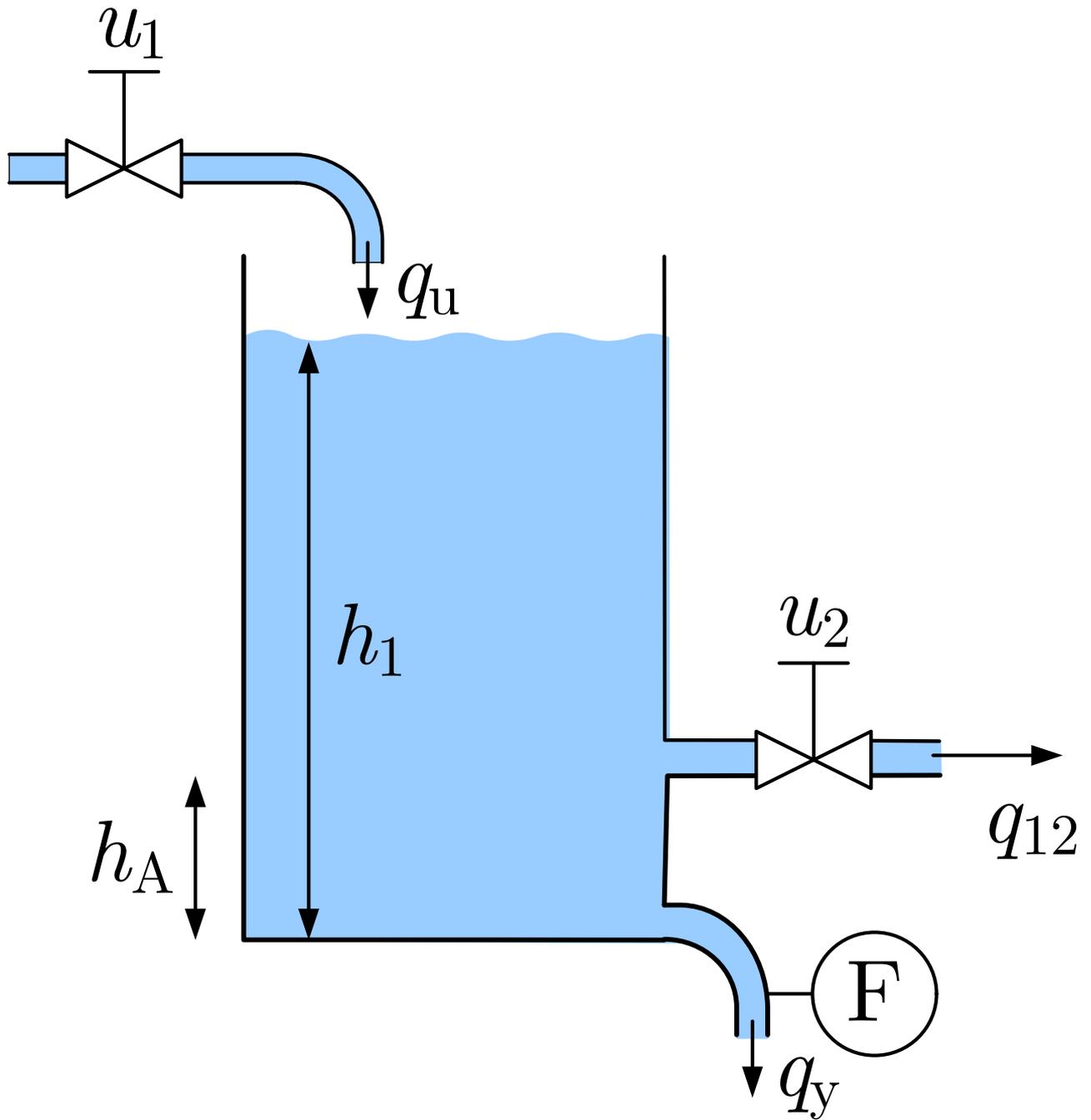


Abb. 9.18: Batchreaktor

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

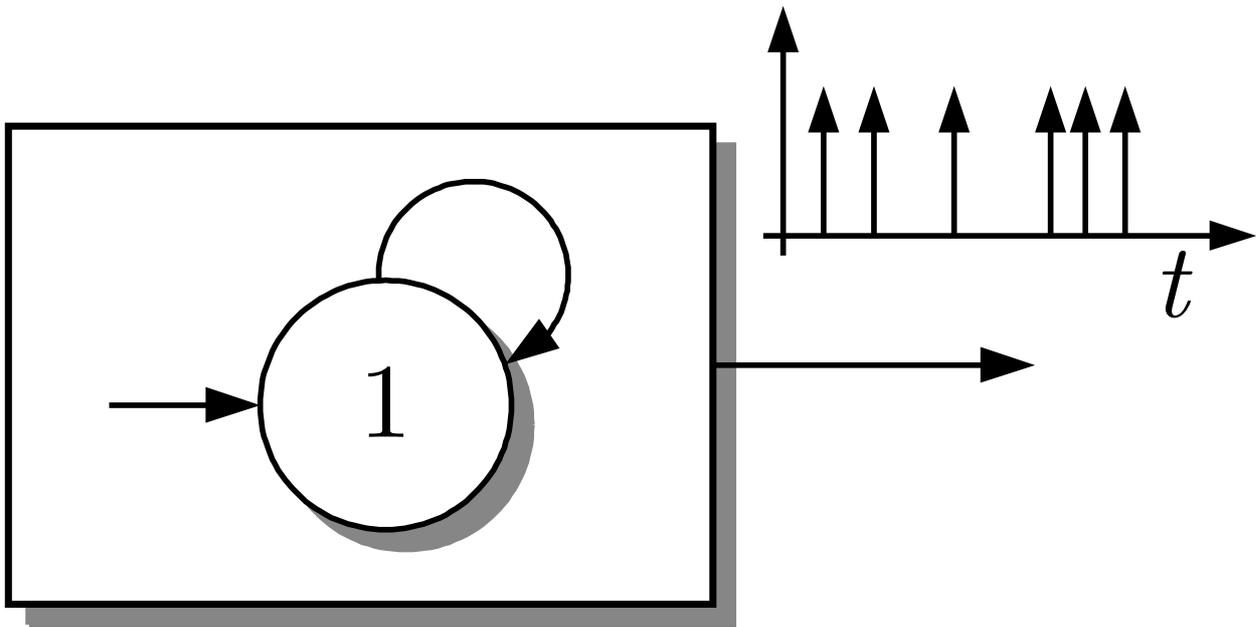


Abb. 9.19: Automatengraph eines Punktprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

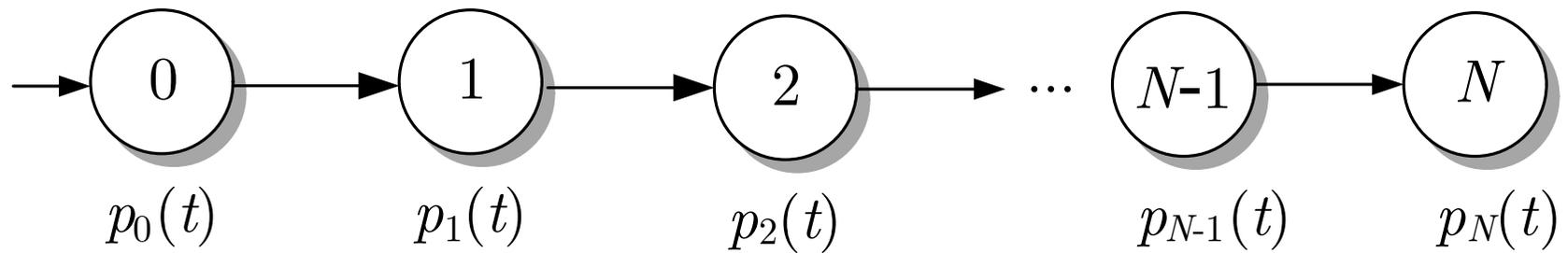


Abb. 9.20. Automatengraph eines Zählprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

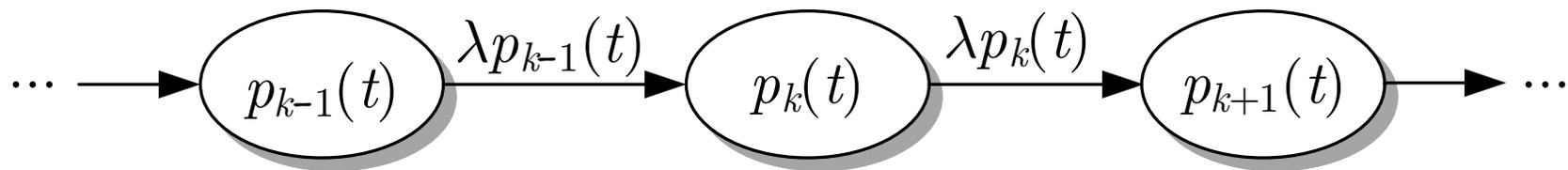


Abb. 9.21. Interpretation der Modellgleichungen des Poissonprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

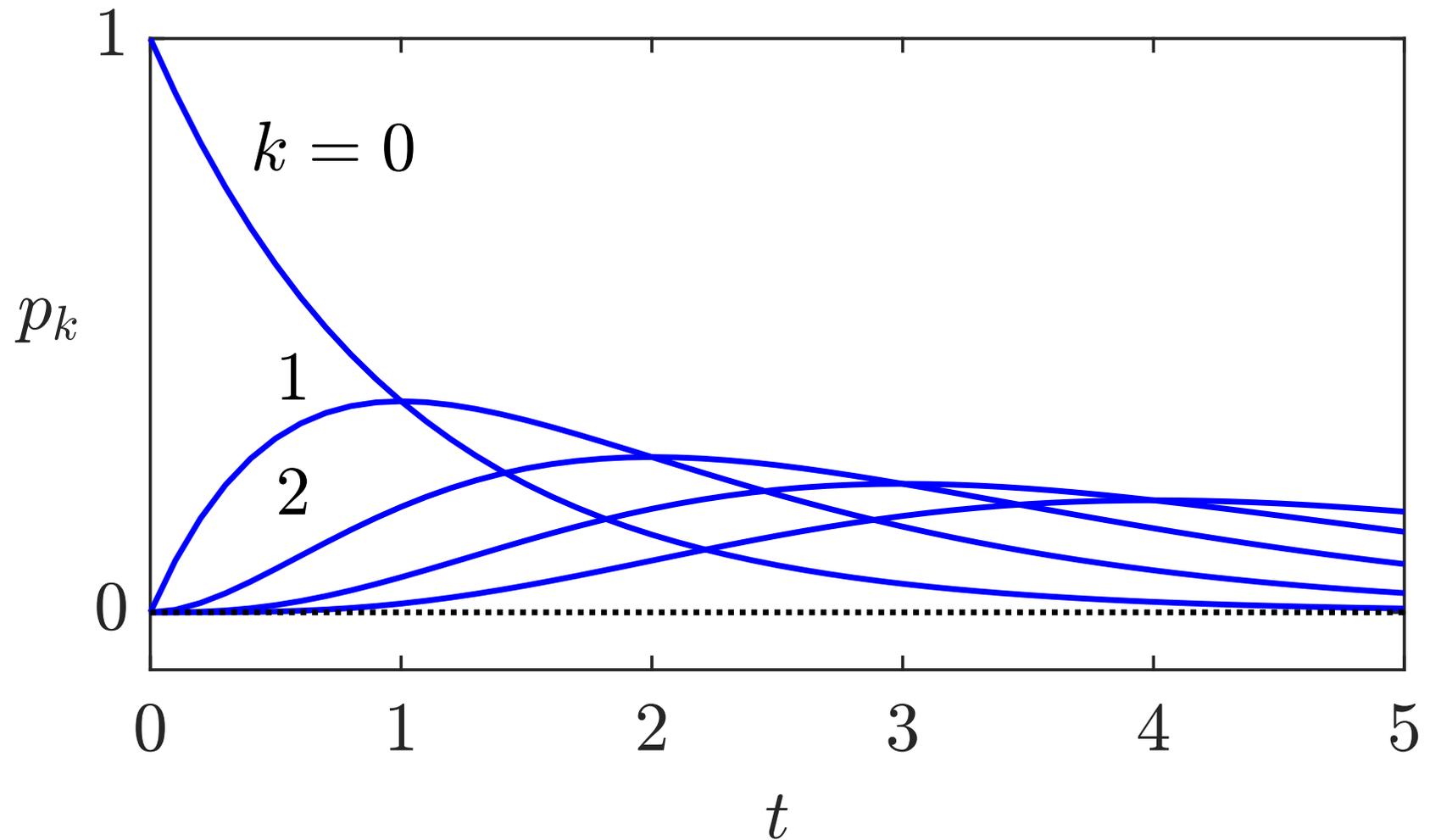


Abb. 9.22. Aufenthaltswahrscheinlichkeit $p_k(t)$, ($k = 0, 1, 2, 3, 4$) für den Poissonprozess mit $\lambda = 1$

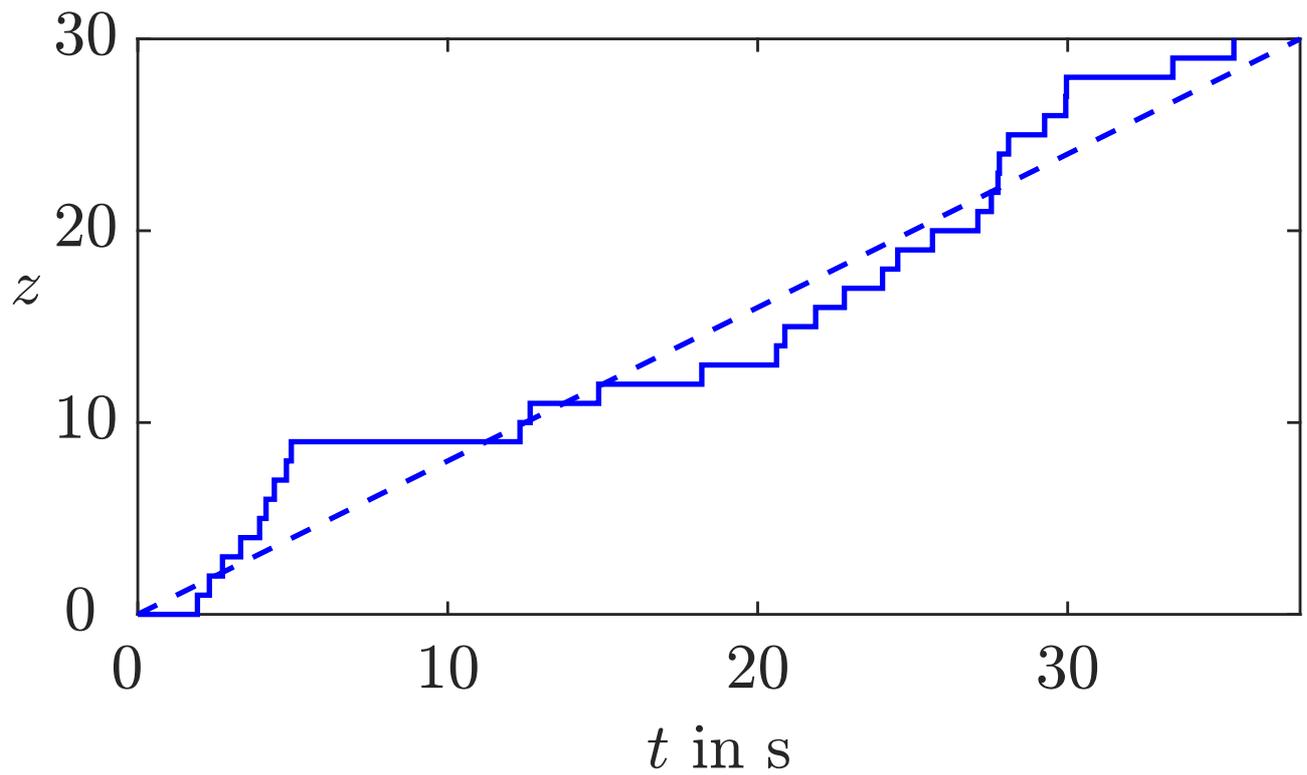


Abb. 9.23: Erwartungswert und eine Realisierung des Poissonprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

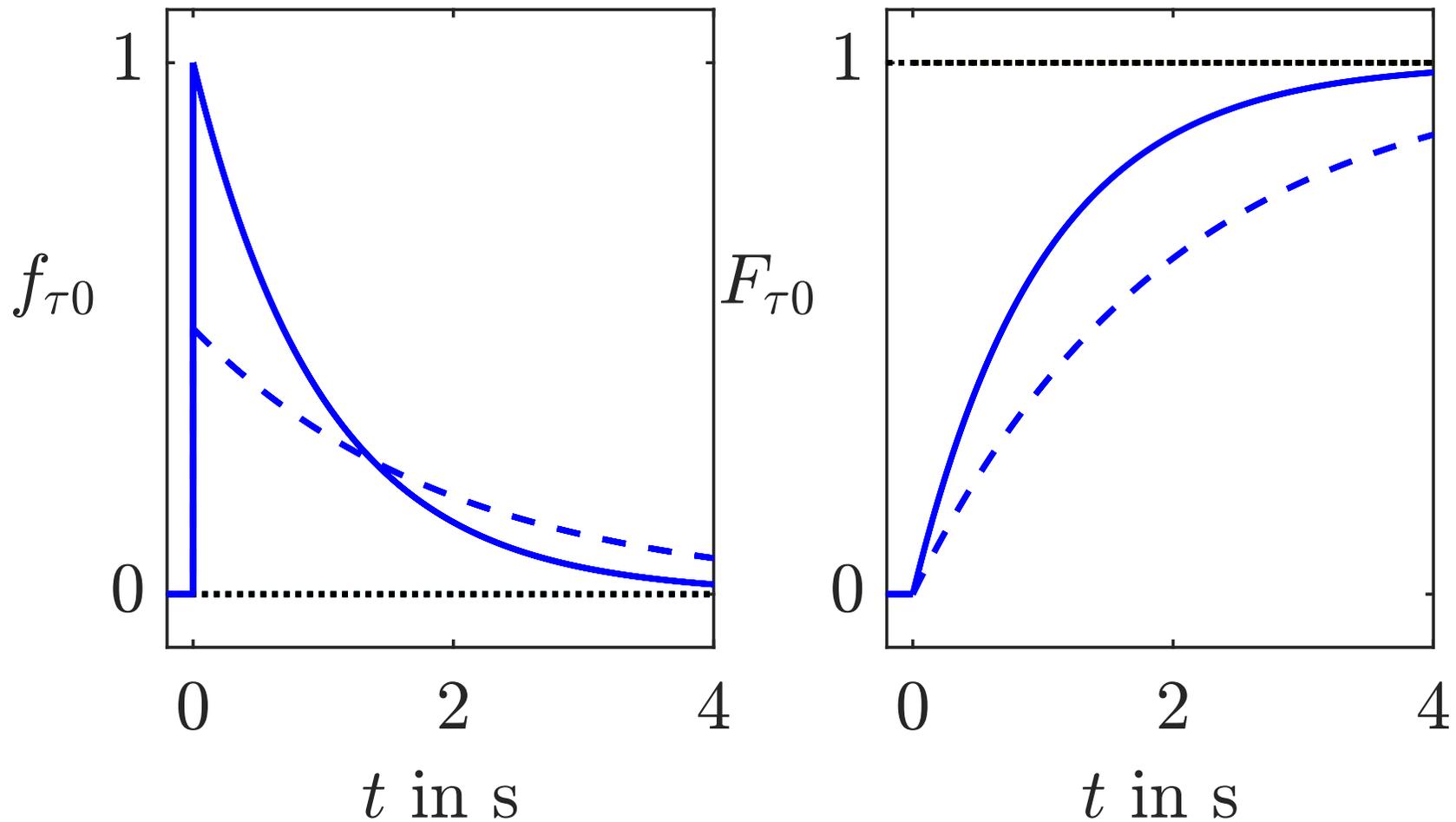


Abb. 9.24. Wahrscheinlichkeitsdichte (links) und Verteilungsfunktion (rechts) einer Exponentialverteilung für $\lambda = 1$ (durchgezogene Linie) und $\lambda = 0,5$ (gestrichelte Linie)

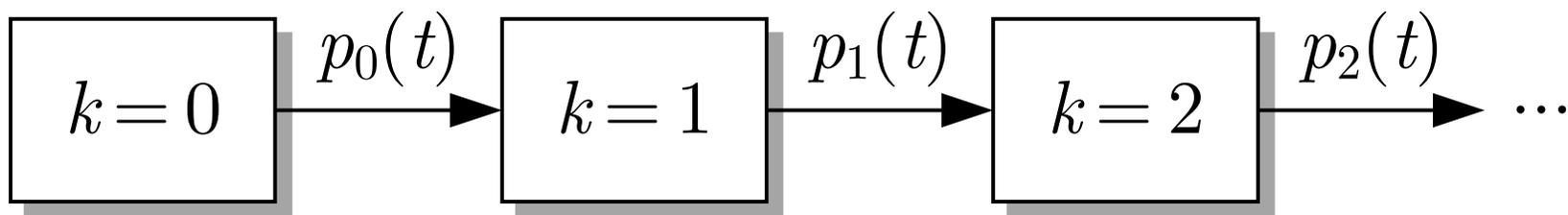


Abb. 9.25. Interpretation der Gln. (9.31), (9.32) als Modell einer Reihenschaltung von Teilsystemen erster Ordnung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

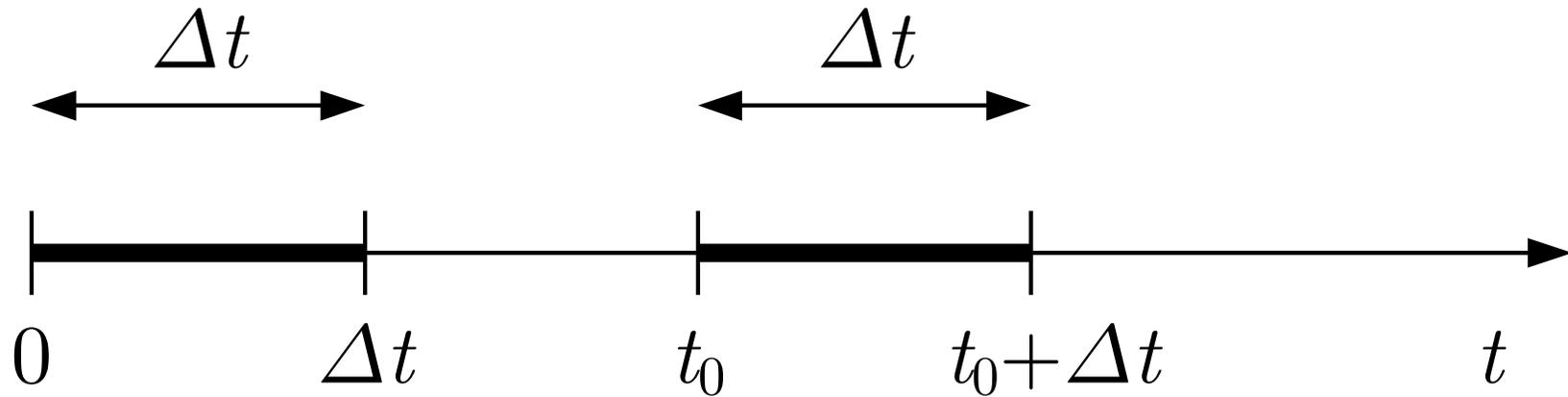


Abb. 9.26. Zeitintervalle, die beim Nachweis der Markoveigenschaft der Exponentialverteilung betrachtet werden

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

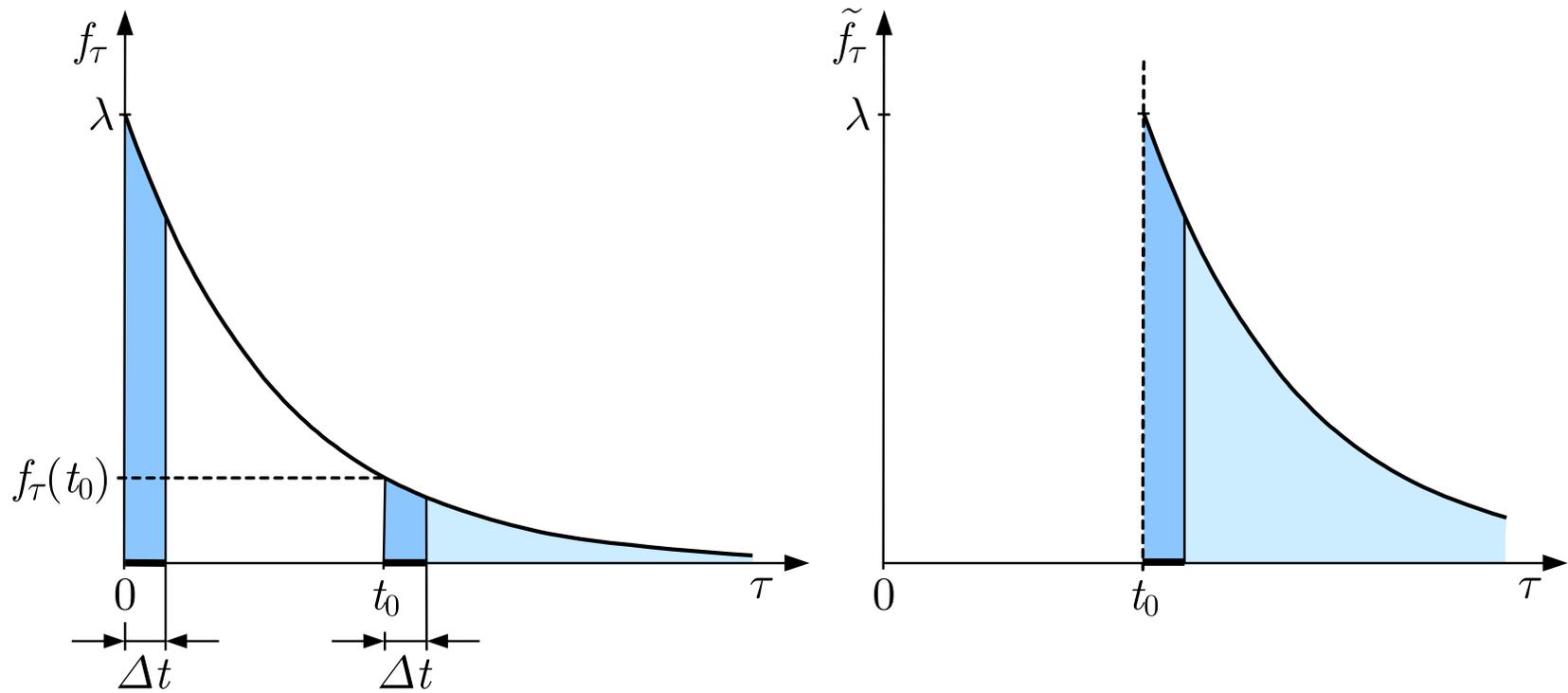


Abb. 9.27. Markoveigenschaft der Exponentialverteilung der Verweilzeit

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

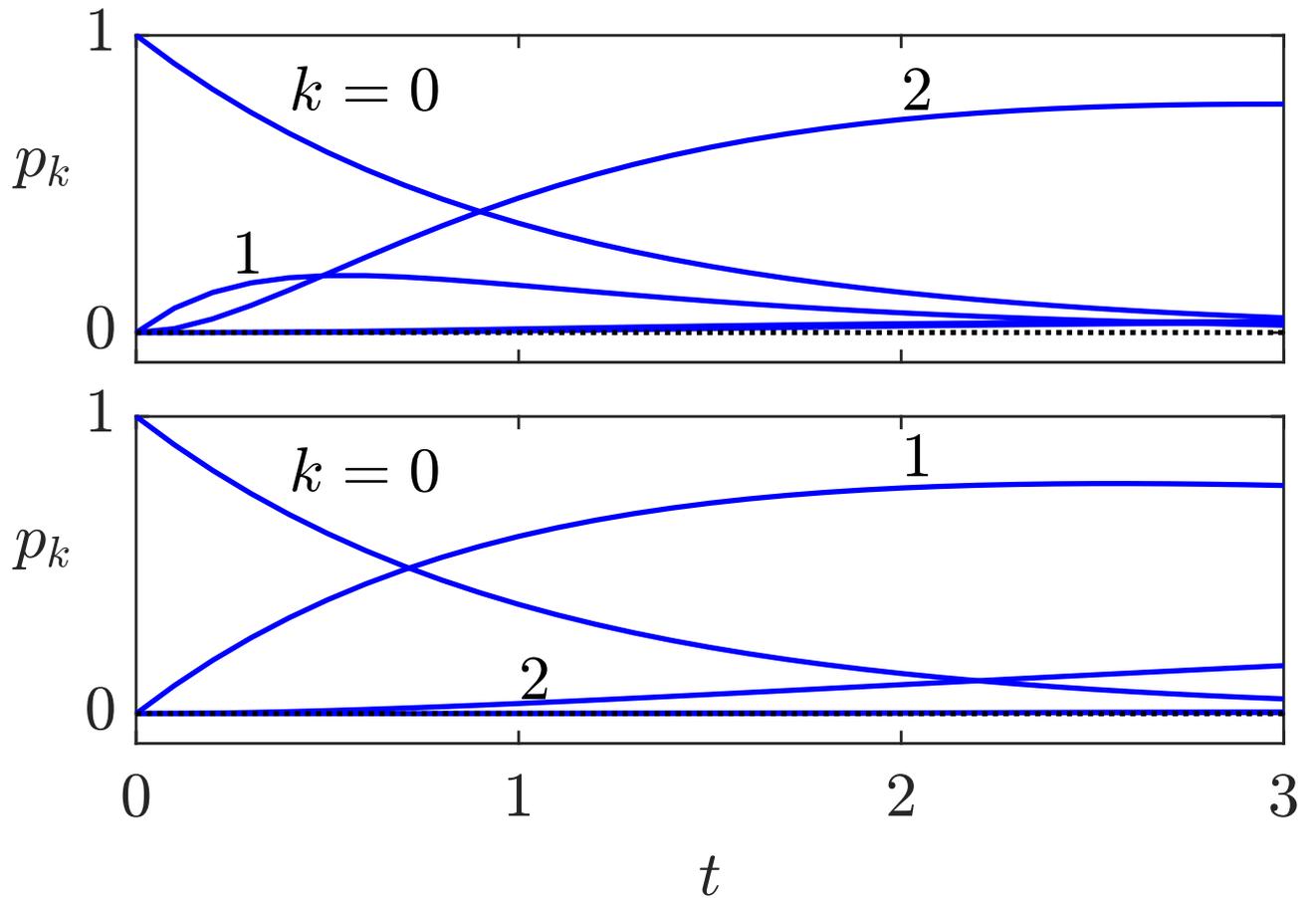


Abb. 9.28: Aufenthaltswahrscheinlichkeit $p_k(t)$,
 ($k = 0, 1, 2, 3$) für Punktprozesse mit zustandsabhängiger
 Übergangsrate

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

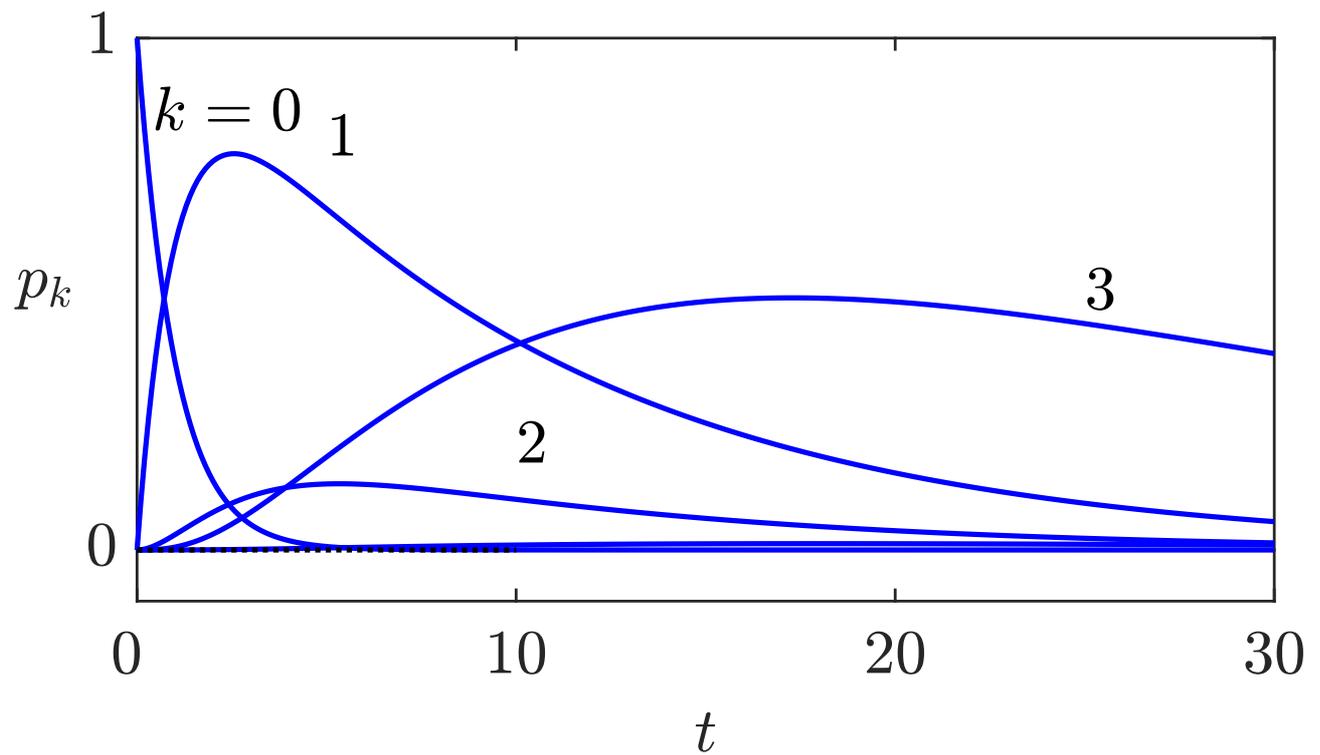


Abb. 9.29: Langzeitverhalten des Punktprozesses mit zustandsabhängiger Übergangsrate

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

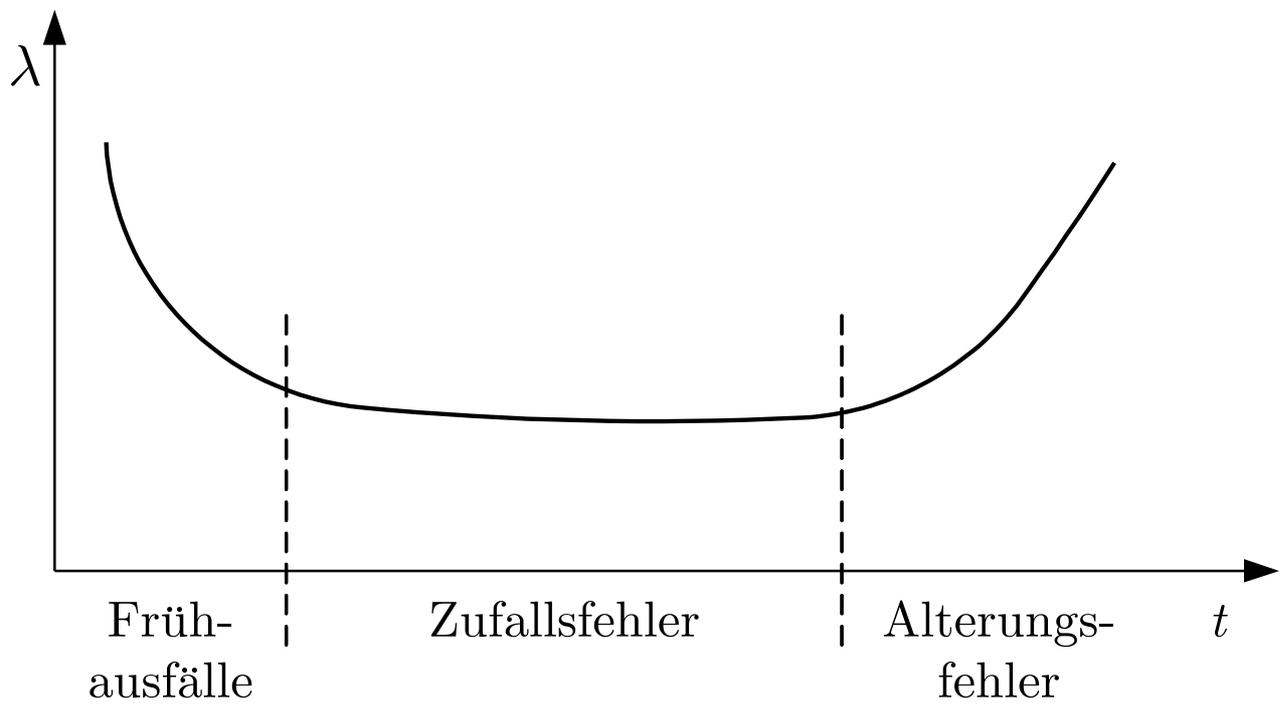


Abb. 9.30: „Badewannenkurve“ der Übergangsrate $\lambda(t)$
in Zuverlässigkeitsmodellen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

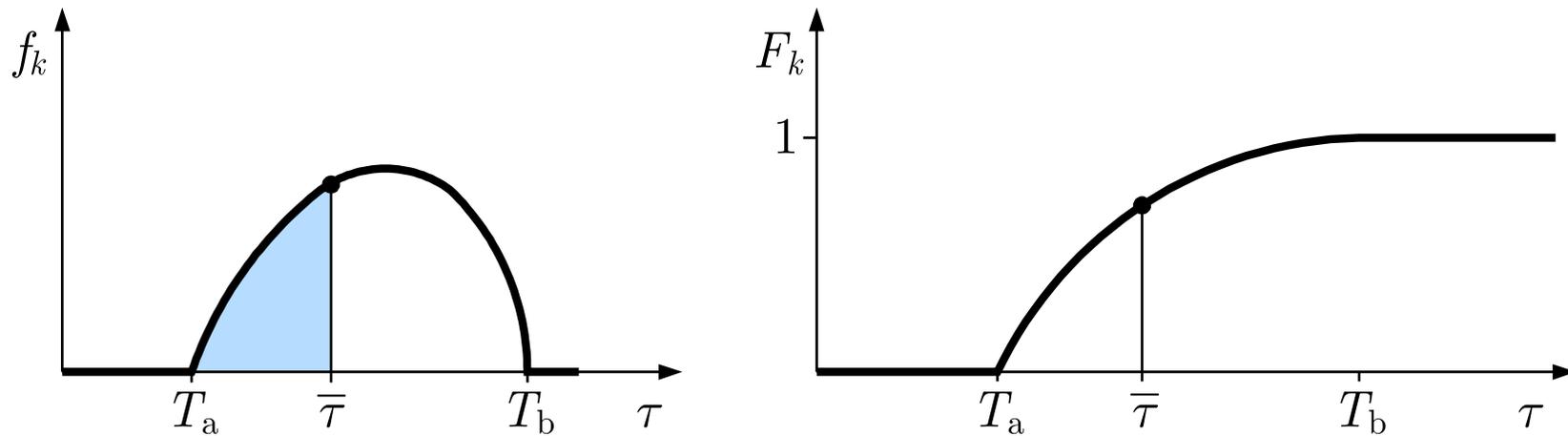


Abb. 9.31. Dichtefunktion (links) und Verteilungsfunktion (rechts) eines allgemeinen Punktprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

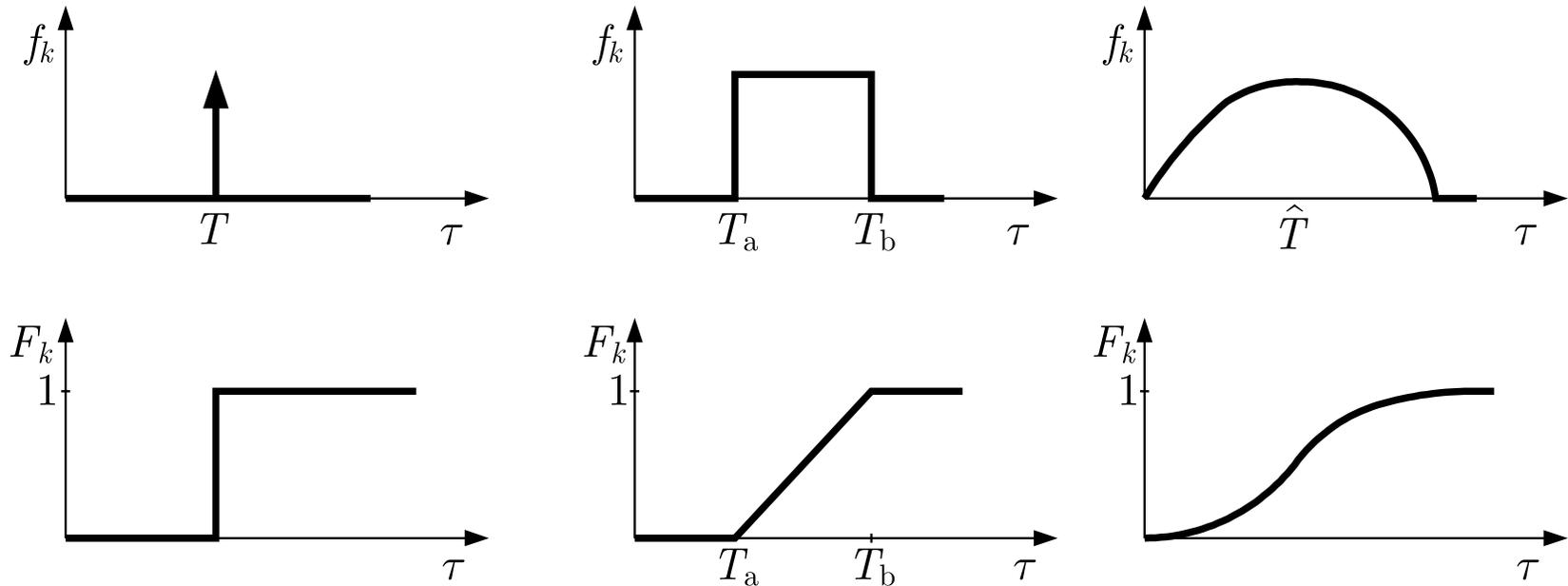


Abb. 9.32. Beispiele für Verteilungsdichtefunktionen $f_k(\tau)$ und Verteilungsfunktionen $F_k(\tau)$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

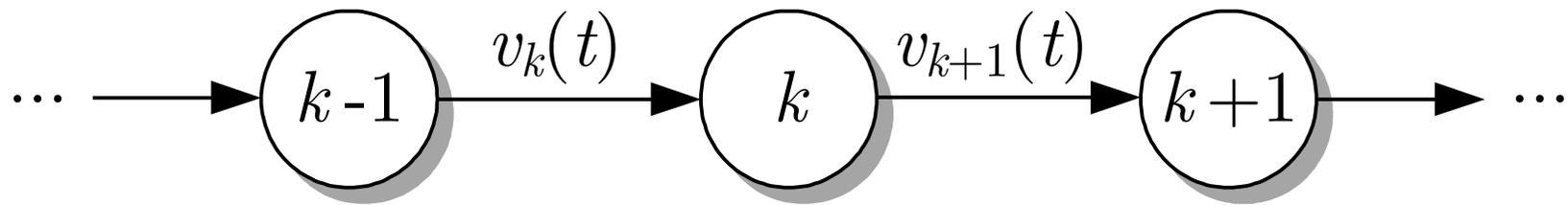


Abb. 9.33. Wahrscheinlichkeitsfluss beim allgemeinen Punktprozess

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

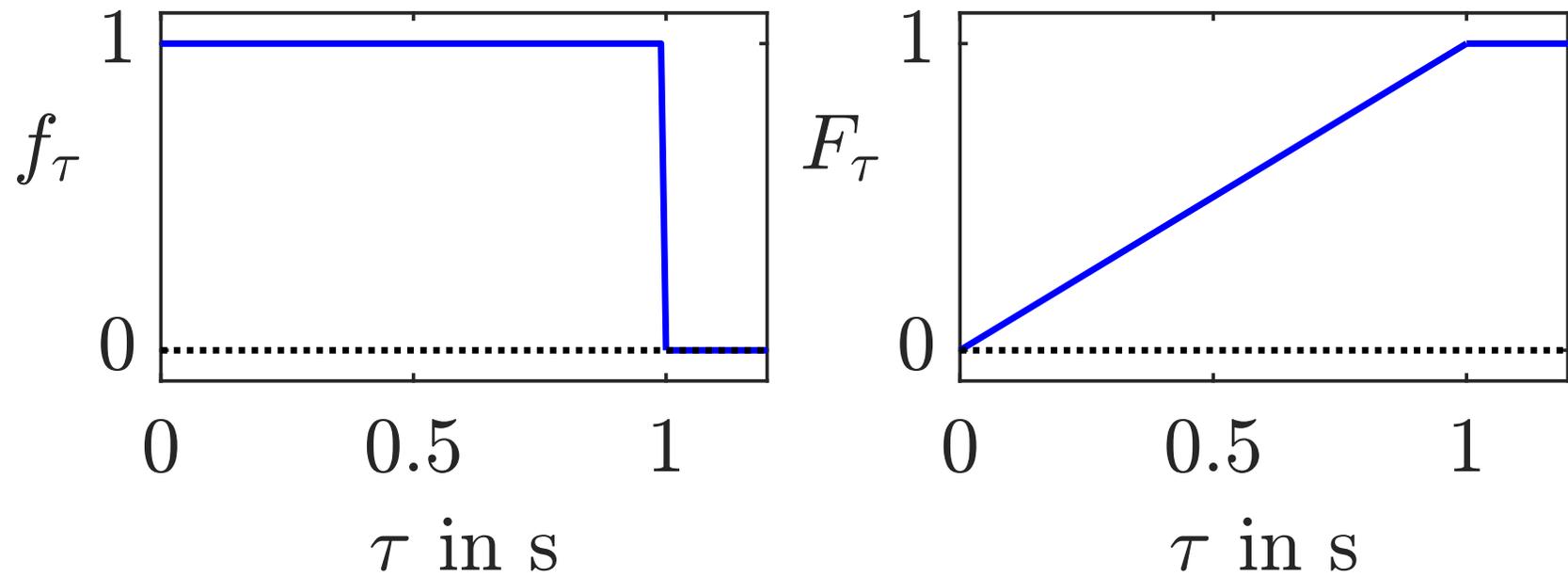


Abb. 9.34. Dichtefunktion (links) und Verteilungsfunktion (rechts) der Übertragungszeit

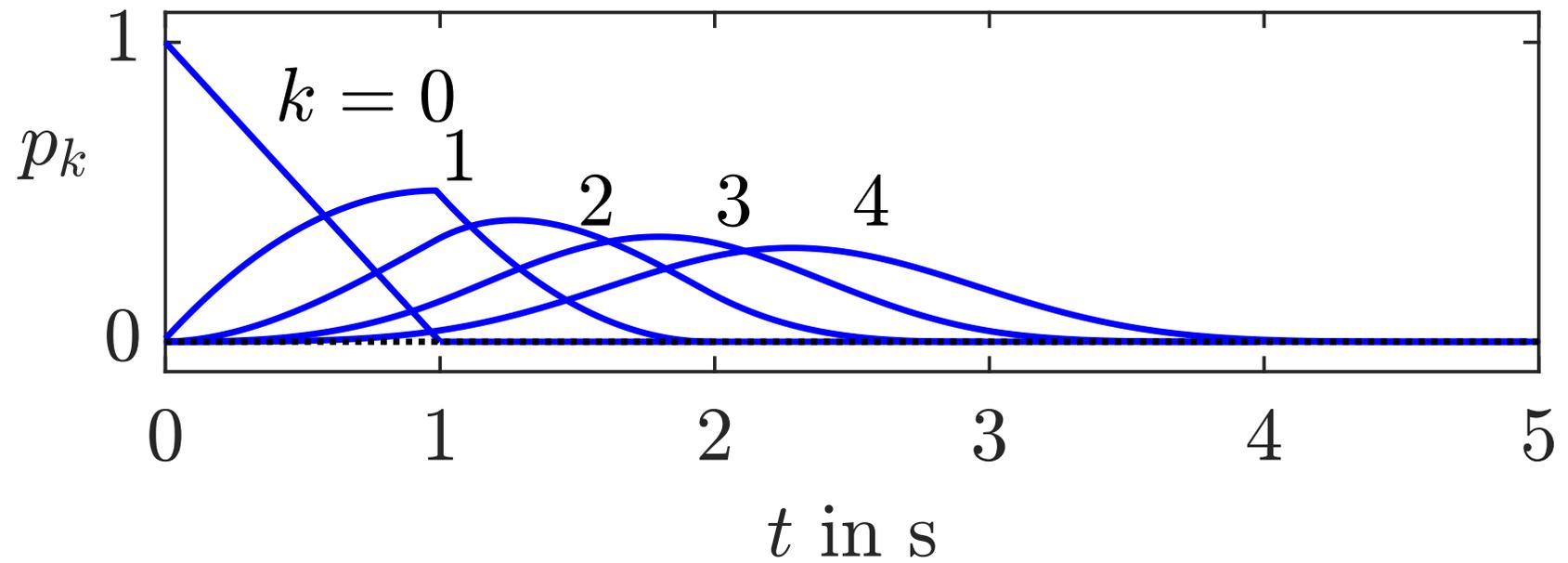


Abb. 9.35. Zustandswahrscheinlichkeit des Punktprozesses für die Zustände $k = 0, 1, 2, 3, 4$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

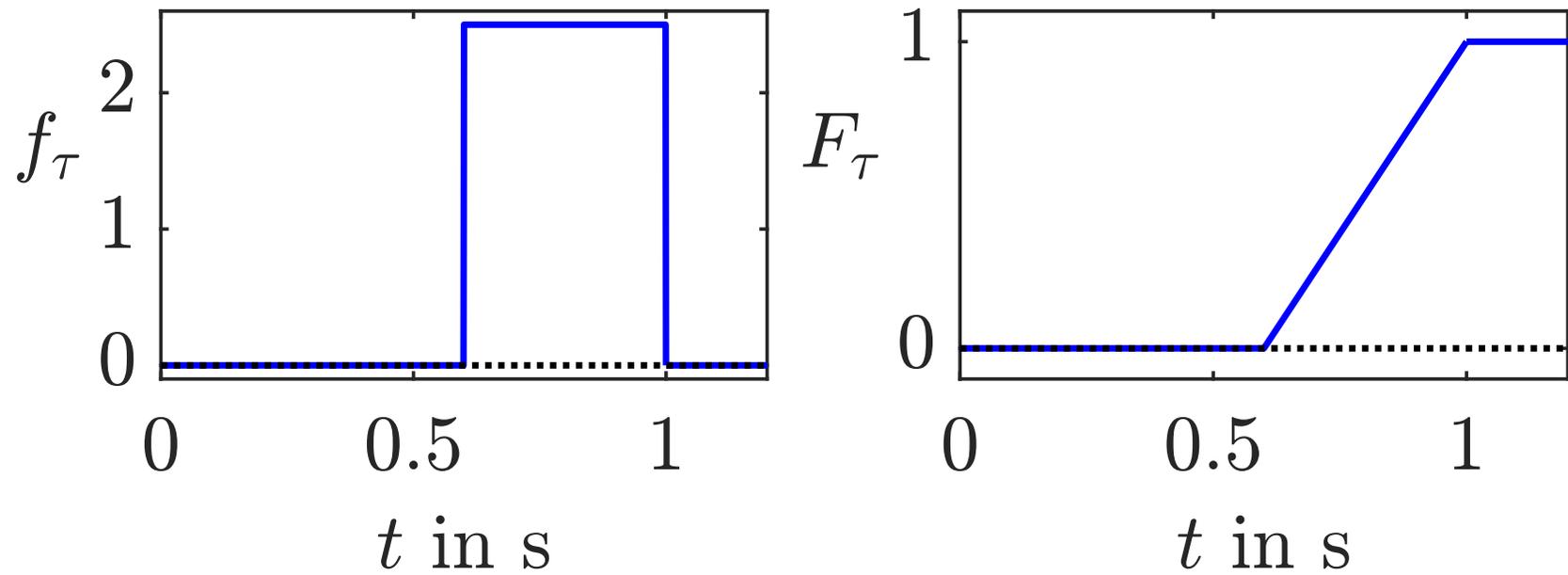


Abb. 9.36. Modifizierte Dichtefunktion (links) und Verteilungsfunktion (rechts) der Übertragungszeit

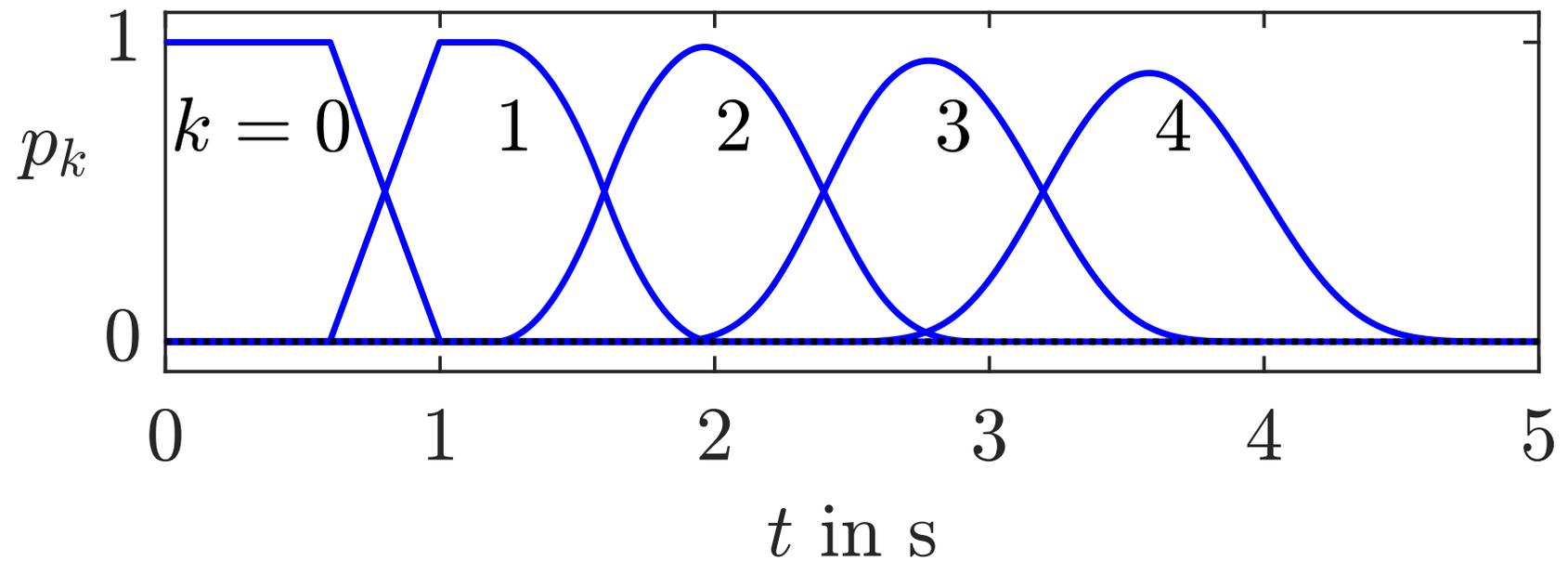


Abb. 9.37. Zustandswahrscheinlichkeit des Punktprozesses mit modifizierter Dichtefunktion für die Zustände $k = 0, 1, 2, 3, 4$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

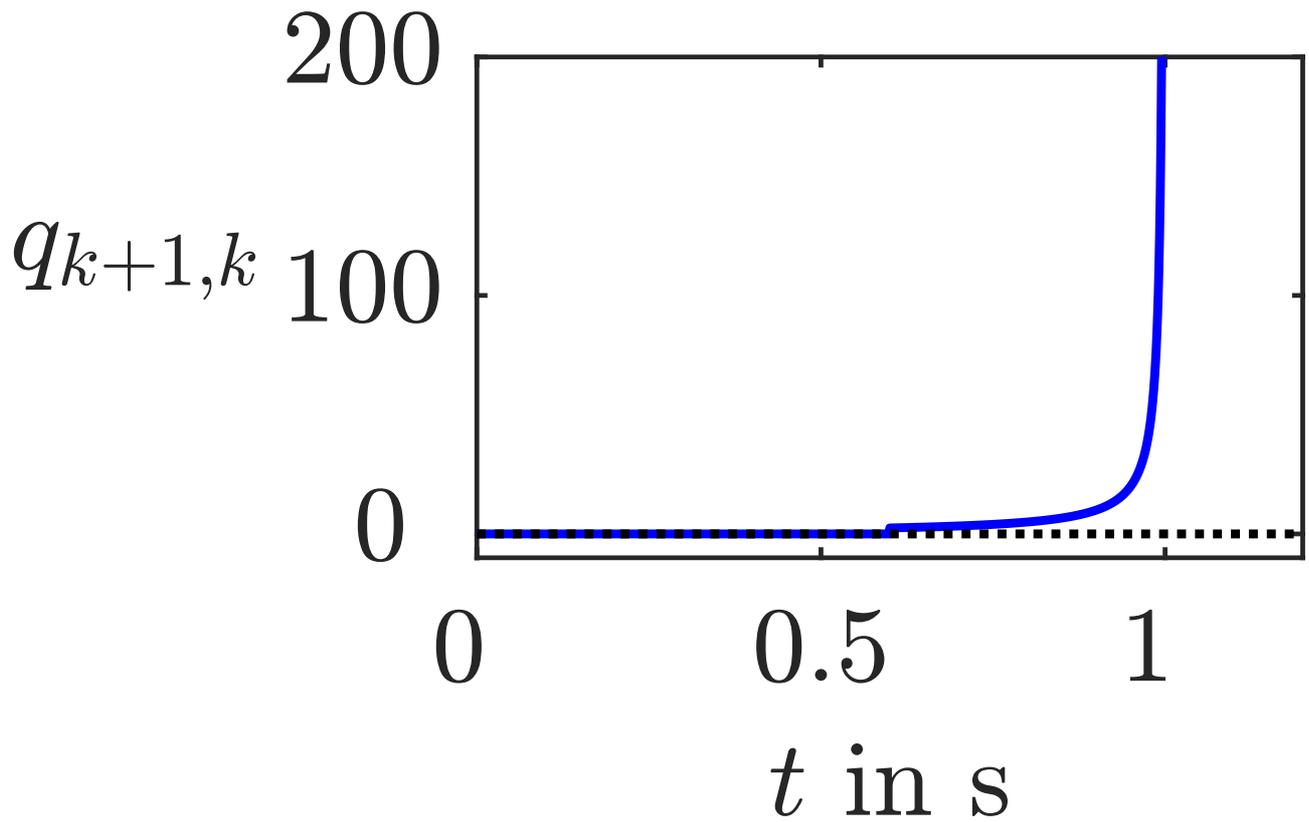


Abb. 9.38: Übergangsrate $q_{k+1,k}$ des Punktprozesses aus **Abb. 9.37**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

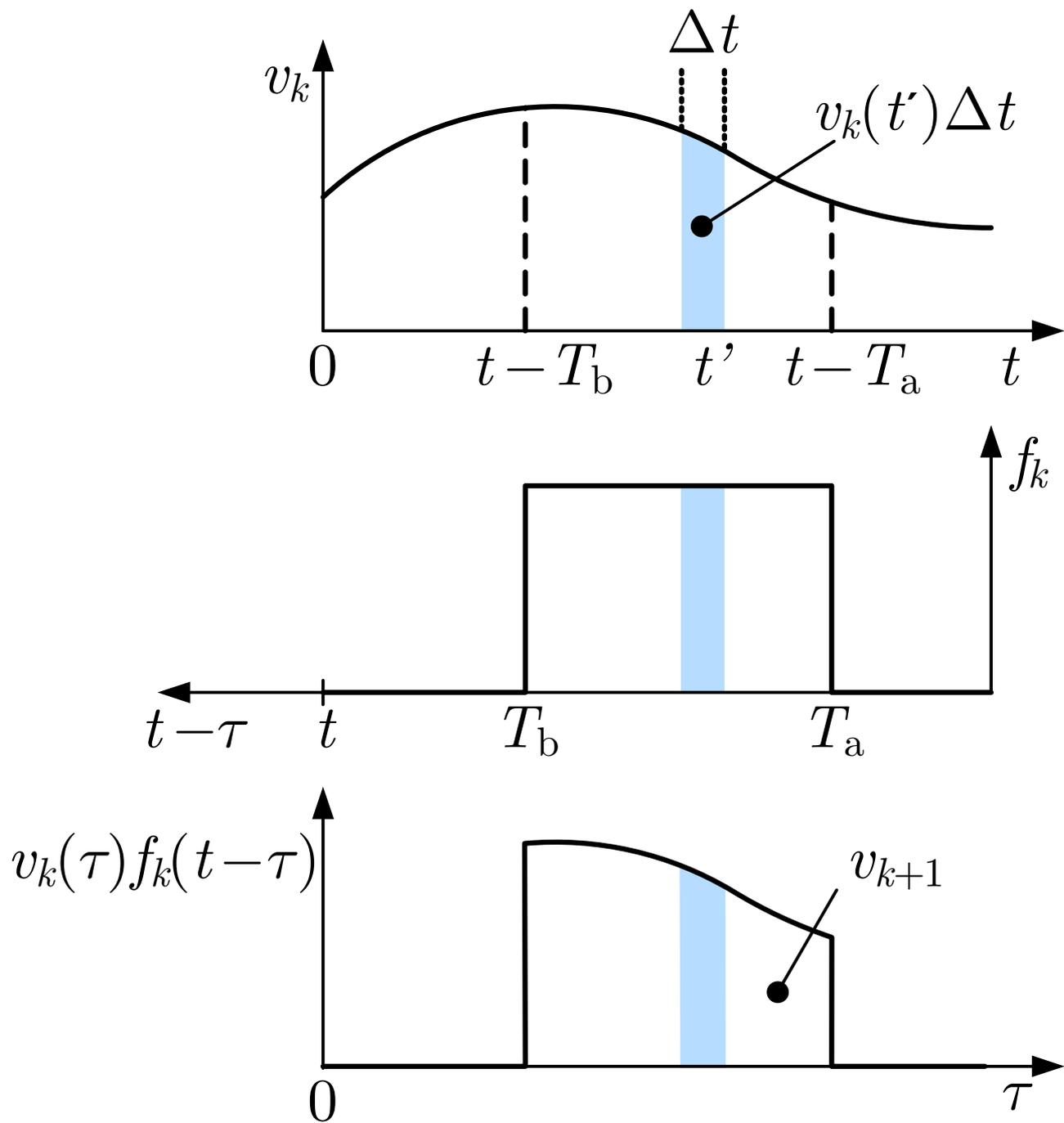


Abb. 9.39: Interpretation der Faltung $v_k * f_k$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

