

Jan Lunze

Regelungstechnik 2

Mehrgrößensysteme
Digitale Regelung

10., neu bearbeitete Auflage

Alle Abbildungen in A4-Vergrößerung

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

2017

26. Februar 2020

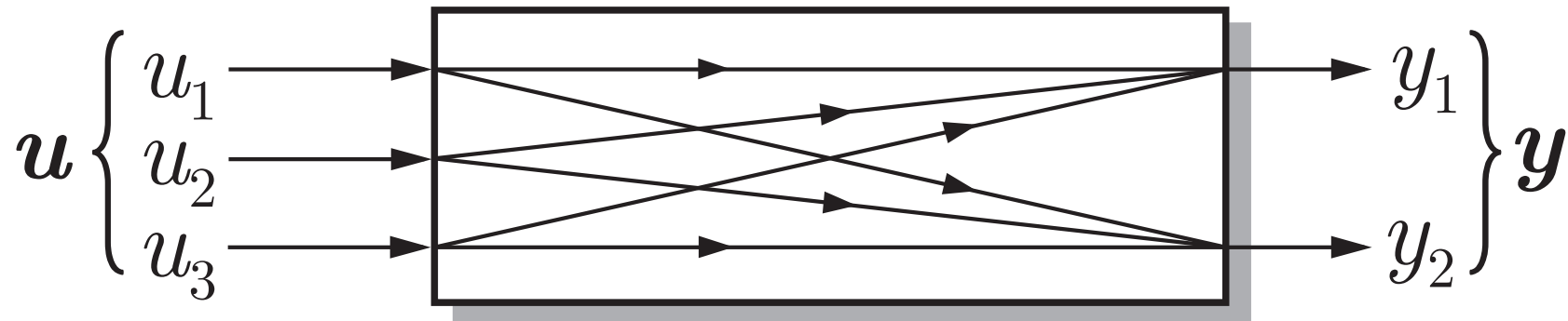


Abb. 1.1. Mehrgrößensystem

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

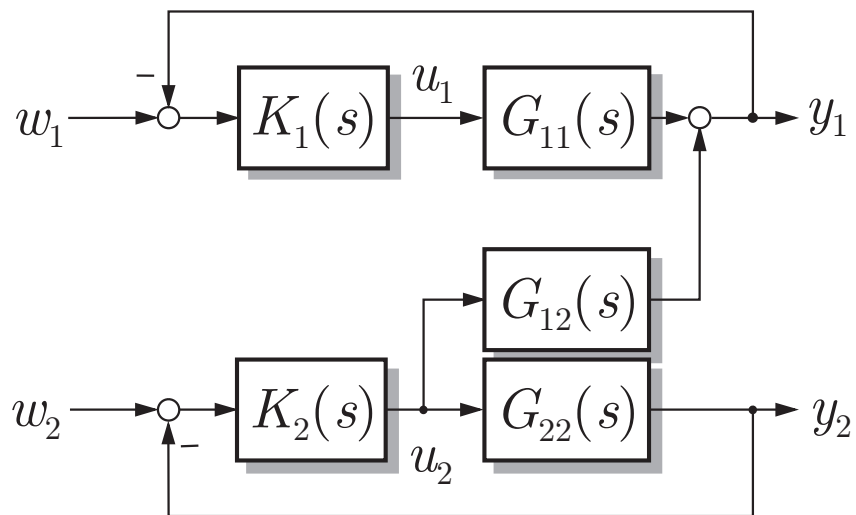
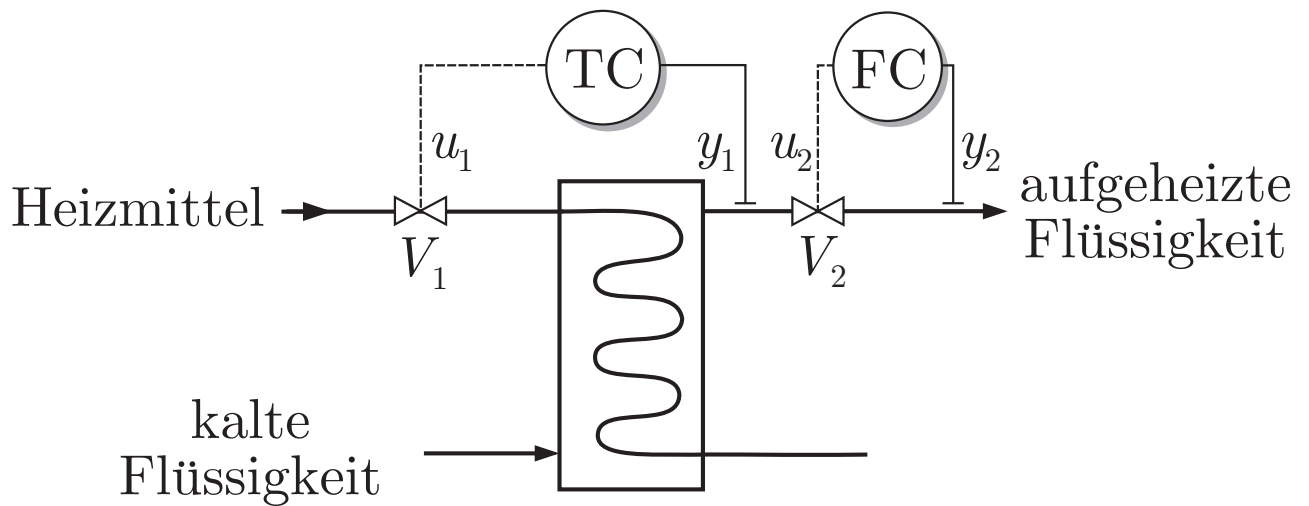


Abb. 1.2: Mehrgrößenregelung eines Wärmeübertragers

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

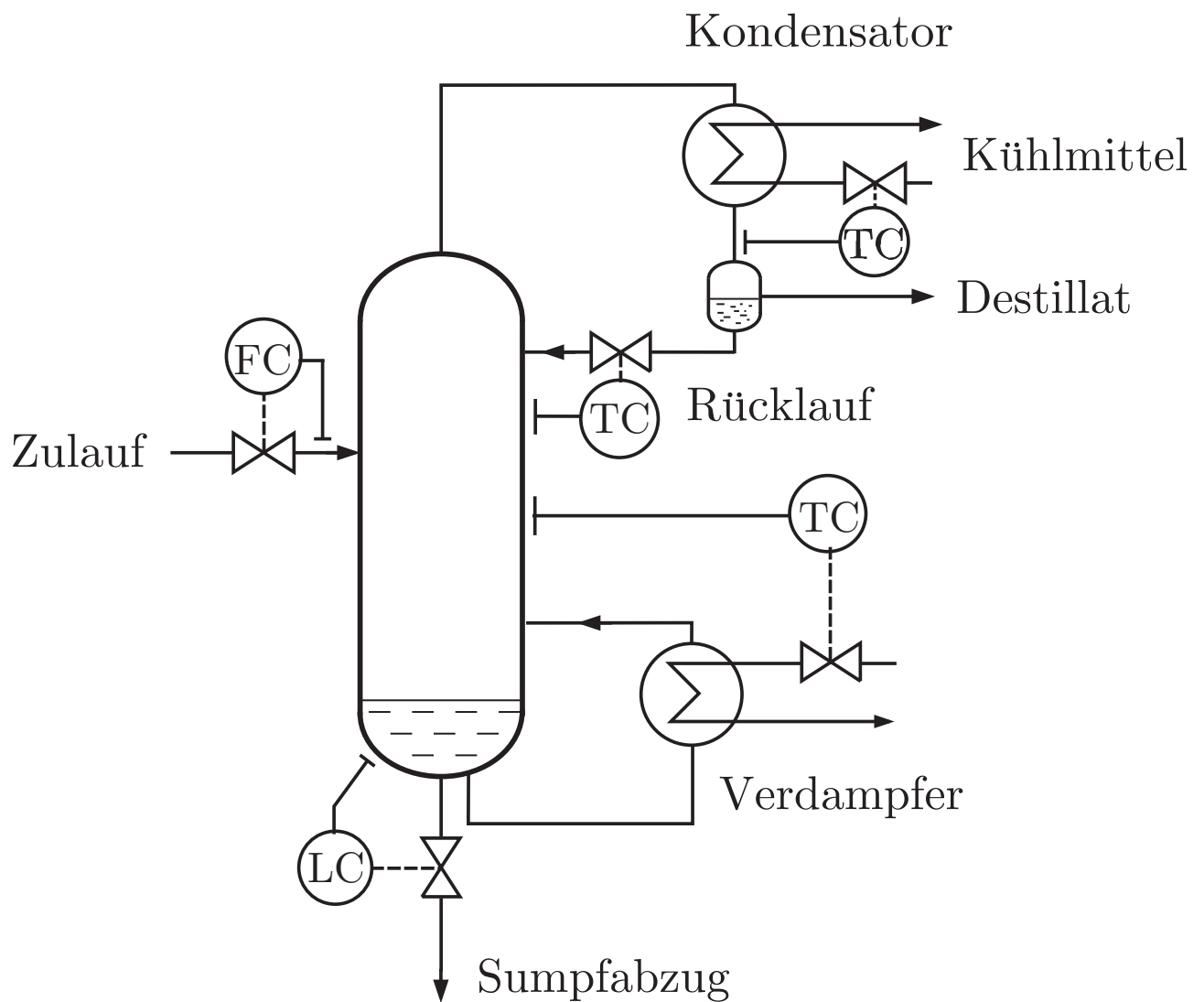


Abb. 1.3: Regelung einer Destillationskolonne

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

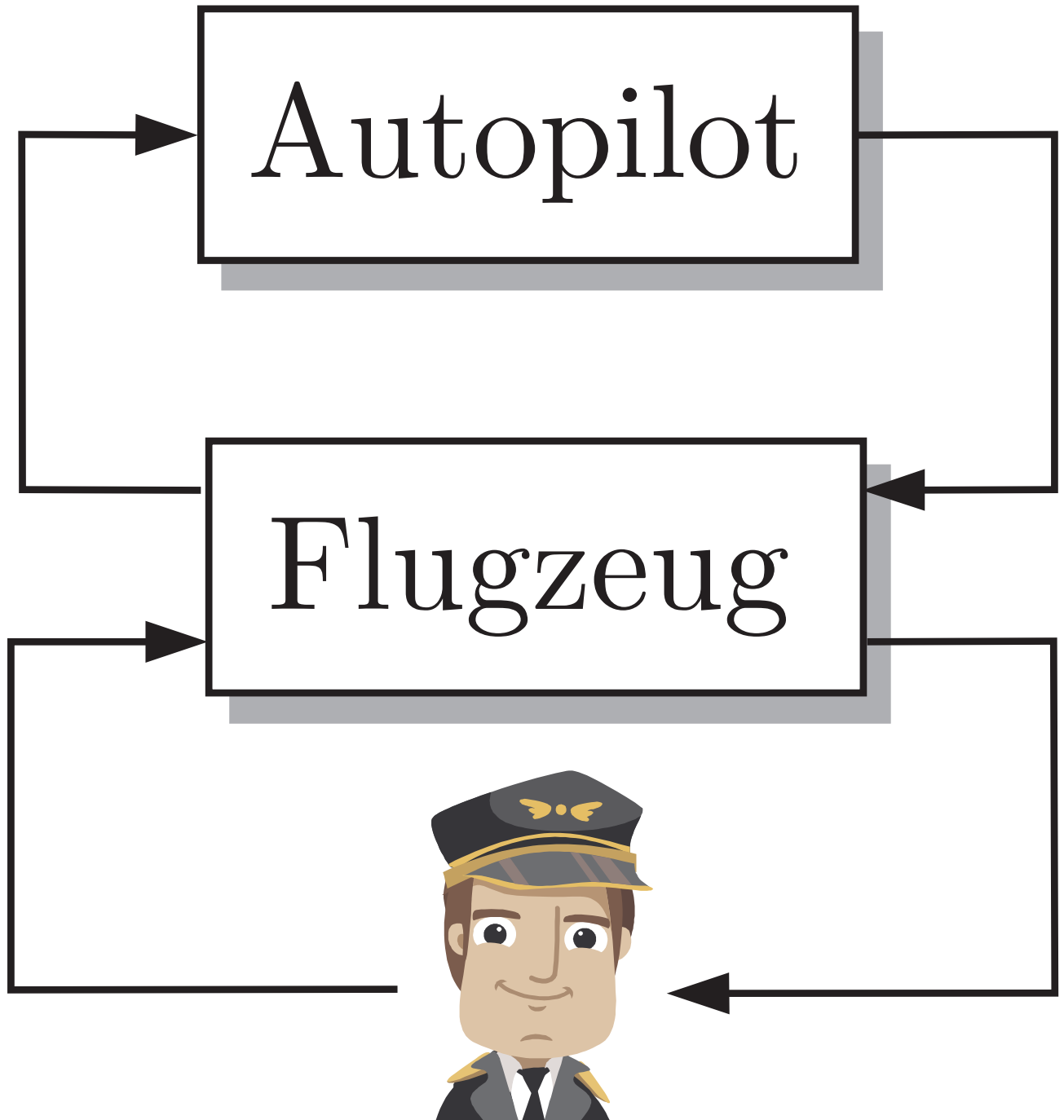


Abb. 1.4: Regelung eines Flugzeugs durch Autopiloten und Piloten

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

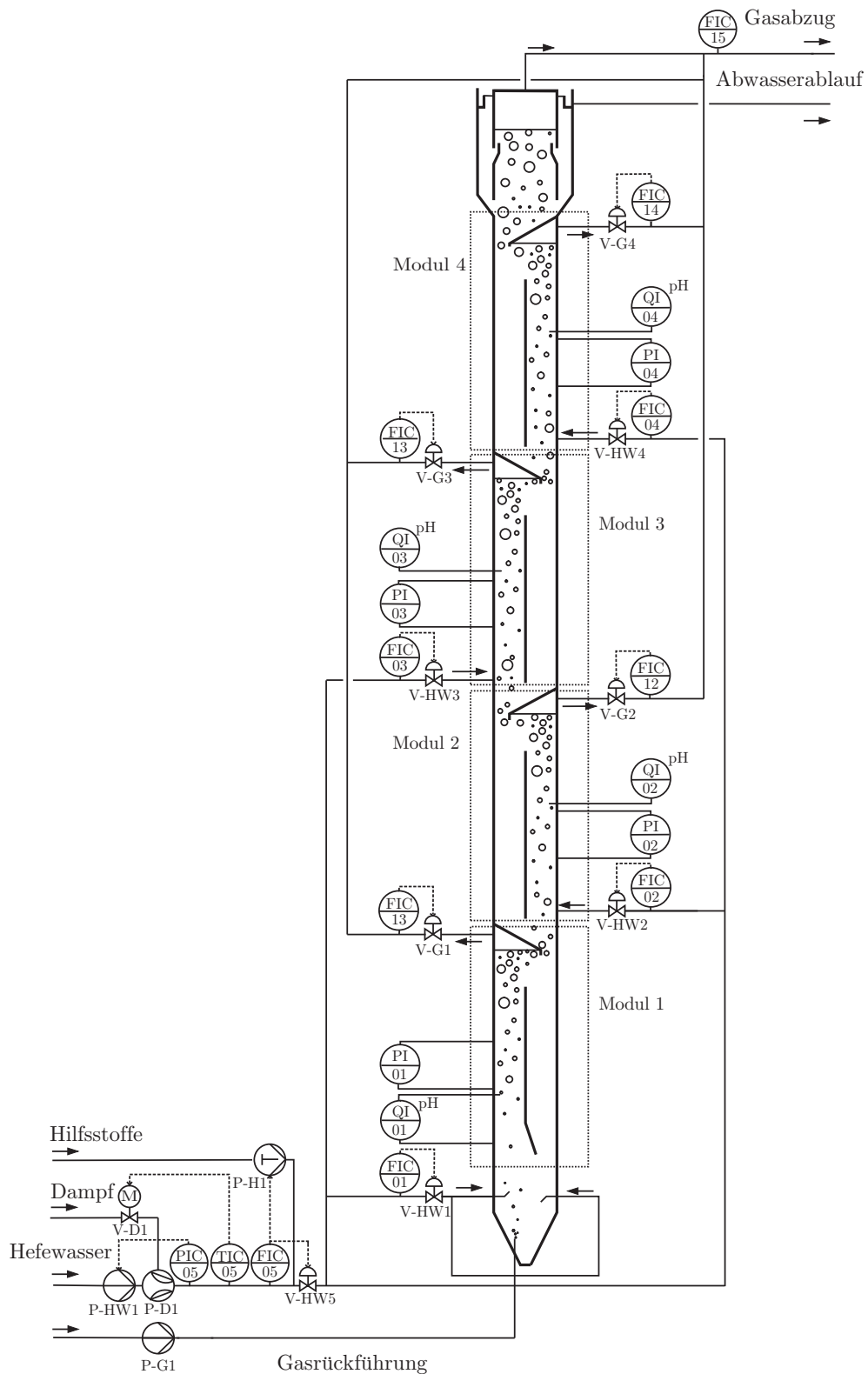


Abb. 1.5. Biogasreaktor mit Kennzeichnung wichtiger Regelkreise

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

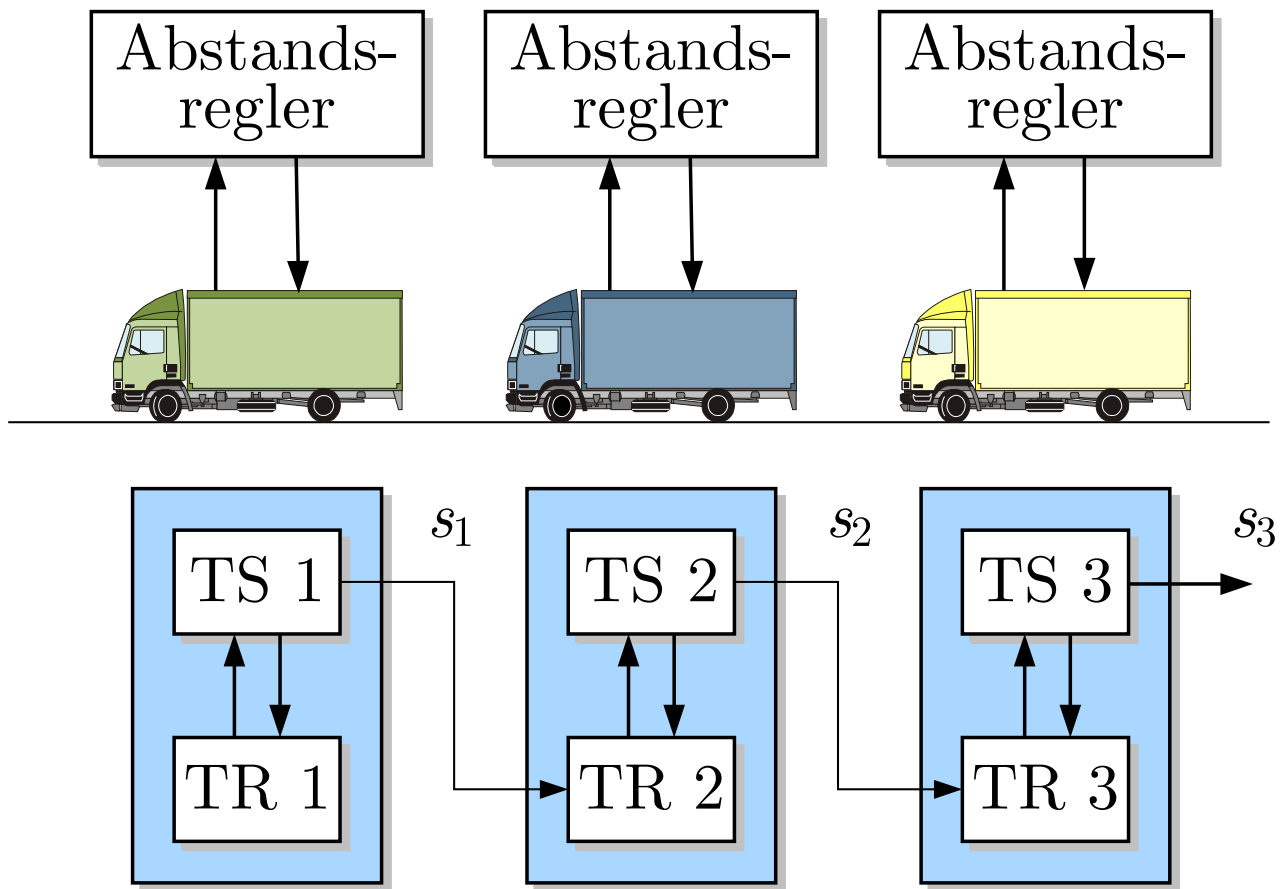


Abb. 1.6: Dezentrale Abstandsregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

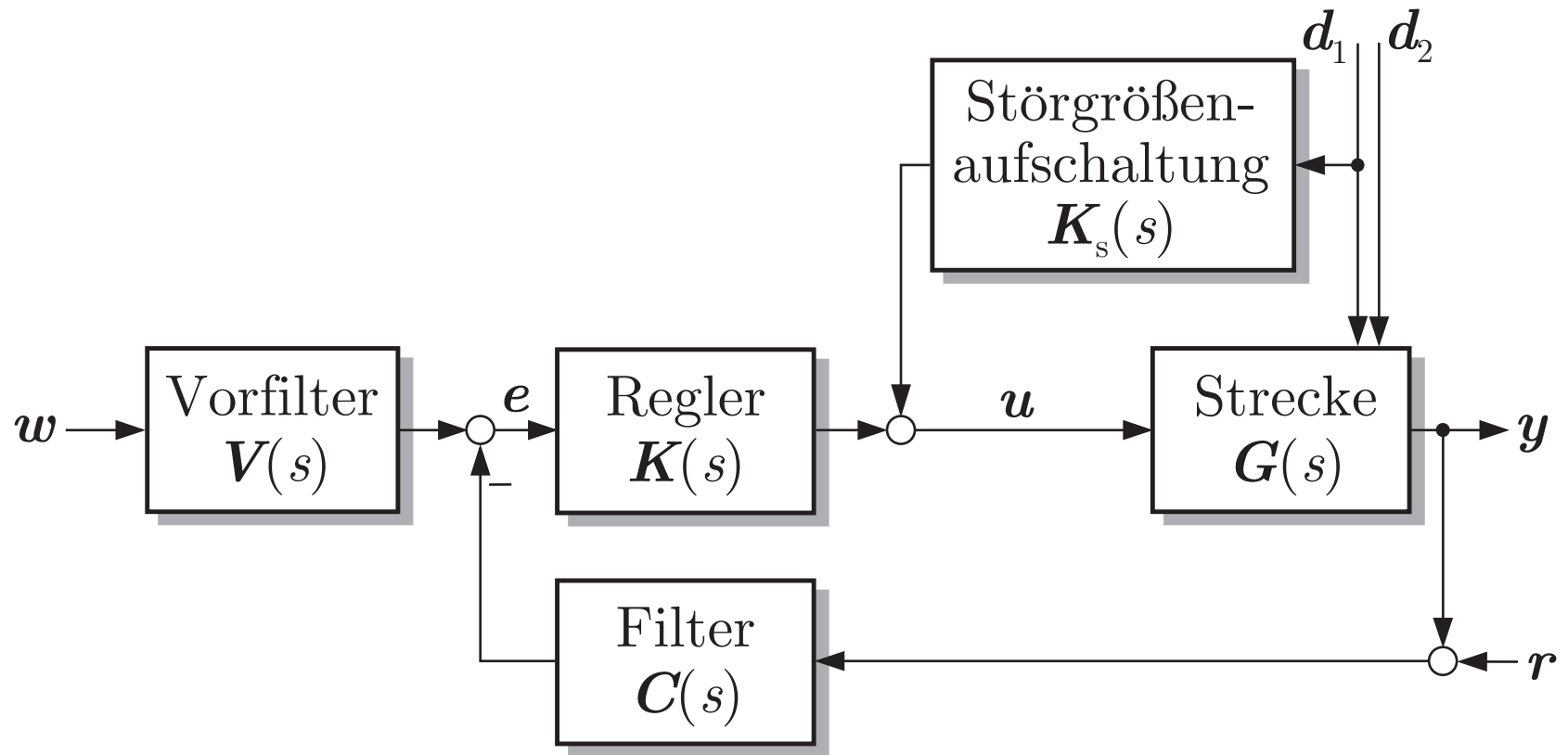


Abb. 1.7. Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung und Vorfilter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

