

Jan Lunze

Automatisierungstechnik

Methoden für die Überwachung und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme

5., überarbeitete Auflage

mit 413 Abbildungen, 94 Anwendungsbeispielen
und 100 Übungsaufgaben

Alle Bilder

DE GRUYTER
OLDENBOURG

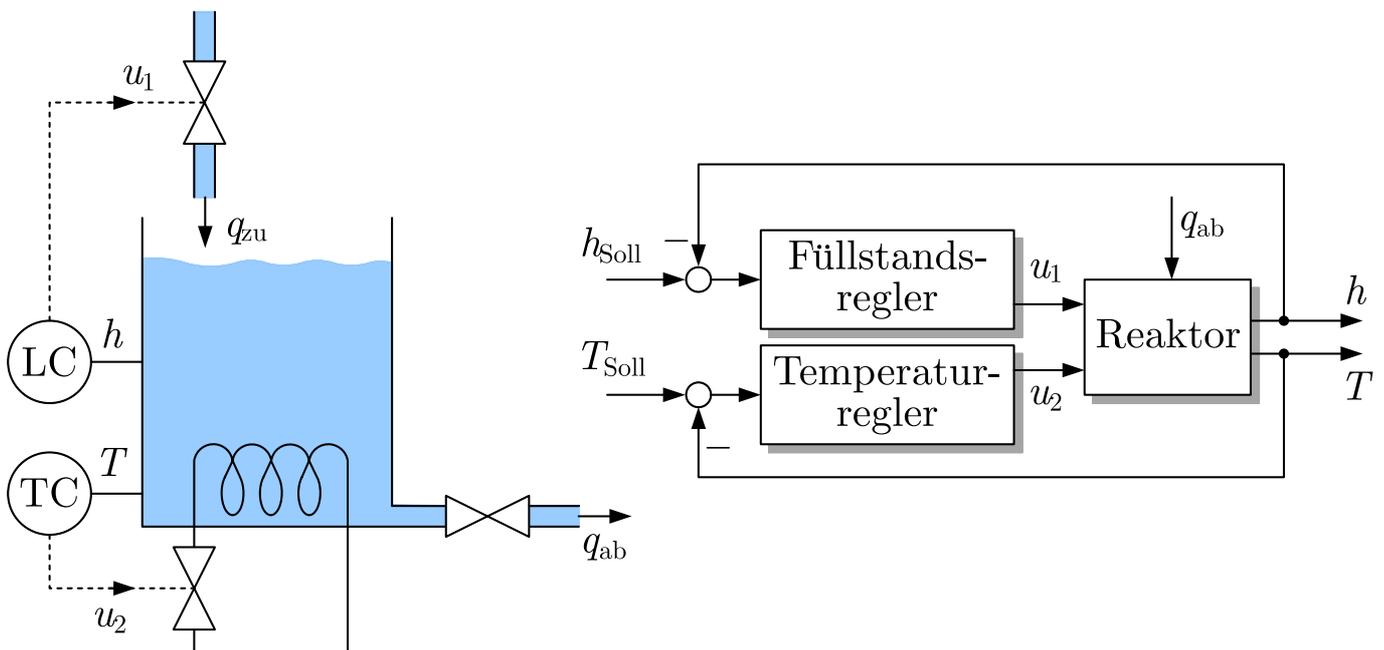


Abb. 1.1: Füllstands- und Temperaturregelung eines Reaktors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

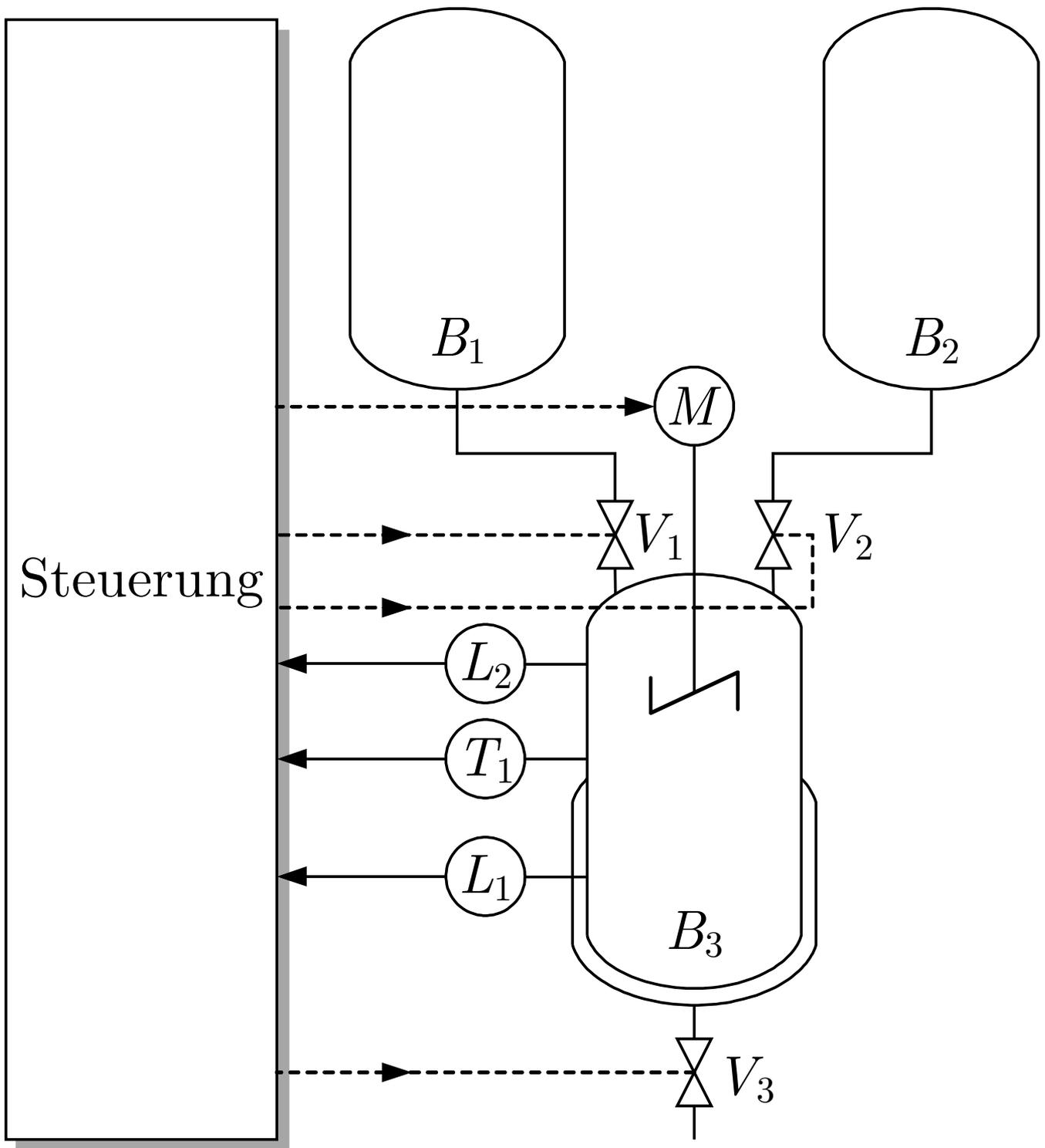


Abb. 1.2: Batchprozess

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

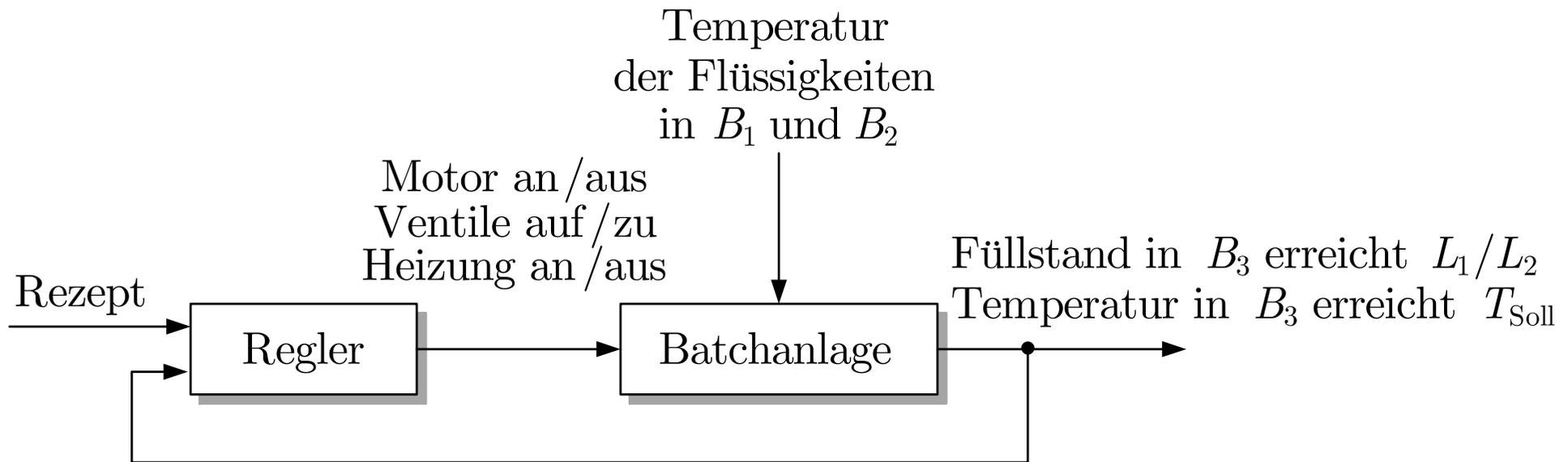


Abb. 1.3. Blockschaltbild des gesteuerten Batchprozesses

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

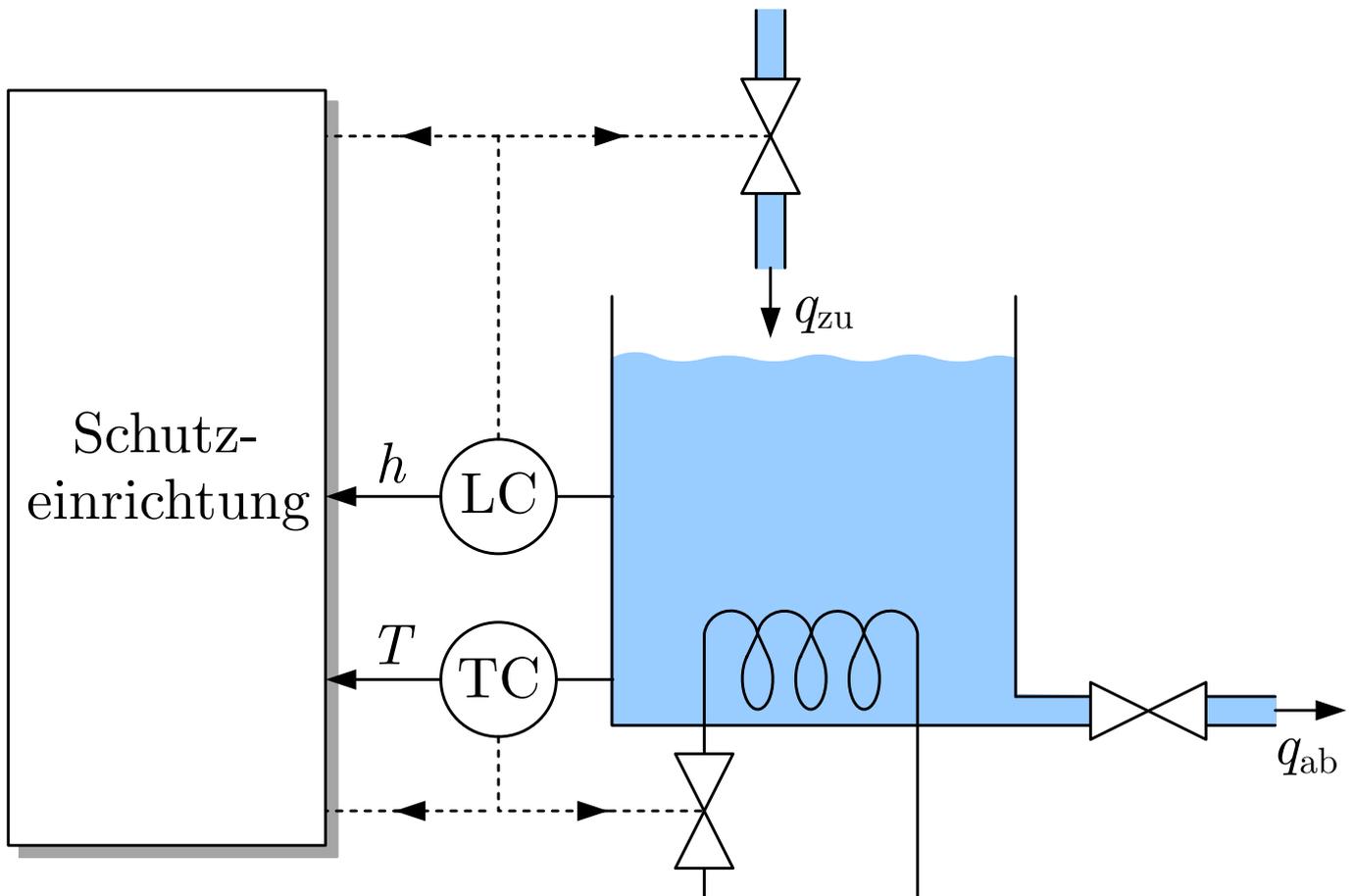


Abb. 1.4: Steuerung und Aggregateschutz eines Batchprozesses

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

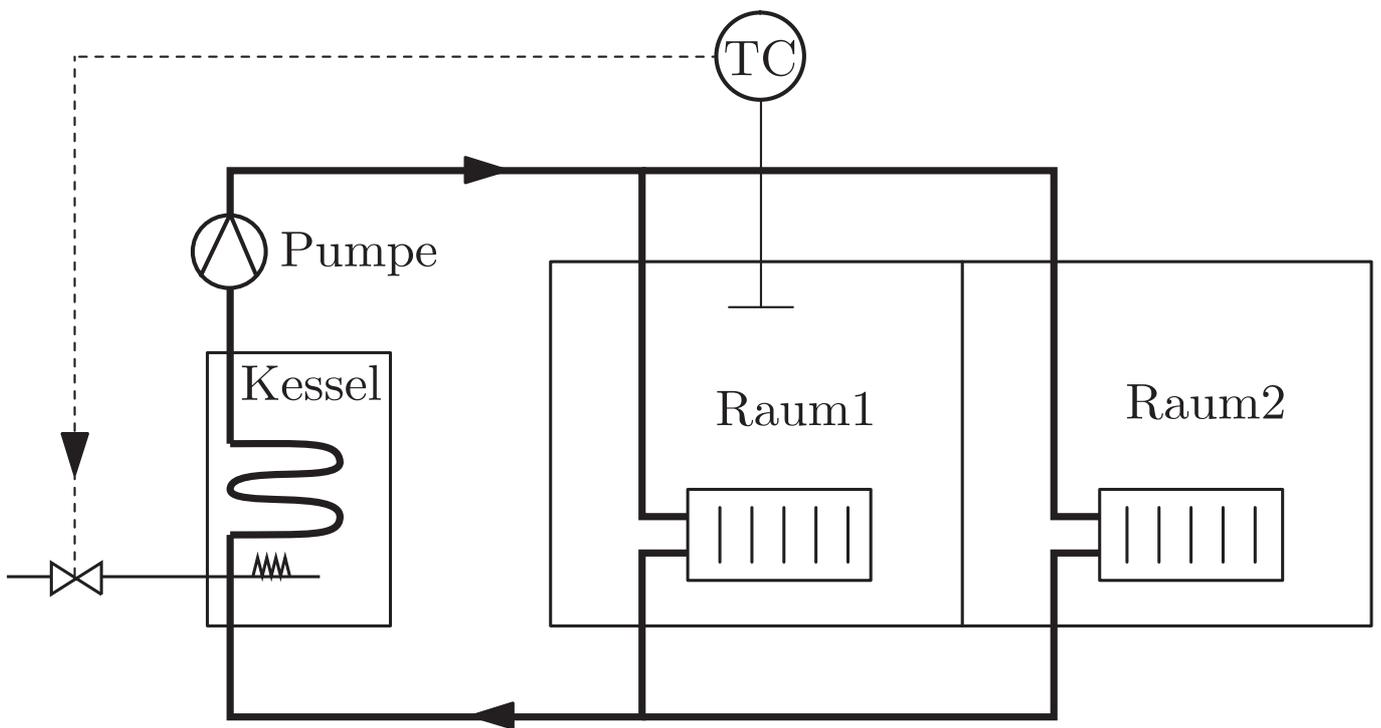


Abb. 1.5: Raumtemperaturregelung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

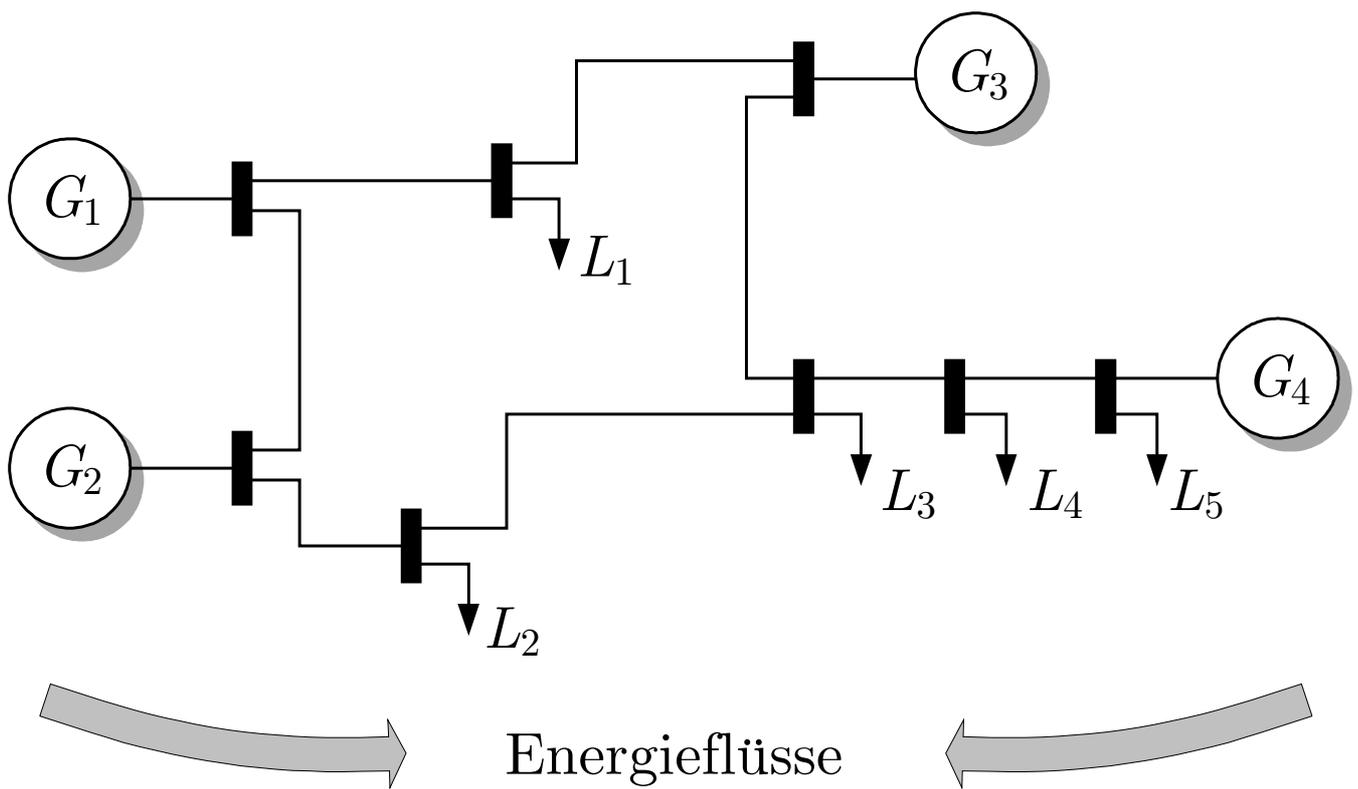


Abb. 1.6: Energieflüsse in einem Elektroenergieverteilungsnetz

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

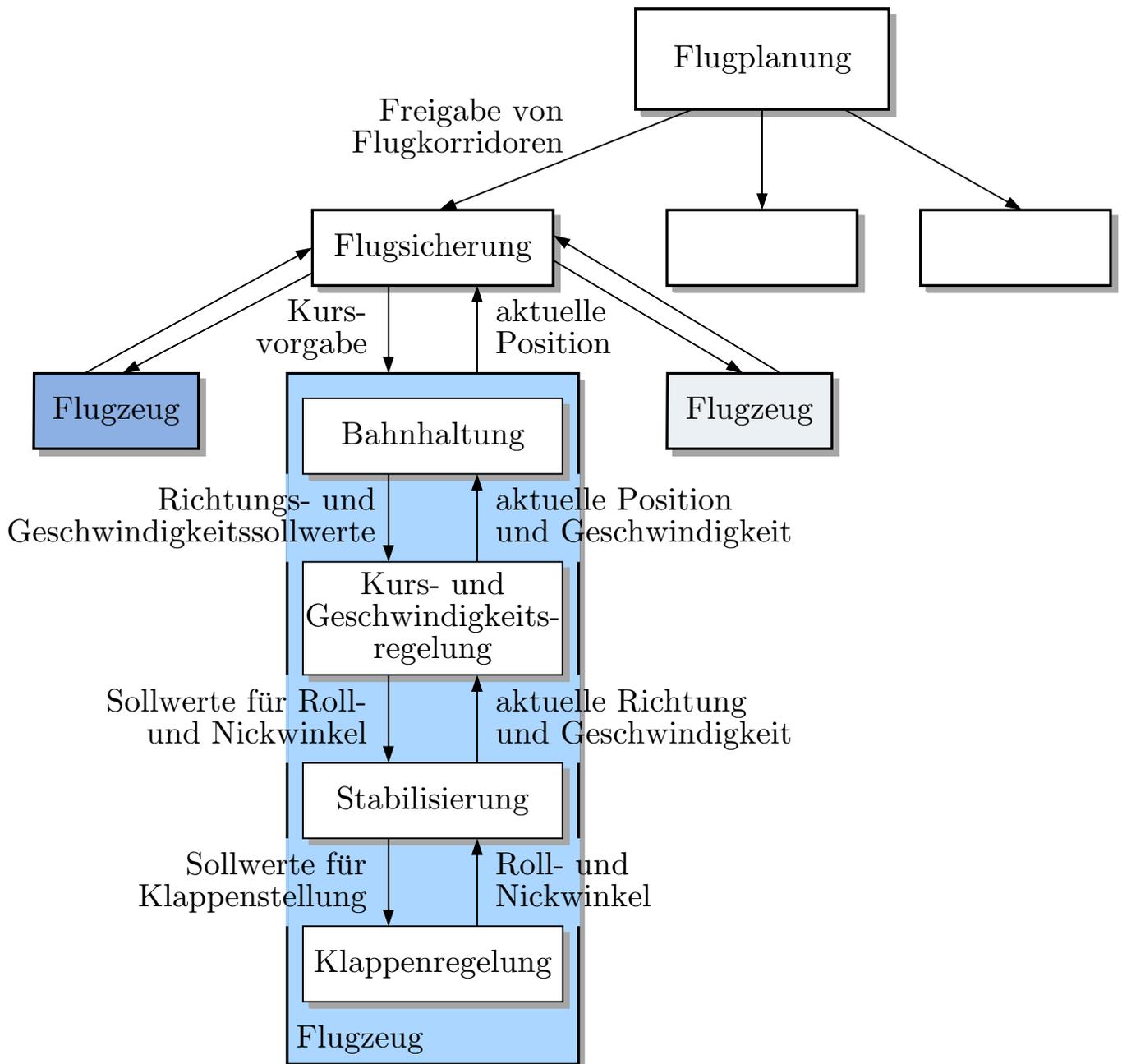


Abb. 1.7: Hierarchischer Aufbau der Überwachung und Steuerung des Flugverkehrs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

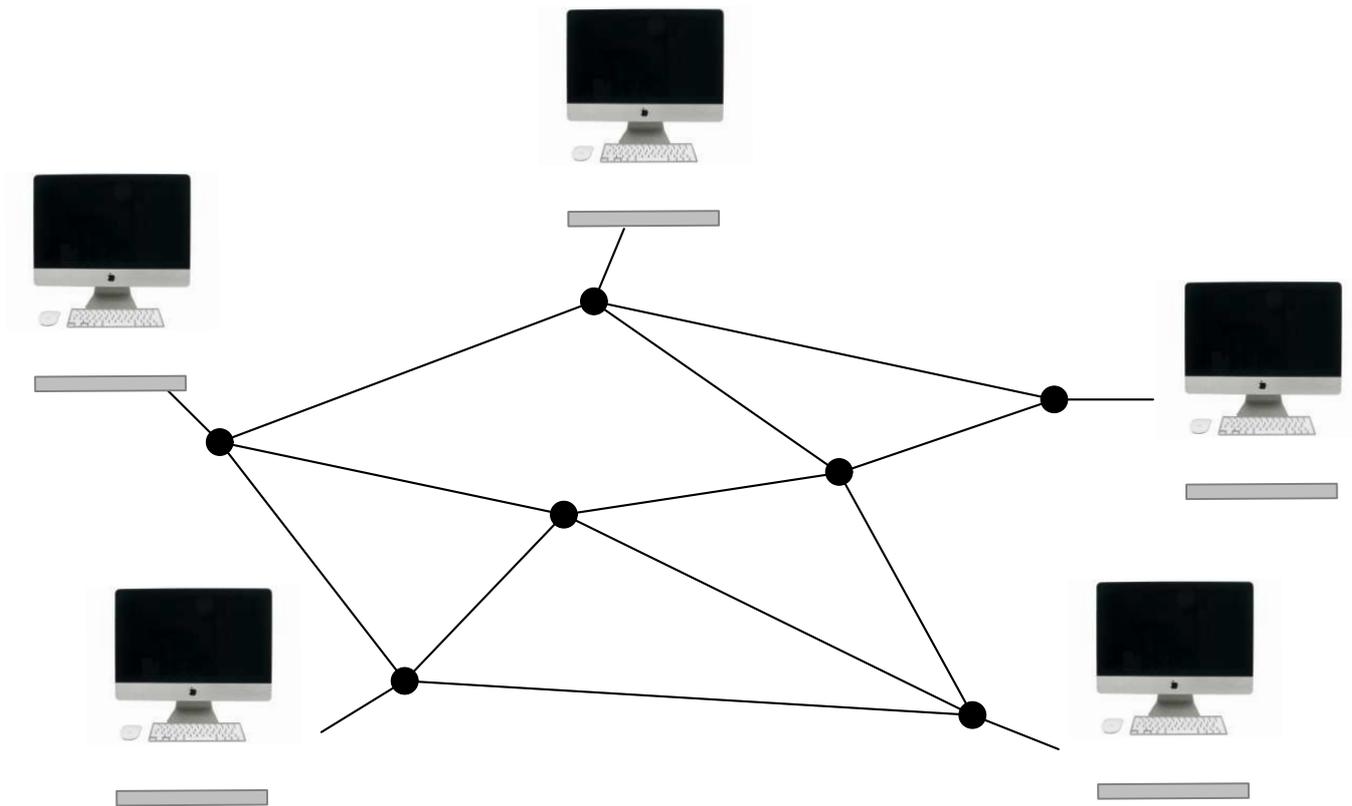


Abb. 1.8: Datenverbindungen über ein Rechnernetz

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

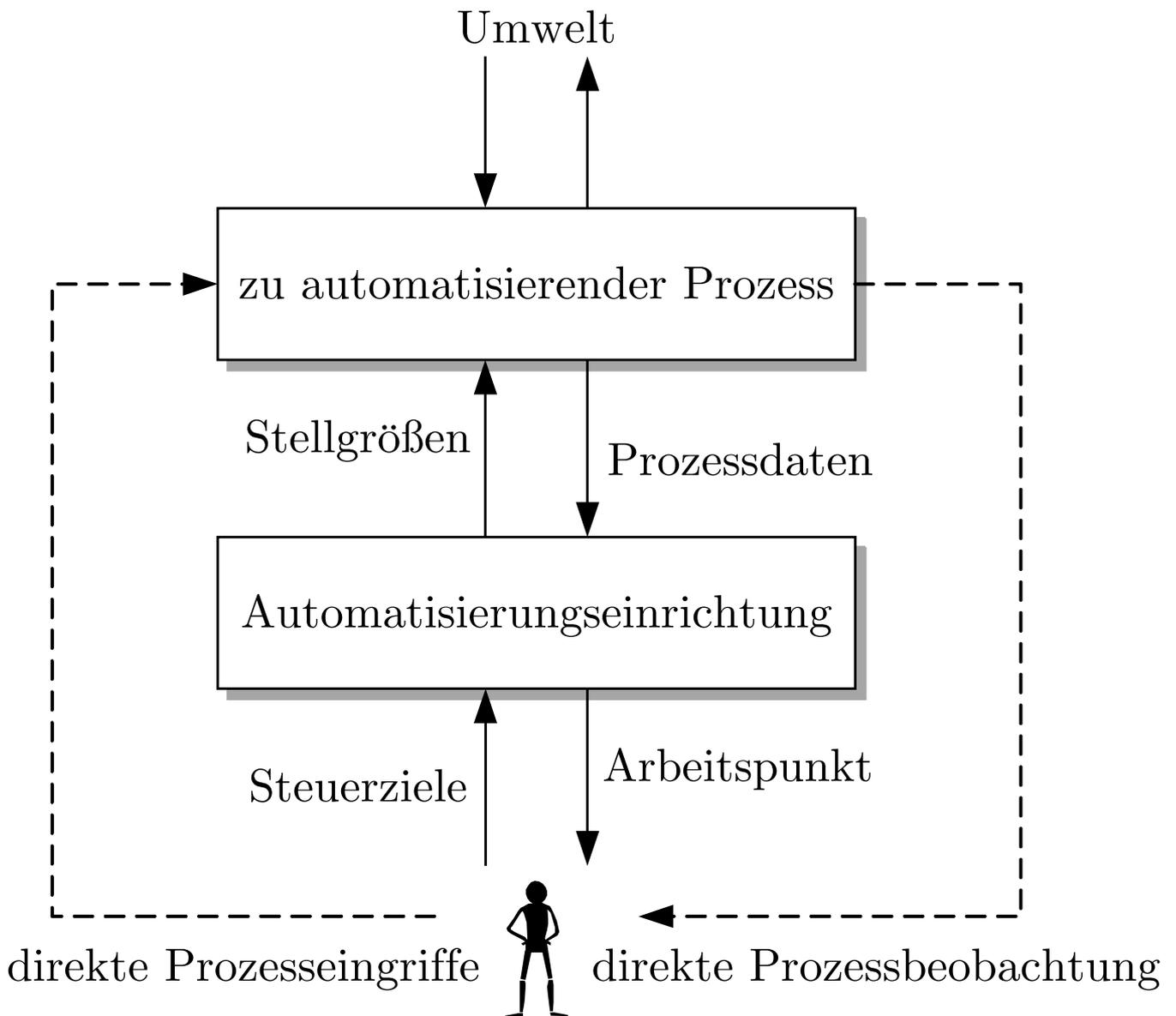
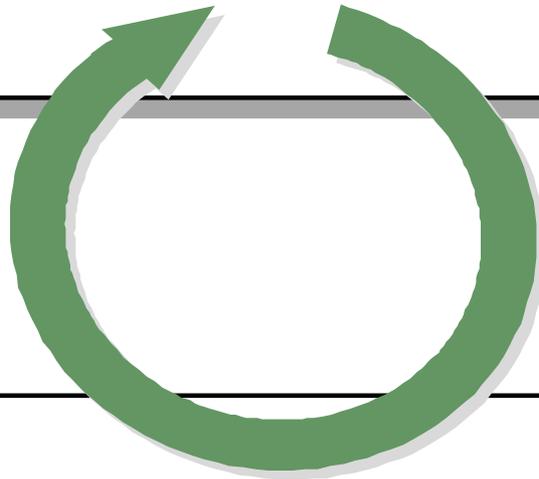


Abb. 1.9: Grundstruktur automatisierter Systeme

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

zu automatisierender Prozess



Automatisierungseinrichtung

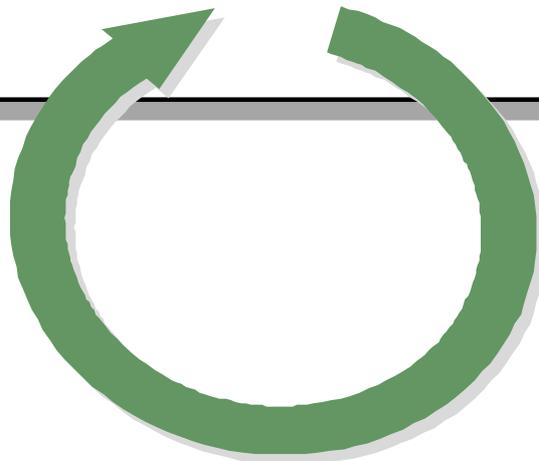


Abb. 1.10. Zwei Arten von Rückkopplungen in automatisierten Systemen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

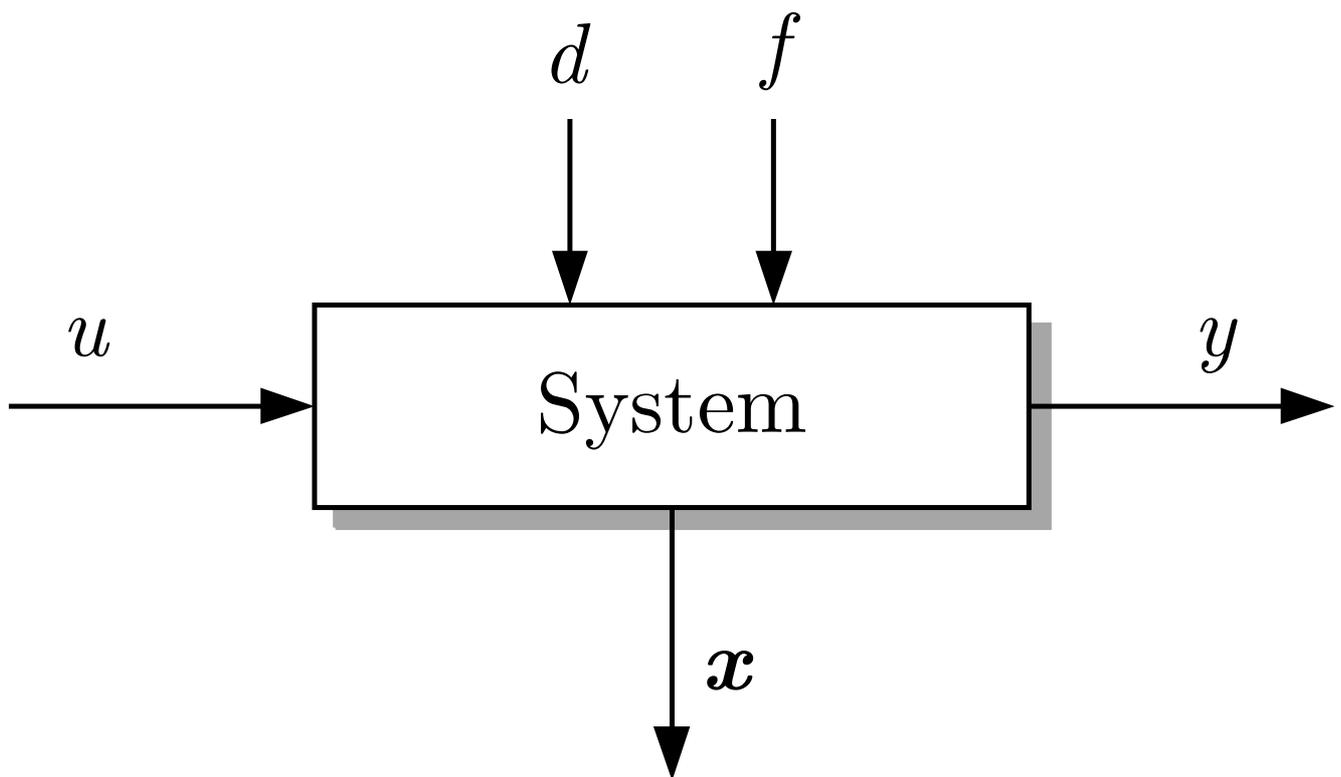


Abb. 1.11: Definition der an einem Prozess wirkenden Signale

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

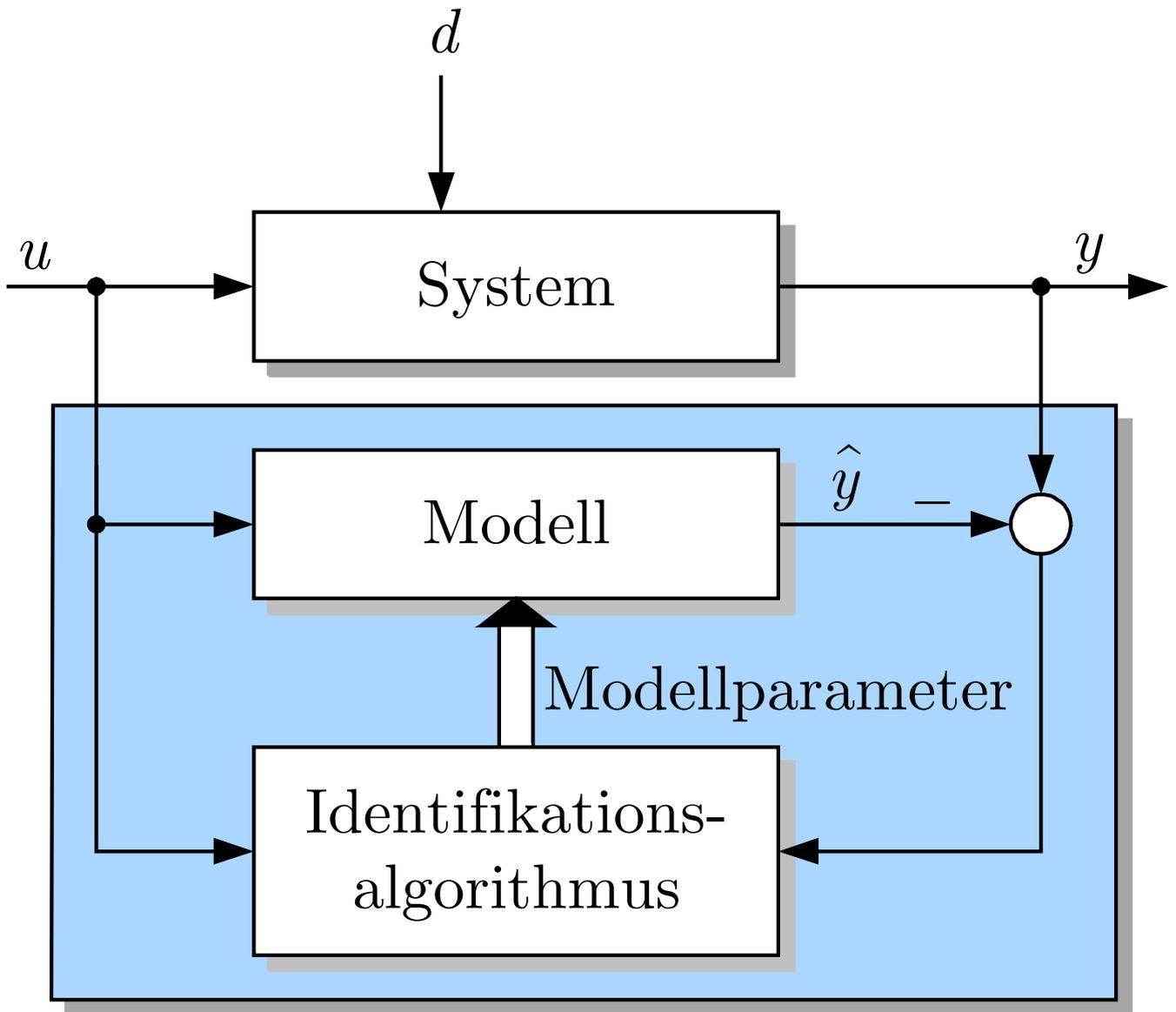


Abb. 1.12: Identifikation dynamischer Systeme

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

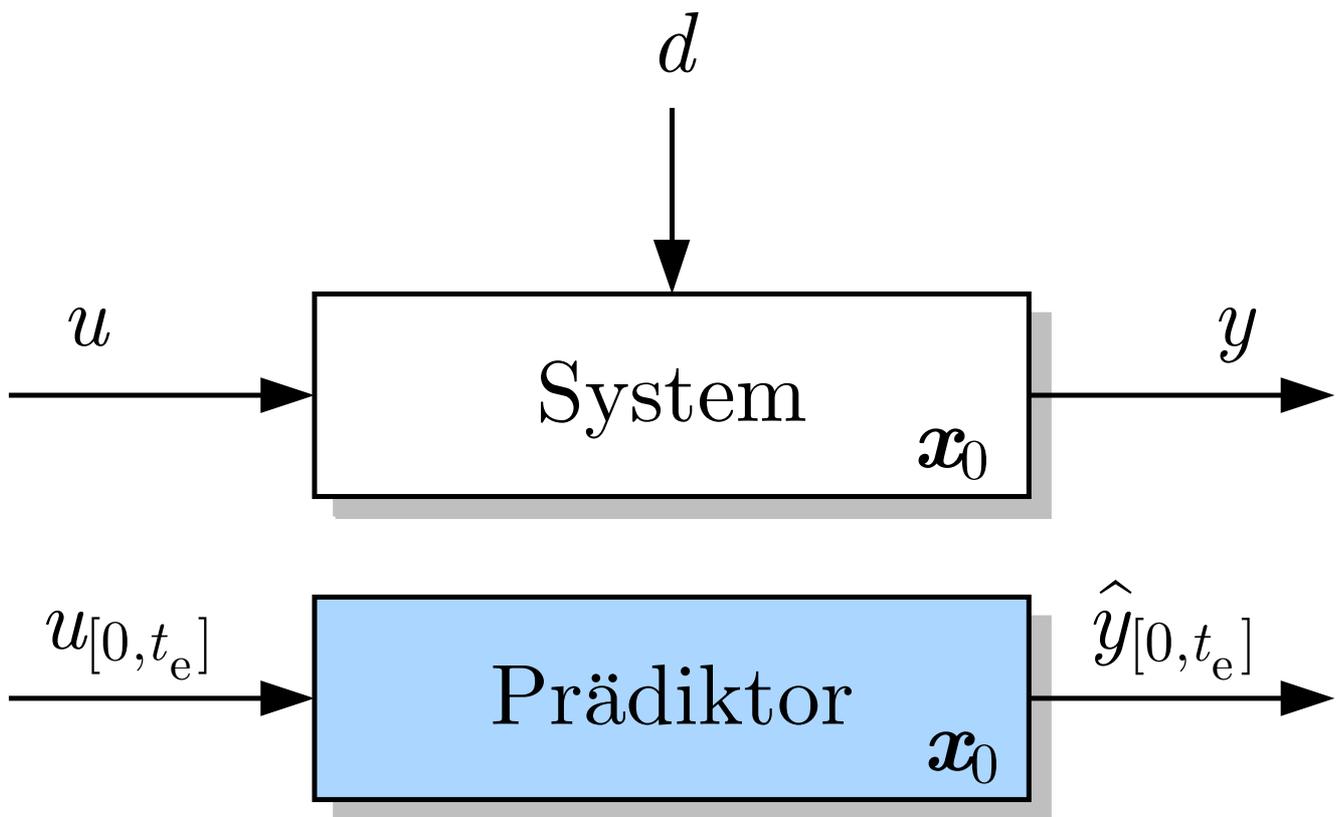


Abb. 1.13: Vorhersage des Systemverhaltens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

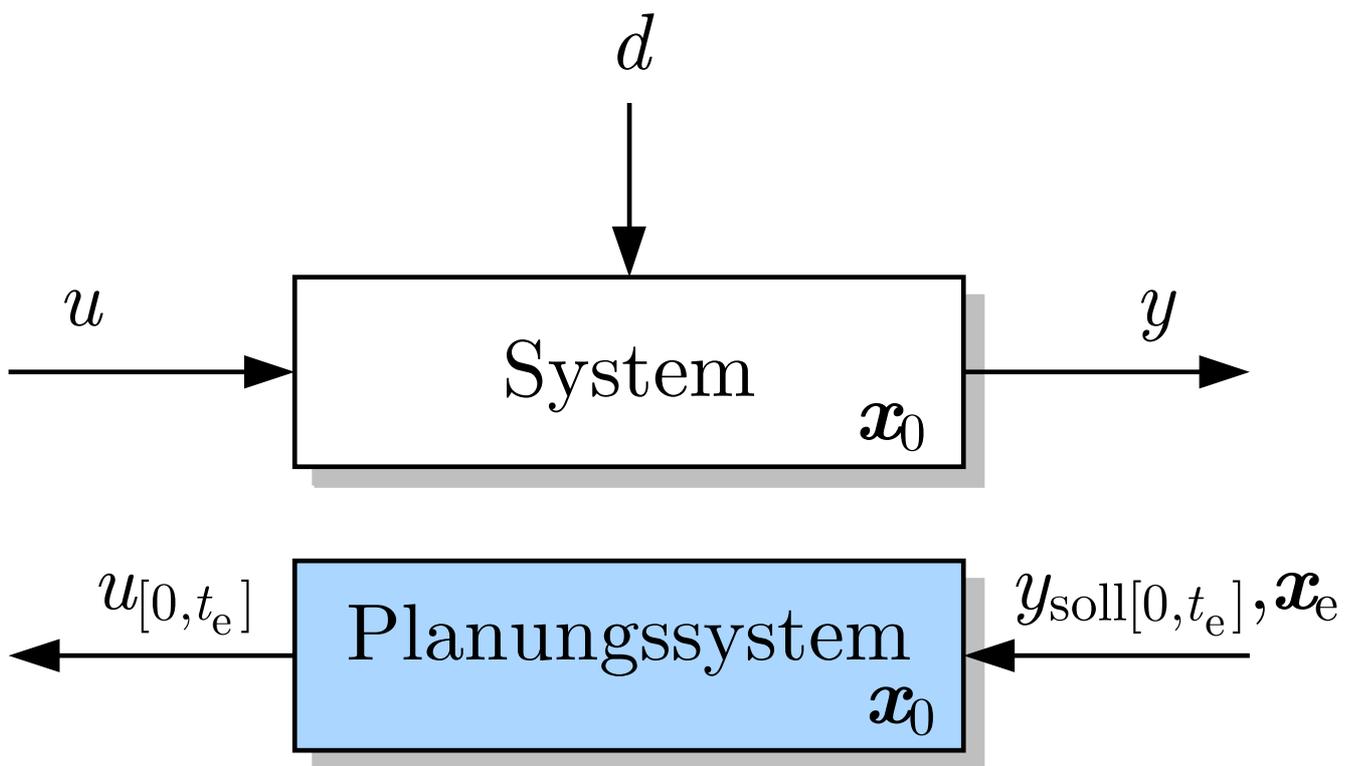


Abb. 1.14: Planung eines Steuereingriffs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

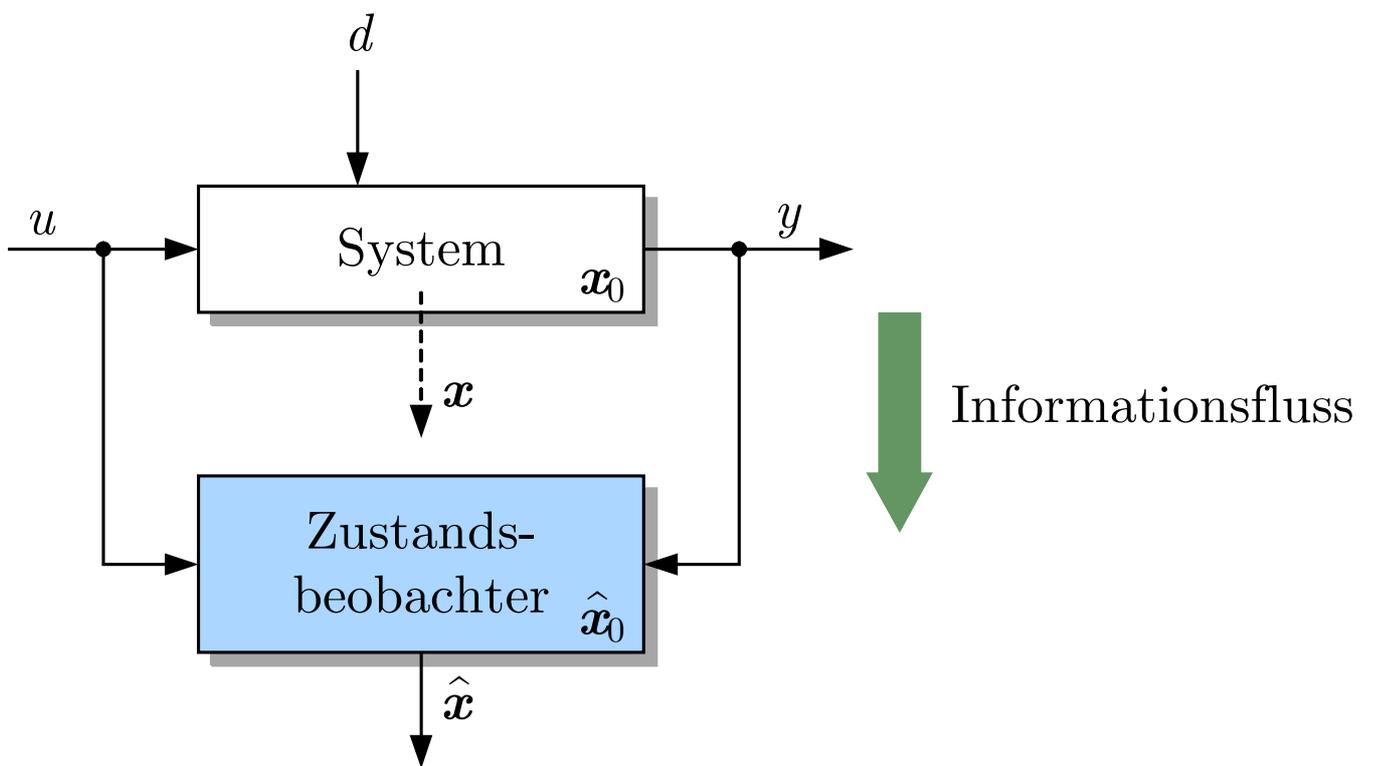


Abb. 1.15: Zustandsbeobachtung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

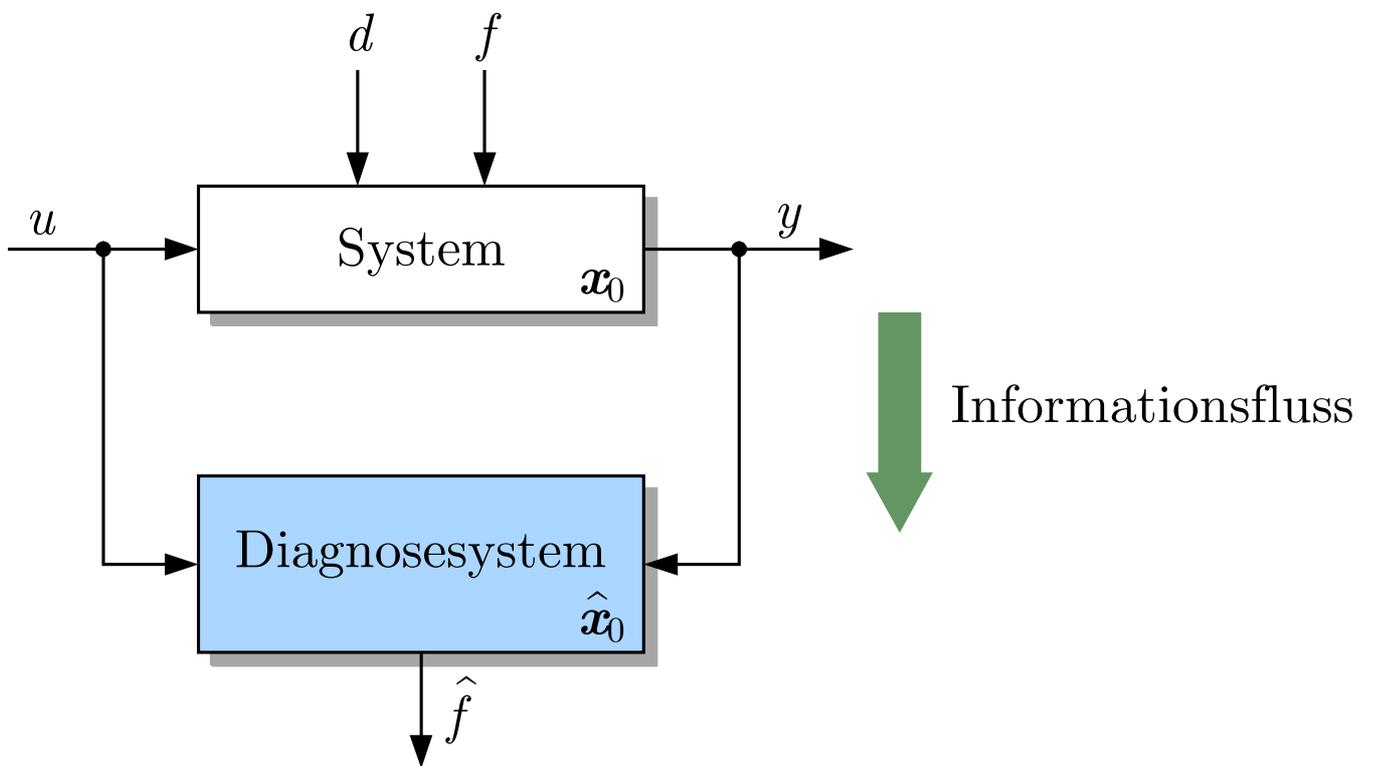


Abb. 1.16: Prozessdiagnose

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

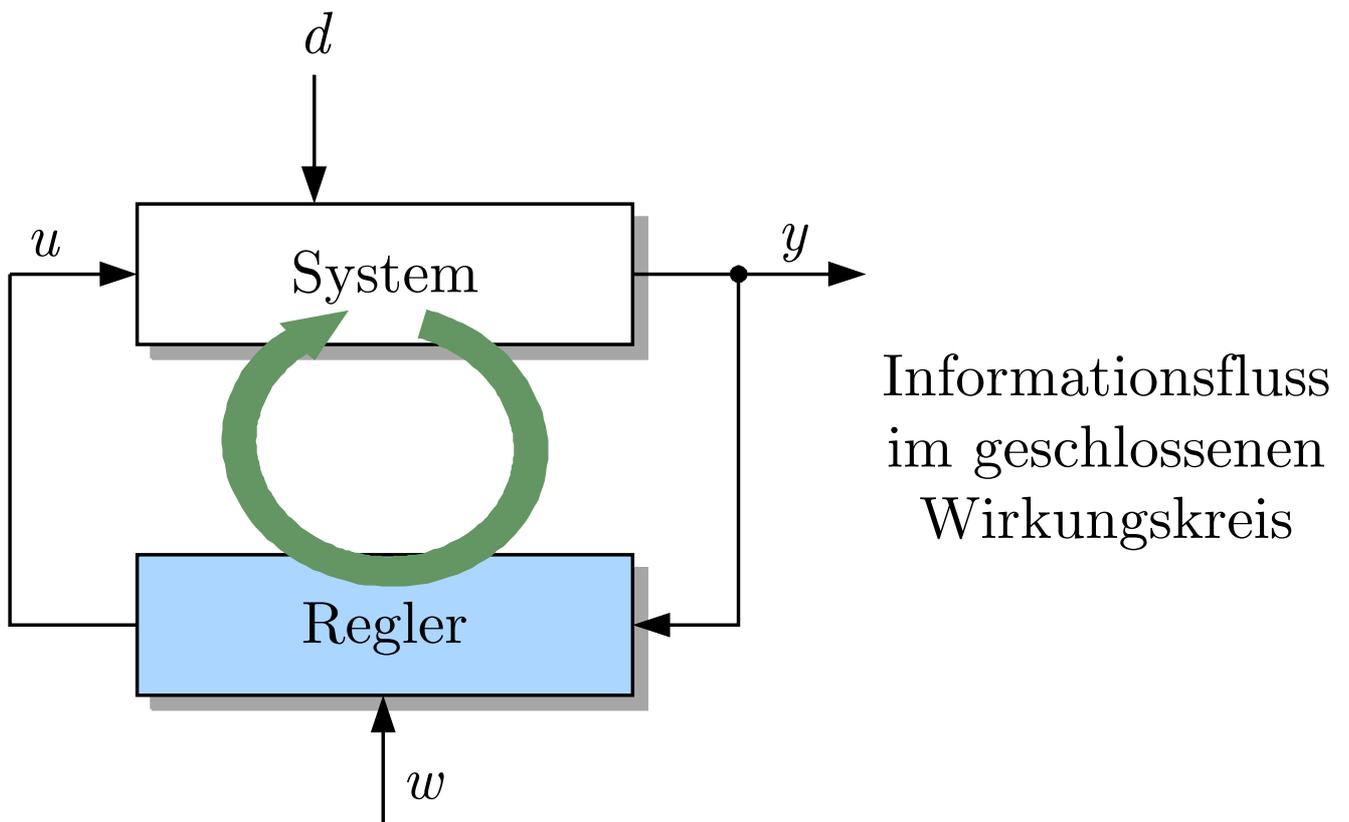


Abb. 1.17: Steuerung im geschlossenen Wirkungskreis (Regelung)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

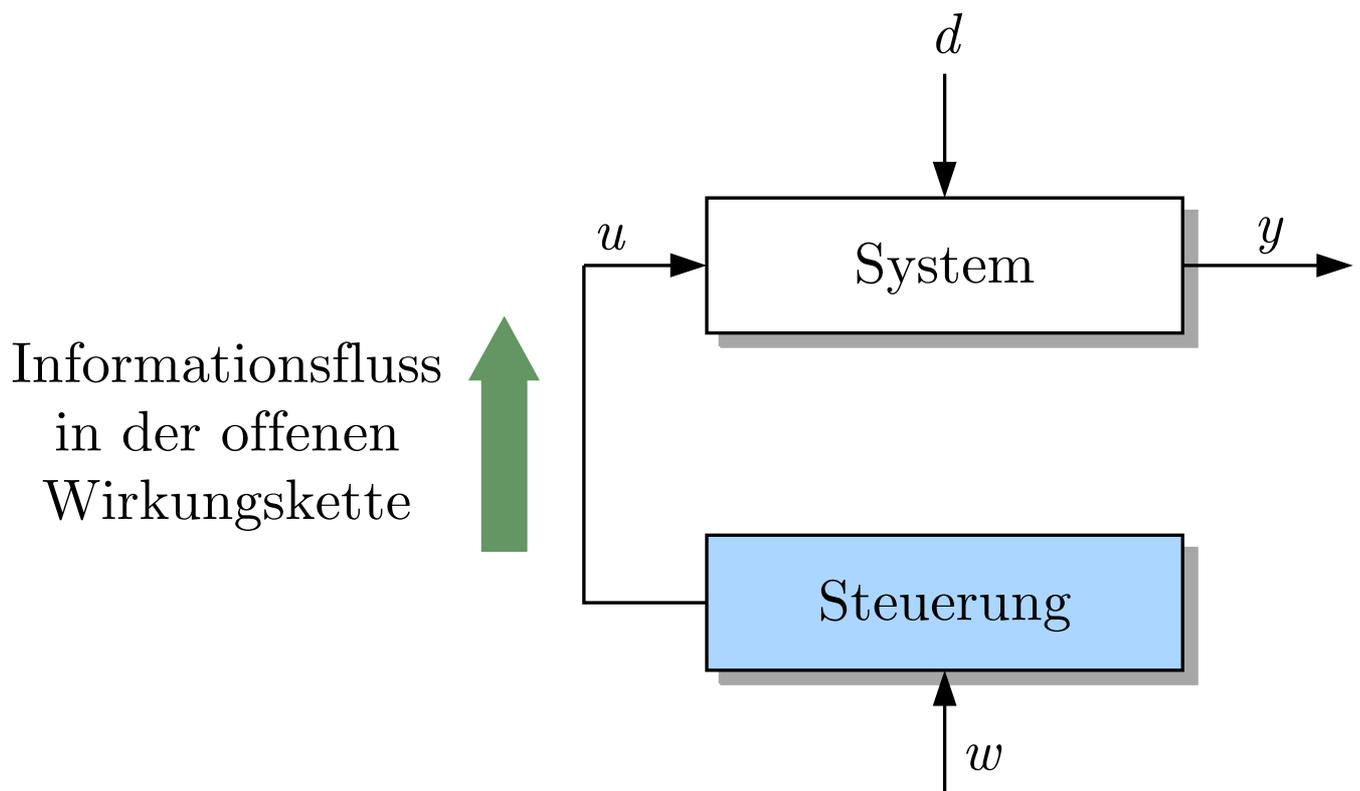


Abb. 1.18: Steuerung in der offenen Wirkungskette

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

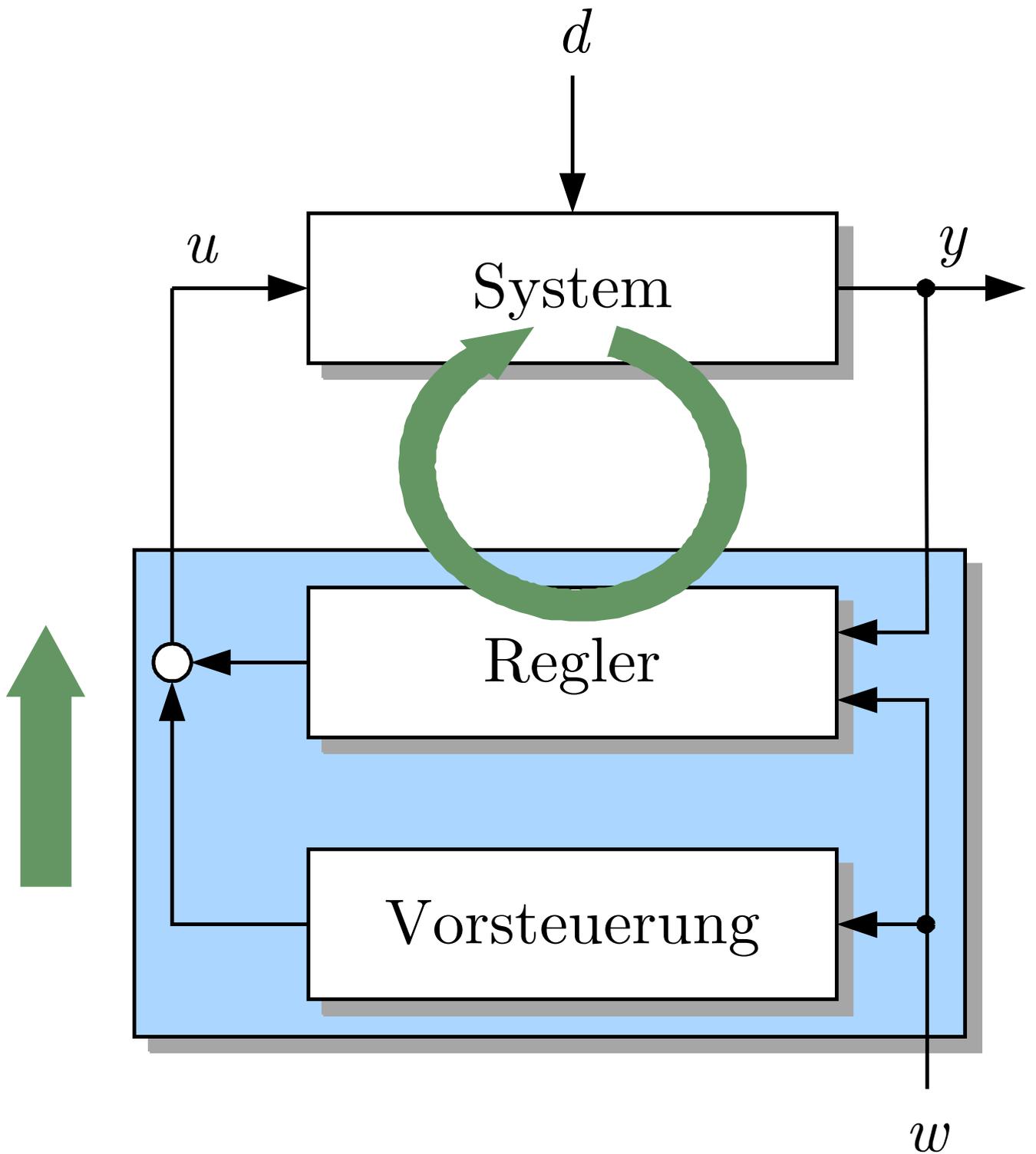


Abb. 1.19: Kombination beider Steuerungsarten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

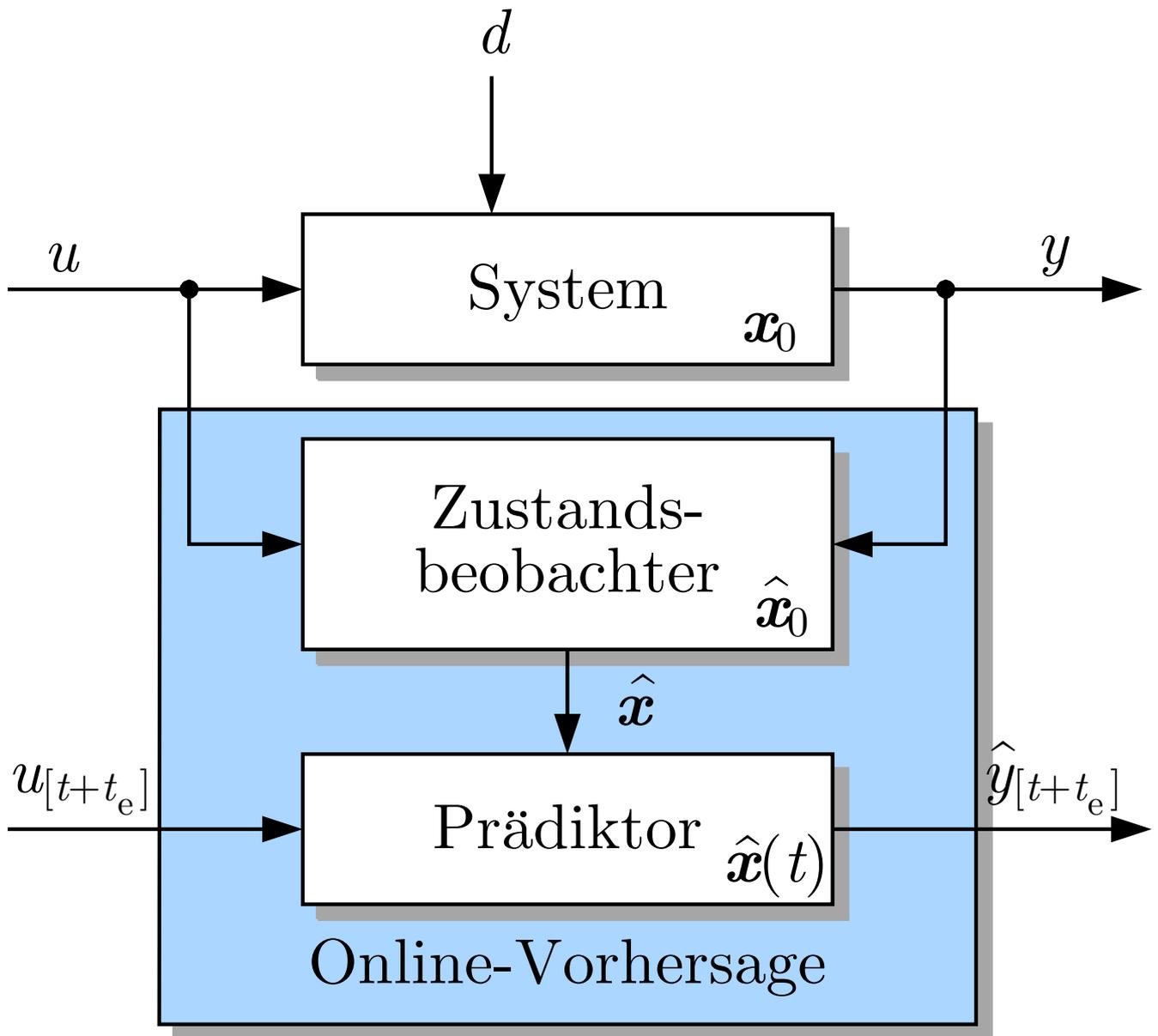


Abb. 1.20: Online-Vorhersage des Systemverhaltens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

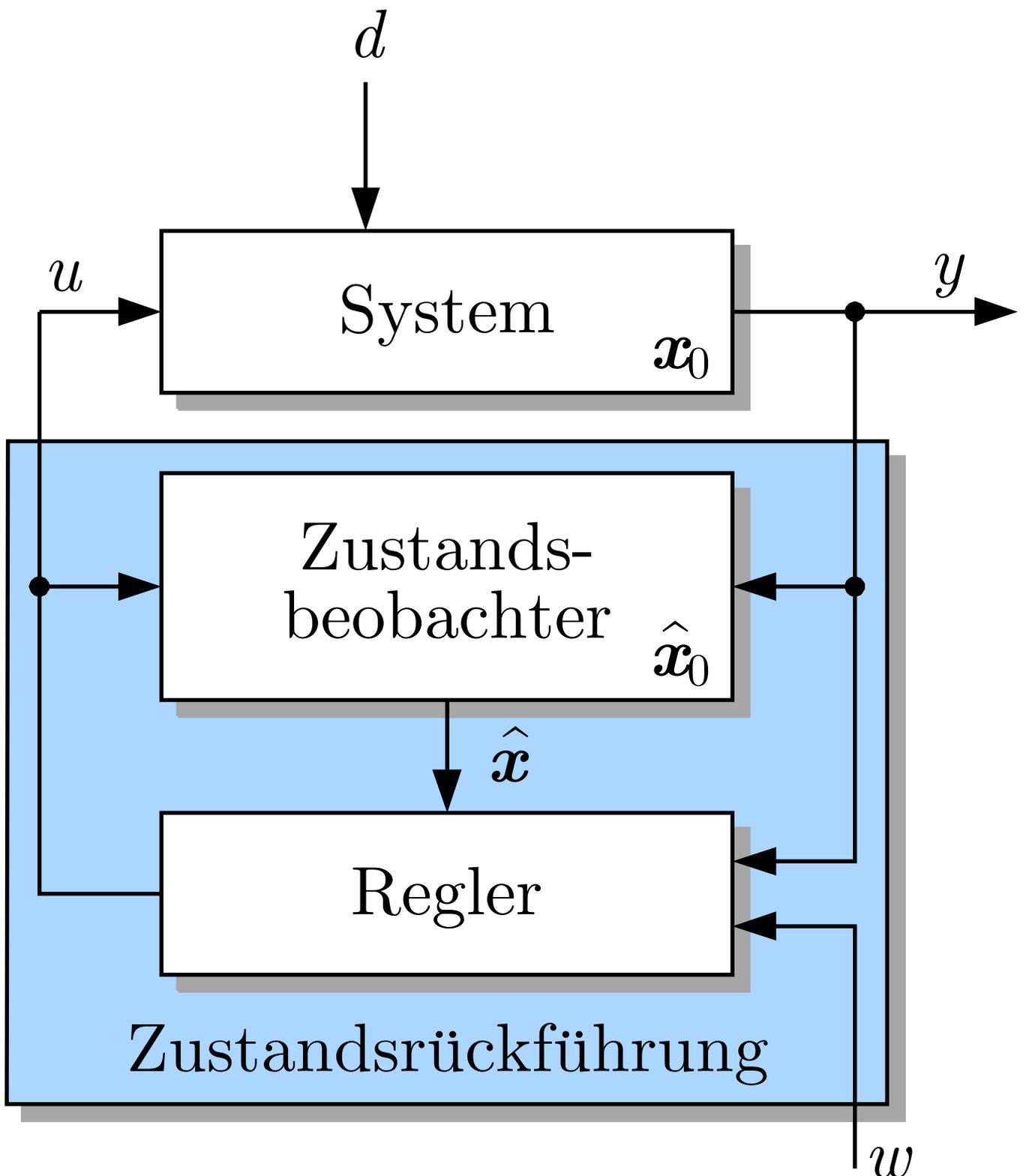


Abb. 1.21. Zustandsrückführung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

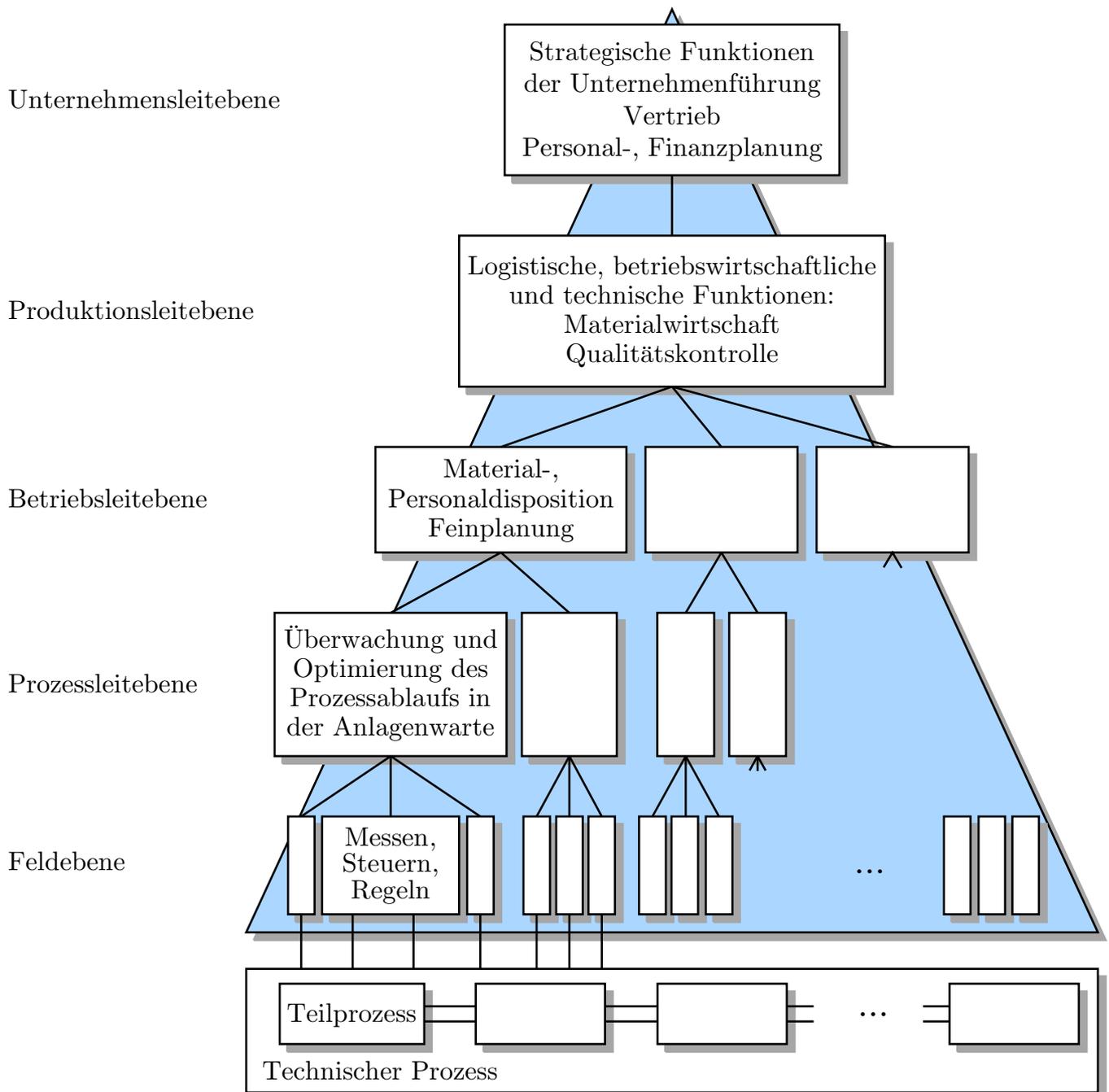


Abb. 1.22: Hierarchische Gliederung eines Automatisierungssystems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

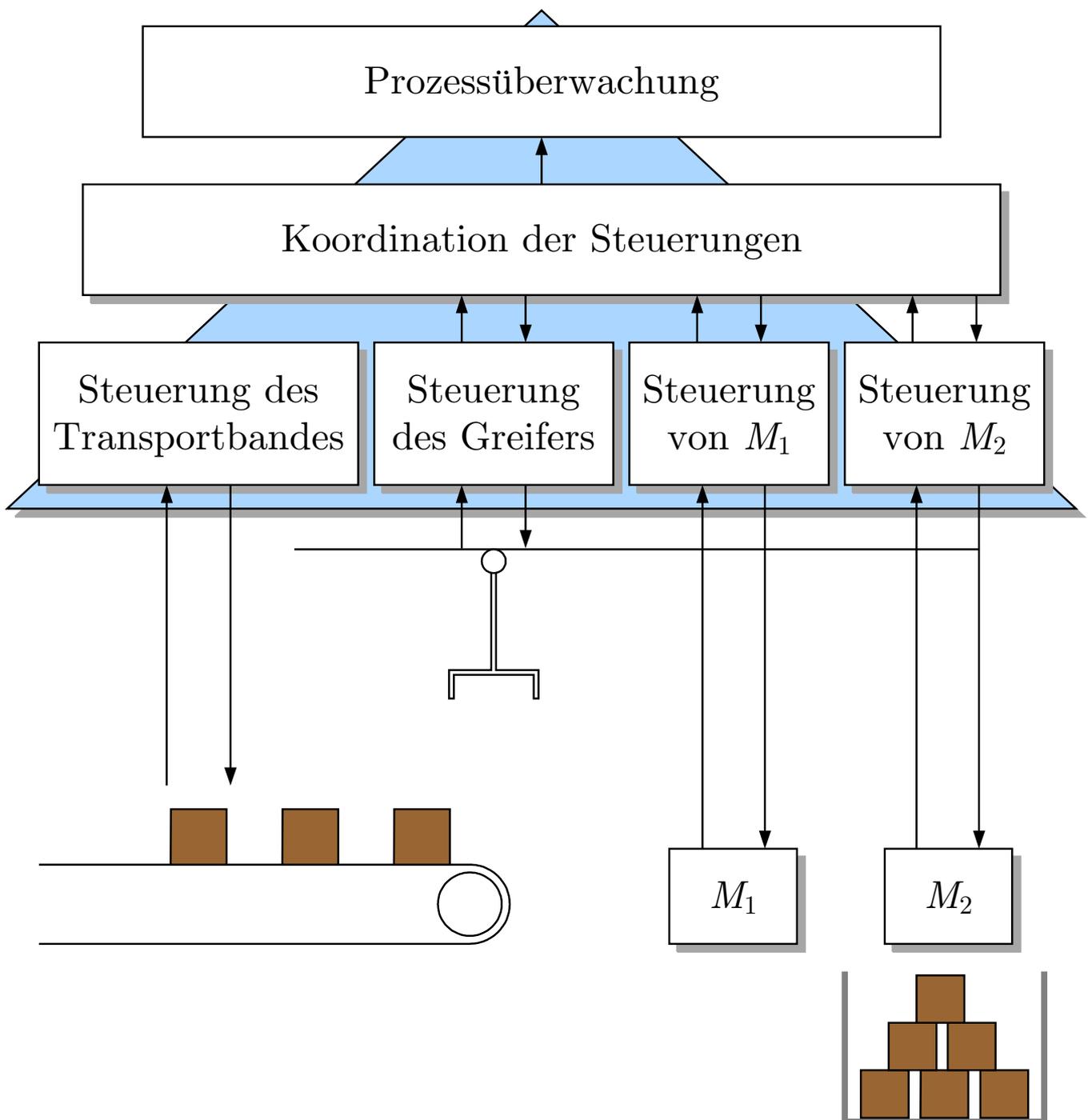


Abb. 1.23: Schematische Darstellung der Fertigungszelle

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

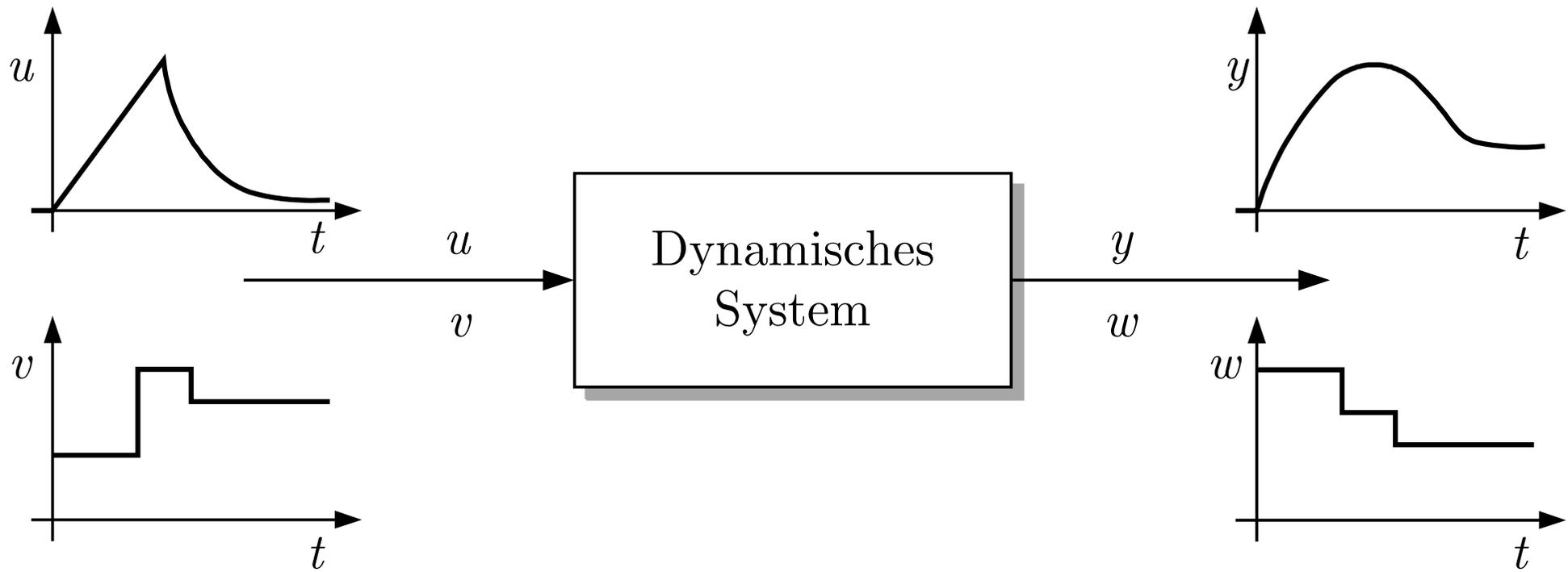


Abb. 2.1. Dynamisches System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

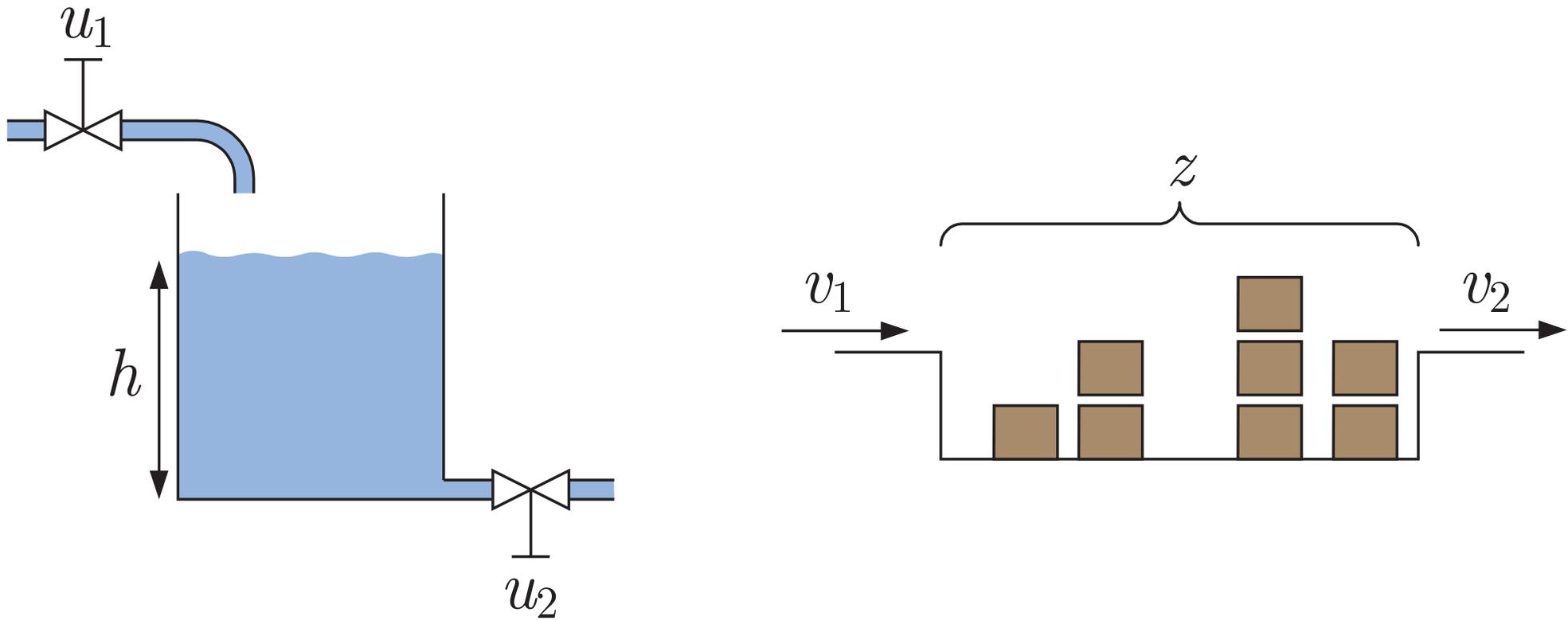


Abb. 2.2. Beispiele für einen kontinuierlichen und einen diskreten Prozess mit ähnlichen systemdynamischen Eigenschaften

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

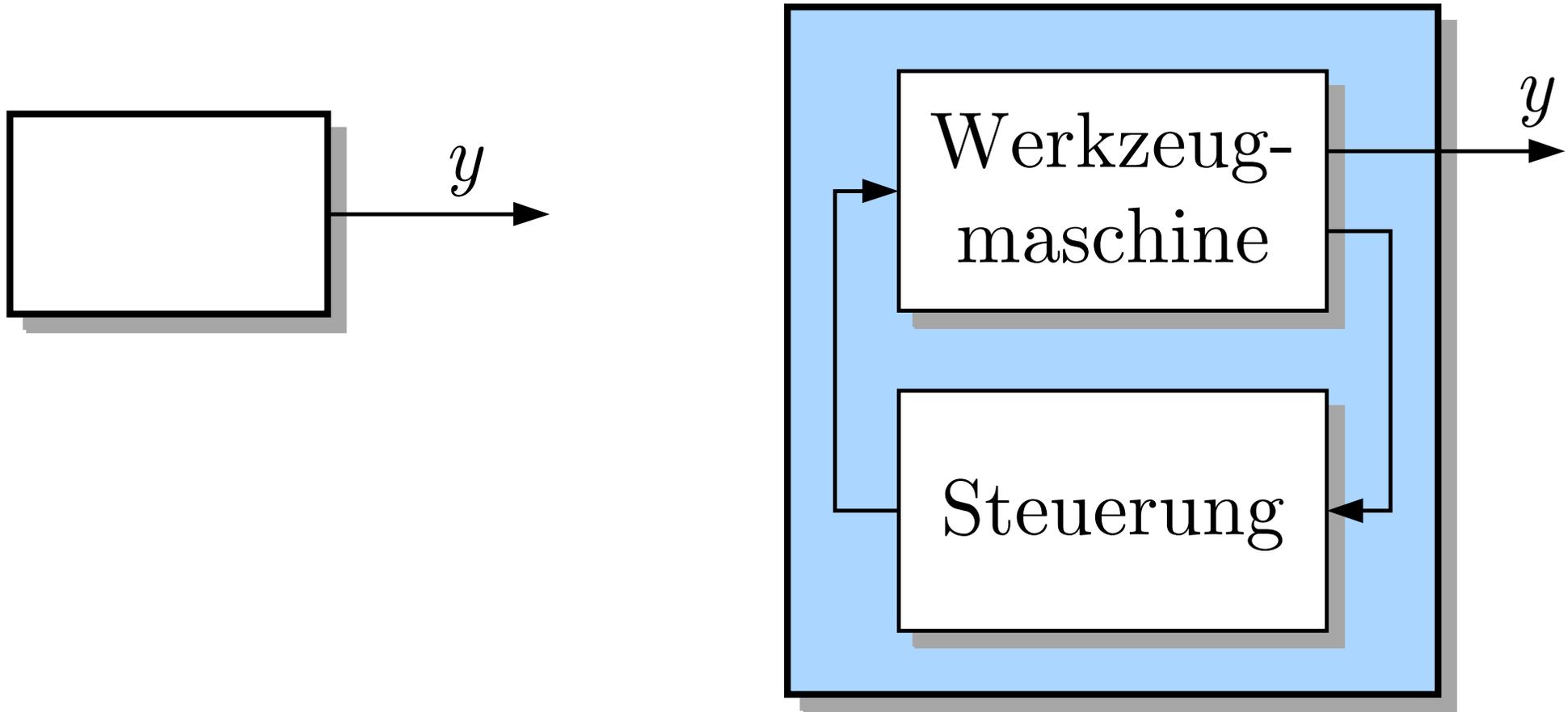


Abb. 2.3. Autonome Systeme

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

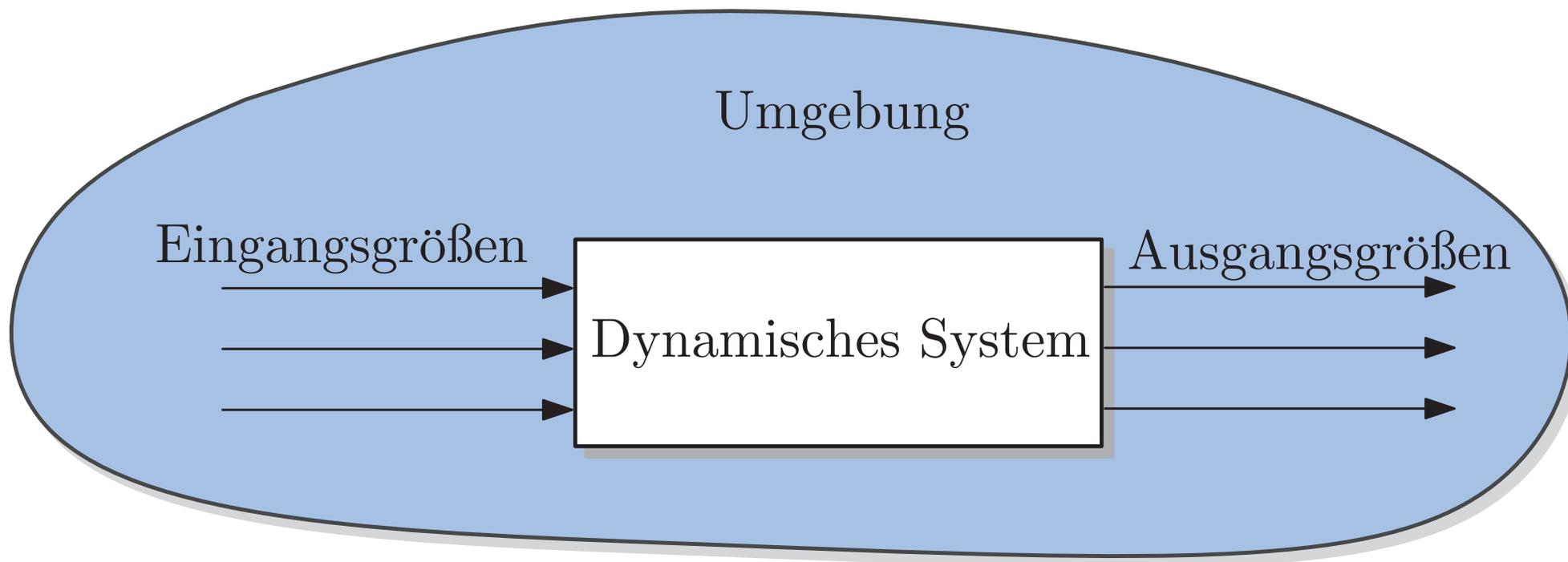
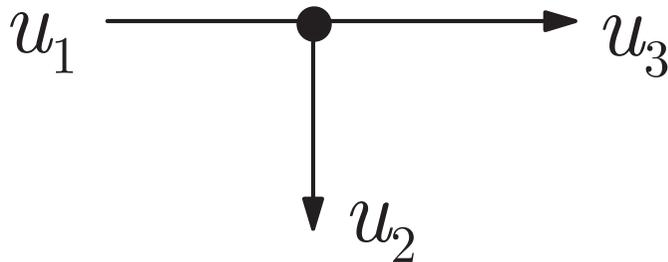


Abb. 2.4. Blockschaltbild eines Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

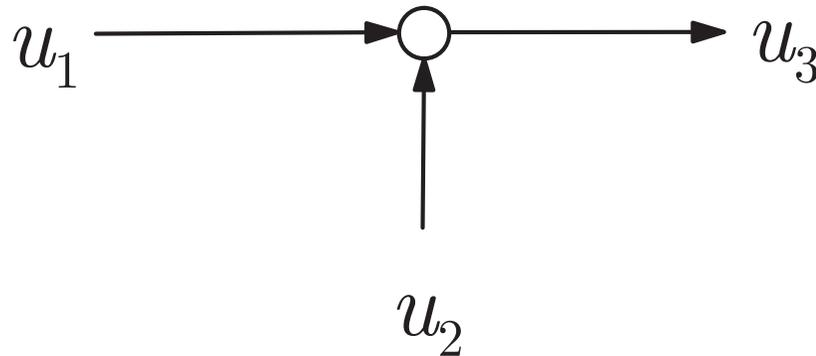


Übertragungsglied
(allgemein)



Signalverzweigung

$$u_1 = u_2 = u_3$$



Summationsstelle

$$u_3 = u_1 + u_2$$

Abb. 2.5. Grundsymbole des Blockschaltbilds

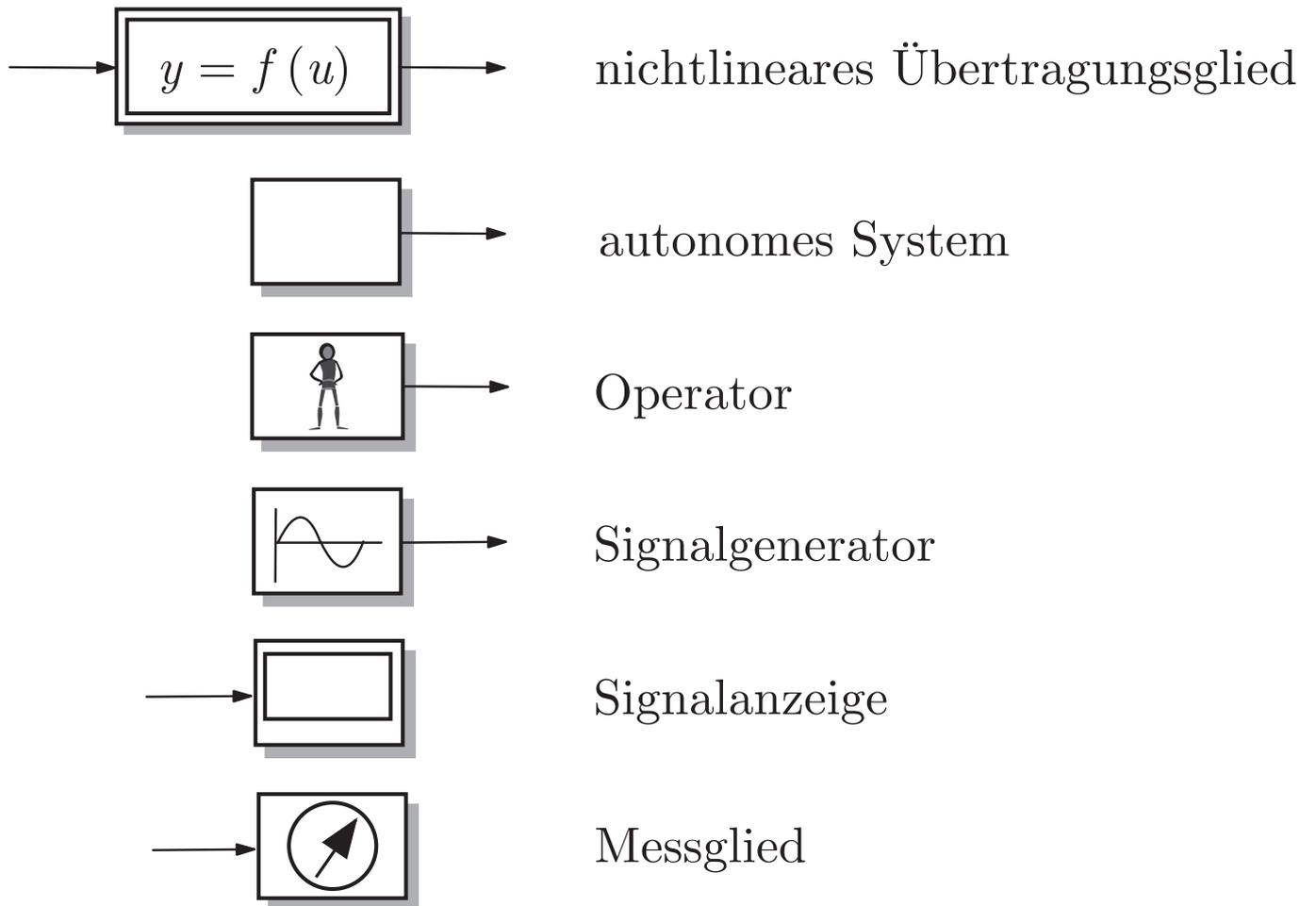


Abb. 2.6: Spezielle Symbole des Blockschaltbilds

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

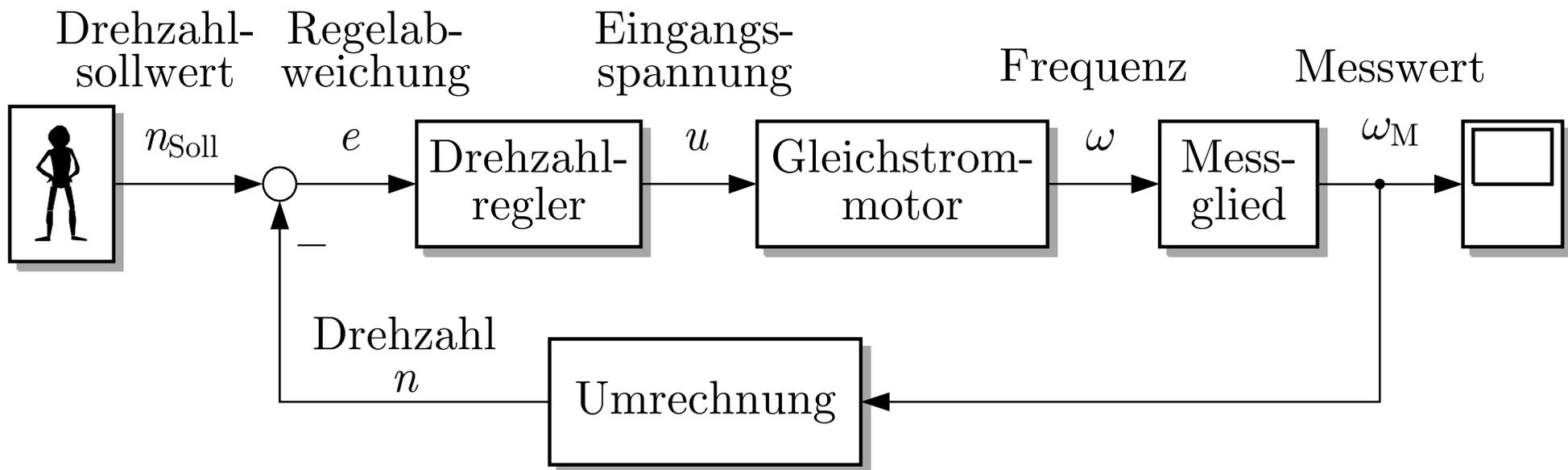


Abb. 2.7. Blockschaltbild des drehzahlgeregelten Gleichstrommotors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

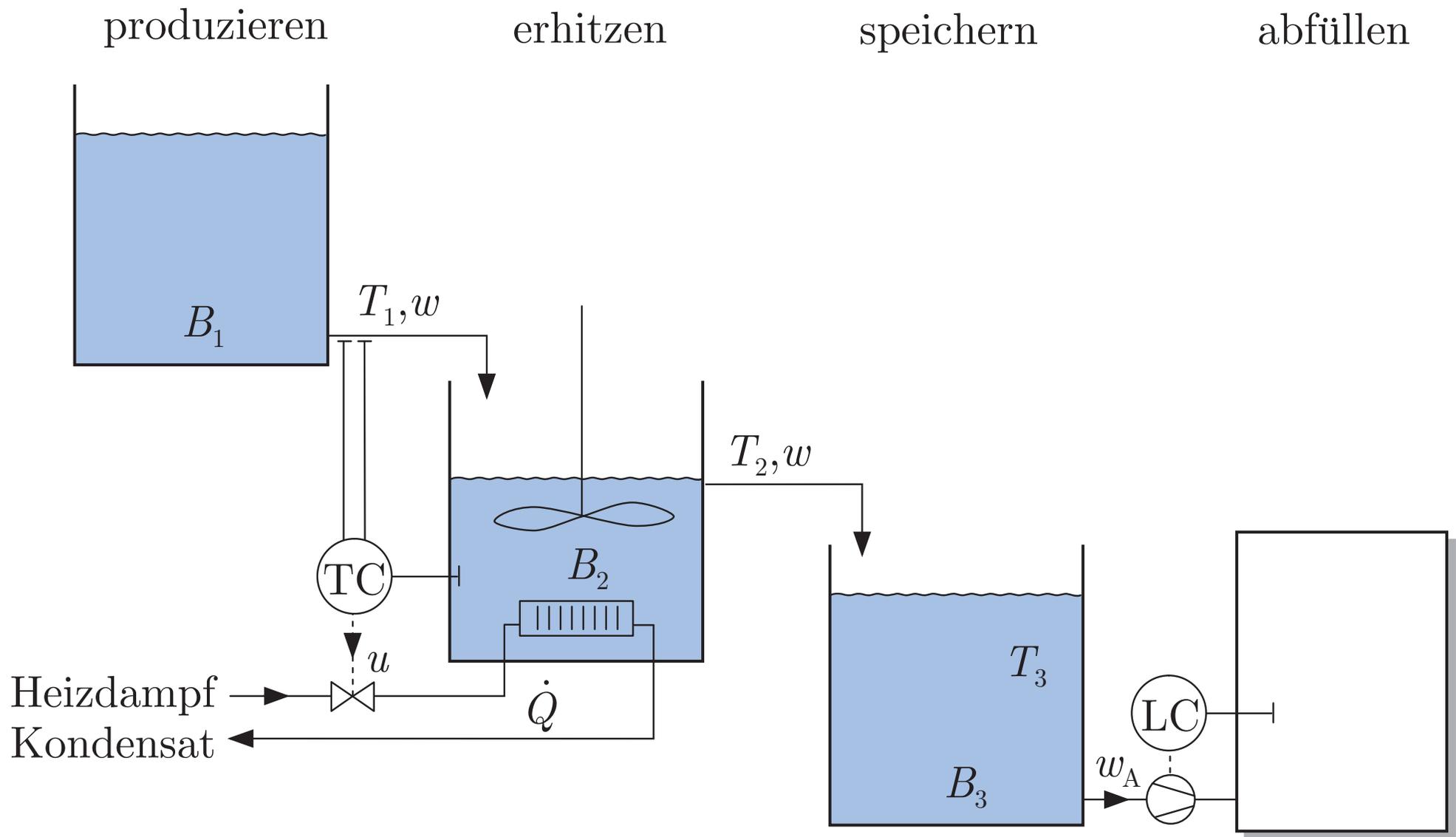


Abb. 2.8. Abfüllanlage (TC – Temperaturregler, LC – Füllstandsregler)

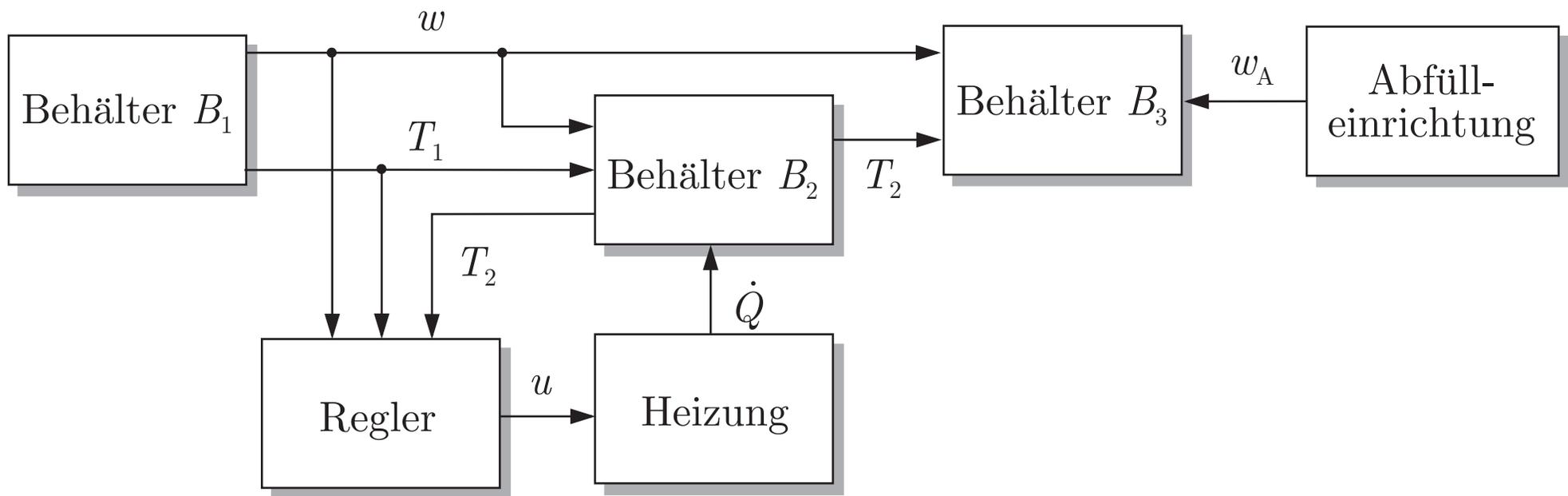


Abb. 2.9. Blockschaltbild der Abfüllanlage

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

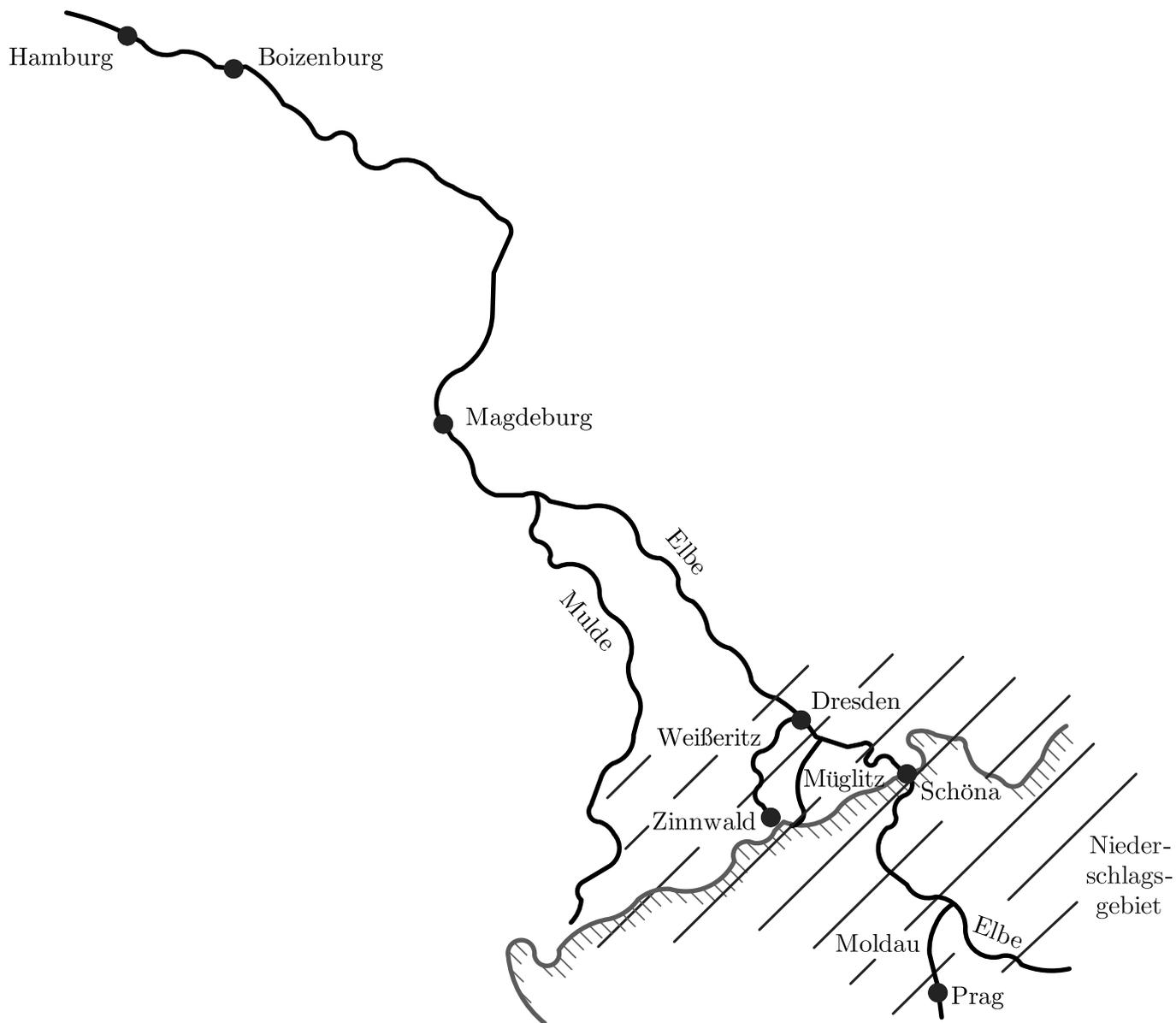


Abb. 2.10: Landkarte des vom Elbehochwasser betroffenen Gebietes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

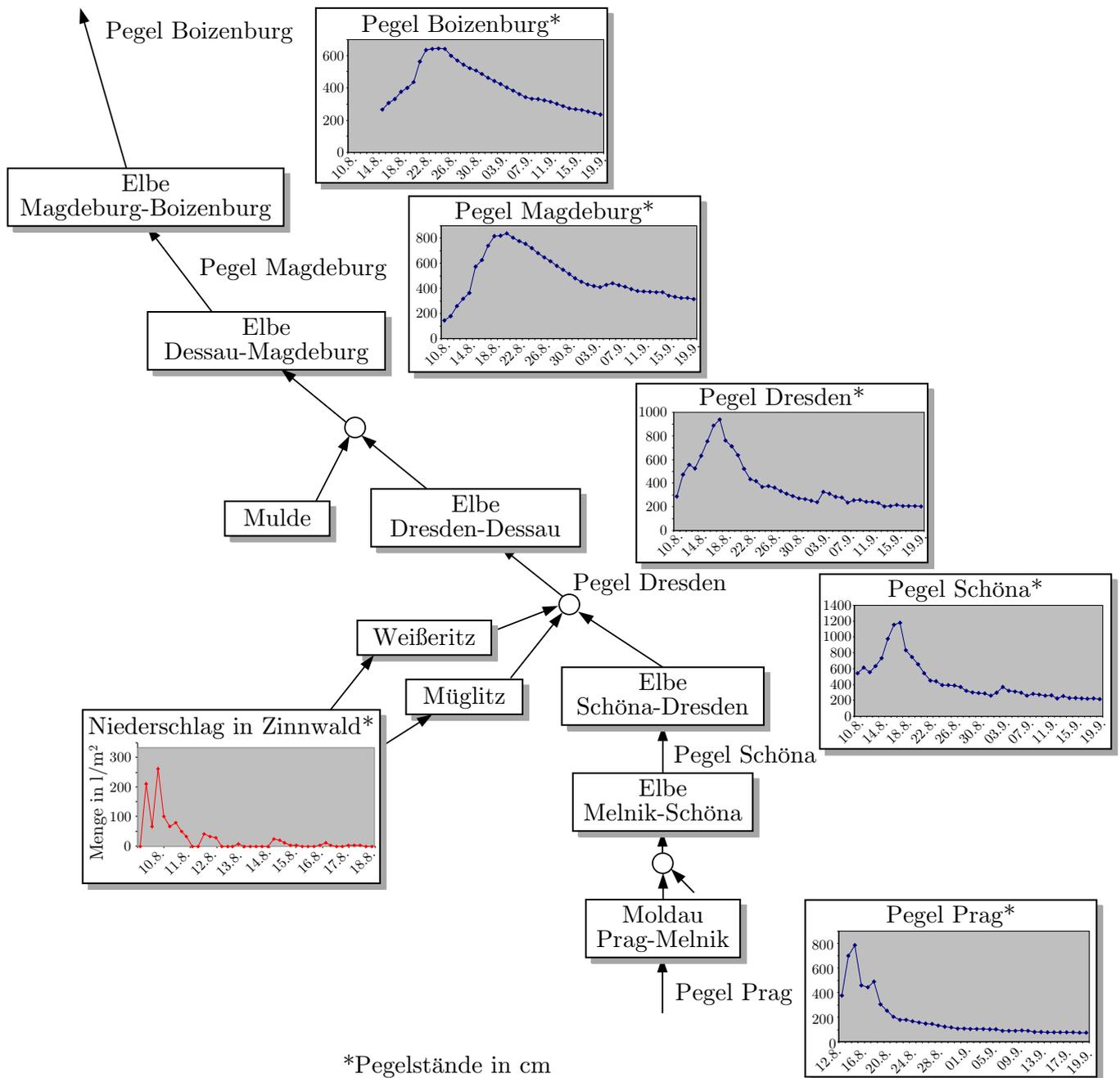


Abb. 2.11: Darstellung des strukturellen Zusammenhangs zwischen den Pegelständen durch ein Blockschaltbild

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

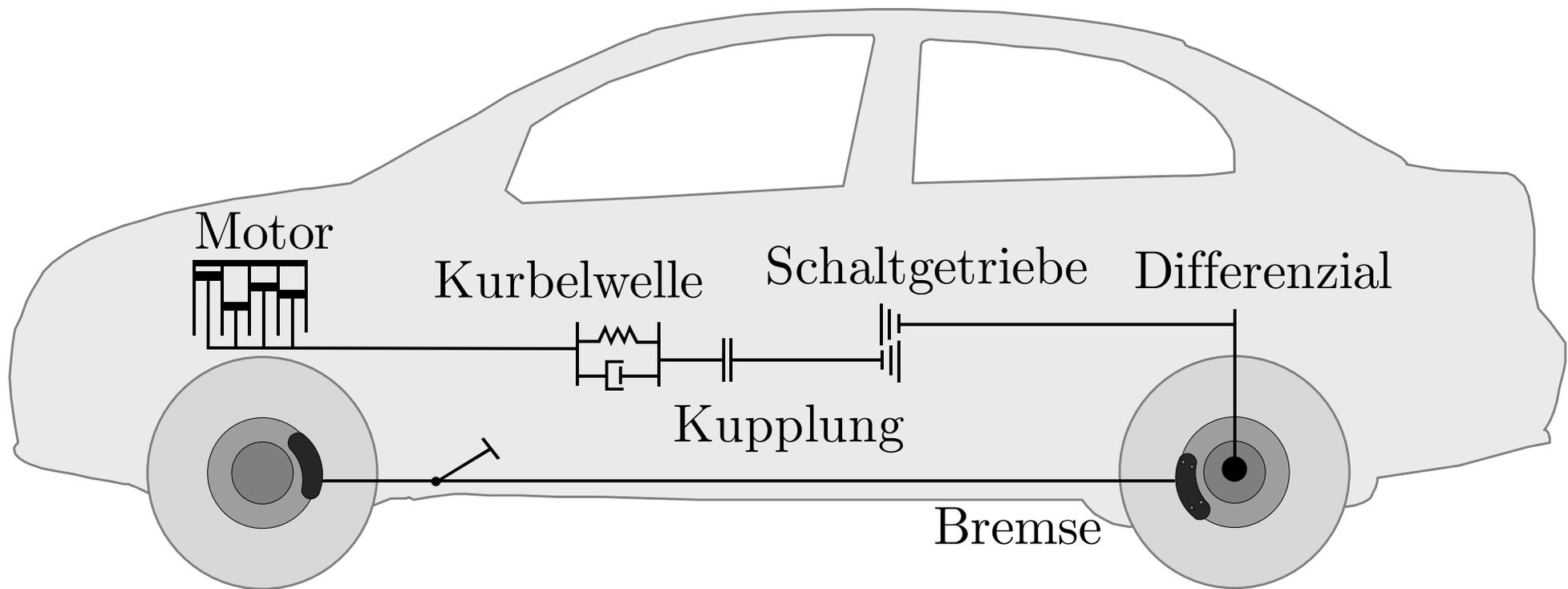


Abb. 2.12. Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

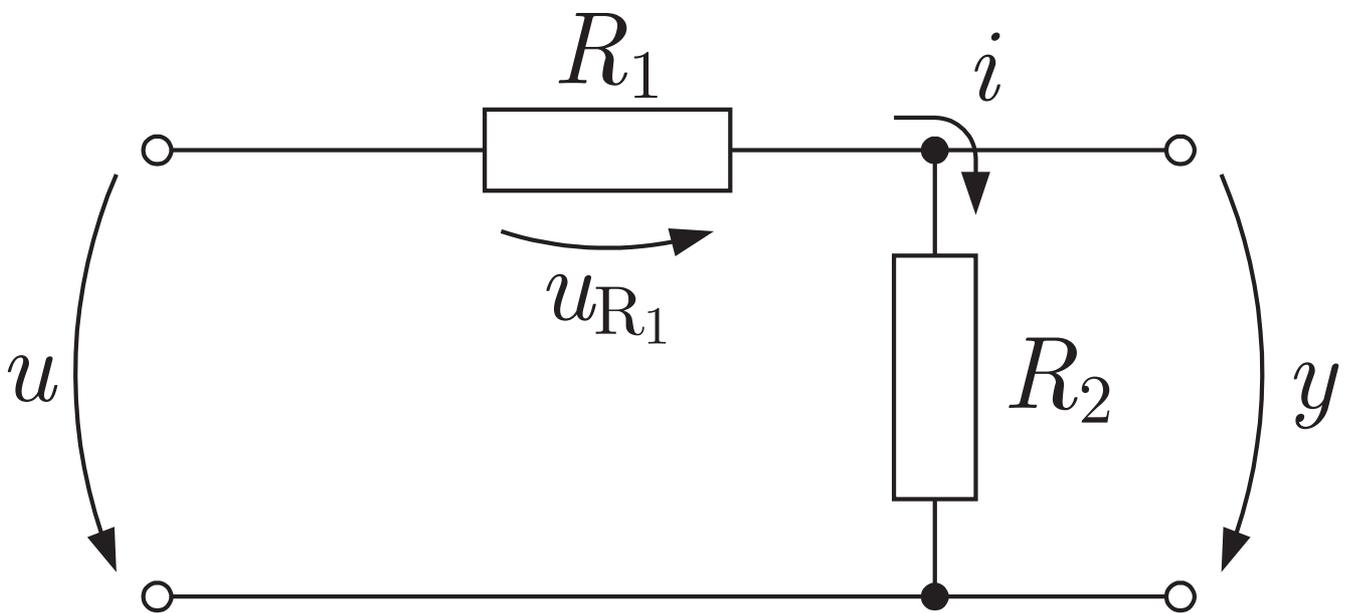


Abb. 2.13: Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

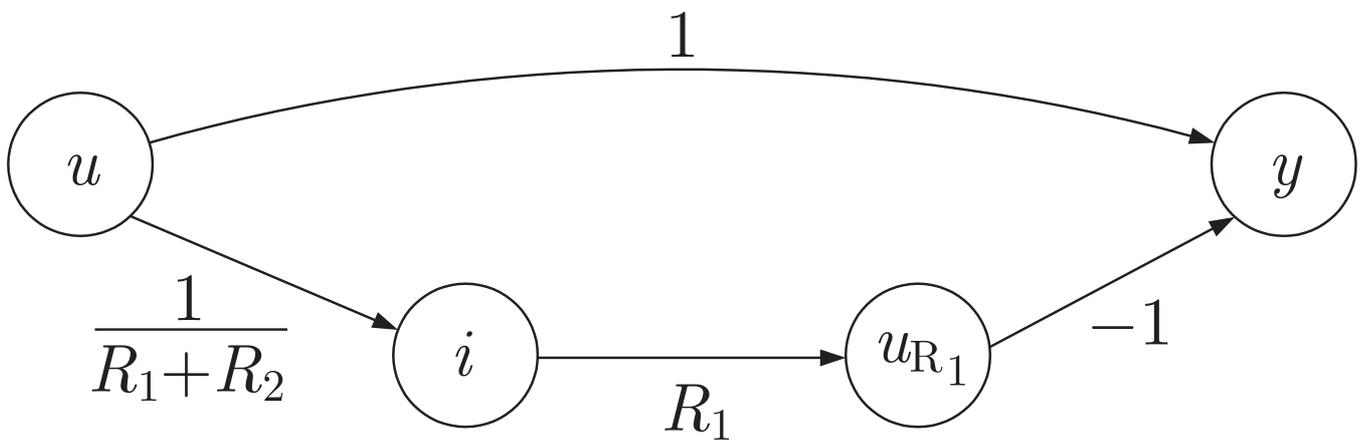


Abb. 2.13: Signalflussgraph der Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

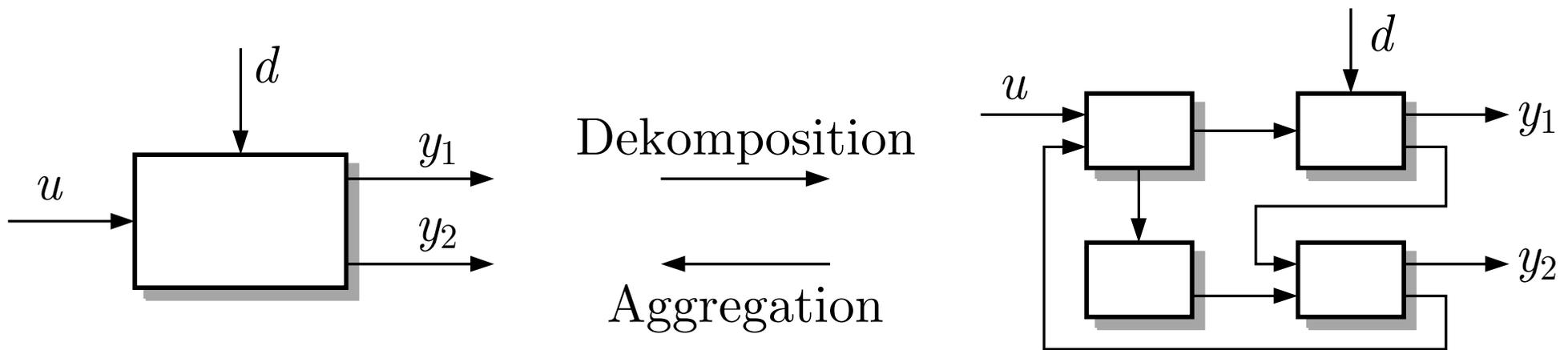


Abb. 2.14. Dekomposition und Aggregation eines Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

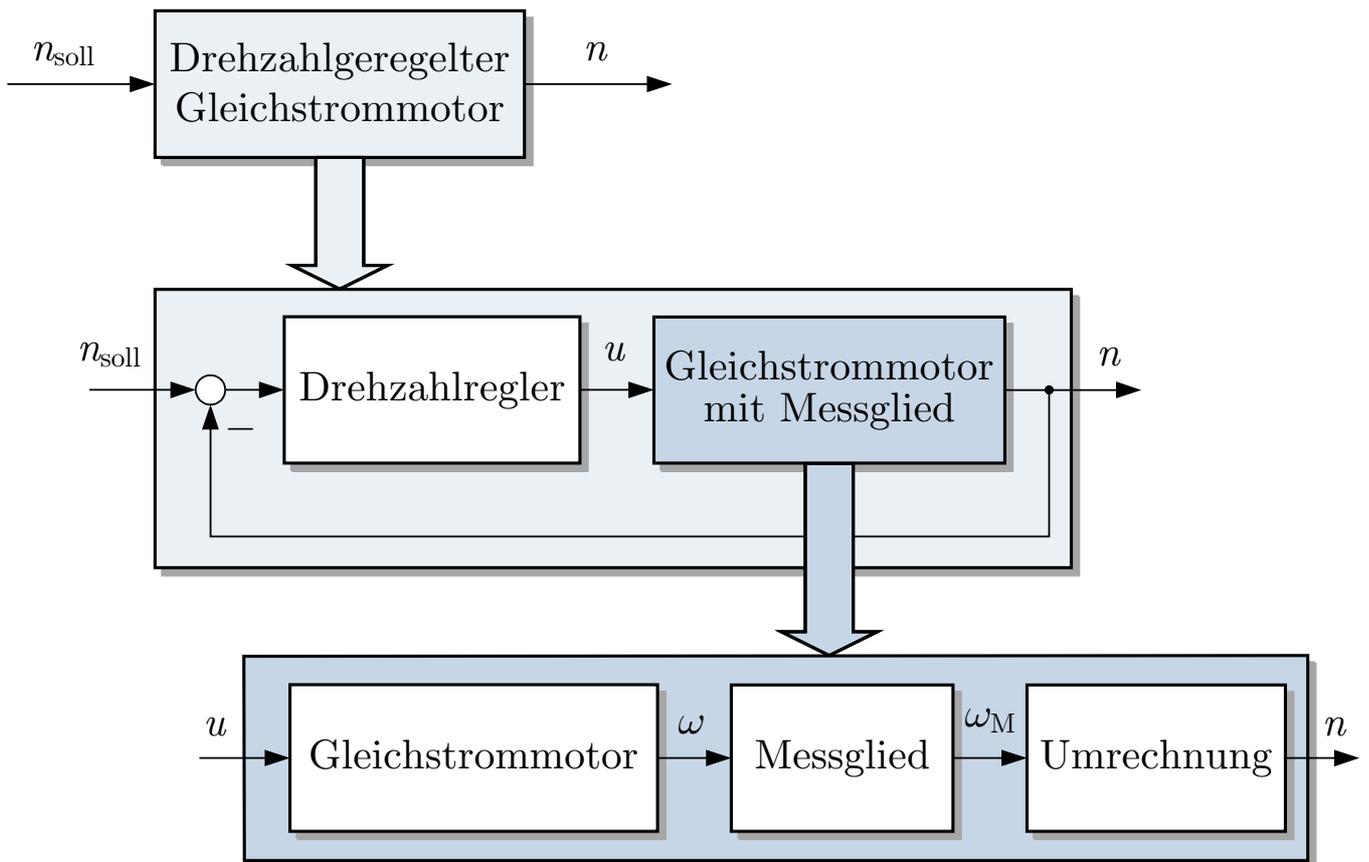


Abb. 2.15: Hierarchisch strukturiertes Blockschaltbild eines Gleichstrommotors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

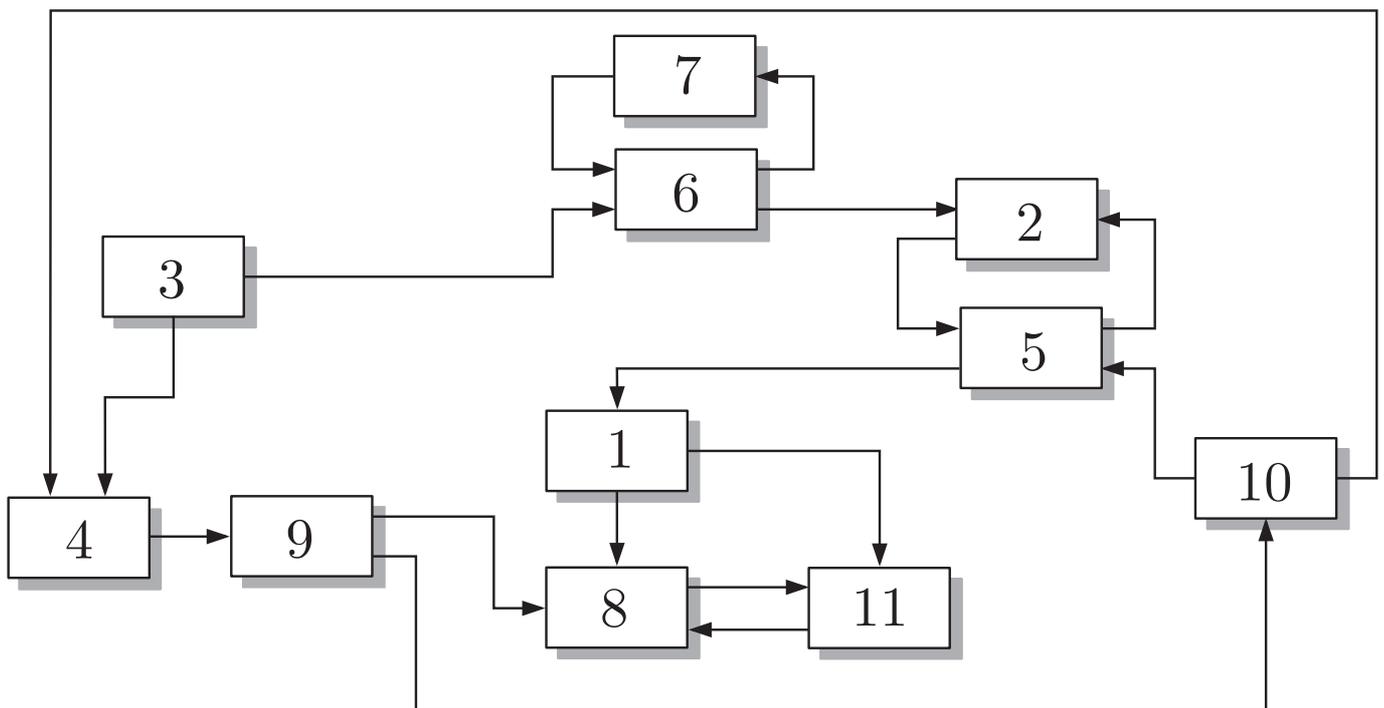


Abb. 2.16: Beispiel für ein gekoppeltes System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

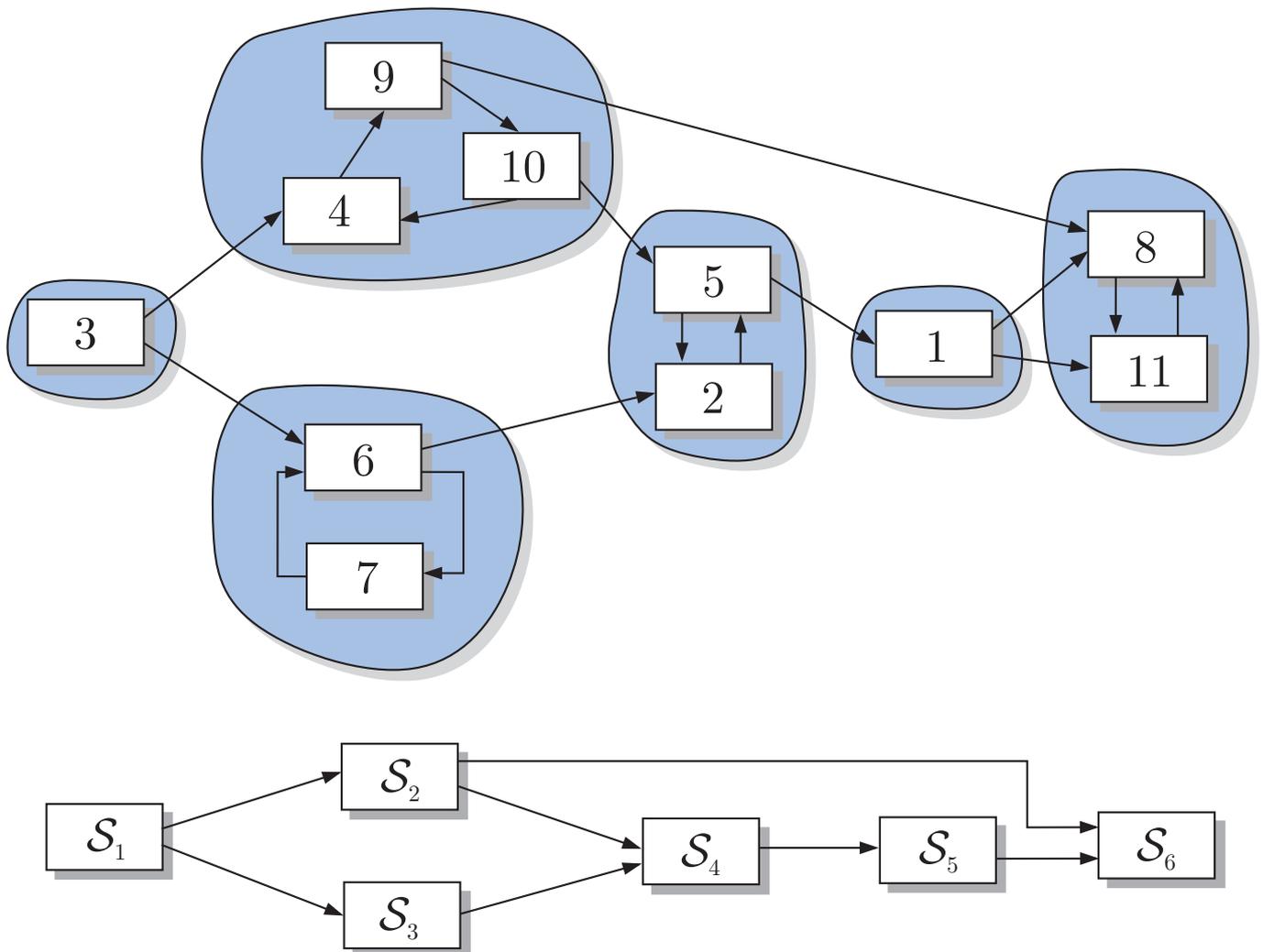


Abb. 2.17: Zerlegung des gekoppelten Systems aus Abb. 2.16 in stark zusammenhängende Teilsysteme

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

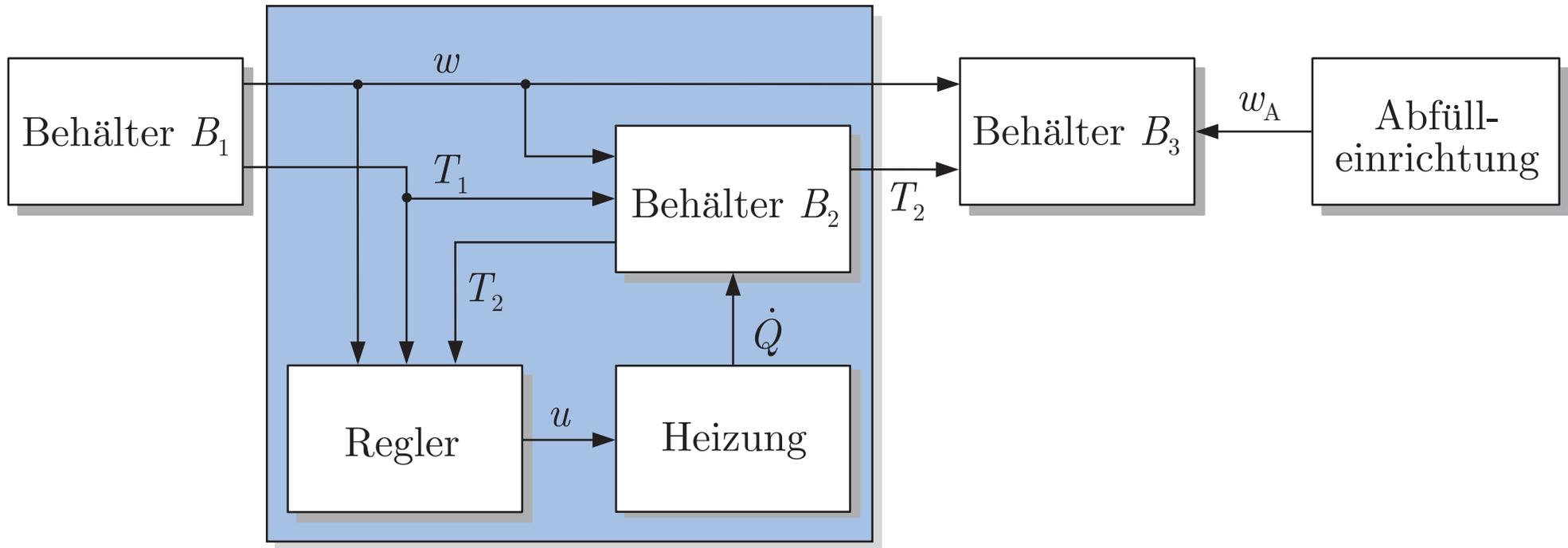


Abb. 2.18. Kopplungsstruktur der Abfüllanlage

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

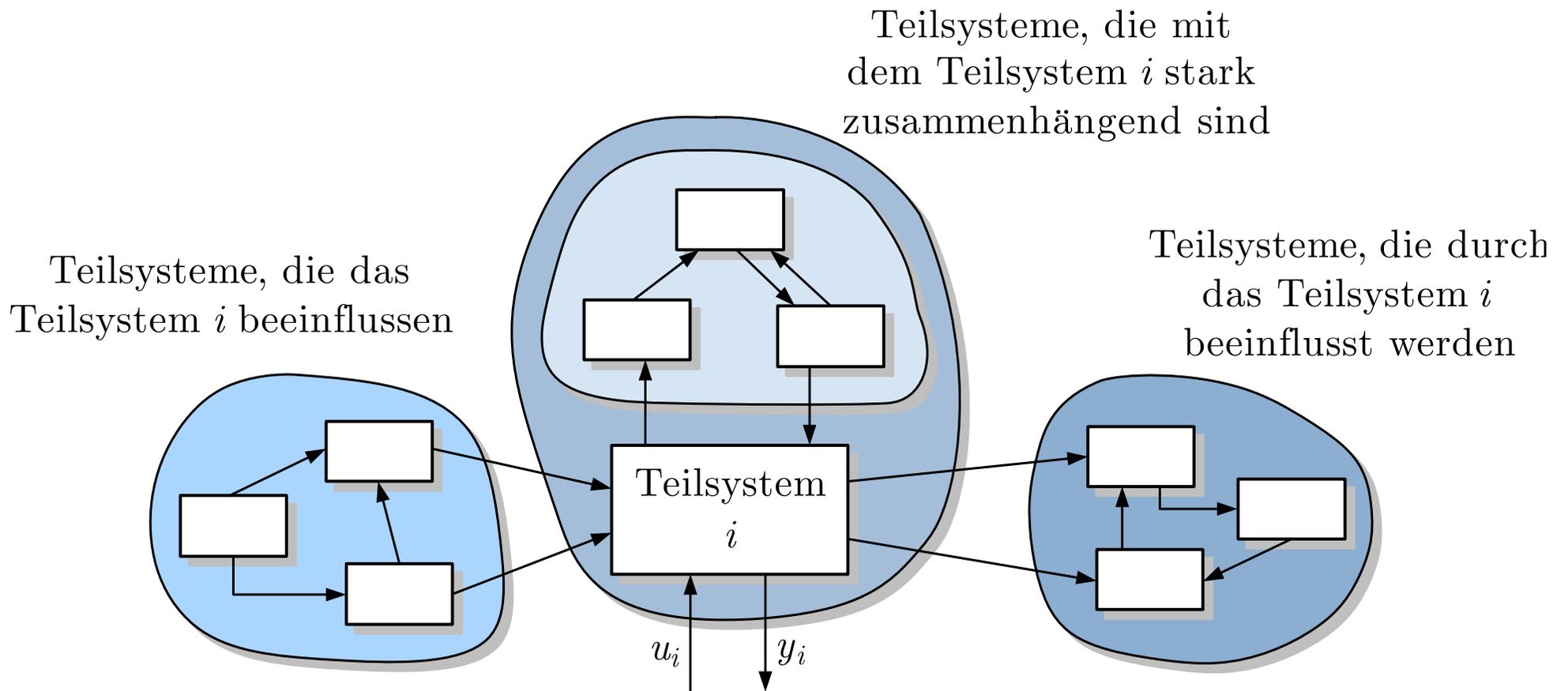


Abb. 2.19. Betrachtung des Gesamtsystems vom Standpunkt des Teilsystems i aus

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

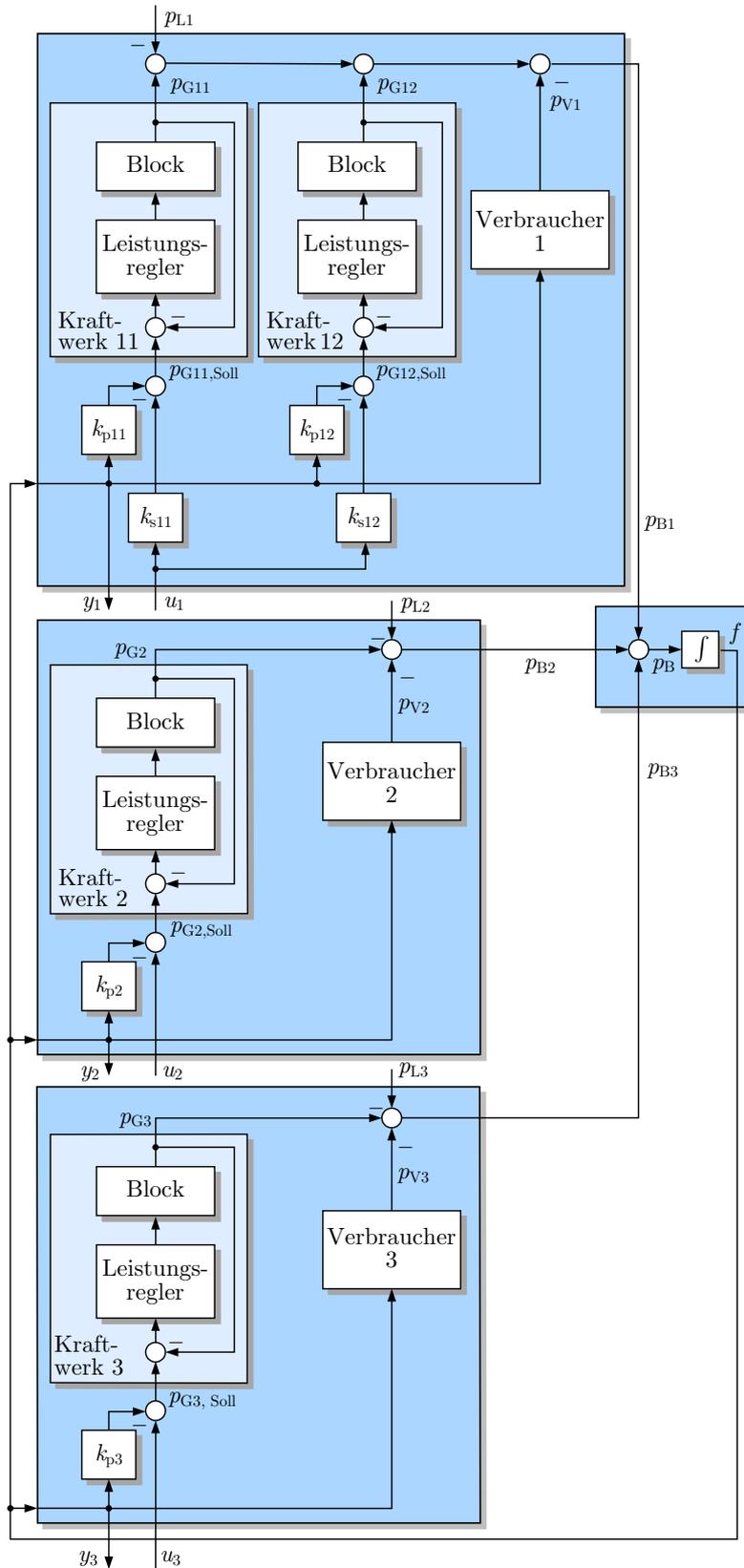


Abb. 2.20. Modell eines Elektroenergienetzes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

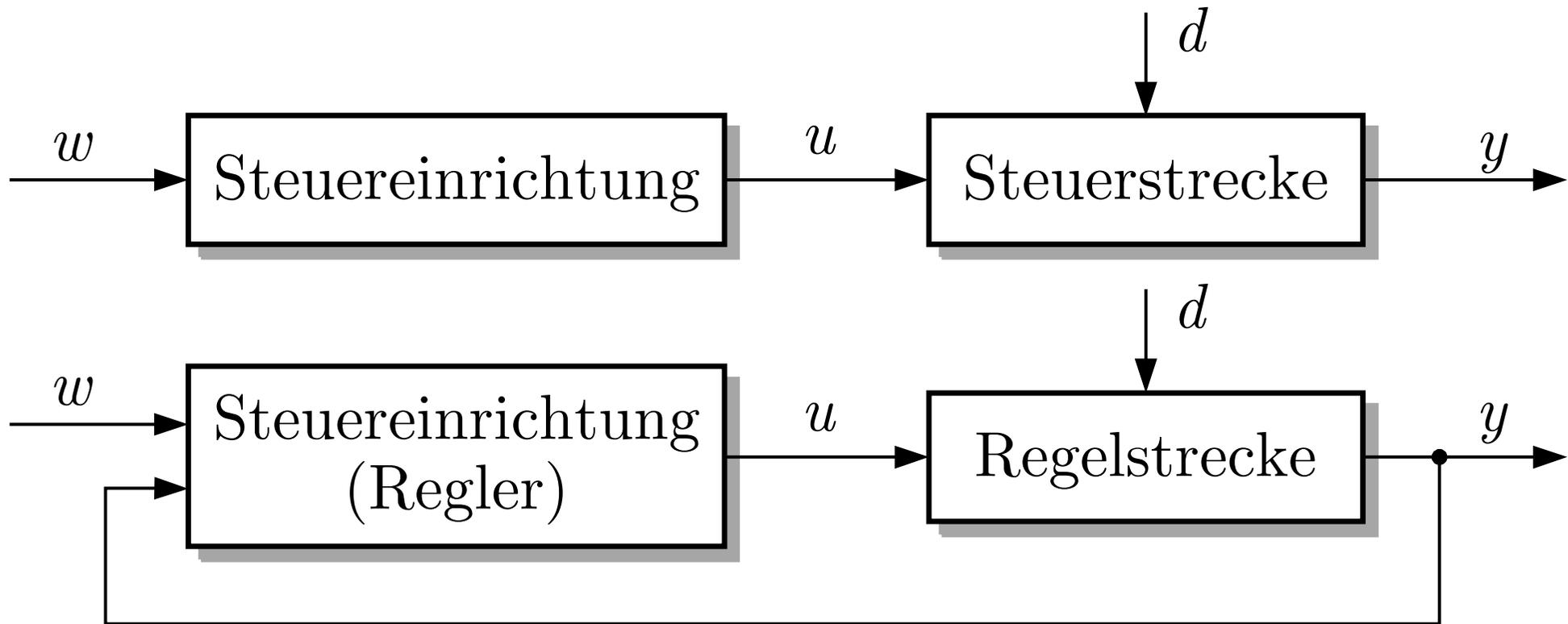


Abb. 2.21. Steuerung in der offenen Wirkungskette (oben) und im geschlossenen Wirkungskreis (unten)

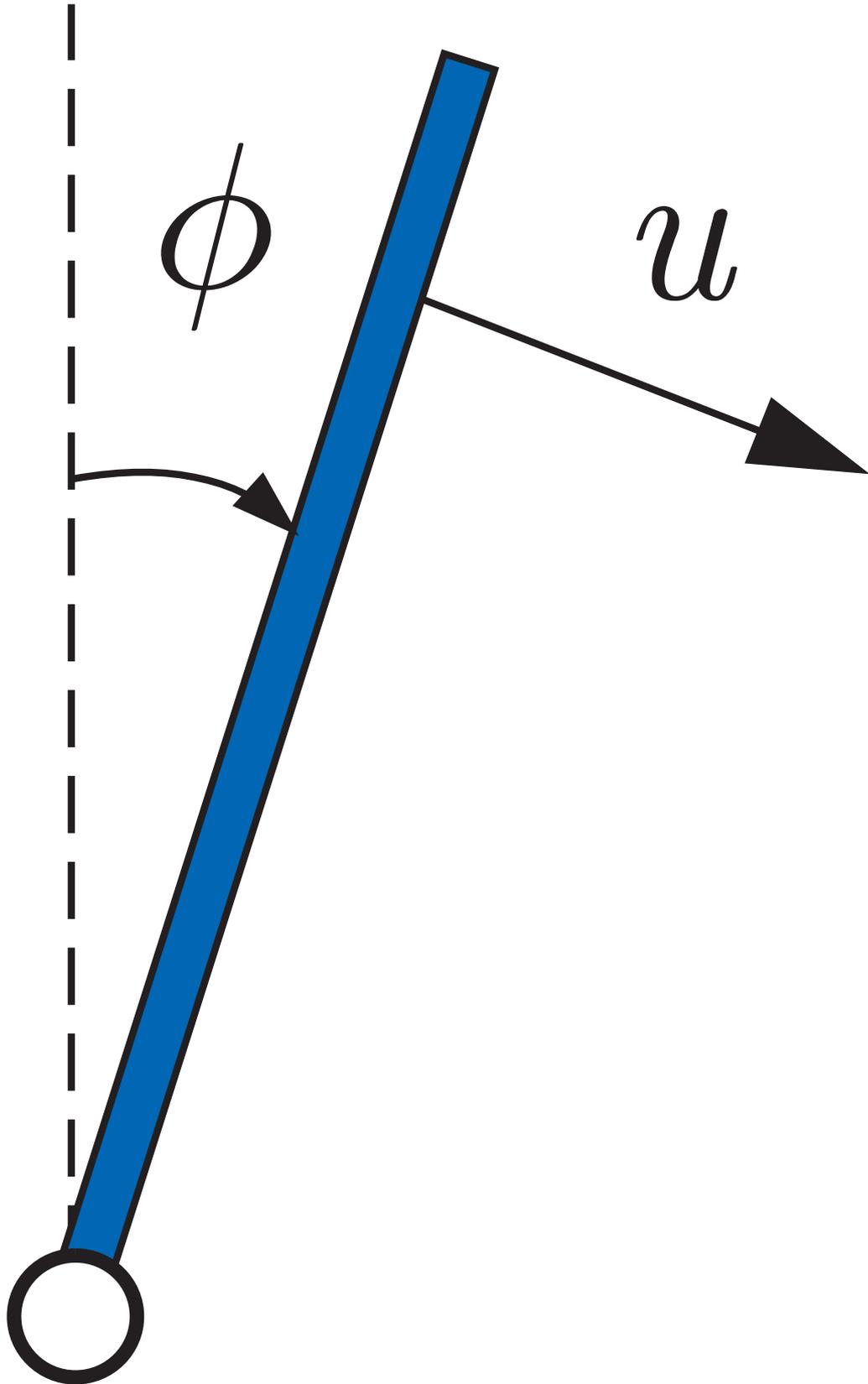


Abb. 2.22. Invertiertes Pendel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

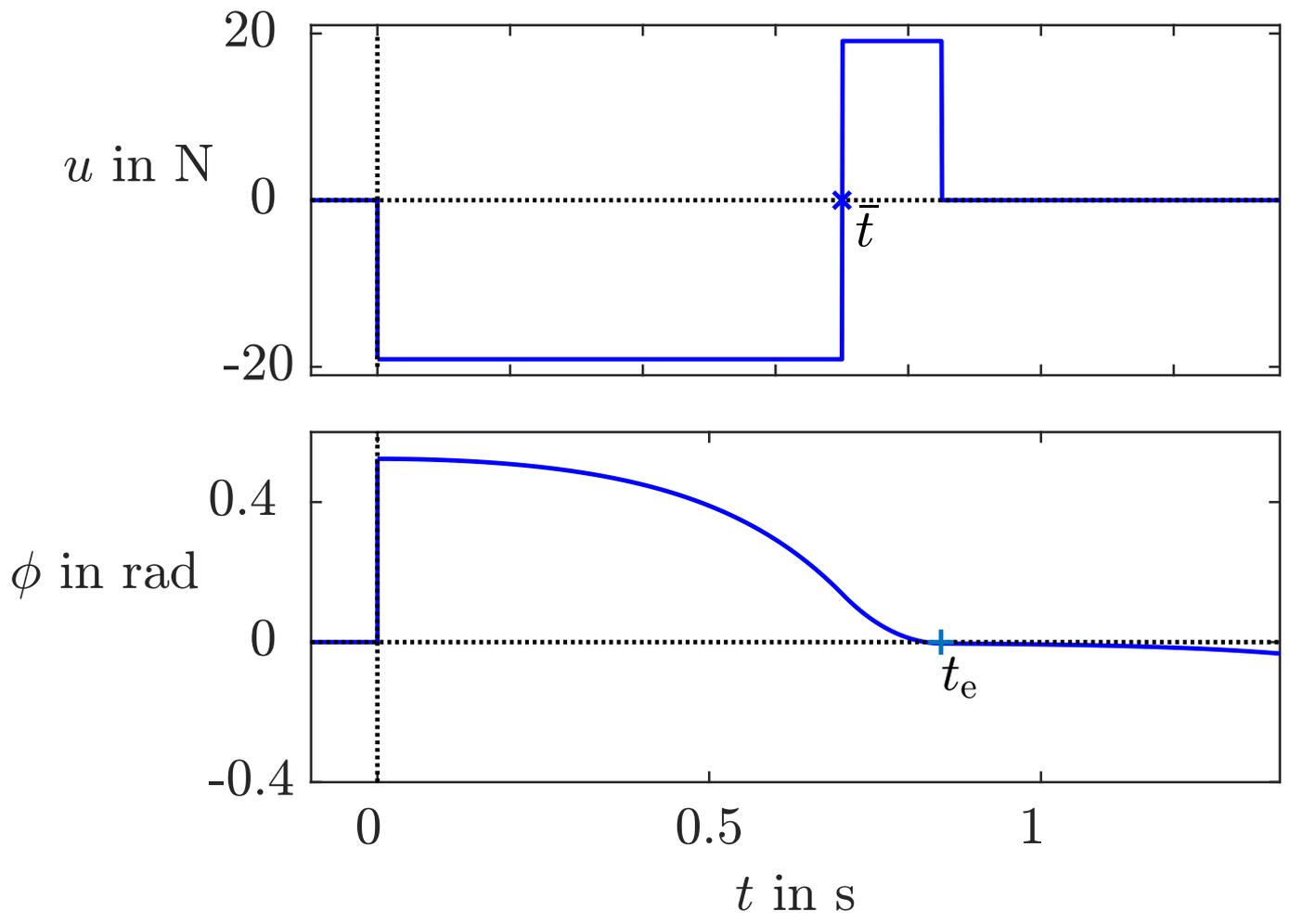


Abb. 2.23: Zeitoptimale Steuerung des Pendels

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

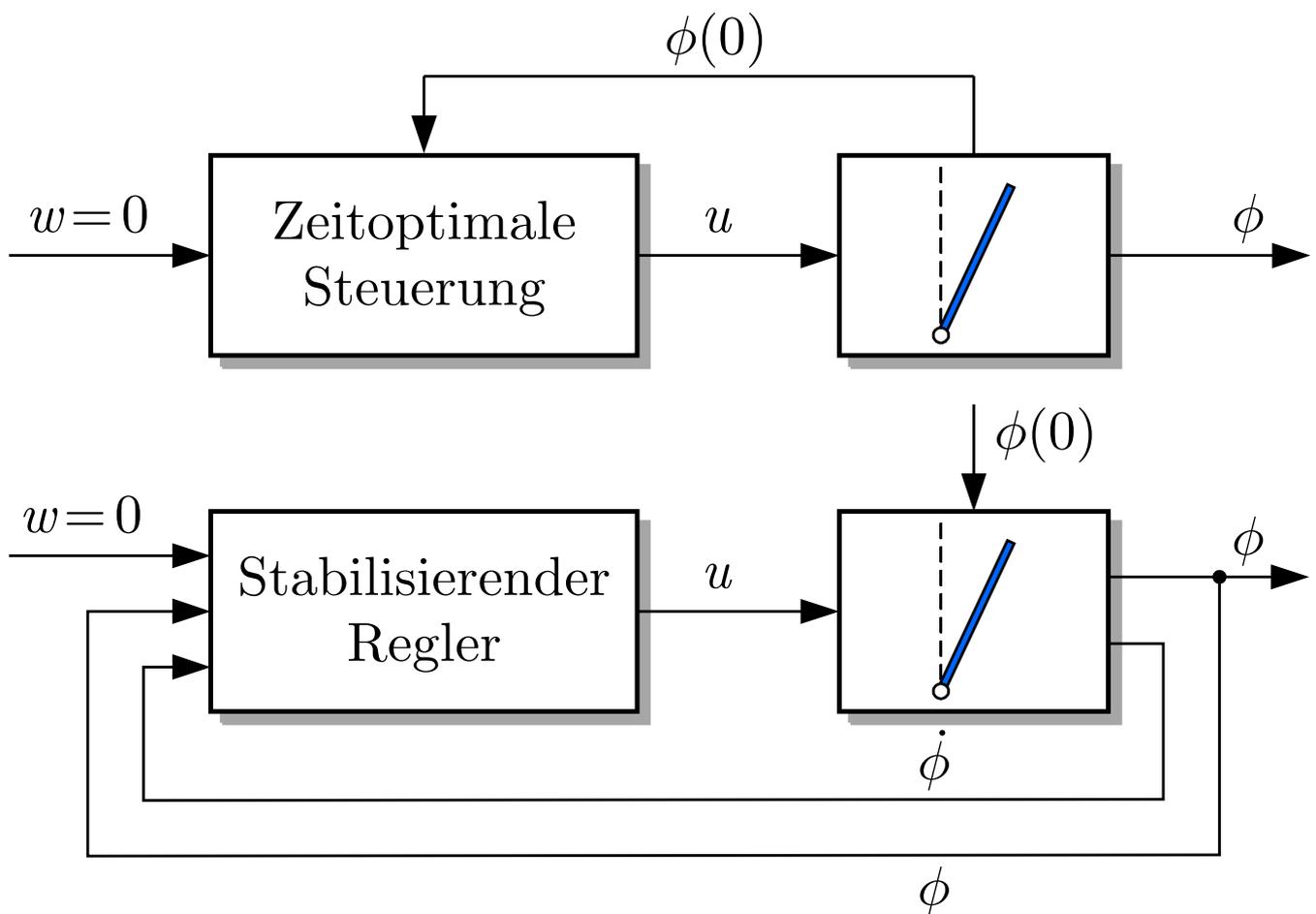


Abb. 2.24: Steuerung des Pendels in der offenen Wirkungskette und im Regelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

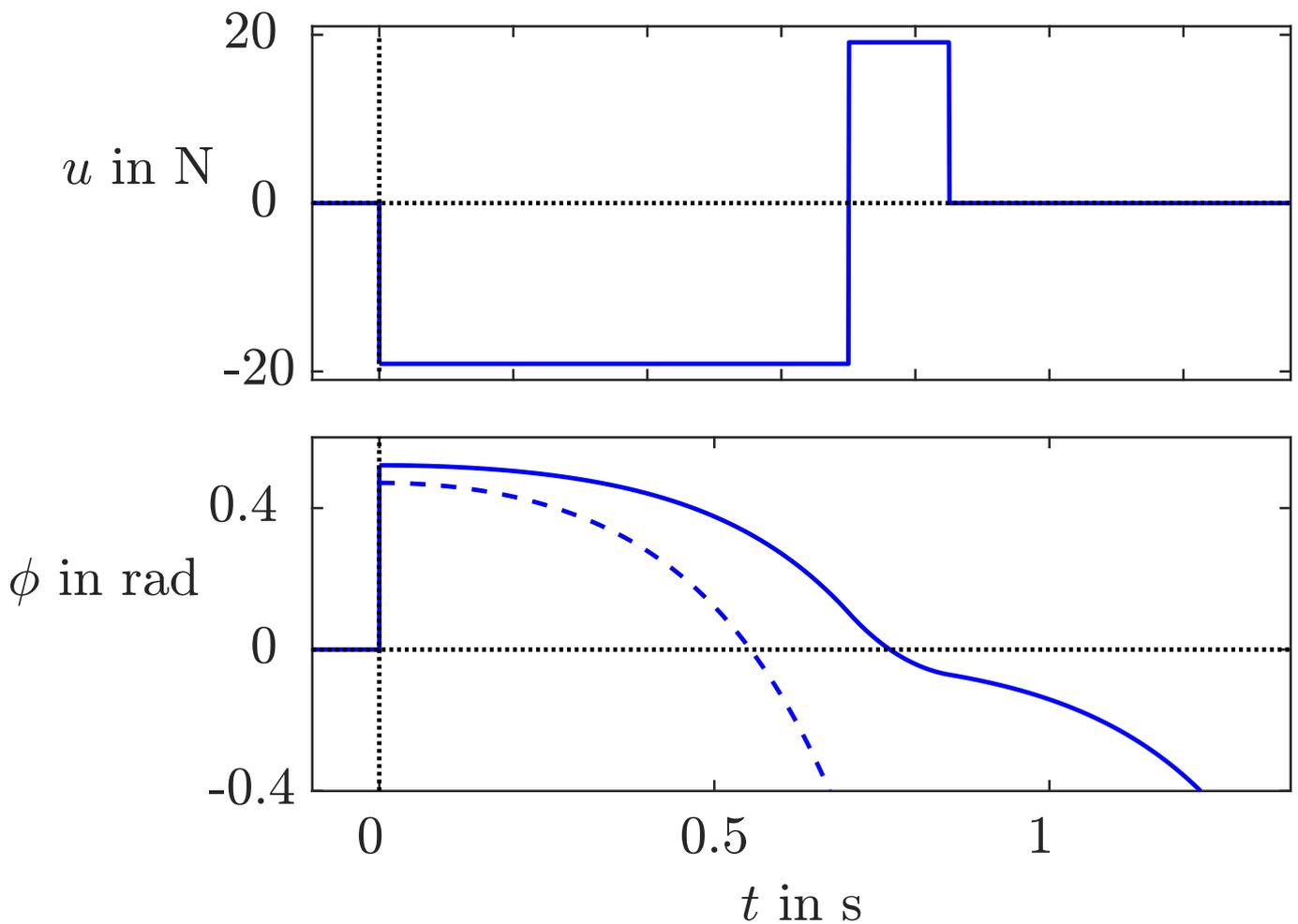


Abb. 2.25: Anwendung der zeitoptimalen Steuerung bei veränderter Anfangslage ($\phi(0) = 29,85^\circ$ — bzw. $\phi(0) = 27^\circ$ - - -)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

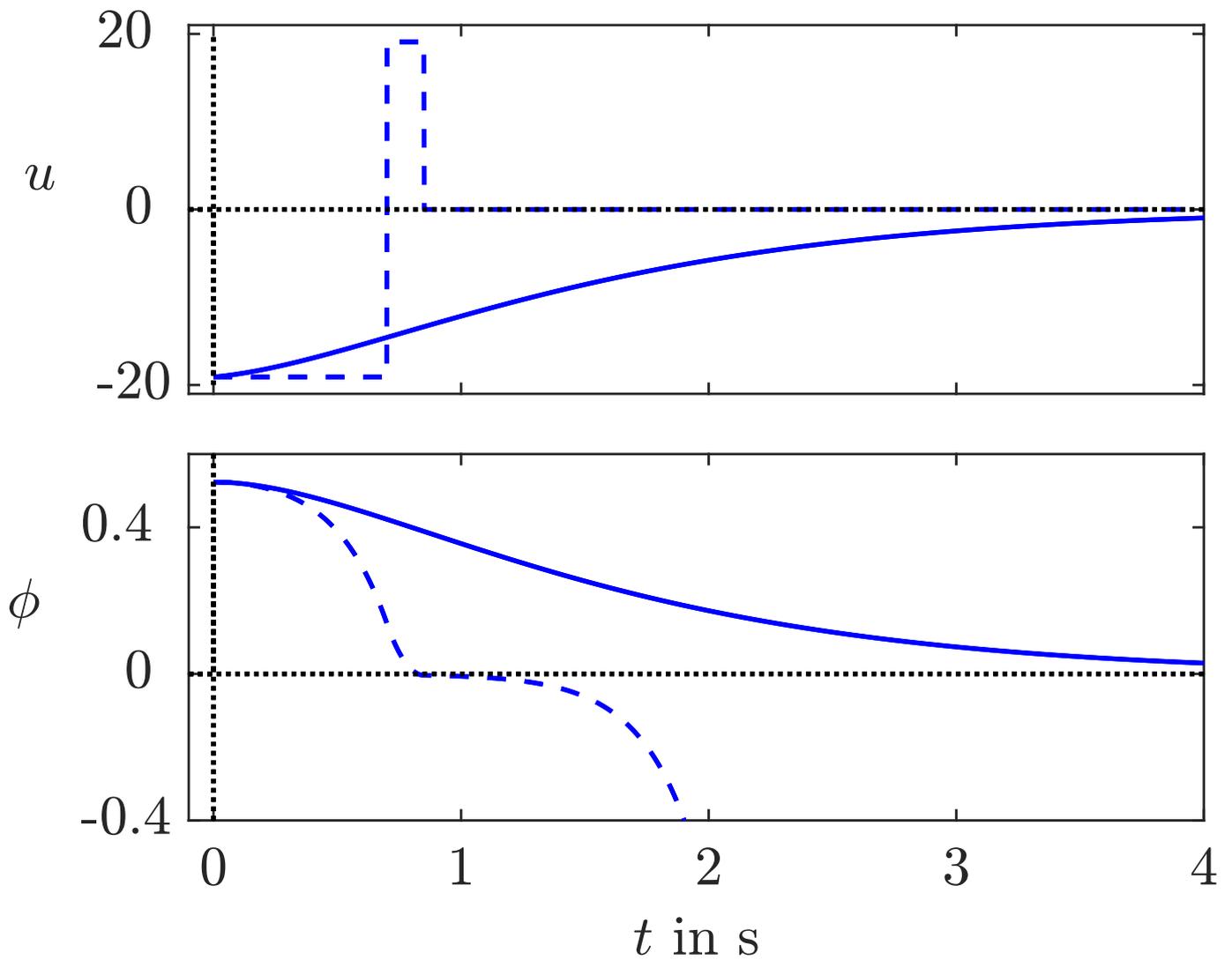


Abb. 2.26: Verhalten des geregelten Pendels (u in N, ϕ in rad)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

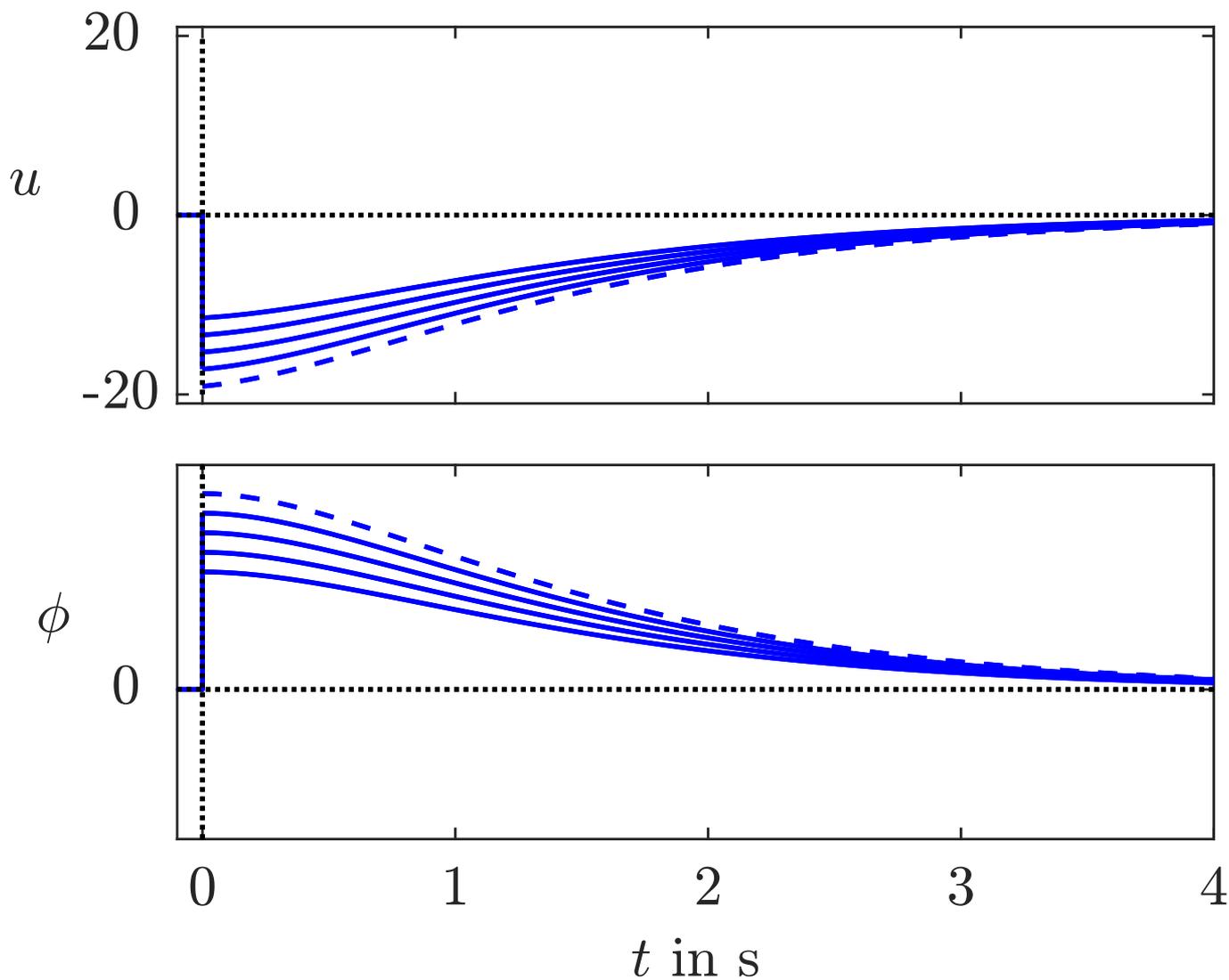


Abb. 2.26: Verhalten des geregelten Pendels (u in N, ϕ in rad)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

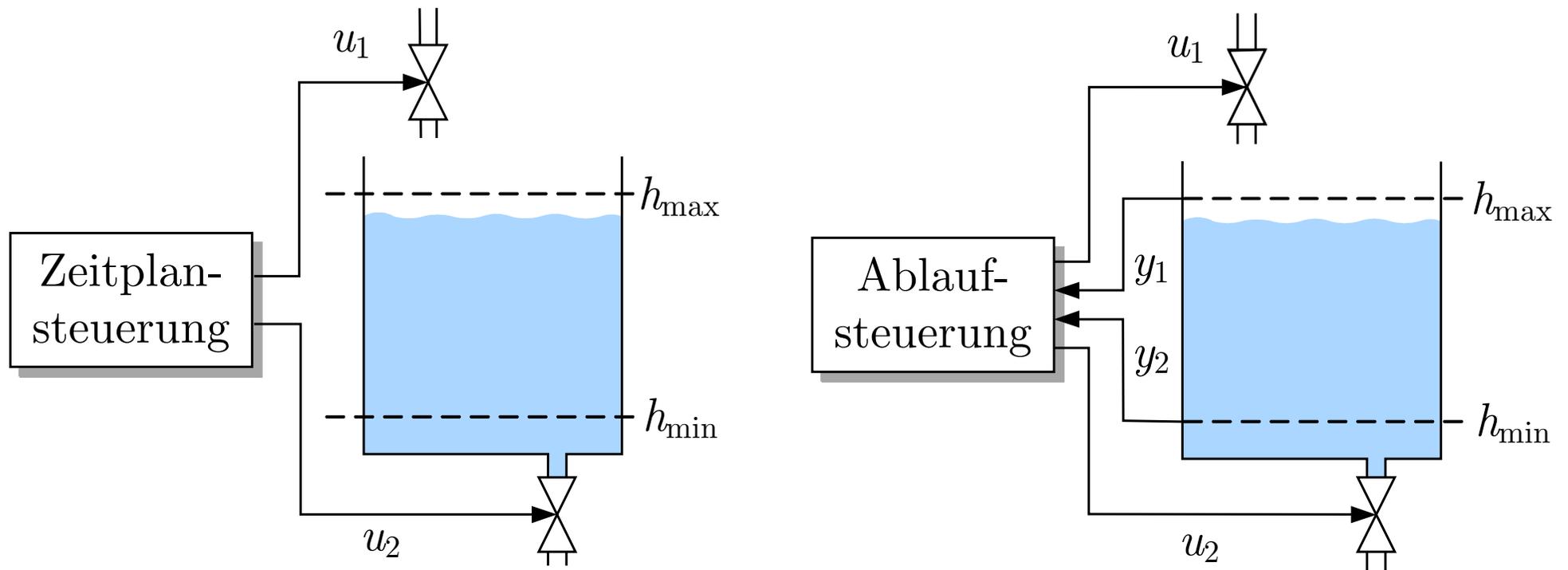


Abb. 2.27. Zeitplansteuerung und Ablaufsteuerung eines Behälters

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

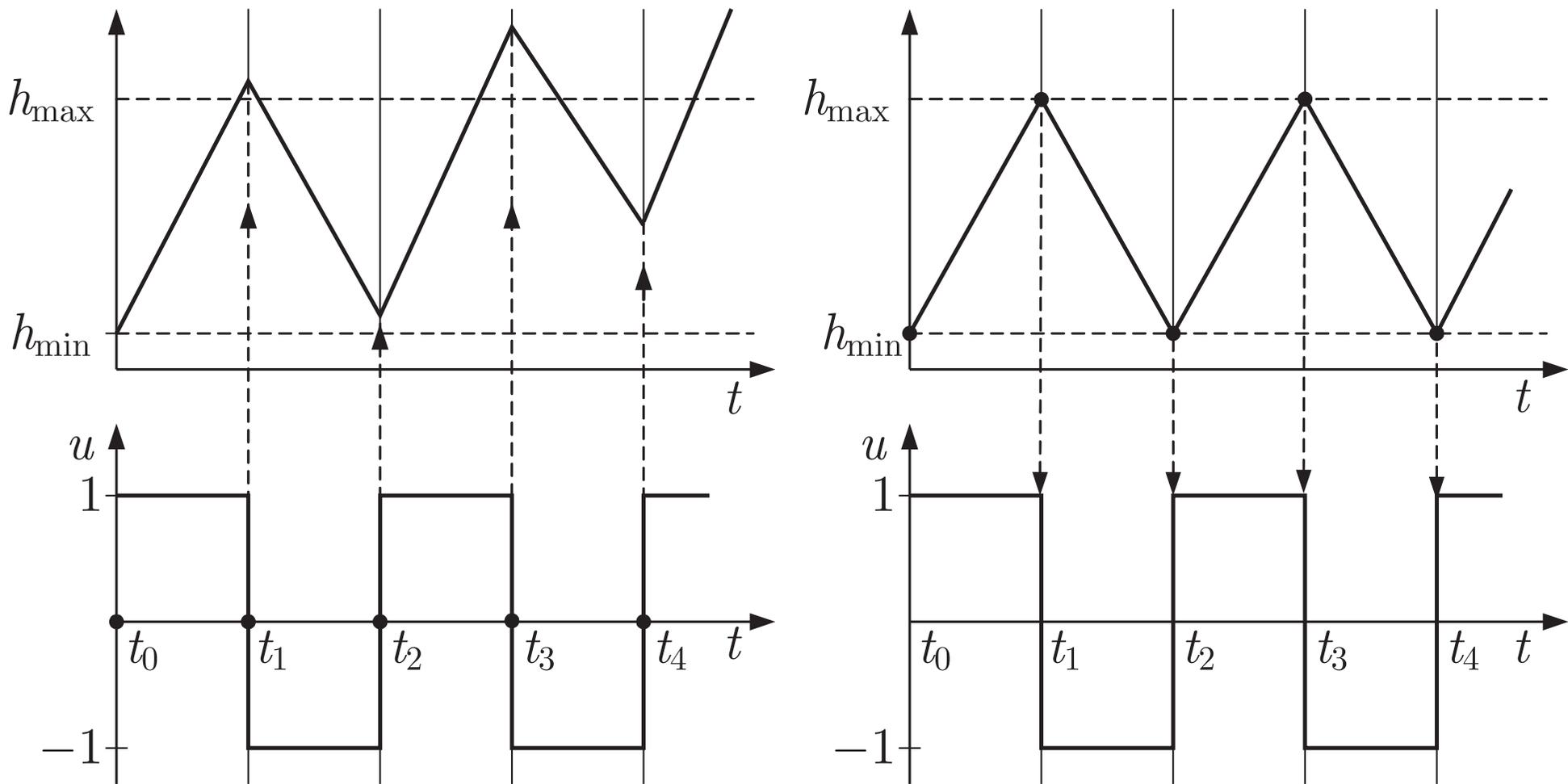


Abb. 2.28. Systemverhalten bei Zeitplansteuerung (links) und Regelung (rechts)