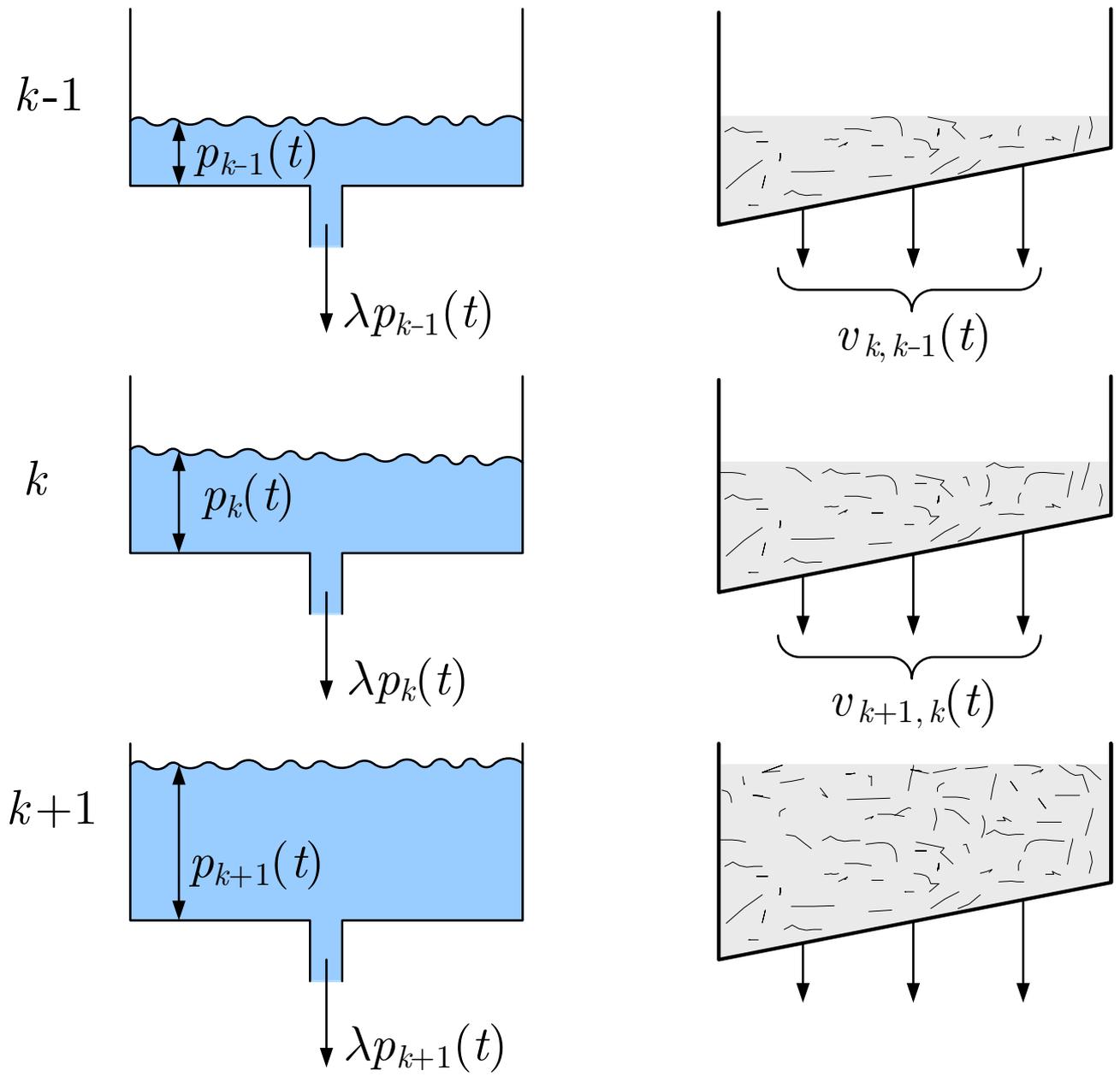


Abb. 9.40: Interpretation von Punktprozessen mit und ohne Markoveigenschaft

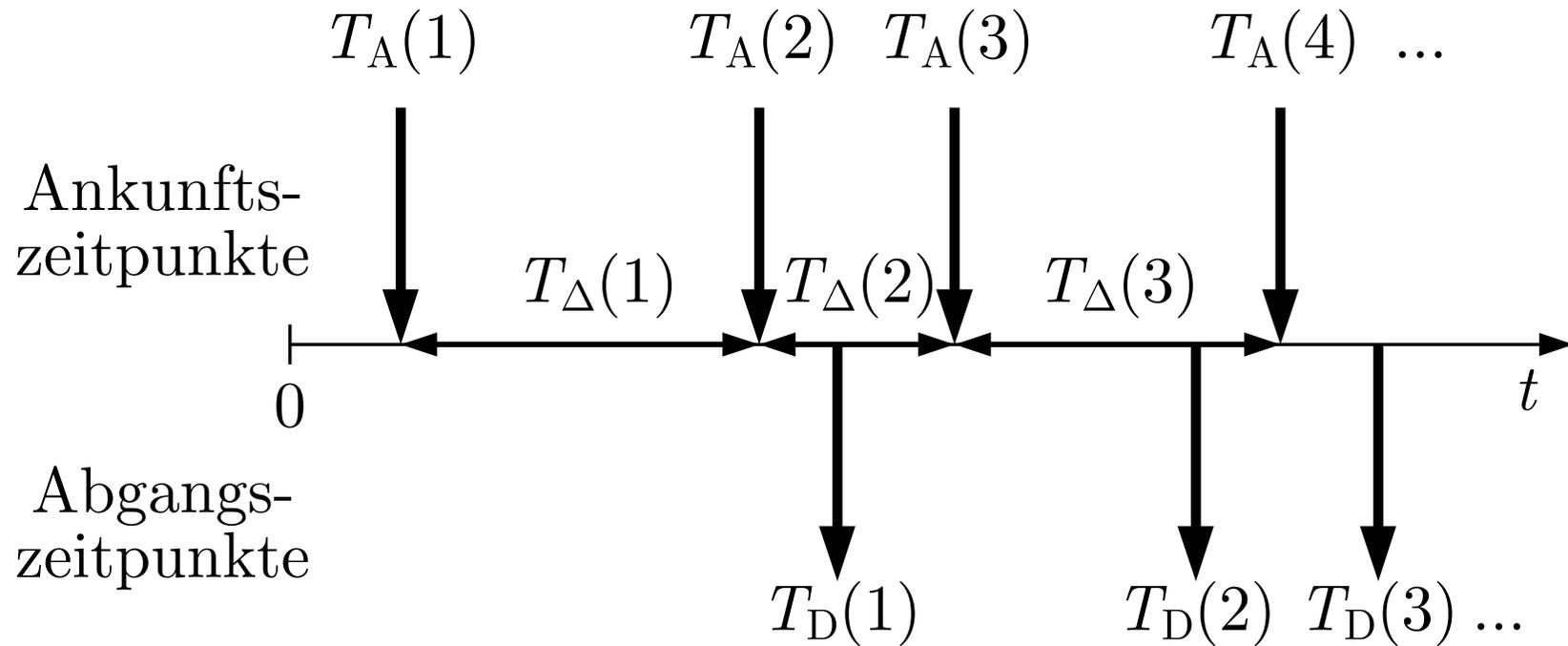


Abb. 9.41. Zeiten zur Beschreibung eines Wartesystems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

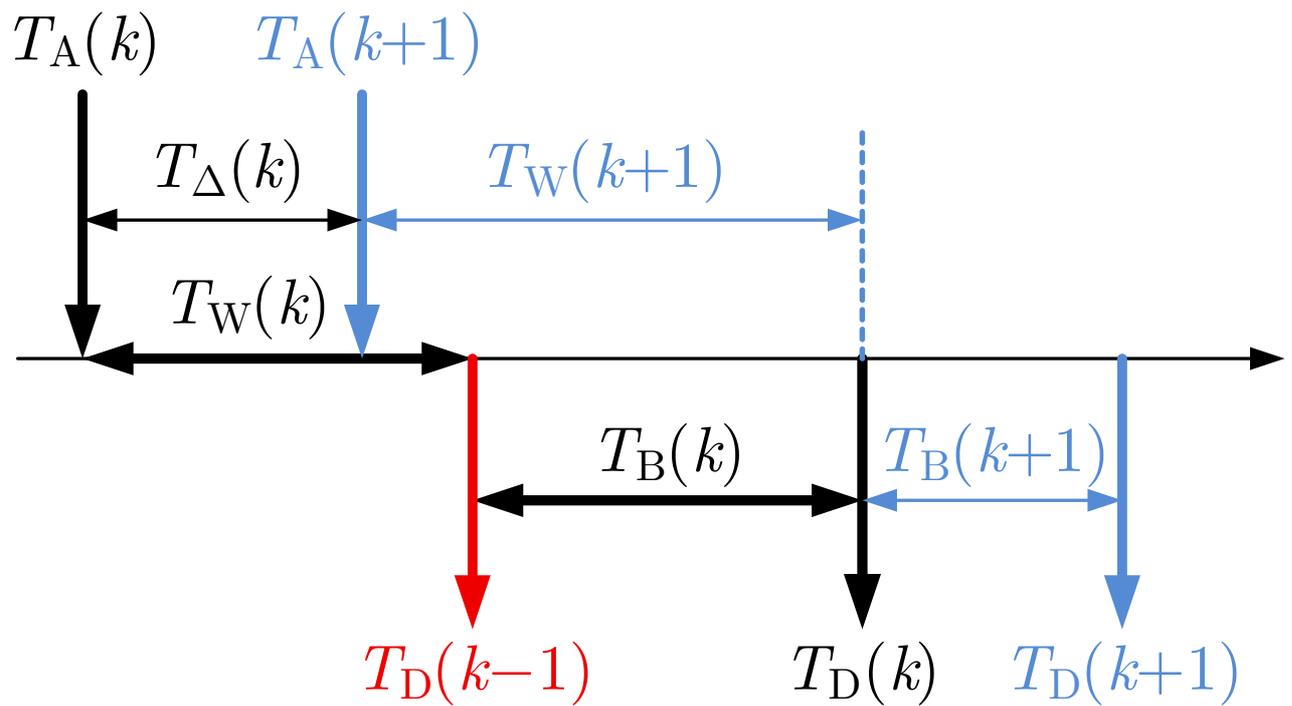
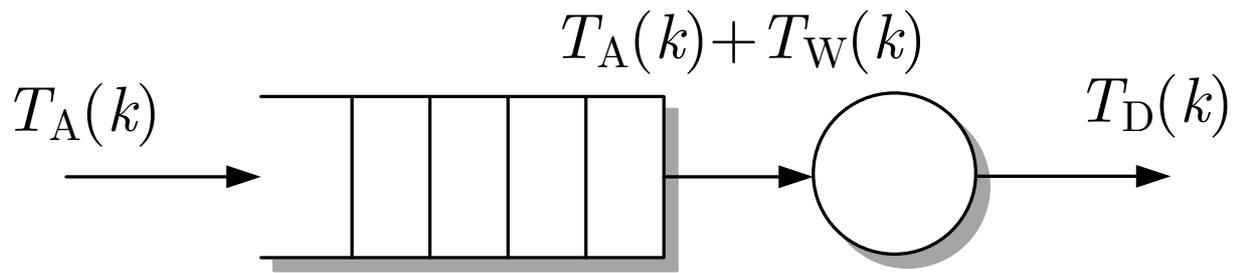


Abb. 9.42: Zeiten für den k -ten und den $(k + 1)$ -ten Kunden

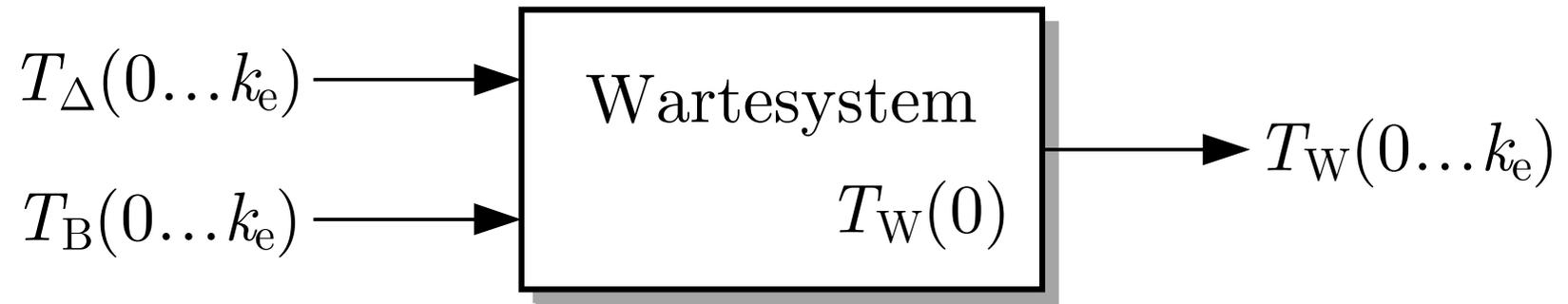


Abb. 9.43. E/A-Darstellung des Wartesystems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

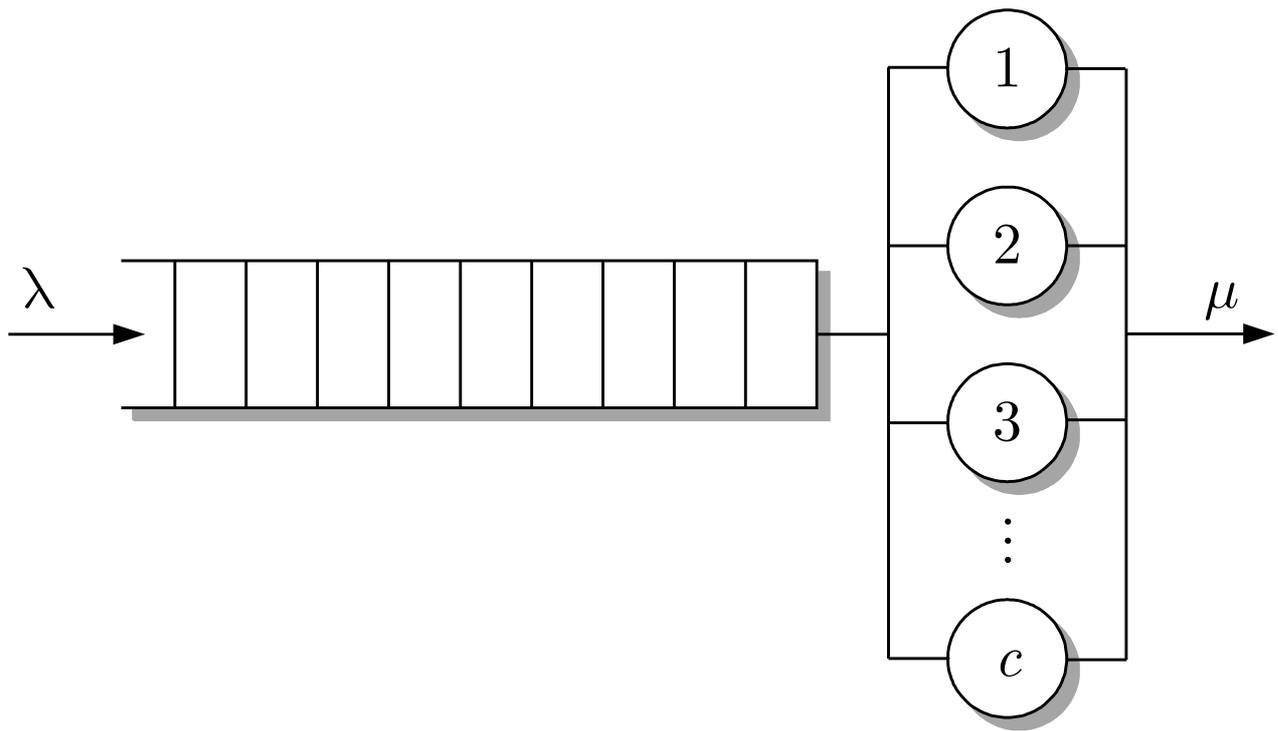
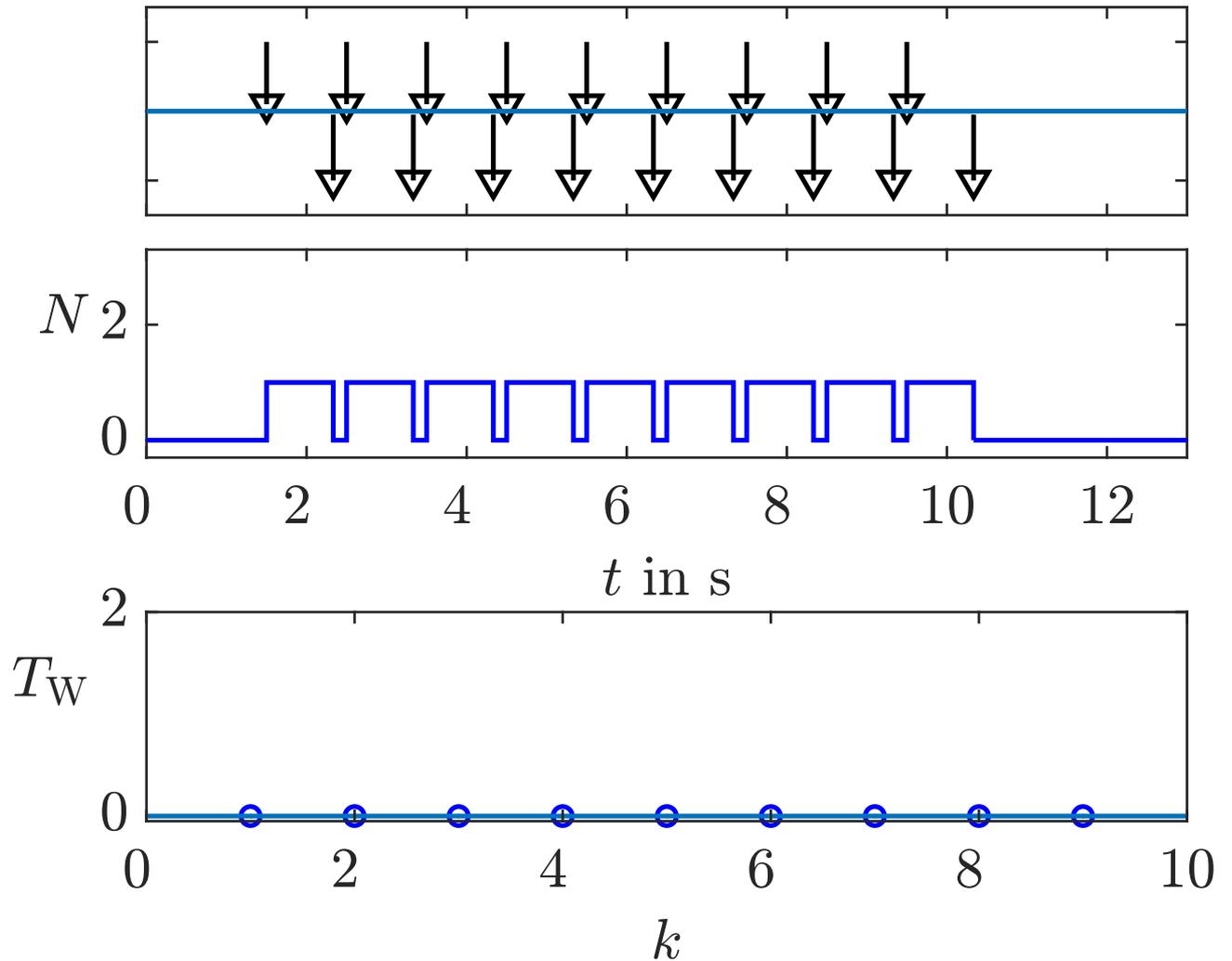


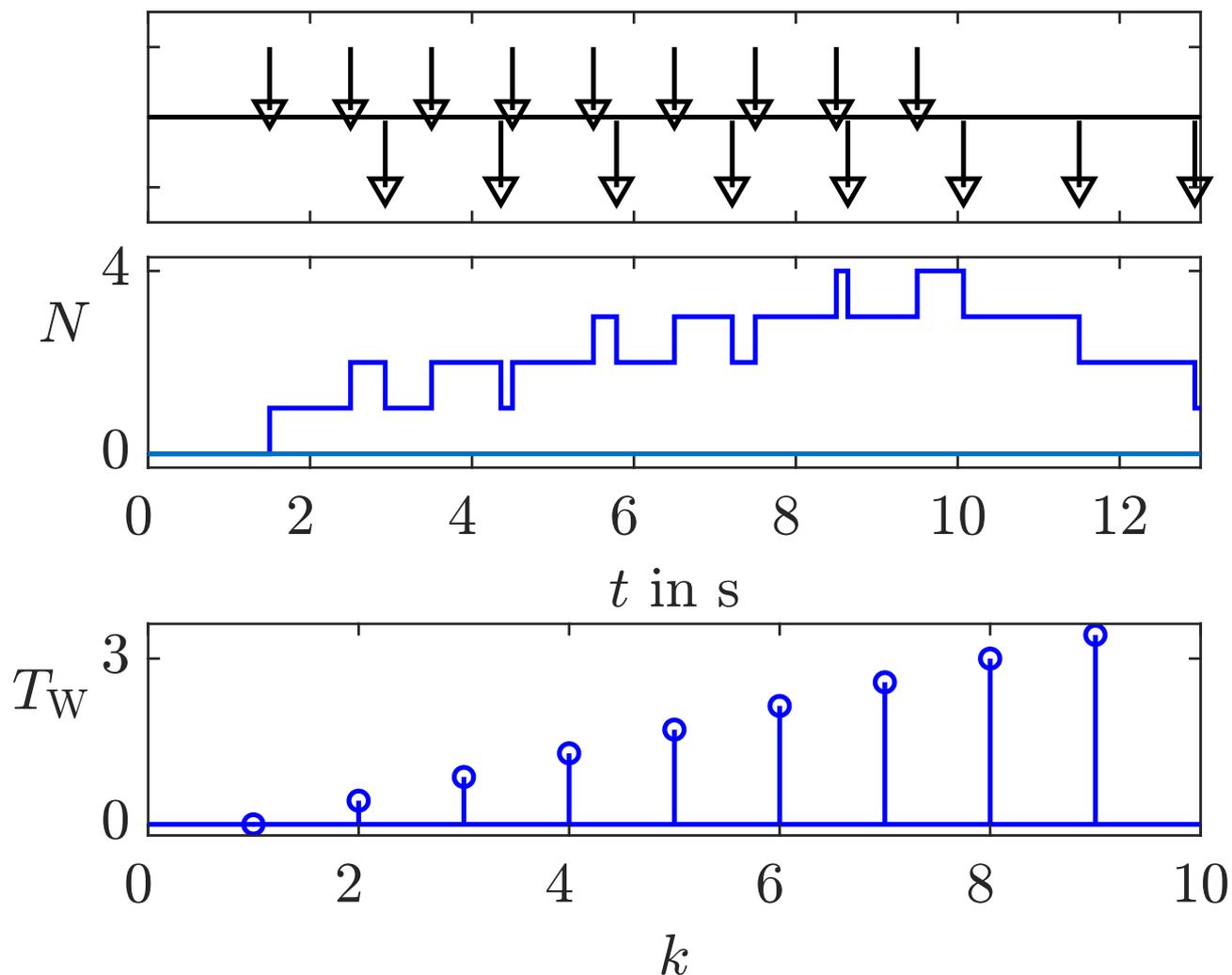
Abb. 9.44: Warteschlange vor c Bedieneinheiten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 9.45: Verhalten eines Wartesystems
mit $\lambda = 1 \frac{1}{s}$, $\mu = 1,2 \frac{1}{s}$**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. 9.46: Verhalten eines Wartesystems
mit $\lambda = 1 \frac{1}{s}$, $\mu = 0,7 \frac{1}{s}$**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

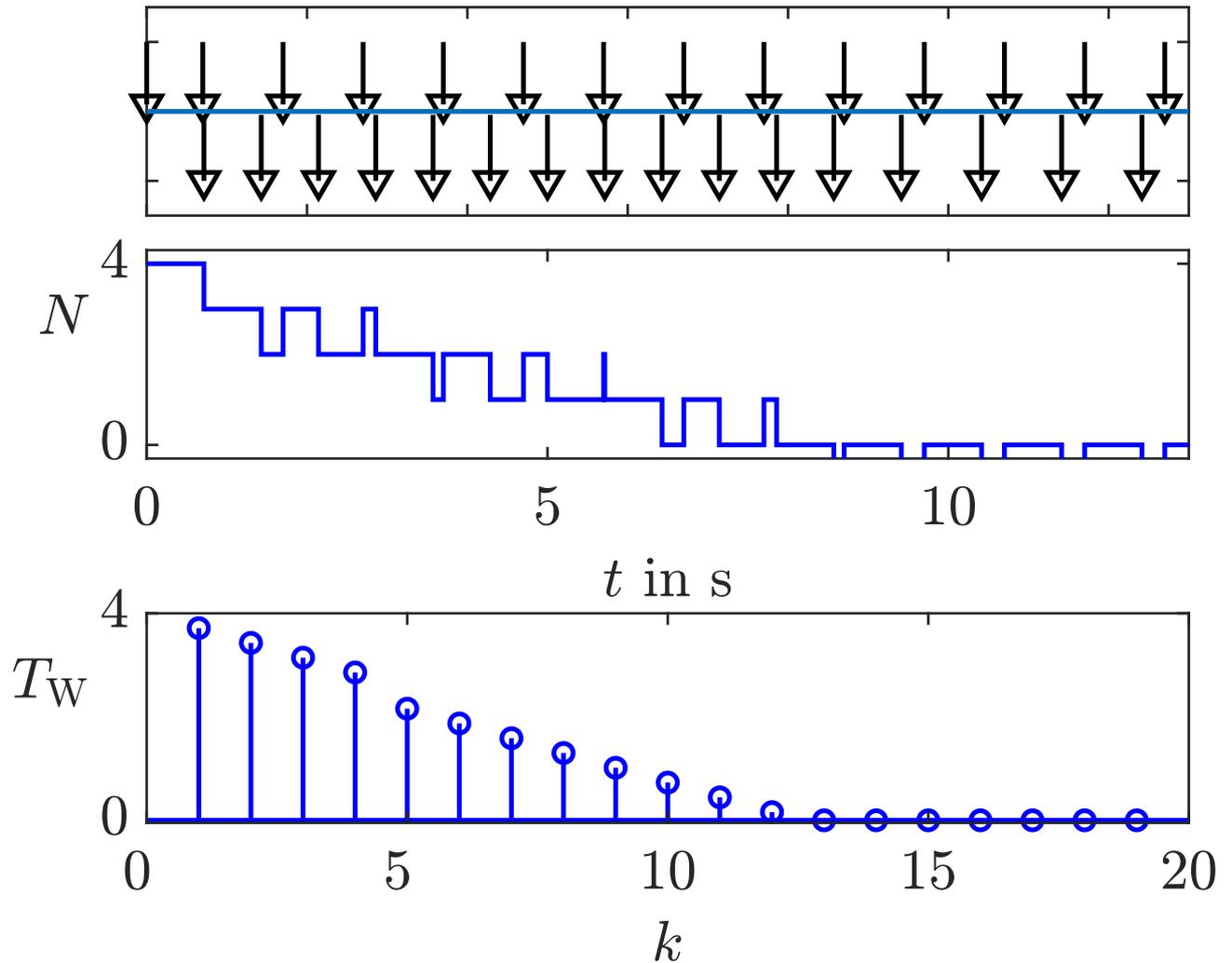


Abb. 9.47: Verhalten eines Wartesystems mit $\lambda = 1 \frac{1}{s}$, $\mu = 1,4 \frac{1}{s}$, wenn sich zur Zeit $t = 0$ vier Kunden im Wartesystem befinden

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

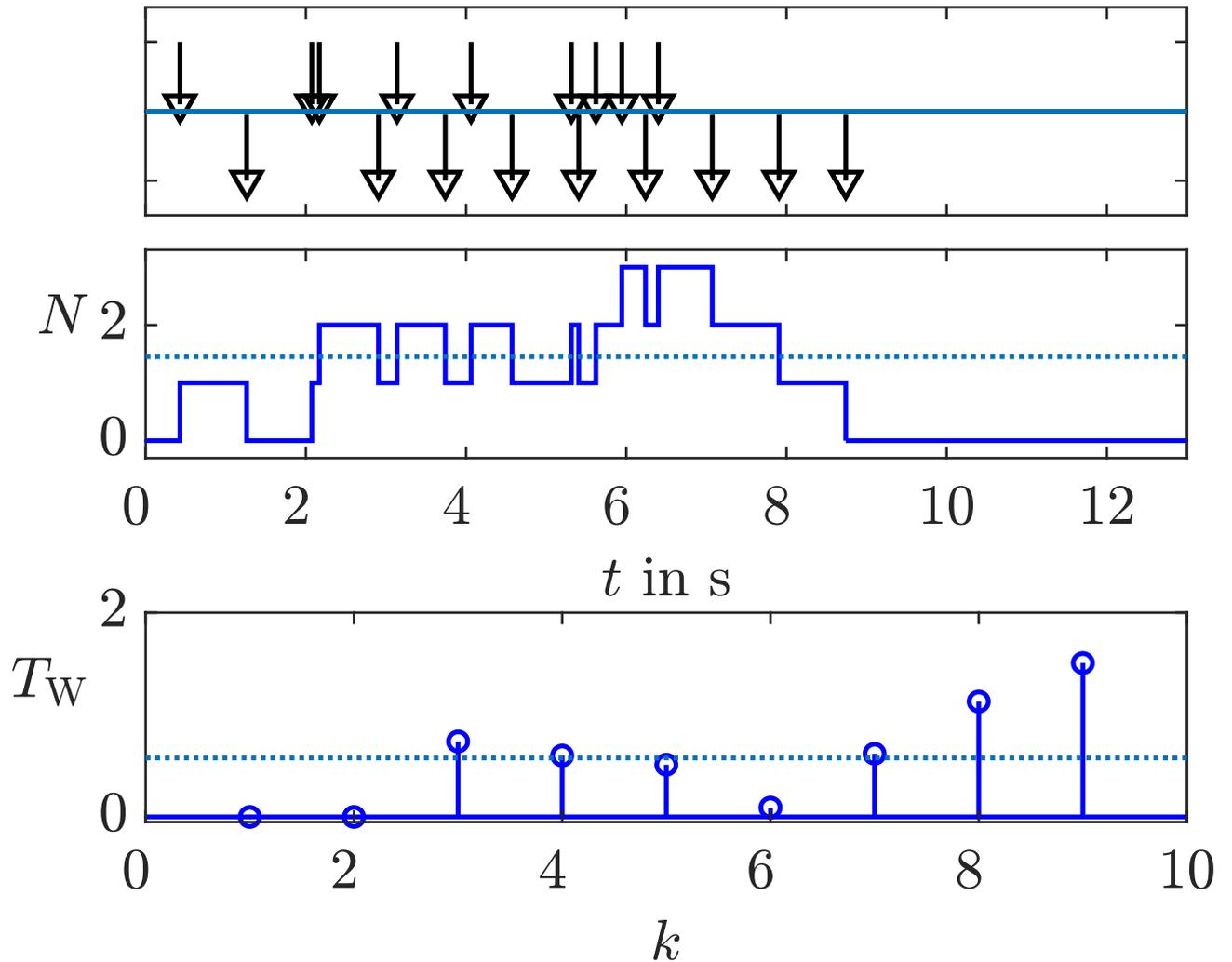


Abb. 9.48: Wartesystem mit stochastischen Ankunftszeiten ($\lambda = 1 \frac{1}{s}$, $\mu = 1,2 \frac{1}{s}$)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

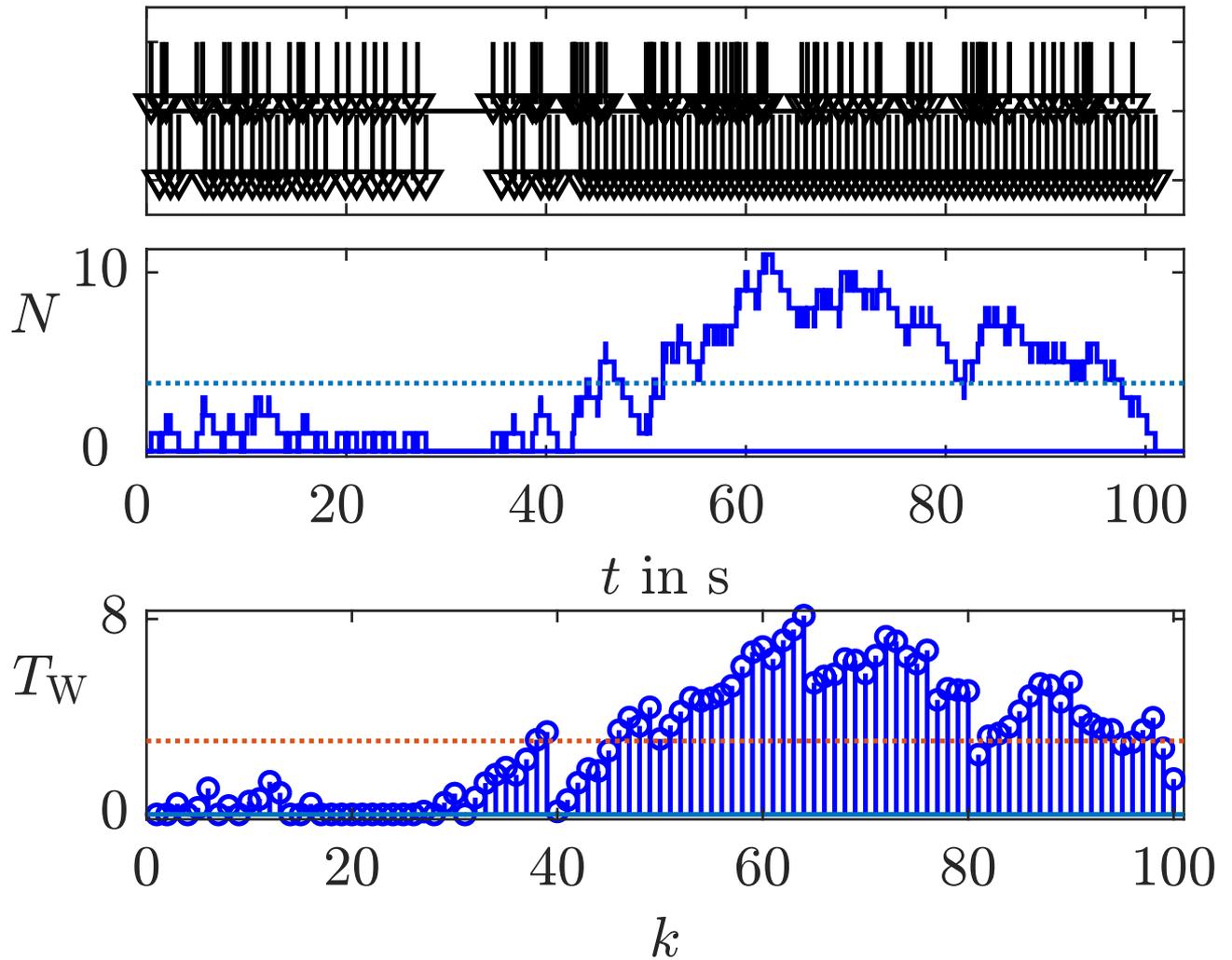


Abb. 9.49: Verhalten des Wartesystems bei 100 Kunden ($\lambda = 1 \frac{1}{s}$, $\mu = 1,2 \frac{1}{s}$)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

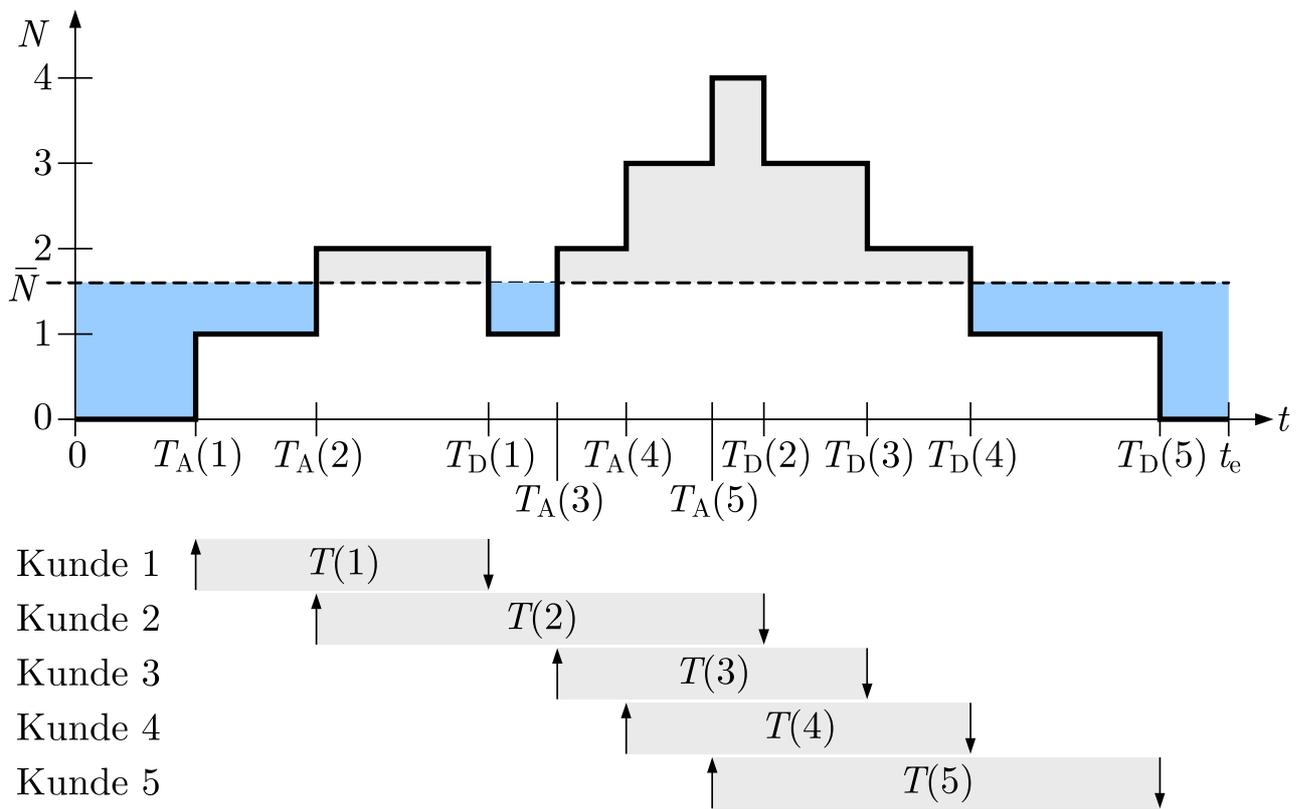


Abb. 9.50: Veranschaulichung des Gesetzes von Little

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

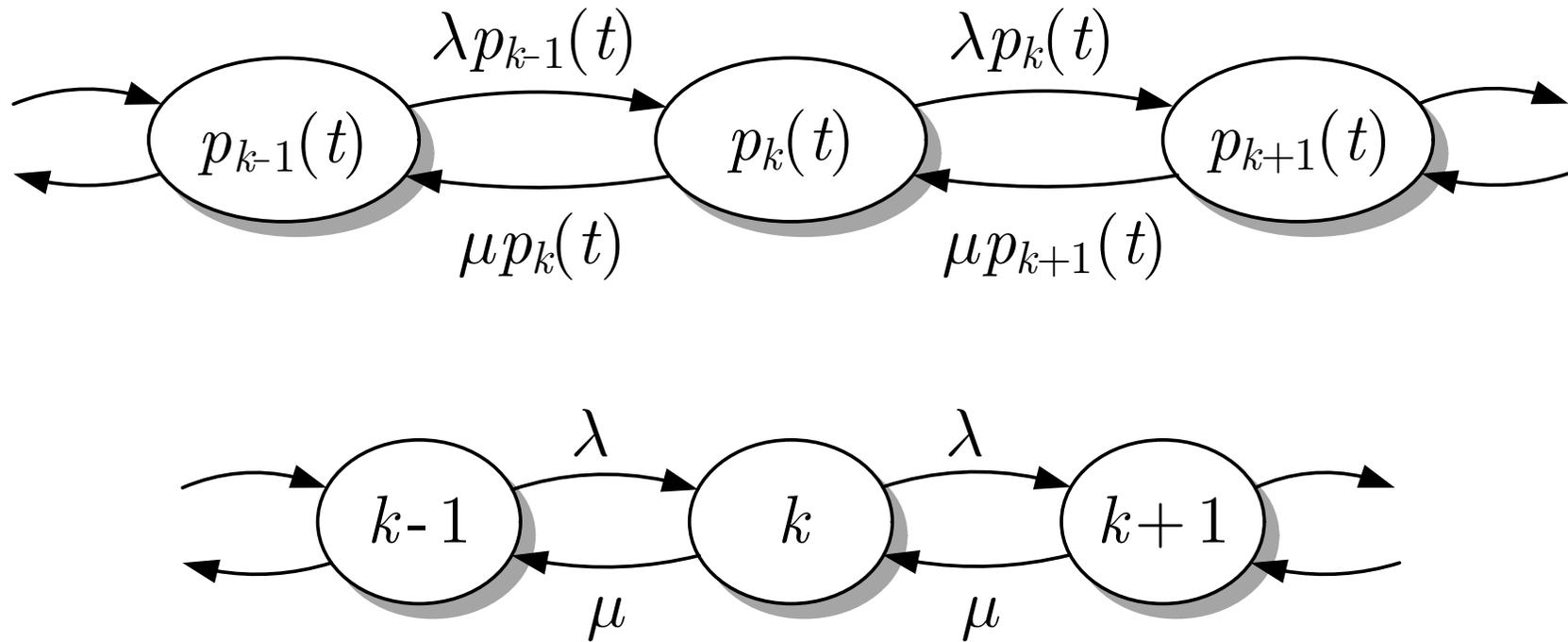


Abb. 9.51. Darstellung des Wartesystems als Kopplung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

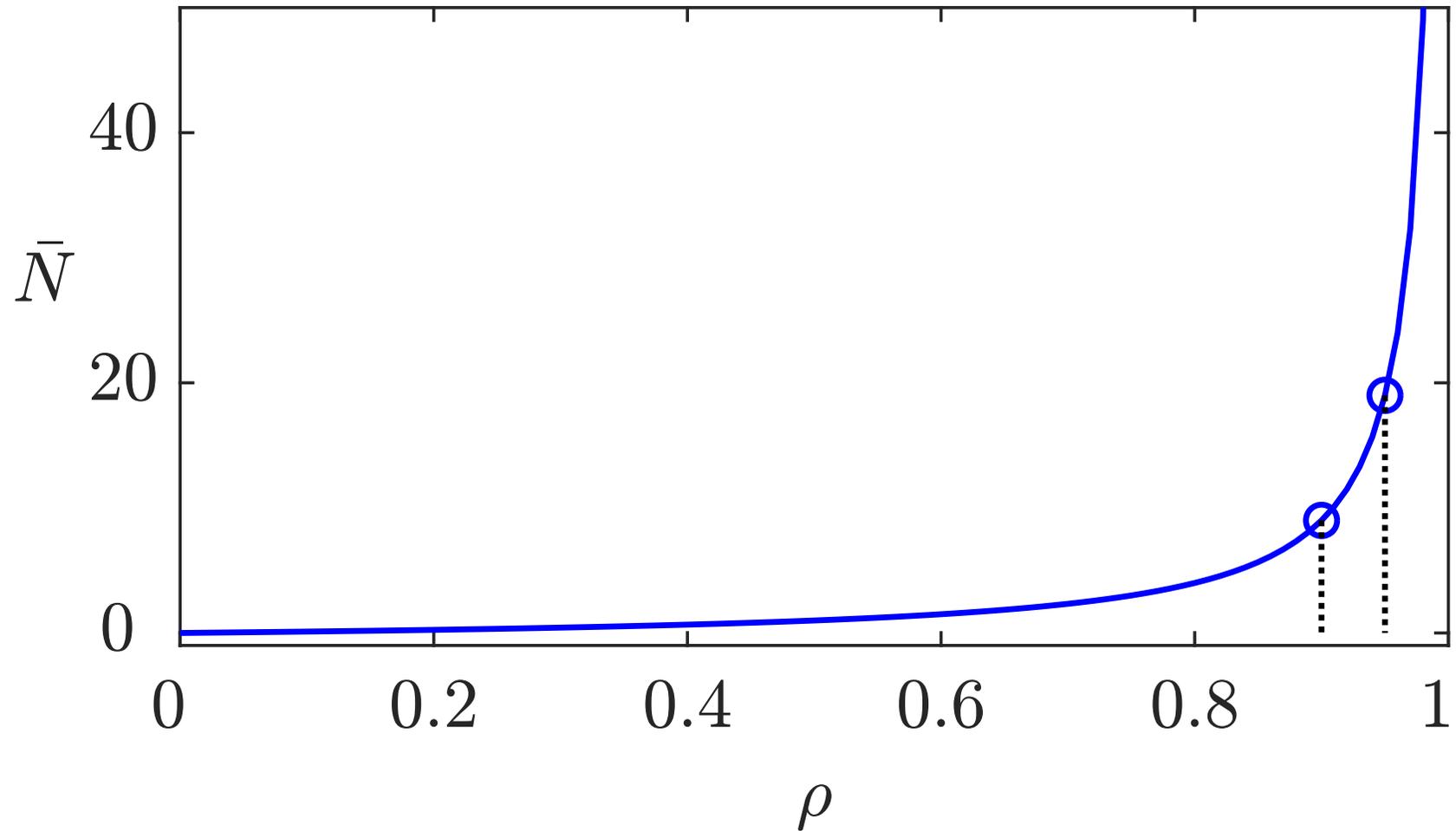


Abb. 9.52. Mittlere Anzahl von Kunden in Abhängigkeit von der Verkehrsrate

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

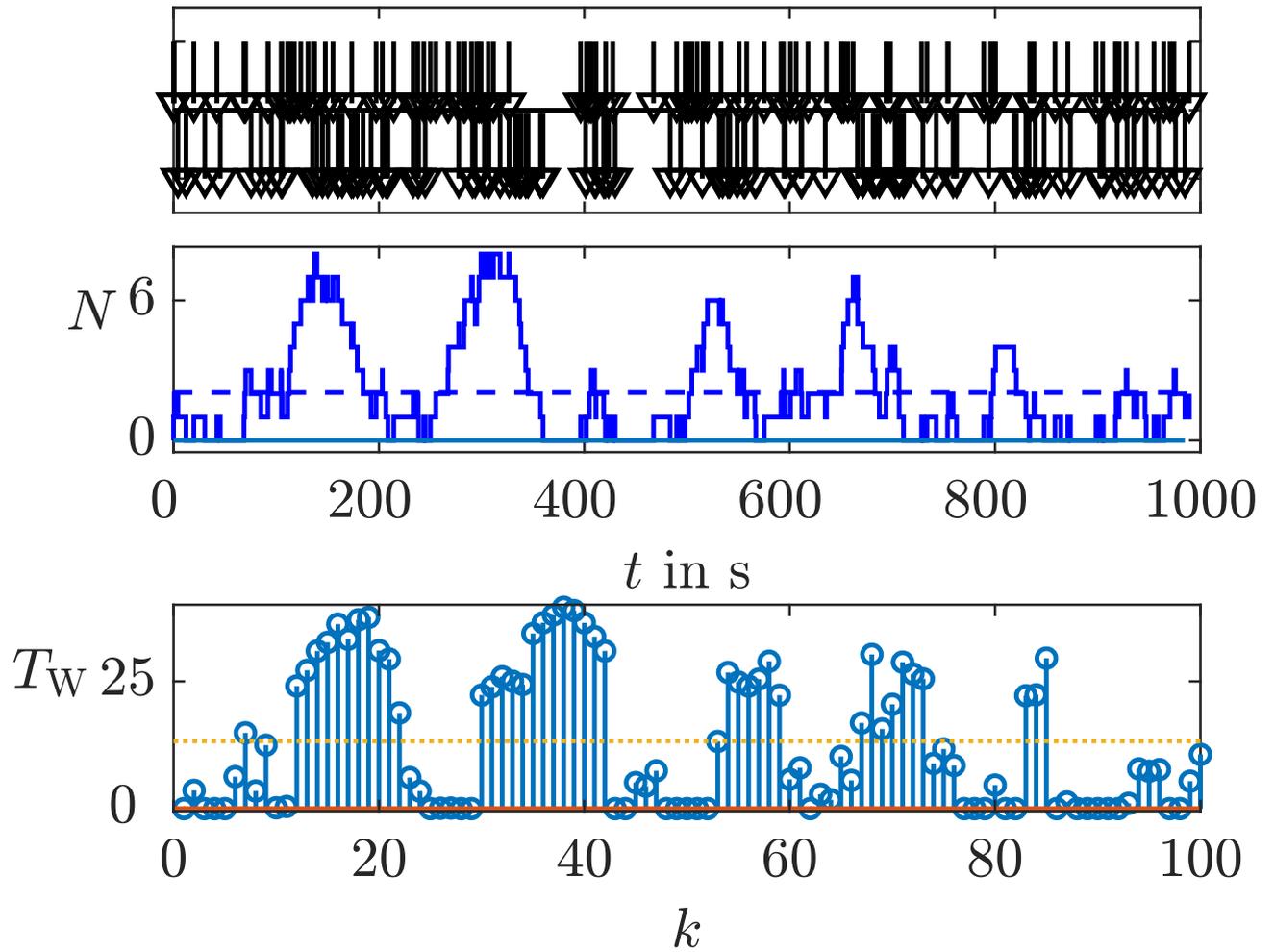


Abb. 9.53: Verhalten der Mautstation

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

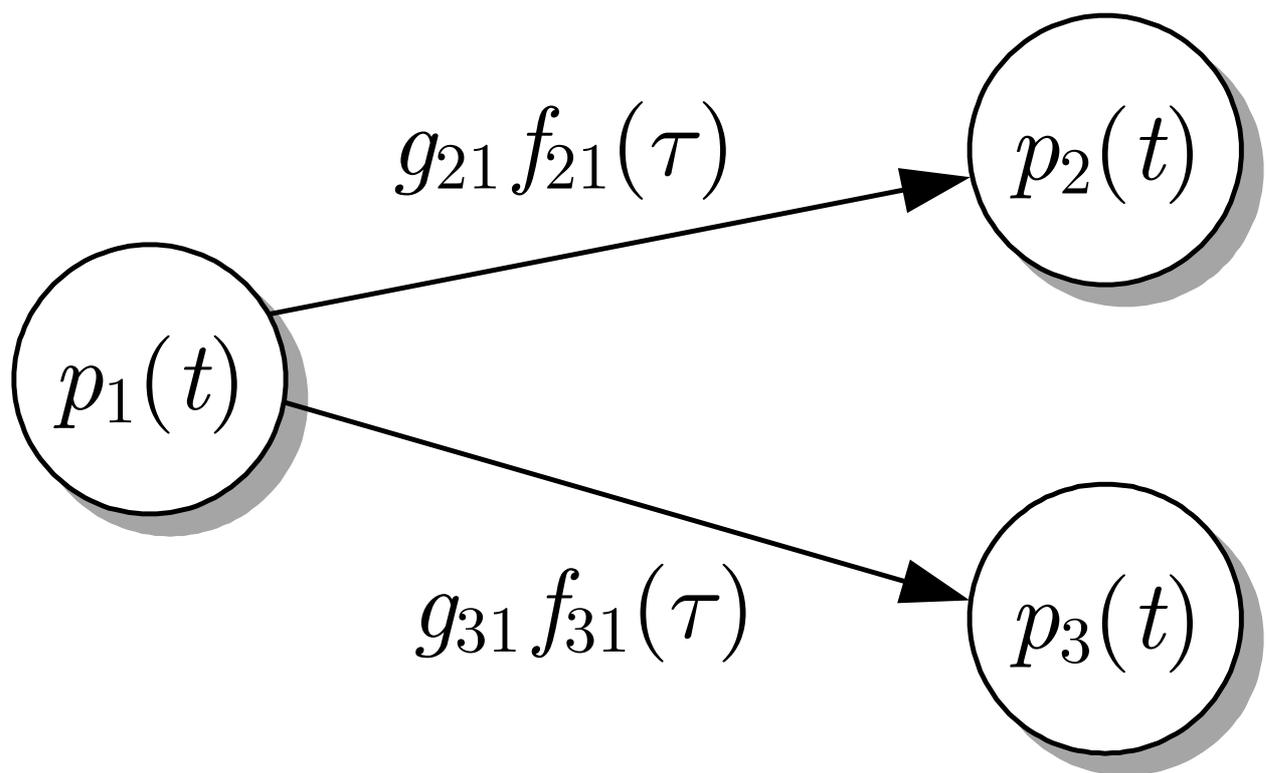


Abb. 10.1: Grundprinzip der Modellierung nichtdeterministischer Zustandsübergänge

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

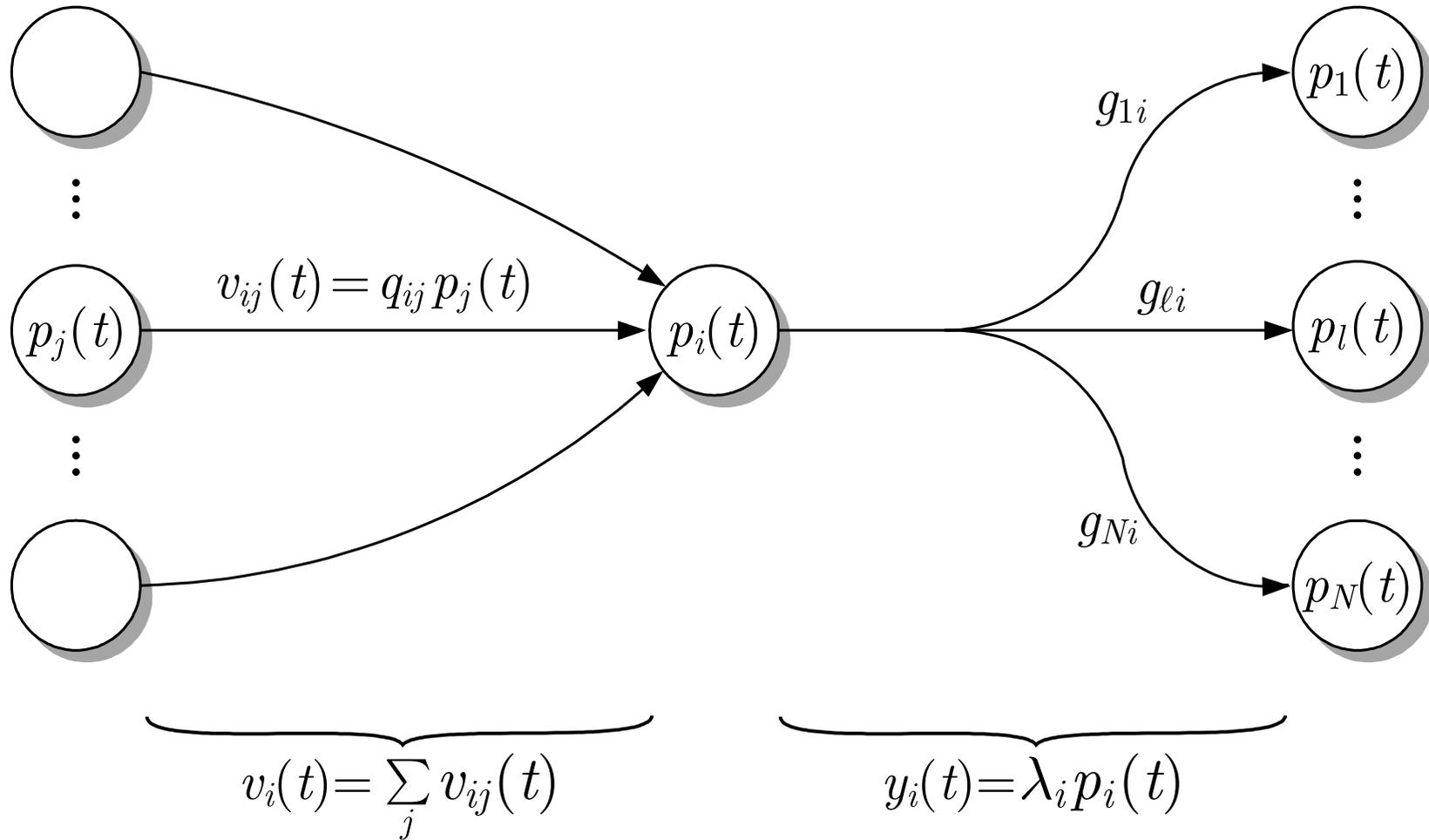


Abb. 10.2. Veranschaulichung der Grundgleichung kontinuierlicher Markovketten

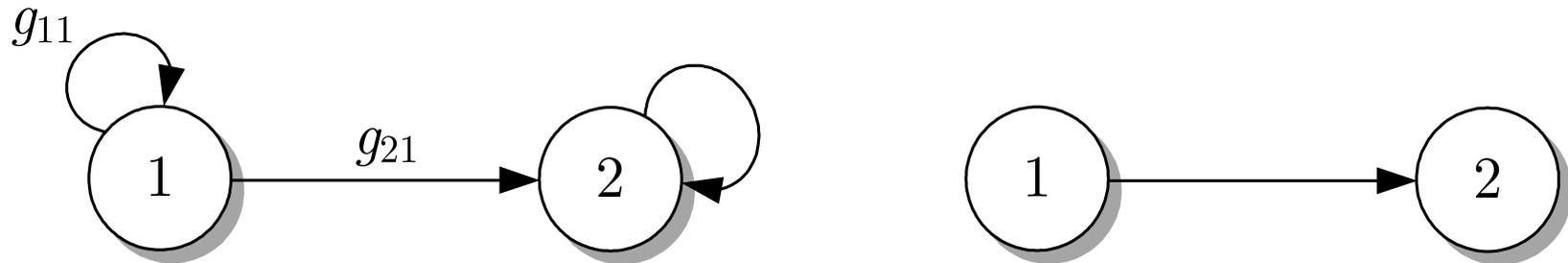


Abb. 10.3. Vergleich der Automatengraphen einer diskreten Markovkette (links) und einer kontinuierlichen Markovkette (rechts)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

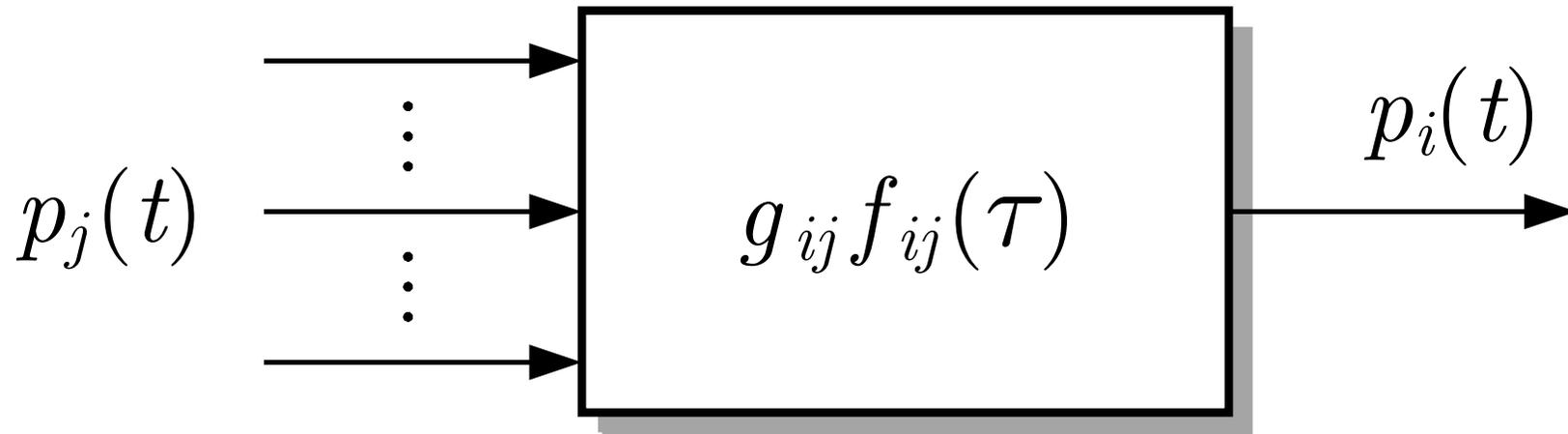


Abb. 10.4. Faltungsdarstellung von Markovprozessen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