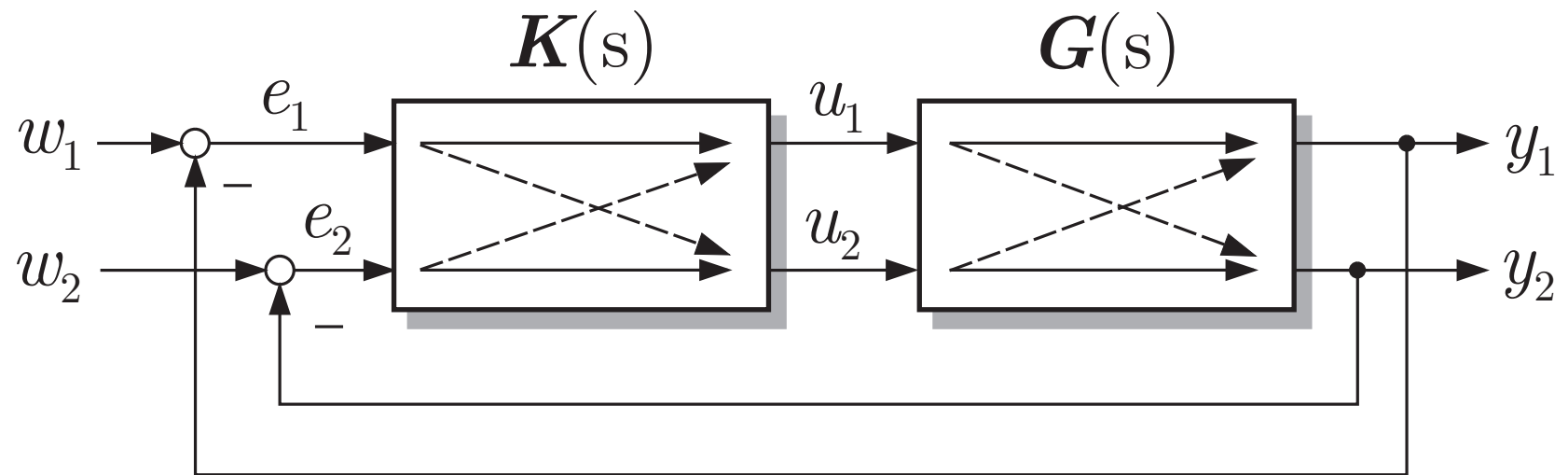


Abb. 1.8. Mehrgrößenregelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

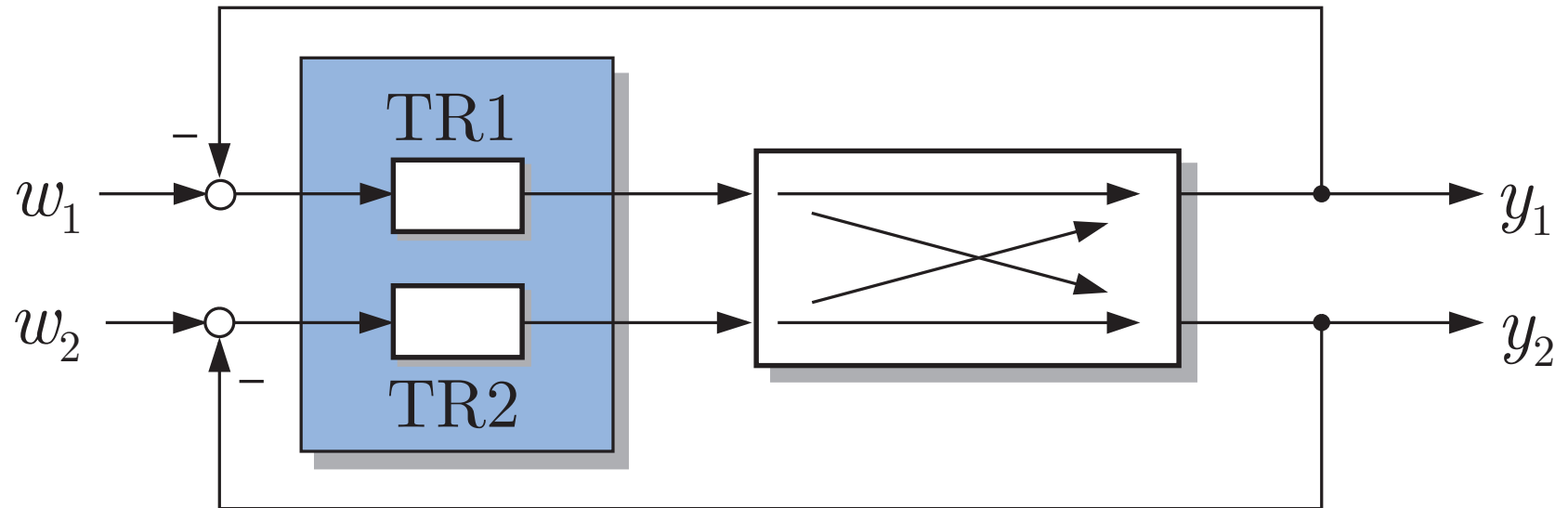


Abb. 1.9. Dezentrale Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

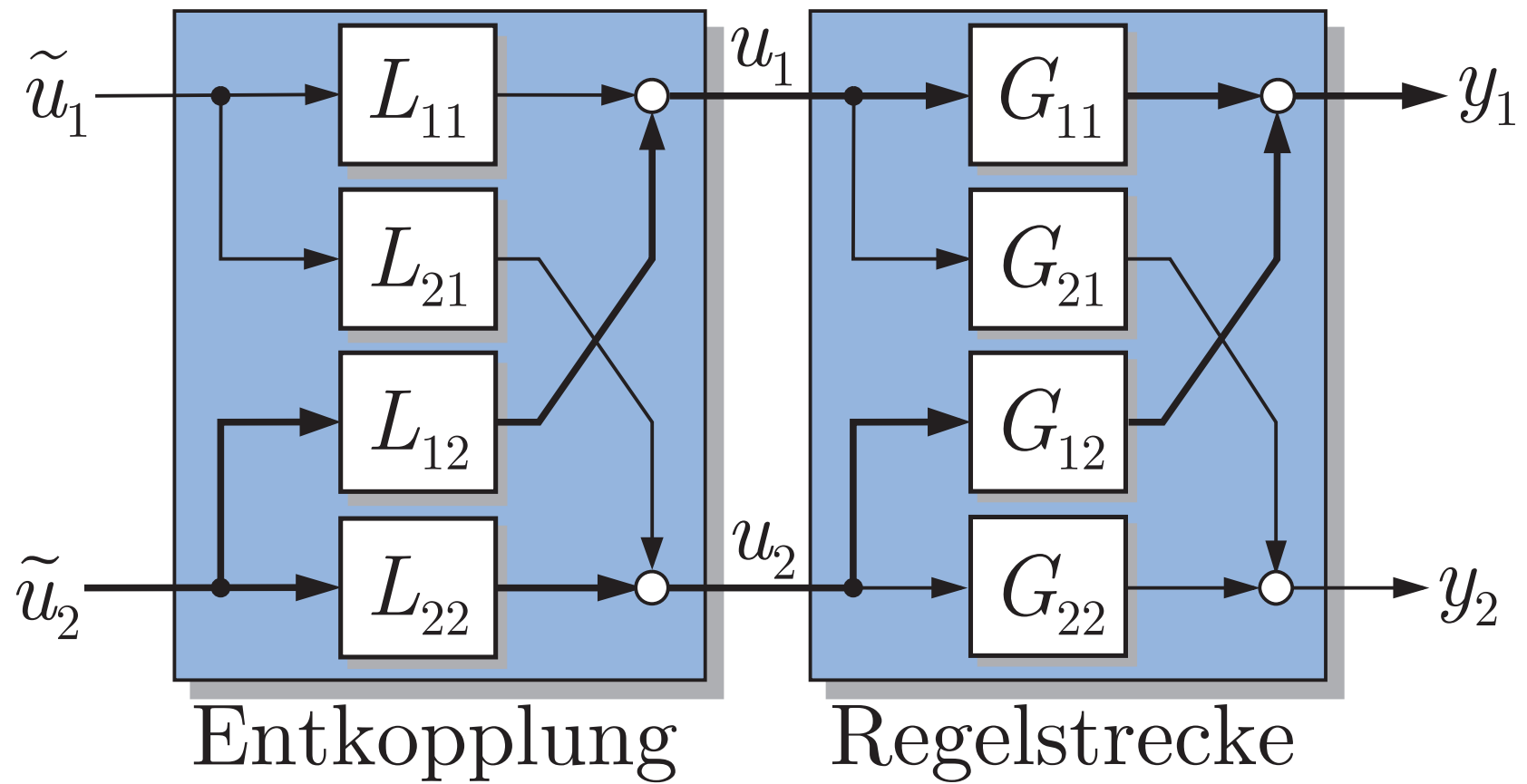


Abb. 1.10. Entkopplung von Mehrgrößensystemen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

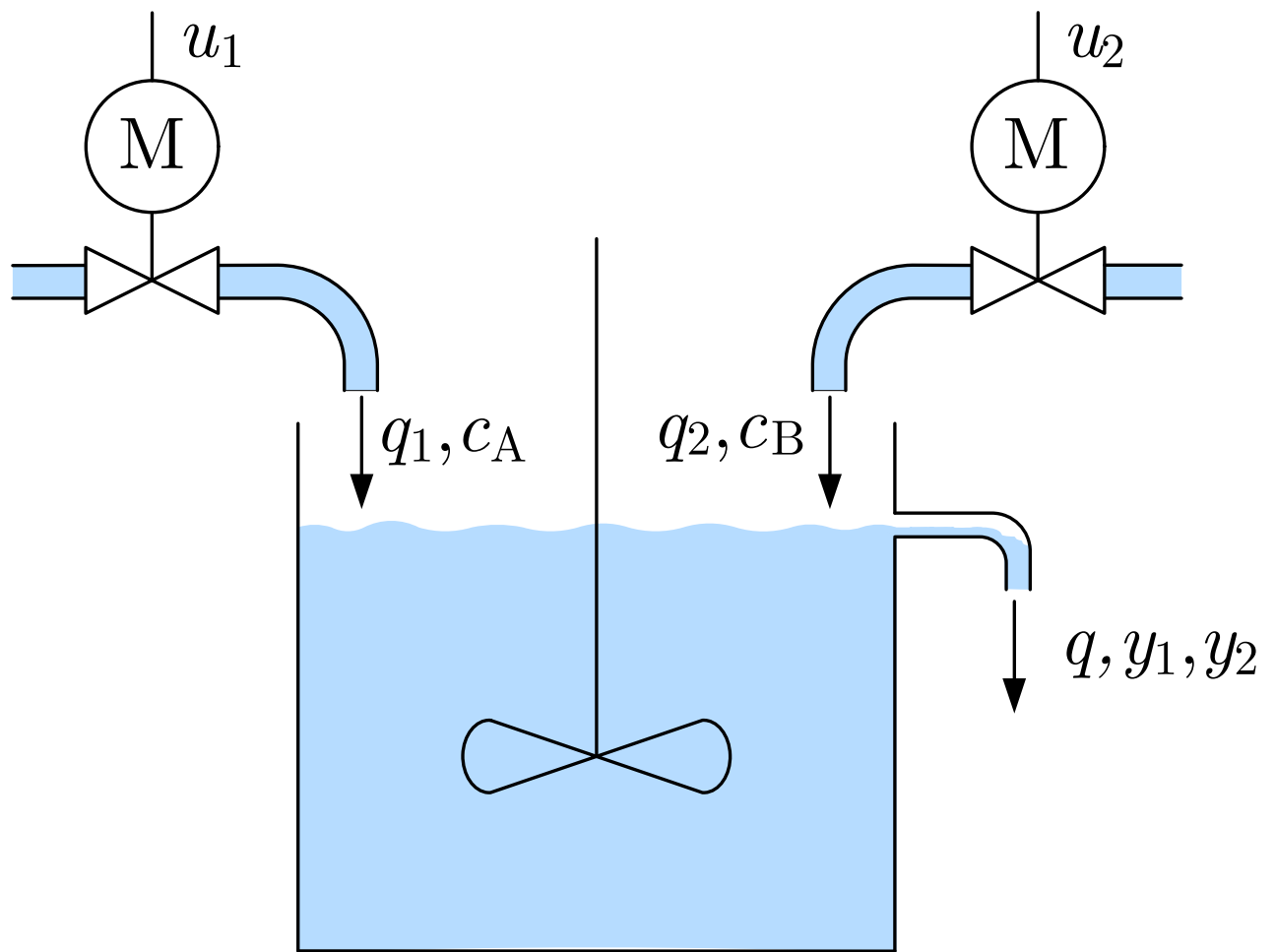


Abb. 2.1: Mischprozess

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

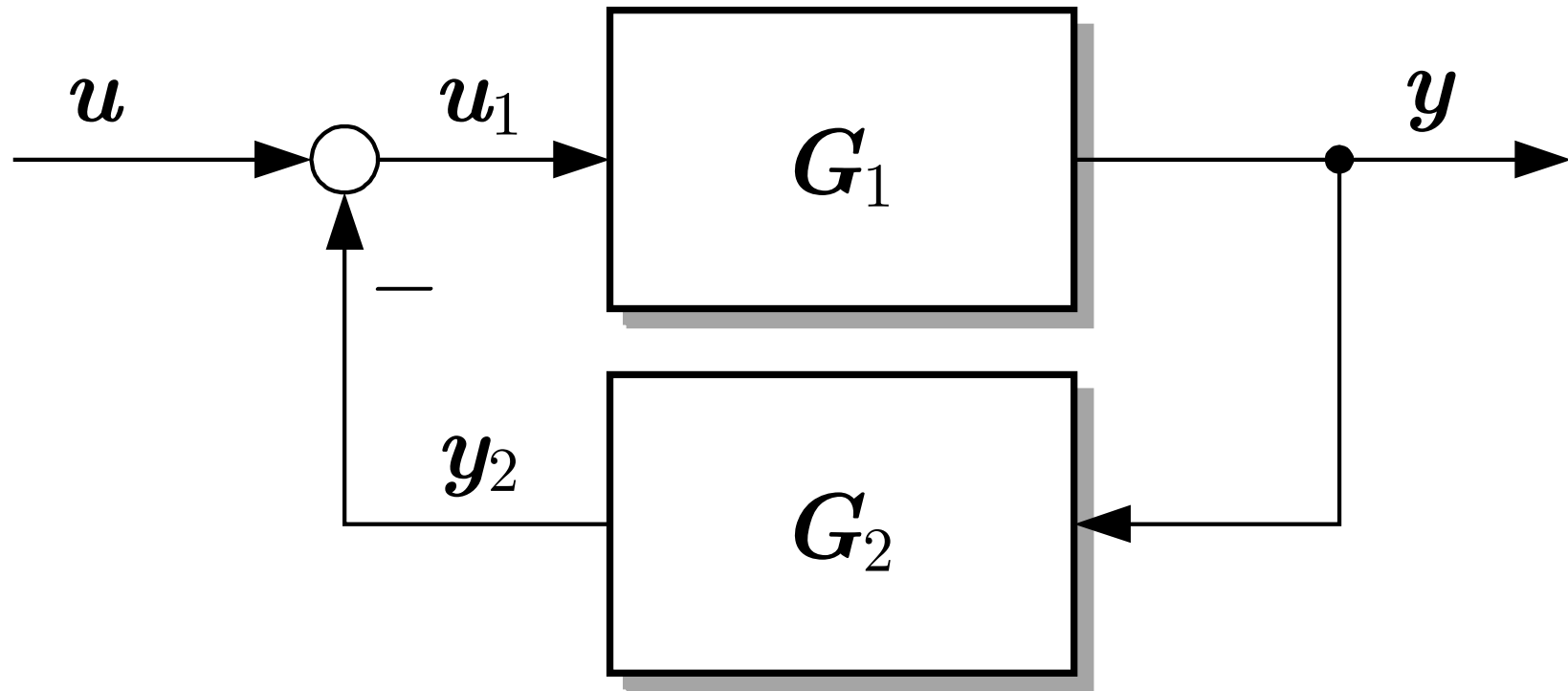


Abb. 2.2. Rückgekoppeltes Mehrgrößensystem

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

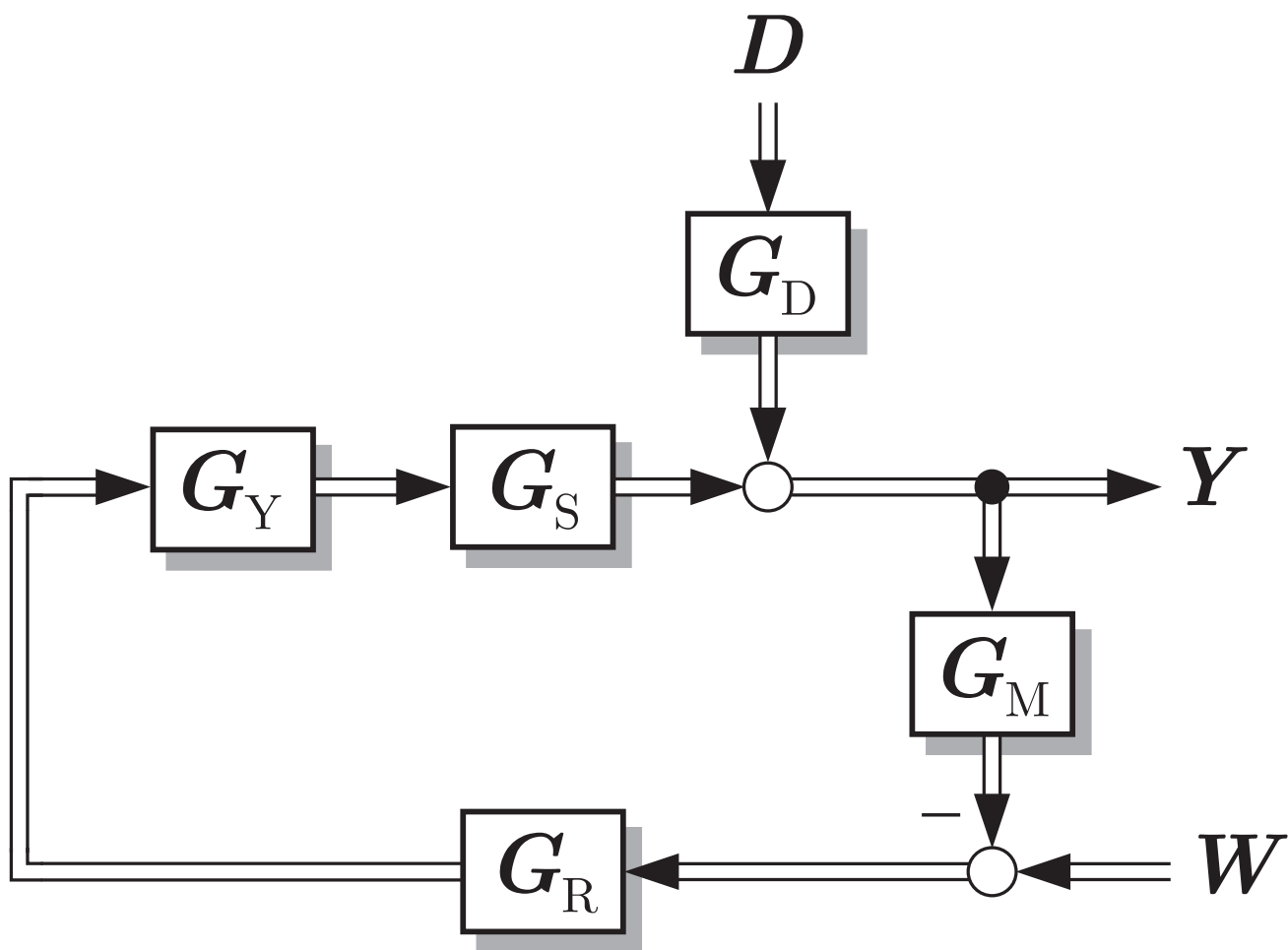
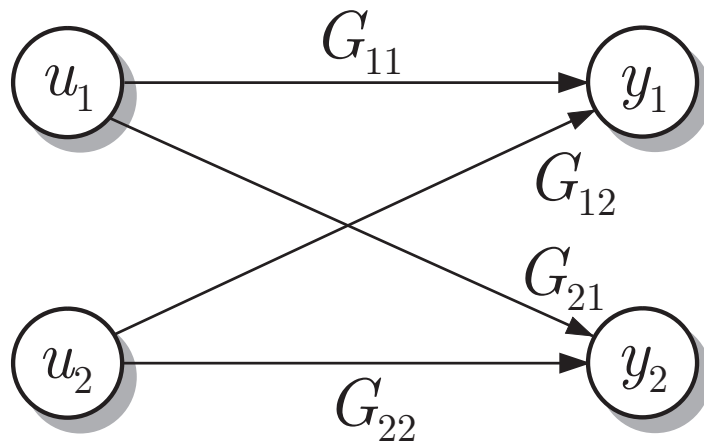
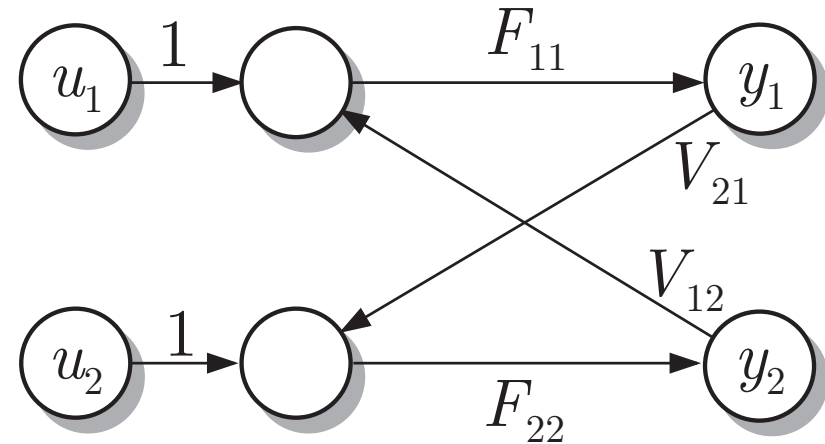


Abb. 2.3: Blockschaltbild eines Regelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



P-kanonische Struktur



V-kanonische Struktur

Abb. 2.4. Zwei Darstellungen von Mehrgrößensystemen mit zwei Eingangs- und zwei Ausgangsgrößen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

