

Jan Lunze

# Automatisierungstechnik

---

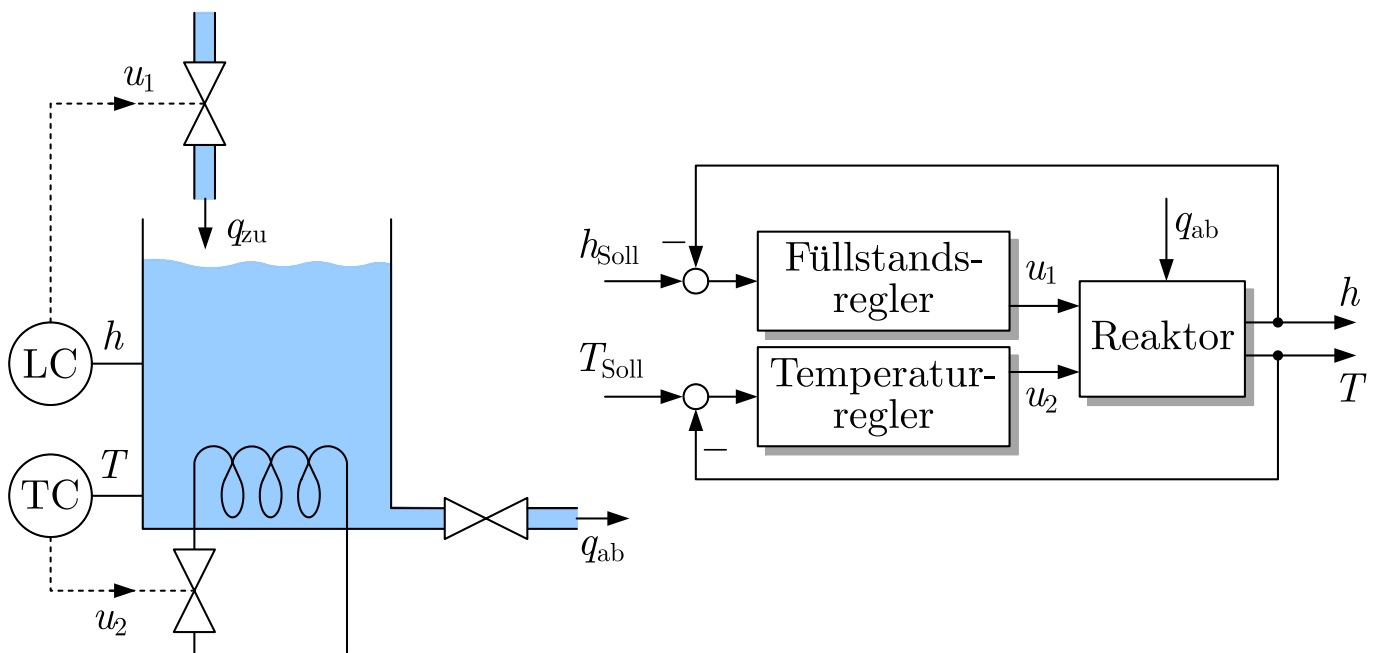
Methoden für die Überwachung und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme

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*

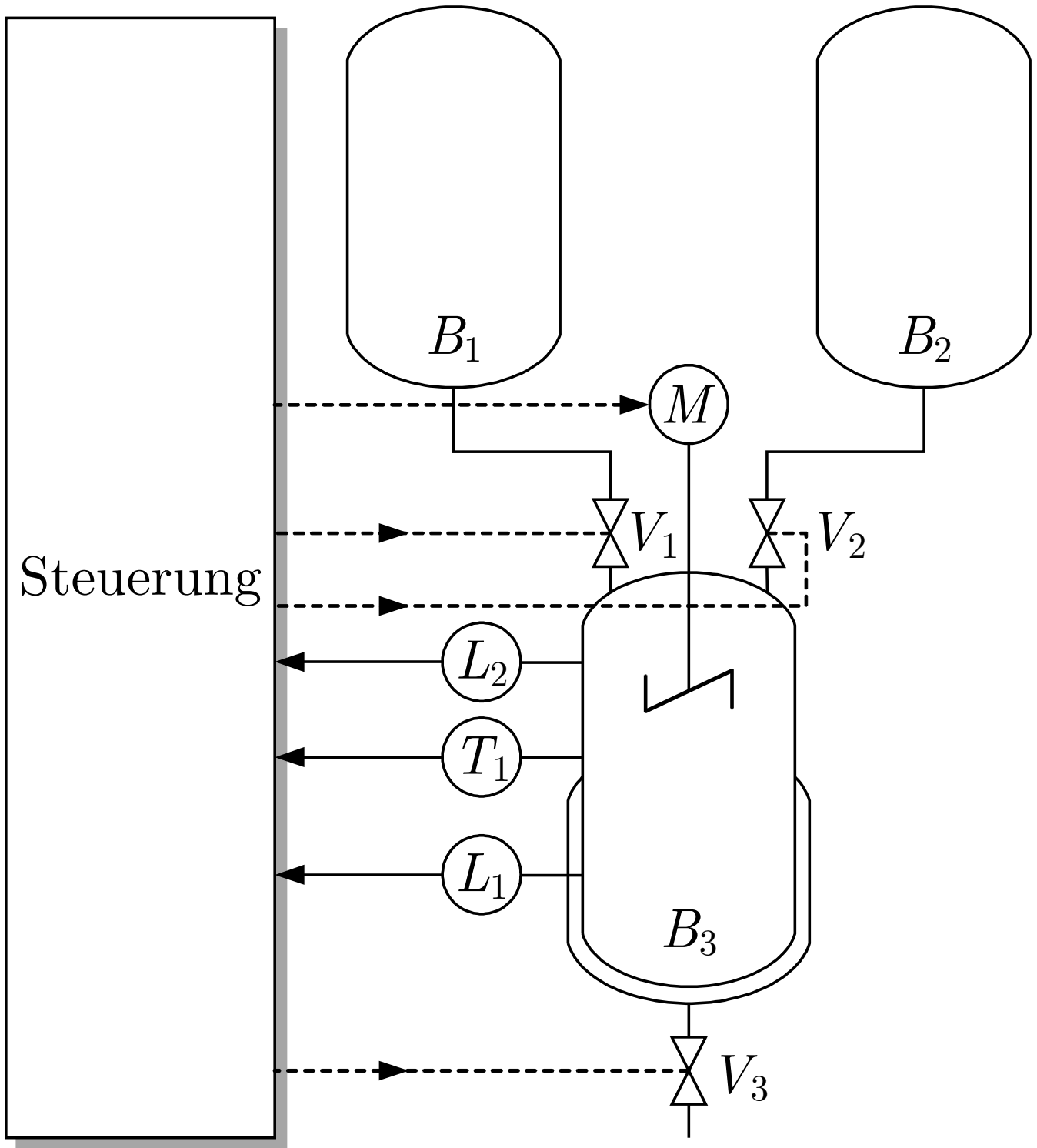
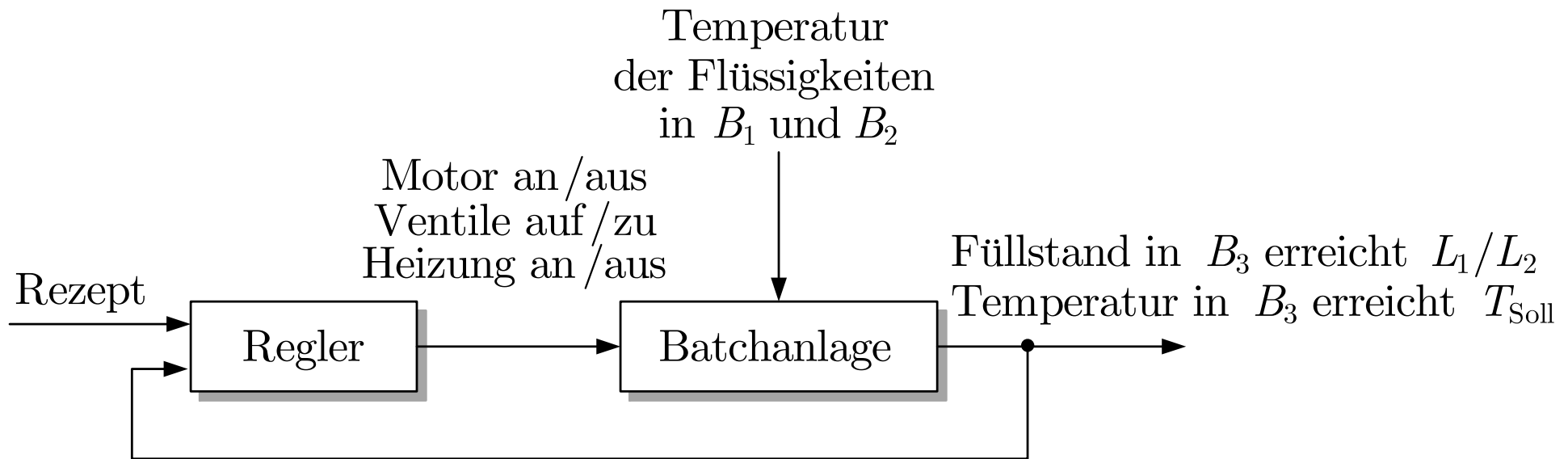


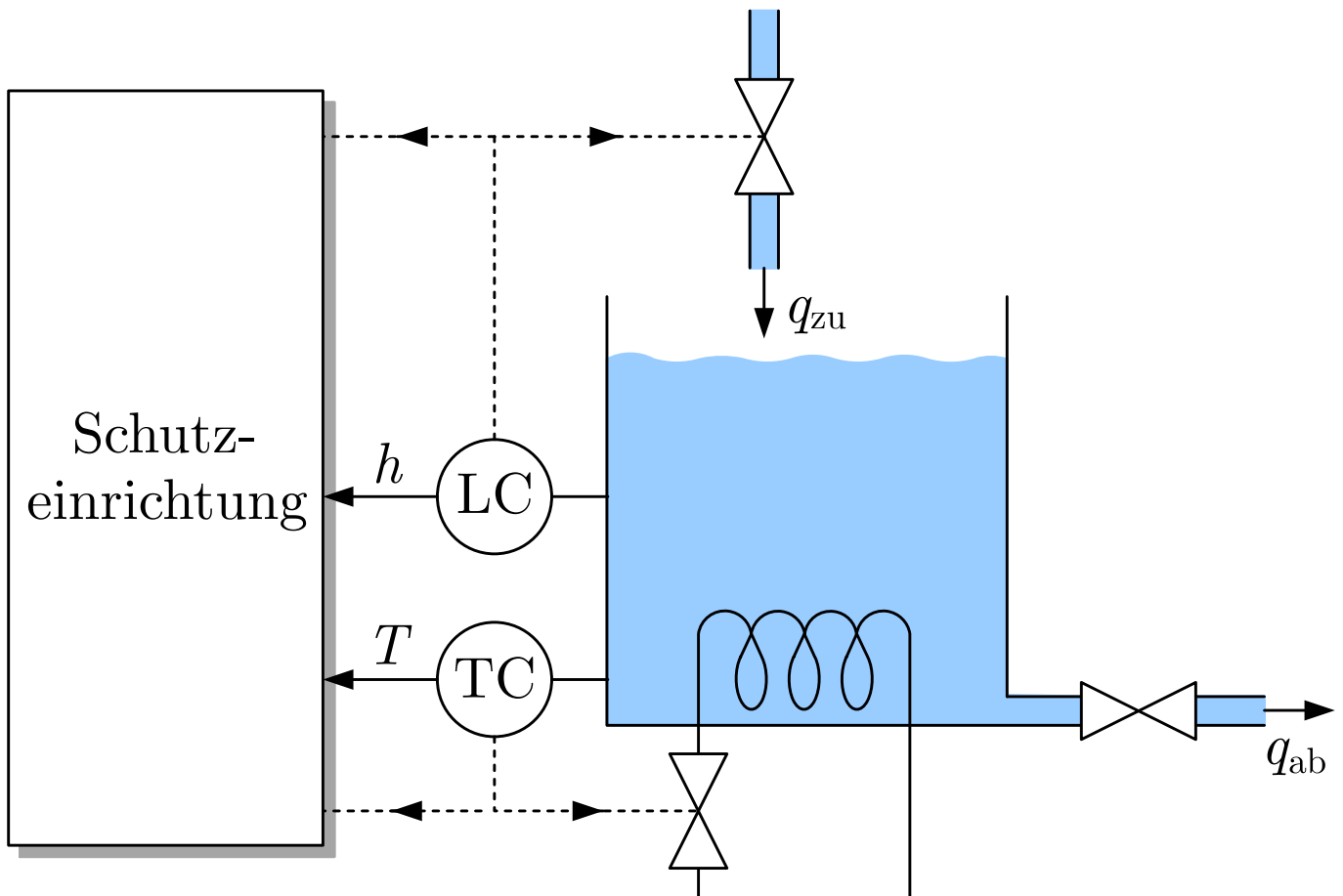
Abb. 1.2: Batchprozess

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



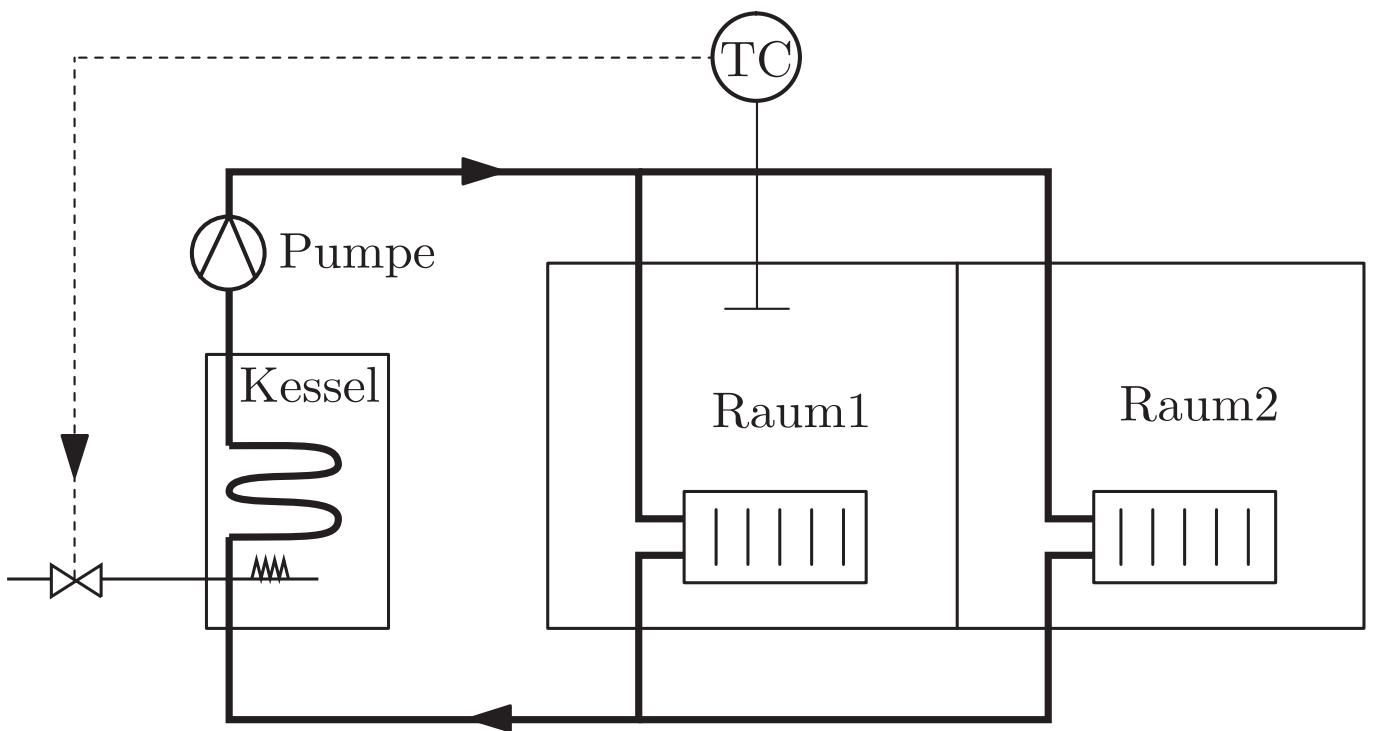
**Abb. 1.3. Blockschaltbild des gesteuerten Batchprozesses**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



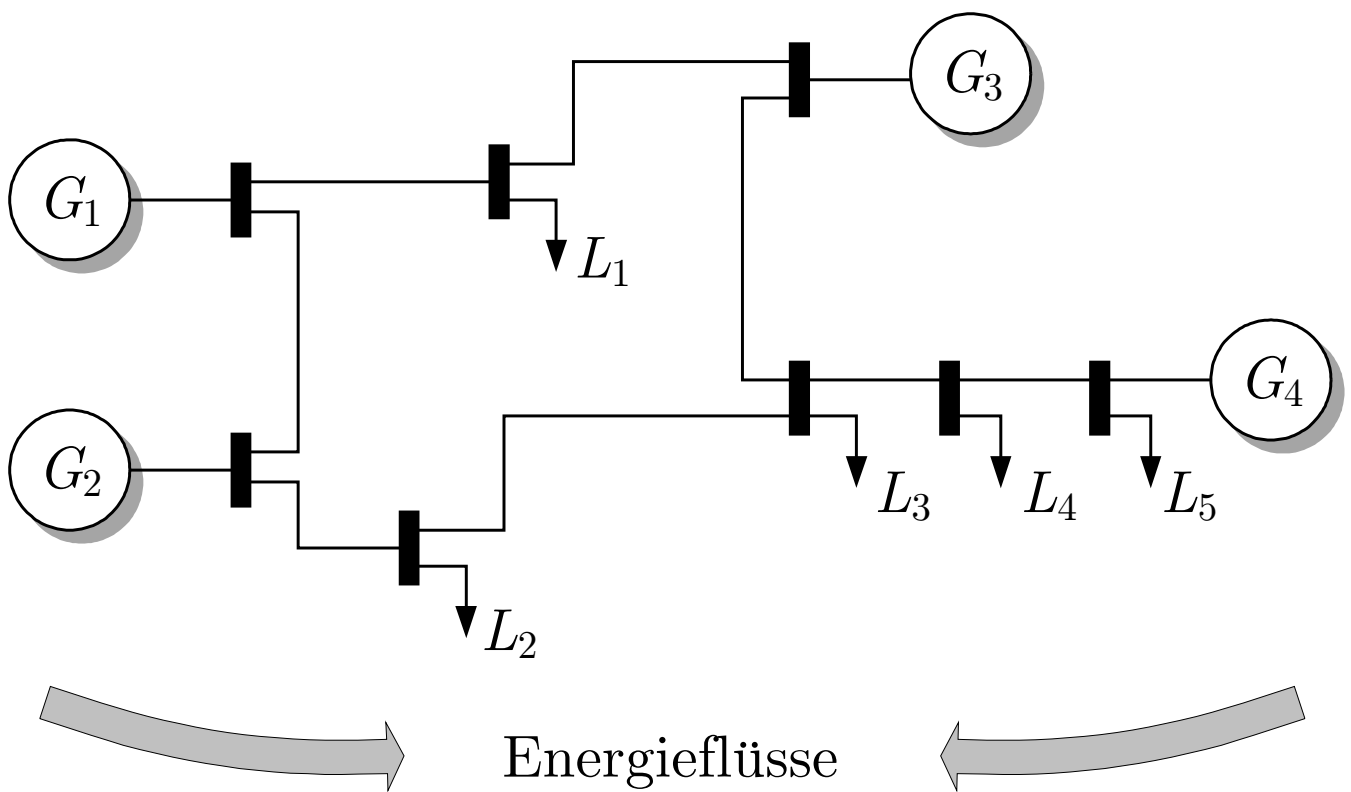
**Abb. 1.4: Steuerung und Aggregateschutz eines Batchprozesses**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



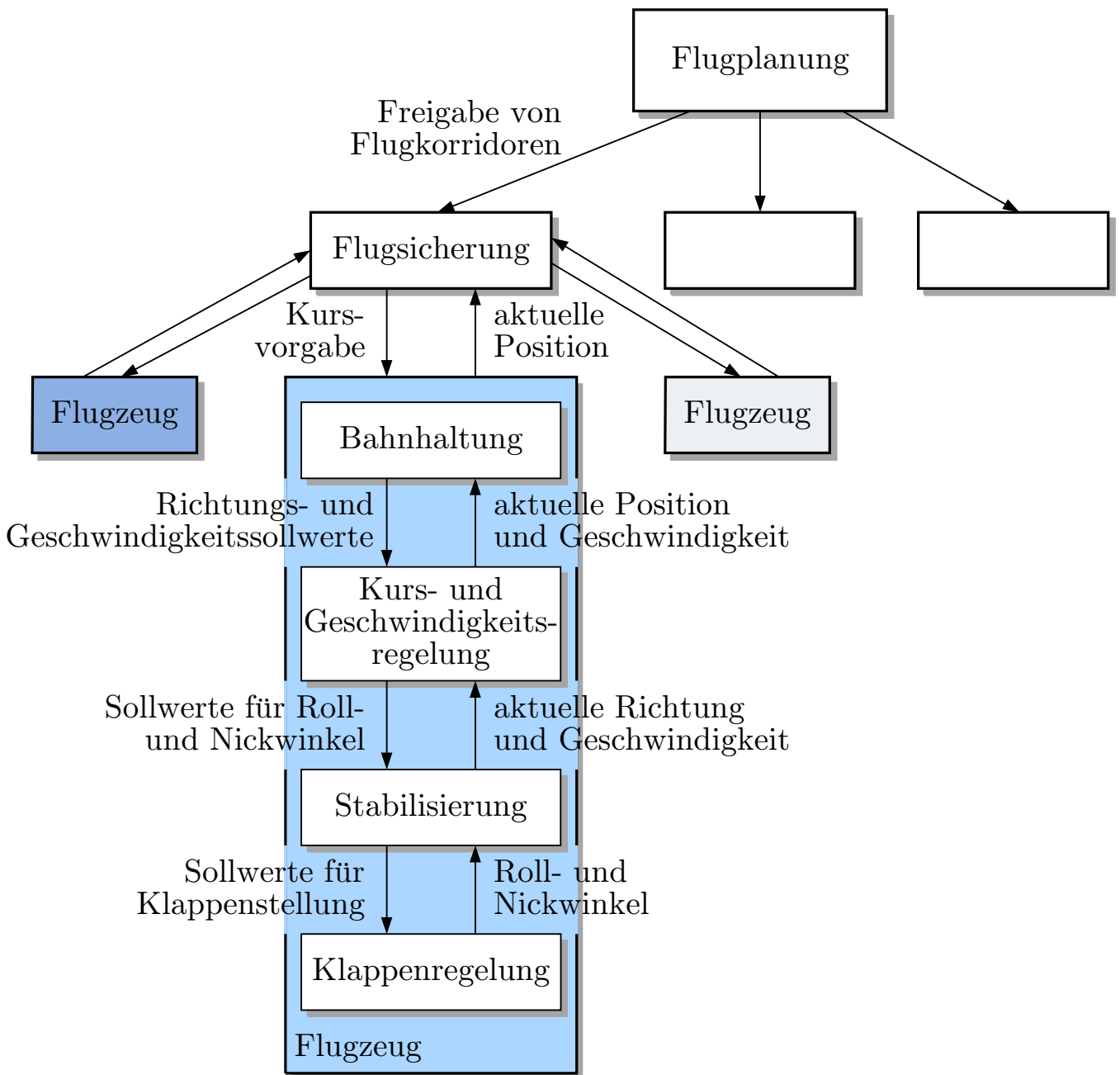
**Abb. 1.5: Raumtemperaturregelung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 1.6: Energieflüsse in einem Elektroenergieverteilungsnetz**

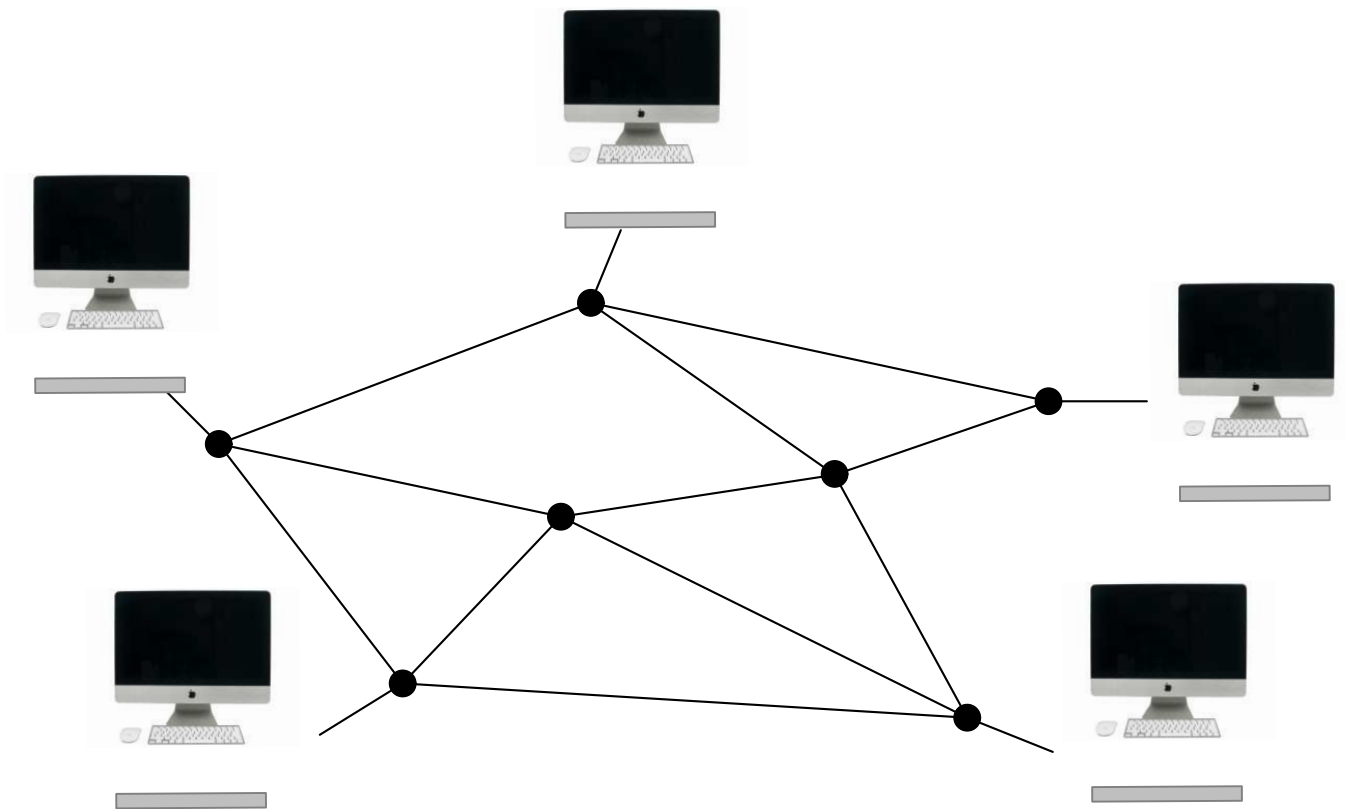
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

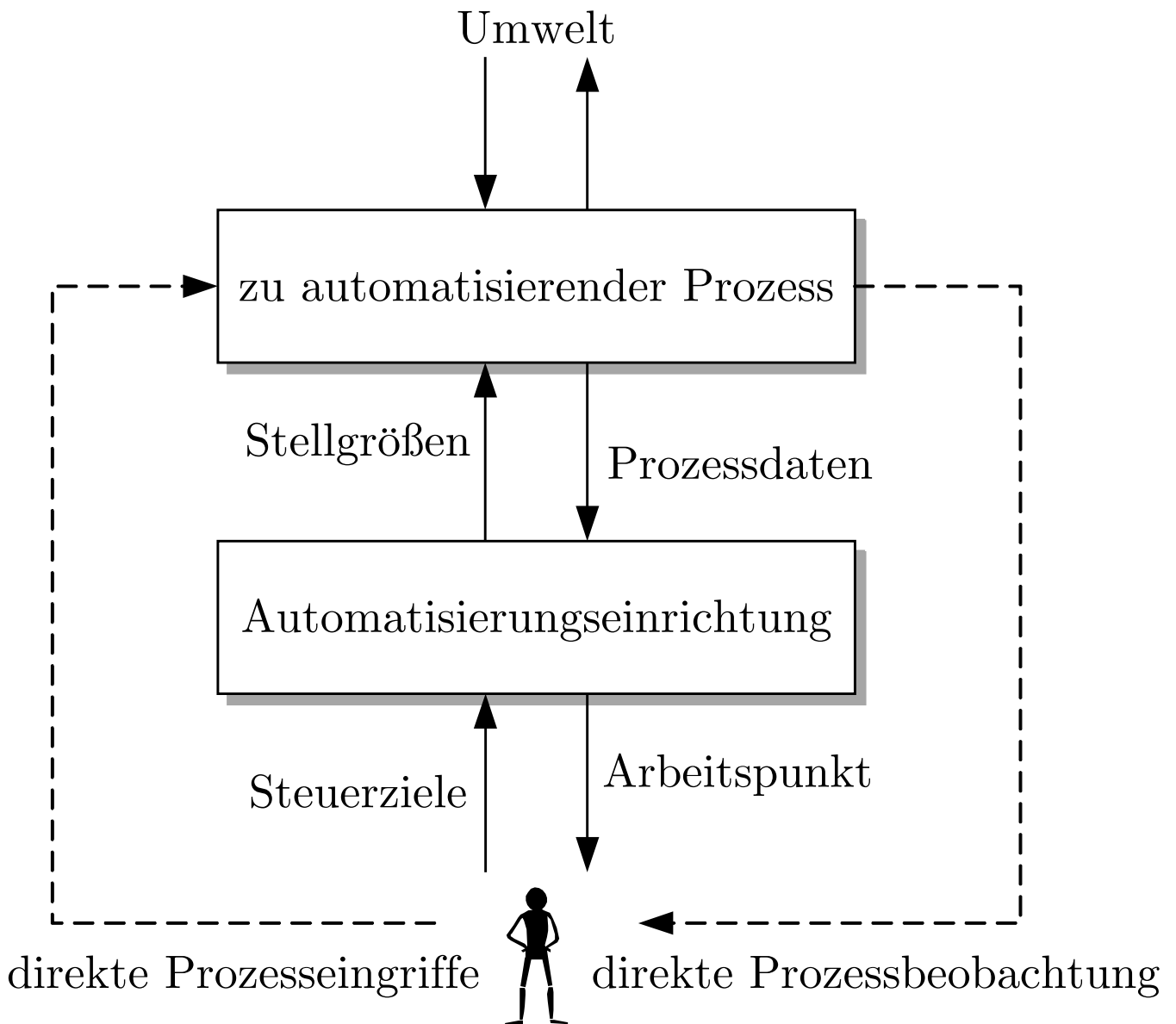
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**Abb. 1.8: Datenverbindungen über ein Rechnernetz**

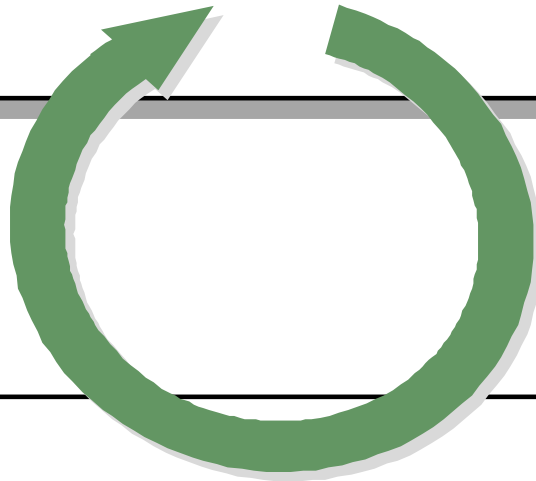
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



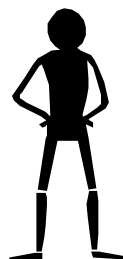
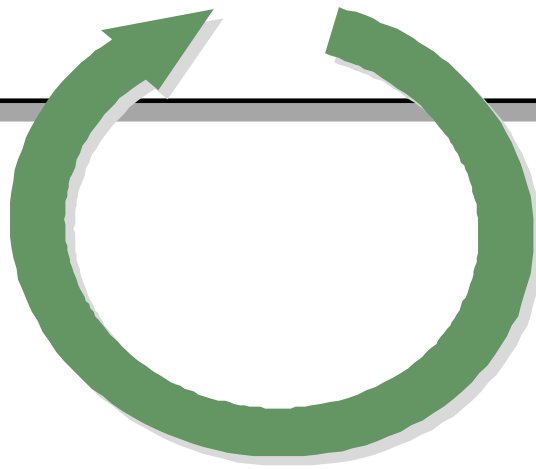
**Abb. 1.9: Grundstruktur automatisierter Systeme**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

zu automatisierender Prozess

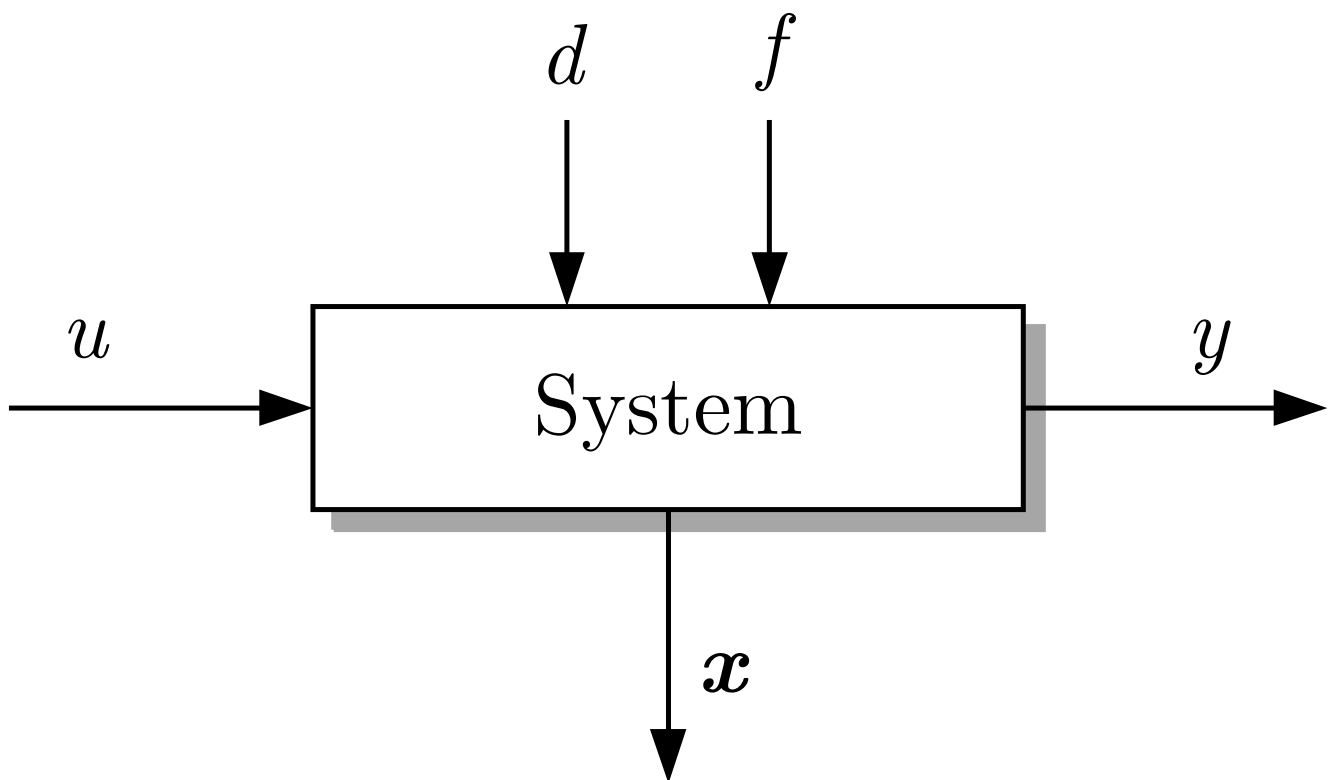


Automatisierungseinrichtung



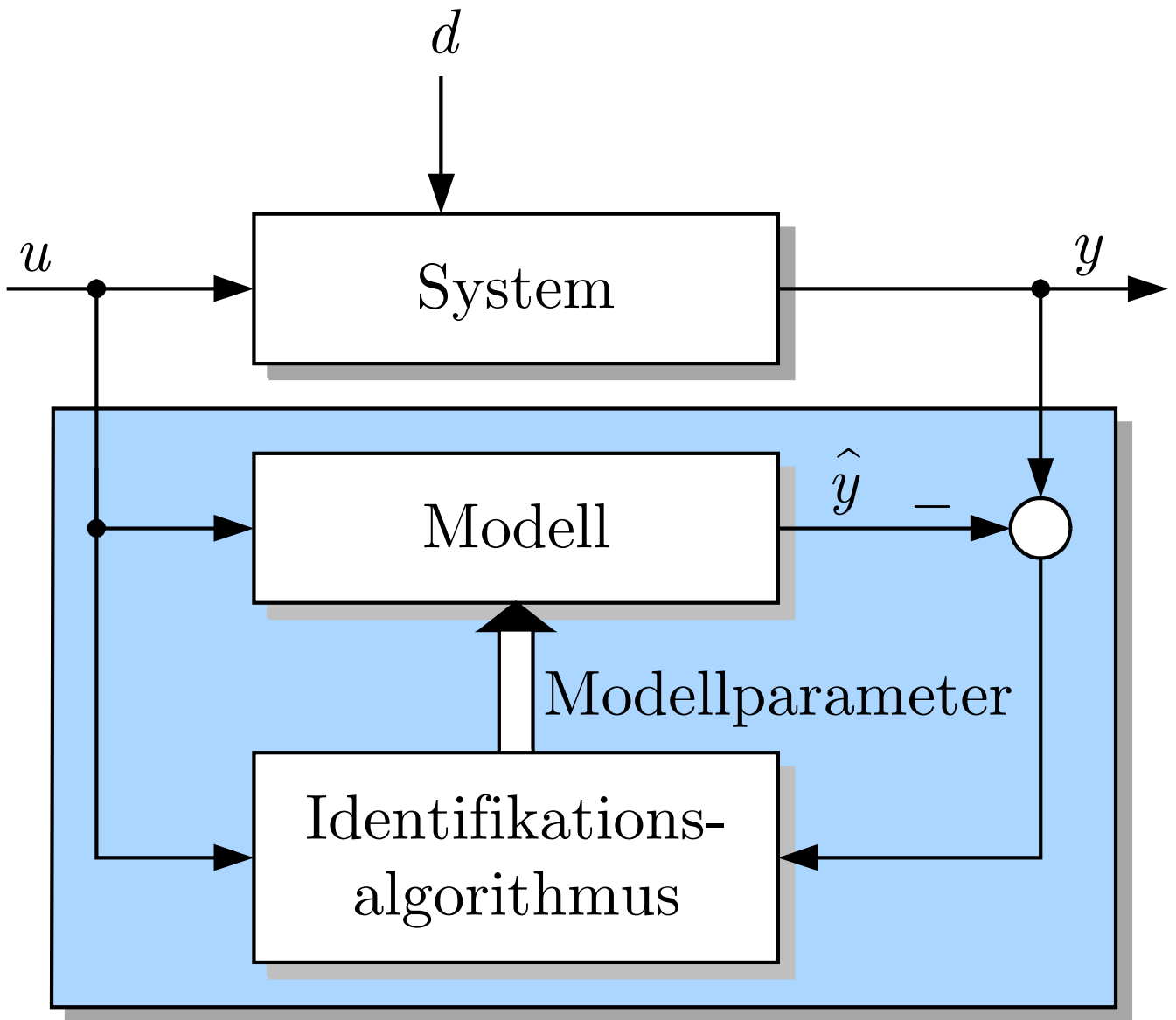
**Abb. 1.10. Zwei Arten von Rückkopplungen in automatisierten Systemen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



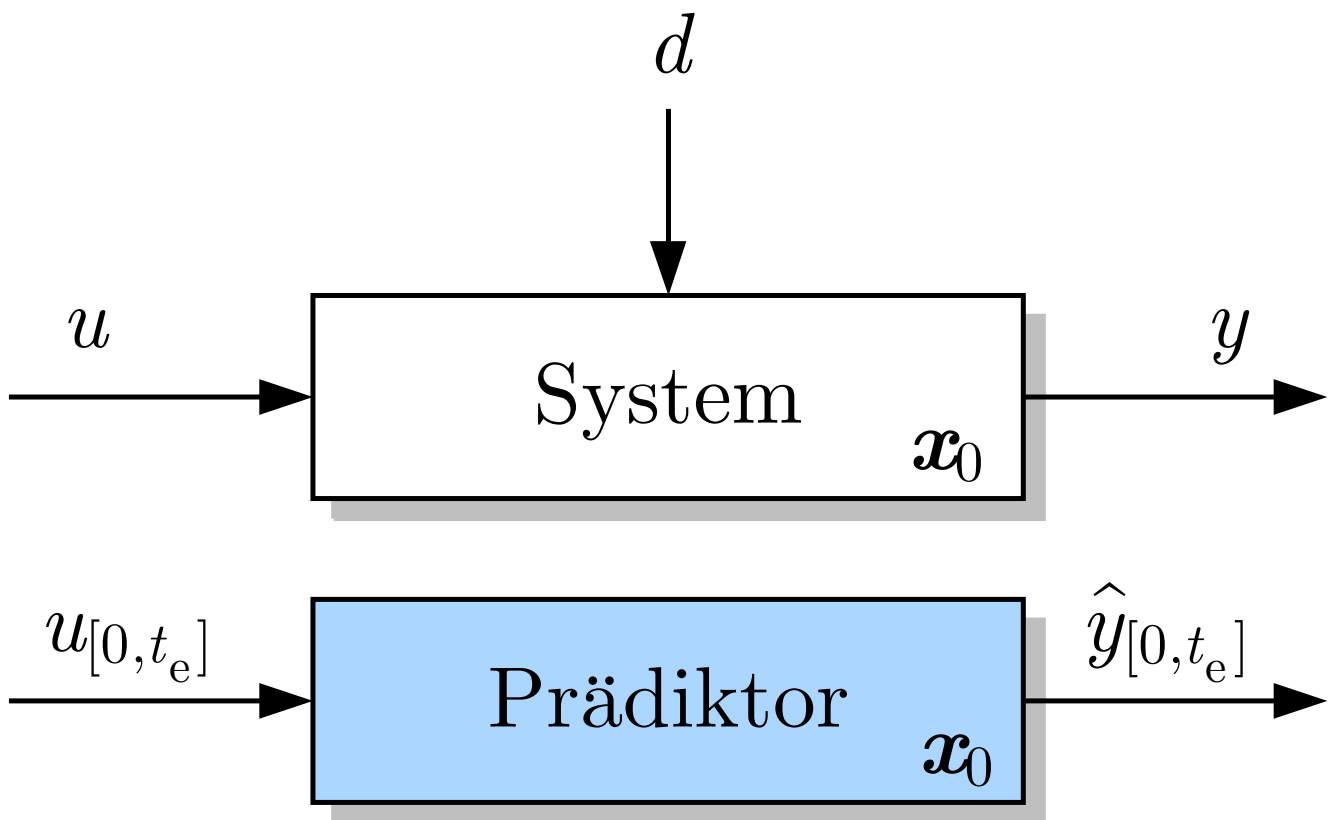
**Abb. 1.11: Definition der an einem Prozess wirkenden Signale**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



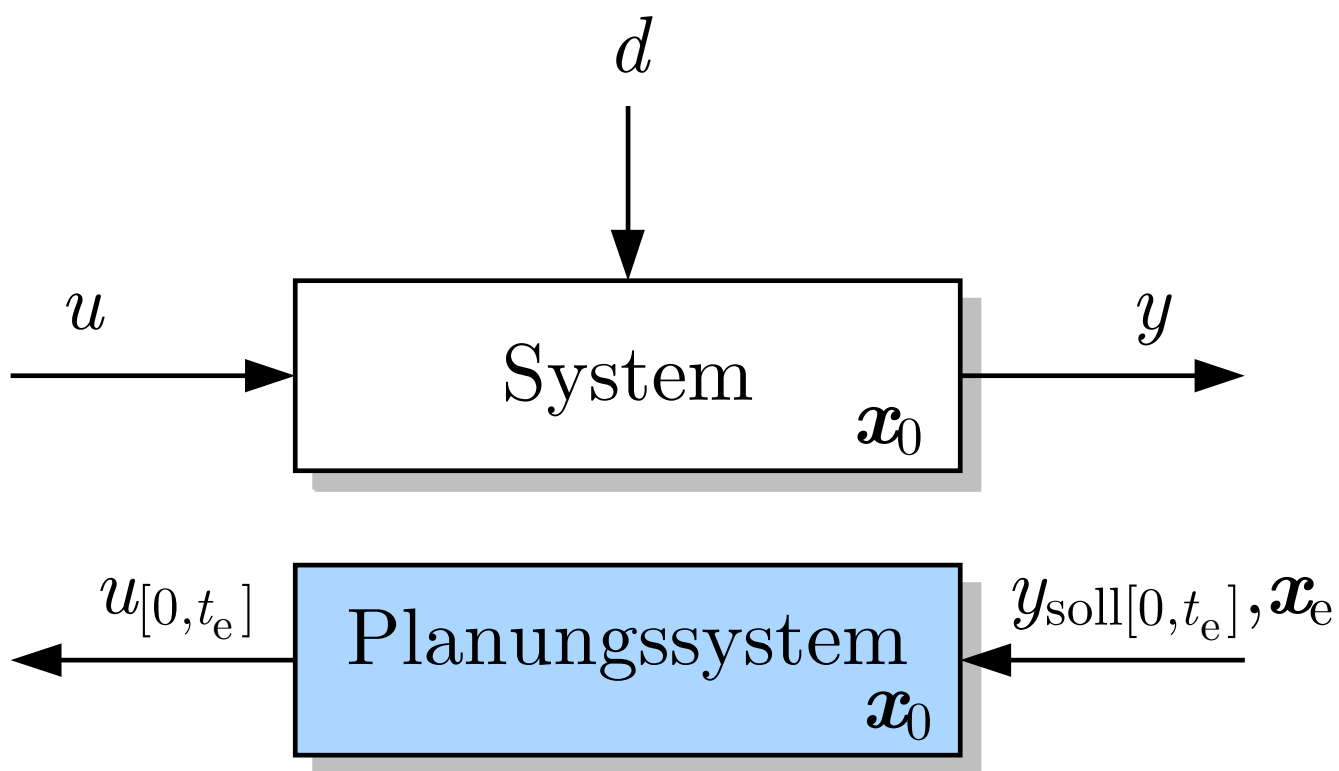
**Abb. 1.12: Identifikation dynamischer Systeme**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



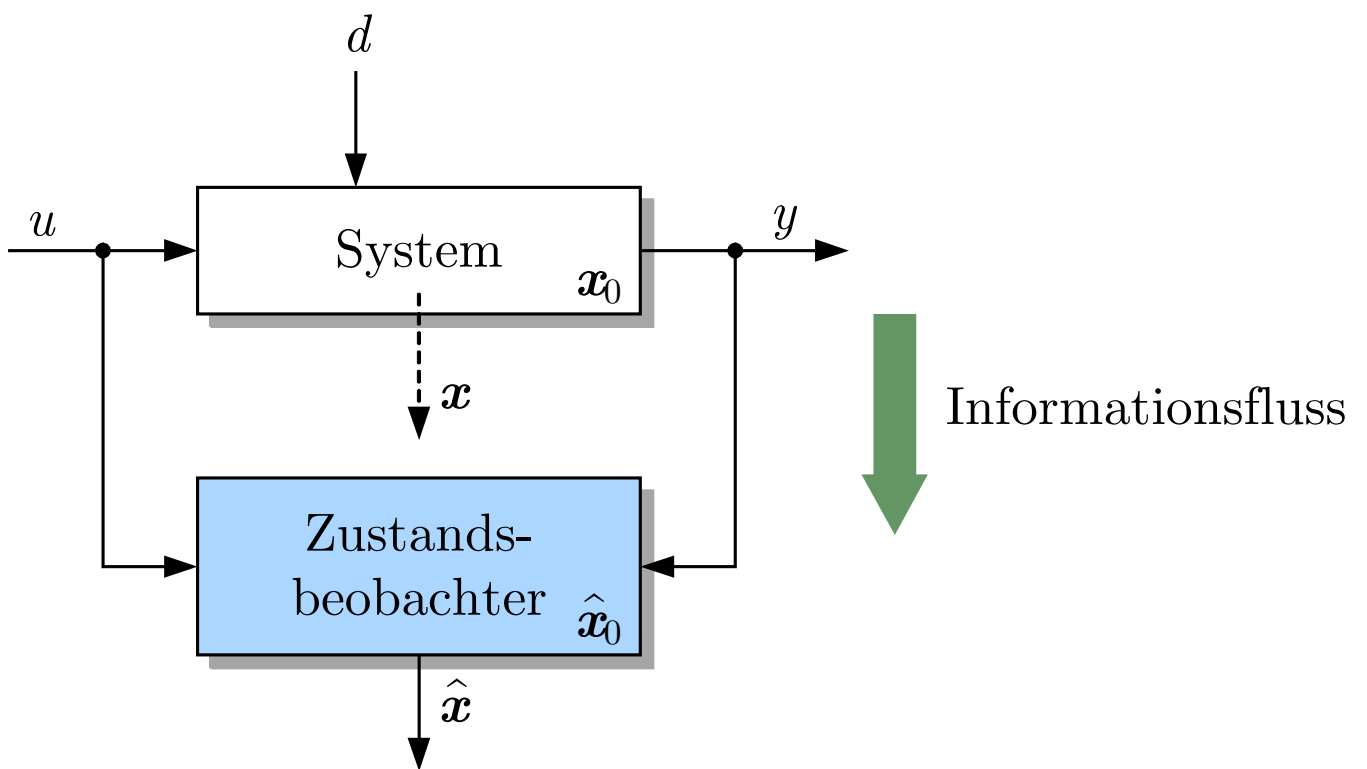
**Abb. 1.13: Vorhersage des Systemverhaltens**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 1.14: Planung eines Steuereingriffs**

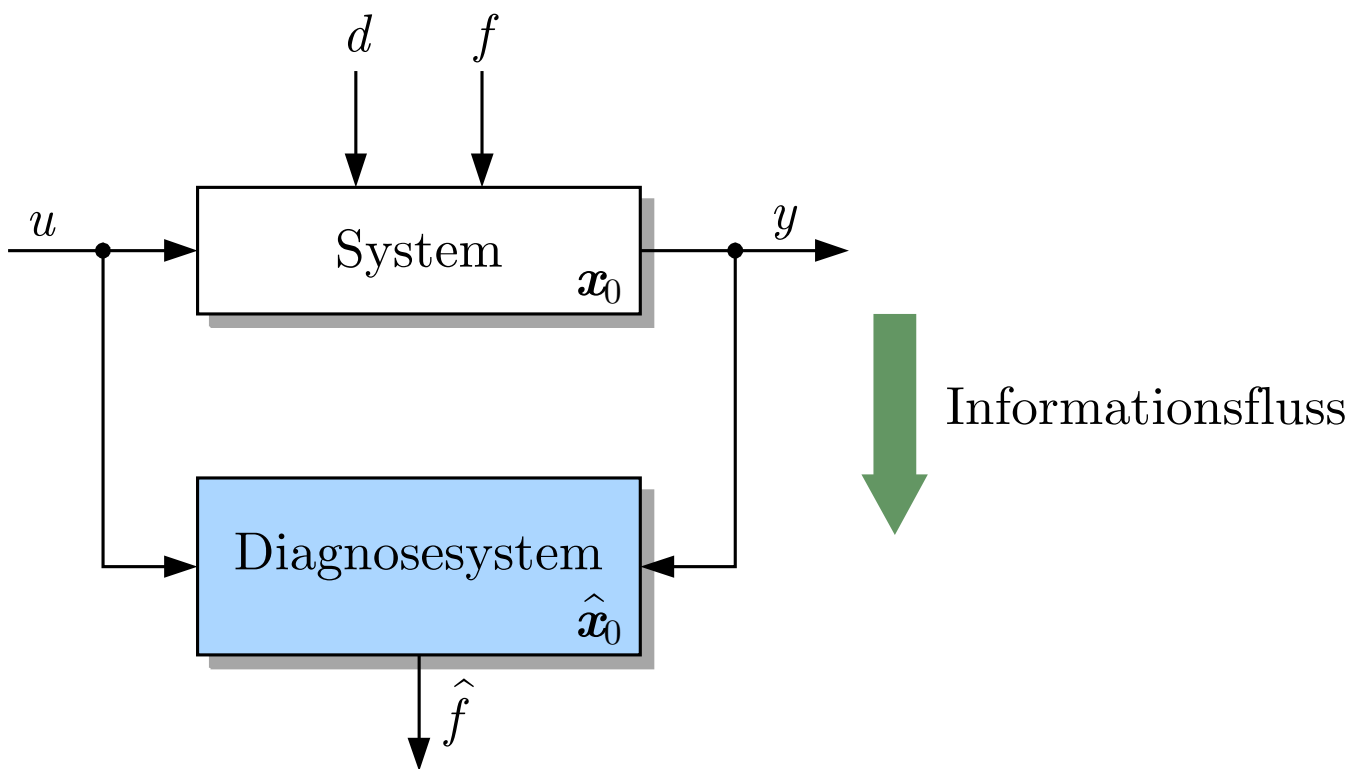
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 1.15: Zustandsbeobachtung**

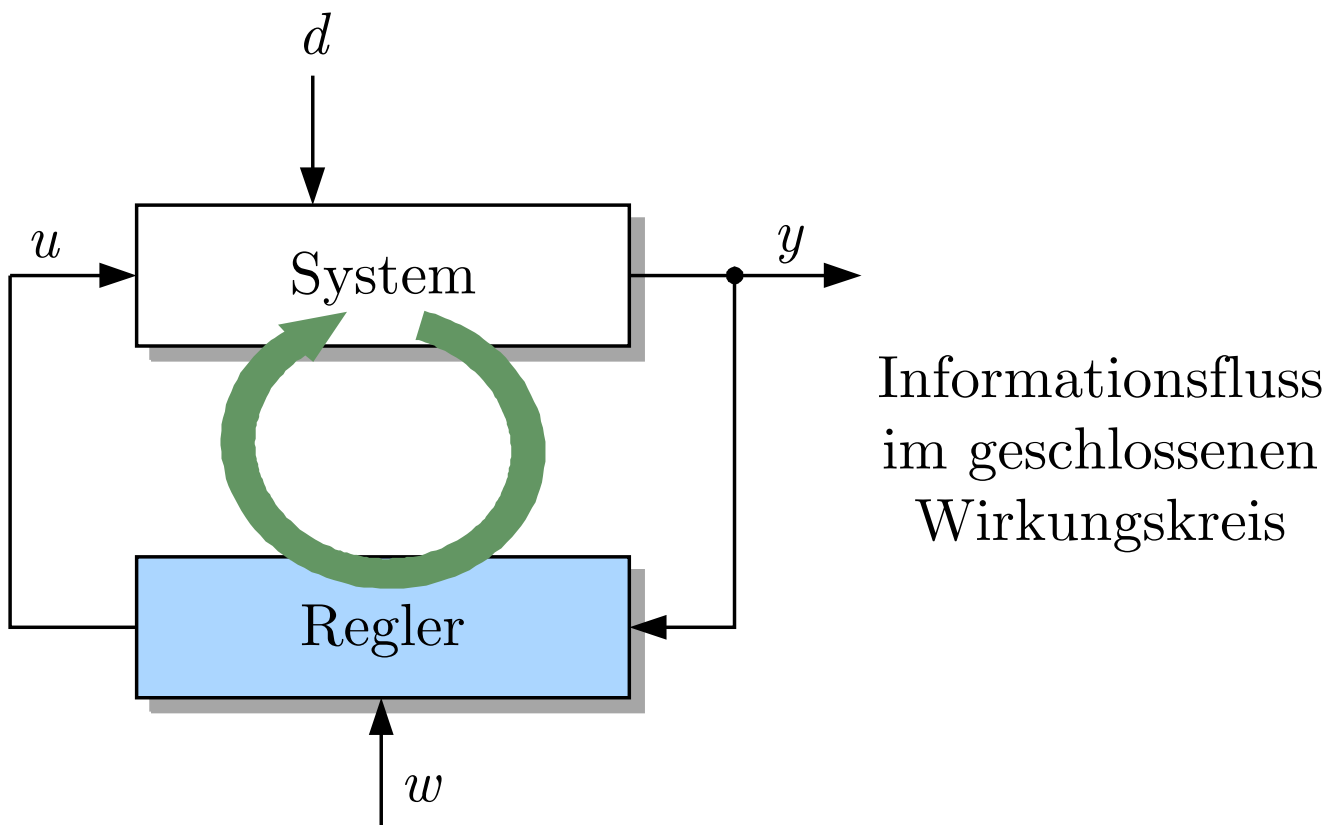
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





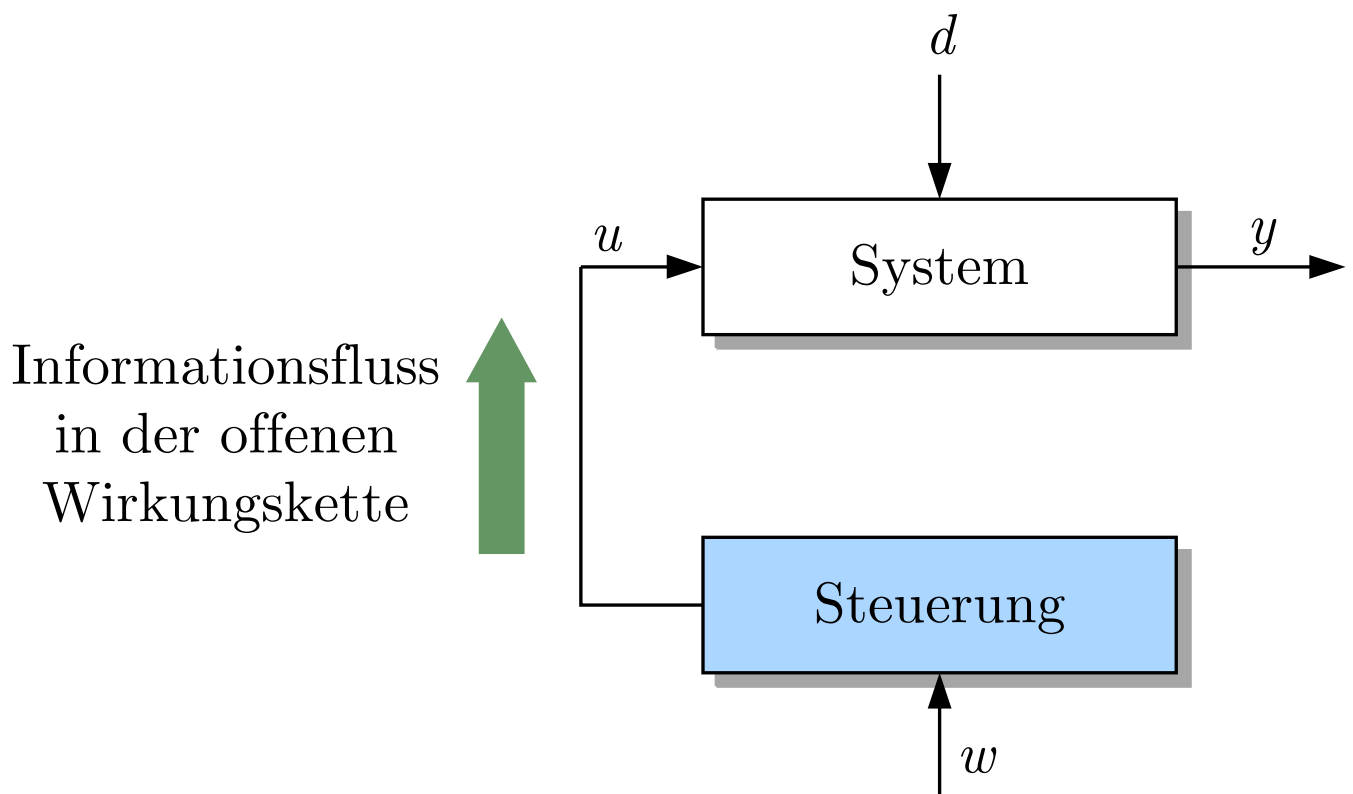
**Abb. 1.16: Prozessdiagnose**

*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*

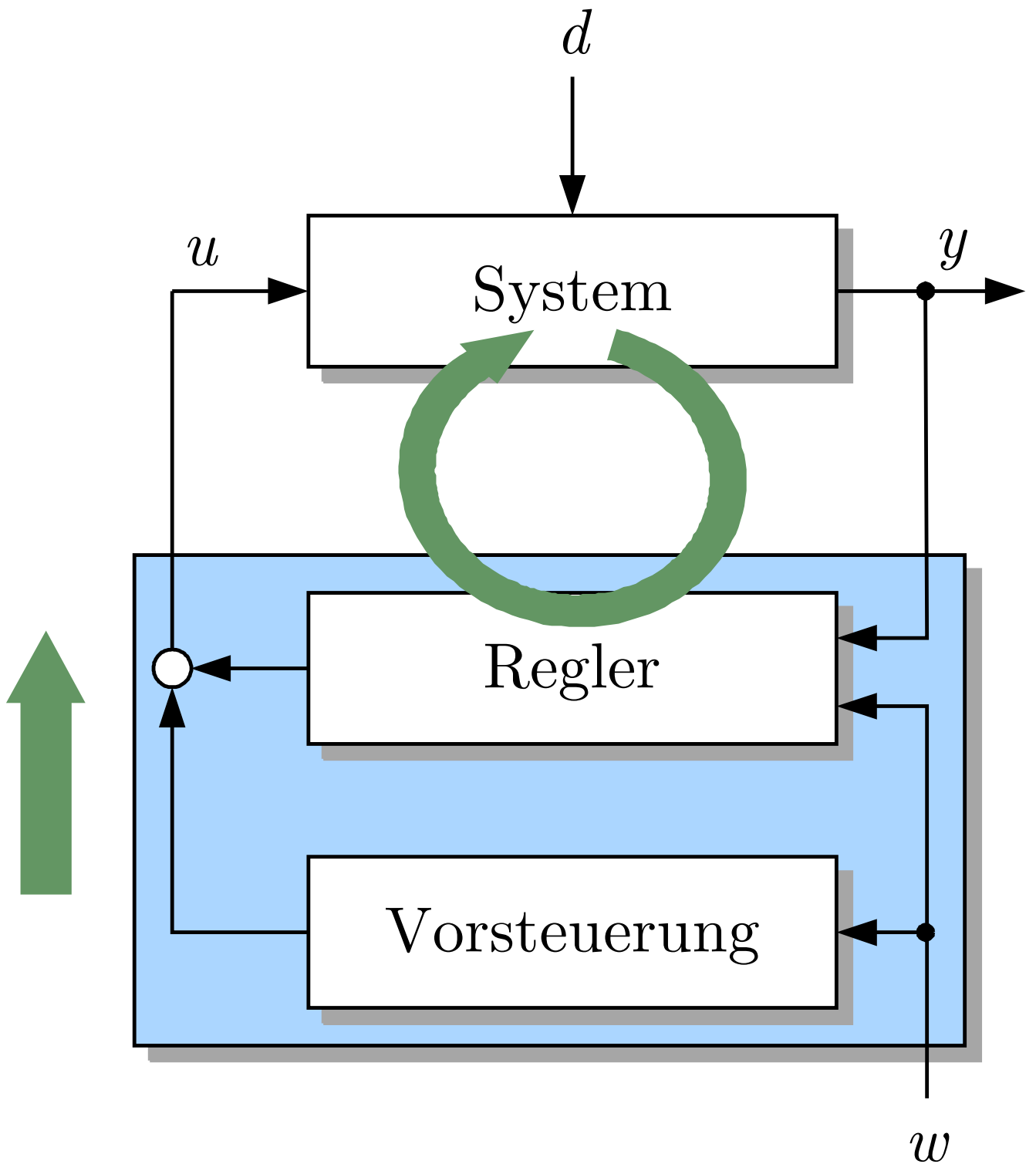


Abb. 1.19: Kombination beider Steuerungsarten

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

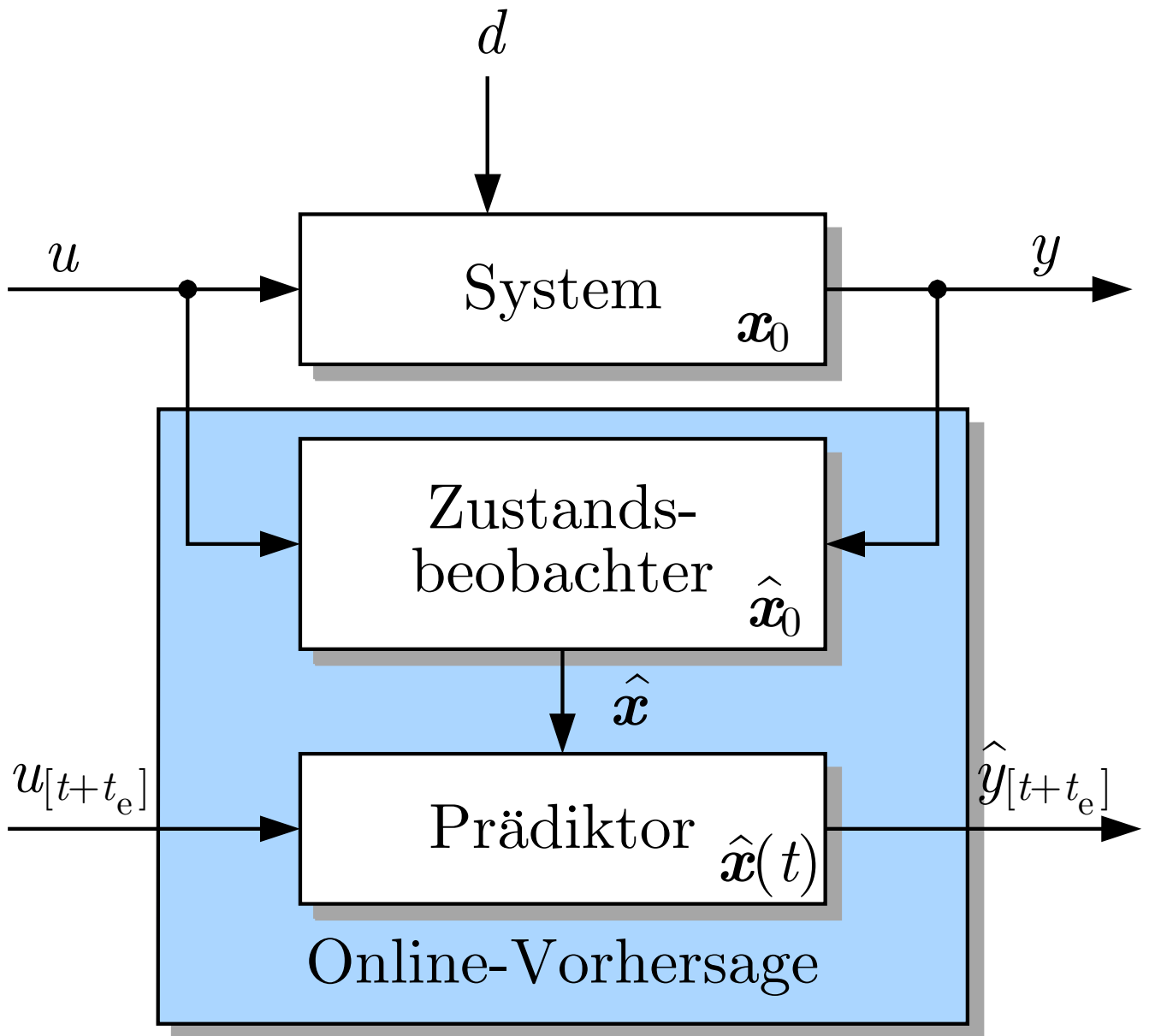
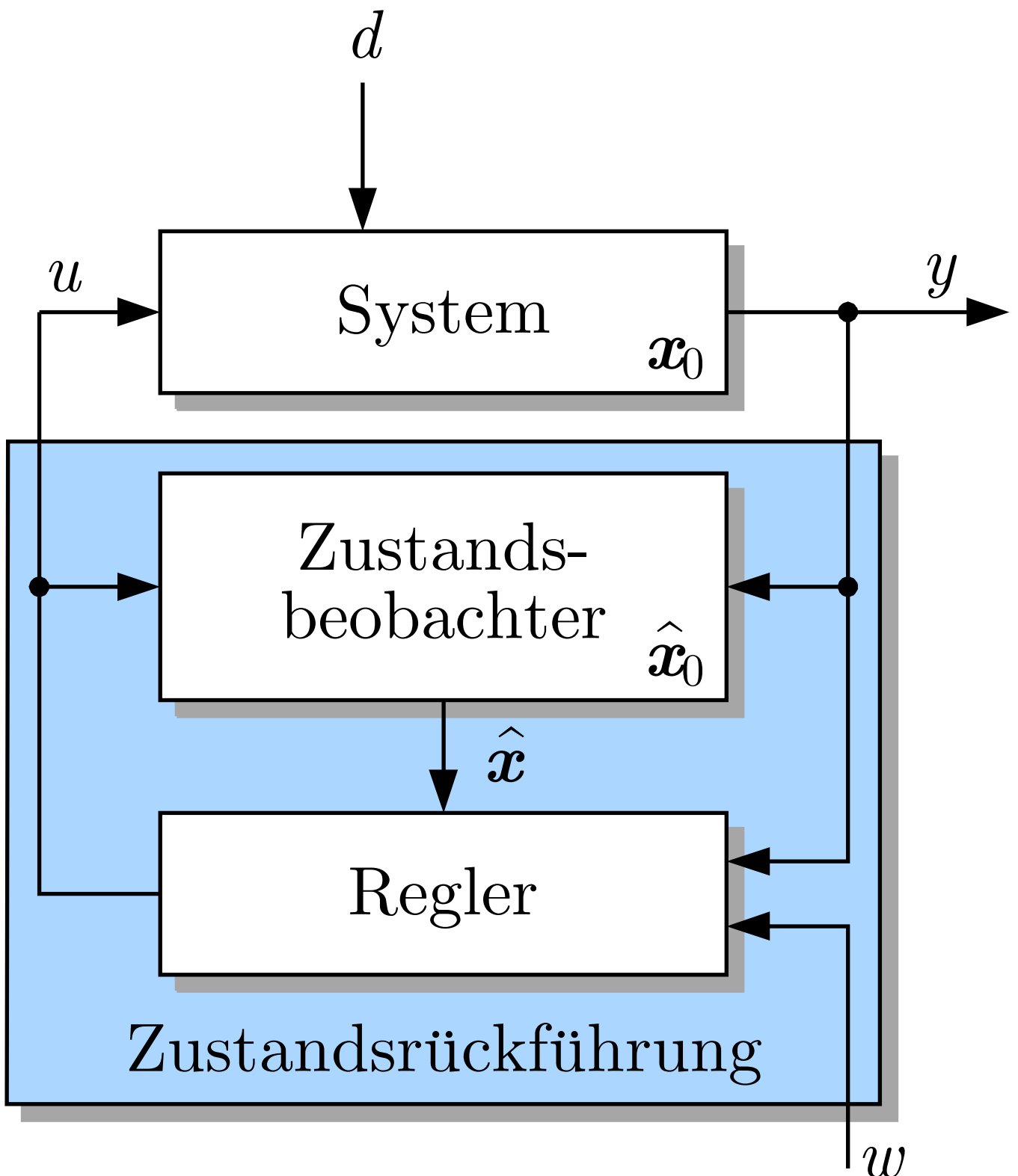


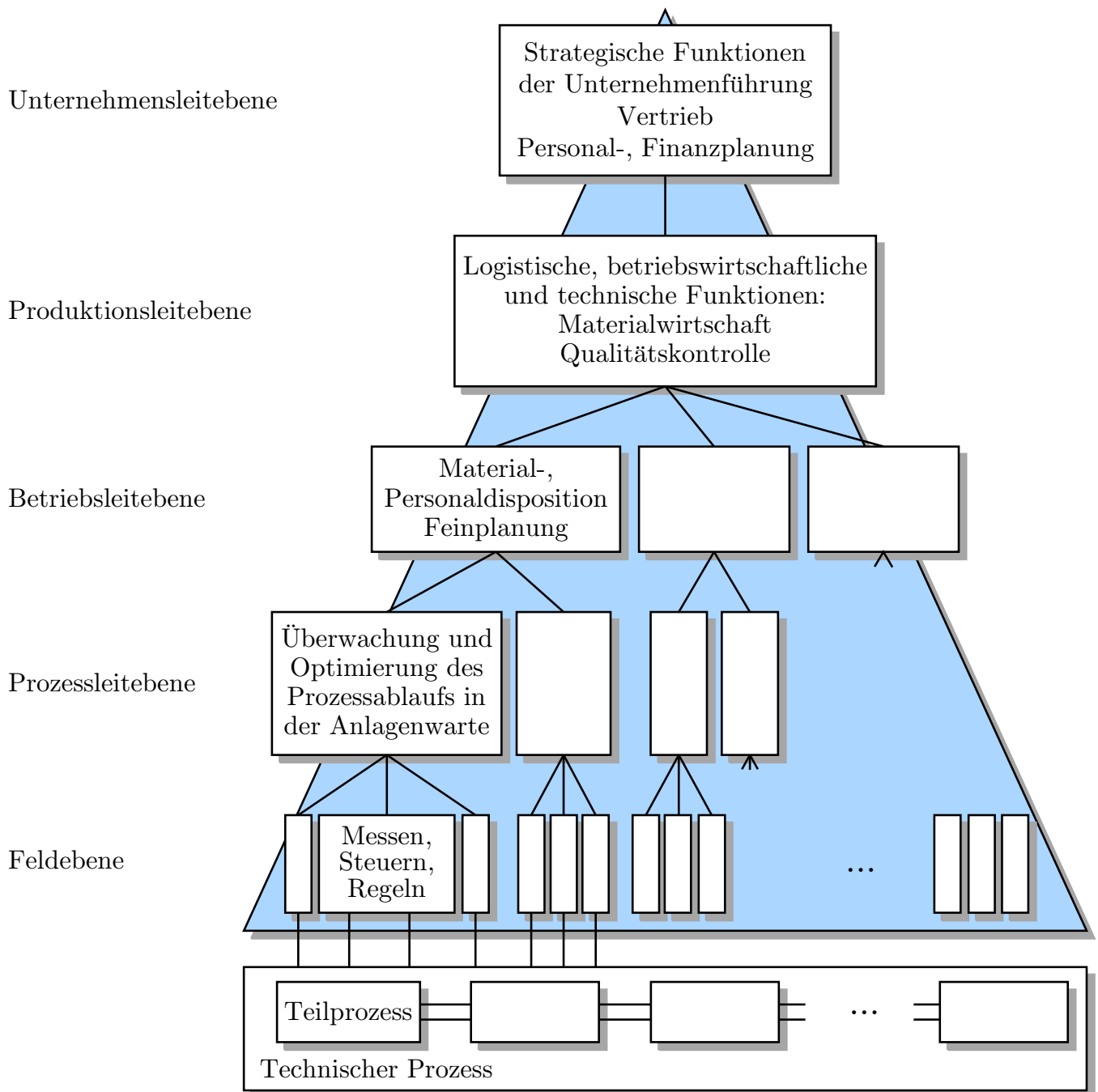
Abb. 1.20: Online-Vorhersage des Systemverhaltens

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



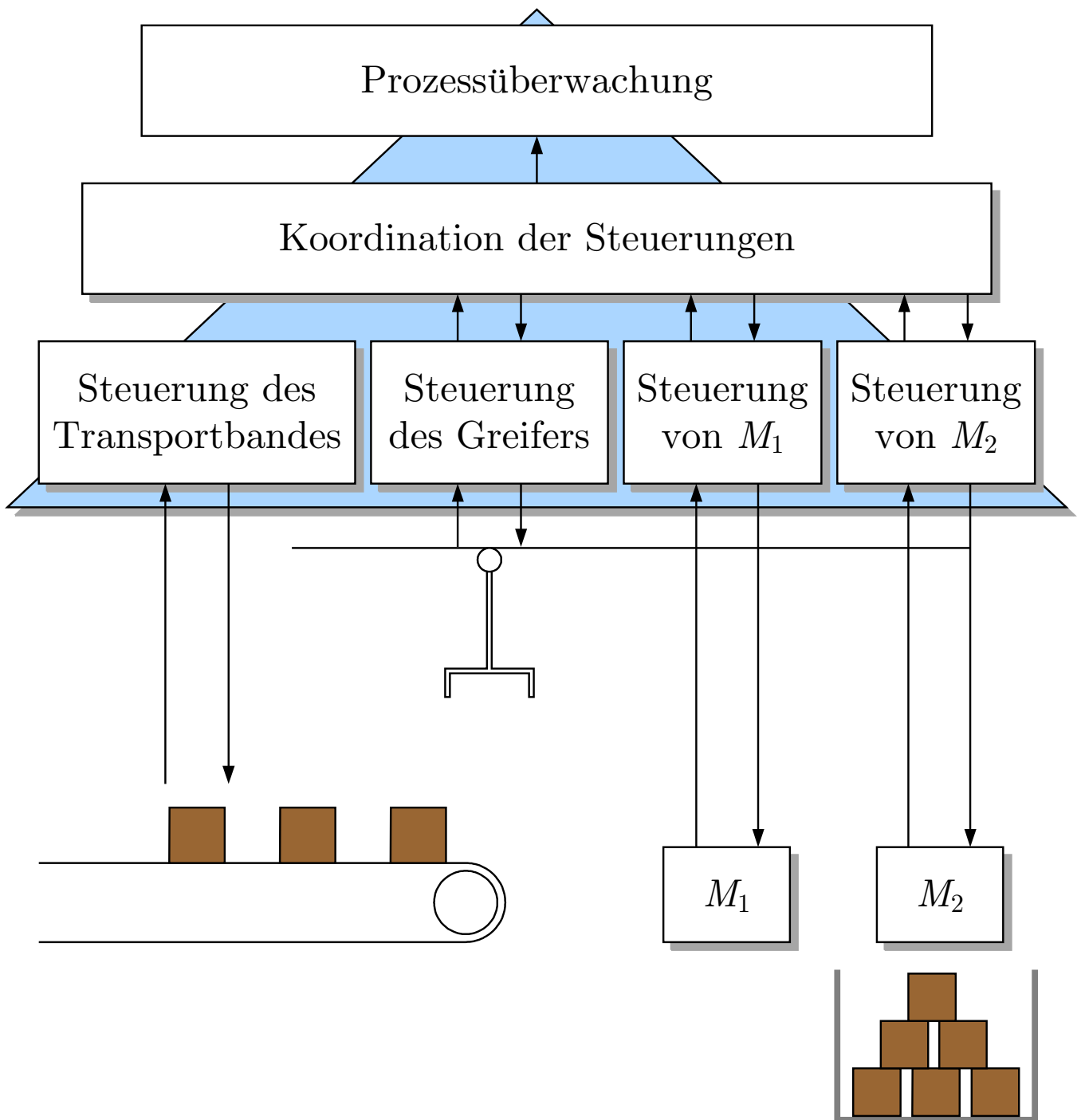
**Abb. 1.21. Zustandsrückführung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 1.22: Hierarchische Gliederung eines Automatisierungssystems**

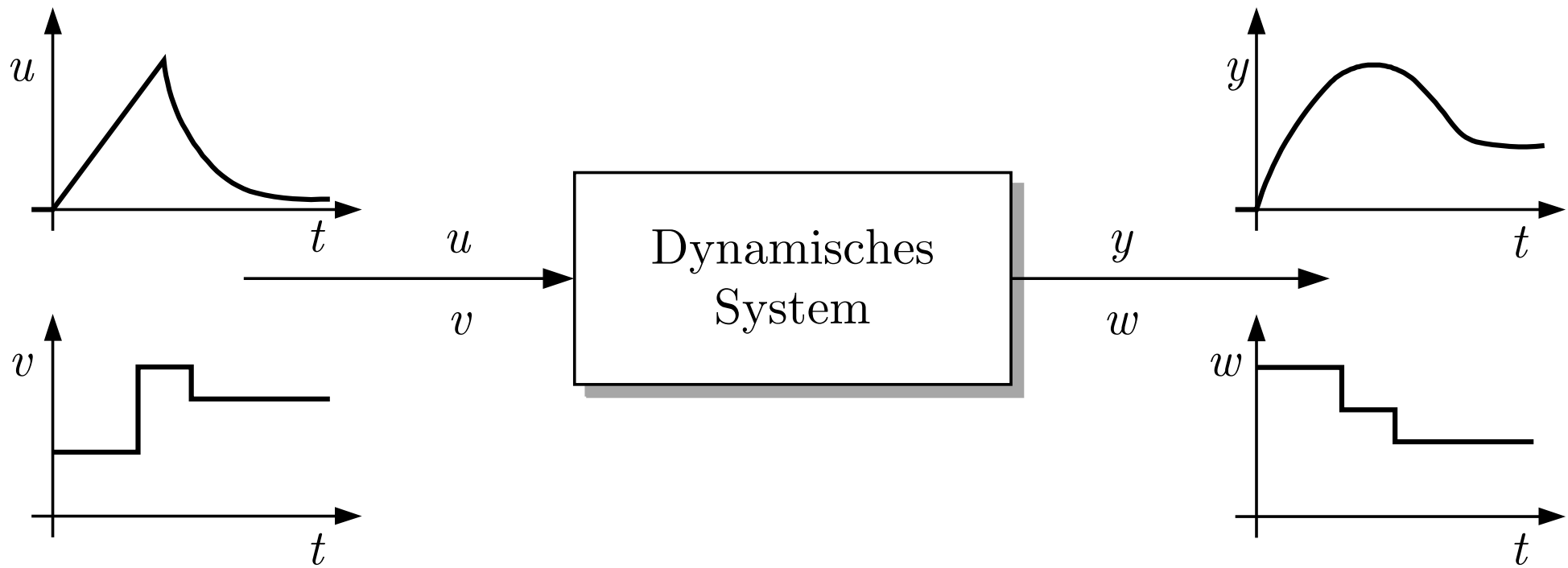
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 1.23: Schematische Darstellung der Fertigungszelle**

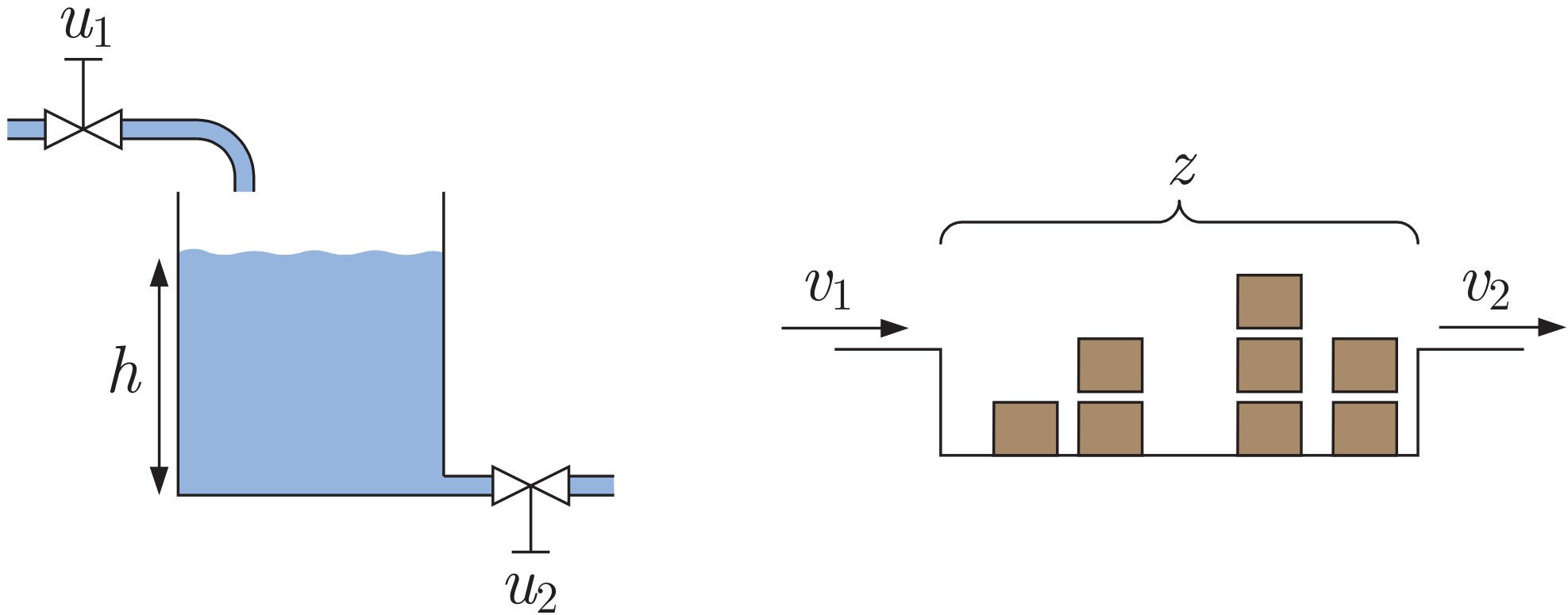
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





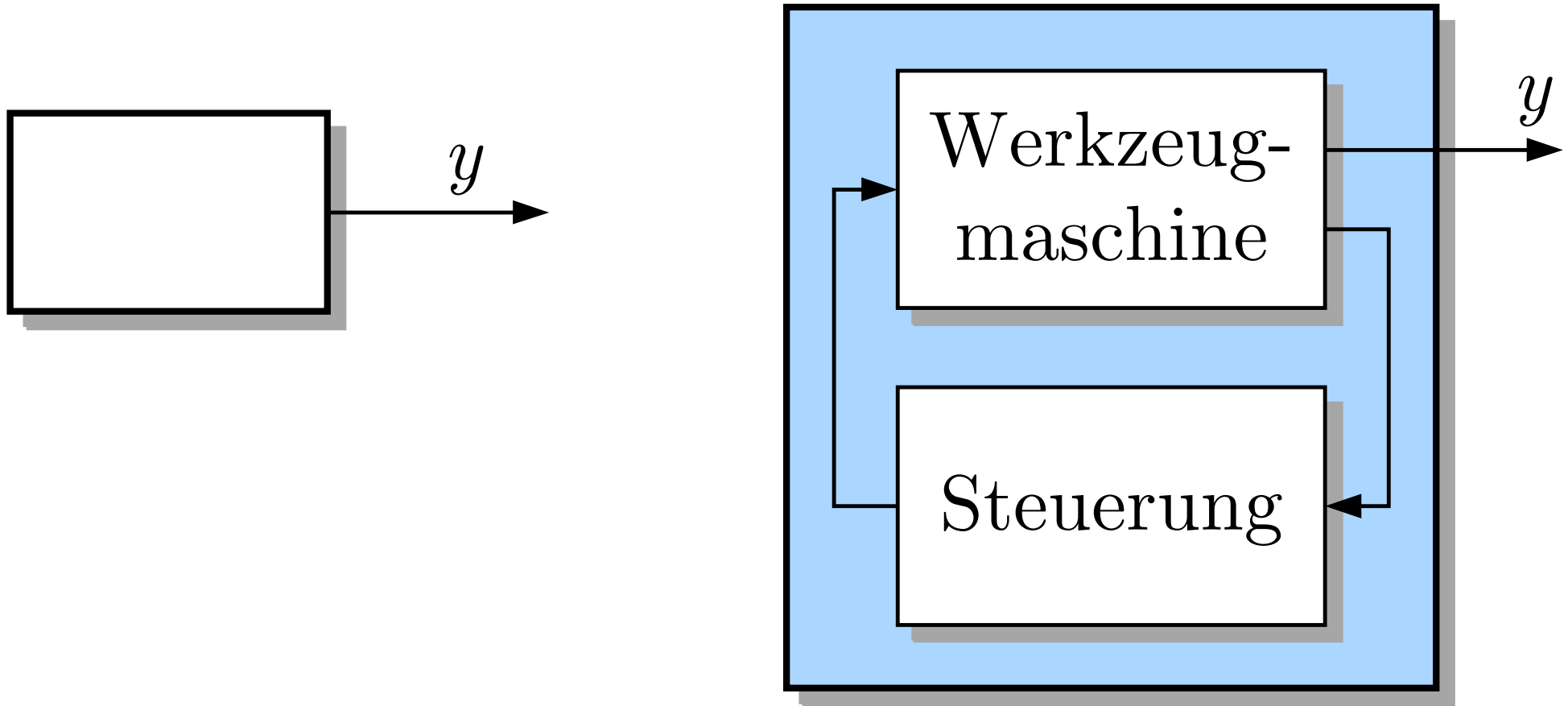
**Abb. 2.1. Dynamisches System**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



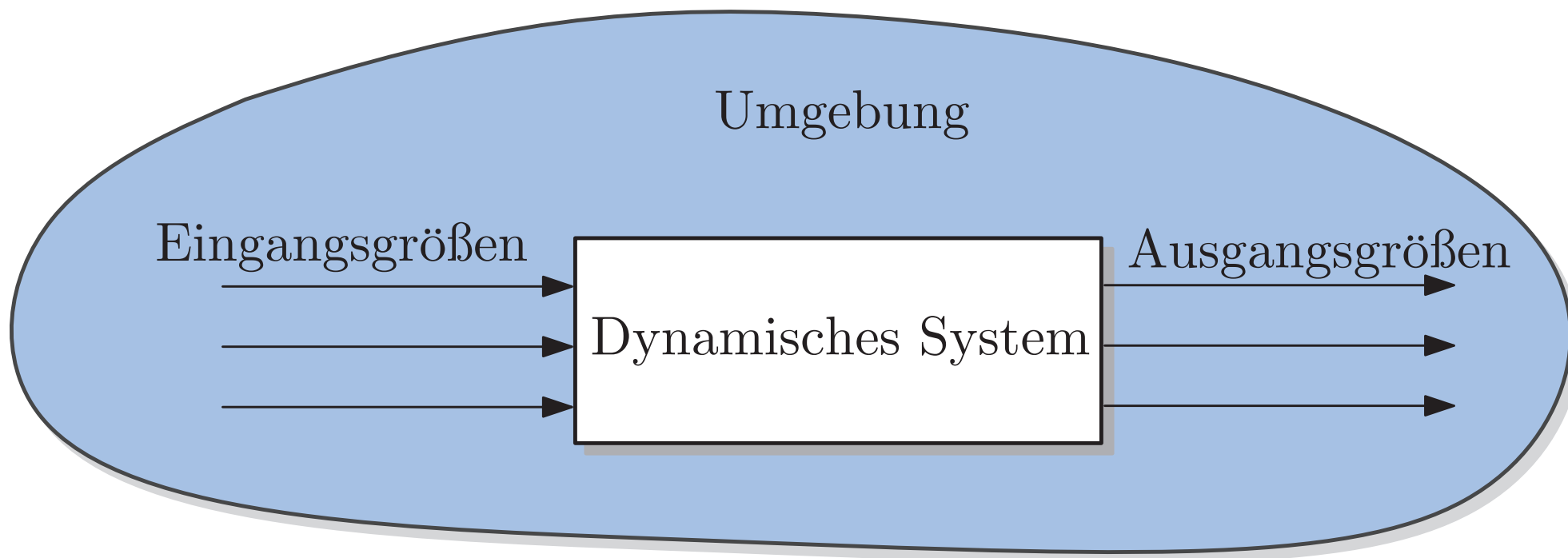
**Abb. 2.2. Beispiele für einen kontinuierlichen und einen diskreten Prozess mit ähnlichen systemdynamischen Eigenschaften**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 2.3. Autonome Systeme**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

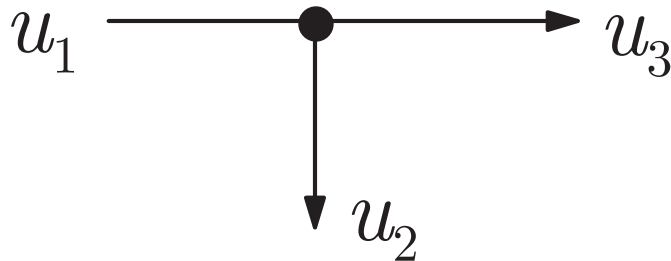


**Abb. 2.4. Blockschaltbild eines Systems**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

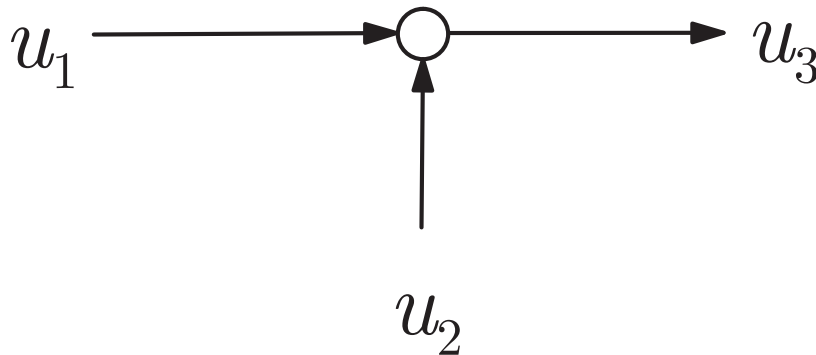


Übertragungsglied  
(allgemein)



Signalverzweigung

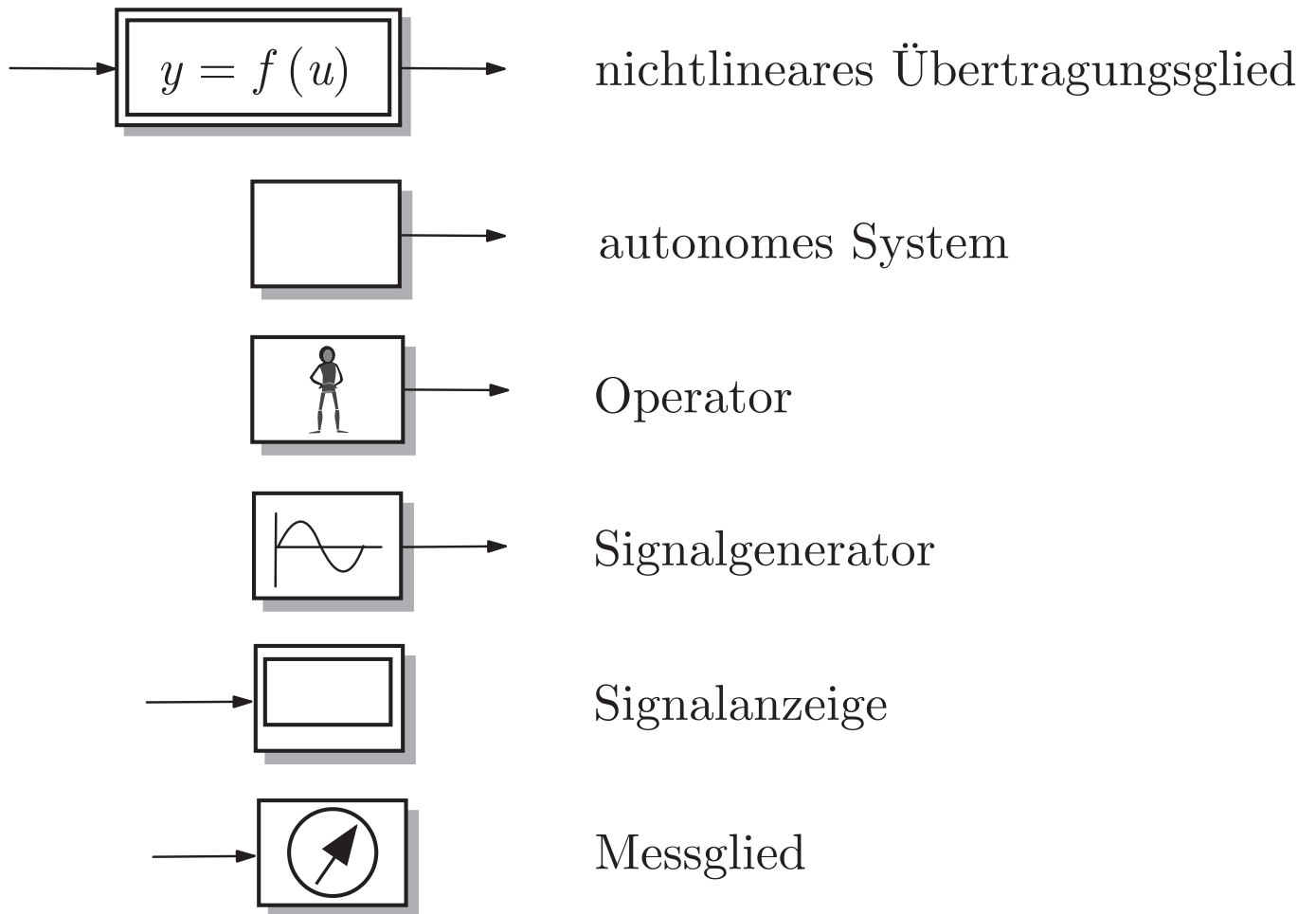
$$u_1 = u_2 = u_3$$



Summationsstelle

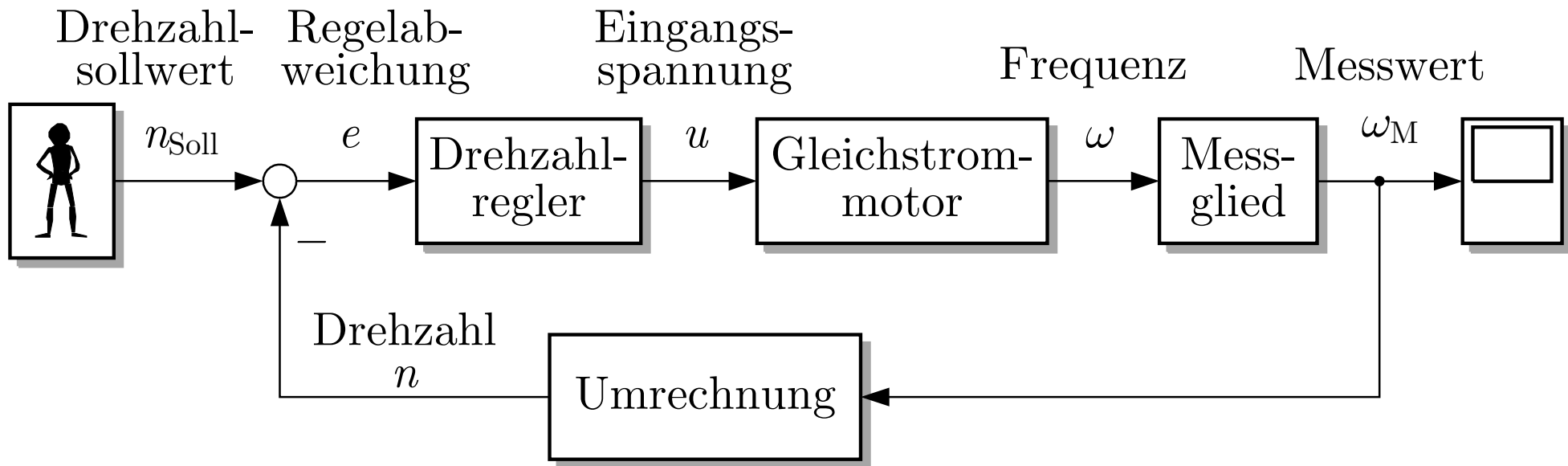
$$u_3 = u_1 + u_2$$

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*

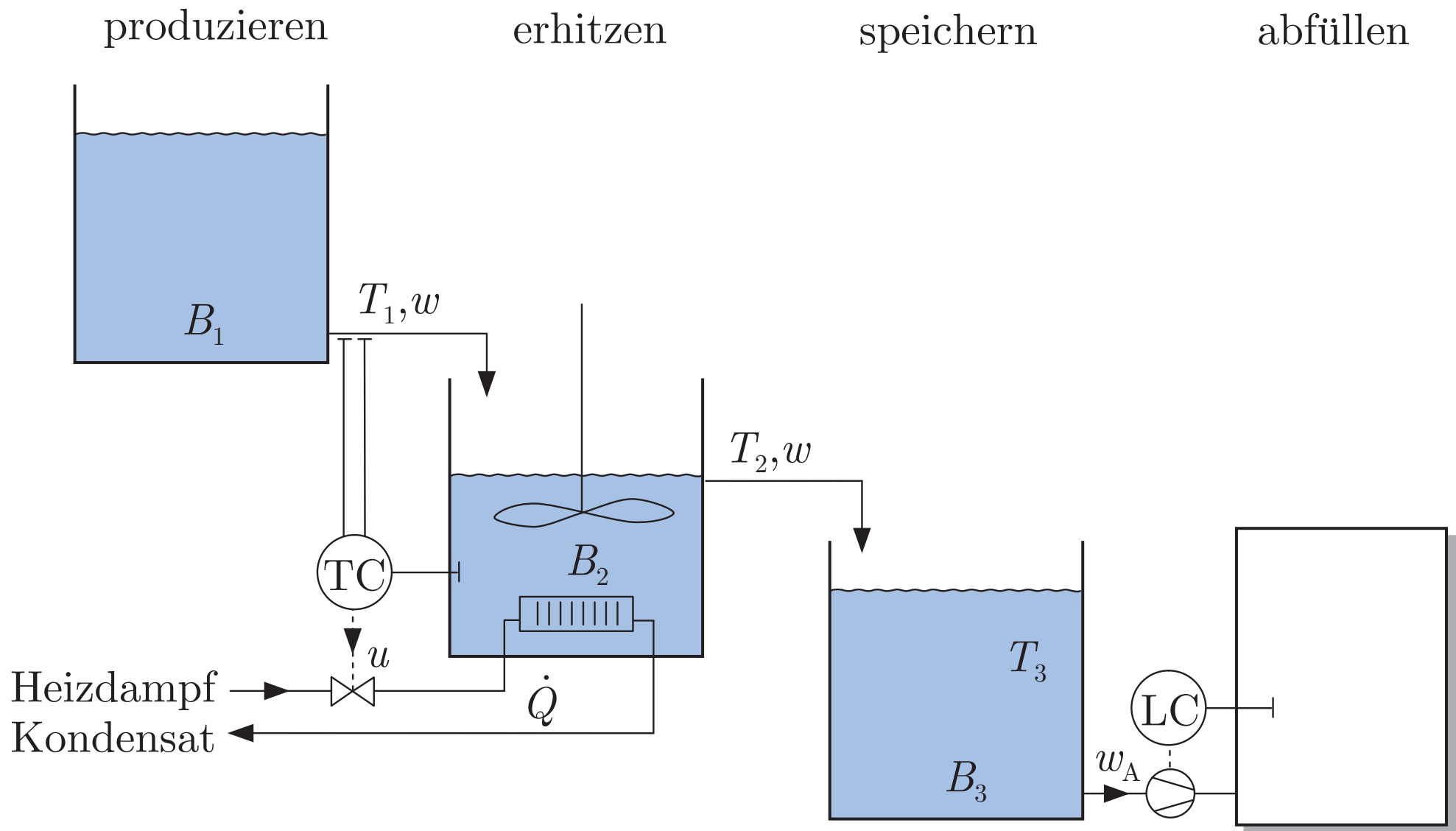
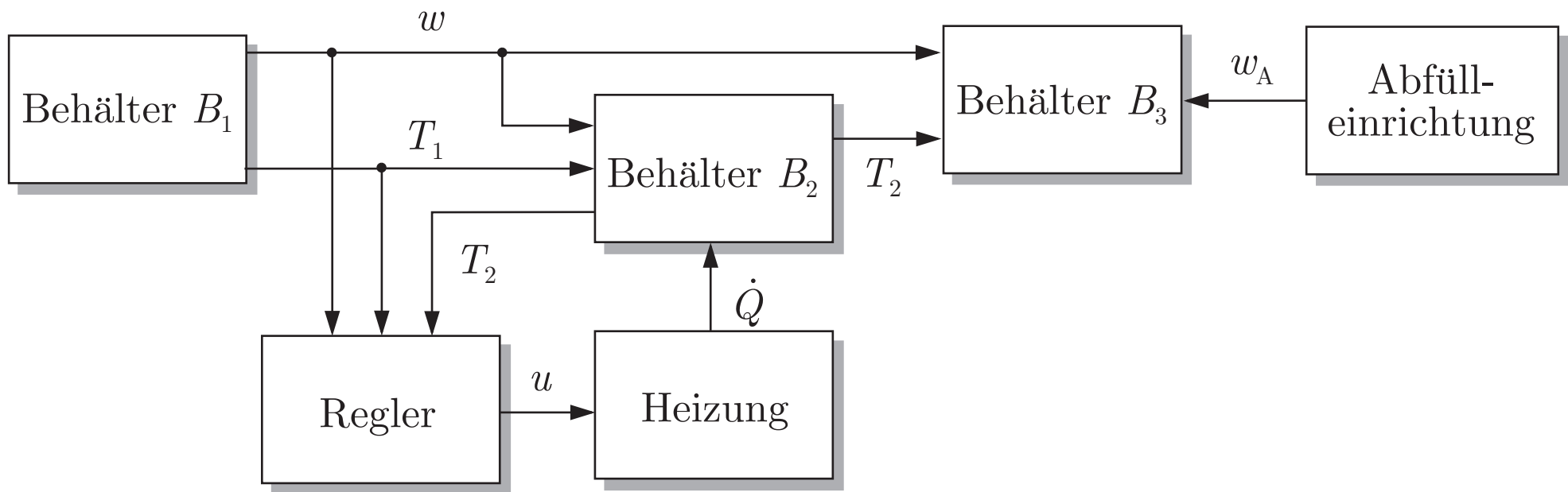


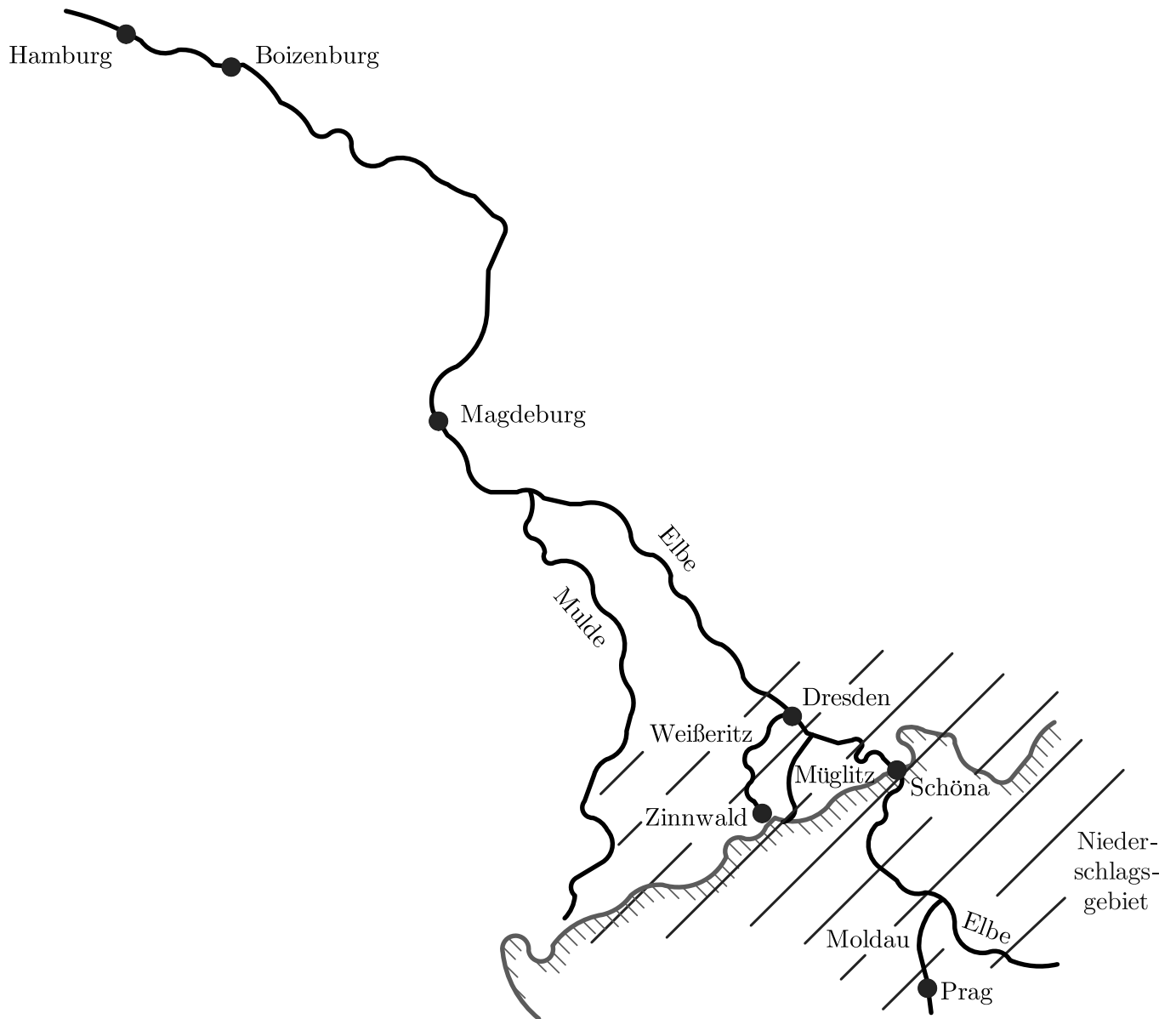
Abb. 2.8. Abfüllanlage (TC – Temperaturregler, LC – Füllstandsregler)





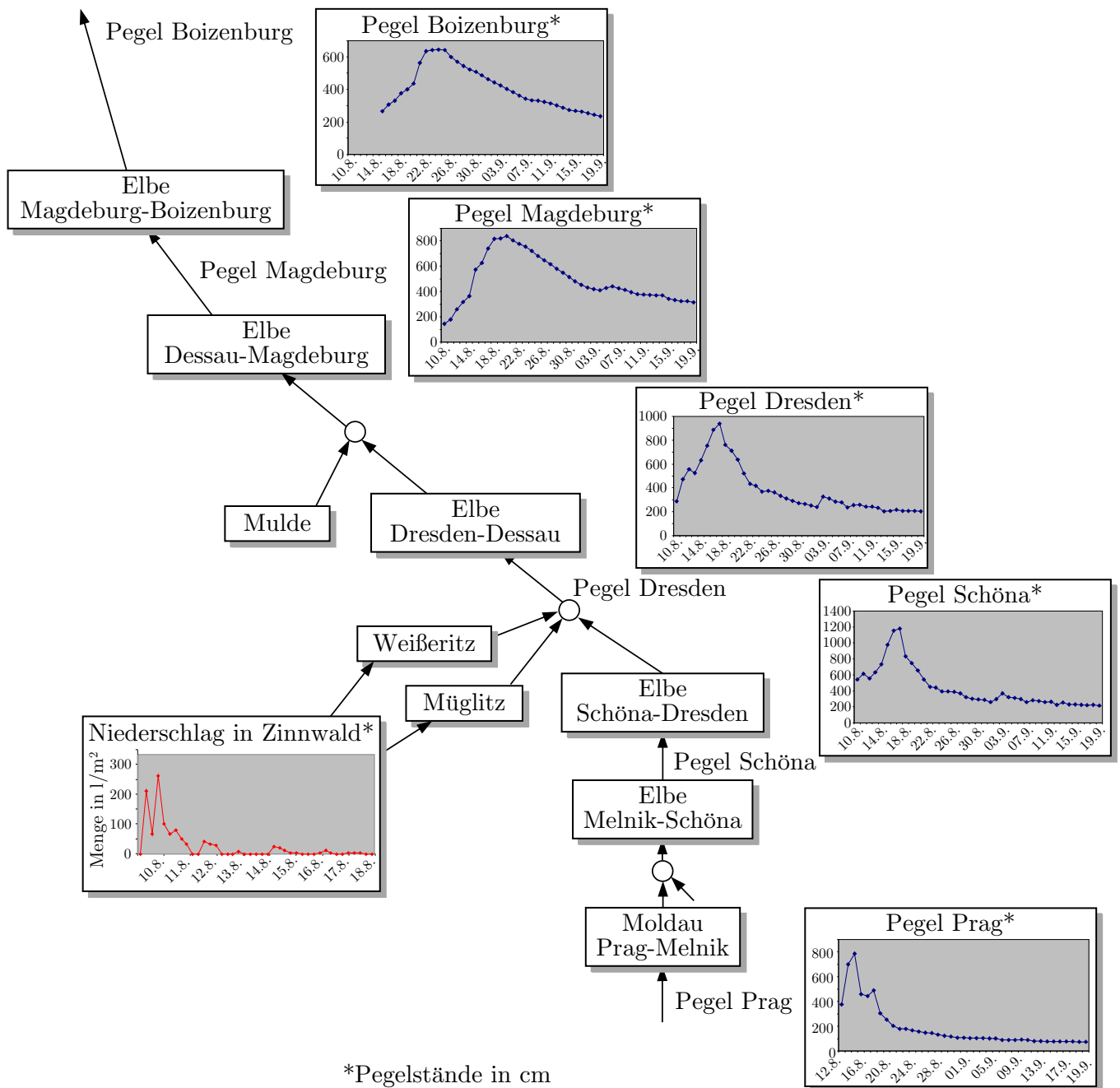
**Abb. 2.9. Blockschaltbild der Abfüllanlage**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



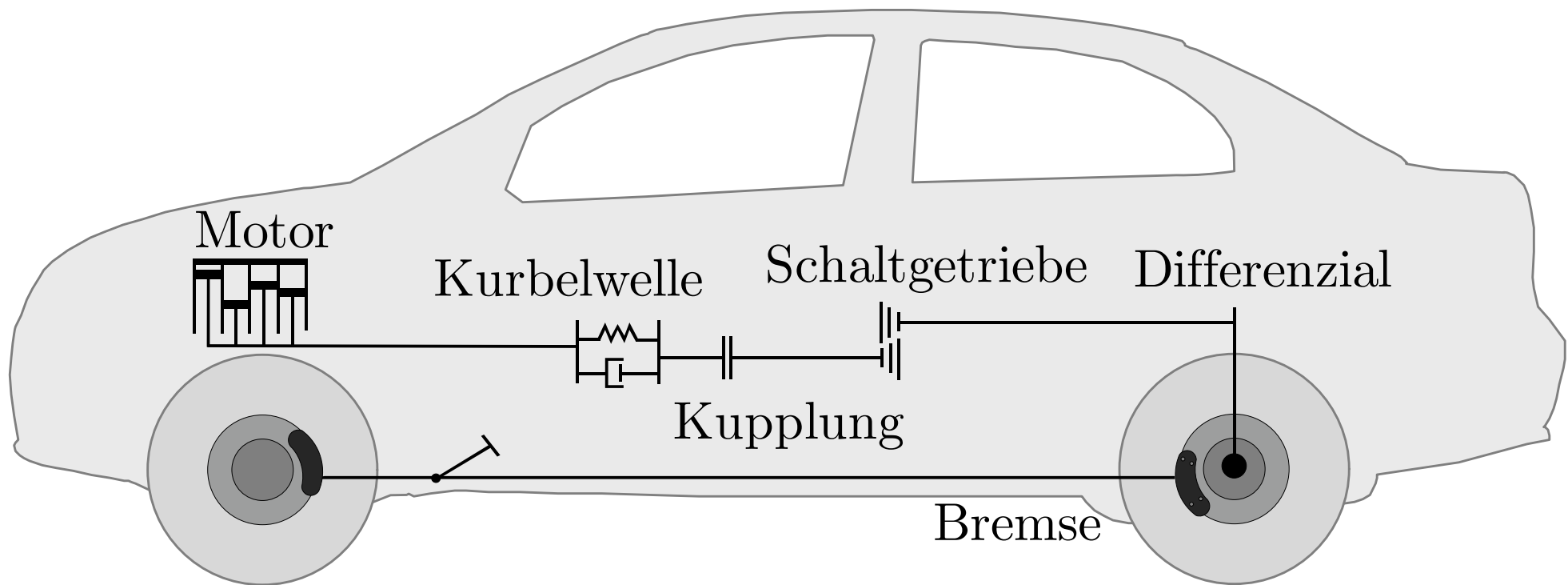
**Abb. 2.10: Landkarte des vom Elbehochwasser betroffenen Gebietes**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



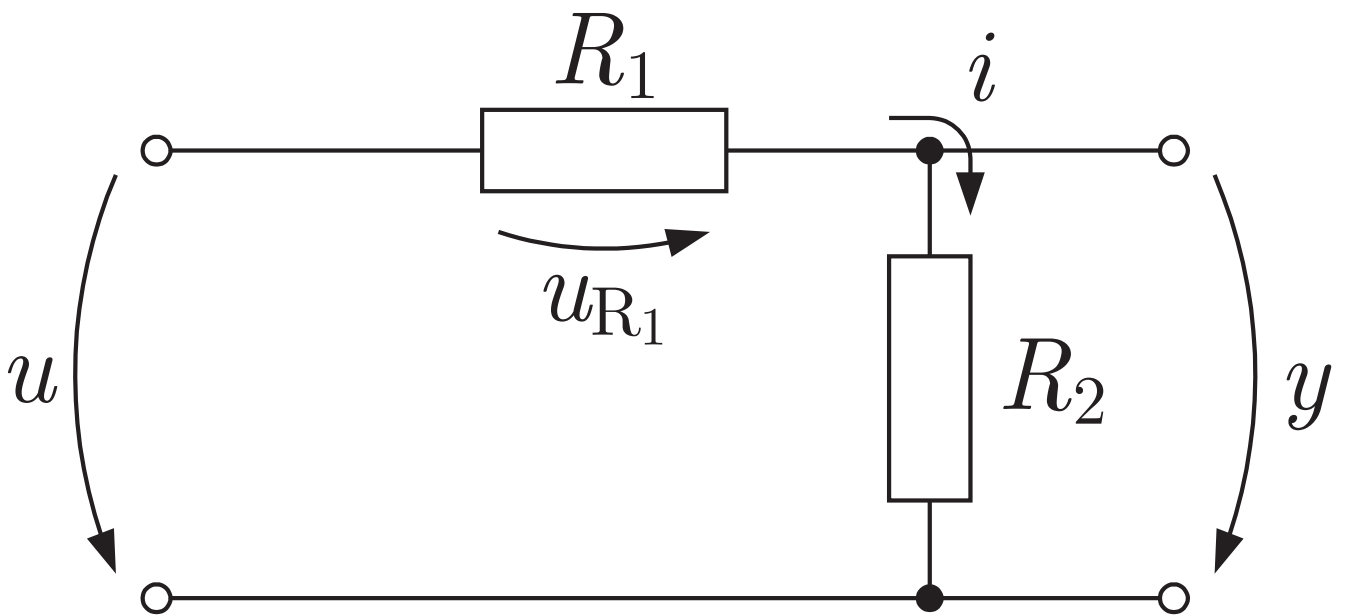
**Abb. 2.11: Darstellung des strukturellen Zusammenhangs zwischen den Pegelständen durch ein Blockschaltbild**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



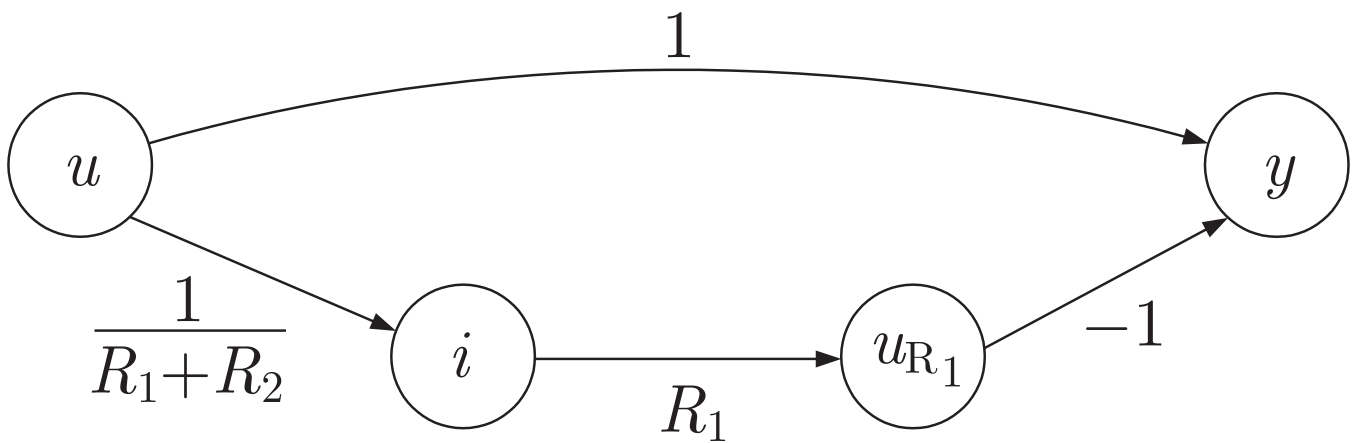
**Abb. 2.12. Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs**

*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*

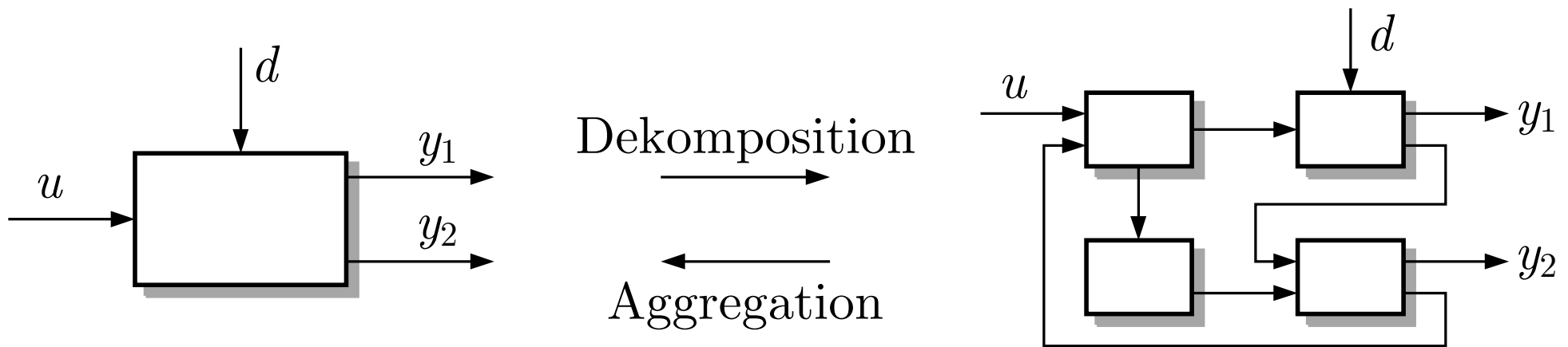
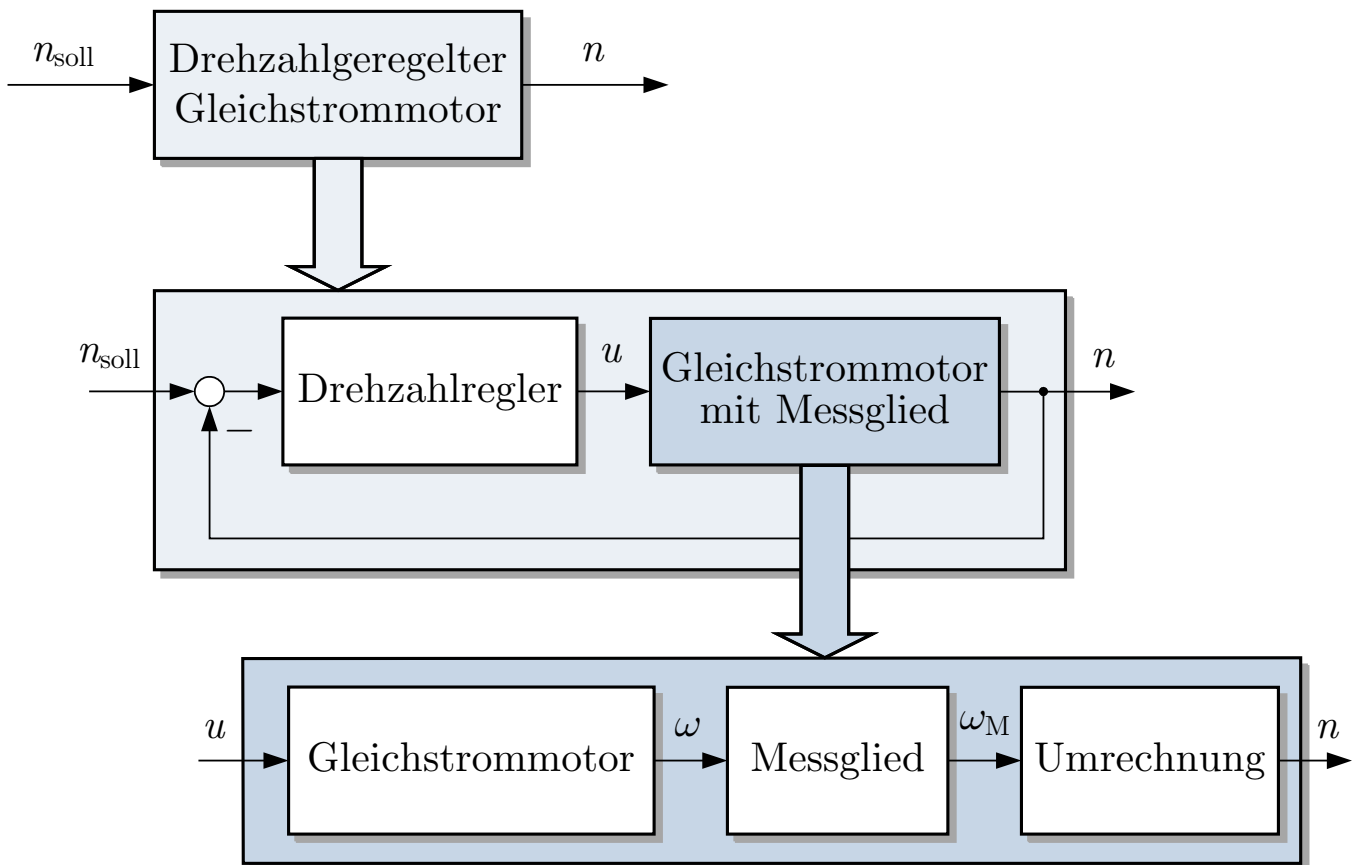


Abb. 2.14. Dekomposition und Aggregation eines Systems

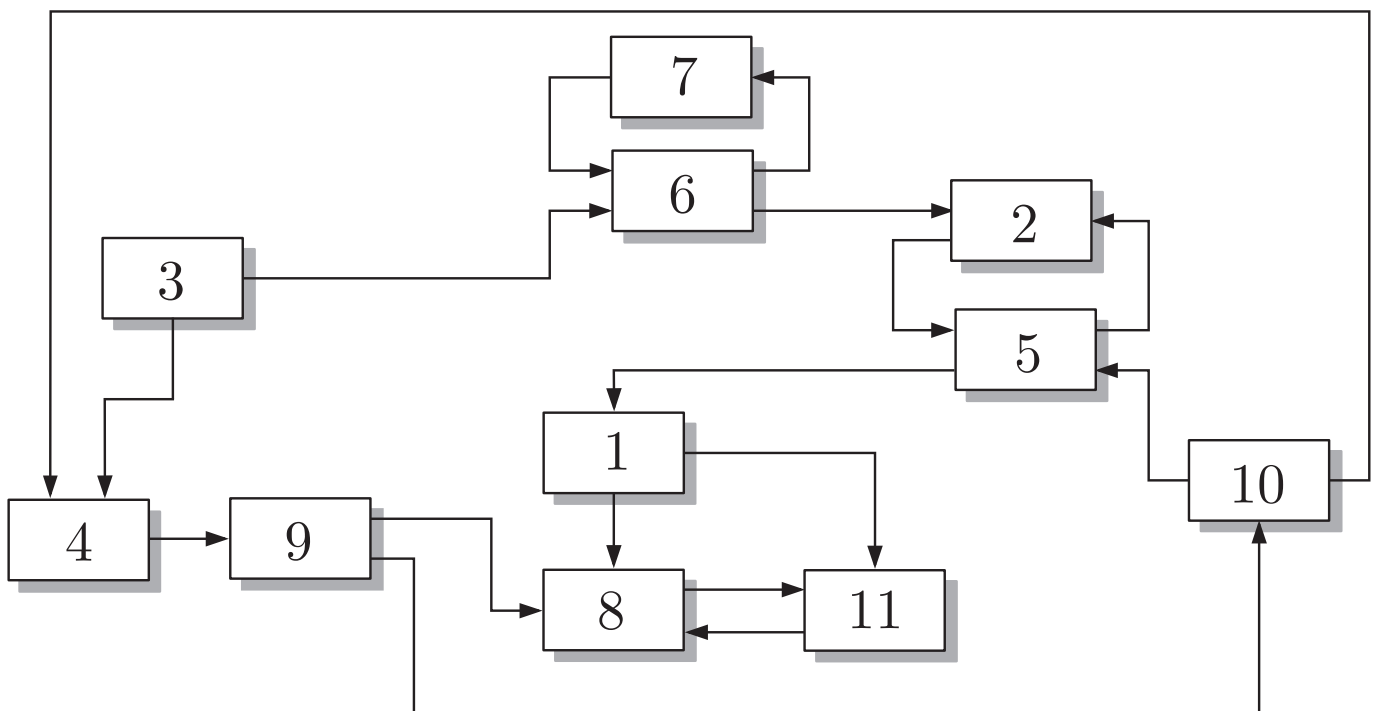
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 2.15: Hierarchisch strukturiertes Blockschaltbild eines Gleichstrommotors**

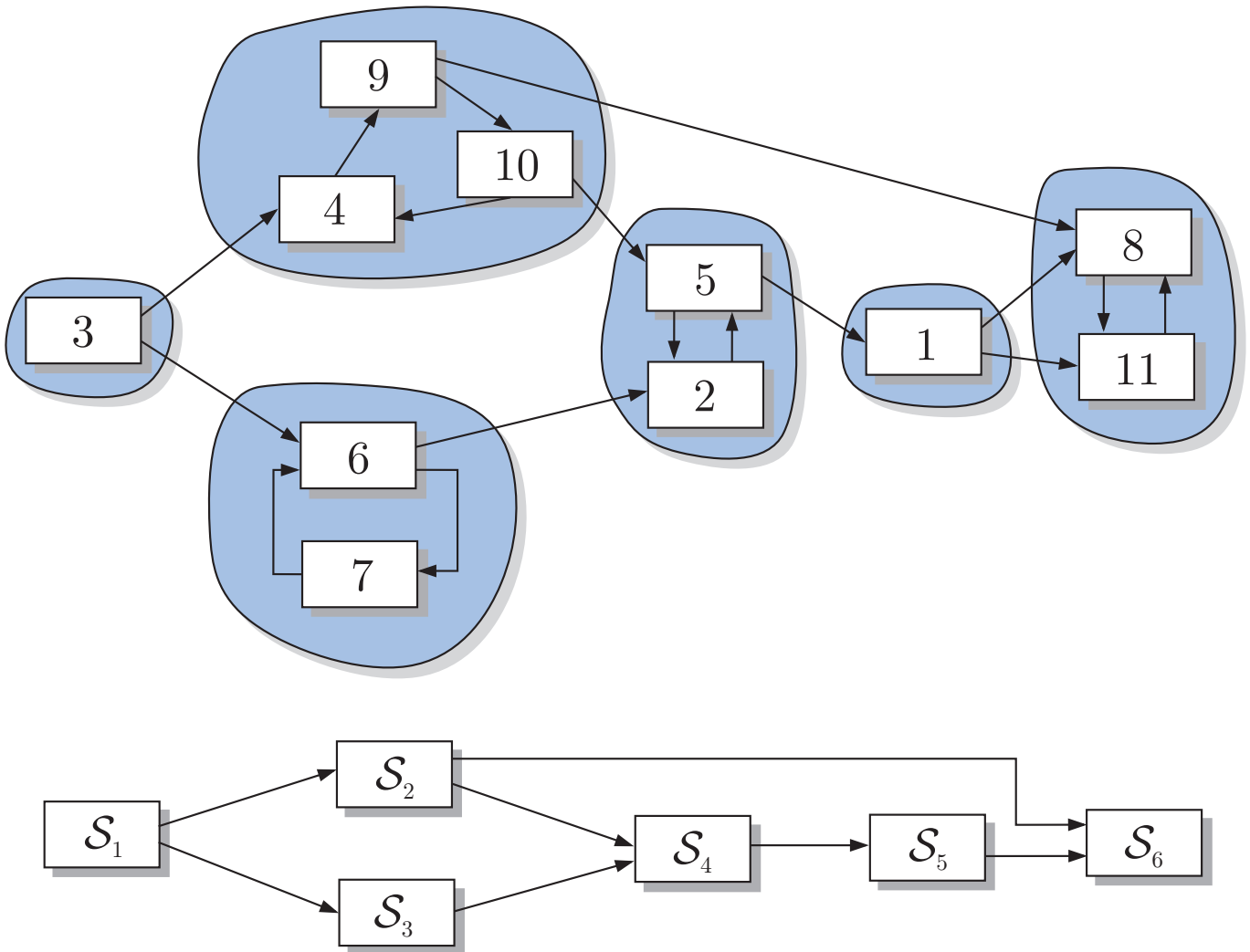
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*

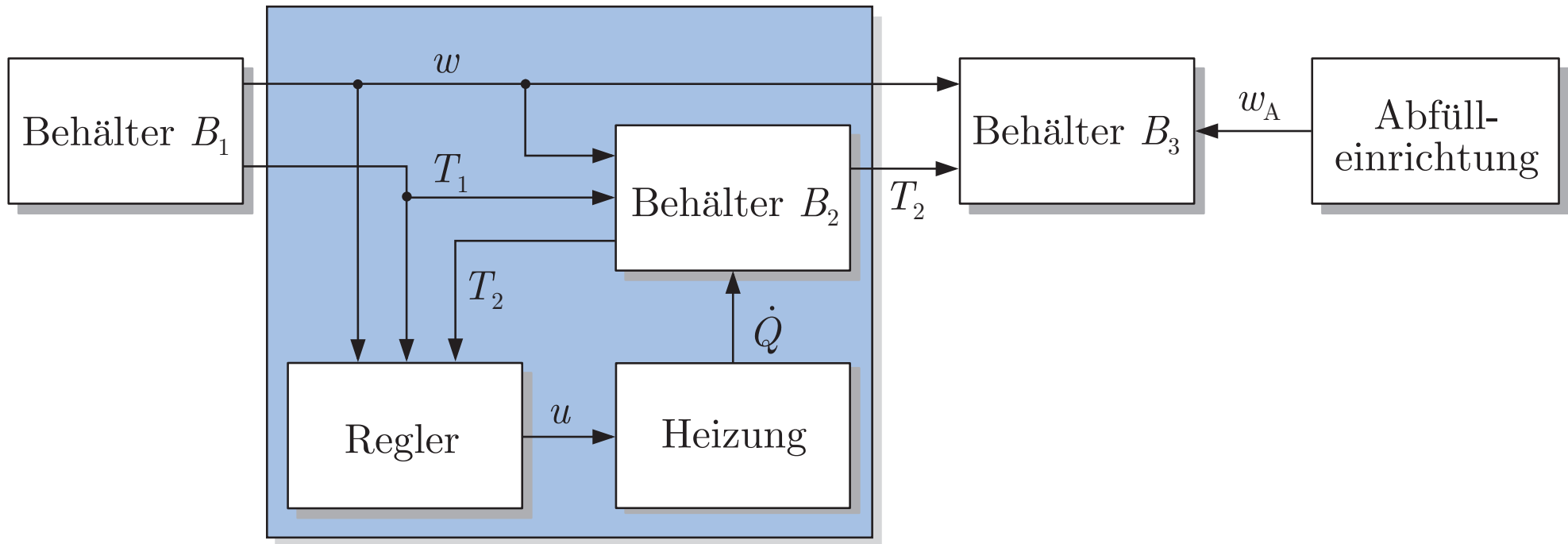


Abb. 2.18. Kopplungsstruktur der Abfüllanlage

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

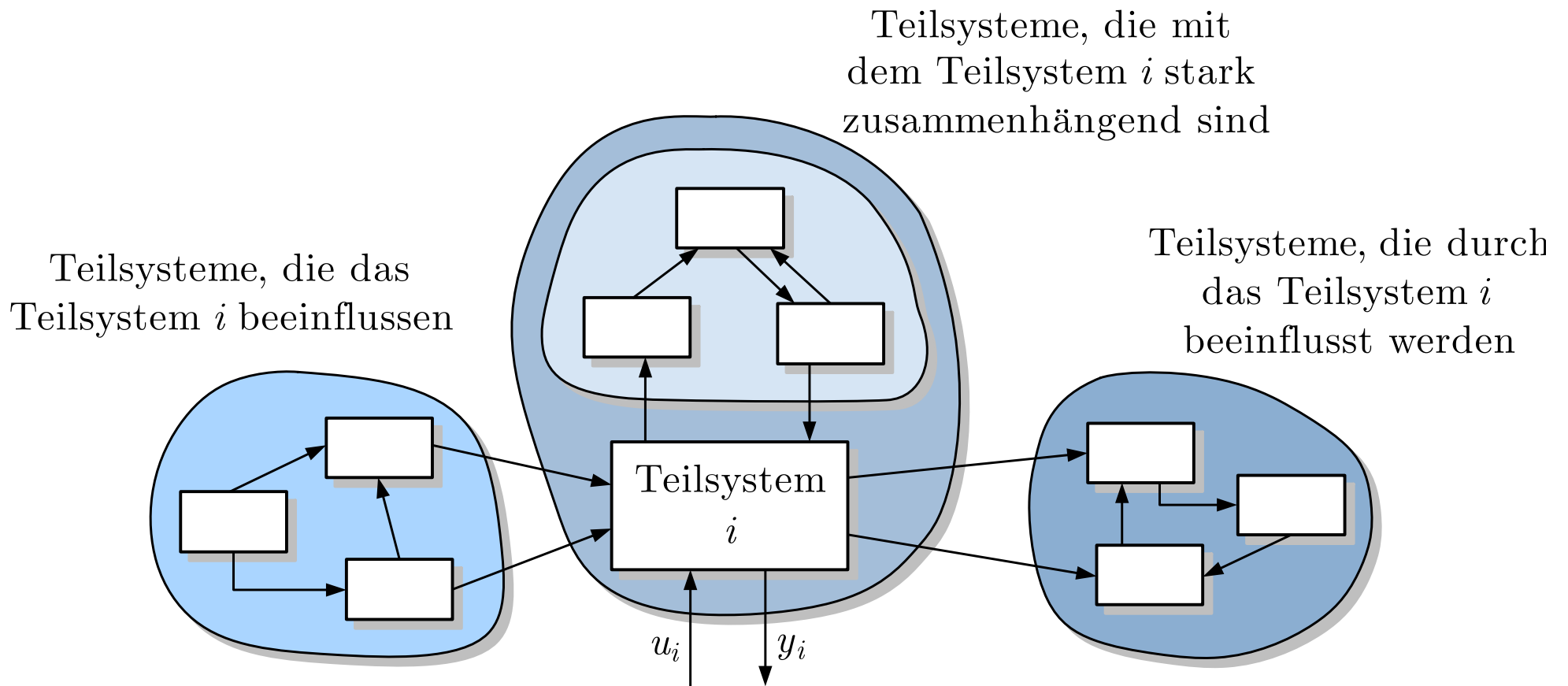


Abb. 2.19. Betrachtung des Gesamtsystems vom Standpunkt des Teilsystems  $i$  aus

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

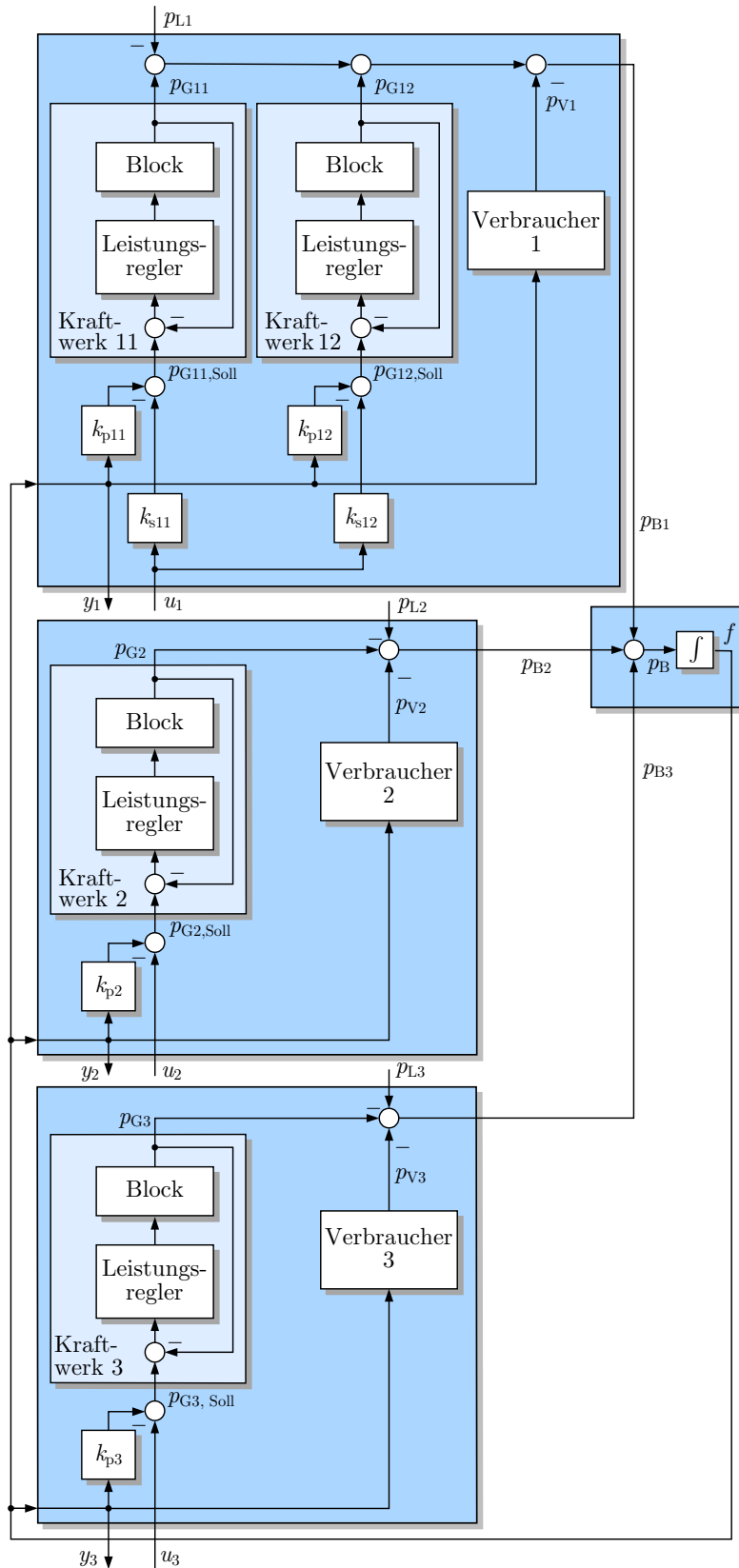


Abb. 2.20. Modell eines Elektroenergienetzes

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

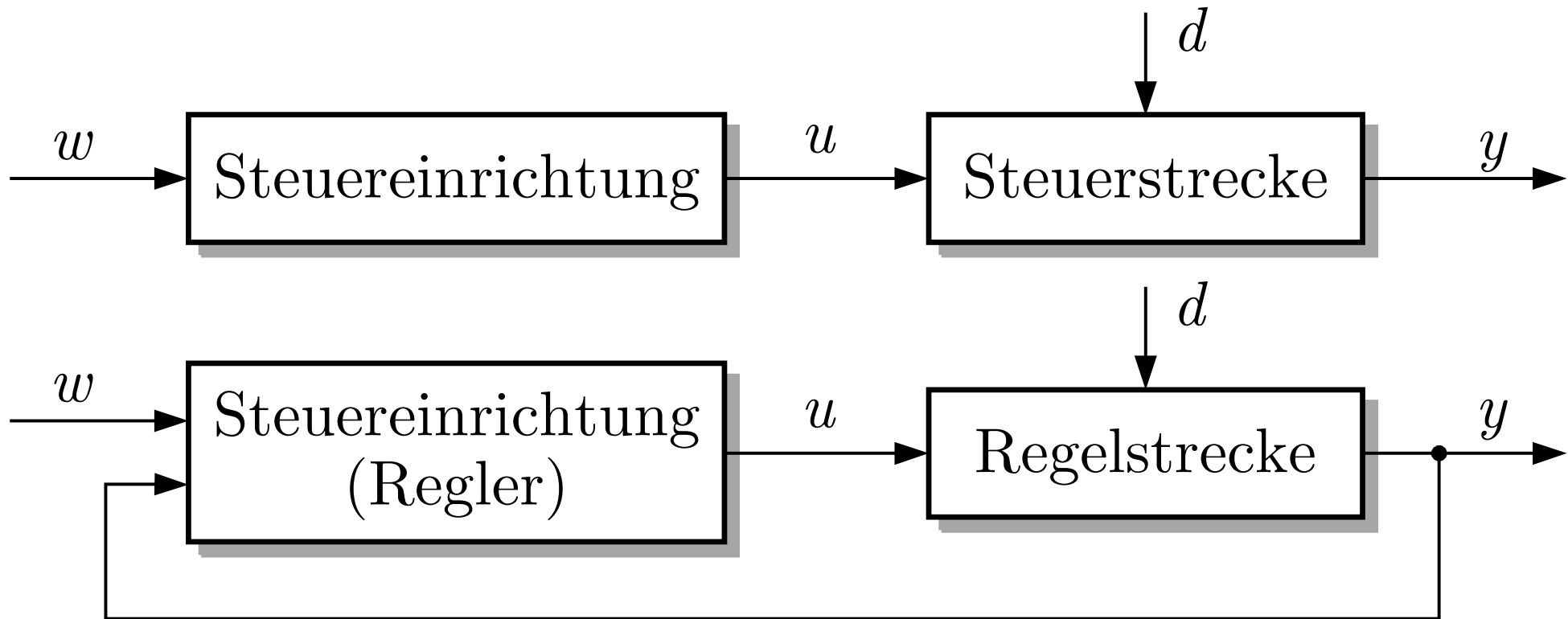
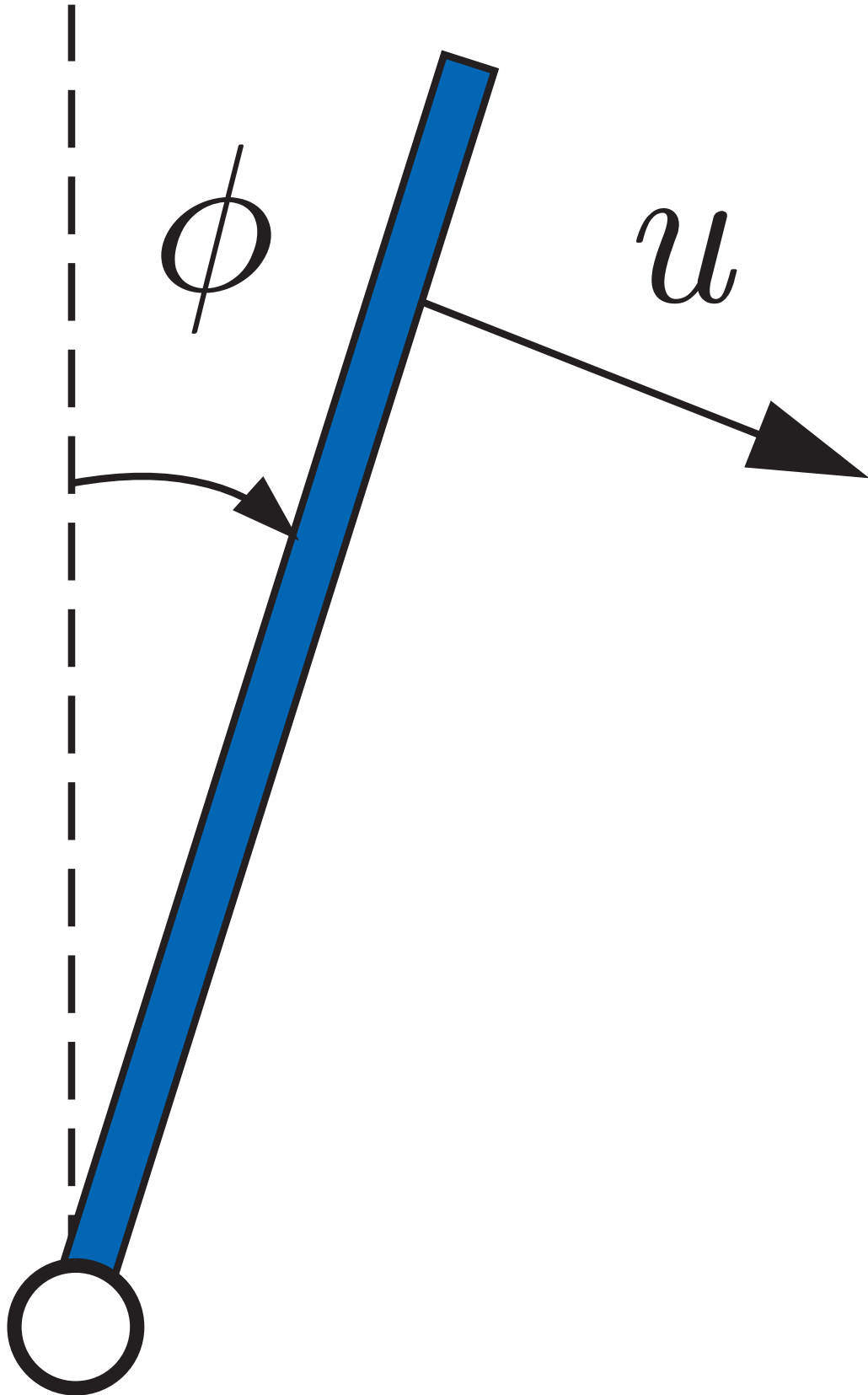
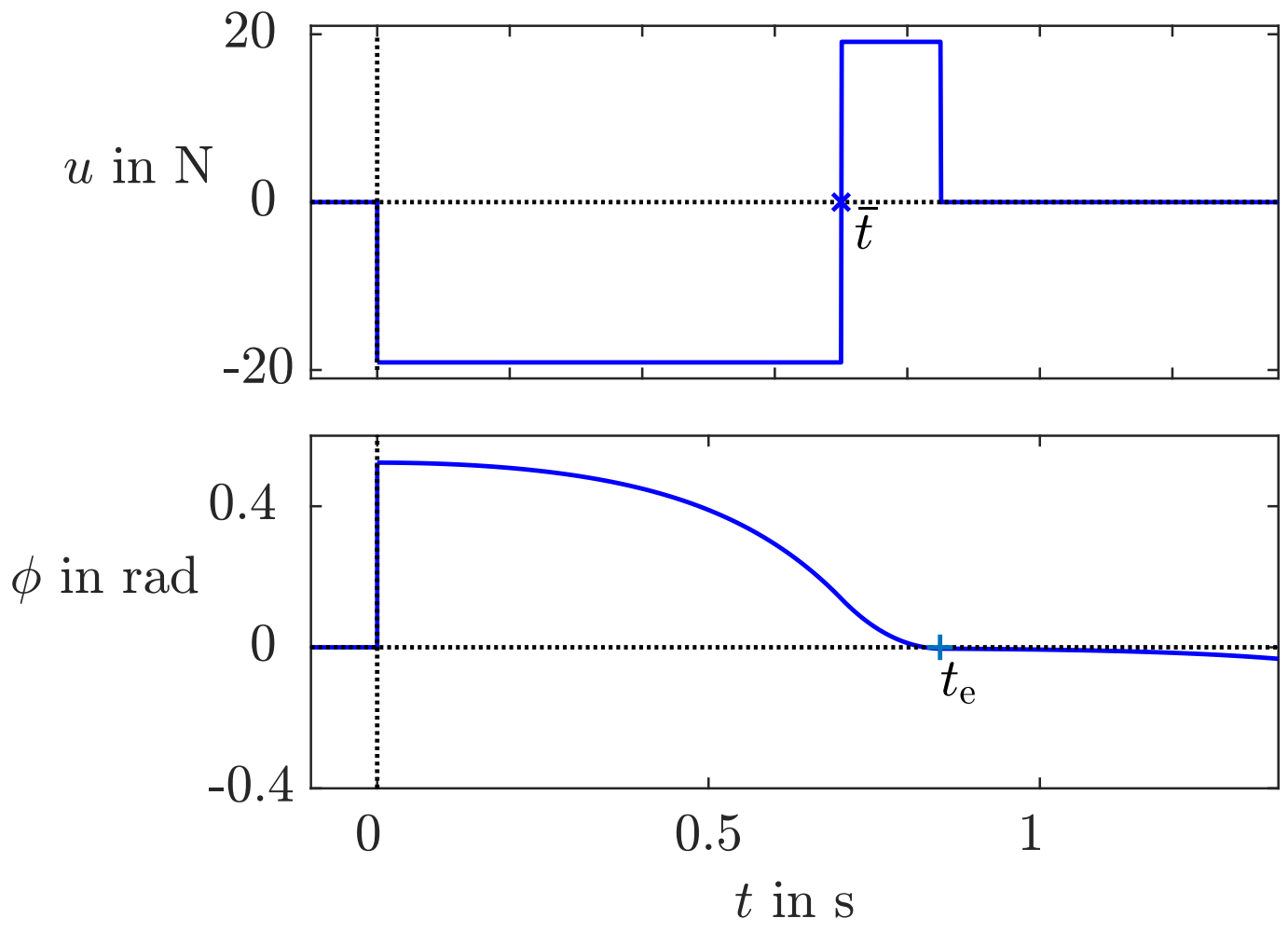


Abb. 2.21. Steuerung in der offenen Wirkungskette (oben) und im geschlossenen Wirkungskreis (unten)



**Abb. 2.22. Invertiertes Pendel**

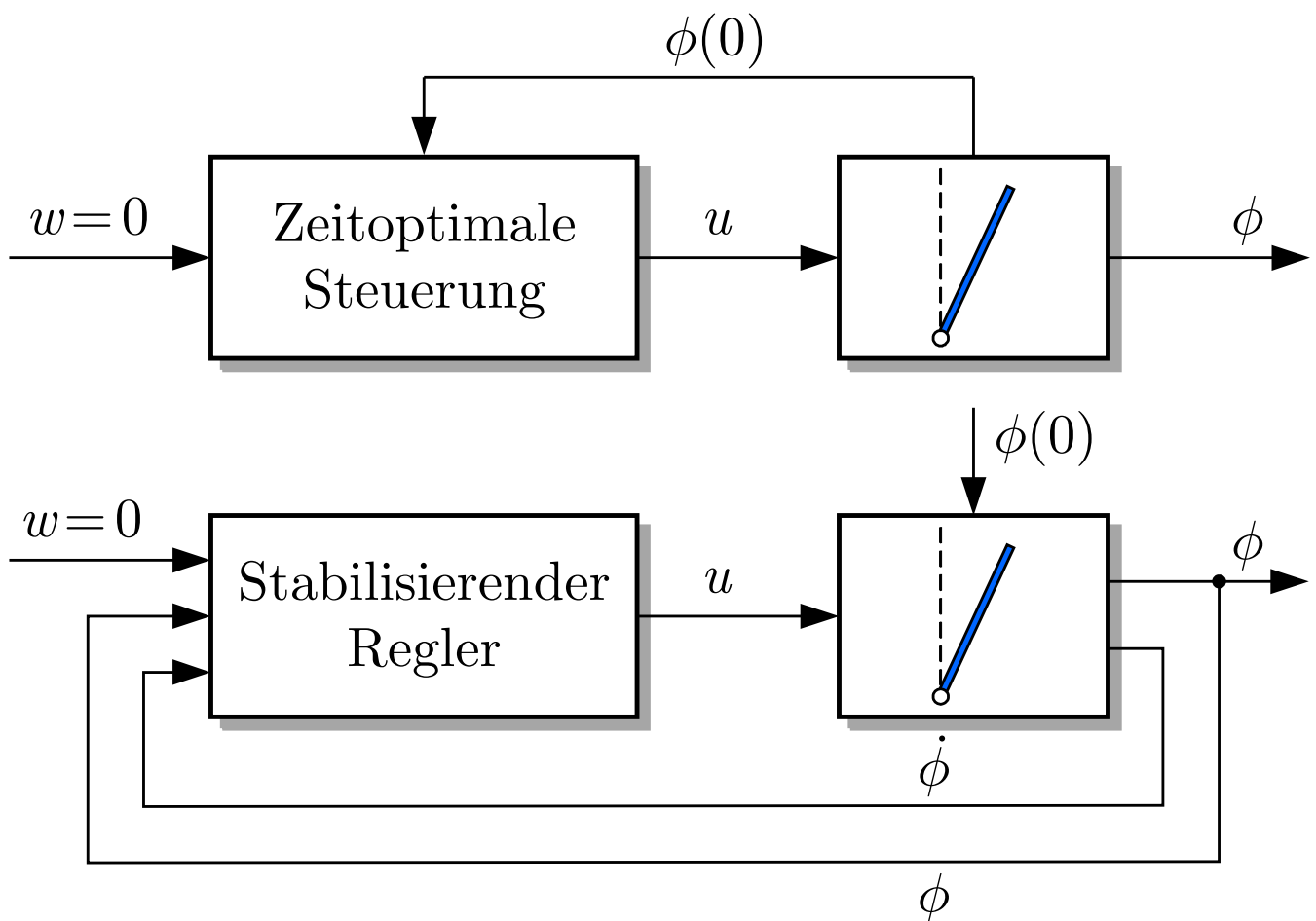
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 2.23: Zeitoptimale Steuerung des Pendels**

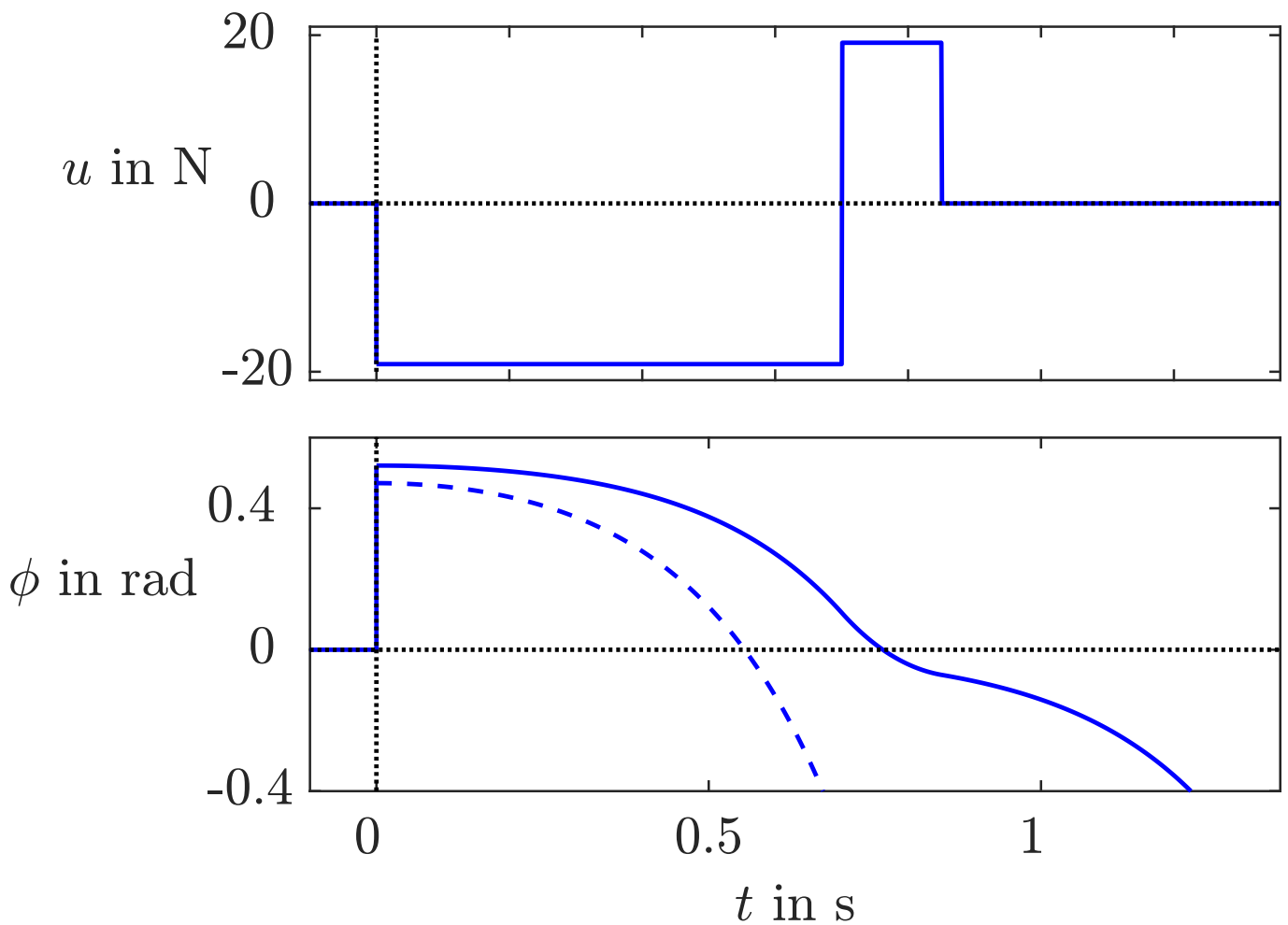
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





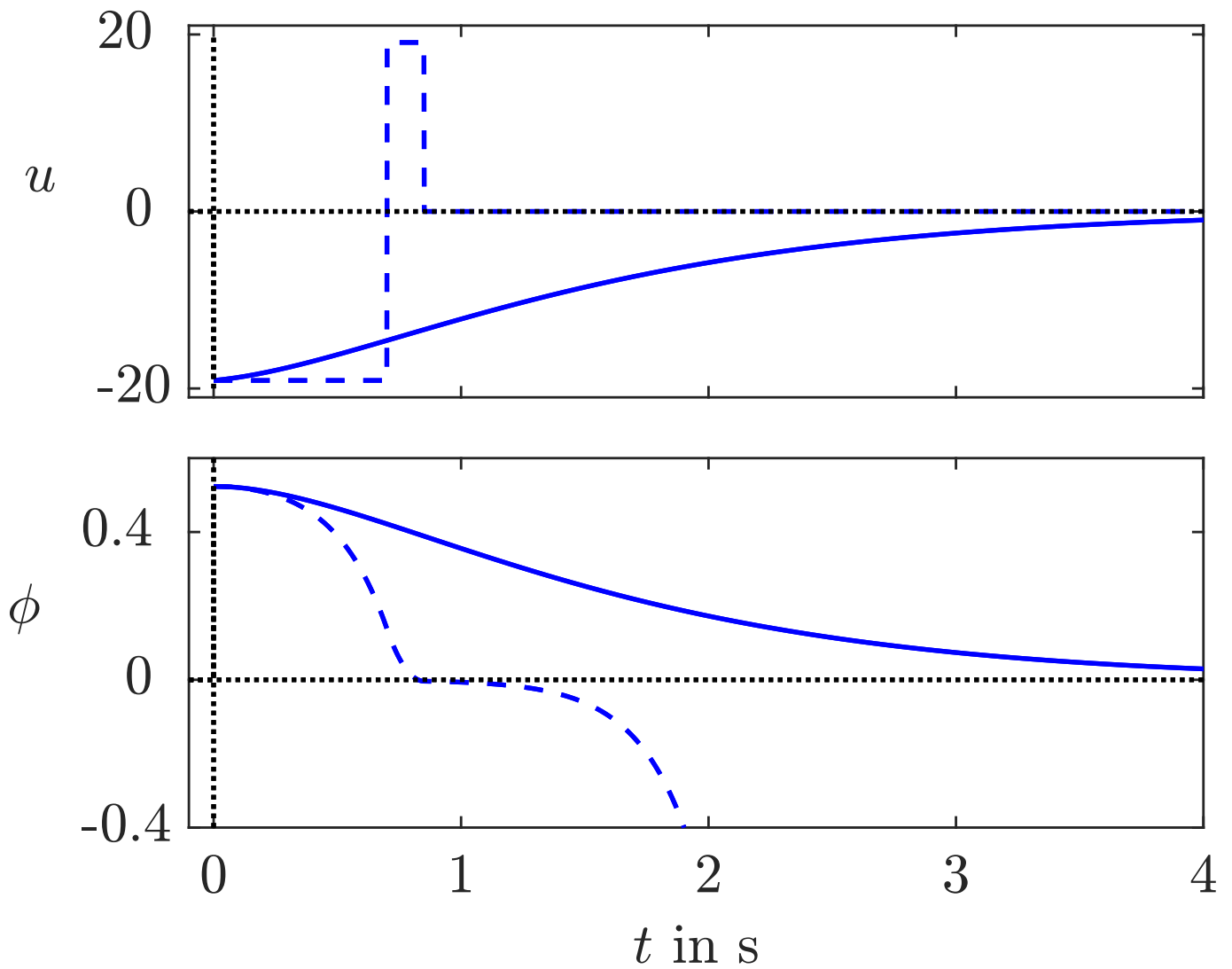
**Abb. 2.24: Steuerung des Pendels in der offenen Wirkungskette und im Regelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



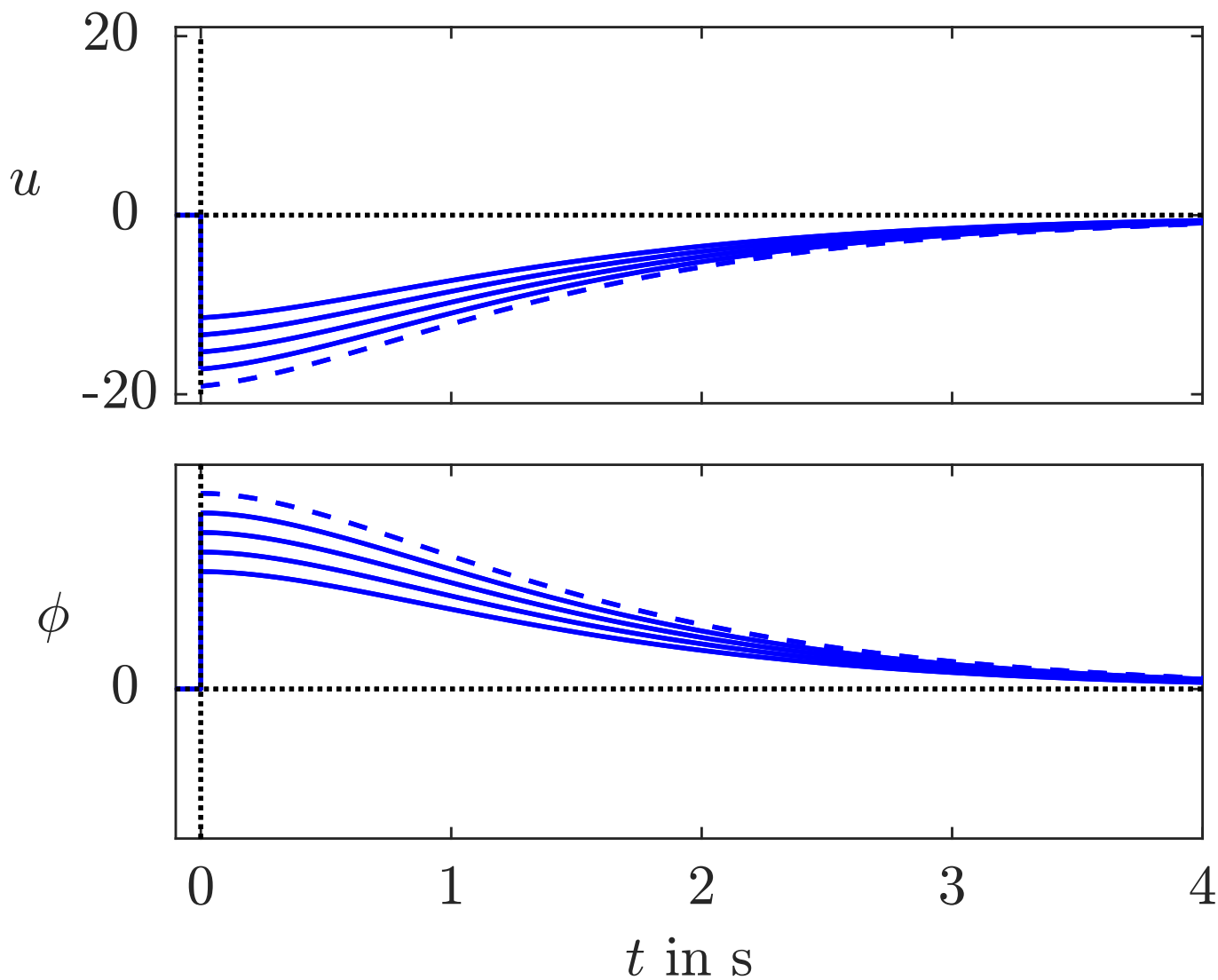
**Abb. 2.25:** Anwendung der zeitoptimalen Steuerung bei veränderter Anfangslage ( $\phi(0) = 29,85^\circ$  — bzw.  $\phi(0) = 27^\circ$  - - -)

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 2.26:** Verhalten des geregelten Pendels ( $u$  in N,  $\phi$  in rad)

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 2.26:** Verhalten des geregelten Pendels ( $u$  in N,  $\phi$  in rad)

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

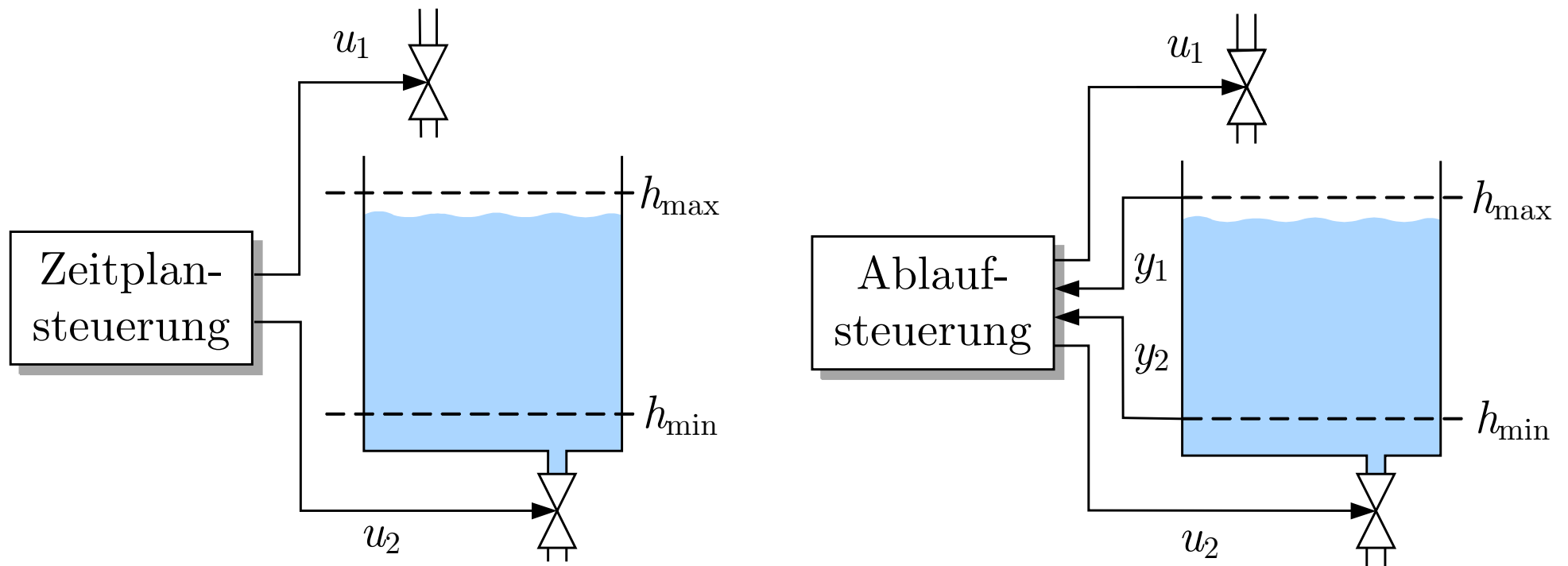


Abb. 2.27. Zeitplansteuerung und Ablaufsteuerung eines Behälters

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

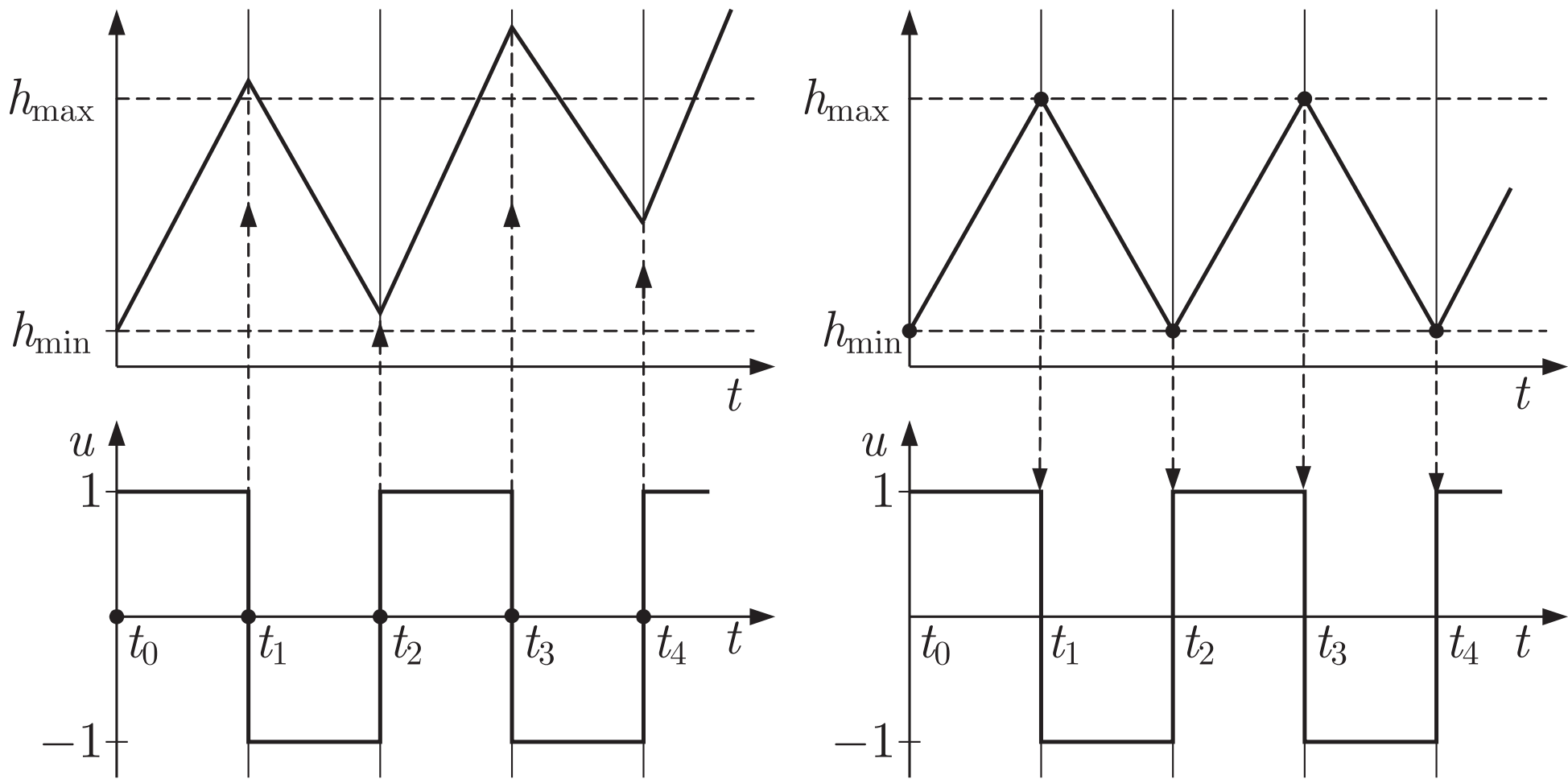
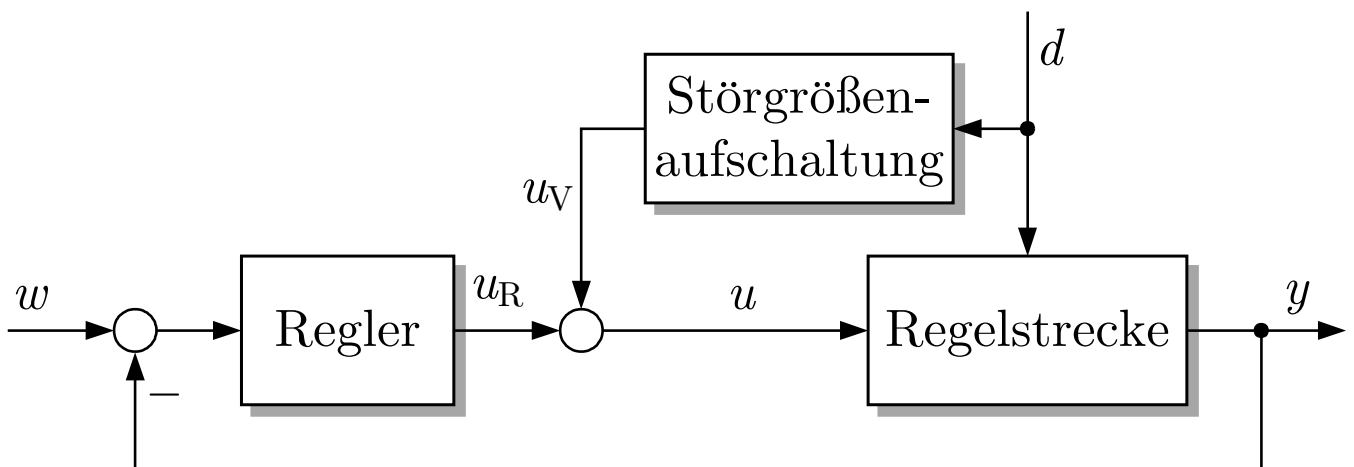
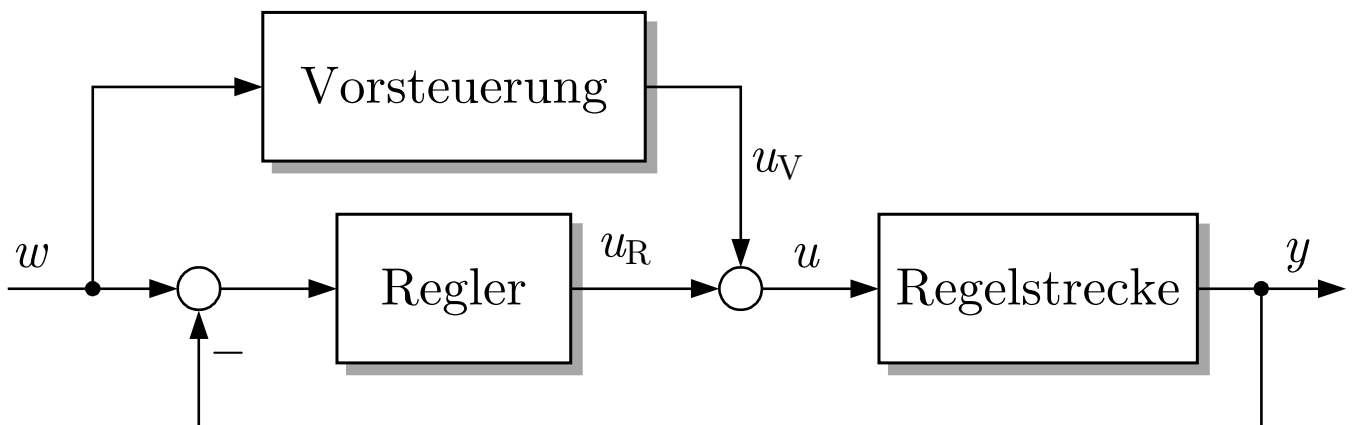
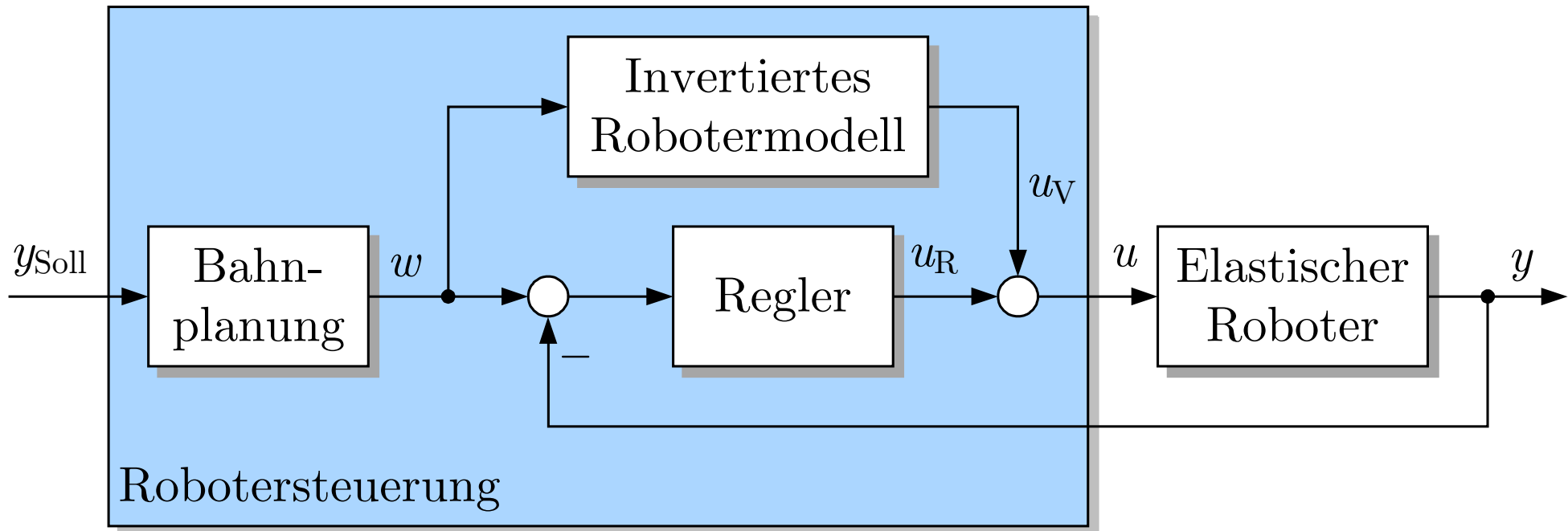