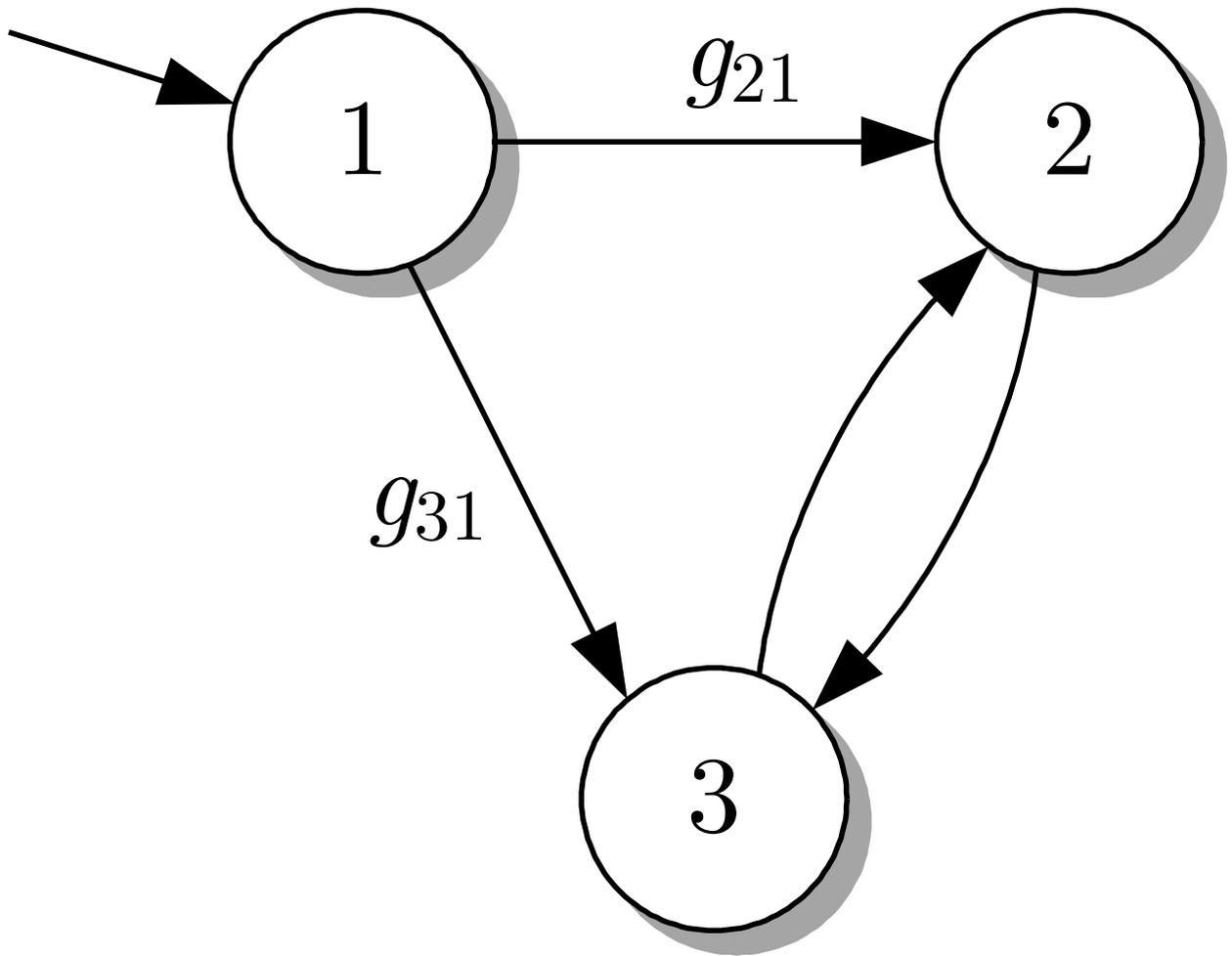


Abb. 10.5: Kontinuierliche Markovkette mit drei Zuständen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

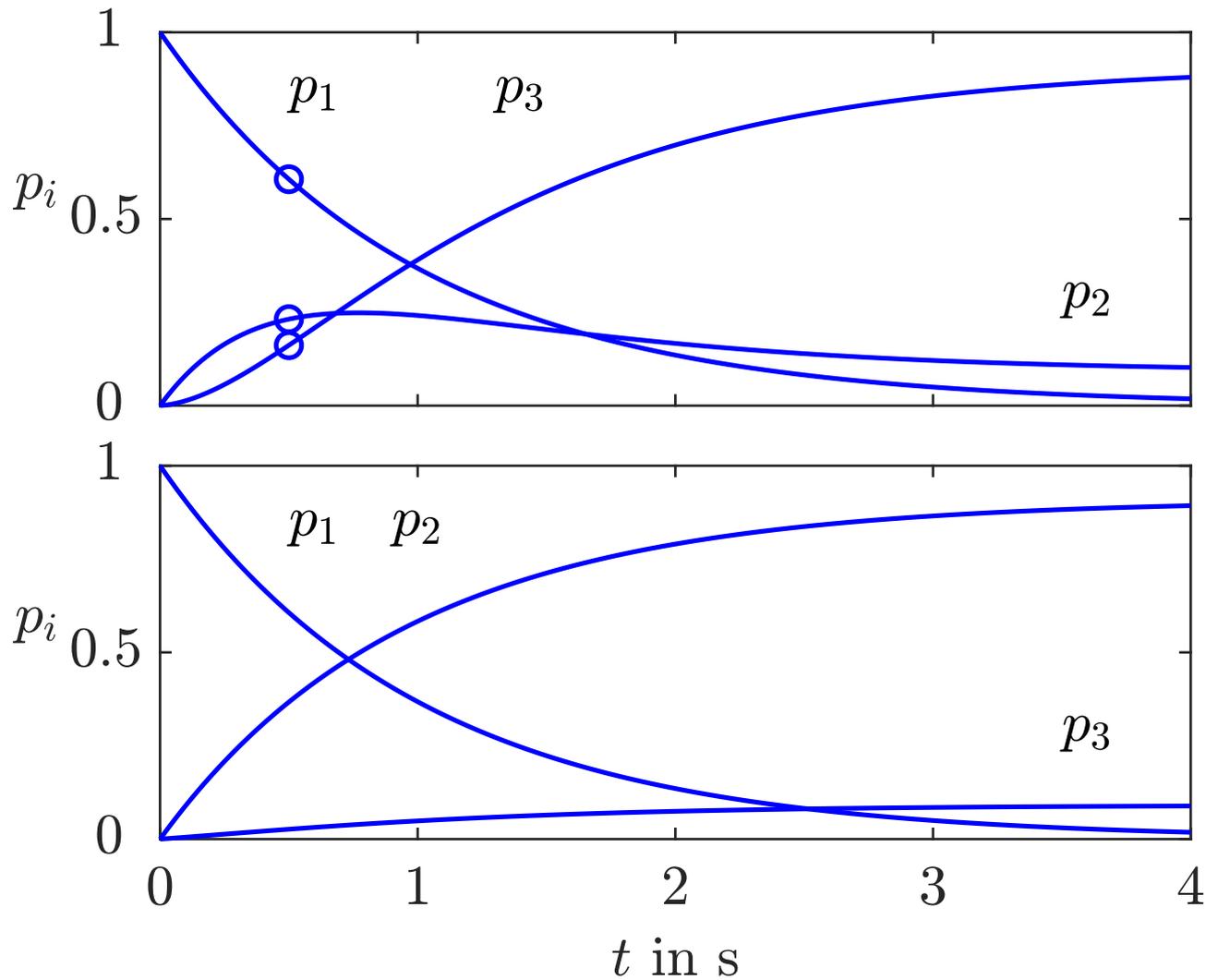


Abb. 10.6: Verhalten einer kontinuierlichen Markovkette mit den Parametern aus Gl. (10.18) (oben) und Gl. (10.19) (unten)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

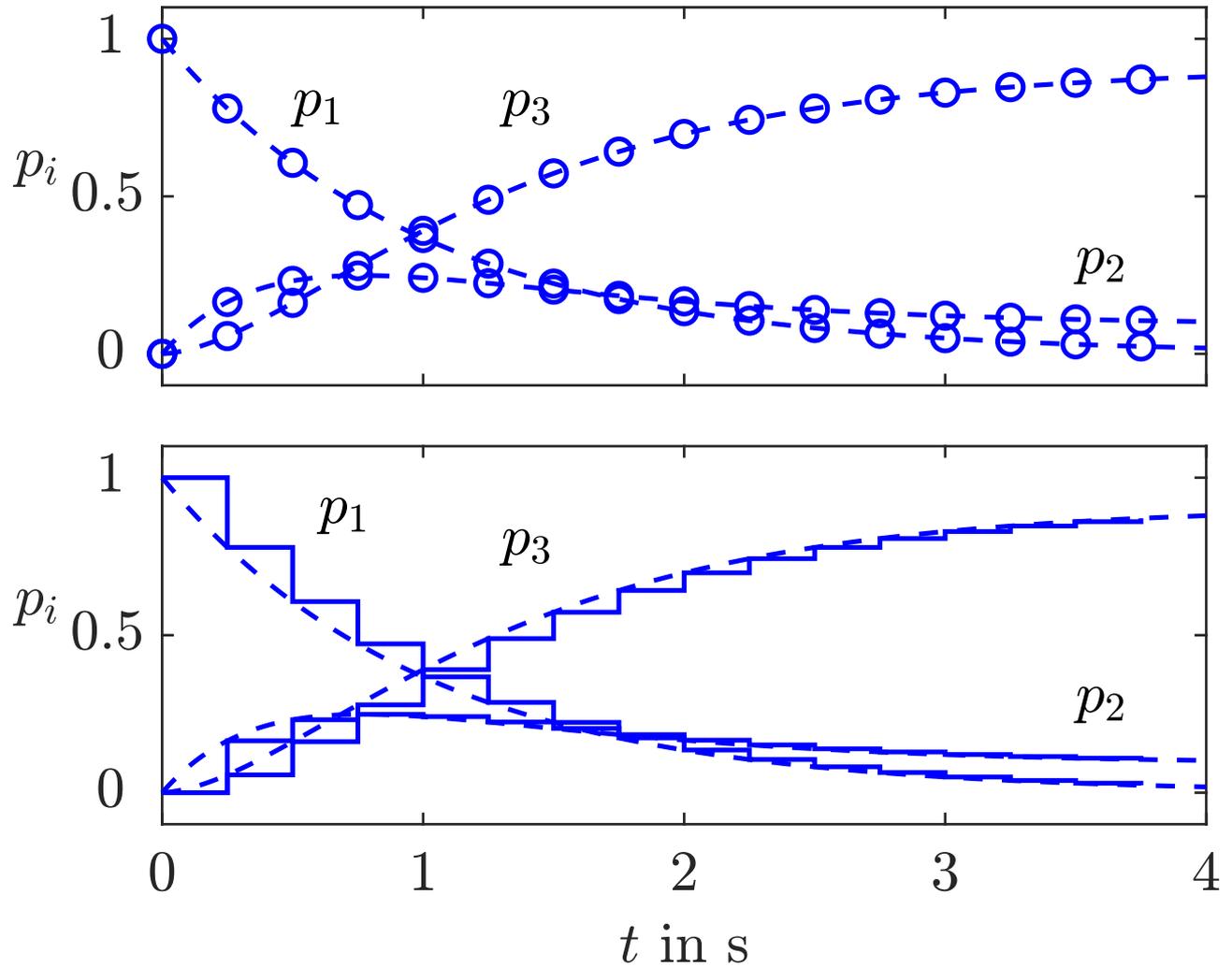


Abb. 10.7: Diskrete Darstellung einer kontinuierlichen Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

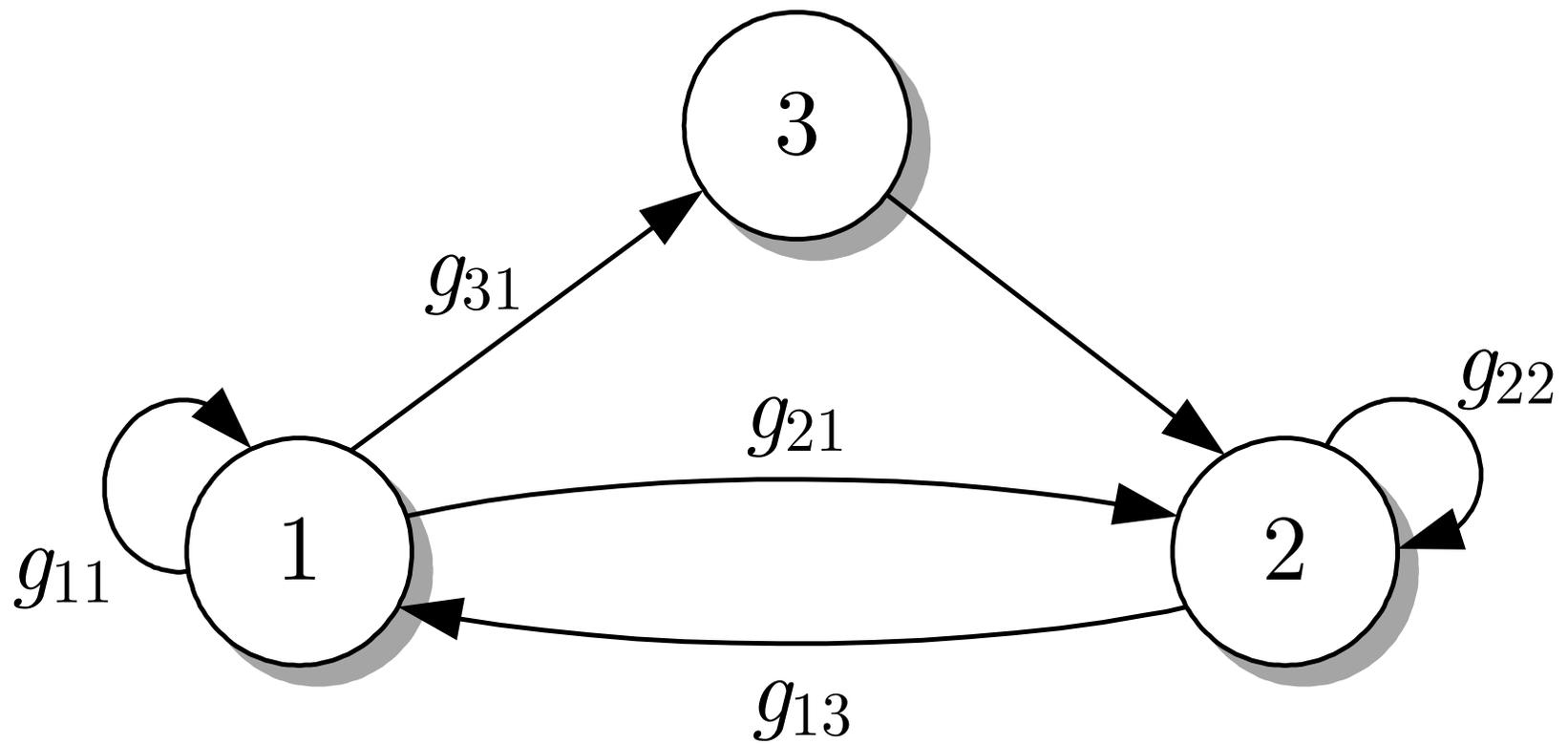


Abb. 10.8. Graph einer diskreten Markovkette

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

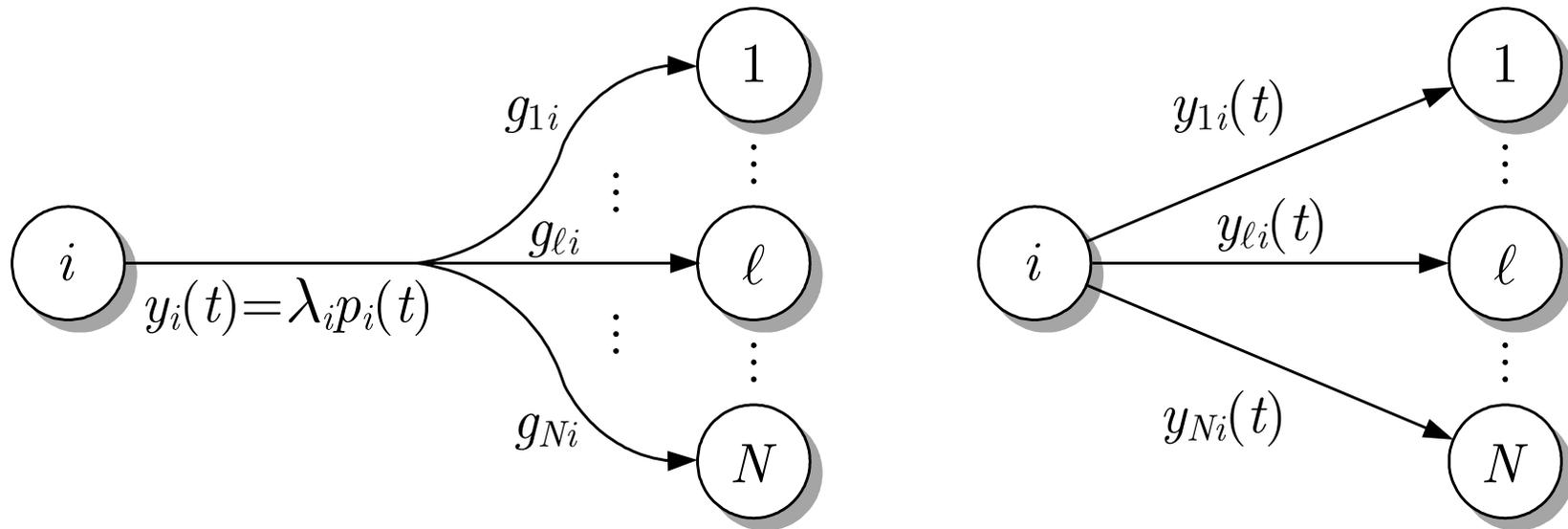


Abb. 10.9. Vergleich von kontinuierlicher Markovkette und Semi-Markovprozess

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

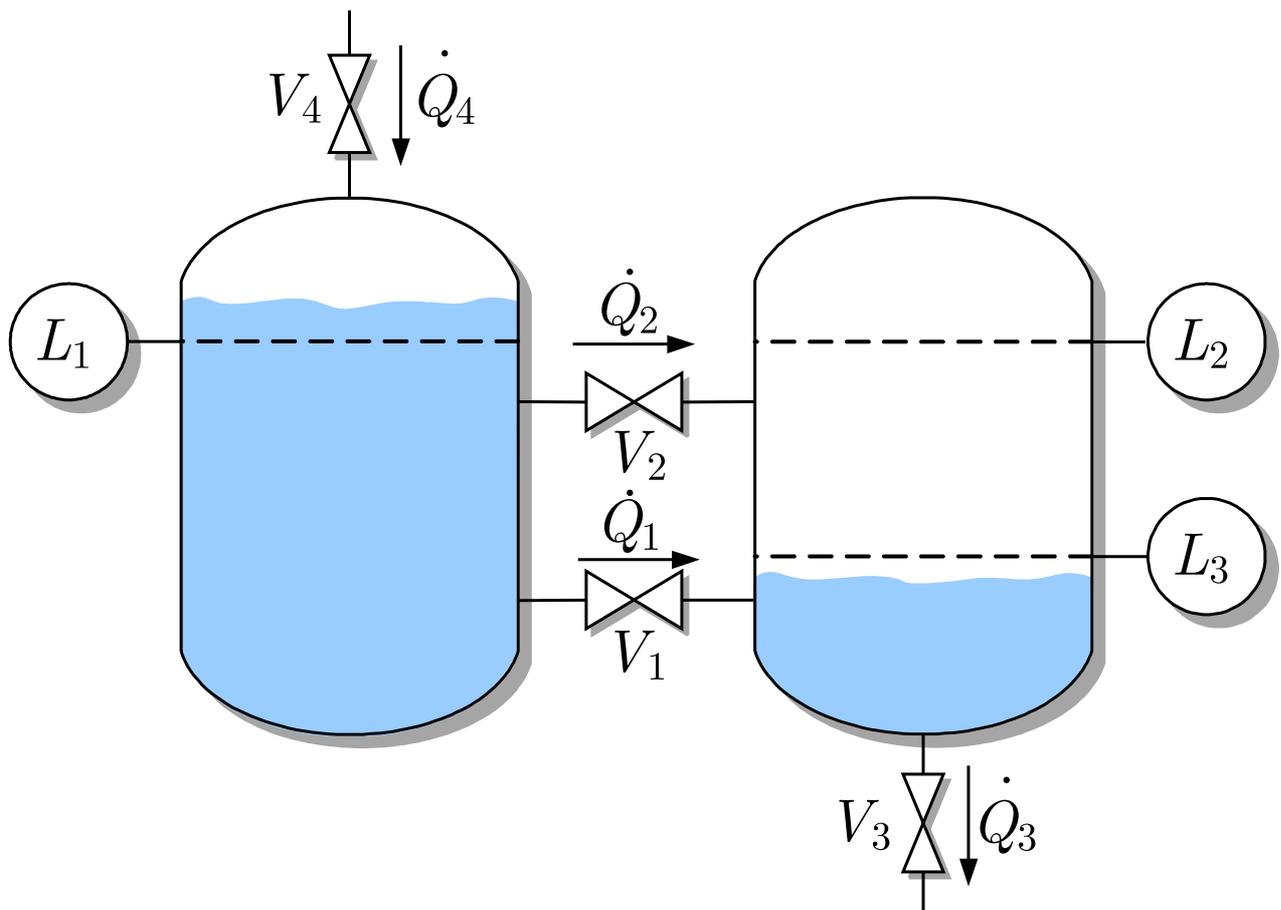


Abb. 10.10: Ausschnitt aus einem Batchprozess

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

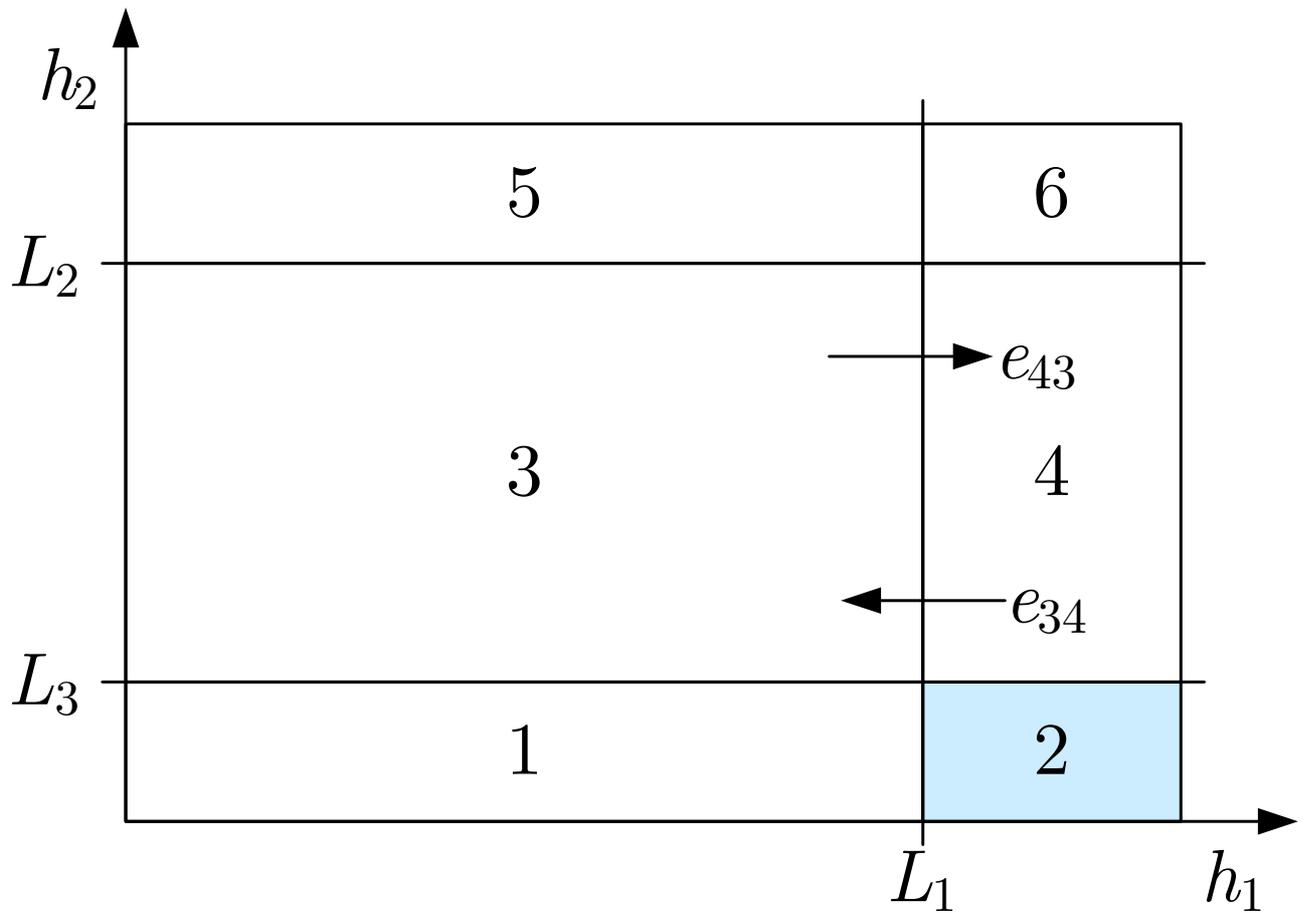


Abb. 10.11: Partitionierter h_1/h_2 -Signalraum

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

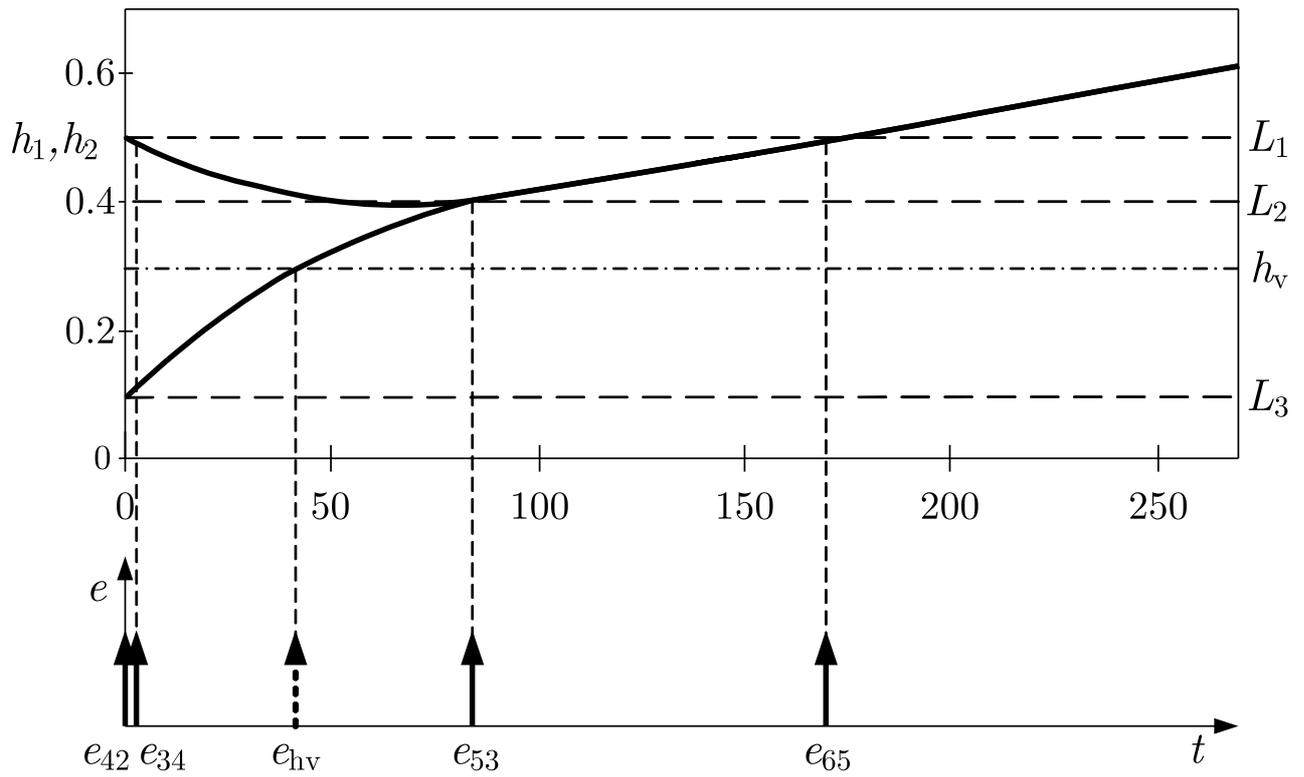


Abb. 10.12: Kontinuierliche und ereignisdiskrete Trajektorie des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

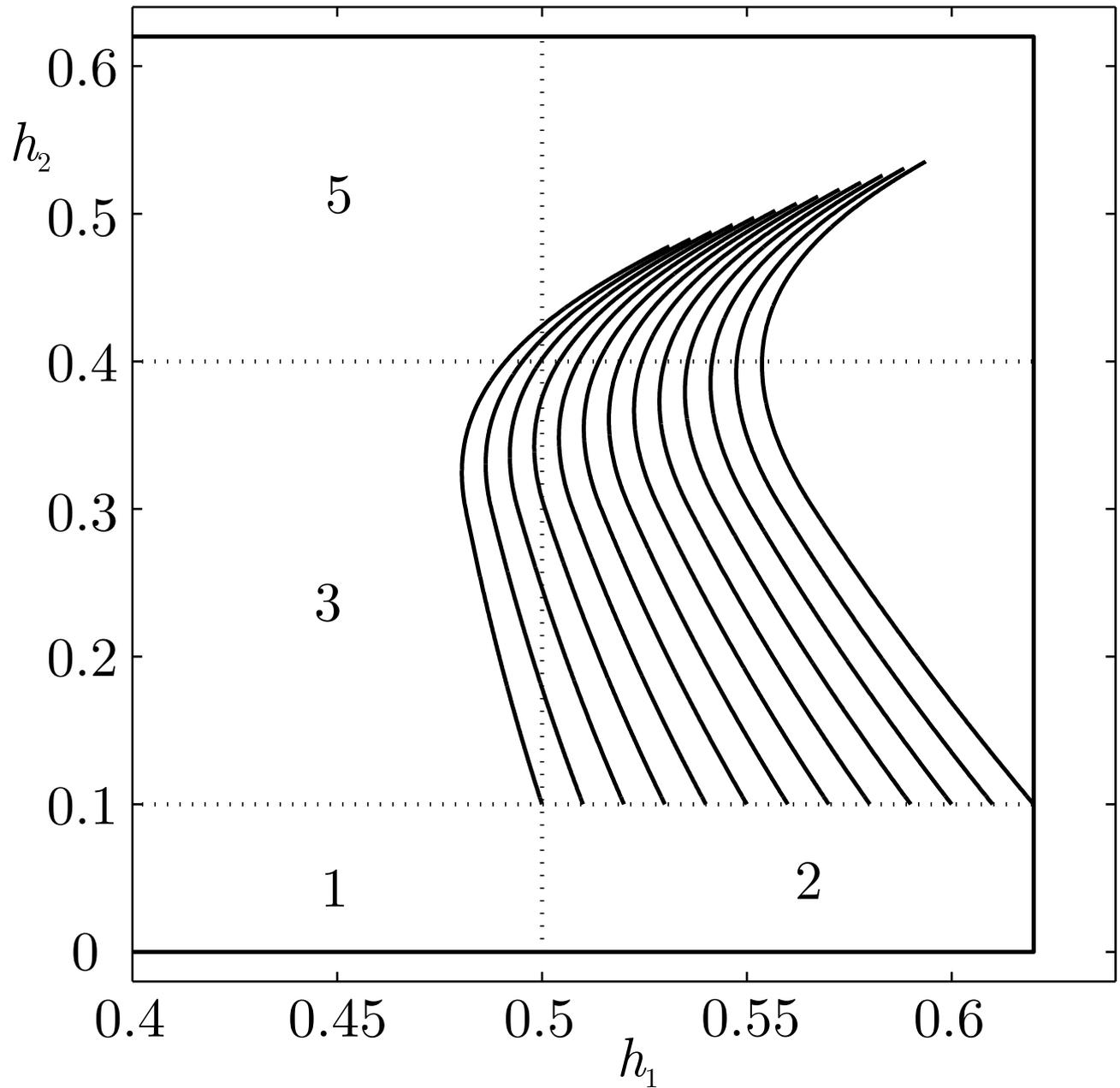


Abb. 10.13: Trajektorienbündel nach dem Ereignis e_{42}

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

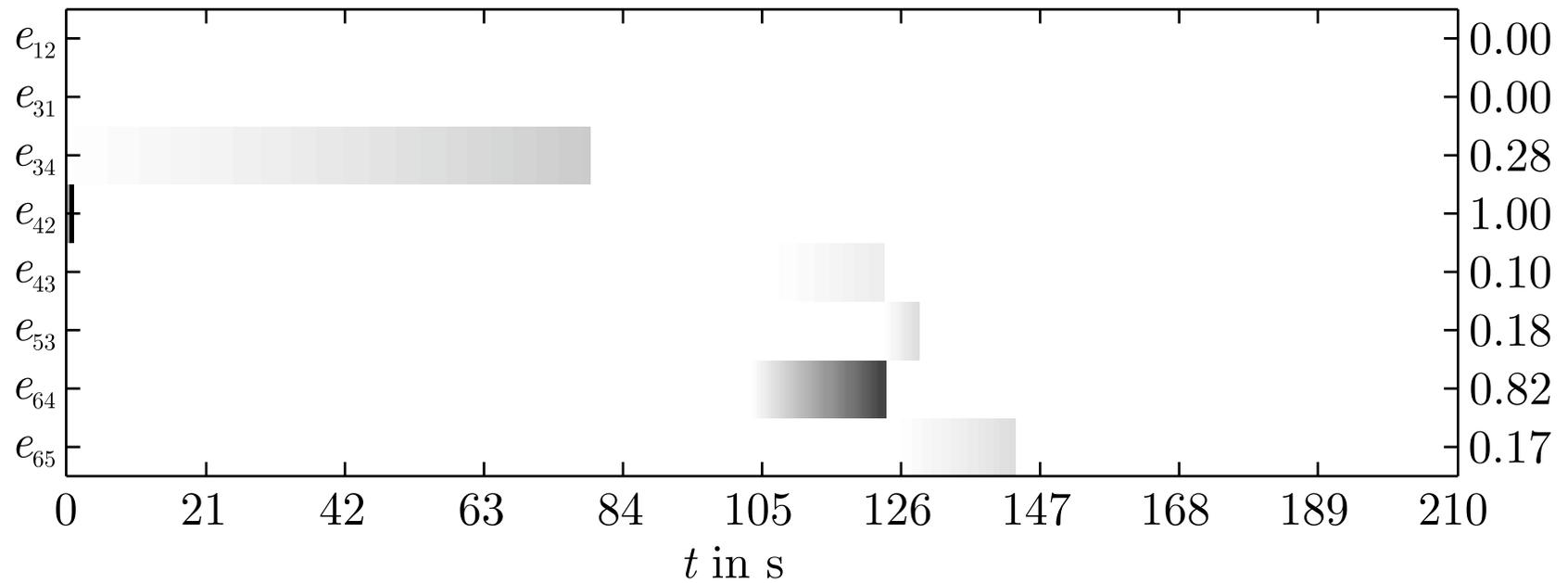


Abb. 10.14. Statistische Eigenschaften des Behältersystems nach dem Ereignis e_{42}

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

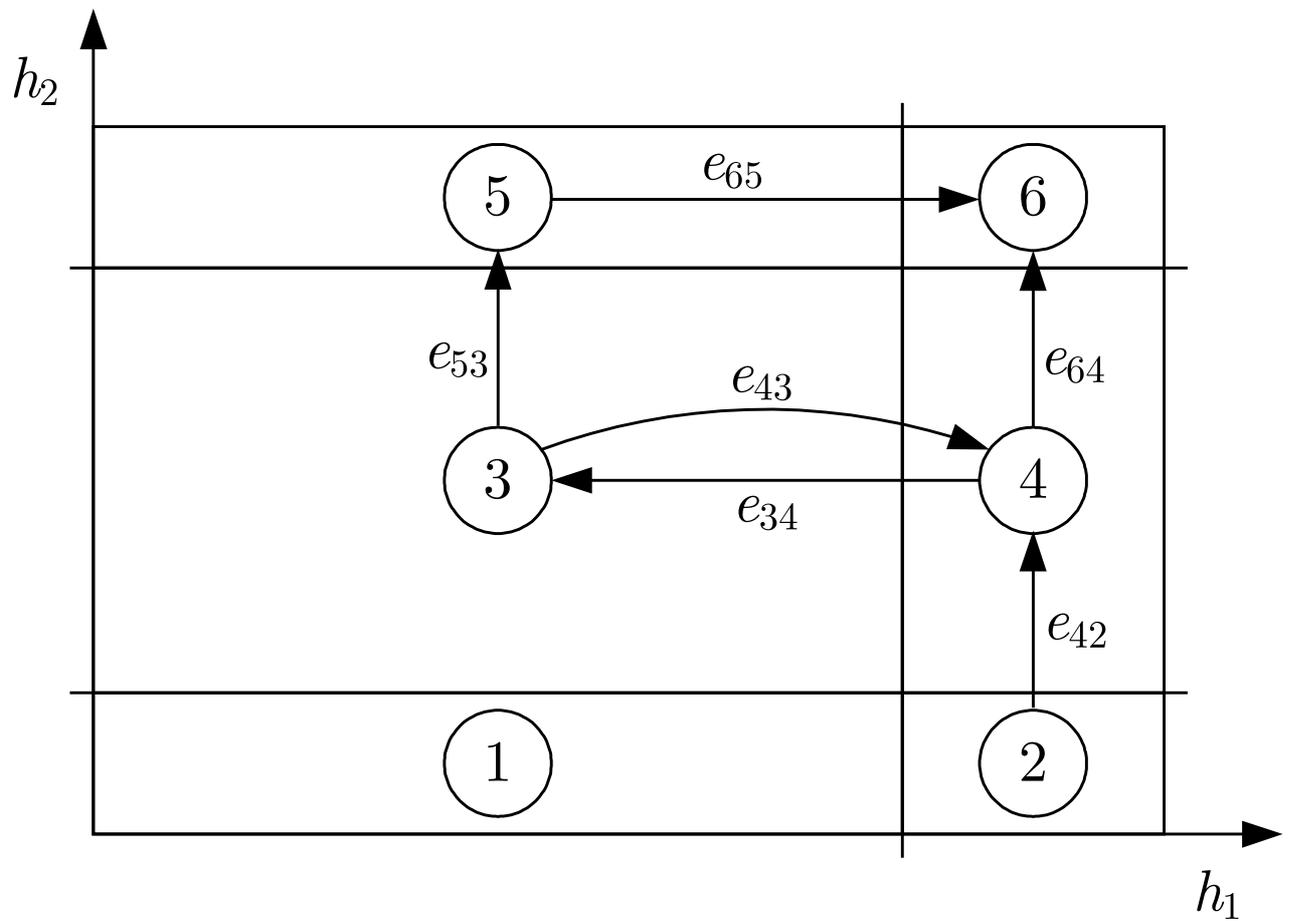


Abb. 10.15: Automatengraph des Semi-Markovprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

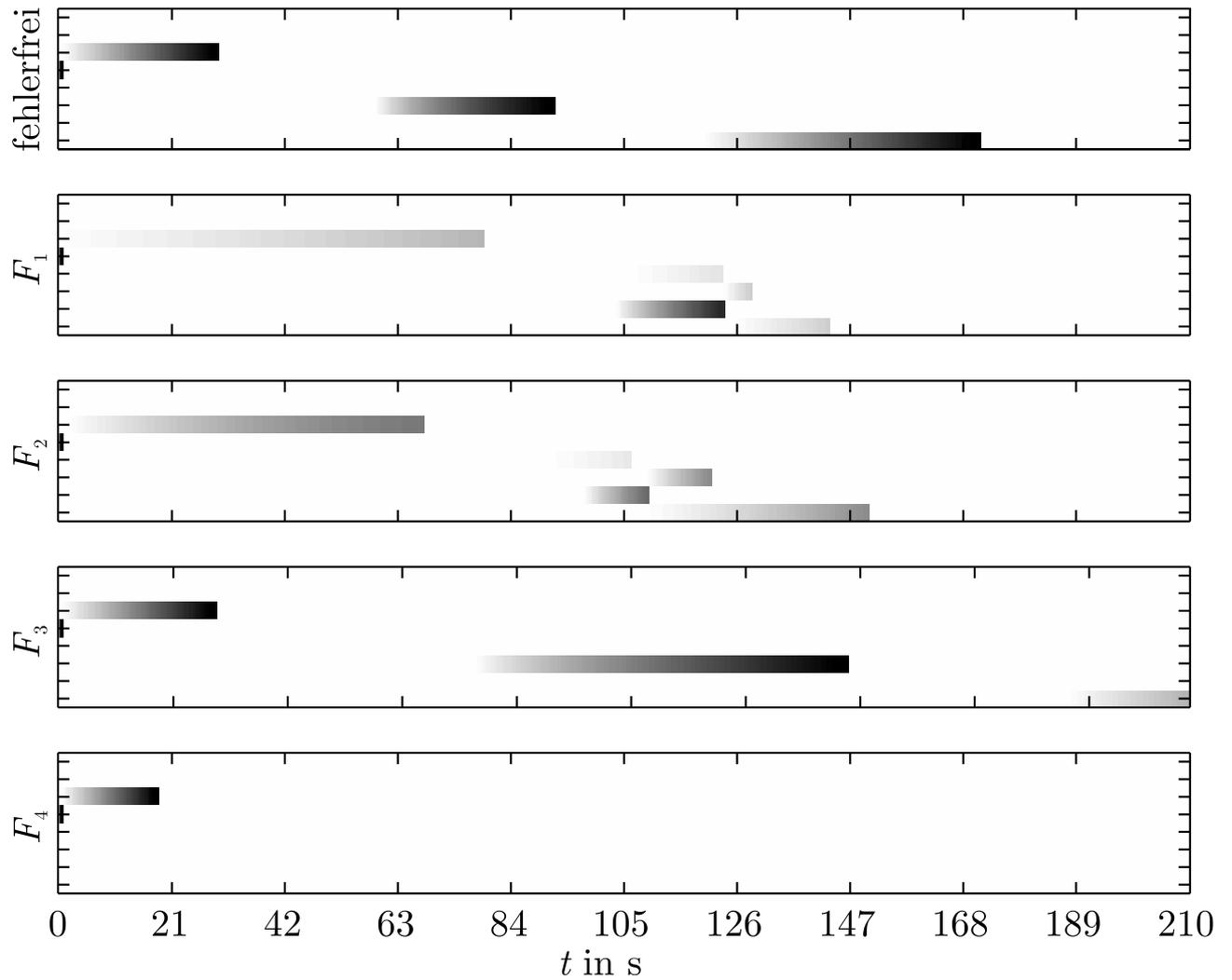


Abb. 10.16: Vergleich des Verhaltens des fehlerfreien und fehlerbehafteten Systems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

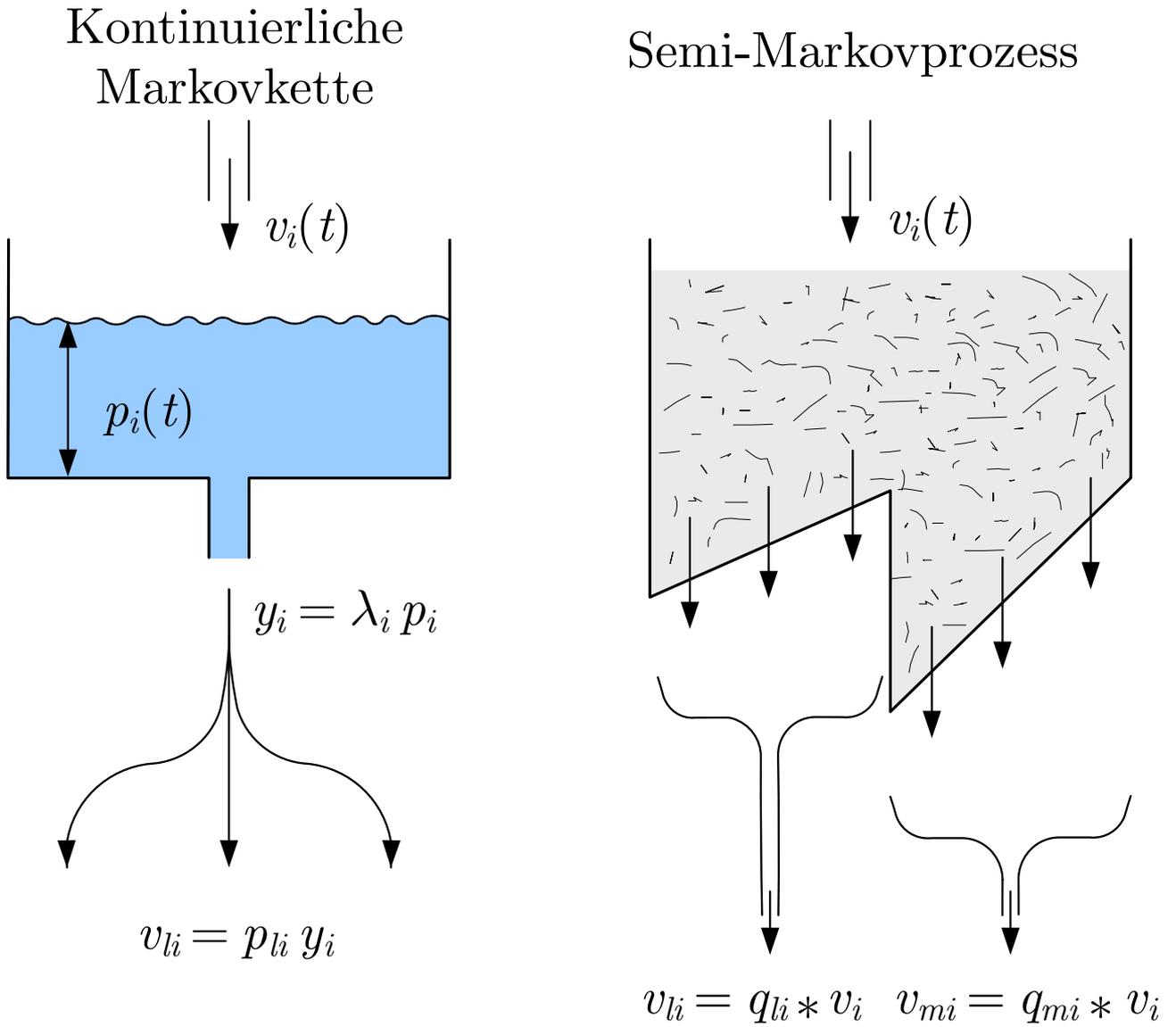


Abb. 10.17: Vergleich von kontinuierlicher Markovkette und Semi-Markovprozess

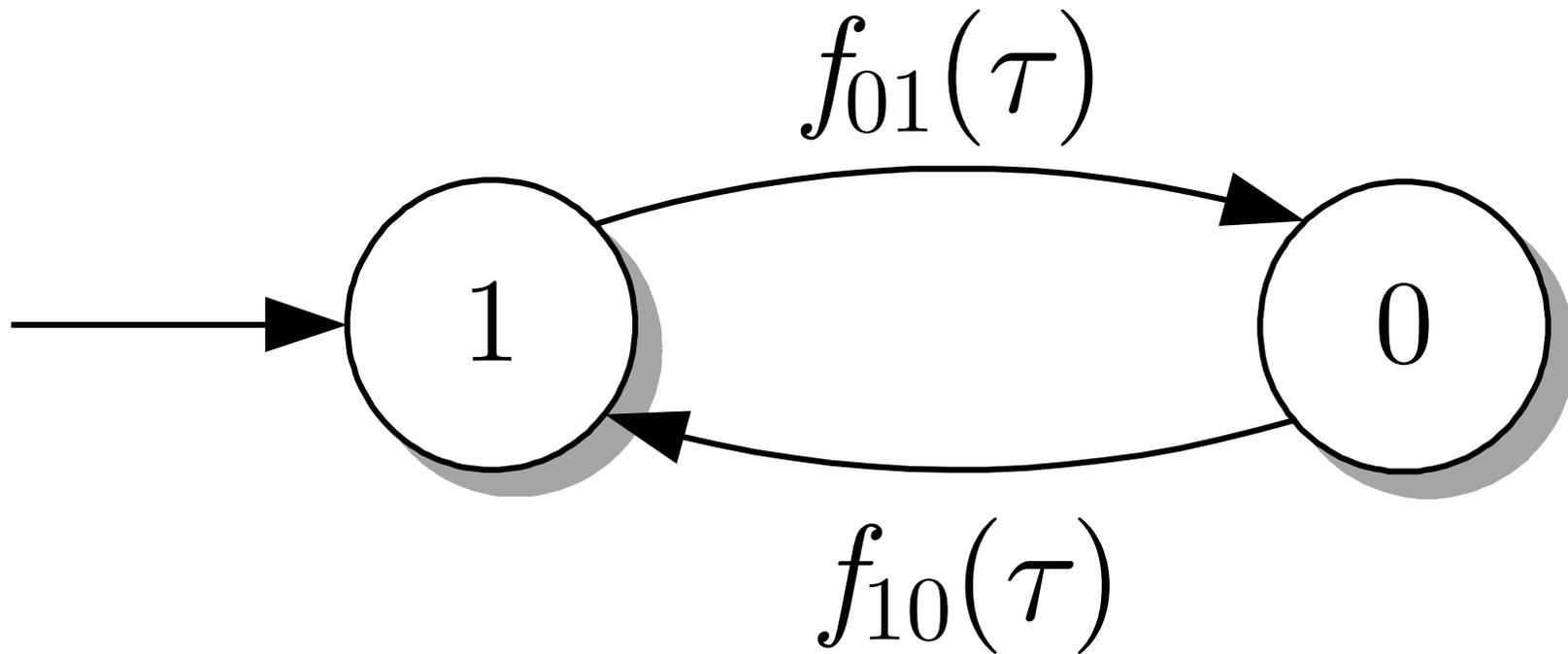
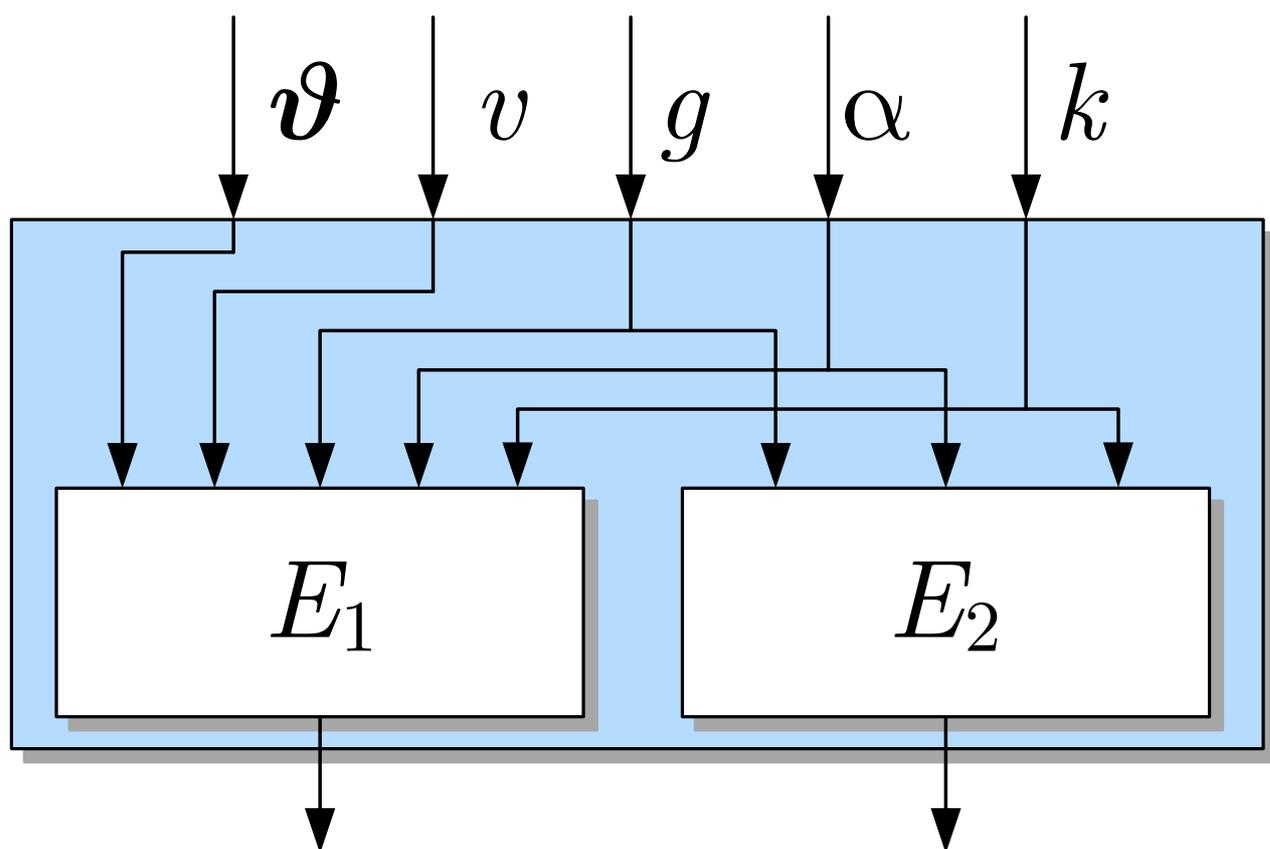
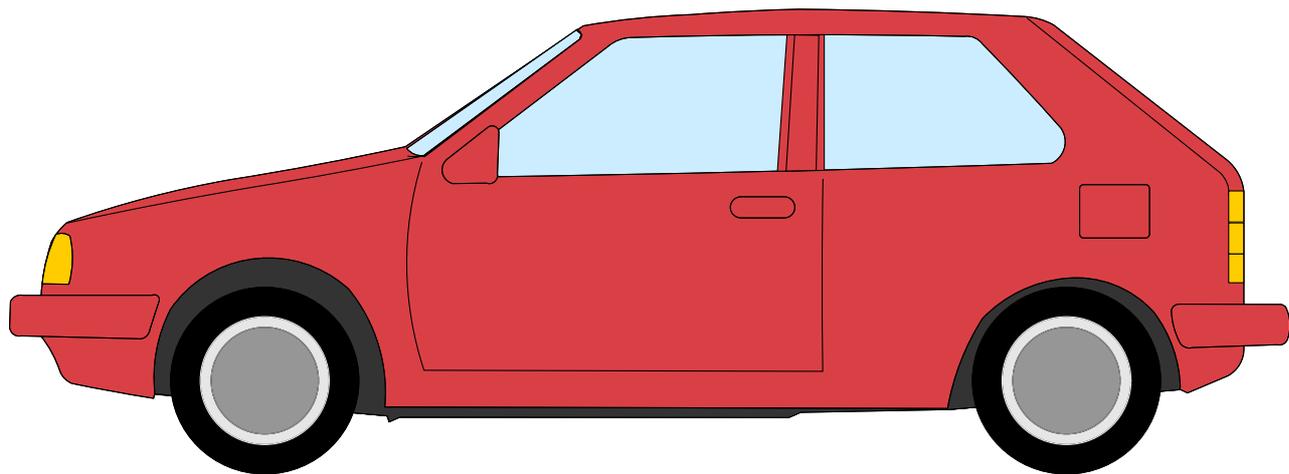


Abb. 10.18. Semi-Markovprozess zur Beschreibung der Zuverlässigkeit

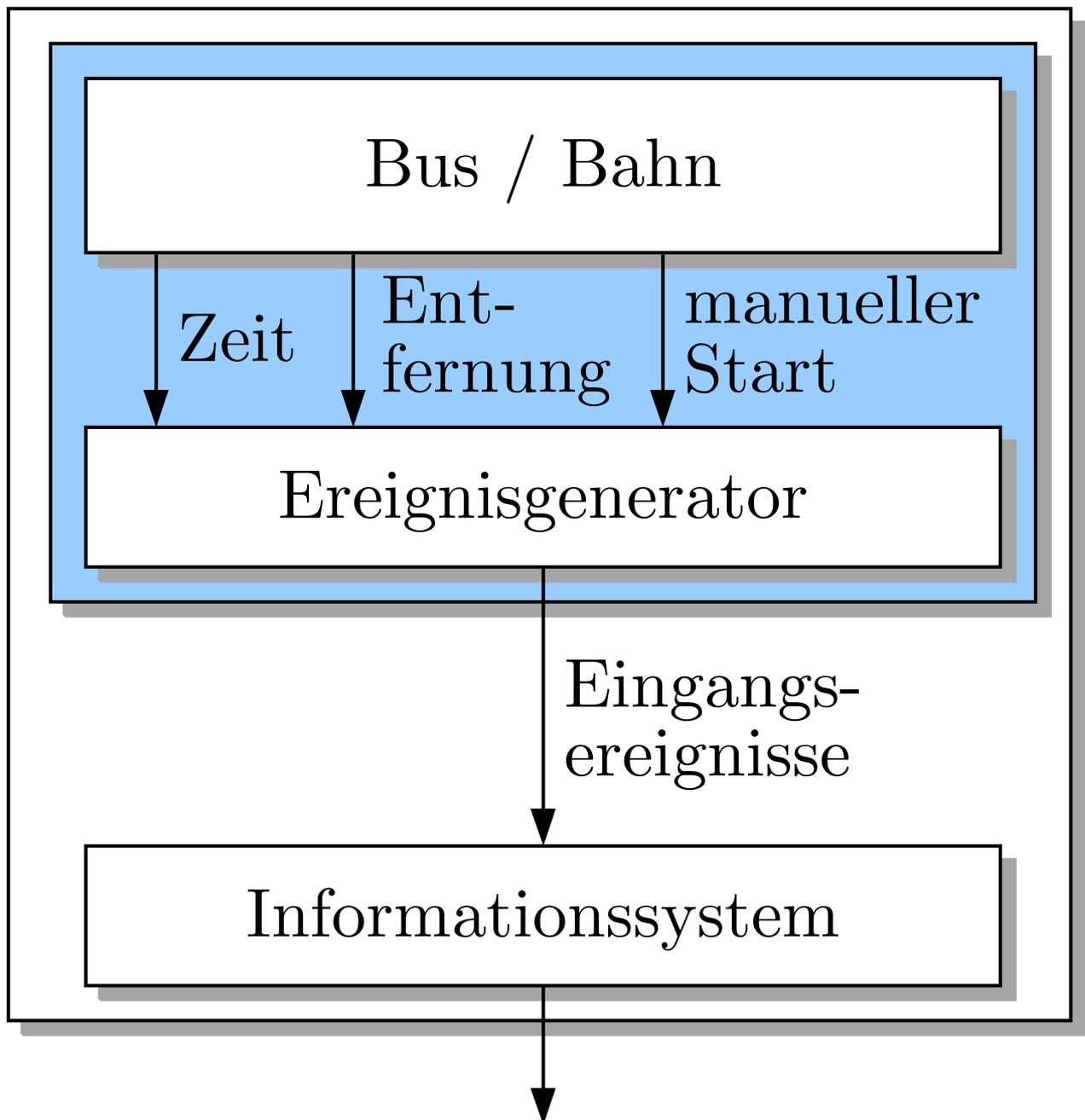
J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Motor aus

Motor an

Abb. A1.1: Struktur der Start-Stopp-Automatik



Ausgangereignis:
Angabe der nächsten Haltestelle

Abb. A1.2: Blockschaltbild eines Fahrgastinformationssystems

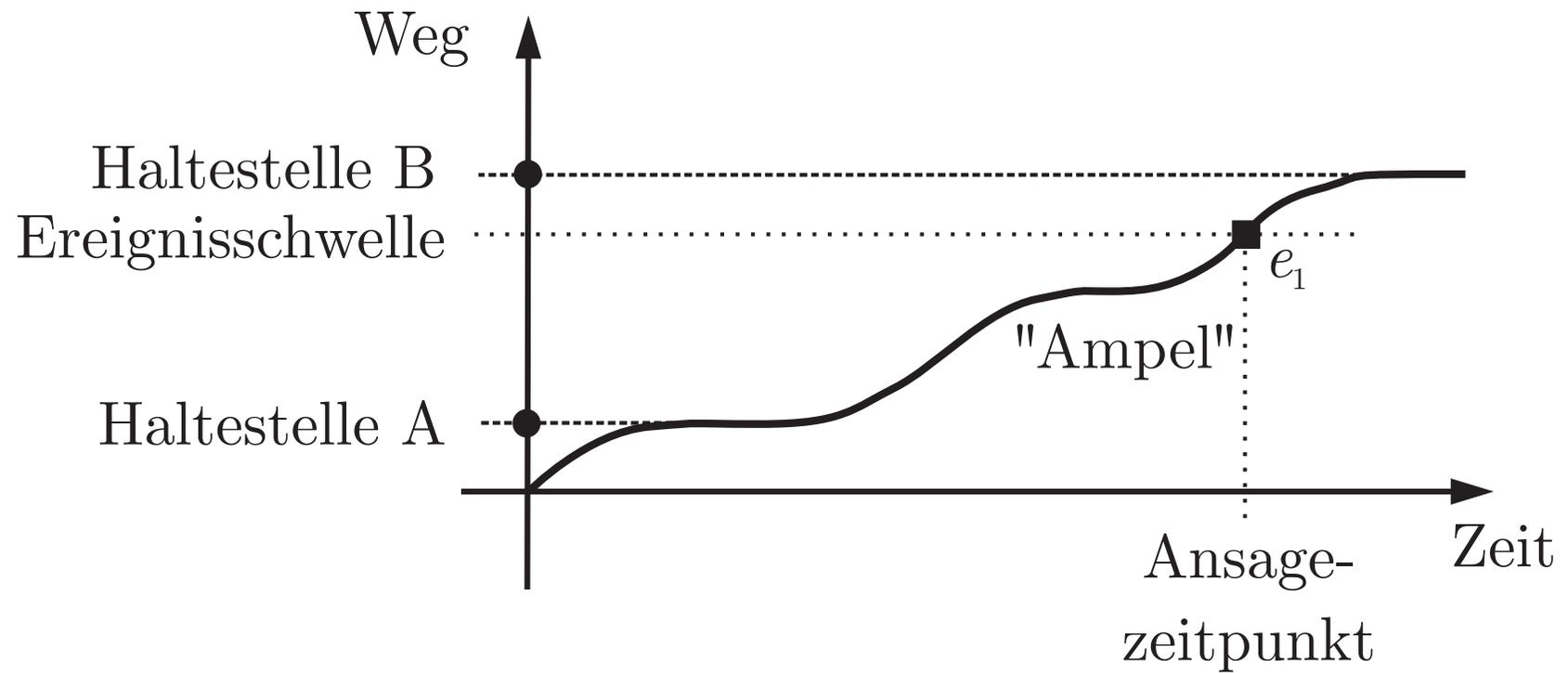
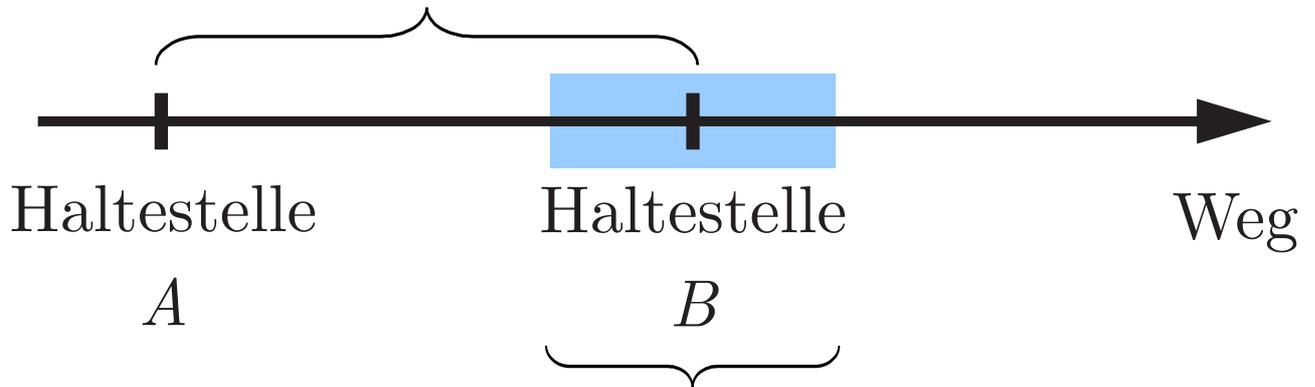