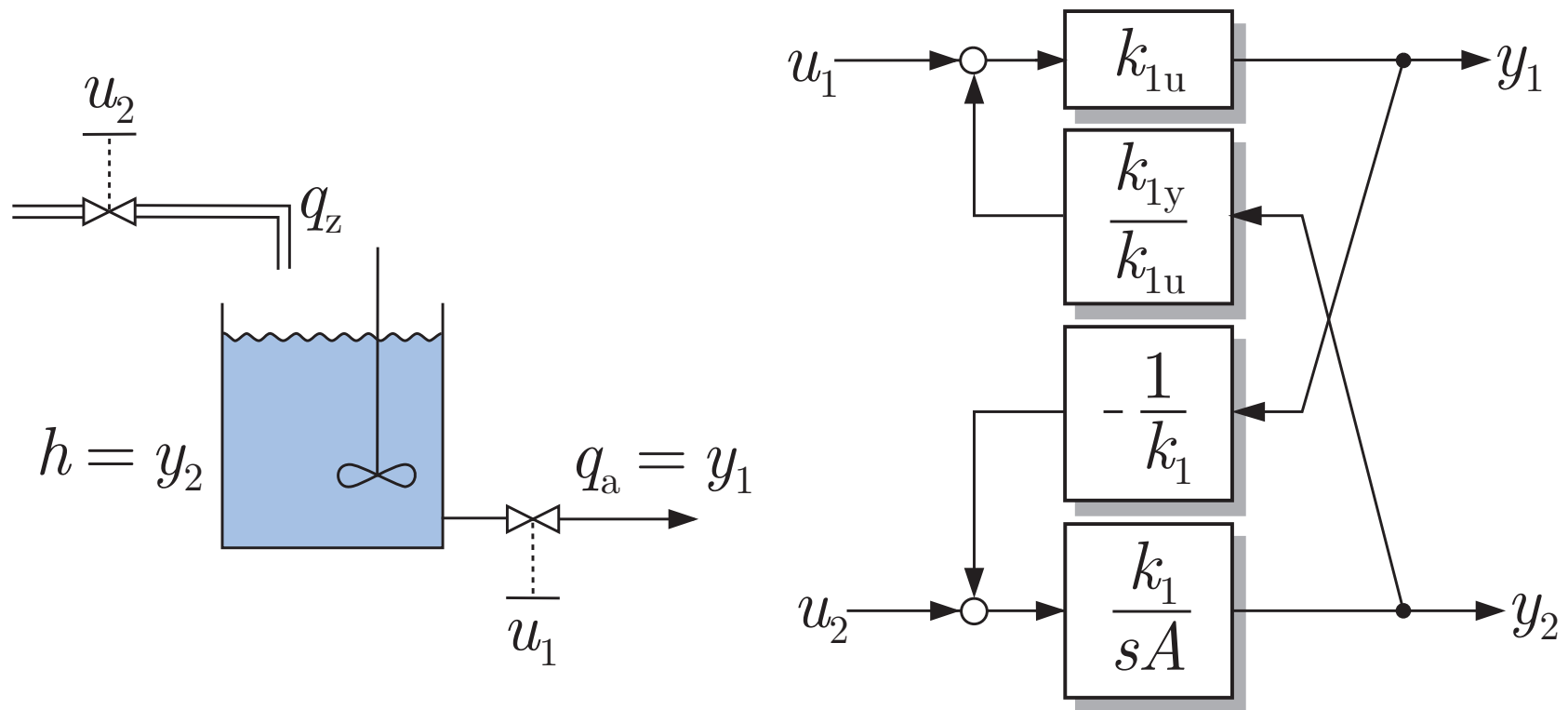


Abb. 2.5. Rührkesselreaktor

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

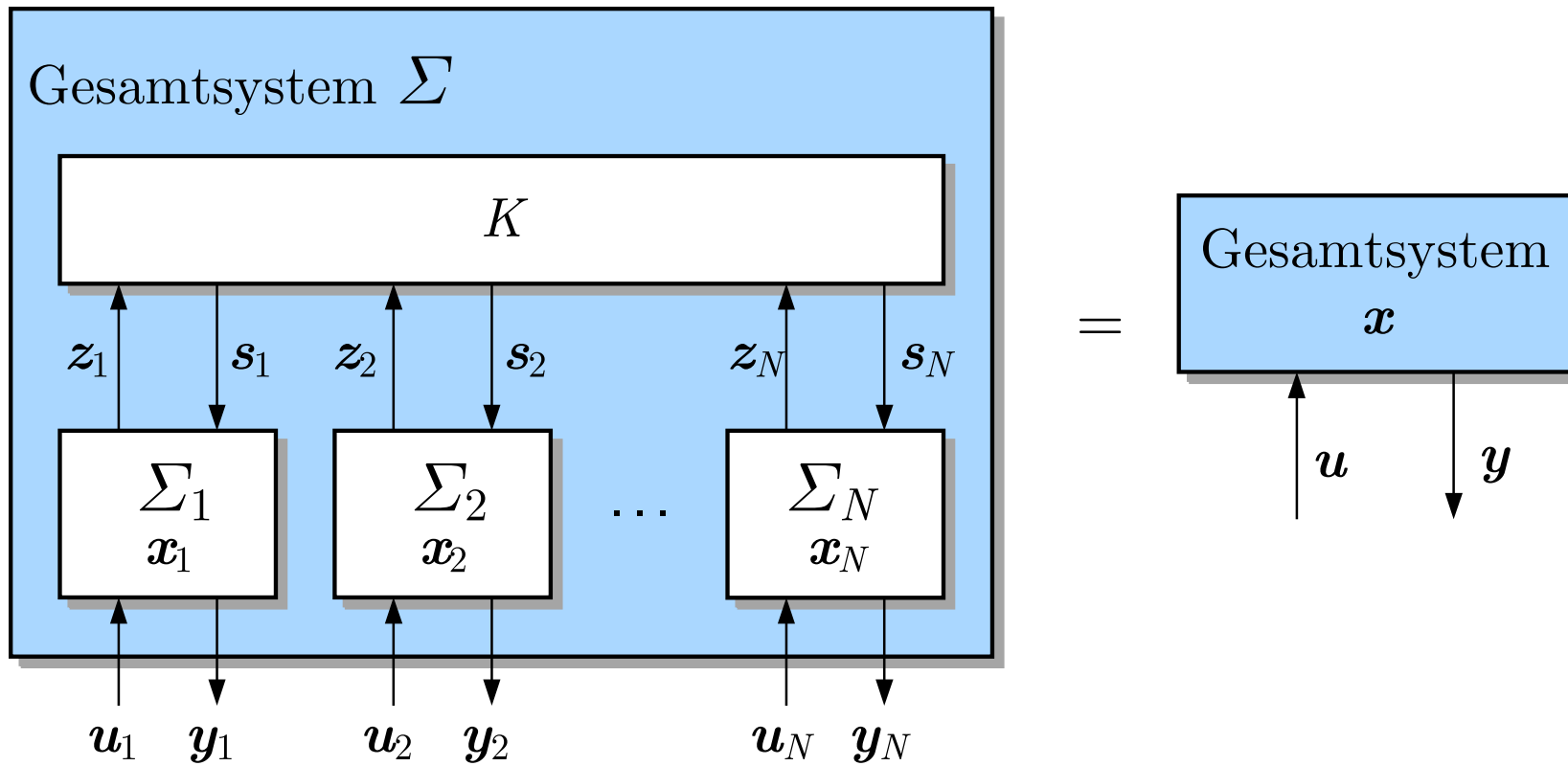


Abb. 2.6. Darstellung eines verkoppelten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