Abb. 2.28. Systemverhalten bei Zeitplansteuerung (links) und Regelung (rechts)



**Abb. 2.29: Vorsteuerung und Störgrößen-aufschaltung**

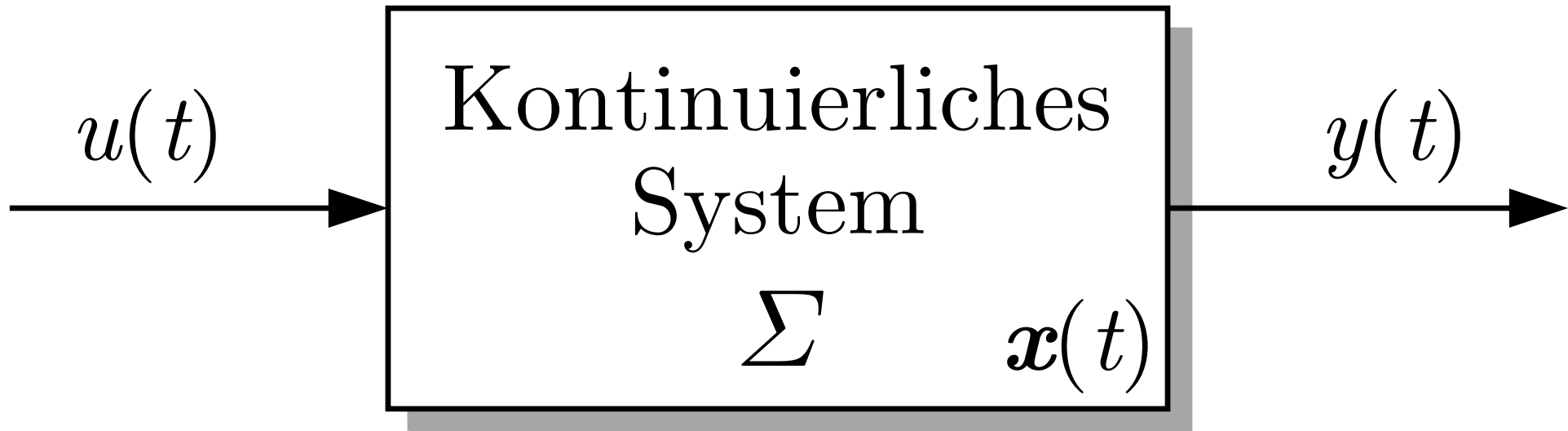
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**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*

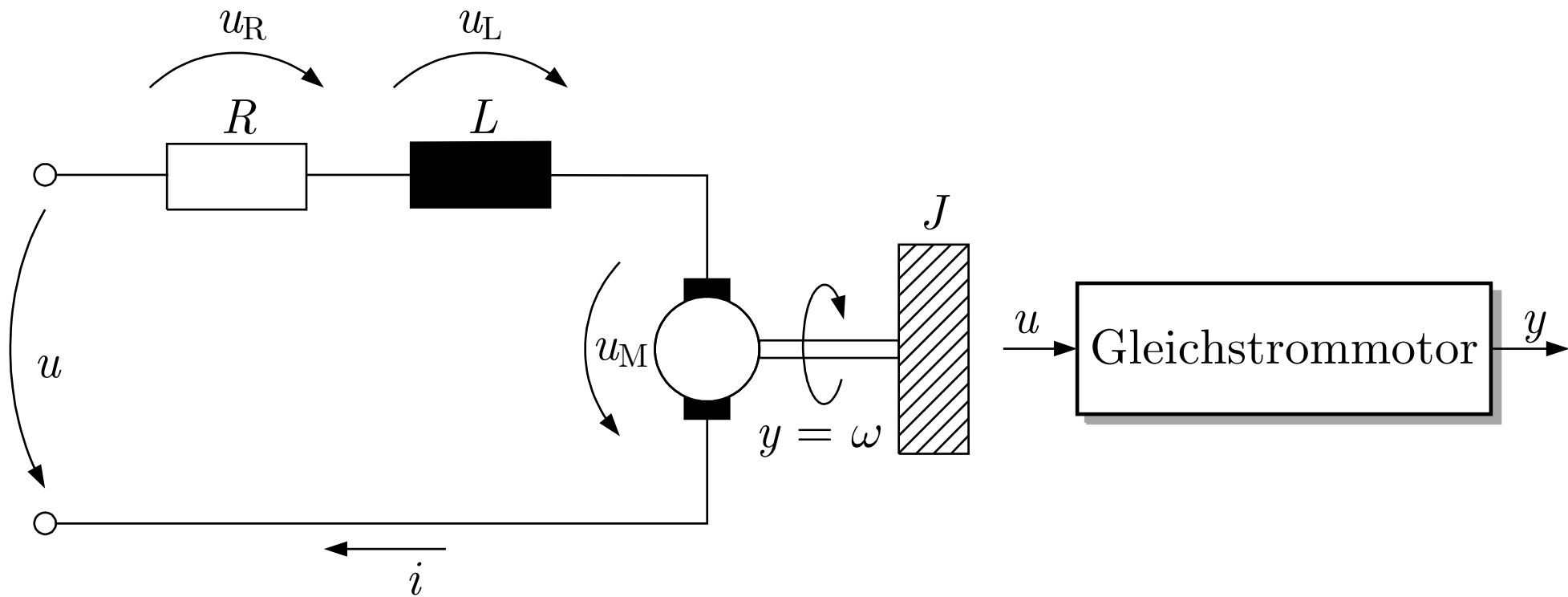
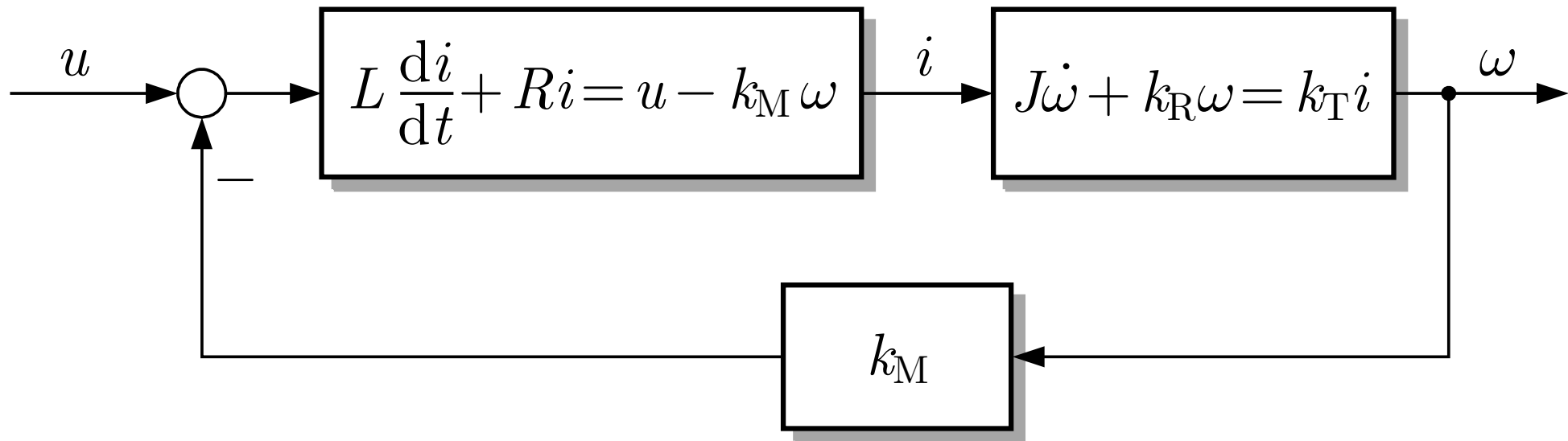


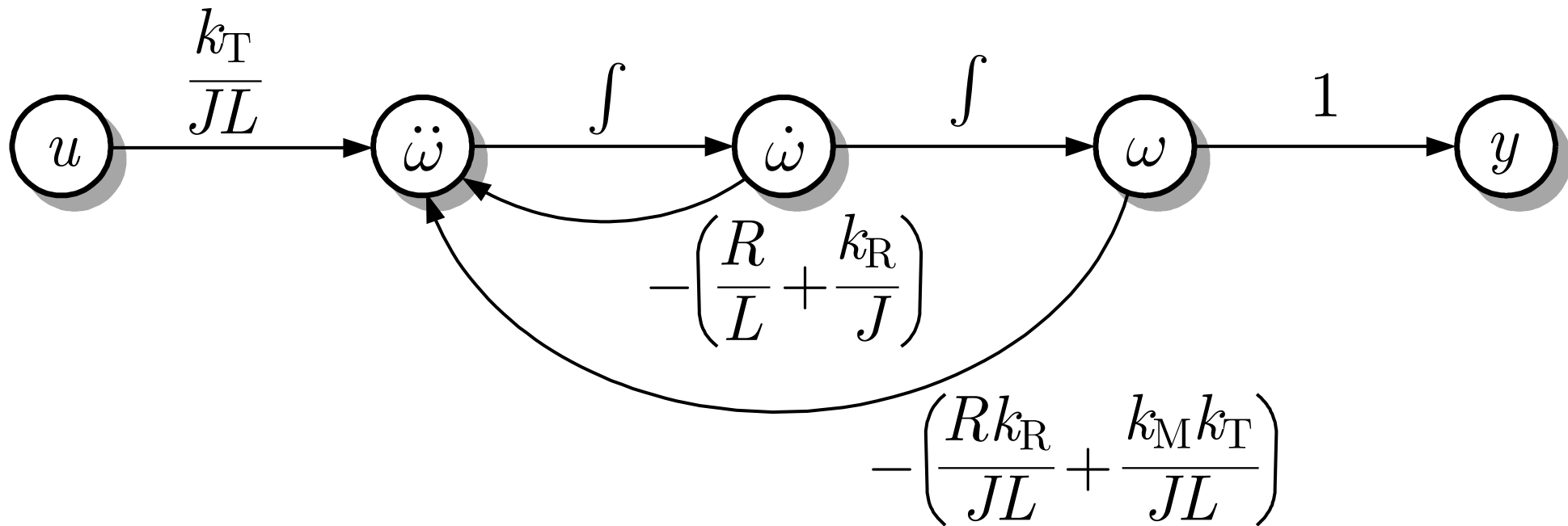
Abb. 3.2. Schaltbild und Blockschaltbild des Gleichstrommotors

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



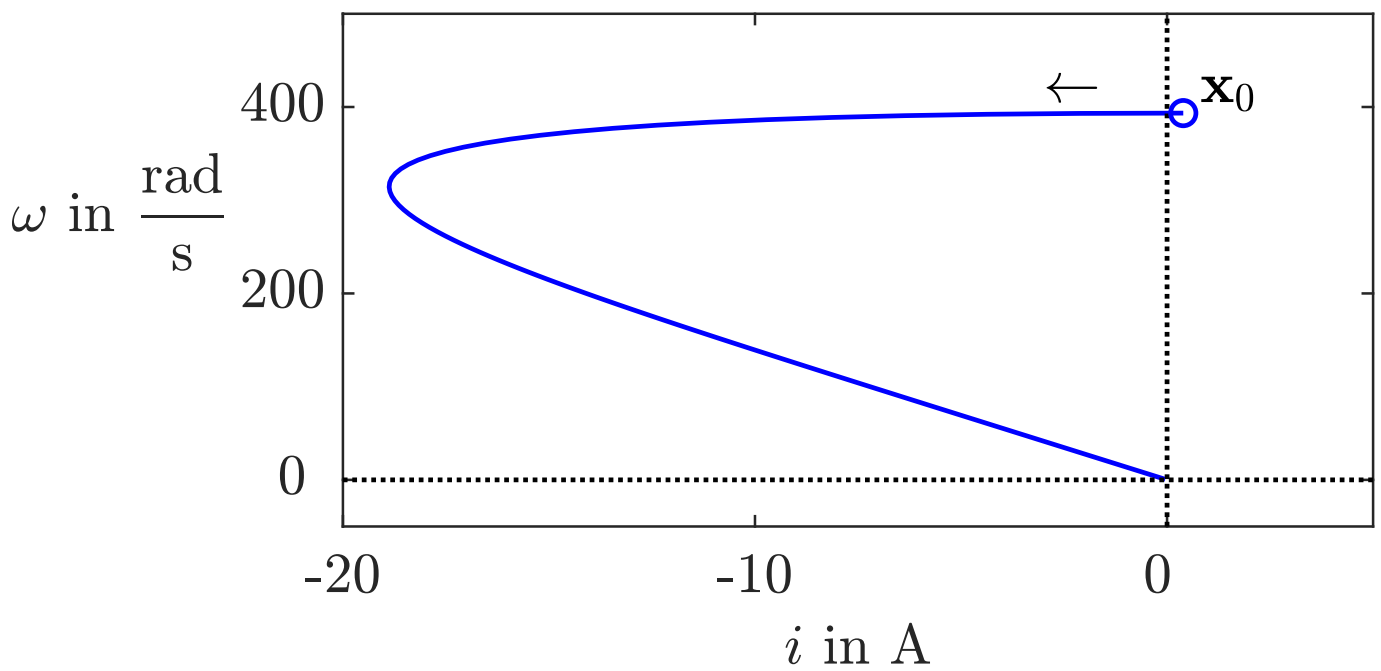
**Abb. 3.3. Detailliertes Blockschaltbild des Gleichstrommotors**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



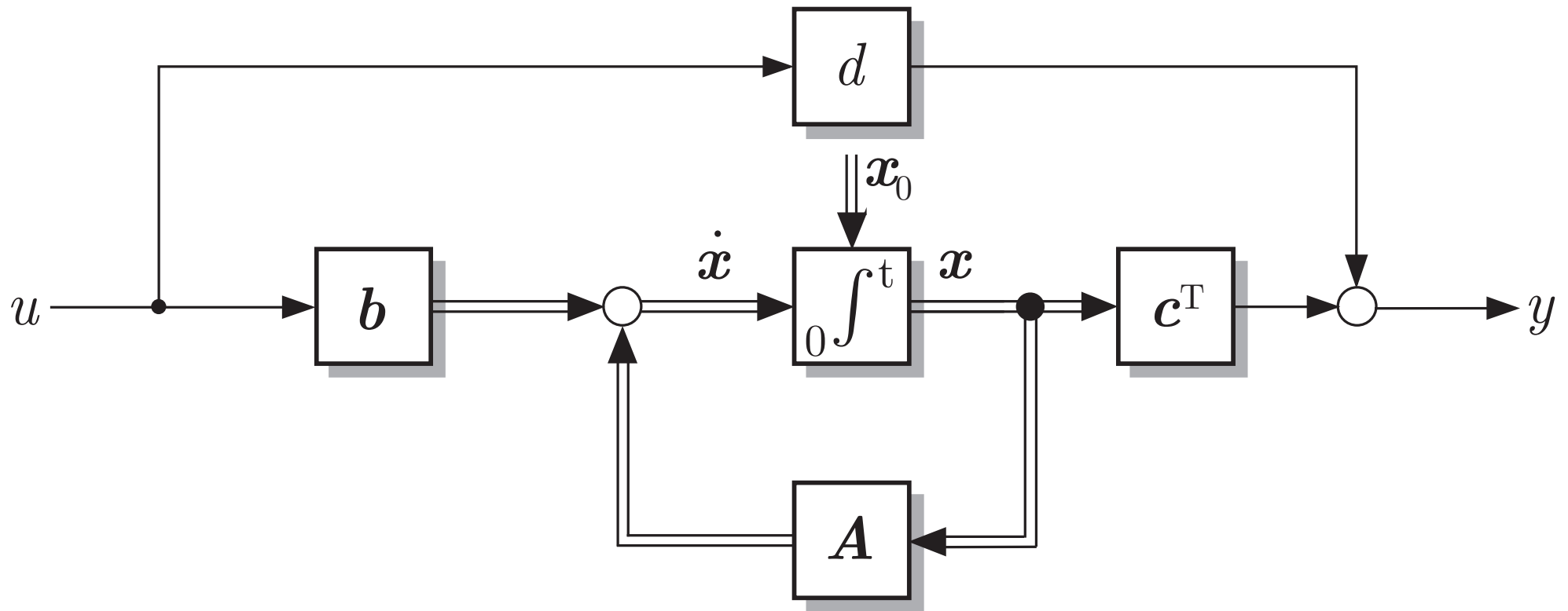
**Abb. 3.4. Signalflussgraph des Gleichstrommotors**

*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*

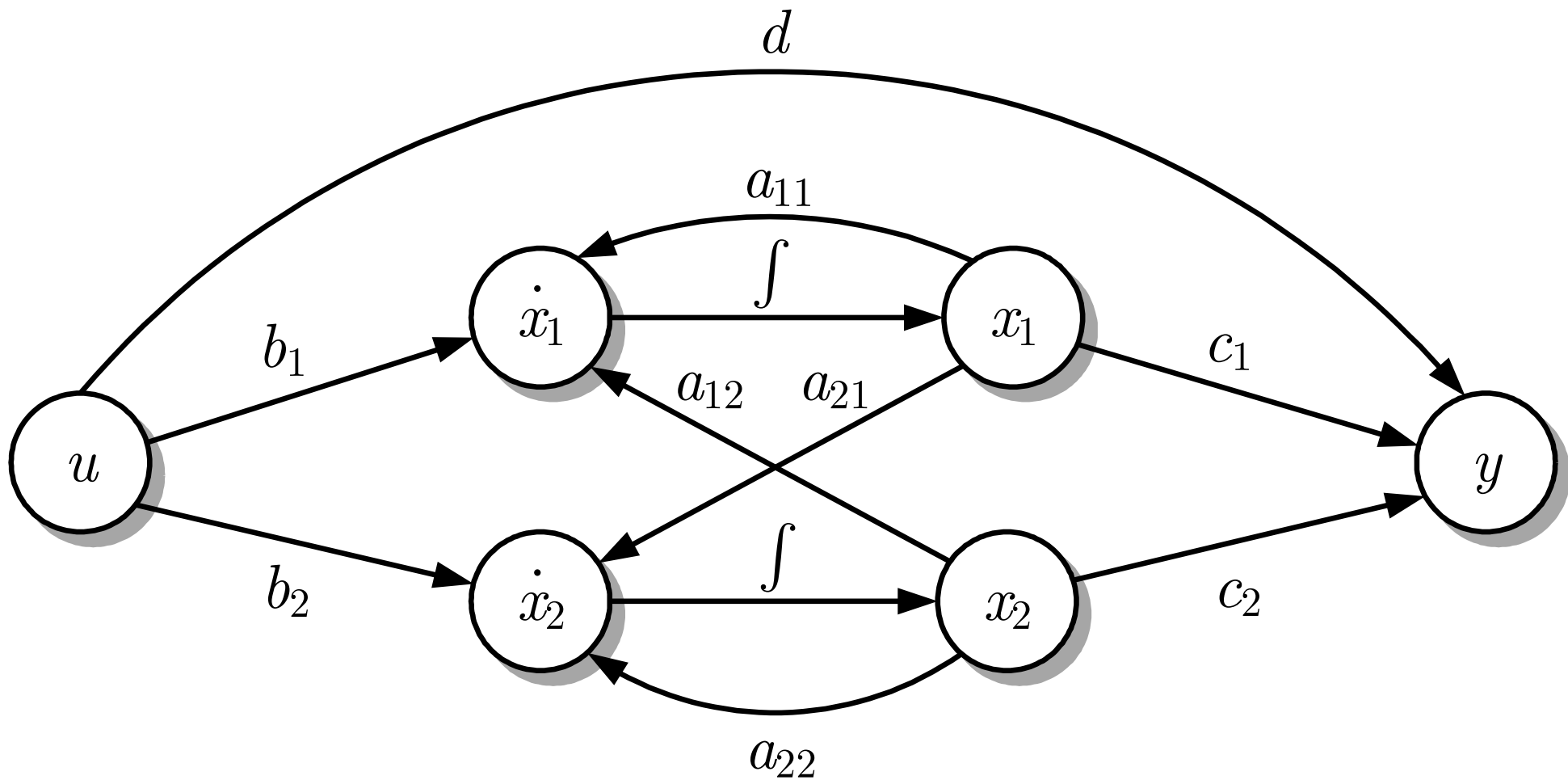
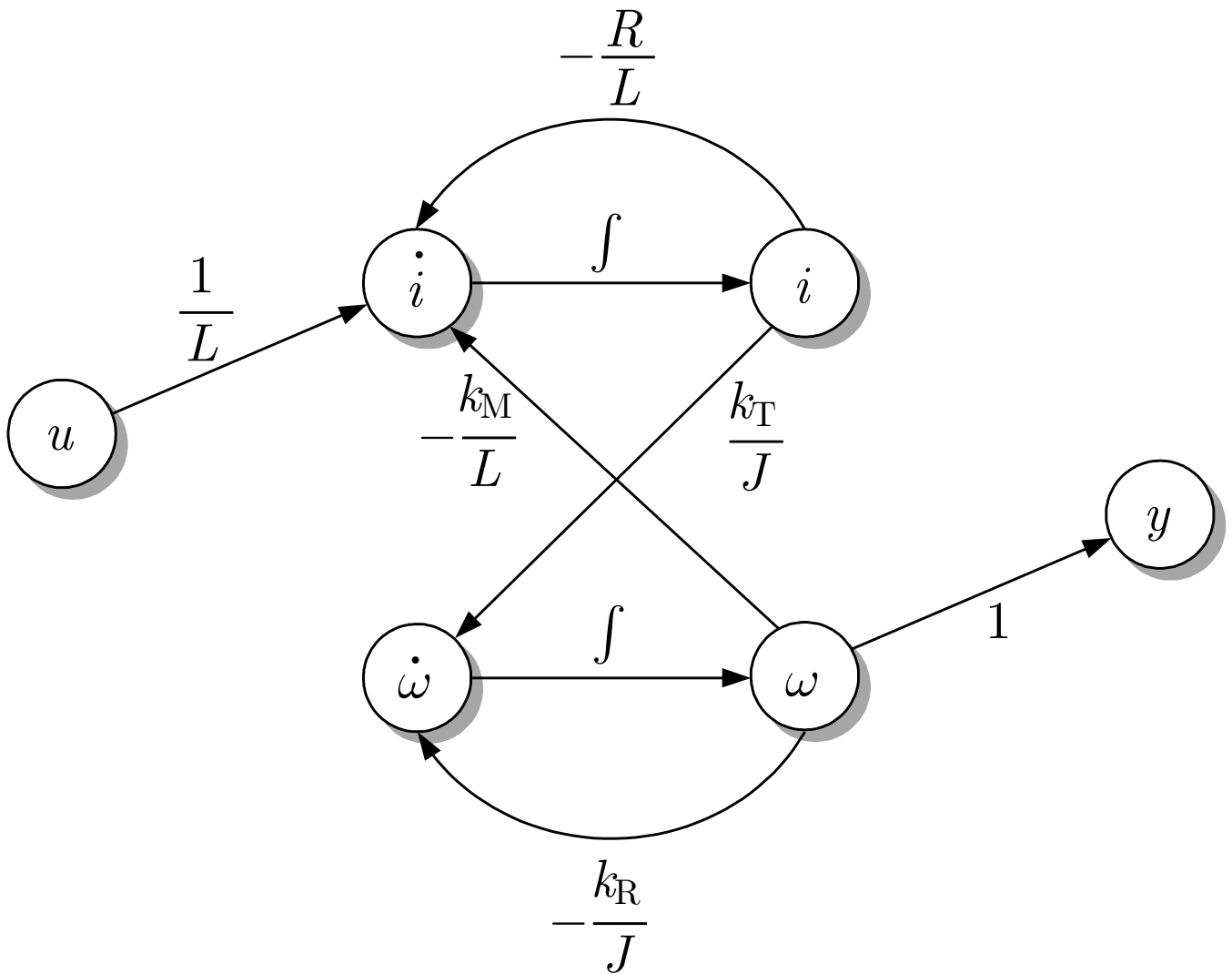


Abb. 3.7. Signalflussgraph eines Systems zweiter Ordnung

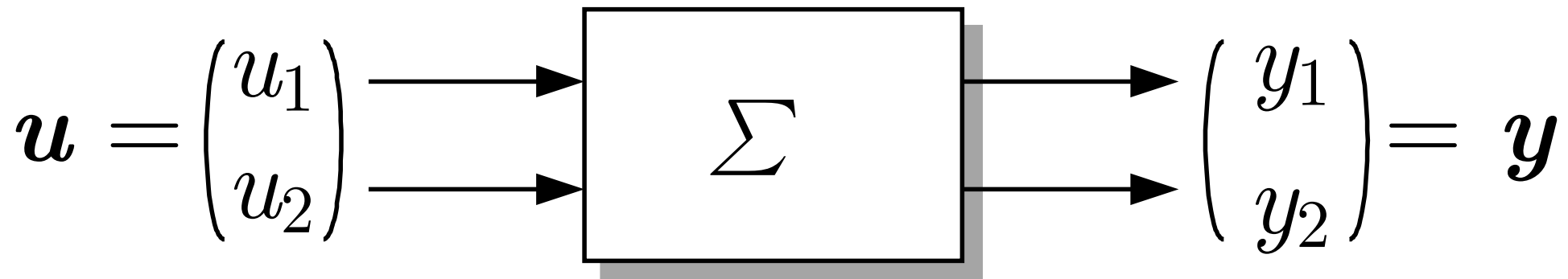
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**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*

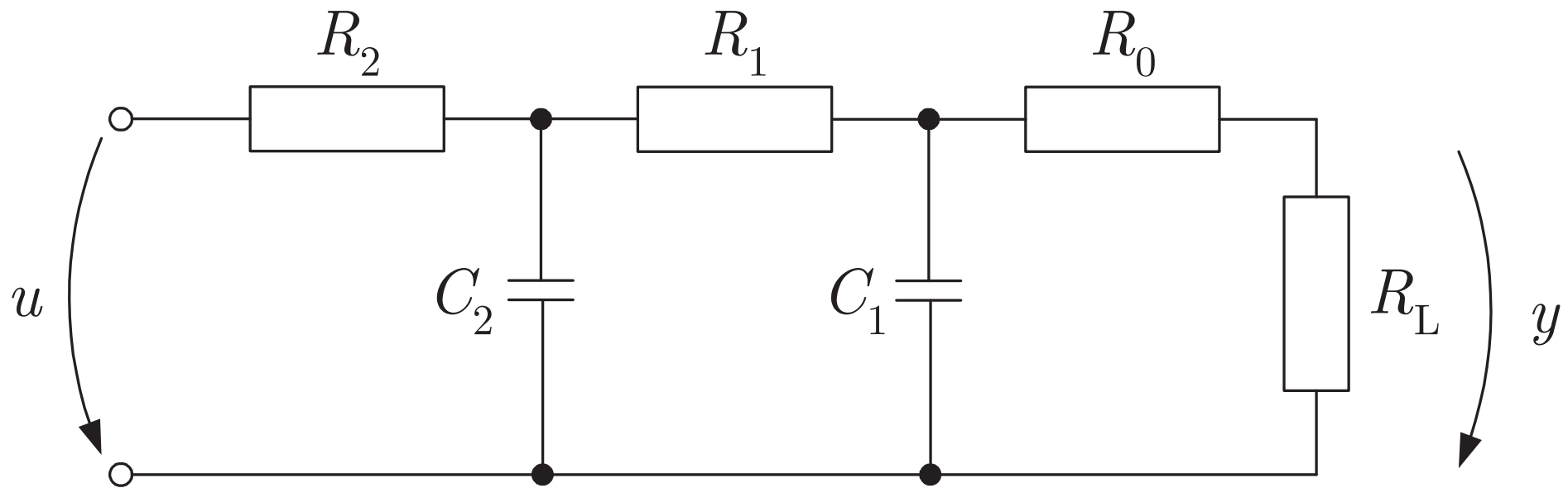
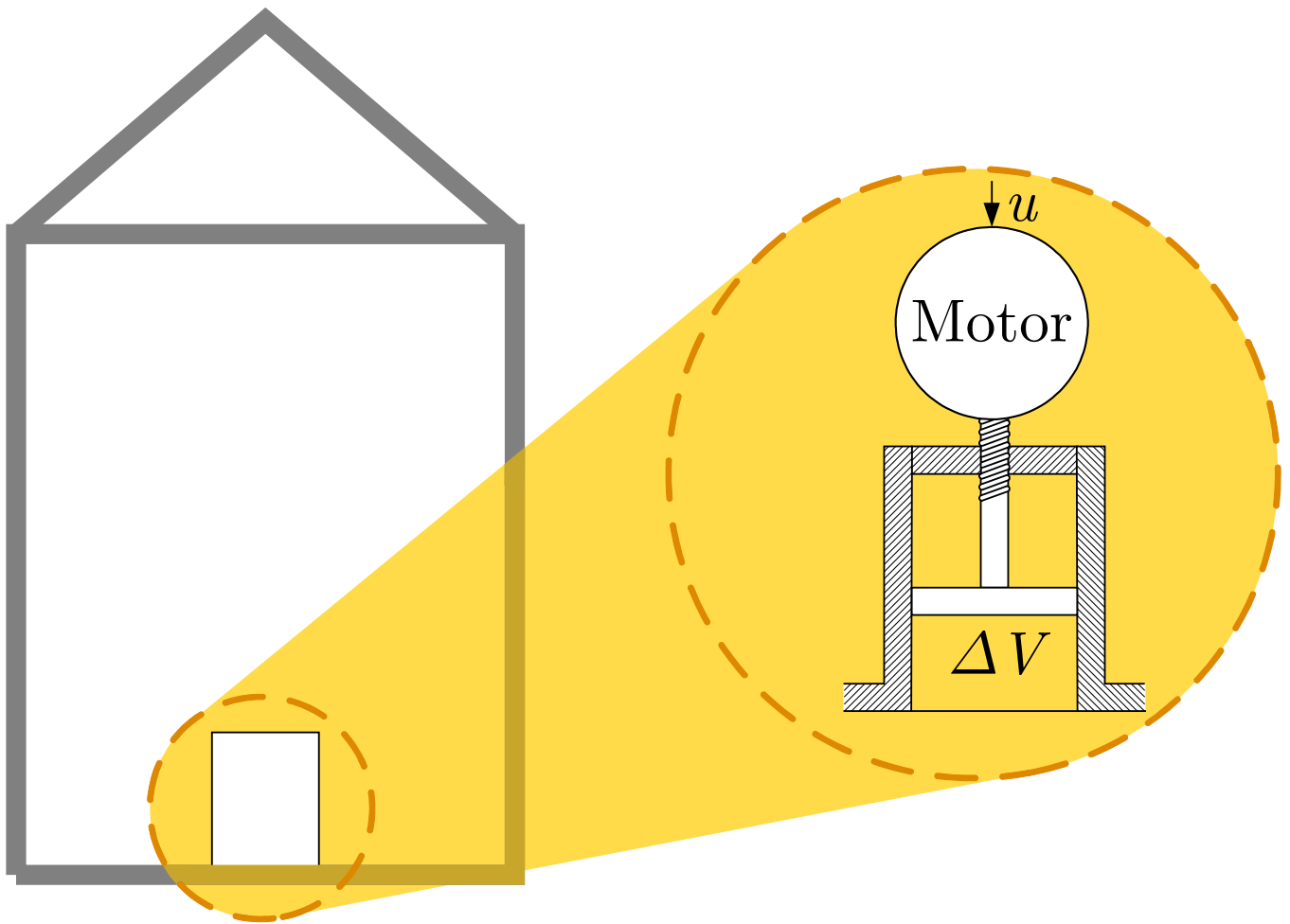


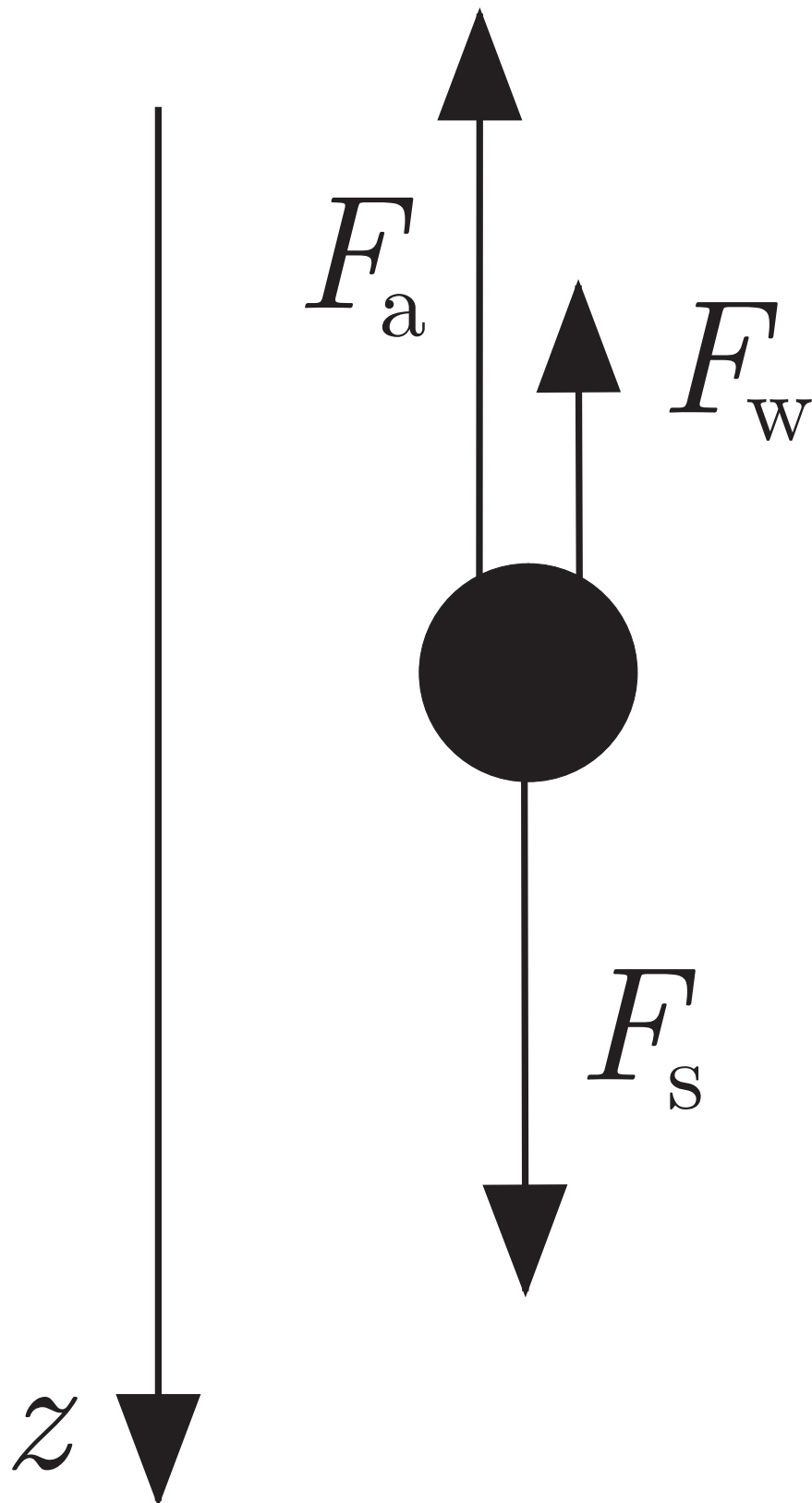
Abb. 3.10. Schaltung mit Eingangsspannung  $u(t)$  und Ausgangsspannung  $y(t)$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



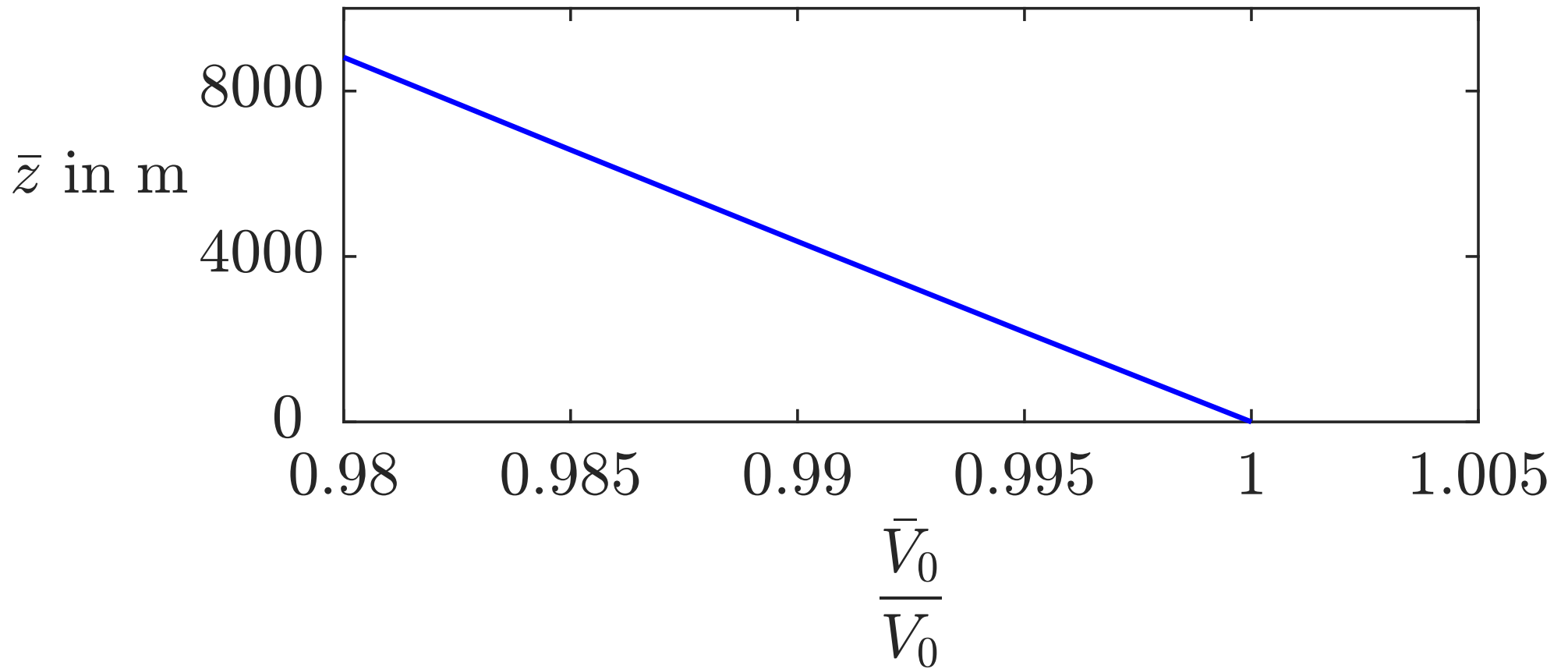
**Abb. 3.11: Aufbau eines Unterwasserfahrzeugs**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



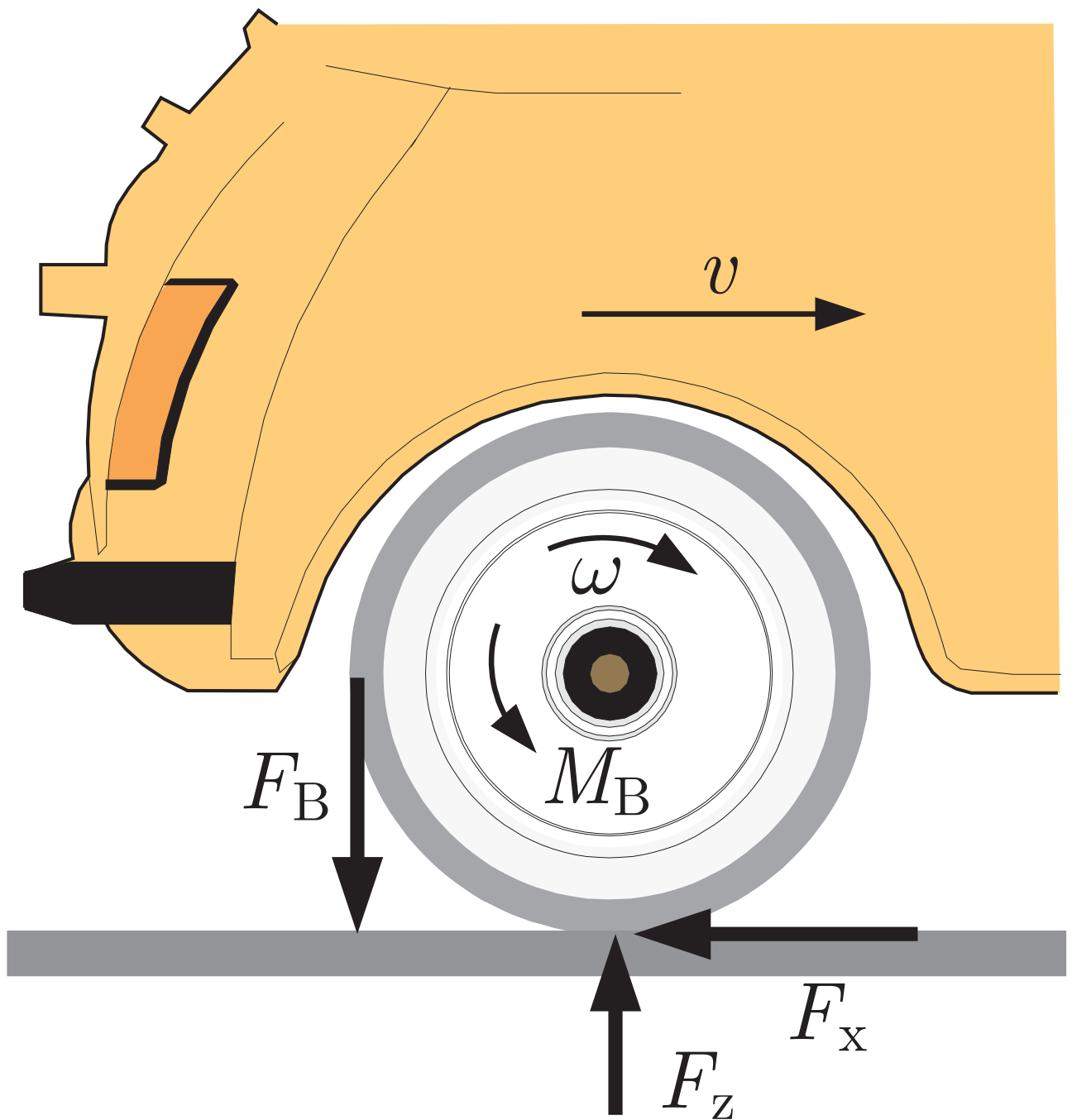
**Abb. 3.12. Beschreibung des Unterwasserfahrzeugs als Punktmasse**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



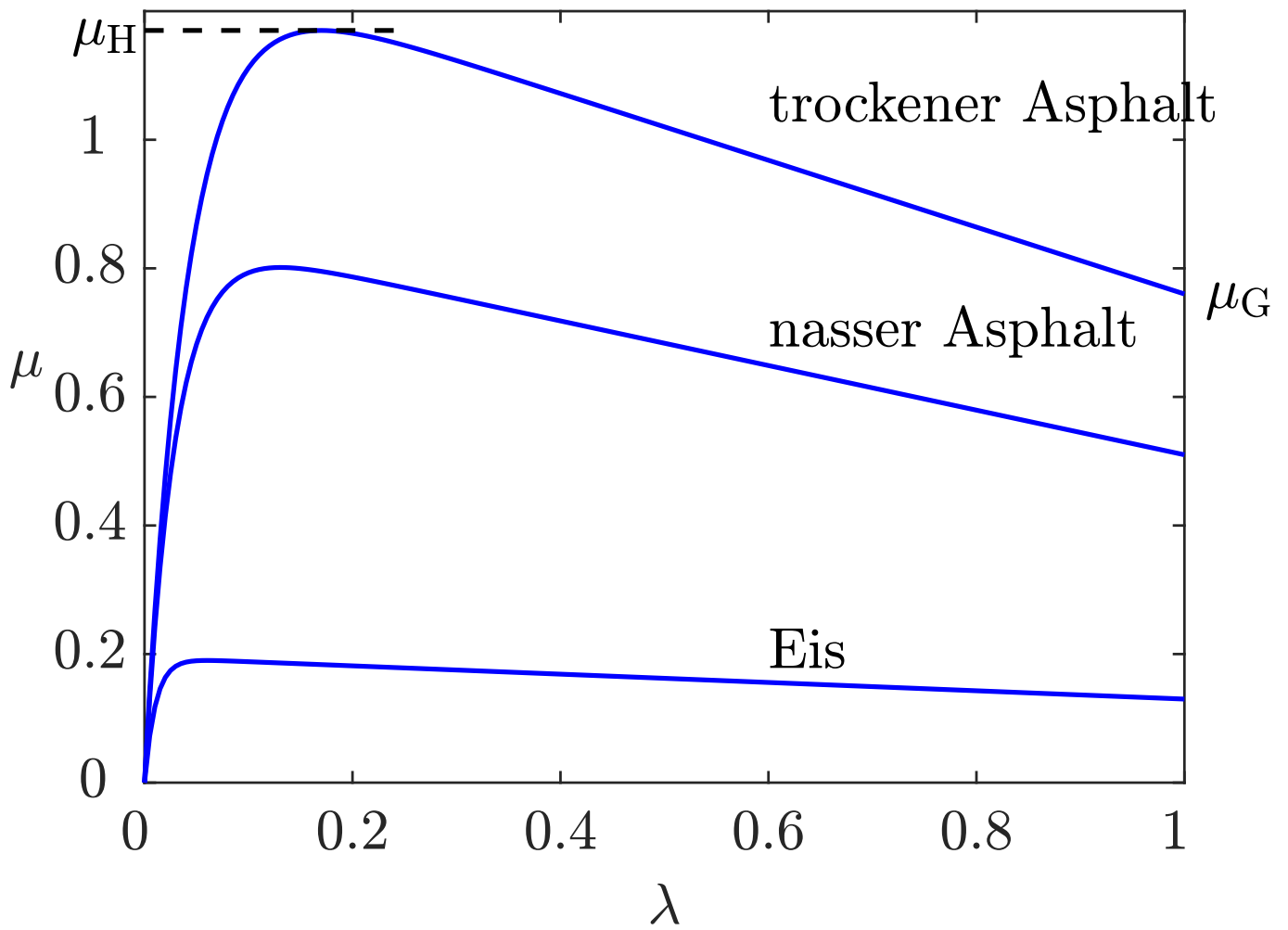
**Abb. 3.13. Stationäre Lage des Unterwasserfahrzeugs**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



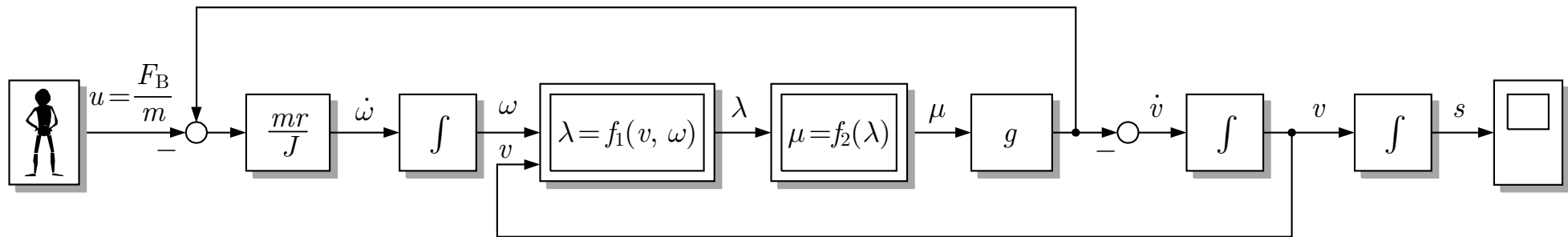
**Abb. 3.14: Kräfte an einem abgebremsten Rad**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

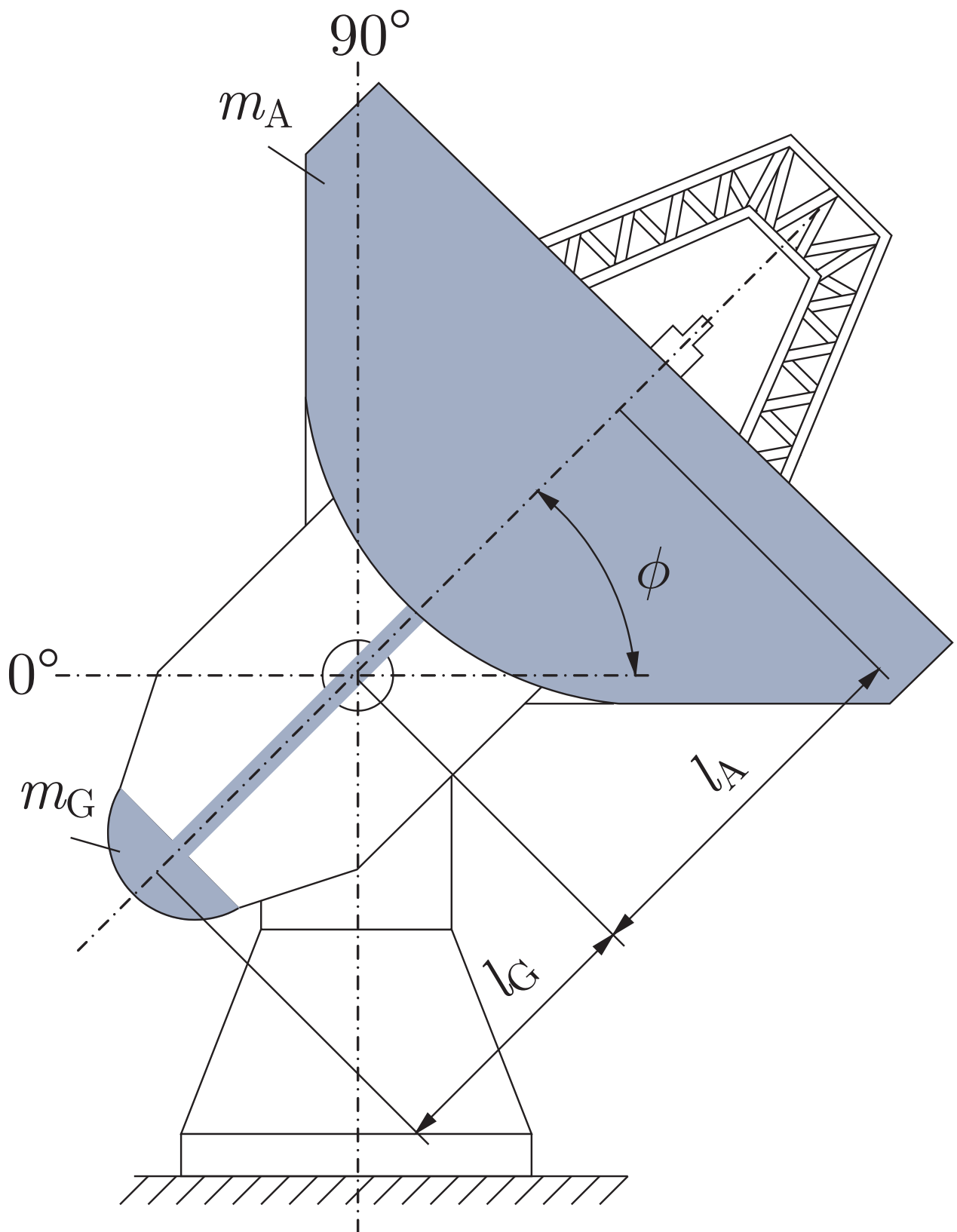
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

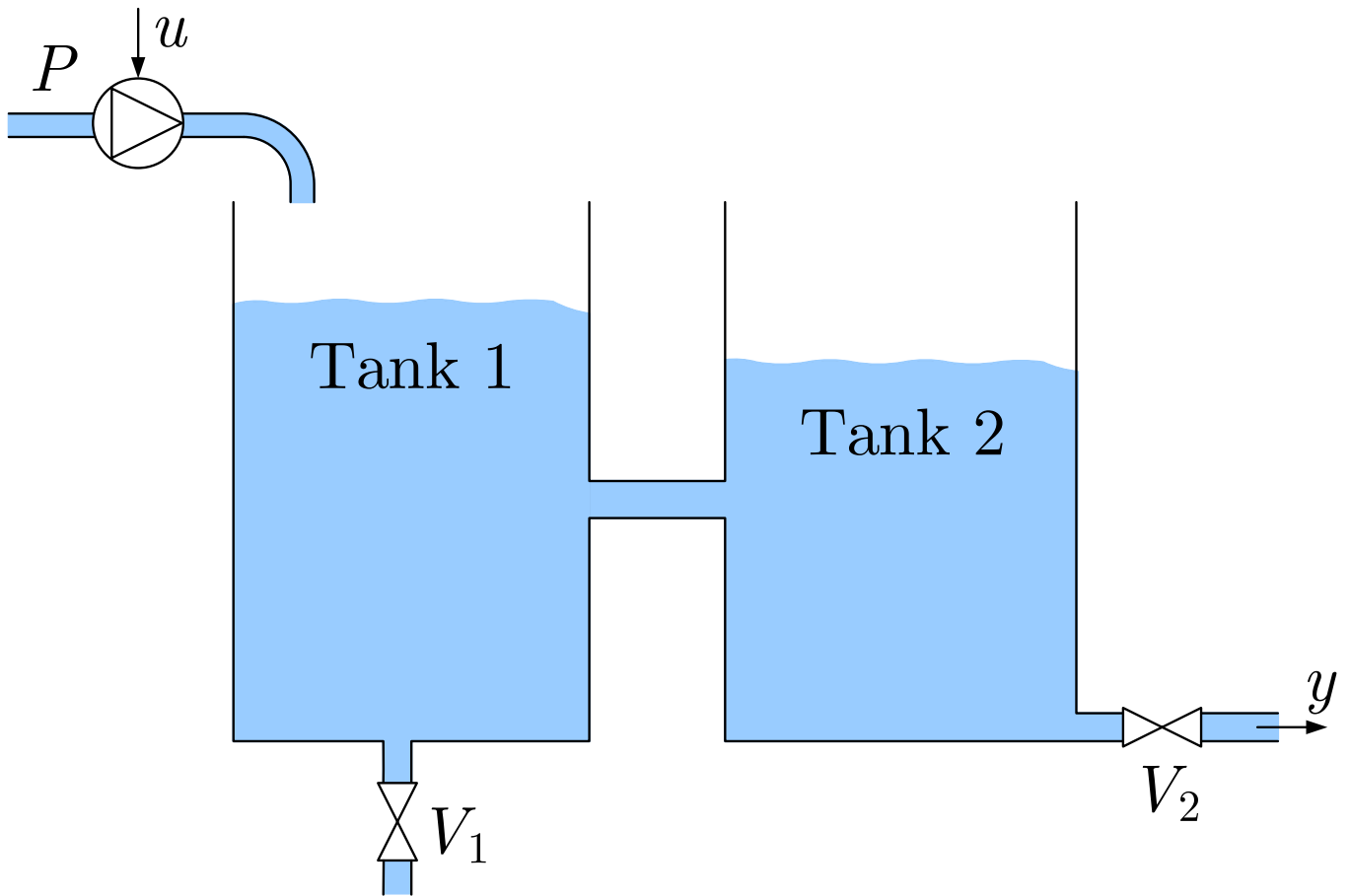
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*

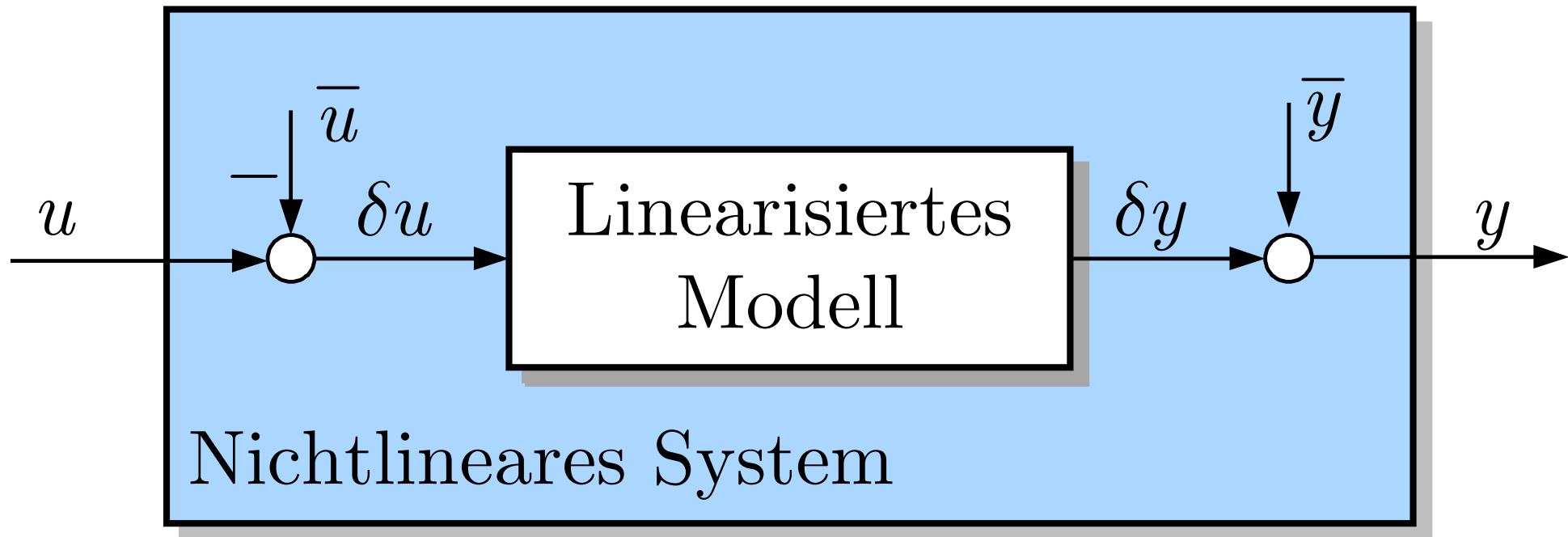
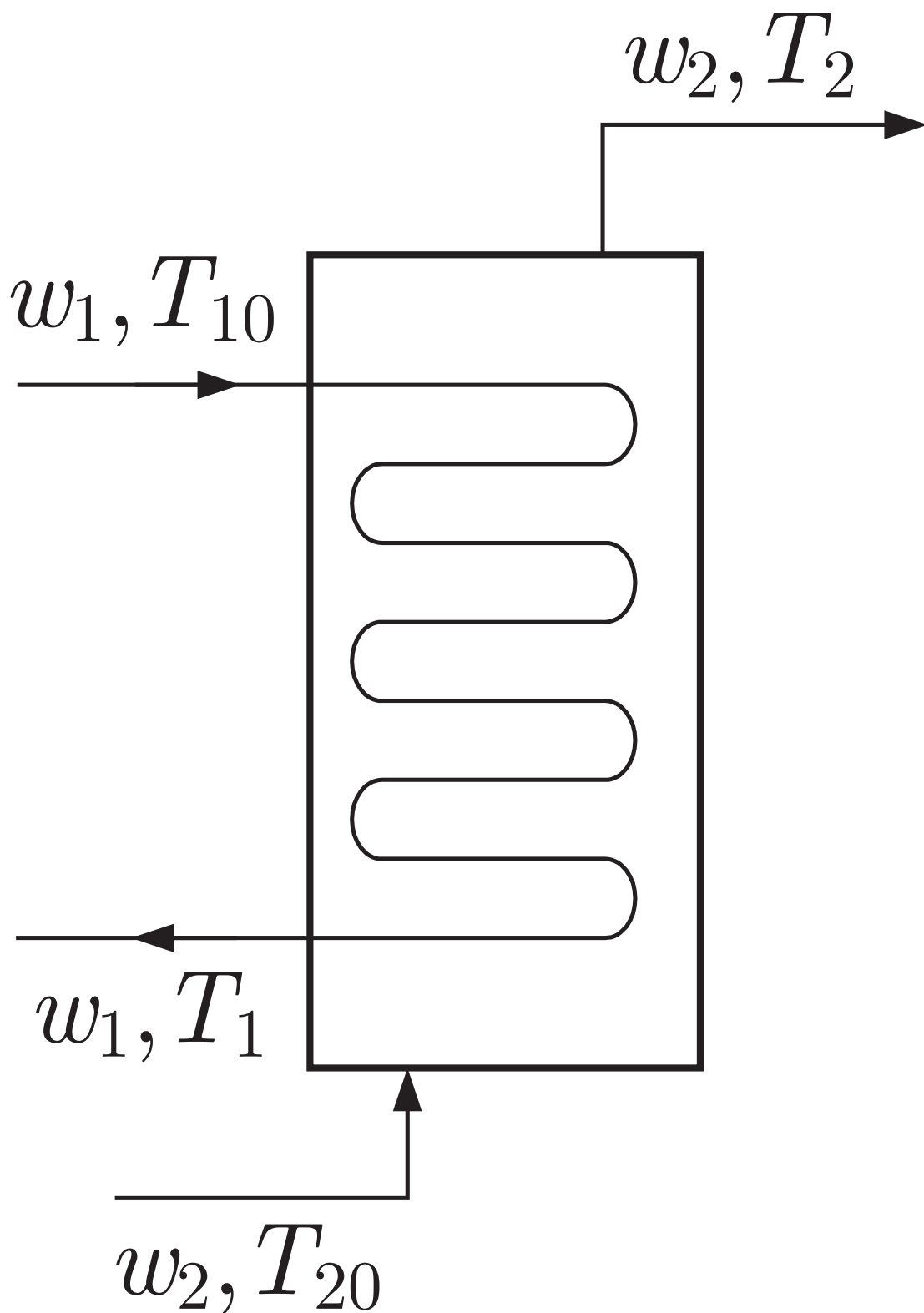


Abb. 3.19. Anwendung des linearisierten Modells

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 3.20. Wärmeübertrager**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

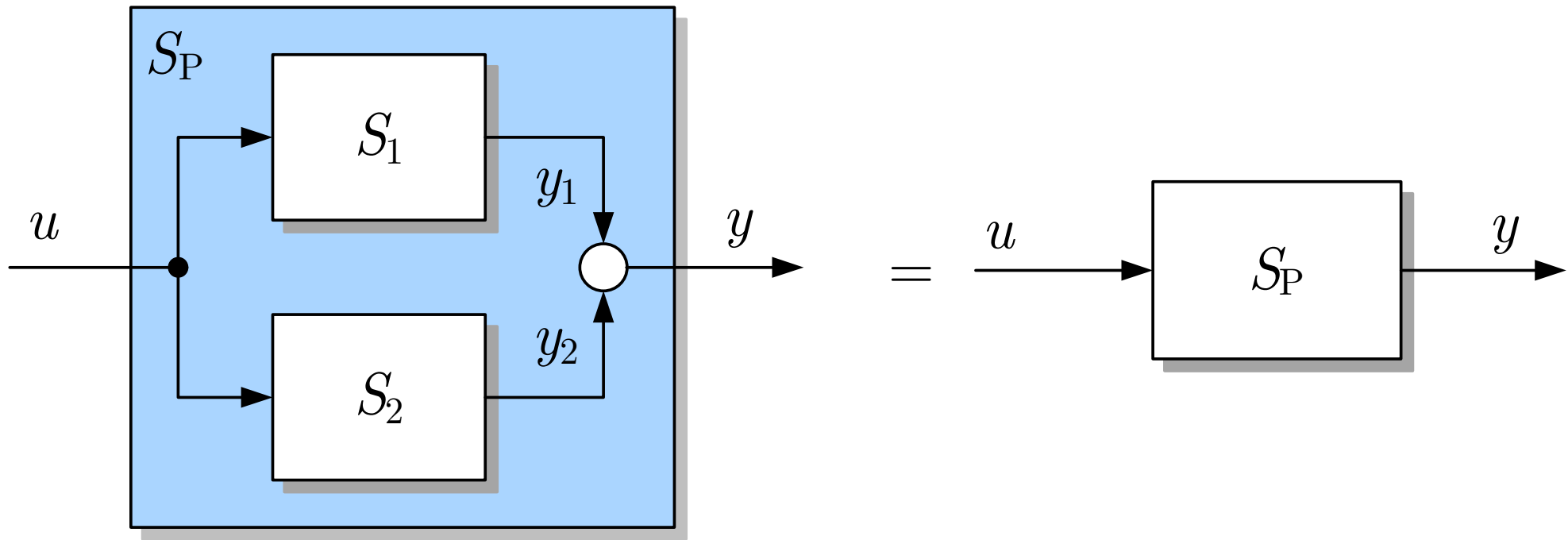
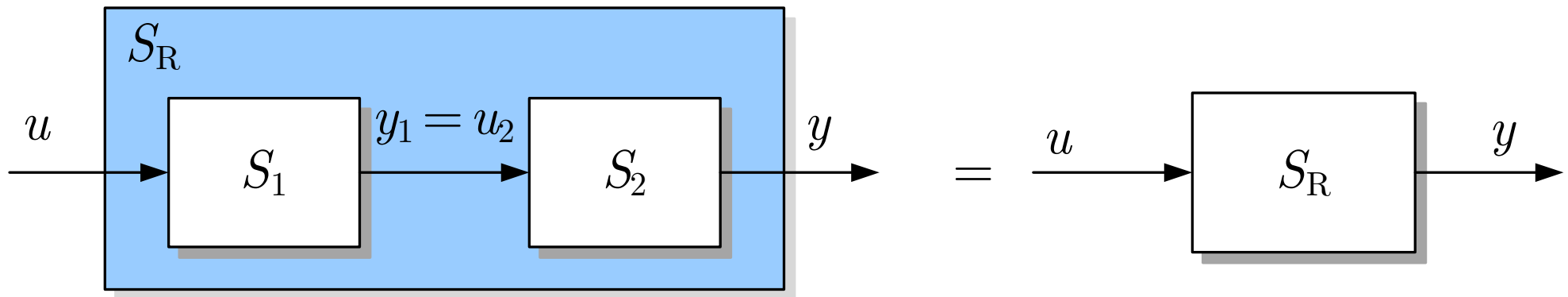


Abb. 3.21. Parallelschaltung der Teilsysteme  $S_1$  und  $S_2$

*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*

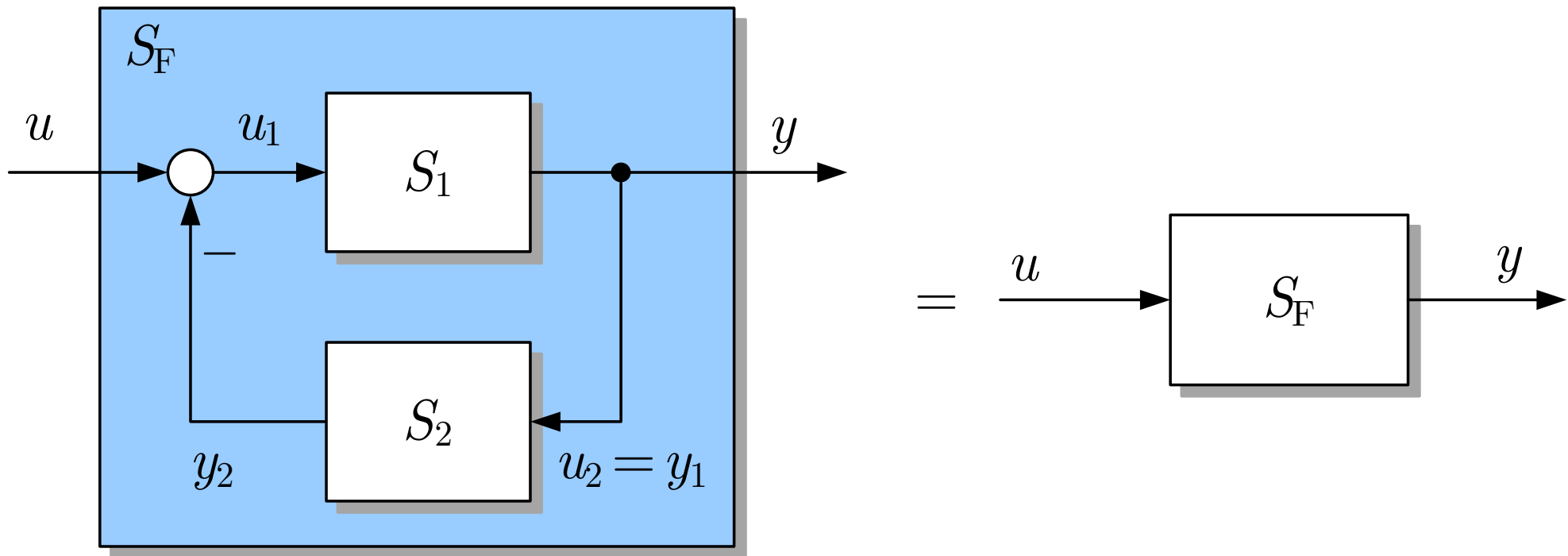
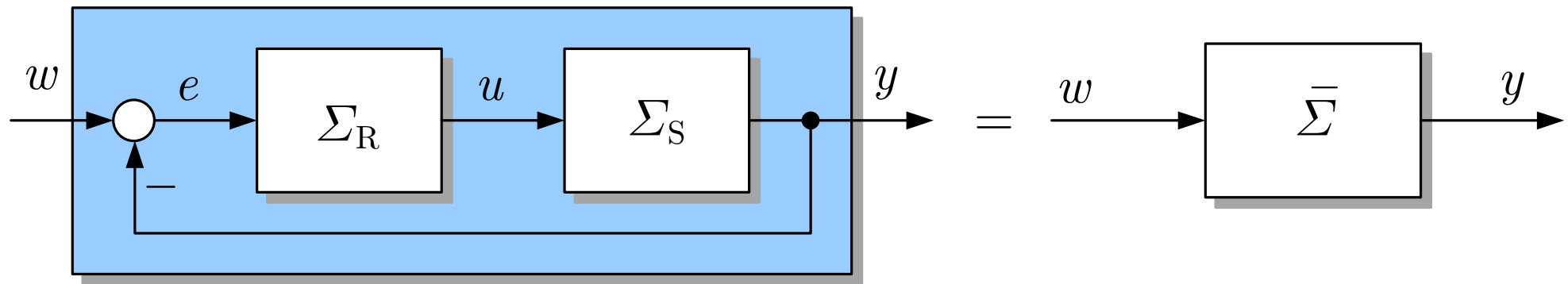


Abb. 3.23. Rückführschaltung der Teilsysteme  $S_1$  und  $S_2$

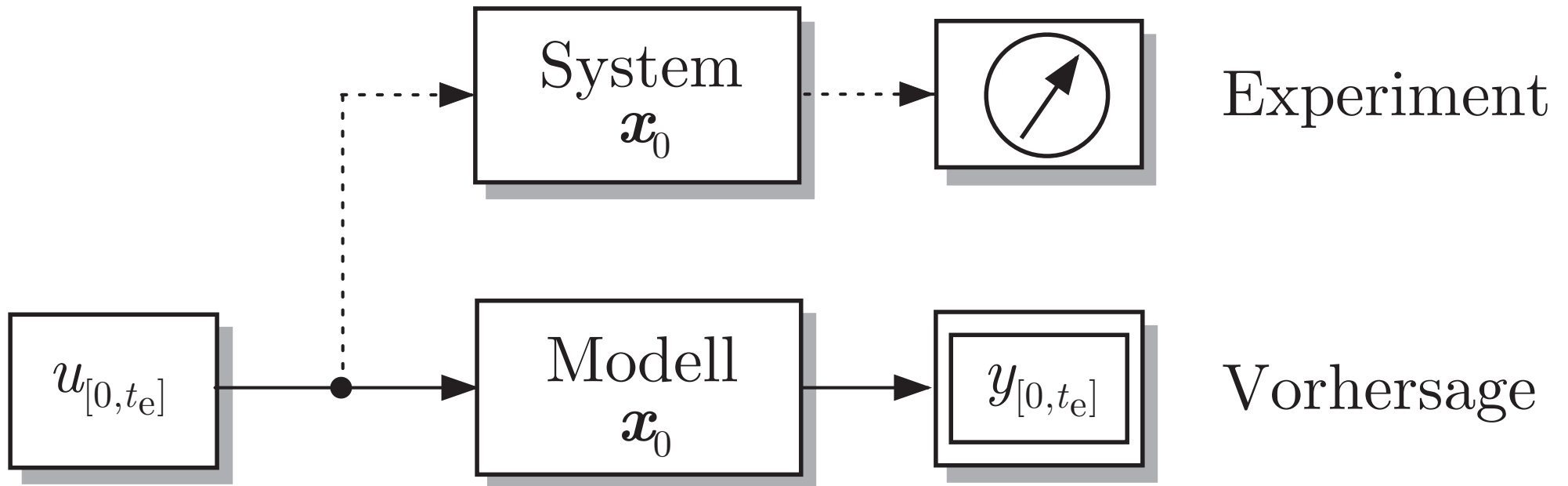
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 3.24. Blockschaltbild eines Regelkreises**

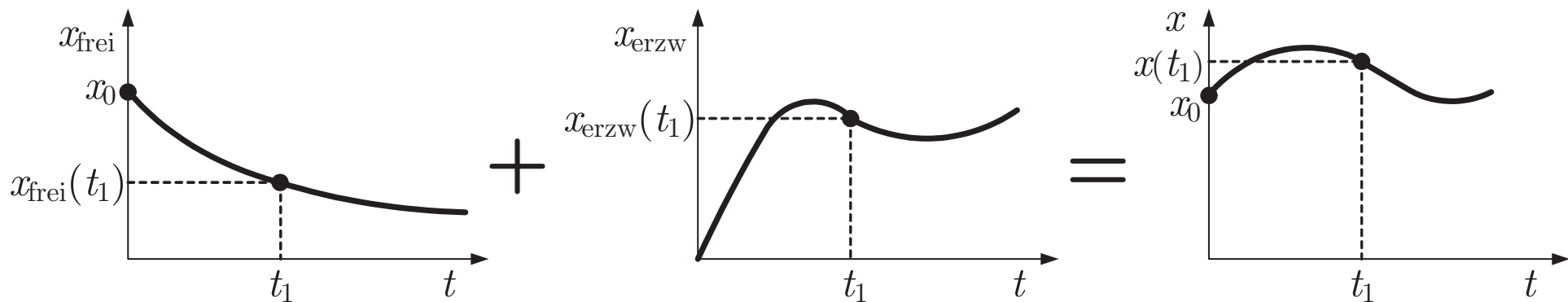
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*

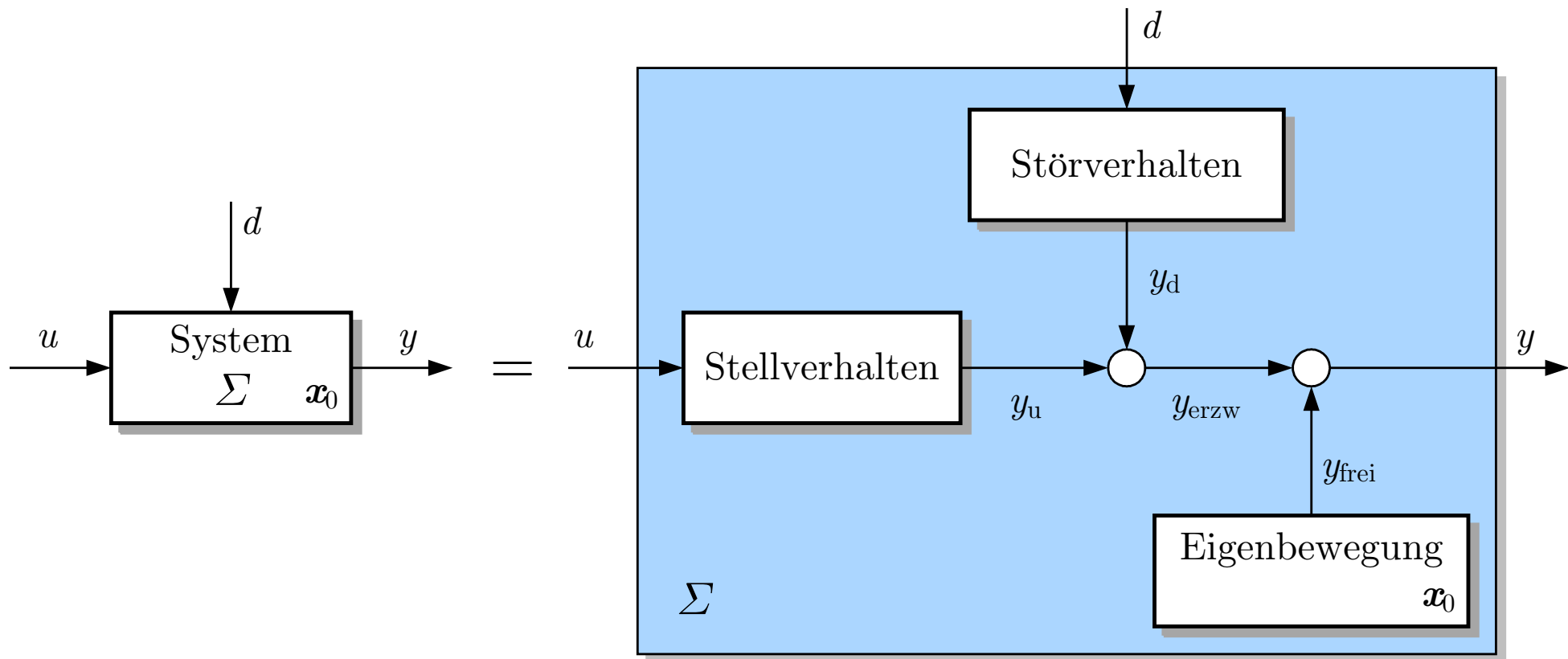
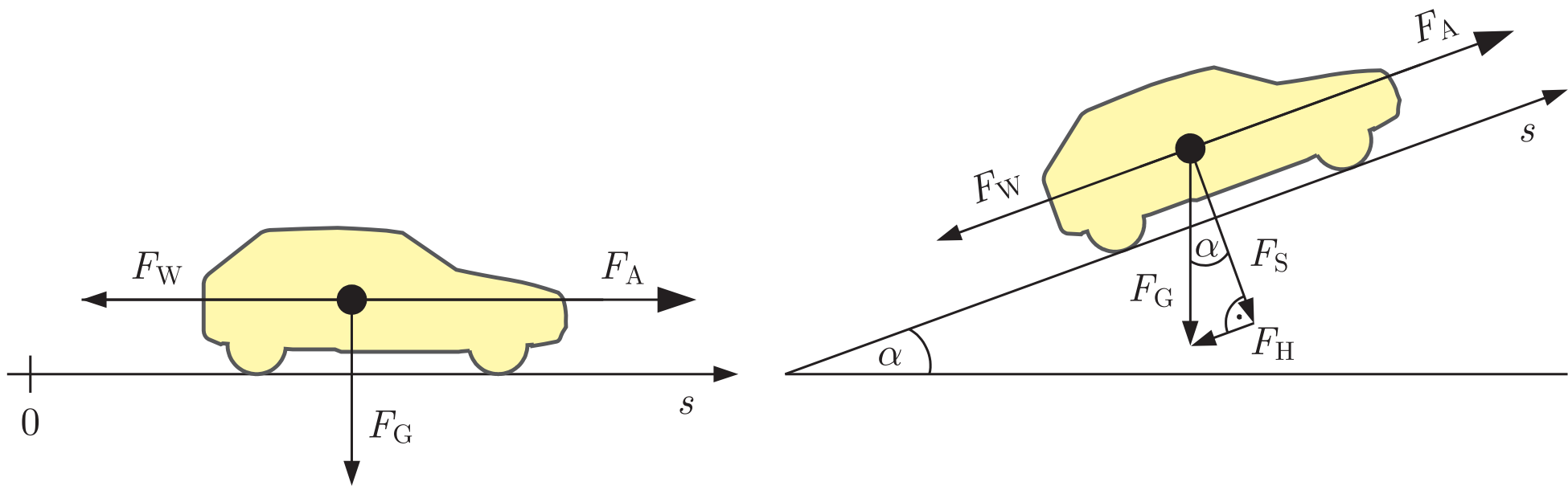
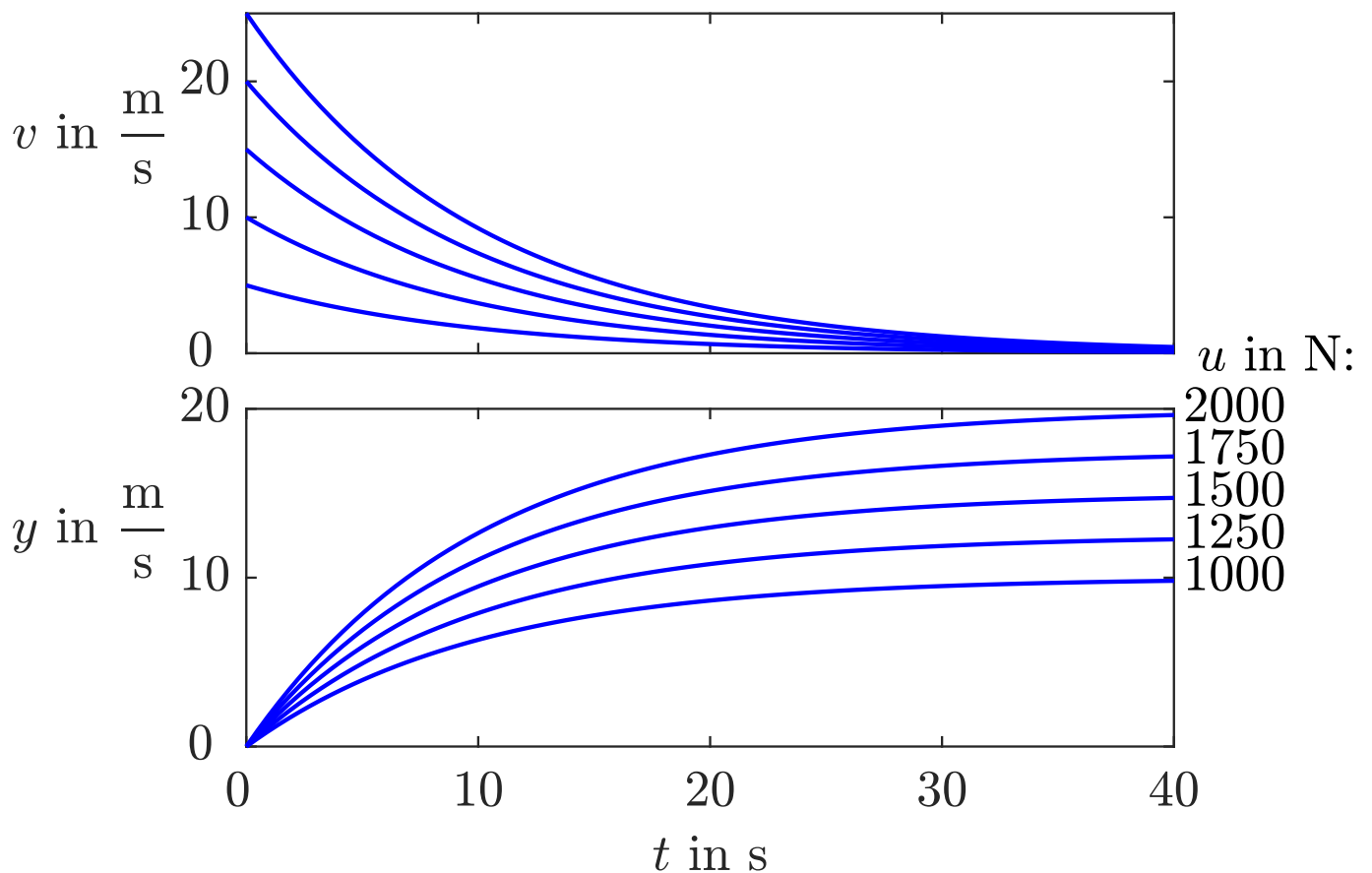


Abb. 4.3. Zerlegung des Systemverhaltens in die Anteile, die durch den Anfangszustand, die Stellgröße und die Störgröße hervorgerufen werden



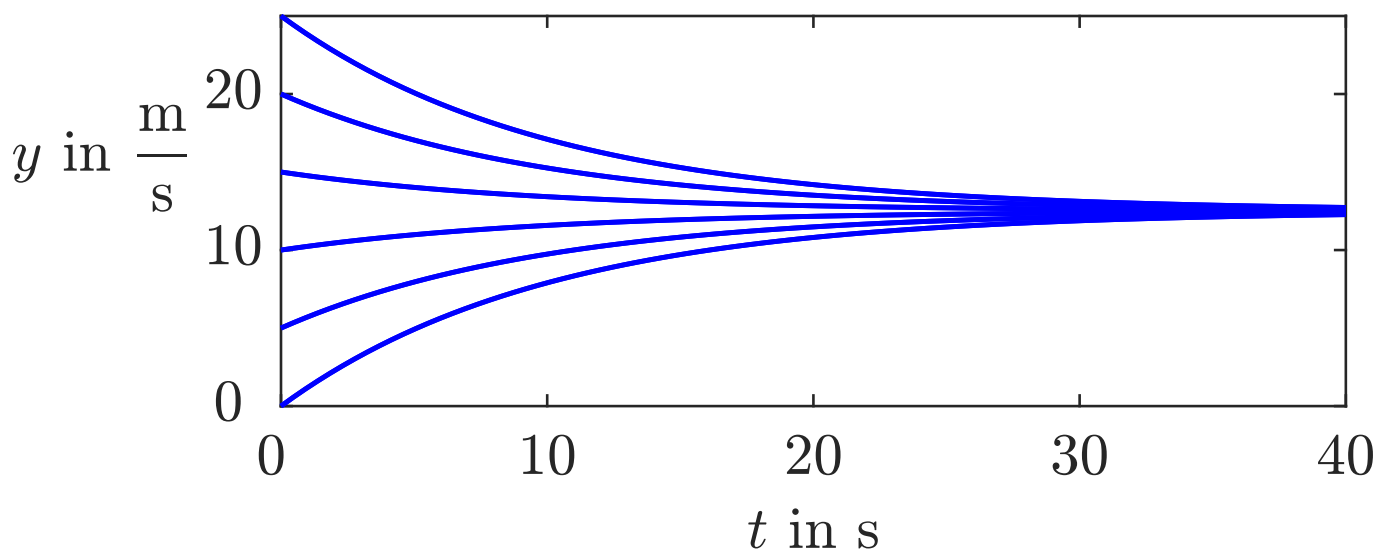
**Abb. 4.4. Kräfte, die die Längsbewegung eines Fahrzeugs beeinflussen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



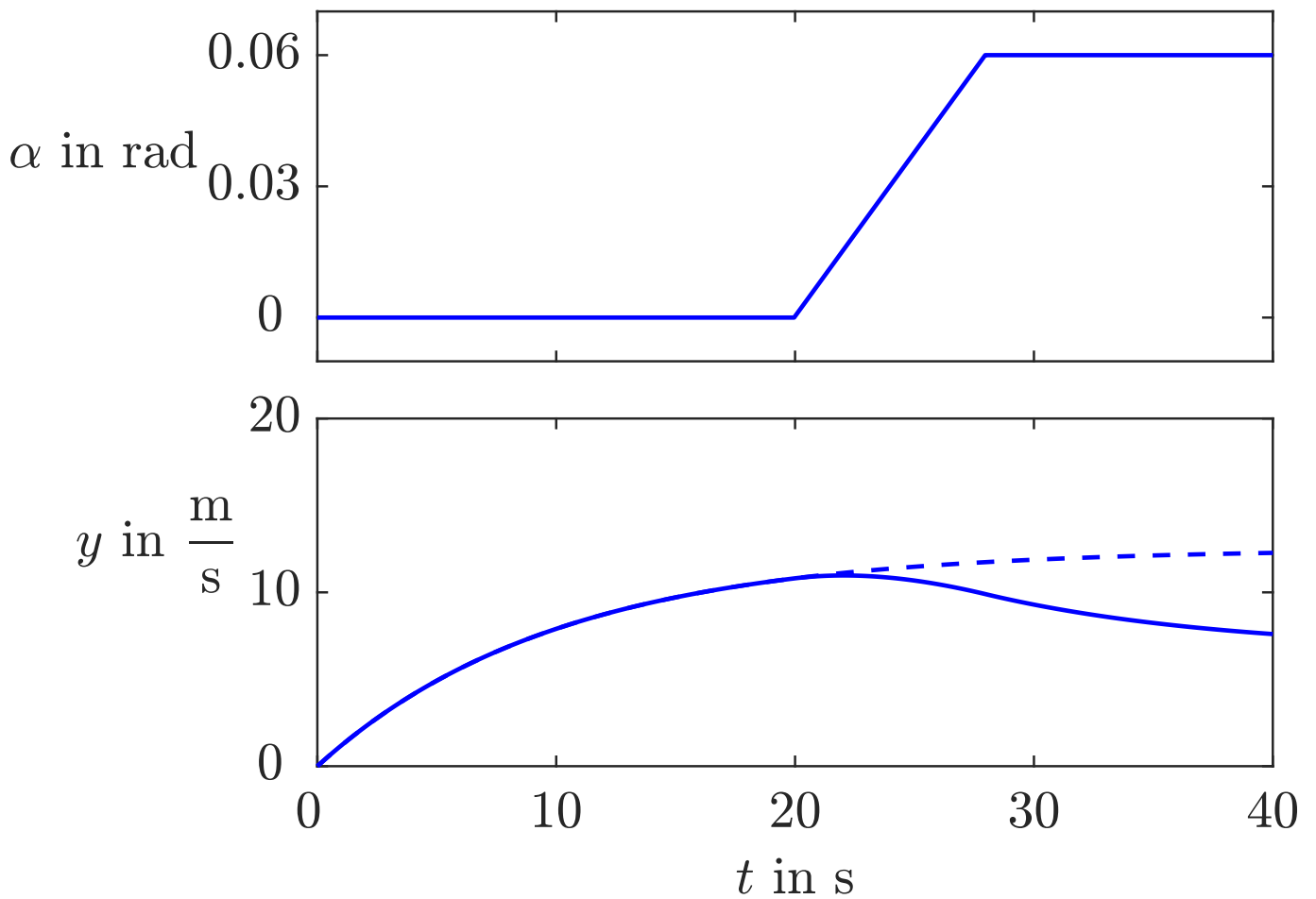
**Abb. 4.5: Eigenbewegung und erzwungene Bewegung des Fahrzeugs in der Ebene**

*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*

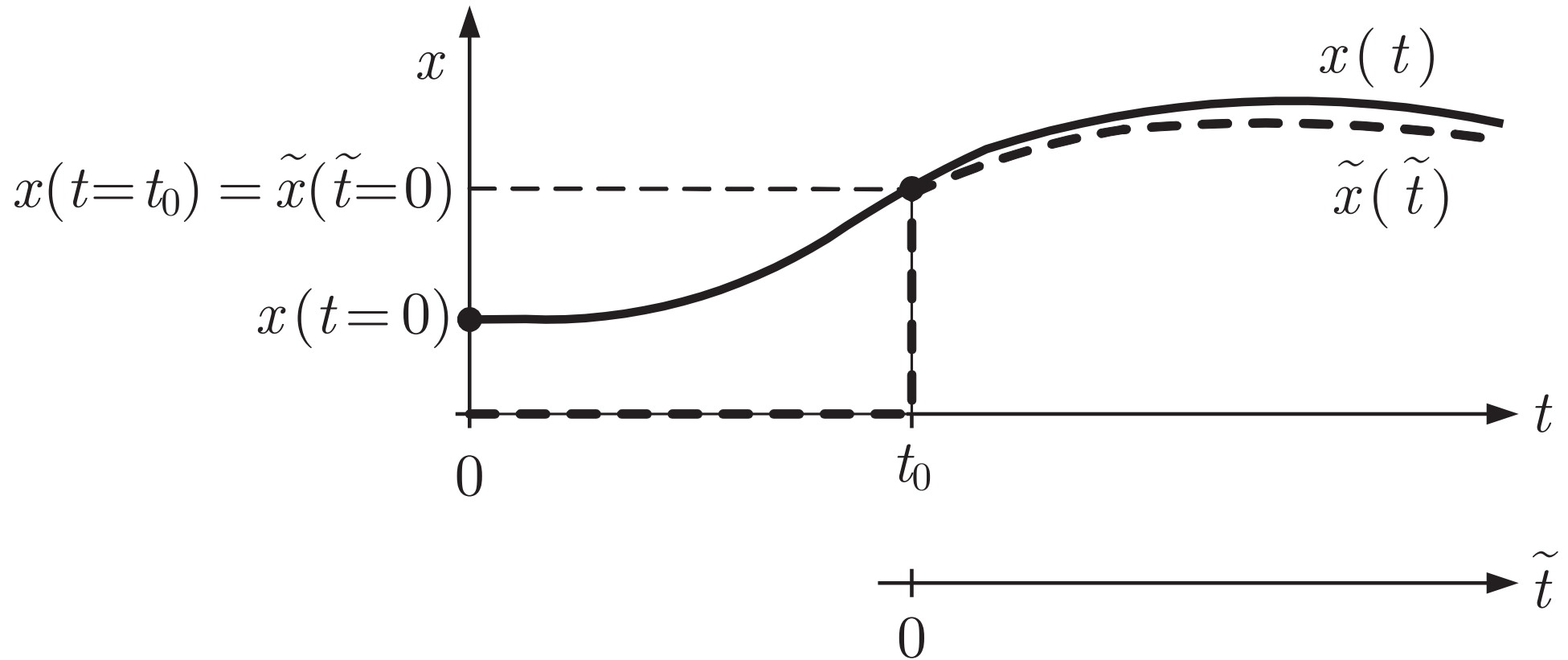
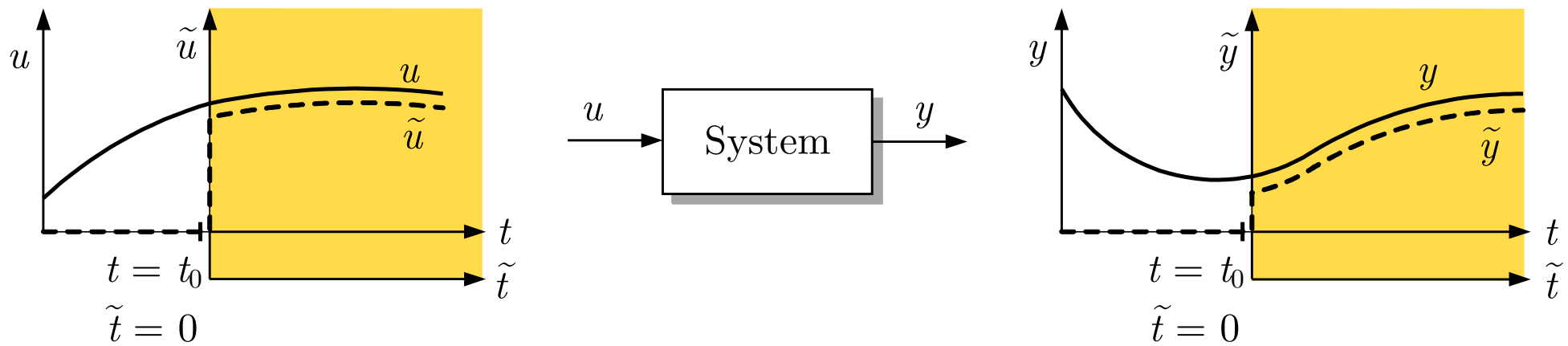


Abb. 4.8. Berechnung der Zustandstrajektorie für zwei unterschiedliche Zeitachsen

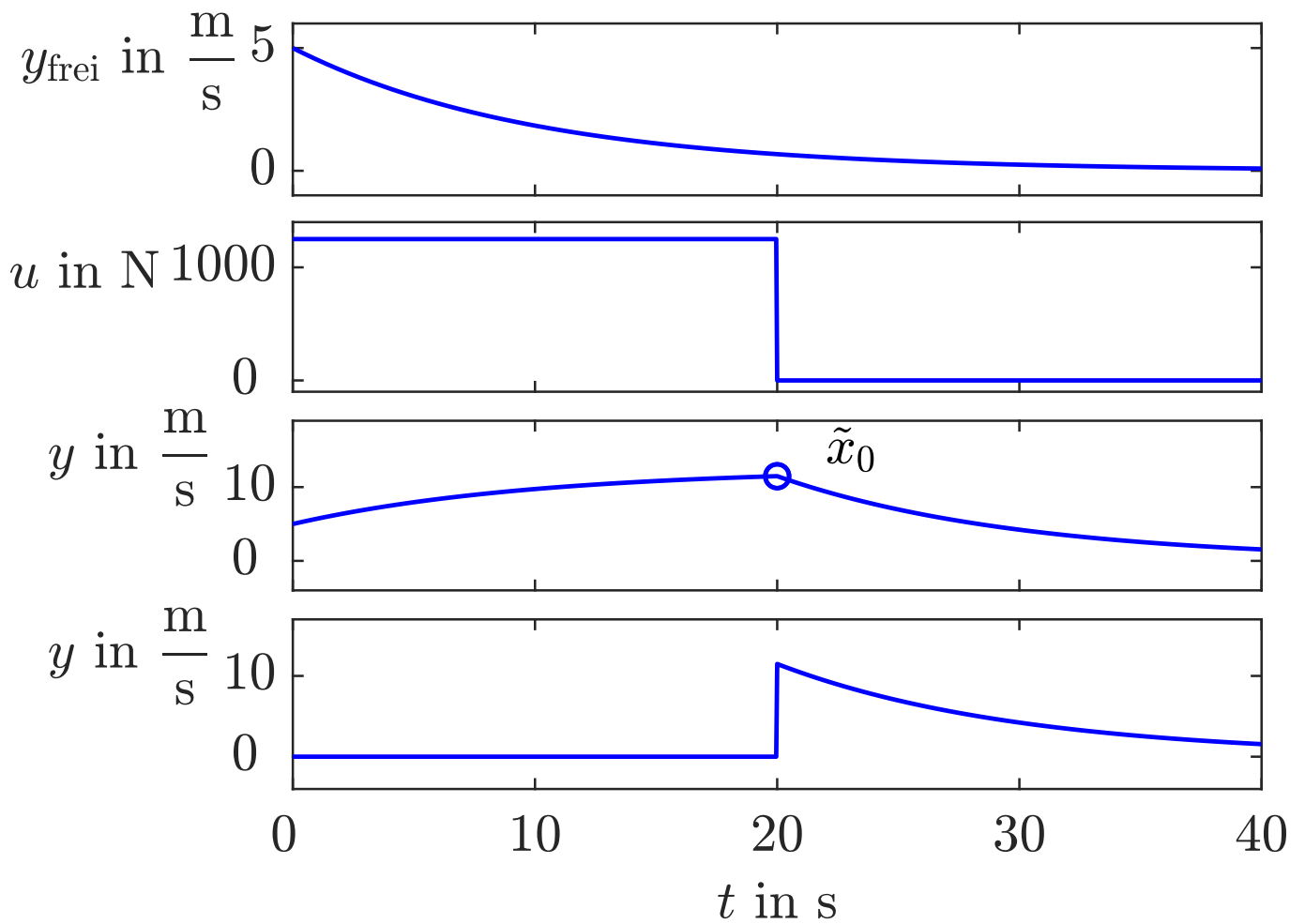
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





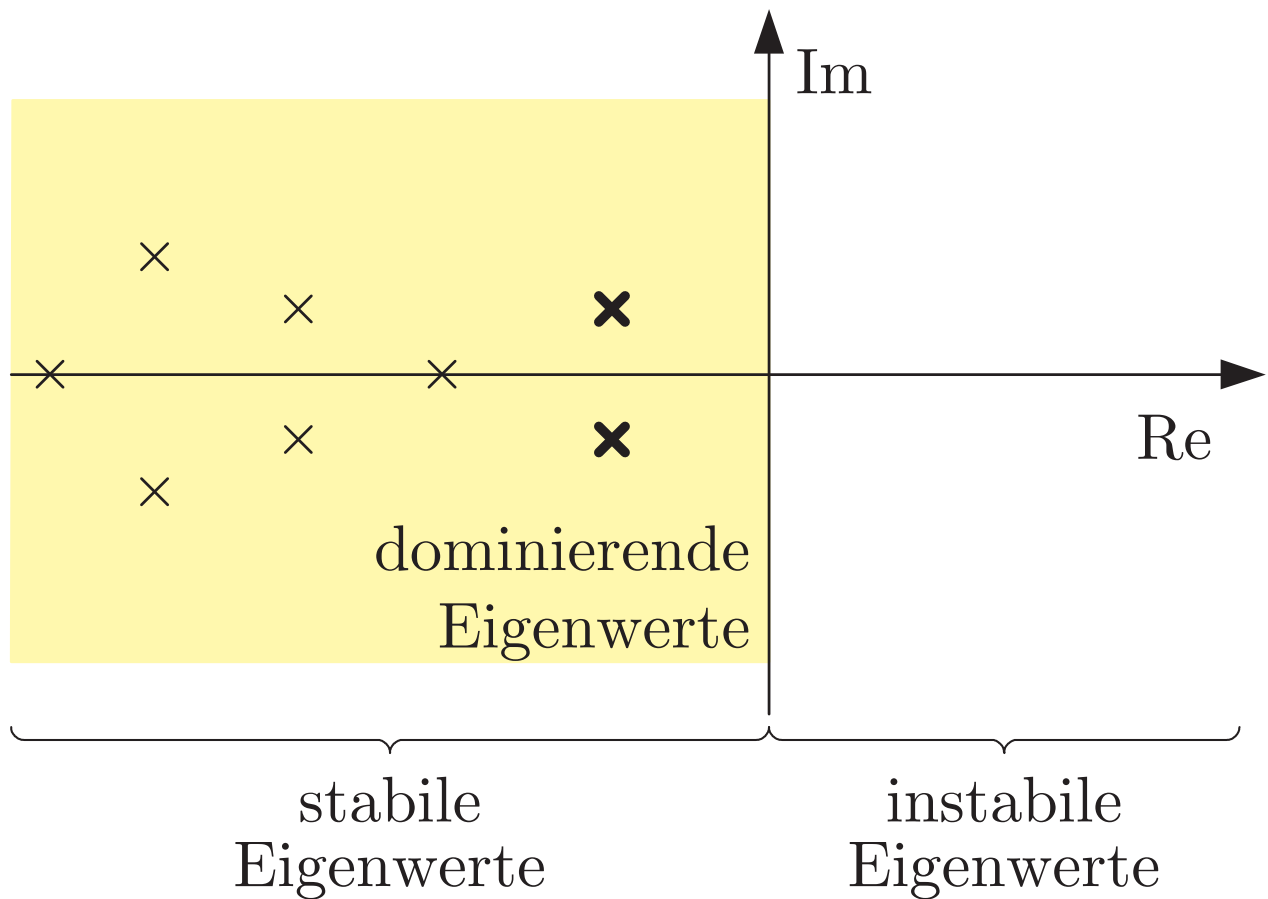
**Abb. 4.9. Darstellung des E/A-Verhaltens mit unterschiedlichen Zeitachsen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



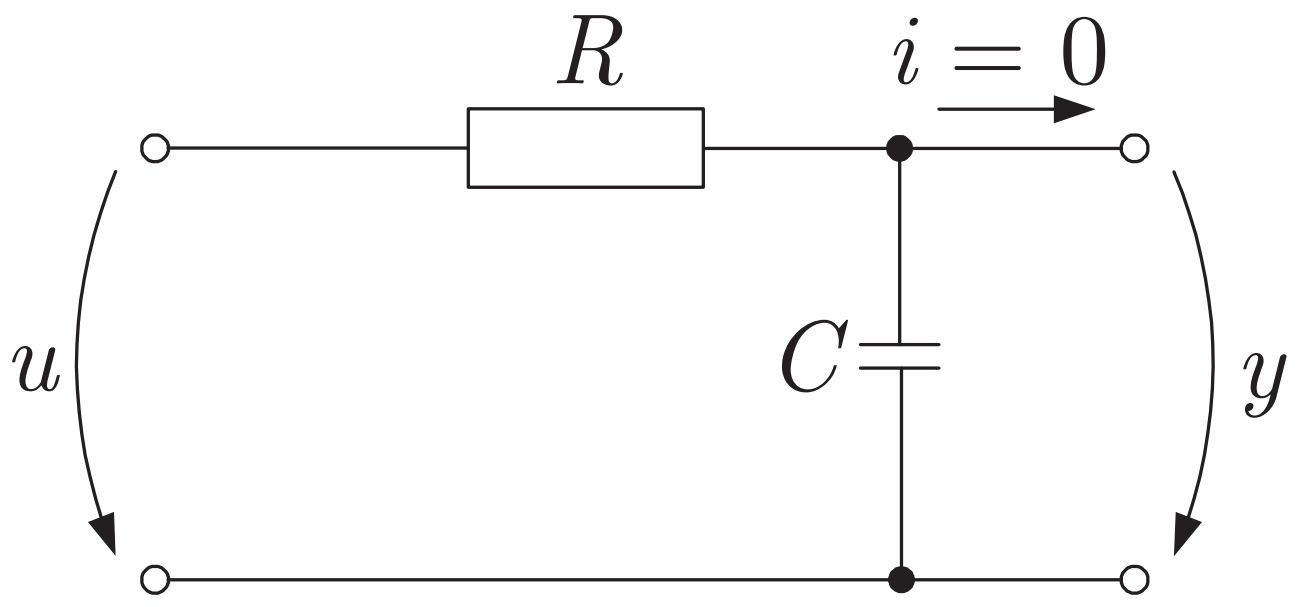
**Abb. 4.10:** Berechnung der Fahrzeugbewegung mit Hilfe des Zustands zum Zeitpunkt  $t_0=20$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



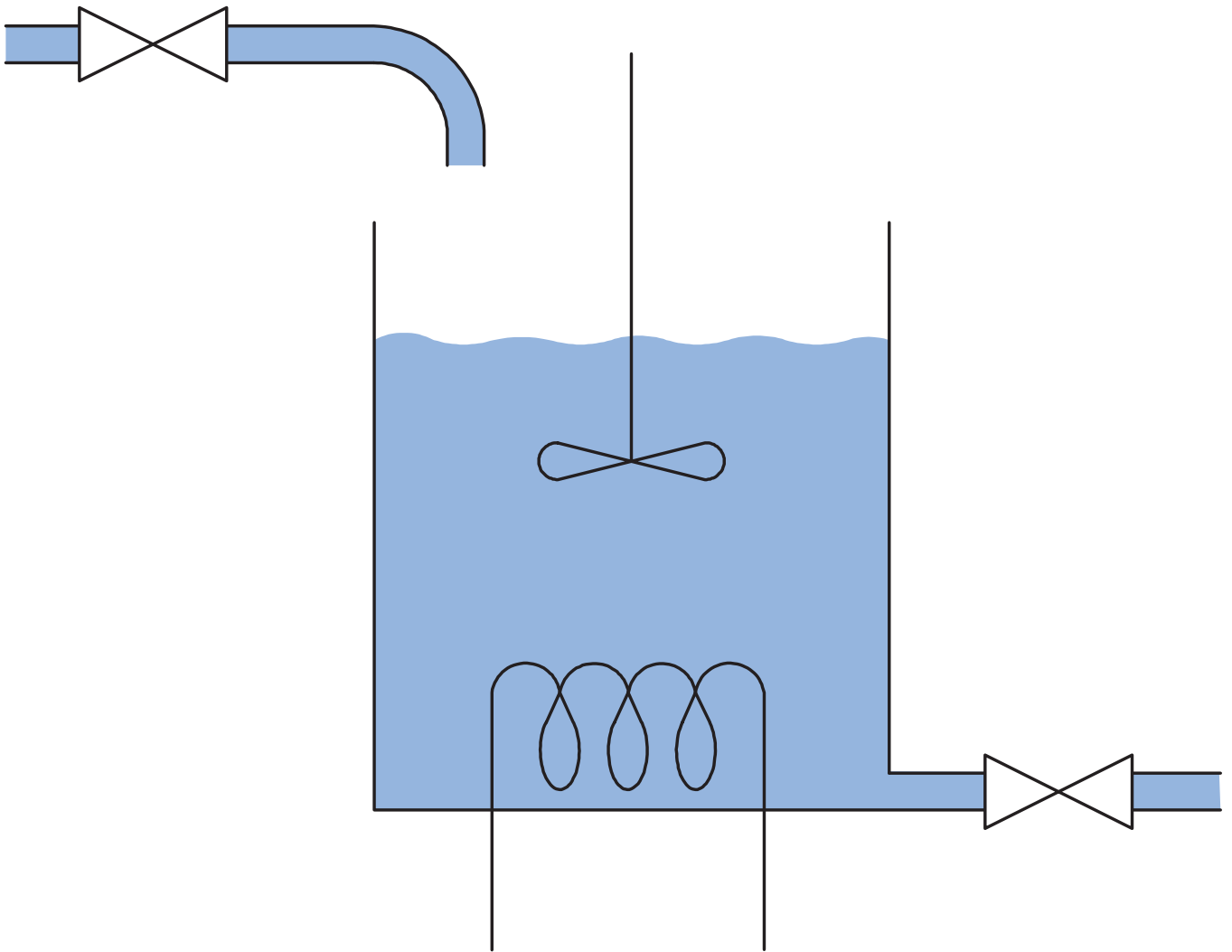
**Abb. 4.11: Darstellung der Eigenwerte in der komplexen Ebene**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



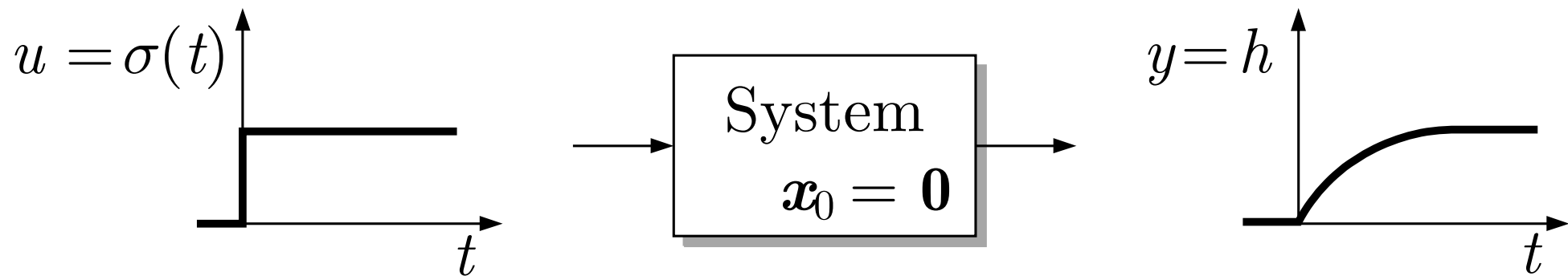
**Abb. 4.12: RC-Glied**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



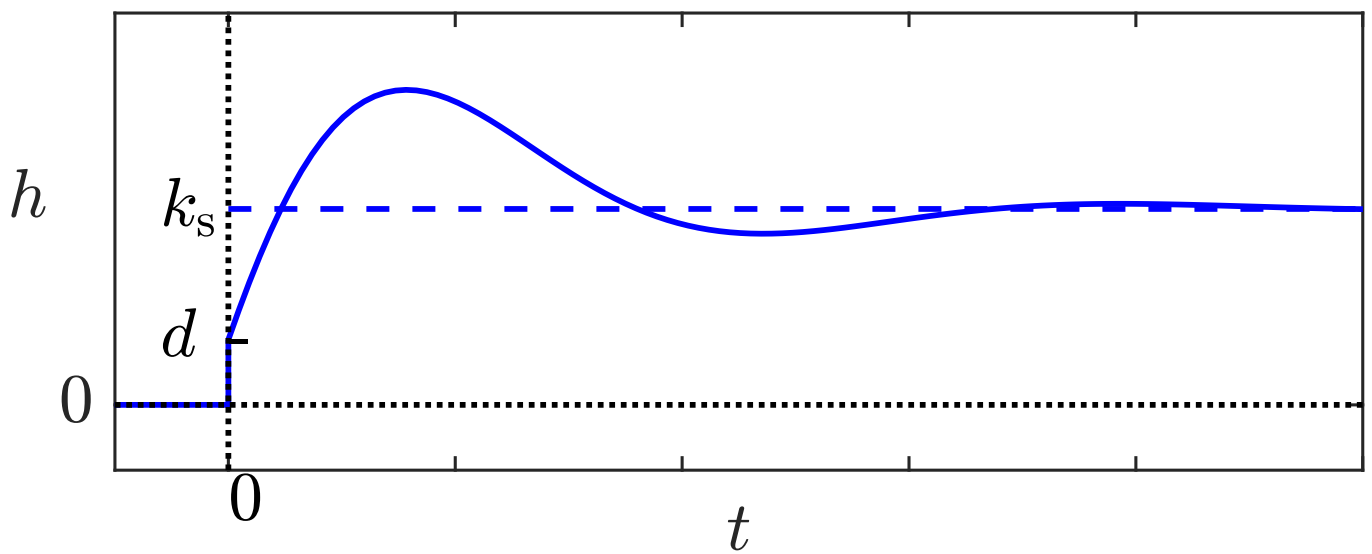
**Abb. 4.13: Geheizter Rührkesselreaktor**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



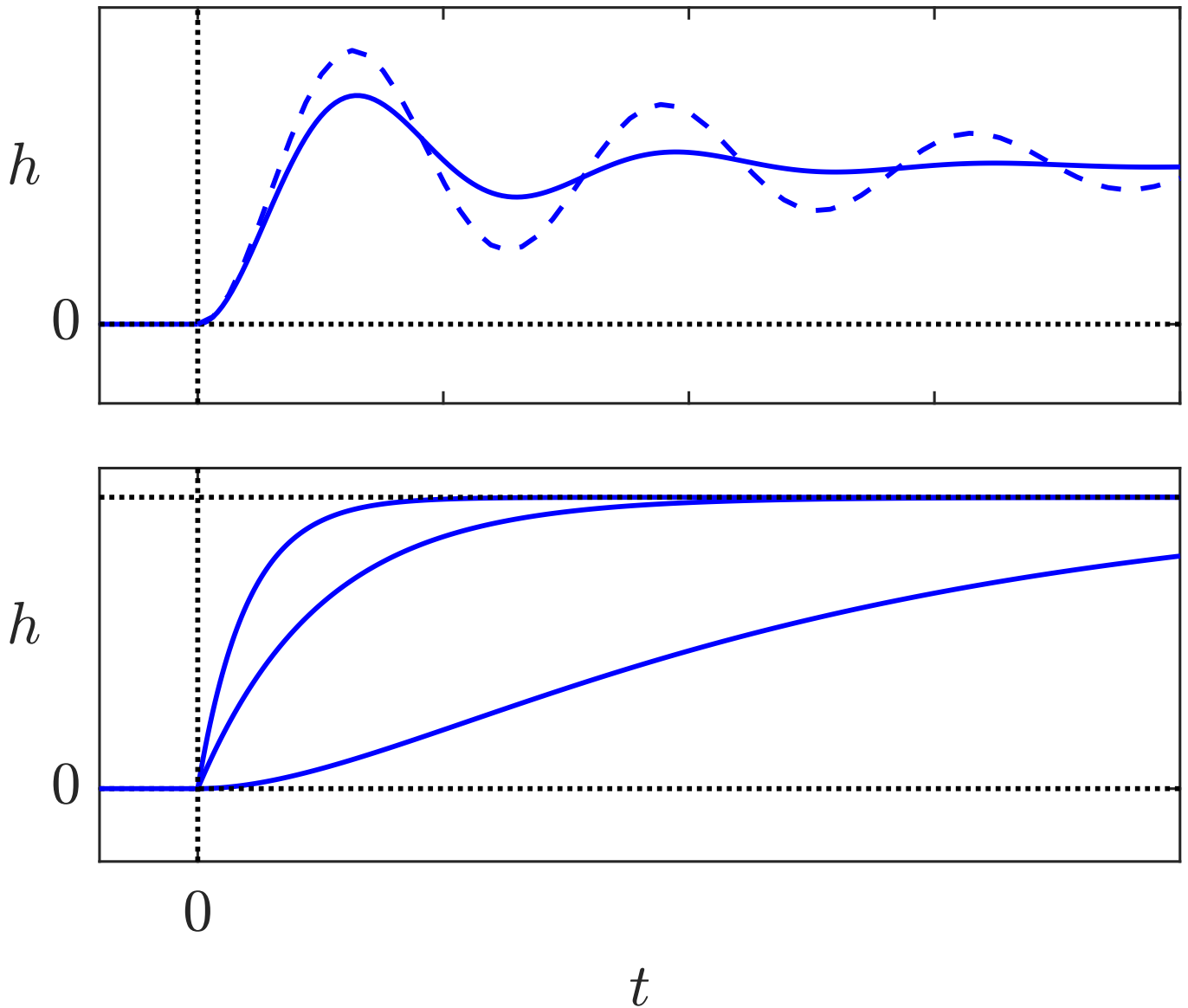
**Abb. 4.14. System mit sprungförmiger Eingangsgröße**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 4.15: Übergangsfunktion eines Systems zweiter Ordnung**

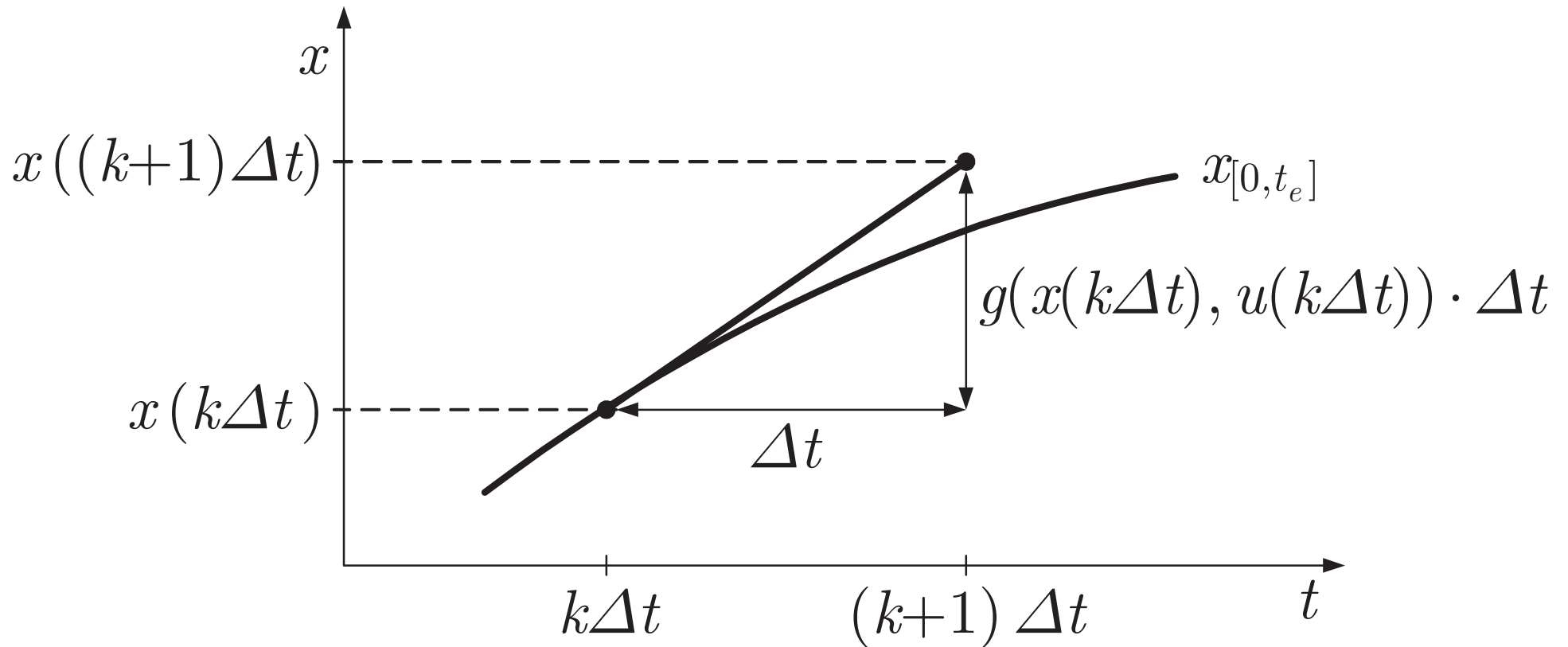
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 4.16: Übergangsfunktionen unterschiedlicher Systeme**

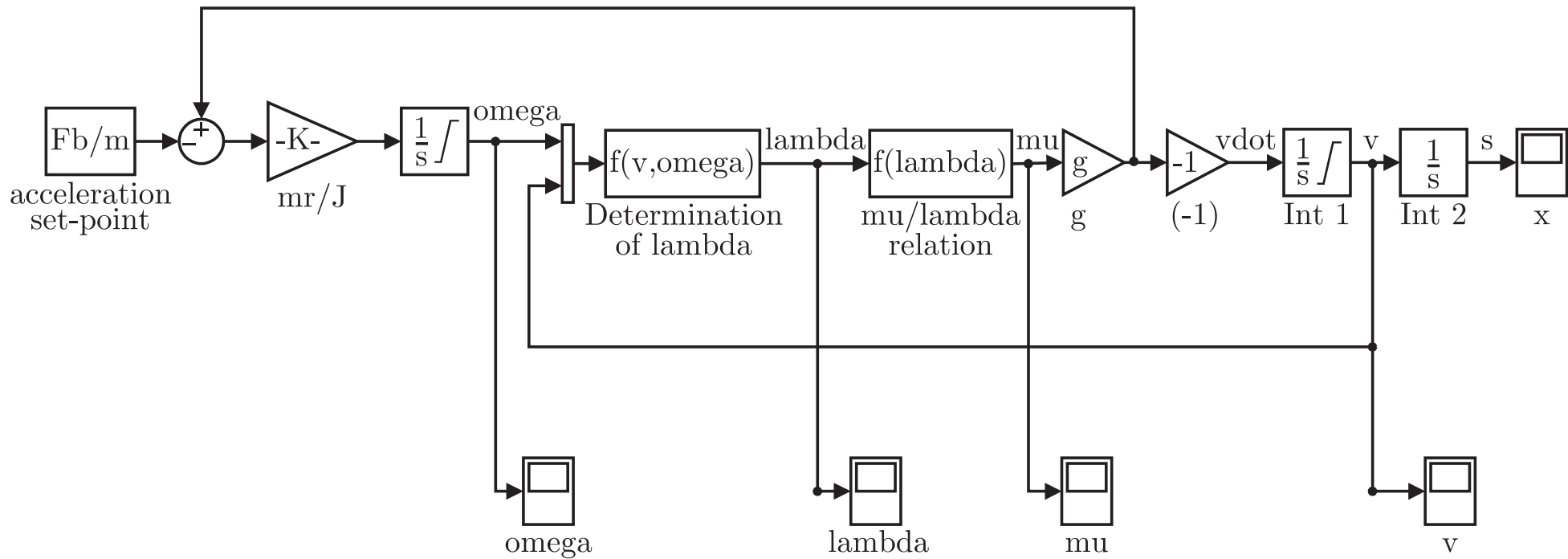
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





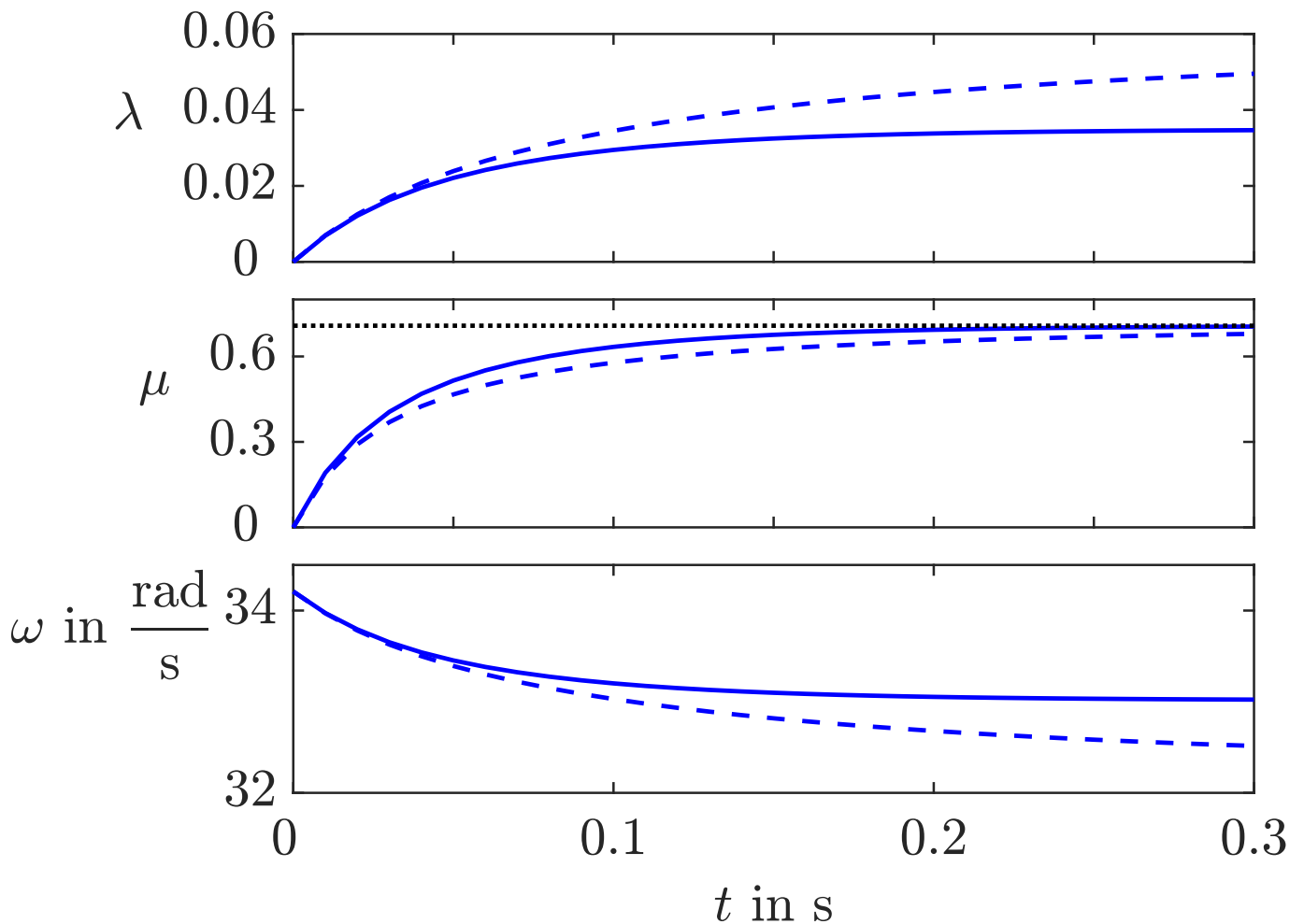
**Abb. 4.17. Eulerintegration einer nichtlinearen Differentialgleichung erster Ordnung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



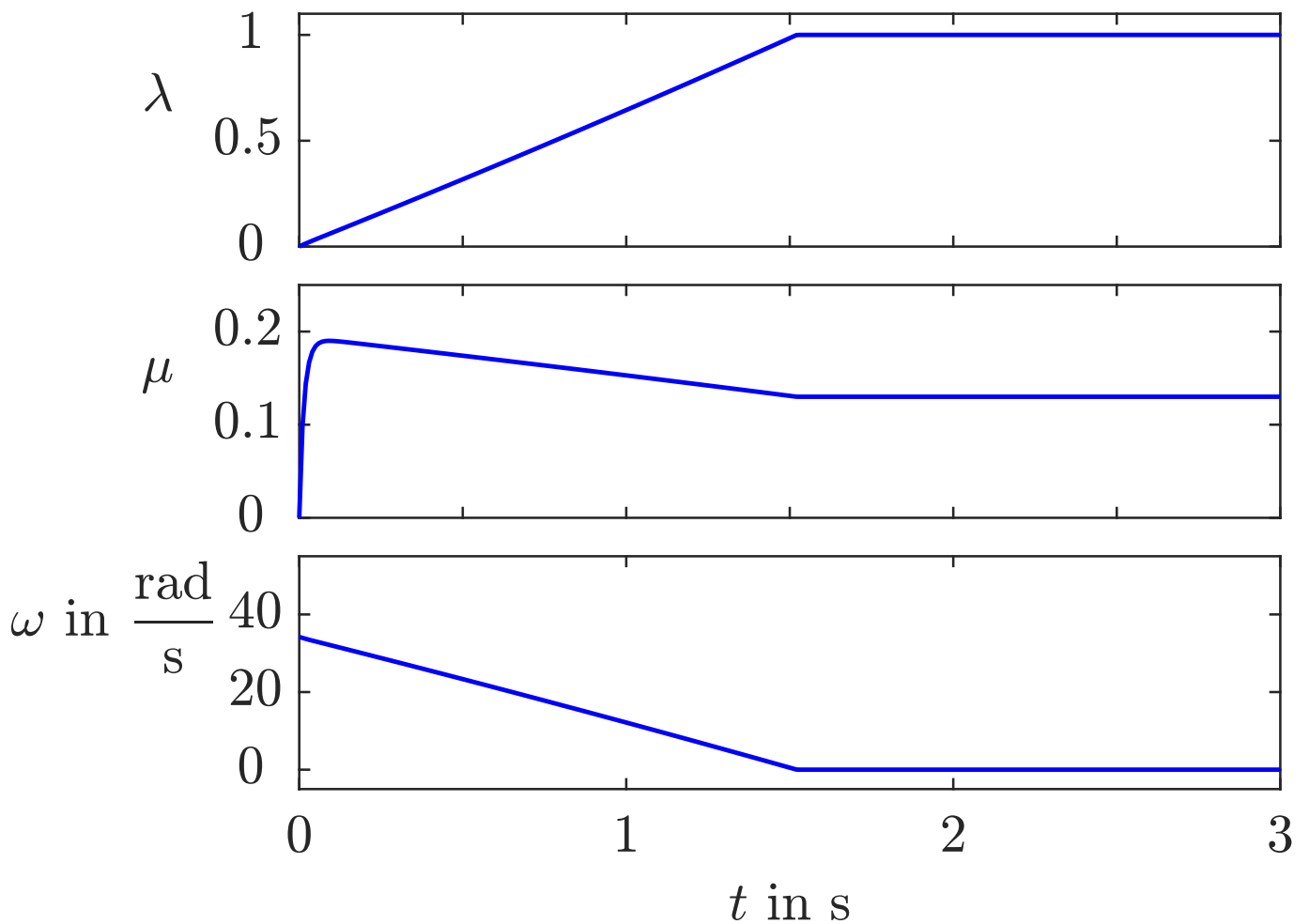
**Abb. 4.18. Simulink-Blockschaltbild des Modells für den Abbremsvorgang eines Fahrzeugs**

*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*

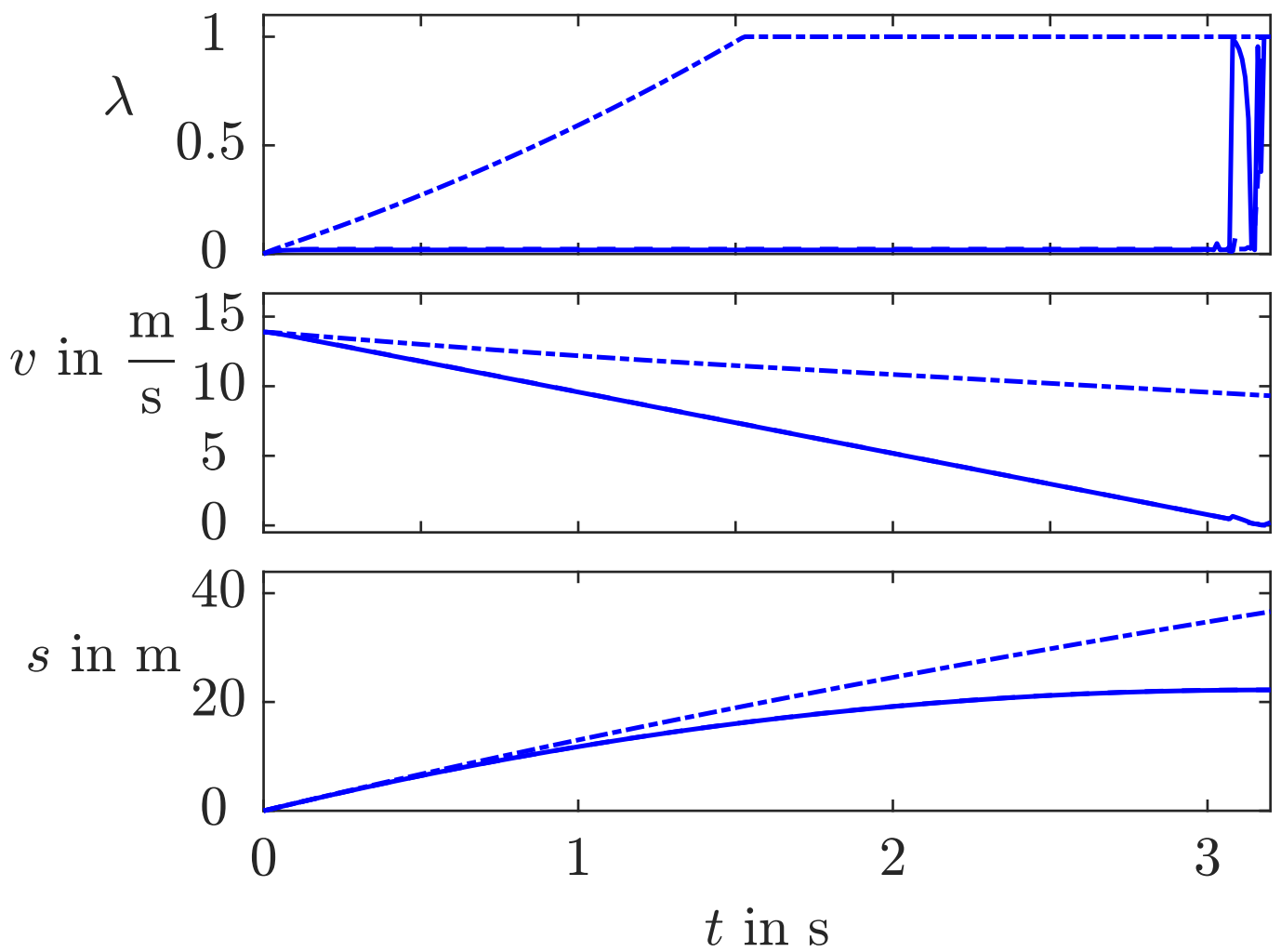


Abb. 4.21: Abbremsmanöver auf Asphaltstraße (—) und auf vereister Straße (- -)

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

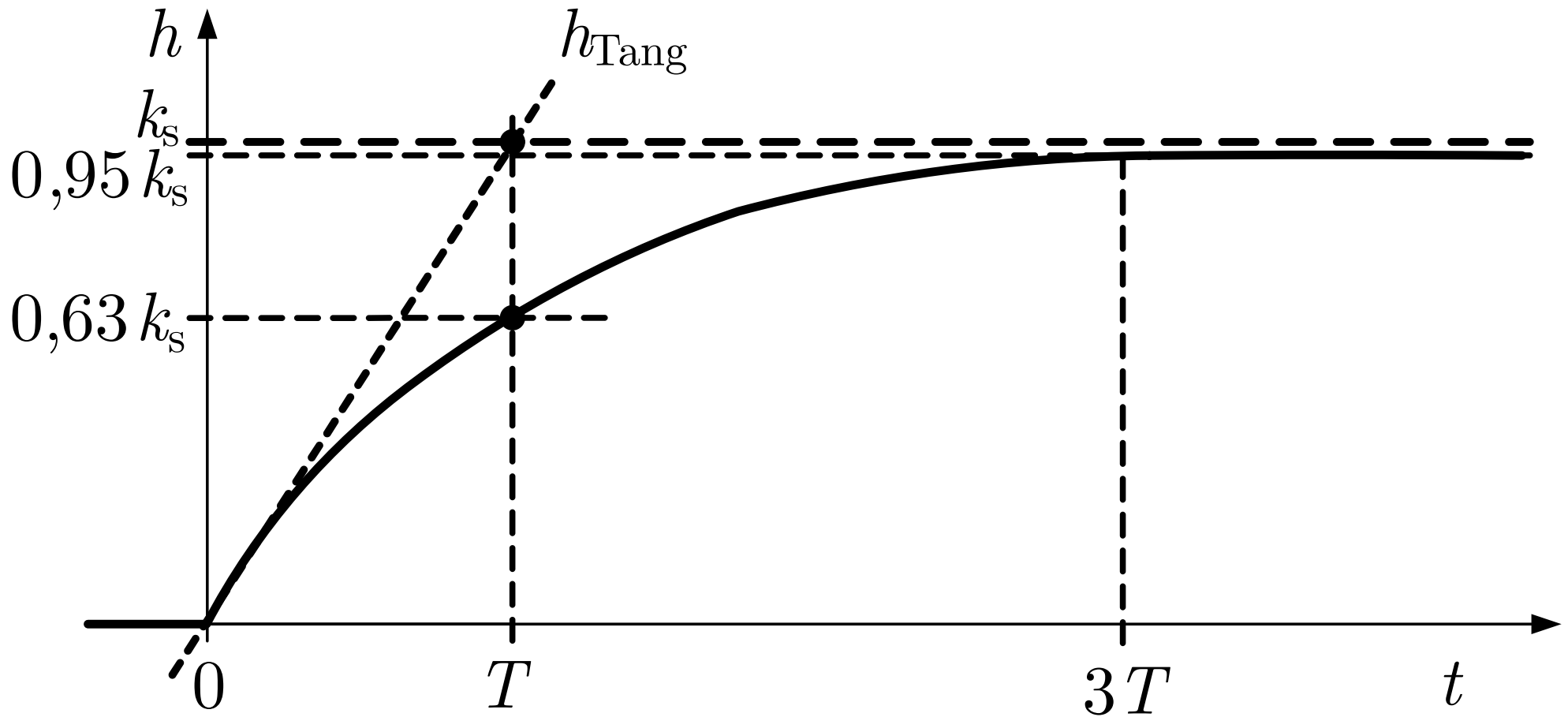
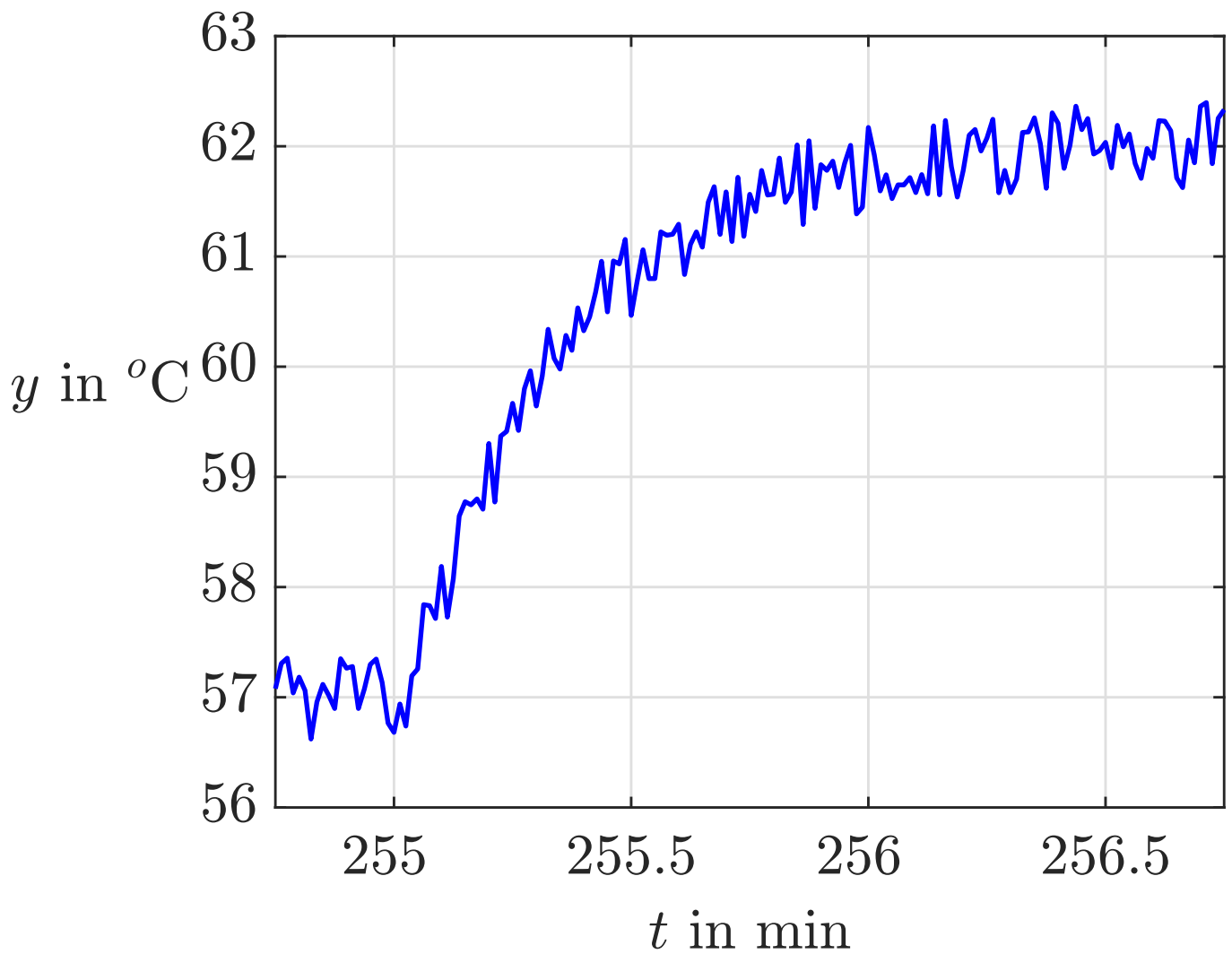


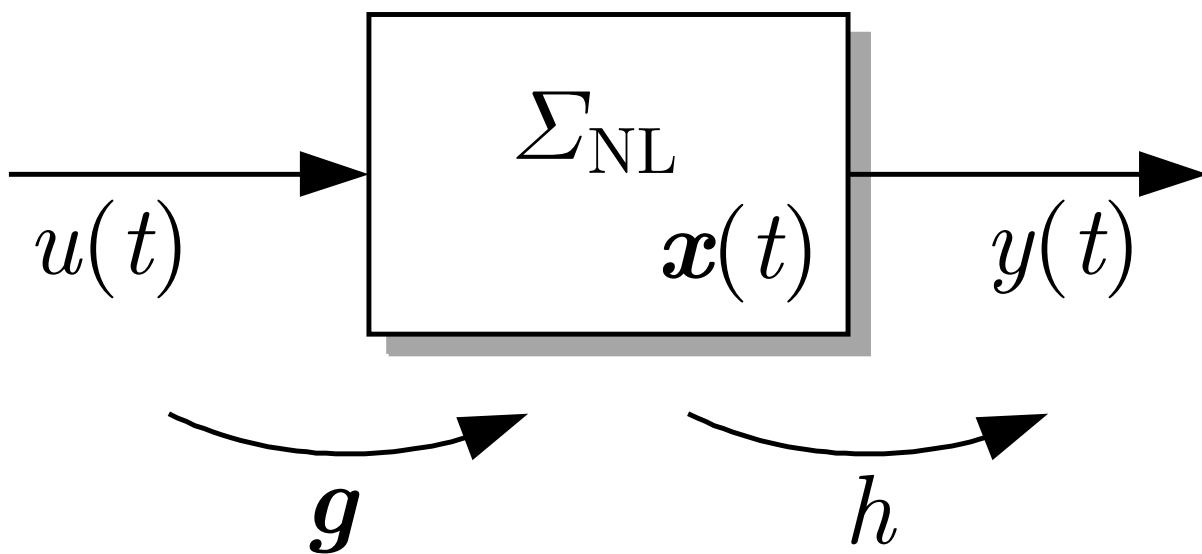
Abb. 4.22. Übergangsfunktion eines Systems erster Ordnung

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 4.23: Experimentell bestimmte Übergangsfunktion eines Wärmeübertragers**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

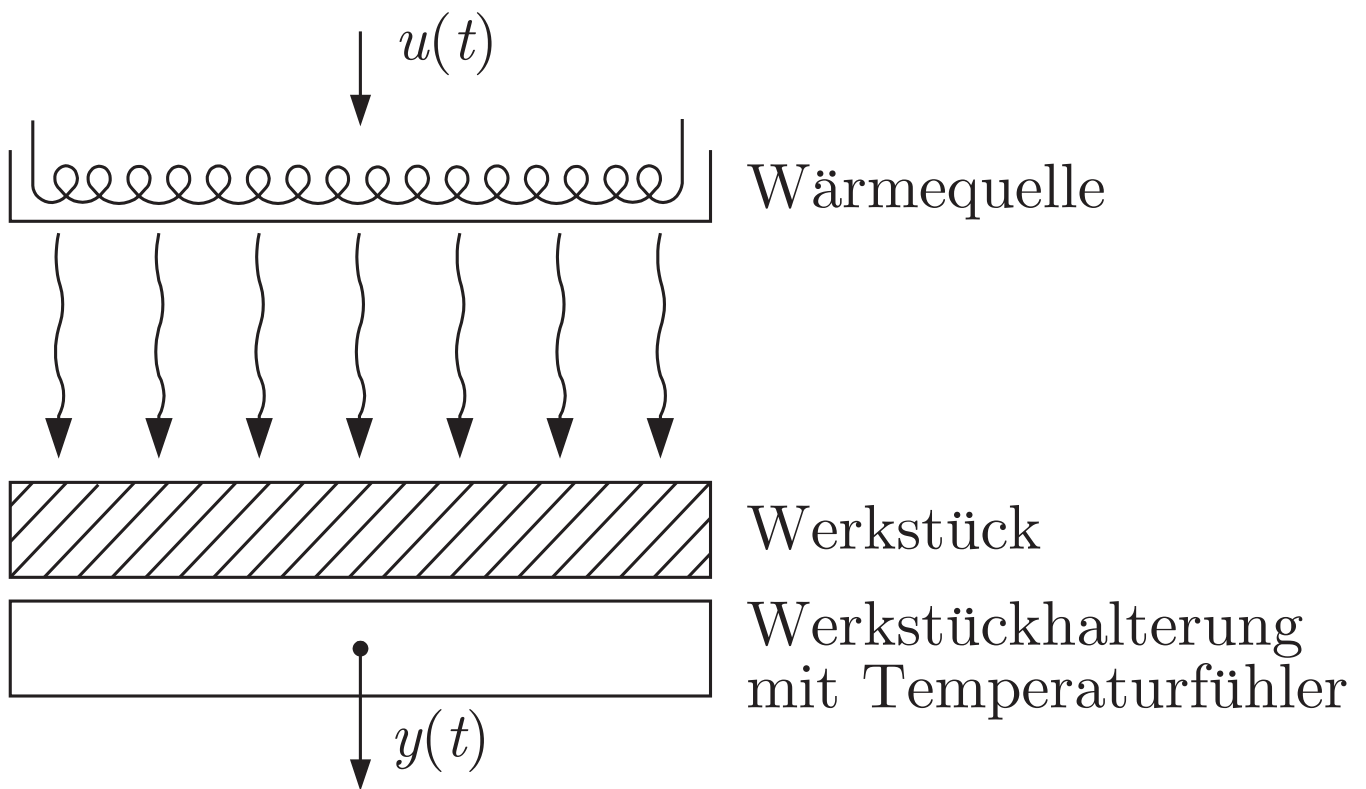


# Steuerbarkeit Beobachtbarkeit

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

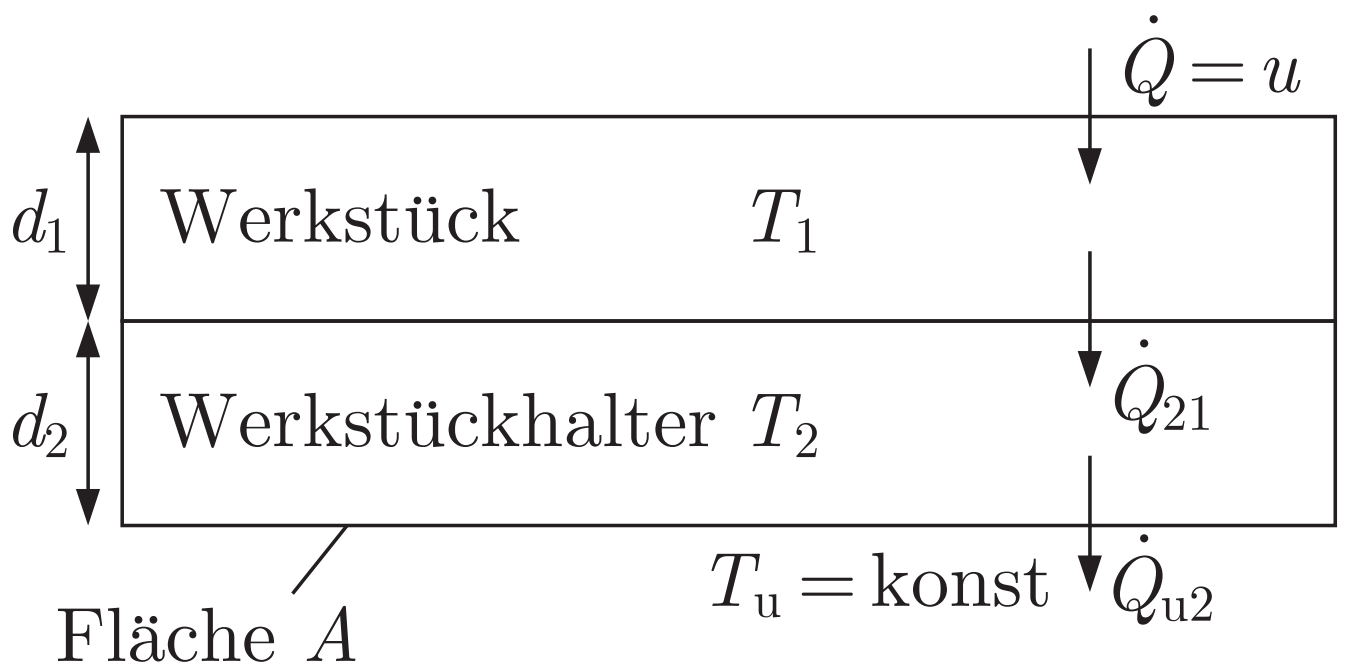
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



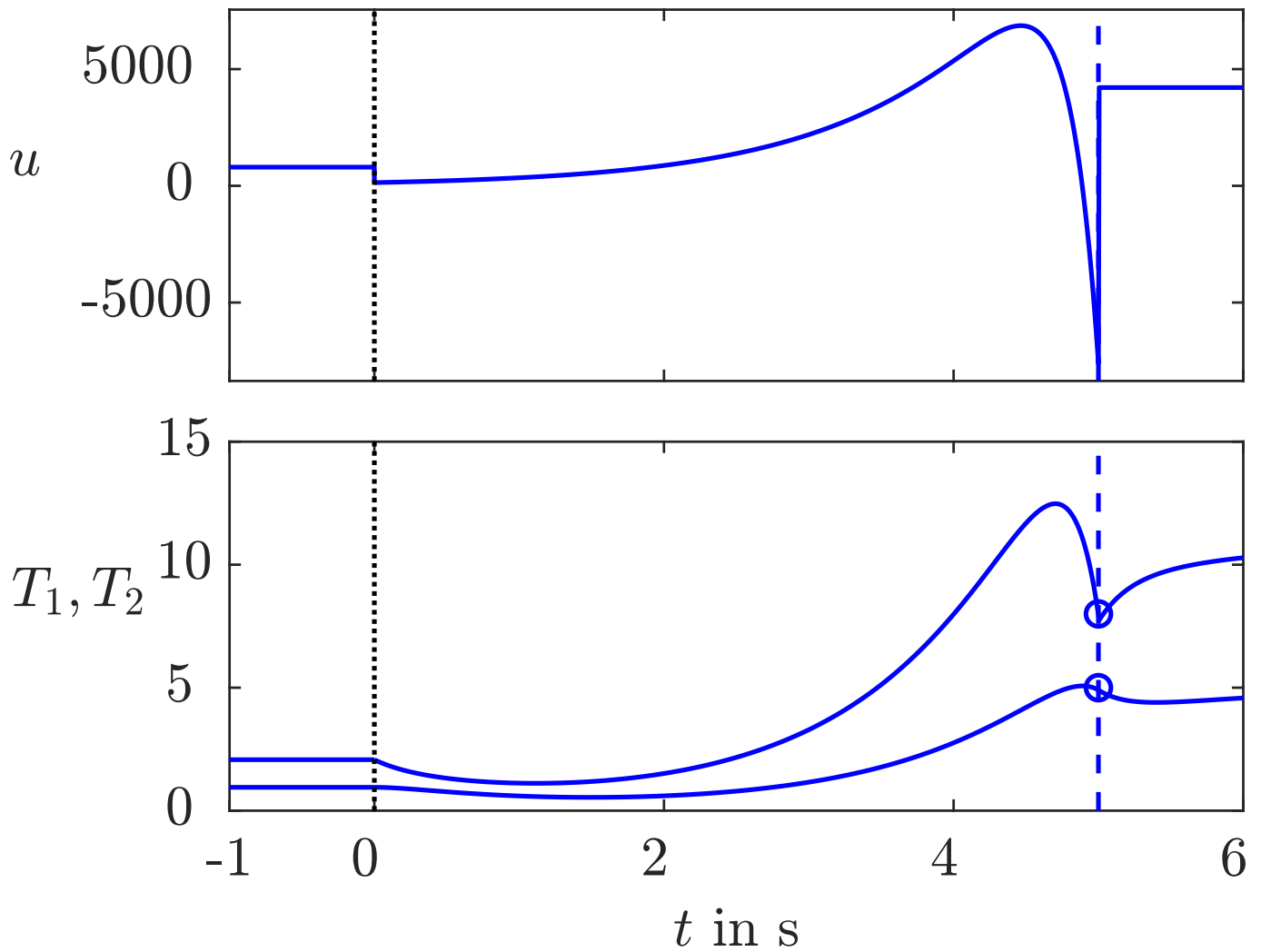


**Abb. 5.2: Erwärmung eines Werkstücks in einem Industrieofen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

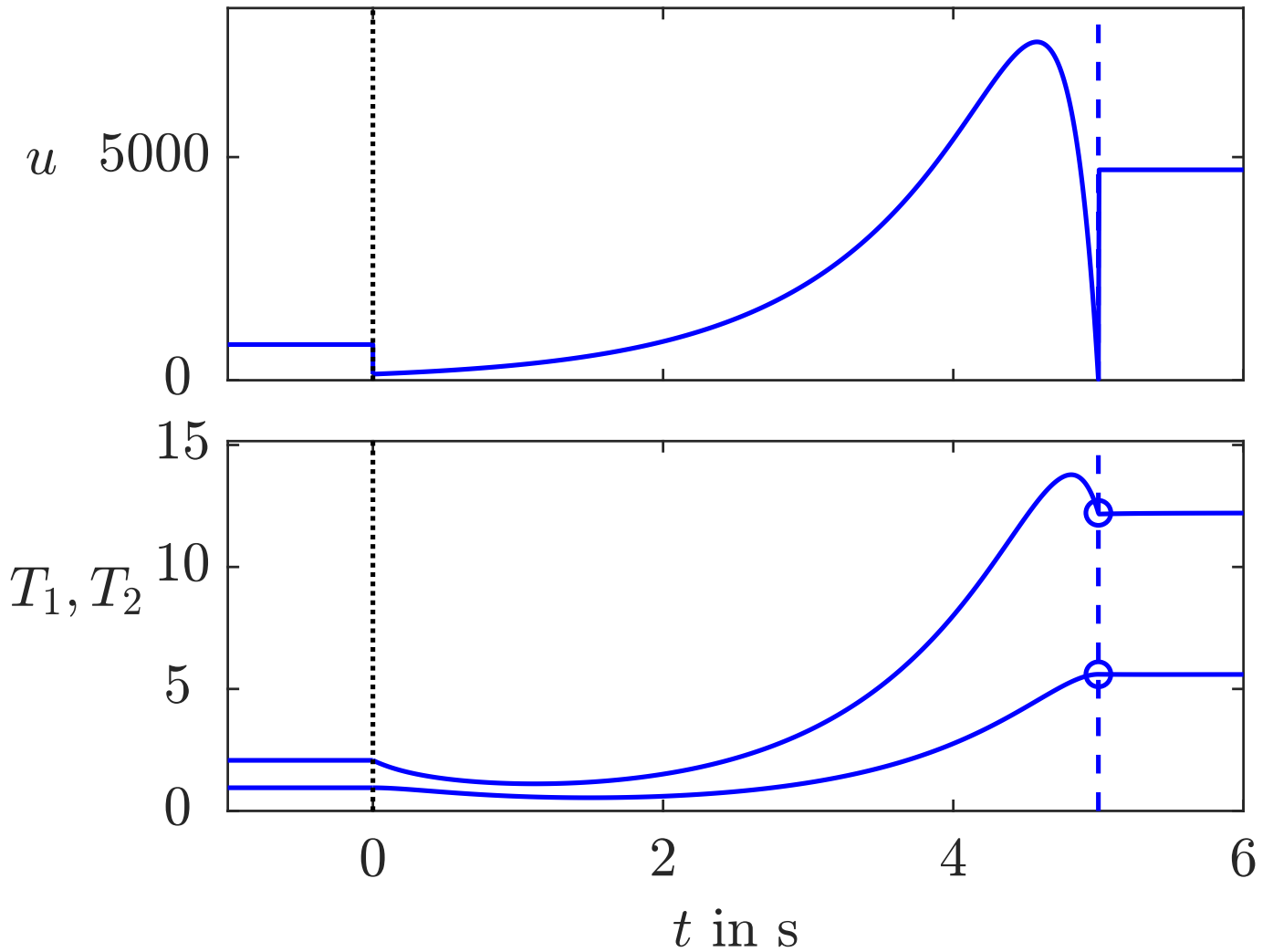


**Abb. 5.3:** Modellansatz zur Beschreibung des Industrieofens



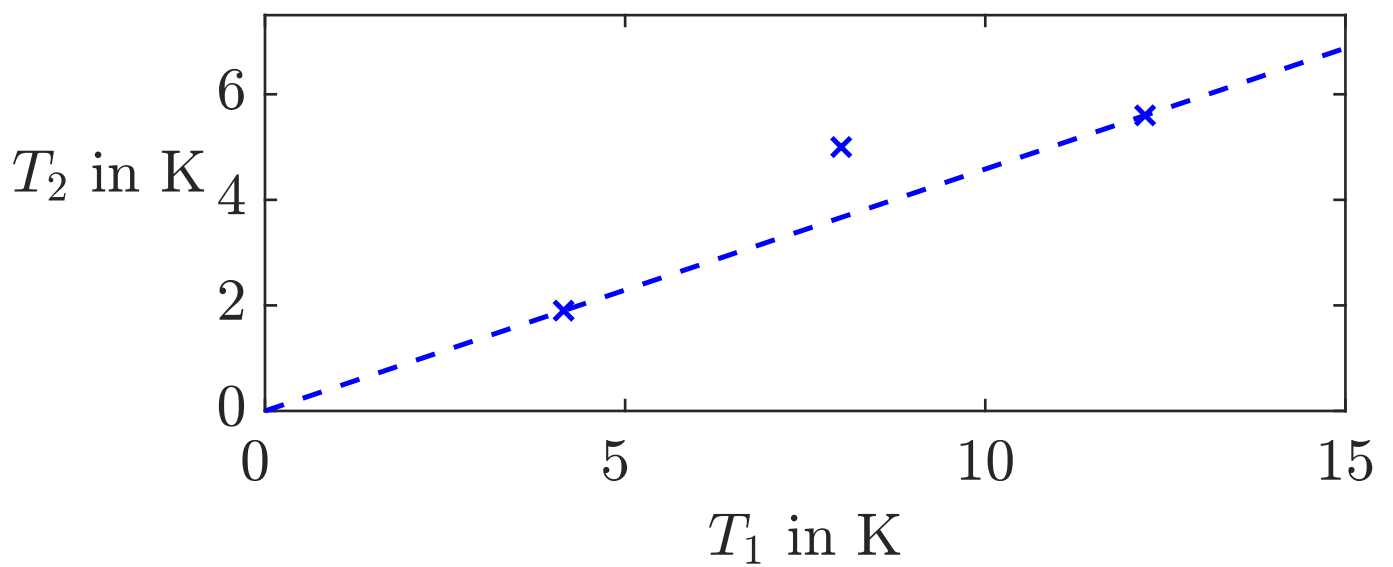
**Abb. 5.4: Steuerung des Industrieofens von  $x_0 = (2,07 \ 0,95)^T$  nach  $x_e = (8 \ 5)^T$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



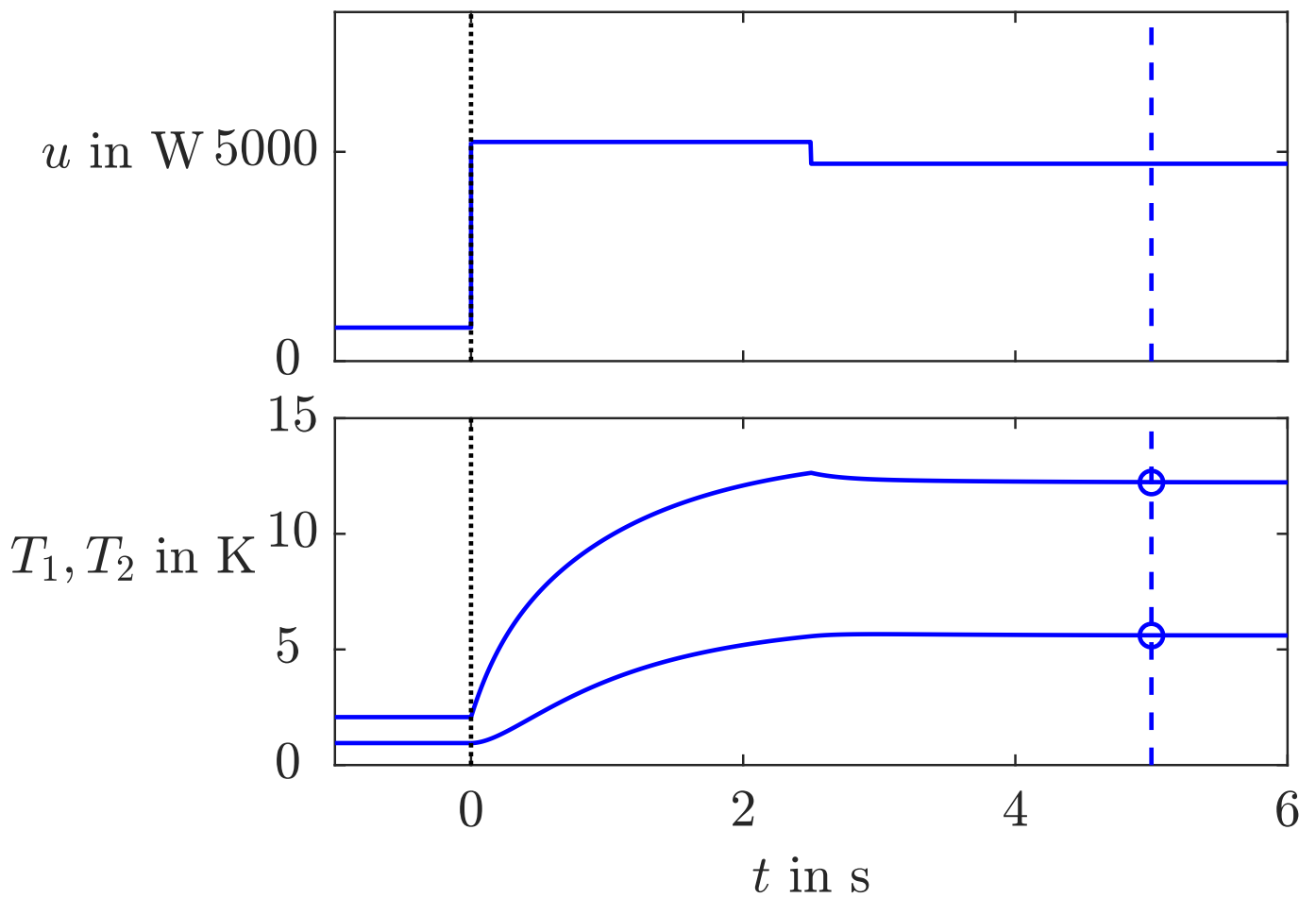
**Abb. 5.4: Steuerung des Industrieofens von  $x_0 = (2,07 \ 0,95)^T$  nach  $x_e = (12,22 \ 5,6)^T$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



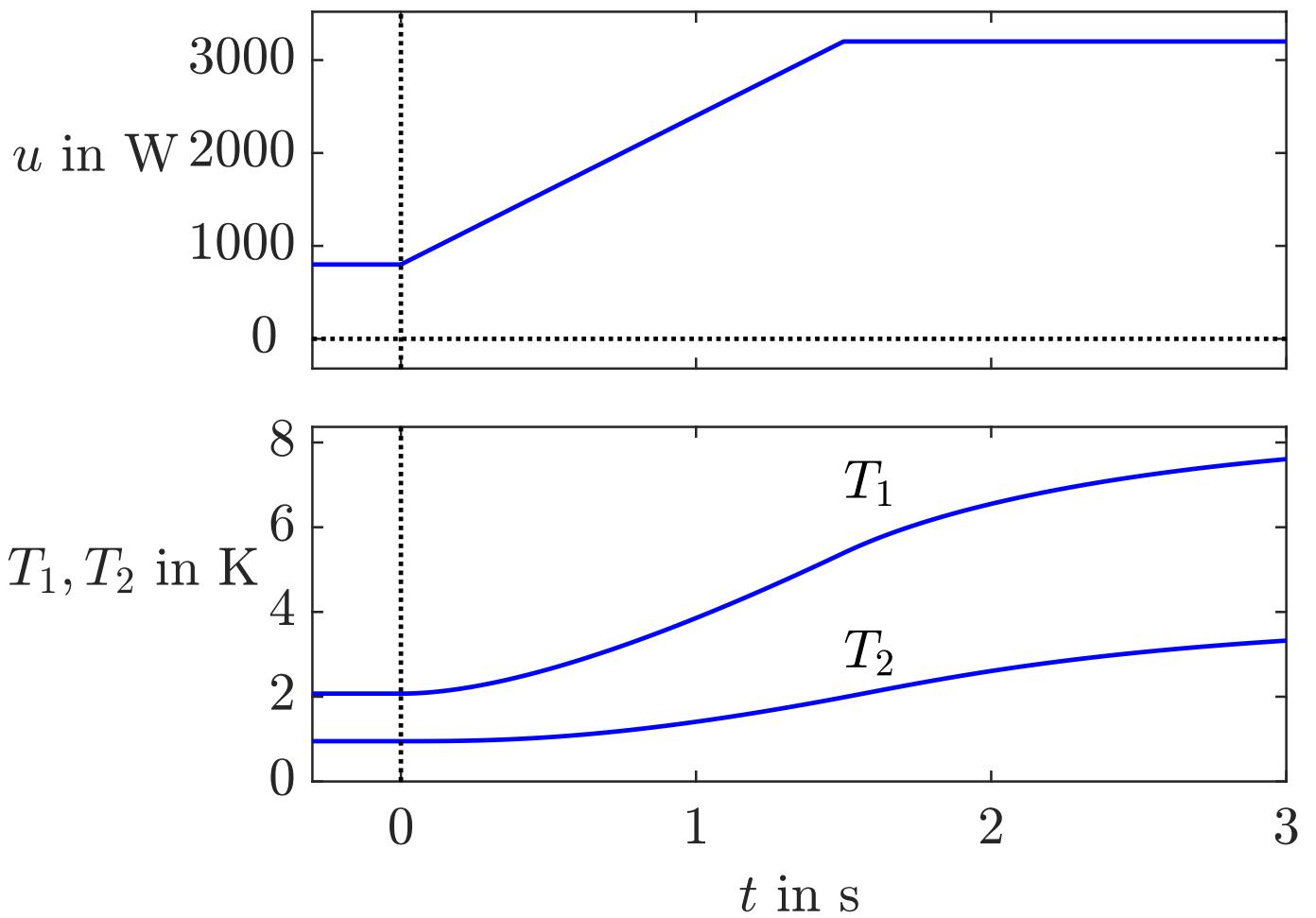
**Abb. 5.5: Zustände, in denen der Ofen verharren kann**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



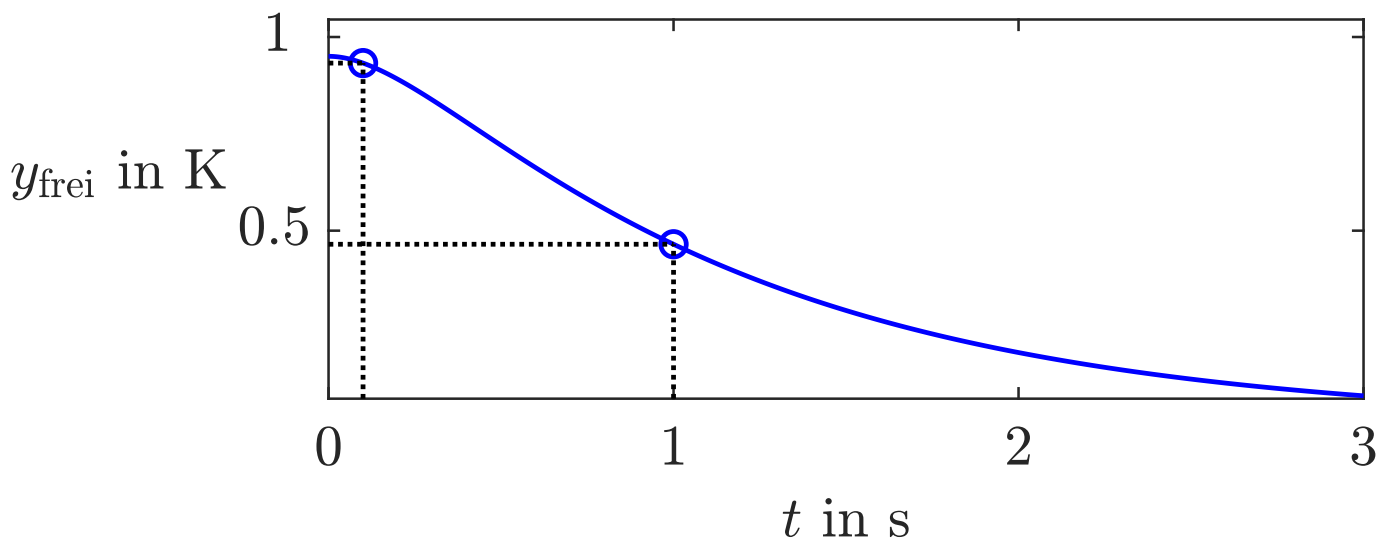
**Abb. 5.6: Zweiter Stellgrößenverlauf zur Steuerung des Industrieofens von  $x_0 = (2,07 \ 0,95)^T$  in  $x_e = (12,22 \ 5,6)^T$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 5.7: Verhalten des Industrieofens bei ansteigender Heizleistung**