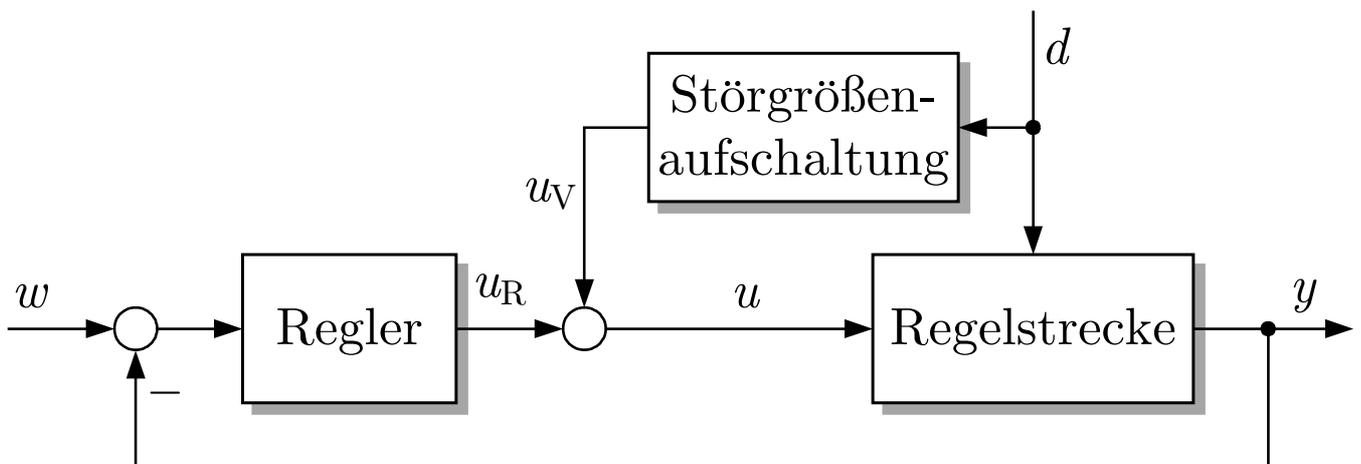
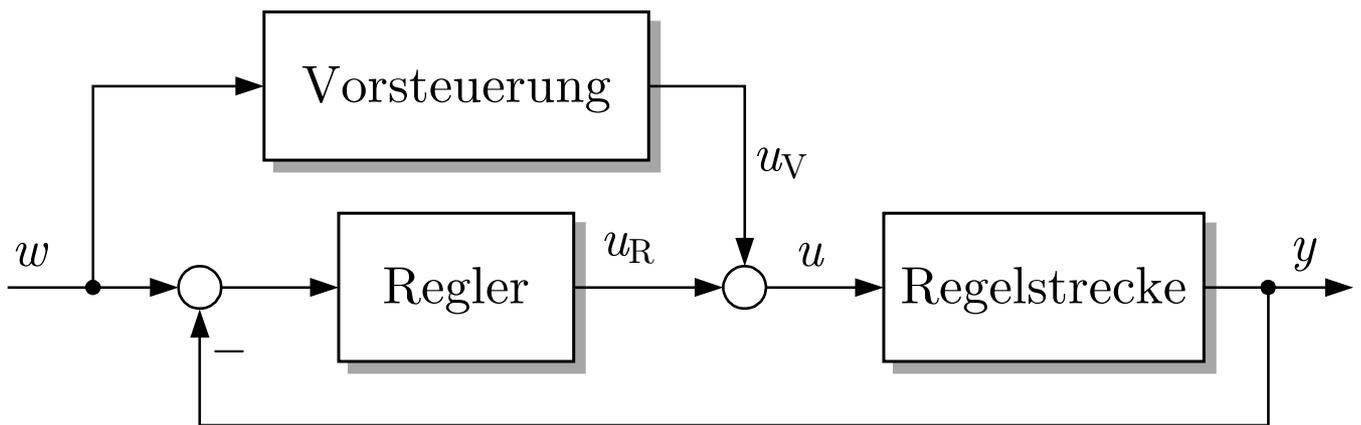


Abb. 2.29: Vorsteuerung und Störgrößenaufschaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

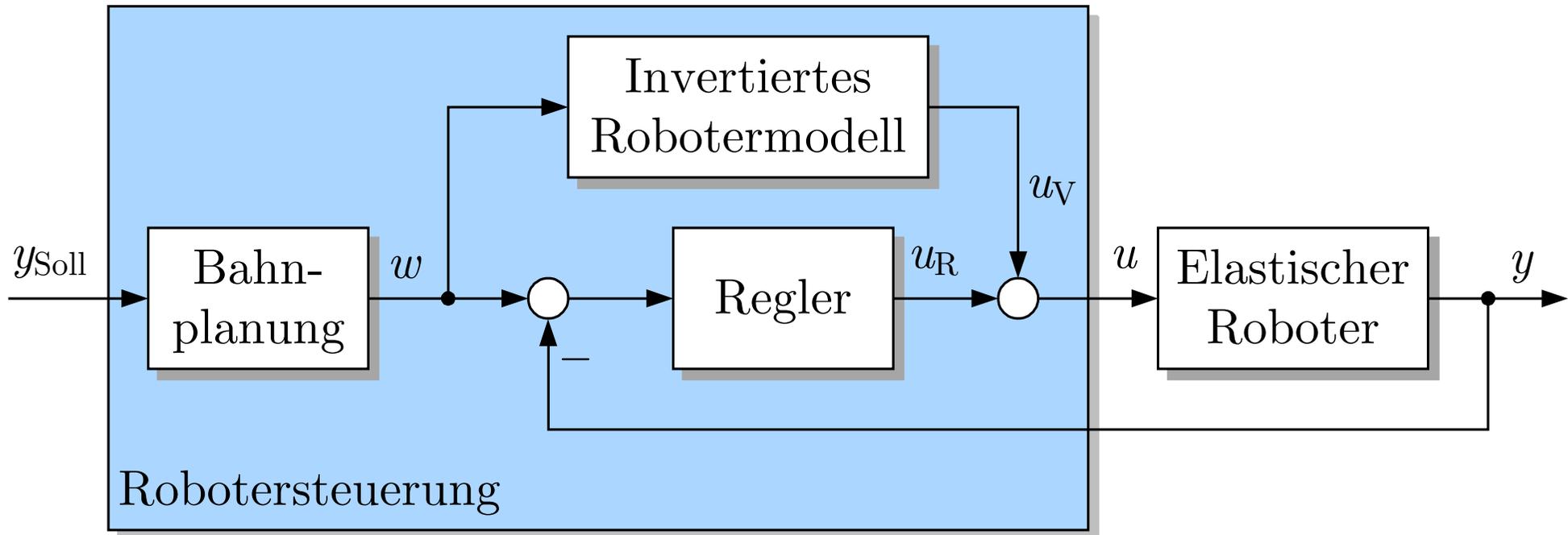


Abb. 2.30. Steuerung eines elastischen Roboters

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

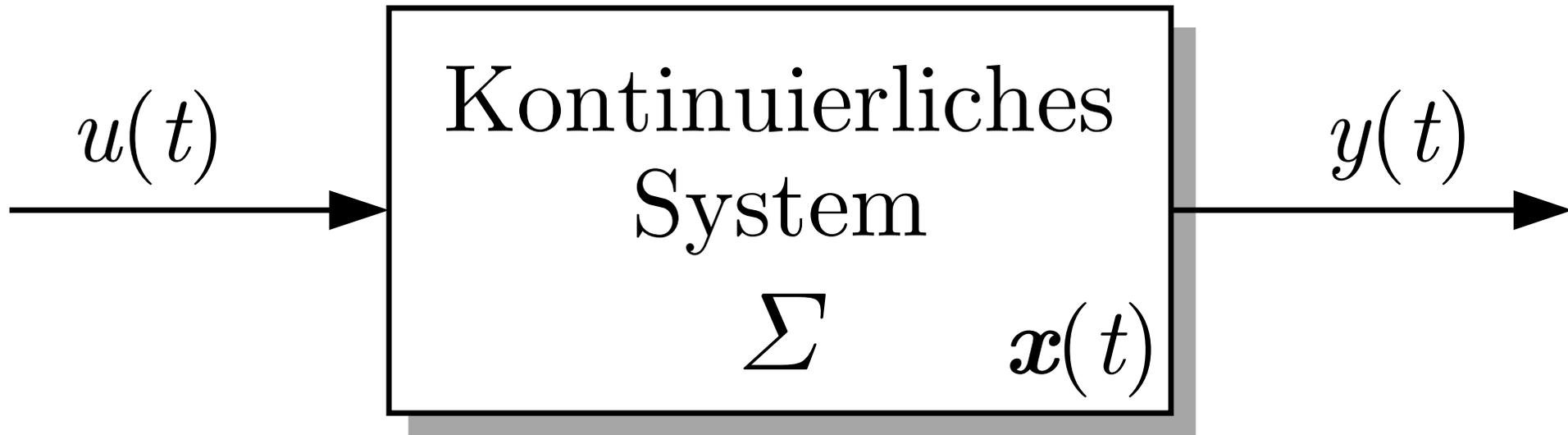


Abb. 3.1. Blockschaltbild eines kontinuierlichen Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

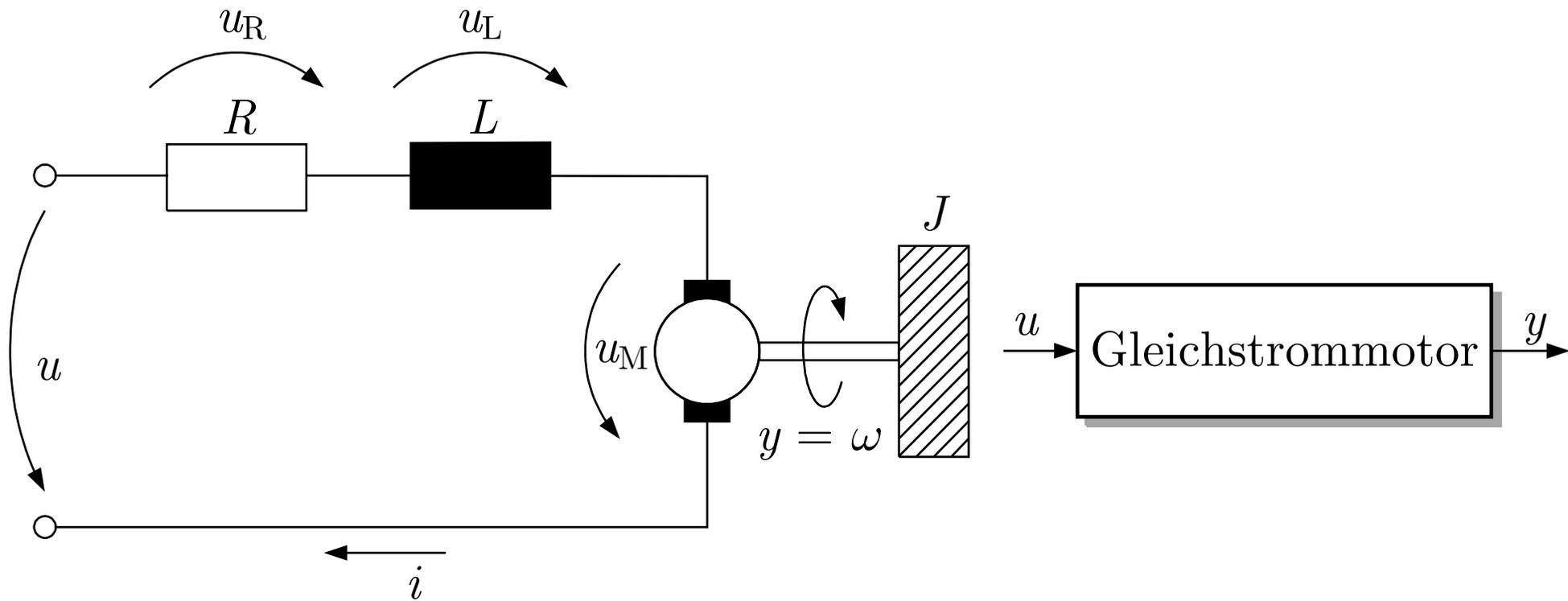


Abb. 3.2. Schaltbild und Blockschaltbild des Gleichstrommotors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

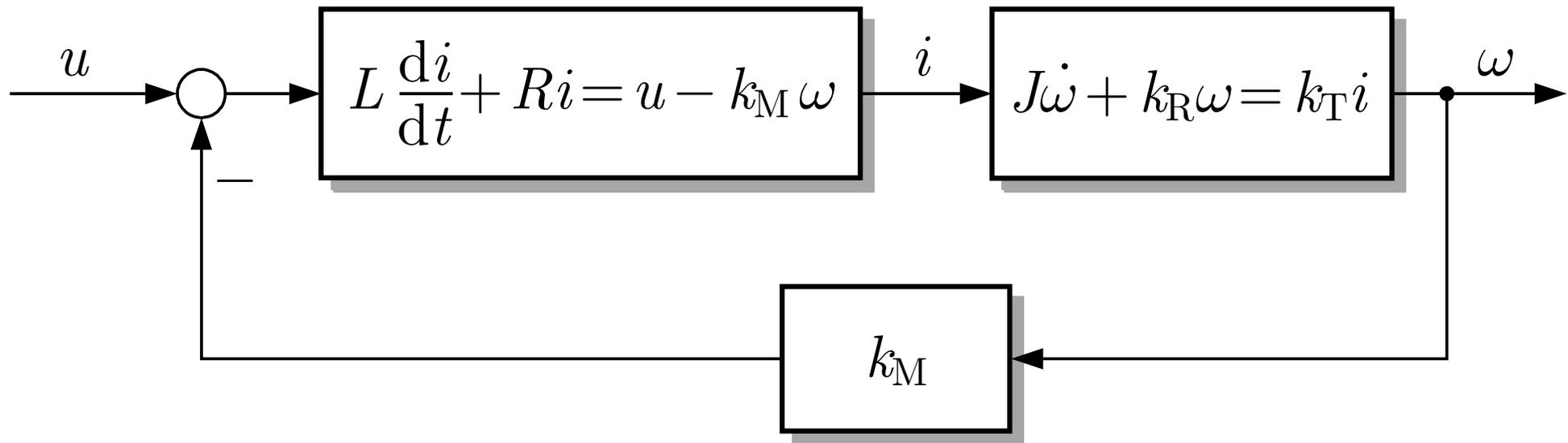


Abb. 3.3. Detailliertes Blockschaltbild des Gleichstrommotors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

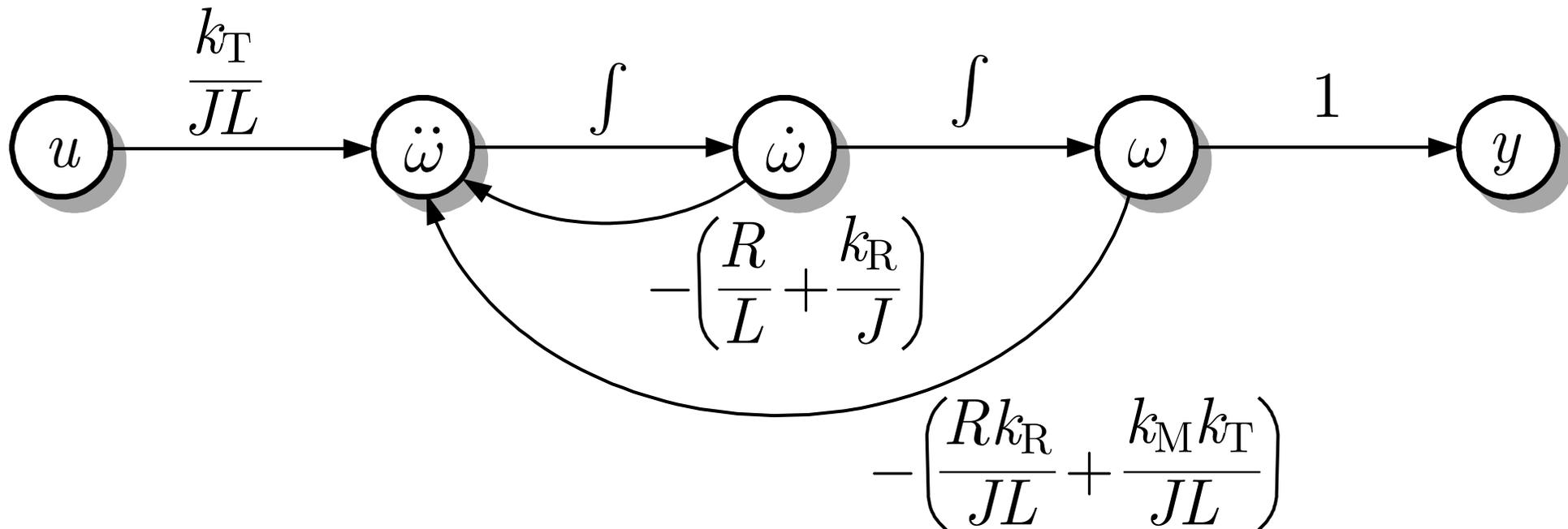


Abb. 3.4. Signalflussgraph des Gleichstrommotors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

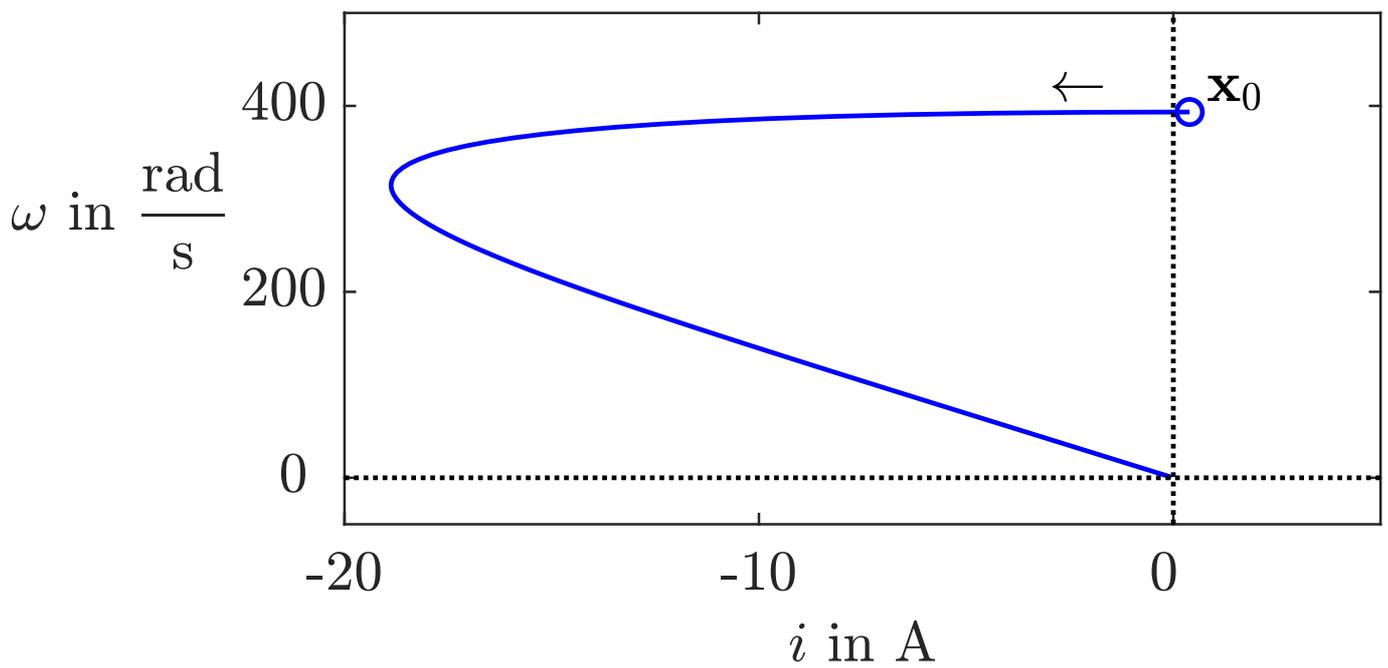


Abb. 3.5: Trajektorie des Gleichstrommotors im Zustandsraum

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

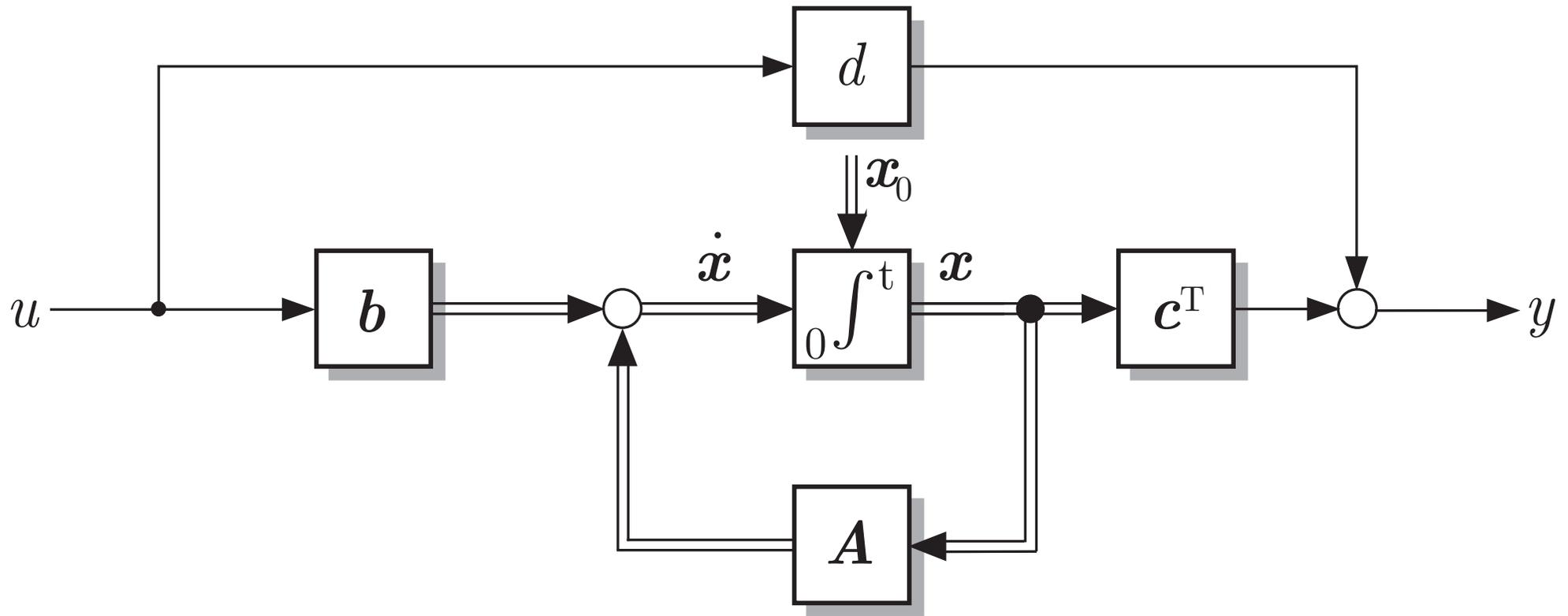


Abb. 3.6. Blockschaltbild der Zustandsraumbeschreibung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

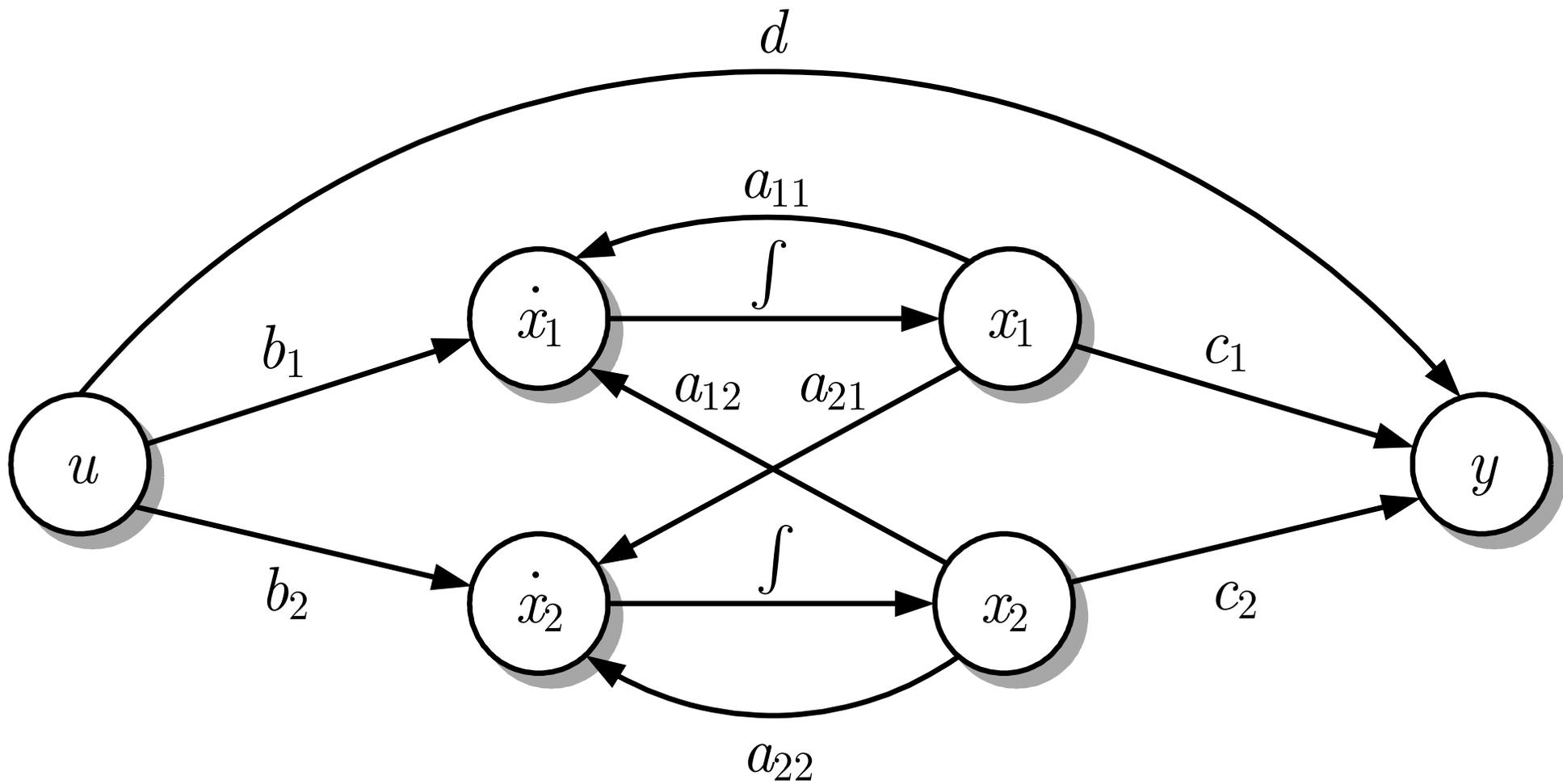


Abb. 3.7. Signalflussgraph eines Systems zweiter Ordnung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

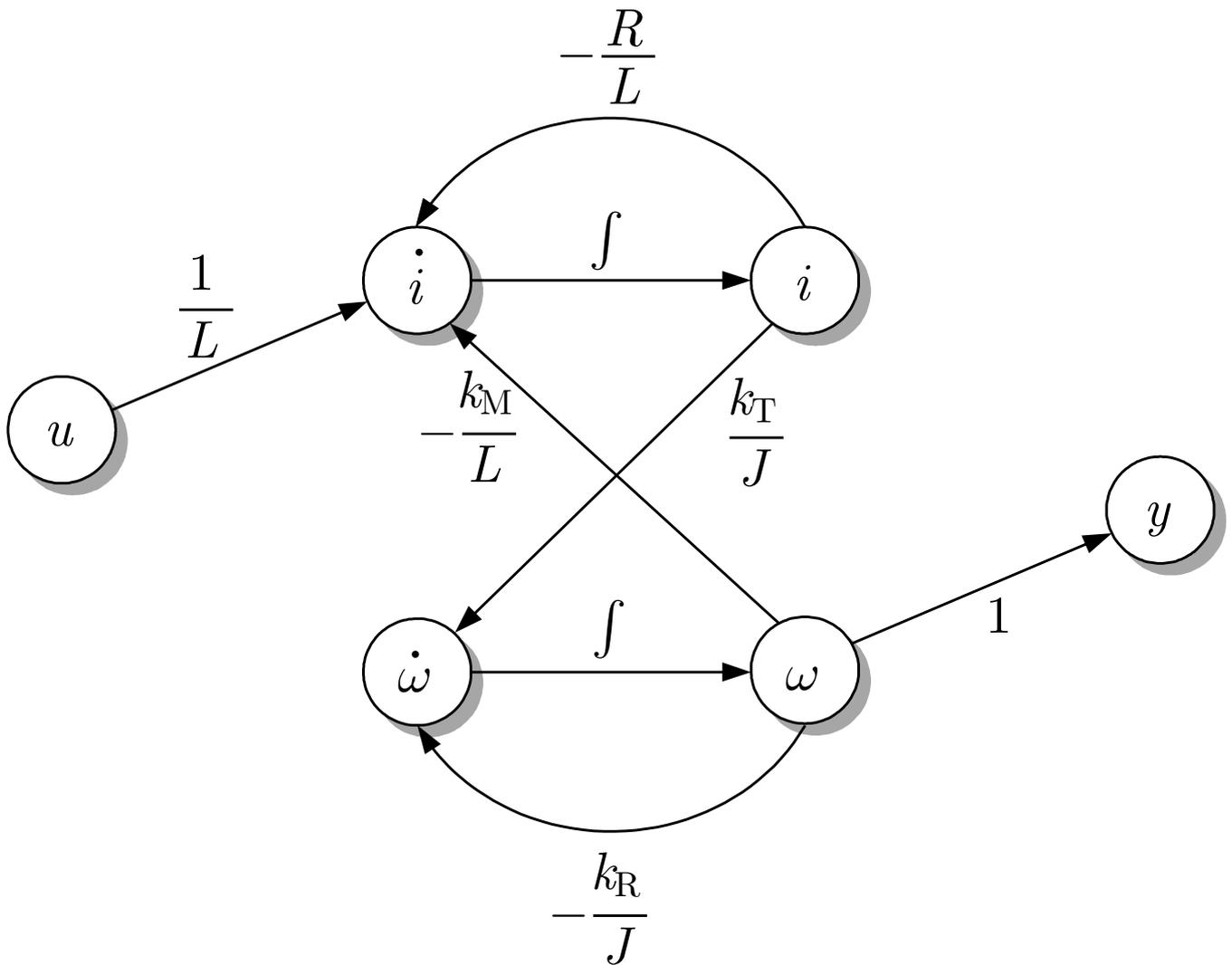


Abb. 3.8: Signalflussgraph des Gleichstrommotors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

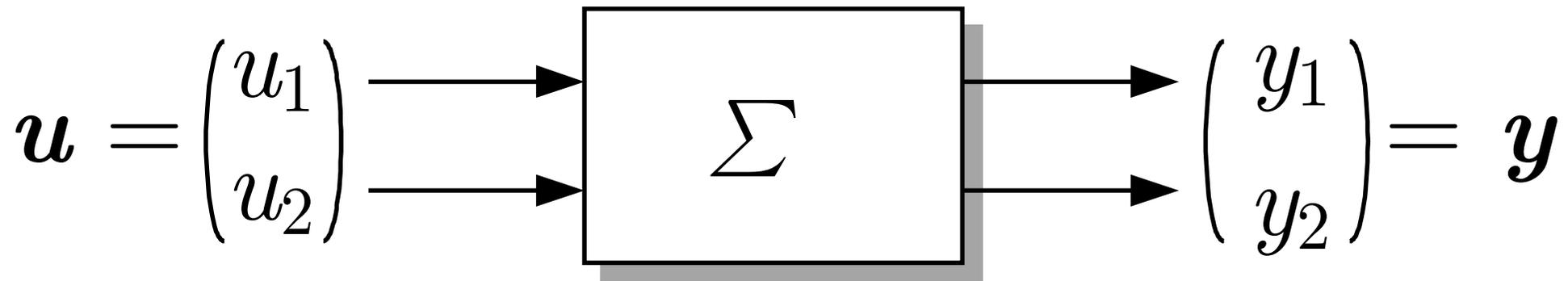


Abb. 3.9. Mehrgrößensystem mit zwei Eingangsgrößen und zwei Ausgangsgrößen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

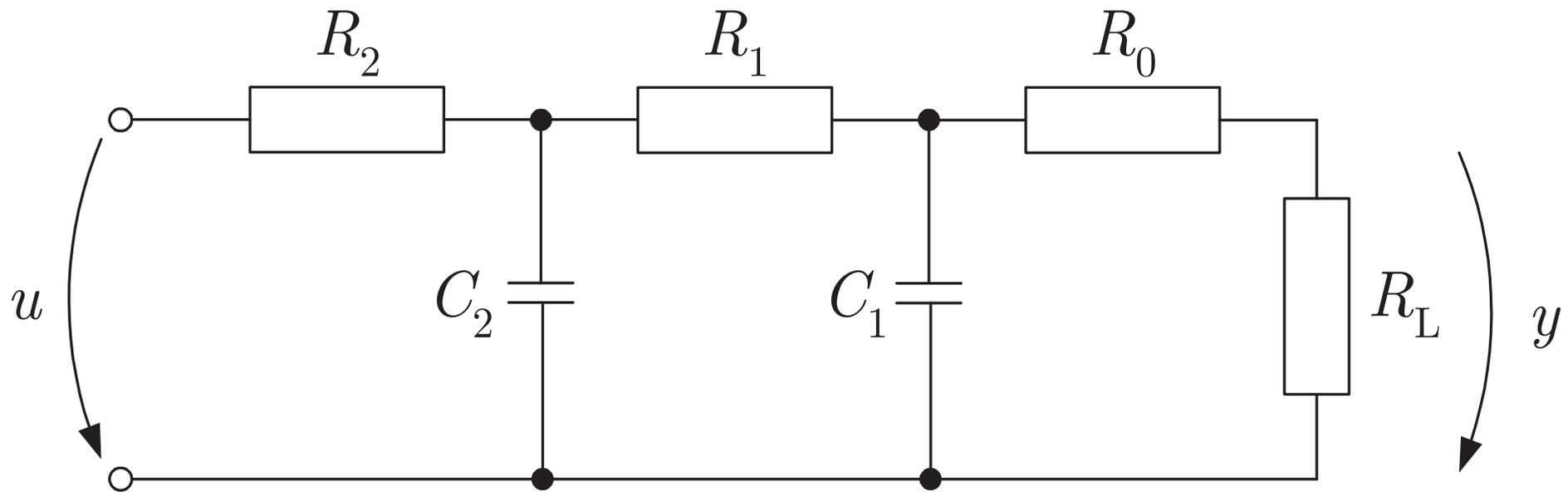


Abb. 3.10. Schaltung mit Eingangsspannung $u(t)$ und Ausgangsspannung $y(t)$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

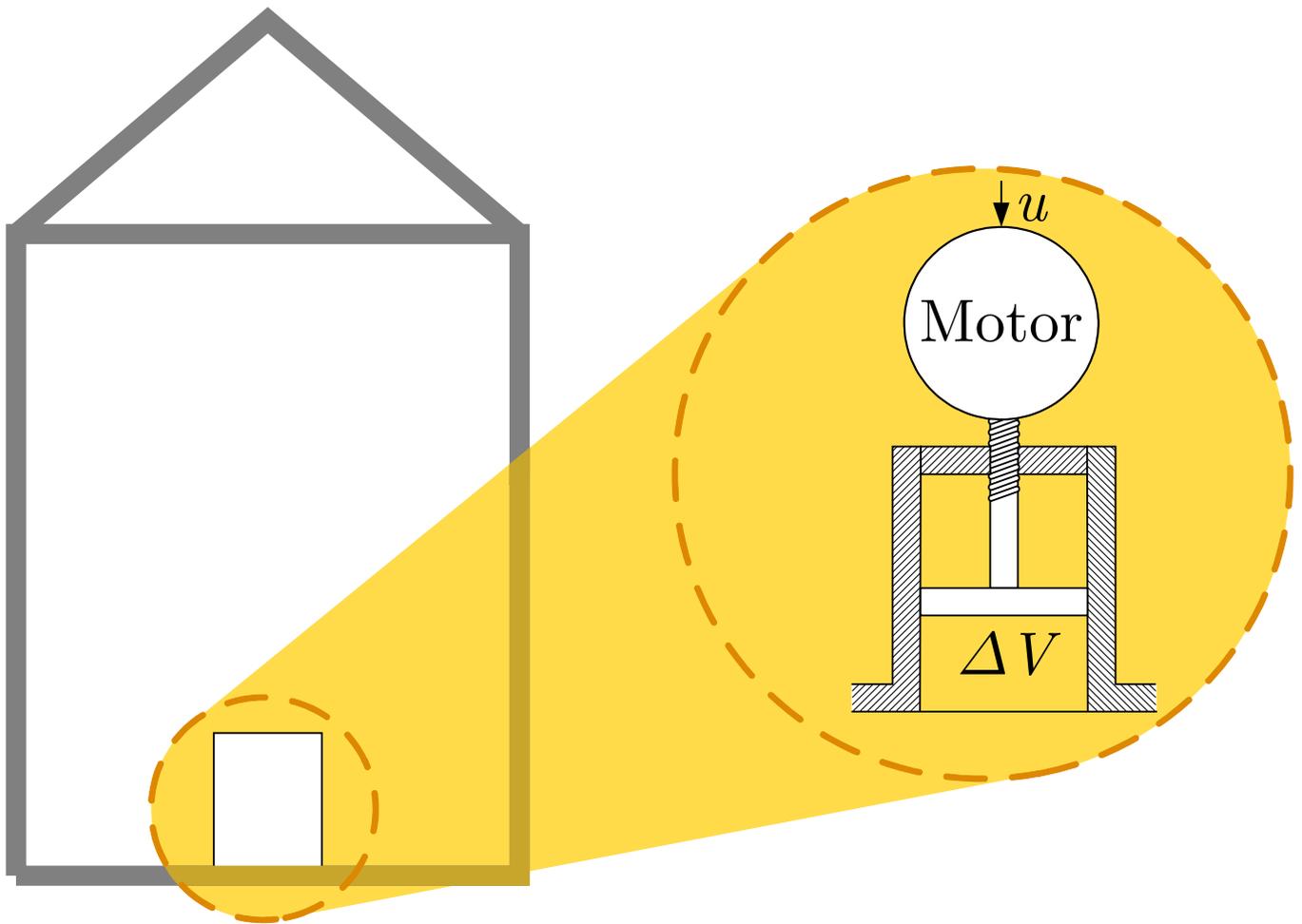


Abb. 3.11: Aufbau eines Unterwasserfahrzeugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

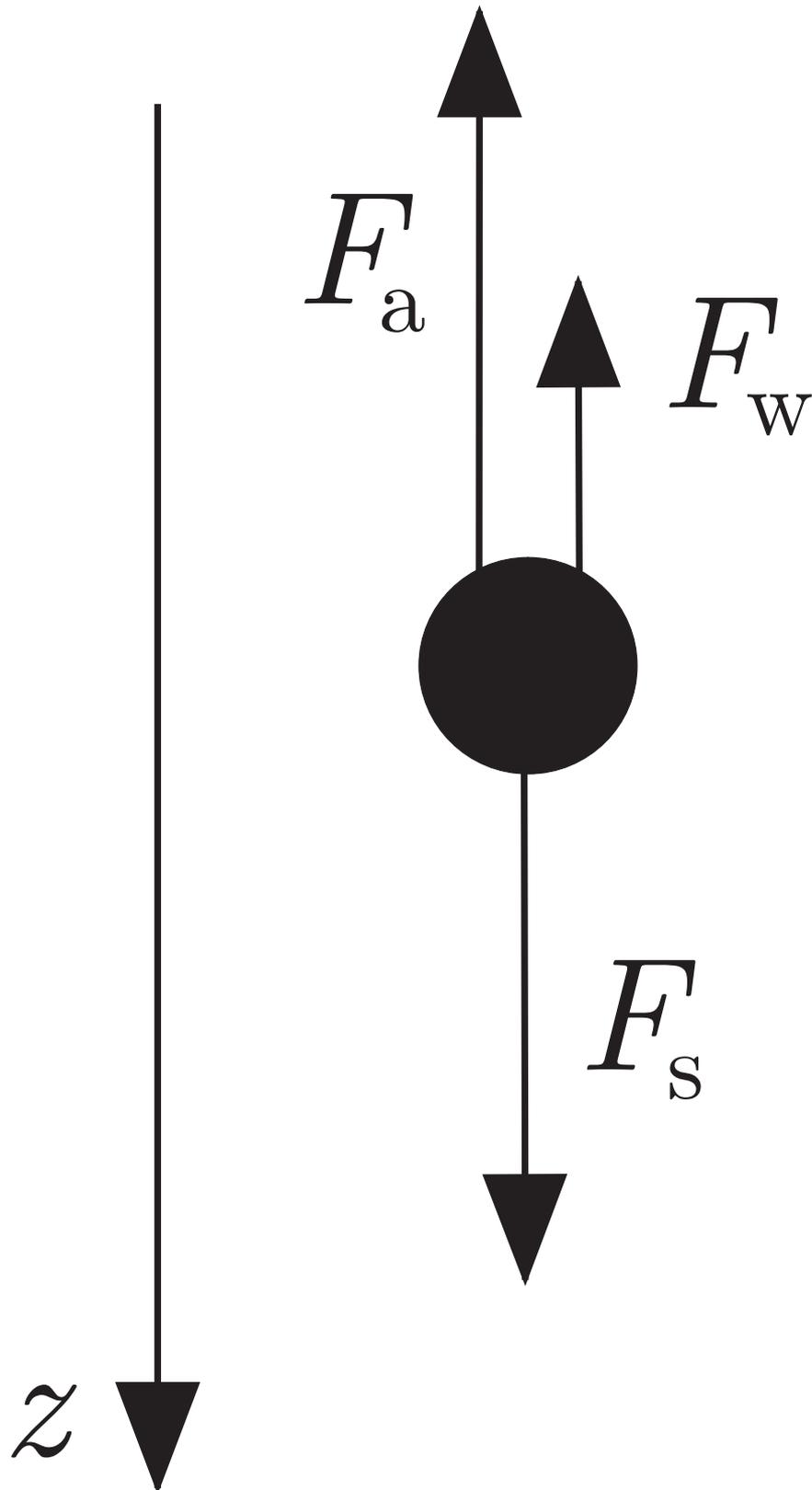


Abb. 3.12. Beschreibung des Unterwasserfahrzeugs als Punktmasse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

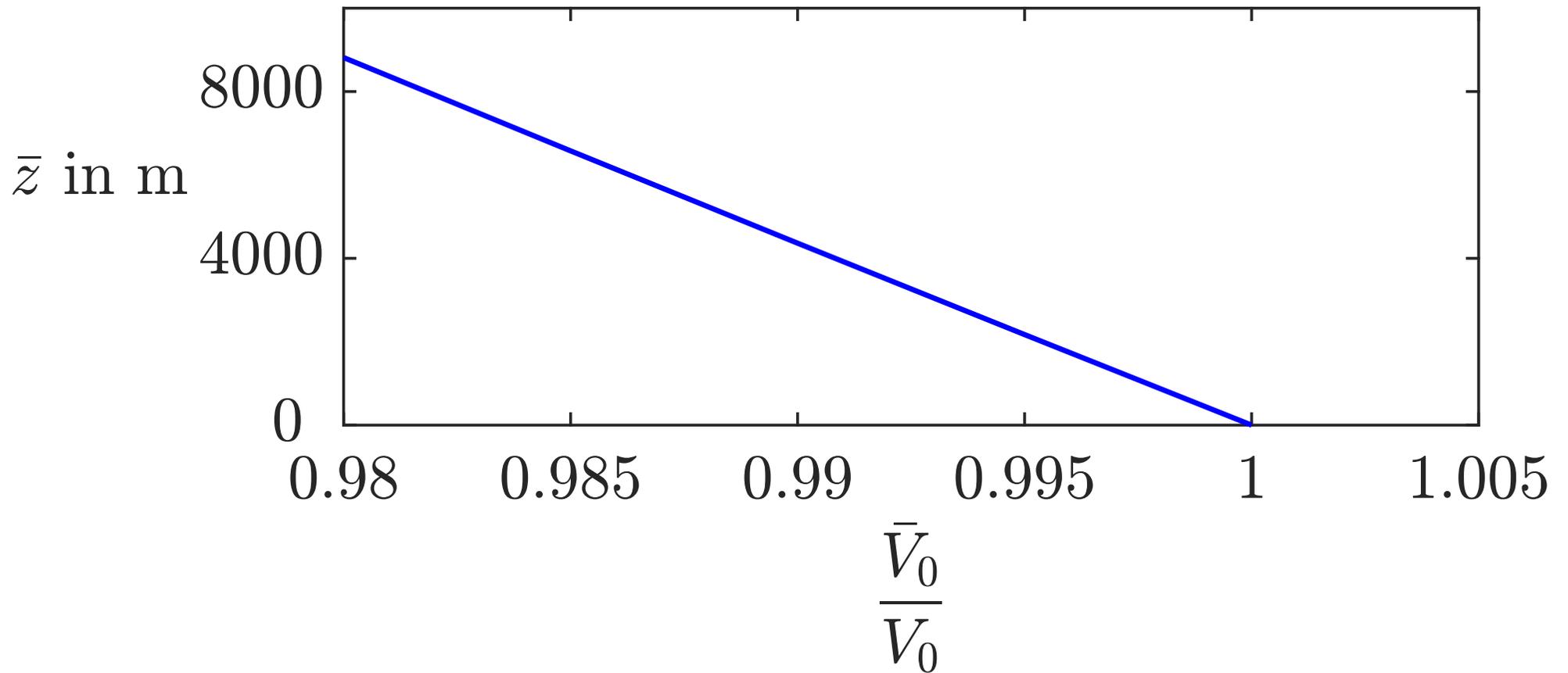


Abb. 3.13. Stationäre Lage des Unterwasserfahrzeugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

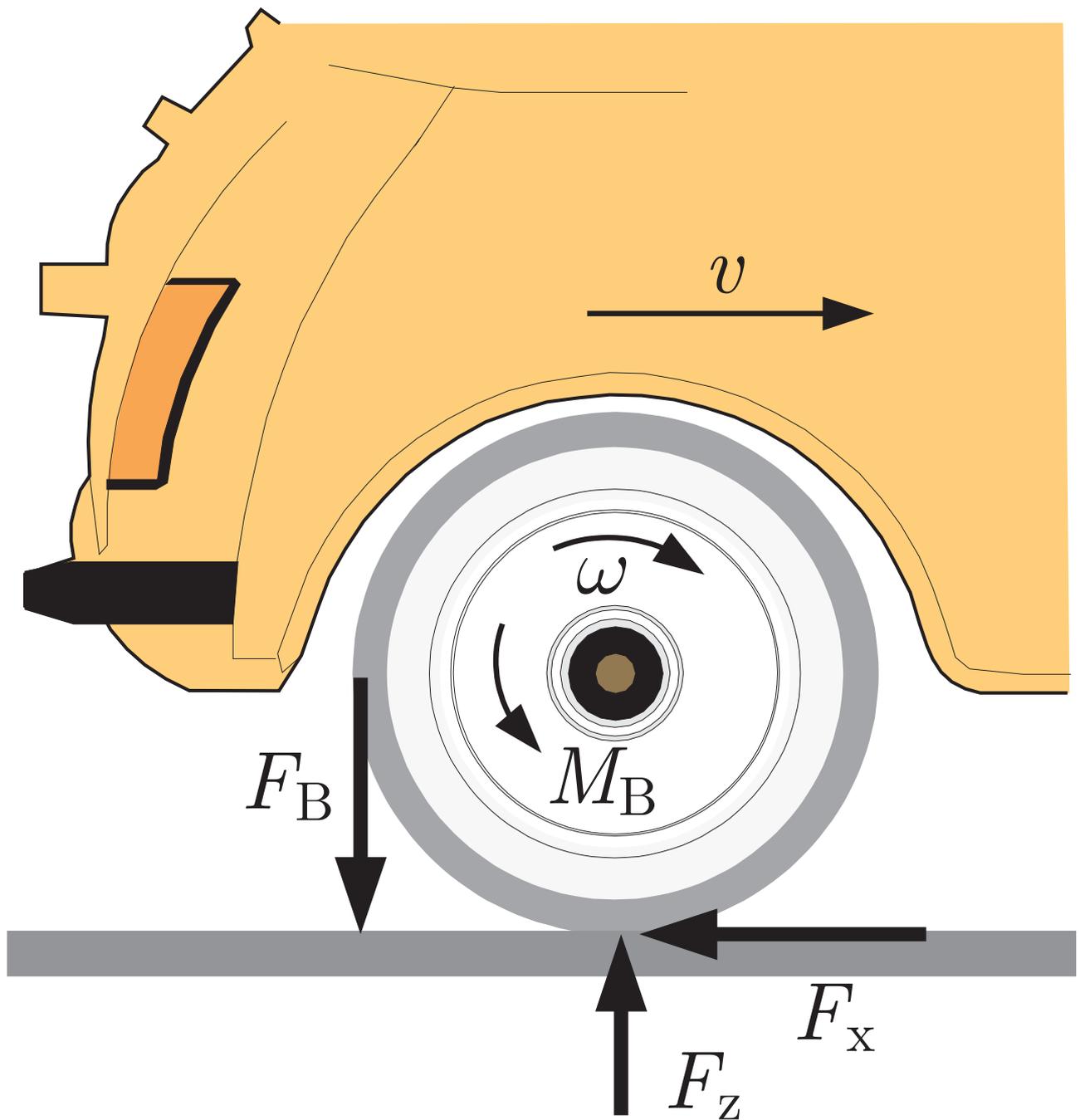


Abb. 3.14: Kräfte an einem abgebremsten Rad

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

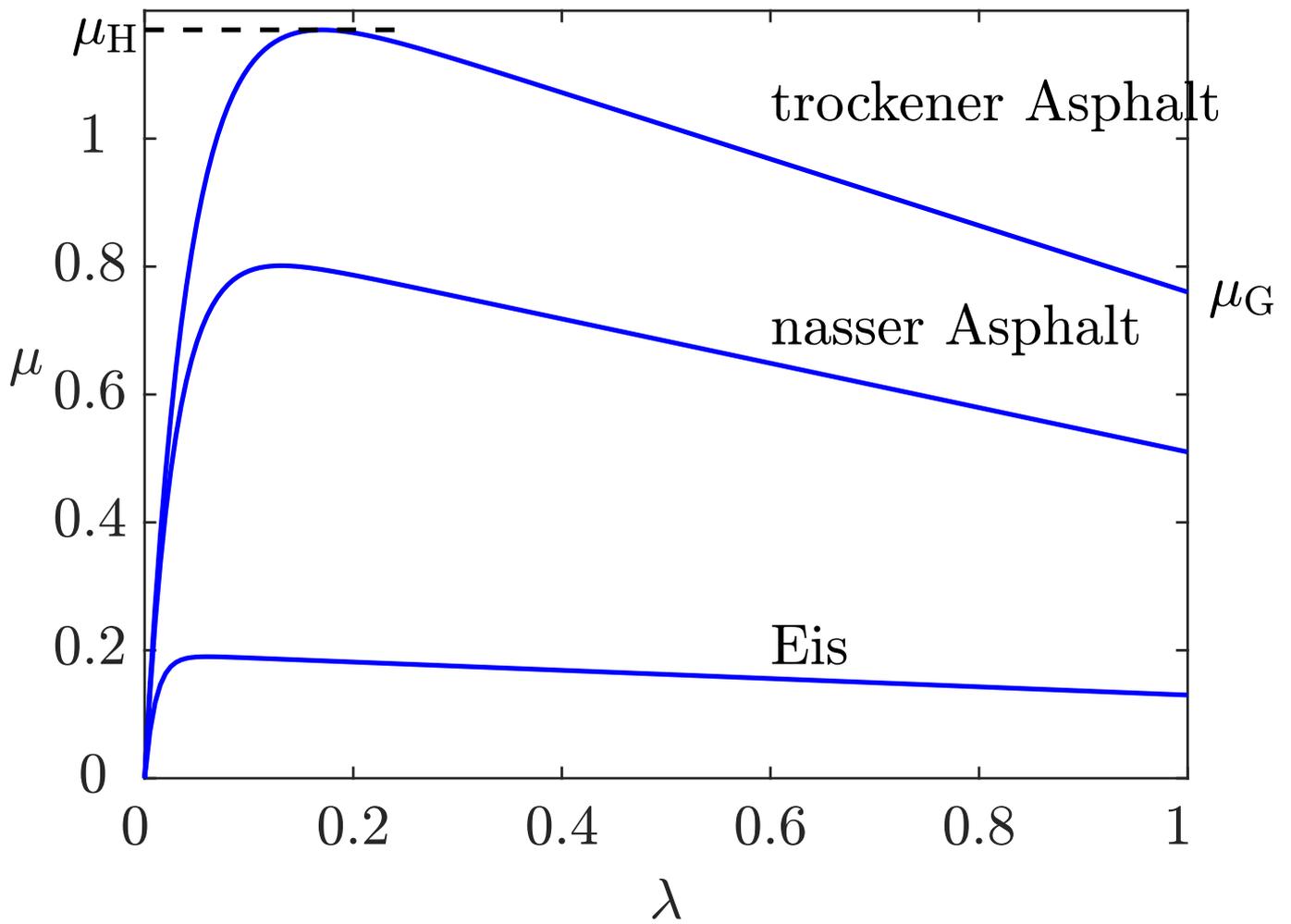


Abb. 3.15: $\mu(\lambda)$ -Kennlinien

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

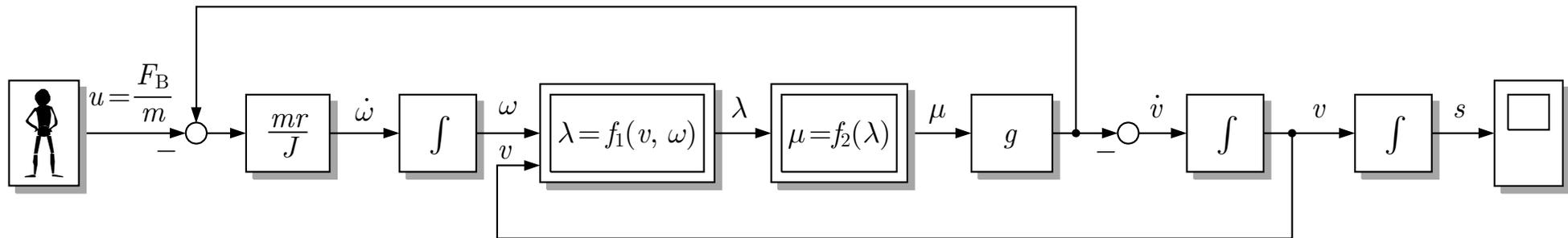


Abb. 3.16. Blockschaltbild des Modells zur Beschreibung des Abbremsvorgangs eines Fahrzeugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

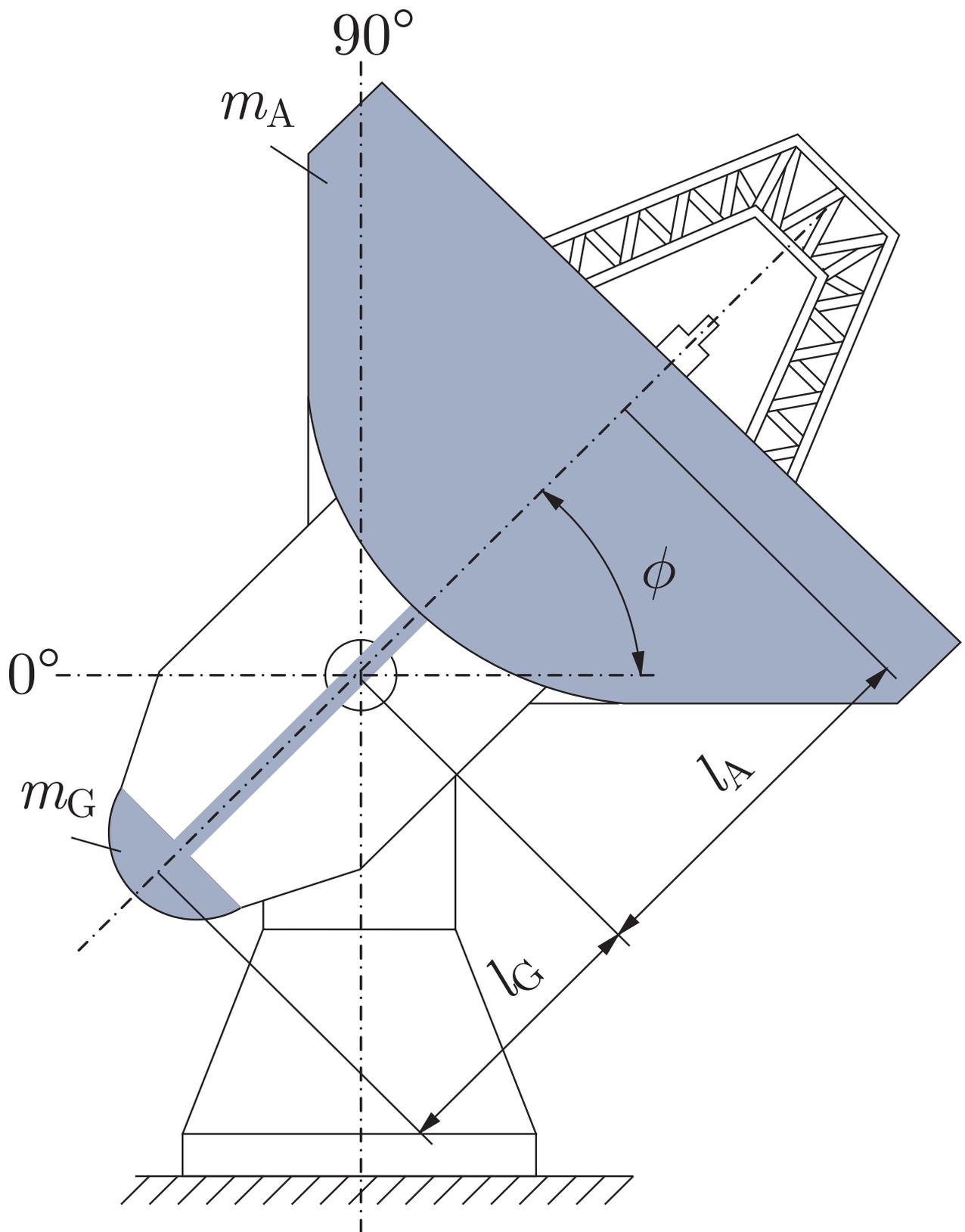


Abb. 3.17. Aufbau eines Radioteleskops

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

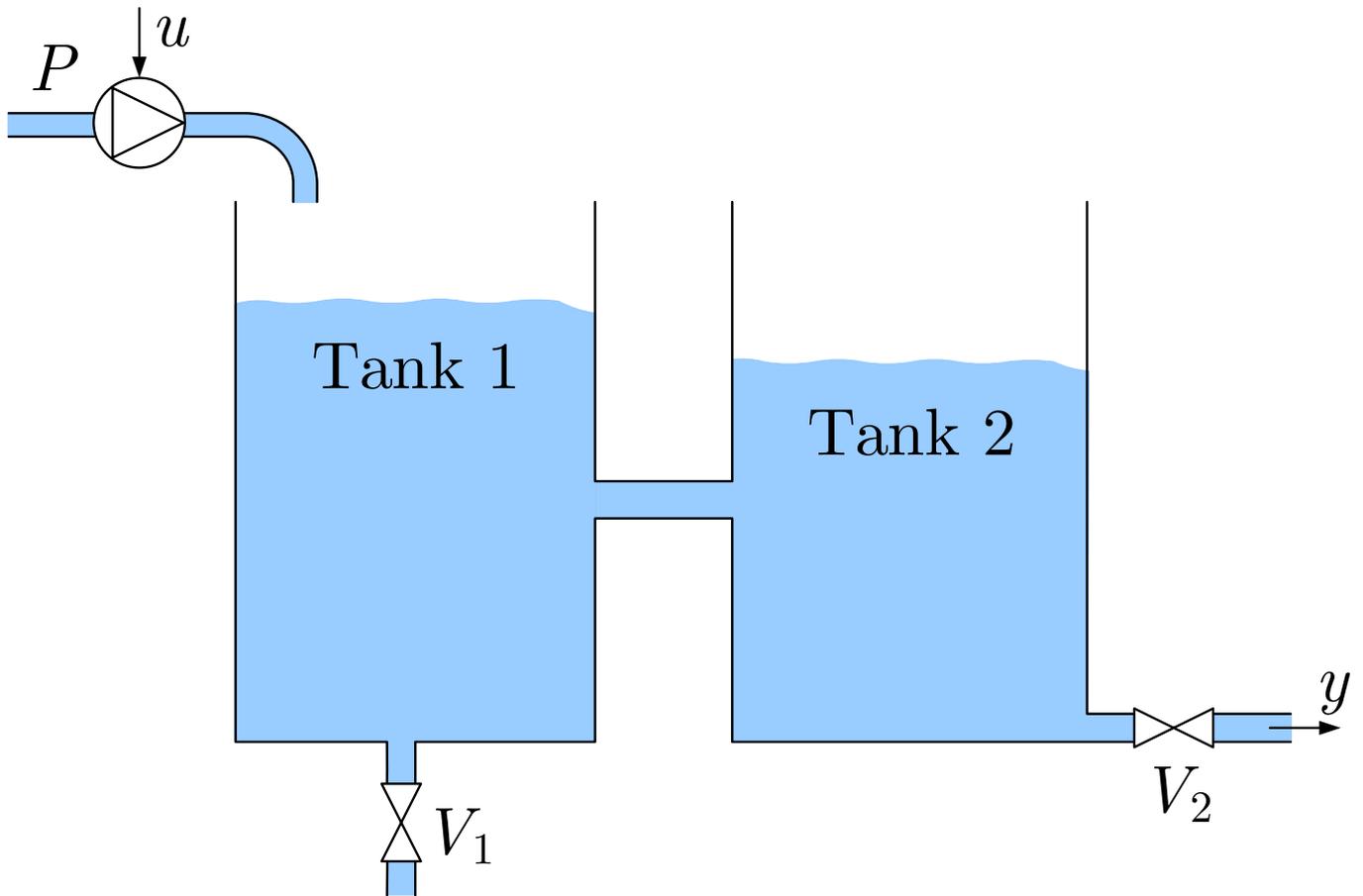


Abb. 3.18: Gekoppelte Behälter

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

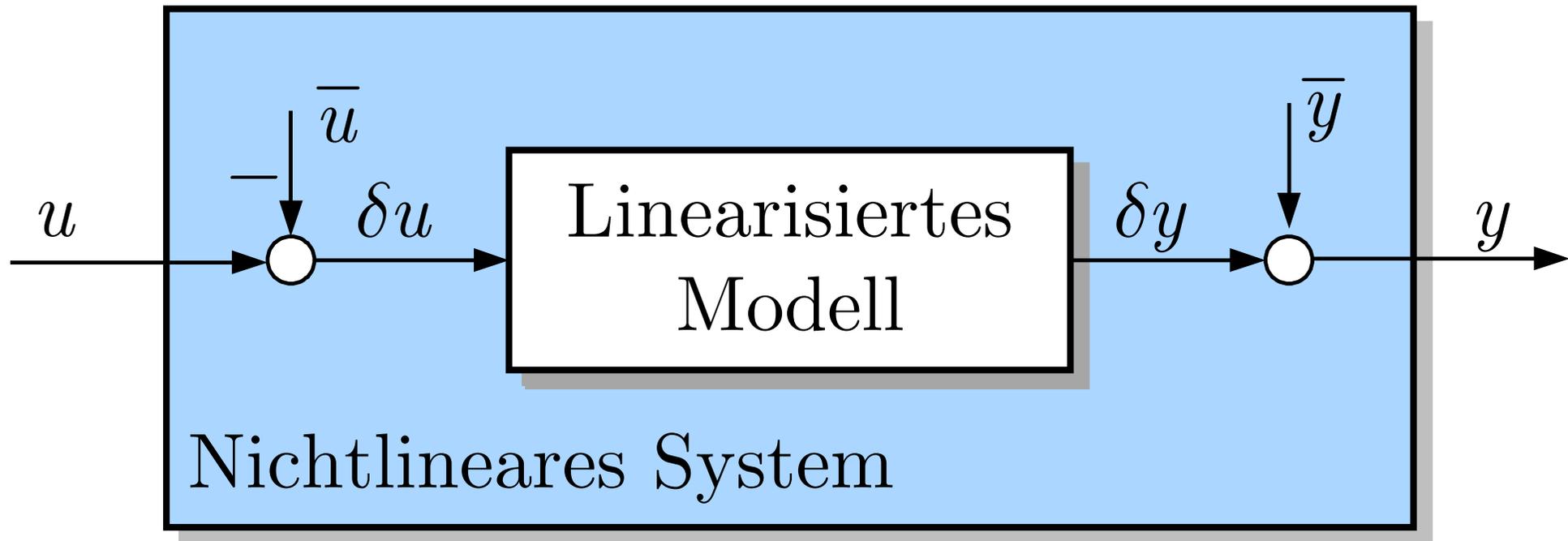


Abb. 3.19. Anwendung des linearisierten Modells

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

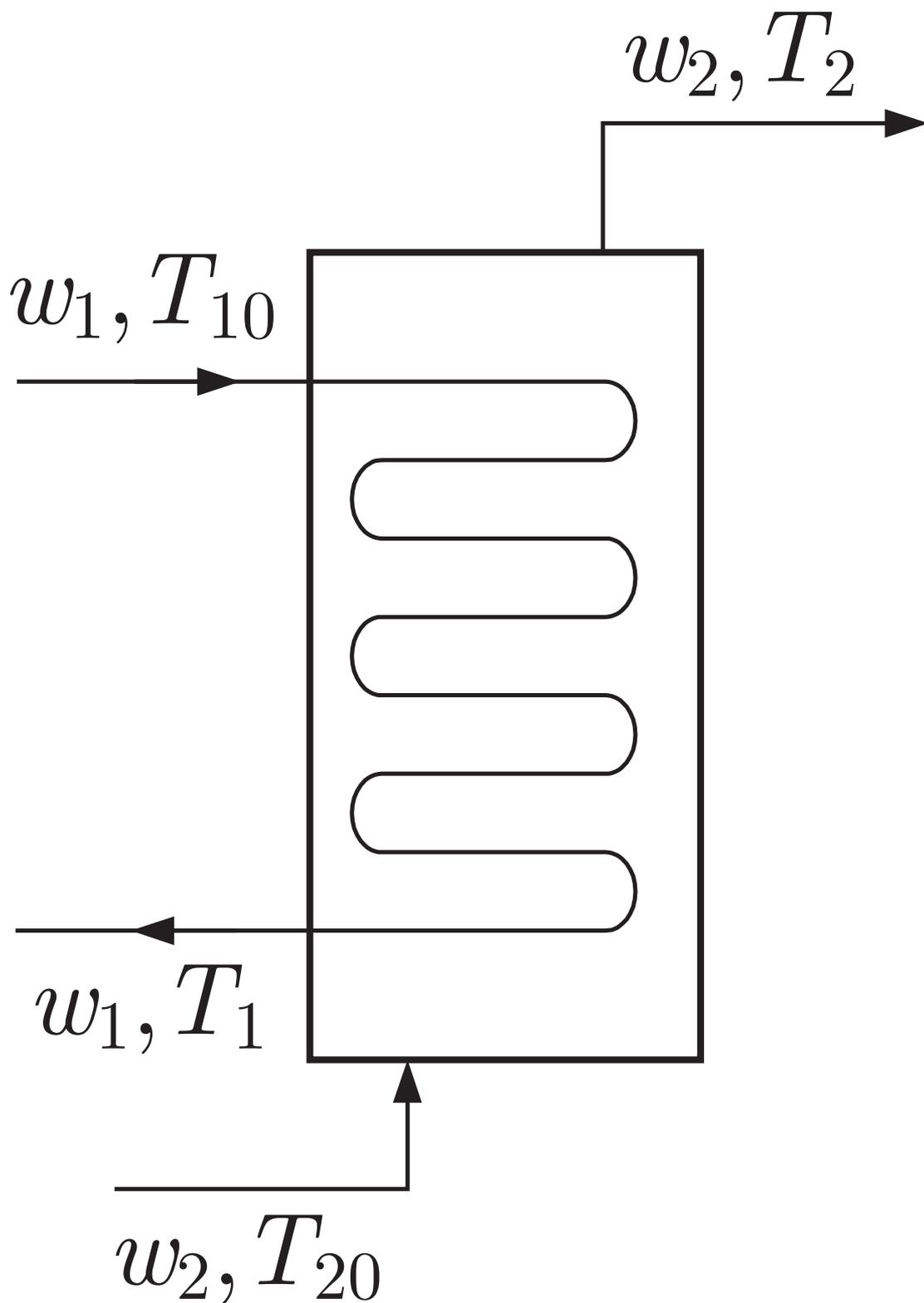


Abb. 3.20. Wärmeübertrager

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

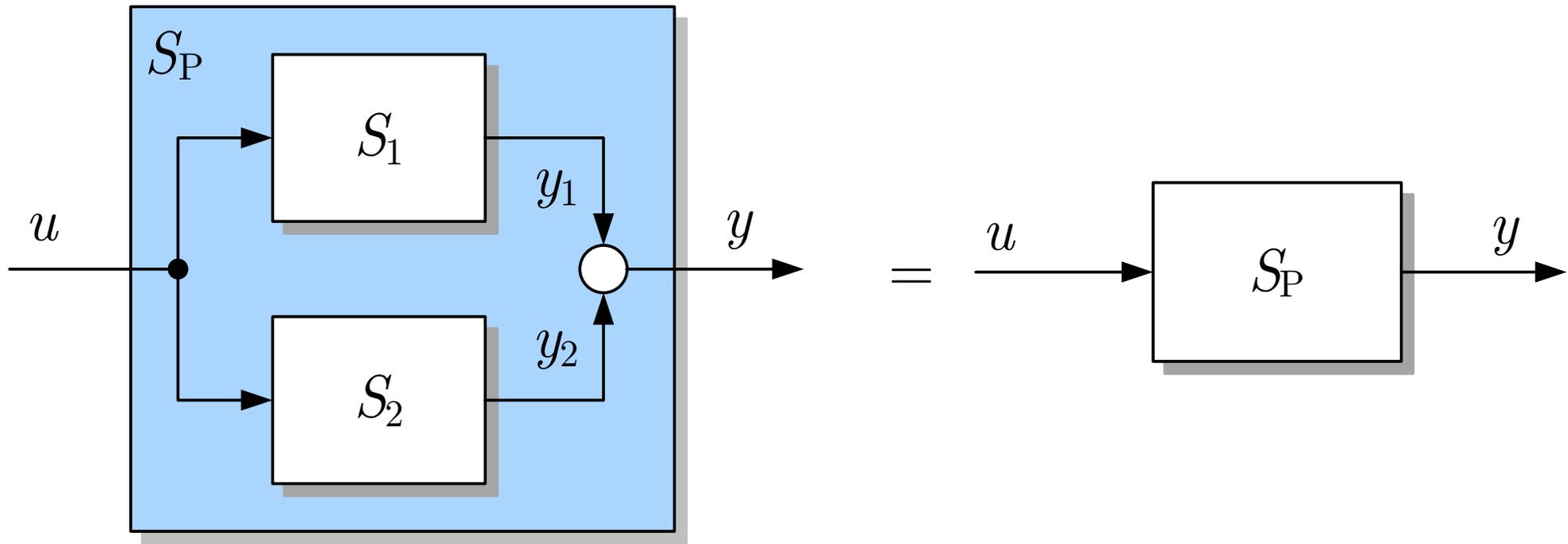


Abb. 3.21. Parallelschaltung der Teilsysteme S_1 und S_2

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

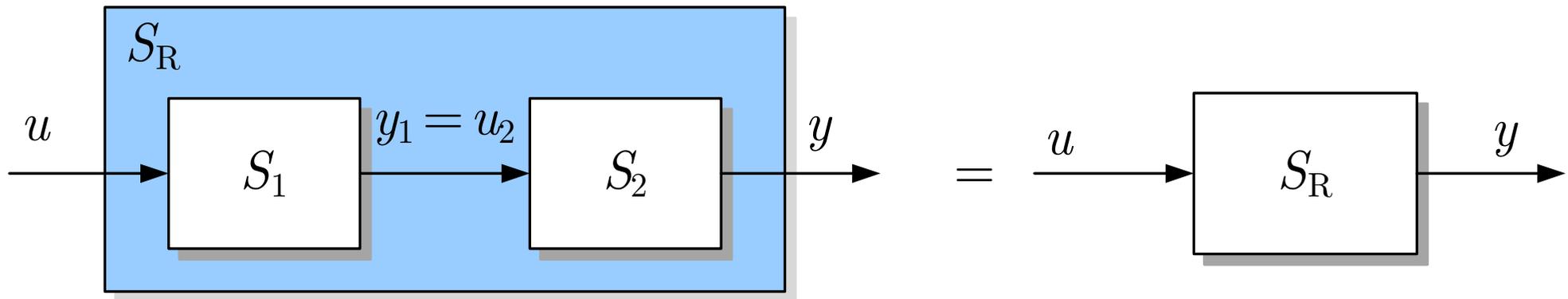


Abb. 3.22. Reihenschaltung der Teilsysteme S_1 und S_2

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

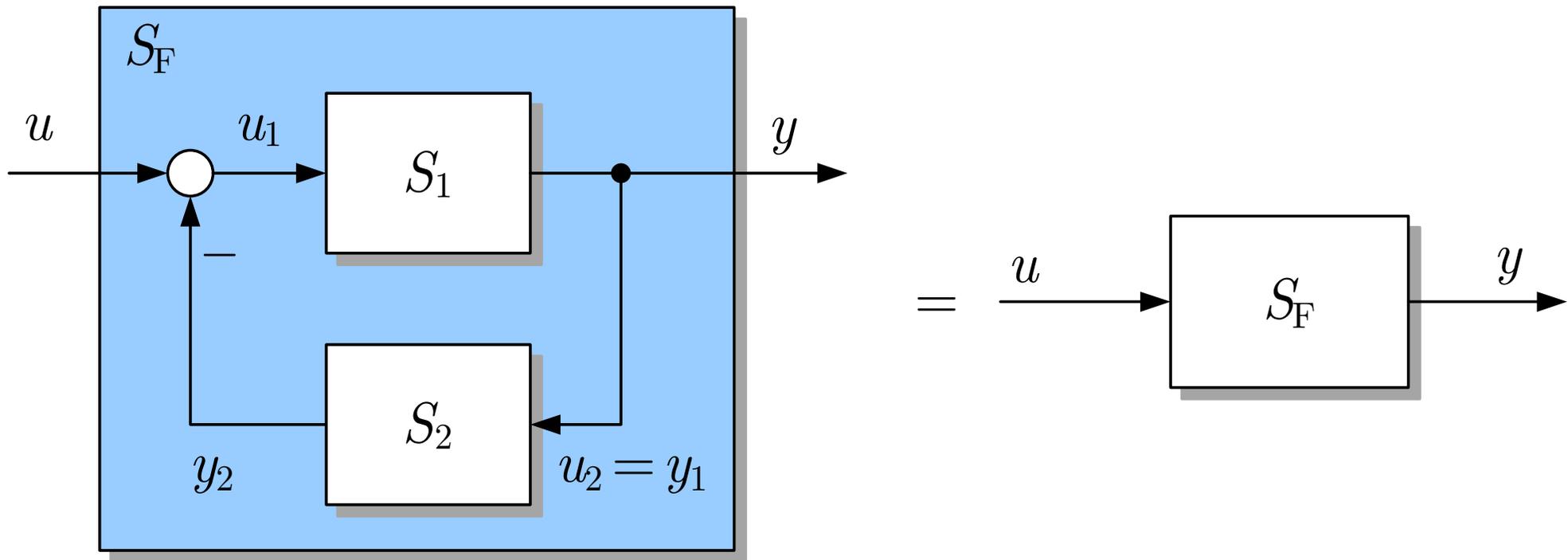


Abb. 3.23. Rückführschaltung der Teilsysteme S_1 und S_2

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

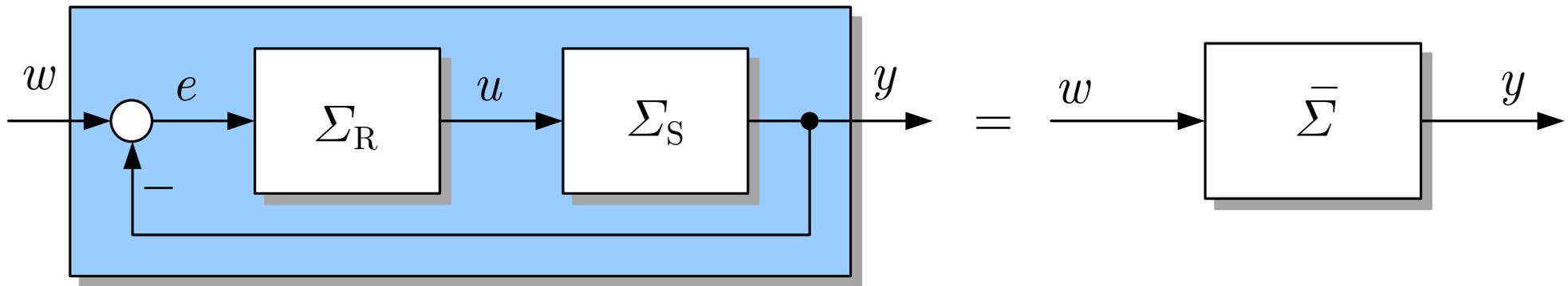


Abb. 3.24. Blockschaltbild eines Regelkreises

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

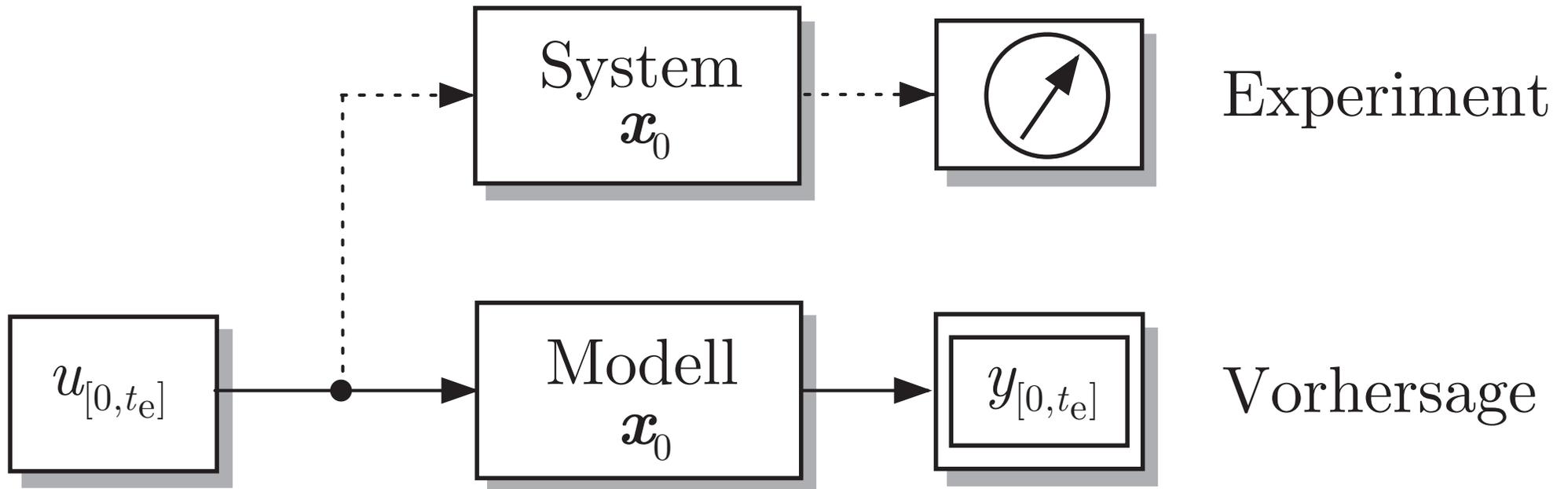


Abb. 4.1. Vorhersageaufgabe

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

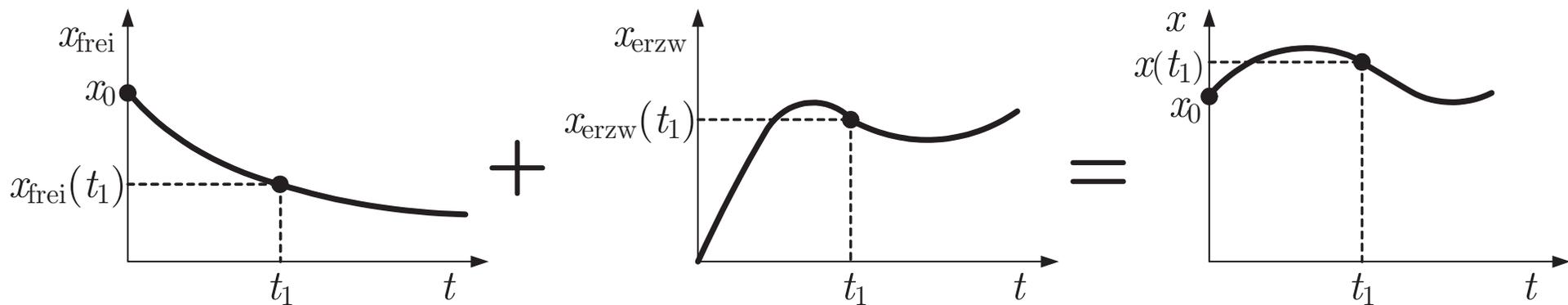


Abb. 4.2. Zerlegung der Bewegung in die Eigenbewegung und die erzwungene Bewegung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

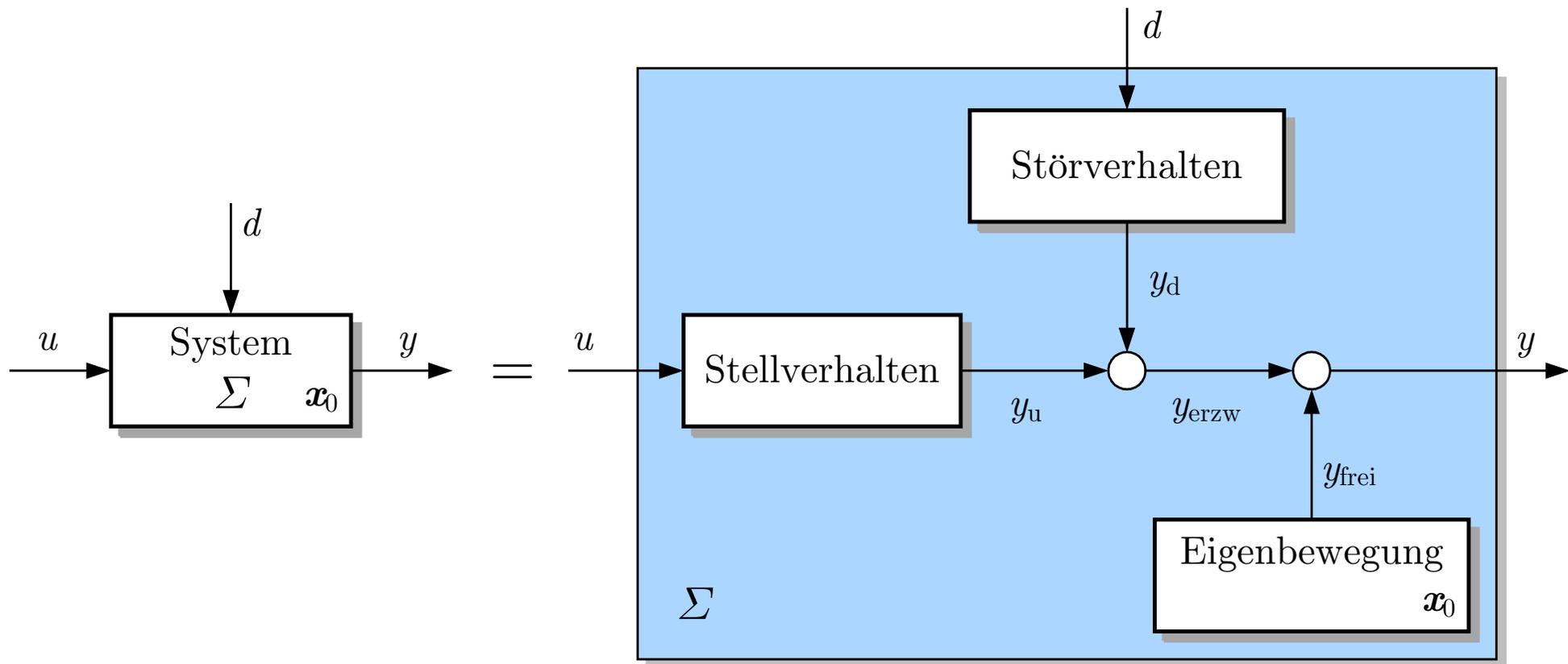


Abb. 4.3. Zerlegung des Systemverhaltens in die Anteile, die durch den Anfangszustand, die Stellgröße und die Störgröße hervorgerufen werden

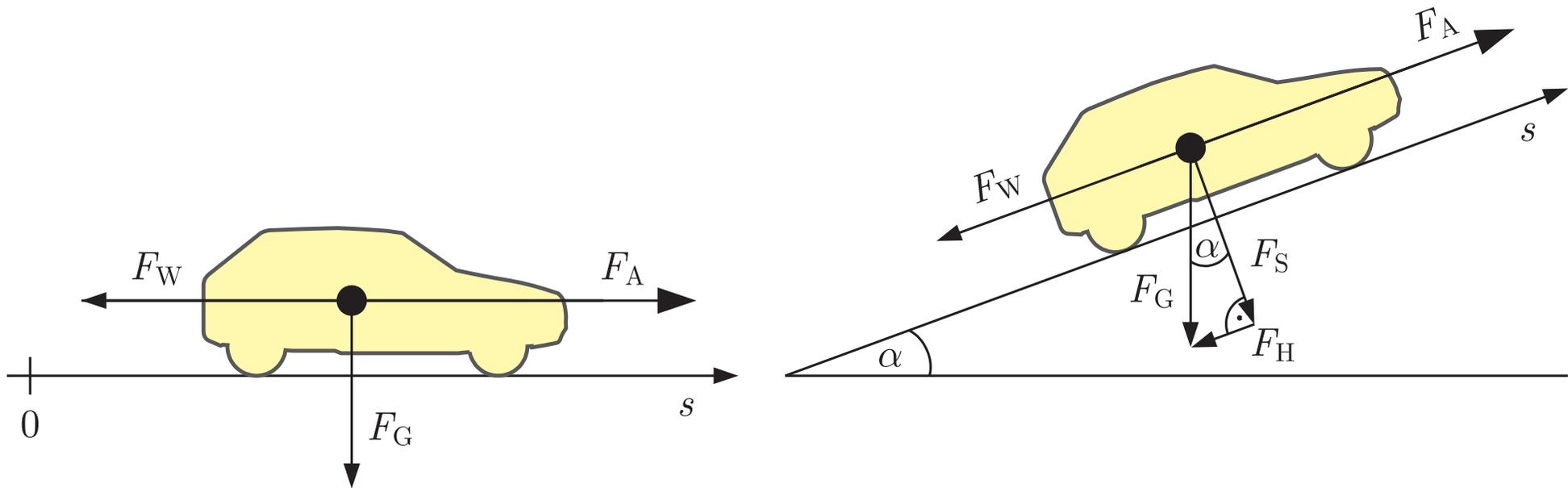


Abb. 4.4. Kräfte, die die Längsbewegung eines Fahrzeugs beeinflussen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

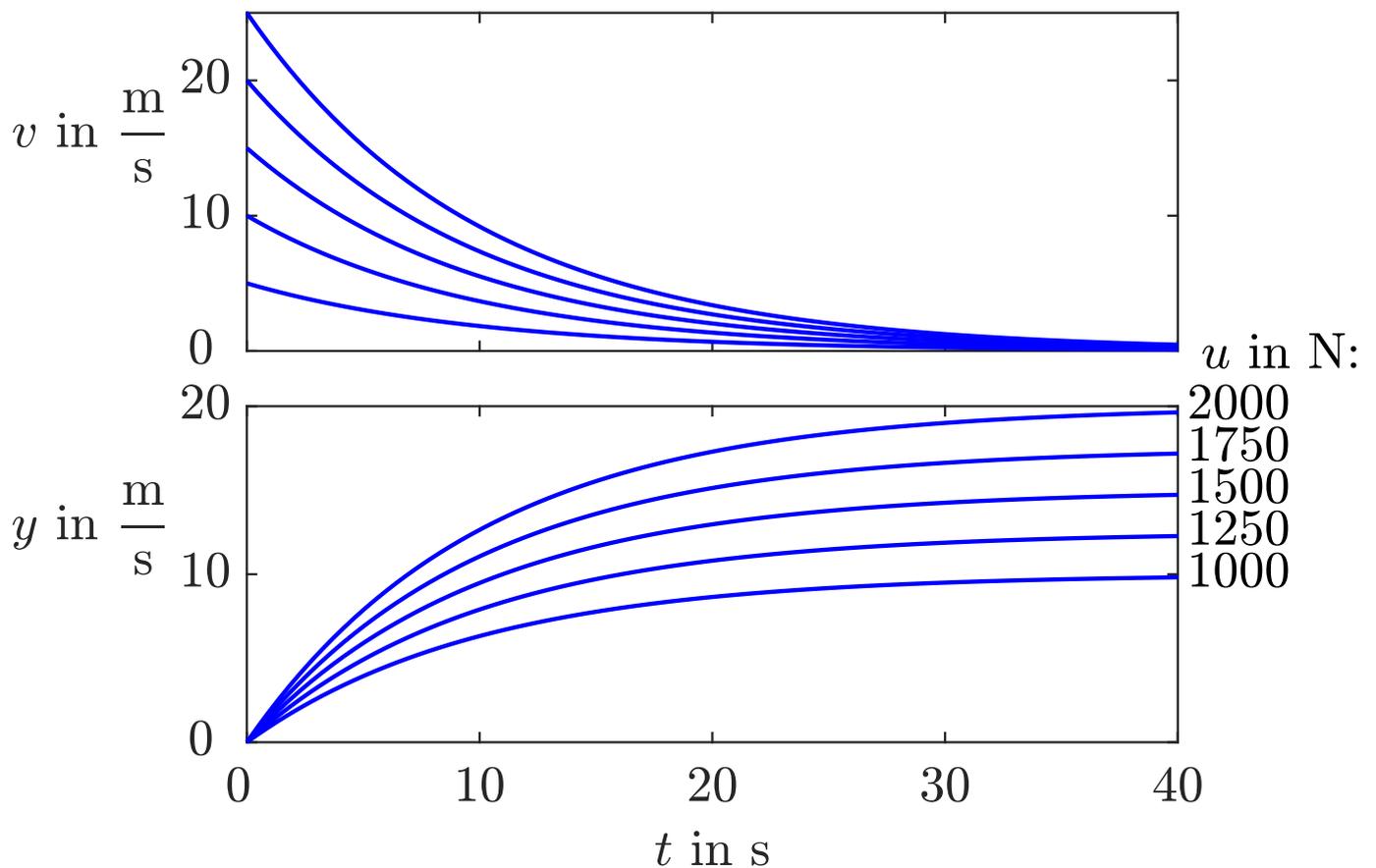


Abb. 4.5: Eigenbewegung und erzwungene Bewegung des Fahrzeugs in der Ebene

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

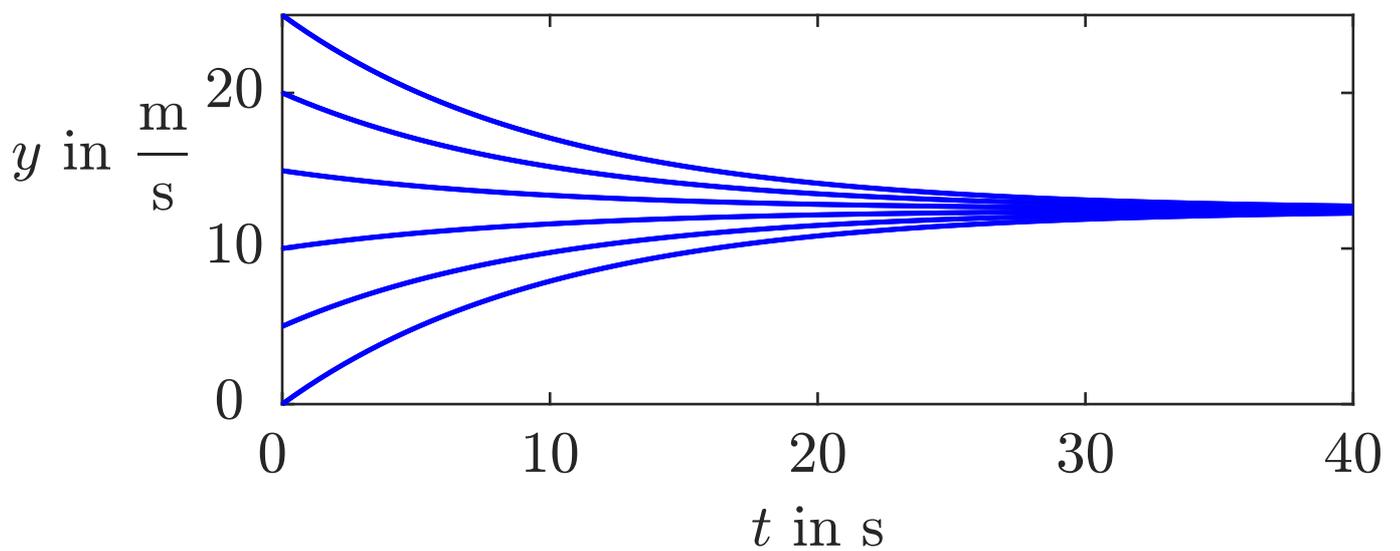


Abb. 4.6: Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit unterschiedlicher Anfangsgeschwindigkeit und konstanter Eingangsgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

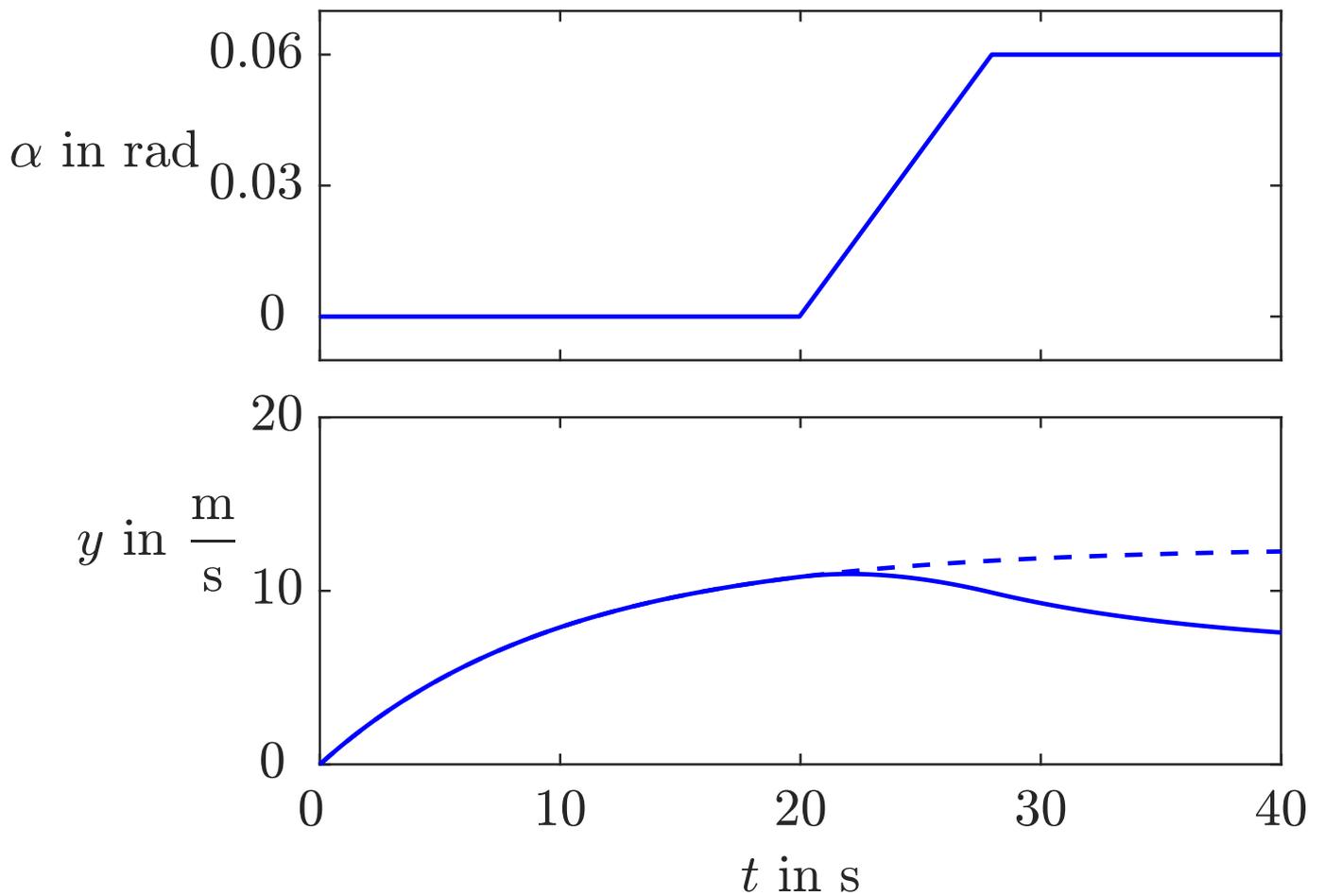


Abb. 4.7: Neigungswinkel $\alpha(t)$ des Anstiegs und Fahrzeuggeschwindigkeit $y(t)$ bei konstanter Eingangsgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

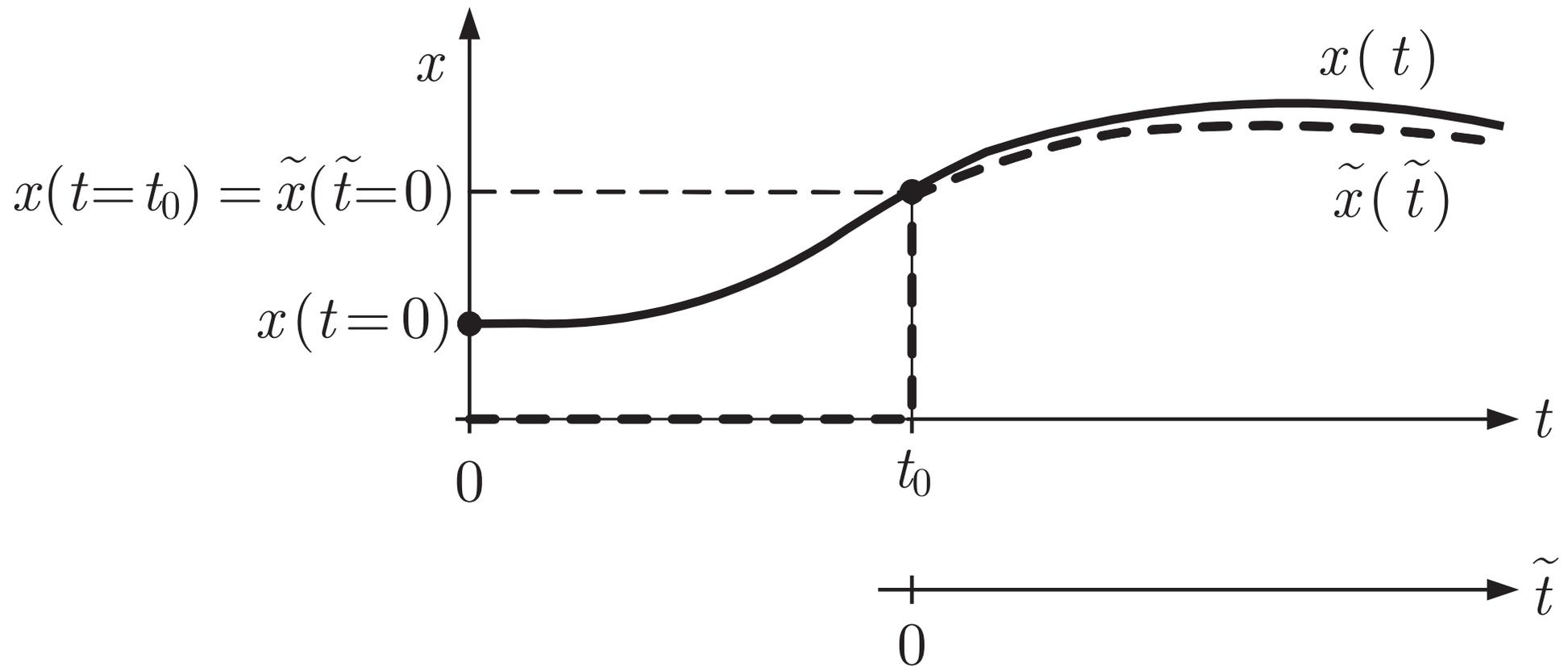


Abb. 4.8. Berechnung der Zustandstrajektorie für zwei unterschiedliche Zeitachsen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

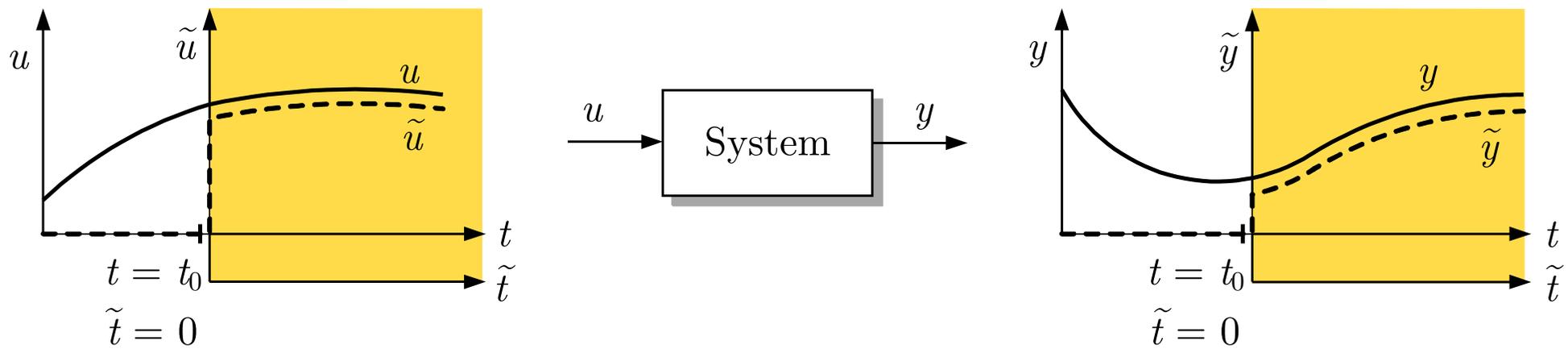


Abb. 4.9. Darstellung des E/A-Verhaltens mit unterschiedlichen Zeitachsen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

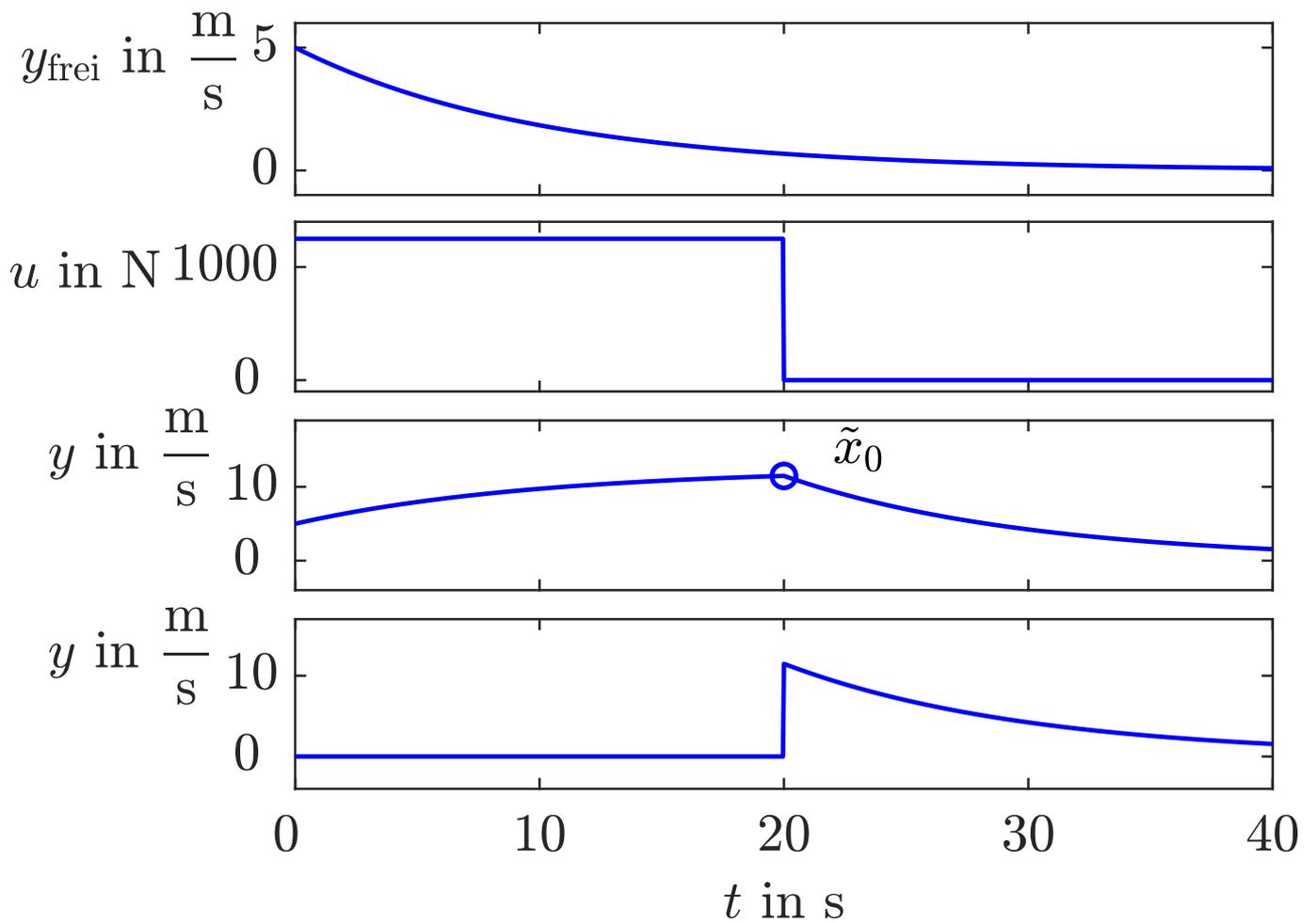


Abb. 4.10: Berechnung der Fahrzeugbewegung mit Hilfe des Zustands zum Zeitpunkt $t_0=20$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

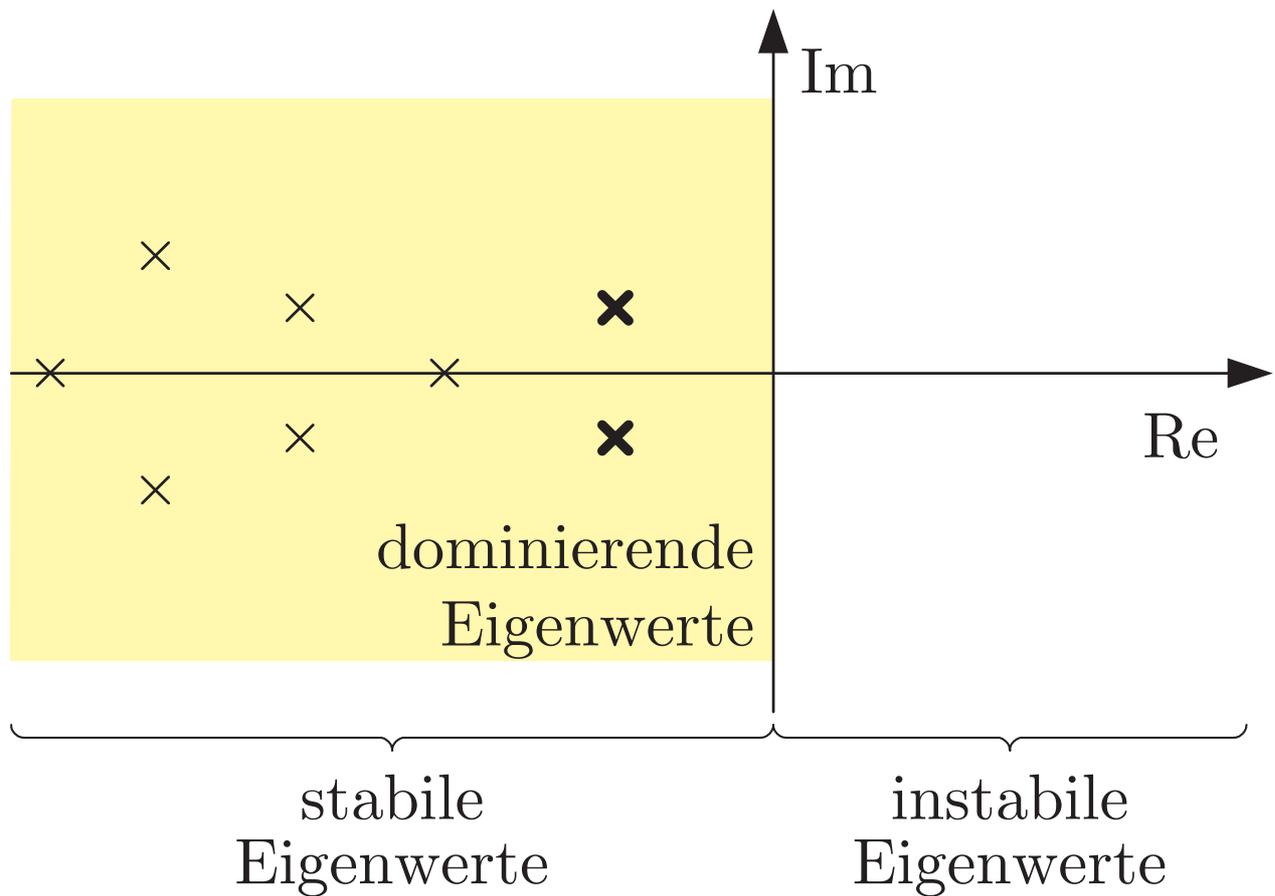


Abb. 4.11: Darstellung der Eigenwerte in der komplexen Ebene

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

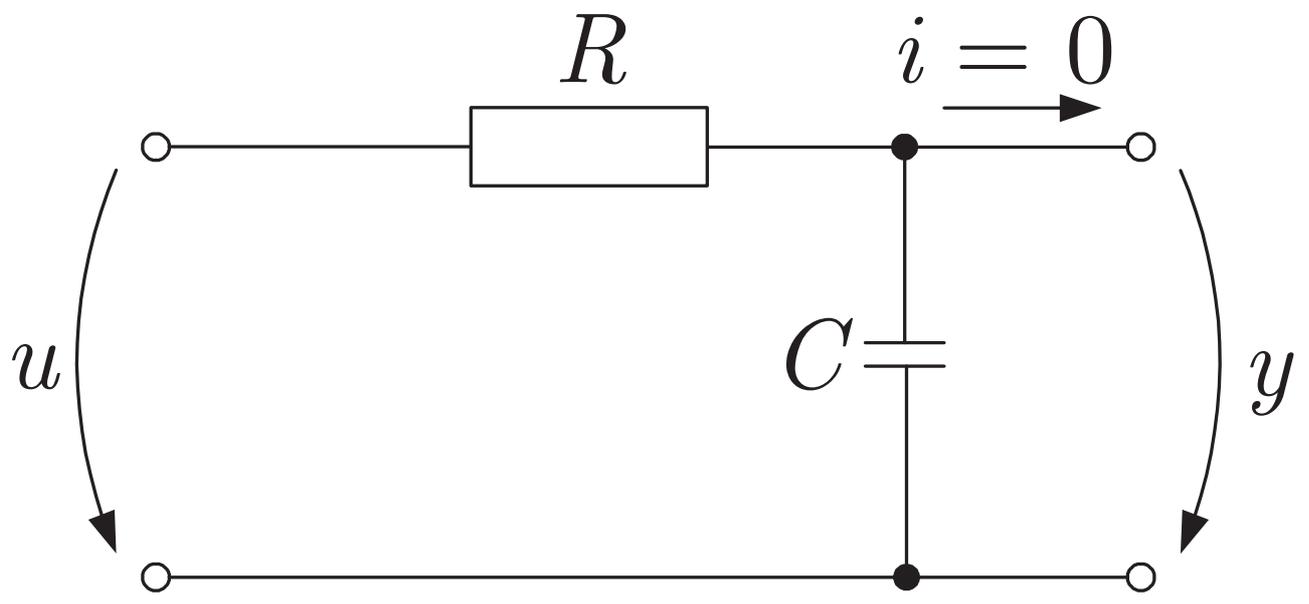


Abb. 4.12: RC-Glied

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

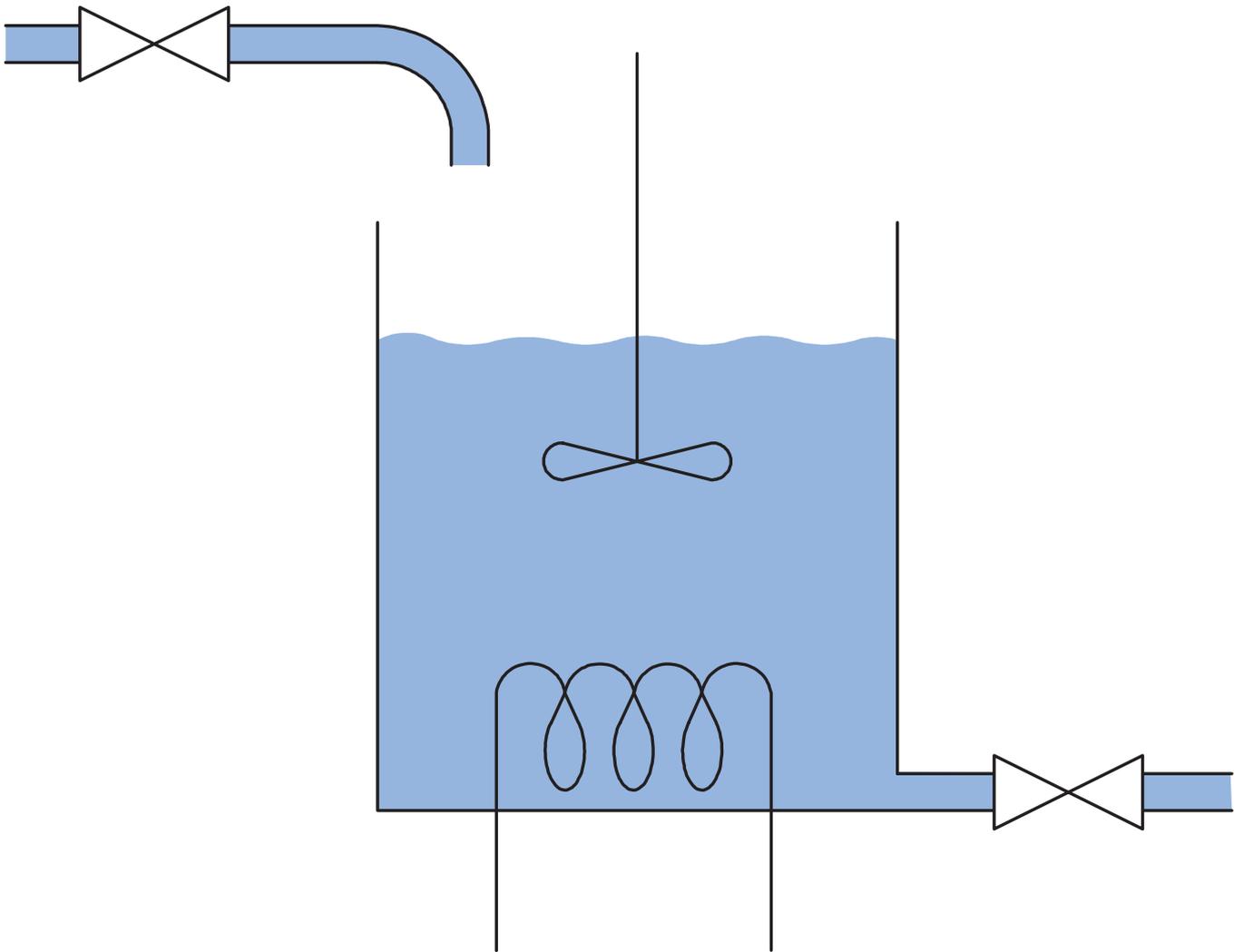


Abb. 4.13: Geheizter Rührkesselreaktor

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

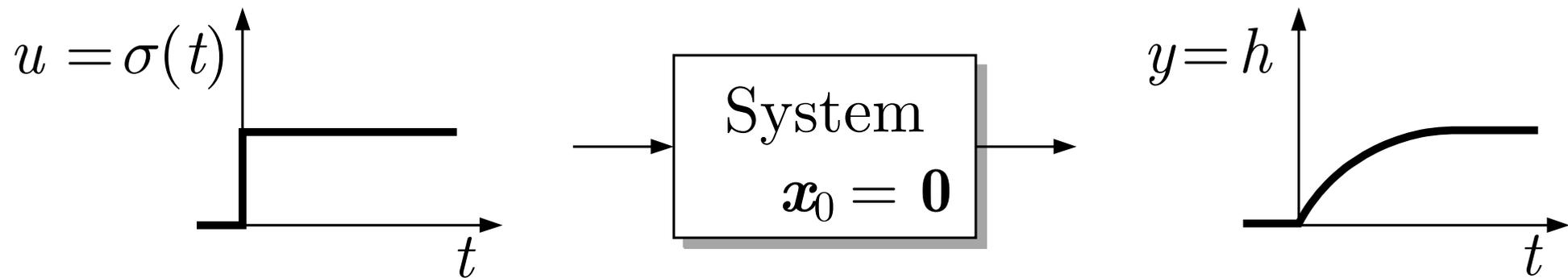


Abb. 4.14. System mit sprungförmiger Eingangsgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

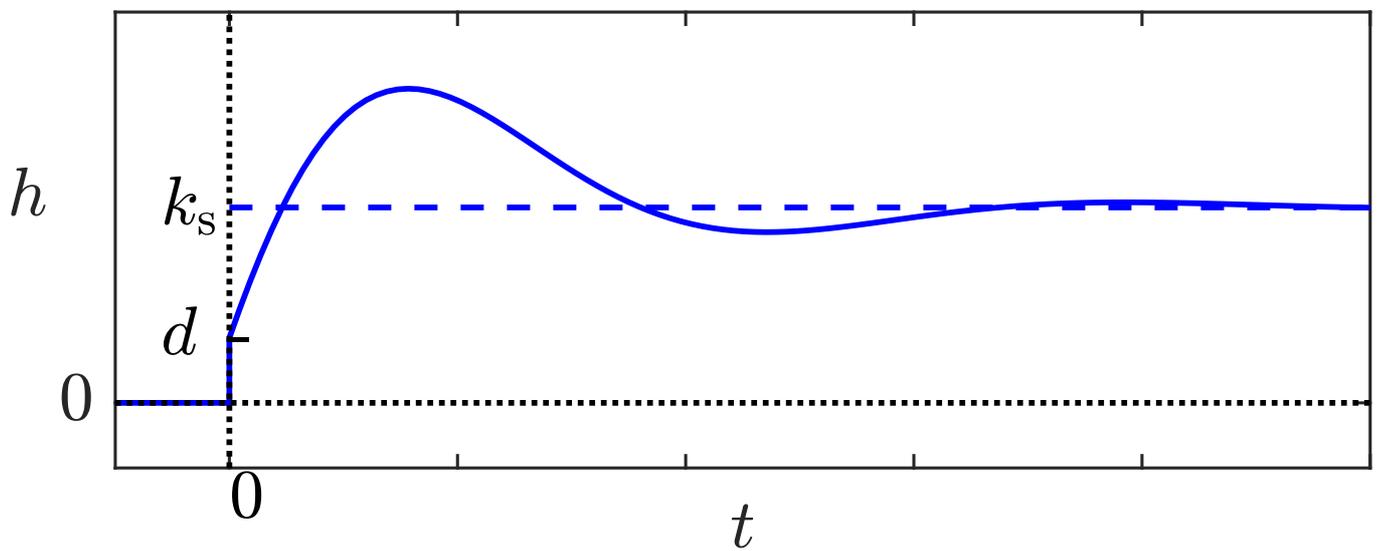


Abb. 4.15: Übergangsfunktion eines Systems zweiter Ordnung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

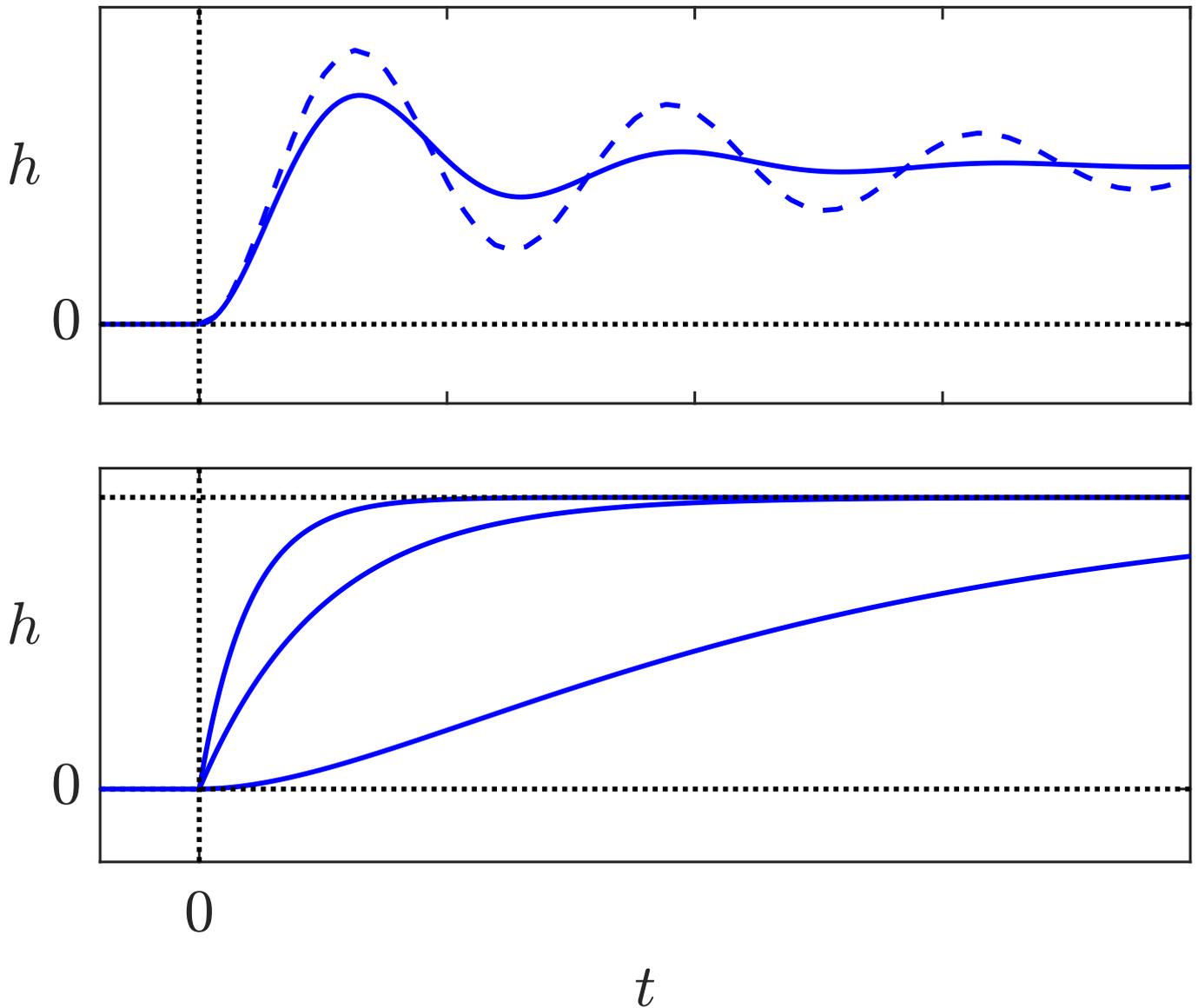


Abb. 4.16: Übergangsfunktionen unterschiedlicher Systeme

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

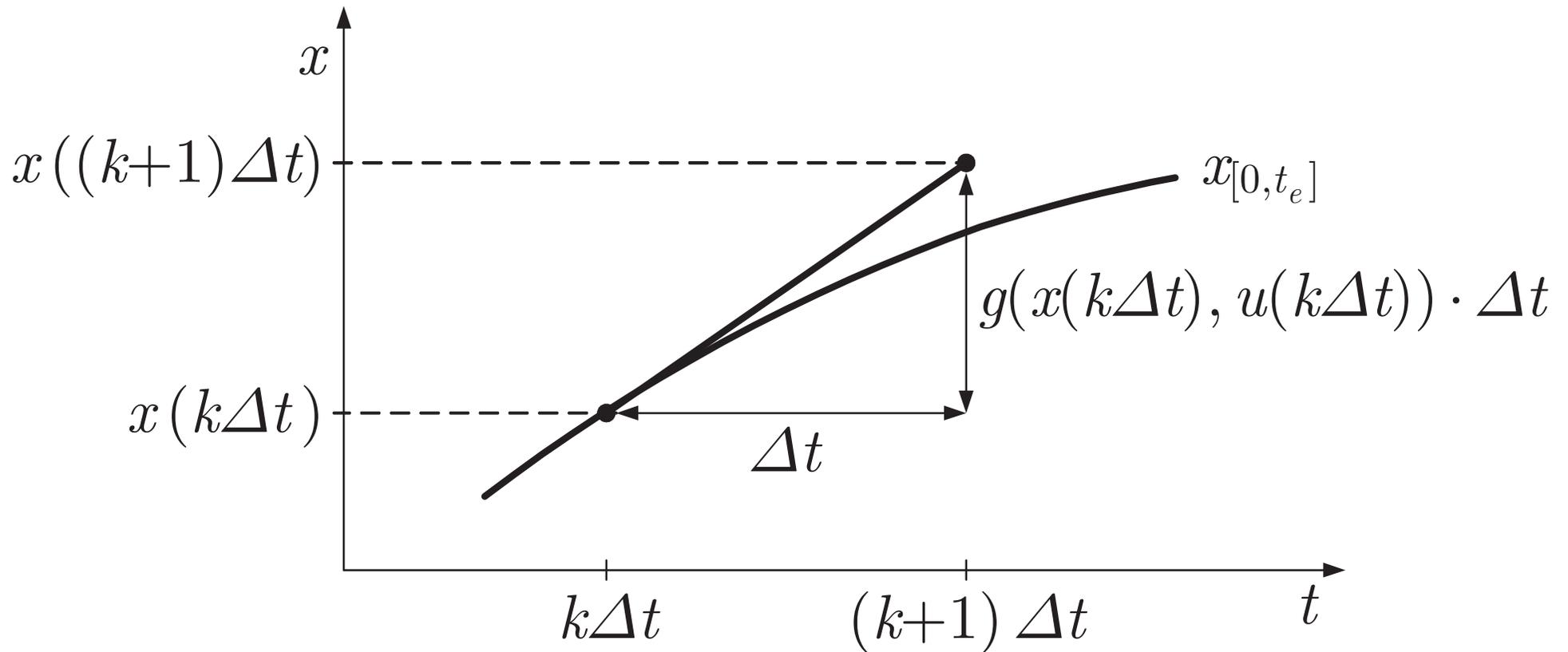


Abb. 4.17. Eulerintegration einer nichtlinearen Differentialgleichung erster Ordnung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

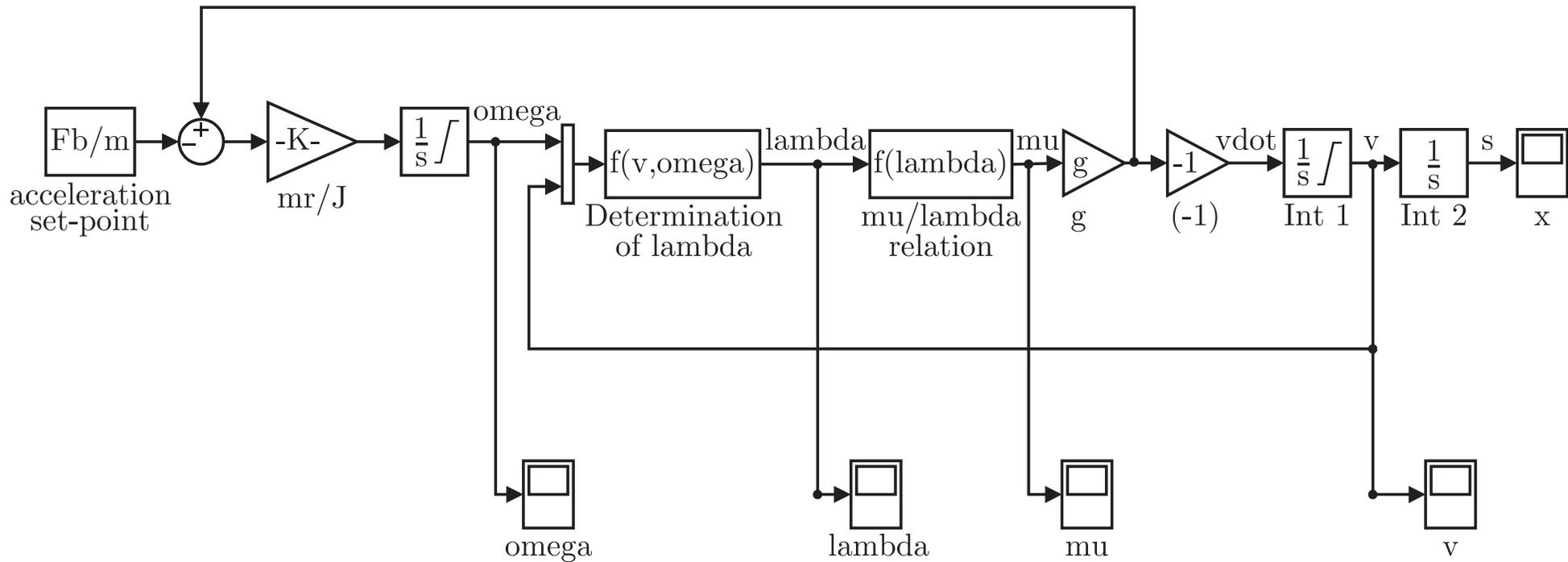


Abb. 4.18. Simulink-Blockschaltbild des Modells für den Abbremsvorgang eines Fahrzeugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

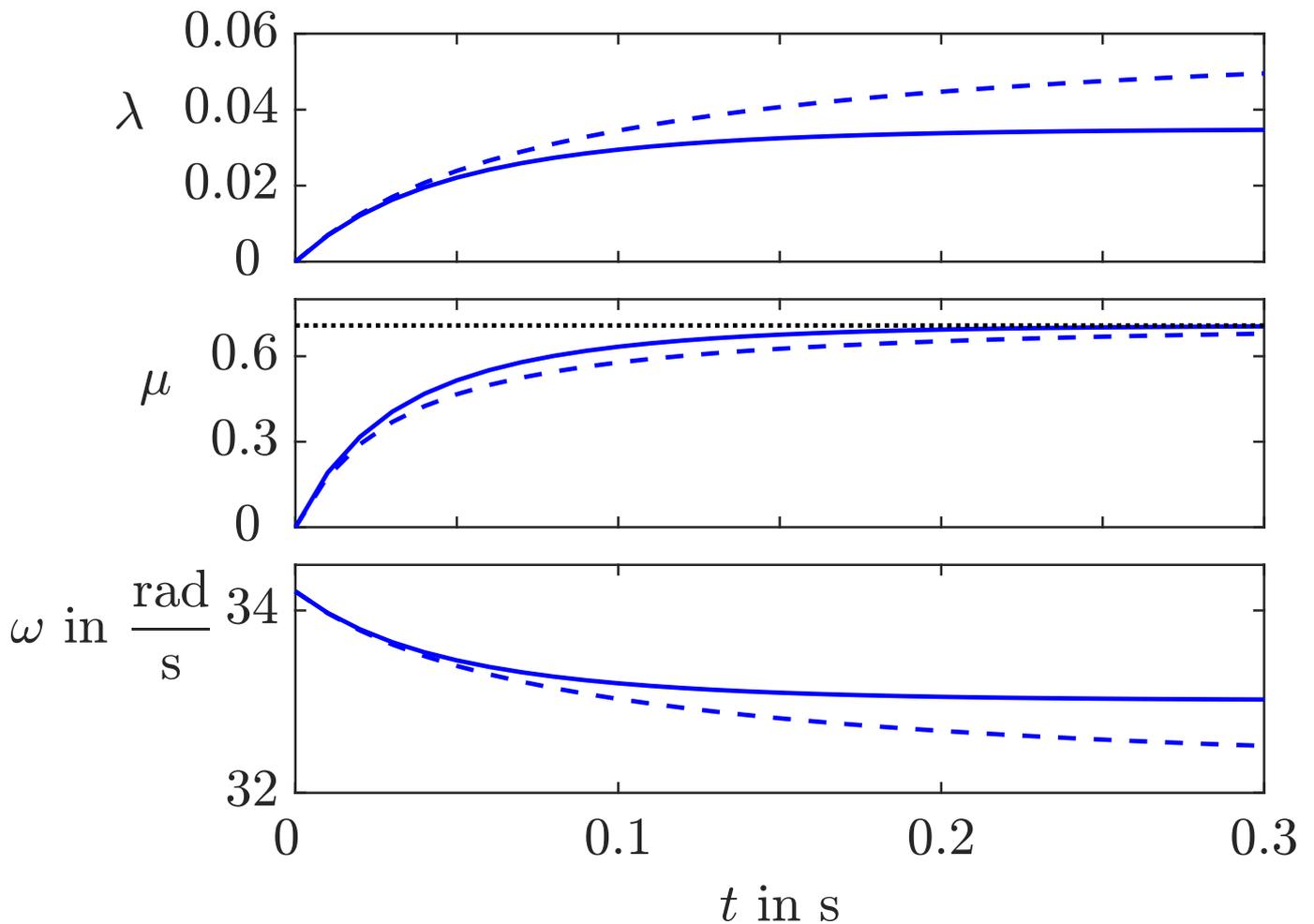


Abb. 4.19: Schlupf, Kraftschlussbeanspruchung und Winkelgeschwindigkeit beim Abbremsen auf trockenem (—) und nassem (- - -) Asphalt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

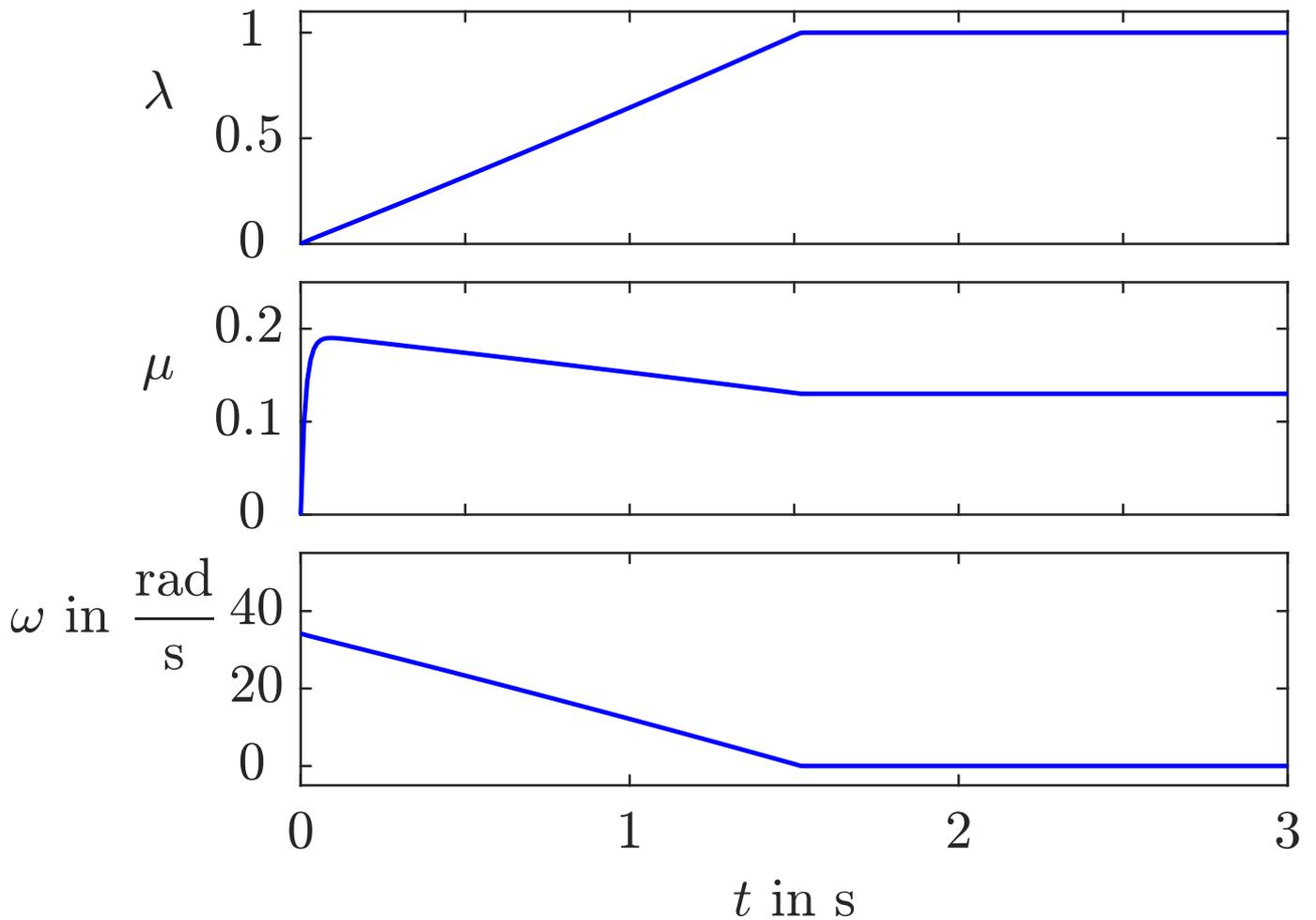


Abb. 4.20: Schlupf, Kraftschlussbeanspruchung und Winkelgeschwindigkeit beim Abbremsen auf vereister Straße mit blockierenden Rädern

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

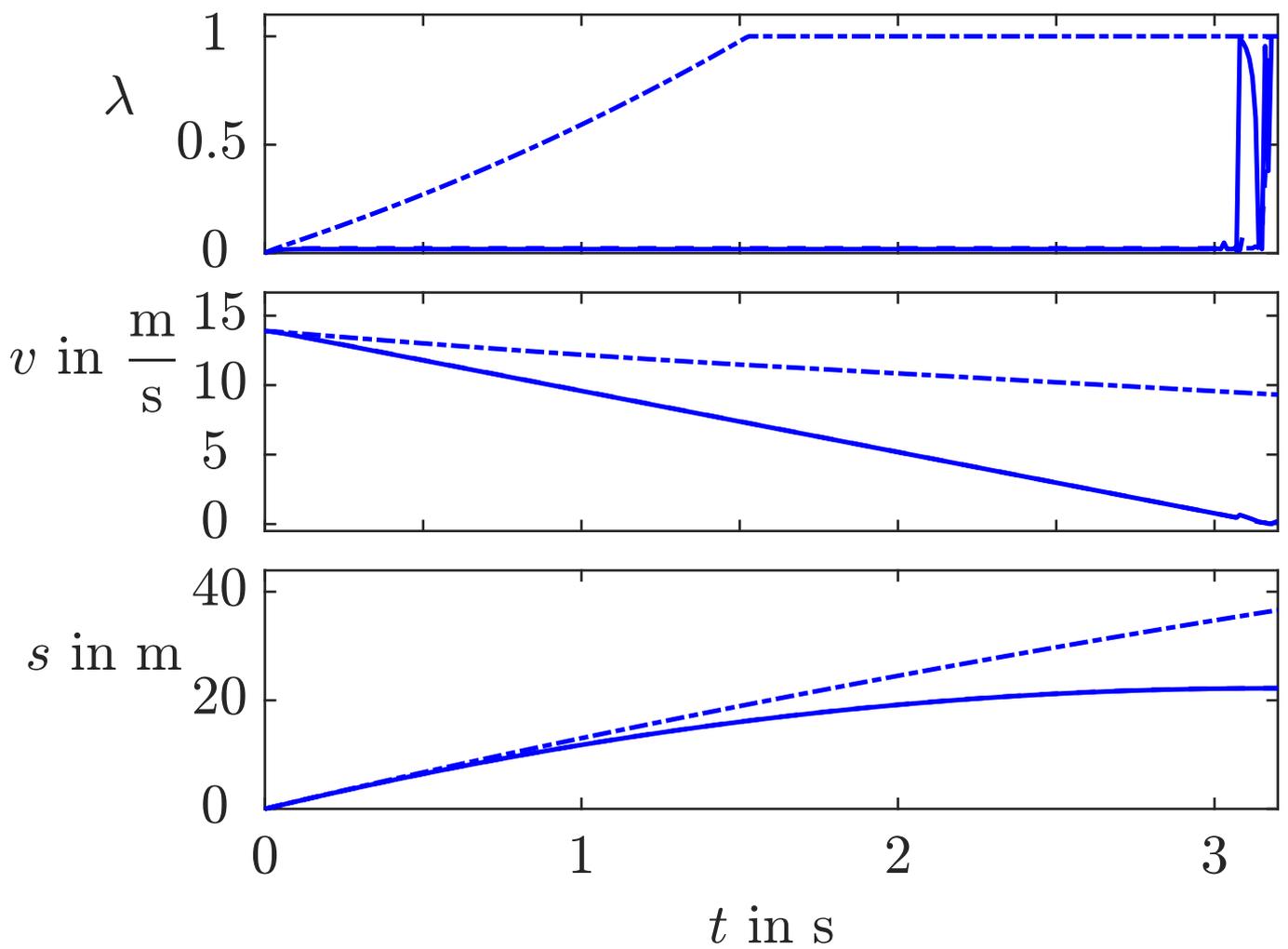


Abb. 4.21: Abbremsmanöver auf Asphaltstraße (—) und auf vereister Straße (- -)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

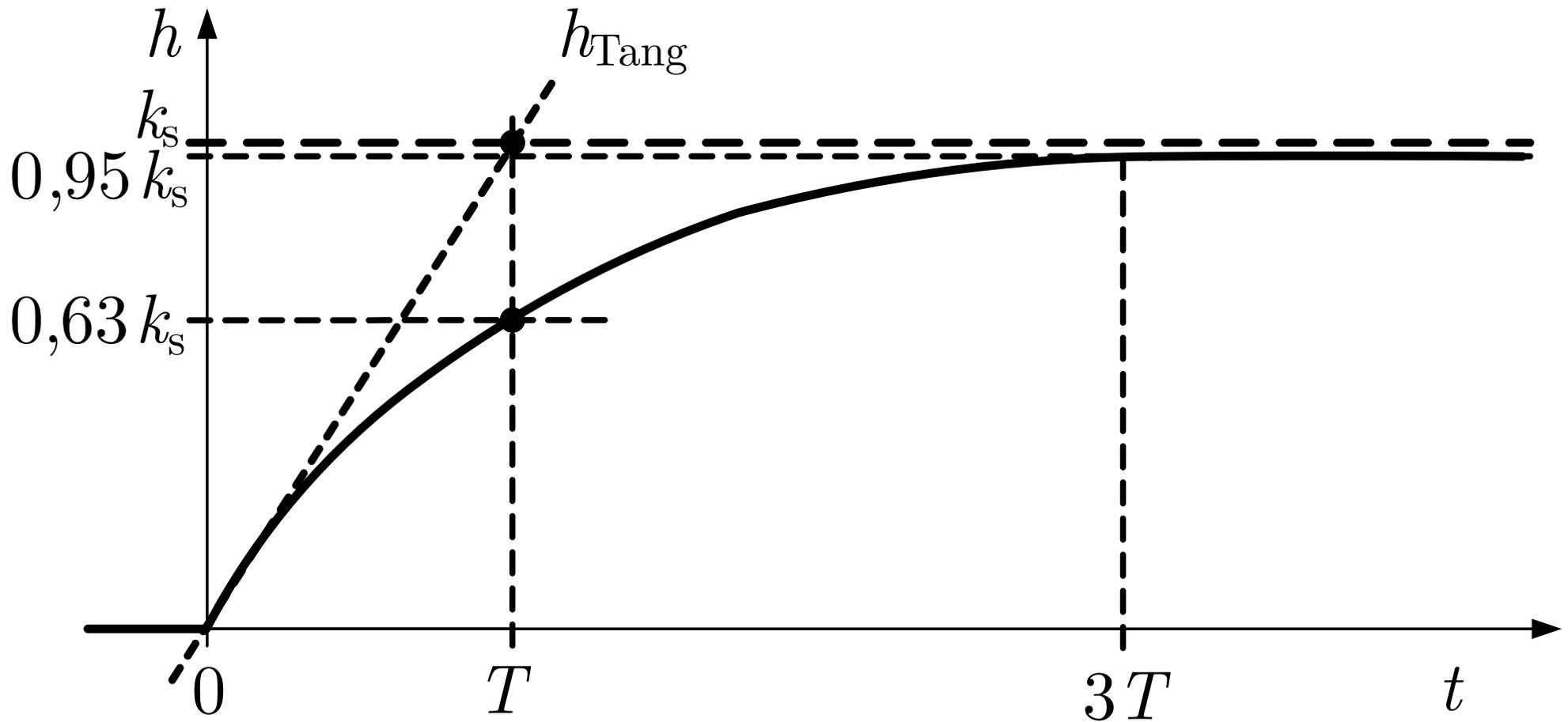


Abb. 4.22. Übergangsfunktion eines Systems erster Ordnung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

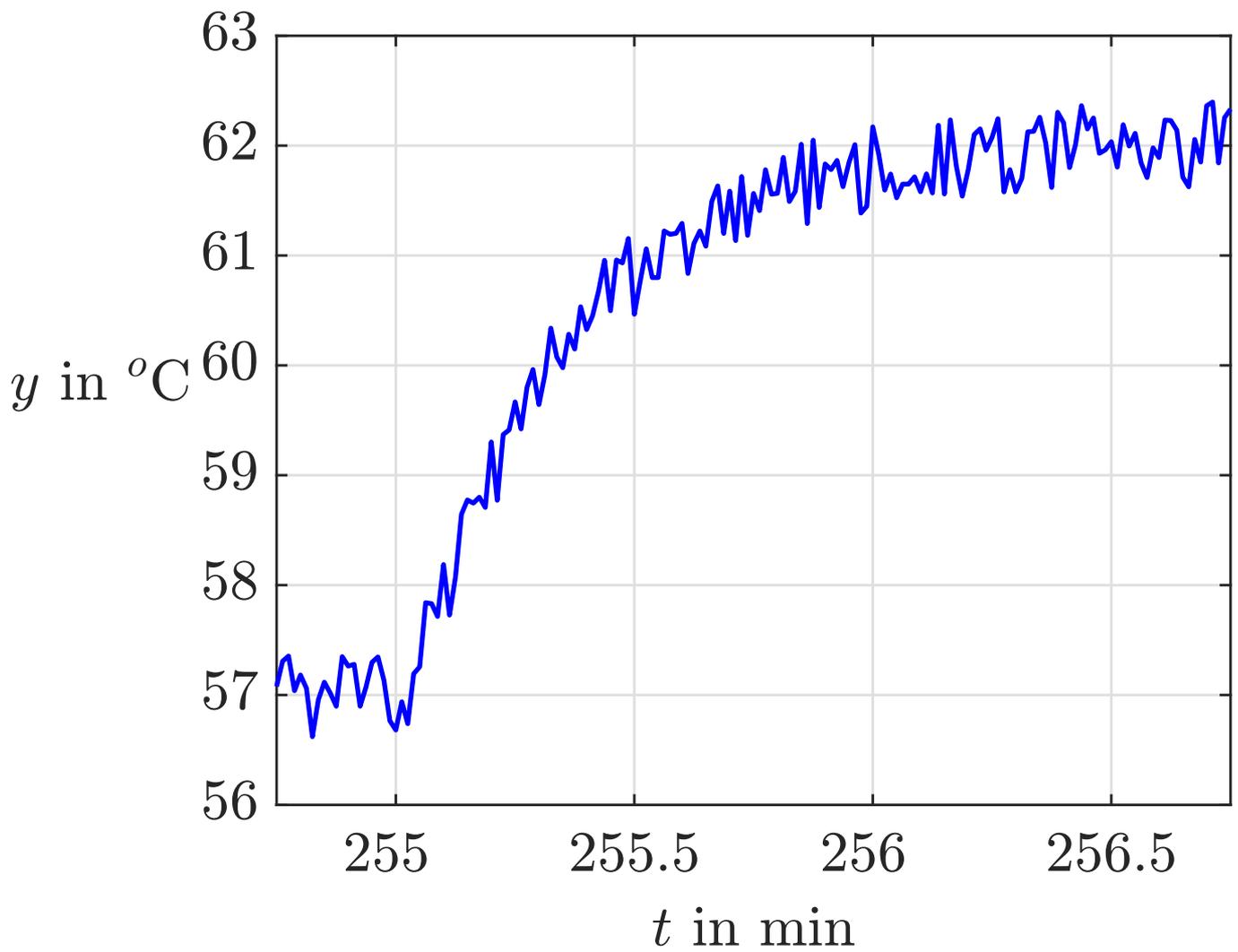
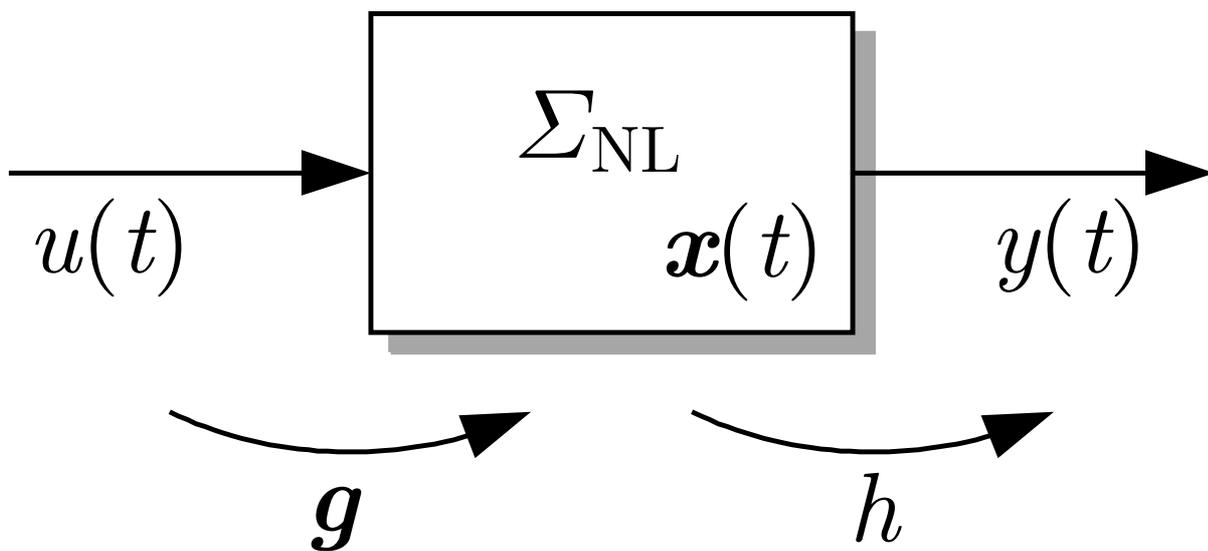


Abb. 4.23: Experimentell bestimmte Übergangsfunktion eines Wärmeübertragers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020



Steuerbarkeit Beobachtbarkeit

Abb. 5.1: Bezug der Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit zu den Systemgleichungen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

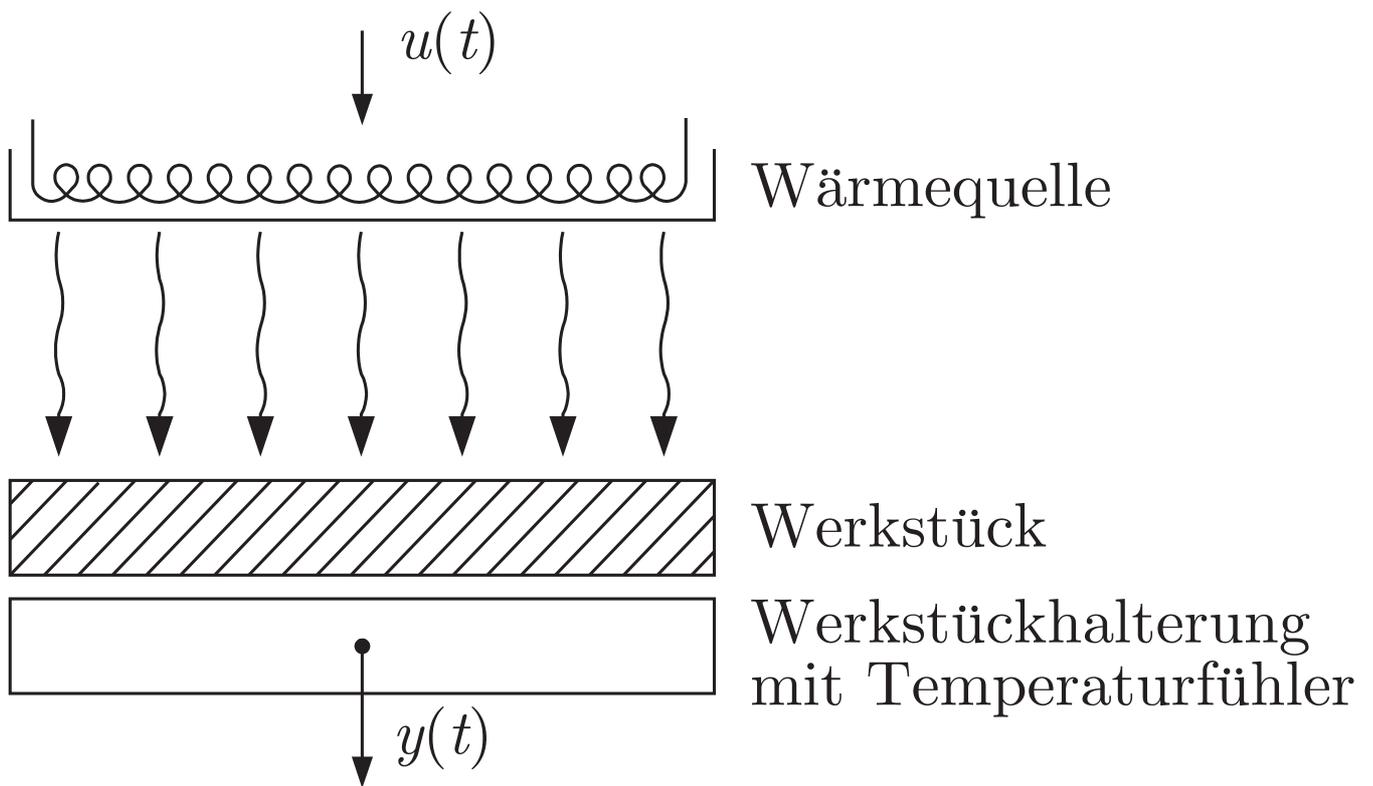


Abb. 5.2: Erwärmung eines Werkstücks in einem Industrieofen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

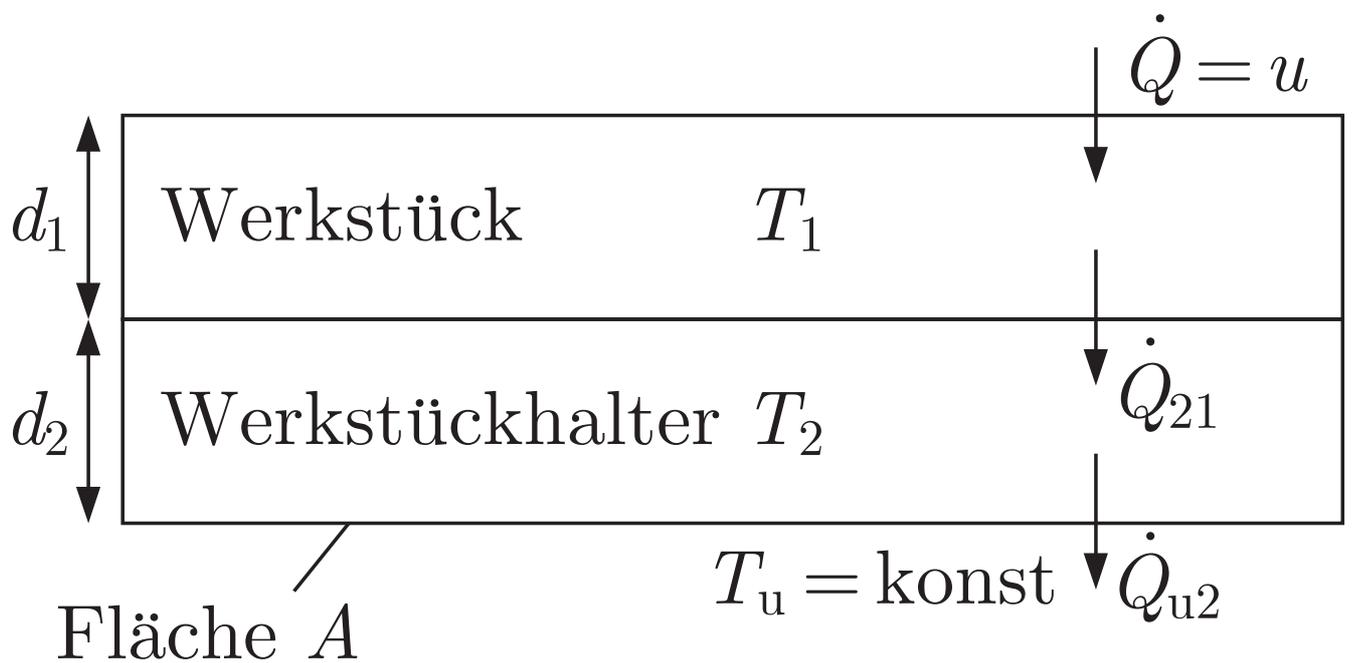


Abb. 5.3: Modellansatz zur Beschreibung des Industrieofens

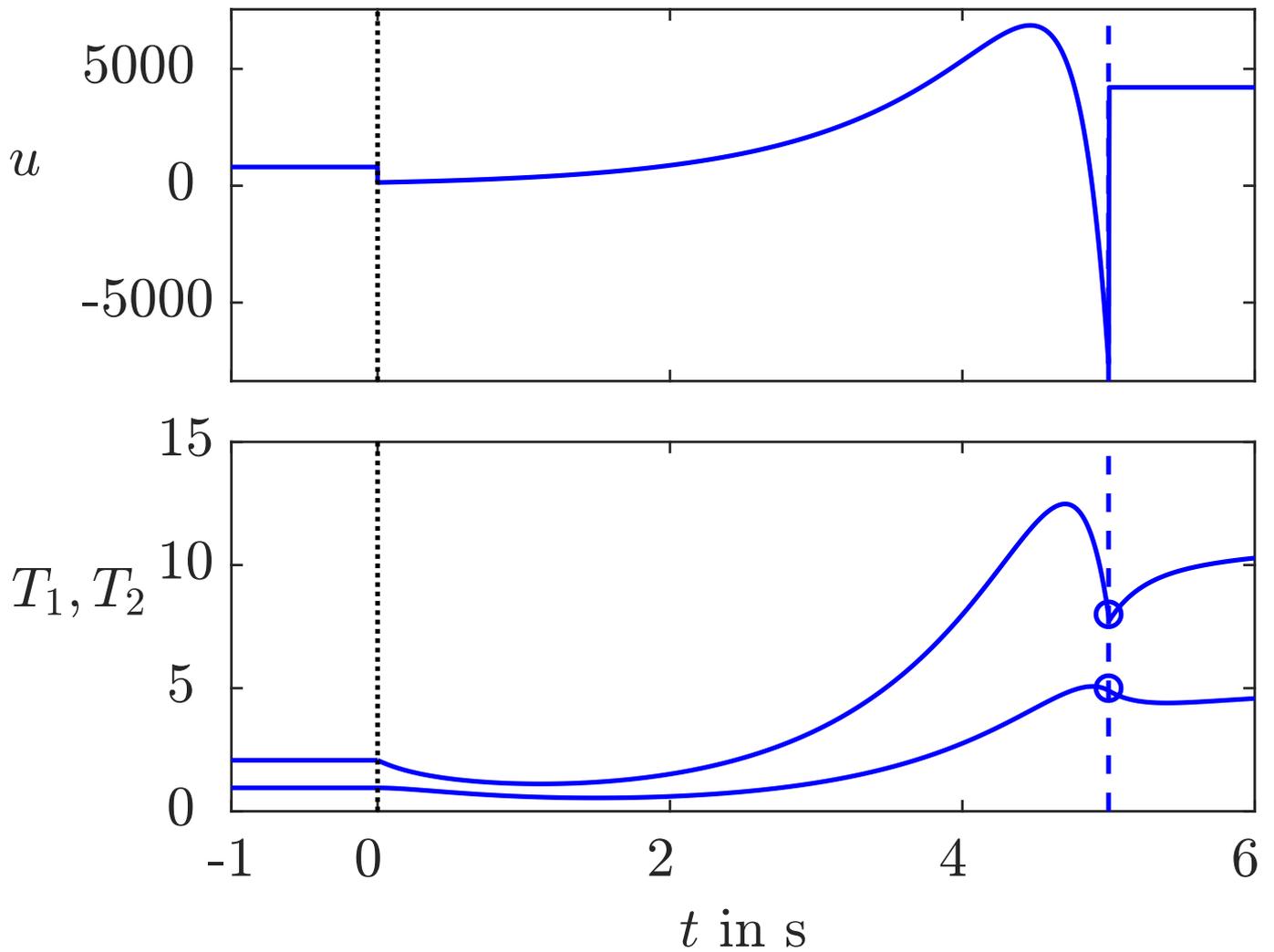


Abb. 5.4: Steuerung des Industrieofens von $x_0 = (2,07 \ 0,95)^T$ nach $x_e = (8 \ 5)^T$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

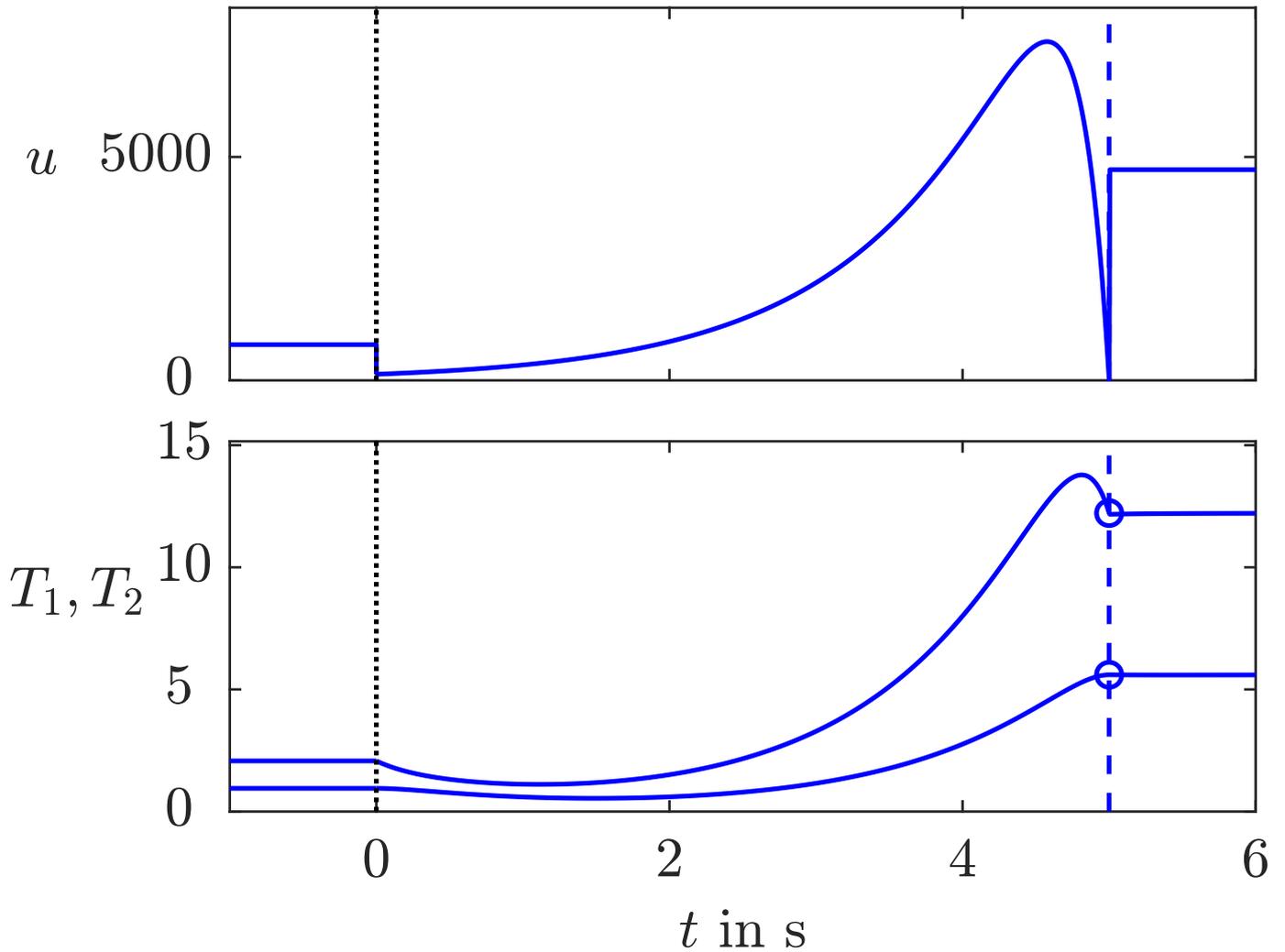


Abb. 5.4: Steuerung des Industrieofens von $x_0 = (2,07 \ 0,95)^T$
nach $x_e = (12,22 \ 5,6)^T$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

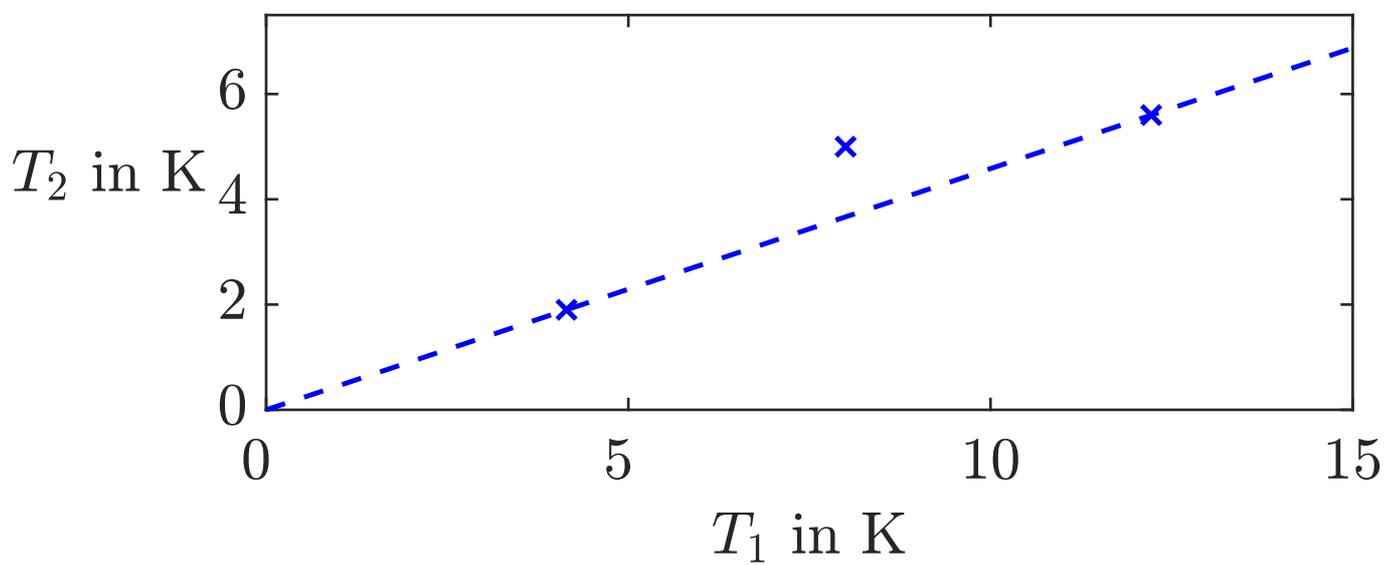


Abb. 5.5: Zustände, in denen der Ofen verharren kann

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

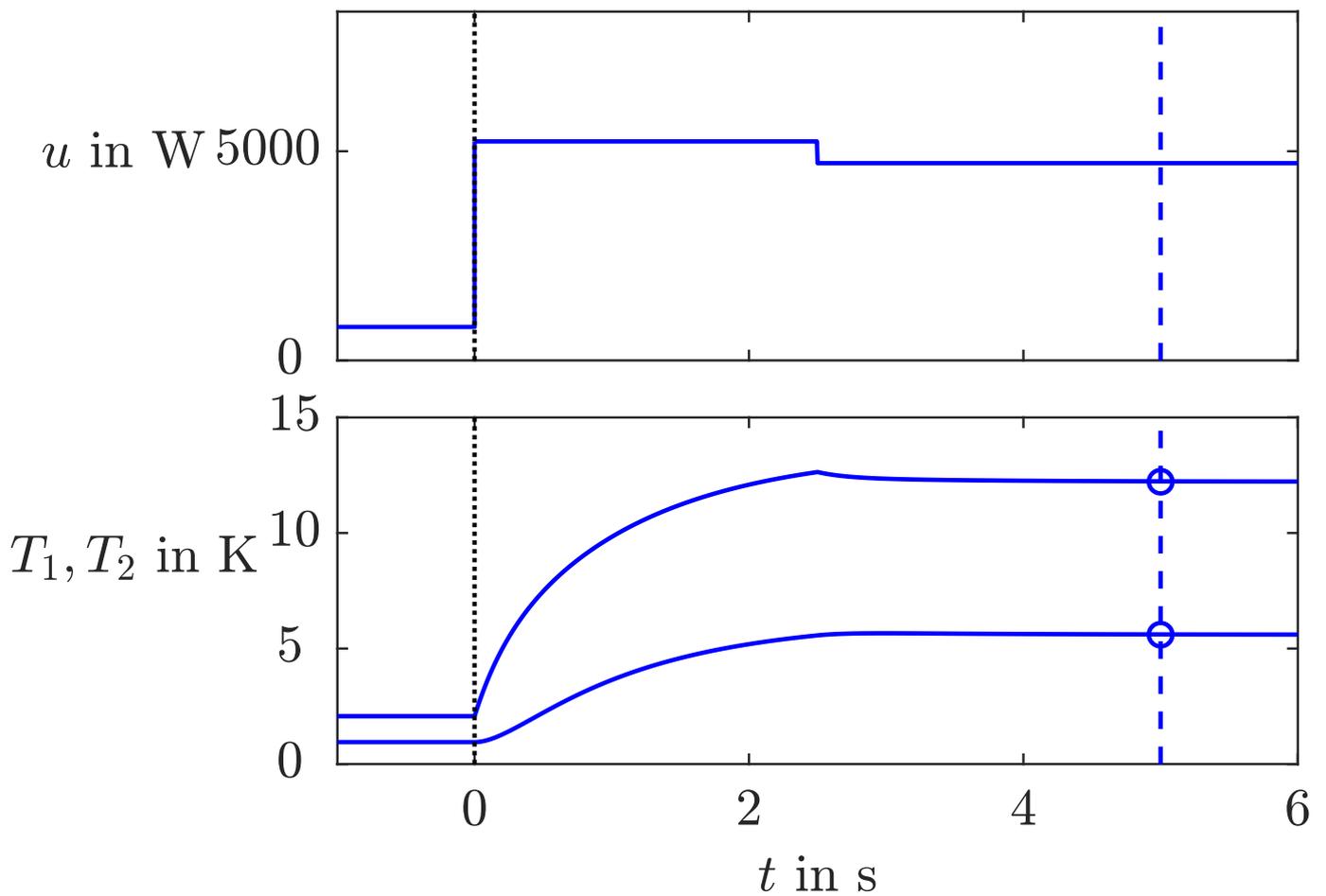


Abb. 5.6: Zweiter Stellgrößenverlauf zur Steuerung des Industrieofens von $x_0 = (2,07 \ 0,95)^T$ in $x_e = (12,22 \ 5,6)^T$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

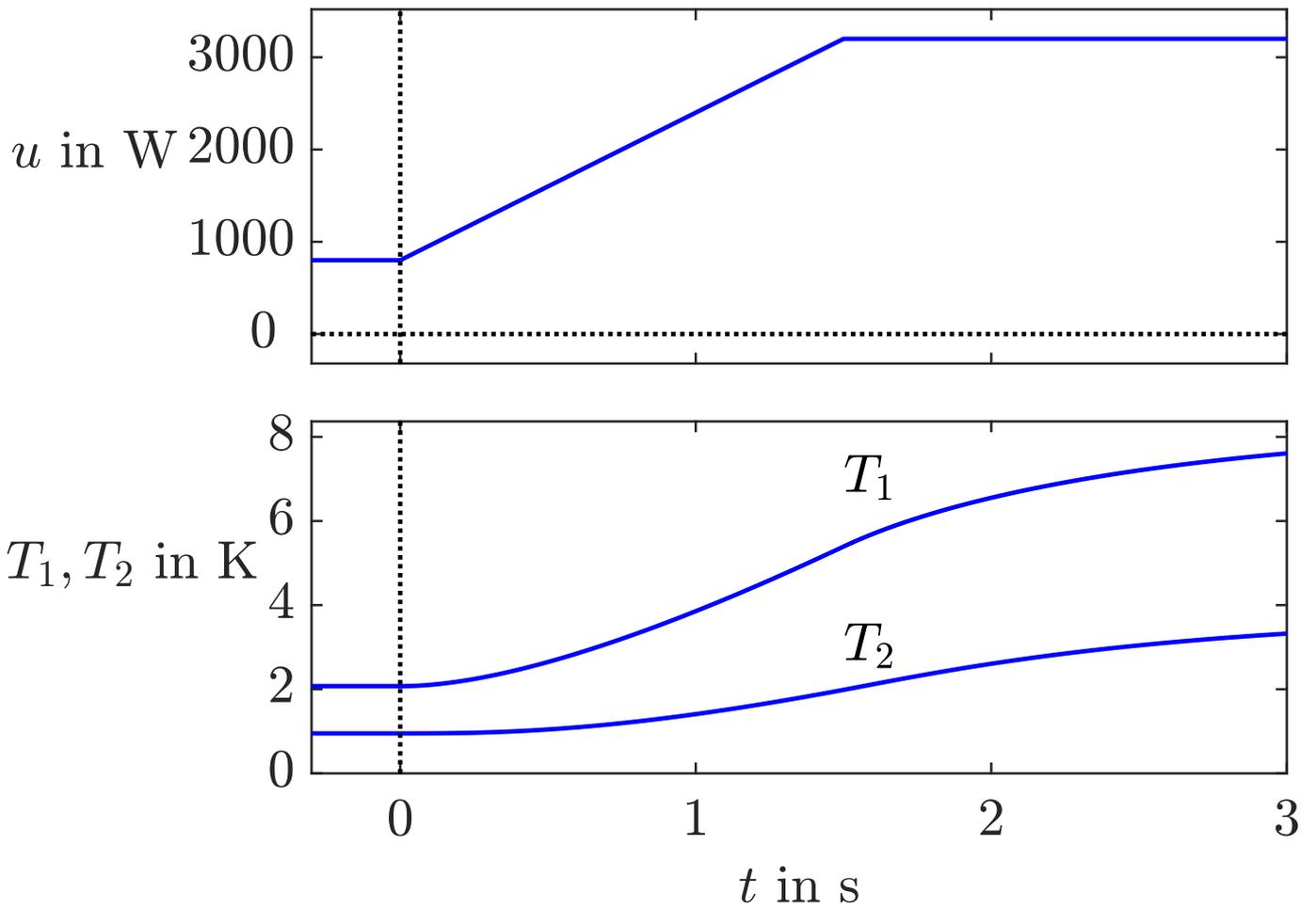


Abb. 5.7: Verhalten des Industrieofens bei ansteigender Heizleistung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

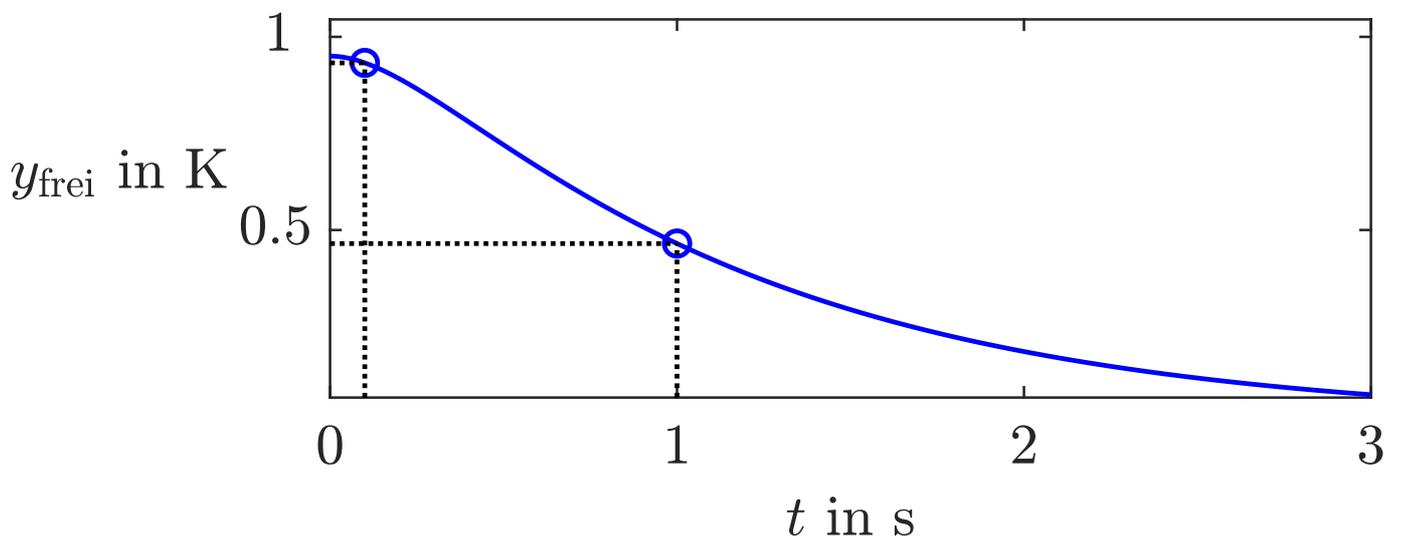


Abb. 5.8: Eigenbewegung des Industrieofens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