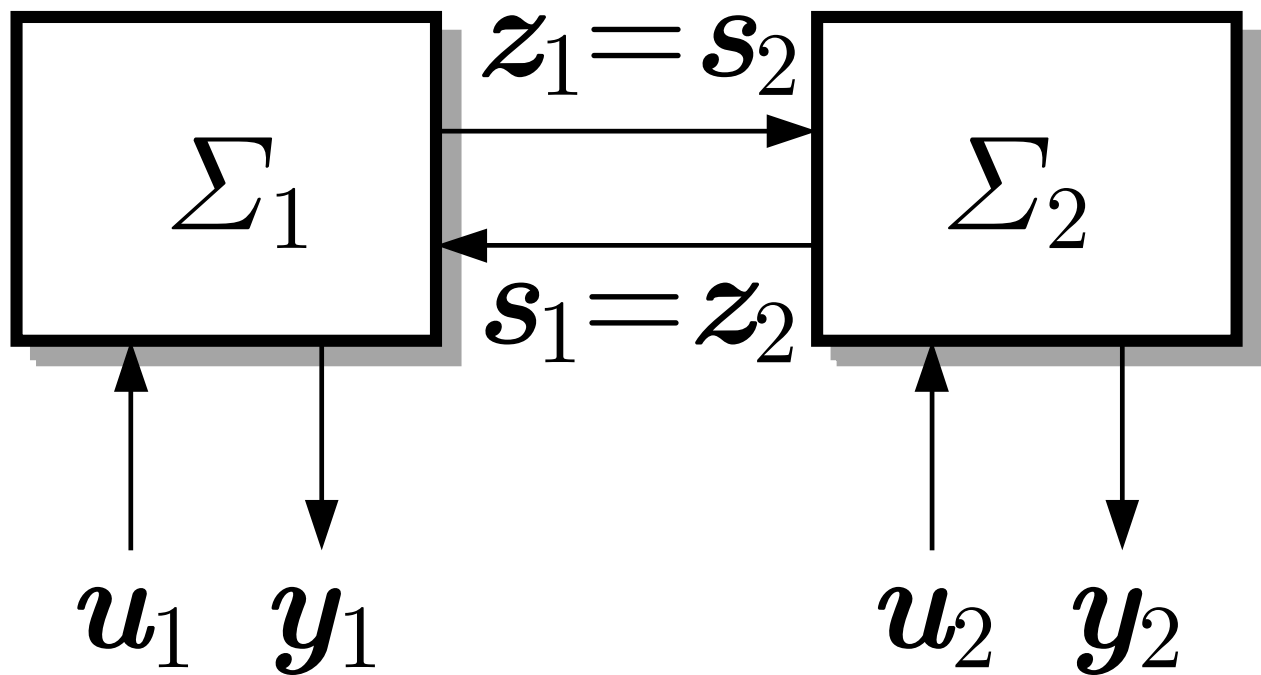


Abb. 2.7: Zwei verkoppelte Teilsysteme

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

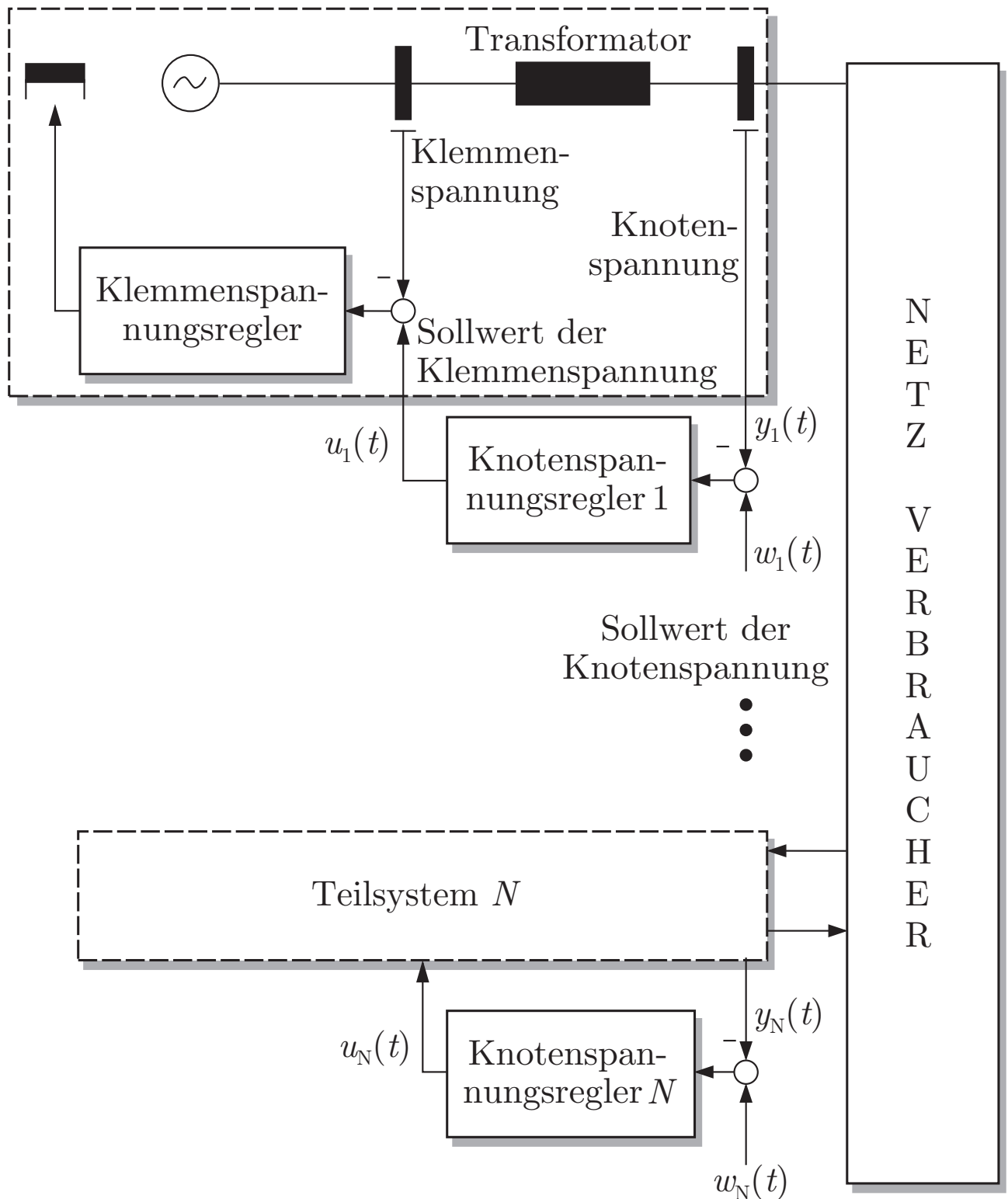


Abb. 2.8: Dezentrale Knotenspannungsregelung eines Elektroenergienetzes

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

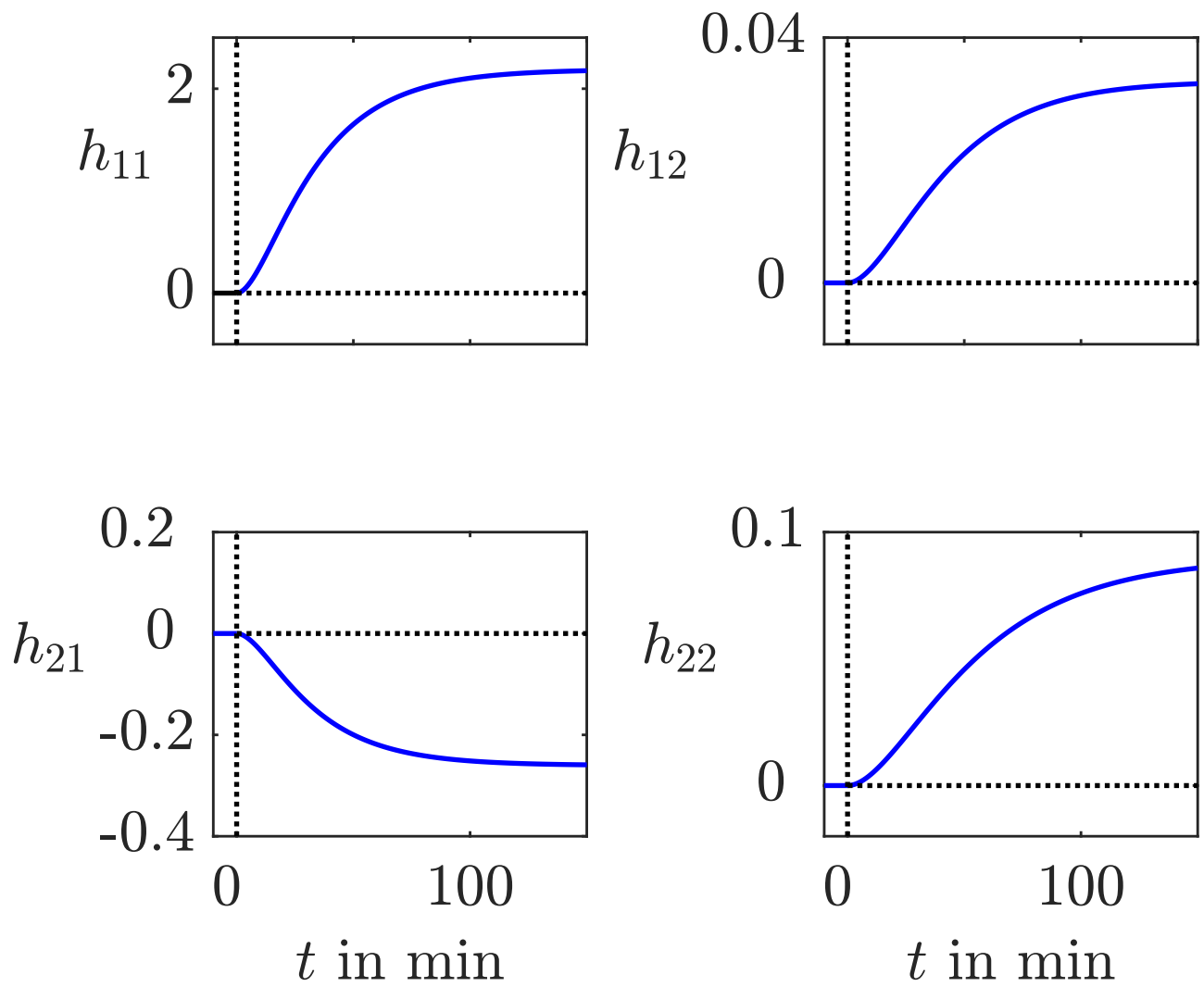


Abb. 2.9: Übergangsfunktionsmatrix des Dampferzeugers Σ_{DE}

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

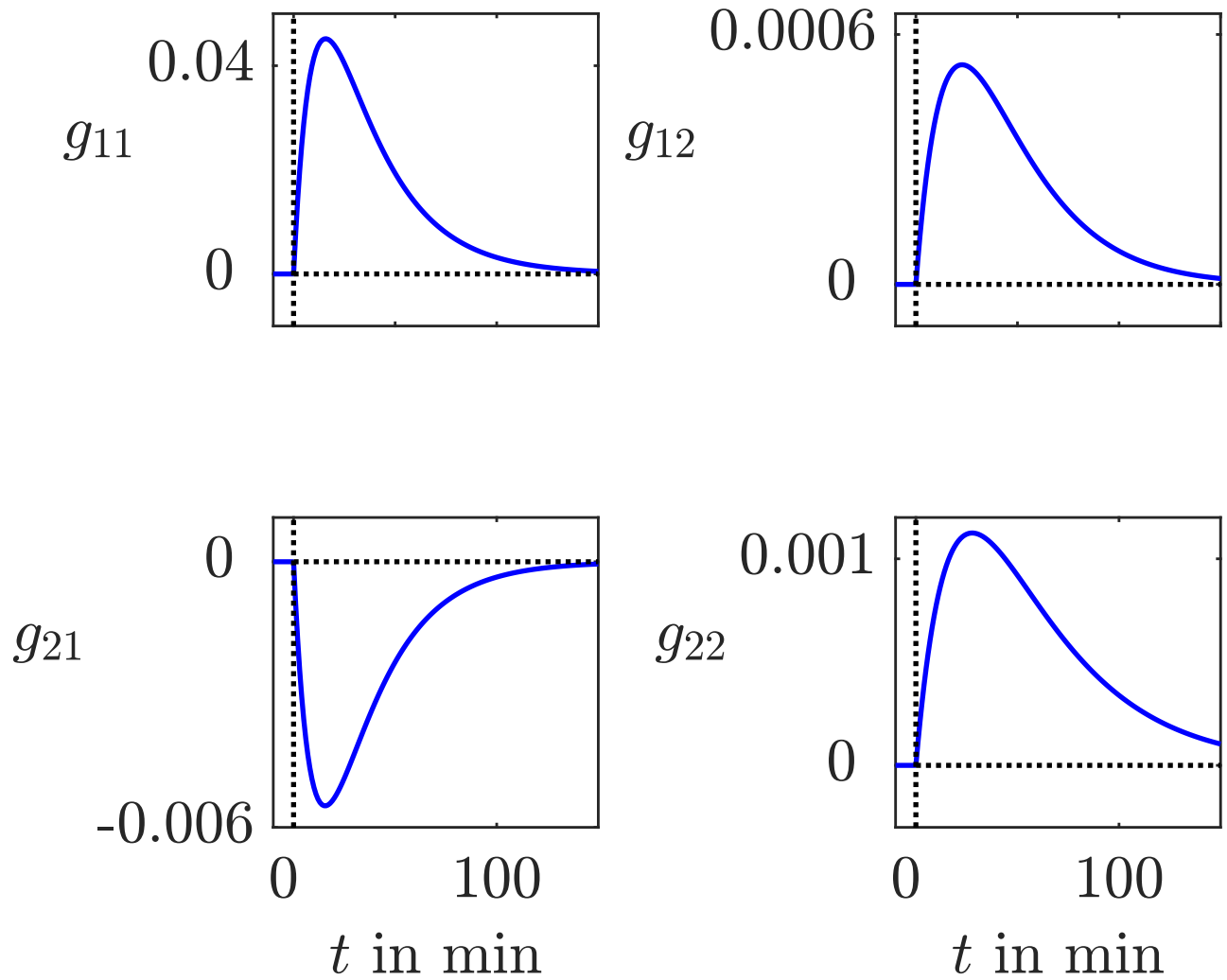


Abb. 2.10: Gewichtsfunktionsmatrix des Dampferzeugers Σ_{DE}

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

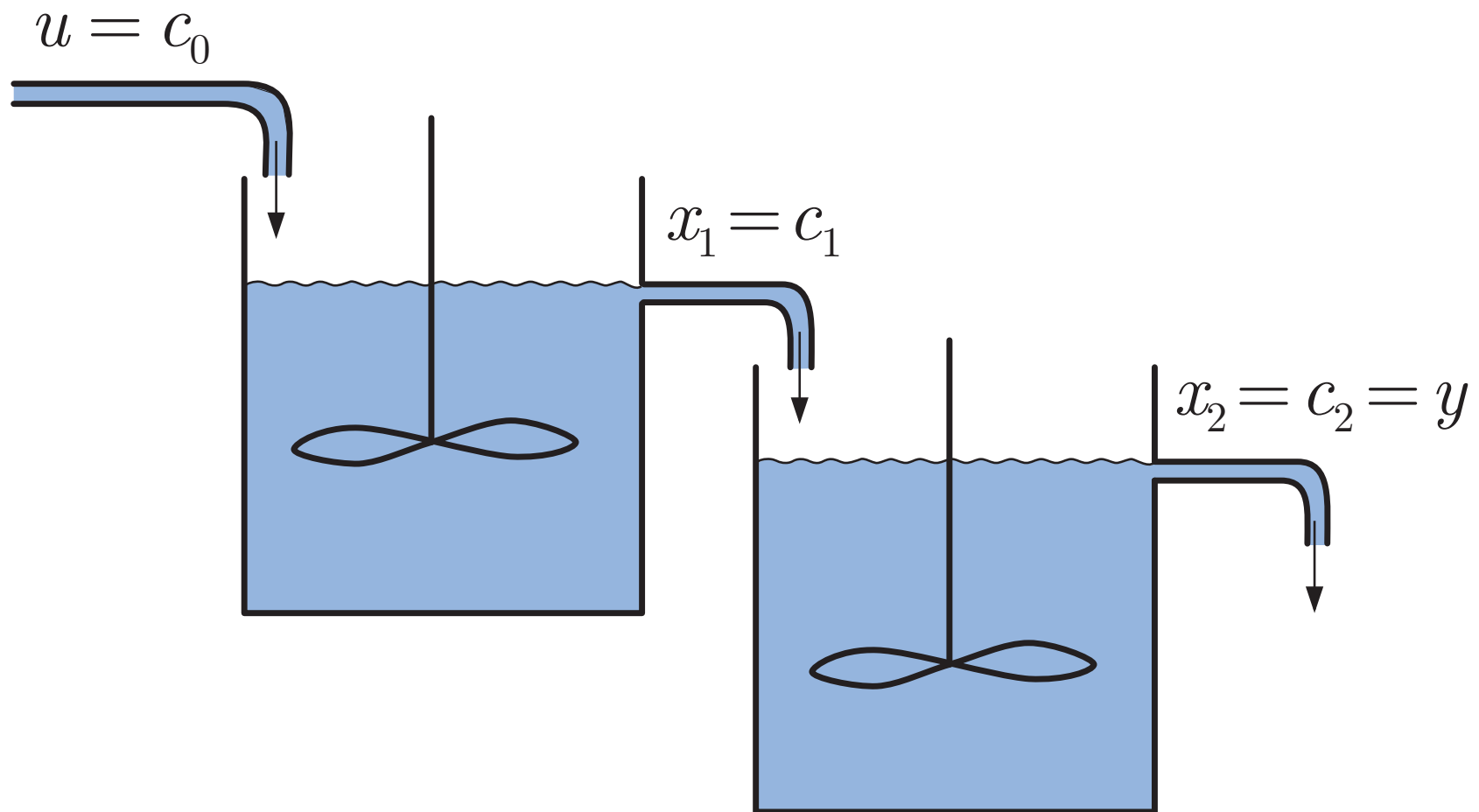


Abb. 3.1. Zwei gekoppelte Rührkessel

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

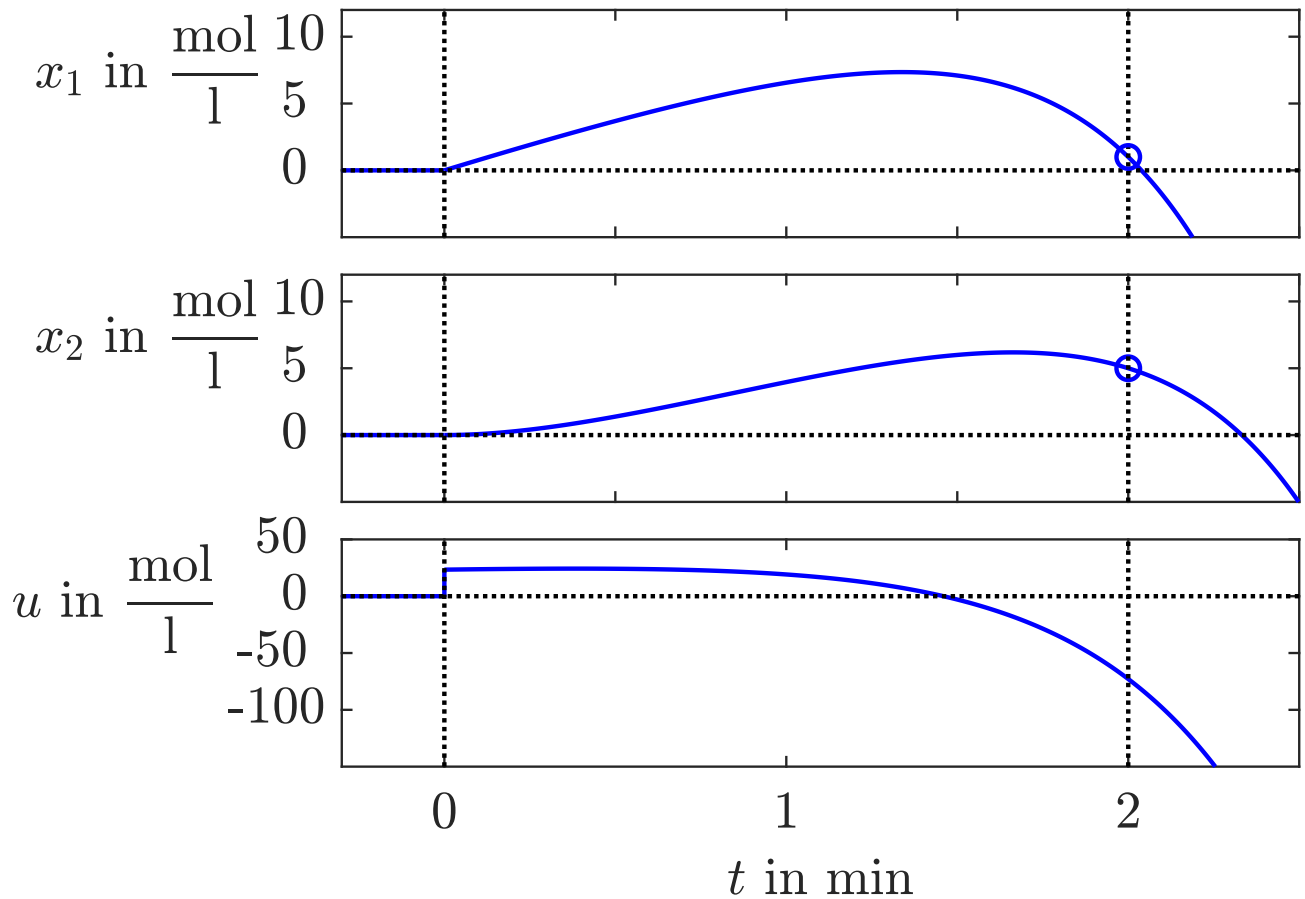


Abb. 3.2: Steuerung der Rührkesselreaktoren in den vorgegebenen Zustand

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

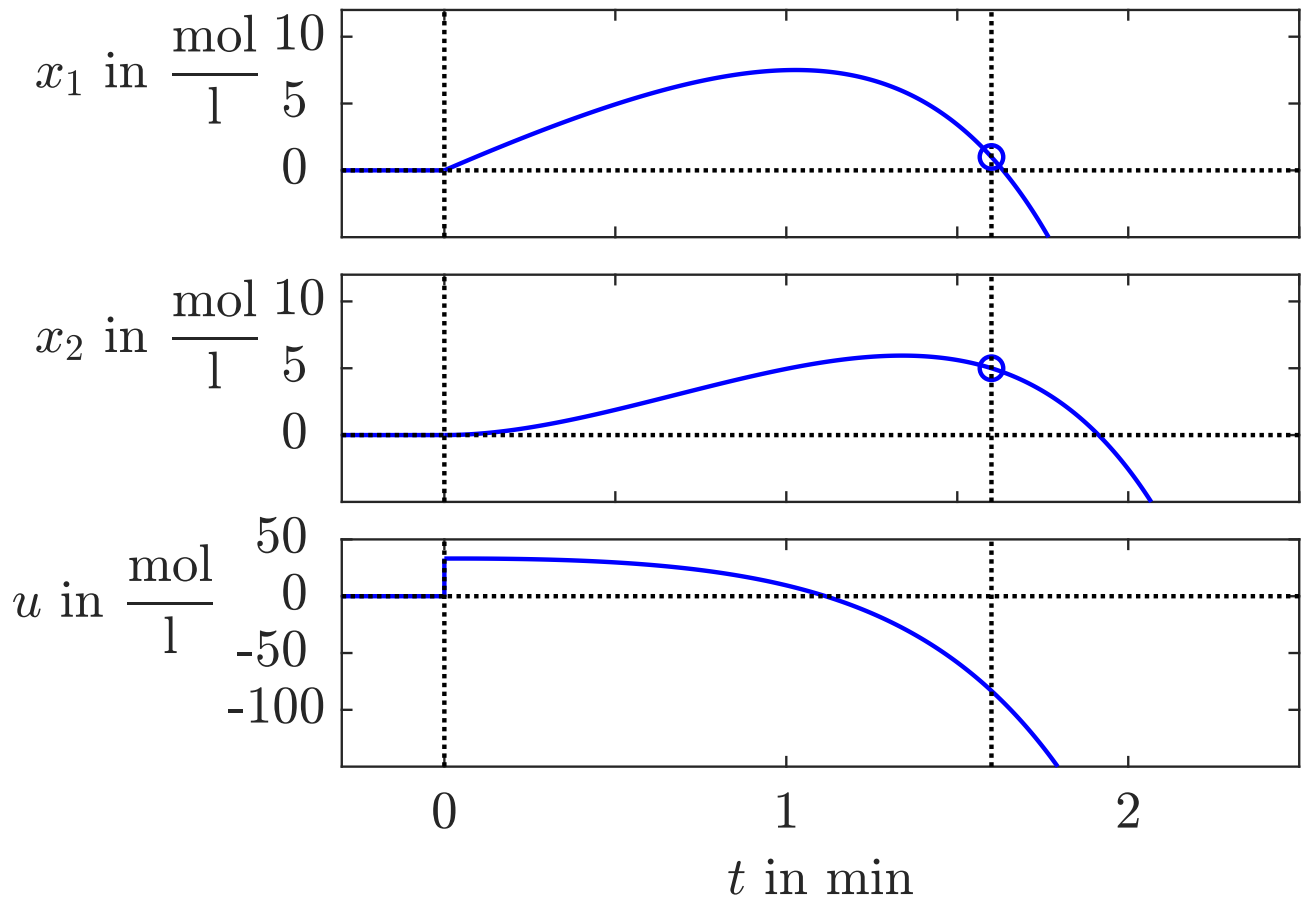


Abb. 3.3: Steuerung der Rührkesselreaktoren in den vorgegebenen Zustand

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

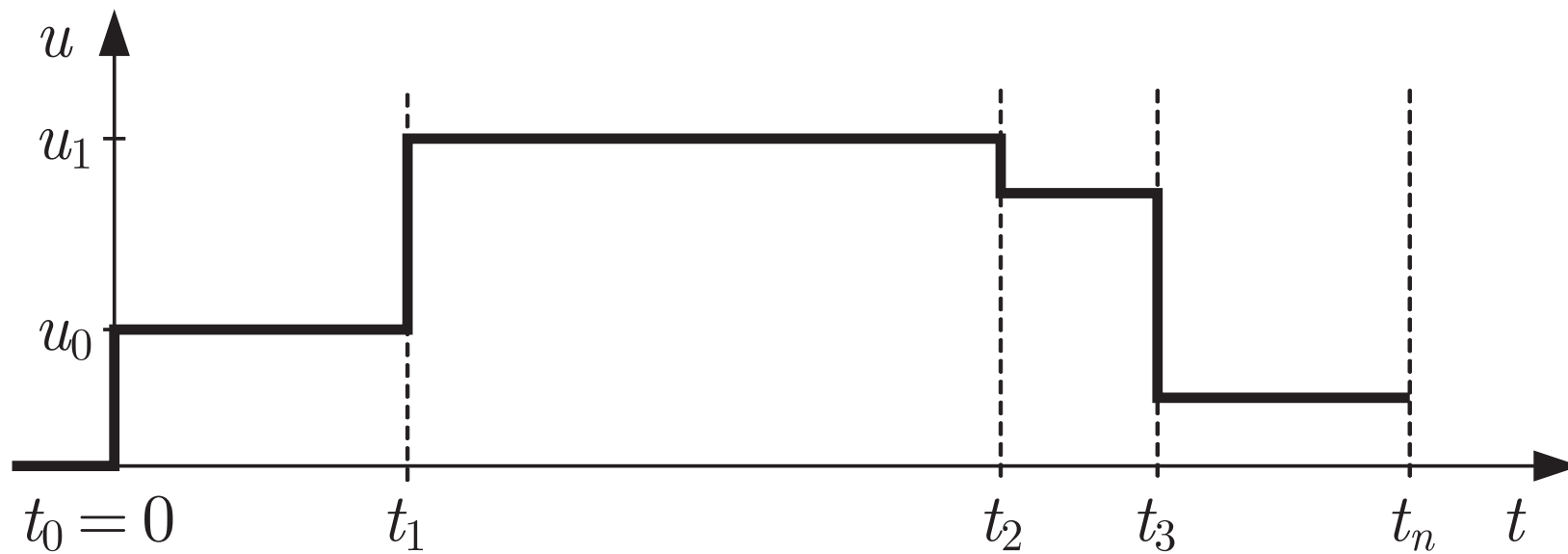
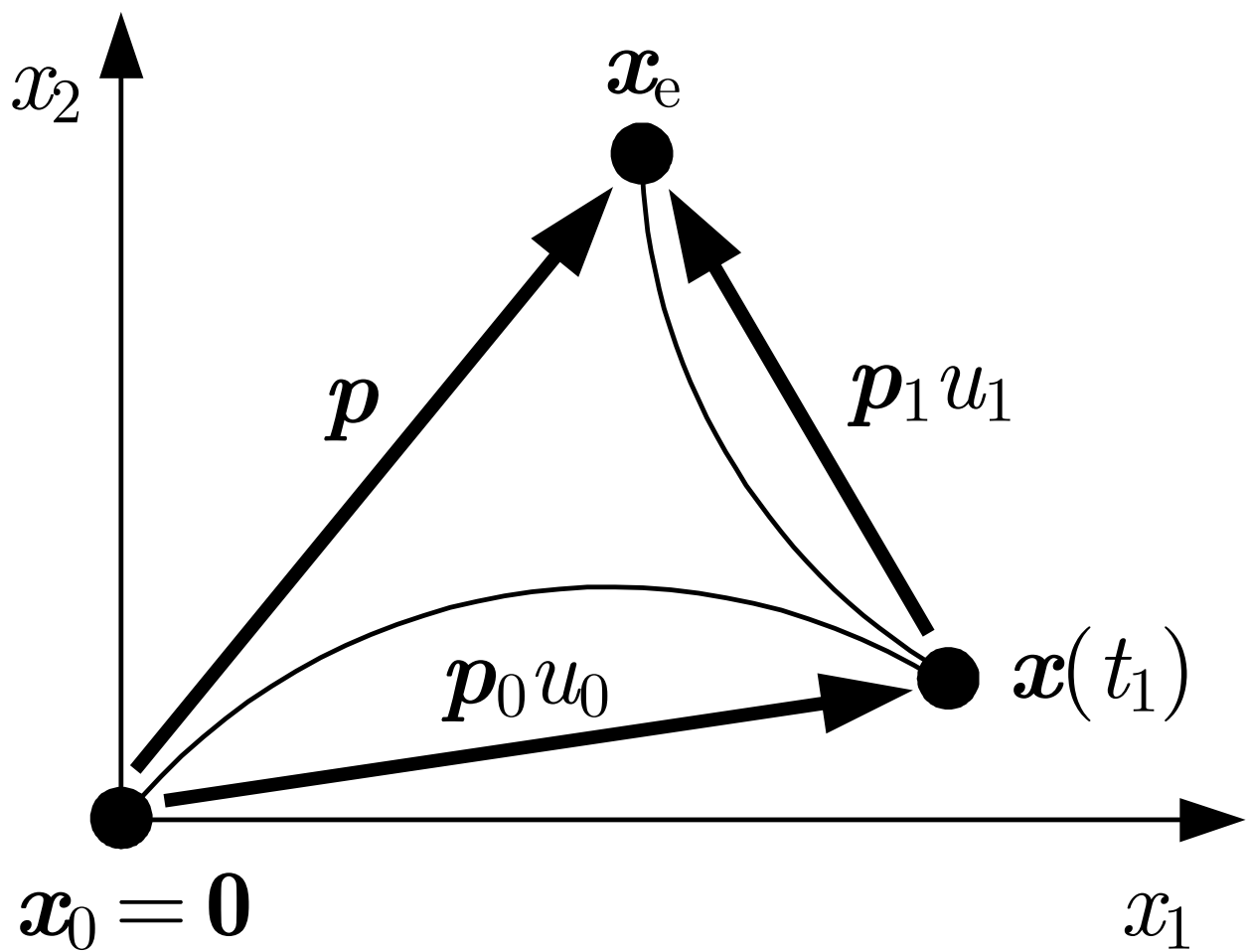


Abb. 3.4. Stückweise konstante Stellgröße

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



**Abb. 3.5: Überführung eines Systems zweiter Ordnung
in den Endzustand x_e**

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

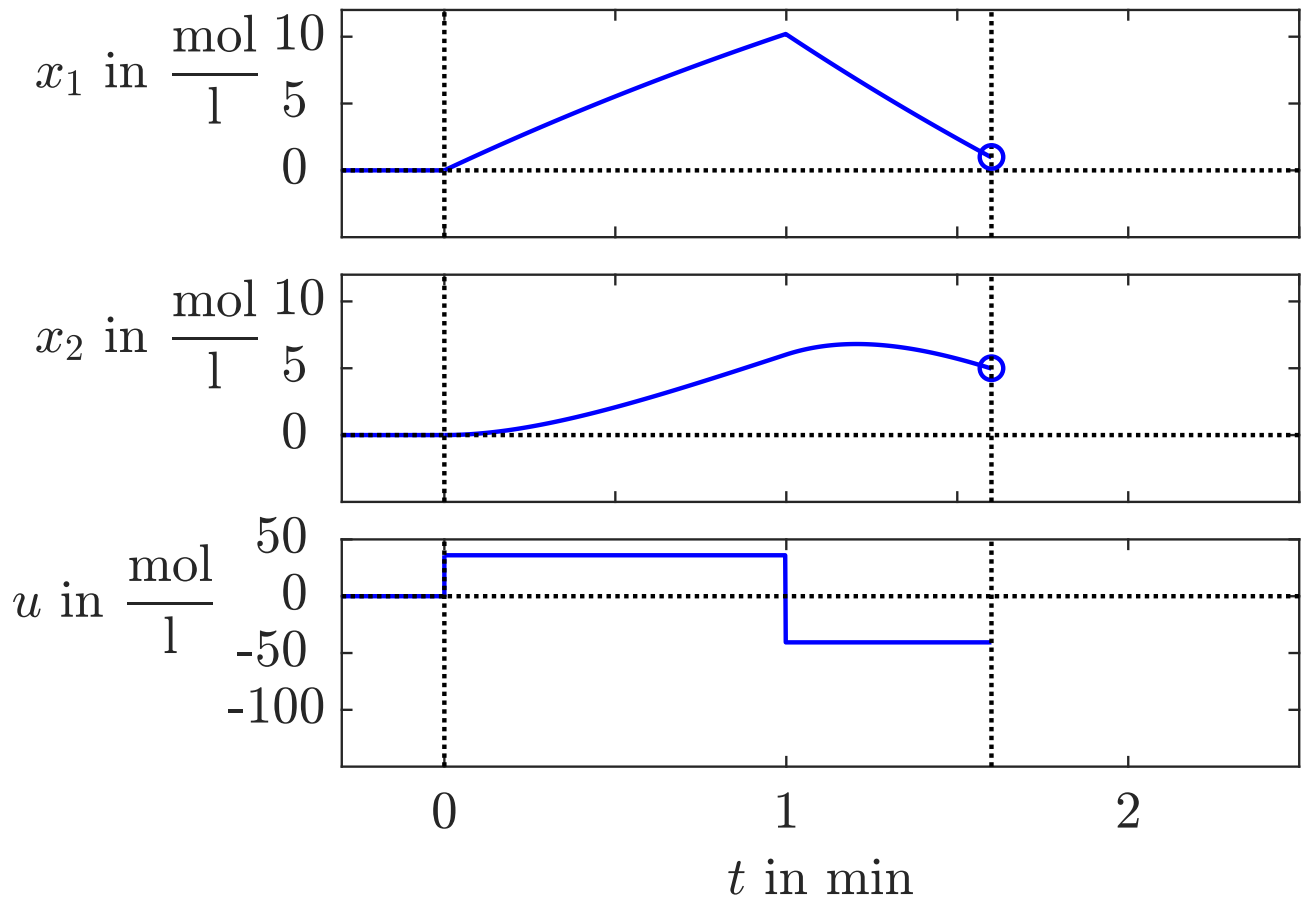


Abb. 3.6: Umsteuerung der Rührkesselreaktoren mit stückweise konstanter Eingangsgröße