Abb. A1.3. Weg-Zeit-Diagramm einer Straßenbahn

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

Distanz zwischen
 A und B



zulässige
Entfernungsunsicherheit

**Abb. A1.4: Auswertung des Entfernungssignals durch
das Informationssystem**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

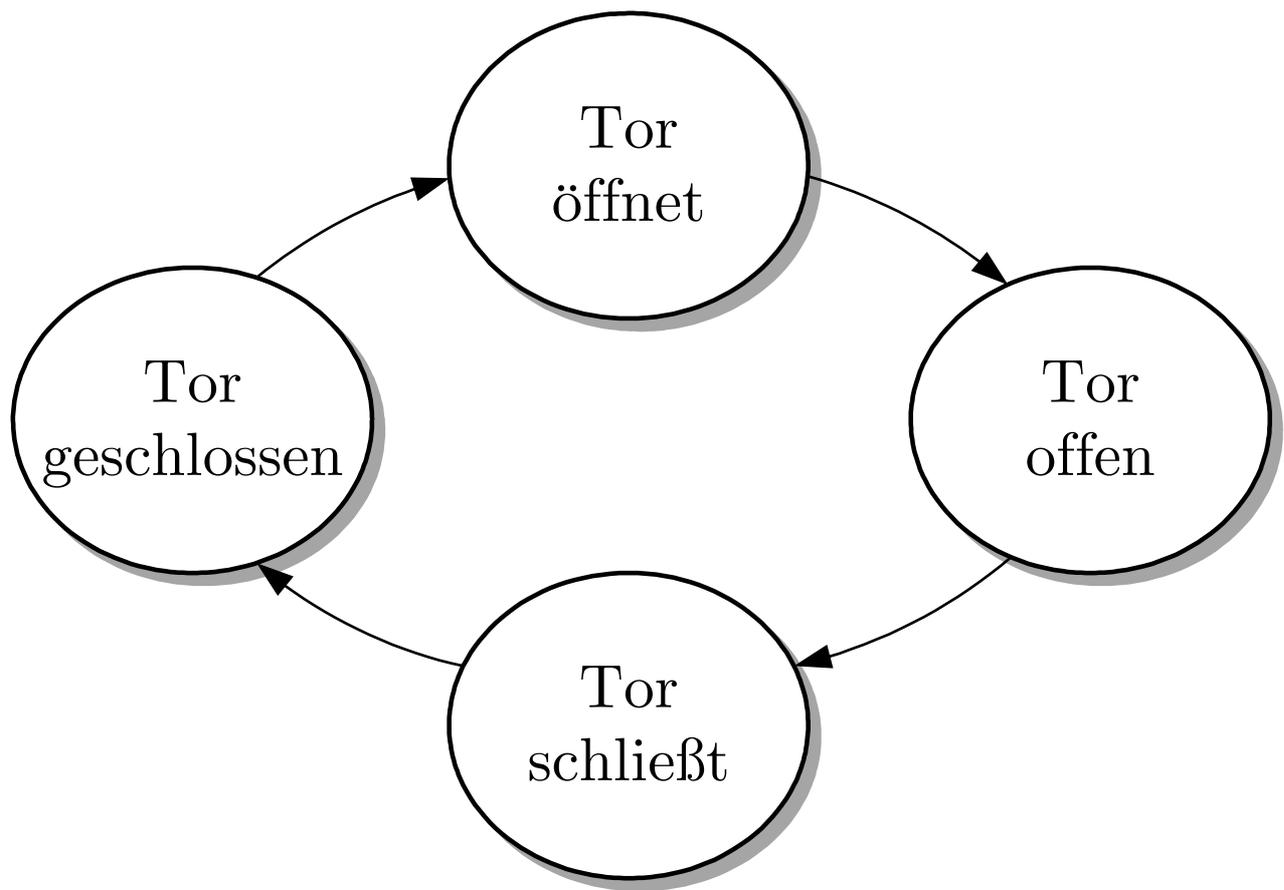


Abb. A1.5: Modell des Garagentors

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

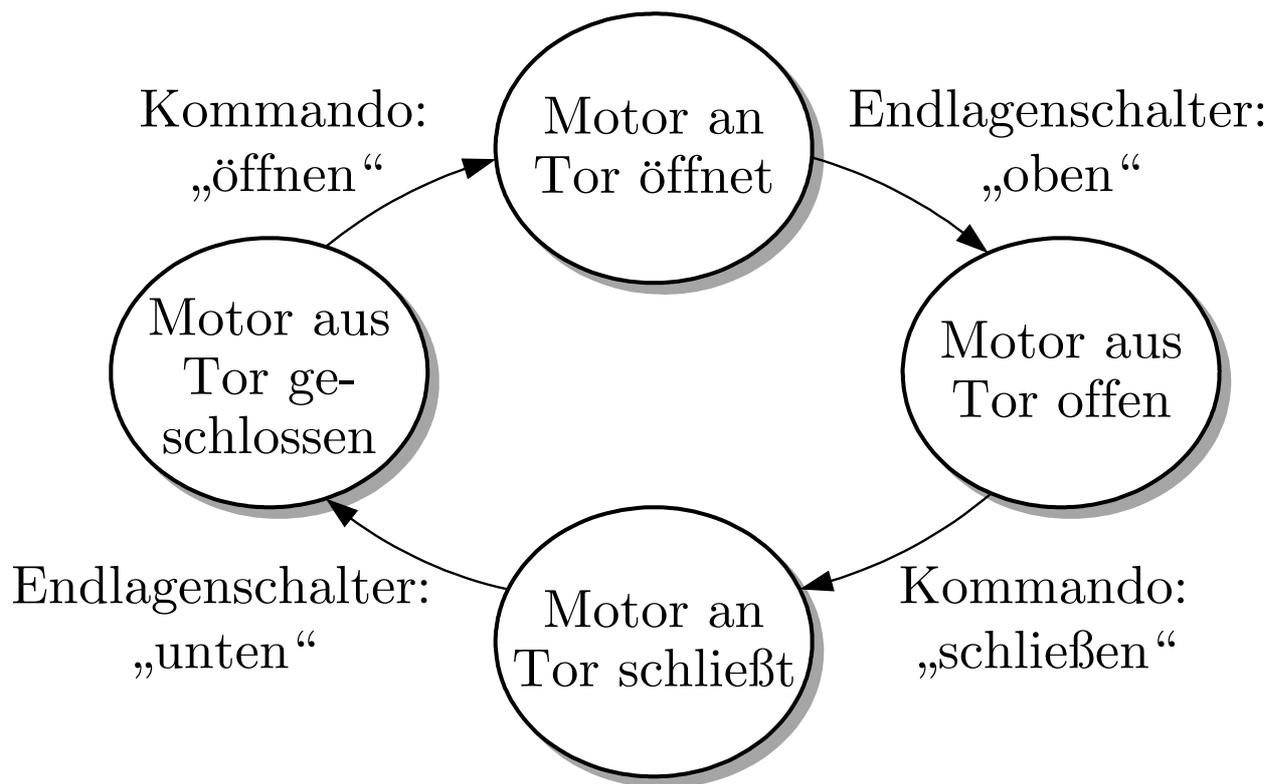


Abb. A1.5: Modell des Garagentors

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

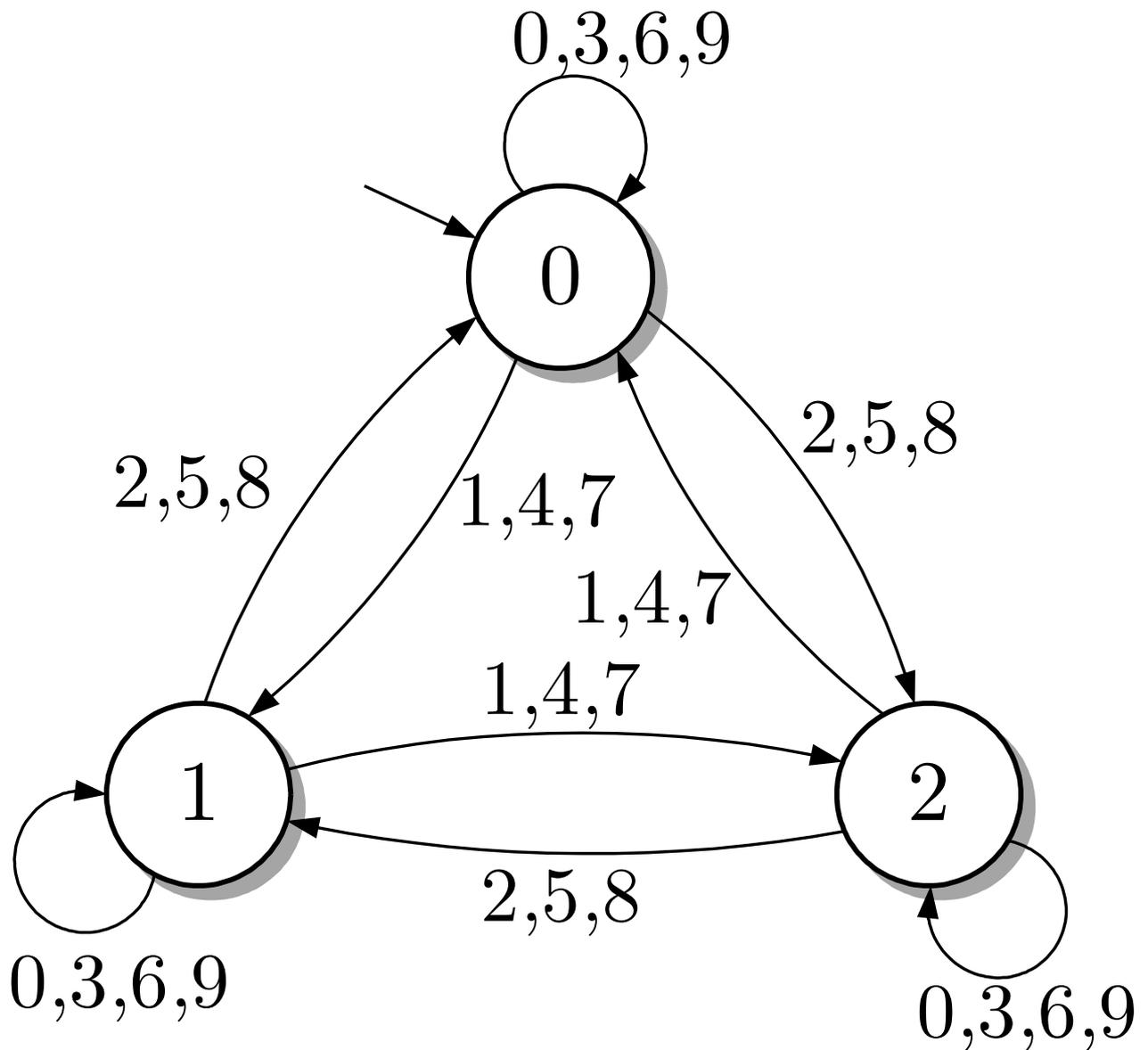


Abb. A1.6: Automat, dessen Zustand den Rest einer Zahl bei der Division durch drei angibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

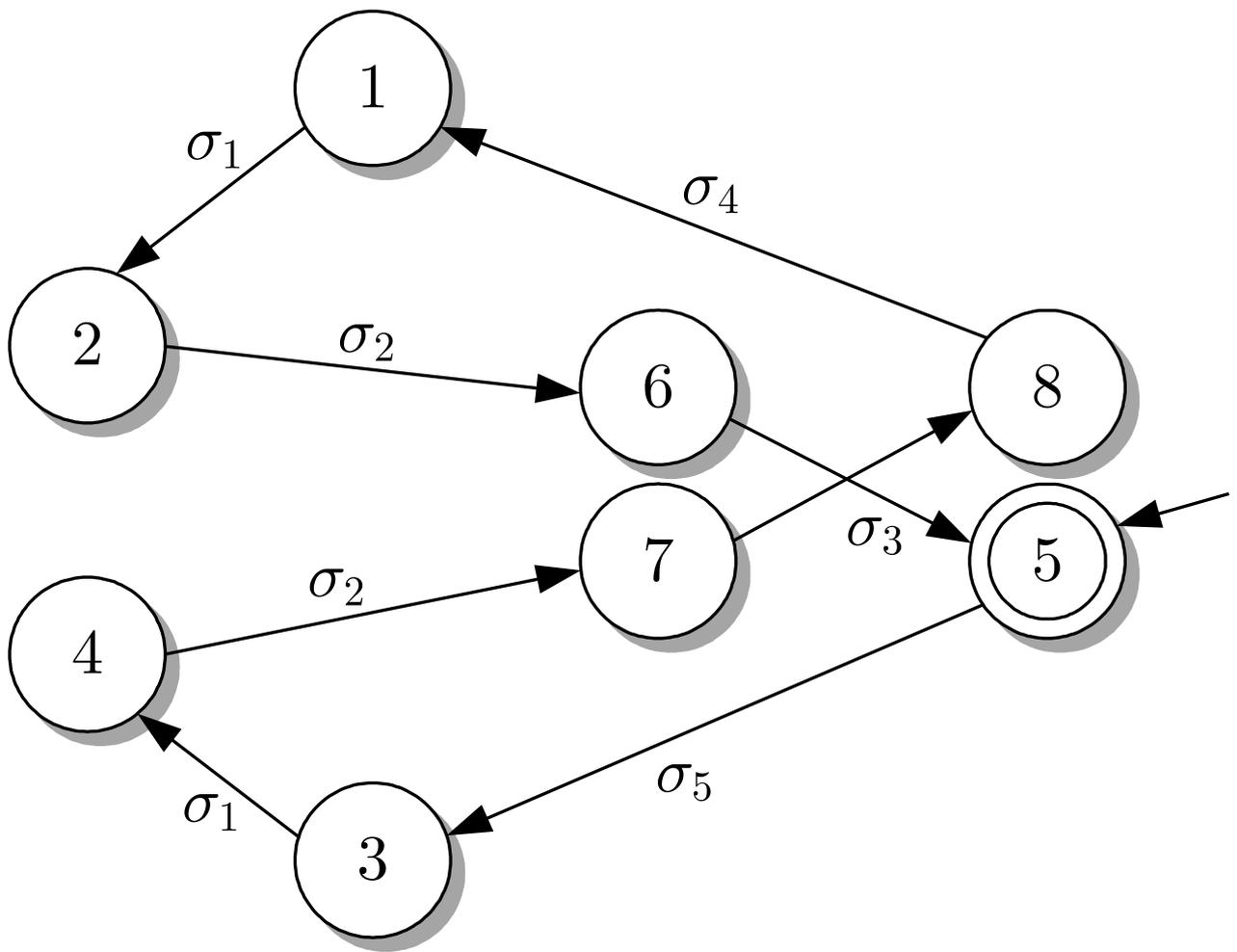


Abb. A1.7: Erweitertes Modell des Roboters

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

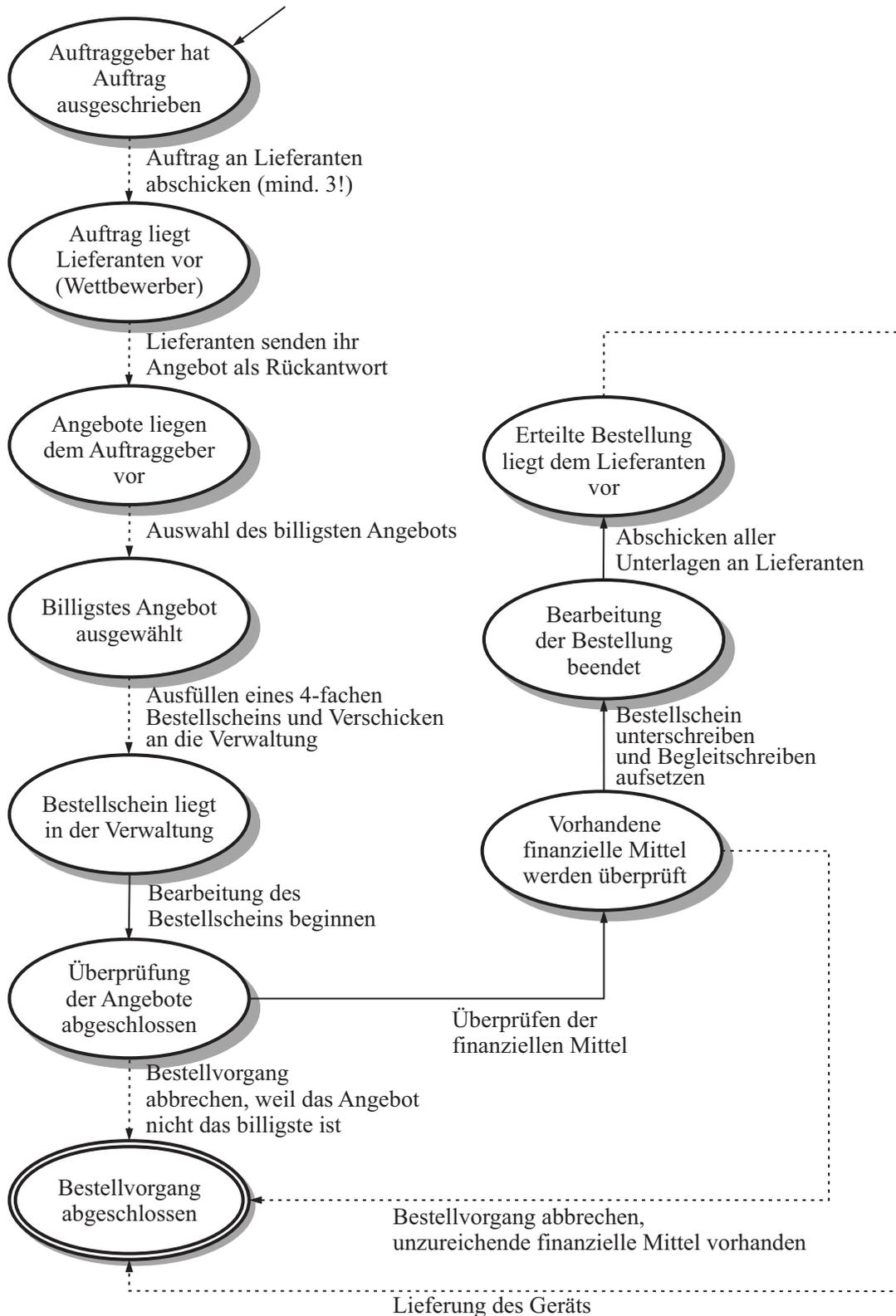


Abb. A1.8. Ereignisdiskrete Beschreibung eines Bestellvorgangs

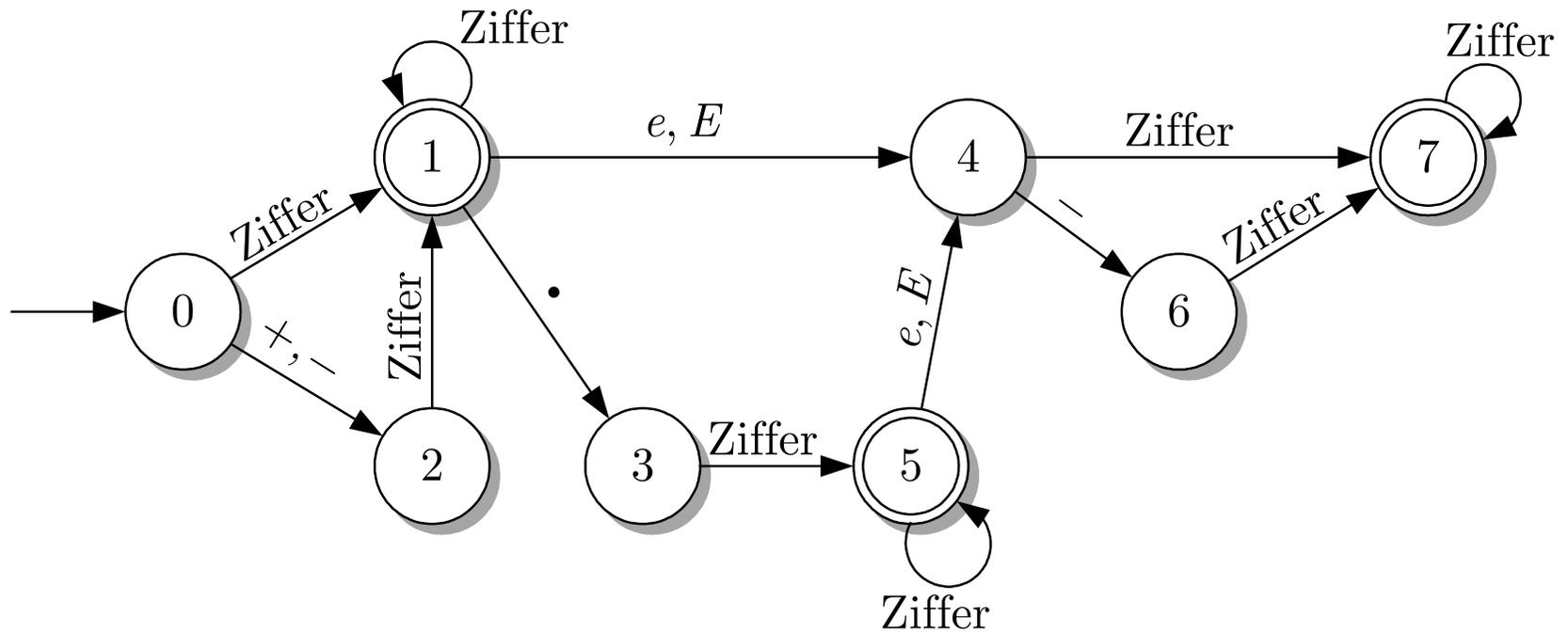


Abb. A1.9. Fließkommaakzeptor

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

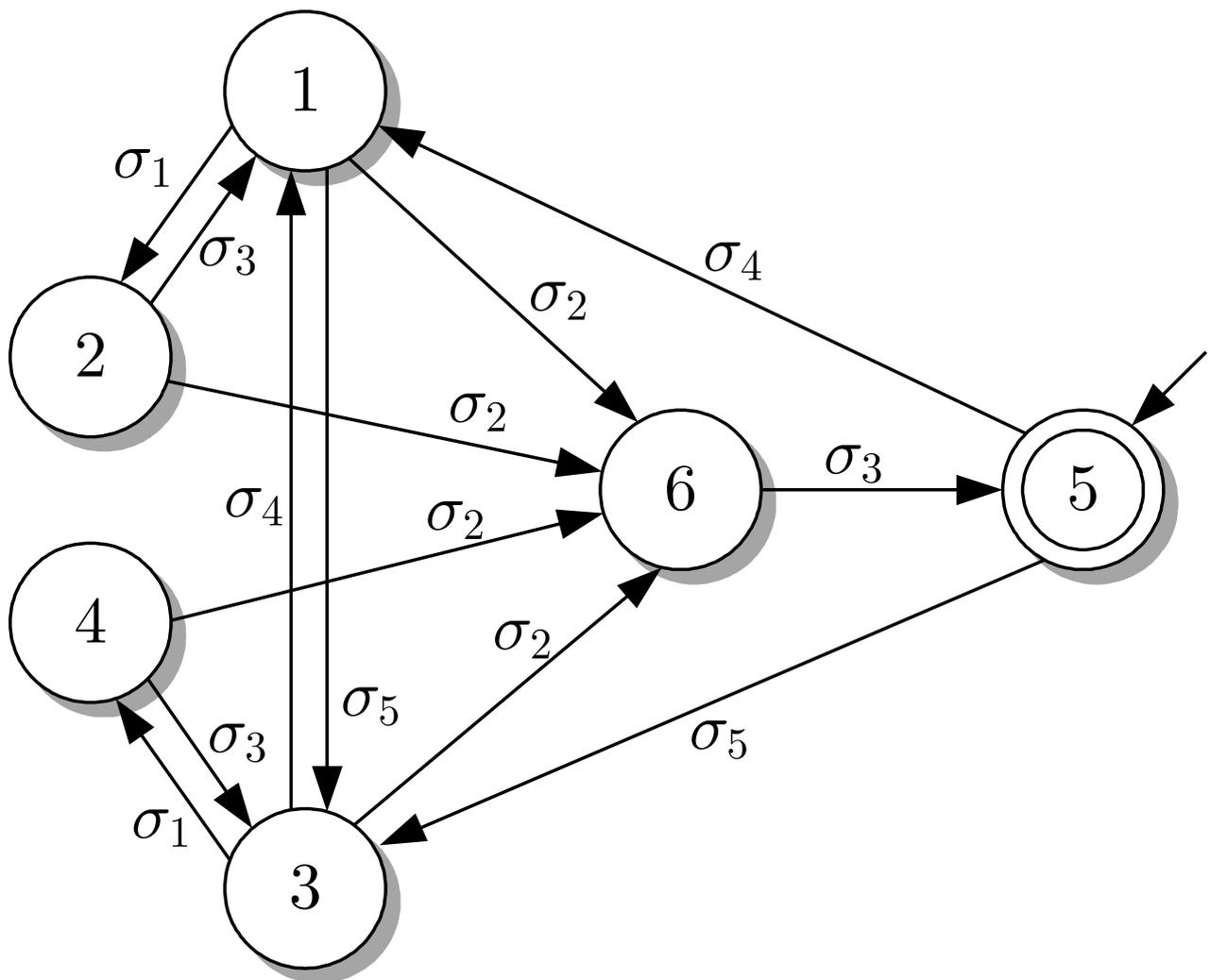


Abb. A1.10: Bewegungsmöglichkeiten des Roboters

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

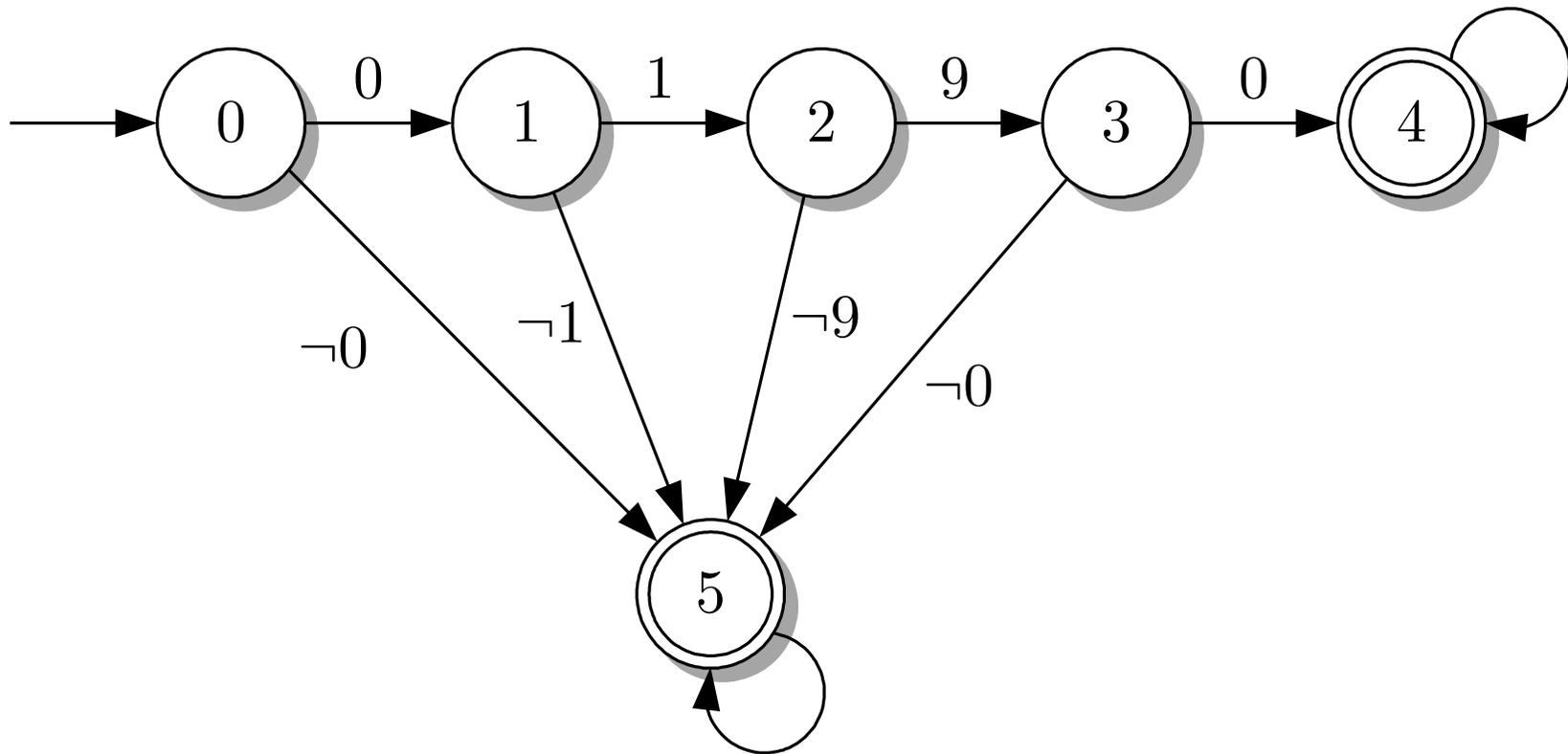


Abb. A1.11. Graph eines Automaten, der erkennt, dass eine Ziffernfolge mit 0190 beginnt



Abb. A1.12. Blockschaltbild der Rechtschreibüberprüfung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

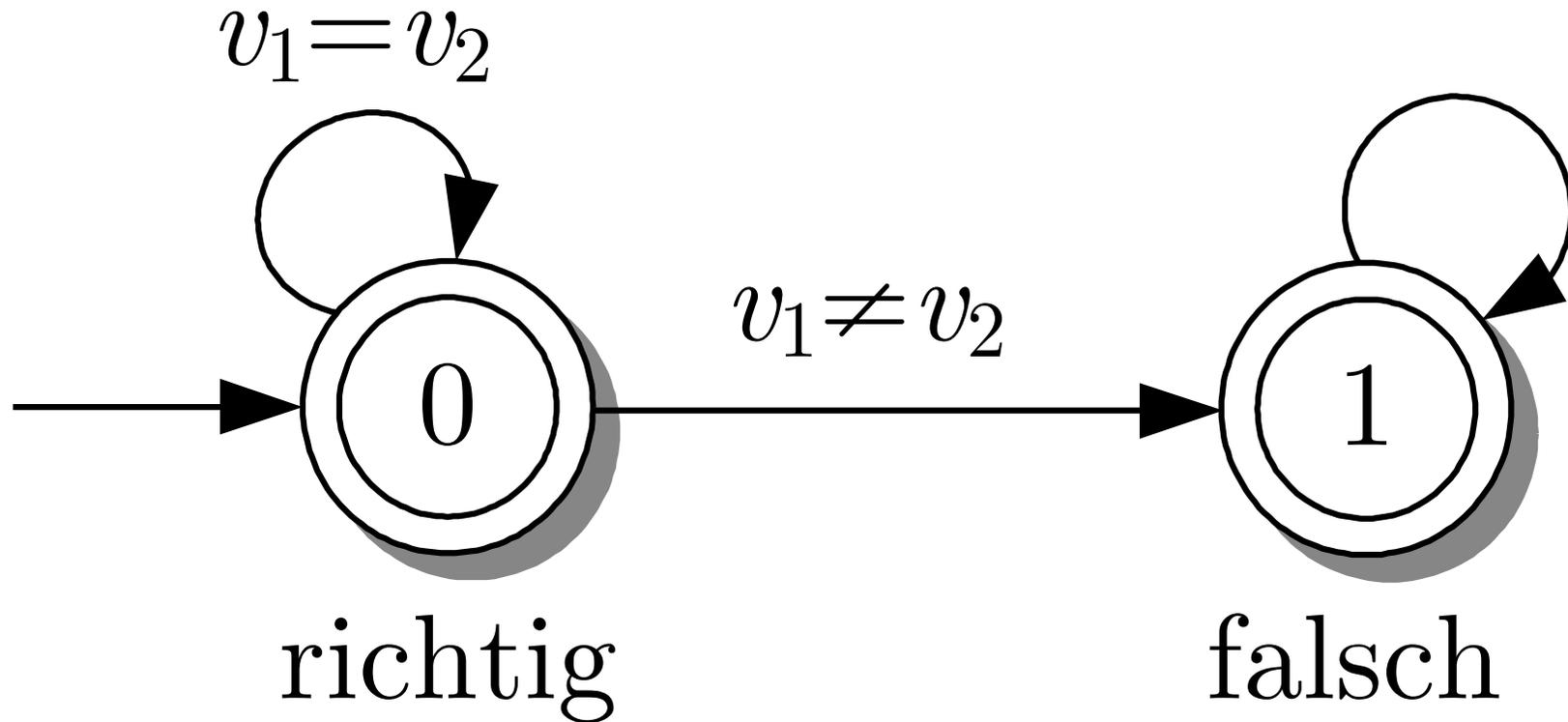


Abb. A1.12. Blockschaltbild der Rechtschreibüberprüfung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

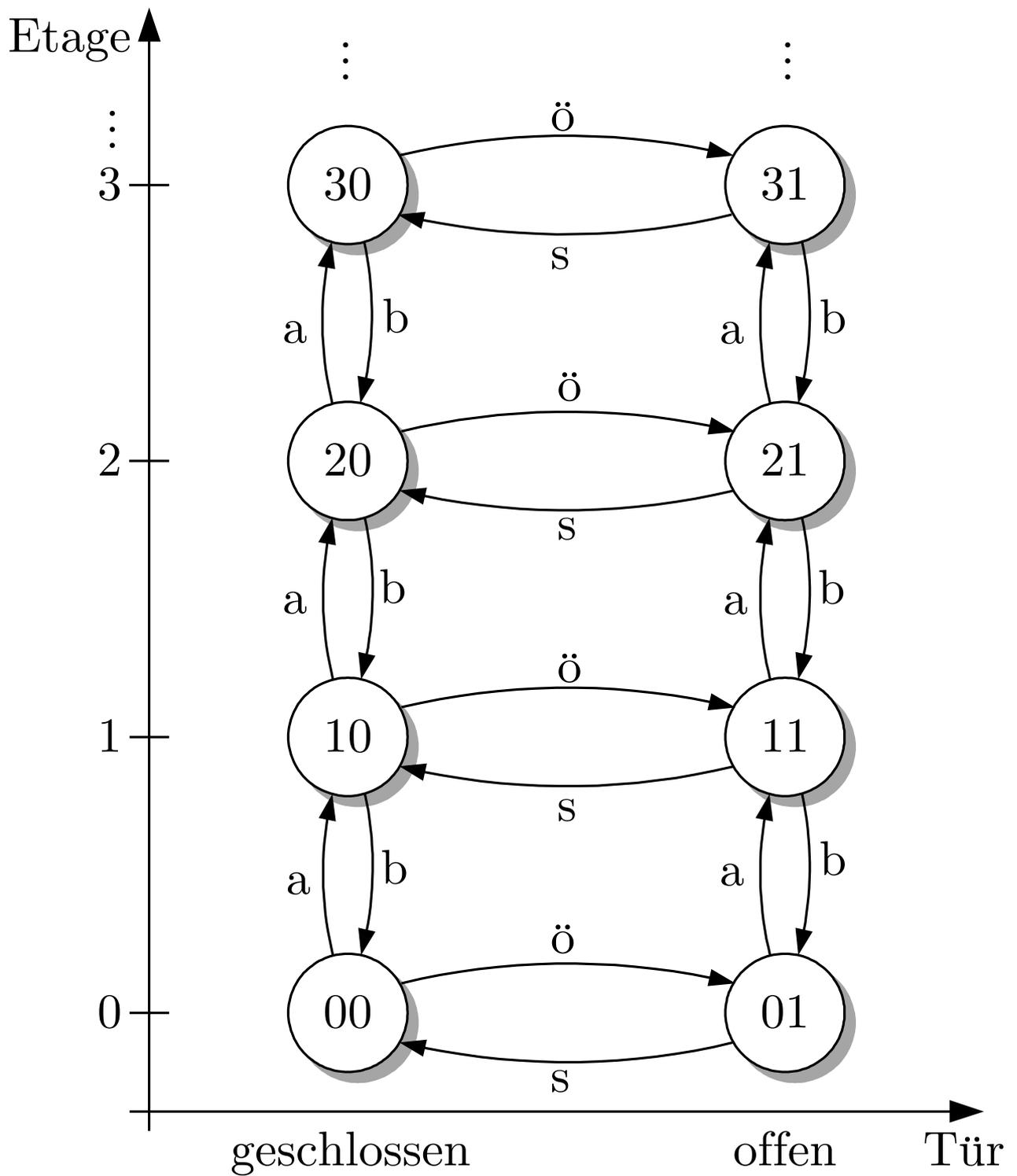


Abb. A1.13: Automat, der die Bewegungsmöglichkeiten des Fahrstuhls beschreibt

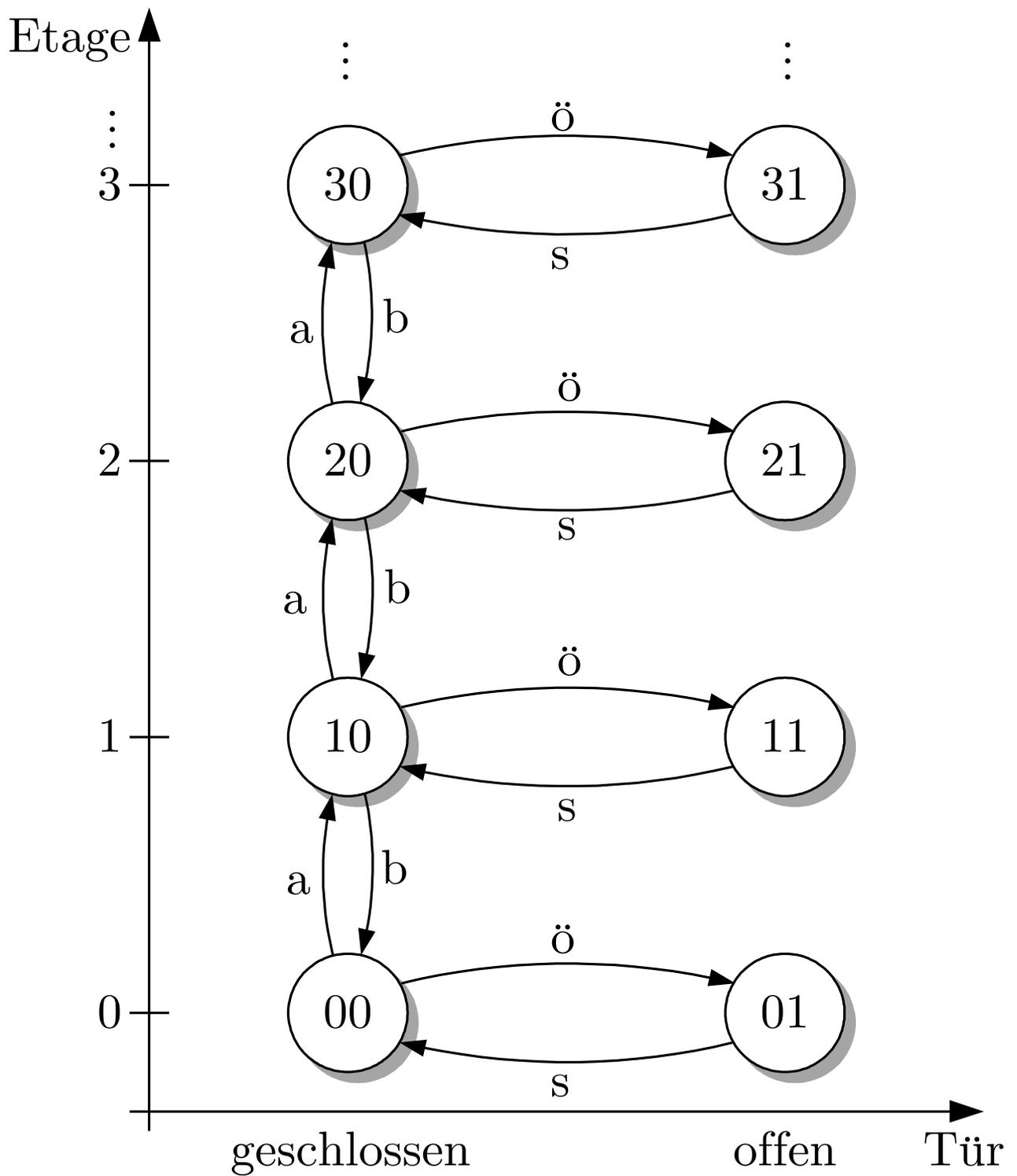


Abb. A1.13: Bewegungsmöglichkeiten des Fahrstuhls, die den Sicherheitsanforderungen entsprechen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

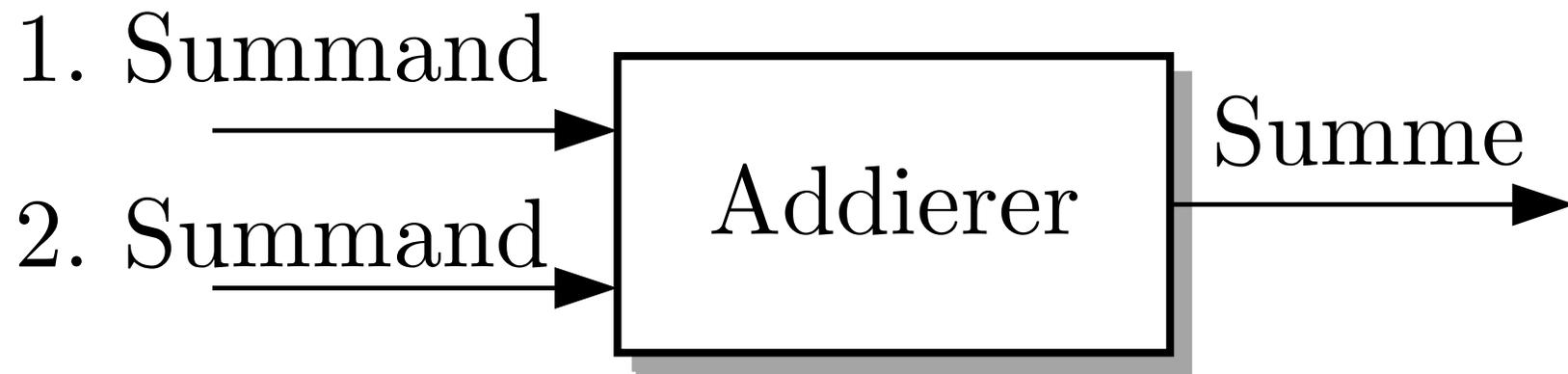


Abb. A1.14. Blockschaltbild des Addierers

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

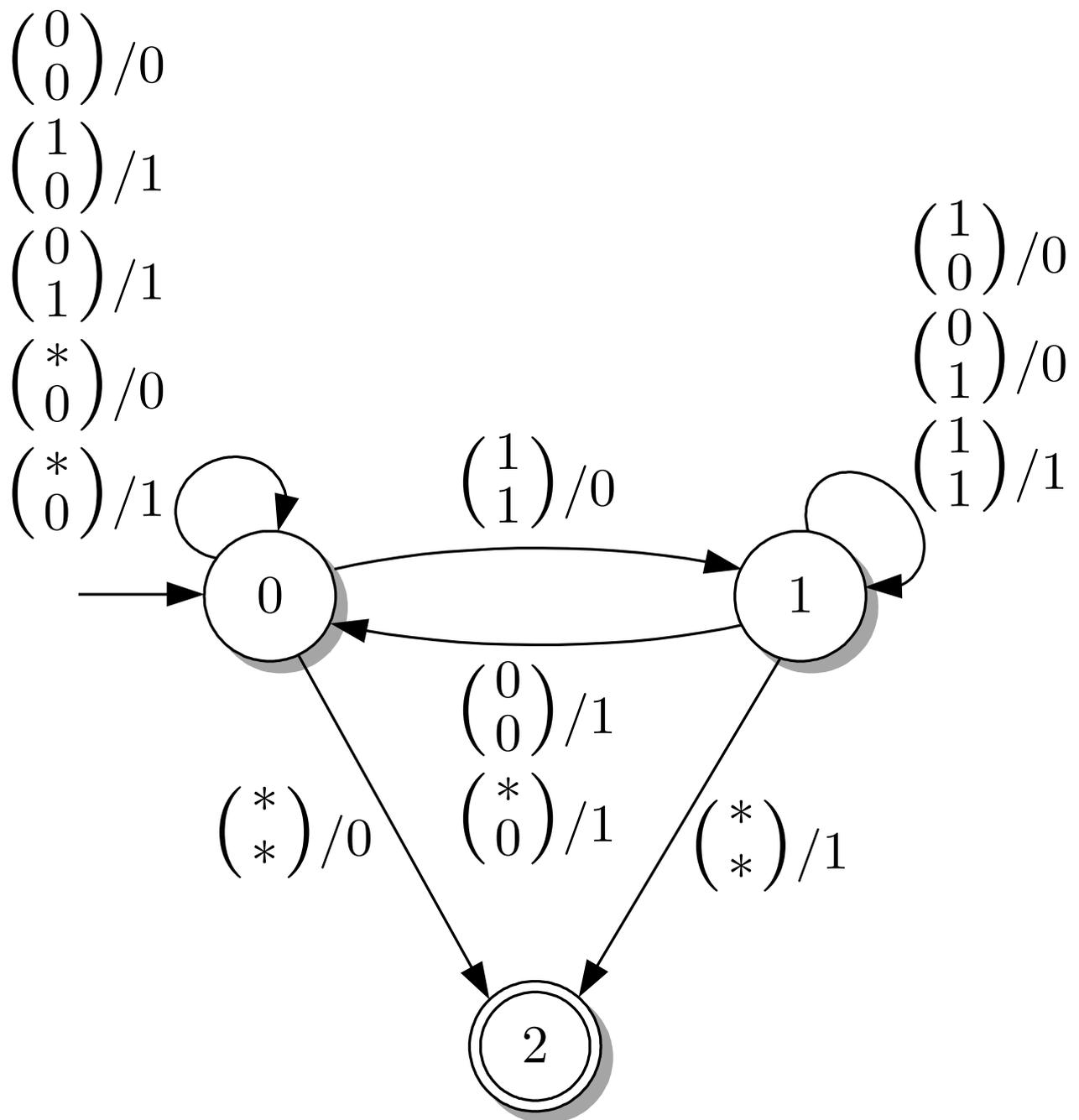


Abb. A1.15: Darstellung eines Addierers als deterministischer Automat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

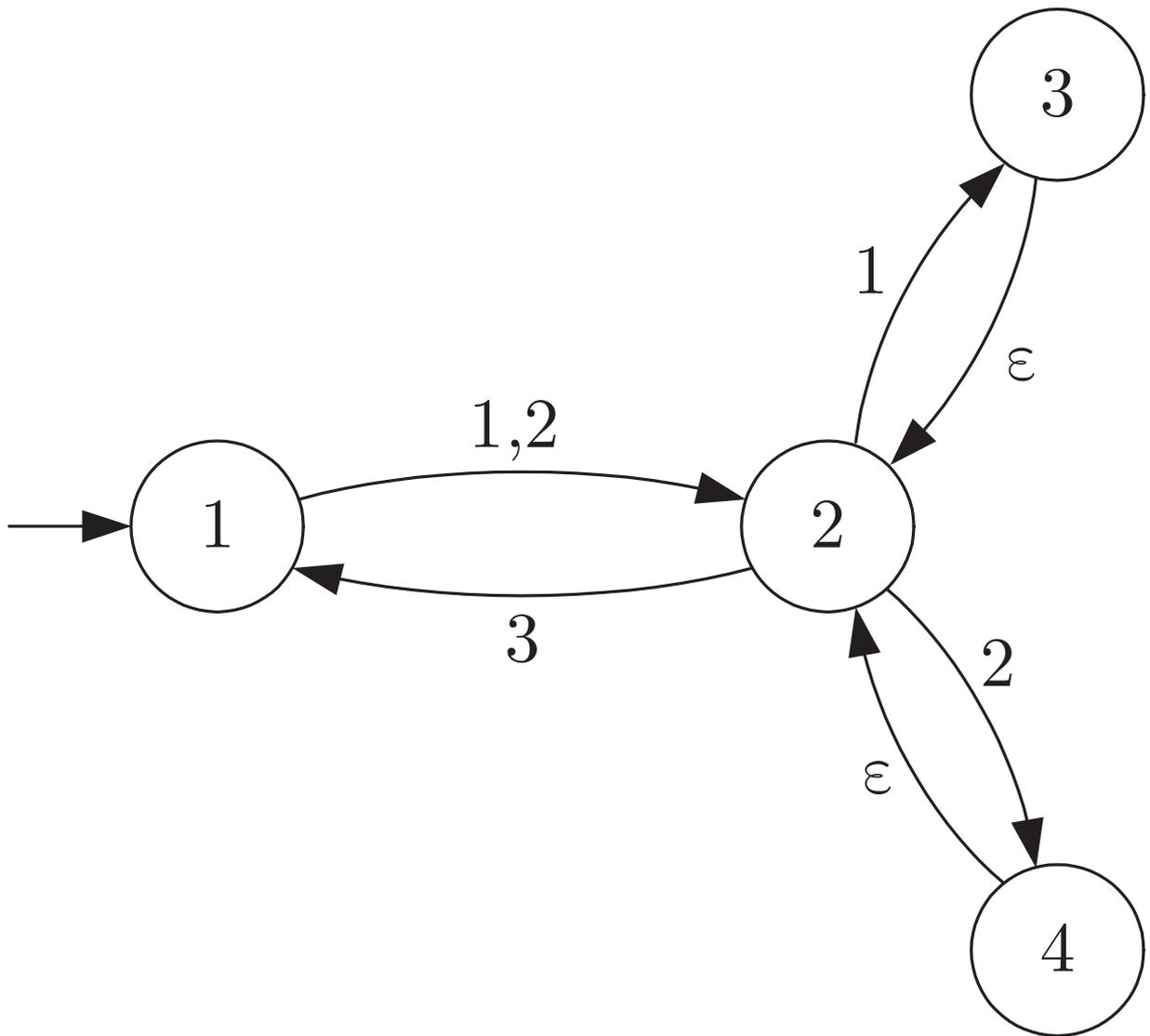


Abb. A1.16: E/A-Automat zur Beschreibung des Tempomaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

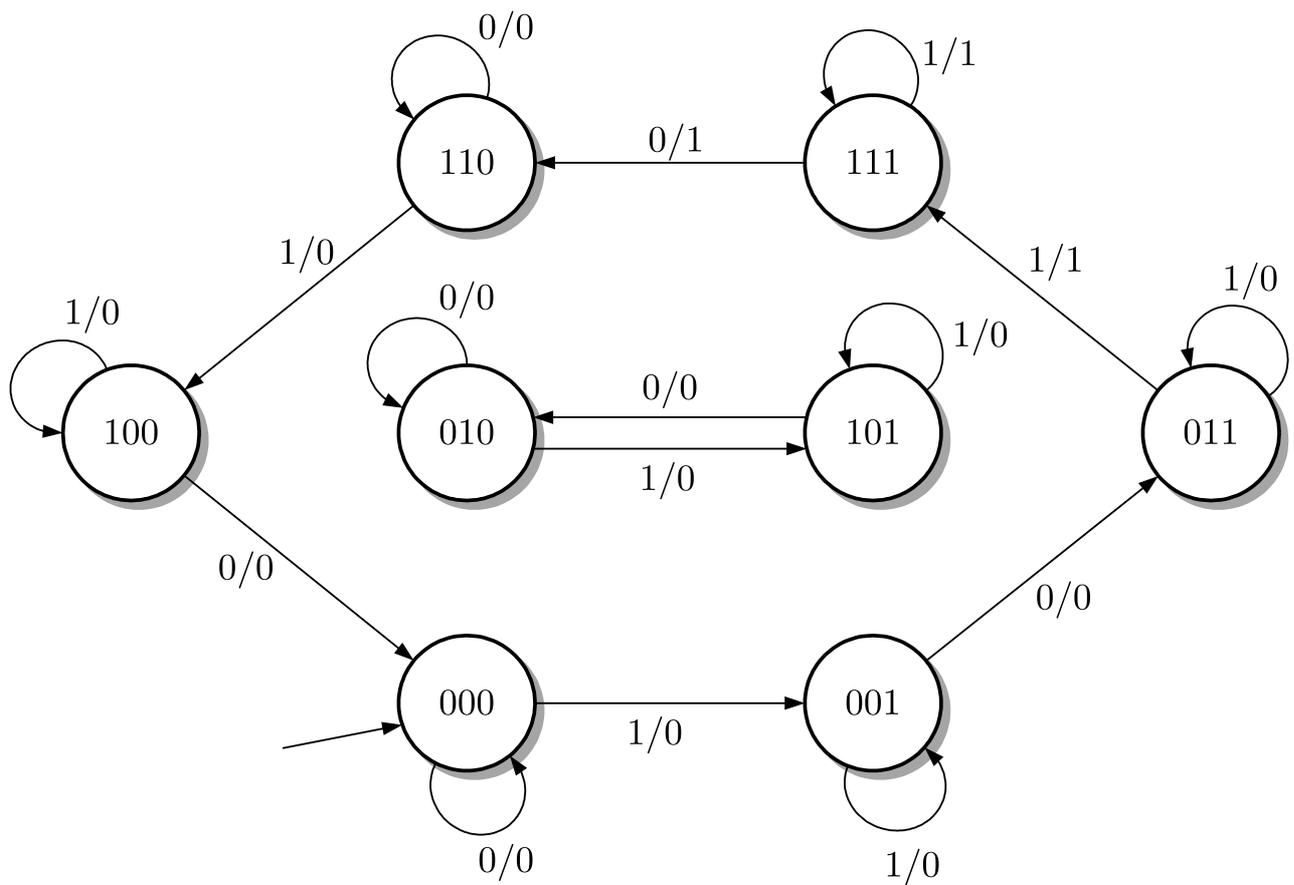


Abb. A1.17: Deterministischer Automat, der das Neuronennetz beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

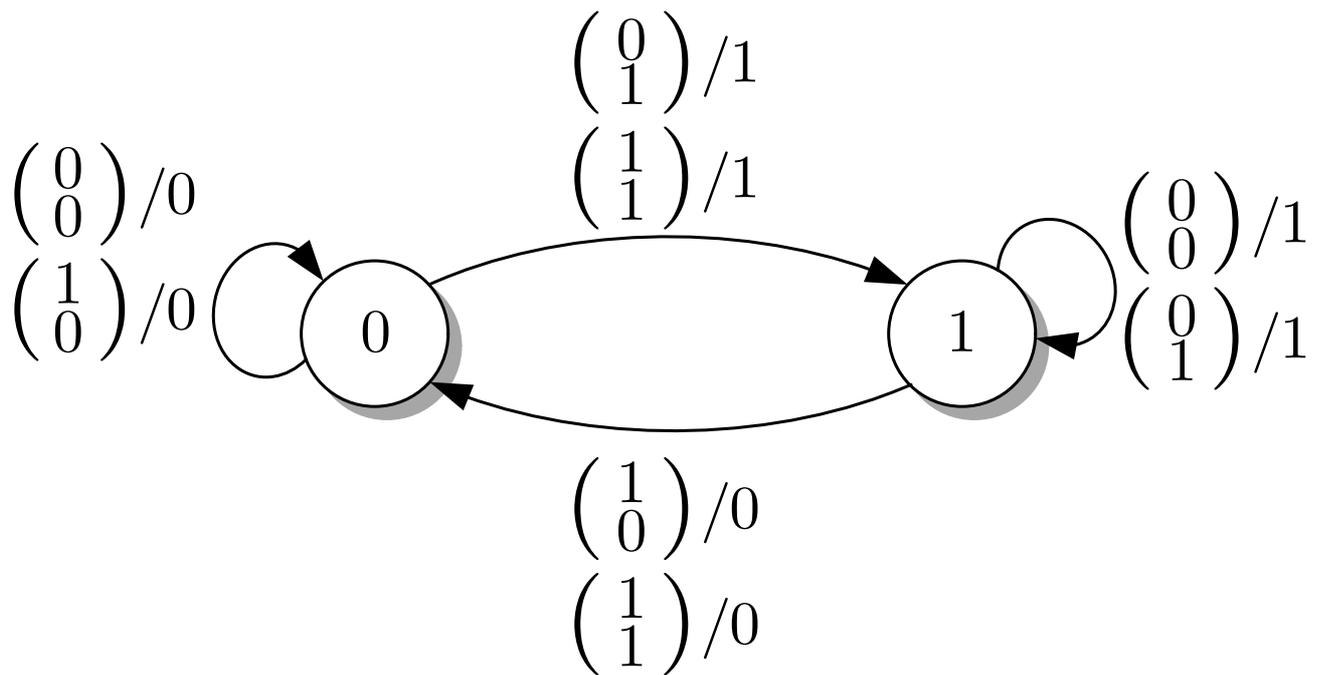


Abb. A1.18: Automatengraph zur Beschreibung eines RS-Flipflops

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

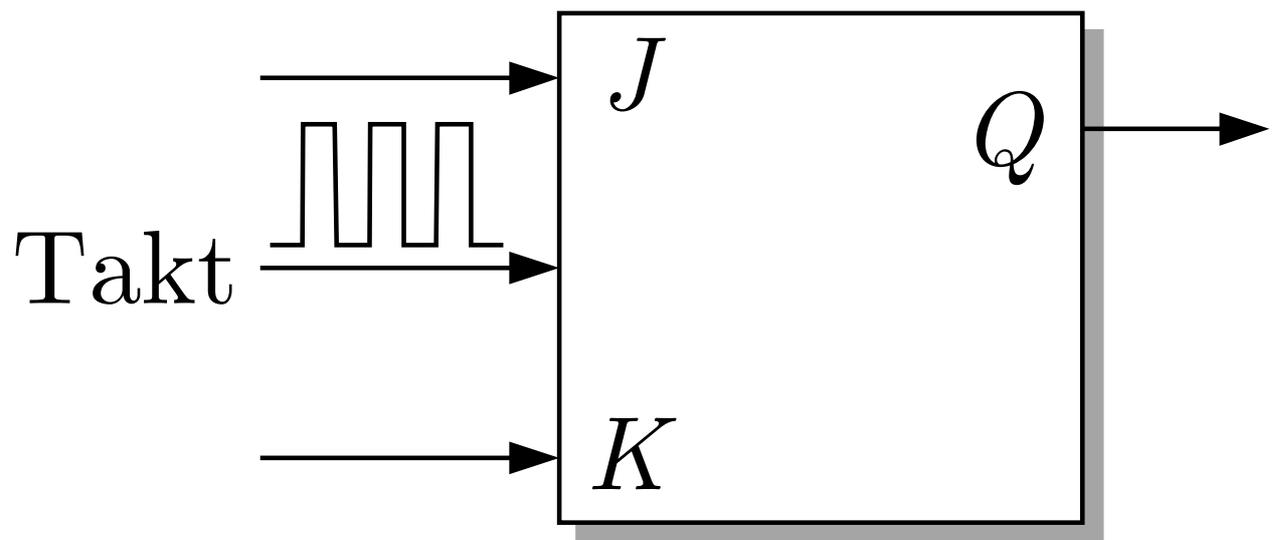


Abb. A1.19: JK-Flipflop

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

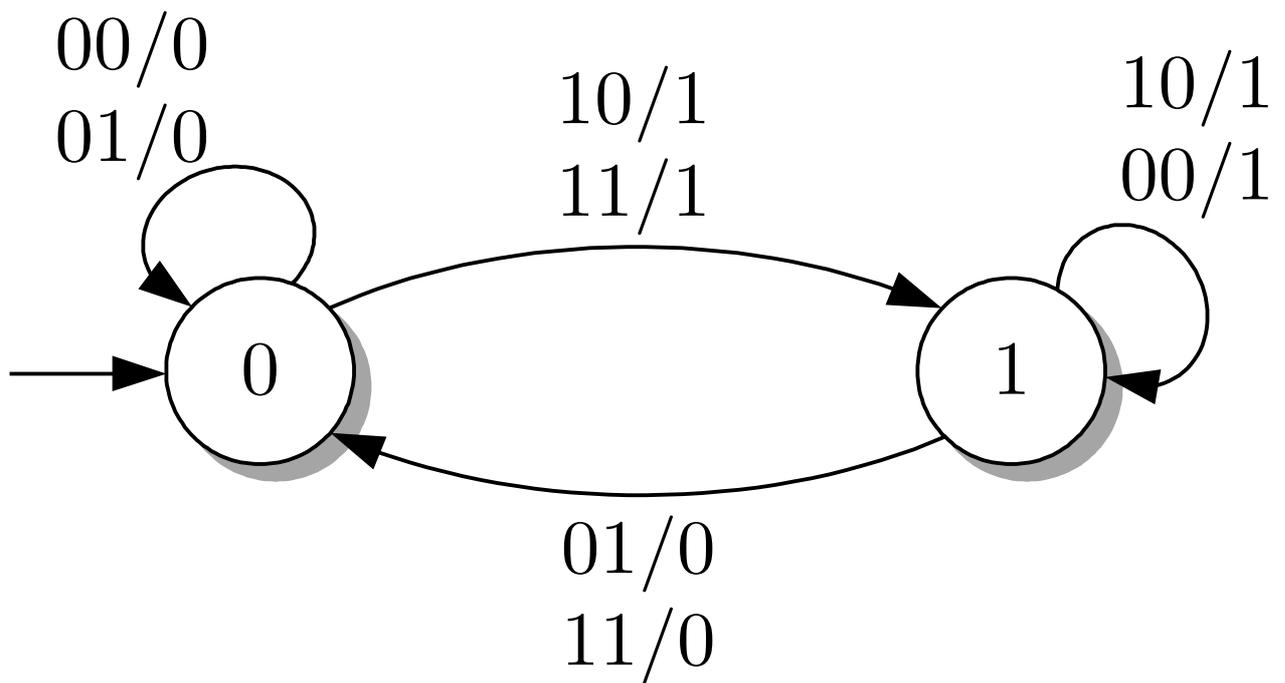


Abb. A1.20: Automat, der den JK-Flipflop beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