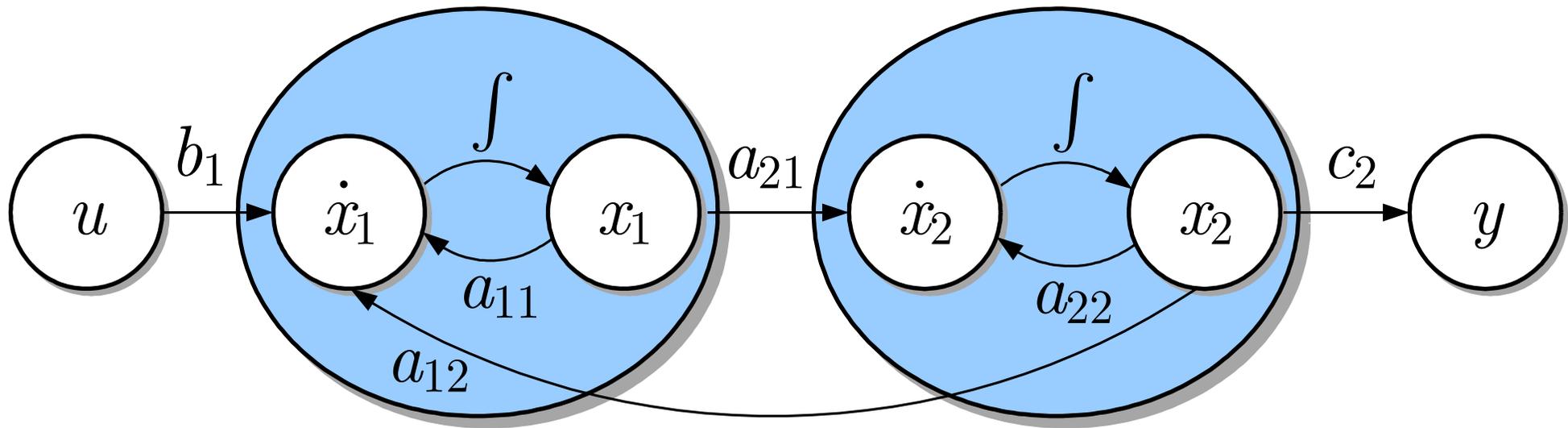


Abb. 5.9. Signalflussgraph des Industrieofens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

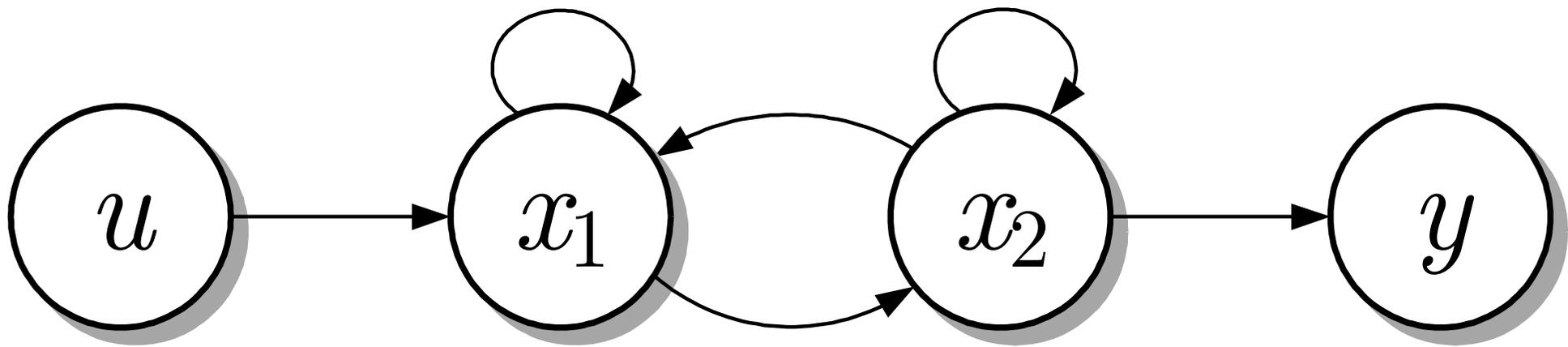


Abb. 5.10. Strukturgraph des Industrieofens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

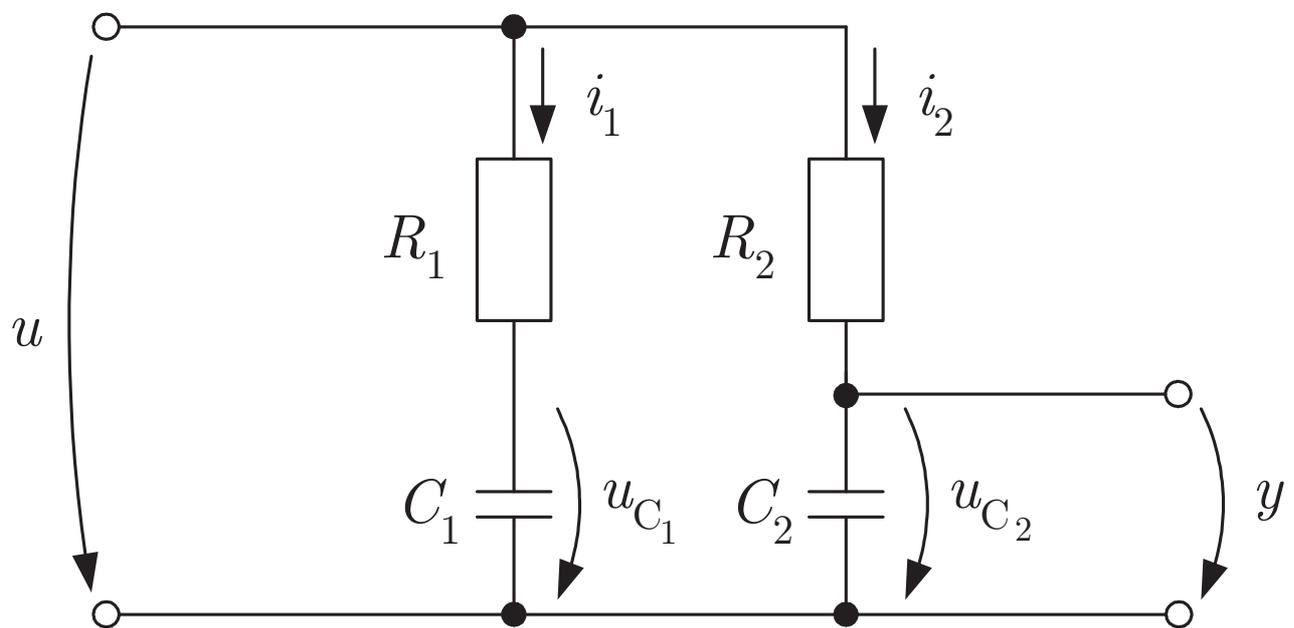


Abb. 5.11: RC-Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

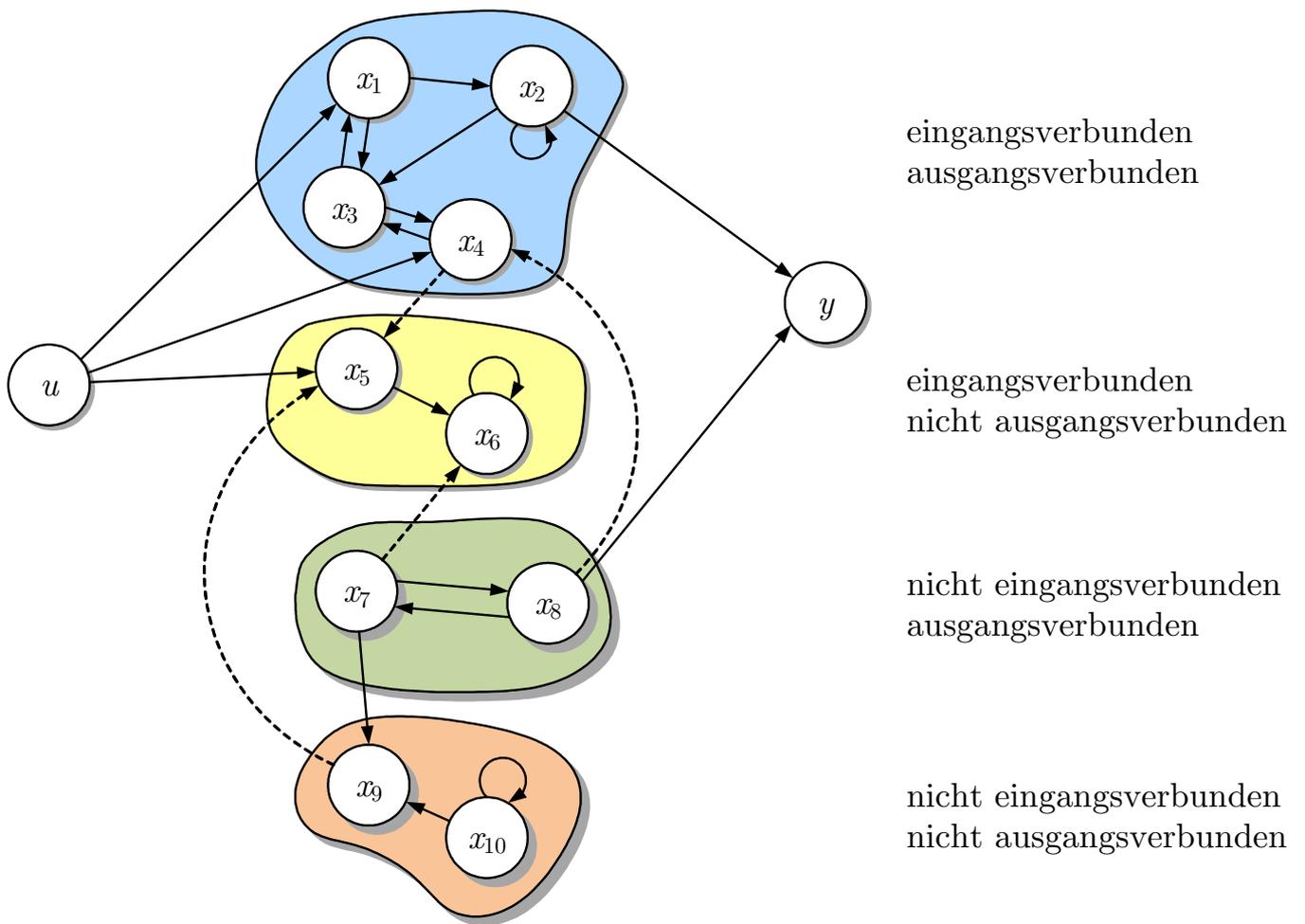


Abb. 5.12: Strukturelle Zerlegung eines Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

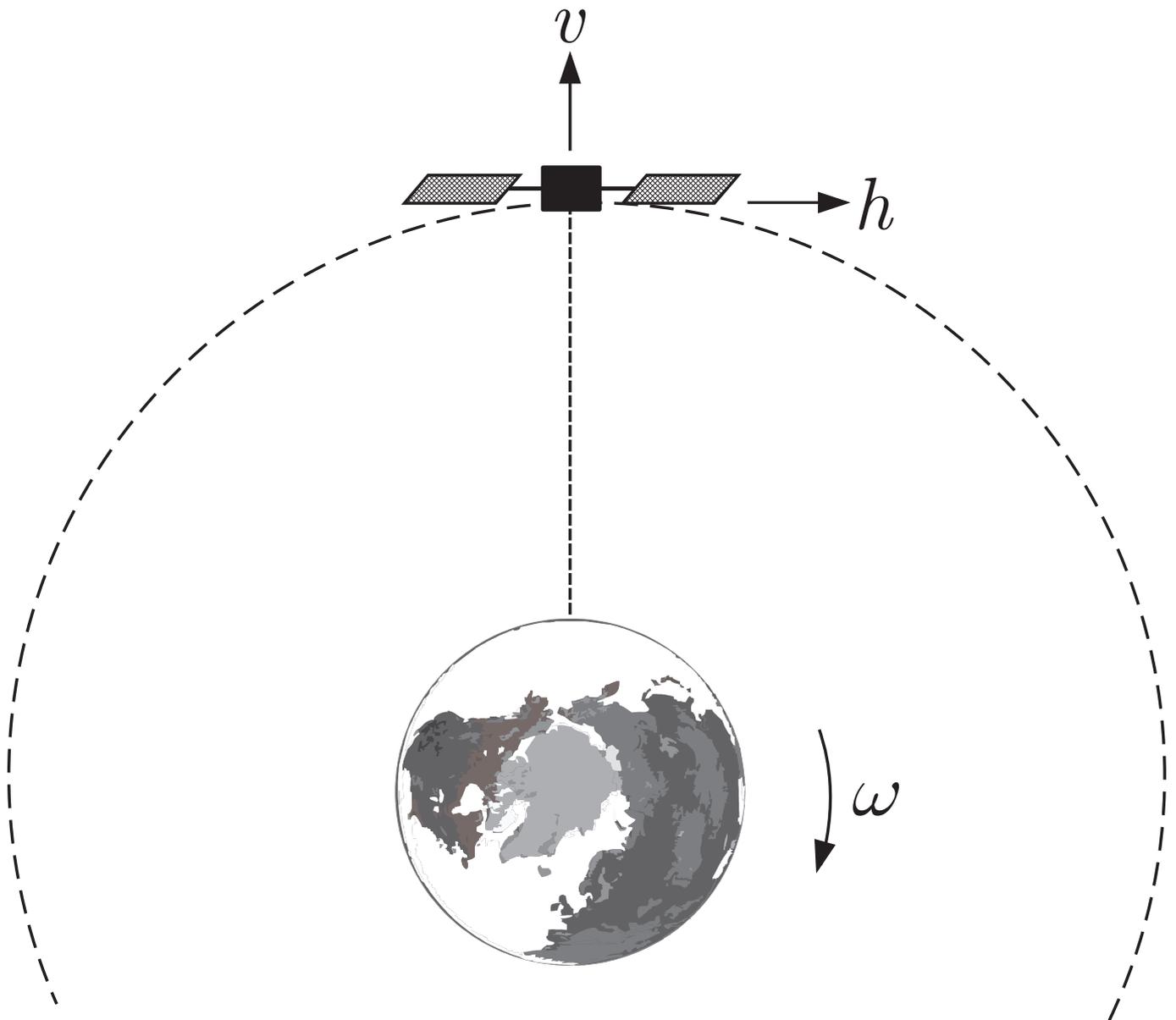


Abb. 5.13: Satellit über der Beobachtungsstation

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

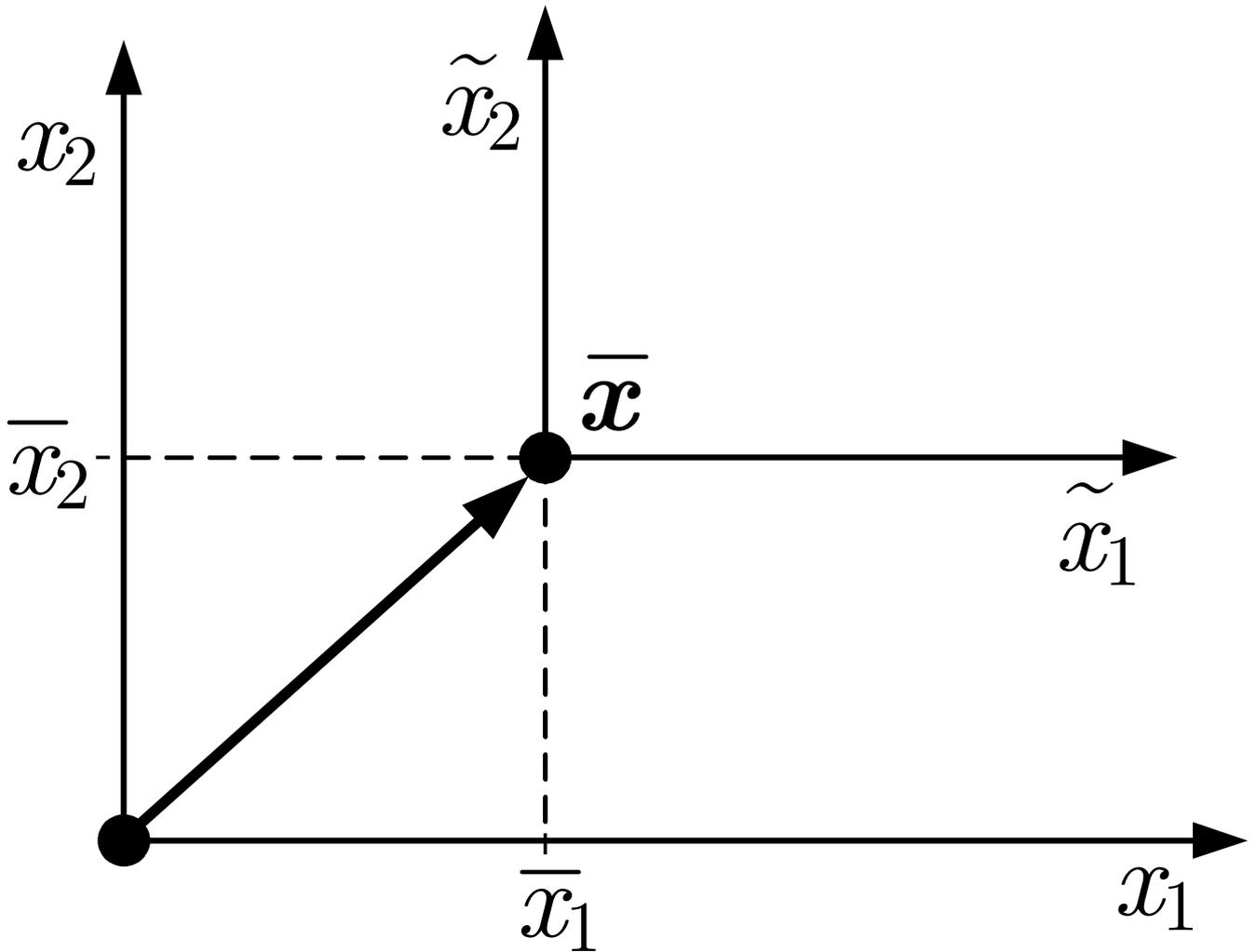


Abb. 6.1: Verschiebung des Arbeitspunkts in den Nullpunkt des Zustandsraumes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

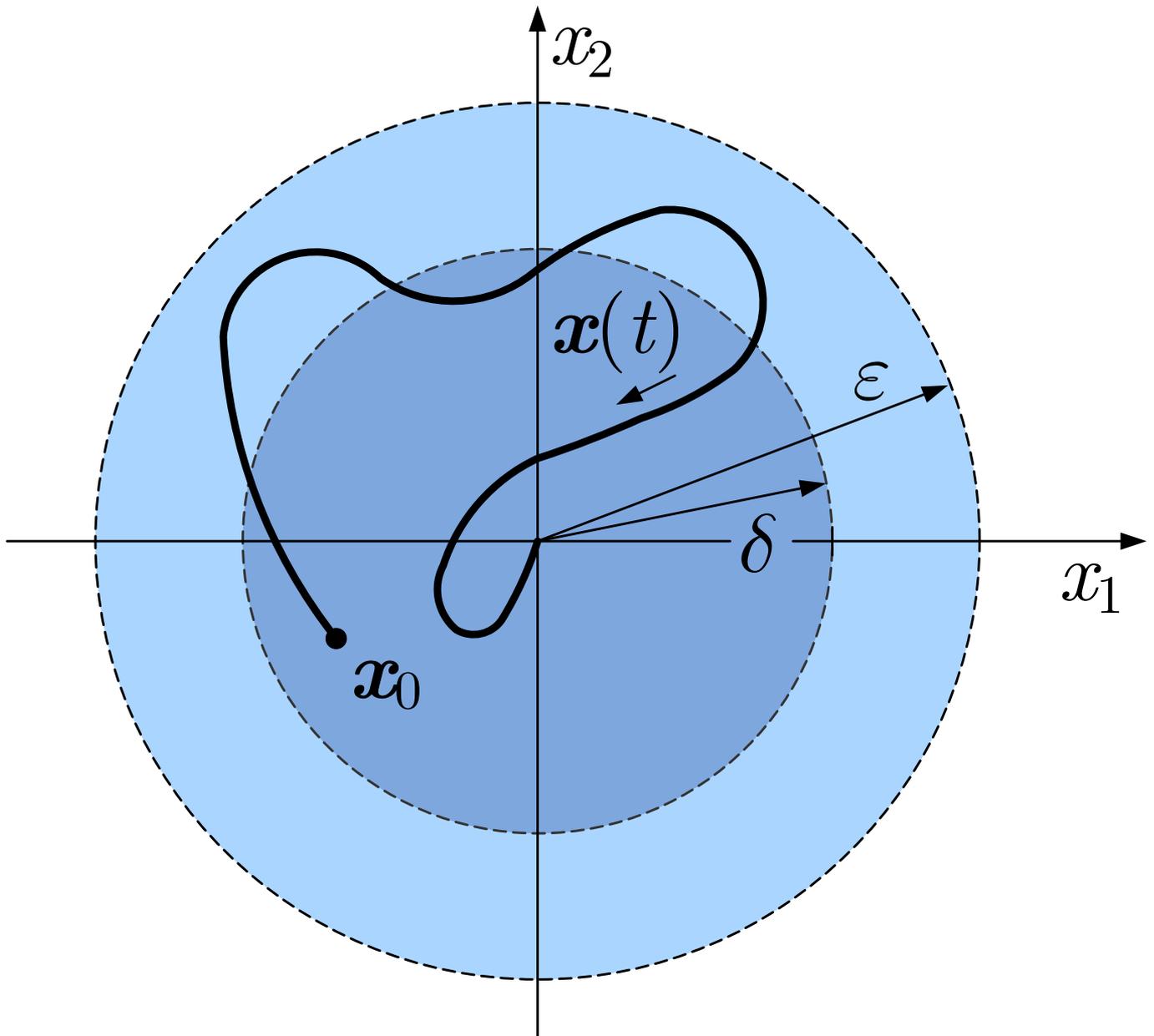


Abb. 6.2: Trajektorie eines asymptotisch stabilen Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

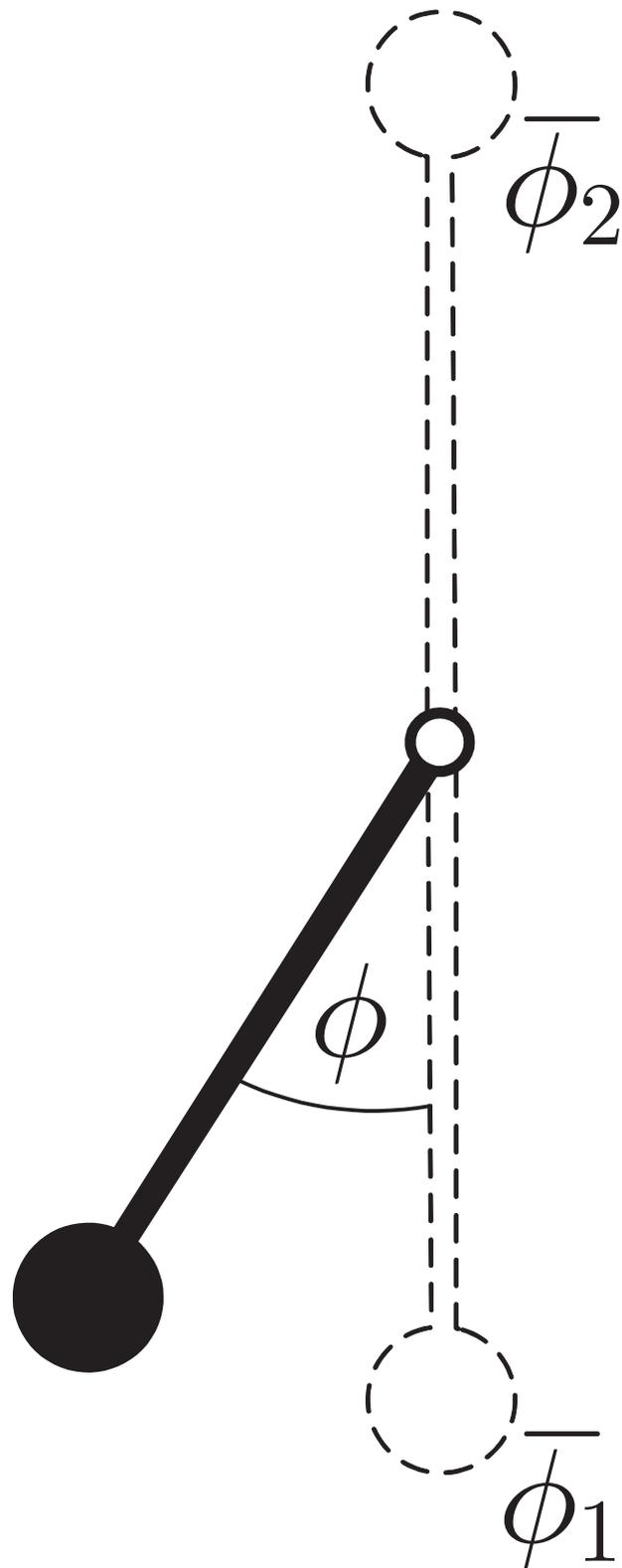


Abb. 6.3. Pendel mit zwei Ruhelagen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

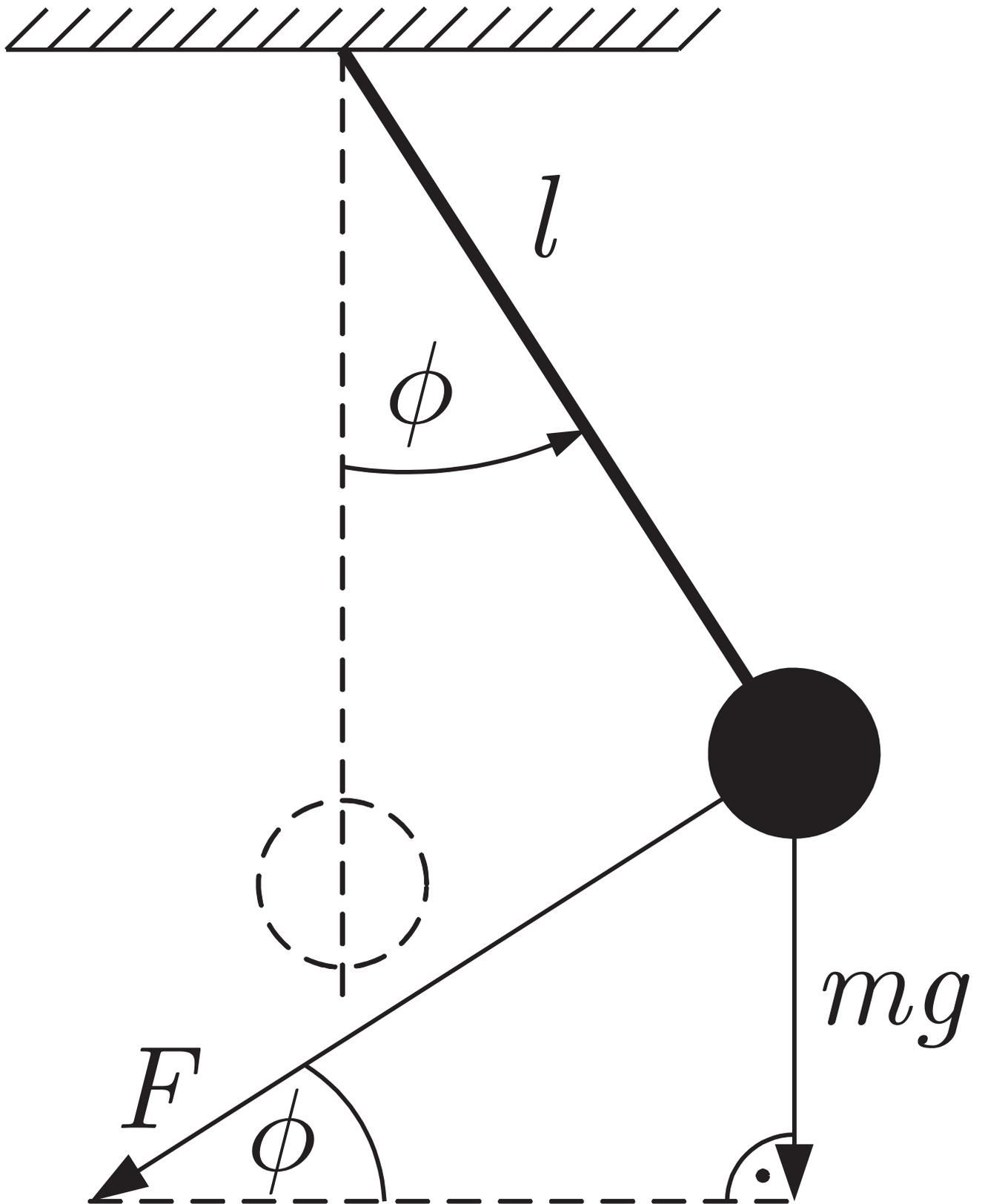


Abb. 6.4. Pendel mit dem für die Modellbildung wichtigen Kräfte-dreieck

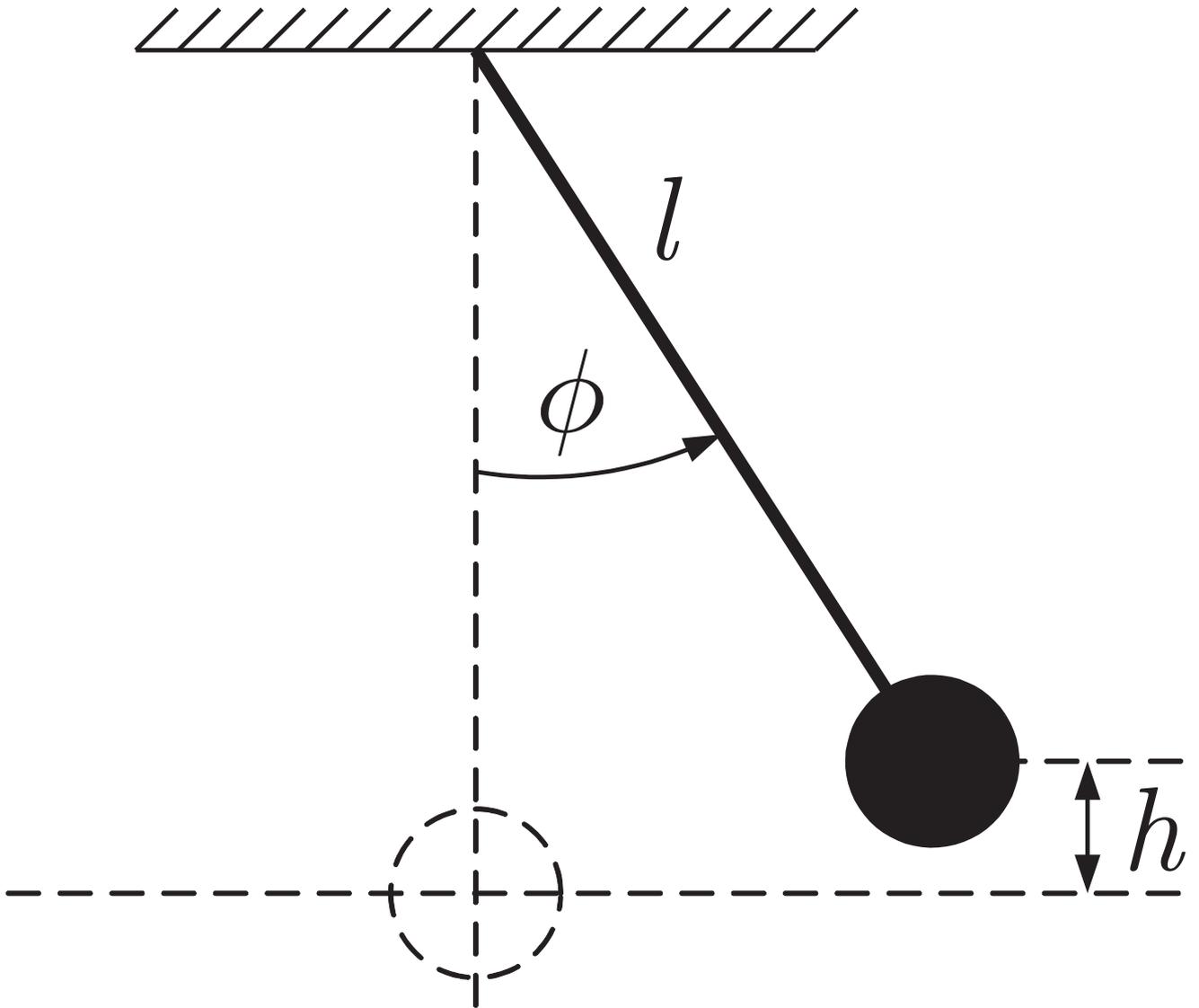


Abb. 6.5: Pendel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

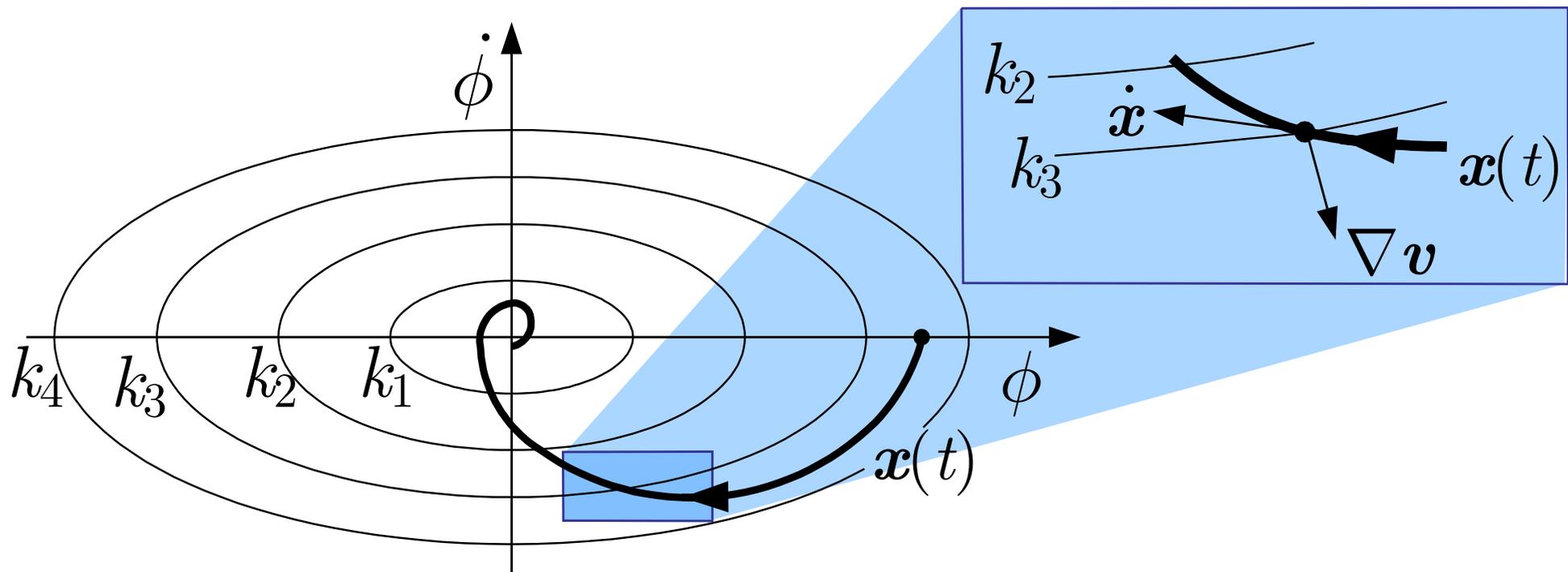


Abb. 6.6. Veranschaulichung der Stabilitätsprüfung unter Verwendung einer Ljapunowfunktion

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

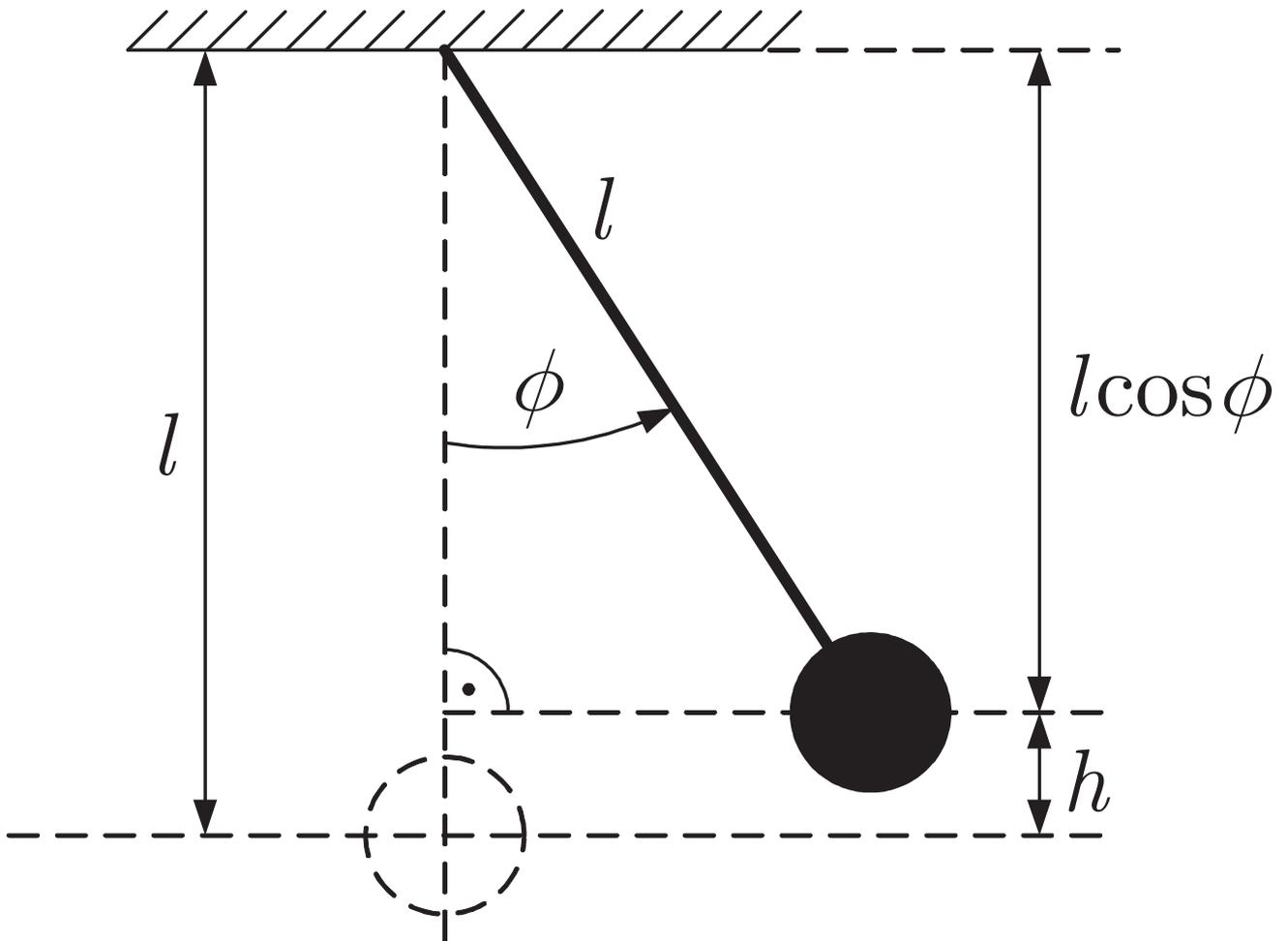


Abb. 6.7: Pendel mit den für die Bestimmung der potentiellen Energie maßgebenden Größen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

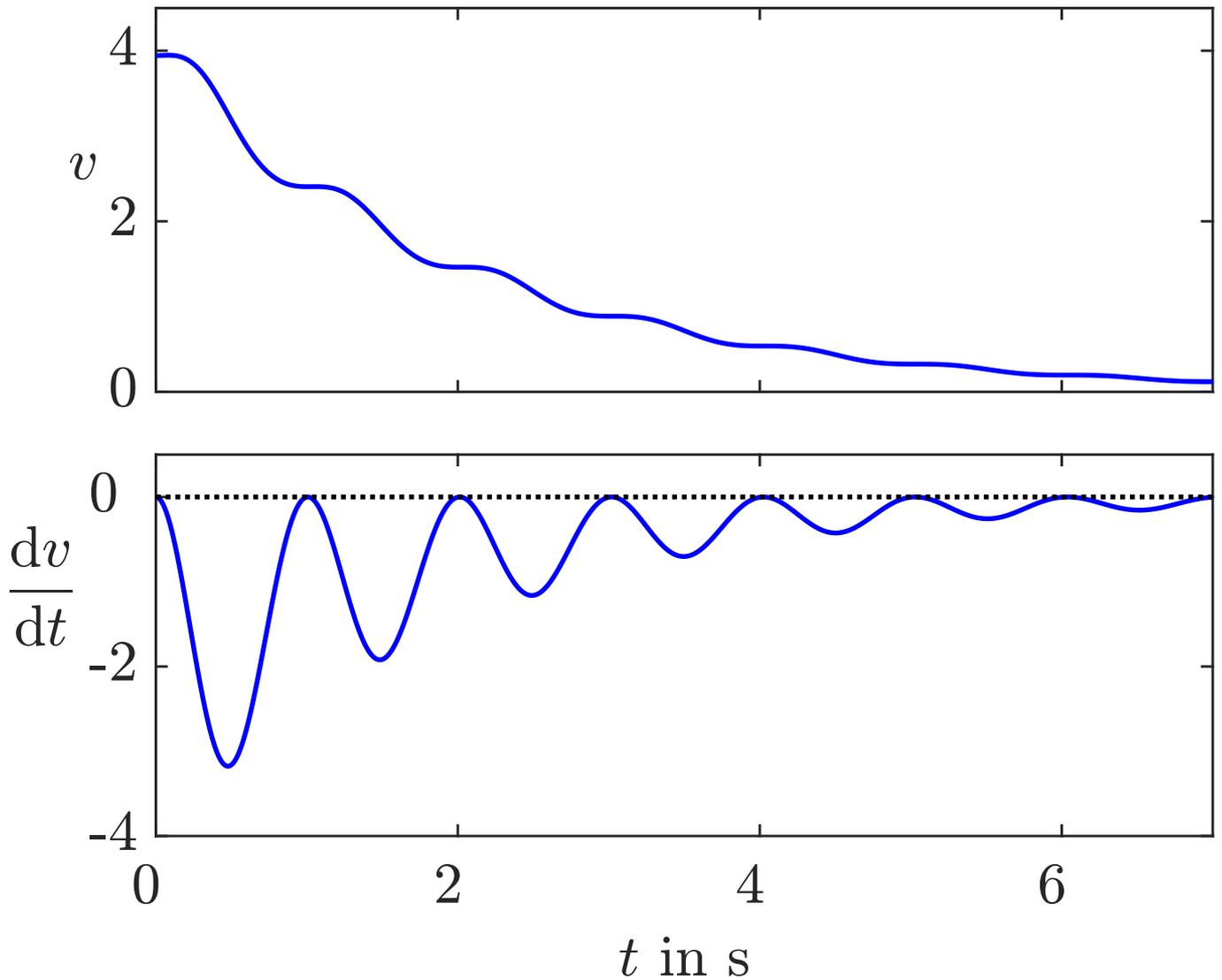


Abb. 6.8: Verhalten der Ljapunowfunktion für das Pendel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

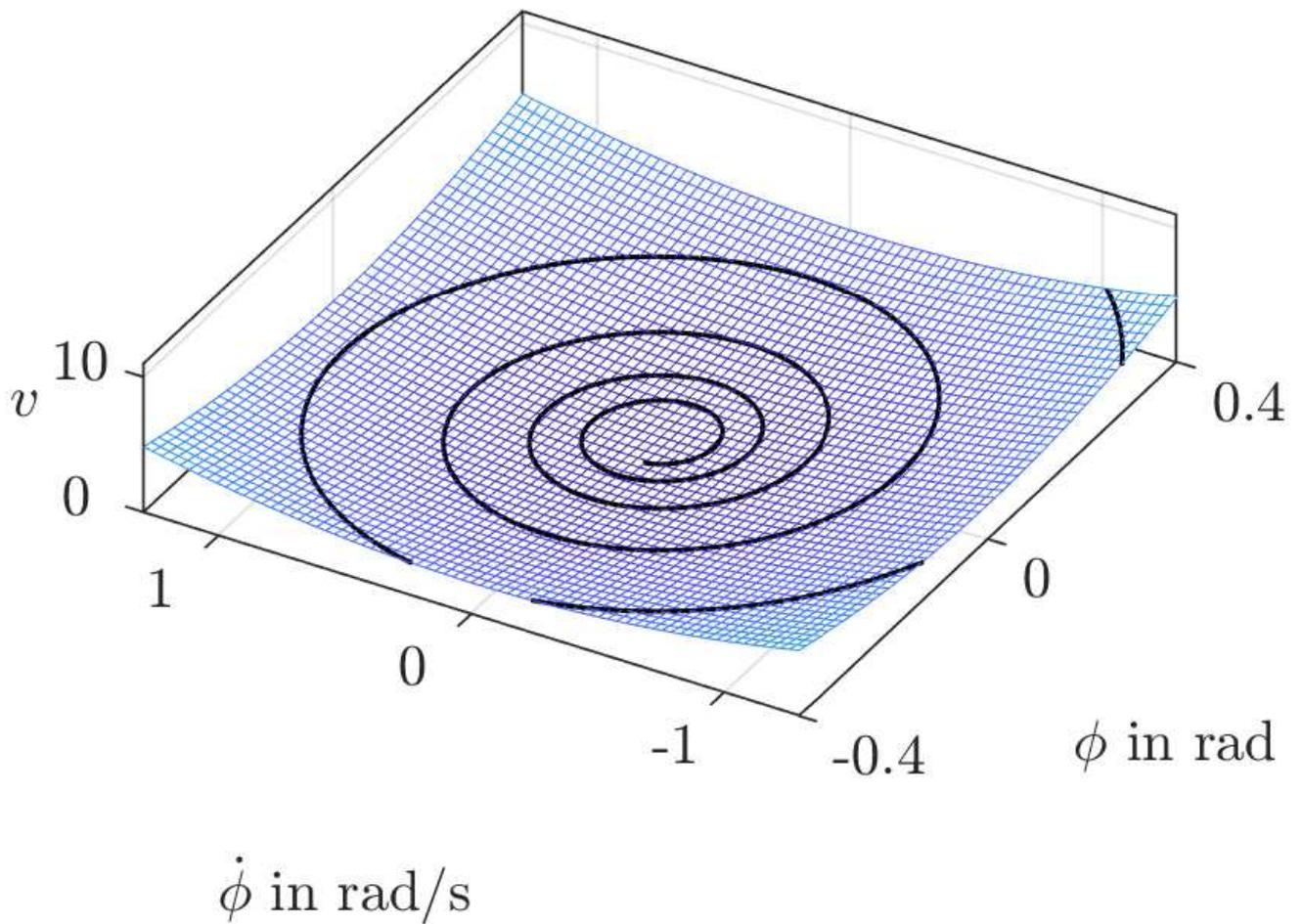


Abb. 6.9: Darstellung der Zustandstrajektorie des Pendels auf der durch die Ljapunowfunktion aufgespannten Oberfläche

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

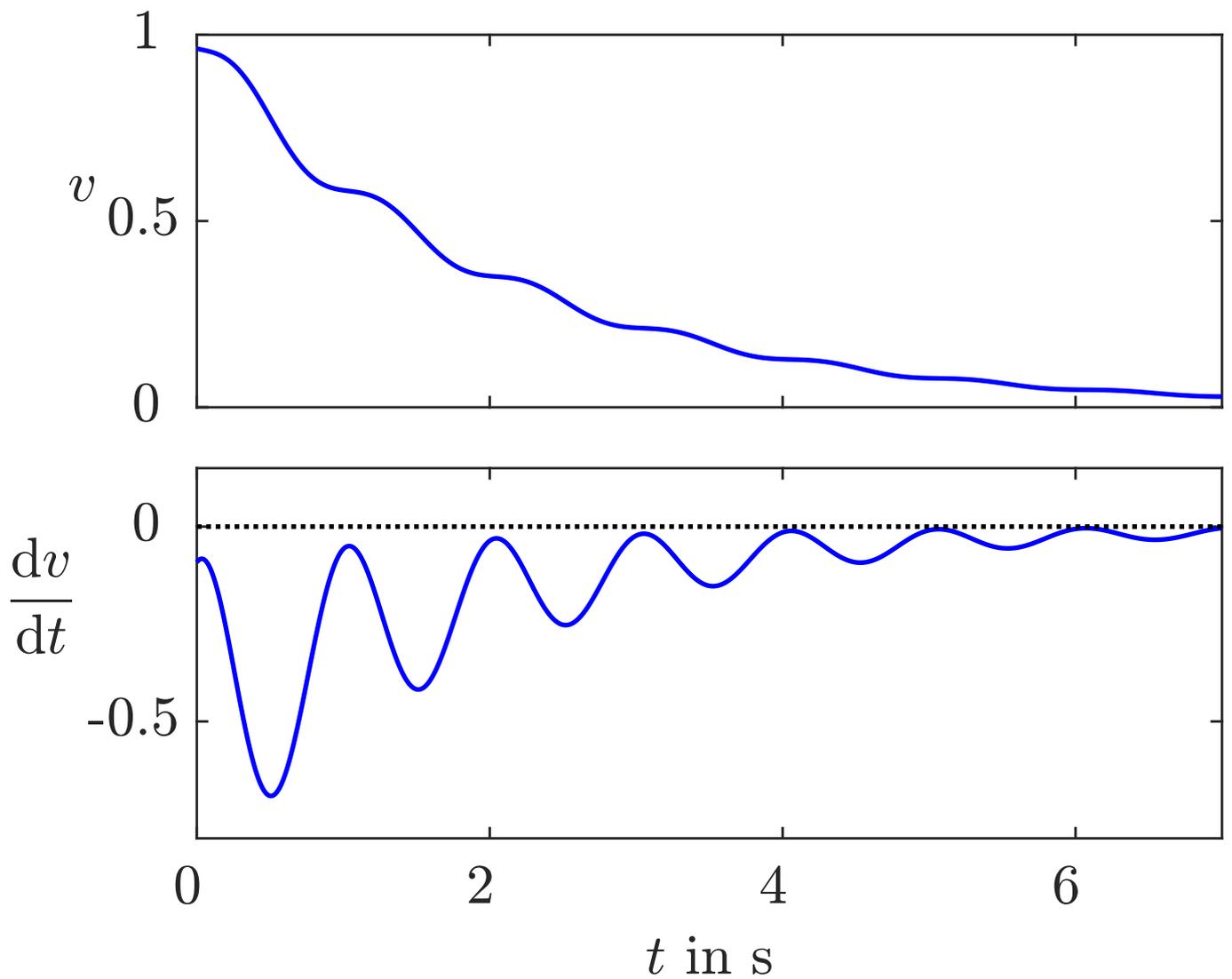


Abb. 6.10: Verhalten der Ljapunowfunktion für das Pendel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

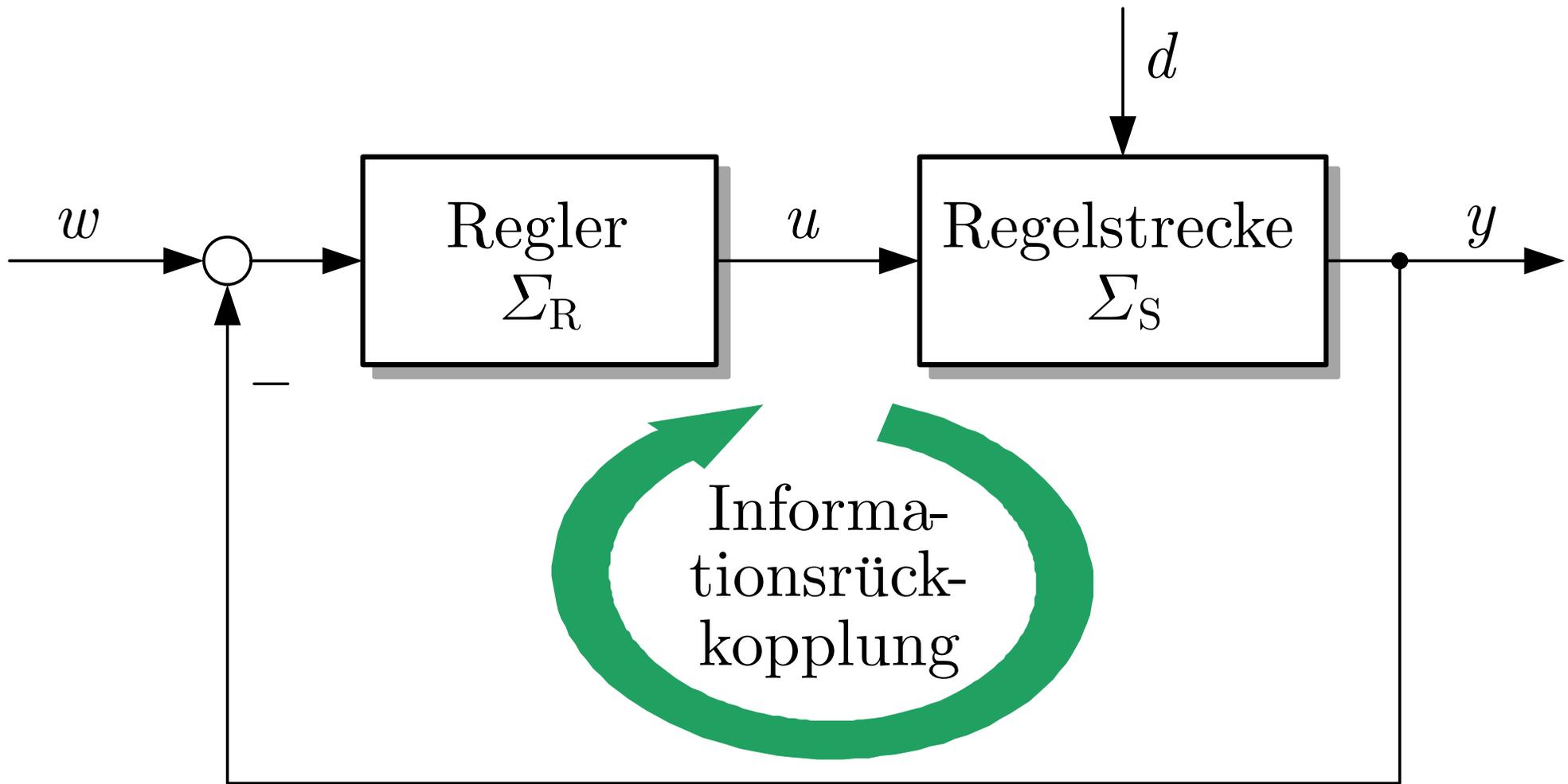


Abb. 6.11. Informationsrückkopplung im Regelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

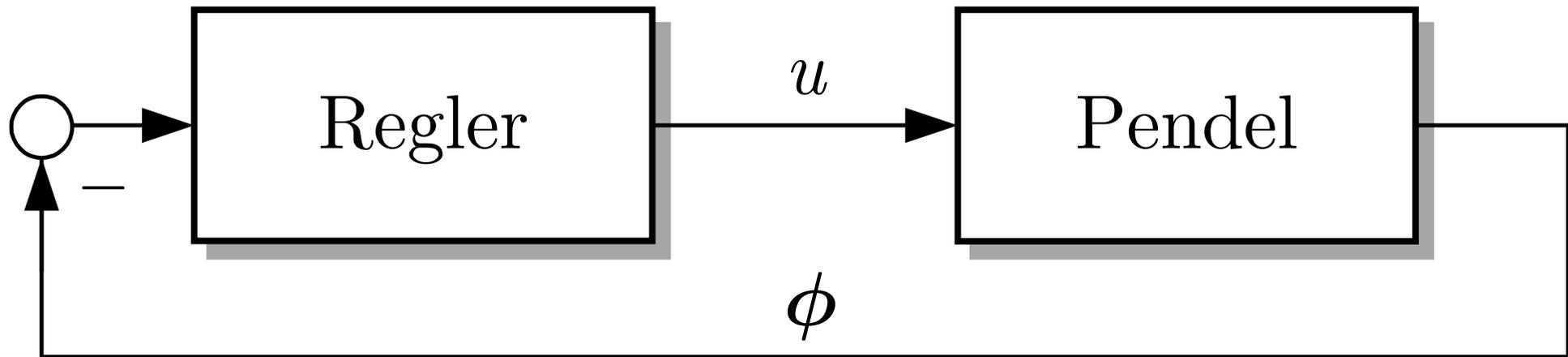


Abb. 6.12. Stabilisierung des invertierten Pendels durch eine Rückführung des Pendelwinkels ϕ

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

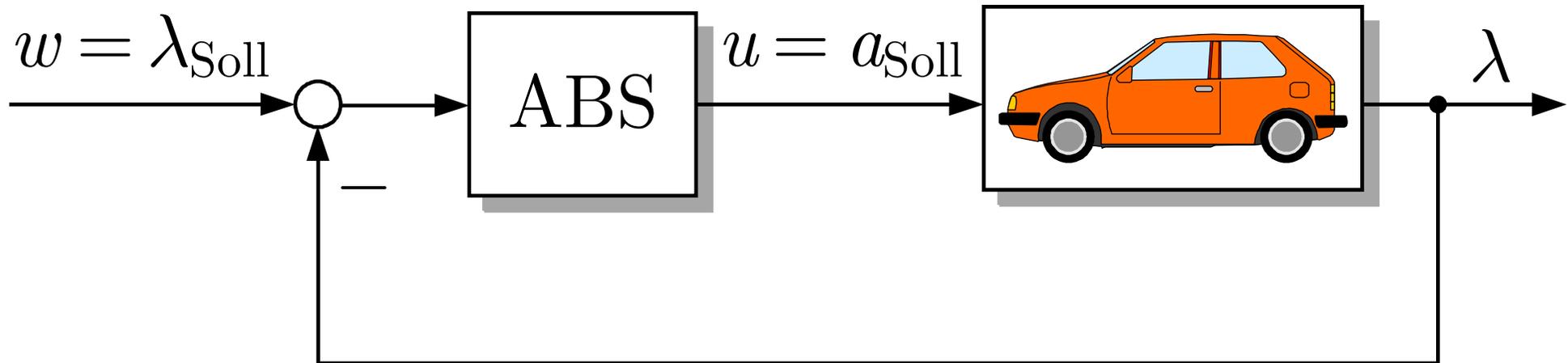


Abb. 6.13. Antiblockiersystem als Regler in einem Schlupfregelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

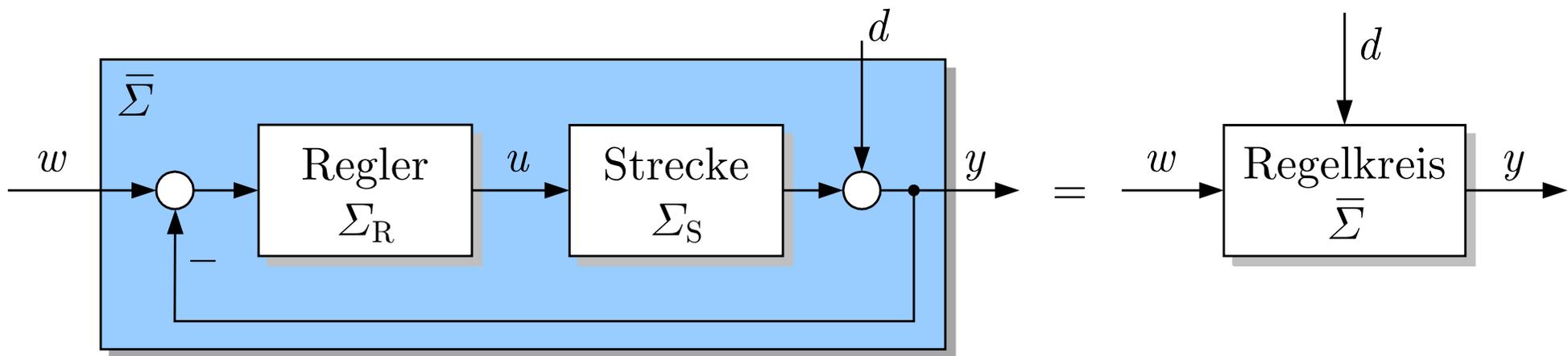


Abb. 7.1. Standardregelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

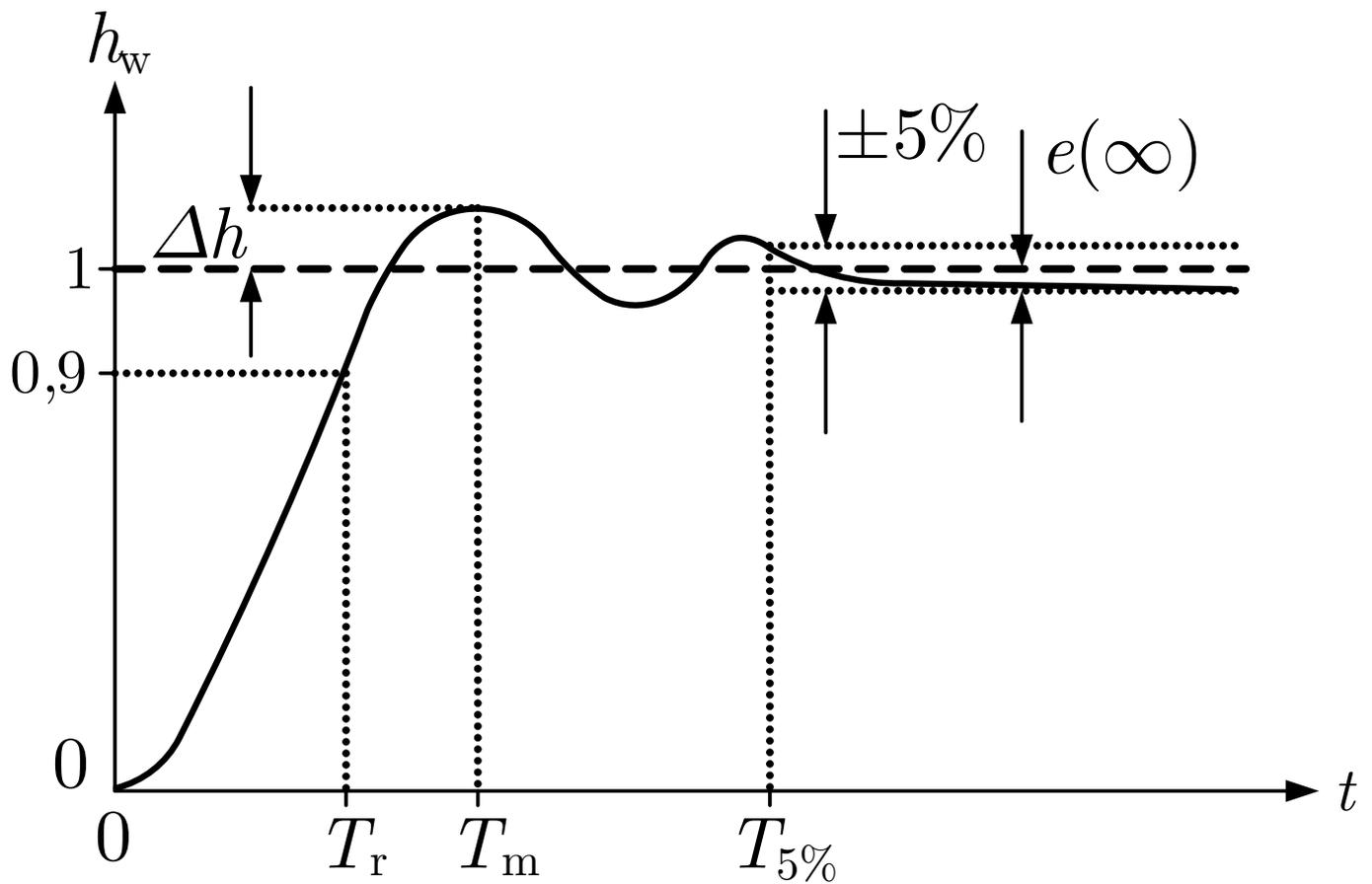


Abb. 7.2: Führungsübergangsfunktion des Regelkreises mit Kennzeichnung wichtiger Kennwerte

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

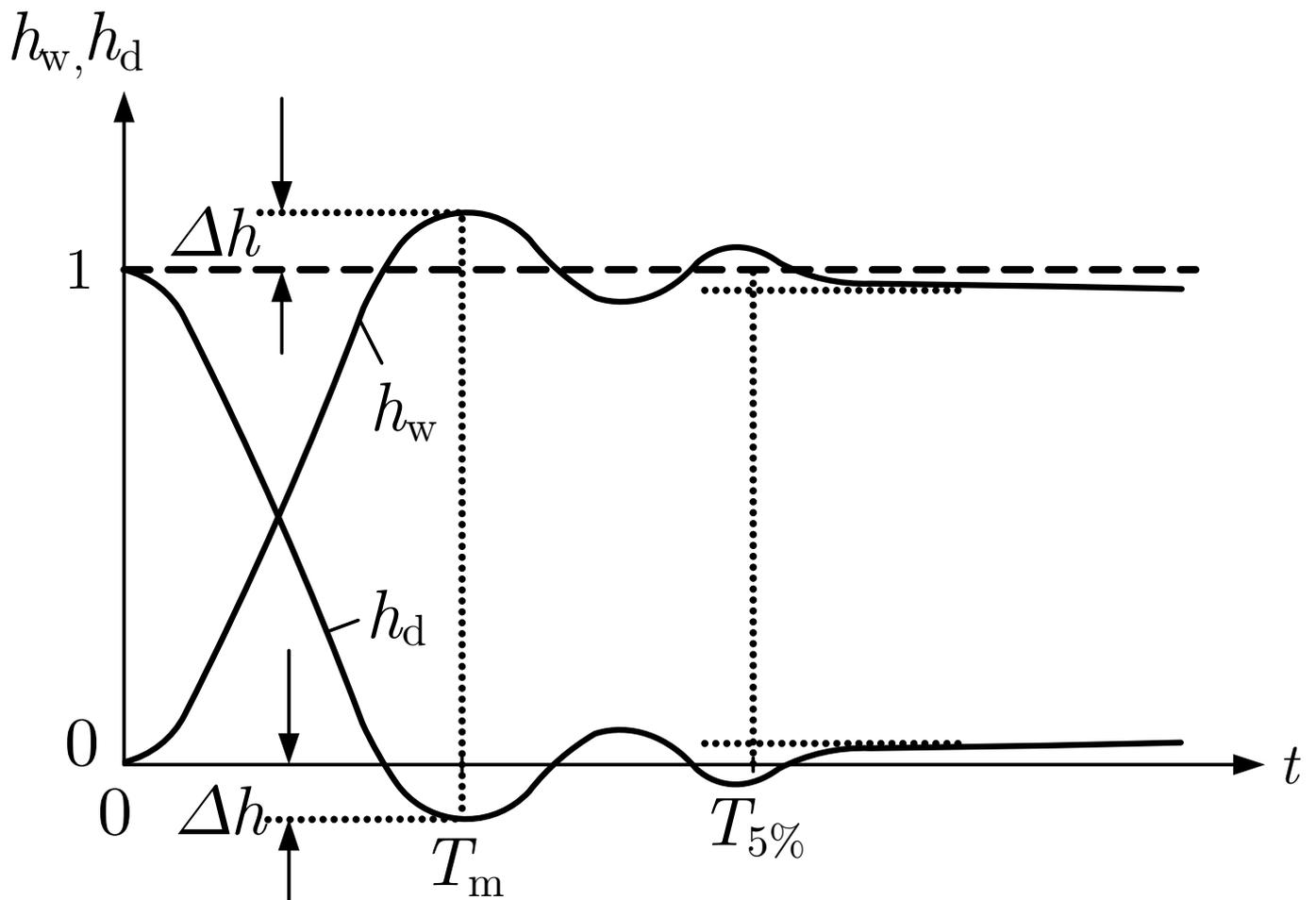


Abb. 7.3: Vergleich von Störübergangsfunktion und Führungsübergangsfunktion

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

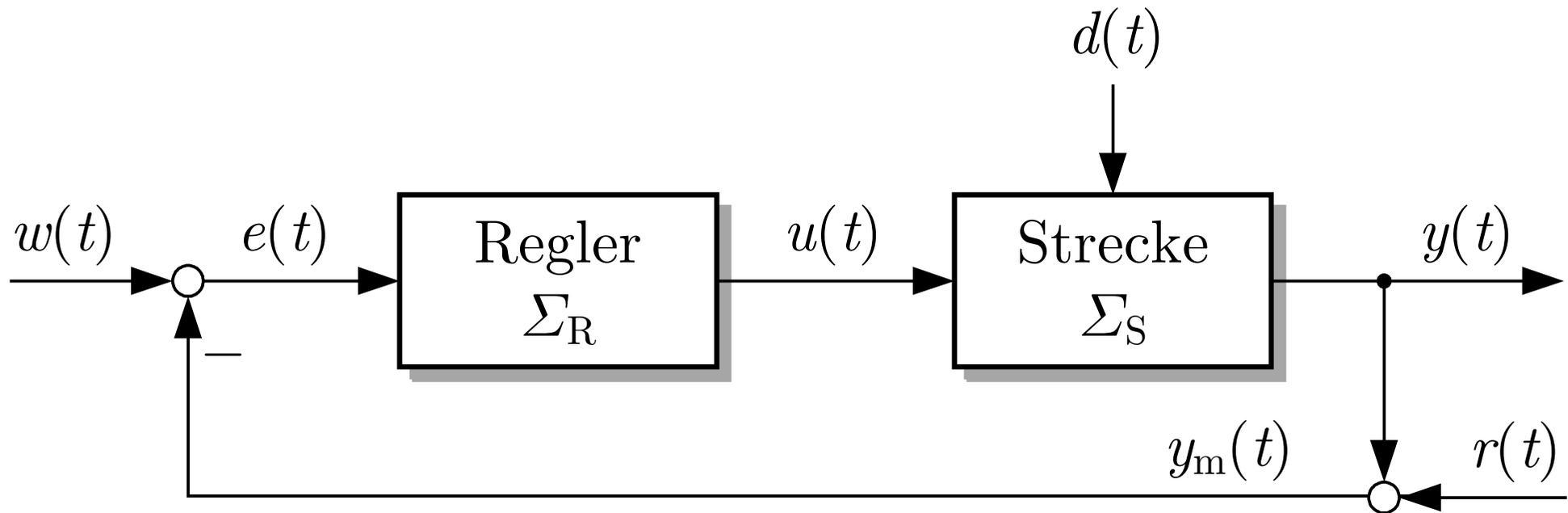


Abb. 7.4. Standardregelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

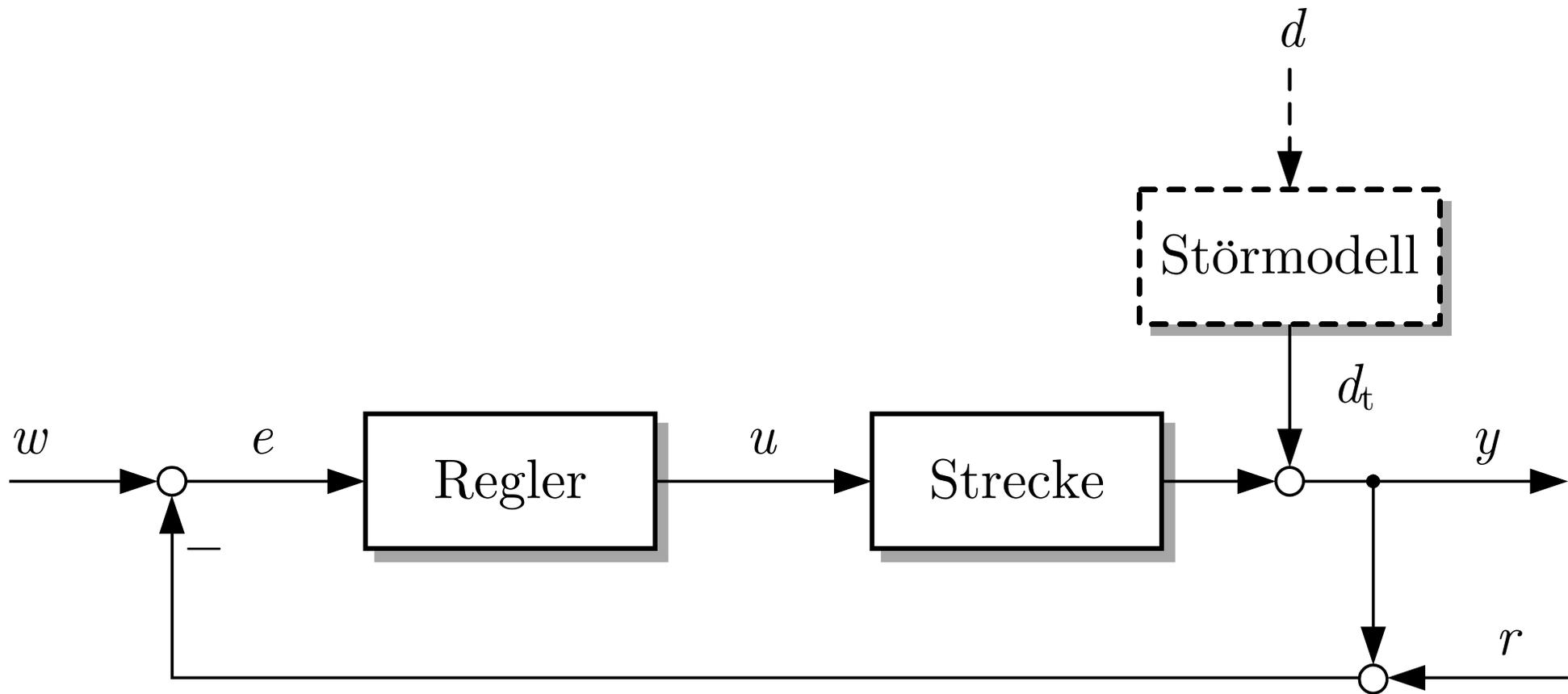


Abb. 7.5. Standardregelkreis mit an den Ausgang transformierter Störung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

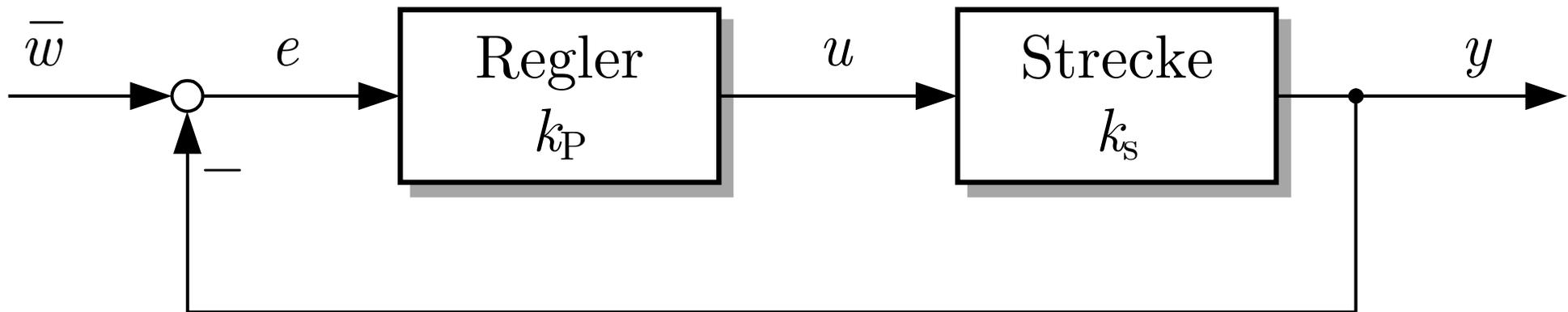


Abb. 7.6. Statisches Verhalten des ungestörten Regelkreises

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

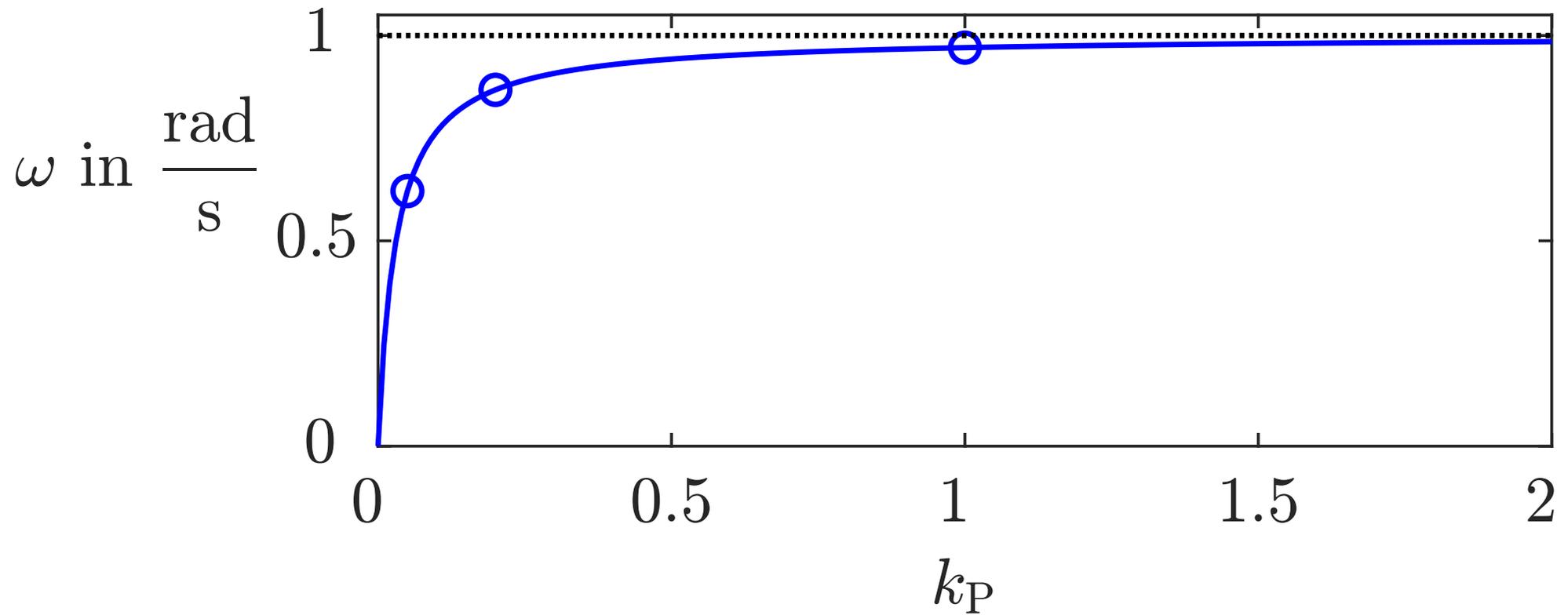


Abb. 7.7. Statischer Endwert $\omega(\infty)$ der Drehzahl beim Sollwert $\omega_{\text{Soll}} = 1$ für den proportional geregelten Gleichstrommotor mit dem Reglerparameter k_P

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

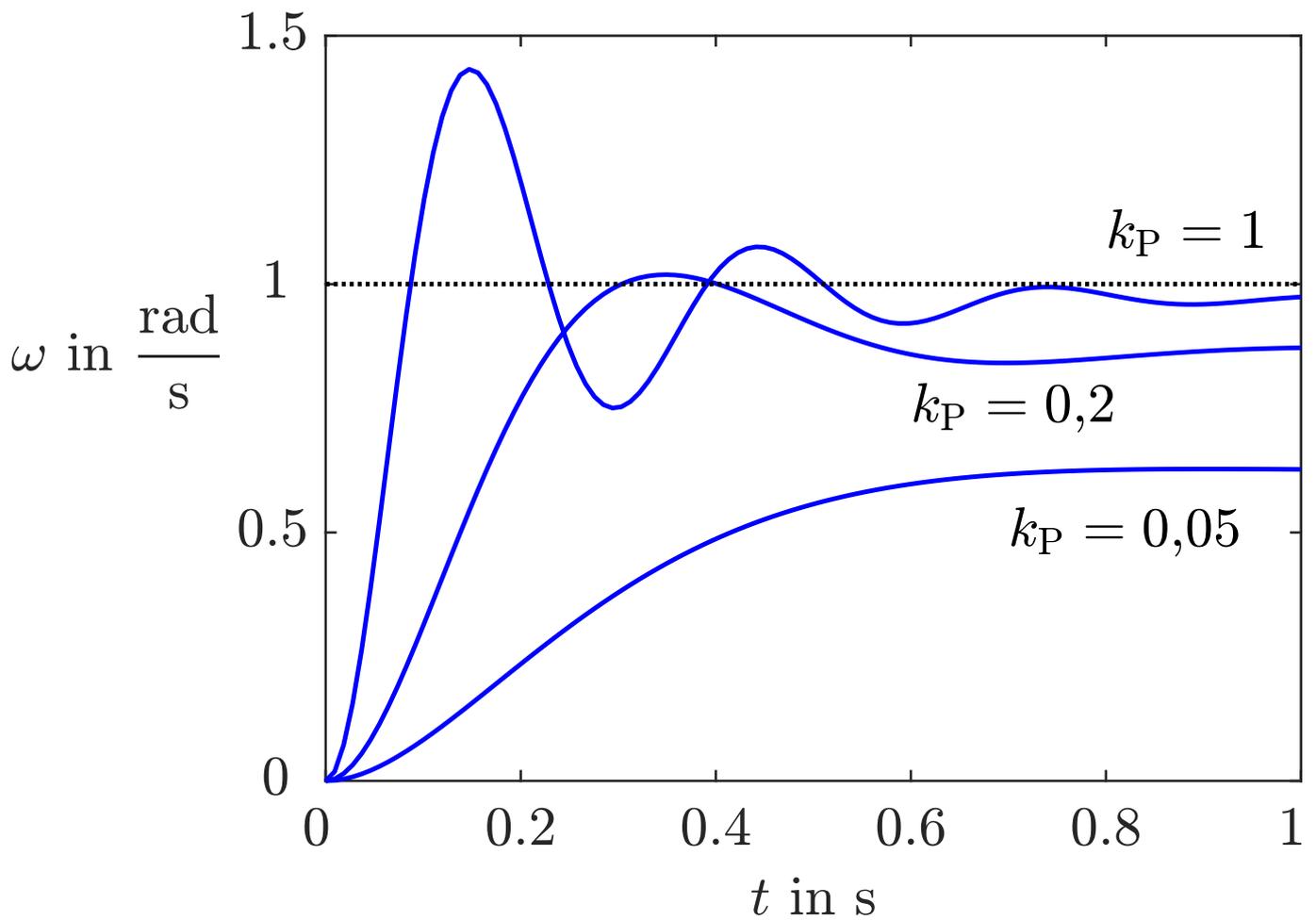


Abb. 7.8: Dynamisches Verhalten des Drehzahlregelkreises

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

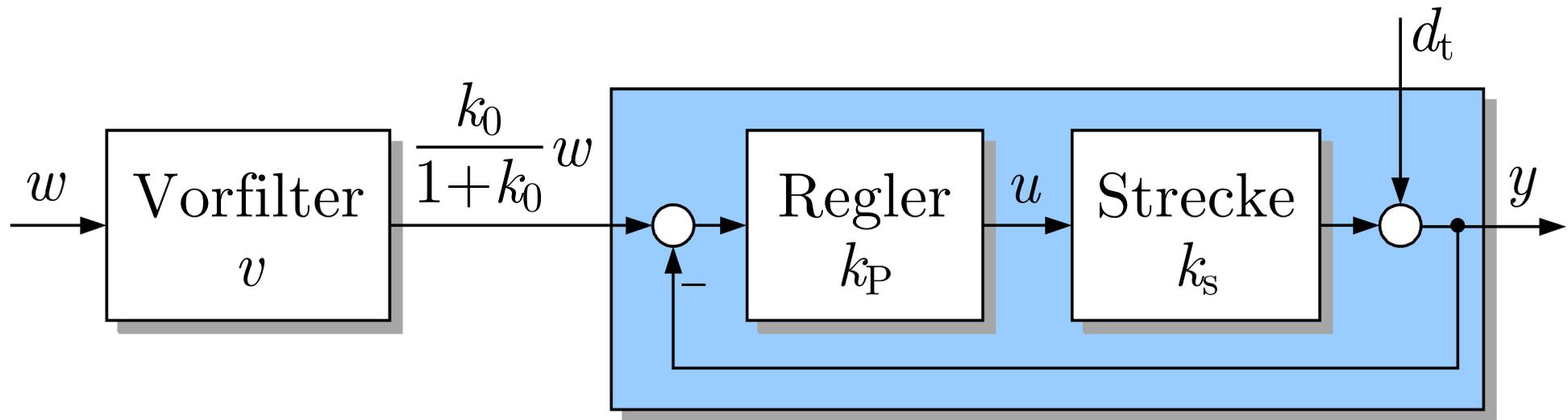


Abb. 7.9. Erweiterter Standardregelkreis mit Vorfilter

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

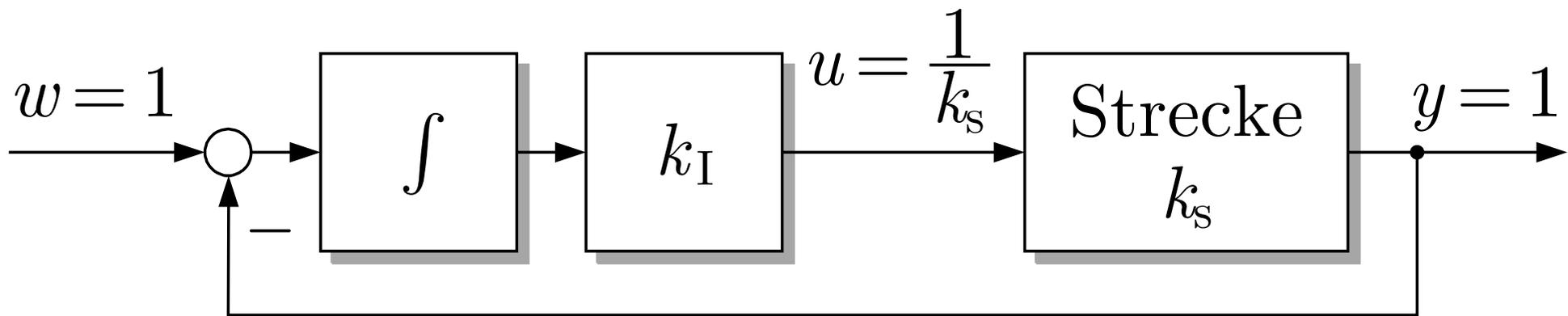


Abb. 7.10. Statisches Verhalten von Regelkreisen mit I-Regler für $\bar{w} = 1$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

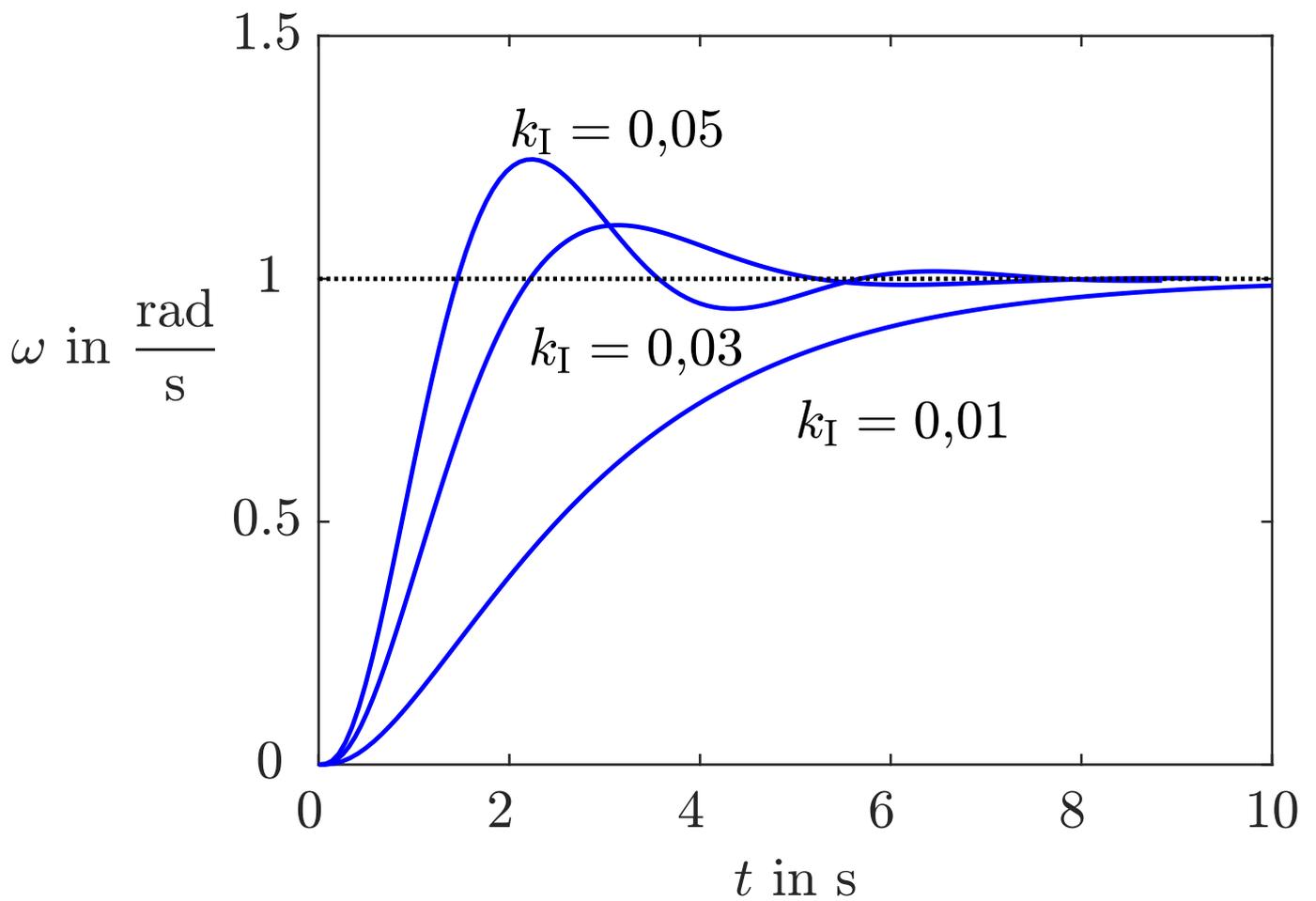


Abb. 7.11: Führungsübergangsfunktion des Drehzahlregelkreises mit I-Regler

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

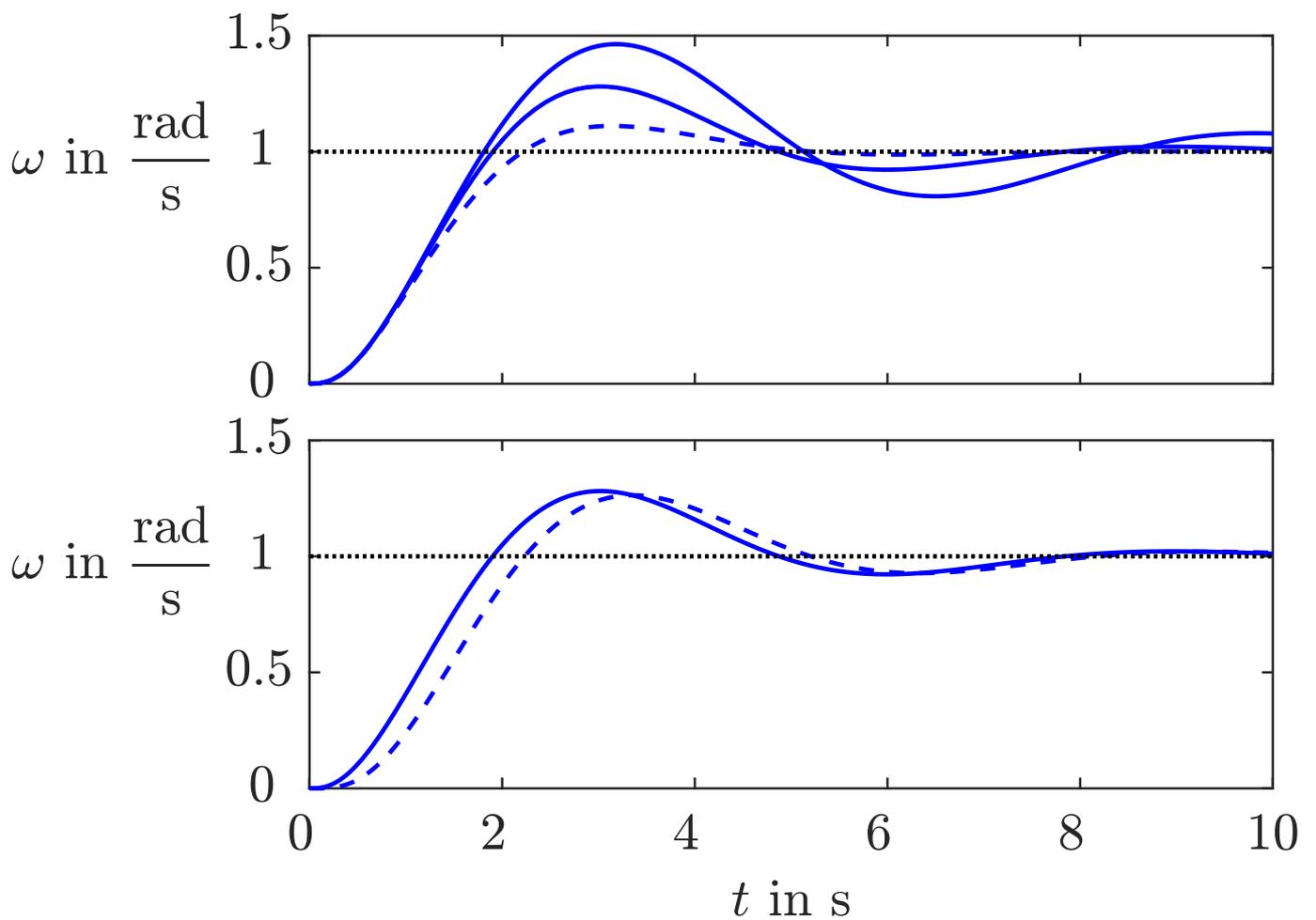


Abb. 7.12: Verschlechterung der Regelgüte durch Messverzögerungen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

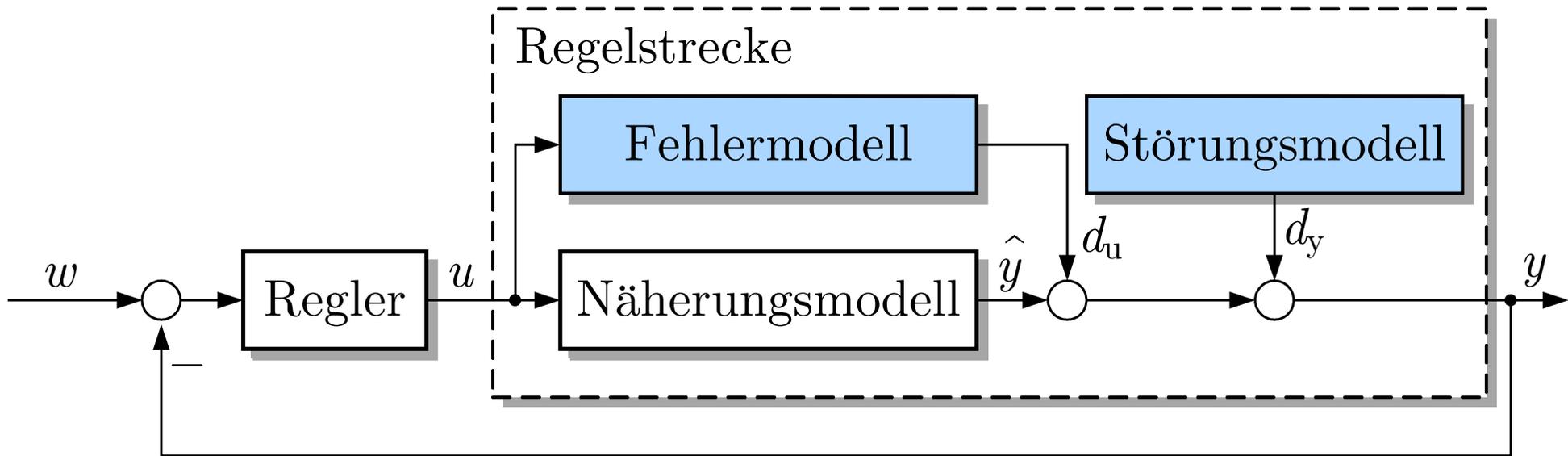


Abb. 7.13. Regelkreis mit den unvollständig bekannten Komponenten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

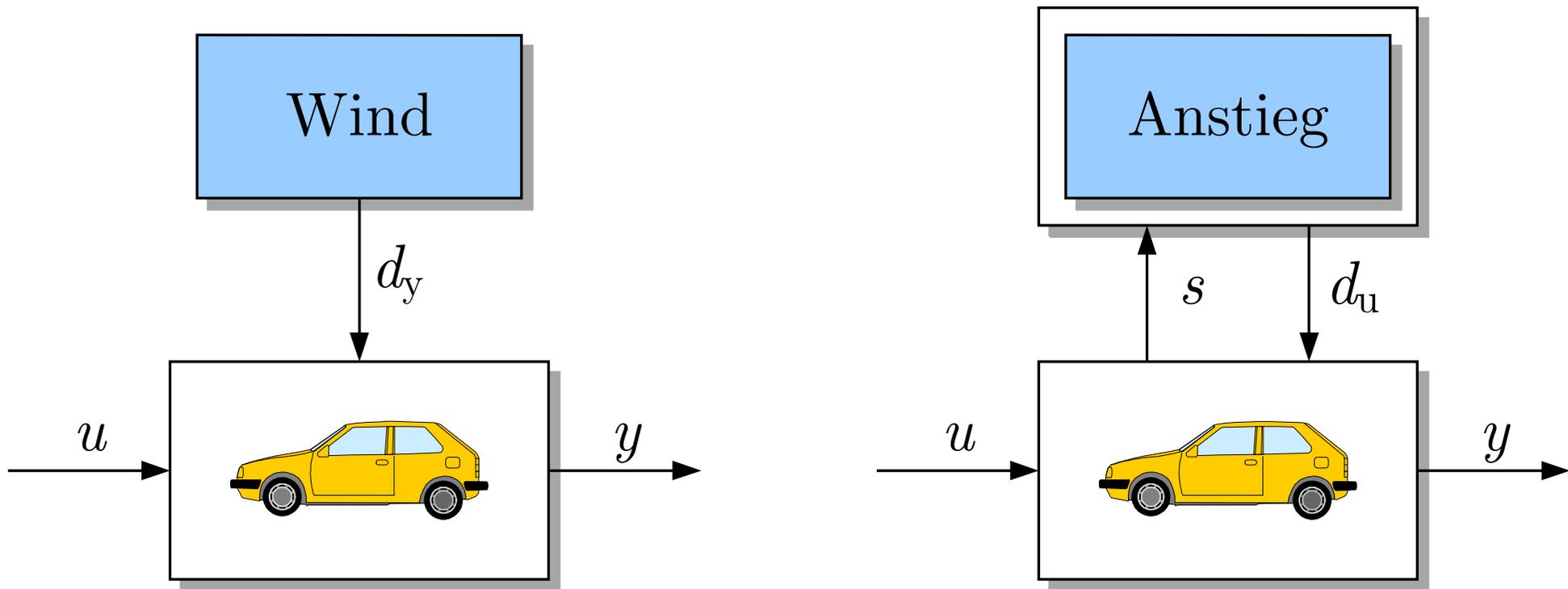


Abb. 7.14. Wirkung von Wind und Anstieg der Fahrbahn auf die Längsbewegung von Fahrzeugen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

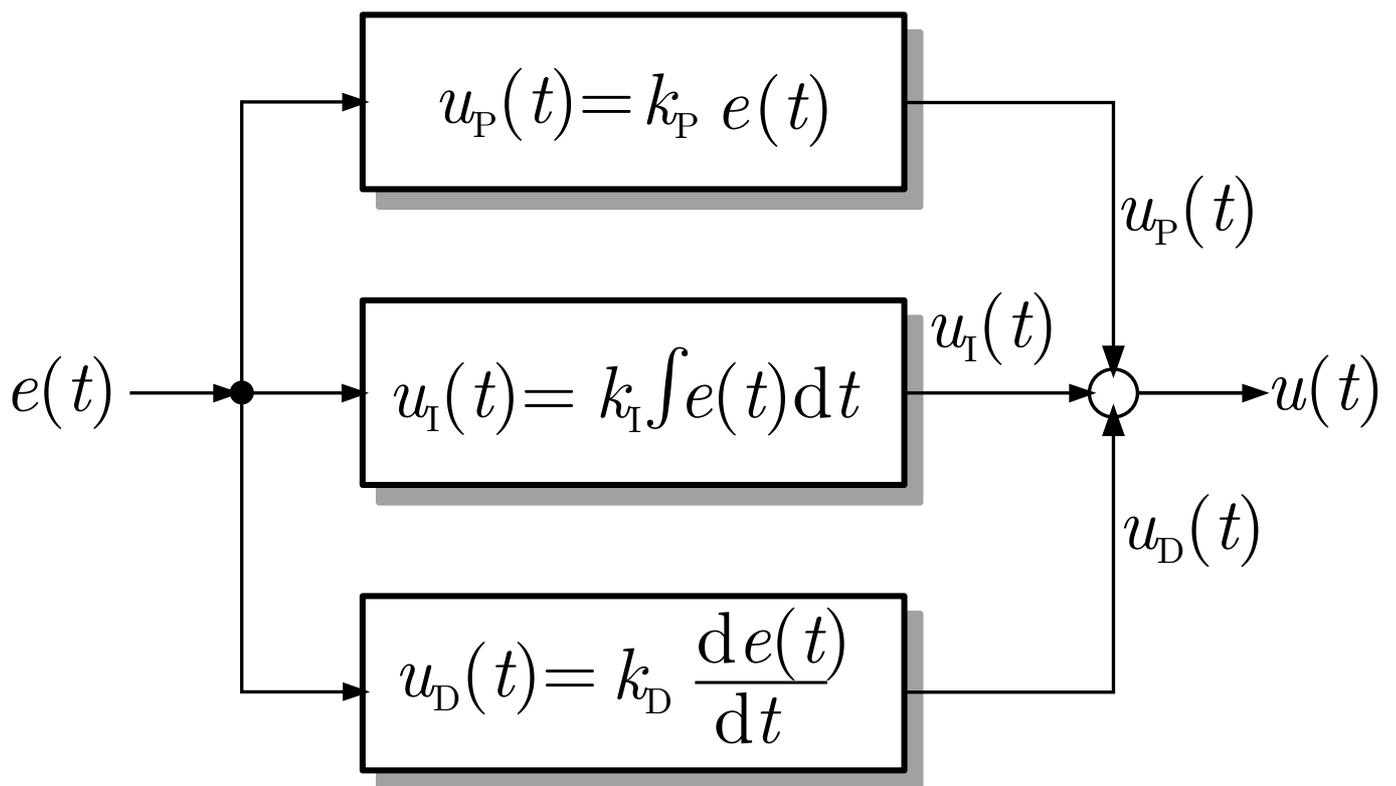


Abb. 7.15: Strukturbild eines PID-Reglers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

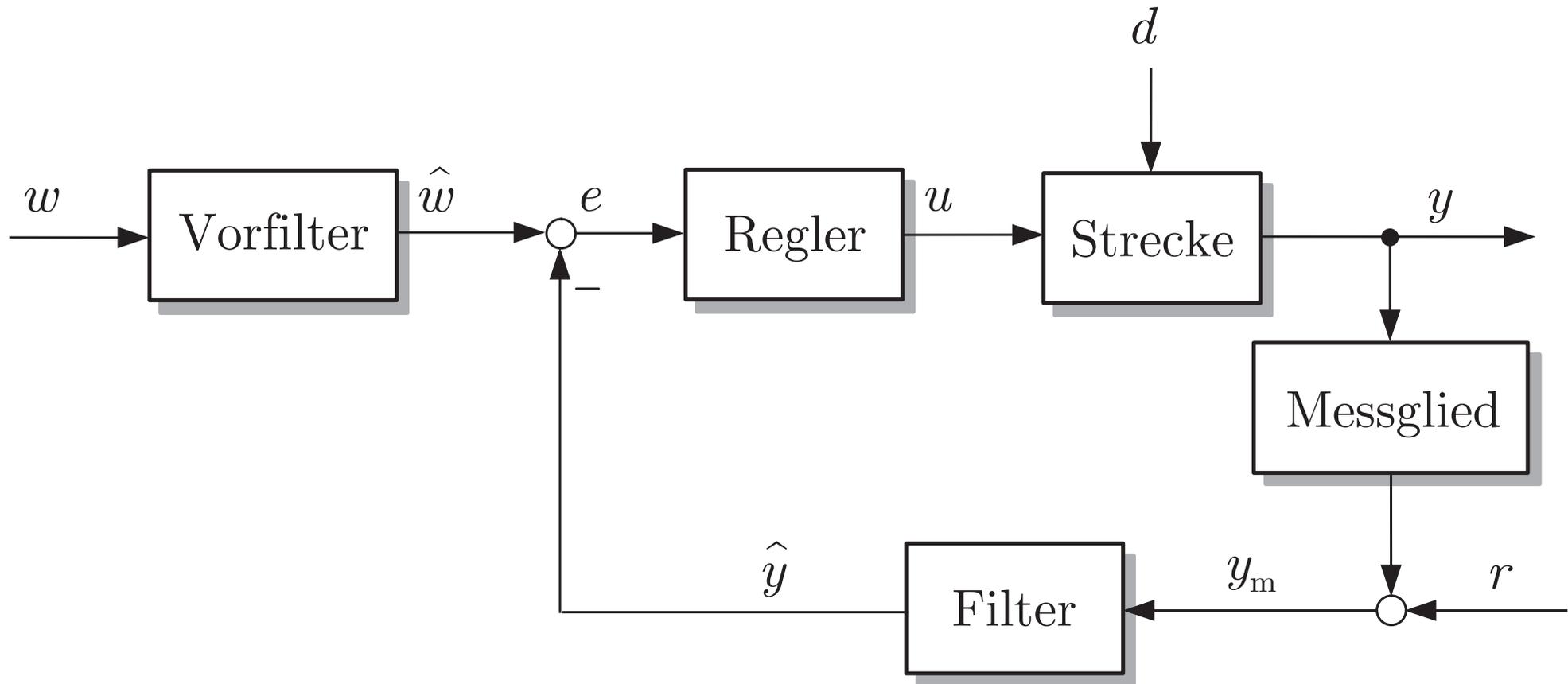


Abb. 7.16. Standardregelkreis mit zusätzlichen Komponenten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

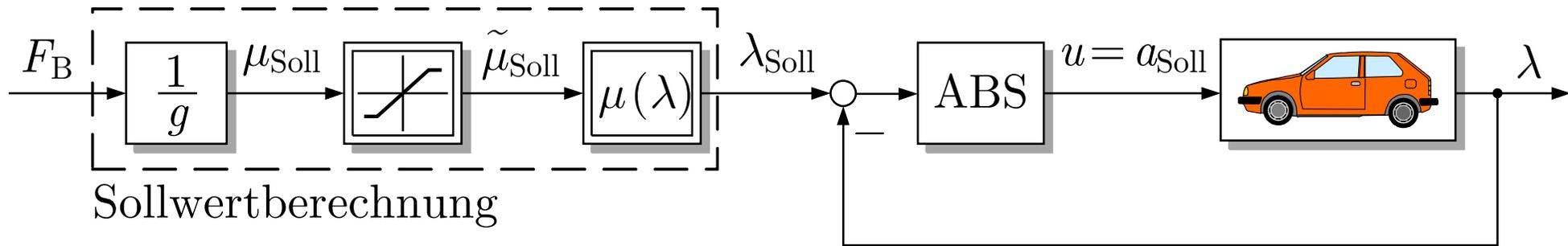


Abb. 7.17. Erweiterung des ABS-Reglers um eine Komponente für die Sollwertberechnung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

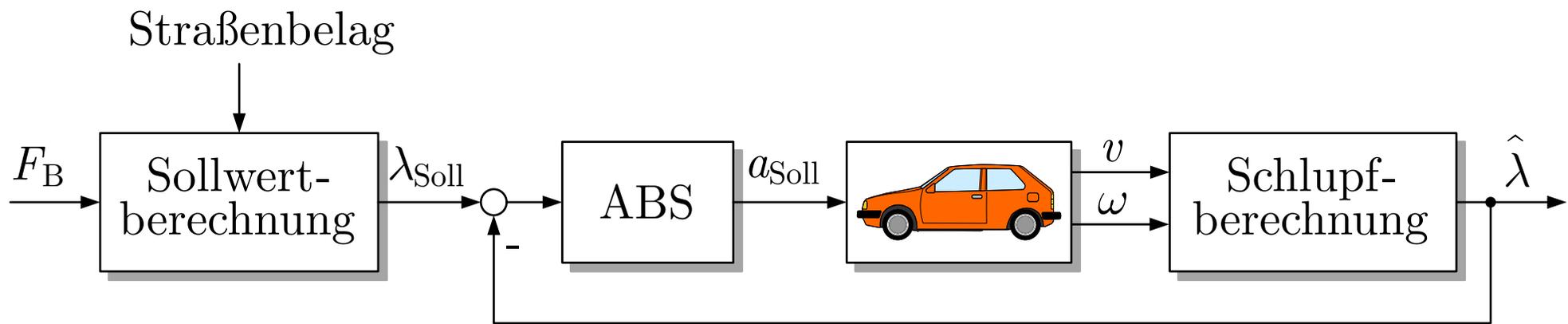


Abb. 7.18. Zweite Erweiterung des ABS-Reglers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

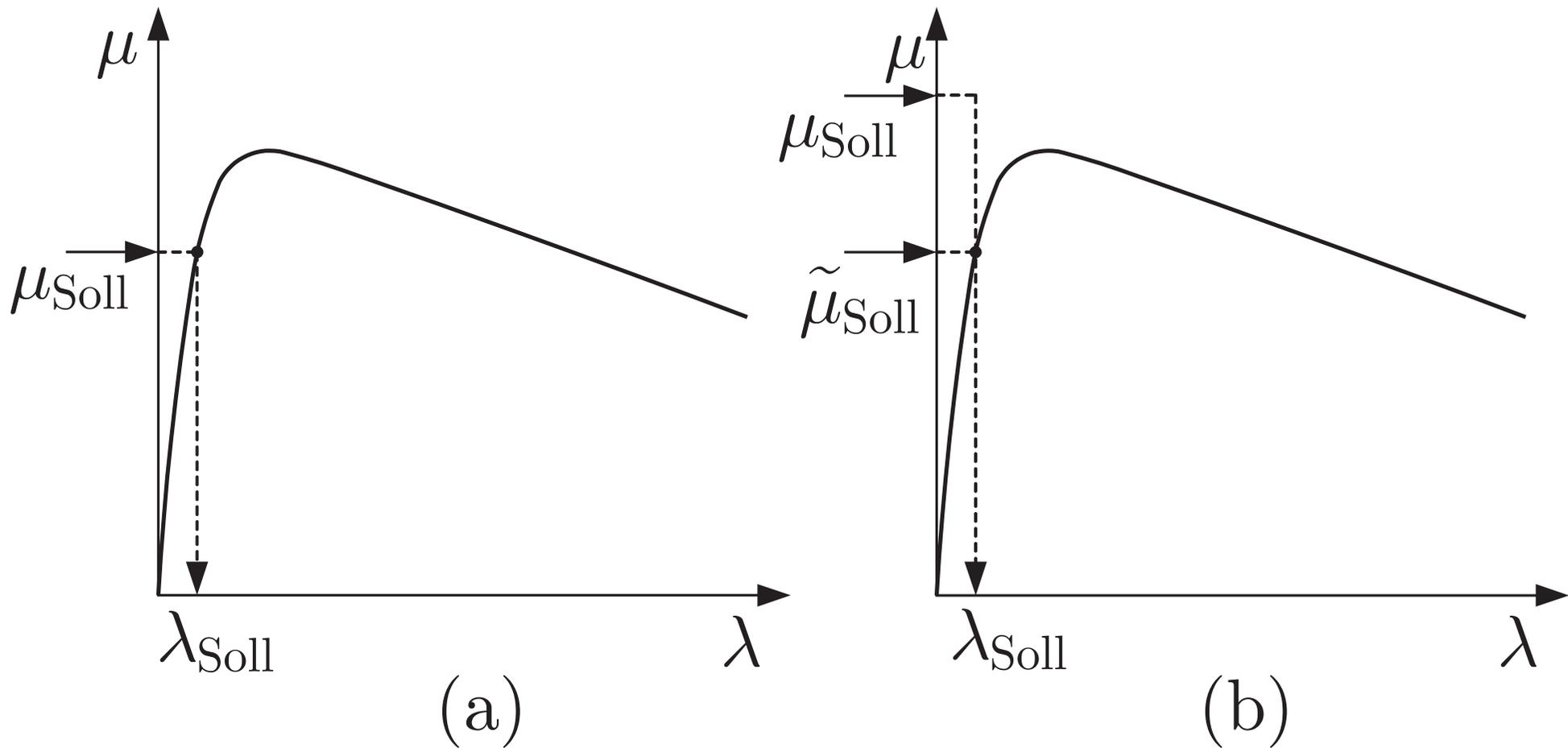


Abb. 7.19. Ermittlung des Sollwertes für den Schlupf: (a) bei ausreichendem Haftbeiwert, (b) durch Verkleinerung des Sollwertes für die Kraftschlussbeanspruchung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

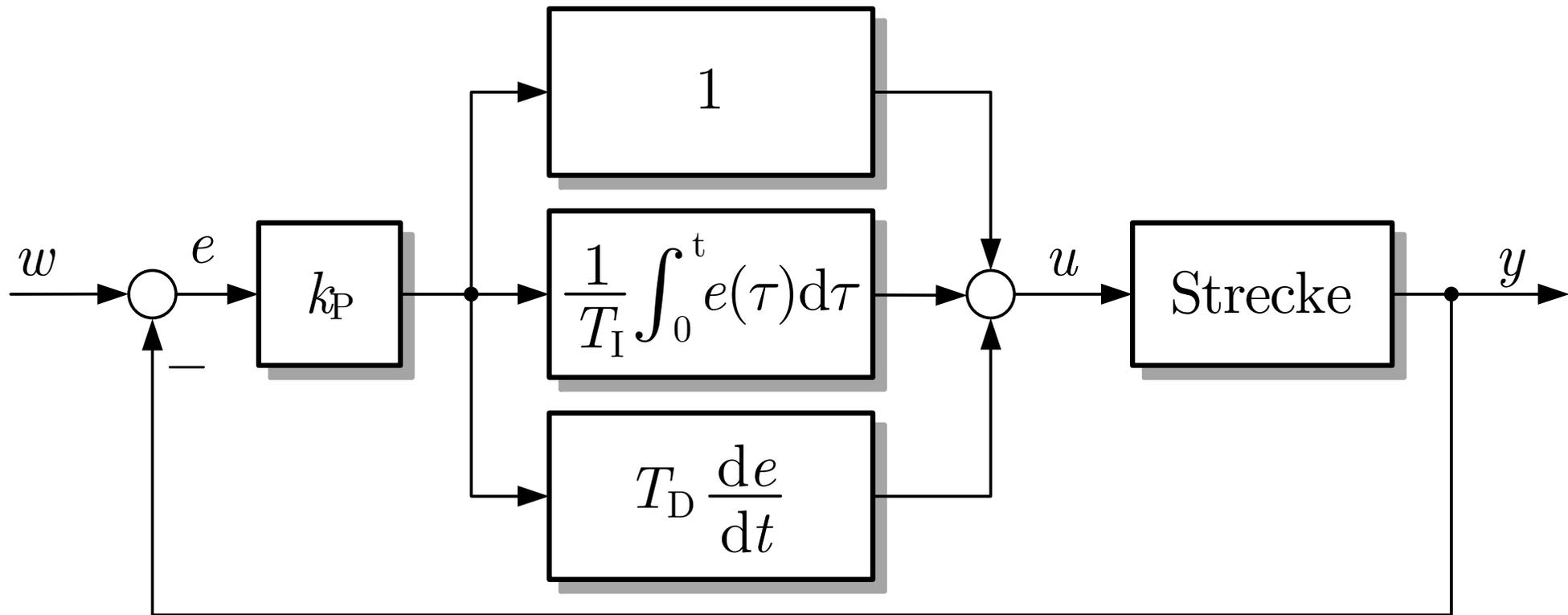


Abb. 8.1. Regelkreis mit PID-Regler

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

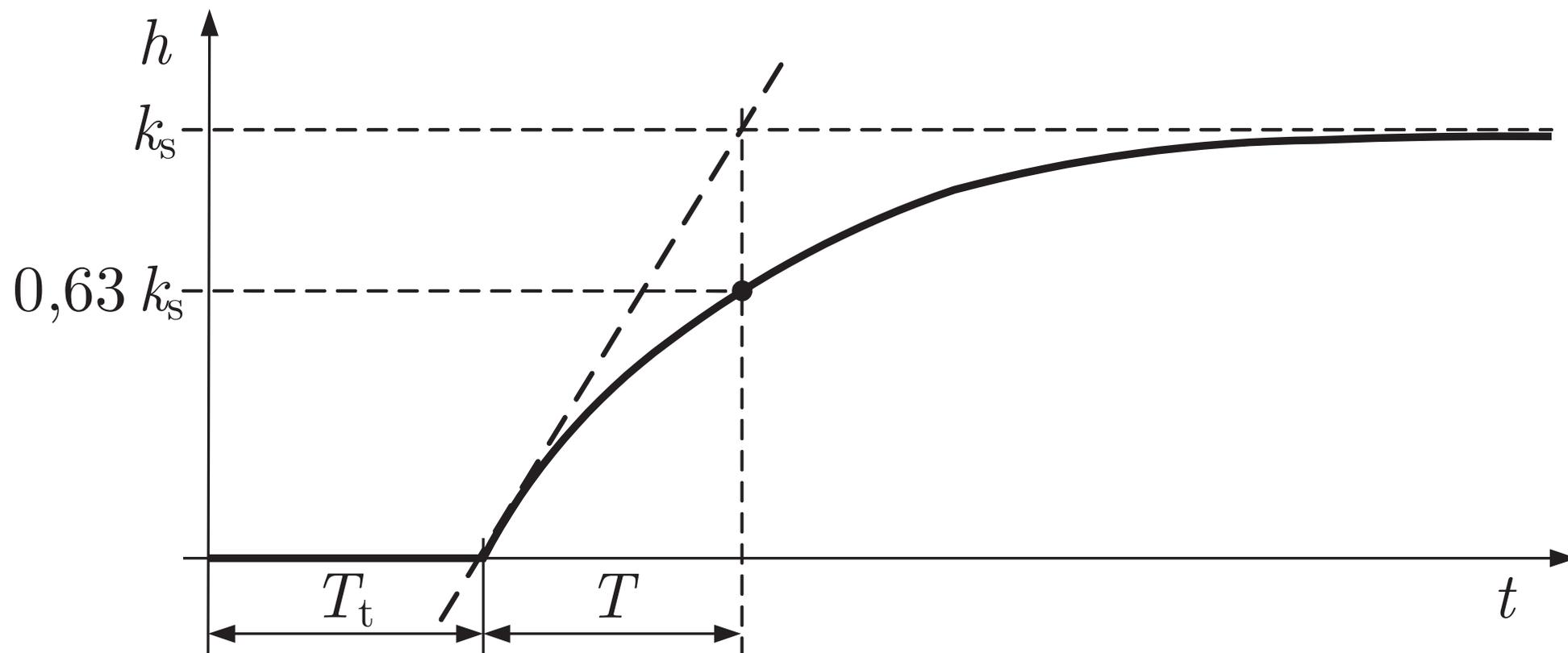


Abb. 8.2. Übergangsfunktion der Regelstrecke

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

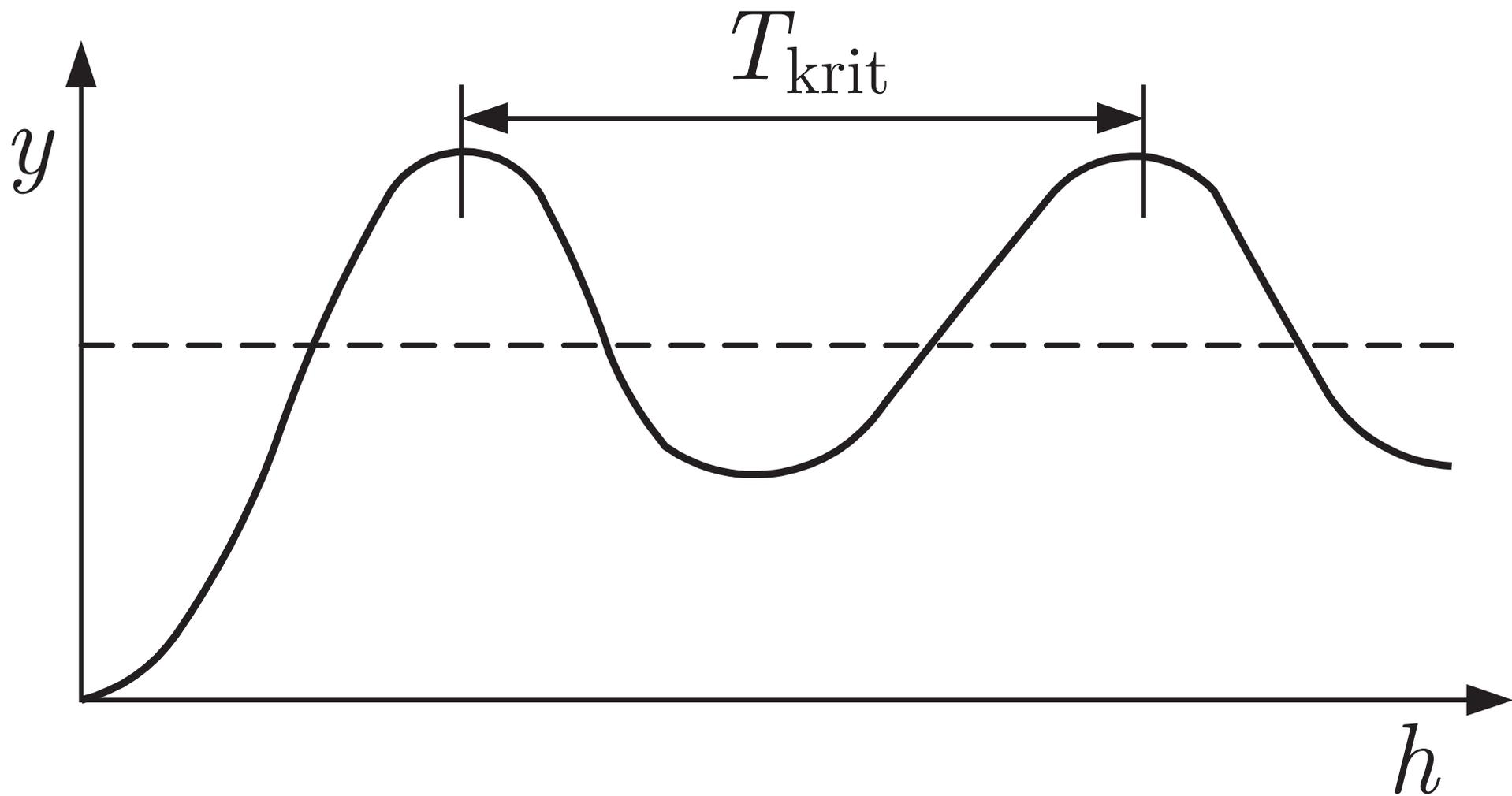


Abb. 8.3. Regelkreis mit schwingender Regelgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

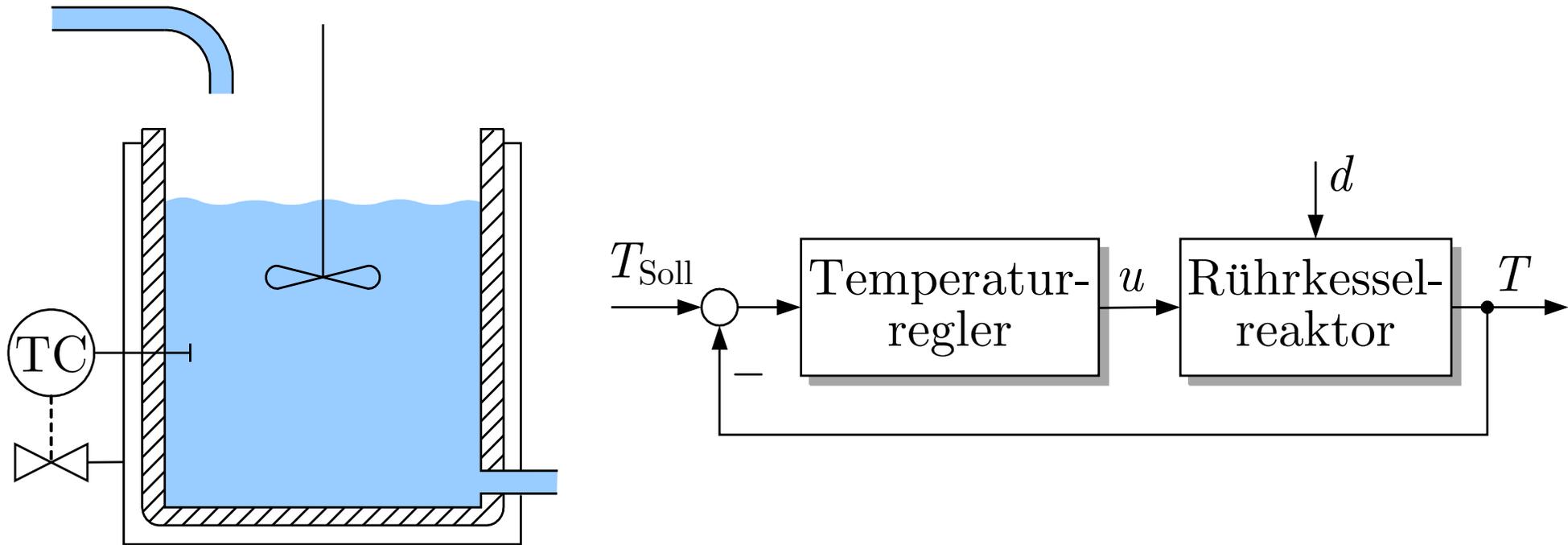


Abb. 8.4. Temperaturregelung eines kontinuierlich durchströmten Rührkesselreaktors mit einer Heizung in der Reaktorwand

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

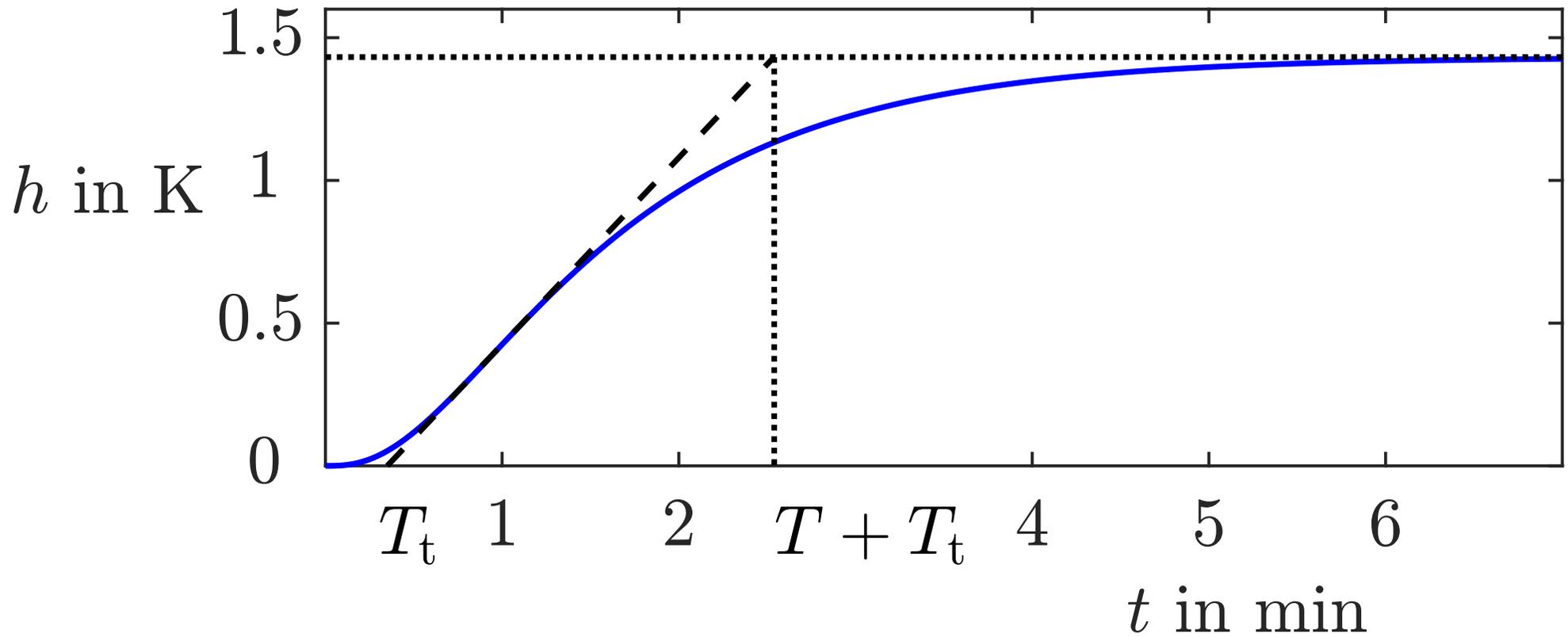


Abb. 8.5. Übergangsfunktion des Rührkesselreaktors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

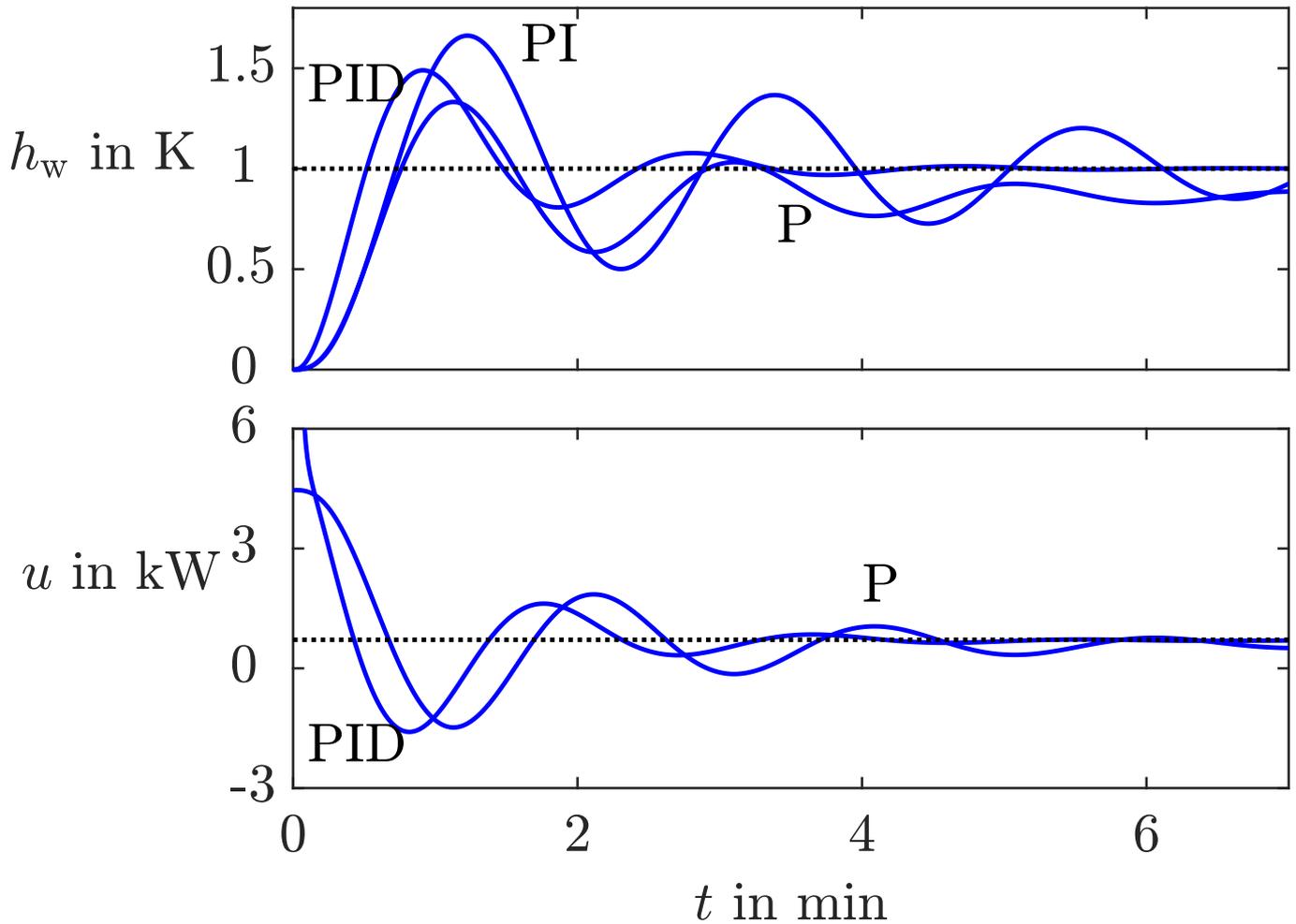


Abb. 8.6: Führungsübergangsfunktion des Temperaturregelkreises: Regelgröße $y(t)$ (oben) und Stellgröße $u(t)$ (unten)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

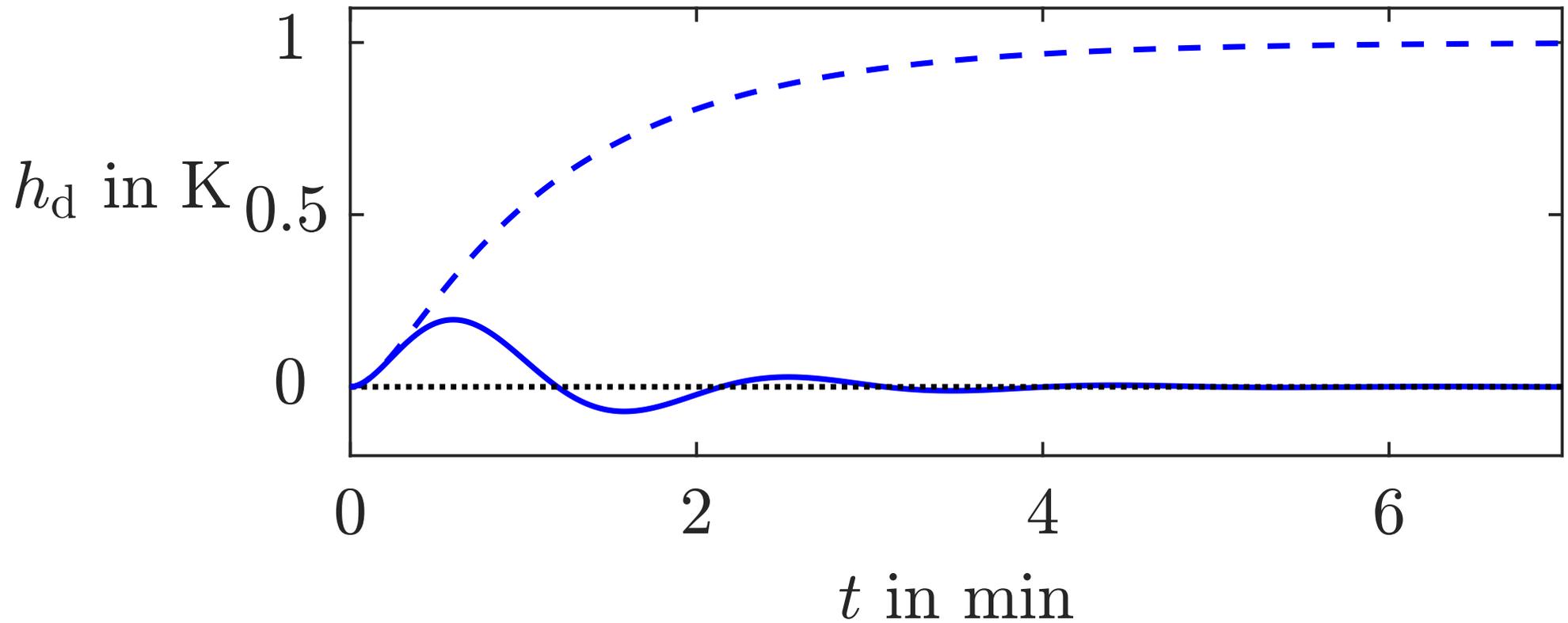


Abb. 8.7. Störübergangsfunktion des Temperaturregelkreises mit PID-Regler im Vergleich zum Verhalten der Regelstrecke

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

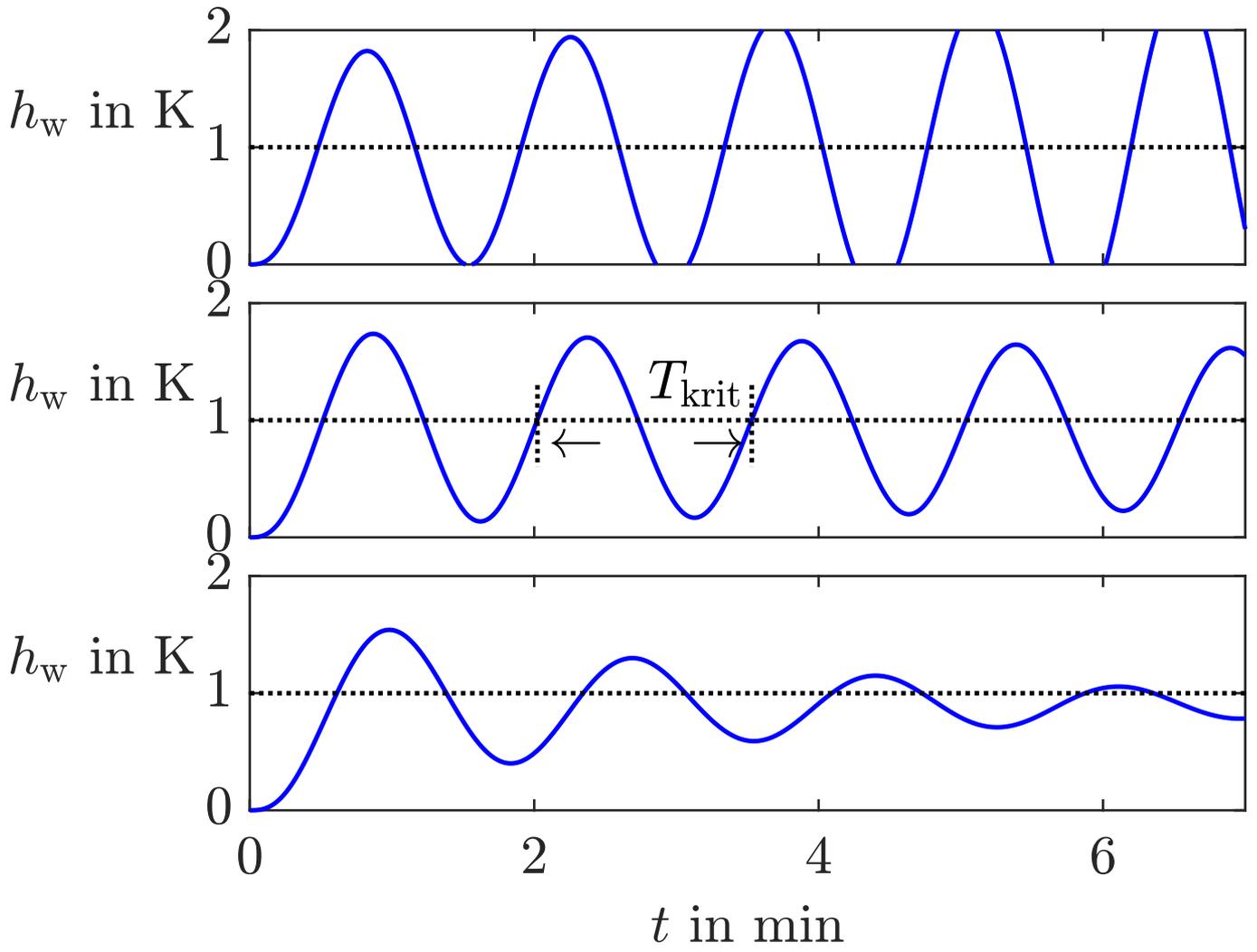


Abb. 8.8: Verhalten des P-geregelten Reaktors bei unterschiedlichen Reglerverstärkungen k_P

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

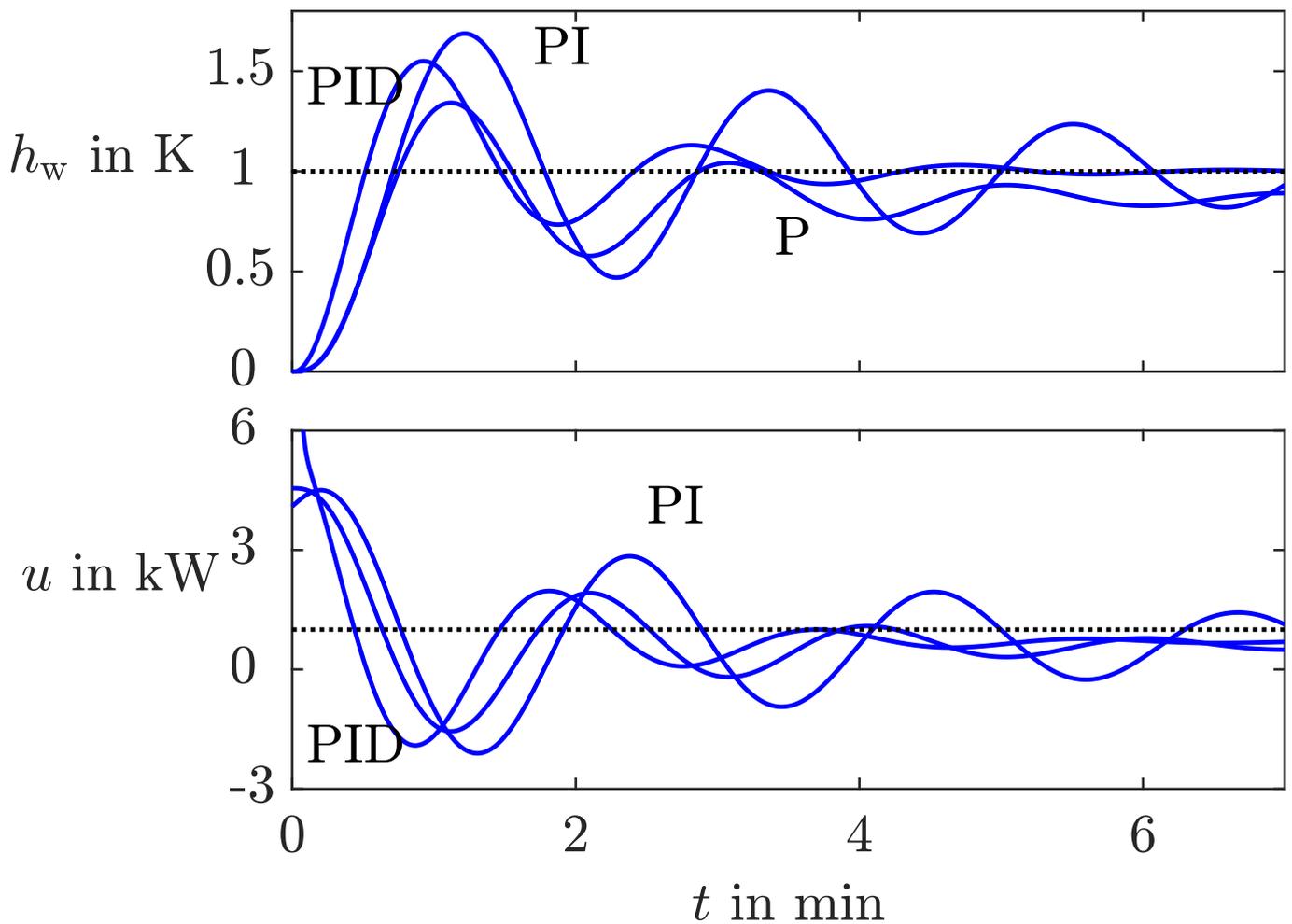


Abb. 8.9: Führungsübergangsfunktion des Temperaturregelkreises mit der zweiten Reglereinstellung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

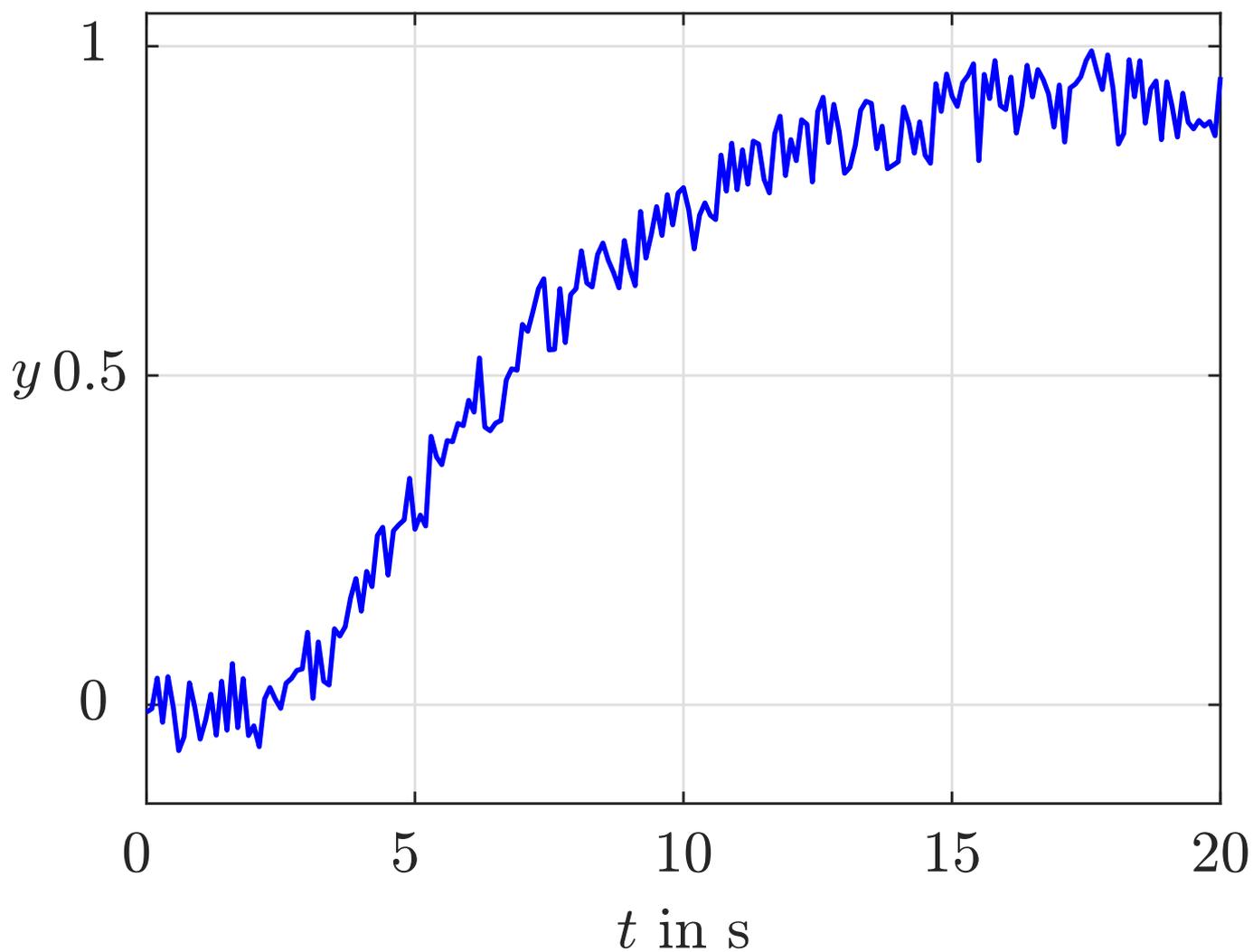


Abb. 8.10: Ausgangsgröße des Reaktors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

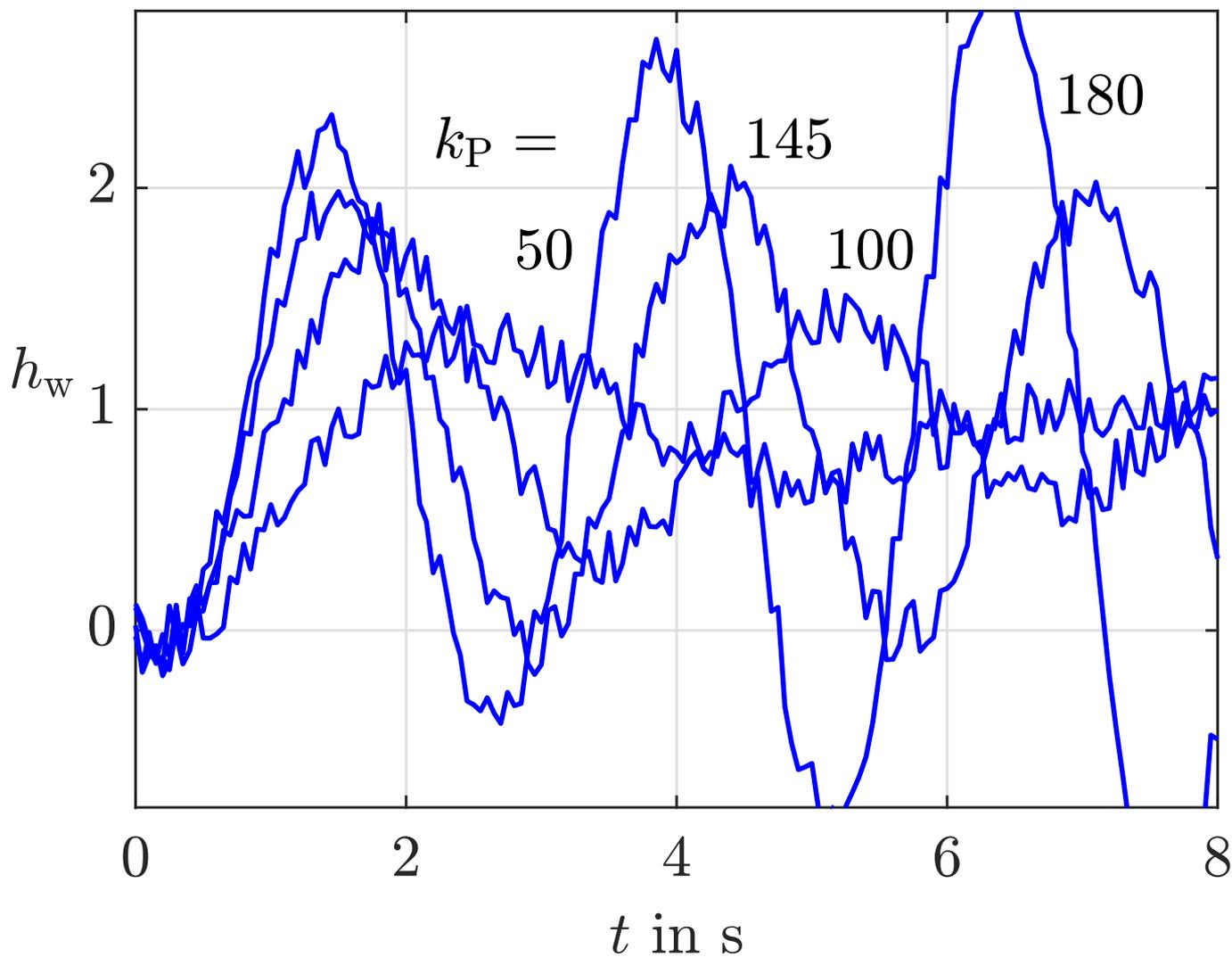


Abb. 8.10: Führungsübergangsfunktion des Regelkreises bei Experimenten mit verschiedenen Verstärkungen k_P des P-Reglers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

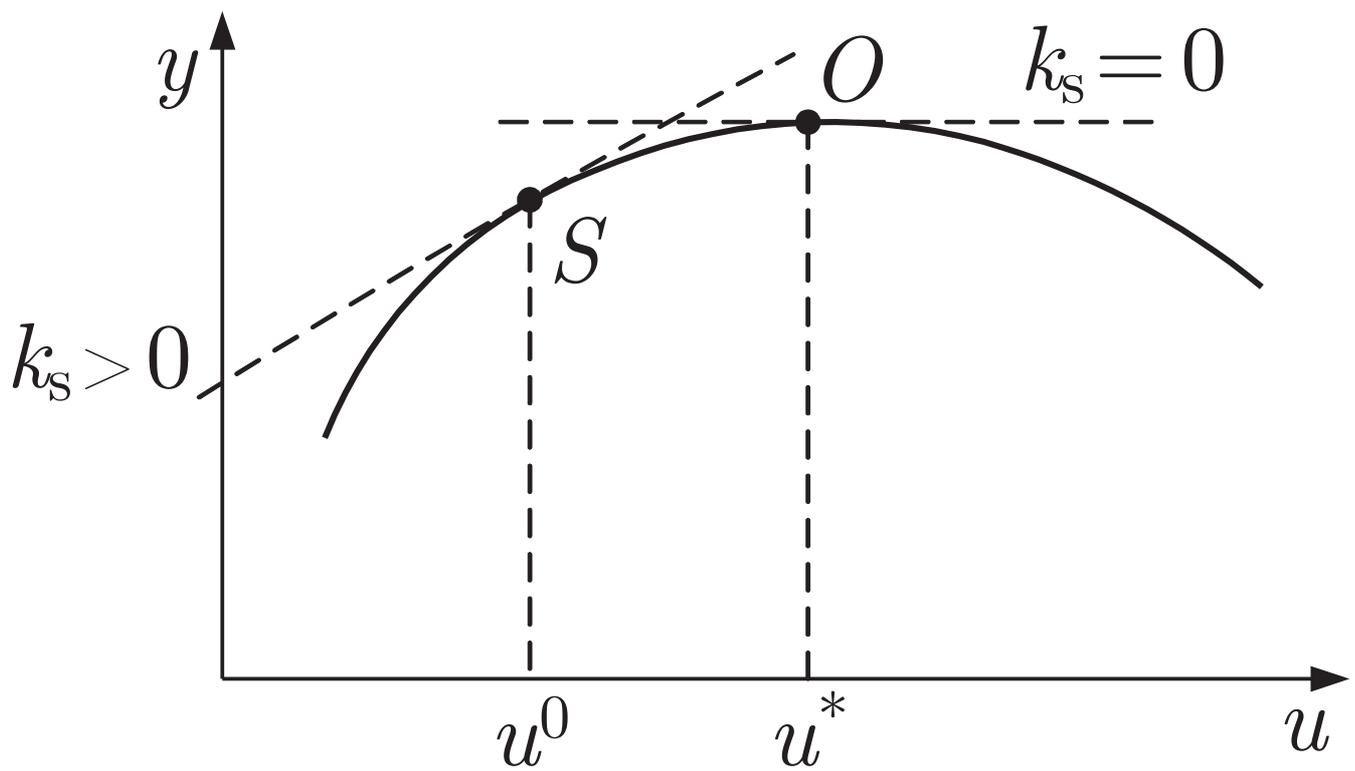


Abb. 8.11: Interpretation der Existenzbedingung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

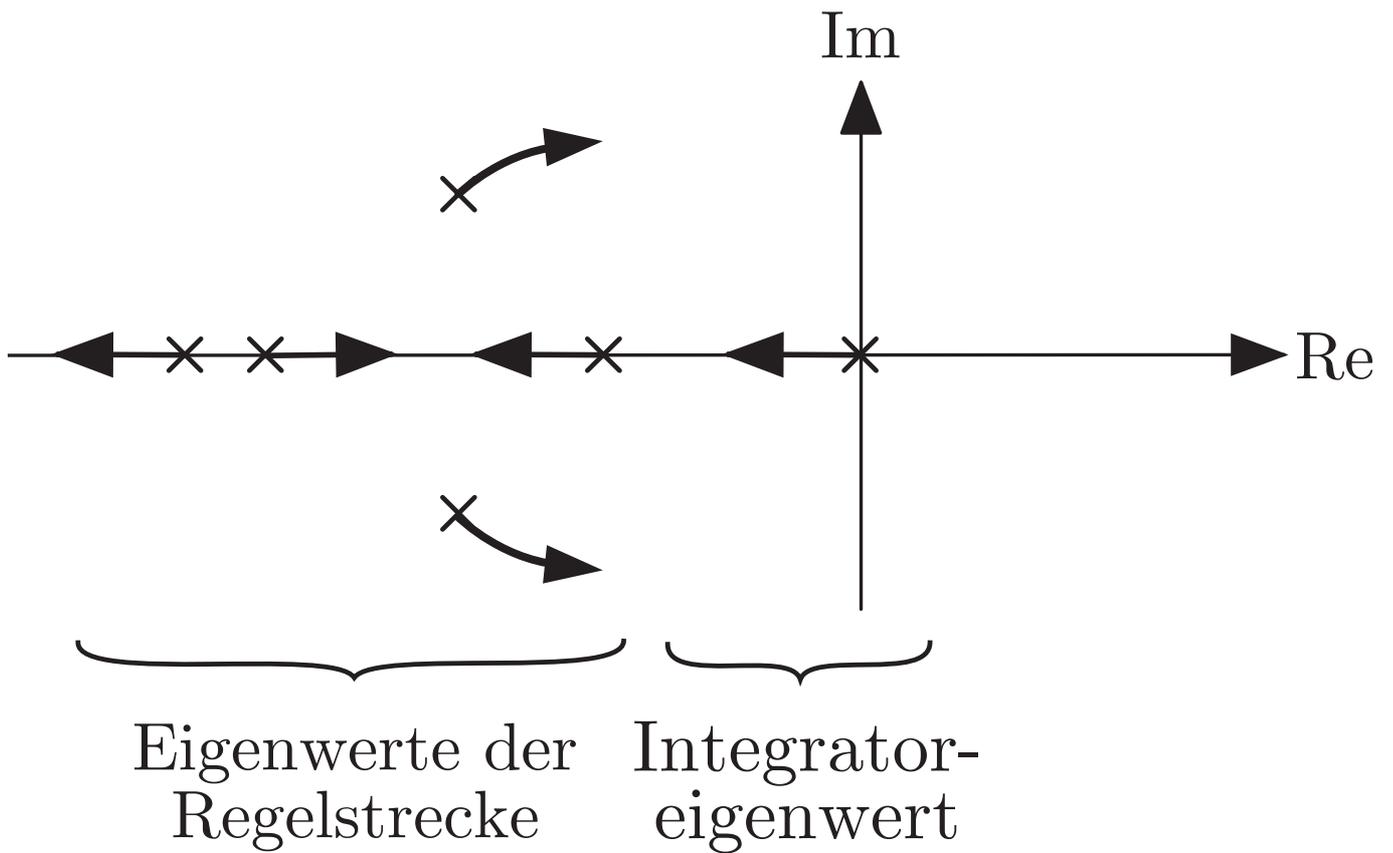


Abb. 8.12: Prinzip der Reglereinstellung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

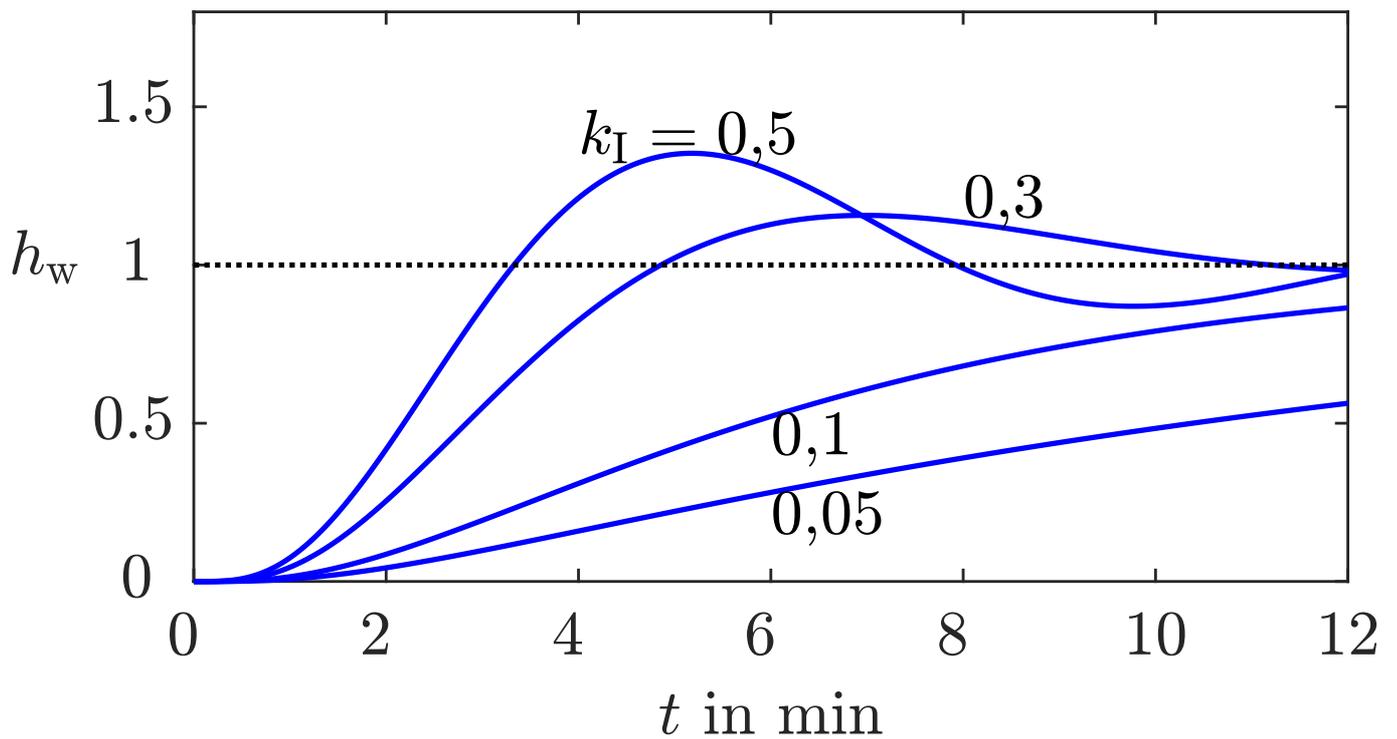


Abb. 8.13: Führungsübergangsfunktionen für den I-Regelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

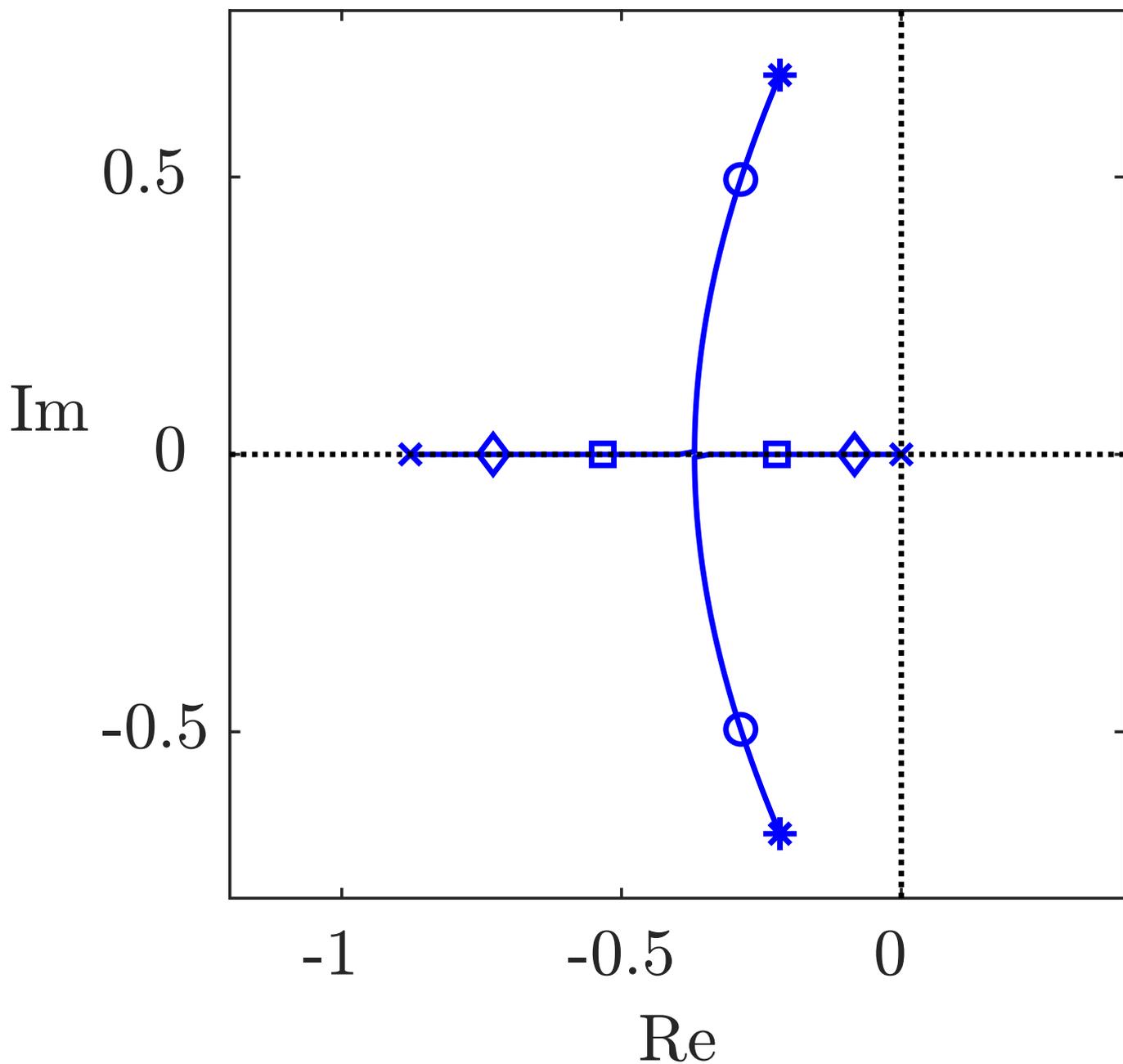


Abb. 8.13: Lage der zwei größten Eigenwerte des I-Regelkreises bei unterschiedlicher Reglerverstärkung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

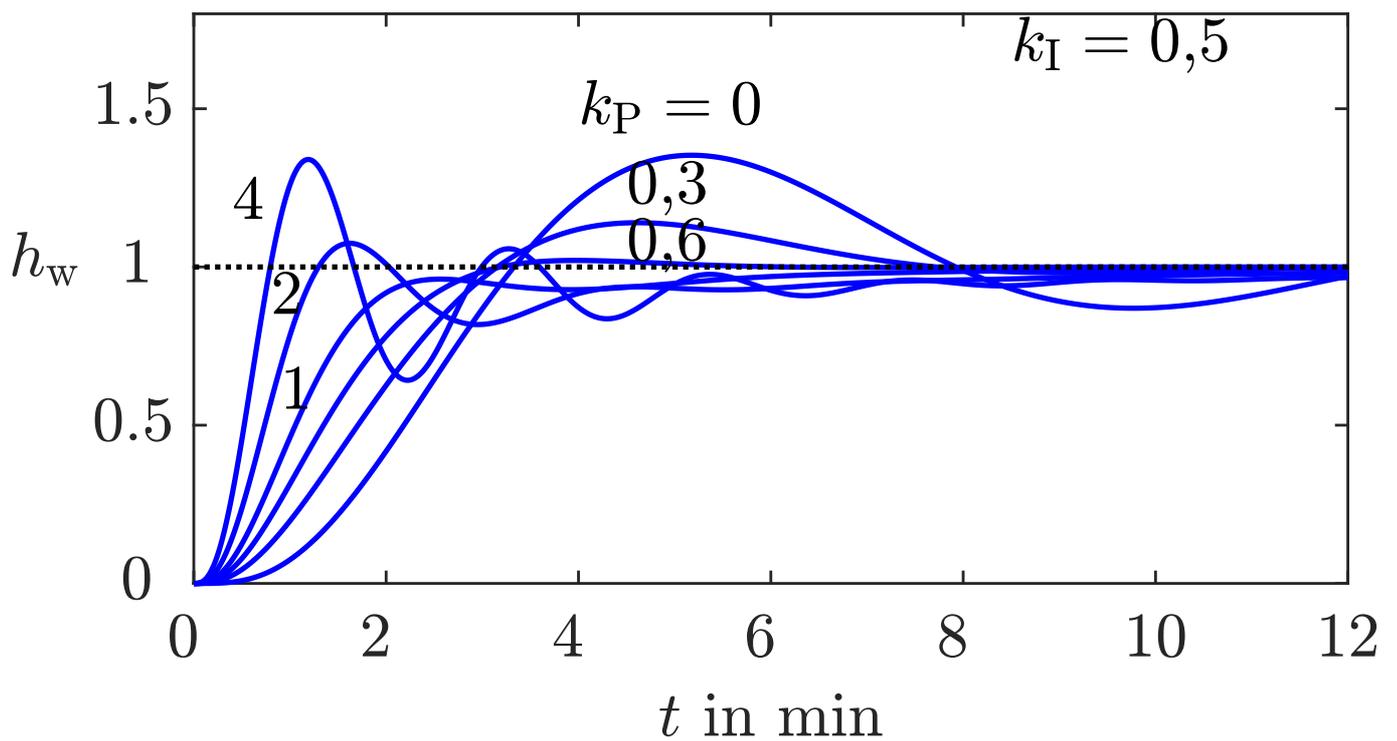


Abb. 8.14: Führungsübergangsfunktionen des Temperaturregelkreises mit $k_I = 0,5$ und verändertem P-Anteil

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

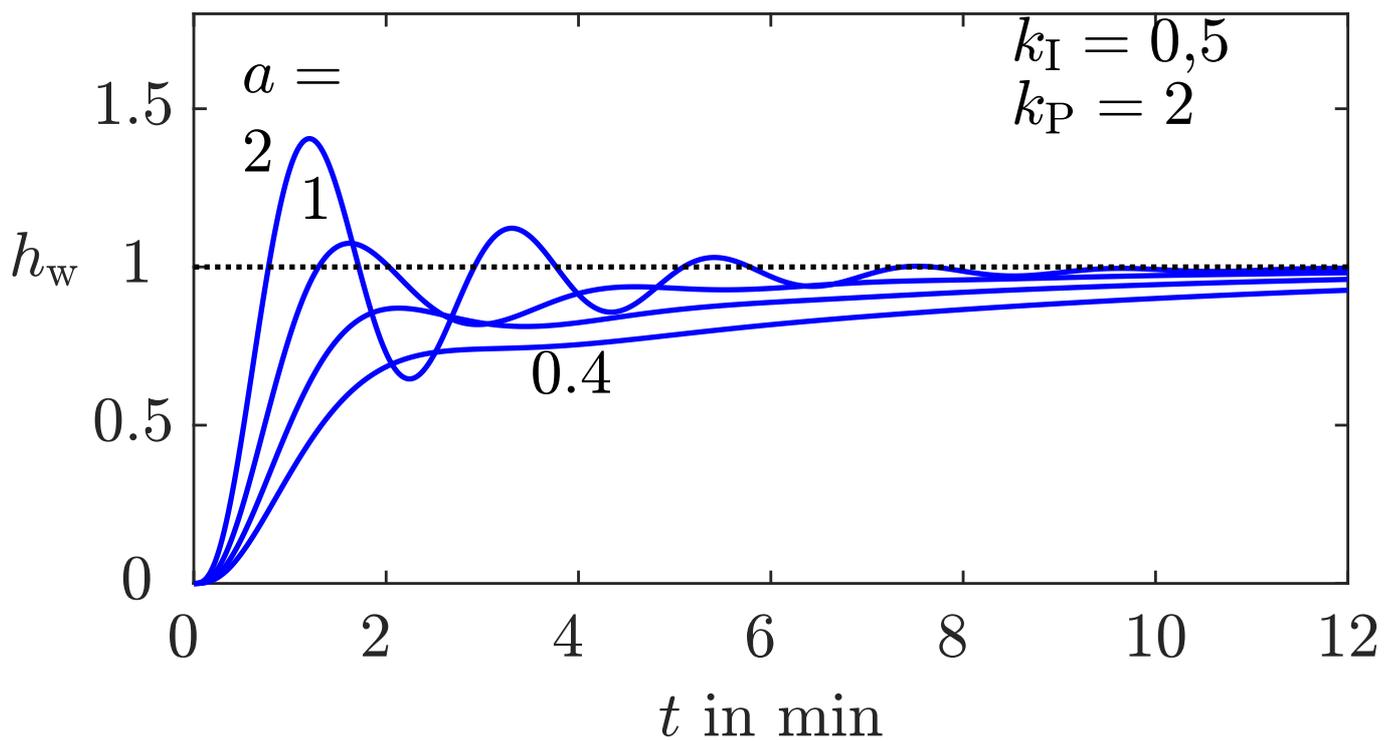


Abb. 8.14: Führungsübergangsfunktionen des Temperaturregelkreises für den Einstellfaktor $a \in \{0,4, 0,6, 1, 2\}$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

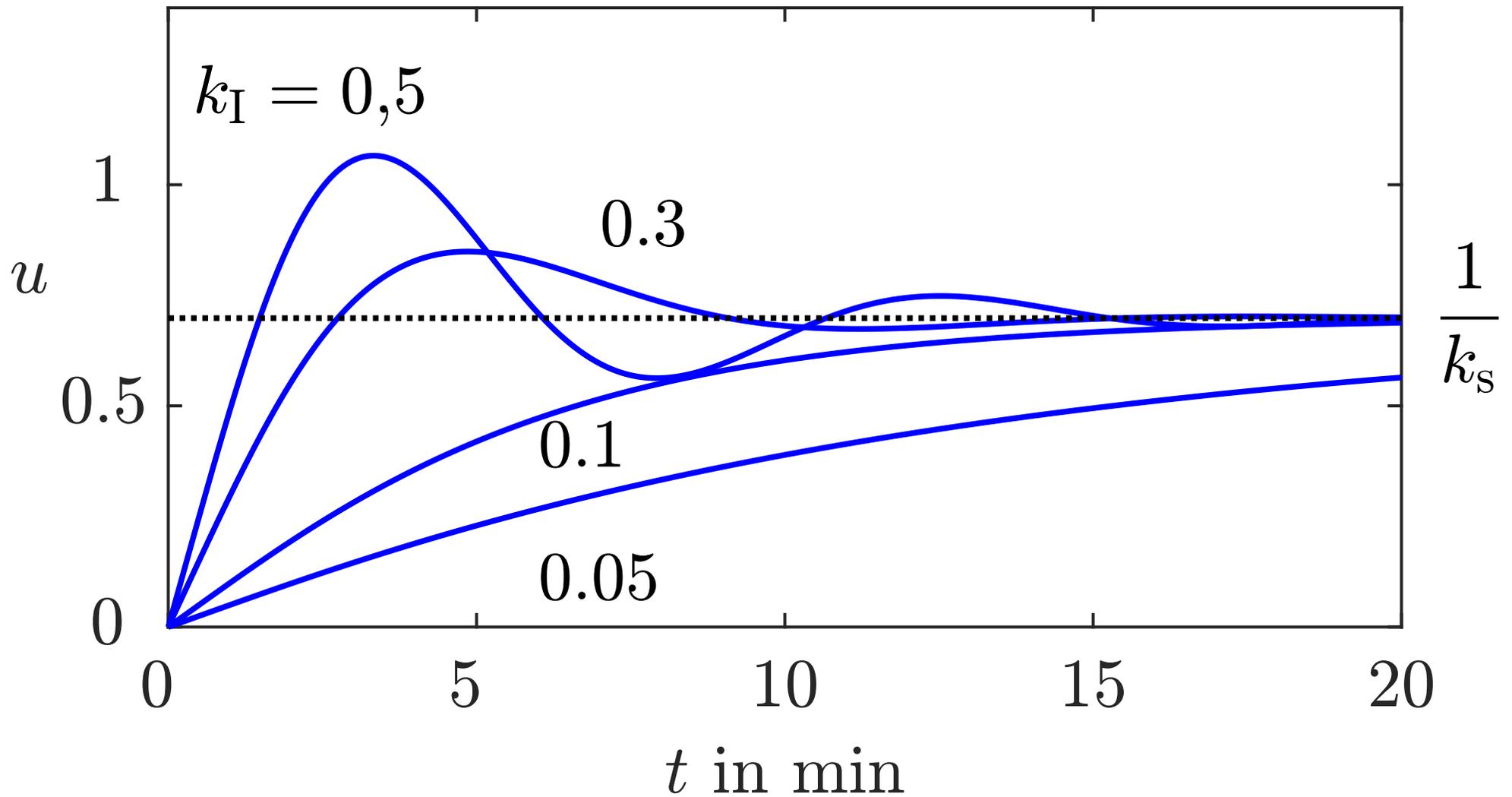


Abb. 8.15. Stellgrößenverlauf beim I-Regler mit kleiner Reglerverstärkung k_I und $w = 1$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