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

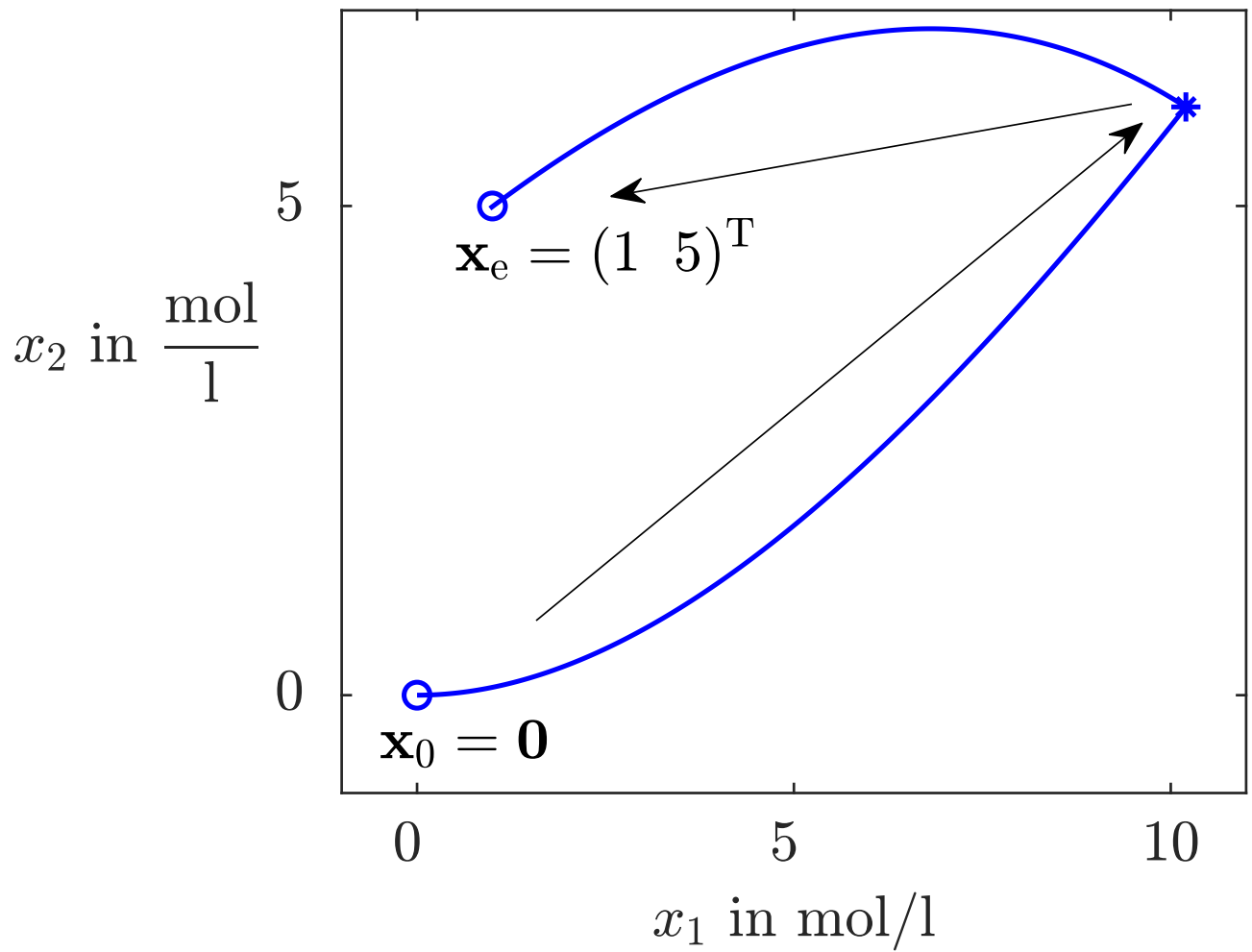


Abb. 3.7: Darstellung der Umsteuerung im Zustandsraum

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

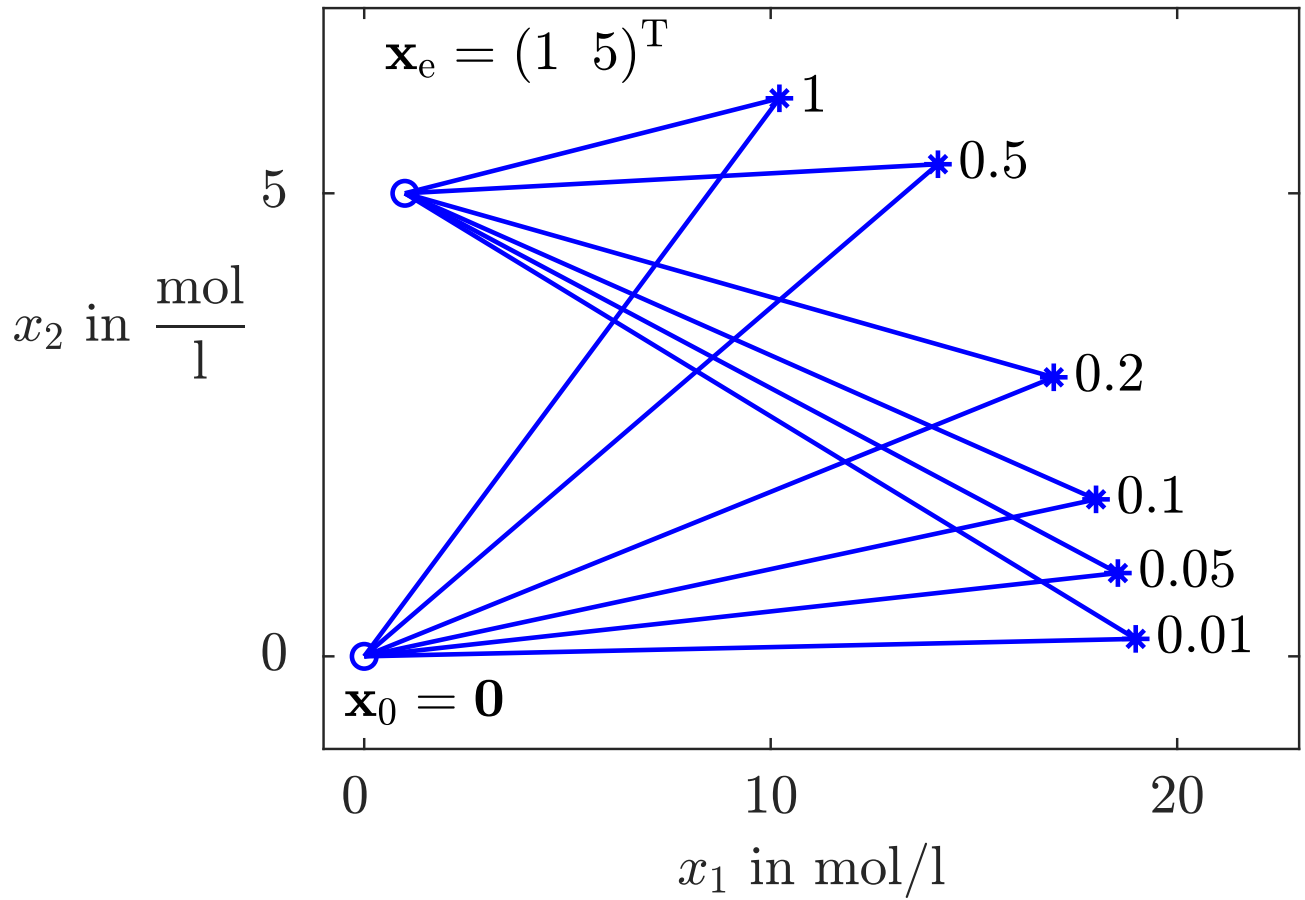


Abb. 3.8: Umsteuerung bei unterschiedlicher Wahl des Zeitpunktes t_1 (in Minuten)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

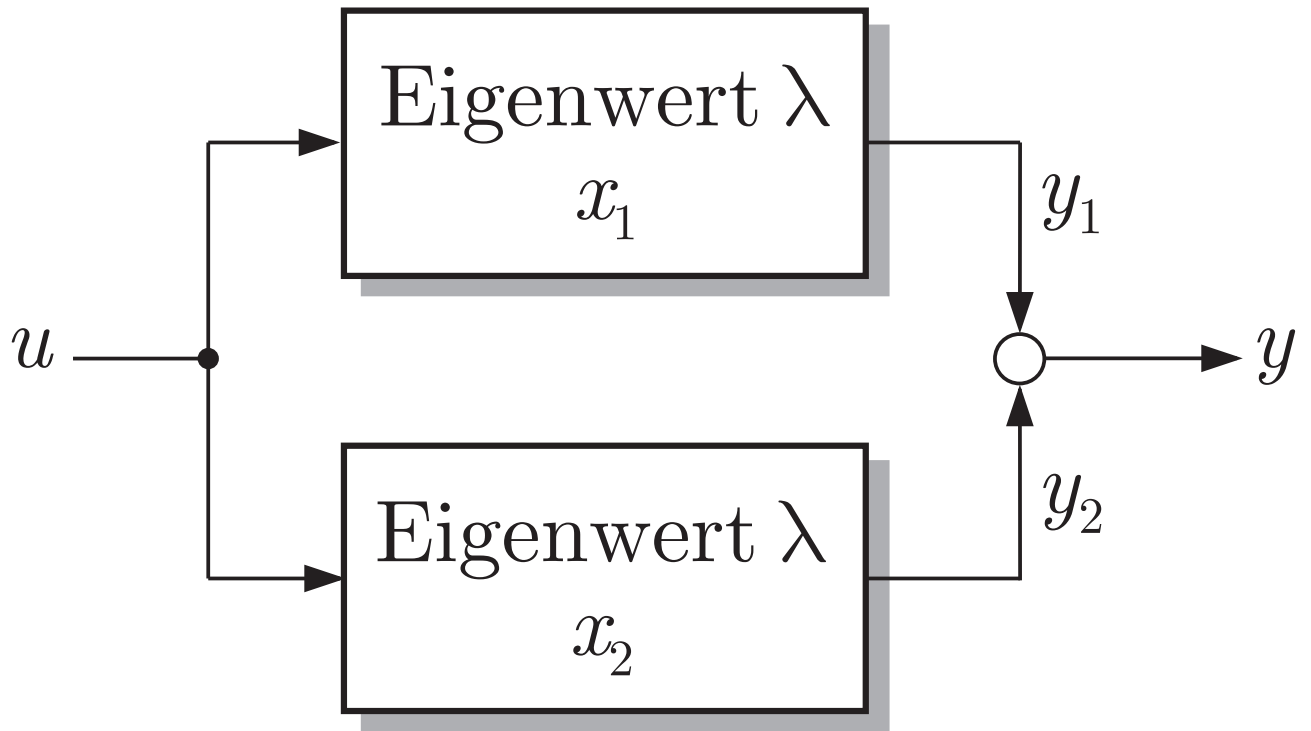


Abb. 3.9: Nicht vollständig steuerbare Parallelschaltung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

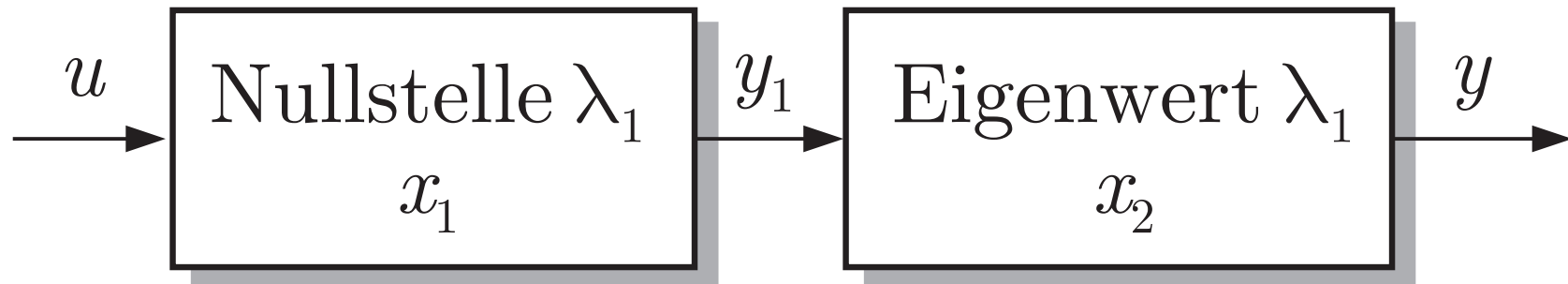


Abb. 3.10. Nicht vollständig steuerbare Reihenschaltung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

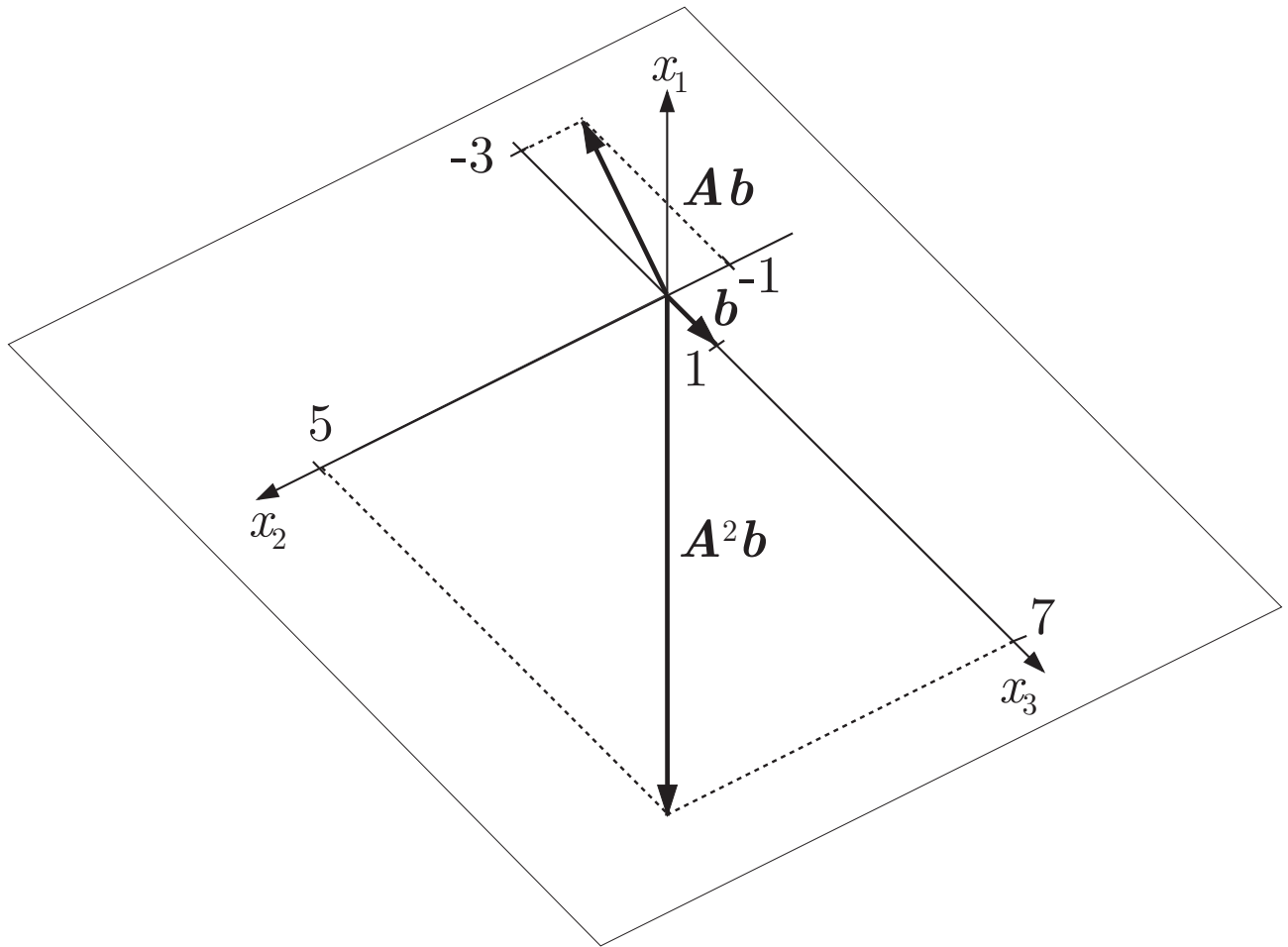


Abb. 3.11: Darstellung der Spalten der Steuerbarkeitsmatrix im dreidimensionalen Zustandsraum

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

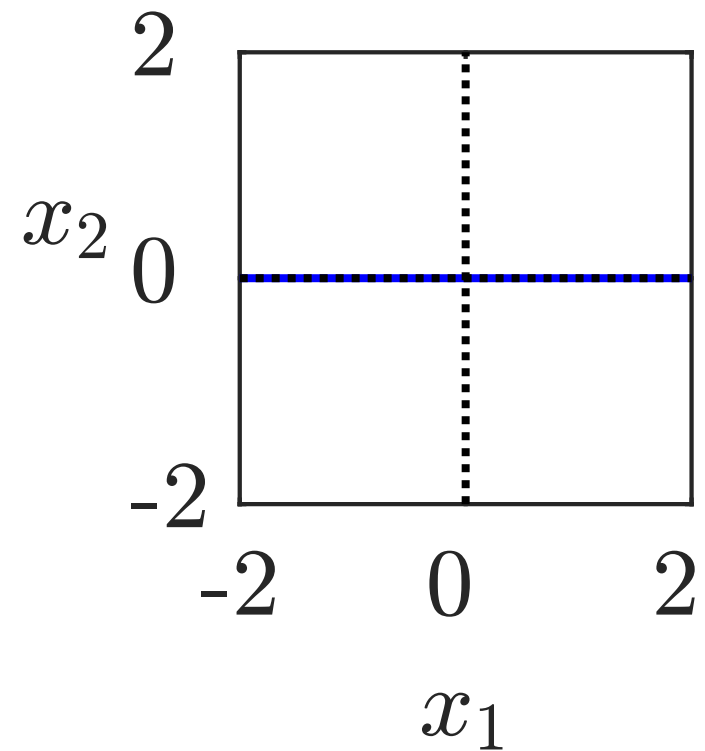
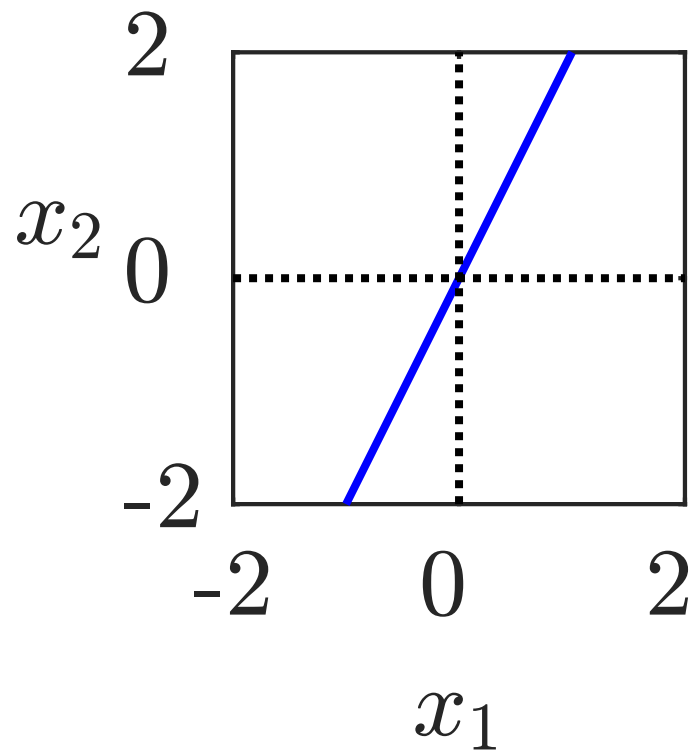


Abb. 3.12. Steuerbarer Unterraum für das Beispiel in allgemeiner (links) und in kanonischer Zustandsraumdarstellung (rechts)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

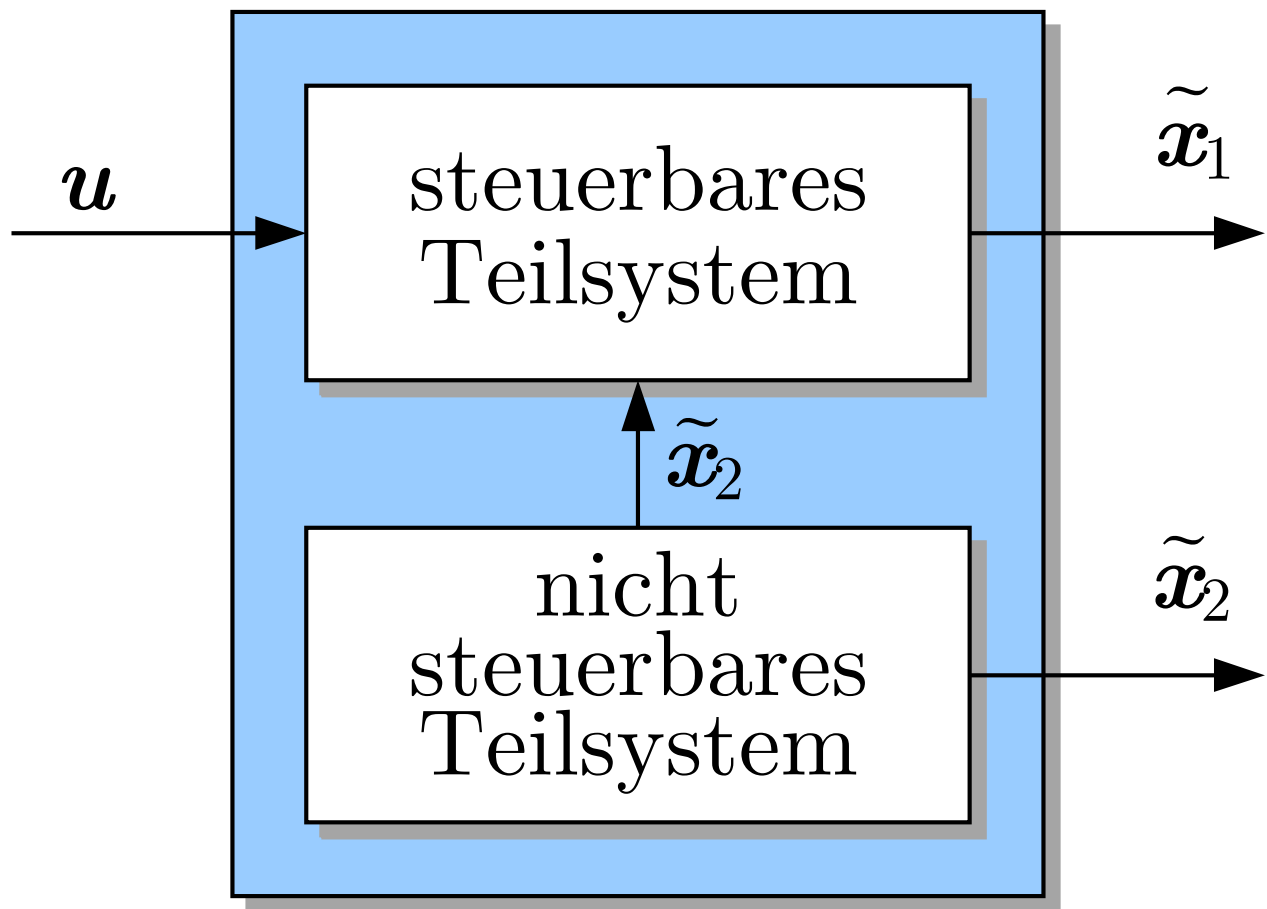


Abb. 3.13: Zerlegung eines nicht steuerbaren Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

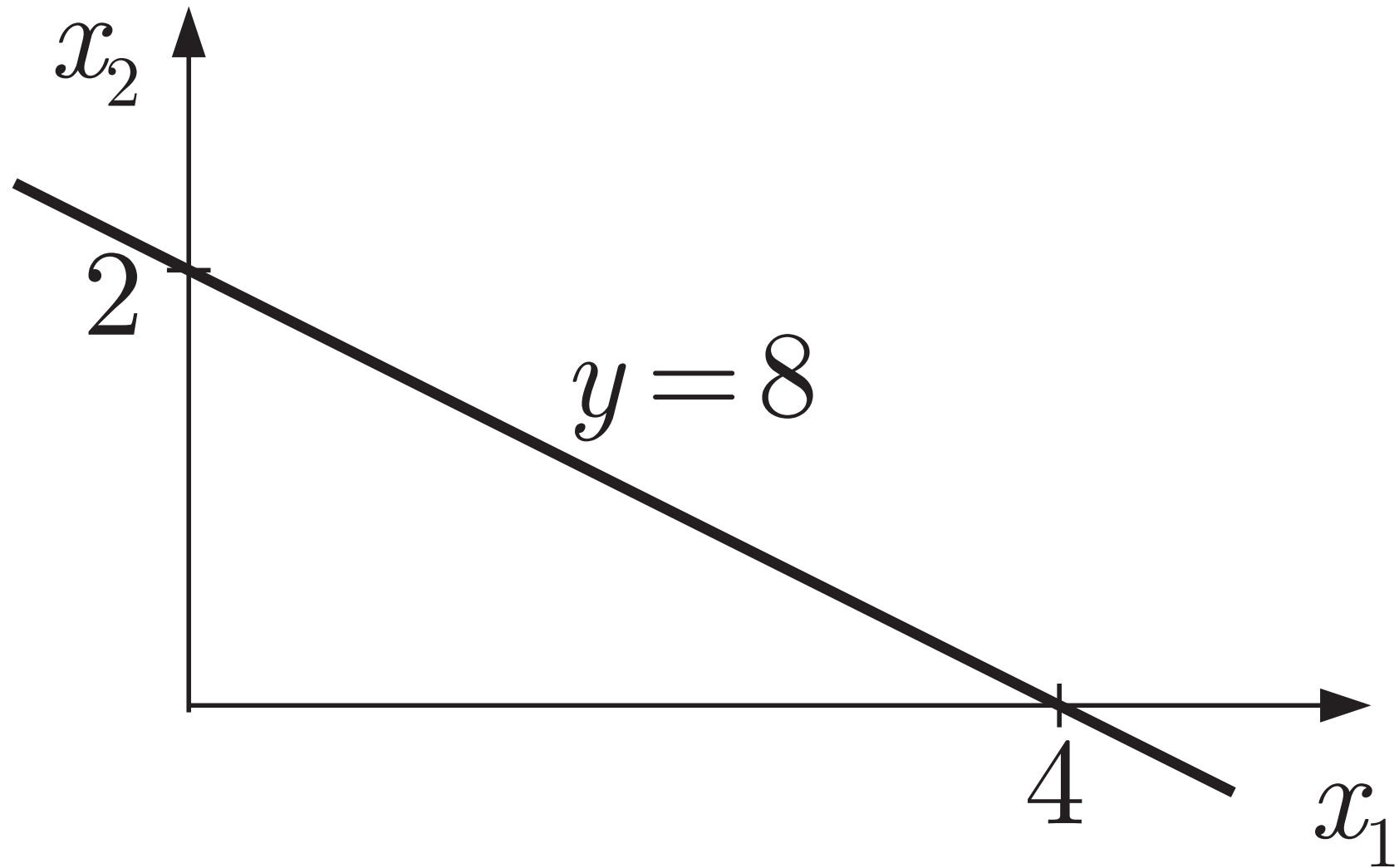
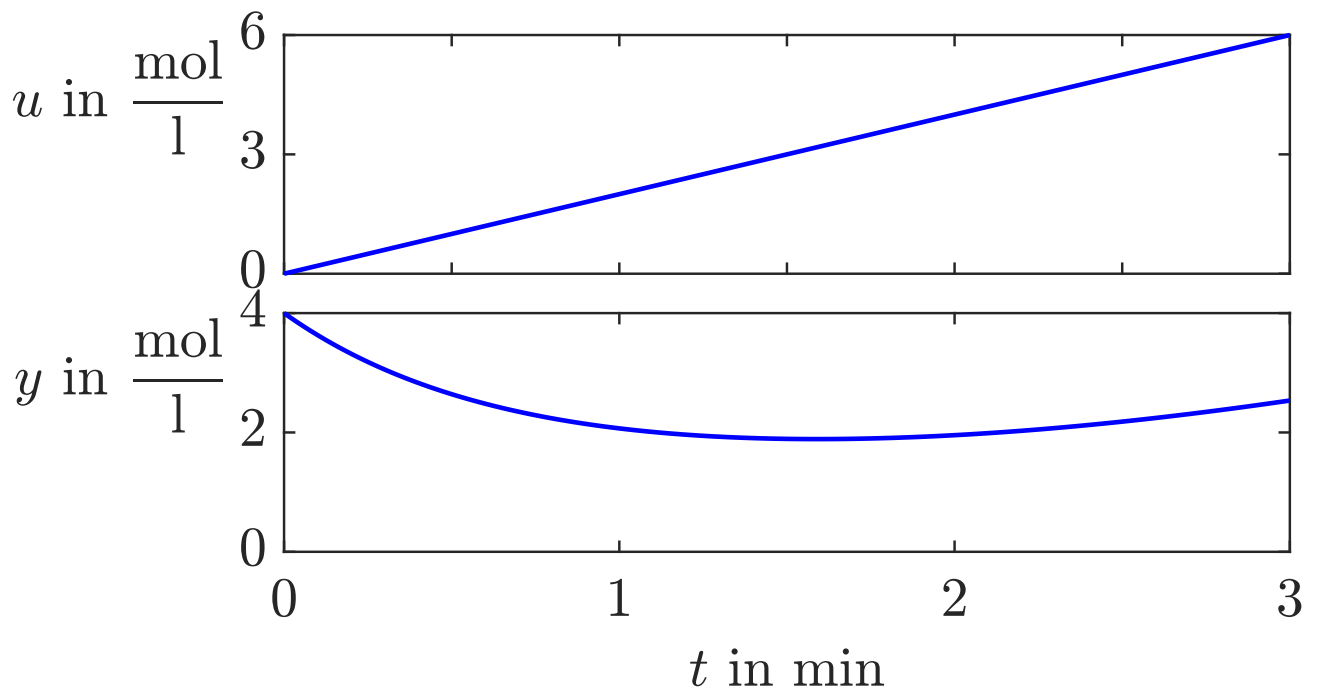