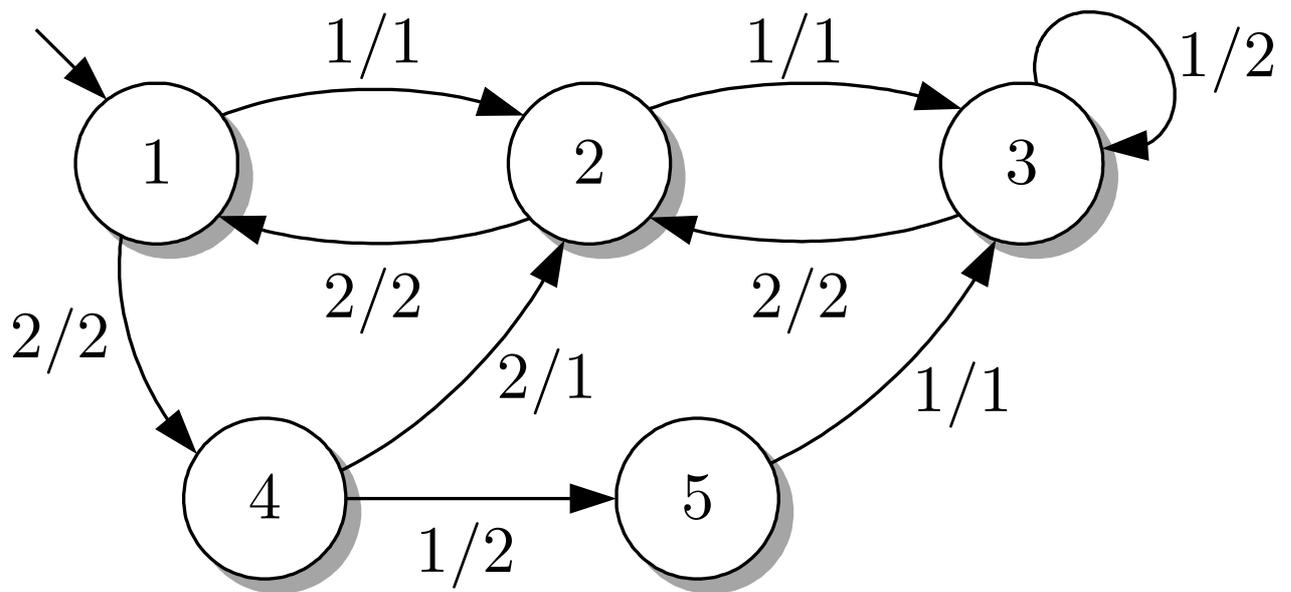


Abb. A1.21: Automatengraph des in der Aufgabenstellung durch eine Automatentabelle beschriebenen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

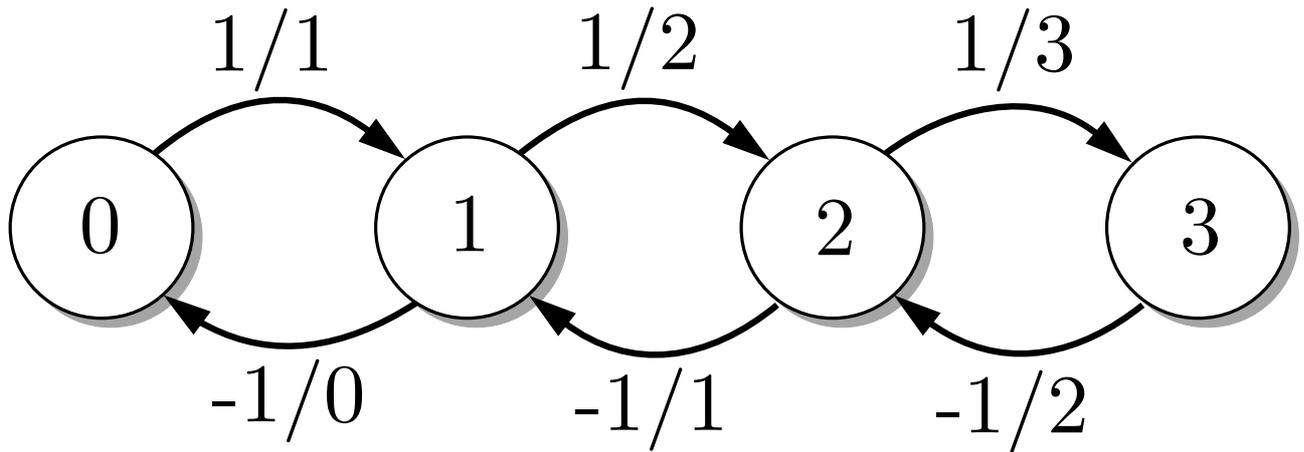


Abb. A1.22: Automat zur Beschreibung des Puffers

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

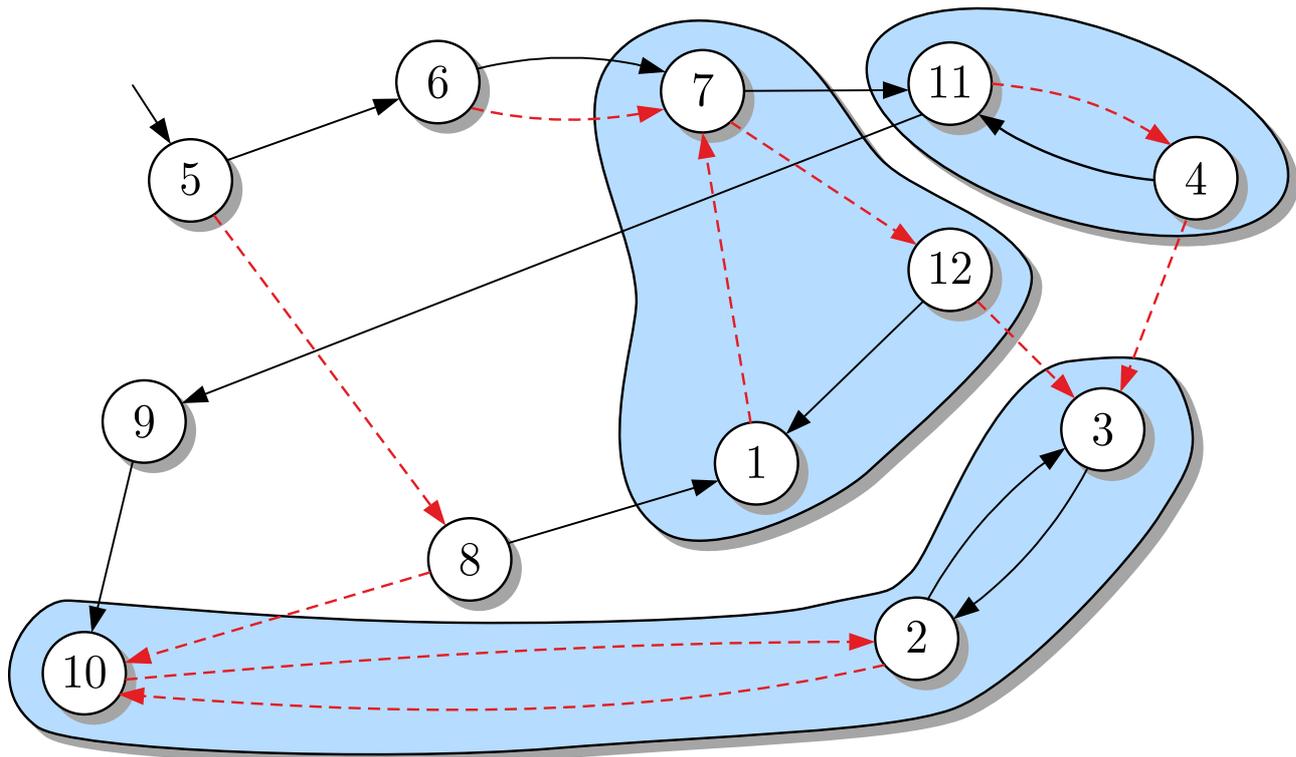


Abb. A1.23: Zerlegung des Automatengraphen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

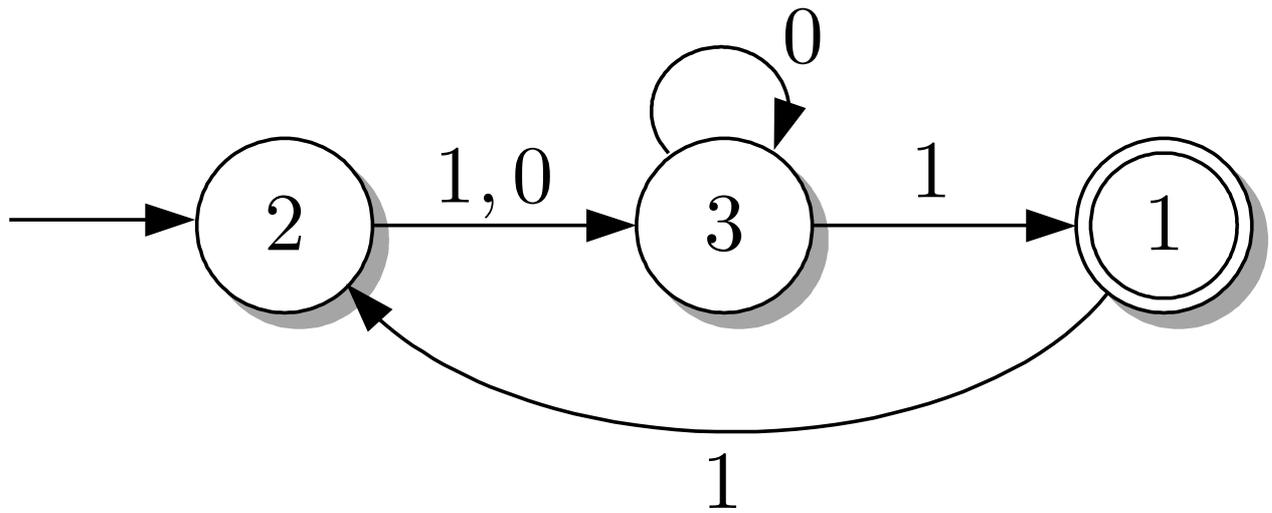


Abb. A1.24: Minimaler Automat der beiden in Abb. 3.40 gezeigten Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

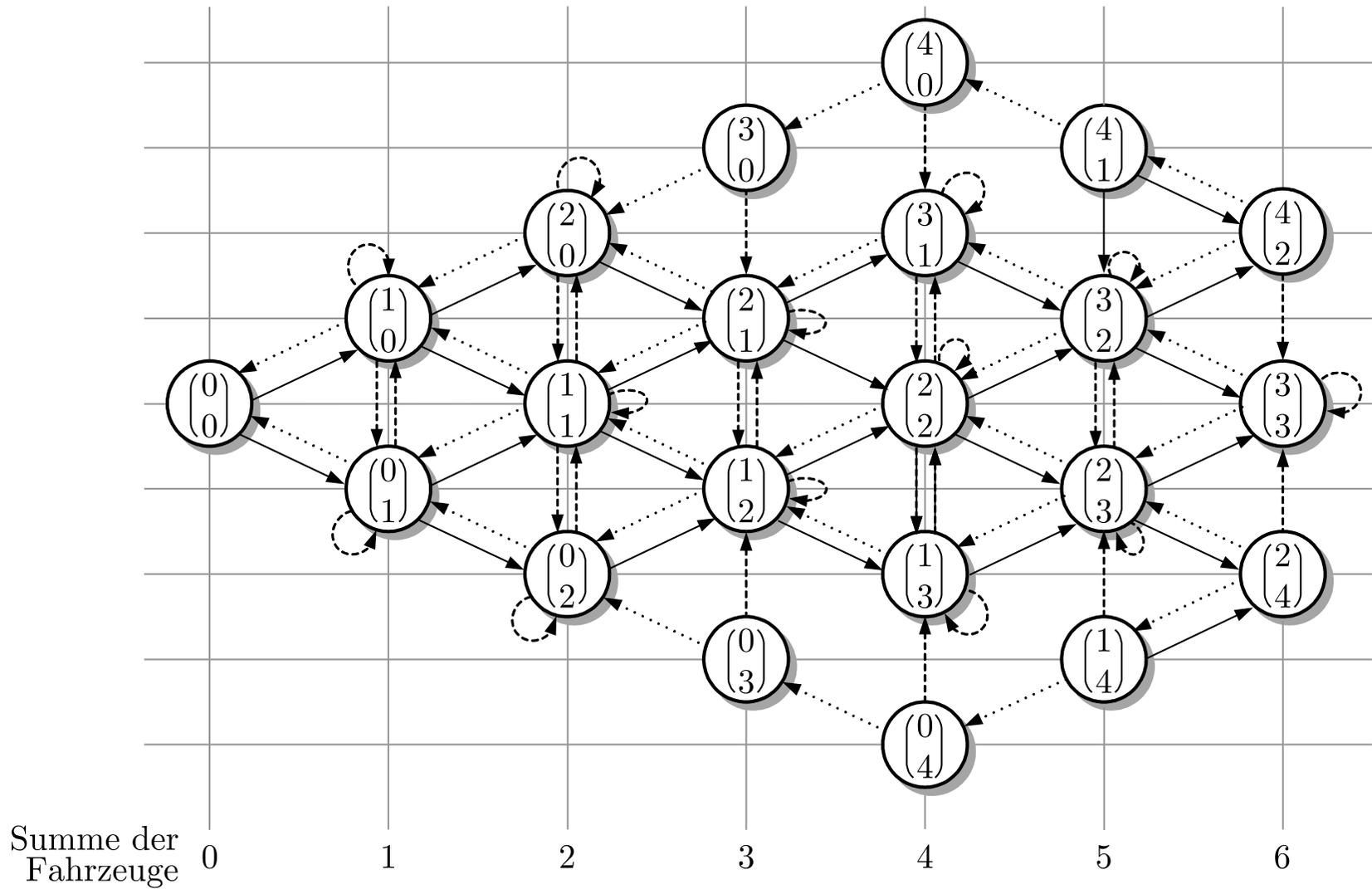


Abb. A1.25. Nichtdeterministischer Automat, der die Warteschlangen an der Mautstation beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

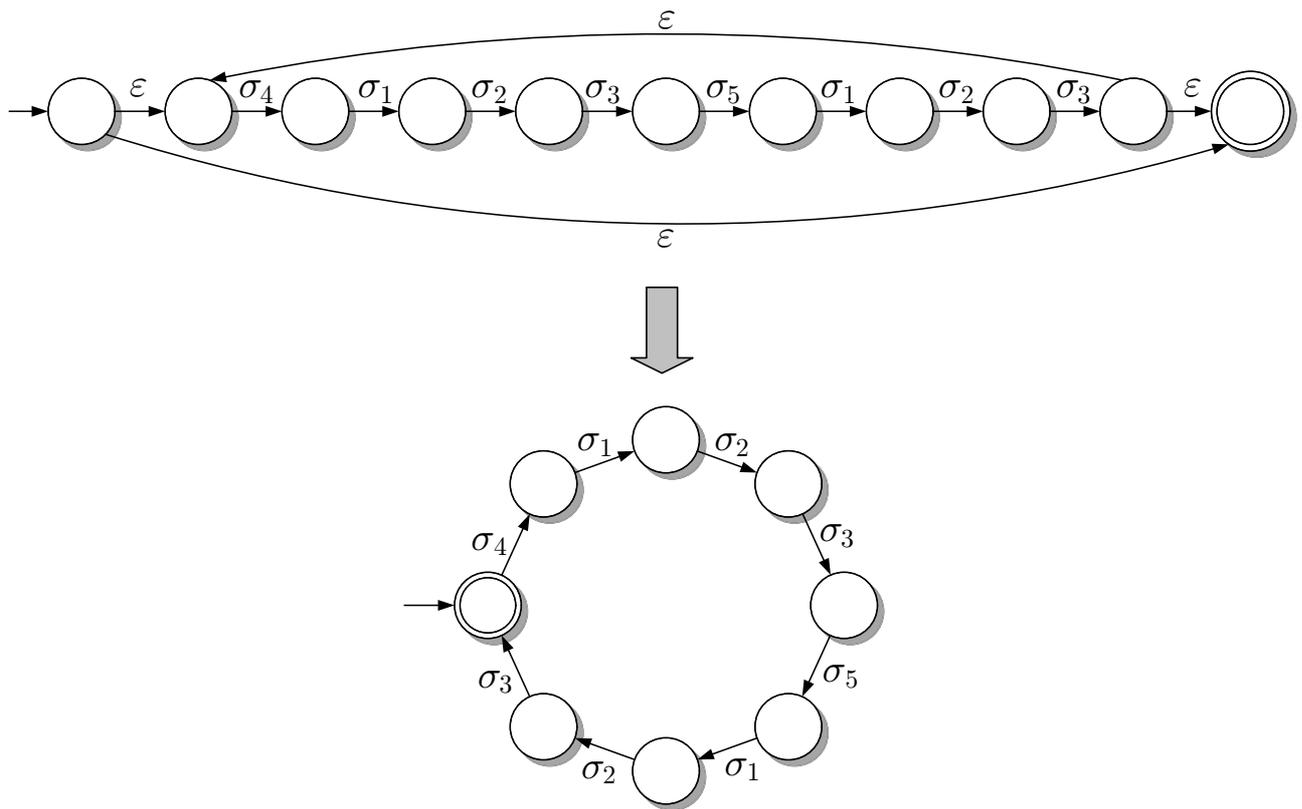


Abb. A1.26: Akzeptor für die Sprache (A1.5)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

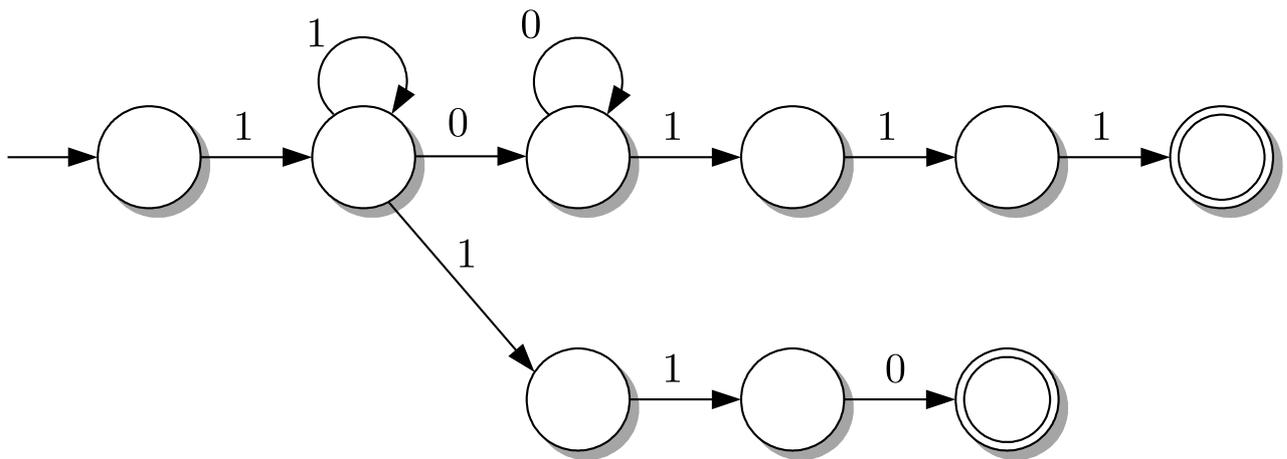


Abb. A1.27: Nichtdeterministischer Automat, der die Sprache $11^*(00^*111 + 110)$ akzeptiert

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

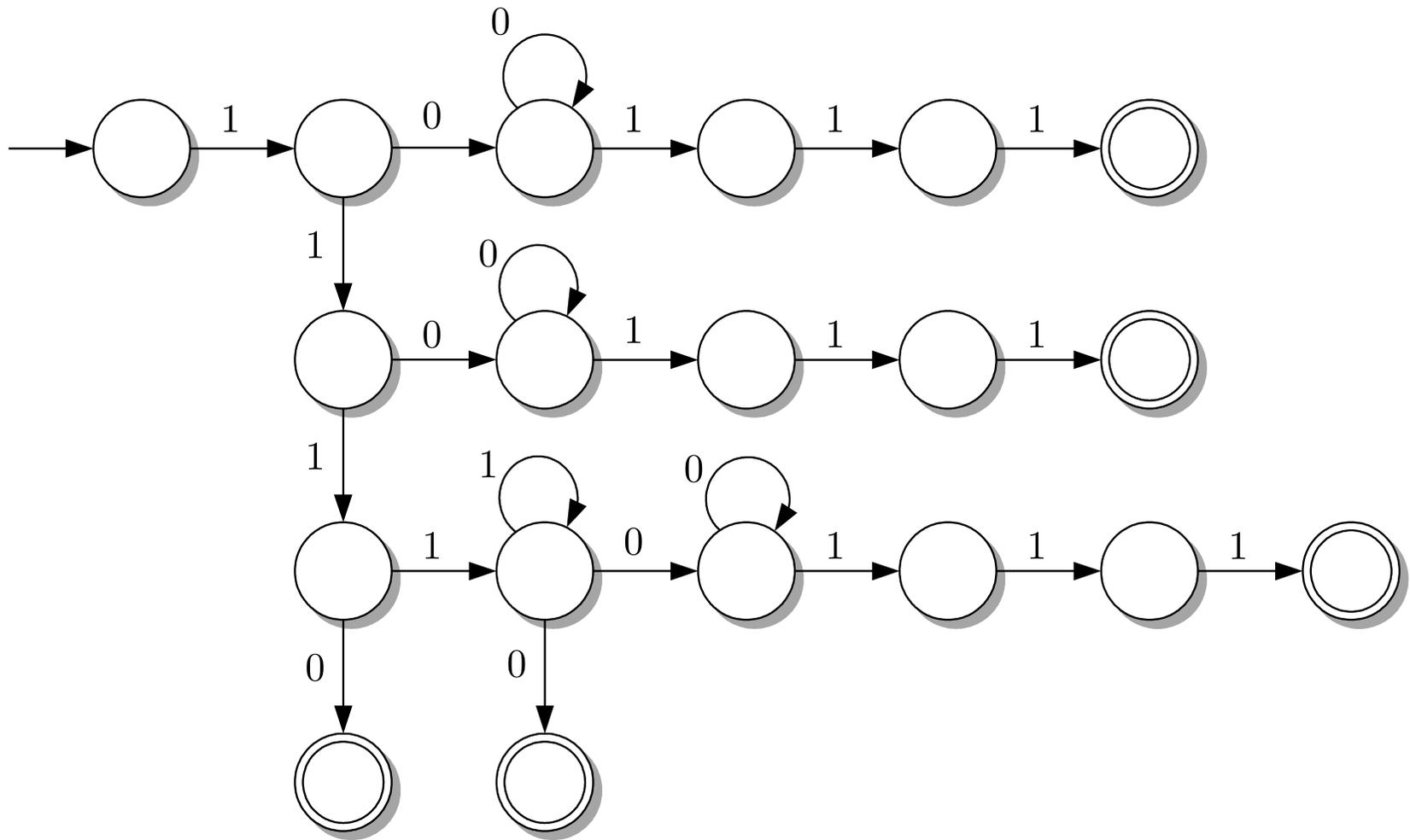


Abb. A1.28. Deterministischer Automat, der die Sprache $11^*(00^*111 + 110)$ akzeptiert

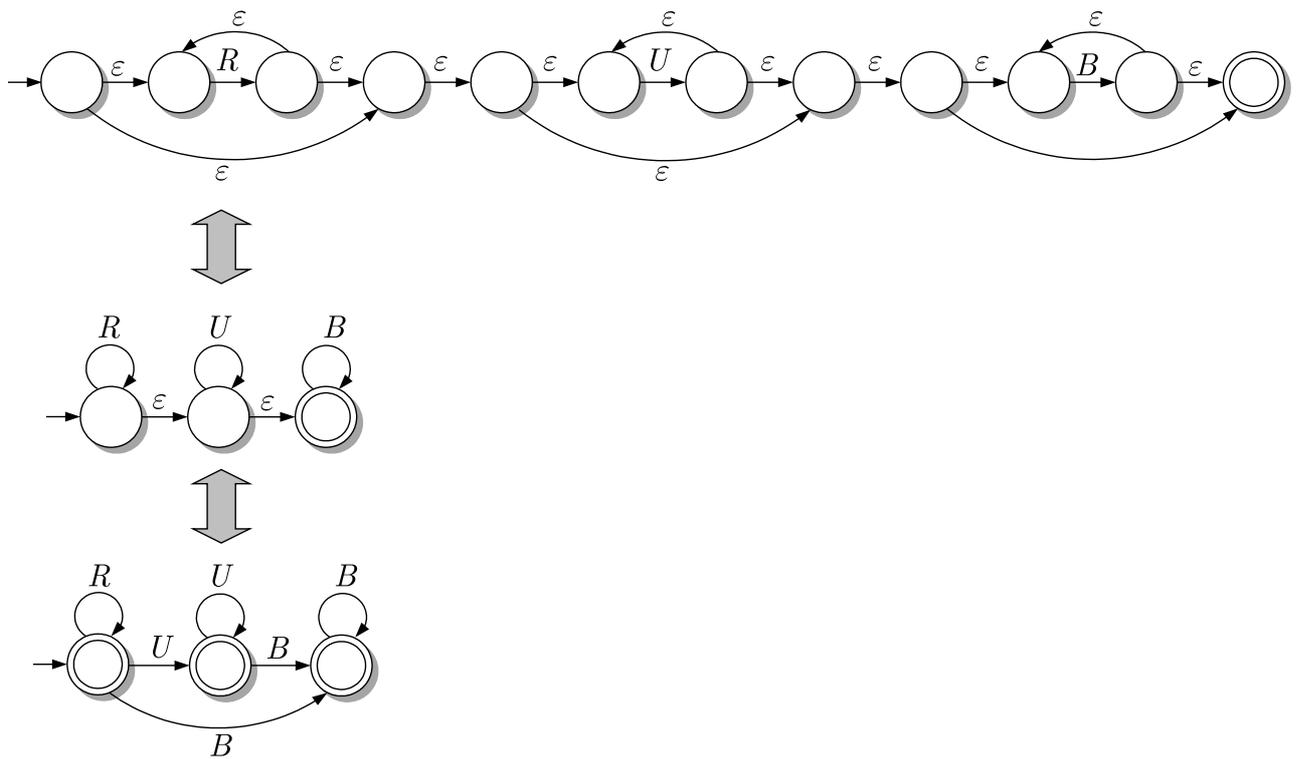


Abb. A1.29: Akzeptoren der Sprache $R^*U^*B^*$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

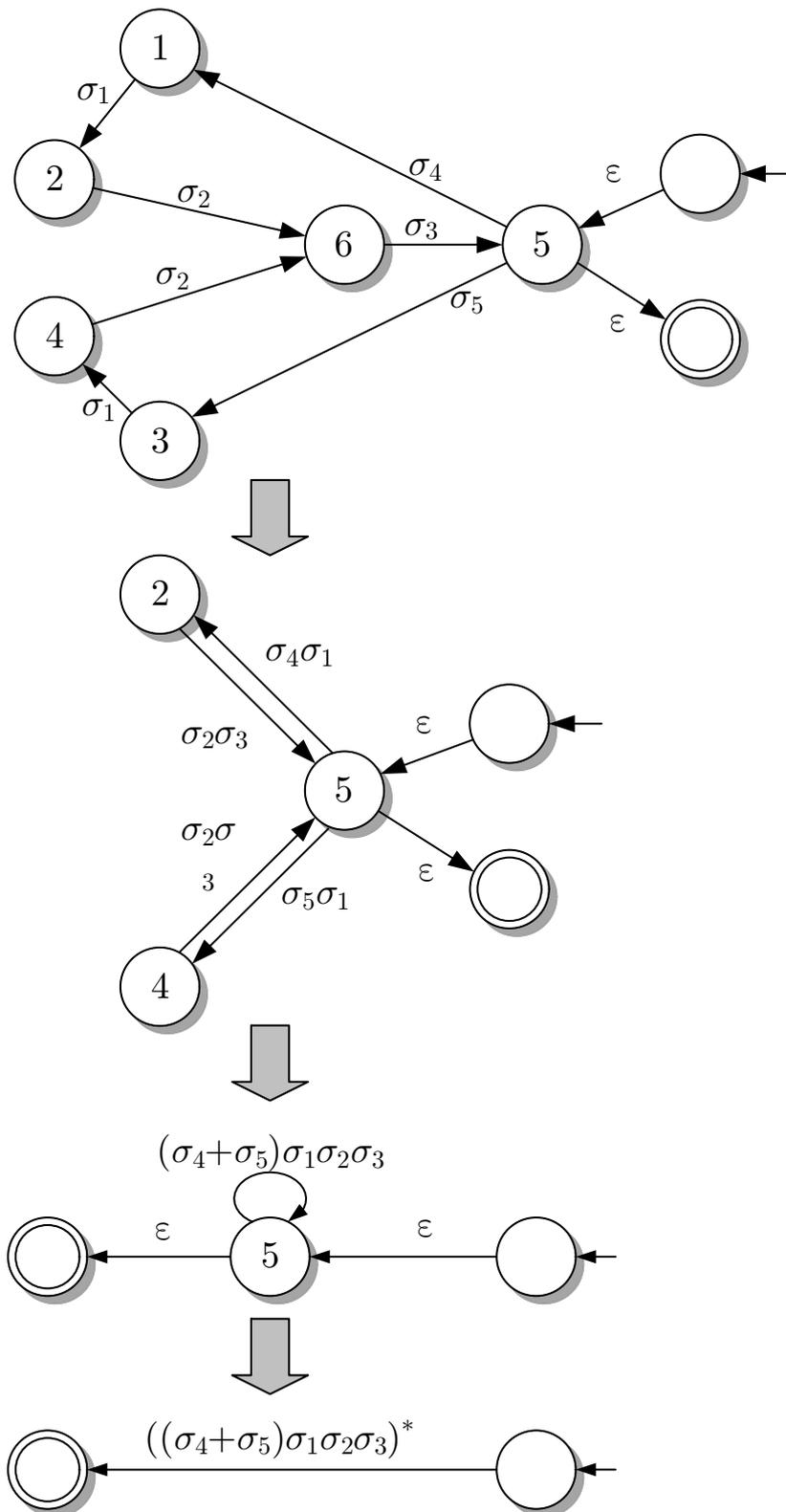


Abb. A1.30. Schrittweise Ableitung der Sprache des Roboters

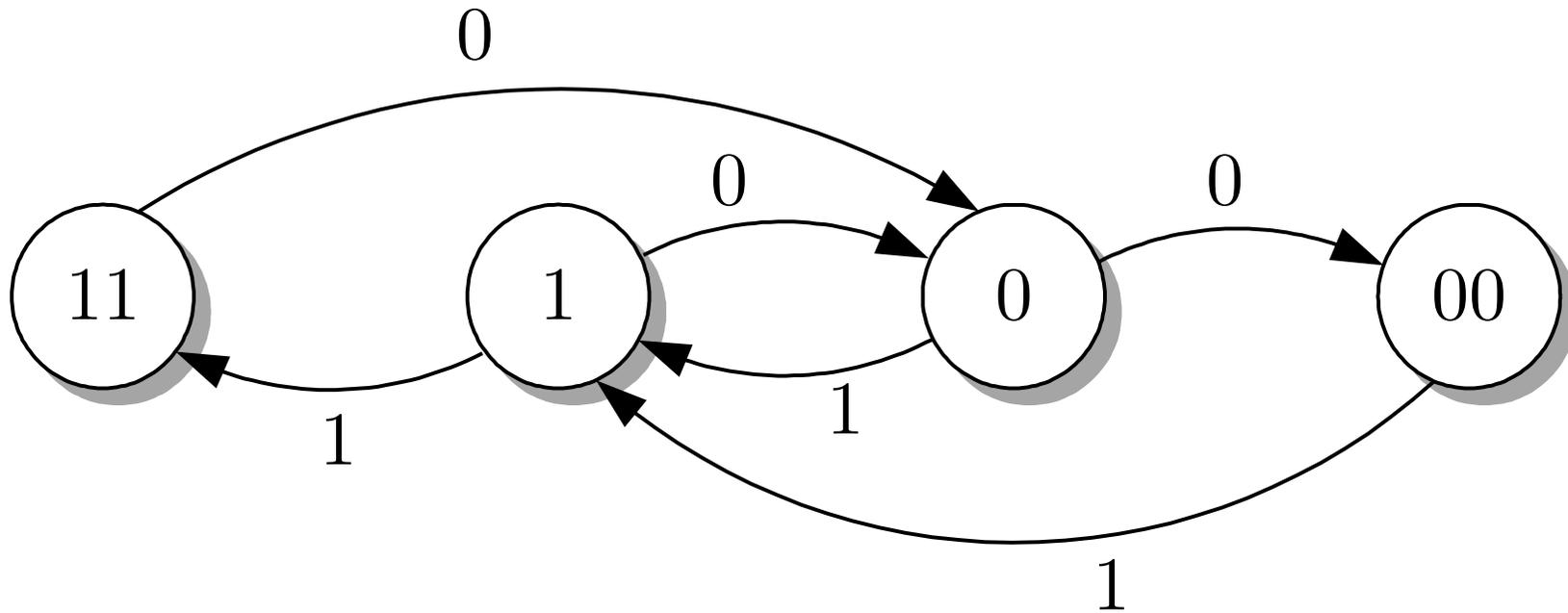


Abb. A1.31. Ereignisdiskrete Beschreibung des Gleichspannungswandlers

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

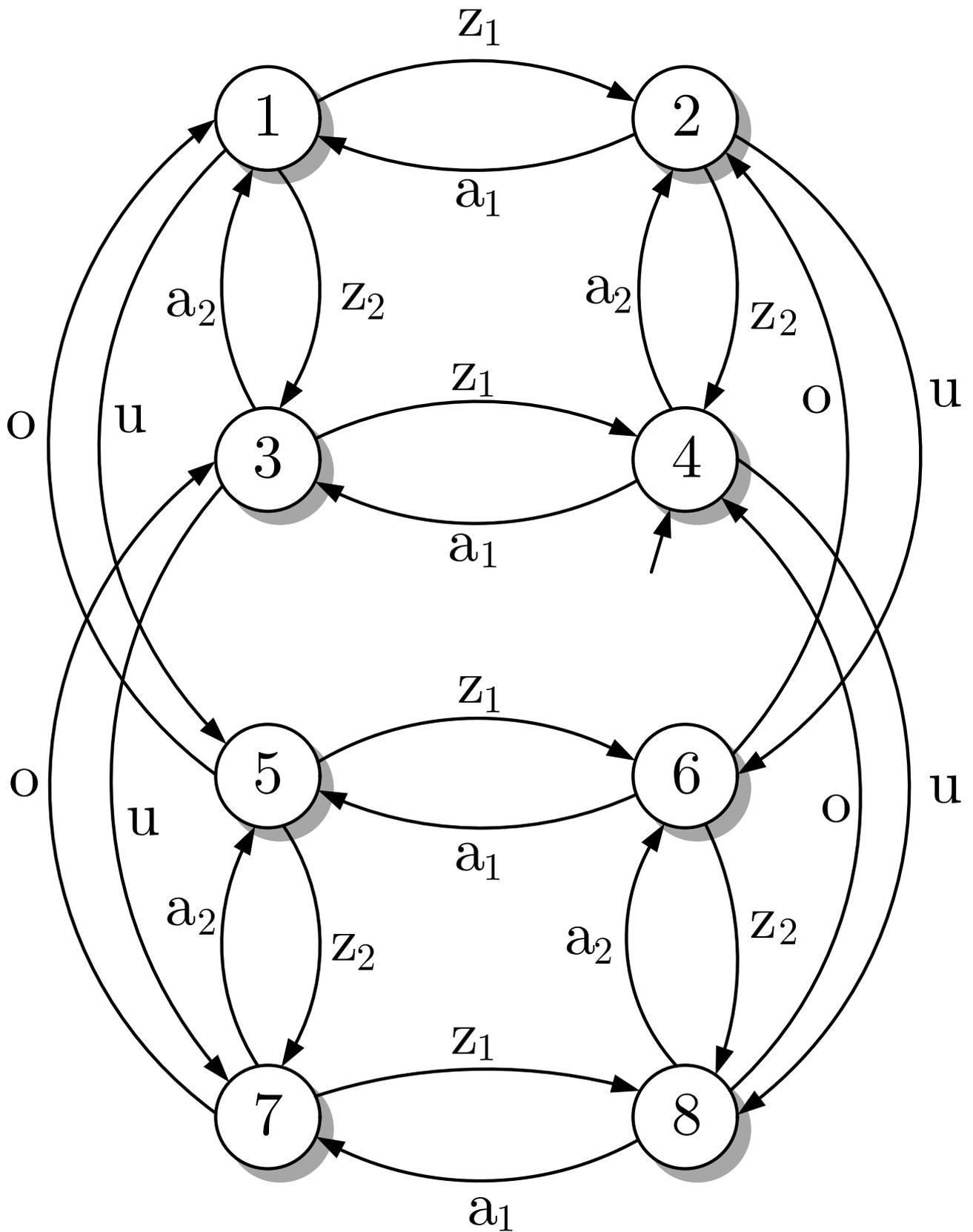


Abb. A1.32: Modell, das sämtliche Bewegungsmöglichkeiten des Motors repräsentiert

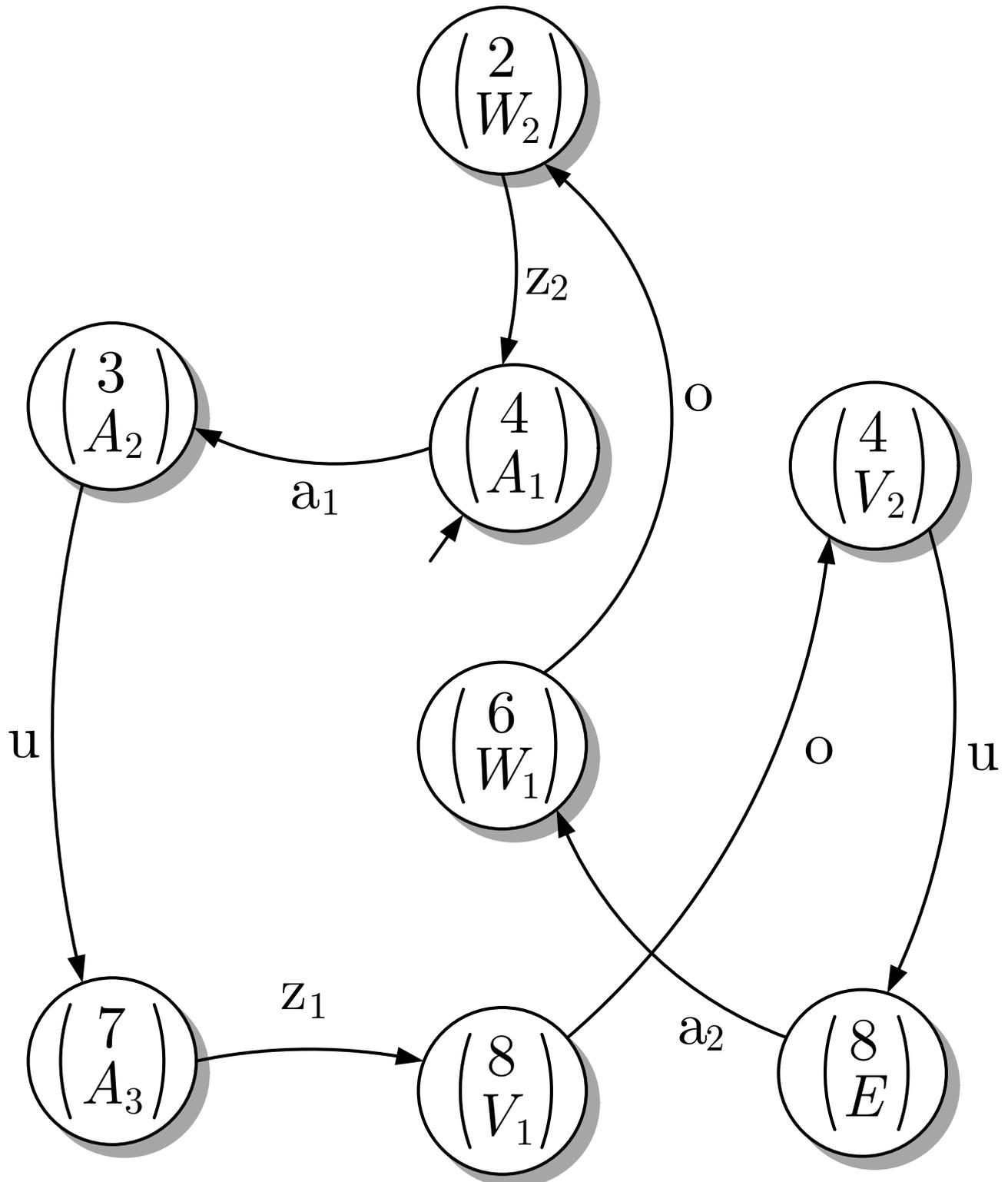


Abb. A1.32: Produkt dieses Modells mit dem Spezifikationsautomaten aus Abb. A1.33

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

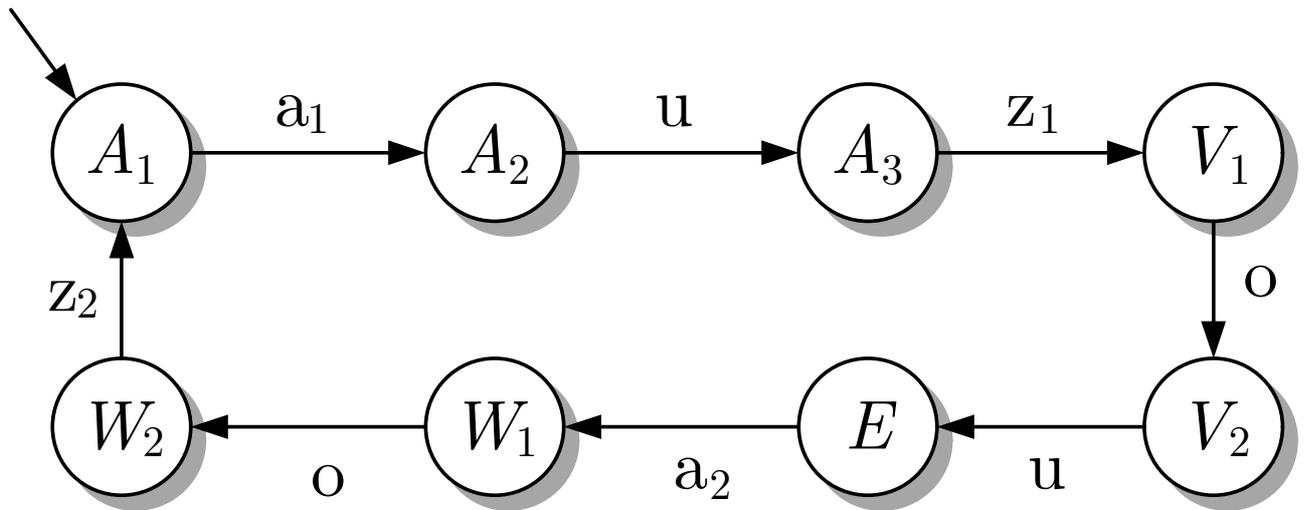


Abb. A1.33: Darstellung der Wirkungsweise des Viertaktmotors durch einen Σ -Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

\mathcal{A}_R :

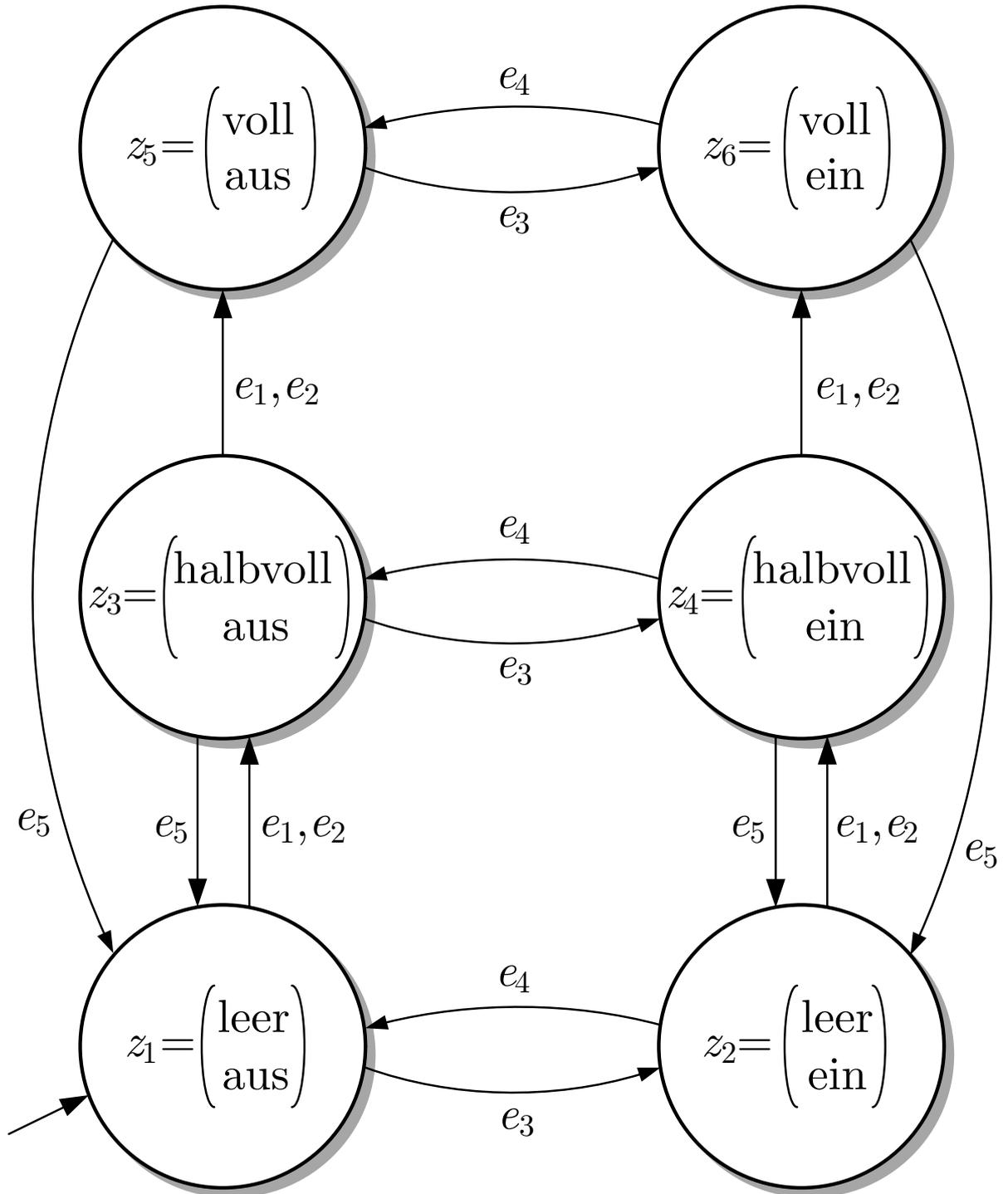


Abb. A1.34: Verhalten des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

\mathcal{A}_S :

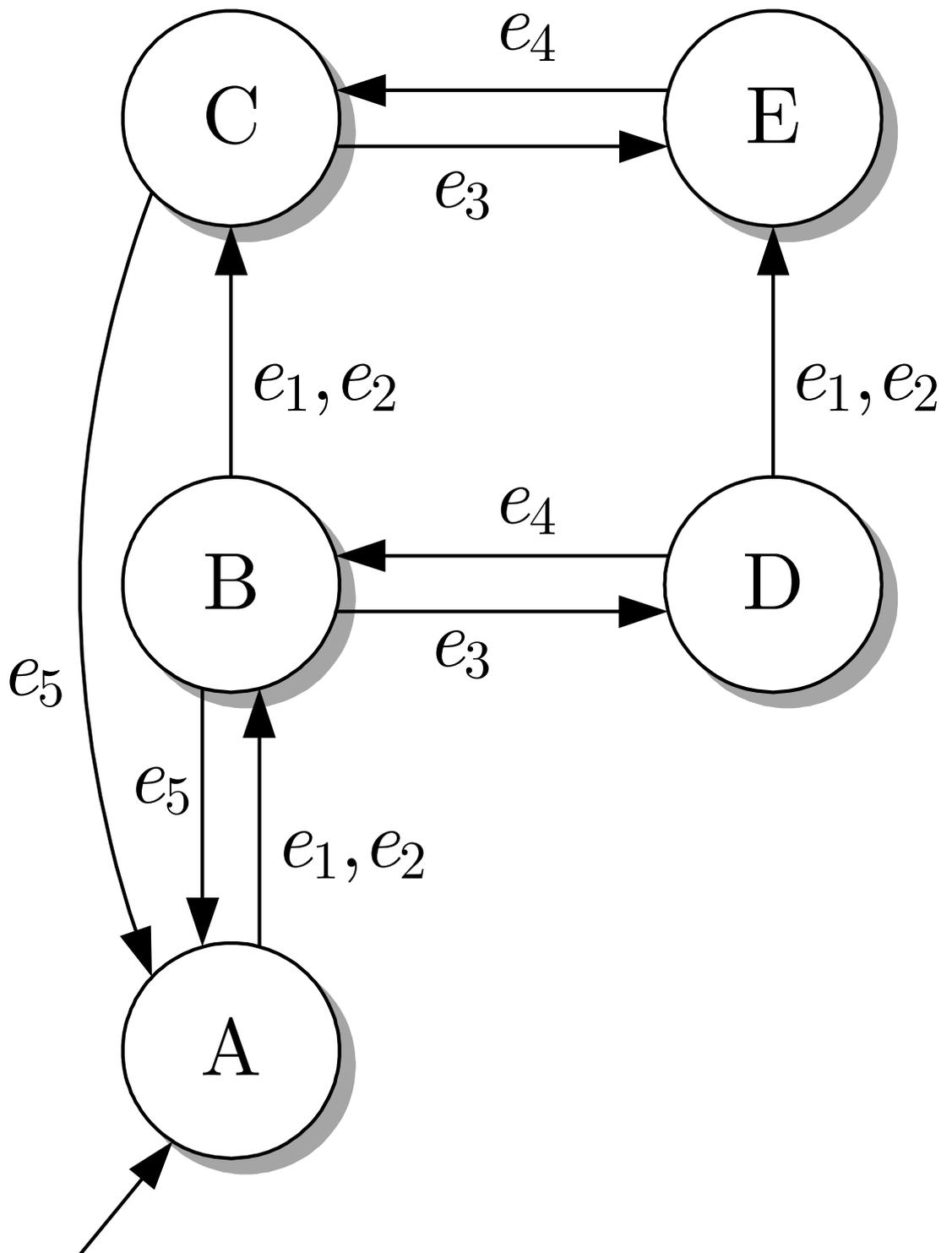


Abb. A1.35: Automat \mathcal{A}_S , der das sichere Verhalten des Batchprozesses beschreibt

$\mathcal{A}_R \times \mathcal{A}_S$:

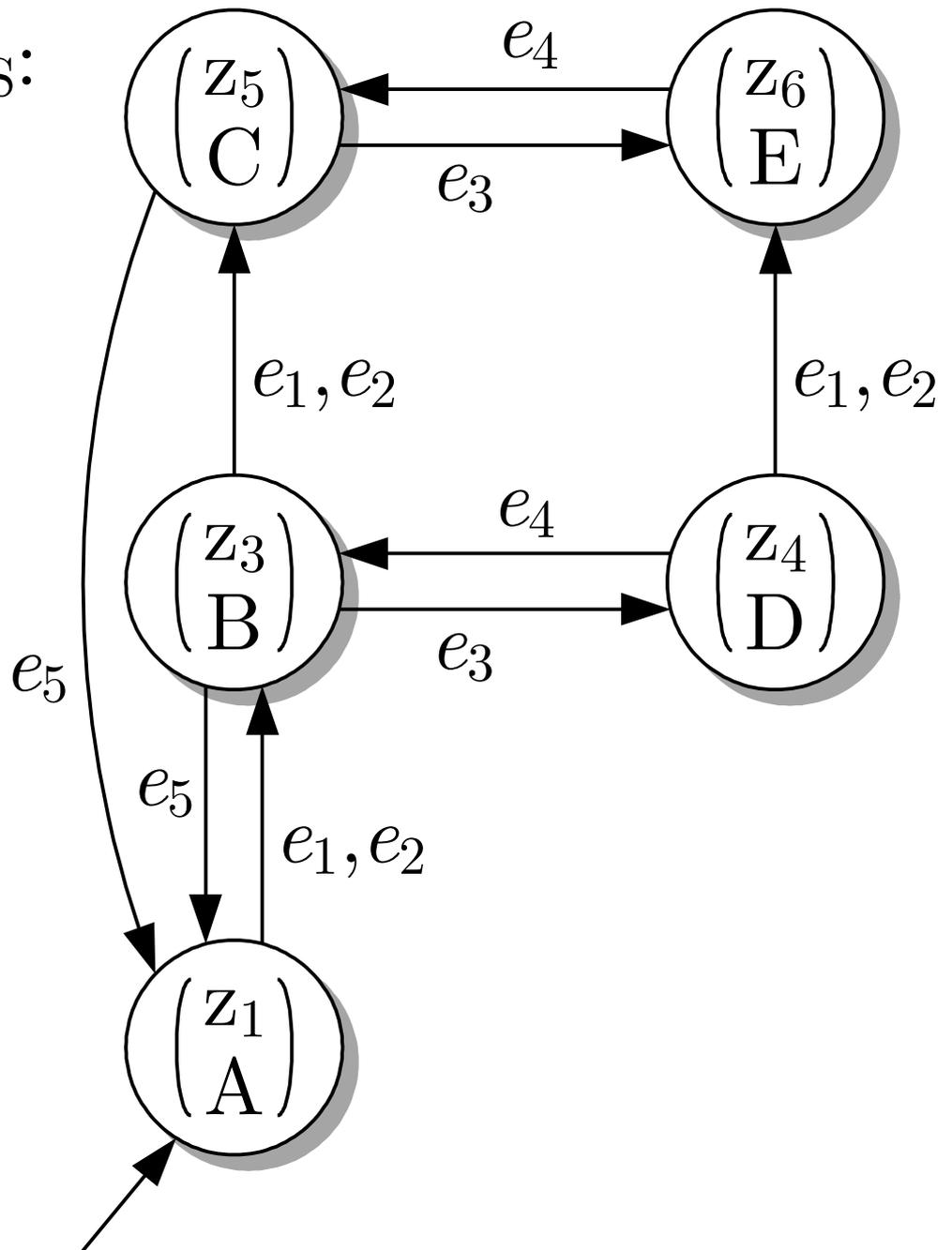


Abb. A1.35: Produktautomat $\mathcal{A}_R \times \mathcal{A}_S$

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

\mathcal{A}_B :

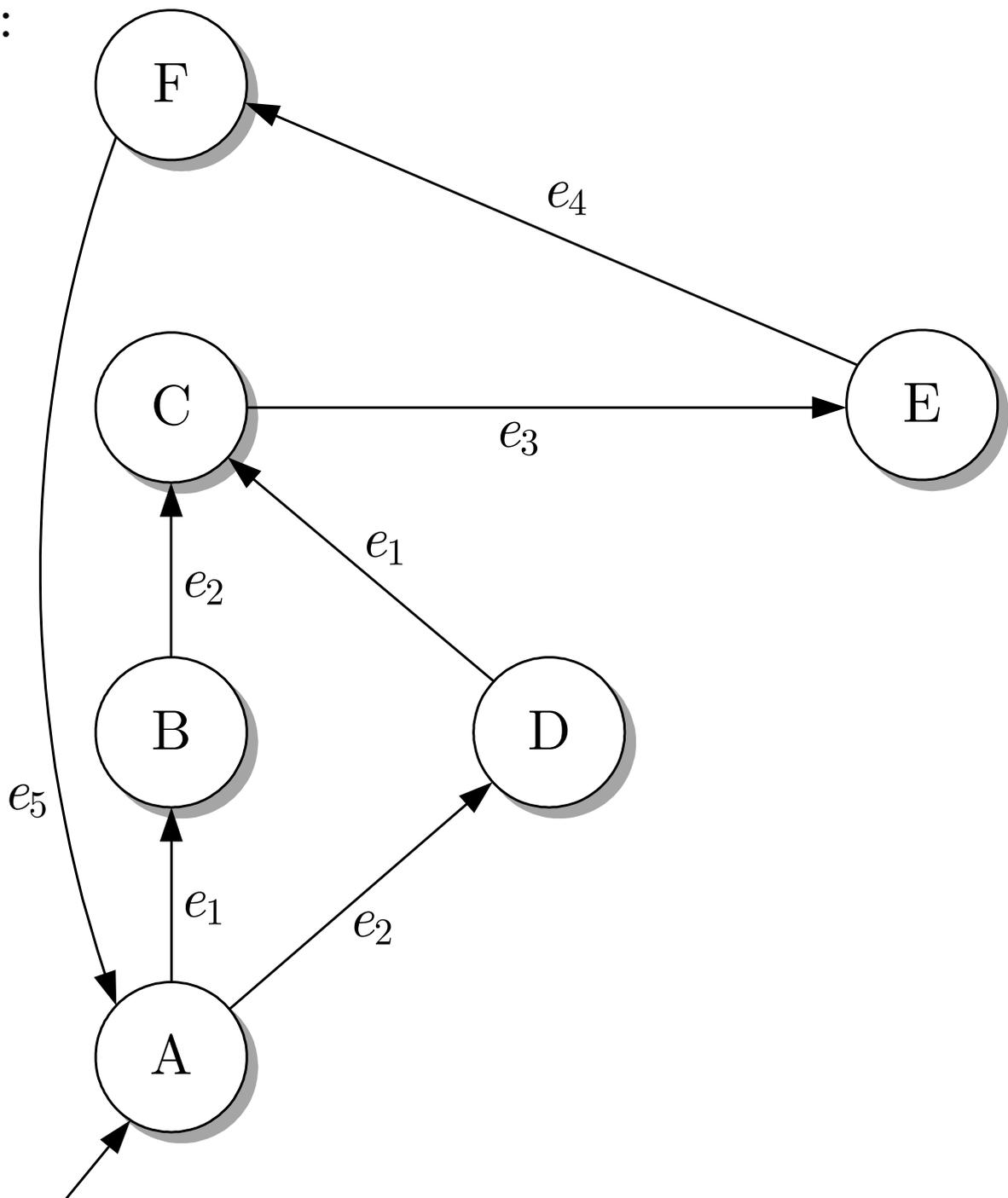


Abb. A1.36: Gefordertes Verhalten des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

$\mathcal{A}_R \times \mathcal{A}_B$:

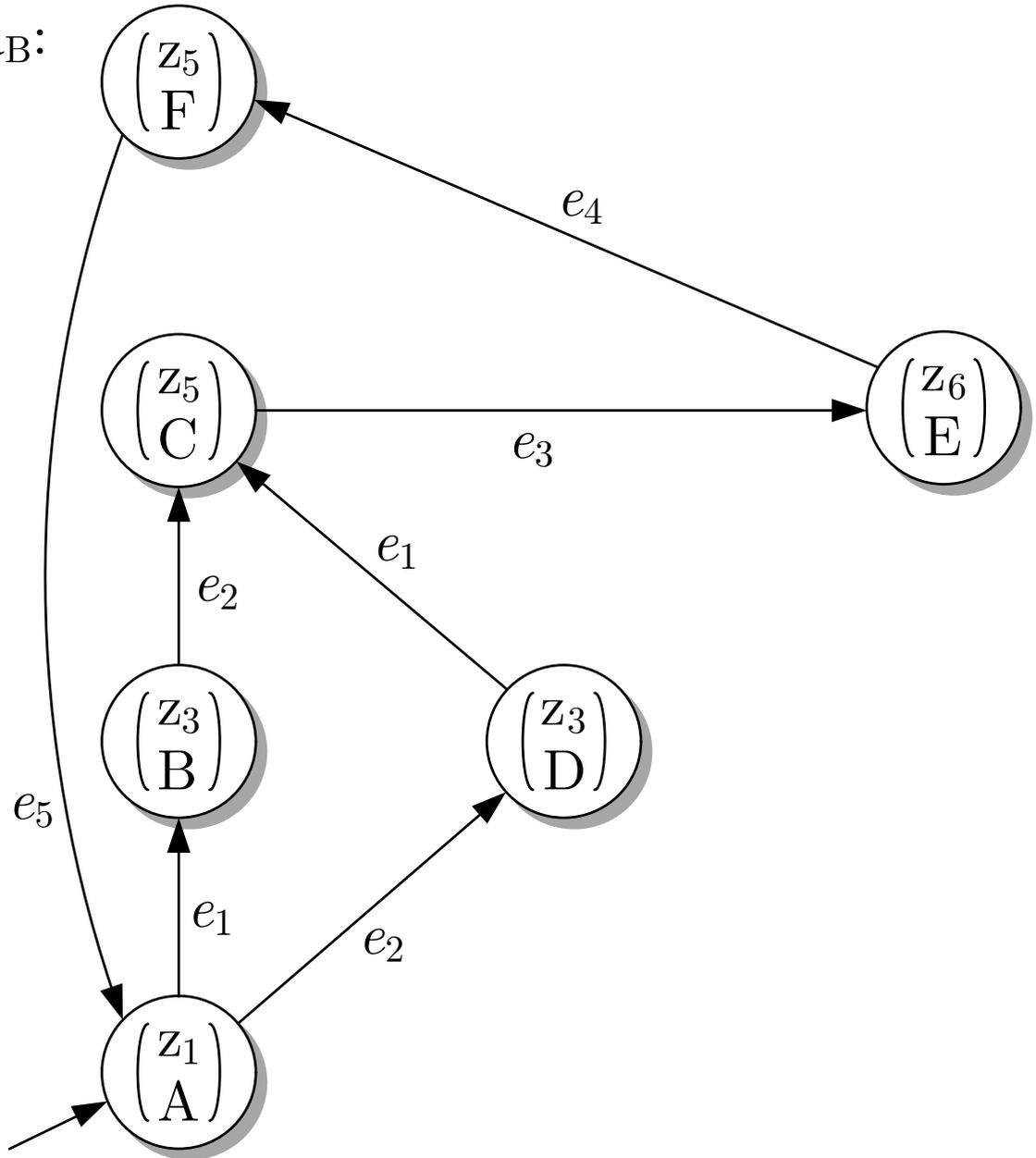


Abb. A1.36: Gefordertes Verhalten des Batchprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