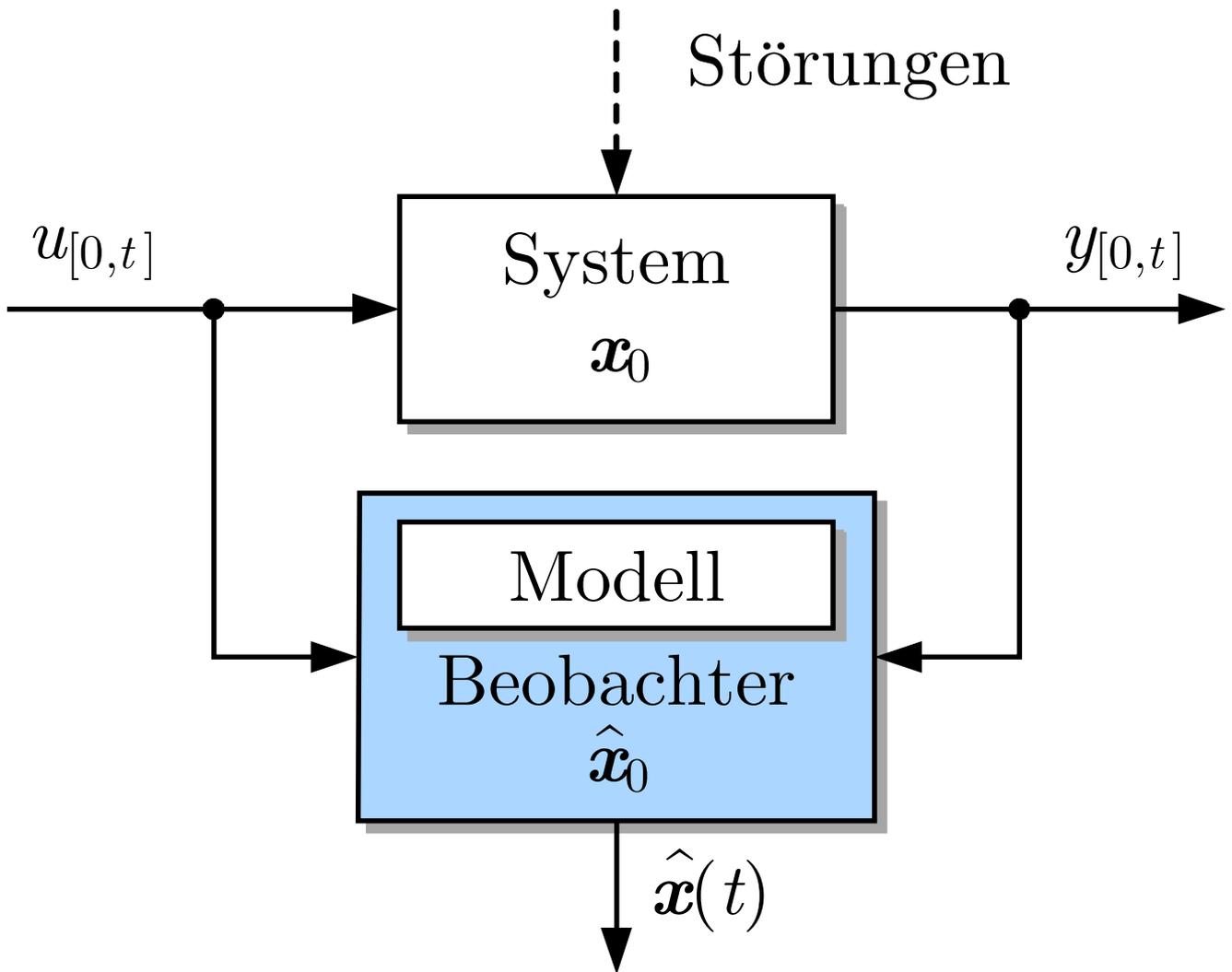


Abb. 9.1: Idee des Zustandsbeobachters

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

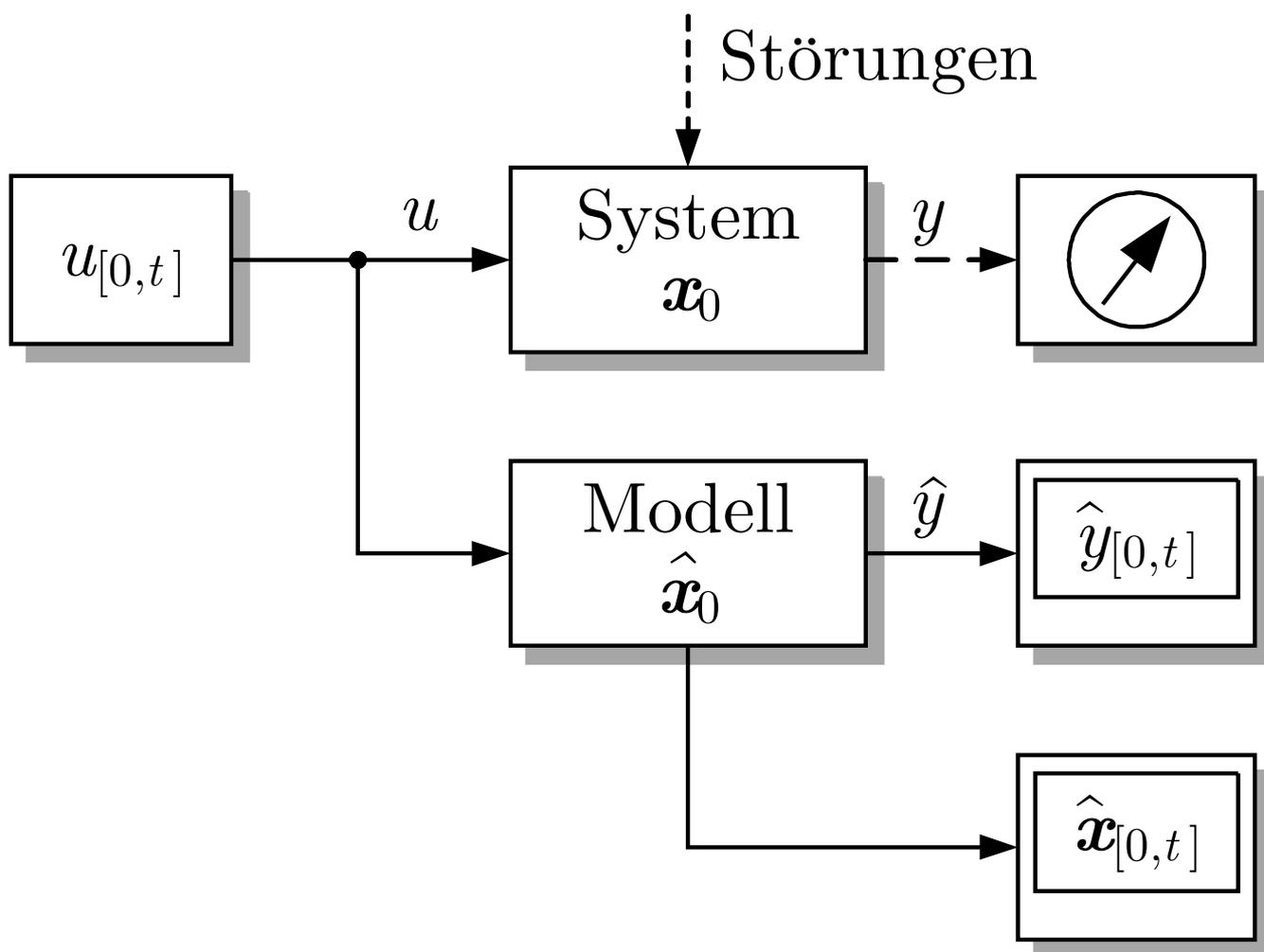


Abb. 9.2: Parallelschaltung von System und Modell

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

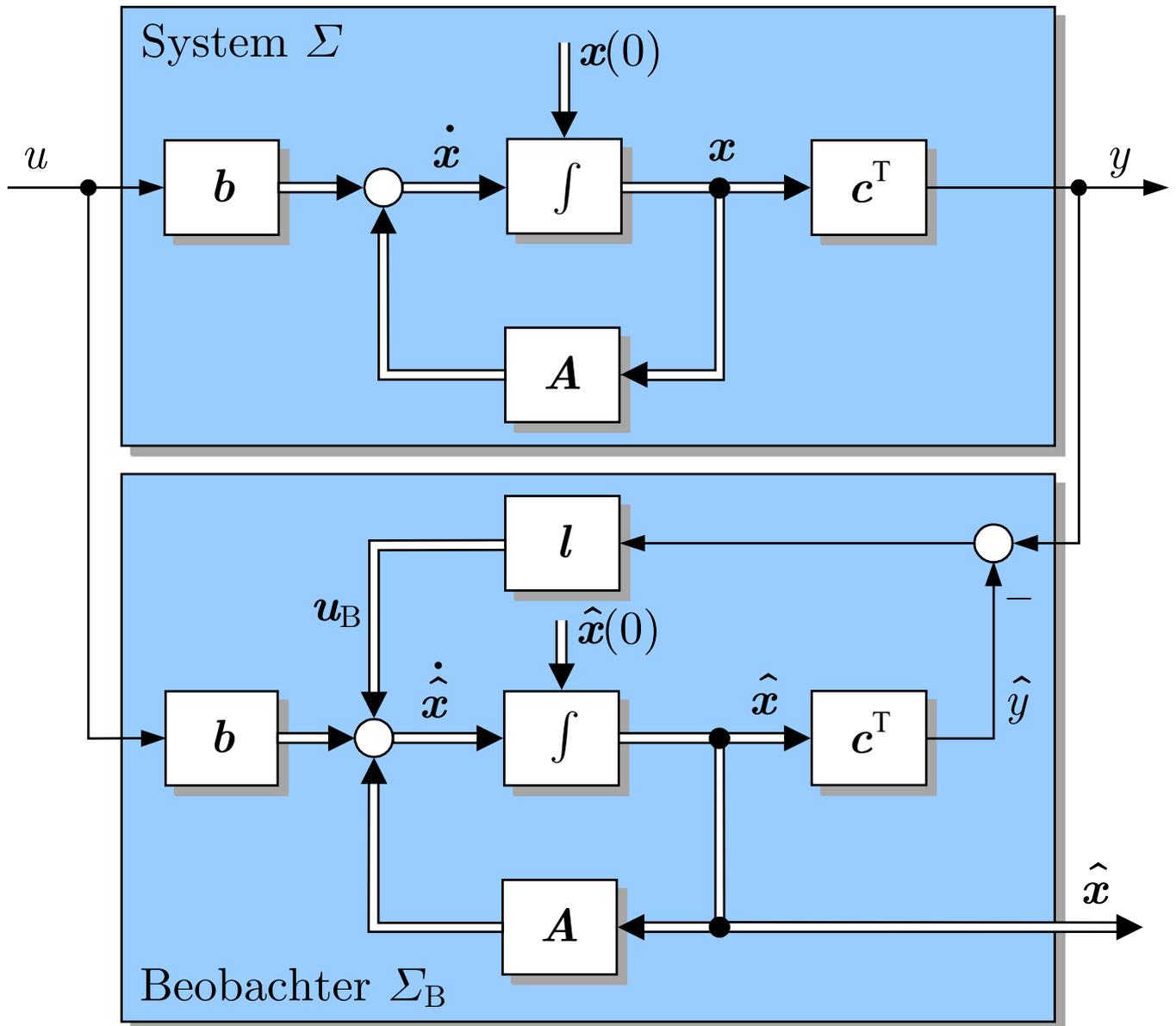


Abb. 9.3: Kopplung von System und Luenbergerbeobachter

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

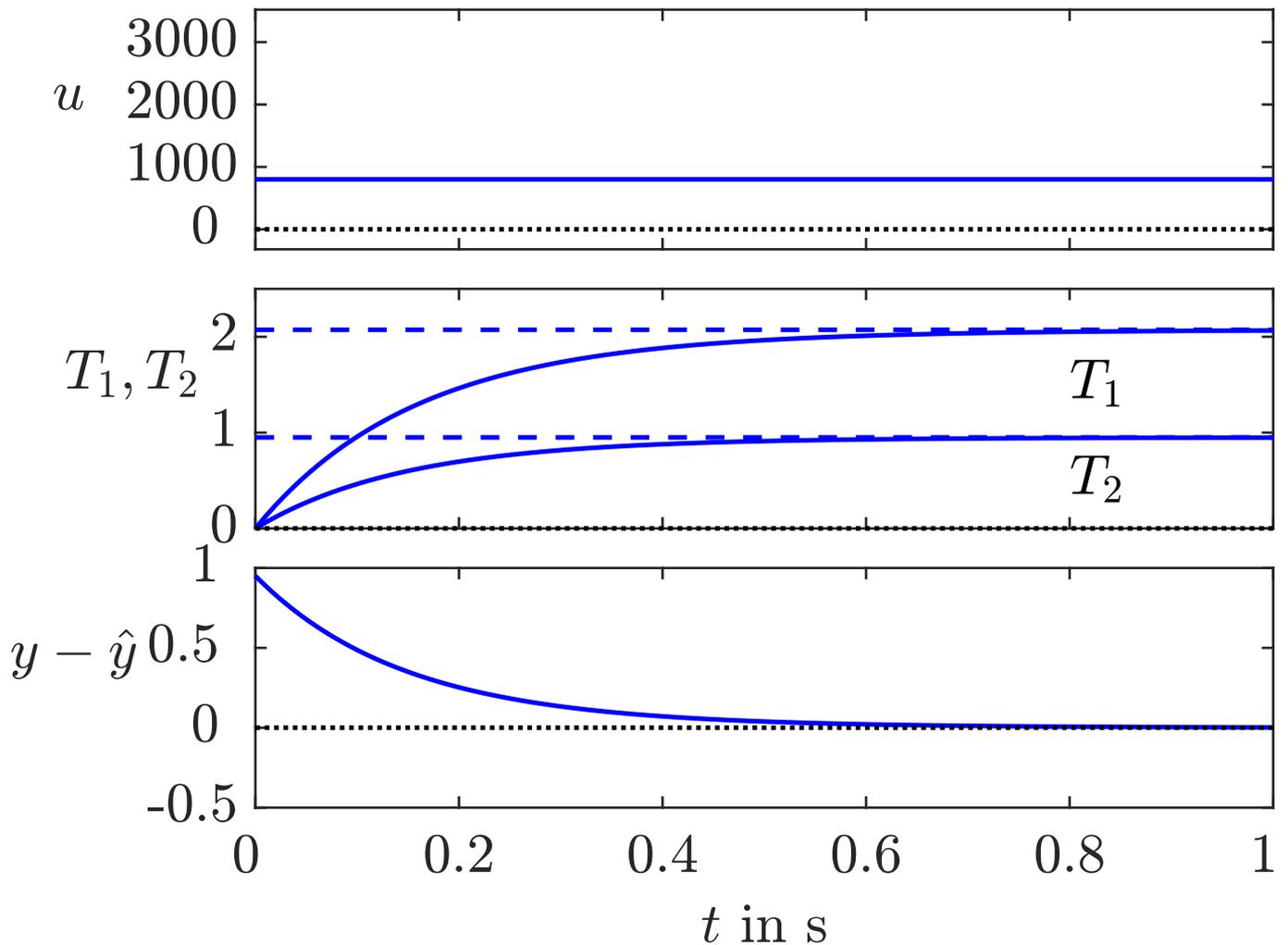


Abb. 9.4: Einschwingen des Beobachters bei konstanten Ofentemperaturen bei zwei unterschiedlichen Anfangszuständen des Beobachters: $x_0 = (0, 0)^T$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

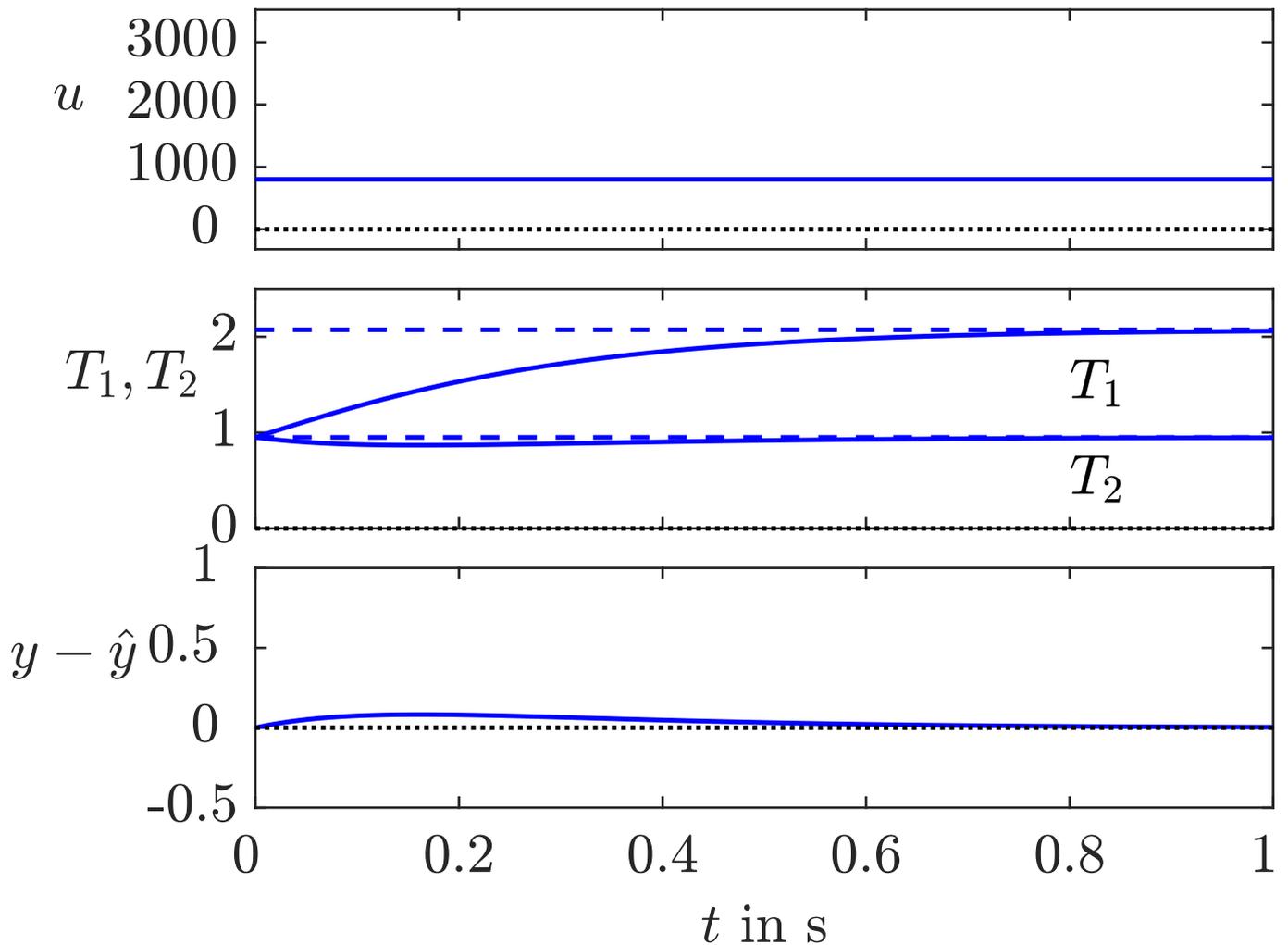


Abb. 9.4: Einschwingen des Beobachters bei konstanten Ofentemperaturen bei zwei unterschiedlichen Anfangszuständen des Beobachters: $x_0 = (y(0), y(0))^T$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

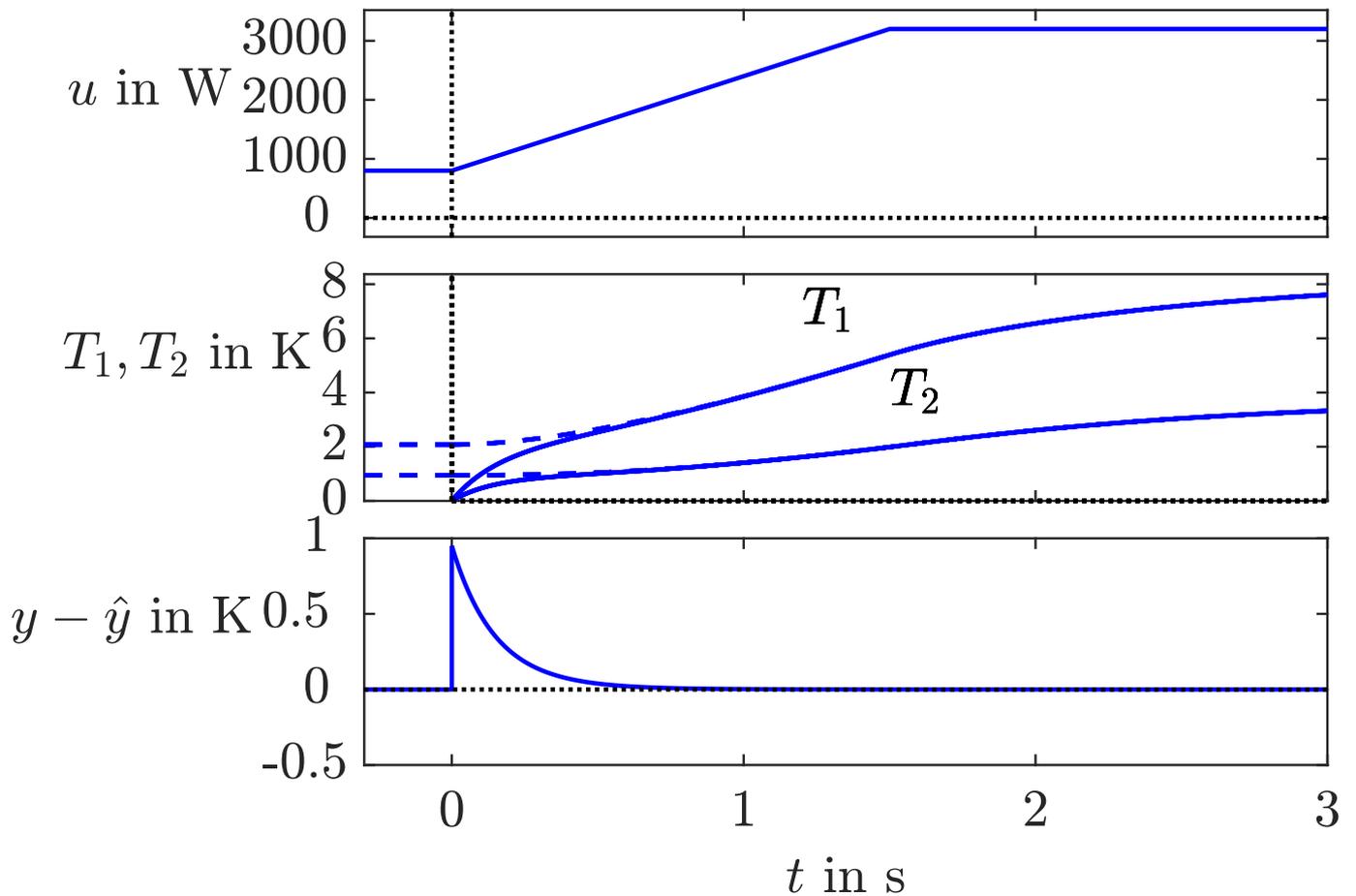


Abb. 9.5: Beobachtung der Werkstücktemperatur bei zeitveränderlicher Eingangsgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

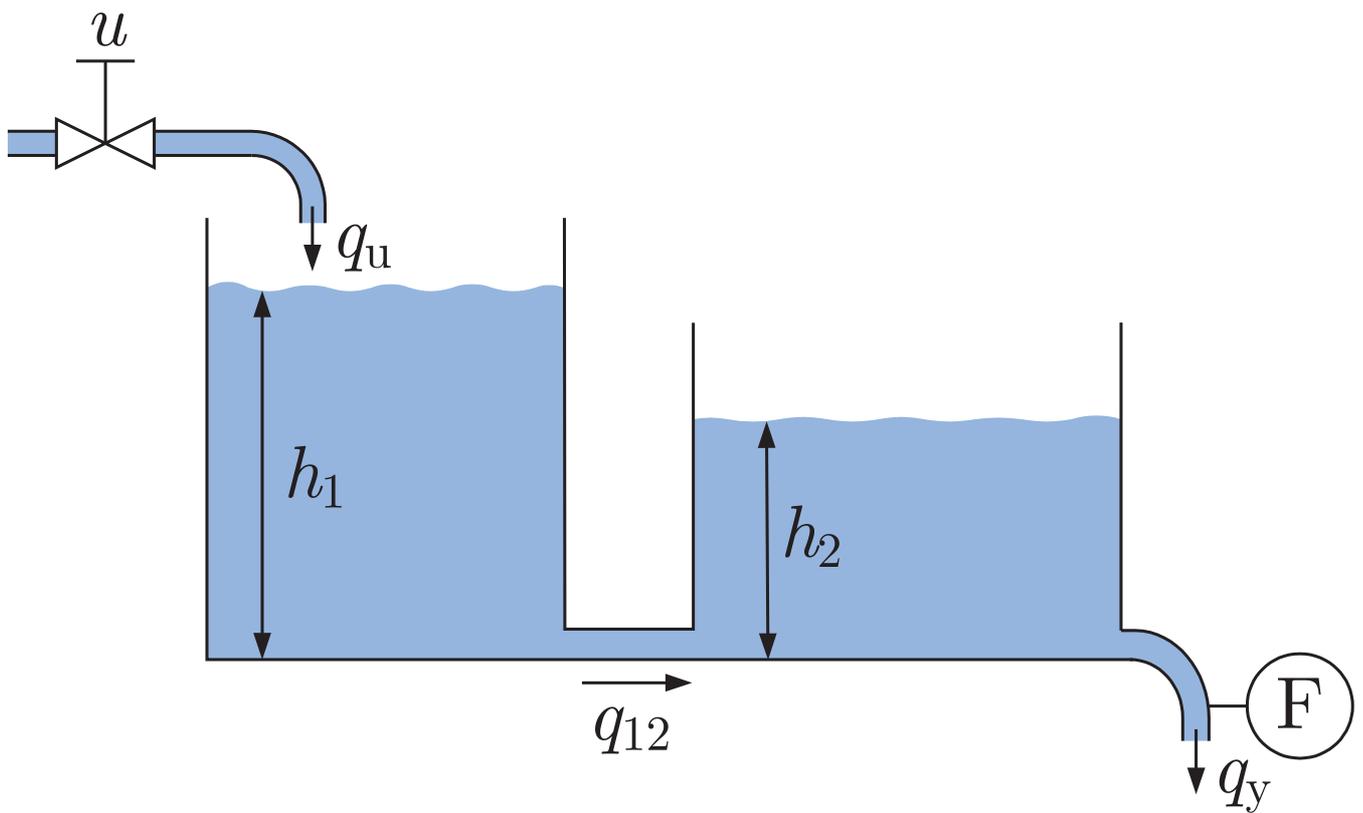


Abb. 9.6: Behältersystem, für das ein Beobachter entworfen werden soll

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

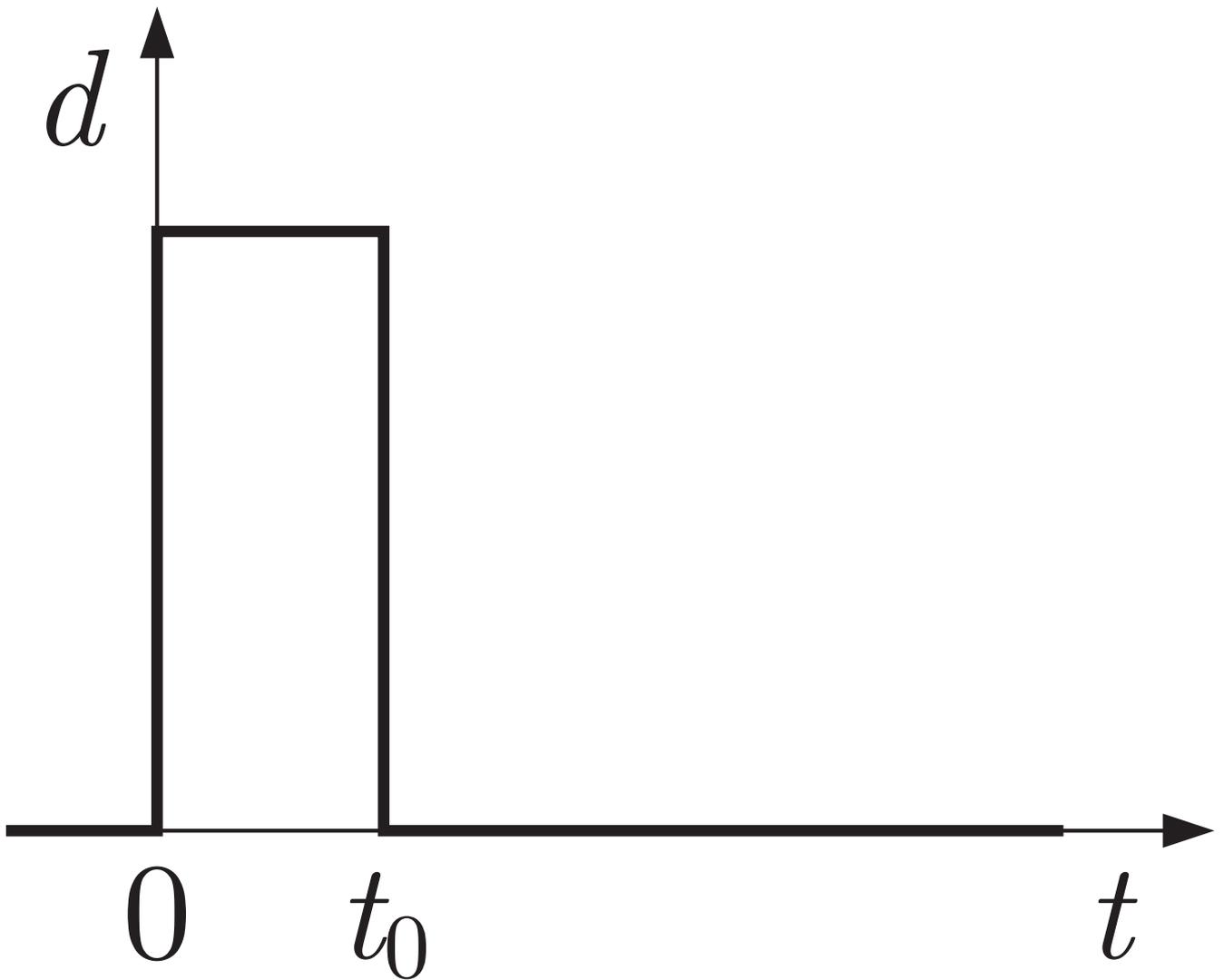


Abb. 9.7: Impulsförmige Störung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

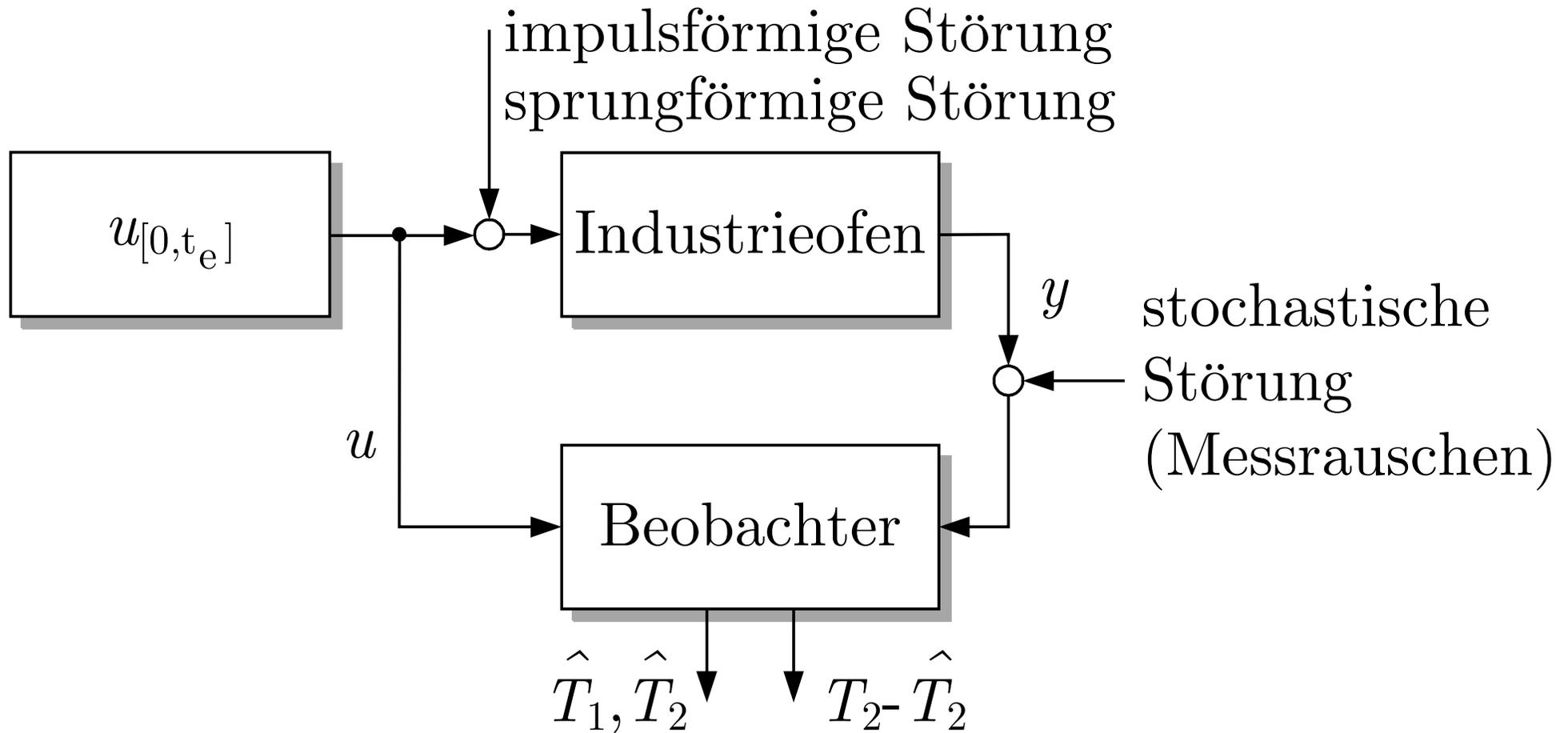


Abb. 9.8. Störungen bei der Beobachtung des Industrieofens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

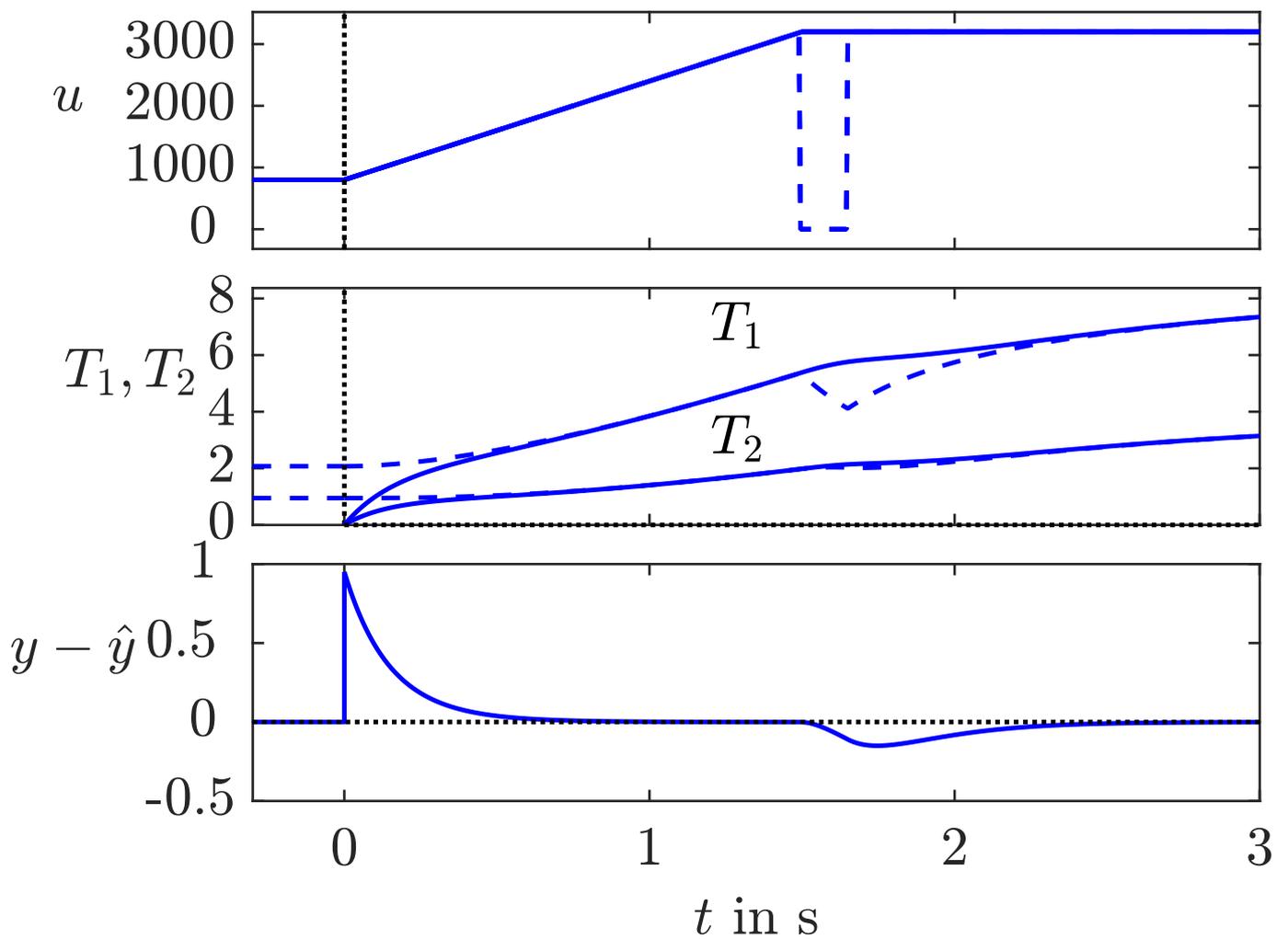


Abb. 9.9: Beobachtungsergebnis bei impulsförmiger Störung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

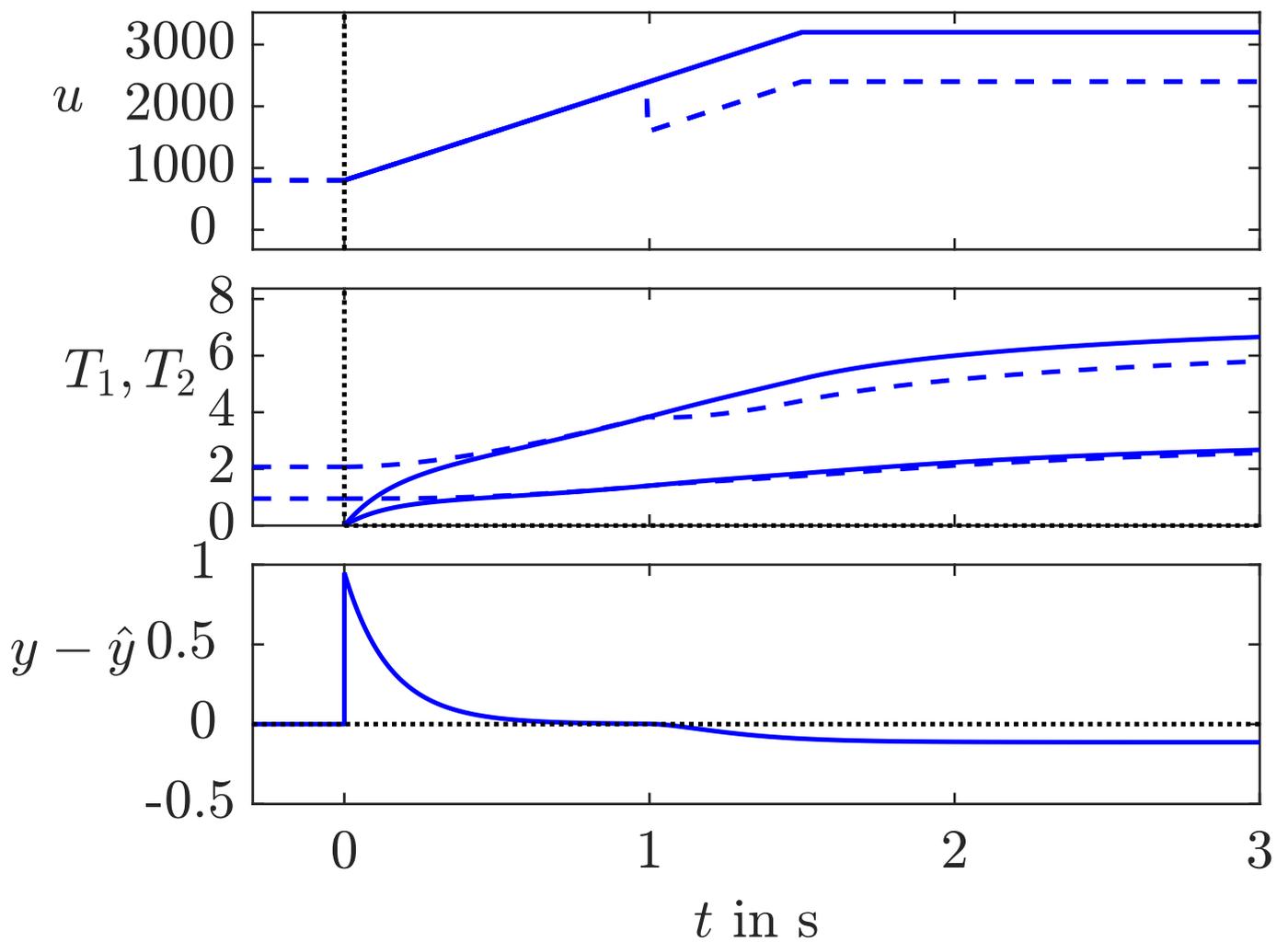


Abb. 9.9: Beobachtungsergebnis bei sprungförmiger Störung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

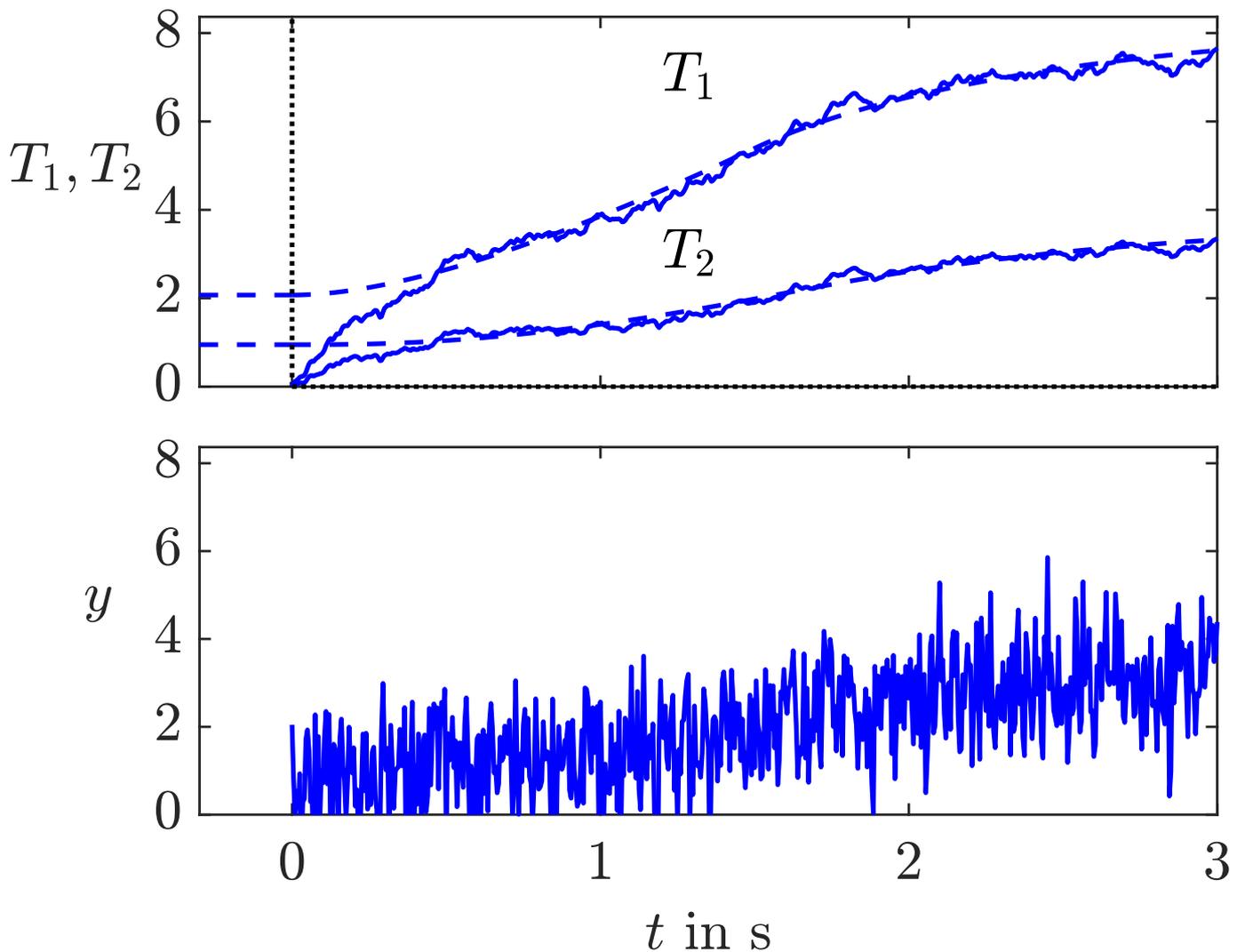


Abb. 9.10: Beobachtungsergebnis bei stochastischer Störung mit langsam eingestelltem Beobachter

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

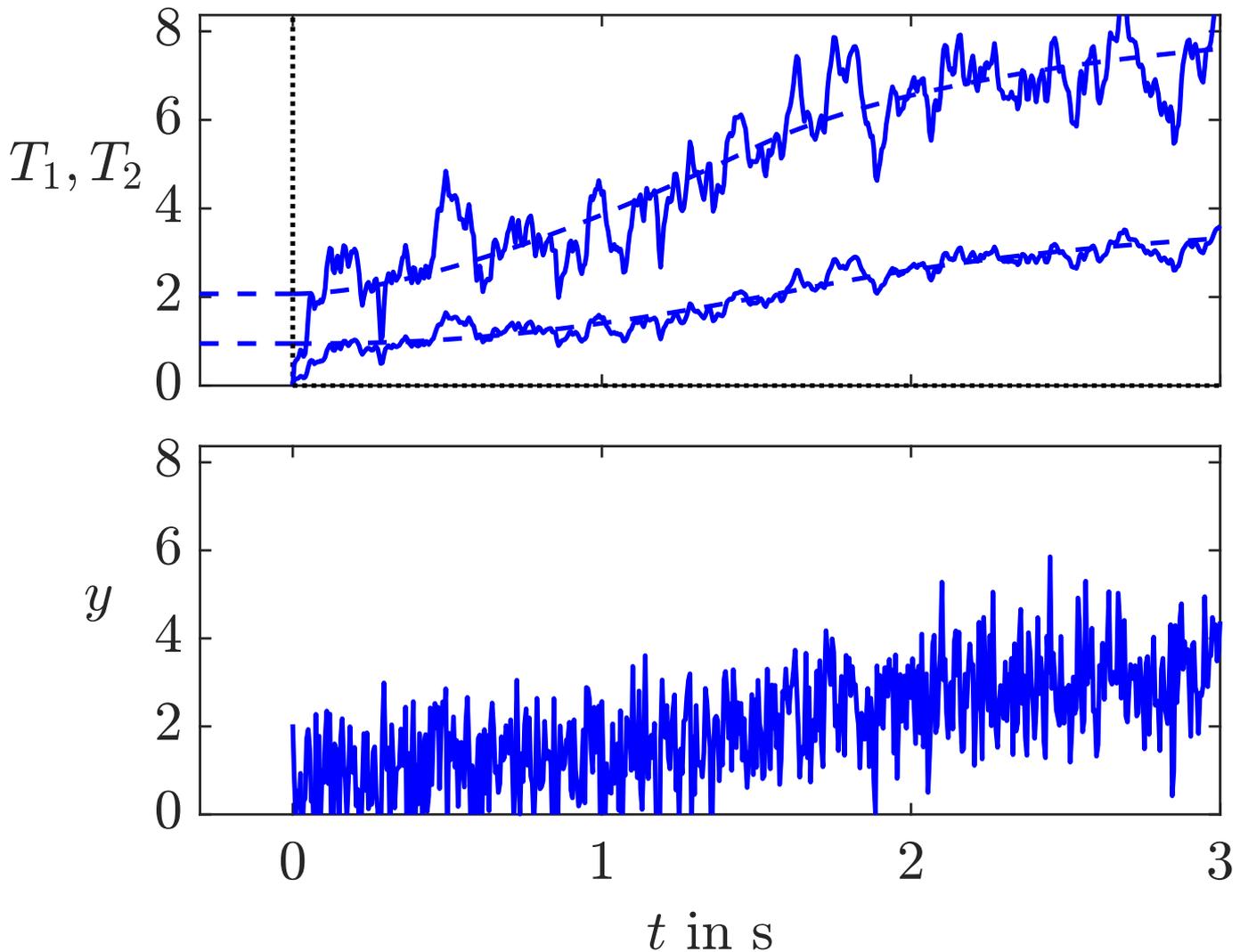


Abb. 9.10: Beobachtungsergebnis bei stochastischer Störung mit schnell eingestelltem Beobachter

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

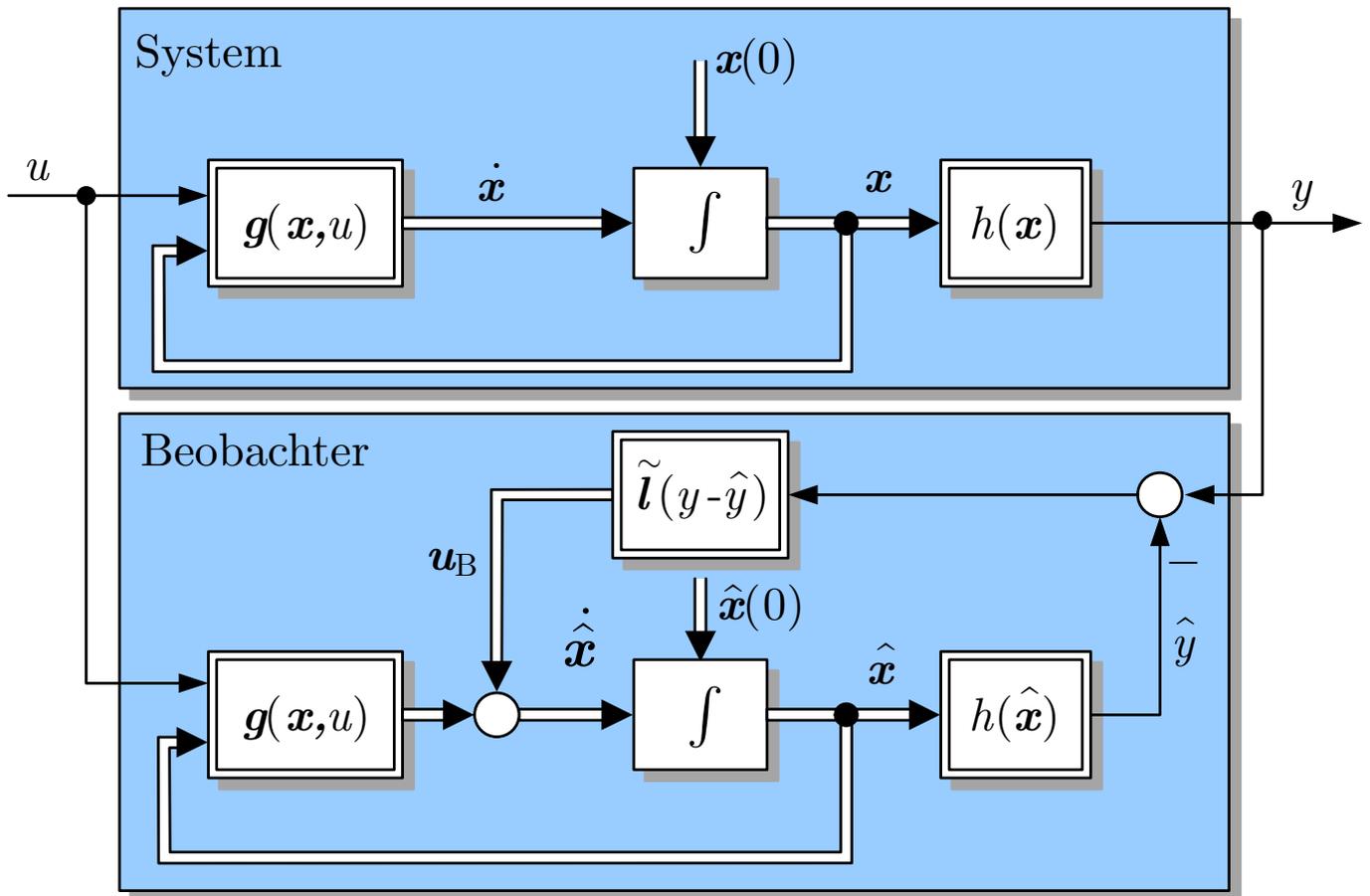


Abb. 9.11: Beobachter für ein nichtlineares System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

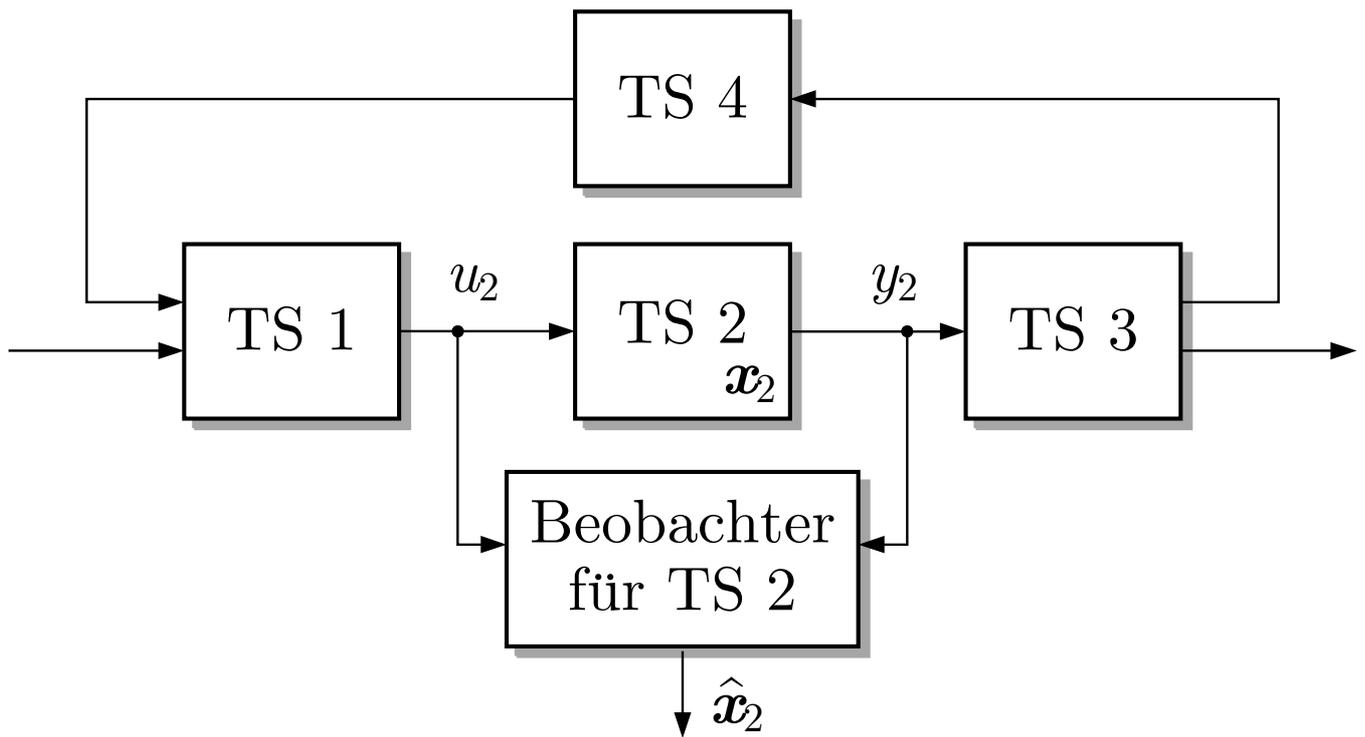


Abb. 9.12: Beobachter für das Teilsystem 2

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

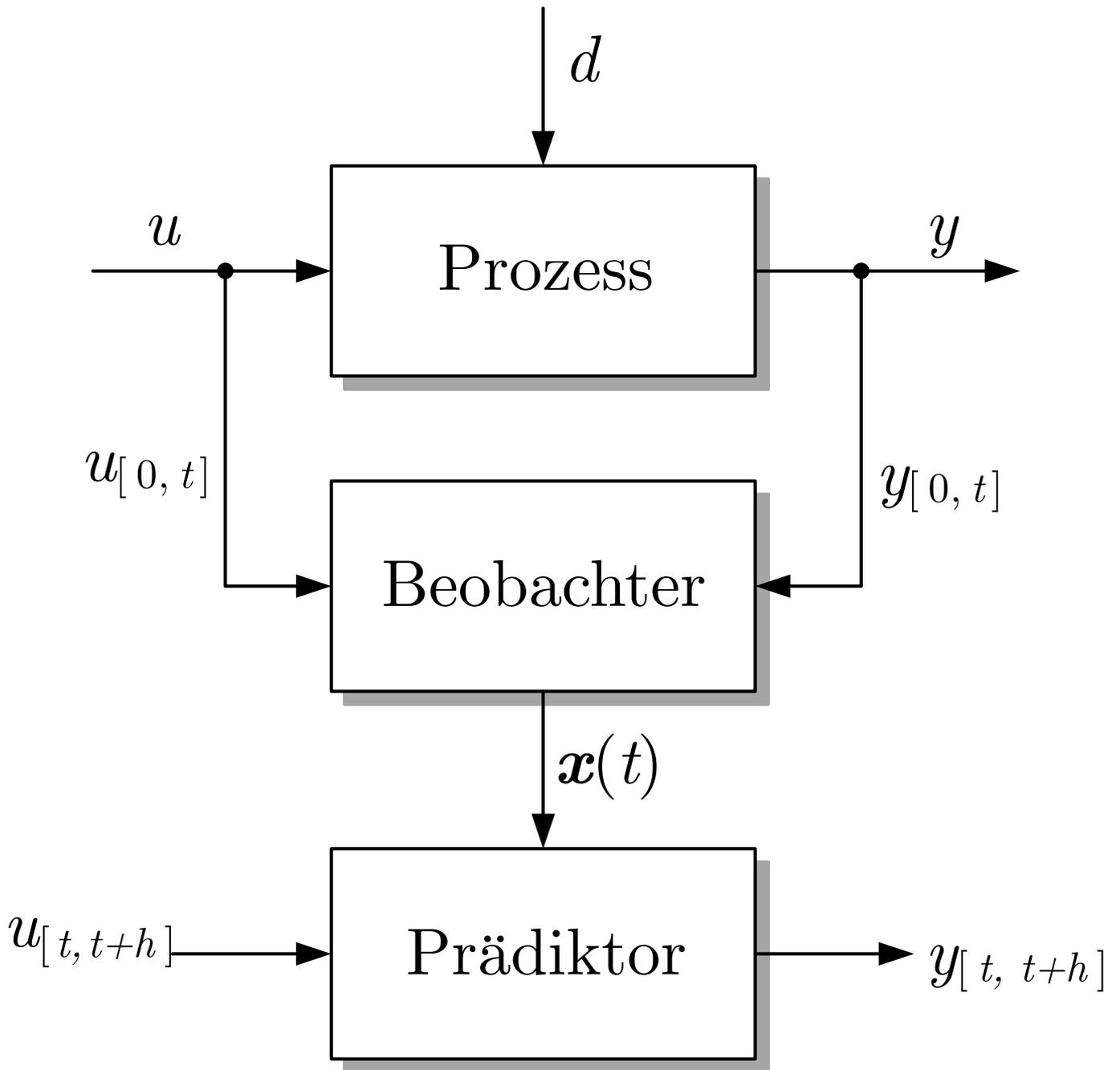


Abb. 9.13: Online-Prädiktion mit Beobachter

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

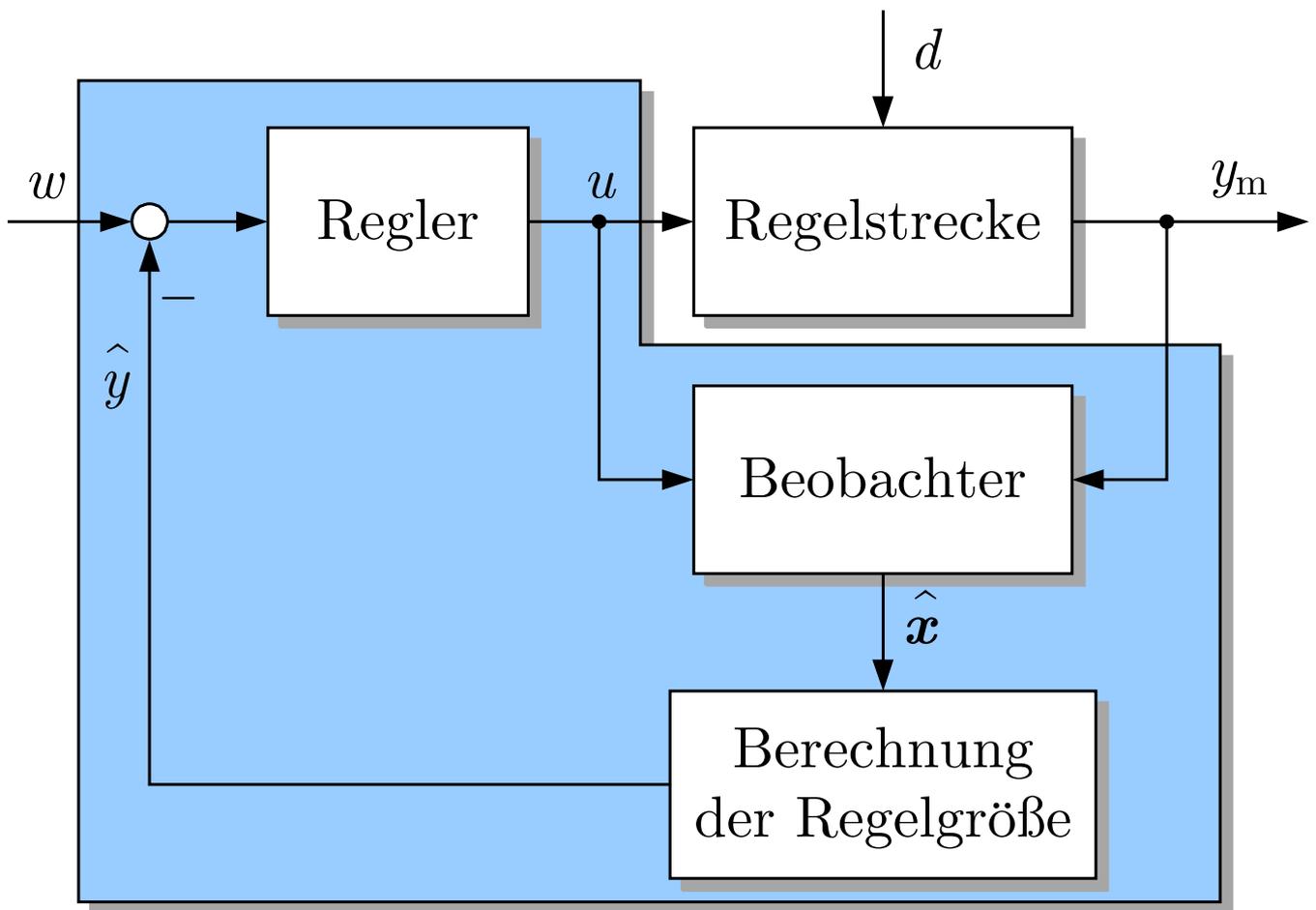


Abb. 9.14: Realisierung einer Regelung mit Hilfe eines Beobachters für die nicht messbare Regelgröße y

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

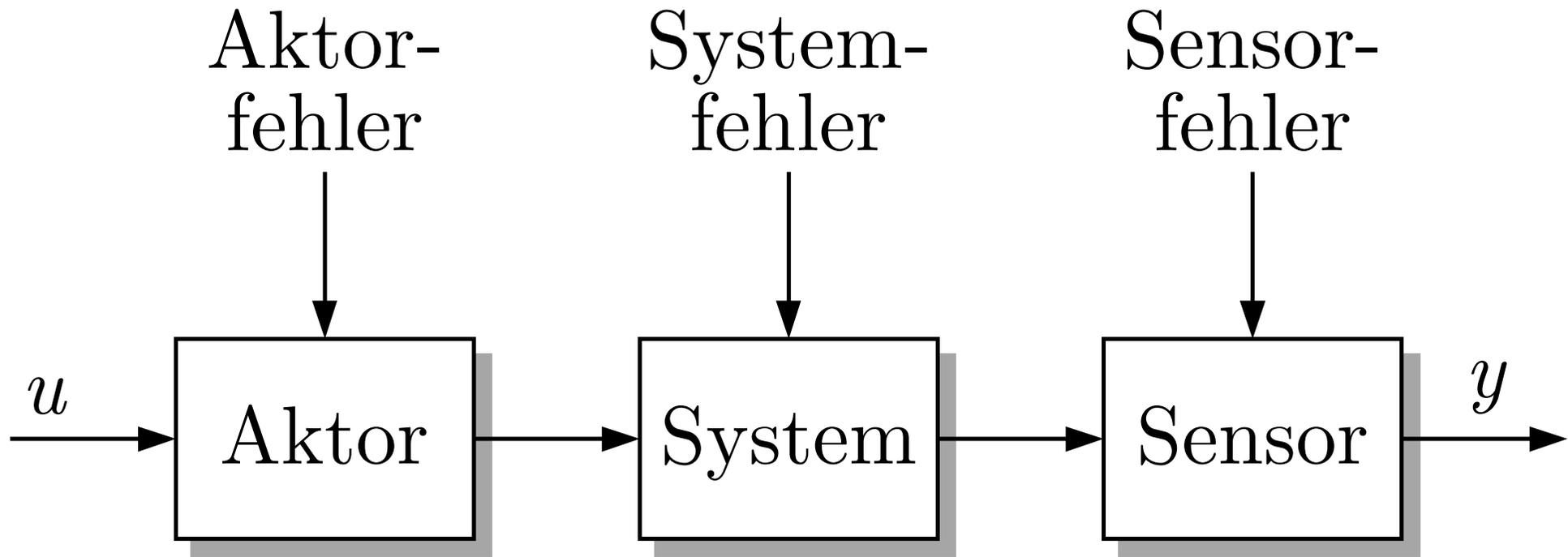


Abb. 10.1. Klassifikation interner Fehler

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

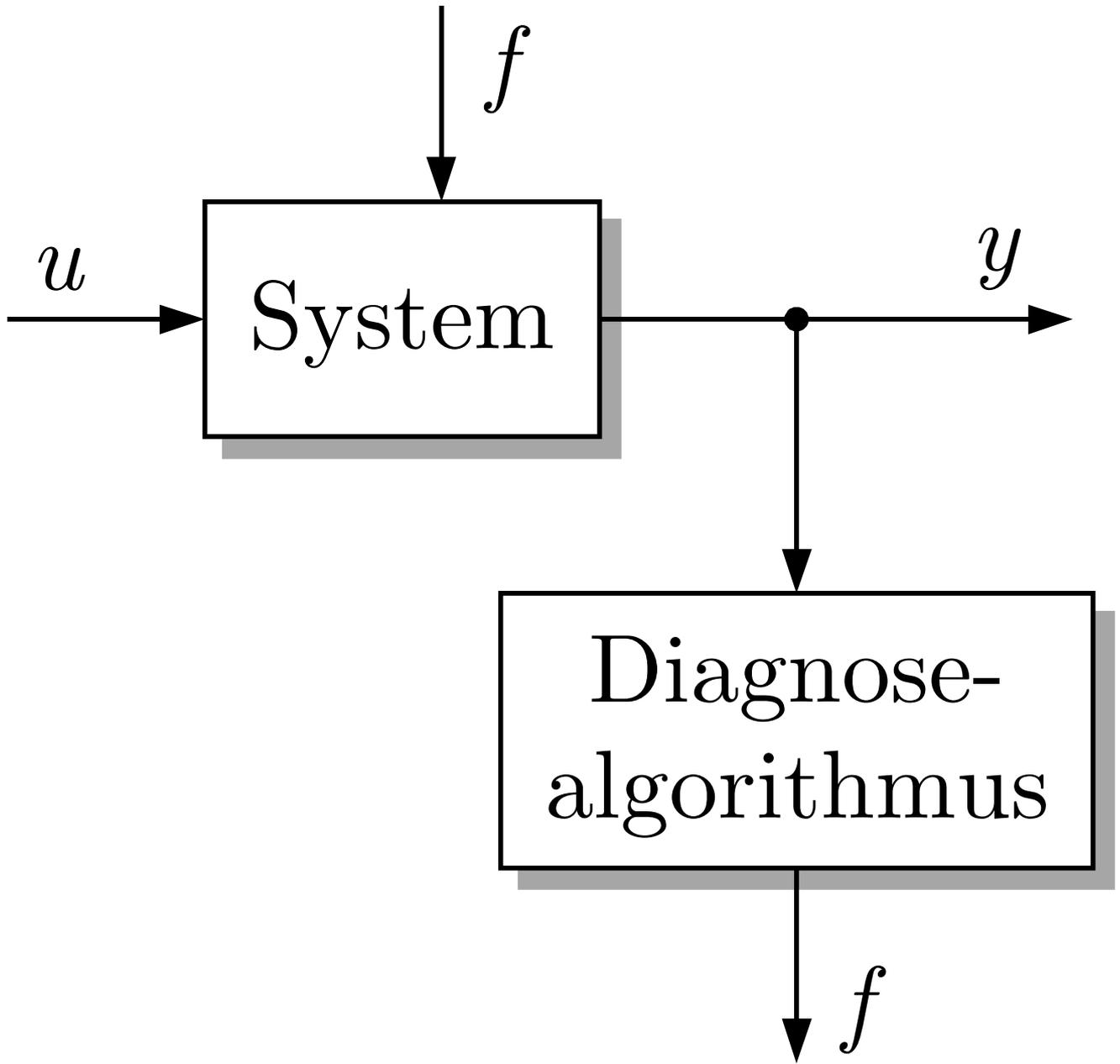
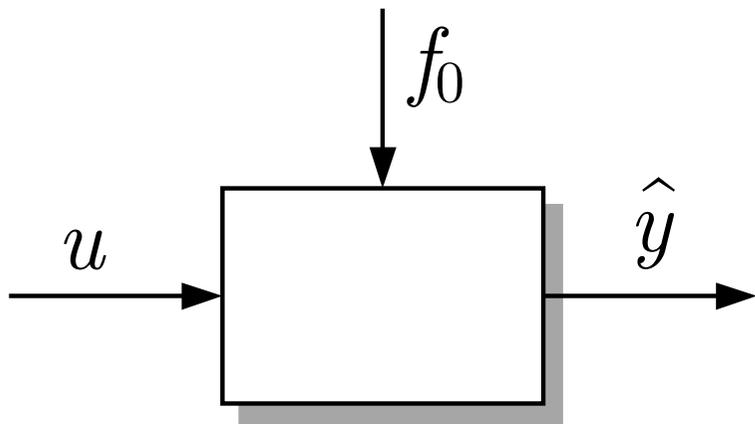


Abb. 10.2: Signalbasierte Diagnose

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

Fehlerfreies System



Fehlerhaftes System

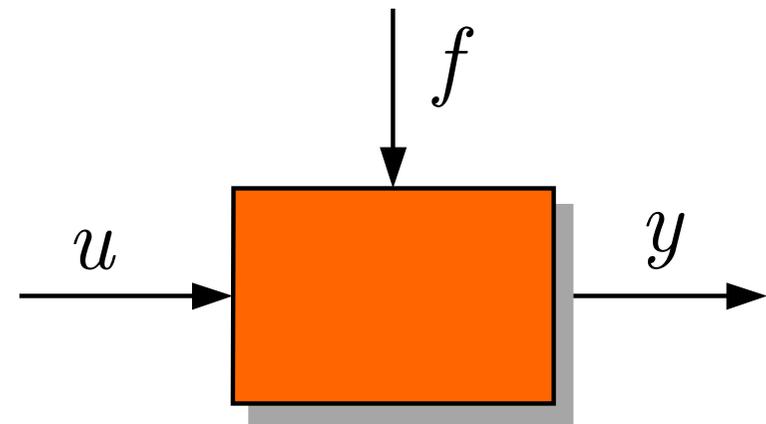


Abb. 10.3. Fehlerfreies und fehlerhaftes System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

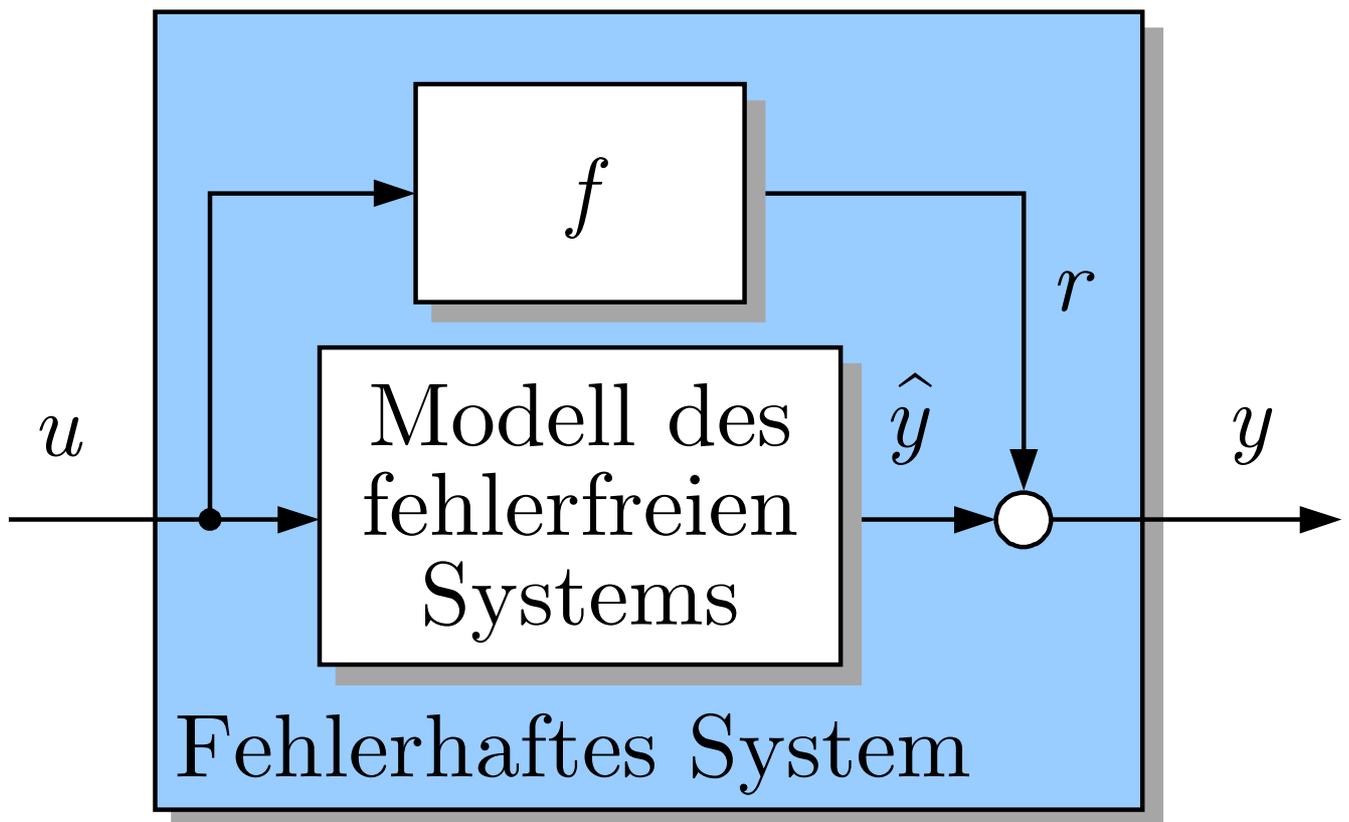


Abb. 10.4: Dekomposition eines fehlerhaften Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

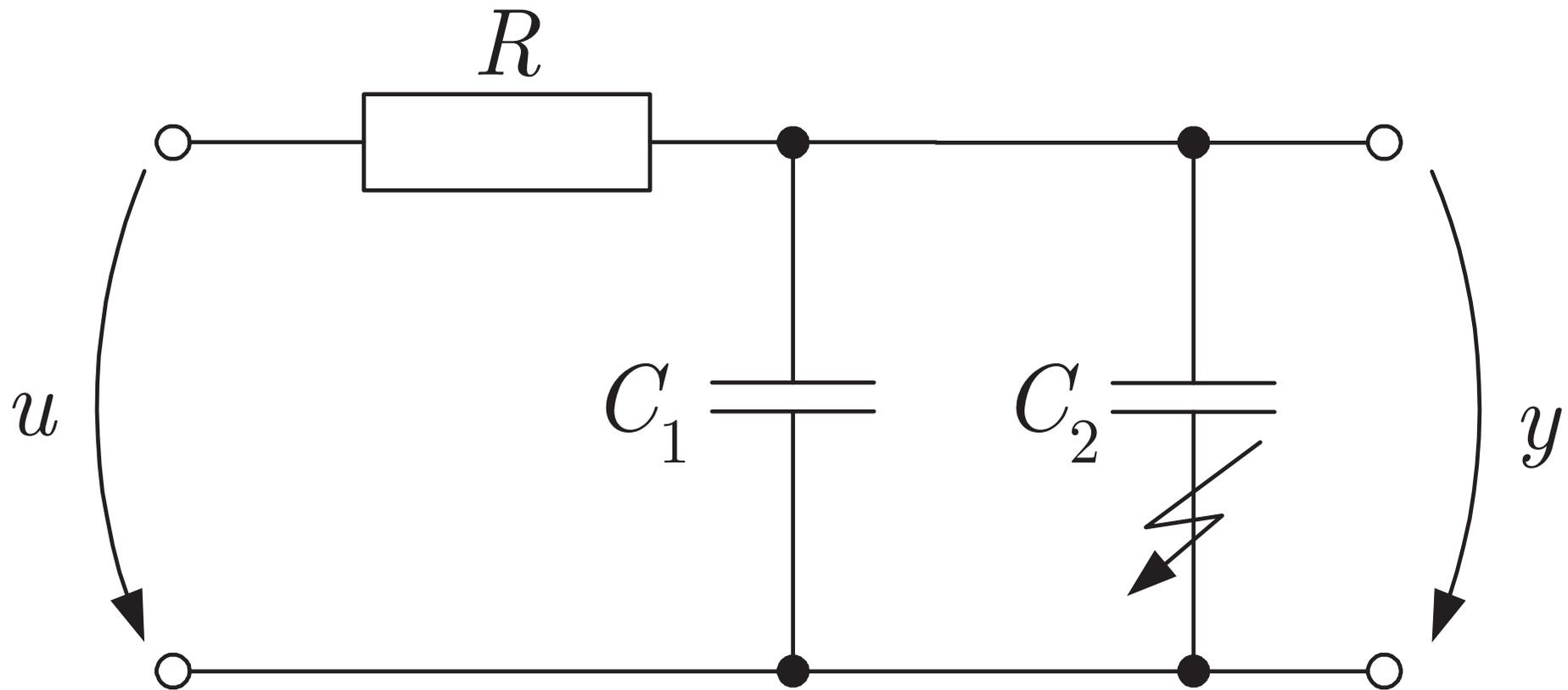


Abb. 10.5. RC-Glied mit fehlerhaft angeschlossenem Kondensator

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

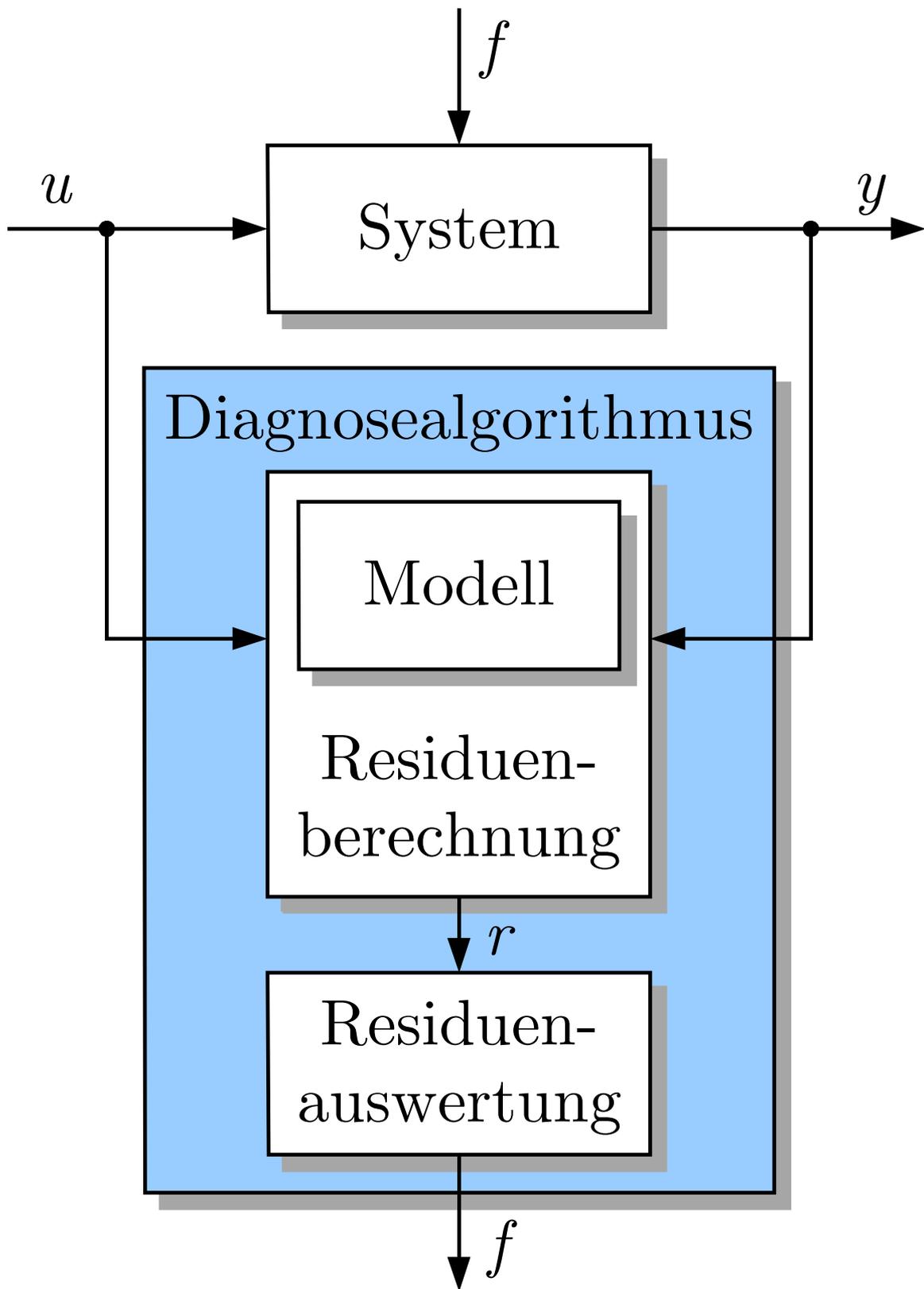


Abb. 10.6. Prozessdiagnose kontinuierlicher Systeme

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

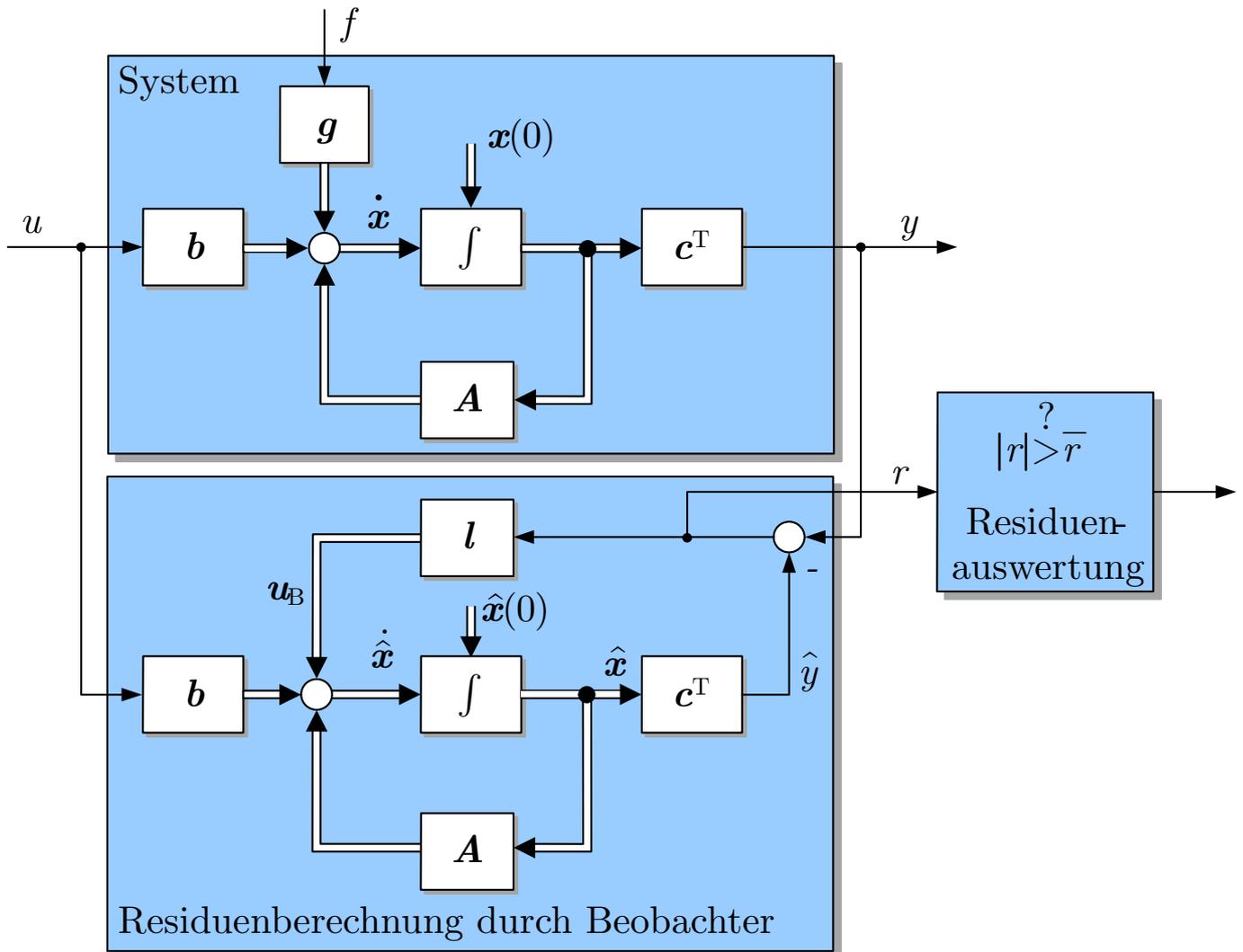


Abb. 10.7: Fehlererkennung mit Hilfe eines Beobachters

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

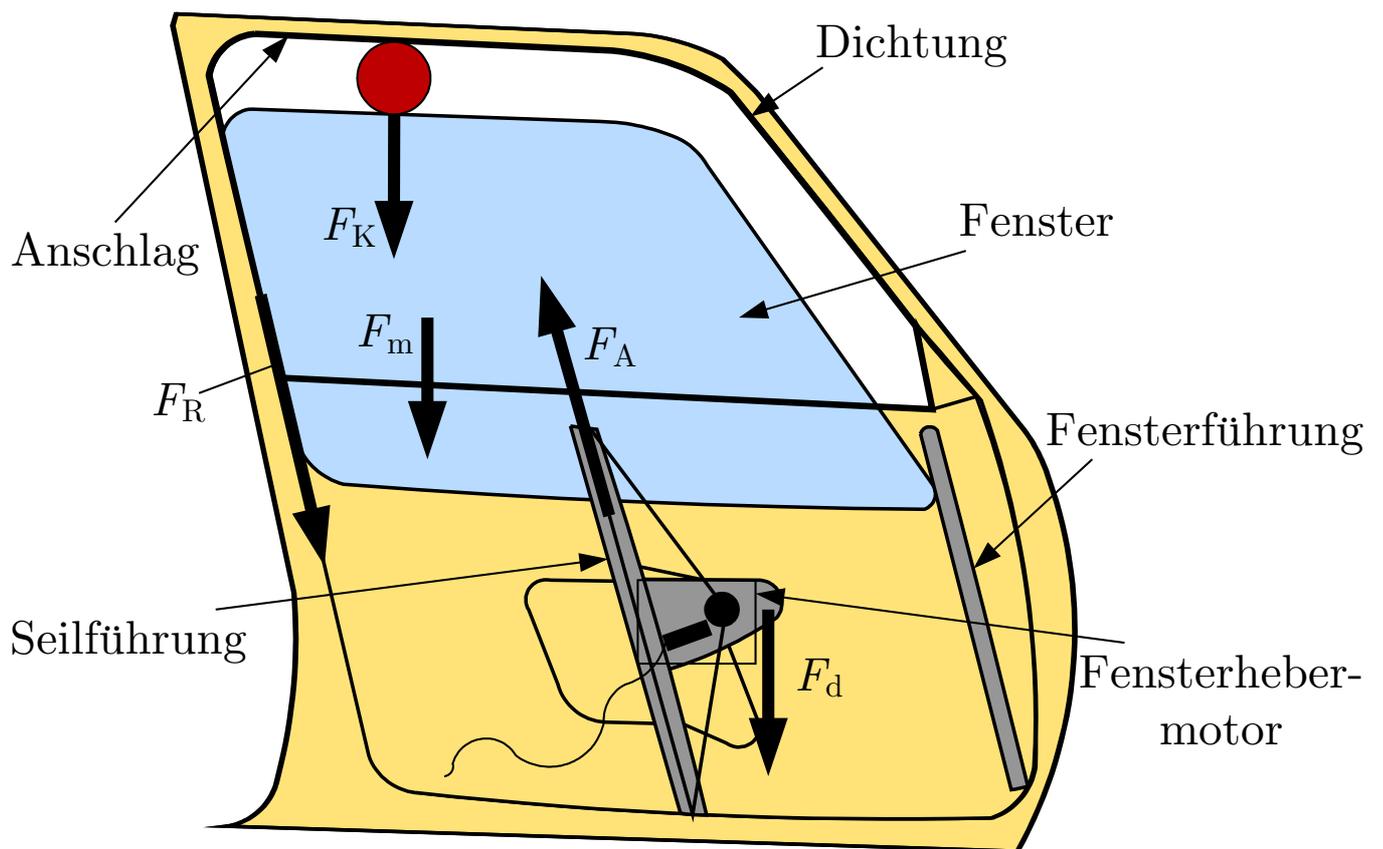


Abb. 10.8: Elektrischer Fensterheber

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

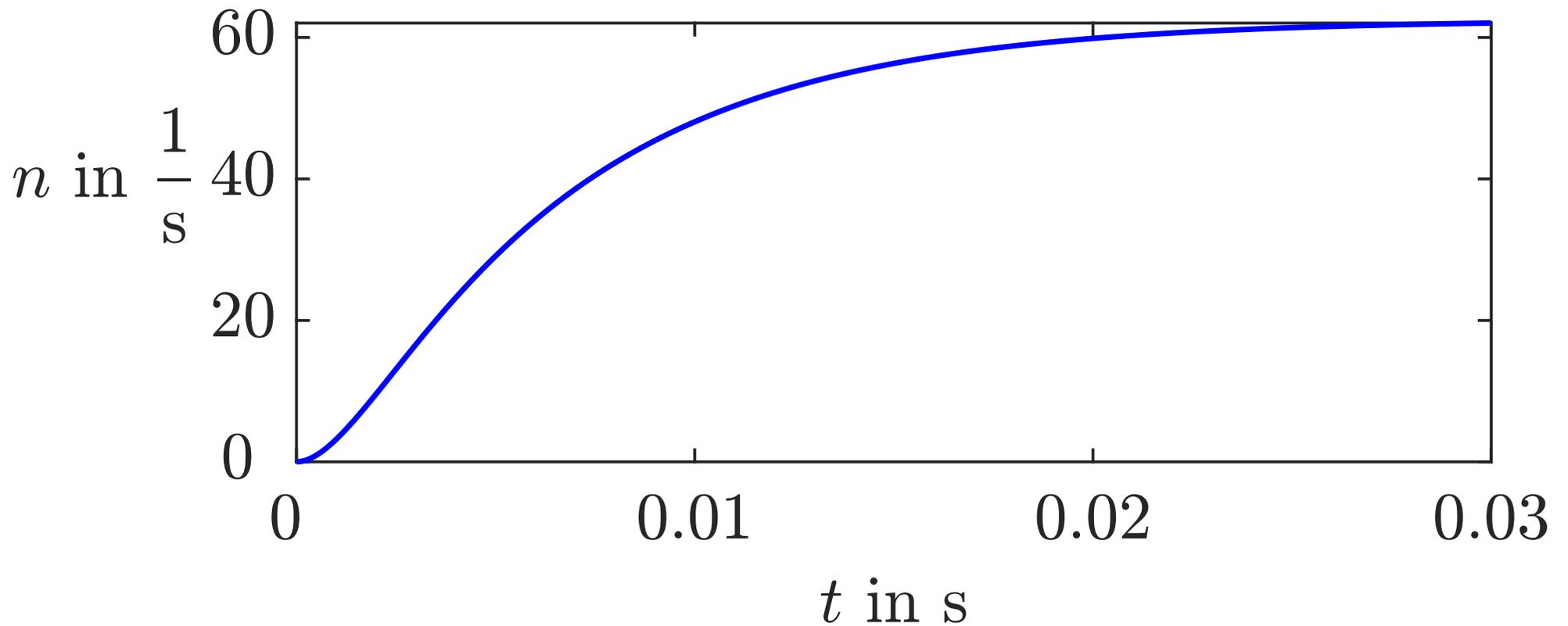


Abb. 10.9. Verlauf der Drehzahl n beim Einschalten des Fensterhebers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

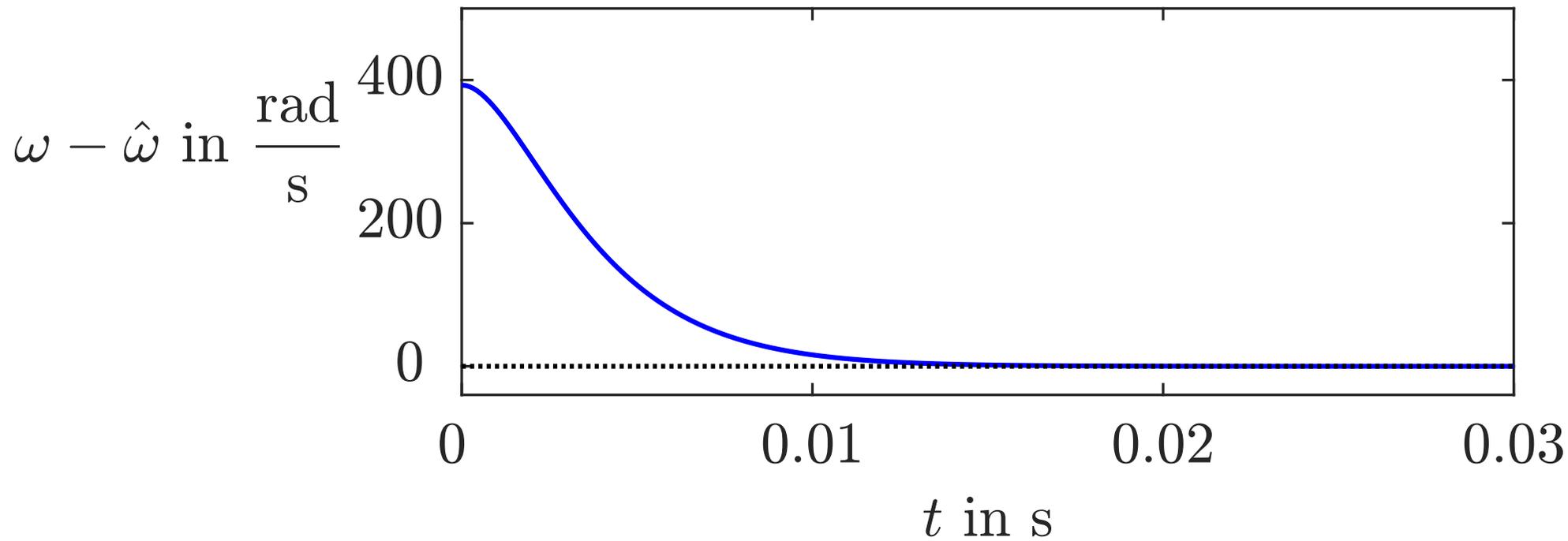


Abb. 10.10. Verlauf des Beobachtungsfehlers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

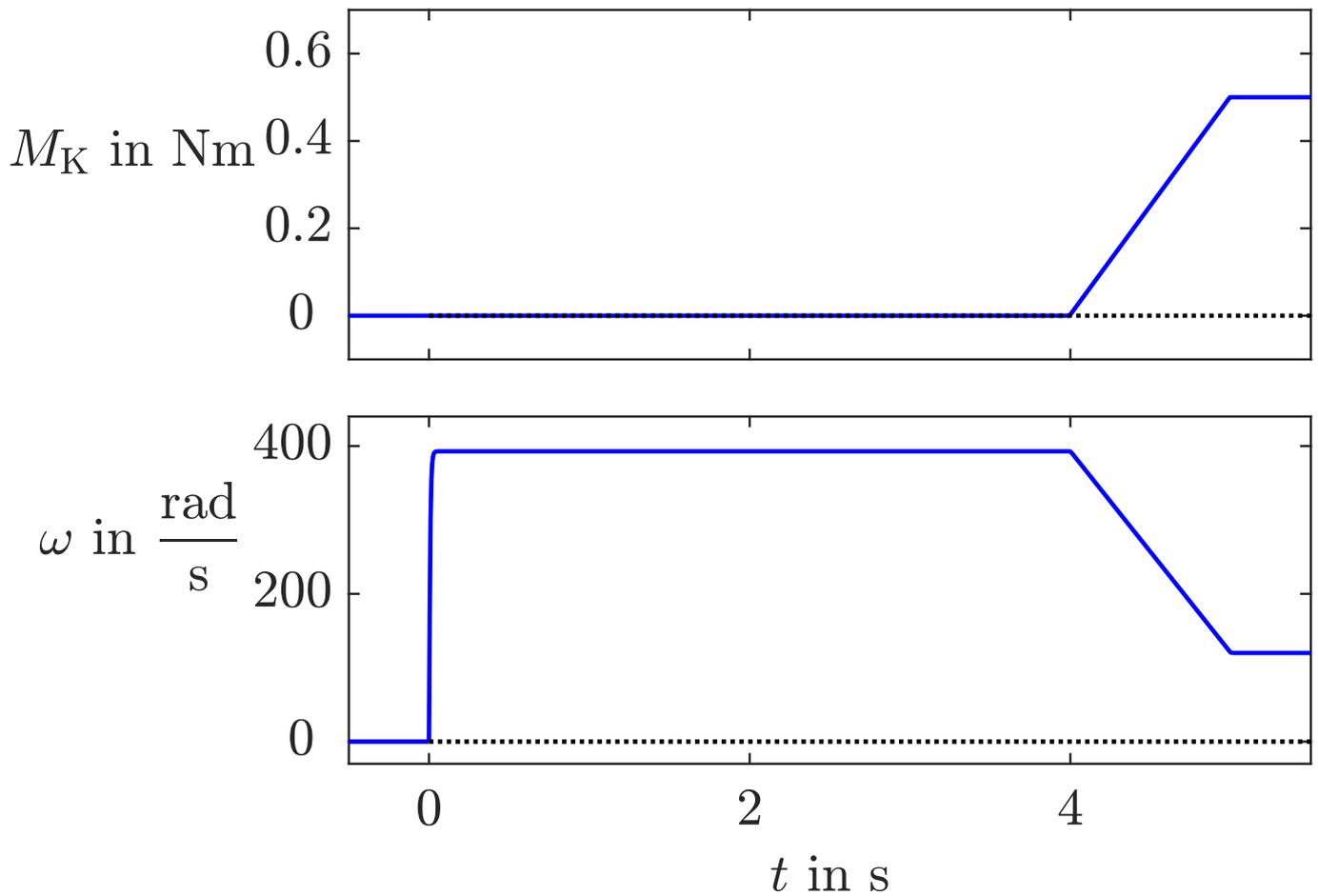


Abb. 10.11: Verhalten des Fensterhebers beim Einklemmen eines Gegenstands

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

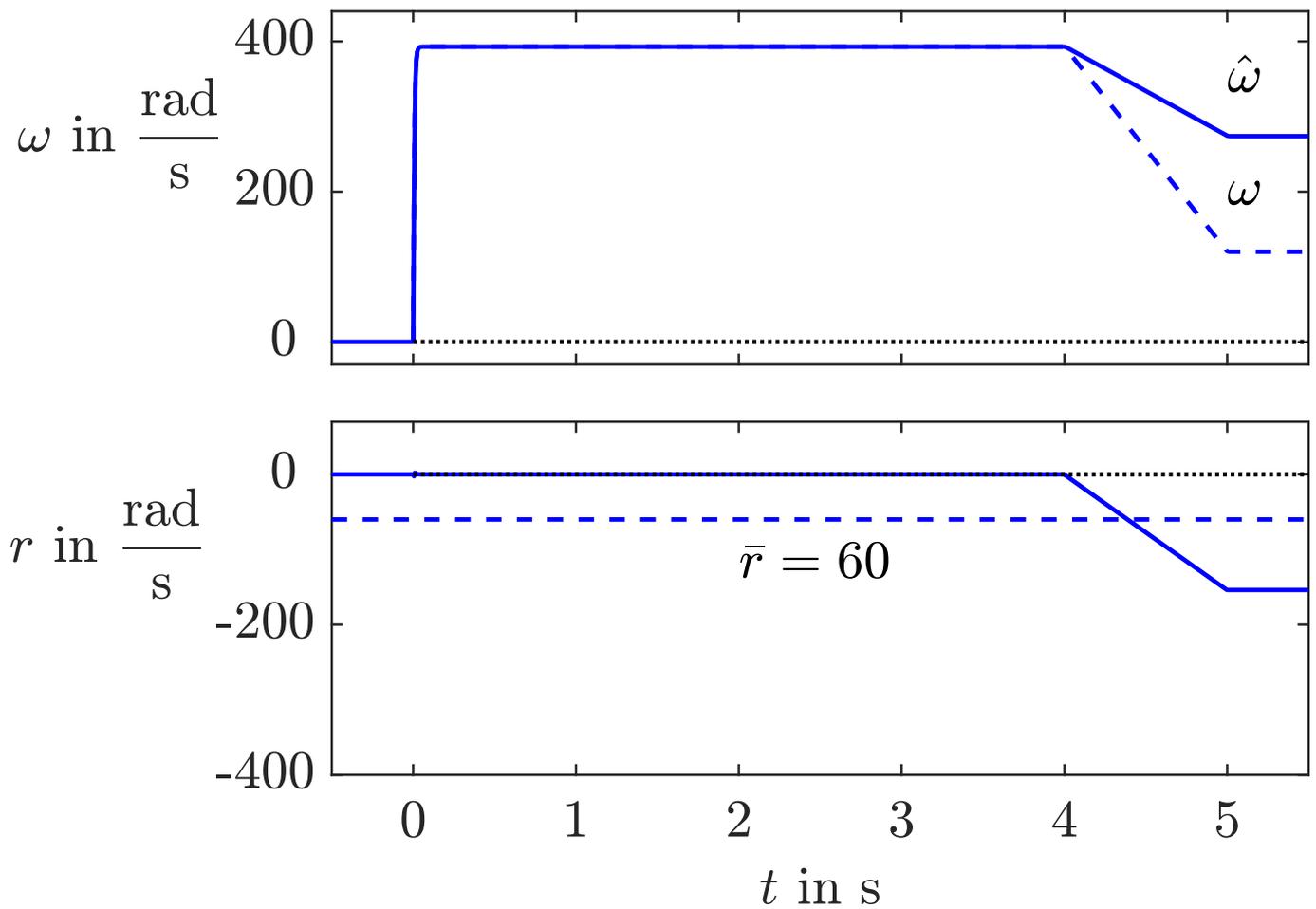


Abb. 10.12: Erkennen des Einklemmfalls bei $|r(t)| \neq 0$ ohne Störung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

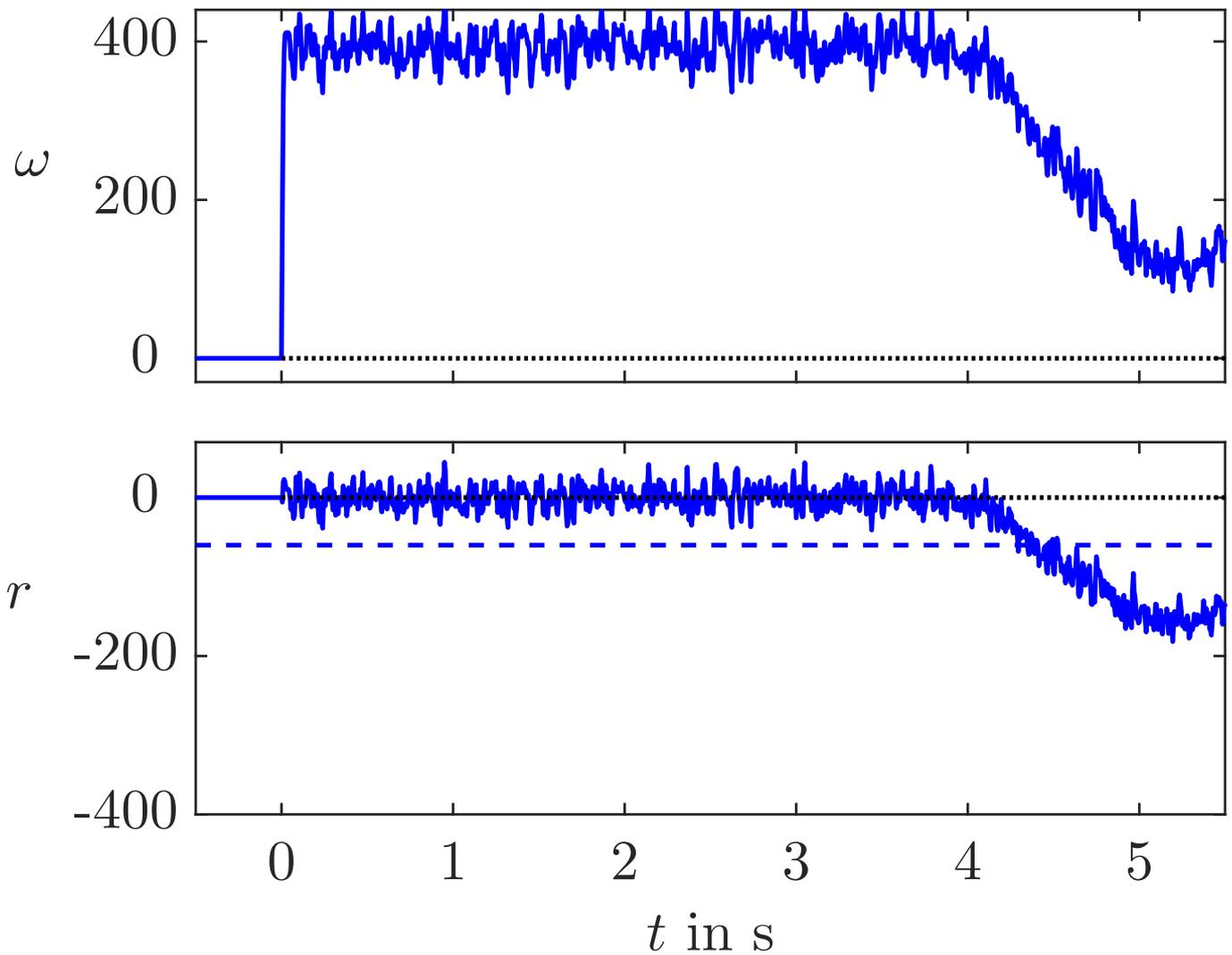


Abb. 10.12: Erkennen des Einklemmfalls bei $|r(t)| \neq 0$ bei Störung durch Straßenunebenheiten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

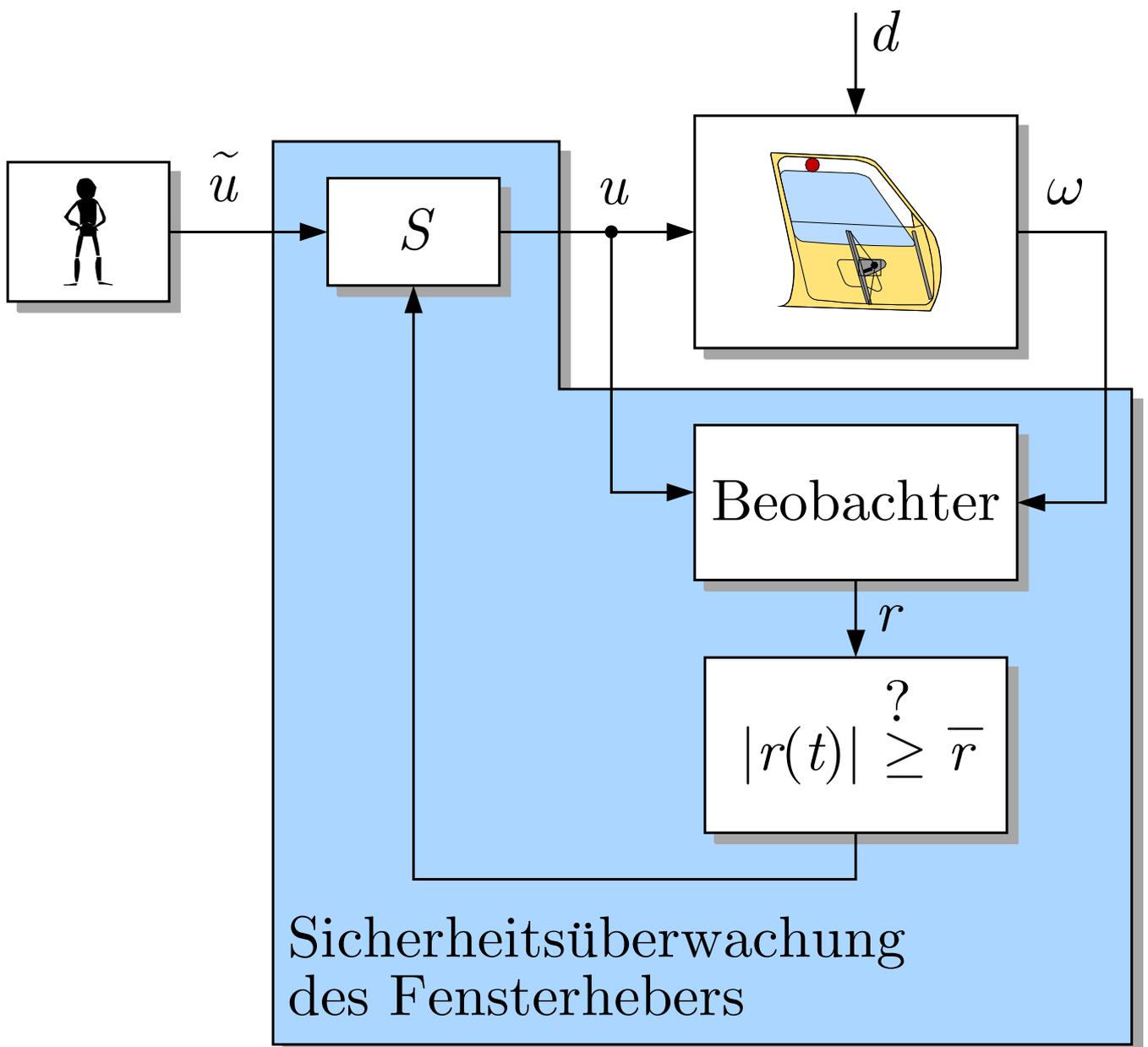


Abb. 10.13: Sicherheitsüberwachung des Fensterhebers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

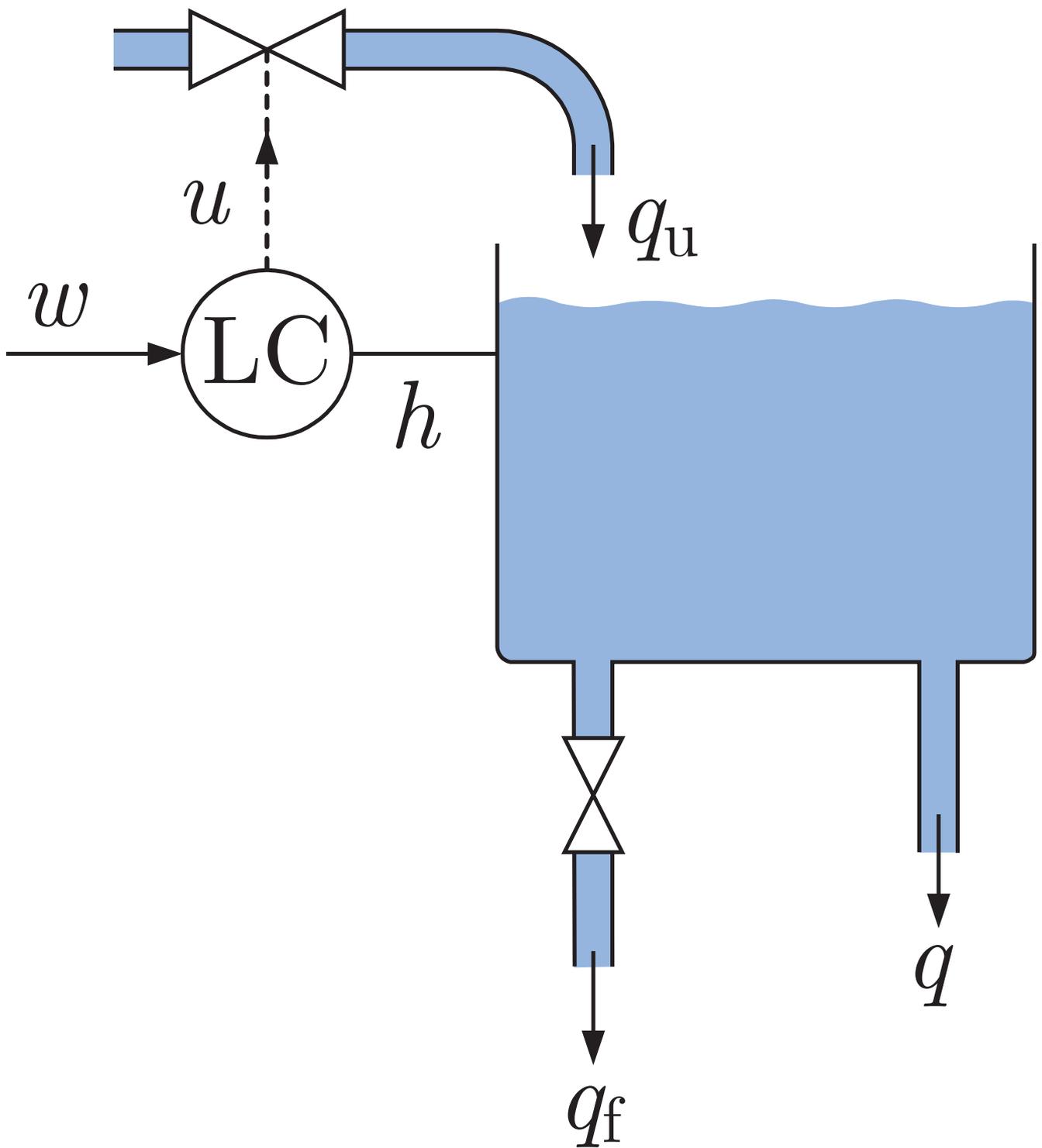


Abb. 10.14: Reaktor mit Füllstandsregelung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

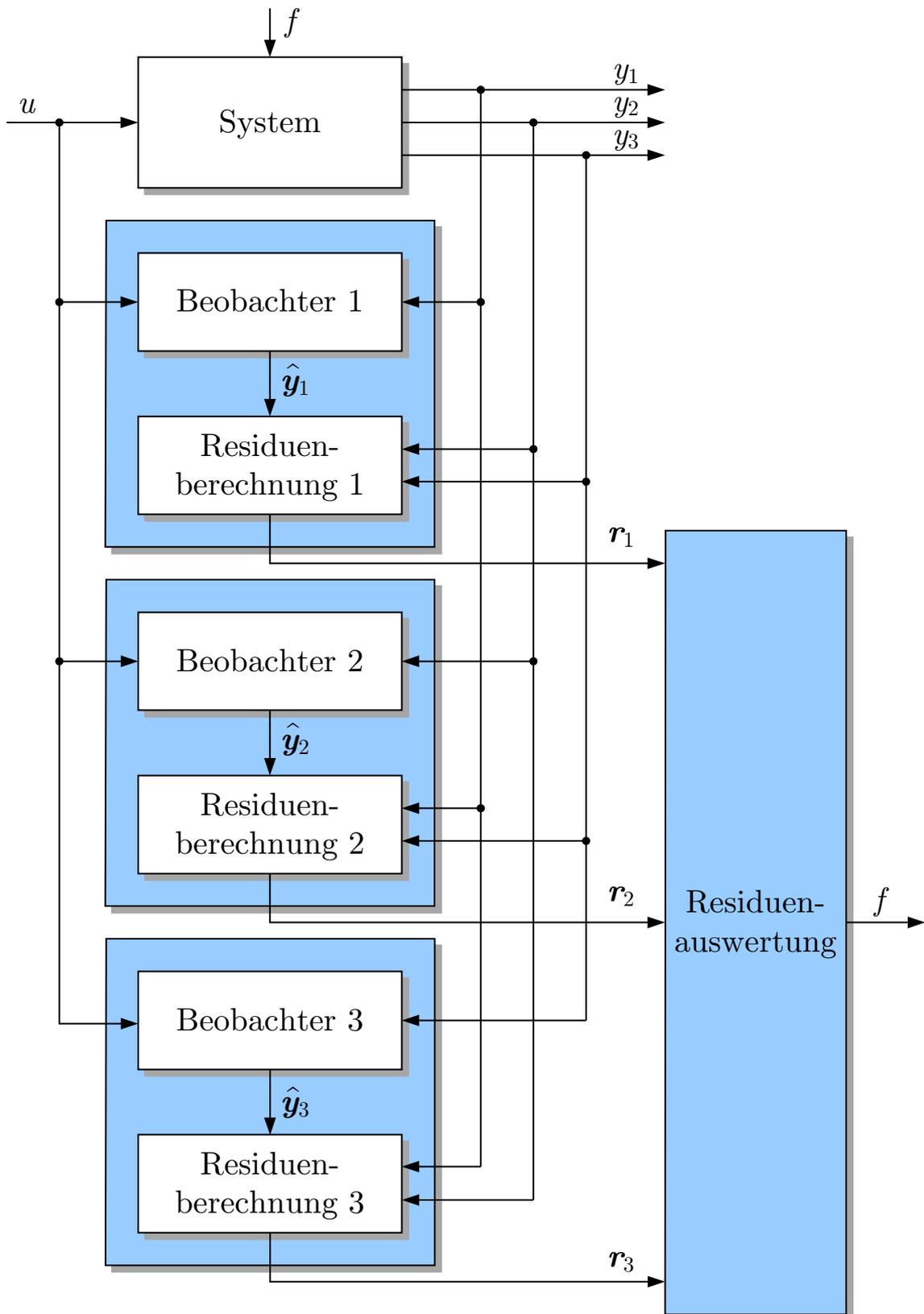


Abb. 10.15. Sensorüberwachung mit dedizierten Beobachtern

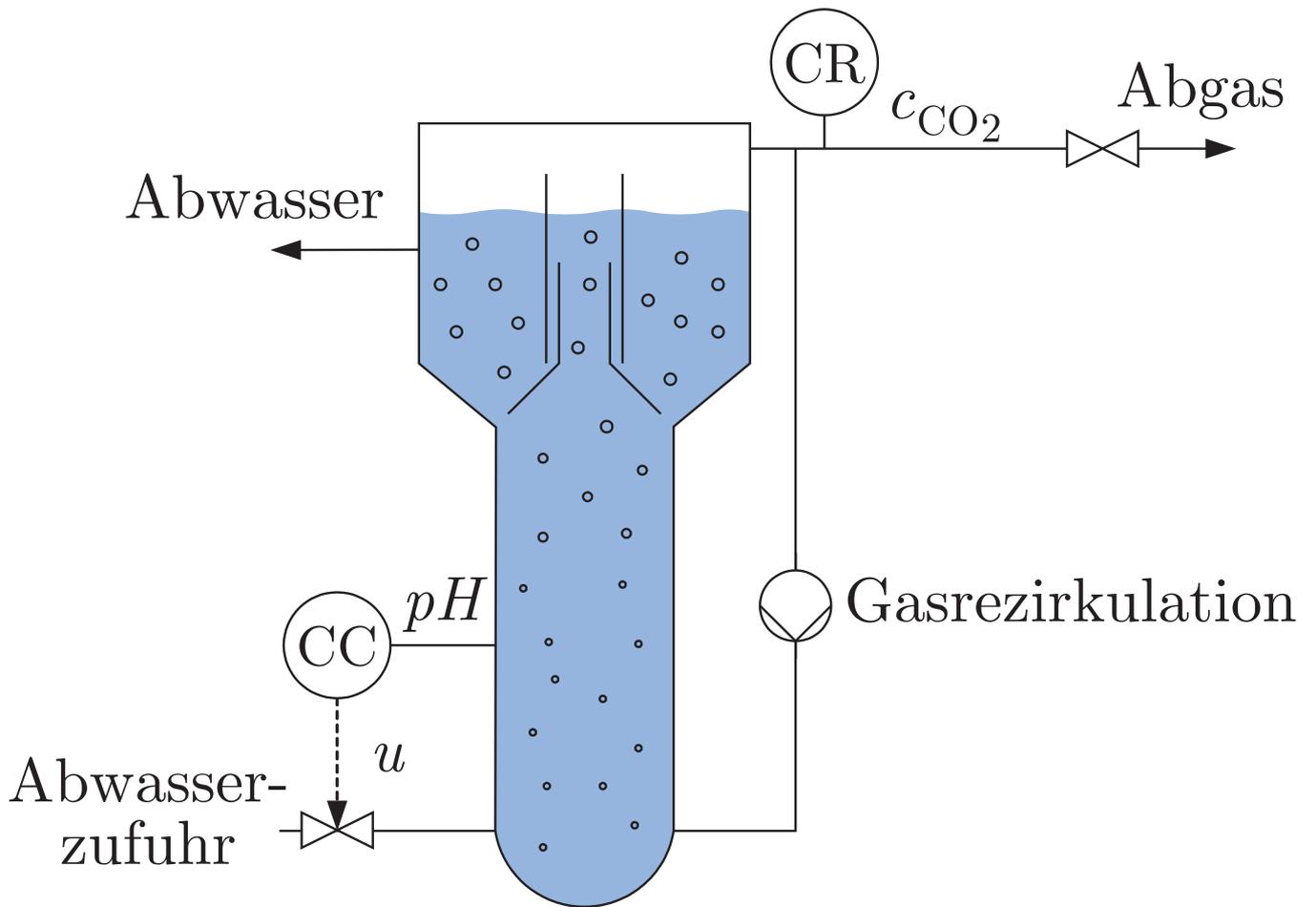


Abb. 10.16: Aufbau eines Bioreaktors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

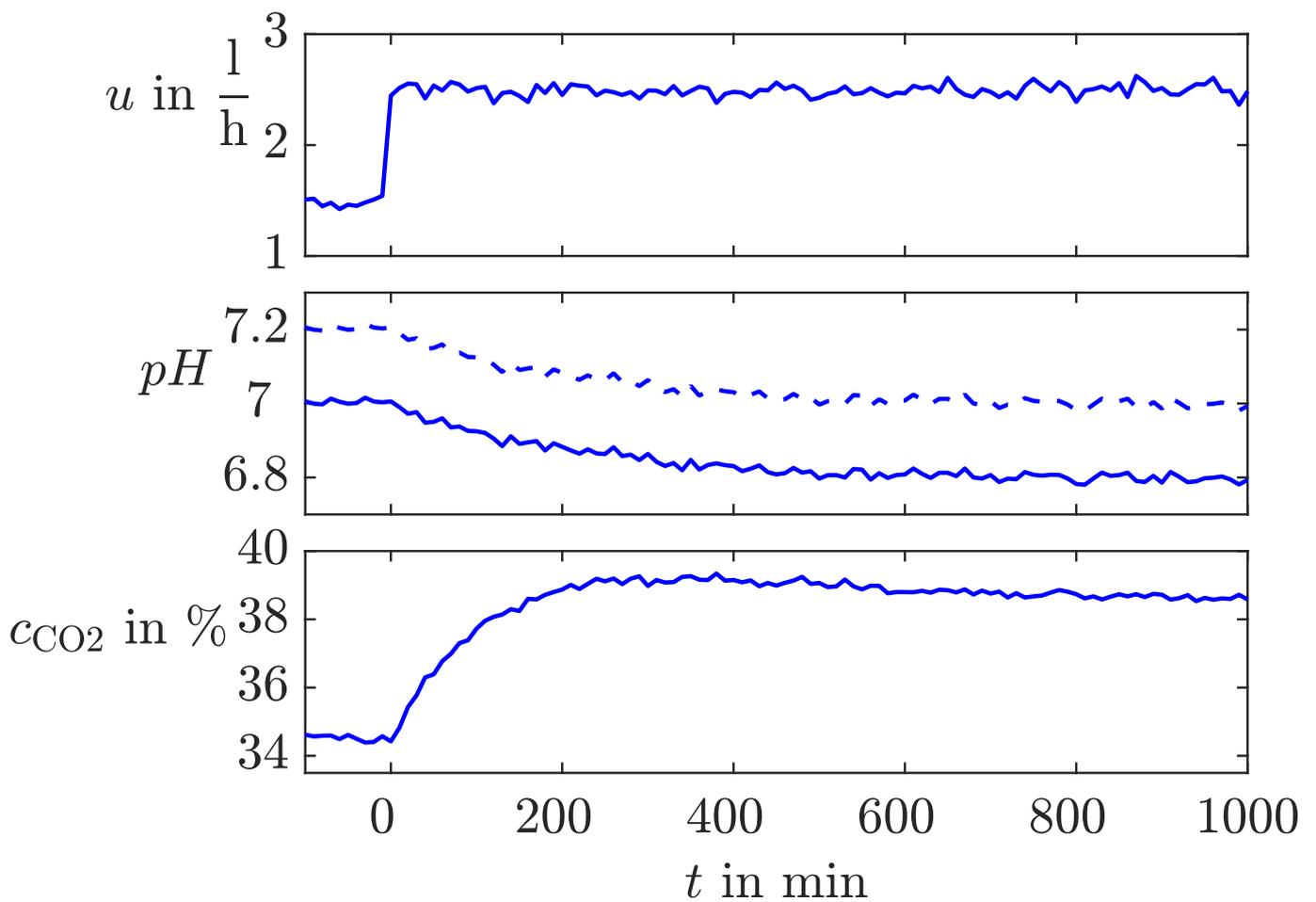


Abb. 10.17: Verhalten des Biogasreaktors bei Erhöhung des Zulaufes um $1\frac{1}{h}$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

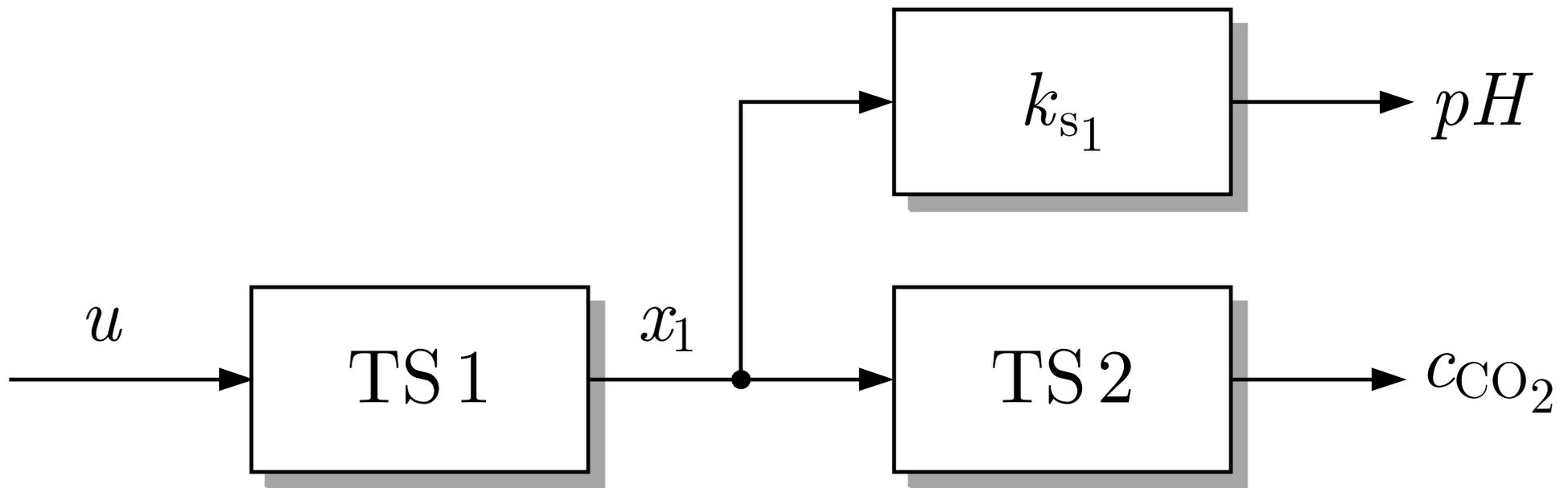


Abb. 10.18. Struktur des Modells für die Beschreibung des Bioreaktors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

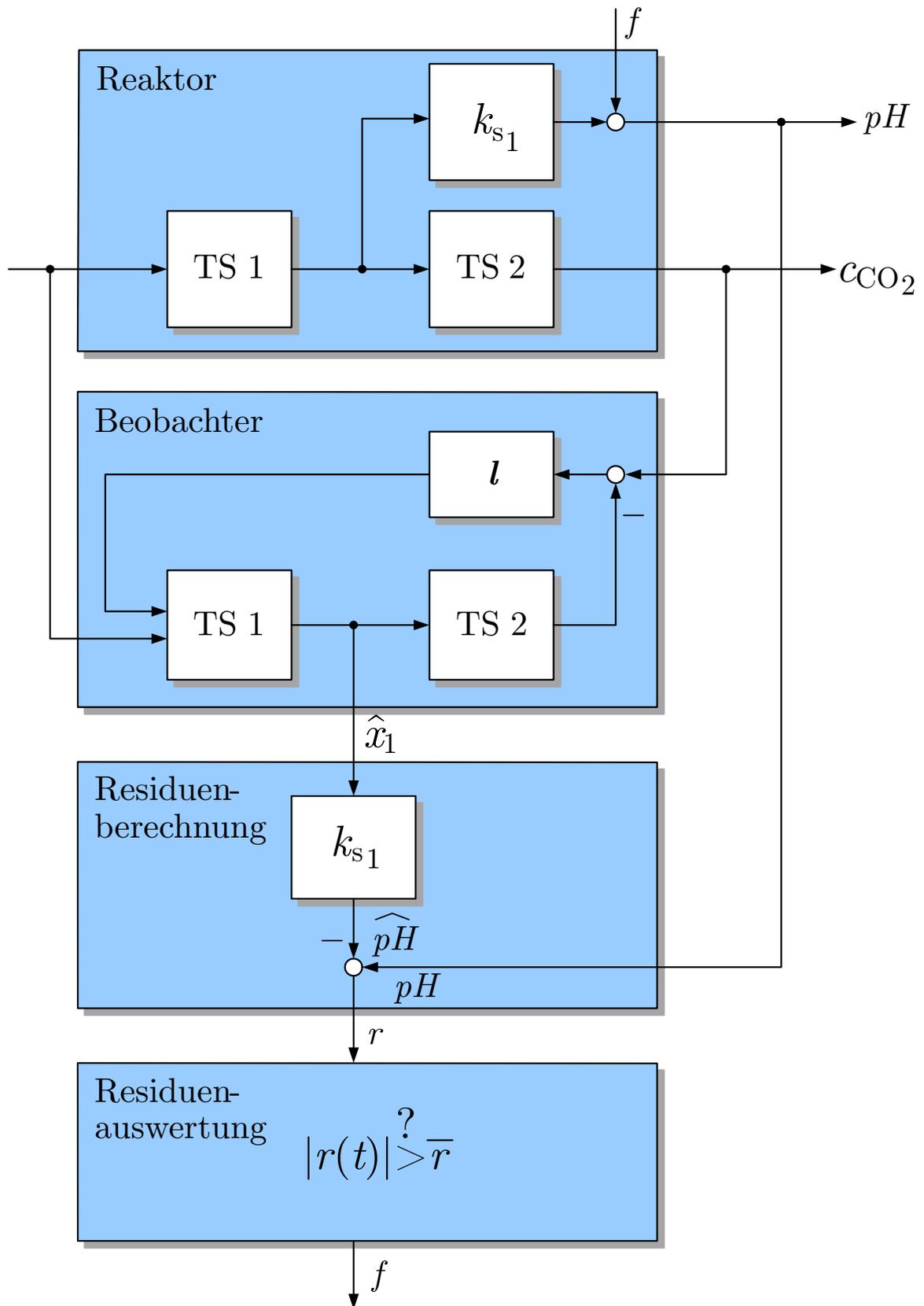


Abb. 10.19. Überwachung des pH-Sensors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

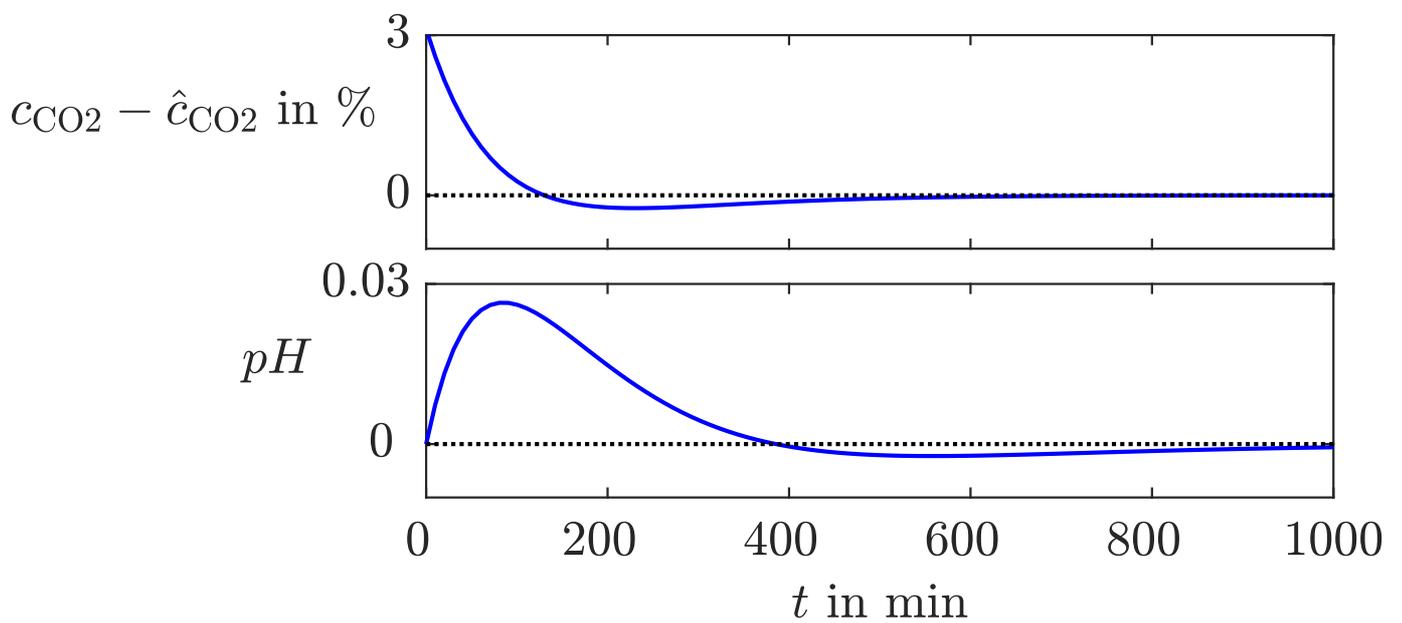


Abb. 10.20: Einschwingverhalten des dedizierten Beobachters bei fehlerfreien Sensoren

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

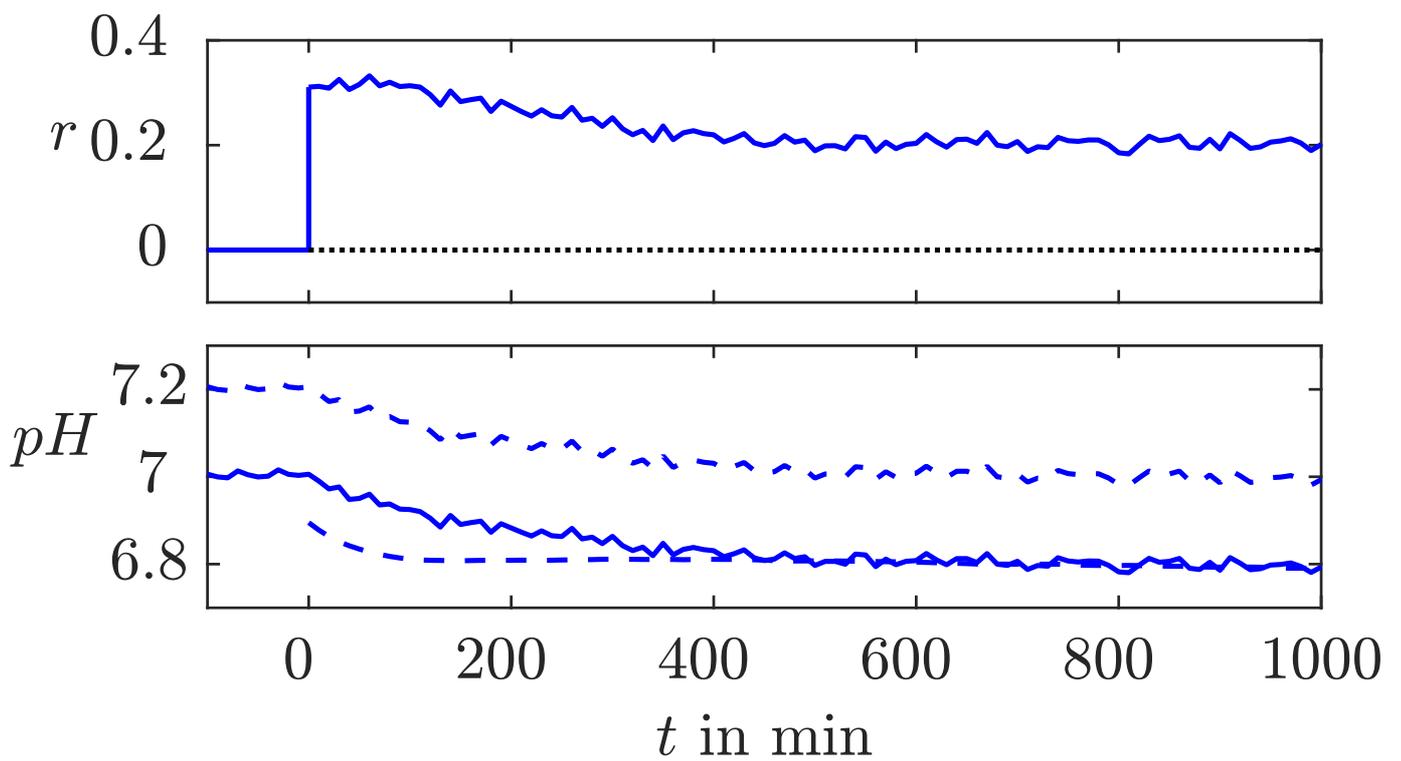


Abb. 10.21: Sensordiagnose des Biogasreaktors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

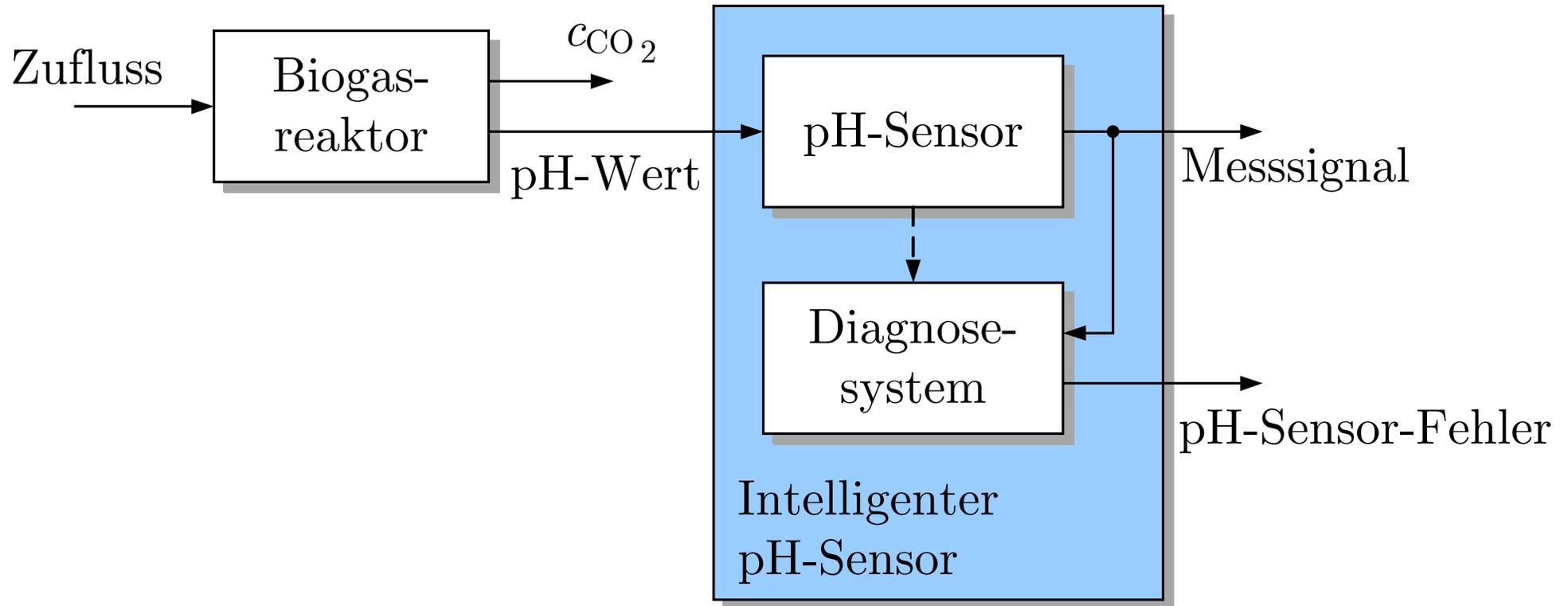


Abb. 10.22. Intelligenter pH-Sensor

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

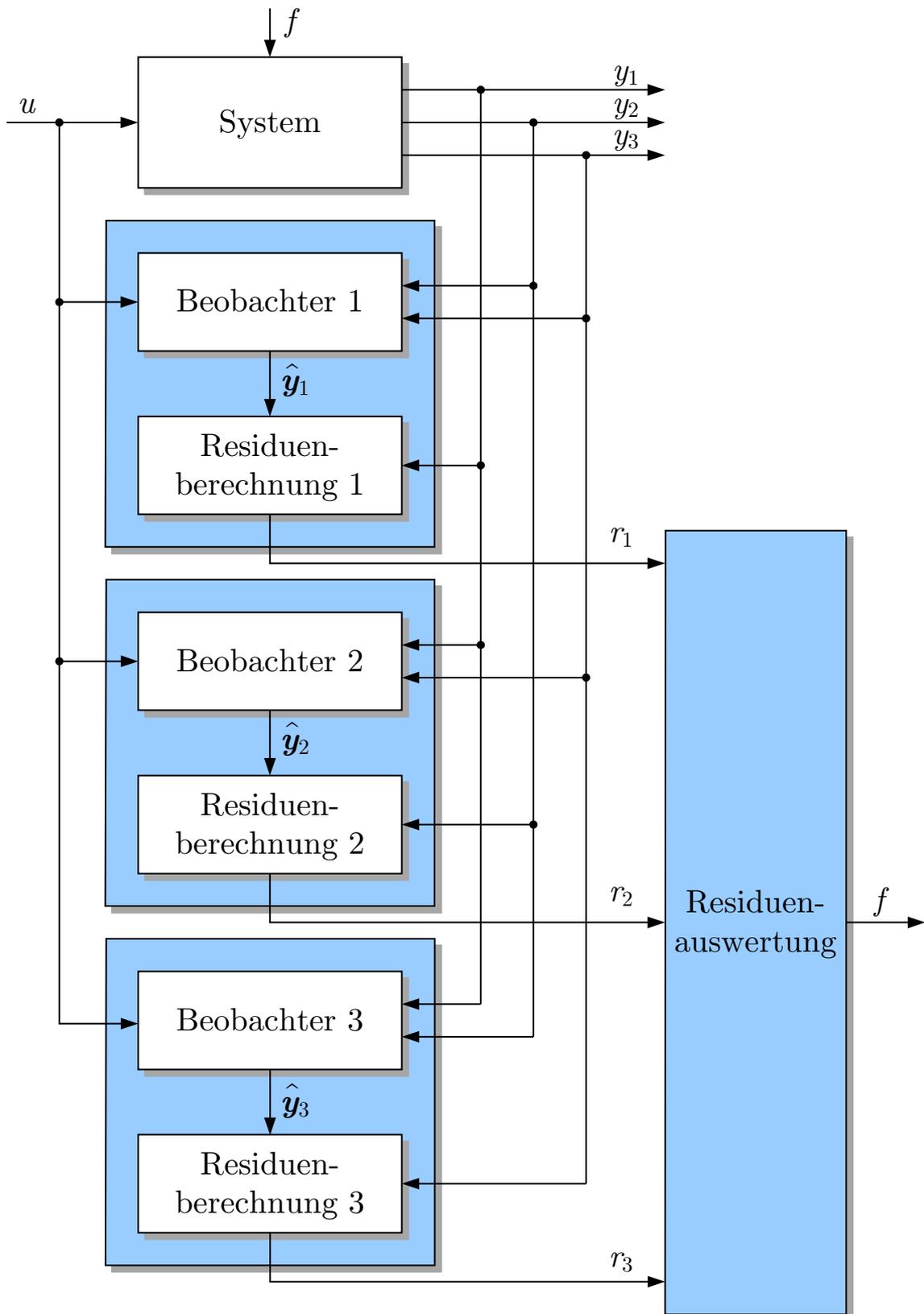


Abb. 10.23. Sensorüberwachung mit einer verallgemeinerten Beobachterbank

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

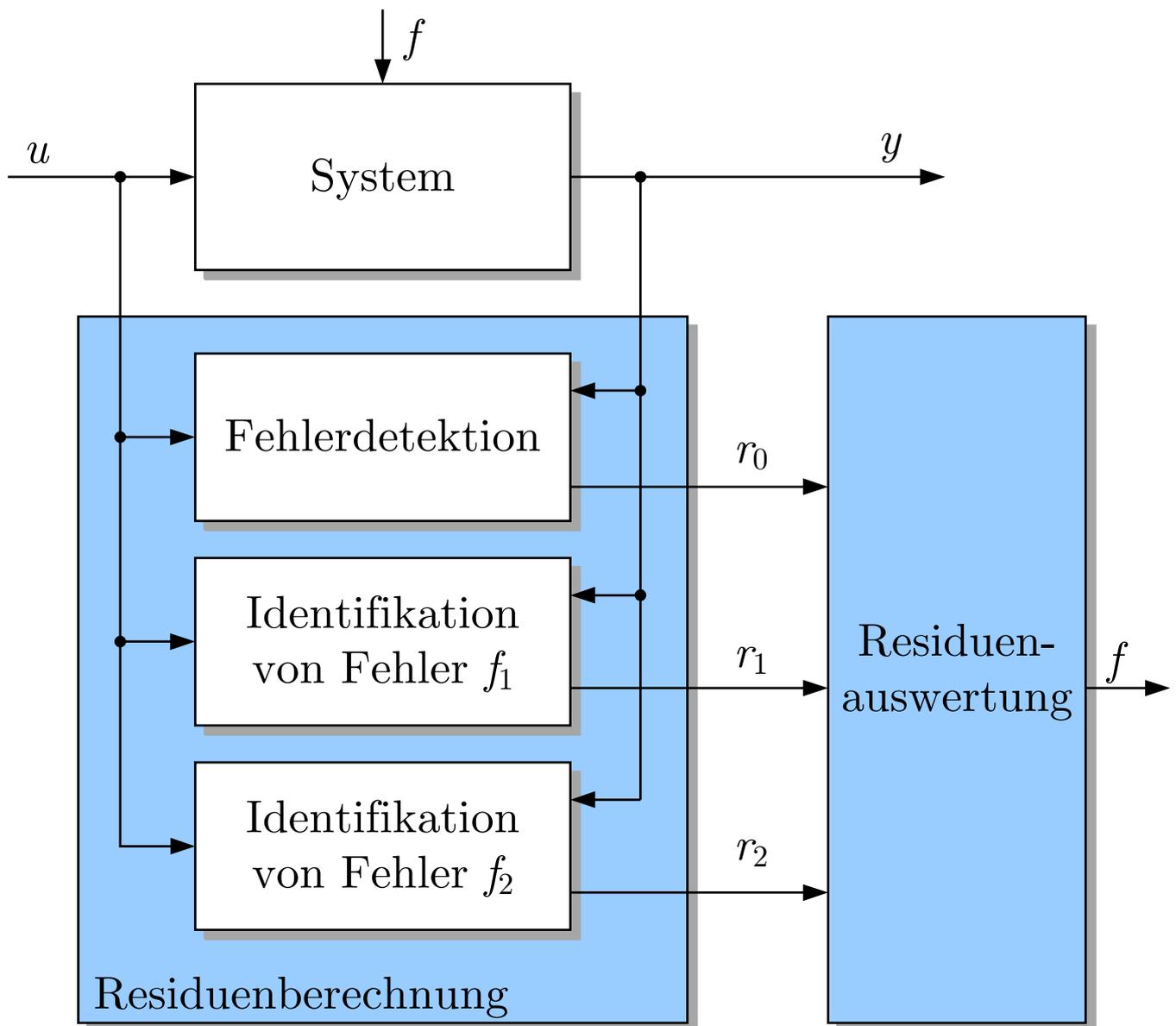


Abb. 10.24: Fehleridentifikation mit einer Beobachterbank

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

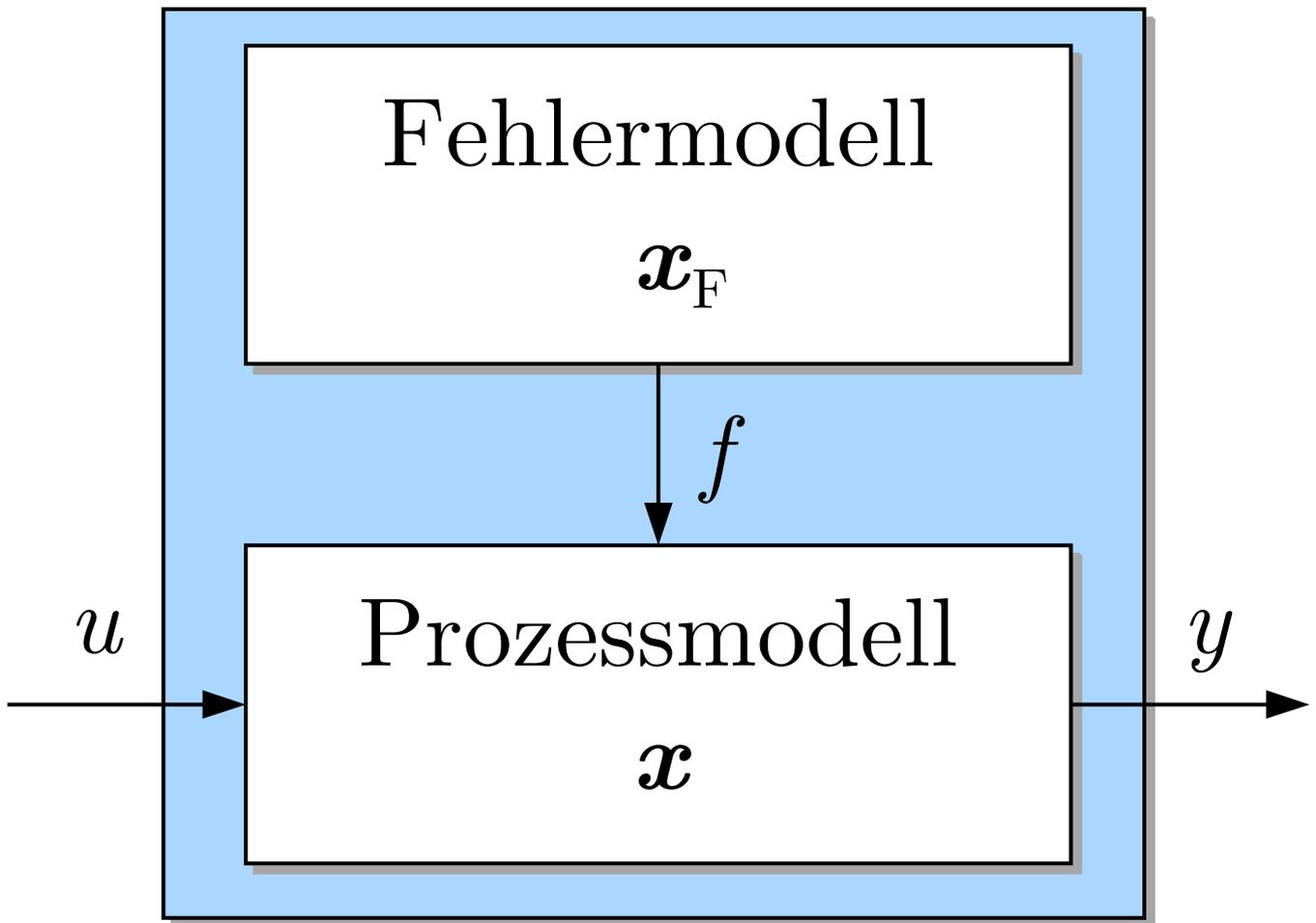


Abb. 10.25: Erweitertes Prozessmodell

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

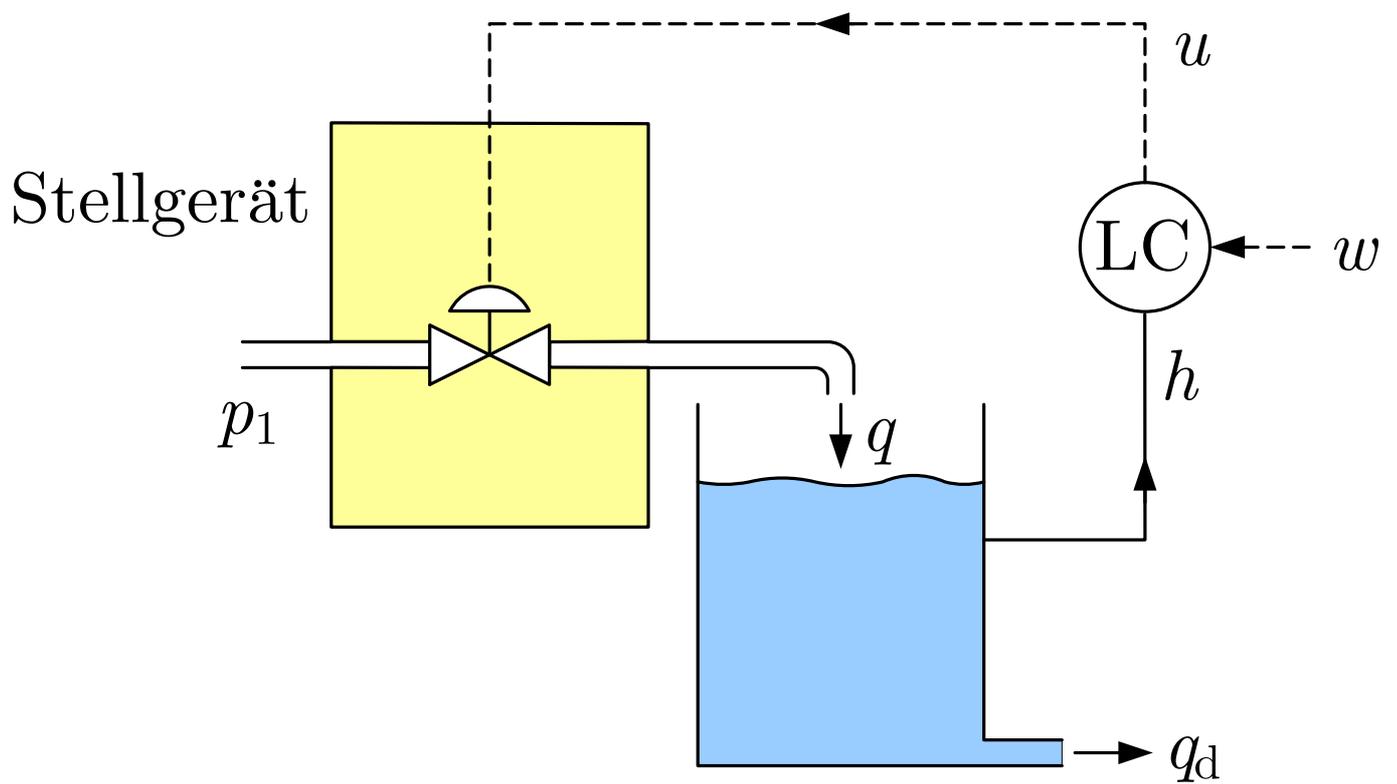


Abb. 10.26: Füllstandsregelkreis (LC – level controller)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

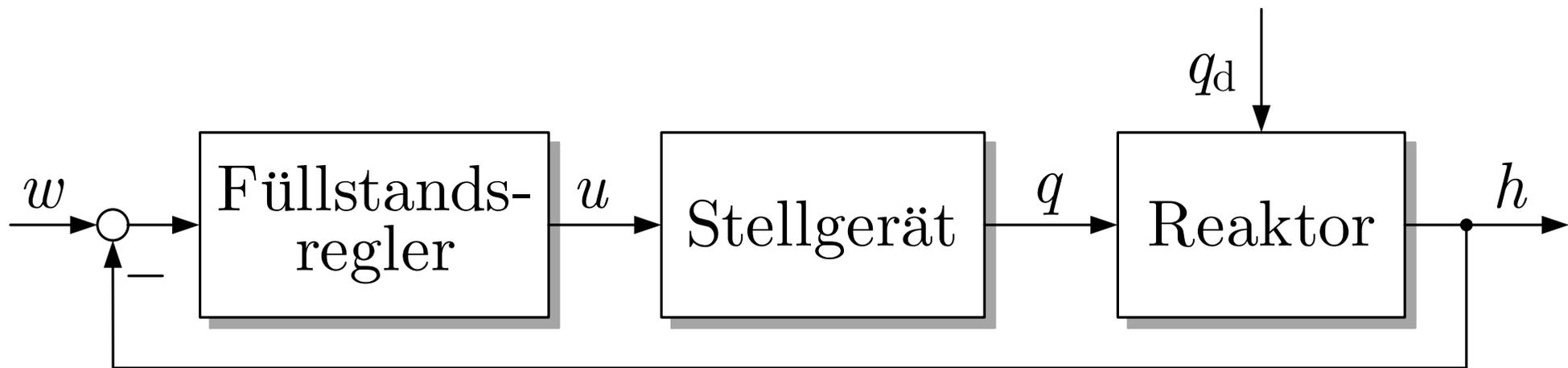


Abb. 10.27. Blockschaltbild des Füllstandsregelkreises

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

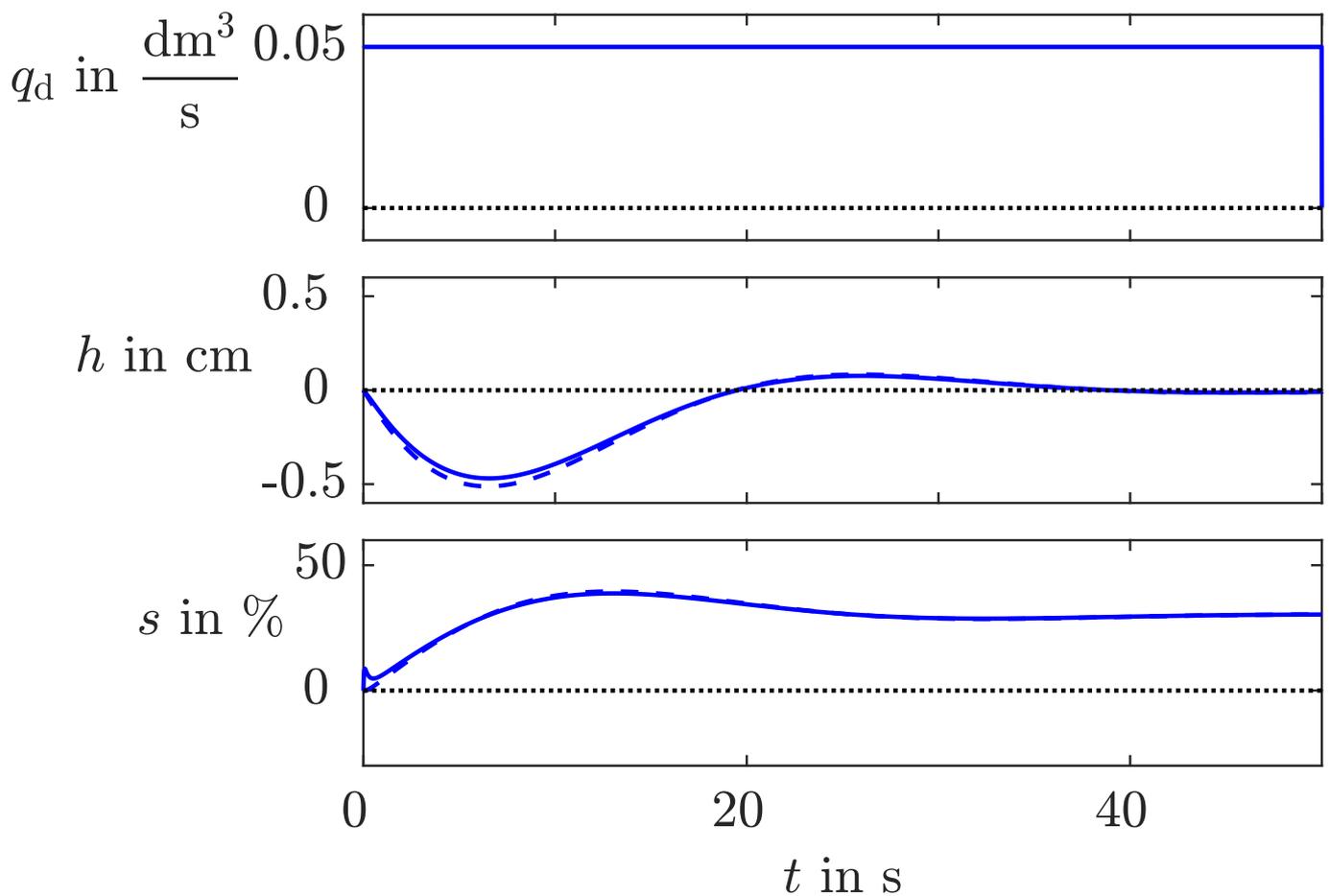


Abb. 10.28: Verhalten des Füllstandsregelkreises mit fehlerfreiem Stellgerät (- - -) und nach Auftreten eines Lecks im Ventilgehäuse (Fehler f_1 —)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

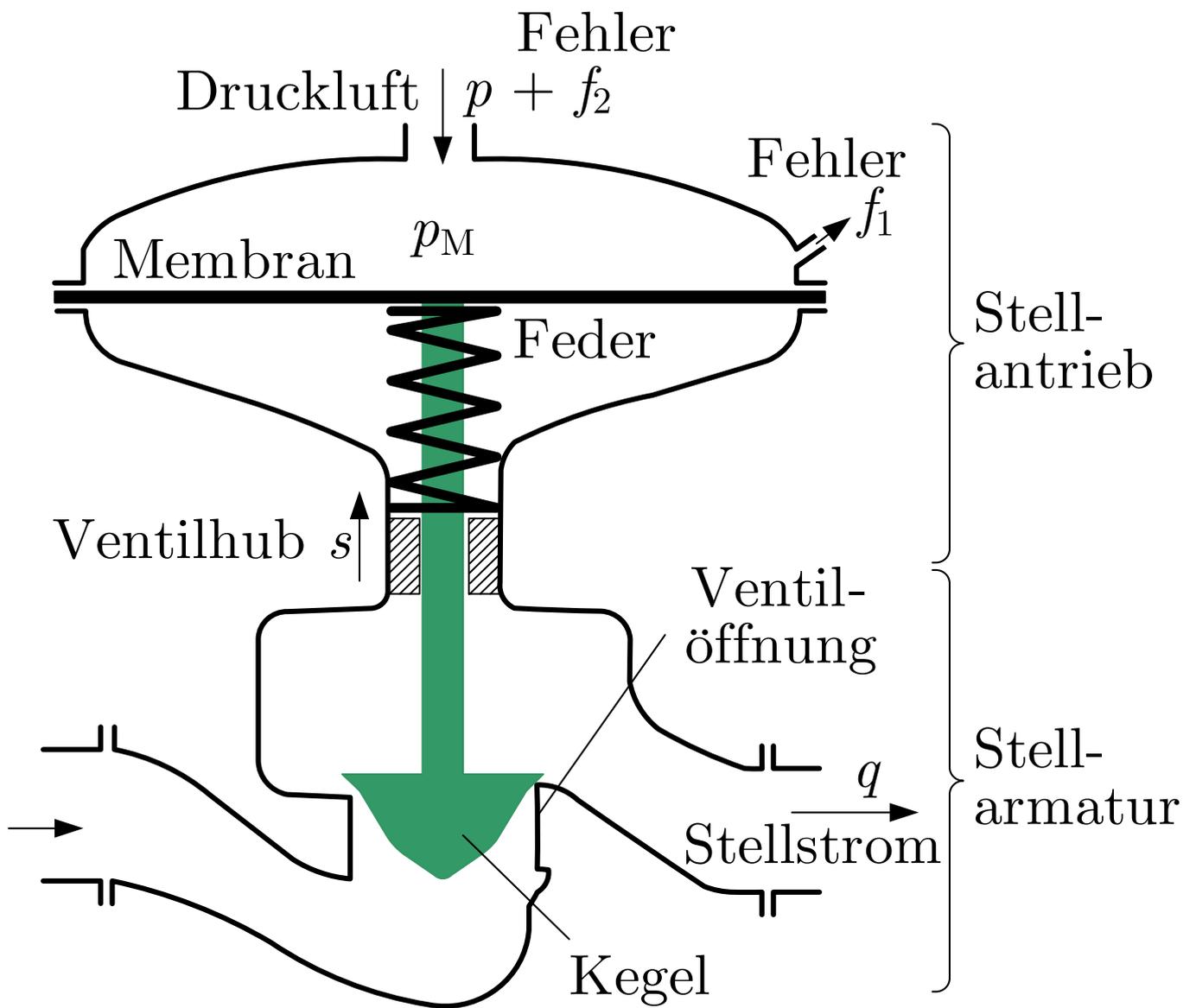


Abb. 10.29: Aufbau eines Servoventils

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

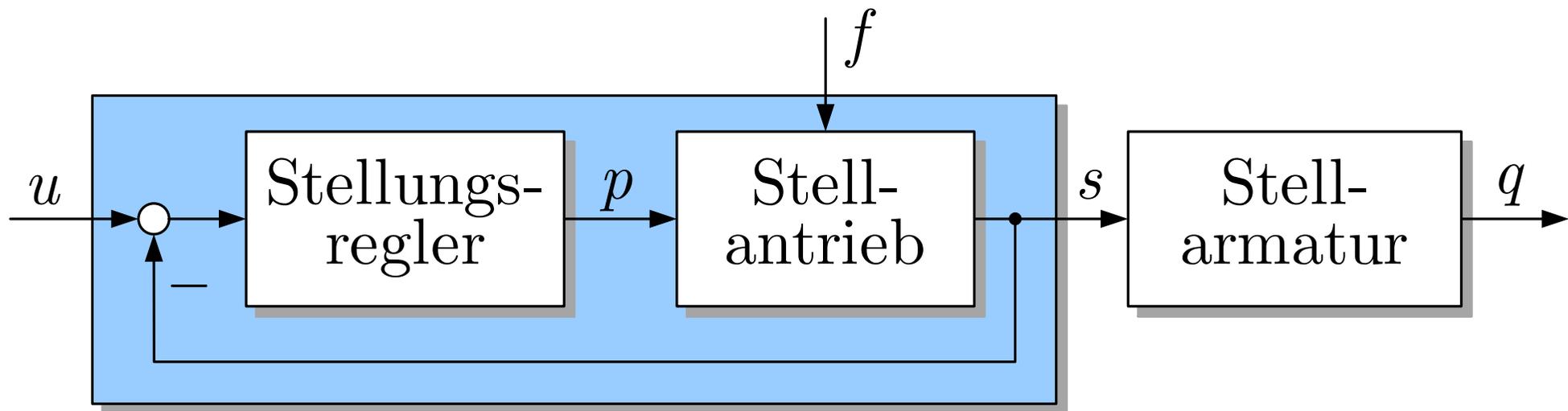


Abb. 10.30. Regelkreis des Servoventils

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

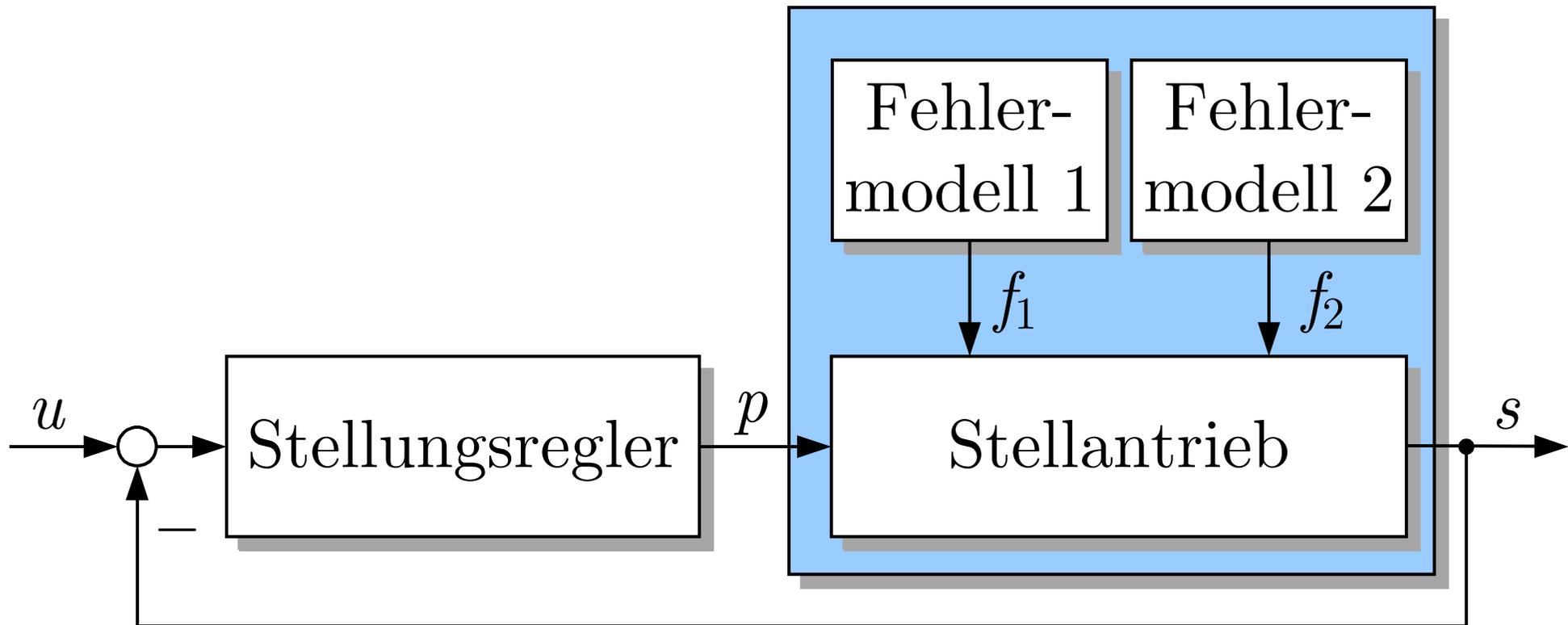


Abb. 10.31. Stellgerät mit Fehlermodell

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

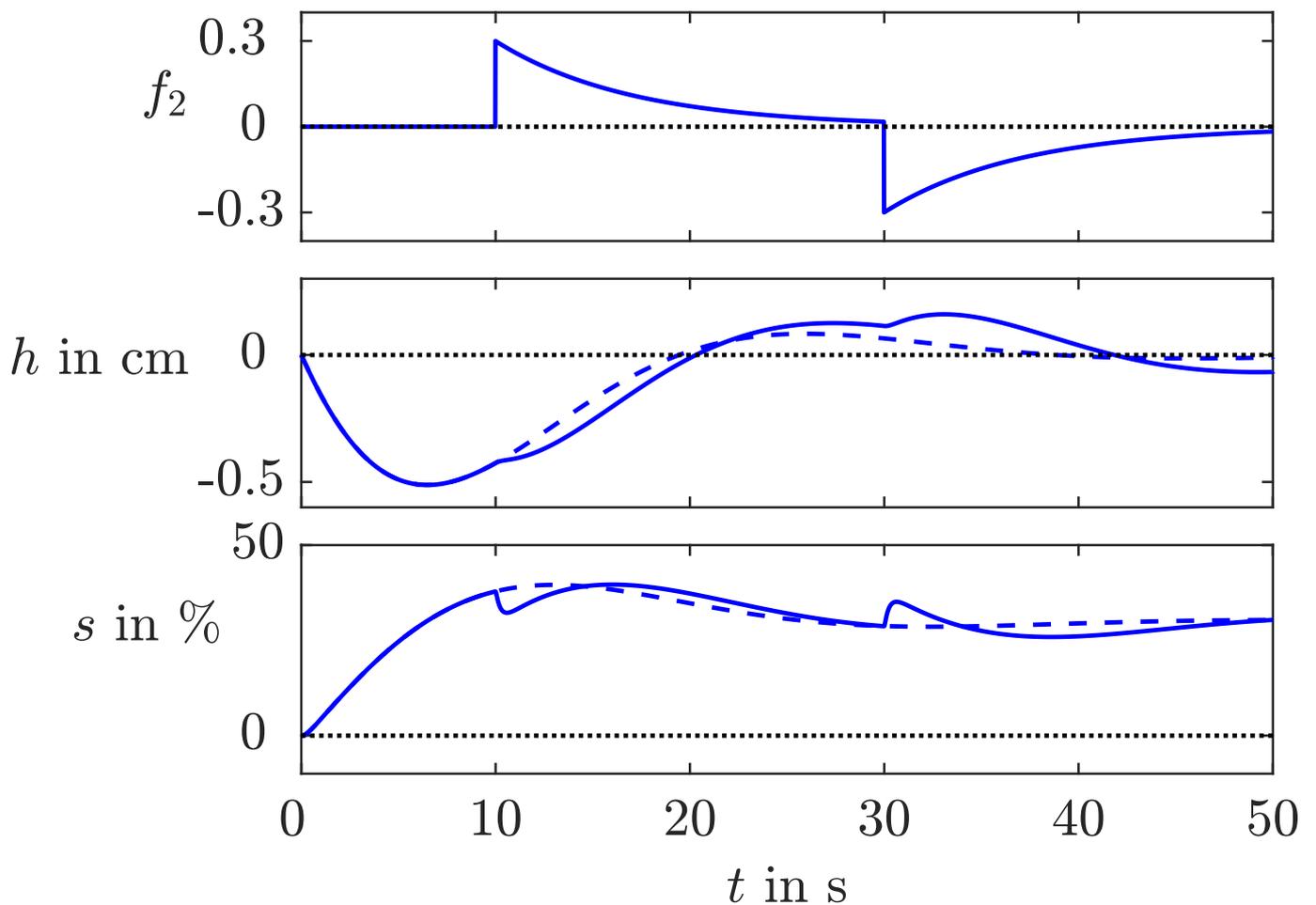


Abb. 10.32: Verhalten des Füllstandsregelkreises mit (—) und ohne Druckschwankung (- - -) in der Versorgungsleitung des Ventils