Abb. 3.14. Zustände, die dieselbe Ausgangsgröße erzeugen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



**Abb. 3.15: Verhalten der gekoppelten
Rührkesselreaktoren**

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

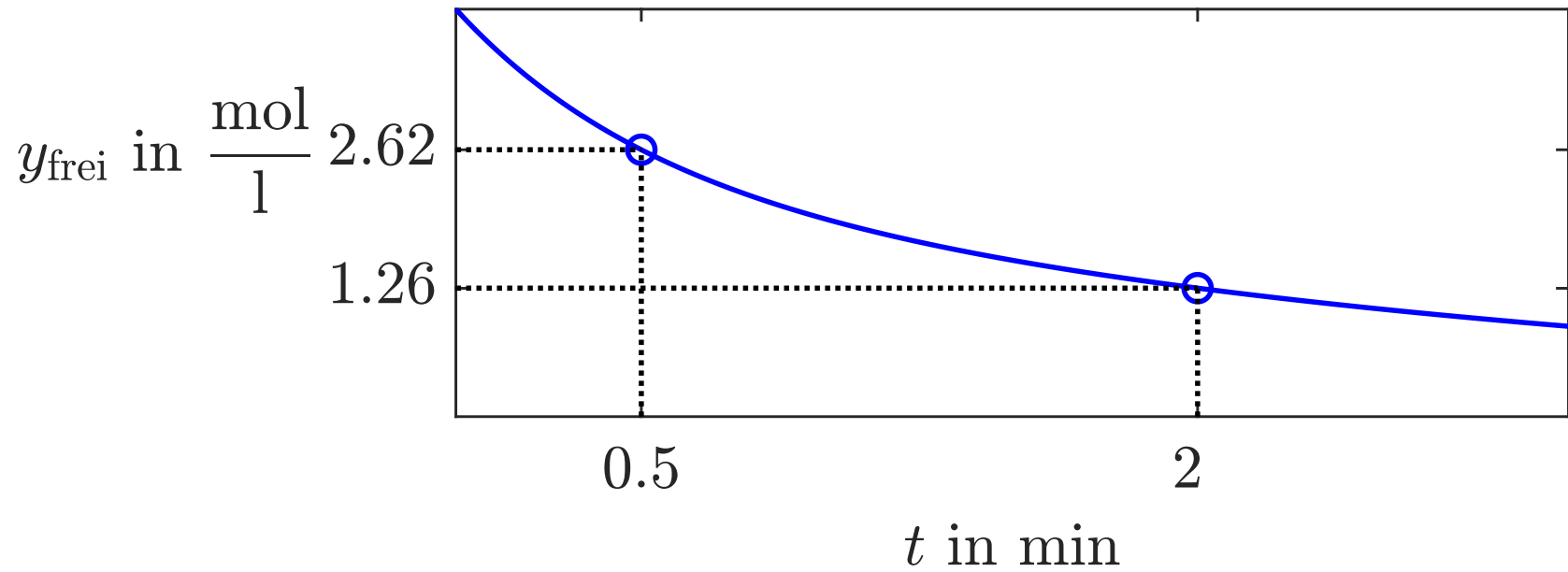


Abb. 3.16. Eigenbewegung der Reaktoren

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

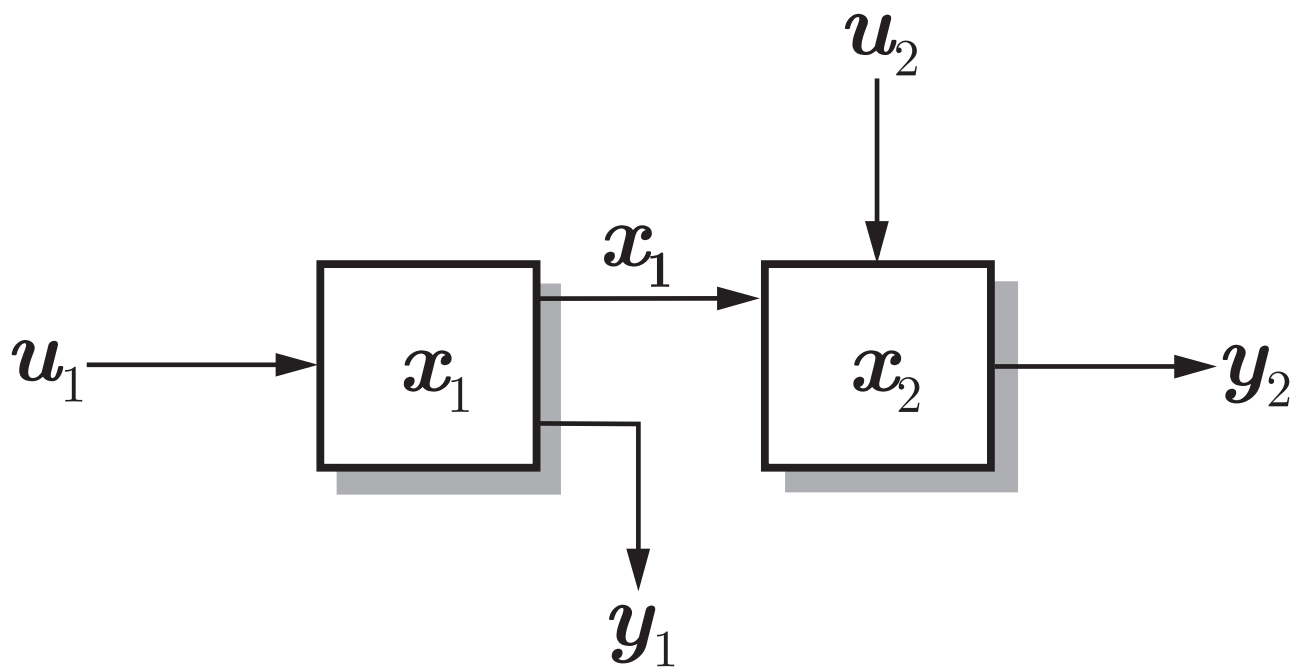


Abb. 3.17: Reihenschaltung zweier Teilsysteme

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

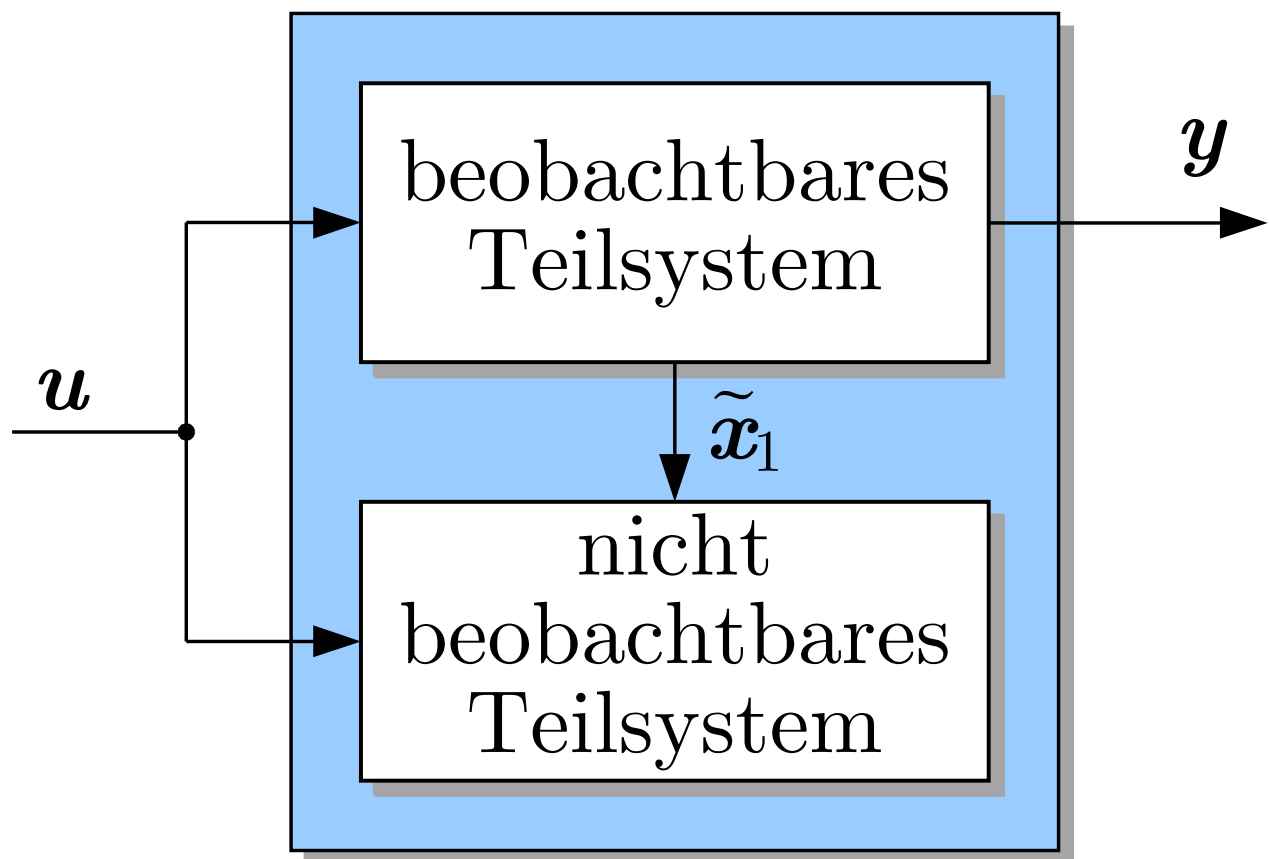


Abb. 3.18: Zerlegung eines nicht beobachtbaren Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