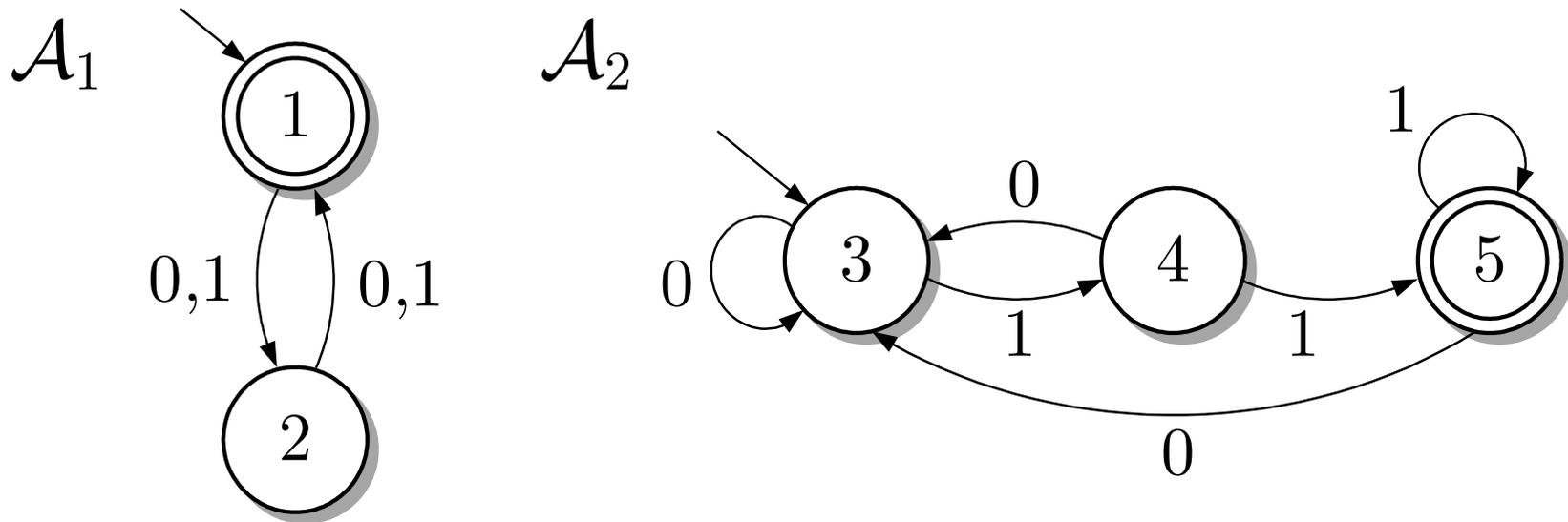


Abb. A1.37. Akzeptoren der Sprachen \mathcal{L}_1 und \mathcal{L}_2

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

$\mathcal{A}_1 \times \mathcal{A}_2$

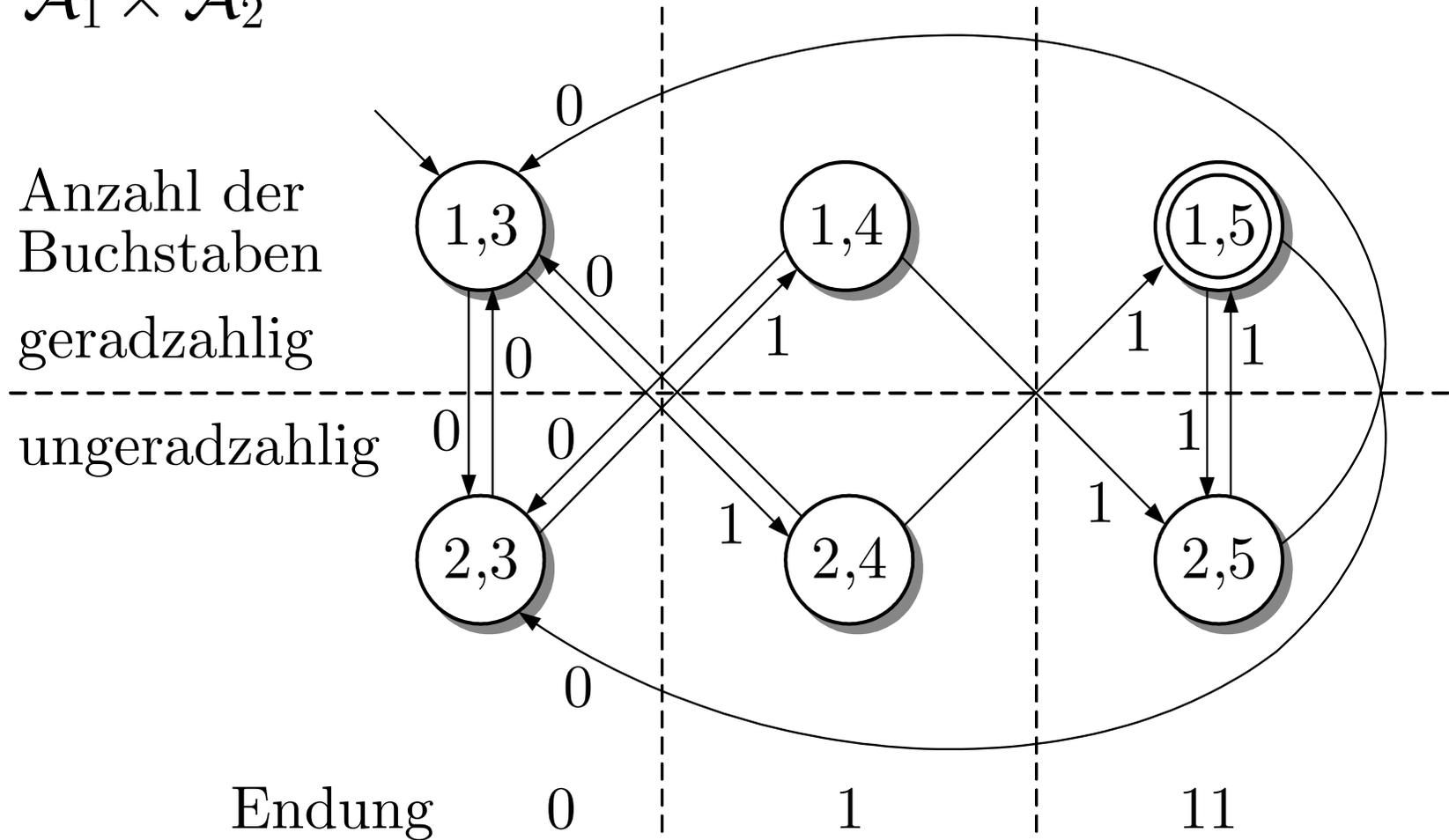


Abb. A1.38. Akzeptor $\mathcal{A}_1 \times \mathcal{A}_2$ der Sprache $\mathcal{L}_1 \cap \mathcal{L}_2$

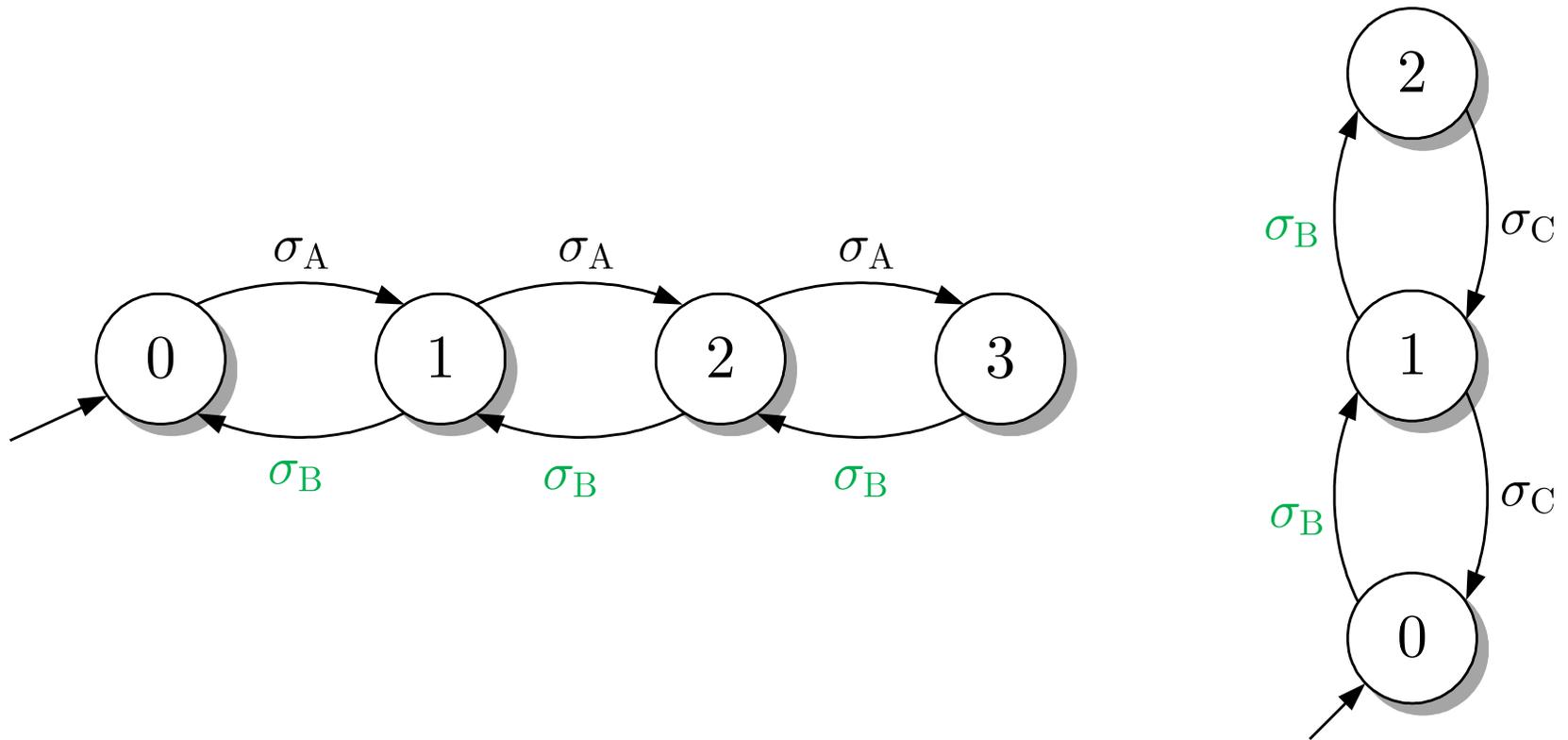


Abb. A1.39. Automaten, die die beiden Werkzeugmaschinen mit Warteschlange getrennt voneinander beschreiben

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

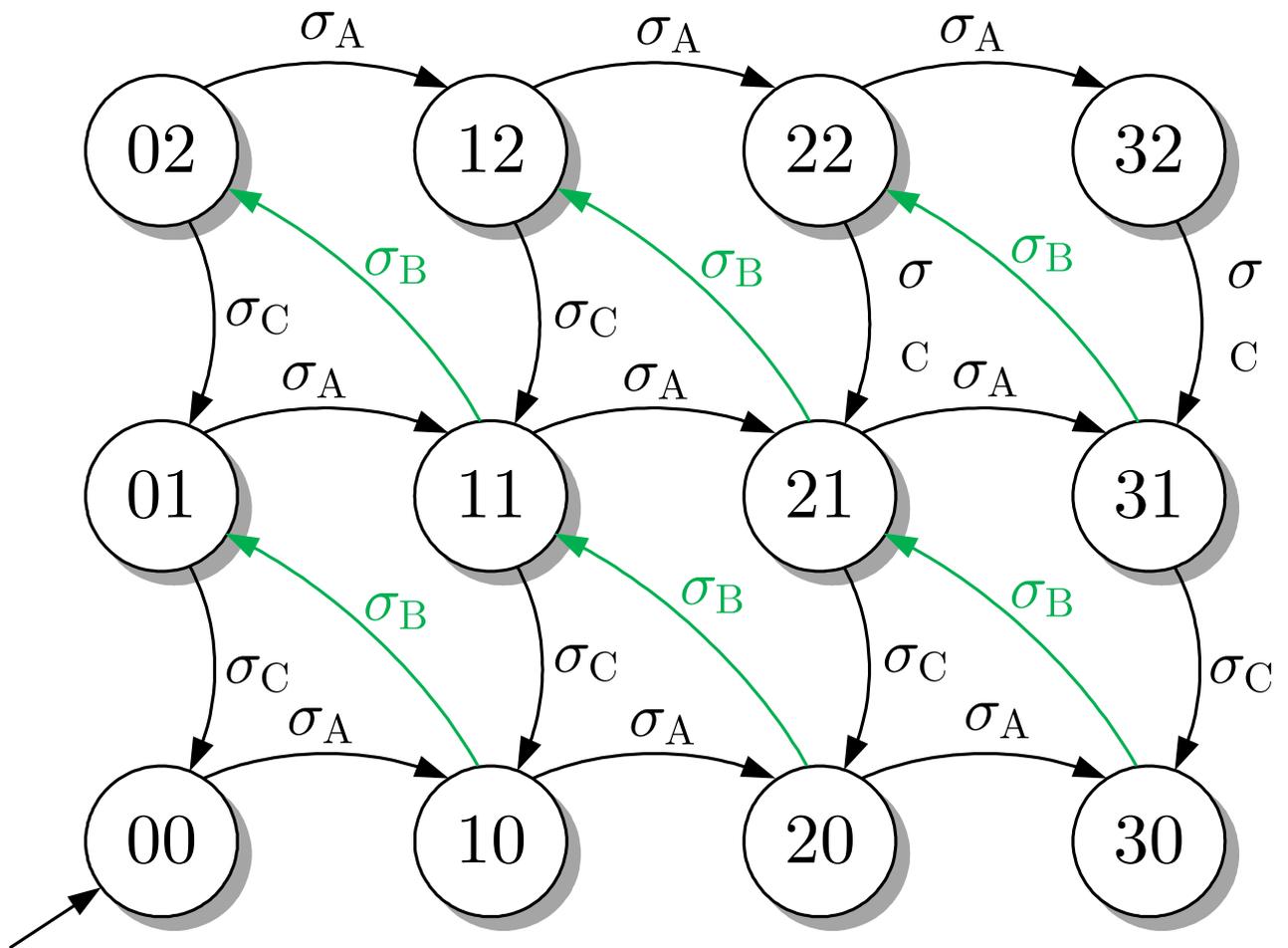
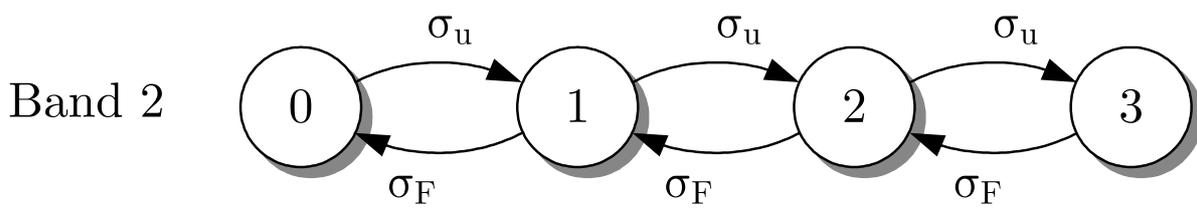
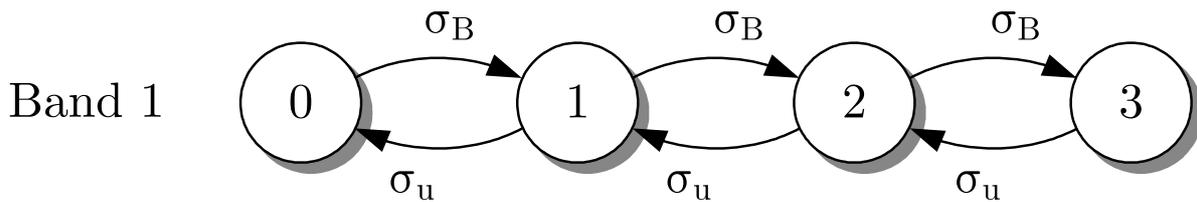


Abb. A1.40: Automat, der die verkoppelten Werkzeugmaschinen beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



Parallele
Komposition

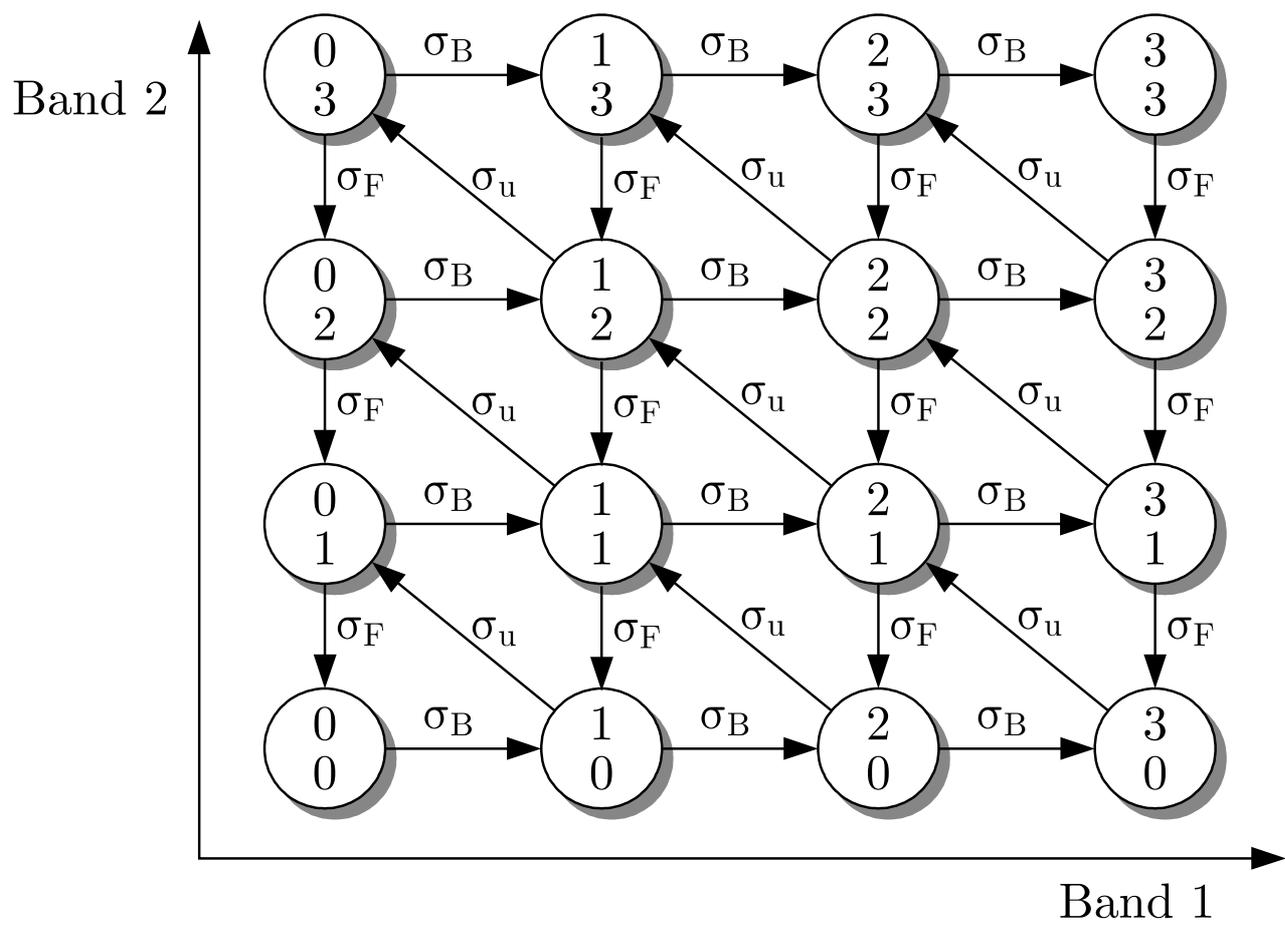


Abb. A1.41: Modelle des Kofferbandes

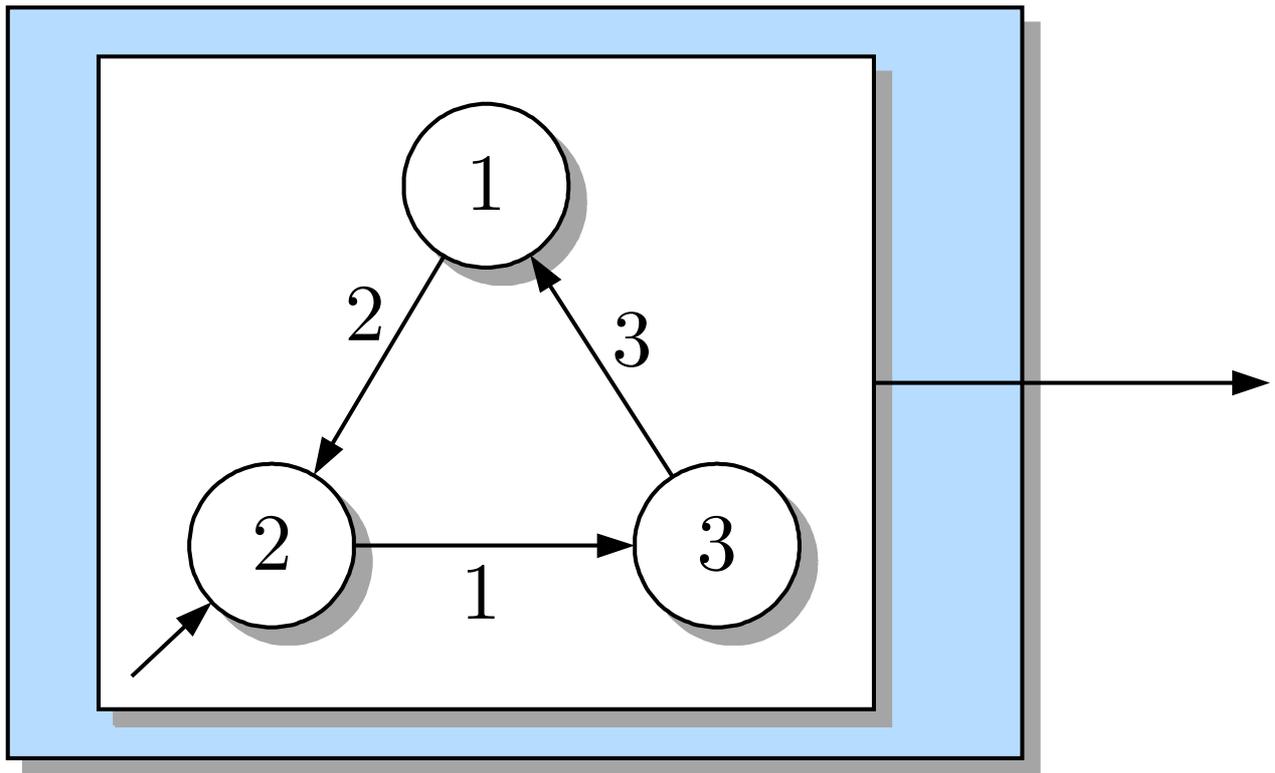


Abb. A1.42: Rückführautomat

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

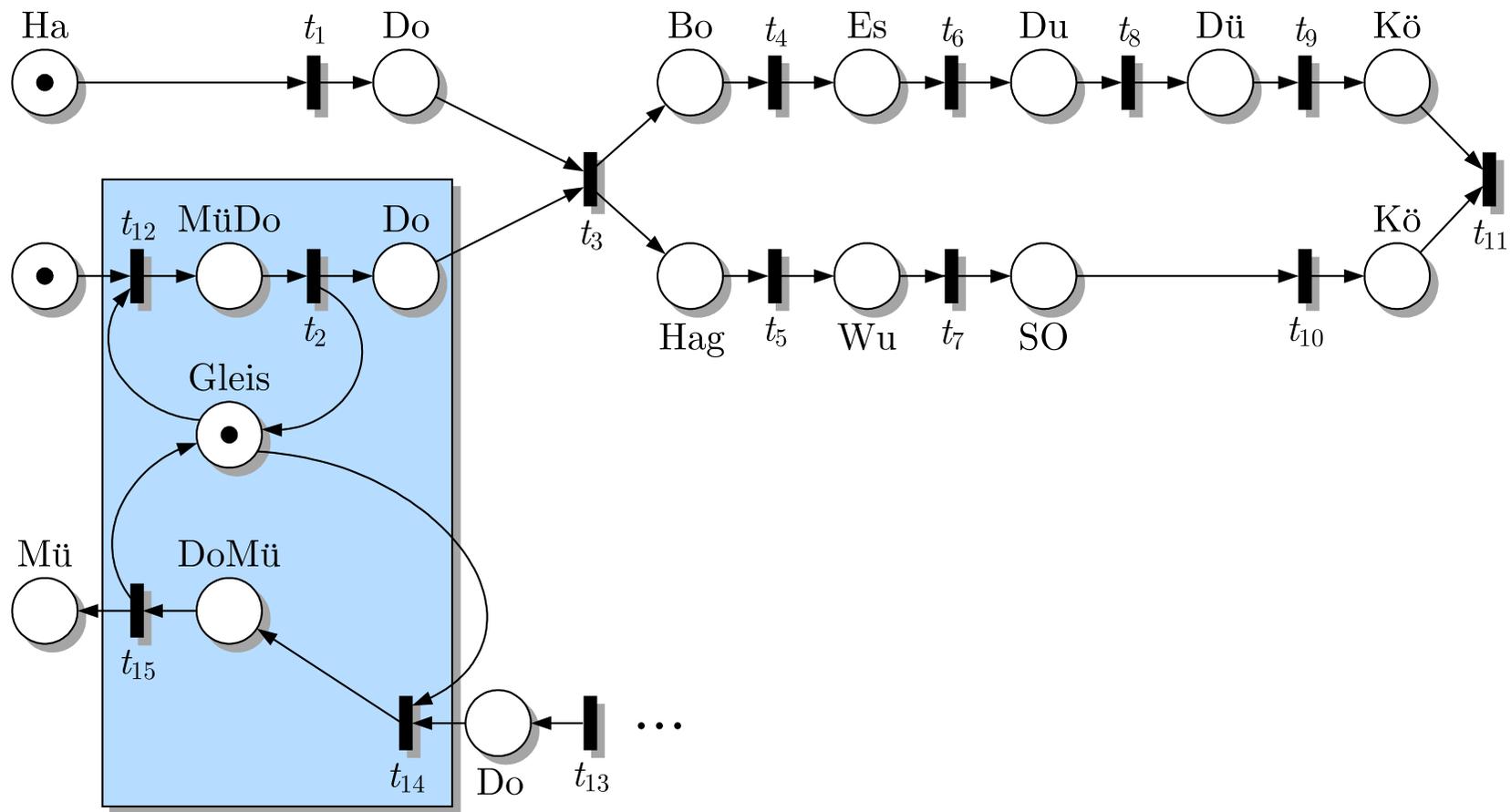


Abb. A1.43. Petrinetz für die Beschreibung des Bahnverkehrs für beide Fahrtrichtungen

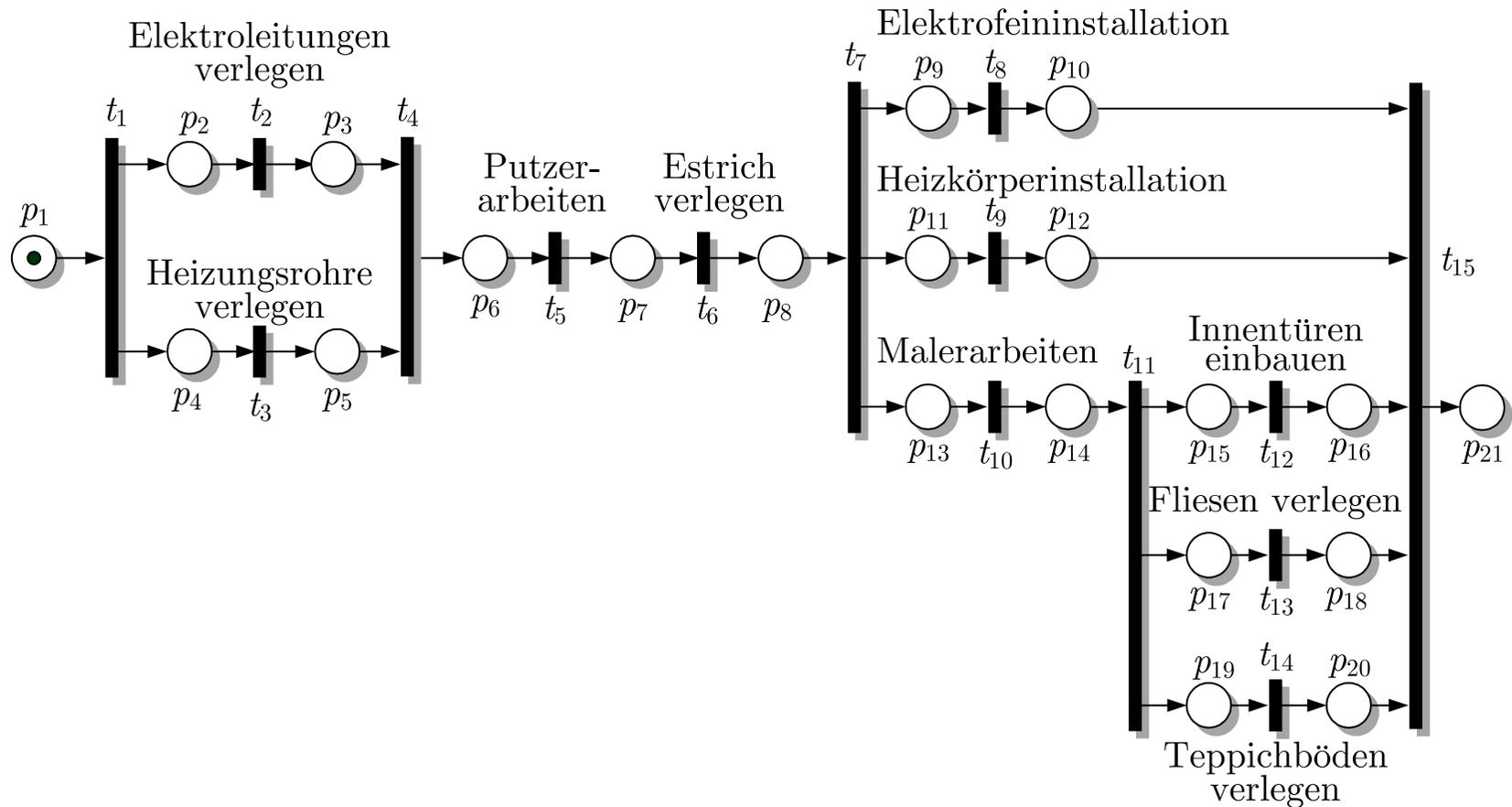
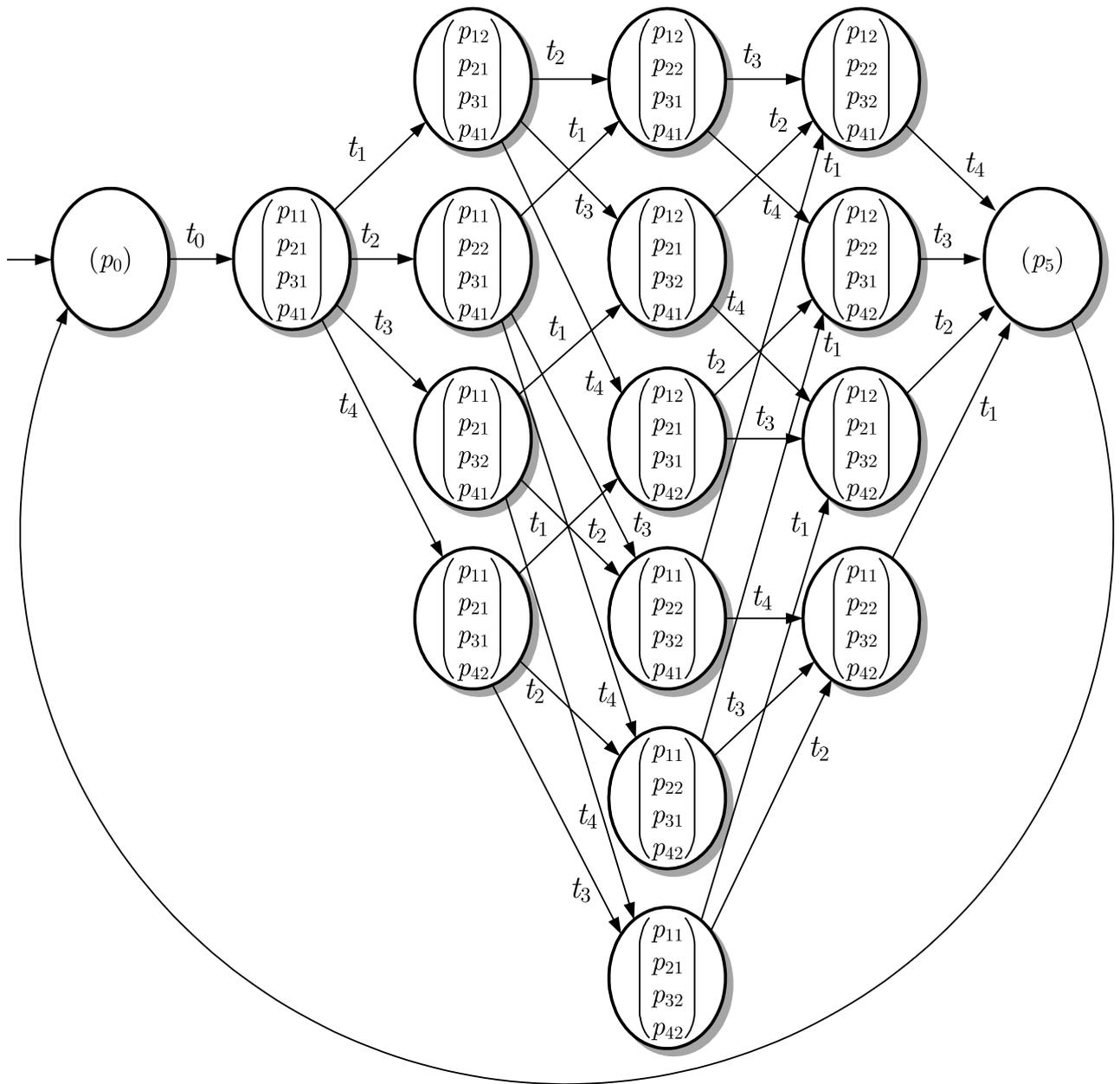


Abb. A1.44. Petrinetz, das die Gewerkefolge beim Innenausbau eines Hauses beschreibt



**Abb. A1.45: Erreichbarkeitsgraph des Petrinetzes aus
Abb. 6.2**

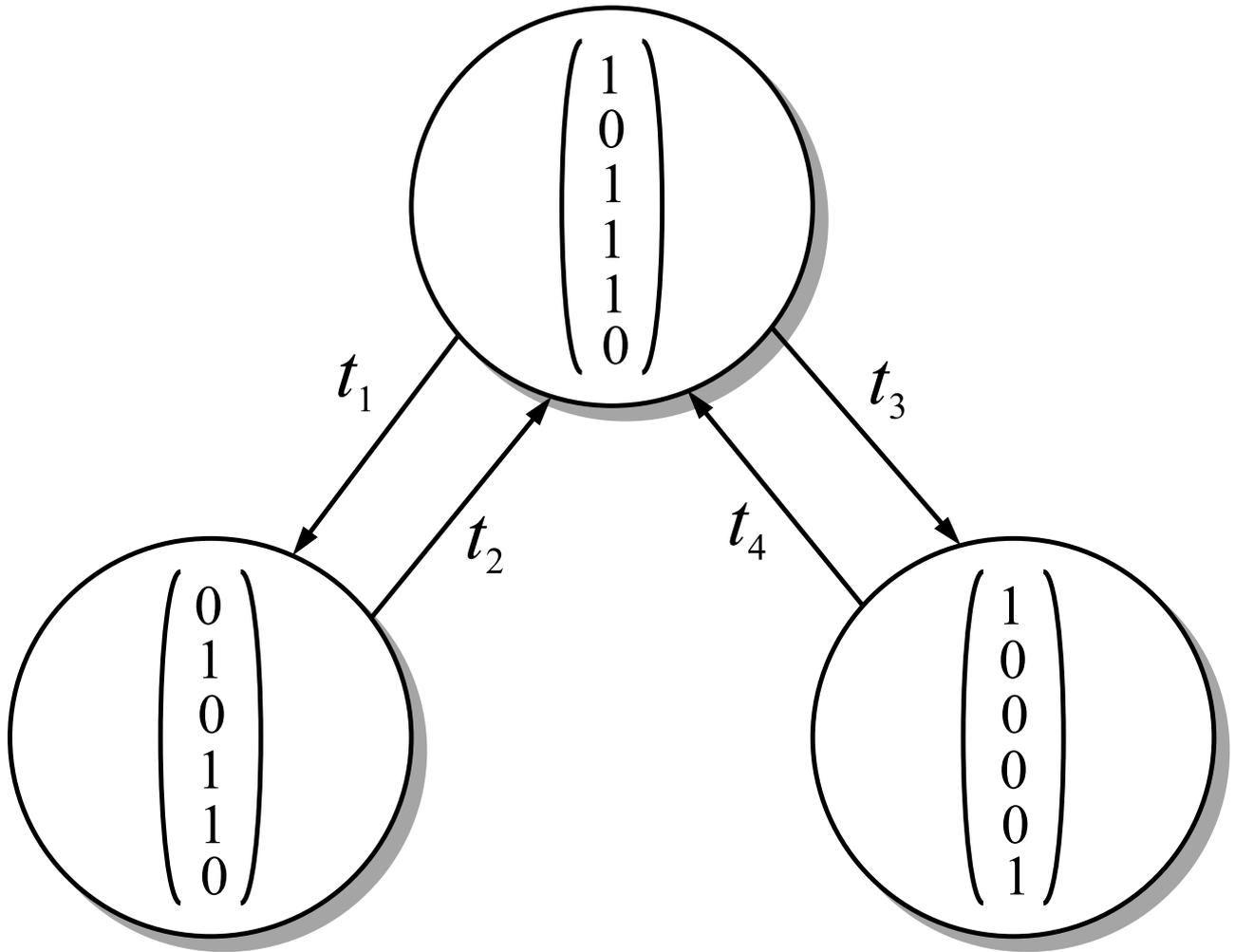


Abb. A1.46: Erreichbarkeitsgraph des dargestellten Petrinetzes

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

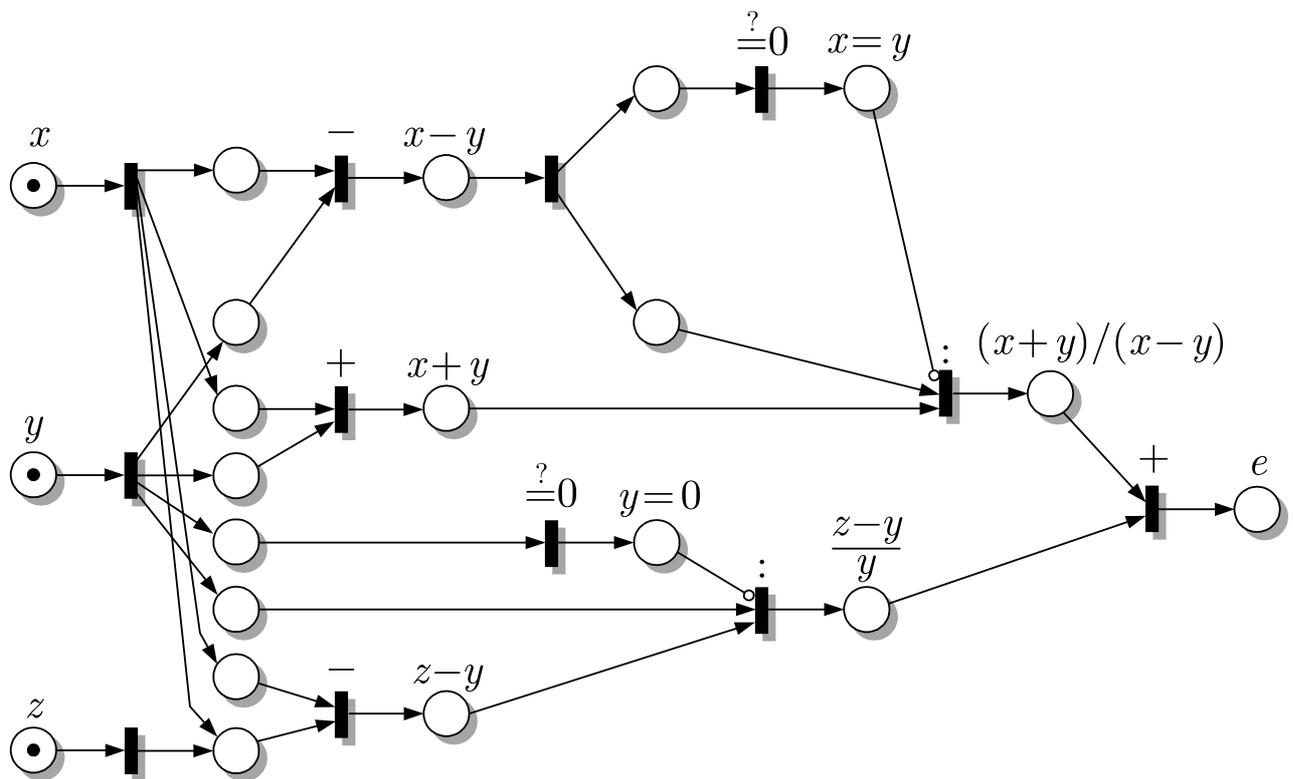


Abb. A1.47: Darstellung des Datenflusses für die gegebene arithmetische Aufgabe

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

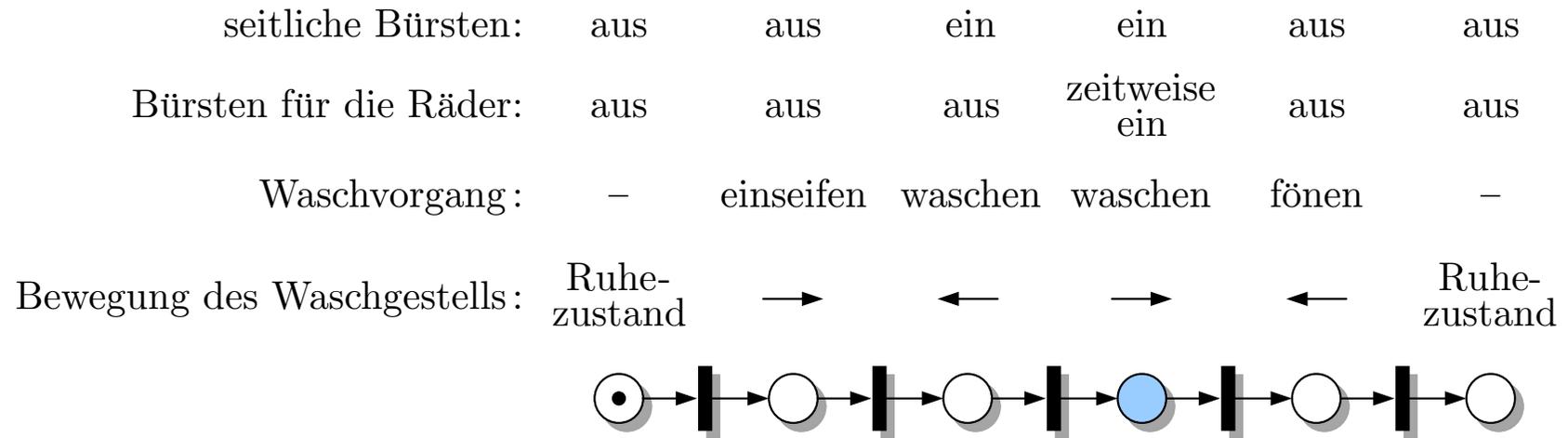


Abb. A1.48. Beschreibung des gesamten Waschvorgangs

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

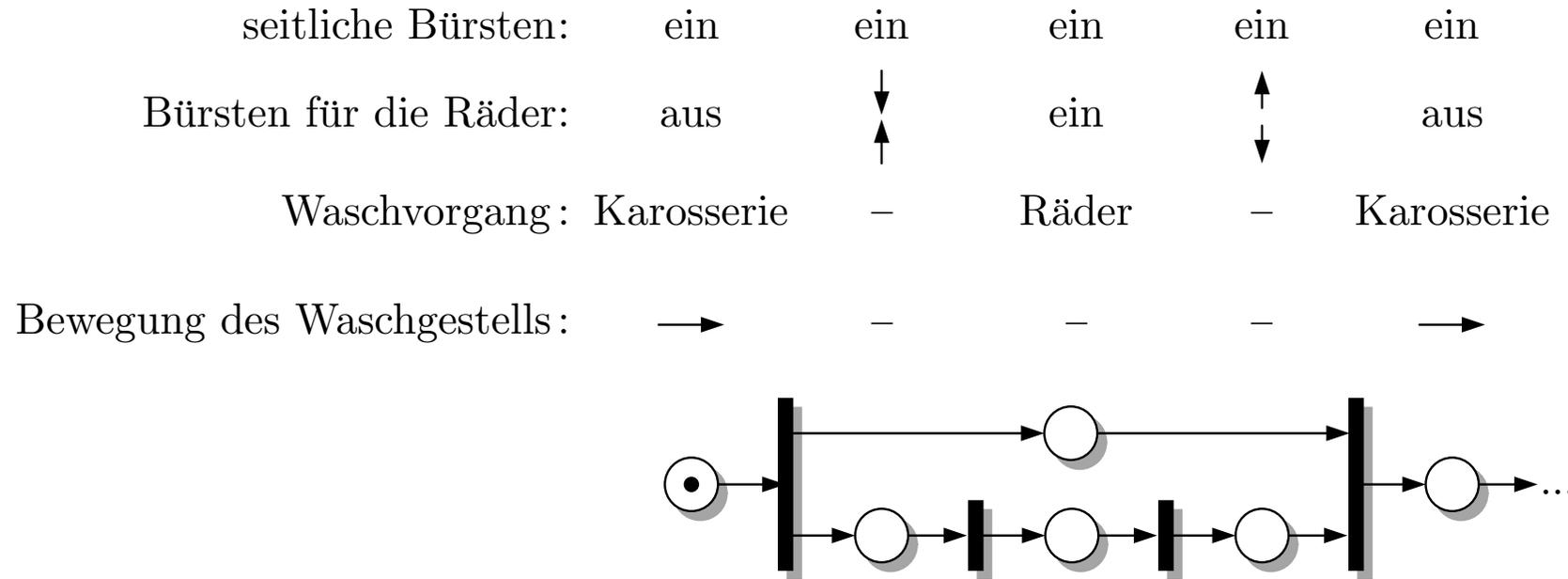


Abb. A1.49. Detaillierte Beschreibung des dritten Schrittes

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

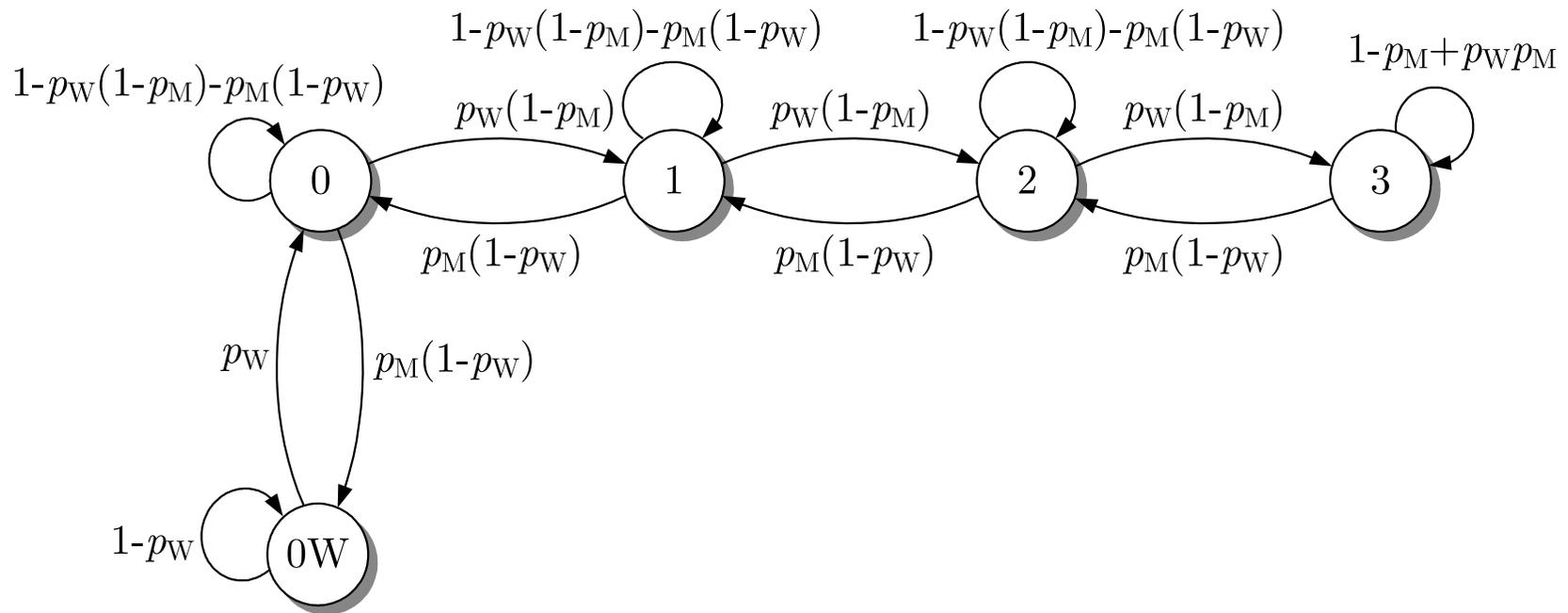


Abb. A1.50. Erweitertes Warteschlangenmodell

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

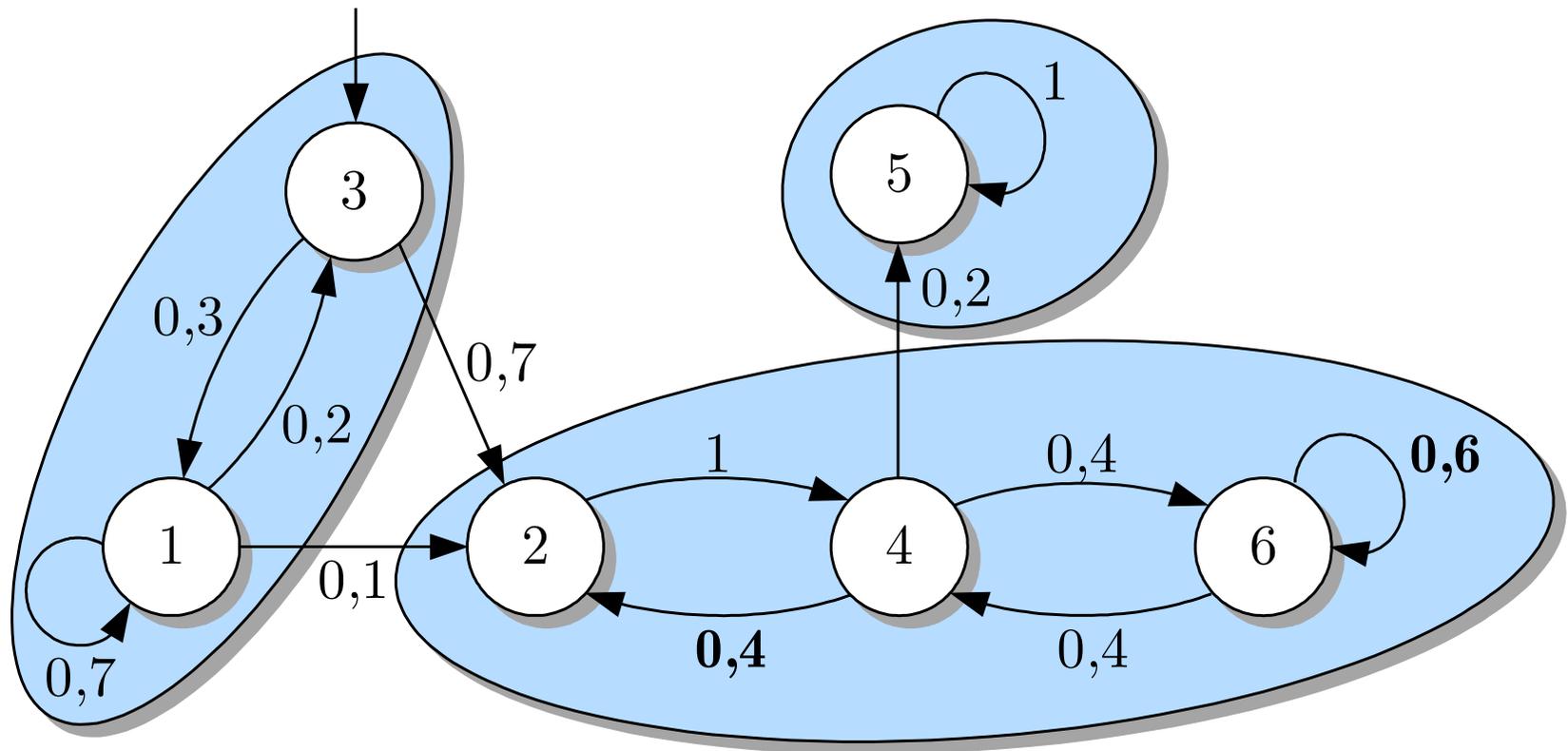


Abb. A1.52. Eine Markovkette!