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

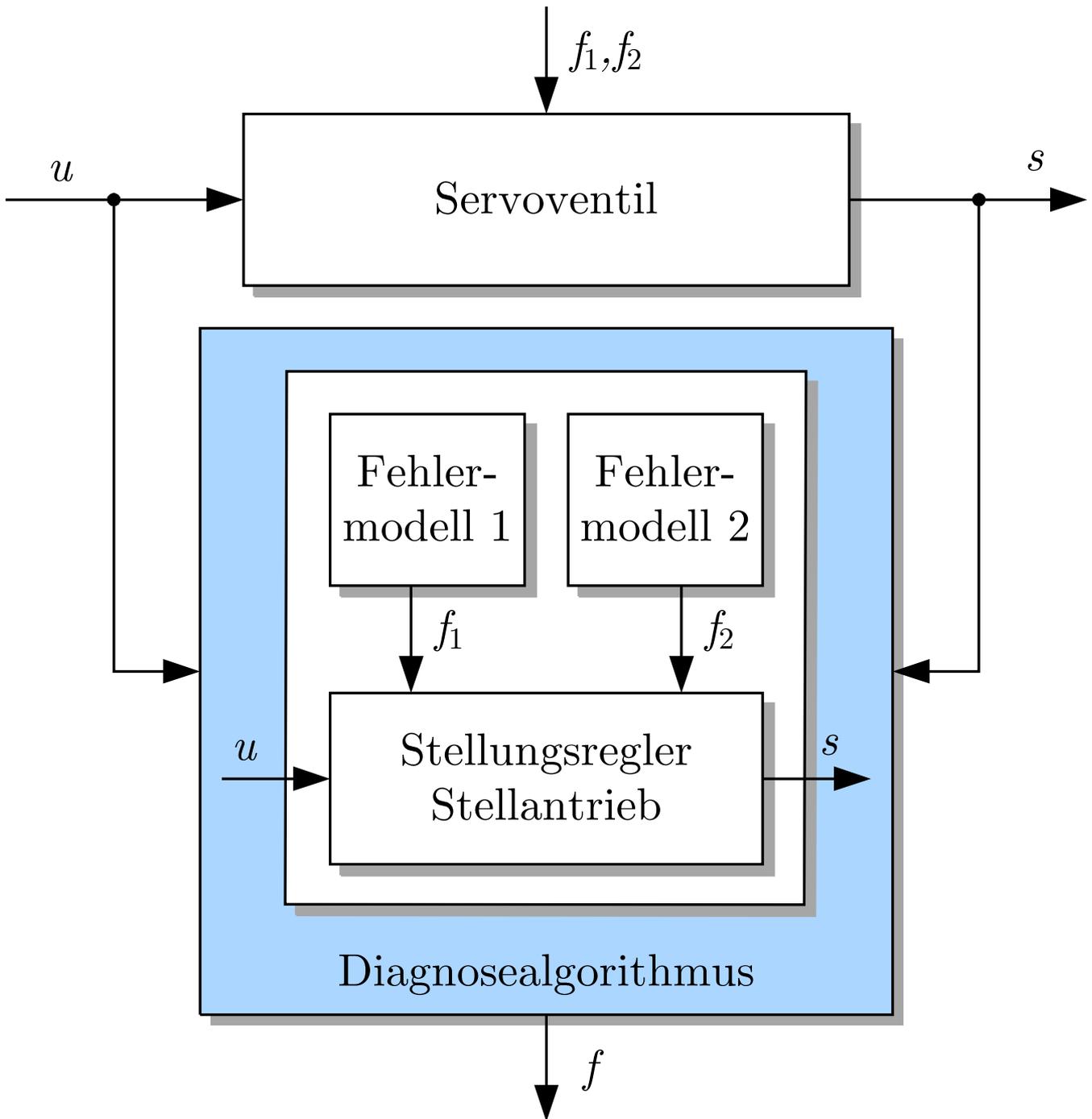


Abb. 10.33: Blockschaltbild für die Diagnose des Servoventils mit Kennzeichnung des für die Diagnose verwendeten Modells

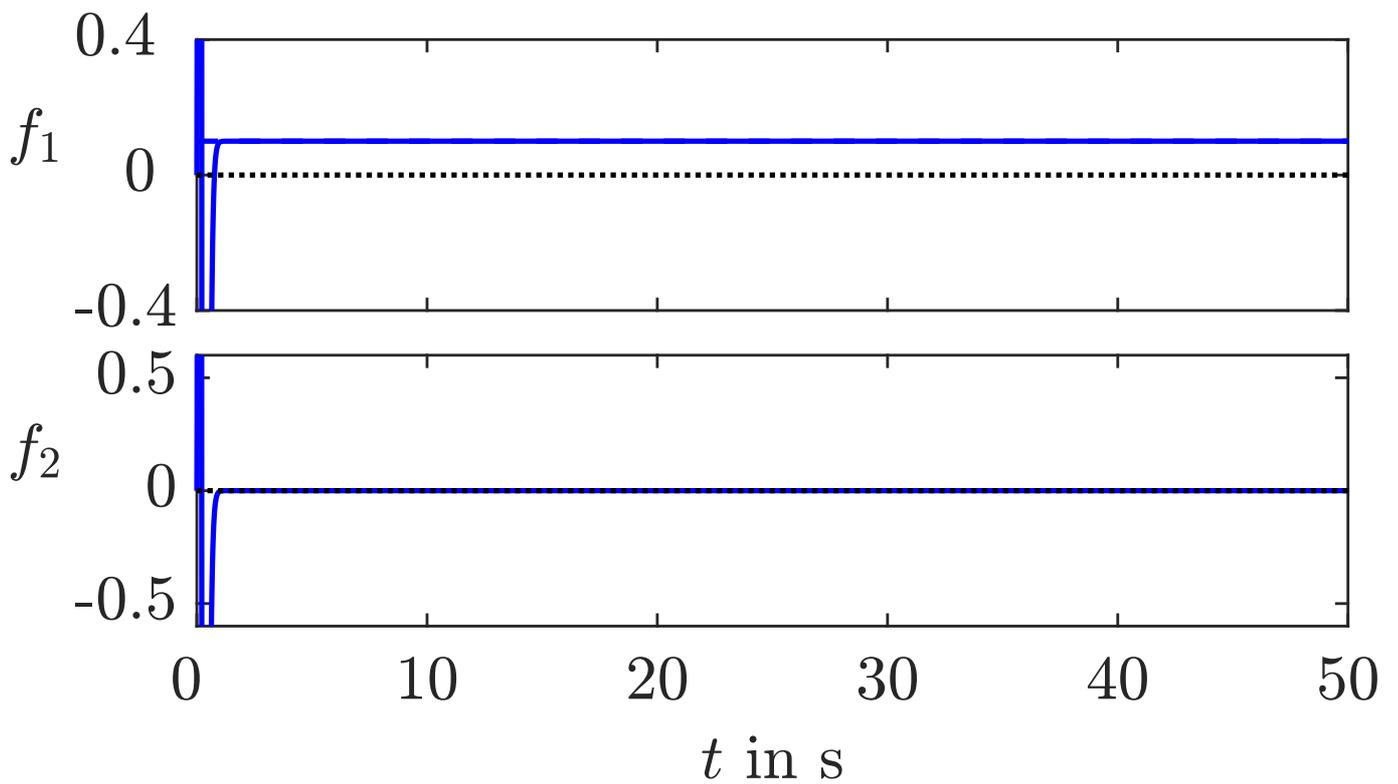


Abb. 10.34: Fehleridentifikation für das Stellgerät bei Eintritt des Fehlers $f_1(t)$ zum Zeitpunkt $t = 0$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

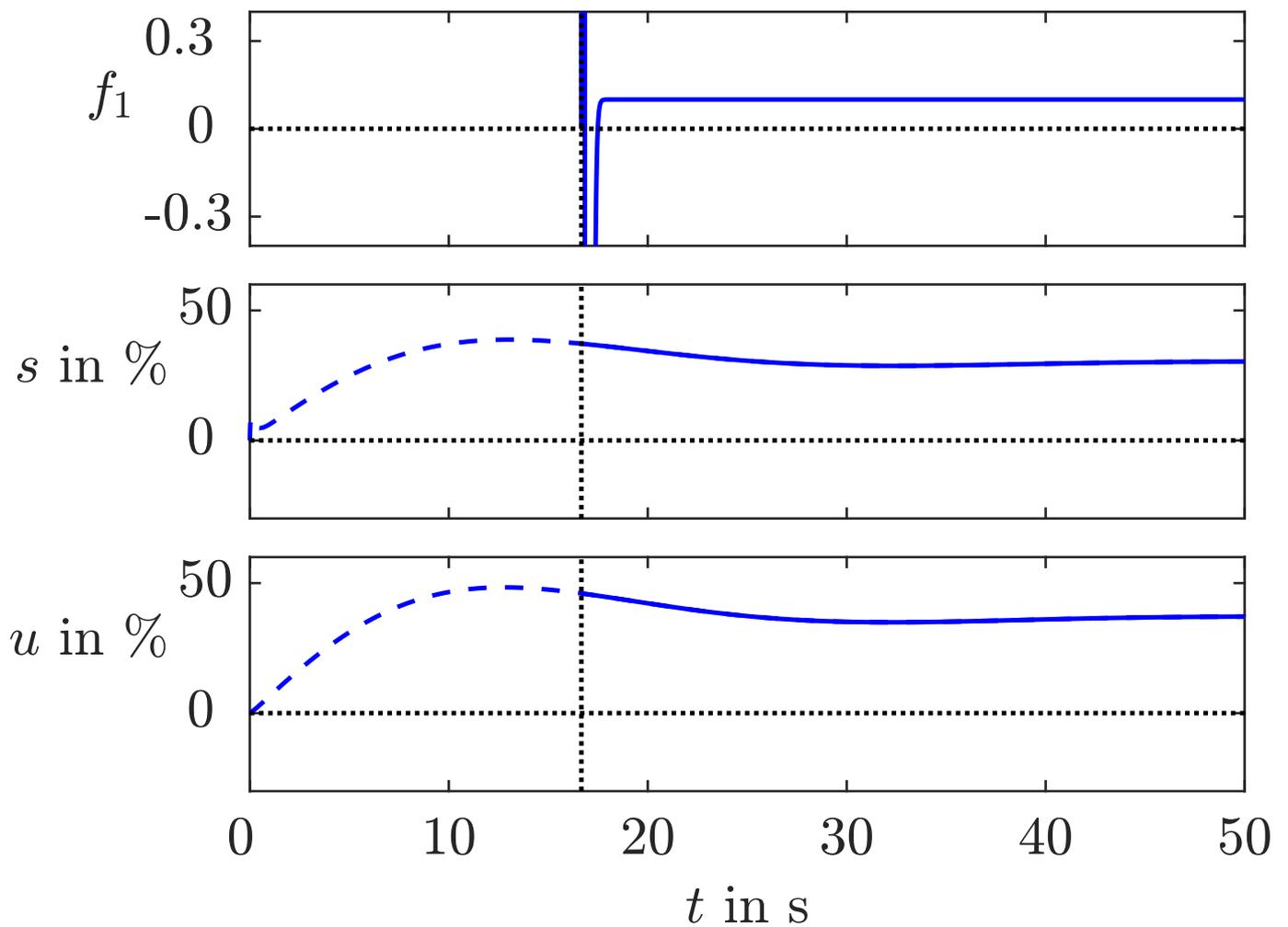


Abb. 10.35: Fehlererkennung im Stellgerät bei Fehlereintritt zum Zeitpunkt $t = 0$ und Diagnosebeginn zur Zeit $t_0 = 20$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

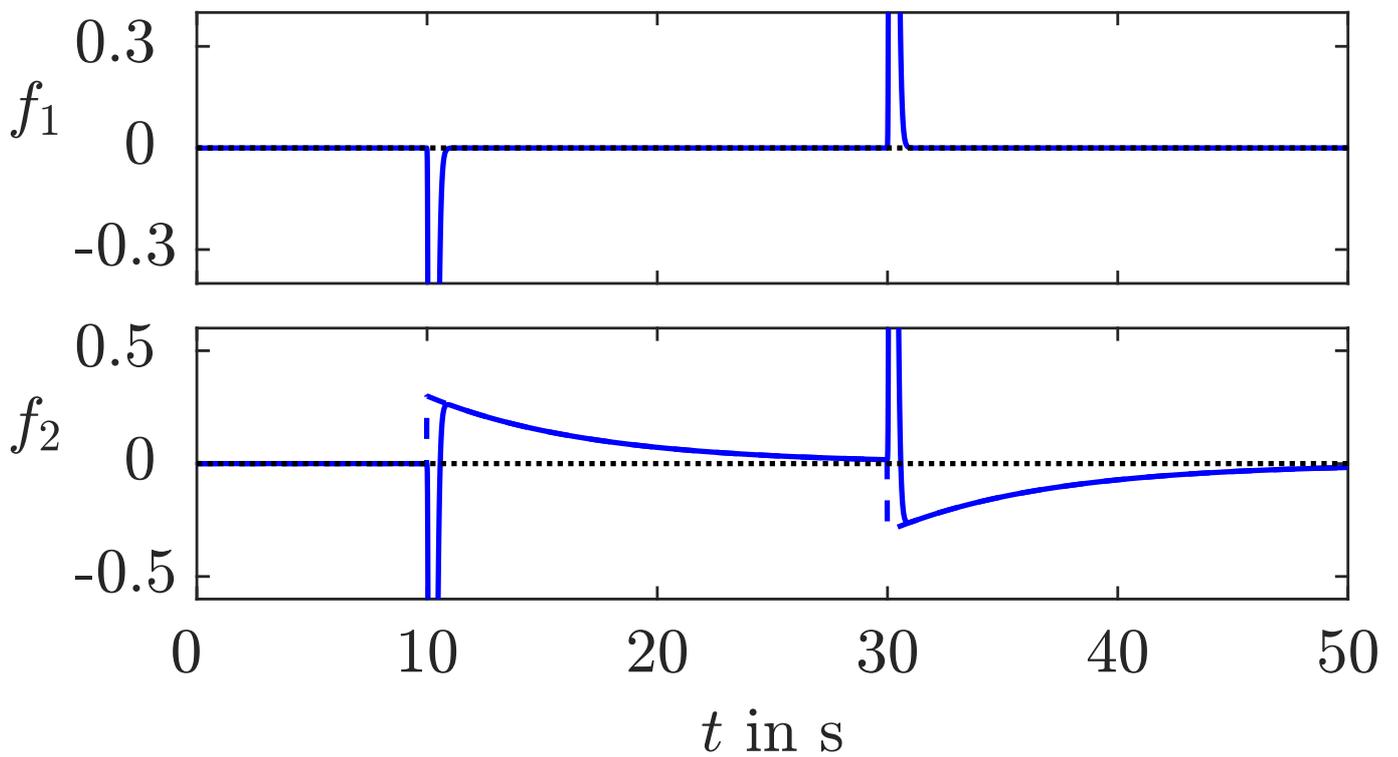


Abb. 10.36: Identifikation des Fehlers f_2

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

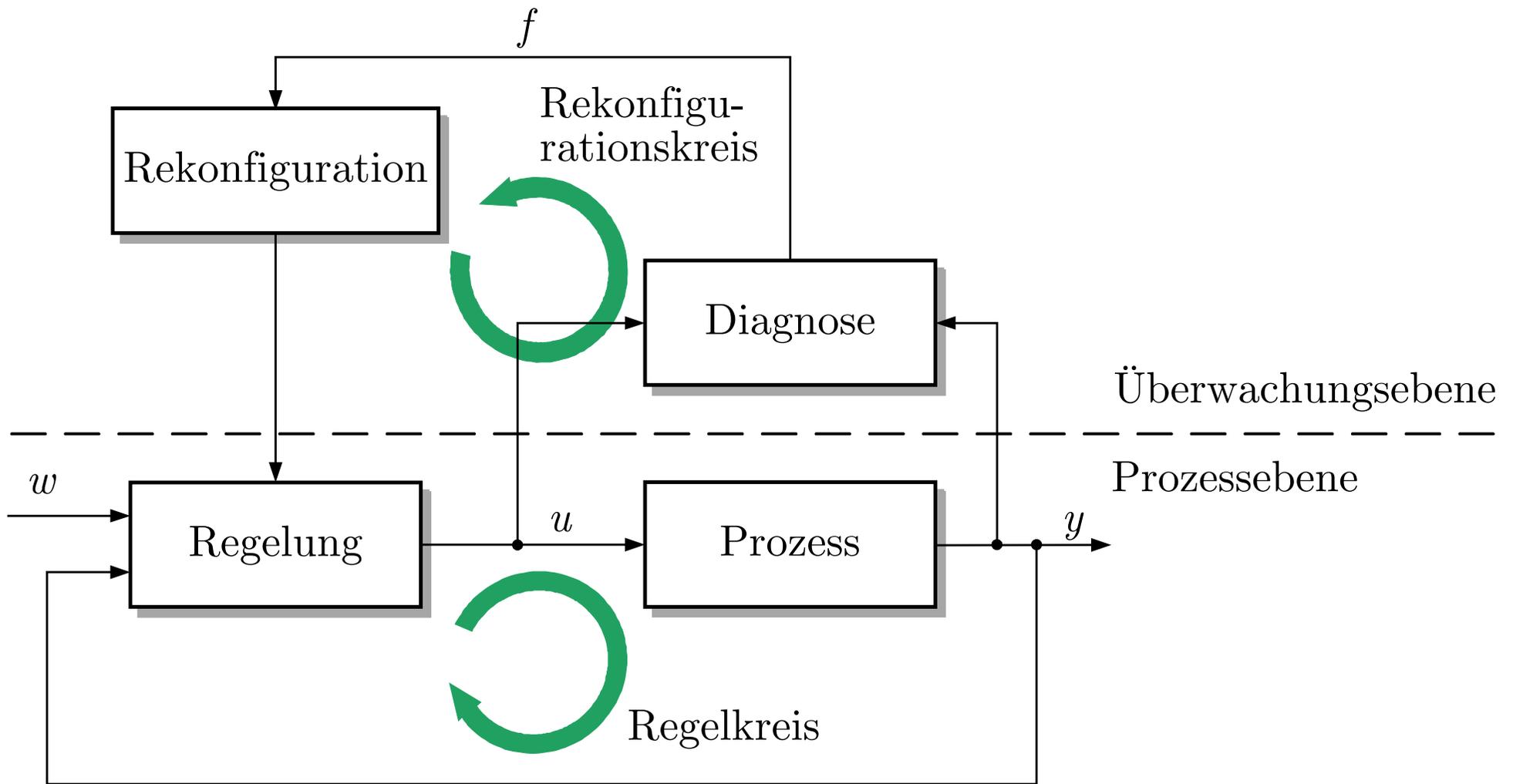


Abb. 10.37. Fehlertolerante Steuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

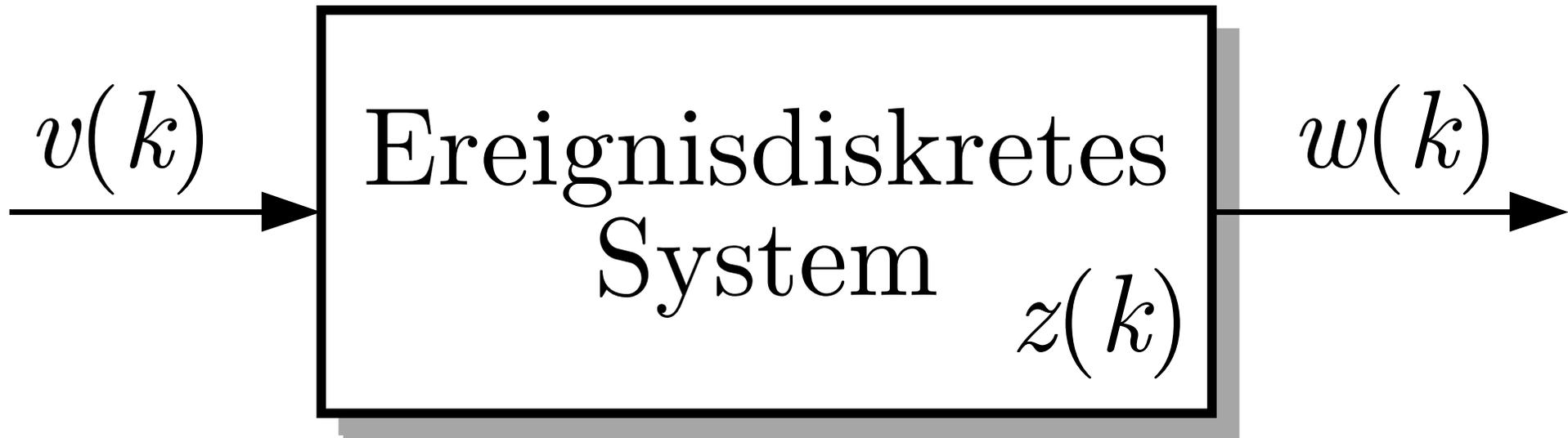


Abb. 11.1. Ereignisdiskretes System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

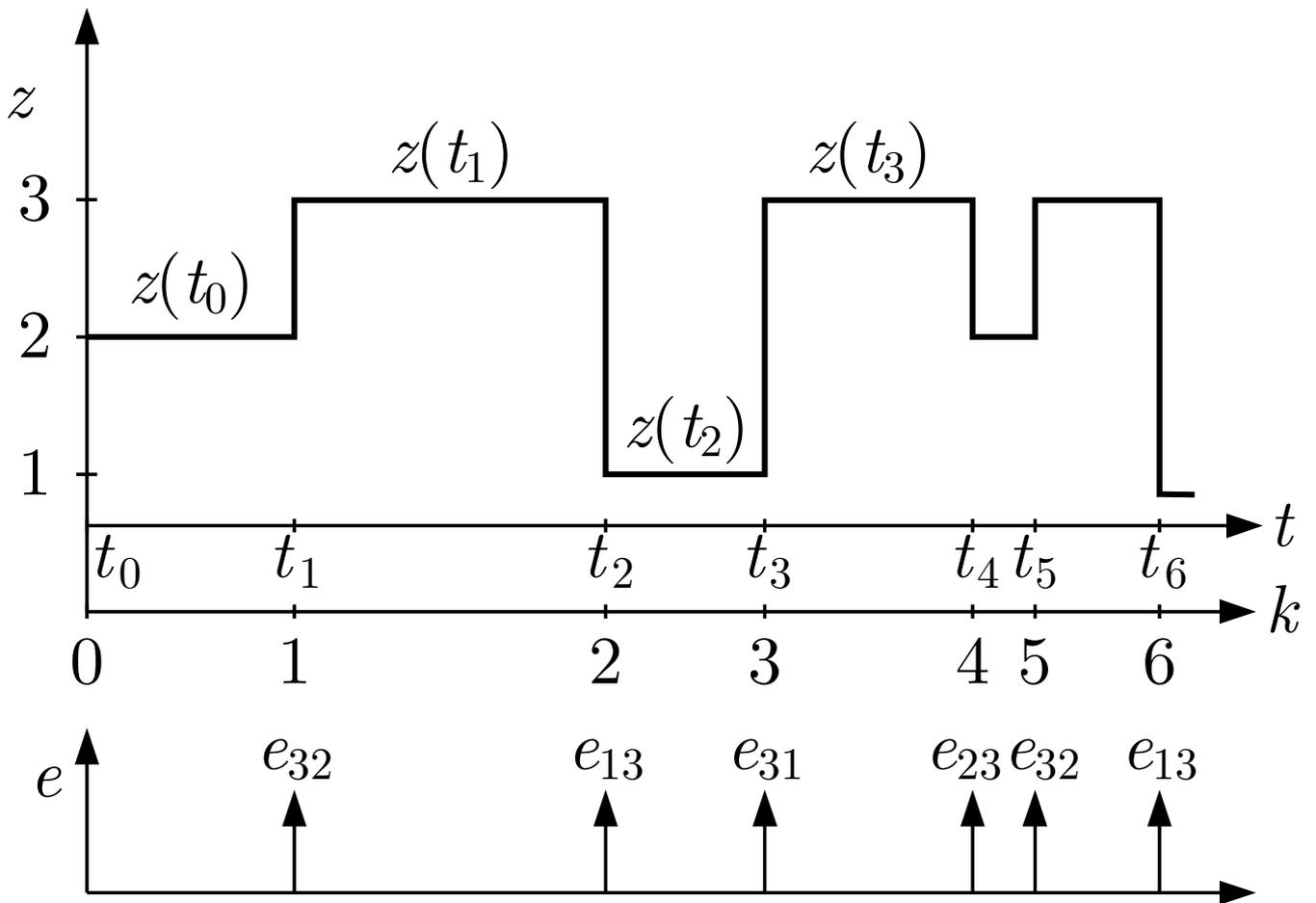


Abb. 11.2: Symbolische Signalwerte und Ereignisfolgen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

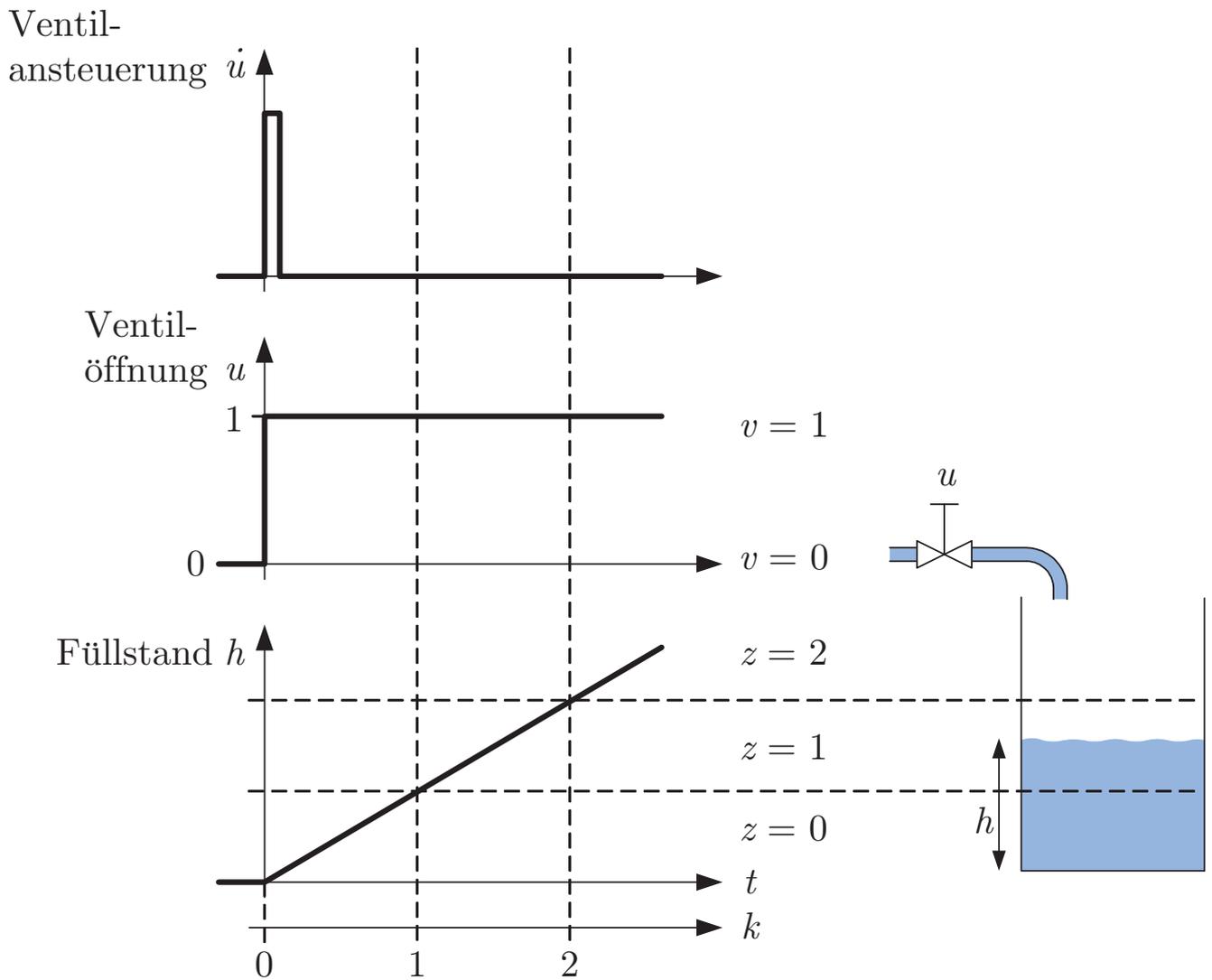


Abb. 11.3: Wertefolge und Ereignisse bei einer Reaktorsteuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

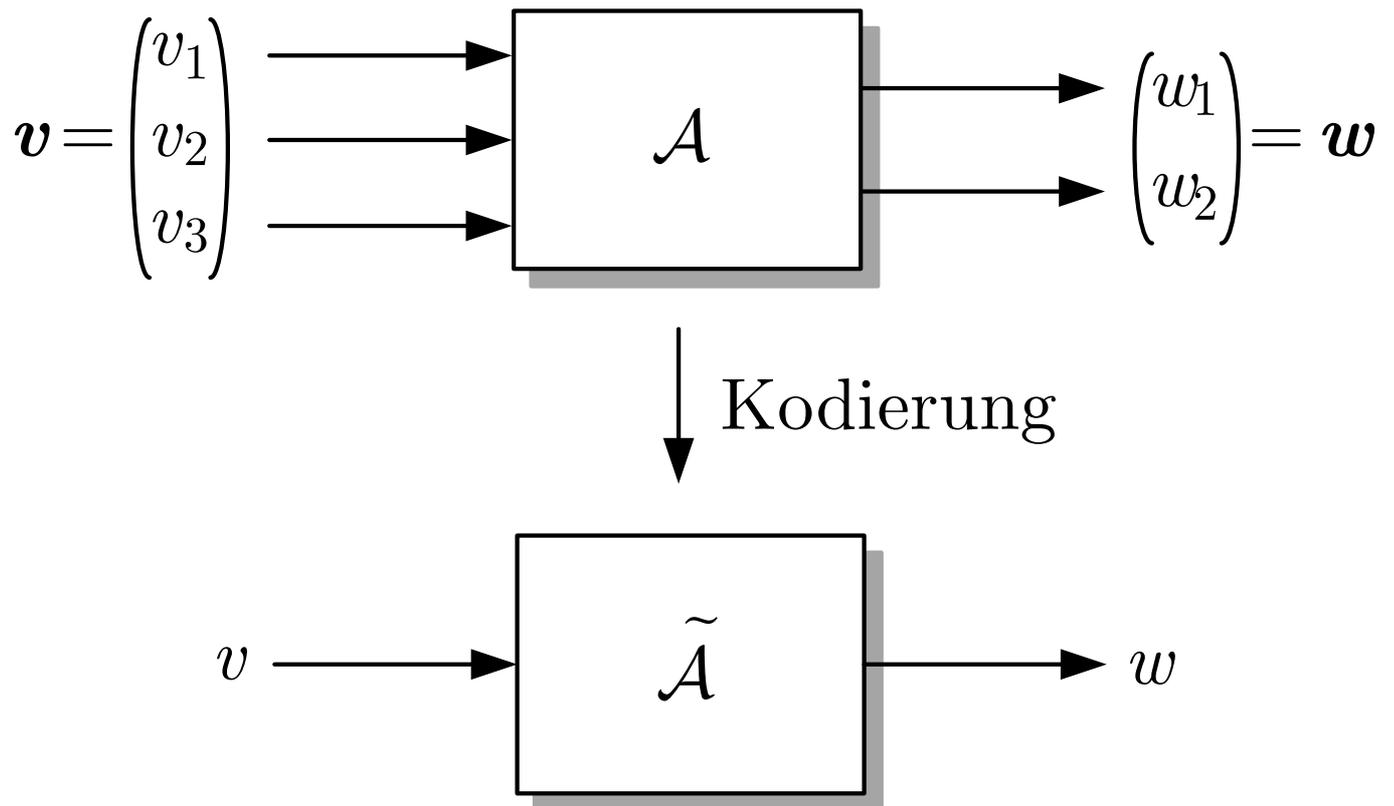


Abb. 11.4: Ereignisdiskretes System mit mehreren Eingangs- und Ausgangsgrößen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

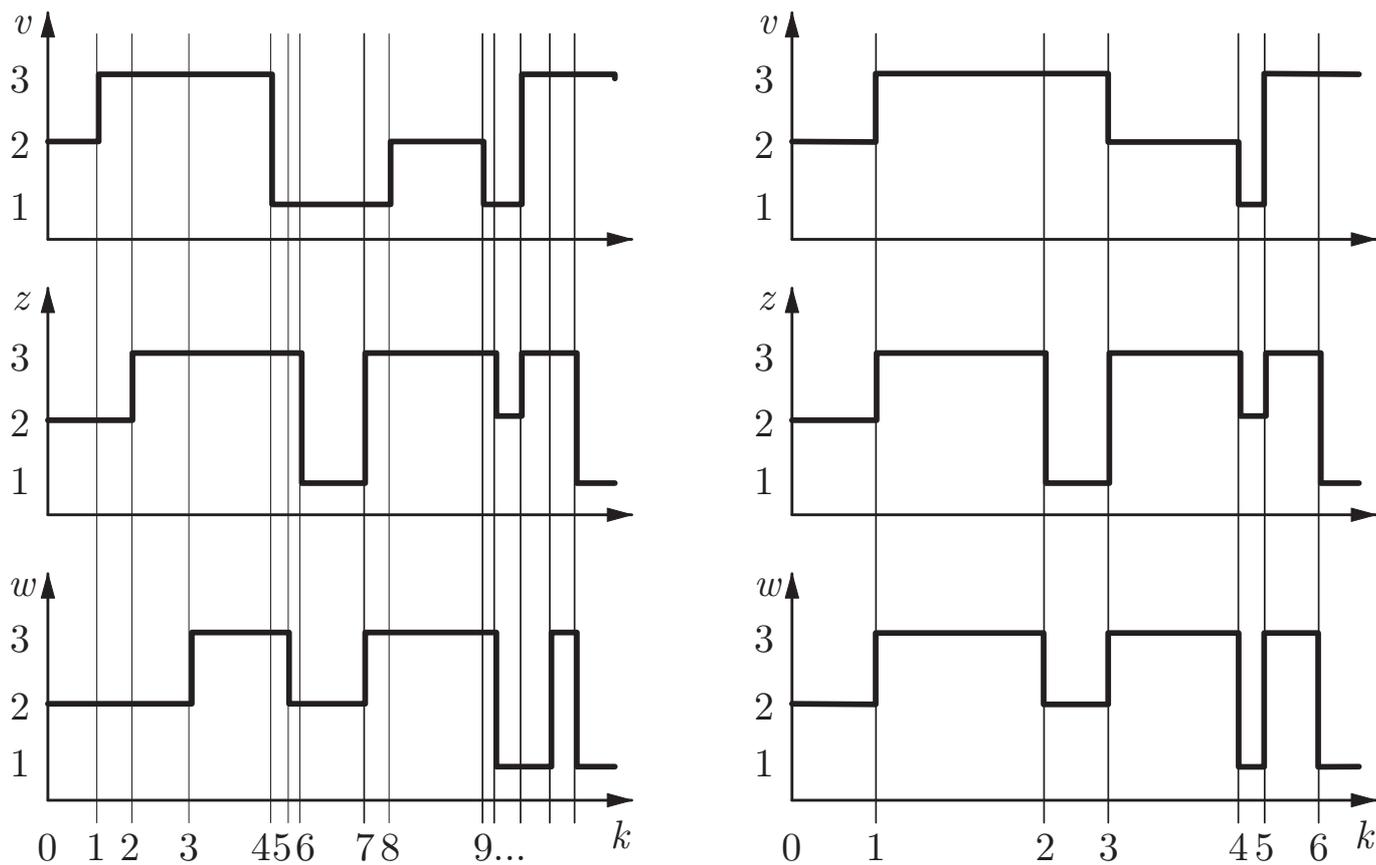


Abb. 11.5: Asynchrone (links) und synchrone (rechts) Eingangs-, Zustands- und Ausgangsfolgen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

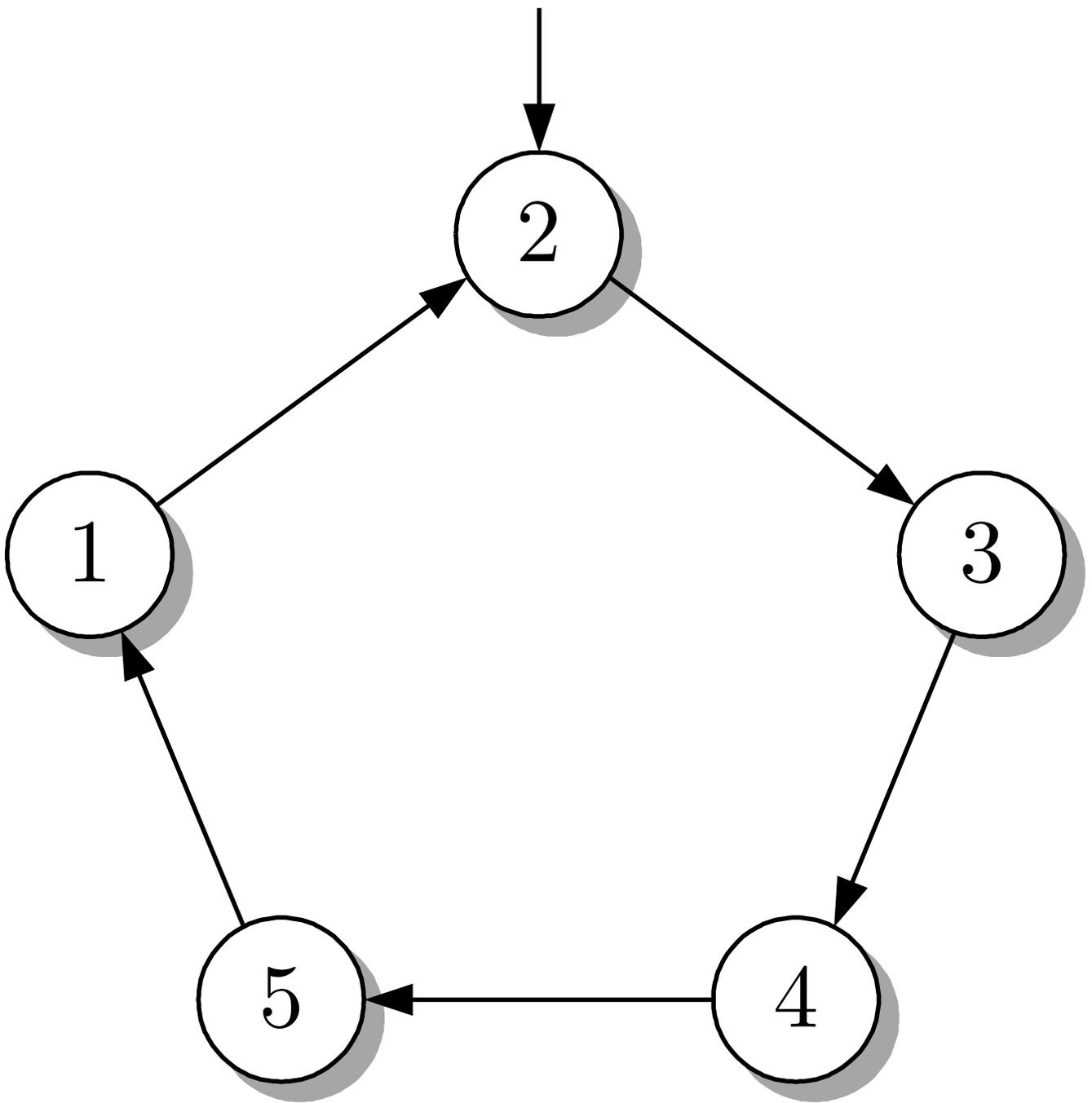


Abb. 11.6: Automatengraph eines autonomen deterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

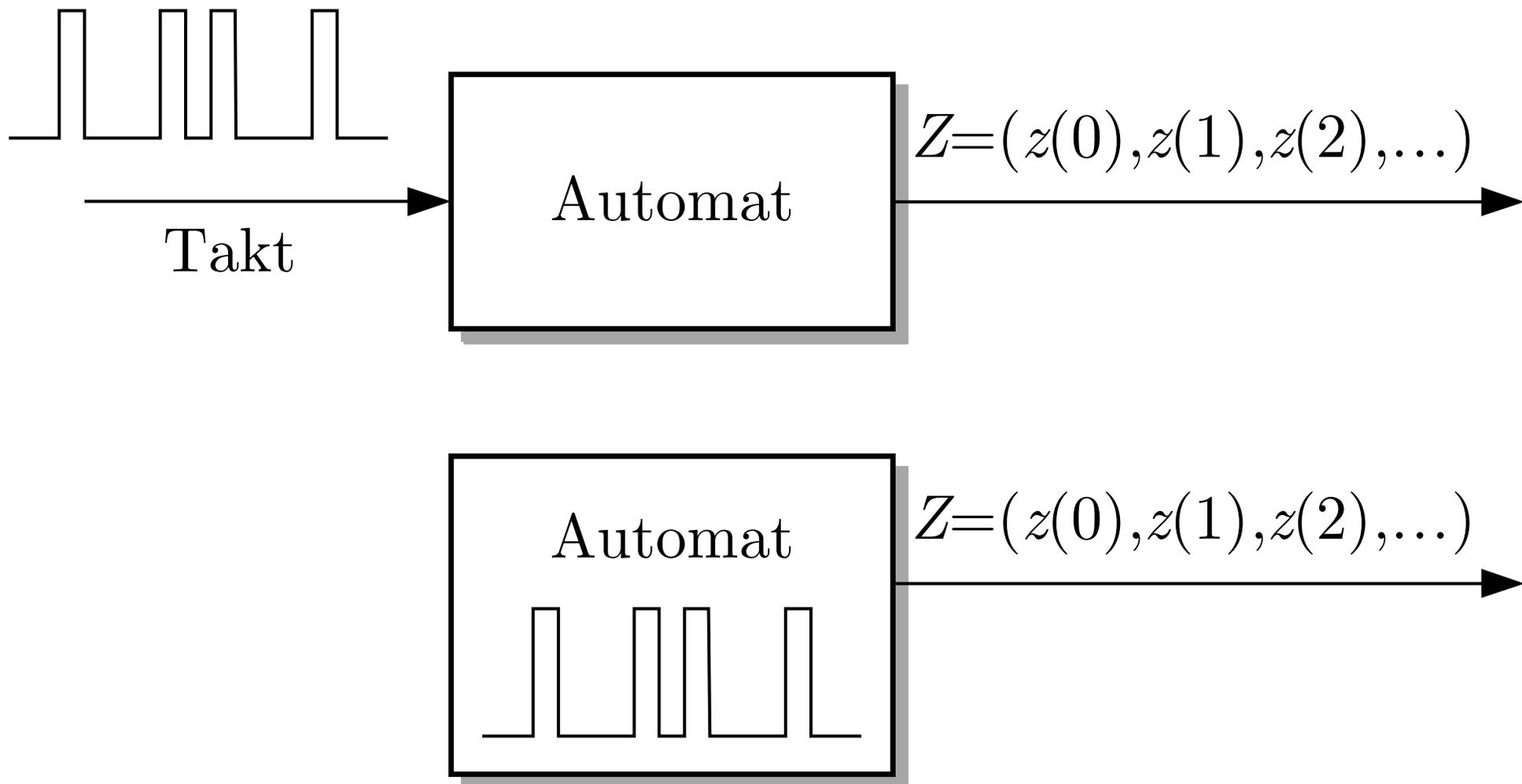


Abb. 11.7. Getakteter Automat

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

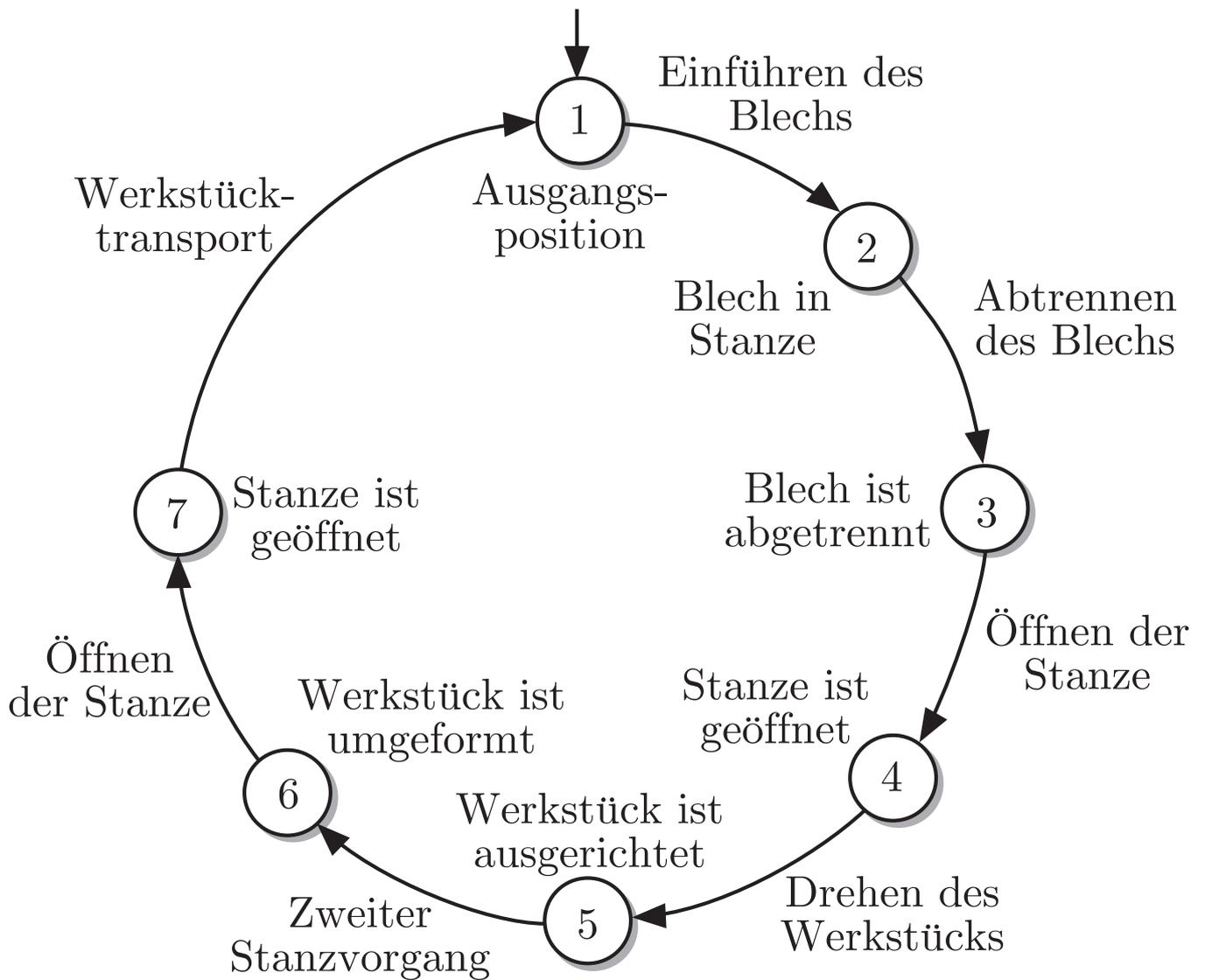


Abb. 11.8: Automatengraph der Stanze

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

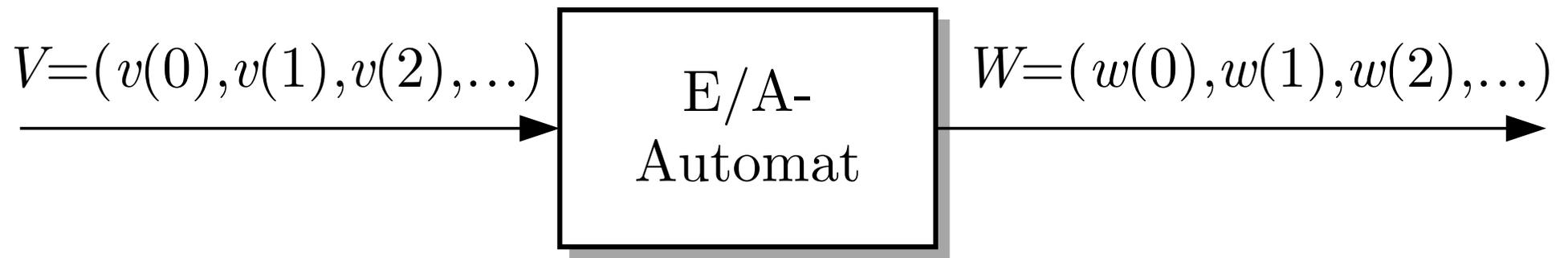


Abb. 11.9. Automat mit Eingang und Ausgang

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

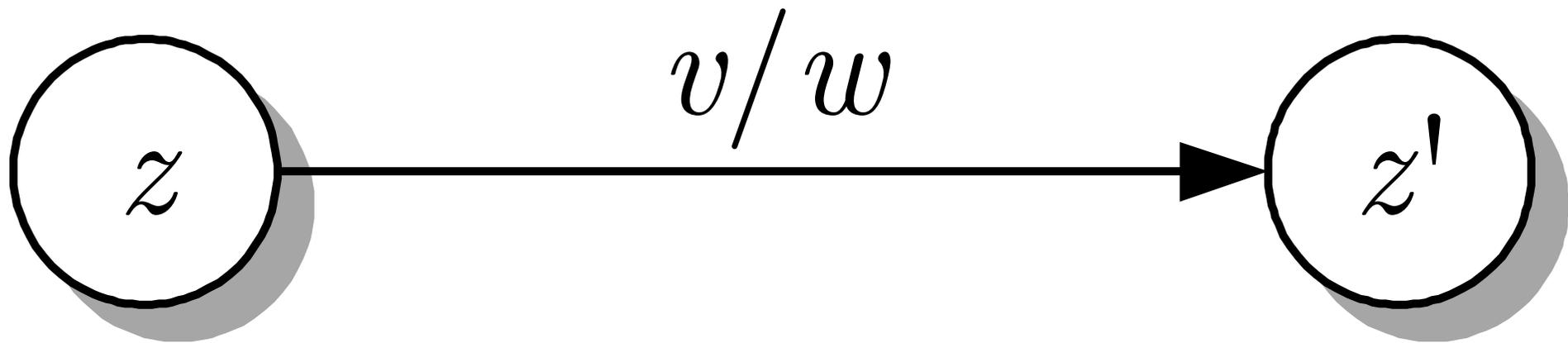


Abb. 11.10. Kante im Automatengraphen zur Kennzeichnung des Zustandsübergangs von z nach z' unter der Wirkung der Eingabe v , wobei die Ausgabe w erzeugt wird

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

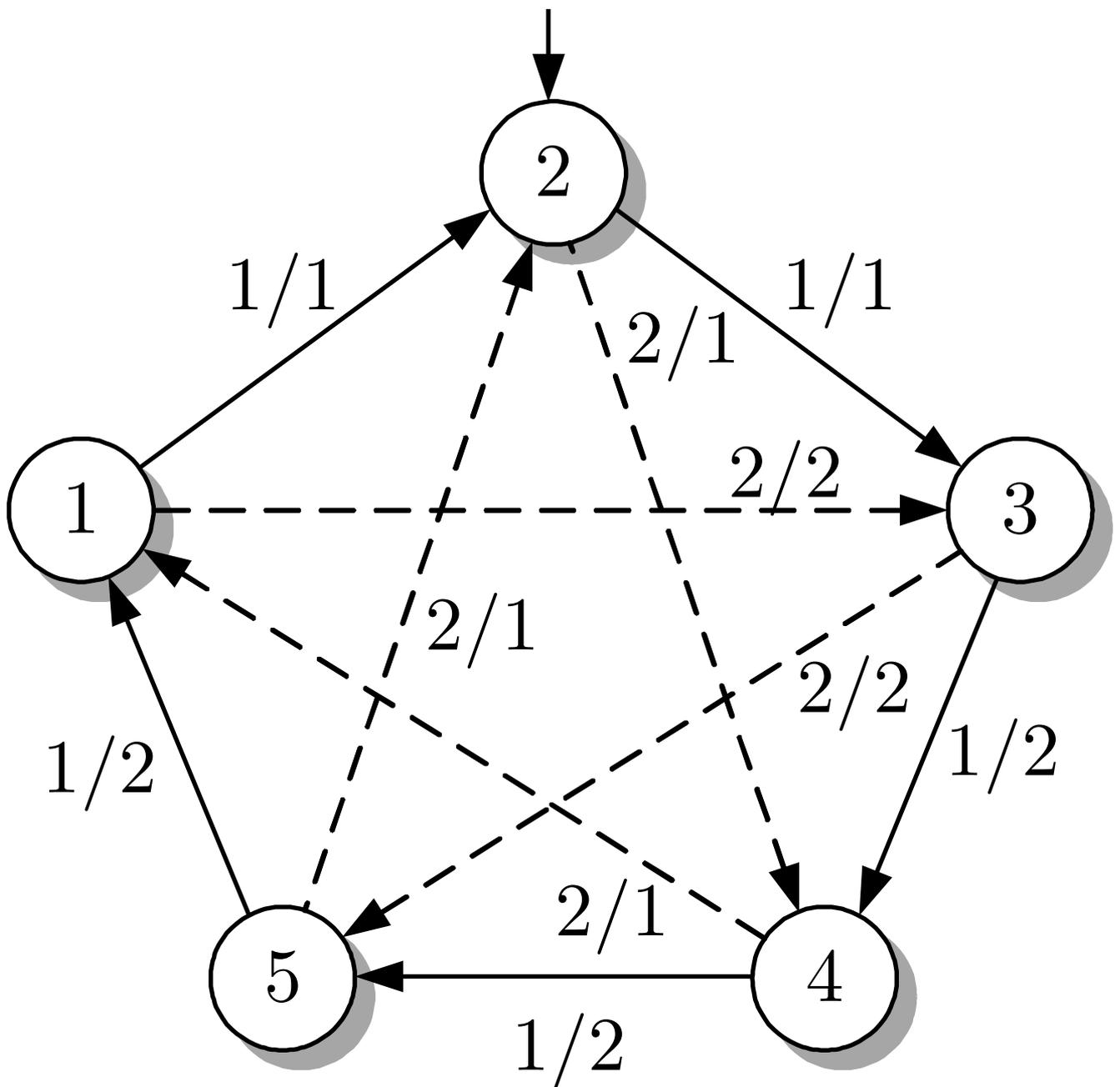


Abb. 11.11: Automatengraph eines deterministischen Automaten mit Eingang und Ausgang

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

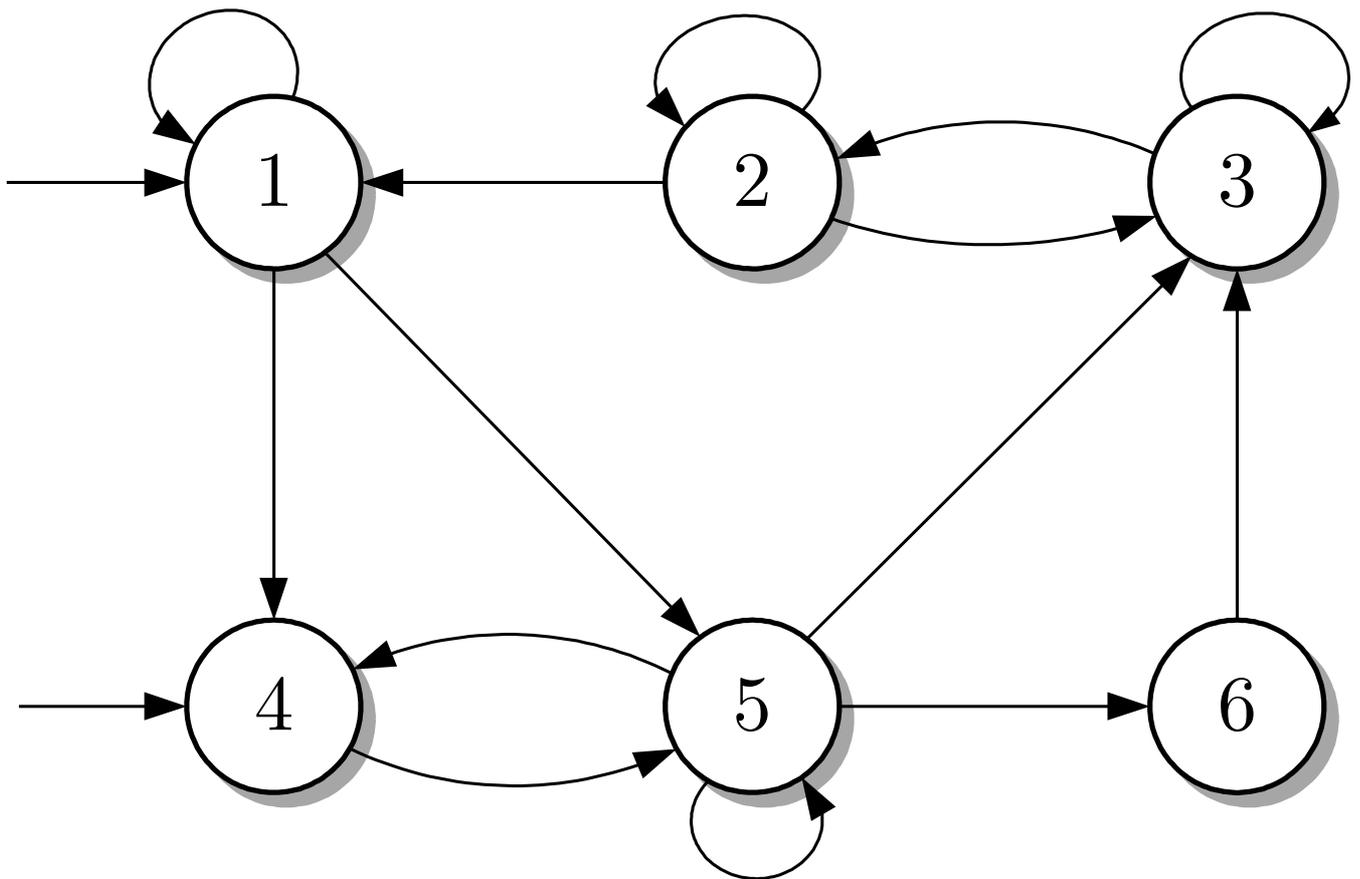


Abb. 11.12: Automatengraph eines nichtdeterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

Werkstück ist
nicht ordnungs-
gemäß abgelegt

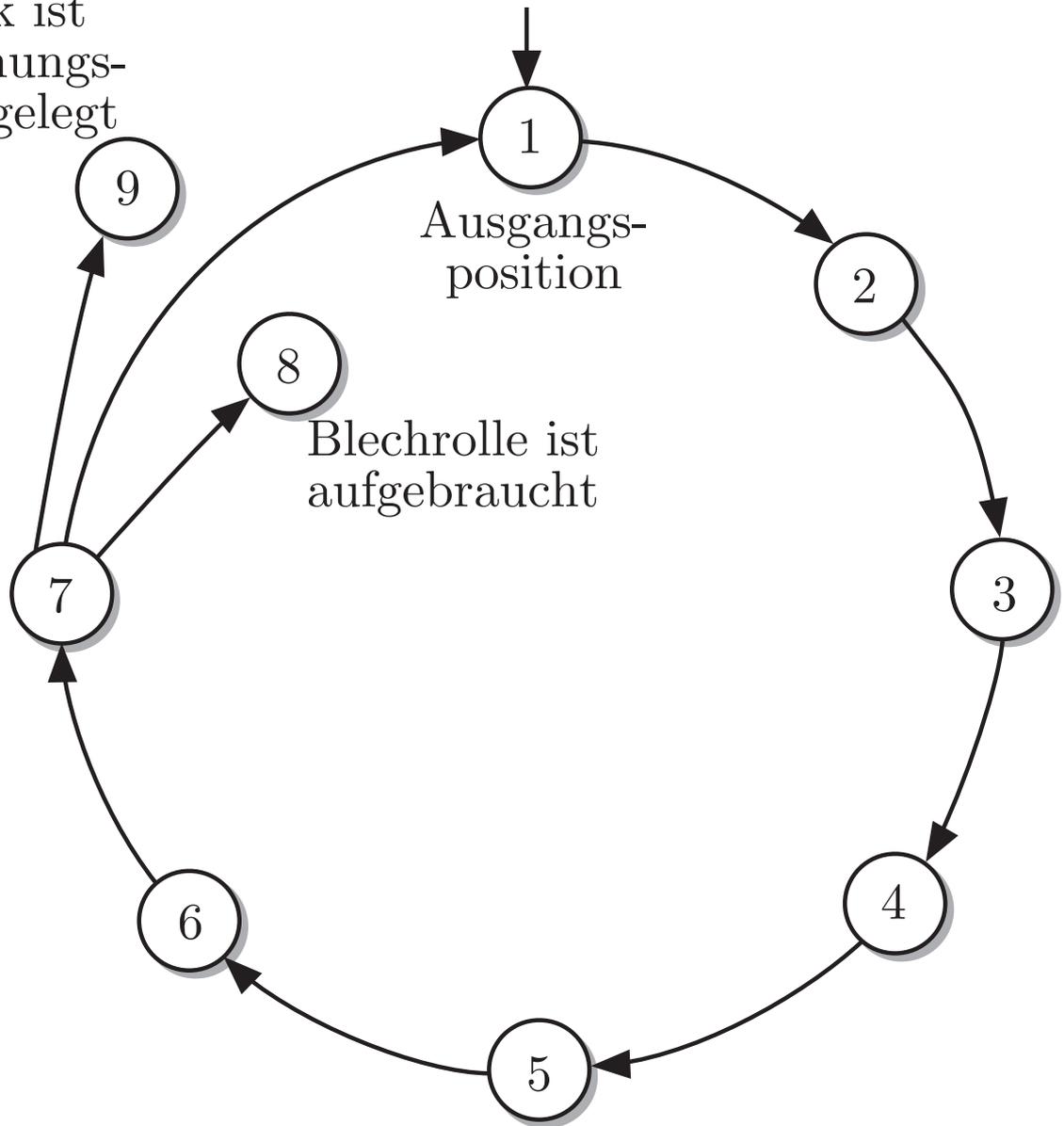


Abb. 11.13: Automatengraph des erweiterten Modells der Stanze

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

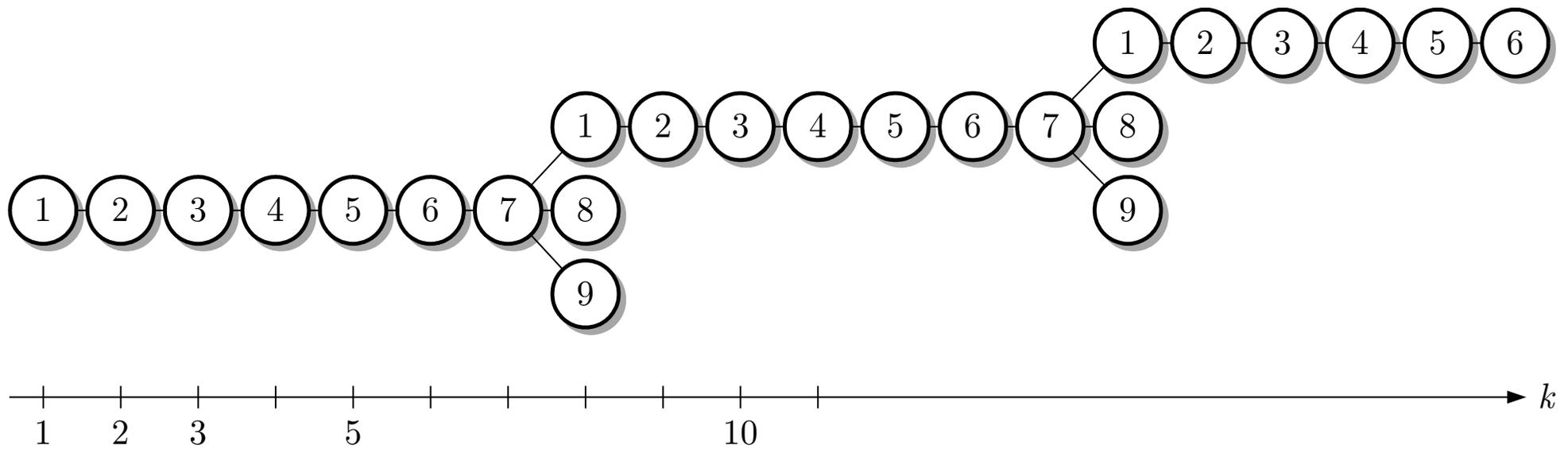


Abb. 11.14. Baum der Zustandsfolgen des nichtdeterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

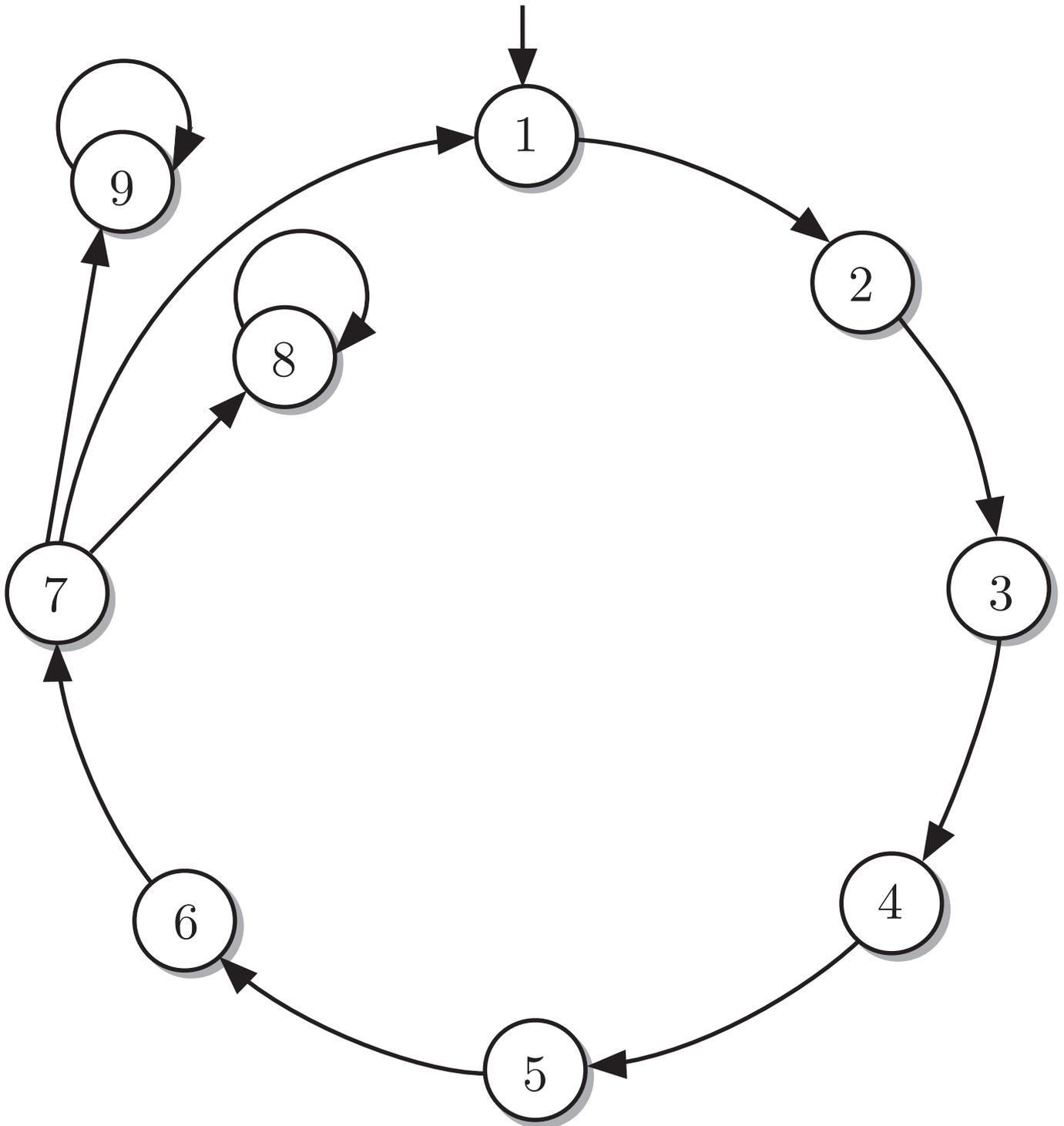


Abb. 11.15: Automatengraph mit Schlingen an den Zuständen 8 und 9

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

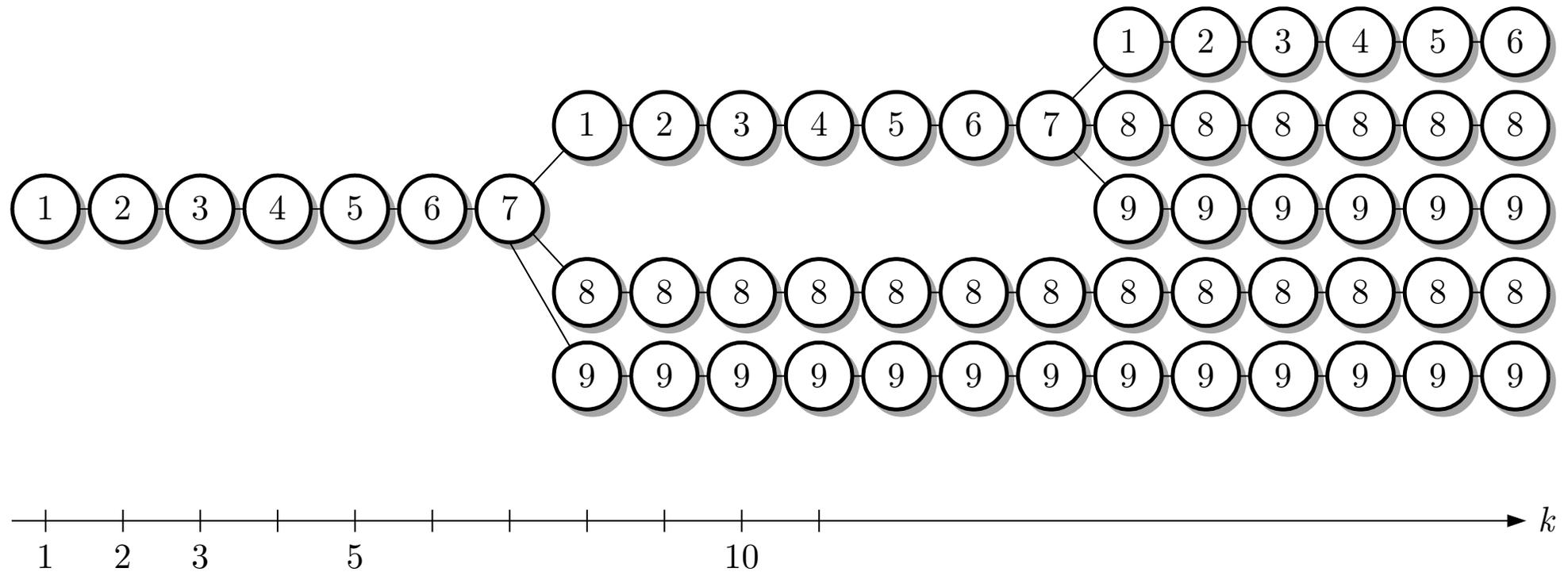


Abb. 11.16. Baum der Zustandsfolgen des nichtdeterministischen Automaten nach der Erweiterung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

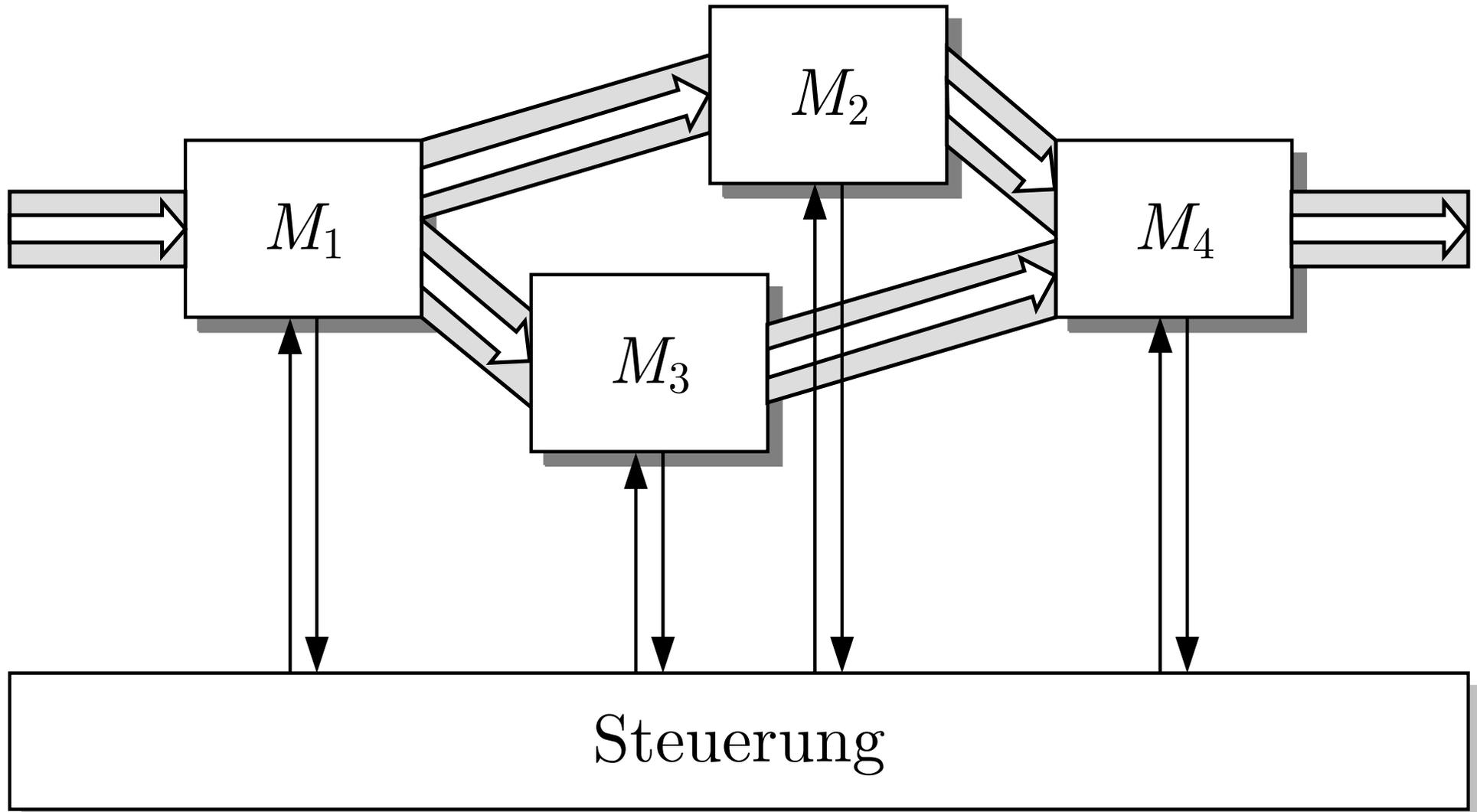


Abb. 11.17. Materialfluss zwischen vier Werkzeugmaschinen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

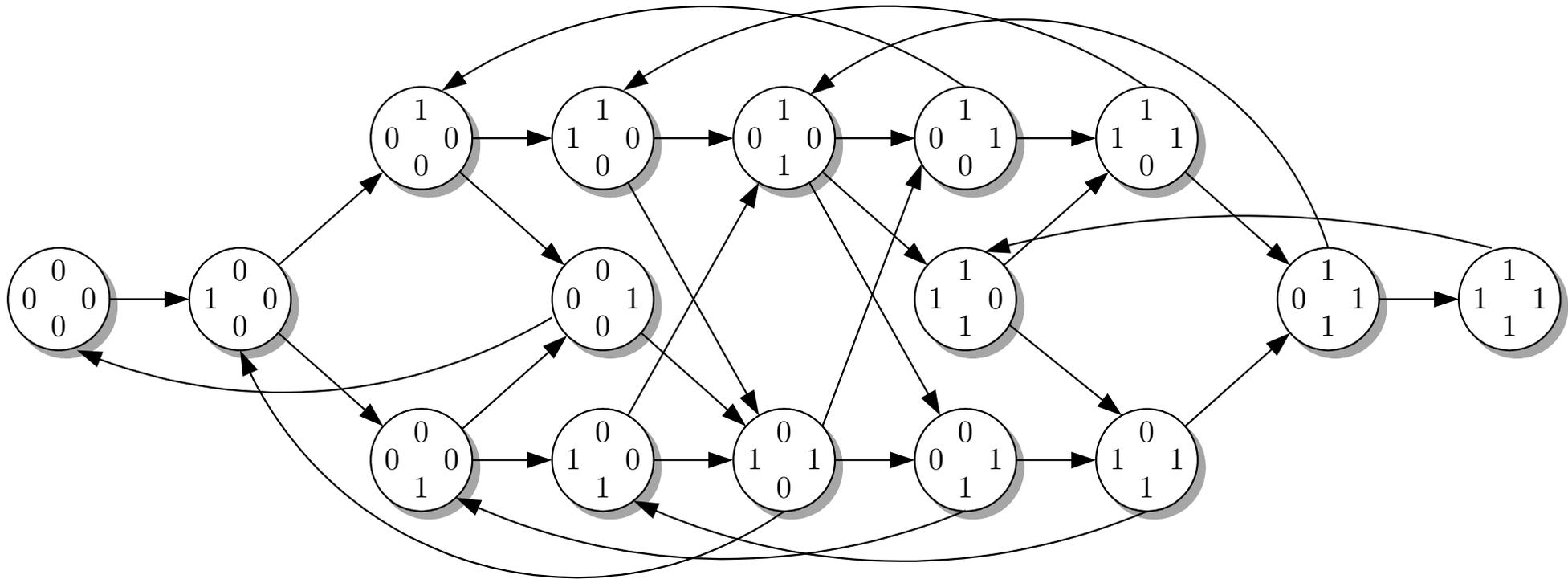


Abb. 11.18. Beschreibung der Arbeitsweise der vier Werkzeugmaschinen durch einen nichtdeterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

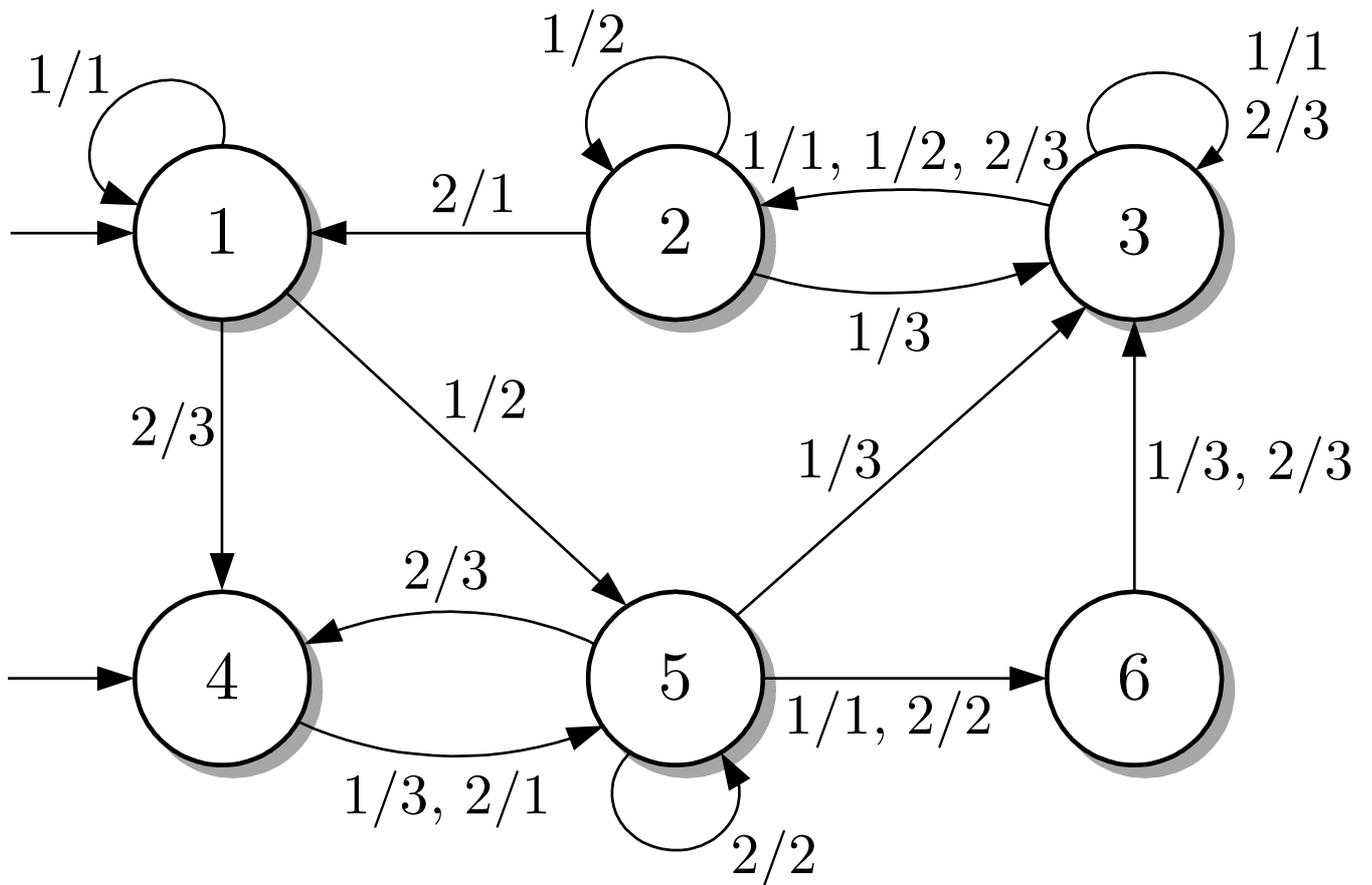


Abb. 11.19: Nichtdeterministischer Automat mit Eingang und Ausgang

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

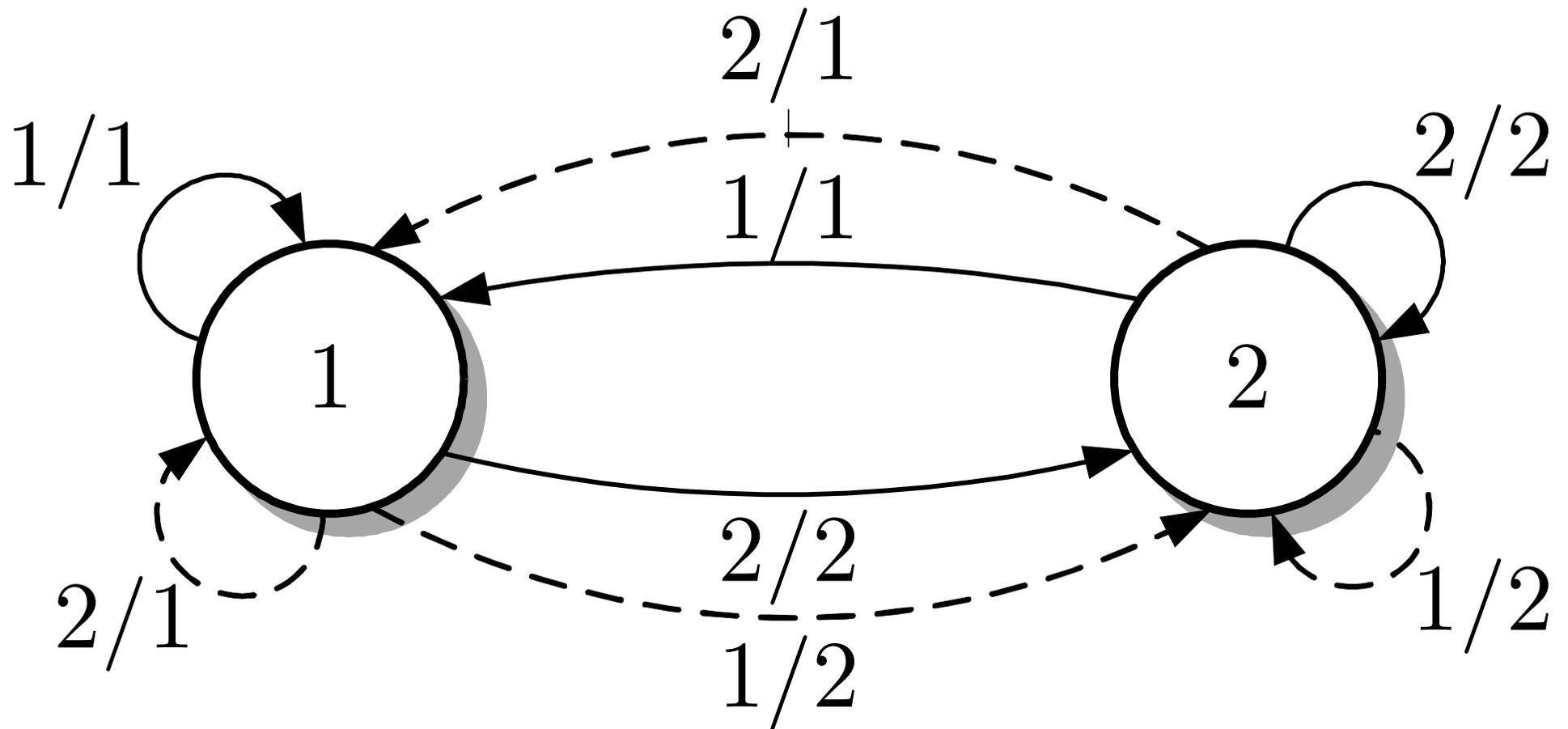


Abb. 11.20. Beschreibung eines Regensors durch einen nichtdeterministischen Automaten

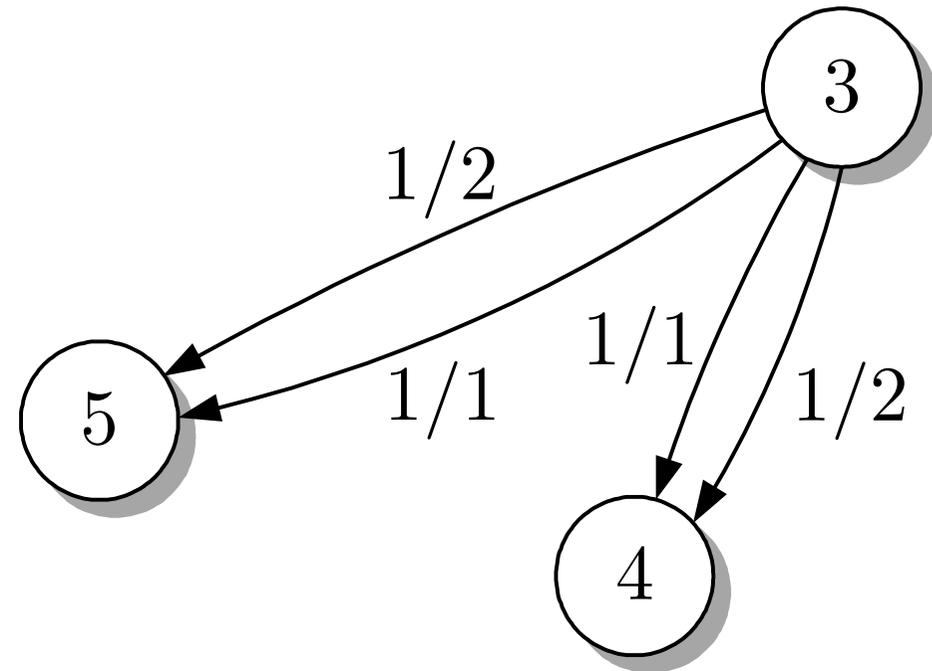
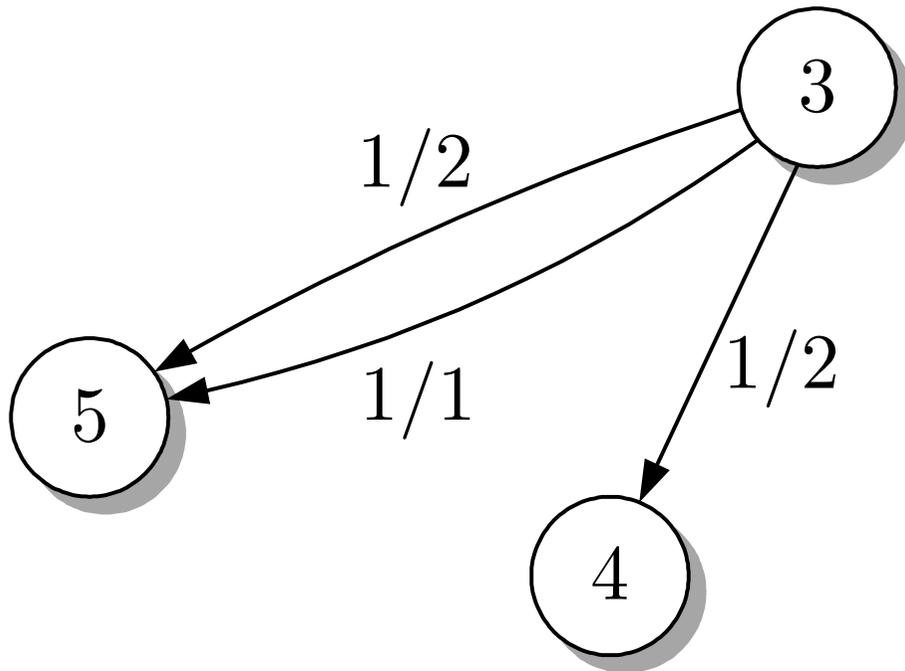


Abb. 11.21. Ausschnitte aus zwei Automatengraphen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020



Abb. 11.22. Stochastischer Prozess

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

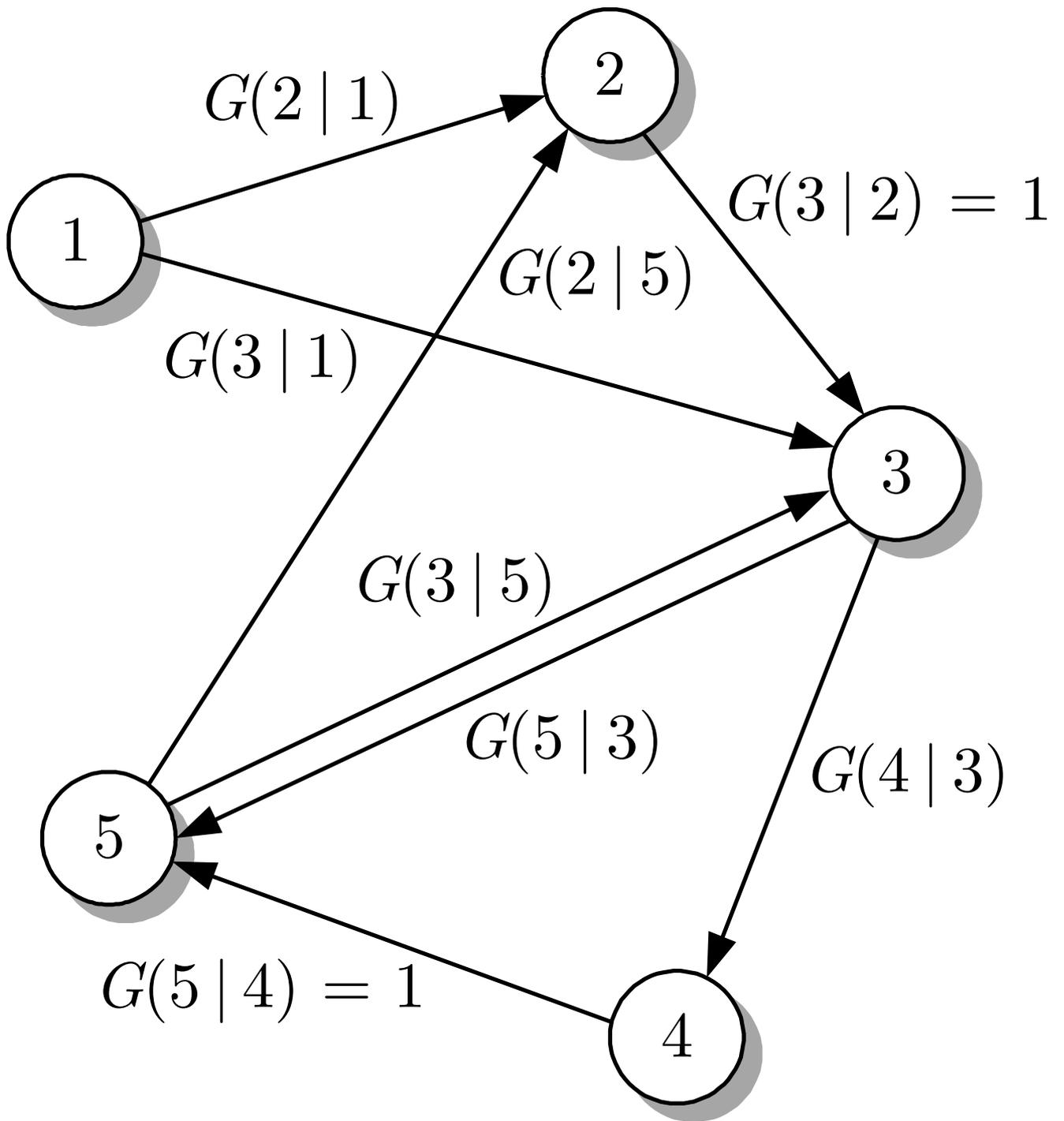


Abb. 11.23: Automatengraph eines autonomen stochastischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

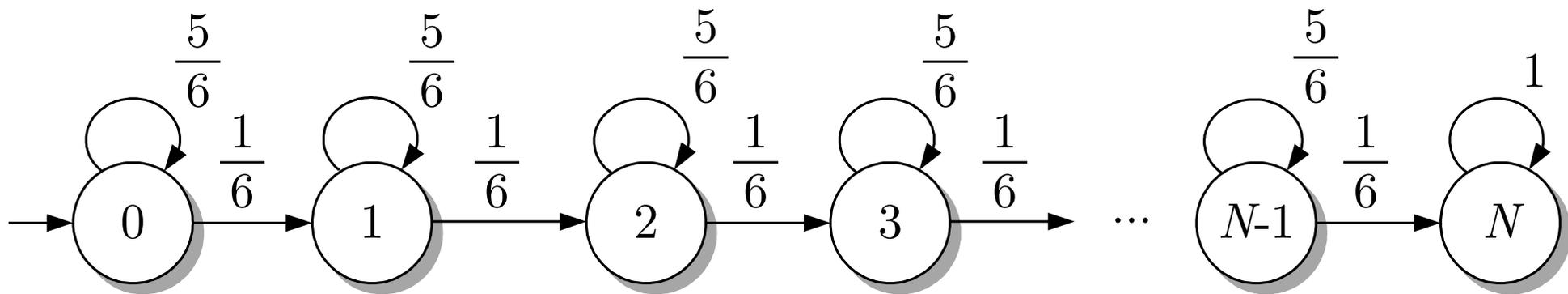


Abb. 11.24. Stochastischer Automat, der das Würfelspiel beschreibt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

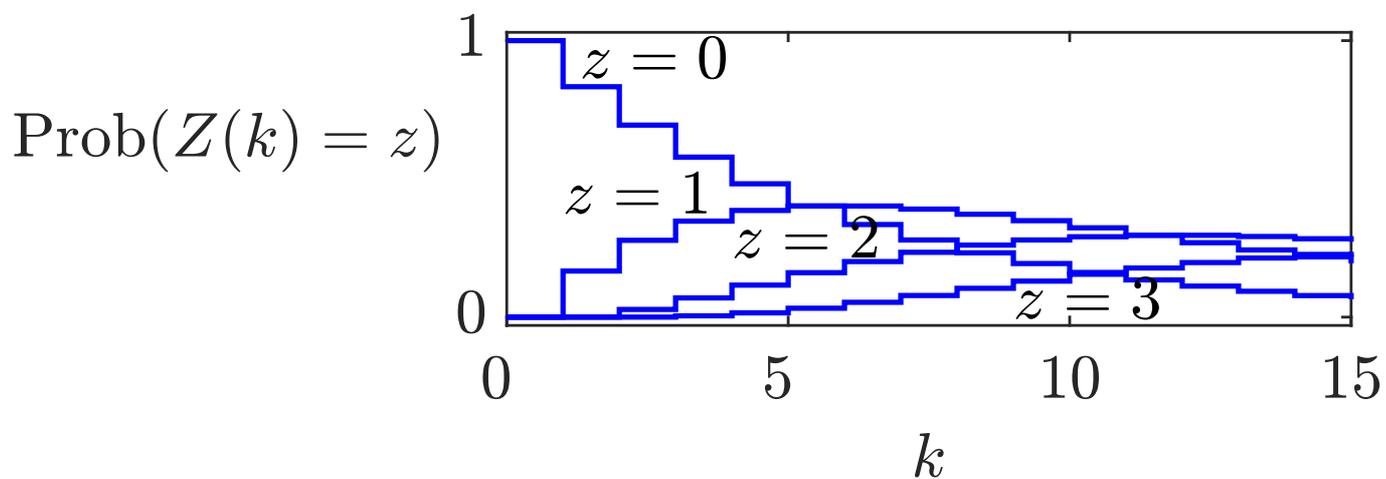
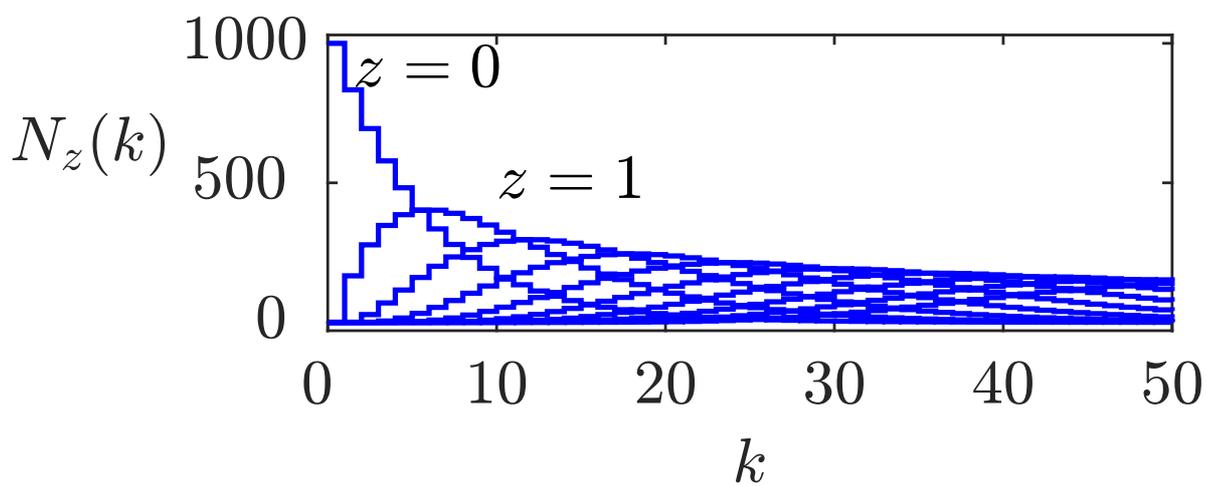


Abb. 11.25: Verhalten des Würfelspiels

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

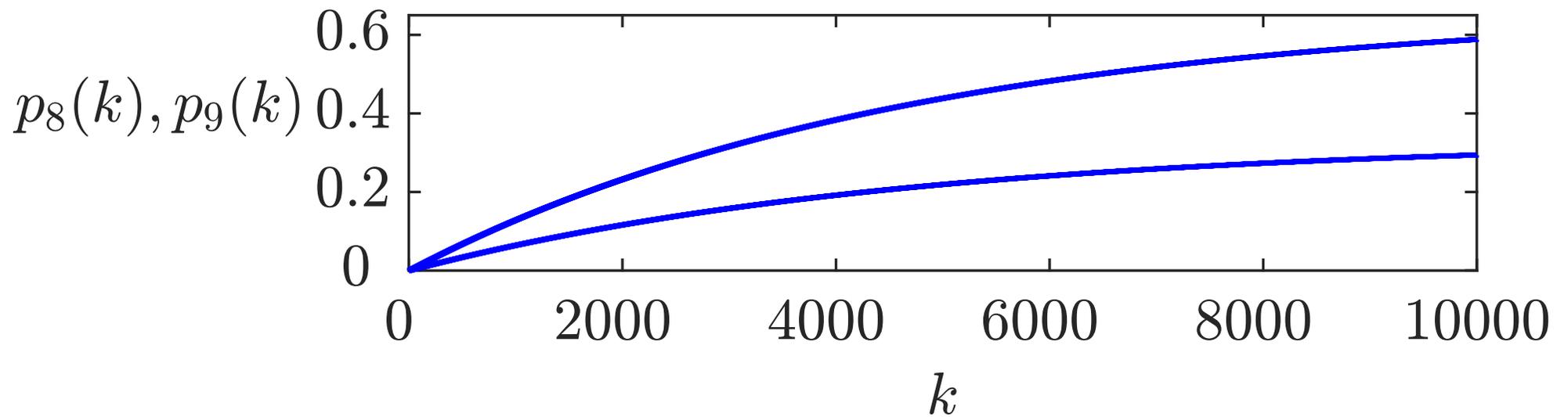


Abb. 11.26. Fehlerwahrscheinlichkeit der Stanze

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

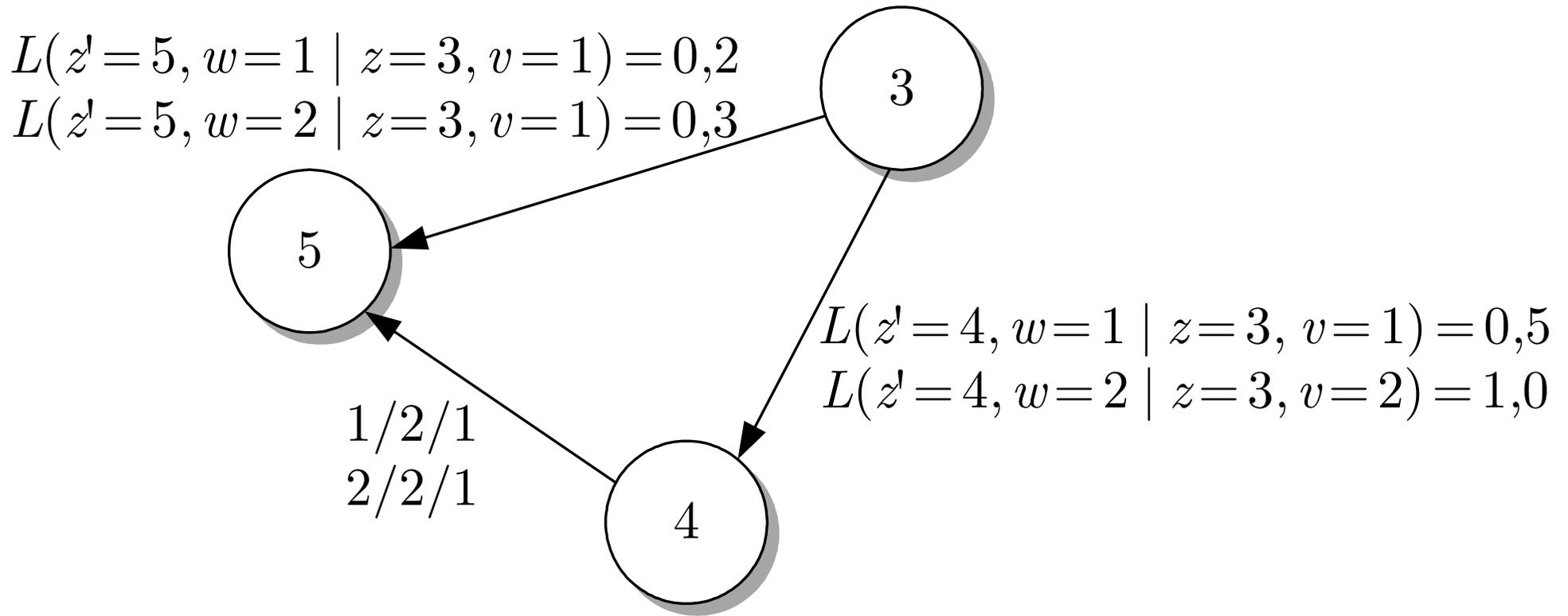


Abb. 11.27. Teil des Automatengraphen eines stochastischen Automaten mit Eingängen und Ausgängen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

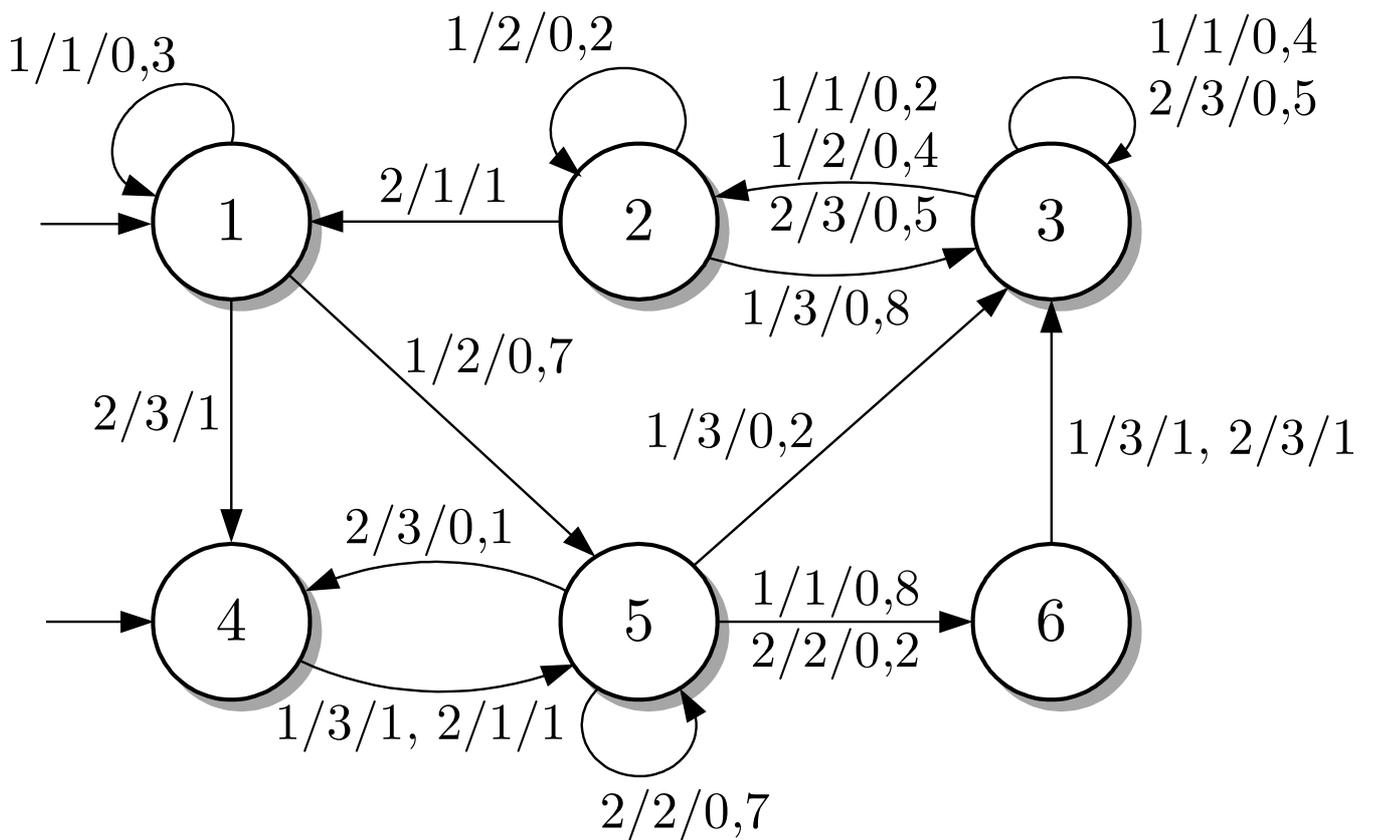


Abb. 11.28: Stochastischer Automat

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

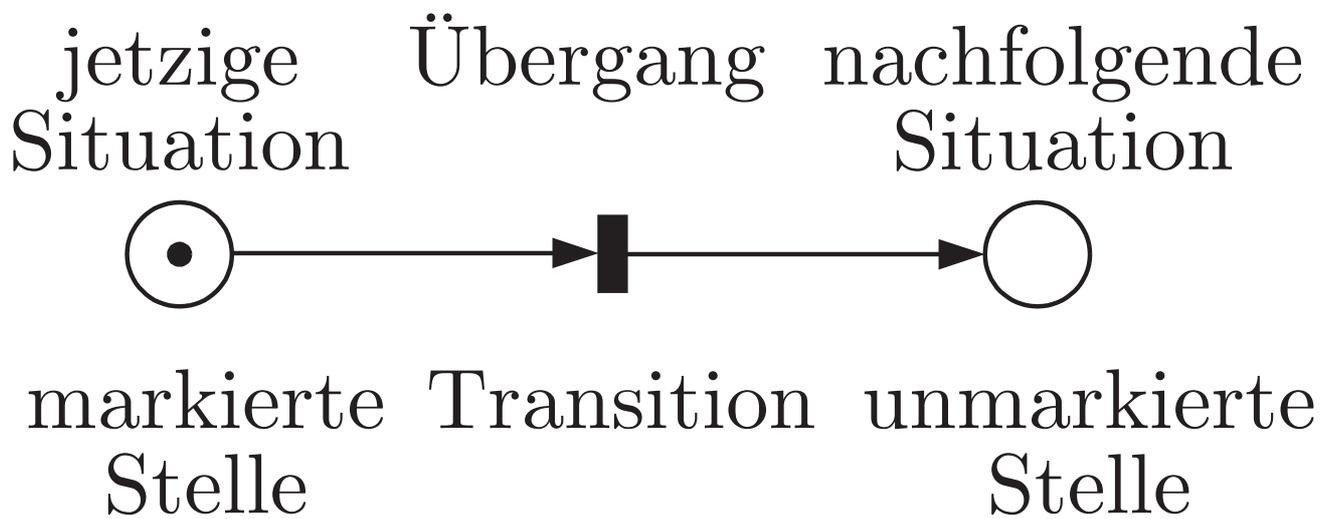


Abb. 11.29: Elemente eines Petrinetzes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

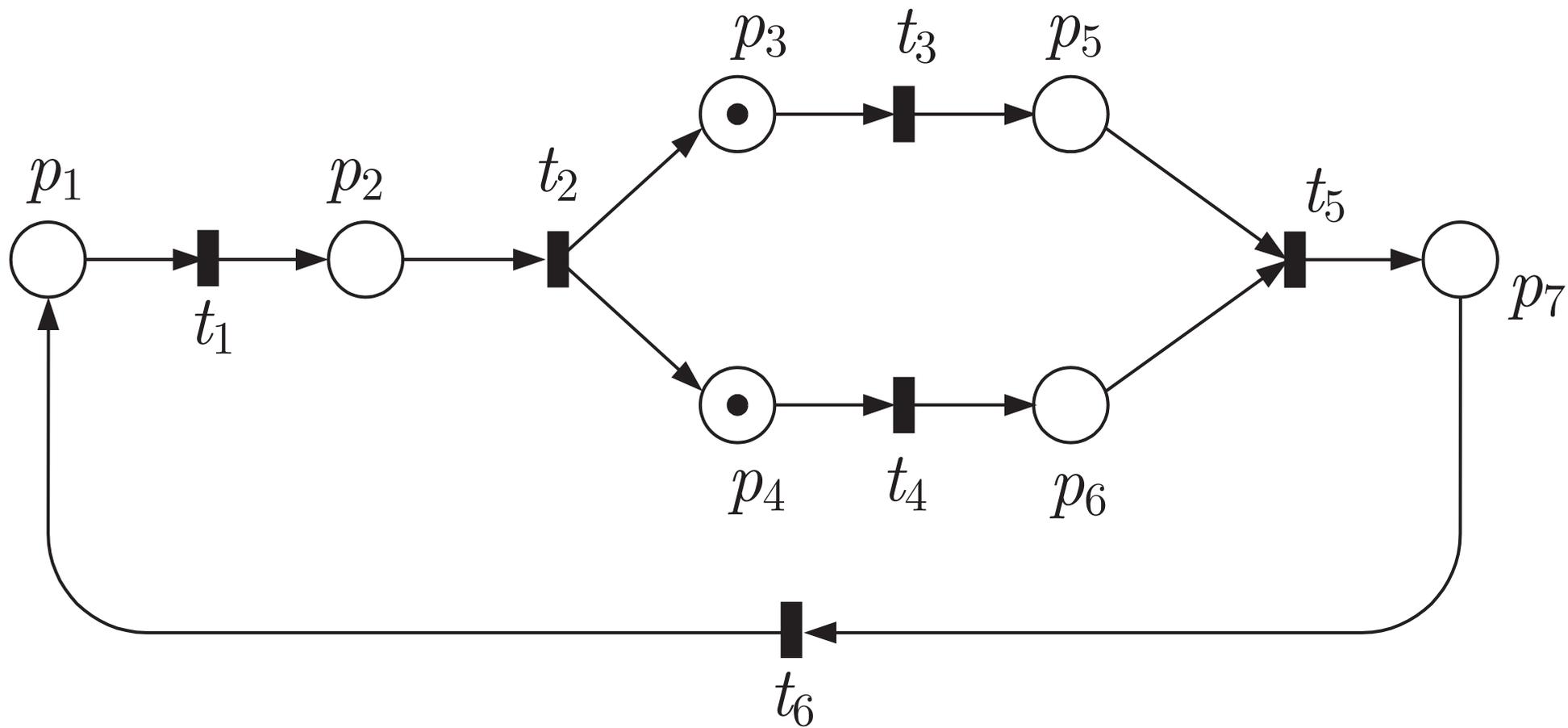


Abb. 11.30. Petrinetz mit zwei parallelen Prozessen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

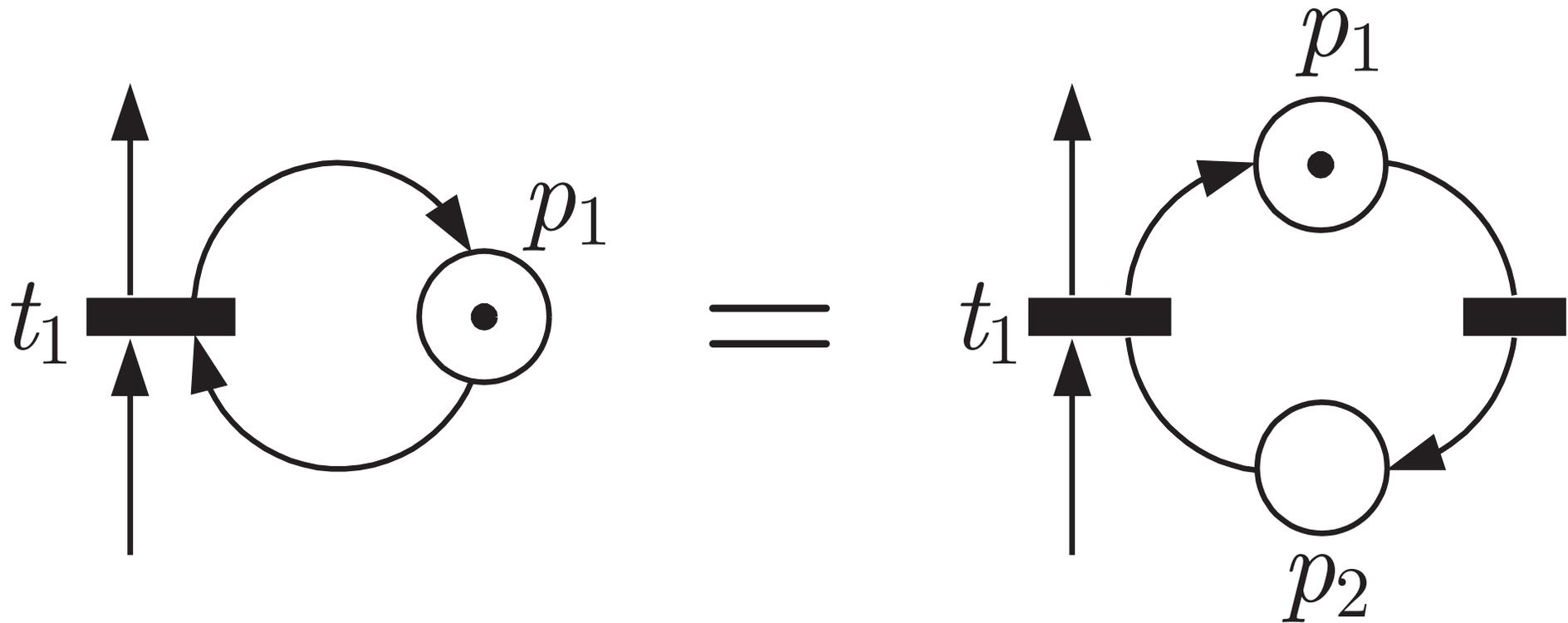


Abb. 11.31. Schlinge, die durch Einführung einer zusätzlichen Stelle und einer Transition ersetzt werden kann

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

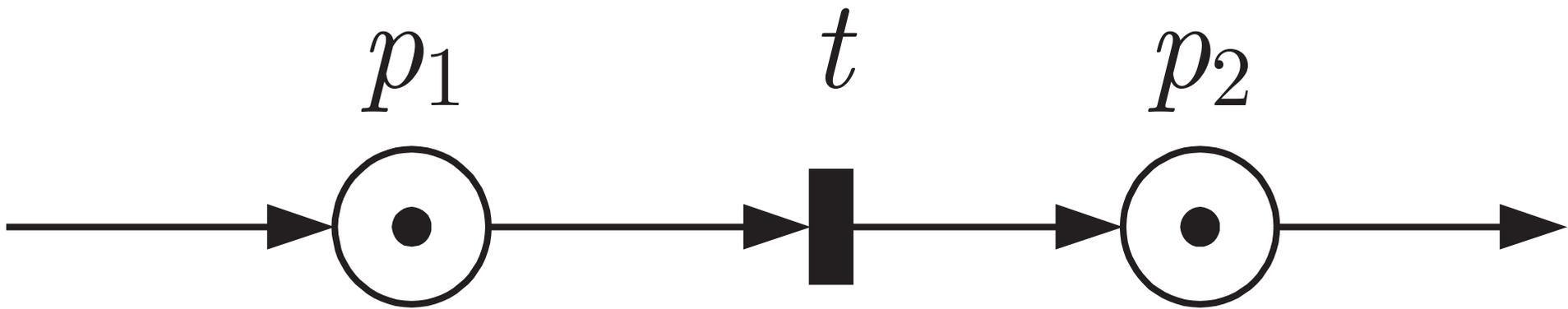


Abb. 11.32. Kontakt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

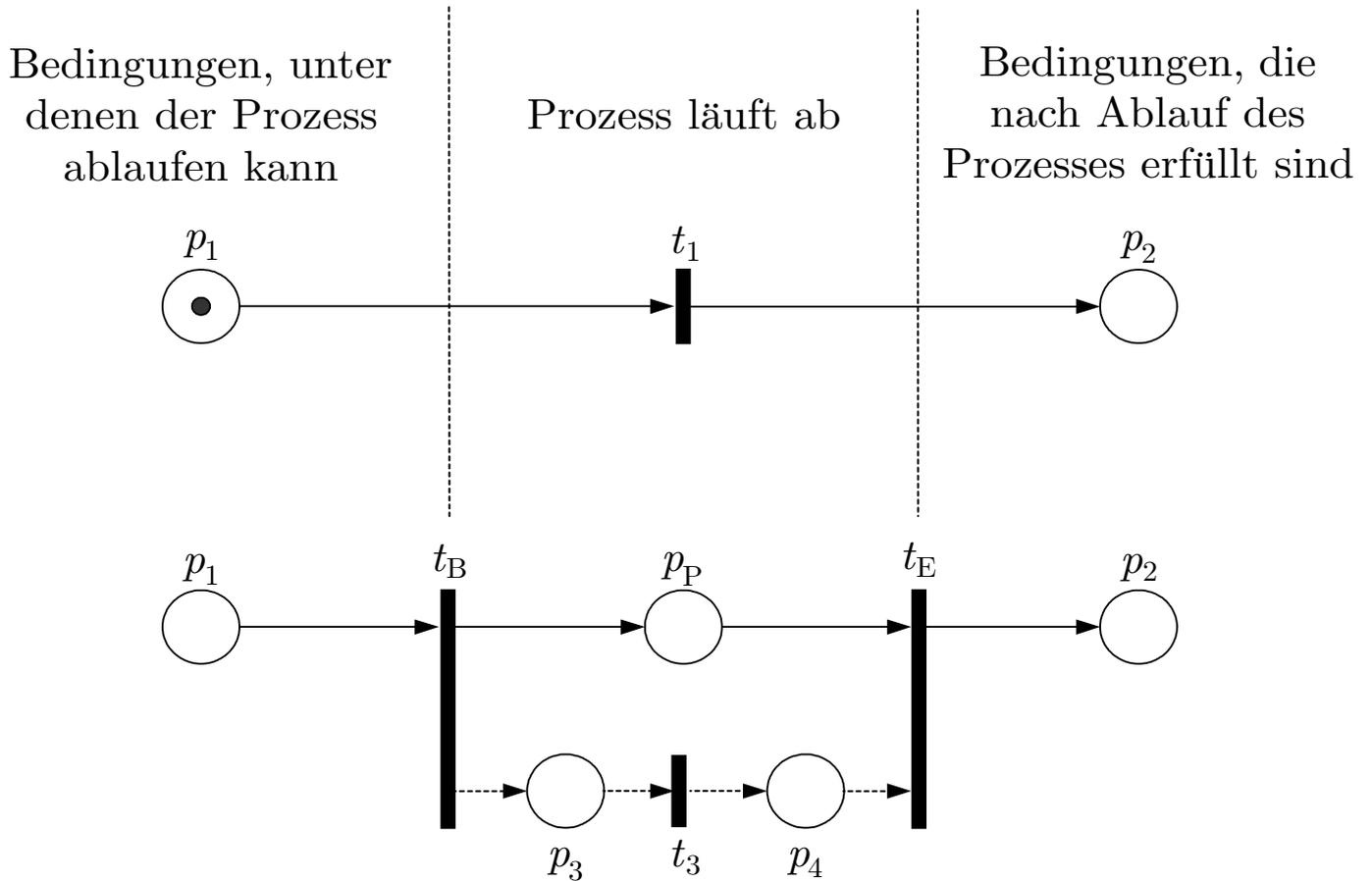


Abb. 11.33: Prozessorientierte Modellbildung mit Petrinetzen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

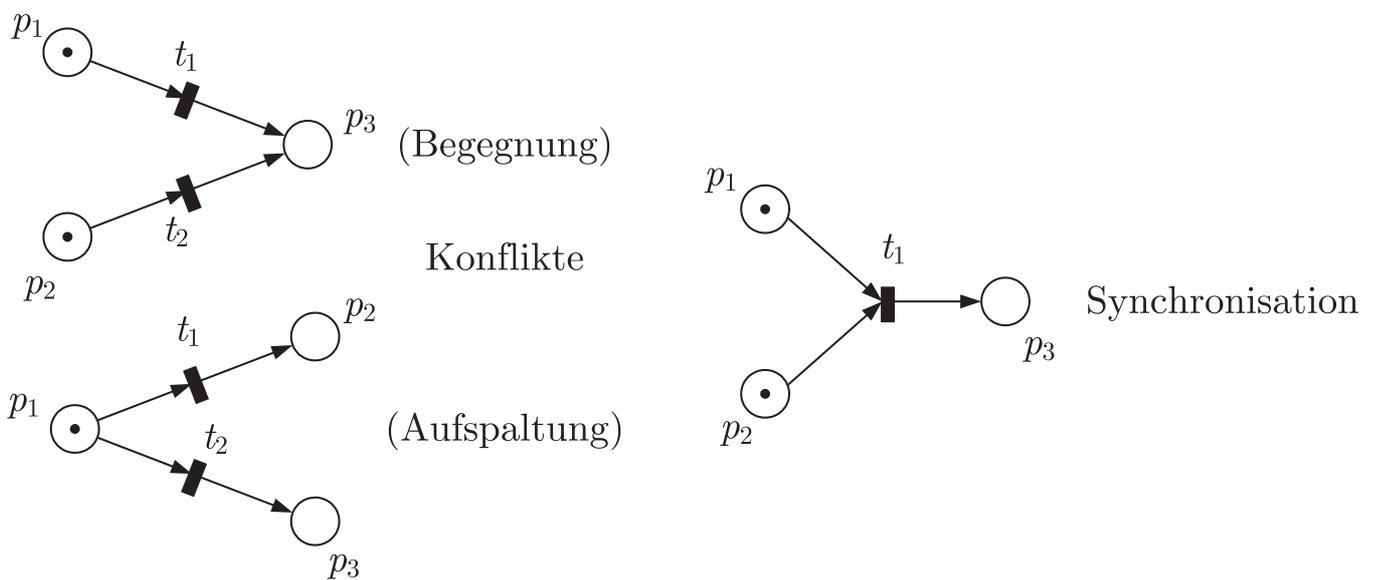


Abb. 11.34: Darstellung von Konflikt und Synchronisation in einem Petrinetz

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

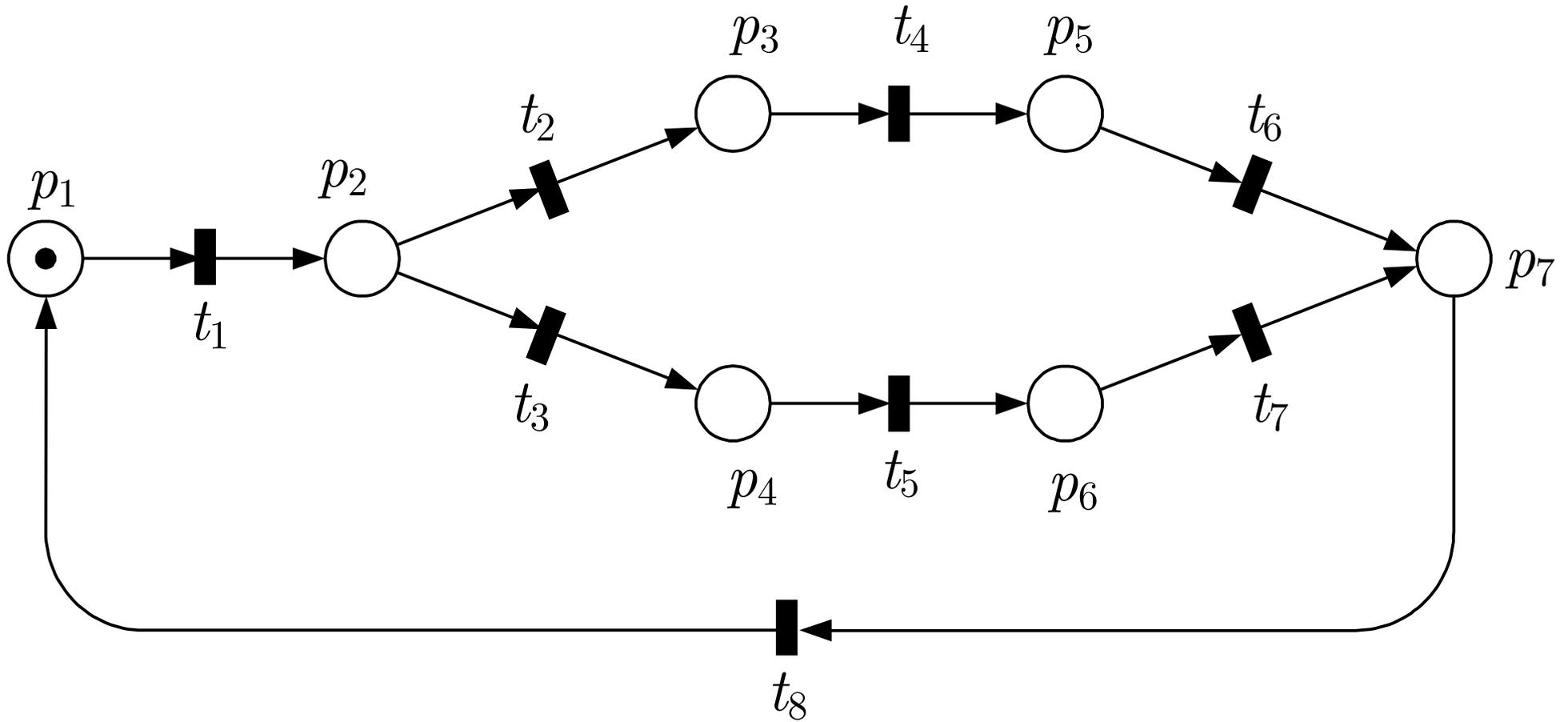


Abb. 11.35. Petrinetz mit Konflikt an der Stelle p_2 , der zur Blockierung führt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

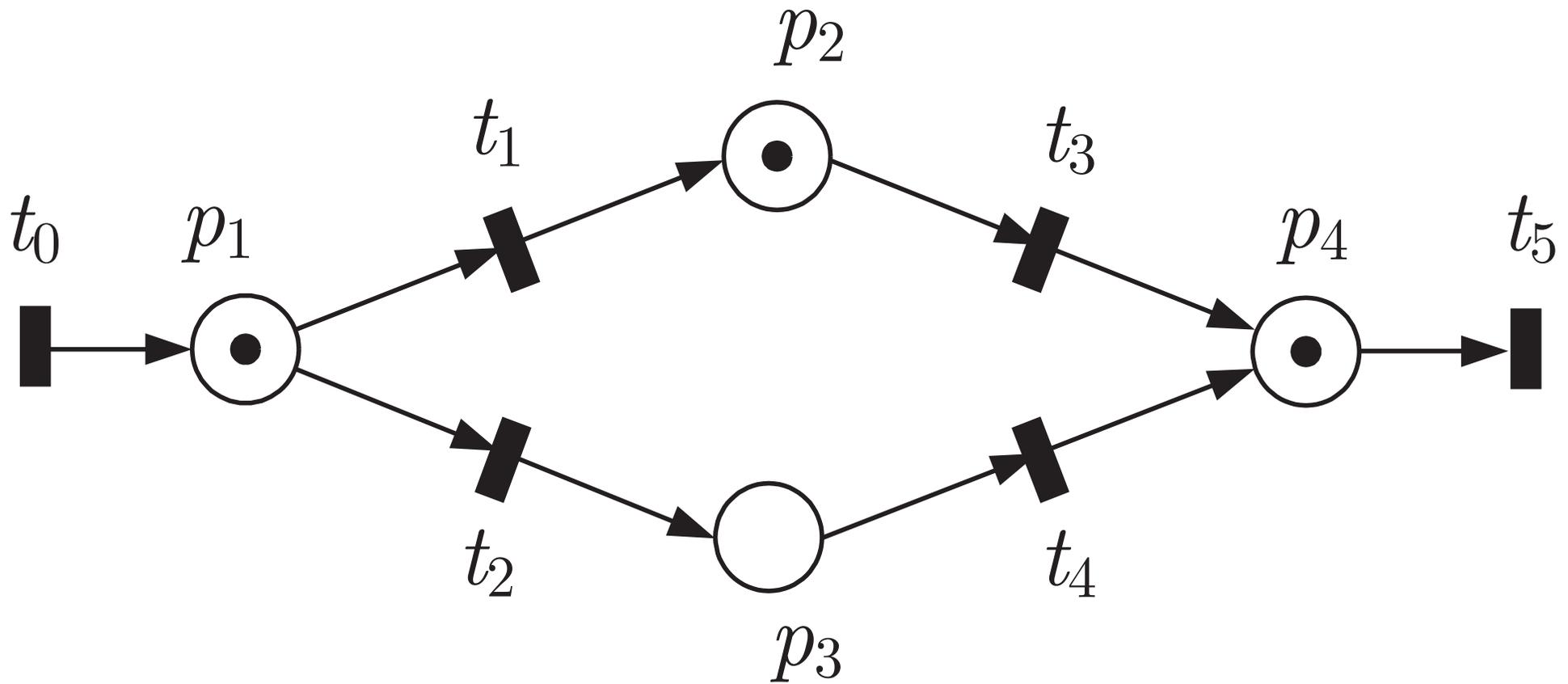


Abb. 11.36. Petrinetz zur Beschreibung der Arbeitsweise von vier Maschinen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

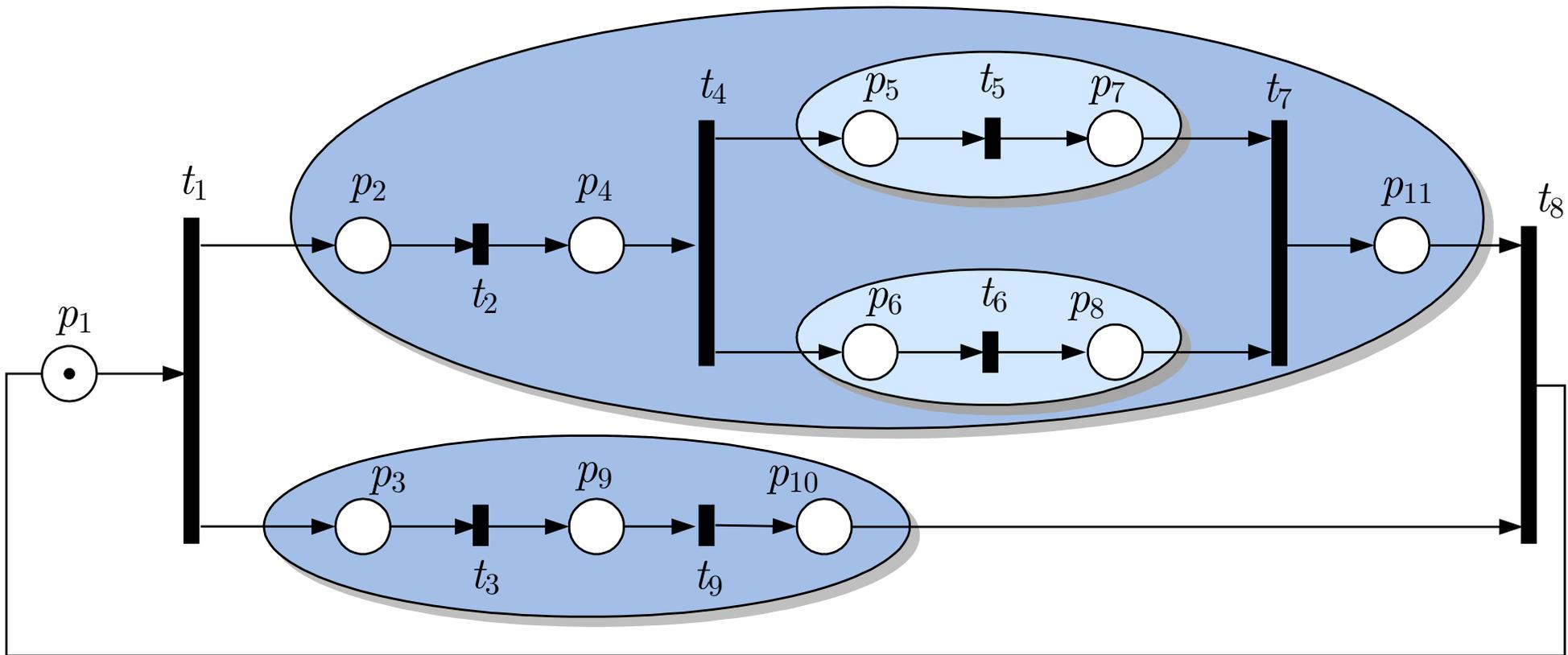


Abb. 11.37. Beispiel für einen Synchronisationsgraphen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

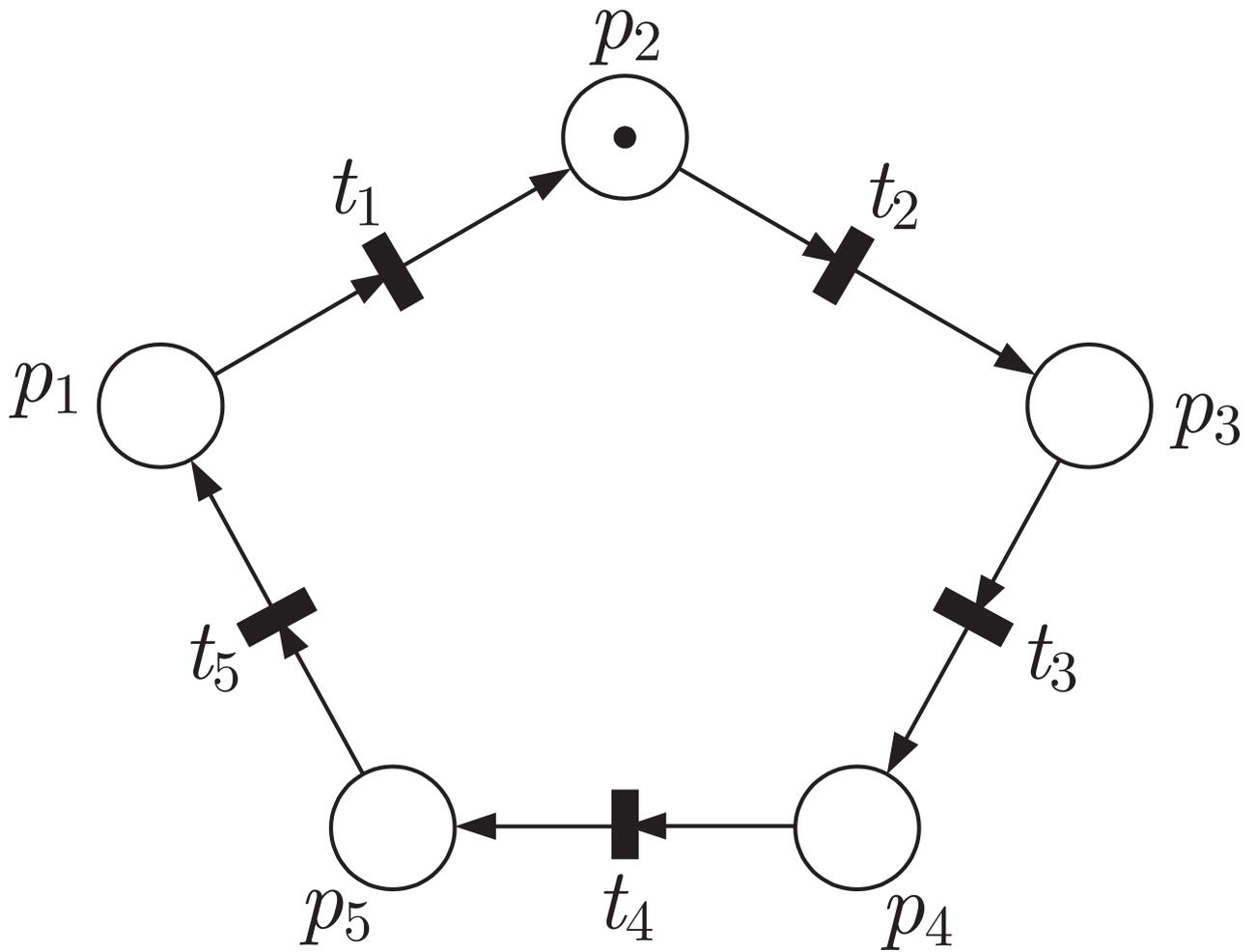


Abb. 11.38: Petrinetz, das zum Automaten in Abb. 11.6 äquivalent ist

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

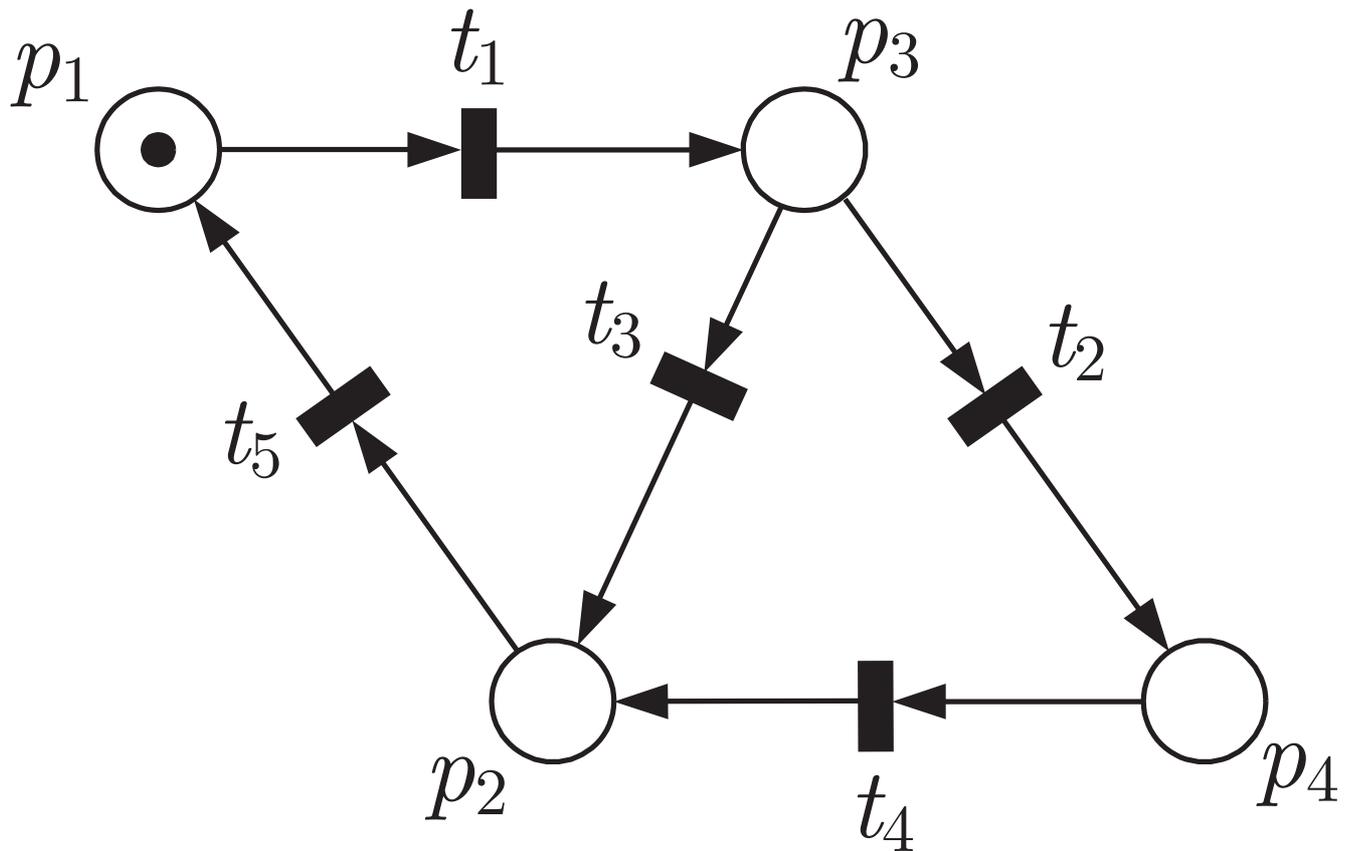


Abb. 11.39: Zustandsmaschine mit nichtdeterministischem Verhalten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

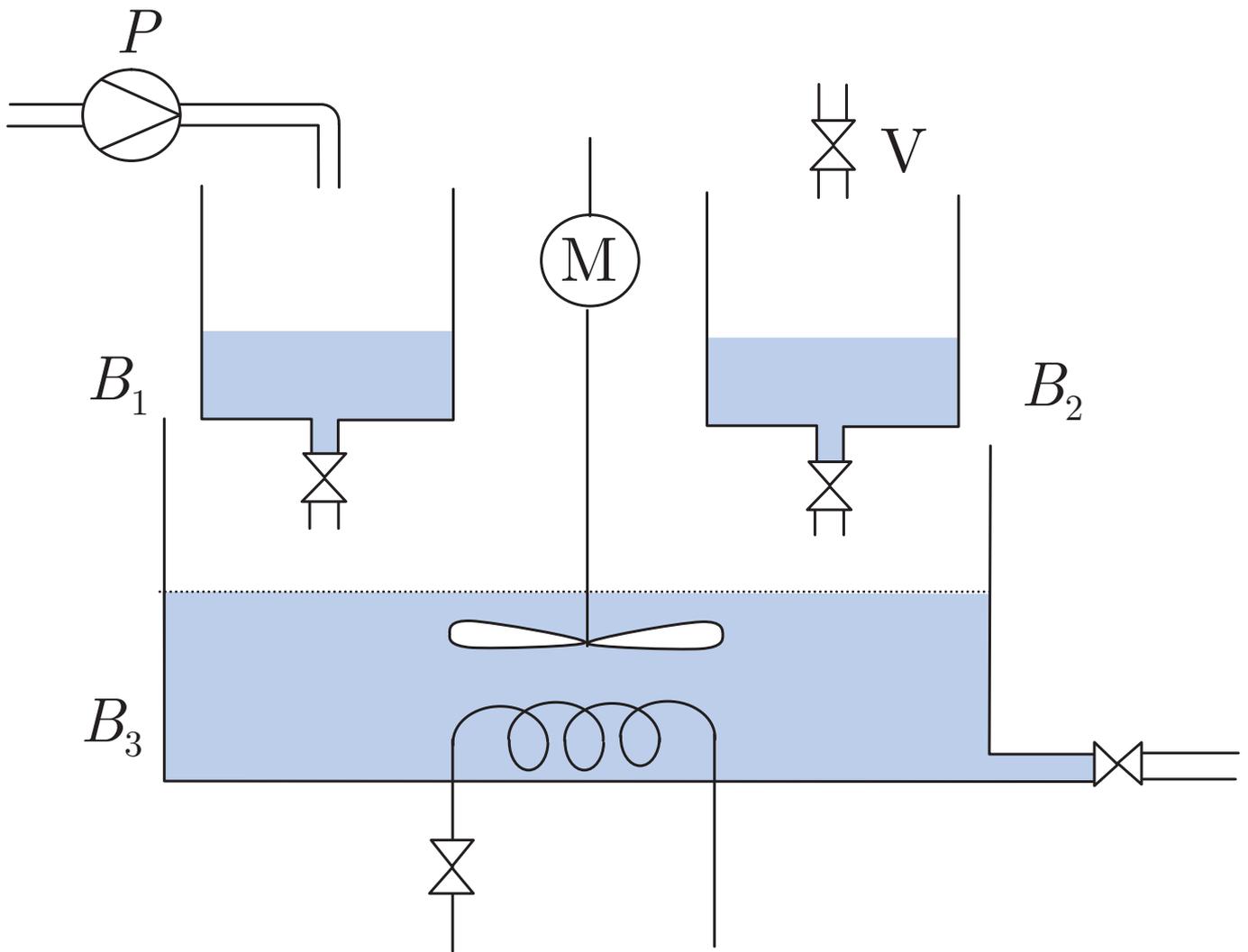


Abb. 11.40: Batchprozess

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

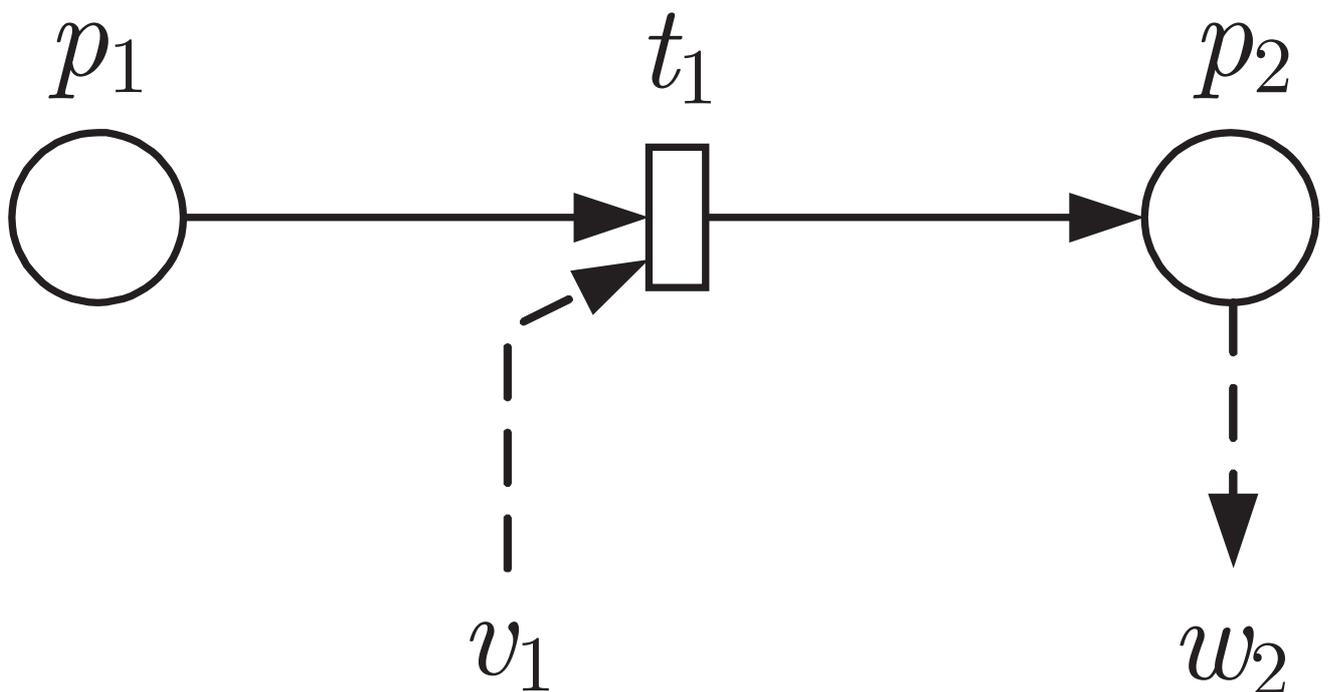


Abb. 11.41: Elemente eines steuerungstechnisch interpretierten Petrinetzes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

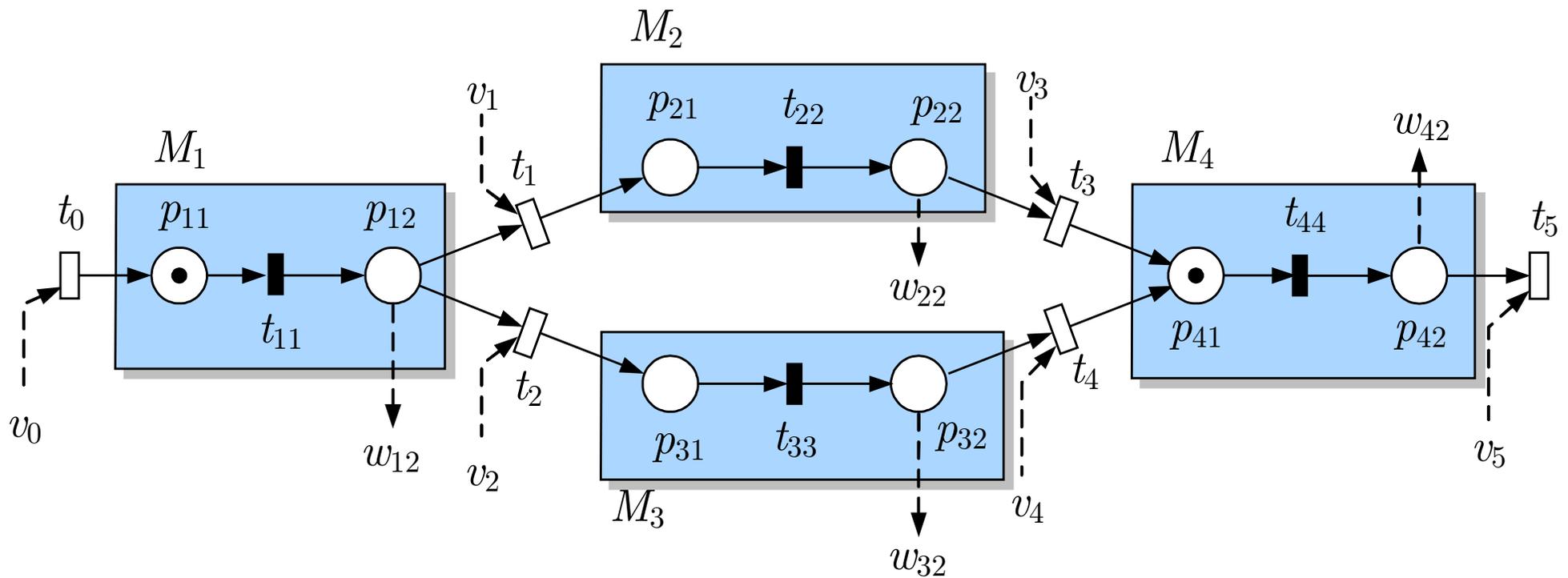


Abb. 11.42. Petrinetz zur Beschreibung der Werkzeugmaschinen als Steuerstrecke

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

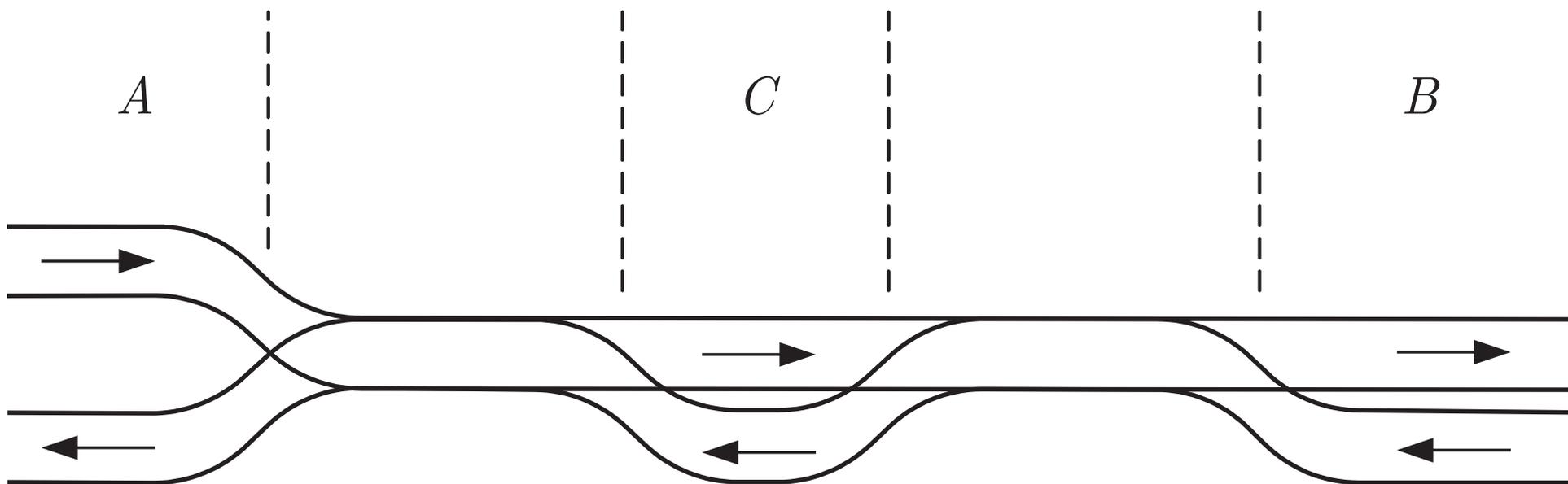


Abb. 11.43. Streckenabschnitt einer Eisenbahnverbindung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

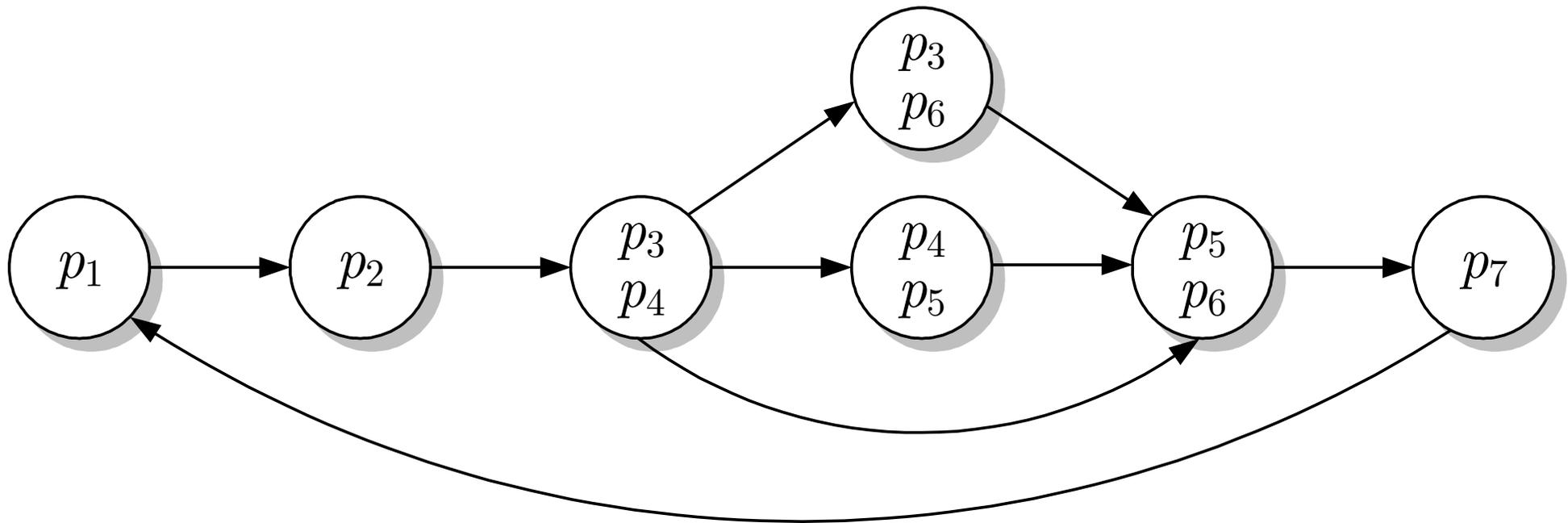


Abb. 11.44. Automat mit demselben Verhalten wie das Petrinetz aus Abb. 11.30

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

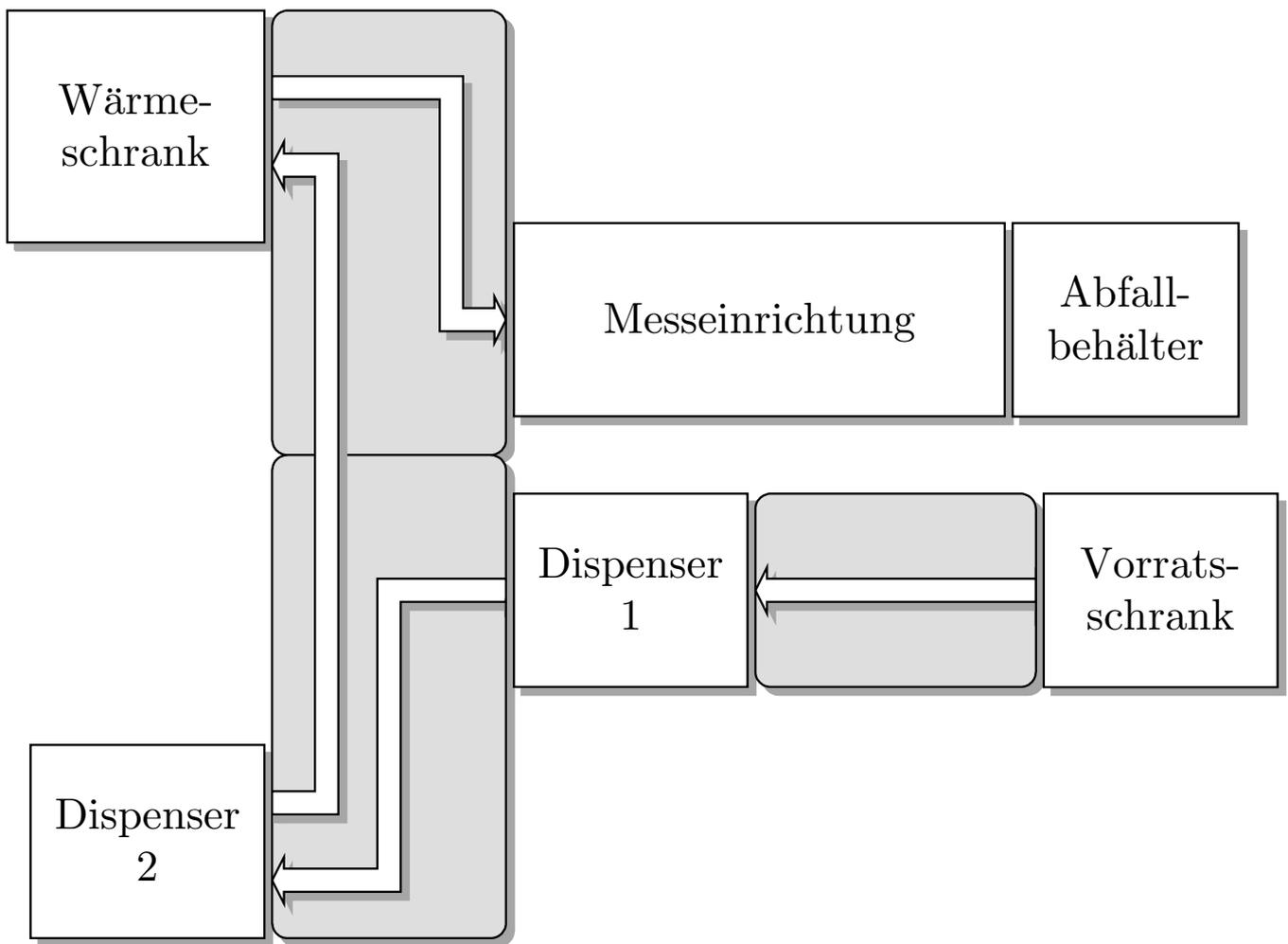


Abb. 11.45: Aufbau der Screening-Anlage

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

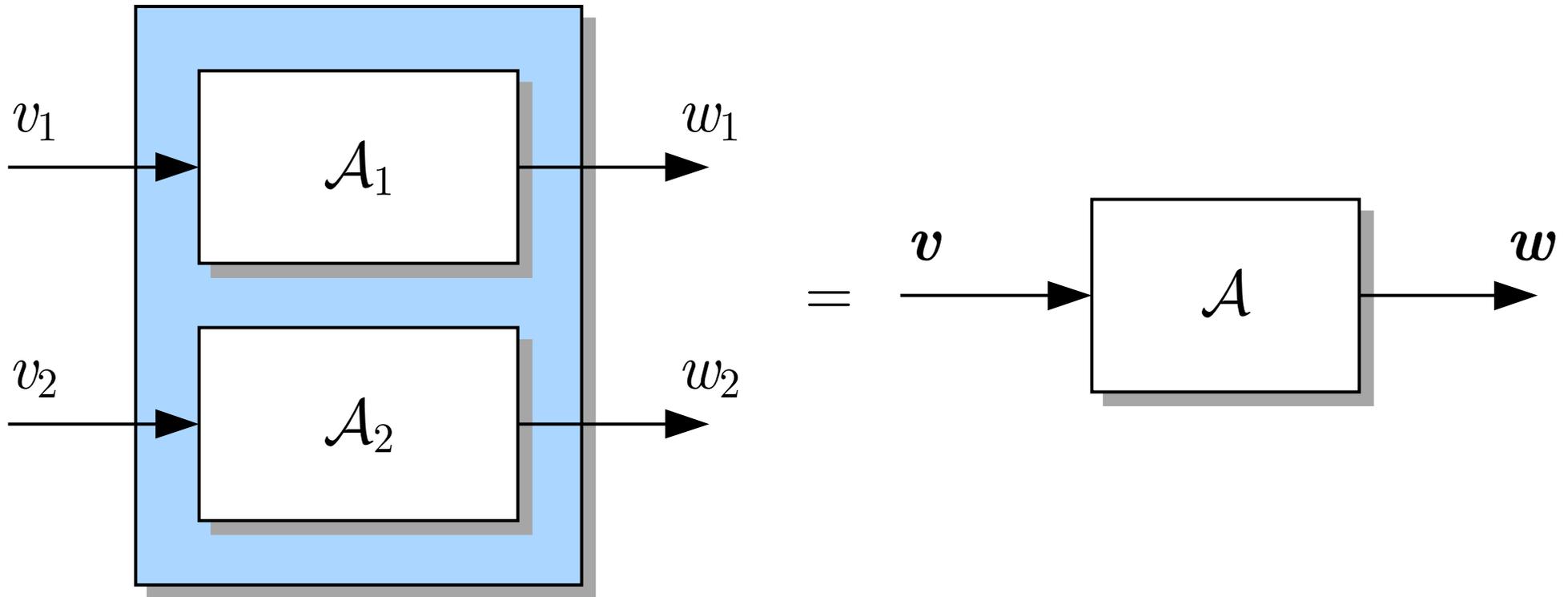


Abb. 11.46. Synchronisation zweier Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

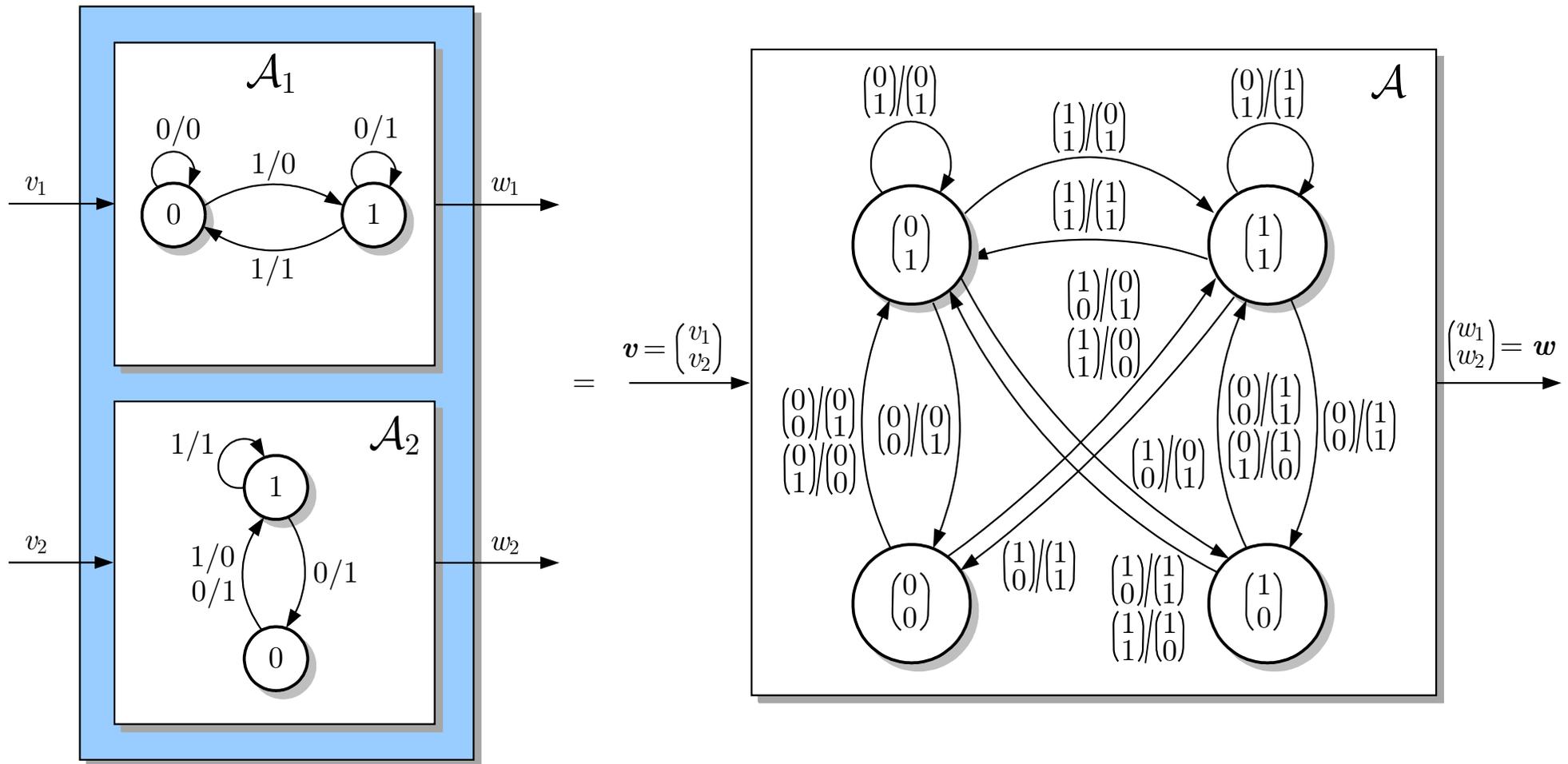


Abb. 11.47. Beispiel für die Synchronisation zweier Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

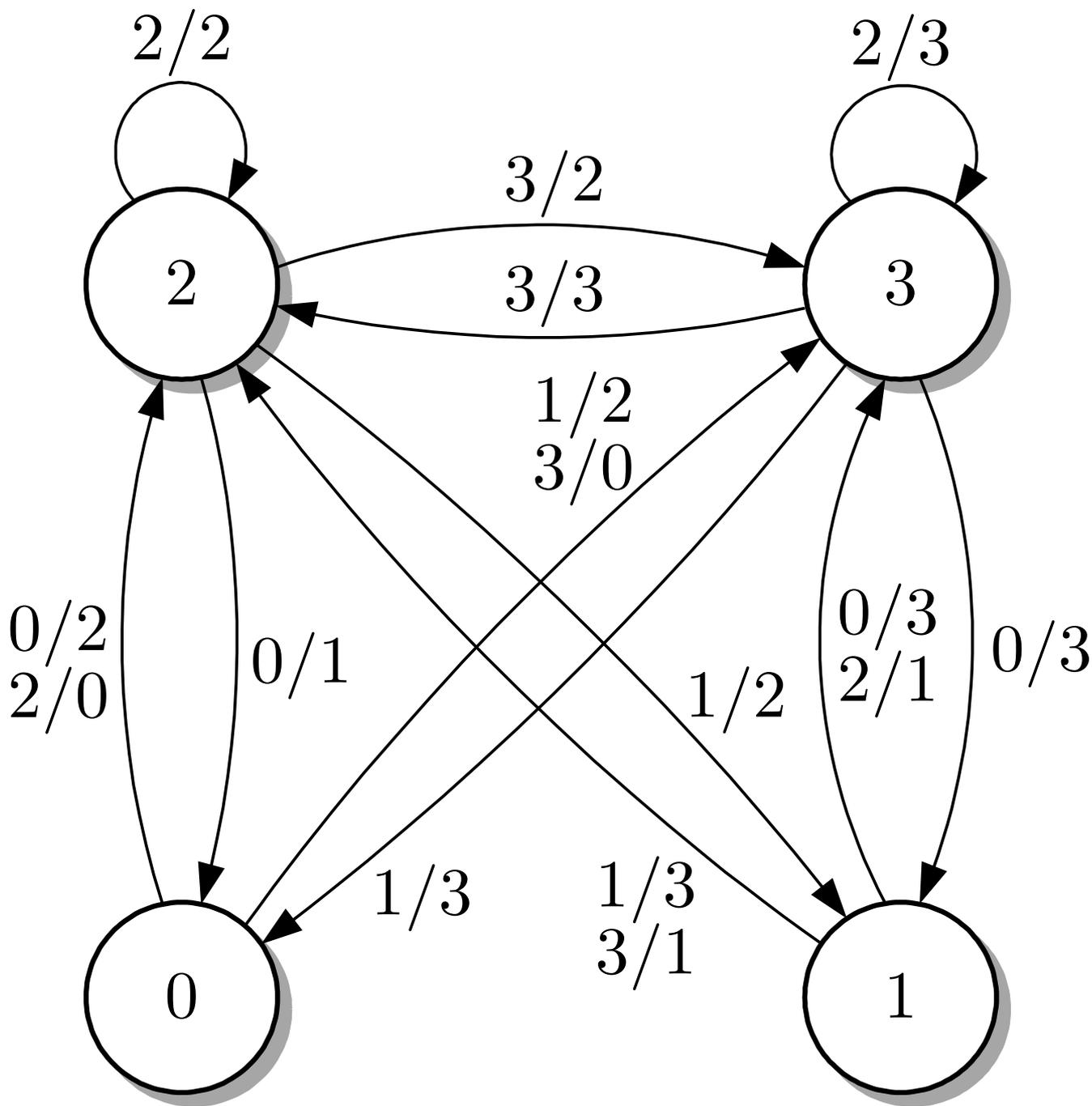


Abb. 11.48: Vereinfachte Darstellung der synchronisierten Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

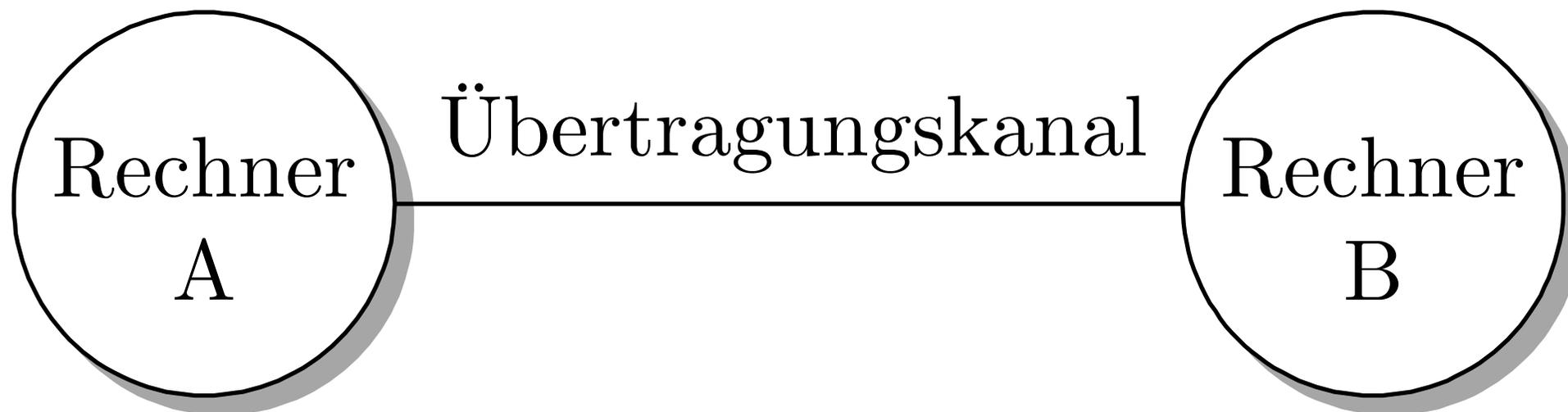


Abb. 11.49. Kommunikation zweier Rechner über einen Übertragungskanal

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

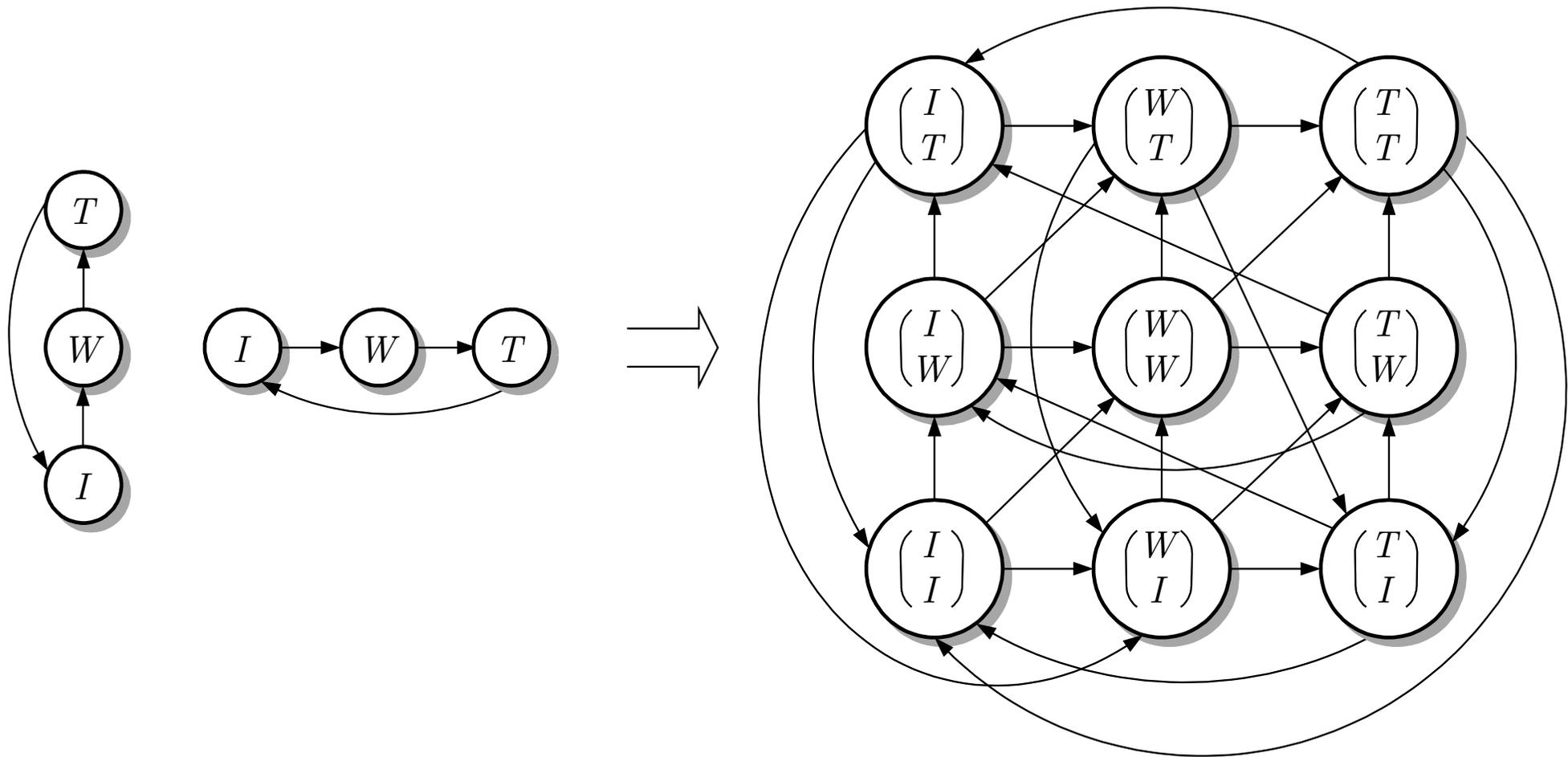


Abb. 11.50. Beschreibung der ungesteuerten Rechnerkommunikation durch Automaten

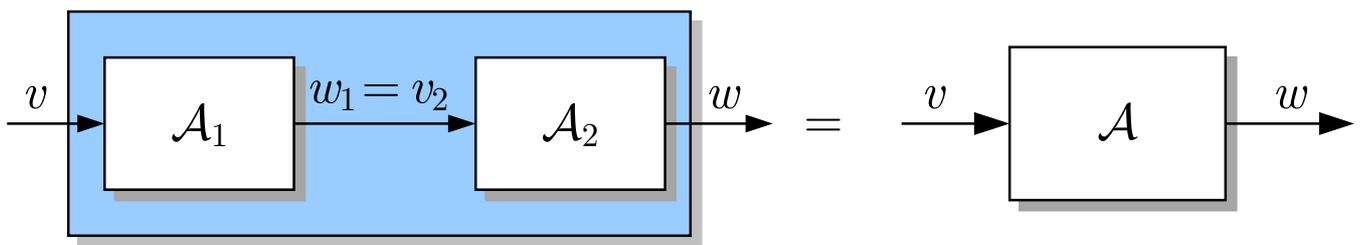


Abb. 11.51: Reihenschaltung zweier Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