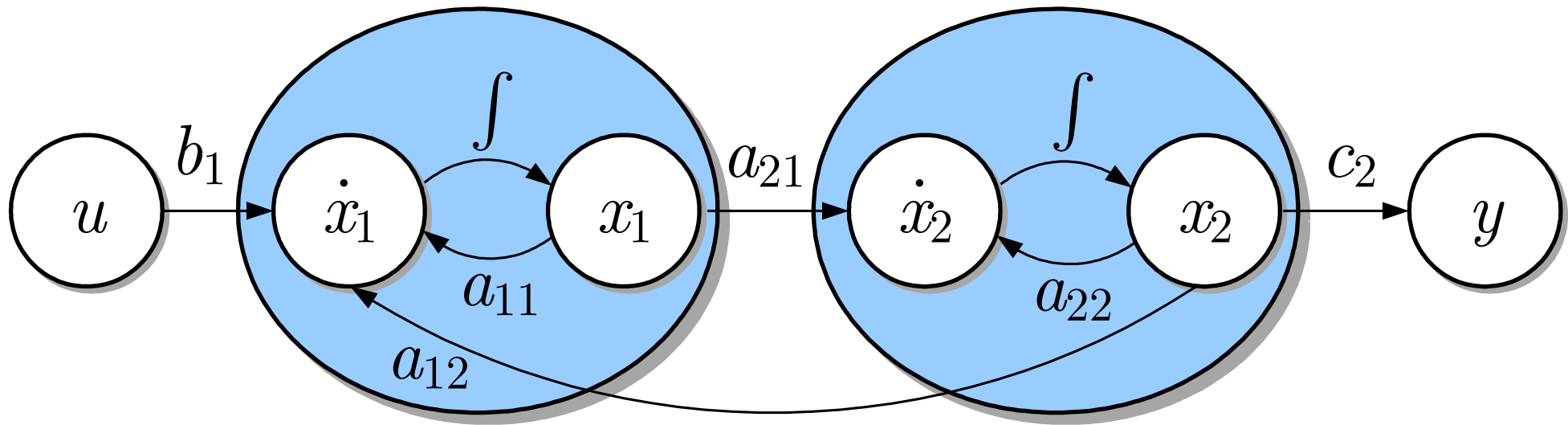
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 5.8: Eigenbewegung des Industrieofens**

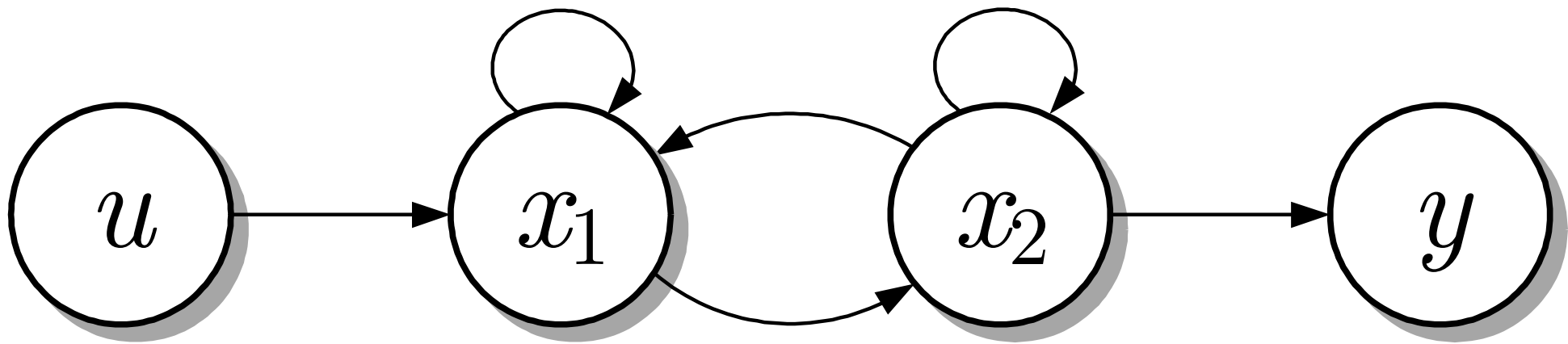
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





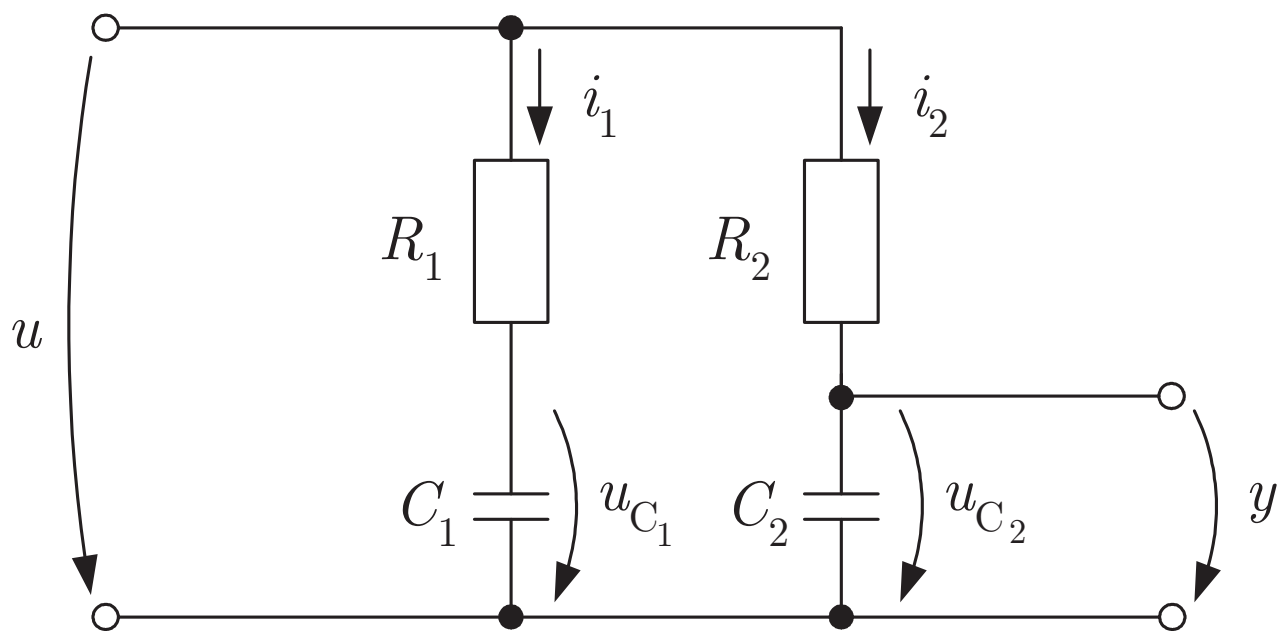
**Abb. 5.9. Signalflussgraph des Industrieofens**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



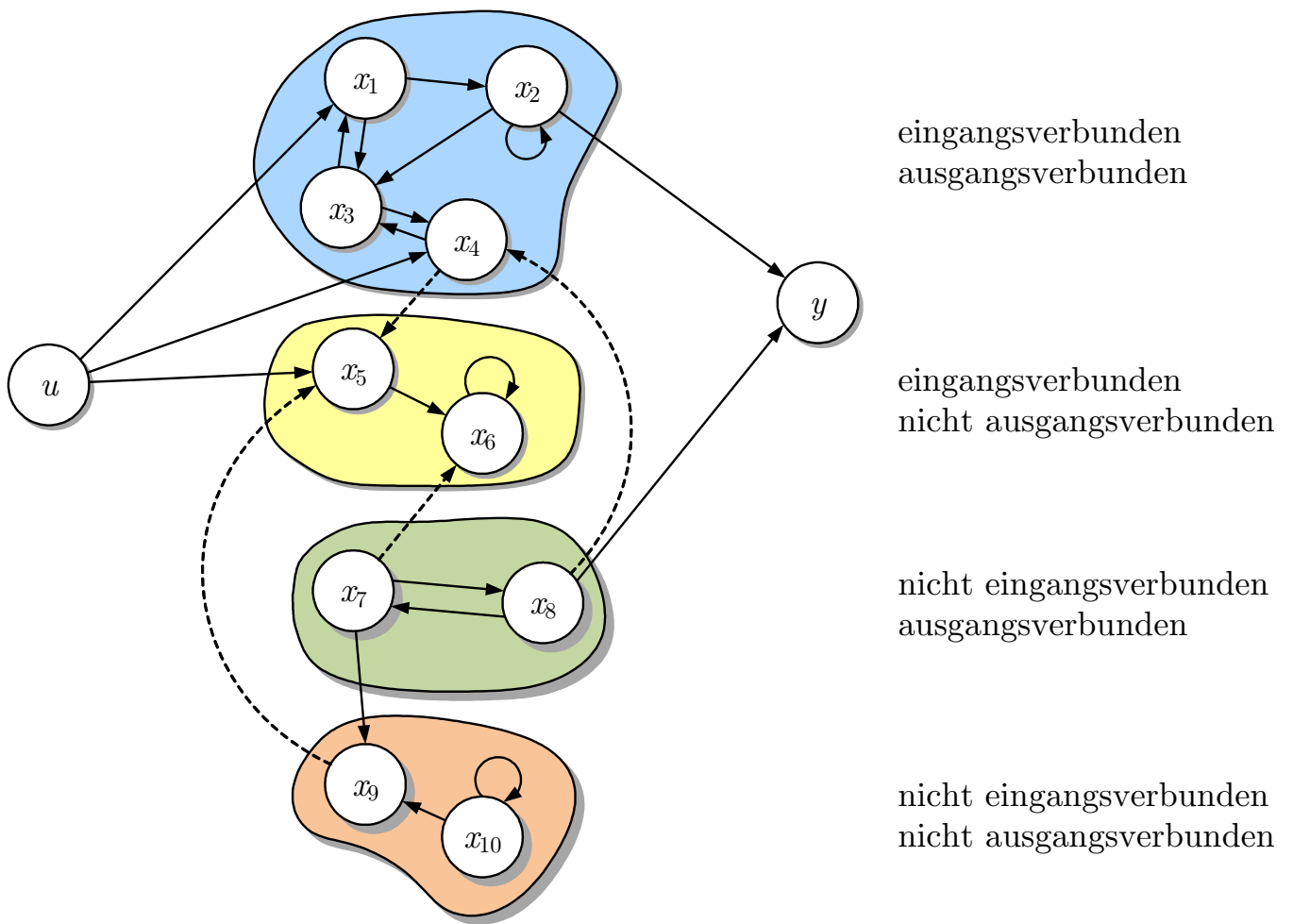
**Abb. 5.10. Strukturgraph des Industrieofens**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



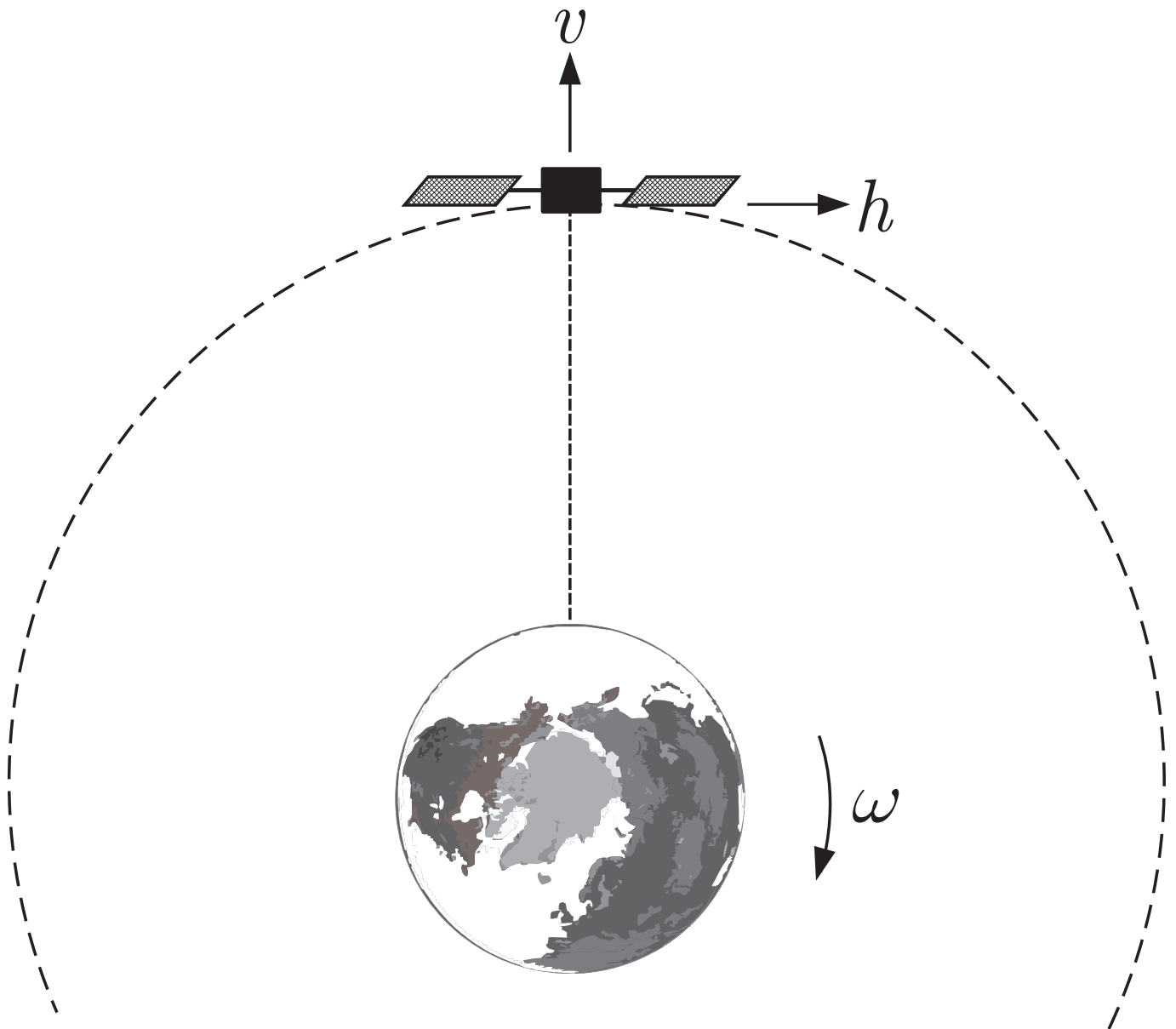
**Abb. 5.11: RC-Schaltung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



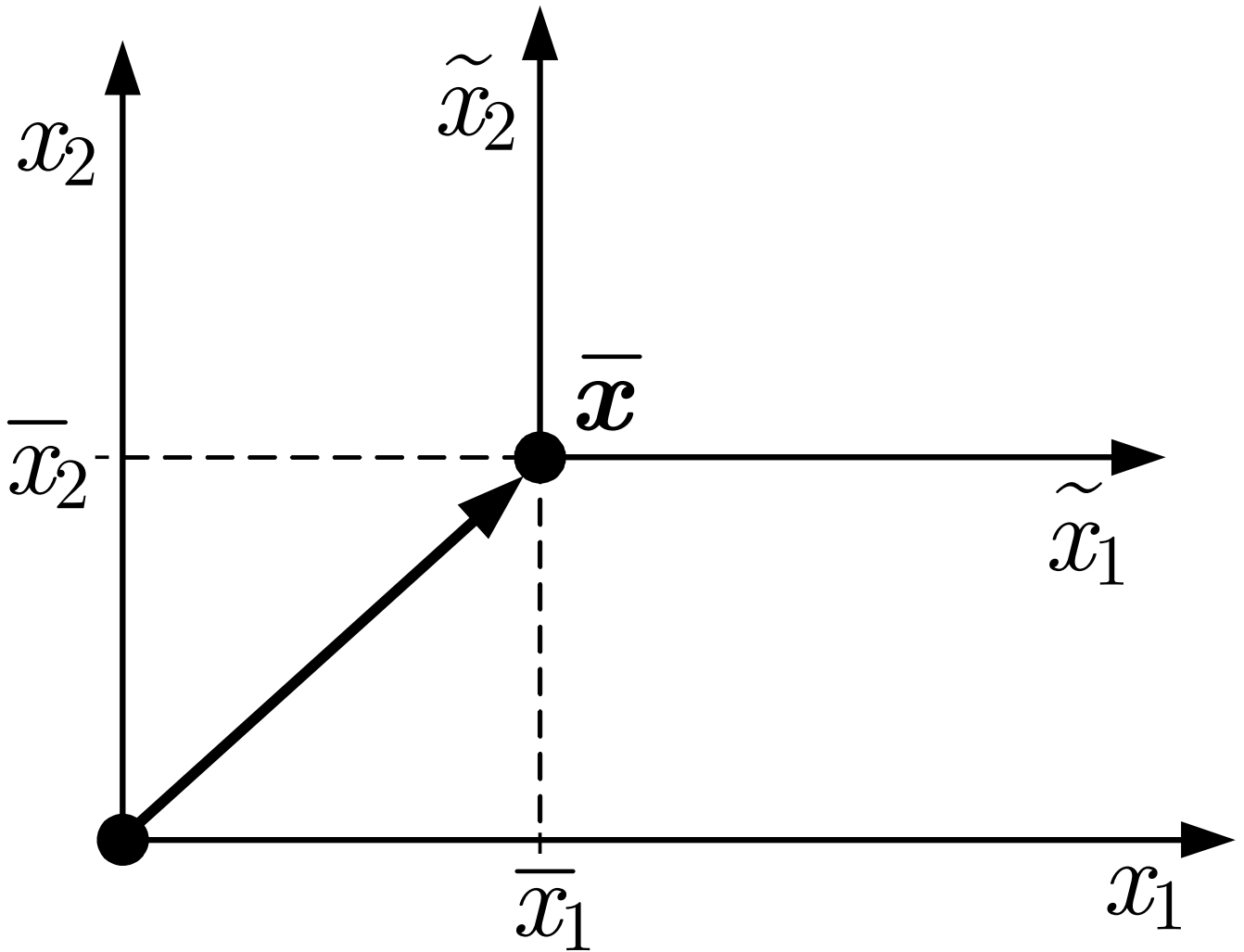
**Abb. 5.12: Strukturelle Zerlegung eines Systems**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



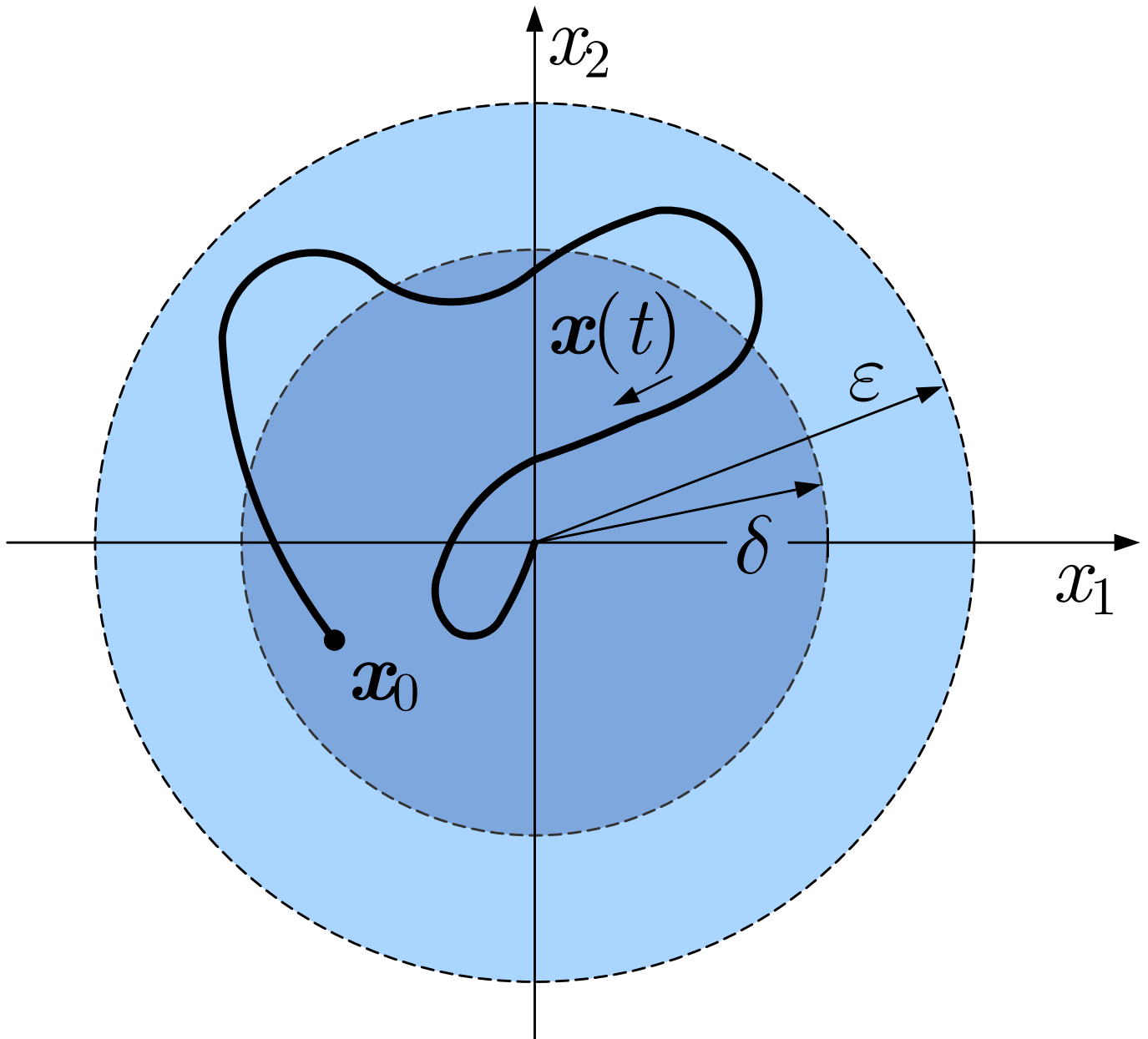
**Abb. 5.13: Satellit über der Beobachtungsstation**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



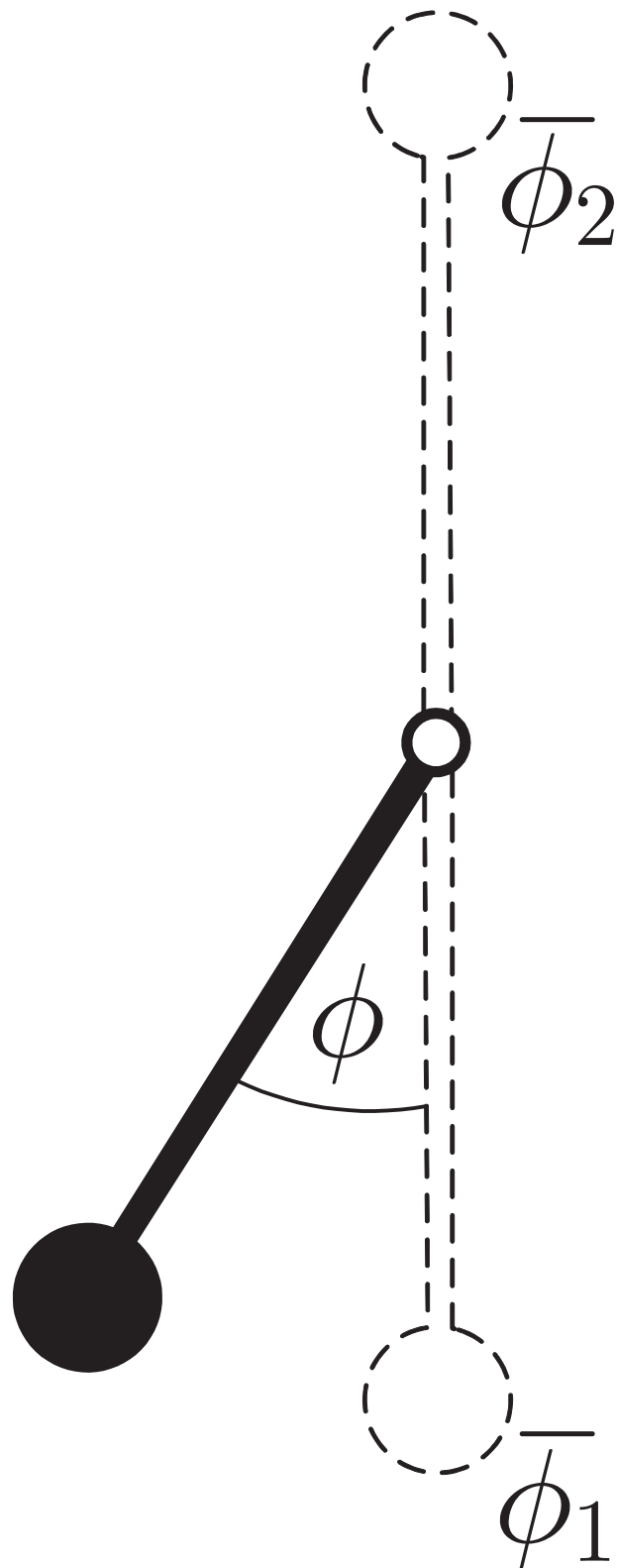
**Abb. 6.1: Verschiebung des Arbeitspunkts in den Nullpunkt des Zustandsraumes**

*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*



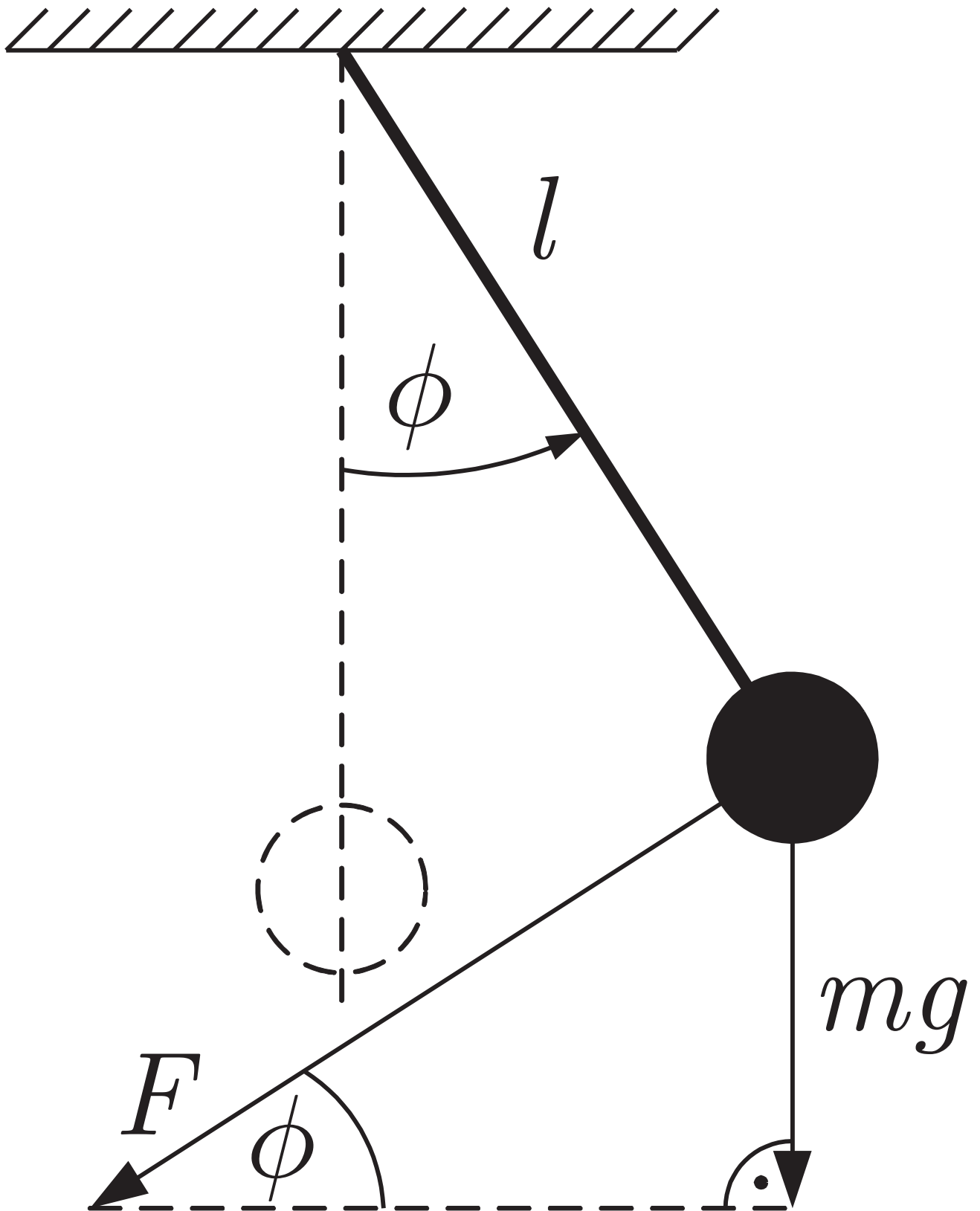
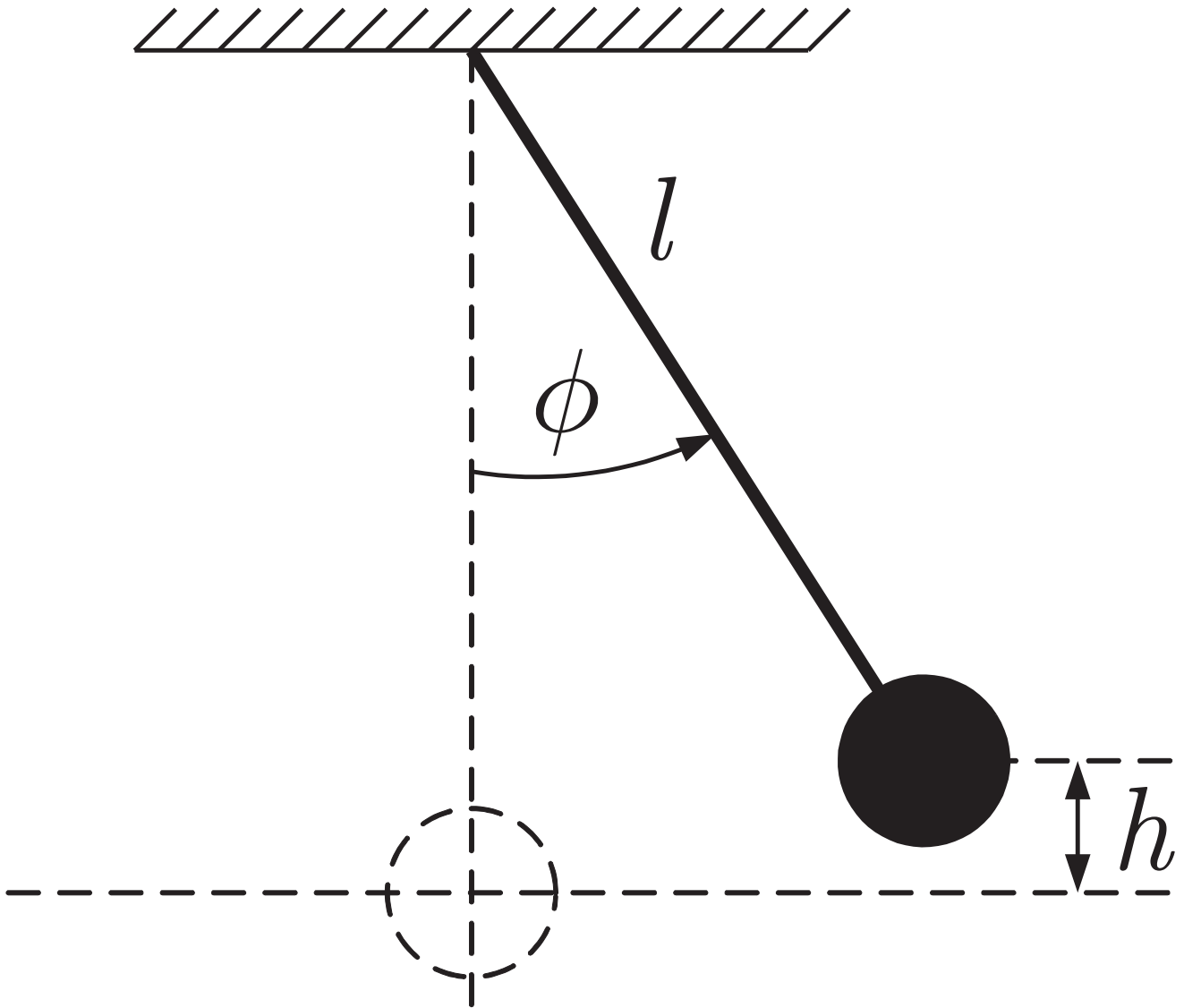


Abb. 6.4. Pendel mit dem für die Modellbildung wichtigen Kräfte-dreieck



**Abb. 6.5: Pendel**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

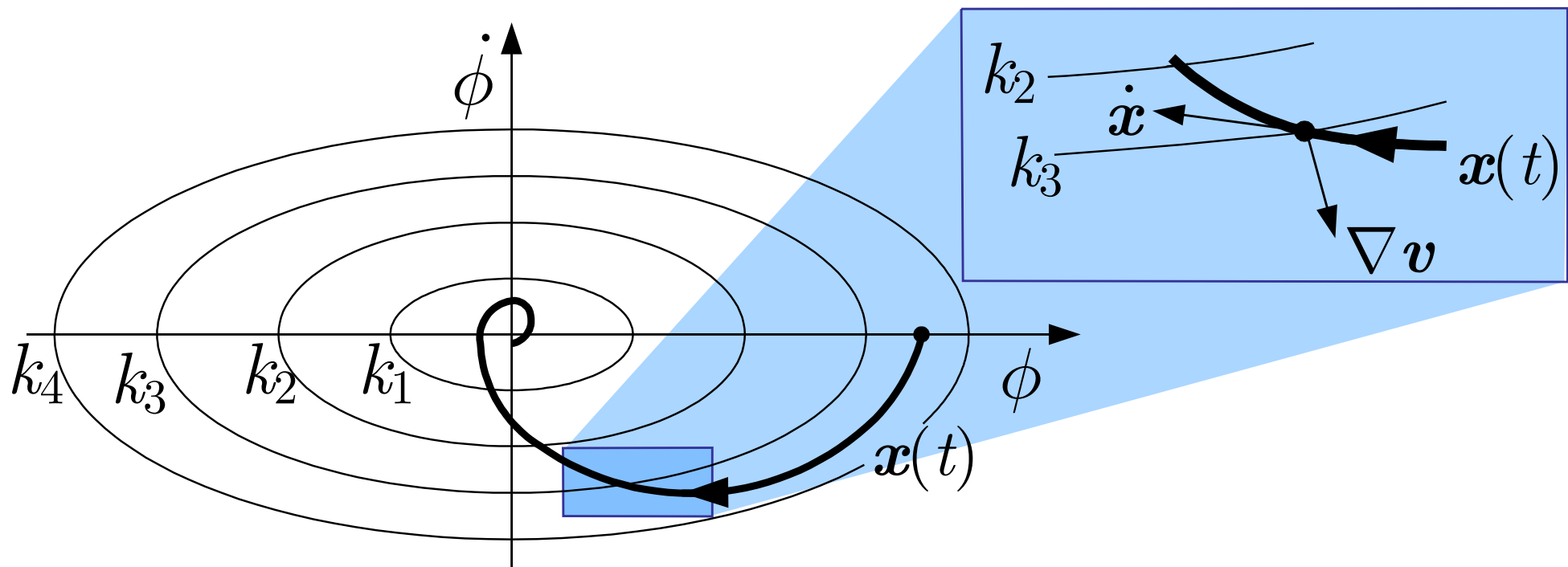
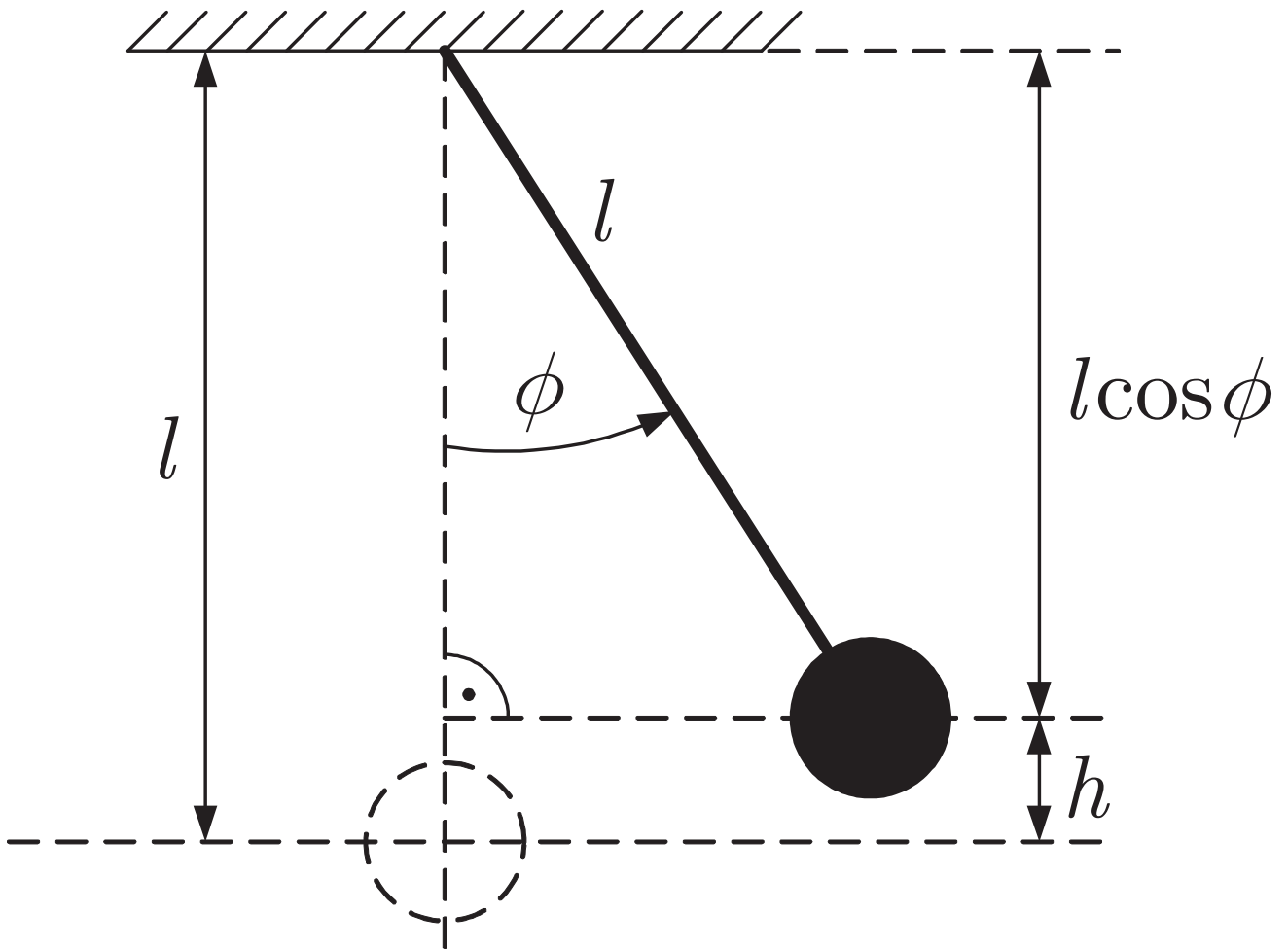


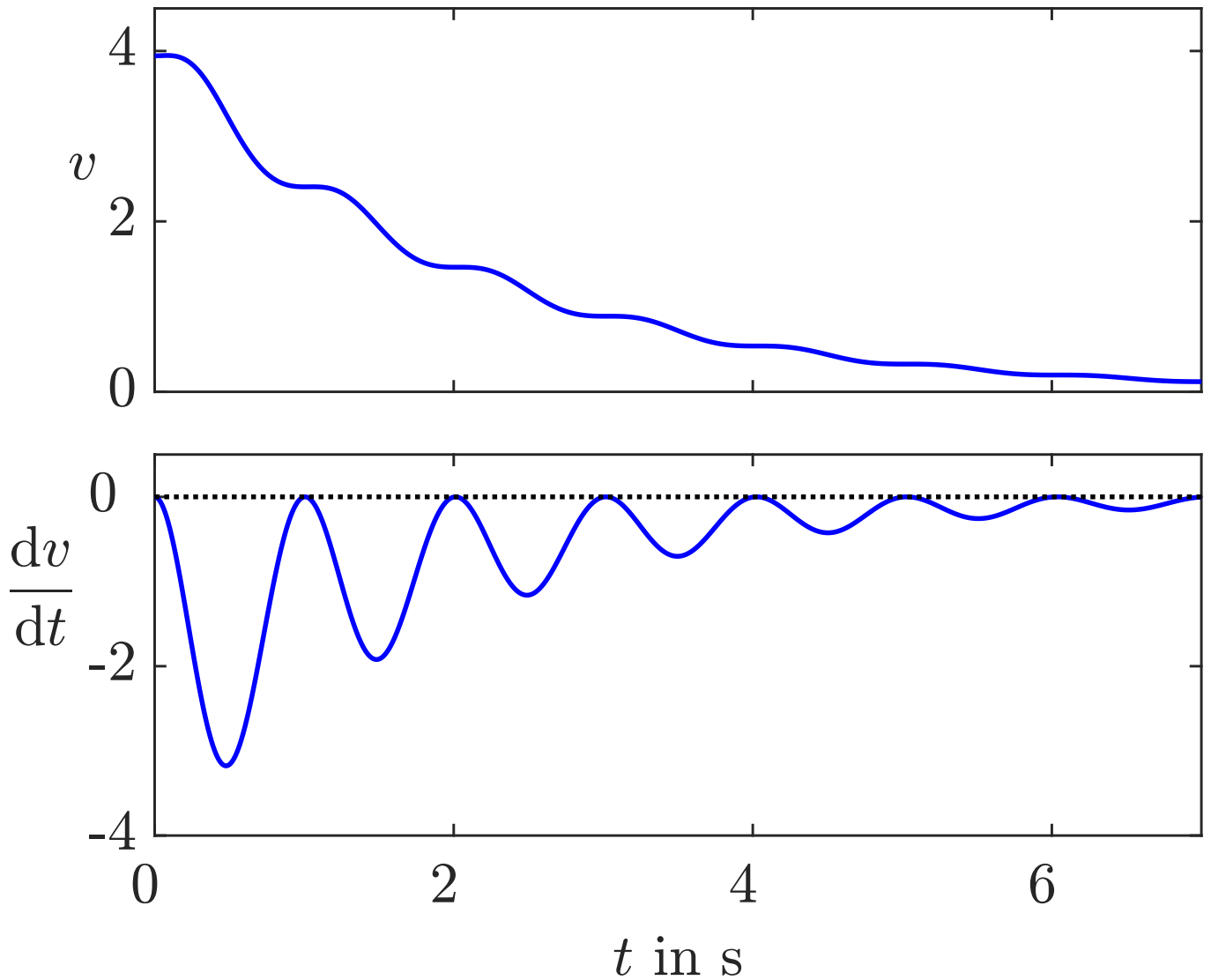
Abb. 6.6. Veranschaulichung der Stabilitätsprüfung unter Verwendung einer Ljapunowfunktion

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



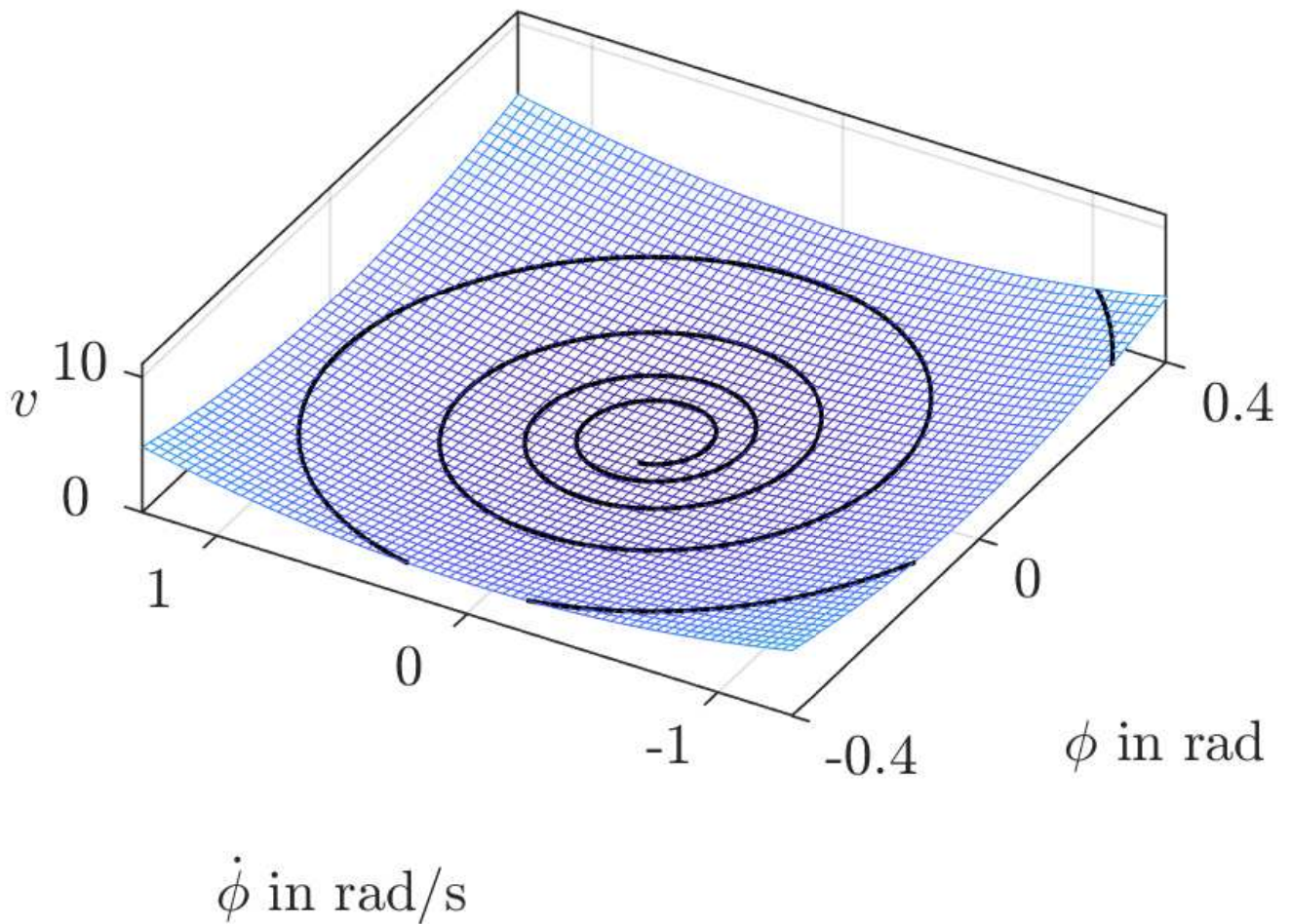
**Abb. 6.7: Pendel mit den für die Bestimmung der potentiellen Energie maßgebenden Größen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



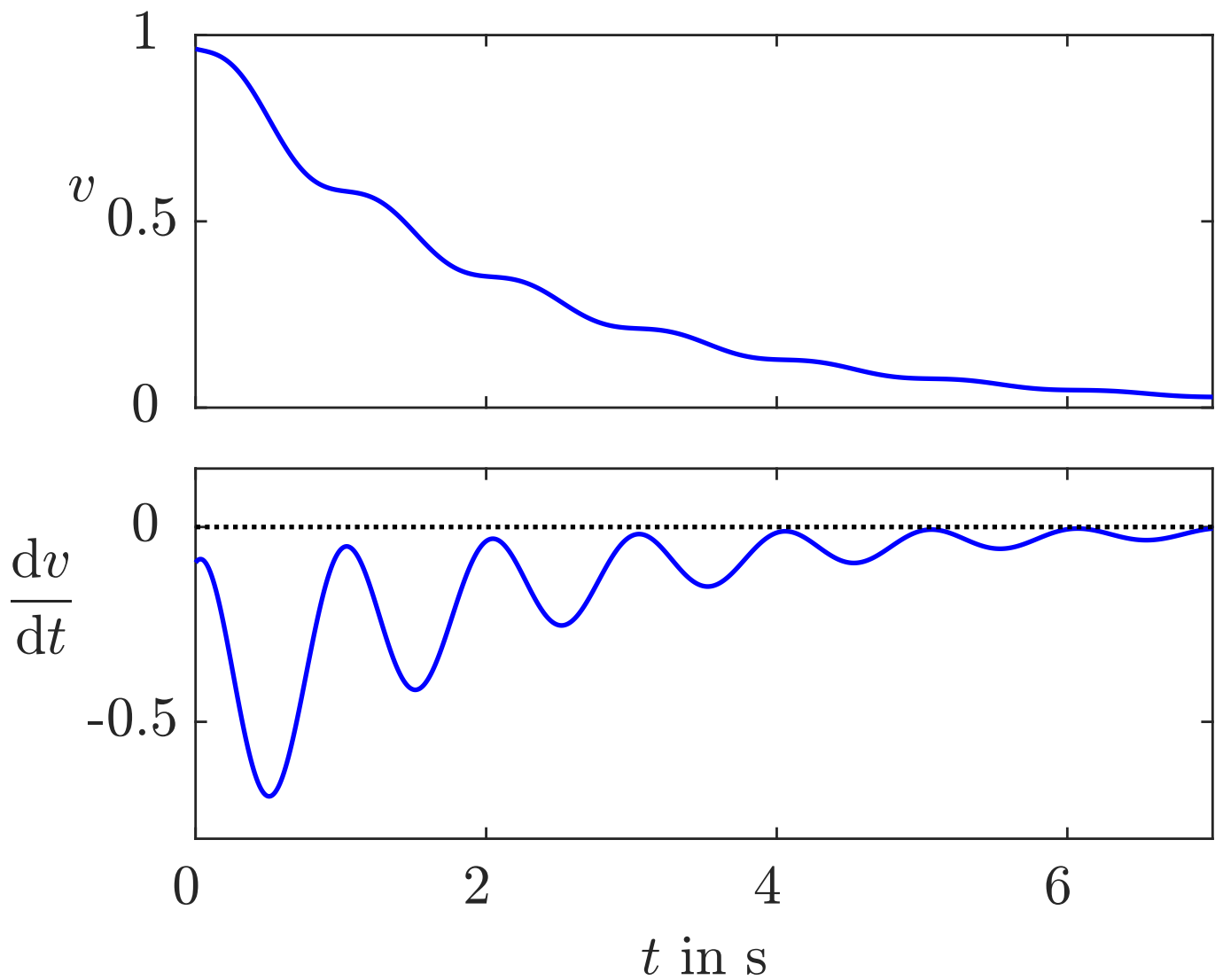
**Abb. 6.8:** Verhalten der Ljapunowfunktion für das Pendel

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



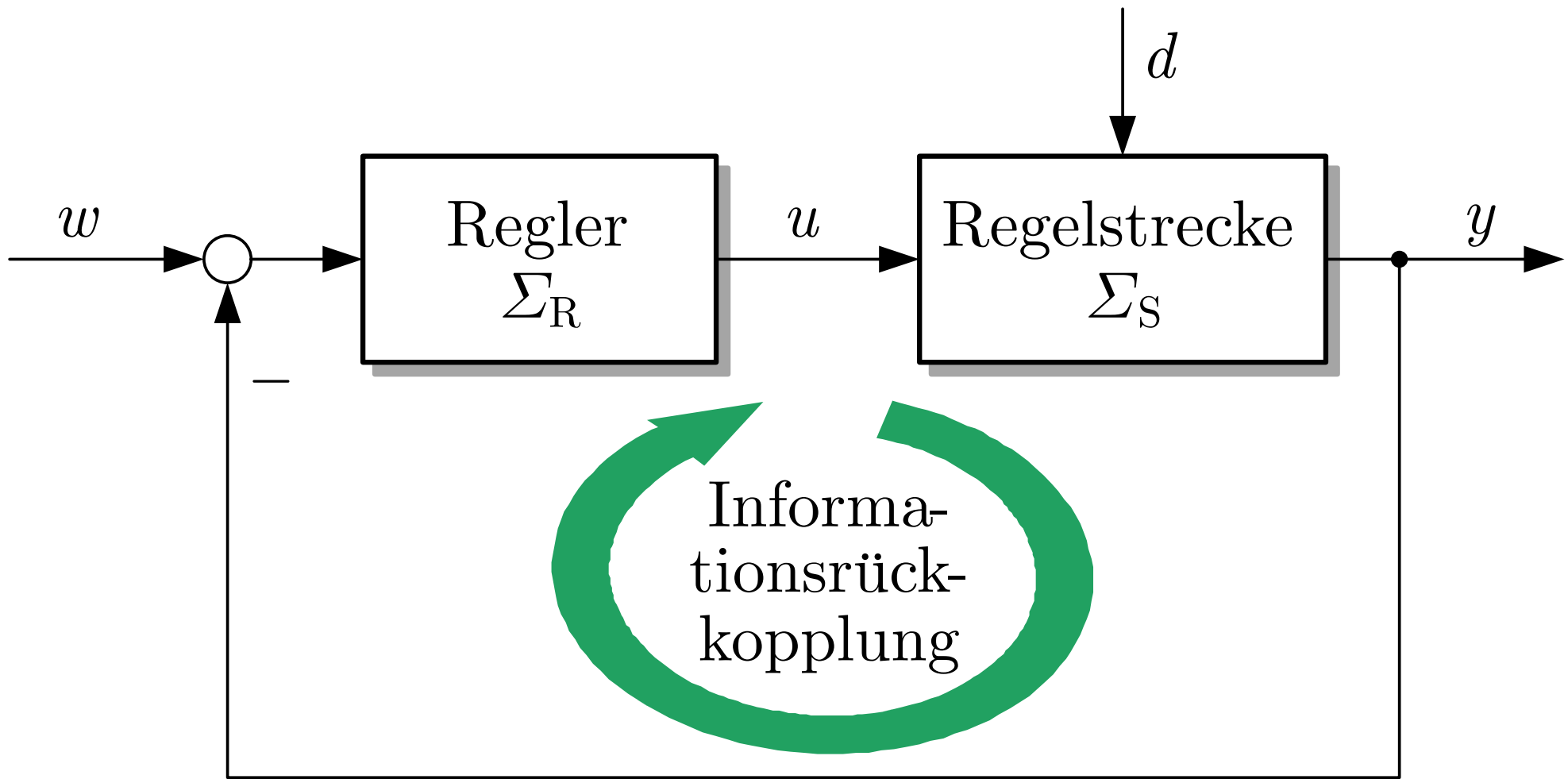
**Abb. 6.9: Darstellung der Zustandstrajektorie des Pendels auf der durch die Ljapunowfunktion aufgespannten Oberfläche**

*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*



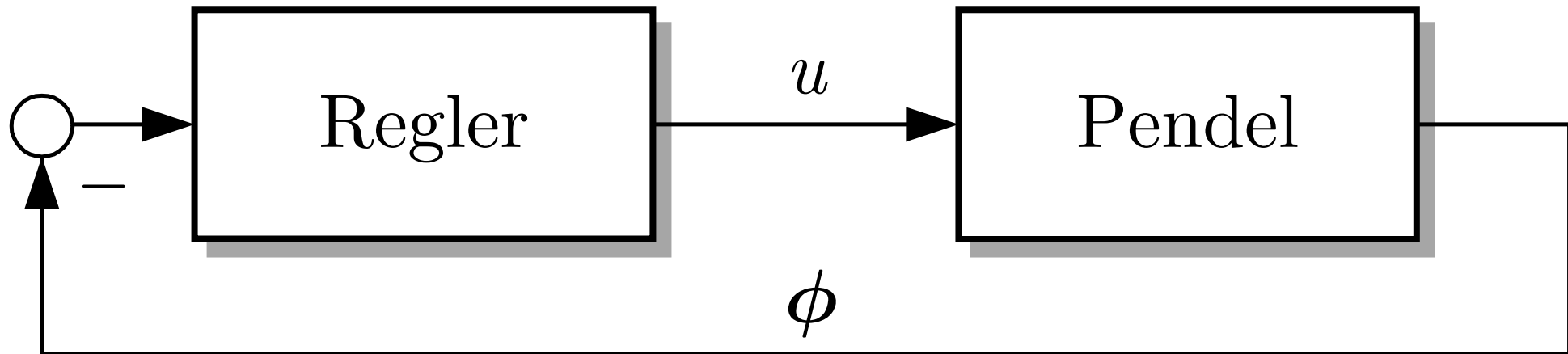
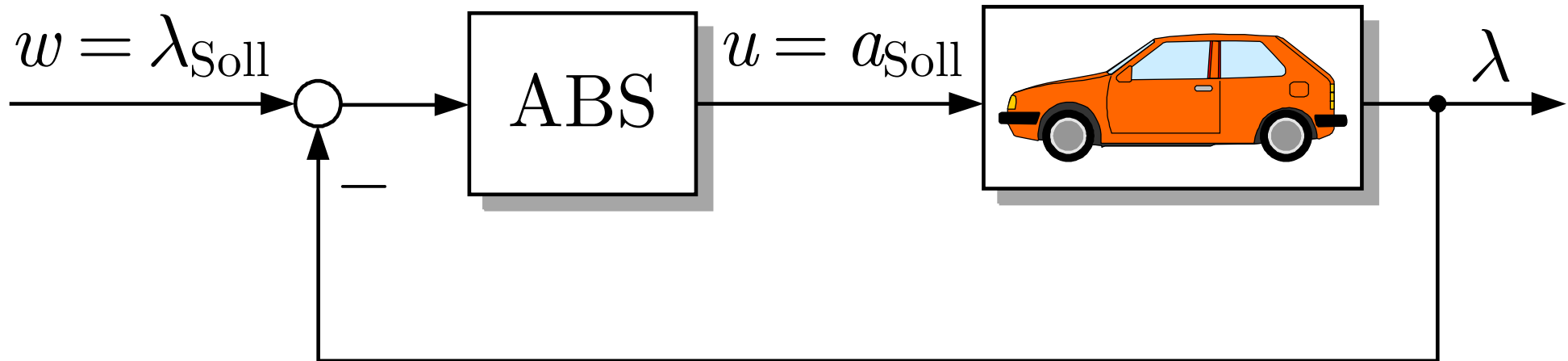


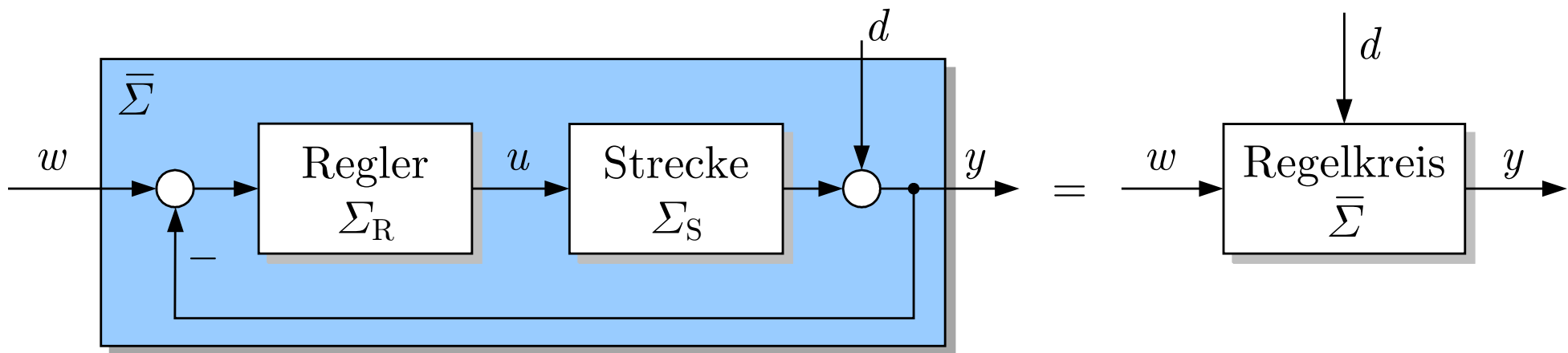
Abb. 6.12. Stabilisierung des invertierten Pendels durch eine Rückführung des Pendelwinkels  $\phi$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



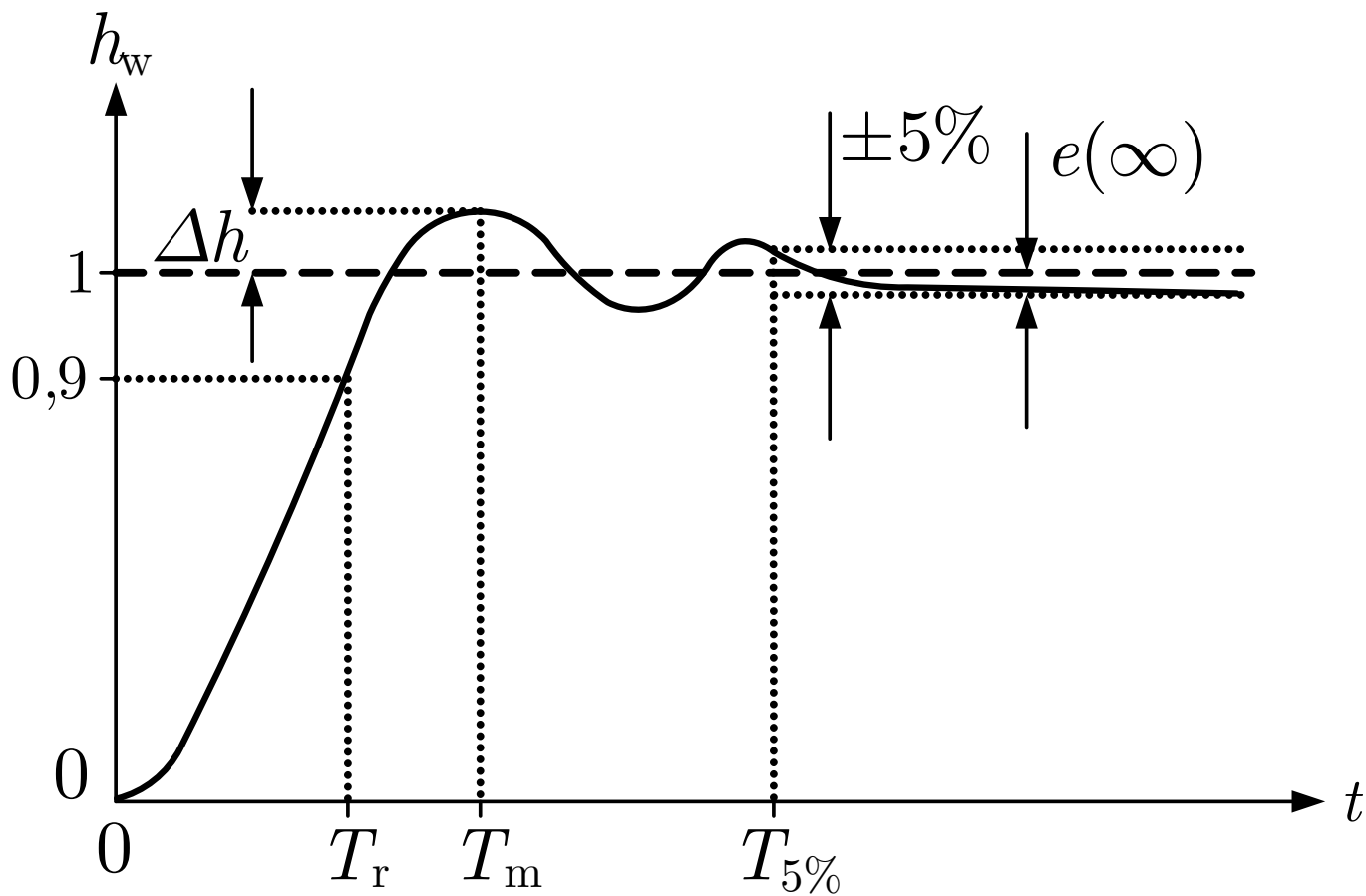
**Abb. 6.13.** Antiblockiersystem als Regler in einem Schlupfregelkreis

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



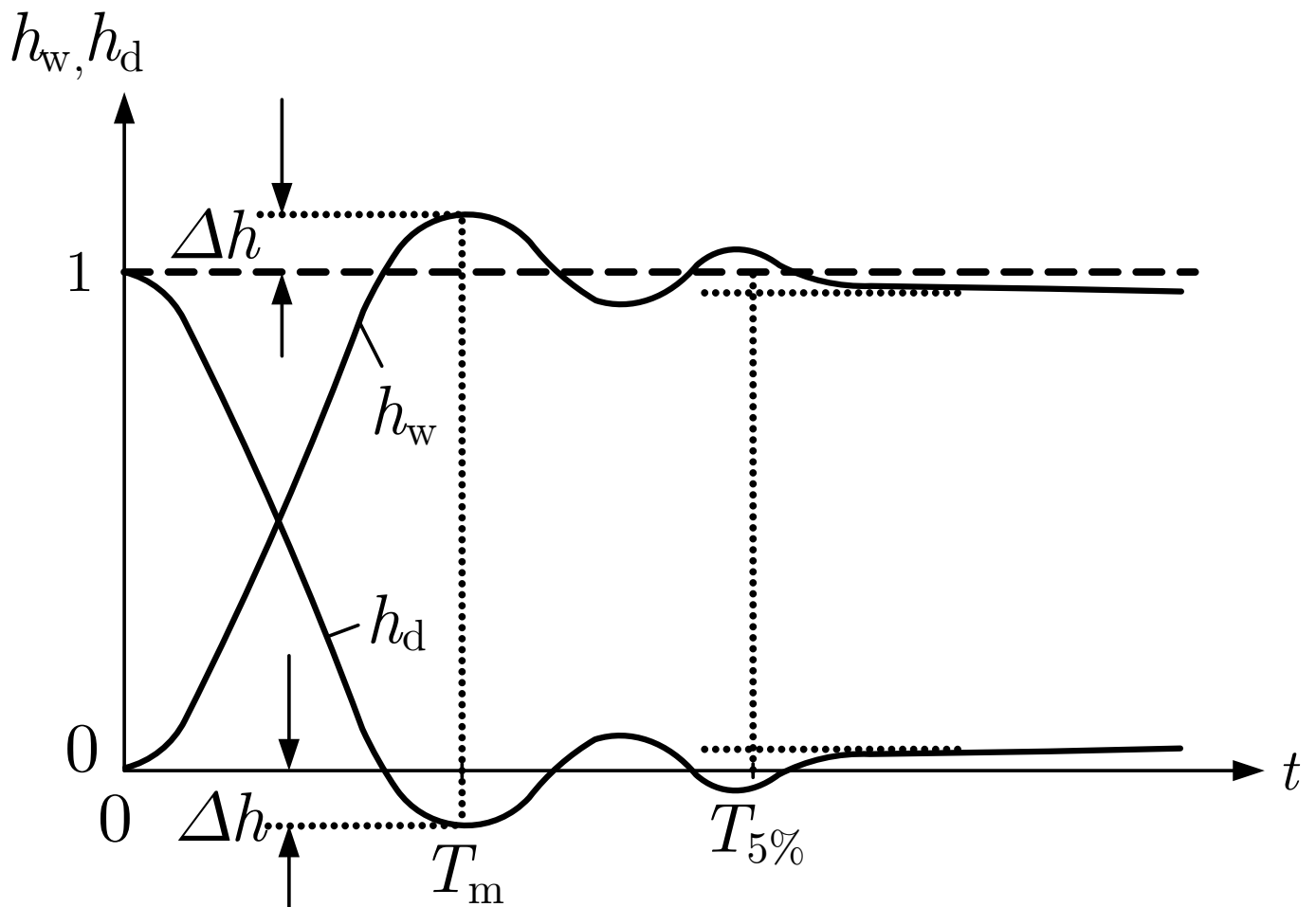
**Abb. 7.1. Standardregelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



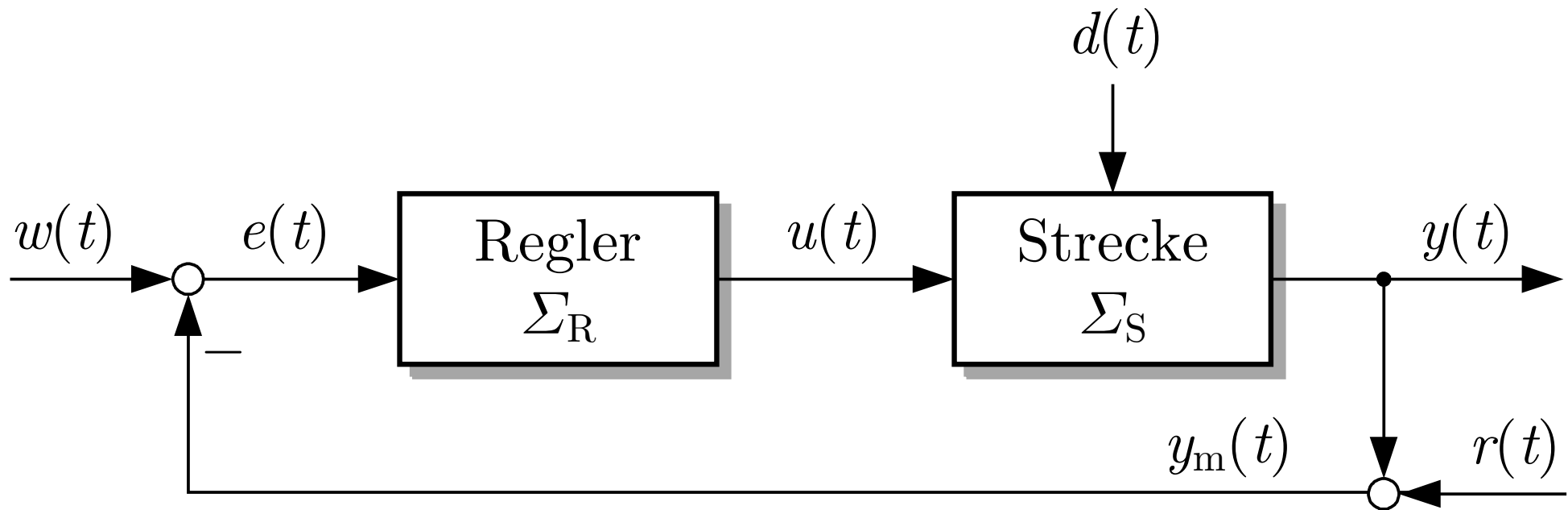
**Abb. 7.2: Führungsübergangsfunktion des Regelkreises mit Kennzeichnung wichtiger Kennwerte**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 7.3: Vergleich von Störübergangsfunktion und Führungübergangsfunktion**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 7.4. Standardregelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

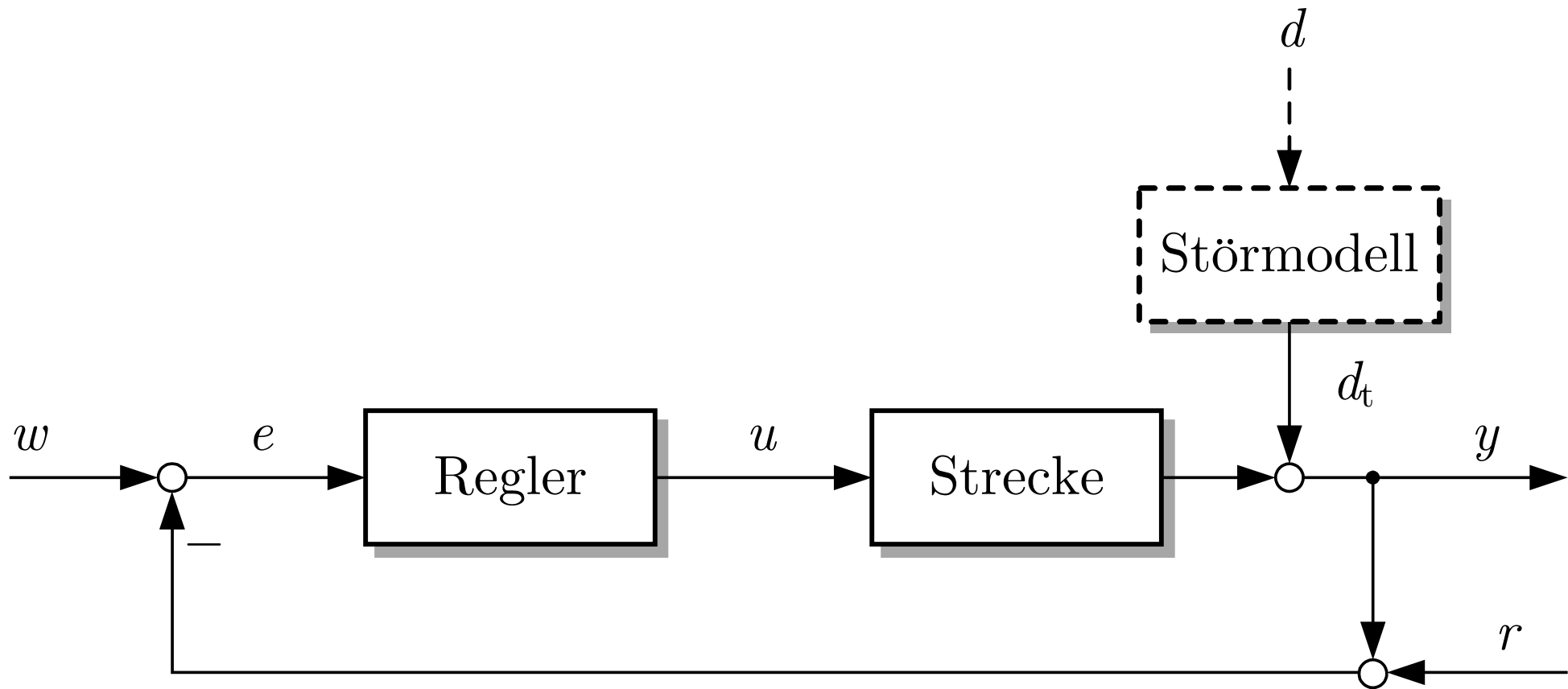
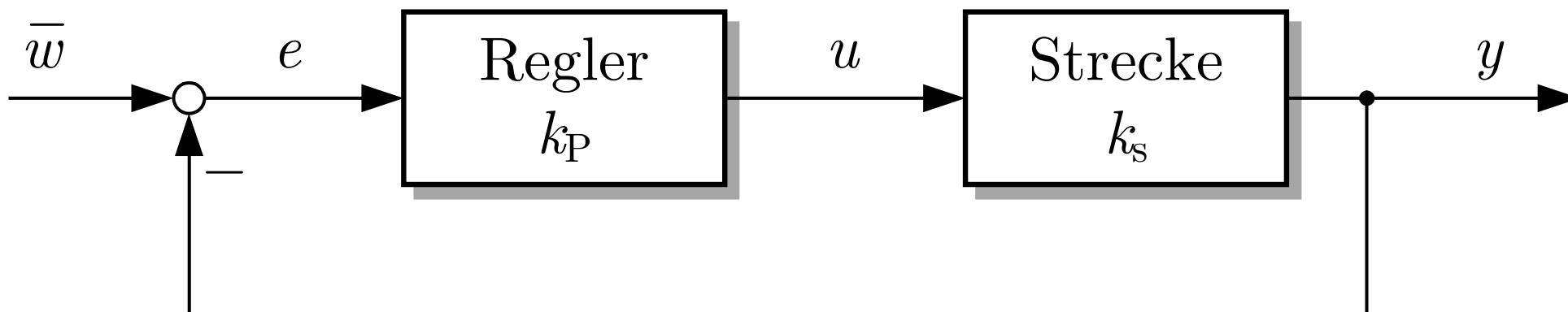


Abb. 7.5. Standardregelkreis mit an den Ausgang transformierter Störung

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 7.6. Statisches Verhalten des ungestörten Regelkreises**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



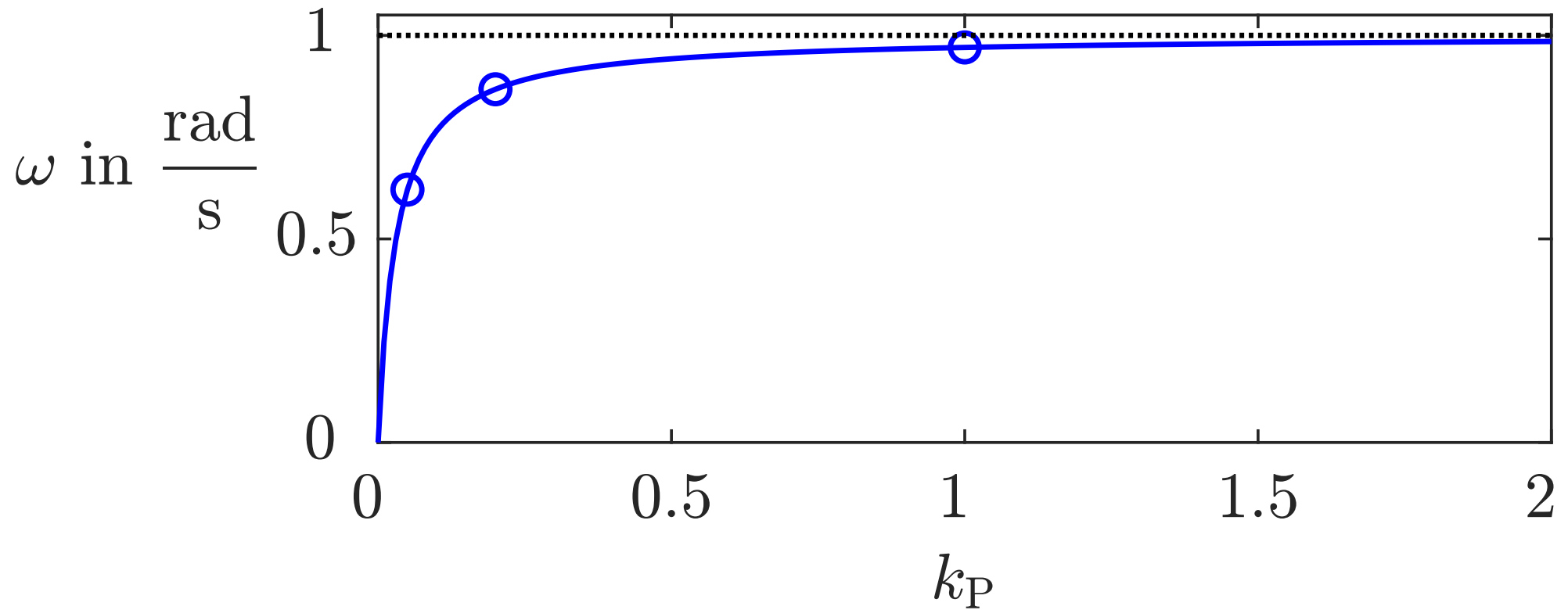
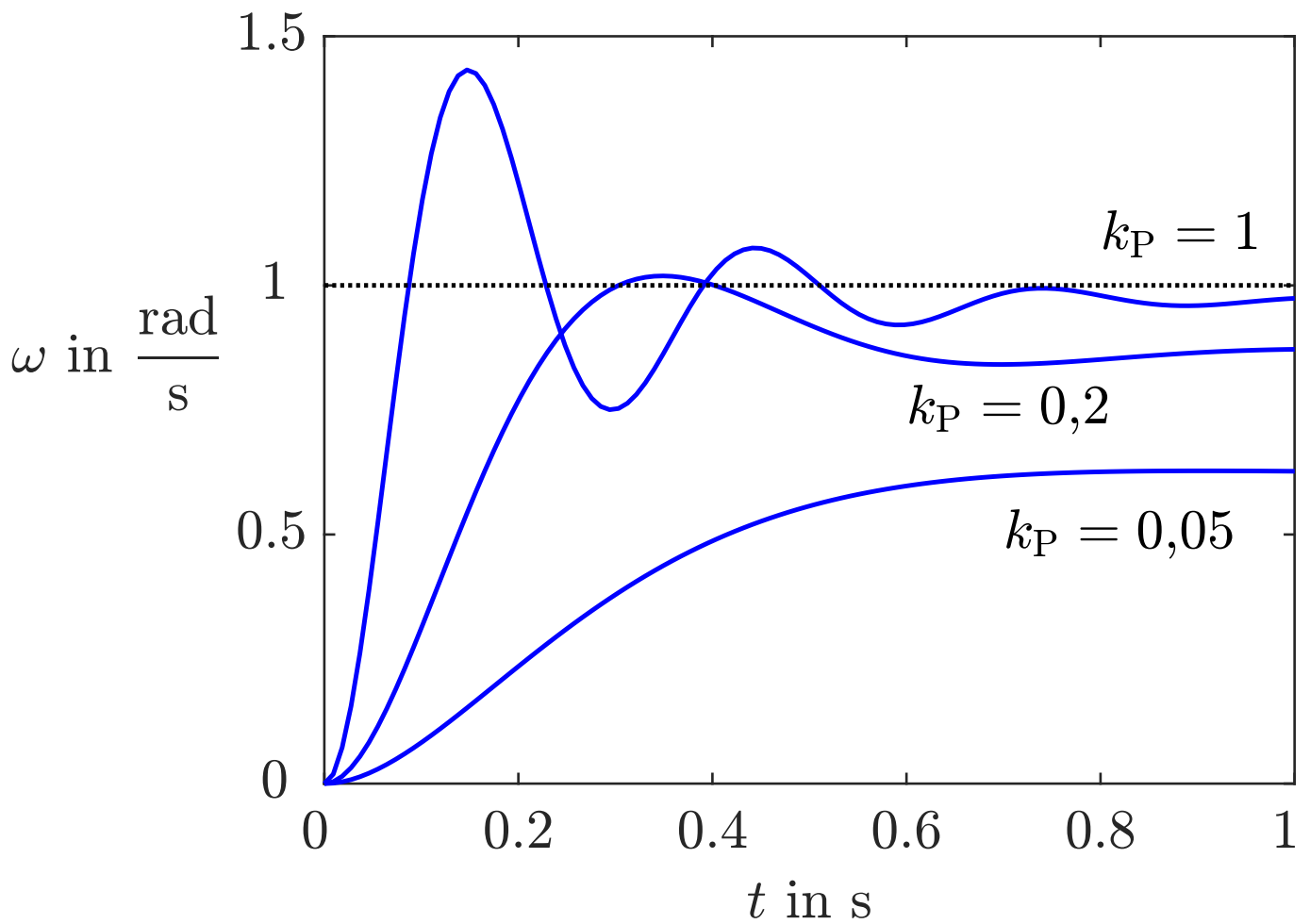


Abb. 7.7. Statischer Endwert  $\omega(\infty)$  der Drehzahl beim Sollwert  $\omega_{\text{Soll}} = 1$  für den proportional geregelten Gleichstrommotor mit dem Reglerparameter  $k_P$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 7.8: Dynamisches Verhalten des Drehzahlregelkreises**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

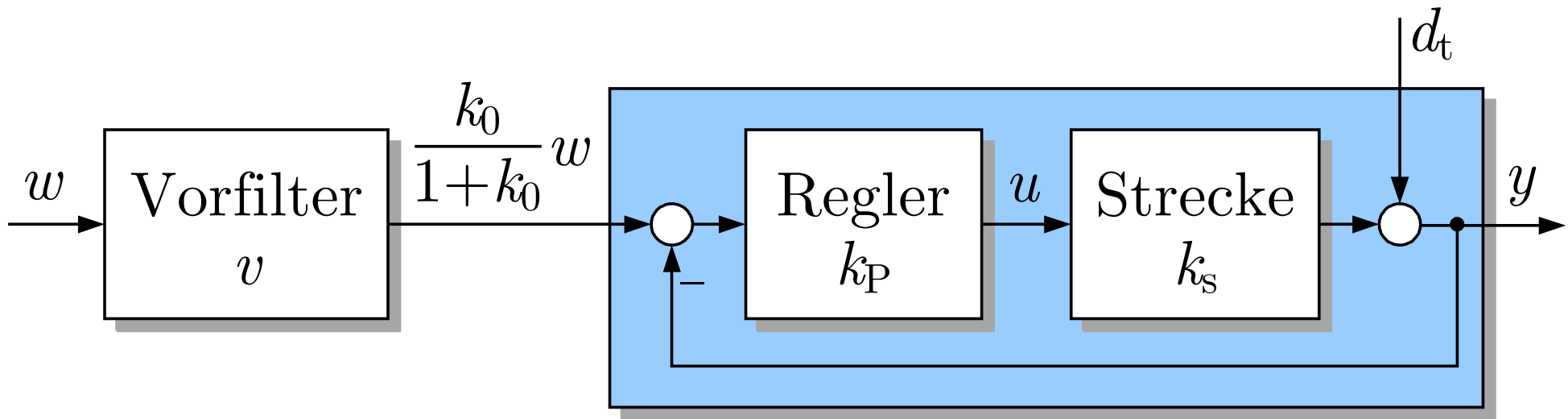


Abb. 7.9. Erweiterter Standardregelkreis mit Vorfilter

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

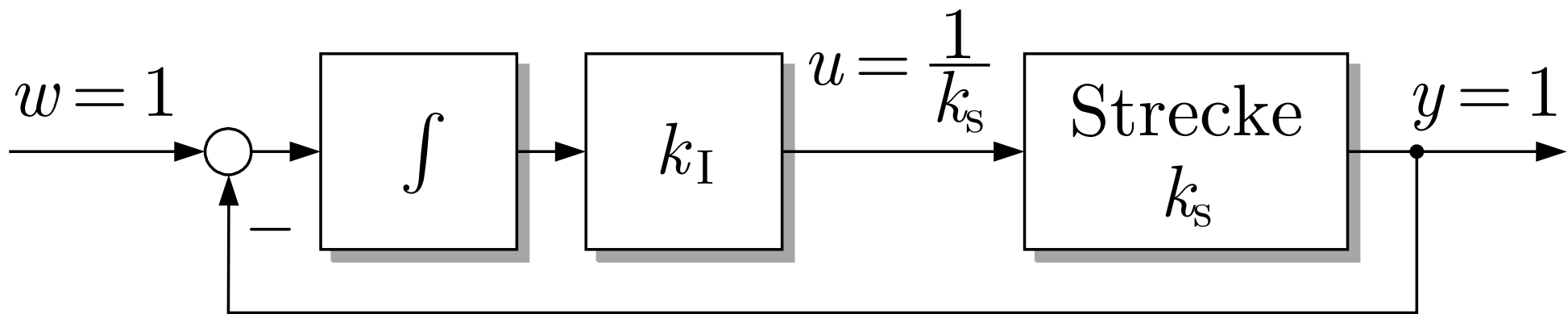
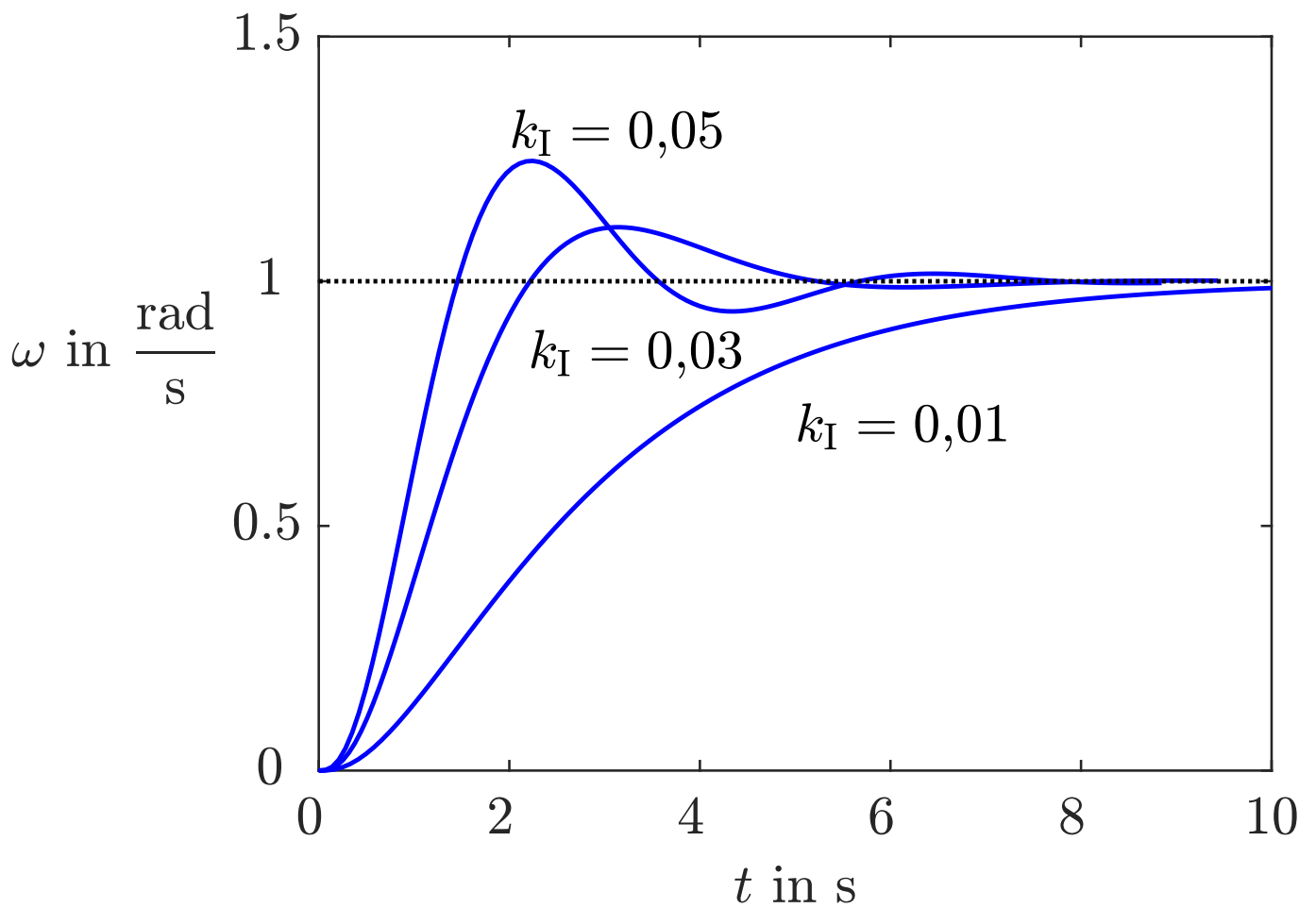


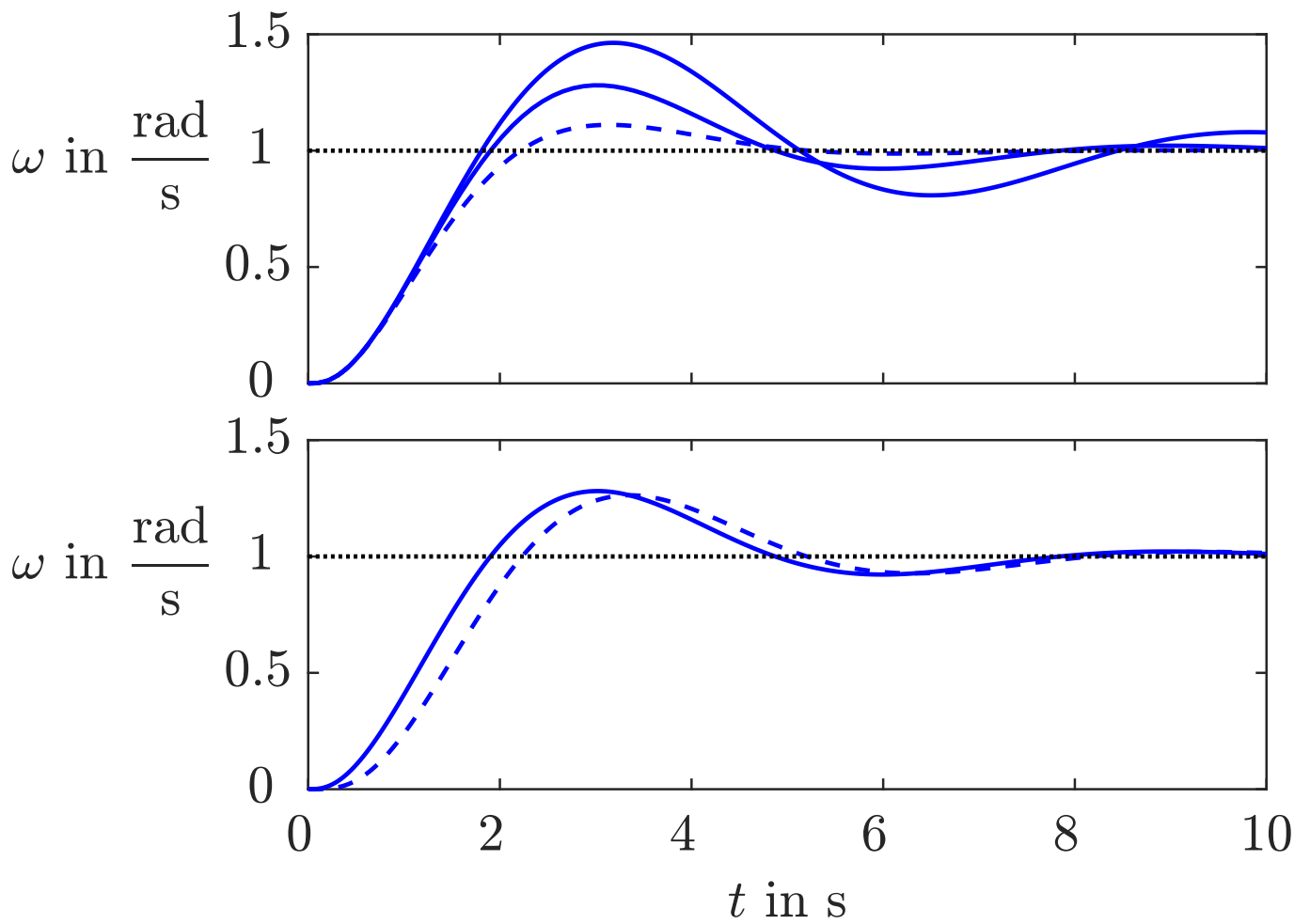
Abb. 7.10. Statisches Verhalten von Regelkreisen mit I-Regler für  $\bar{w} = 1$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



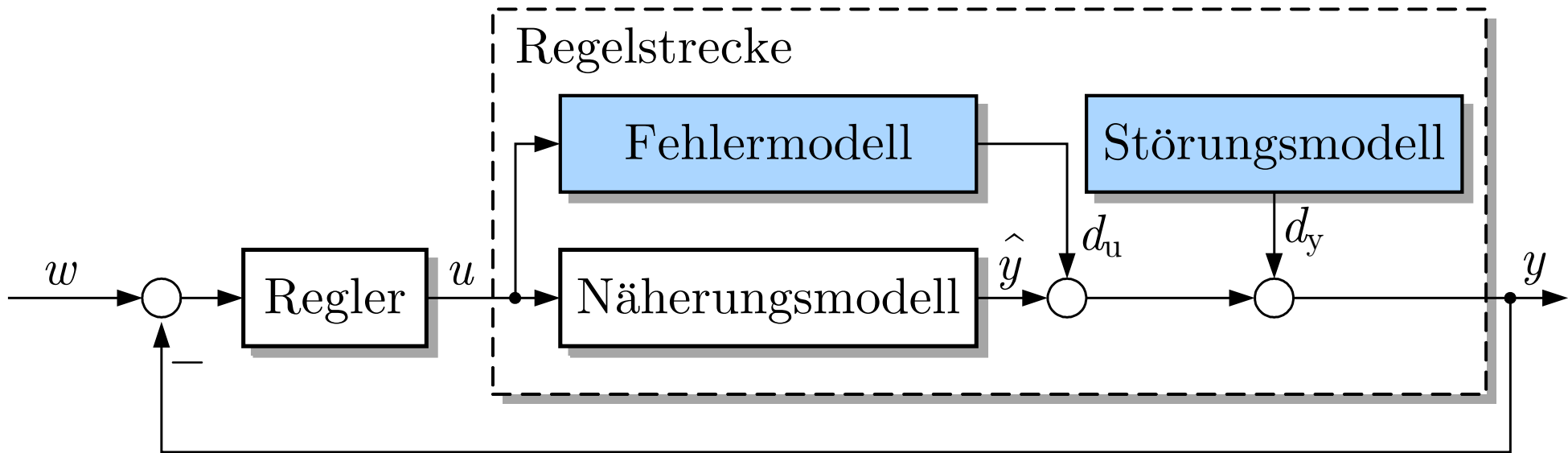
**Abb. 7.11: Führungsübergangsfunktion des Drehzahlregelkreises mit I-Regler**

*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*

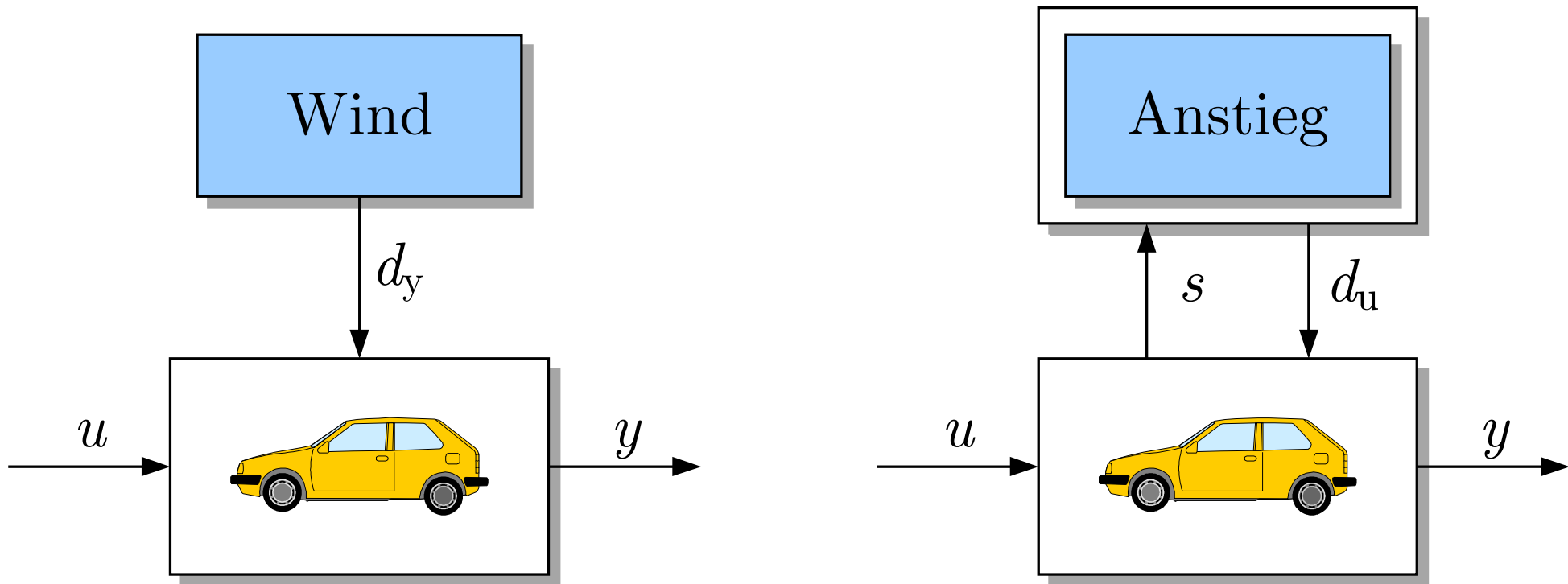
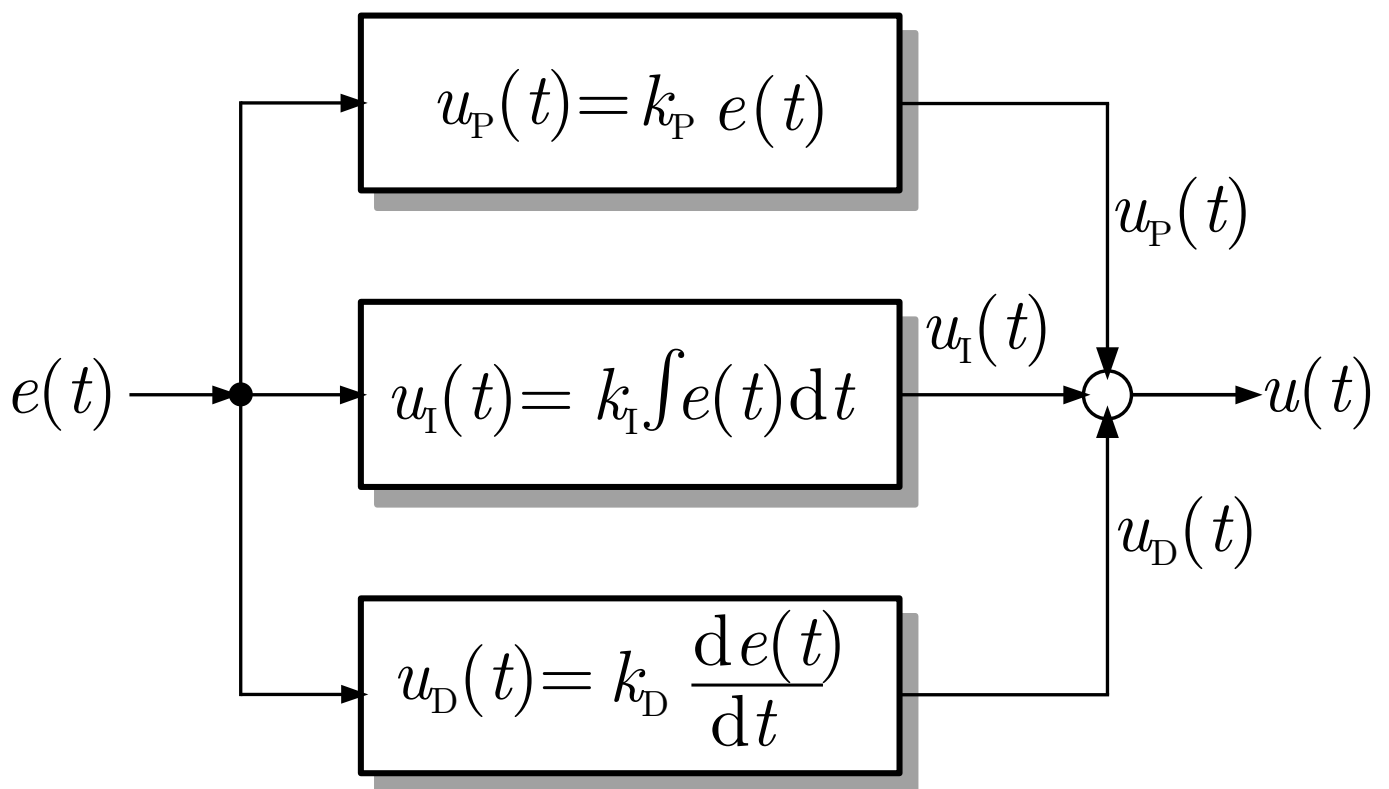


Abb. 7.14. Wirkung von Wind und Anstieg der Fahrbahn auf die Längsbewegung von Fahrzeugen

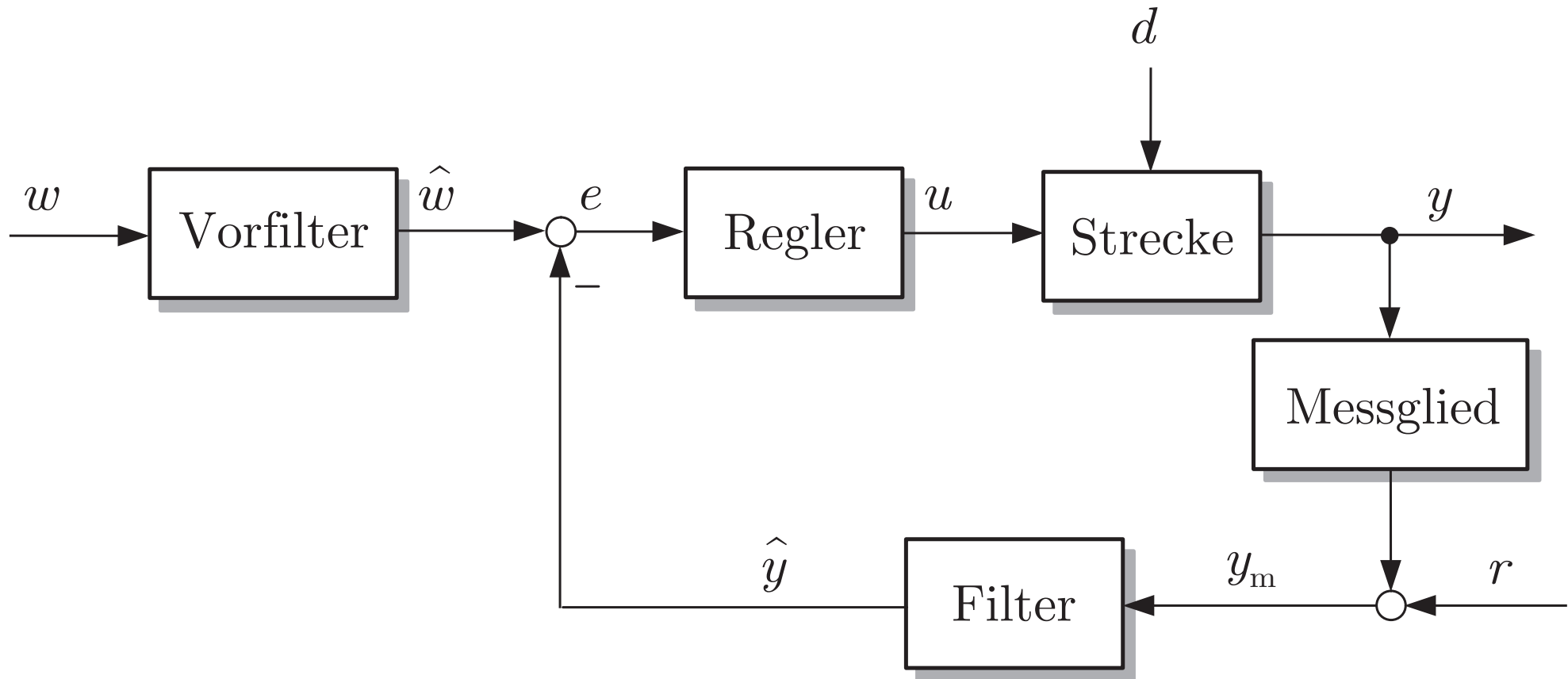
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





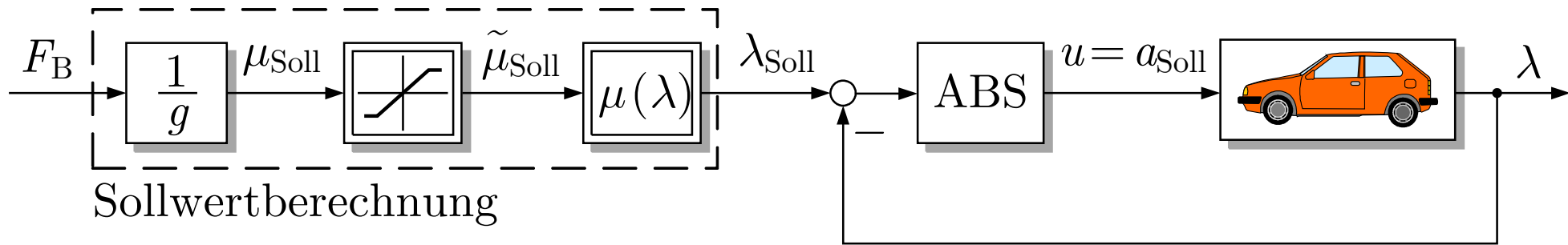
**Abb. 7.15: Strukturbild eines PID-Reglers**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



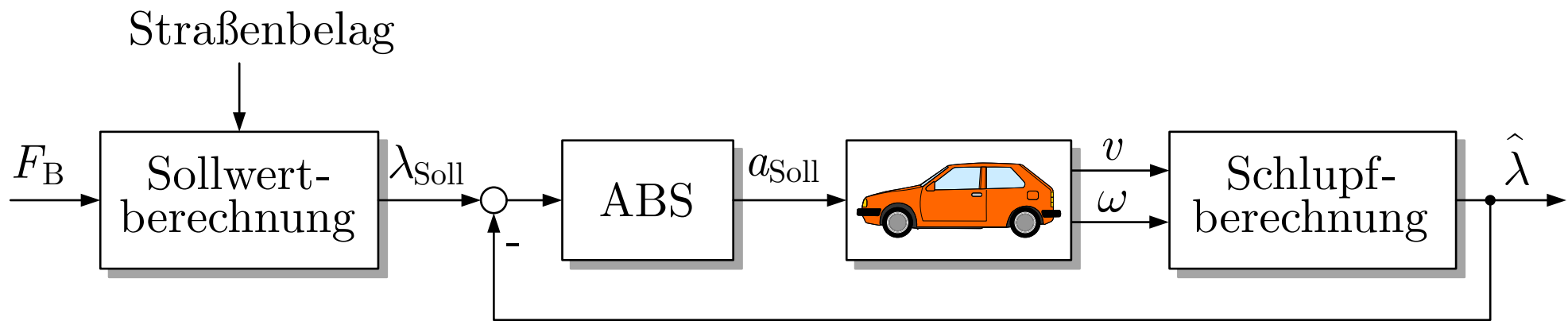
**Abb. 7.16. Standardregelkreis mit zusätzlichen Komponenten**

*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*

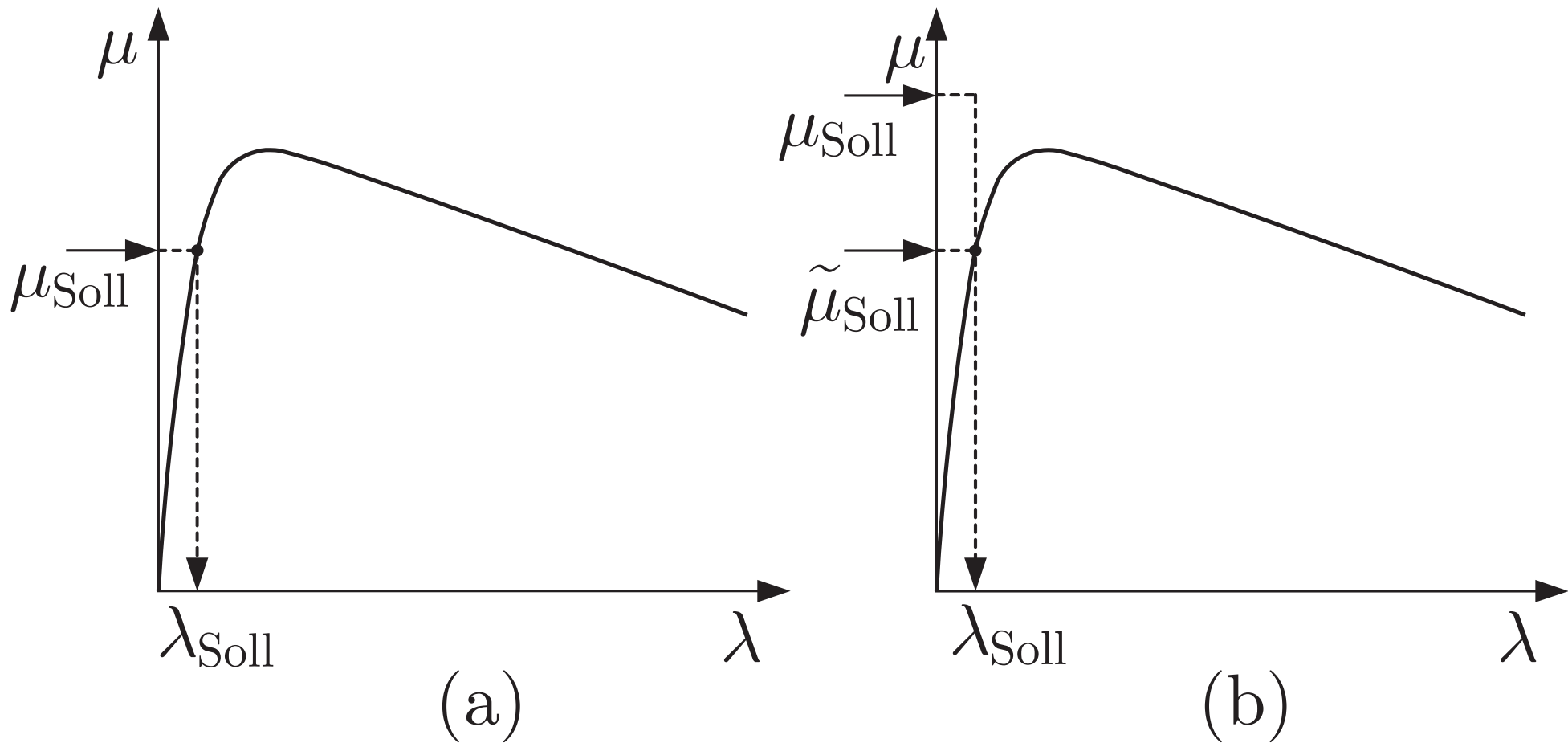


Abb. 7.19. Ermittlung des Sollwertes für den Schlupf: (a) bei ausreichendem Haftbeiwert, (b) durch Verkleinerung des Sollwertes für die Kraftschlussbeanspruchung

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

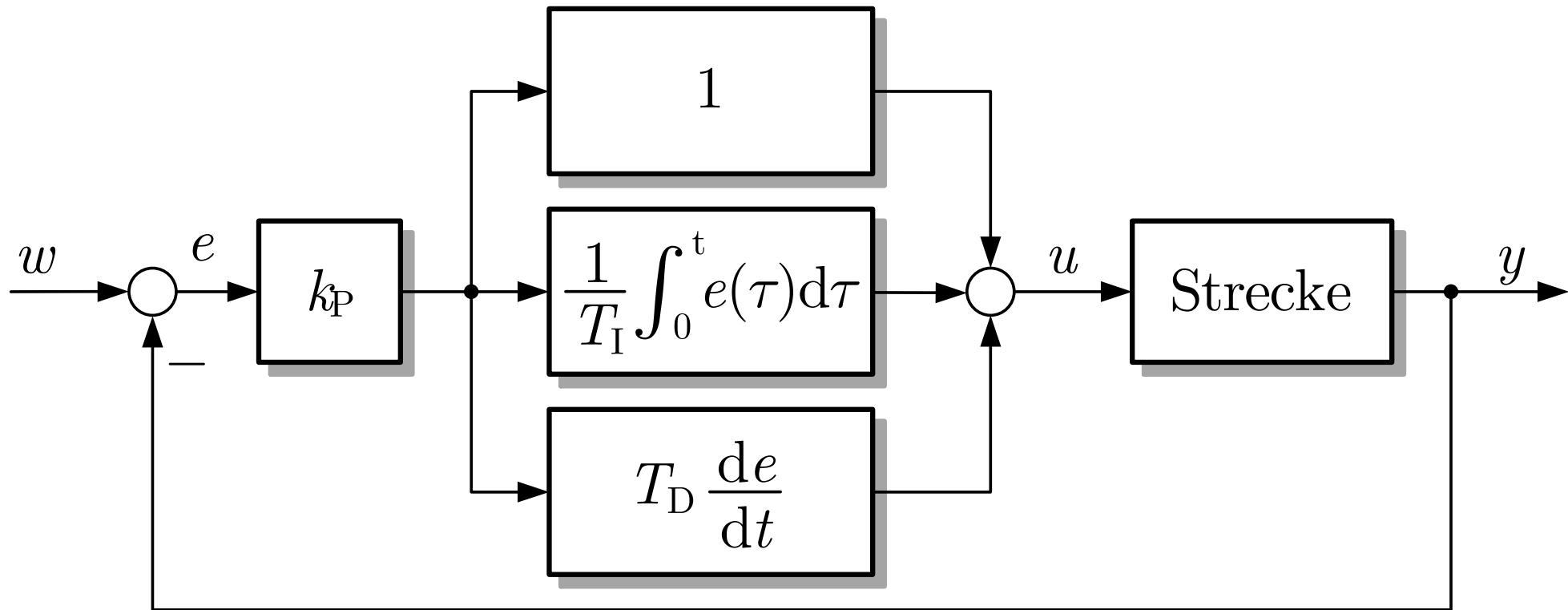
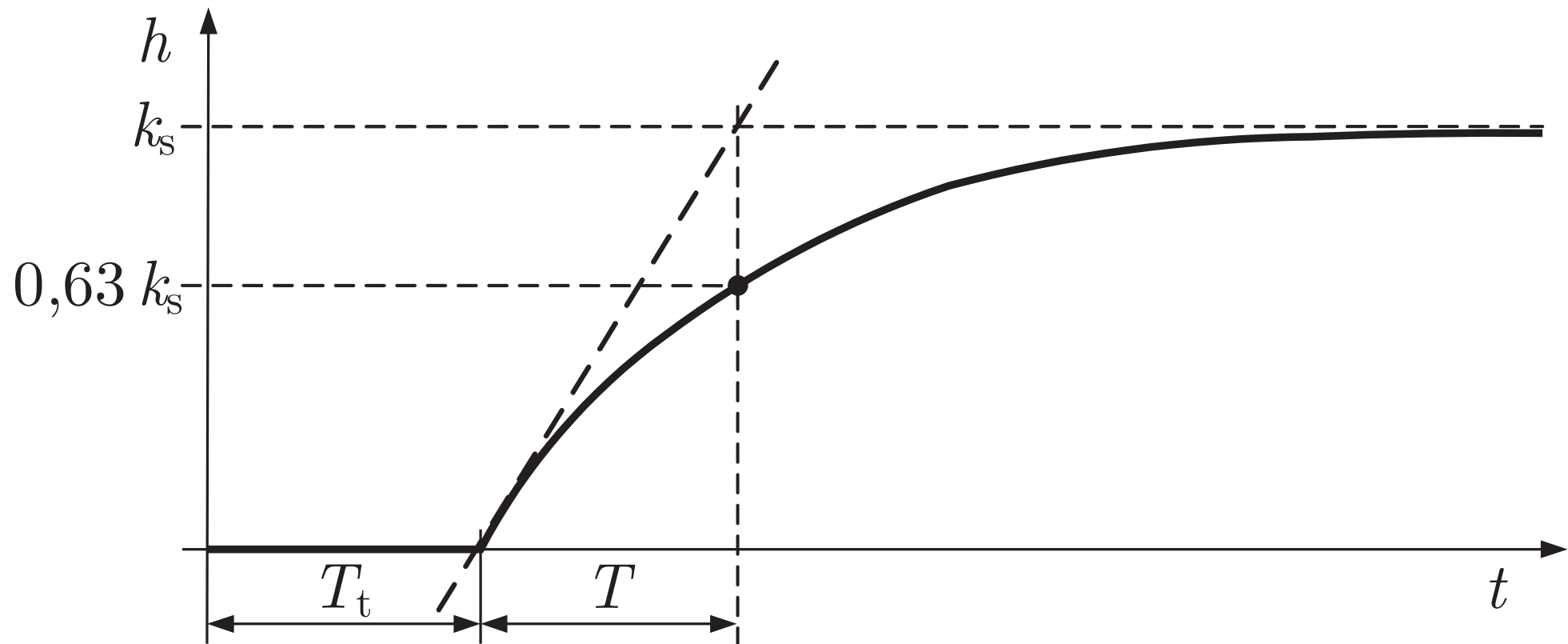


Abb. 8.1. Regelkreis mit PID-Regler

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 8.2. Übergangsfunktion der Regelstrecke**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

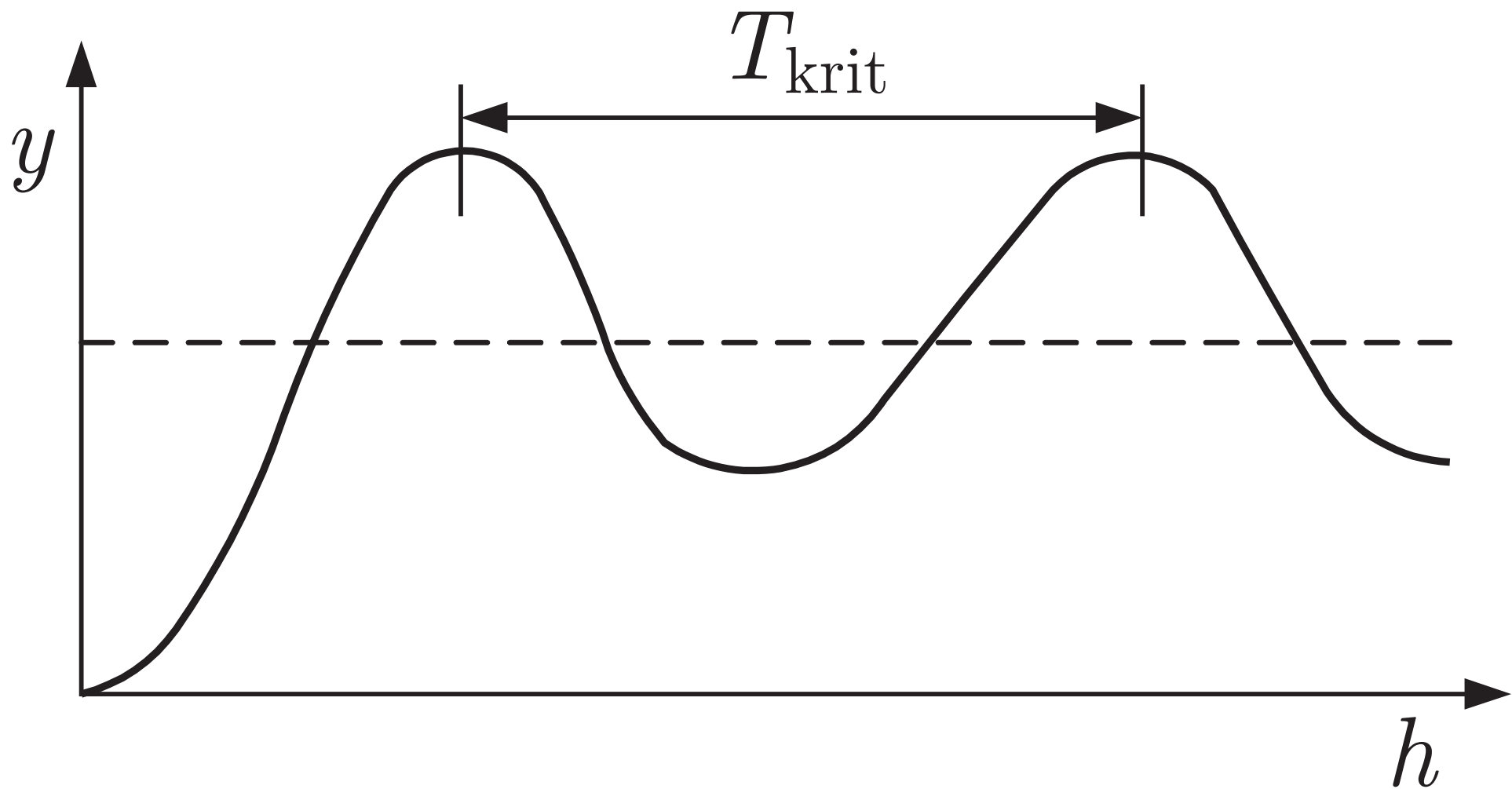
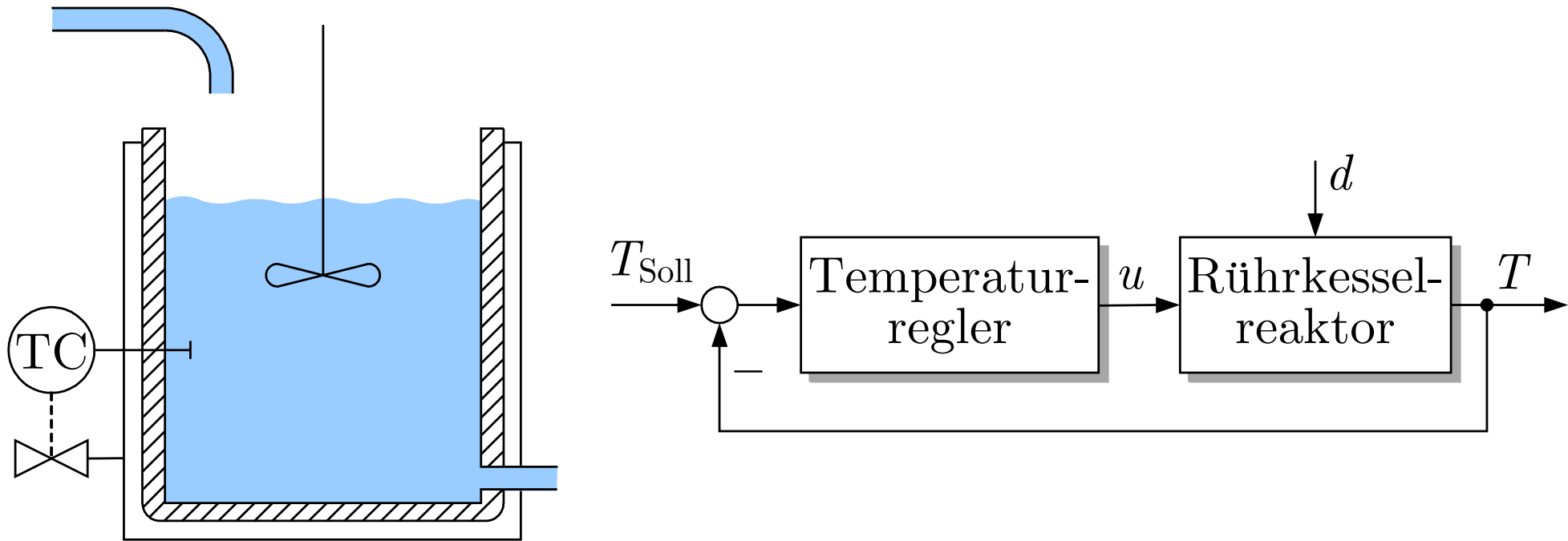


Abb. 8.3. Regelkreis mit schwingender Regelgröße

*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*

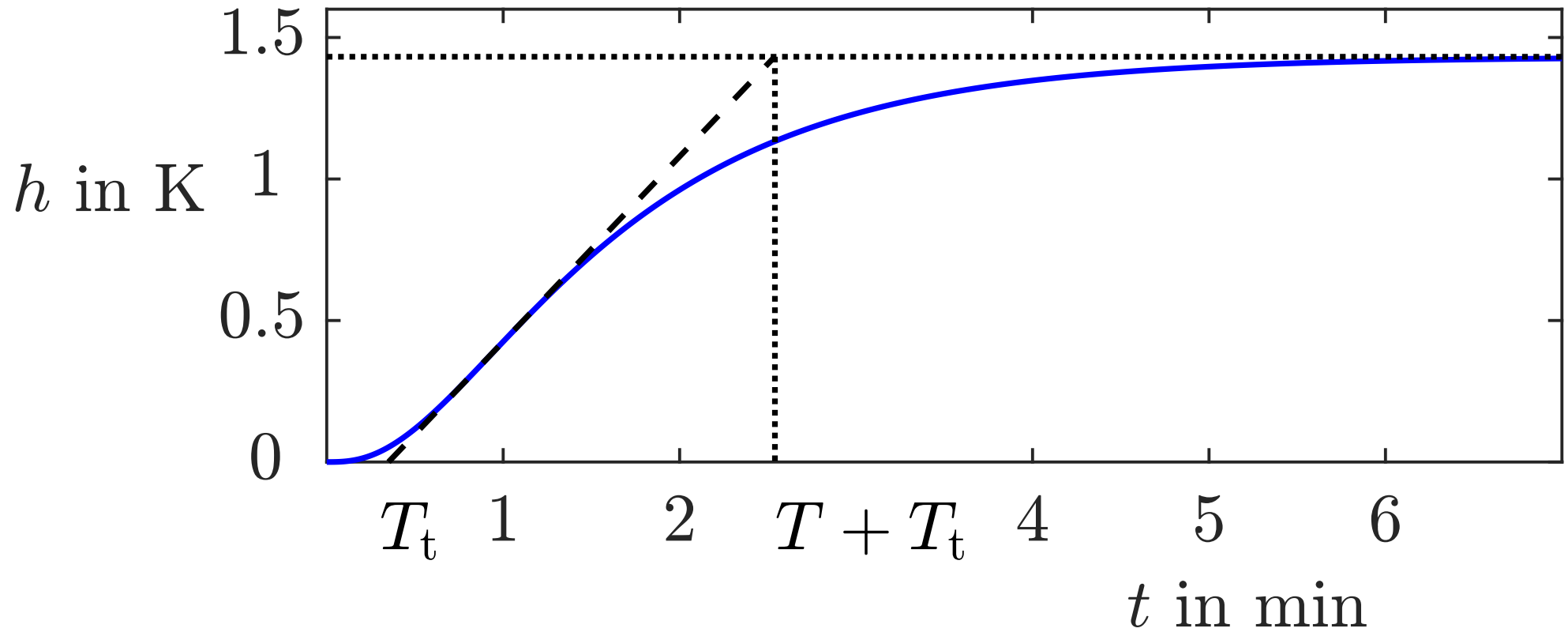
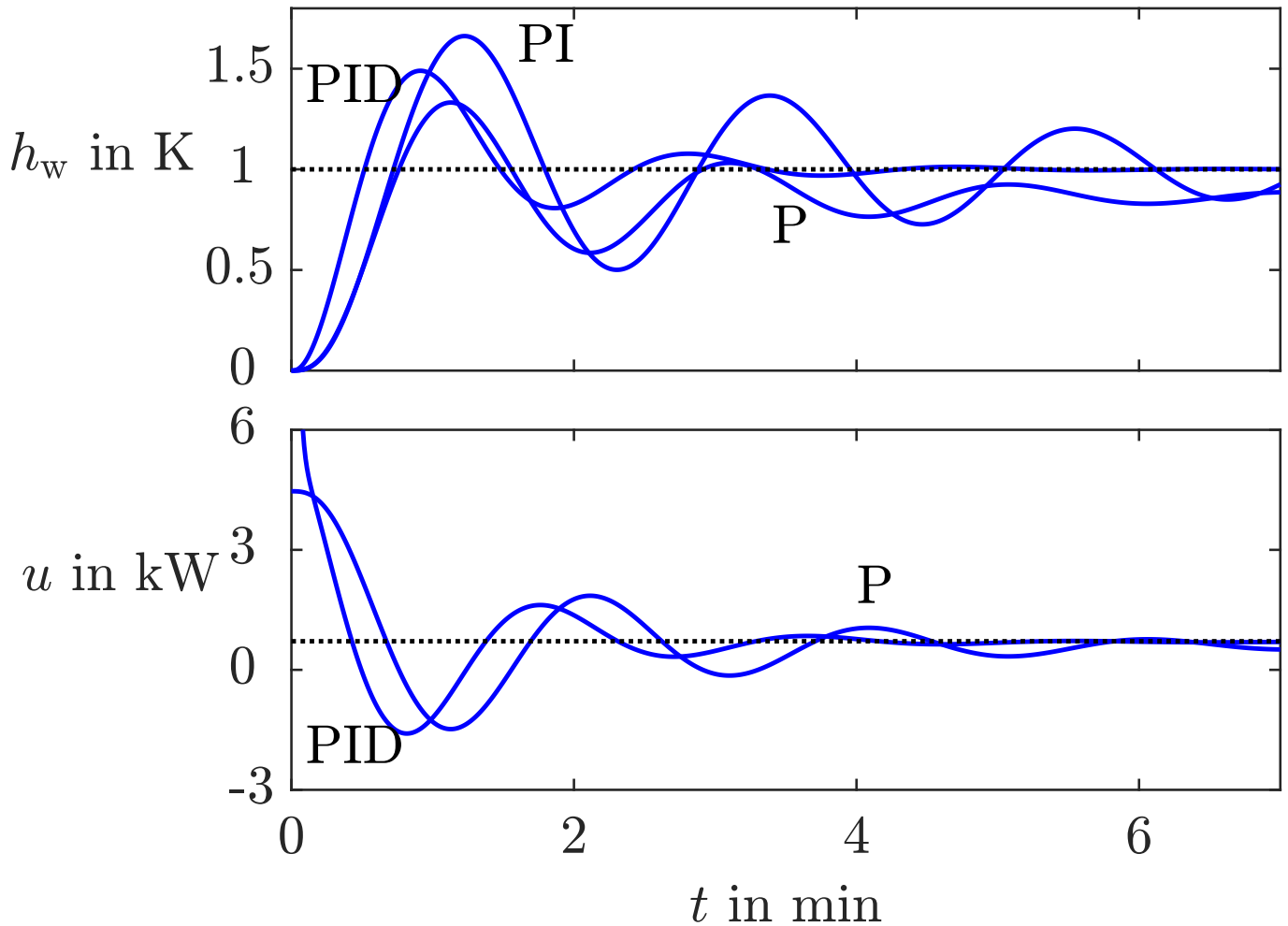


Abb. 8.5. Übergangsfunktion des Rührkesselreaktors

*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*

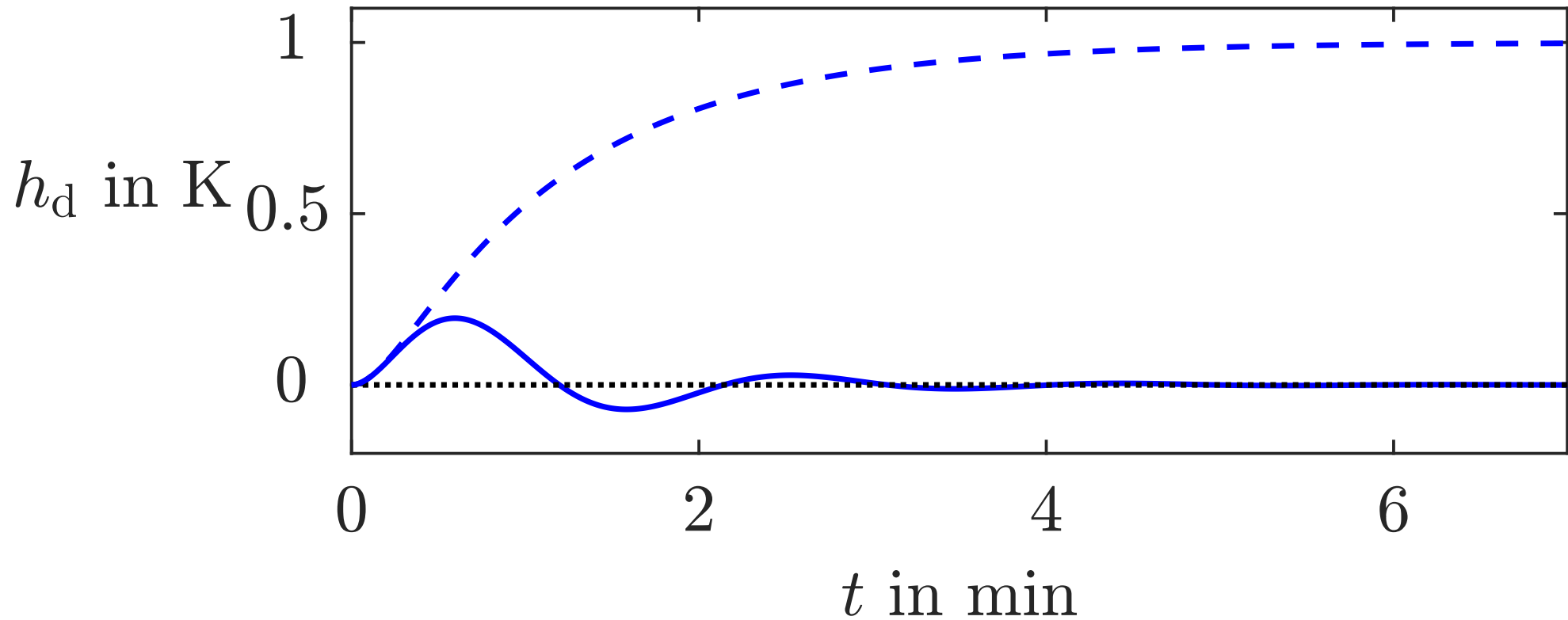
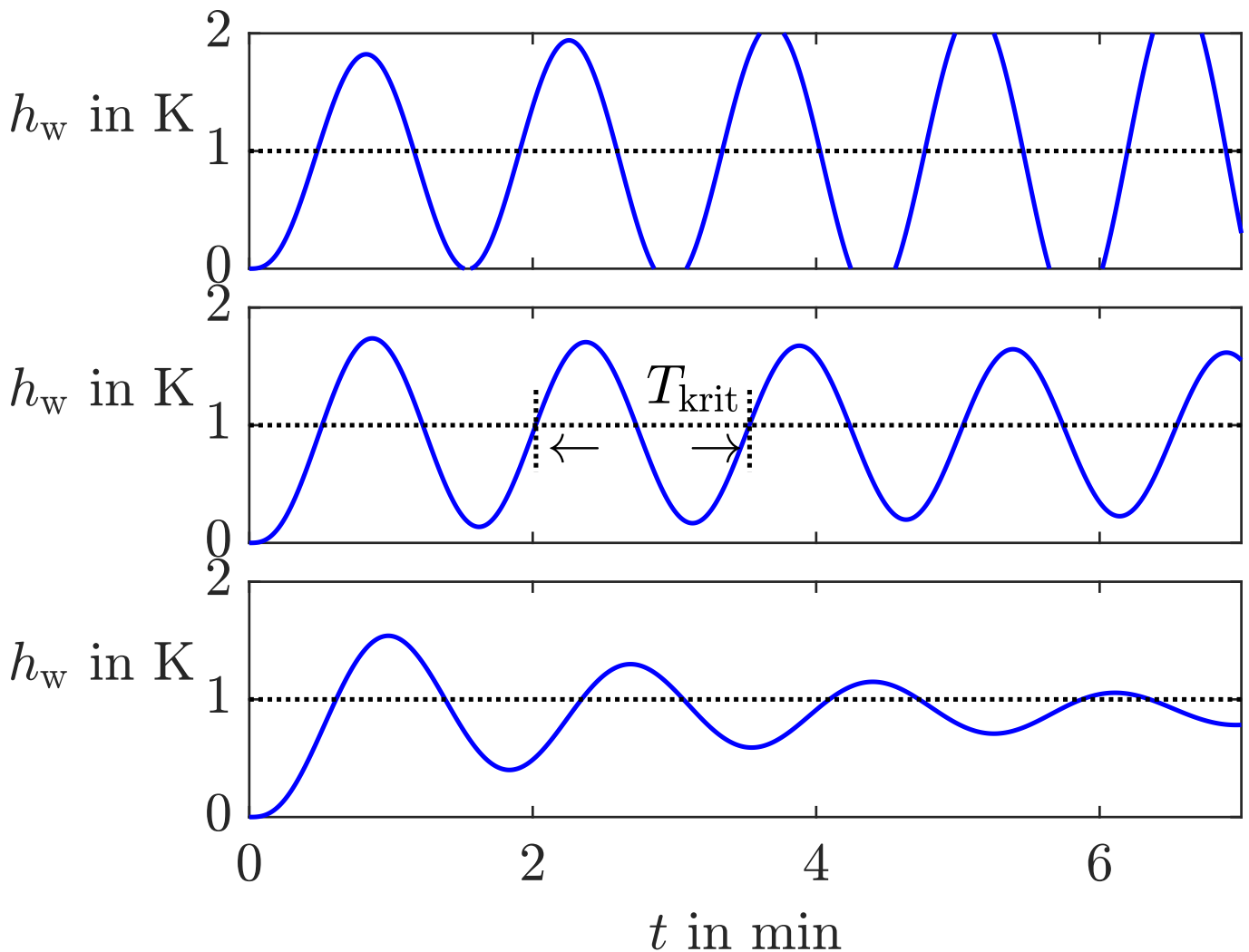


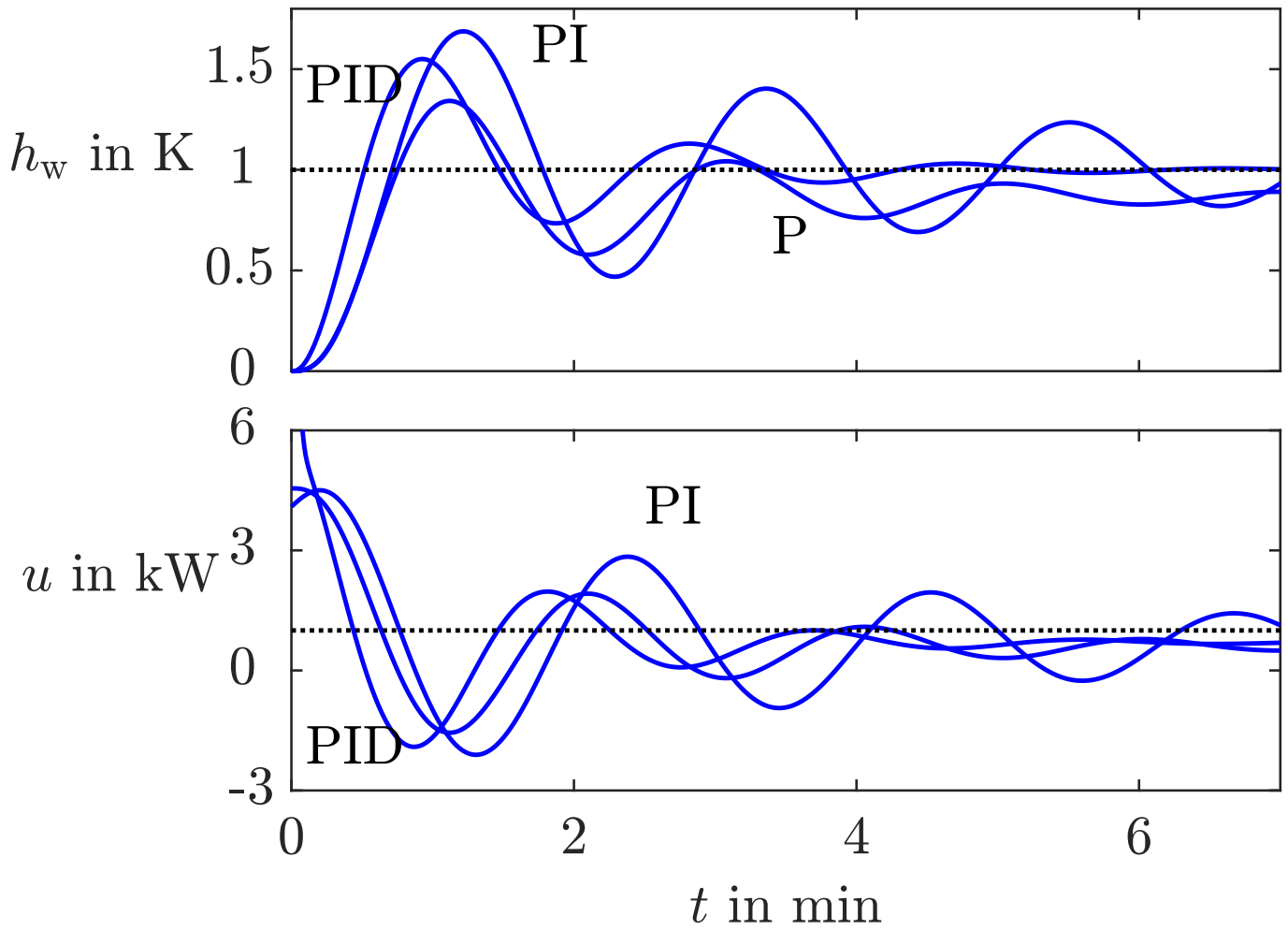
Abb. 8.7. Störübergangsfunktion des Temperaturregelkreises mit PID-Regler im Vergleich zum Verhalten der Regelstrecke

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



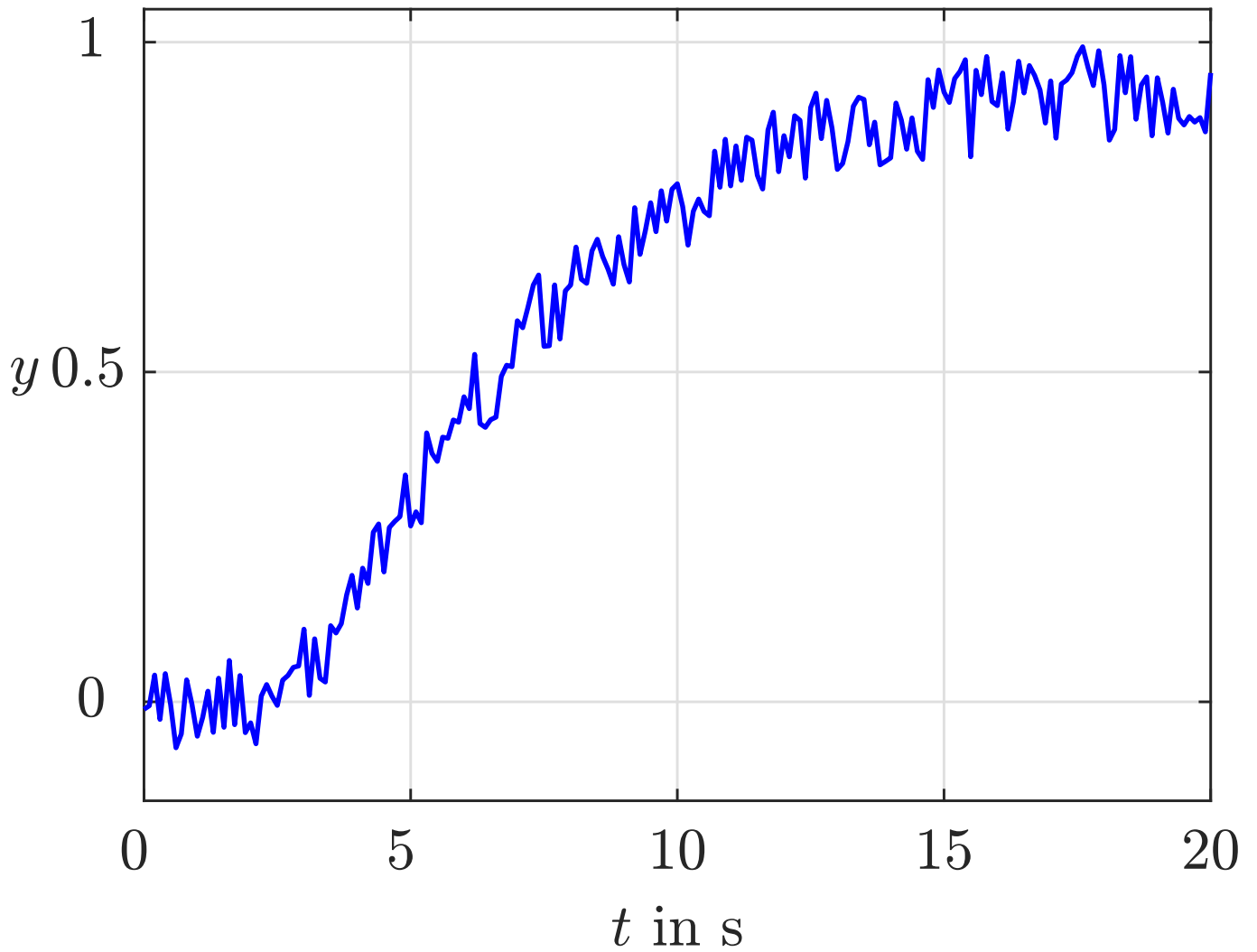
**Abb. 8.8:** Verhalten des P-geregelten Reaktors bei unterschiedlichen Reglerverstärkungen  $k_P$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



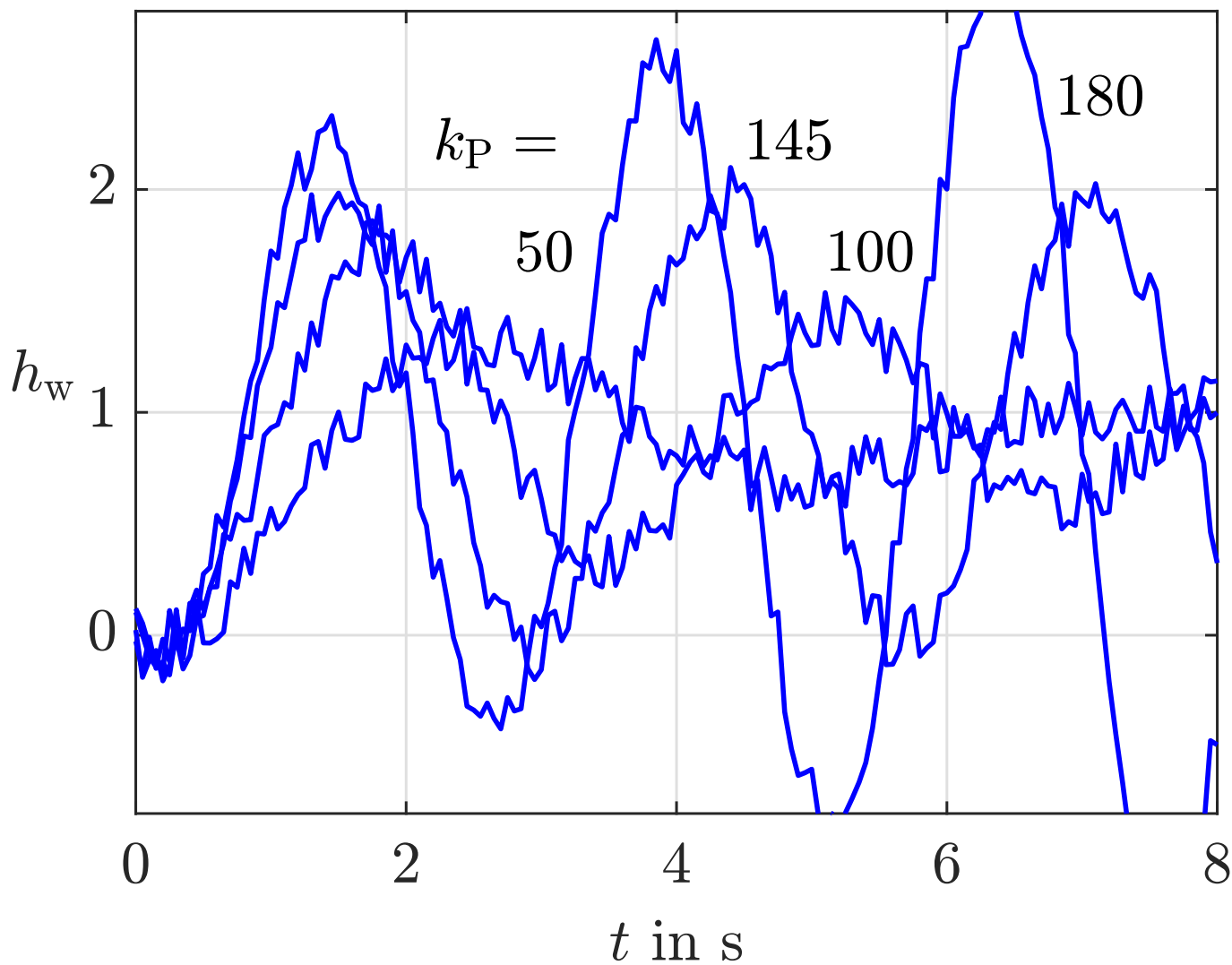
**Abb. 8.9: Führungsübergangsfunktion des Temperaturregelkreises mit der zweiten Reglereinstellung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 8.10: Ausgangsgröße des Reaktors**

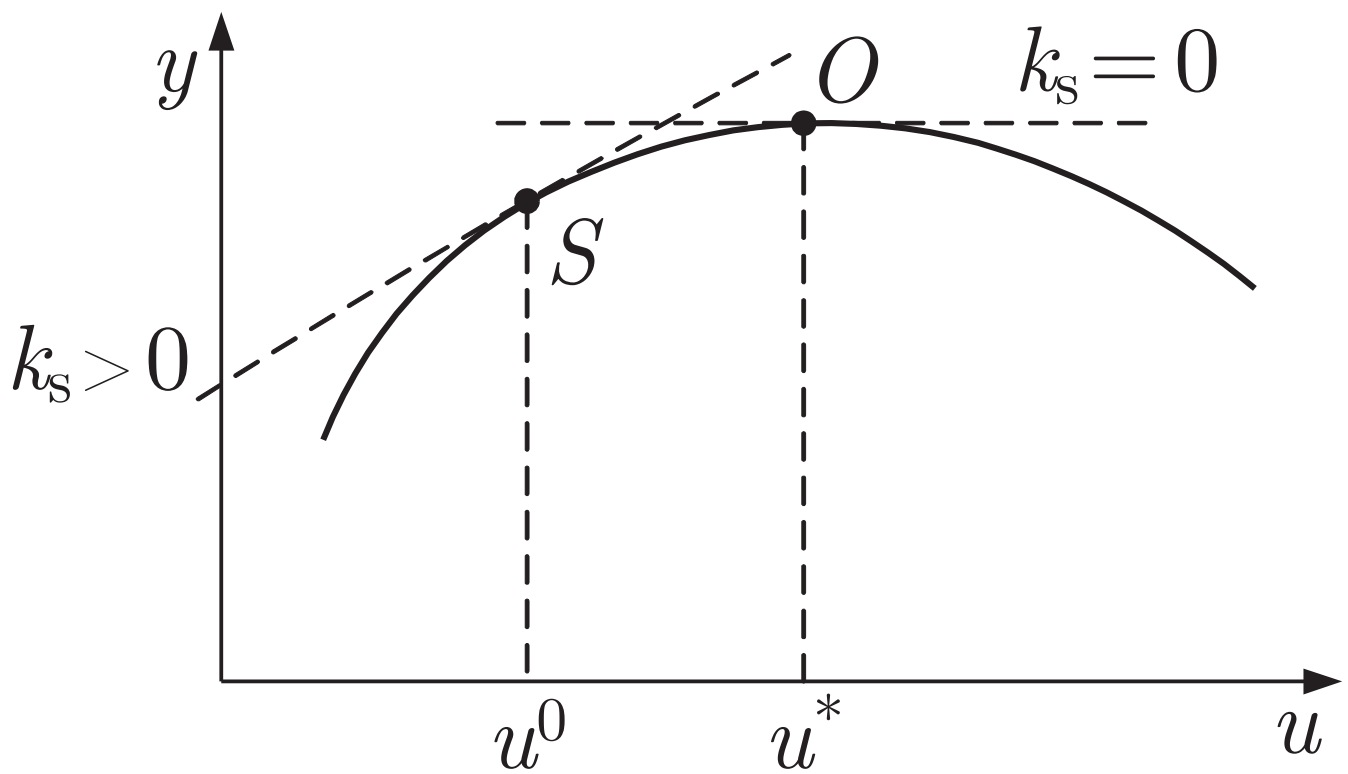
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

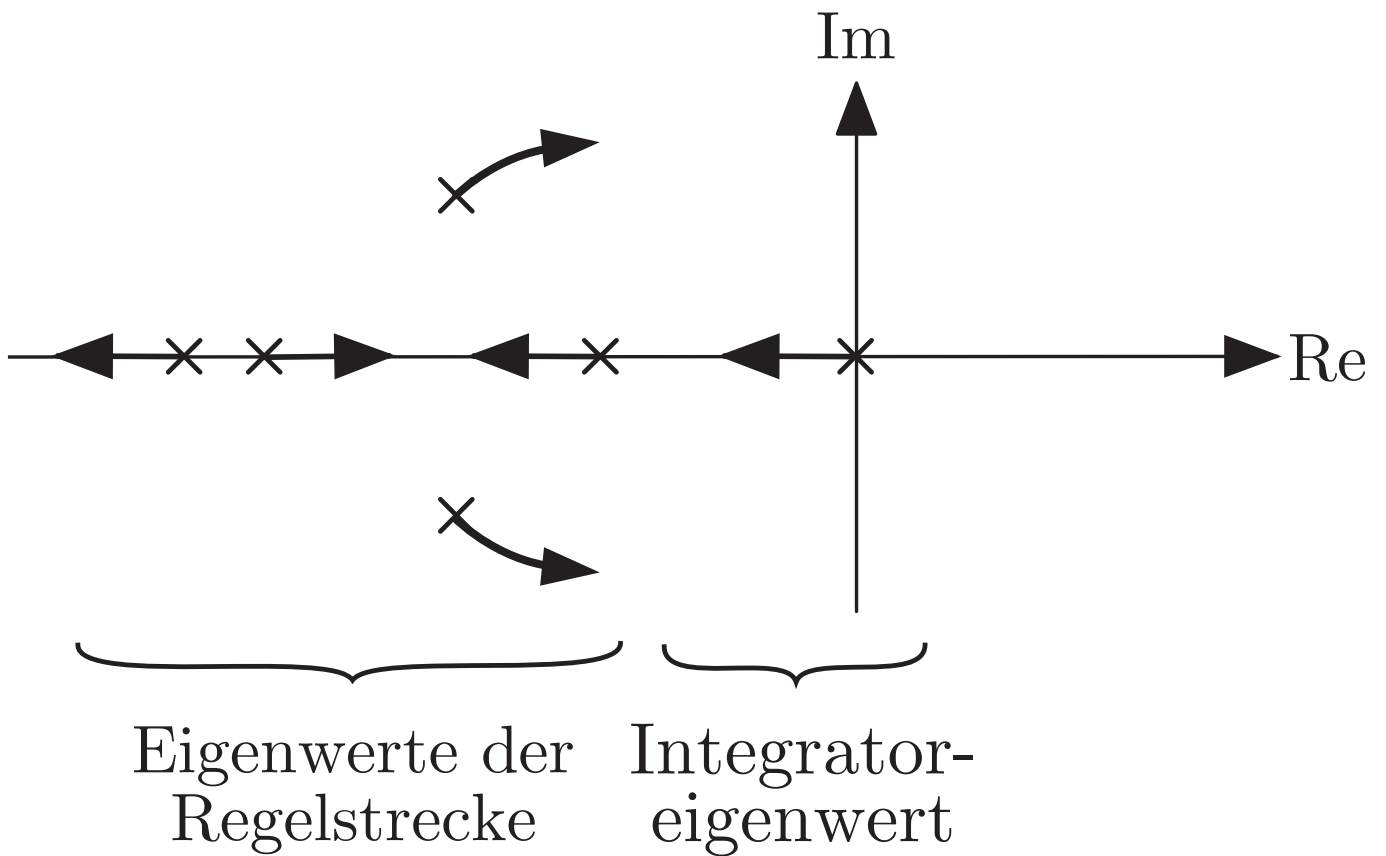
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





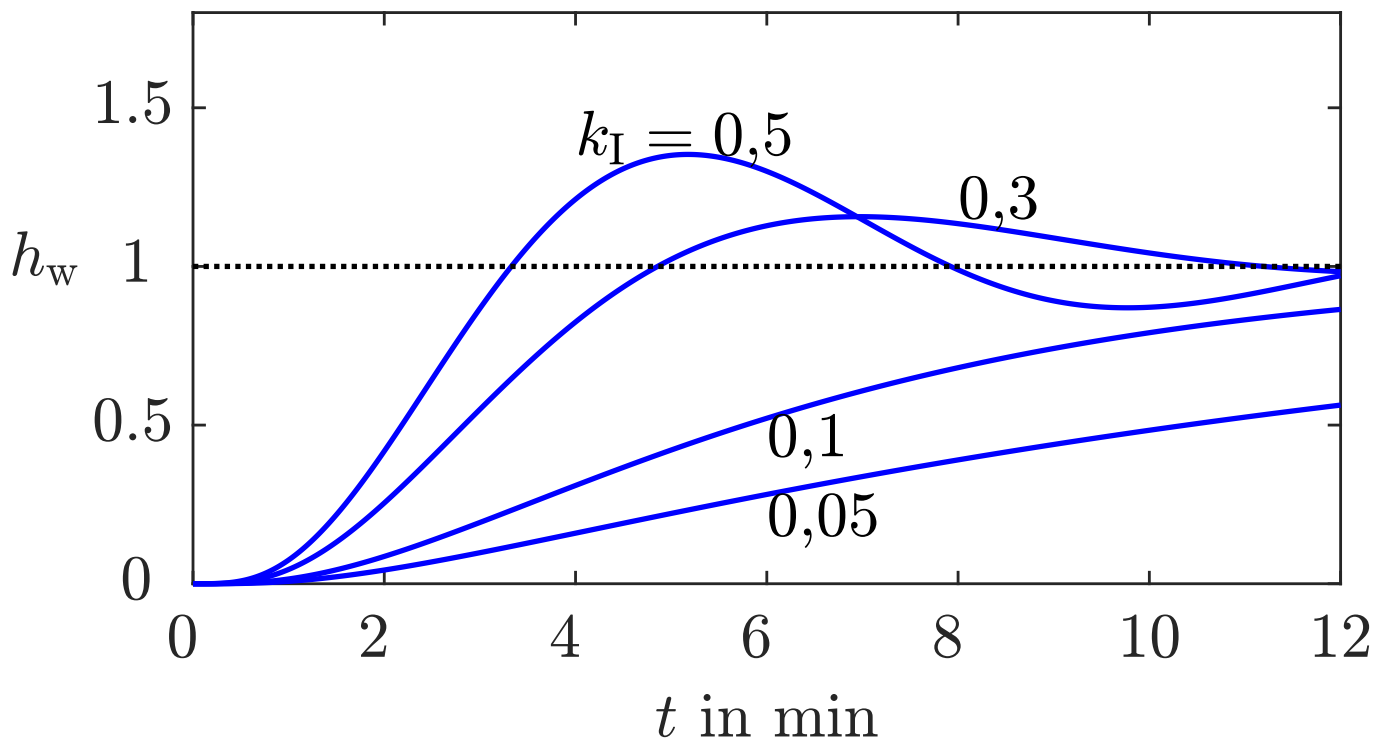
**Abb. 8.11: Interpretation der Existenzbedingung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



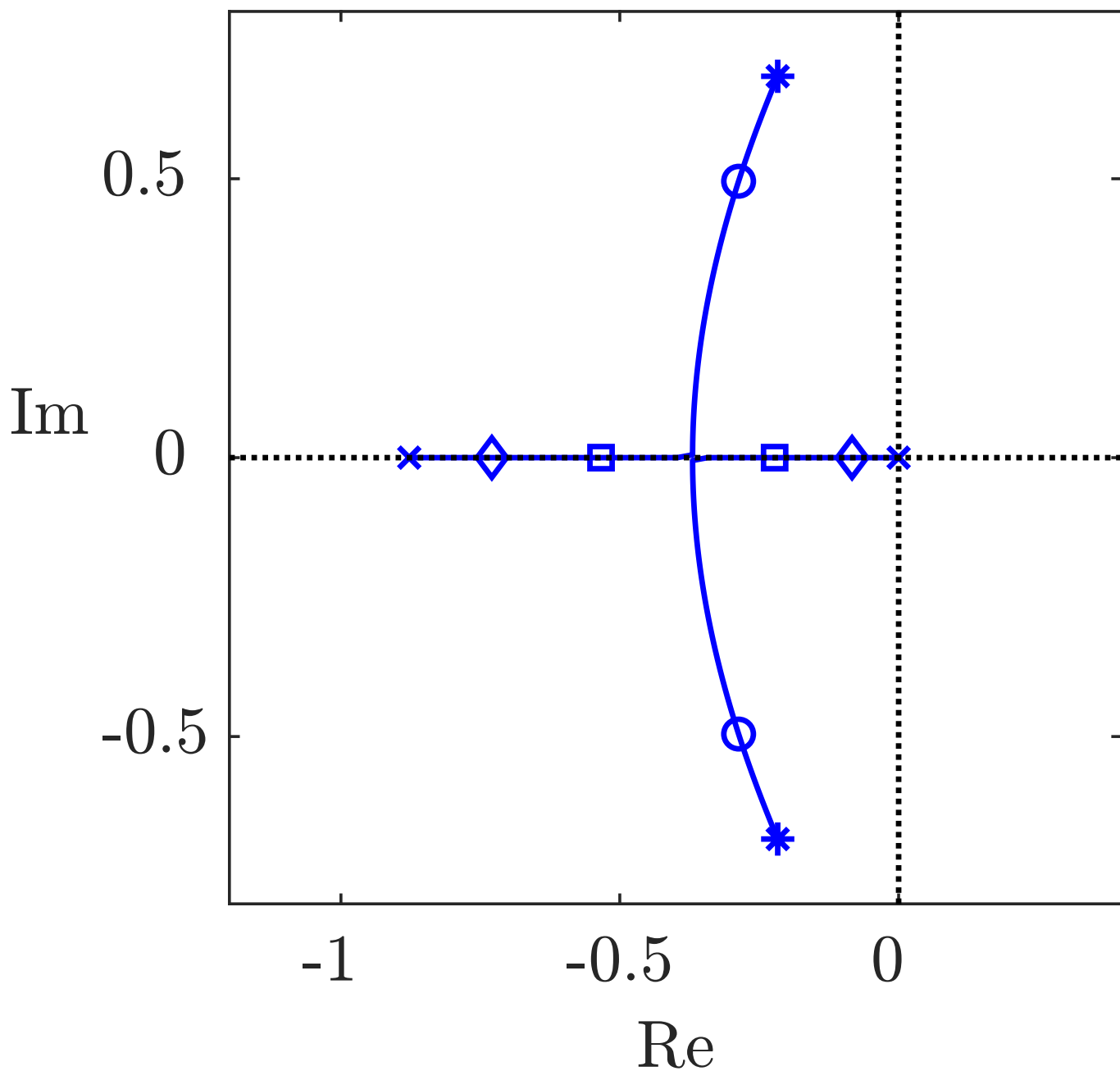
**Abb. 8.12: Prinzip der Reglereinstellung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



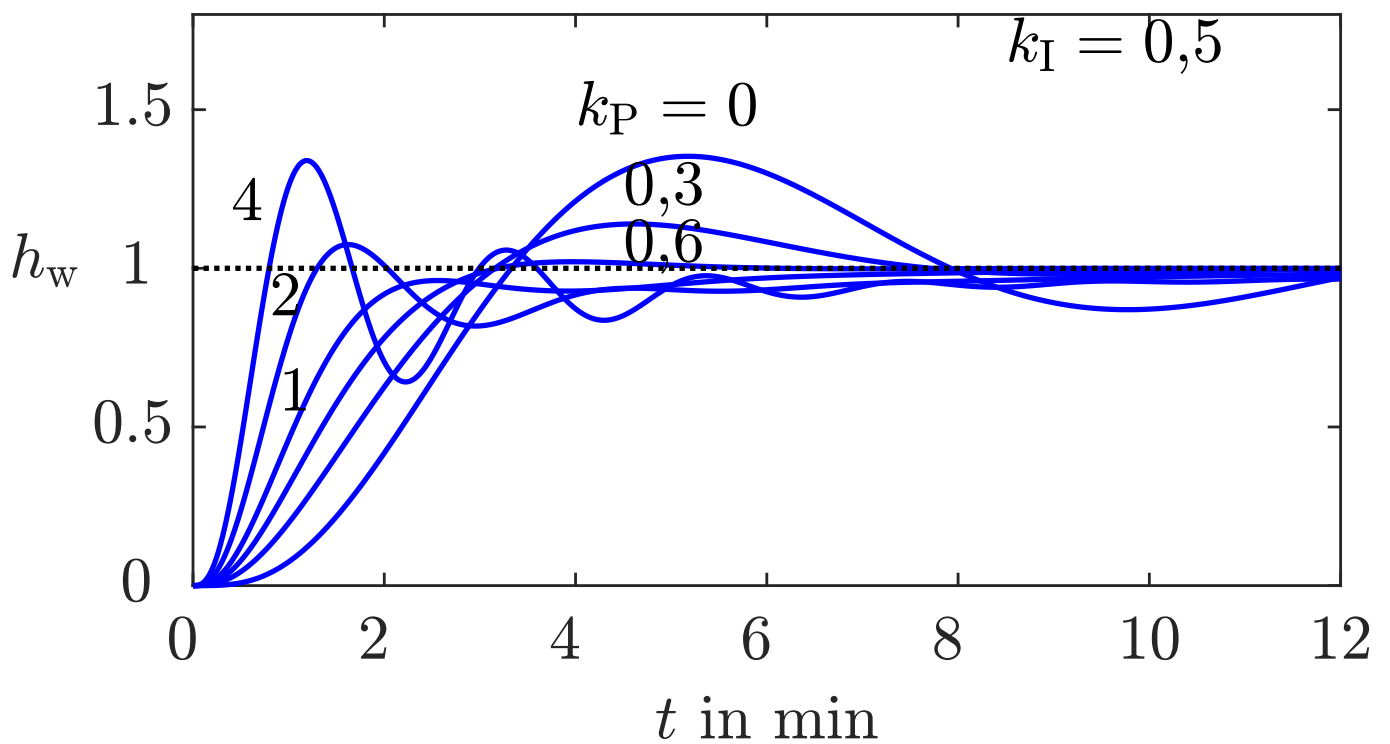
**Abb. 8.13: Führungsübergangsfunktionen für den I-Regelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



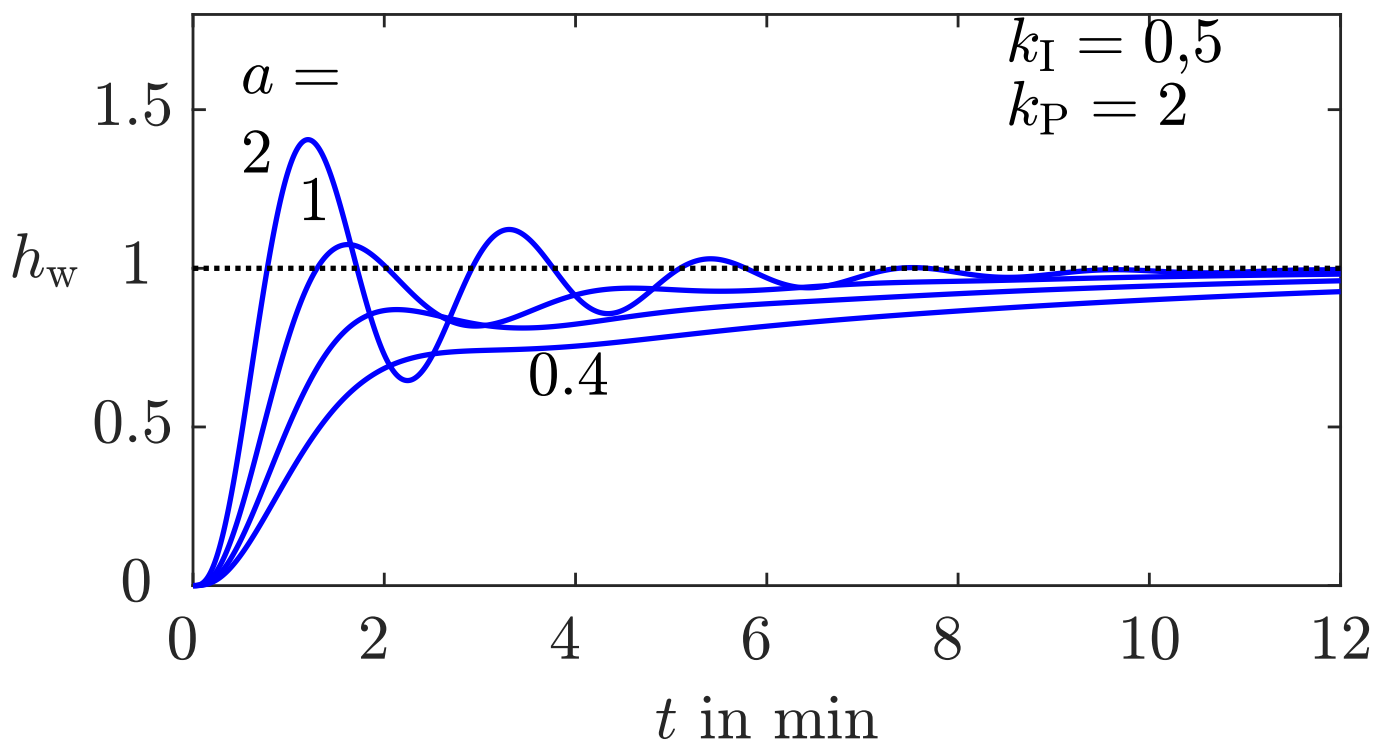
**Abb. 8.13:** Lage der zwei größten Eigenwerte des I-Regelkreises bei unterschiedlicher Reglerverstärkung