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

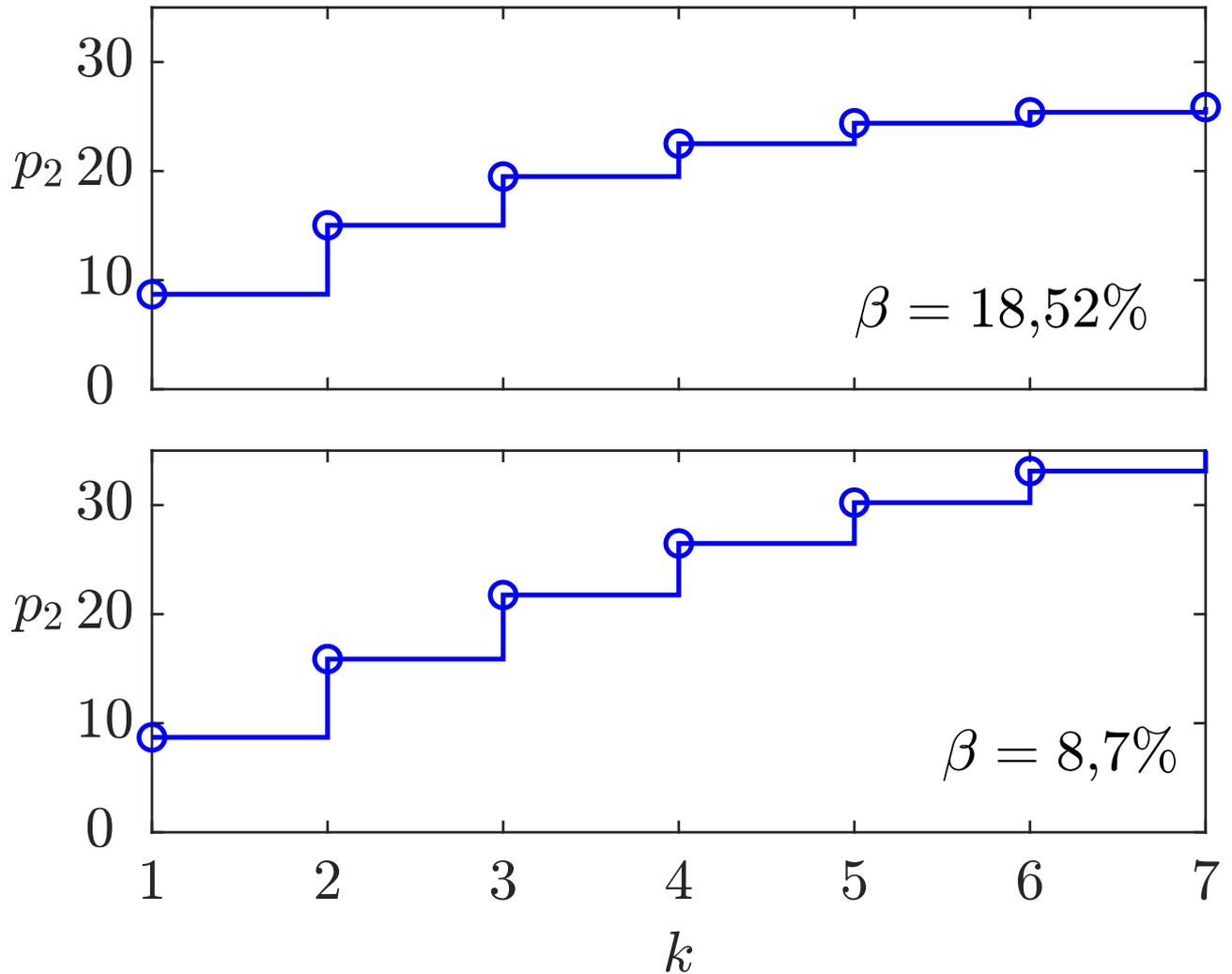


Abb. A1.53: Anteil der fehlerhaften Steuererklärungen im k -ten Jahr in Prozent

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

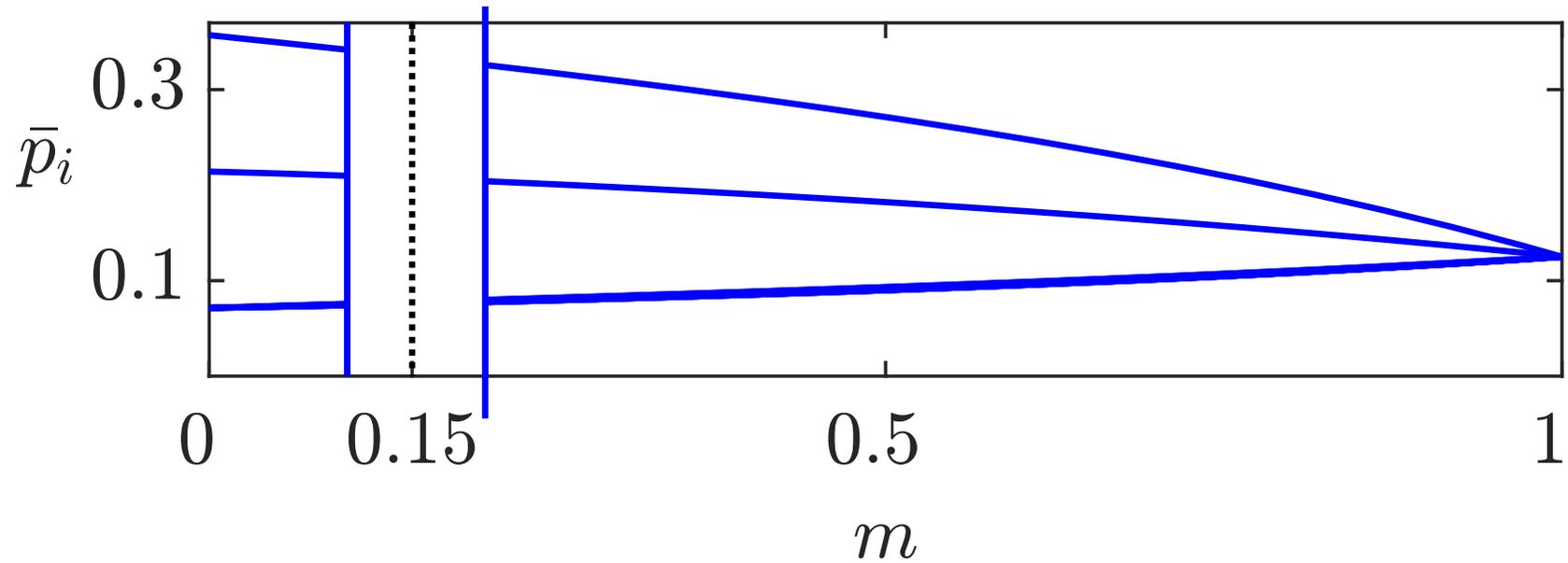


Abb. A1.54. Stationäre Wahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit vom Parameter m

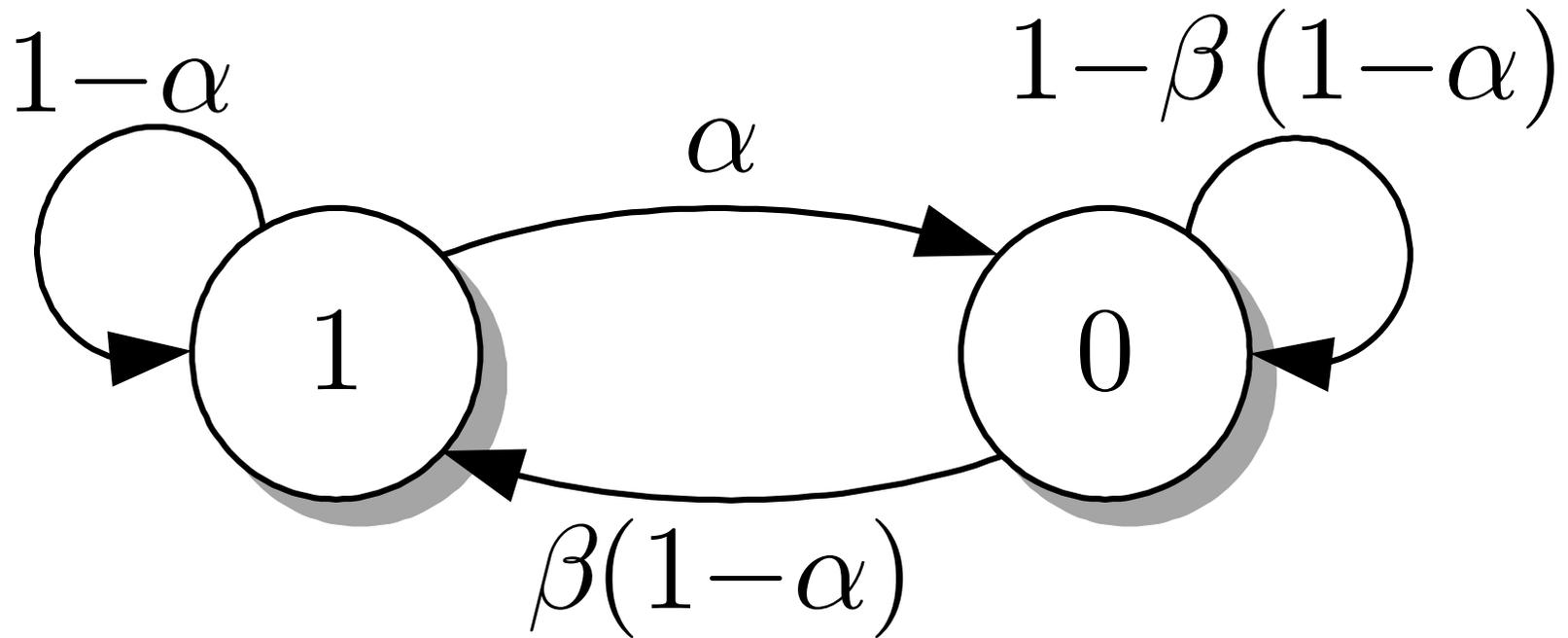


Abb. A1.55. Markovkette zur Beschreibung des Telefonapparates

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

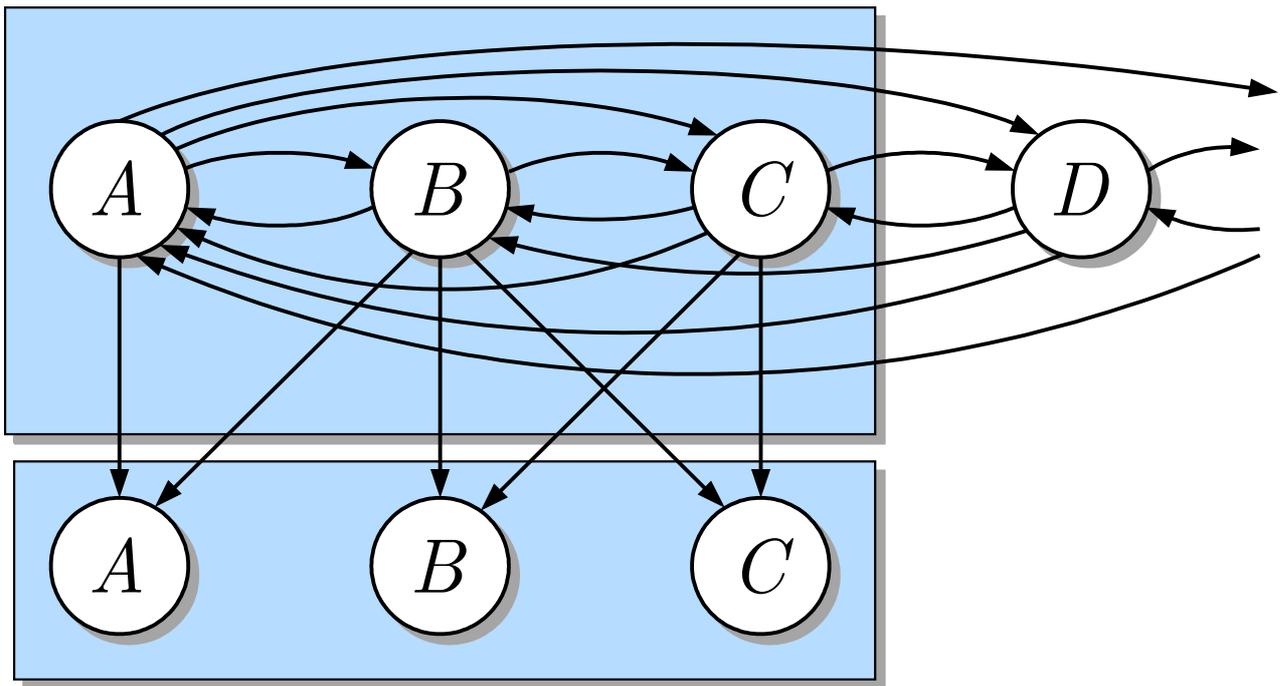


Abb. A1.56: Ausschnitt der verdeckten Markovkette für die Tasten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

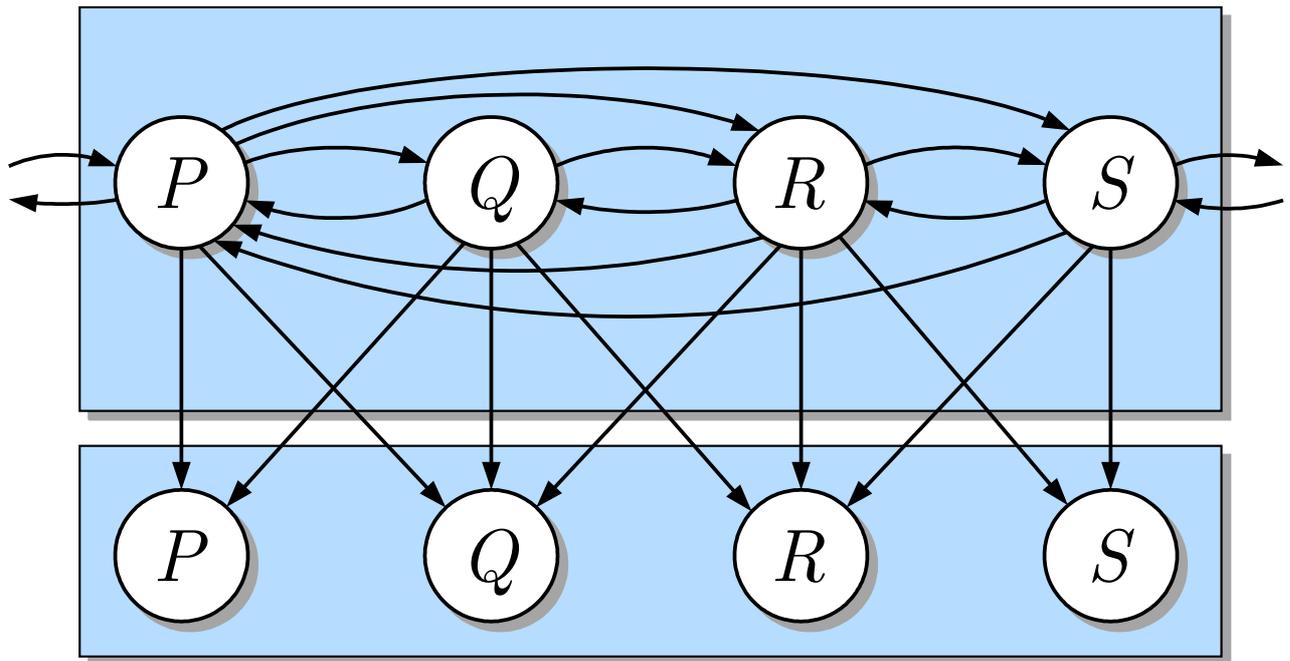


Abb. A1.56: Ausschnitt der verdeckten Markovkette für die Tasten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

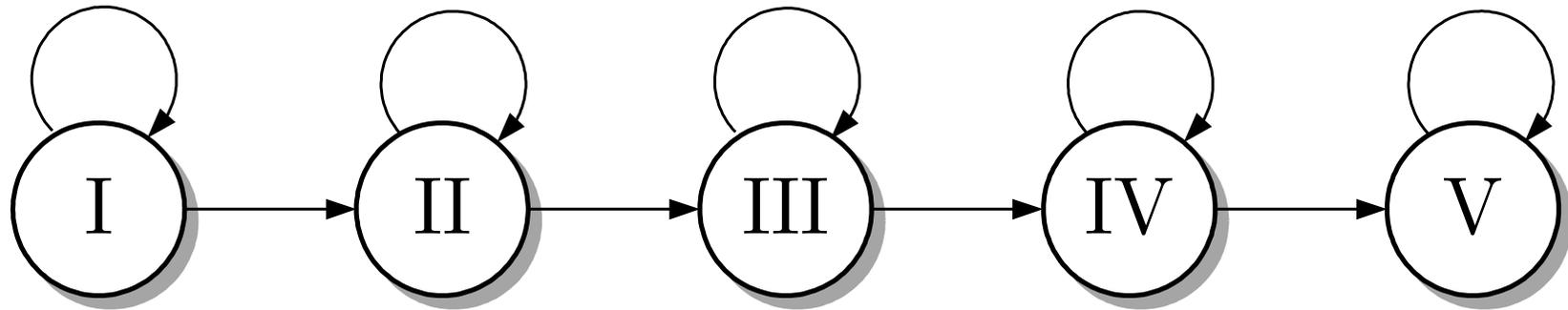


Abb. A1.57. Beschreibung des Bioprozesses

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

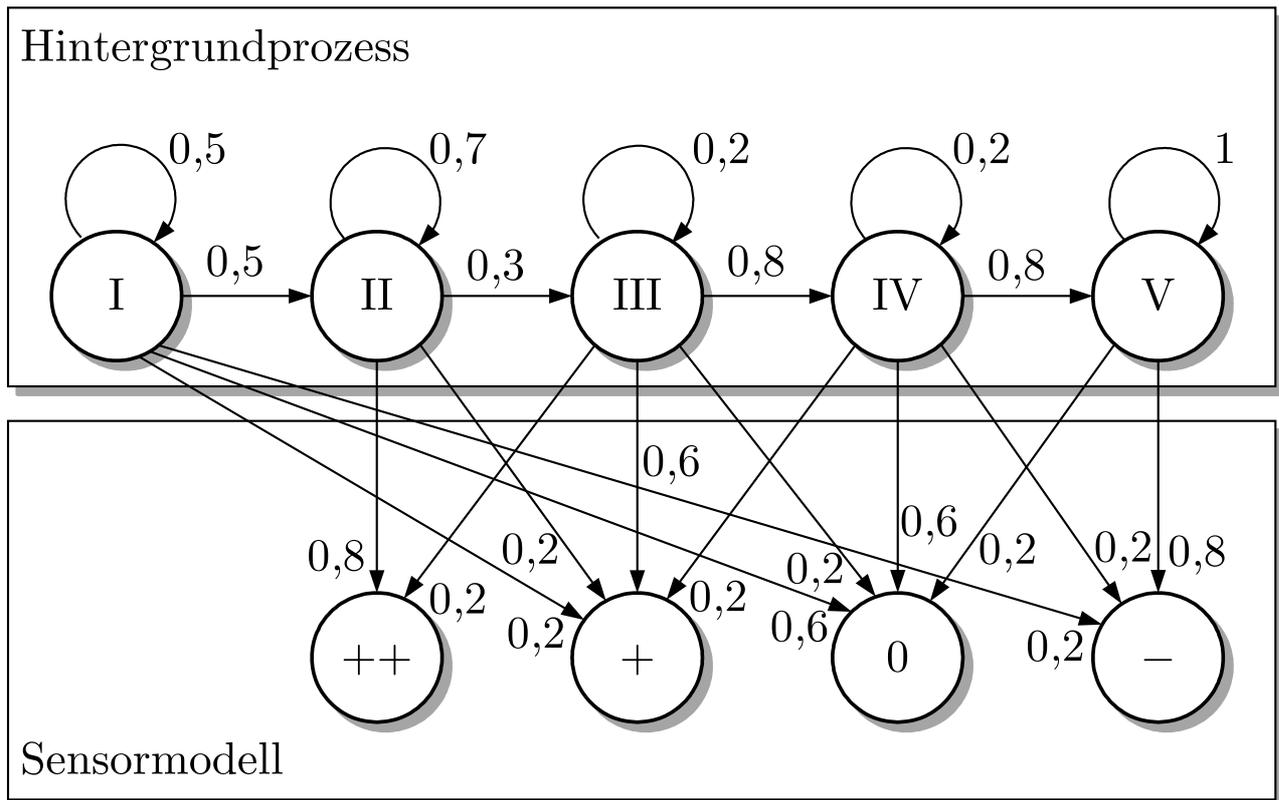


Abb. A1.58: Beschreibung des Bioprozesses durch einen stochastischen Automaten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

$w(k)=0$

0

++

++

++

+

0

+

0

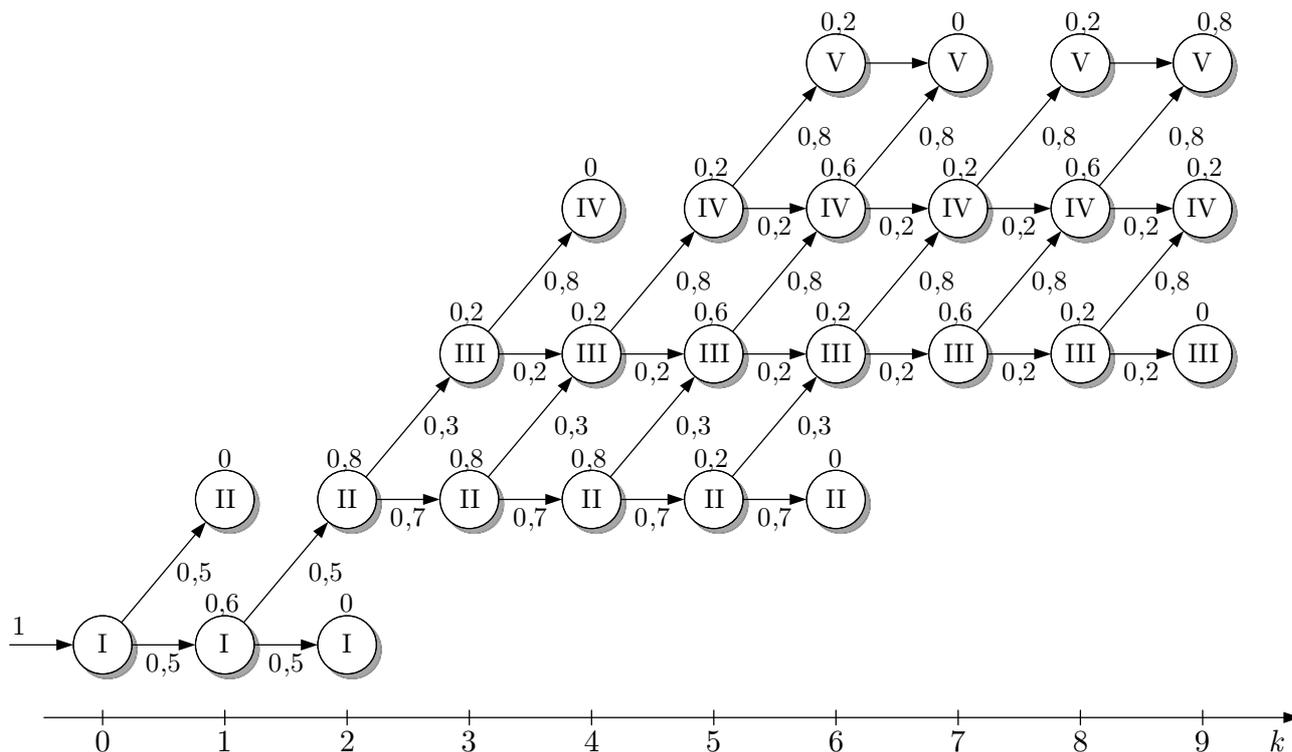


Abb. A1.59: Entfaltung des Modells

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

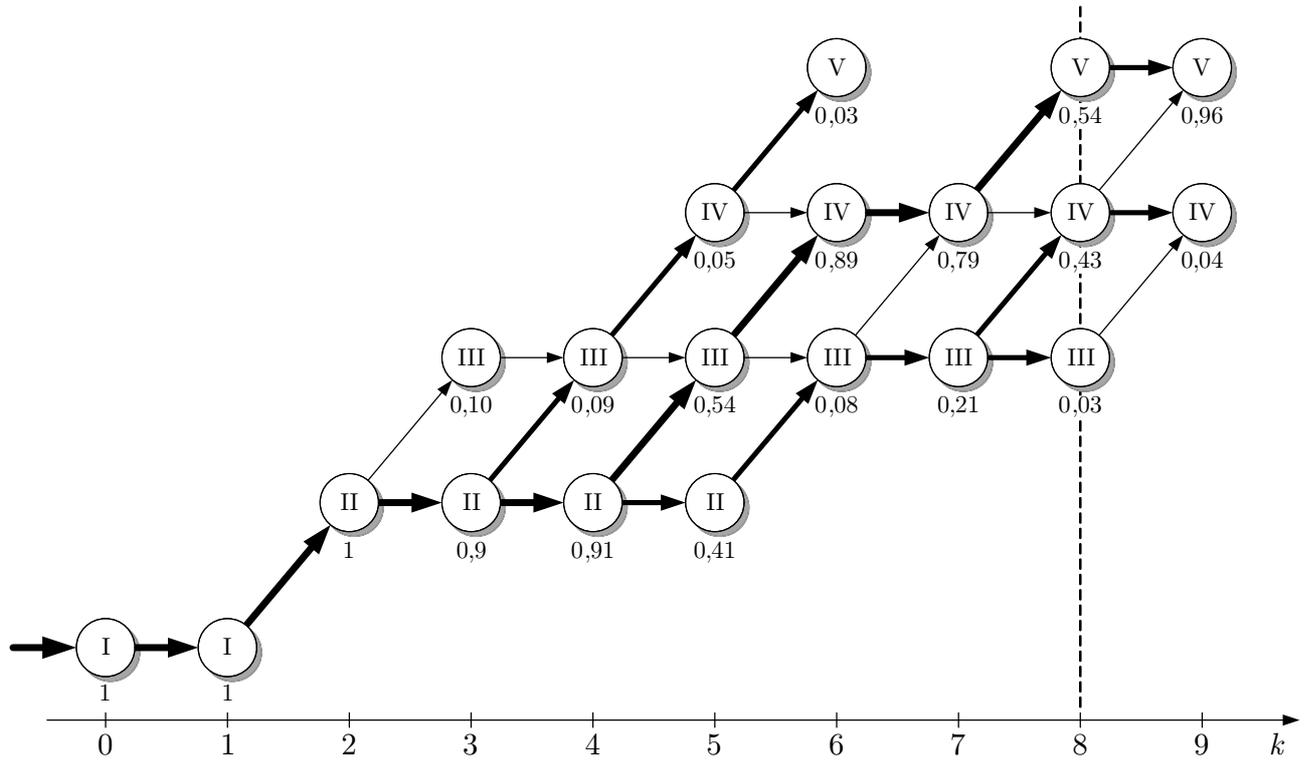


Abb. A1.60: Ergebnis des Viterbi-Algorithmus

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

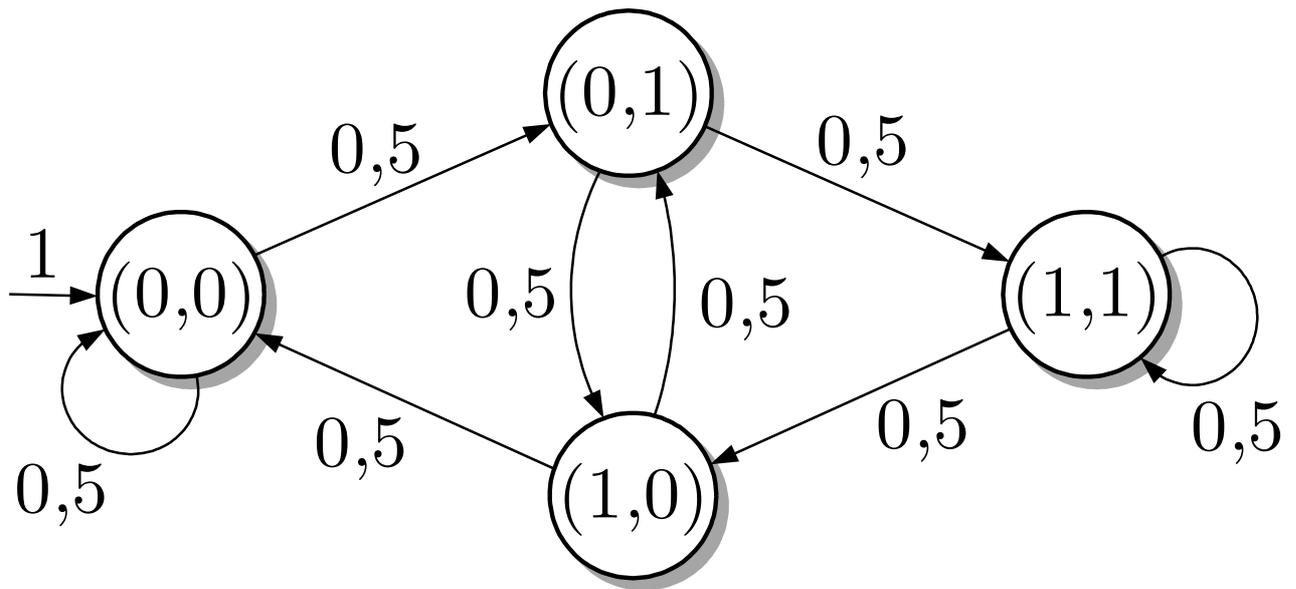
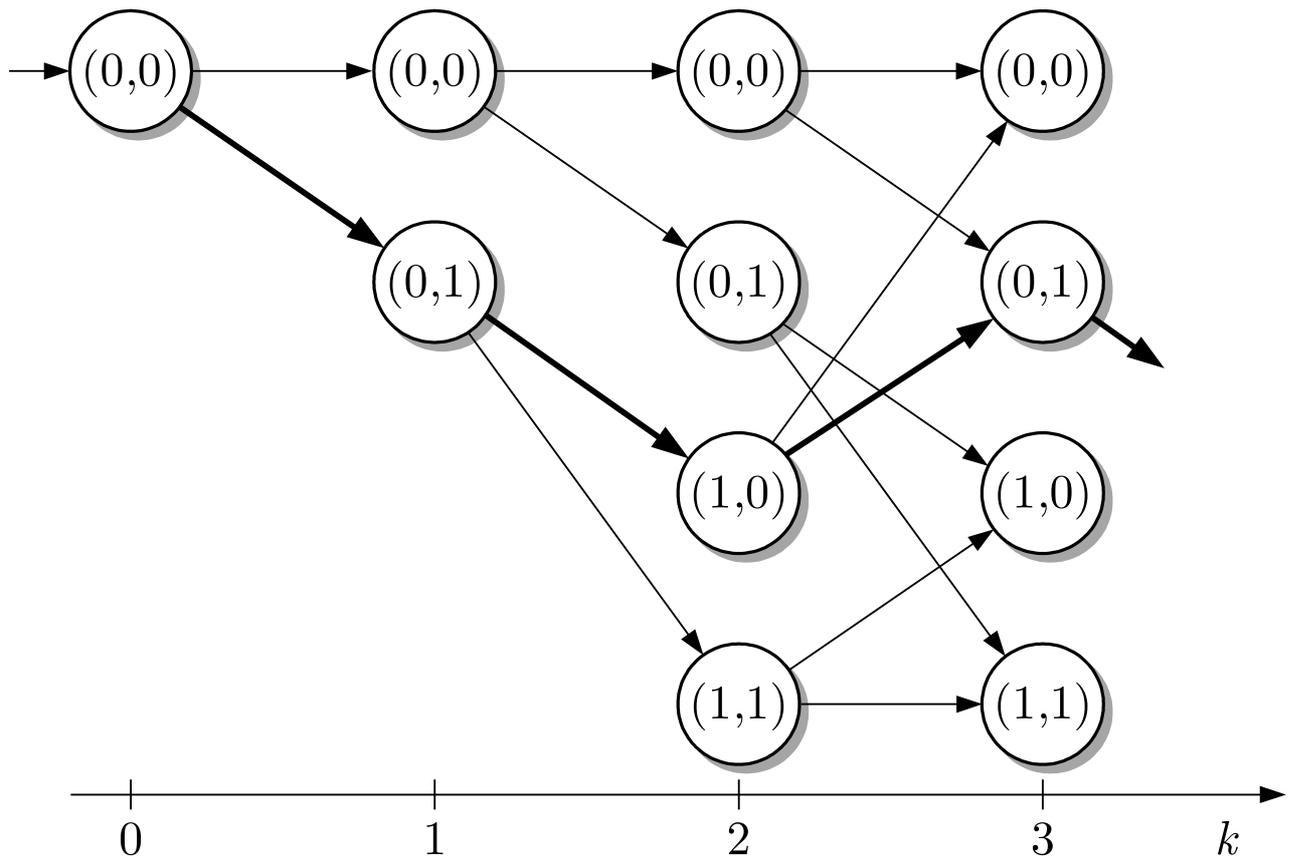


Abb. A1.61: Markovkette, die aus dem deterministischen Automaten in Abb. 7.58 abgeleitet wurde

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. A1.62: Zustandsfolgen der Markovkette aus
Abb. A1.61**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

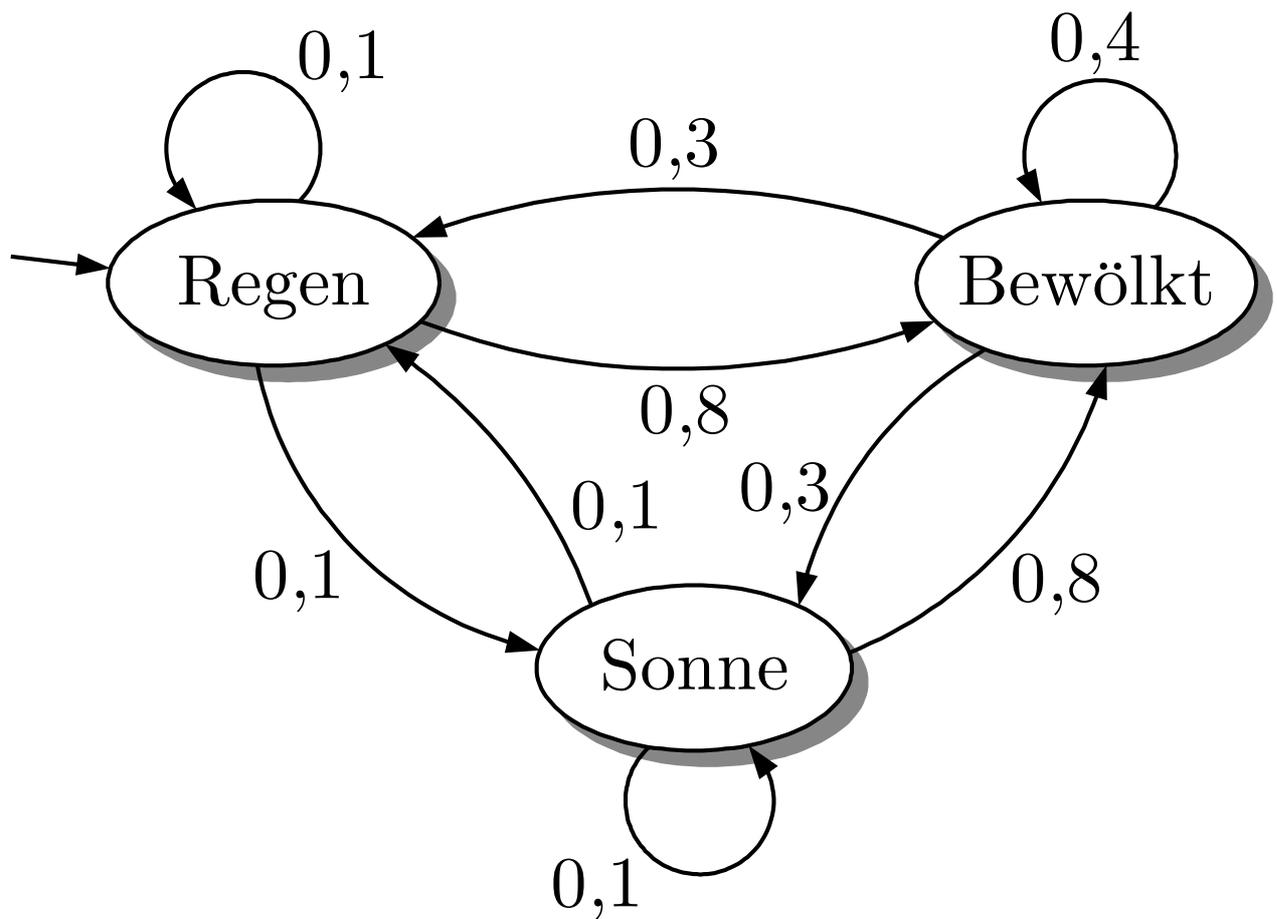


Abb. A1.63: Markovmodell des Wetters

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

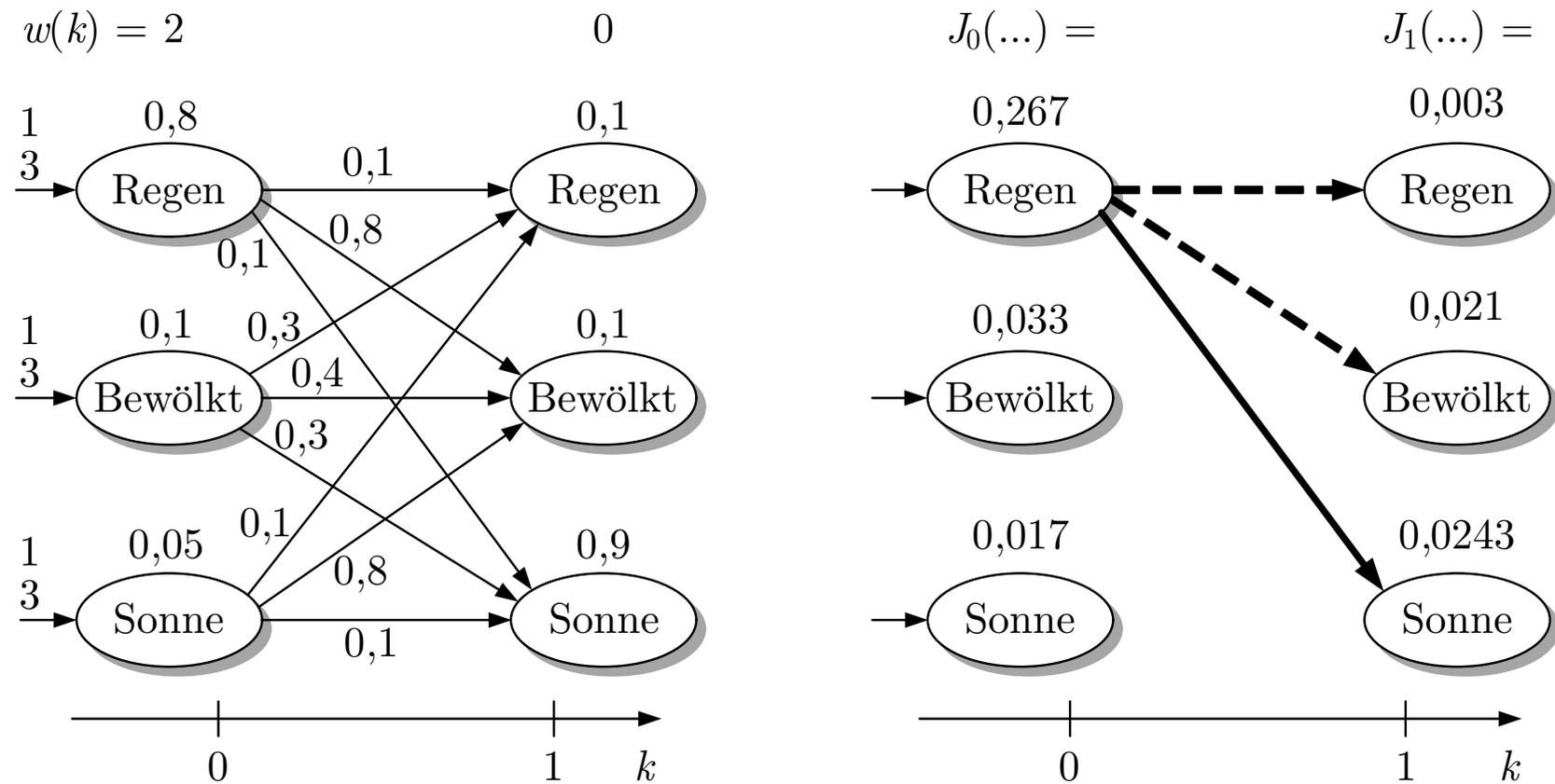


Abb. A1.64. Entfaltung des Modells (links) und Ergebnis des Viterbi-Algorithmus (rechts)

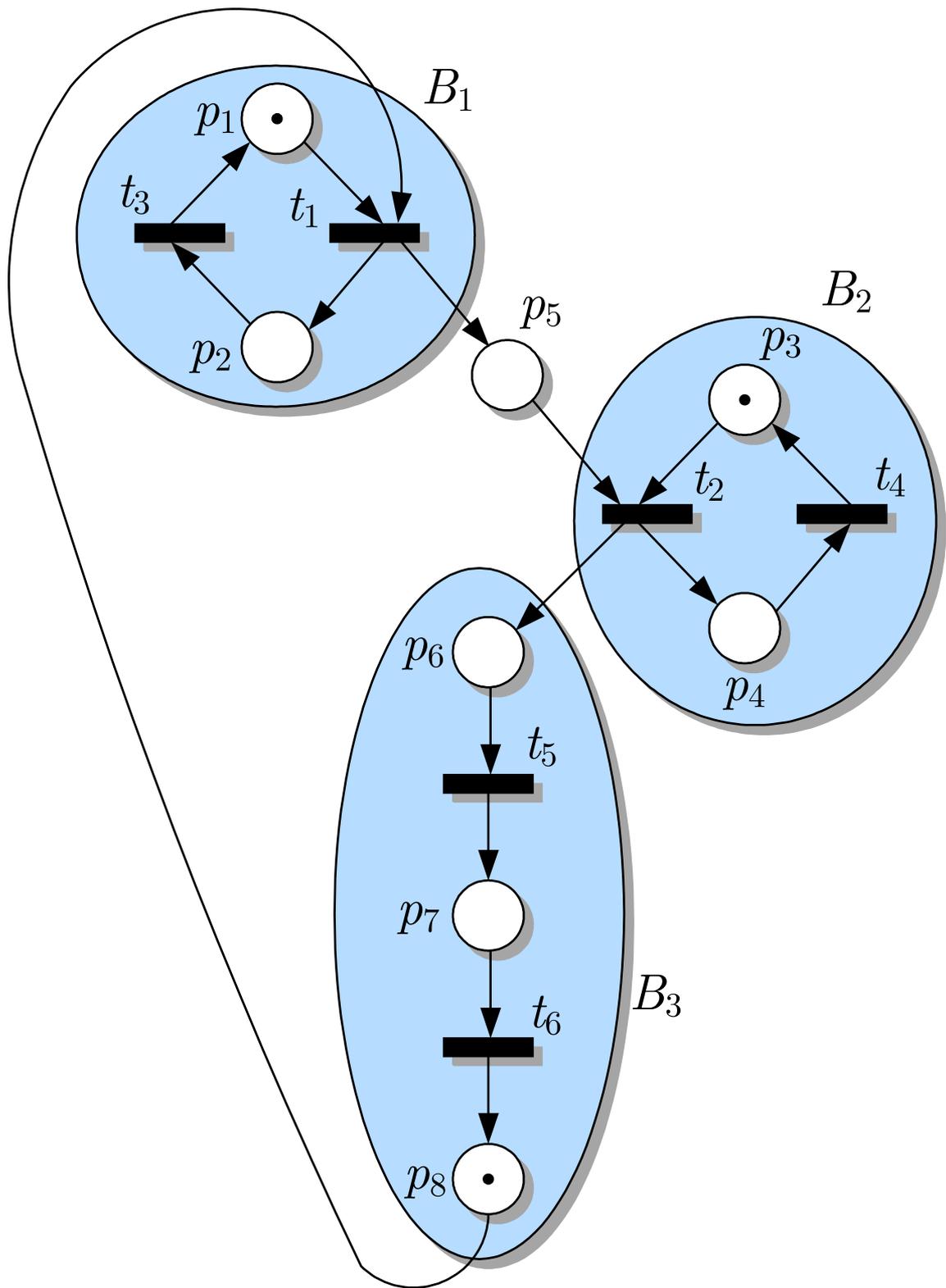


Abb. A1.65. Zeitbewertetes Petrinetz für die Beschreibung des Batchprozesses

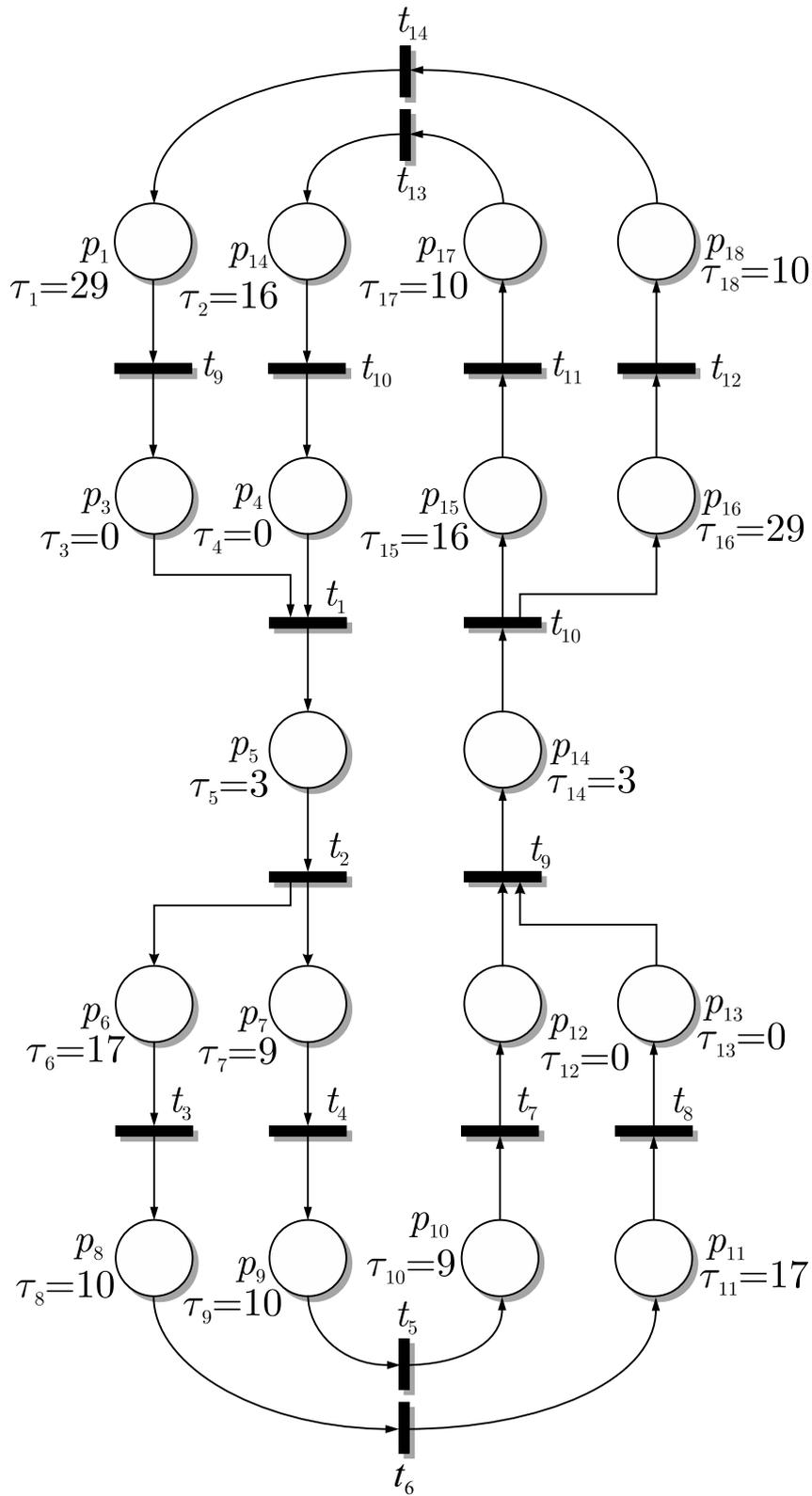


Abb. A1.66. Zeitbewertetes Petrinetz für die Beschreibung der betrachteten Verkehrsverbindung

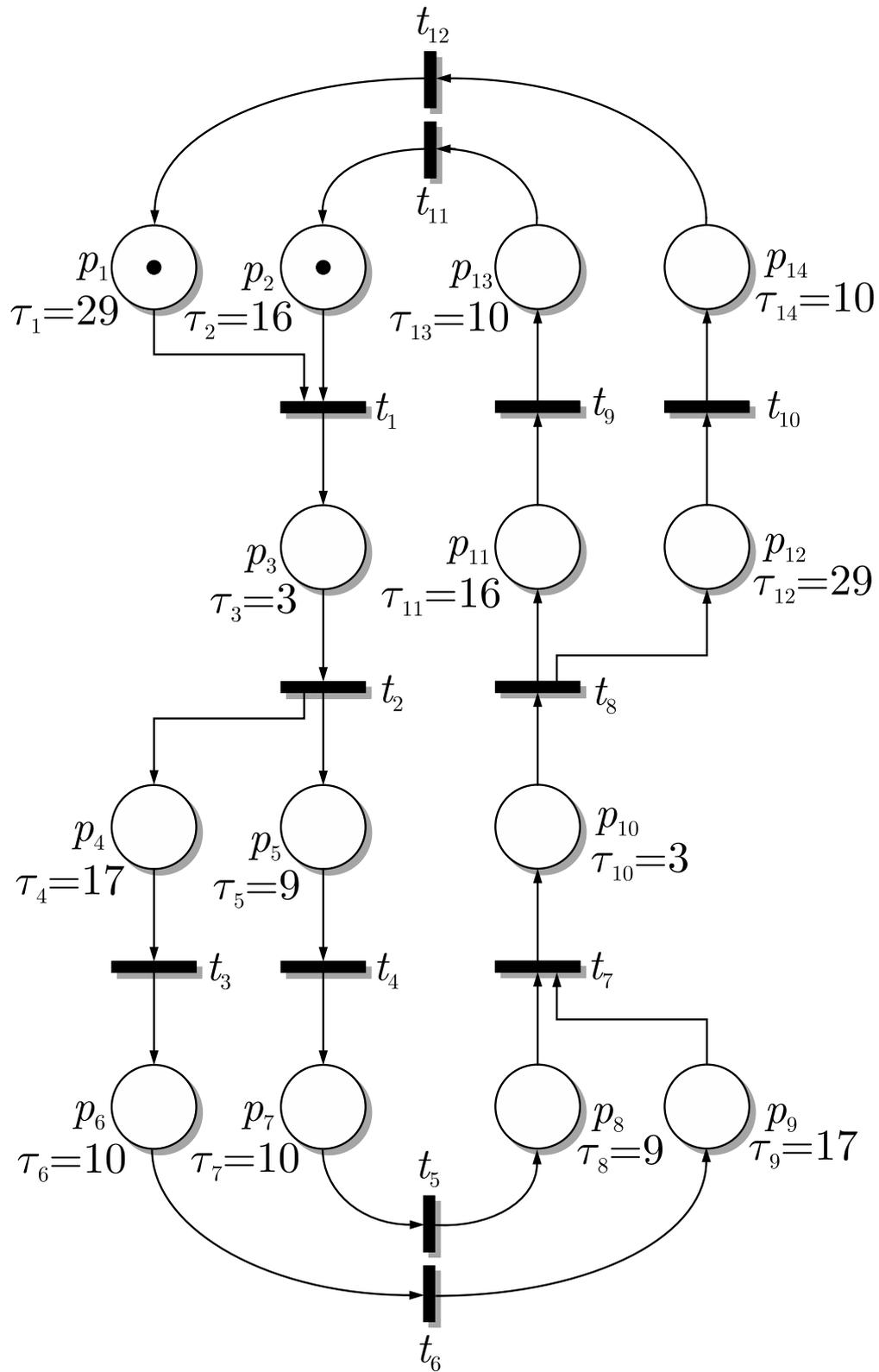


Abb. A1.67. Reduziertes zeitbewertetes Petrinetz für die Beschreibung des Straßenbahnnetzes

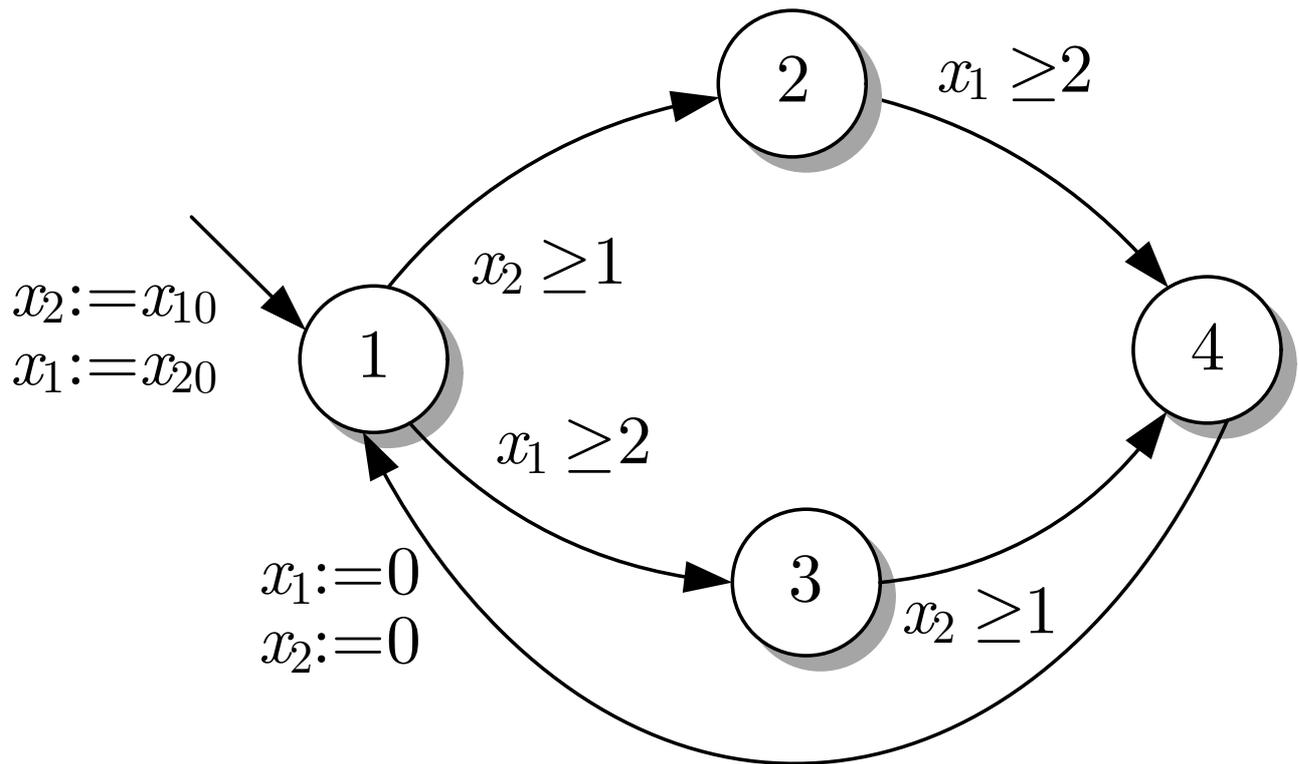


Abb. A1.68: Zeitbewerteter Automat, der zwei parallele Rechenprozesse beschreibt

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

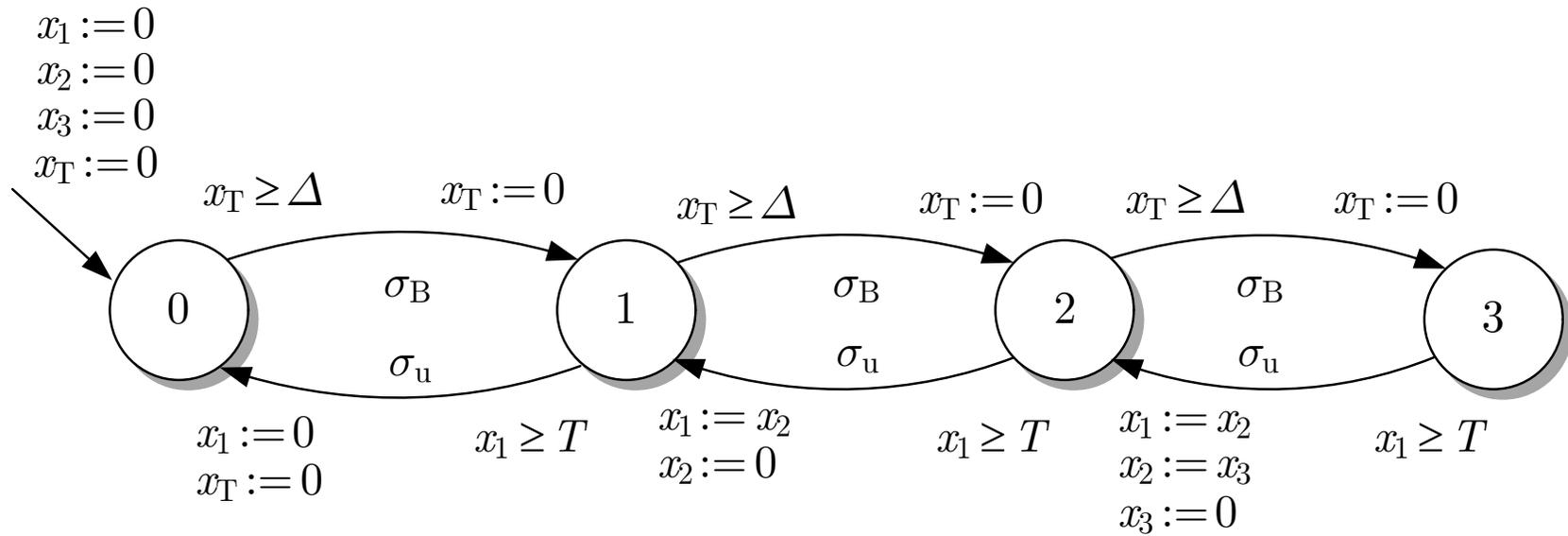


Abb. A1.69. Beschreibung des Kofferbandes durch einen zeitbewerteten Automaten

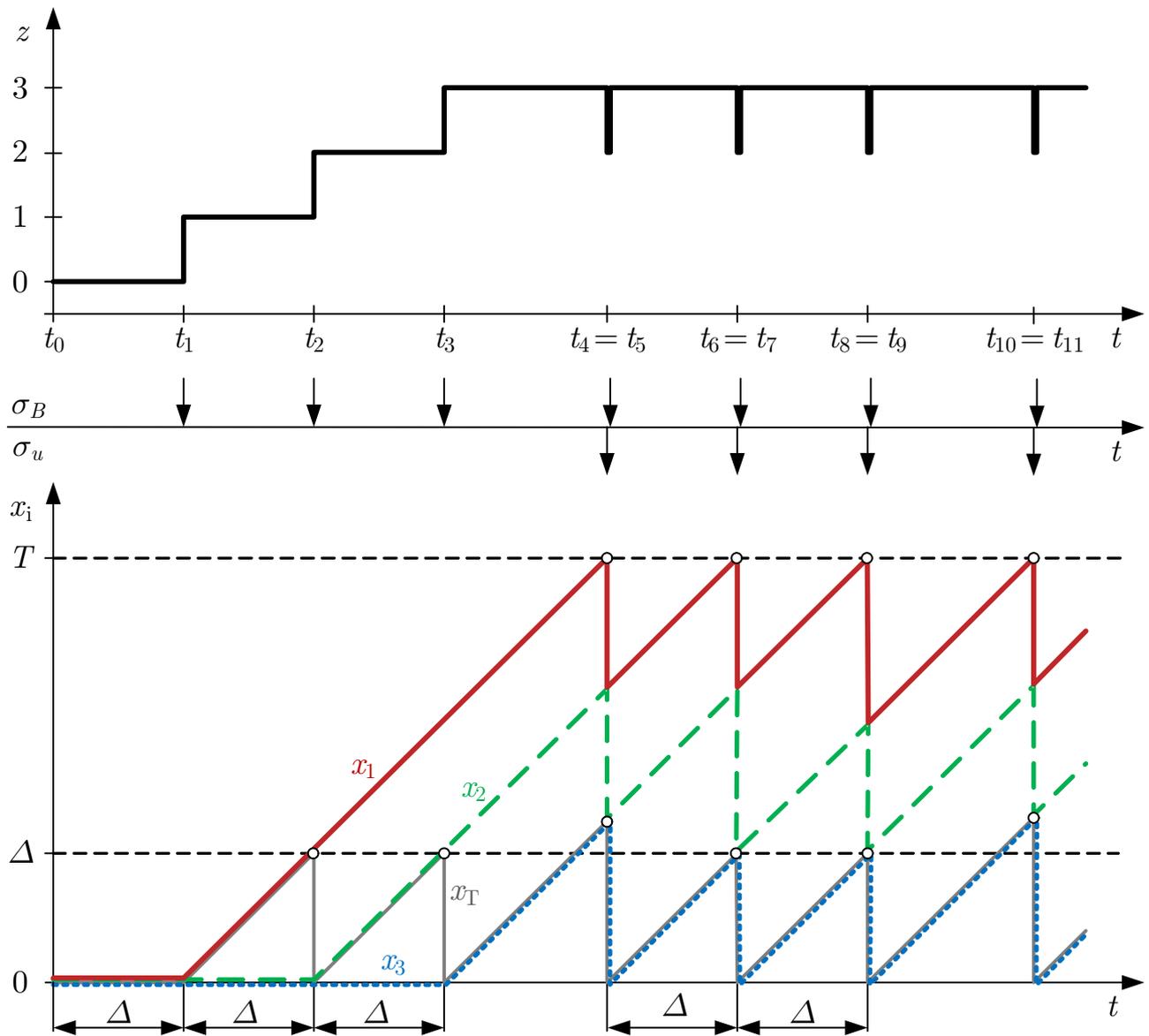


Abb. A1.70: Zustands- und Ereignisfolge des Kofferbandes (x_1, x_T —, x_2 - -, x_3 ···)

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

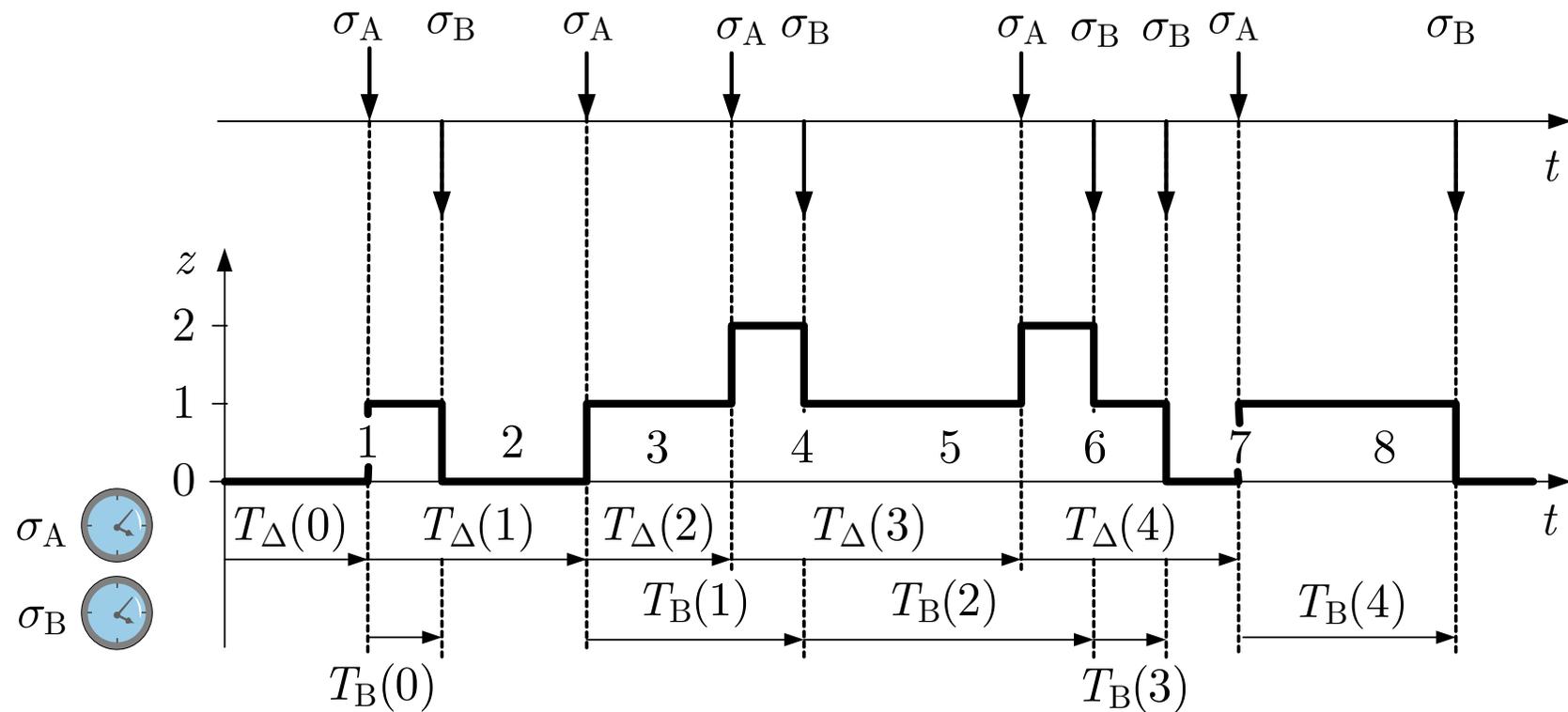


Abb. A1.71. Verhalten des Wartesystems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

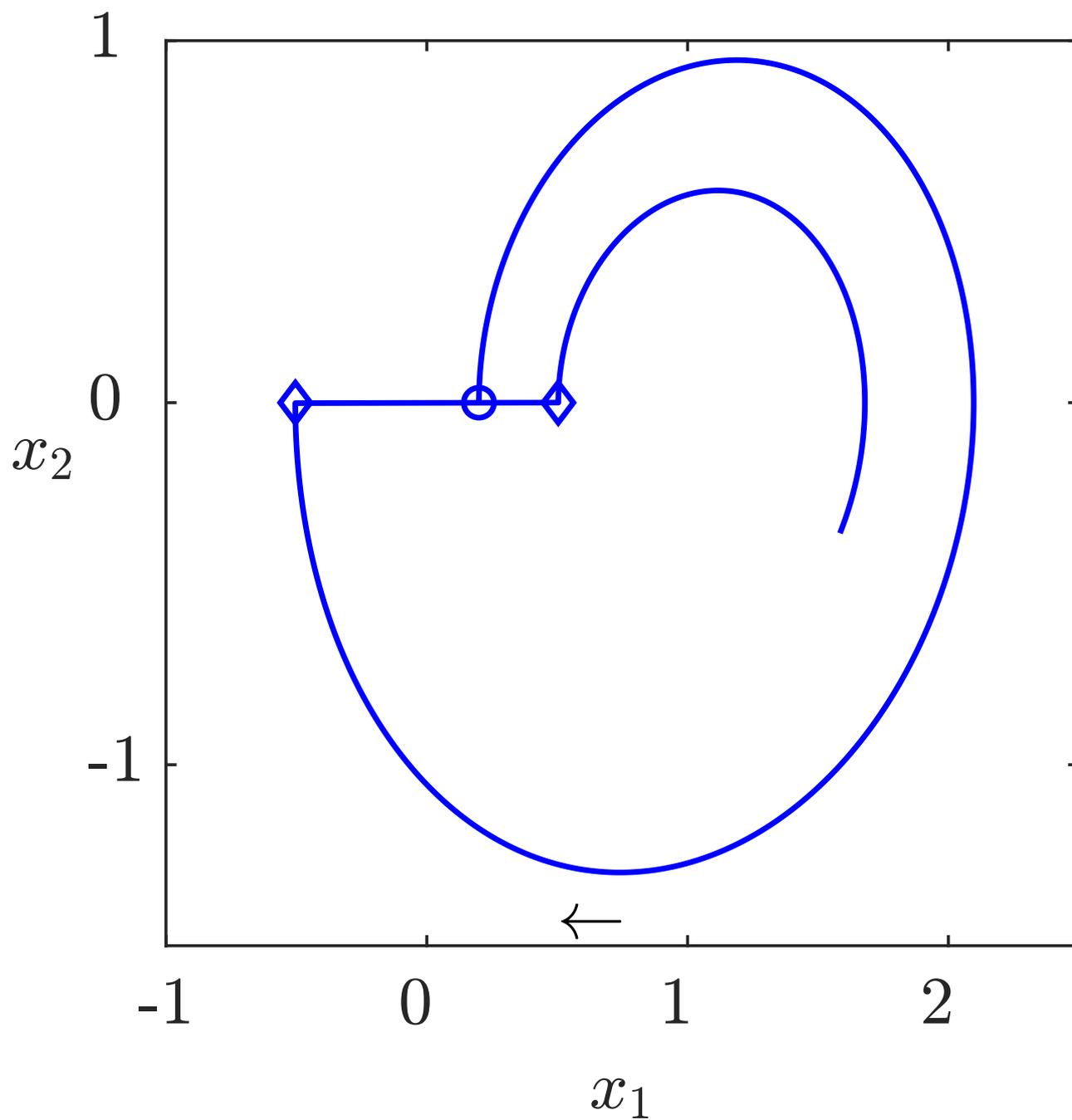


Abb. A1.72: Verhalten des Rücksetzoszillators

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

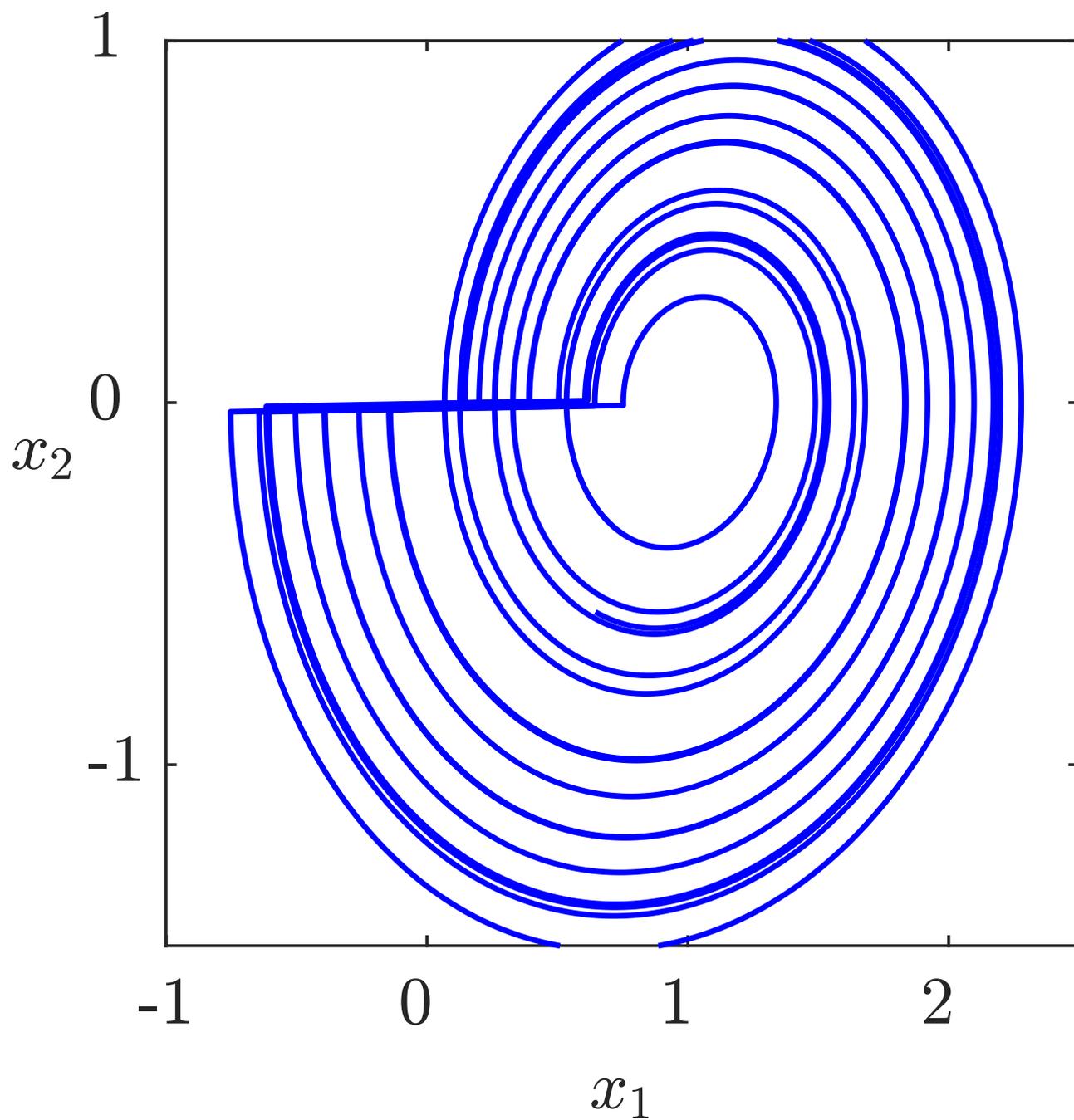


Abb. A1.72: Verhalten des Rücksetzoszillators

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

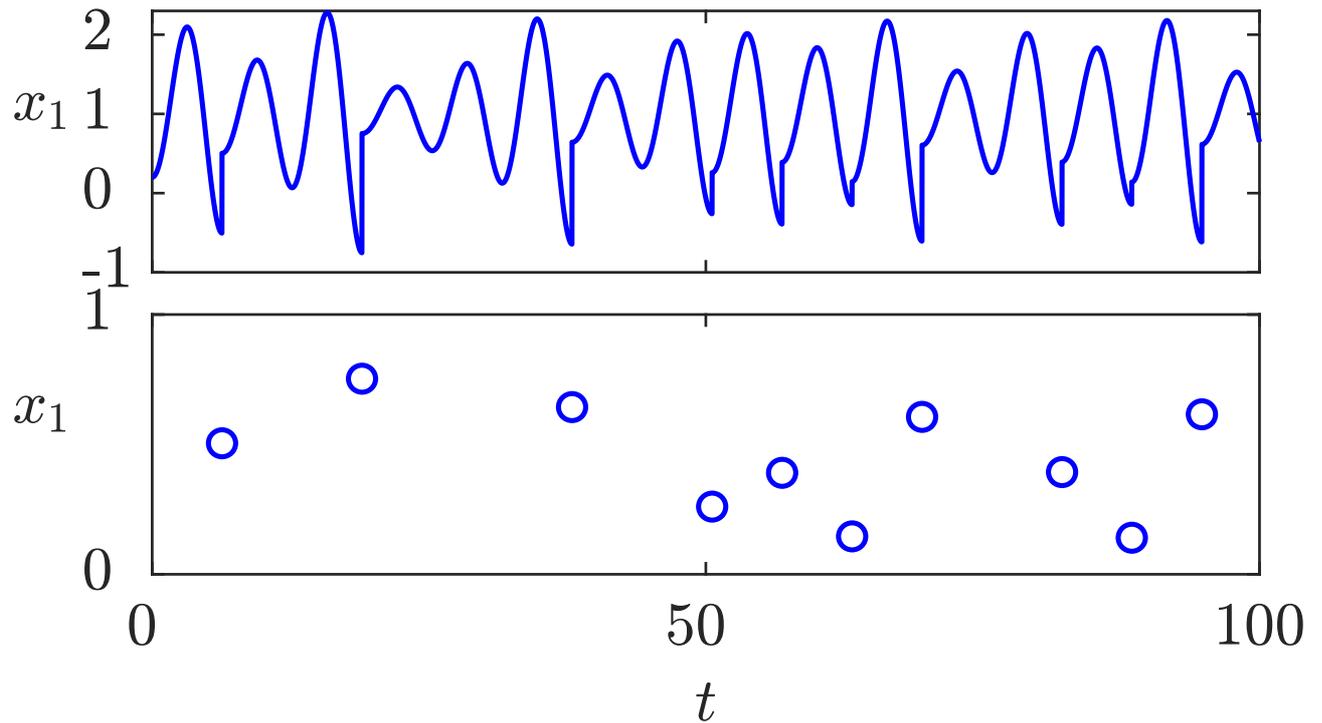


Abb. A1.73: Zustandstrajektorie und Rücksetzpunkte $x_1(t^+)$ des Rückstellozillators