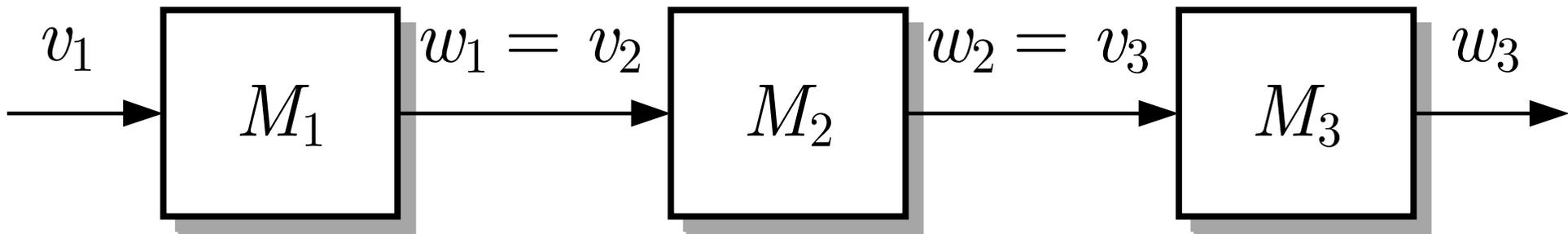


Abb. 11.52. Reihenschaltung von drei Werkzeugmaschinen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

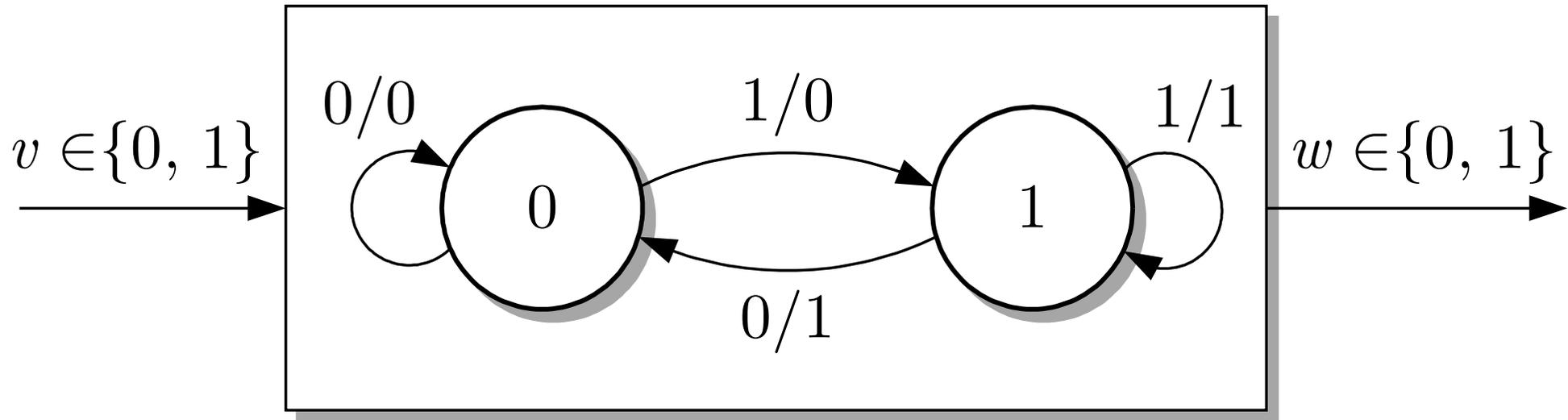


Abb. 11.53. Modell der einzelnen Werkzeugmaschine

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

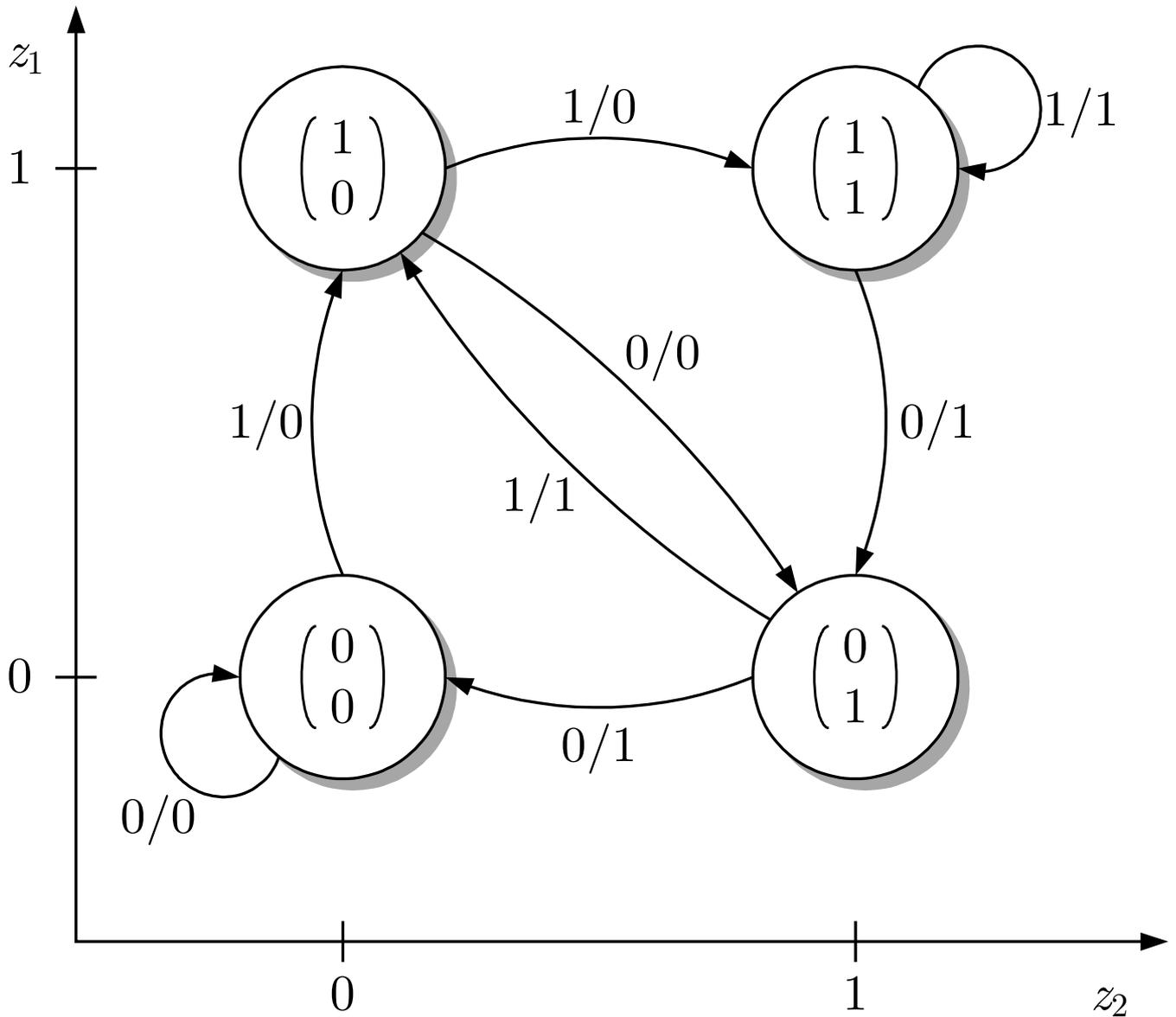
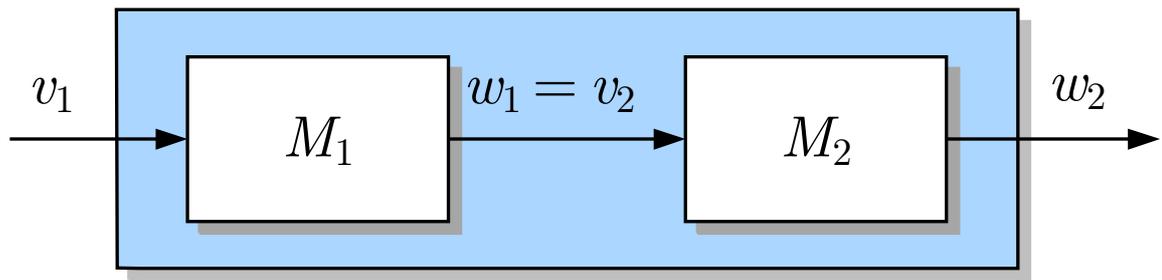


Abb. 11.54: Modell der Reihenschaltung der Maschinen M_1 und M_2

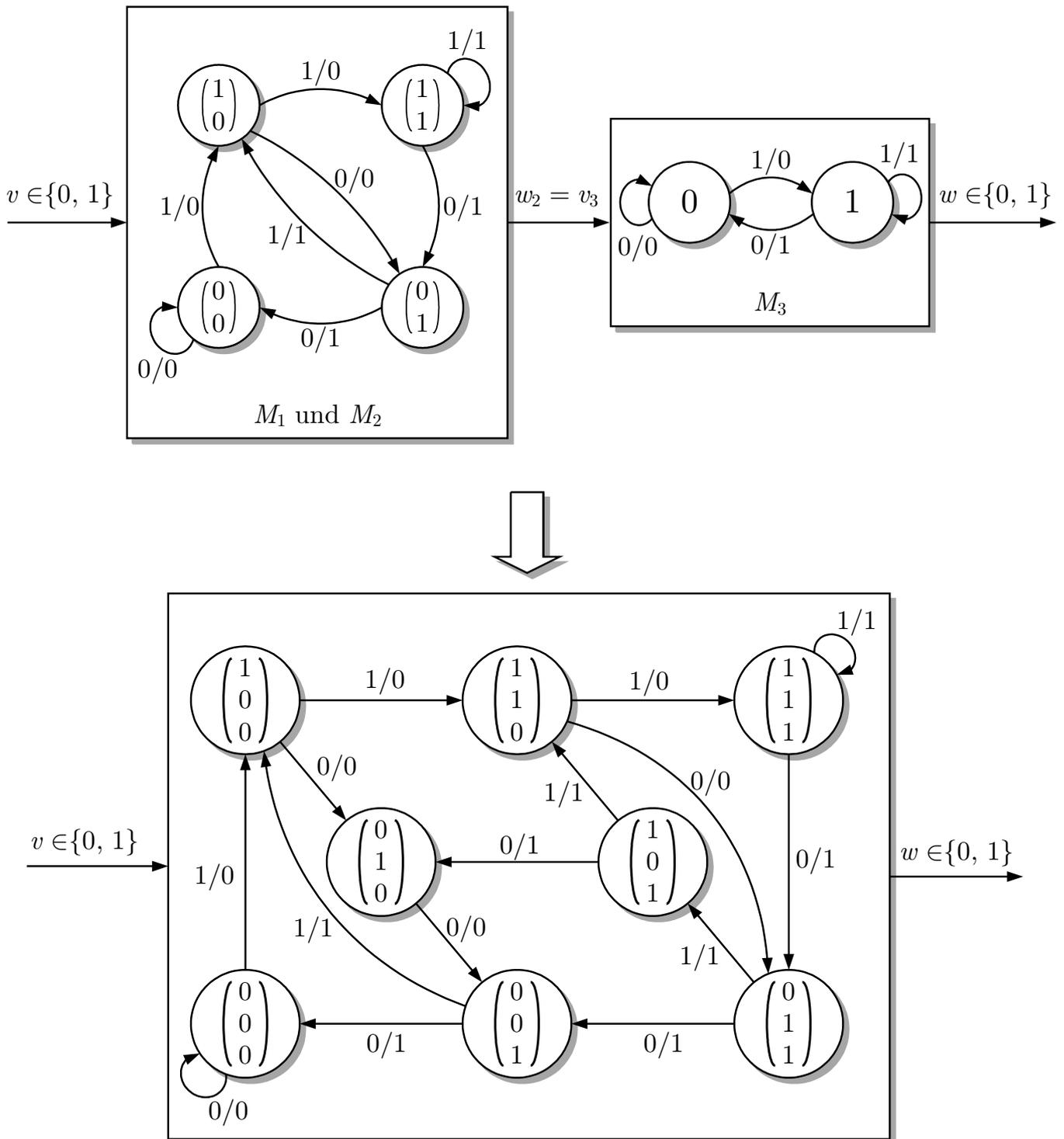


Abb. 11.55: Modell der Reihenschaltung der Maschinen M_1 , M_2 und M_3

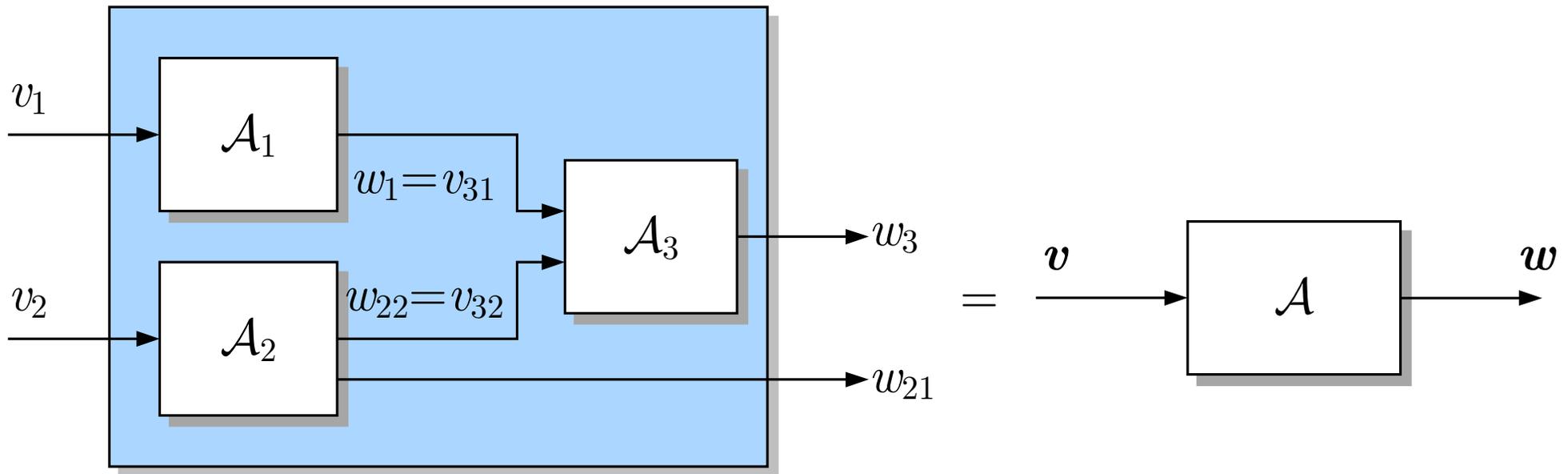


Abb. 11.56. Reihenschaltung von drei Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

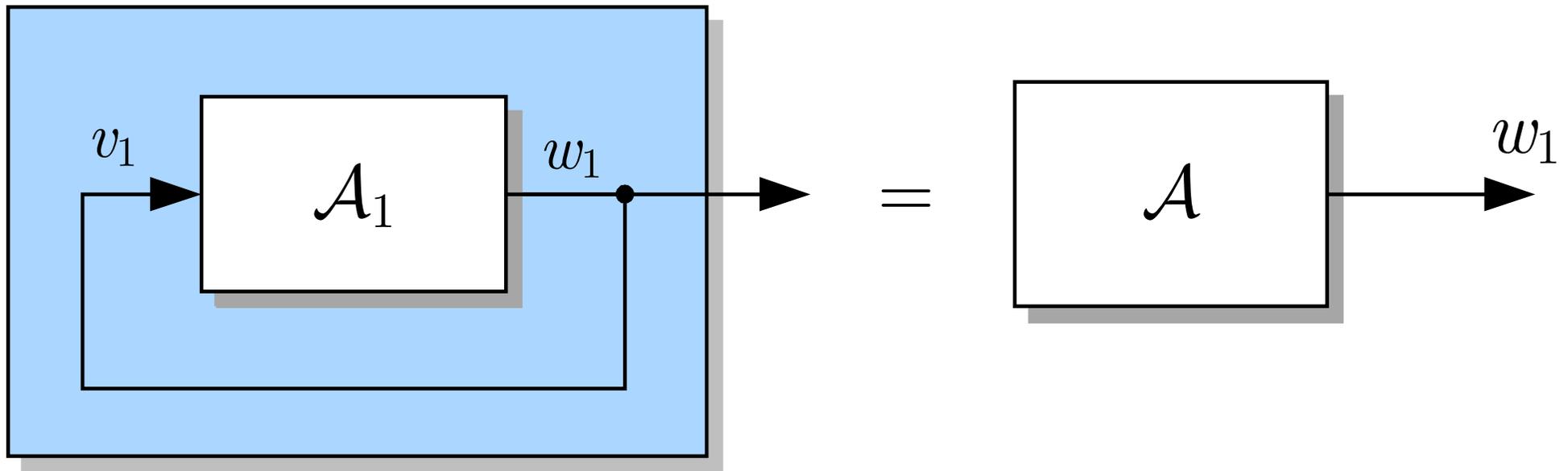


Abb. 11.57. Automat mit Rückführung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020



Abb. 11.58. Rolltreppensteuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

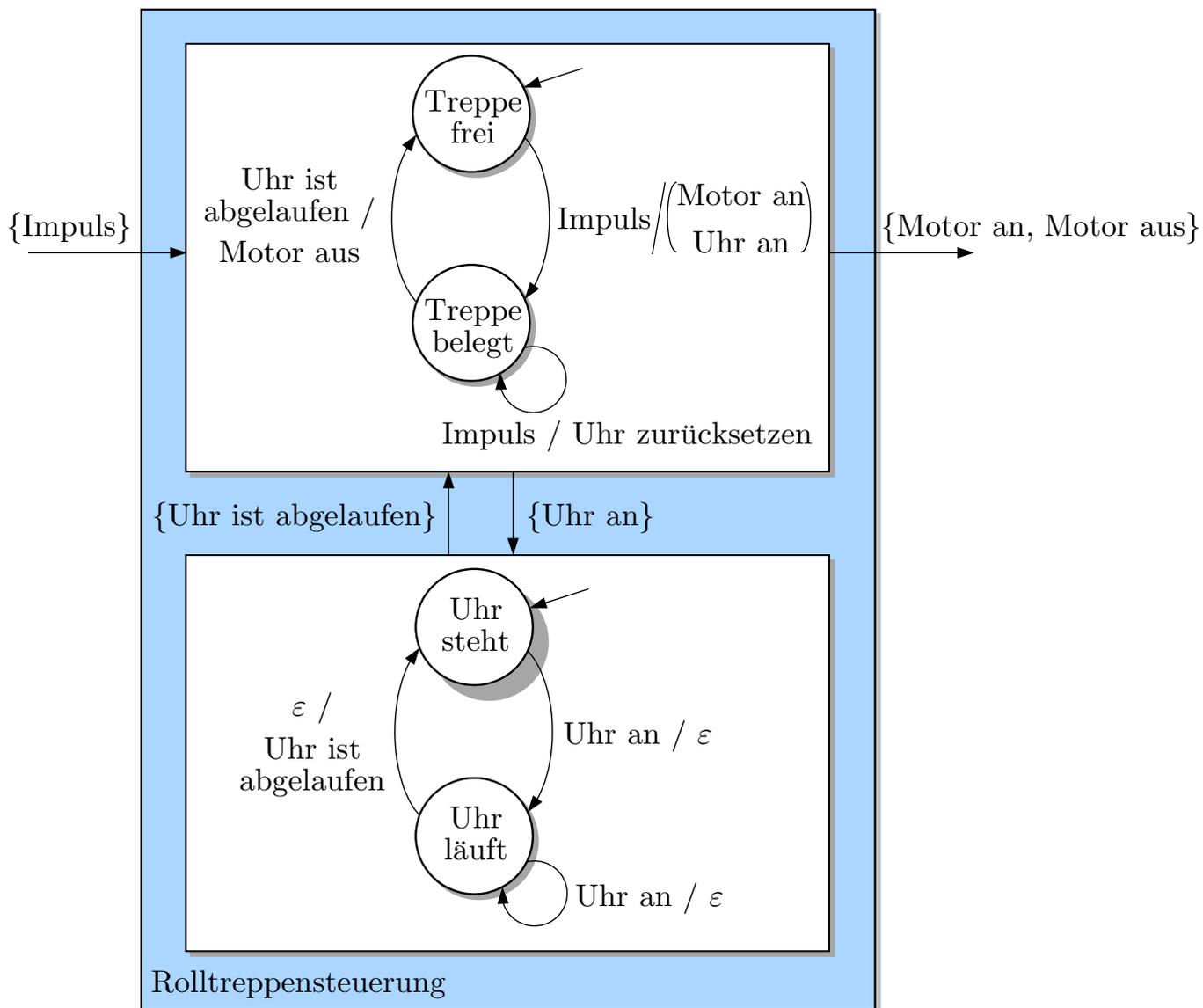


Abb. 11.59: Komposition der Rolltreppesteuerung aus dem Steuerungsalgorithmus und der Uhr

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

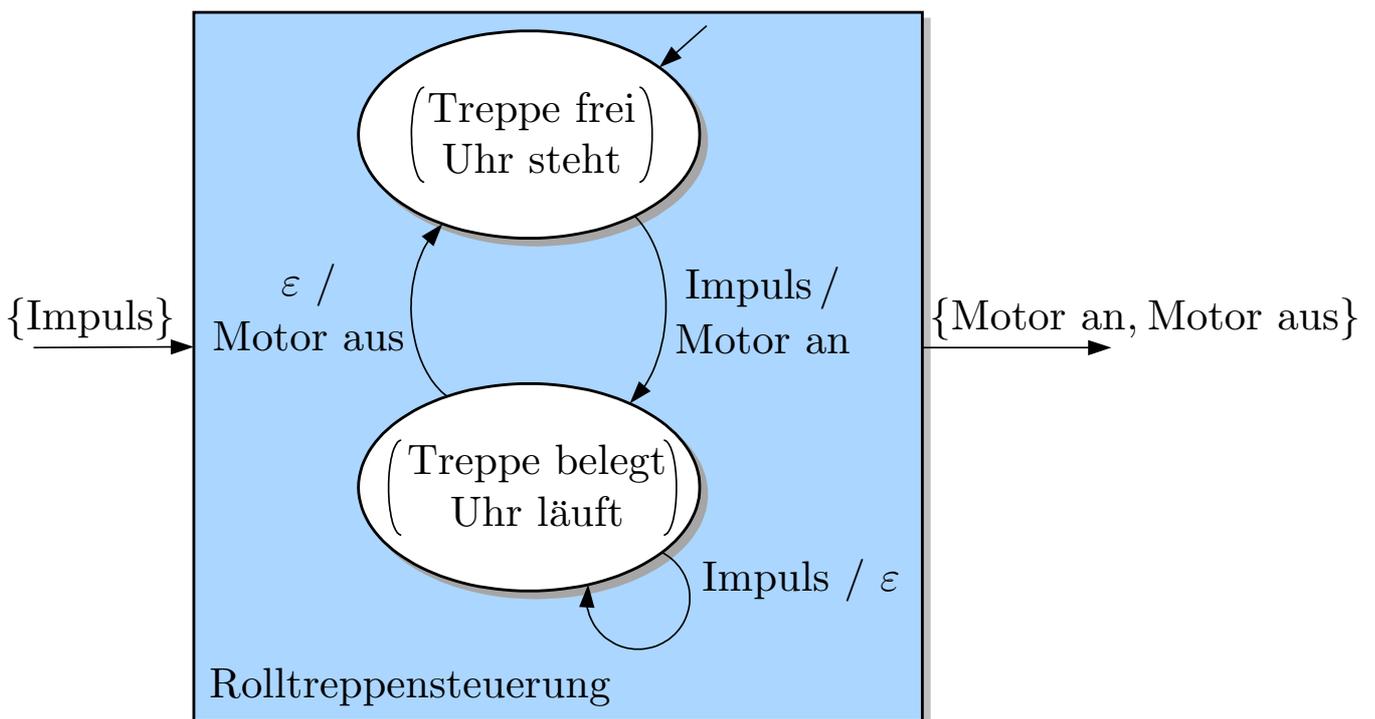


Abb. 11.60: Rückführautomat, der die Rolltreppesteuerung beschreibt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

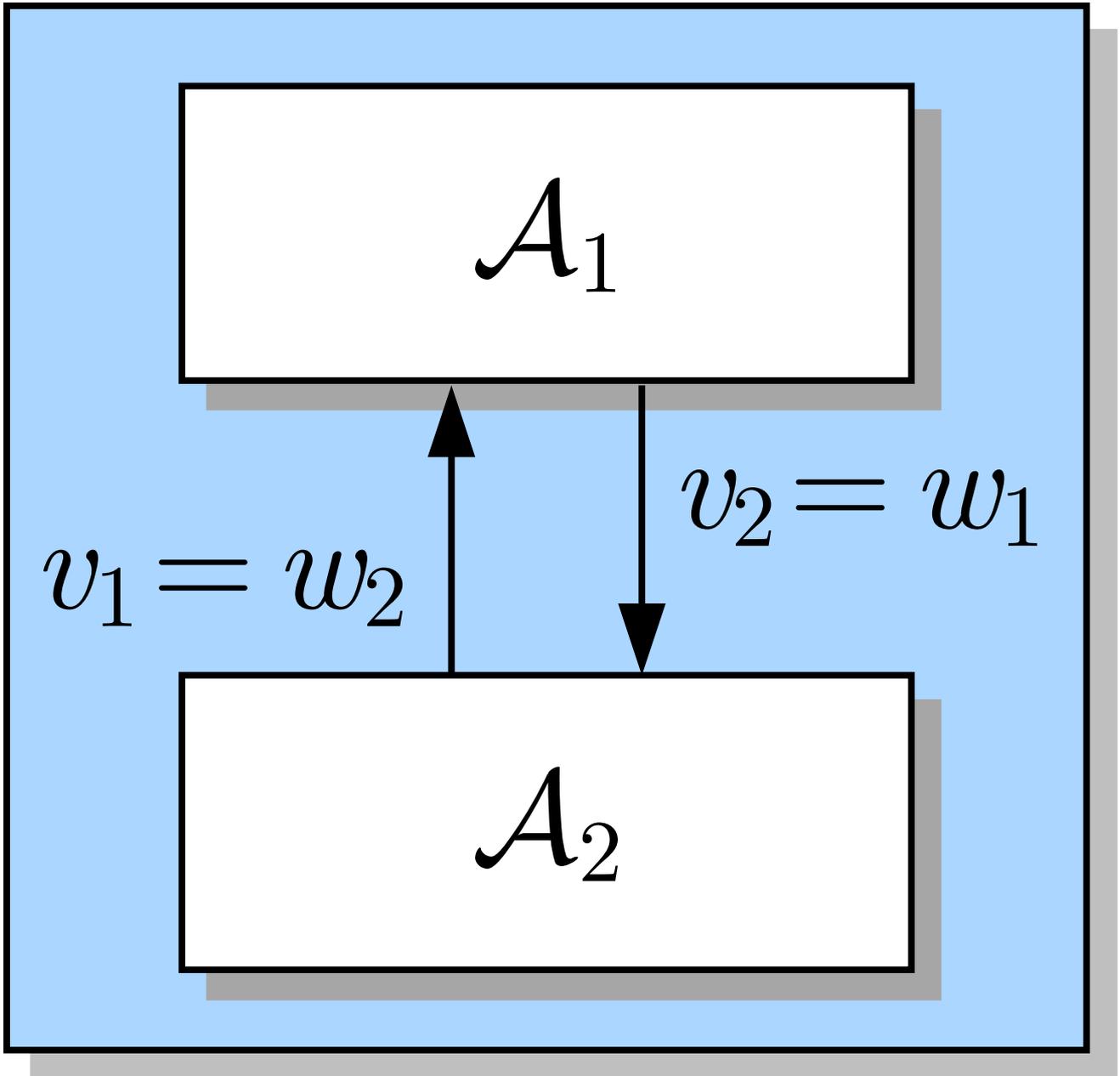


Abb. 11.61: Zwei Automaten in Rückführschaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

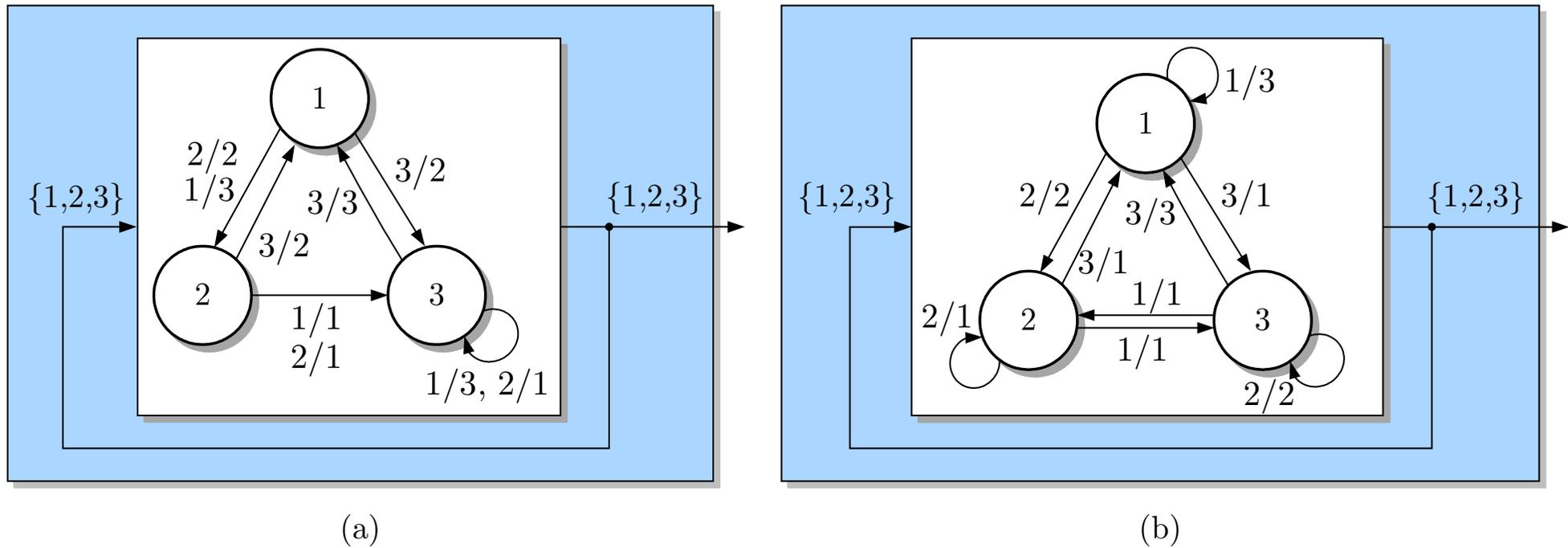


Abb. 11.62. Zwei rückgekoppelte Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

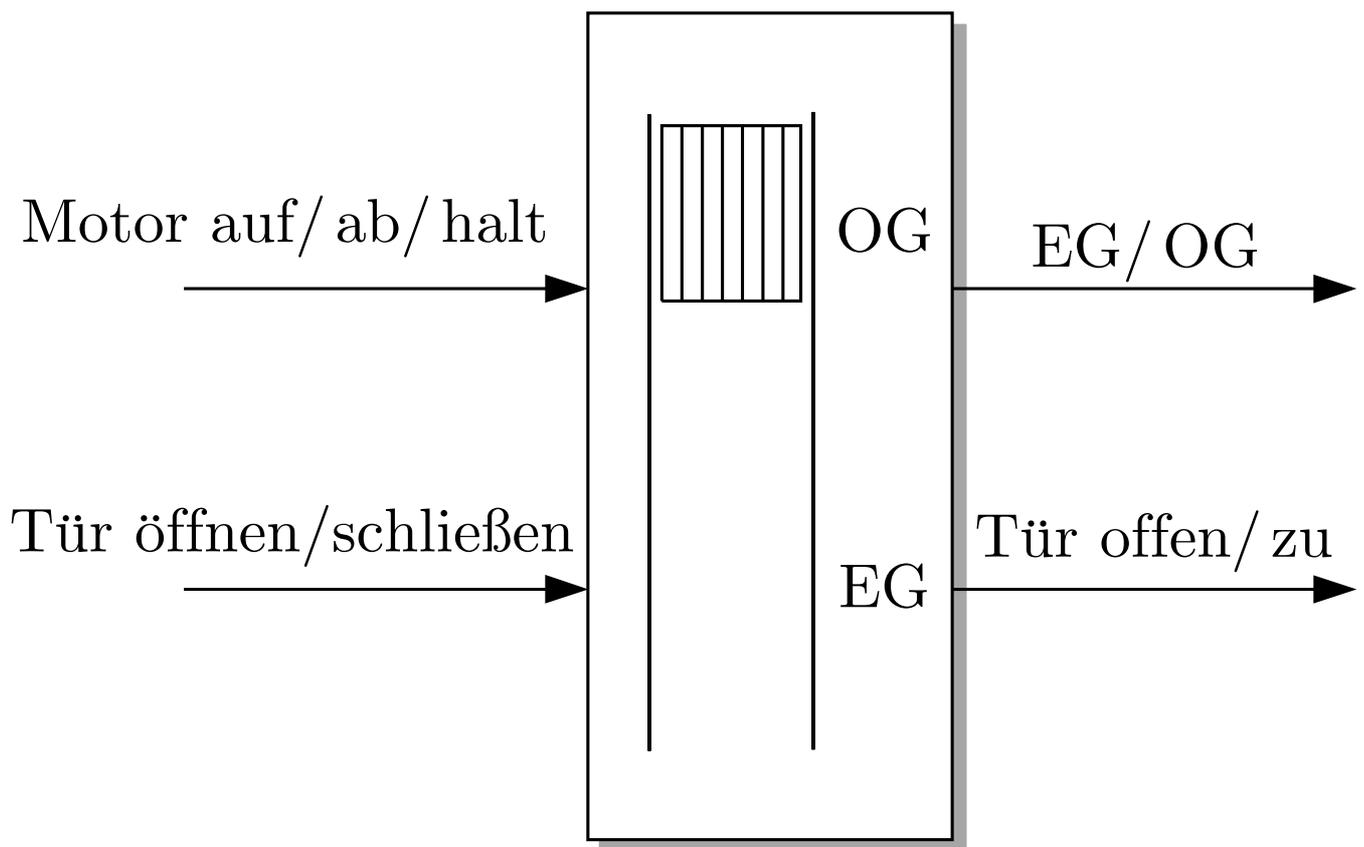


Abb. 11.63: Blockschaltbild eines Personenaufzugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

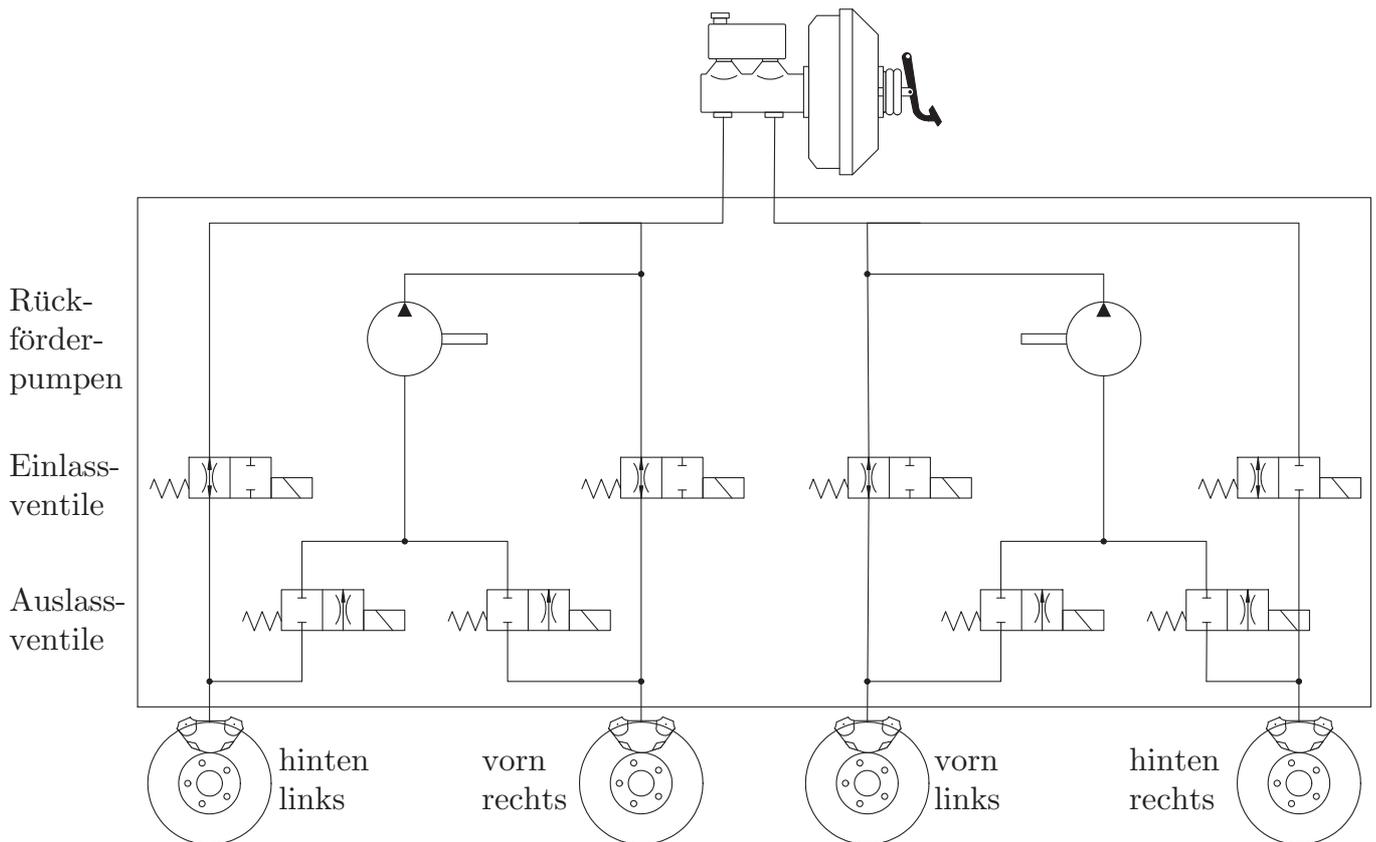


Abb. 11.64: Hydraulischer Schaltplan eines Antiblockiersystems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

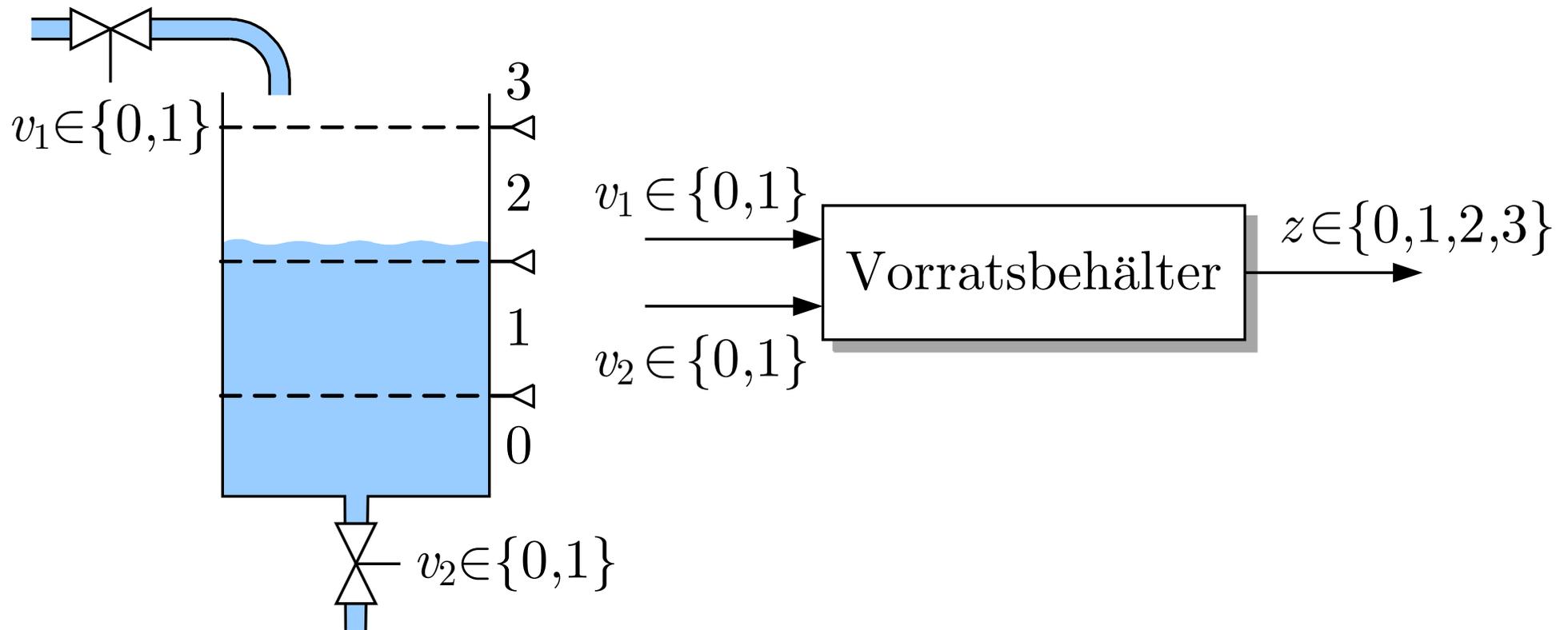


Abb. 11.65. Vorratsbehälter mit diskreten Eingangsgrößen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

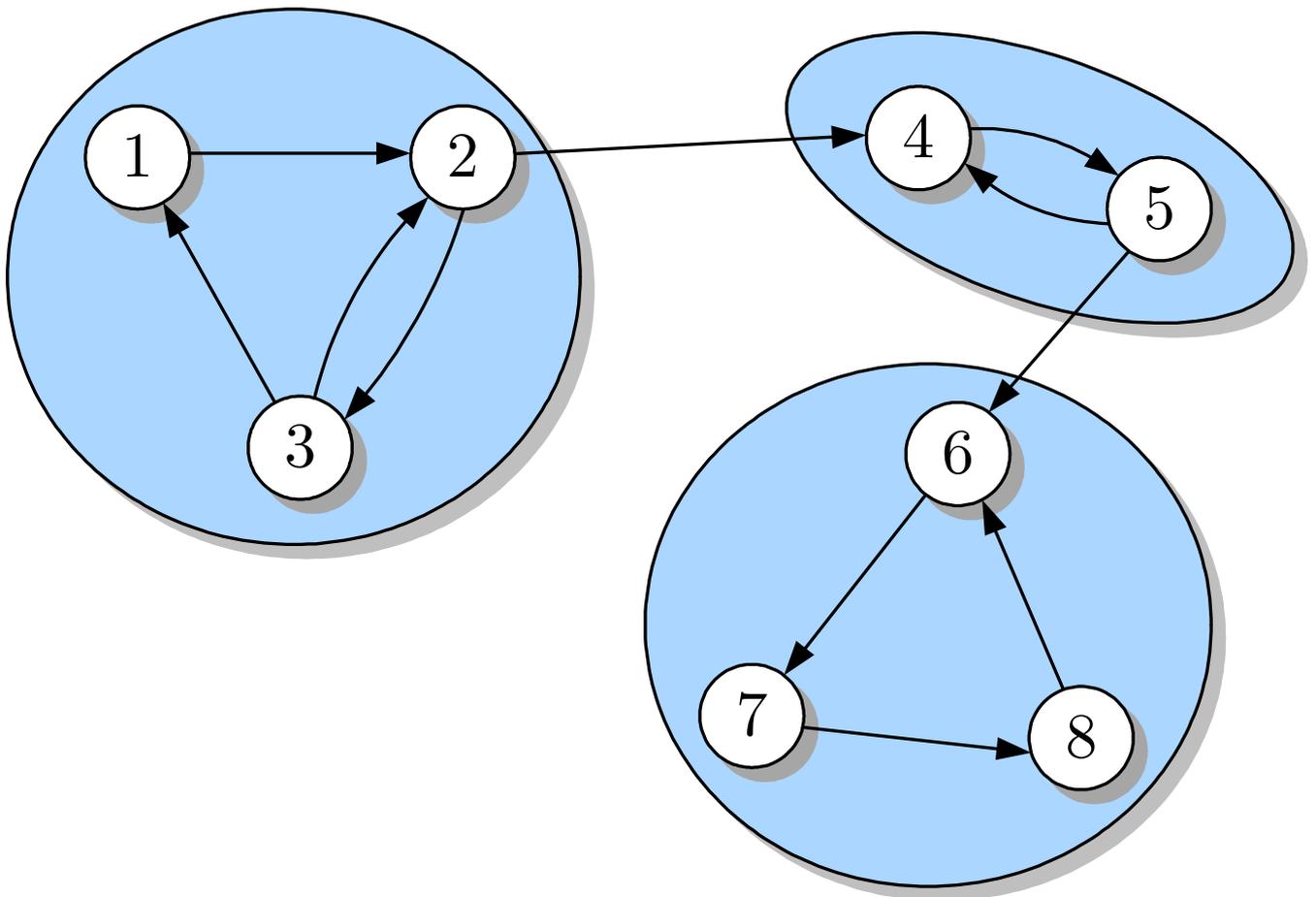


Abb. 12.1: Zerlegung der Zustandsmenge in Teilmengen stark zusammenhängender Zustände

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

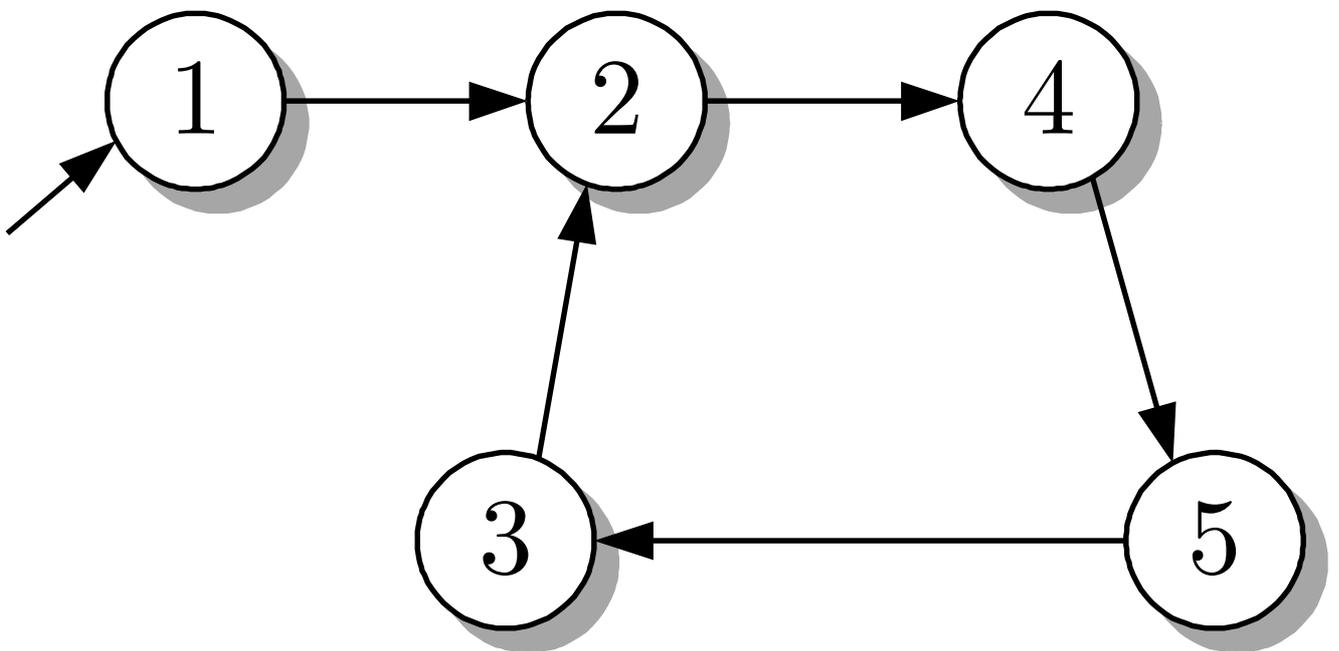


Abb. 12.2: Automat mit periodischer Zustandsmenge

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

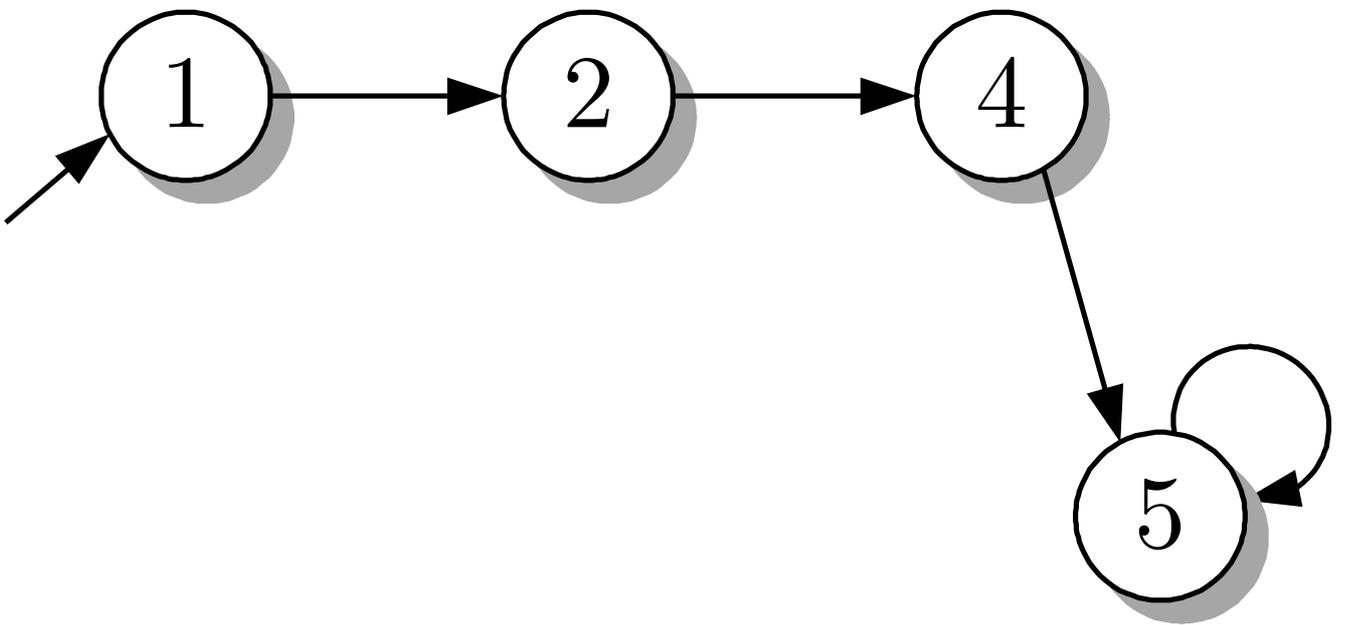


Abb. 12.2: Automat mit absorbierendem Zustand

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

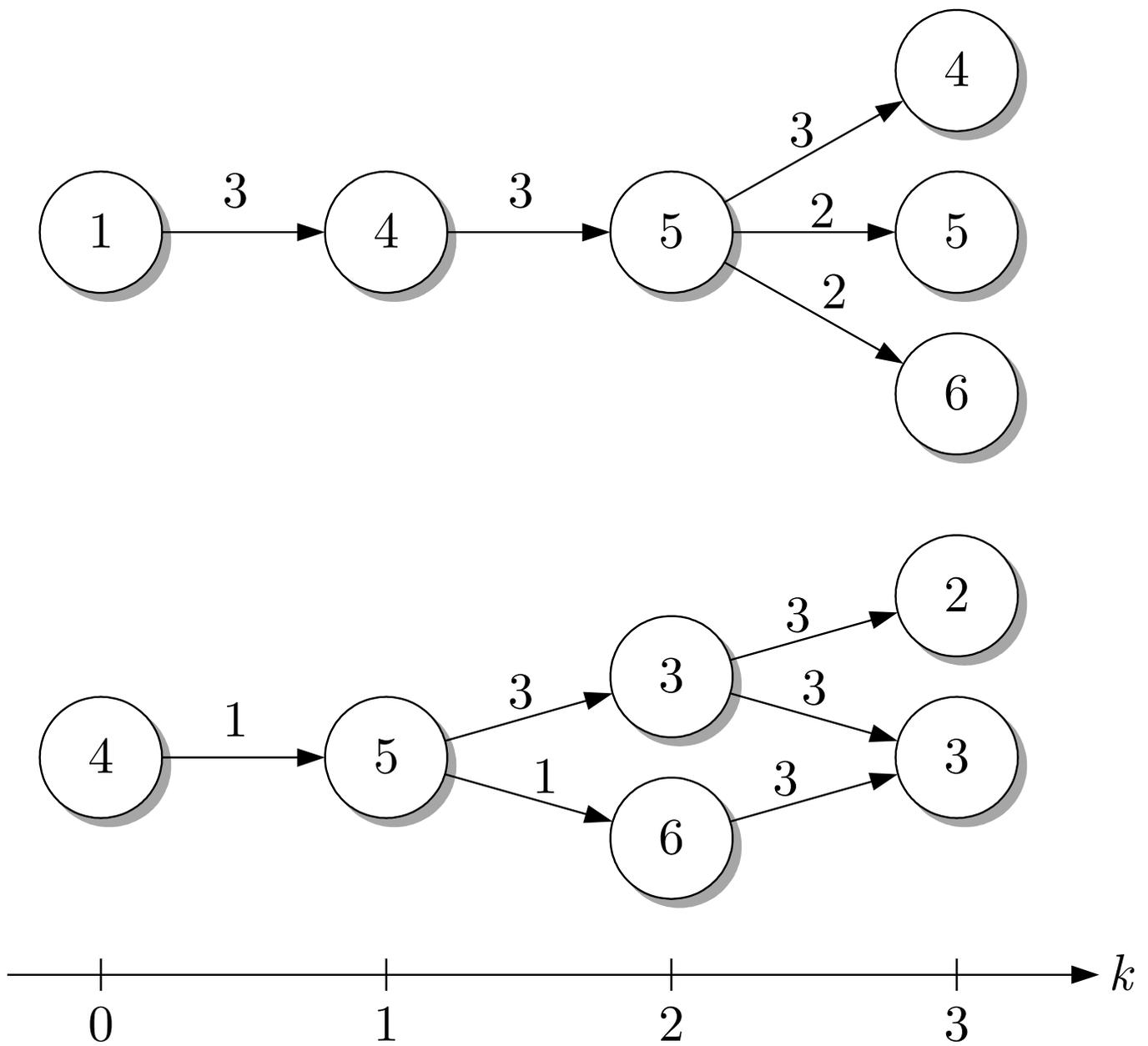


Abb. 12.3: Grafische Darstellung des Verhaltens eines nichtdeterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

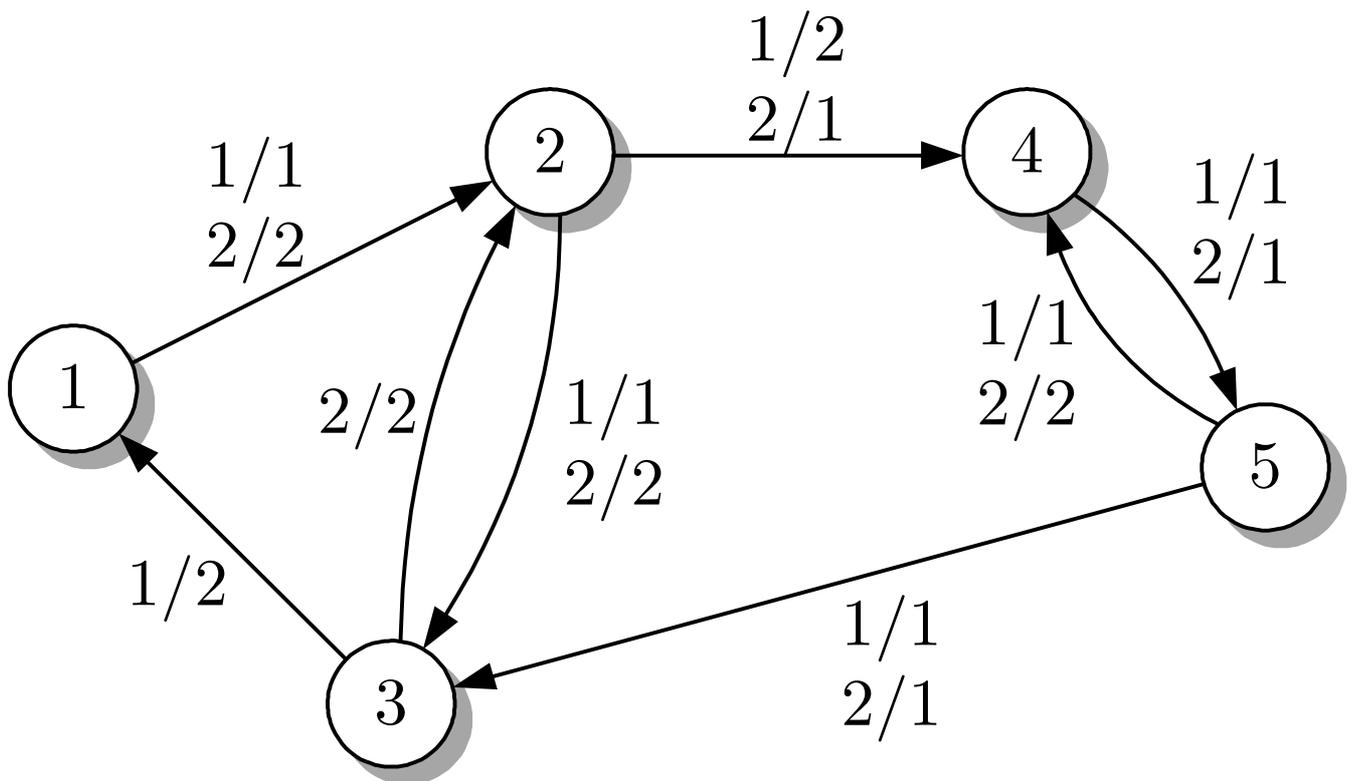


Abb. 12.4: Irreduzibler Automat

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

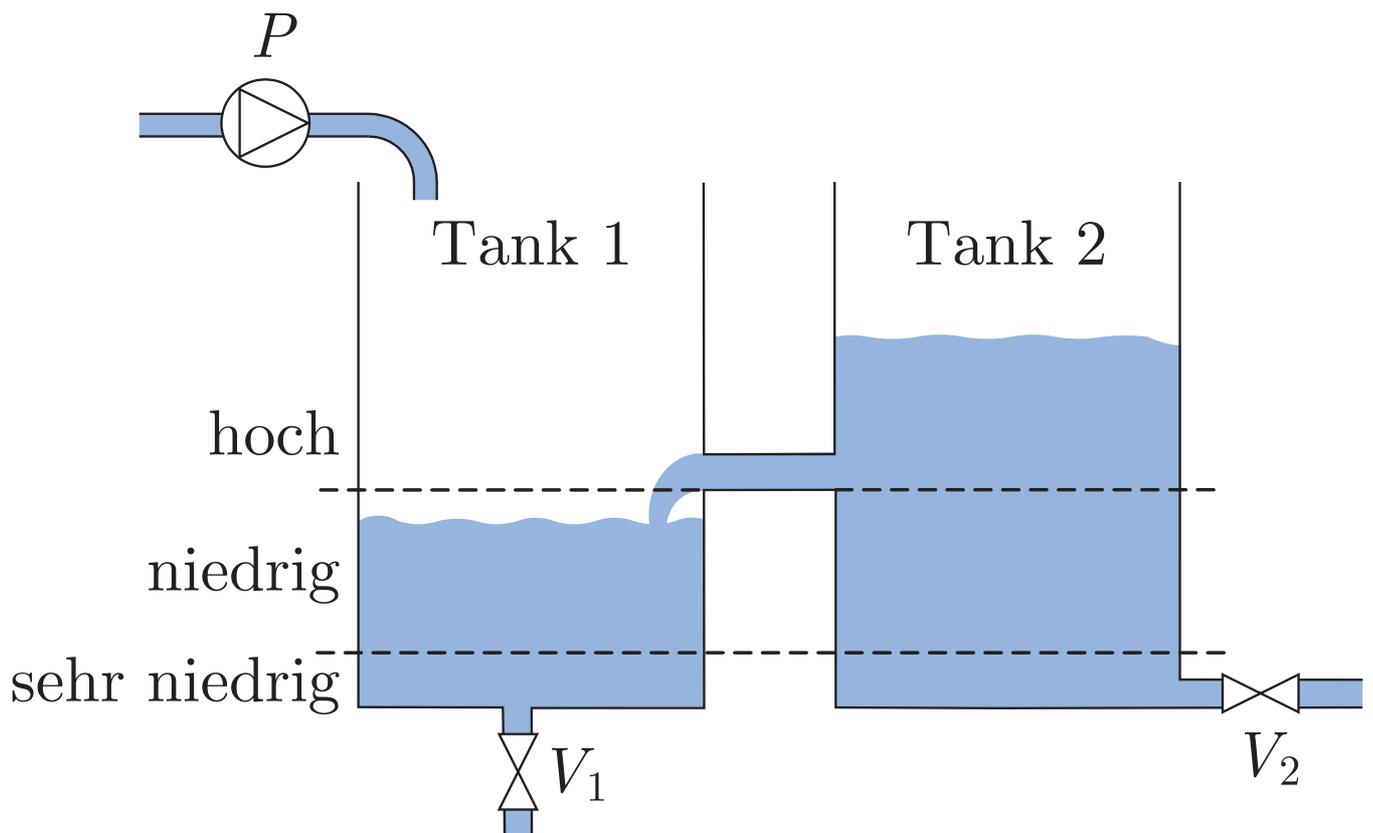


Abb. 12.5: Batchprozess

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

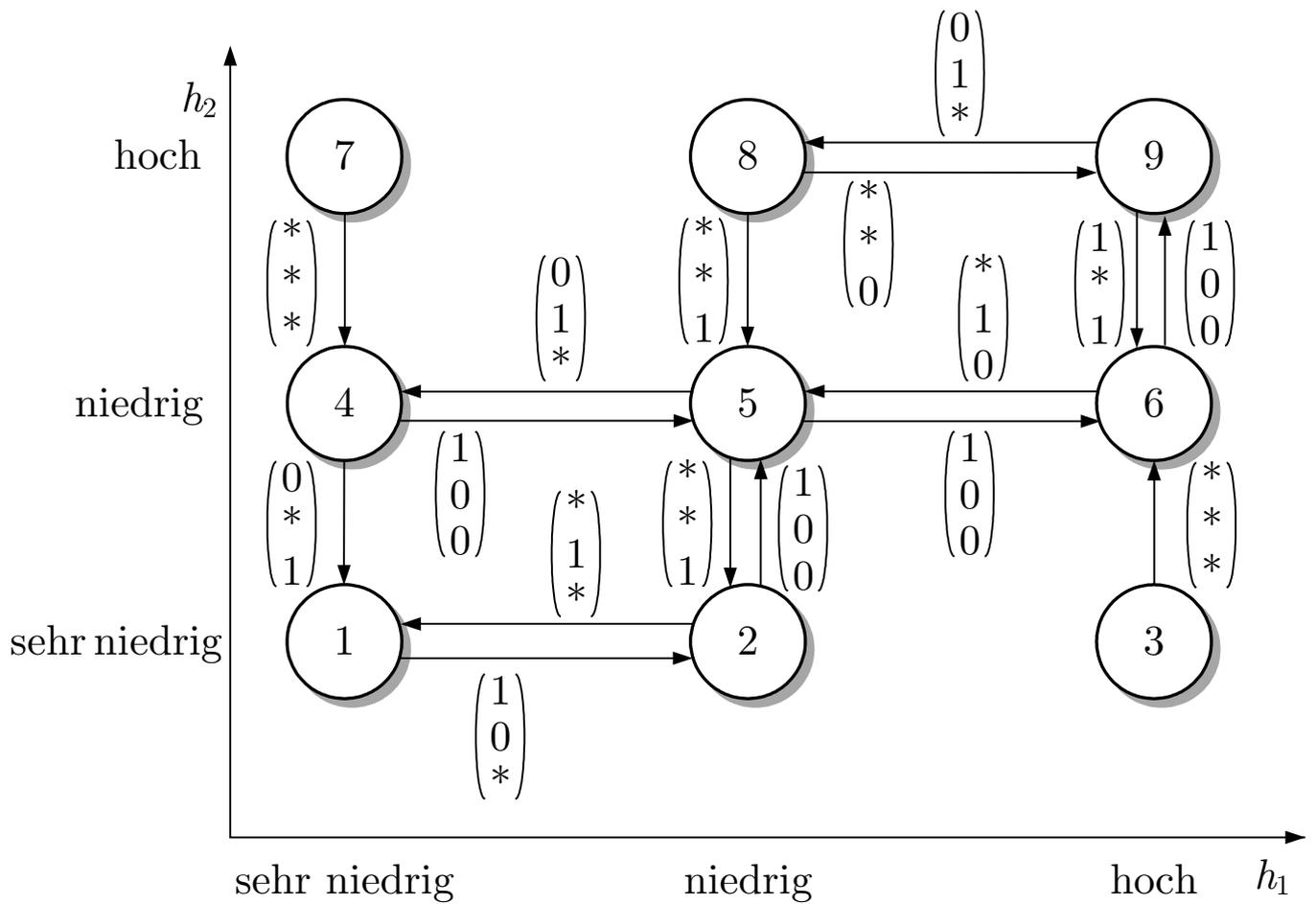


Abb. 12.6: Automatengraph für den Batchprozess aus Abb. 12.5

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

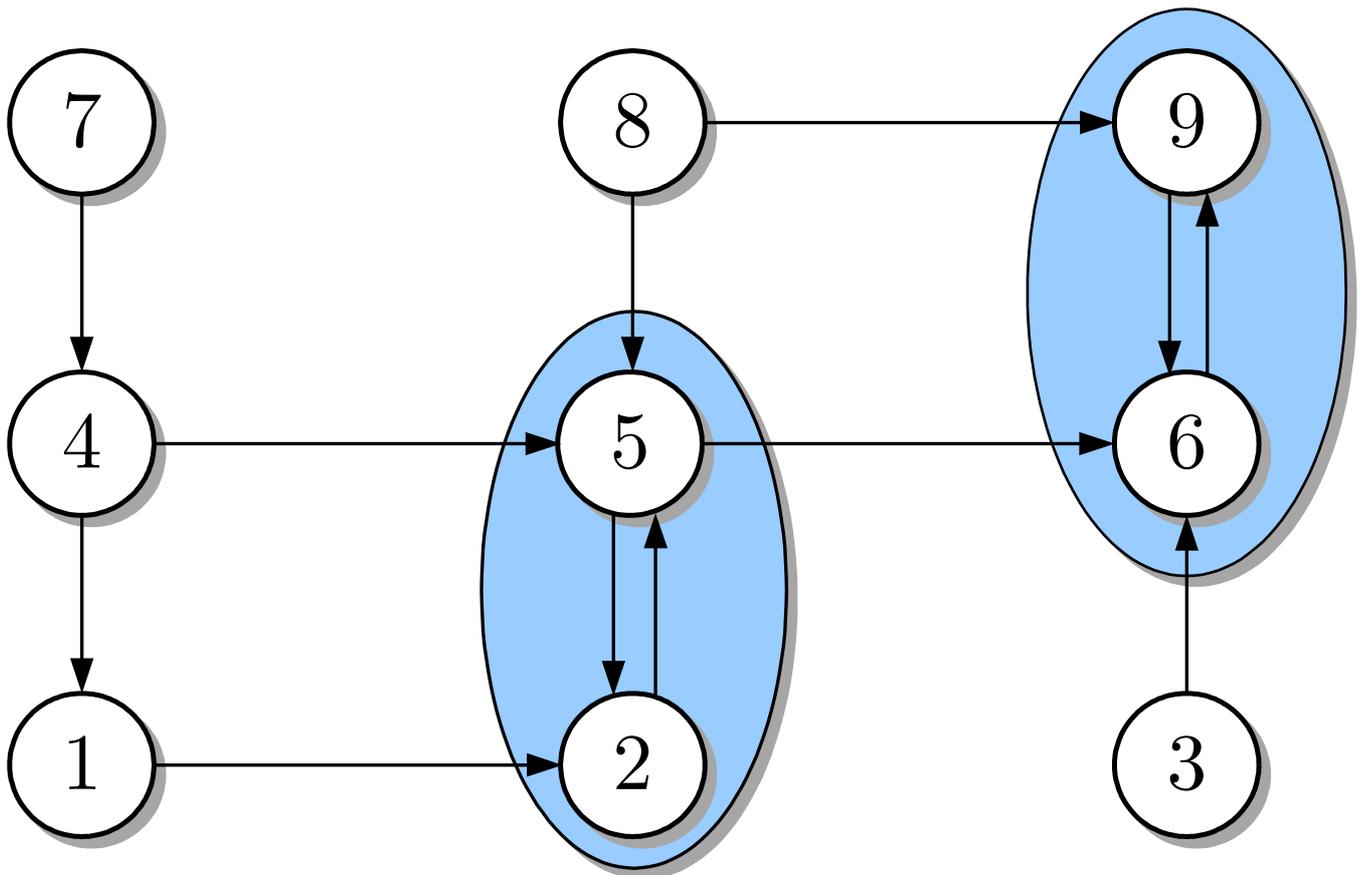


Abb. 12.7: Reduzierter Automat für blockiertes Ventil 1

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

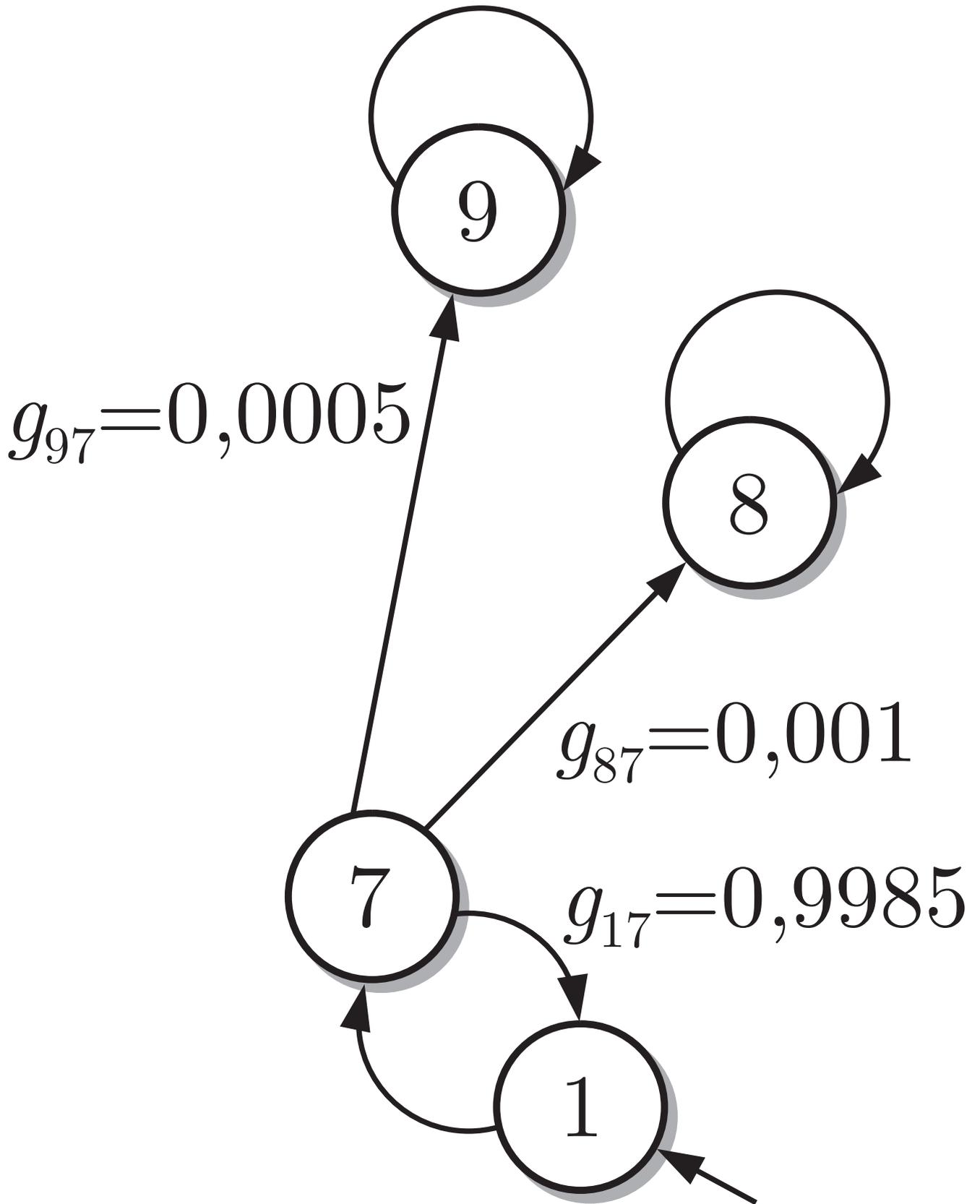


Abb. 12.8. Vereinfachtes Modell der Stanze

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

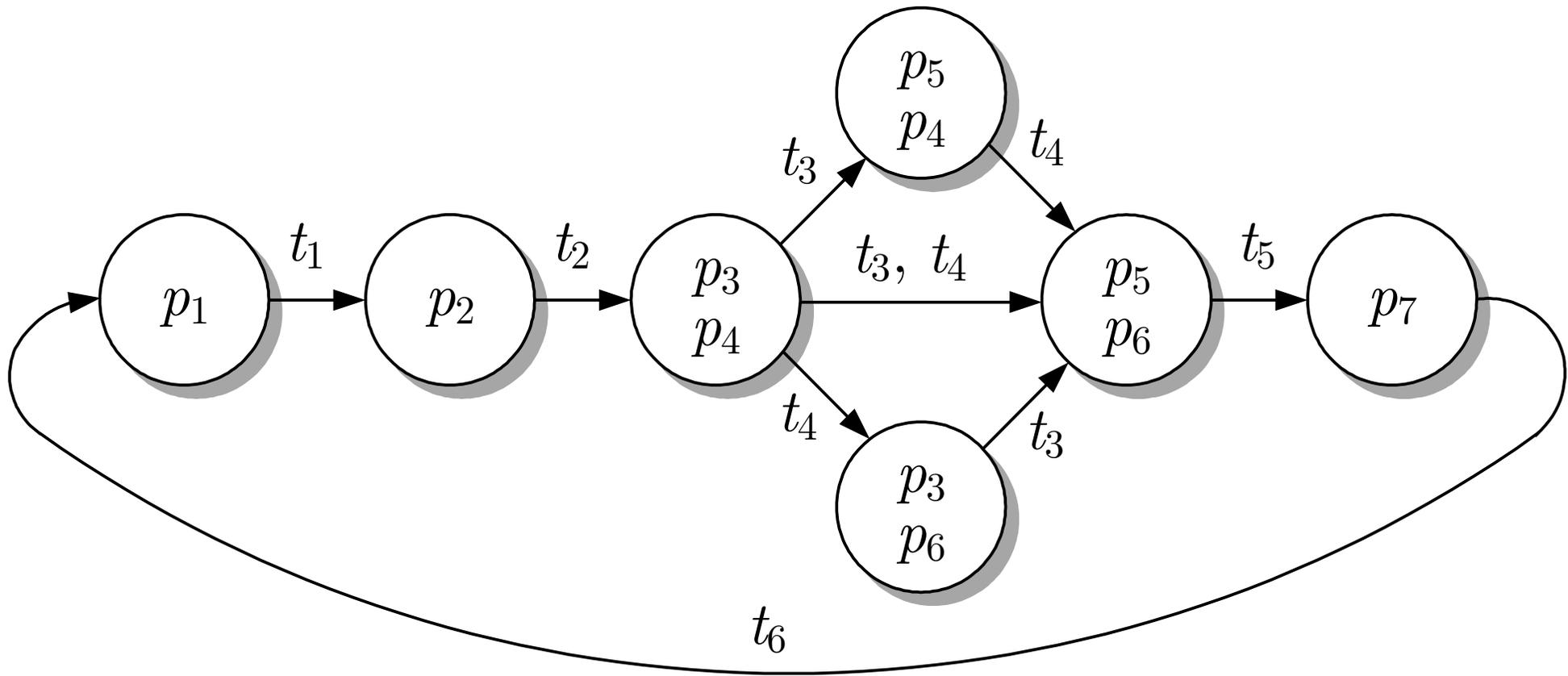


Abb. 12.9. Erreichbarkeitsgraph des Petrinetzes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

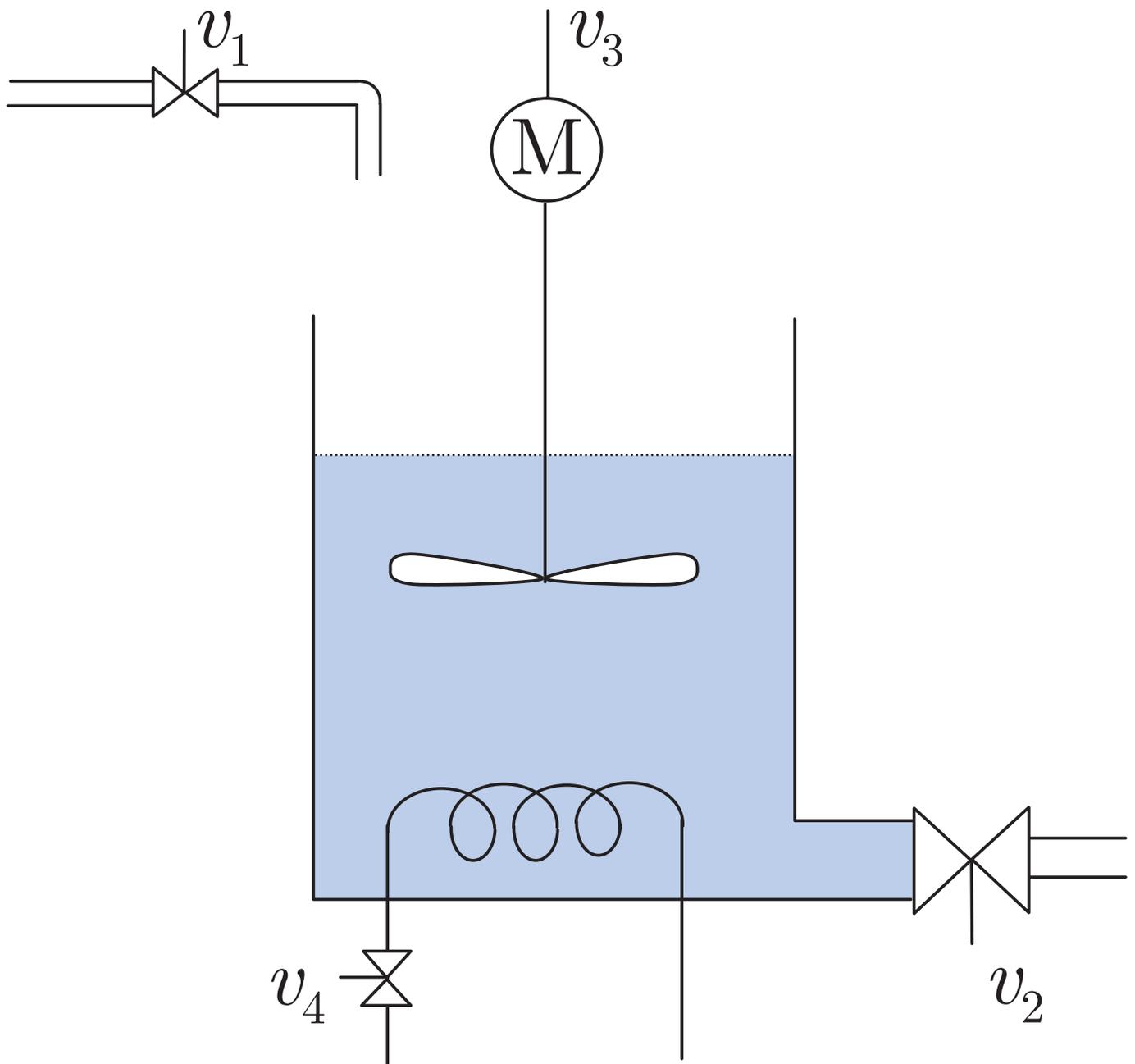


Abb. 12.10: Batchprozess

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

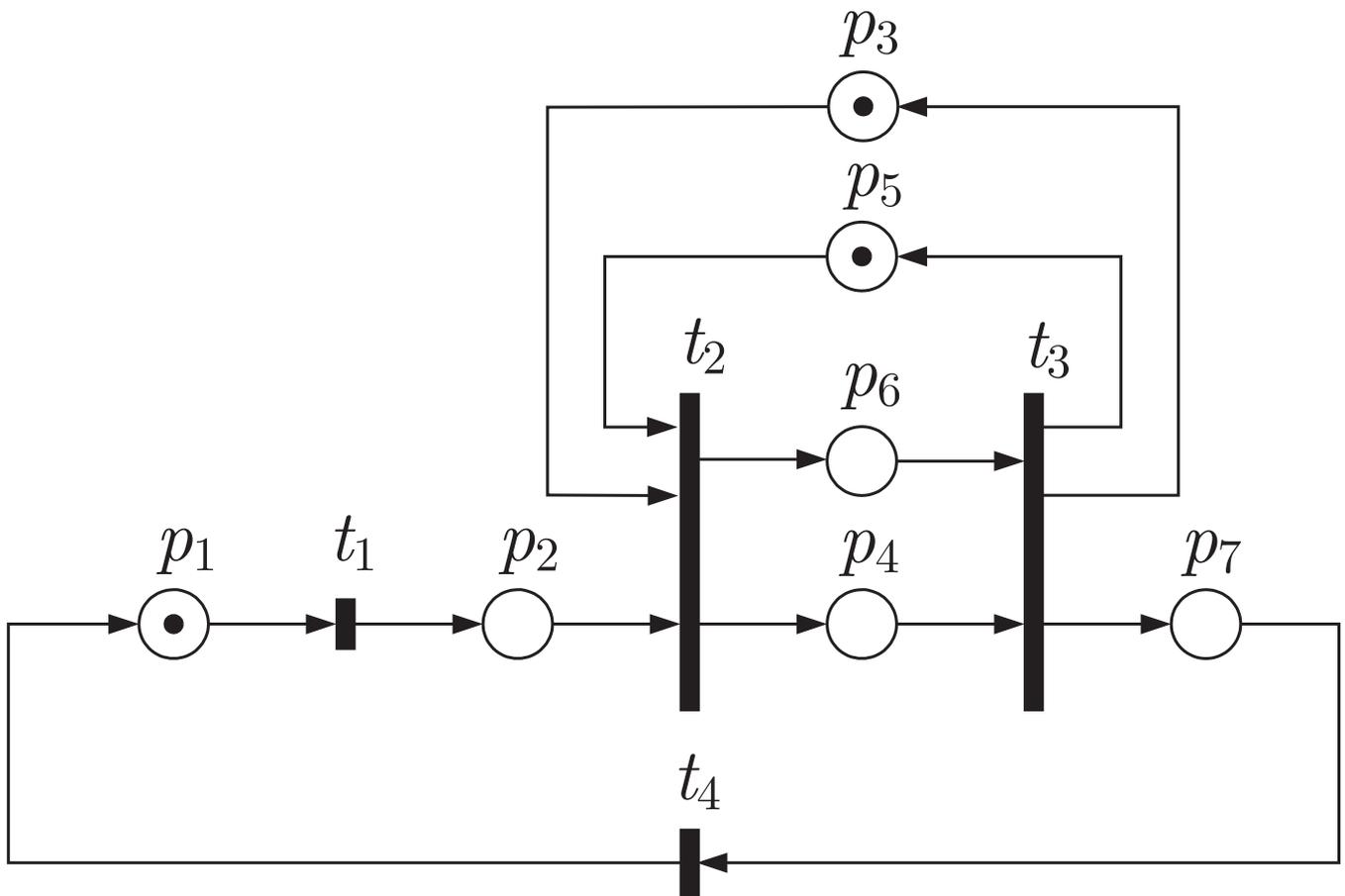


Abb. 12.10: Petrinetz zur Beschreibung des gesteuerten Batchprozesses

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

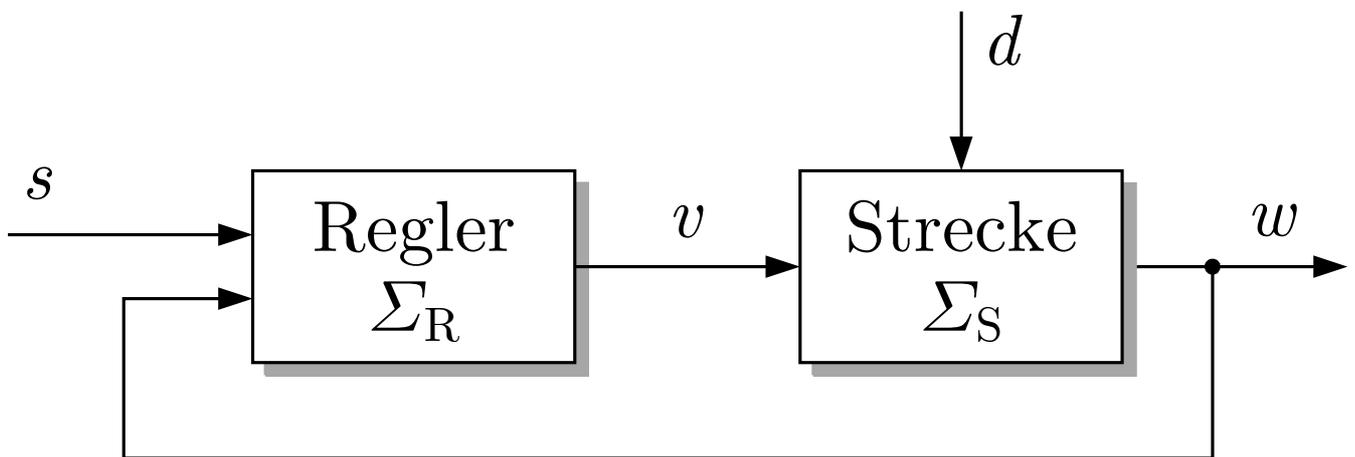


Abb. 13.1: Diskreter Regelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

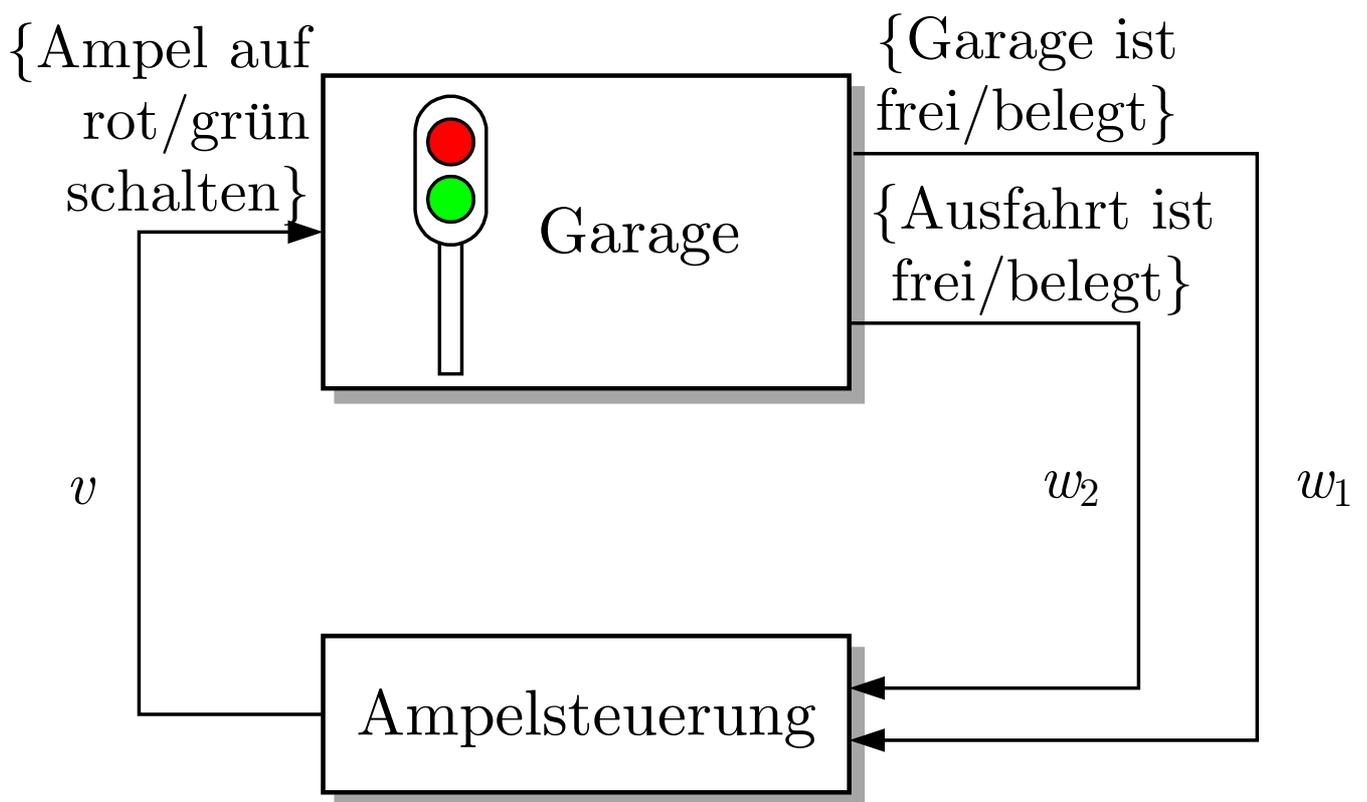


Abb. 13.2: Beispiel für eine Verknüpfungssteuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

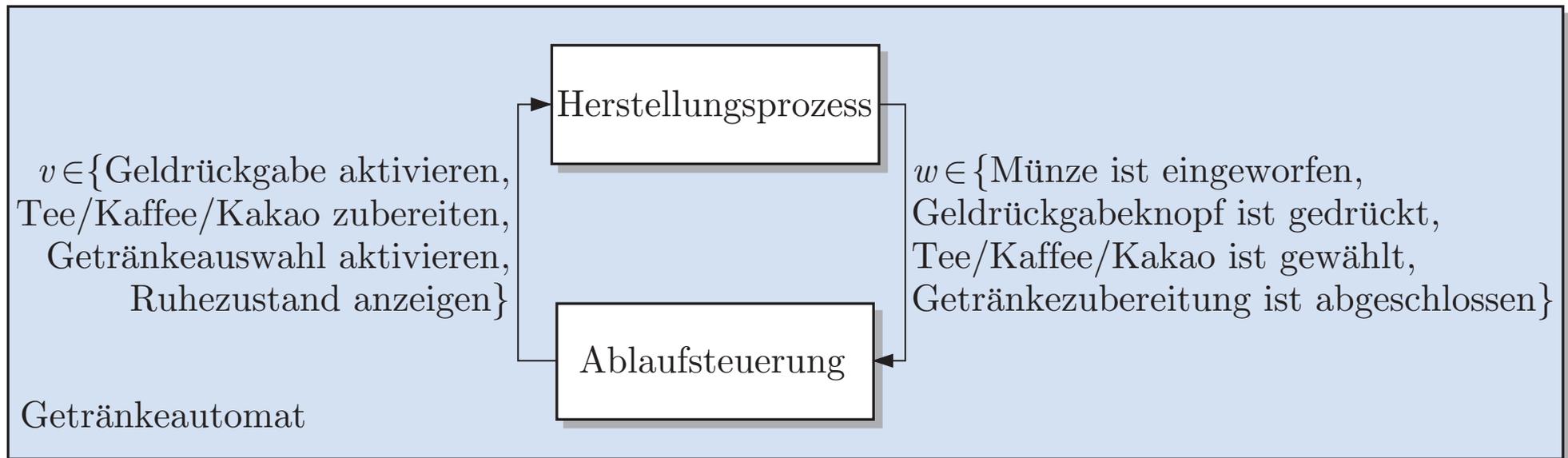


Abb. 13.3. Beispiel für eine Ablaufsteuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

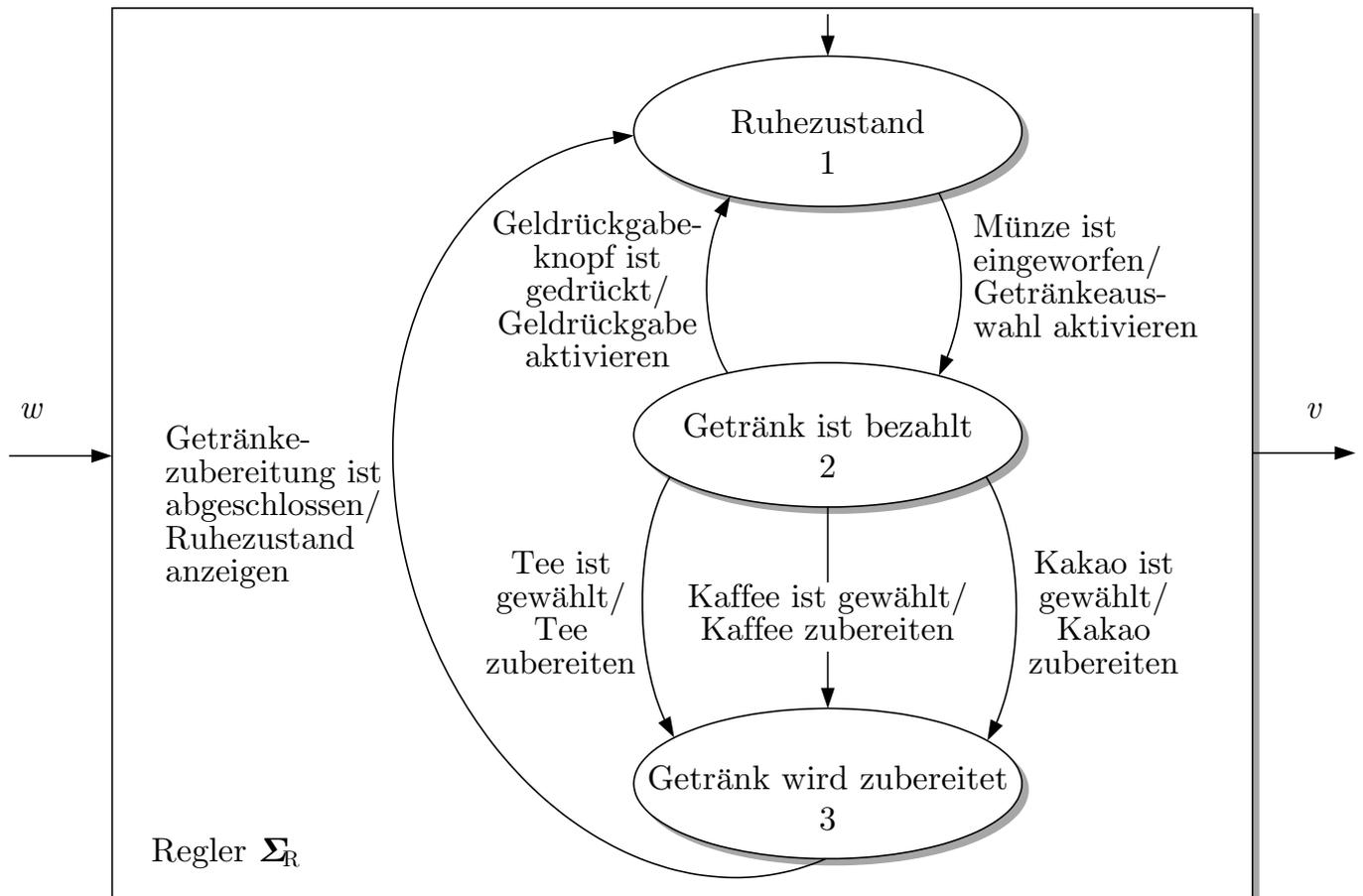


Abb. 13.4: Ablaufsteuerung Σ_R des Getränkeautomaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

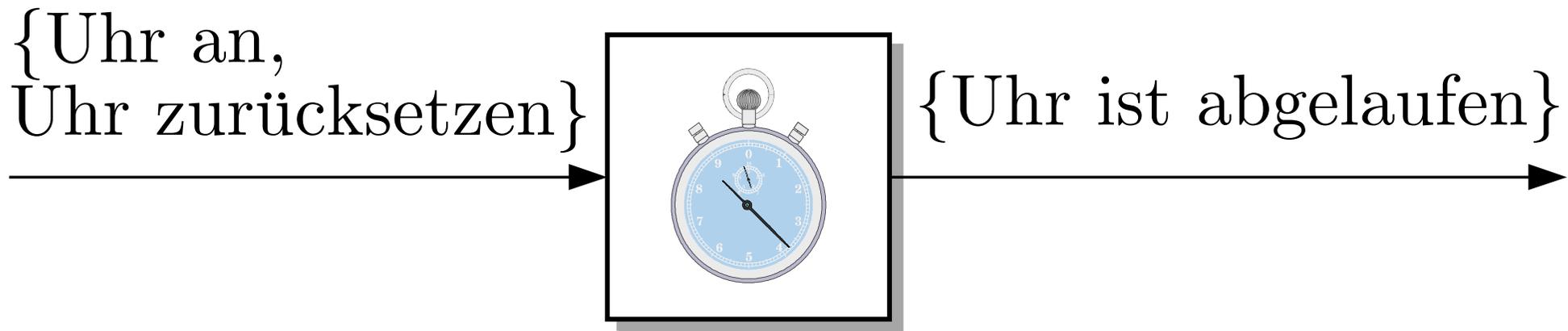


Abb. 13.5. Uhr als ereignisdiskretes System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

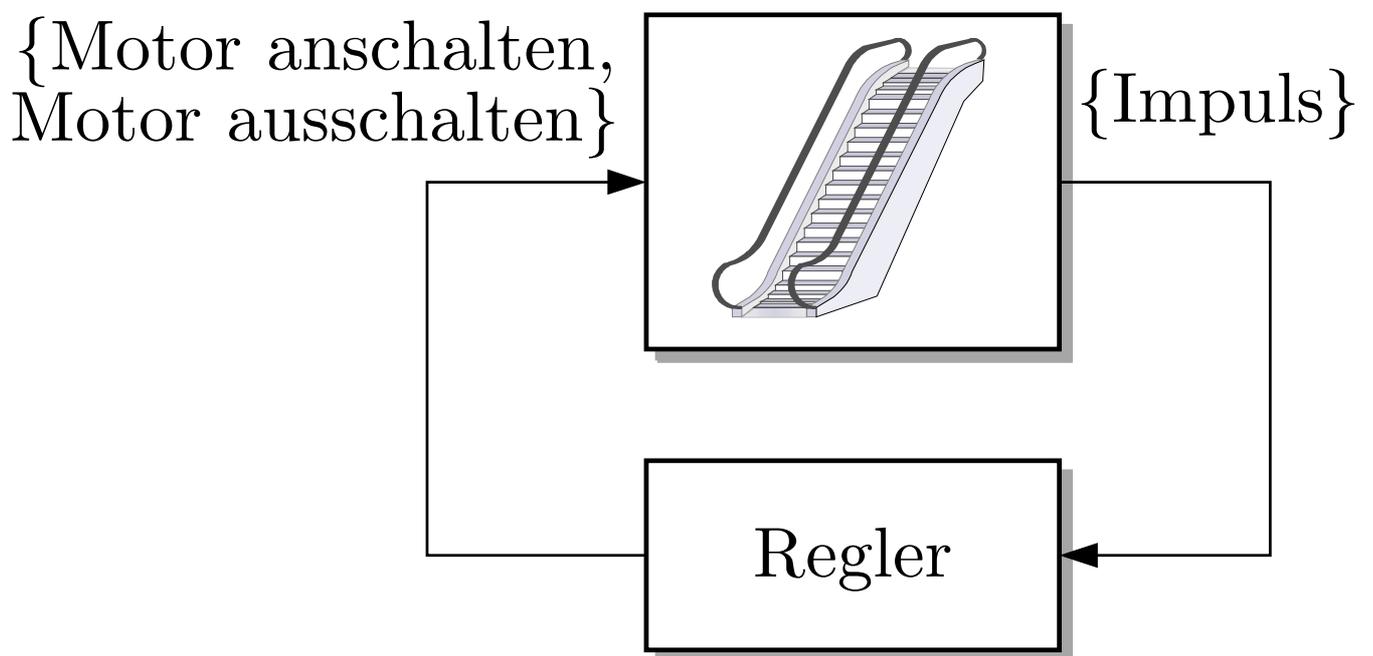


Abb. 13.6: Blockschaltbild der geregelten Rolltreppe

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

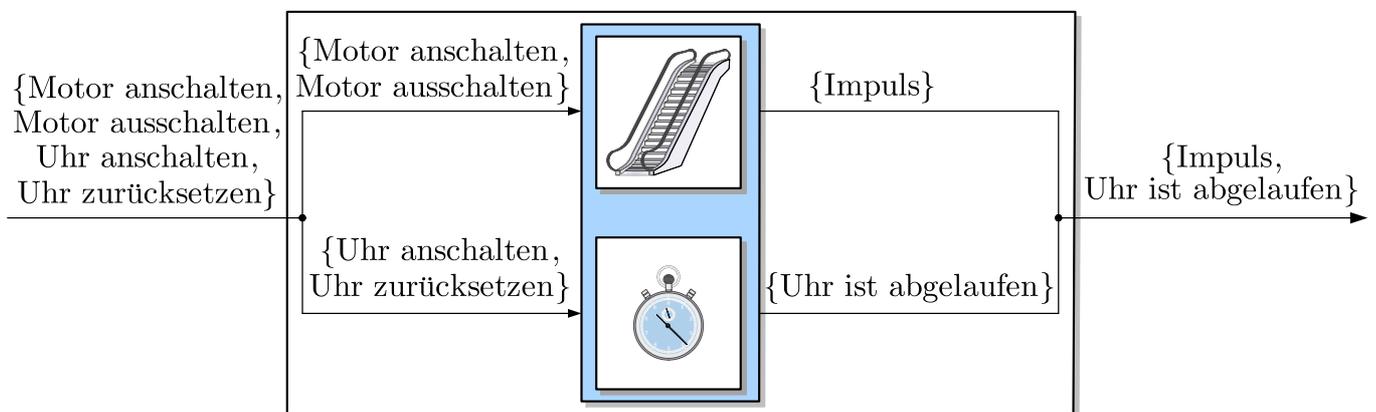


Abb. 13.7: Erweiterte Steuerstrecke, die aus der Rolltreppe und einer Uhr besteht

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

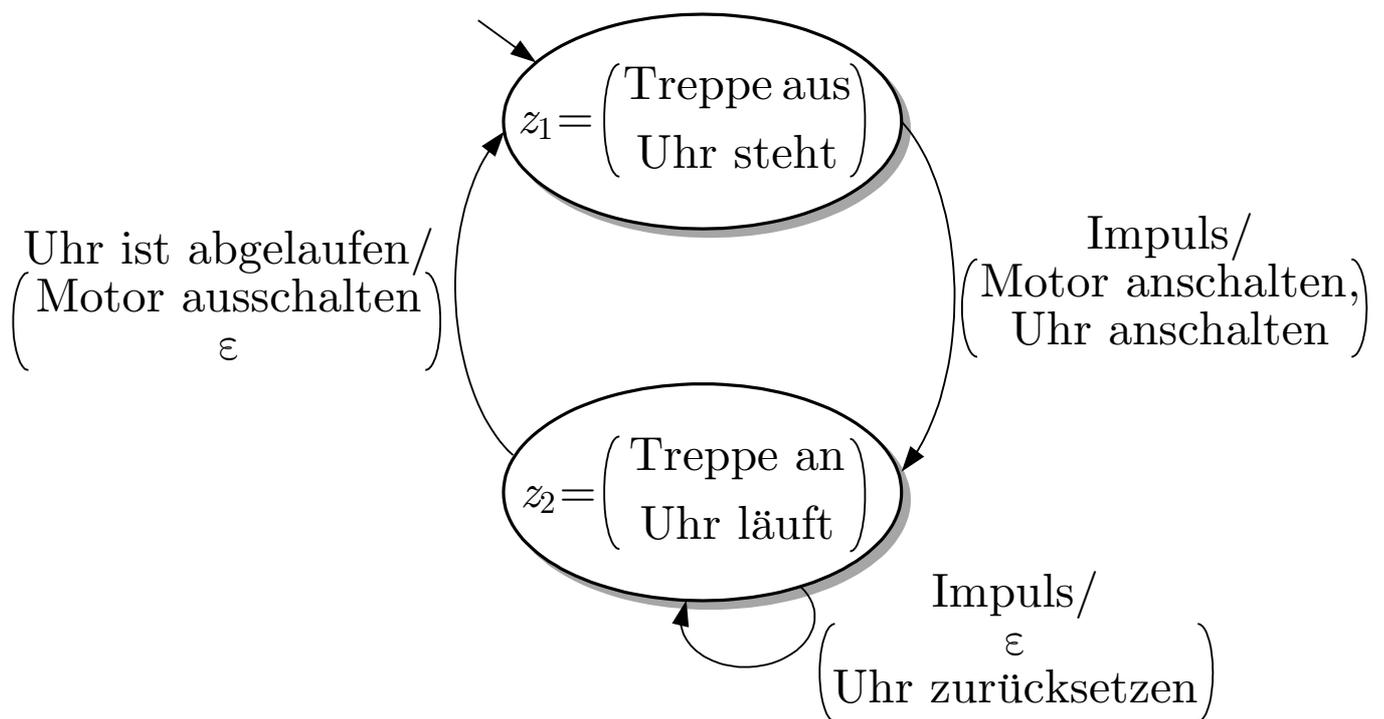


Abb. 13.8: Automat, der den Regler Σ_R für die Rolltreppe beschreibt

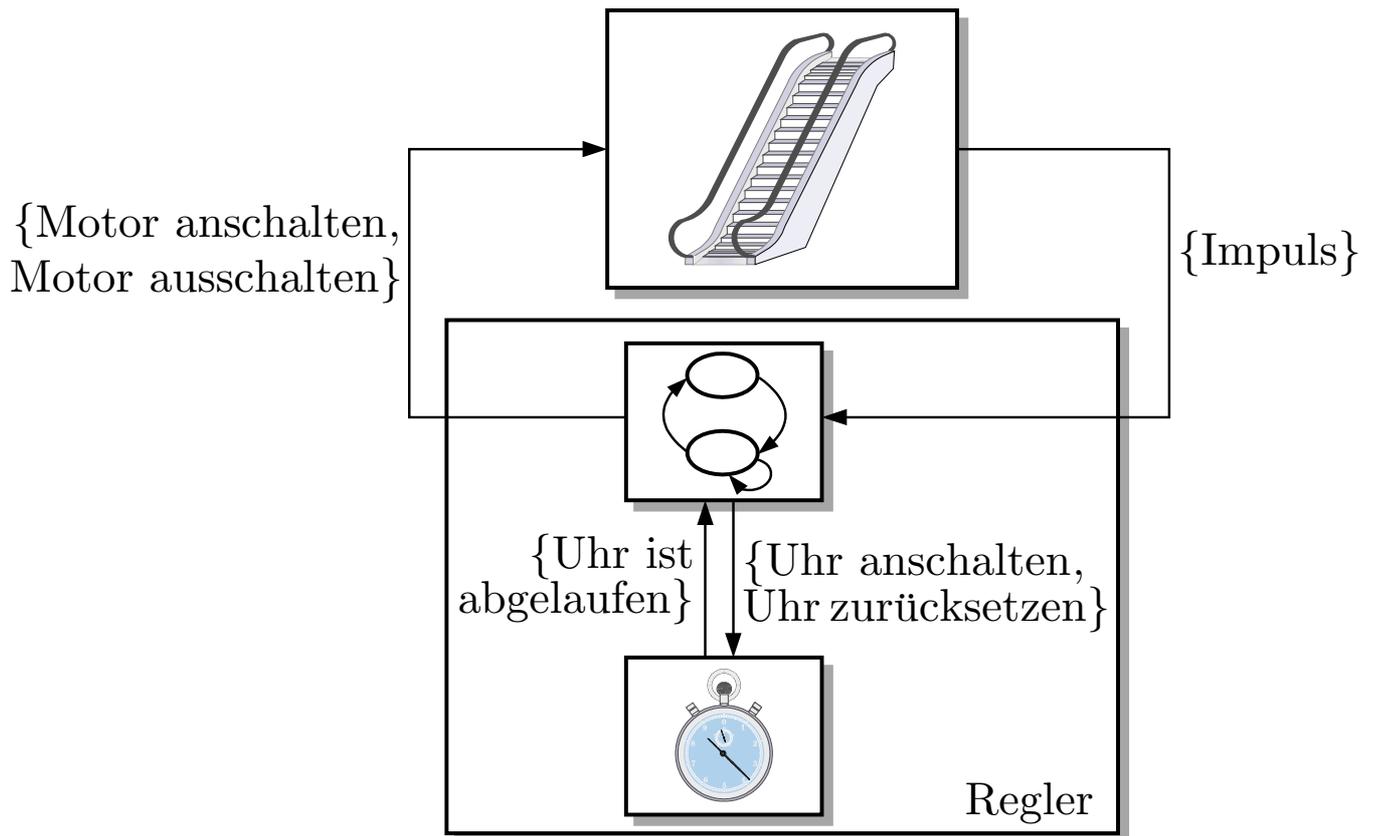


Abb. 13.9: Blockschaltbild mit Kennzeichnung des strukturellen Aufbaus des Reglers

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

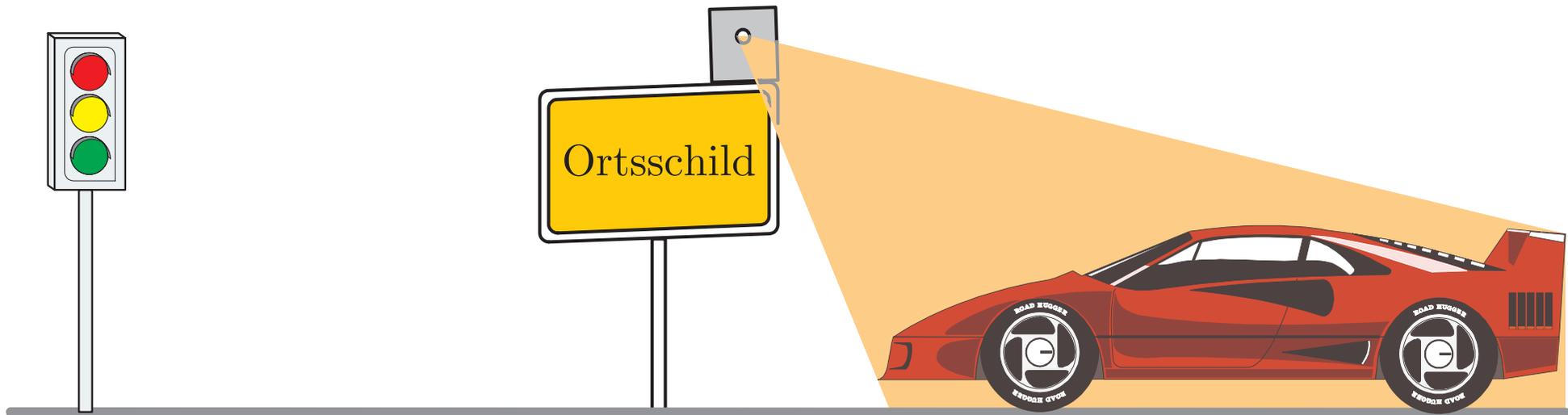


Abb. 13.10. Technische Realisierung einer Bremsampel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

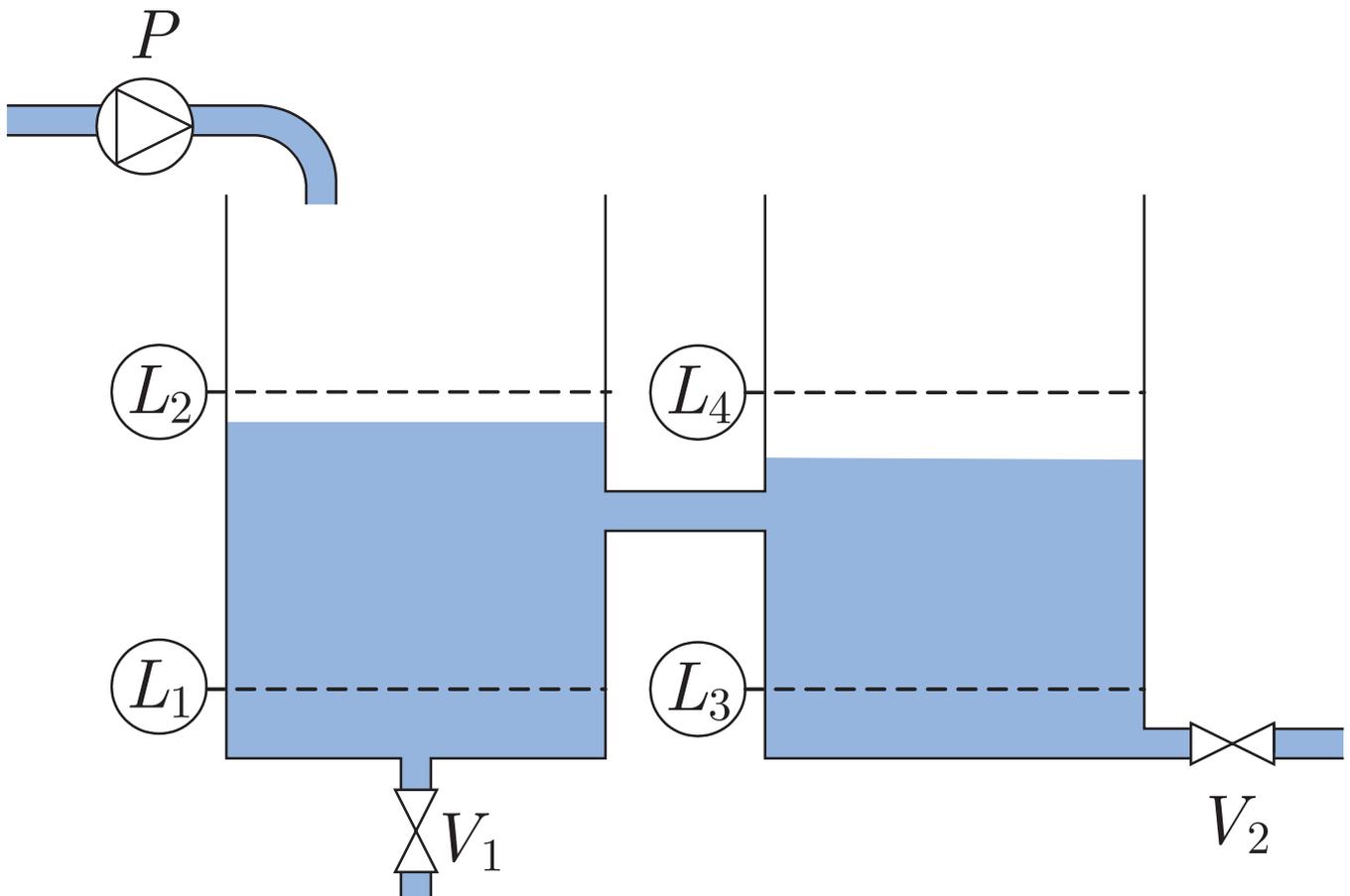


Abb. 13.11: Behältersystem mit Füllstandssensoren

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

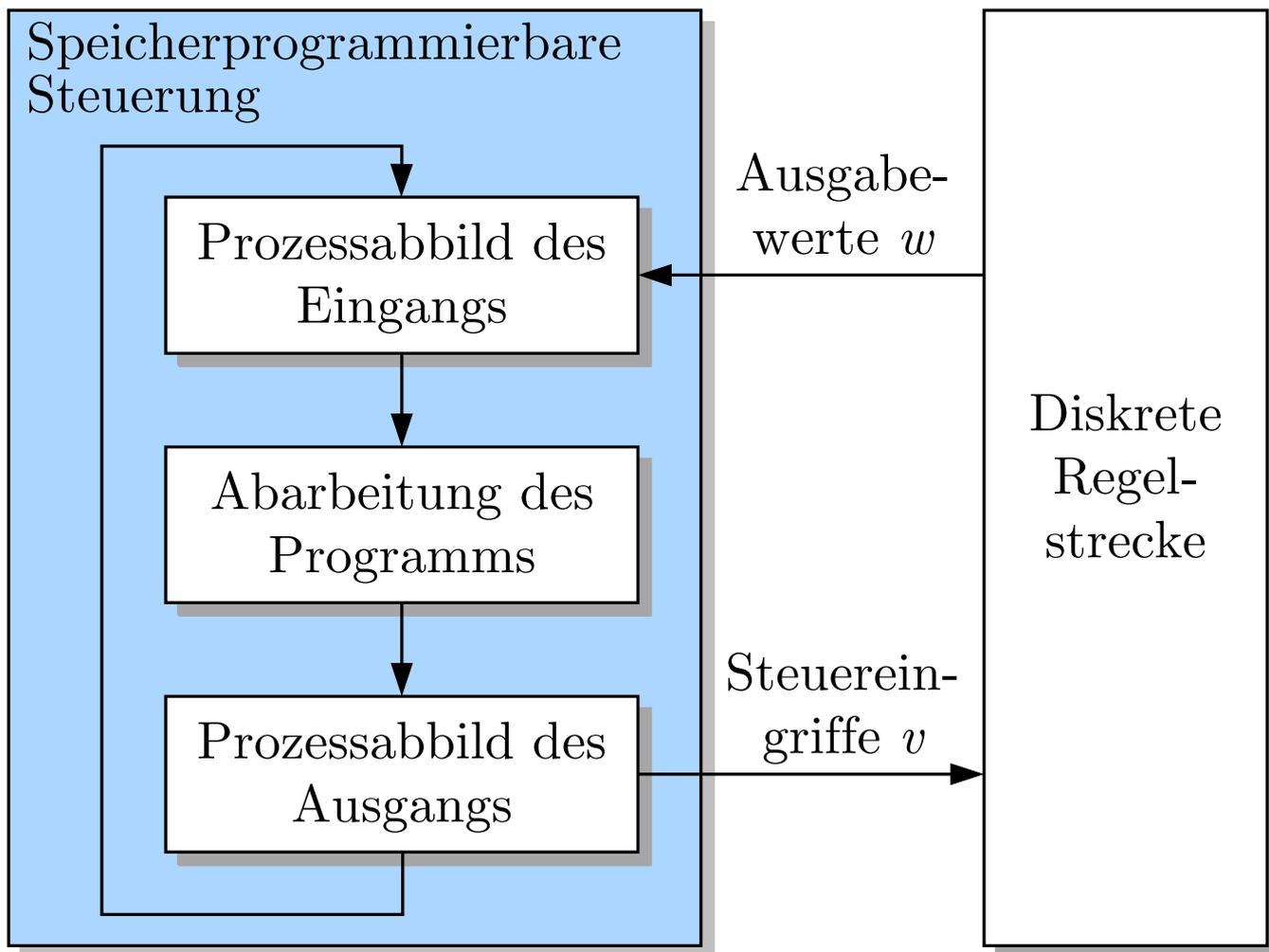


Abb. 13.12: Struktur einer speicherprogrammierbaren Steuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

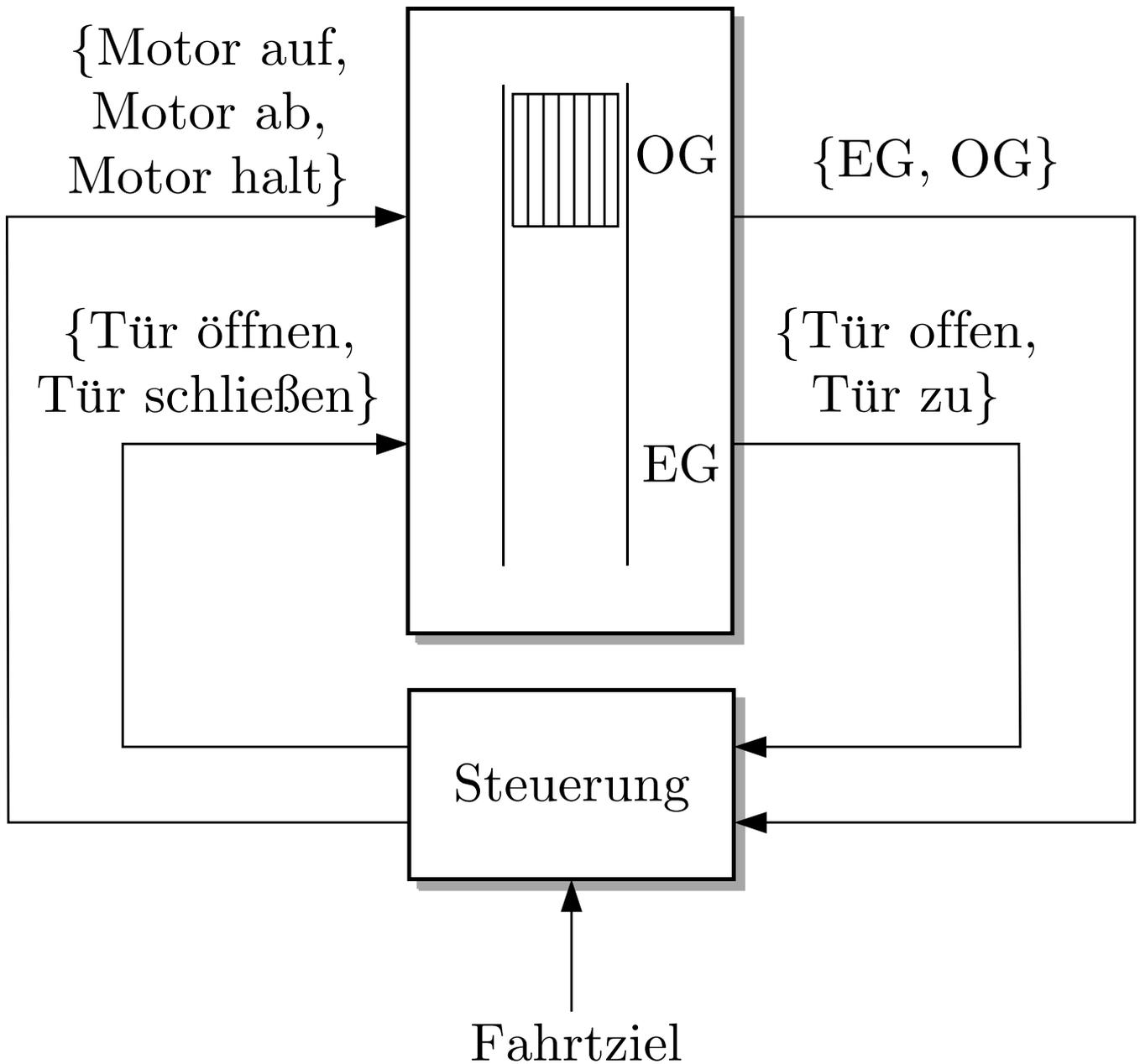


Abb. 14.1: Blockschaltbild des gesteuerten Personenaufzugs

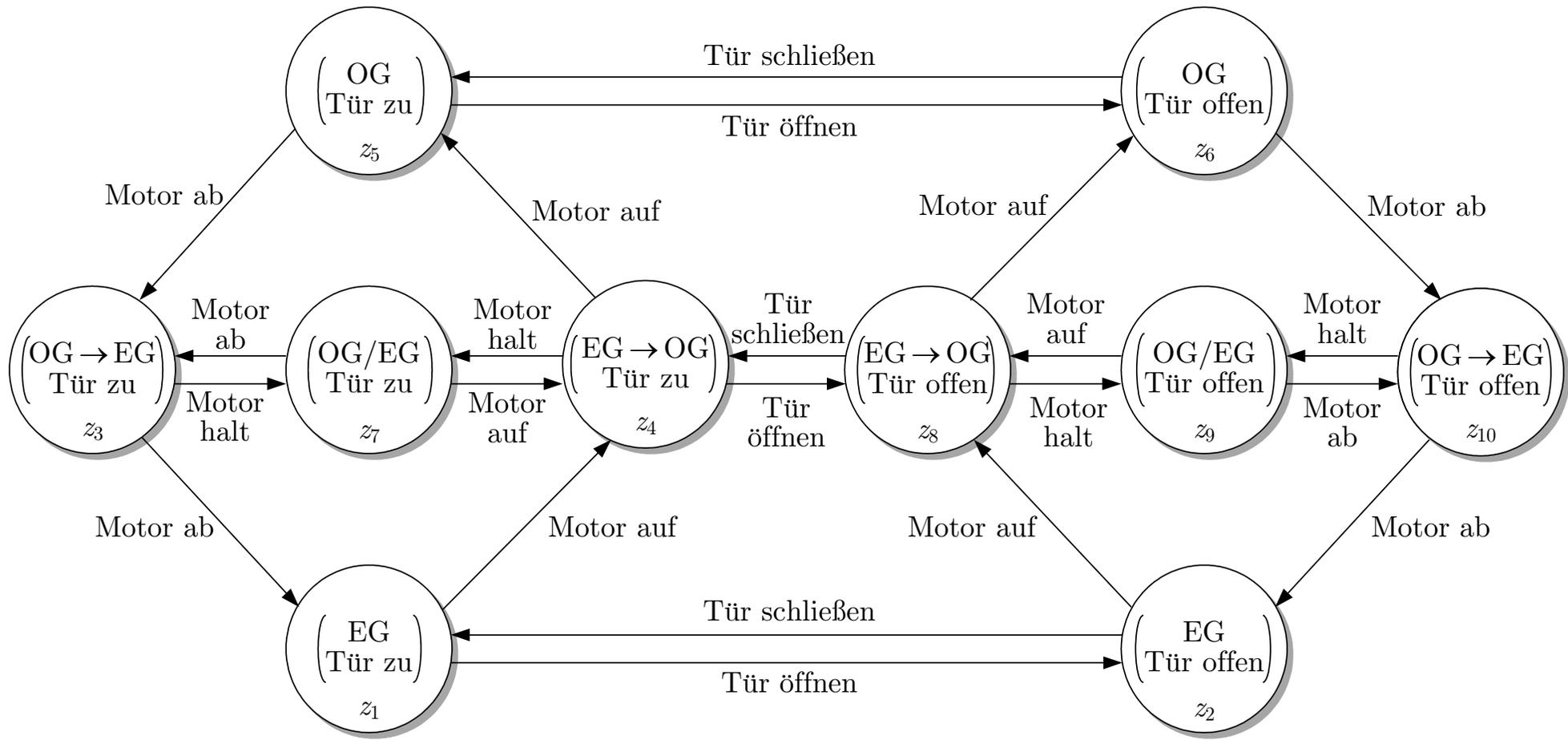


Abb. 14.2. Automat zur Beschreibung der möglichen Bewegungen des Personenaufzugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

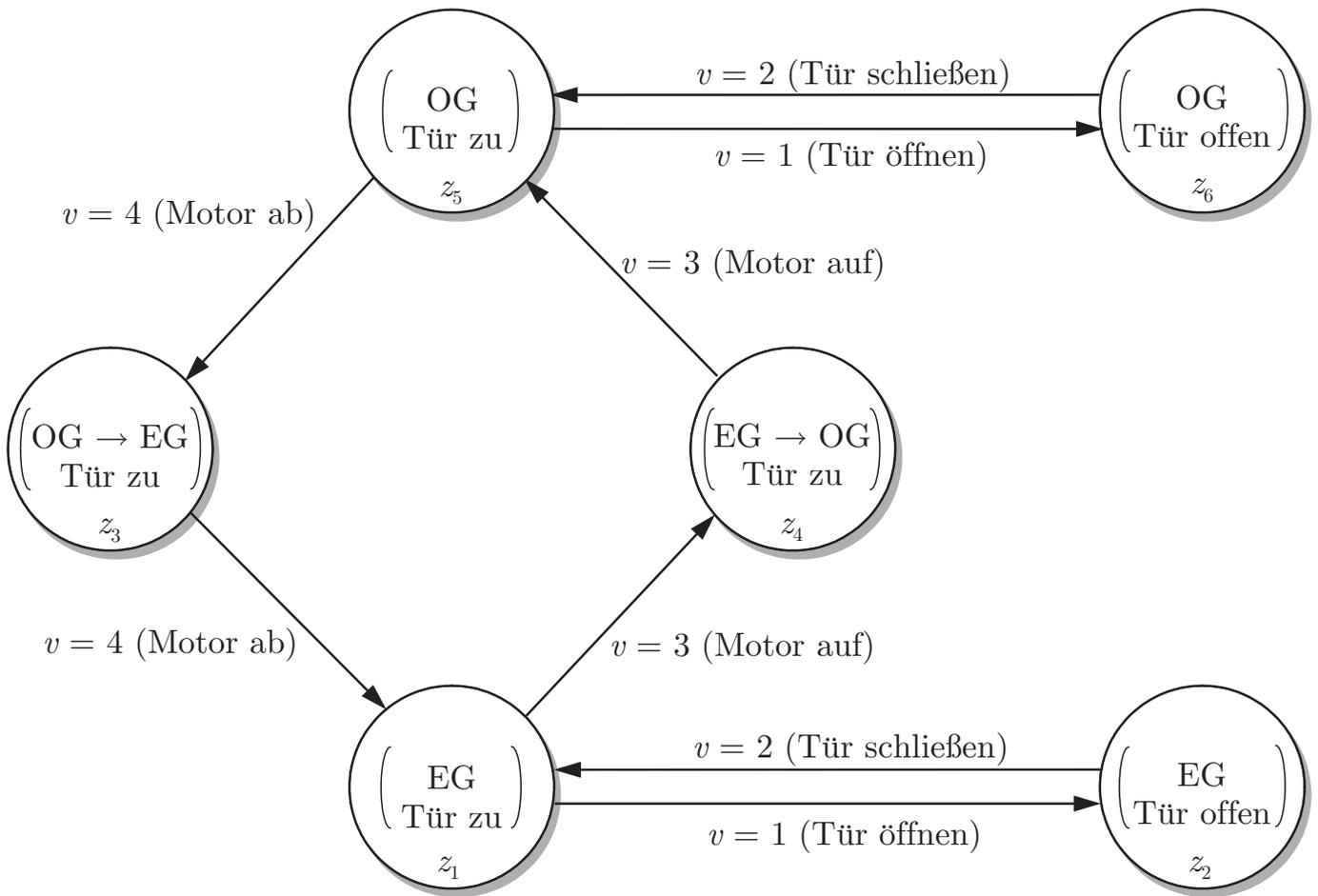


Abb. 14.3: Reduzierter Automat zur Beschreibung der erlaubten Bewegungen des Personenaufzugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

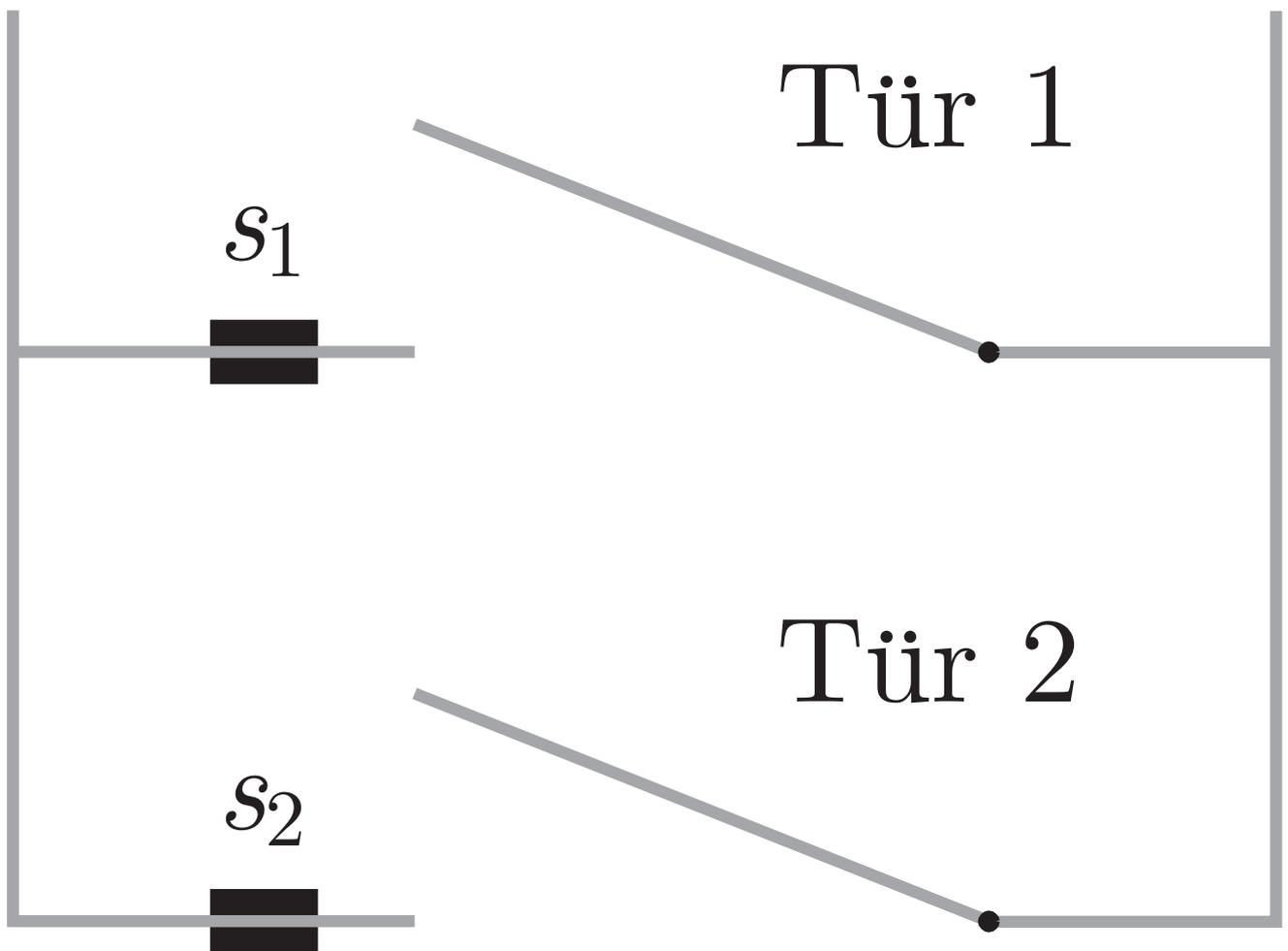


Abb. 14.4: Sicherheitsschleuse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

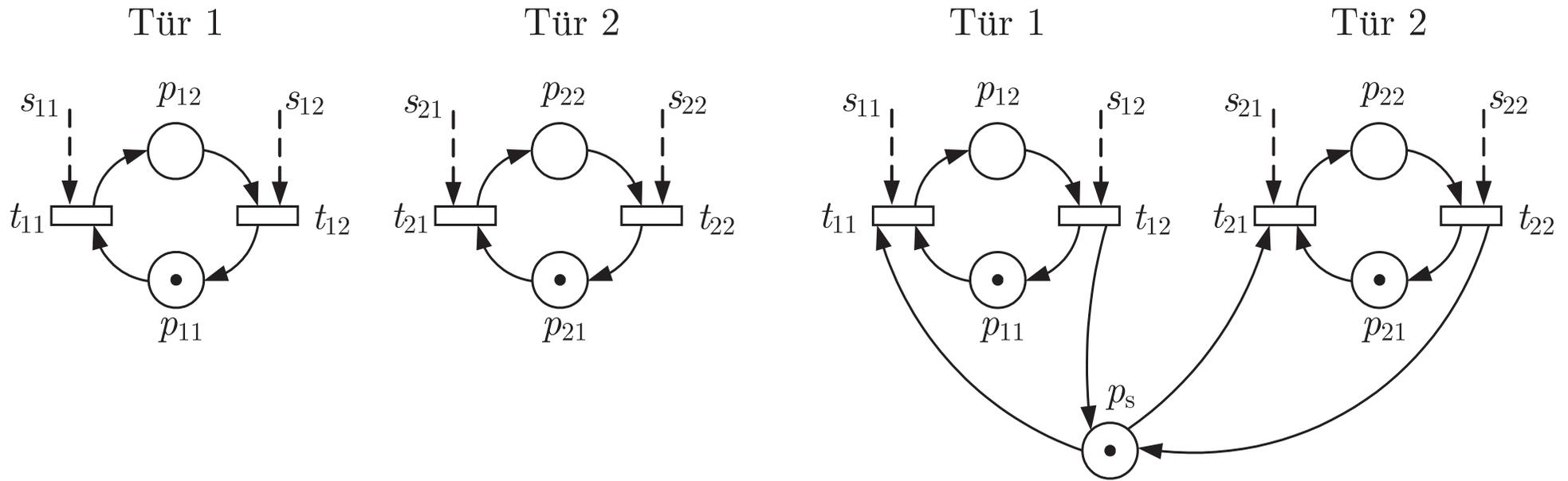


Abb. 14.5. Steuerung einer Sicherheitsschleuse: Modell der Strecke (links) und gesteuerte Tür (rechts)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

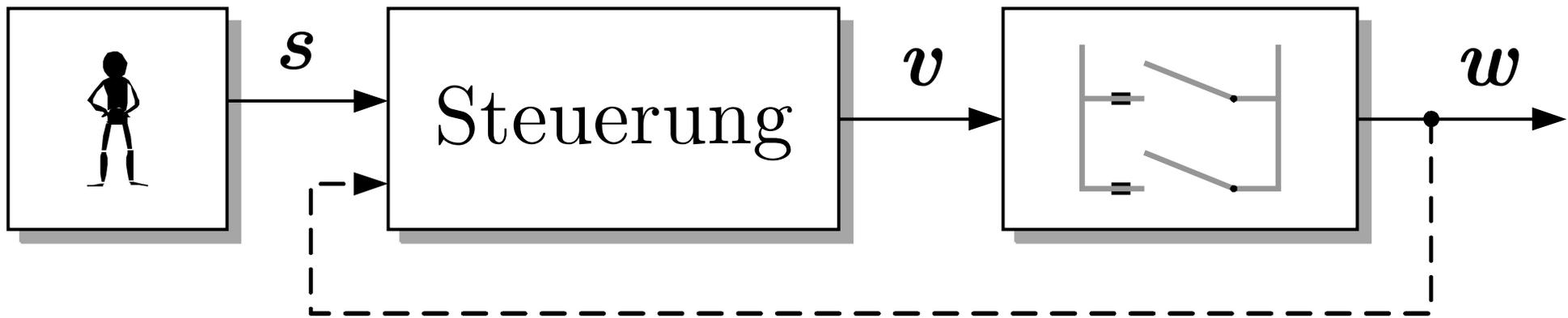


Abb. 14.6. Steuerungsstruktur für die Sicherheitsschleuse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

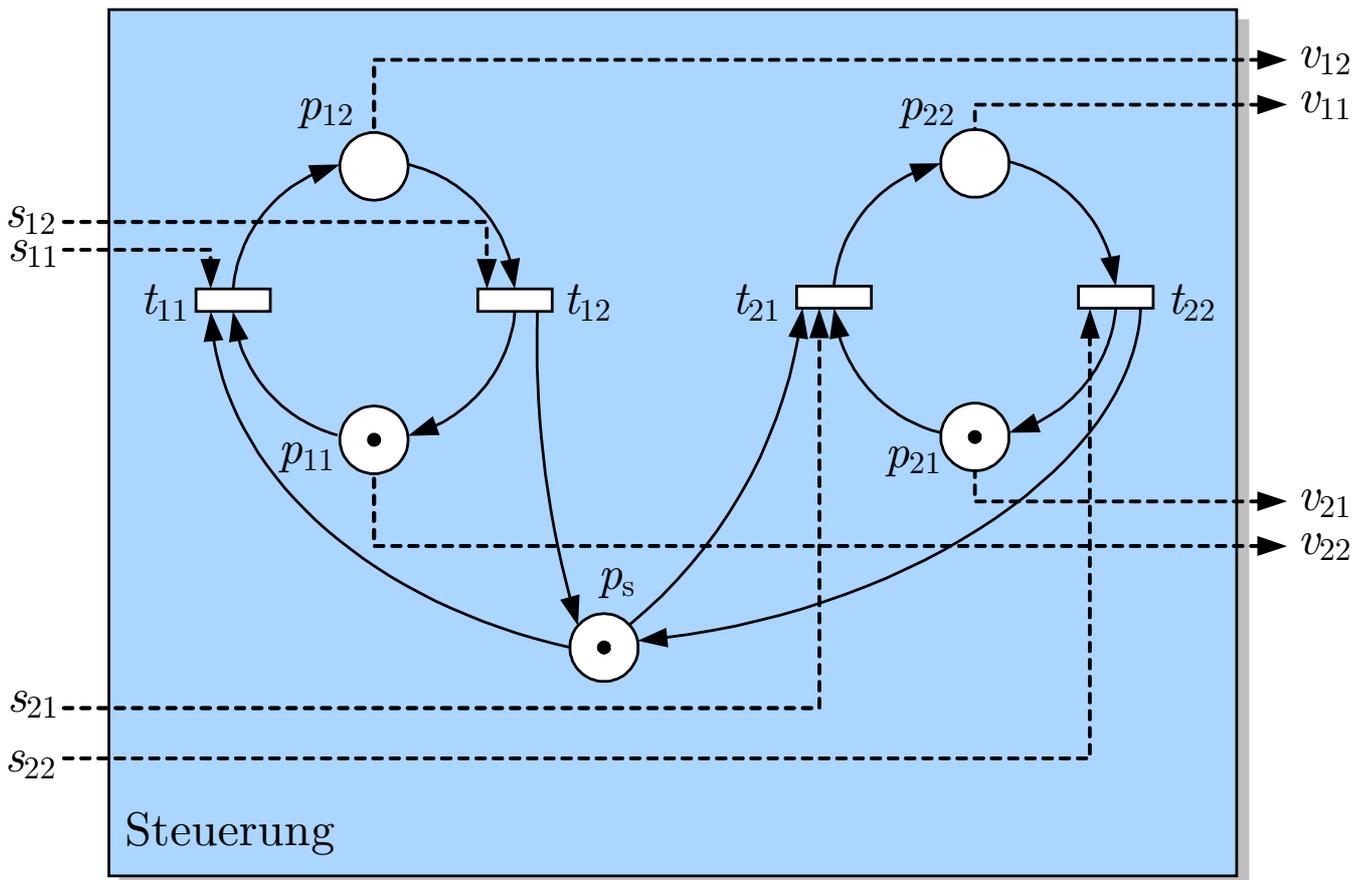


Abb. 14.7: Steuerung der Sicherheitsschleuse in der offenen Wirkungskette

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

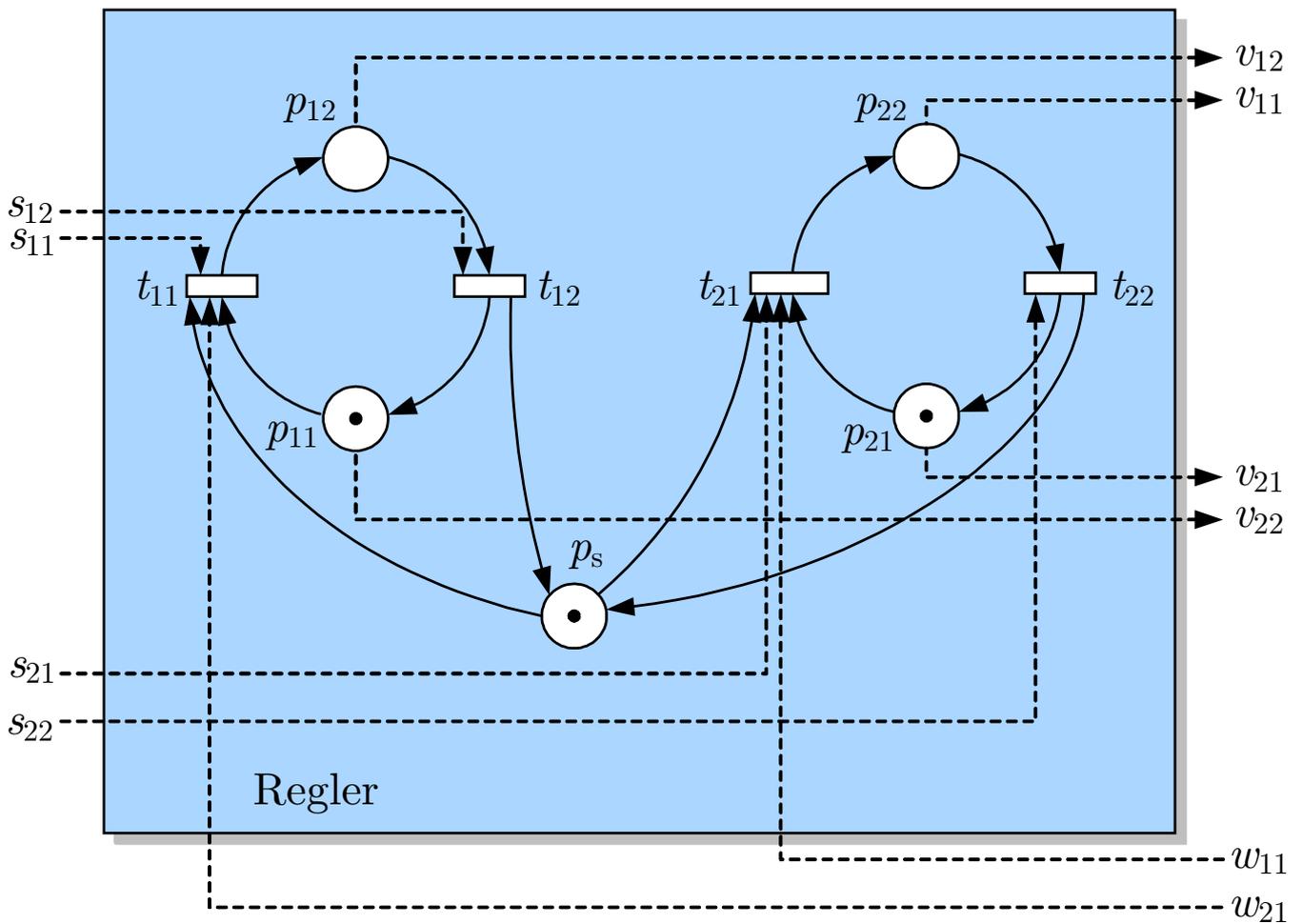


Abb. 14.8: Steuerung der Sicherheitsschleuse im geschlossenen Kreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

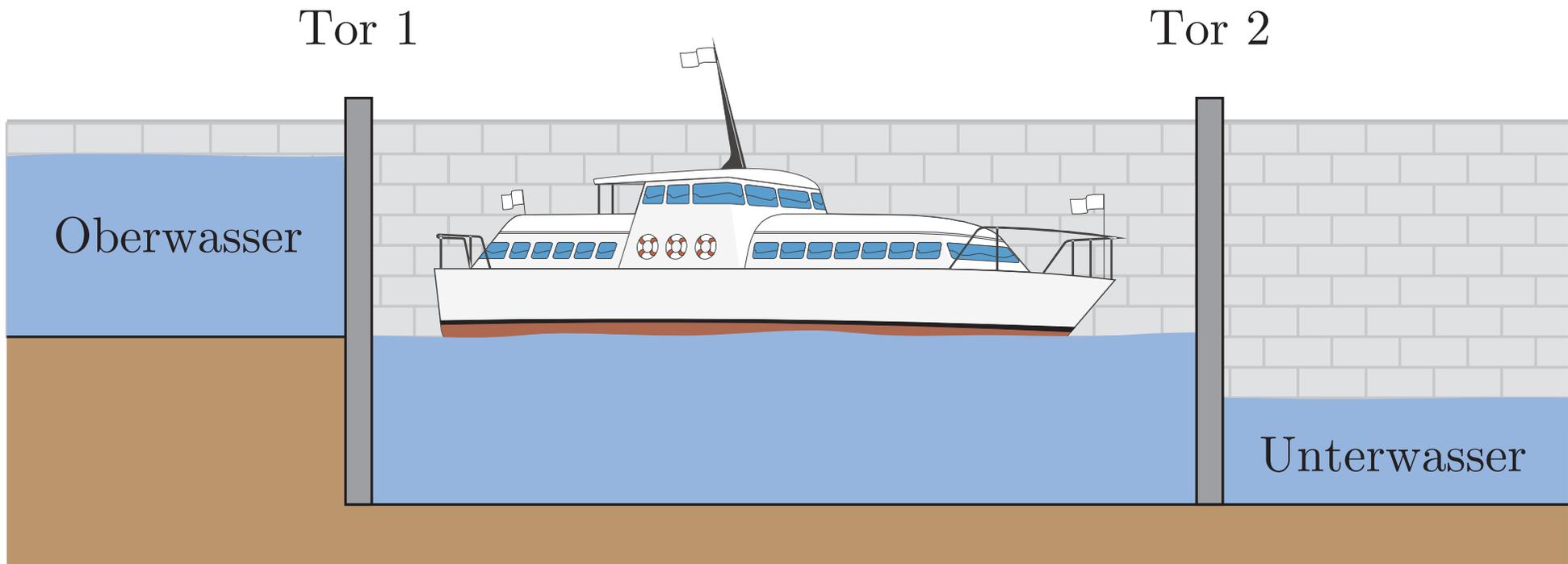


Abb. 14.9. Schiffsschleuse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

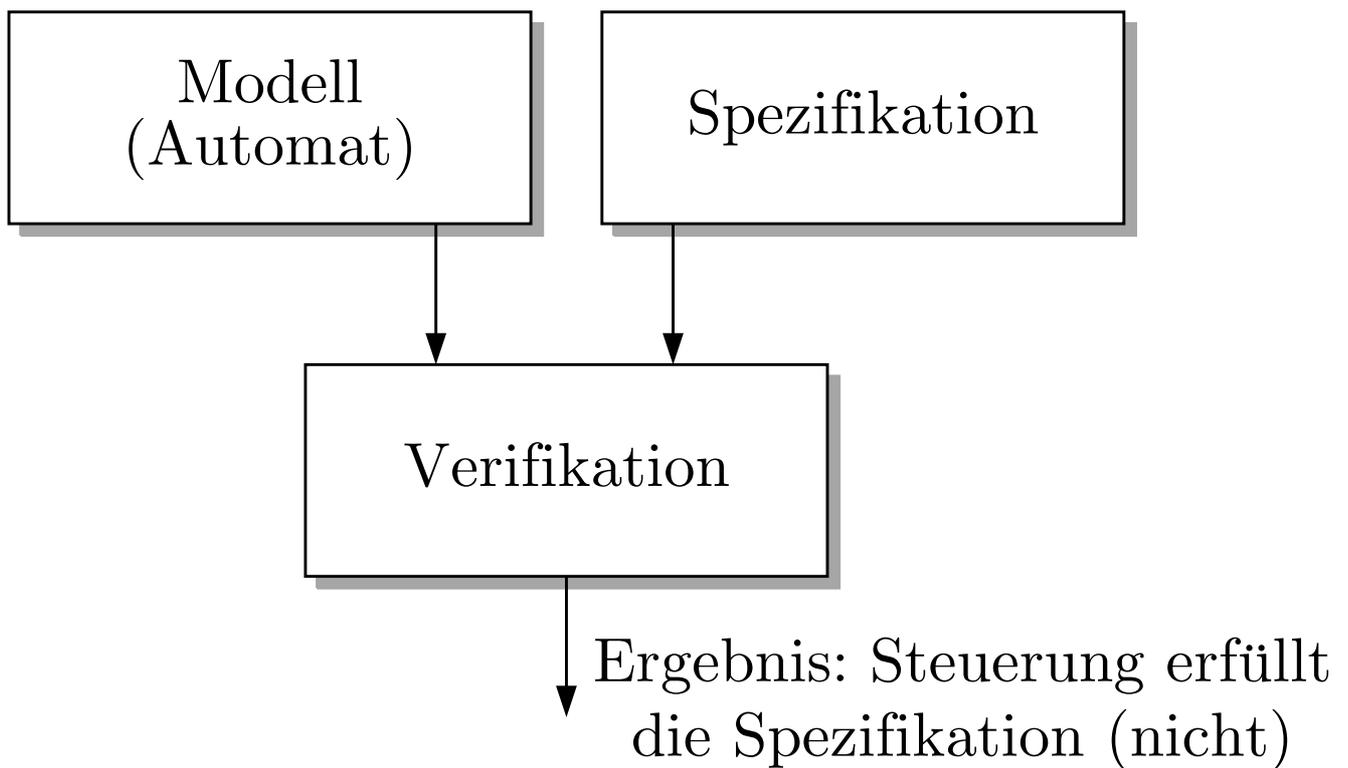


Abb. 14.10: Verifikation diskreter Steuerungen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

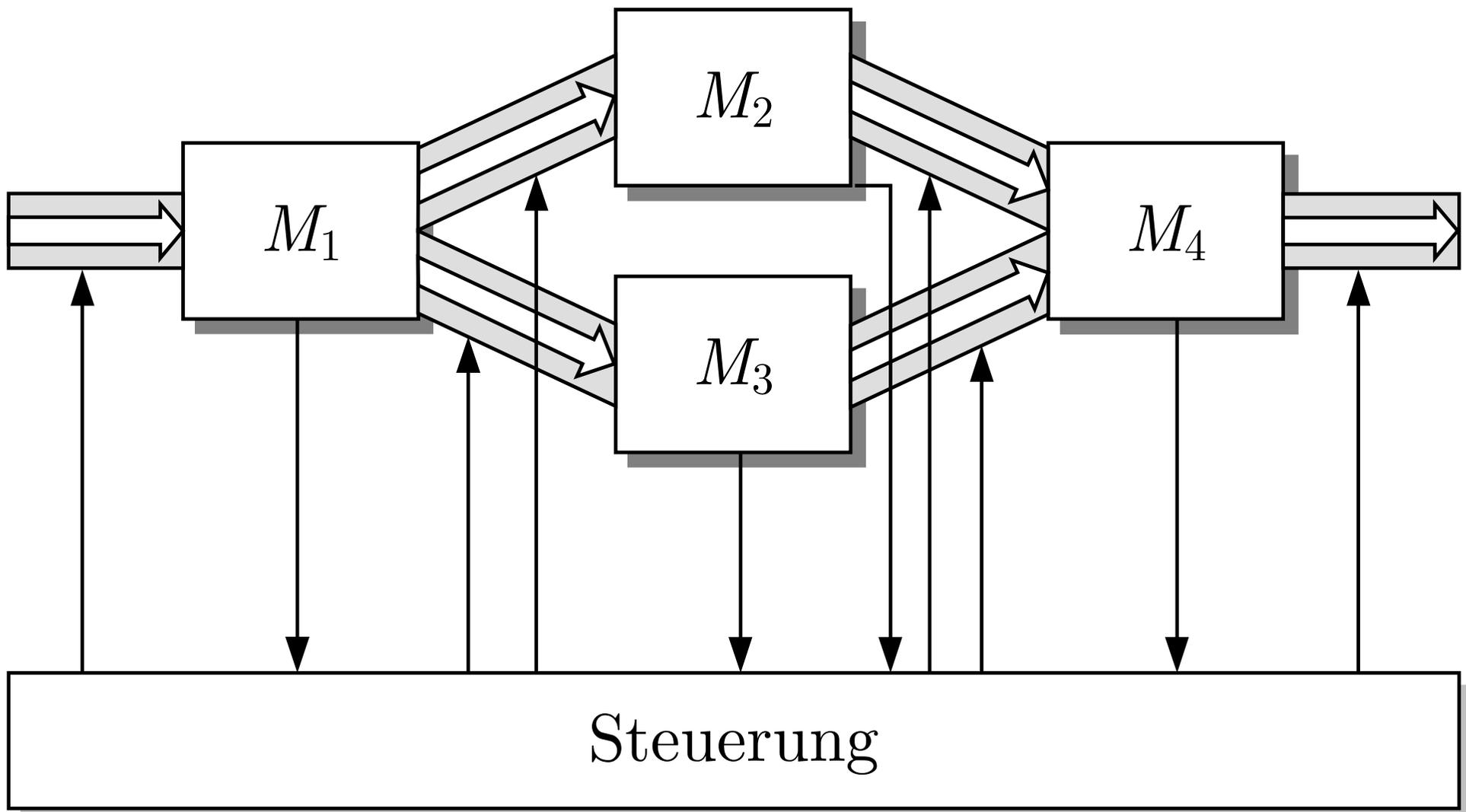


Abb. 14.11. Steuerung des Materialflusses zwischen vier Werkzeugmaschinen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

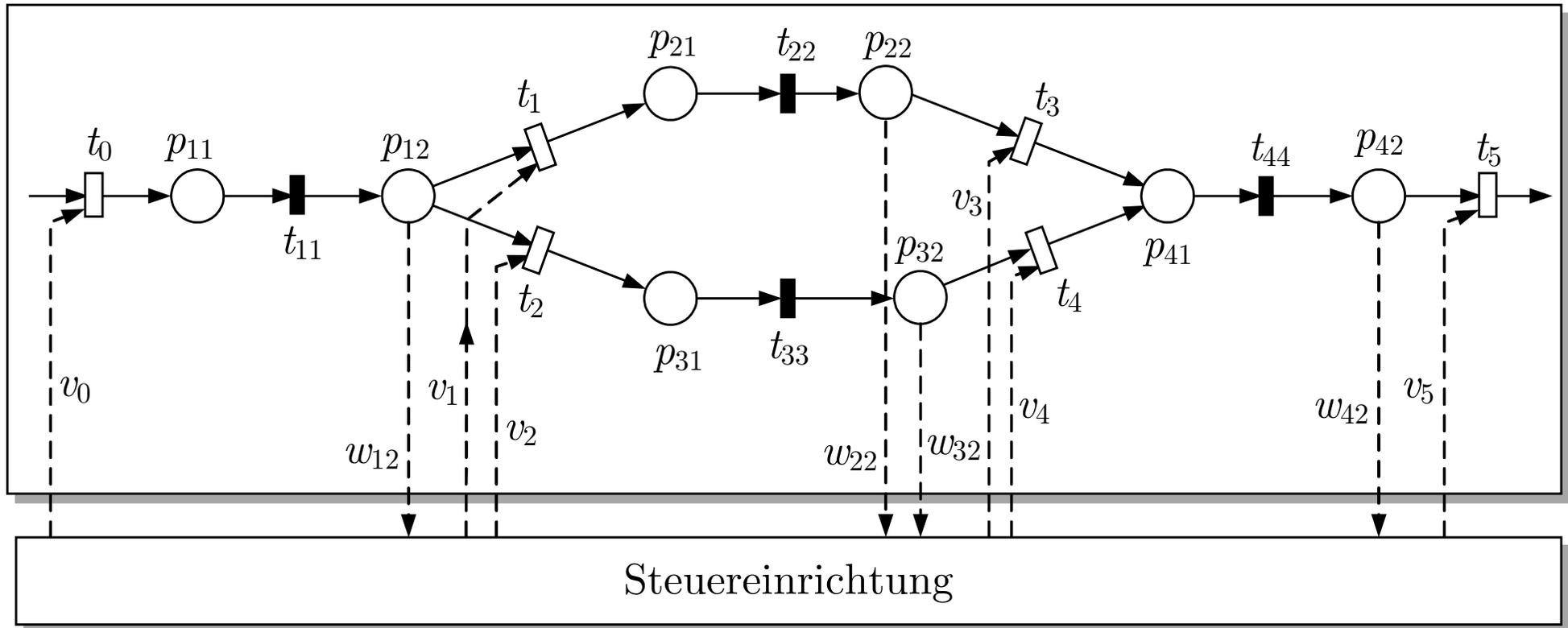


Abb. 14.12. Steuerung der Maschinen unter Nutzung des Petrinetzes

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

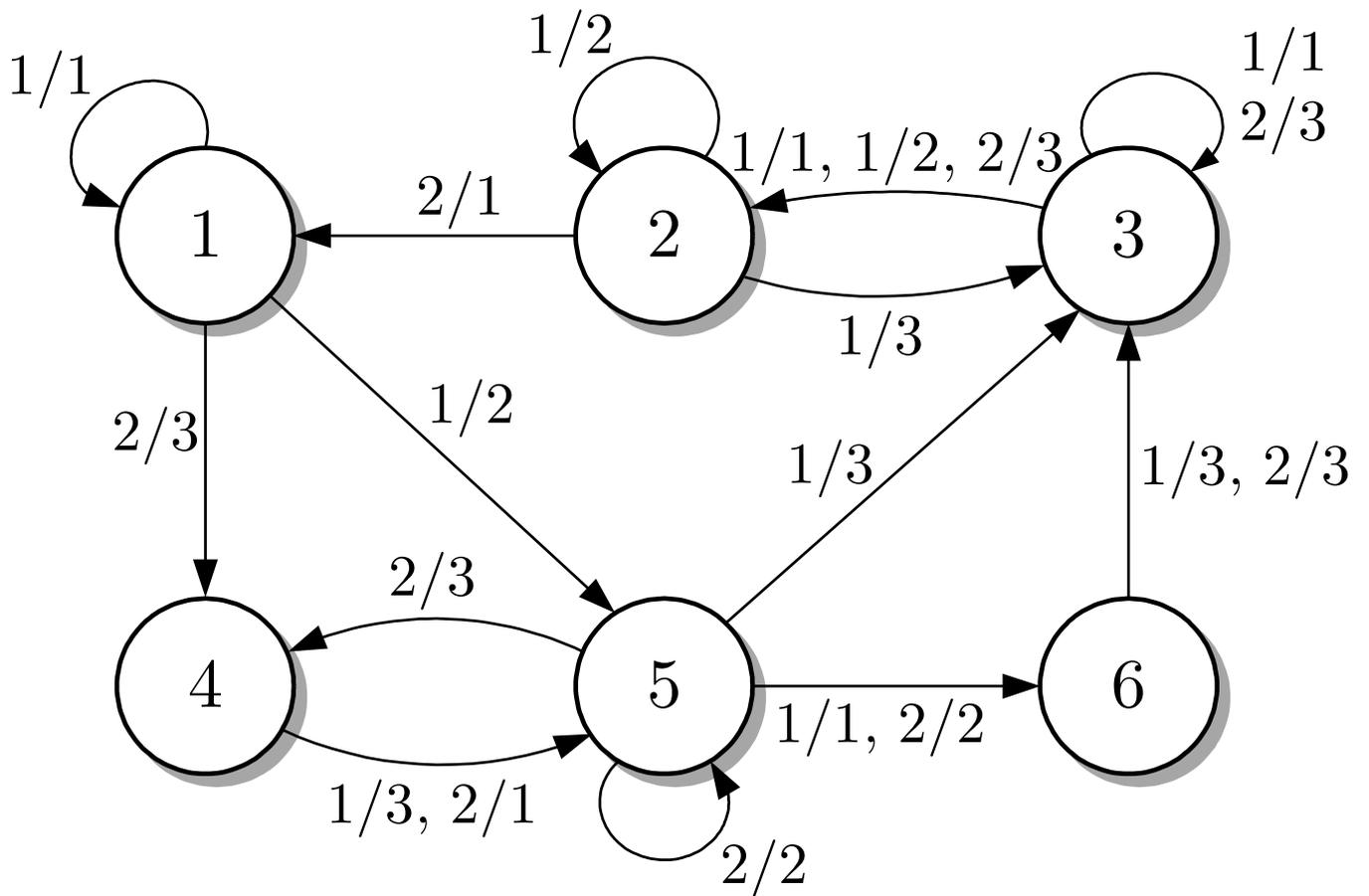


Abb. 15.1: Automatengraph für das Beispiel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

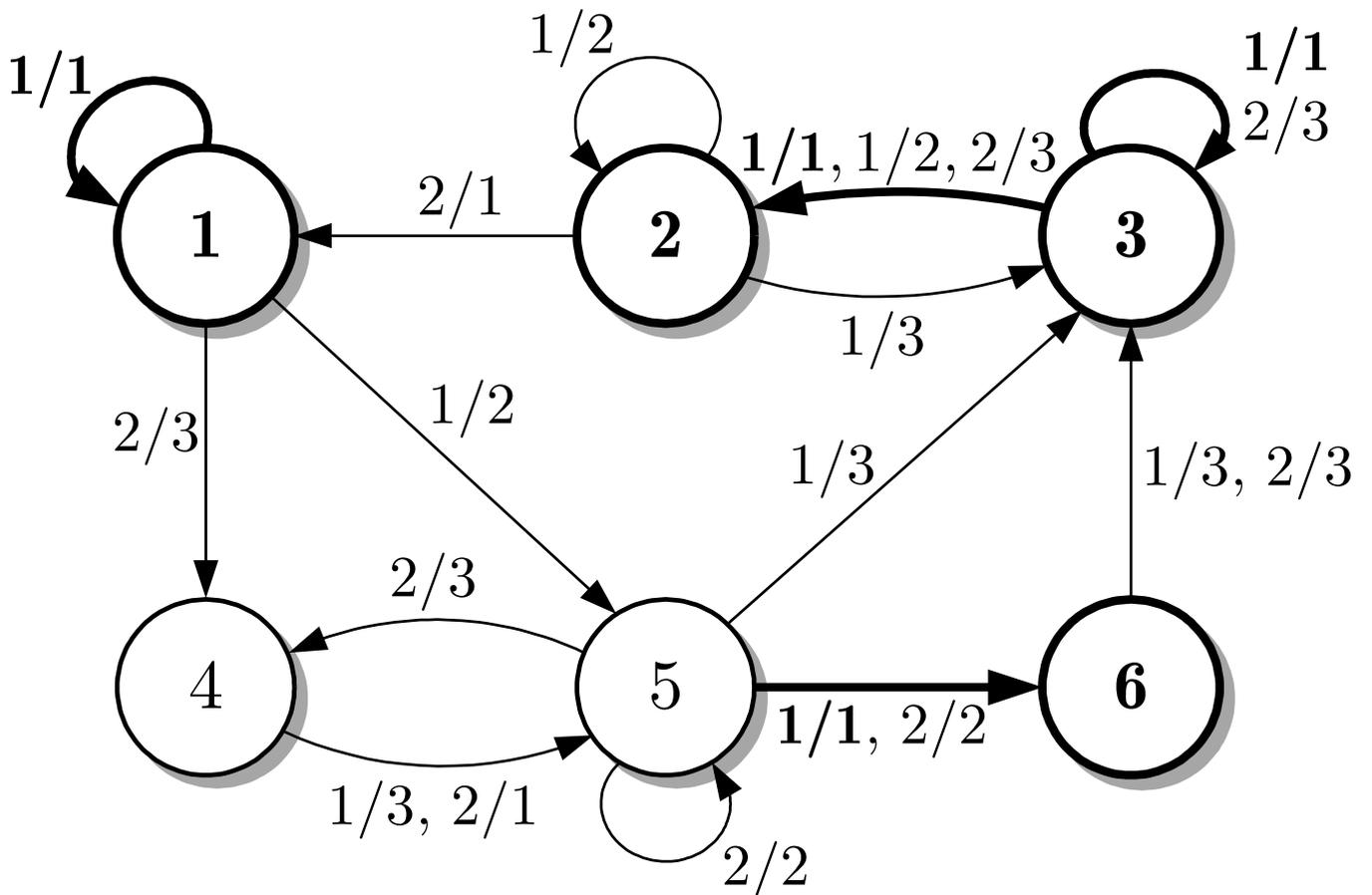


Abb. 15.2: Automatengraph mit Kennzeichnung der Zustandsmenge $\mathcal{Z}(1 | 0)$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

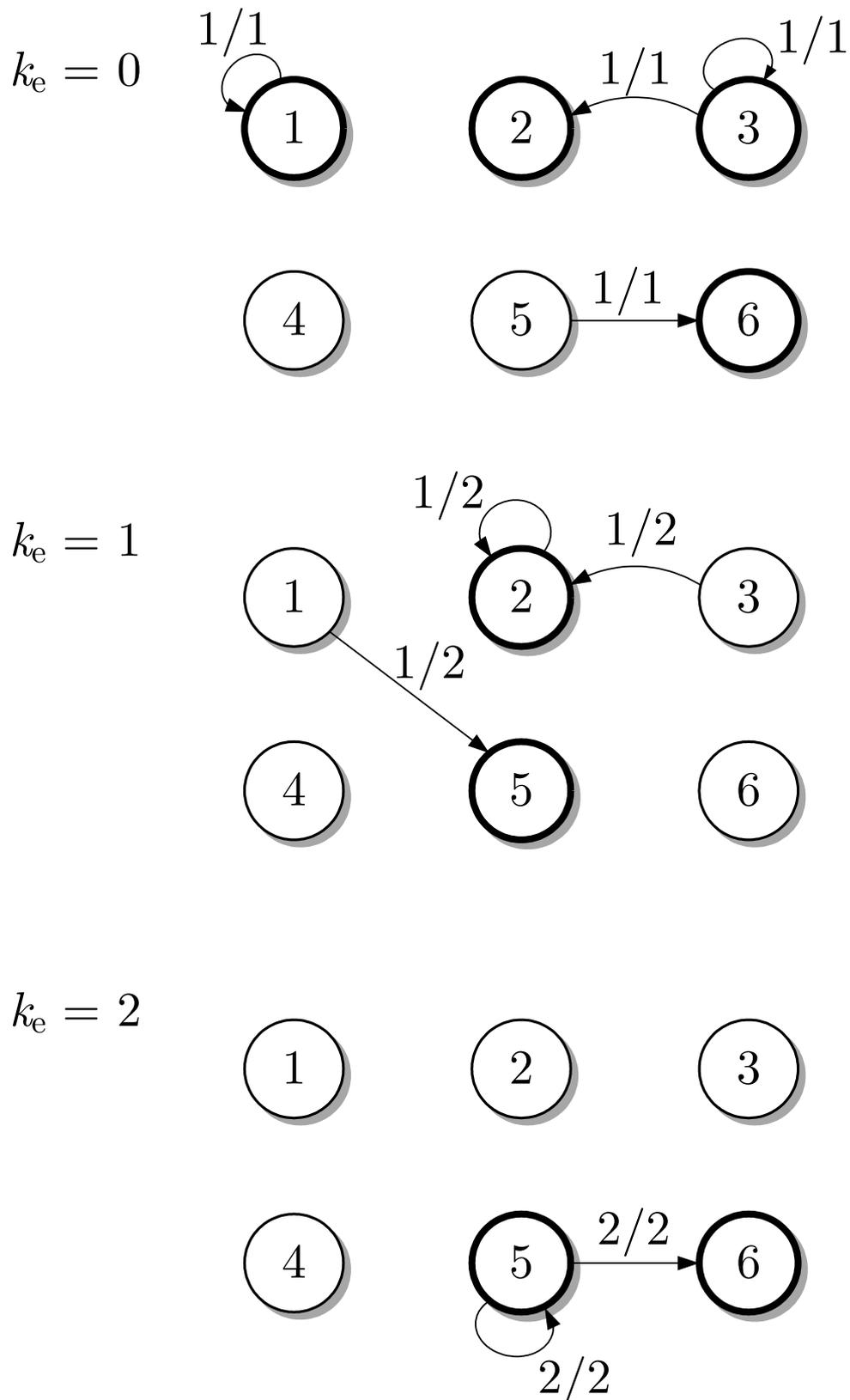


Abb. 15.3. Ergebnis der Zustandsbeobachtung für das E/A-Paar (15.5)

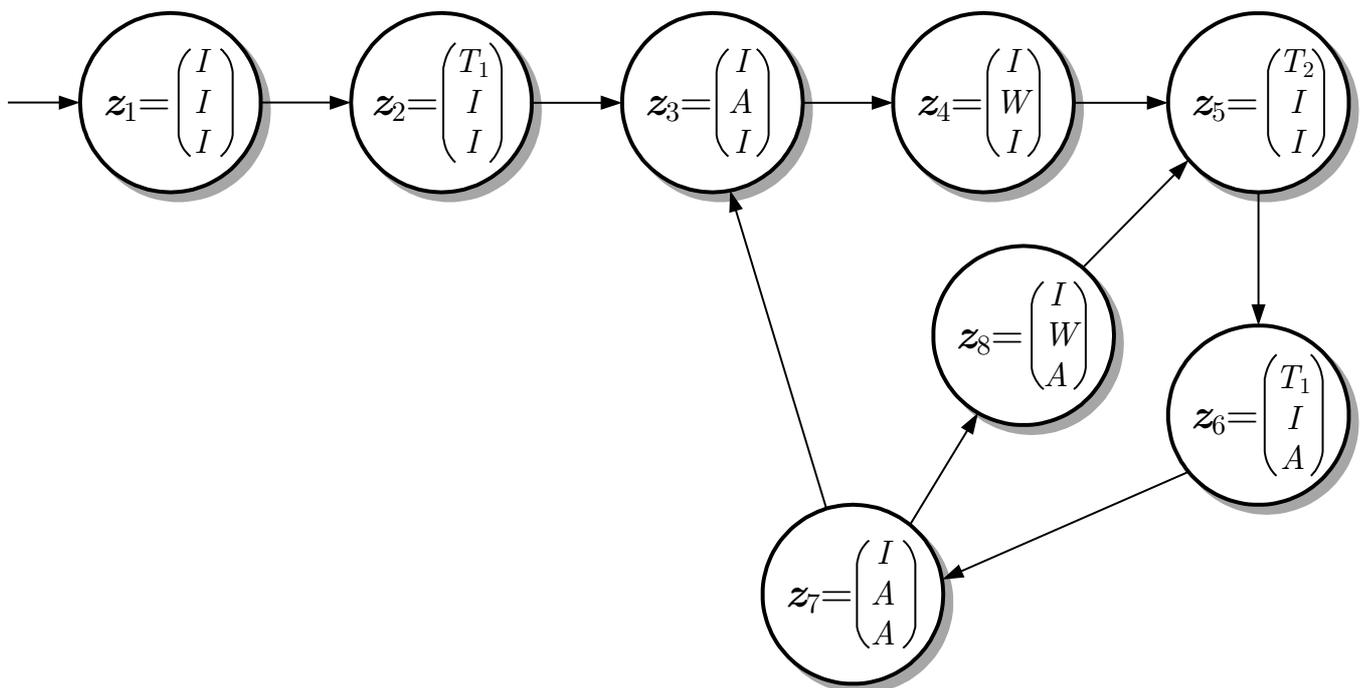


Abb. 15.4: Nichtdeterministischer Automat, der die Fertigungszelle beschreibt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

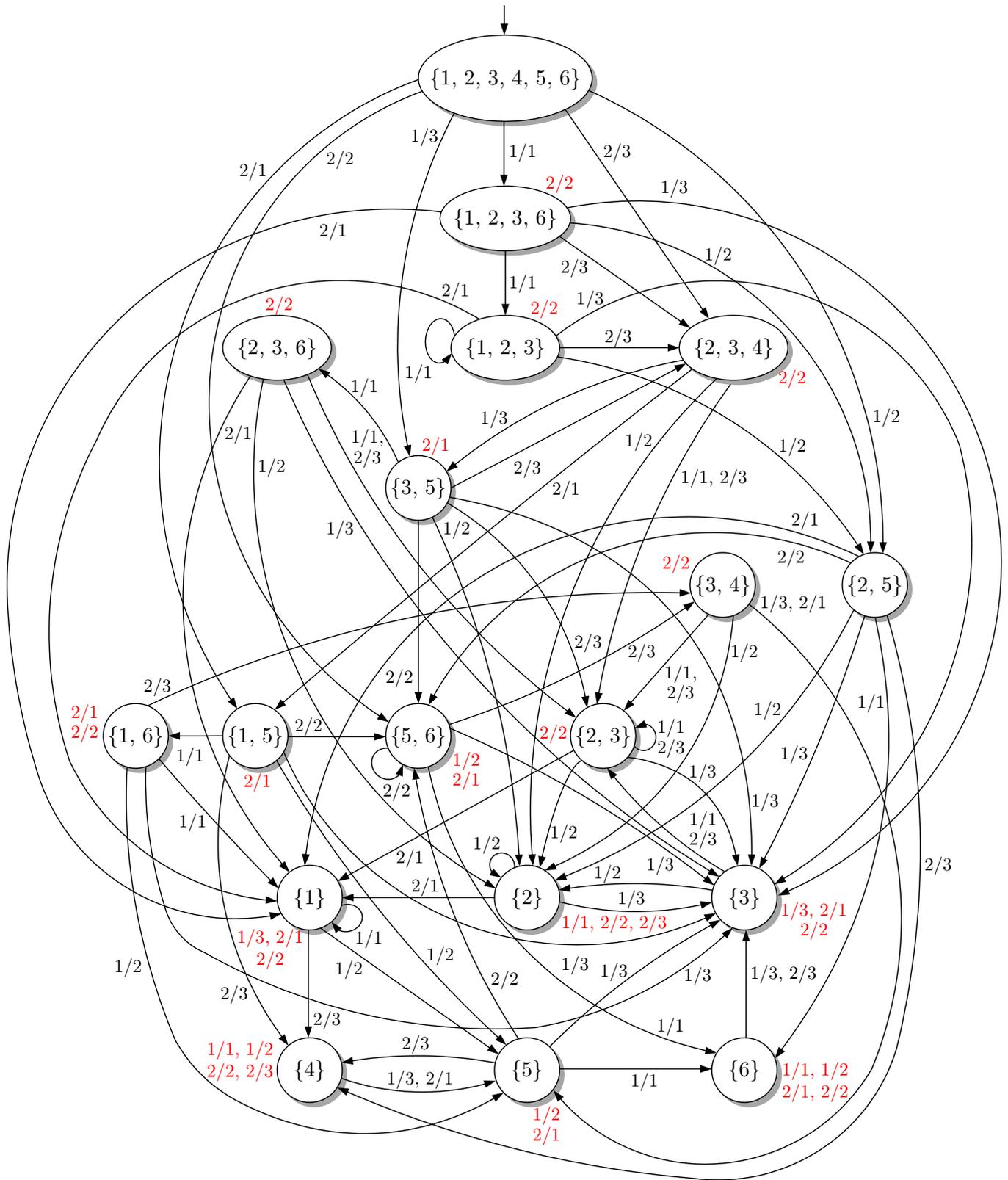


Abb. 15.5: Darstellung des Beobachtungsalgorithmus für den Automaten nach Abb. 15.1 als deterministischer Automat