*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*

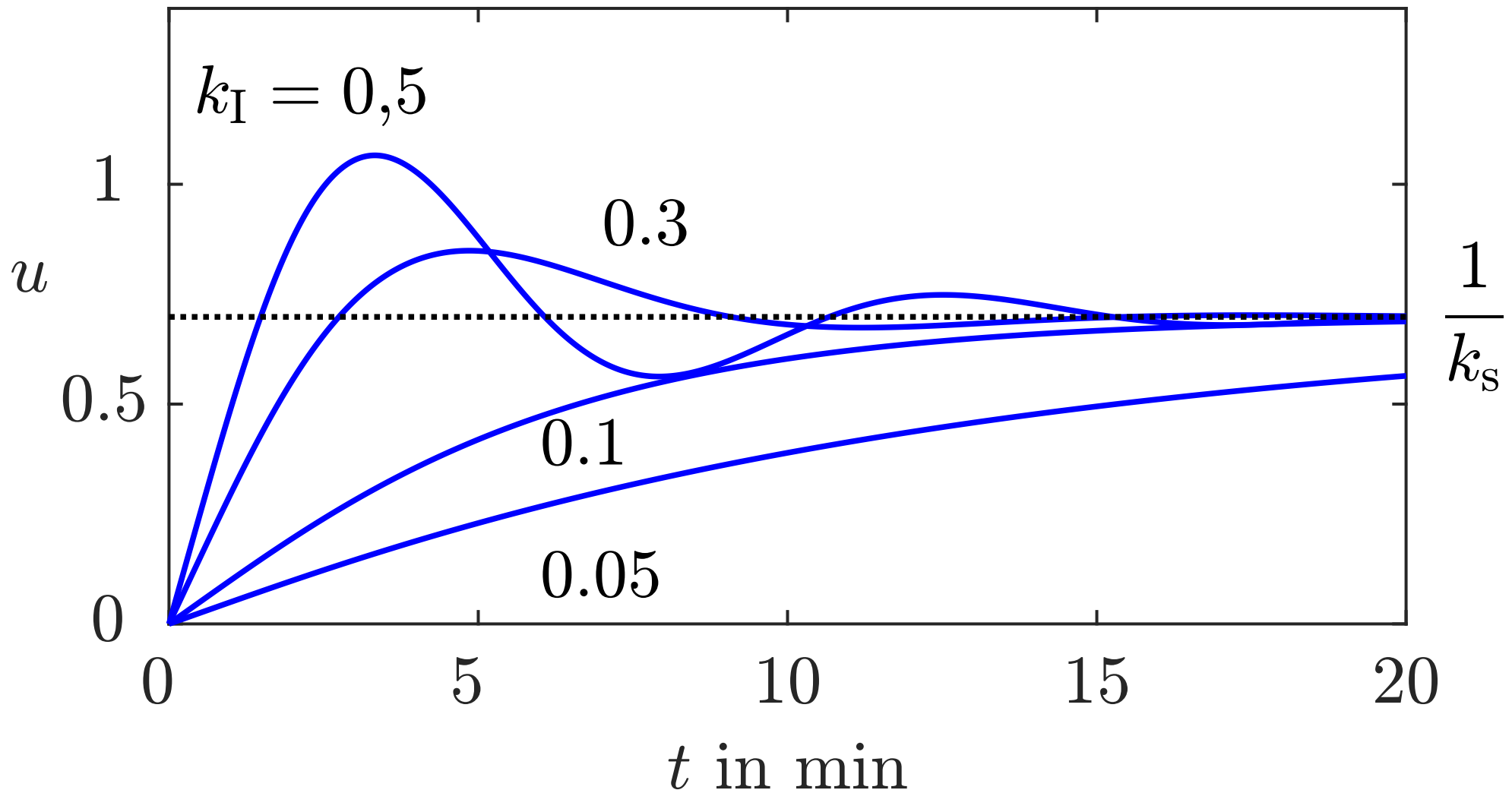
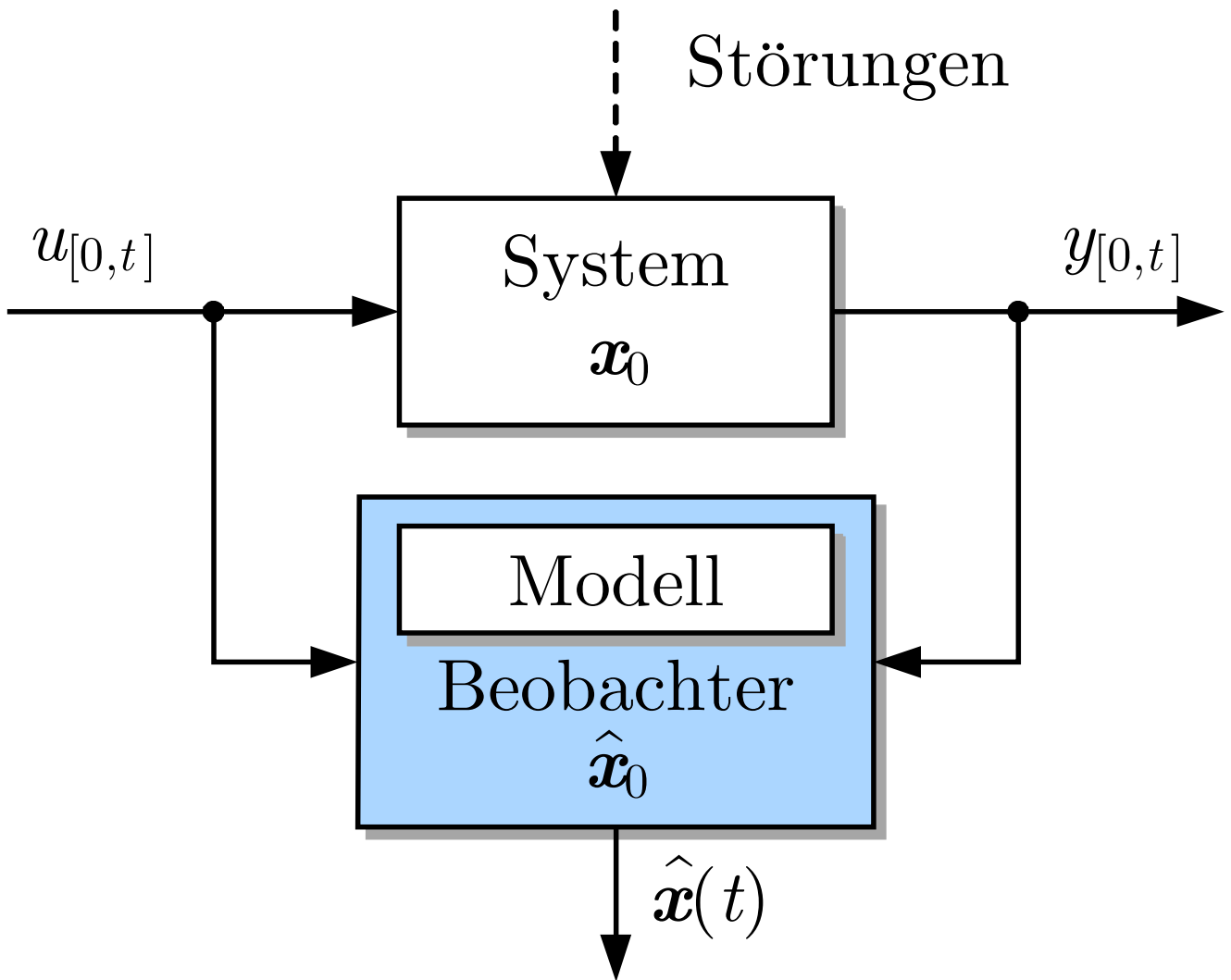


Abb. 8.15. Stellgrößenverlauf beim I-Regler mit kleiner Reglerverstärkung  $k_I$  und  $w = 1$

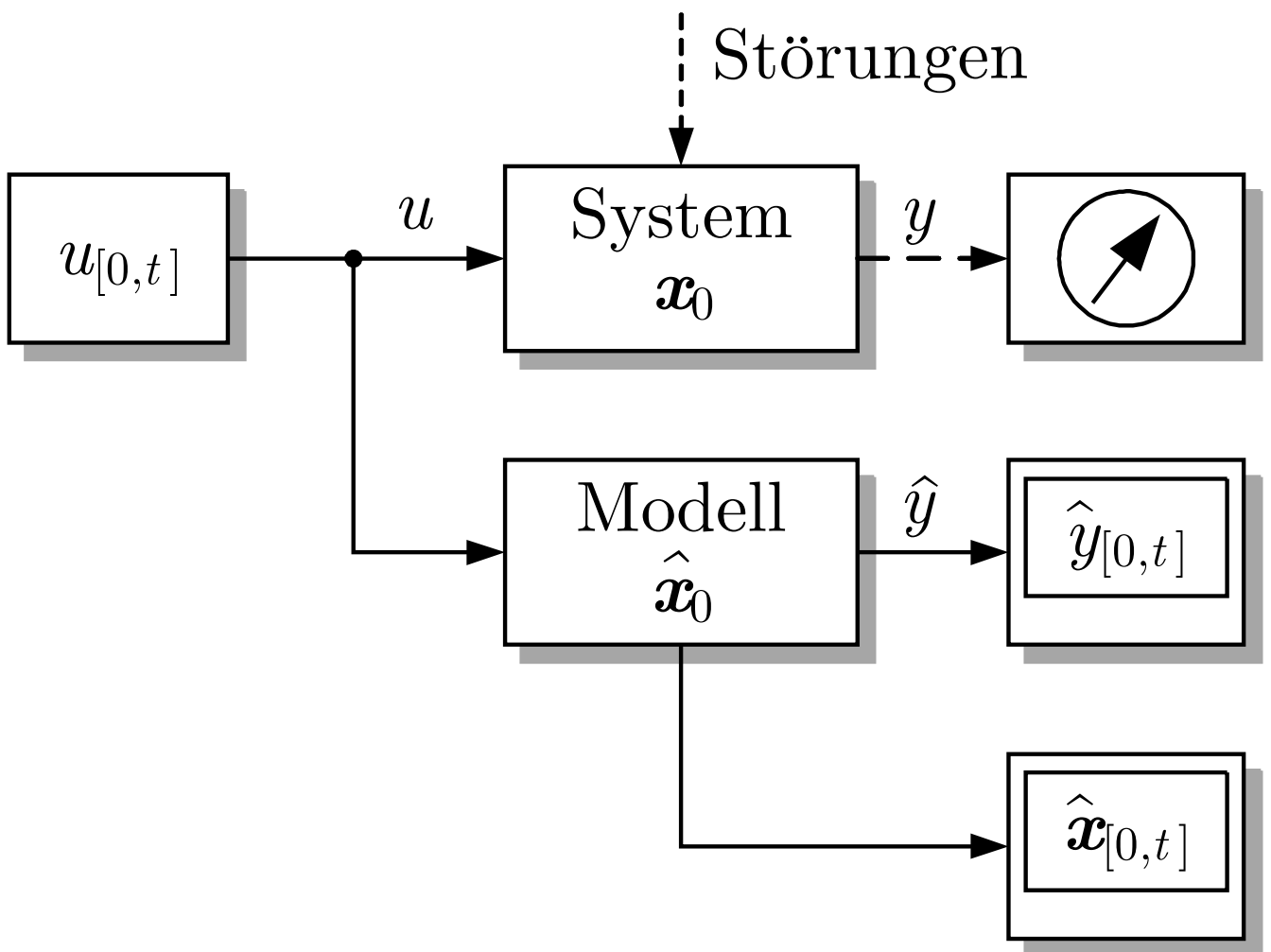
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**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*

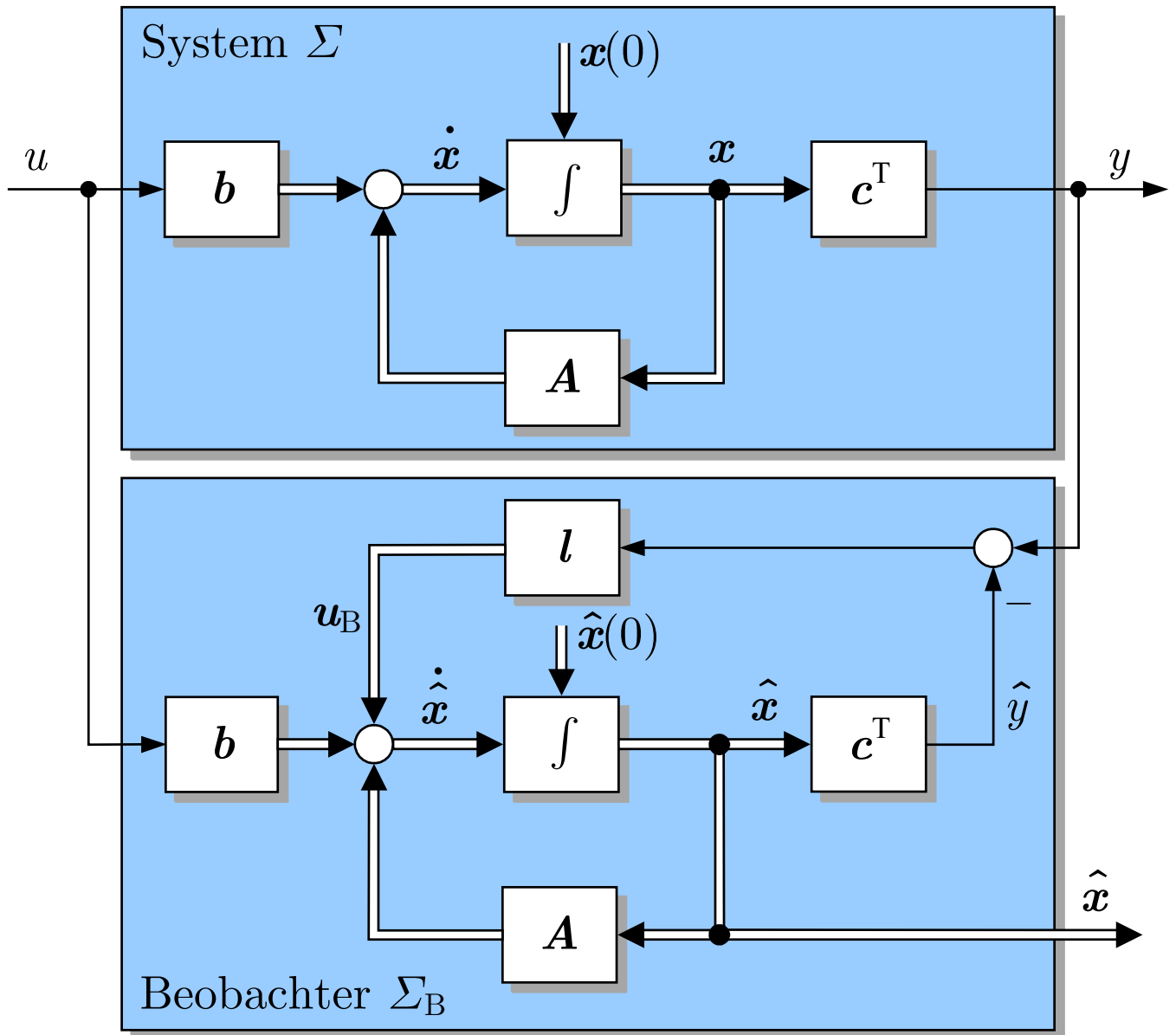
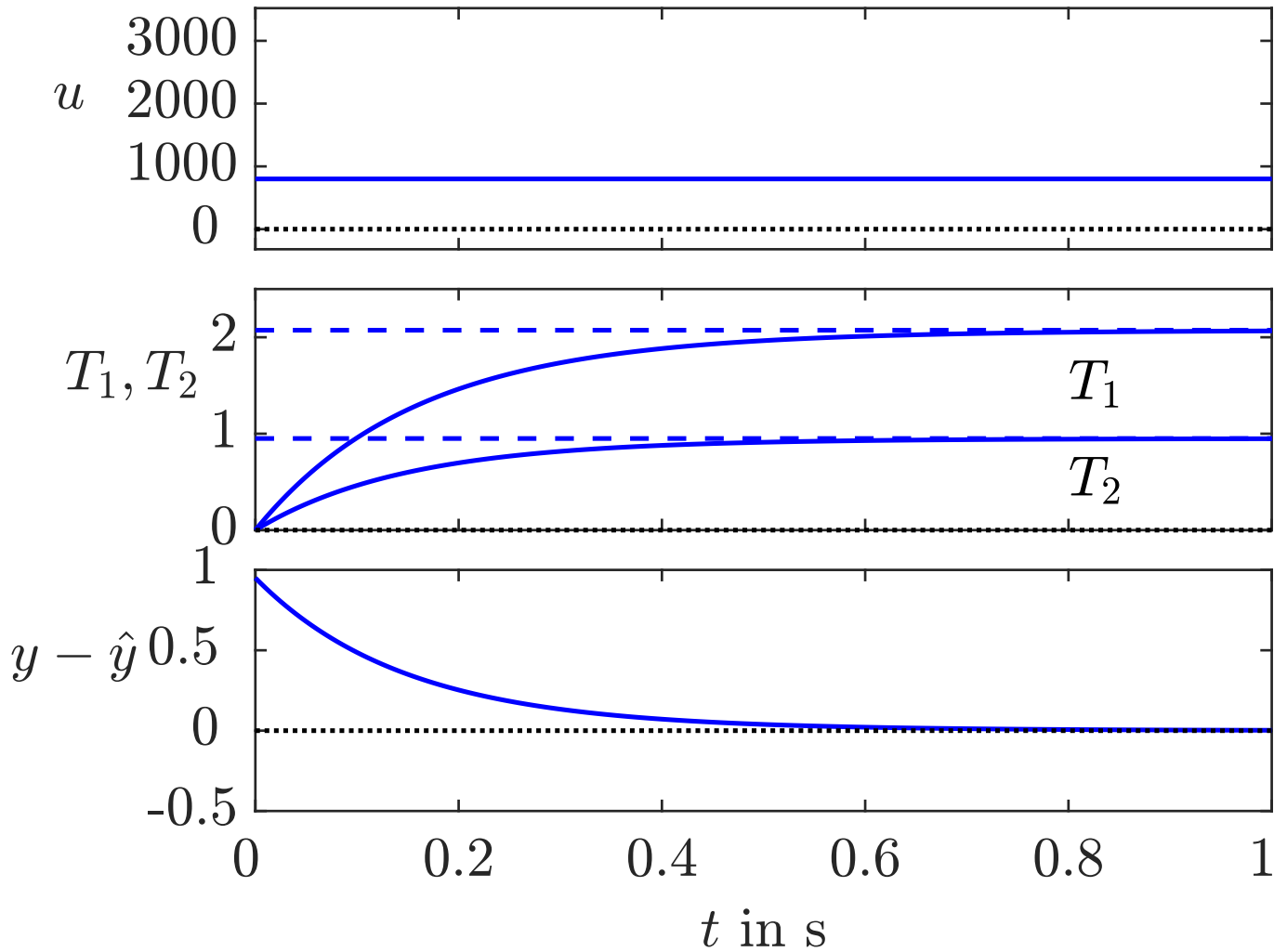


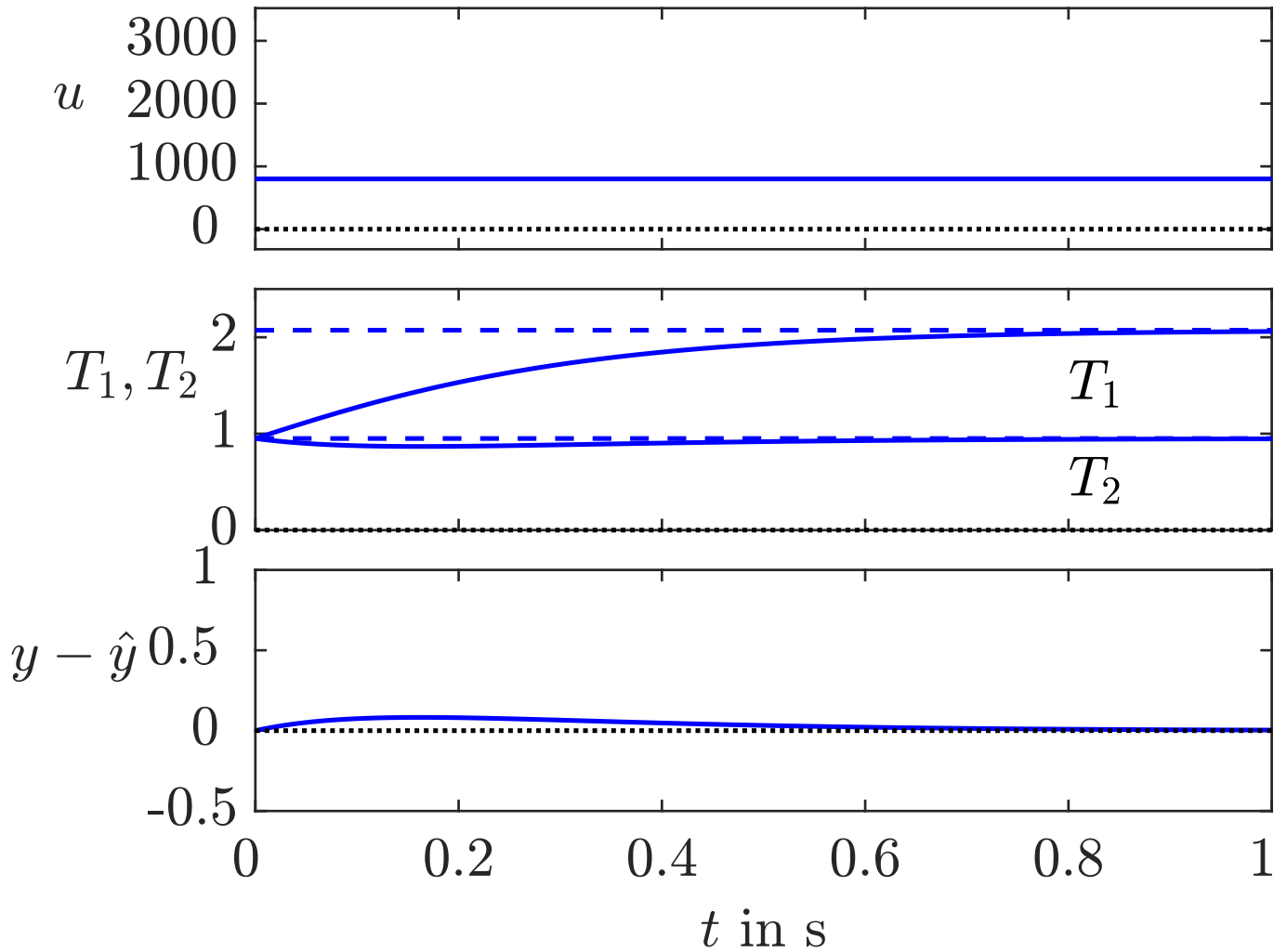
Abb. 9.3: Kopplung von System und Luenbergerbeobachter

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



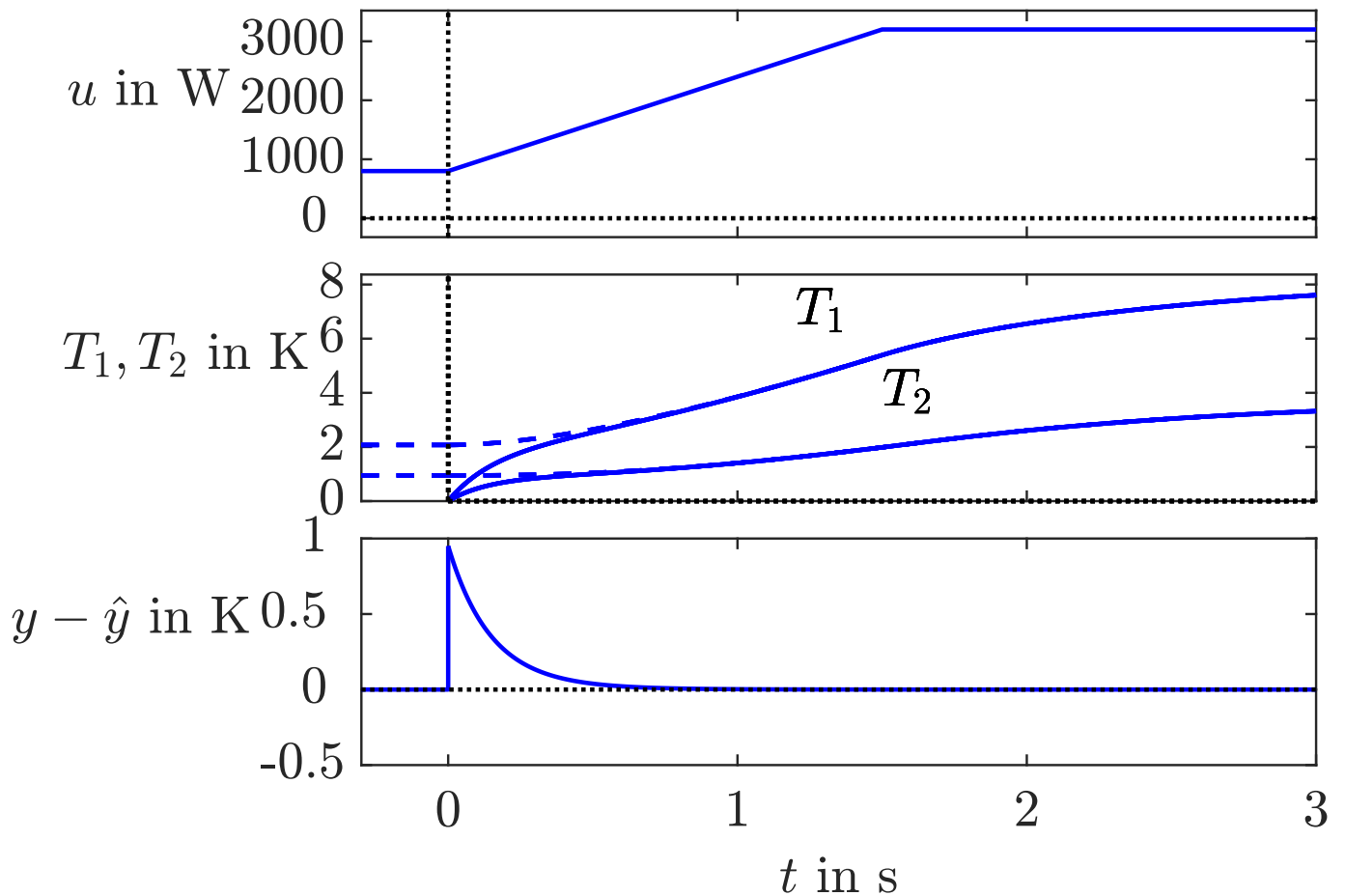
**Abb. 9.4: Einschwingen des Beobachters bei konstanten Ofentemperaturen bei zwei unterschiedlichen Anfangszuständen des Beobachters:  $x_0 = (0, 0)^T$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



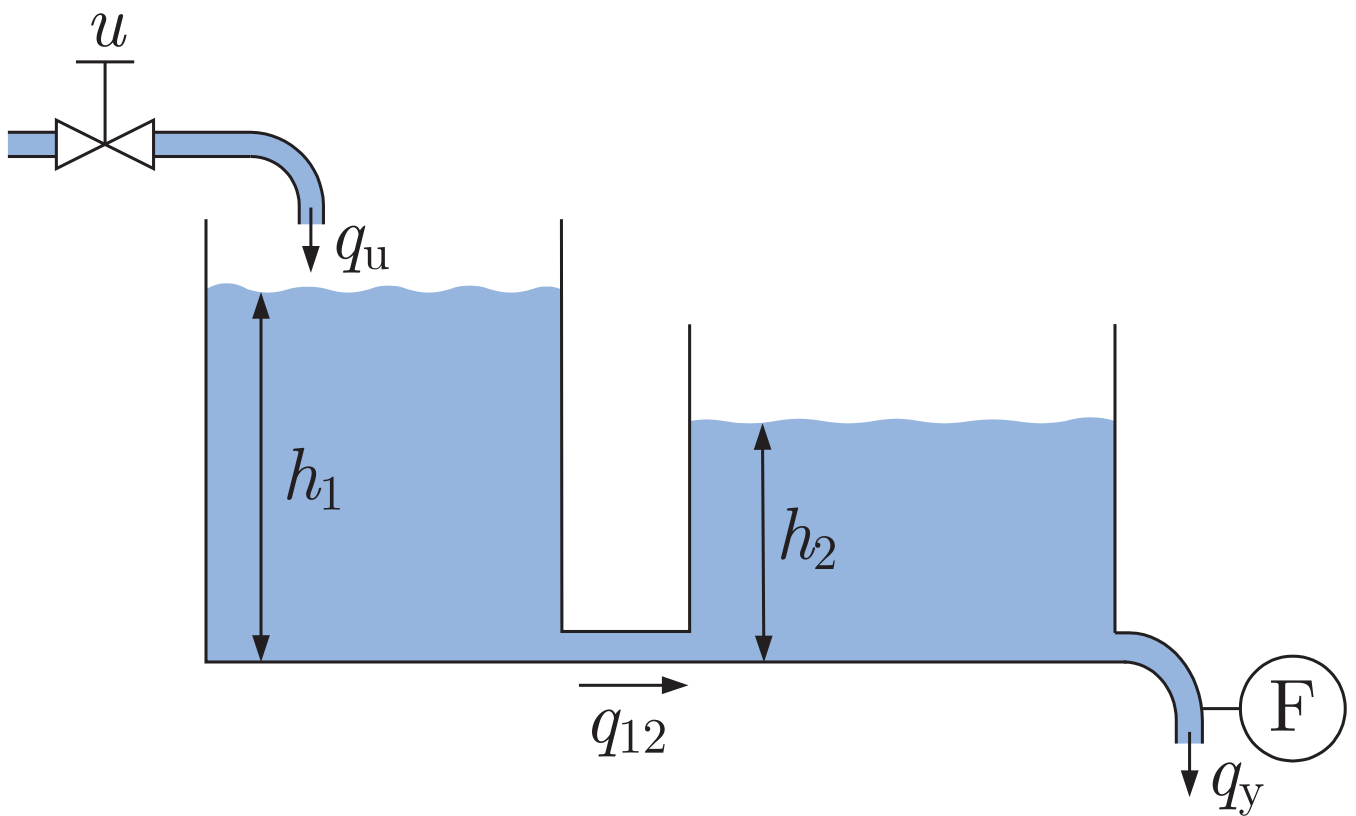
**Abb. 9.4: Einschwingen des Beobachters bei konstanten Ofentemperaturen bei zwei unterschiedlichen Anfangszuständen des Beobachters:  $x_0 = (y(0), \dot{y}(0))^T$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



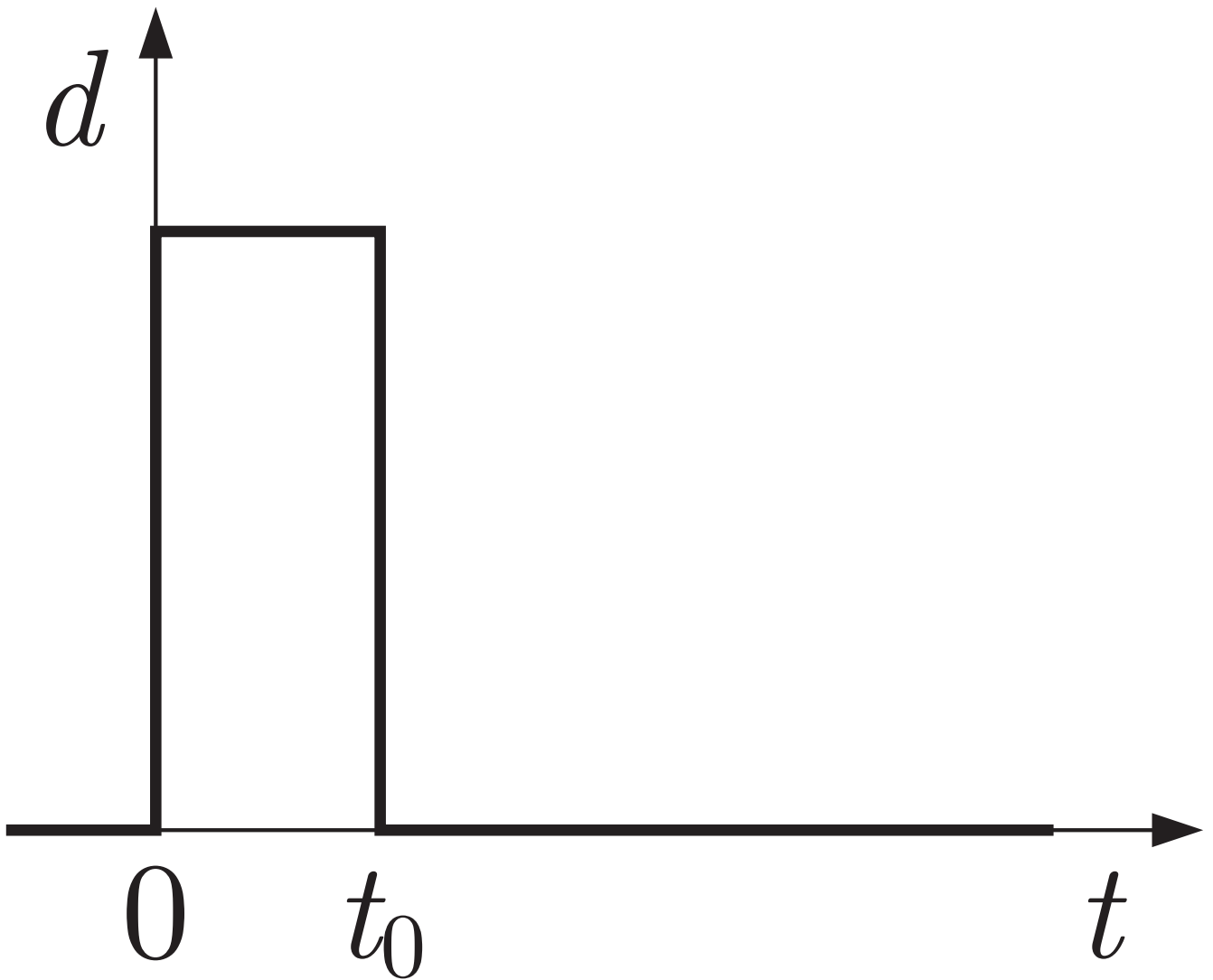
**Abb. 9.5:** Beobachtung der Werkstücktemperatur bei zeitveränderlicher Eingangsgröße

*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*

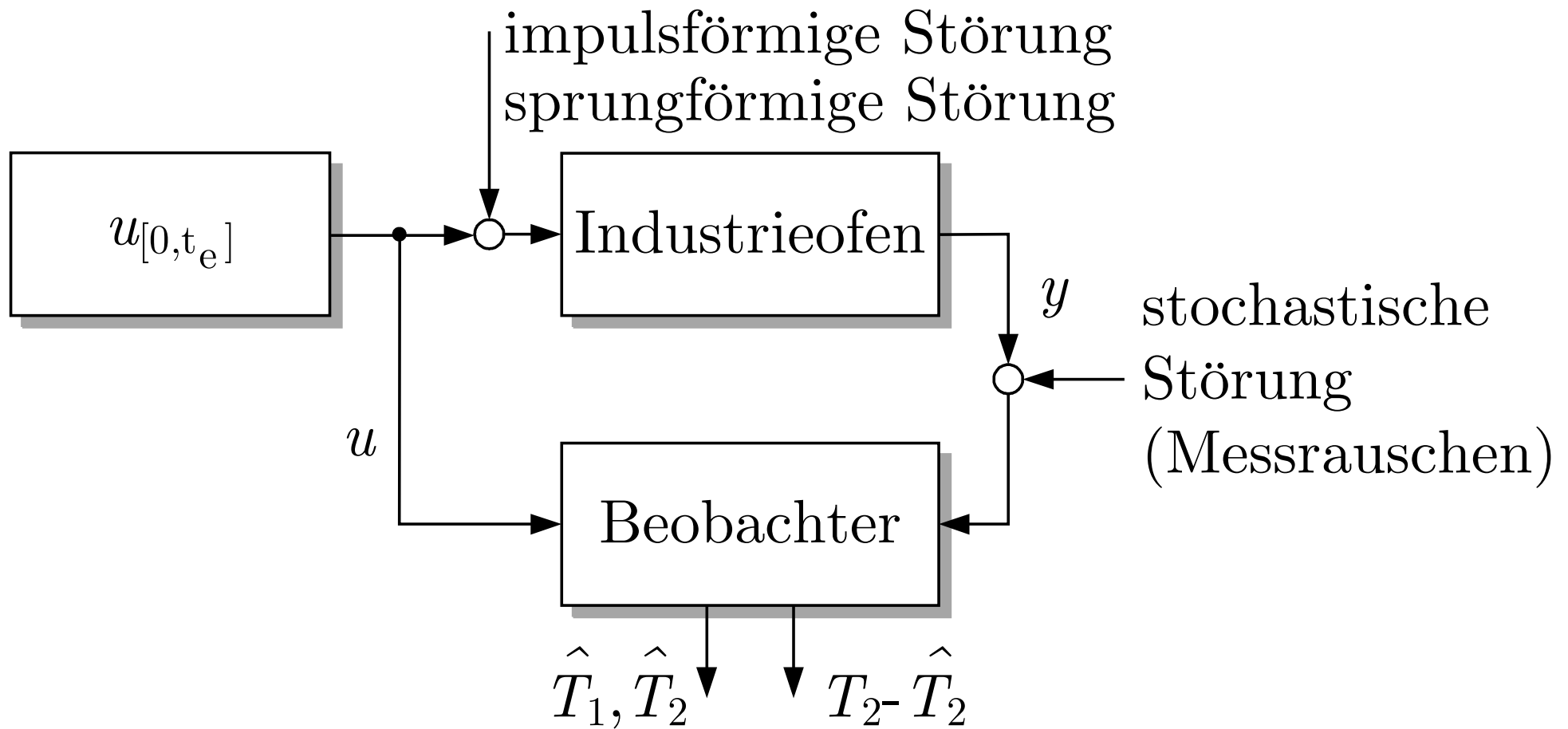
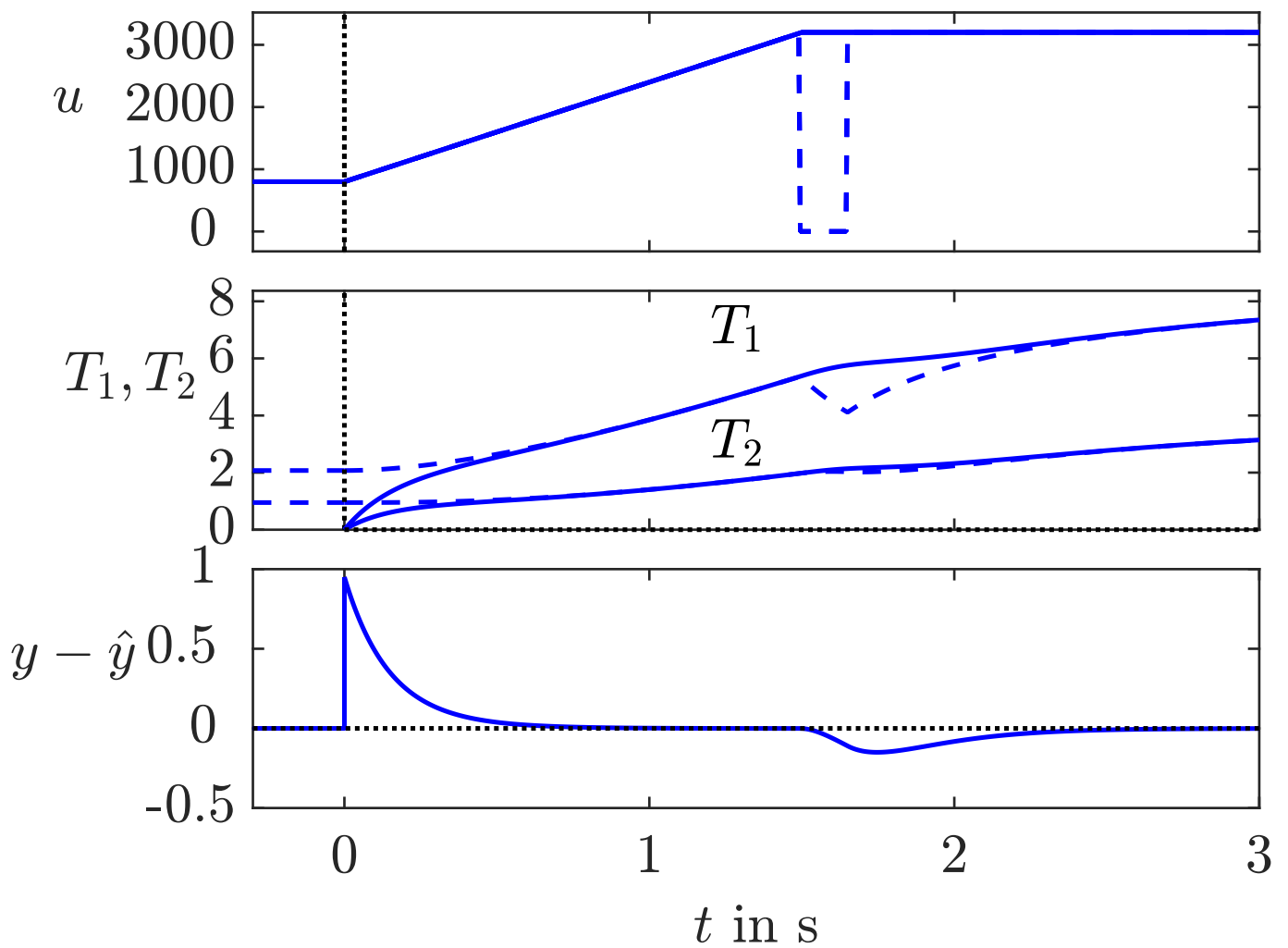


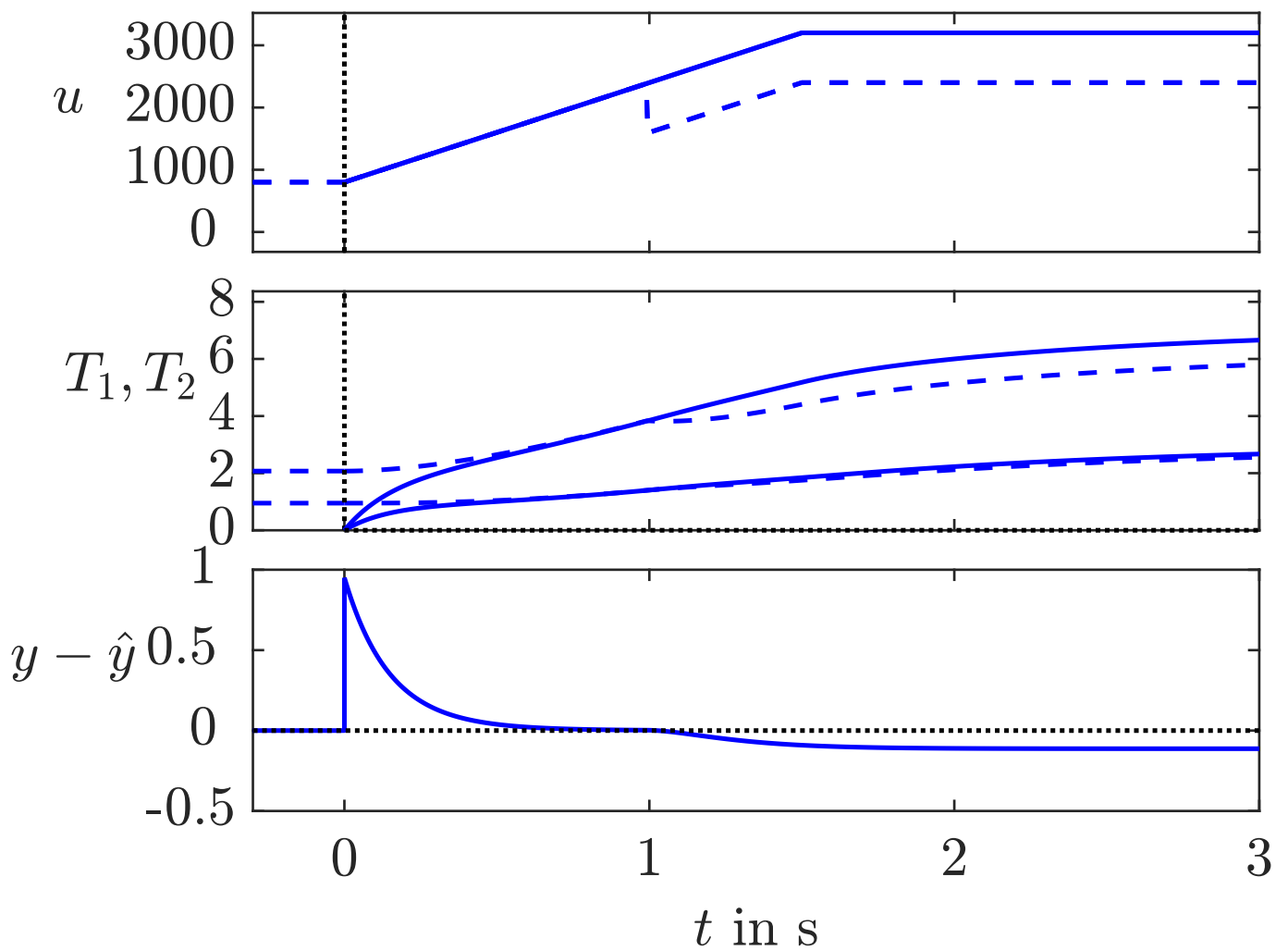
Abb. 9.8. Störungen bei der Beobachtung des Industrieofens

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



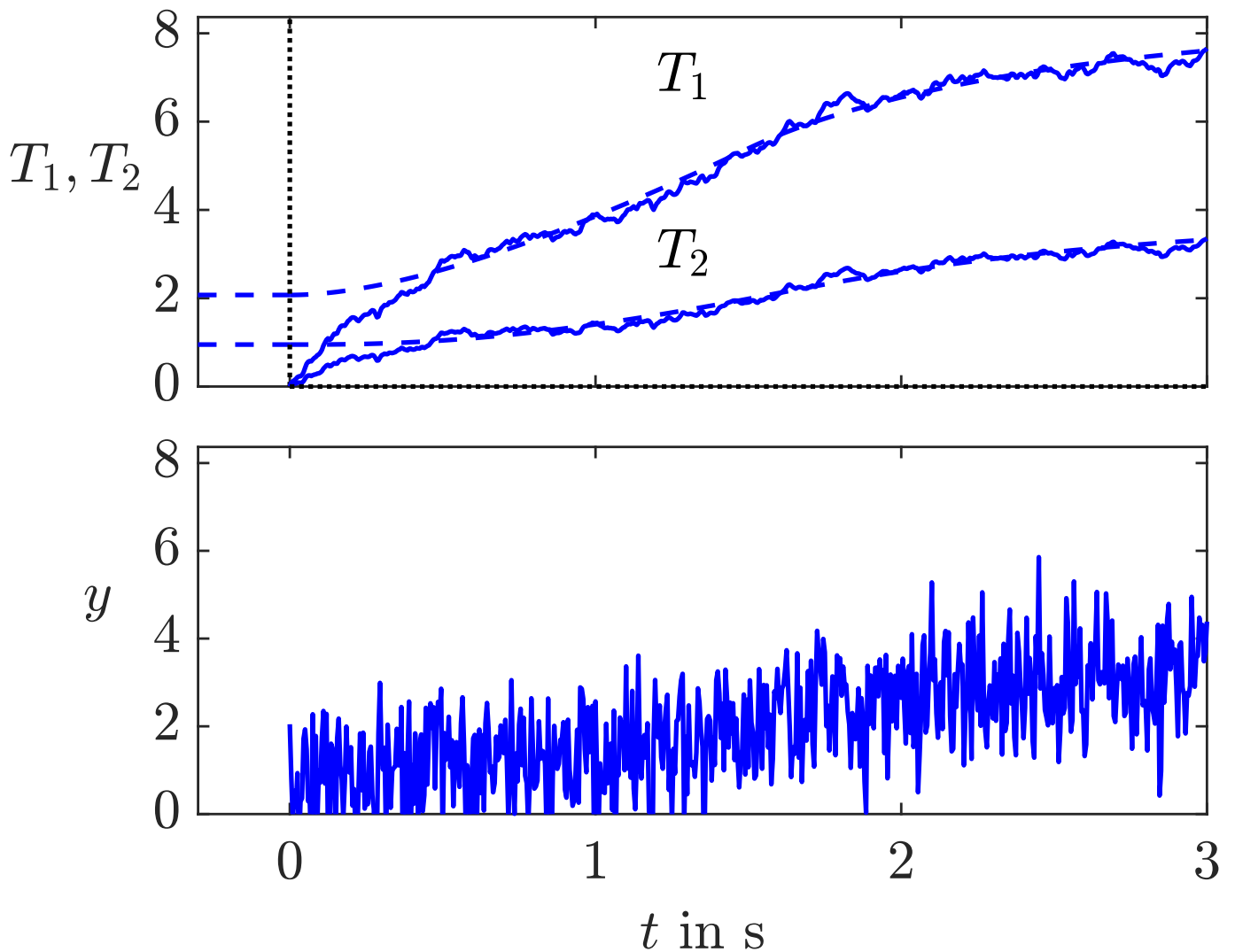


**Abb. 9.9: Beobachtungsergebnis bei impulsförmiger Störung**



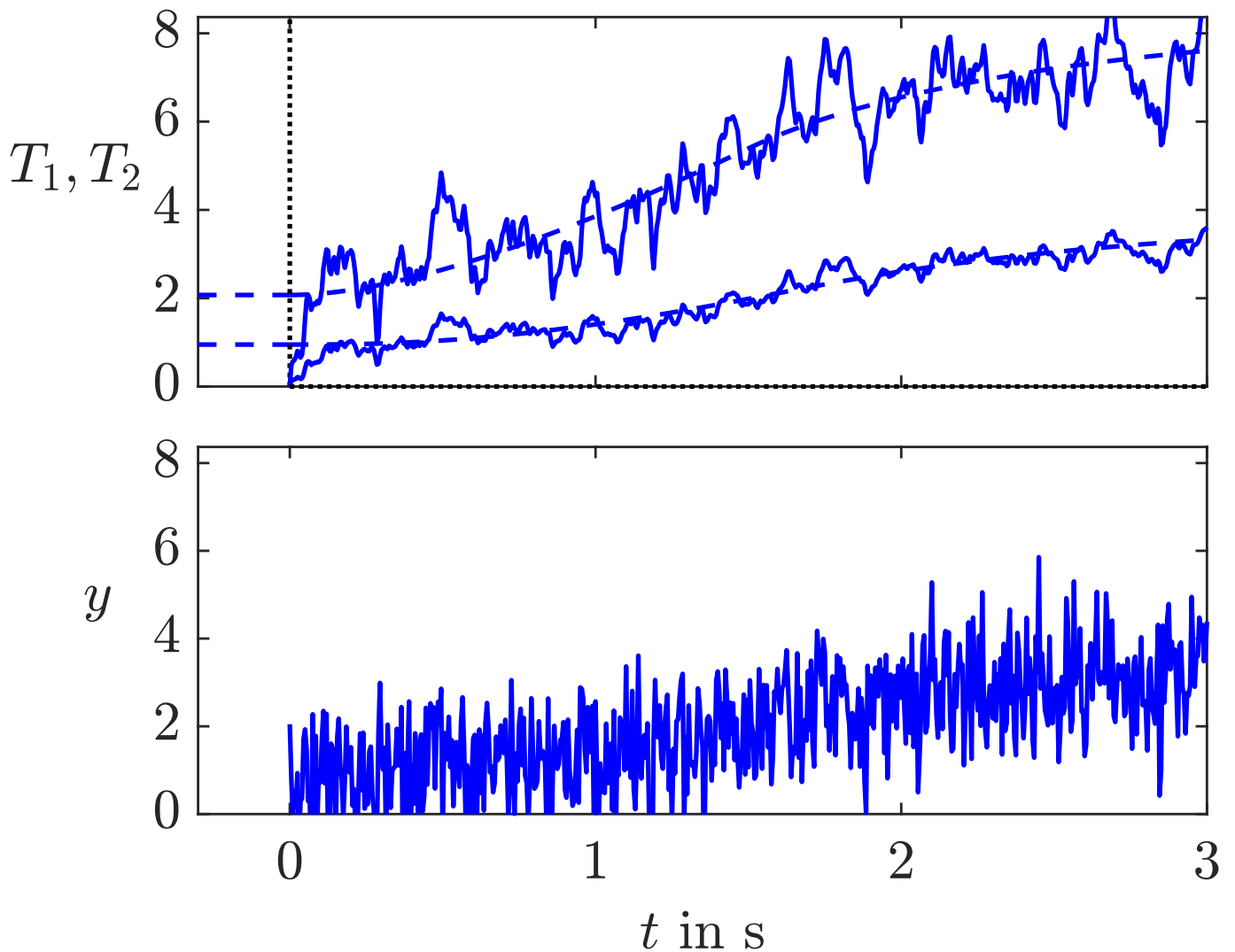
**Abb. 9.9: Beobachtungsergebnis bei sprungförmiger Störung**

*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*

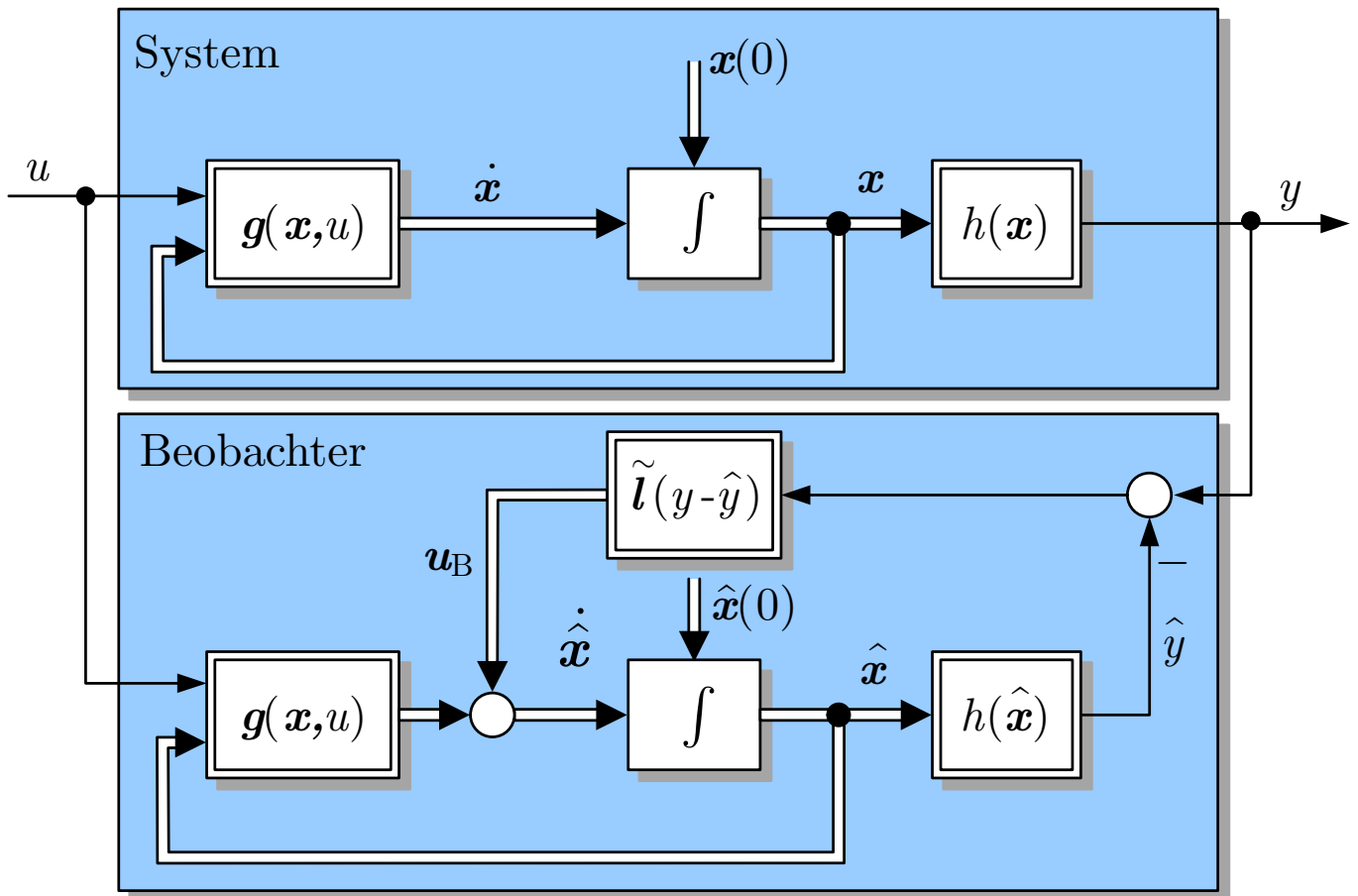
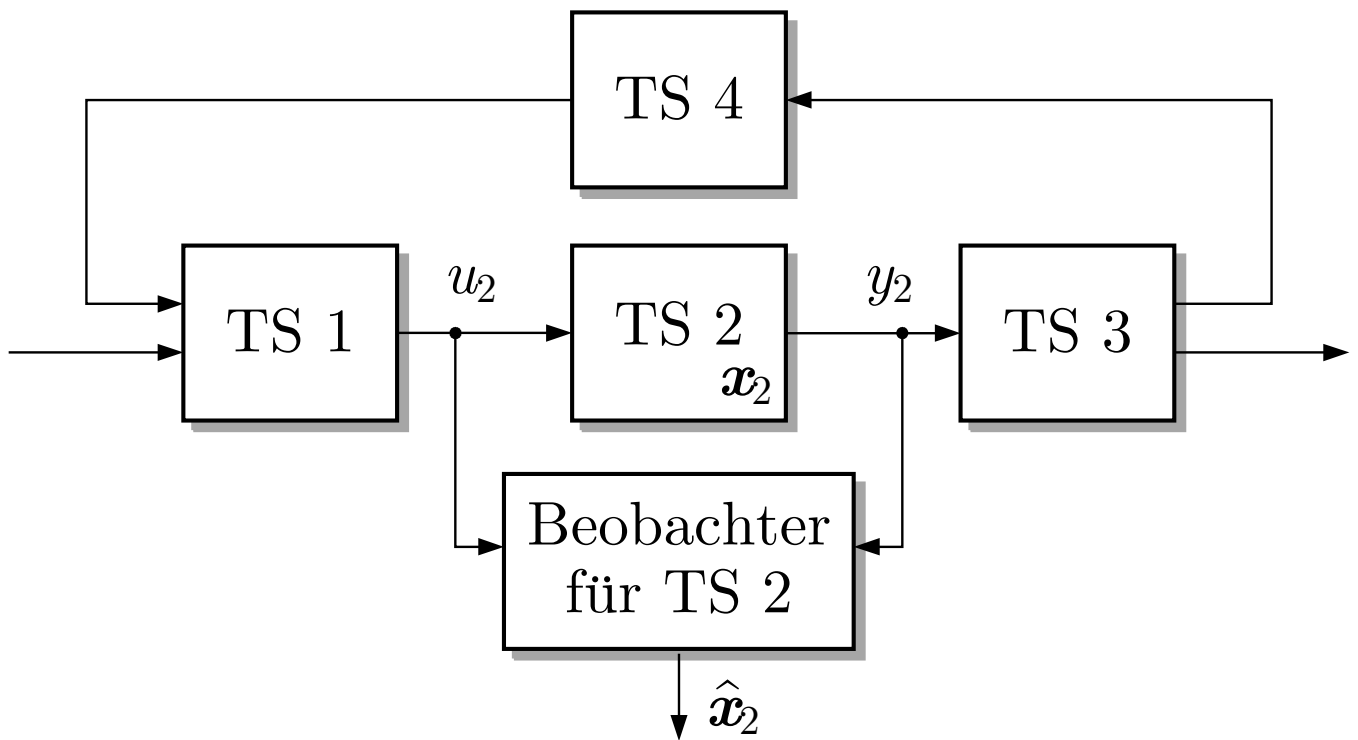


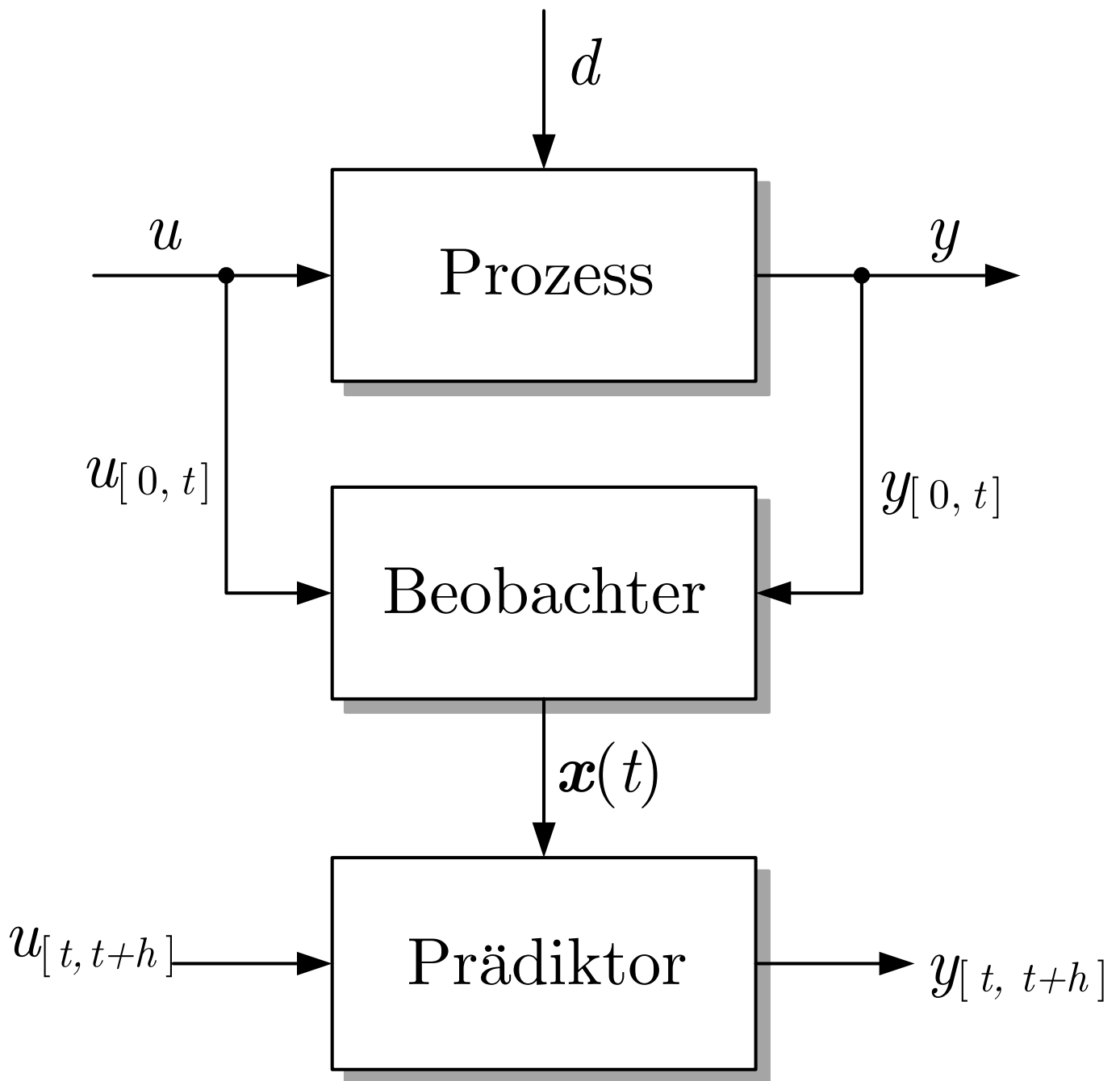
Abb. 9.11: Beobachter für ein nichtlineares System

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



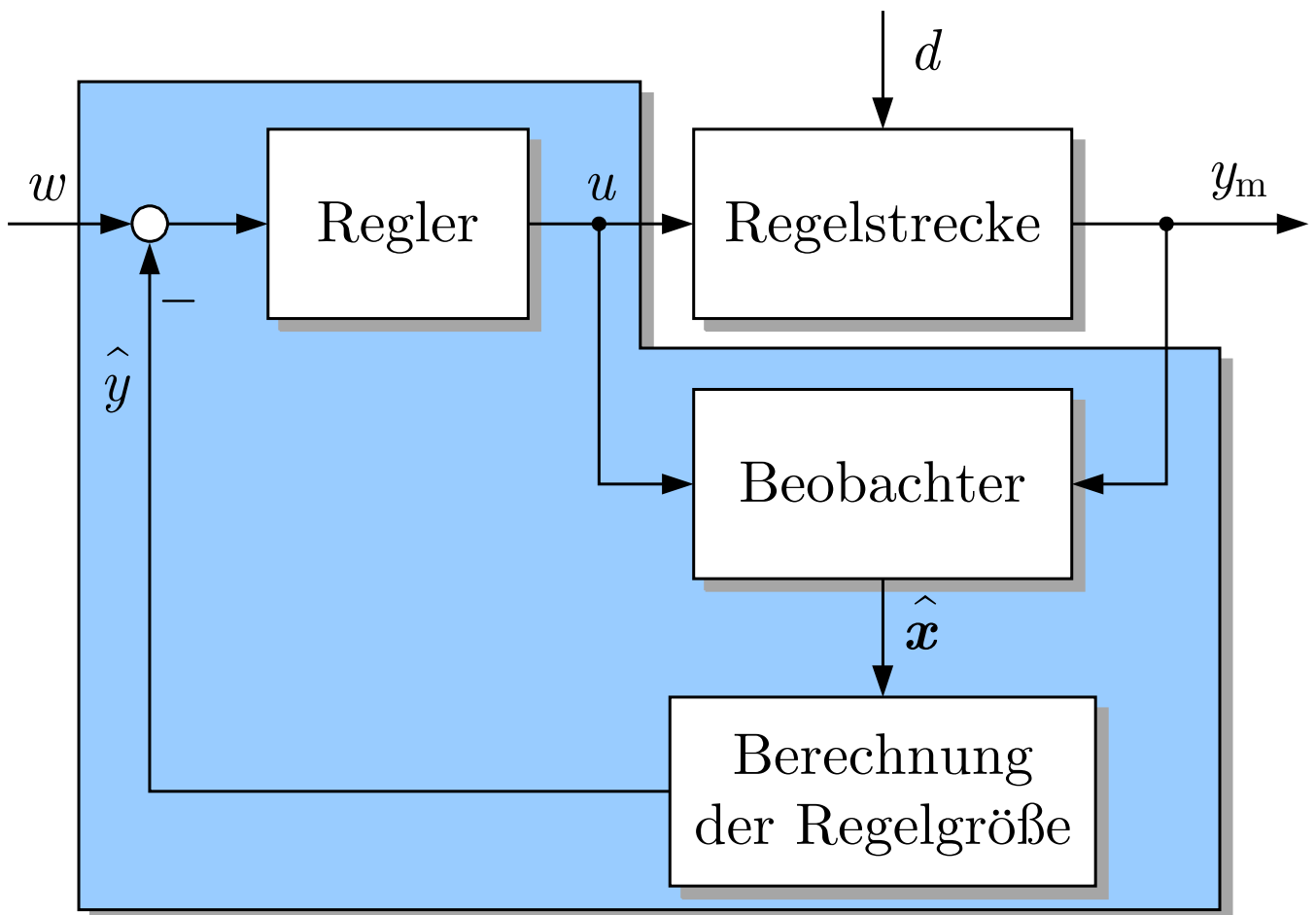
**Abb. 9.12: Beobachter für das Teilsystem 2**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 9.13: Online-Prädiktion mit Beobachter**

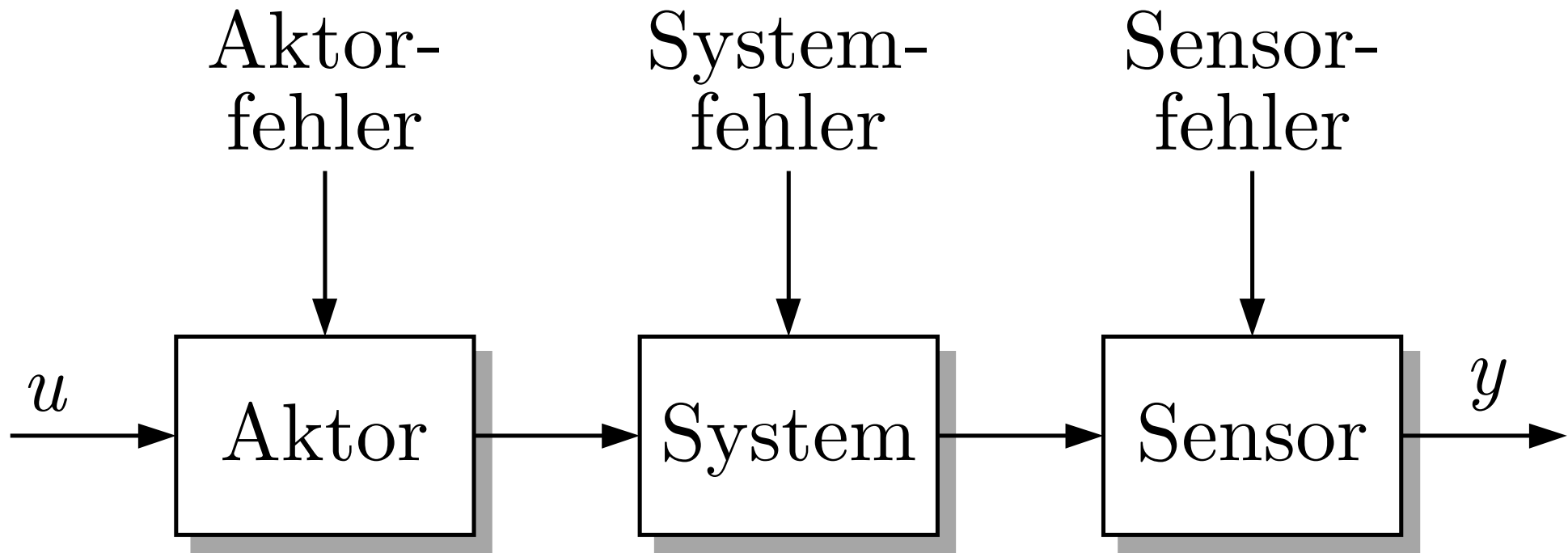
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

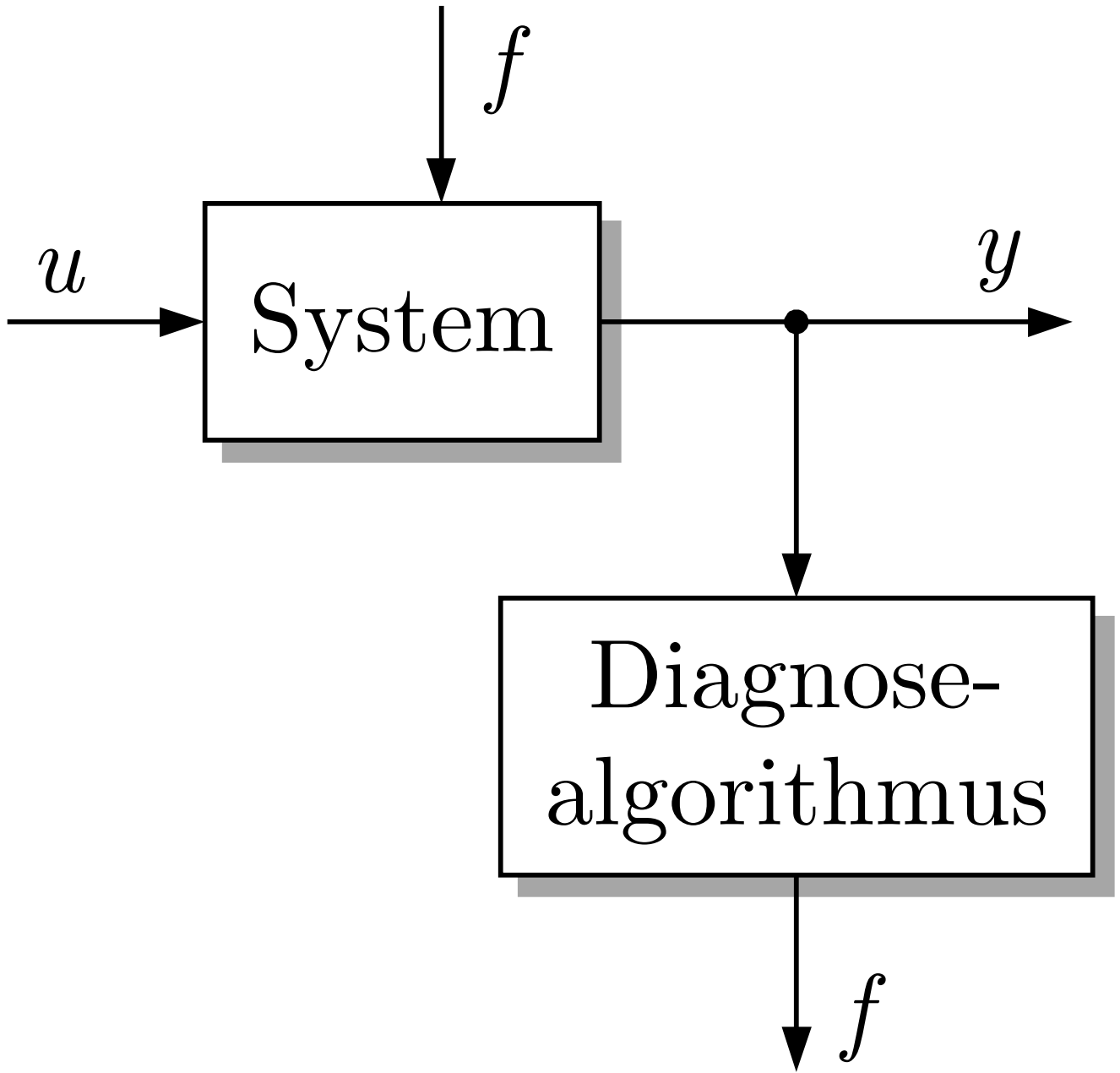
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**Abb. 10.1. Klassifikation interner Fehler**

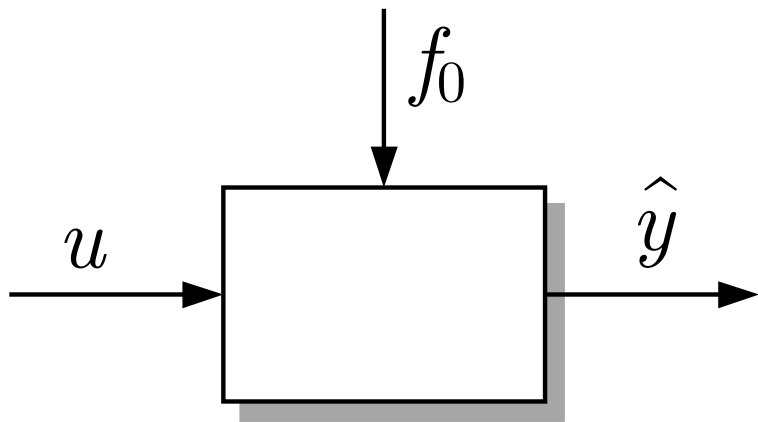
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



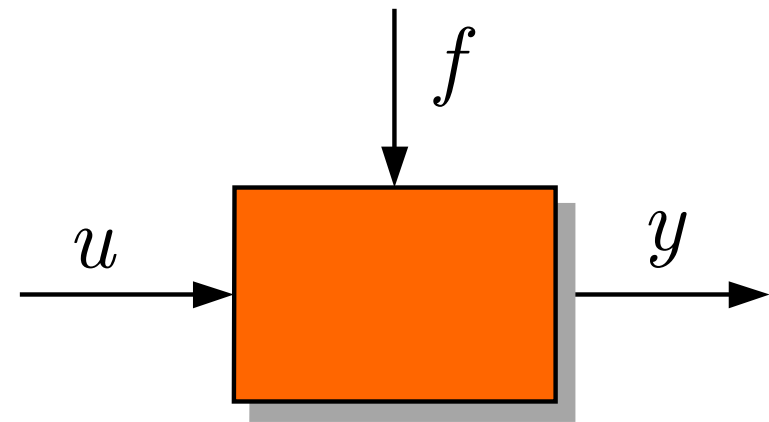
**Abb. 10.2: Signalbasierte Diagnose**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

## Fehlerfreies System

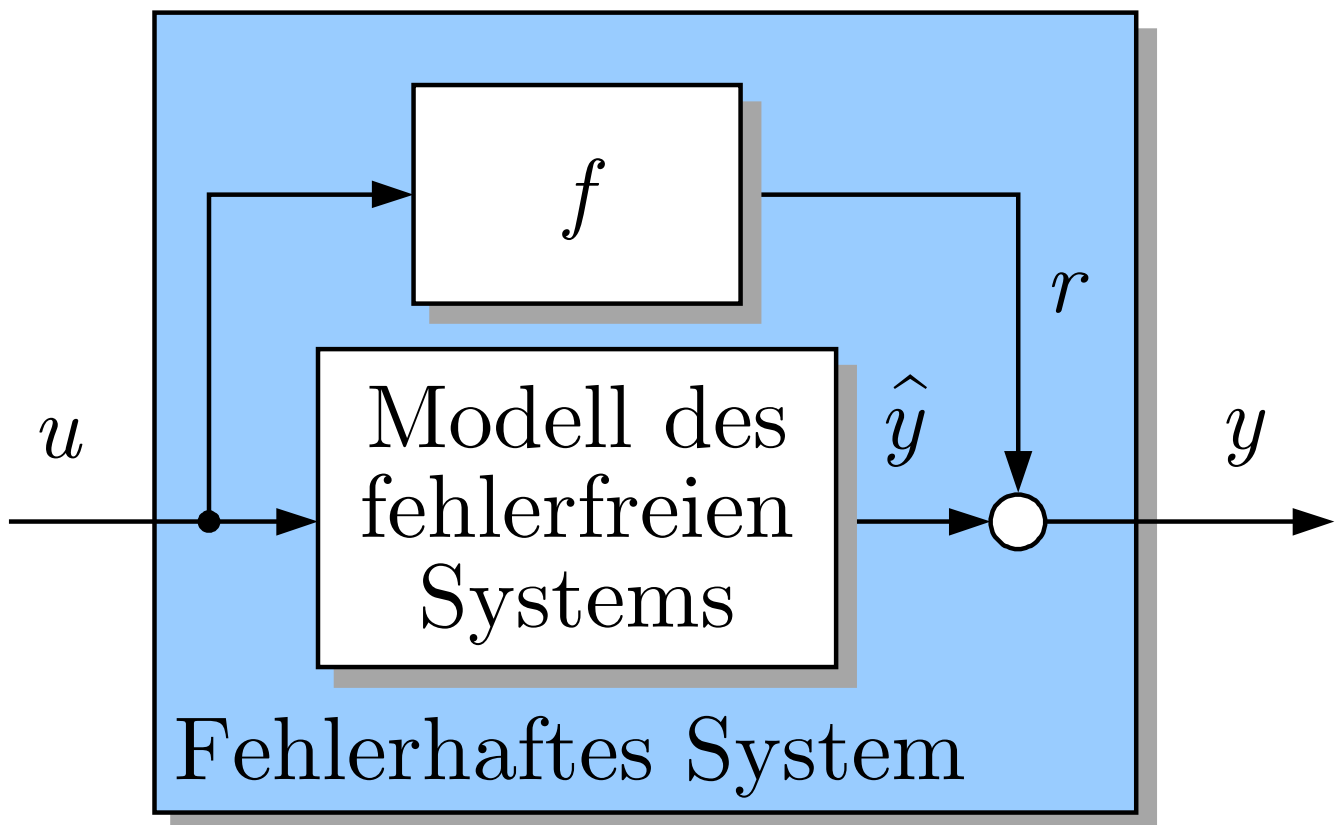


## Fehlerhaftes System



**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*

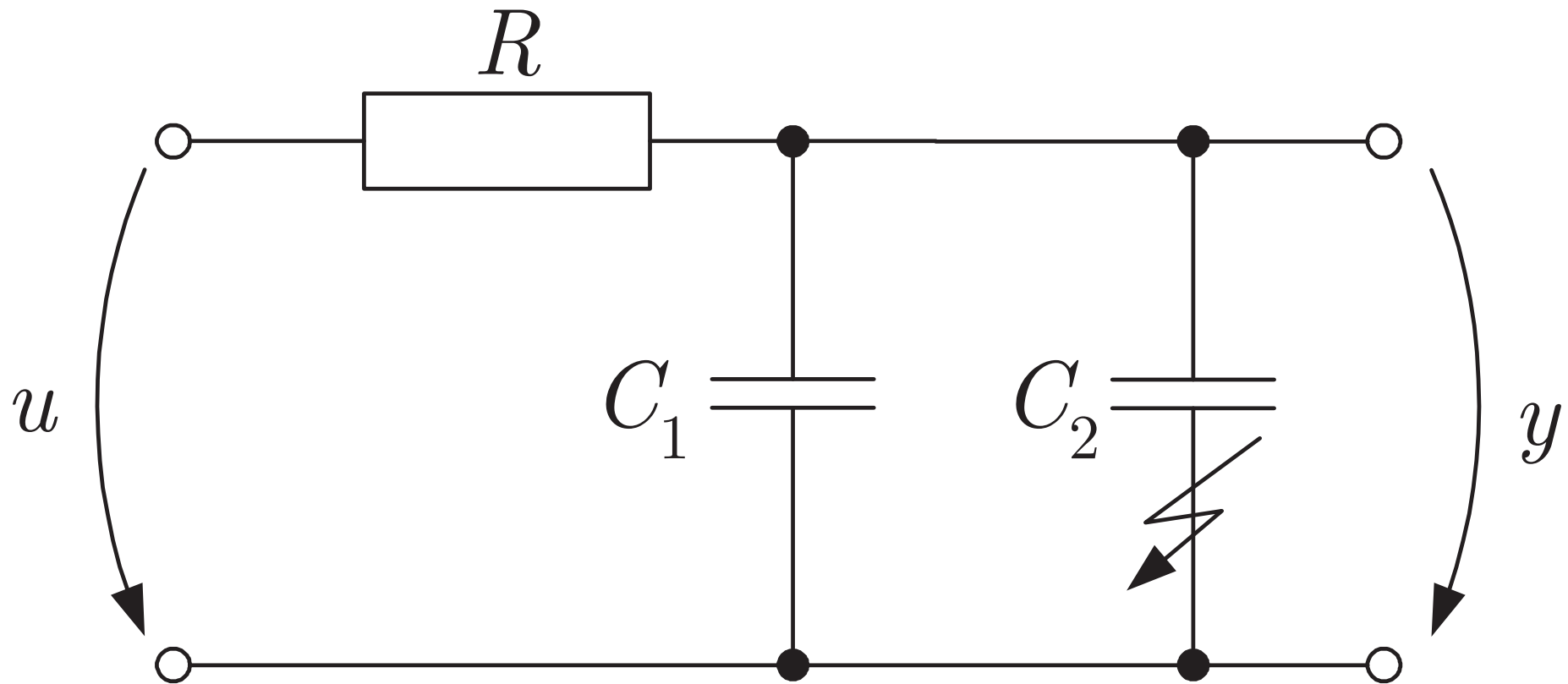
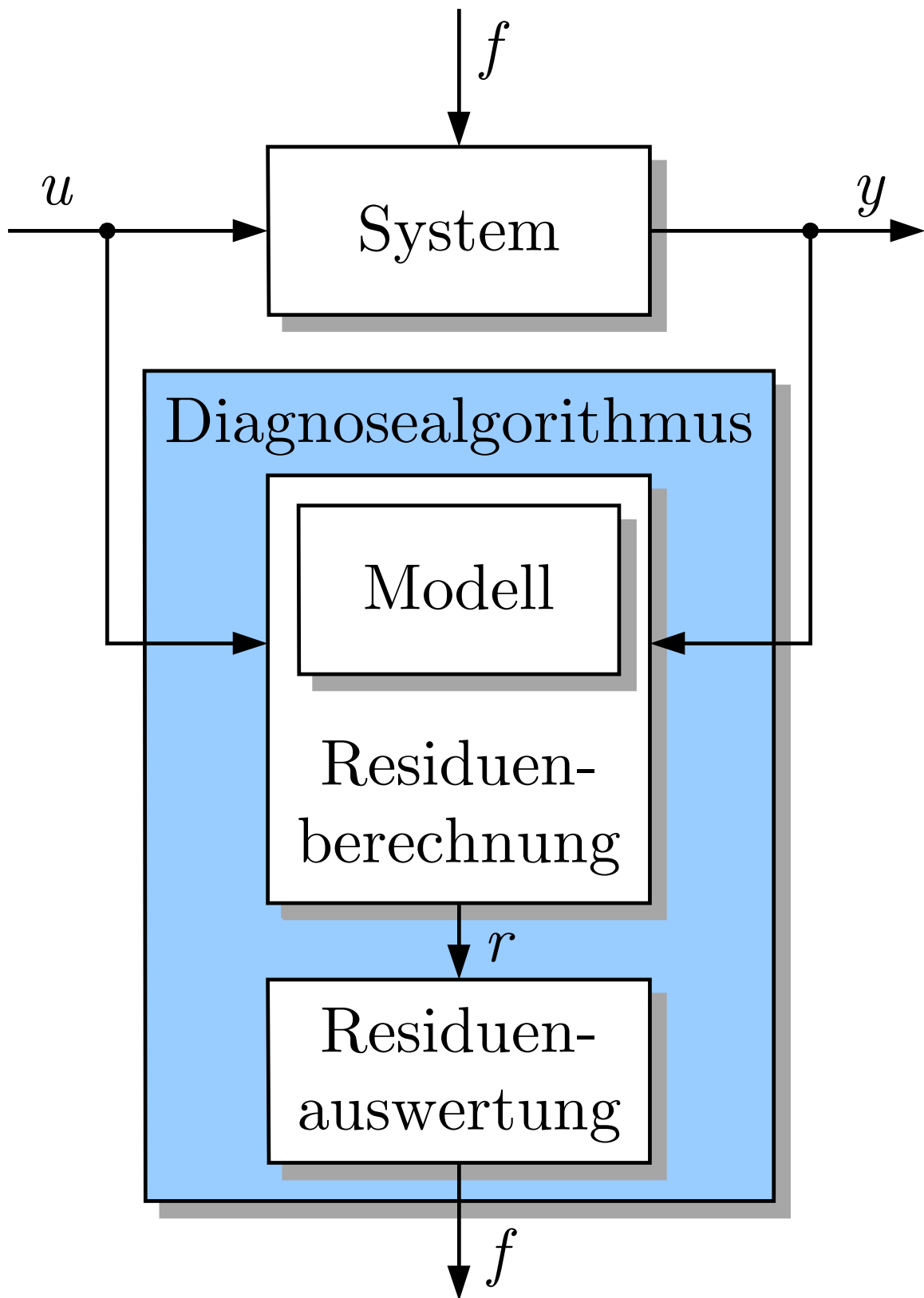


Abb. 10.5. RC-Glied mit fehlerhaft angeschlossenem Kondensator

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 10.6. Prozessdiagnose kontinuierlicher Systeme**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

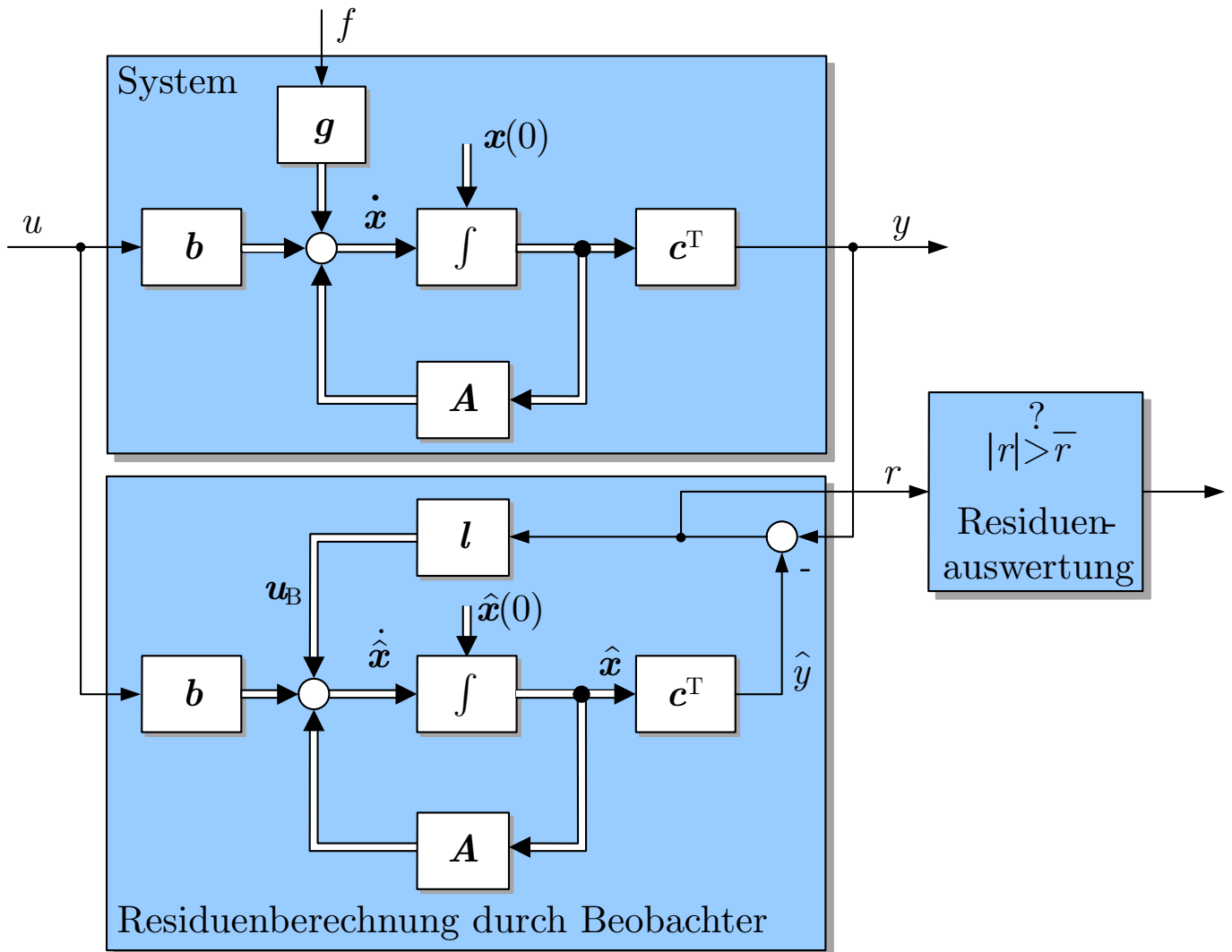
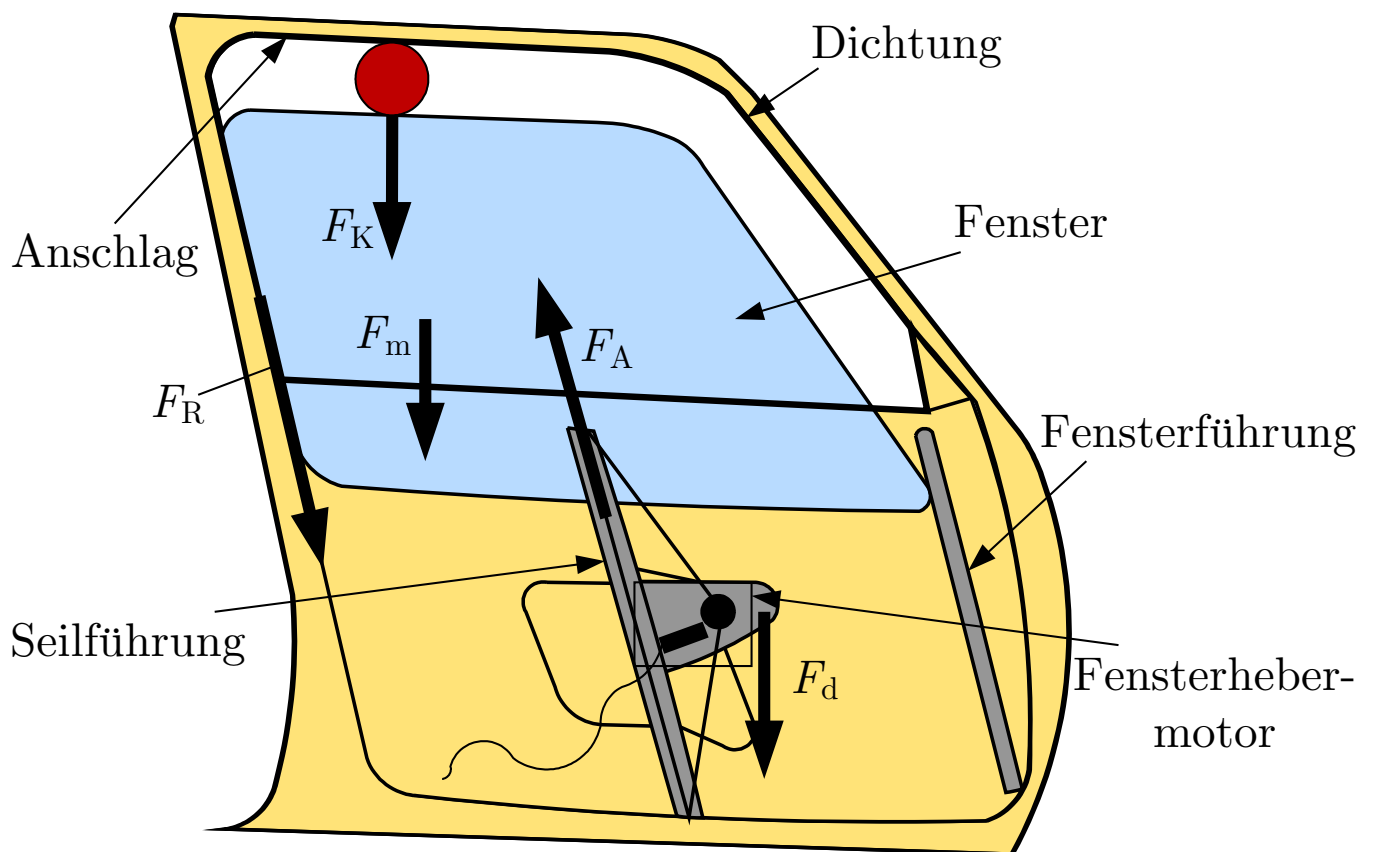


Abb. 10.7: Fehlererkennung mit Hilfe eines Beobachters

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 10.8: Elektrischer Fensterheber**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



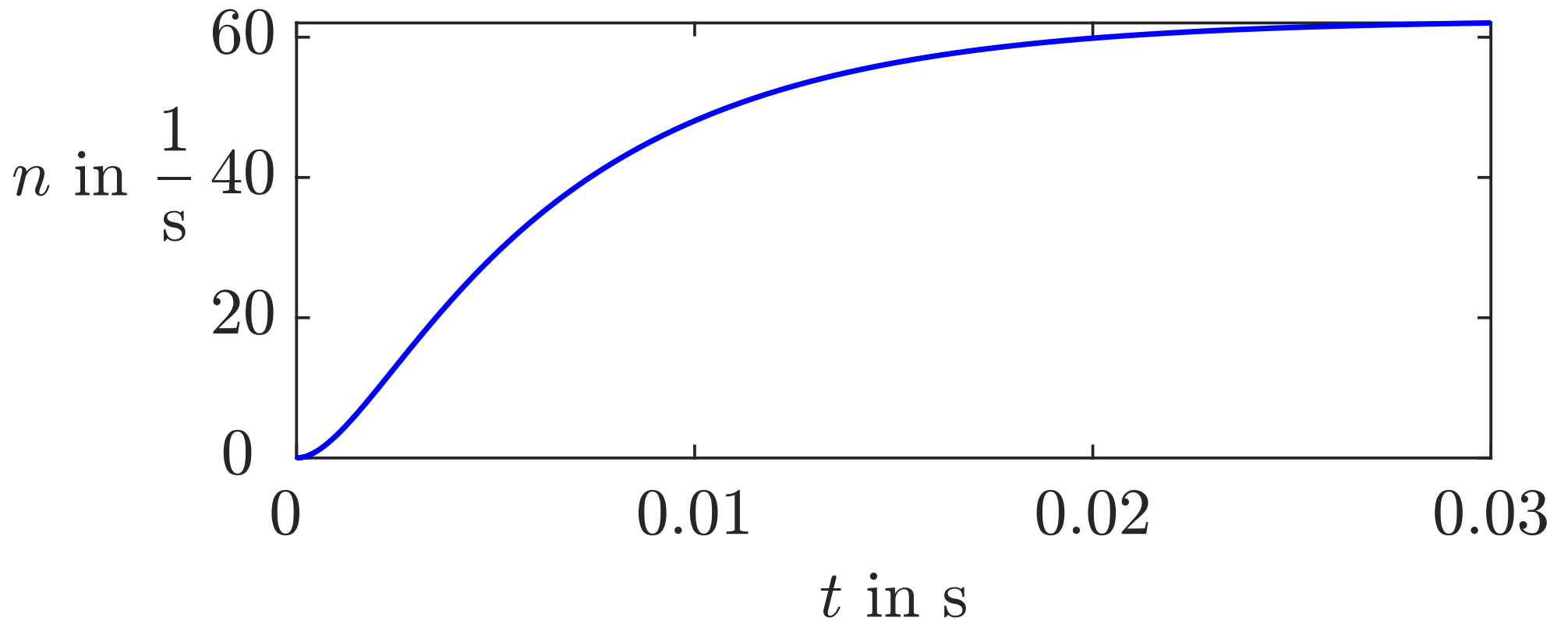
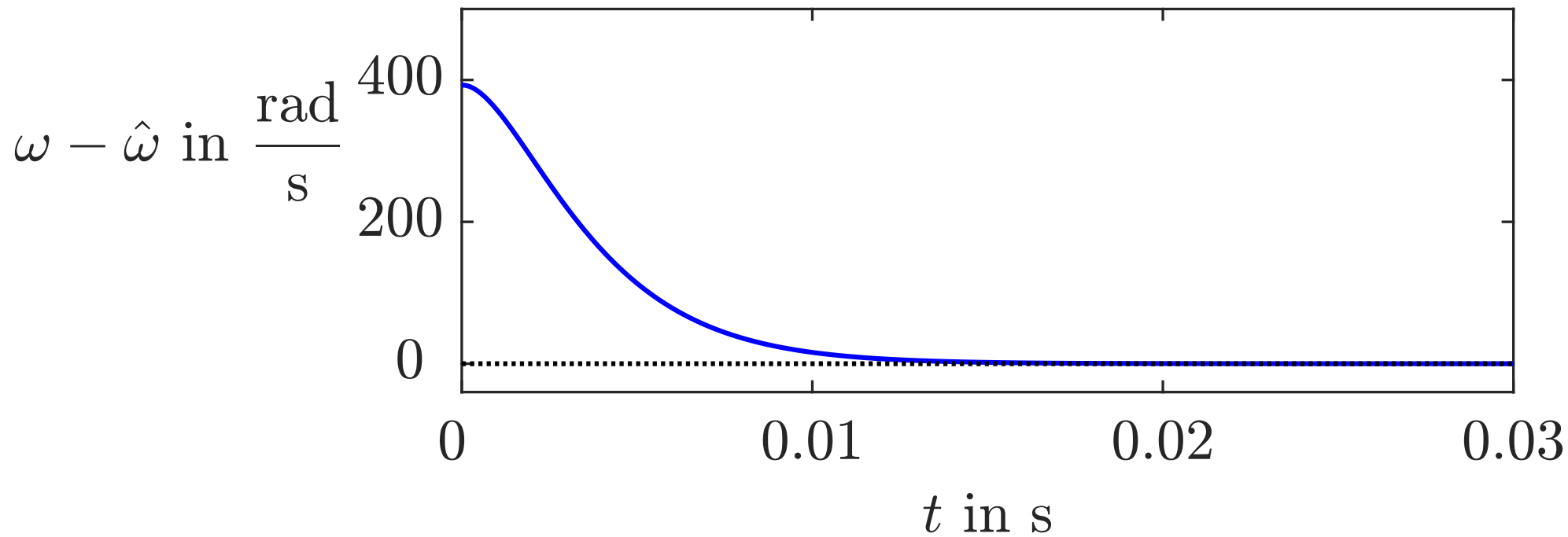


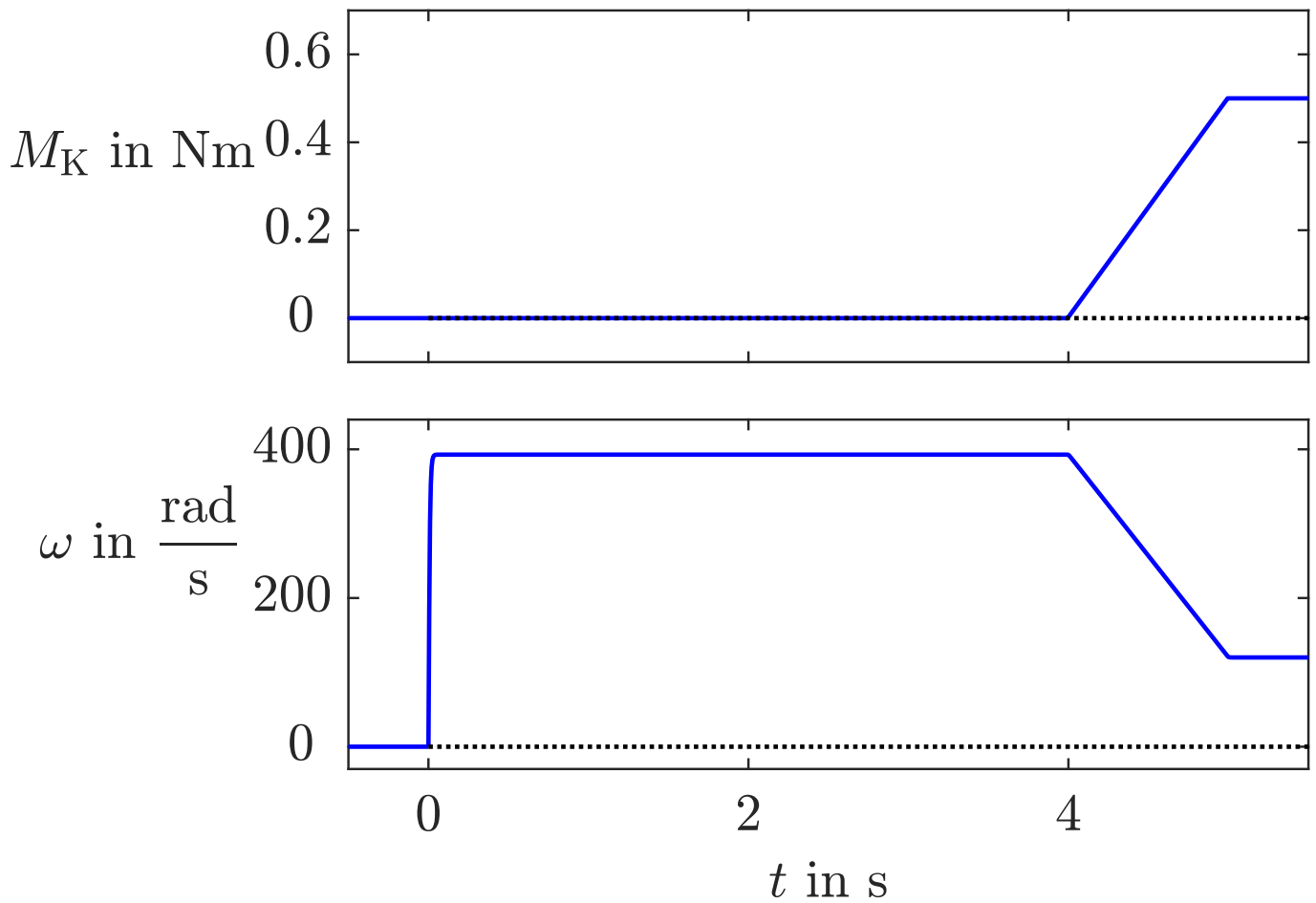
Abb. 10.9. Verlauf der Drehzahl  $n$  beim Einschalten des Fensterhebers

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



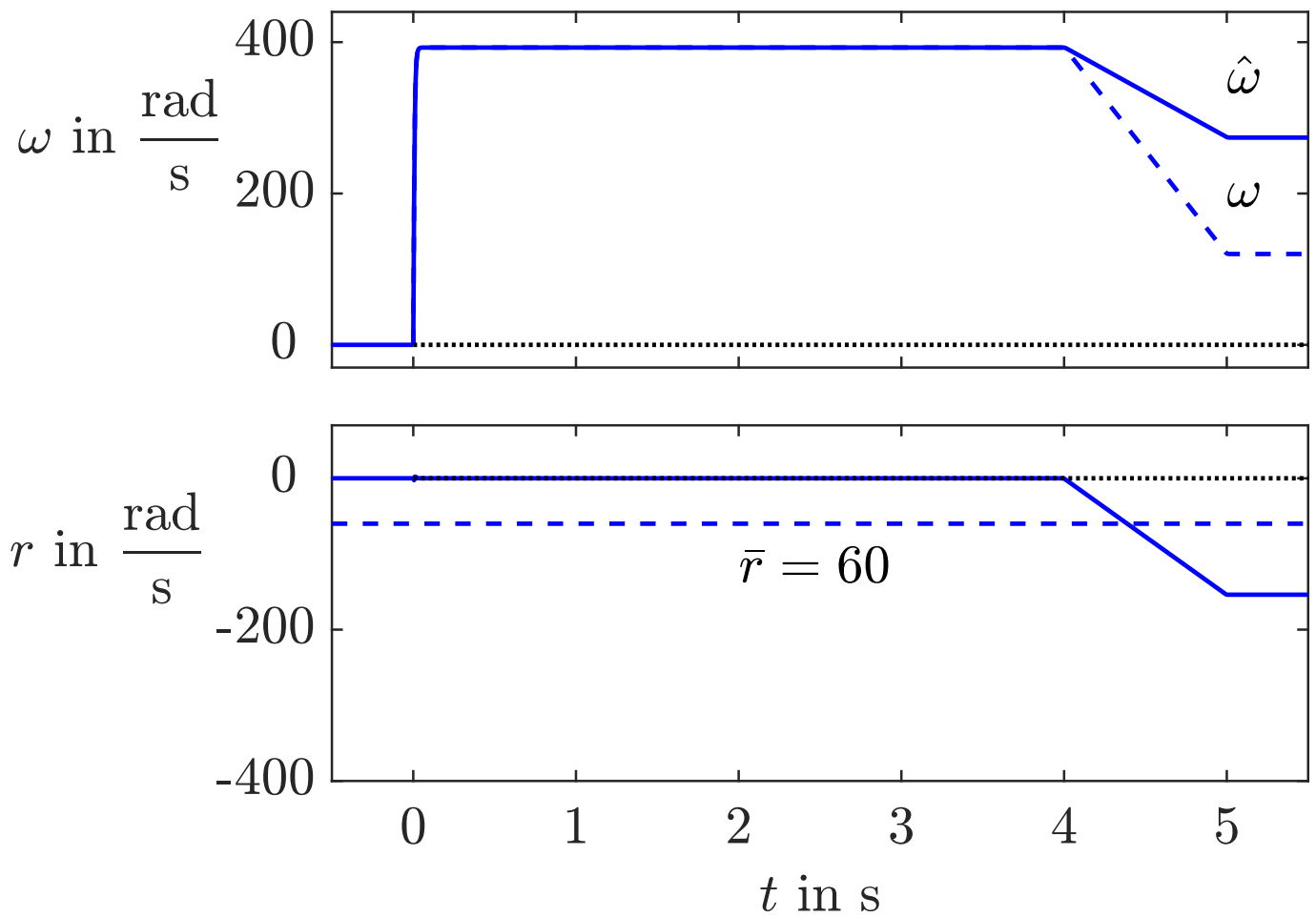
**Abb. 10.10. Verlauf des Beobachtungsfehlers**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



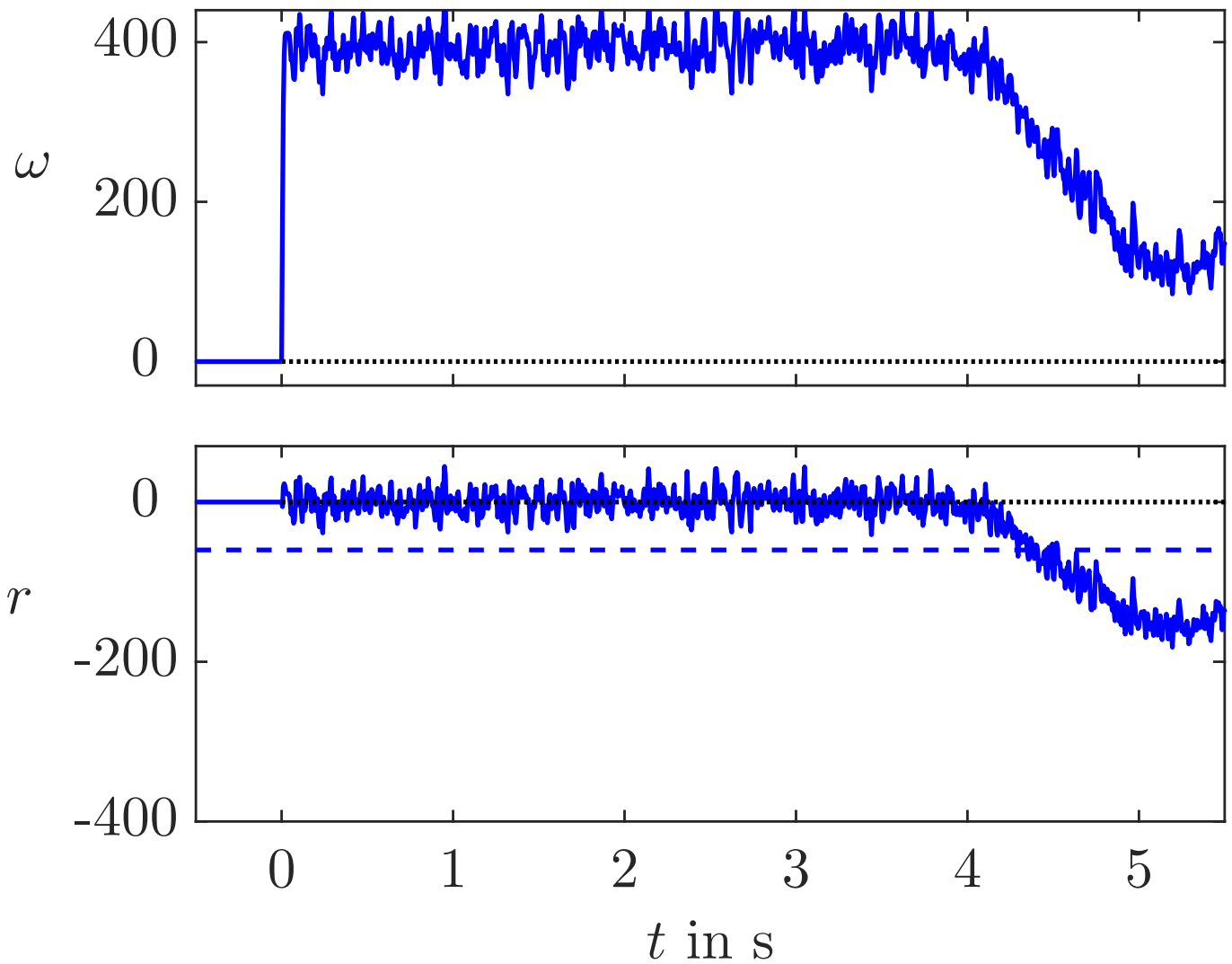
**Abb. 10.11: Verhalten des Fensterhebers beim Einklemmen eines Gegenstands**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



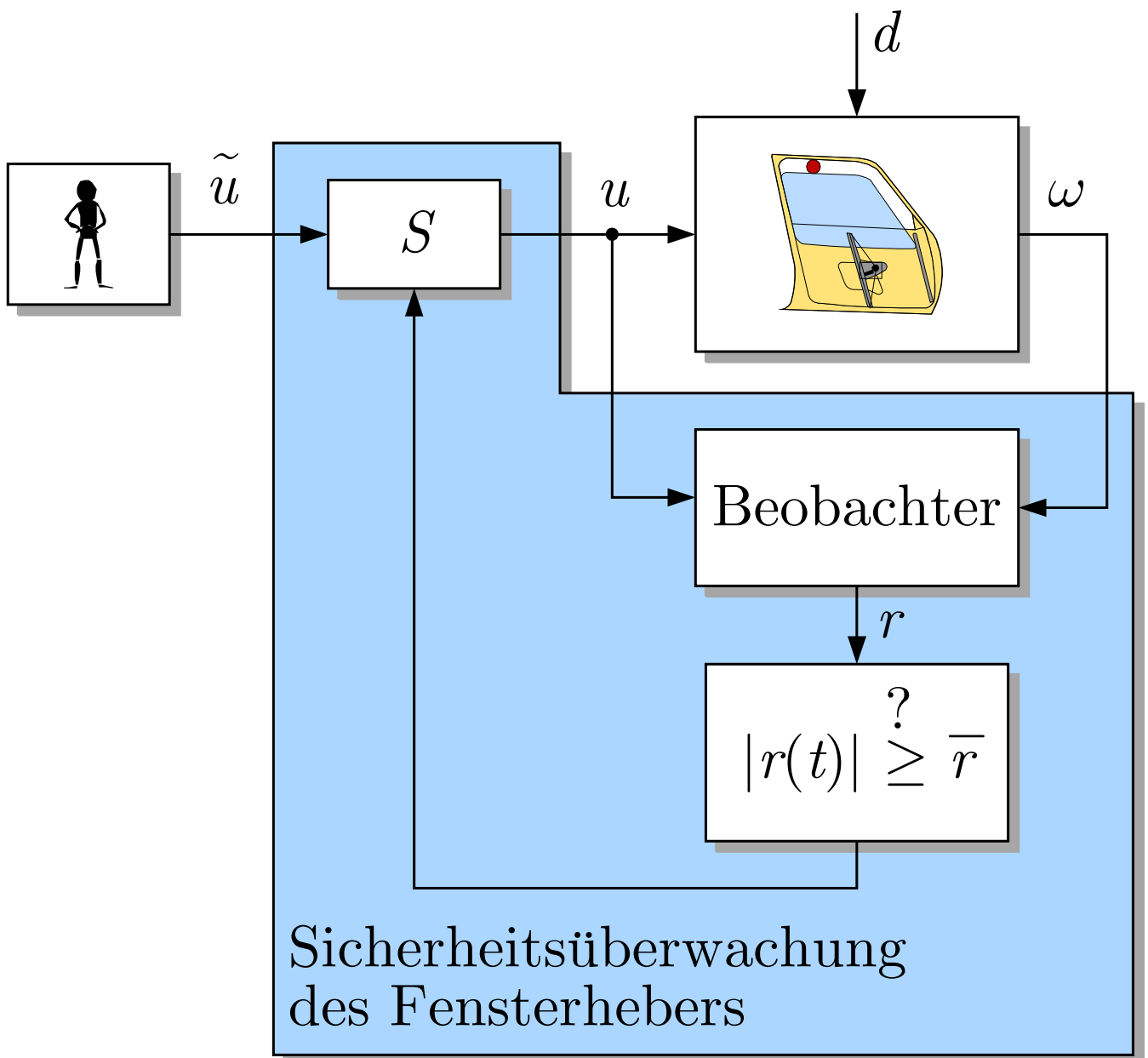
**Abb. 10.12: Erkennen des Einklemmfalls bei  $|r(t)| \neq 0$  ohne Störung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



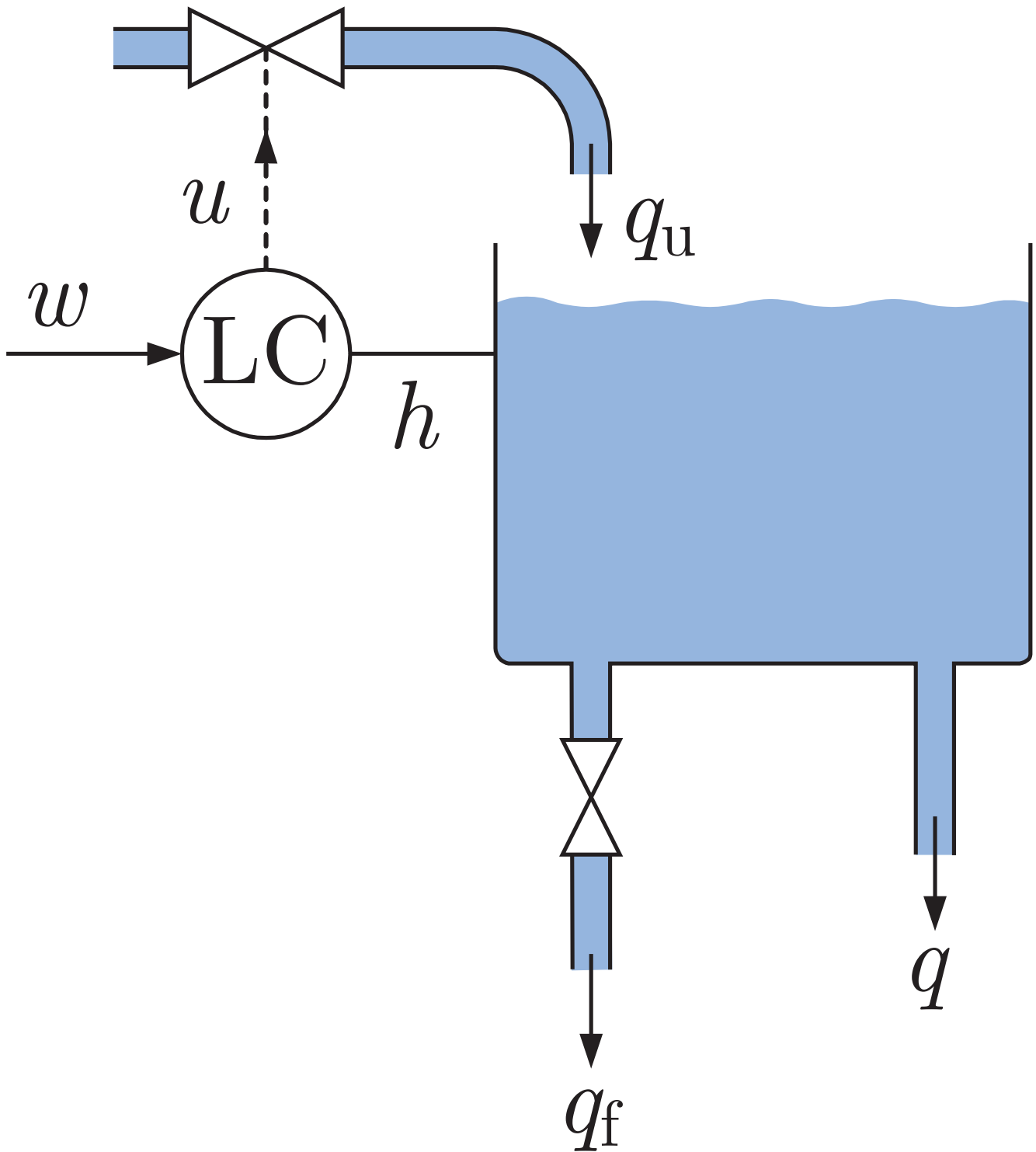
**Abb. 10.12: Erkennen des Einklemmfalls bei  $|r(t)| \neq 0$  bei Störung durch Straßenunebenheiten**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



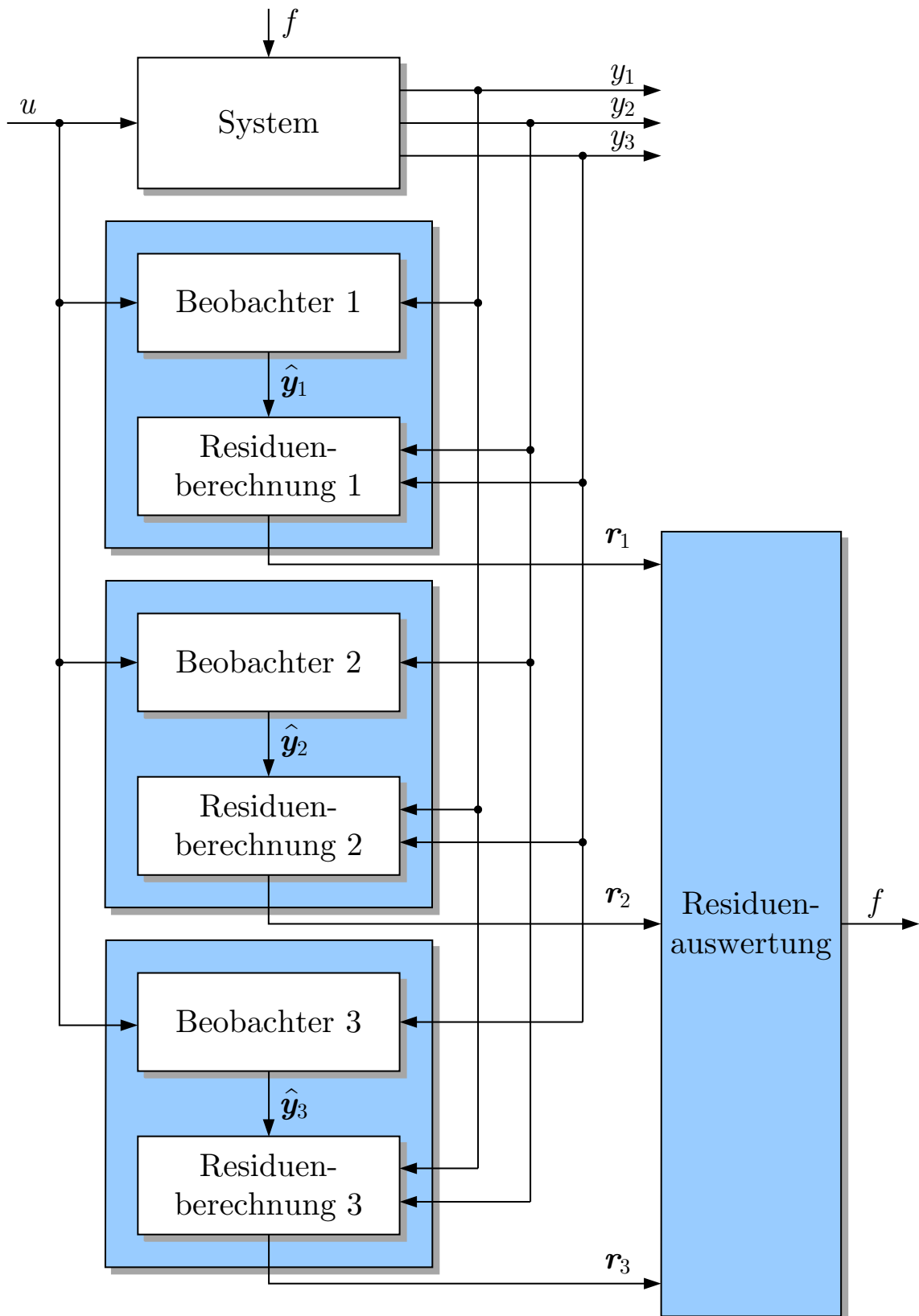
**Abb. 10.13: Sicherheitsüberwachung des Fensterhebers**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



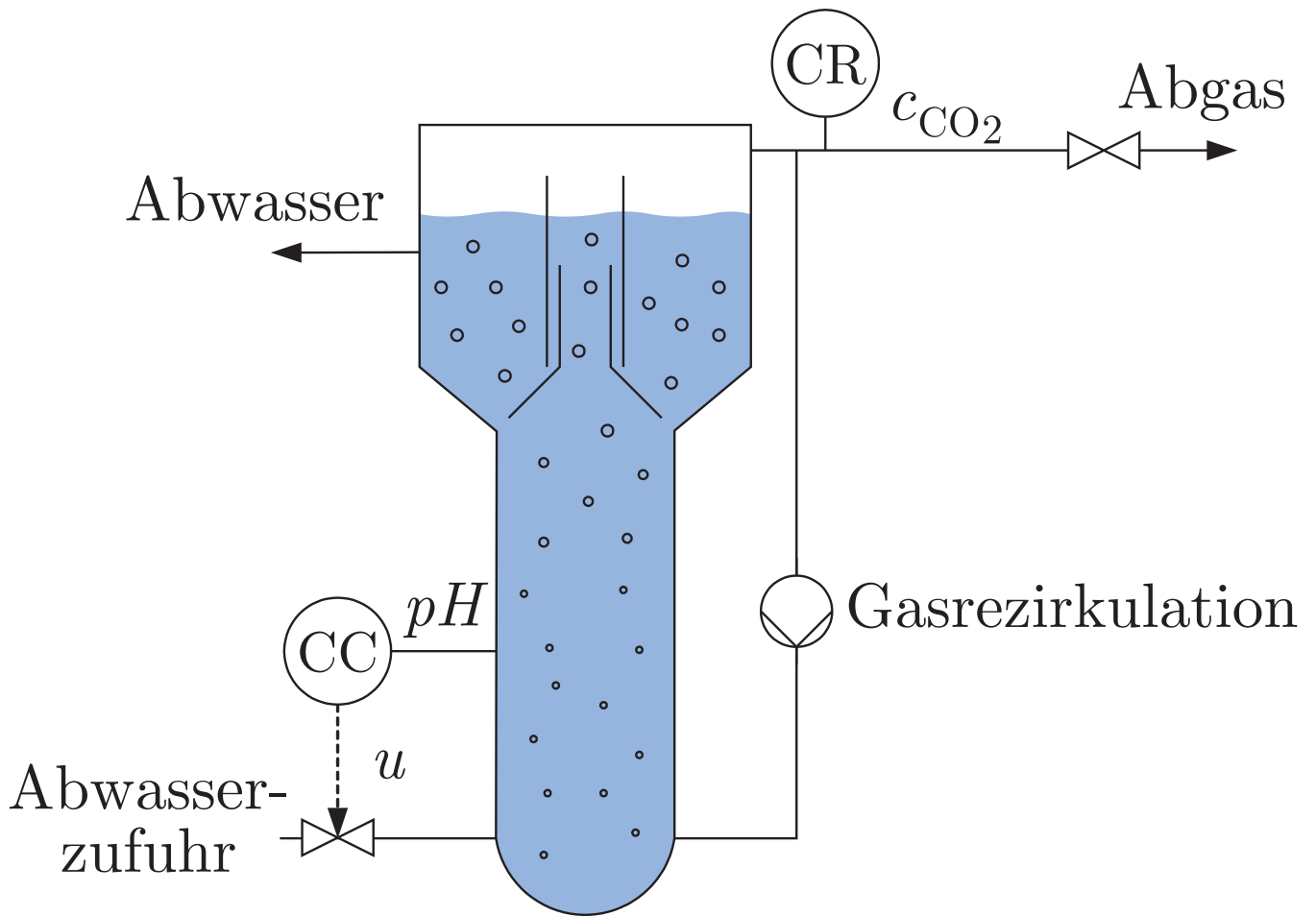
**Abb. 10.14: Reaktor mit Füllstandsregelung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



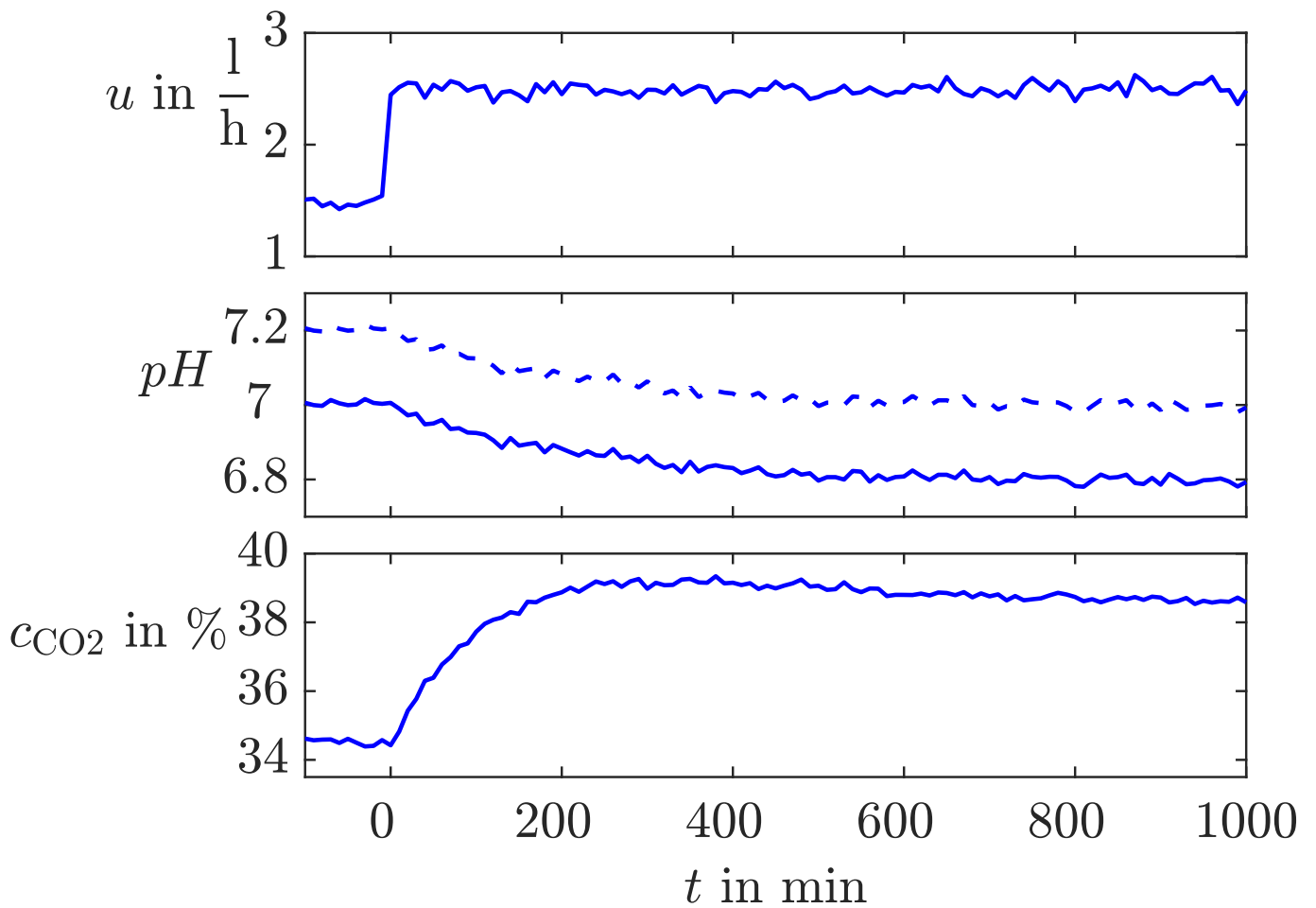
**Abb. 10.15. Sensorüberwachung mit dedizierten Beobachtern**





**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*

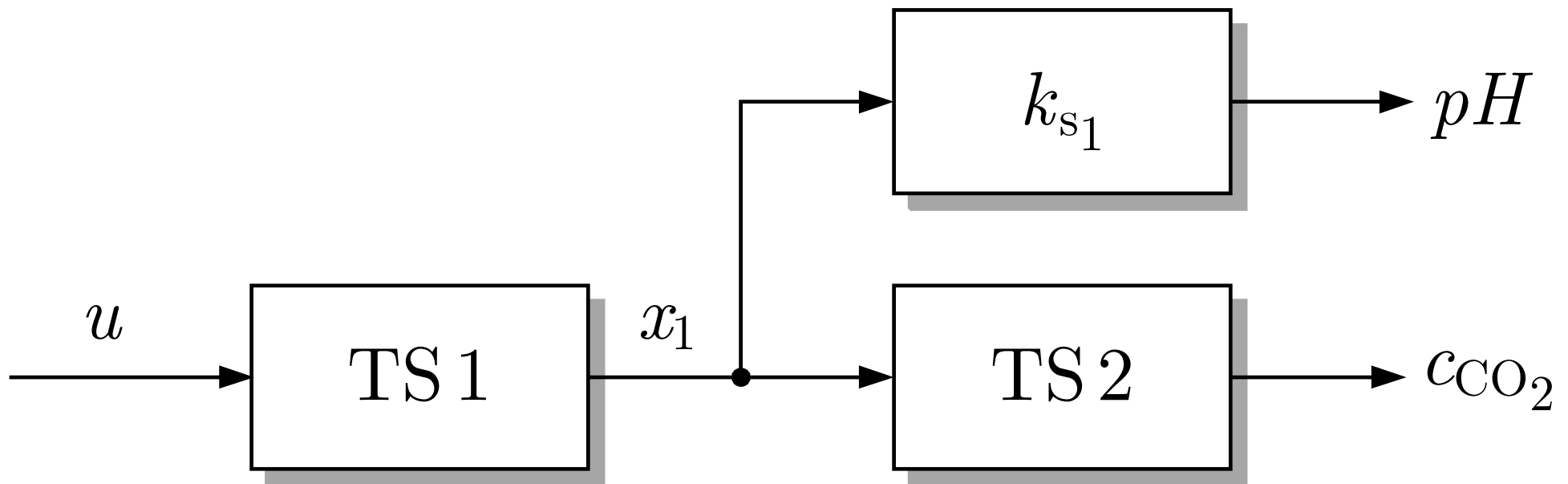


Abb. 10.18. Struktur des Modells für die Beschreibung des Bioreaktors

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

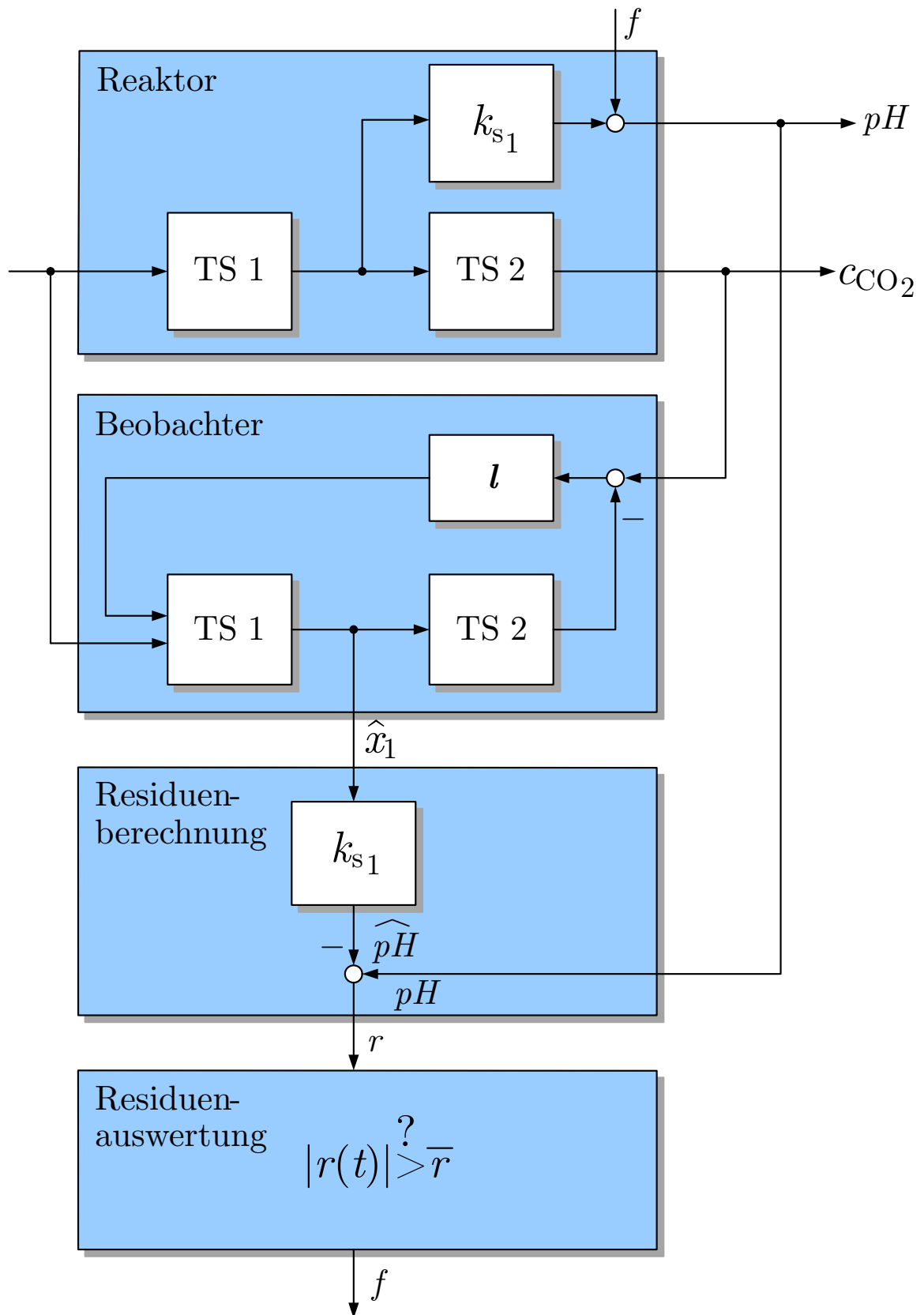
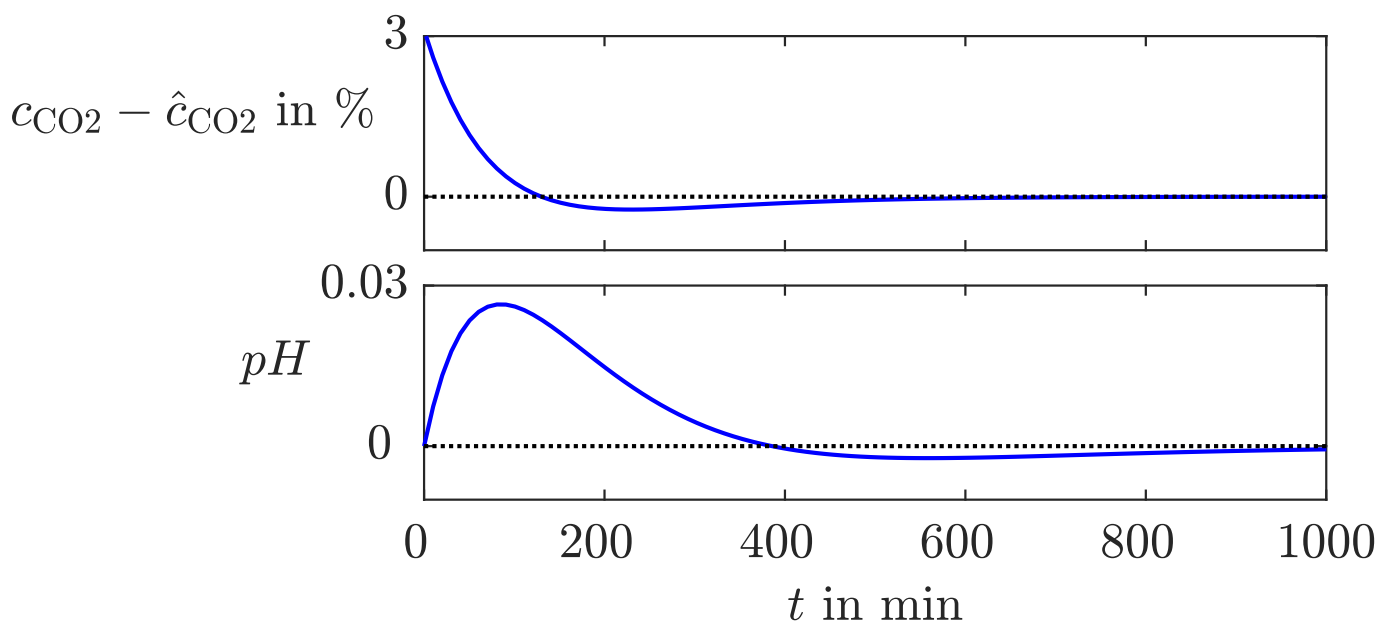


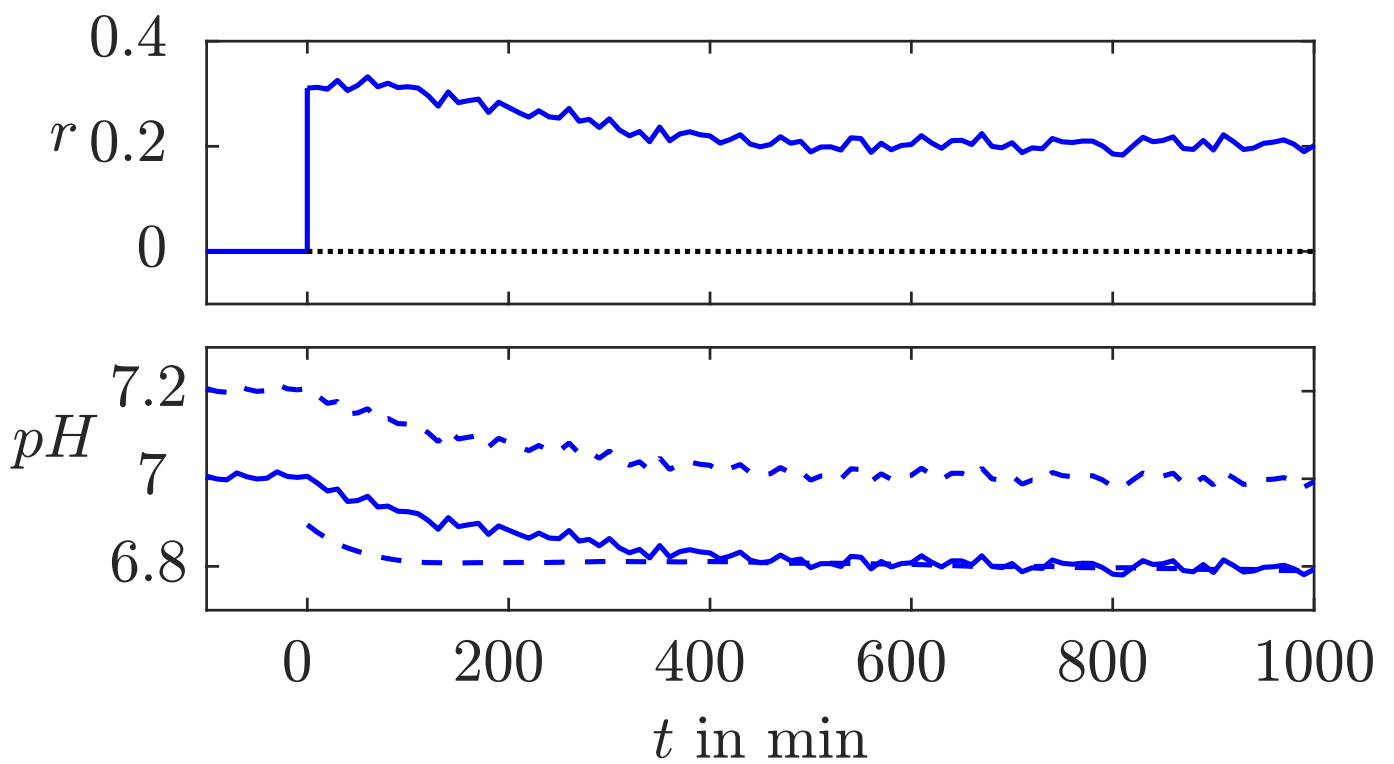
Abb. 10.19. Überwachung des pH-Sensors

J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020



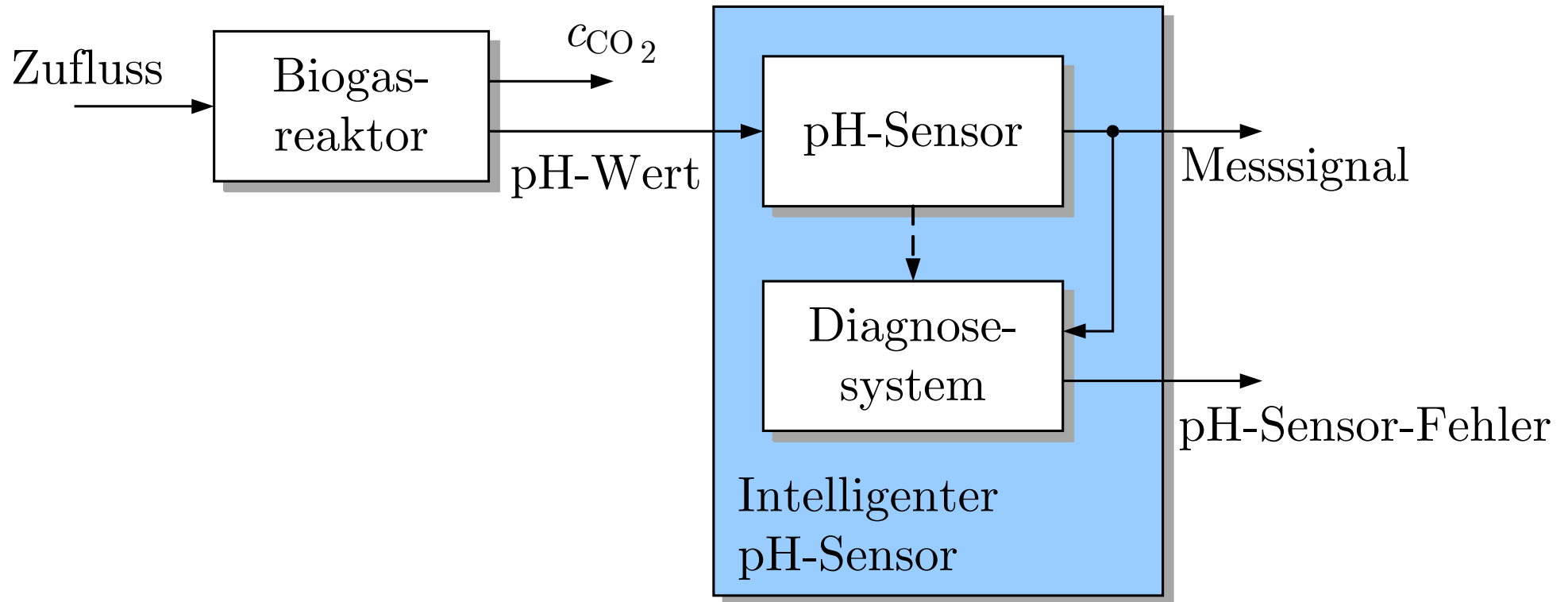
**Abb. 10.20: Einschwingverhalten des dedizierten Beobachters bei fehlerfreien Sensoren**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



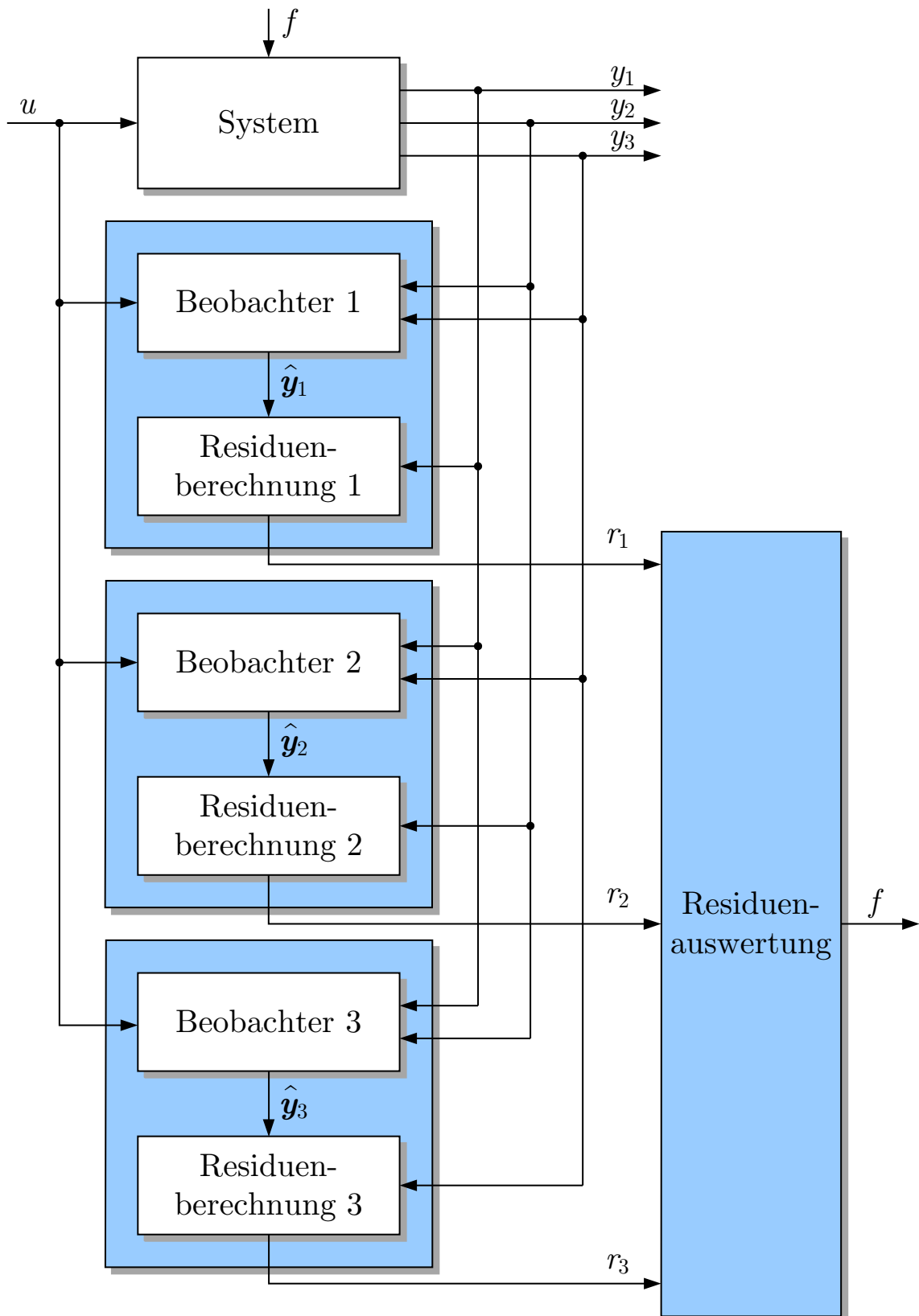
**Abb. 10.21: Sensordiagnose des Biogasreaktors**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 10.22. Intelligenter pH-Sensor**

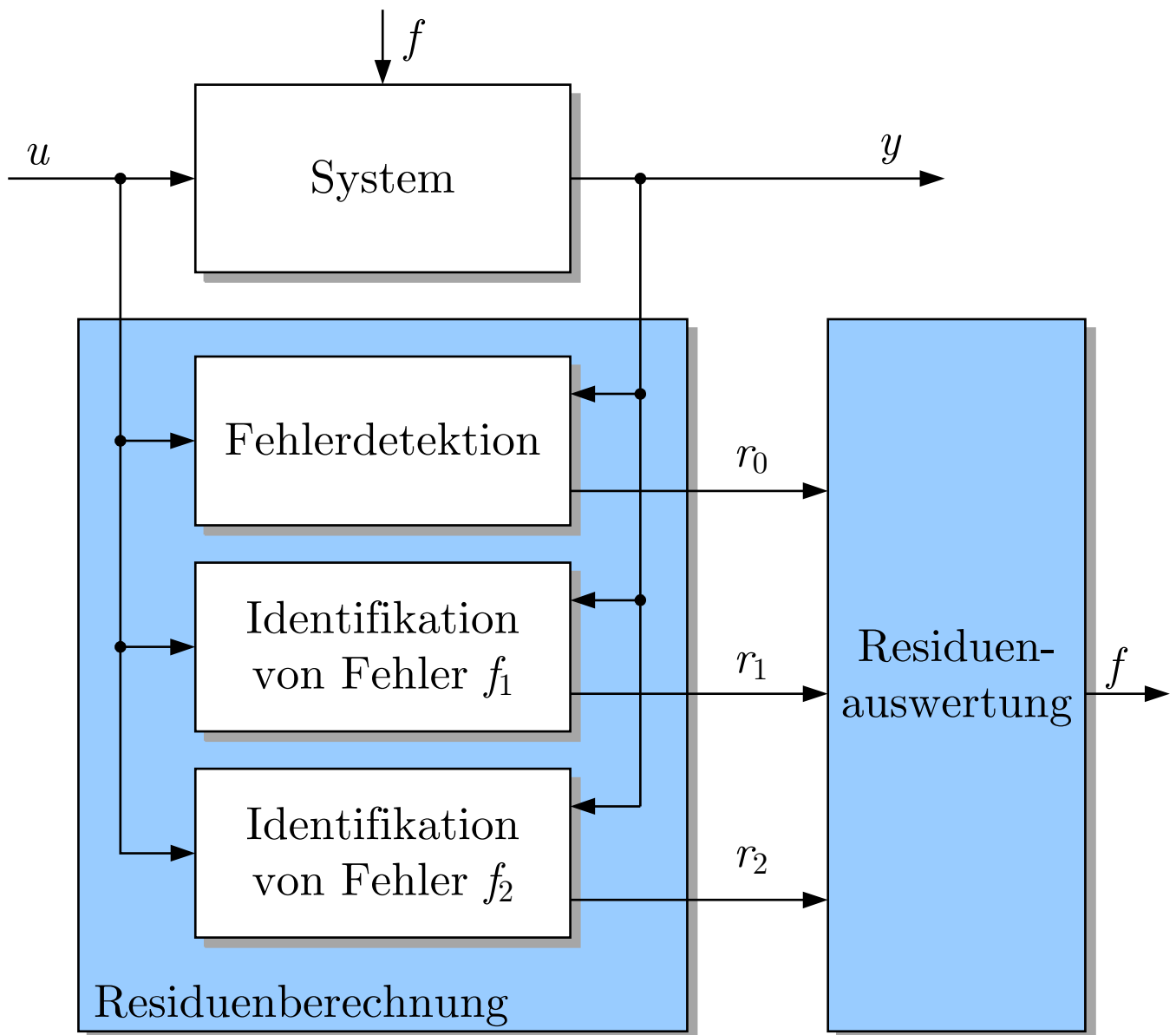
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 10.23. Sensorüberwachung mit einer verallgemeinerten Beobachterbank**

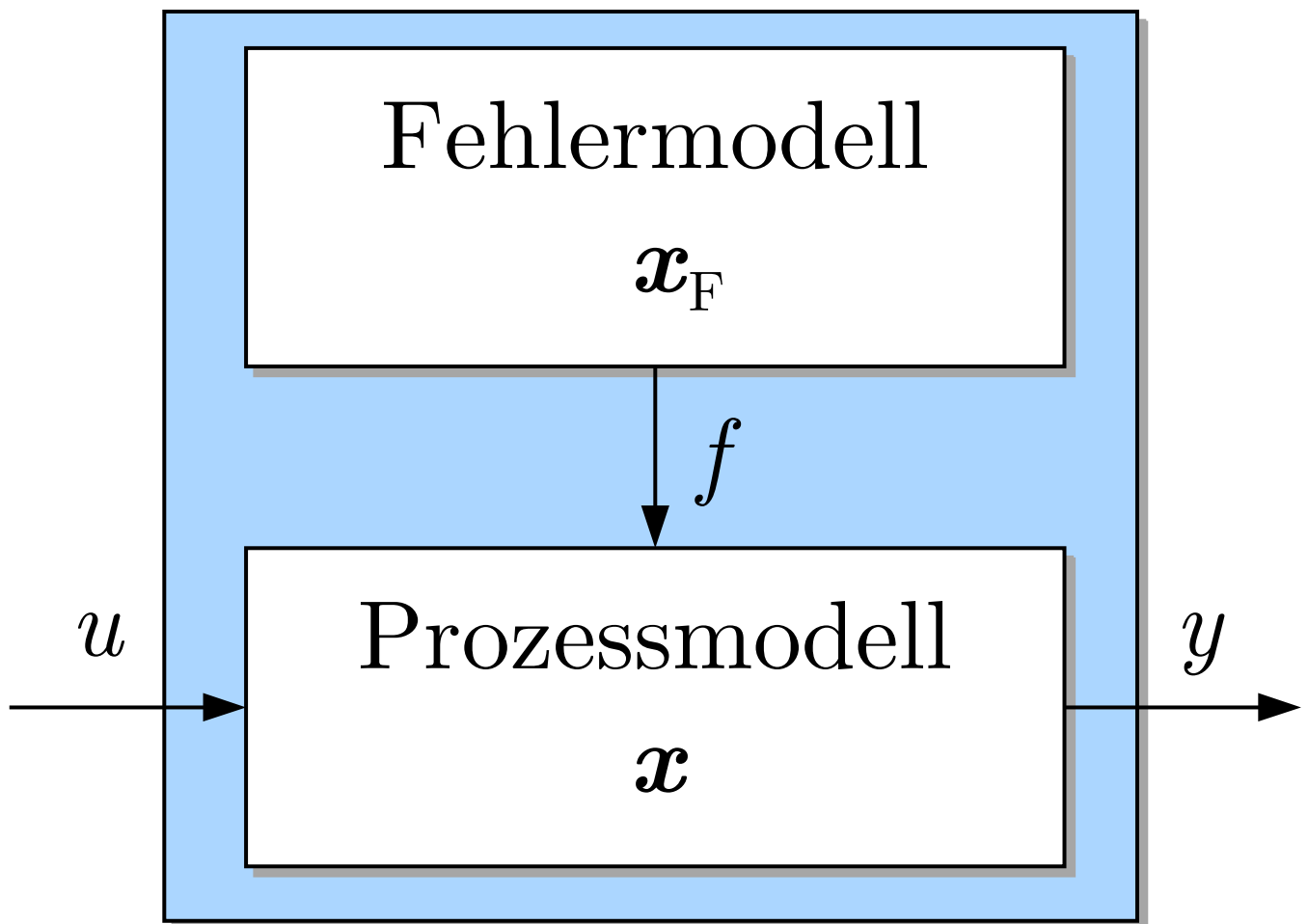
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





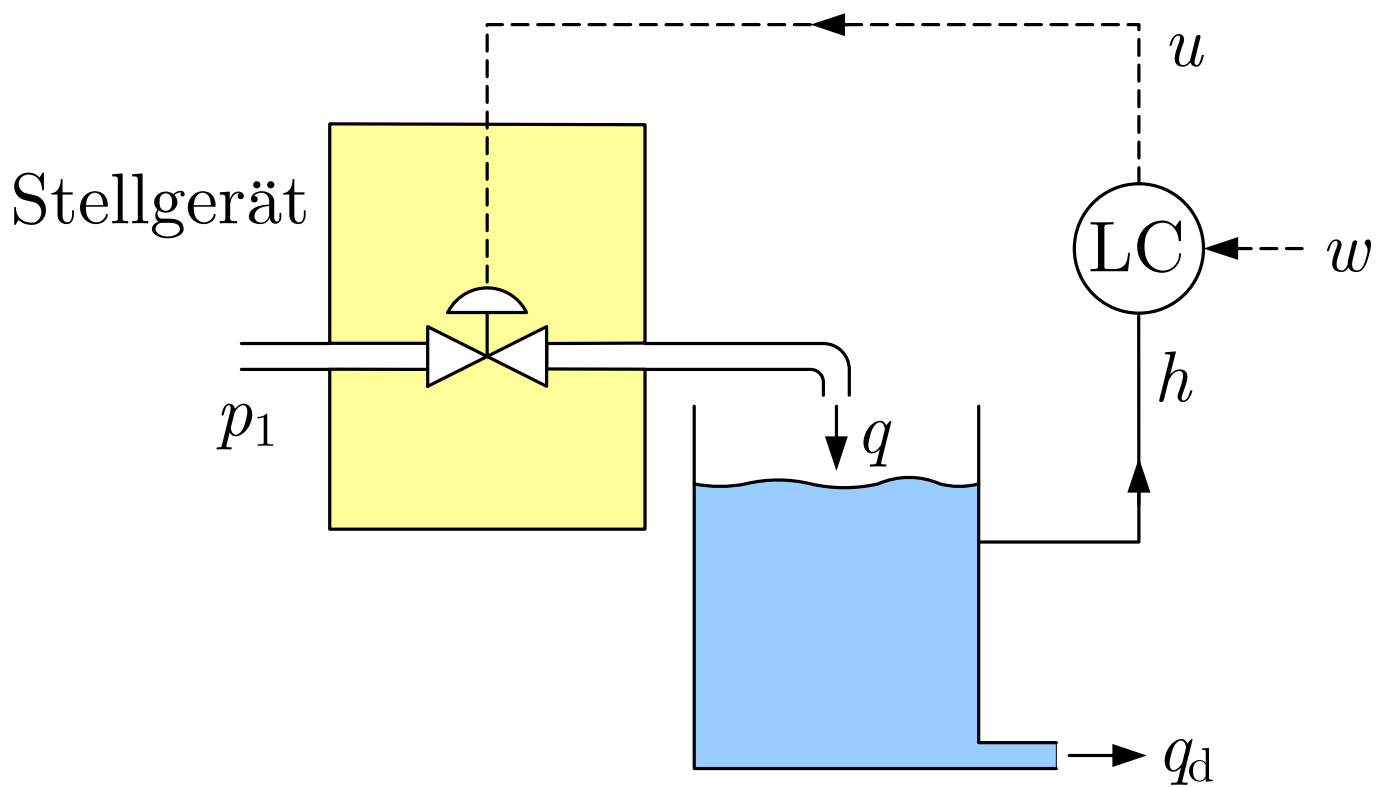
**Abb. 10.24: Fehleridentifikation mit einer Beobachterbank**

*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*

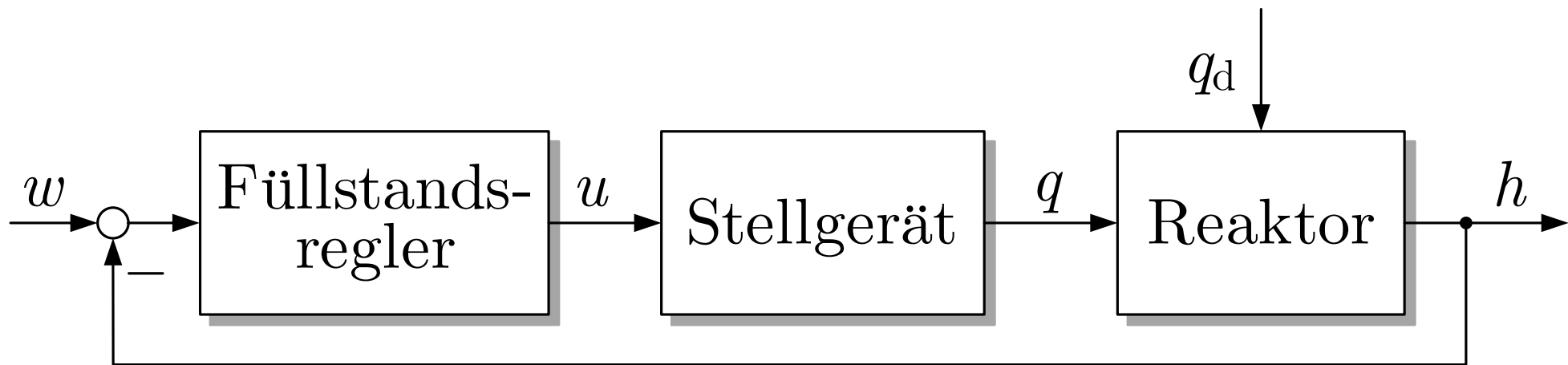
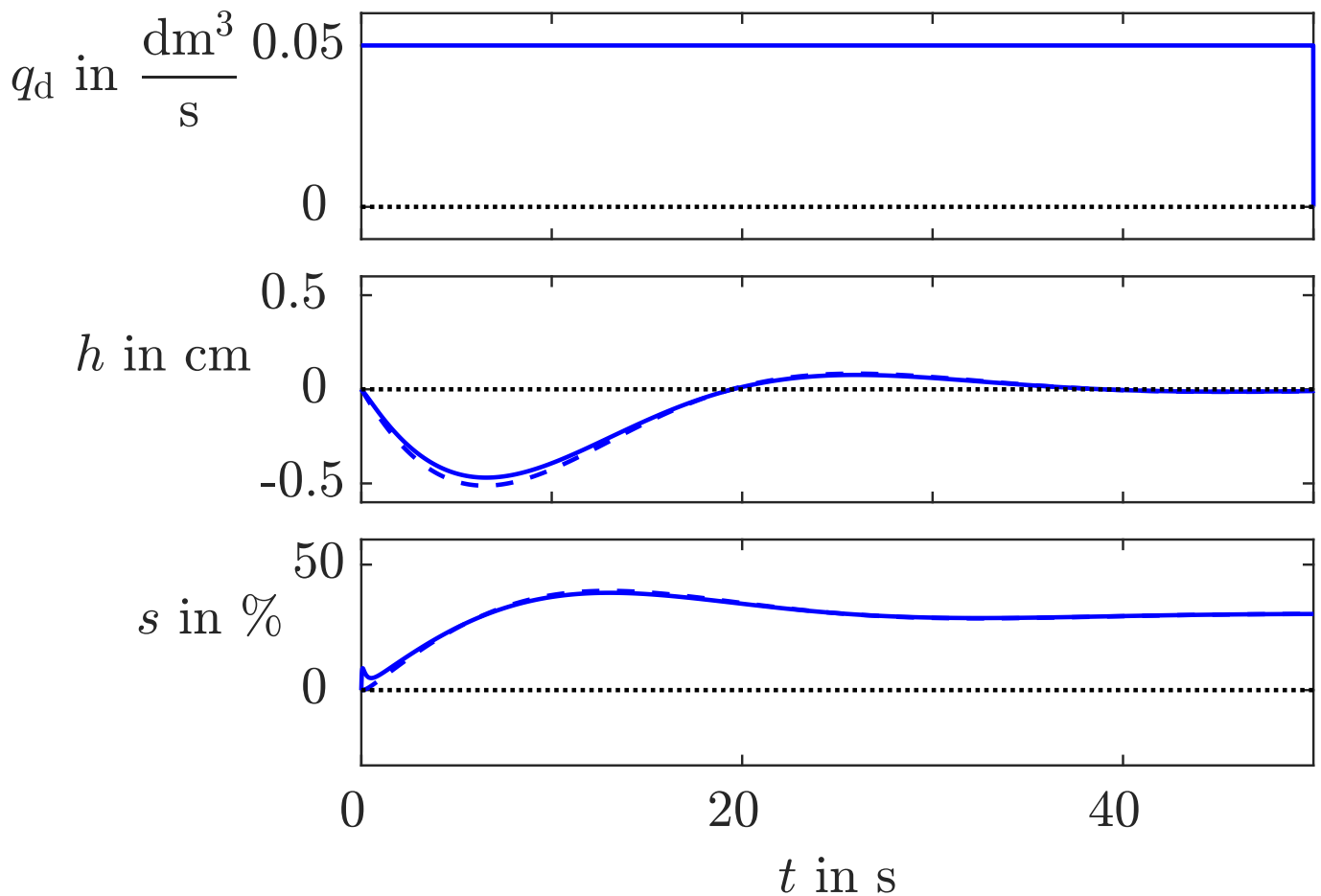


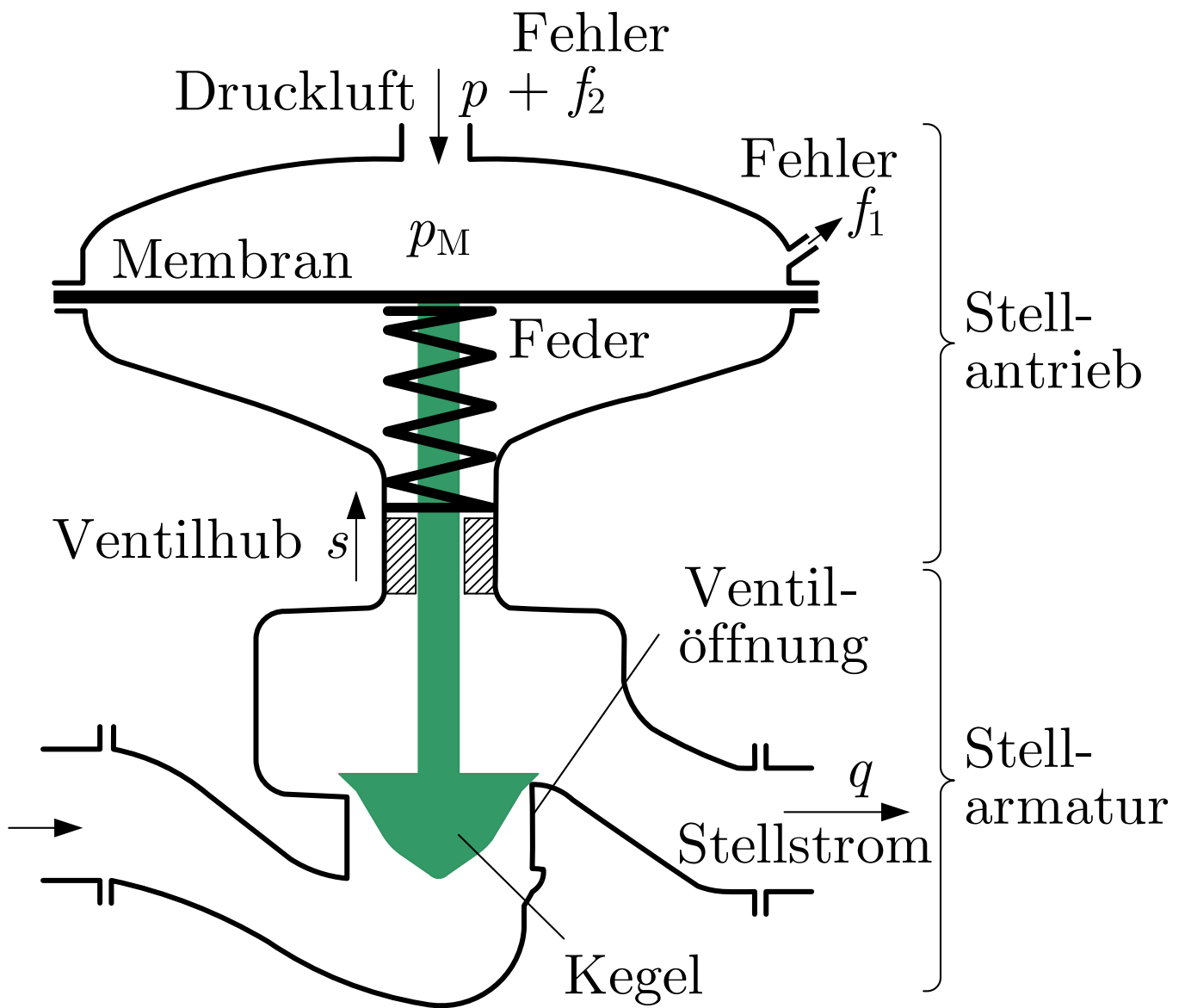
Abb. 10.27. Blockschaltbild des Füllstandsregelkreises

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



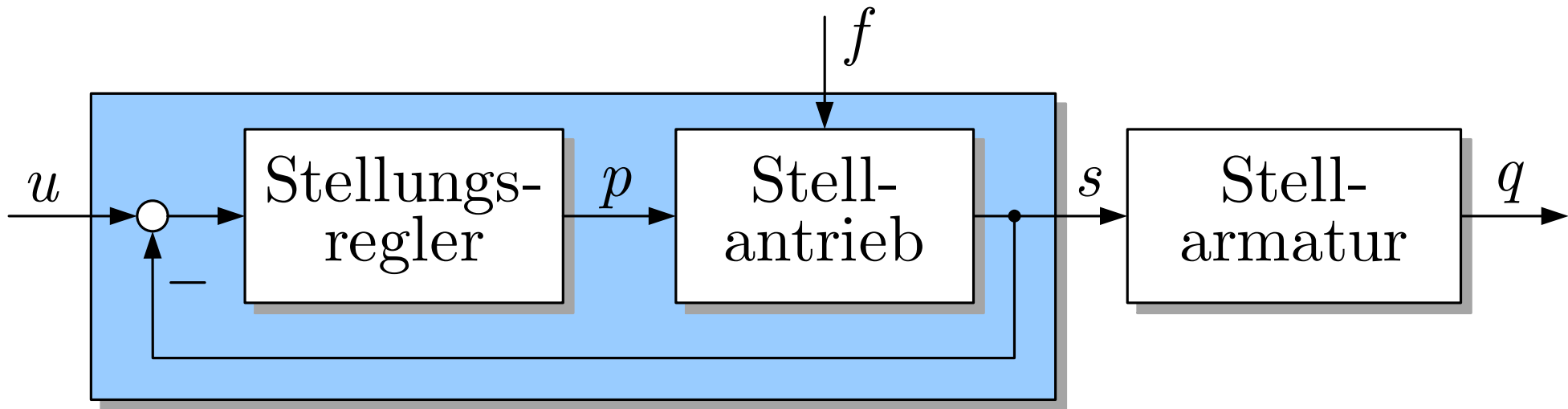
**Abb. 10.28:** Verhalten des Füllstandsregelkreises mit fehlerfreiem Stellgerät (- - -) und nach Auftreten eines Lecks im Ventilgehäuse (Fehler  $f_1$  —)

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



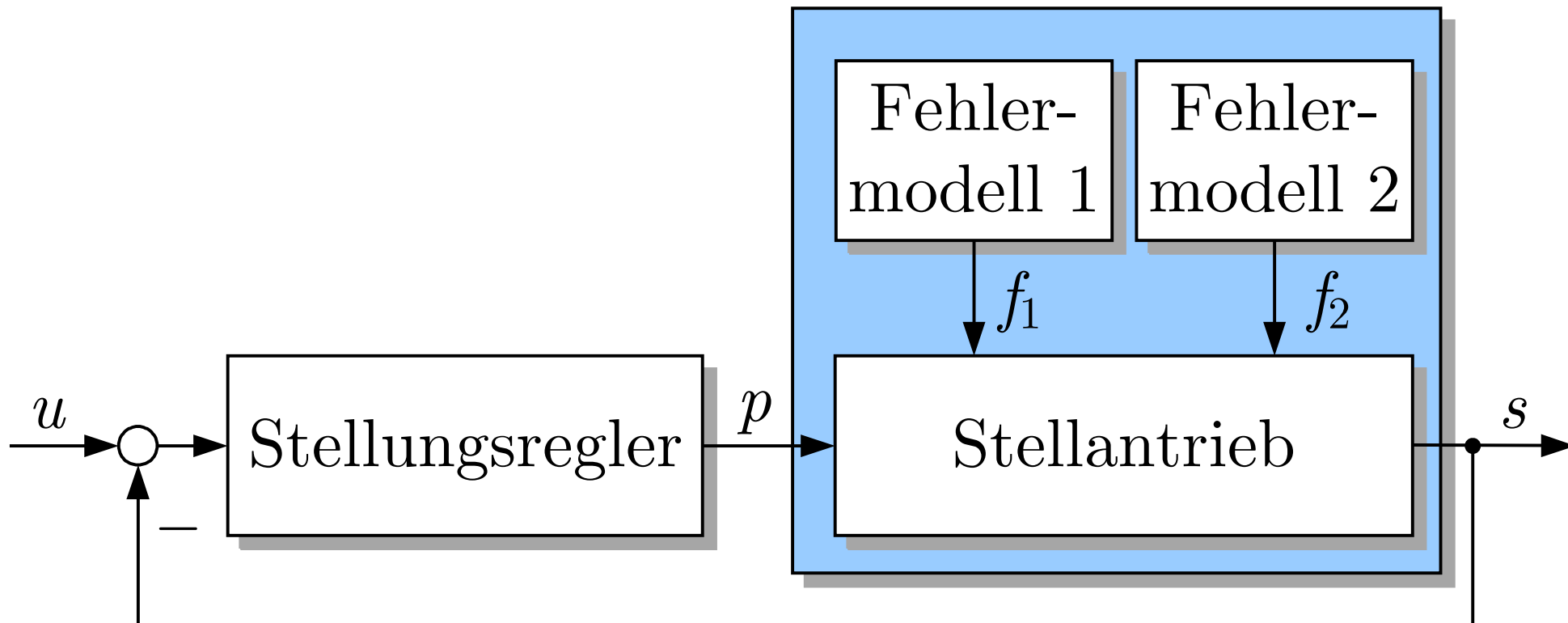
**Abb. 10.29: Aufbau eines Servoventils**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 10.30. Regelkreis des Servoventils**

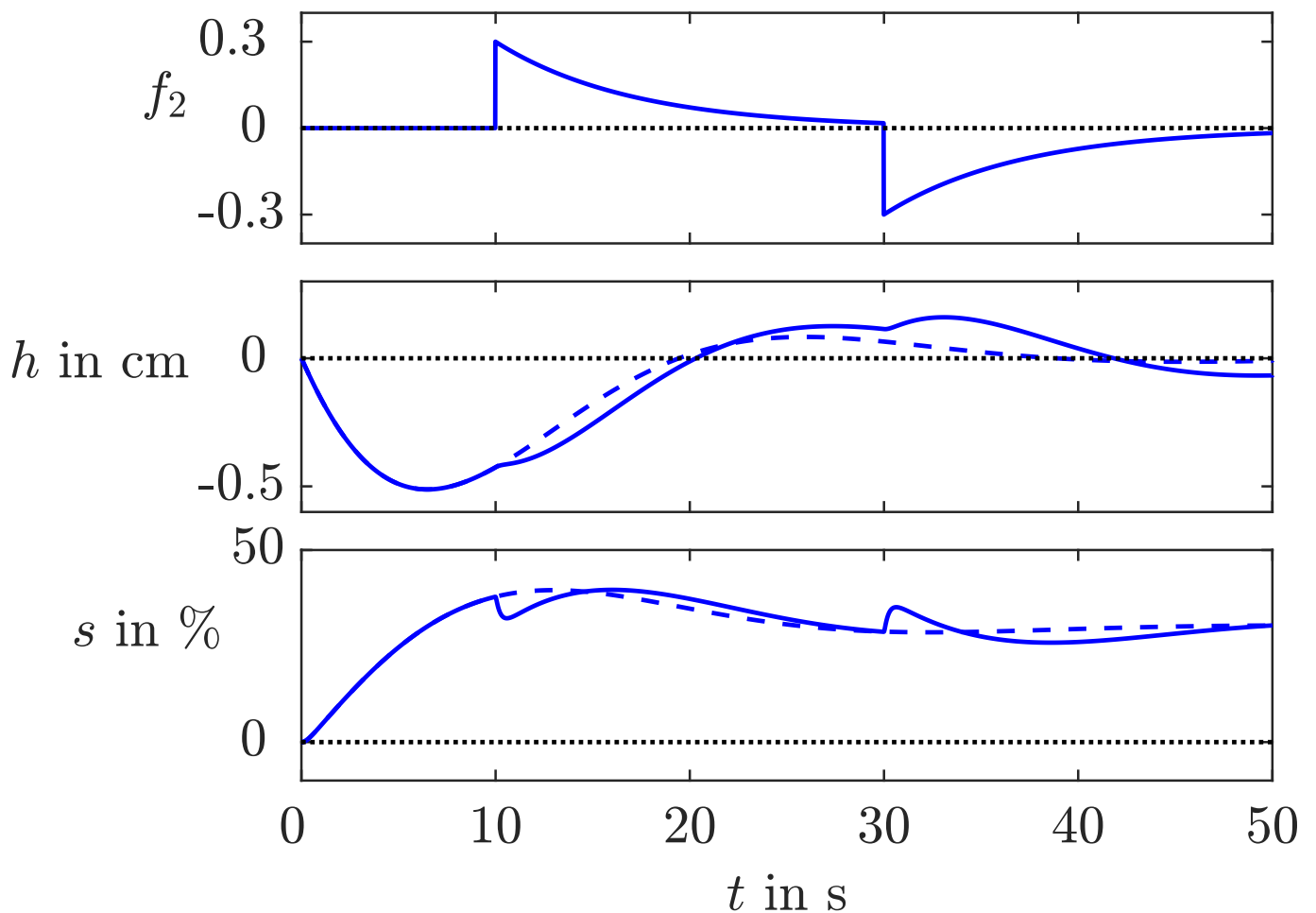
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