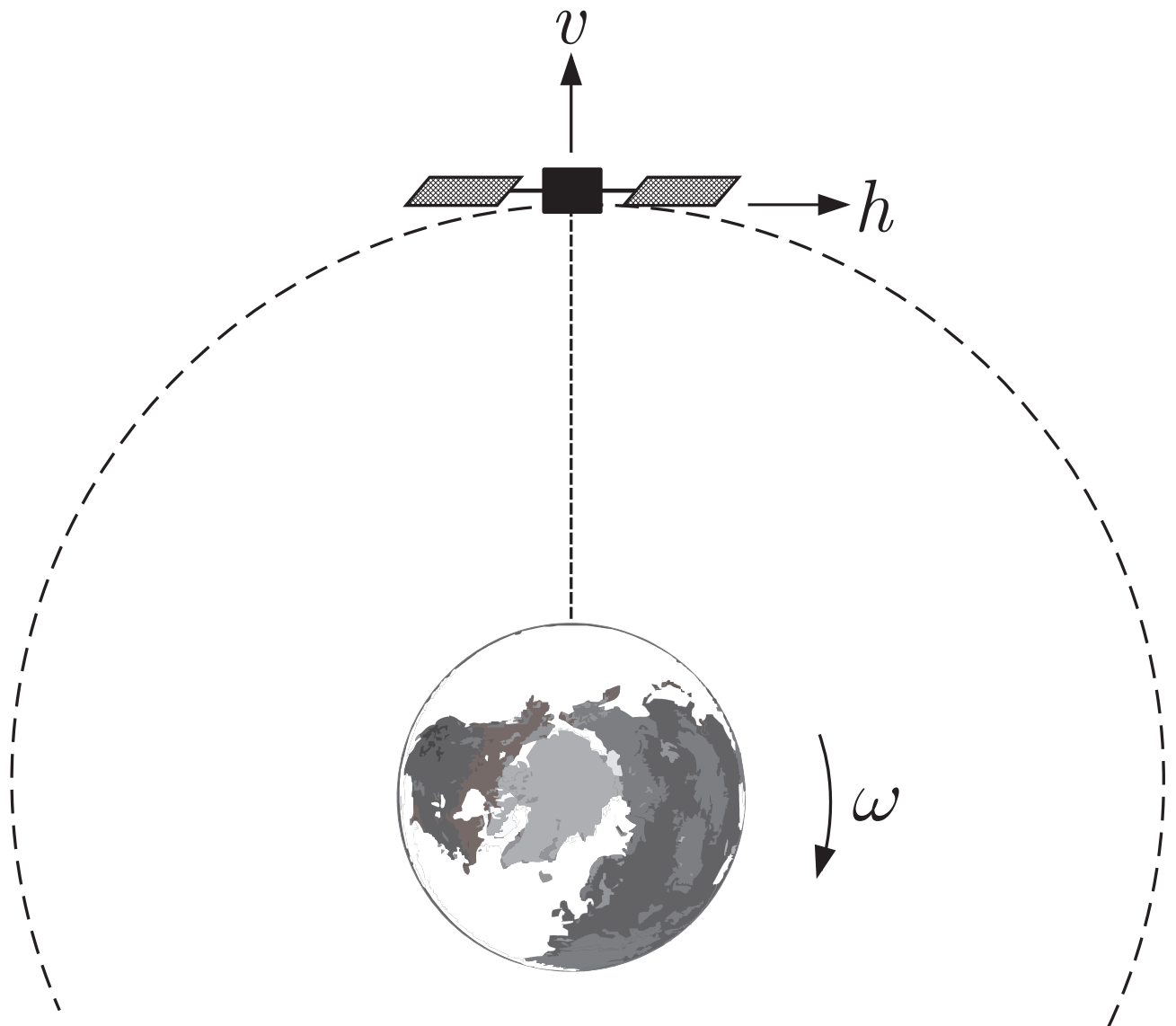


Abb. 3.19: Satellit über der Beobachtungsstation

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

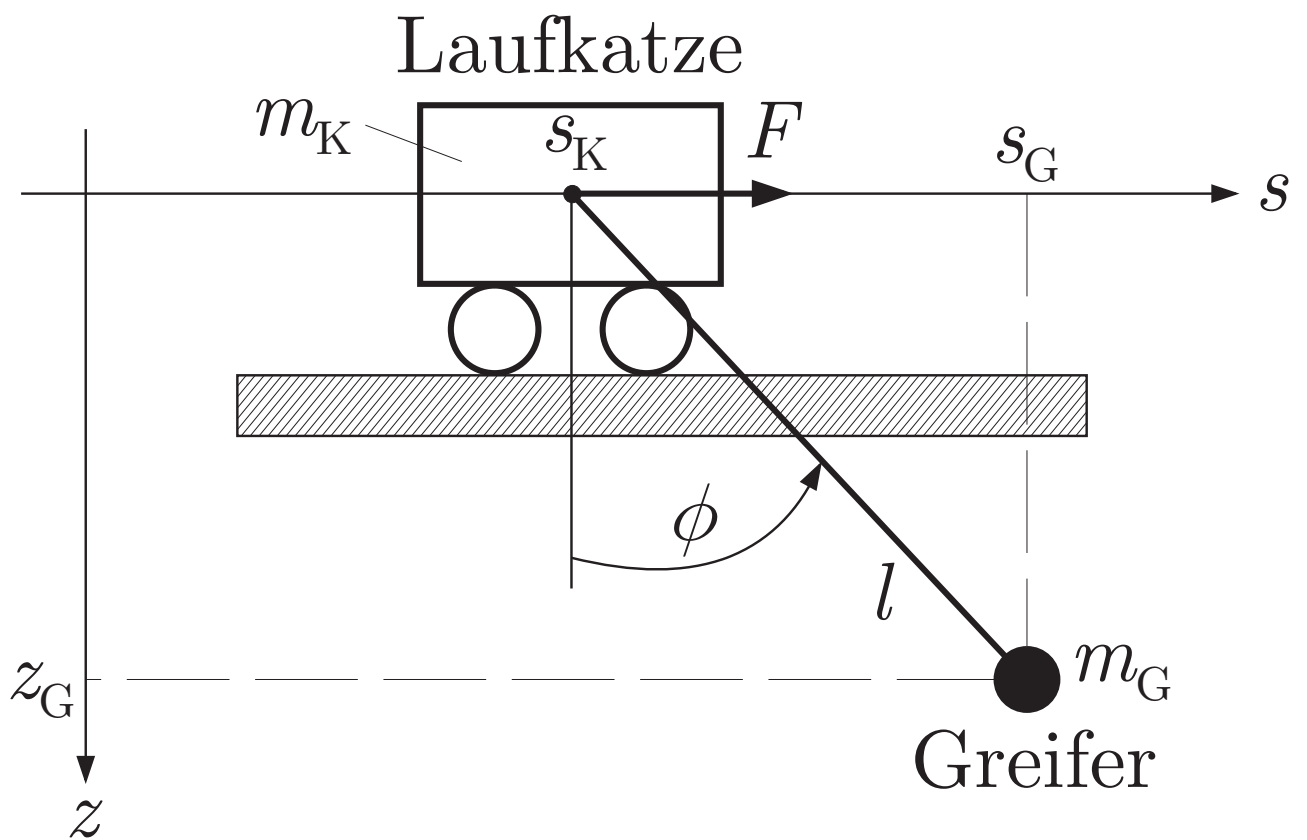


Abb. 3.20: Verladebrücke

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

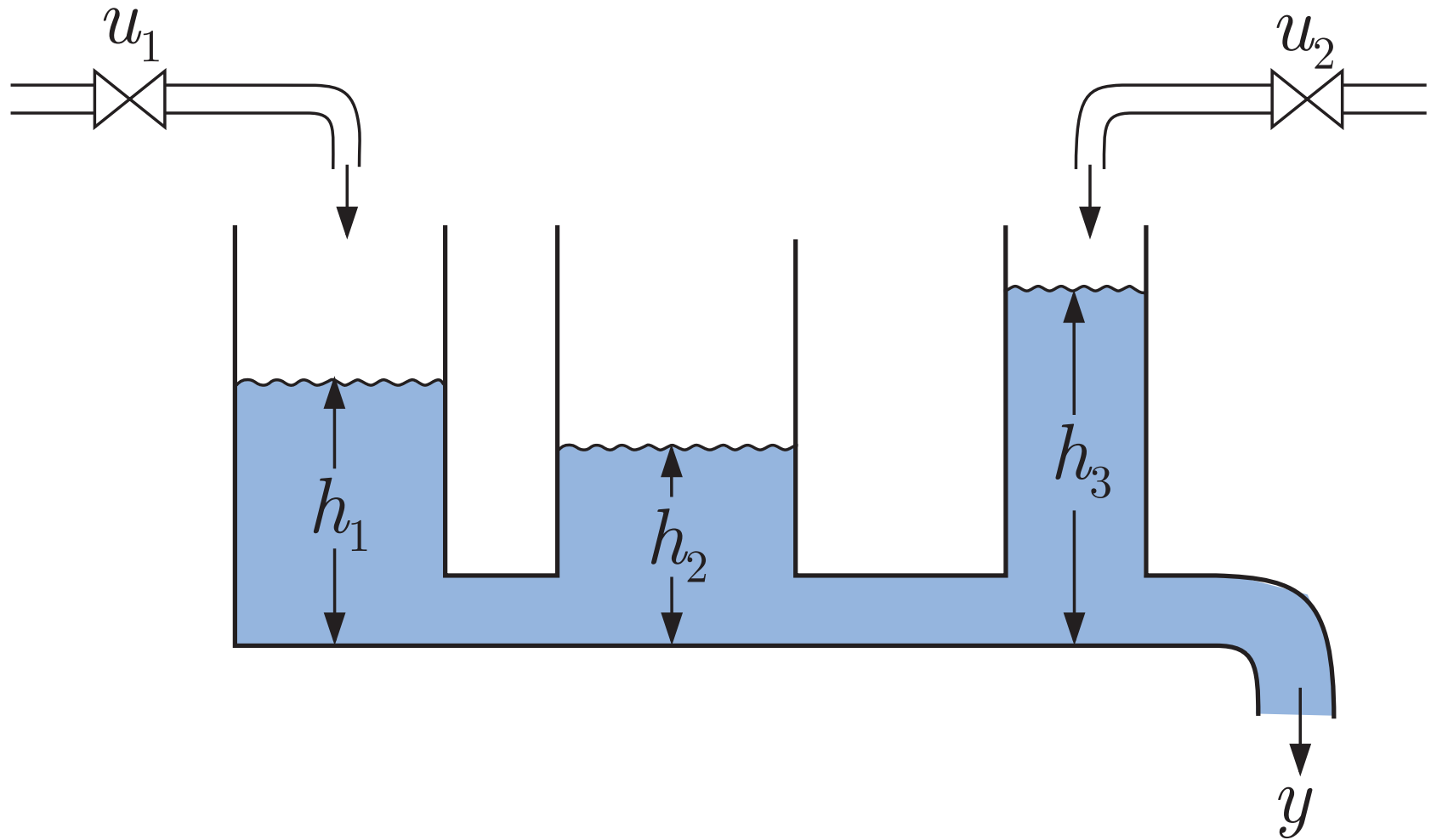


Abb. 3.21. Behältersystem

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

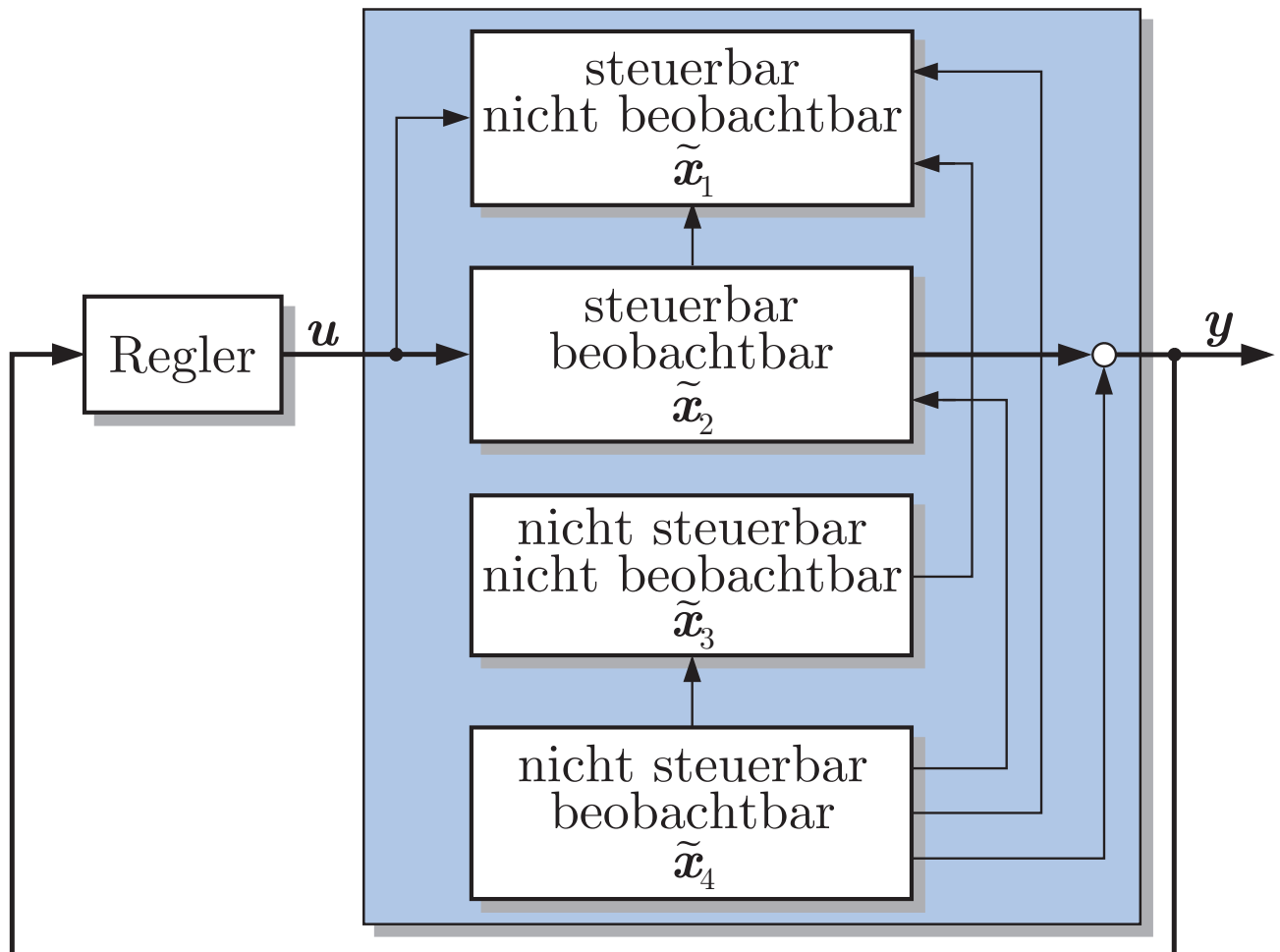


Abb. 3.22: Regelkreis mit Kalmanzerlegung des Zustandsraummodells der Regelstrecke

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

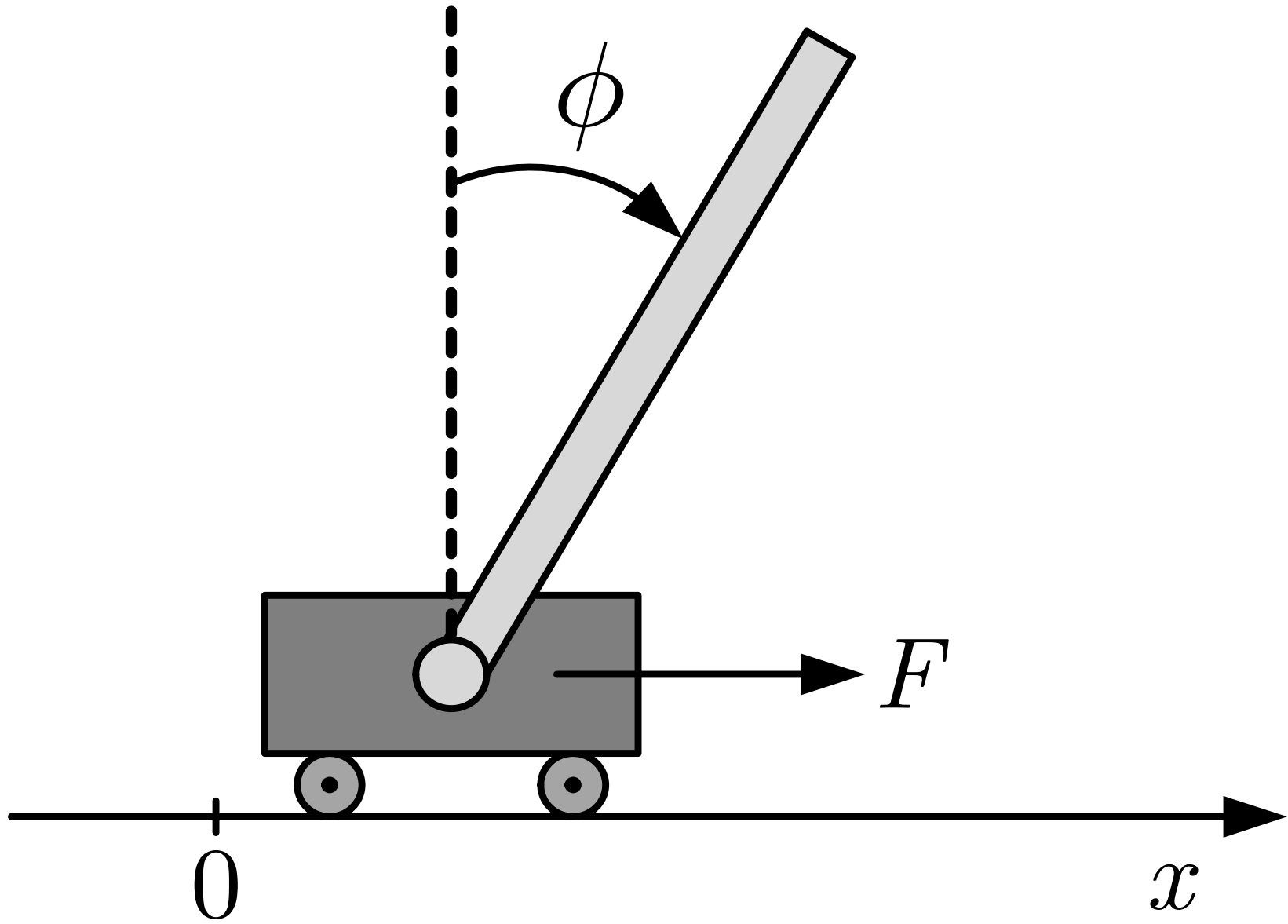


Abb. 3.23. Invertiertes Pendel

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

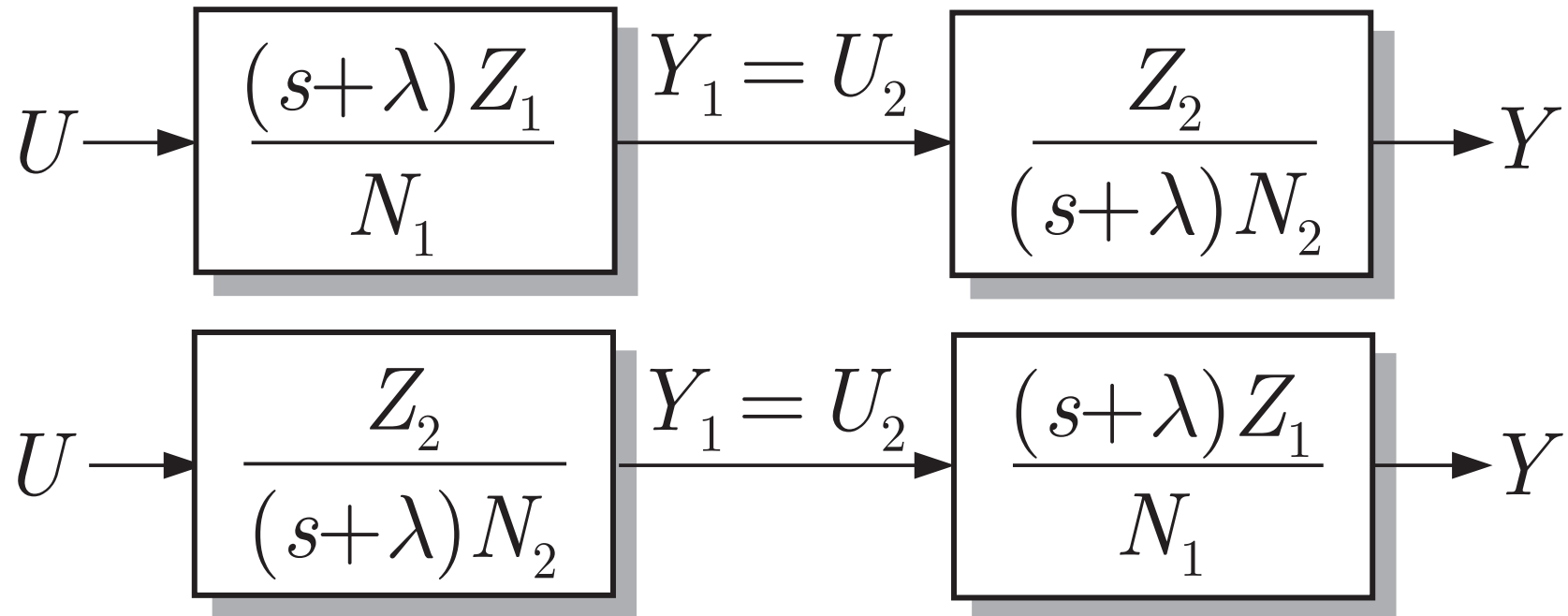


Abb. 3.24. Ein nicht steuerbares und ein nicht beobachtbares System

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

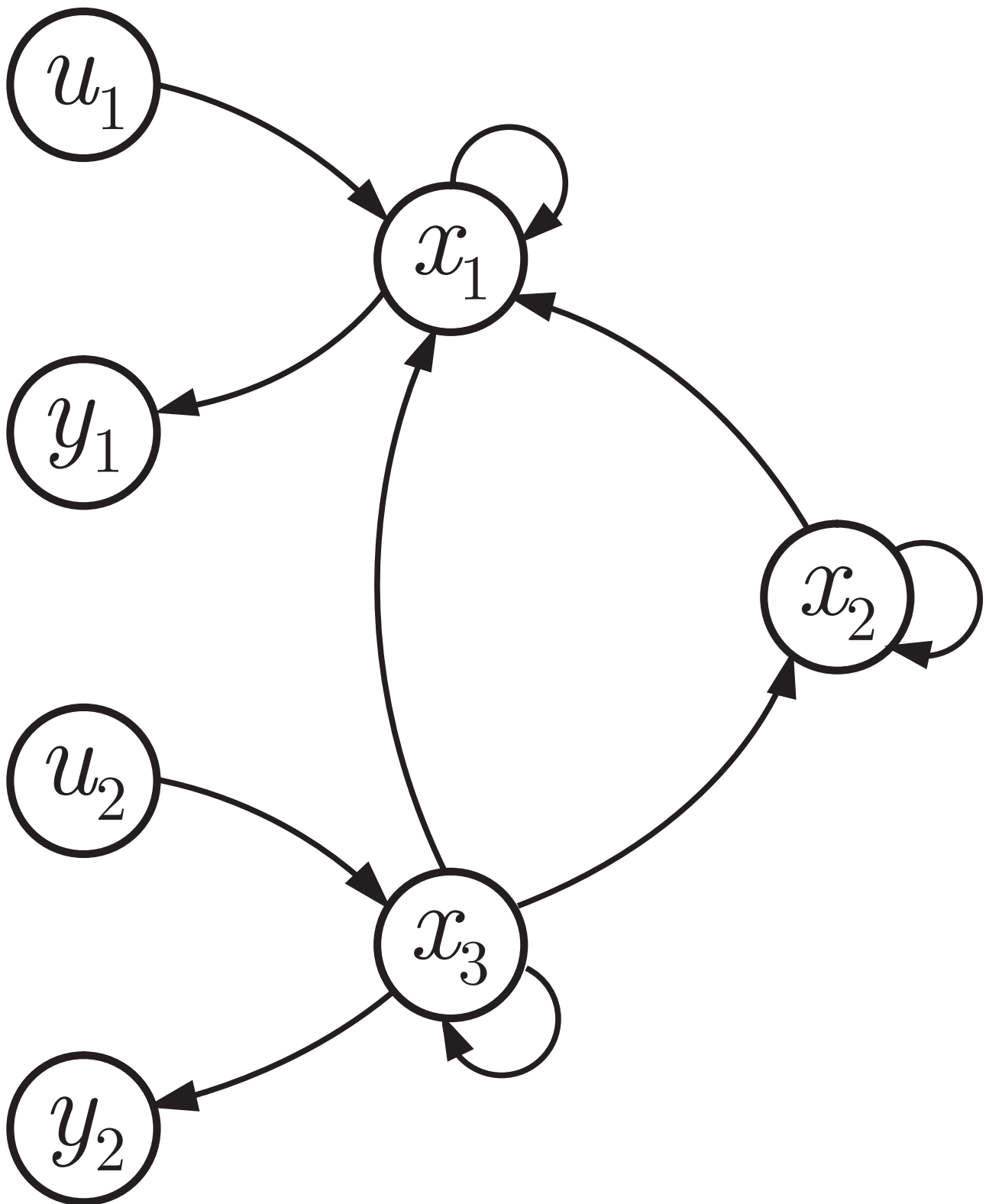


Abb. 3.25: Strukturgraph des Beispielsystems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

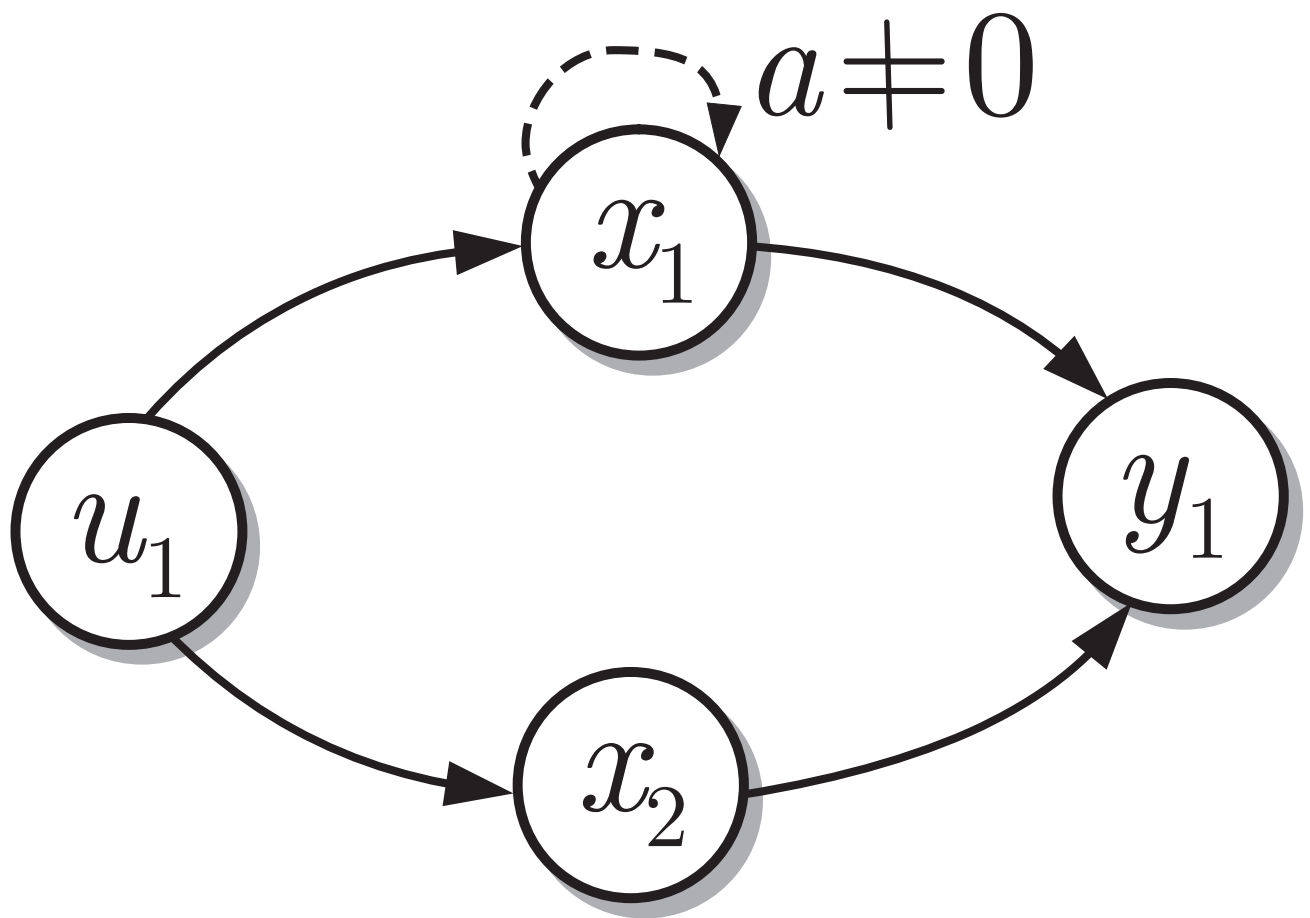


Abb. 3.26: Strukturgraph der parallelen Integratoren

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

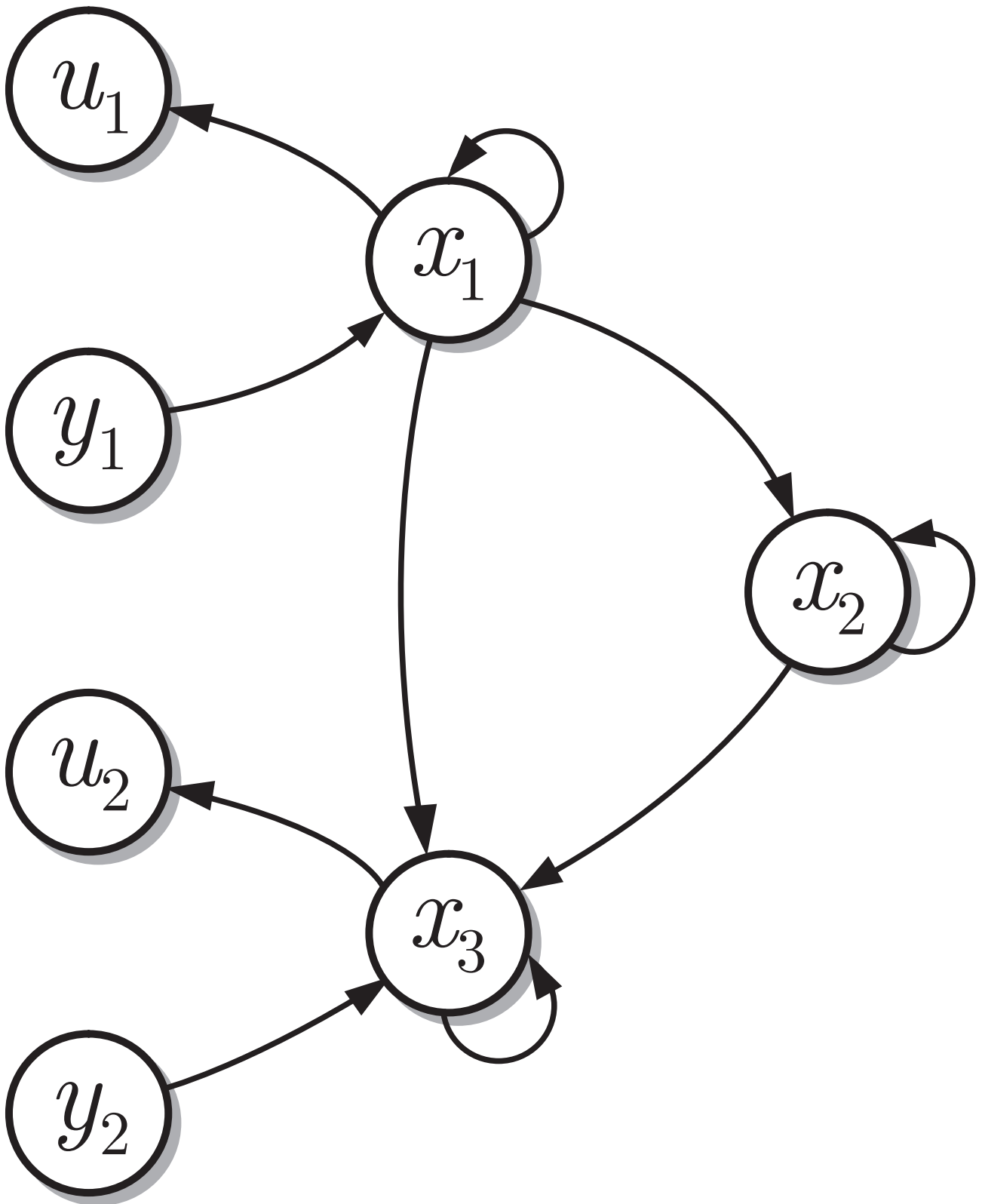


Abb. 3.27: Strukturgraph des dualen Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