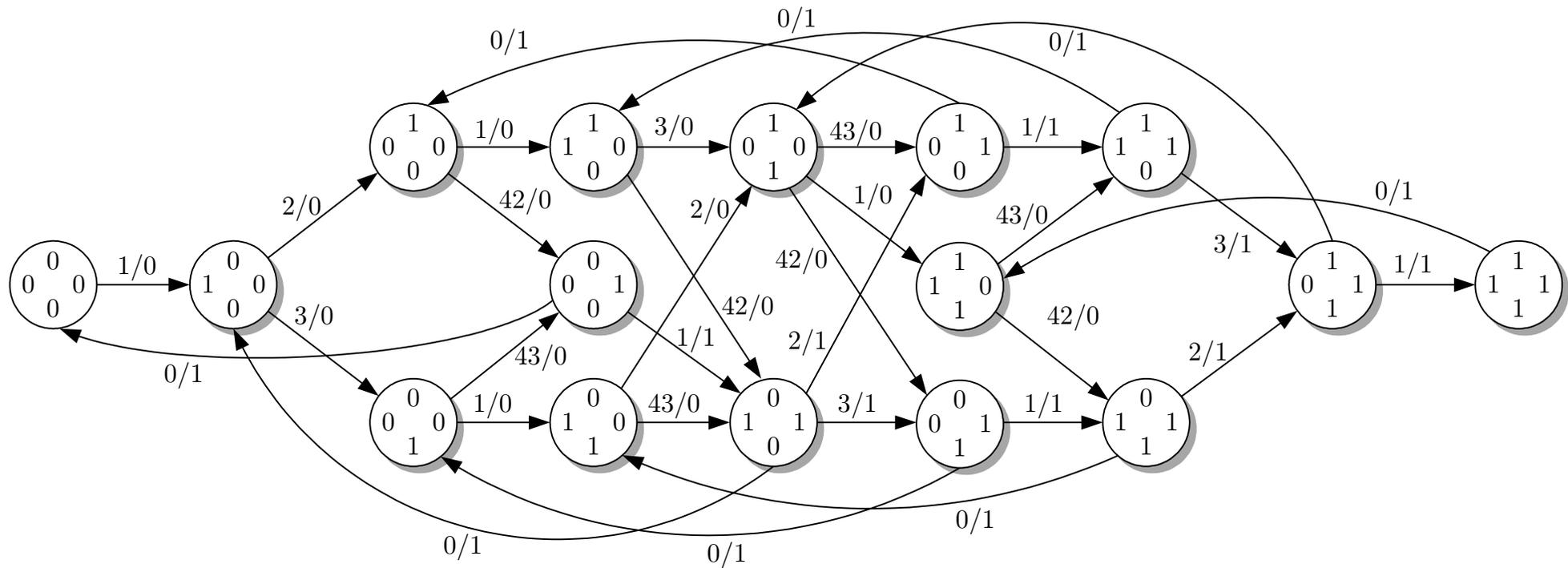
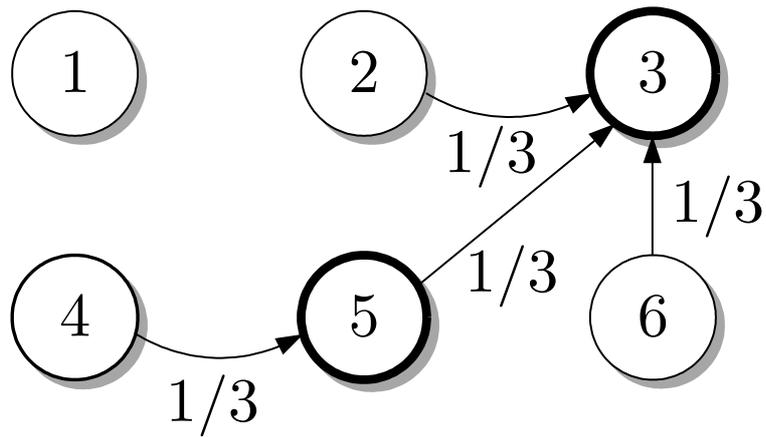


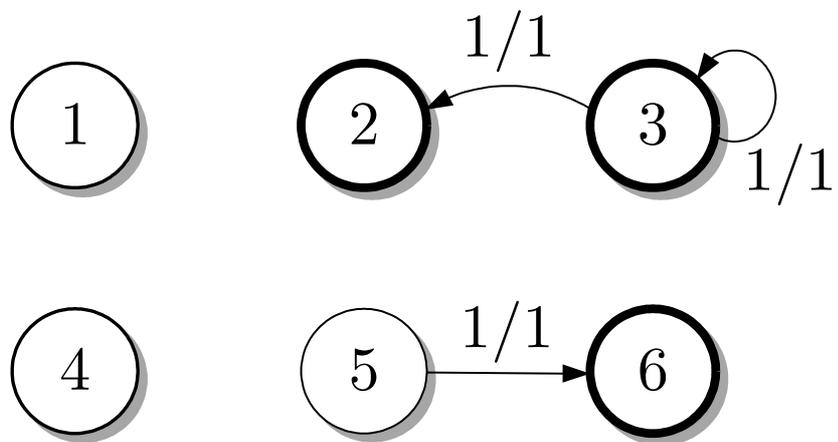
Abb. 15.6. Beschreibung der Arbeitsweise der vier gesteuerten Werkzeugmaschinen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

$$k_e = 0$$



$$k_e = 1$$



$$k_e = 2$$

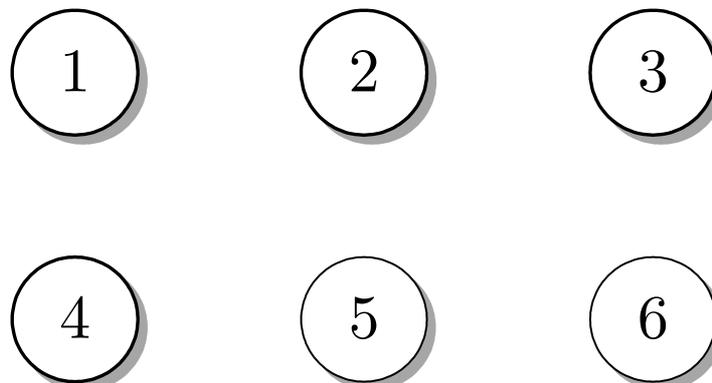


Abb. 15.7. Ergebnis der Konsistenzprüfung für das E/A-Paar (15.10)

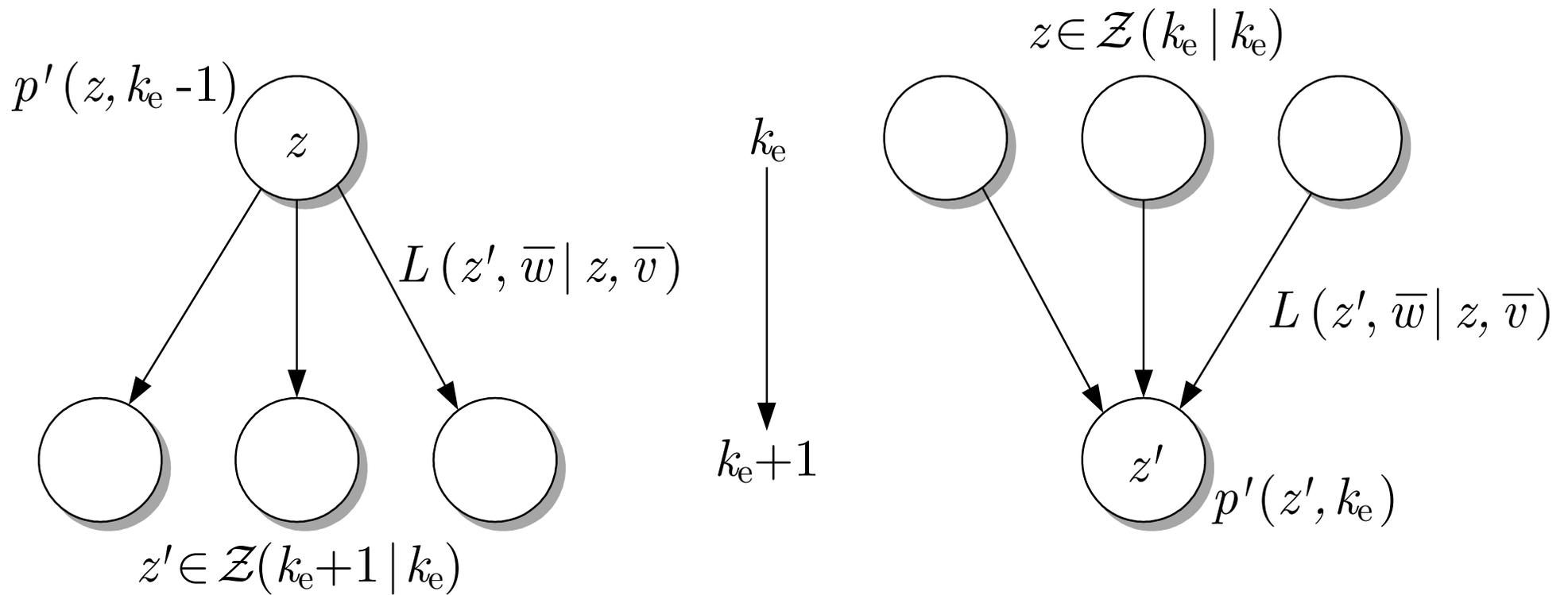


Abb. 15.8. Interpretation der Gl. (15.14)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

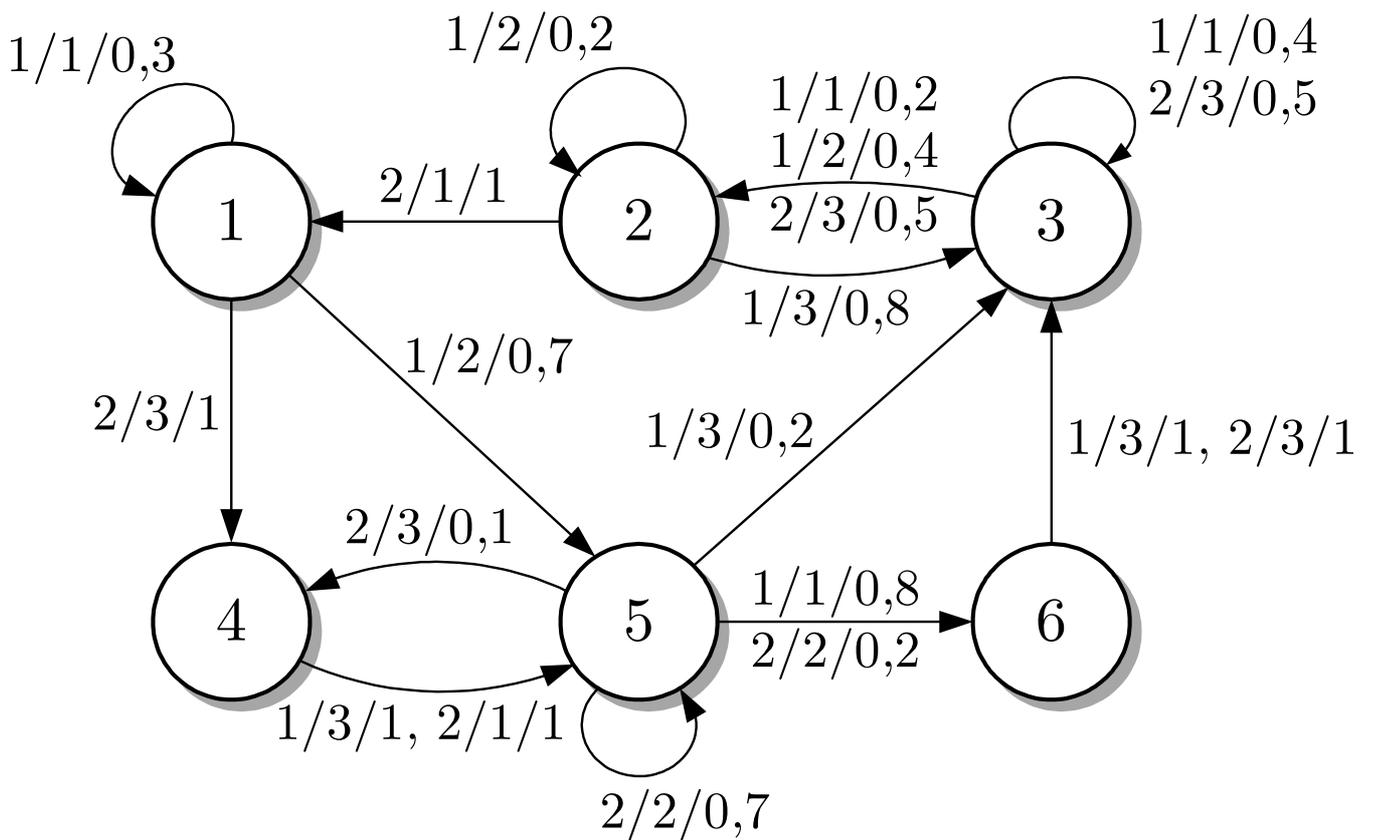


Abb. 15.9: Stochastischer Automat für das Beispiel 15.3

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

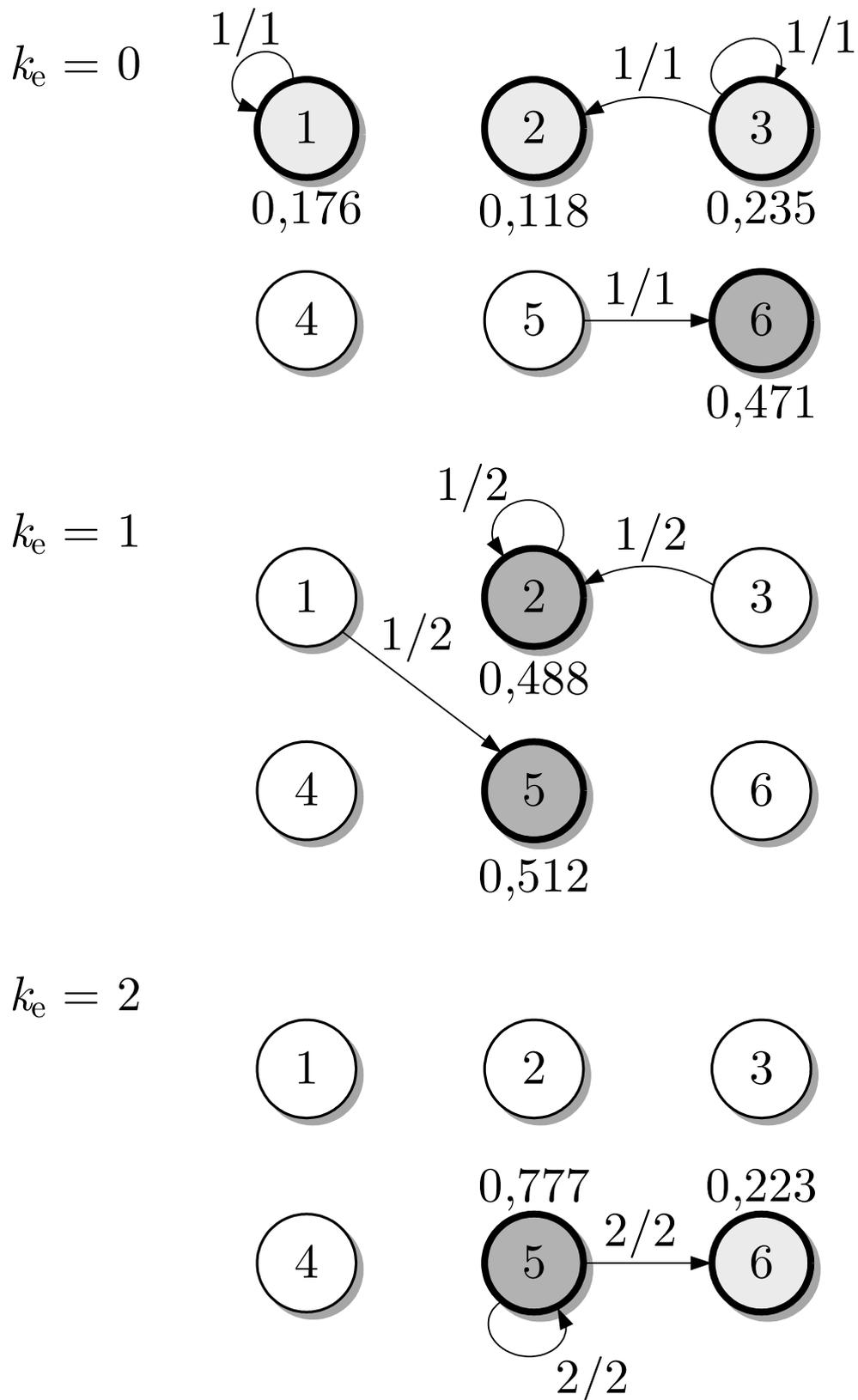


Abb. 15.10. Ergebnis der Zustandsbeobachtung für den stochastischen Automaten

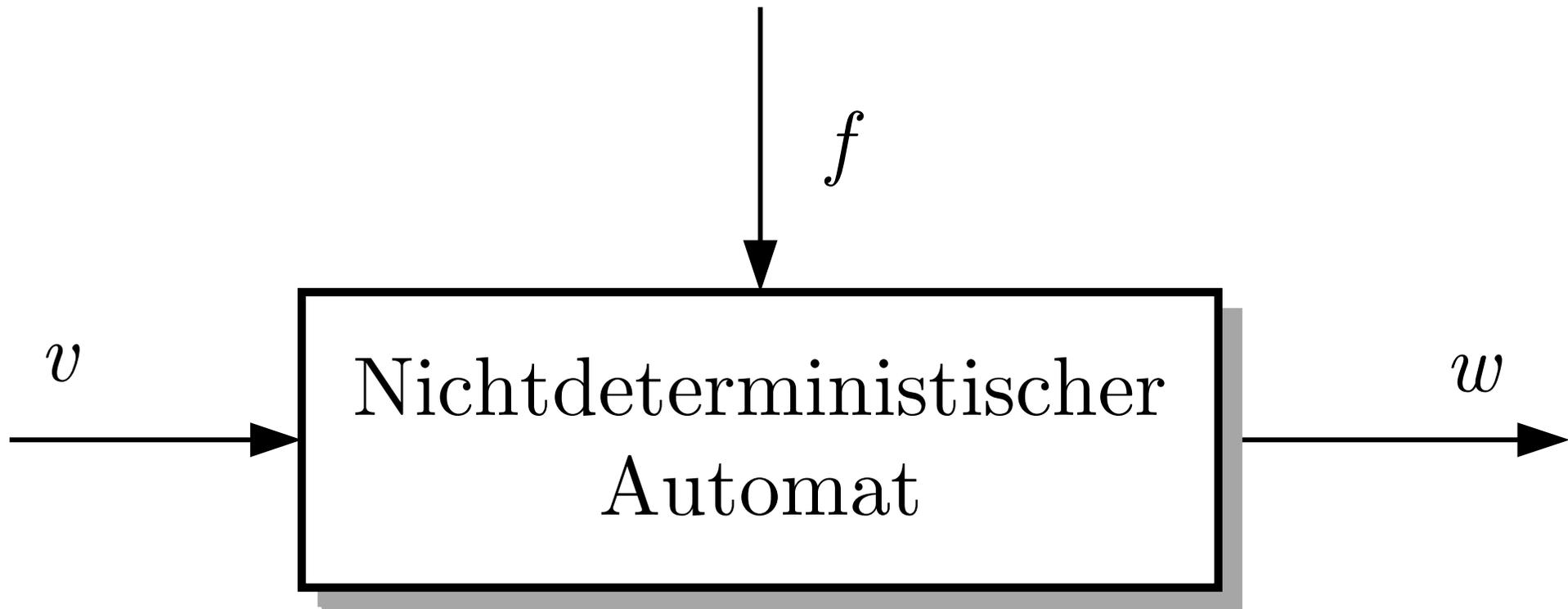


Abb. 16.1. Nichtdeterministischer Automat unter der Wirkung des Fehlers f

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

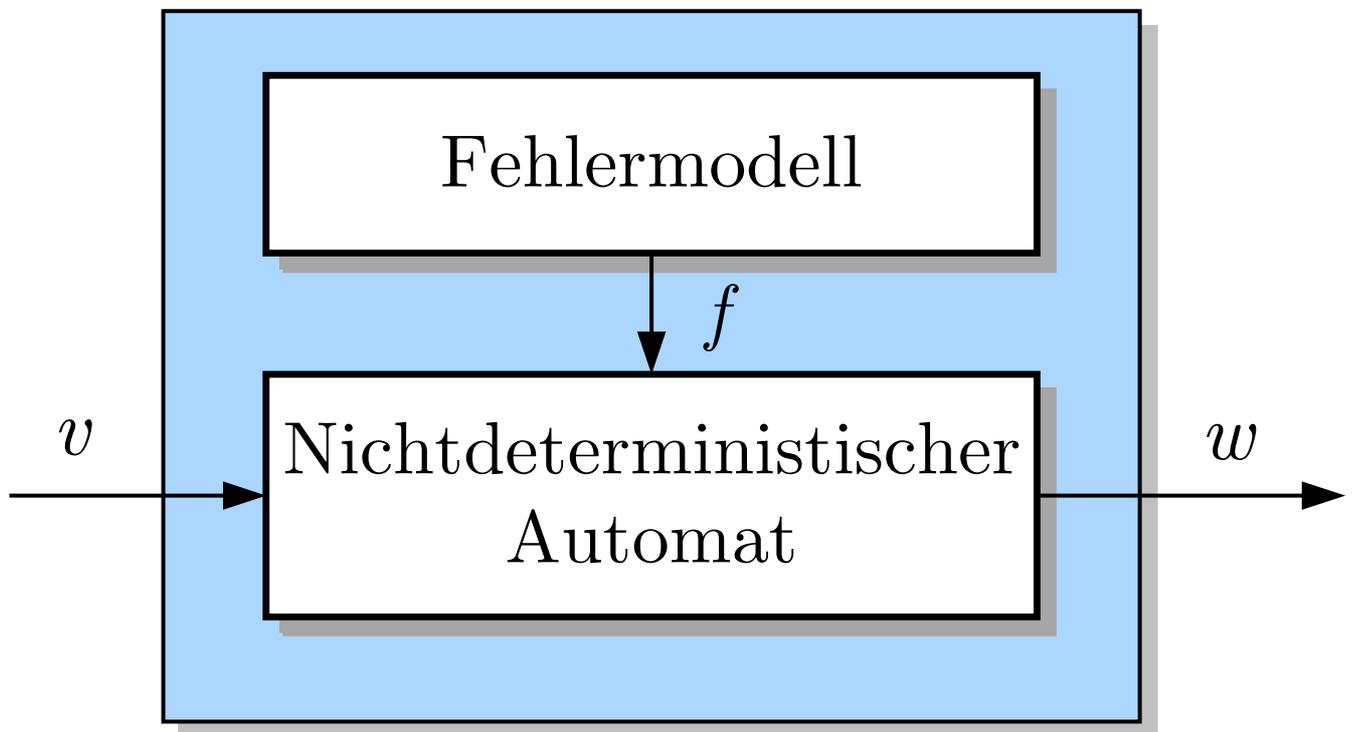


Abb. 16.2: Nichtdeterministischer Automat mit Fehlermodell

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

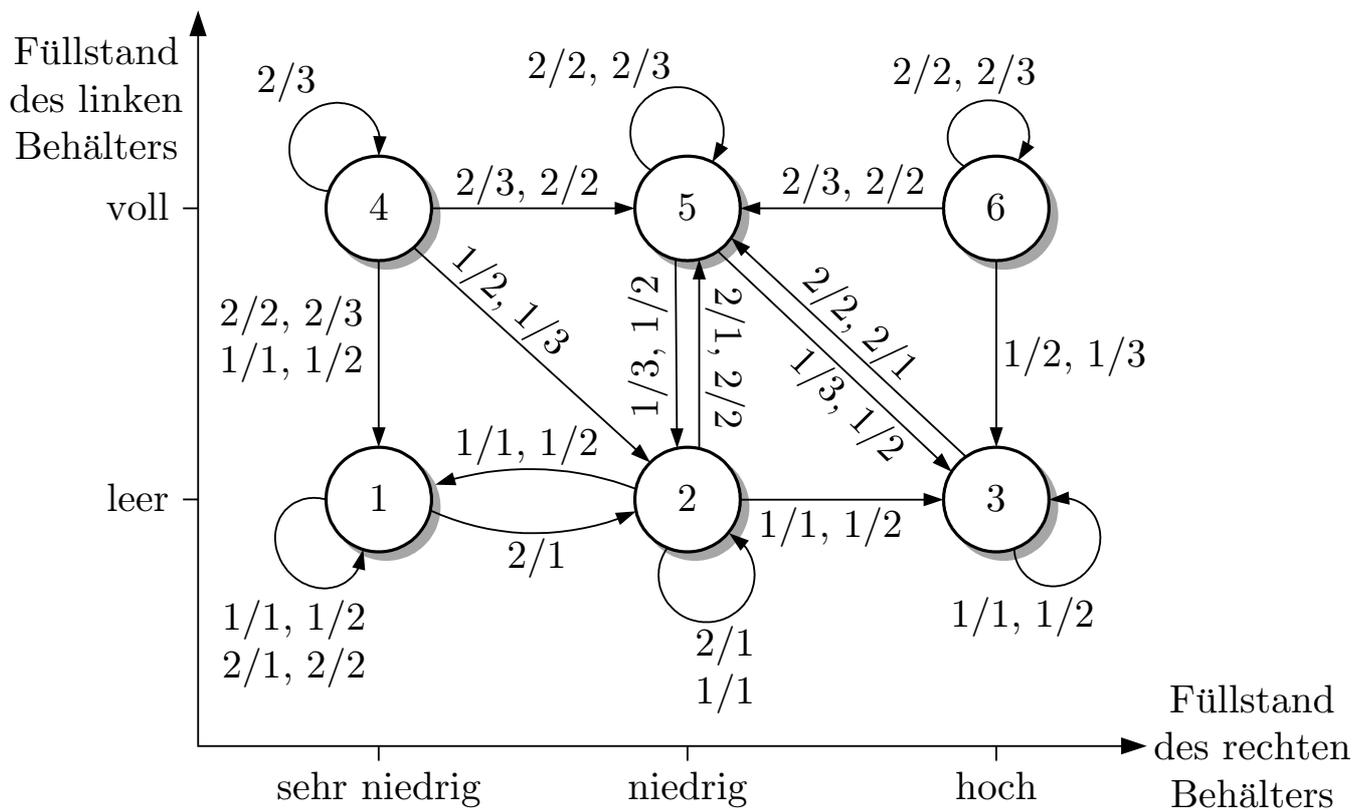


Abb. 16.3: Automatengraph für den fehlerfreien Zustand

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

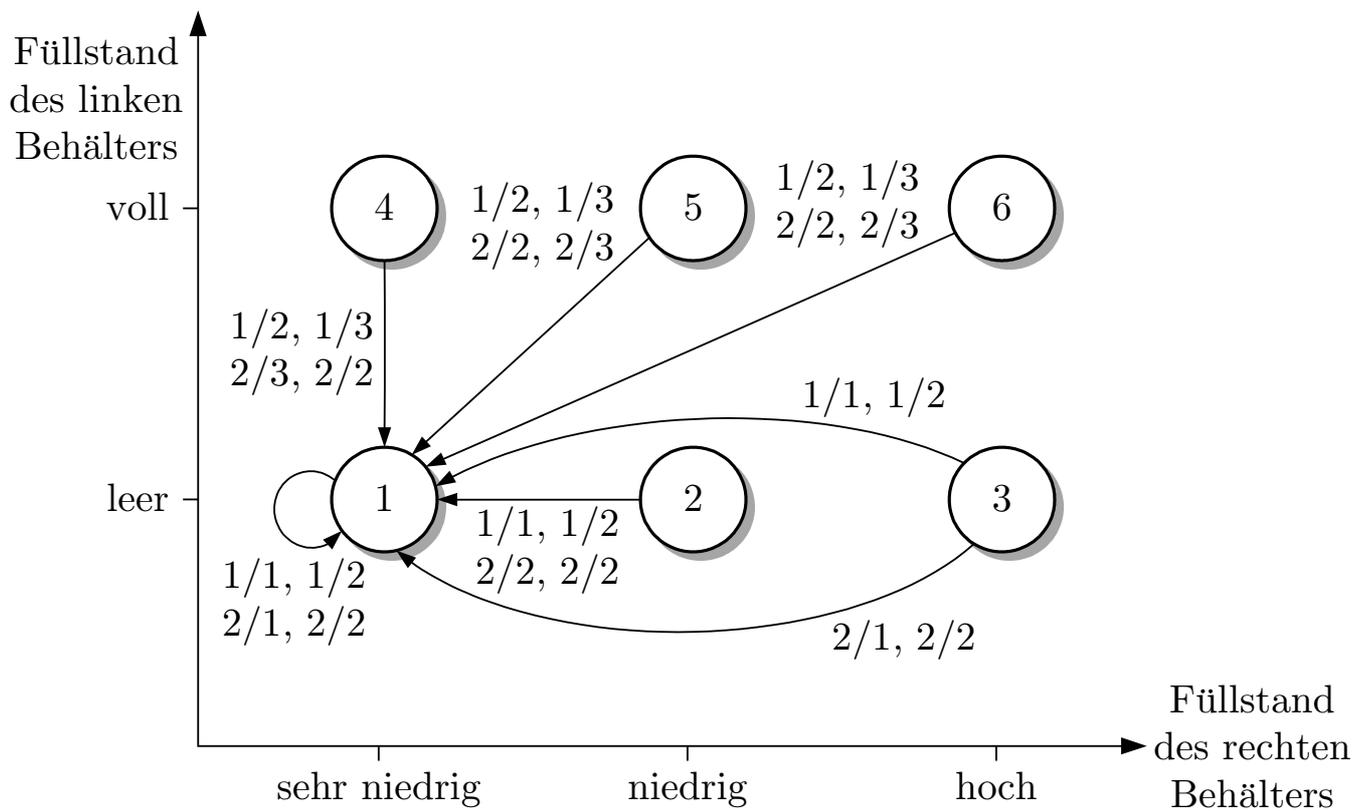


Abb. 16.3: Automatengraph für den Fehlerfall $f = 1$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

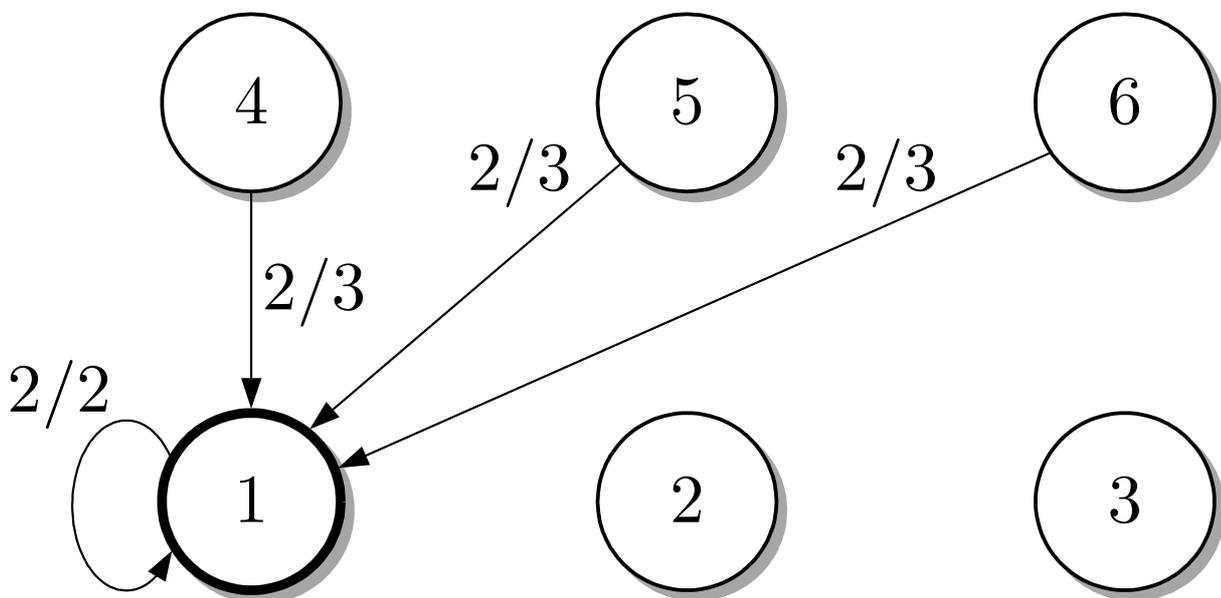
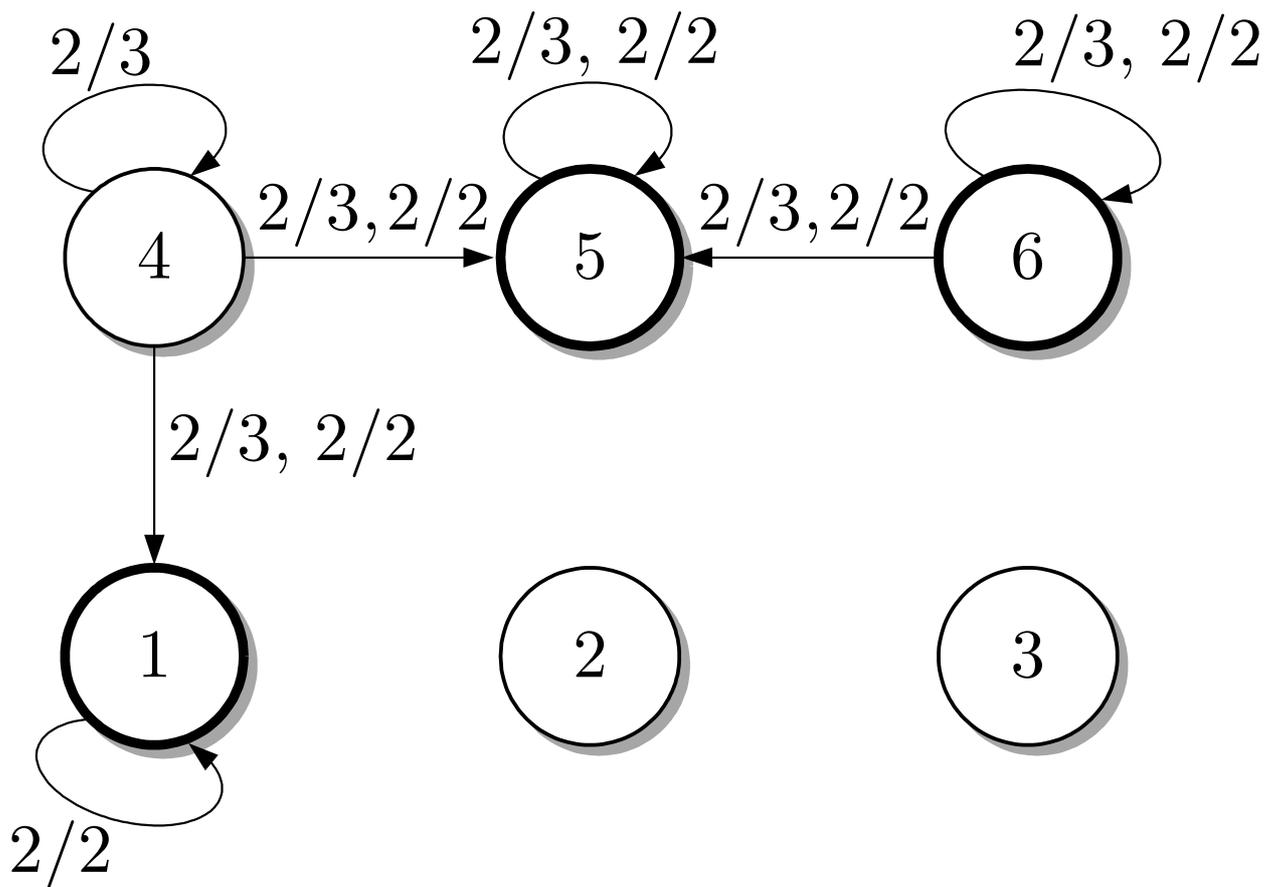


Abb. 16.4: Teile des Automatengraphen, die für die Lösung der Diagnoseaufgabe wesentlich sind

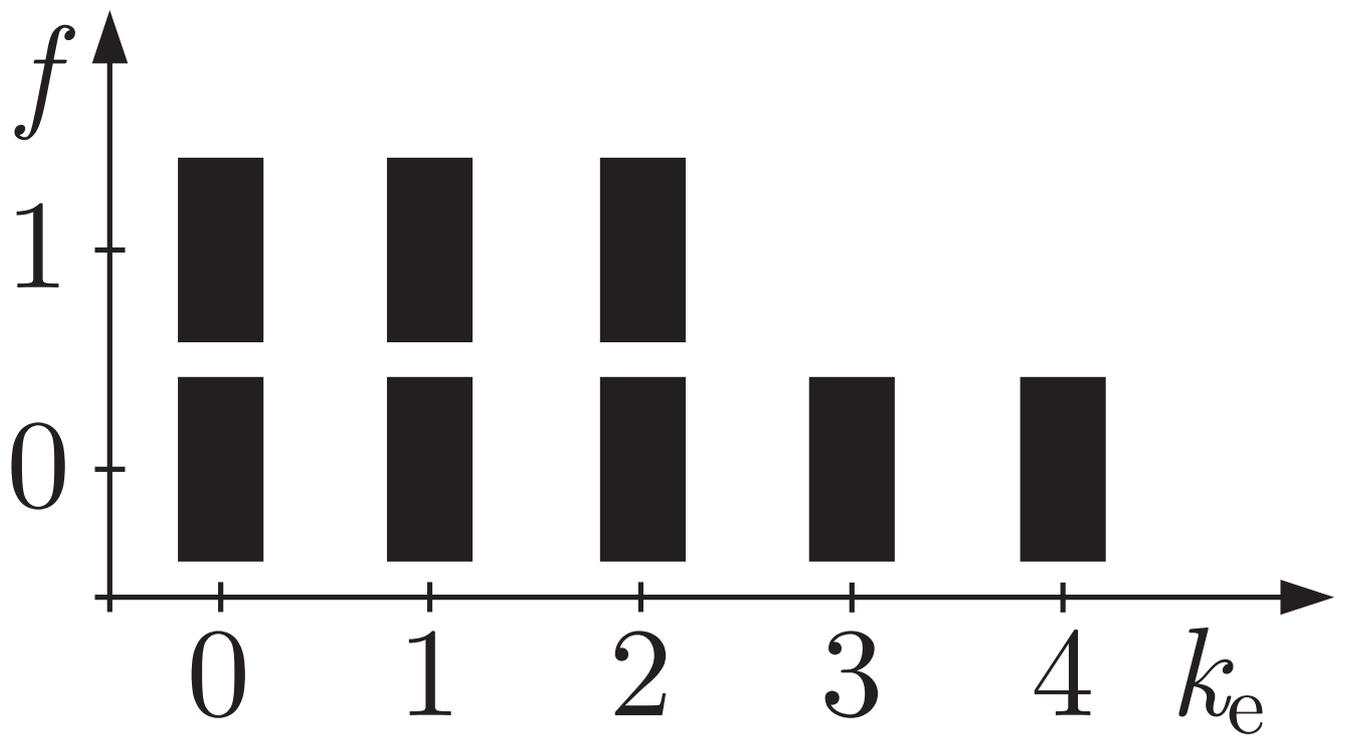


Abb. 16.5: Diagnoseergebnis für $v = 2$ und $f = 0$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

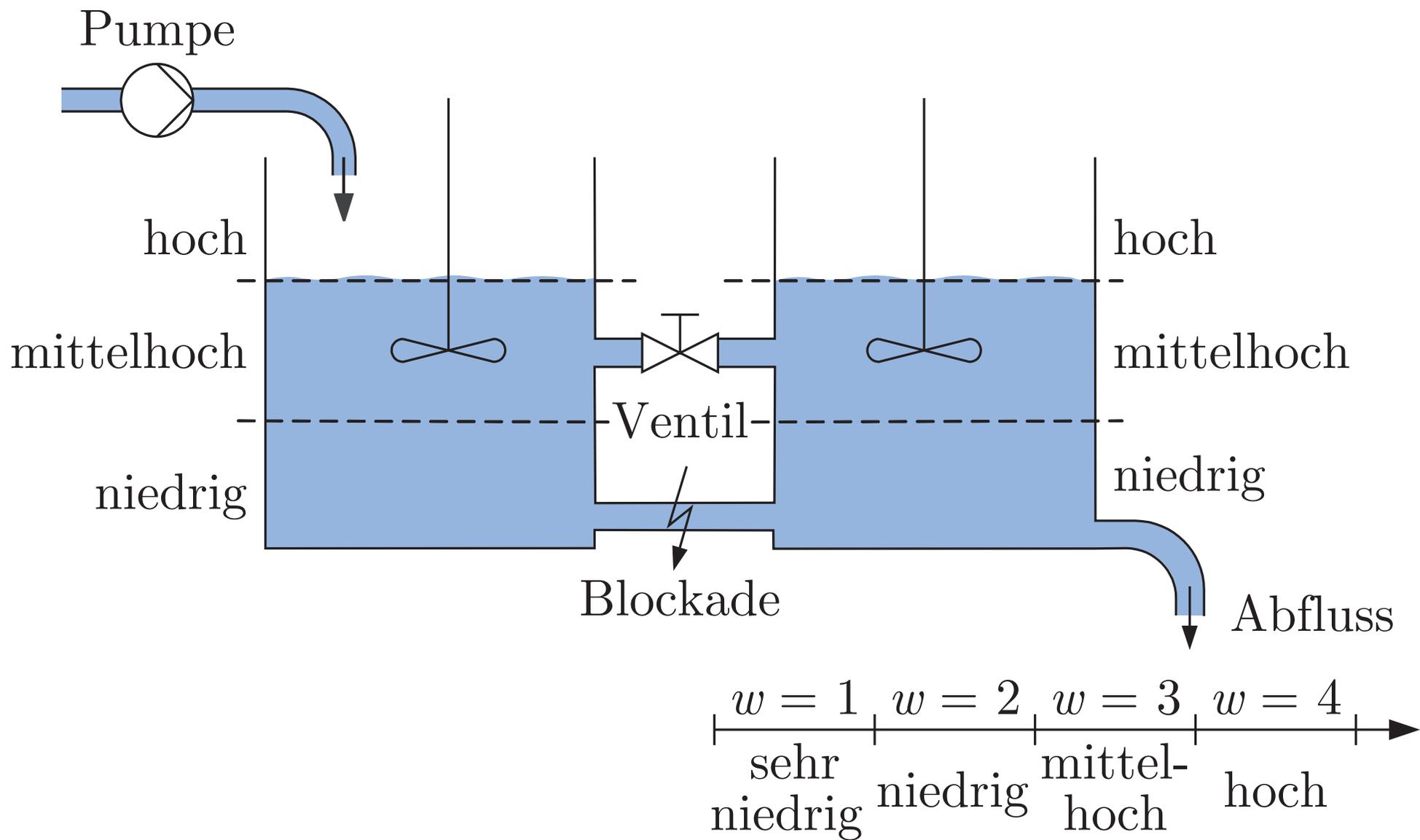


Abb. 16.6. Zwei gekoppelte Reaktoren

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

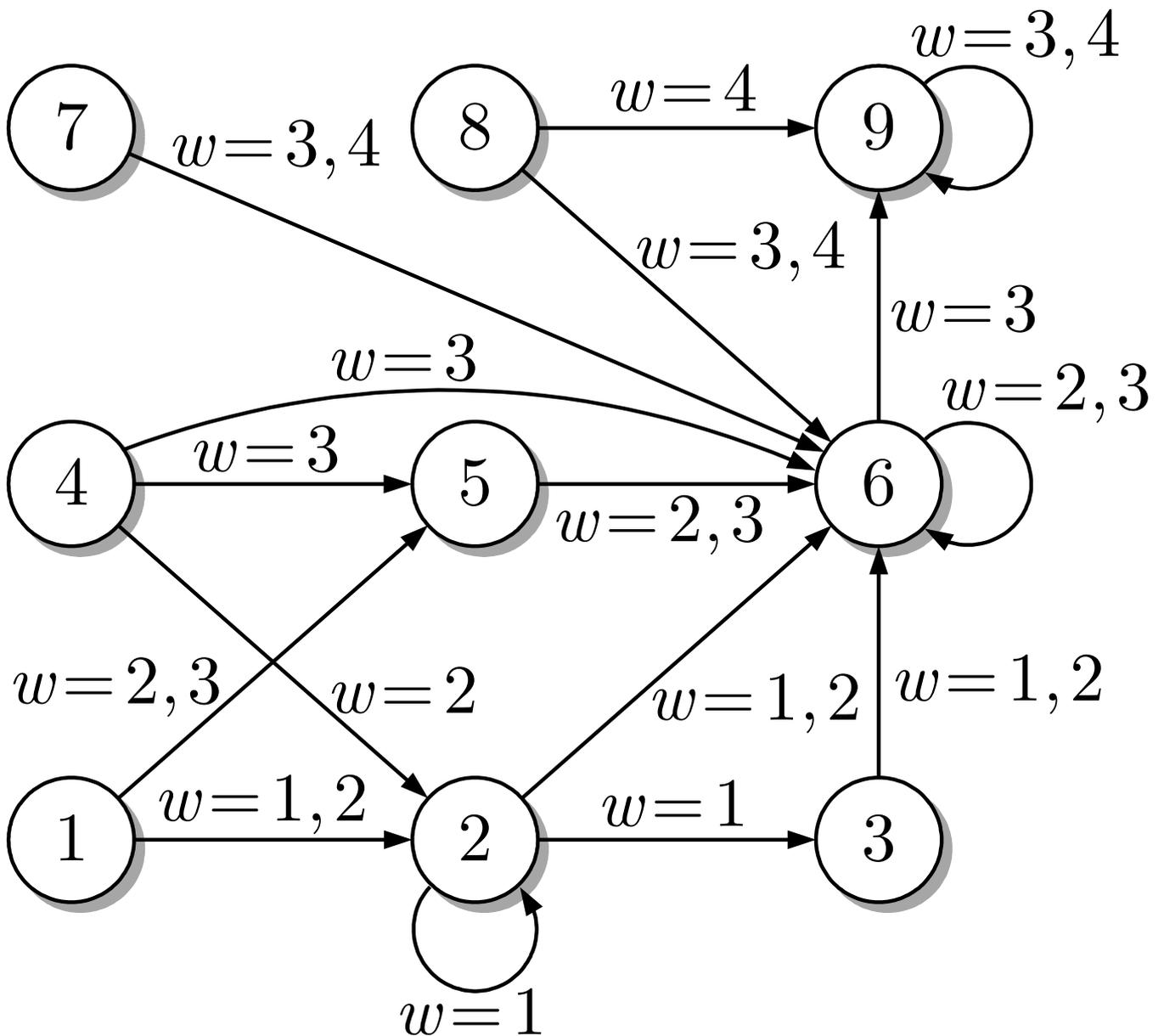


Abb. 16.7: Automatengraph der fehlerfreien Reaktoren

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

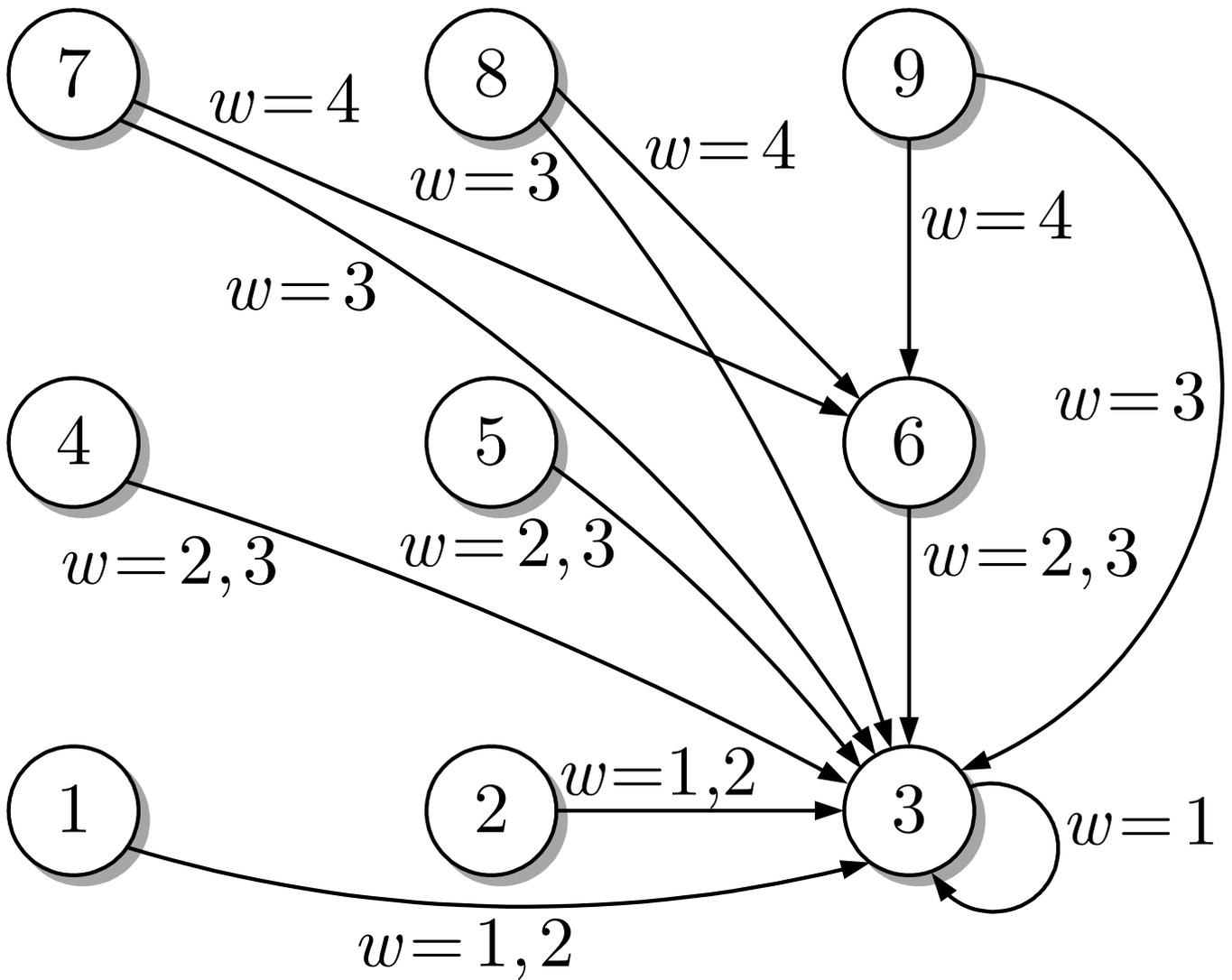


Abb. 16.7: Automatengraph der Reaktoren mit blockiertem Verbindungsrohr

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

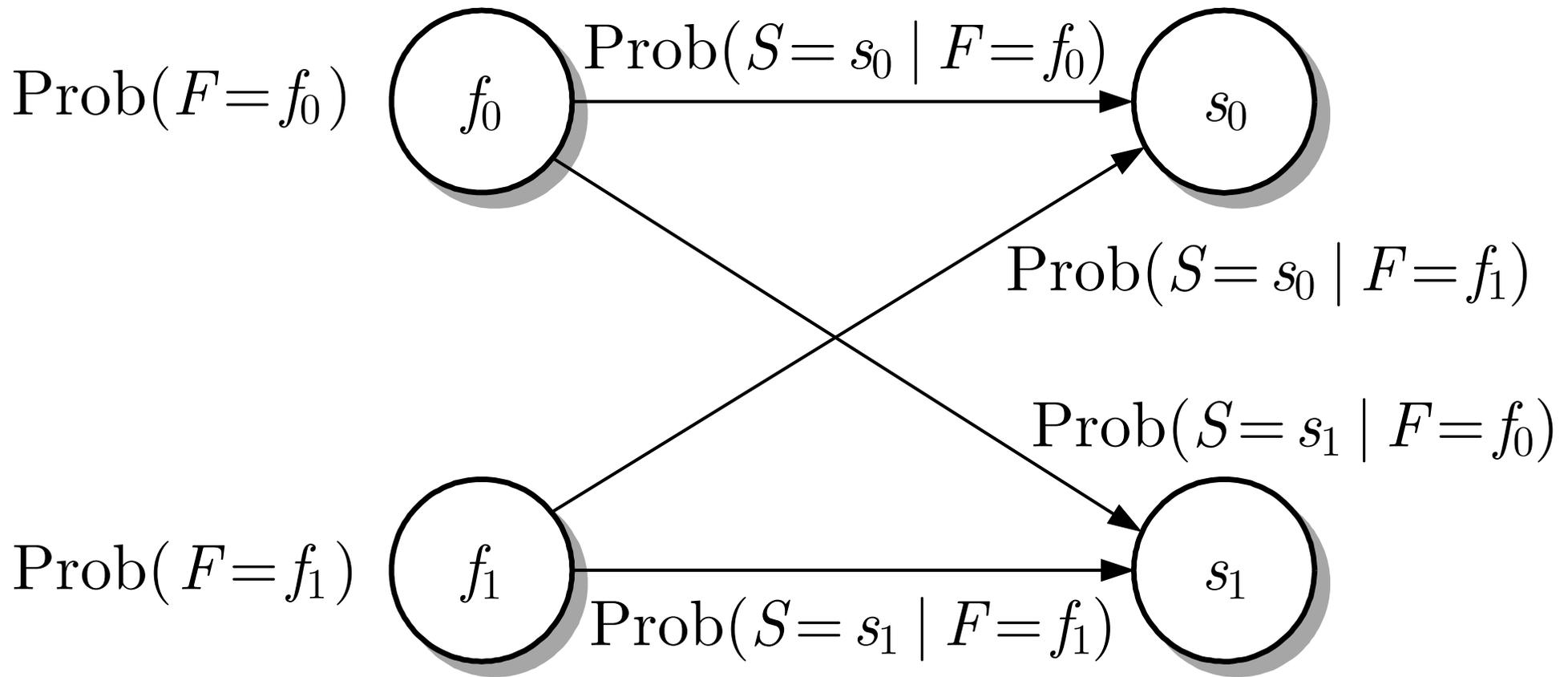


Abb. 16.8. Bayesnetz für zwei Fehler und zwei Symptome

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

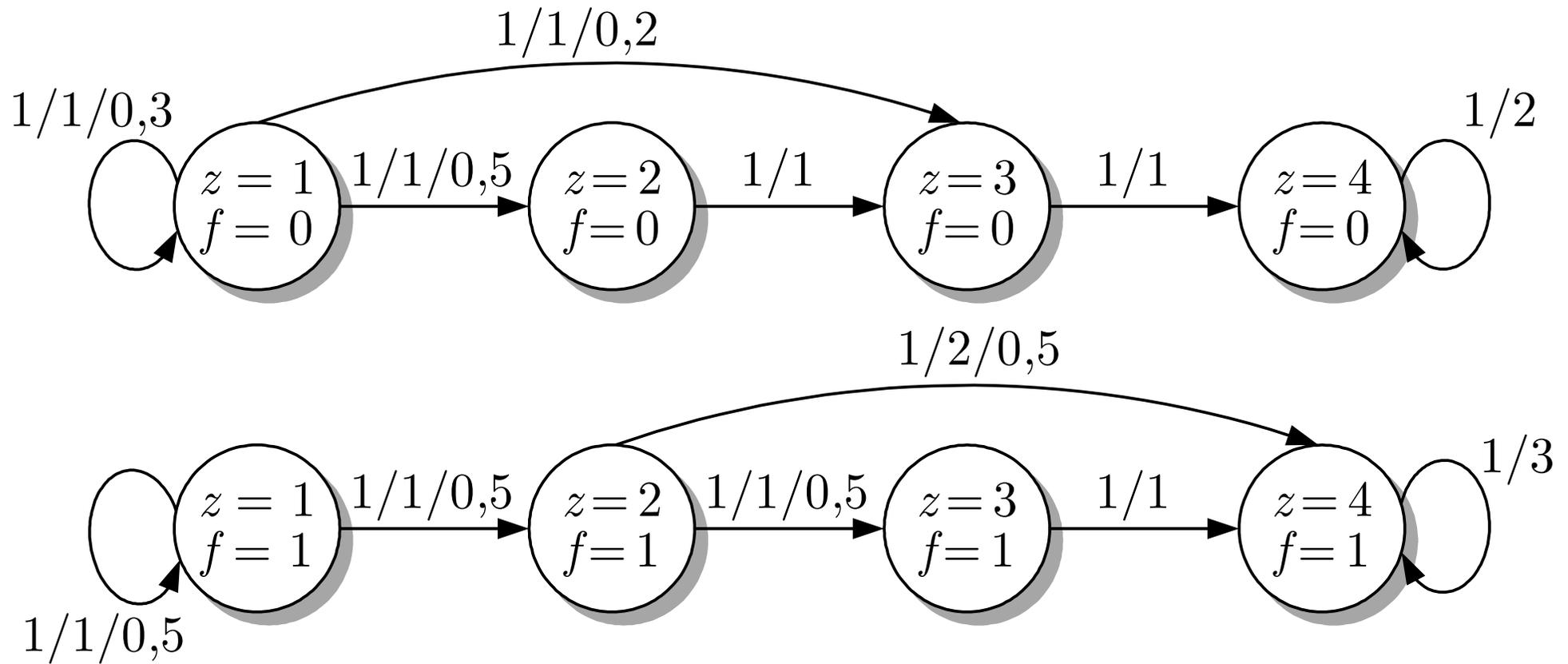


Abb. 16.9. Beschreibung des fehlerfreien und des fehlerbehafteten Systems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

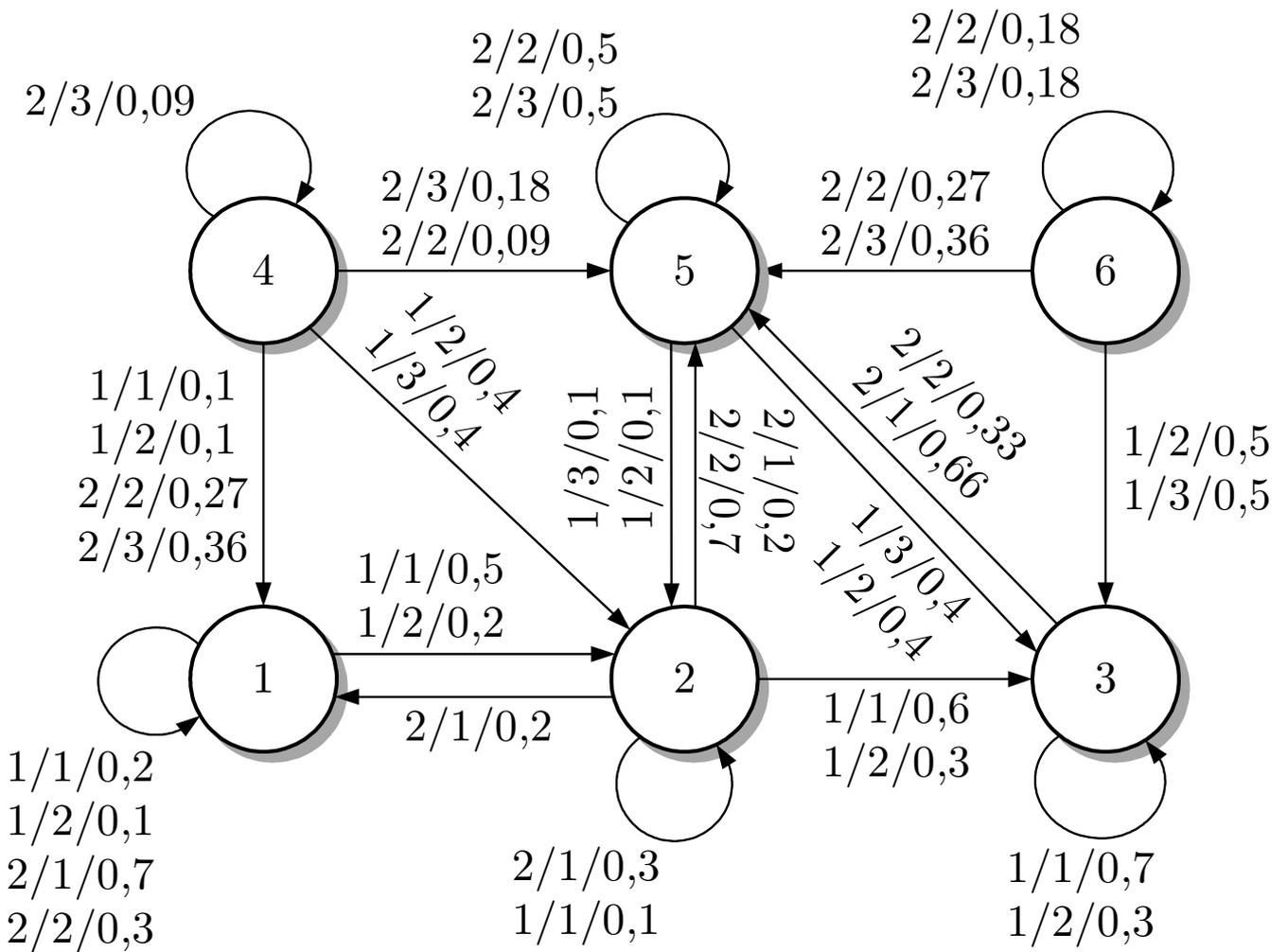


Abb. 16.10: Stochastischer Automat für den Fehler $f = 0$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

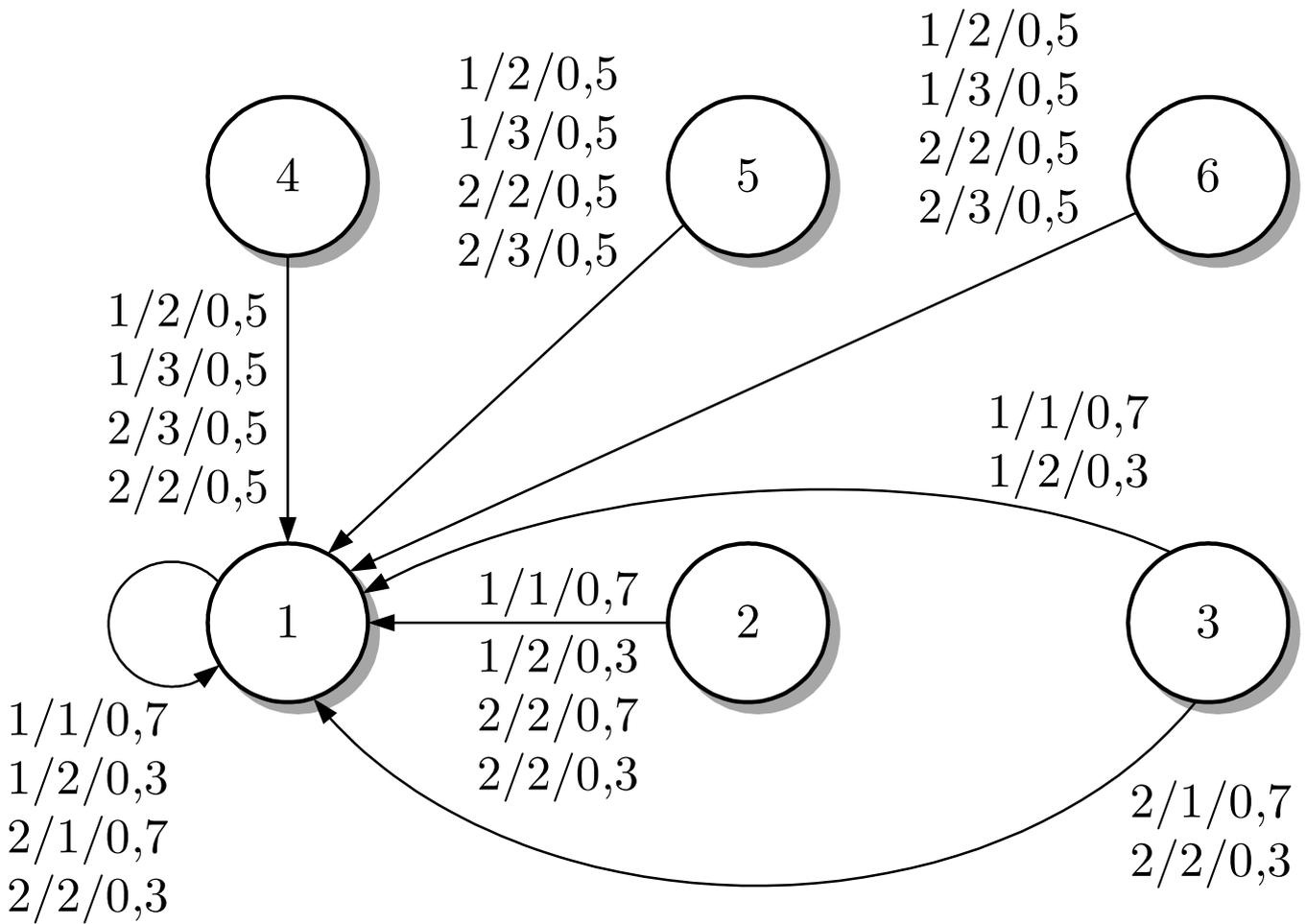


Abb. 16.10: Stochastischer Automat für den Fehler $f = 1$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

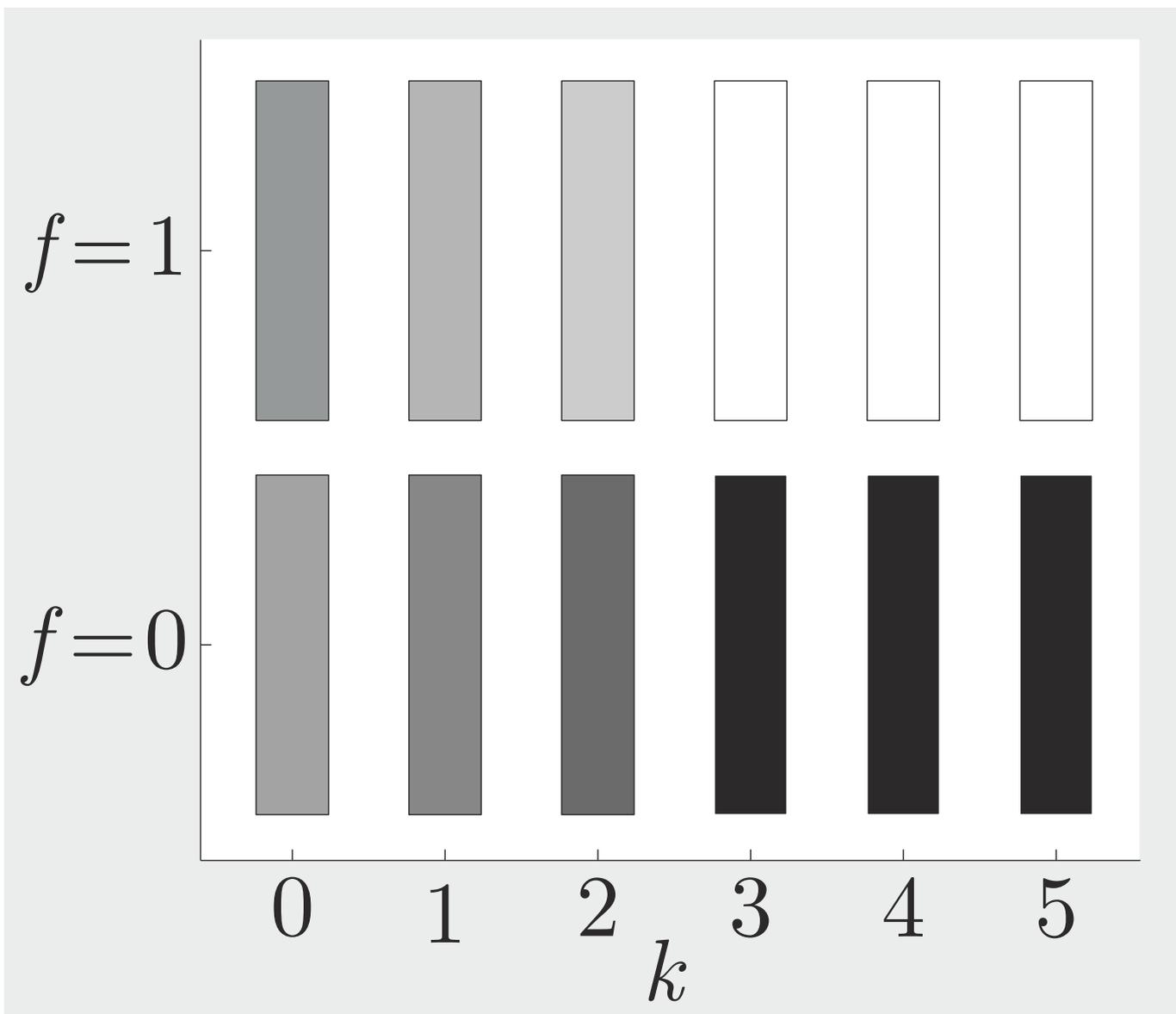


Abb. 16.11: Diagnoseergebnis für die Ausgabefolge (16.22)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

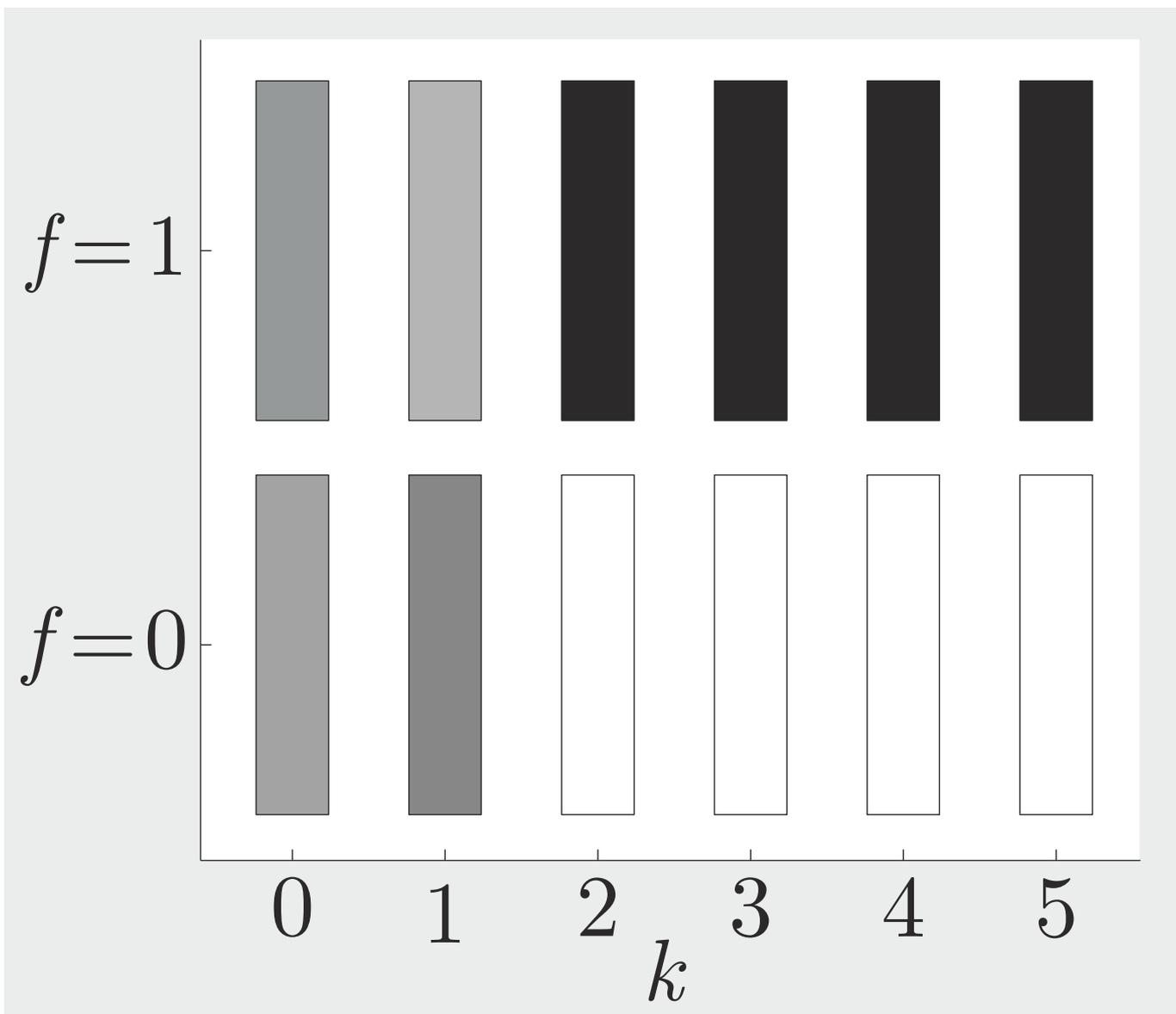


Abb. 16.11: Diagnoseergebnis für die Ausgabefolge (16.23)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

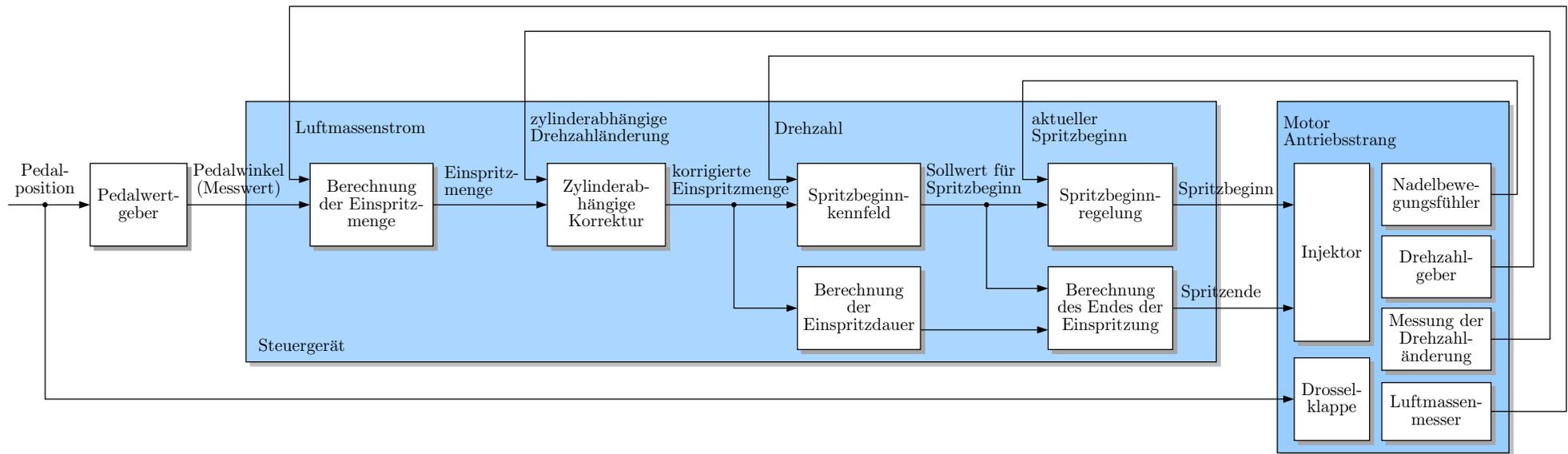


Abb. 16.12. Blockschaltbild einer Motorsteuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

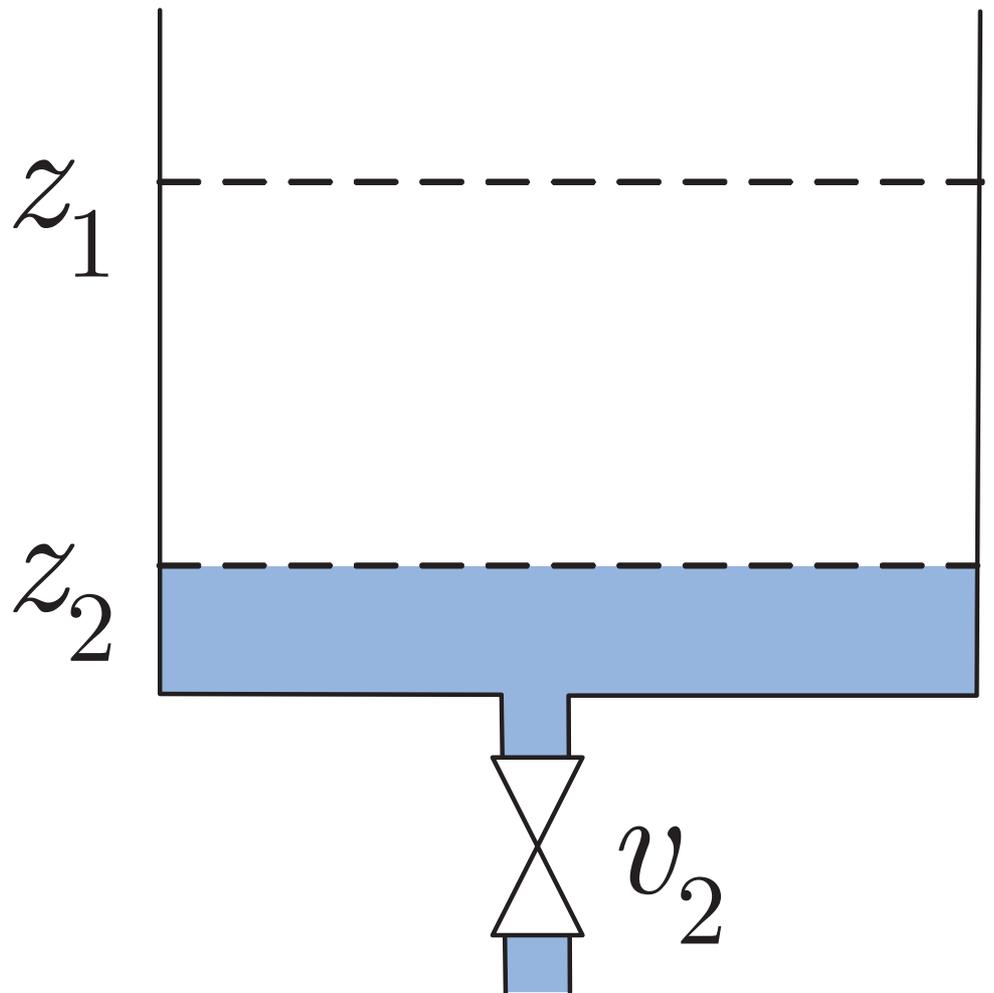
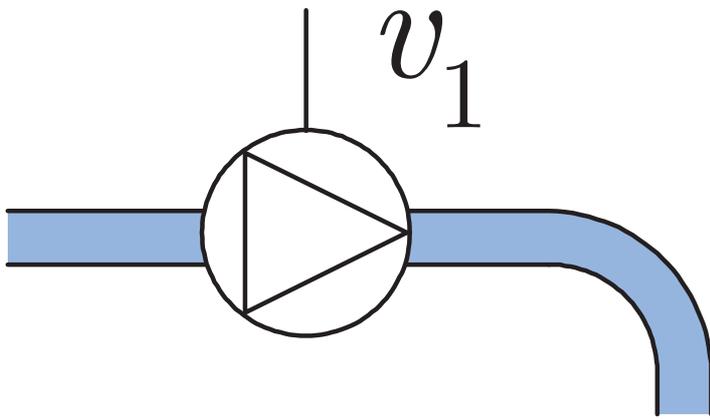


Abb. 16.13: Batchreaktor

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

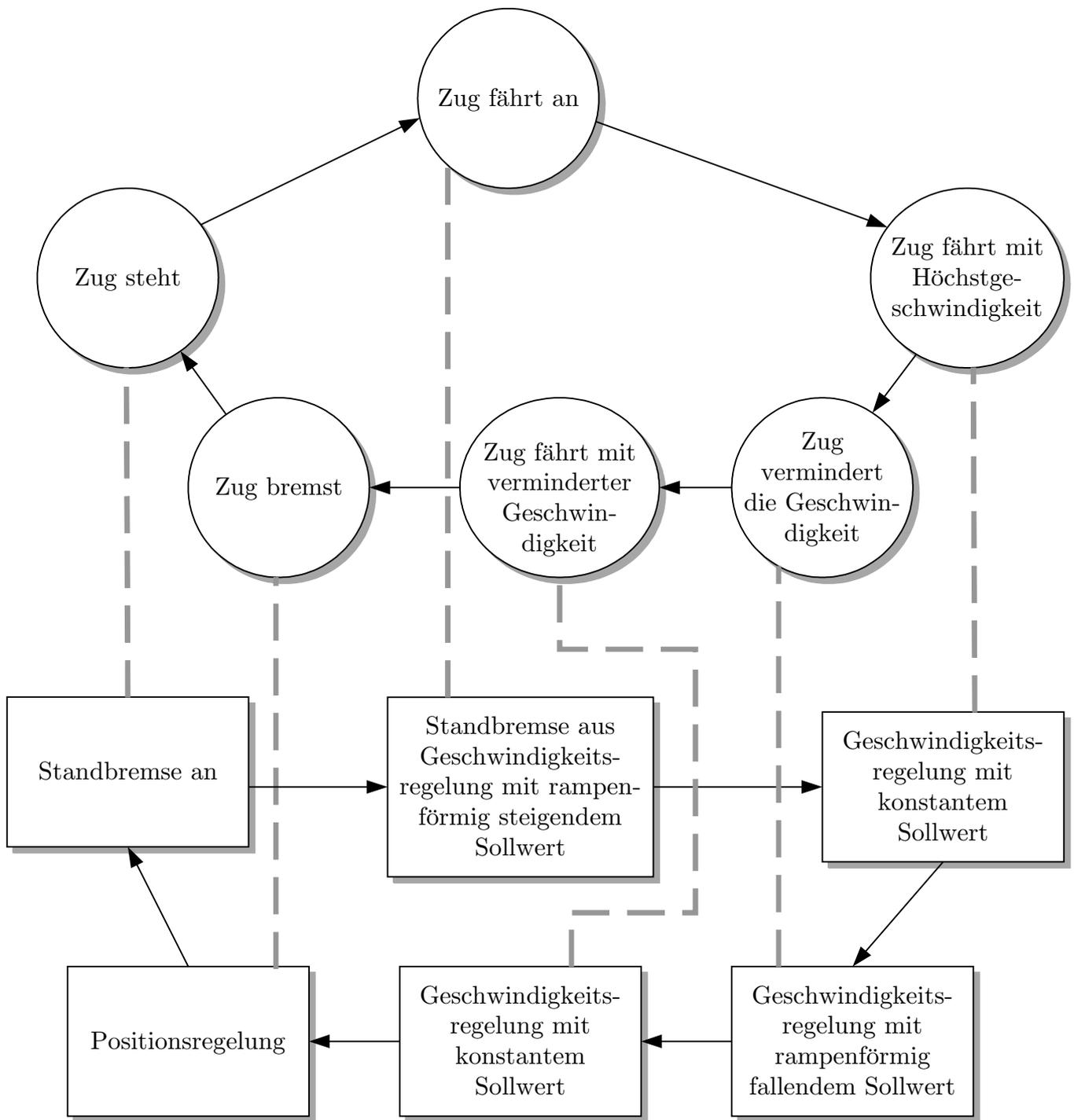


Abb. 17.1: Diskrete und kontinuierliche Steuerungen für die U-Bahn in Lille

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

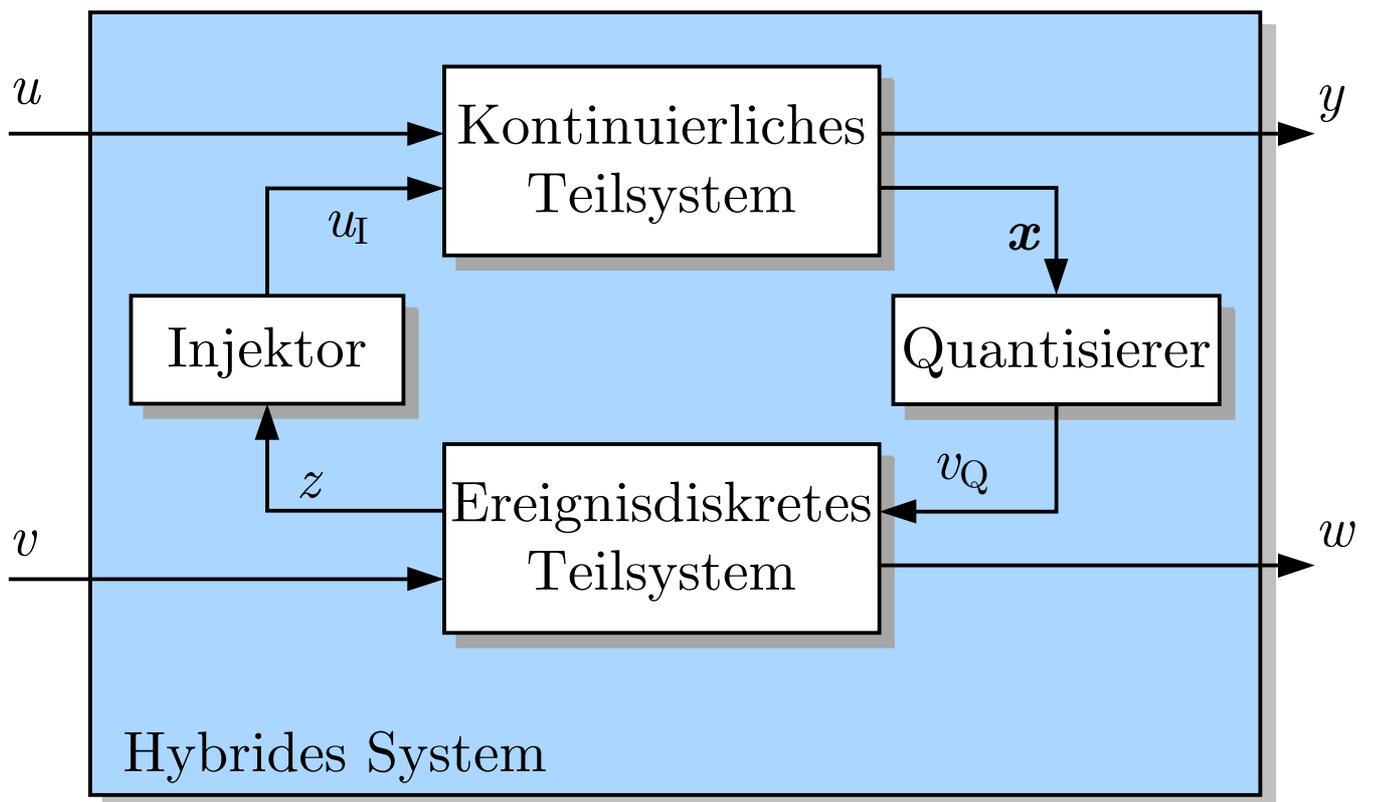


Abb. 17.2: Hybrides dynamisches System

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

Umschaltbedingung $h_{21}(\mathbf{x}, u) \leq 0$
diskrete Eingabe v

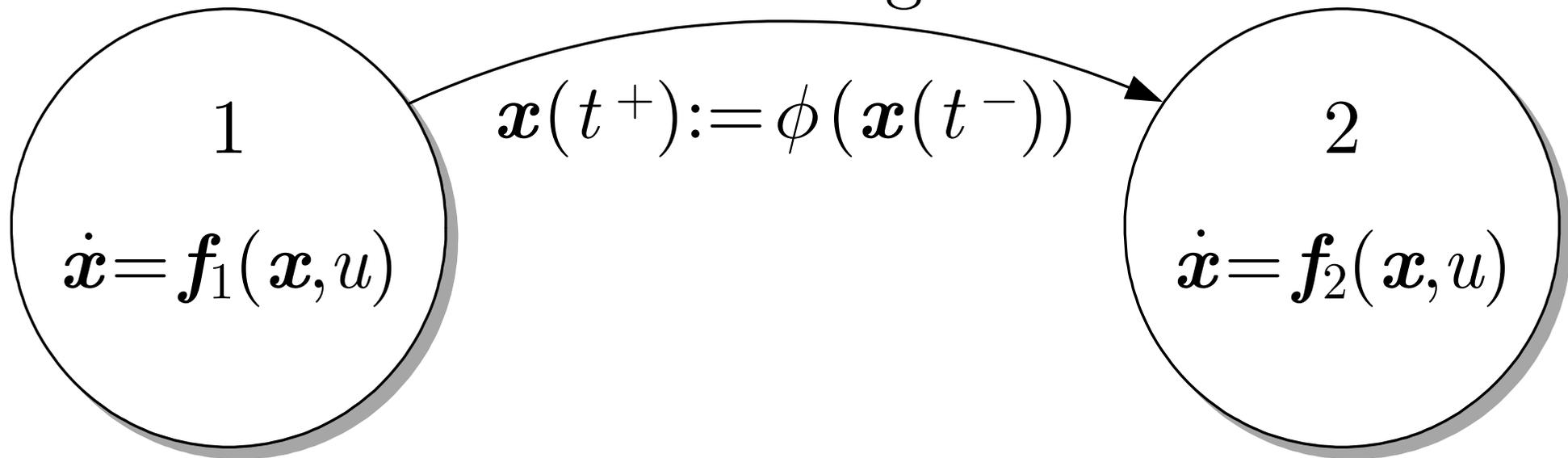


Abb. 17.3. Ausschnitt aus dem Automatengraphen eines hybriden Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

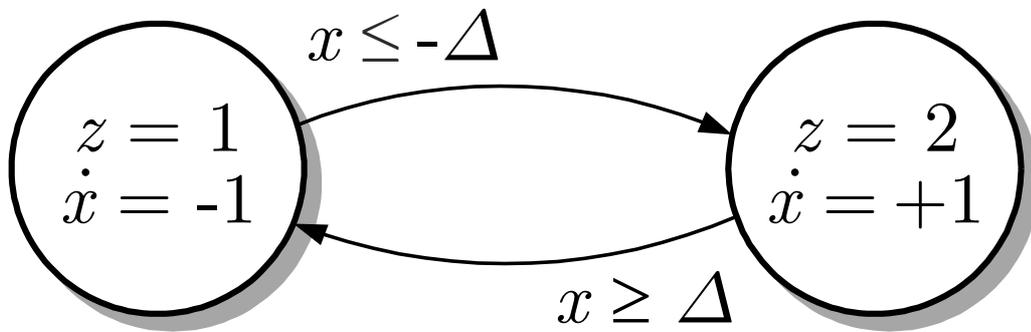
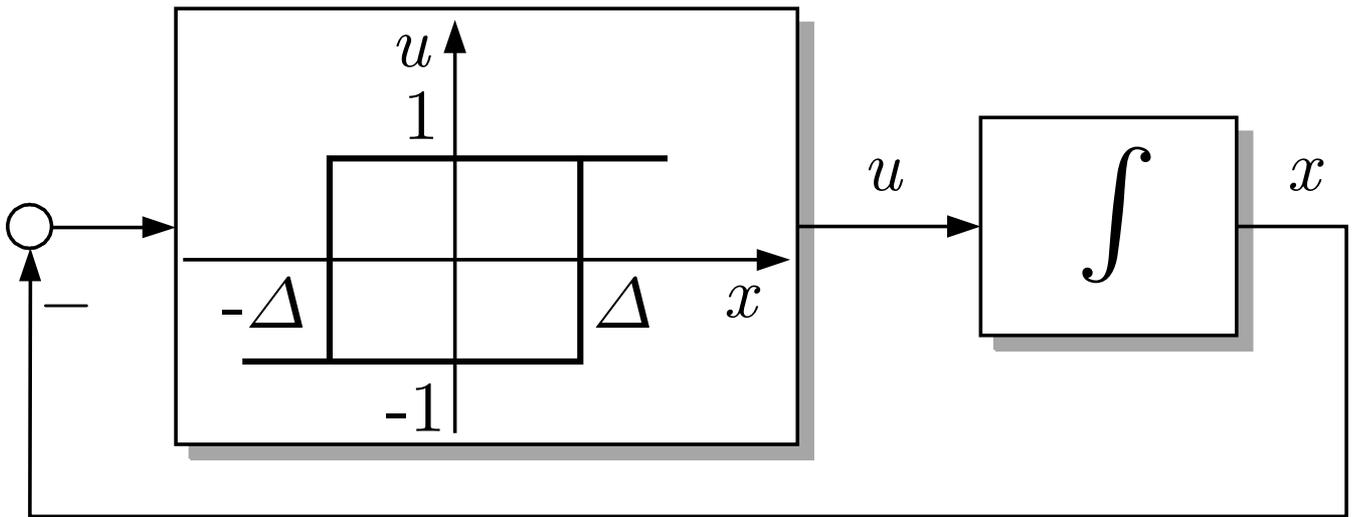
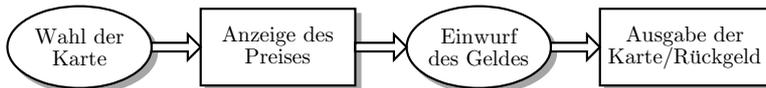


Abb. 17.4: Zweipunktregelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

1. Fahrkartenautomat



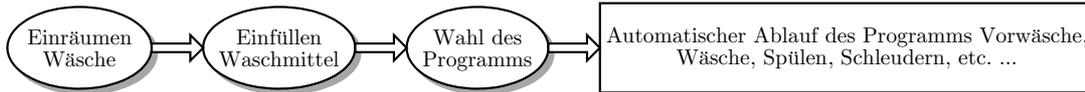
Geldautomat



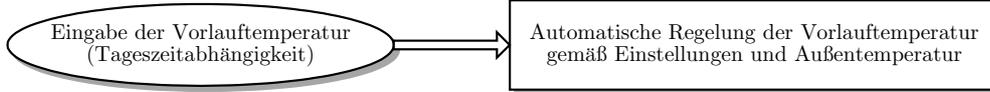
2. Digitalkamera



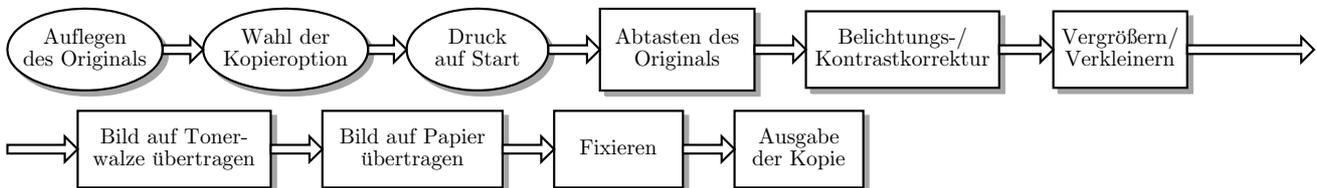
3. Waschmaschine



4. Heizungsanlage



5. Kopiermaschine



6. Spielautomat

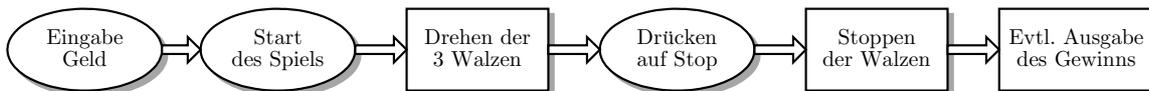


Abb. A.1: Funktionsablauf verschiedener Geräte des täglichen Lebens

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

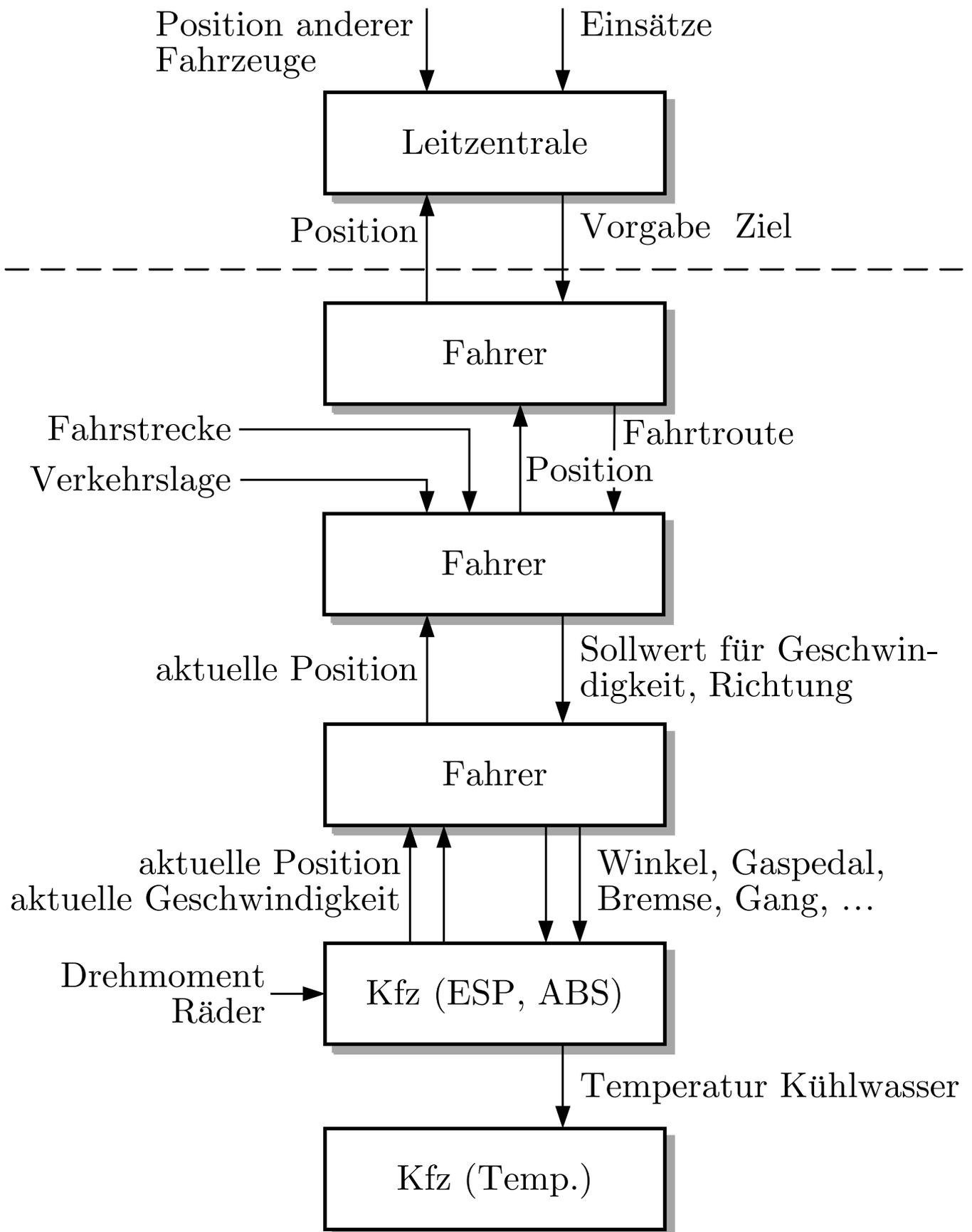


Abb. A.2: Automatisierungsebenen beim Autofahren

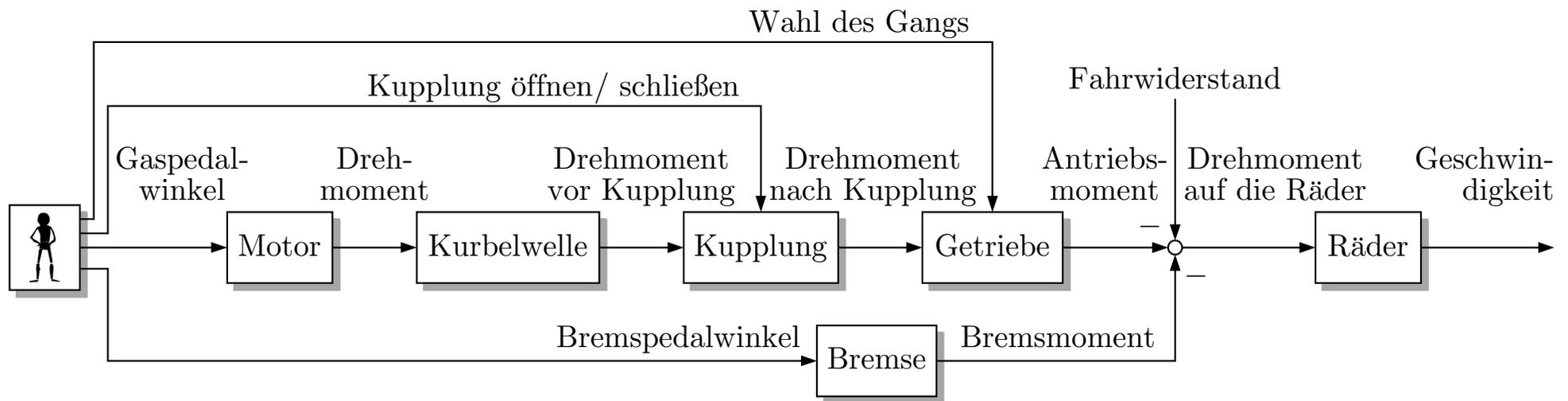


Abb. A.3. Blockschaltbild des Antriebsstrangs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

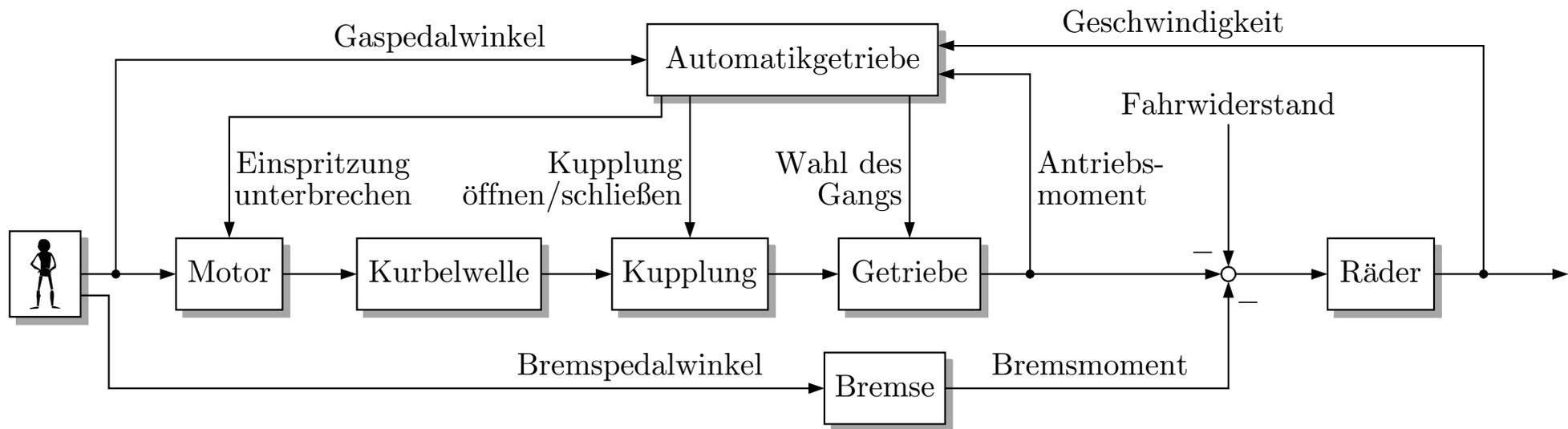


Abb. A.4. Blockschaltbild mit Automatikgetriebe

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

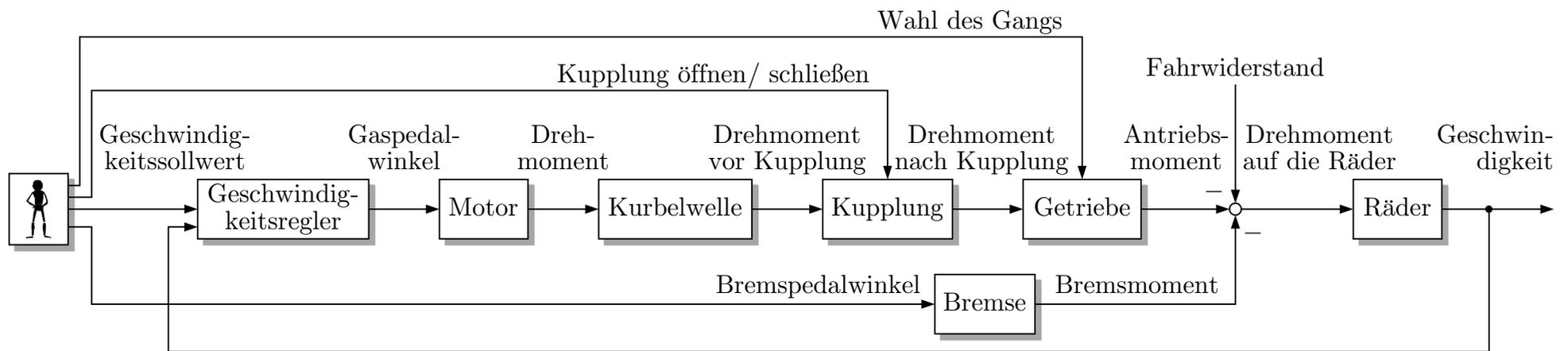


Abb. A.5. Blockschaltbild mit Geschwindigkeitsregler

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

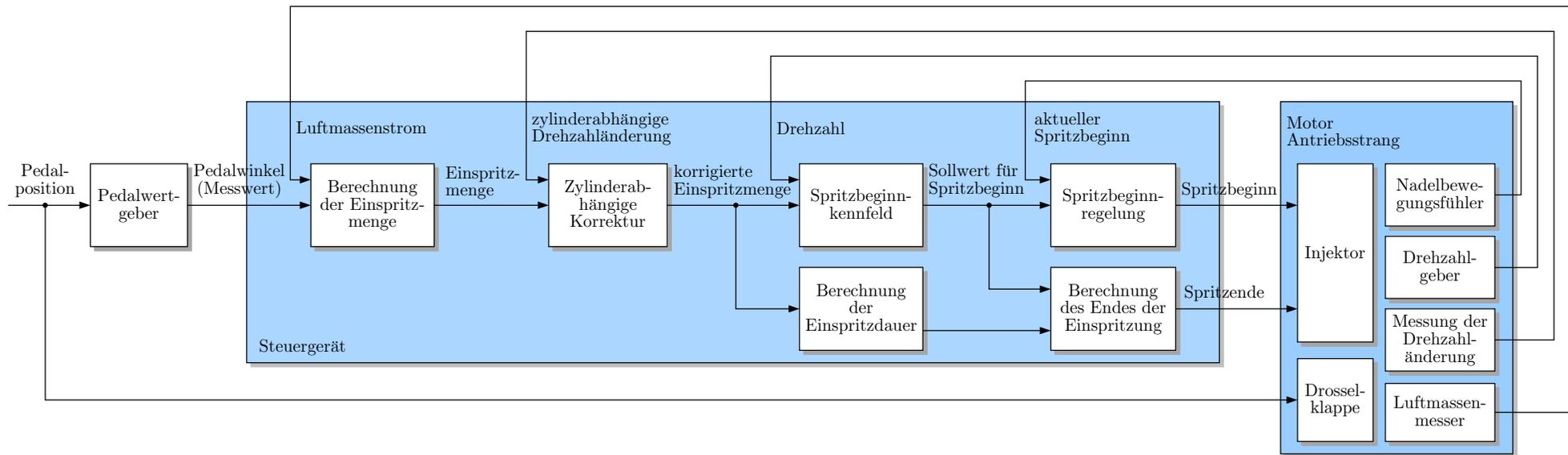


Abb. A.6. Blockschaltbild einer Motorsteuerung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

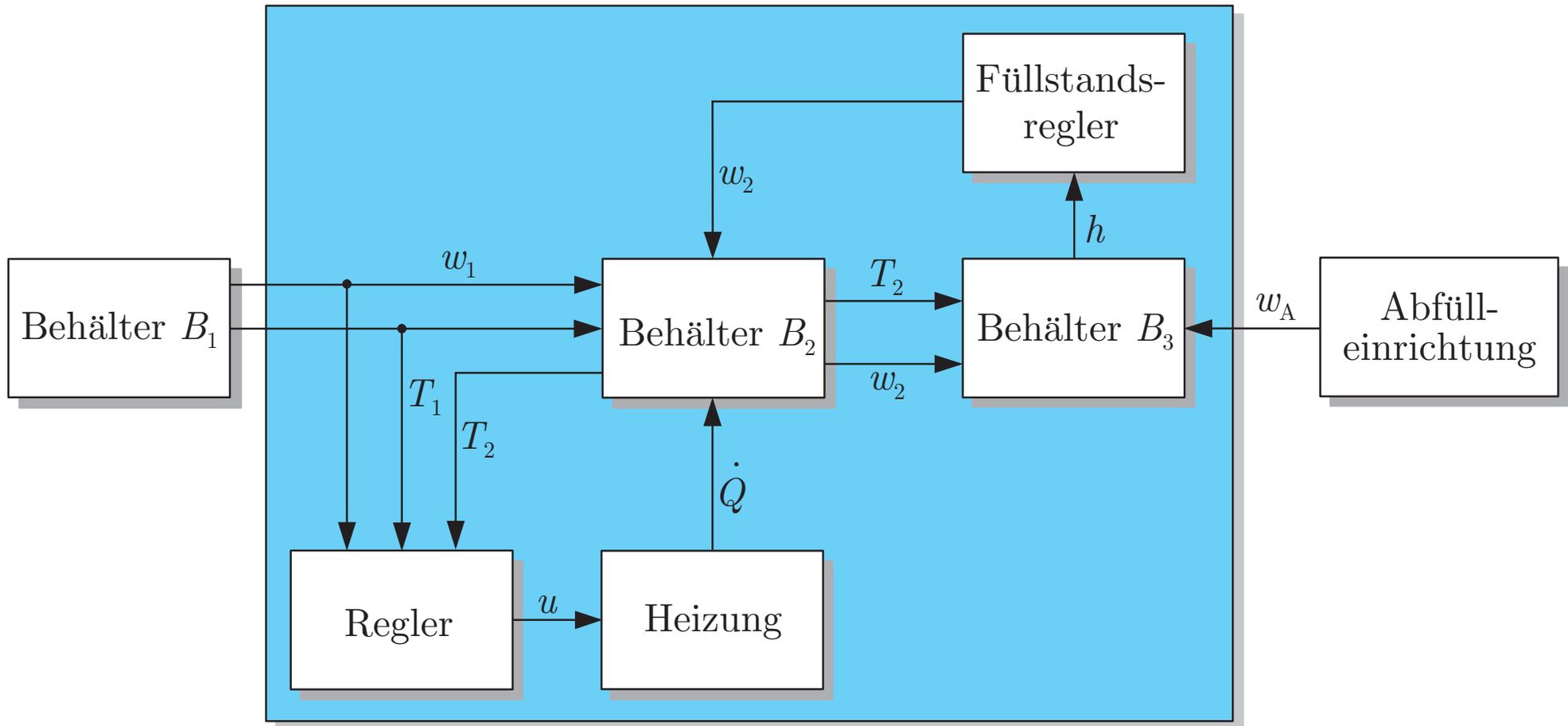


Abb. A.7. Kopplungsstruktur der erweiterten Abfüllanlage

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

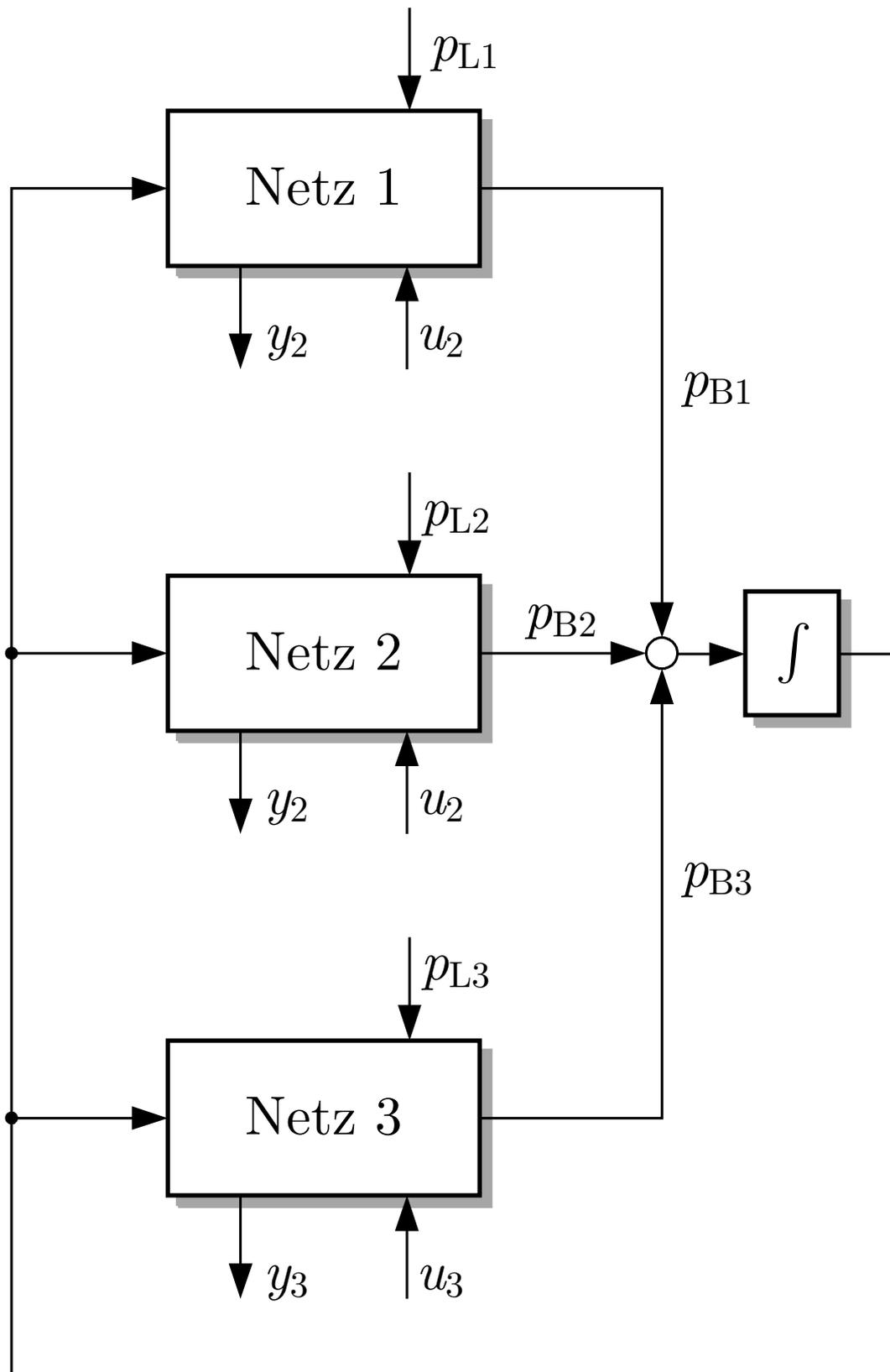


Abb. A.8. Elektroenergiesystem mit drei Teilnetzen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

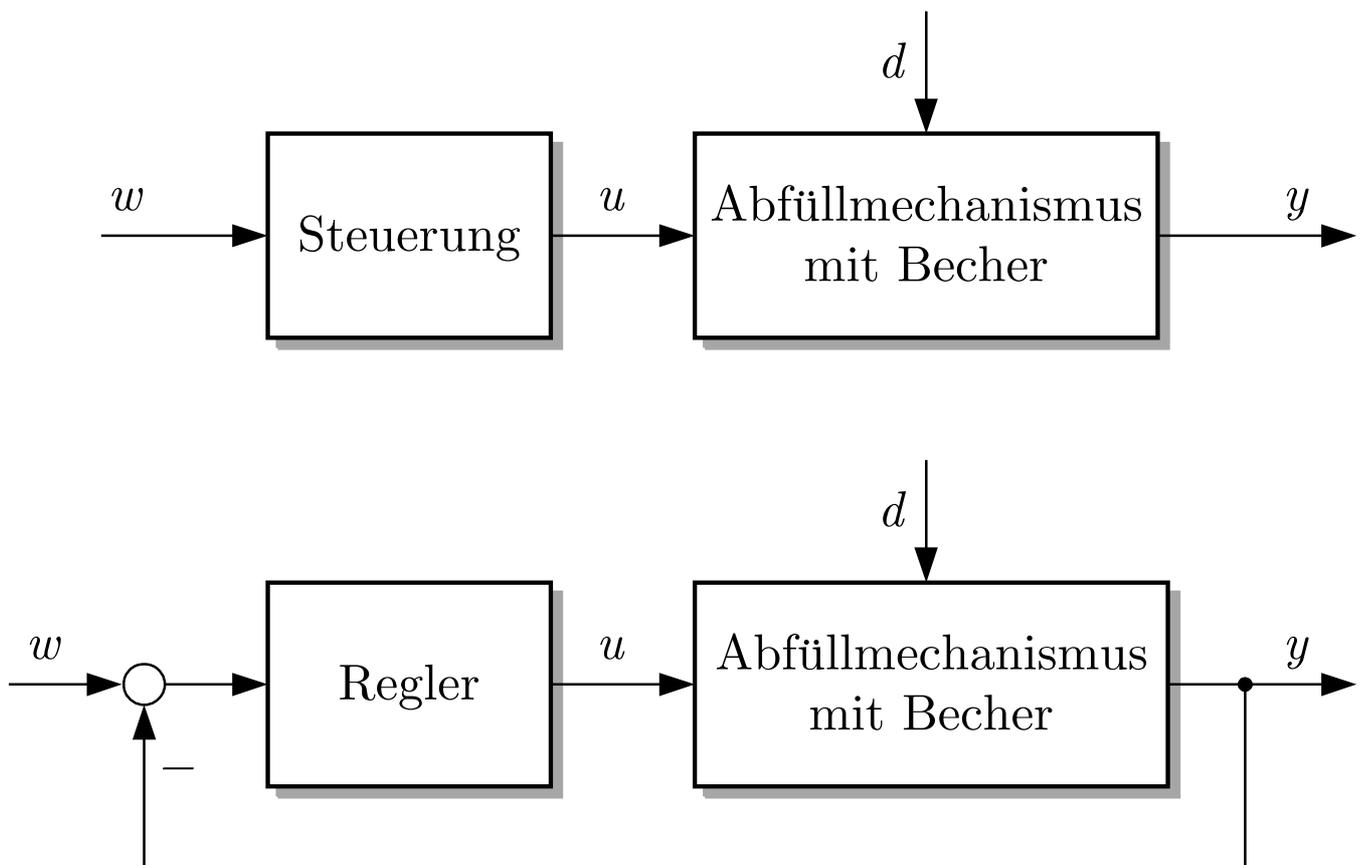


Abb. A.9: Blockschaltbild eines Kaffeeautomaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

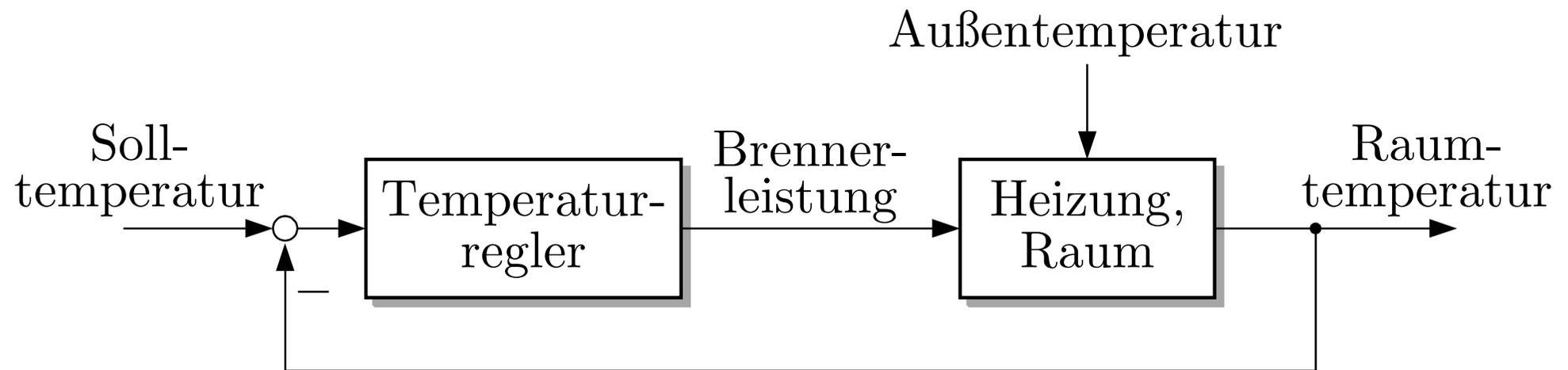


Abb. A.10. Blockschaltbild der Raumtemperaturregelung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

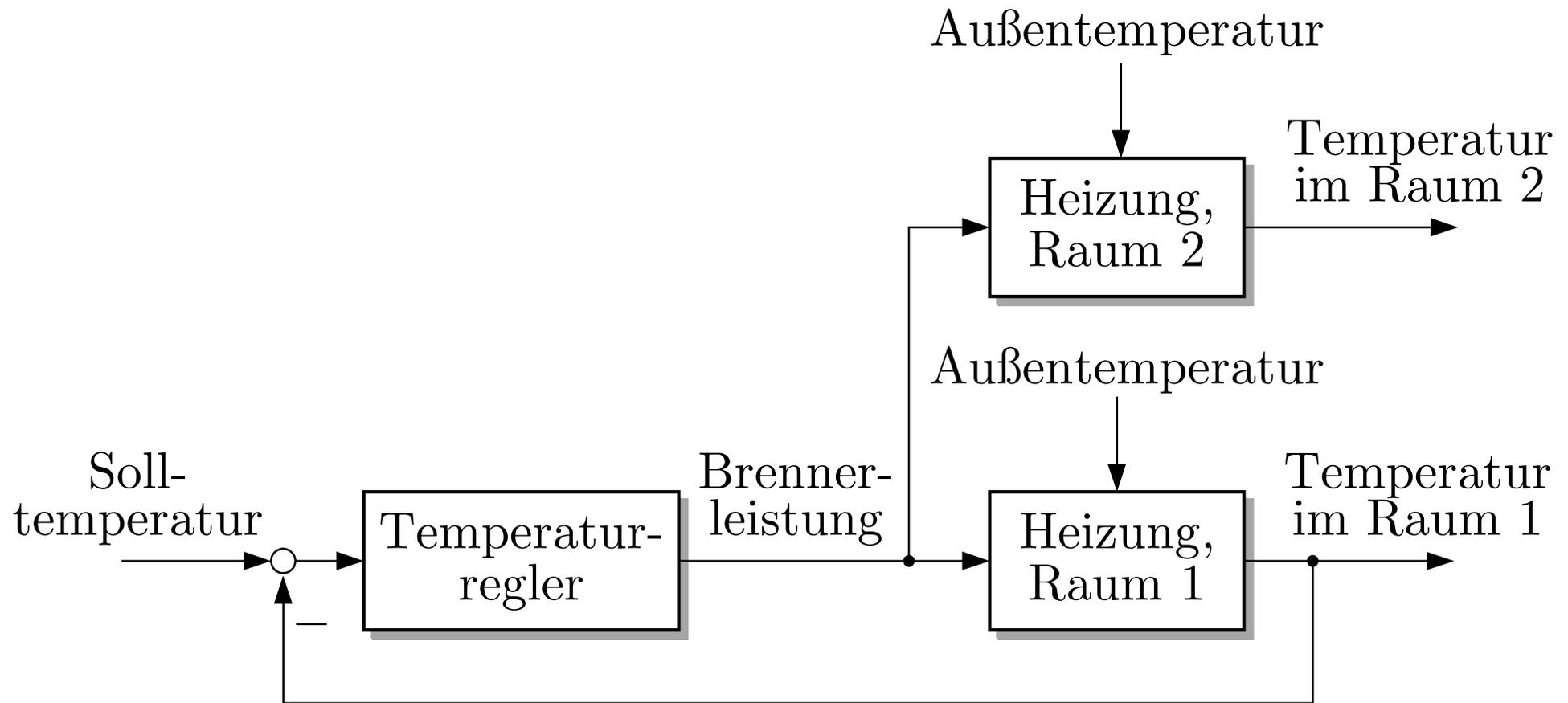


Abb. A.11. Erweitertes Blockschaltbild der Raumtemperaturregelung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

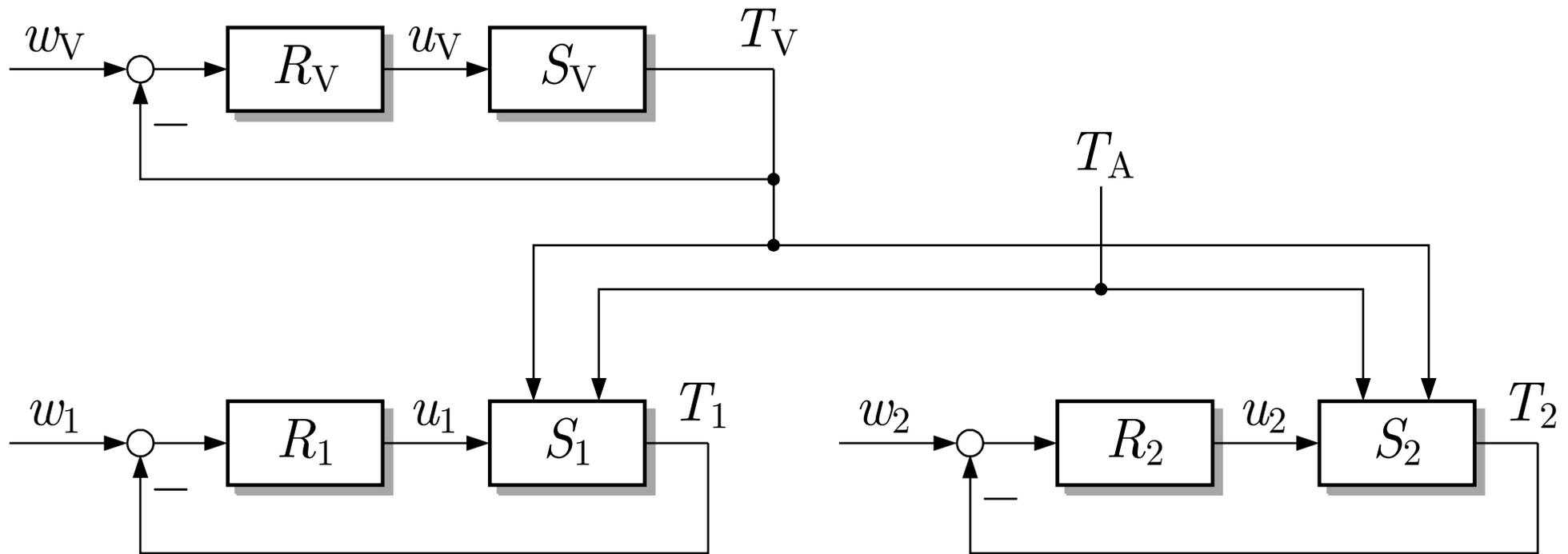


Abb. A.12. Erweitertes Blockschaltbild der Raumtemperaturregelung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

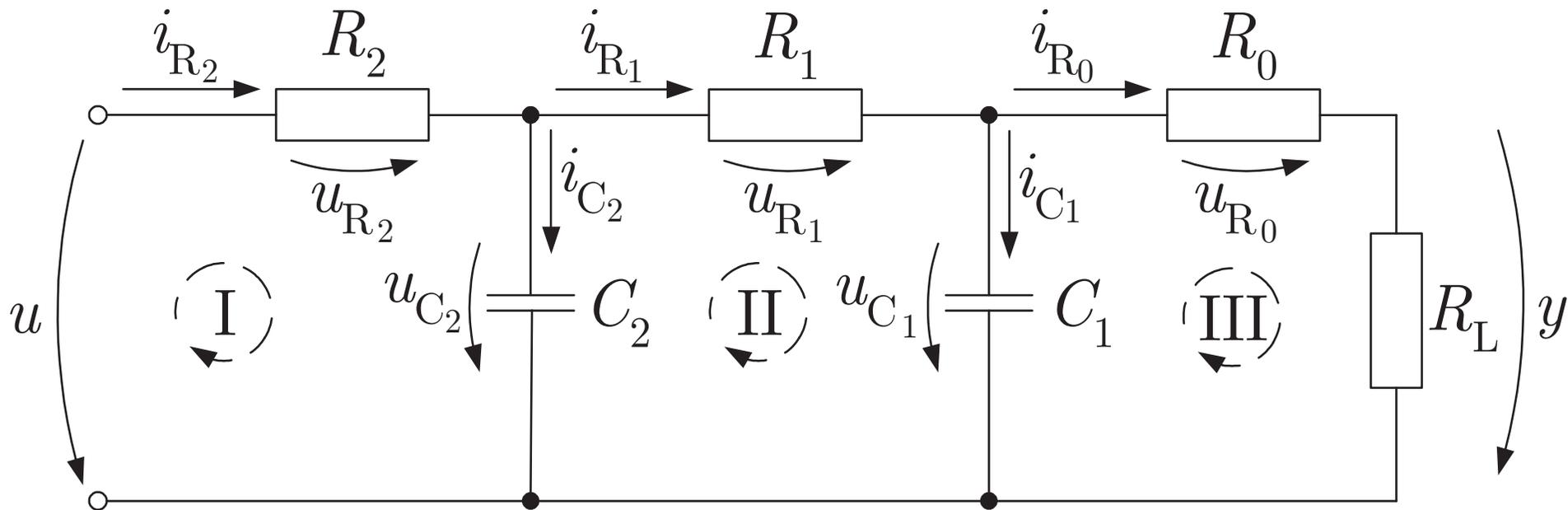


Abb. A.13. Elektrische Schaltung mit den im Modell verwendeten Spannungen und Strömen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

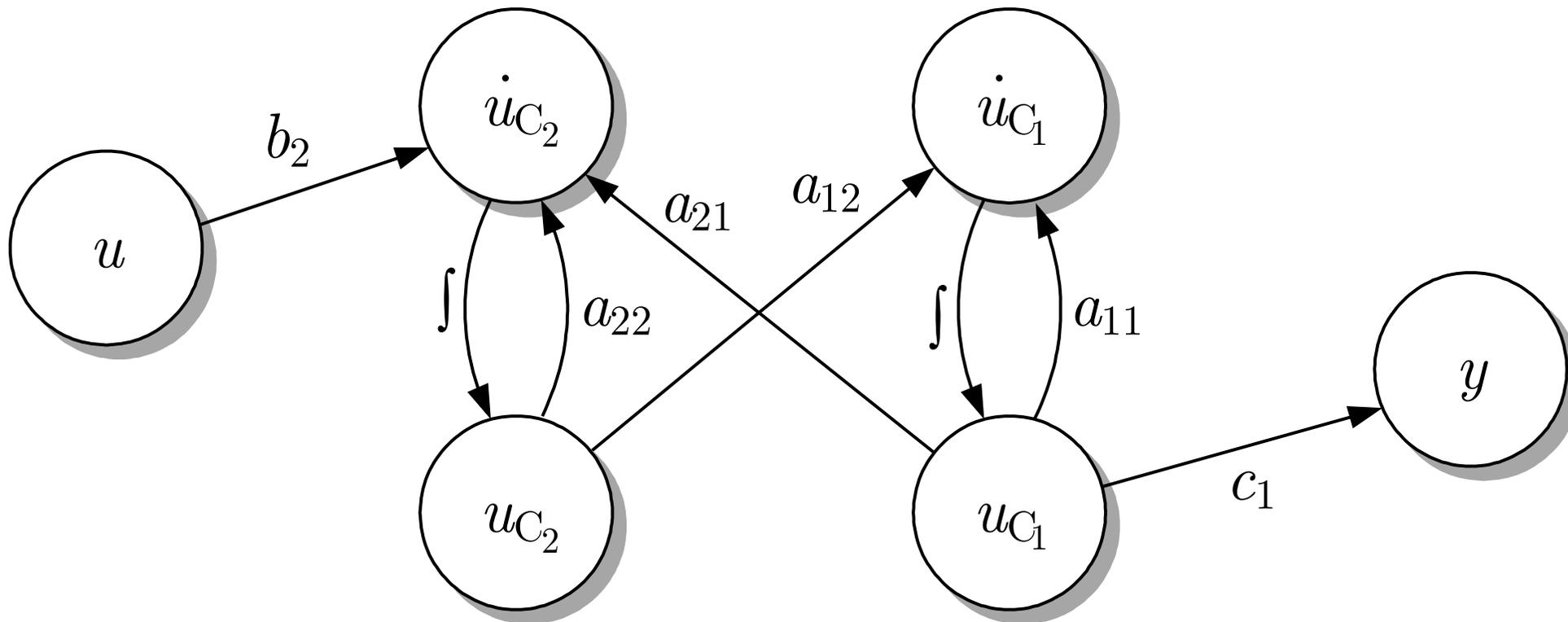


Abb. A.14. Signalflussgraph der elektrischen Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

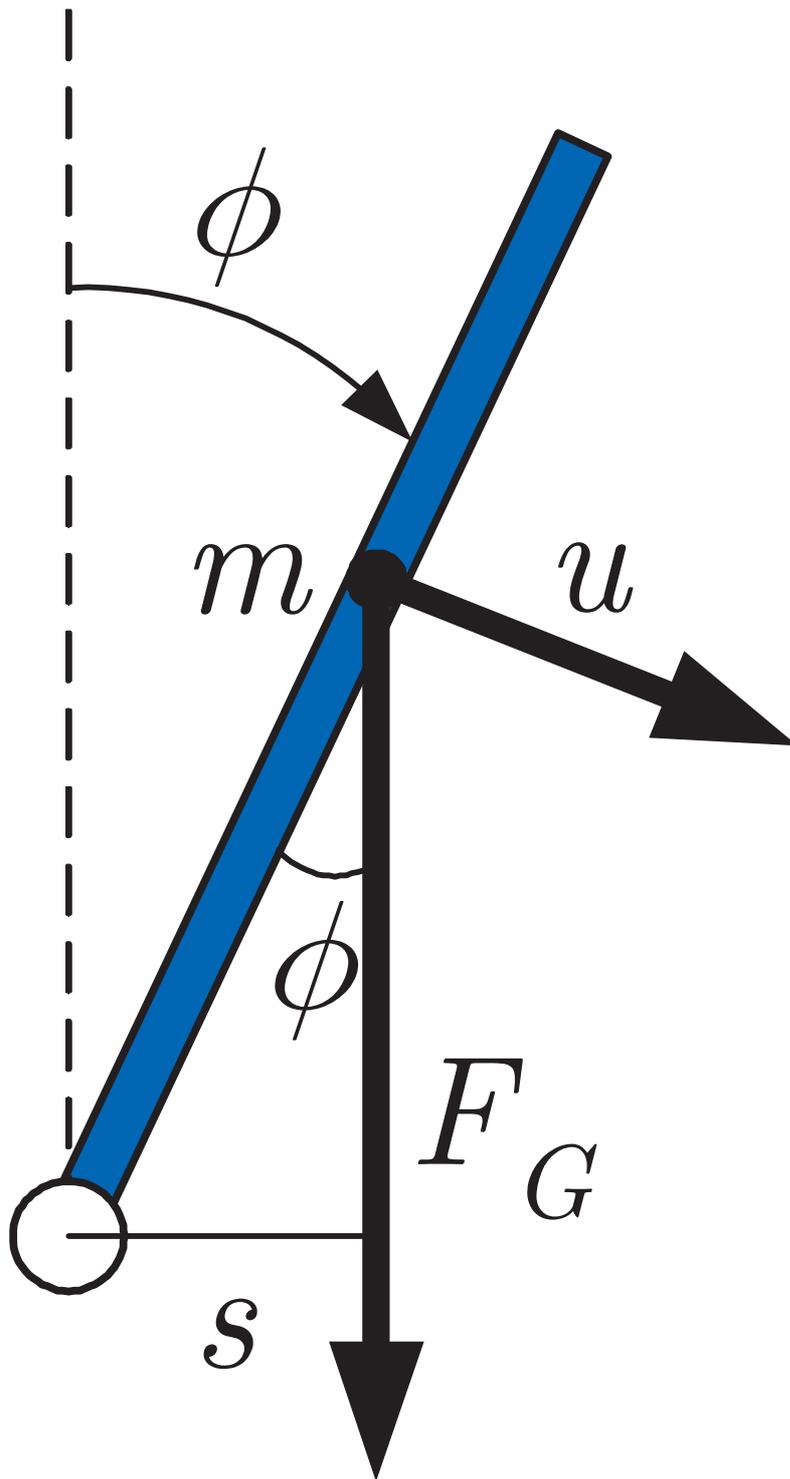


Abb. A.15. Kräfte am invertierten Pendel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

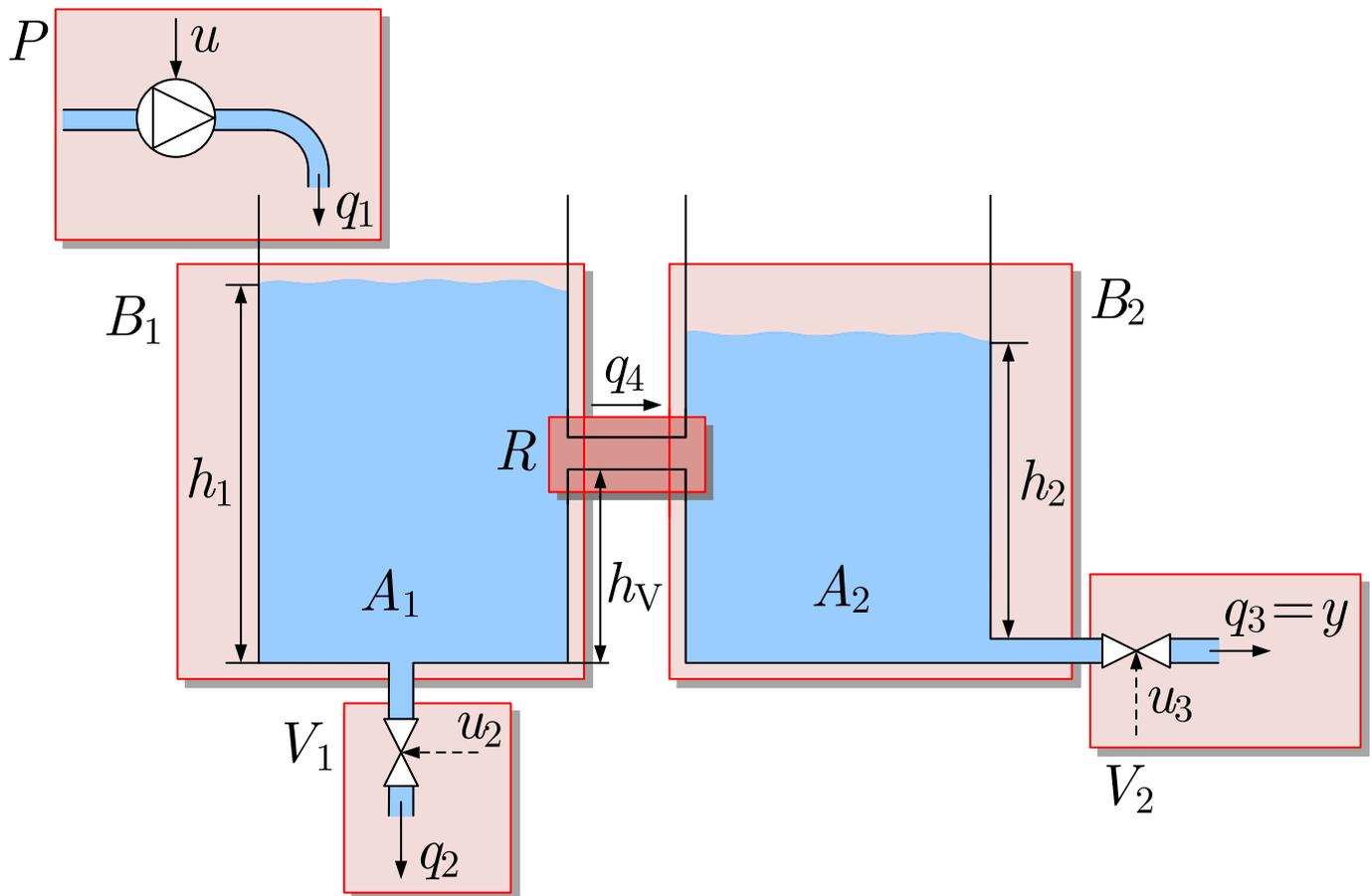


Abb. A.16: Komponenten des Behältersystems mit den verwendeten Bezeichnungen

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

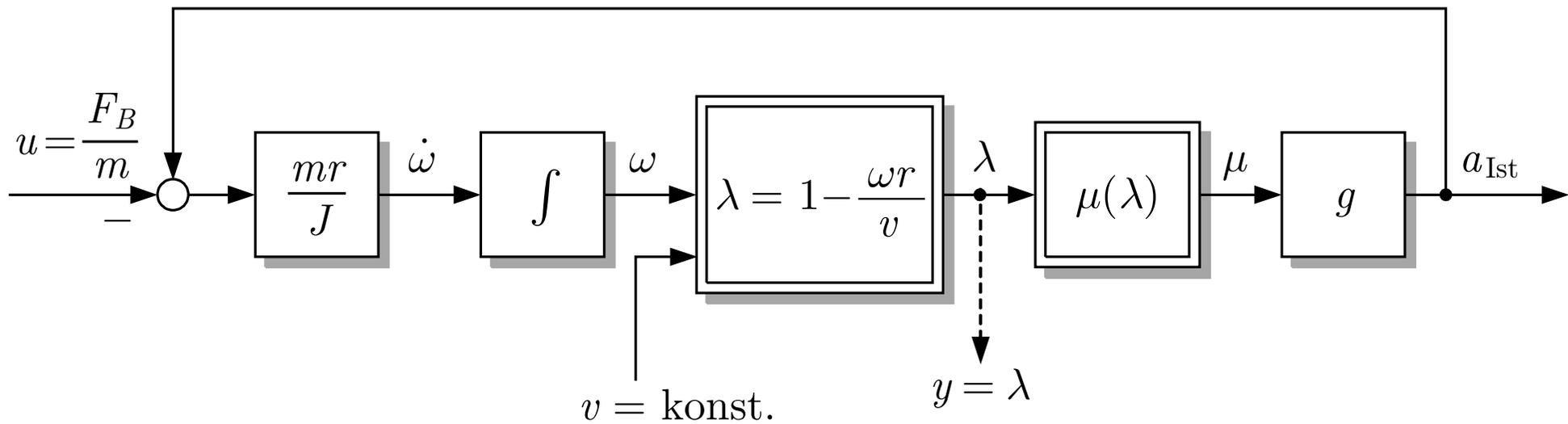


Abb. A.17. Vereinfachtes Blockschaltbild, das den Zusammenhang der Sollbeschleunigung $u(t)$, der Istbeschleunigung $a_{\text{Ist}}(t)$ und der Ausgangsgröße $y(t)$ darstellt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

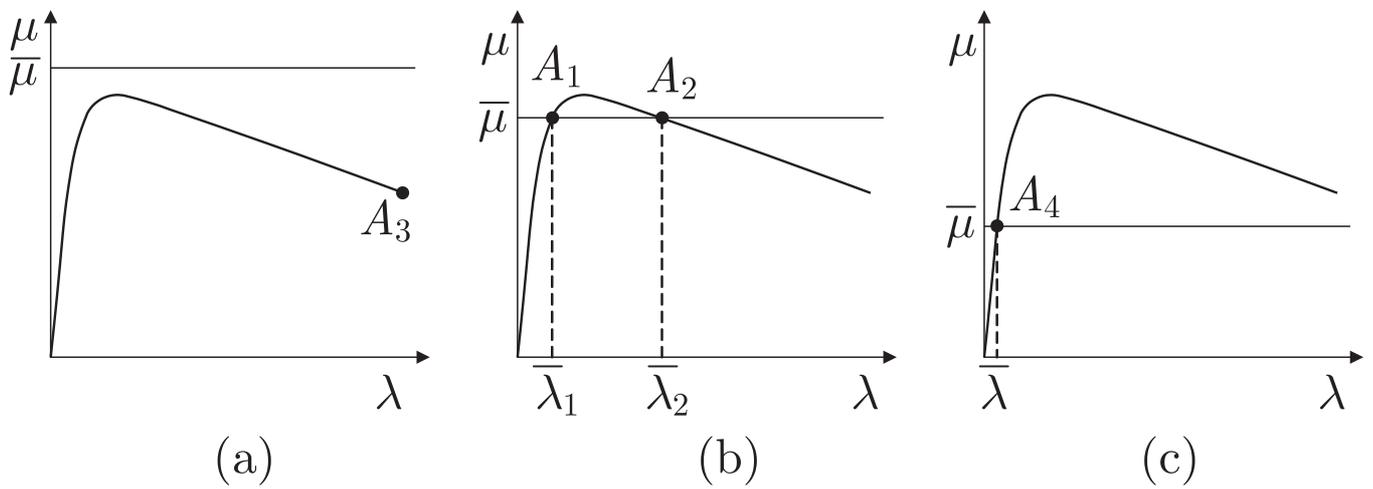


Abb. A.18: Arbeitspunkte auf der $\mu(\lambda)$ -Kennlinie

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

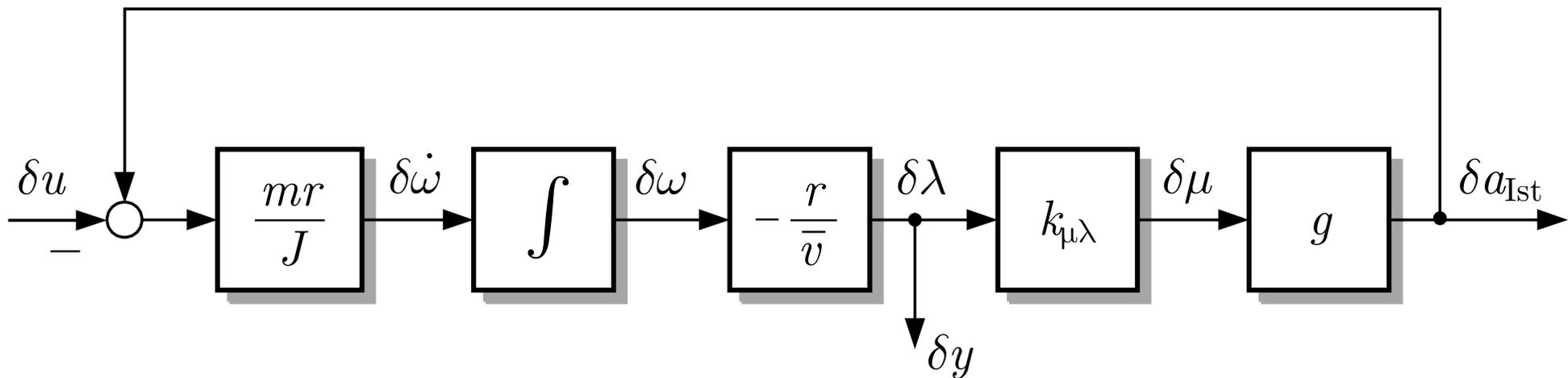


Abb. A.19. Blockschaltbild des linearisierten Modells

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

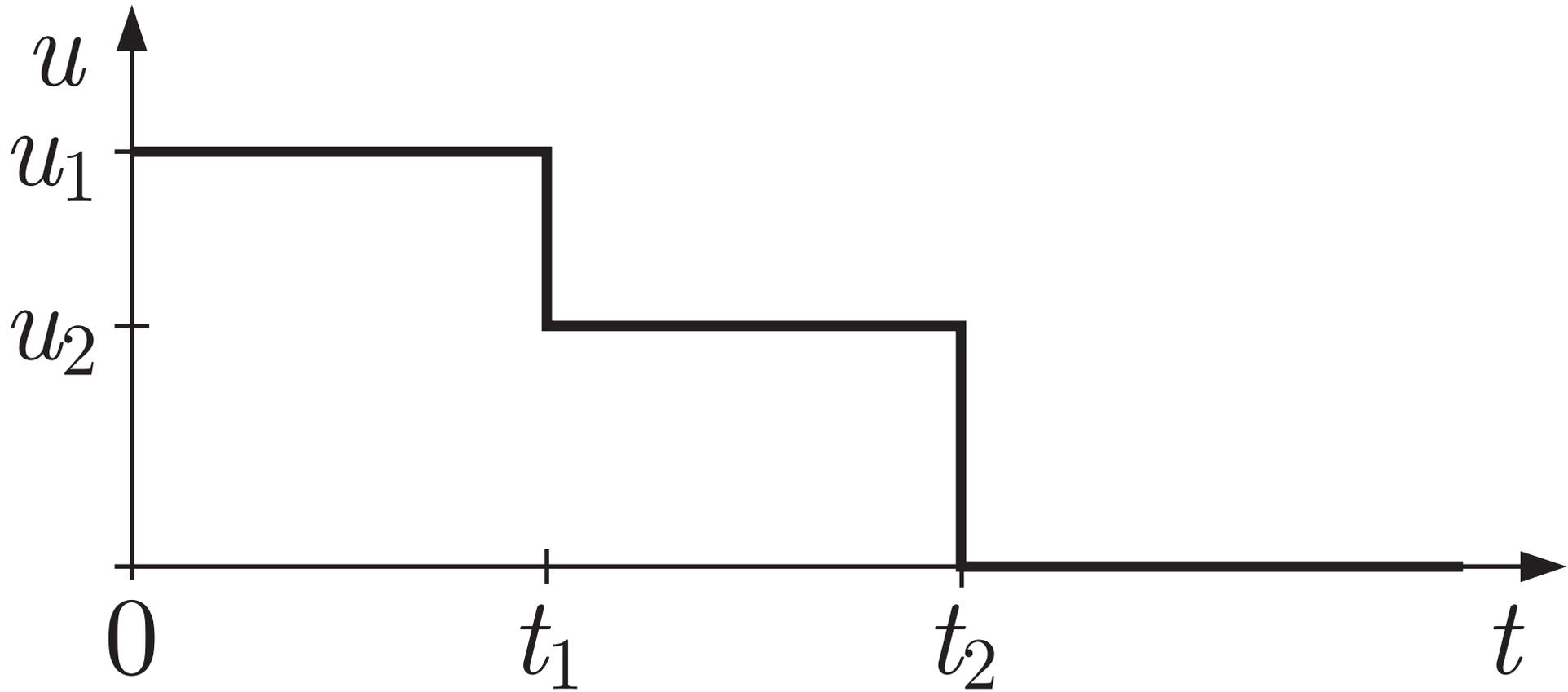


Abb. A.20. Verlauf der Eingangsgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

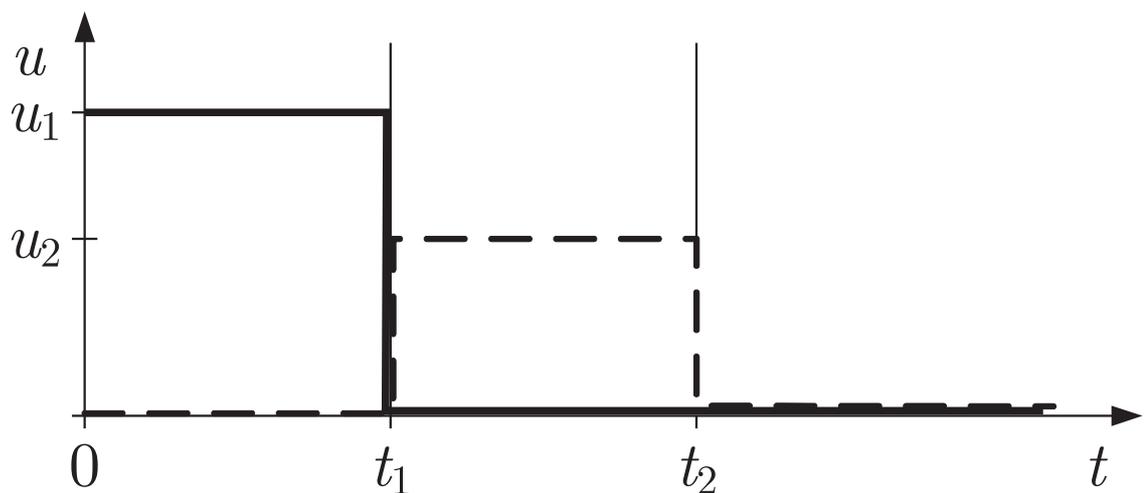
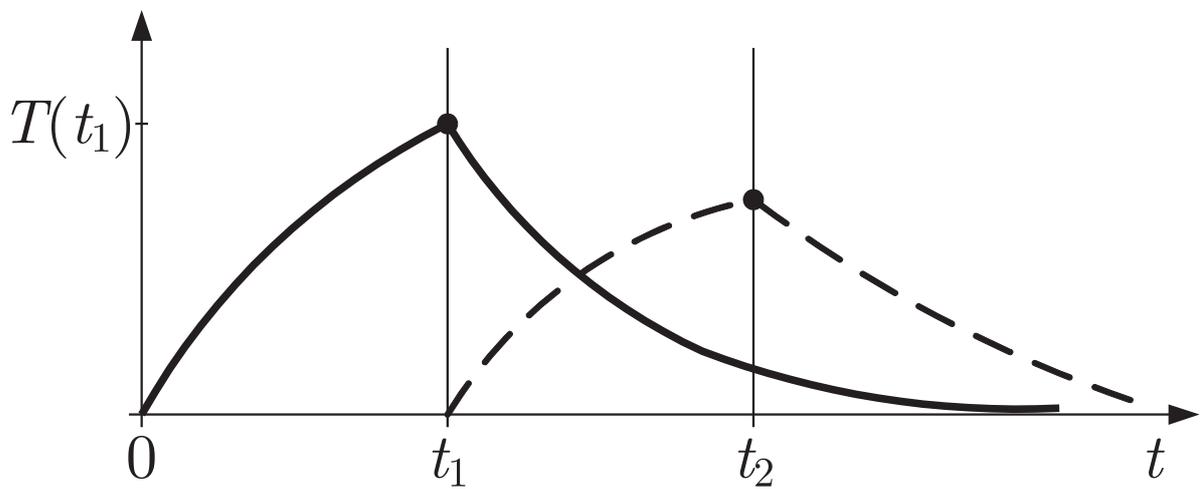
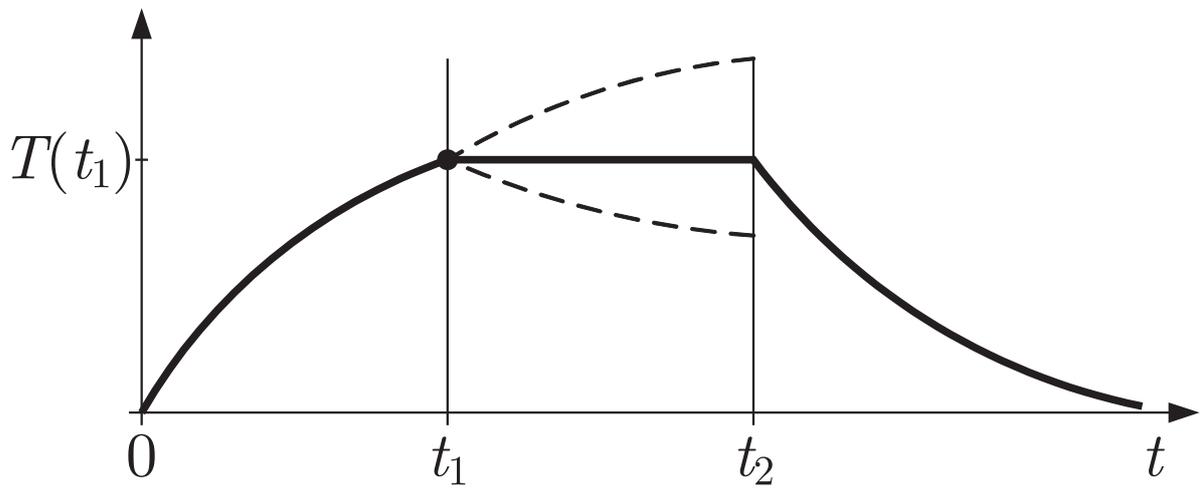


Abb. A.21. Temperaturverlauf für den Rührkesselreaktor (oben); Zerlegung des Temperaturverlaufs (Mitte); Eingangsgrößen (unten)

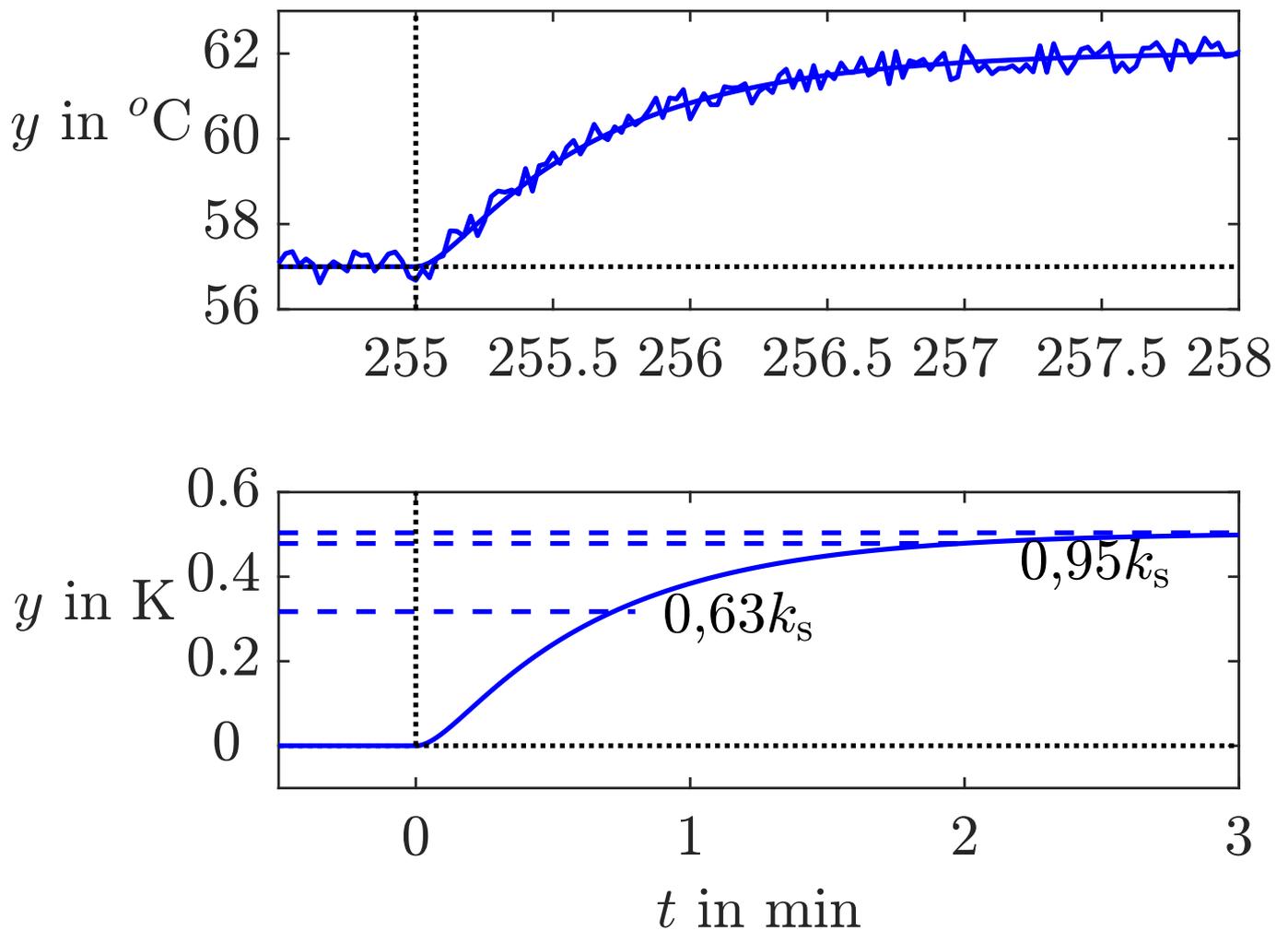


Abb. A.22: Analyse der Experimentdaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

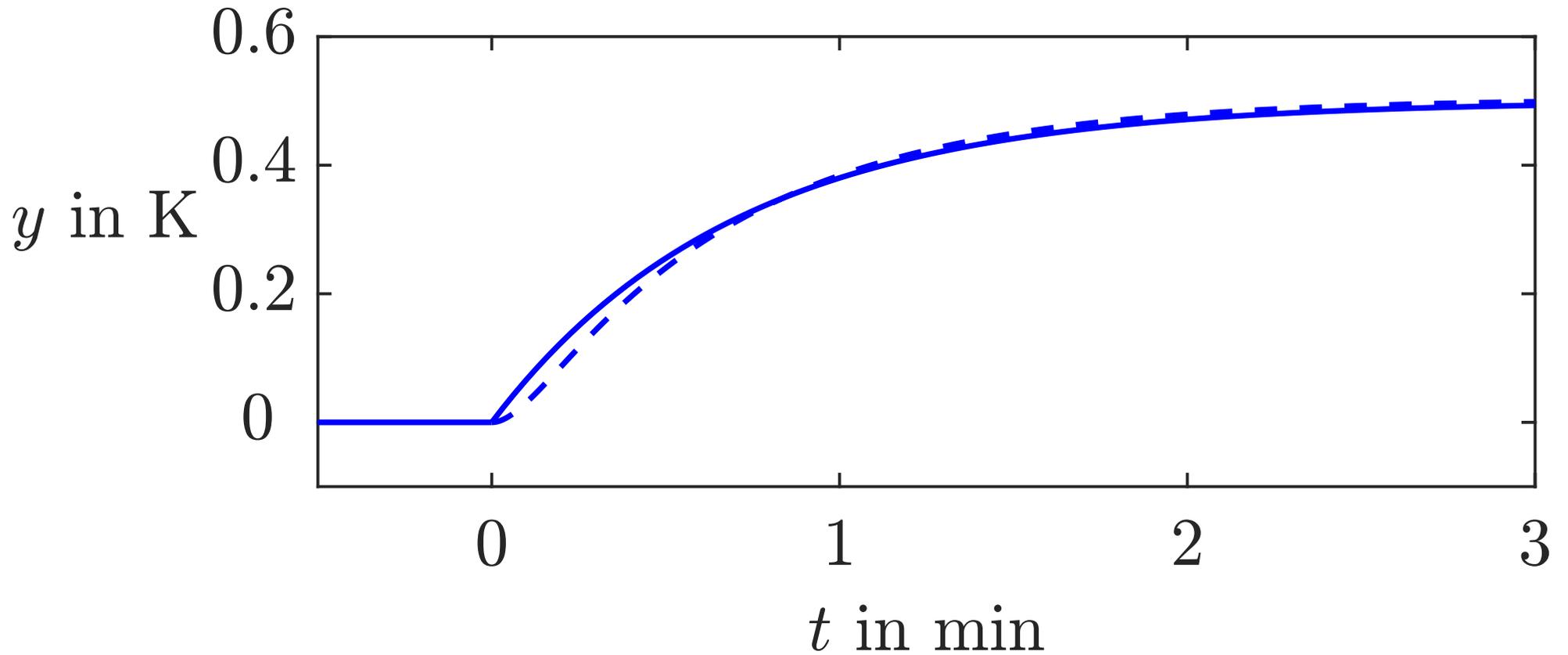


Abb. A.23. Vergleich von Modell (—) und Experiment (- - -)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

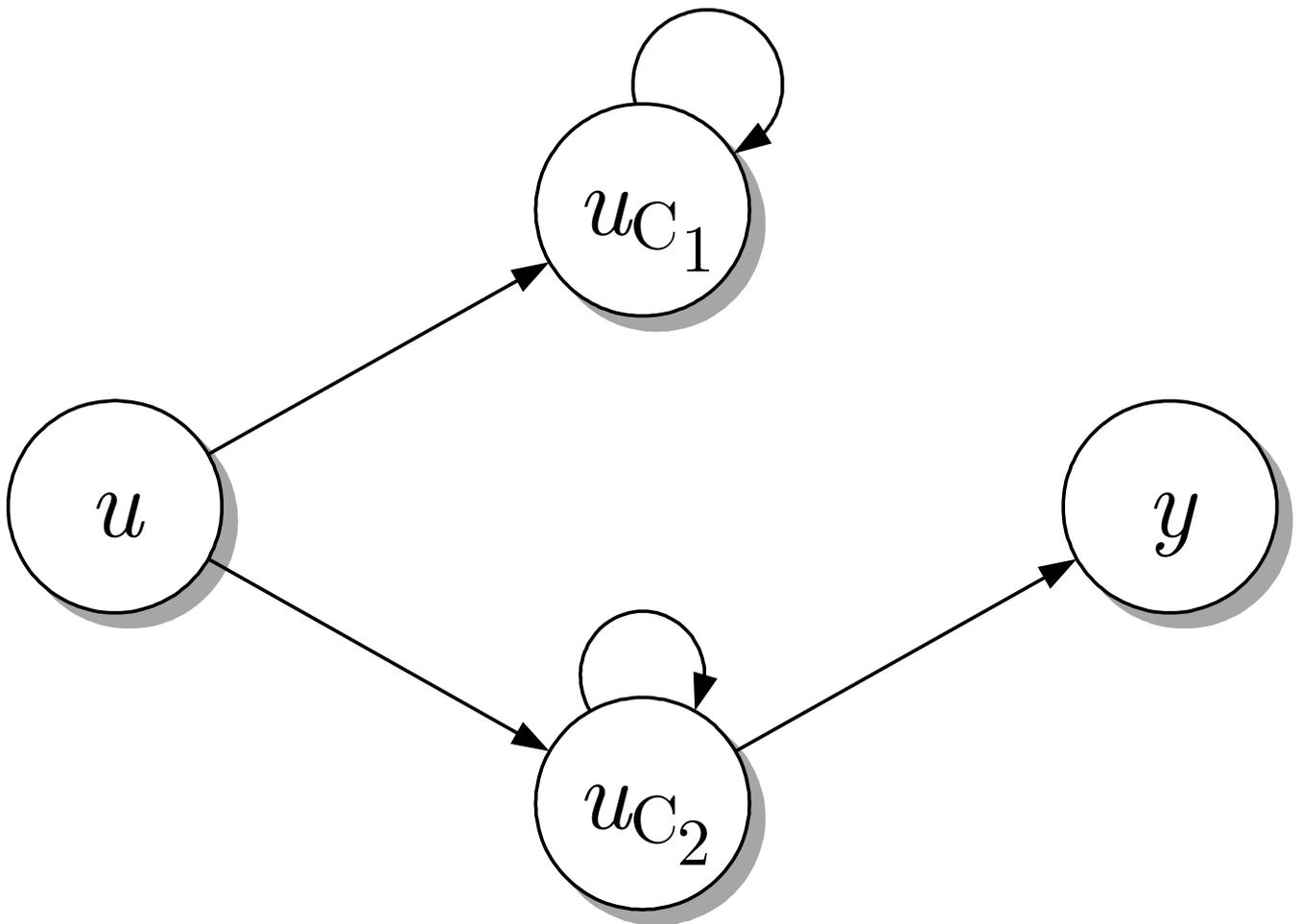


Abb. A.24: Strukturgraph der RC-Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

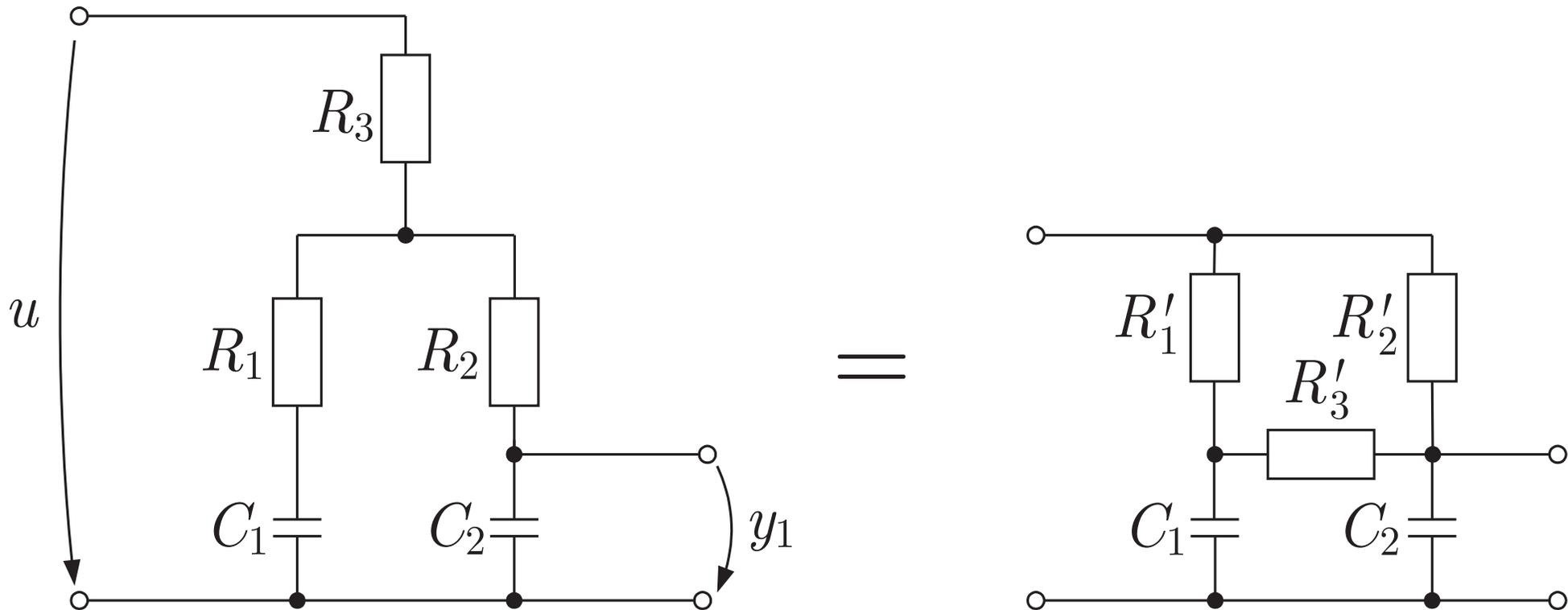


Abb. A.25. Veränderte RC-Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

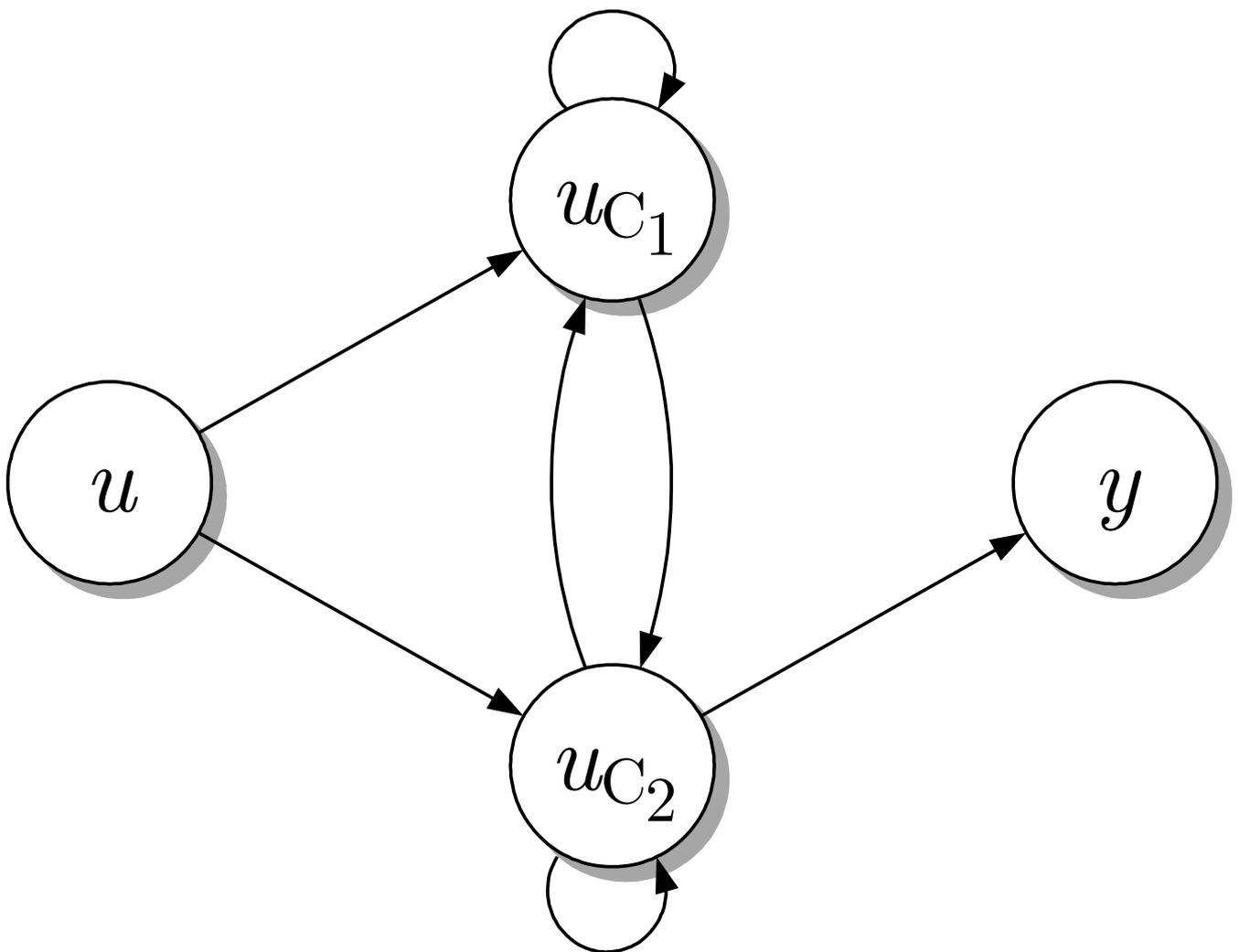


Abb. A.26: Strukturgraph der veränderten RC-Schaltung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