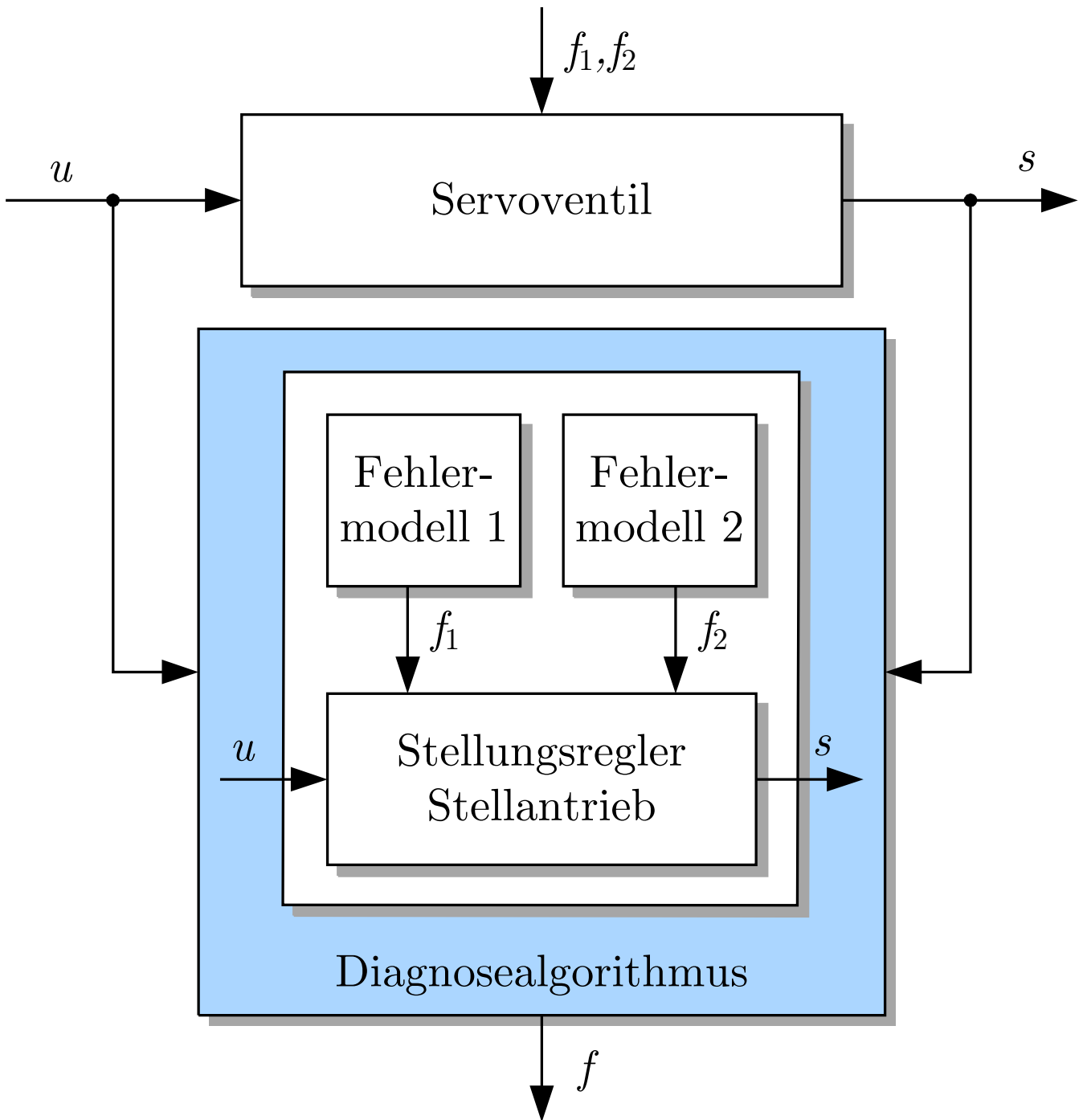
**Abb. 10.31. Stellgerät mit Fehlermodell**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

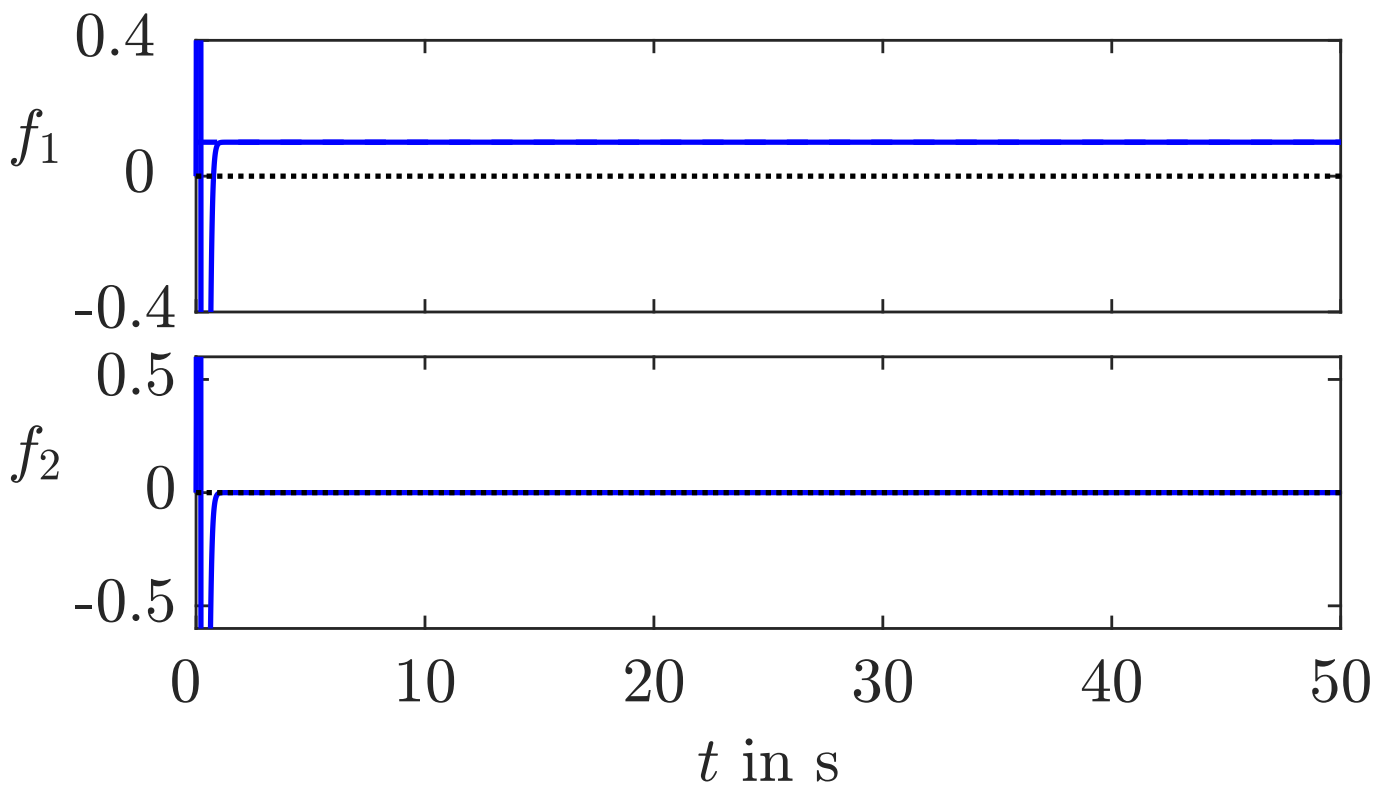




**Abb. 10.32:** Verhalten des Füllstandsregelkreises mit (—) und ohne Druckschwankung (- - -) in der Versorgungsleitung des Ventils

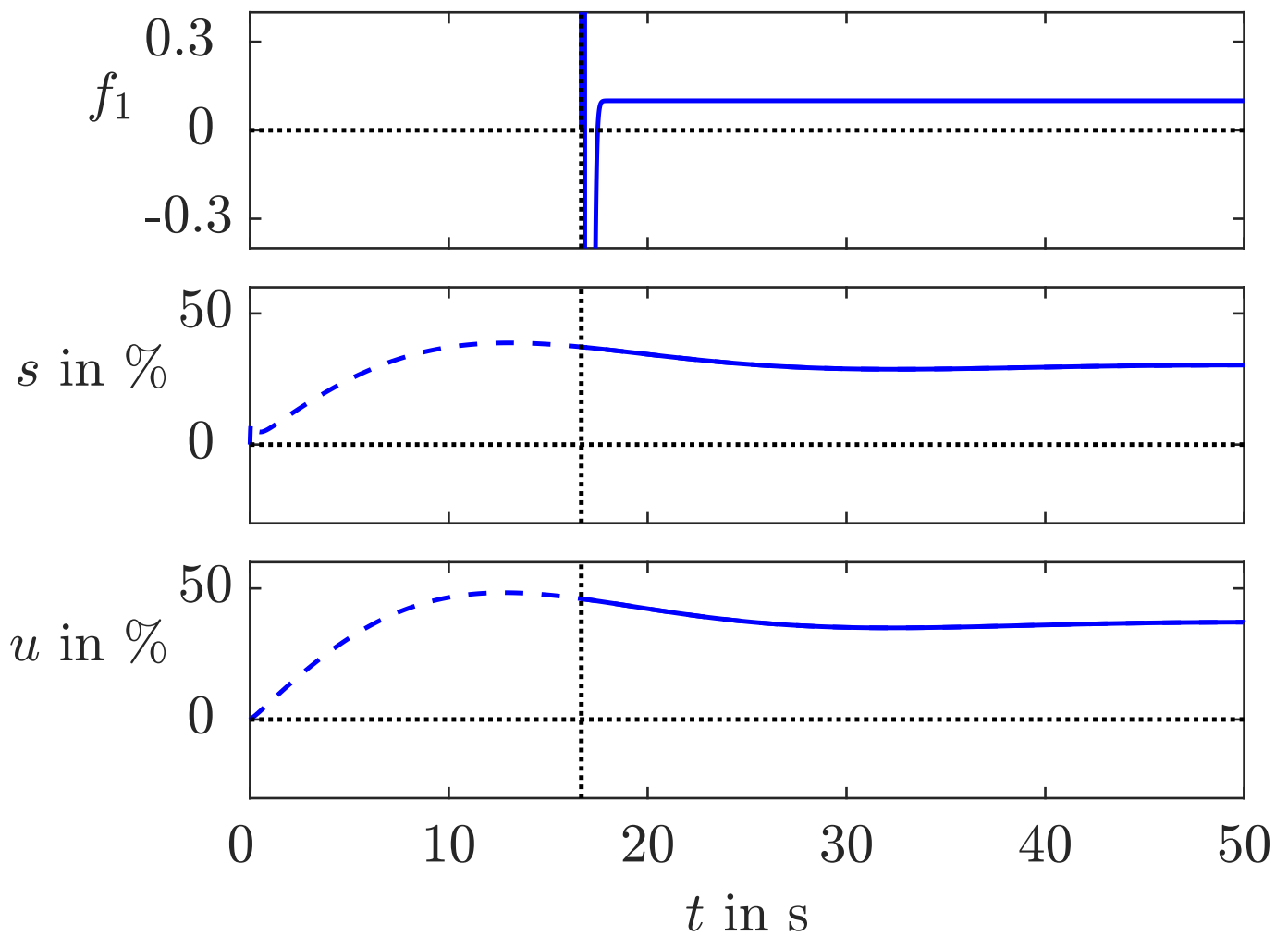


**Abb. 10.33:** Blockschaltbild für die Diagnose des Servoventils mit Kennzeichnung des für die Diagnose verwendeten Modells



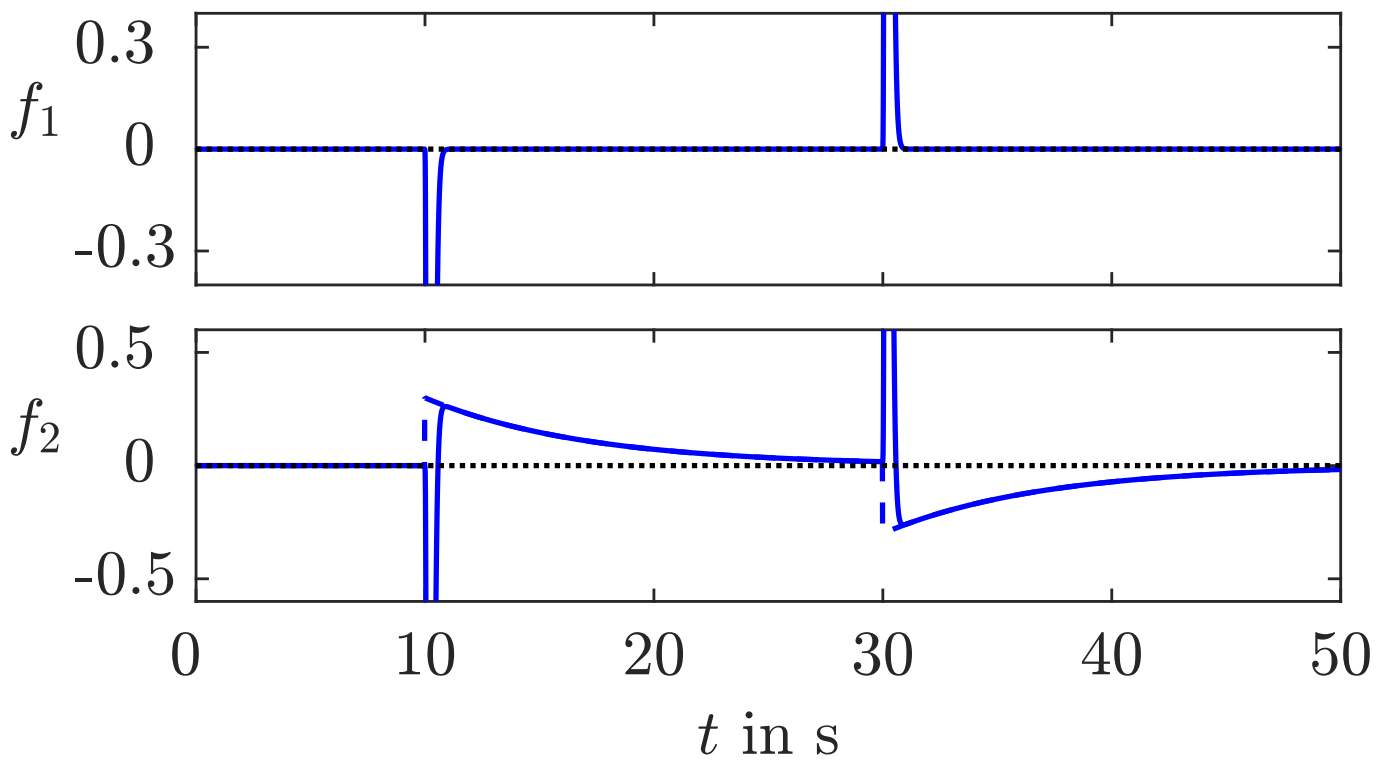
**Abb. 10.34: Fehleridentifikation für das Stellgerät bei Eintritt des Fehlers  $f_1(t)$  zum Zeitpunkt  $t = 0$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



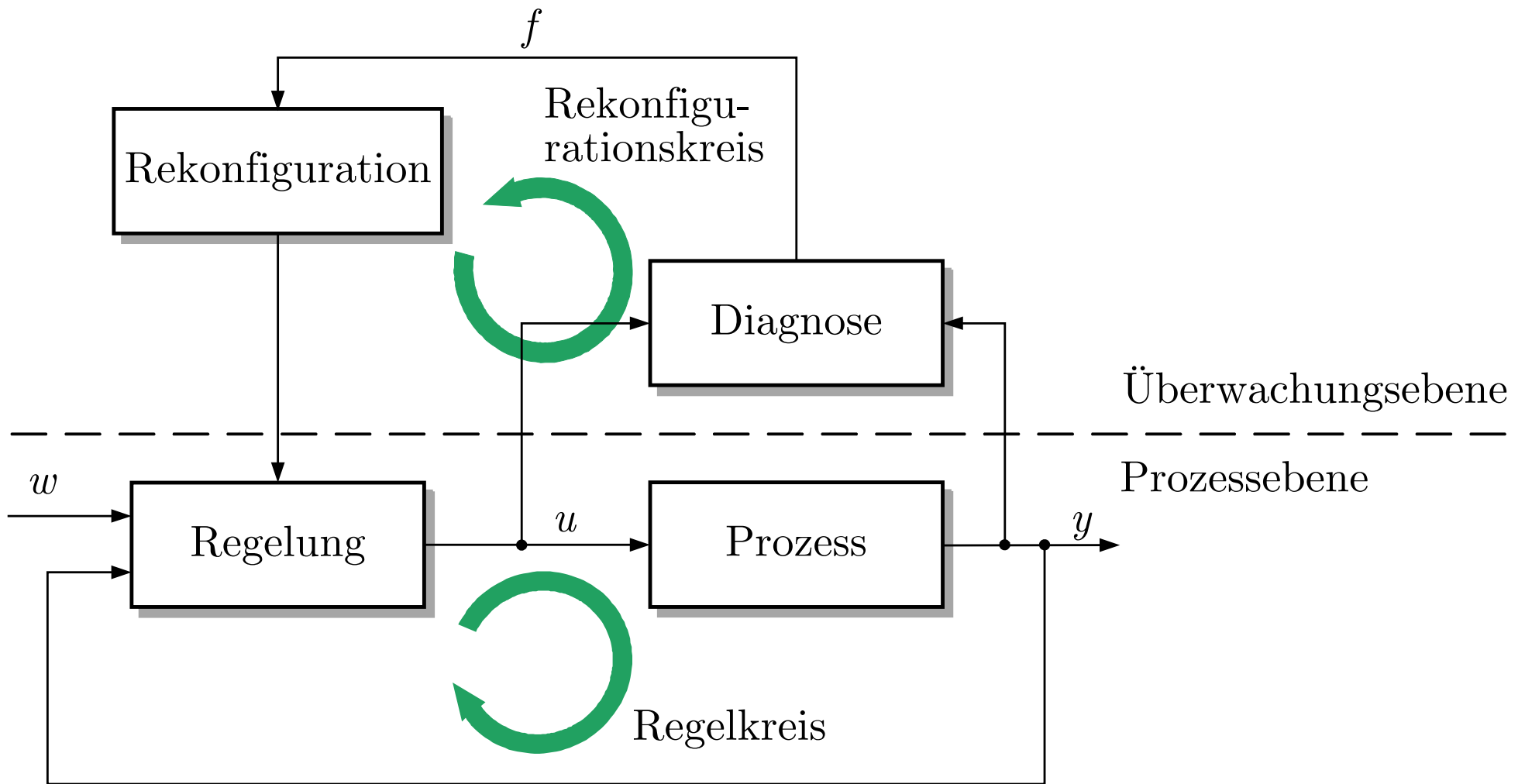
**Abb. 10.35:** Fehlererkennung im Stellgerät bei Fehlereintritt zum Zeitpunkt  $t = 0$  und Diagnosebeginn zur Zeit  $t_0 = 20$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



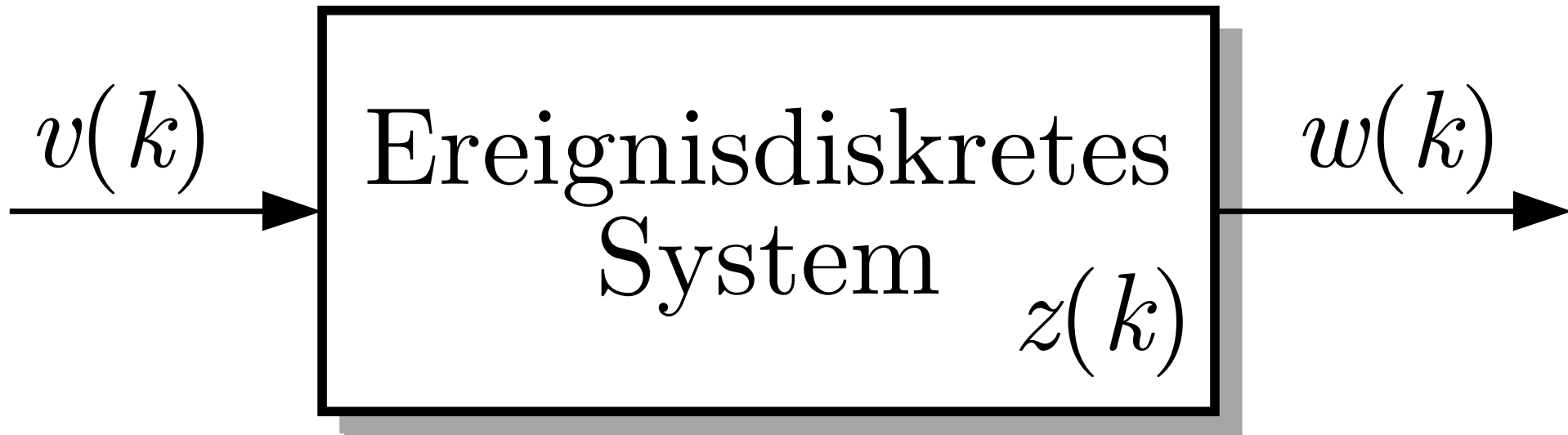
**Abb. 10.36: Identifikation des Fehlers  $f_2$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



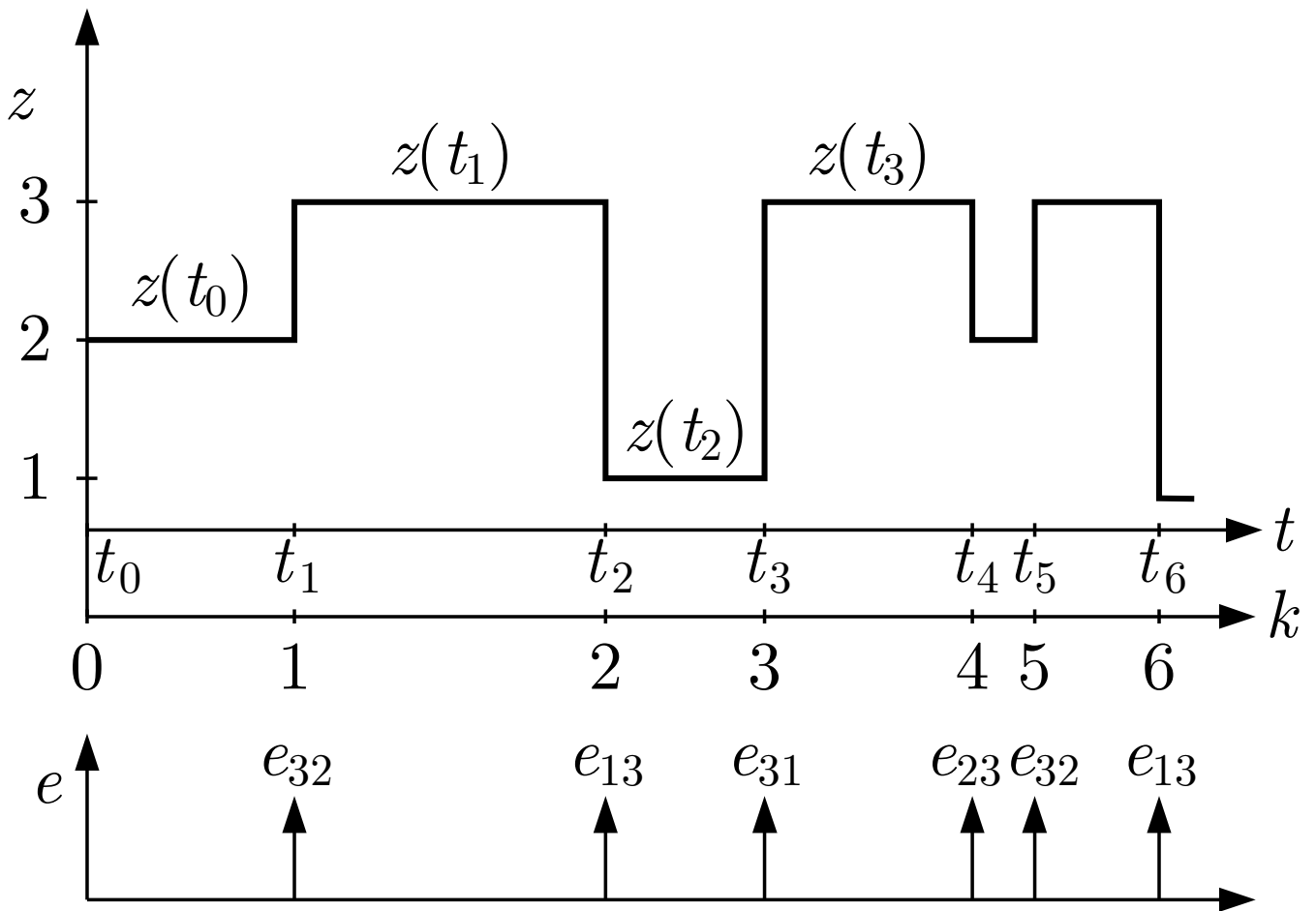
**Abb. 10.37. Fehlertolerante Steuerung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.1. Ereignisdiskretes System**

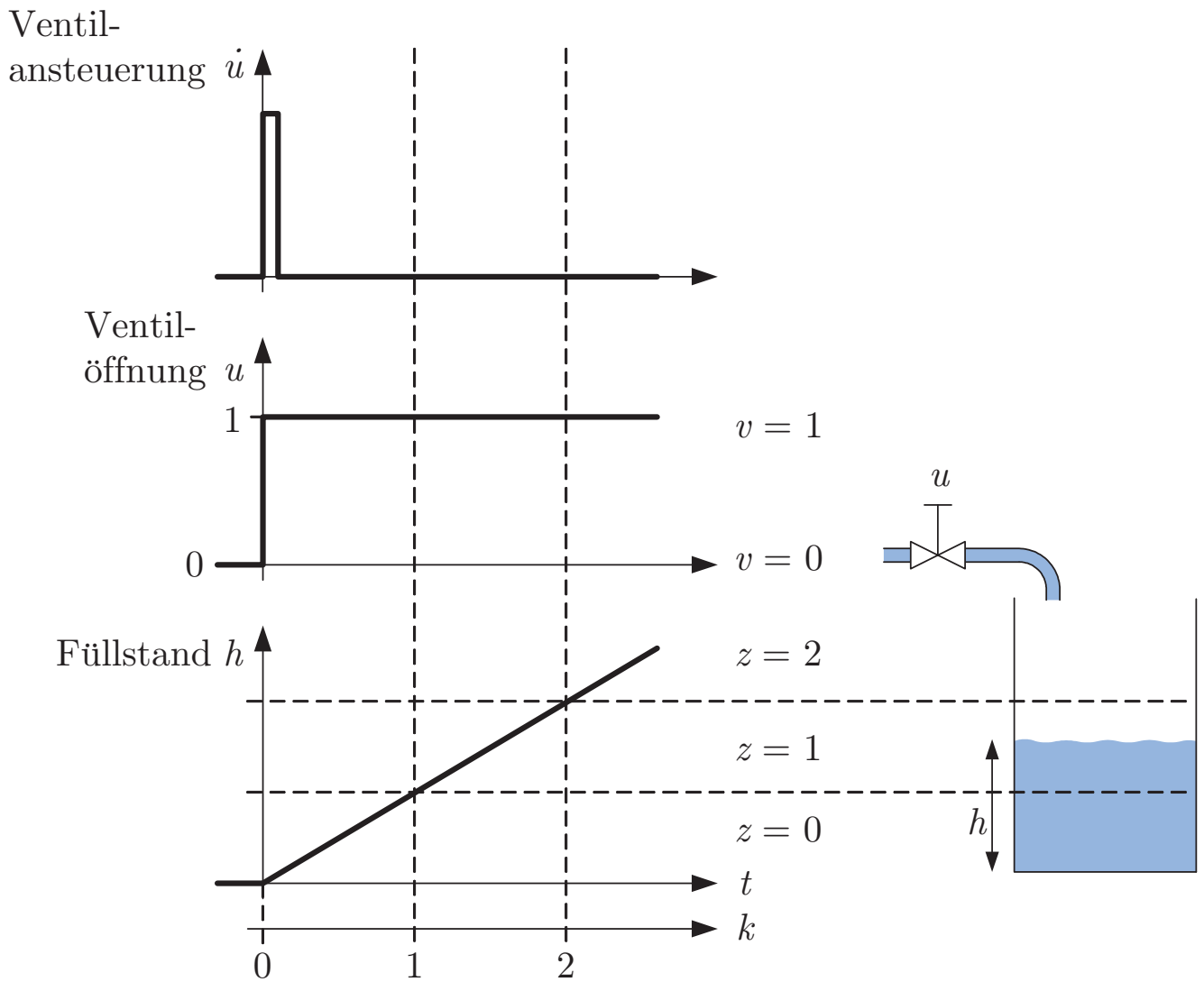
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.2: Symbolische Signalwerte und Ereignisfolgen**

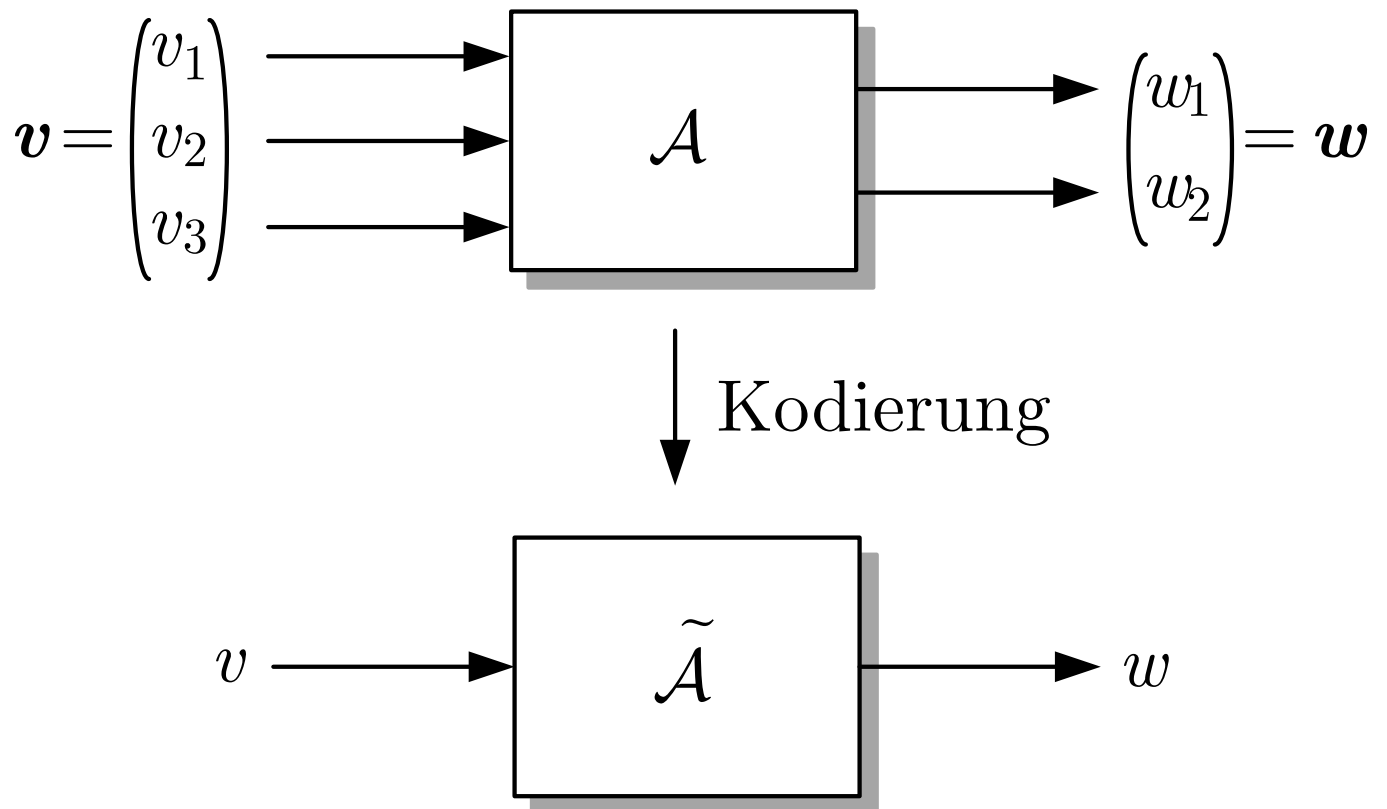
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





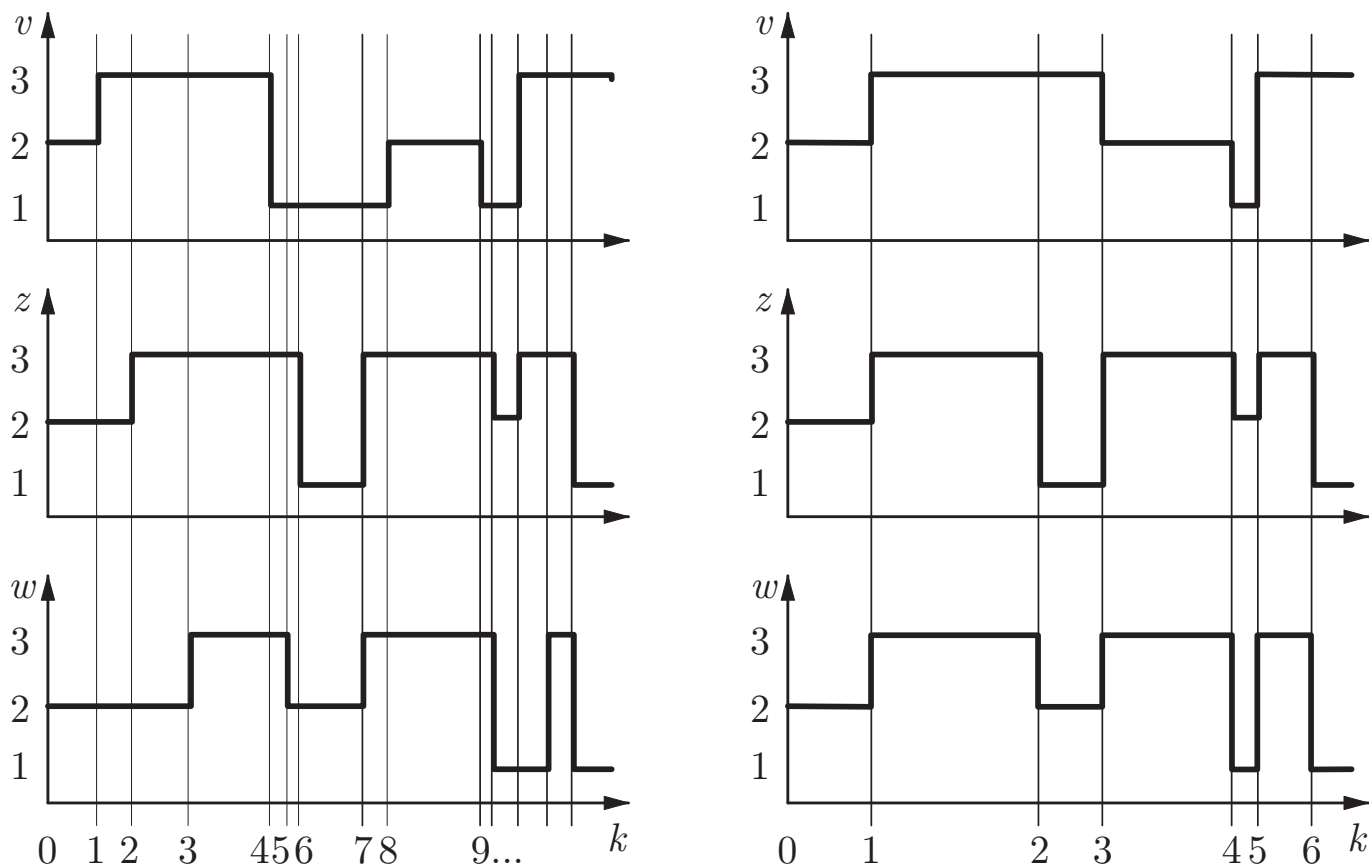
**Abb. 11.3: Wertefolge und Ereignisse bei einer Reaktorsteuerung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



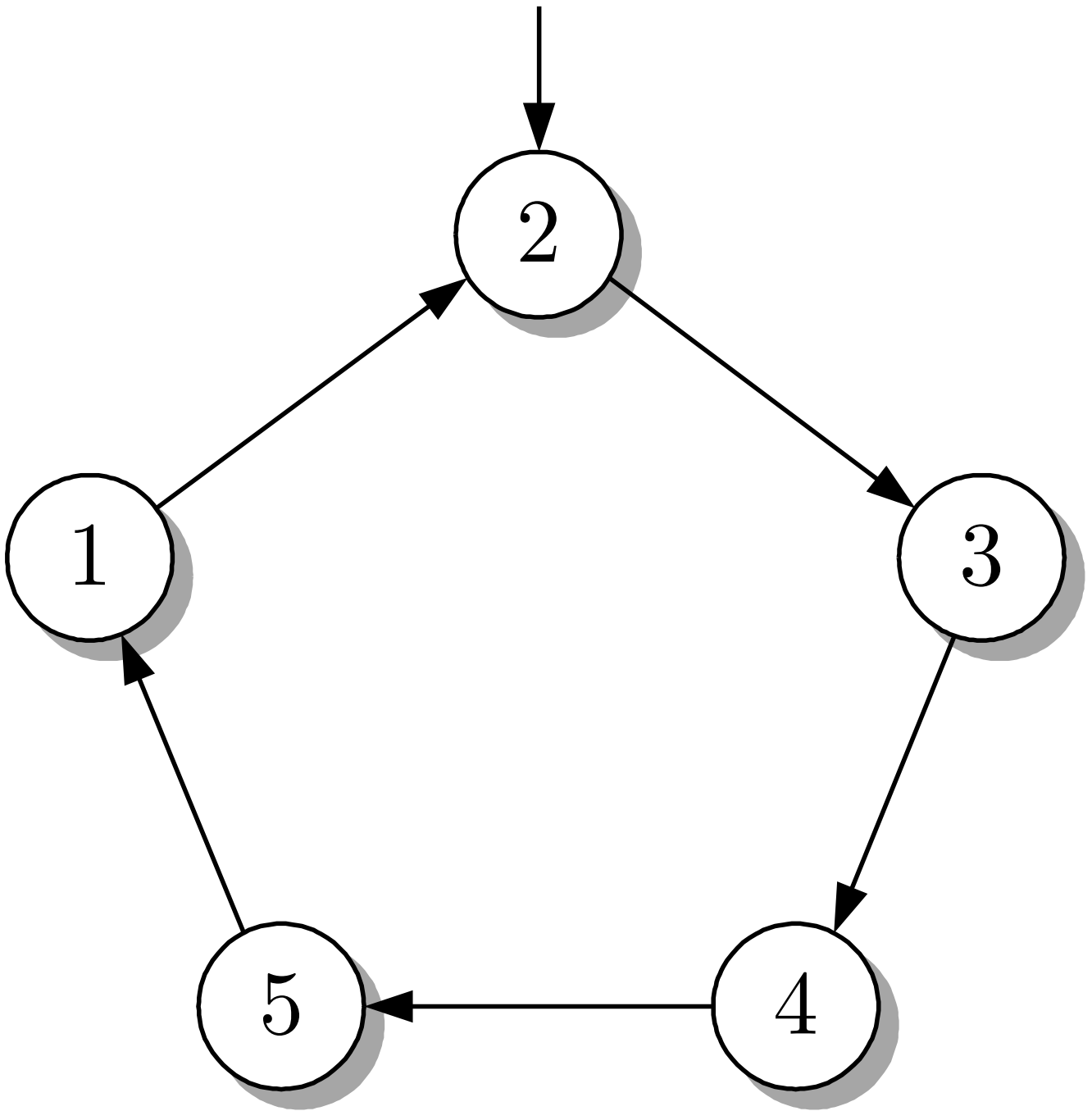
**Abb. 11.4: Ereignisdiskretes System mit mehreren Eingangs- und Ausgangsgrößen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



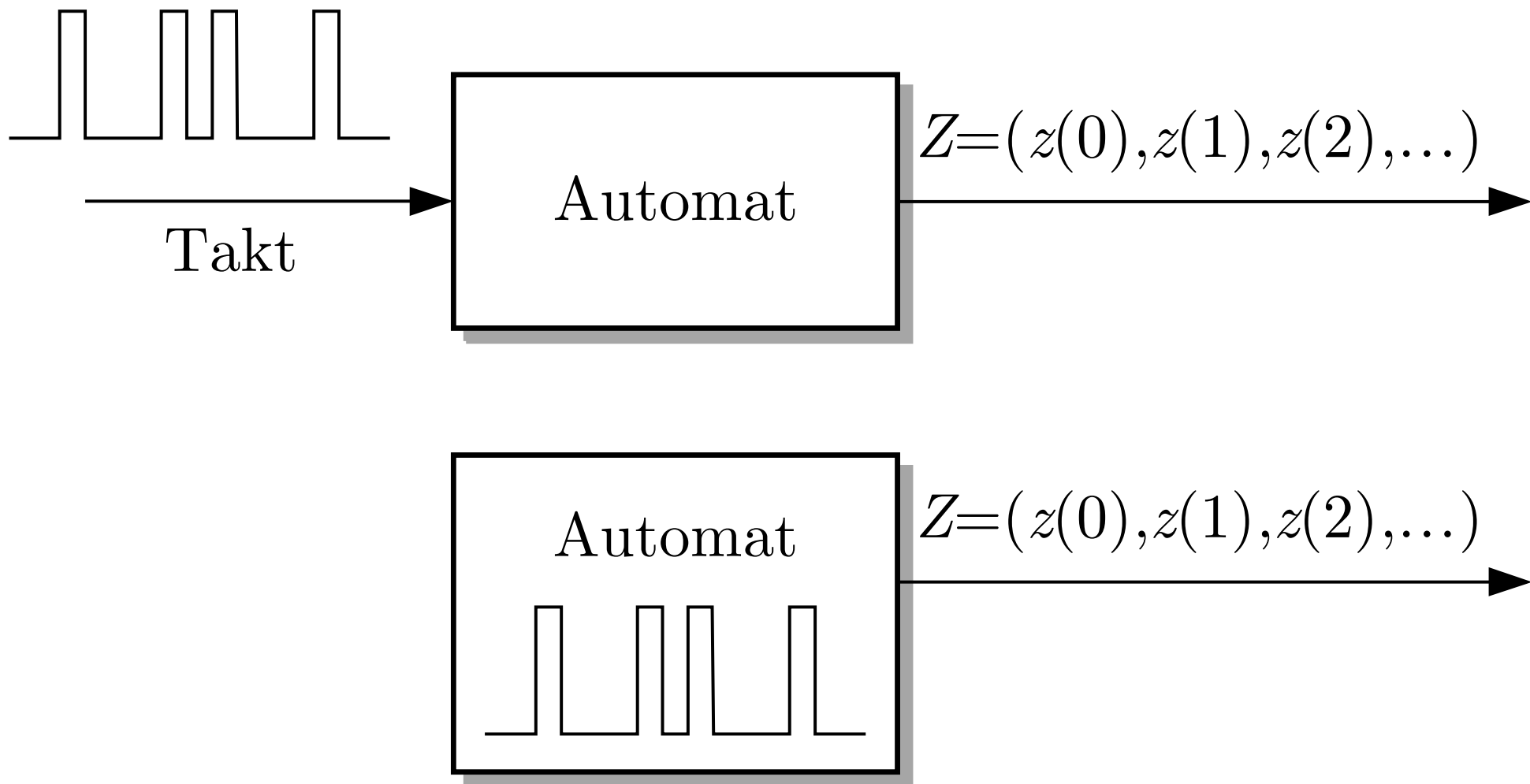
**Abb. 11.5: Asynchrone (links) und synchrone (rechts) Eingangs-, Zustands- und Ausgangsfolgen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



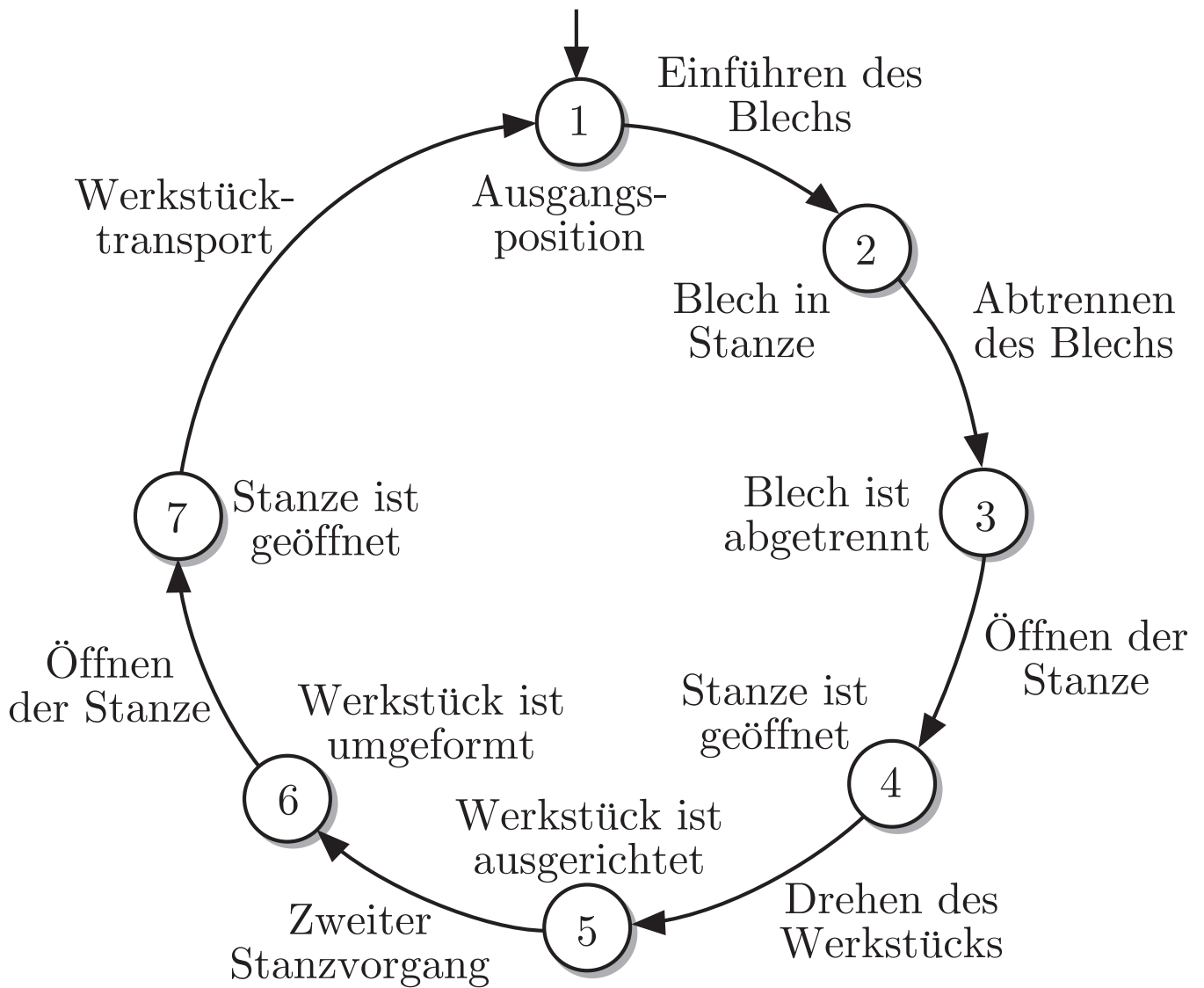
**Abb. 11.6: Automatengraph eines autonomen deterministischen Automaten**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



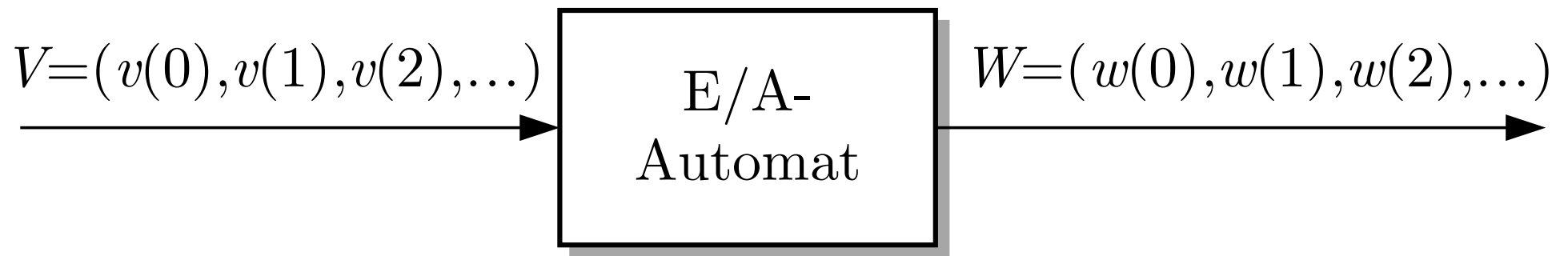
**Abb. 11.7. Getakteter Automat**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



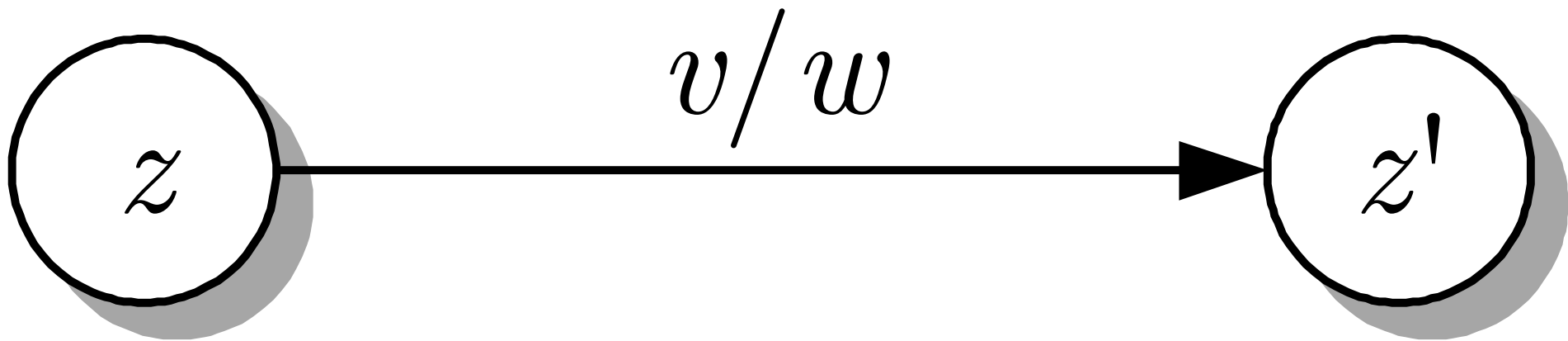
**Abb. 11.8: Automatengraph der Stanze**

*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*



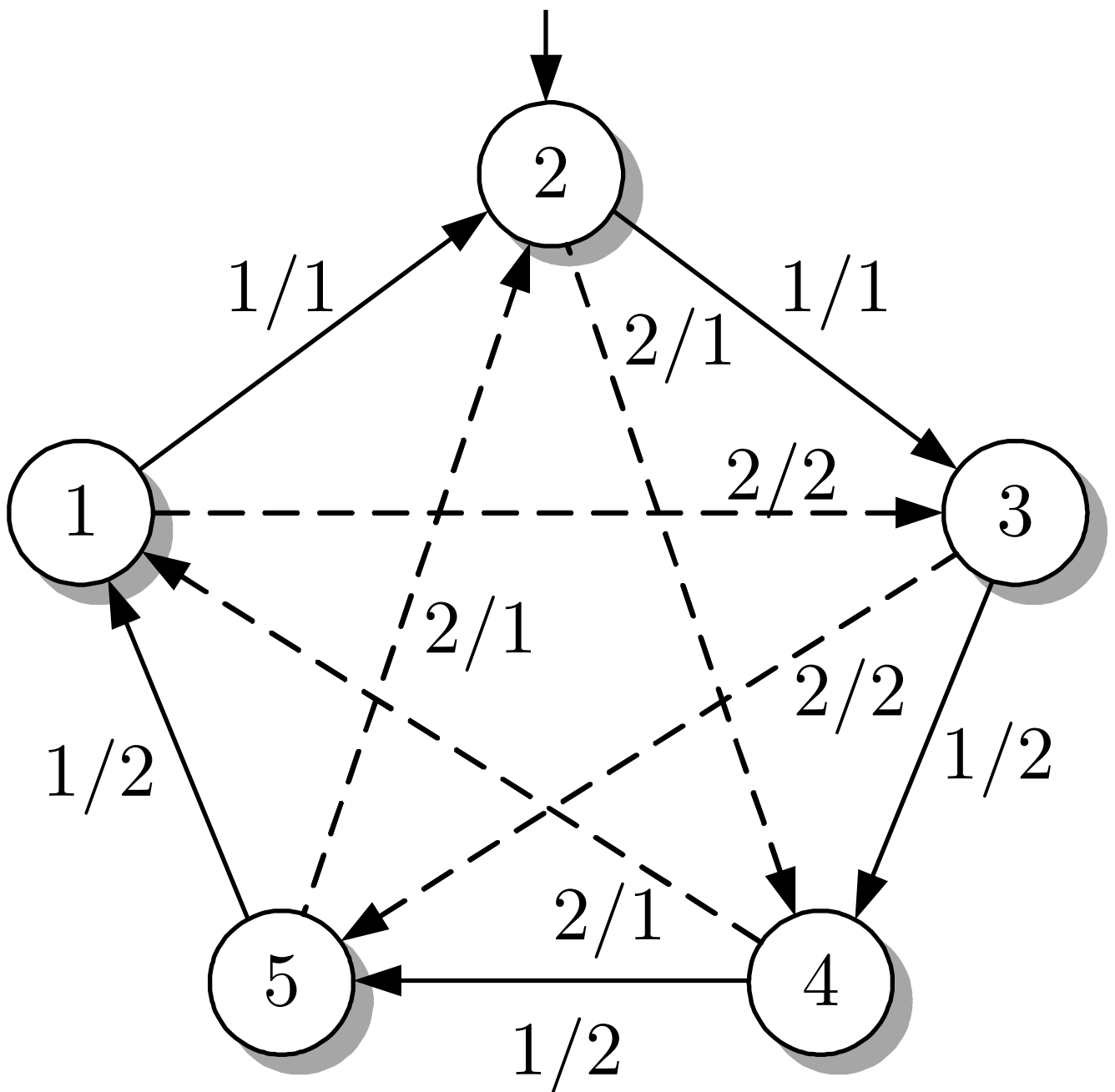
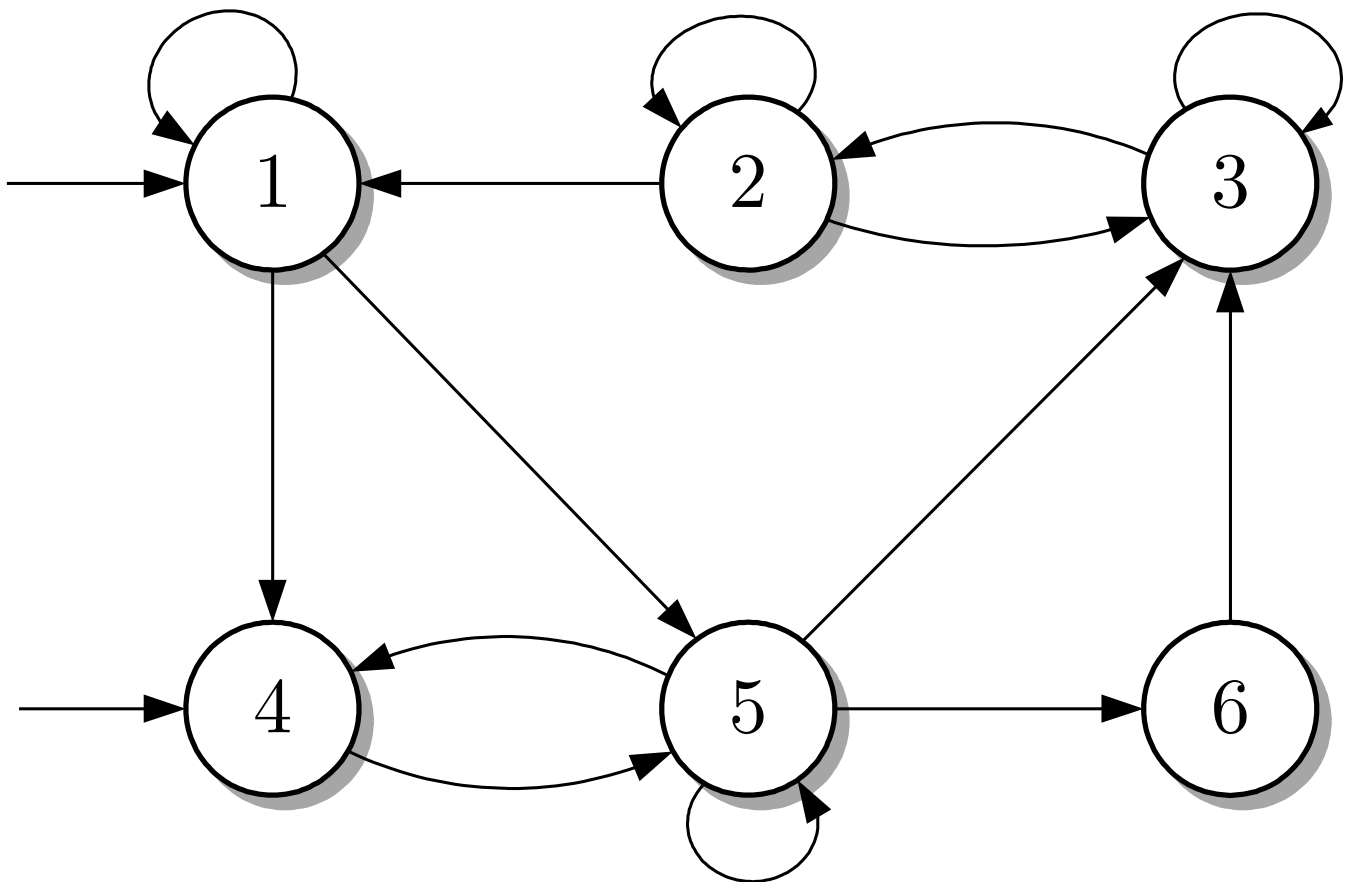


Abb. 11.11: Automatengraph eines deterministischen Automaten mit Eingang und Ausgang

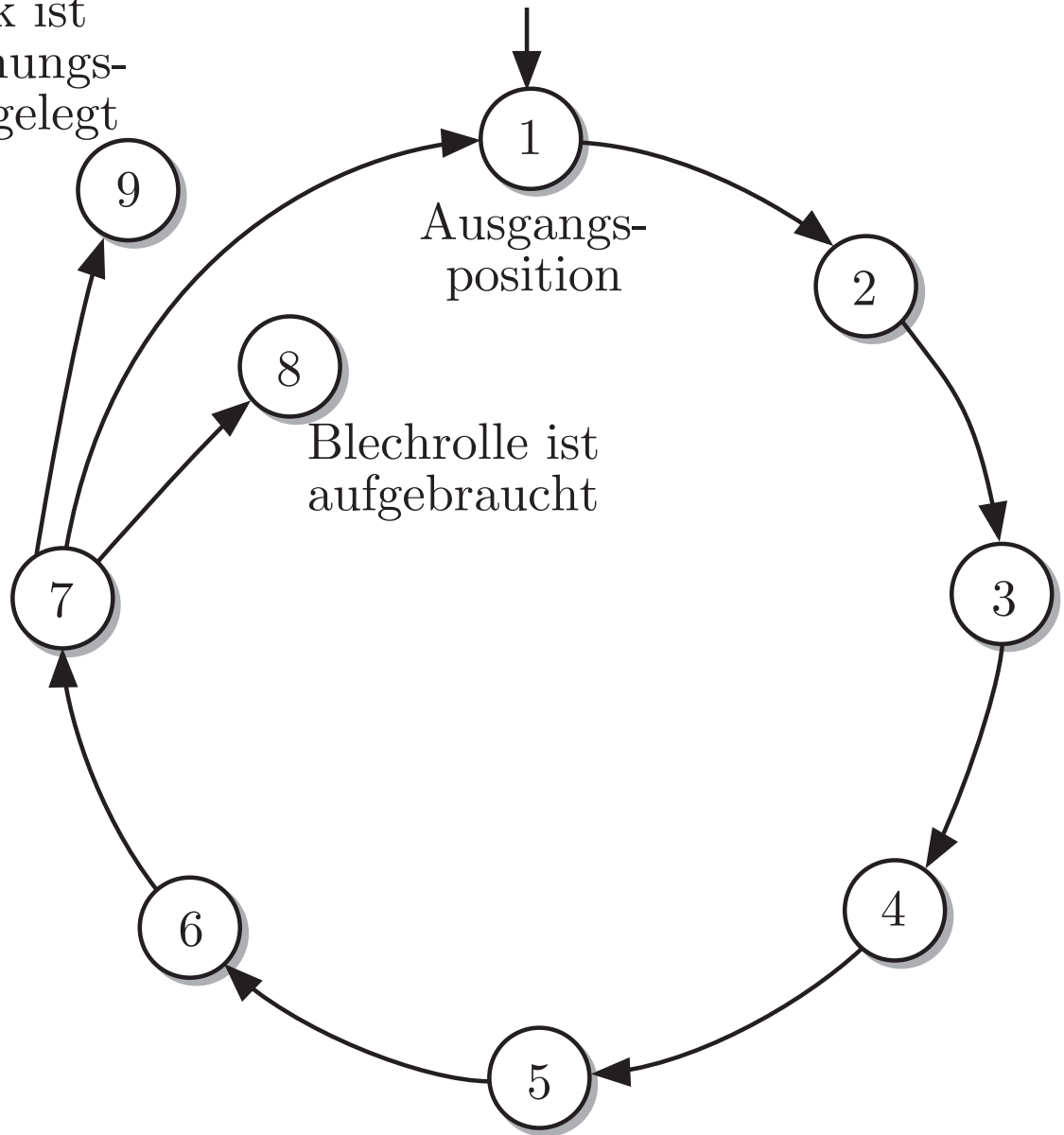
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.12: Automatengraph eines nichtdeterministischen Automaten**

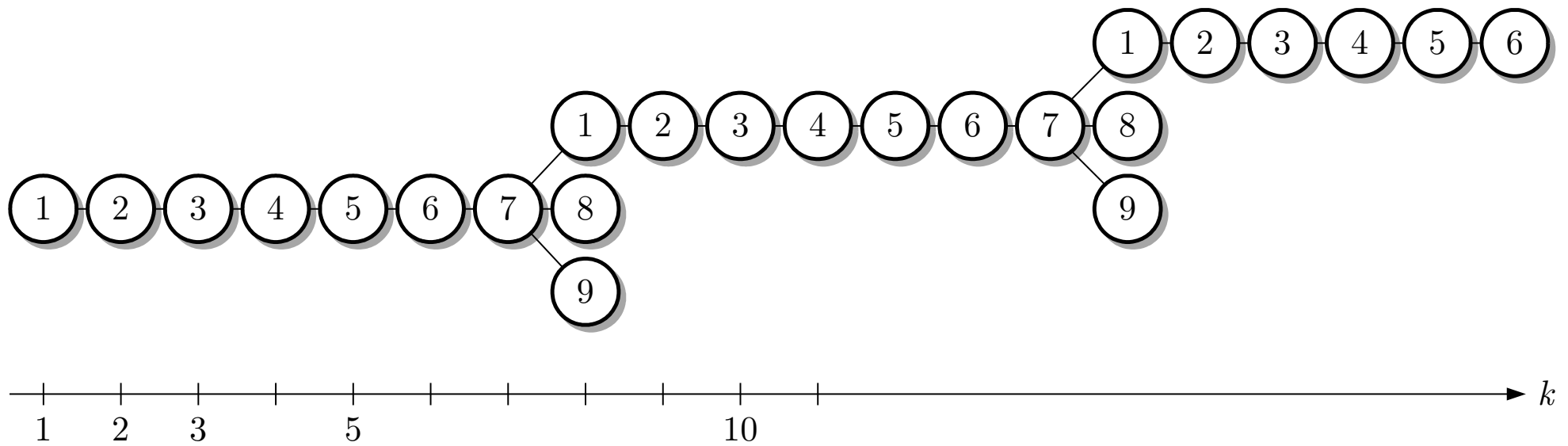
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

Werkstück ist  
nicht ordnungs-  
gemäß abgelegt



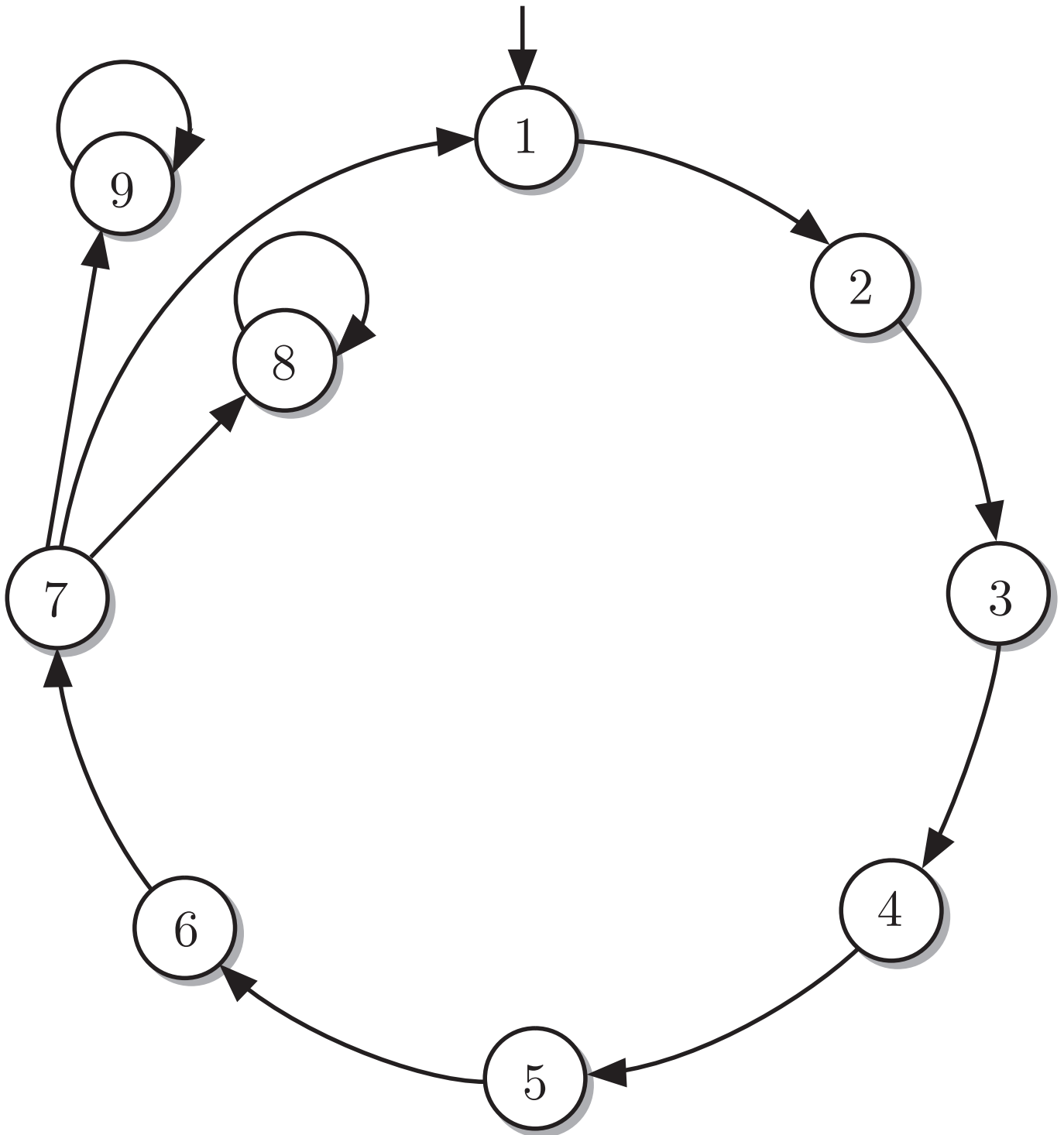
**Abb. 11.13: Automatengraph des erweiterten Modells der Stanze**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



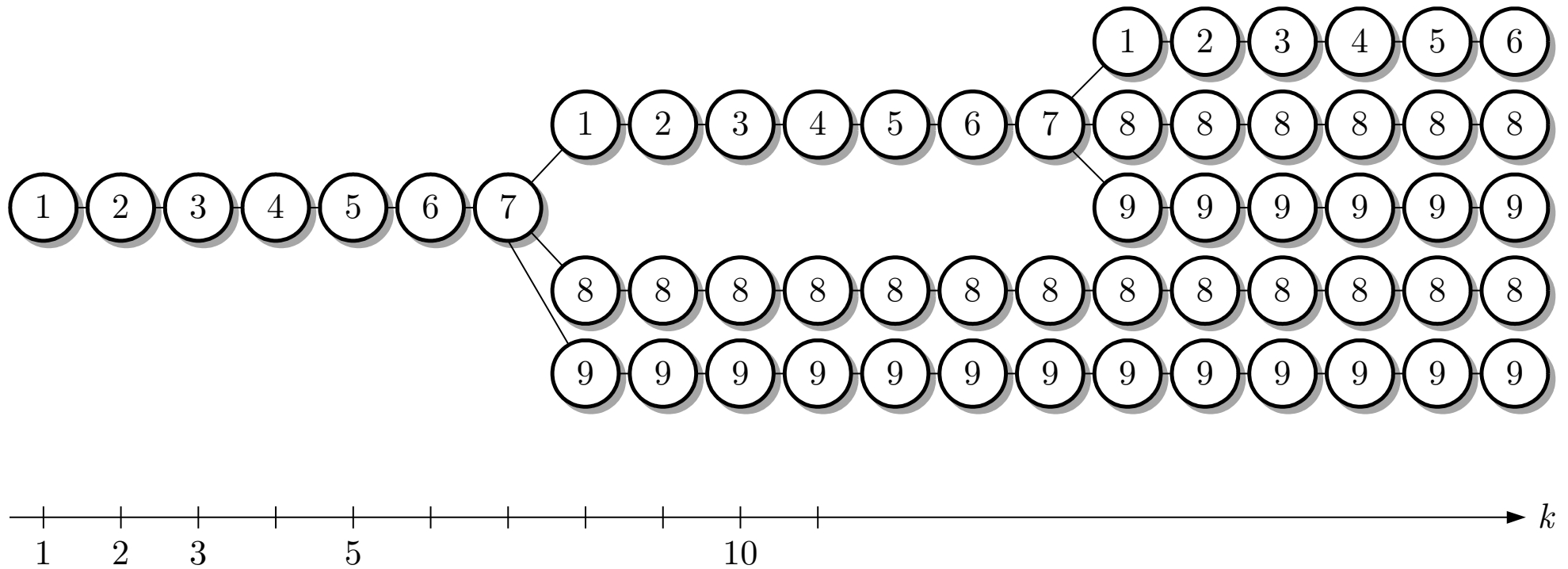
**Abb. 11.14. Baum der Zustandsfolgen des nichtdeterministischen Automaten**

*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*

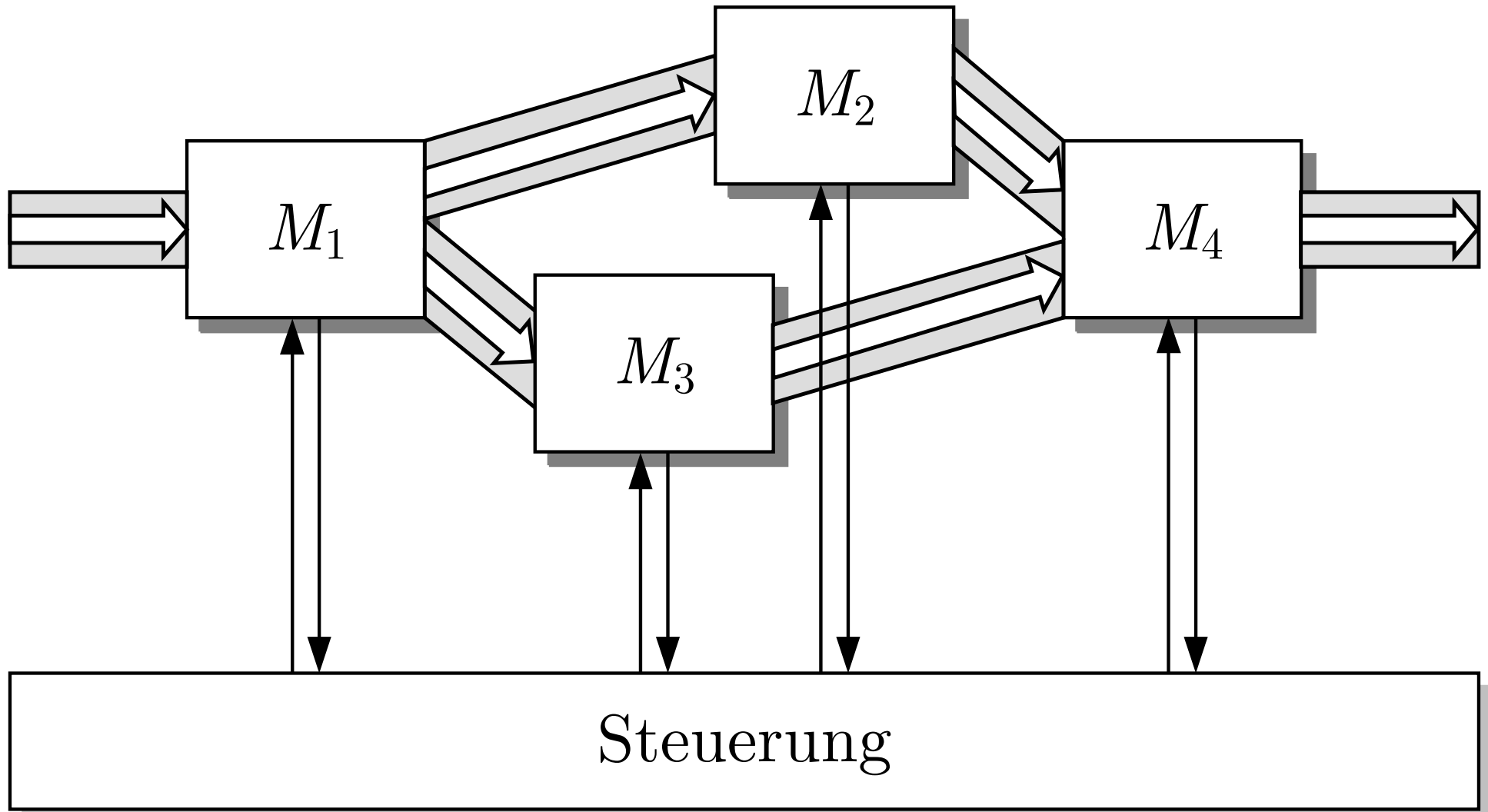
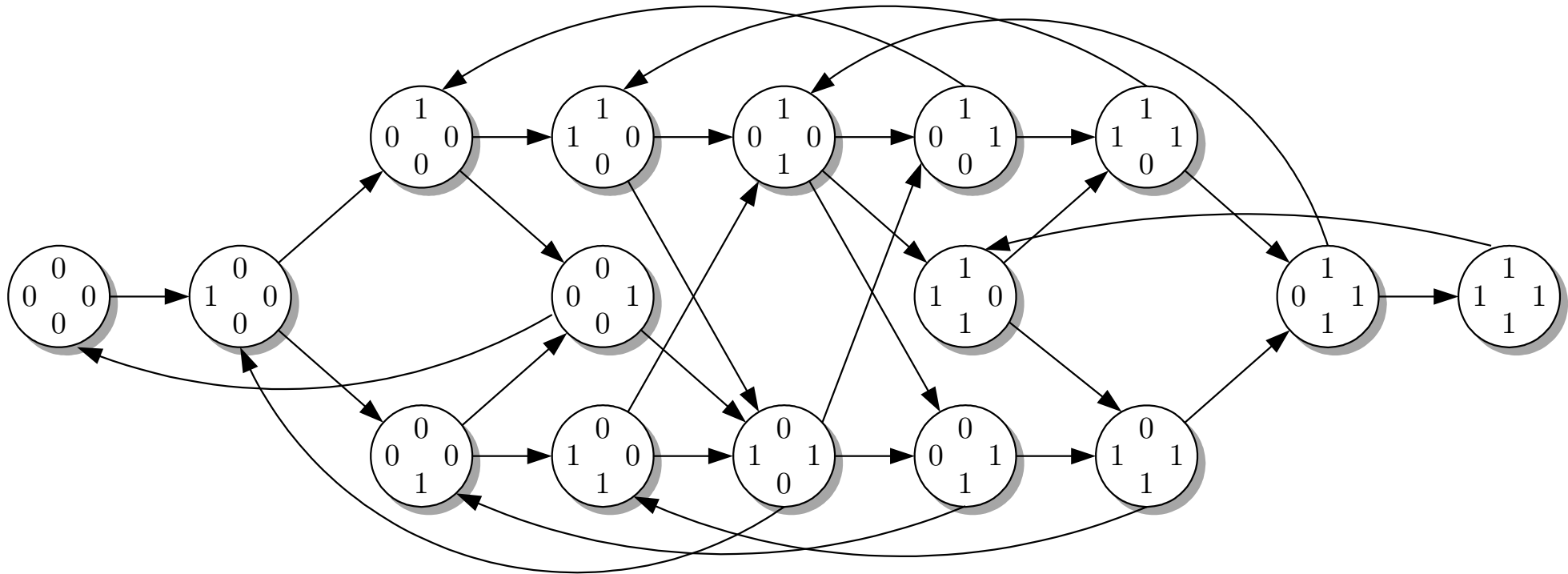


Abb. 11.17. Materialfluss zwischen vier Werkzeugmaschinen

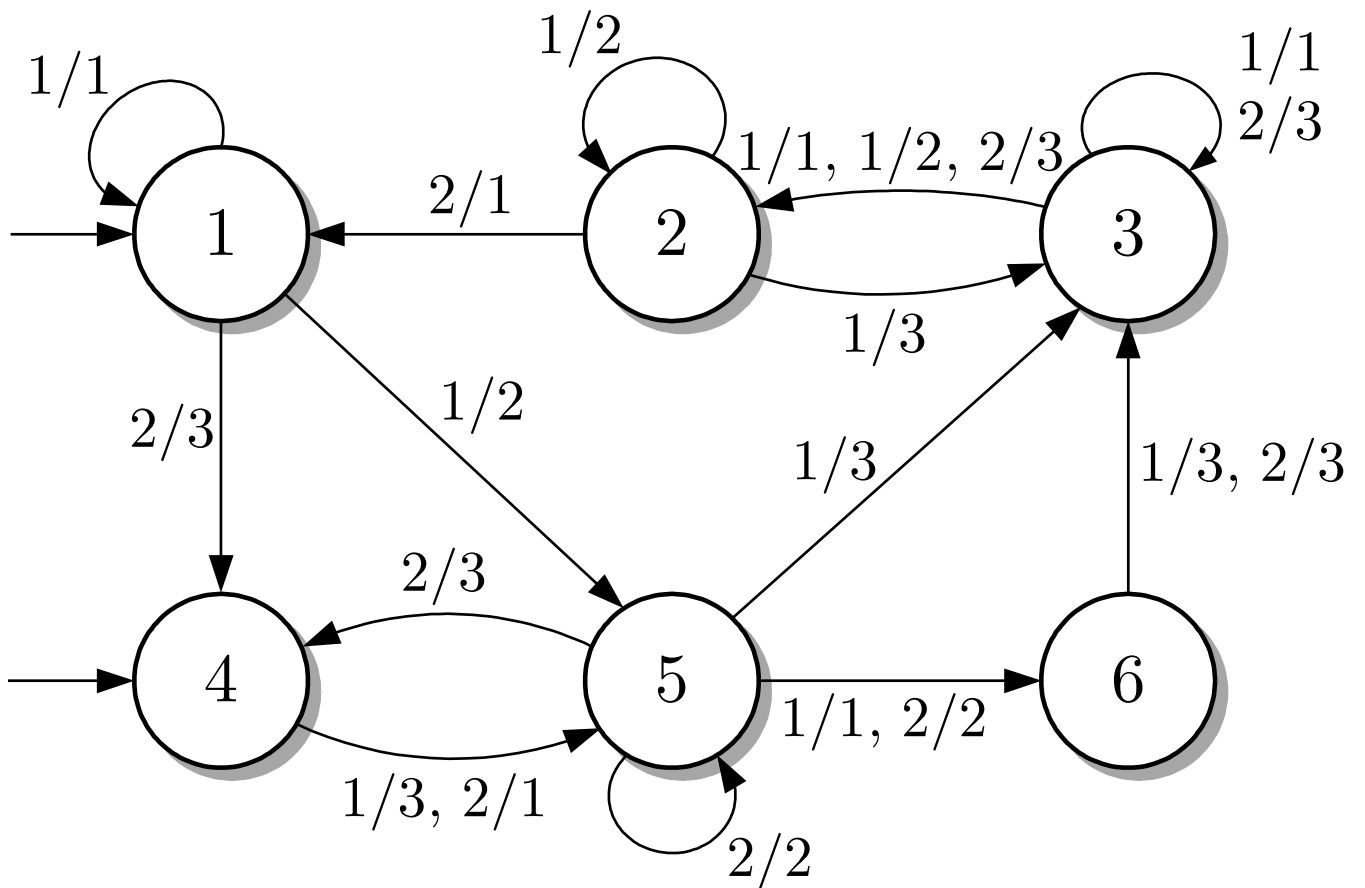
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**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*

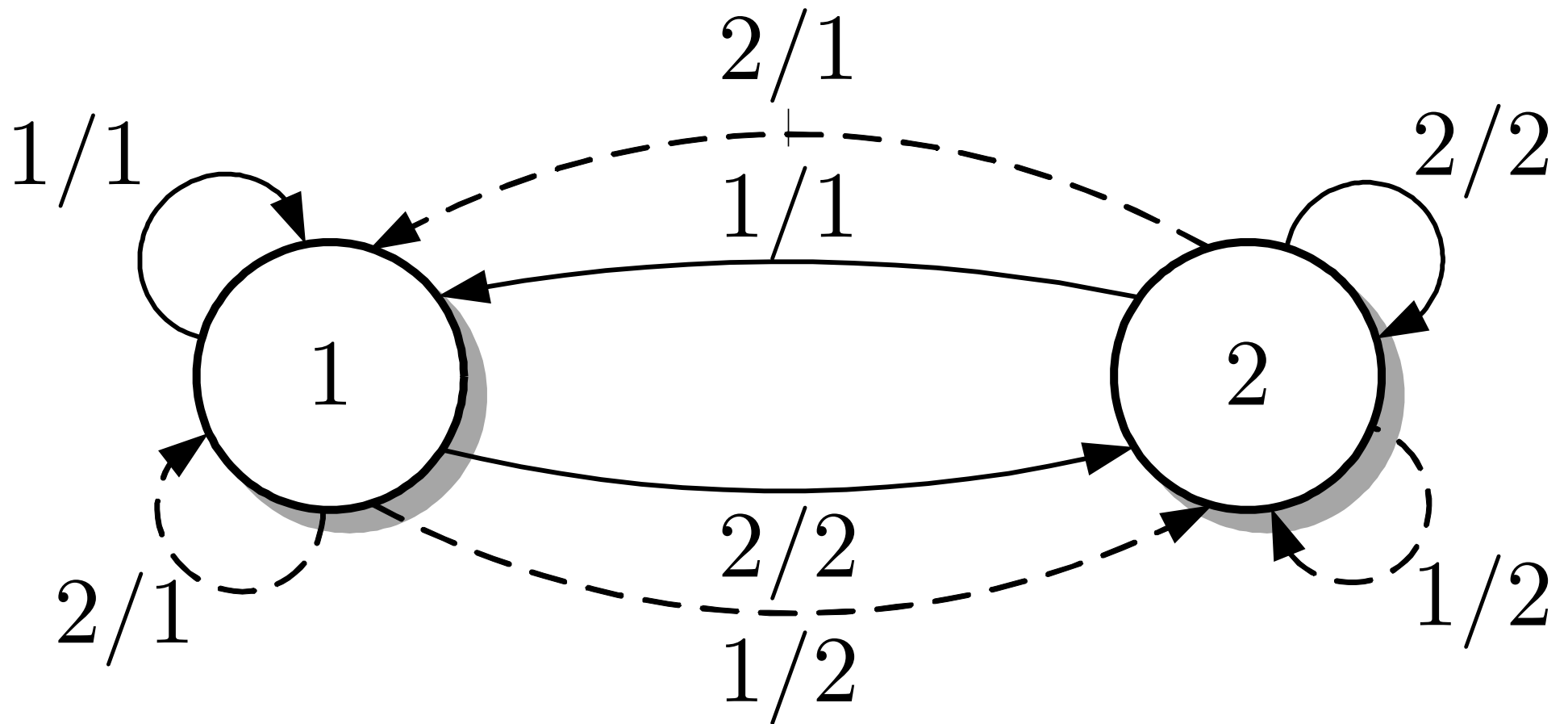
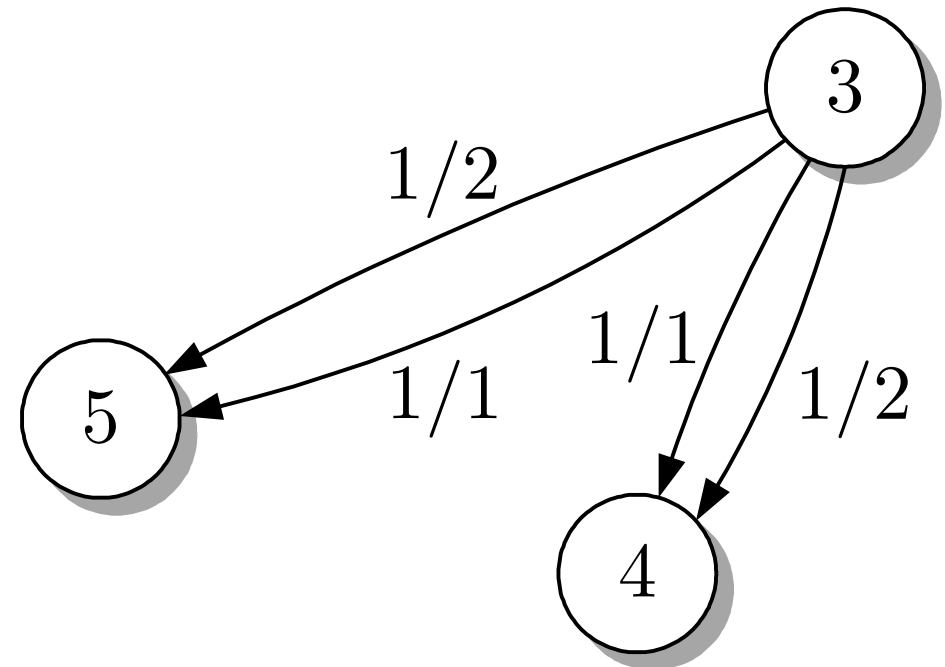
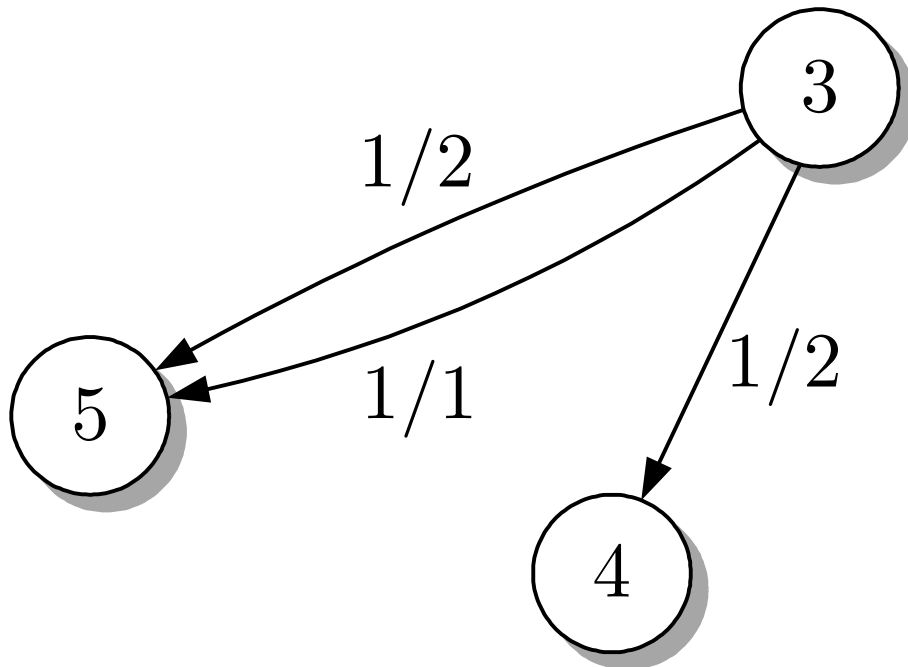


Abb. 11.20. Beschreibung eines Regensors durch einen nichtdeterministischen Automaten



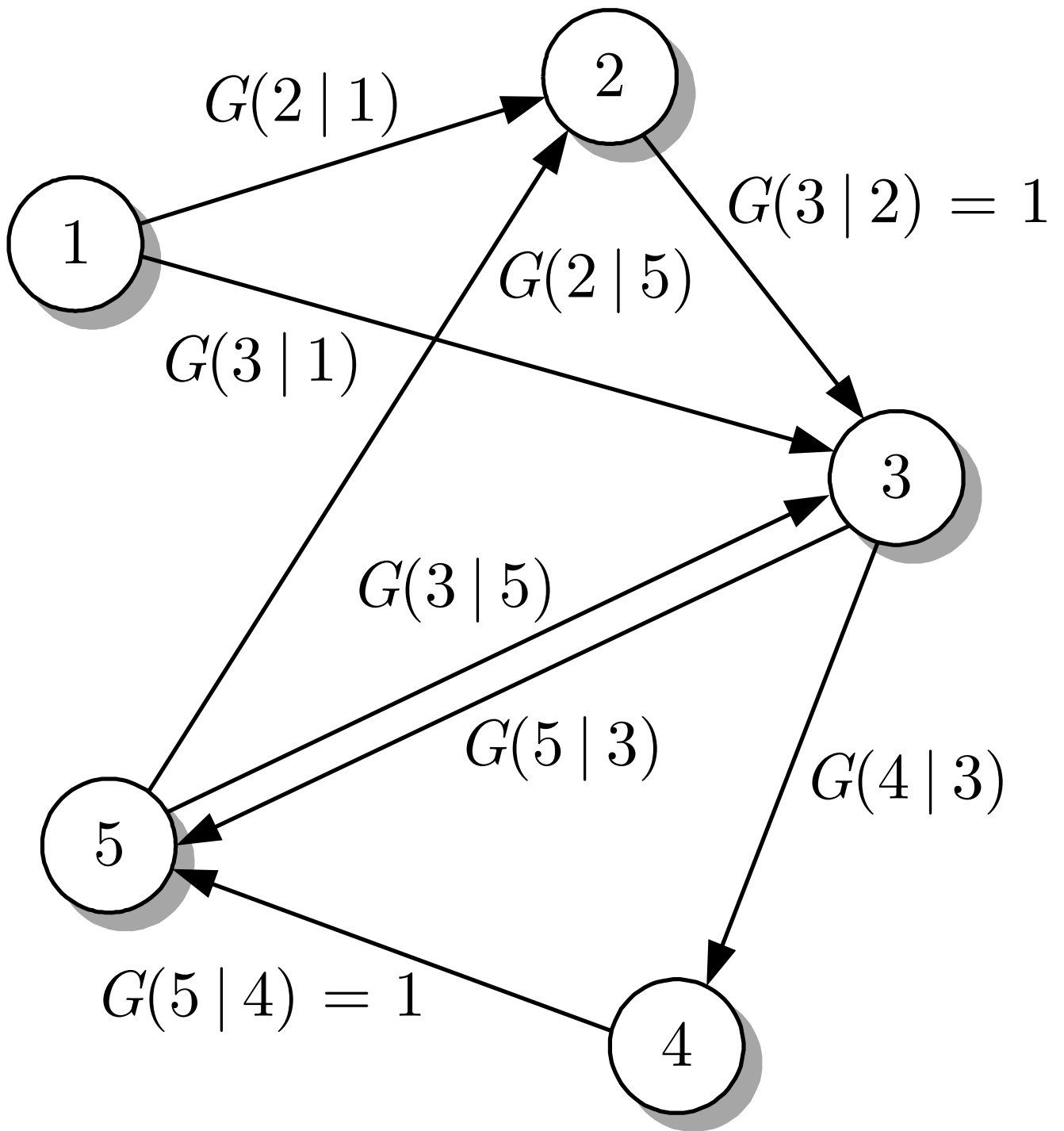
**Abb. 11.21. Ausschnitte aus zwei Automatengraphen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



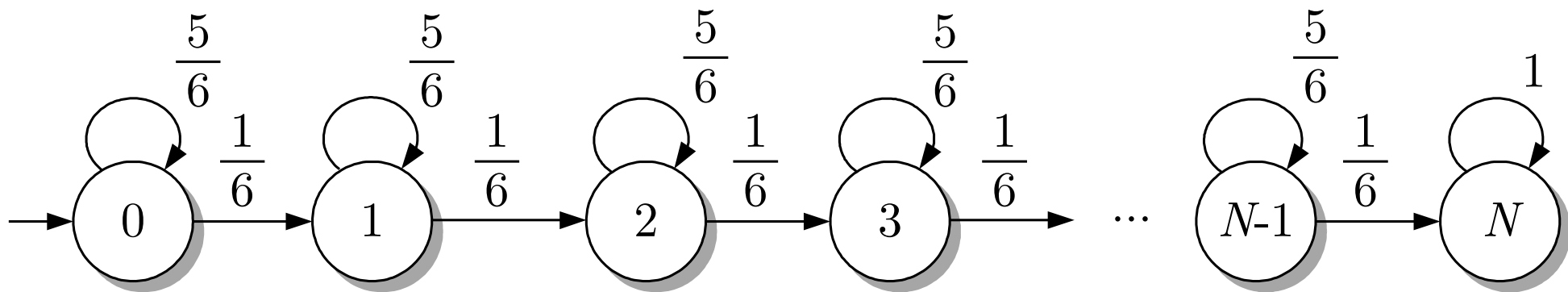
**Abb. 11.22. Stochastischer Prozess**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



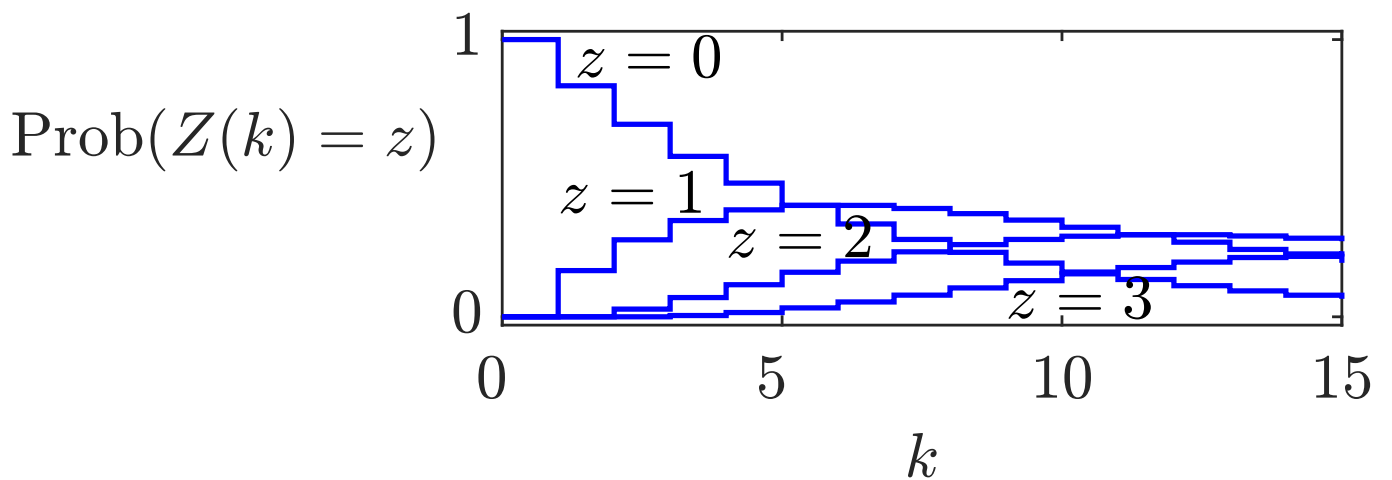
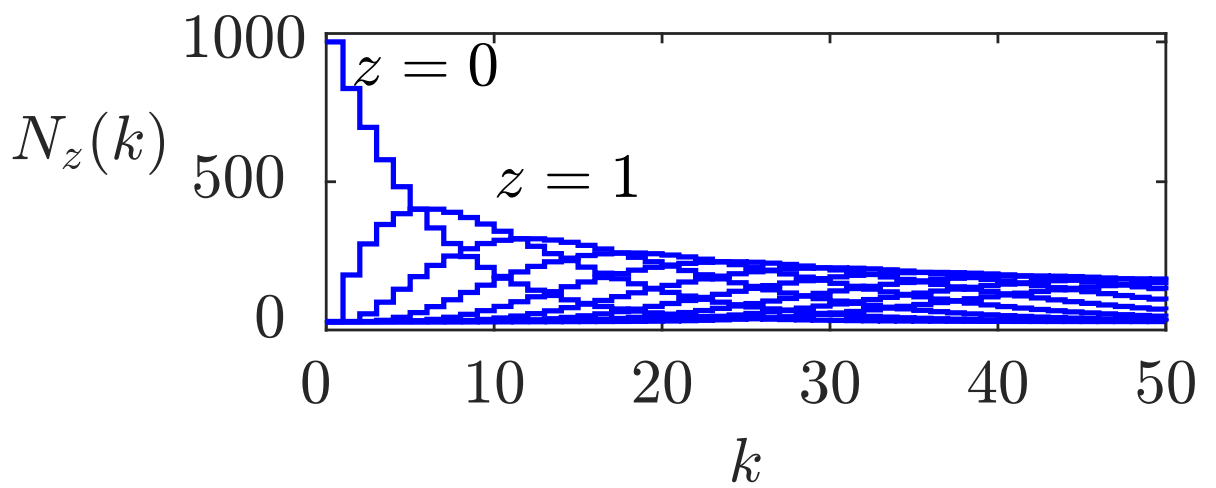
**Abb. 11.23:** Automatengraph eines autonomen stochastischen Automaten

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



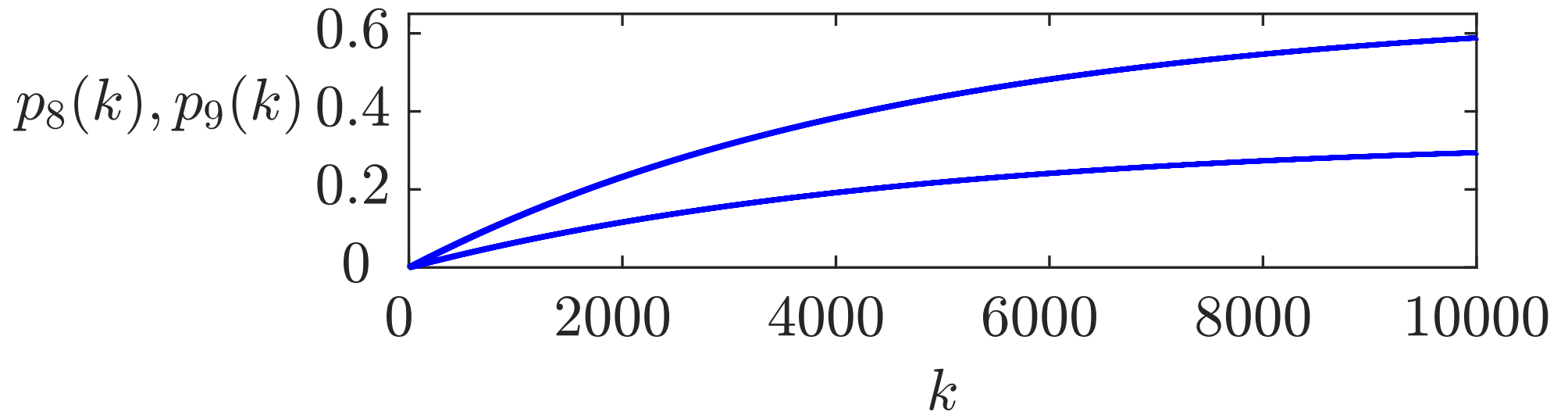
**Abb. 11.24. Stochastischer Automat, der das Würfelspiel beschreibt**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.25: Verhalten des Würfelspiels**

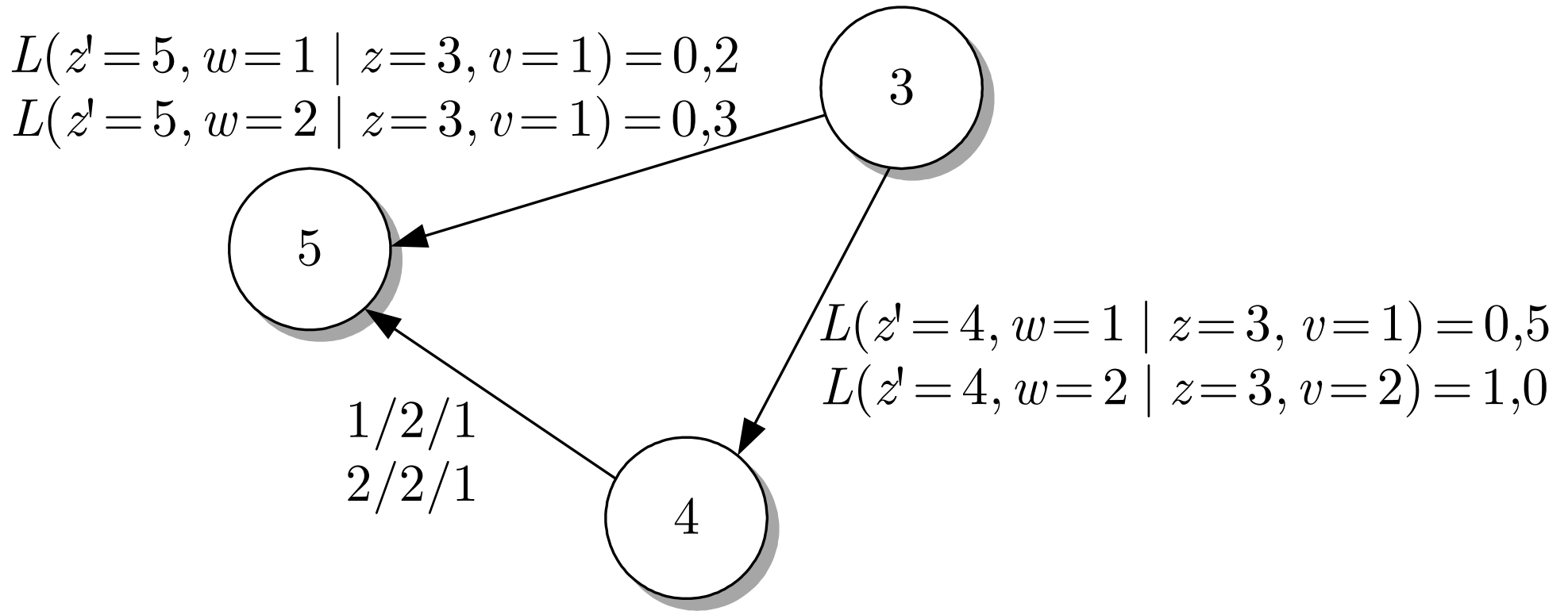
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.26. Fehlerwahrscheinlichkeit der Stanze**

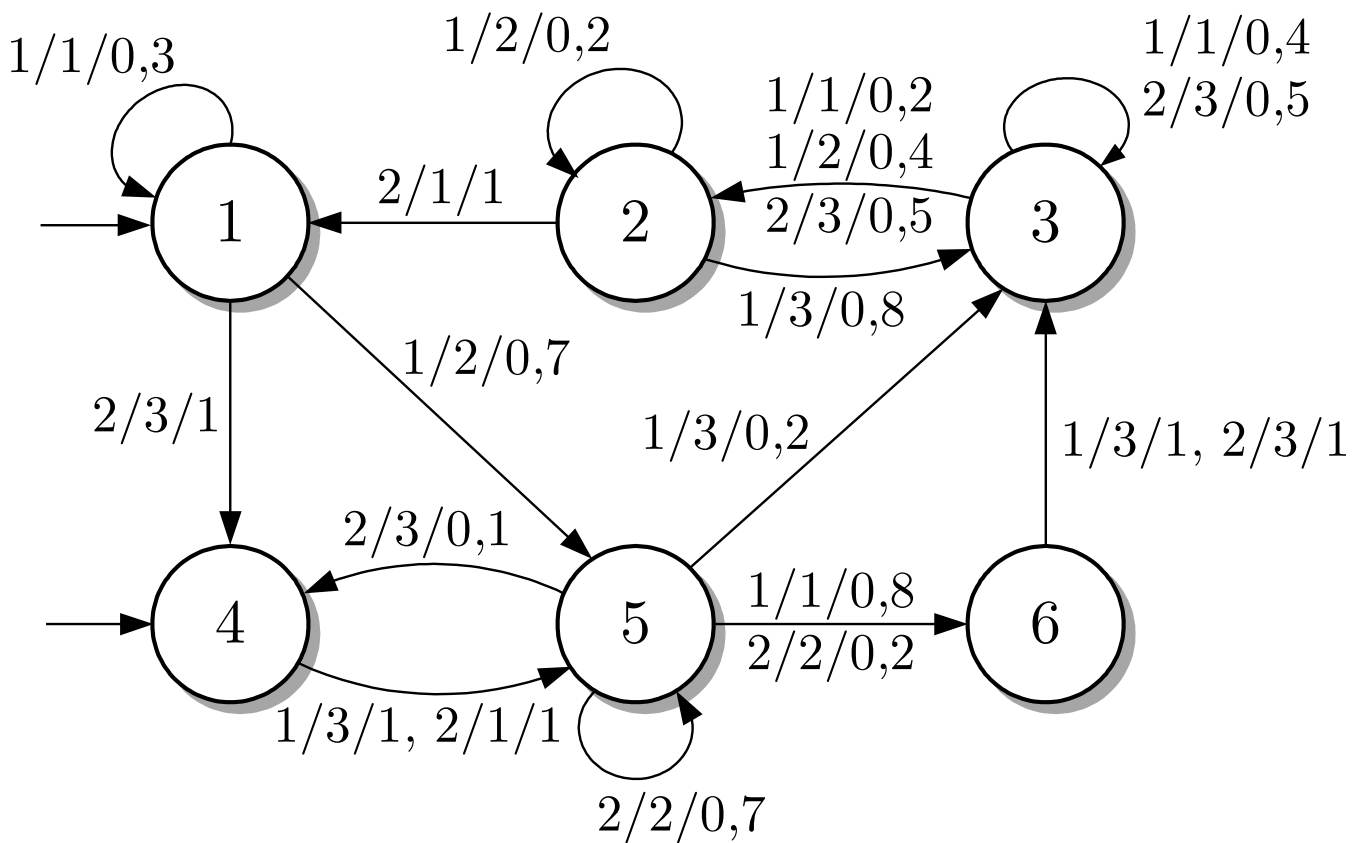
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





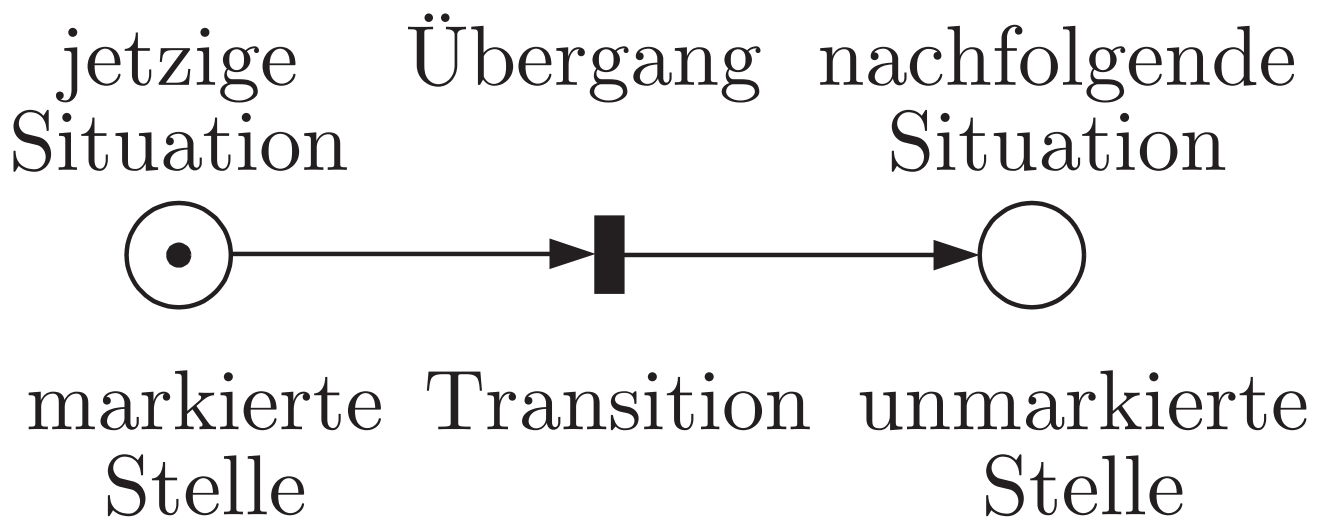
**Abb. 11.27. Teil des Automatengraphen eines stochastischen Automaten mit Eingängen und Ausgängen**

*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*

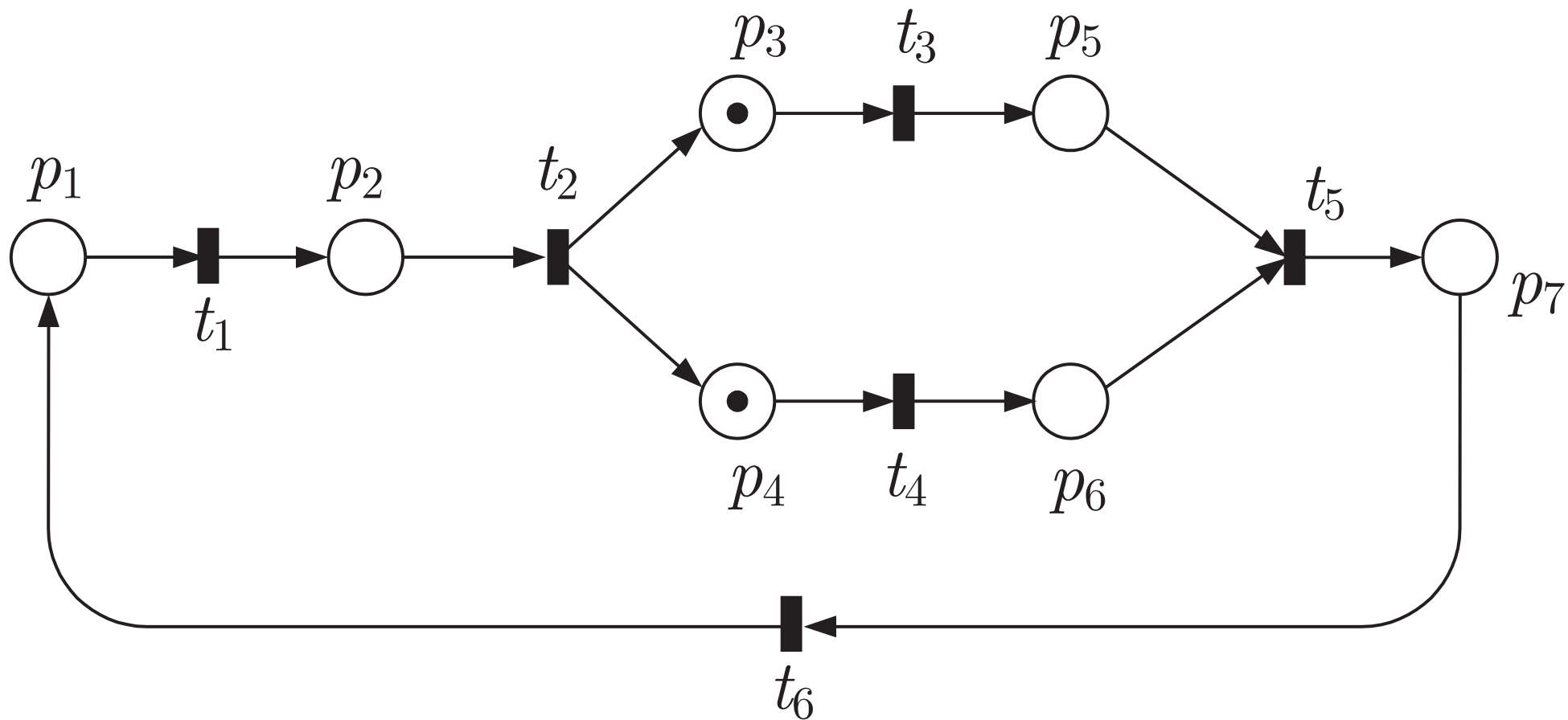


Abb. 11.30. Petrinetz mit zwei parallelen Prozessen

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

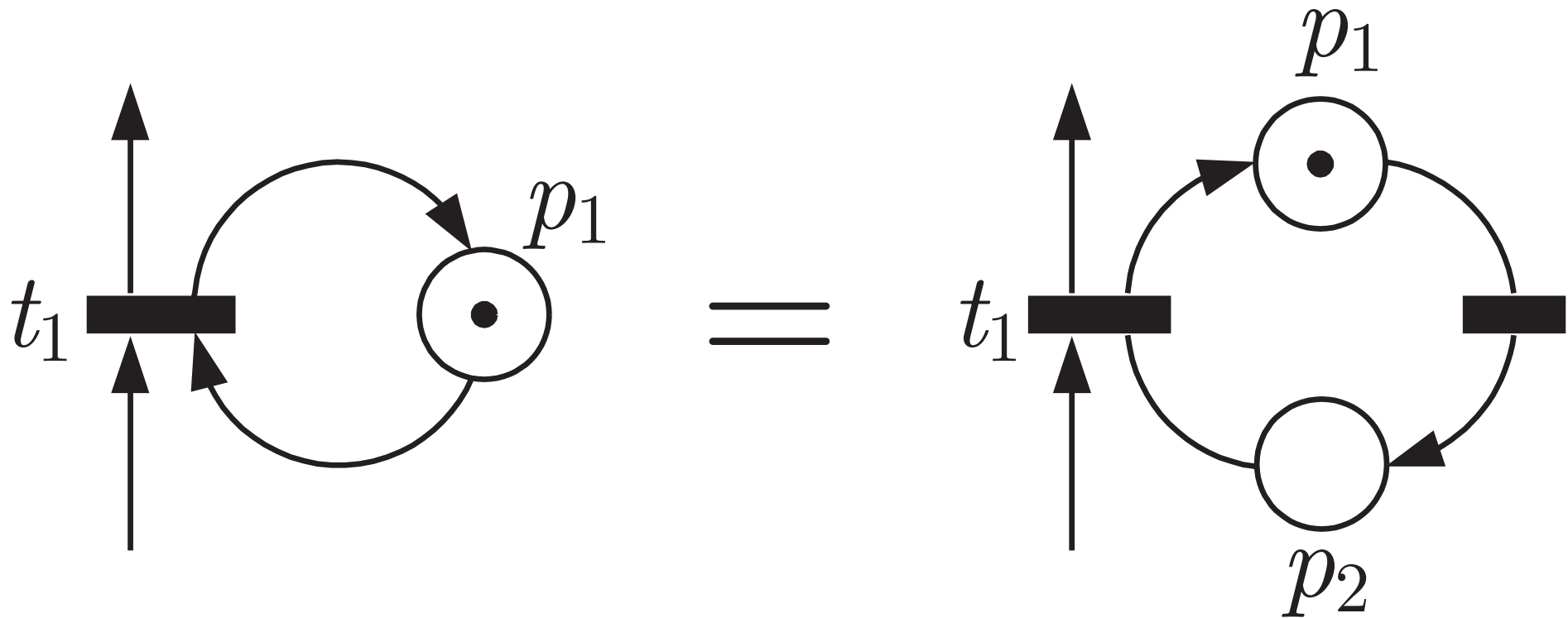
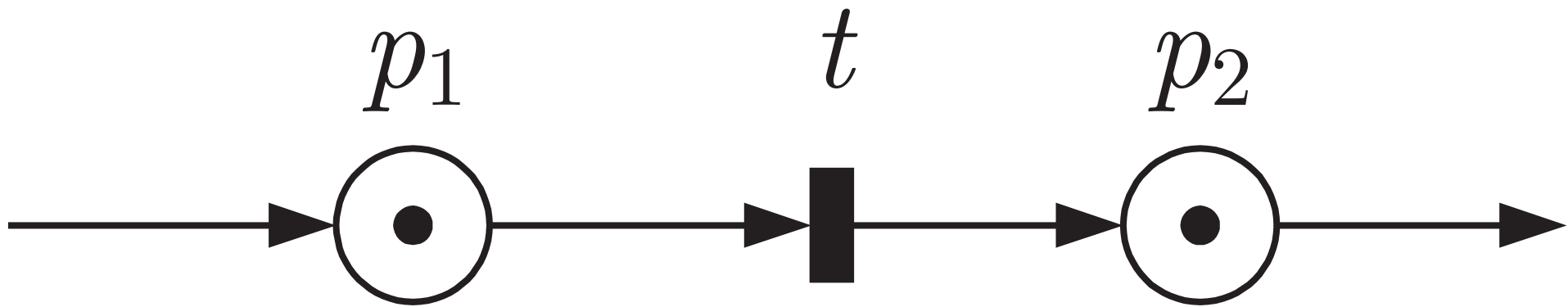


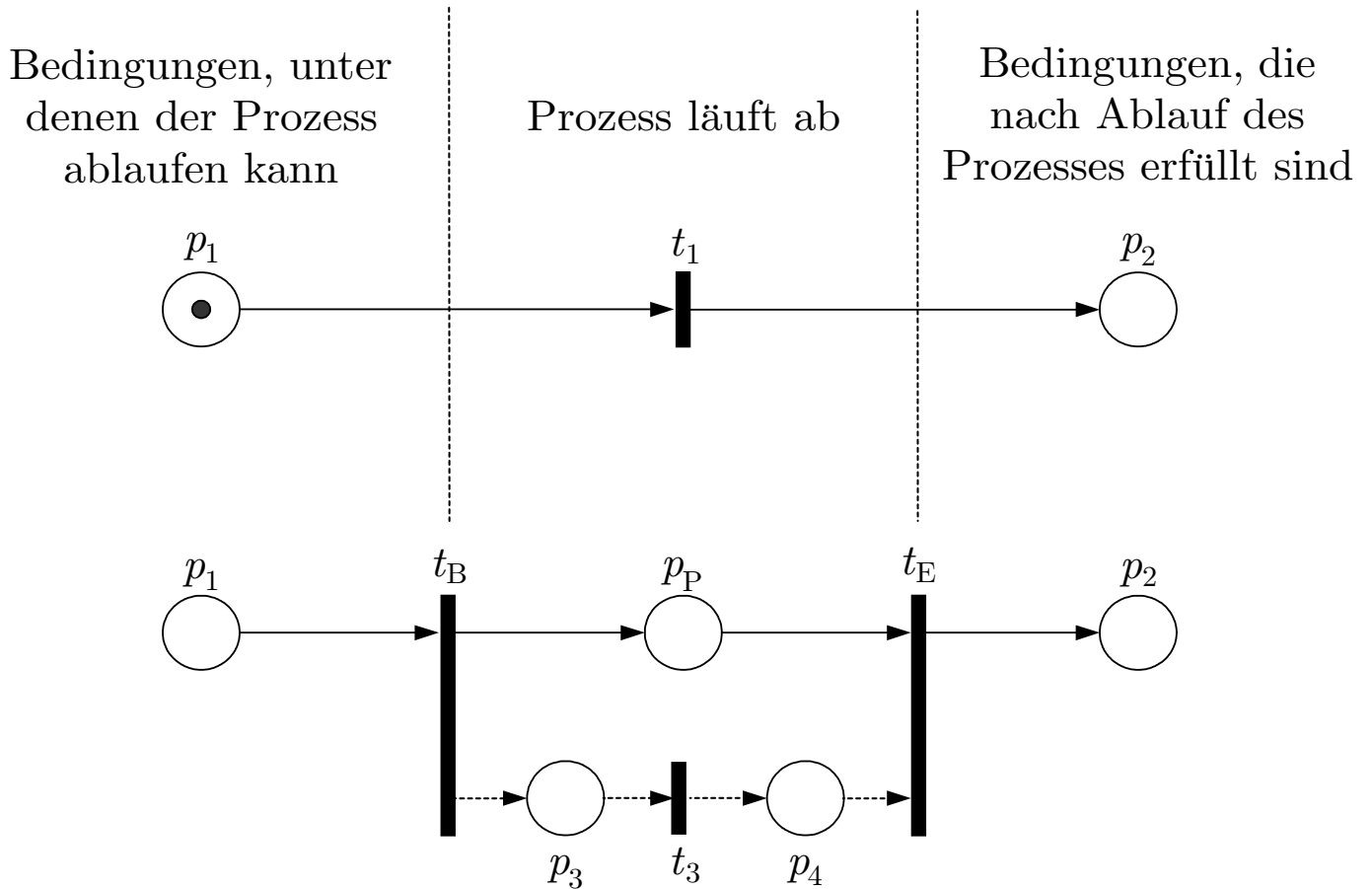
Abb. 11.31. Schlinge, die durch Einführung einer zusätzlichen Stelle und einer Transition ersetzt werden kann

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



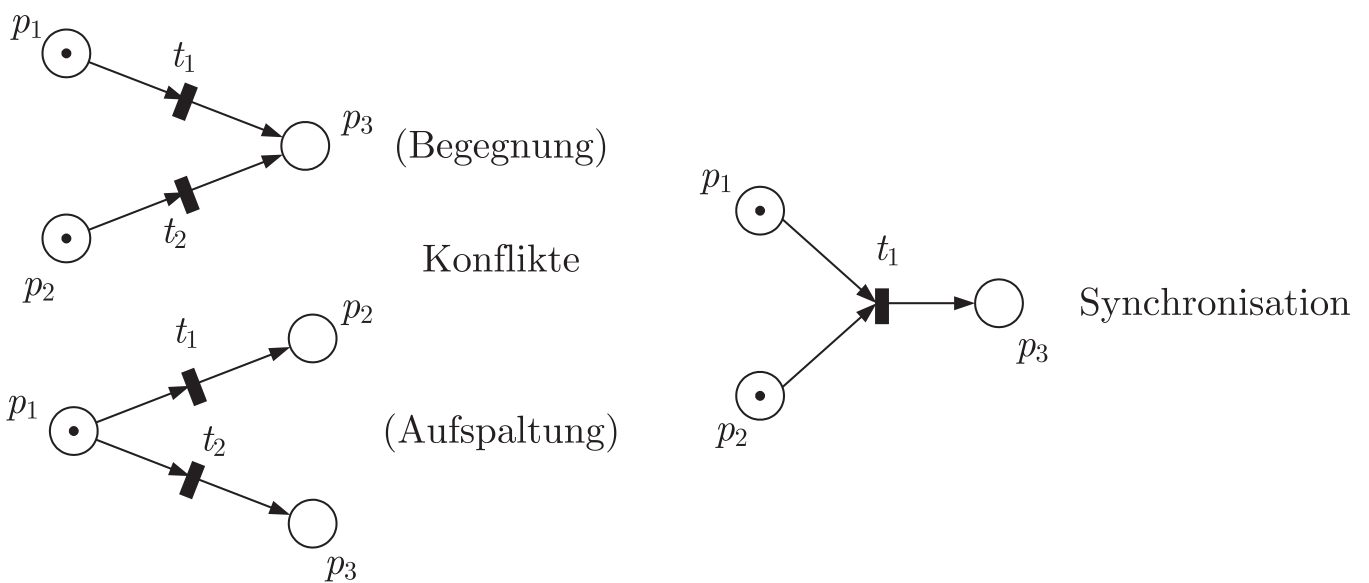
**Abb. 11.32. Kontakt**

*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*



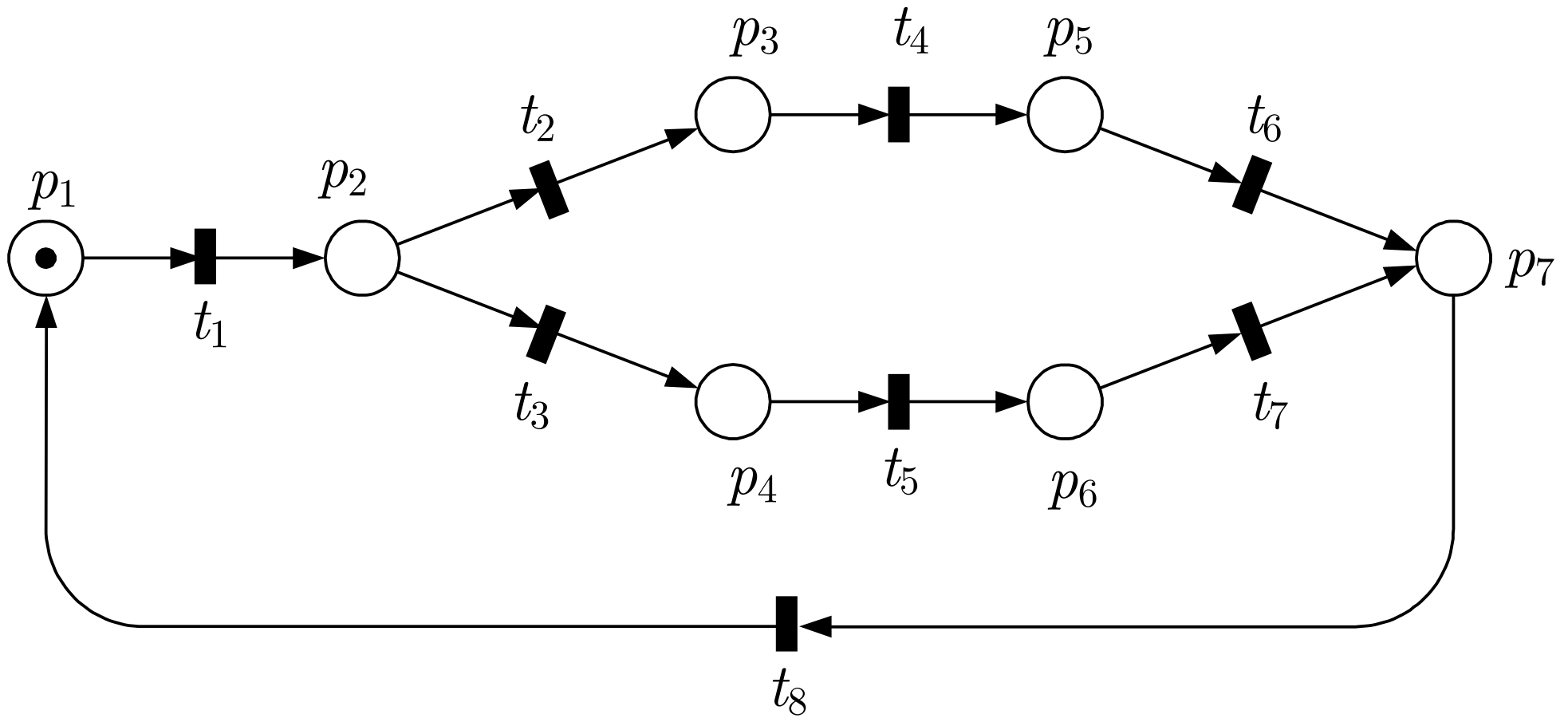


Abb. 11.35. Petrinetz mit Konflikt an der Stelle  $p_2$ , der zur Blockierung führt

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

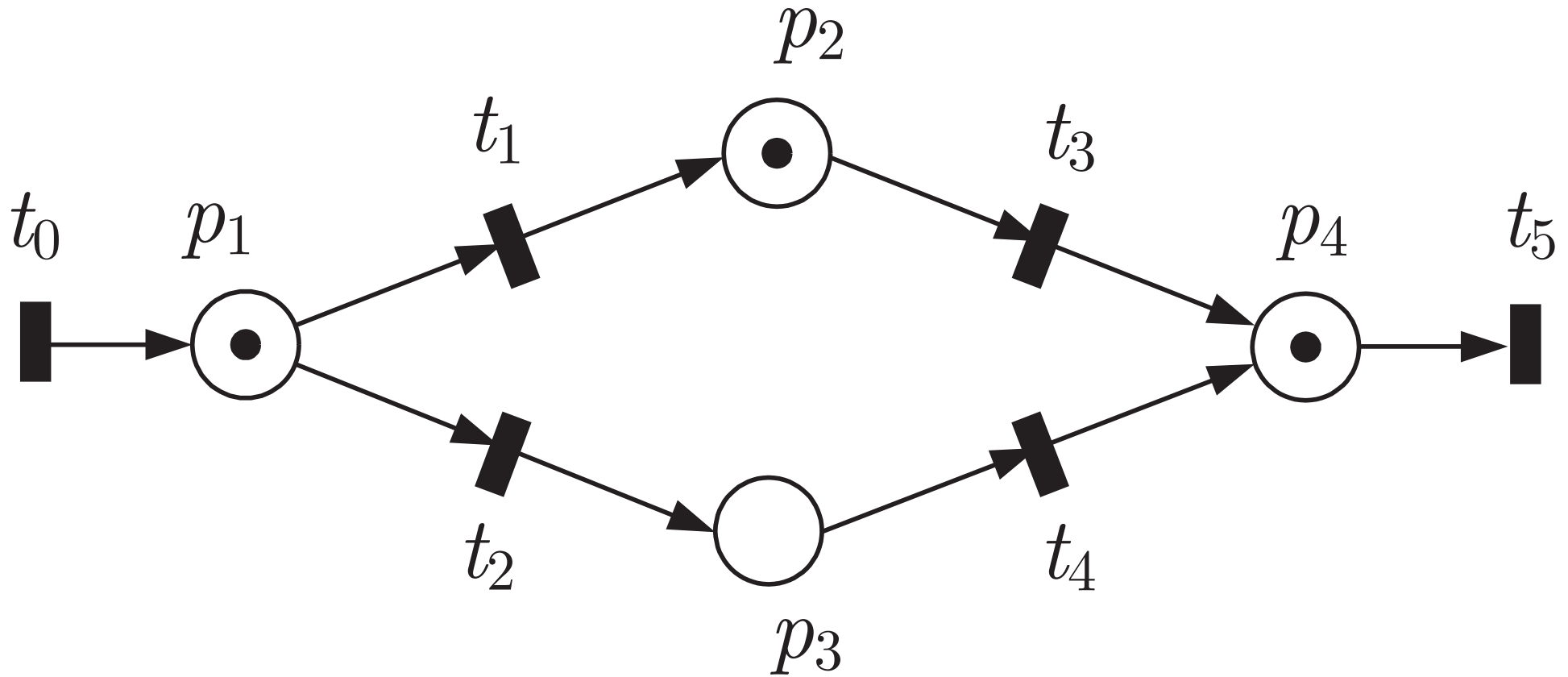


Abb. 11.36. Petrinetz zur Beschreibung der Arbeitsweise von vier Maschinen

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

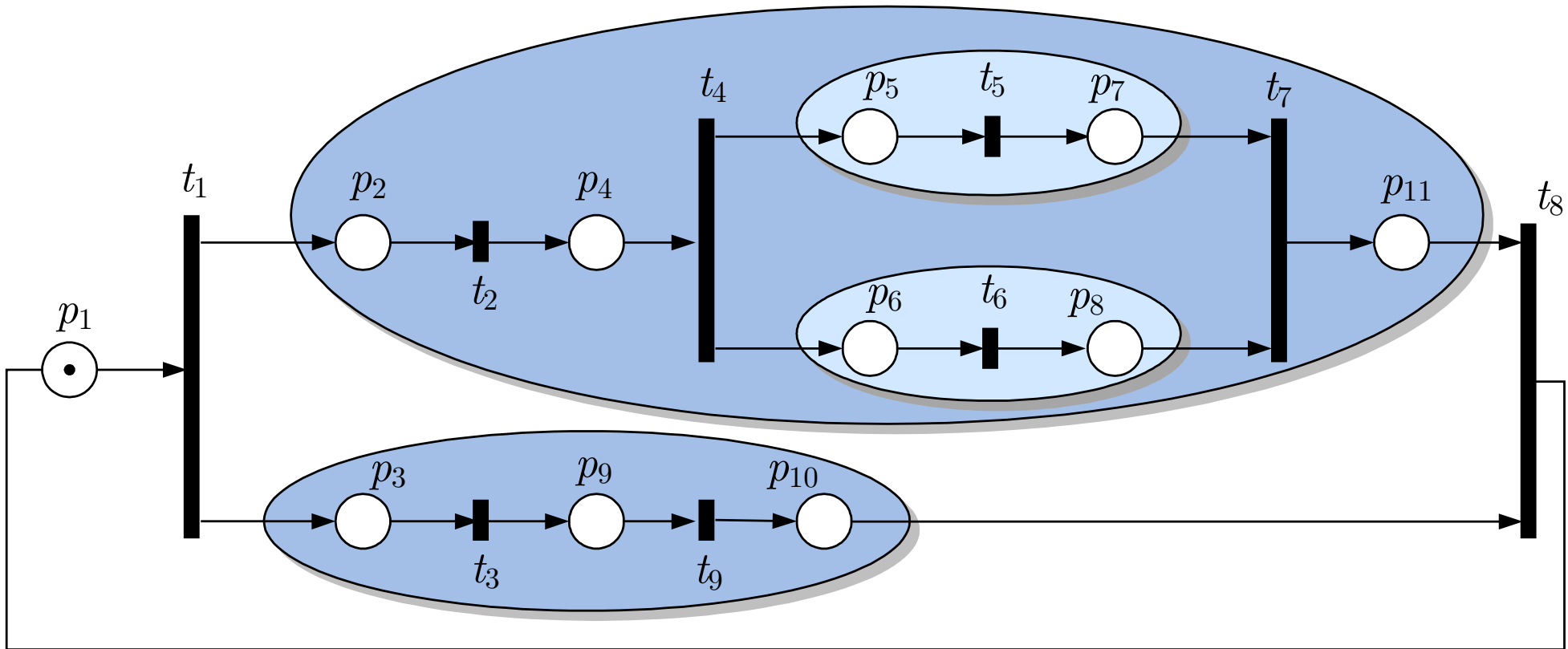
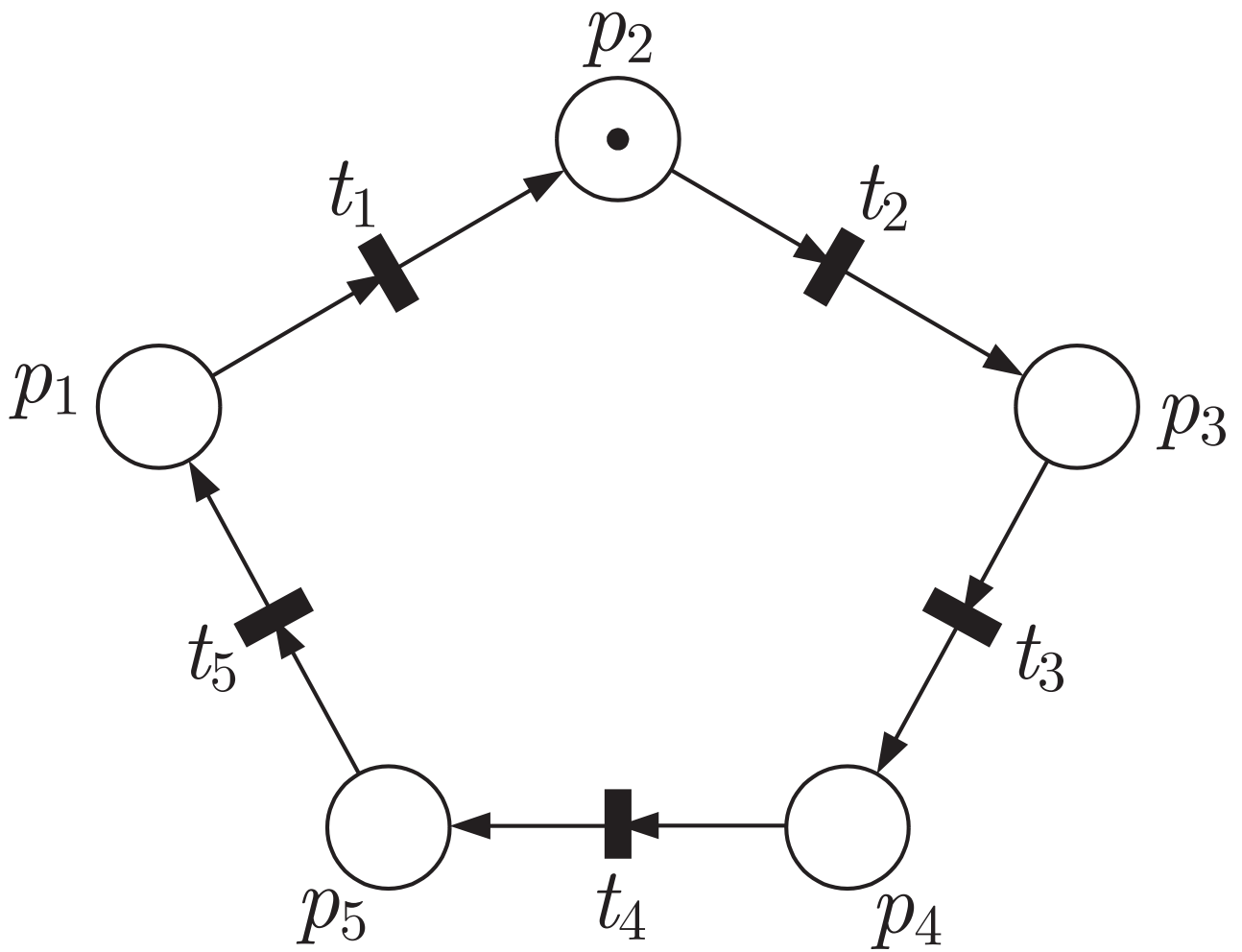


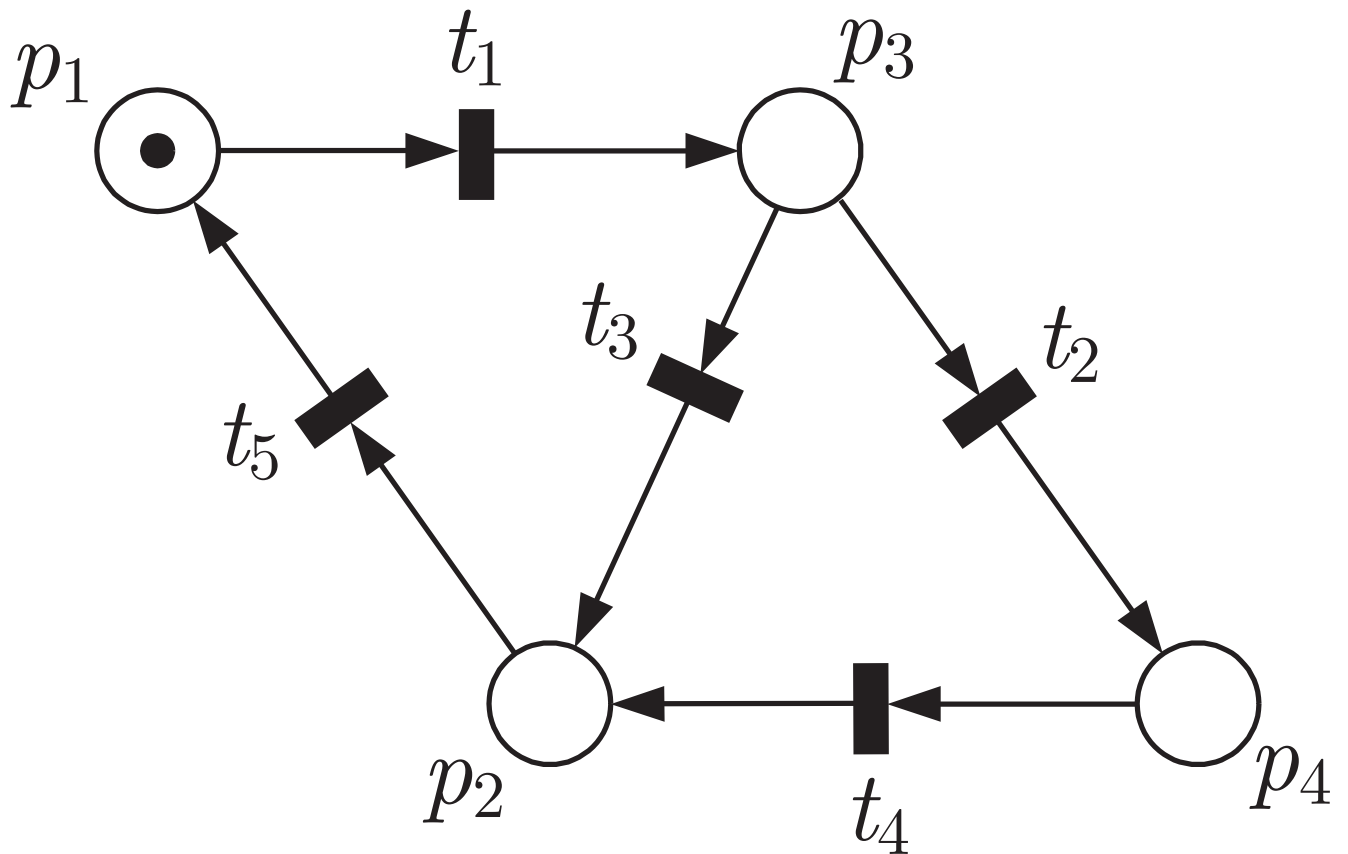
Abb. 11.37. Beispiel für einen Synchronisationsgraphen

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



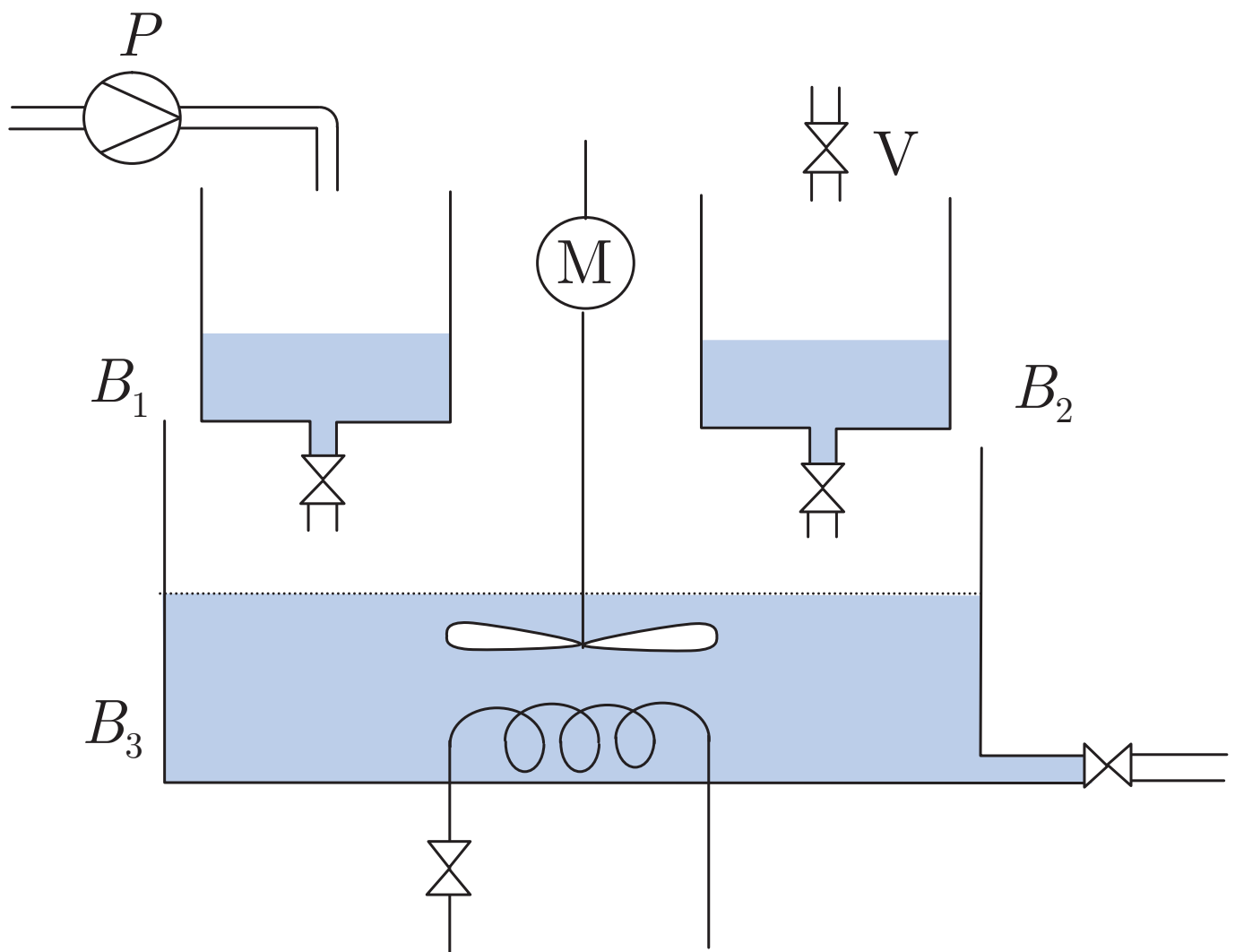
**Abb. 11.38: Petrinetz, das zum Automaten in Abb. 11.6 äquivalent ist**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



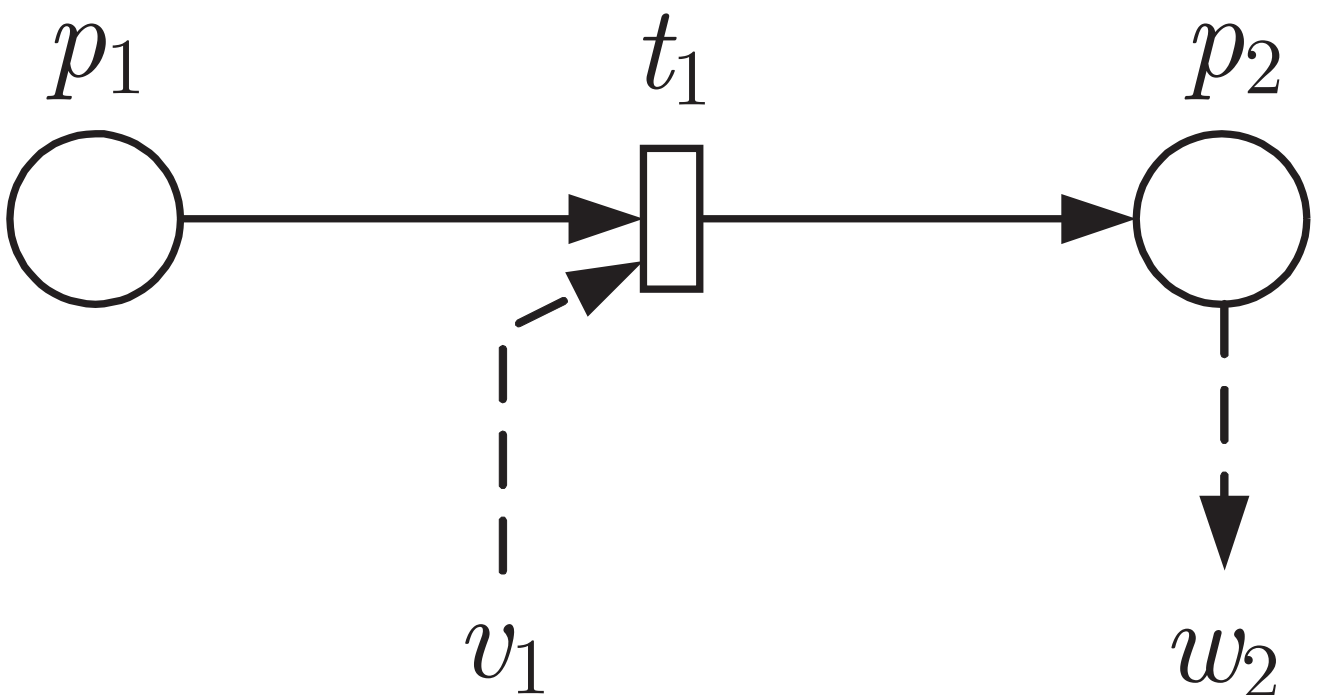
**Abb. 11.39: Zustandsmaschine mit nichtdeterministischem Verhalten**

*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*

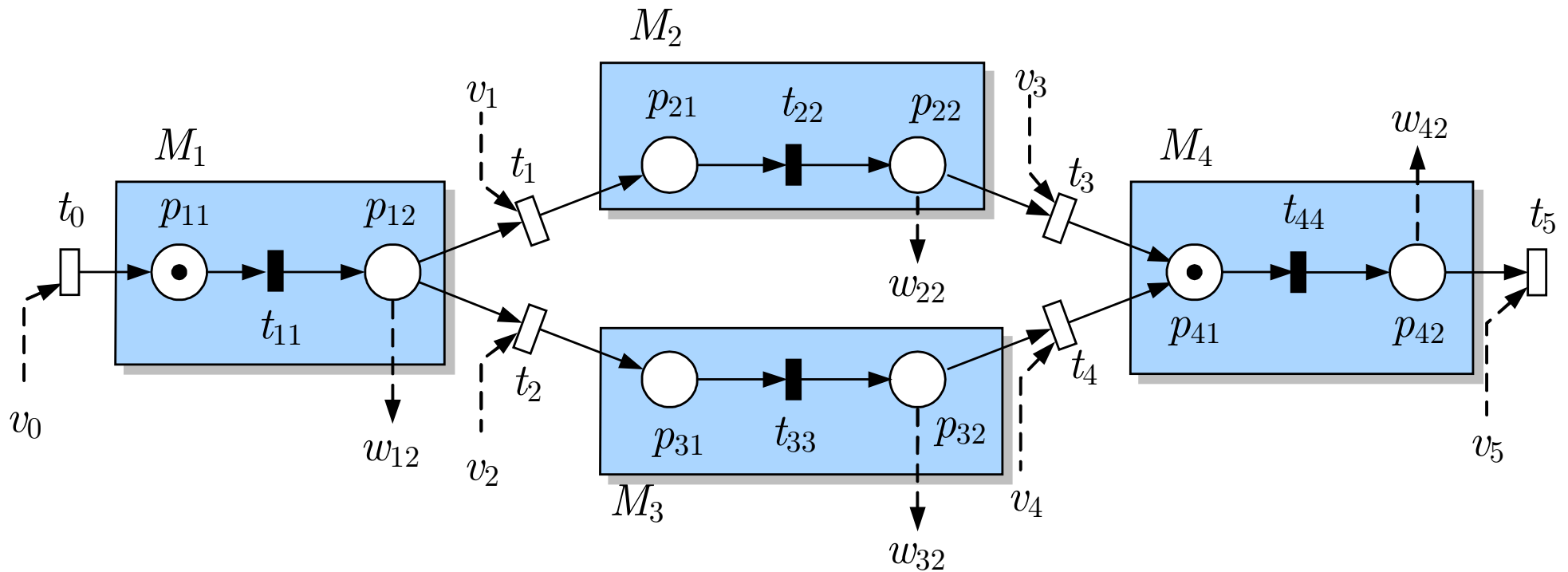
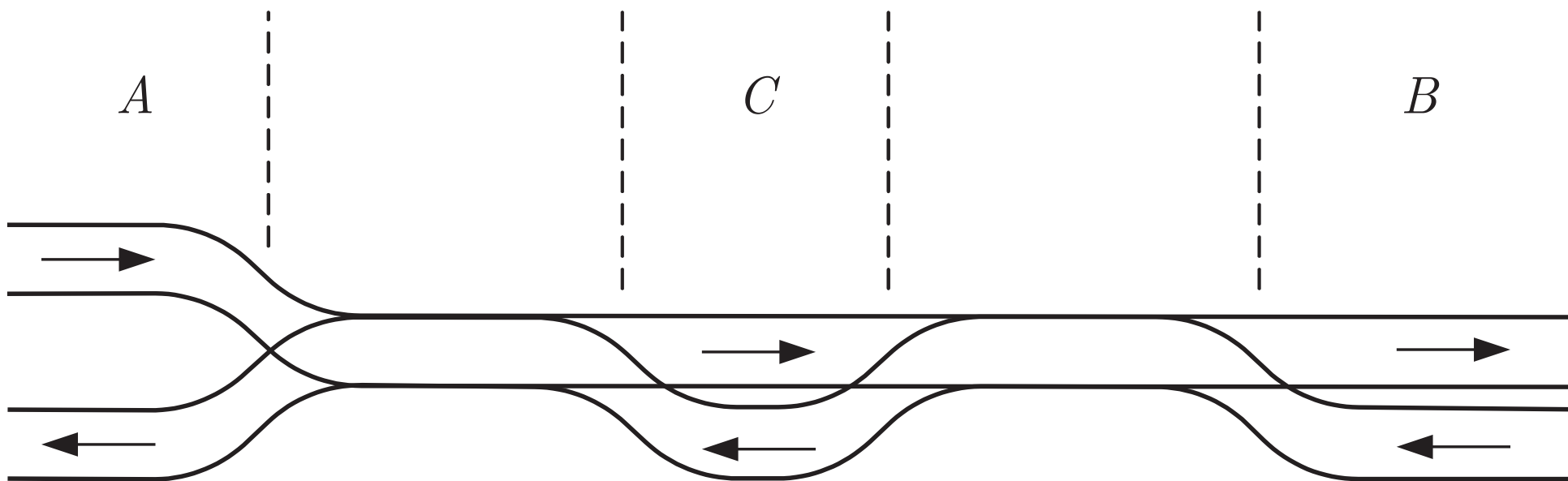


Abb. 11.42. Petrinetz zur Beschreibung der Werkzeugmaschinen als Steuerstrecke

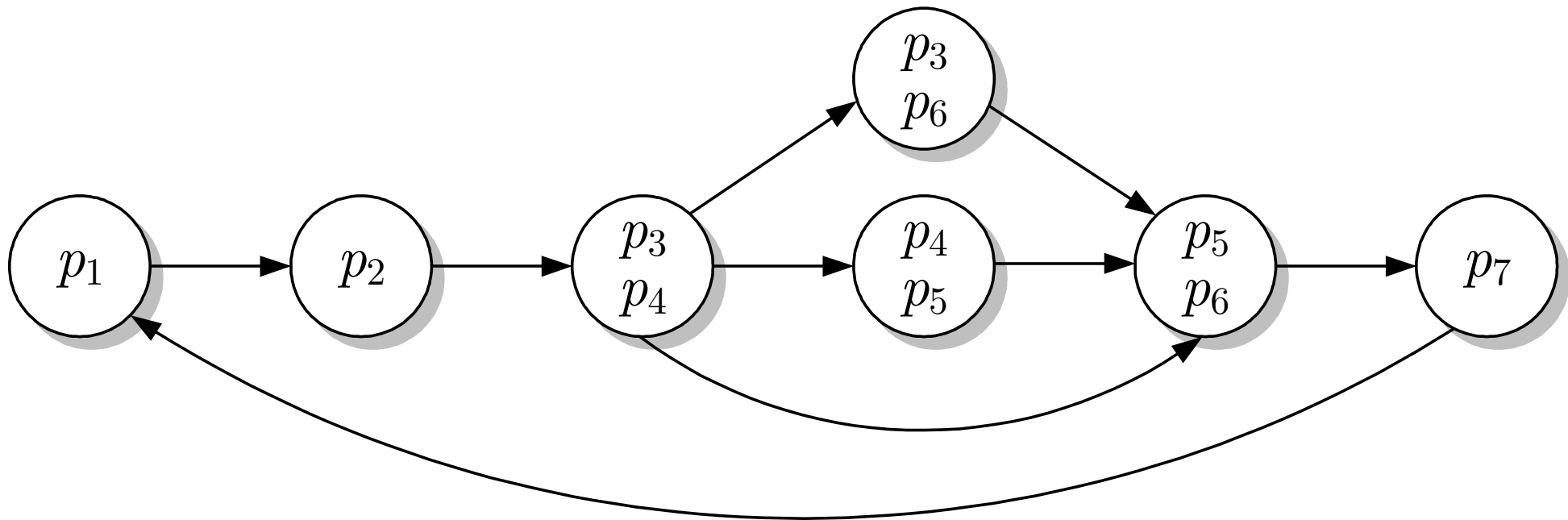
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





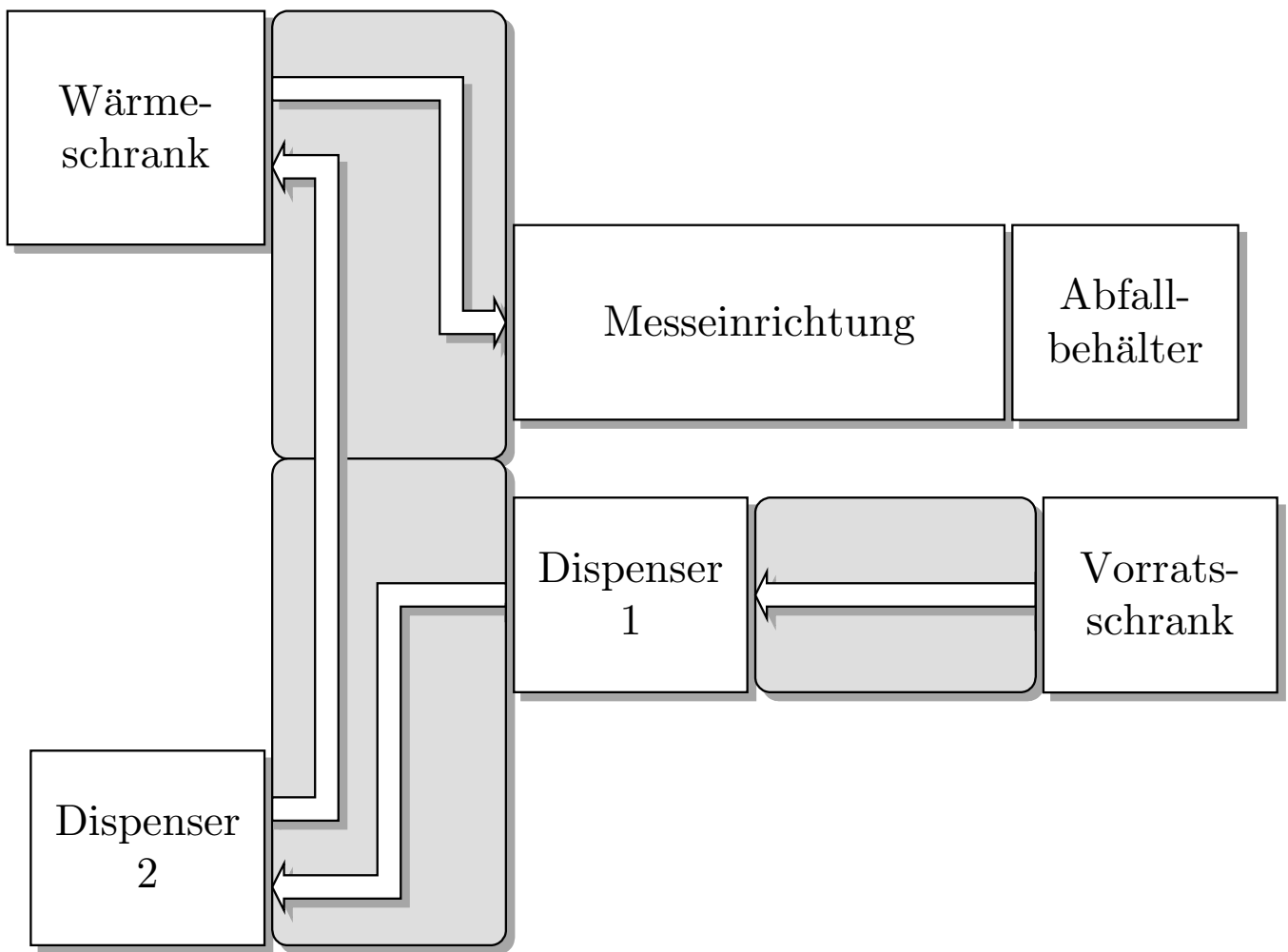
**Abb. 11.43. Streckenabschnitt einer Eisenbahnverbindung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



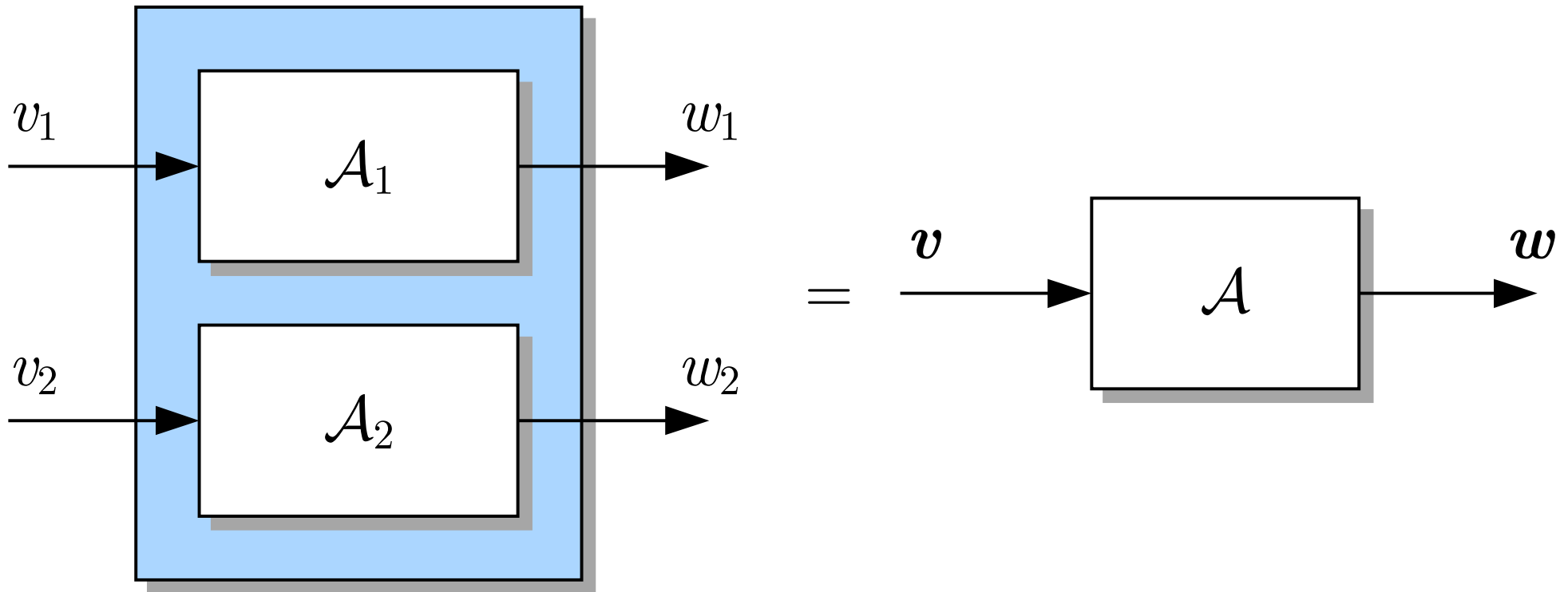
**Abb. 11.44. Automat mit demselben Verhalten wie das Petrinetz aus Abb. 11.30**

*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*

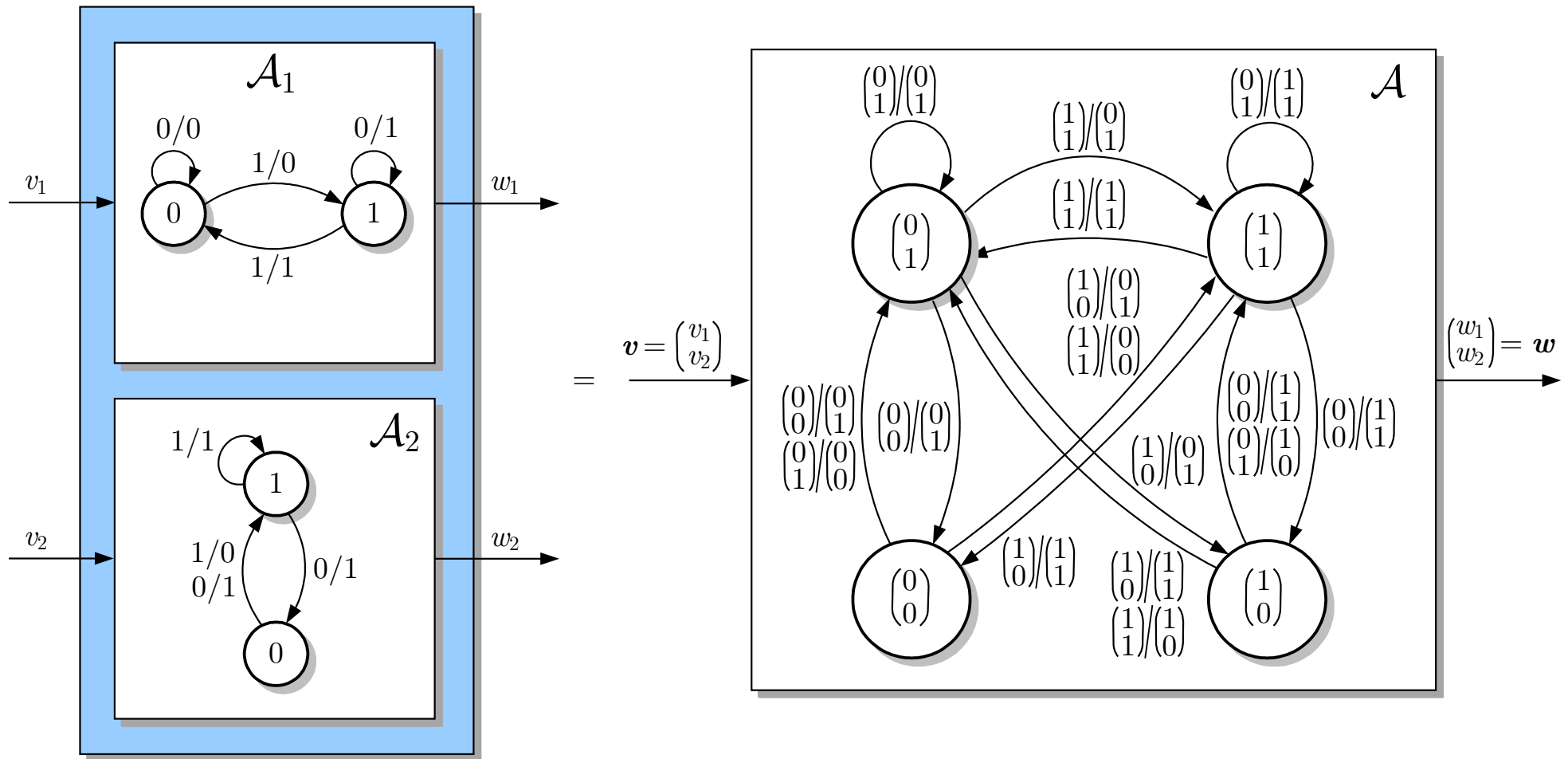
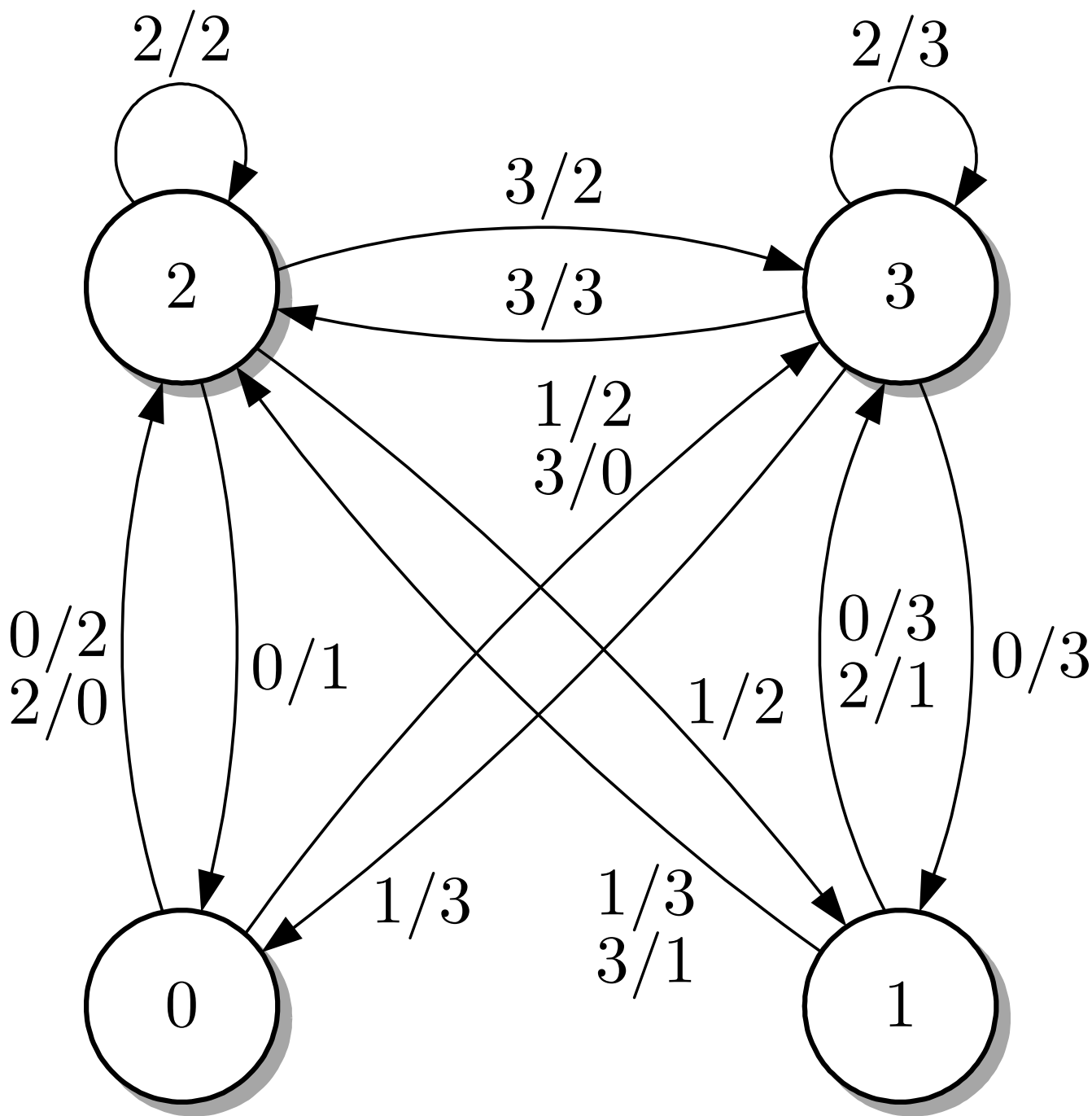
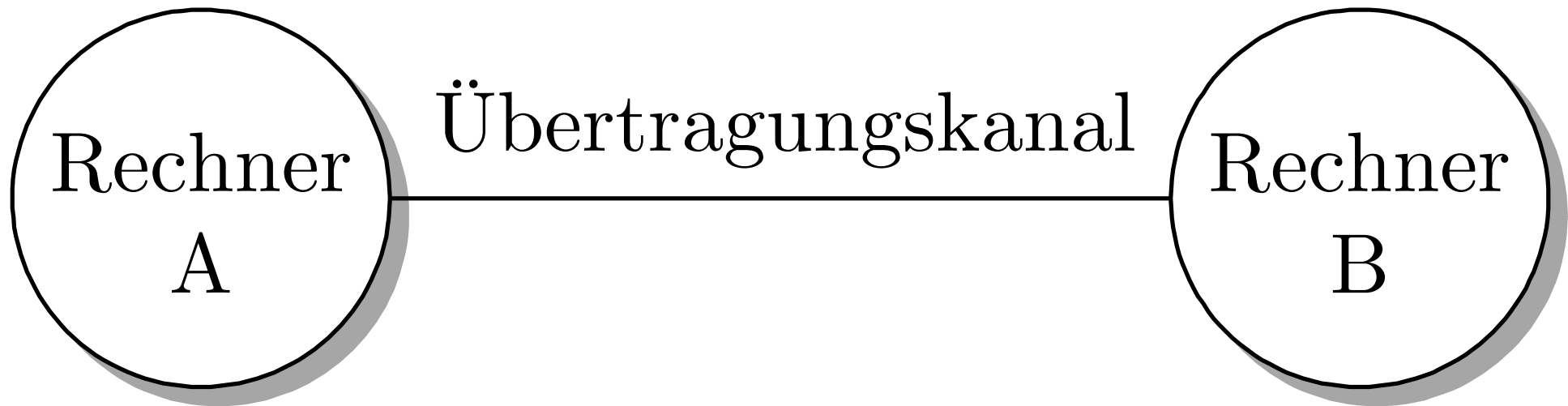


Abb. 11.47. Beispiel für die Synchronisation zweier Automaten

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.48: Vereinfachte Darstellung der synchronisierten Automaten**



**Abb. 11.49. Kommunikation zweier Rechner über einen Übertragungskanal**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

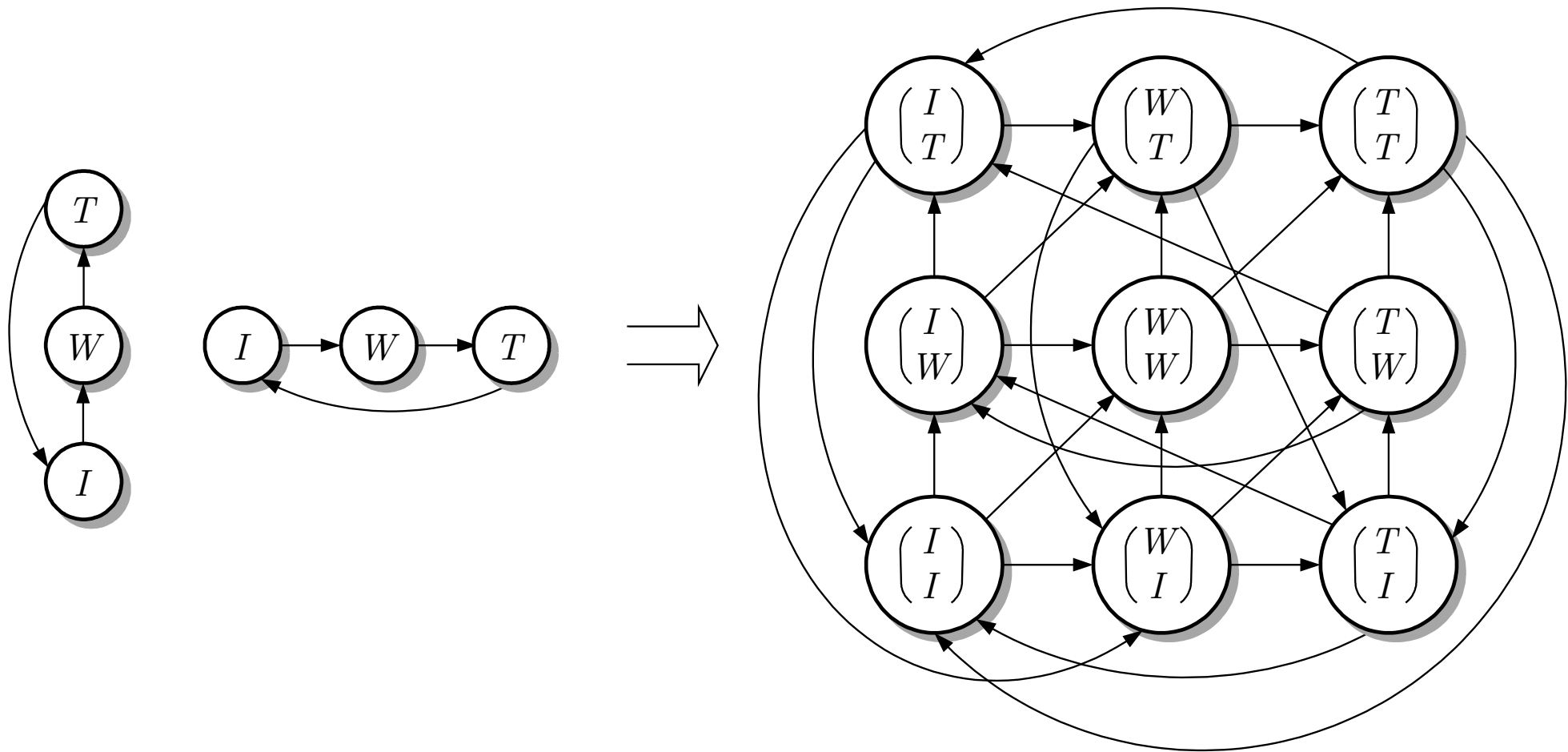
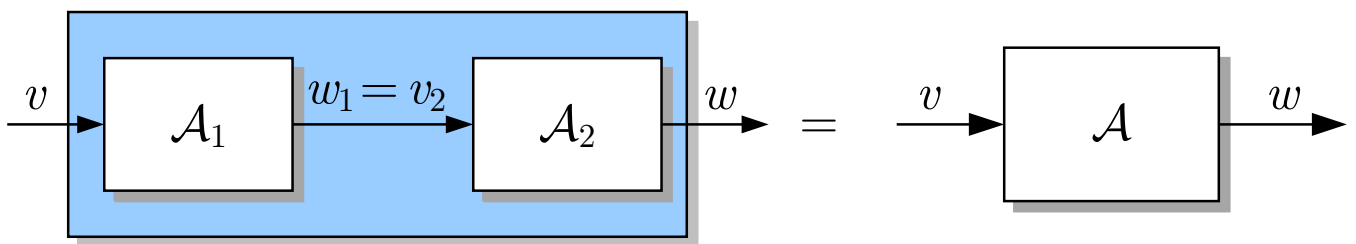