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

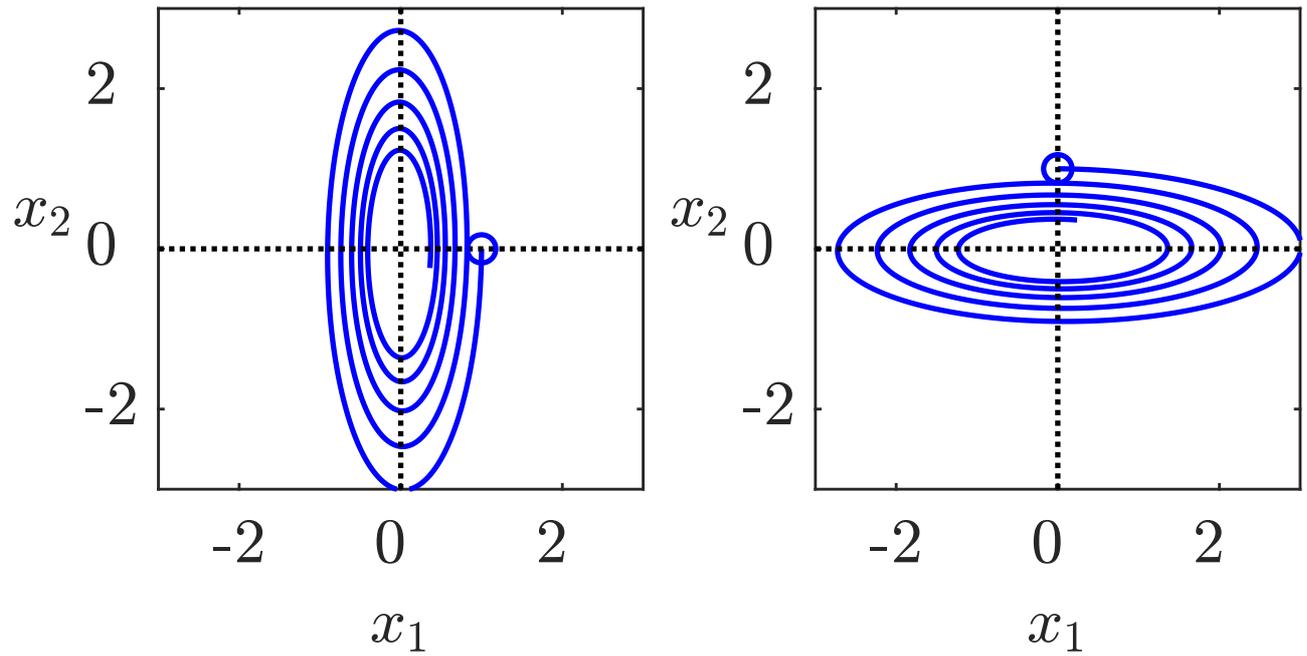


Abb. A1.74: Asymptotisch stabile Lösungen der beiden Differentialgleichungen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

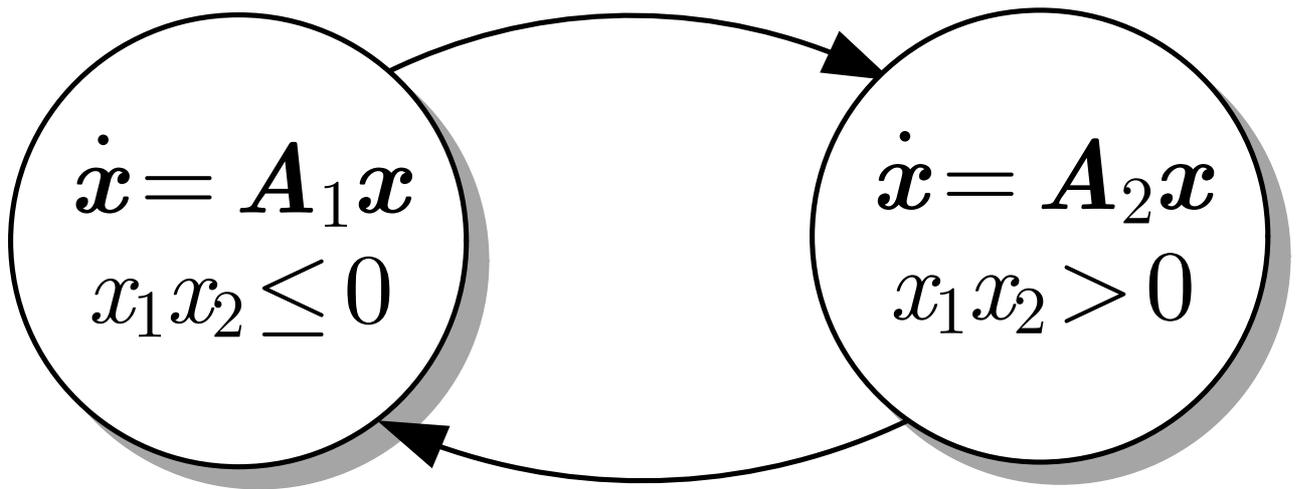


Abb. A1.75: System mit zwei Betriebsmodi

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

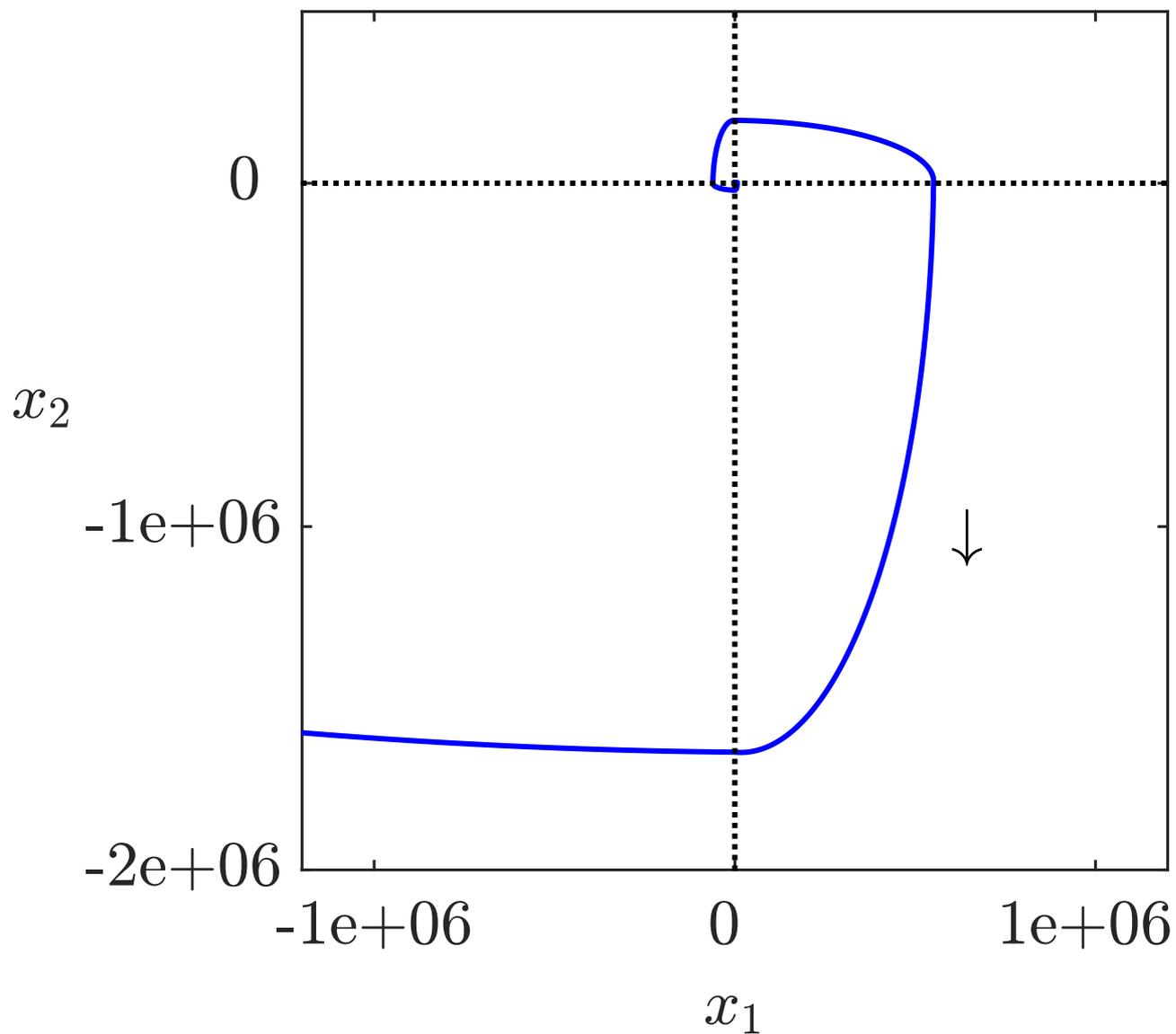


Abb. A1.76: Instable Trajektorie

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

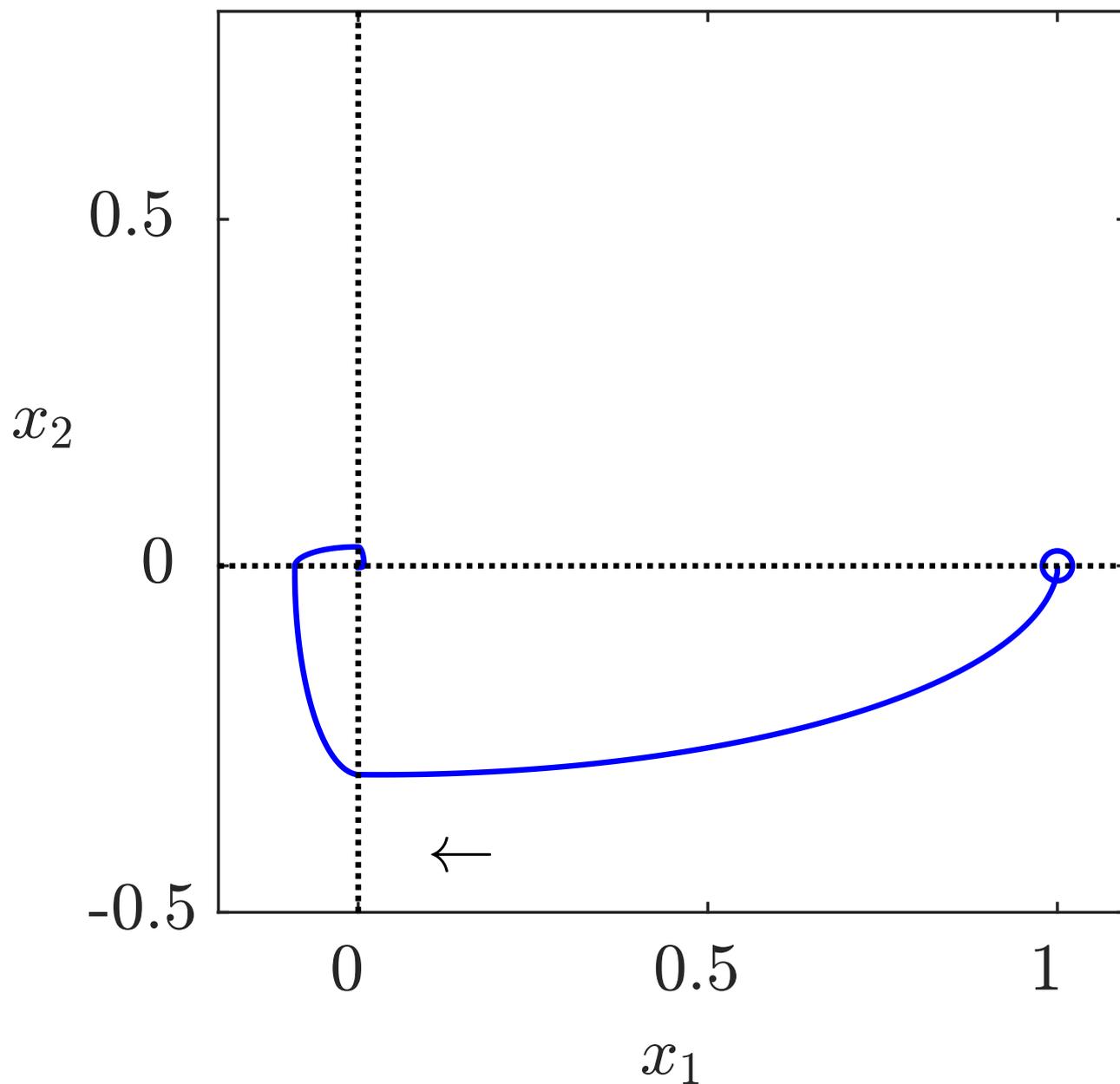


Abb. A1.76: Stabile Trajektorie des geschalteten Systems

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

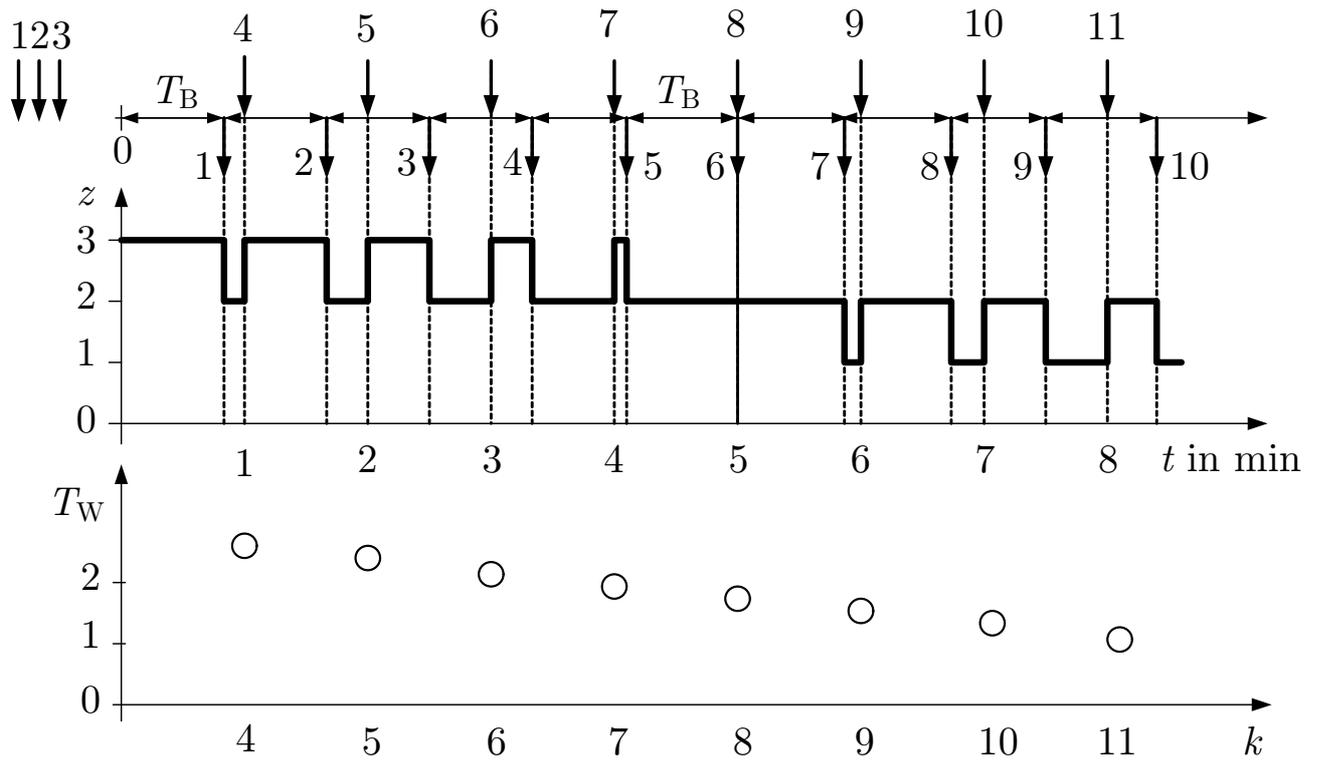


Abb. A1.77: Verhalten des Wartesystems mit deterministischen Ankunfts- und Bedienzeiten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

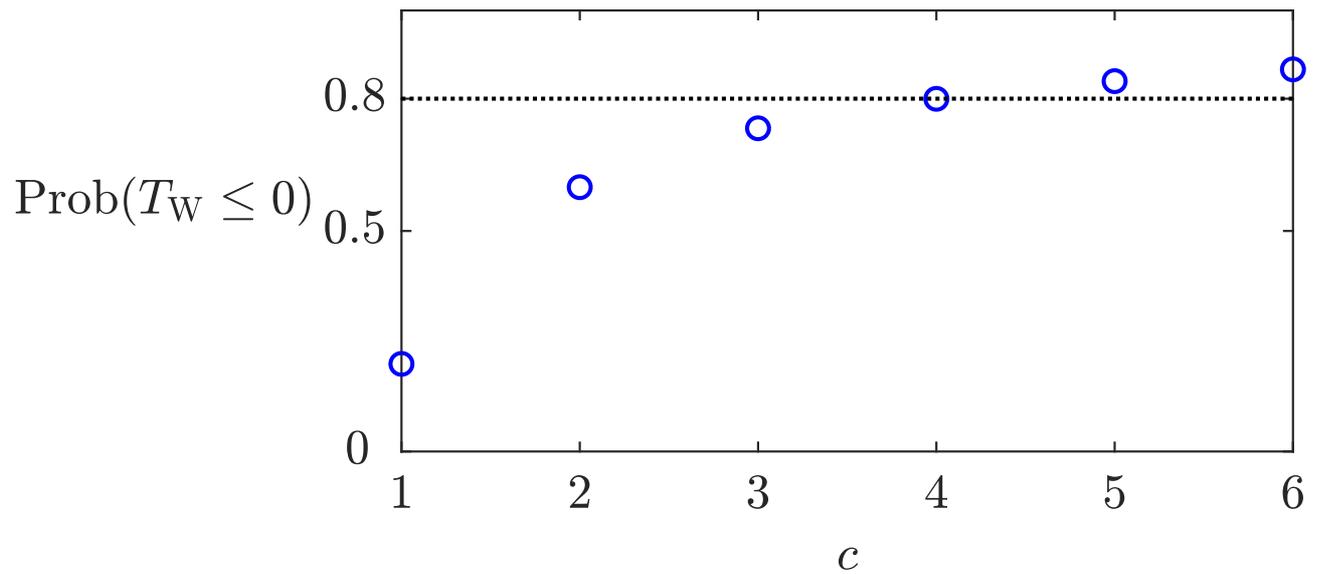


Abb. A1.78: Wahrscheinlichkeit, ohne Warten bedient zu werden, in Abhängigkeit von der Anzahl c der Bedienungen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

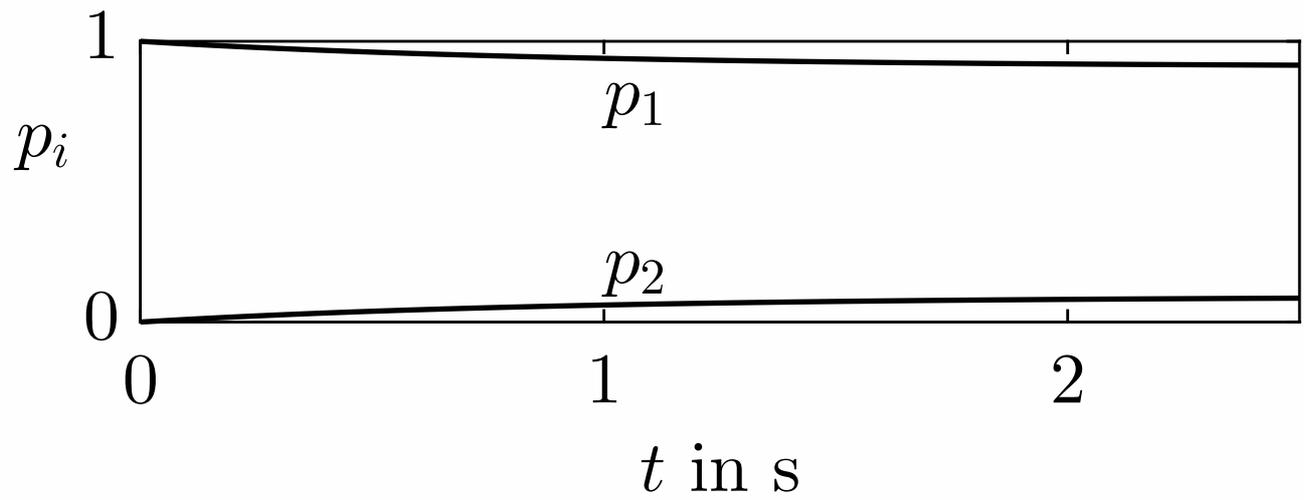


Abb. A1.79: Zuverlässigkeit des Gerätes

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

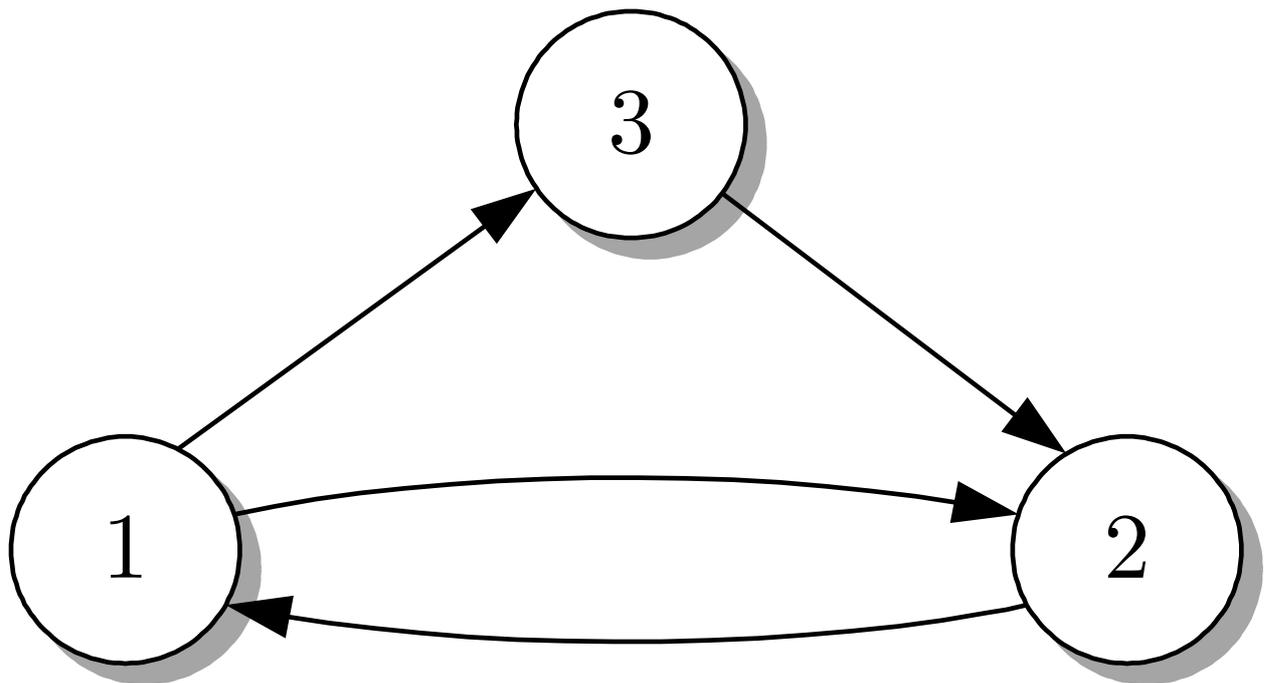


Abb. A1.80: Automatengraph des zeitkontinuierlichen Modells

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

Seite 654

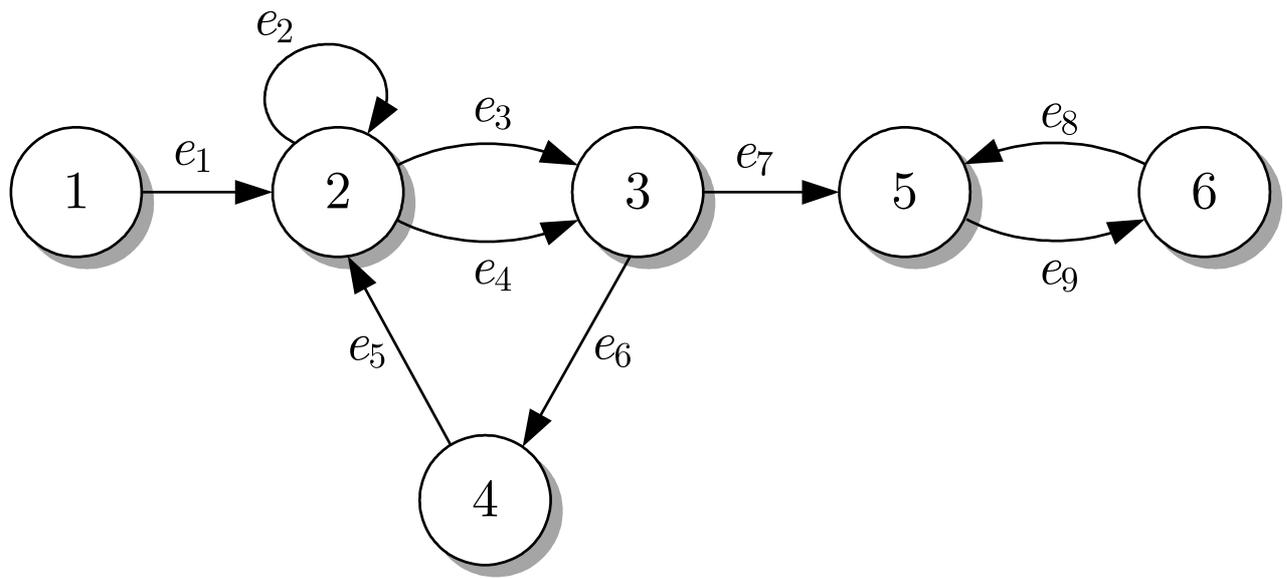


Abb. A2.1: Gerichteter Graph

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

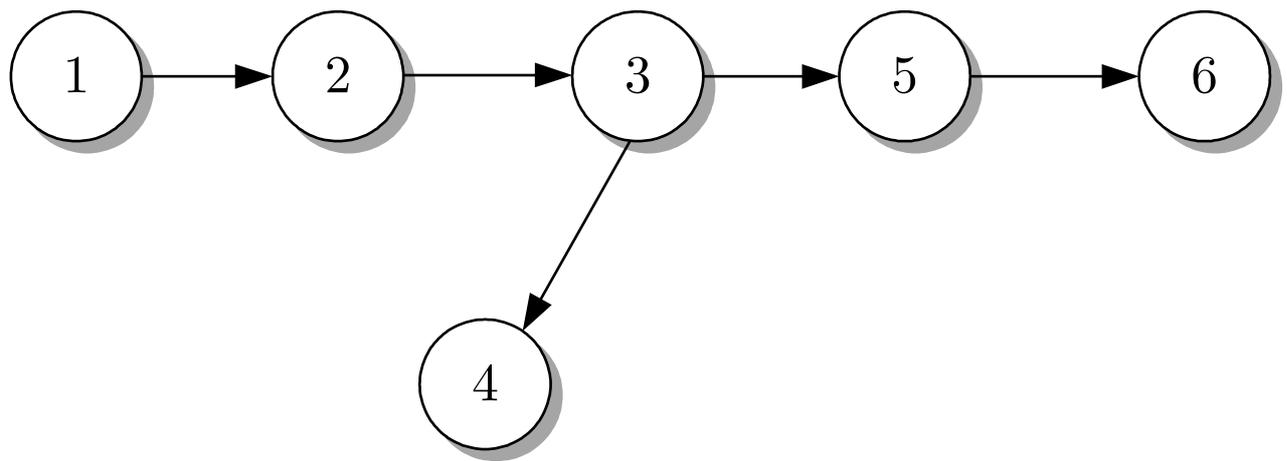
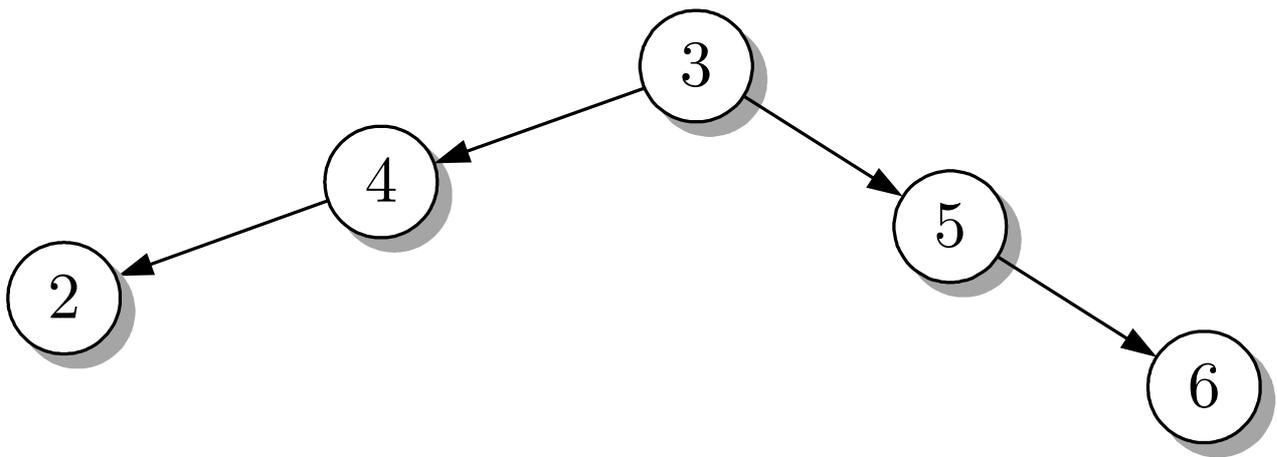


Abb. A2.2: Baum

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025



**Abb. A2.3: Erreichbarkeitsbaum mit dem
Wurzelknoten 3**

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

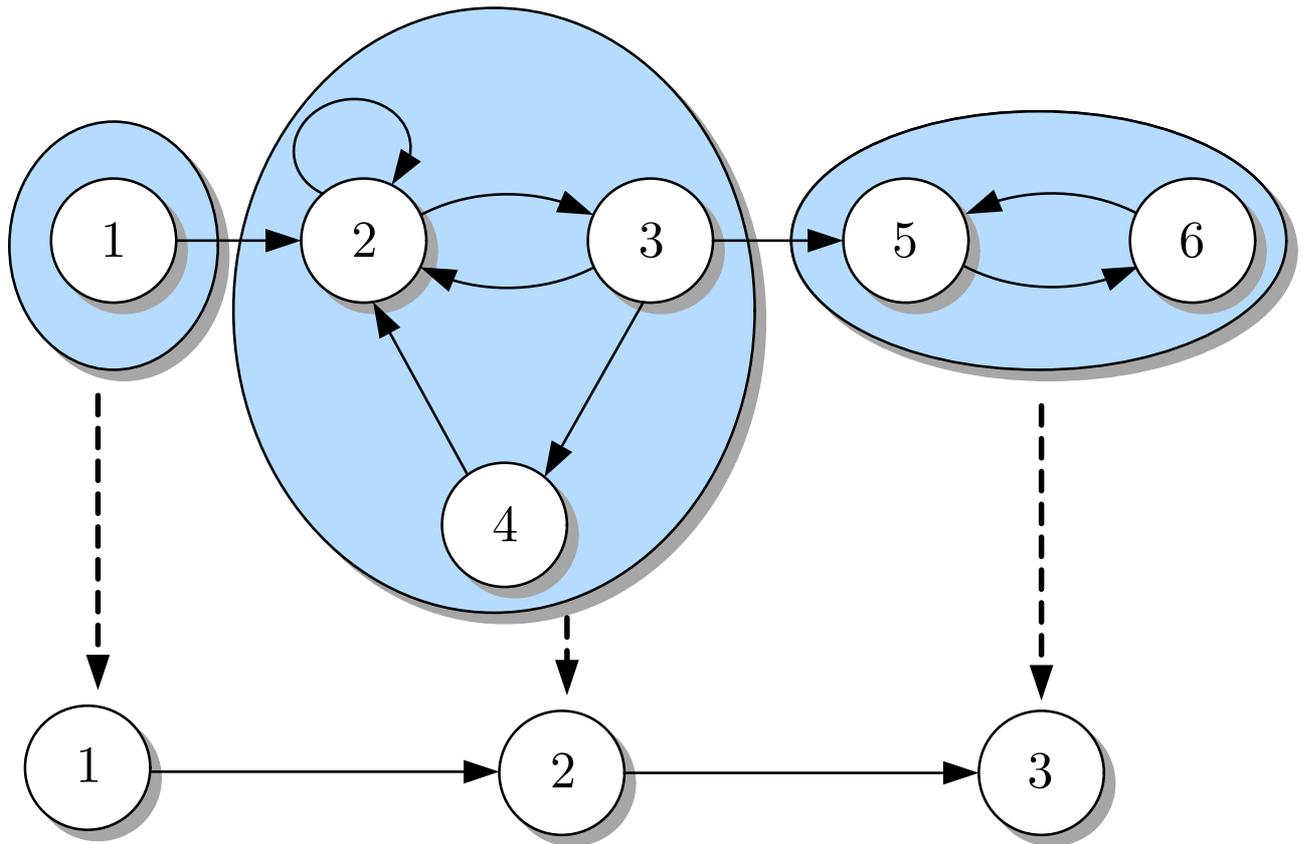


Abb. A2.4: Zerlegung des Graphen aus Abb. A2.1 in drei Mengen stark zusammenhängender Knoten

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

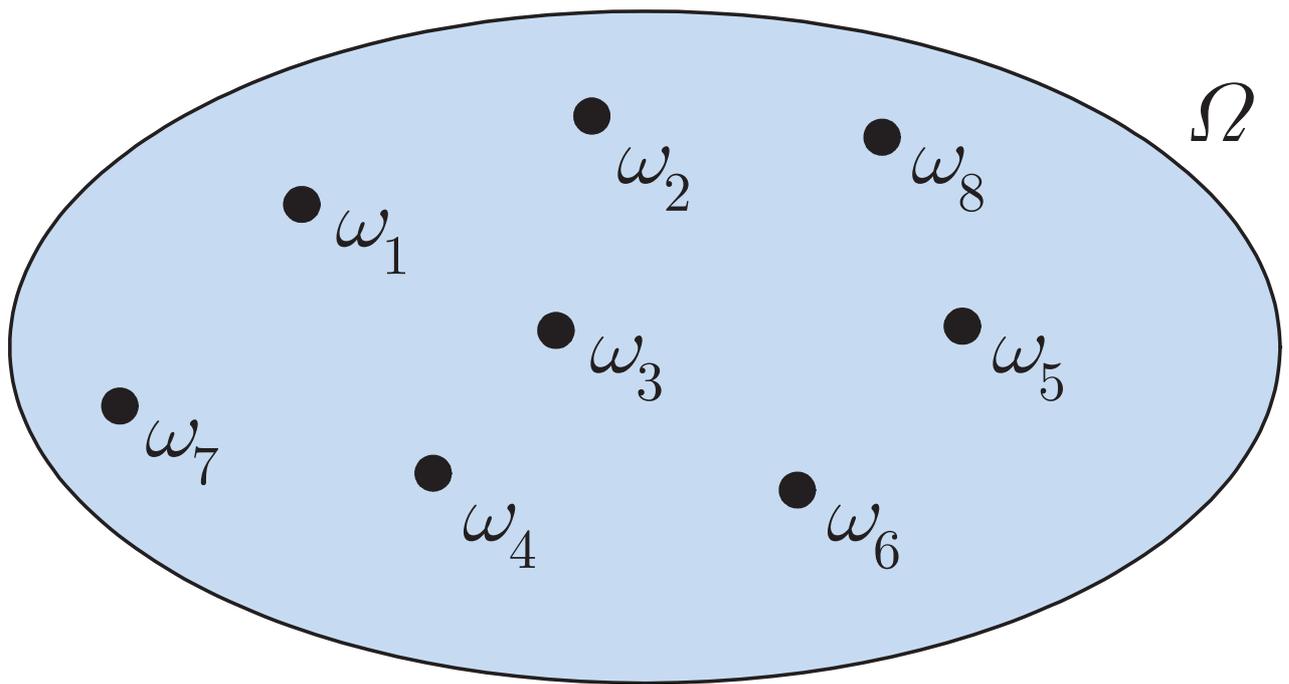


Abb. A3.1: Stichprobenraum

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

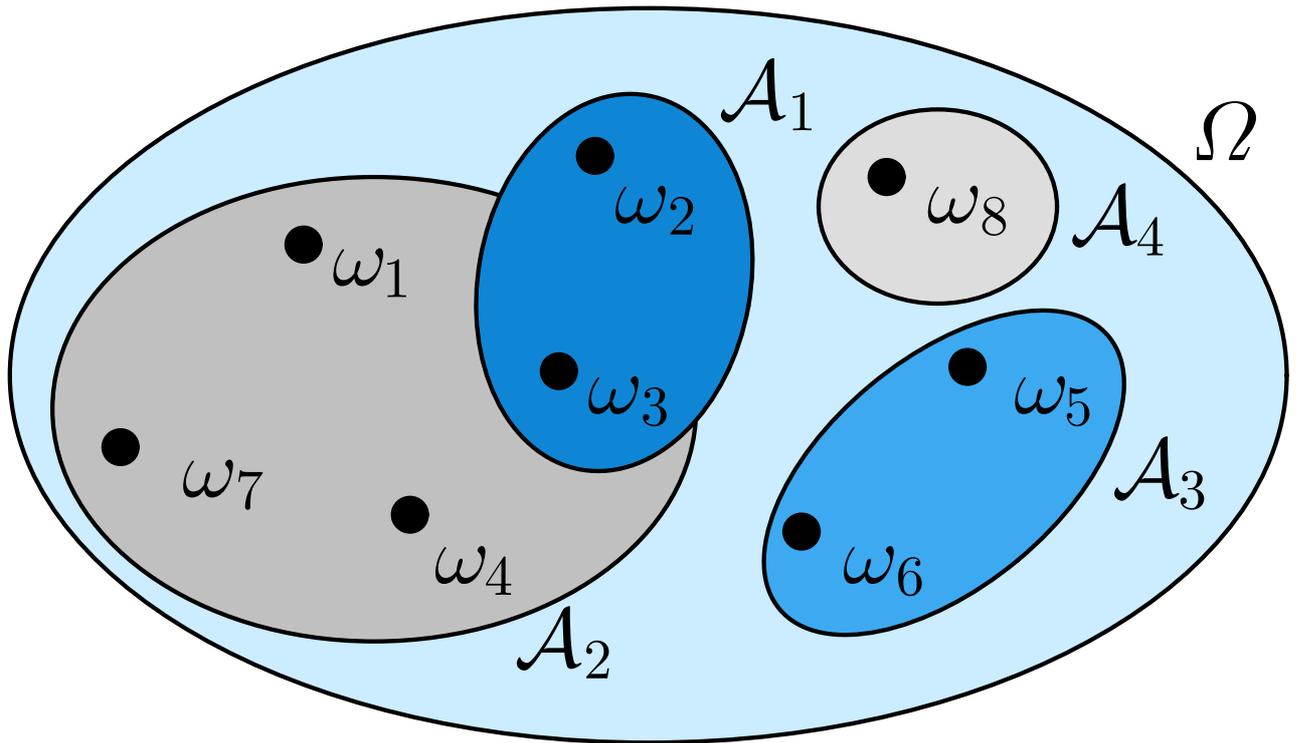


Abb. A3.2: Definition von Ereignissen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

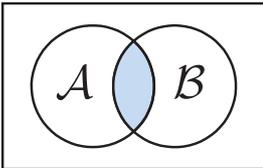
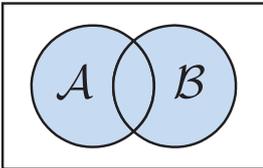
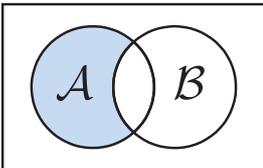
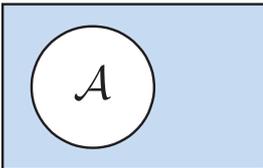
Produkt zweier Ereignisse	$A \cap B$		A und B treten gleichzeitig ein.
Summe zweier Ereignisse	$A \cup B$		Es tritt A oder es tritt B ein oder beide zugleich.
Differenz zweier Ereignisse	$A \setminus B$		Es tritt A ein, aber nicht B .
Komplement eines Ereignisses	$\bar{A} = \Omega \setminus A$		A tritt nicht ein.

Abb. A3.3: Operationen mit zufälligen Ereignissen

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

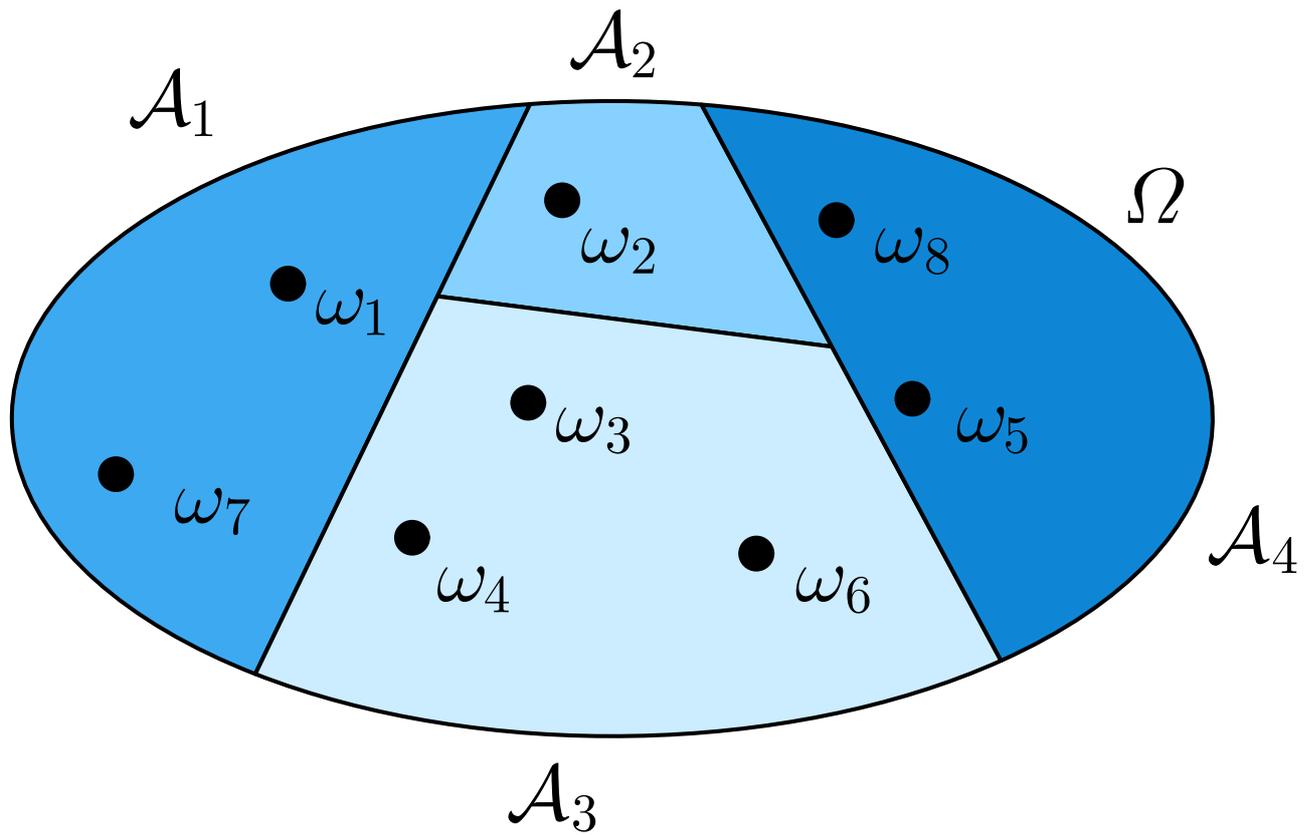


Abb. A3.4: Vollständiges System unvereinbarer Ereignisse A_1, A_2, A_3, A_4

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

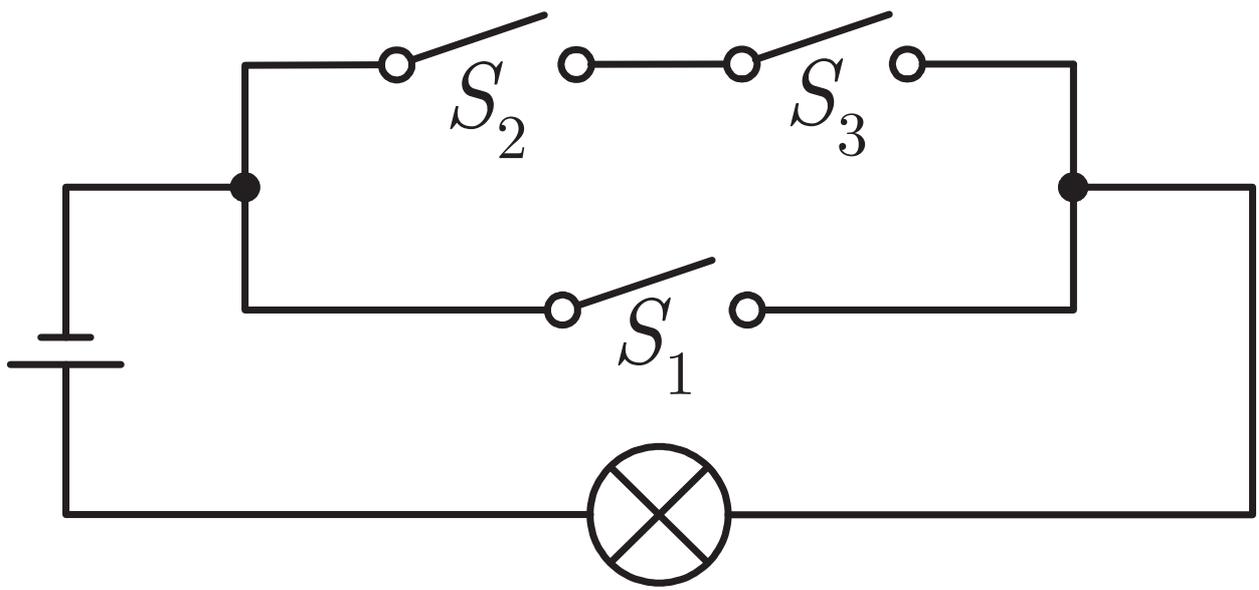


Abb. A3.5: Schaltung mit drei Schaltern

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

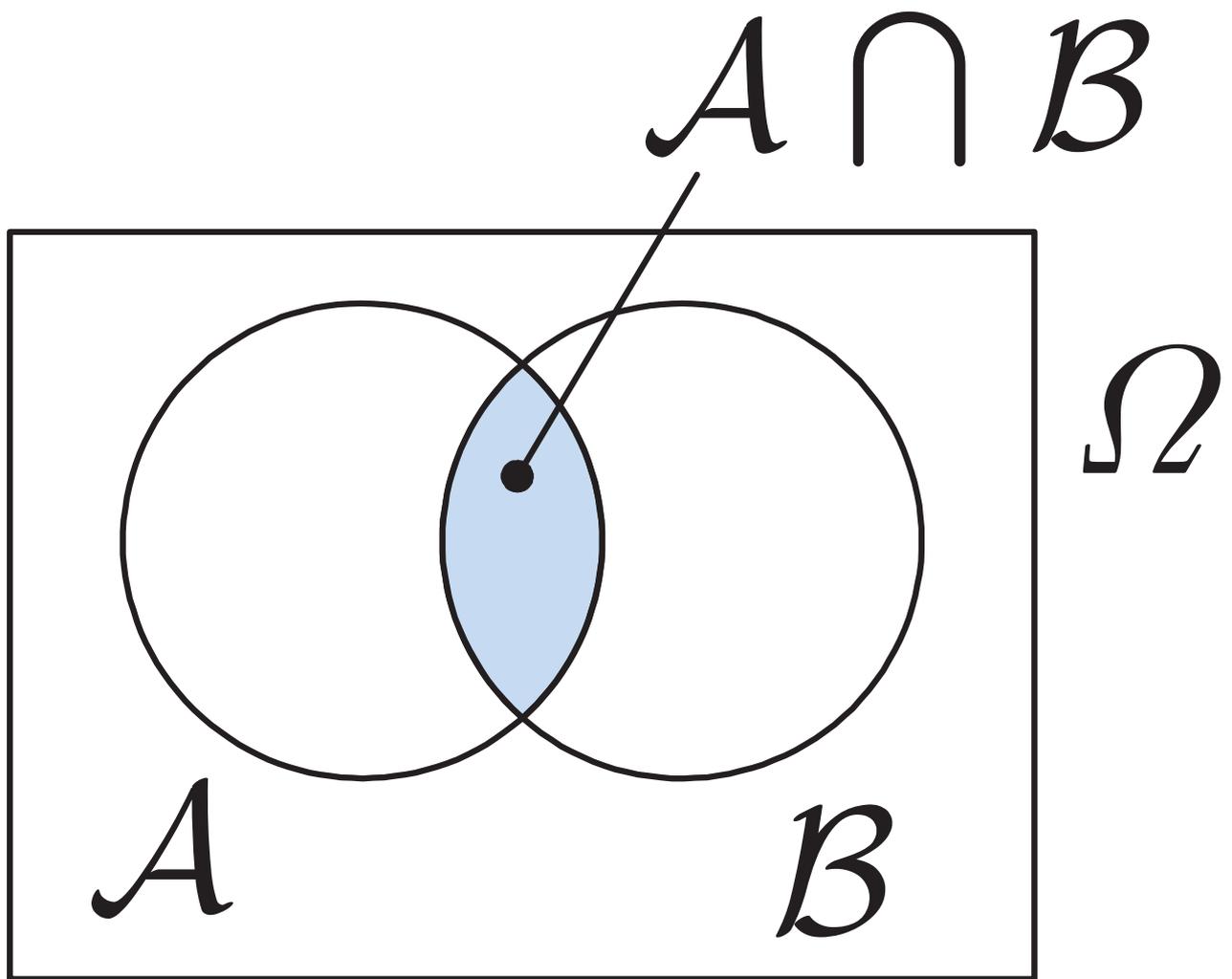


Abb. A3.6: Definition der bedingten Wahrscheinlichkeit

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

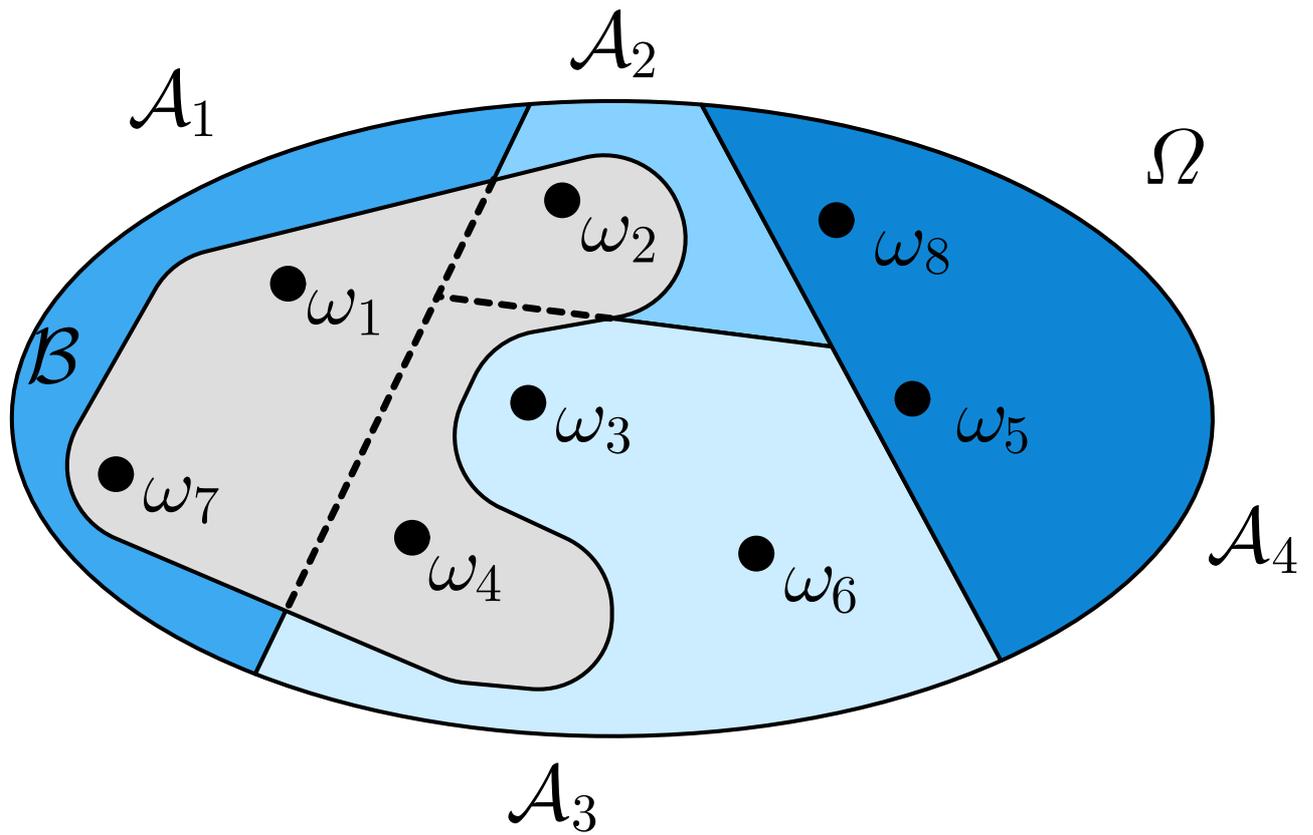


Abb. A3.7: Veranschaulichung der totalen Wahrscheinlichkeit

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

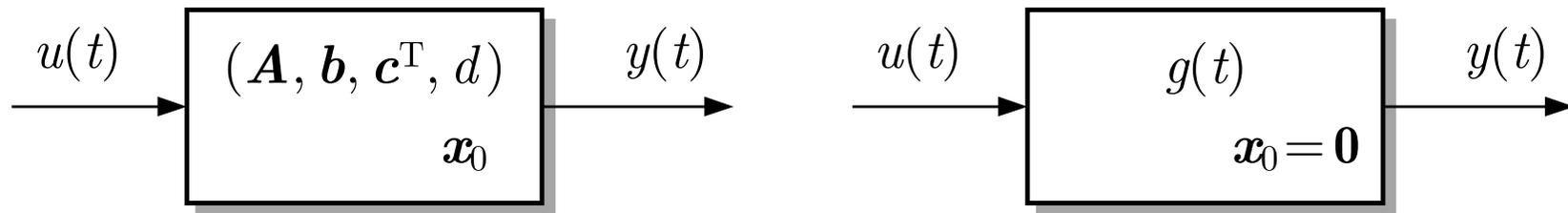


Abb. A4.1. Zwei Darstellungsformen kontinuierlicher Systeme

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025

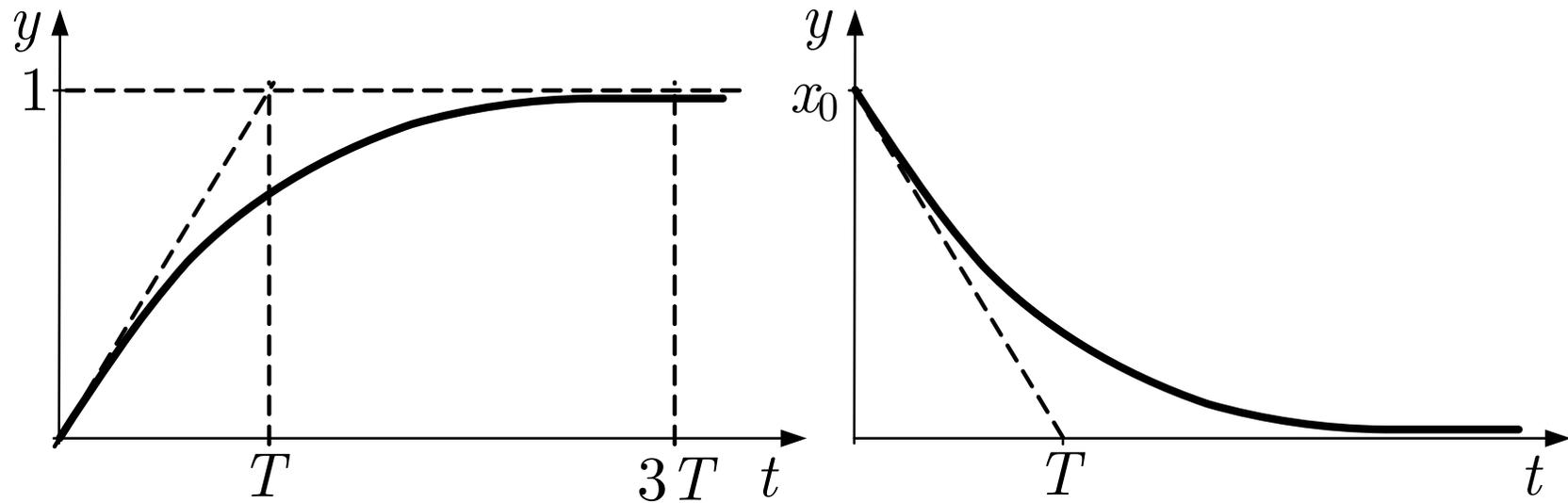


Abb. A4.2. Verhalten eines Systems erster Ordnung

J. LUNZE: *Ereignisdiskrete Systeme*, Edition MoRa 2025