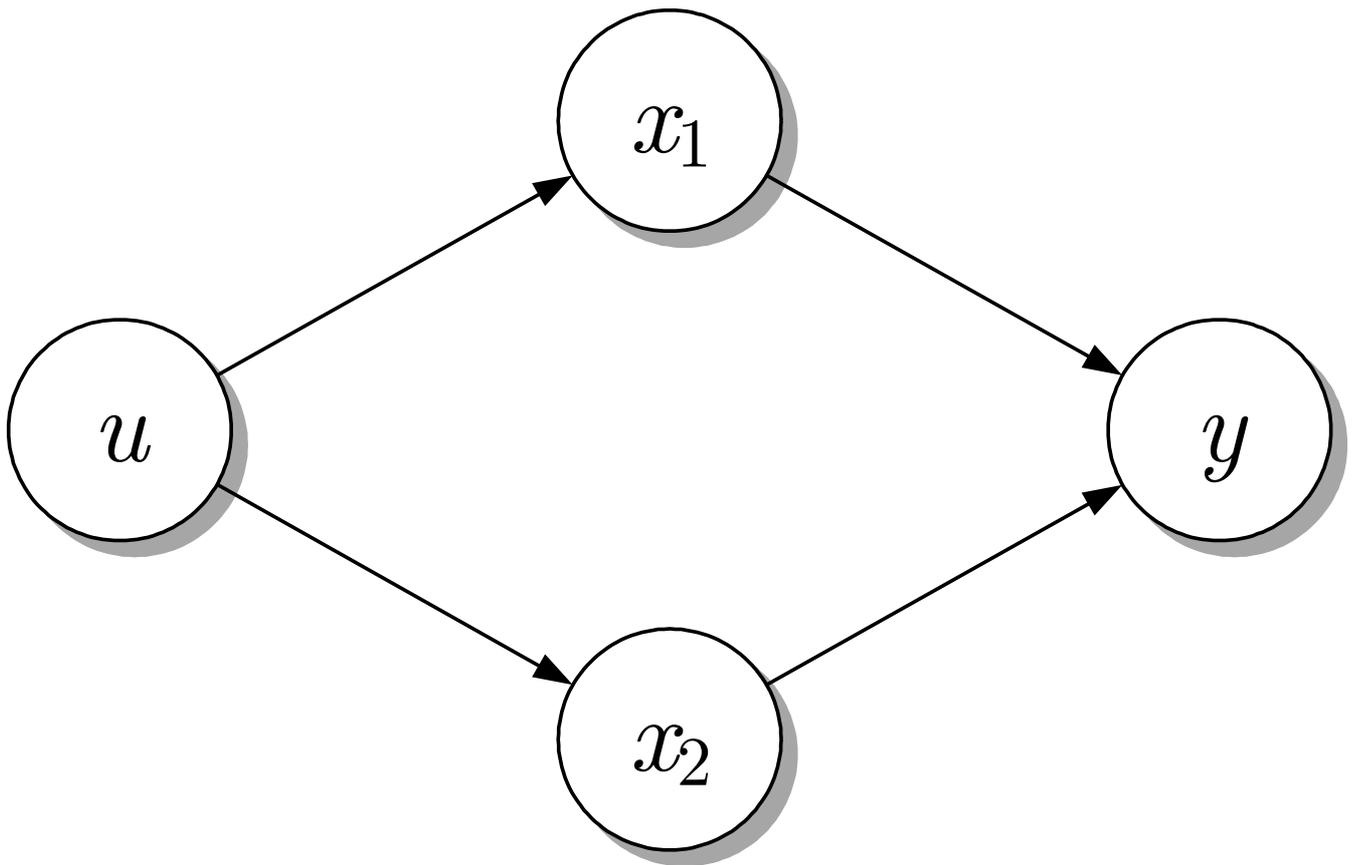


Abb. A.27: Strukturgraph zweier parallel geschalteter Integratoren

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

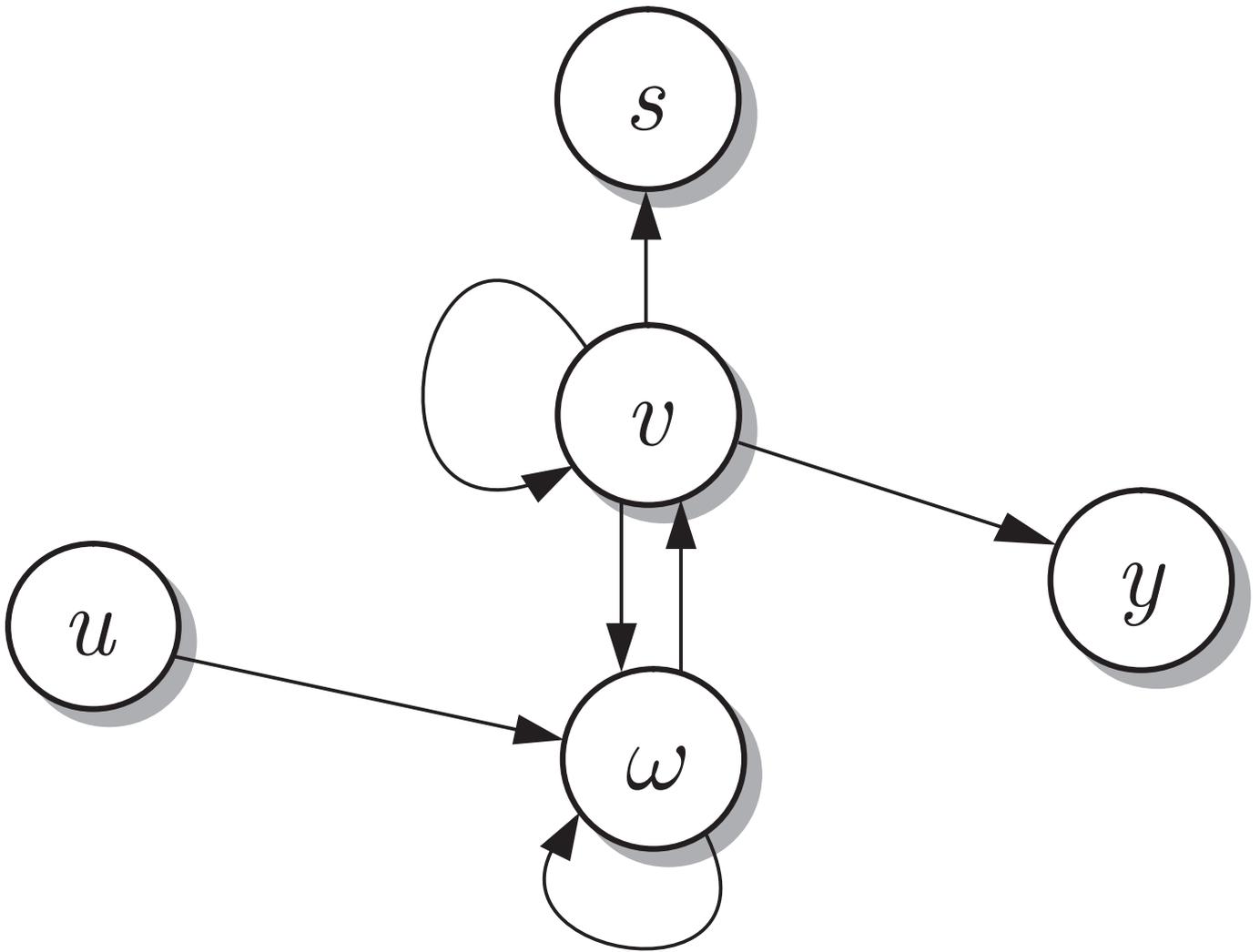


Abb. A.28: Strukturgraph des Modells zur Beschreibung des Abbremsvorgangs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

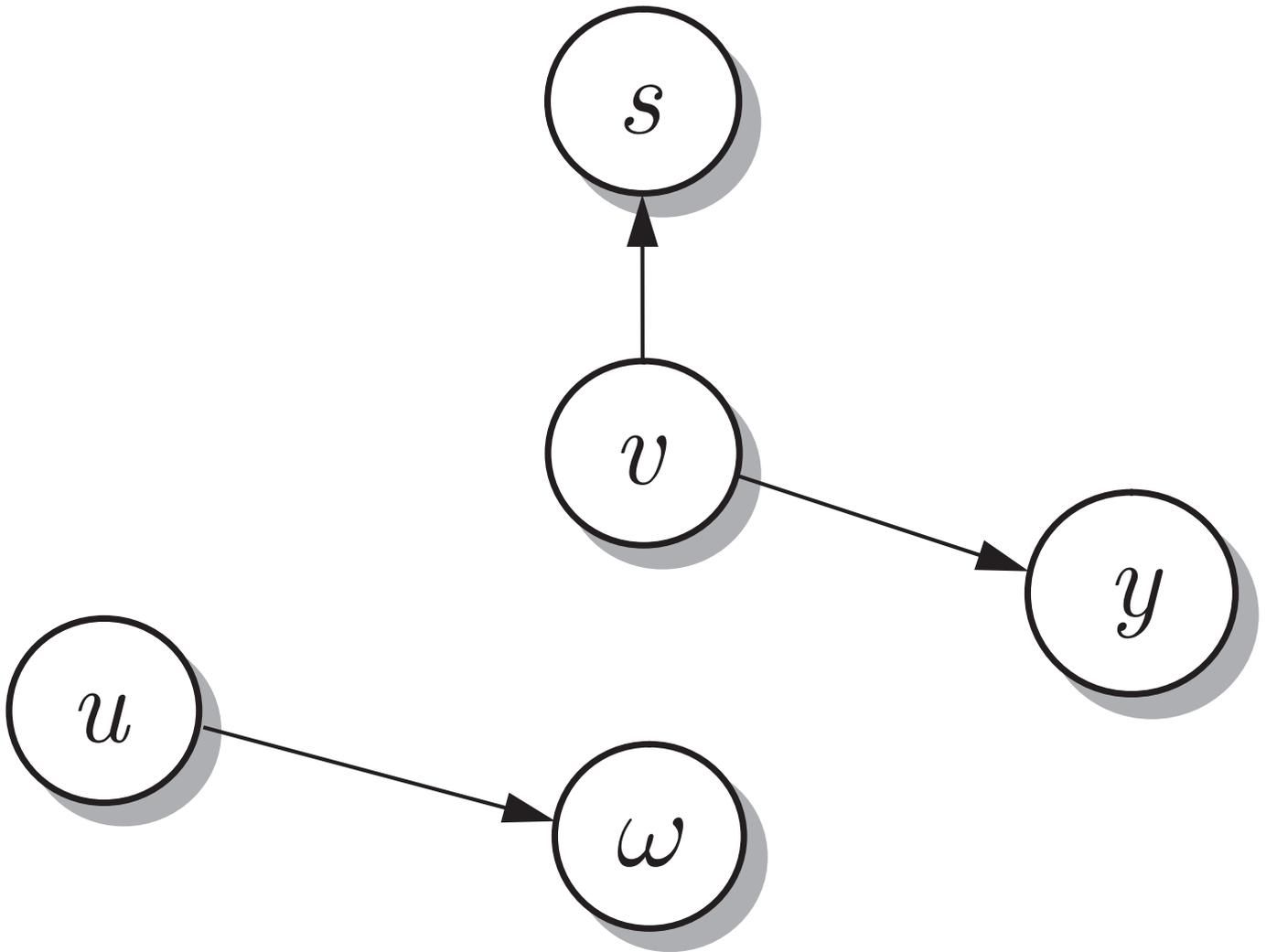


Abb. A.29: Strukturgraph für den Arbeitspunkt im Maximum der $\mu(\lambda)$ -Kennlinie

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

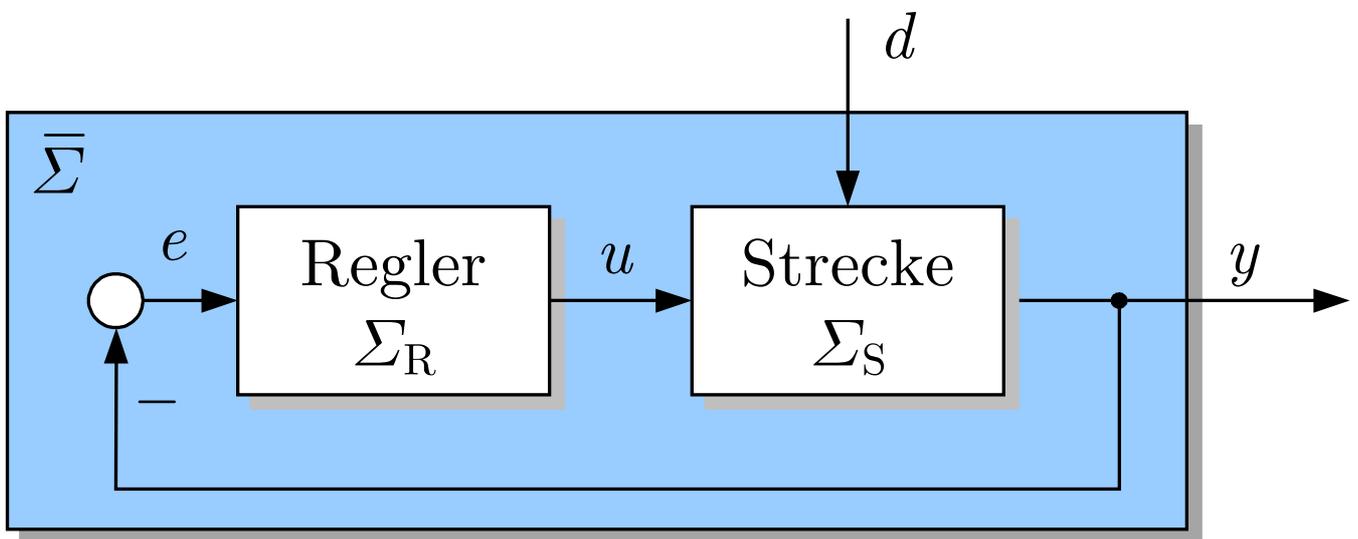


Abb. A.30: Regelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

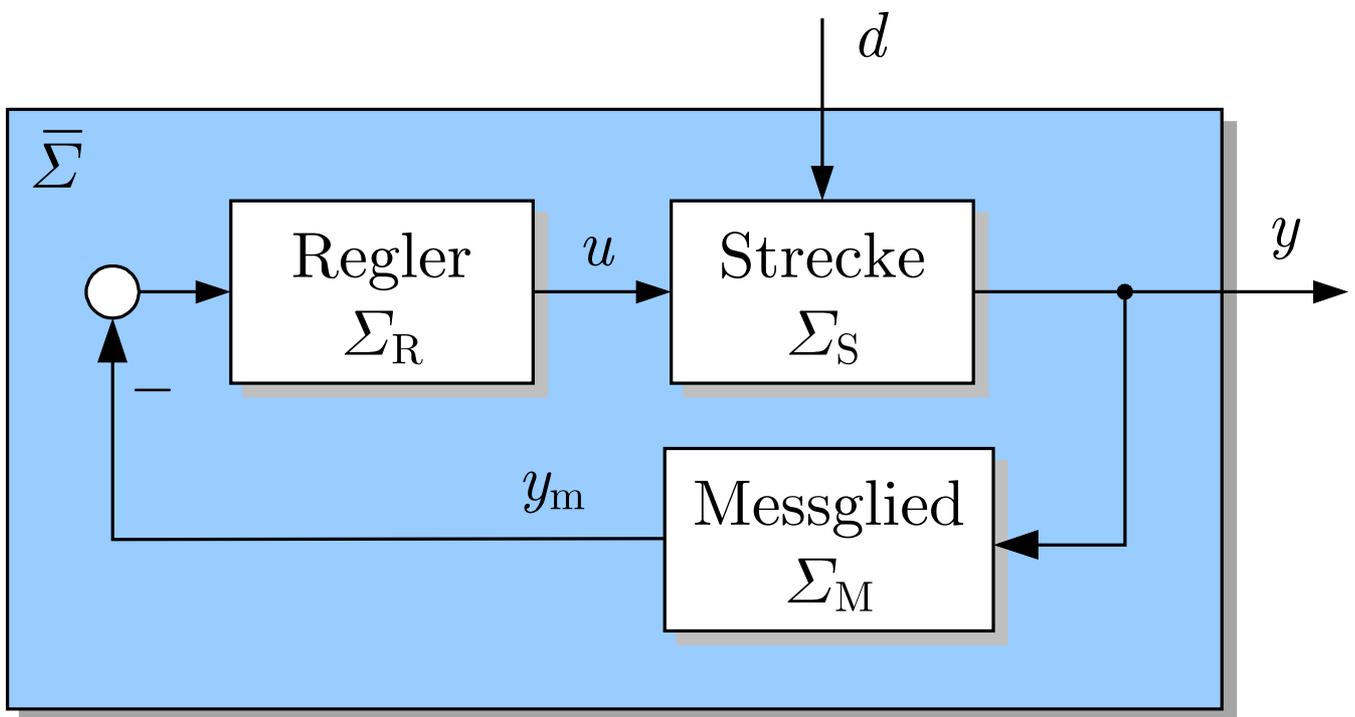


Abb. A.30: Regelkreis mit Messglied

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

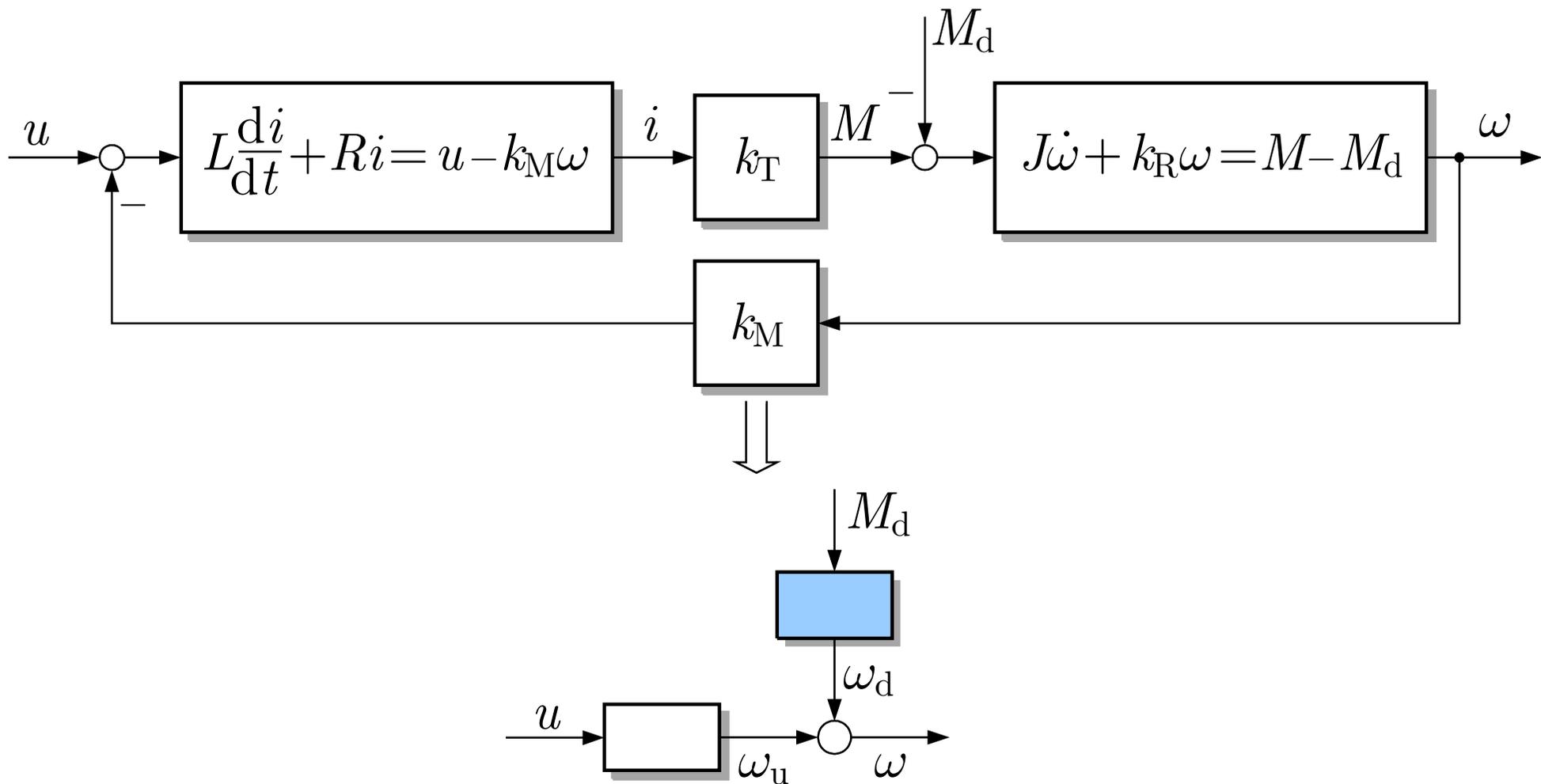


Abb. A.31. Gleichstrommotor mit zusätzlichem Störmoment $M_d(t)$

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

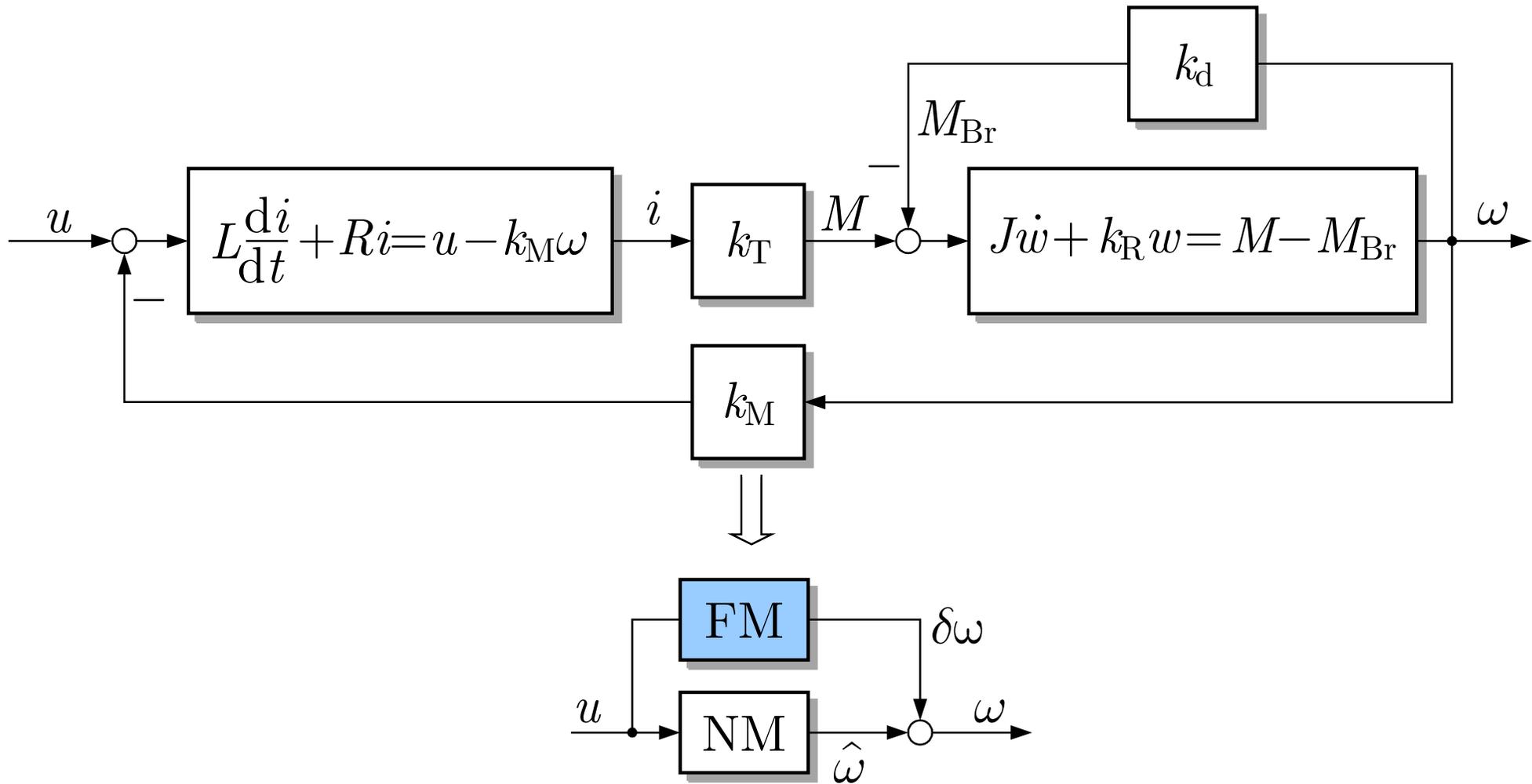


Abb. A.32. Gleichstrommotor mit zusätzlichem geschwindigkeitsproportionalem Bremsmoment $M_{Br}(t)$

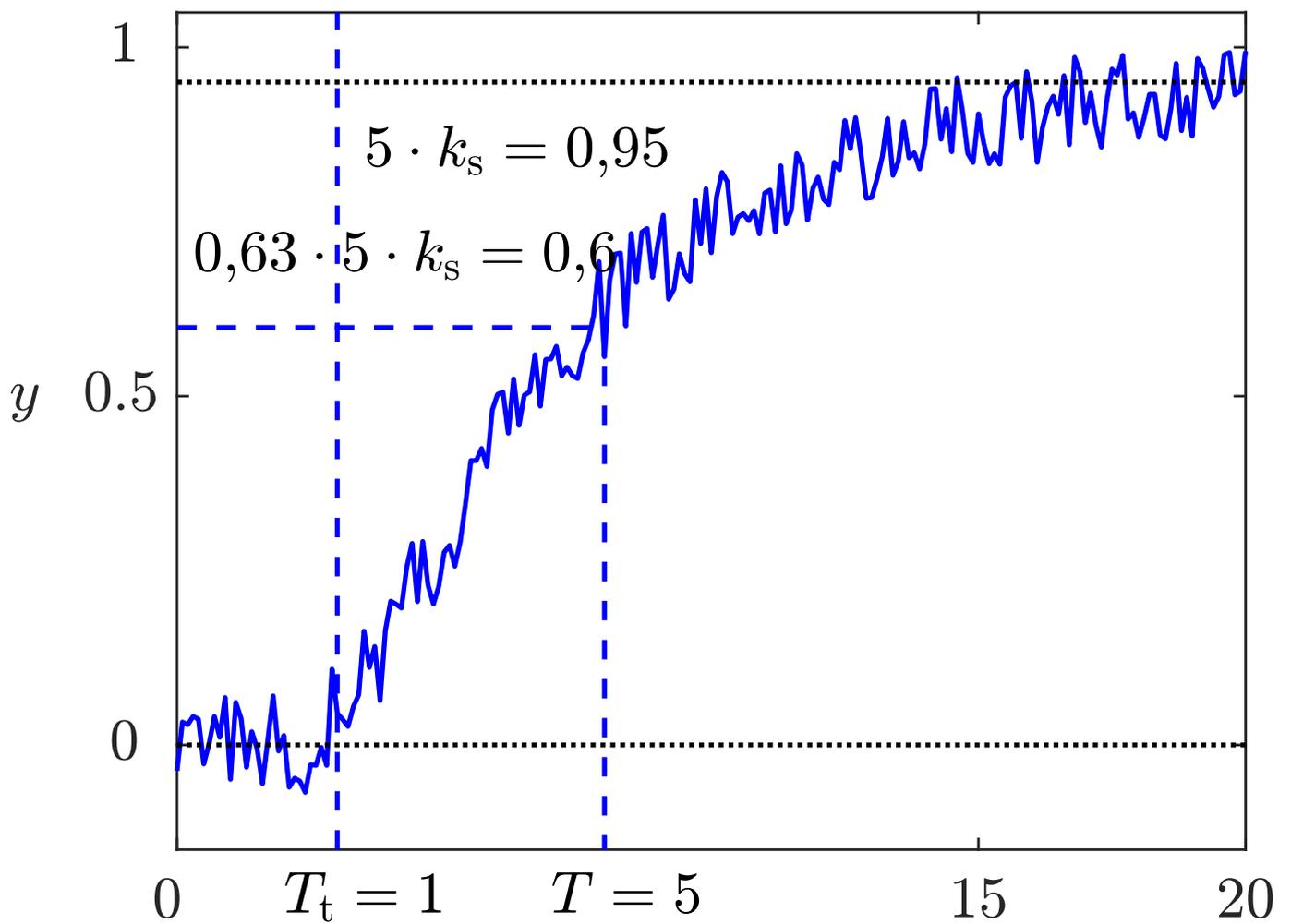


Abb. A.33: Bestimmung der Parameter der Regelstrecke

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

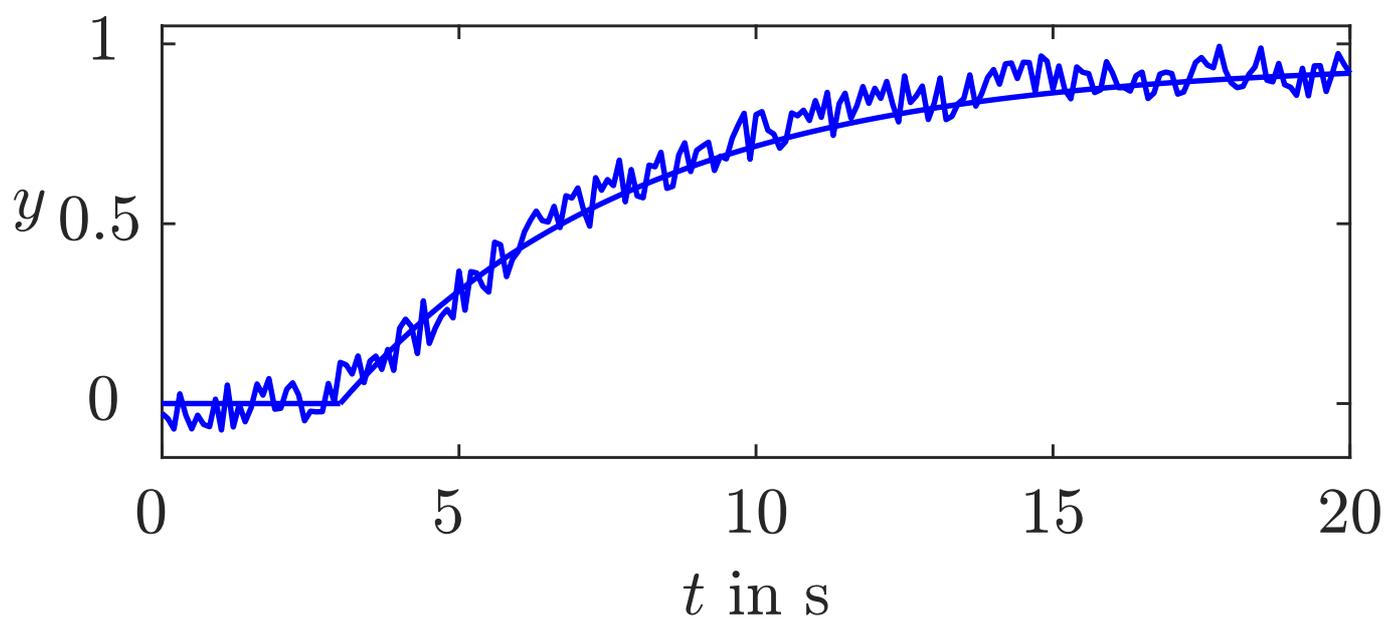


Abb. A.34: Vergleich der im Experiment gemessenen und der mit dem Modell berechneten Ausgangsgröße

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

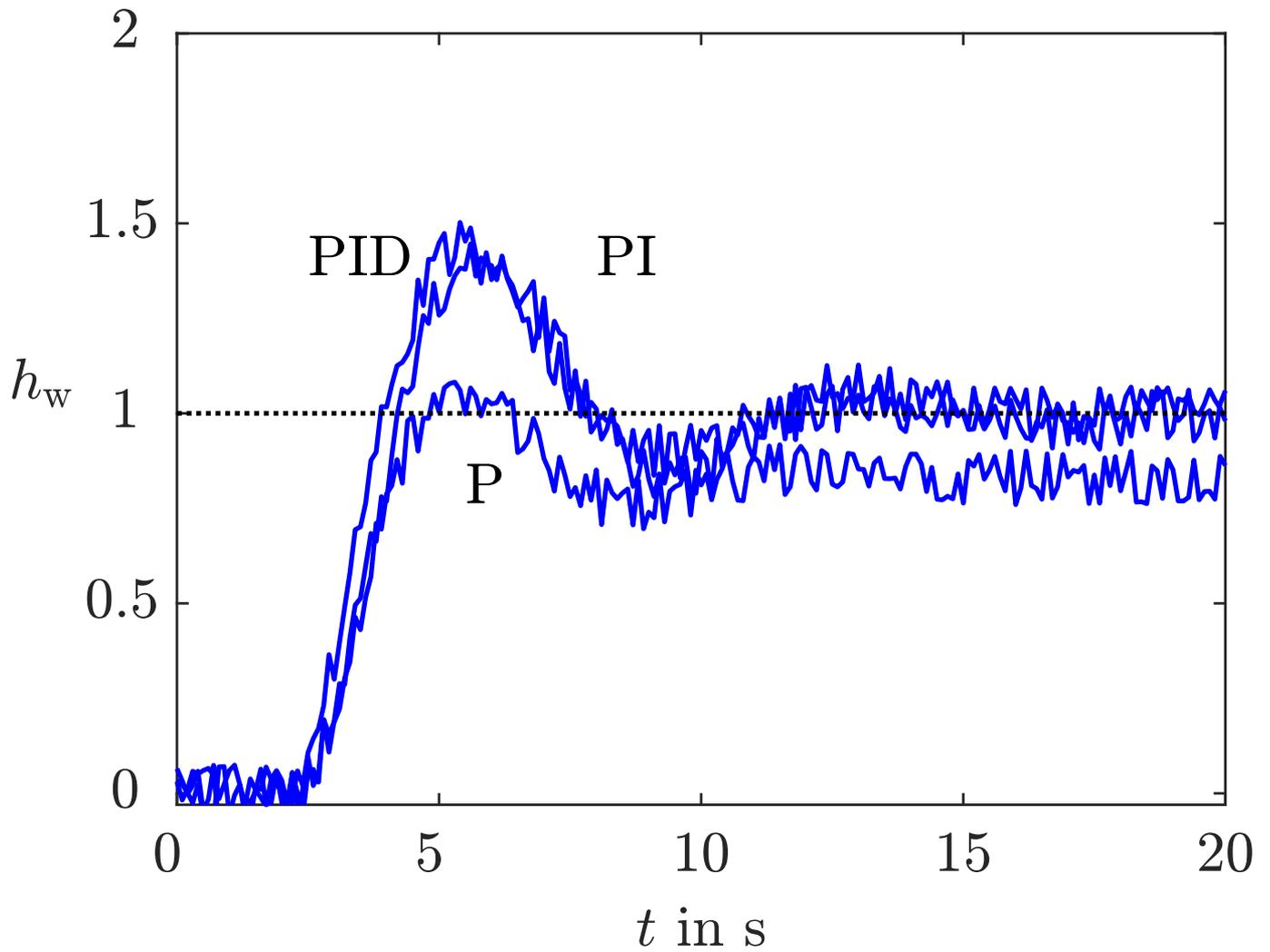


Abb. A.35: Führungsübergangsfunktionen des Regelkreises (erste Reglereinstellung)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

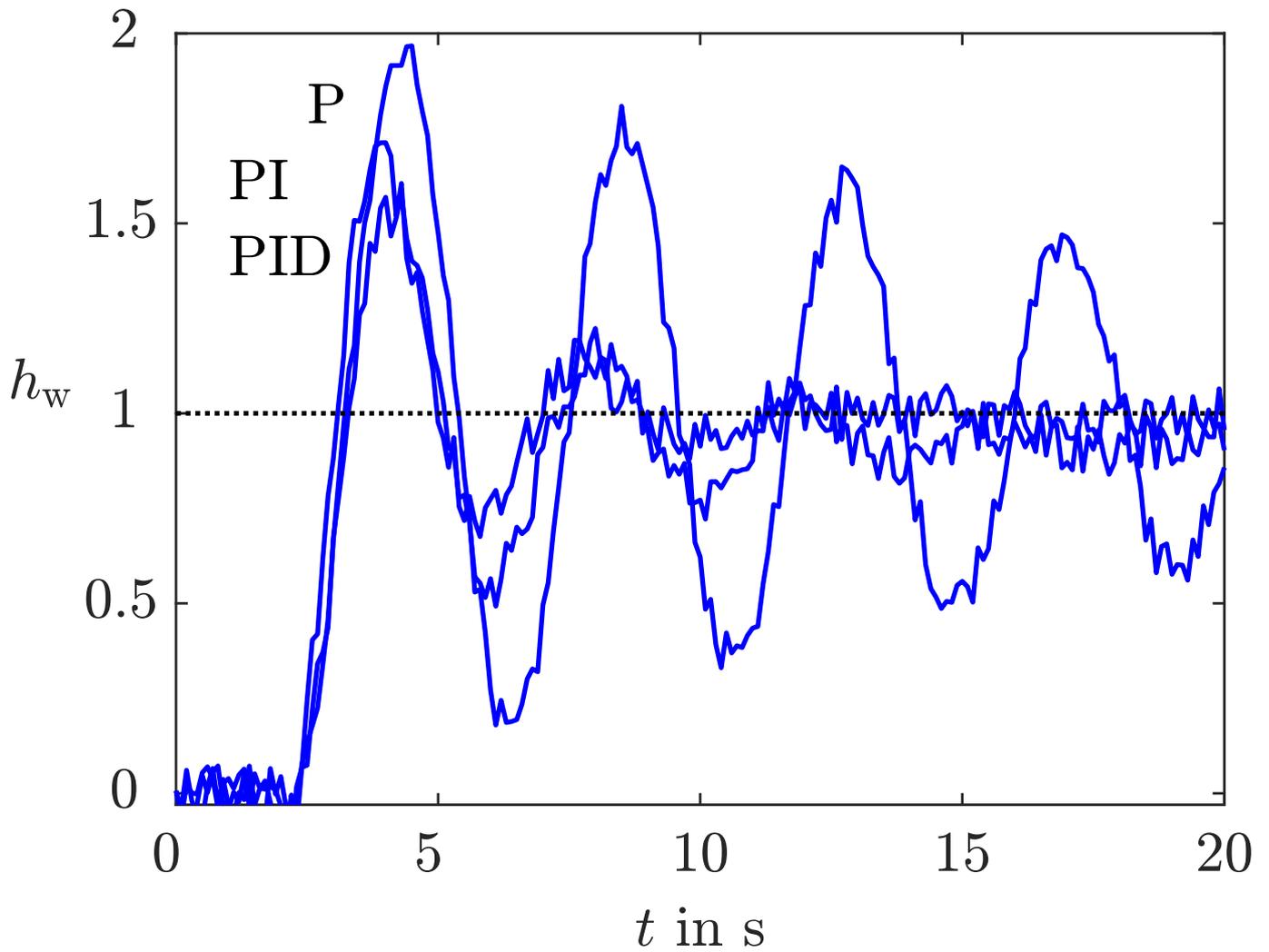


Abb. A.35: Führungsübergangsfunktionen des Regelkreises (zweite Reglereinstellung)

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

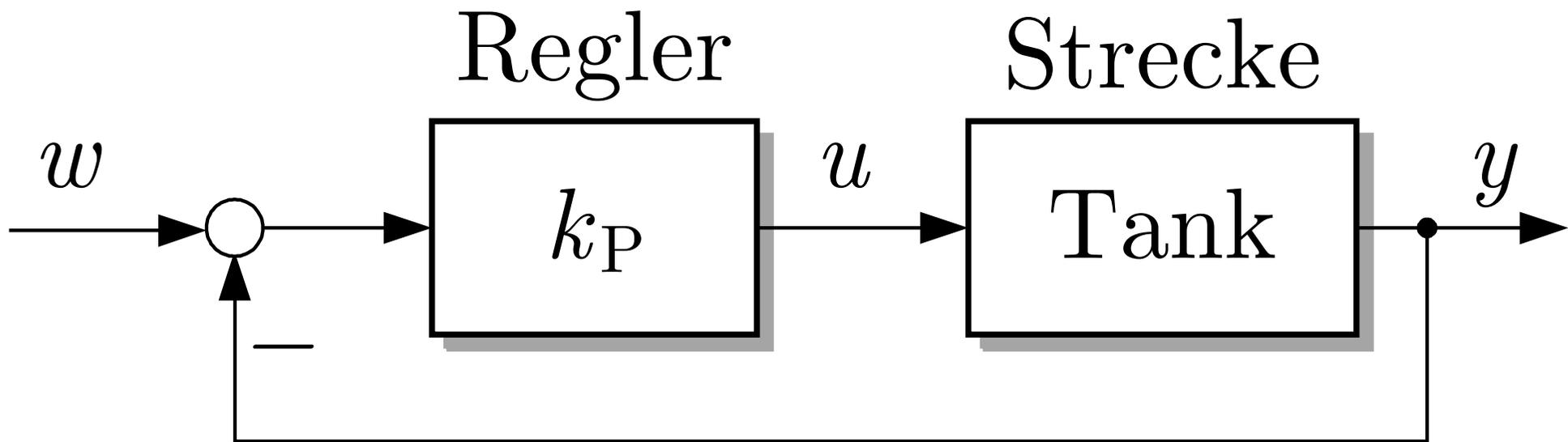


Abb. A.36. Blockschaltbild des Regelkreises

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

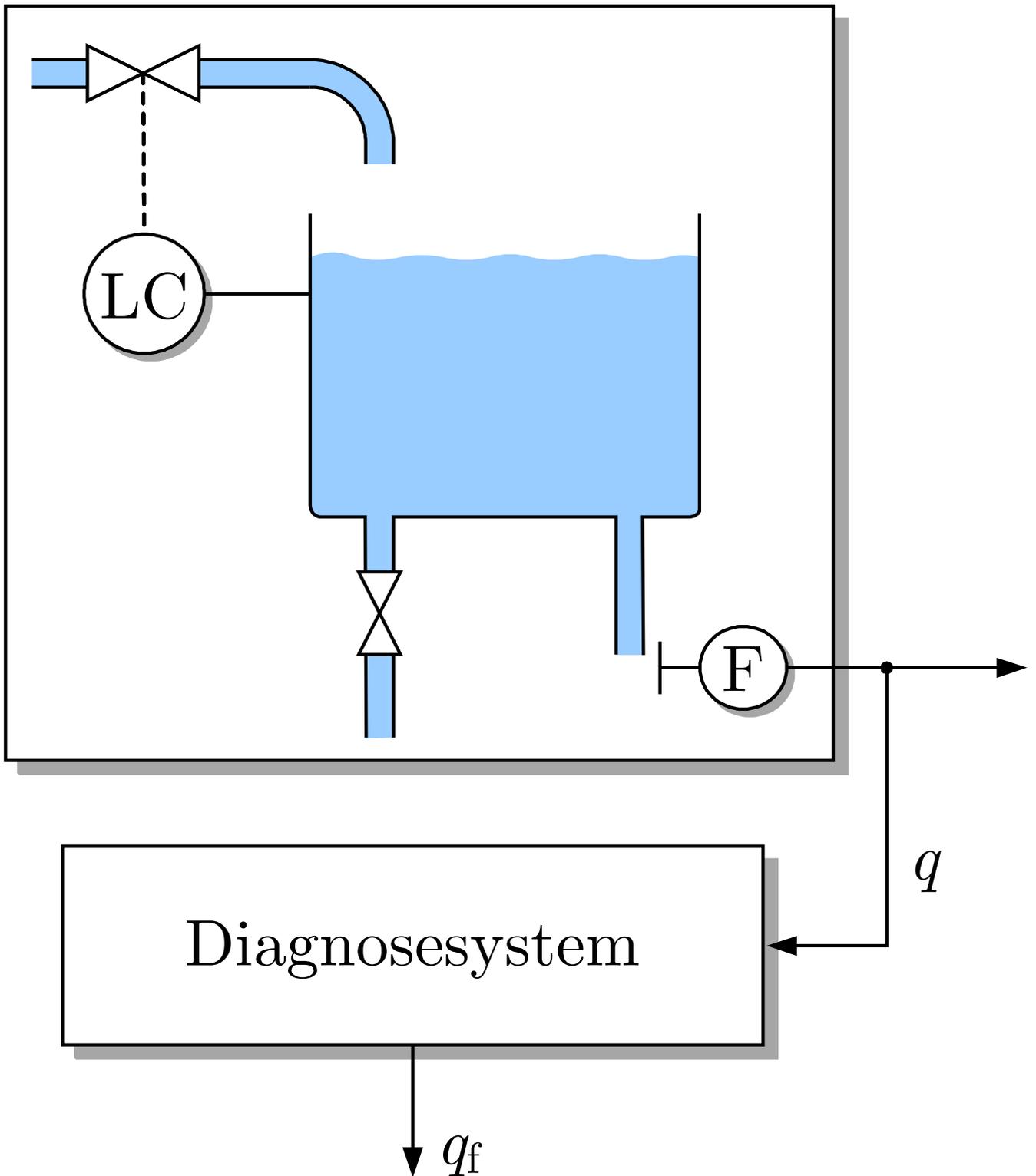


Abb. A.37: Diagnose des Behältersystems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

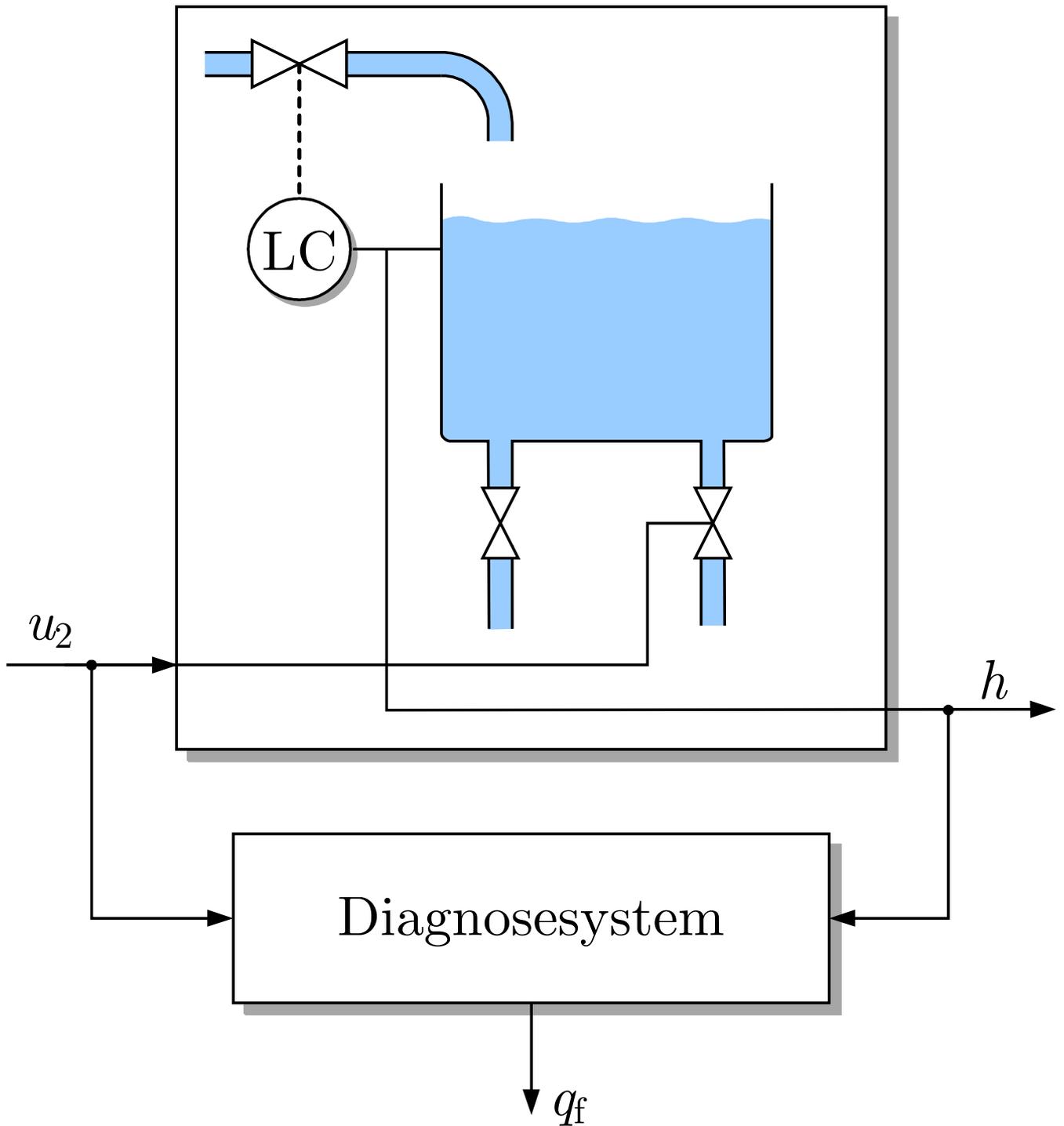


Abb. A.38: Veränderte Kopplung von Reaktor und Diagnosesystem

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

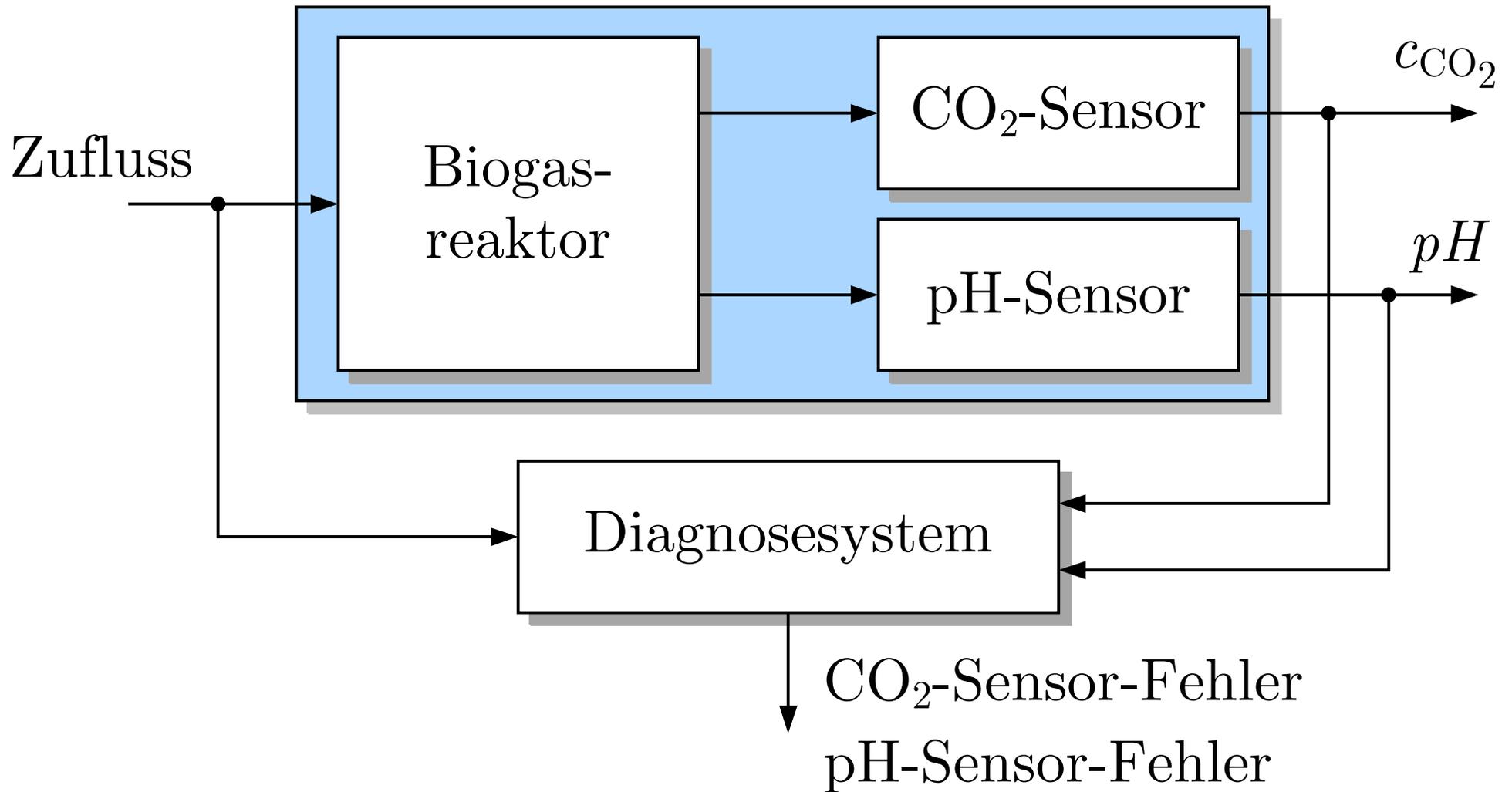
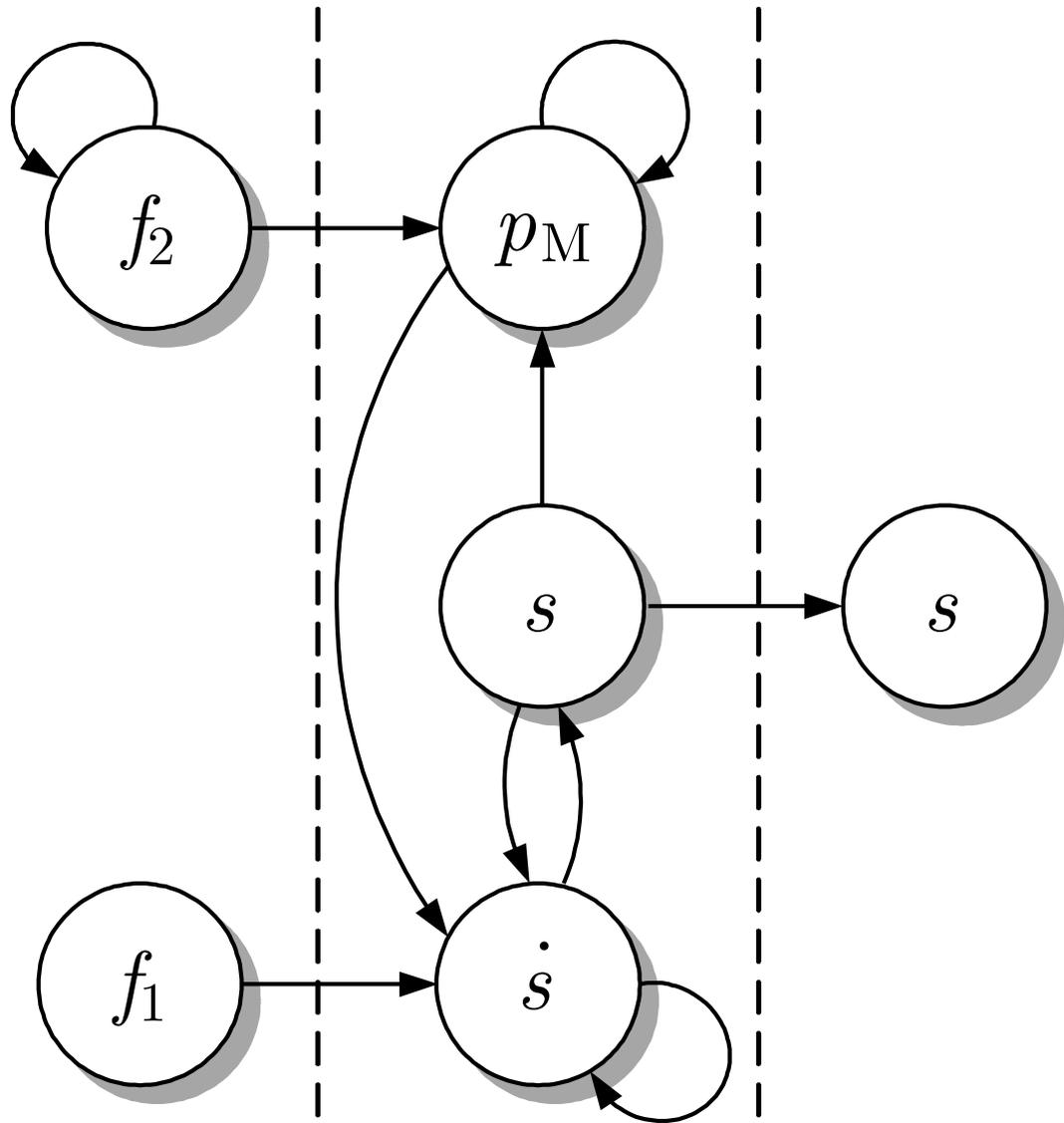


Abb. A.39. Überwachung zweier Sensoren

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020



Fehlermodell | Stellgerät | Messgröße

Abb. A.40: Strukturgraph des Stellgerätes für die strukturelle Beobachtbarkeitsanalyse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

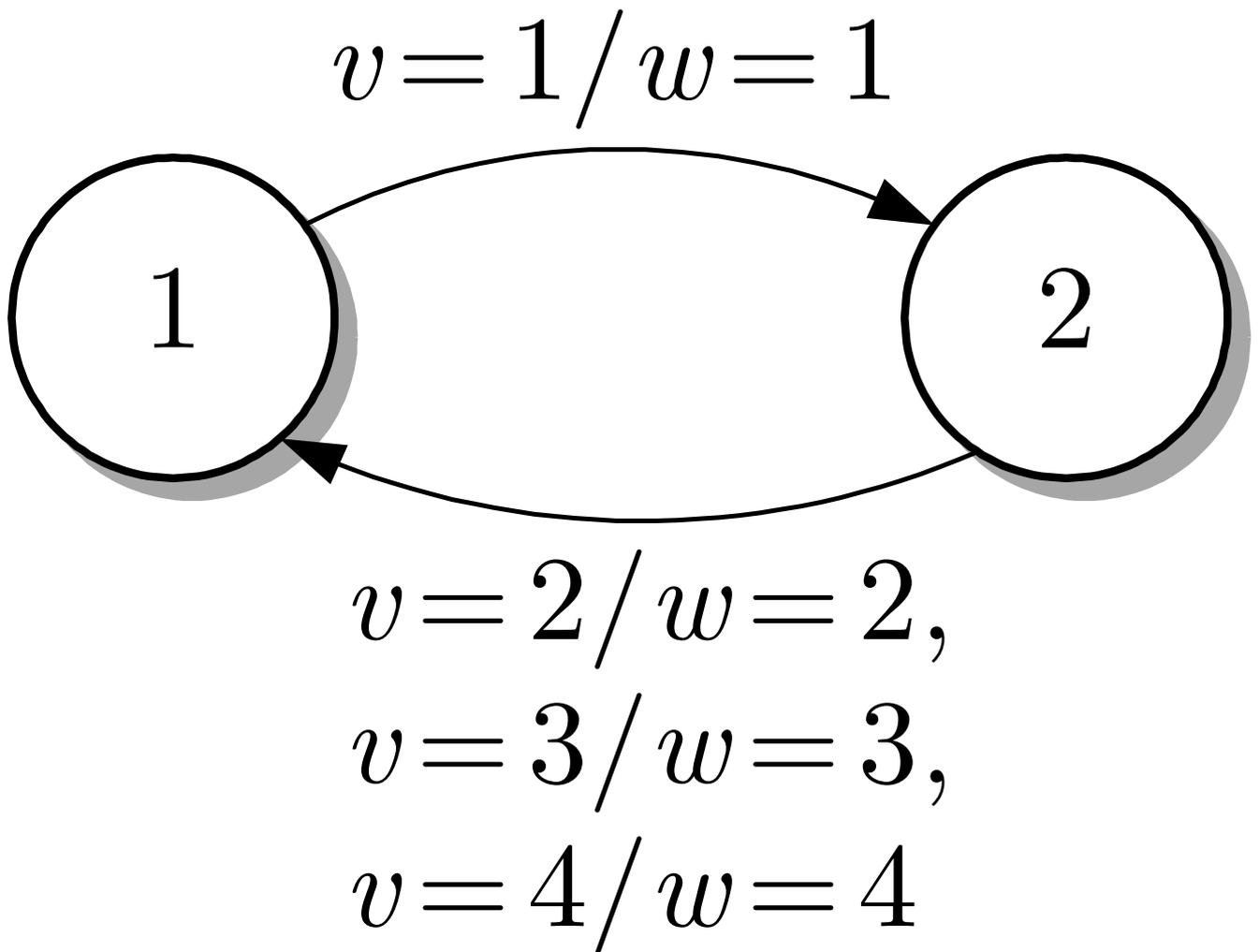


Abb. A.41: Automatengraph des Getränkeautomaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

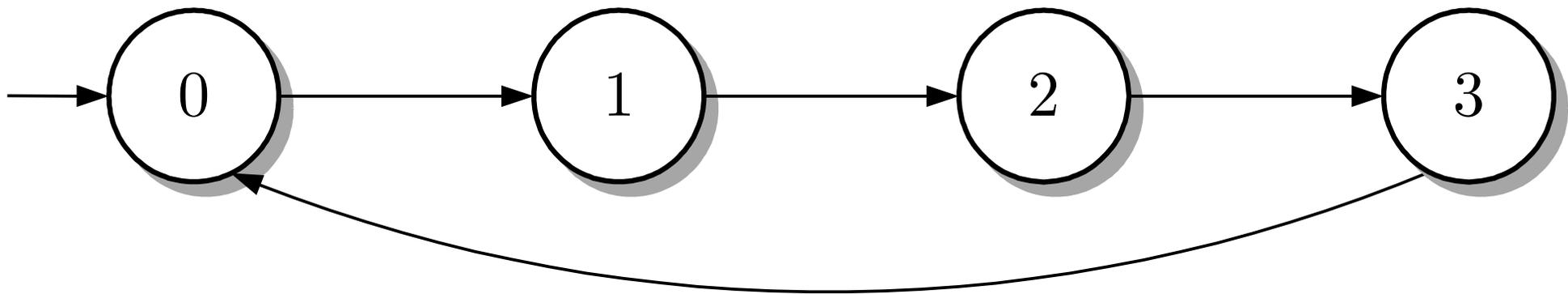


Abb. A.42. Darstellung eines Modulo-4-Zählers als Automatengraph

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

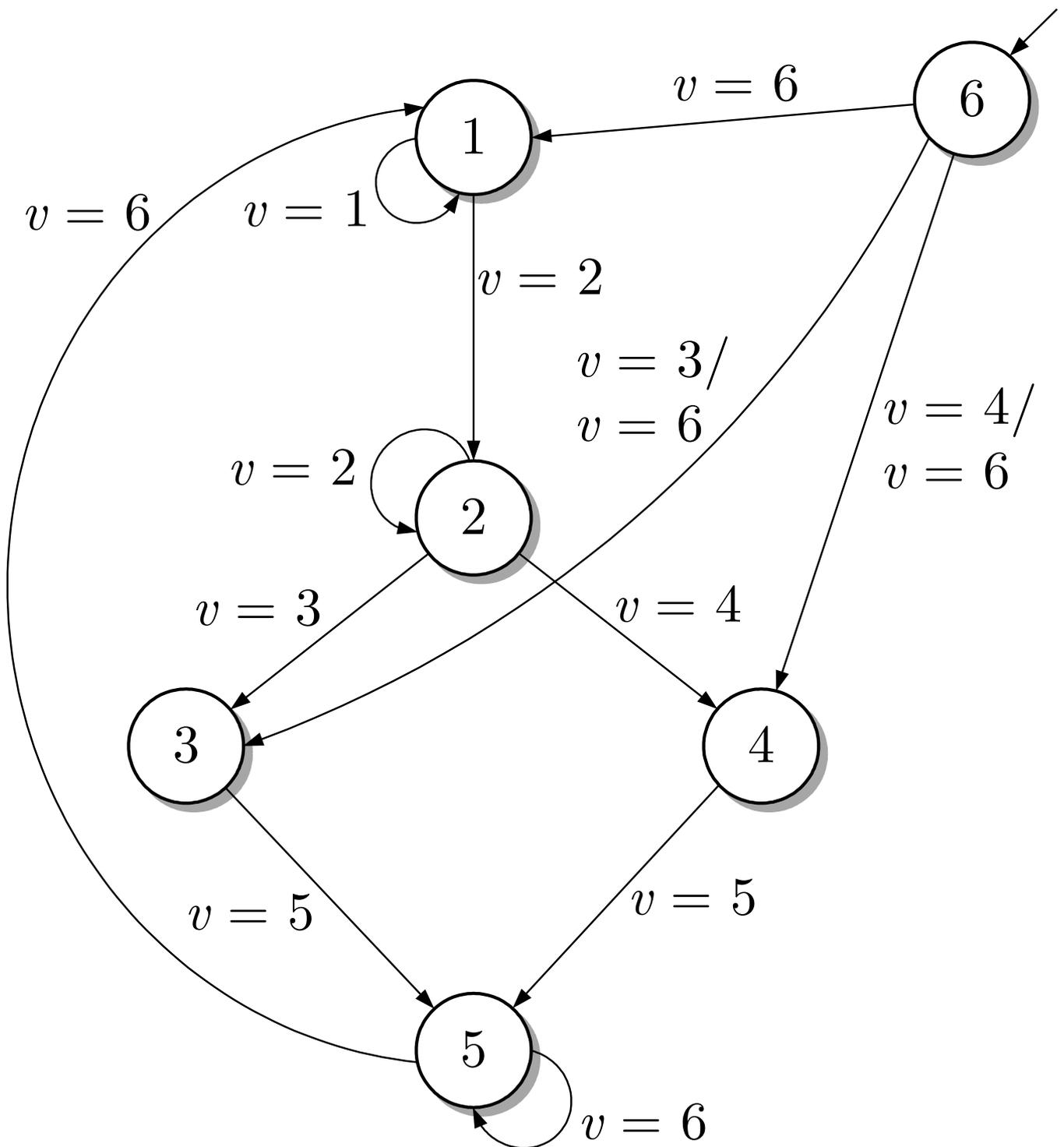


Abb. A.43: Automatengraph des Fahrverhaltens abhängig von der Straßenlage

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

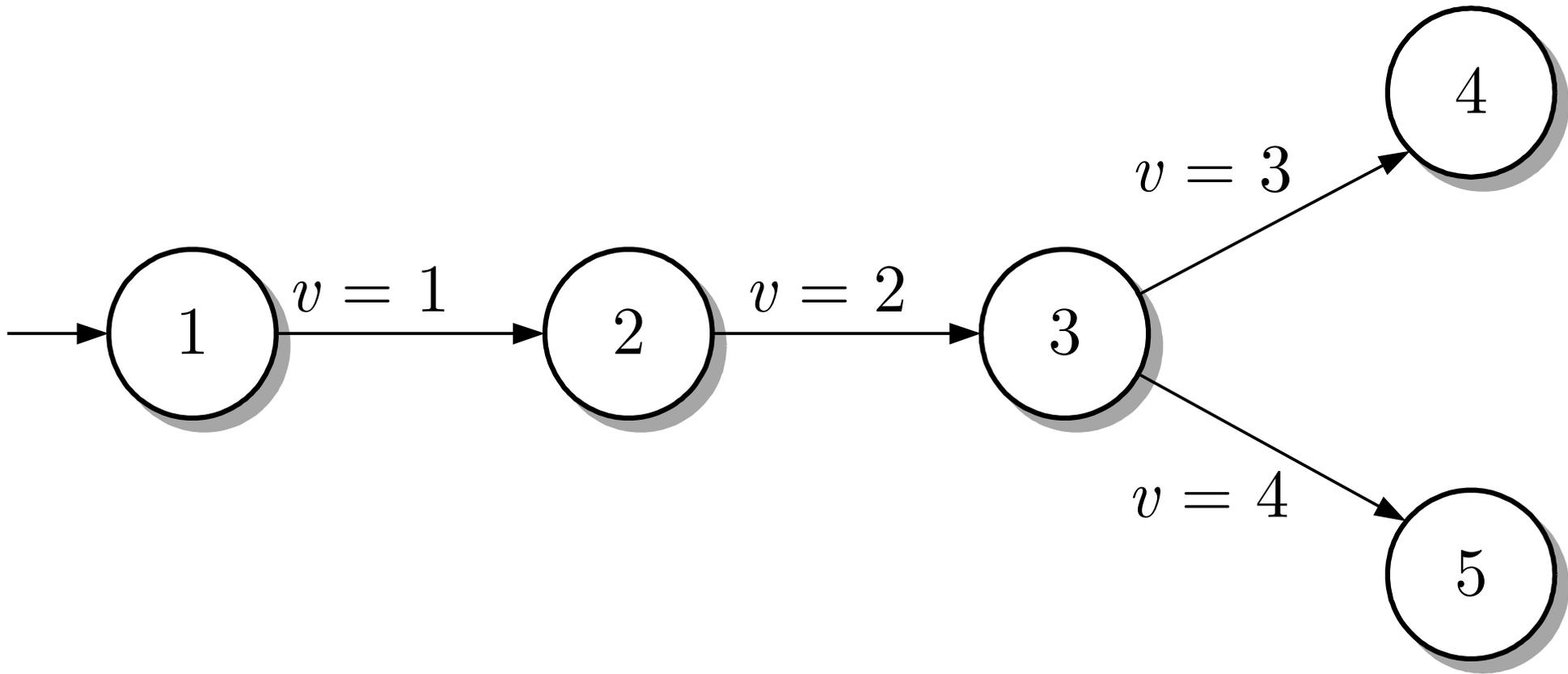


Abb. A.44. Automatengraph eines Bestellvorgangs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

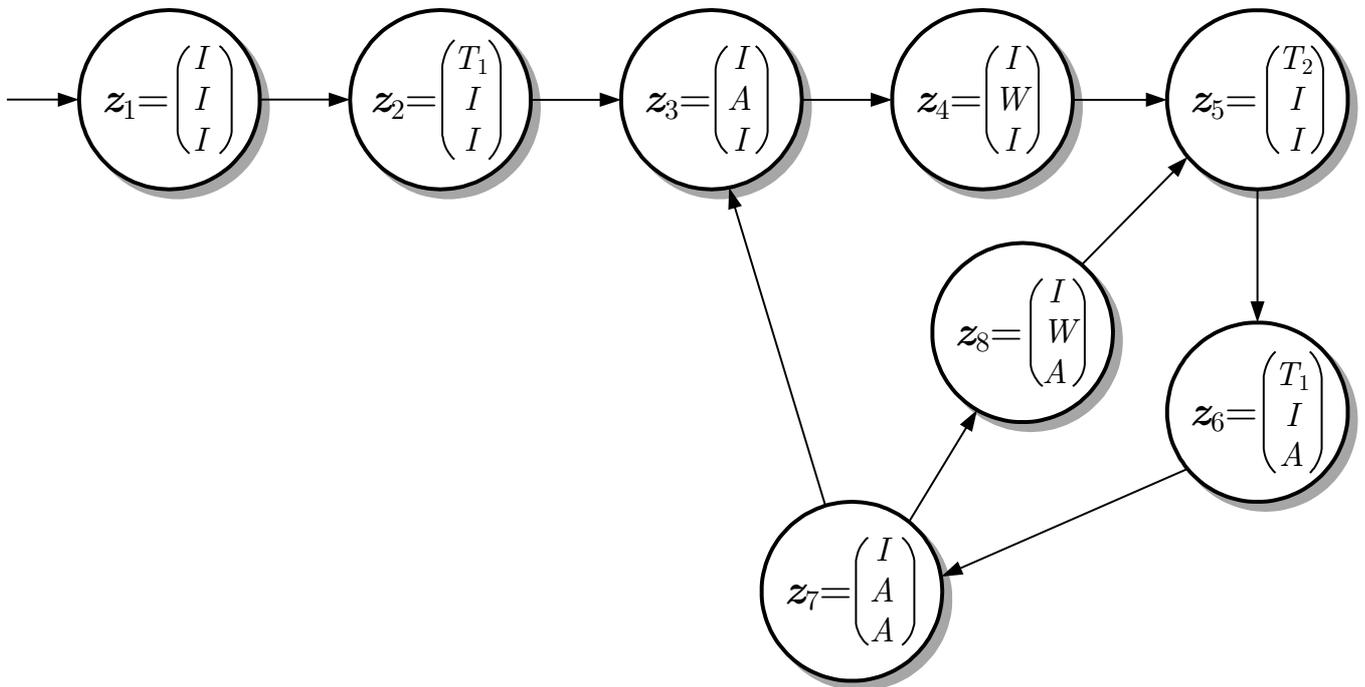


Abb. A.45: Modell der Fertigungszelle

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

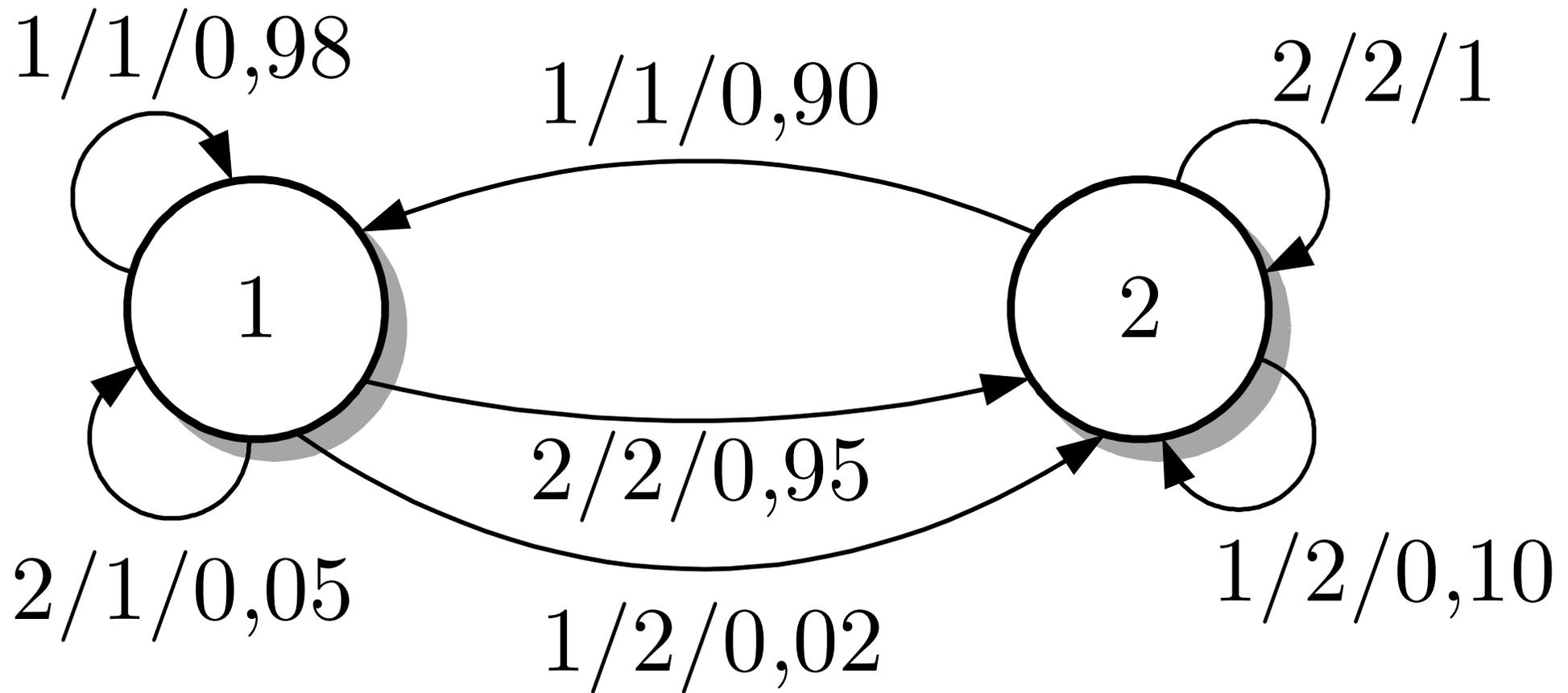


Abb. A.46. Beschreibung eines Regensors durch einen nichtdeterministischen Automaten

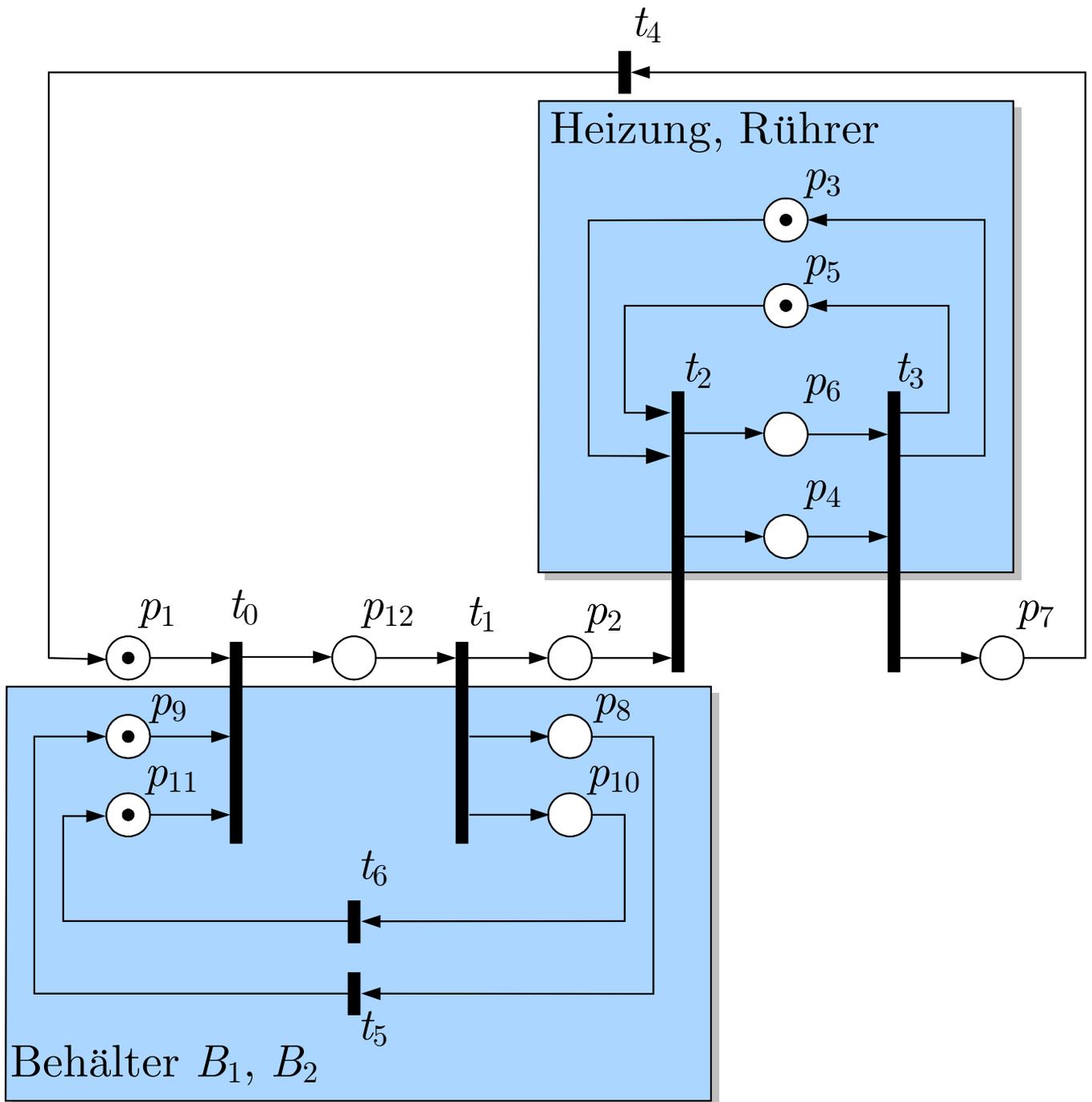


Abb. A.47: Petrinetz zur Beschreibung des Batchprozesses

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

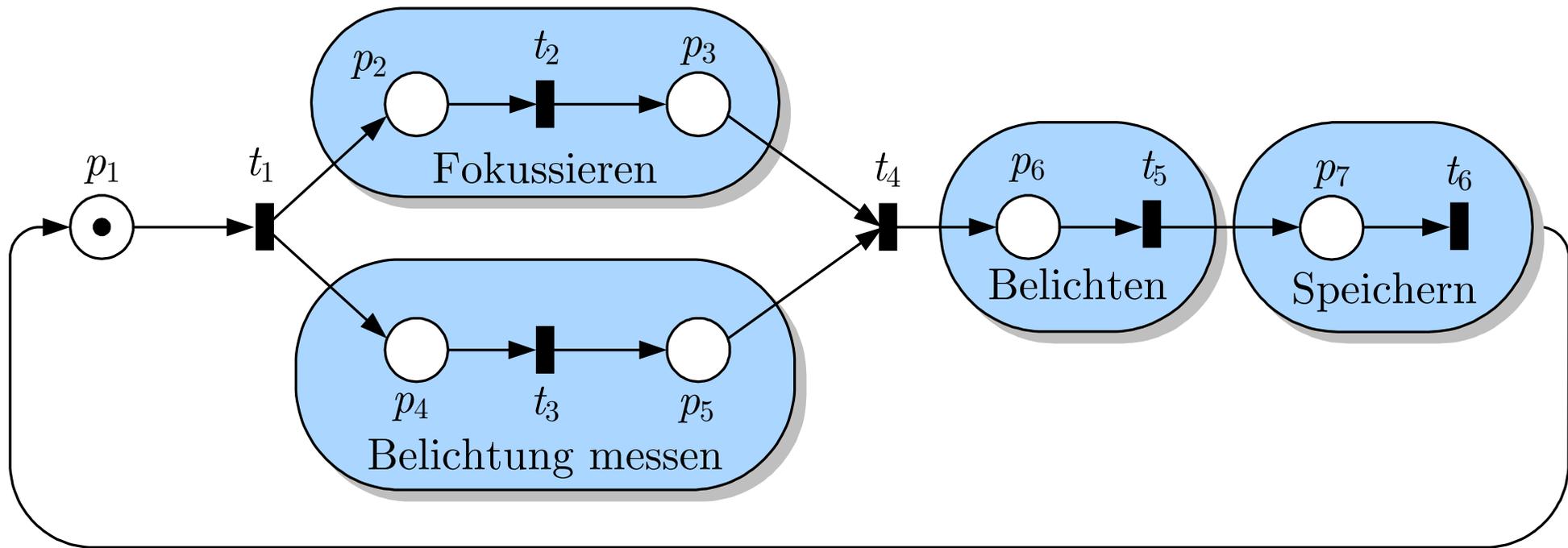


Abb. A.48. Beschreibung des Fotografierens mit einer Digitalkamera

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

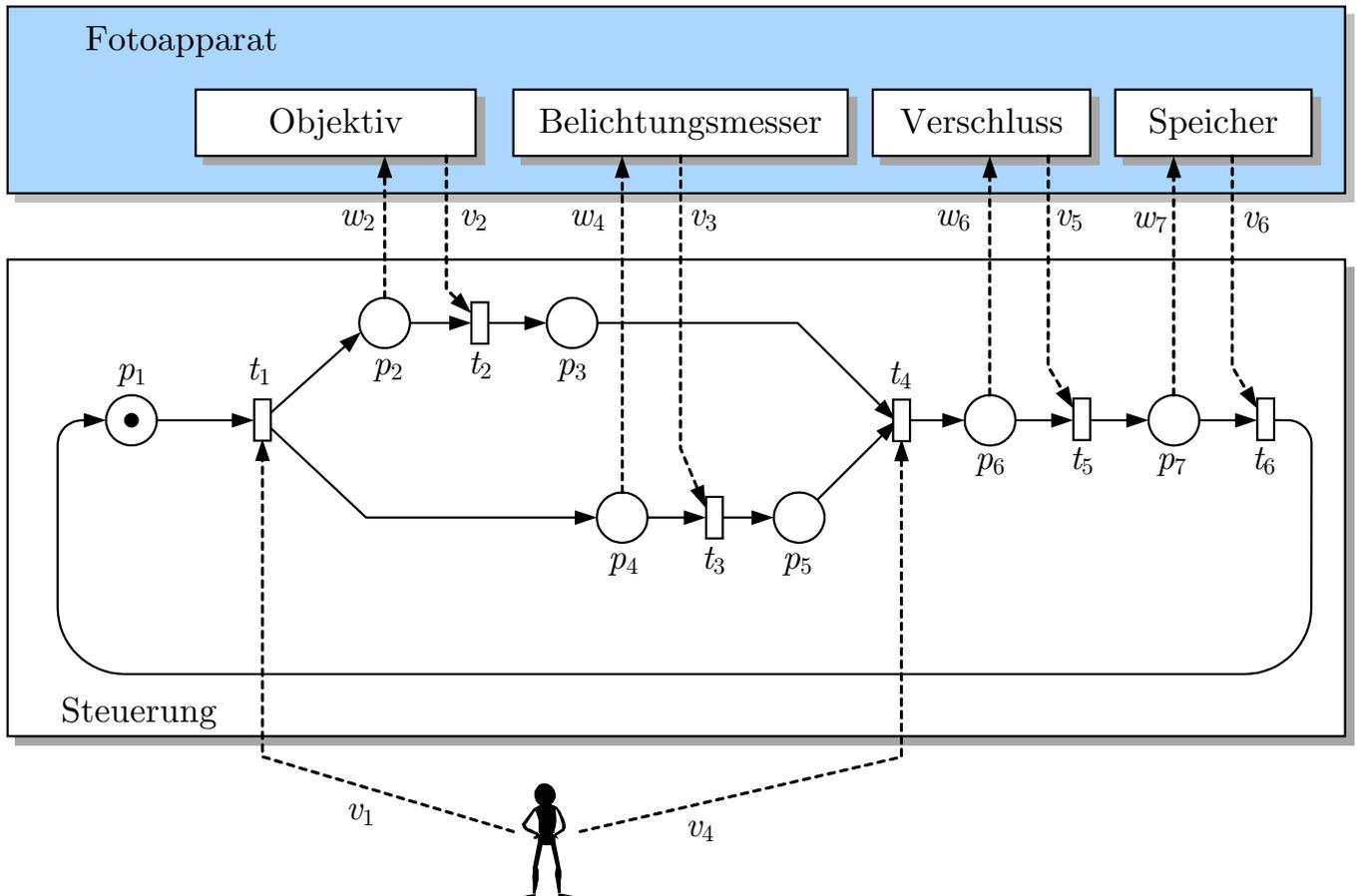


Abb. A.49: Blockschaltbild einer Digitalkamera

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

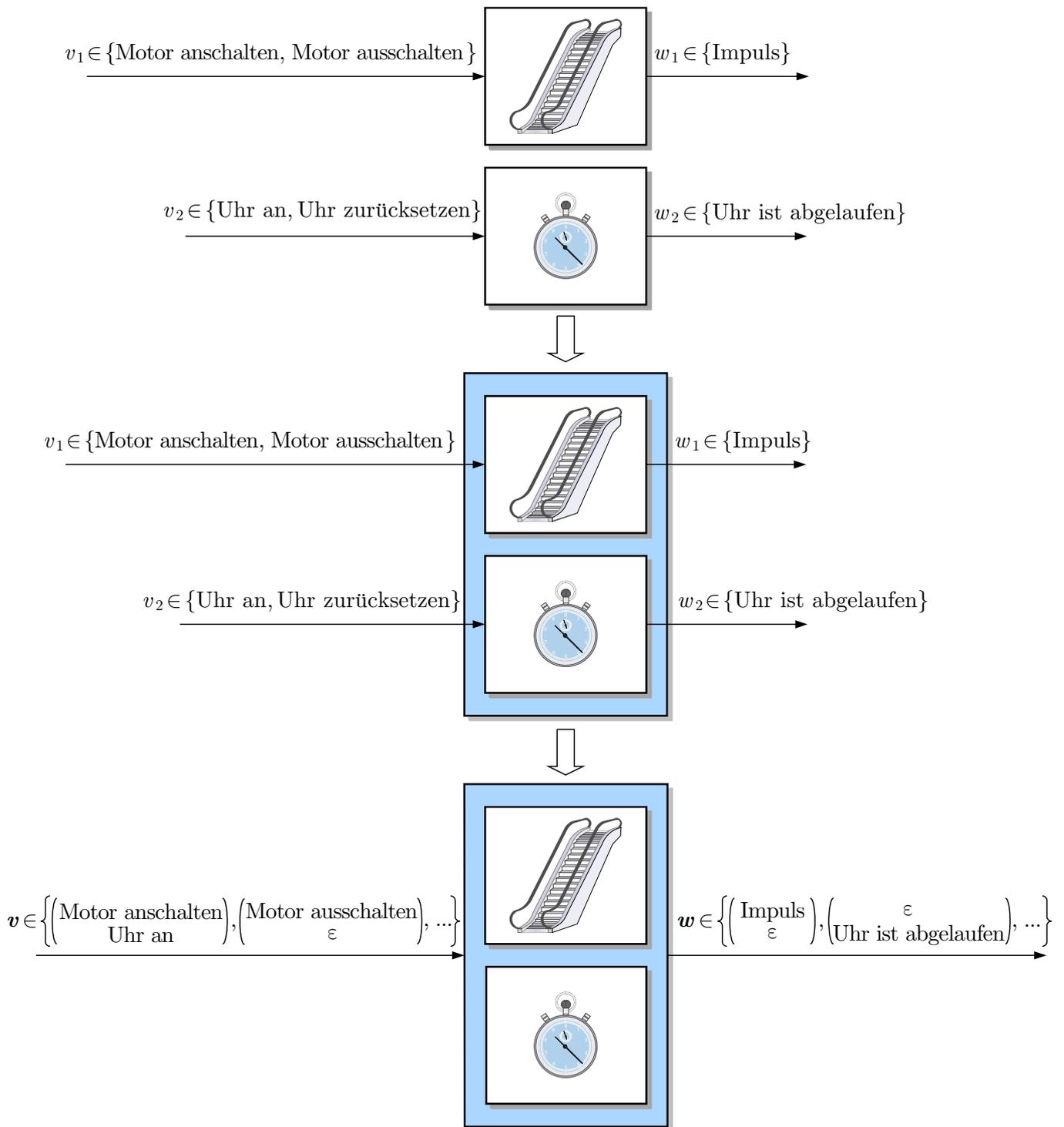


Abb. A.51: Synchronisation der Automaten für die Rolltreppe und die Uhr

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

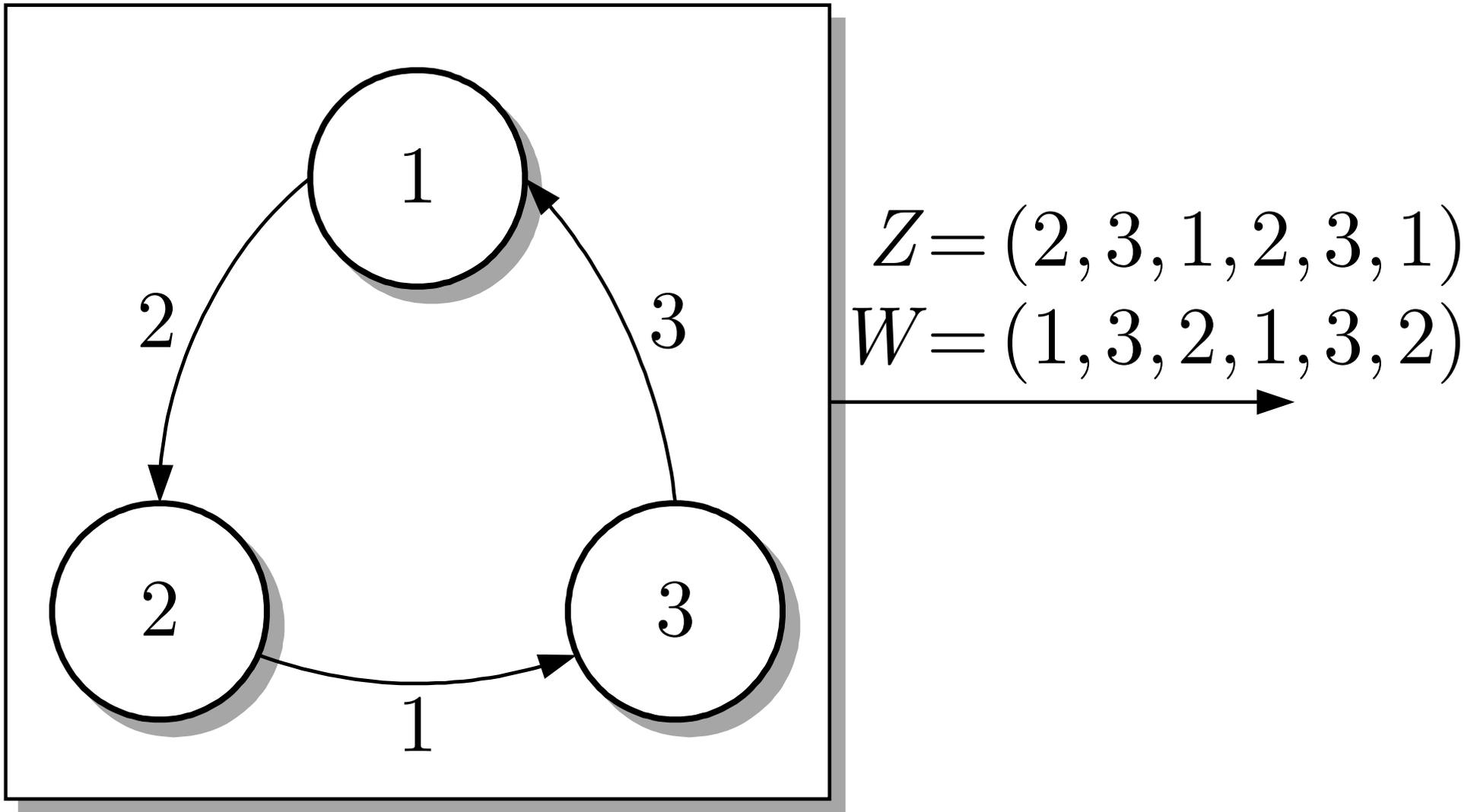


Abb. A.52. Rückführautomat, der den rückgekoppelten Automaten aus Abb. 11.62 (a) beschreibt

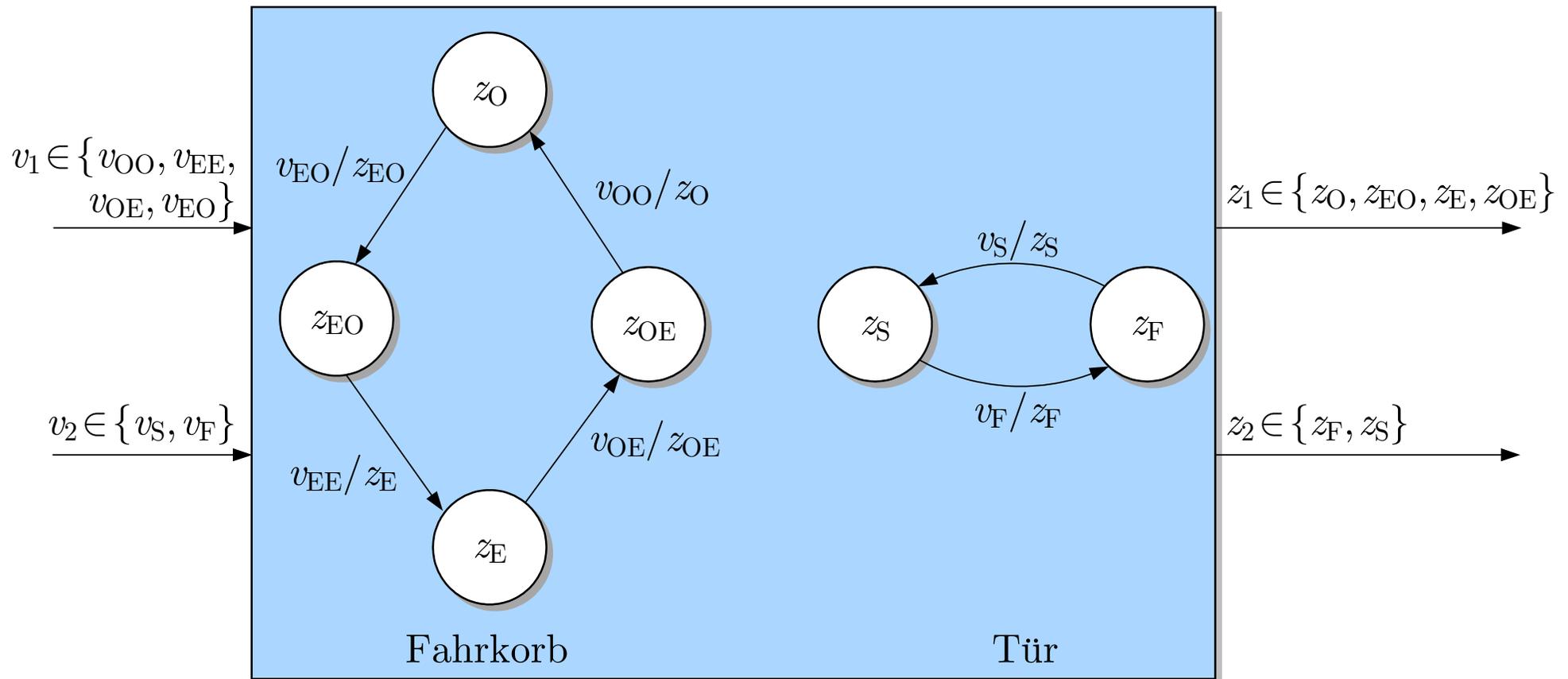


Abb. A.53. Beschreibung des Personenaufzugs durch zwei getrennte Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

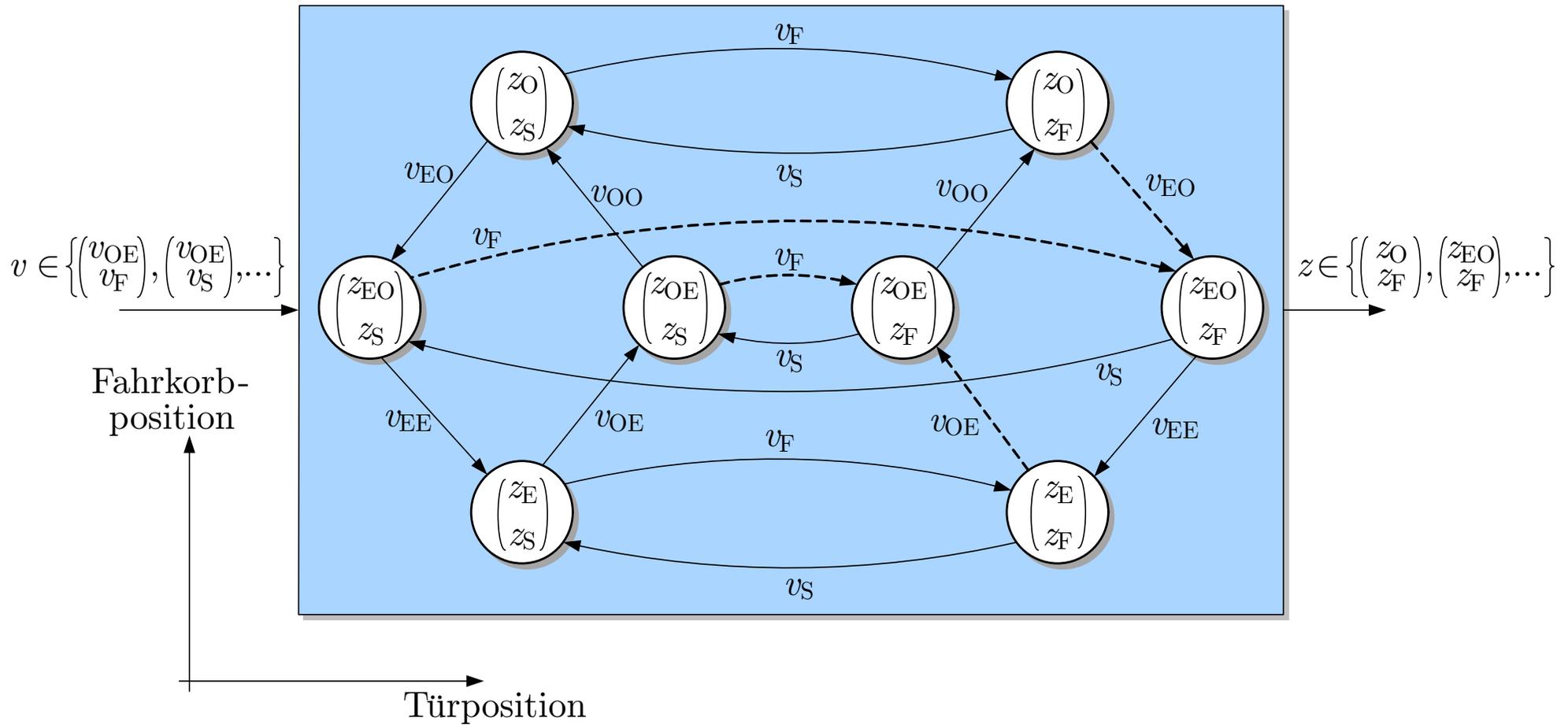


Abb. A.54. Automat, der den Personenaufzug beschreibt

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

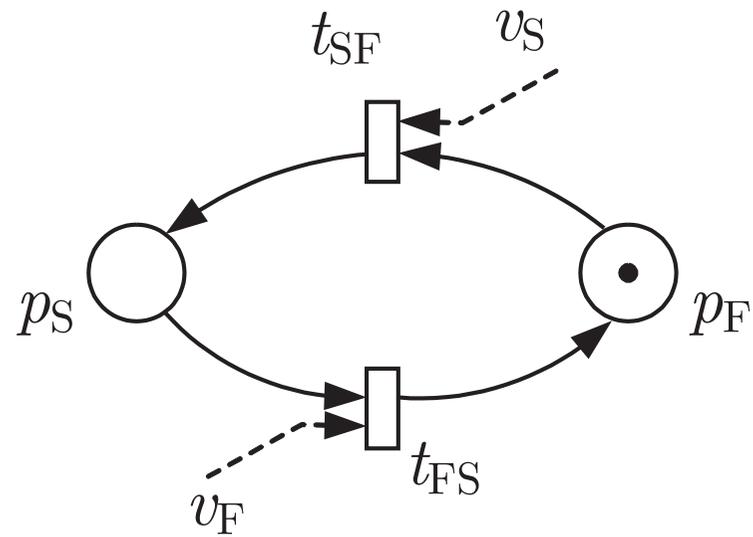
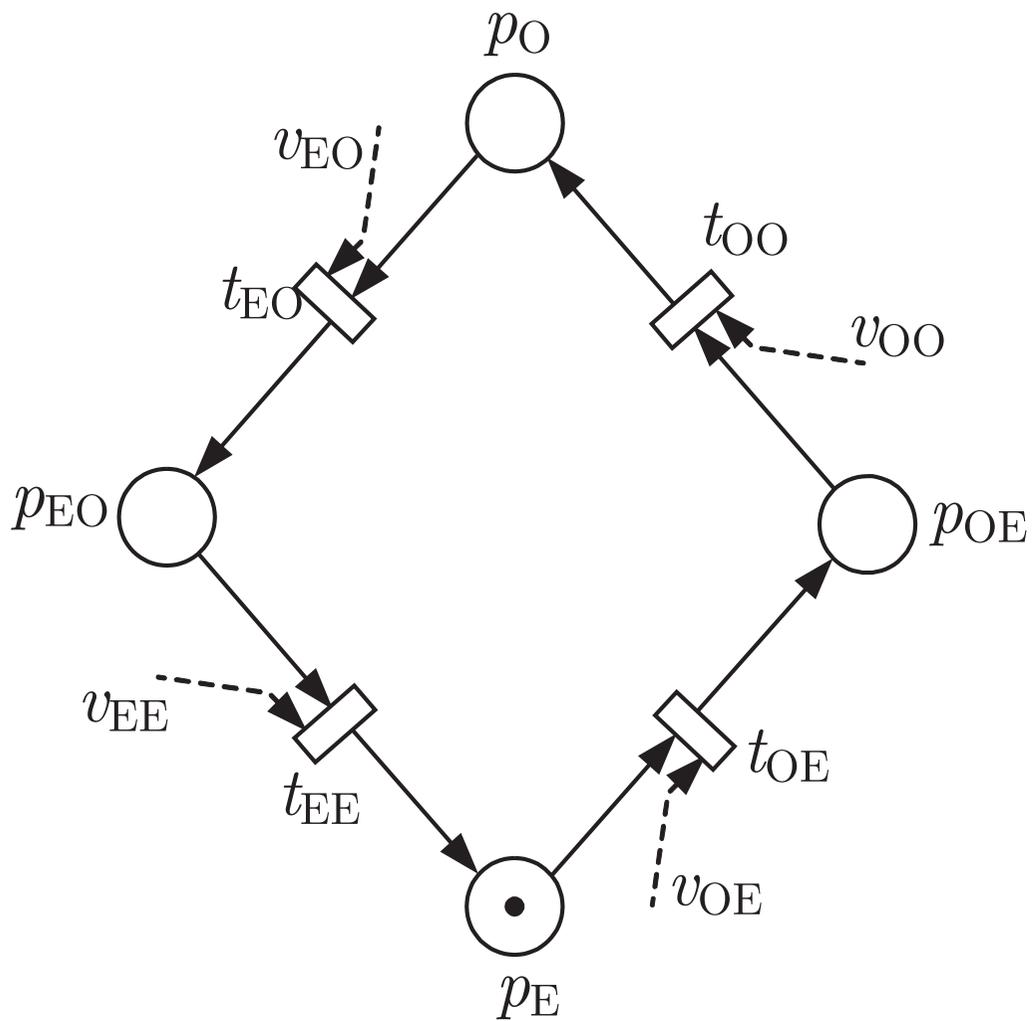


Abb. A.55. Petrinetz zur Beschreibung des Personenaufzugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

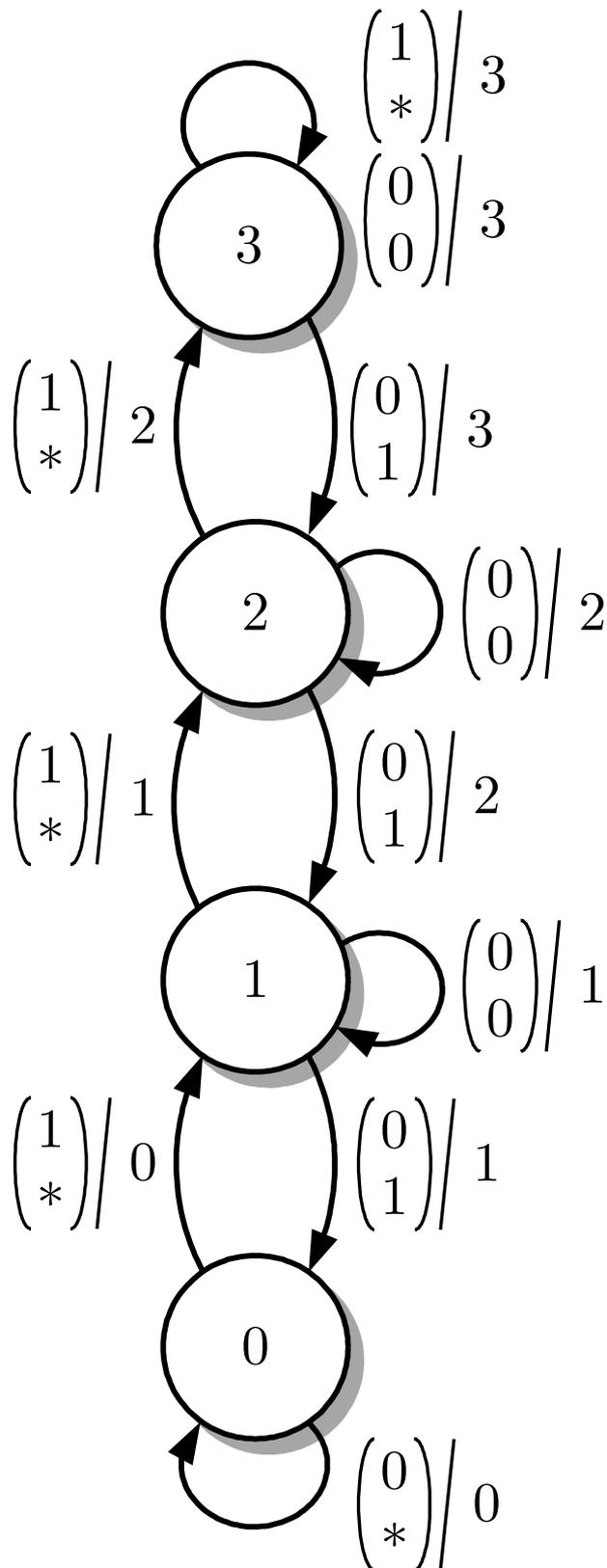


Abb. A.56. Beschreibung des Vorratsbehälters durch deterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

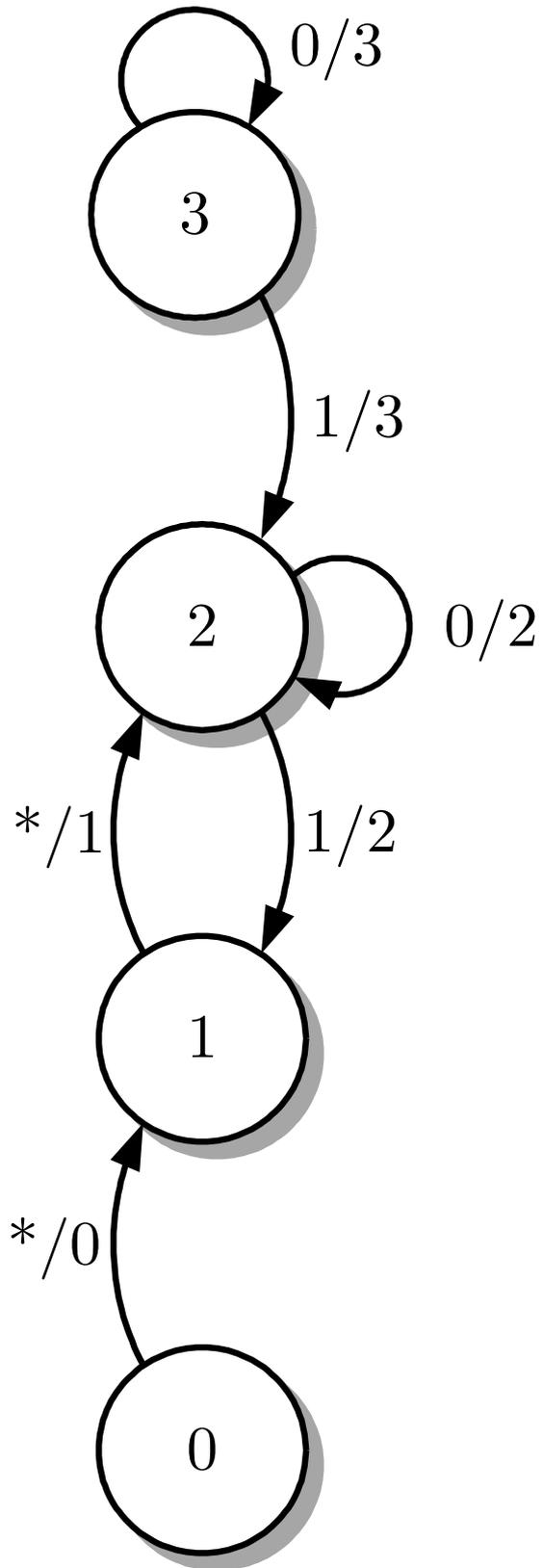


Abb. A.56. Beschreibung des geregelten Vorratsbehälters durch deterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

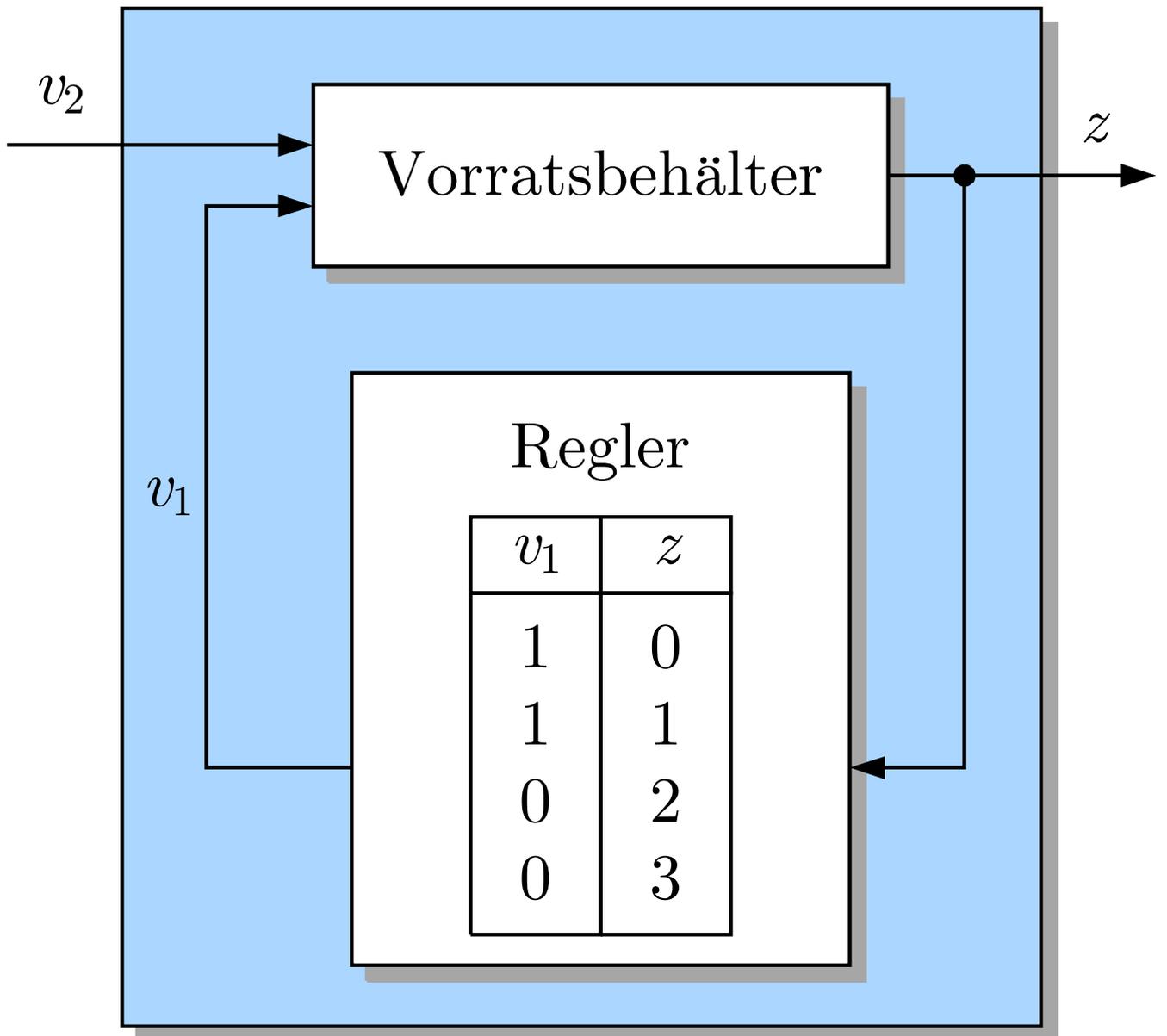


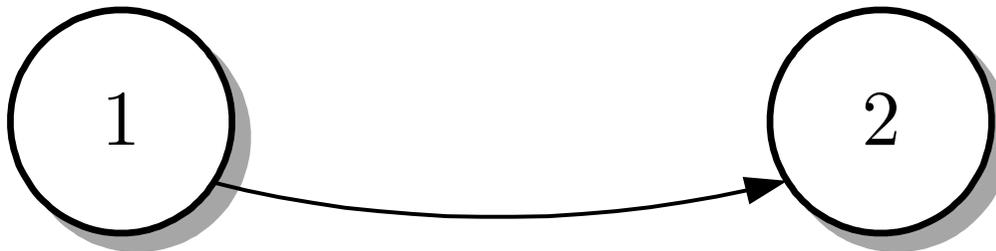
Abb. A.57: Regelkreis

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

$$\text{Prob}(Z(0) = 1) = 1$$

$$\text{Prob}(Z(0) = 2) = 0$$

$$\text{Prob}(Z(1) = 2 \mid V(0) = 2) = ?$$



$$\text{Prob}(Z(1) = 2 \mid Z(0) = 1, V(0) = 2) = 0,95$$

Abb. A.58. Zustandsübergang des Regensors für $k = 0 \rightarrow k = 1$ bei $z_0 = 1$

$$\text{Prob}(Z(0) = 2) = 0,5$$

$$\text{Prob}(Z(1) = 2 \mid V(0) = 2) = ?$$

$$\text{Prob}(Z(0) = 1) = 0,5$$

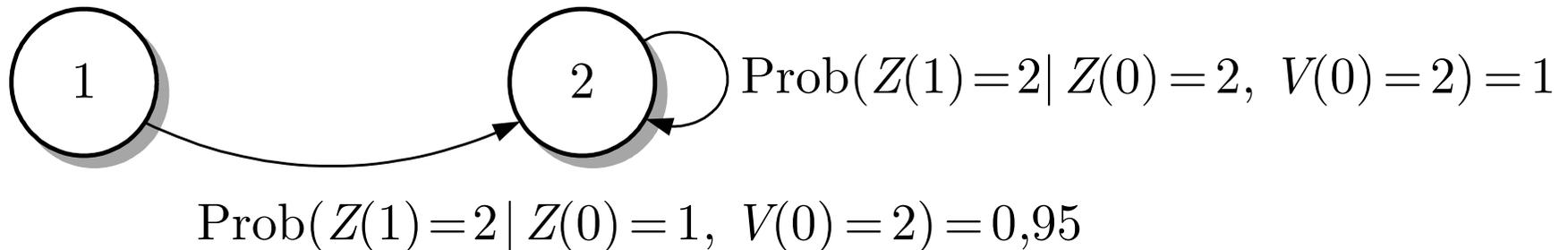


Abb. A.59. Zustandsübergang des Regensensors für $k = 0 \rightarrow k = 1$ für die zweite Anfangszustandswahrscheinlichkeitsverteilung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

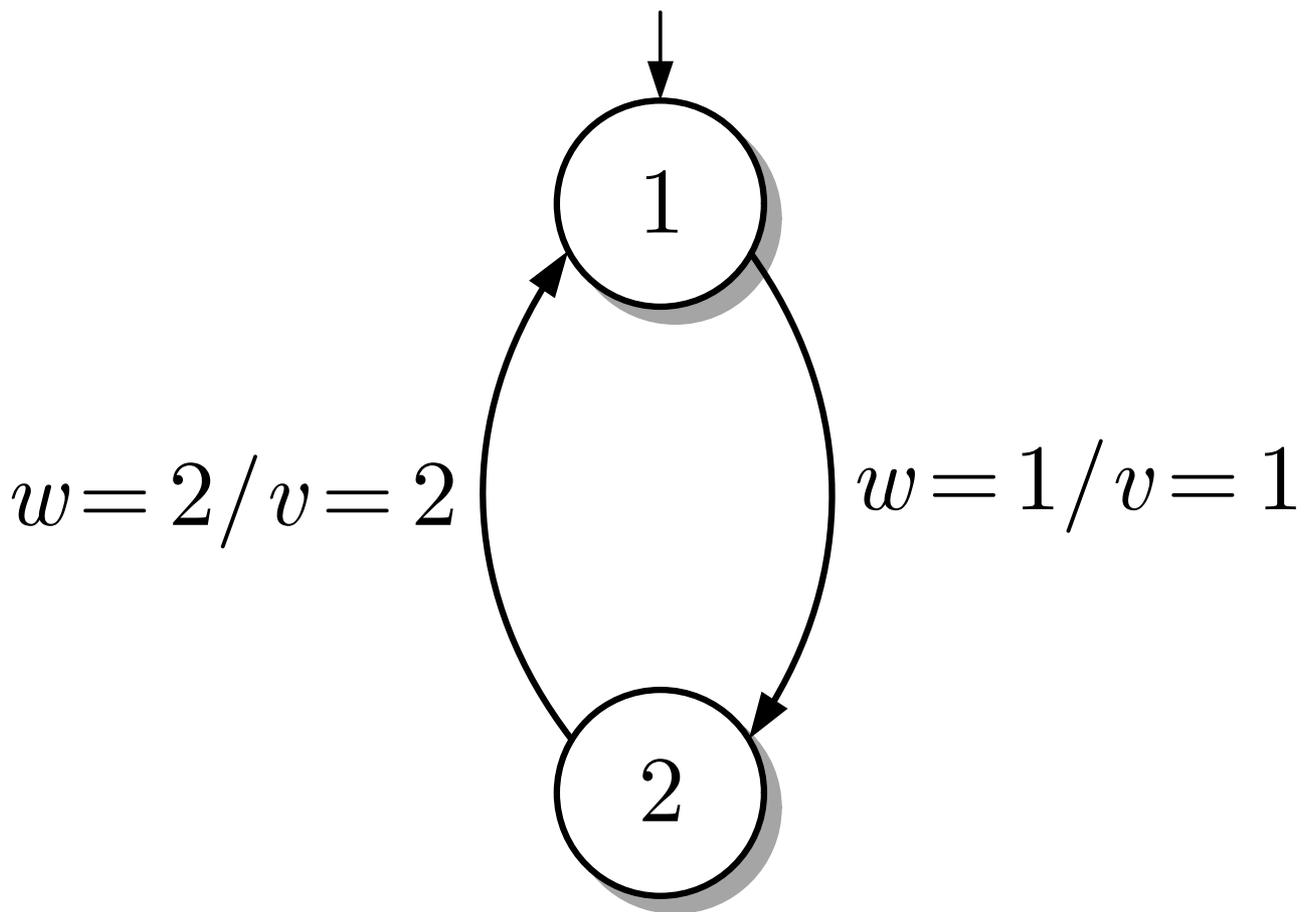


Abb. A.60: Automatengraph der Steuerungen der Treppenhausbeleuchtung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

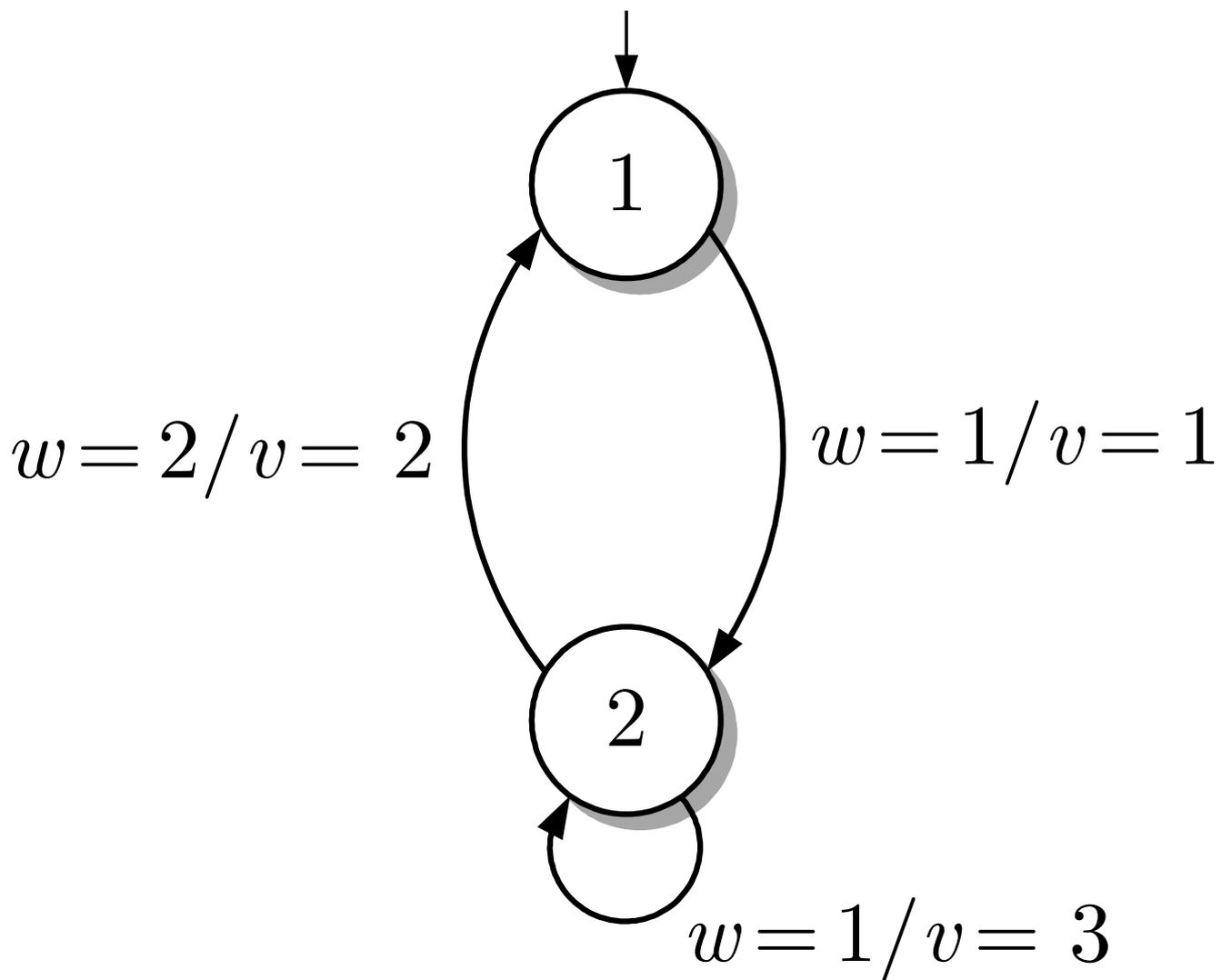


Abb. A.60: Automatengraph der Steuerungen der Treppenhausbeleuchtung

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

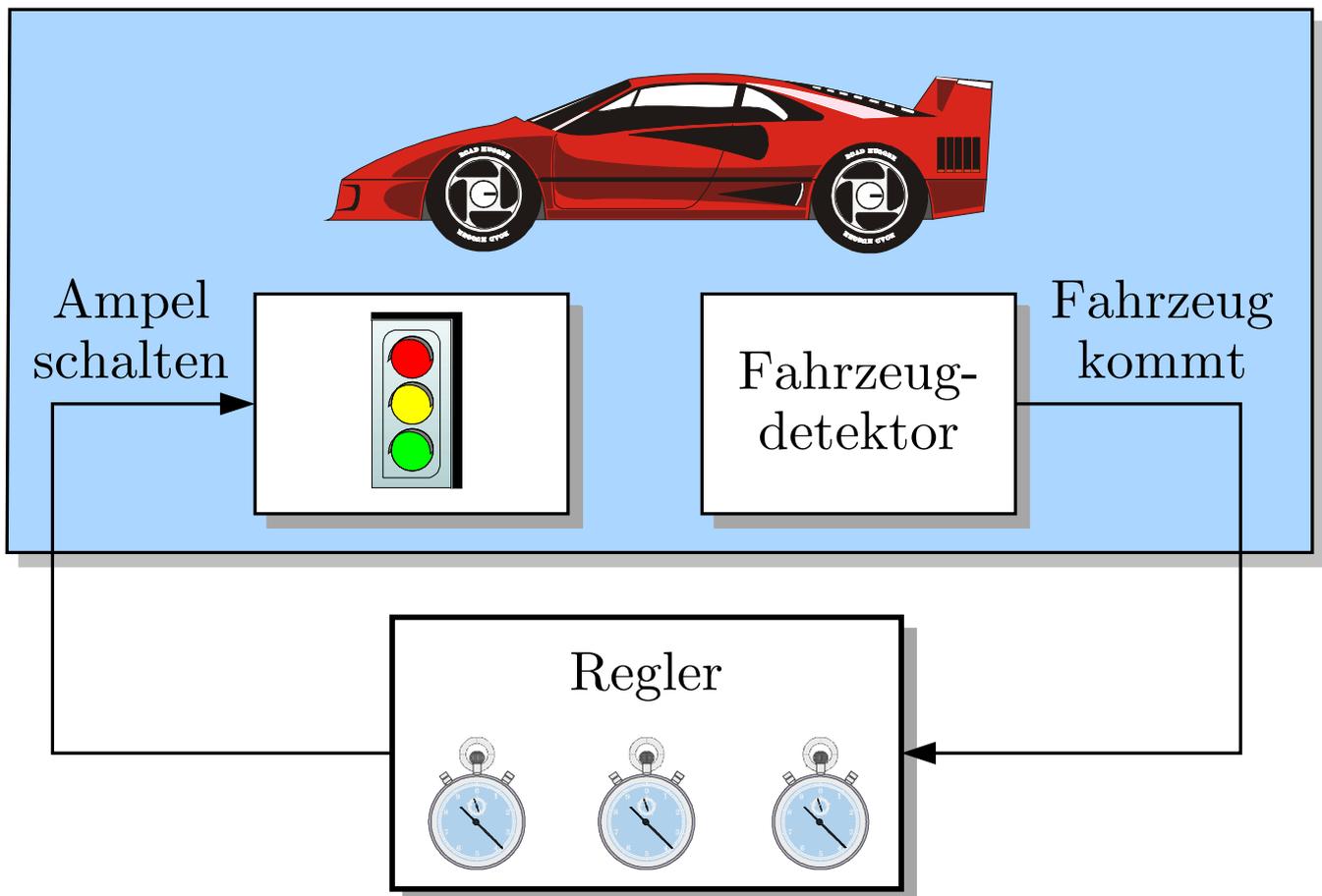


Abb. A.61: Blockschaltbild der gesteuerten Bremsampel

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

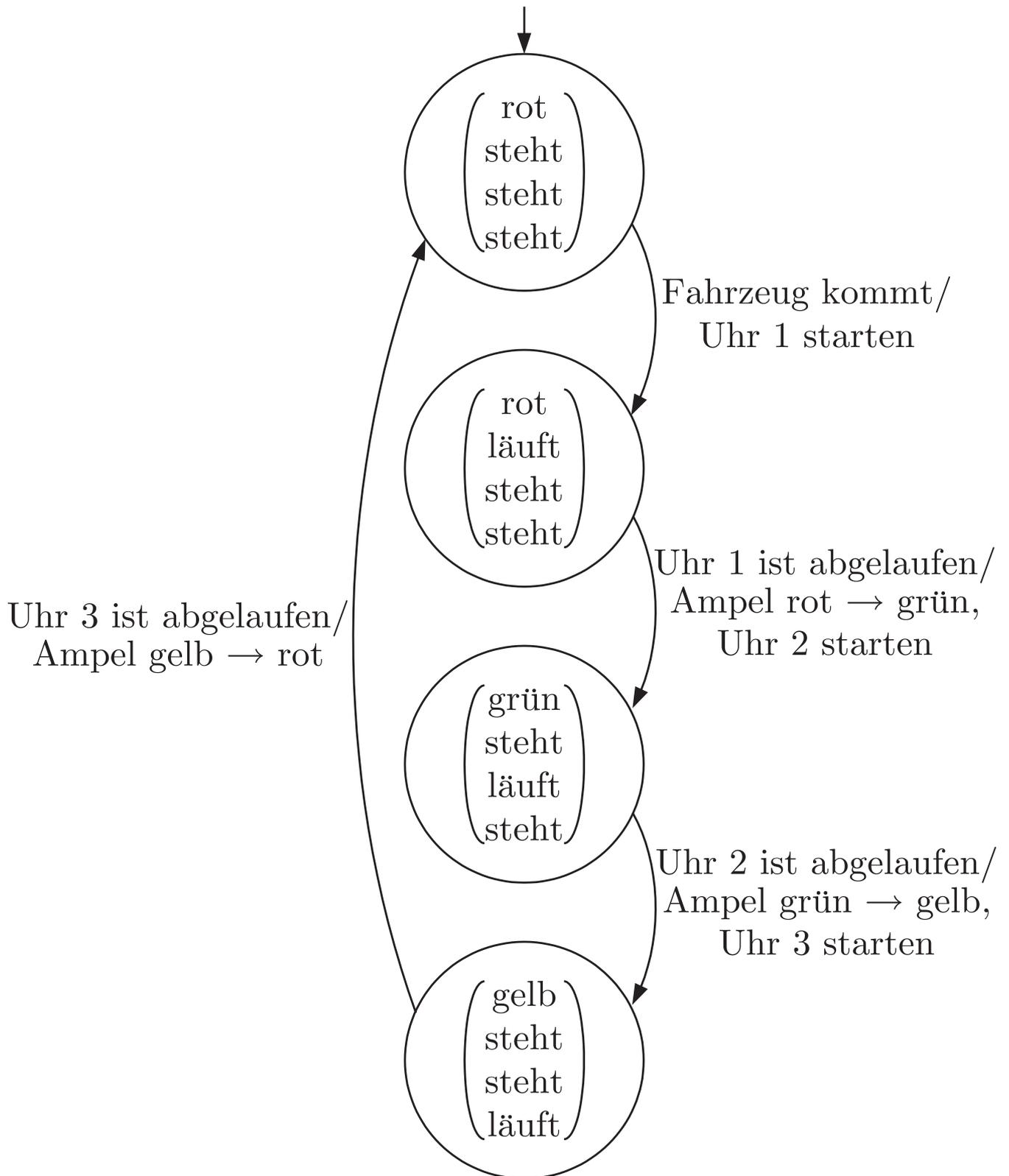


Abb. A.62: Beschreibung der gesteuerten Ampel durch einen Automaten

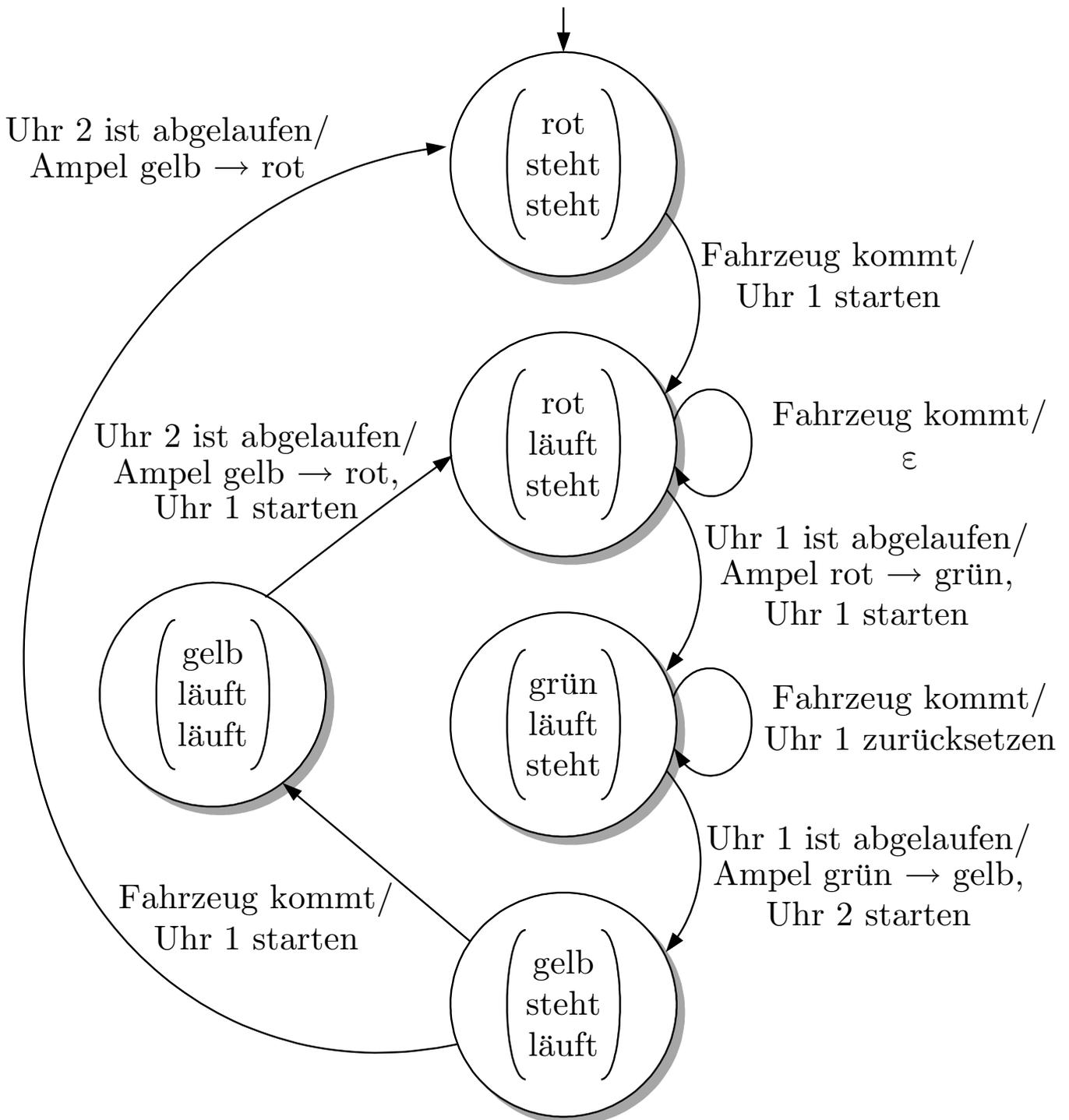


Abb. A.63: Erweiterung der Beschreibung der Ampelsteuerung

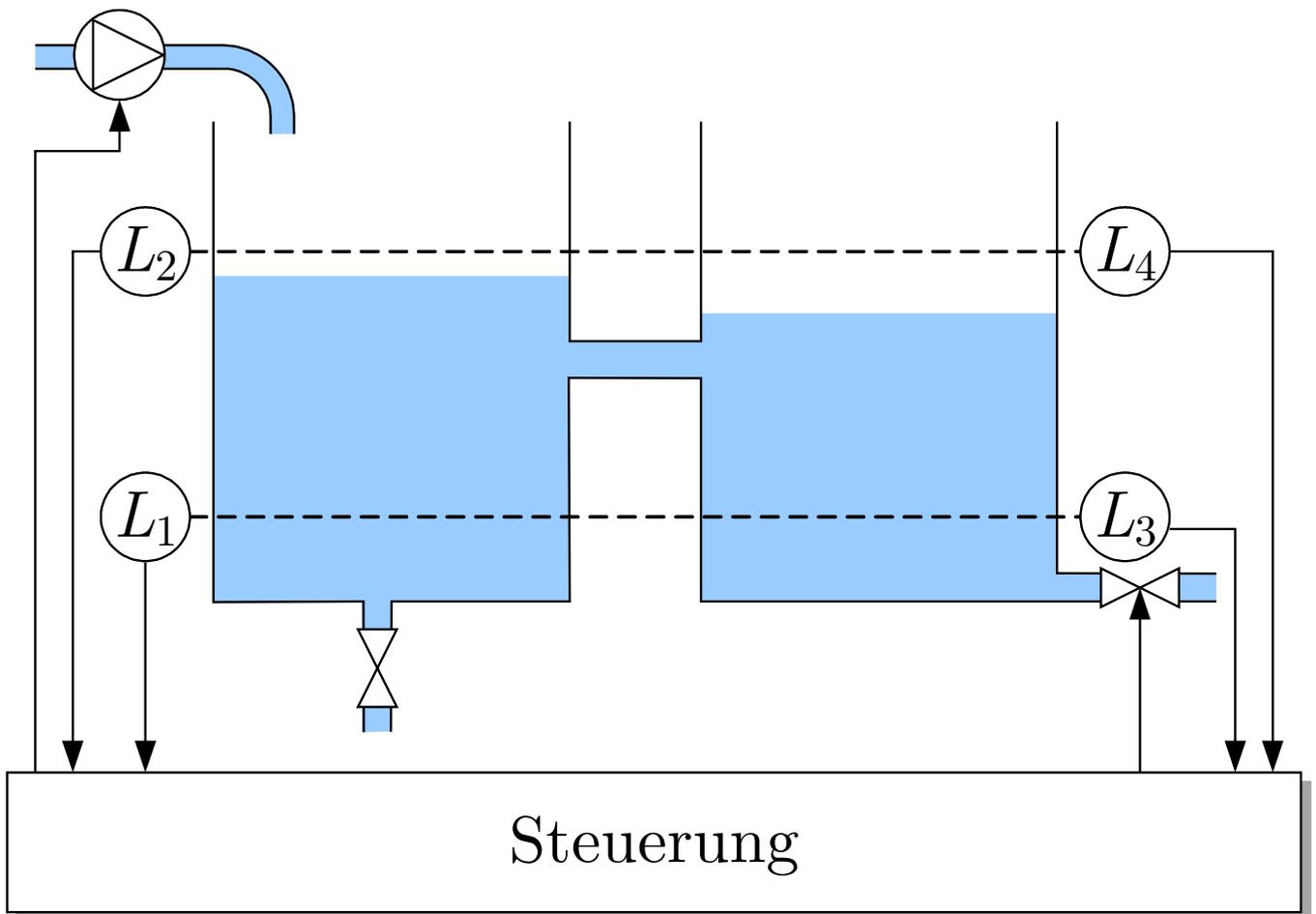


Abb. A.64: Blockschaltbild des gesteuerten Batchprozesses

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

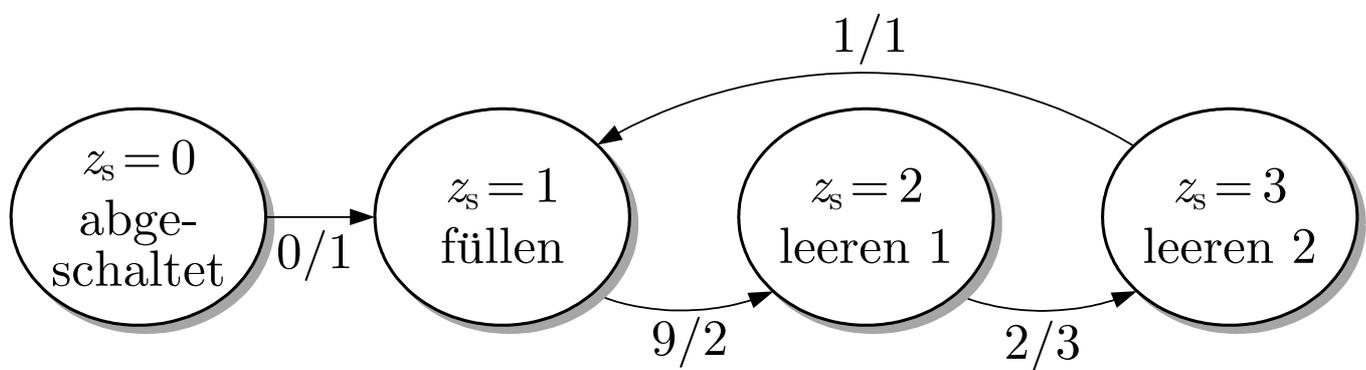


Abb. A.65: Automatengraph der Steuerung des Batchprozesses

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

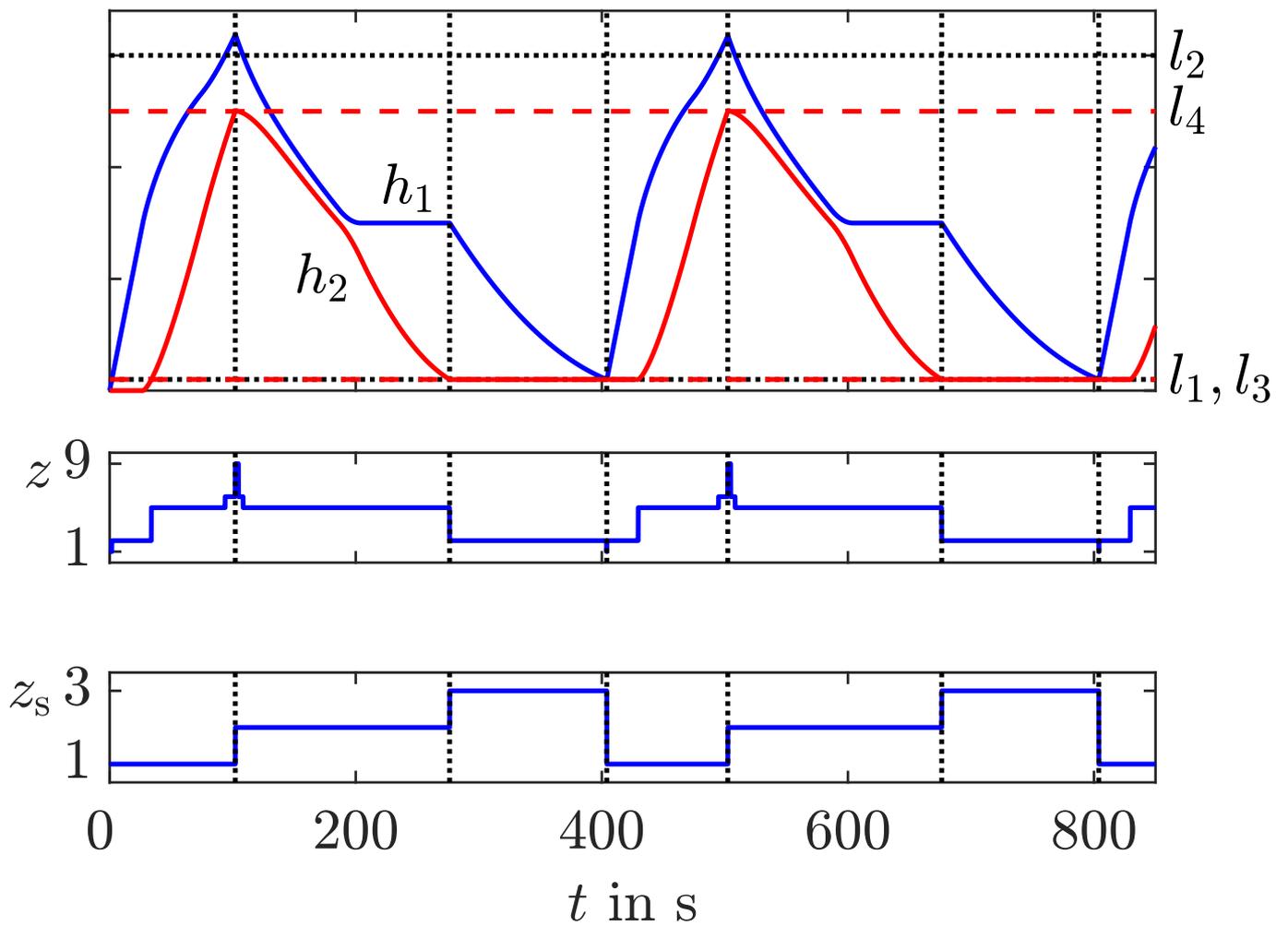


Abb. A.66: Verhalten des gesteuerten Behältersystems

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

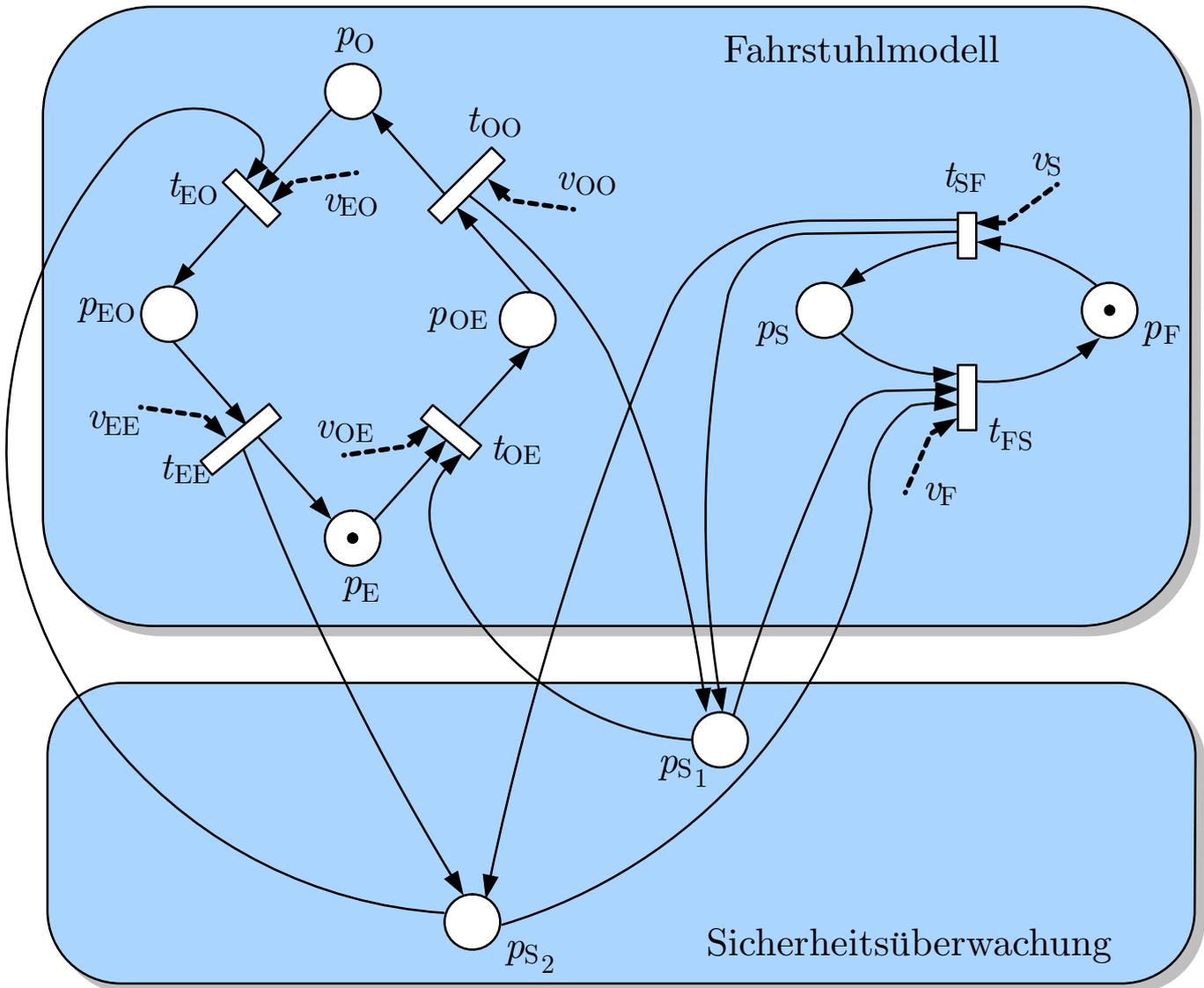


Abb. A.67: Petrinetz des gesteuerten Personenaufzugs

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

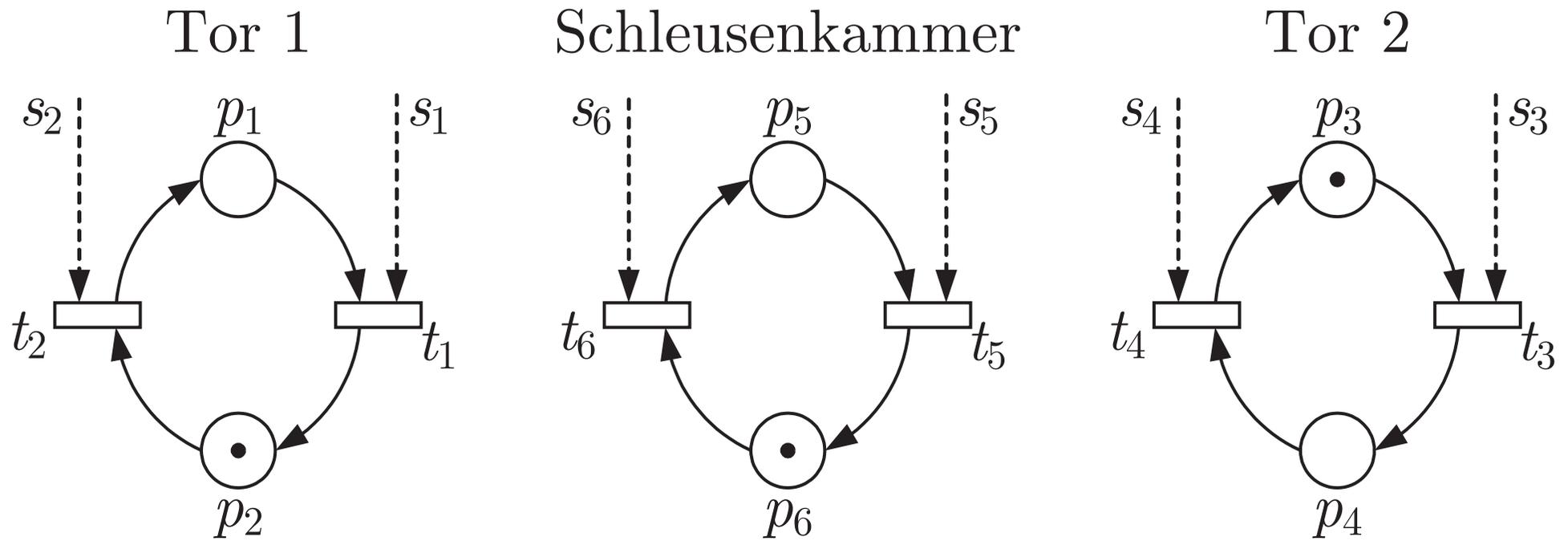


Abb. A.68. Modell der ungesteuerten Schiffsschleuse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

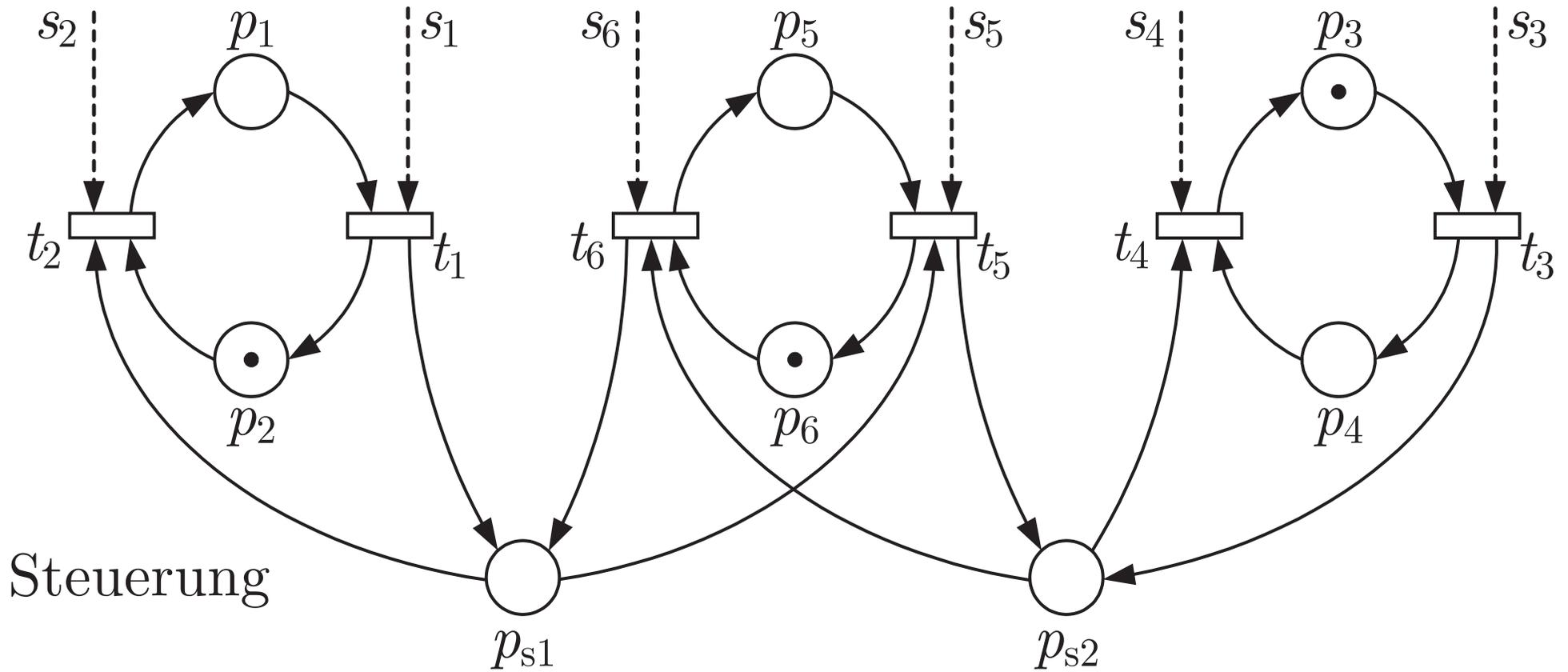


Abb. A.69. Modell der gesteuerten Schiffsschleuse

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

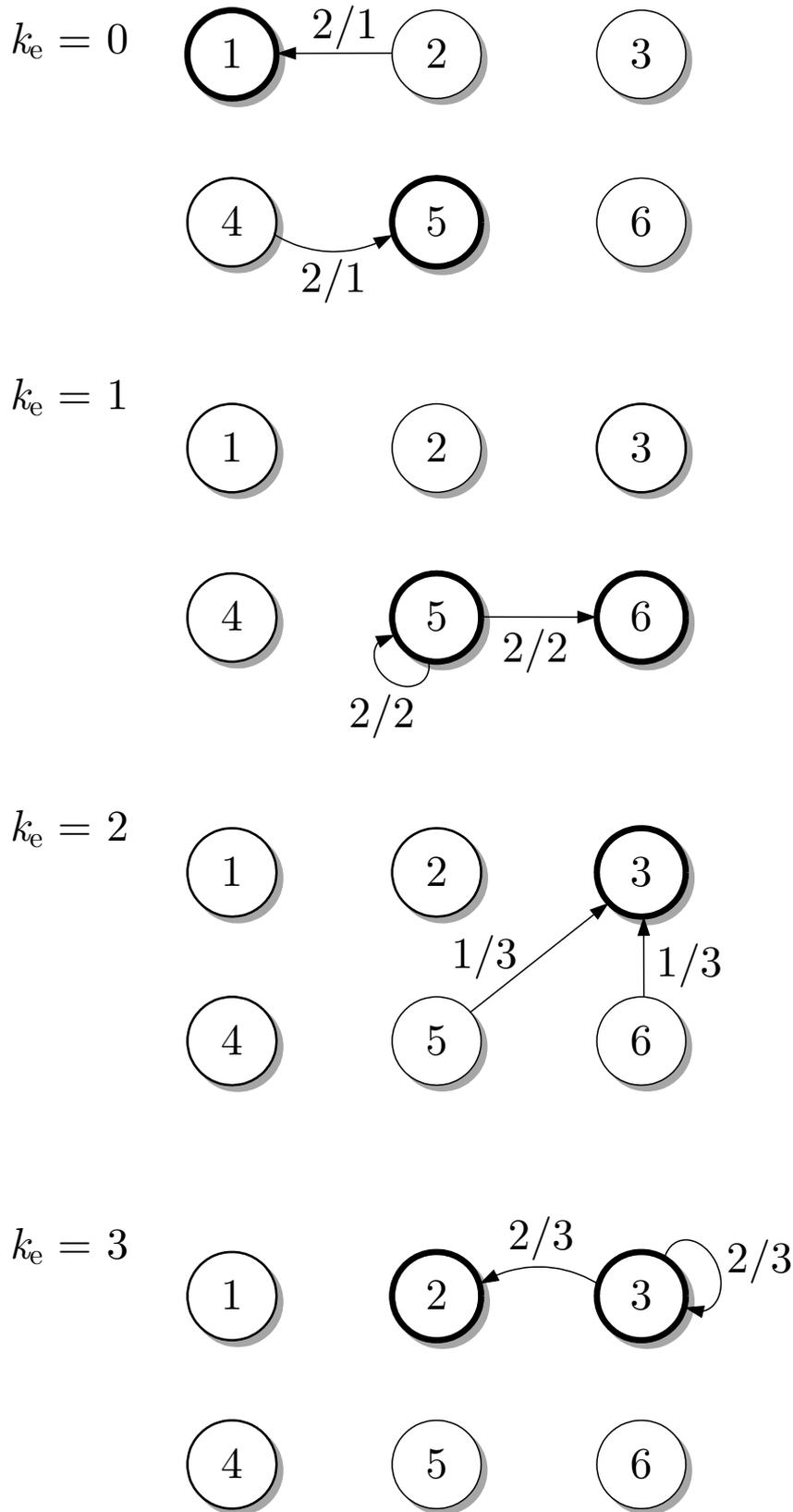


Abb. A.70. Ergebnisse der Zustandsbeobachtung für das E/A-Paar (15.6)

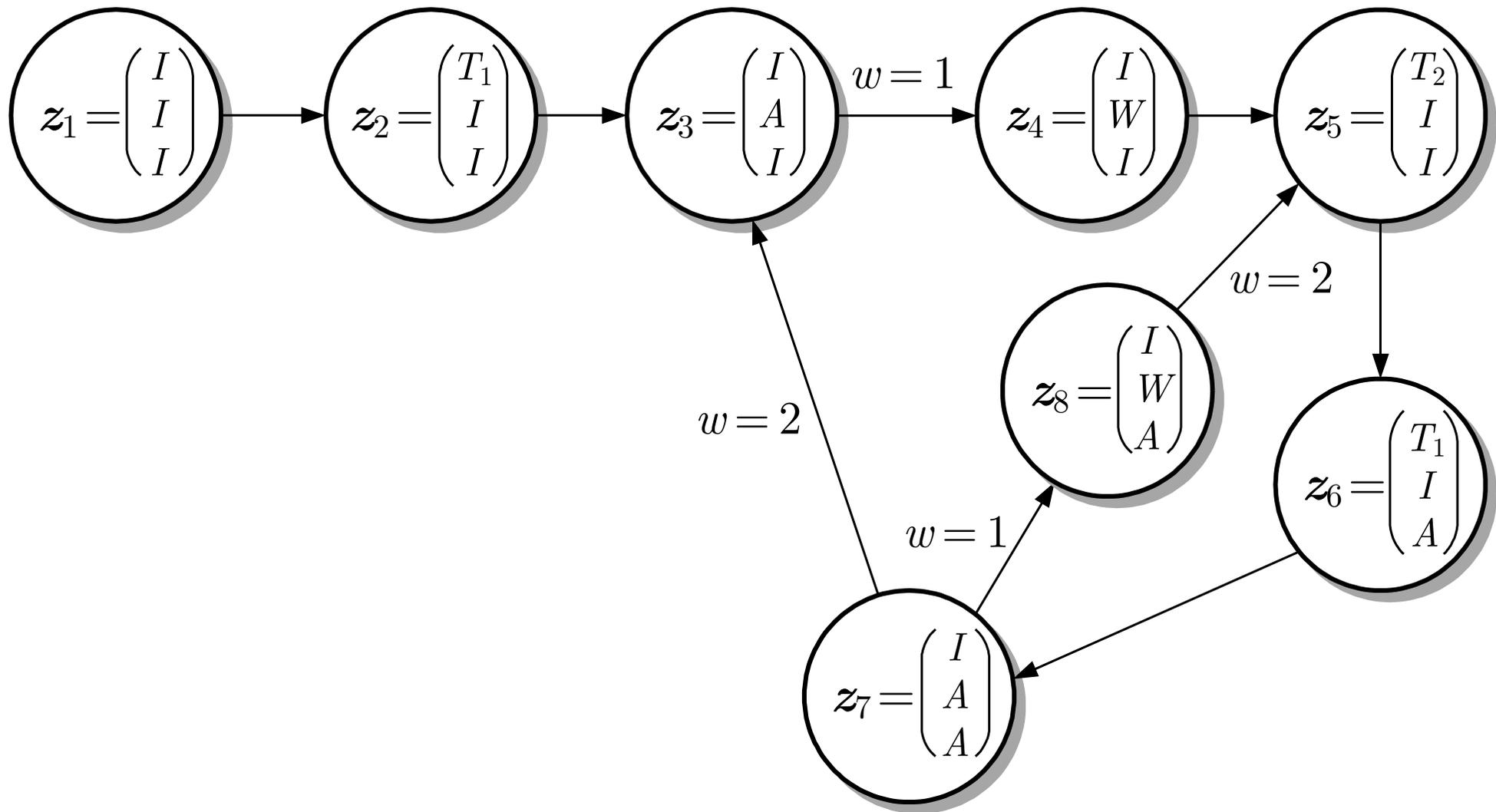


Abb. A.71. Automatengraph der Fertigungszelle mit Kennzeichnung der Ausgaben

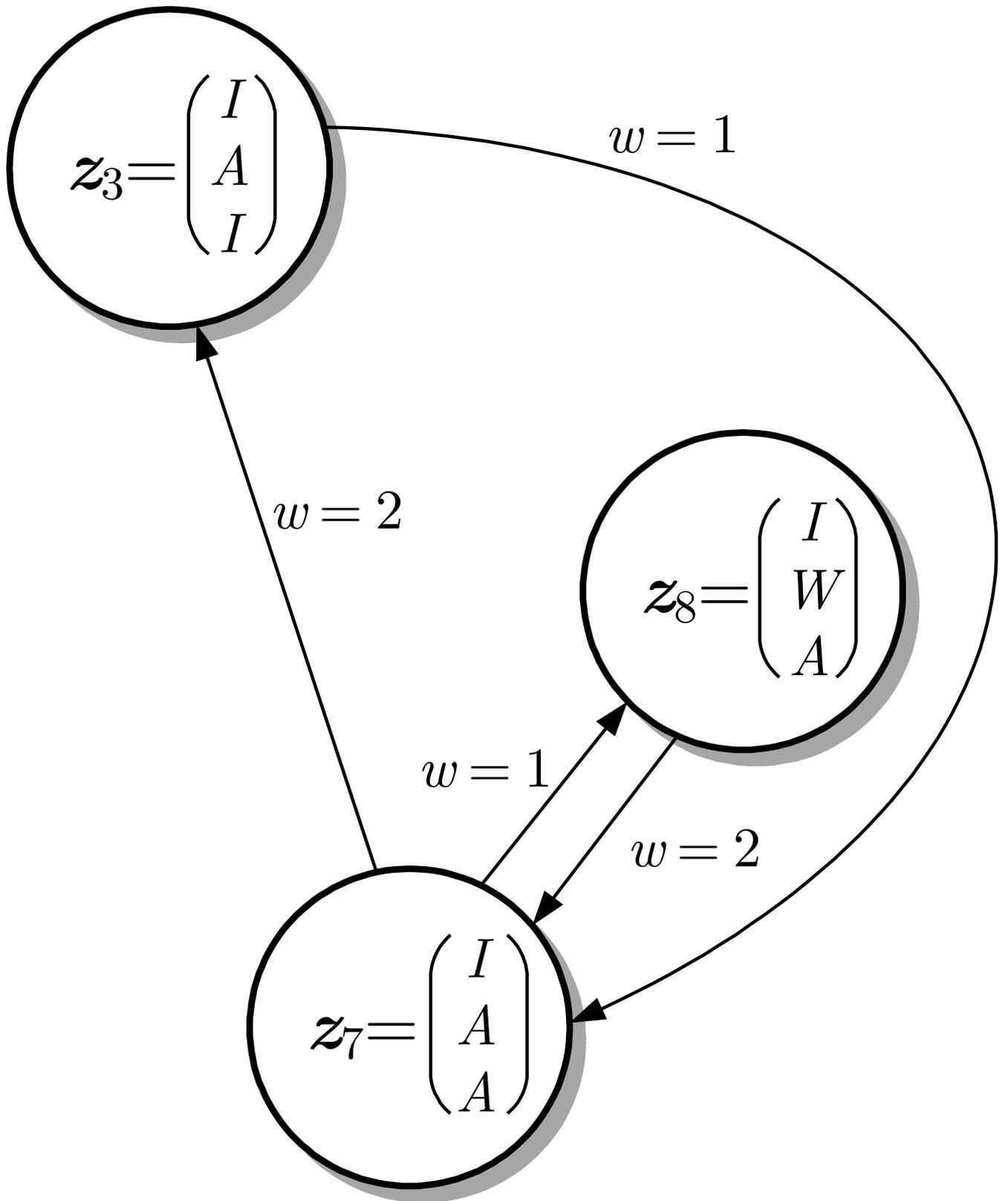


Abb. A.72: Reduzierter Automat der Fertigungszelle

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

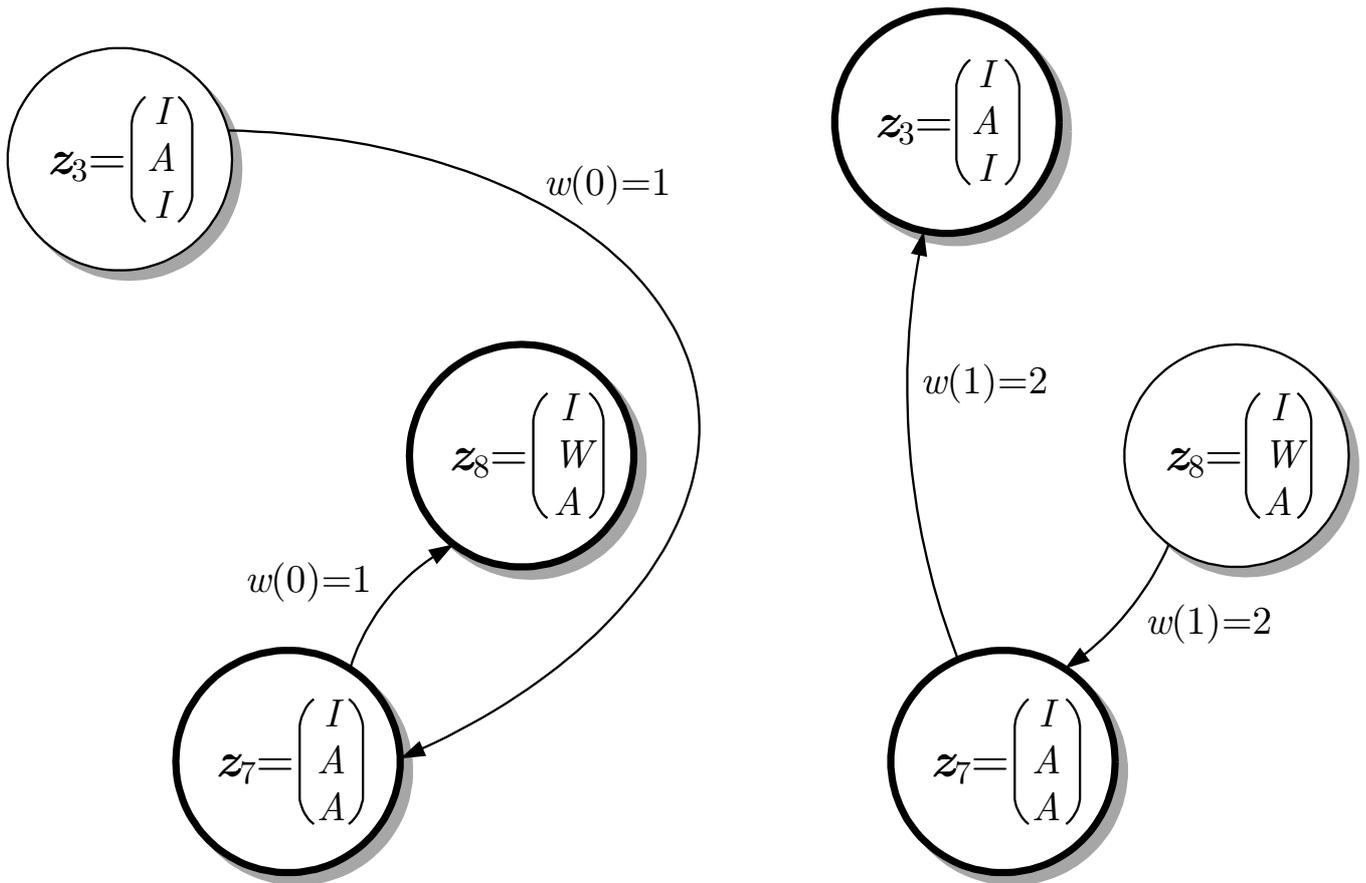


Abb. A.73: Beobachtungsergebnis der Fertigungszelle

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

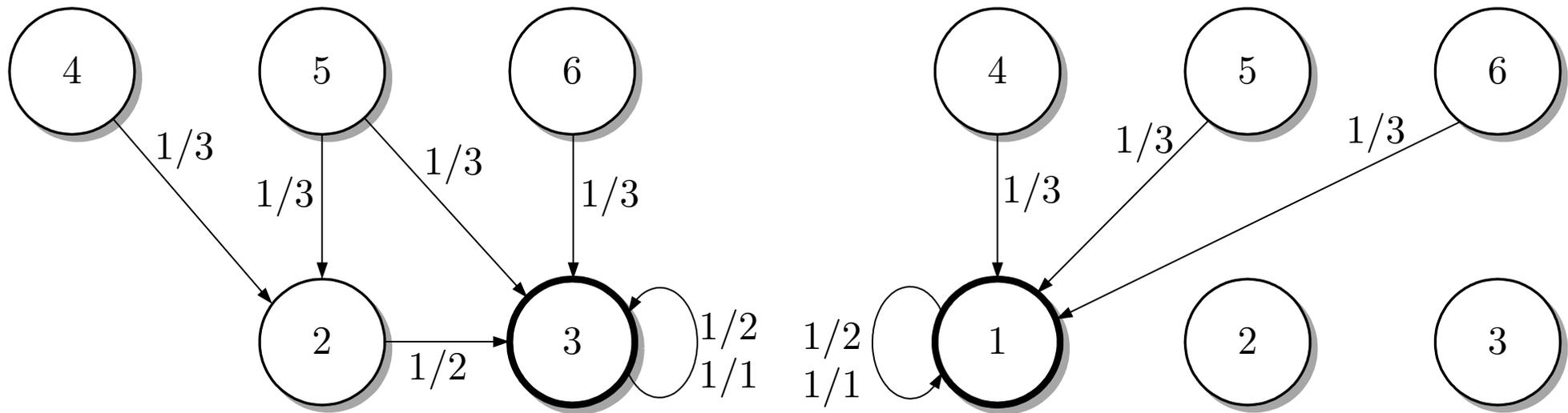


Abb. A.74. Teile der Automatengraphen, die für die Lösung der Diagnoseaufgabe wesentlich sind

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

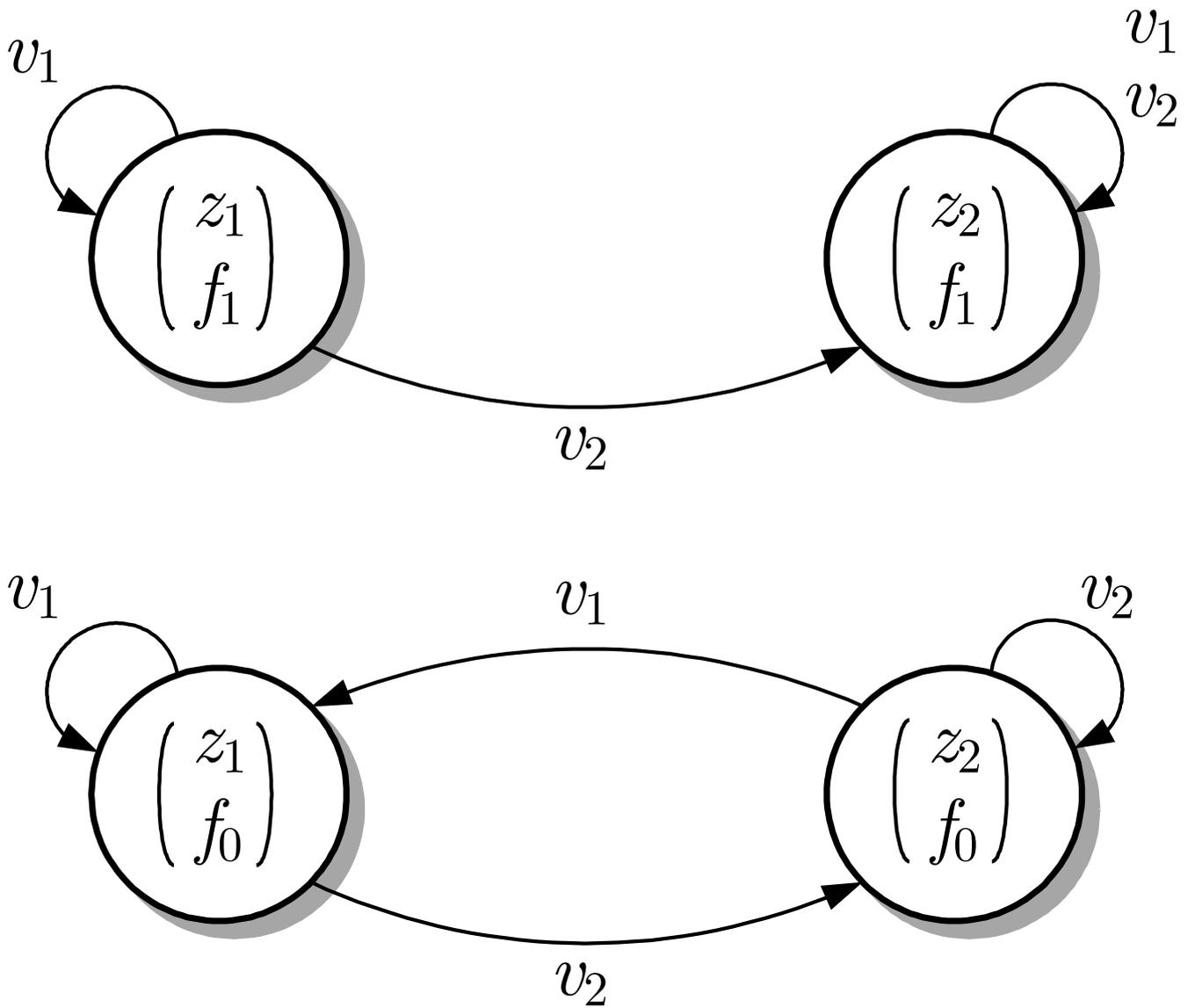


Abb. A.75: Beschreibung des Batchreaktors durch einen deterministischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020

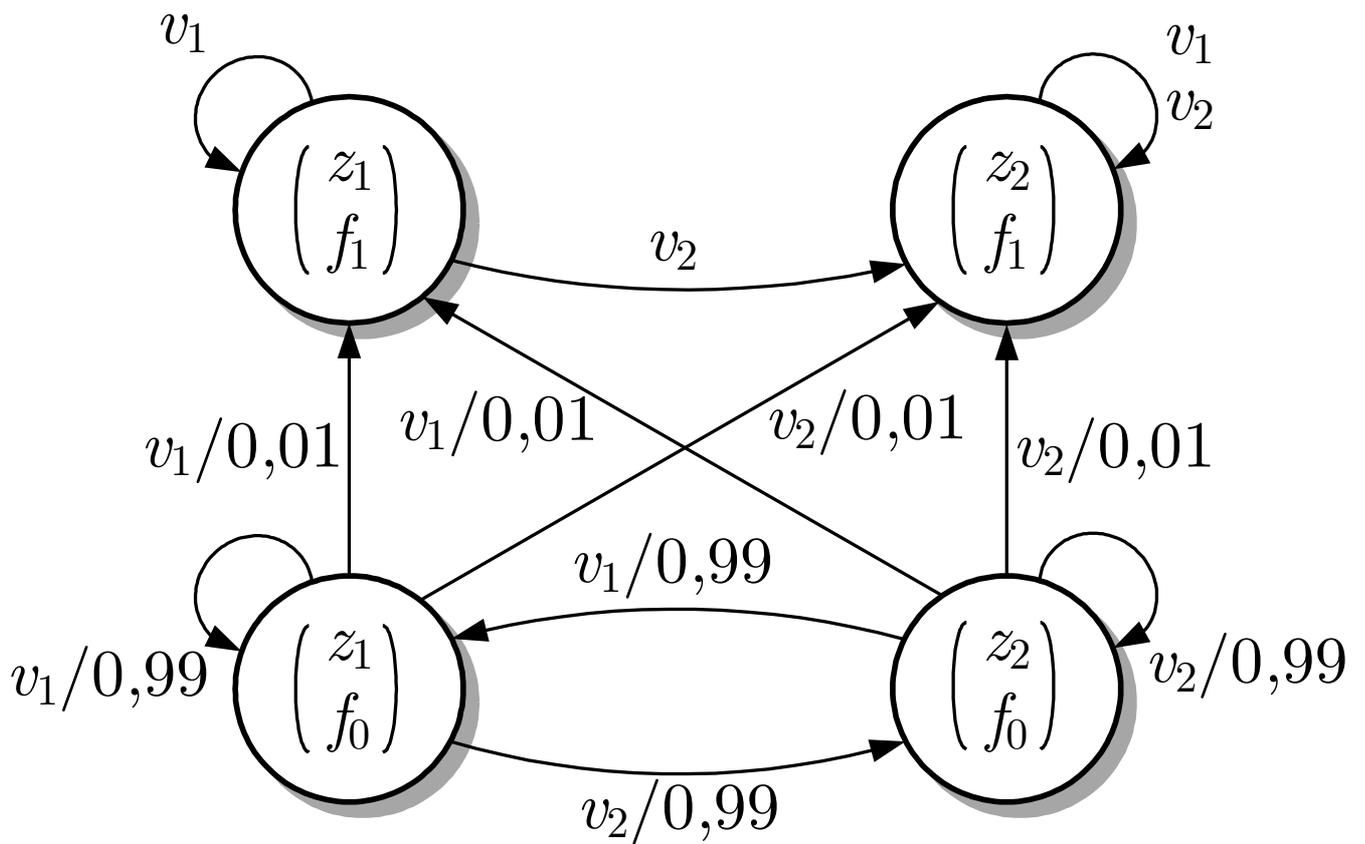


Abb. A.76: Erweiterung des Modells zum stochastischen Automaten

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020