Abb. 11.50. Beschreibung der ungesteuerten Rechnerkommunikation durch Automaten





**Abb. 11.51: Reihenschaltung zweier Automaten**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

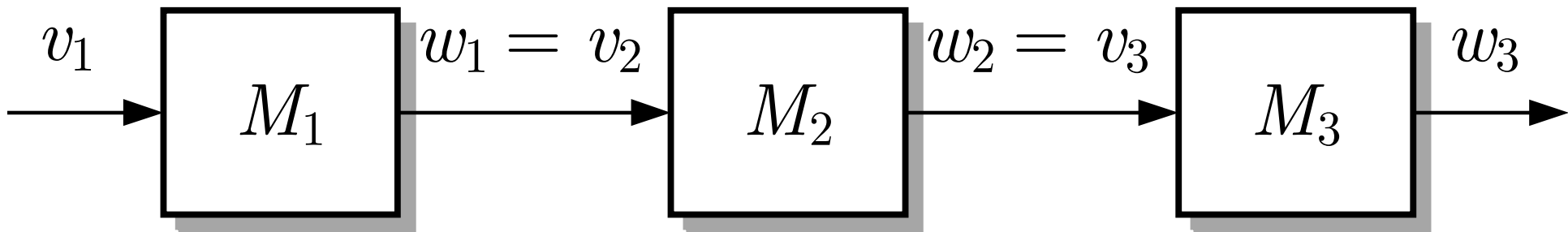
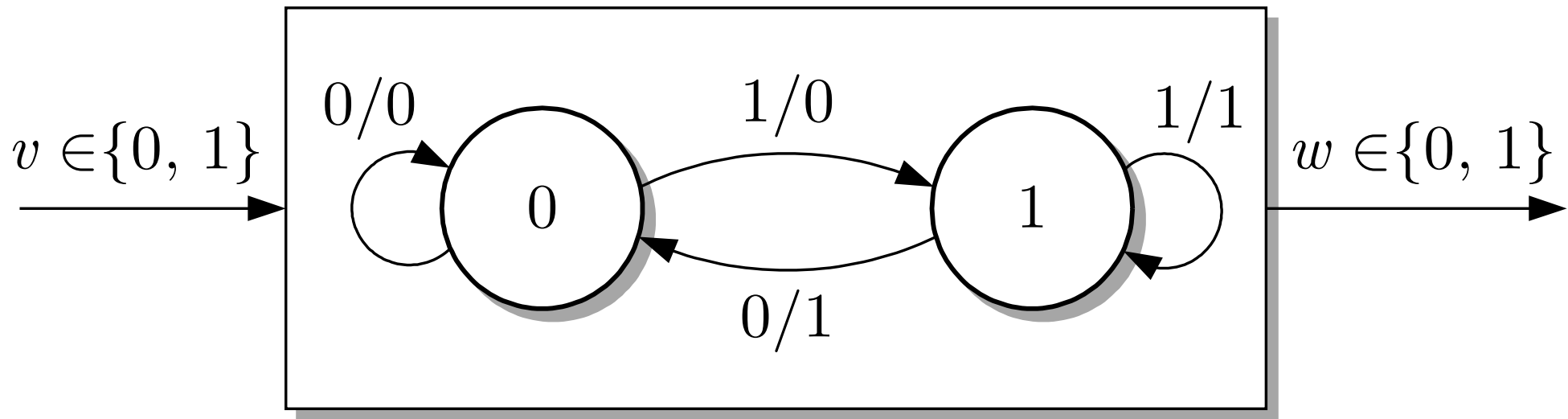


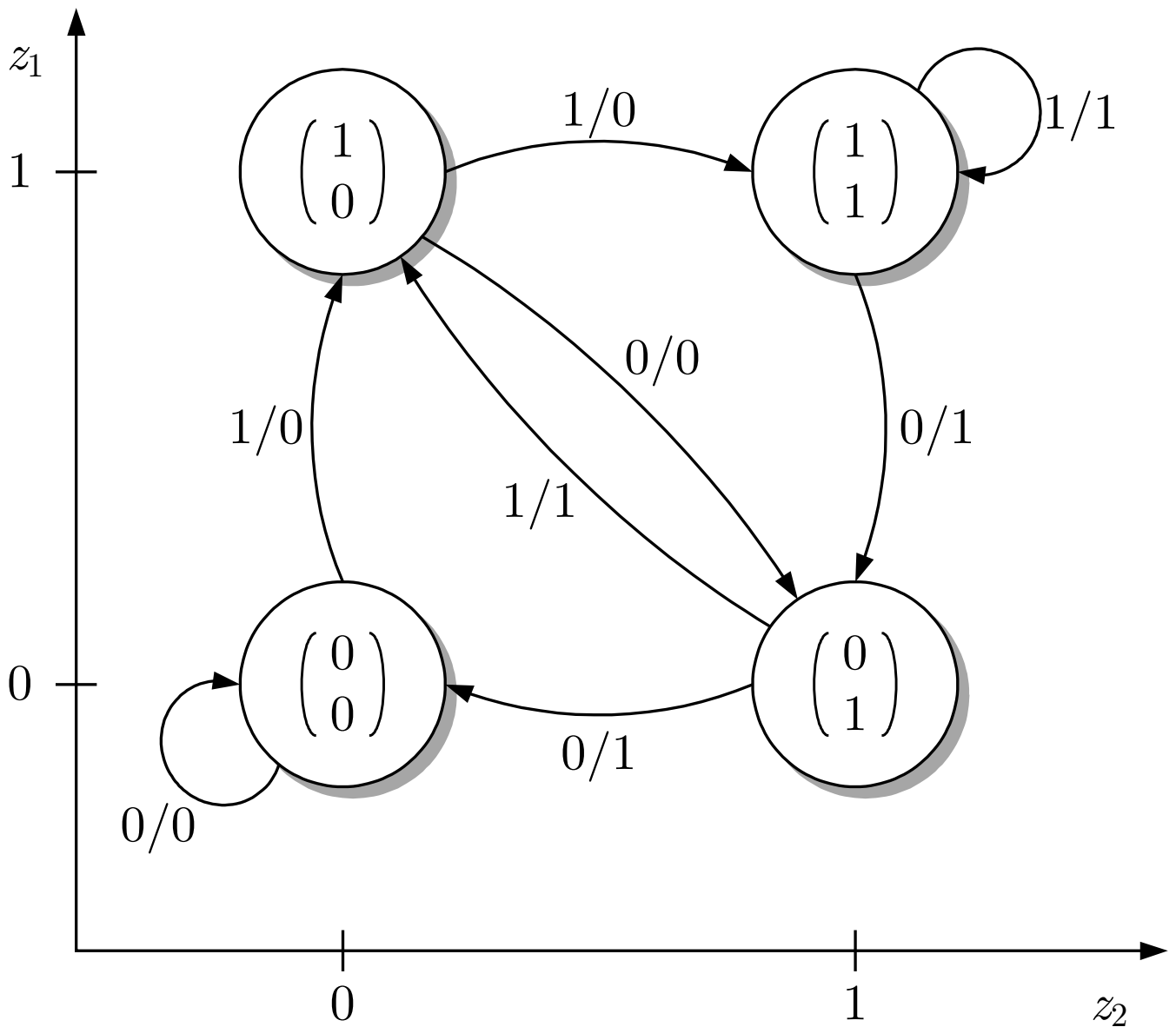
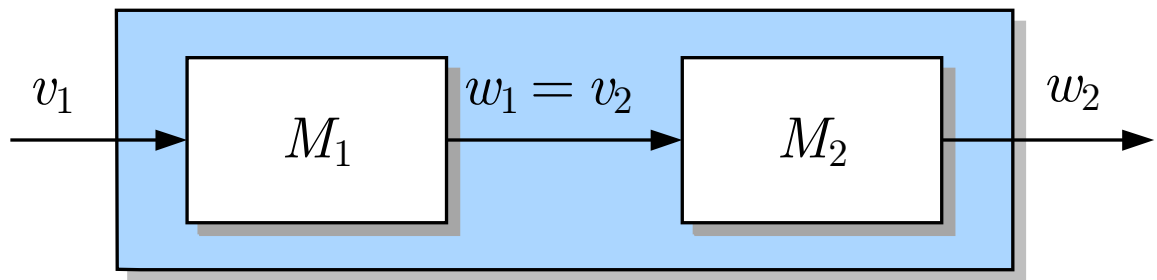
Abb. 11.52. Reihenschaltung von drei Werkzeugmaschinen

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

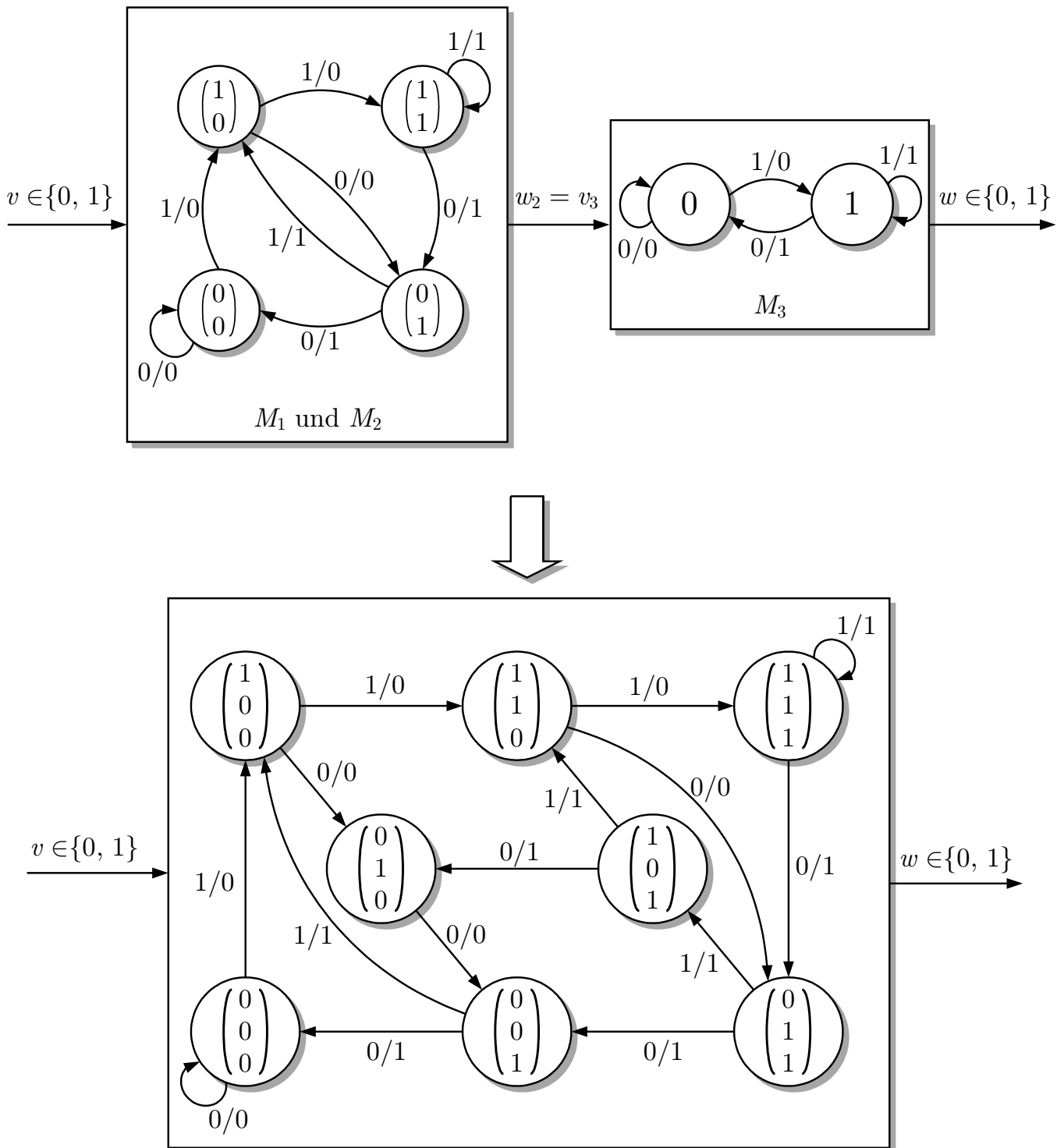


**Abb. 11.53. Modell der einzelnen Werkzeugmaschine**

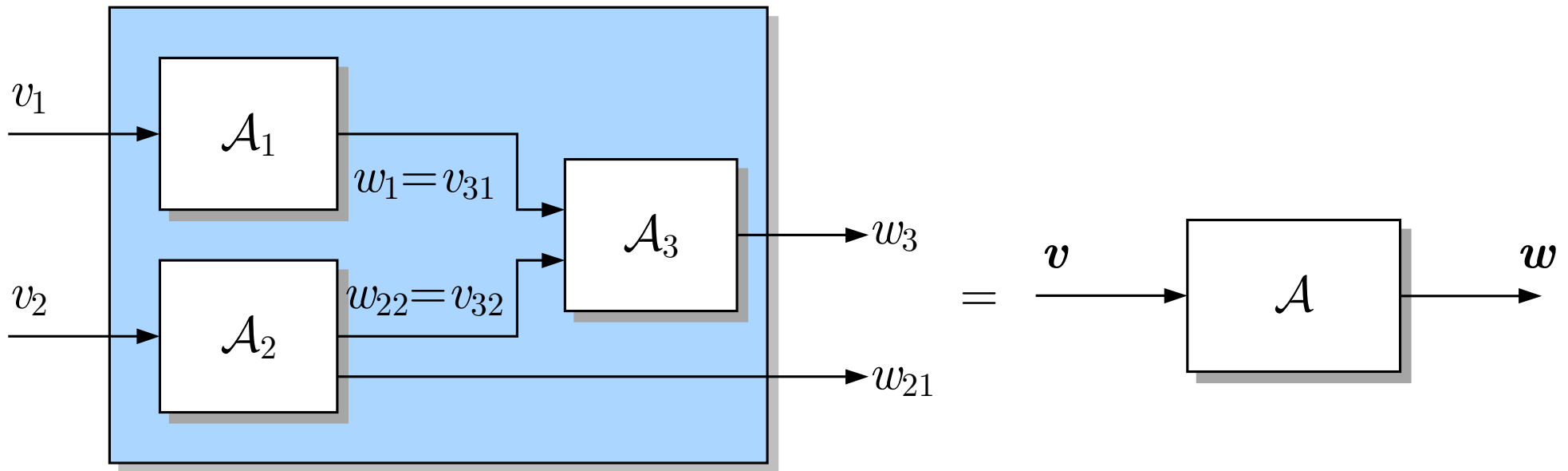
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

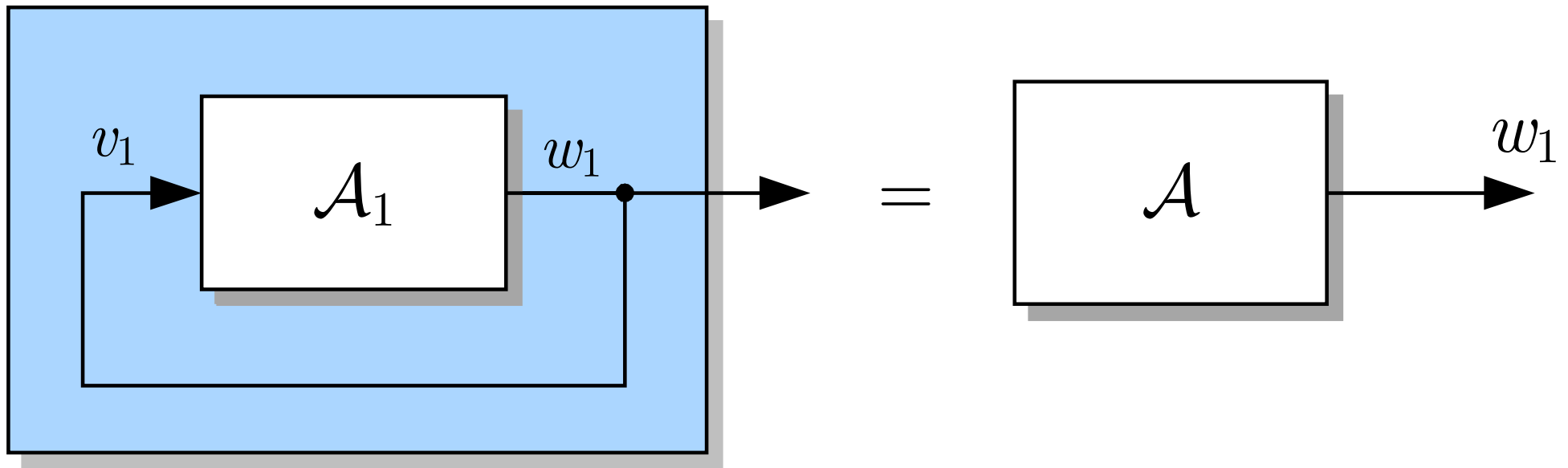


**Abb. 11.55:** Modell der Reihenschaltung der Maschinen  $M_1$ ,  $M_2$  und  $M_3$



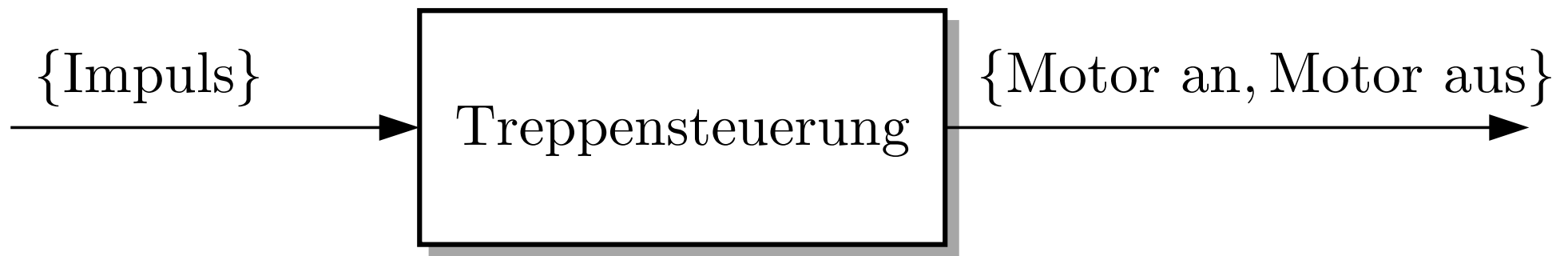
**Abb. 11.56. Reihenschaltung von drei Automaten**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.57. Automat mit Rückführung**

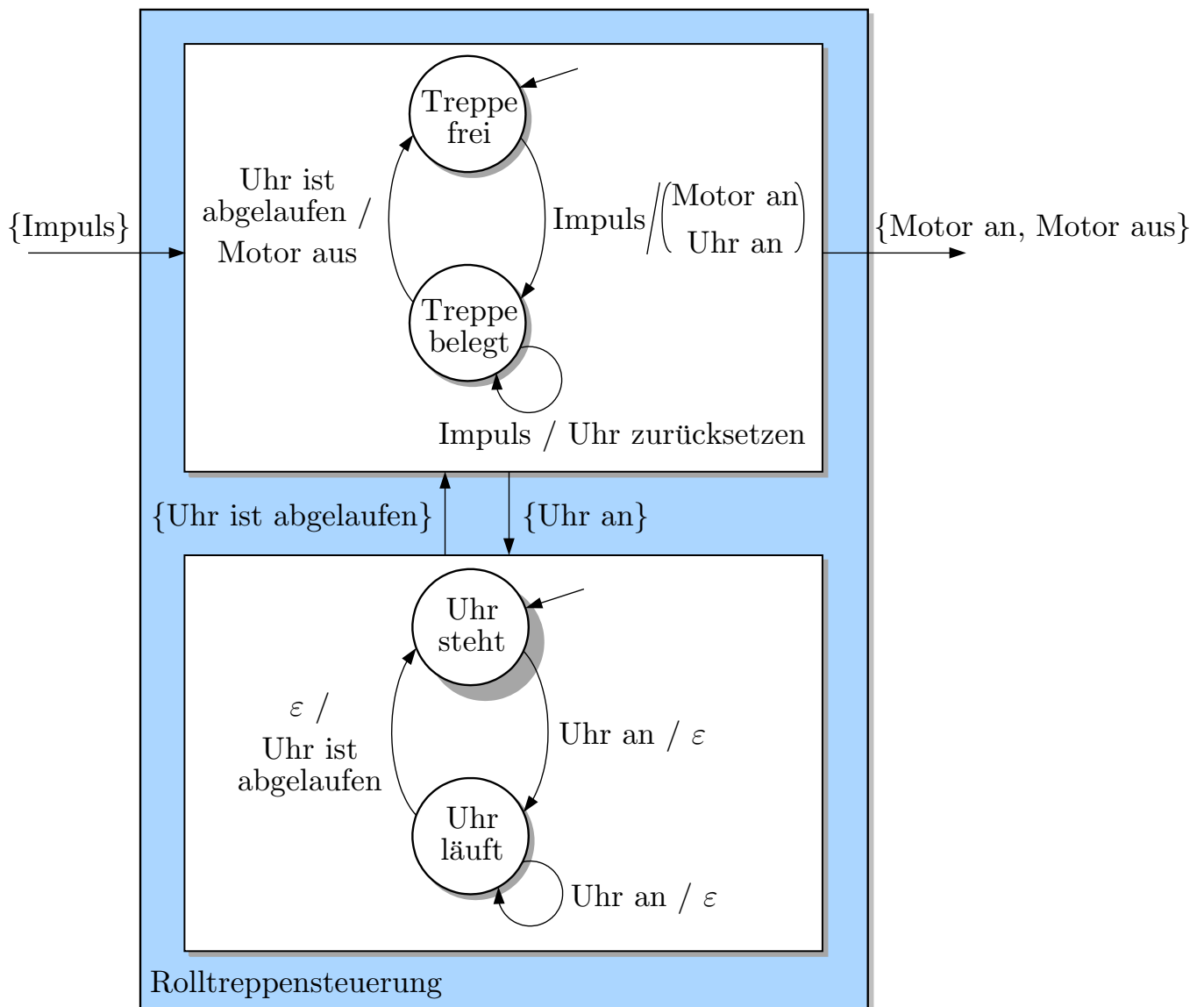
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 11.58. Rolltreppensteuerung**

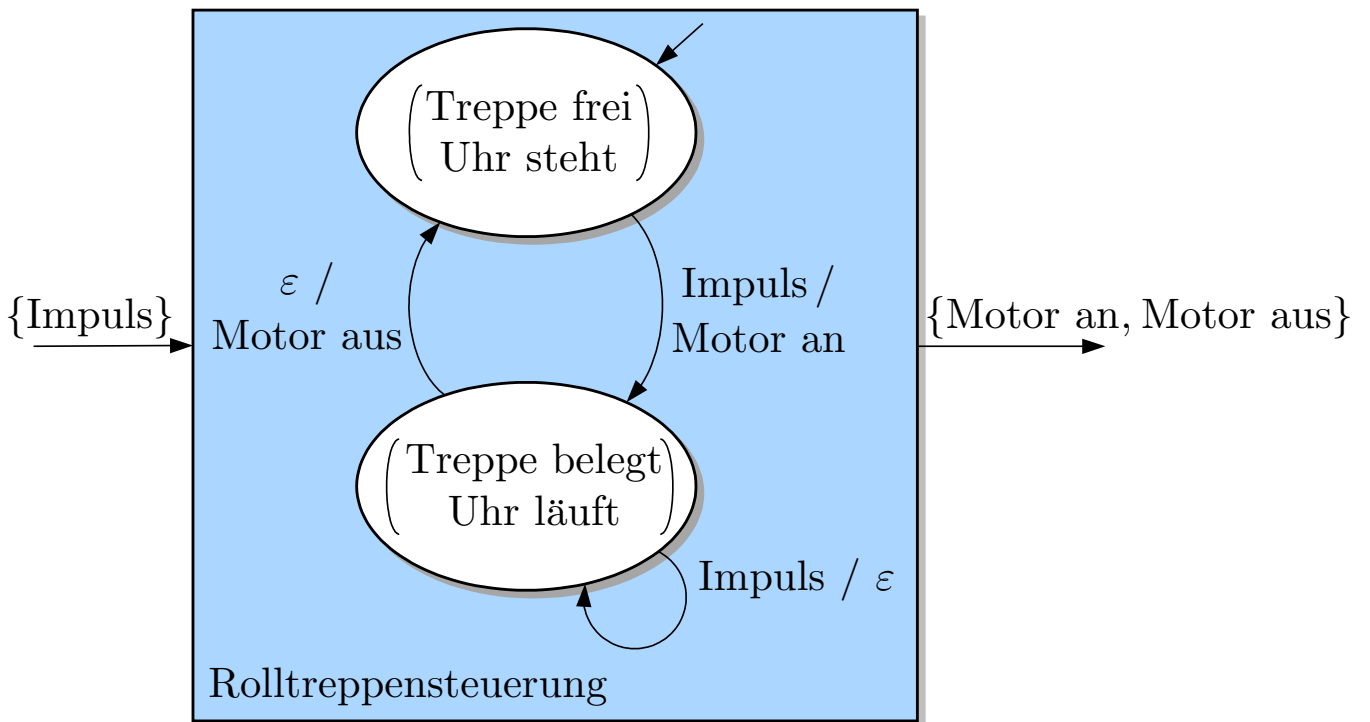
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*

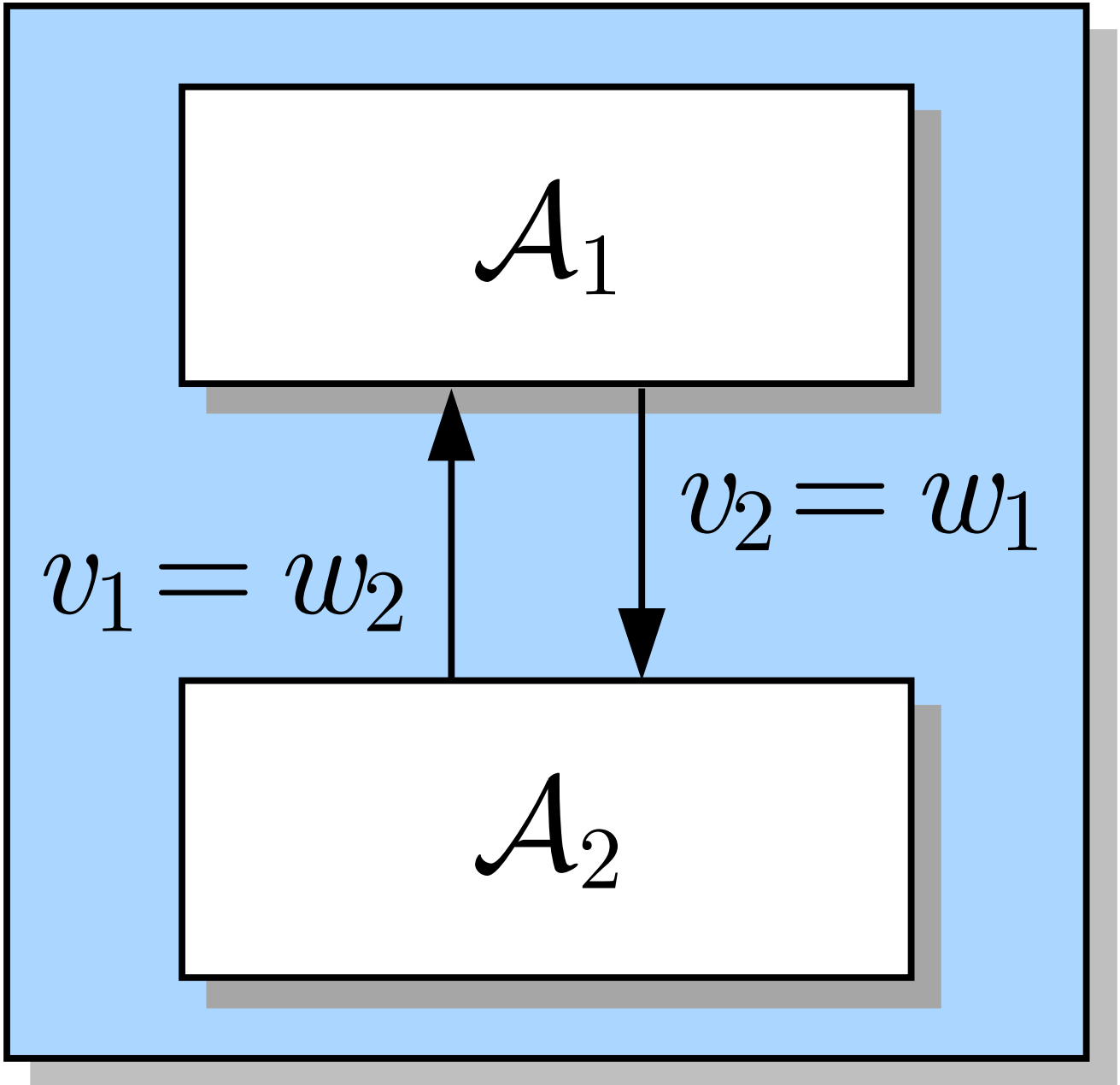
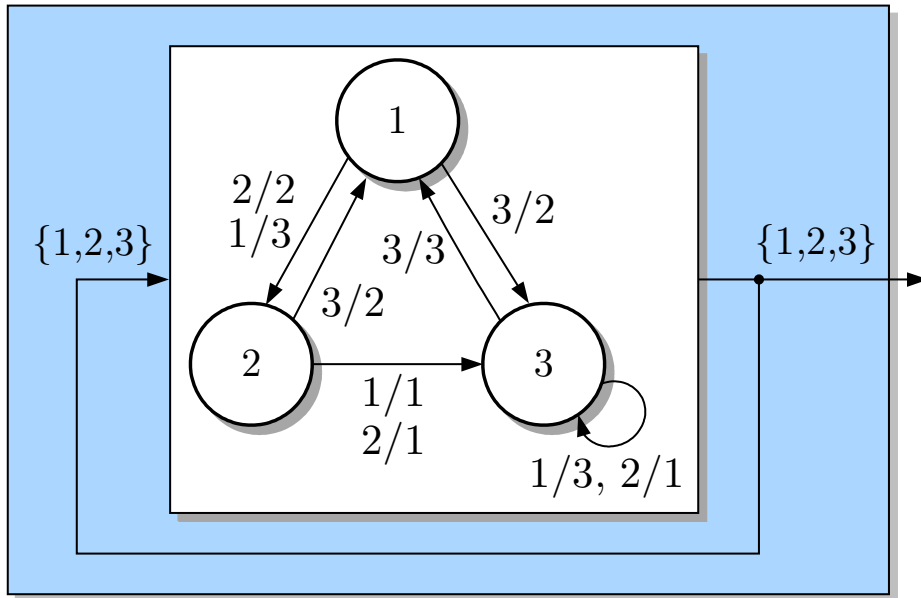
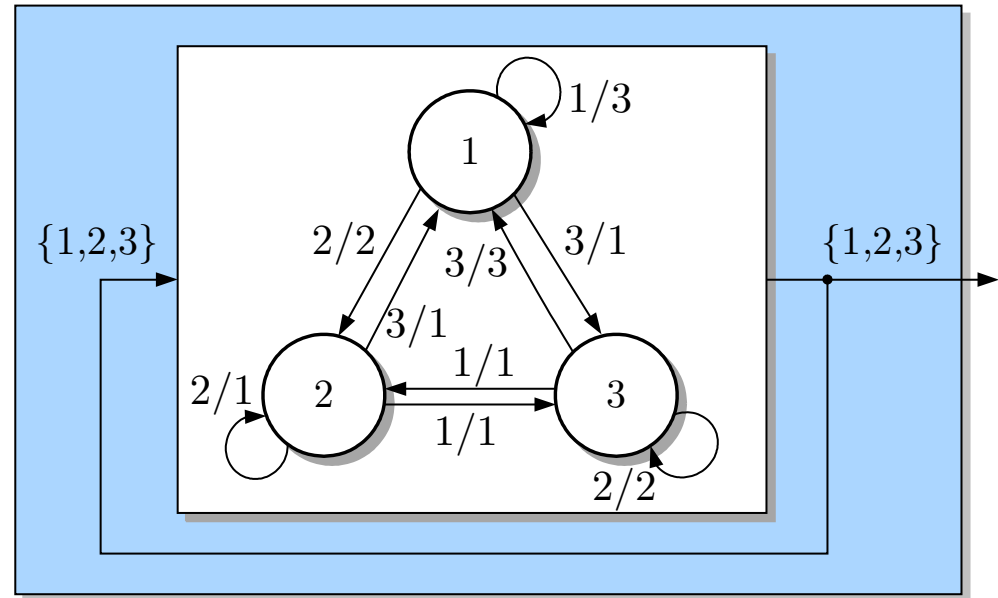


Abb. 11.61: Zwei Automaten in Rückführschaltung

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



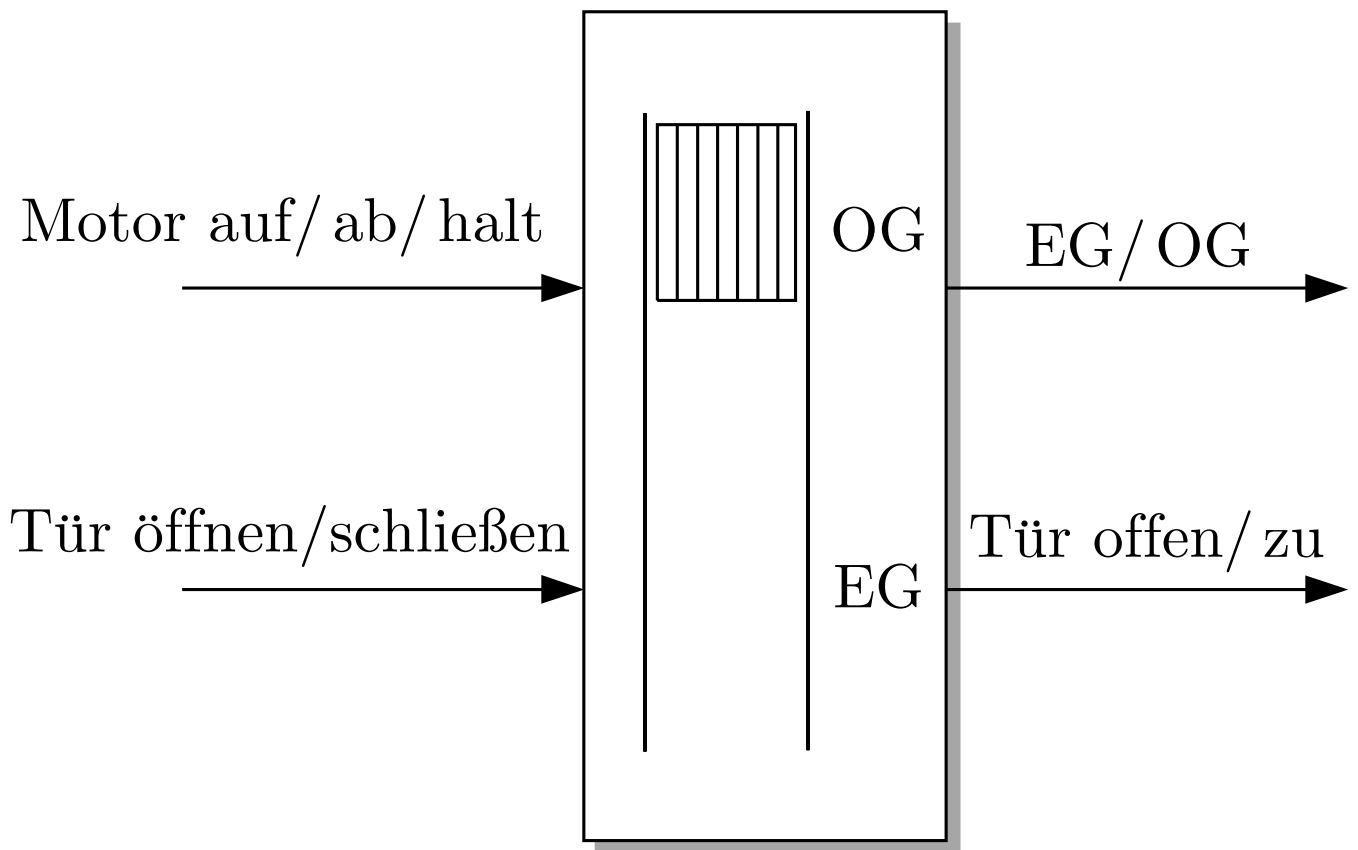
(a)



(b)

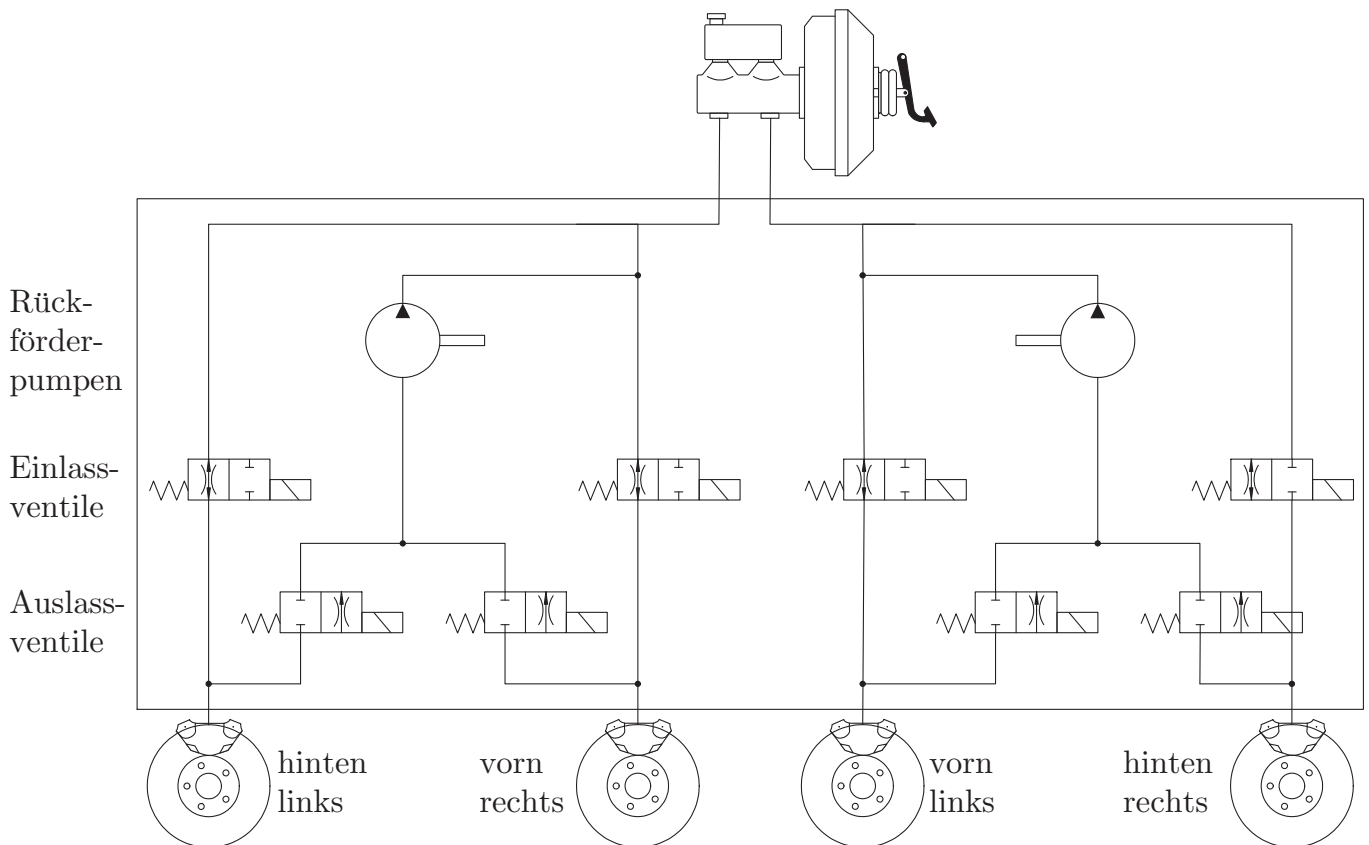
**Abb. 11.62. Zwei rückgekoppelte Automaten**

*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*

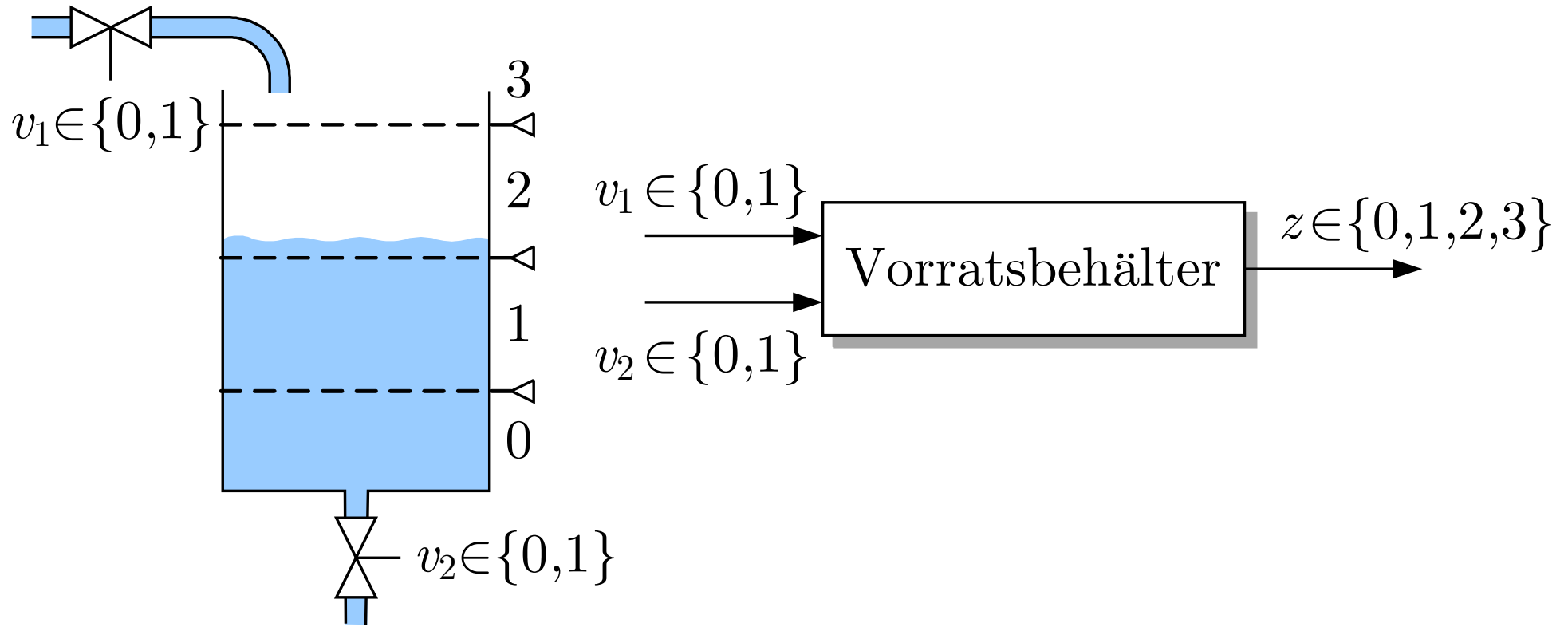
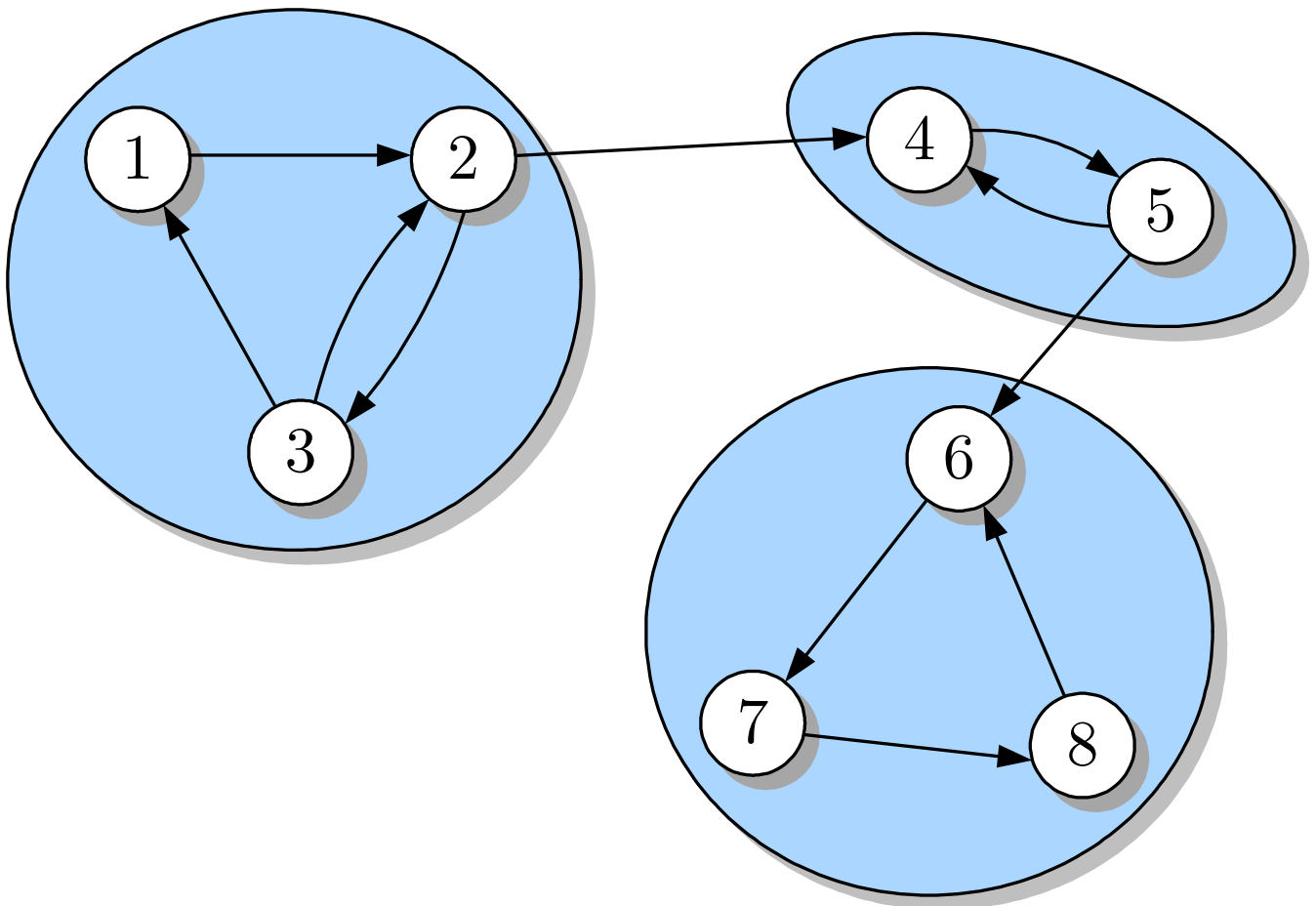


Abb. 11.65. Vorratsbehälter mit diskreten Eingangsgrößen

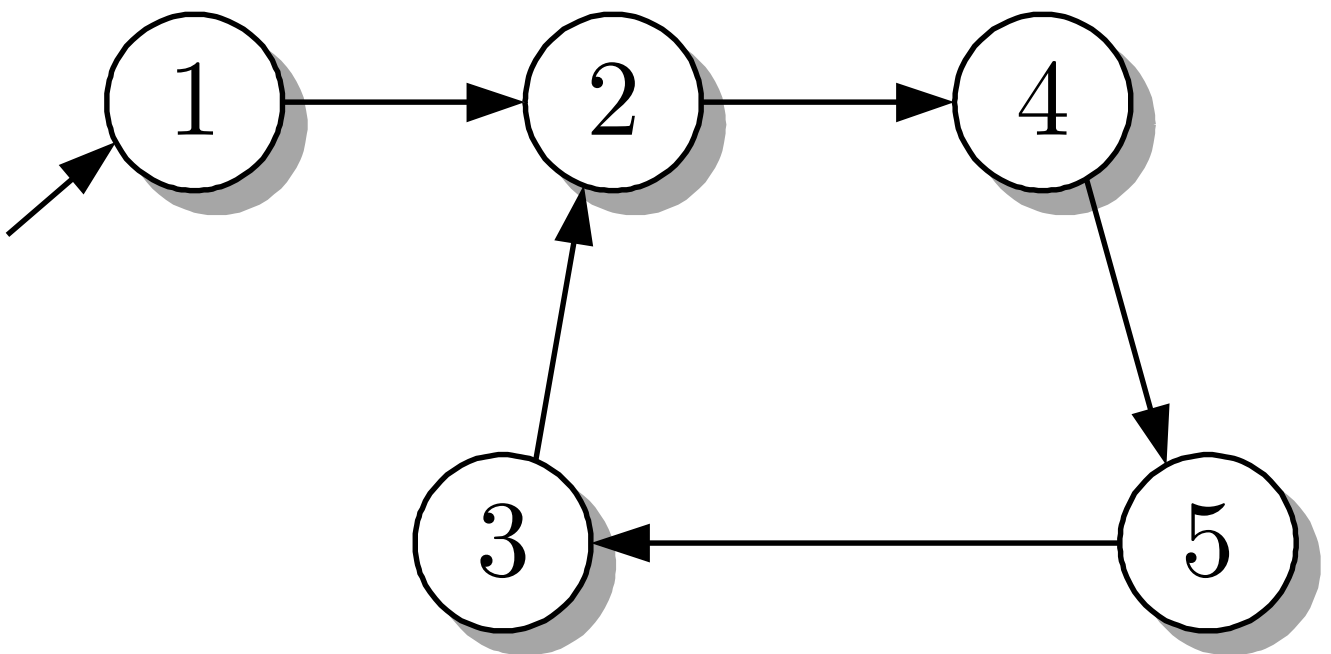
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

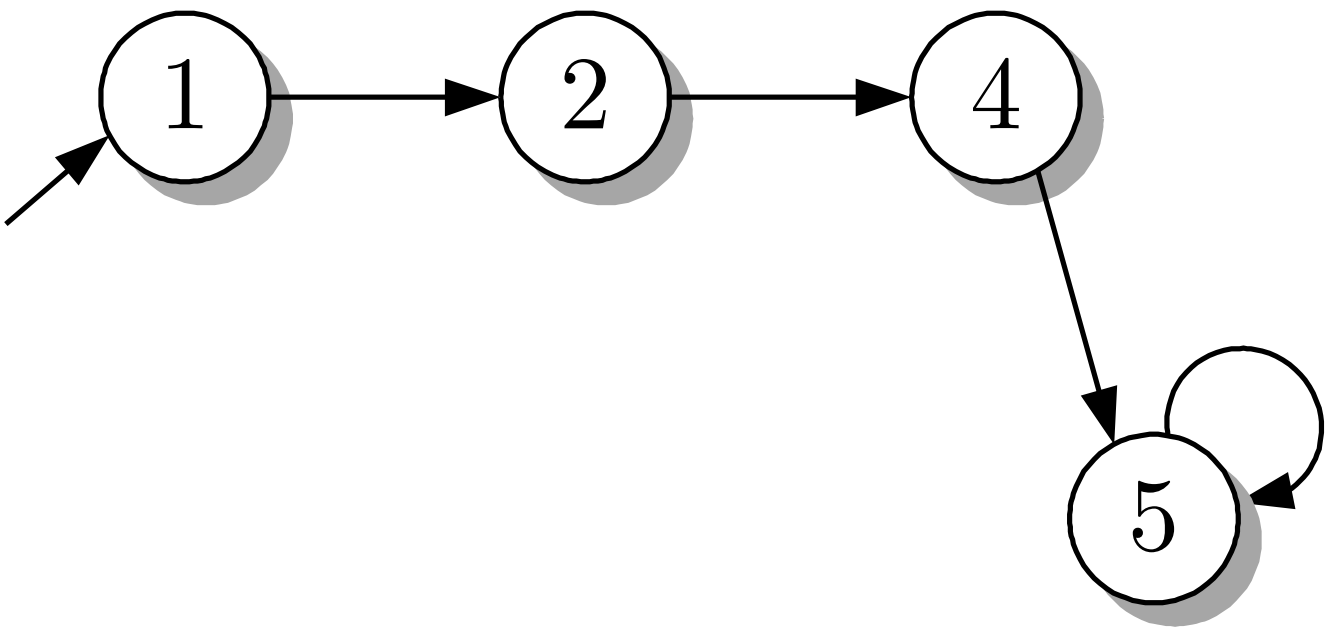
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





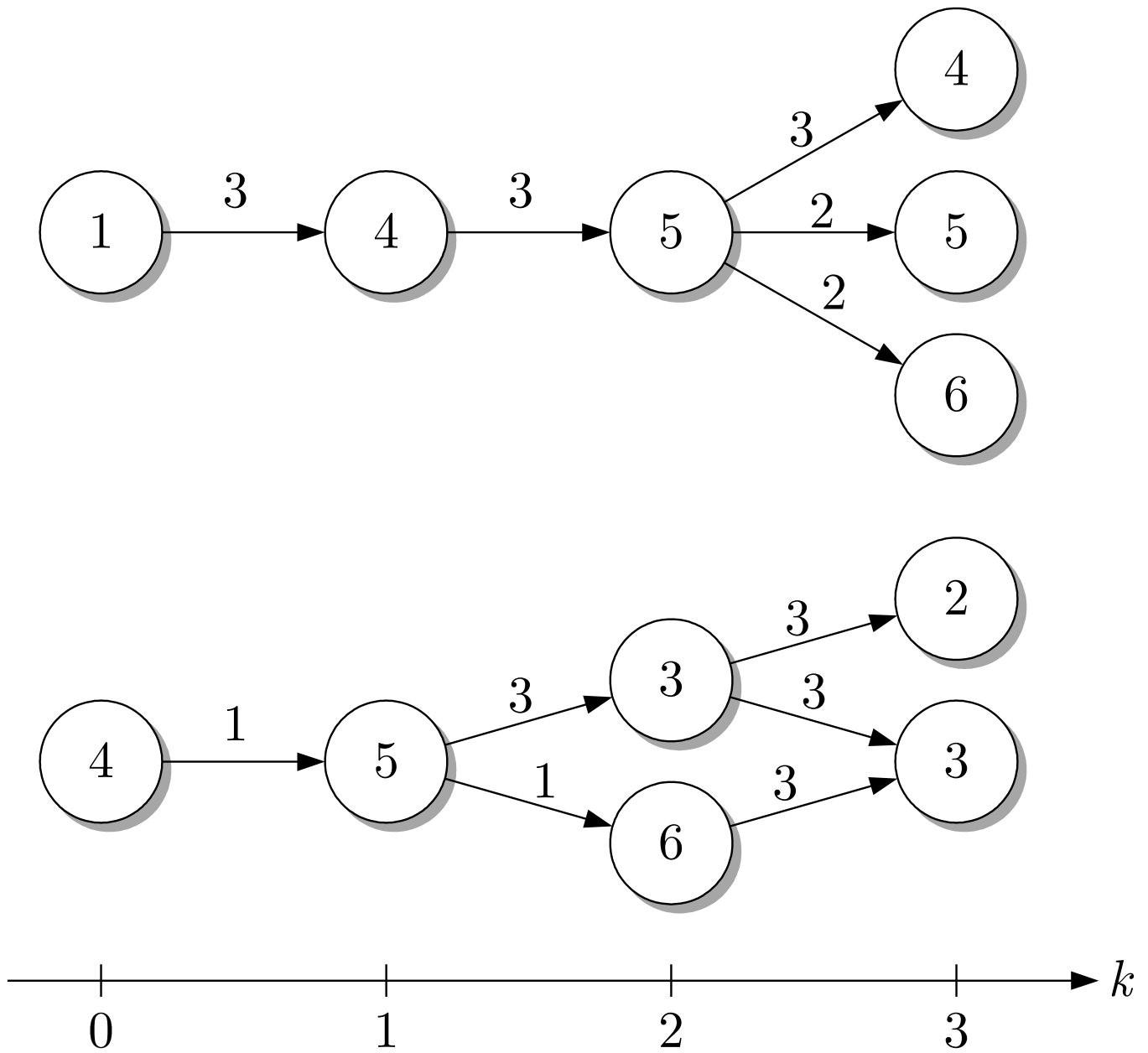
**Abb. 12.2:** Automat mit periodischer Zustandsmenge

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



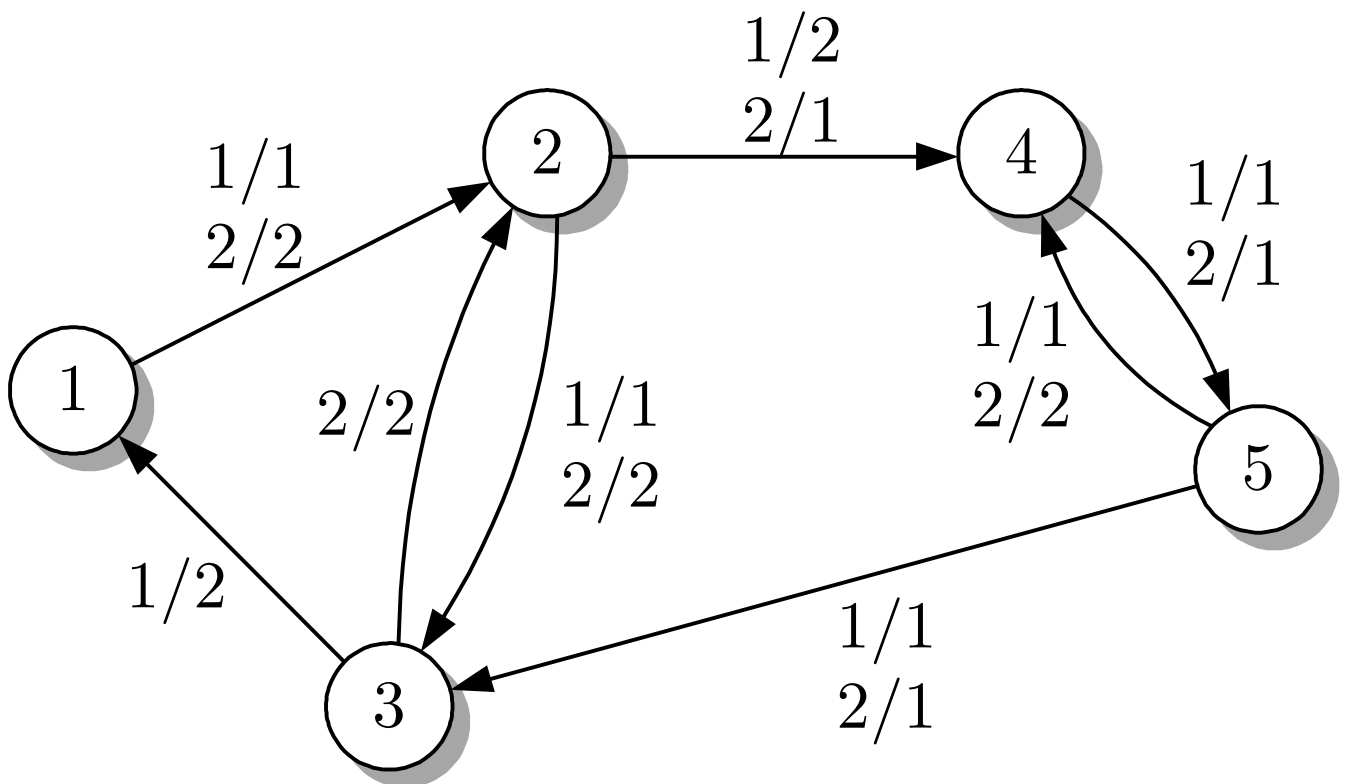
**Abb. 12.2:** Automat mit absorbierendem Zustand

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



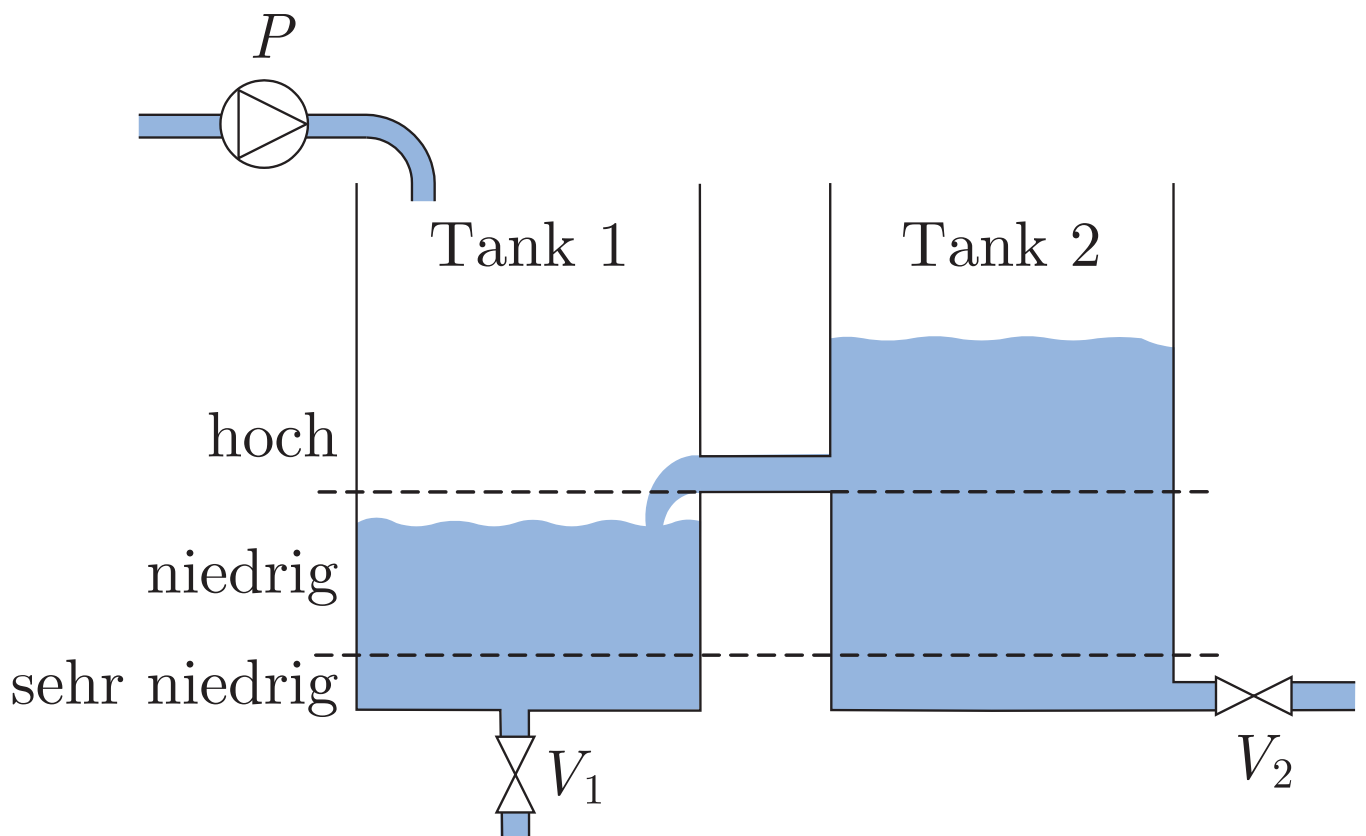
**Abb. 12.3: Grafische Darstellung des Verhaltens eines nichtdeterministischen Automaten**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



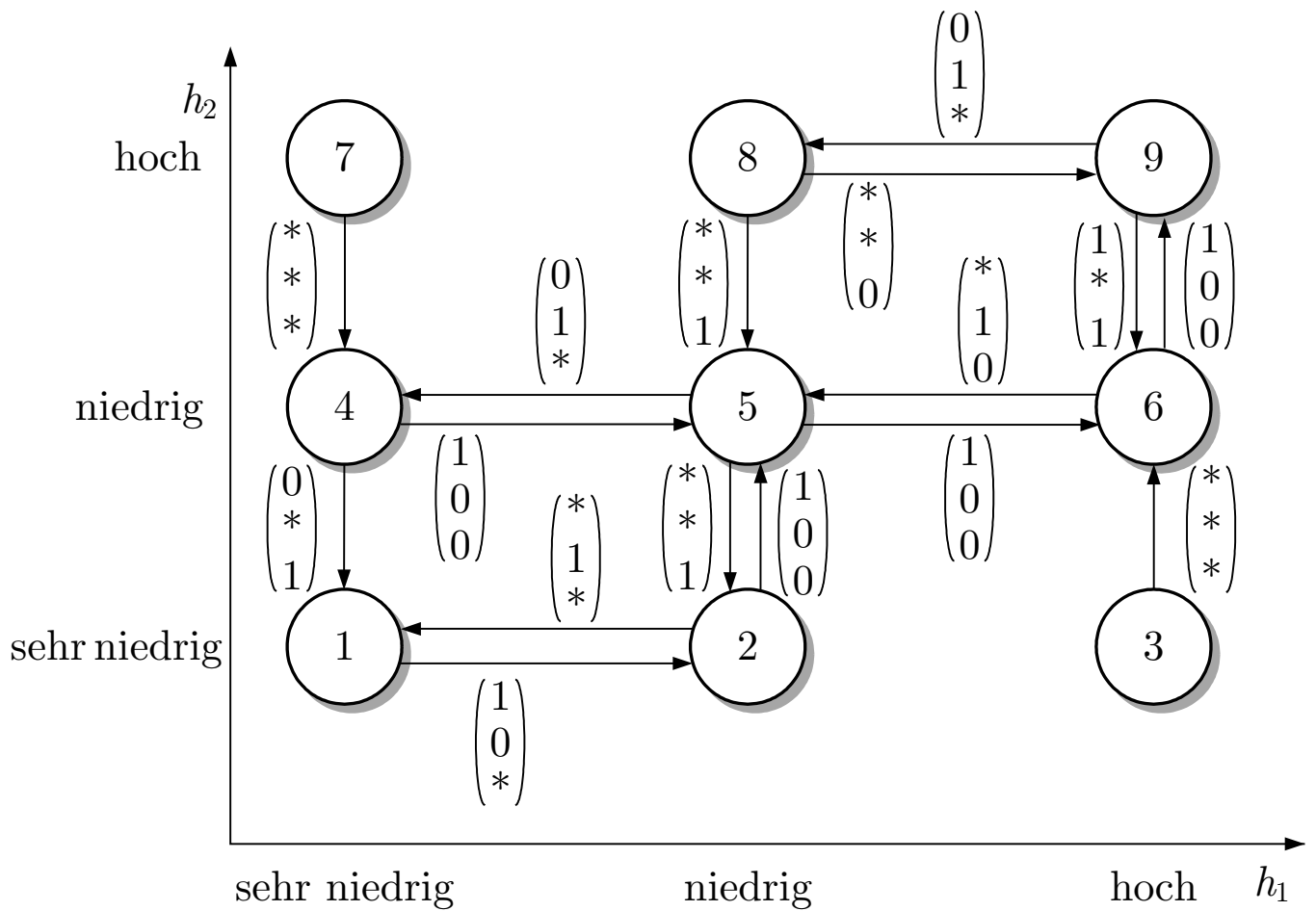
**Abb. 12.4: Irreduzibler Automat**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



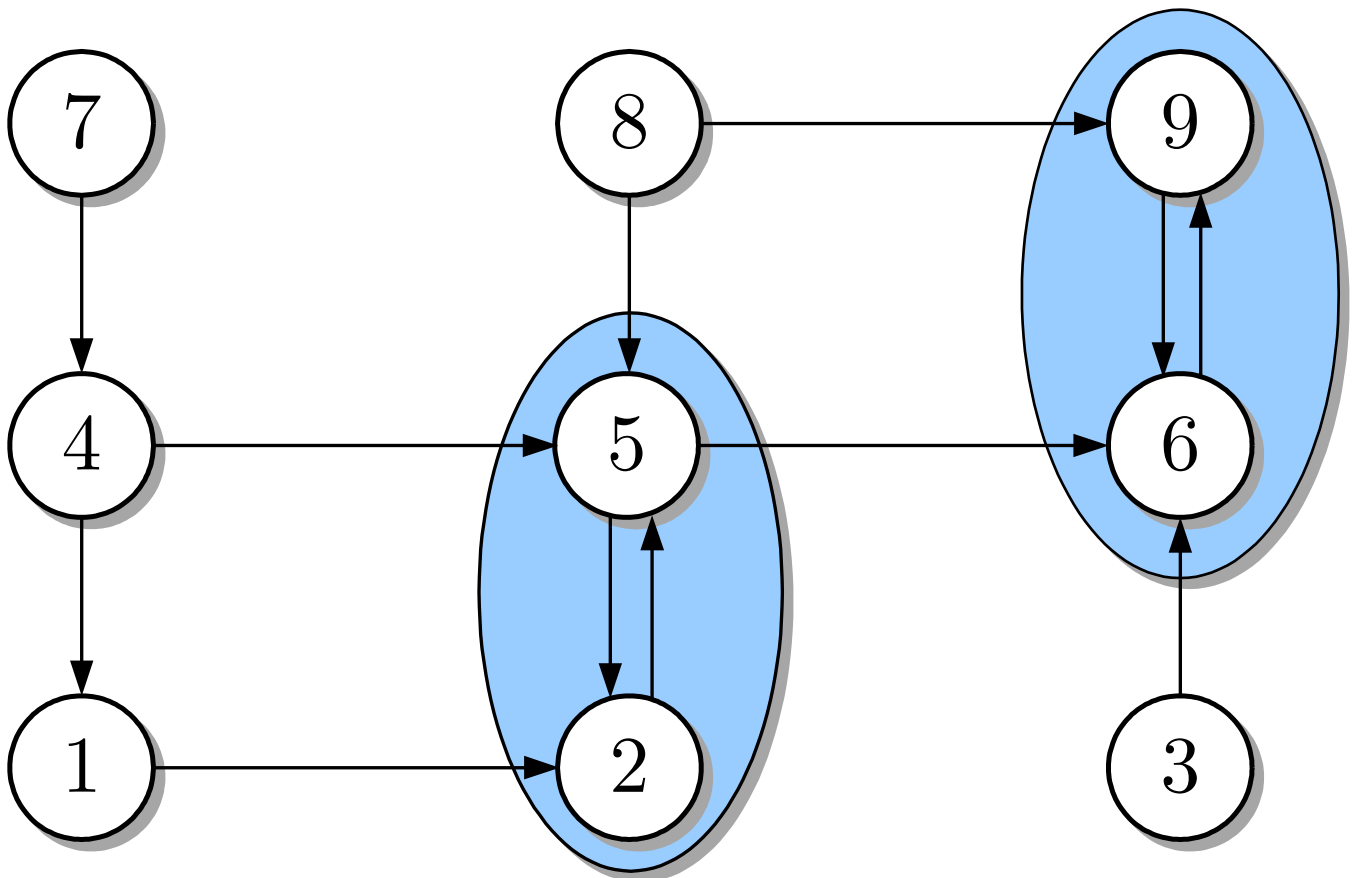
**Abb. 12.5: Batchprozess**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



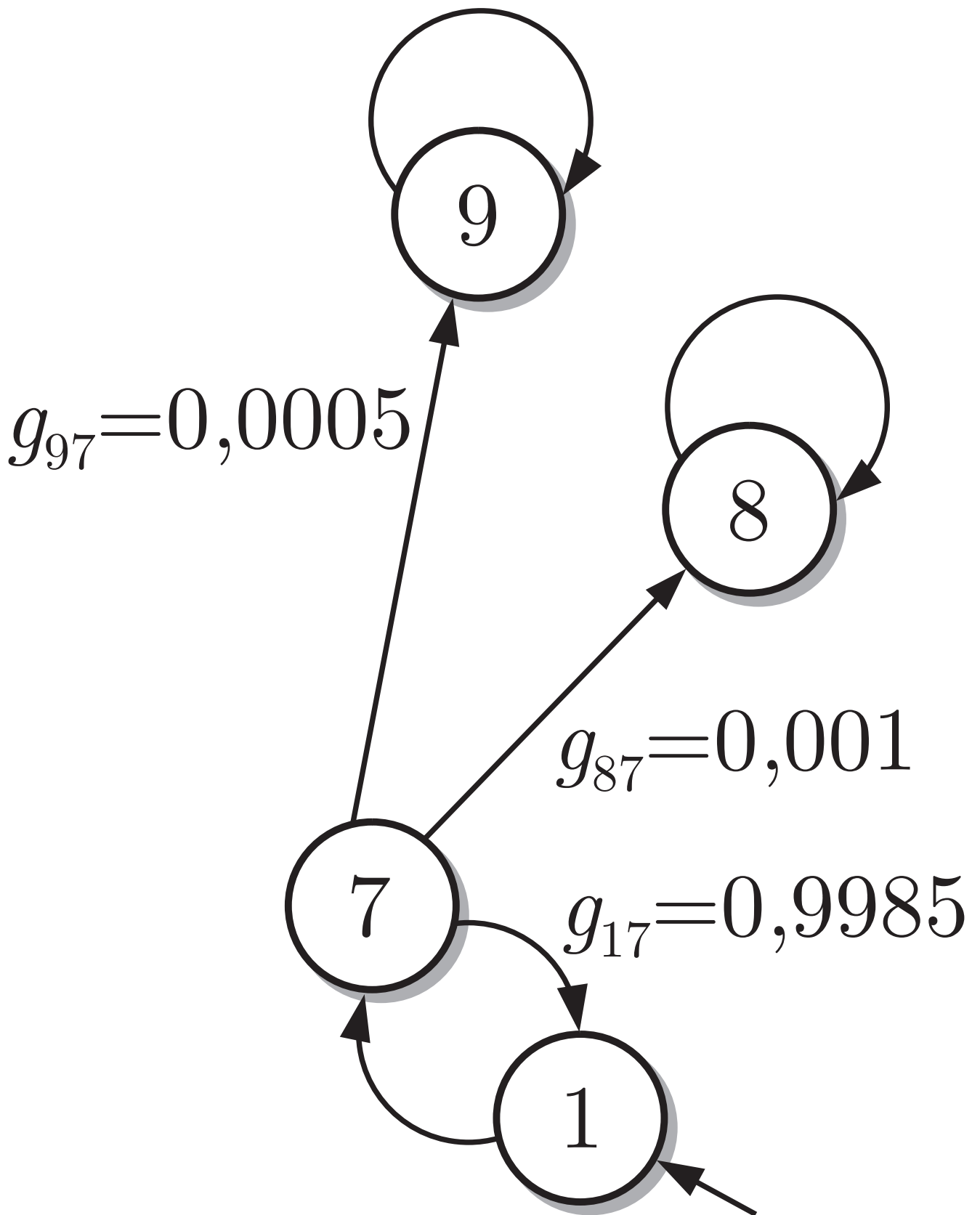
**Abb. 12.6: Automatengraph für den Batchprozess aus Abb. 12.5**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 12.7: Reduzierter Automat für blockiertes Ventil 1**

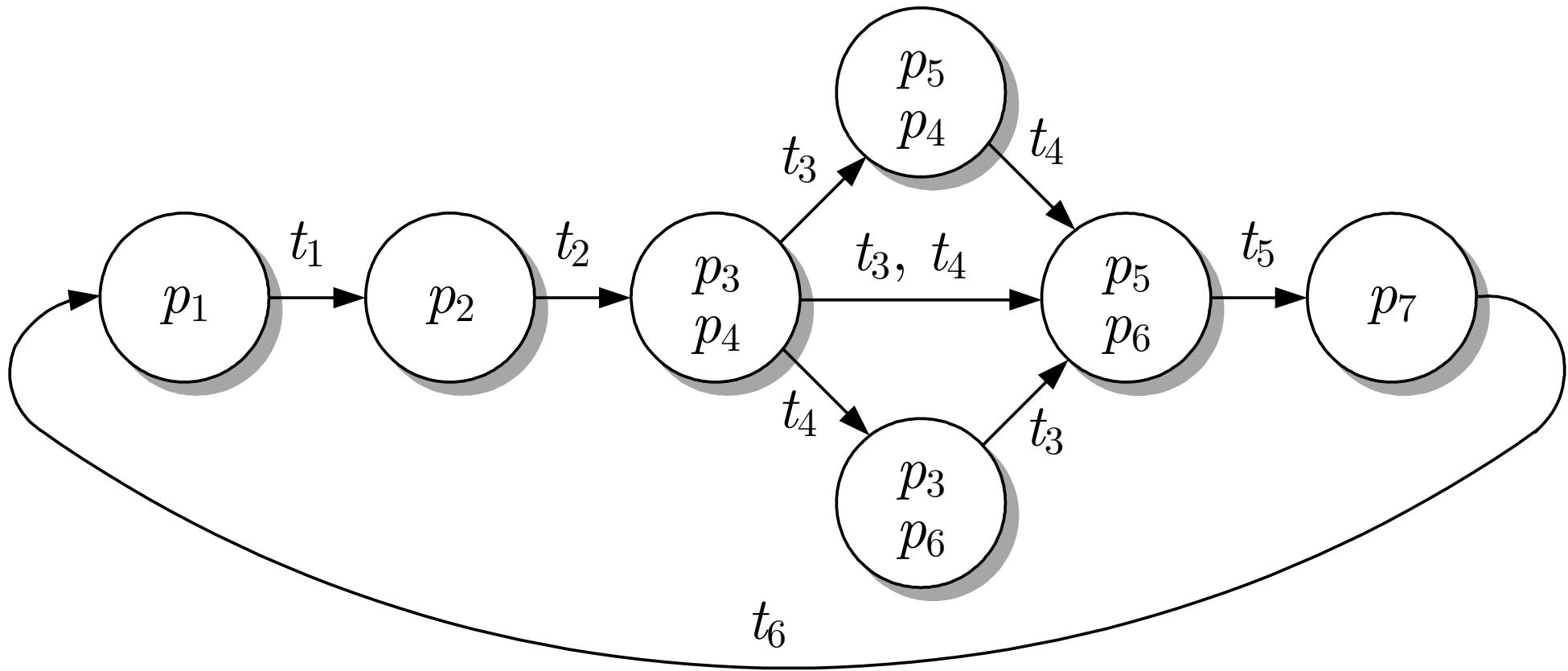
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 12.8. Vereinfachtes Modell der Stanze**

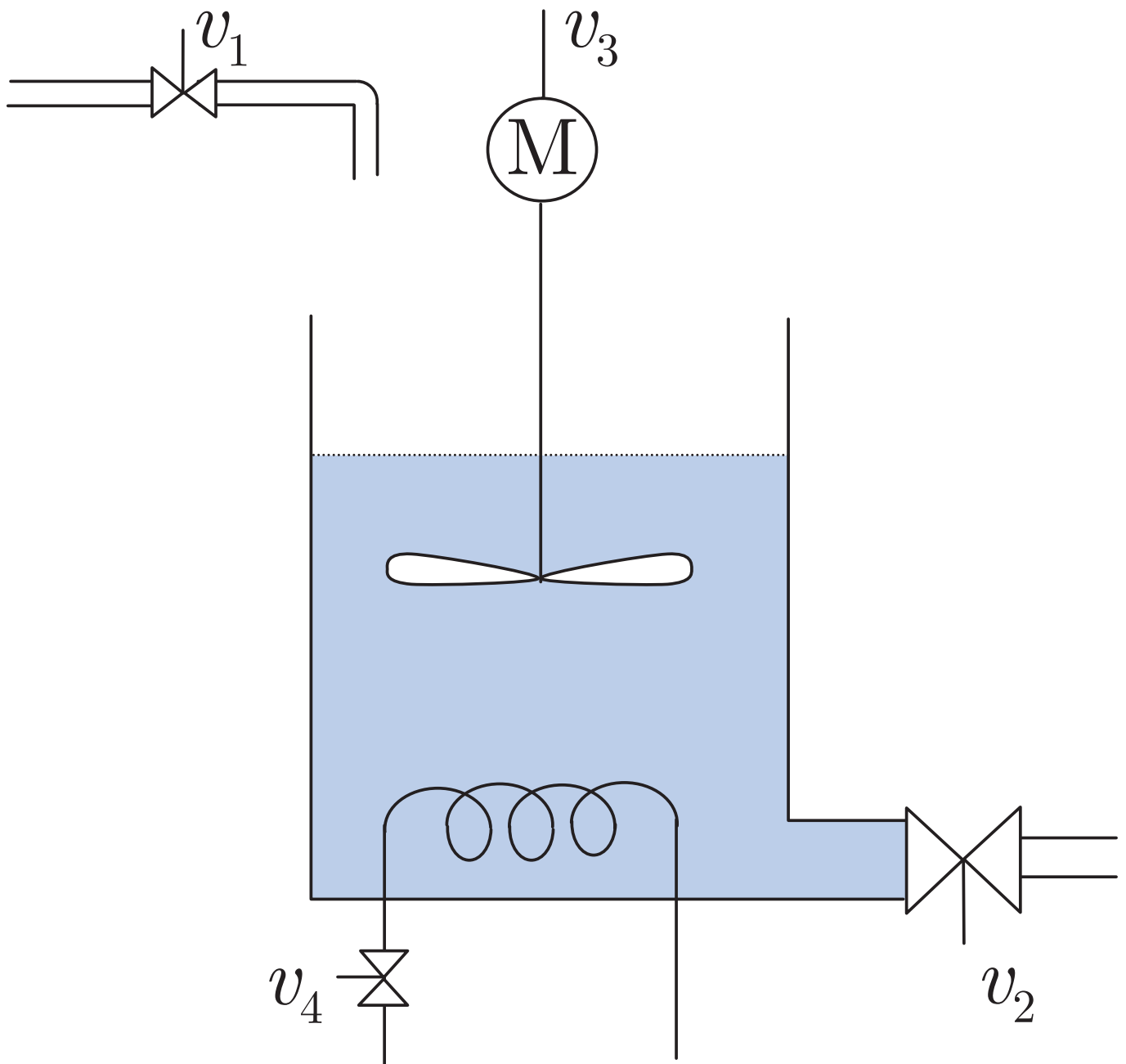
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





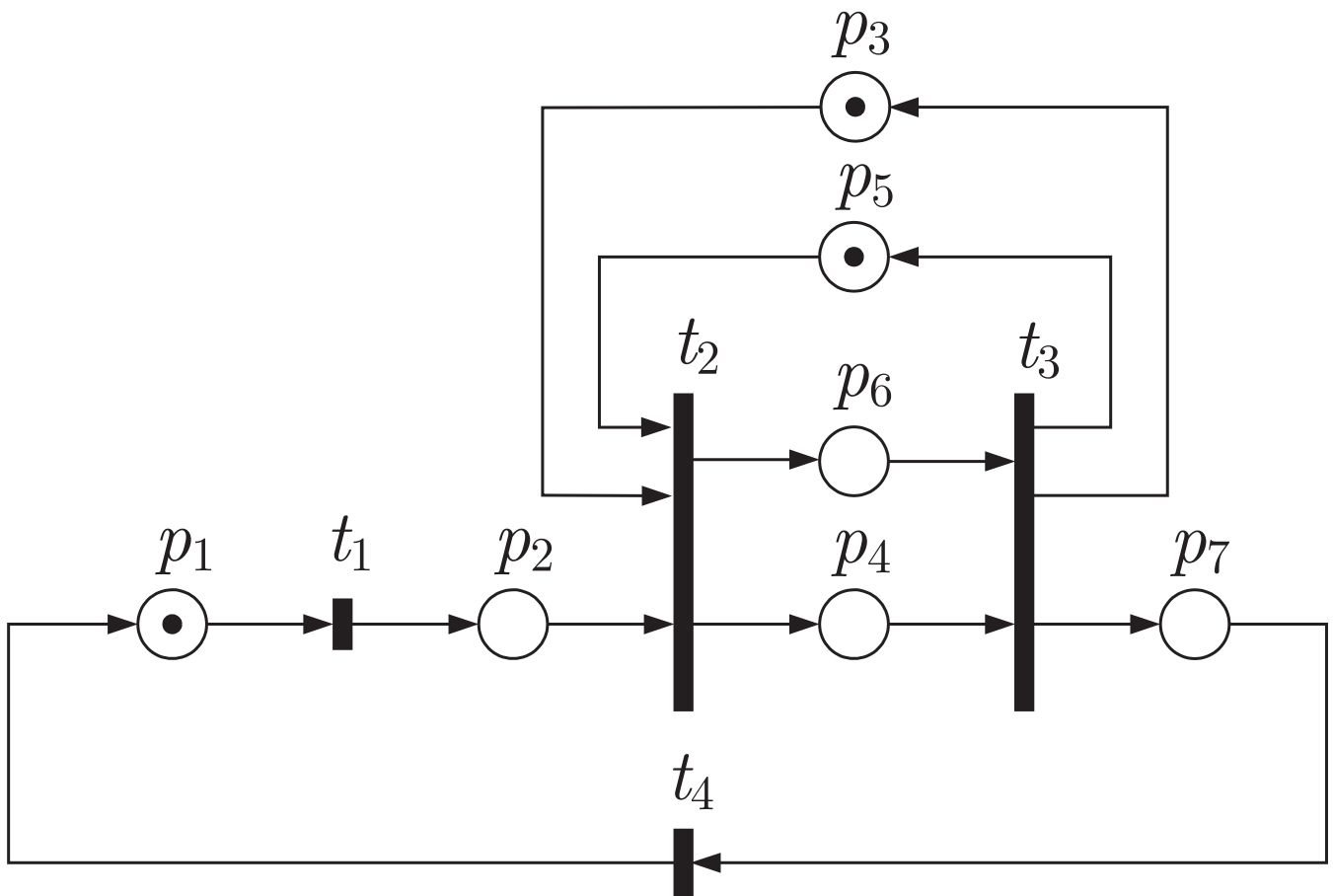
**Abb. 12.9. Erreichbarkeitsgraph des Petrinetzes**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



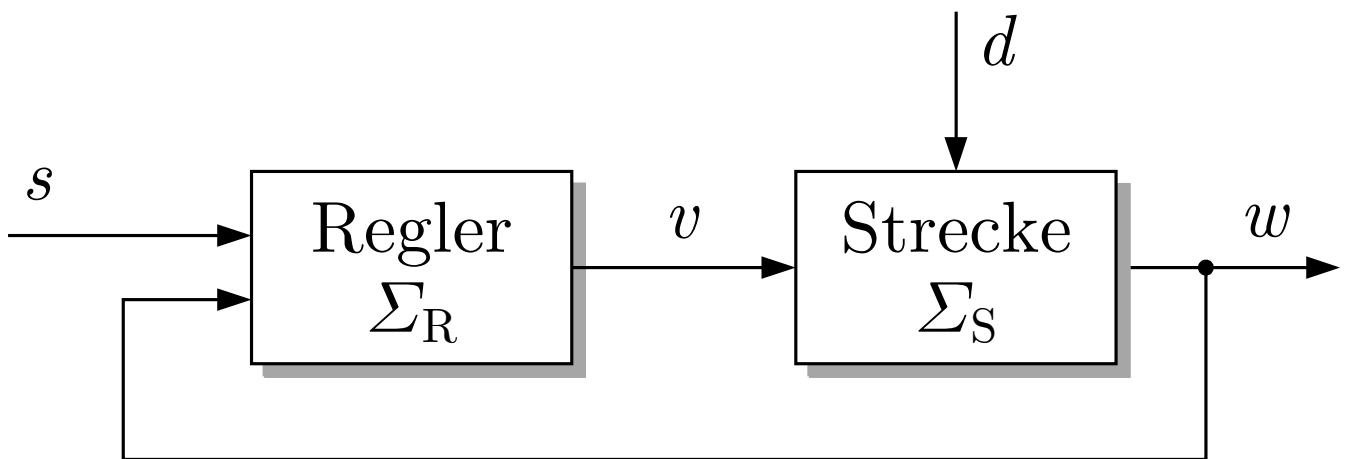
**Abb. 12.10: Batchprozess**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



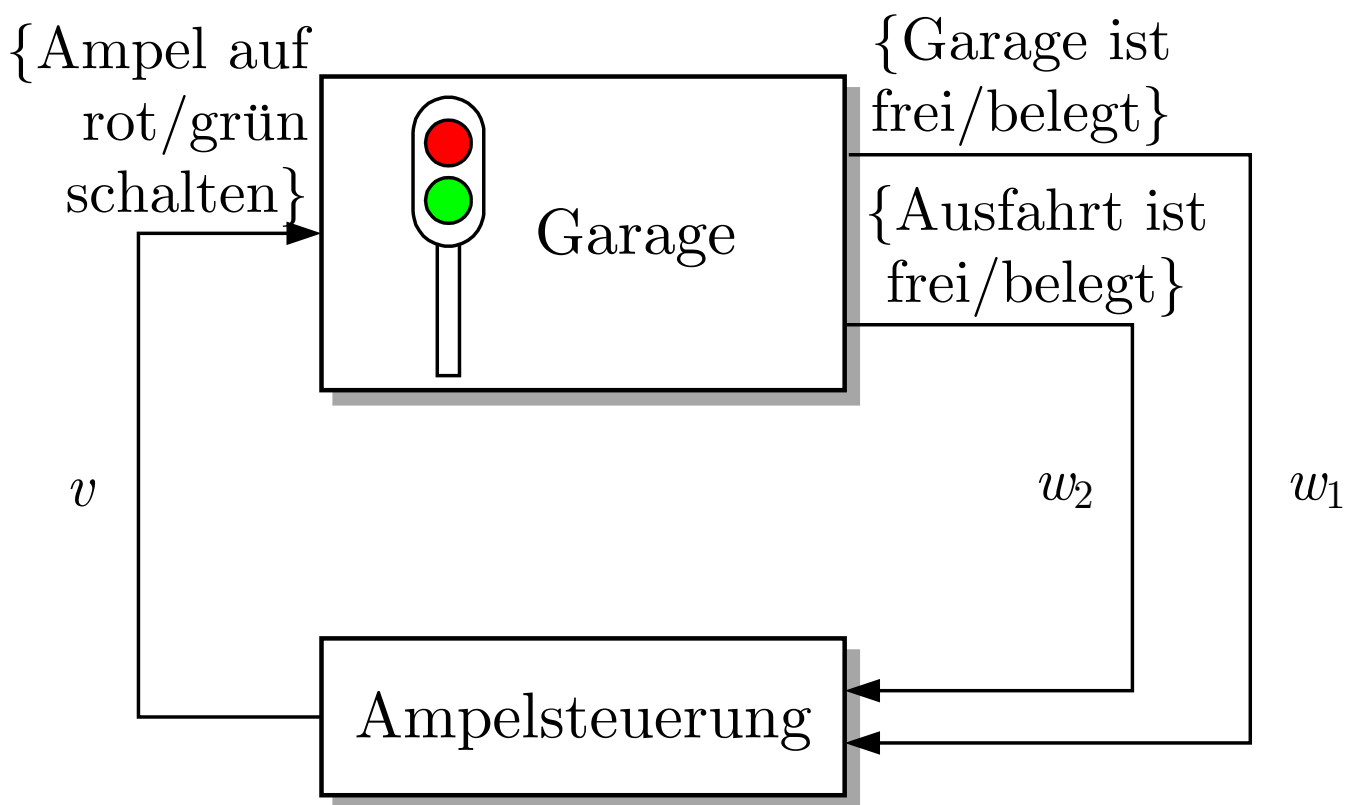
**Abb. 12.10: Petrinetz zur Beschreibung des gesteuerten Batchprozesses**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



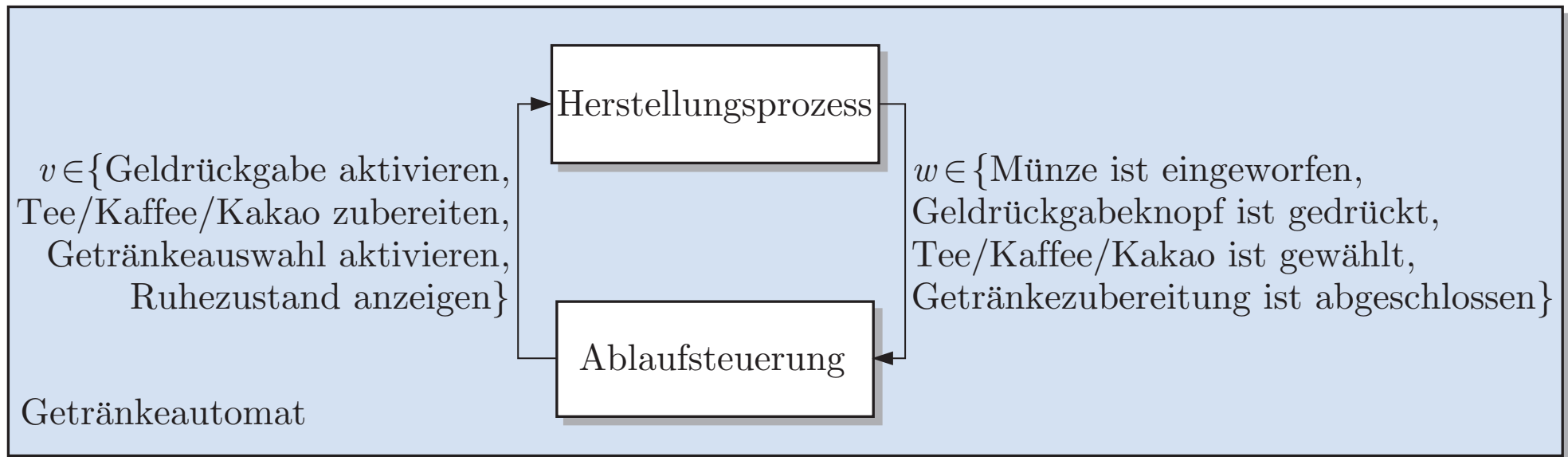
**Abb. 13.1: Diskreter Regelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



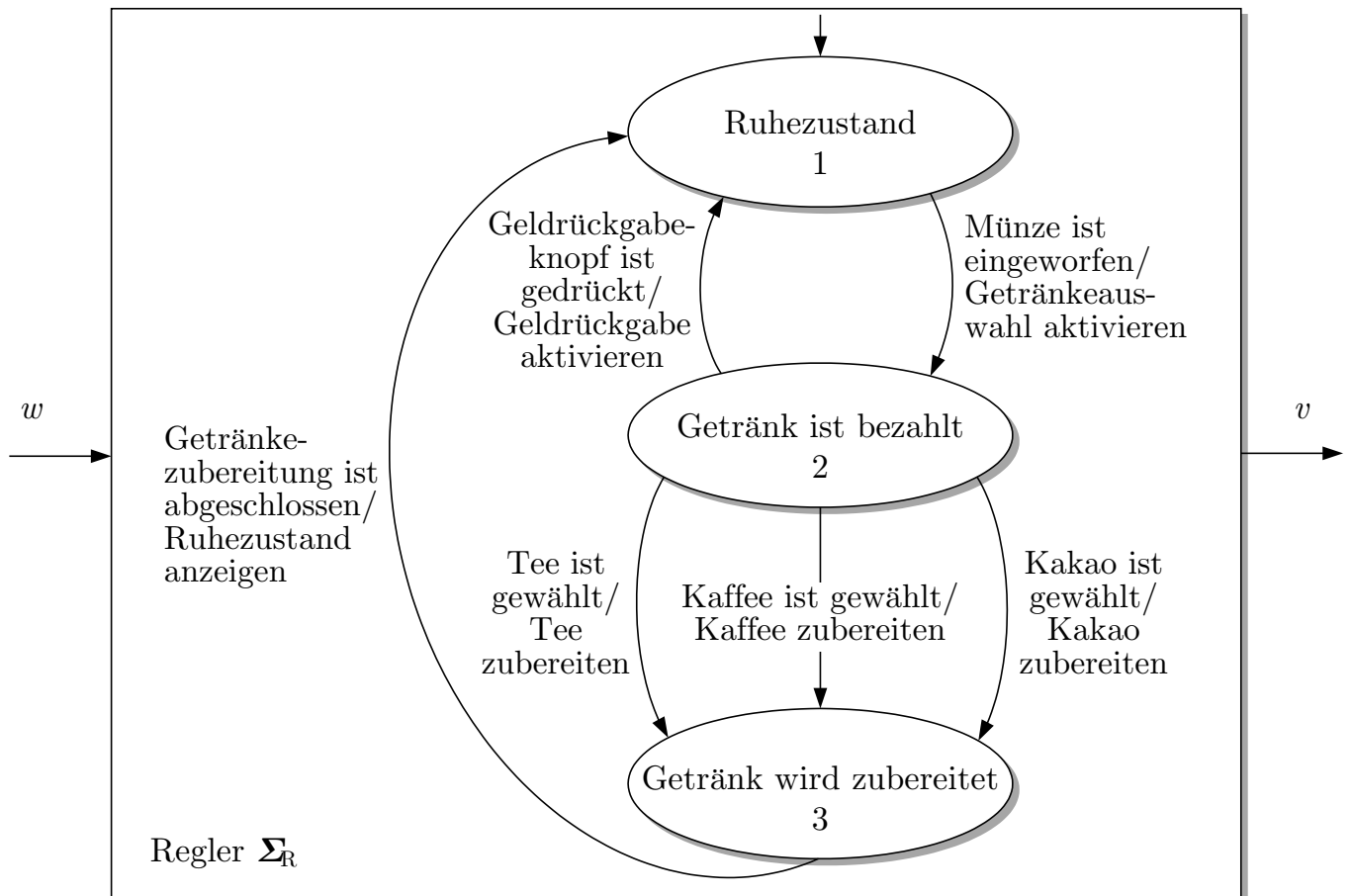
**Abb. 13.2: Beispiel für eine Verknüpfungssteuerung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



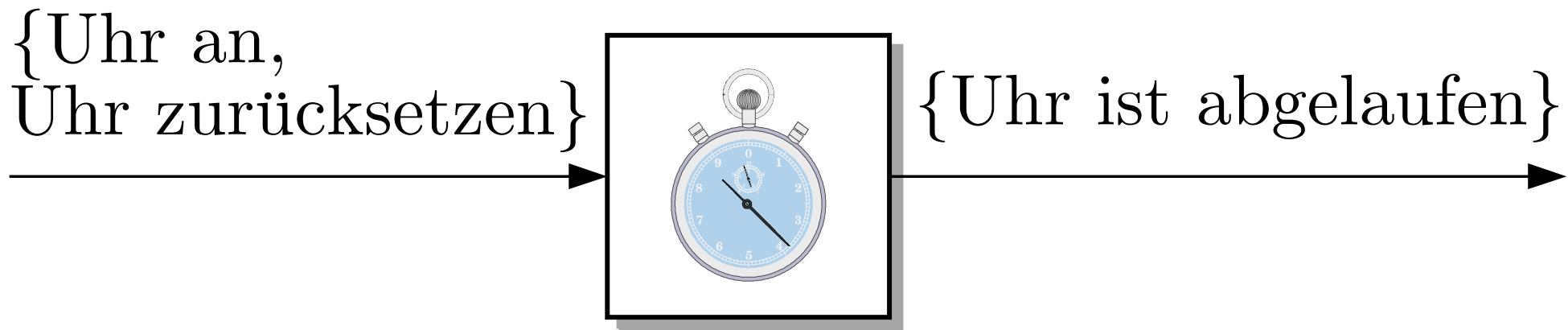
**Abb. 13.3. Beispiel für eine Ablaufsteuerung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 13.4: Ablaufsteuerung  $\Sigma_R$  des Getränkeautomaten**

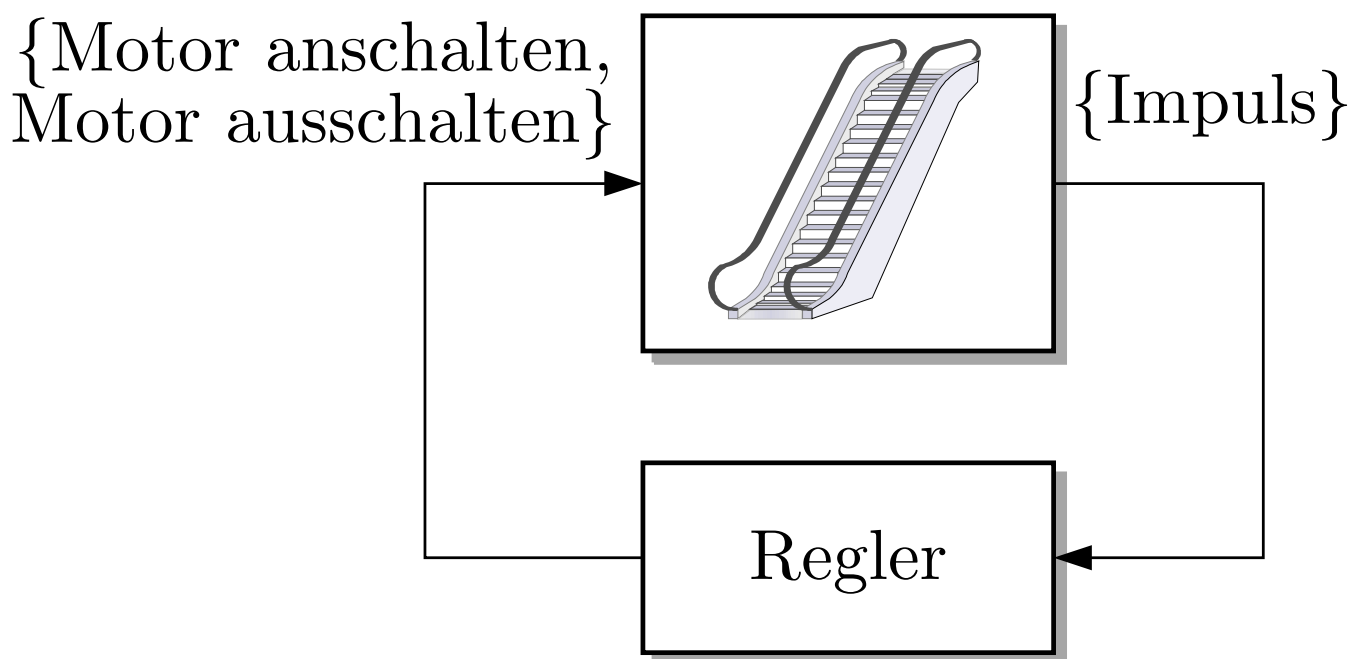
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 13.5. Uhr als ereignisdiskretes System**

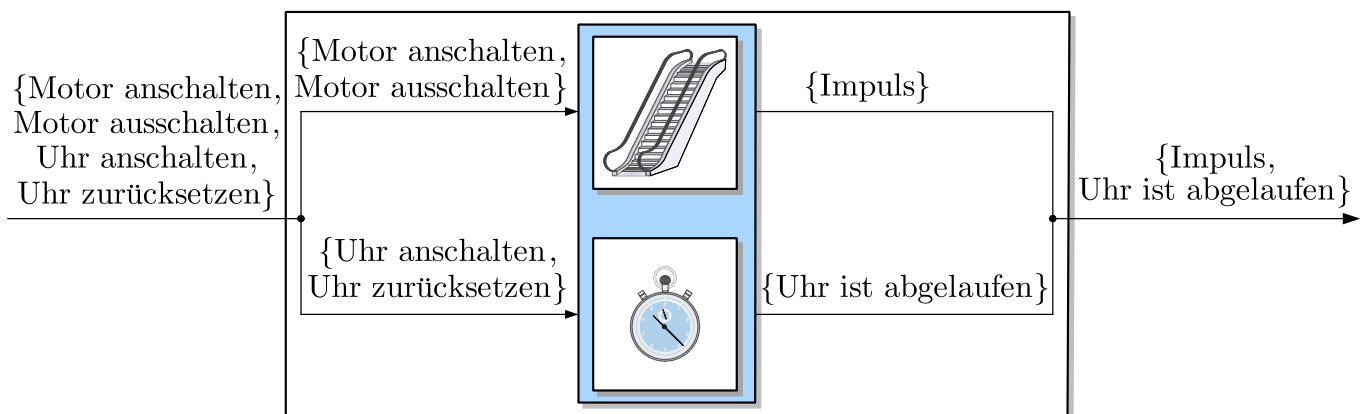
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





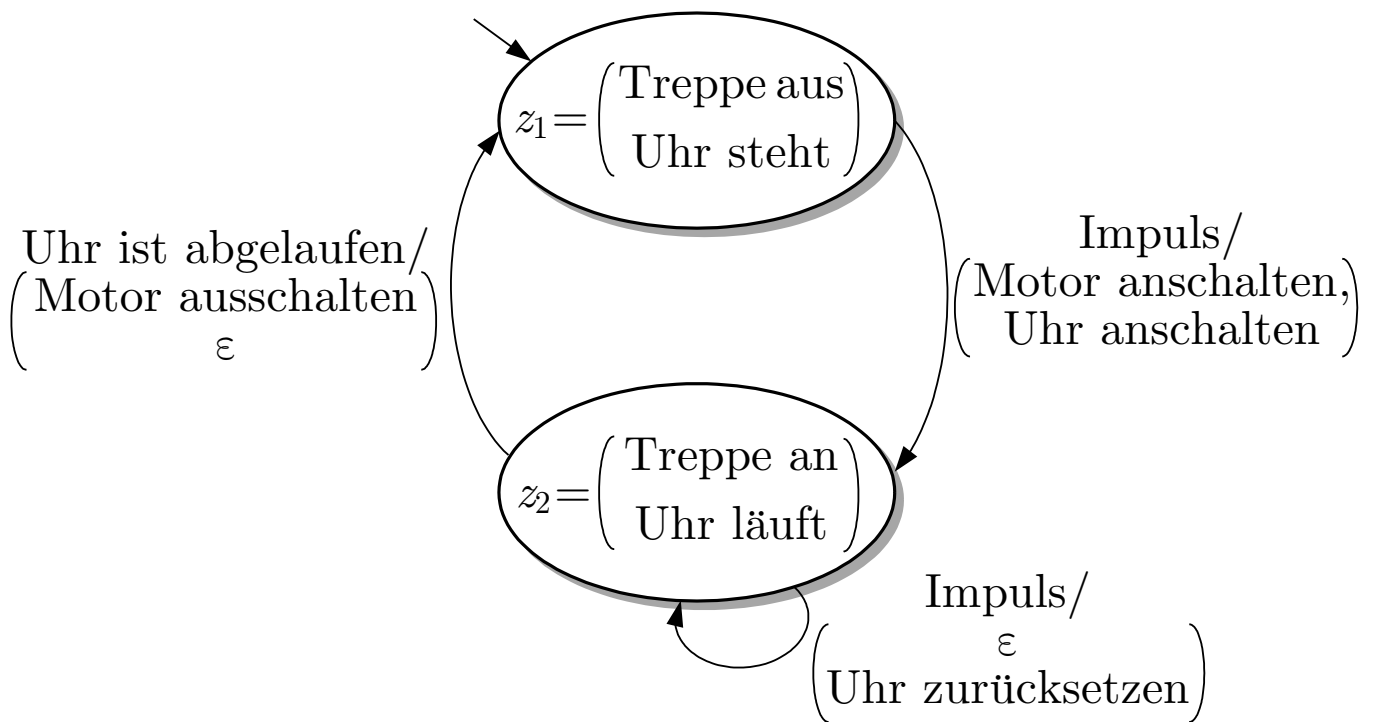
**Abb. 13.6: Blockschaltbild der geregelten Rolltreppe**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

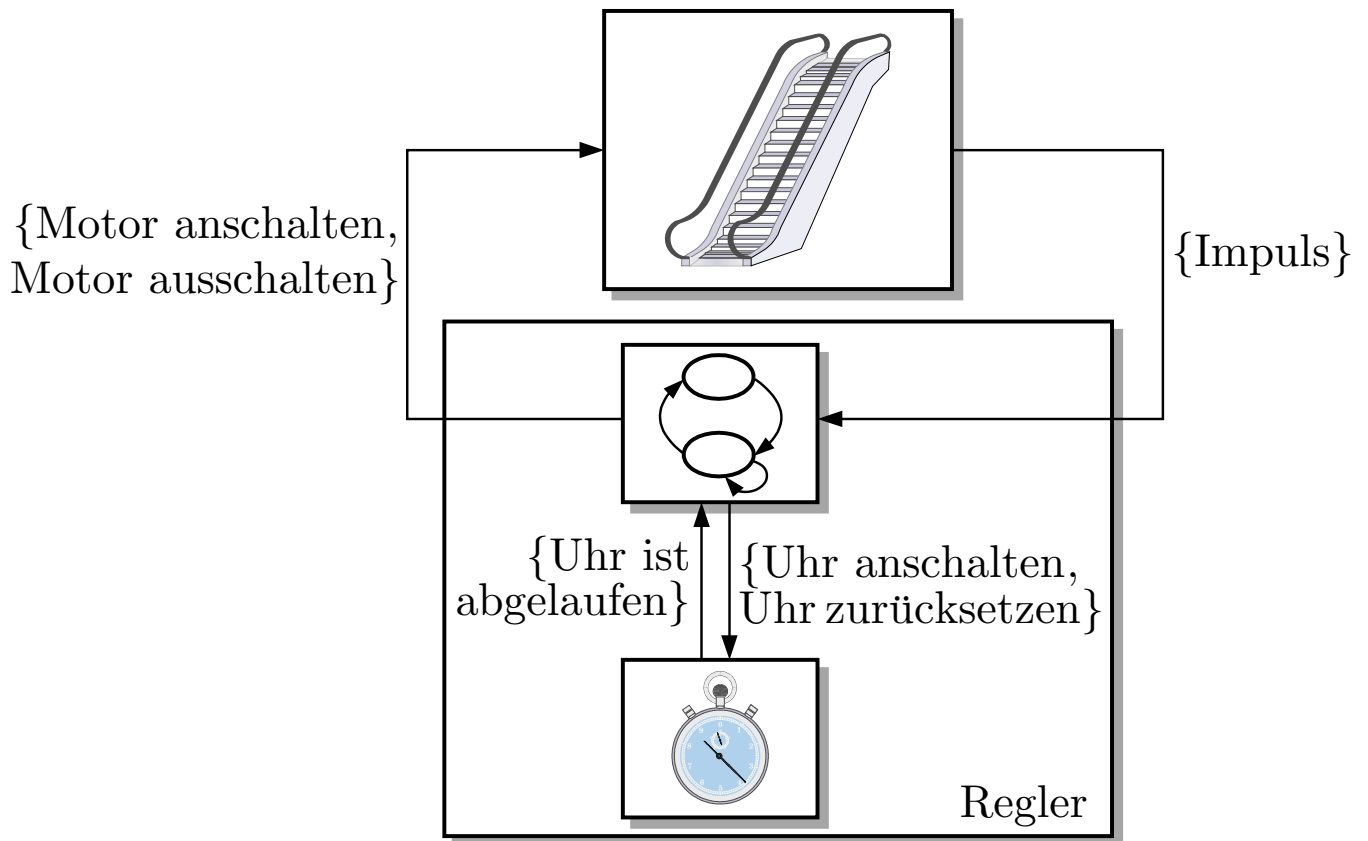


**Abb. 13.7: Erweiterte Steuerstrecke, die aus der Rolltreppe und einer Uhr besteht**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

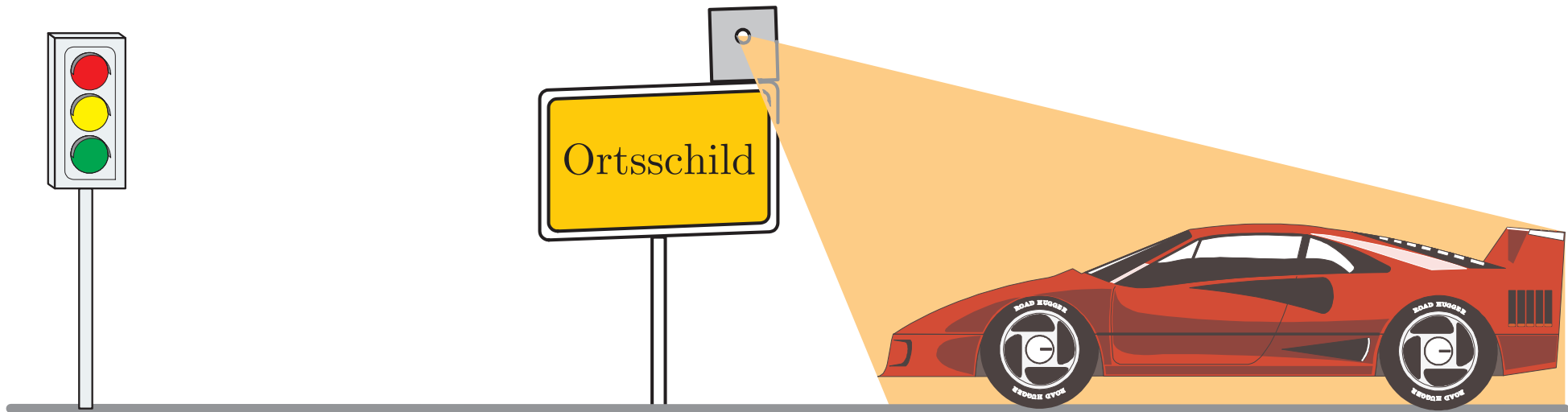


**Abb. 13.8: Automat, der den Regler  $\Sigma_R$  für die Rolltreppe beschreibt**



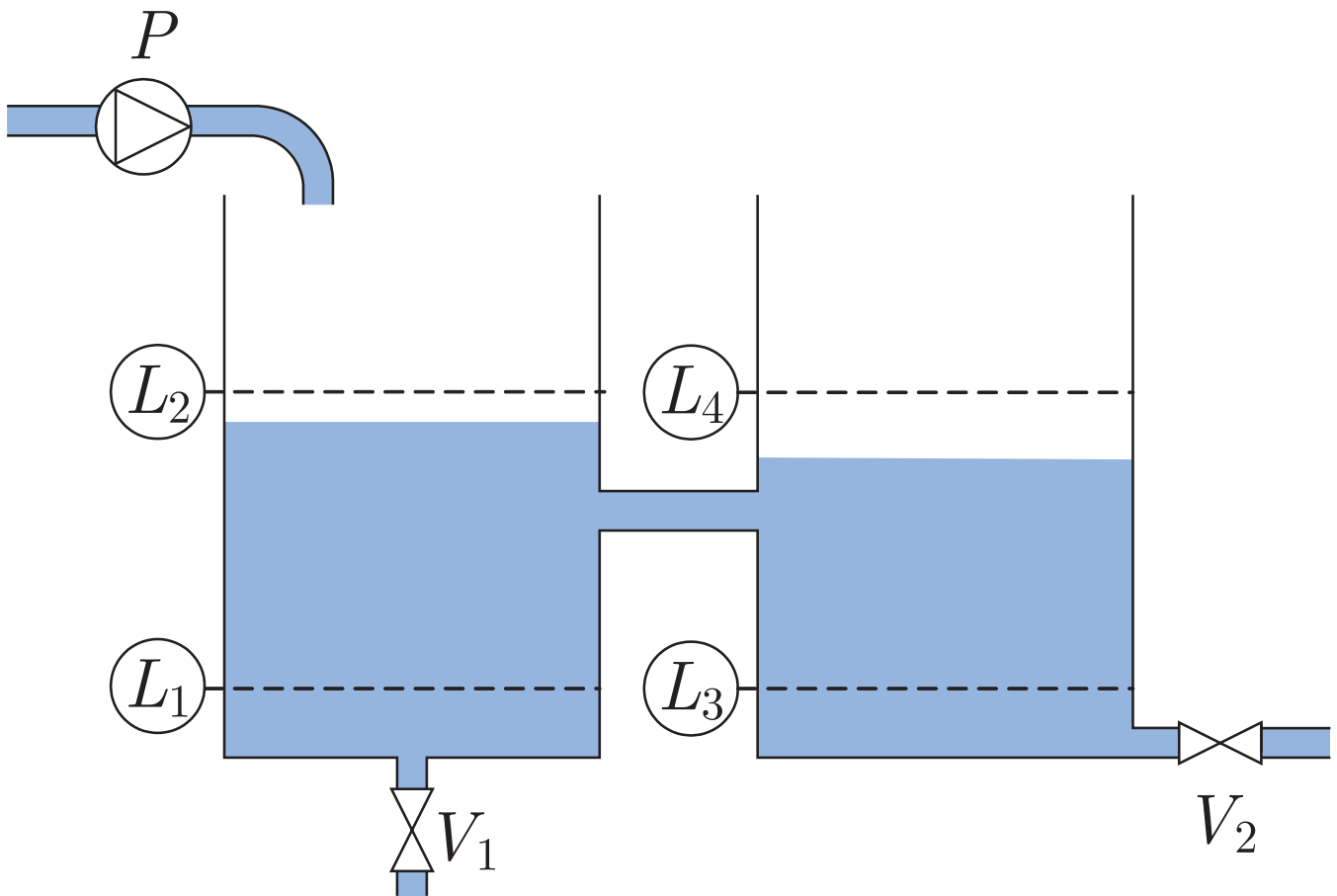
**Abb. 13.9: Blockschaltbild mit Kennzeichnung des strukturellen Aufbaus des Reglers**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



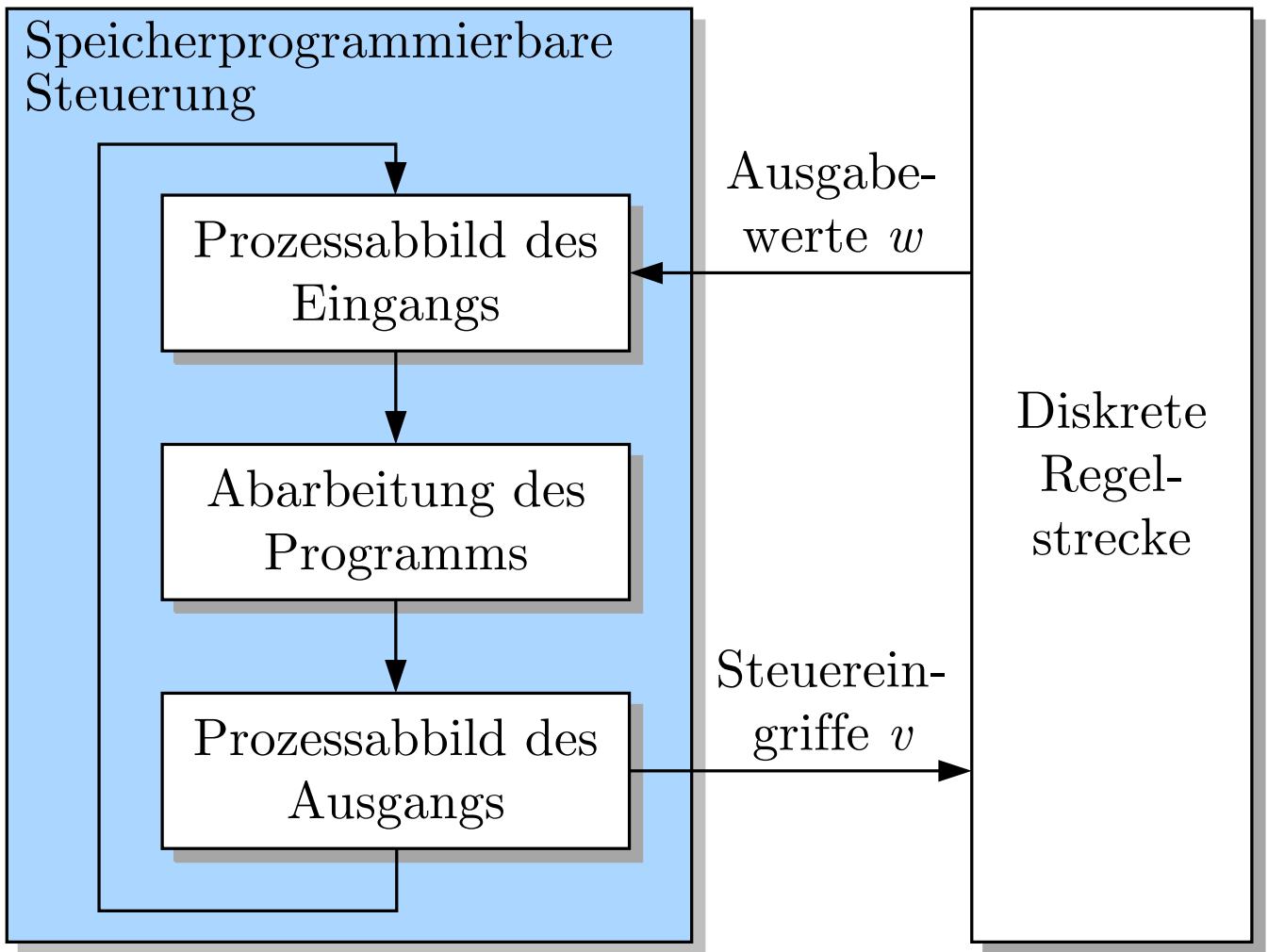
**Abb. 13.10. Technische Realisierung einer Bremsampel**

*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*

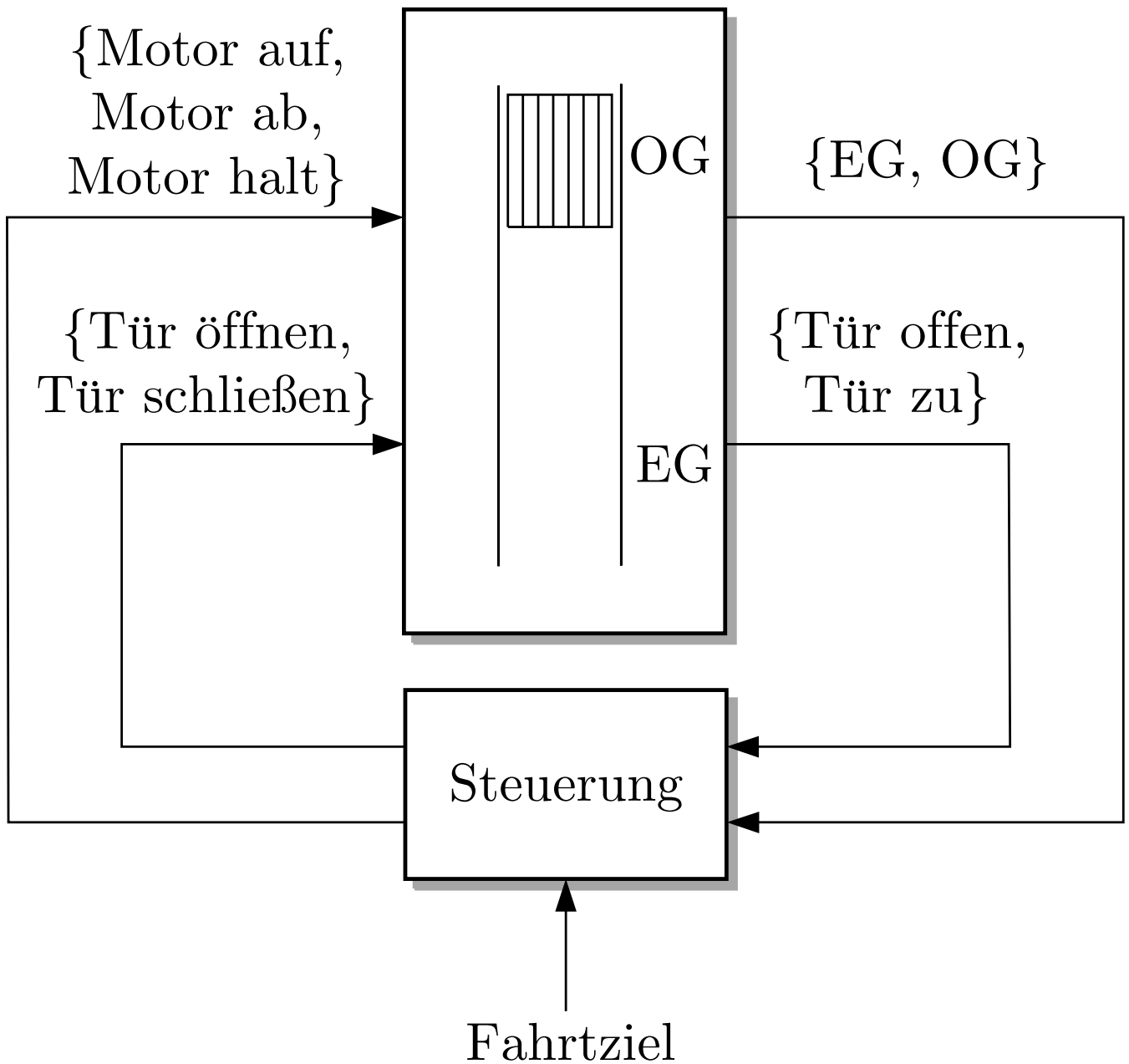
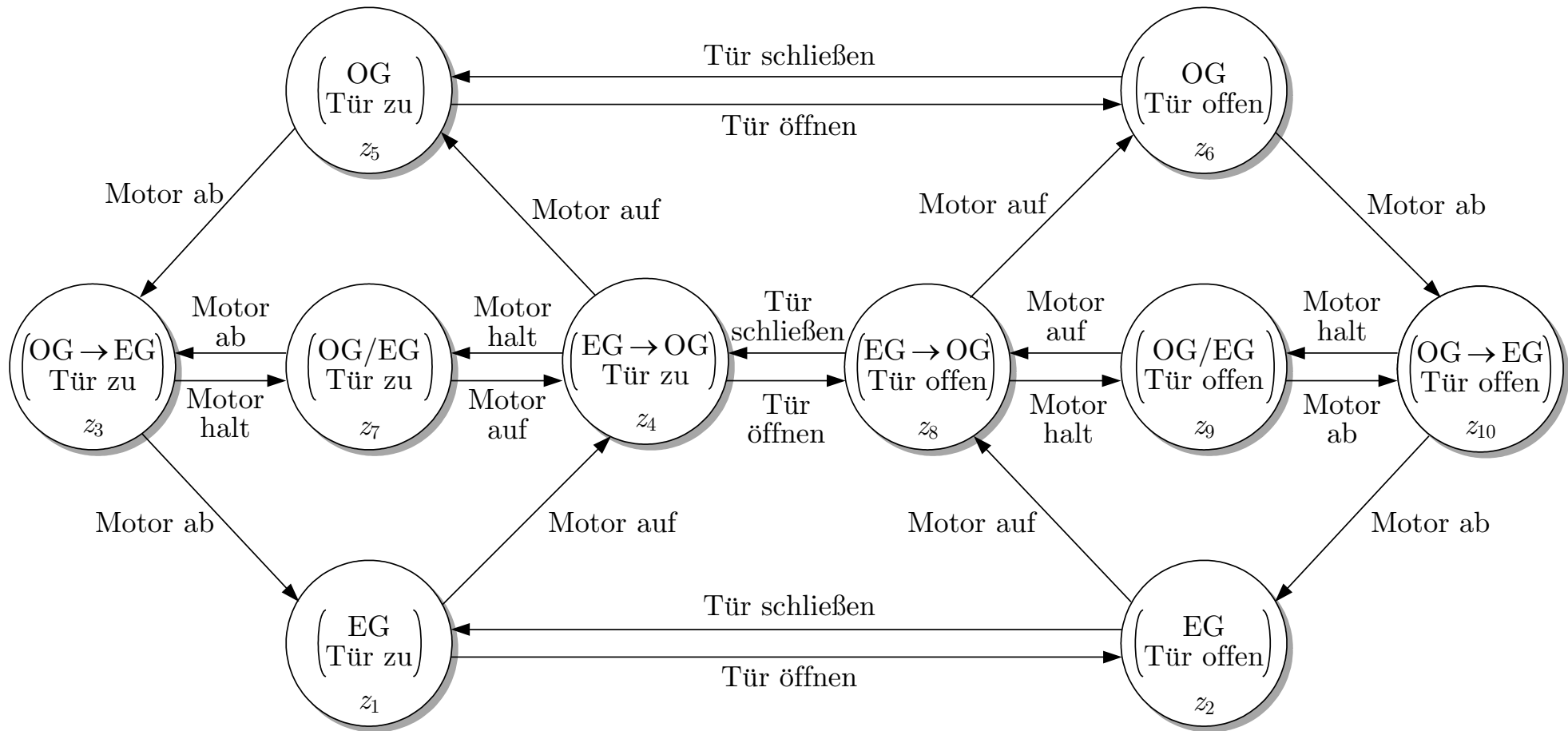


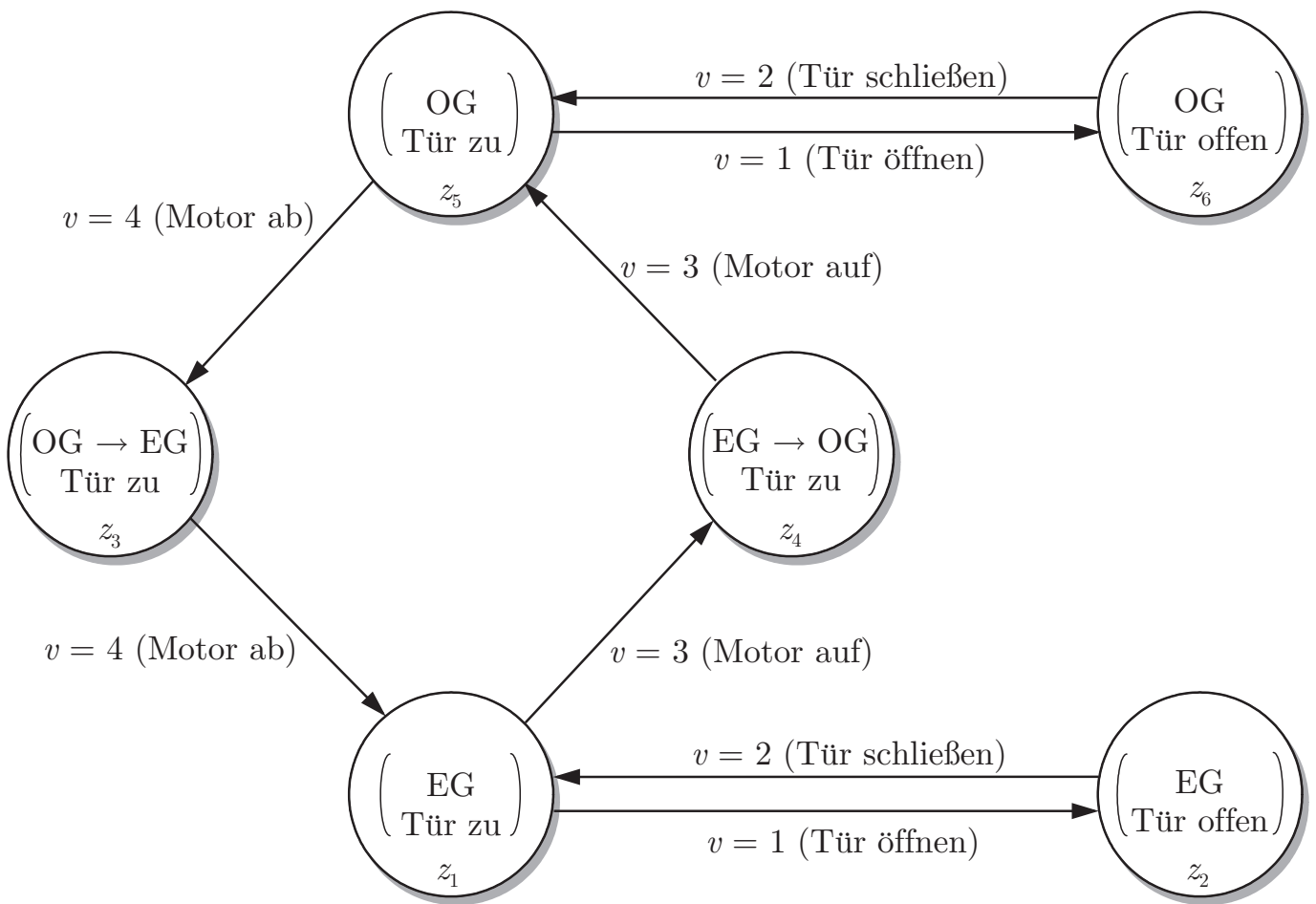
Abb. 14.1: Blockschaltbild des gesteuerten Personenaufzugs





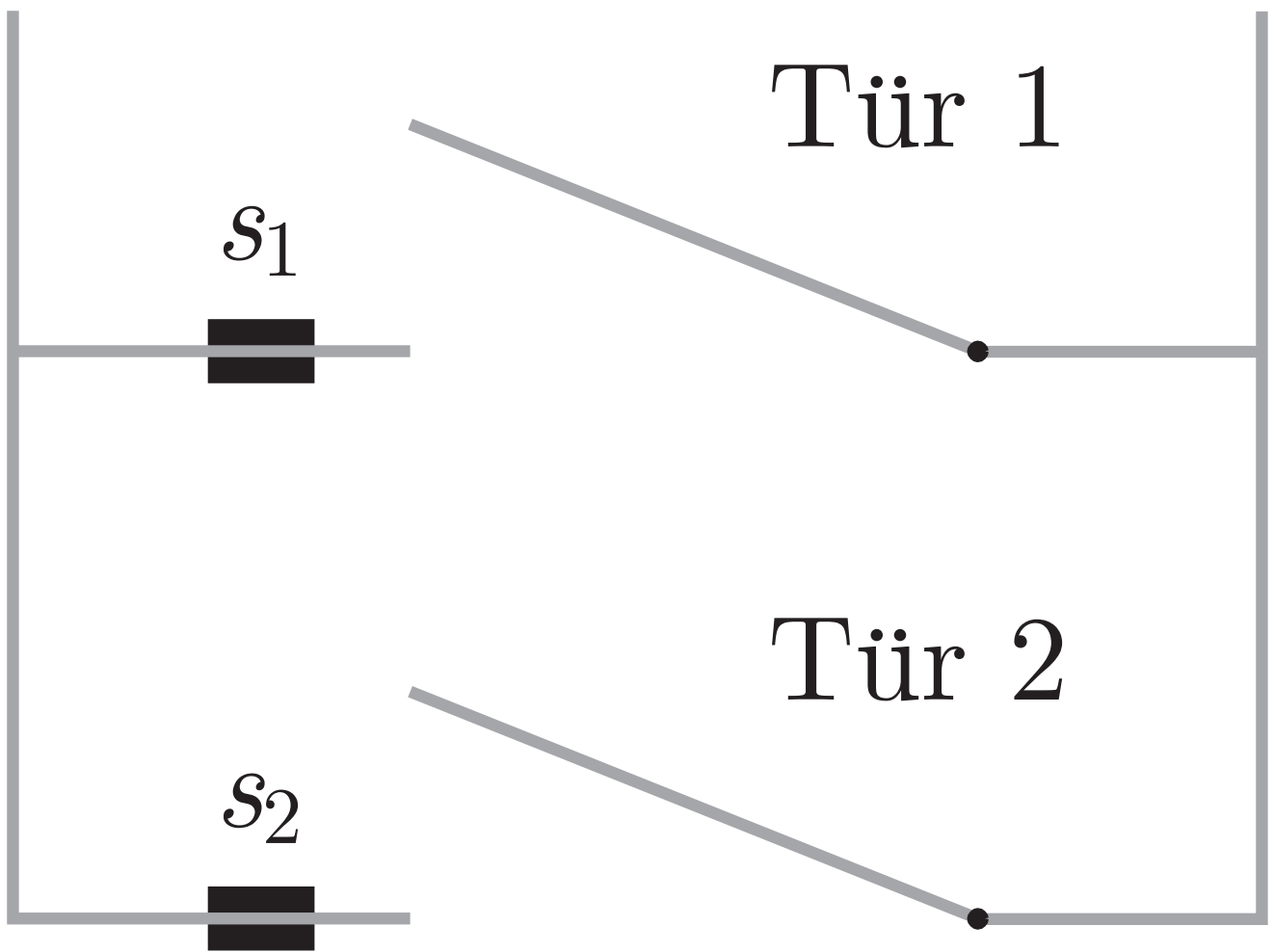
**Abb. 14.2. Automat zur Beschreibung der möglichen Bewegungen des Personenaufzugs**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



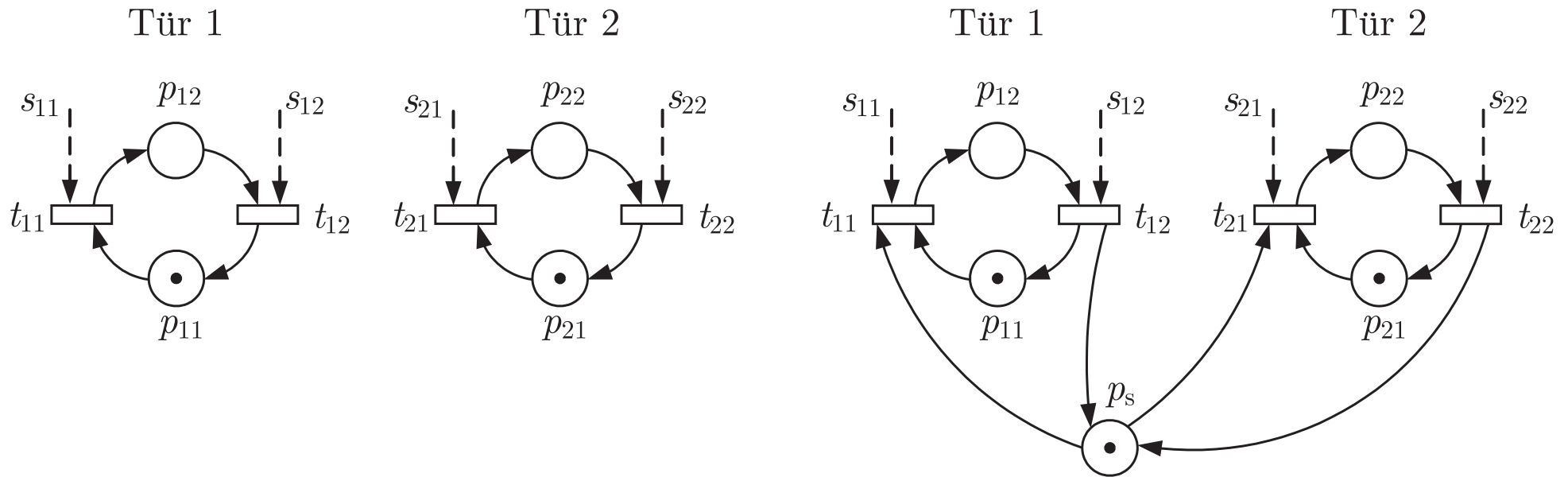
**Abb. 14.3: Reduzierter Automat zur Beschreibung der erlaubten Bewegungen des Personenaufzugs**

*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*

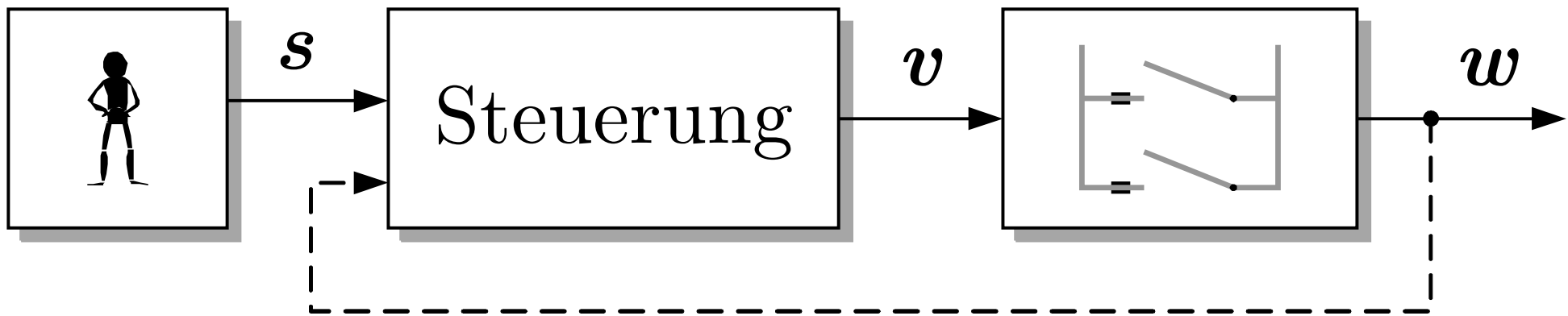
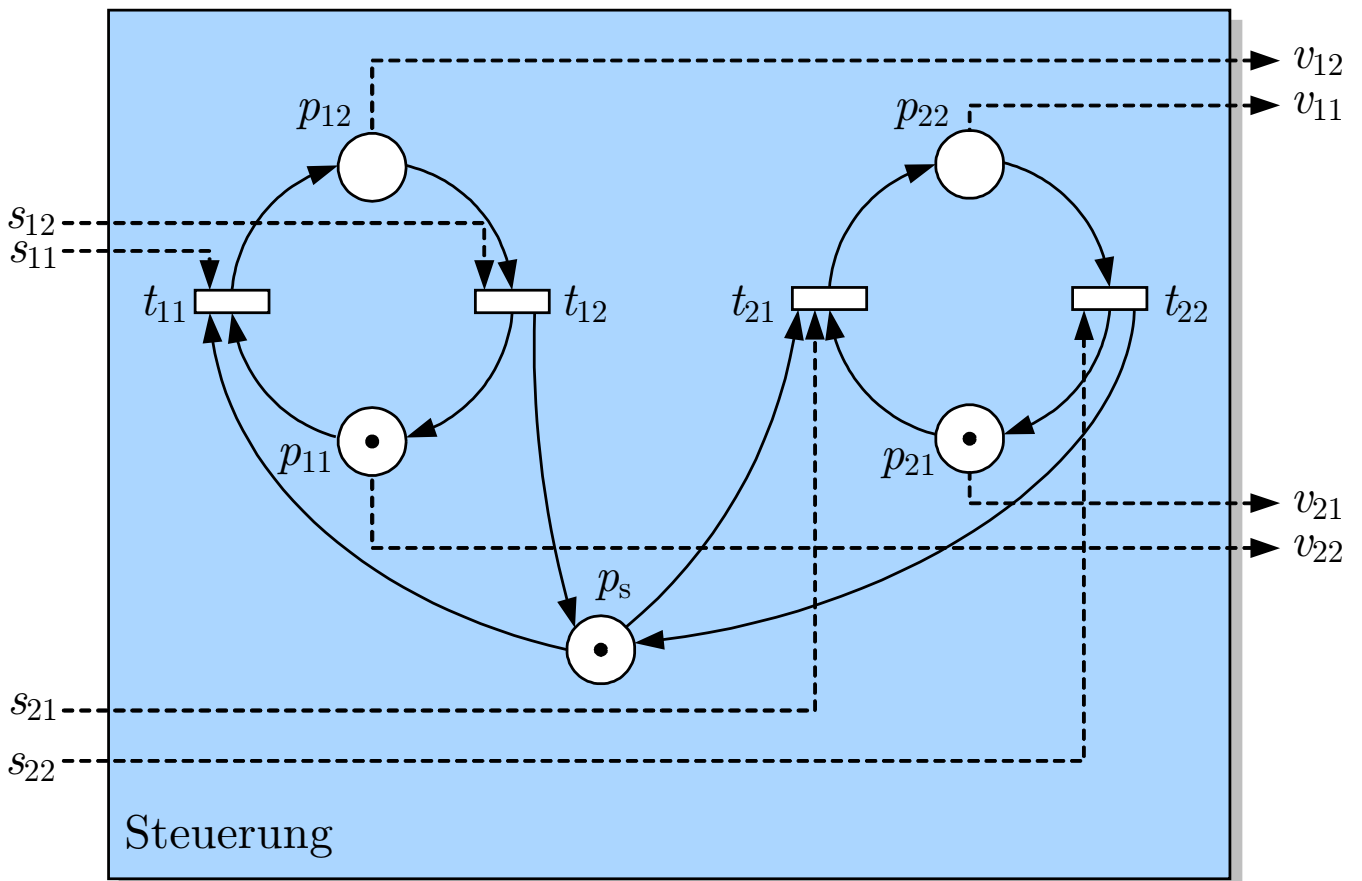


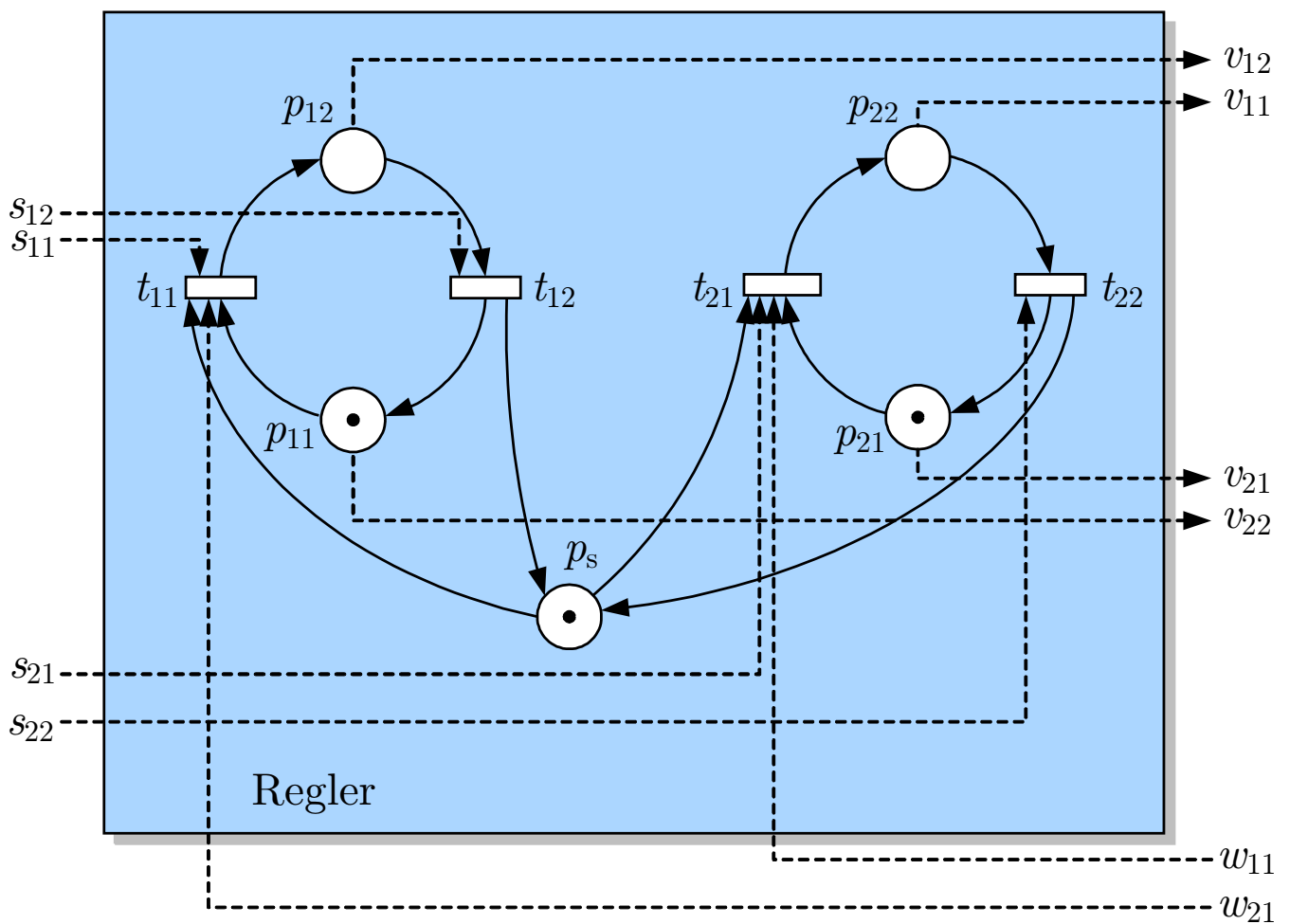
Abb. 14.6. Steuerungsstruktur für die Sicherheitsschleuse

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



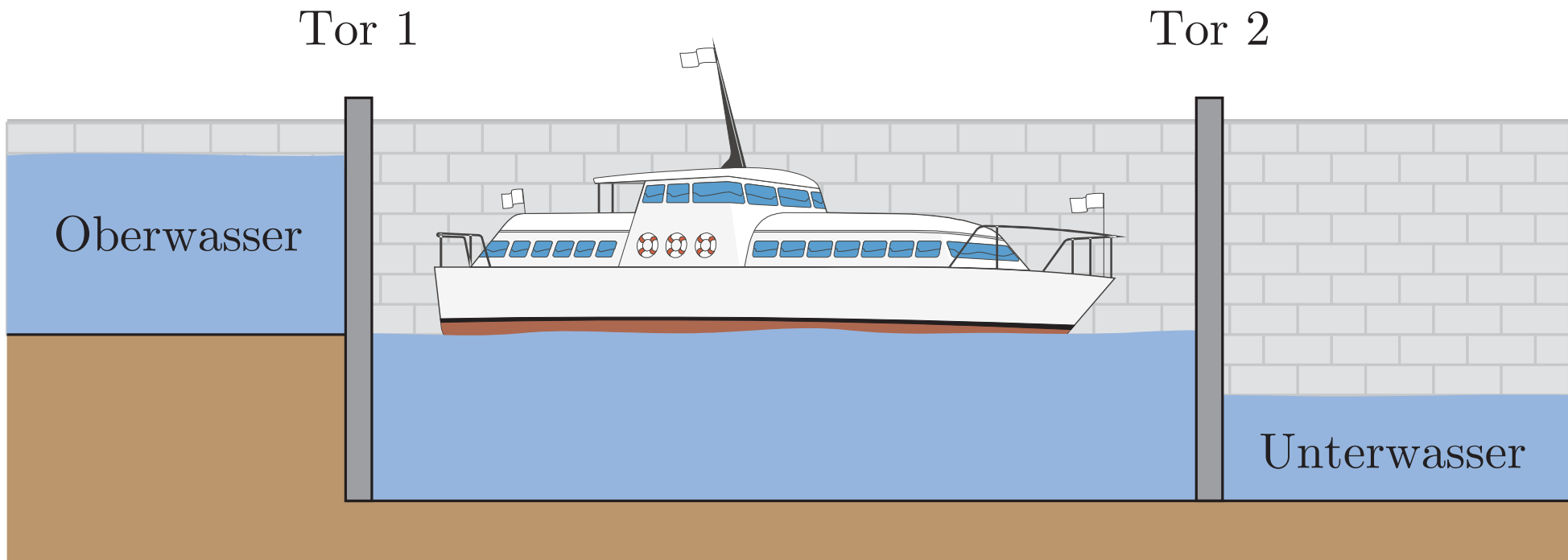
**Abb. 14.7: Steuerung der Sicherheitsschleuse in der offenen Wirkungskette**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 14.8: Steuerung der Sicherheitsschleuse im geschlossenen Kreis**

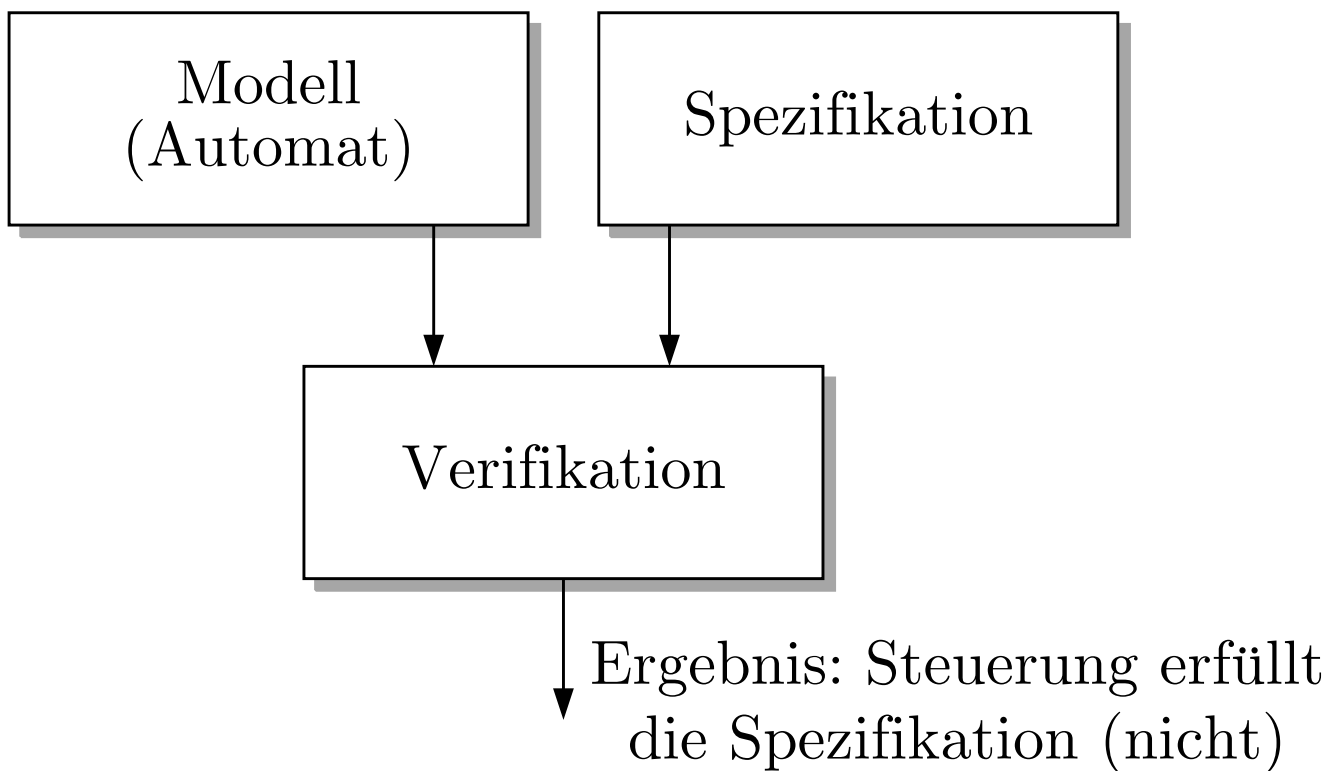
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 14.9. Schiffsschleuse**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**Abb. 14.10: Verifikation diskreter Steuerungen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

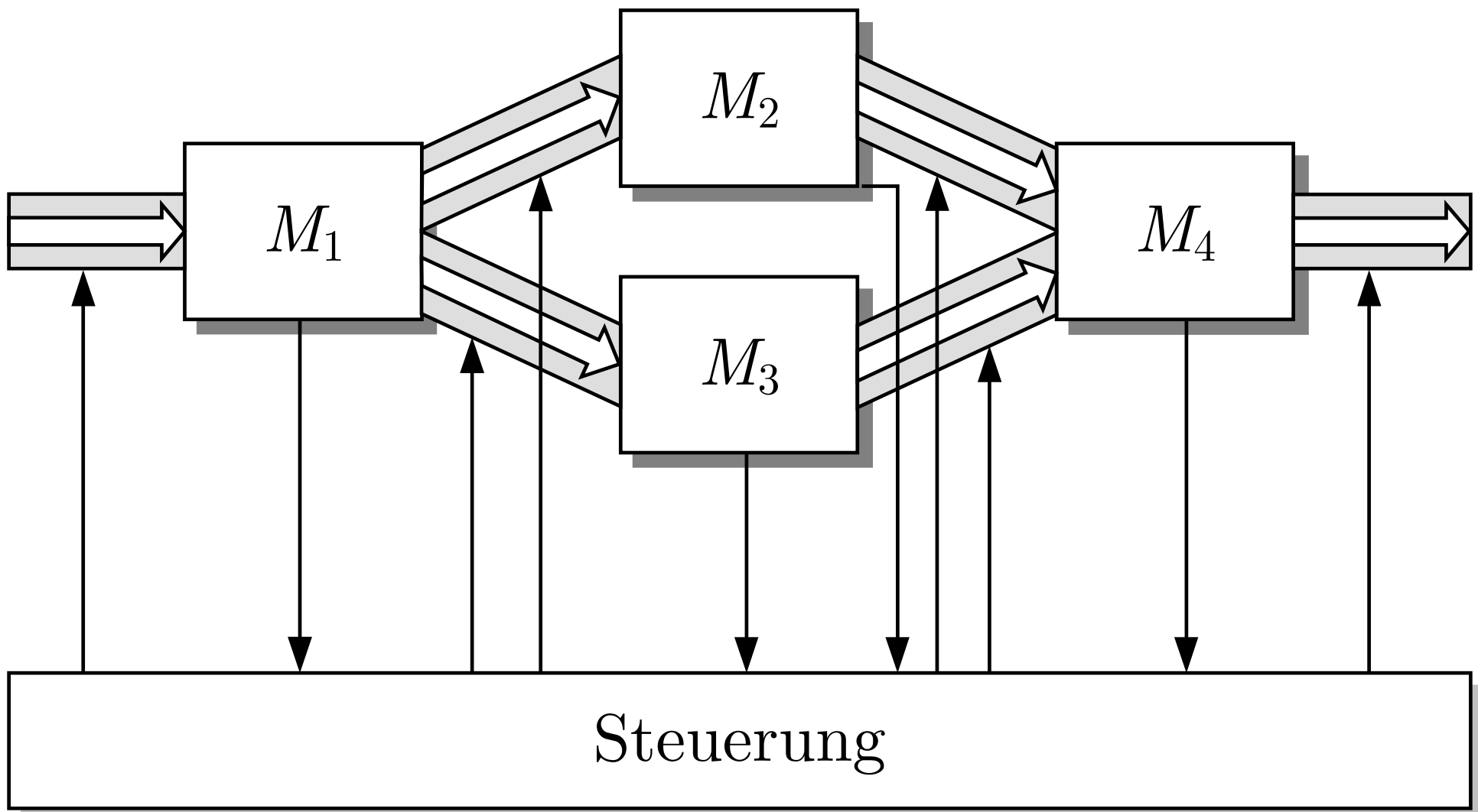


Abb. 14.11. Steuerung des Materialflusses zwischen vier Werkzeugmaschinen

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

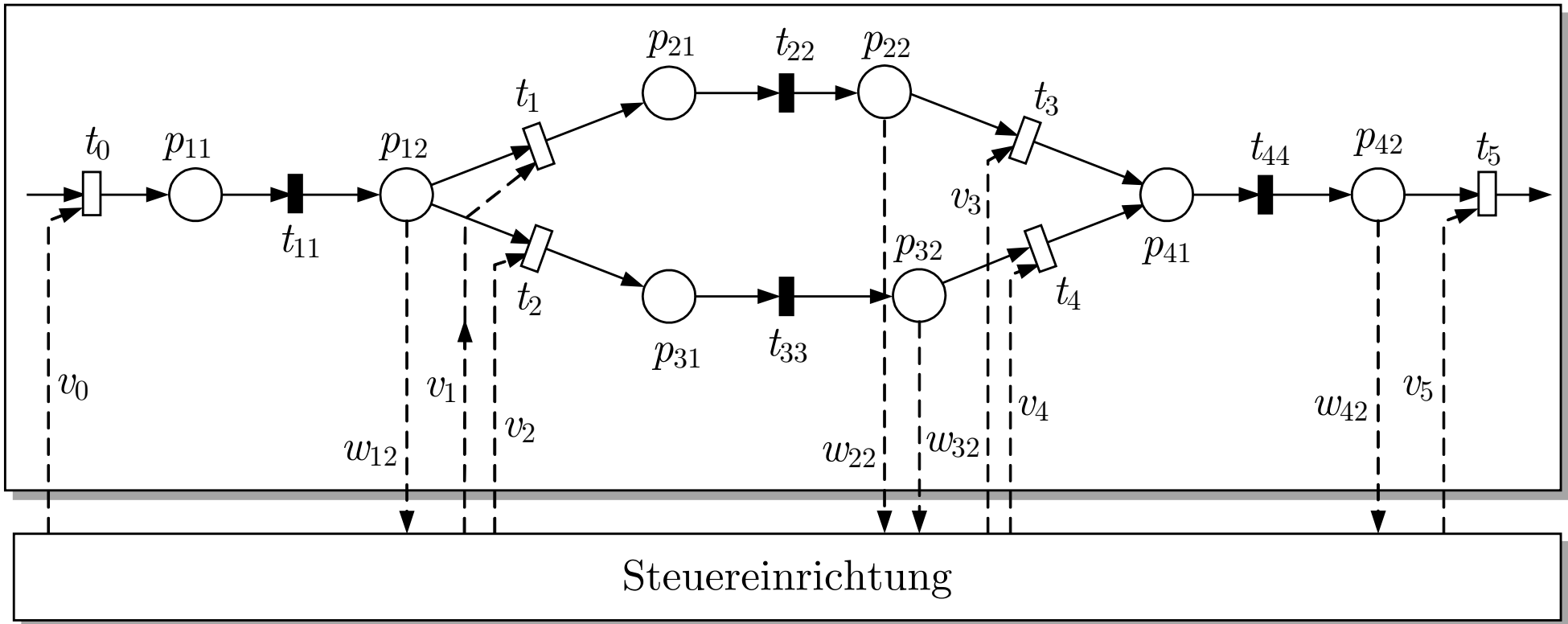
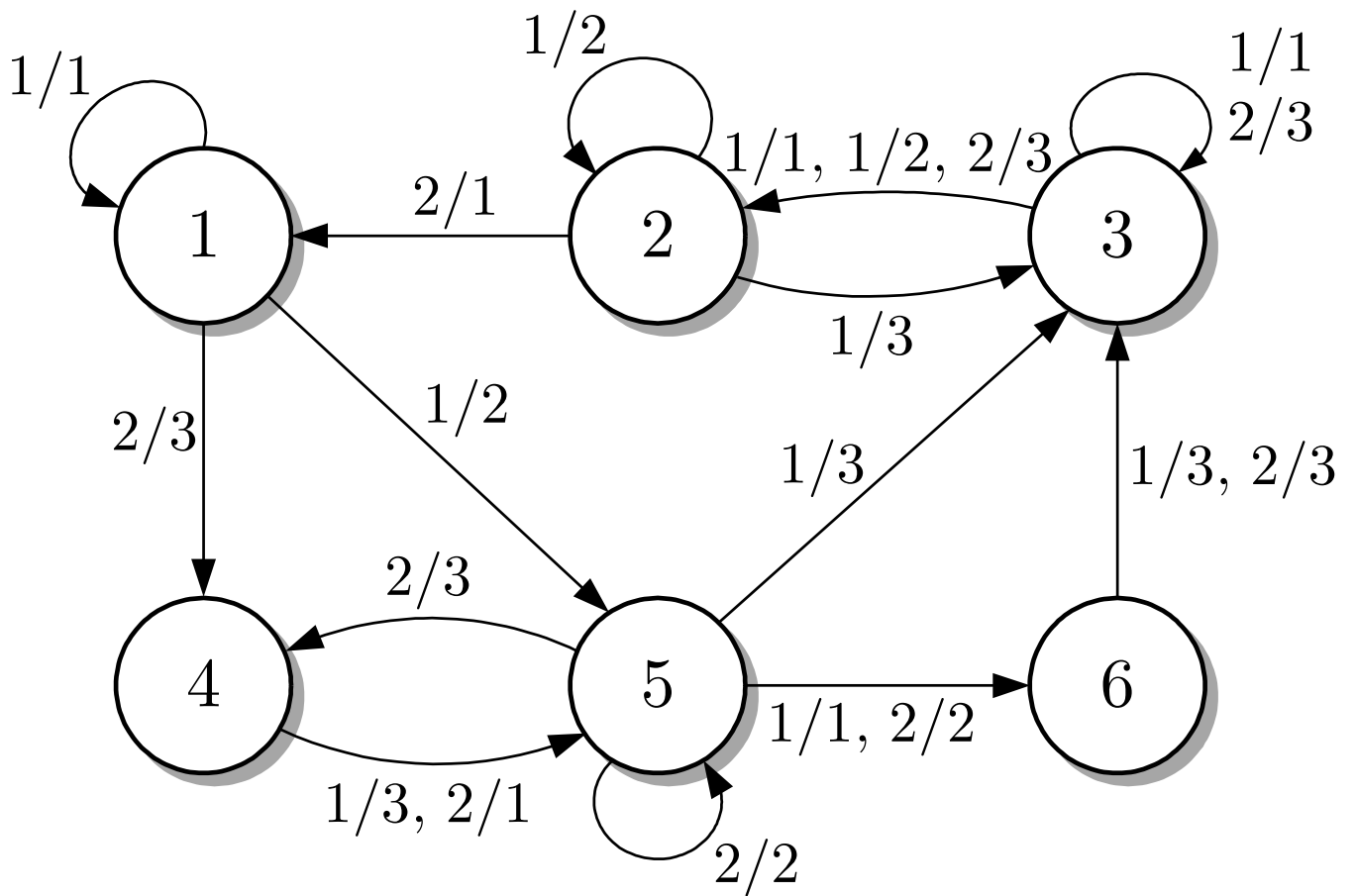


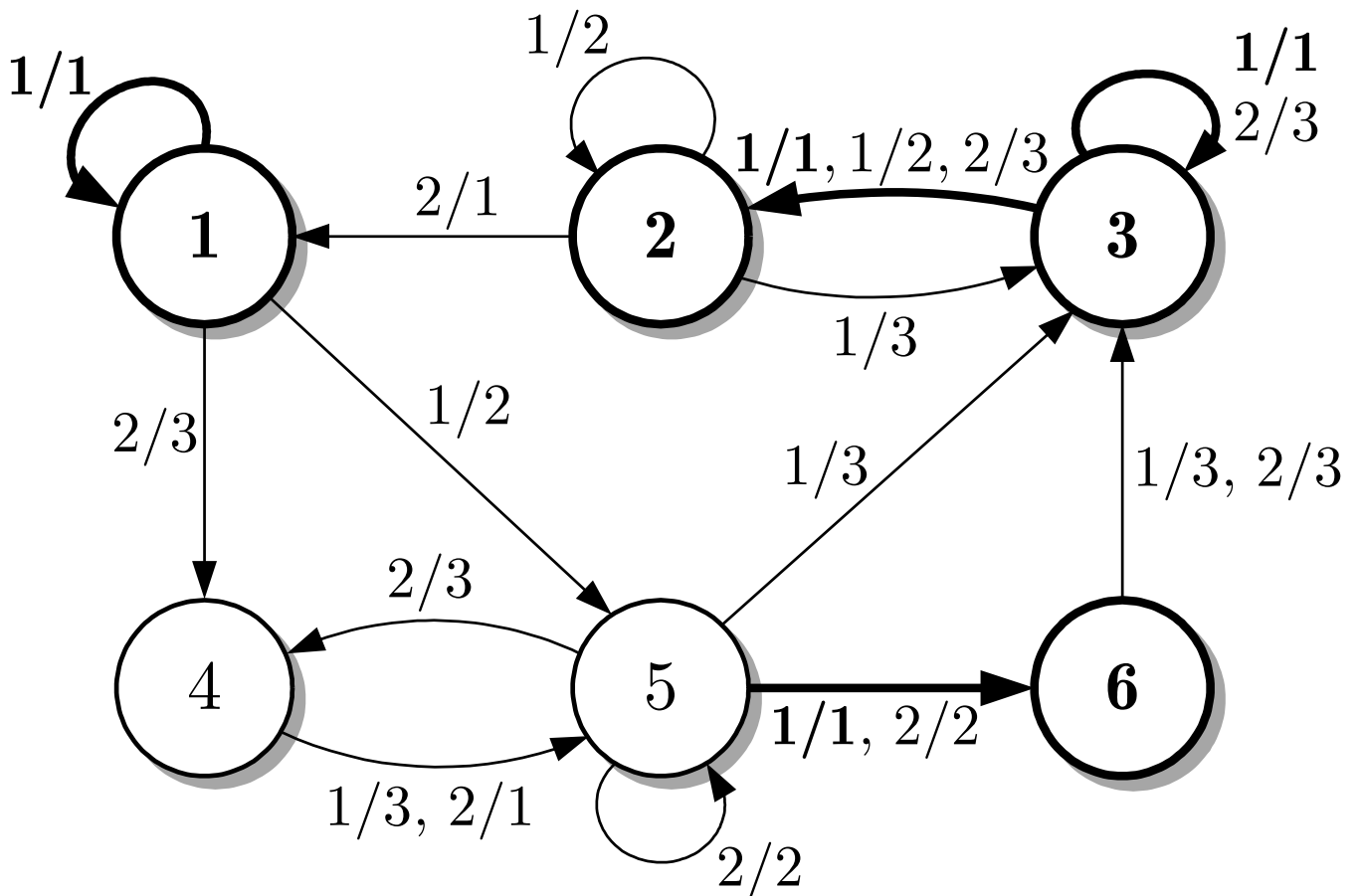
Abb. 14.12. Steuerung der Maschinen unter Nutzung des Petrinetzes

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



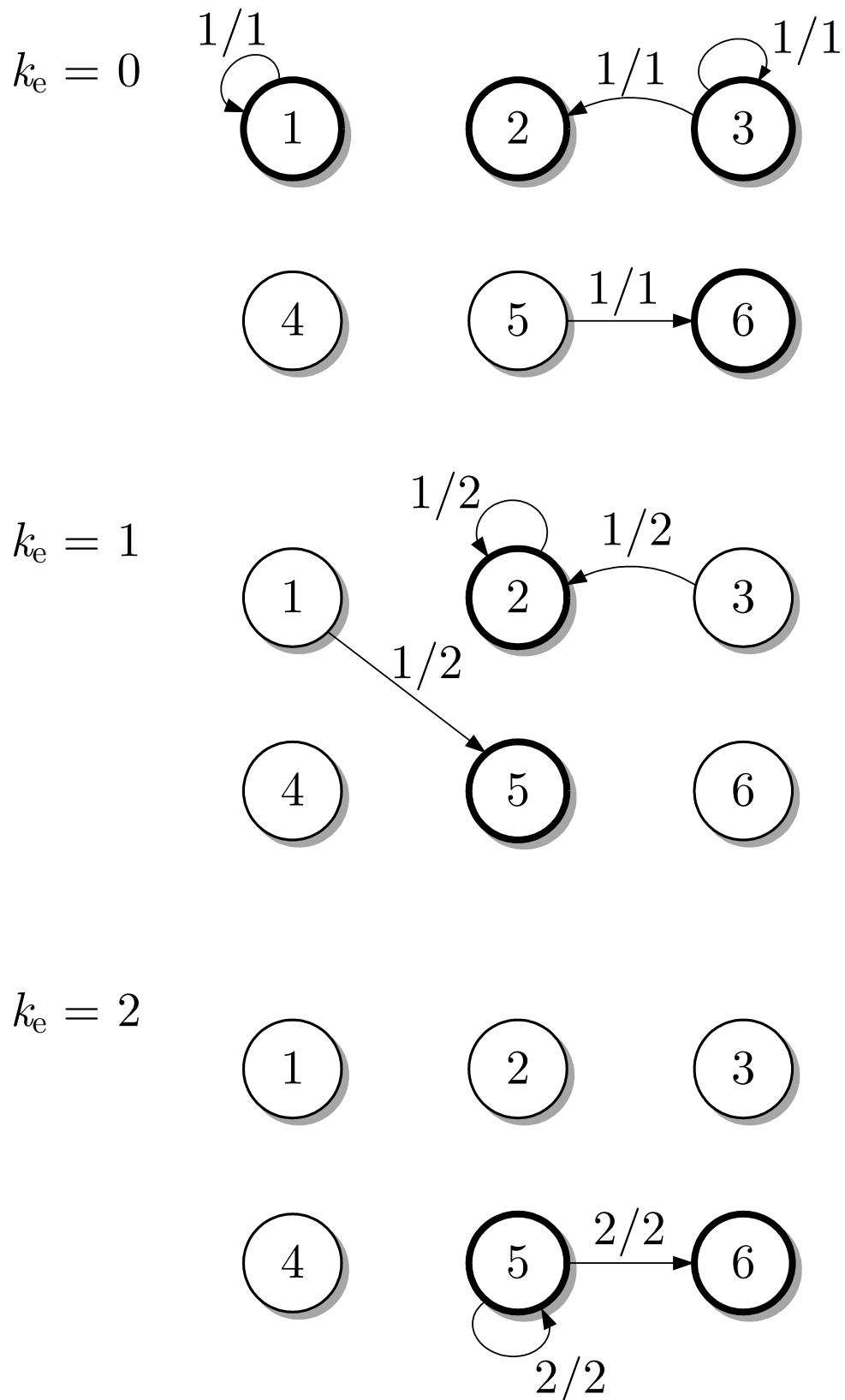
**Abb. 15.1: Automatengraph für das Beispiel**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

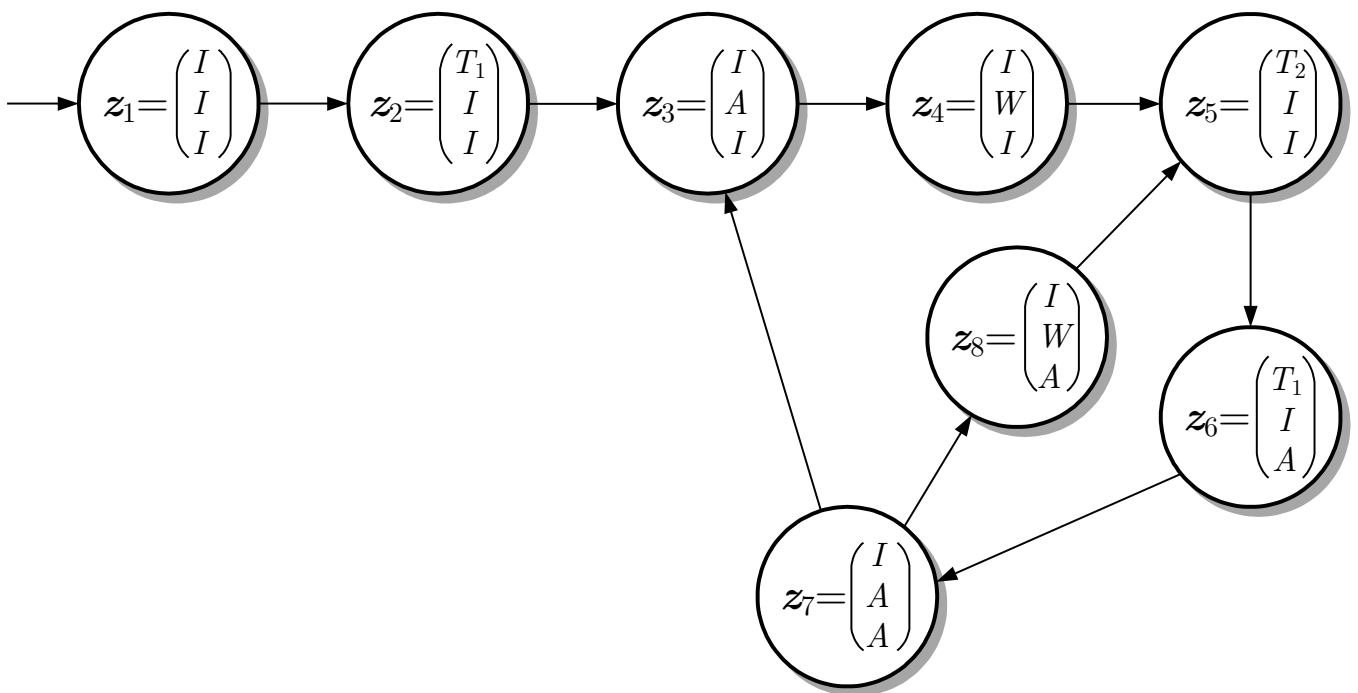


**Abb. 15.2:** Automatengraph mit Kennzeichnung der Zustandsmenge  $\mathcal{Z}(1 \mid 0)$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

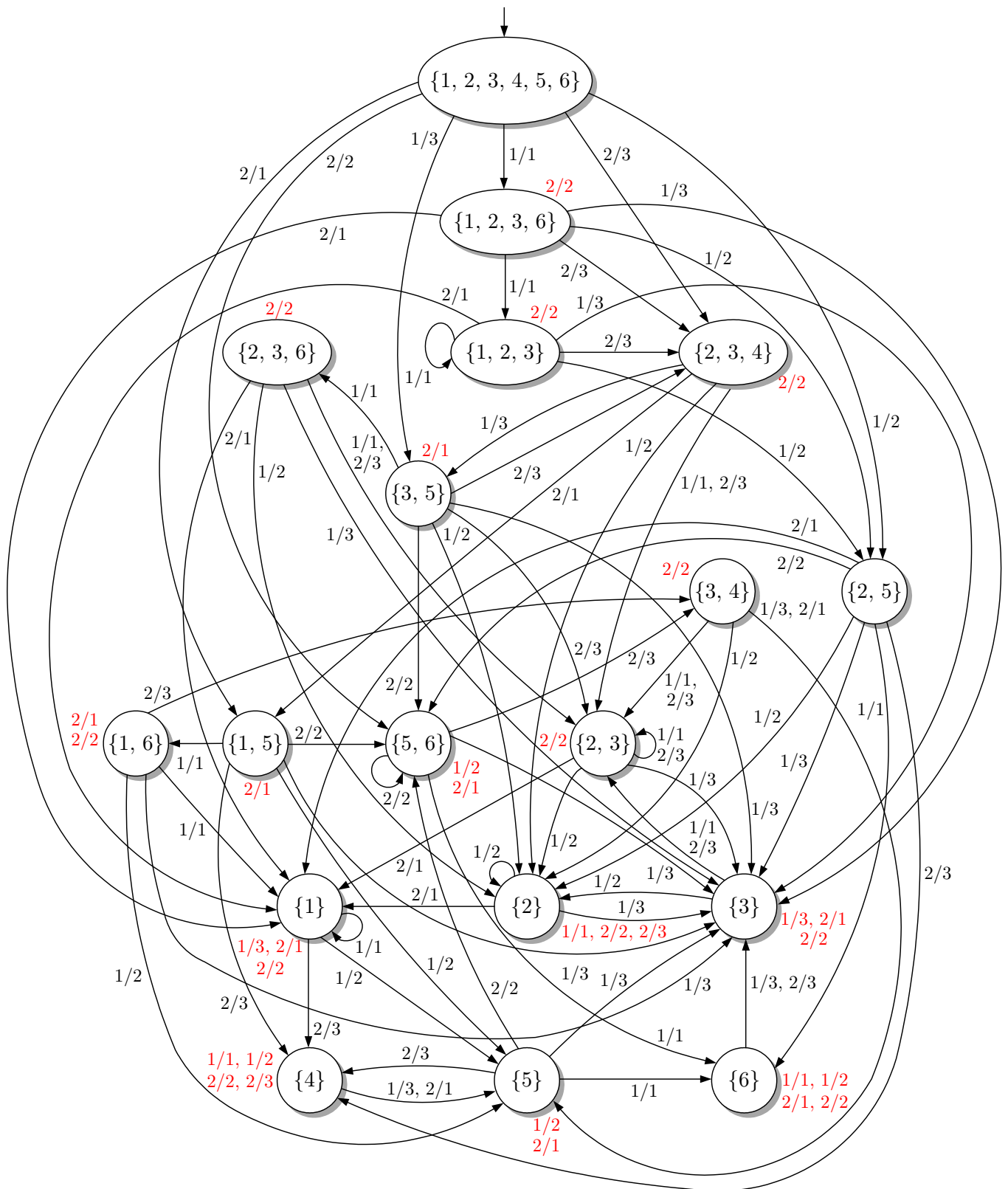


**Abb. 15.3. Ergebnis der Zustandsbeobachtung für das E/A-Paar (15.5)**



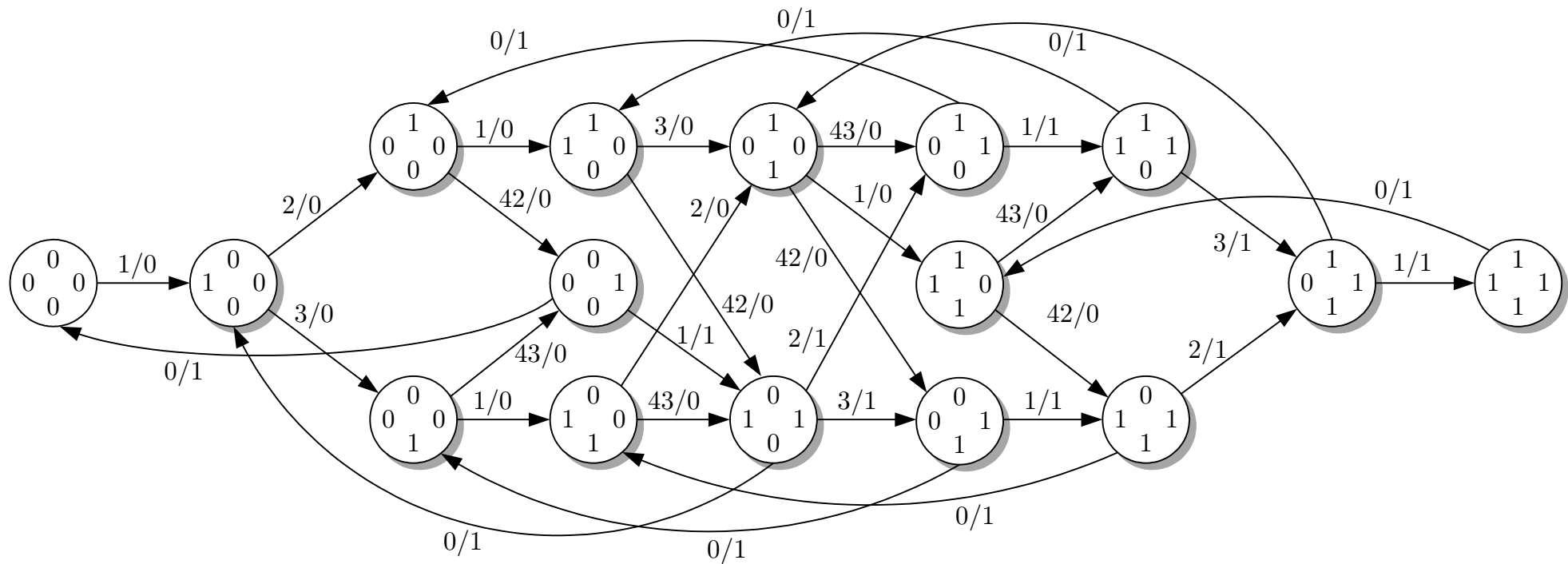
**Abb. 15.4: Nichtdeterministischer Automat, der die Fertigungszelle beschreibt**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

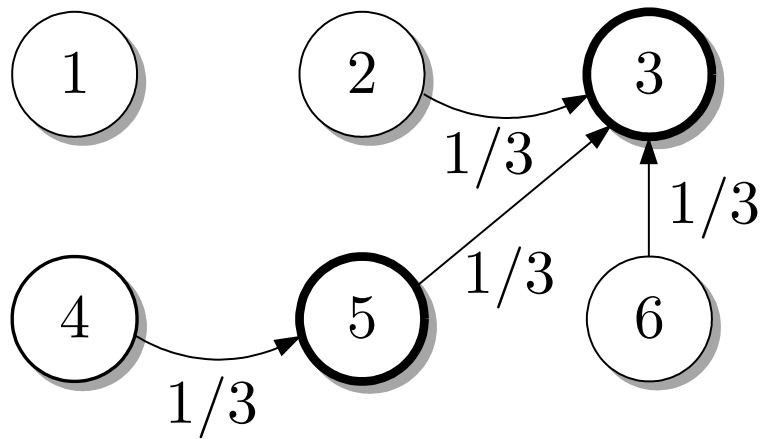




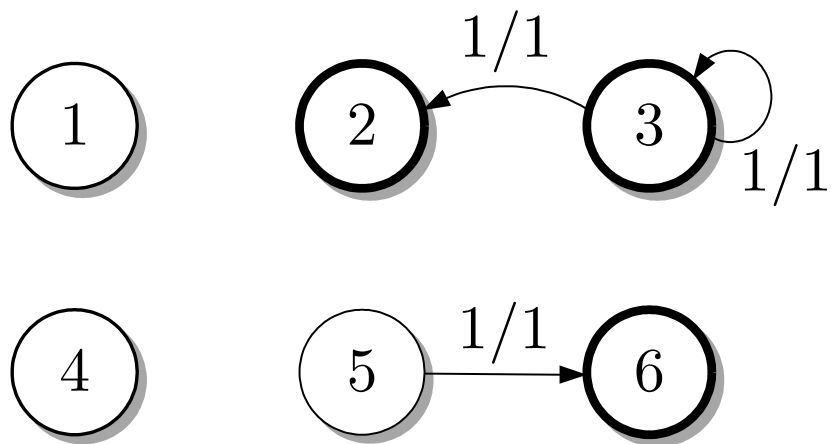
**Abb. 15.6. Beschreibung der Arbeitsweise der vier gesteuerten Werkzeugmaschinen**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

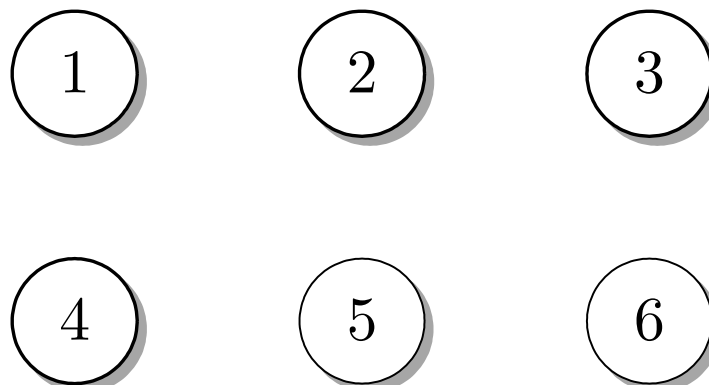
$$k_e = 0$$



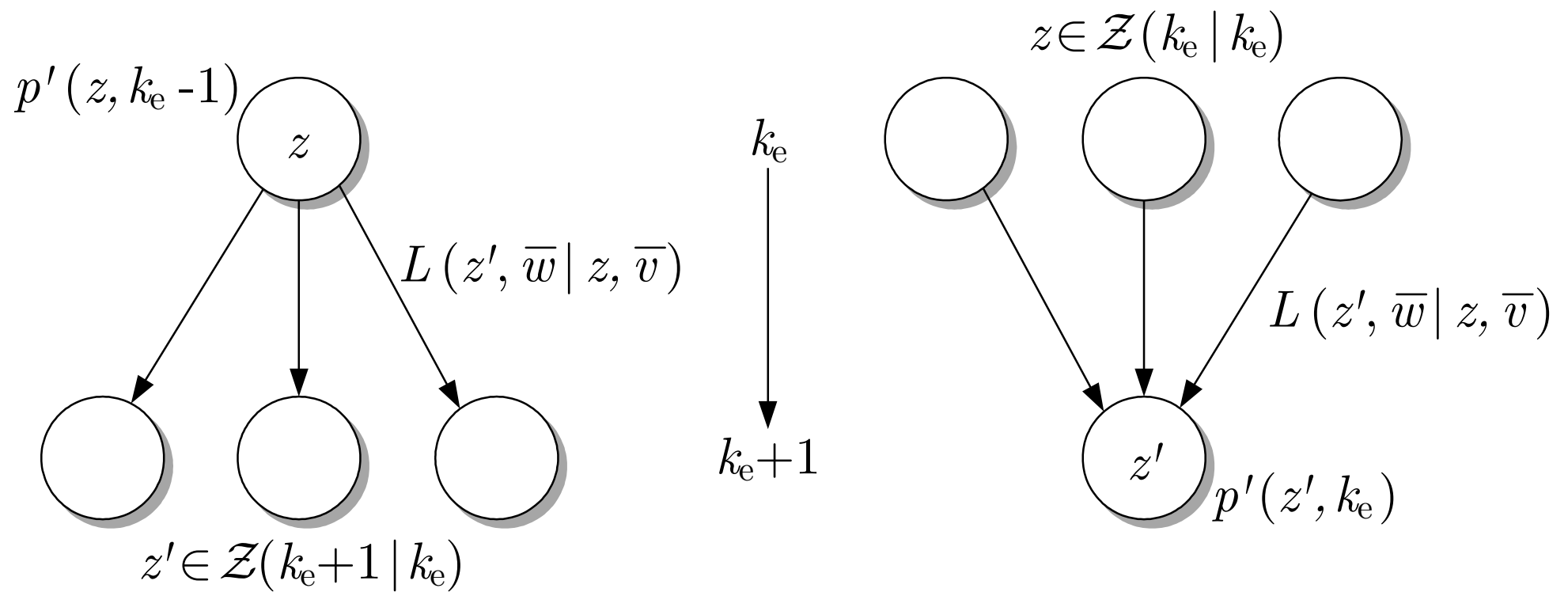
$$k_e = 1$$



$$k_e = 2$$

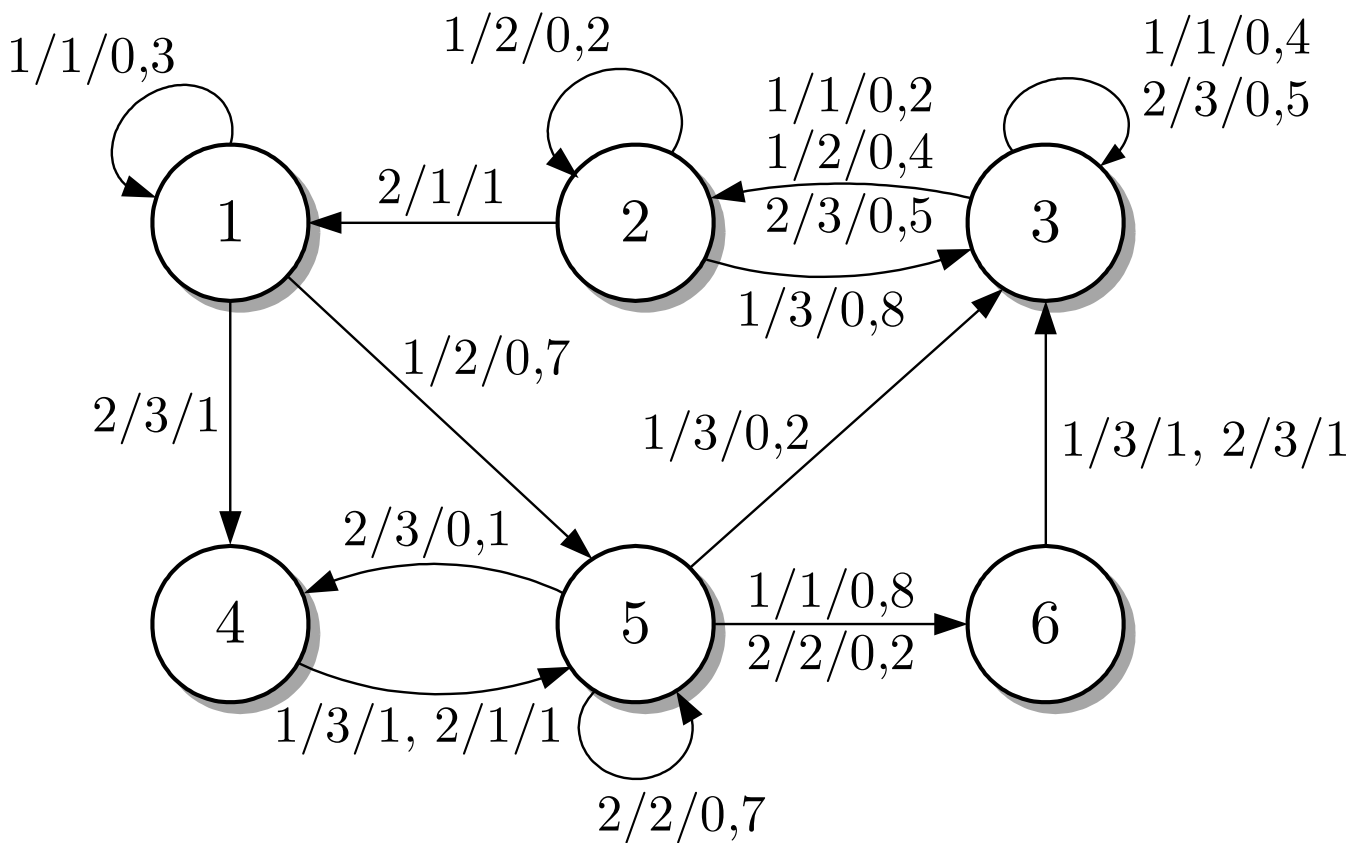


**Abb. 15.7. Ergebnis der Konsistenzprüfung für das E/A-Paar (15.10)**



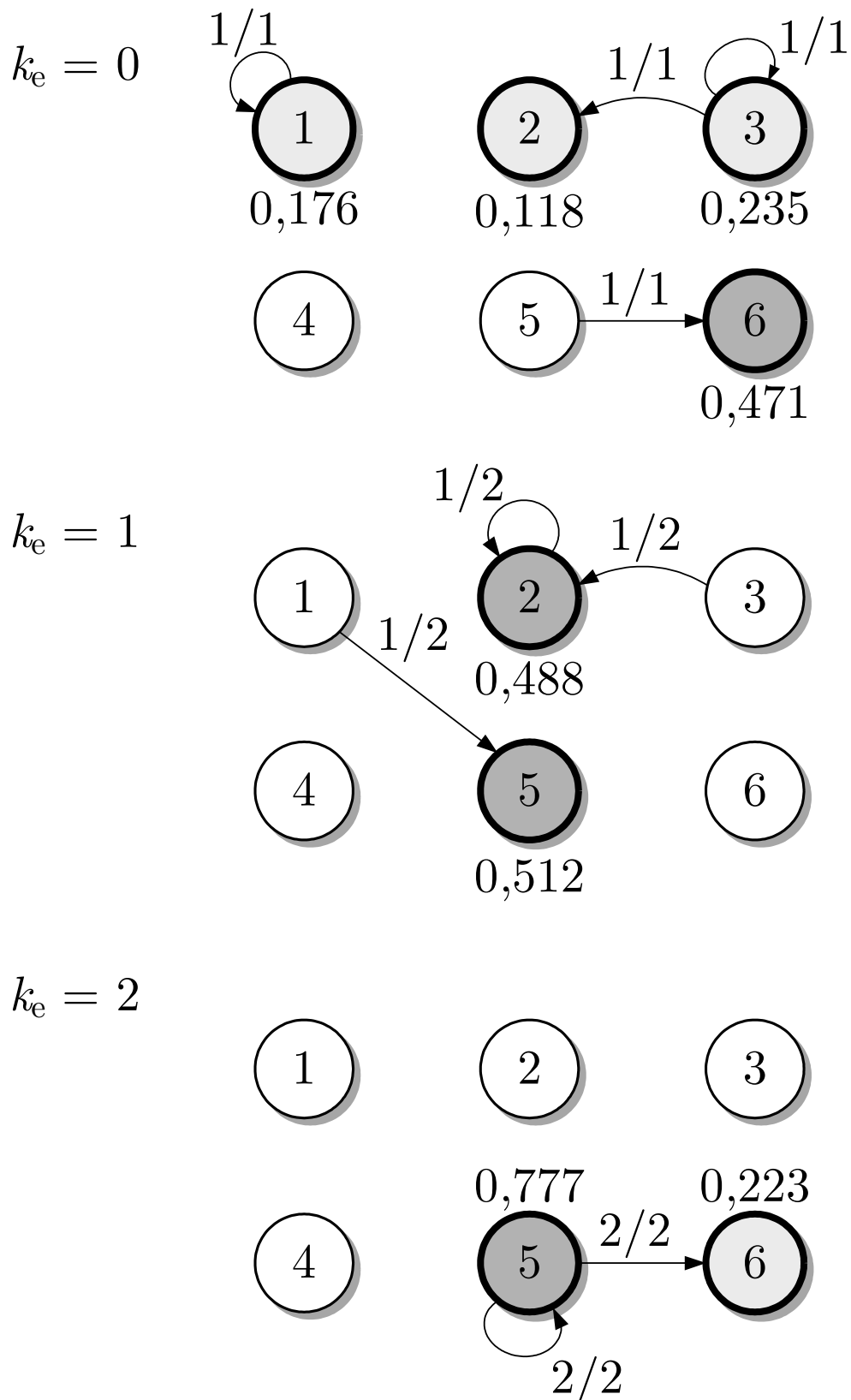
**Abb. 15.8. Interpretation der Gl. (15.14)**

*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**

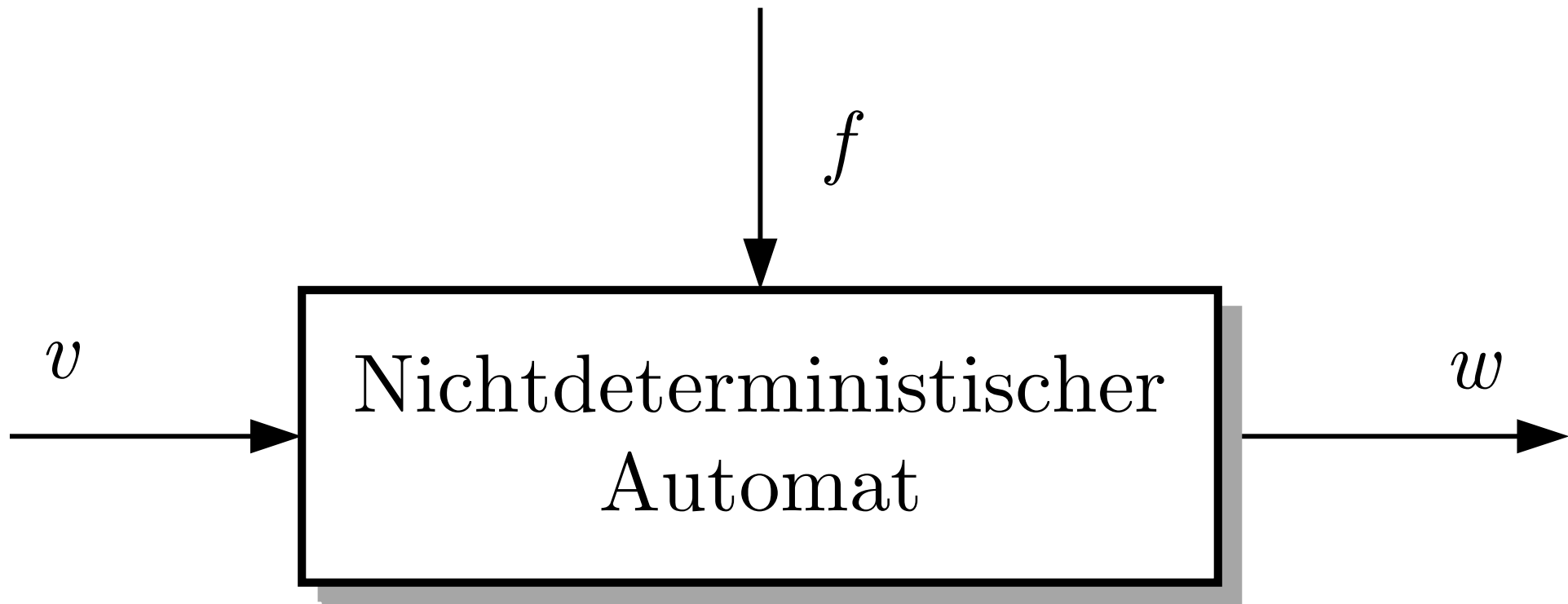
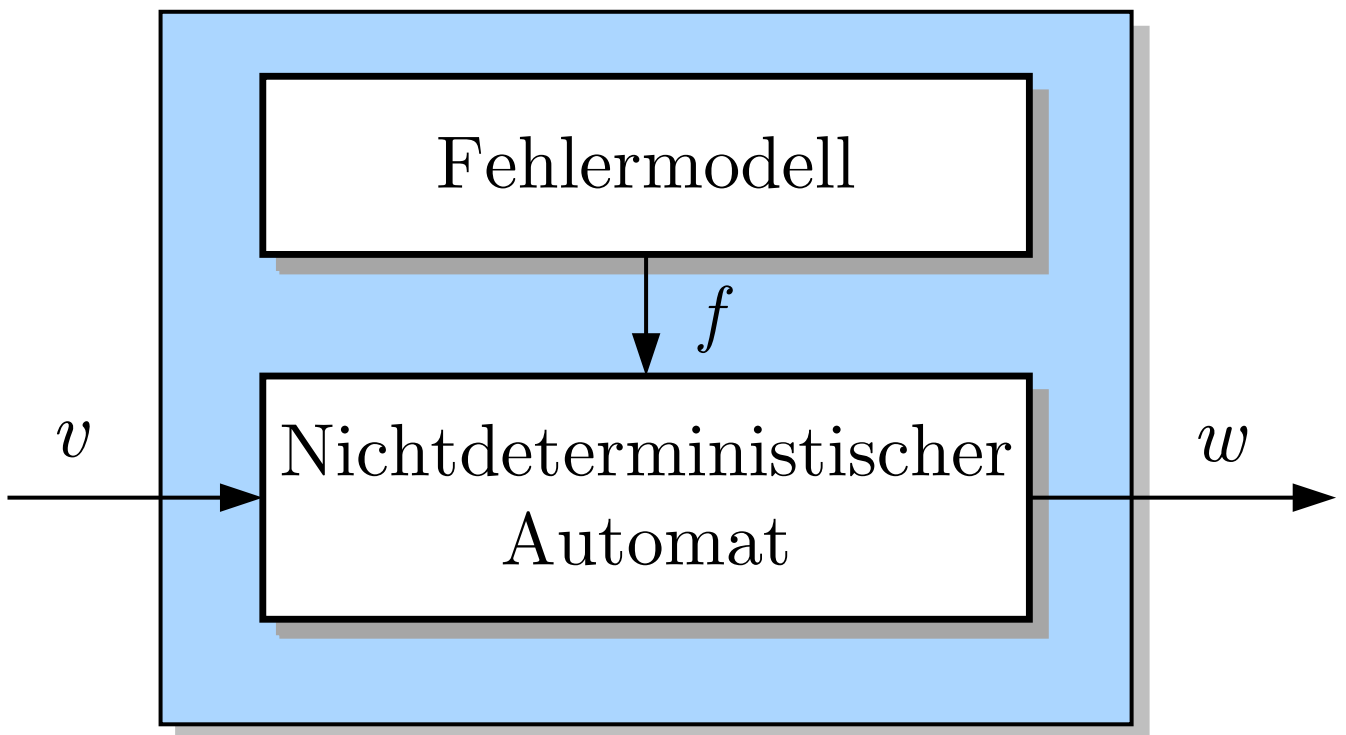


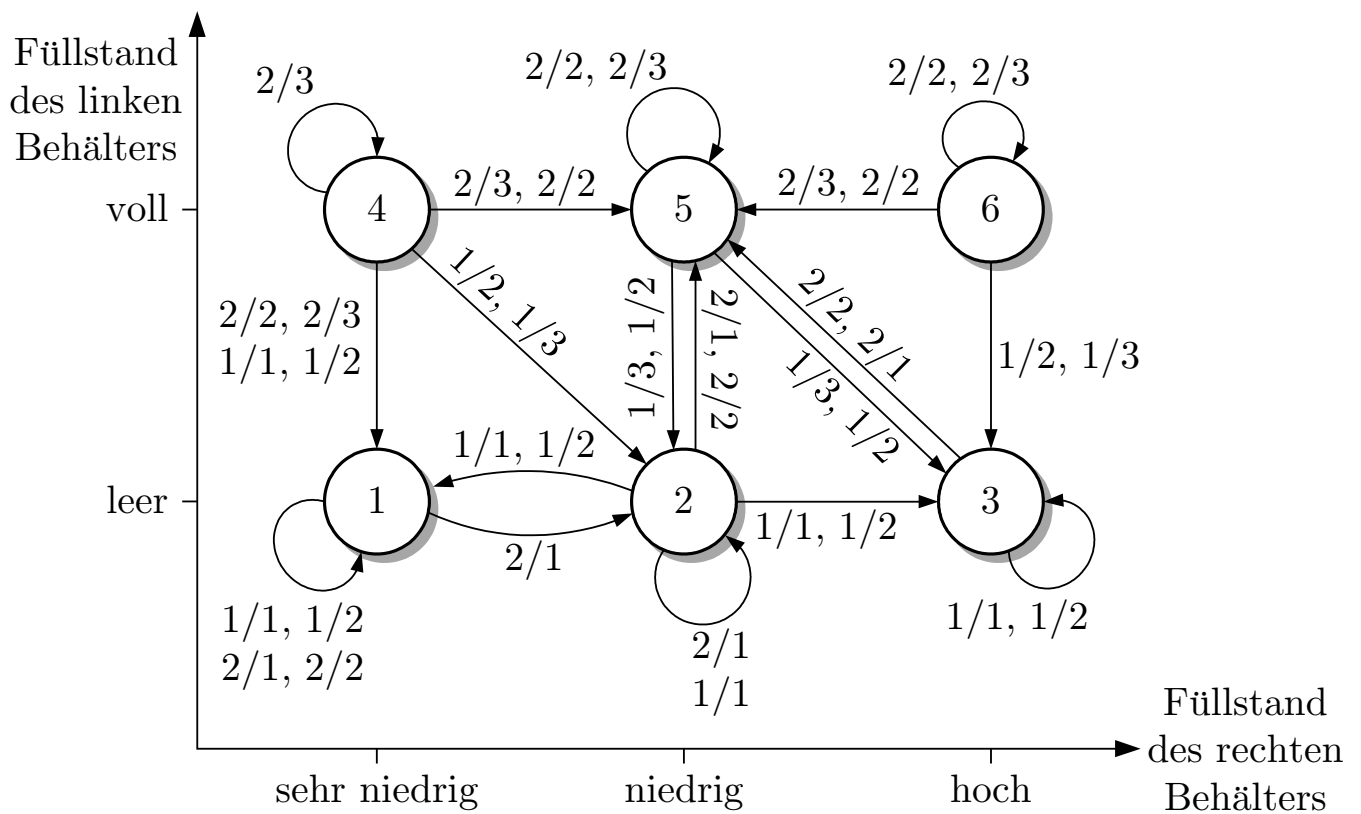
Abb. 16.1. Nichtdeterministischer Automat unter der Wirkung des Fehlers  $f$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 16.2: Nichtdeterministischer Automat mit Fehlermodell**

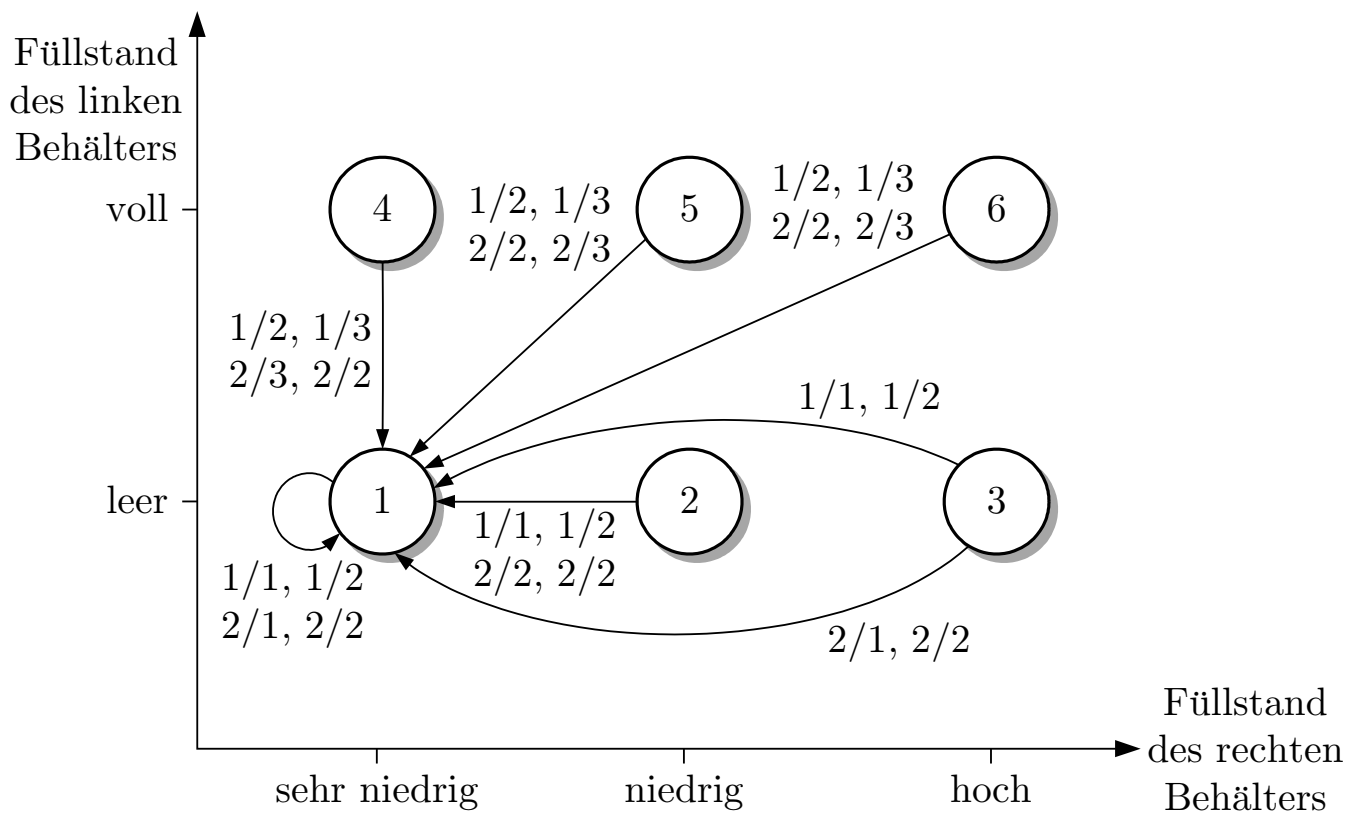
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 16.3: Automatengraph für den fehlerfreien Zustand**

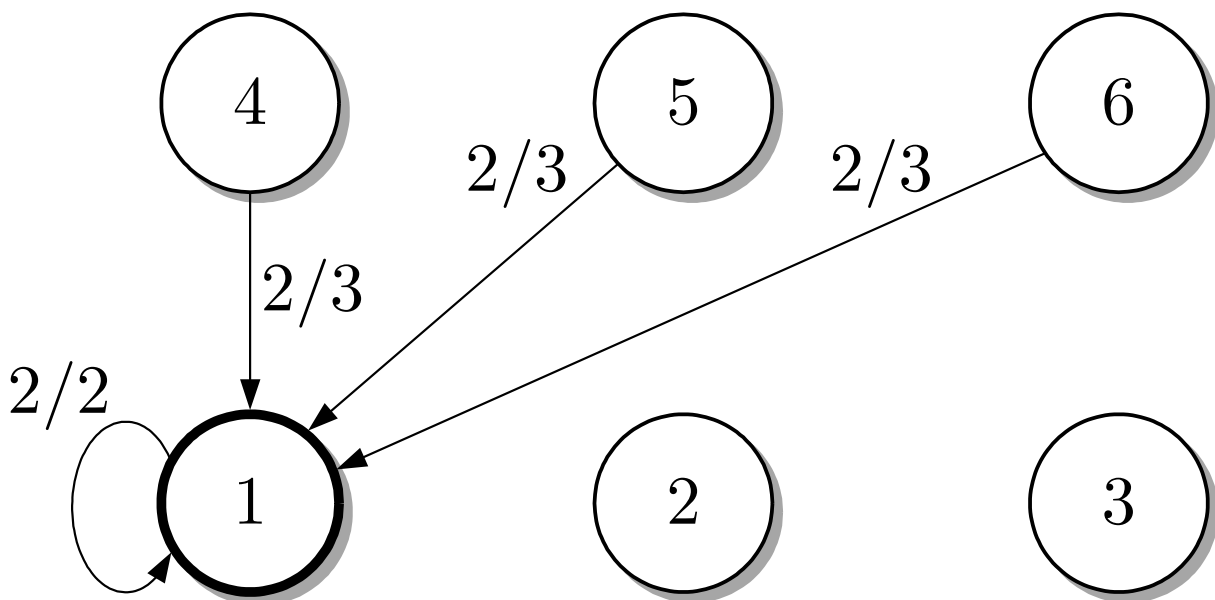
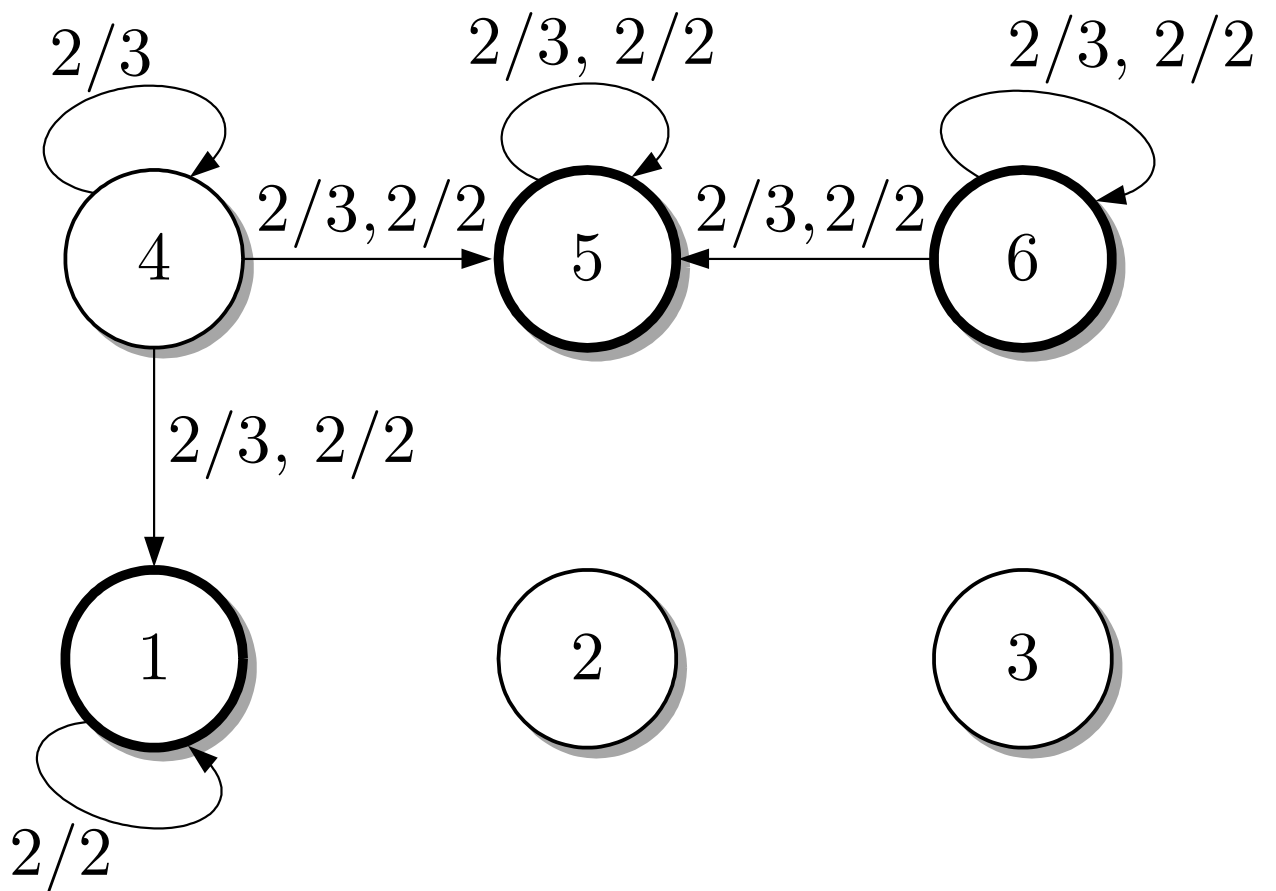
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



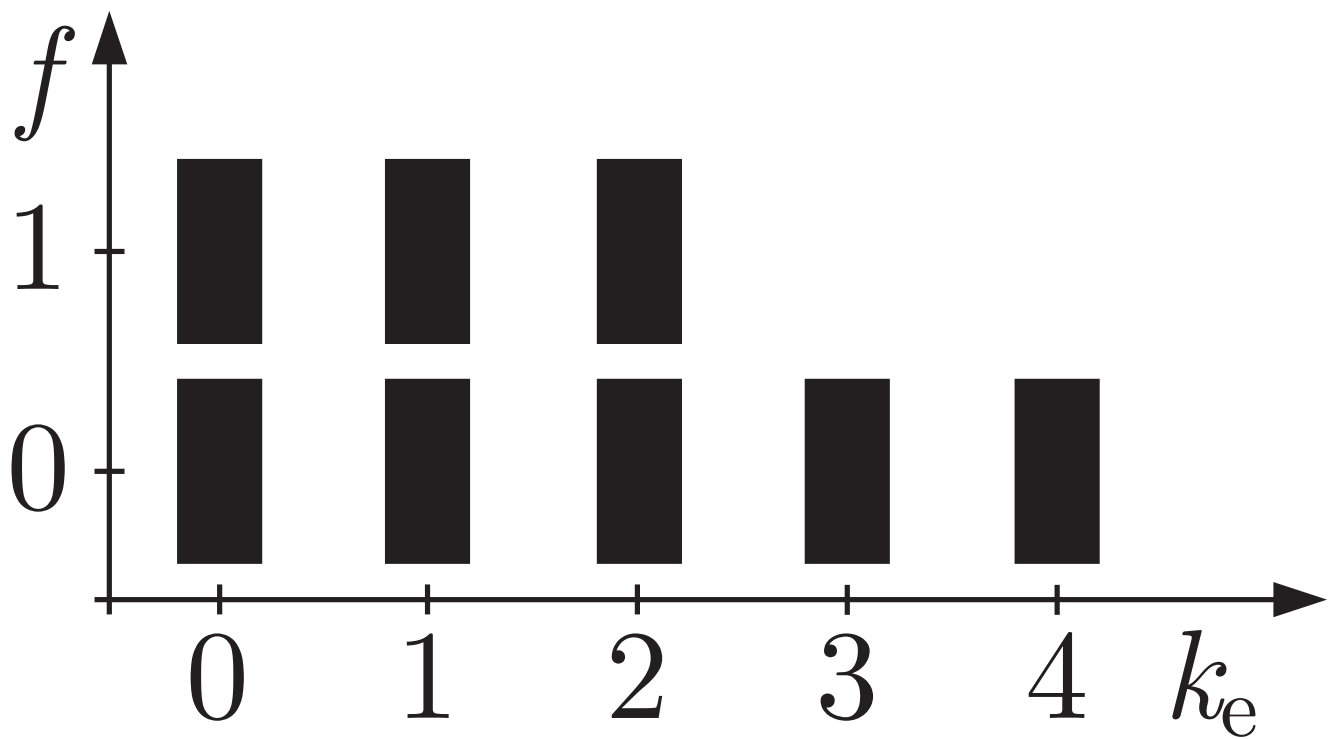


**Abb. 16.3: Automatengraph für den Fehlerfall  $f = 1$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

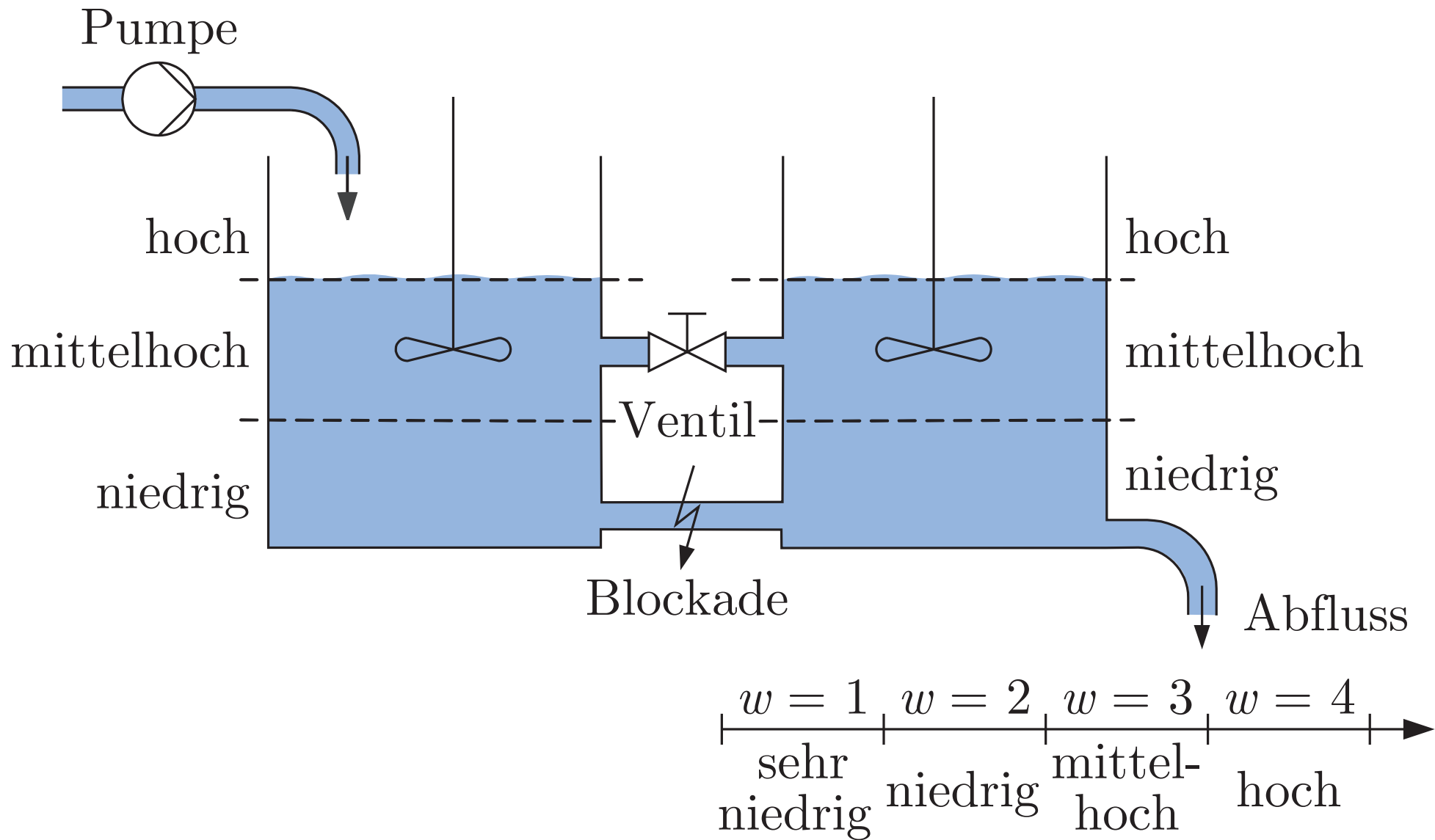


**Abb. 16.4: Teile des Automatengraphen, die für die Lösung der Diagnoseaufgabe wesentlich sind**



**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*

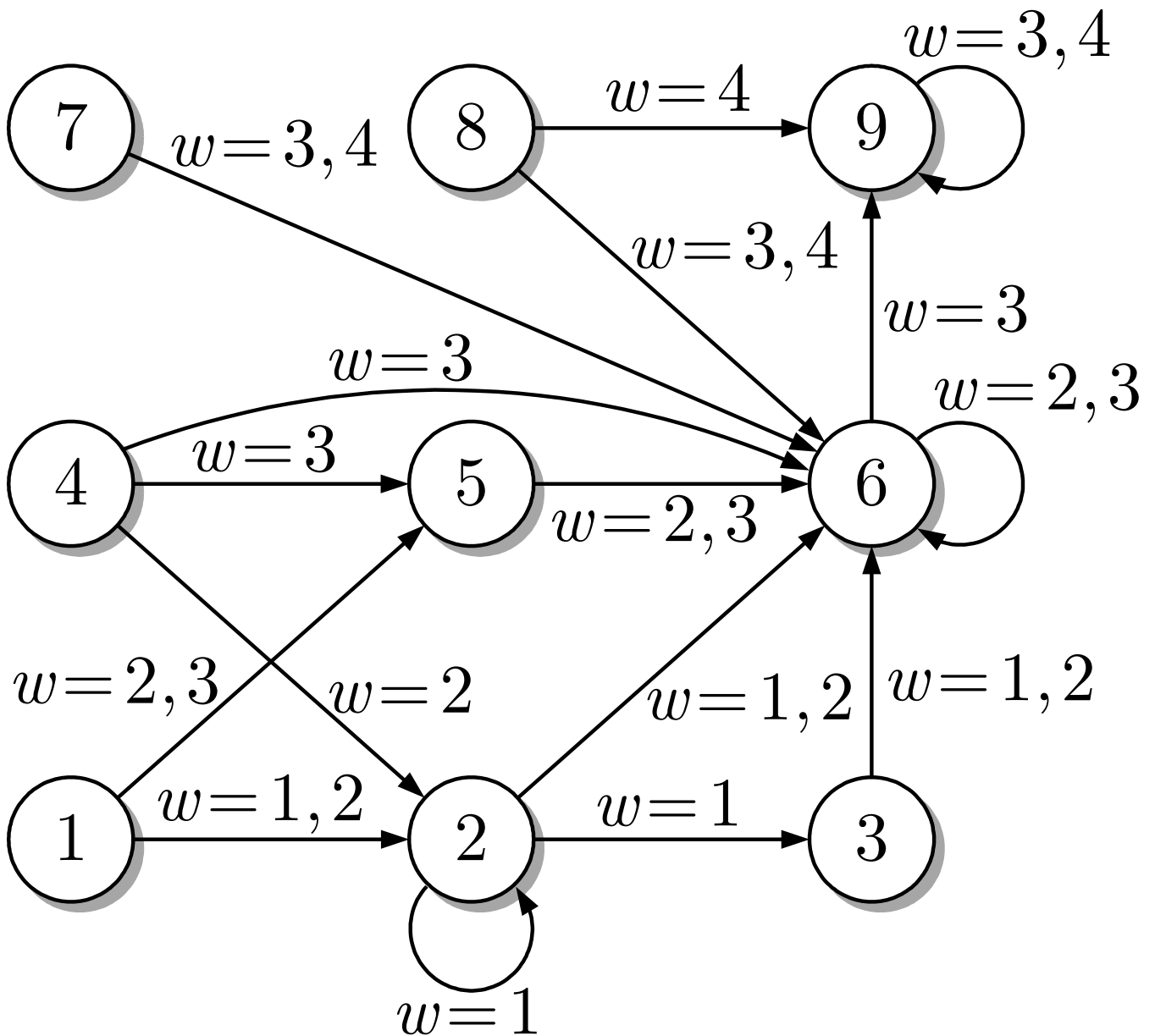
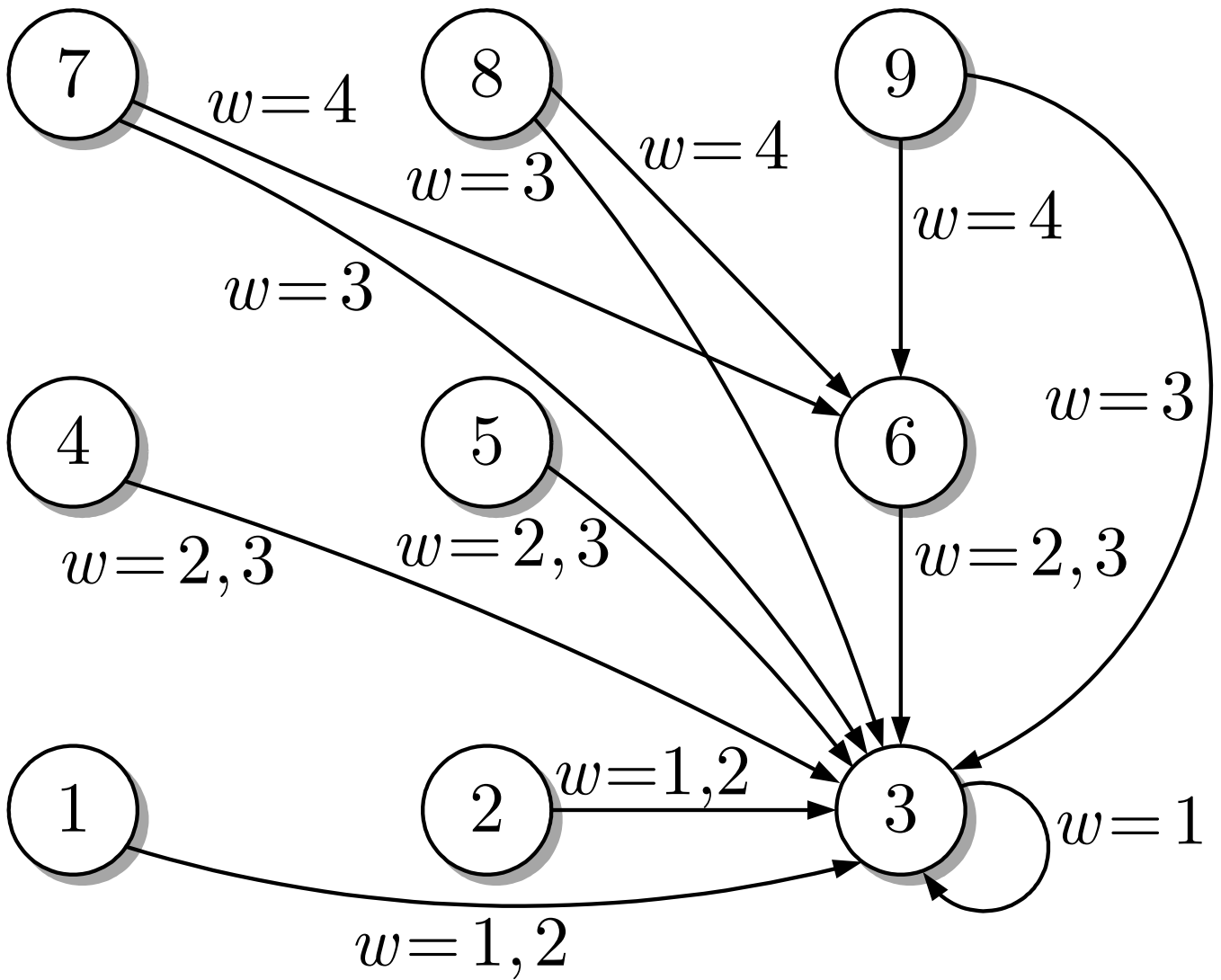


Abb. 16.7: Automatengraph der fehlerfreien Reaktoren

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. 16.7: Automatengraph der Reaktoren mit blockiertem Verbindungsrohr**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

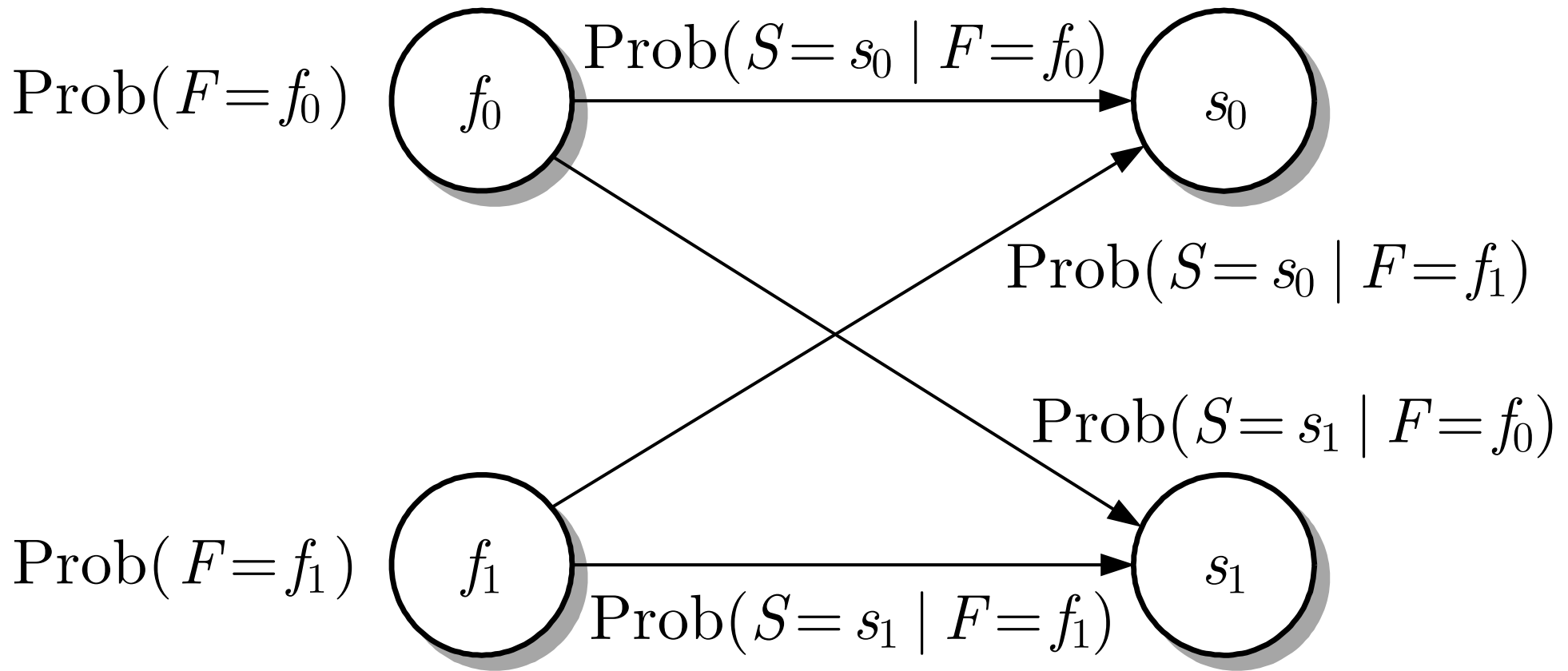


Abb. 16.8. Bayesnetz für zwei Fehler und zwei Symptome

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

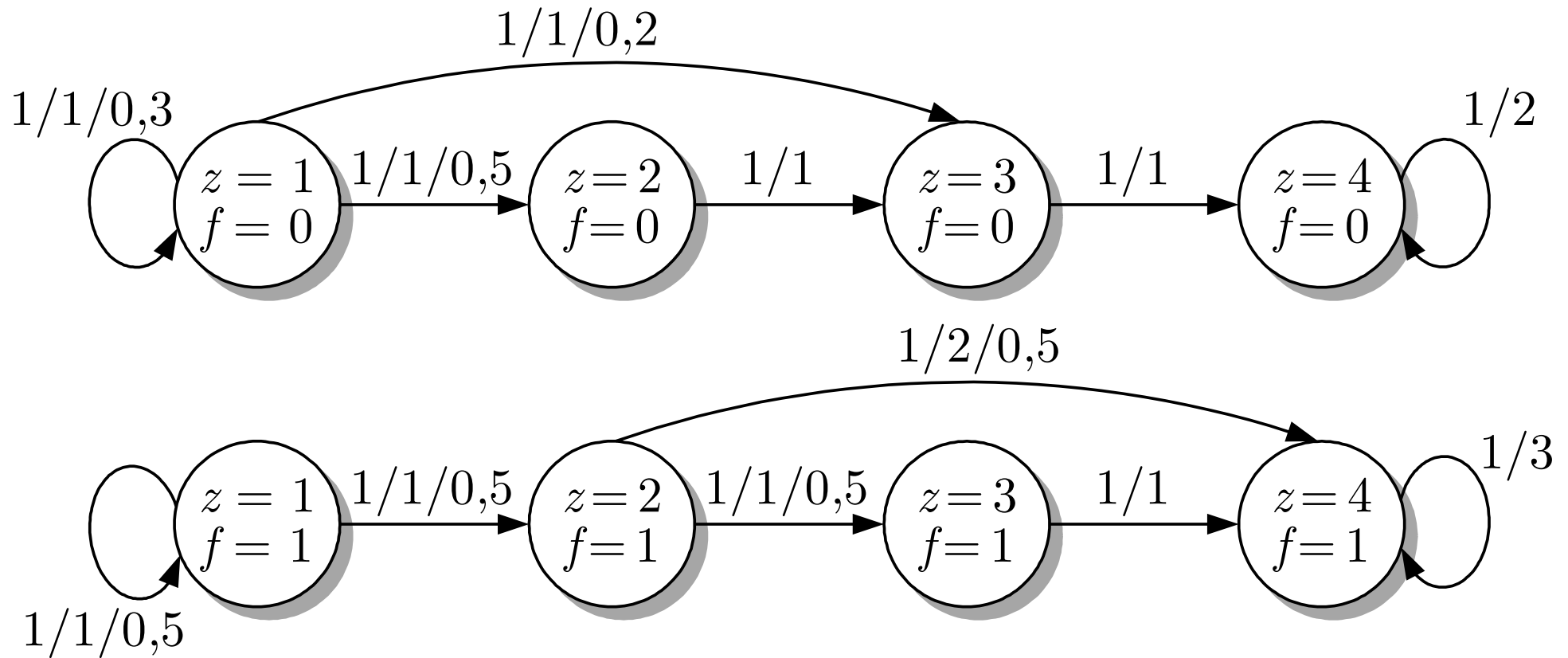
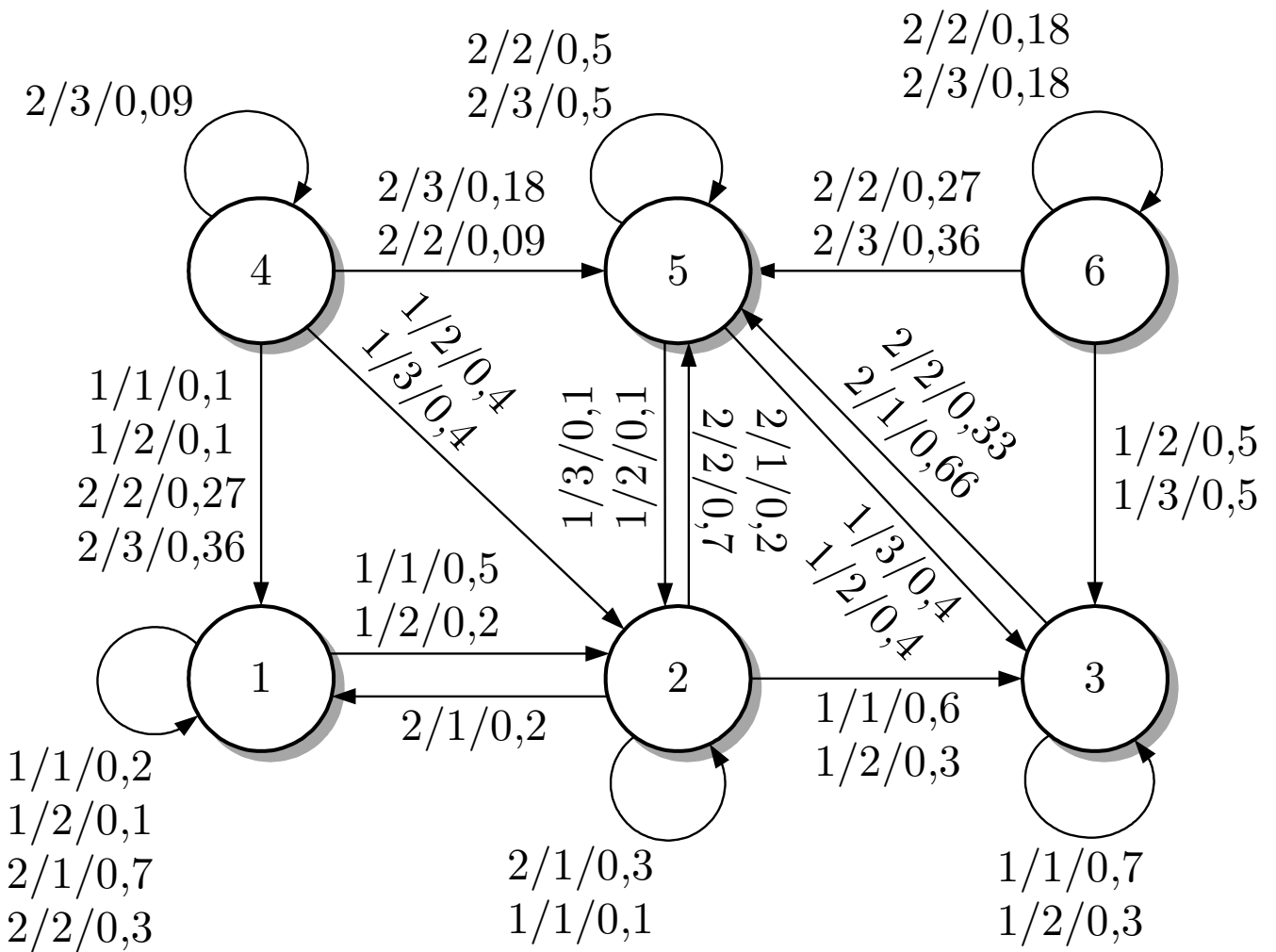


Abb. 16.9. Beschreibung des fehlerfreien und des fehlerbehafteten Systems

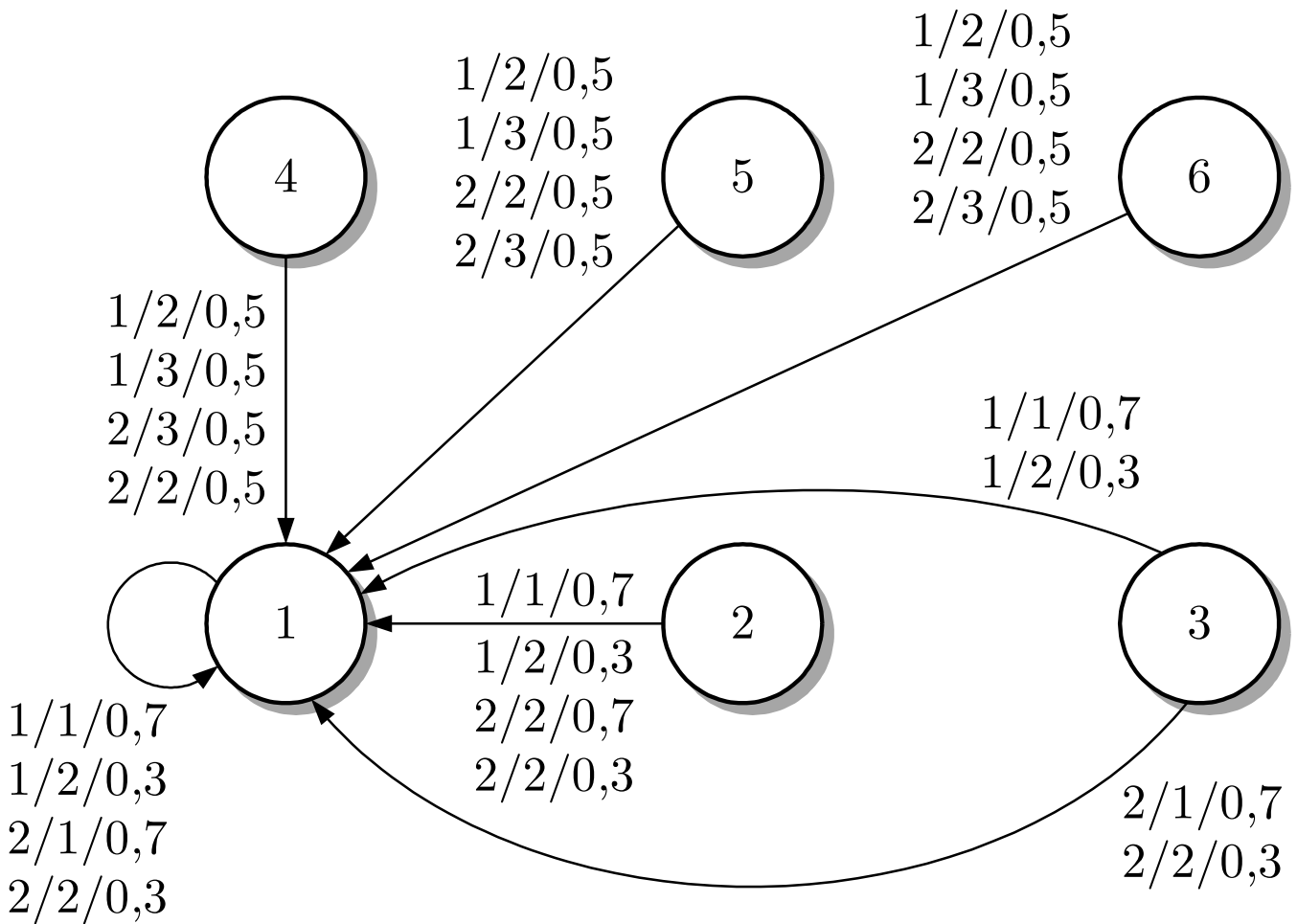
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





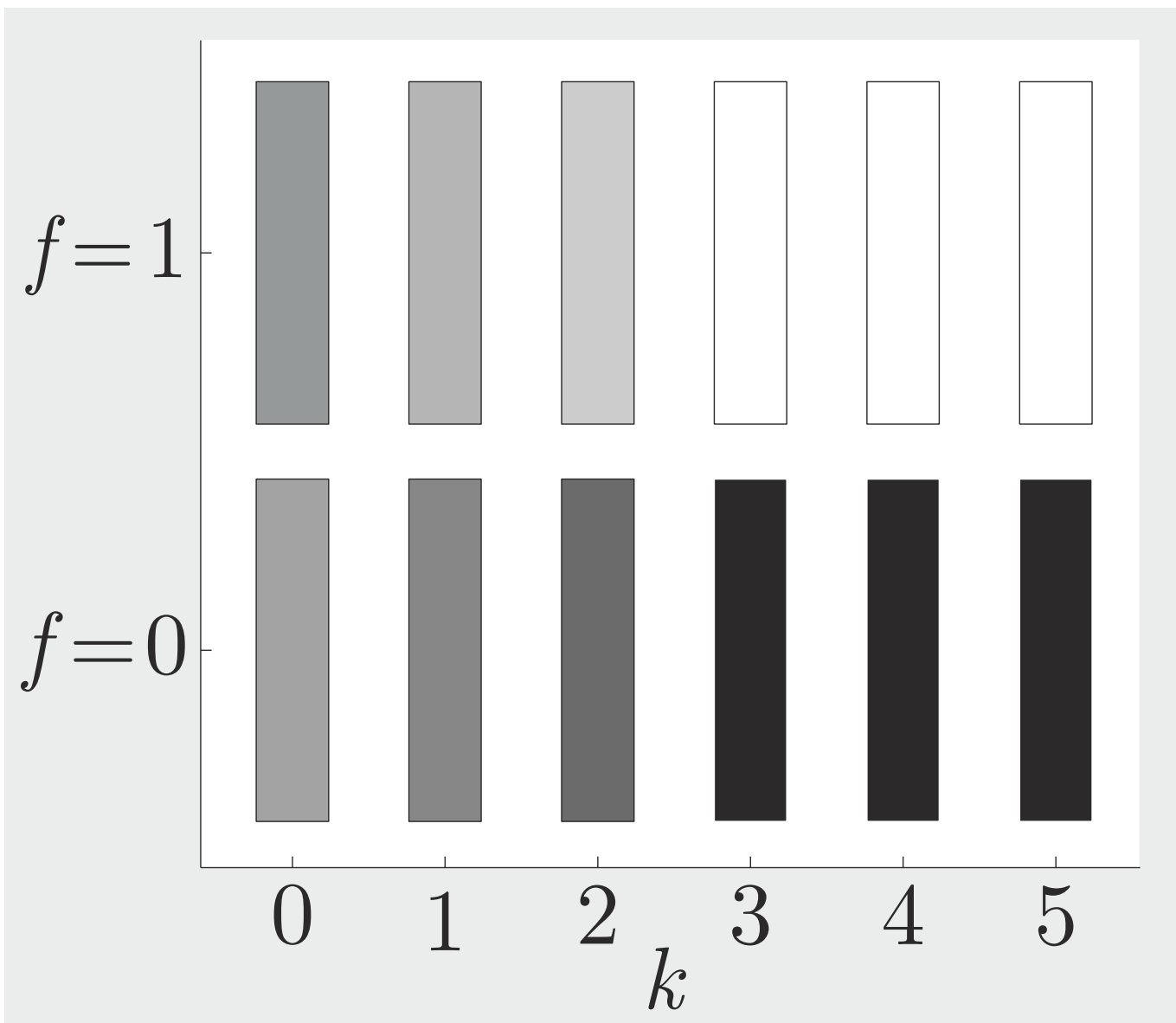
**Abb. 16.10: Stochastischer Automat für den Fehler  $f = 0$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



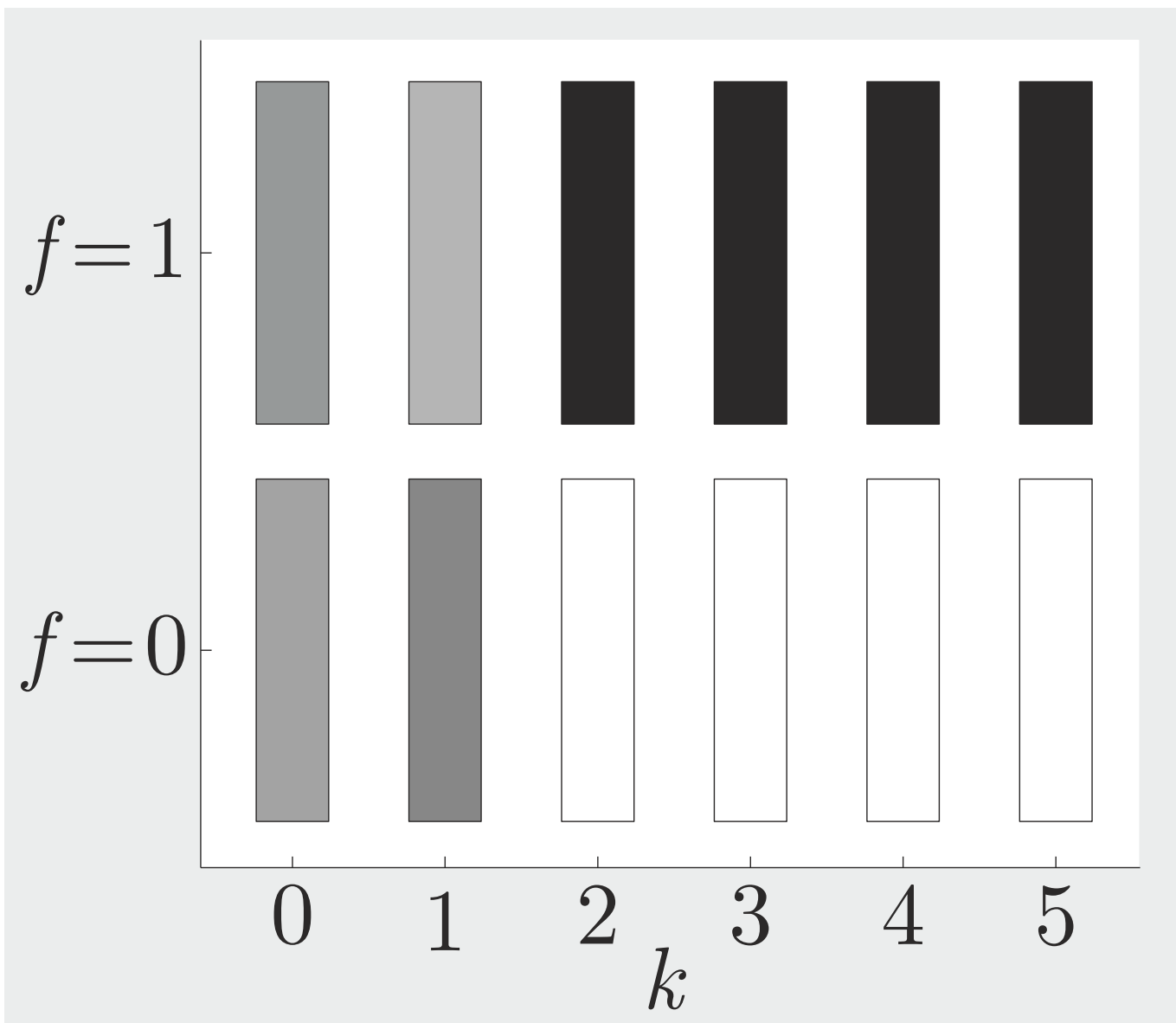
**Abb. 16.10: Stochastischer Automat für den Fehler  $f = 1$**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



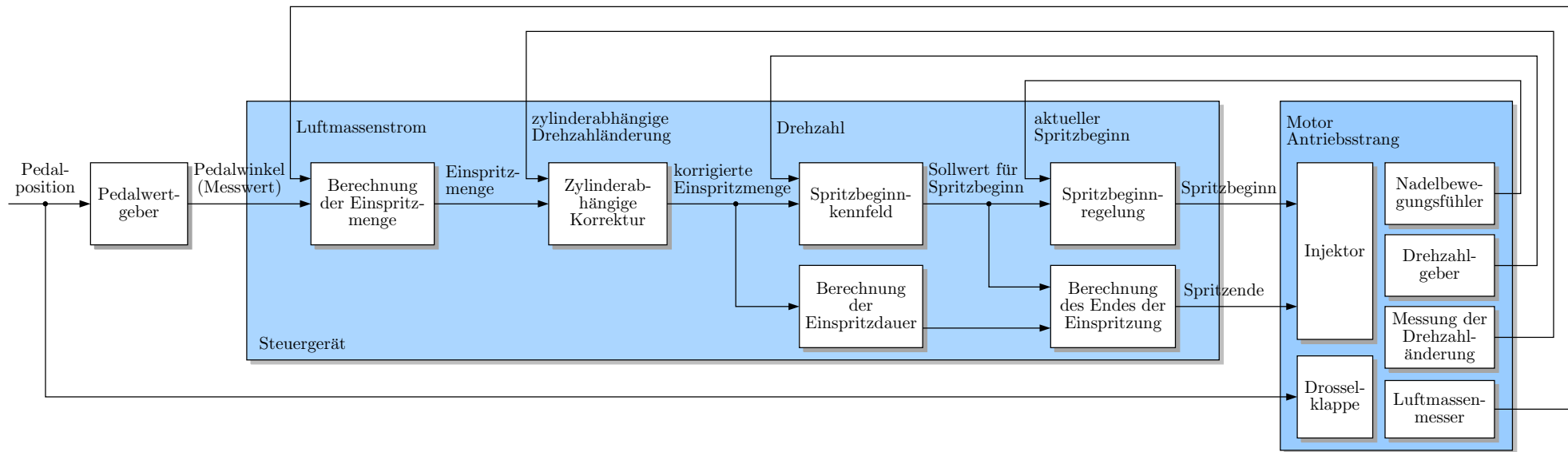
**Abb. 16.11: Diagnoseergebnis für die Ausgabefolge (16.22)**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



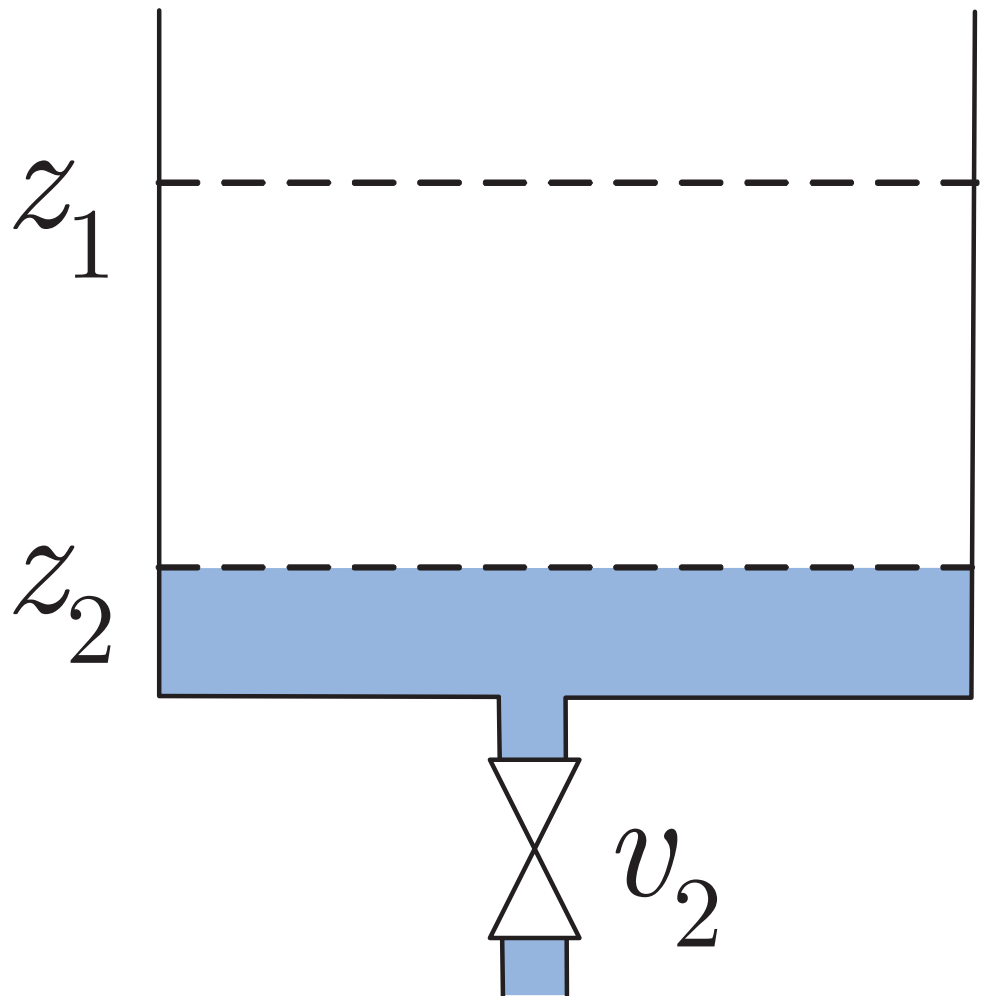
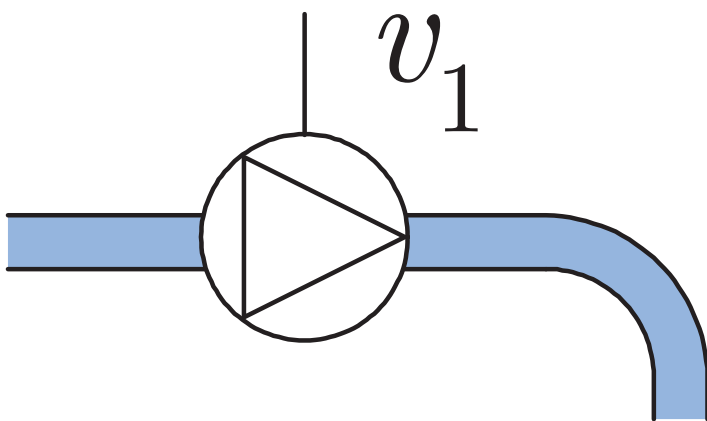
**Abb. 16.11: Diagnoseergebnis für die Ausgabefolge (16.23)**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



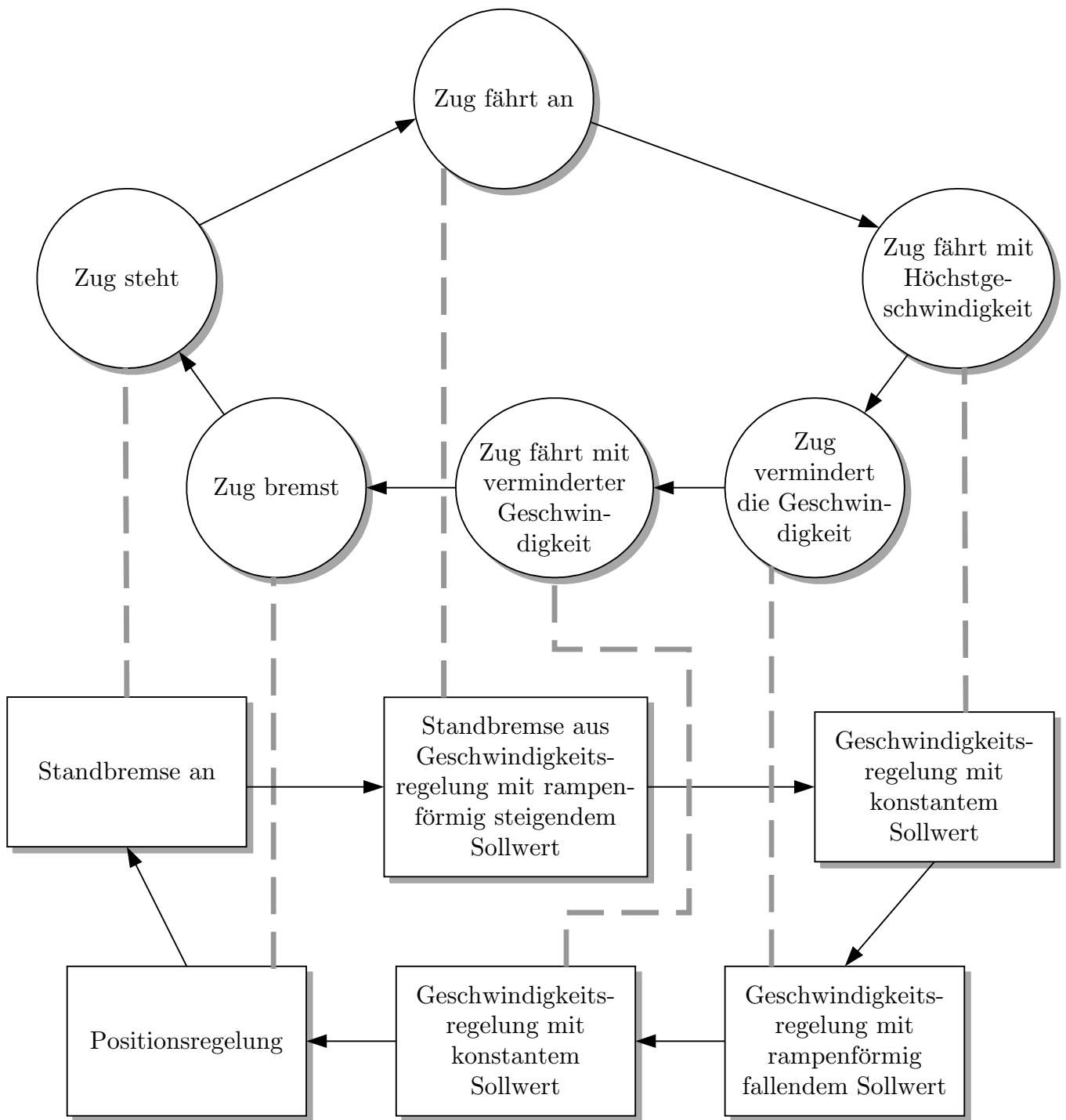
**Abb. 16.12. Blockschaltbild einer Motorsteuerung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



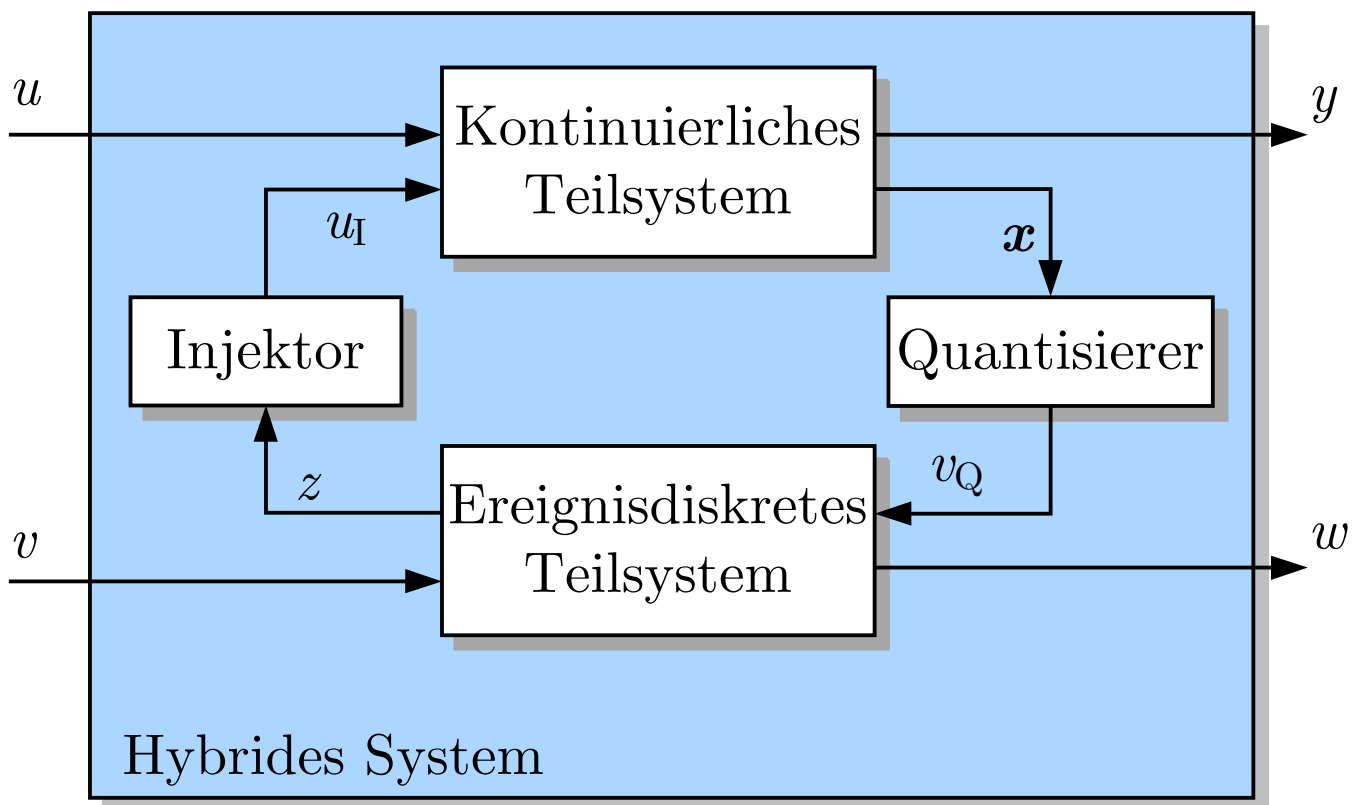
**Abb. 16.13: Batchreaktor**

*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  $v$

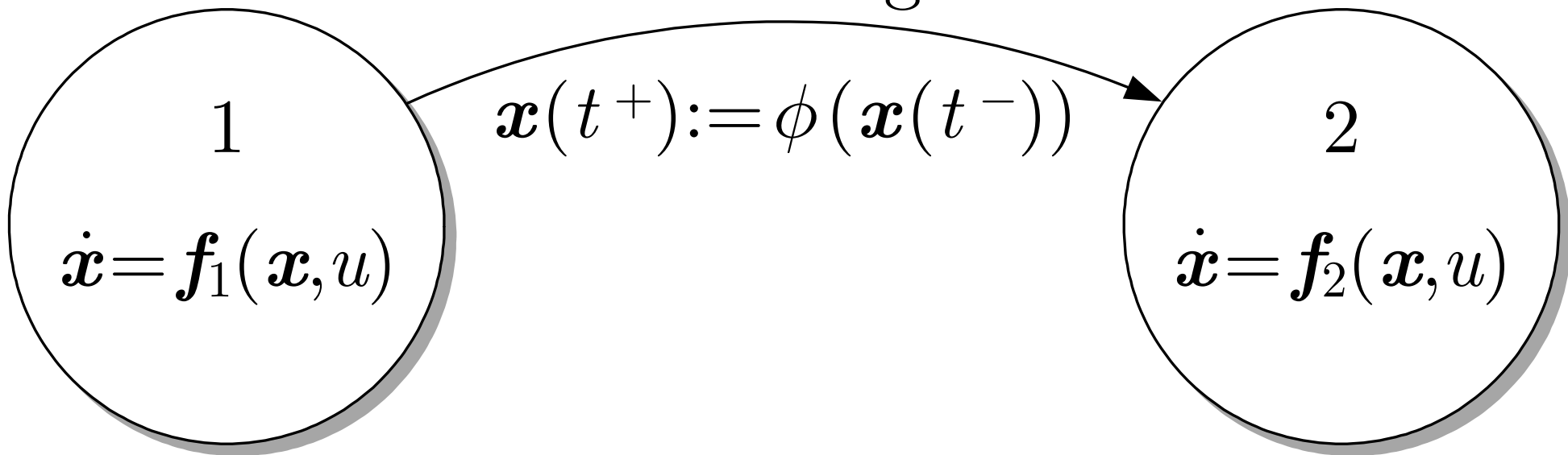
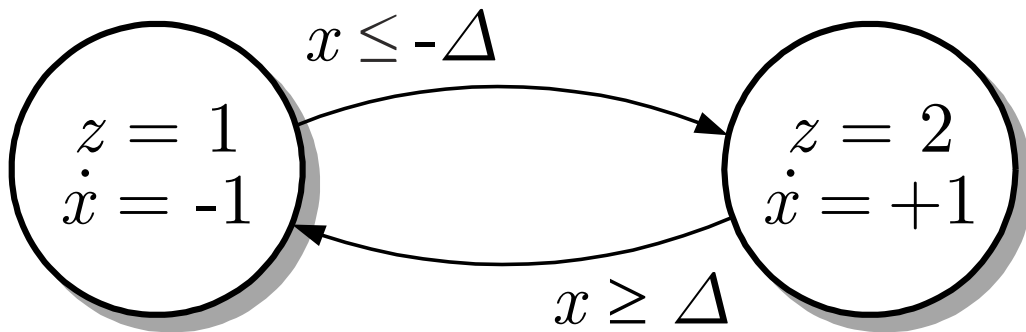
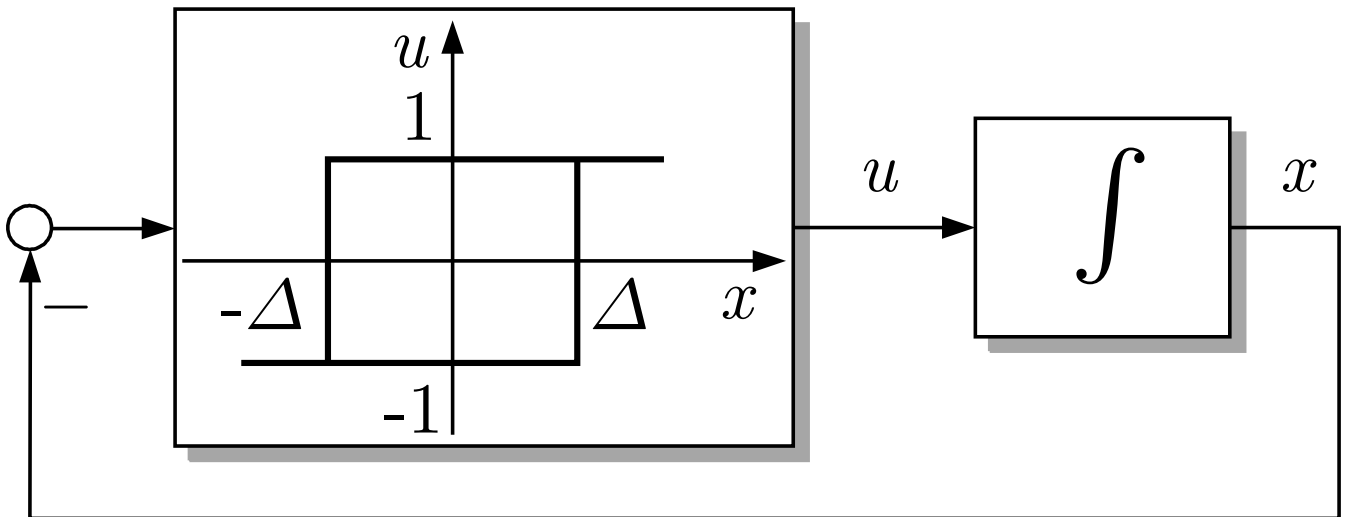


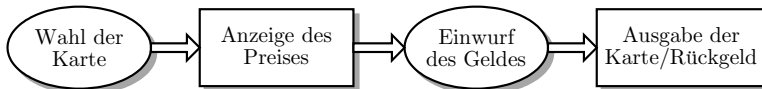
Abb. 17.3. Ausschnitt aus dem Automatengraphen eines hybriden Automaten



**Abb. 17.4: Zweipunktregelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

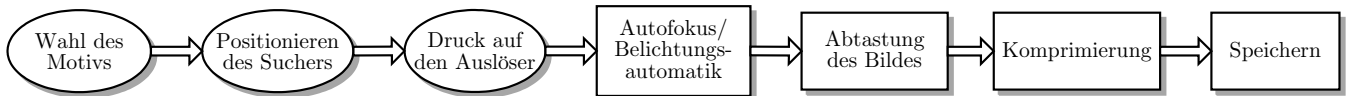
**1. Fahrkartenautomat**



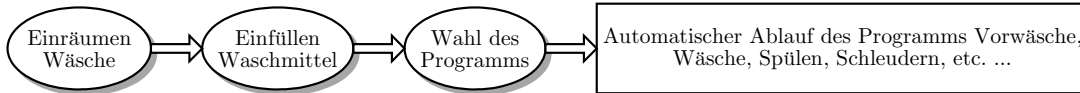
**Geldautomat**



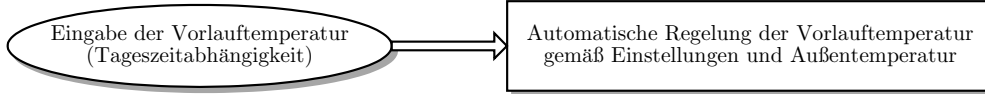
**2. Digitalkamera**



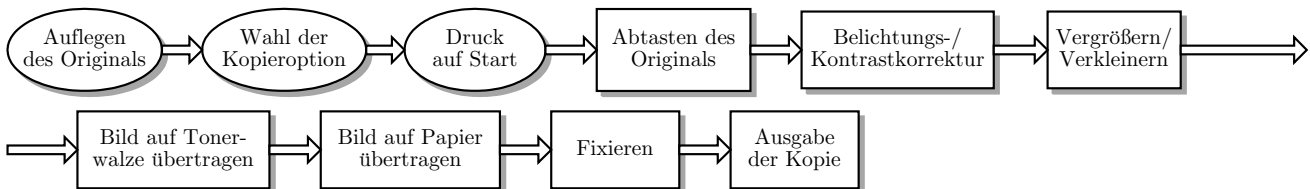
**3. Waschmaschine**



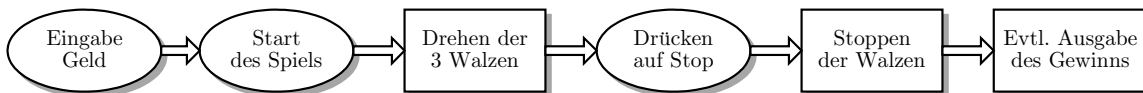
**4. Heizungsanlage**



**5. Kopiermaschine**

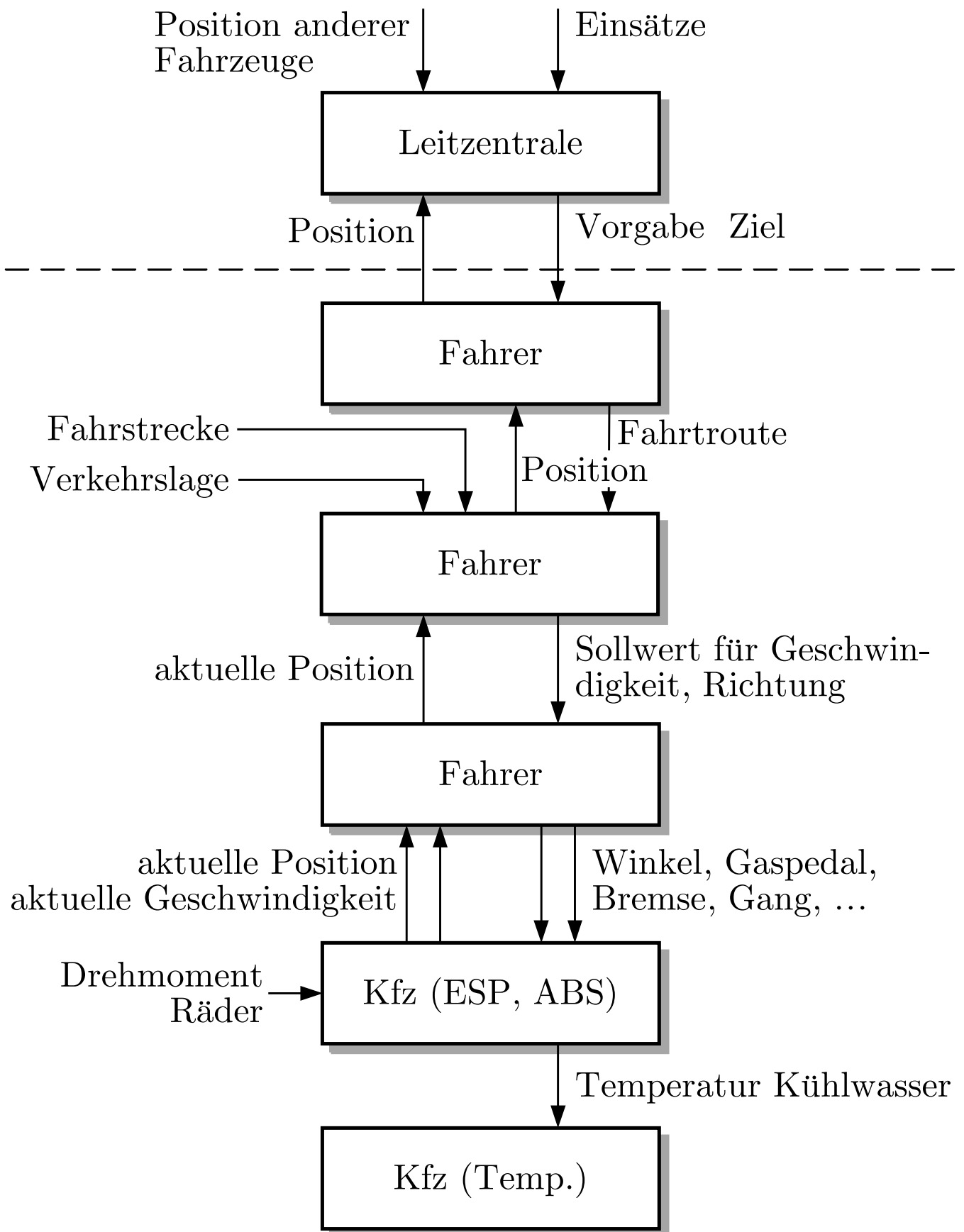


**6. Spielautomat**

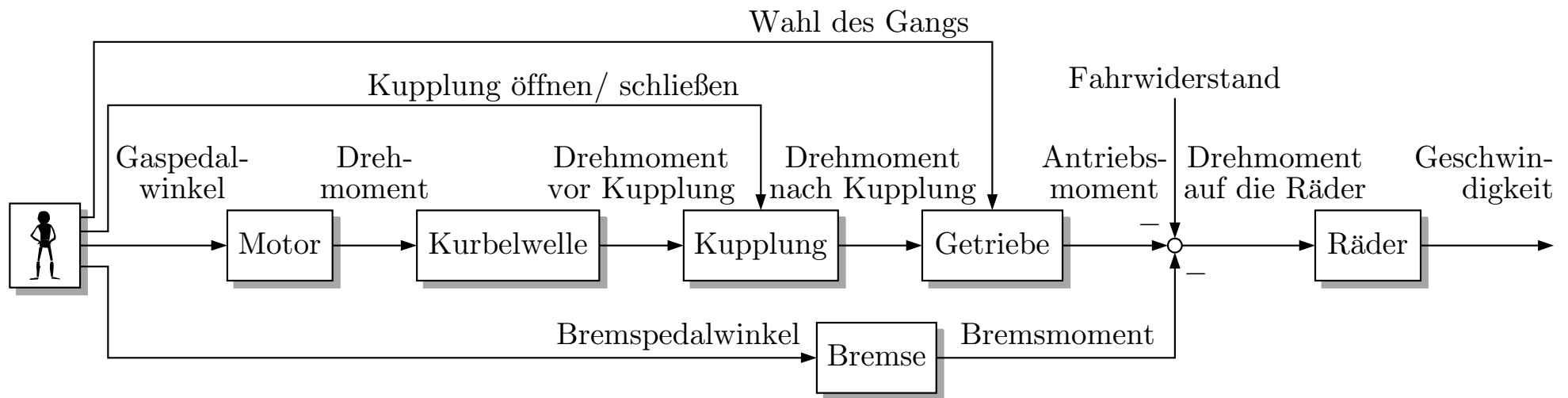


**Abb. A.1: Funktionsablauf verschiedener Geräte des täglichen Lebens**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

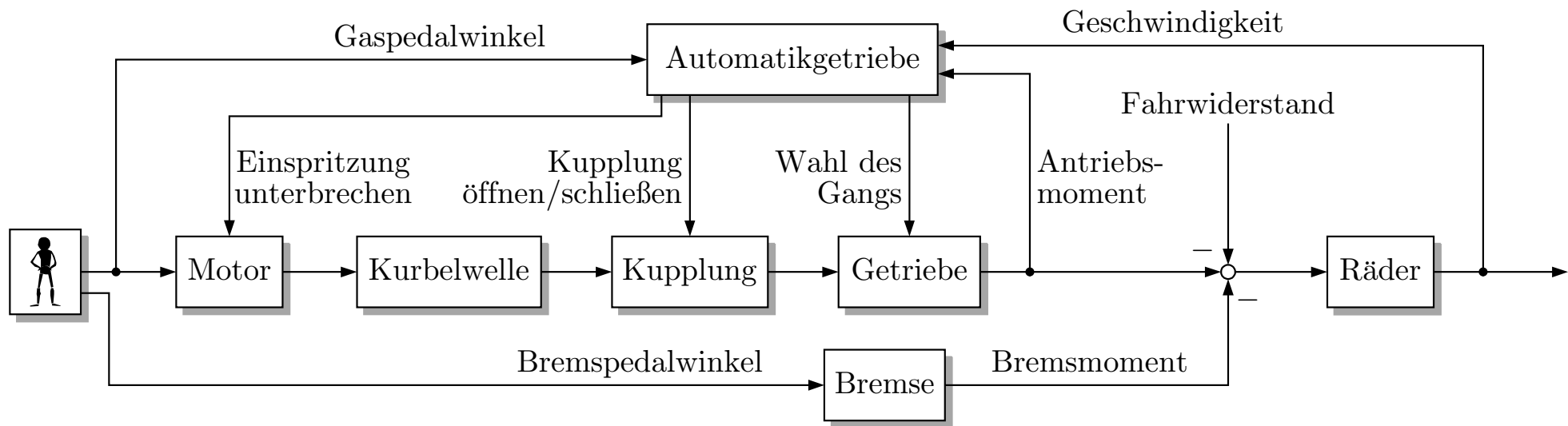


**Abb. A.2: Automatisierungsebenen beim Autofahren**



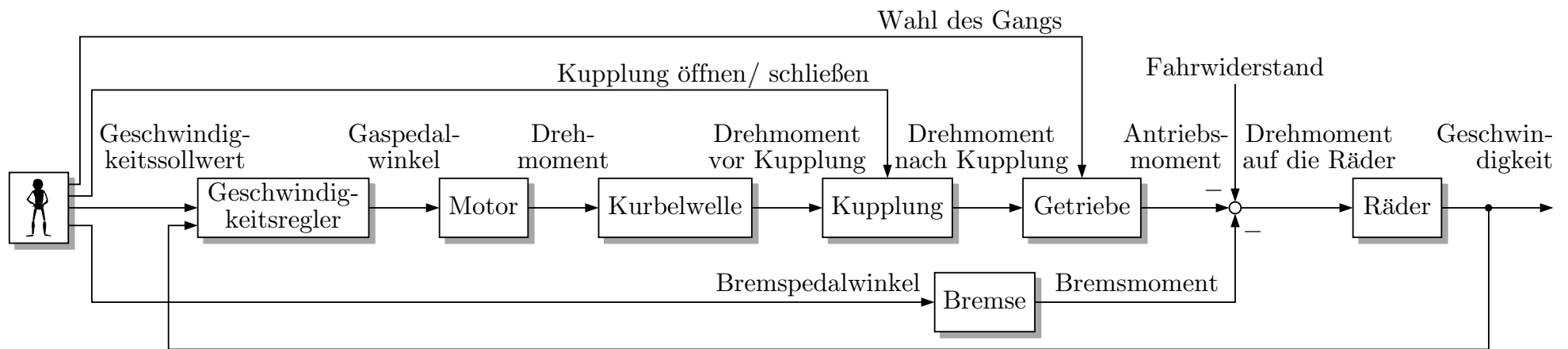
**Abb. A.3. Blockschaltbild des Antriebsstrangs**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



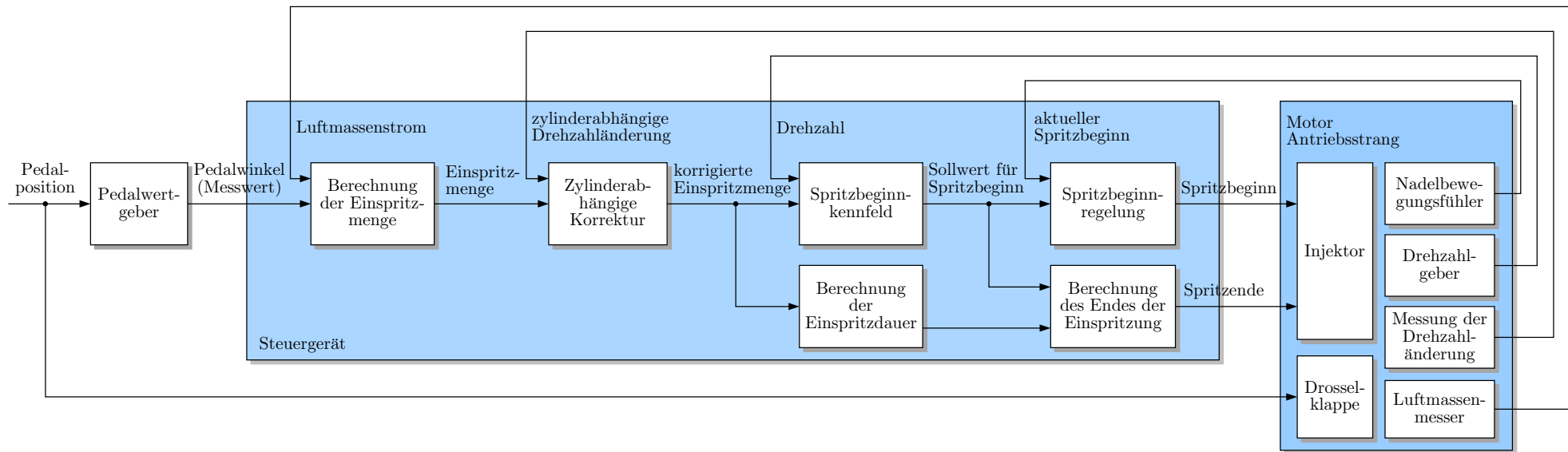
**Abb. A.4. Blockschaltbild mit Automatikgetriebe**

*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*



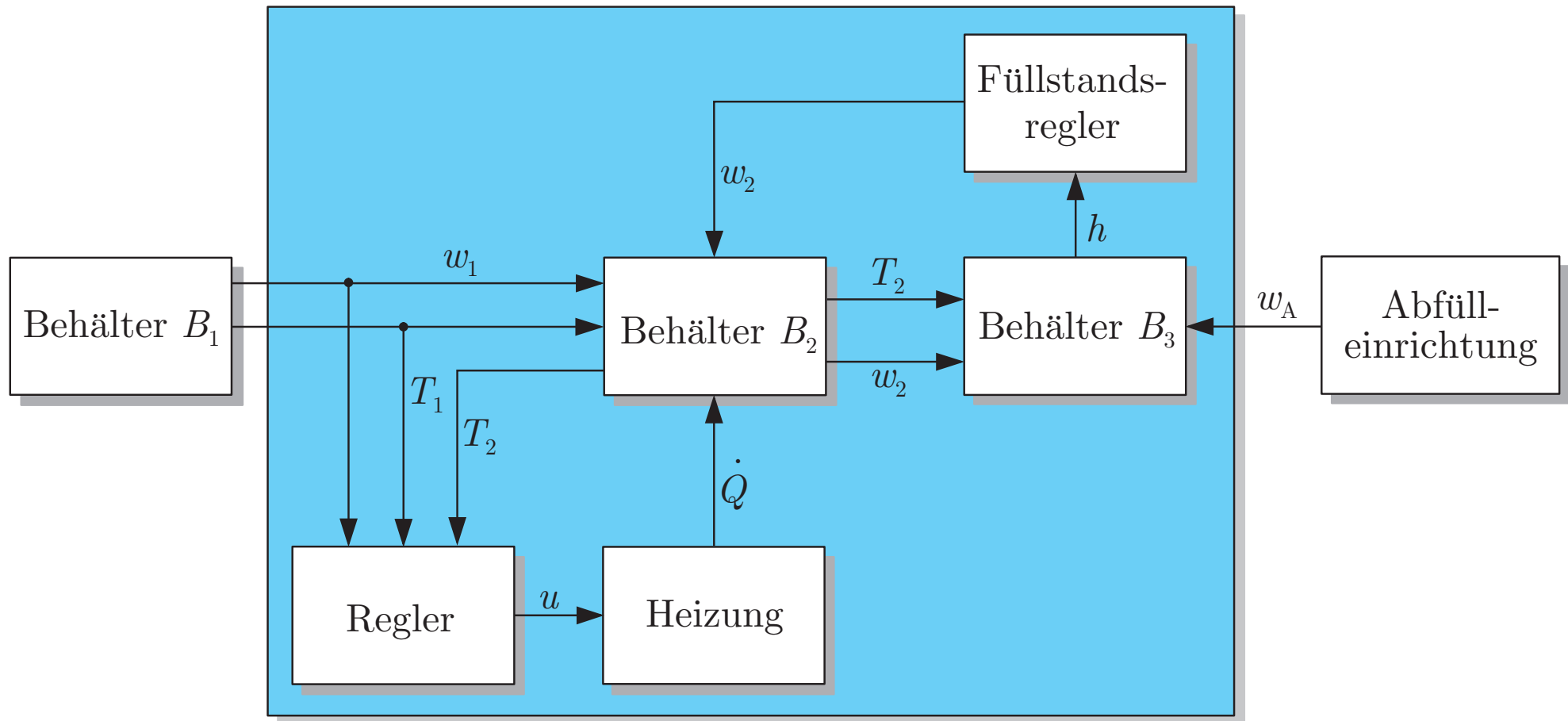
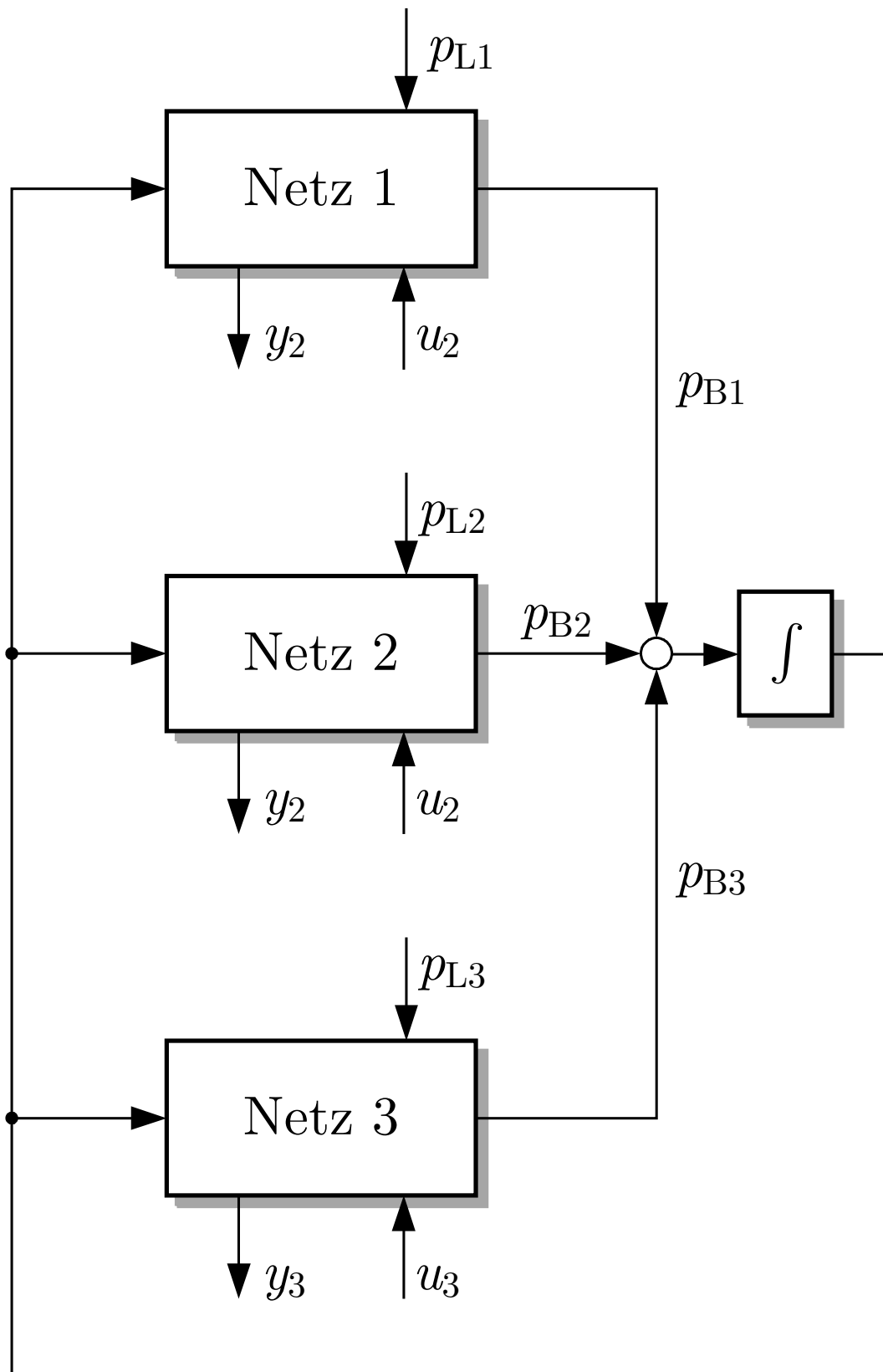


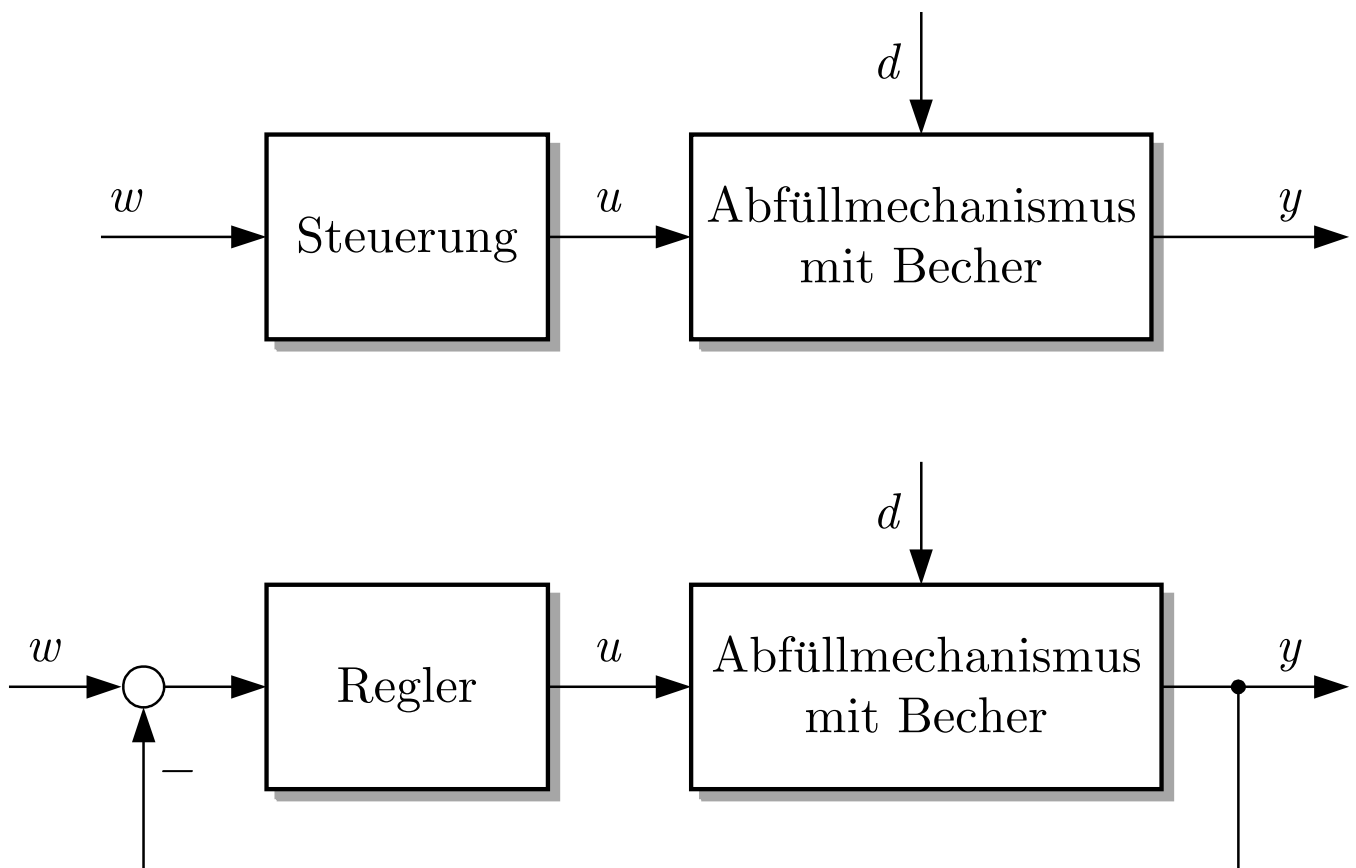
Abb. A.7. Kopplungsstruktur der erweiterten Abfüllanlage

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



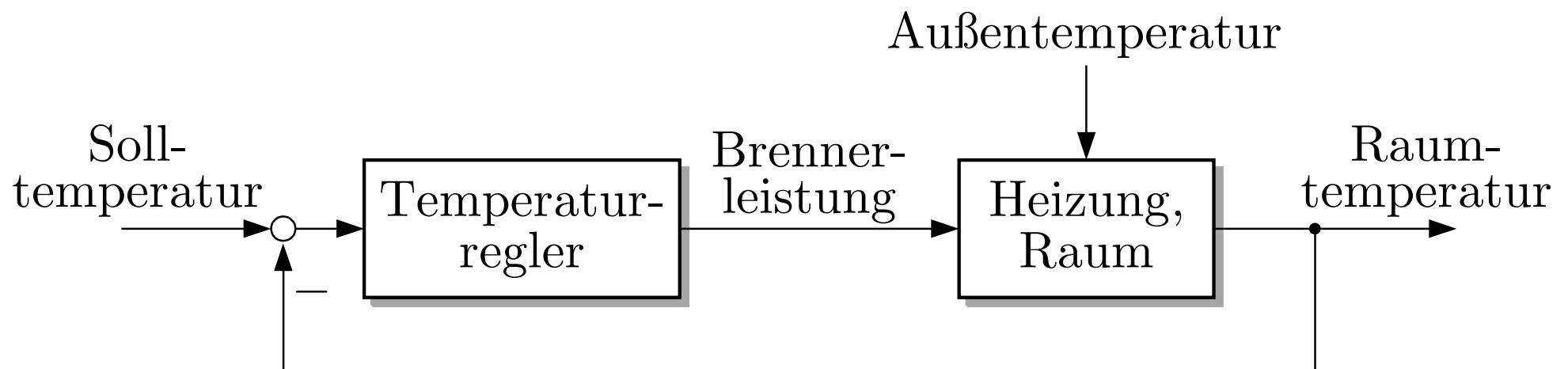
**Abb. A.8. Elektroenergiesystem mit drei Teilnetzen**

*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*

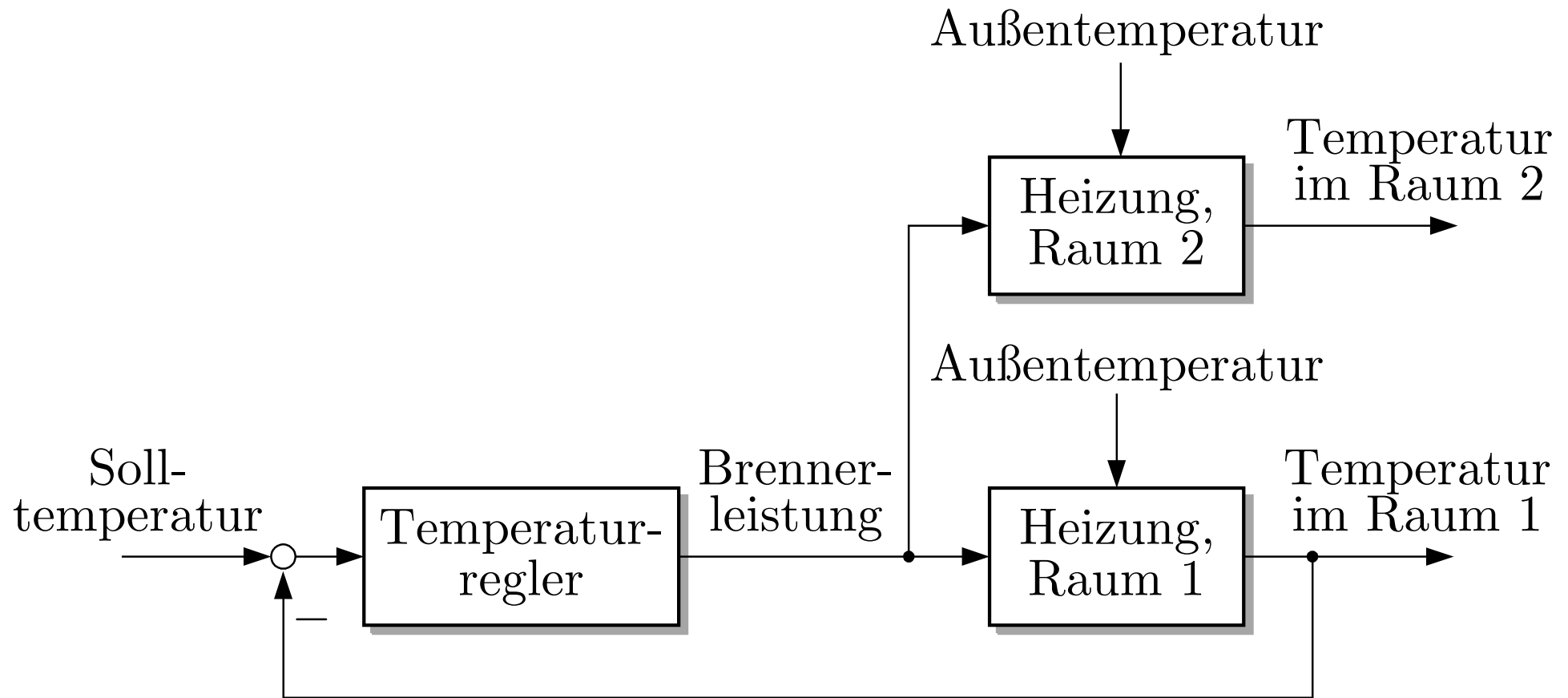


Abb. A.11. Erweitertes Blockschaltbild der Raumtemperaturregelung

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

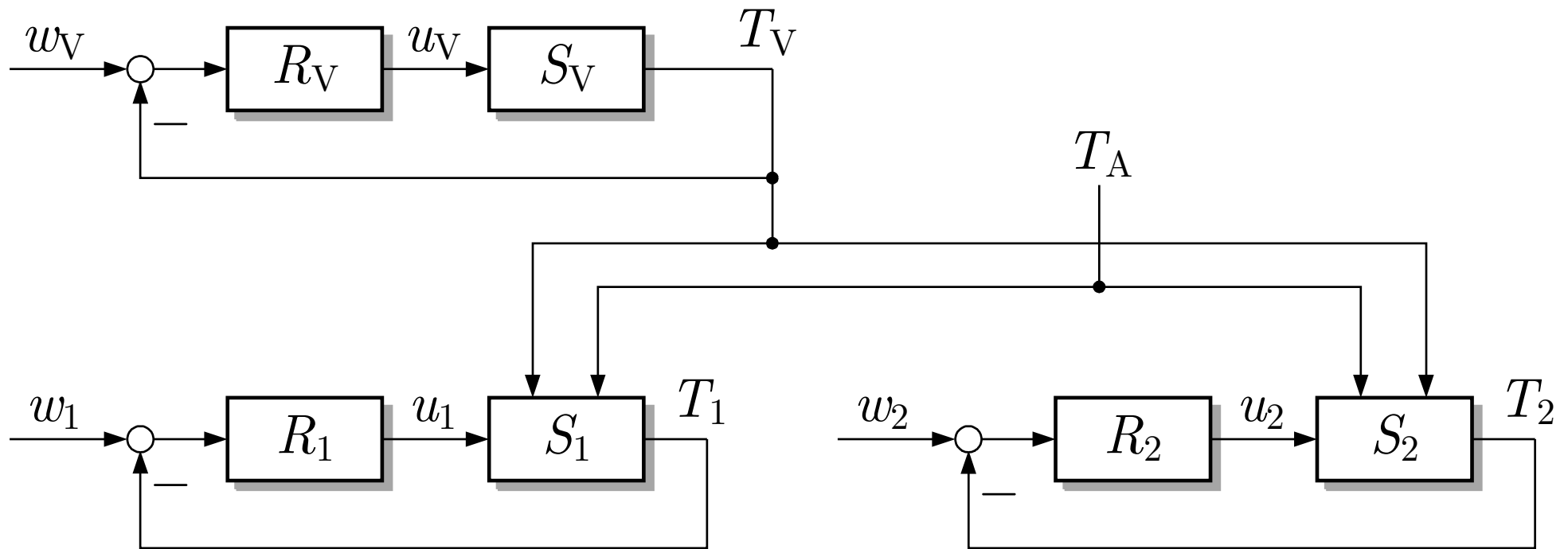
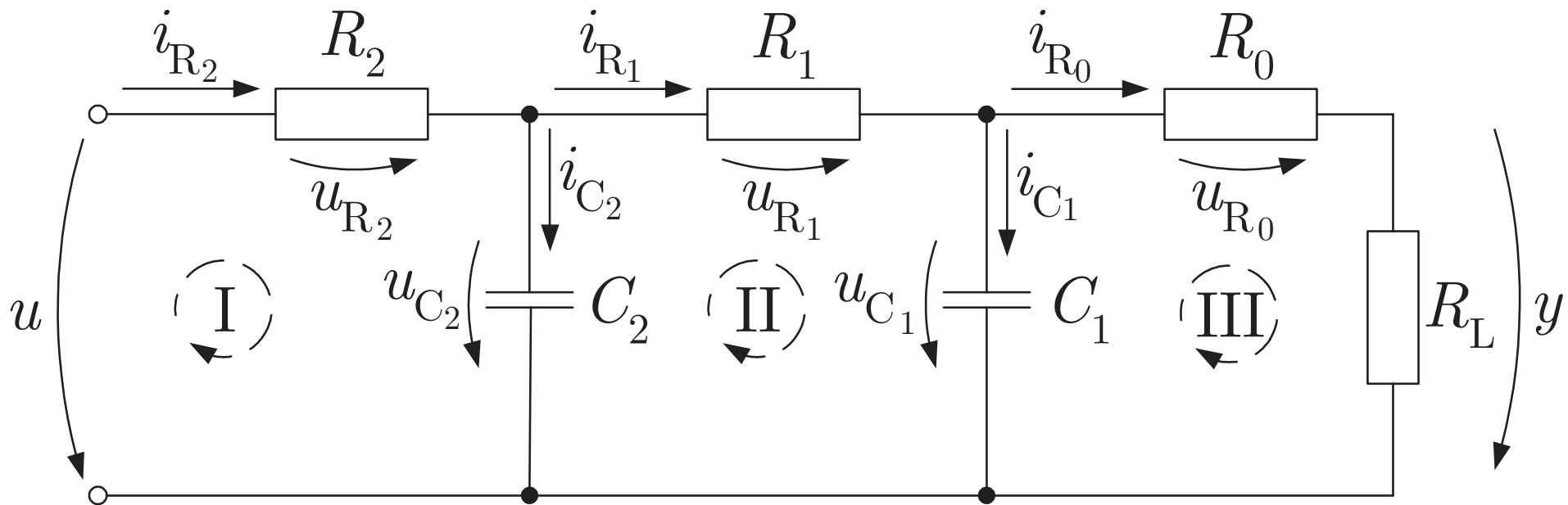


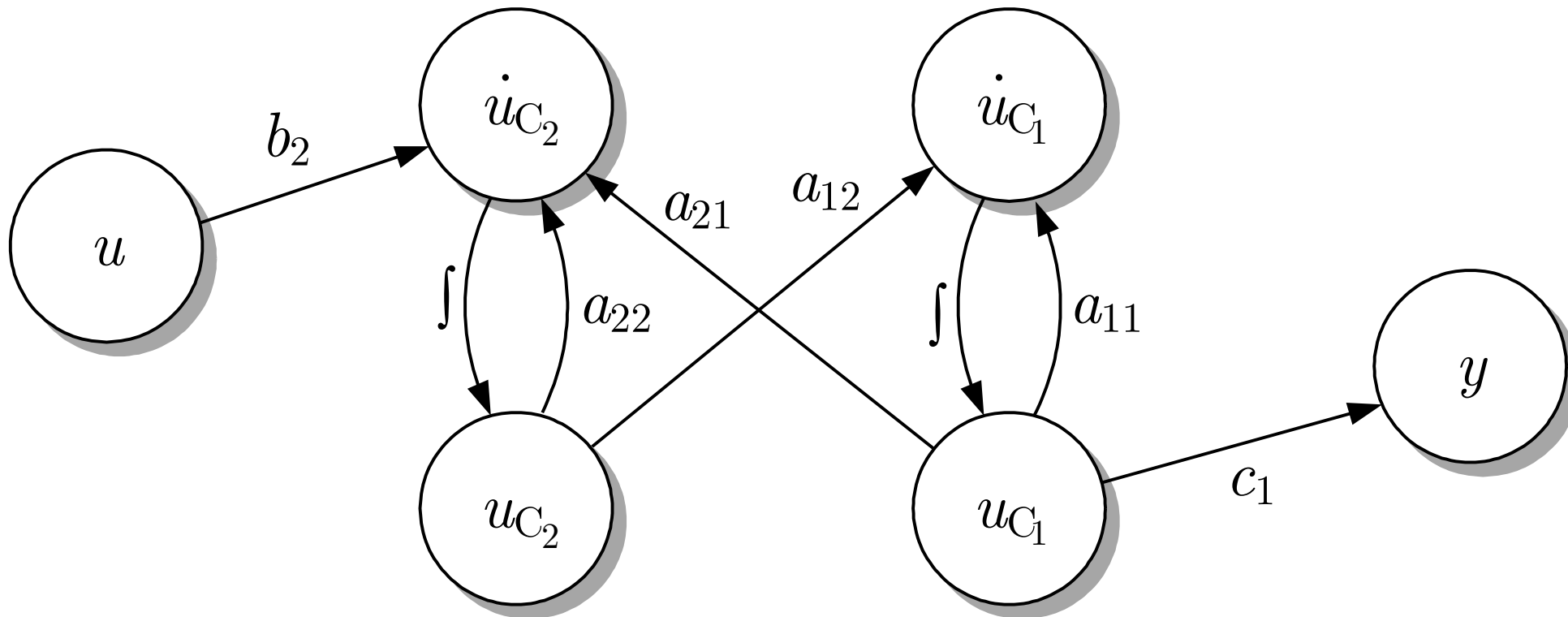
Abb. A.12. Erweitertes Blockschaltbild der Raumtemperaturregelung

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

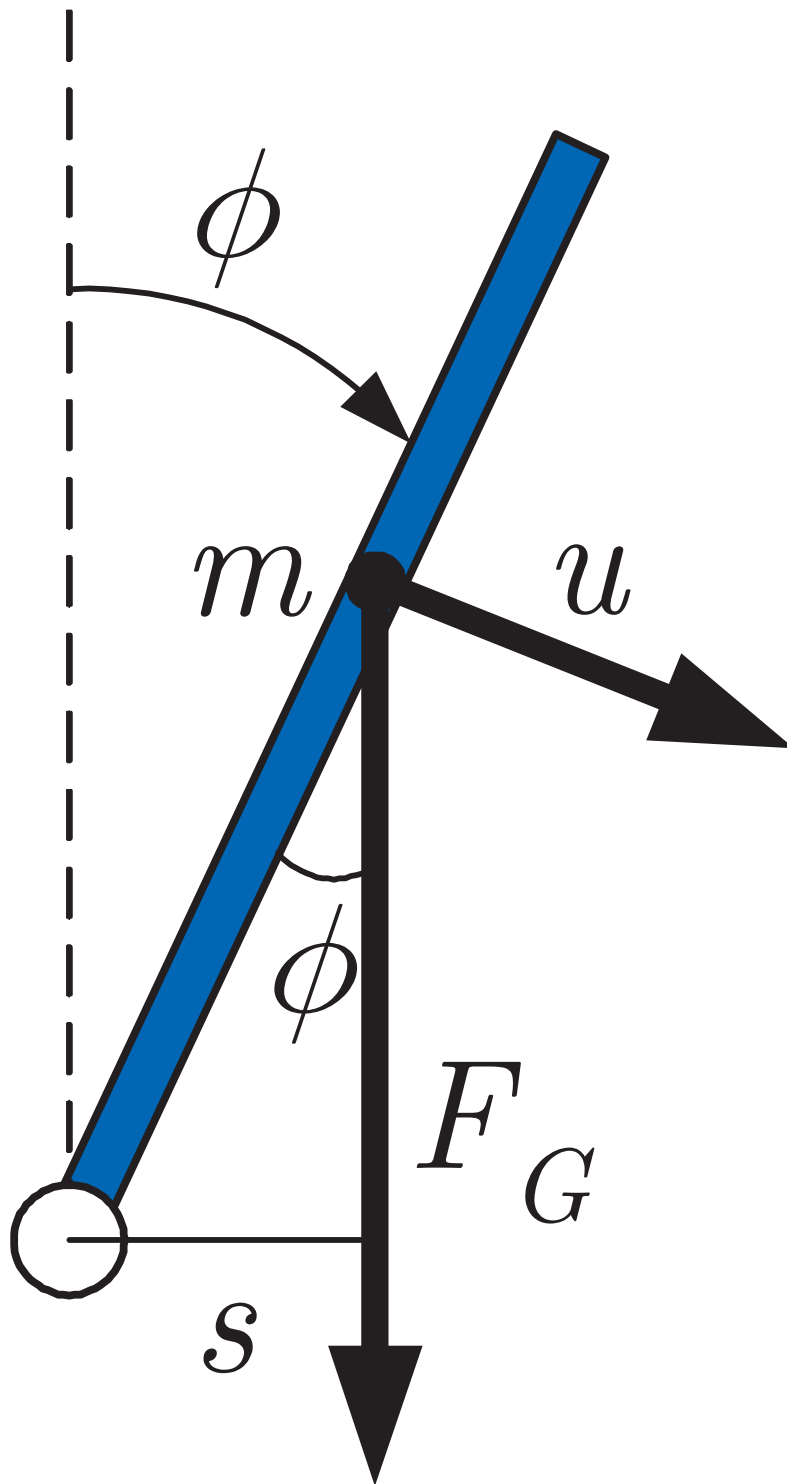
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. A.14. Signalflussgraph der elektrischen Schaltung**

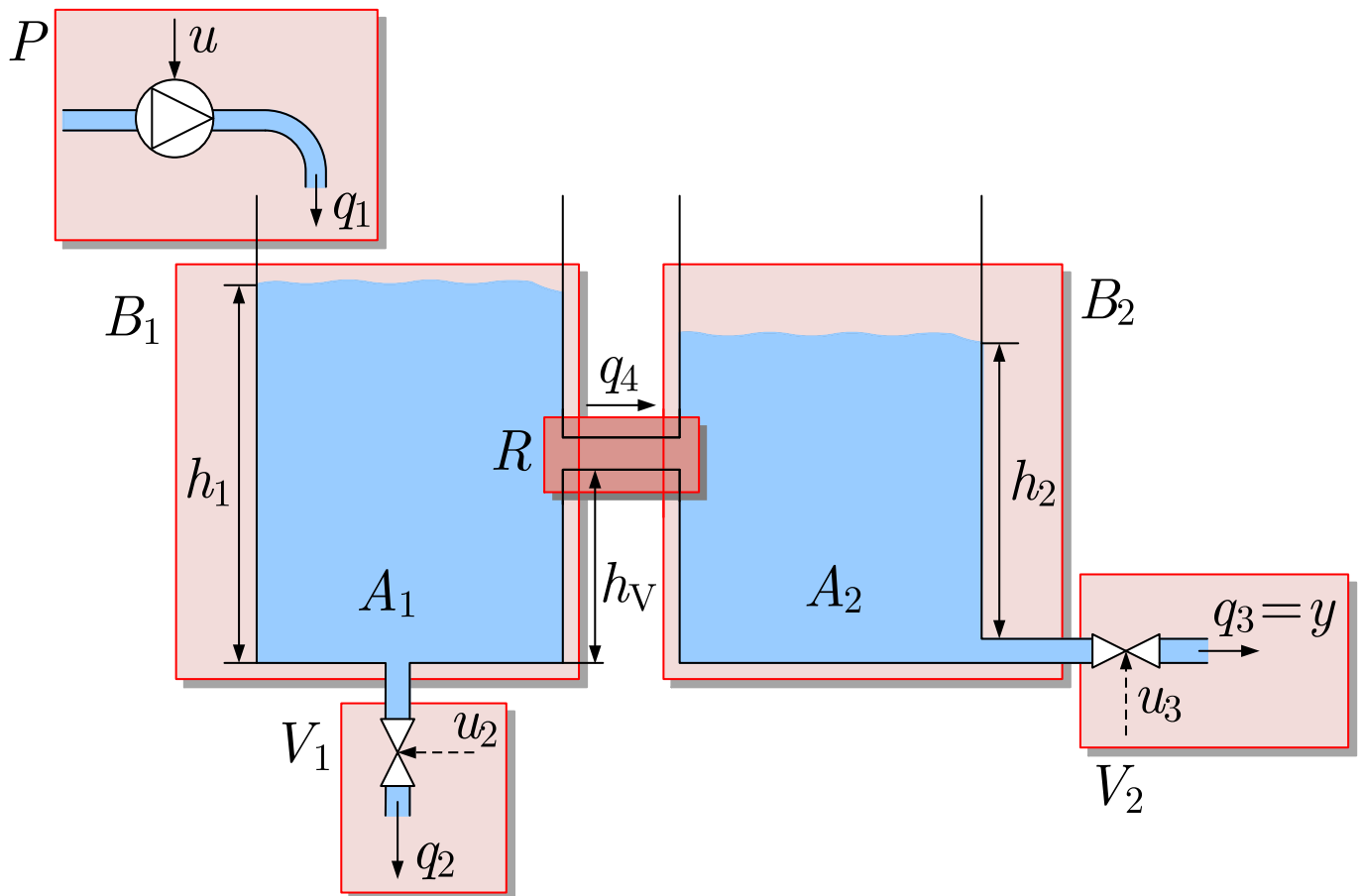
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





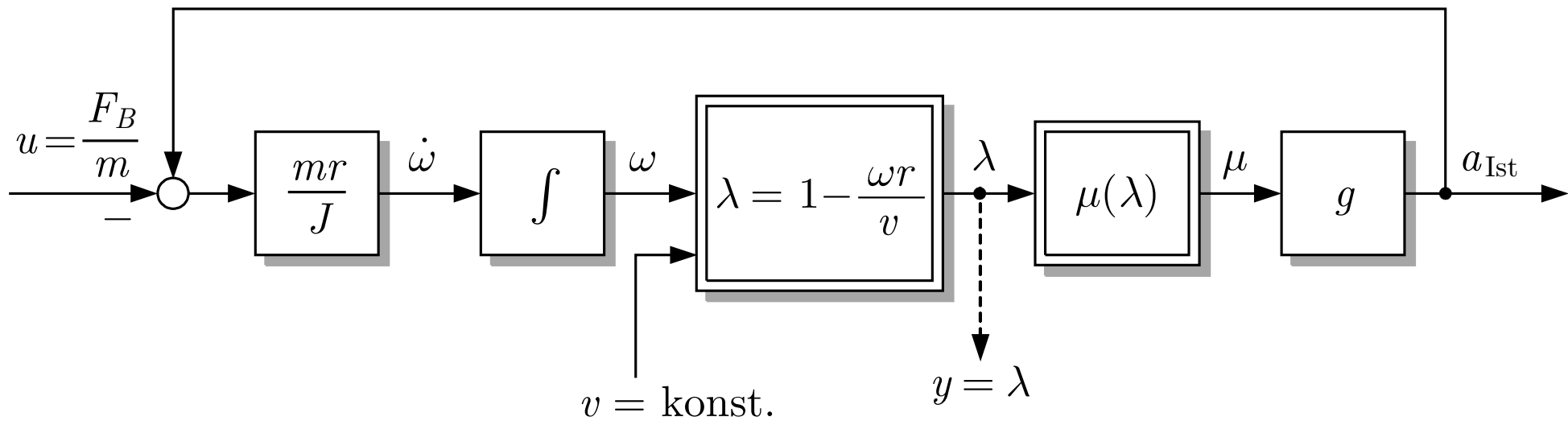
**Abb. A.15. Kräfte am invertierten Pendel**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



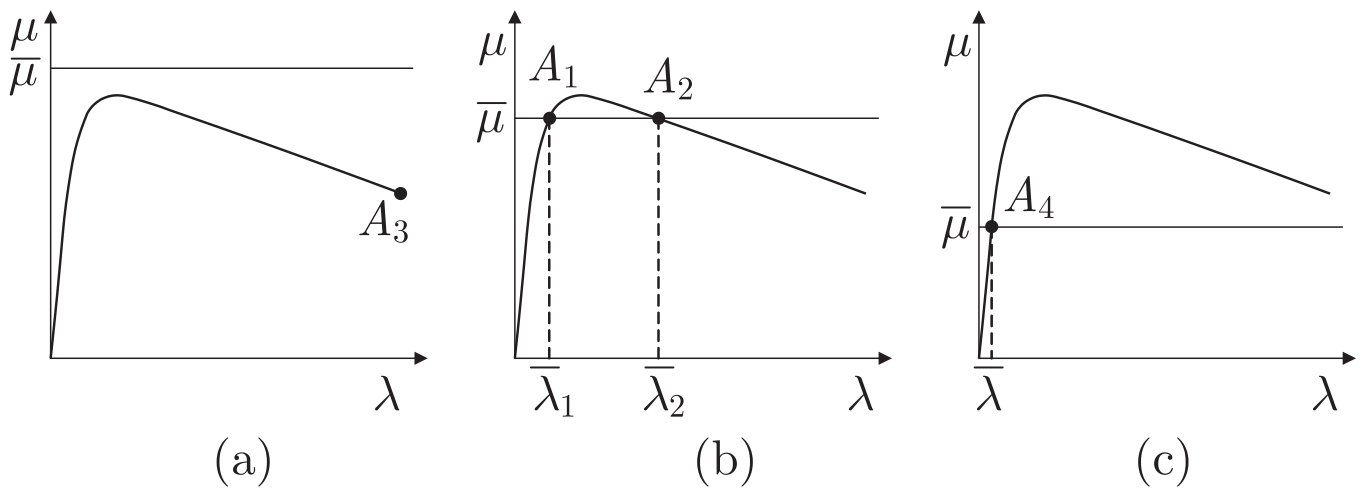
**Abb. A.16: Komponenten des Behältersystems mit den verwendeten Bezeichnungen**

*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*

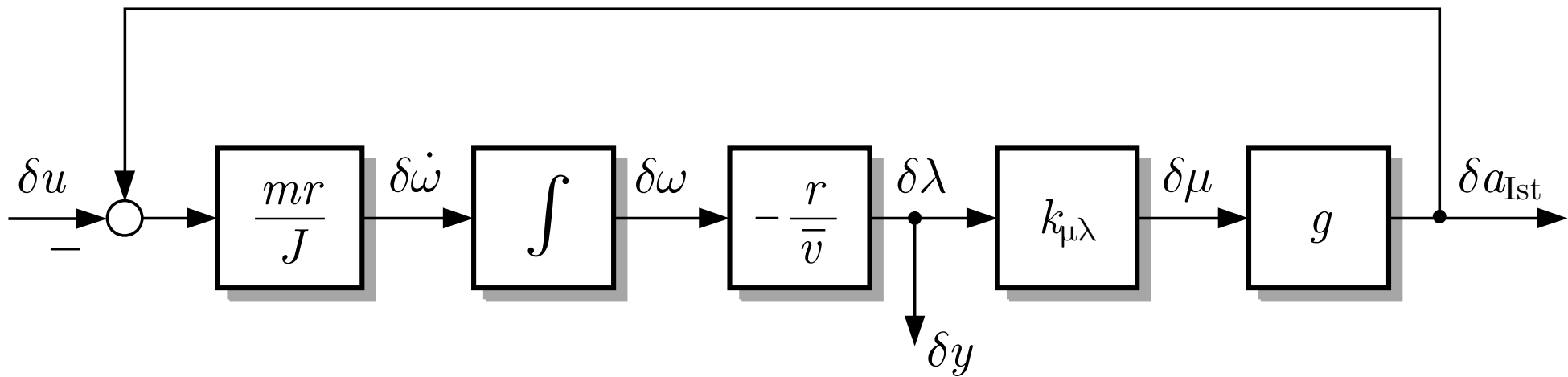


Abb. A.19. Blockschaltbild des linearisierten Modells

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

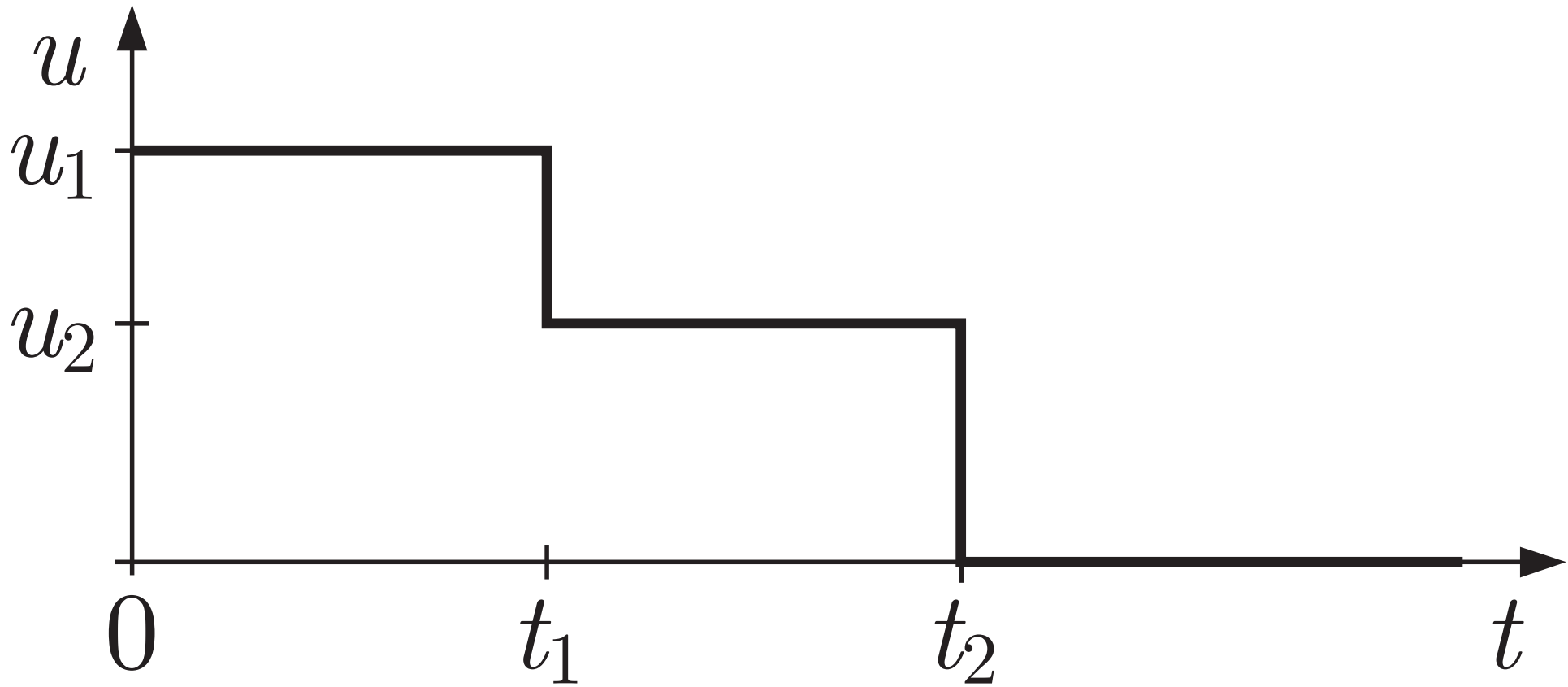
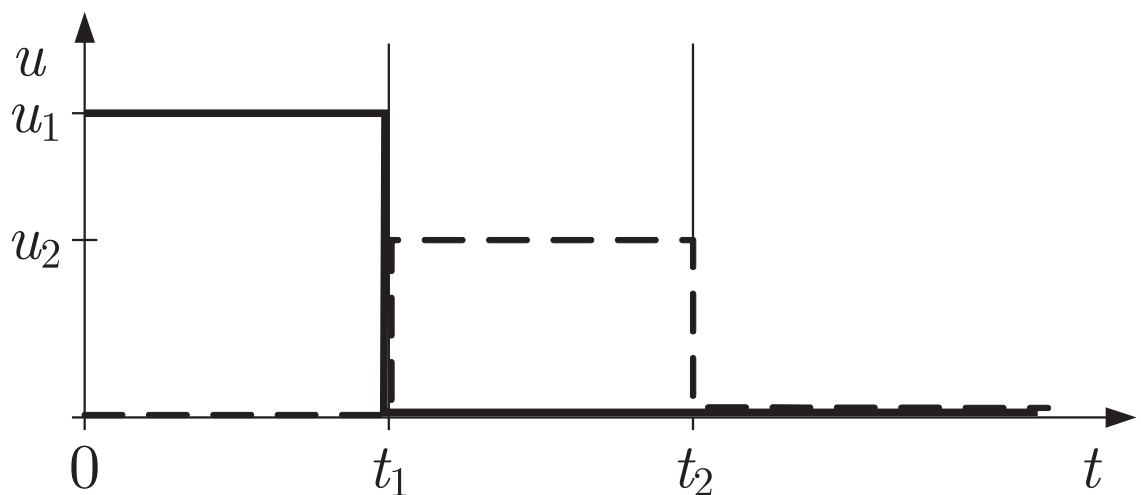
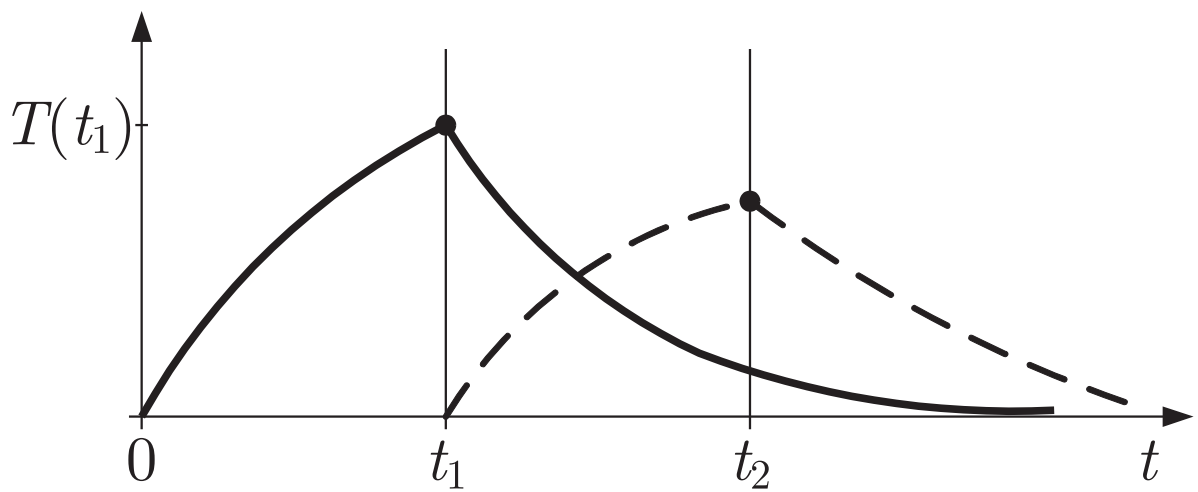
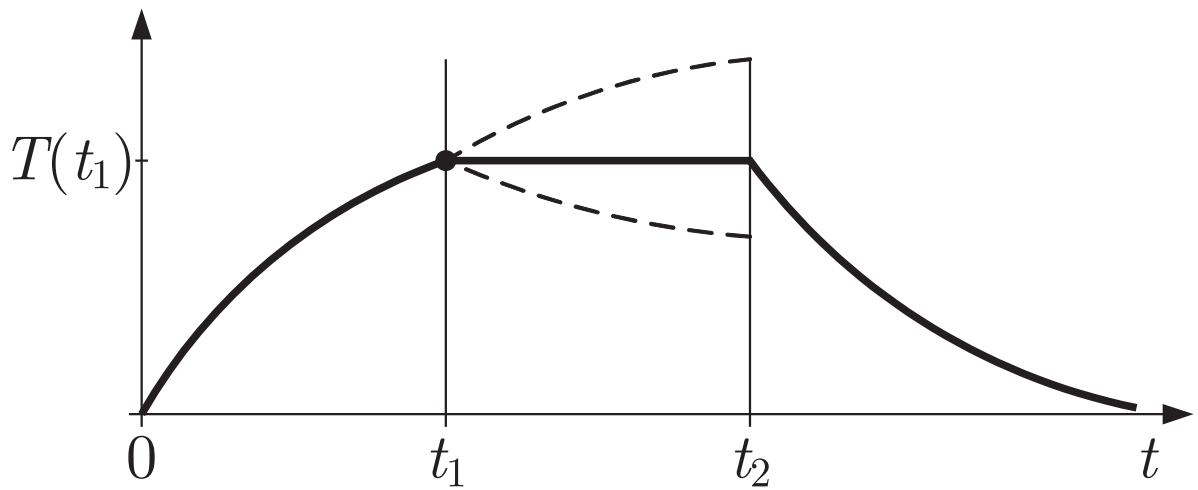
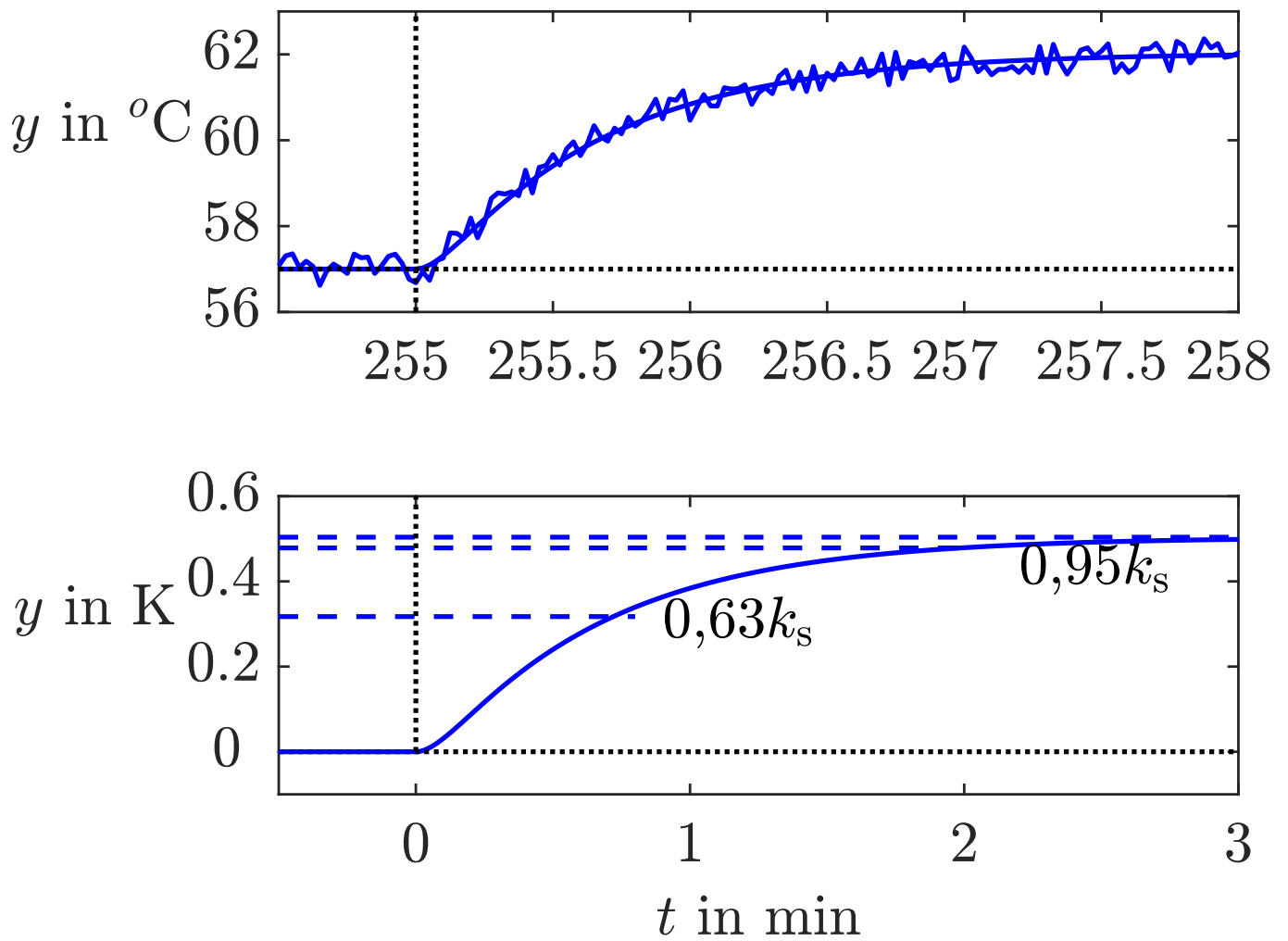


Abb. A.20. Verlauf der Eingangsgröße

*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*



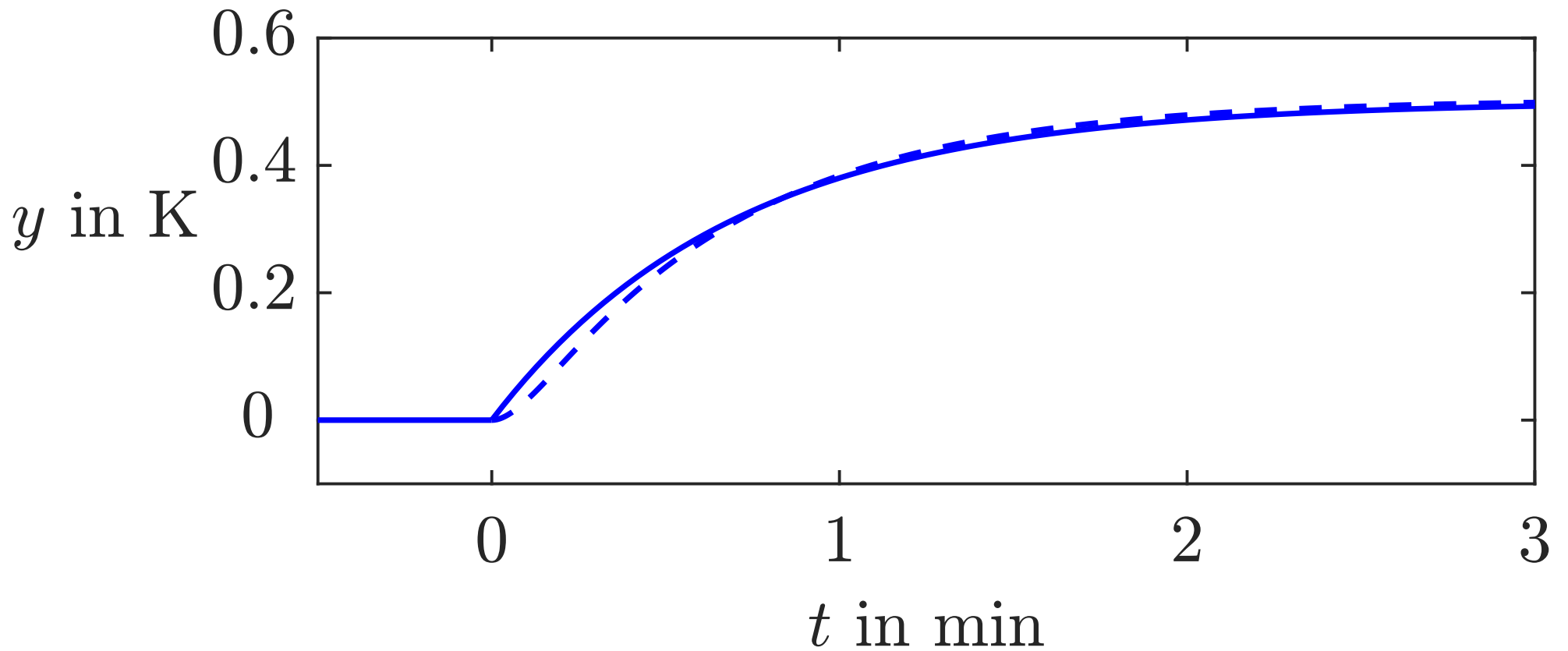
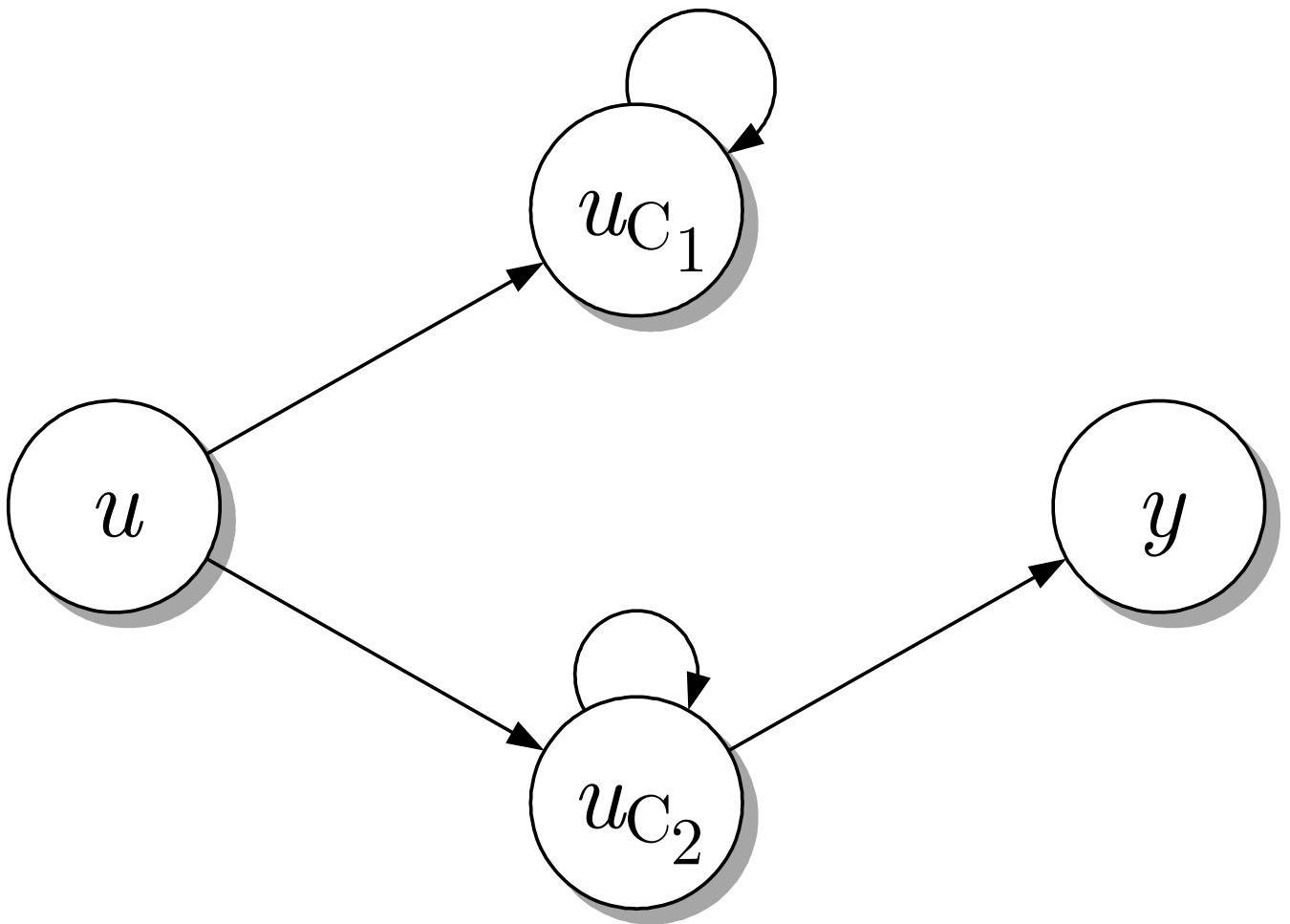


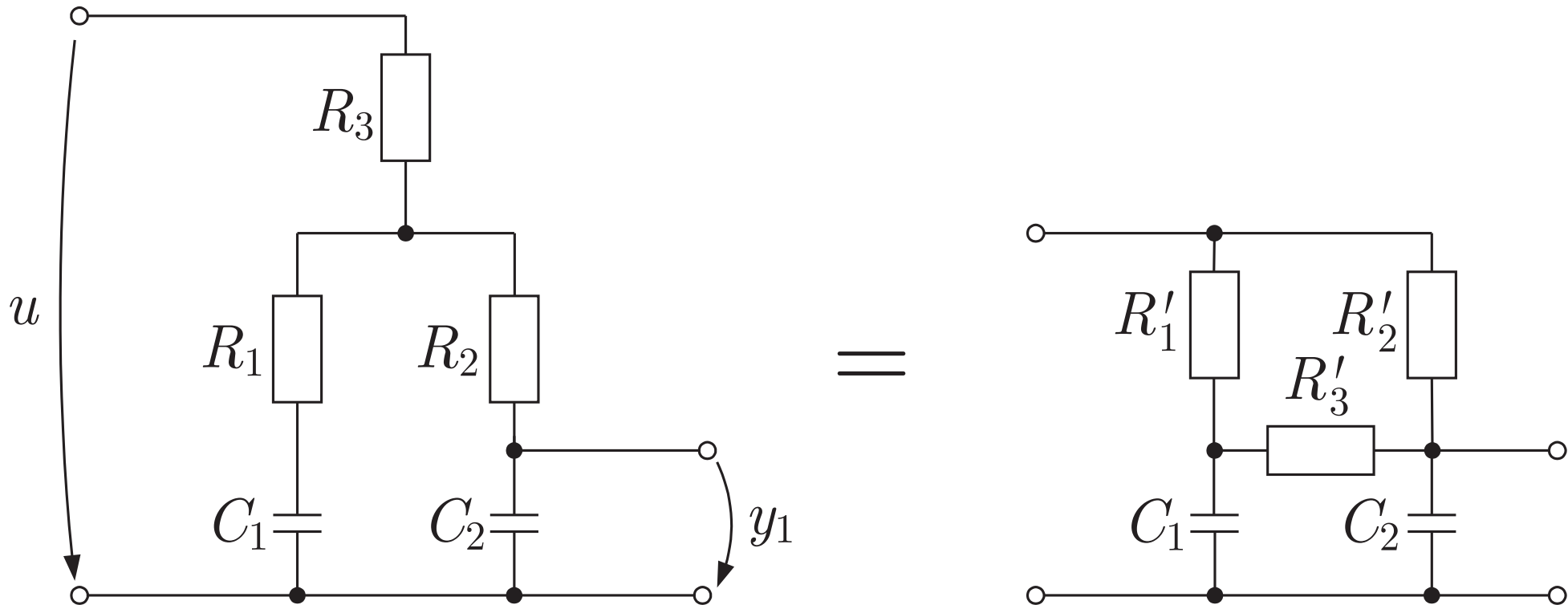
Abb. A.23. Vergleich von Modell (—) und Experiment (- - -)

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



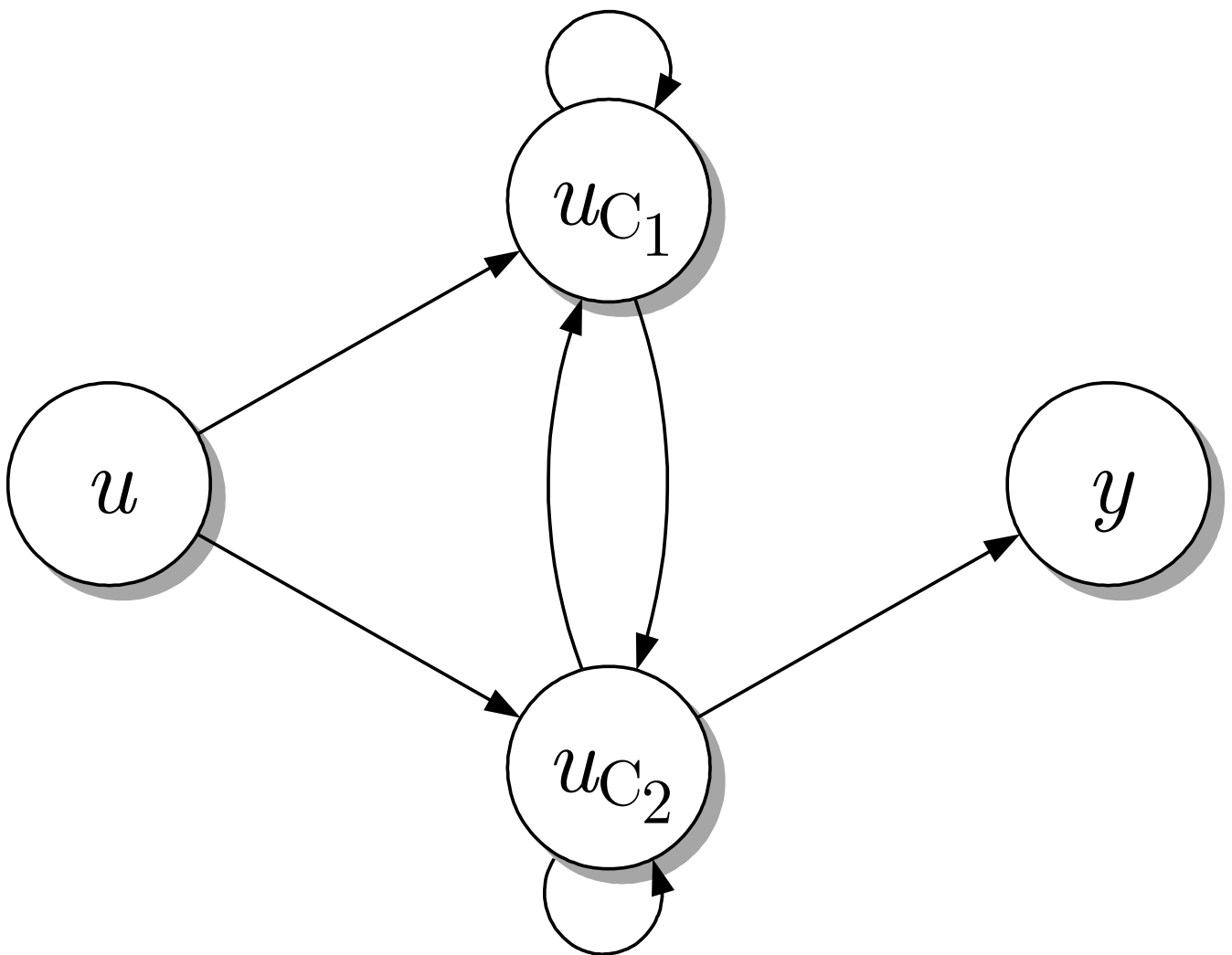
**Abb. A.24: Strukturgraph der RC-Schaltung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



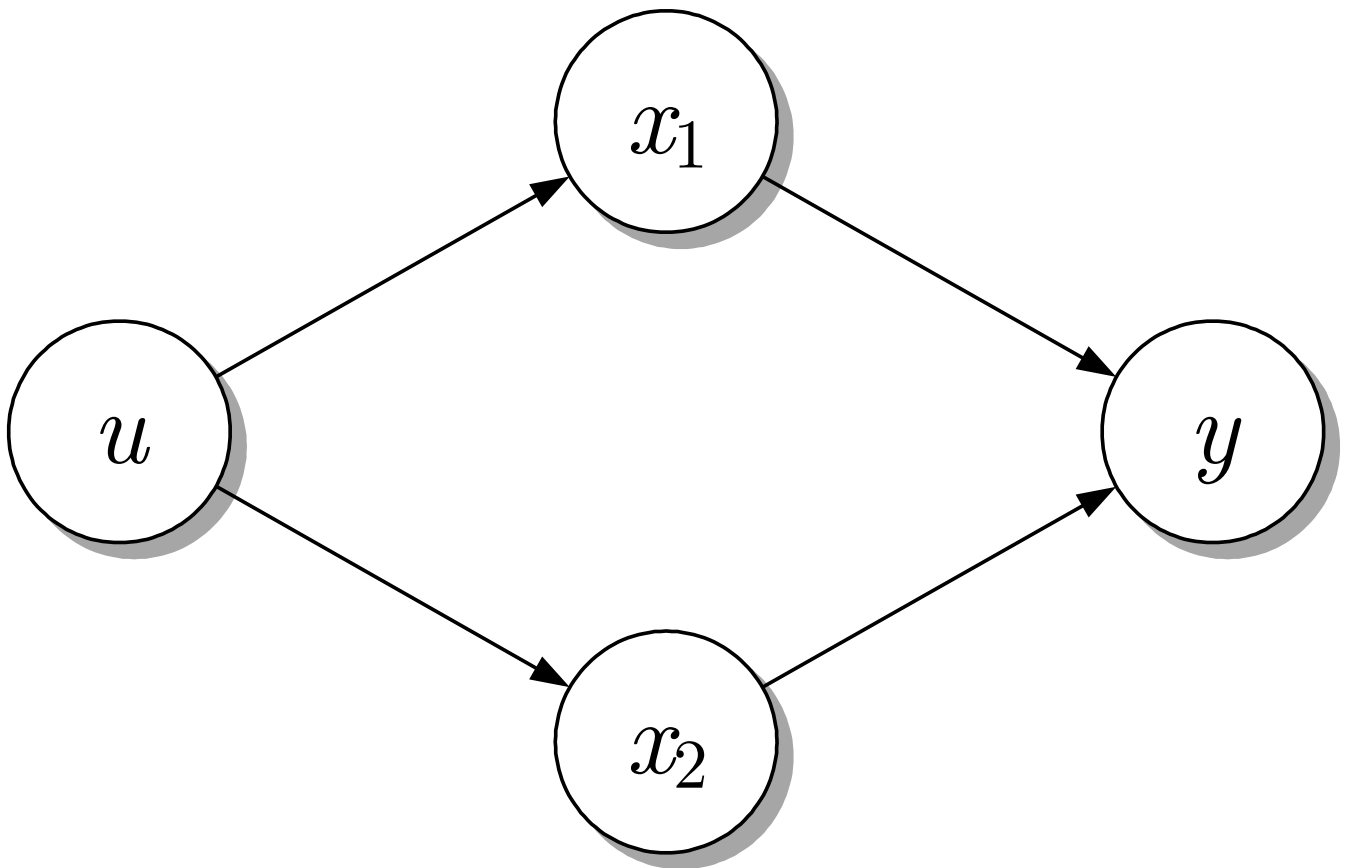
**Abb. A.25. Veränderte RC-Schaltung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



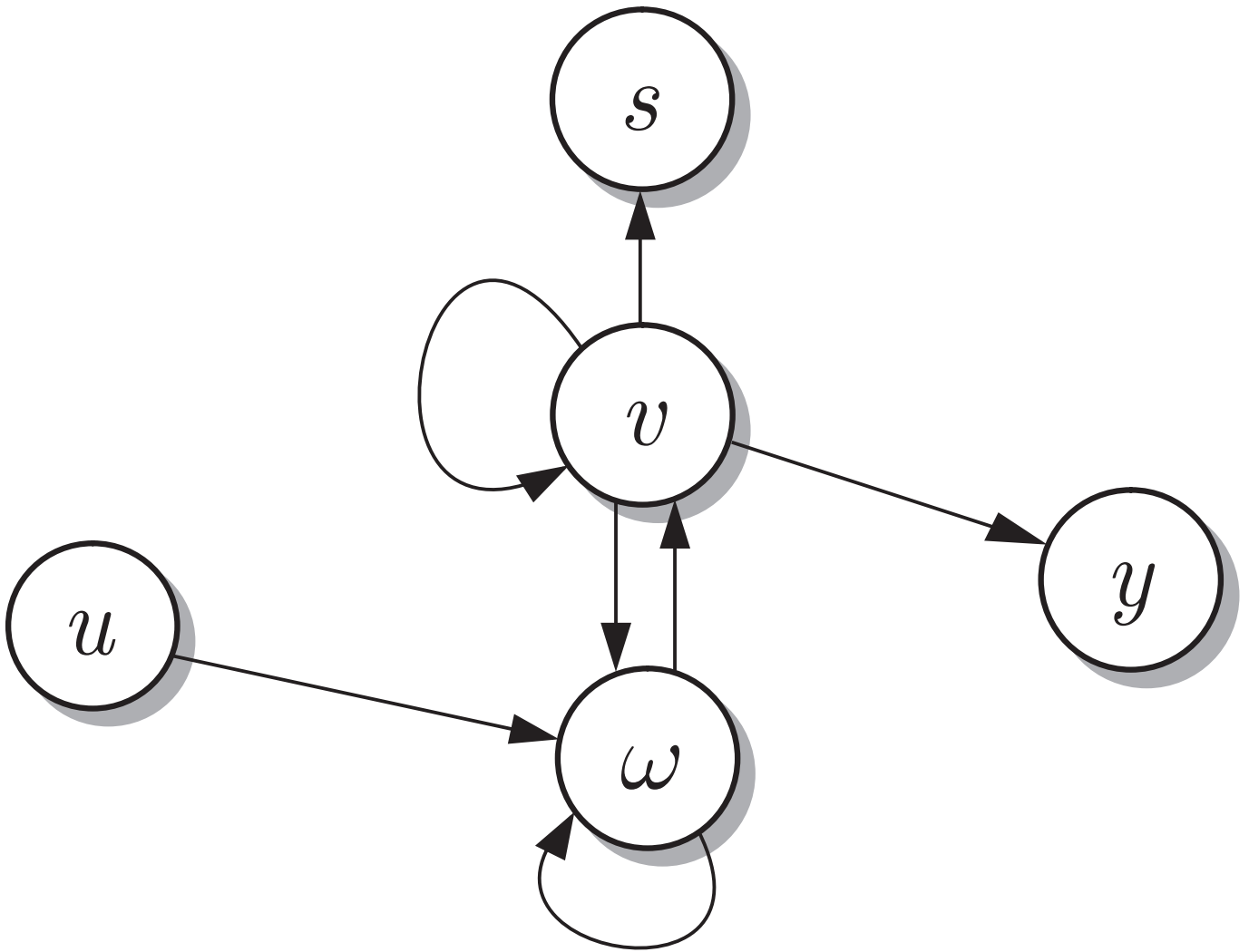
**Abb. A.26: Strukturgraph der veränderten RC-Schaltung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



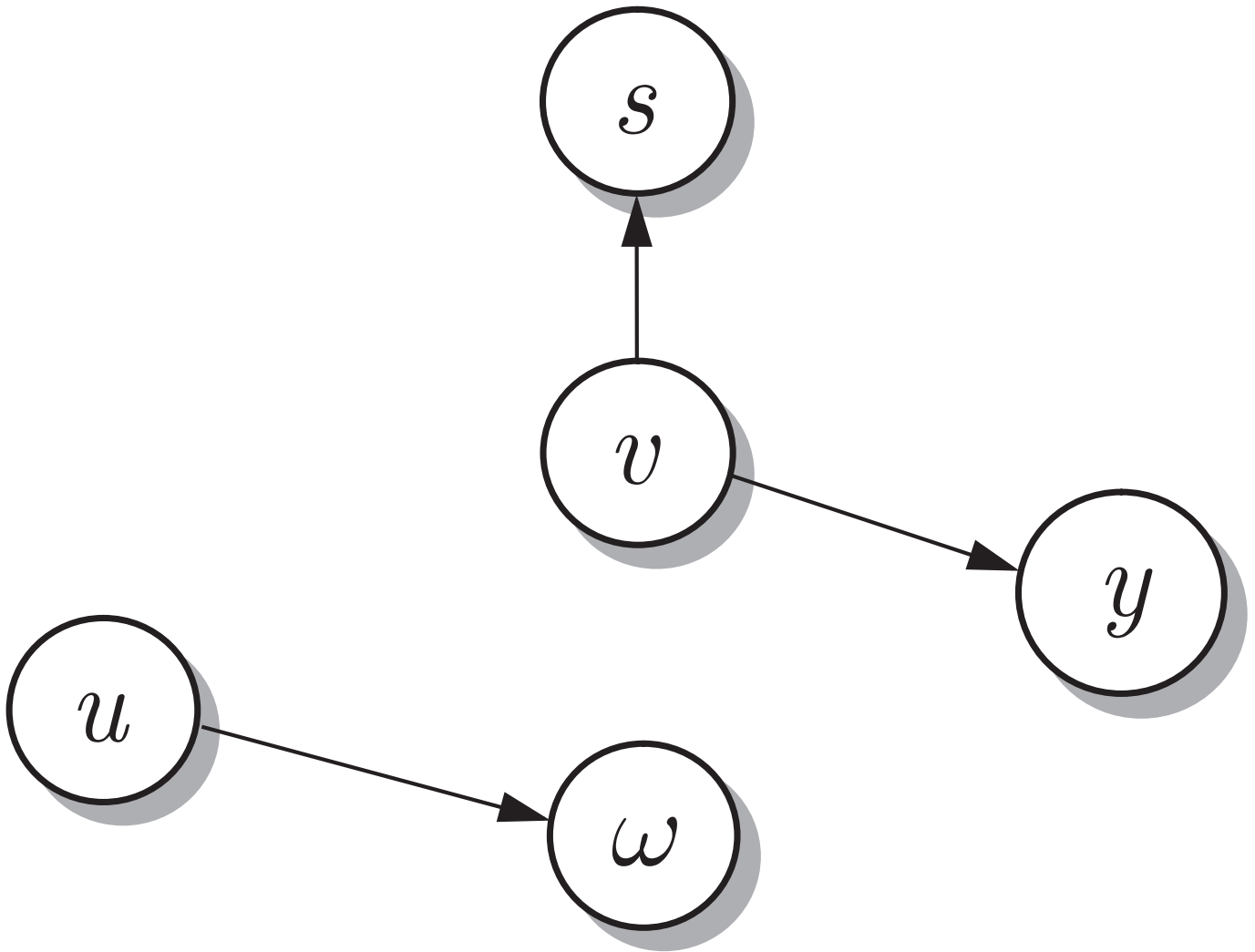
**Abb. A.27: Strukturgraph zweier parallel geschalteter Integratoren**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



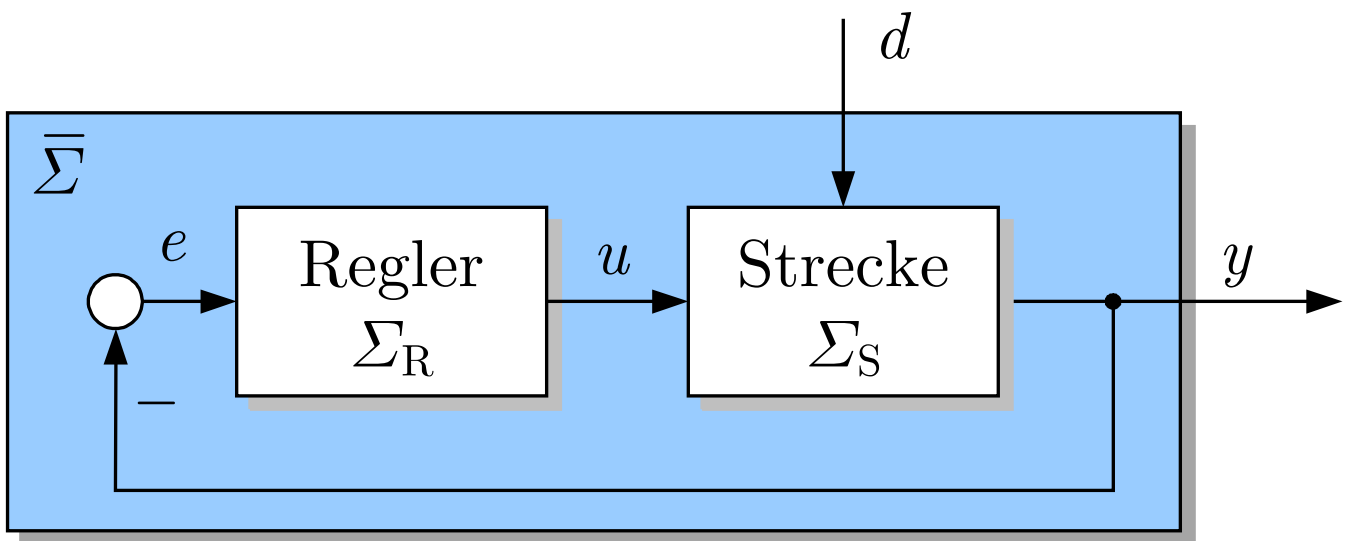
**Abb. A.28: Strukturgraph des Modells zur Beschreibung des Abbremsvorgangs**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

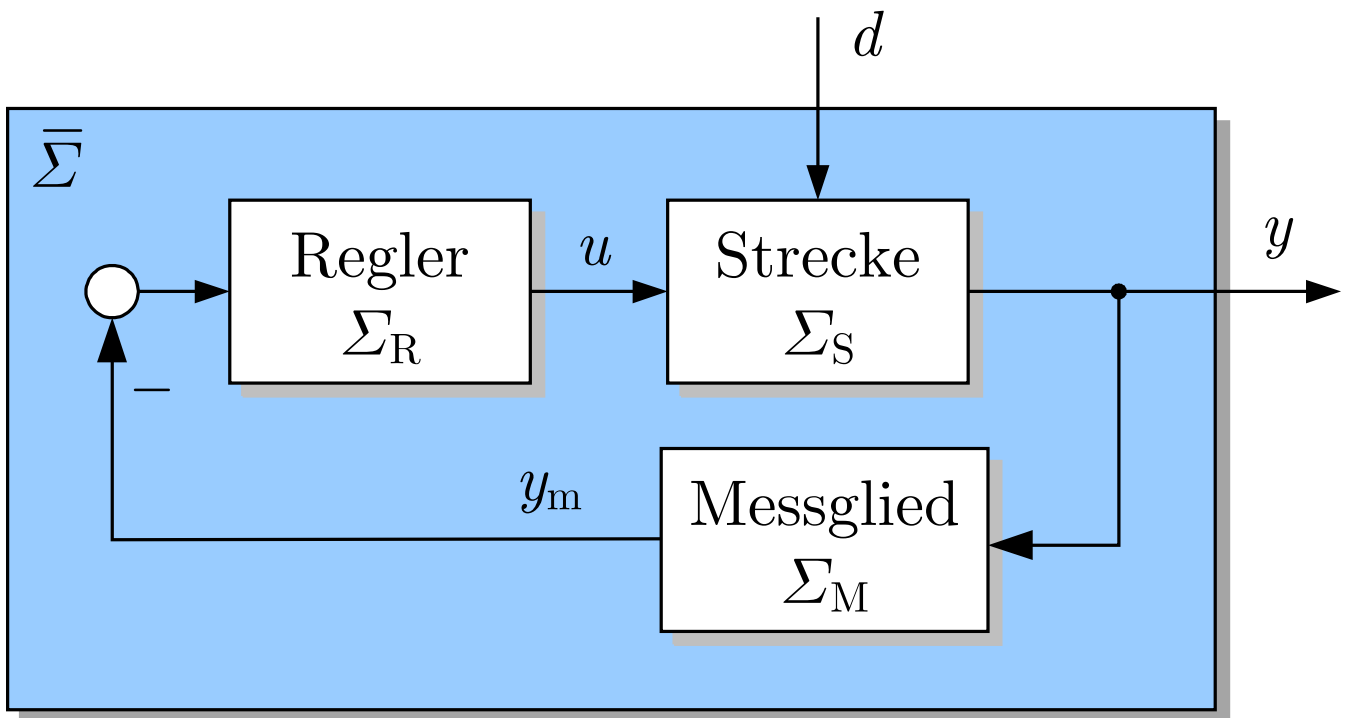
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. A.30: Regelkreis**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**Abb. A.30: Regelkreis mit Messglied**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

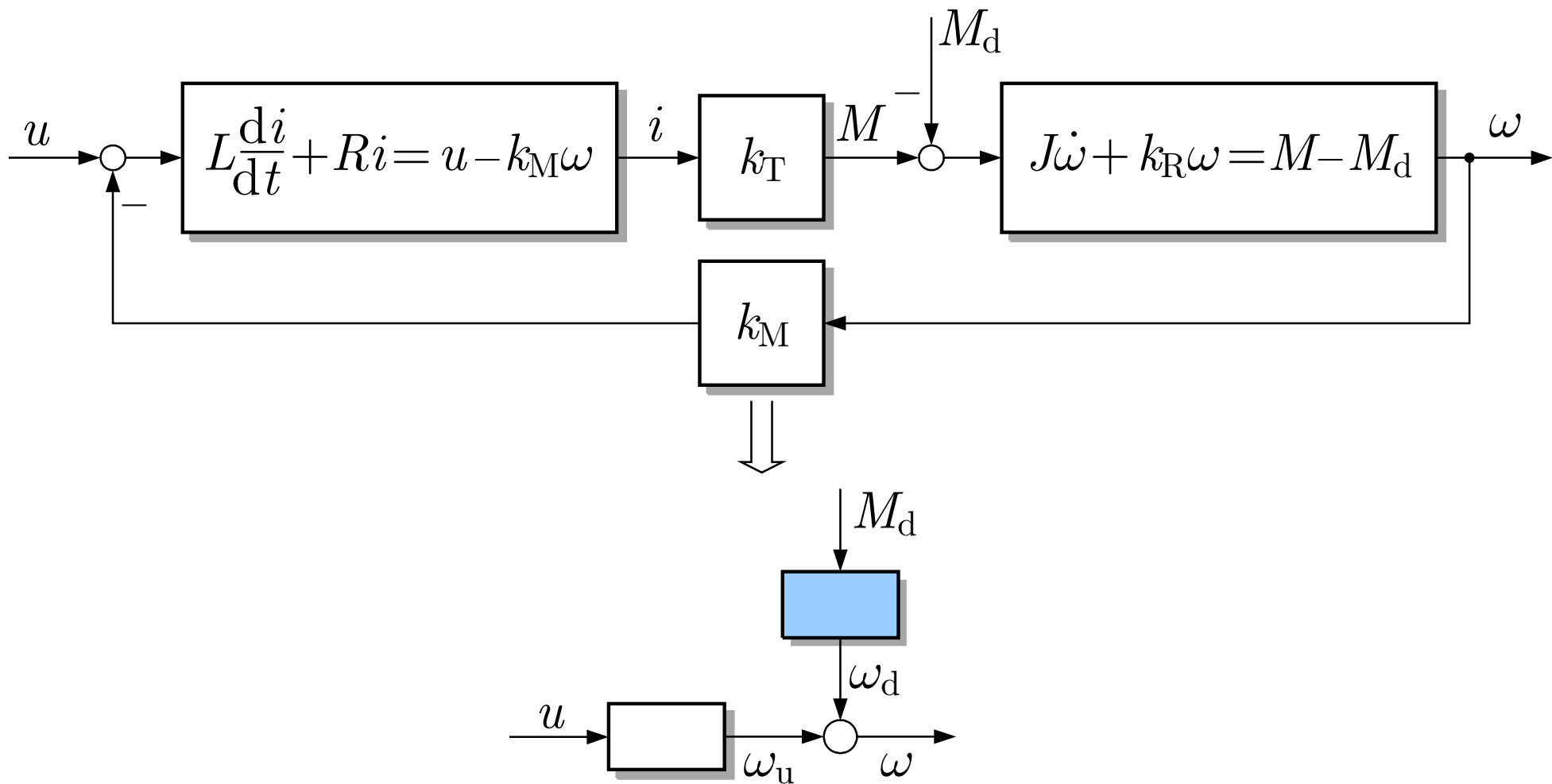


Abb. A.31. Gleichstrommotor mit zusätzlichem Störmoment  $M_d(t)$

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

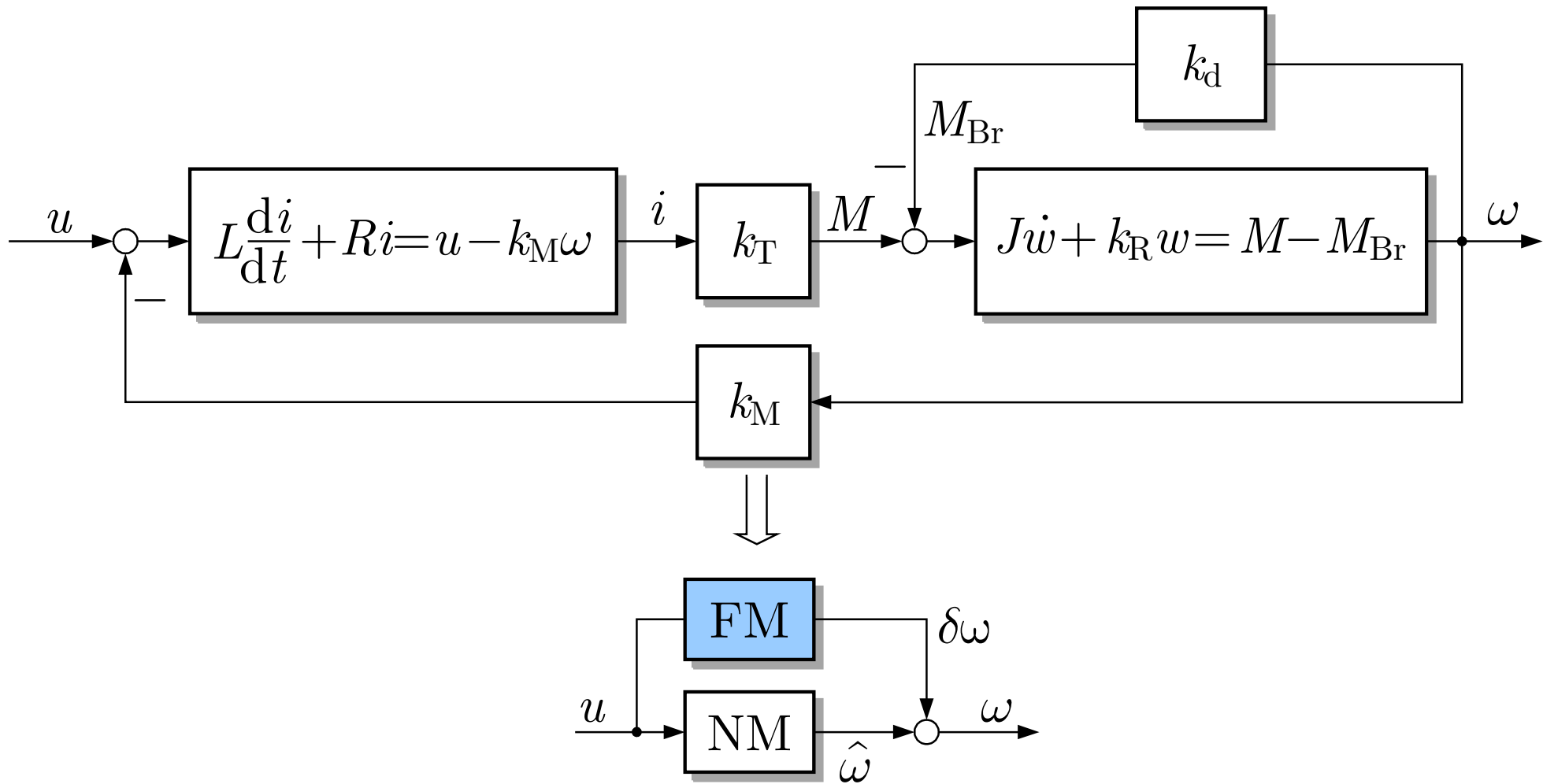
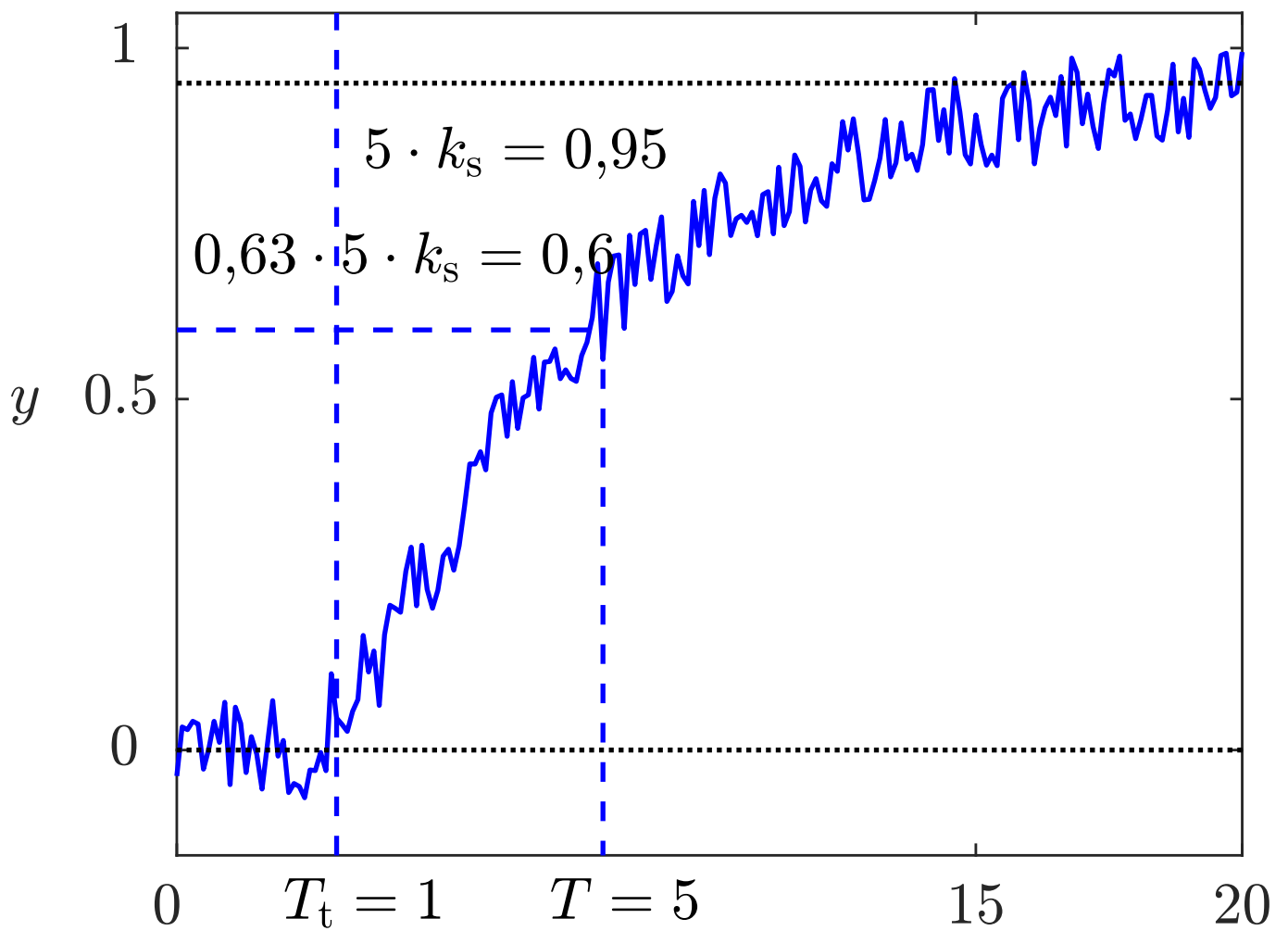
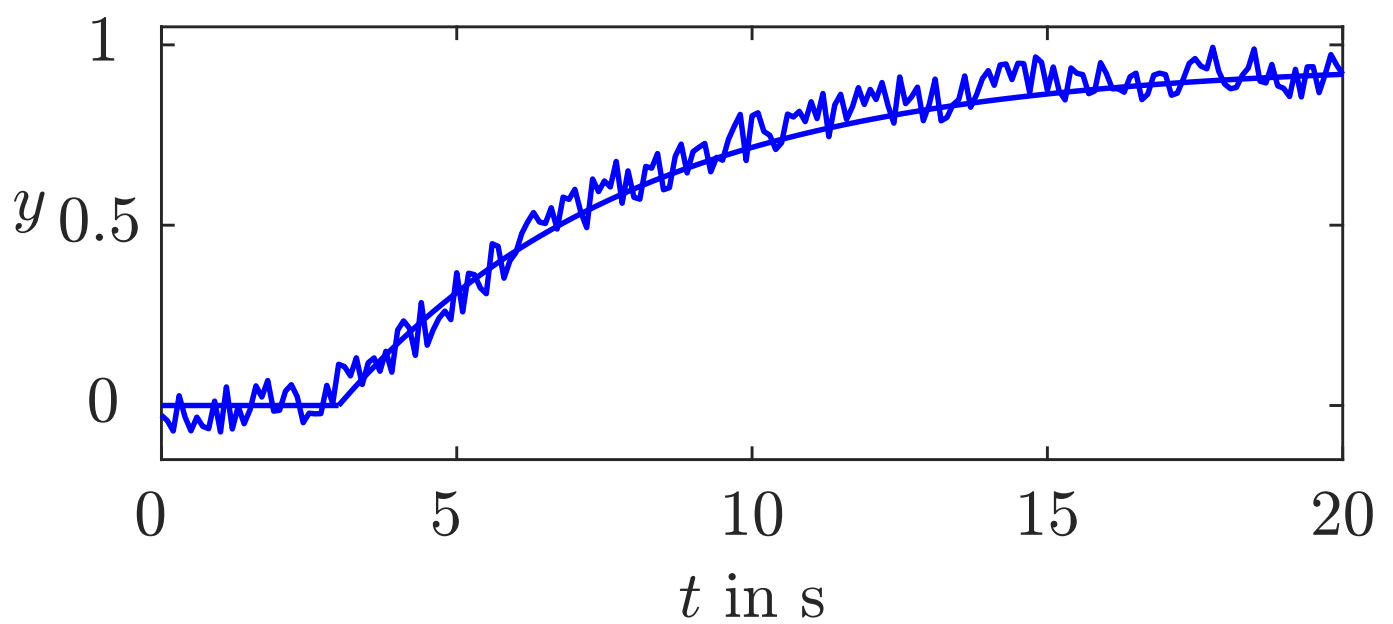


Abb. A.32. Gleichstrommotor mit zusätzlichem geschwindigkeitsproportionalem Bremsmoment  $M_{Br}(t)$



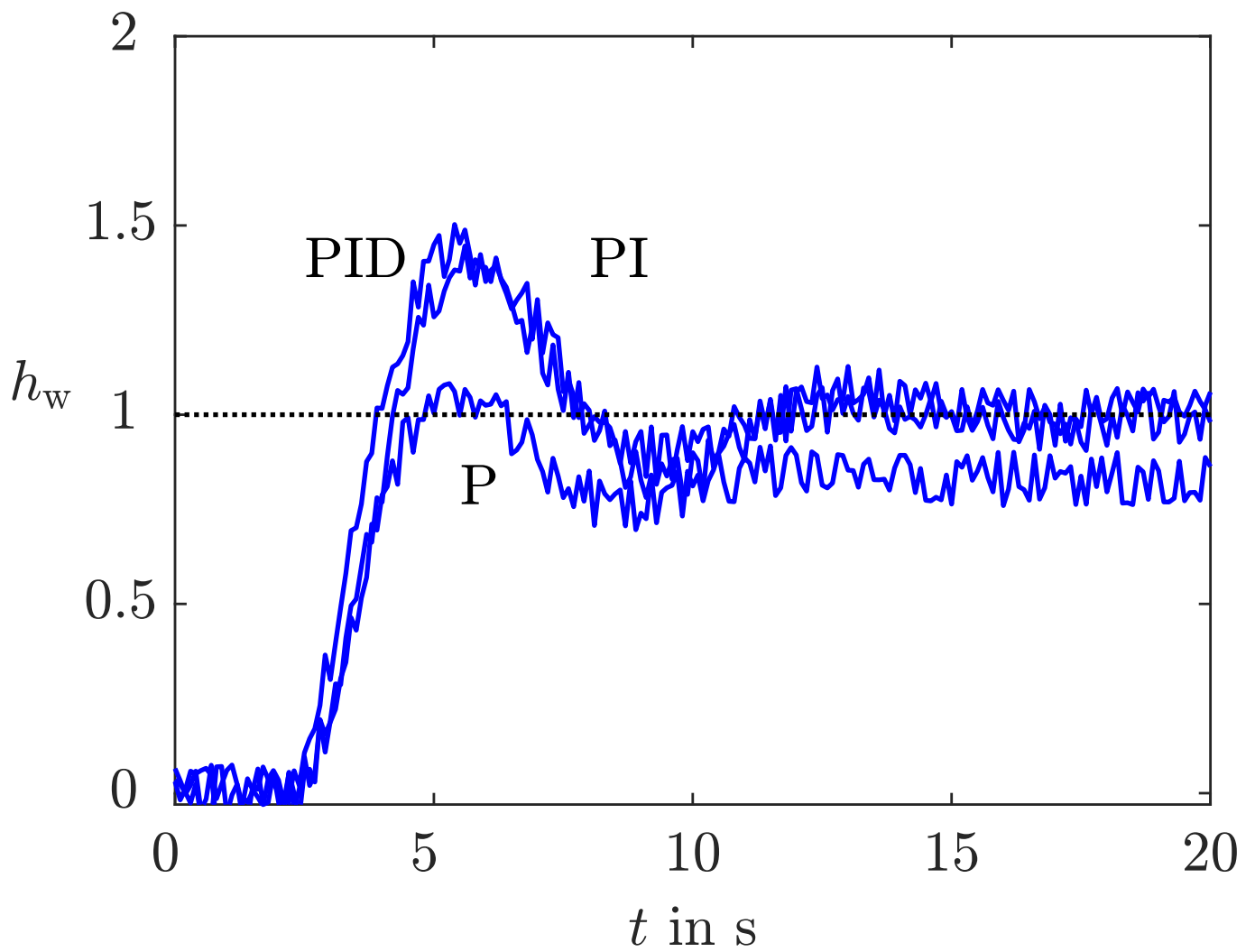
**Abb. A.33: Bestimmung der Parameter der Regelstrecke**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



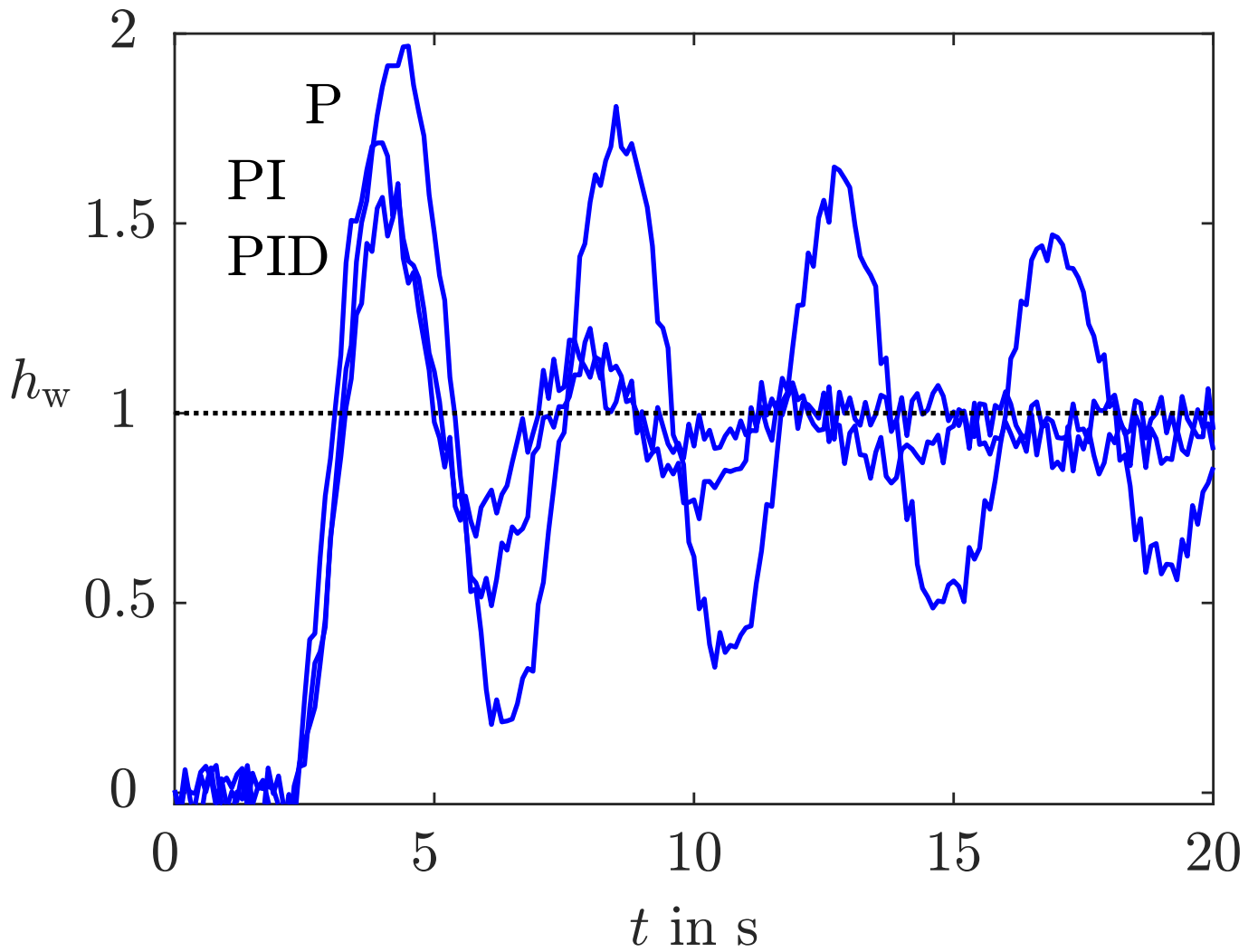
**Abb. A.34:** Vergleich der im Experiment gemessenen und der mit dem Modell berechneten Ausgangsgröße

*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*

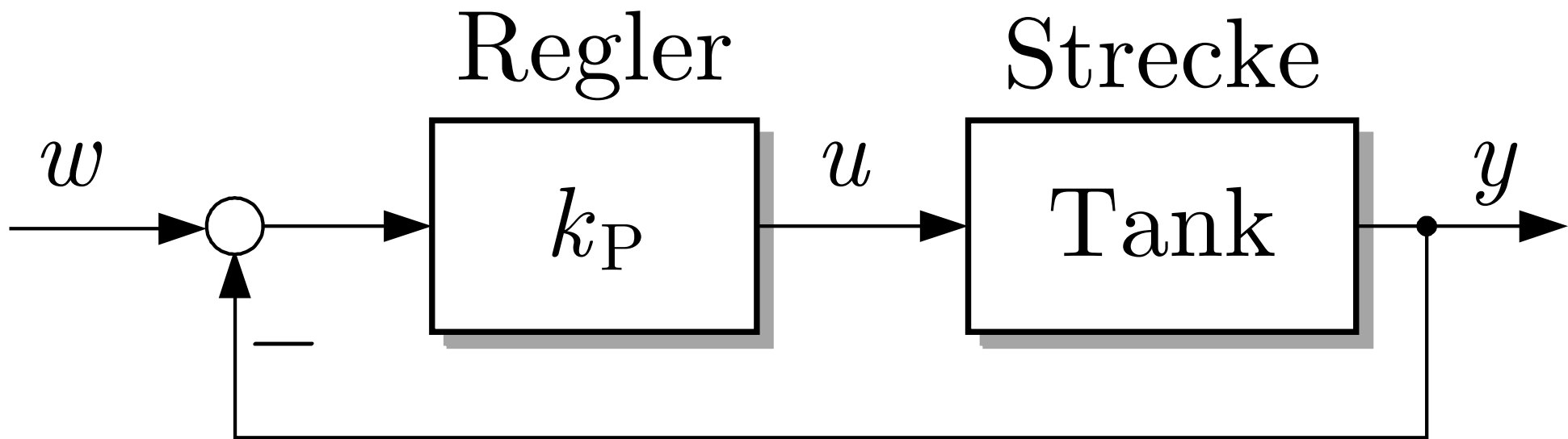
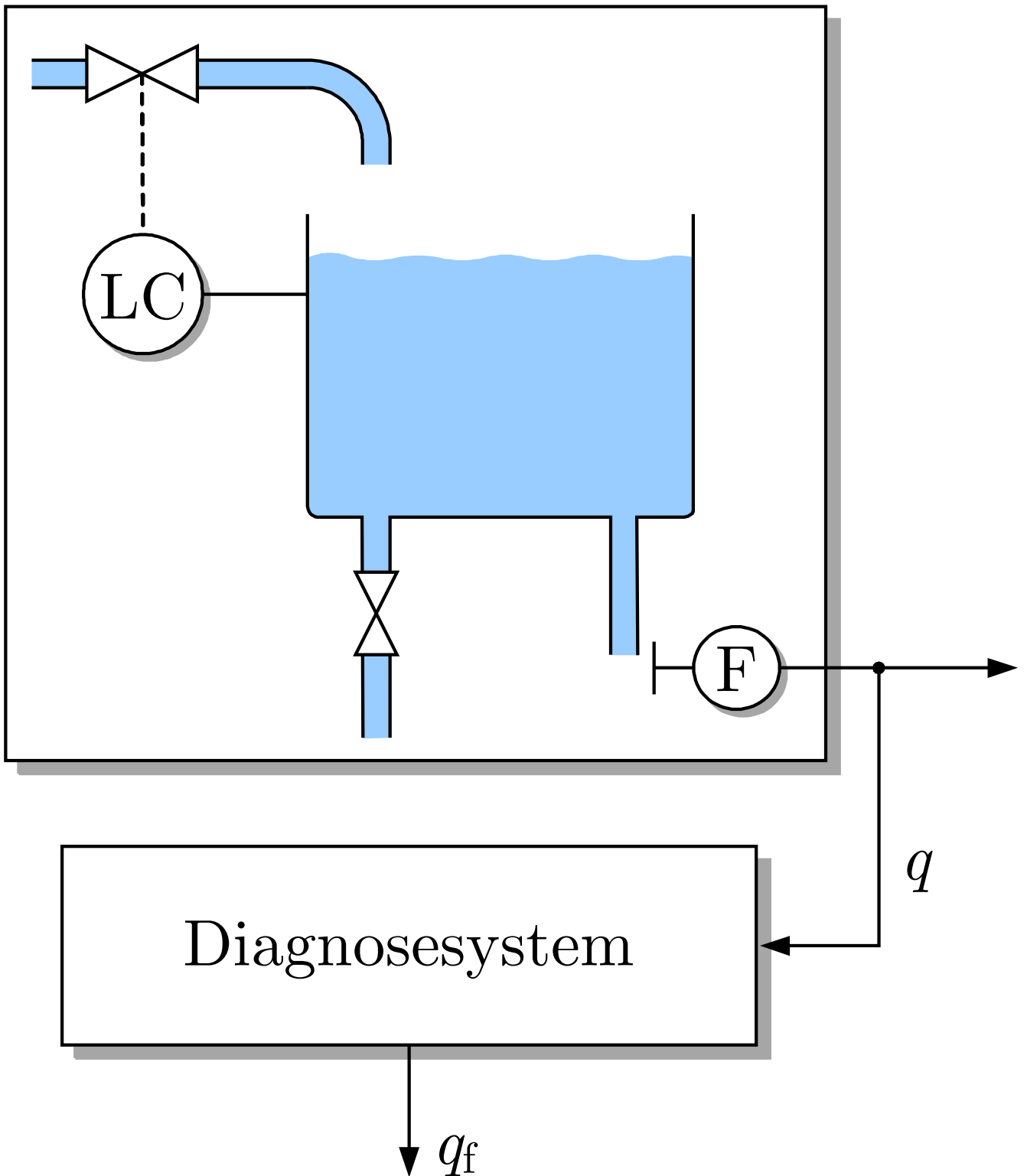


Abb. A.36. Blockschaltbild des Regelkreises

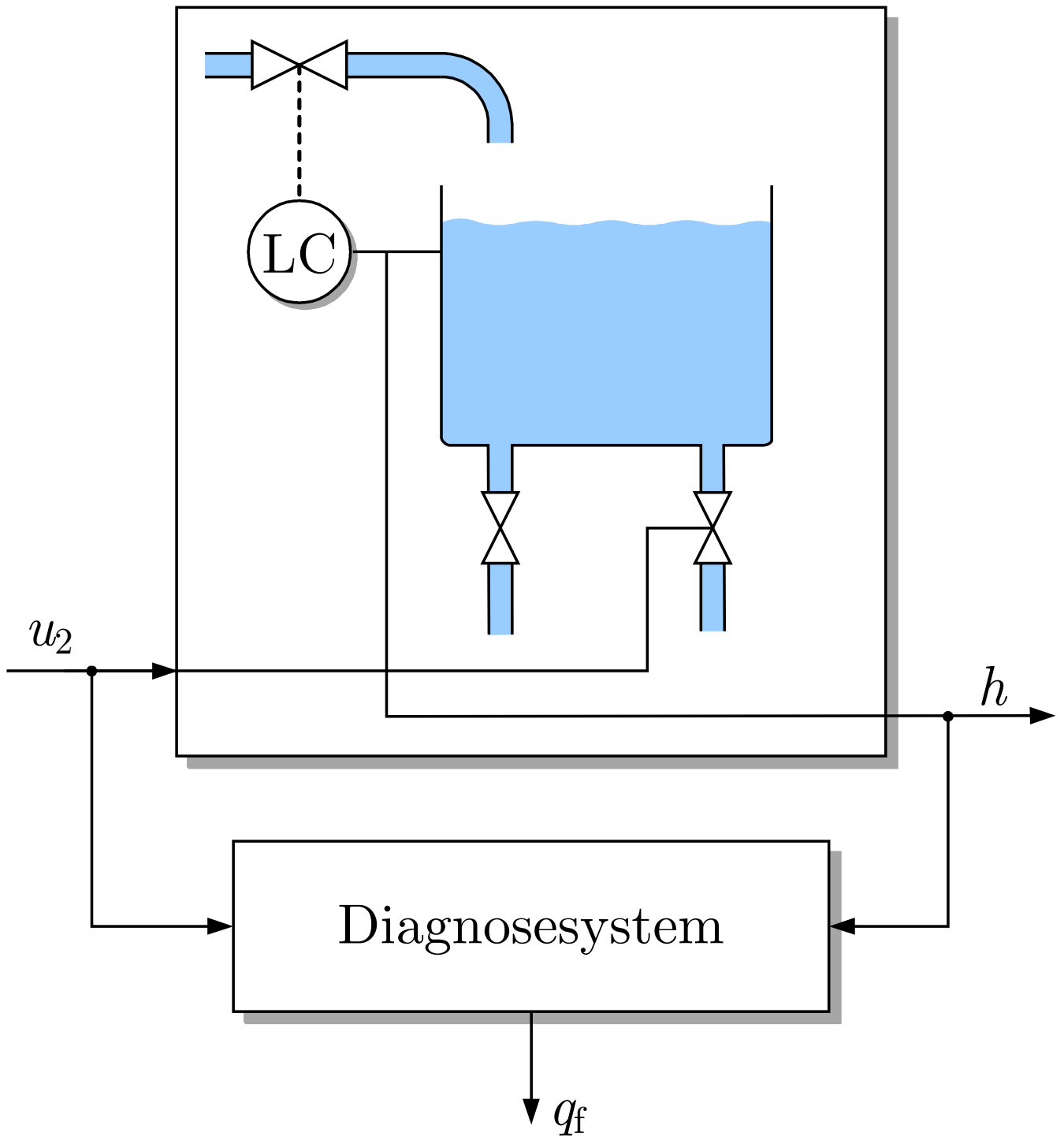
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*

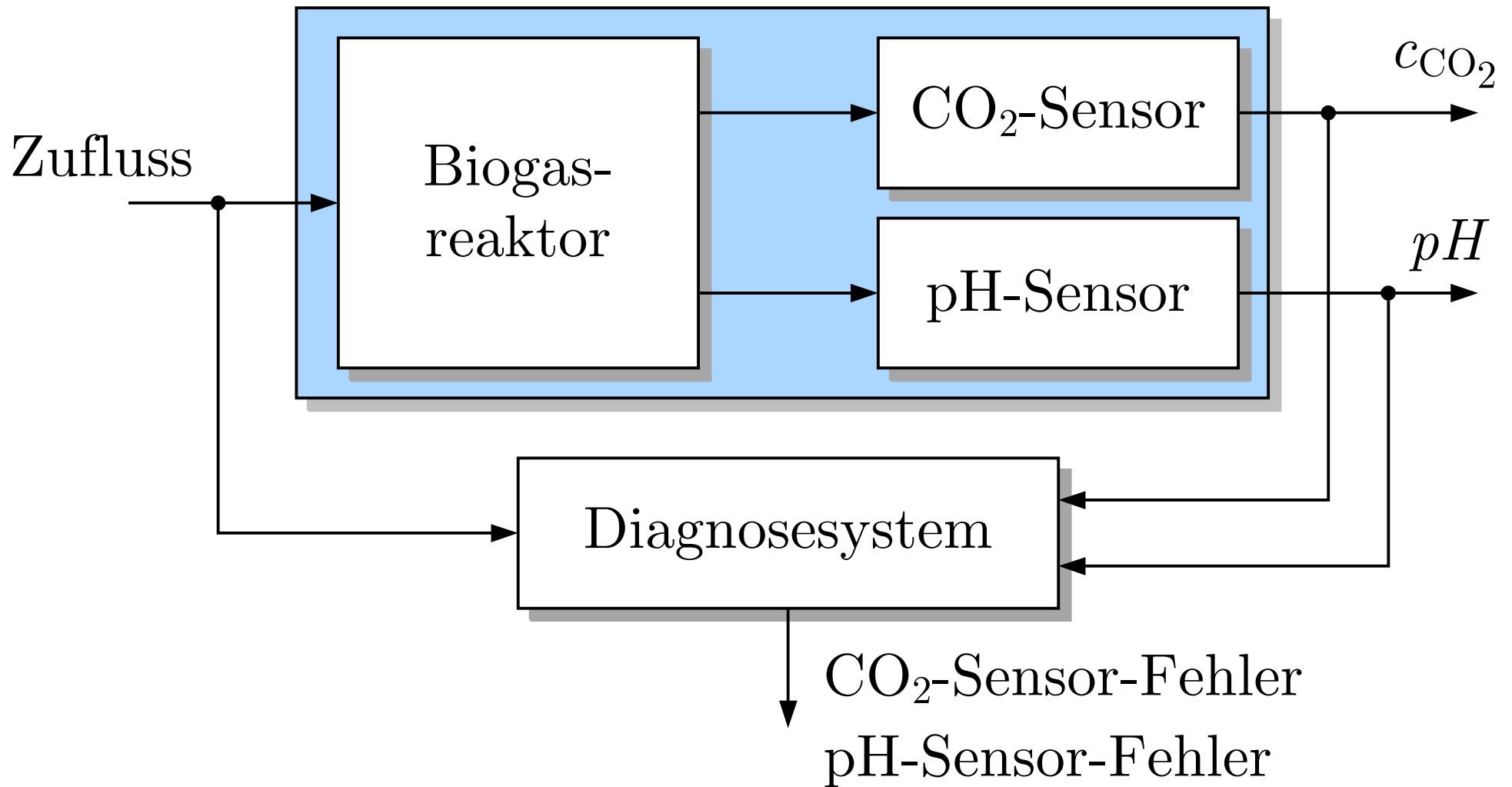
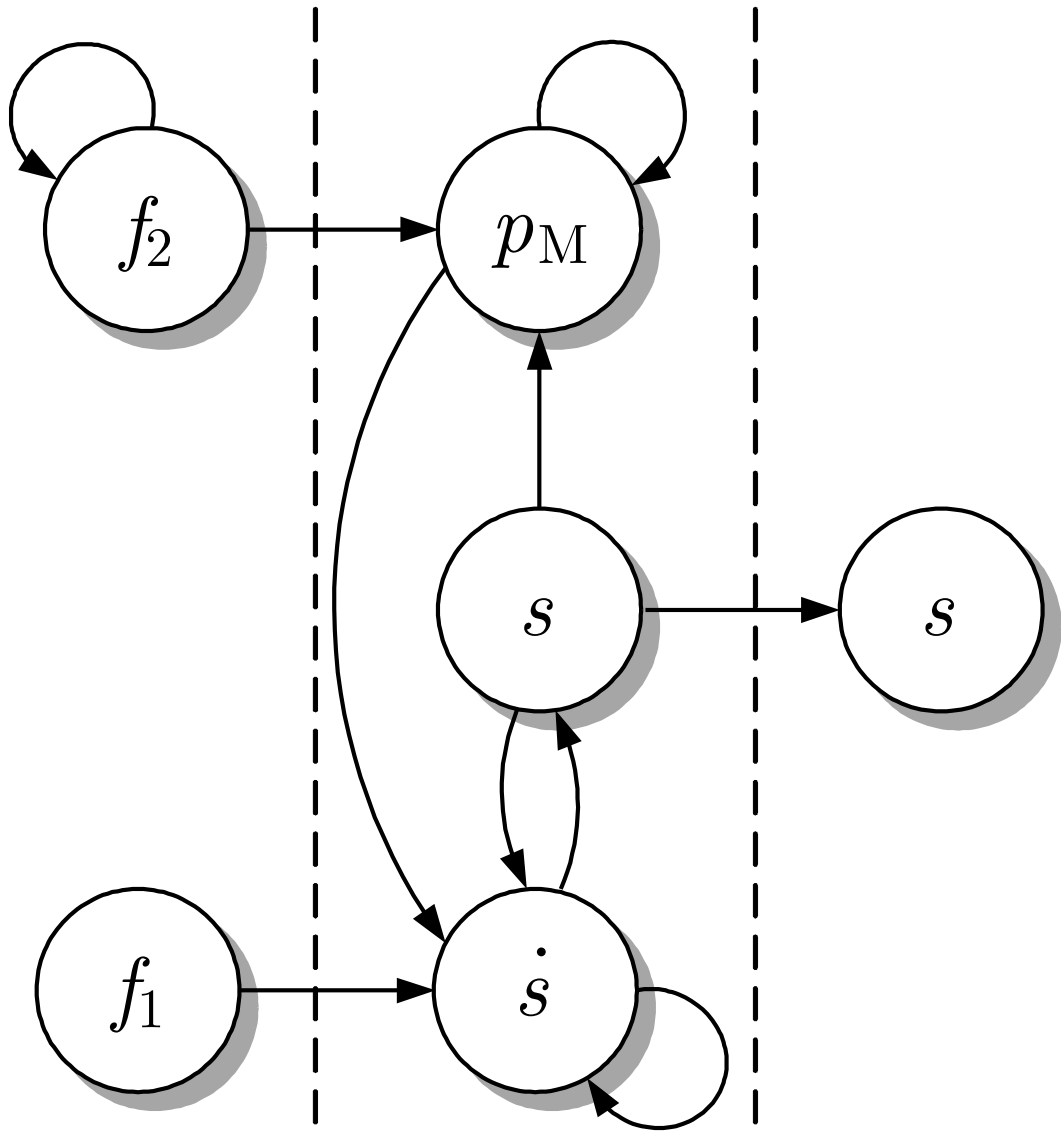


Abb. A.39. Überwachung zweier Sensoren

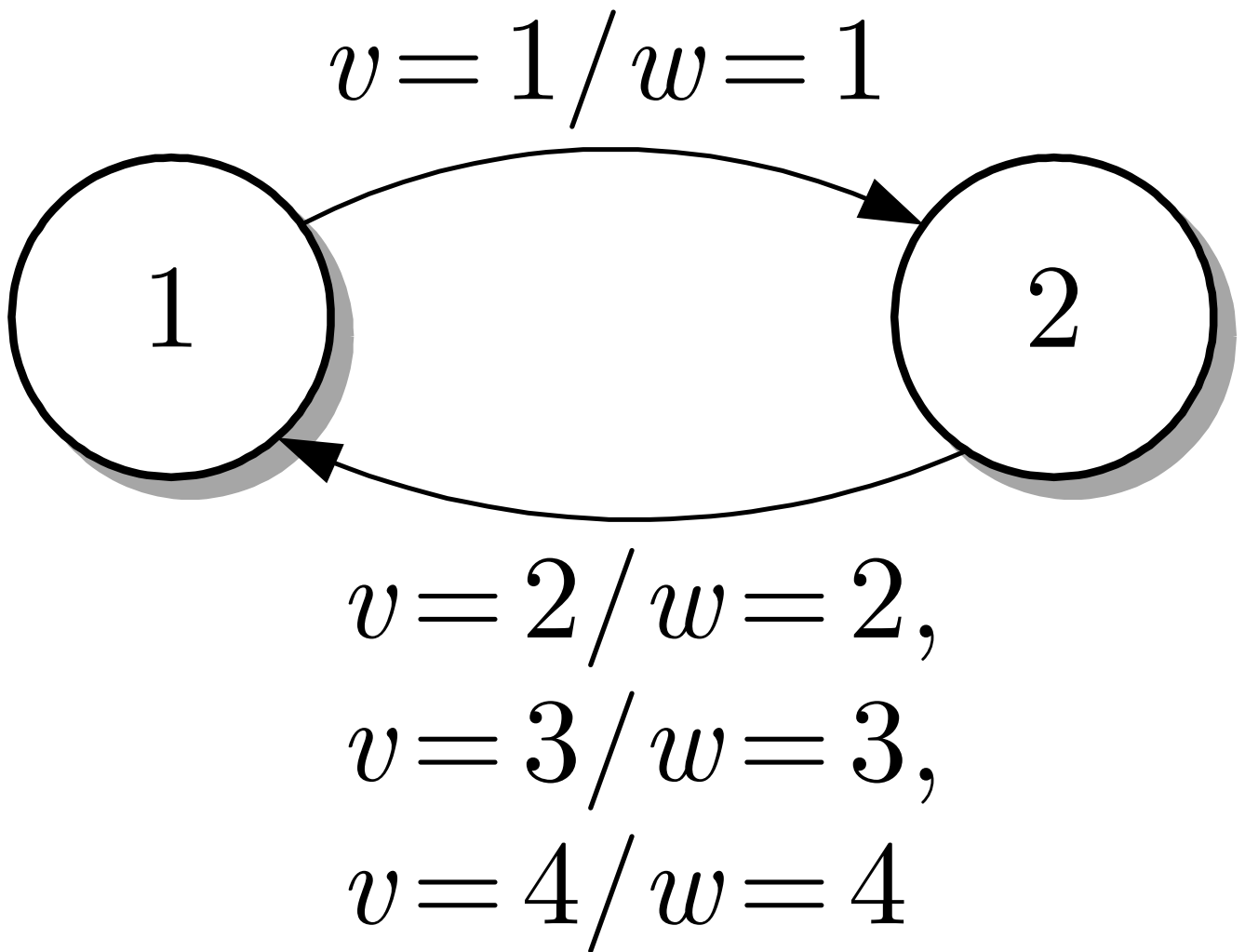
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



Fehlermodell | Stellgerät | Messgröße

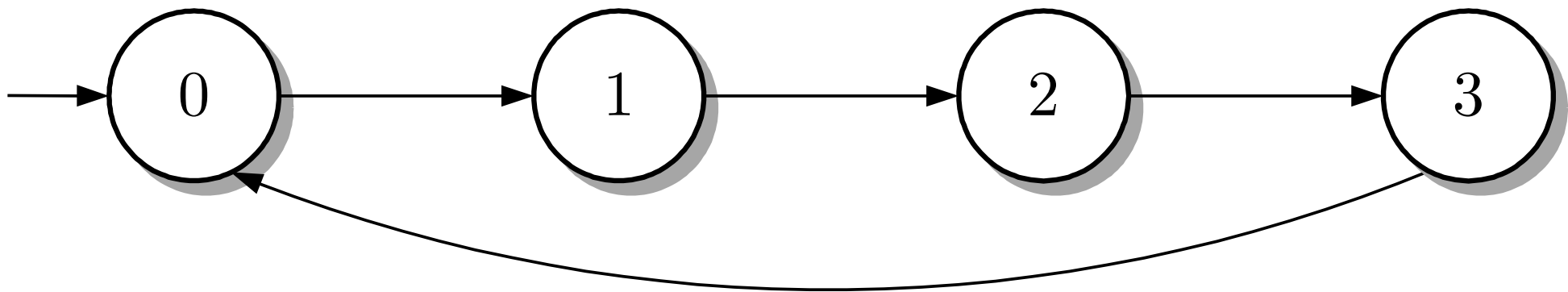
**Abb. A.40: Strukturgraph des Stellgerätes für die strukturelle Beobachtbarkeitsanalyse**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



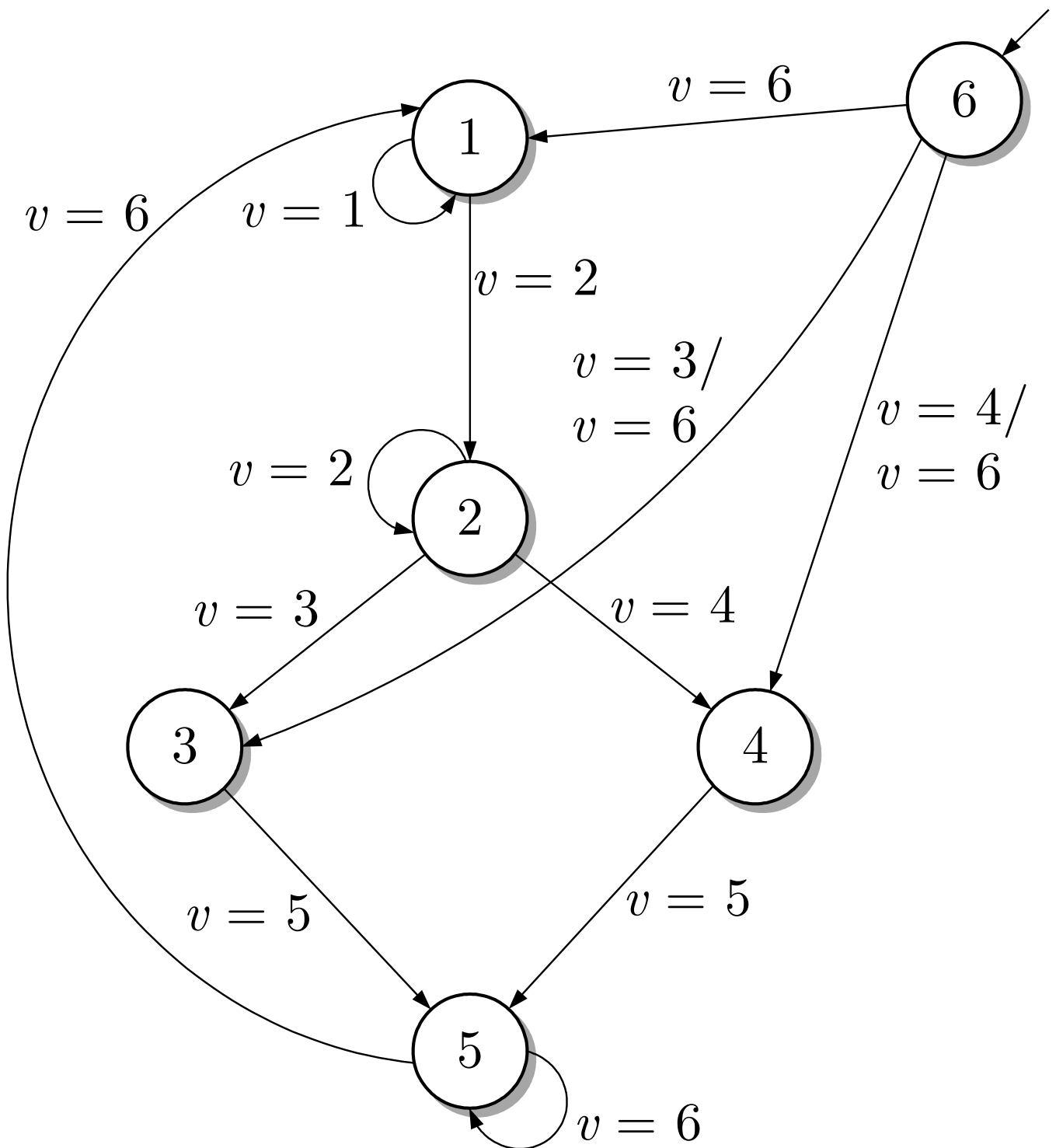
**Abb. A.41: Automatengraph des Getränkeautomaten**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



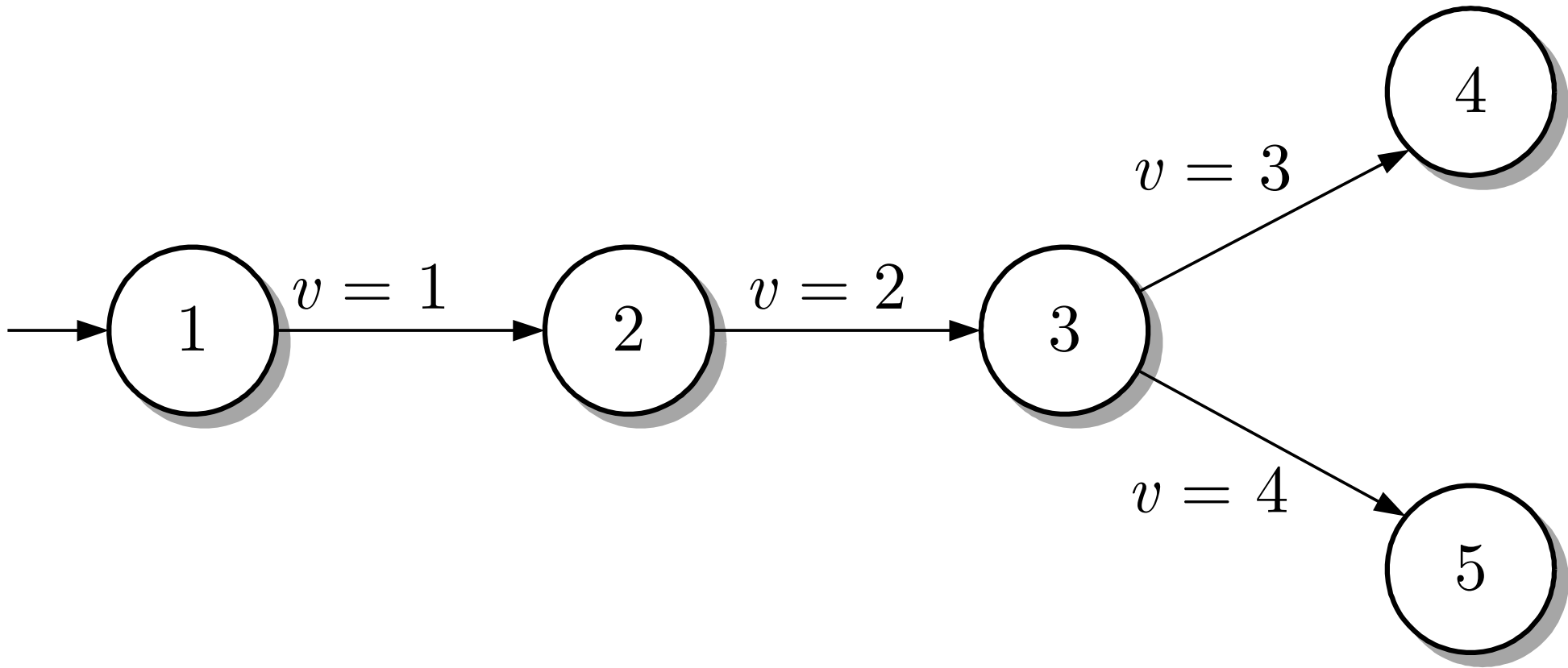
**Abb. A.42. Darstellung eines Modulo-4-Zählers als Automatengraph**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

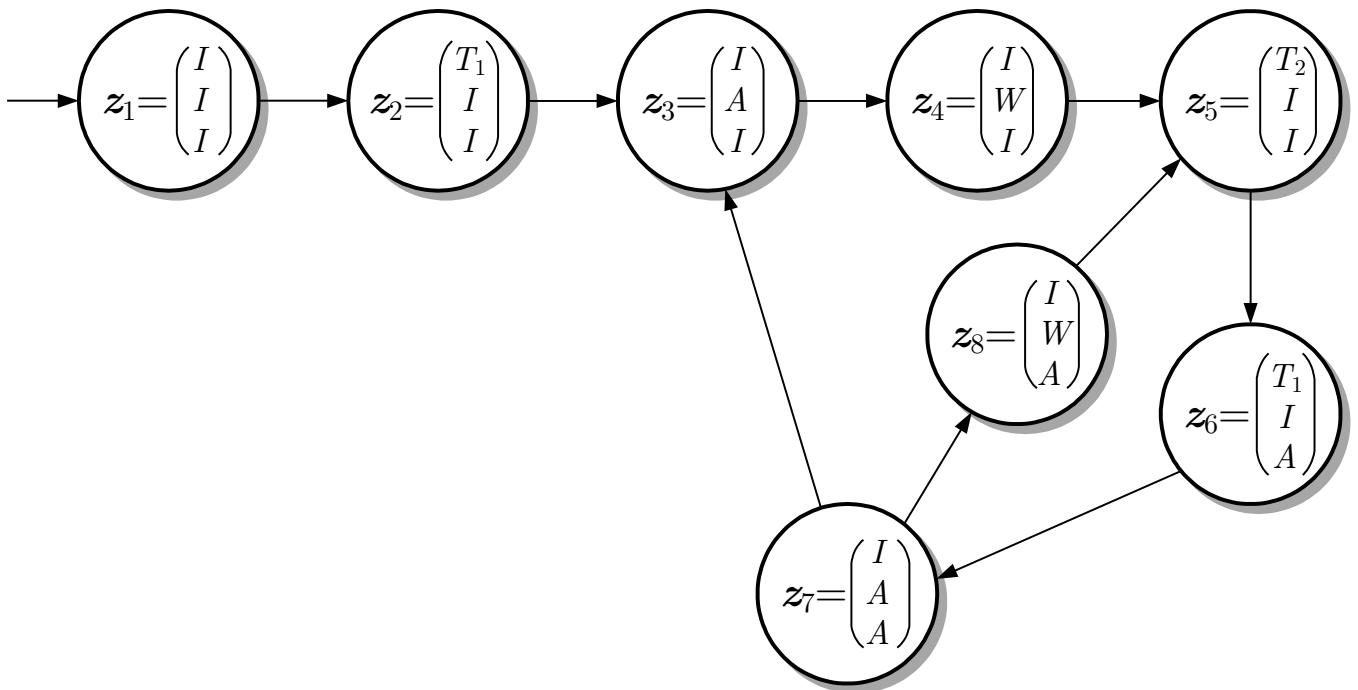
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**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*

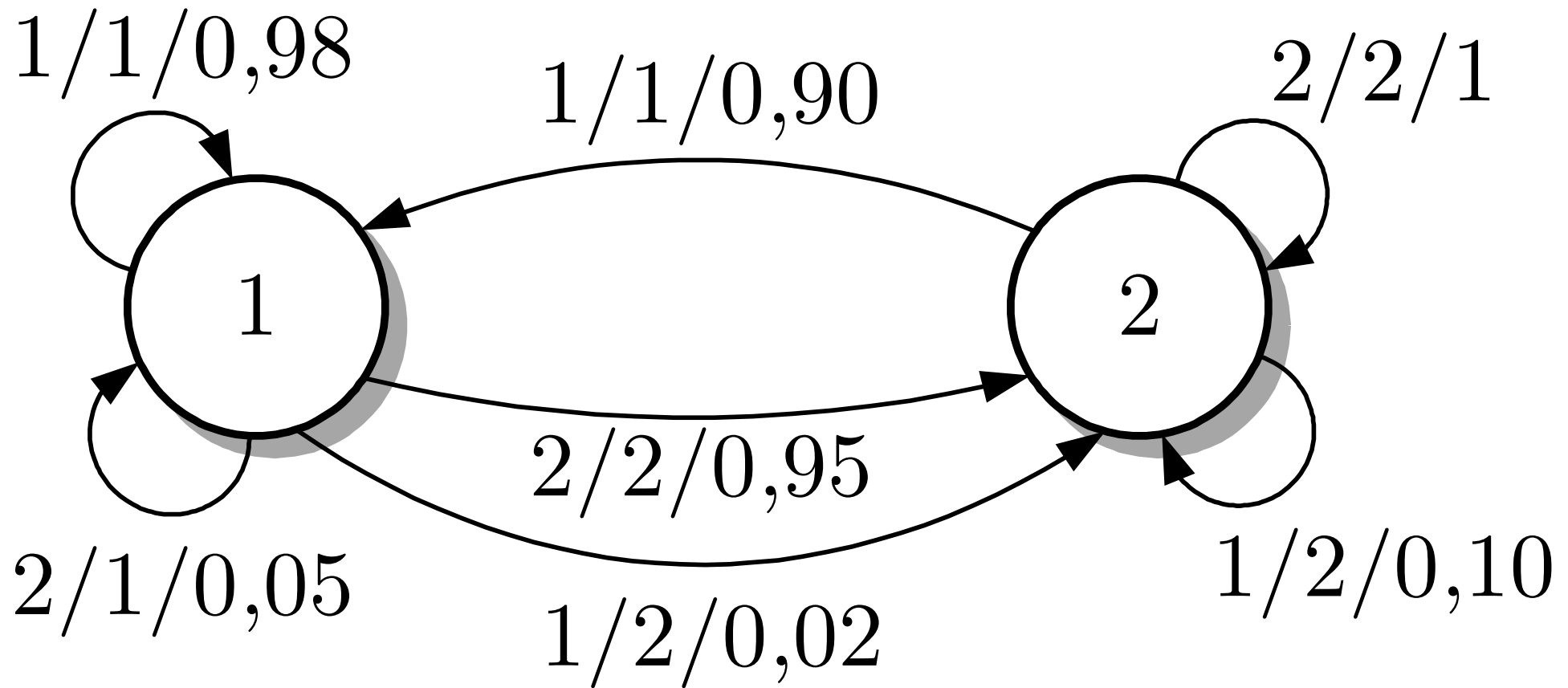


Abb. A.46. Beschreibung eines Regensors durch einen nichtdeterministischen Automaten

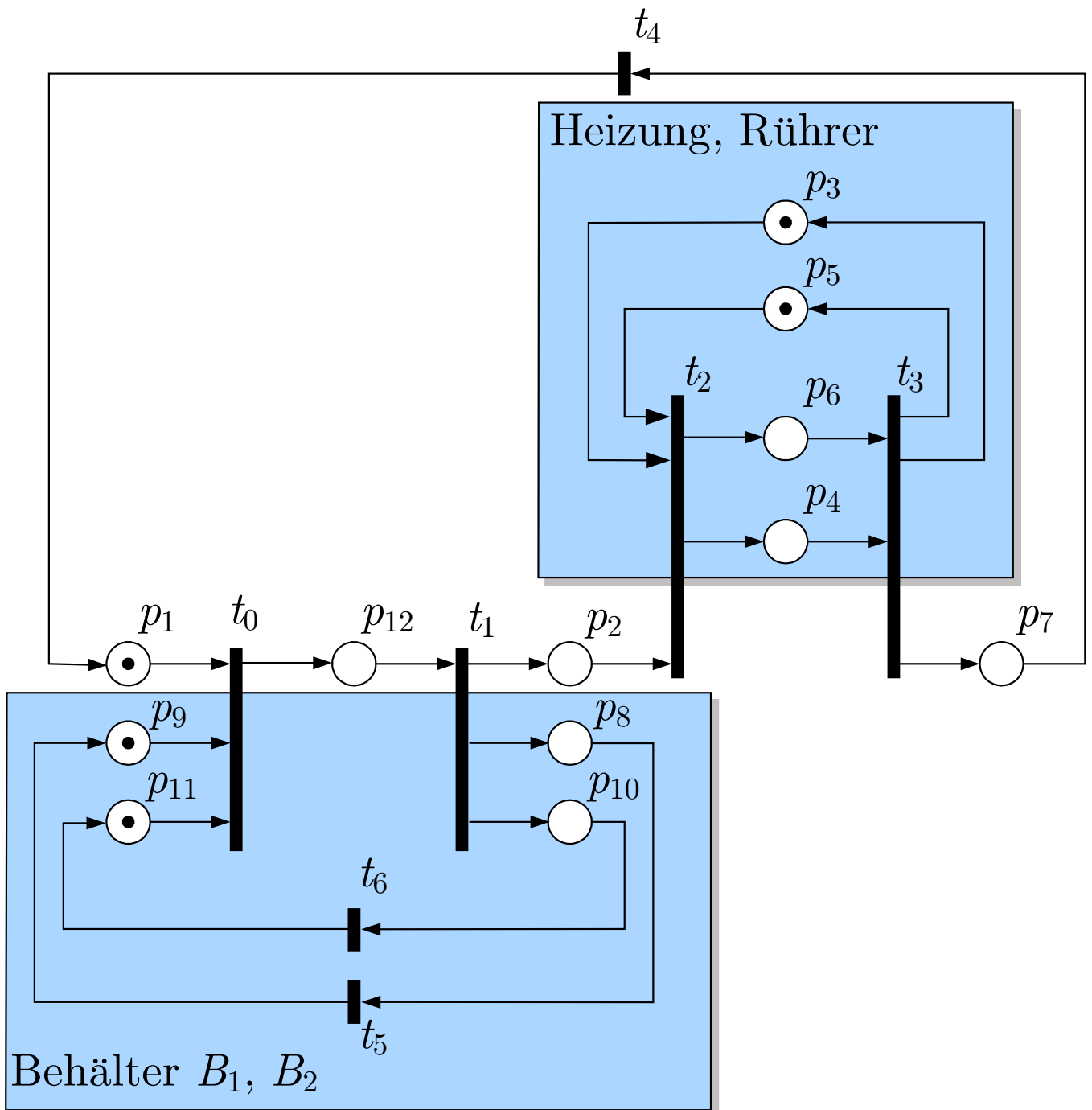


Abb. A.47: Petrinetz zur Beschreibung des Batchprozesses

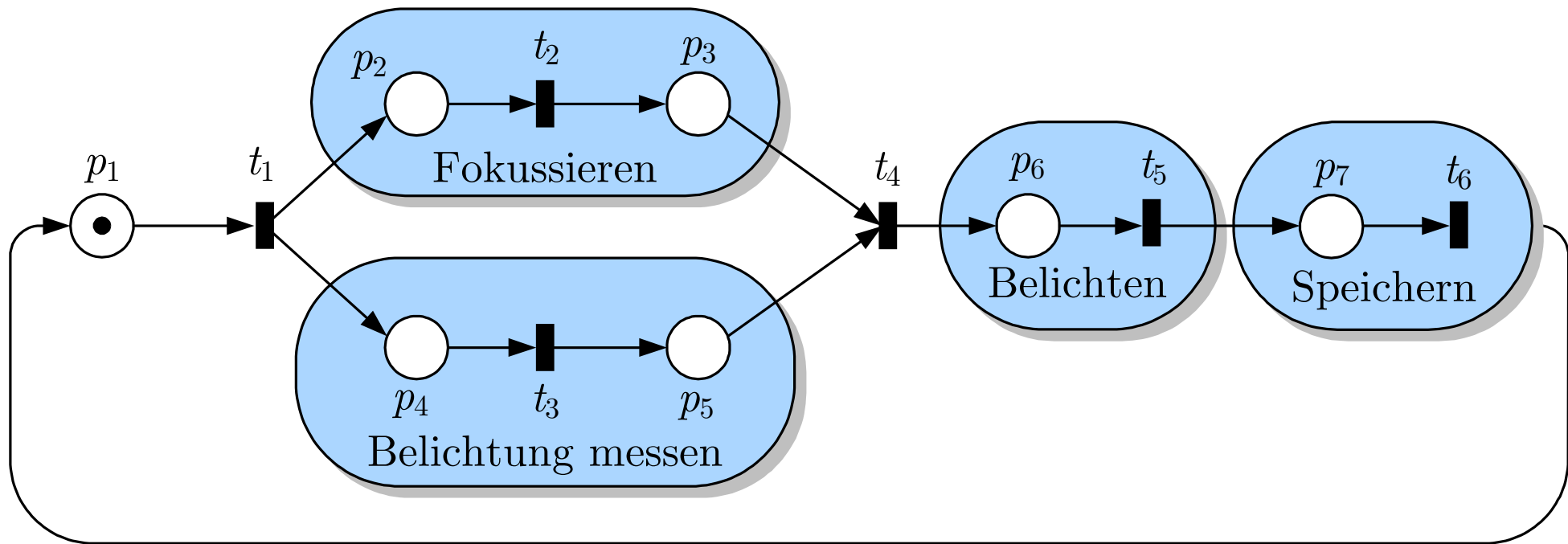
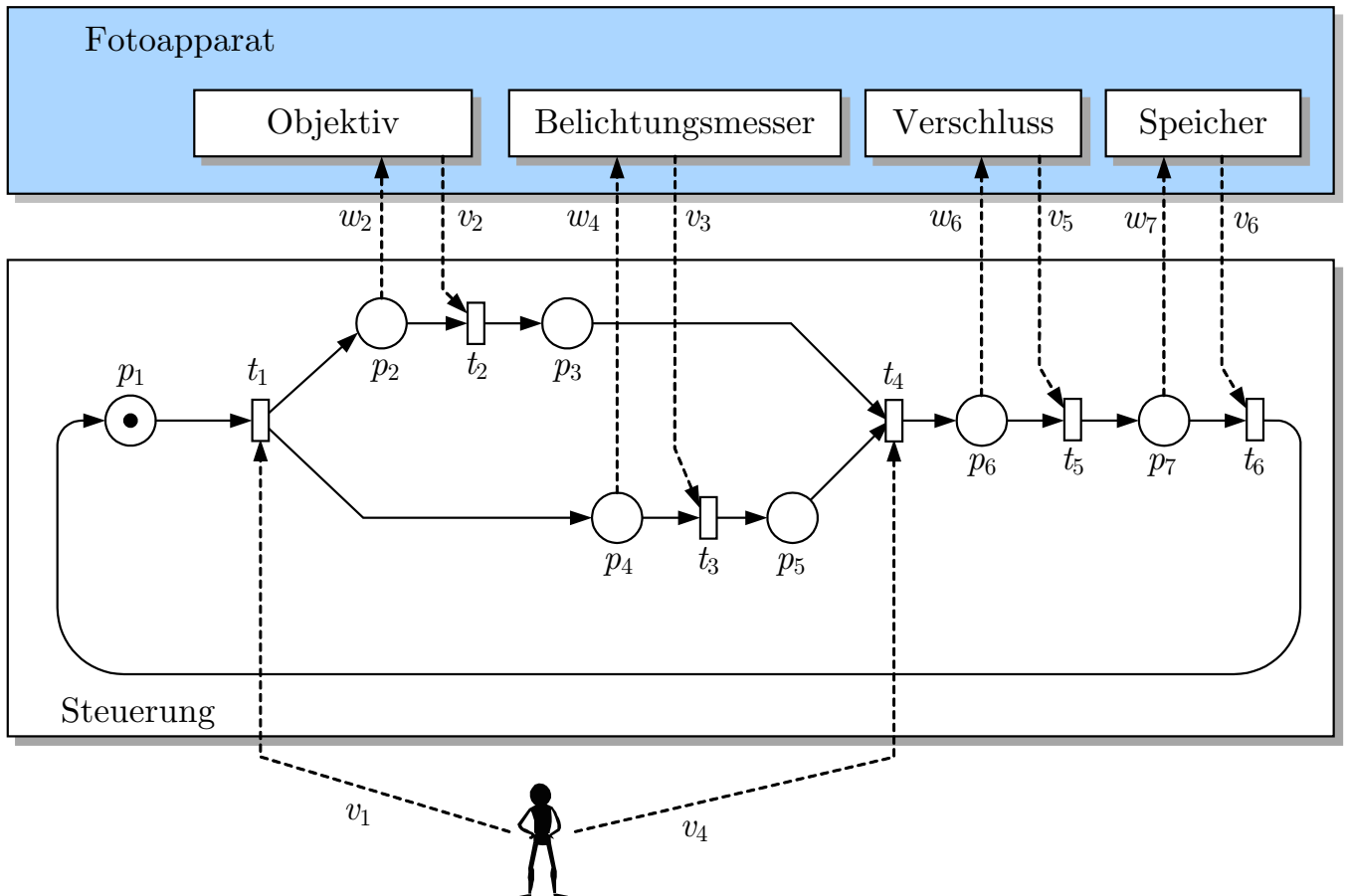


Abb. A.48. Beschreibung des Fotografierens mit einer Digitalkamera

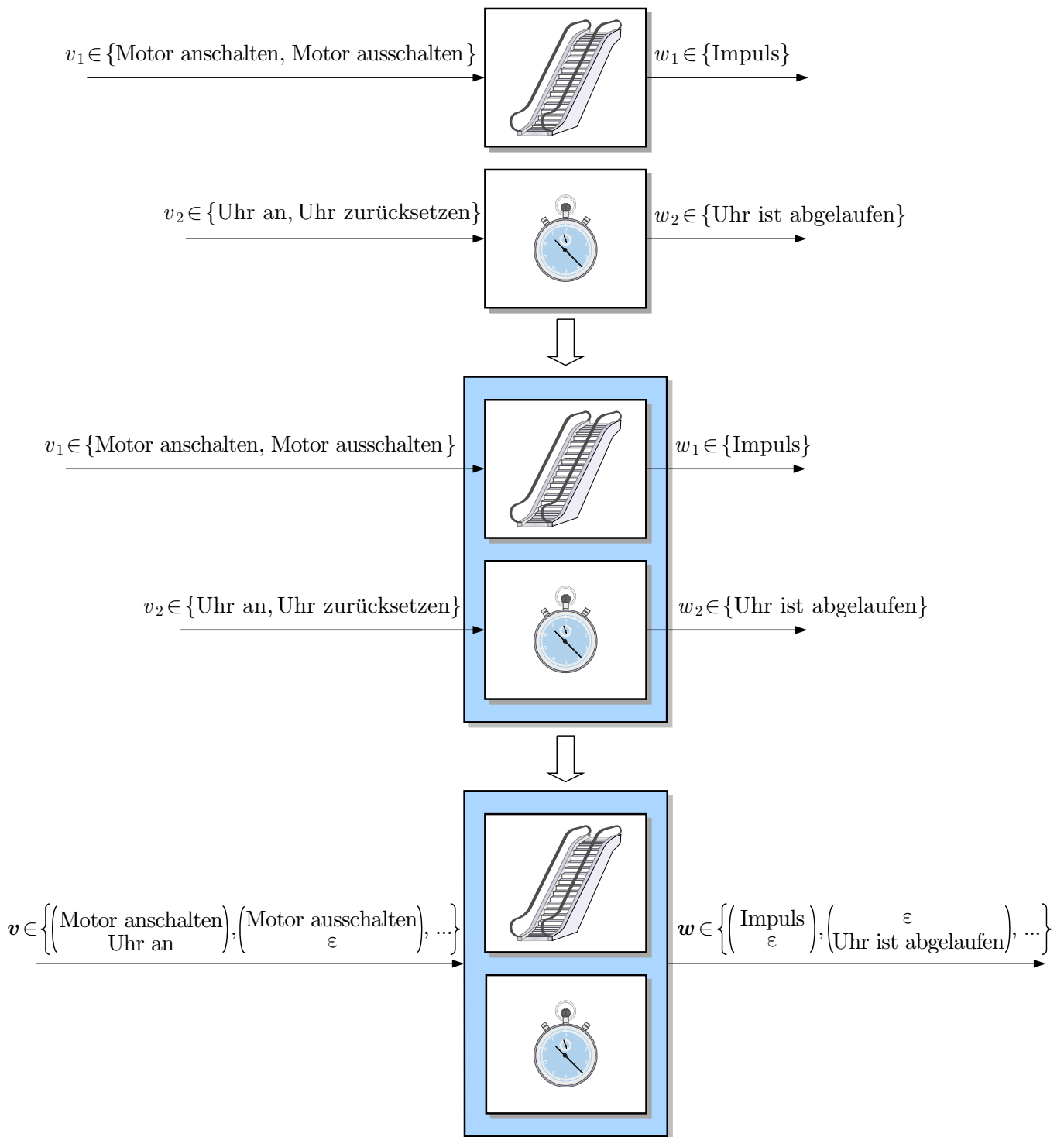
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**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*

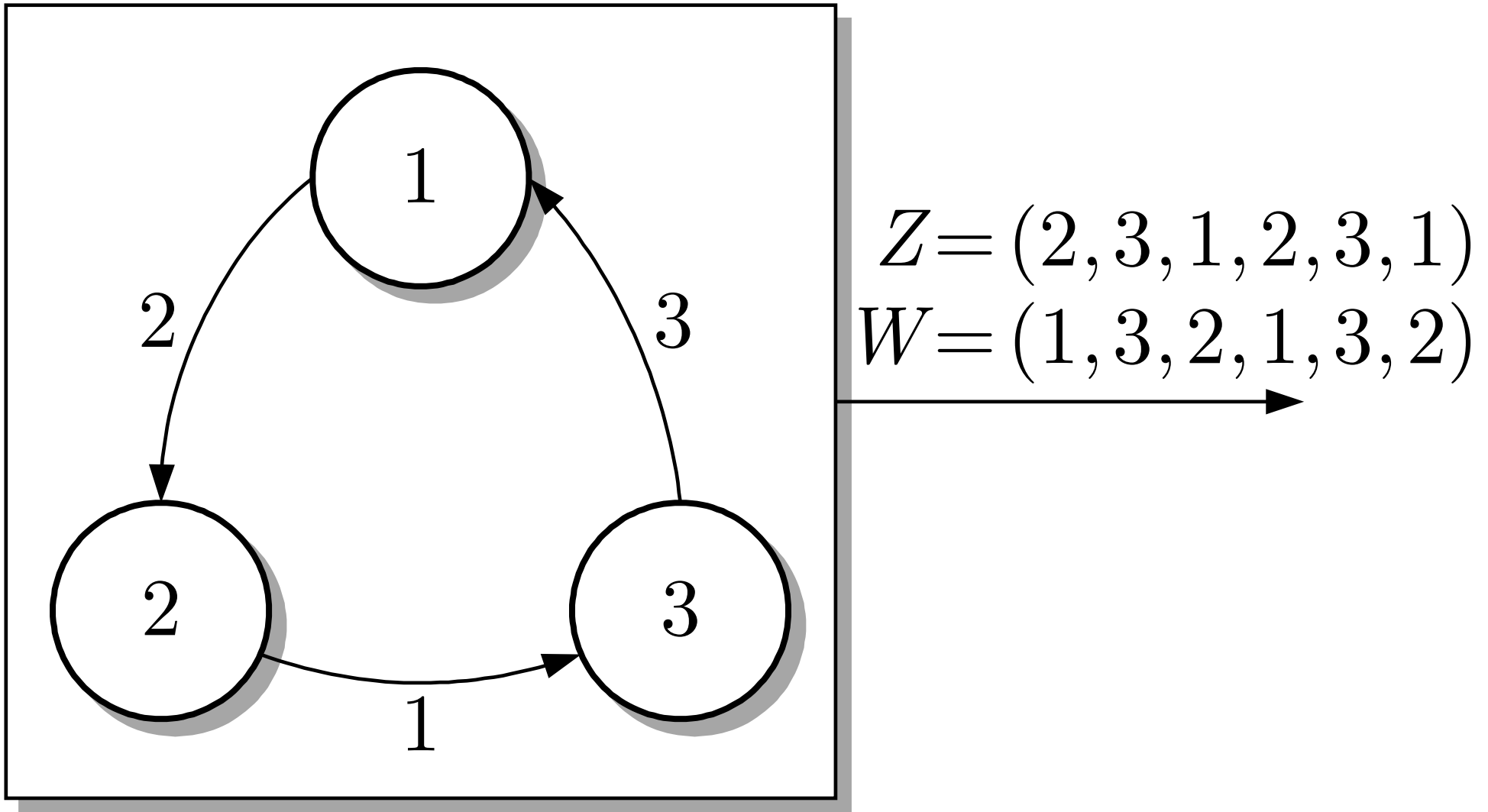
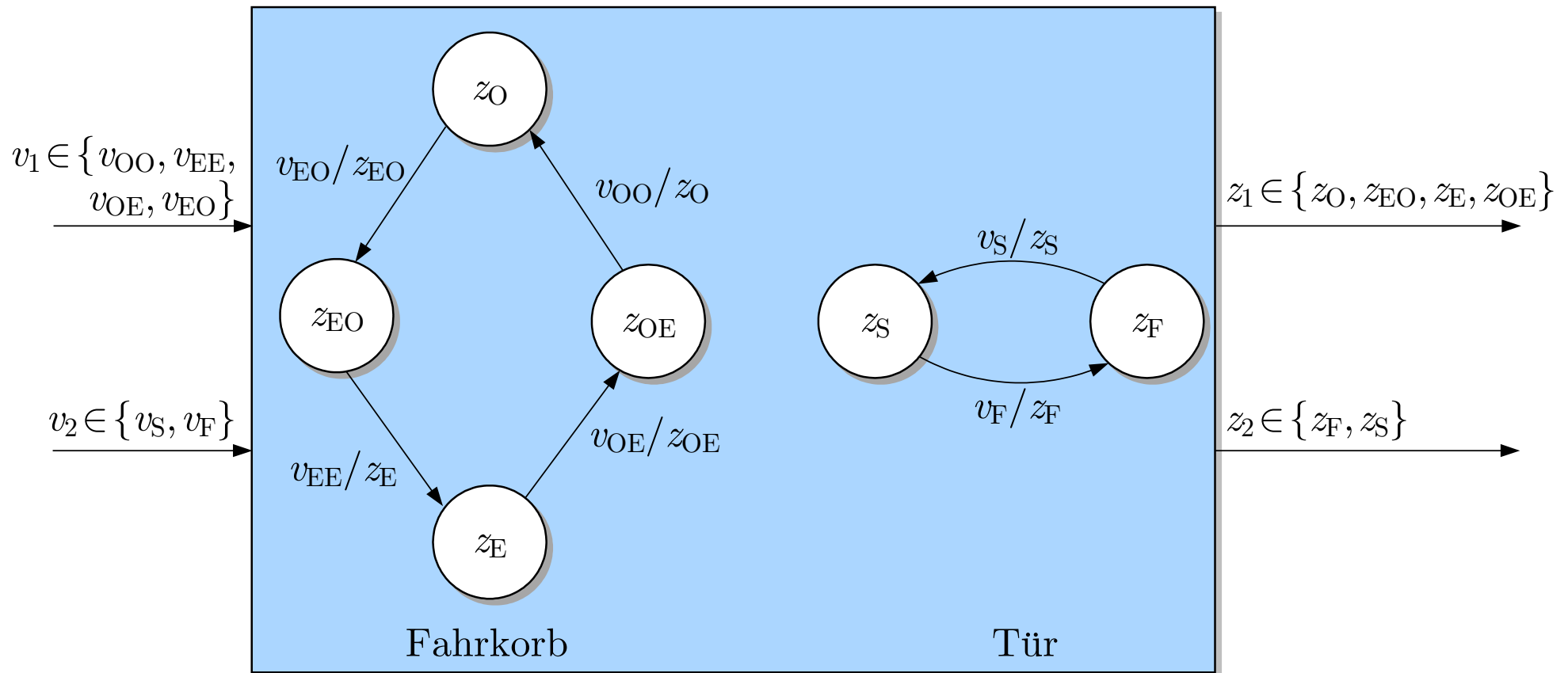


Abb. A.52. Rückführautomat, der den rückgekoppelten Automaten aus Abb. 11.62 (a) beschreibt

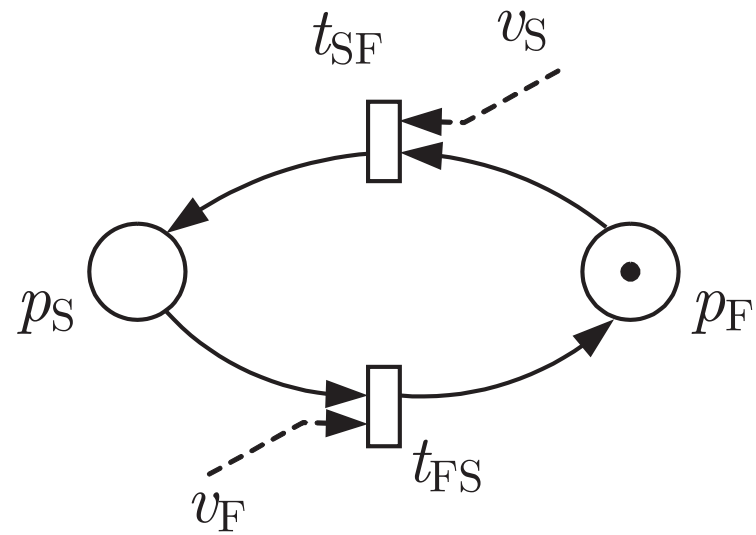
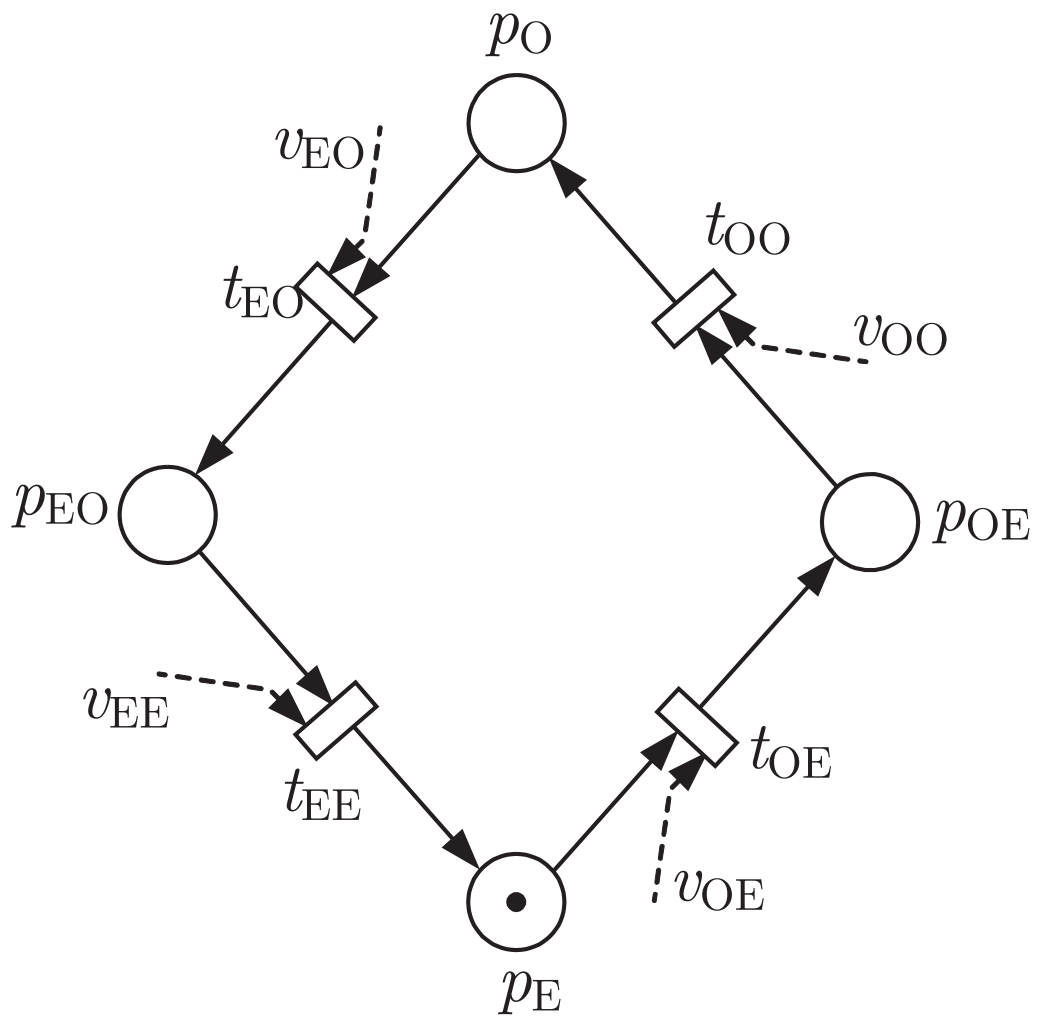




**Abb. A.53. Beschreibung des Personenaufzugs durch zwei getrennte Automaten**

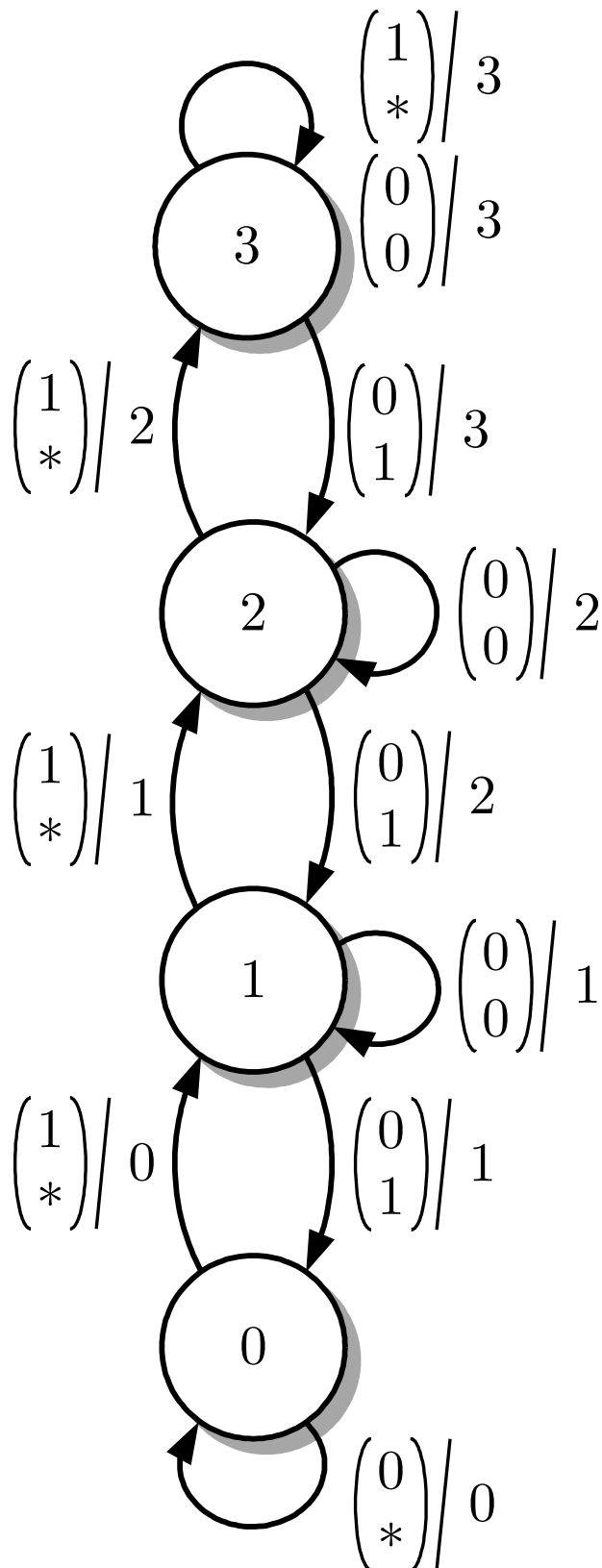
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





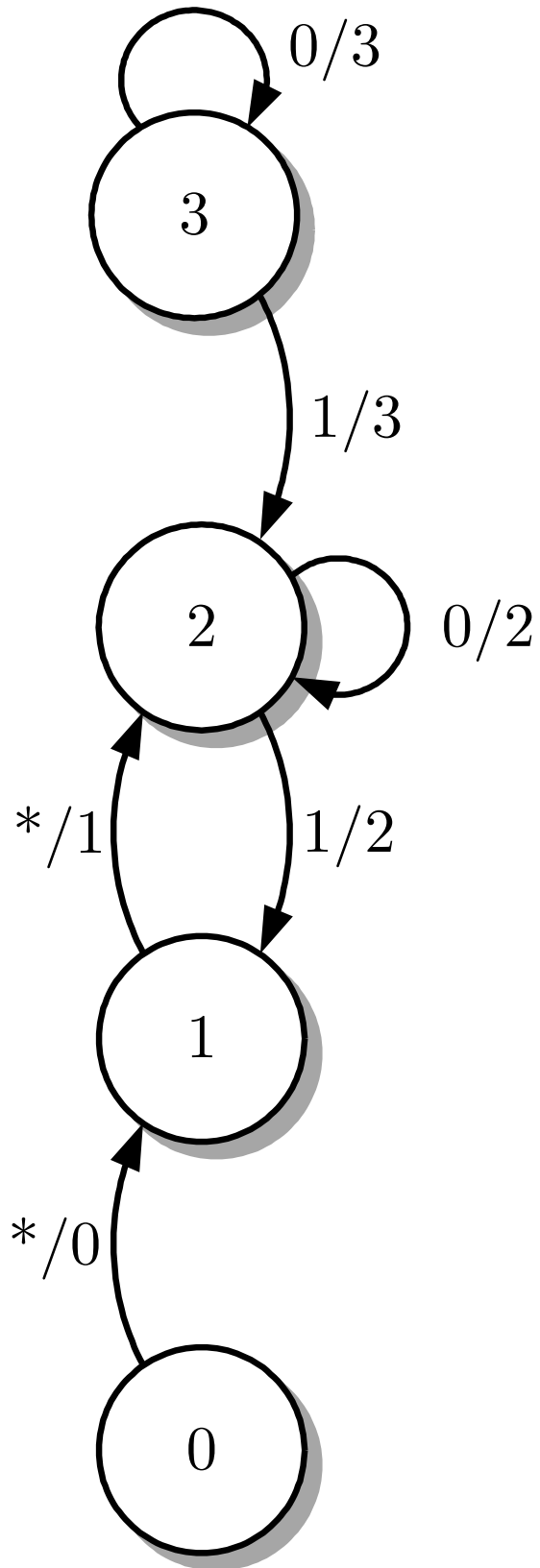
**Abb. A.55. Petrinetz zur Beschreibung des Personenaufzugs**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



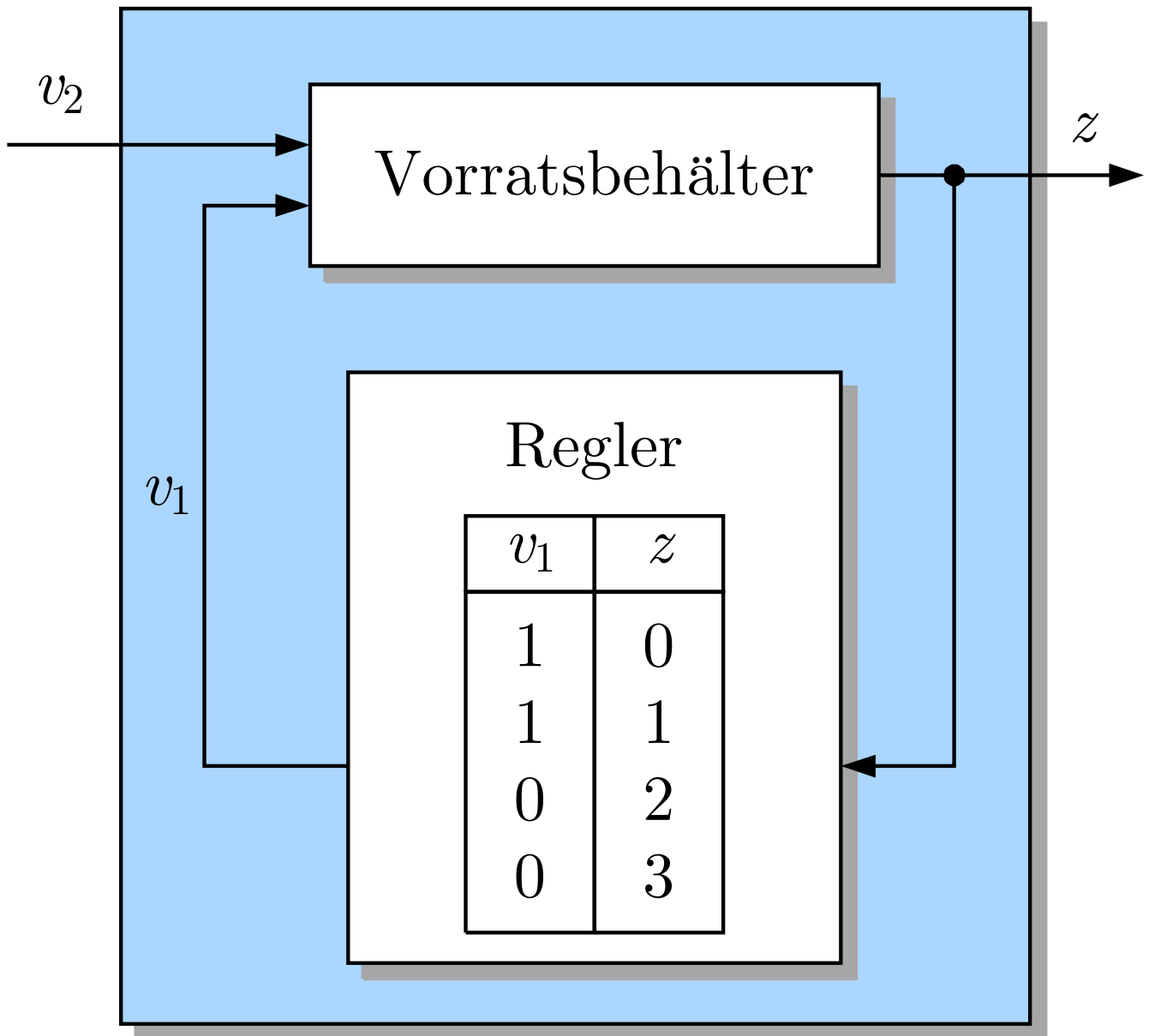
**Abb. A.56. Beschreibung des Vorratsbehälters durch deterministischen Automaten**

*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*

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

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

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



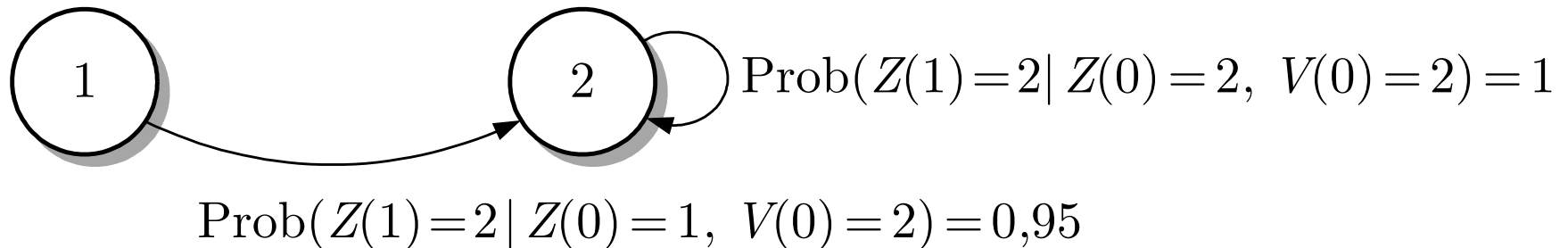
$$\text{Prob}(Z(1) = 2 \mid Z(0) = 1, V(0) = 2) = 0,95$$

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

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

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

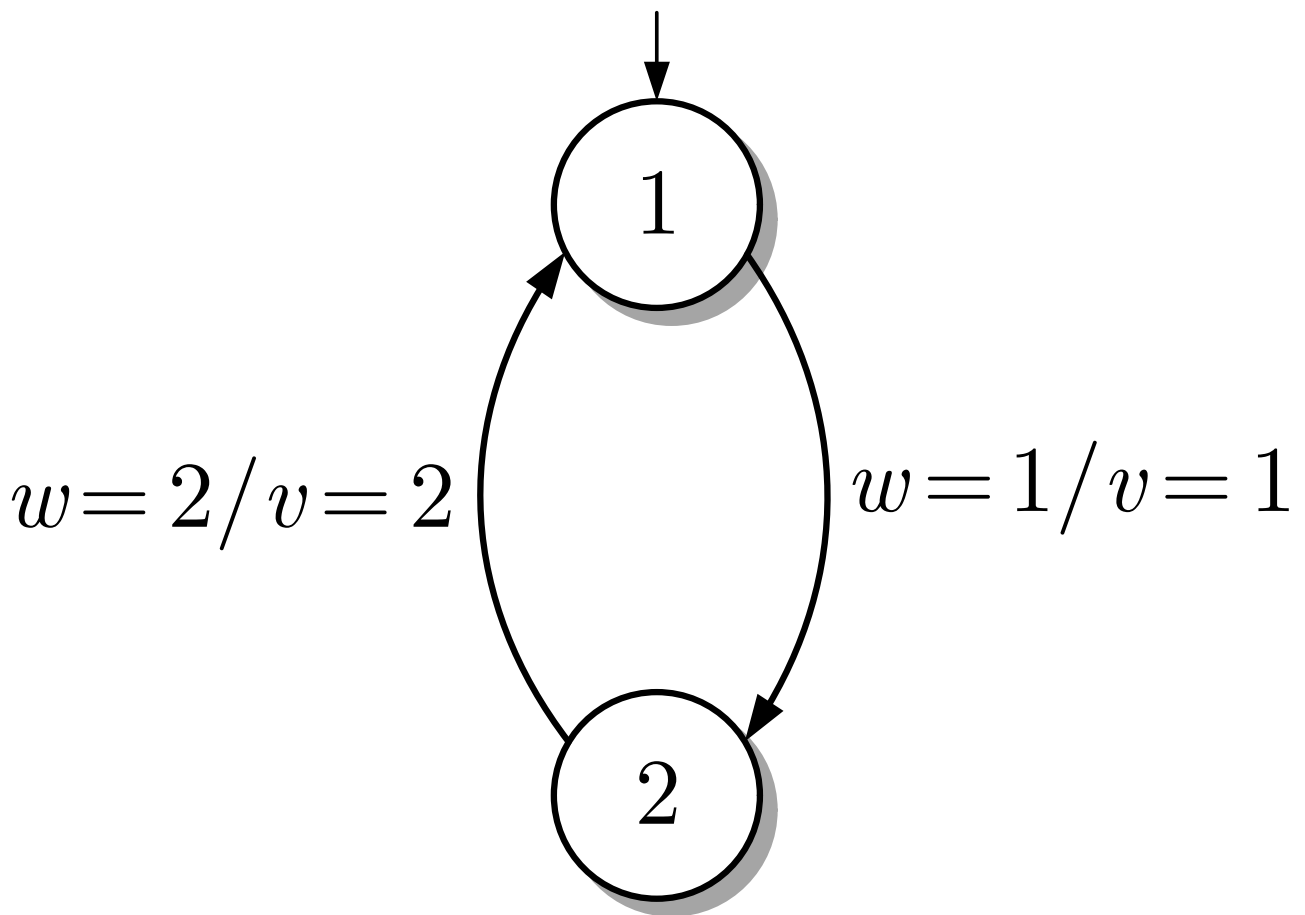
$$\text{Prob}(Z(0) = 1) = 0,5$$



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

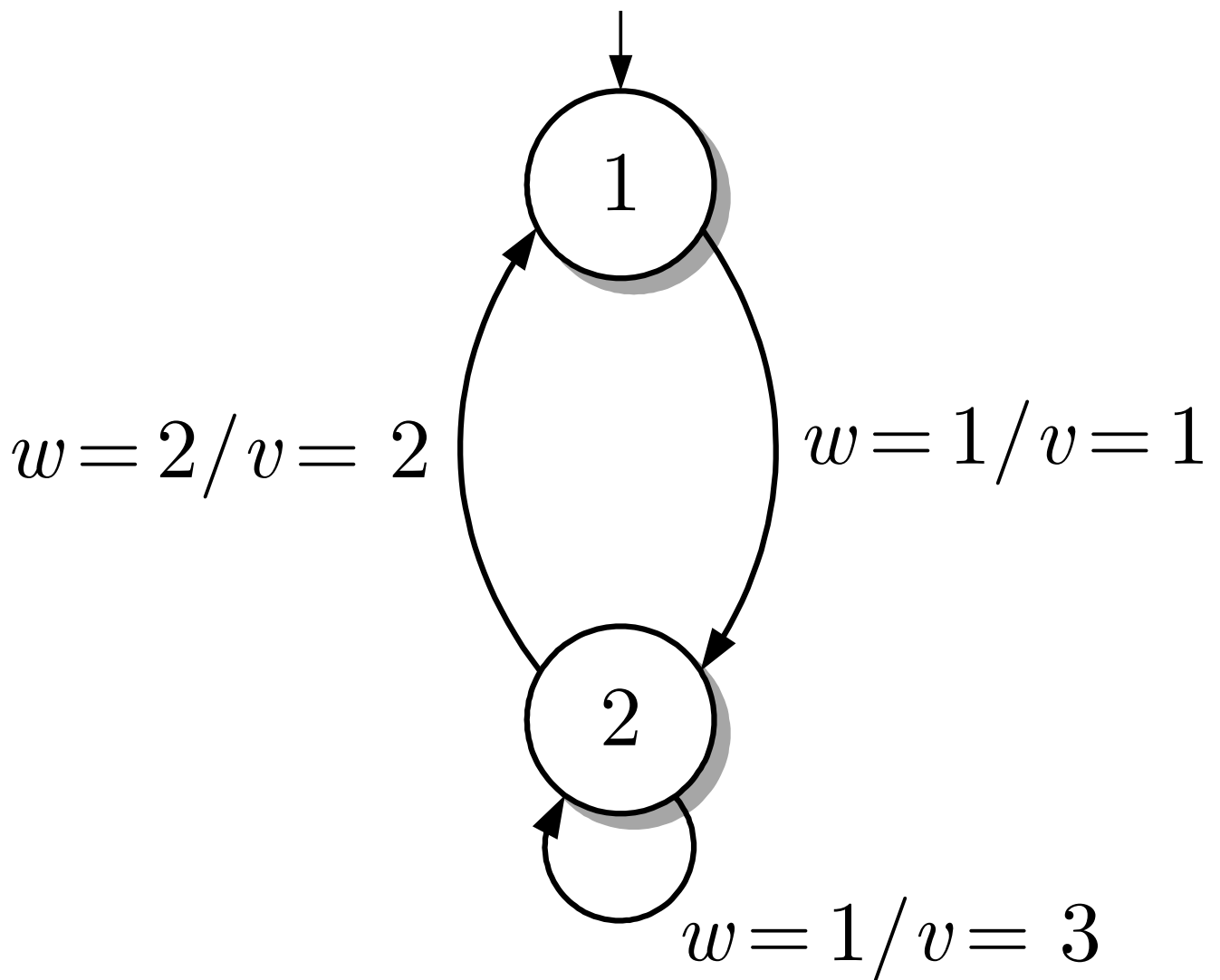
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





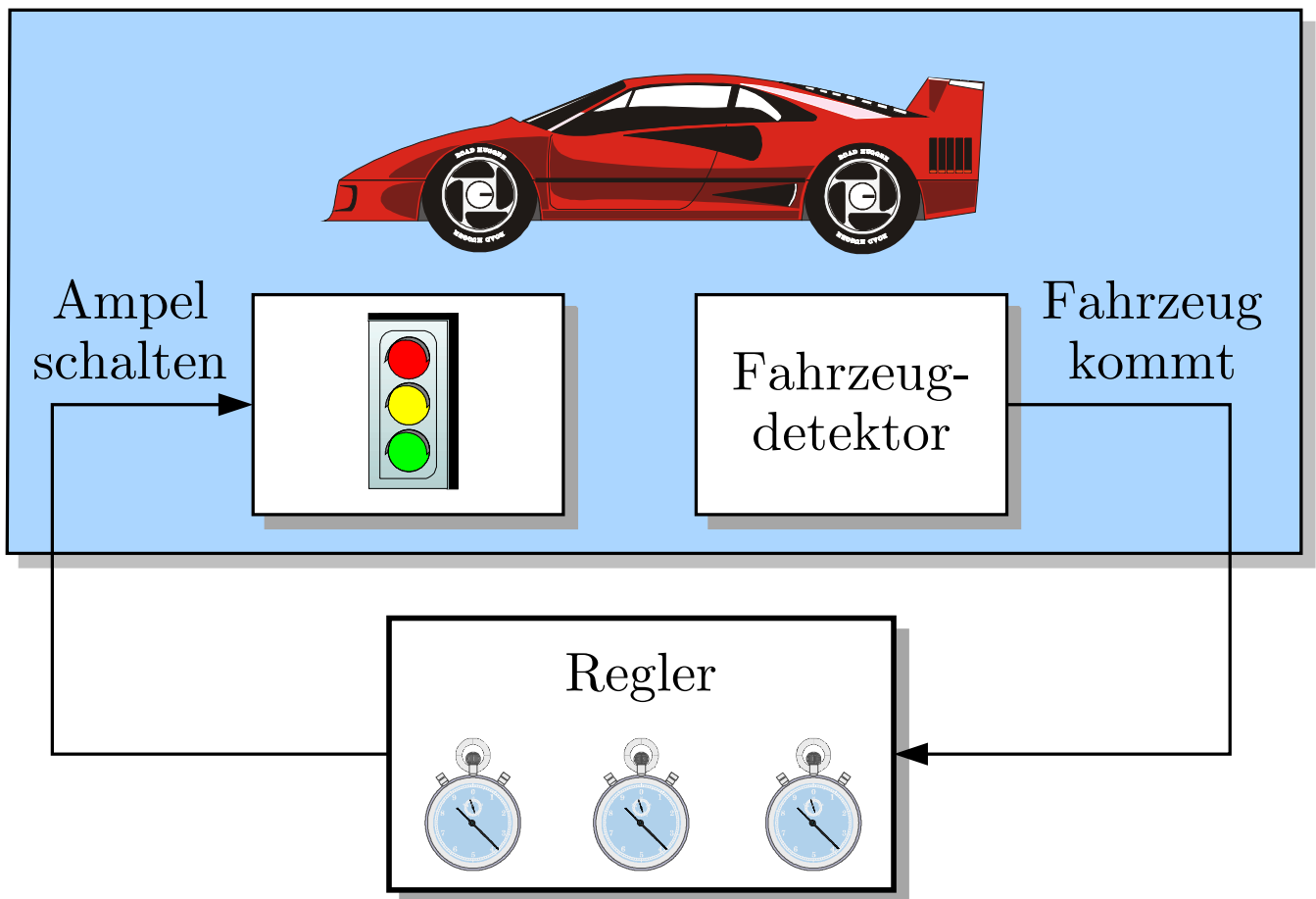
**Abb. A.60: Automatengraph der Steuerungen der Treppenhausbeleuchtung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



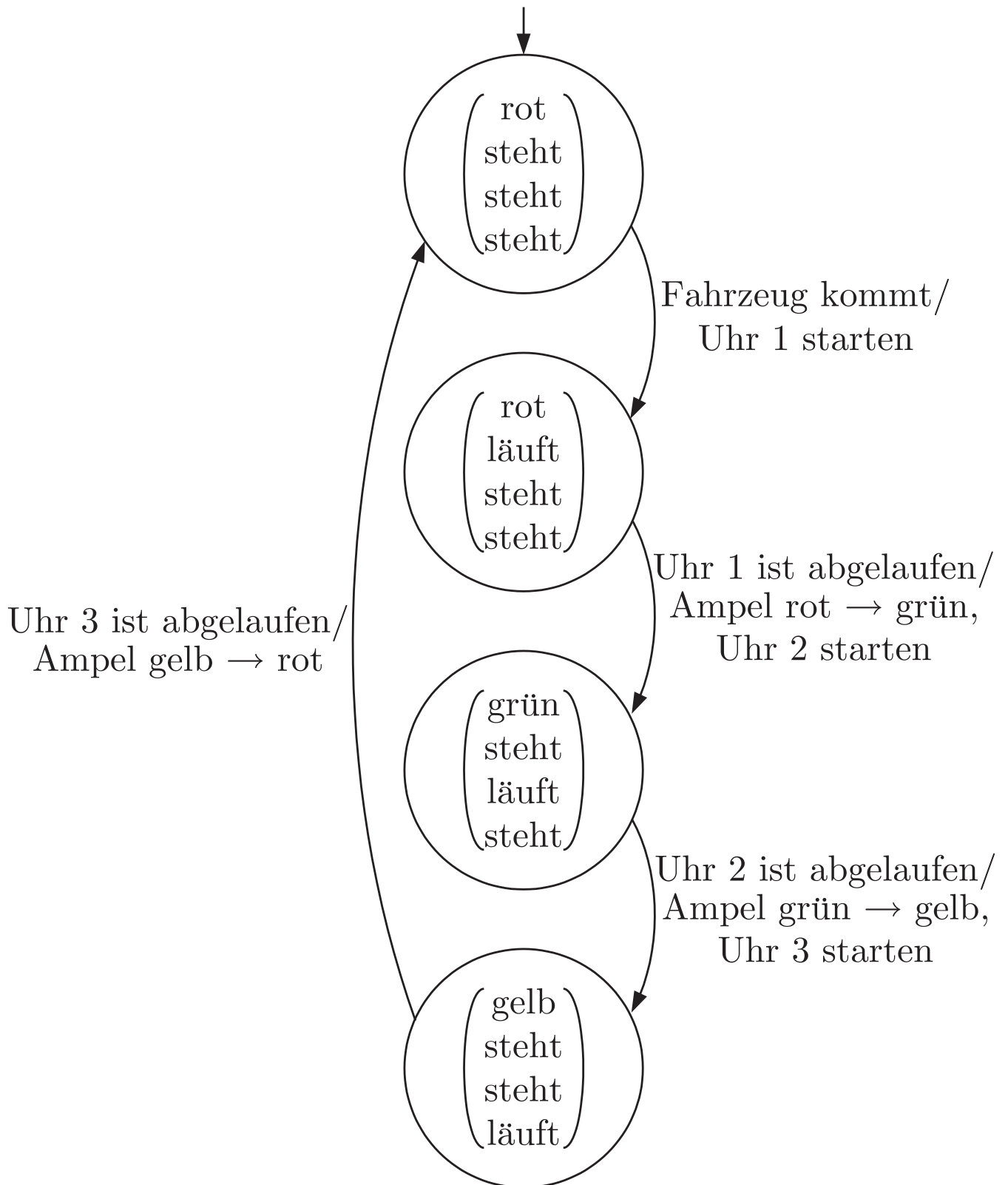
**Abb. A.60: Automatengraph der Steuerungen der Treppenhausbeleuchtung**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*

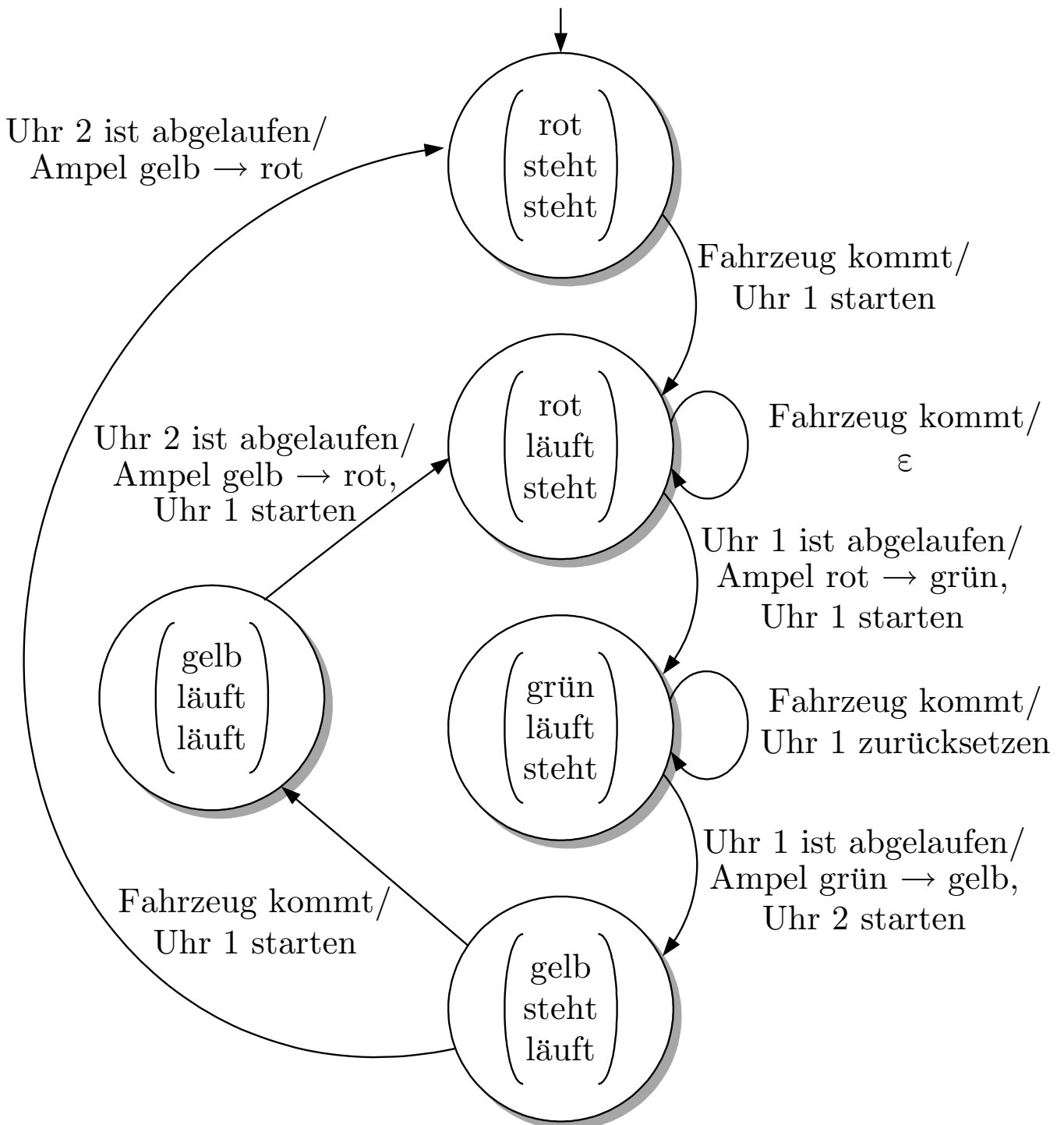


**Abb. A.61: Blockschaltbild der gesteuerten Bremsampel**

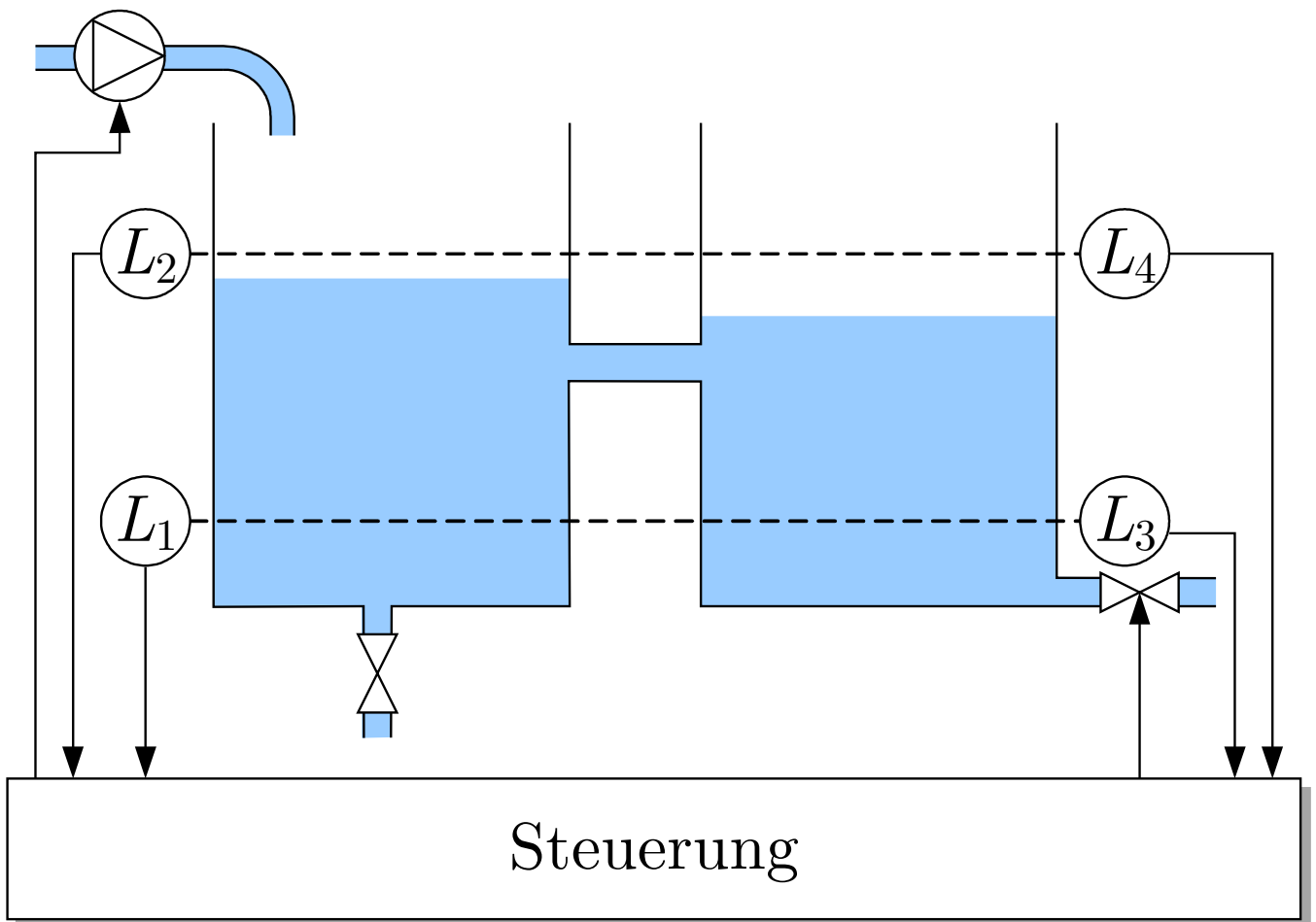
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

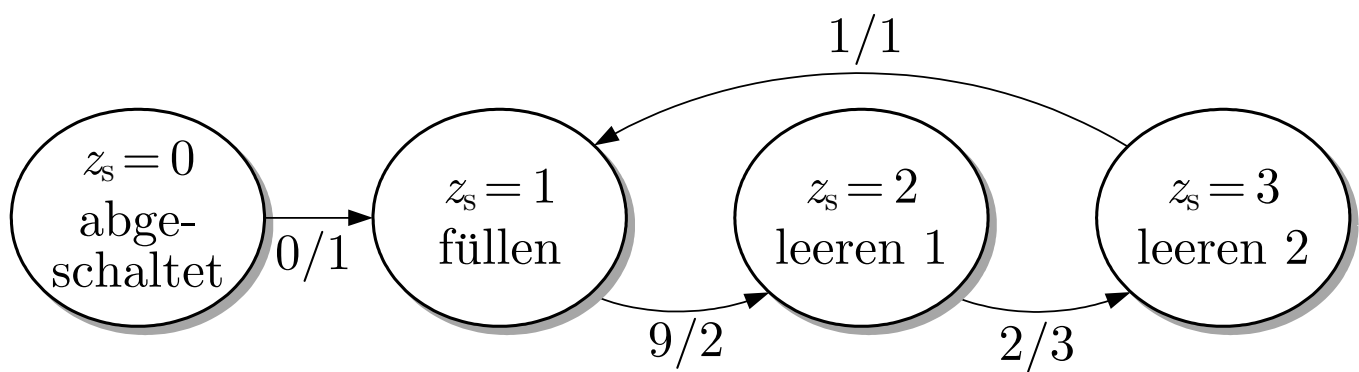


**Abb. A.63: Erweiterung der Beschreibung der Ampelsteuerung**



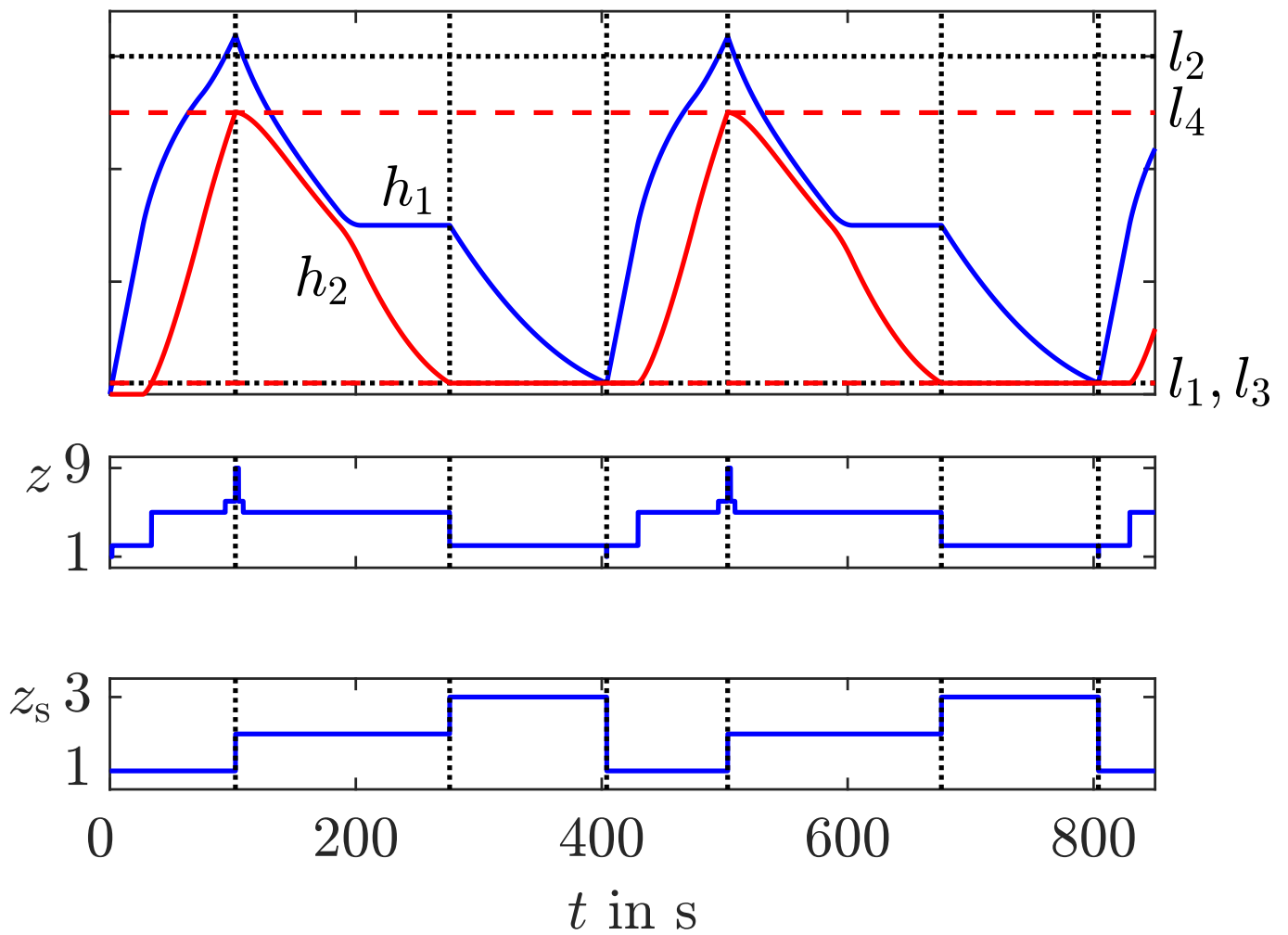
**Abb. A.64: Blockschaltbild des gesteuerten Batchprozesses**

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. A.65: Automatengraph der Steuerung des Batchprozesses**

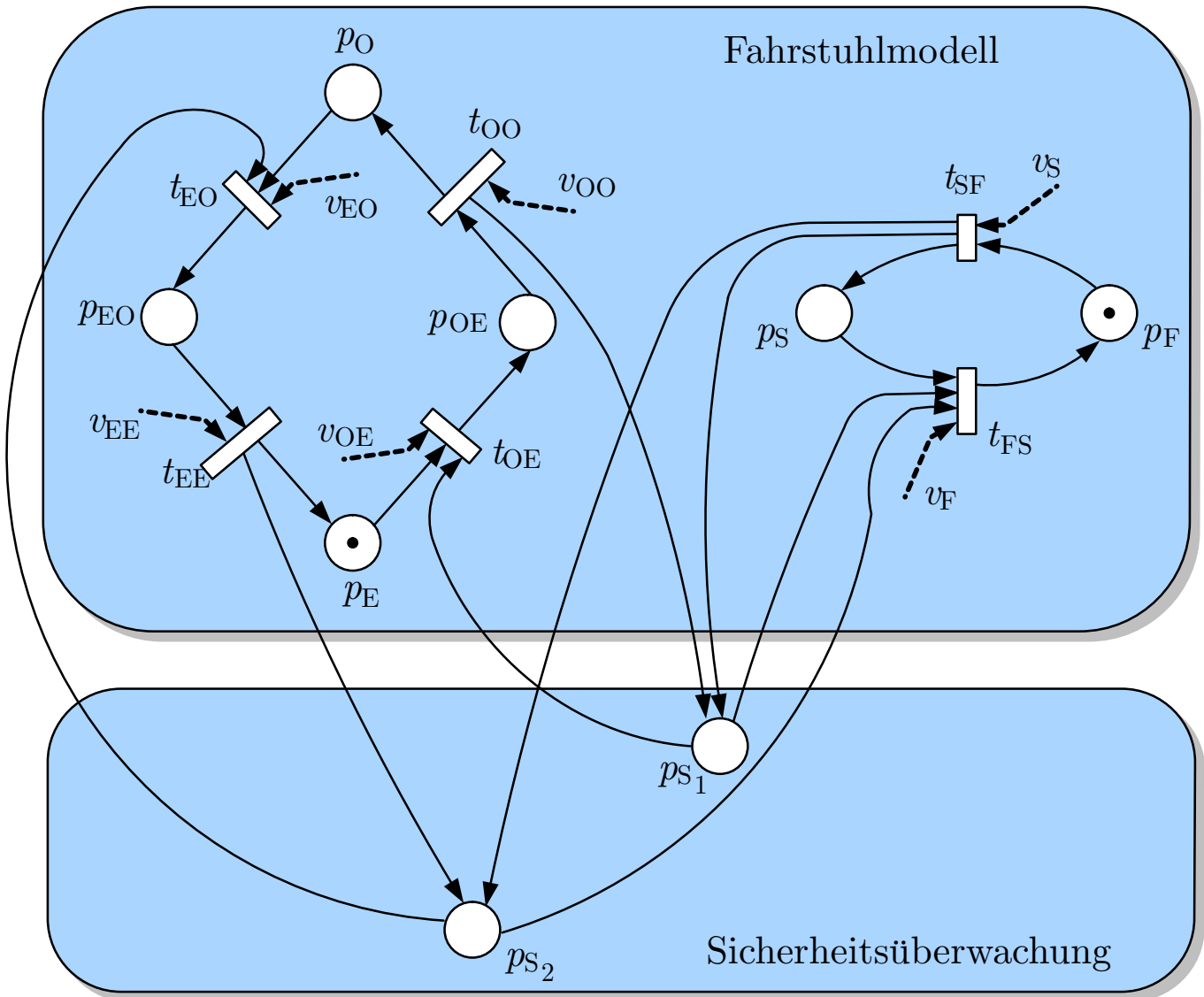
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. A.66: Verhalten des gesteuerten Behältersystems**

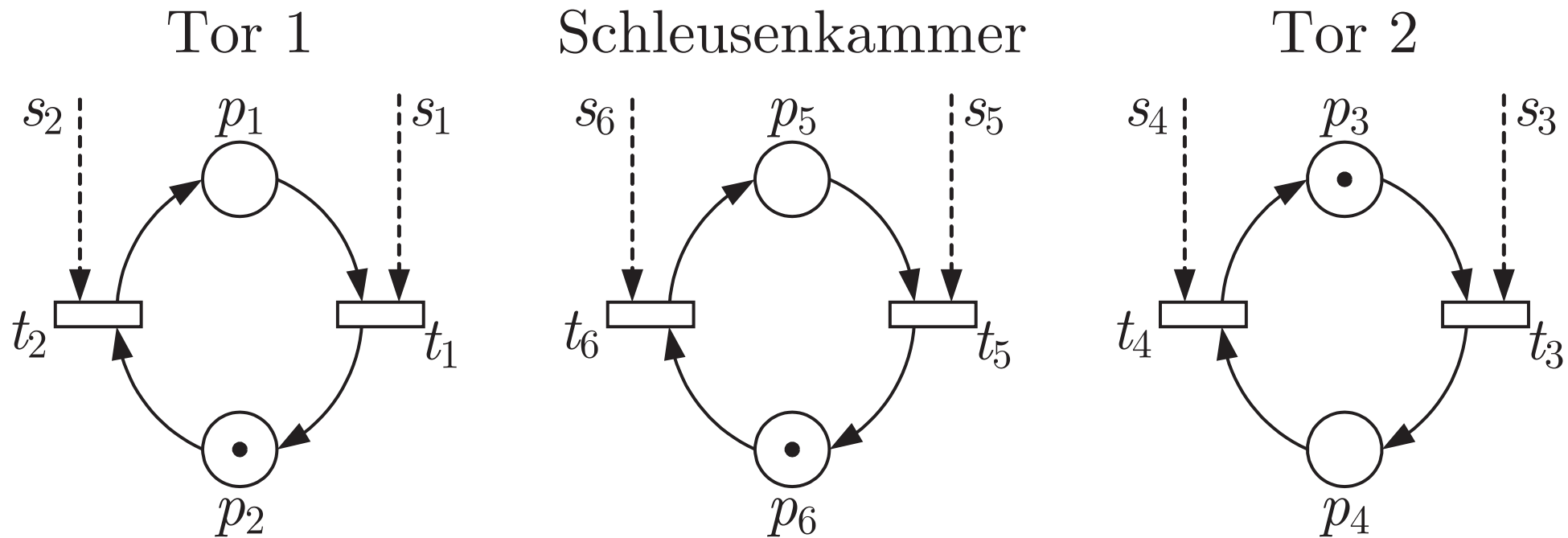
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*

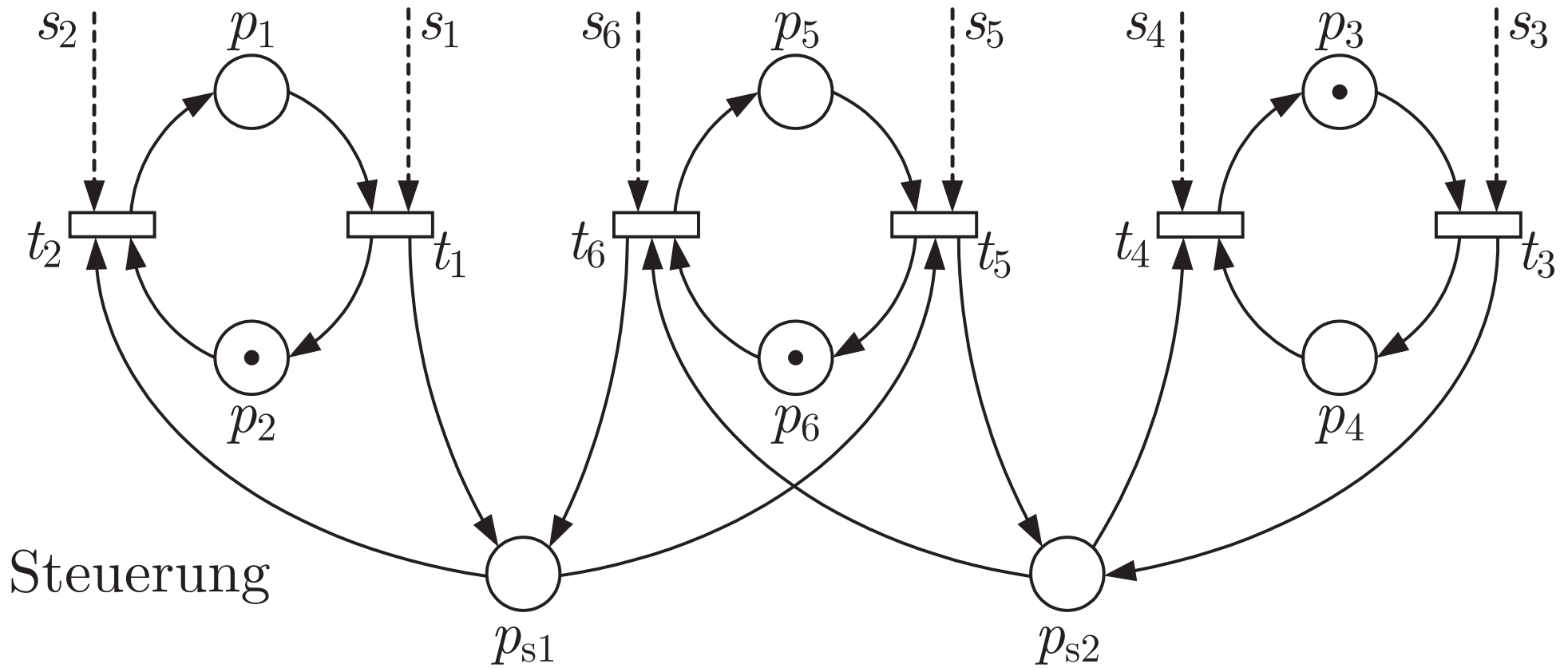
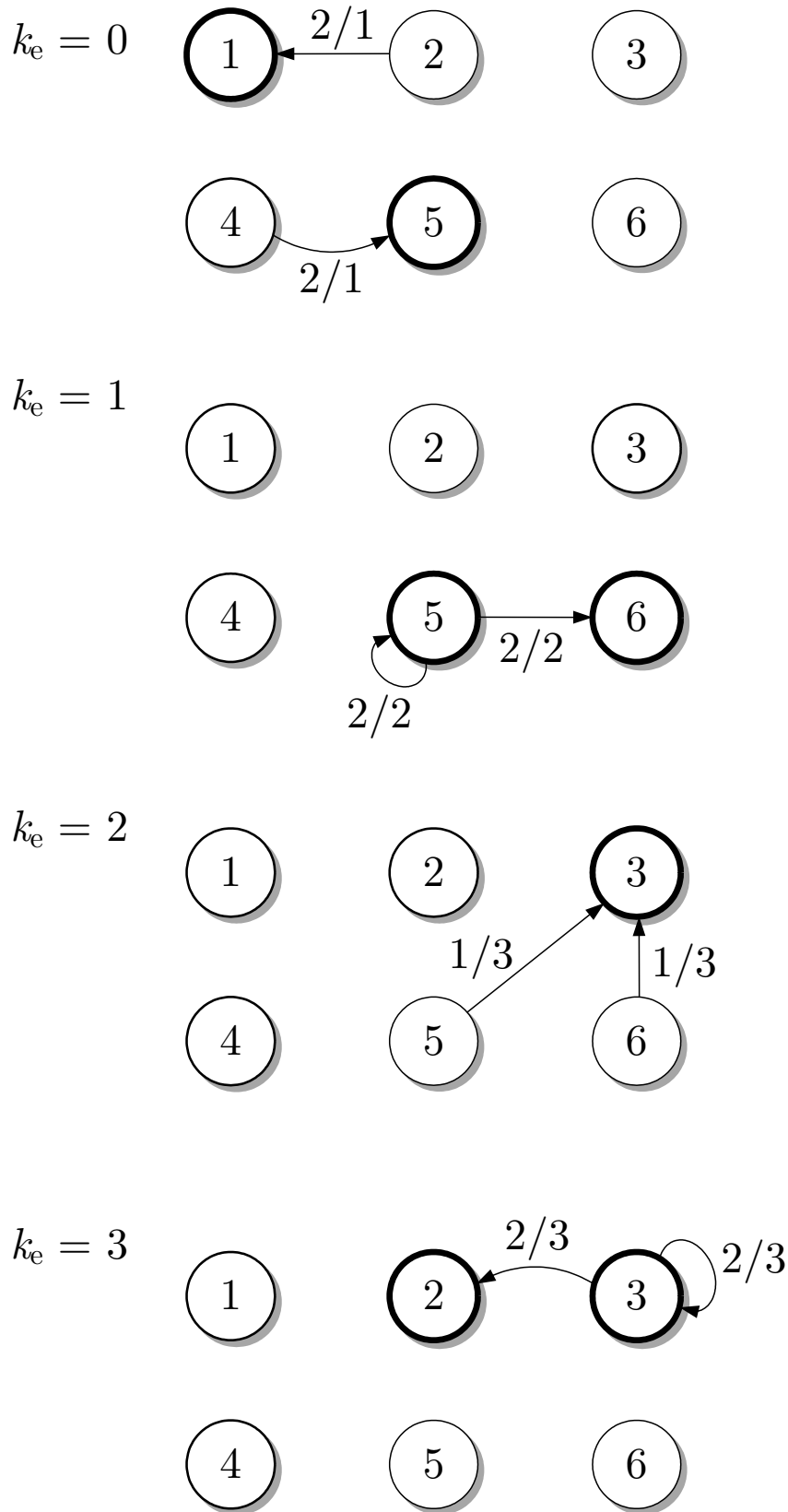


Abb. A.69. Modell der gesteuerten Schiffsschleuse

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

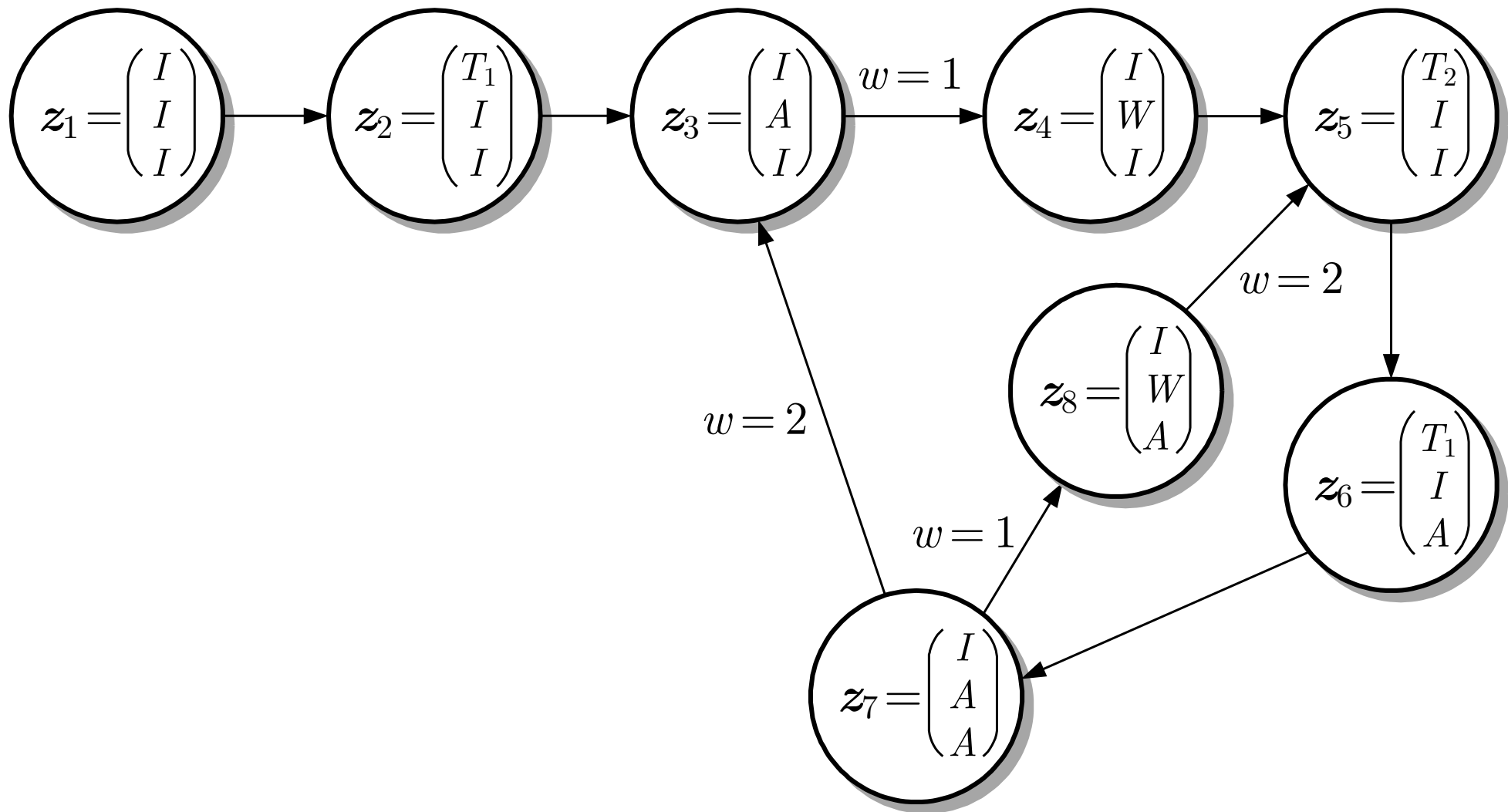


Abb. A.71. Automatengraph der Fertigungszelle mit Kennzeichnung der Ausgaben

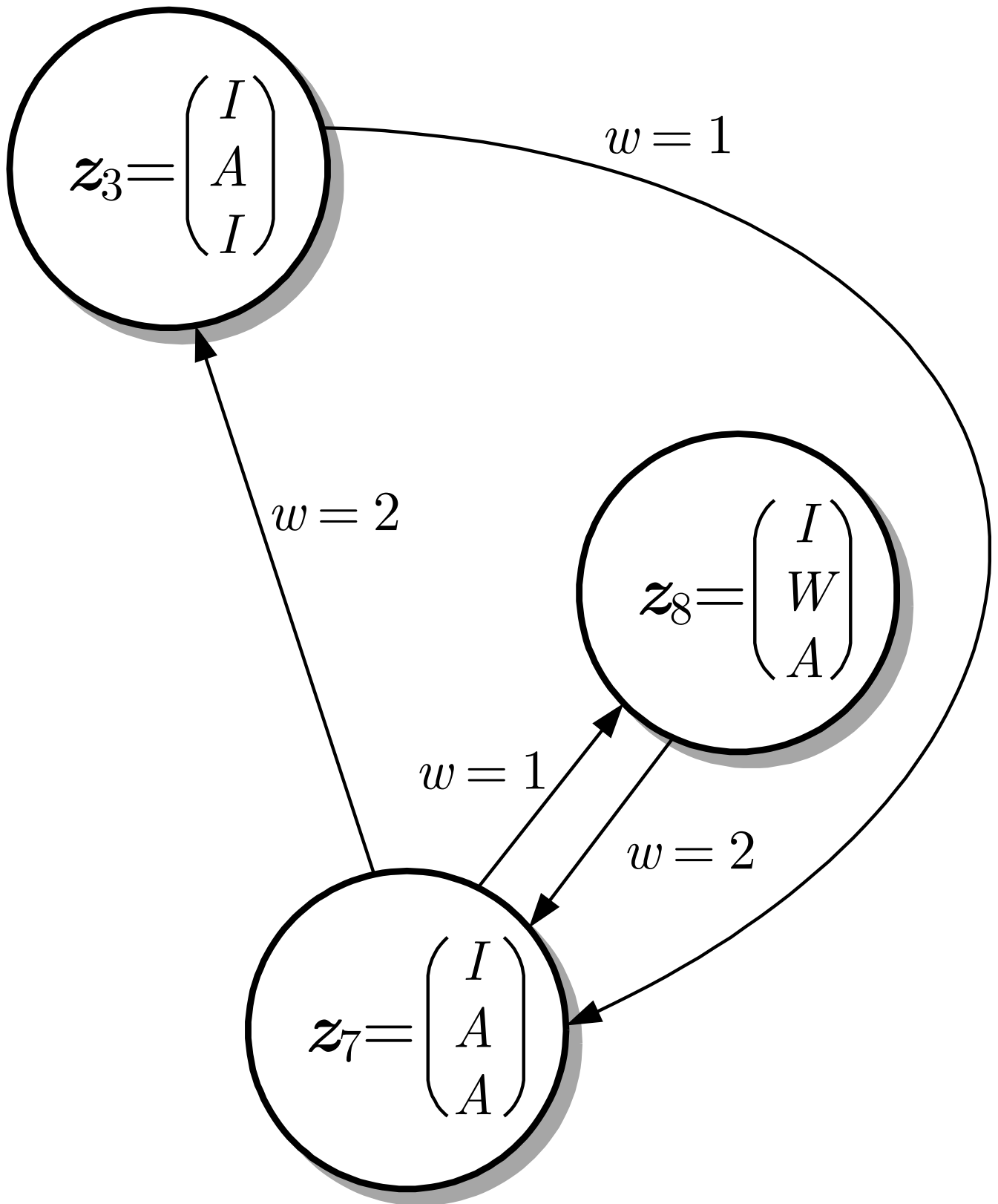
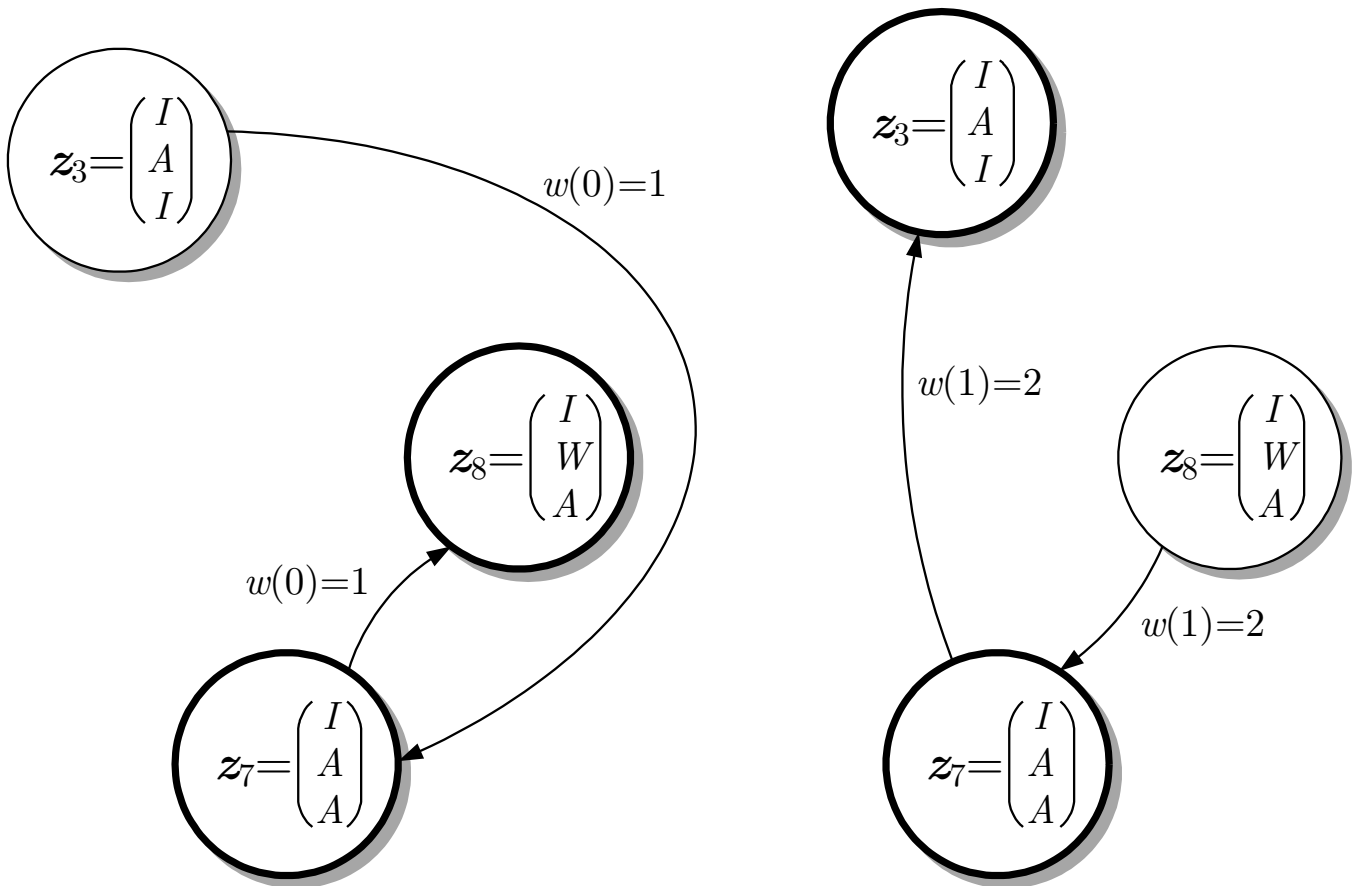


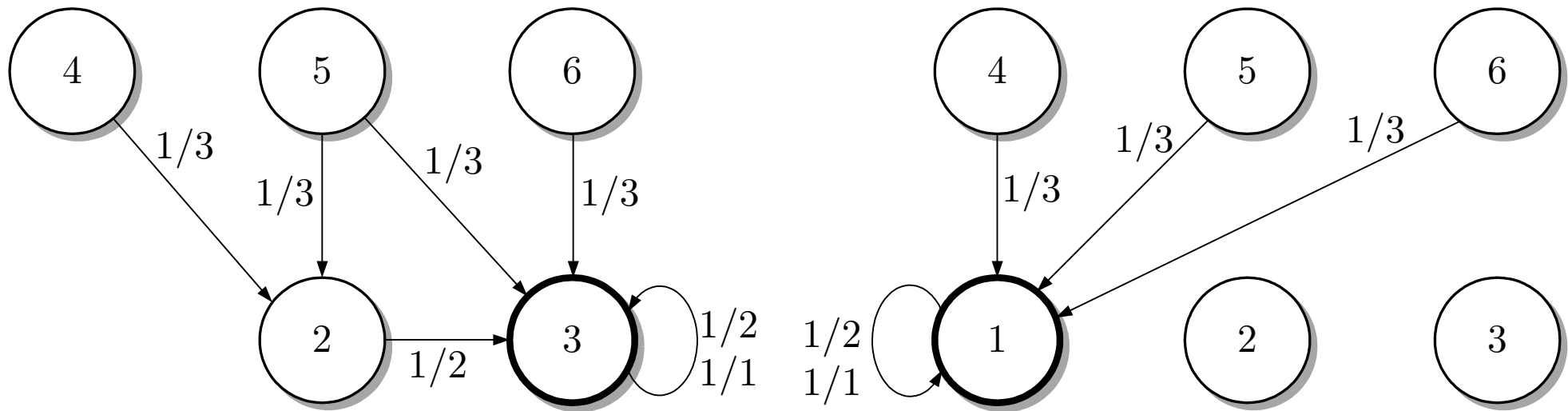
Abb. A.72: Reduzierter Automat der Fertigungszelle

*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



**Abb. A.73: Beobachtungsergebnis der Fertigungszelle**

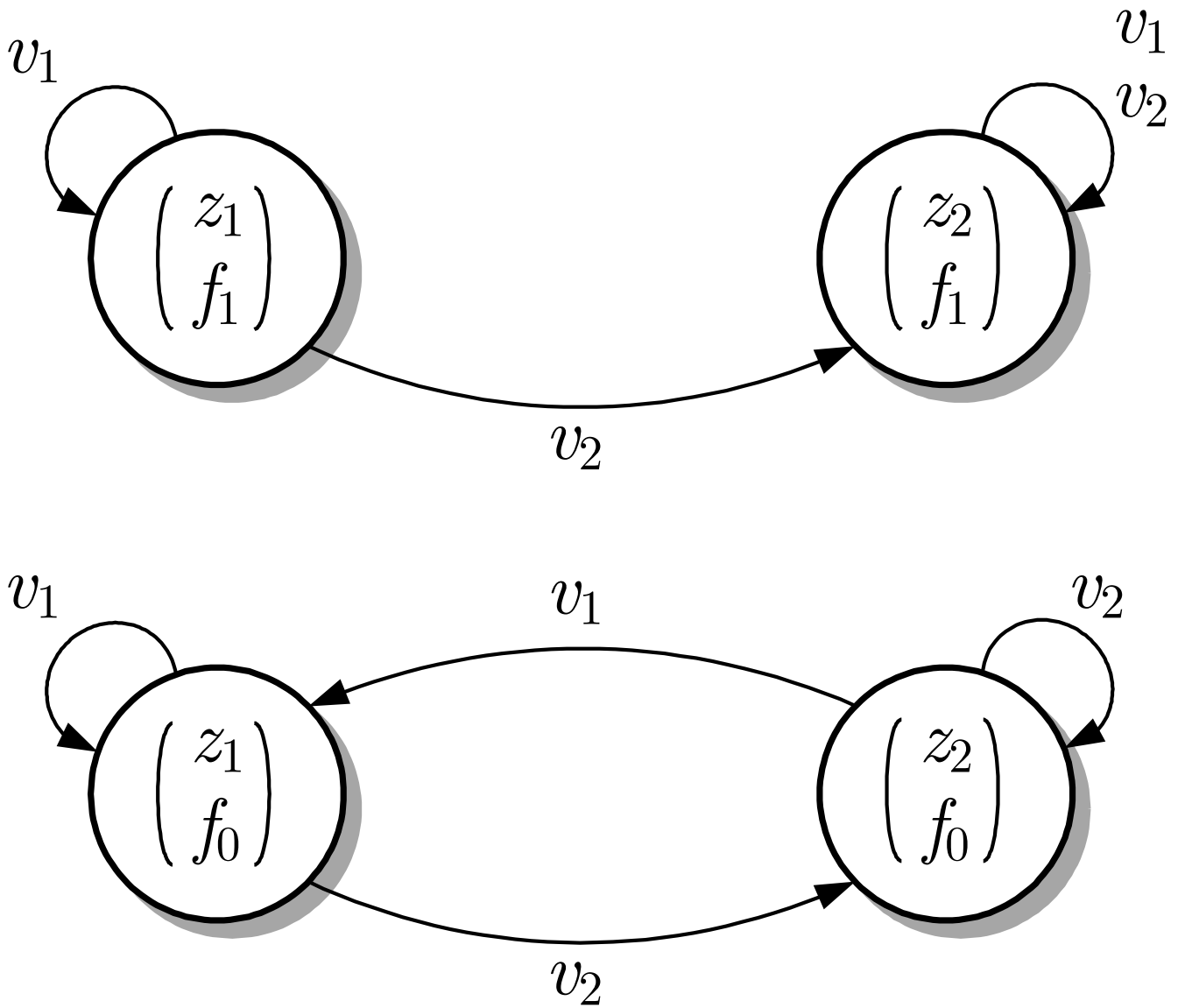
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*



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

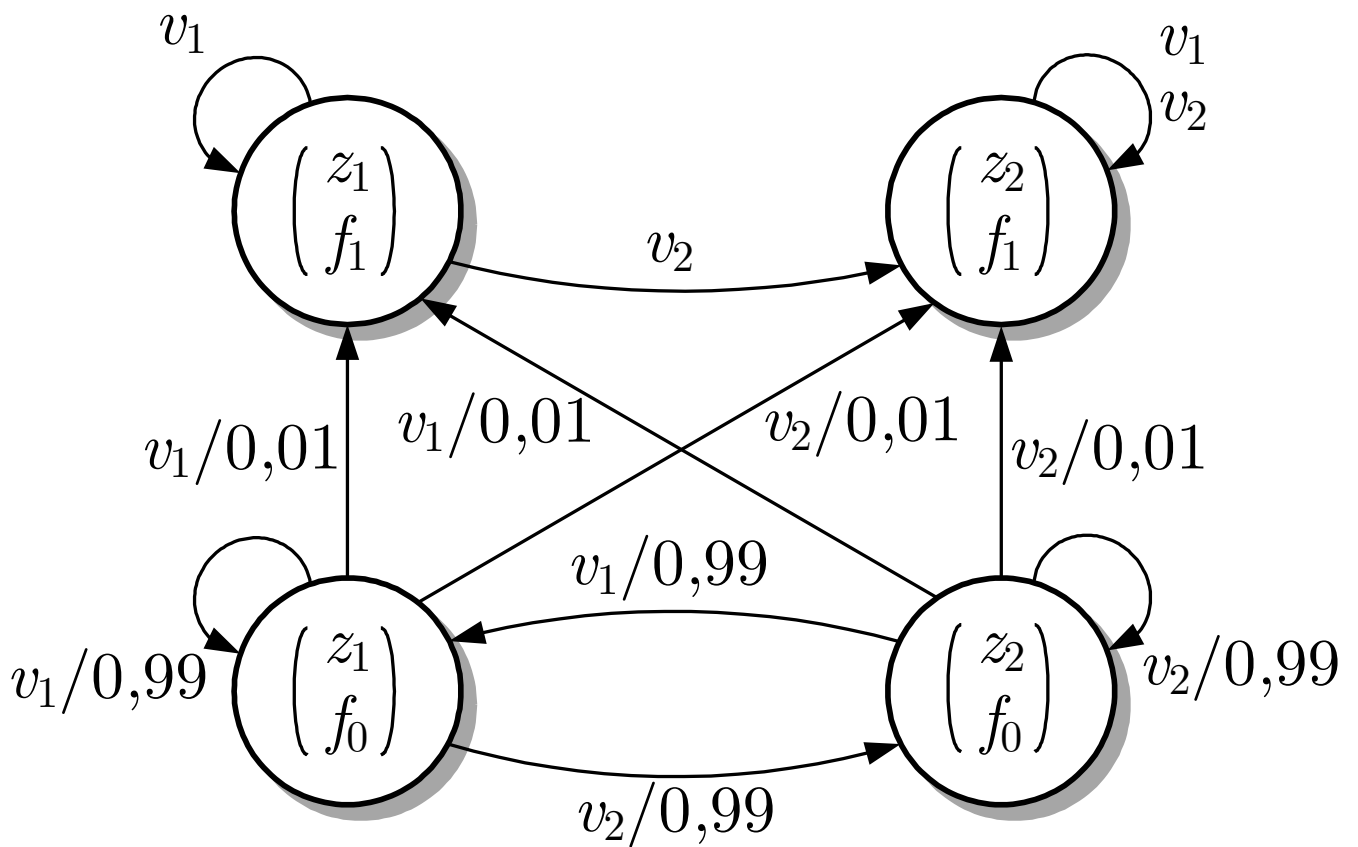
*J. Lunze: Automatisierungstechnik, De Gruyter Oldenbourg 2020*





**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*