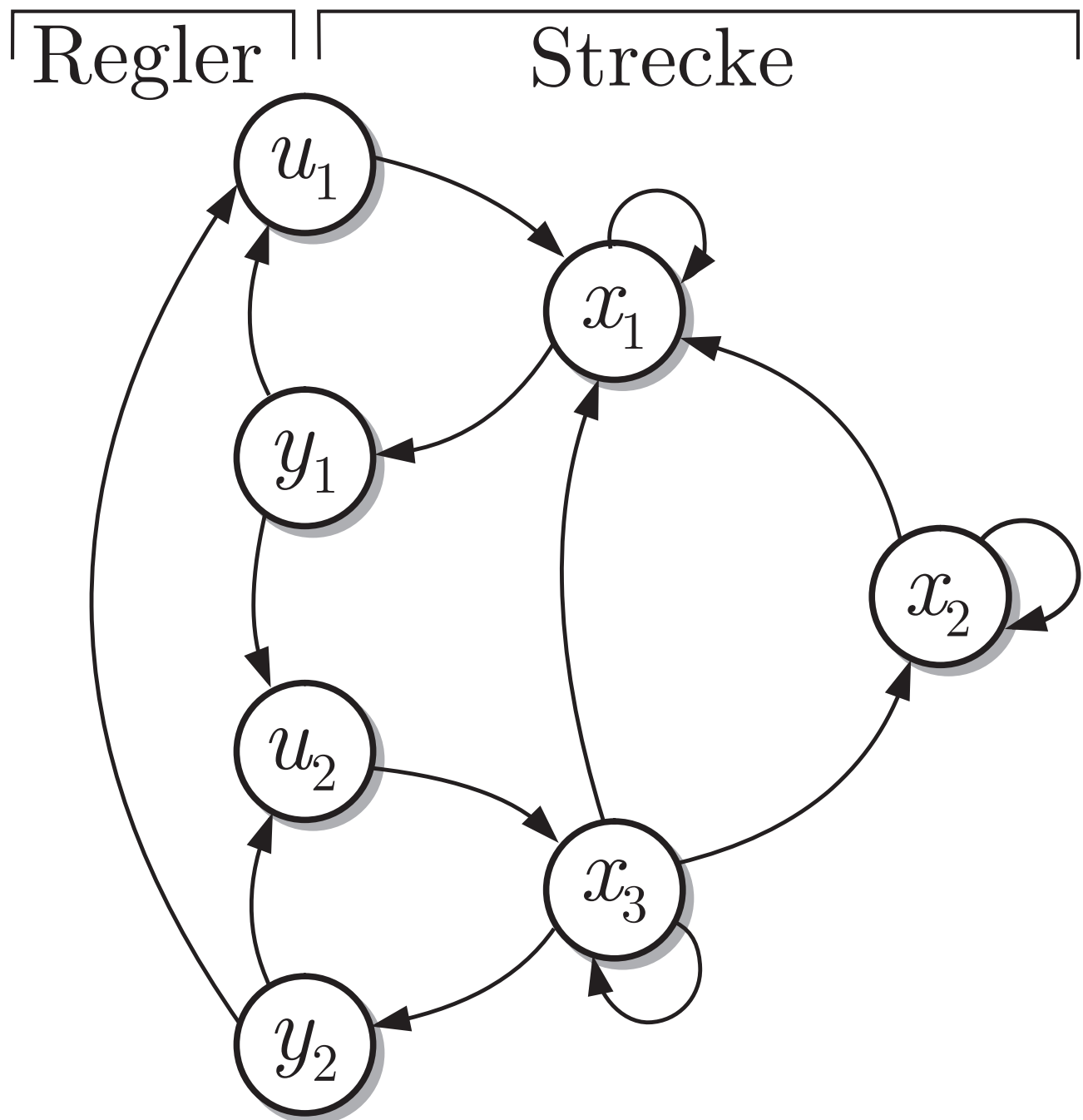


Abb. 3.28: Strukturgraph für das Beispielsystem mit Ausgangsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

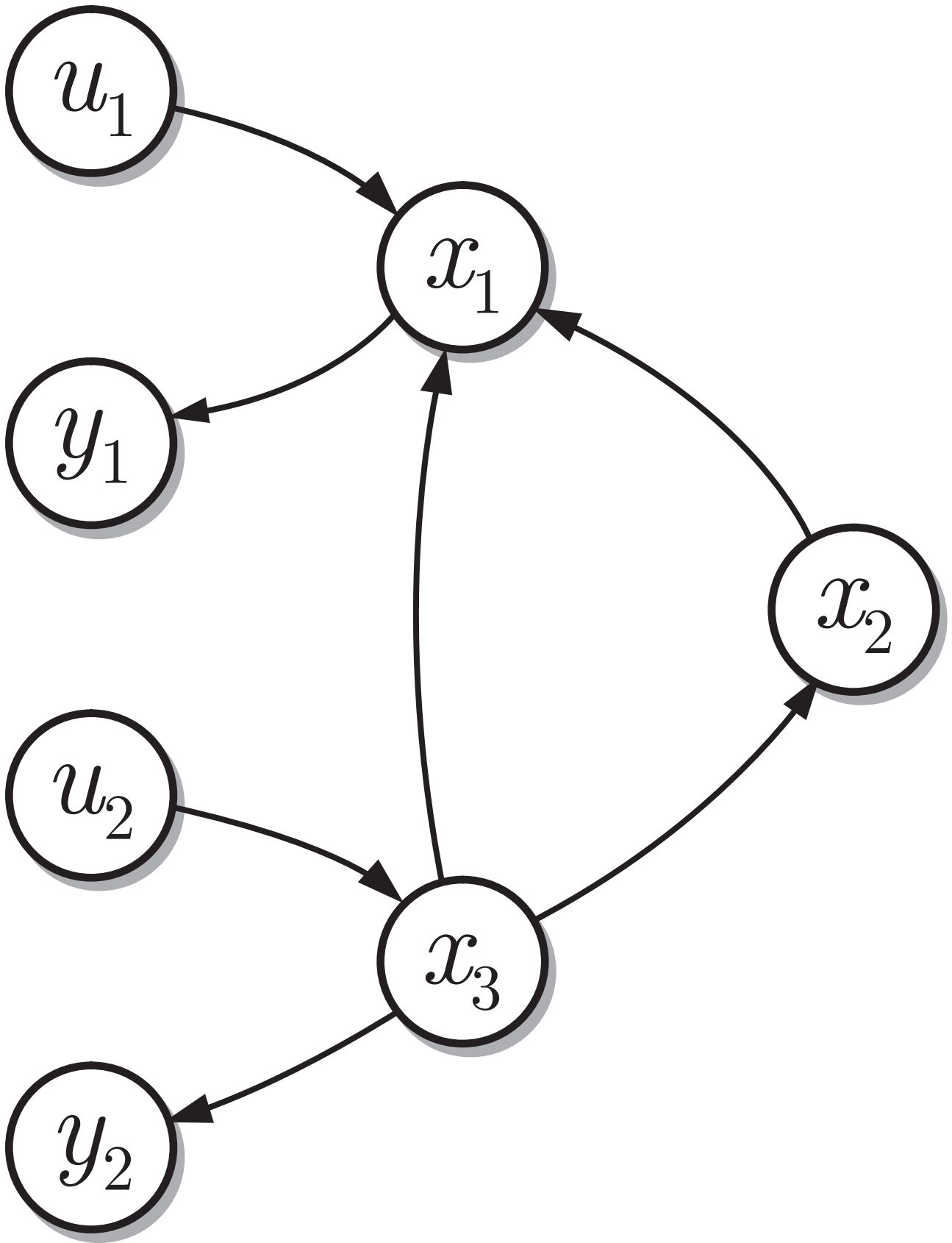


Abb. 3.29: Strukturgraph

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

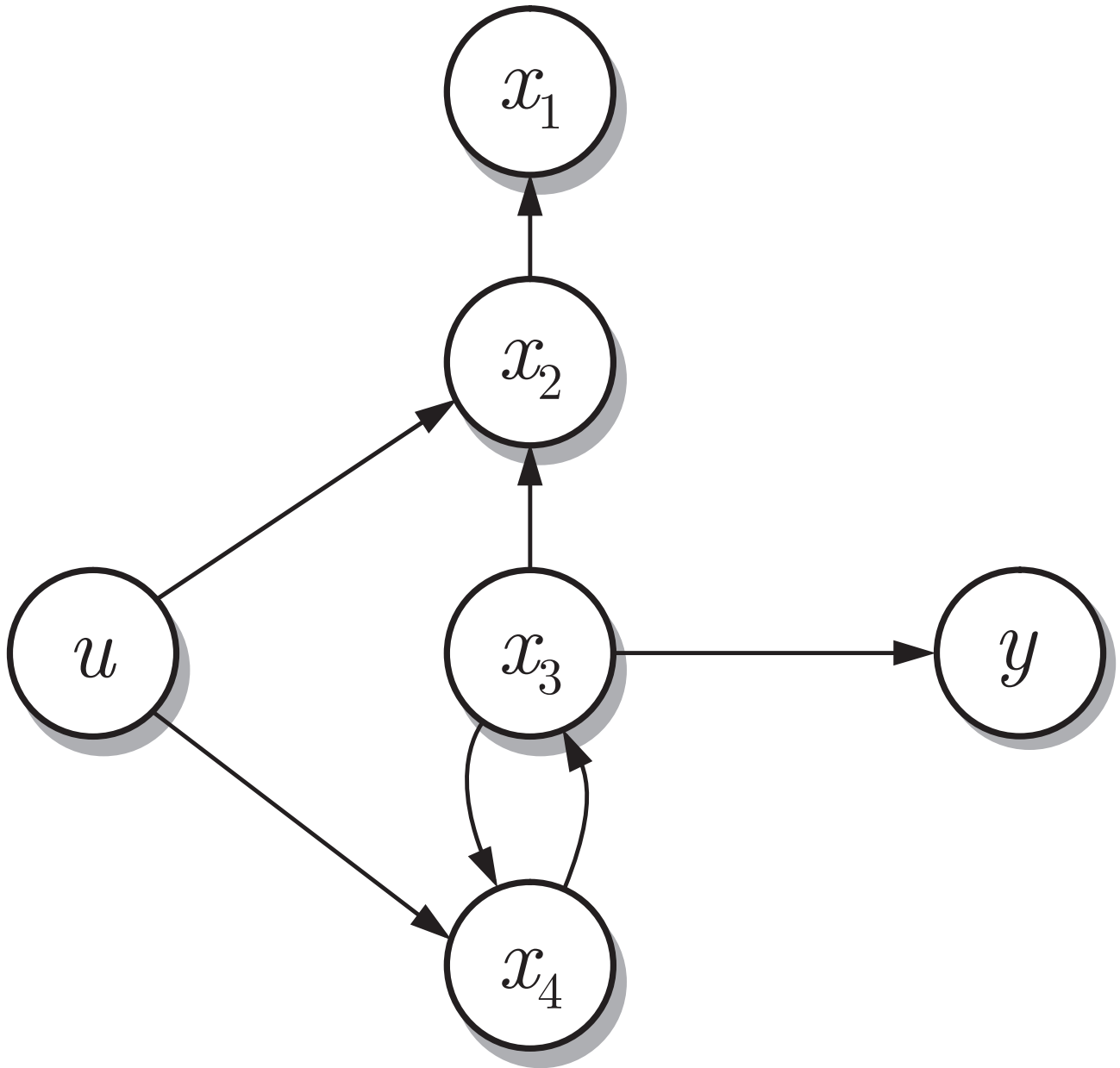


Abb. 3.30: Strukturgraph der Verladebrücke mit dem Seilwinkel als Ausgangsgröße

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

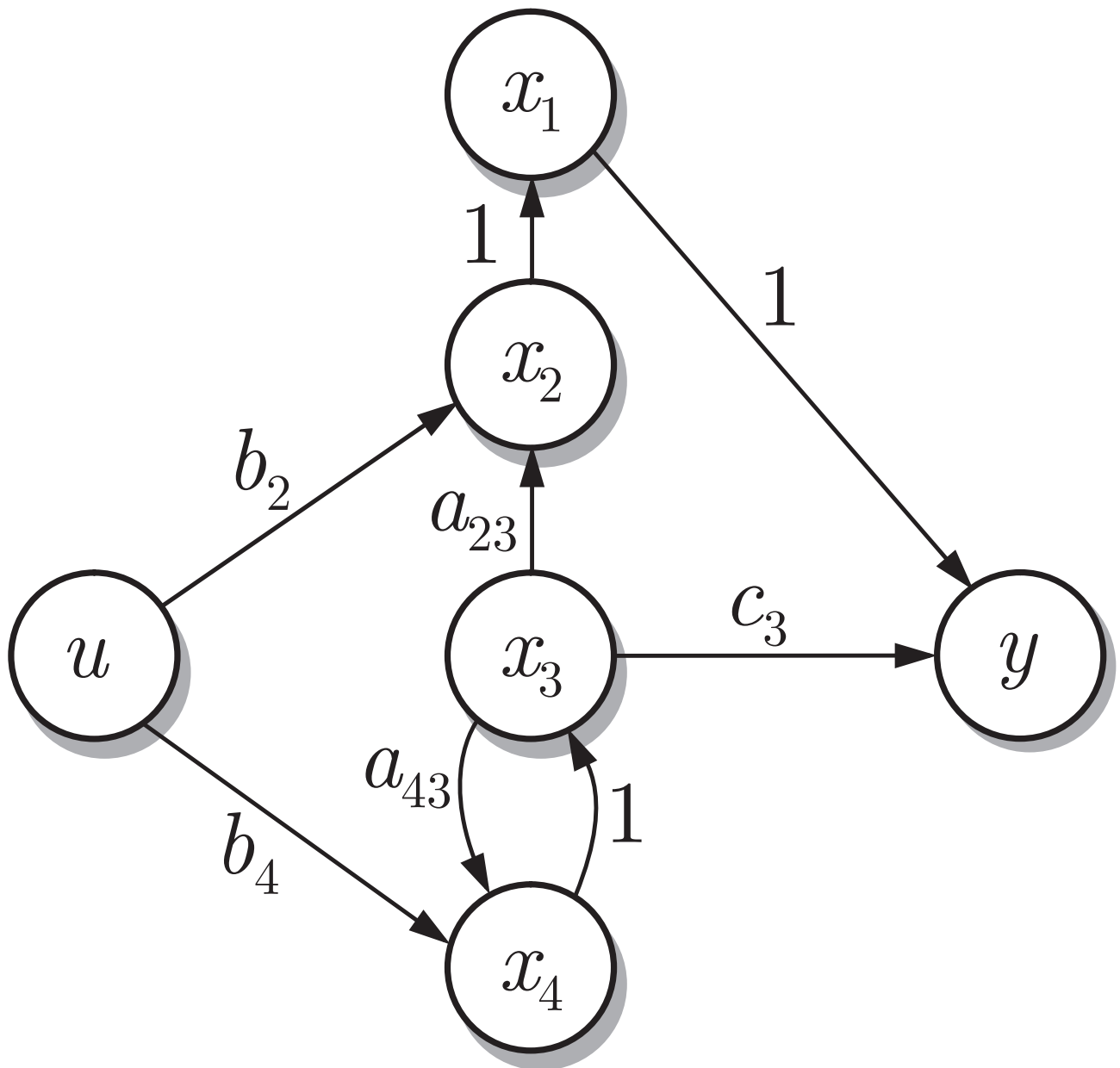


Abb. 3.30: Strukturgraph der Verladebrücke mit der Position der Last als Ausgangsgröße

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

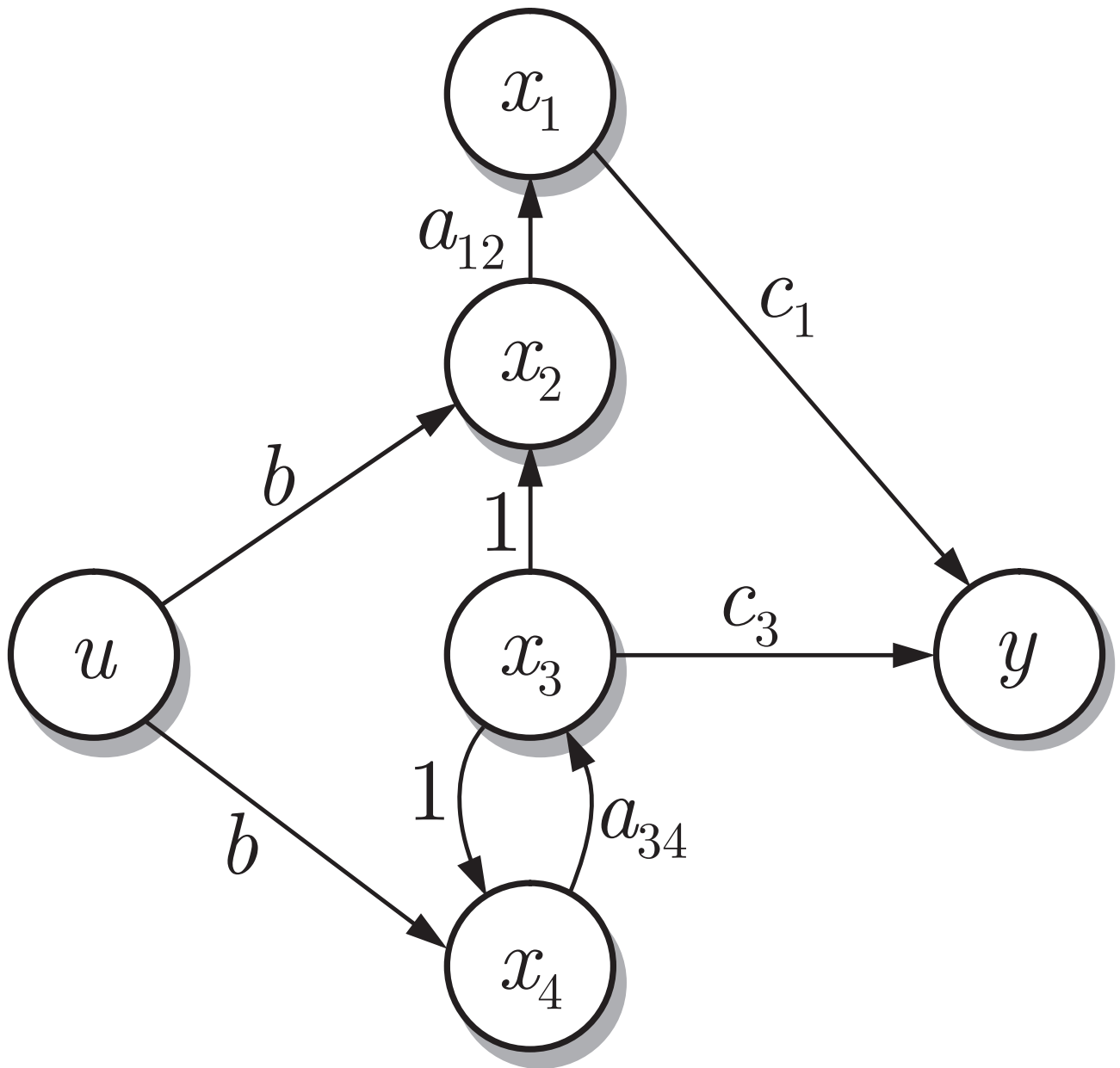


Abb. 3.31: Strukturgraph mit veränderten Parameterwerten

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

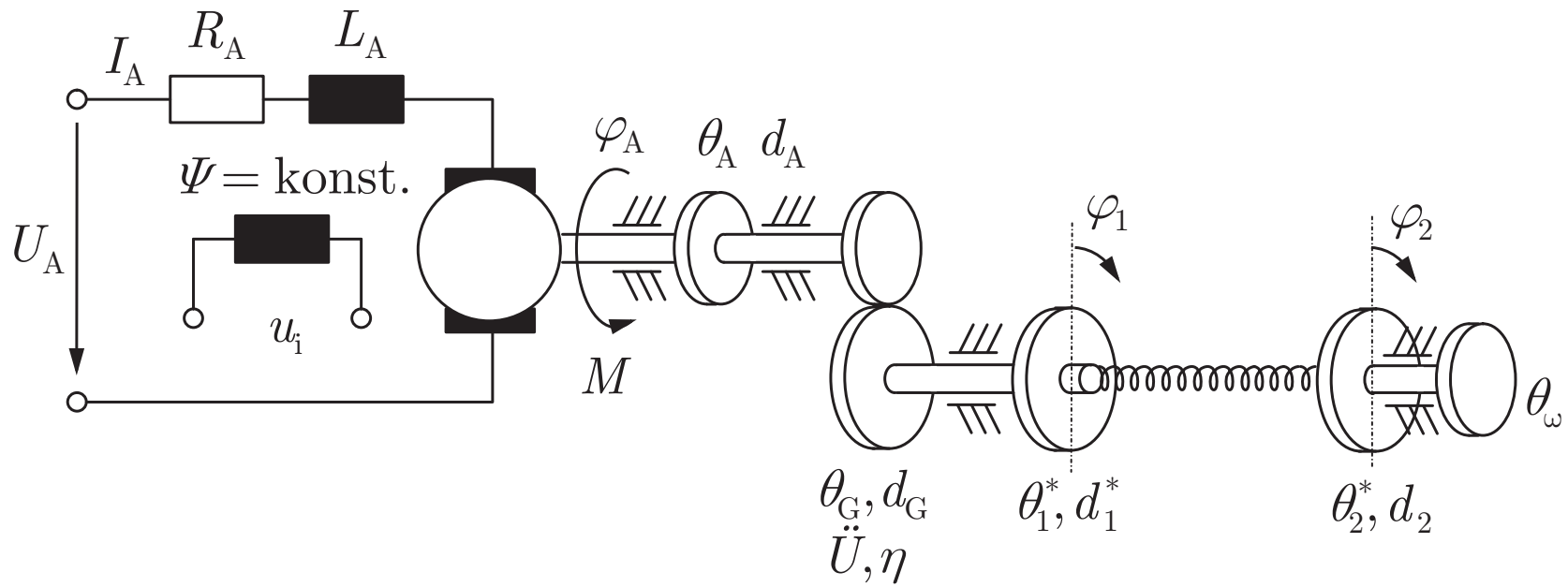


Abb. 3.32. Elektromechanisches Ersatzsystem für einen Rotationsantrieb

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

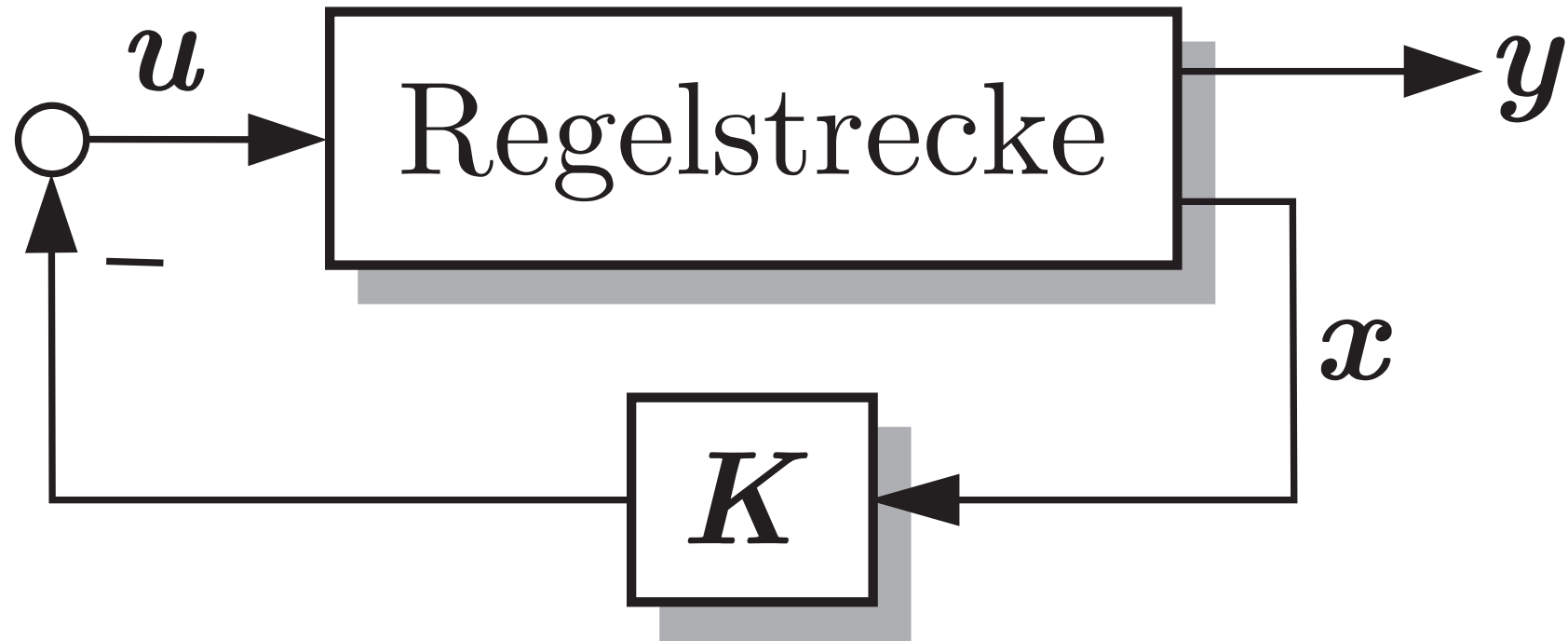


Abb. 4.1. Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

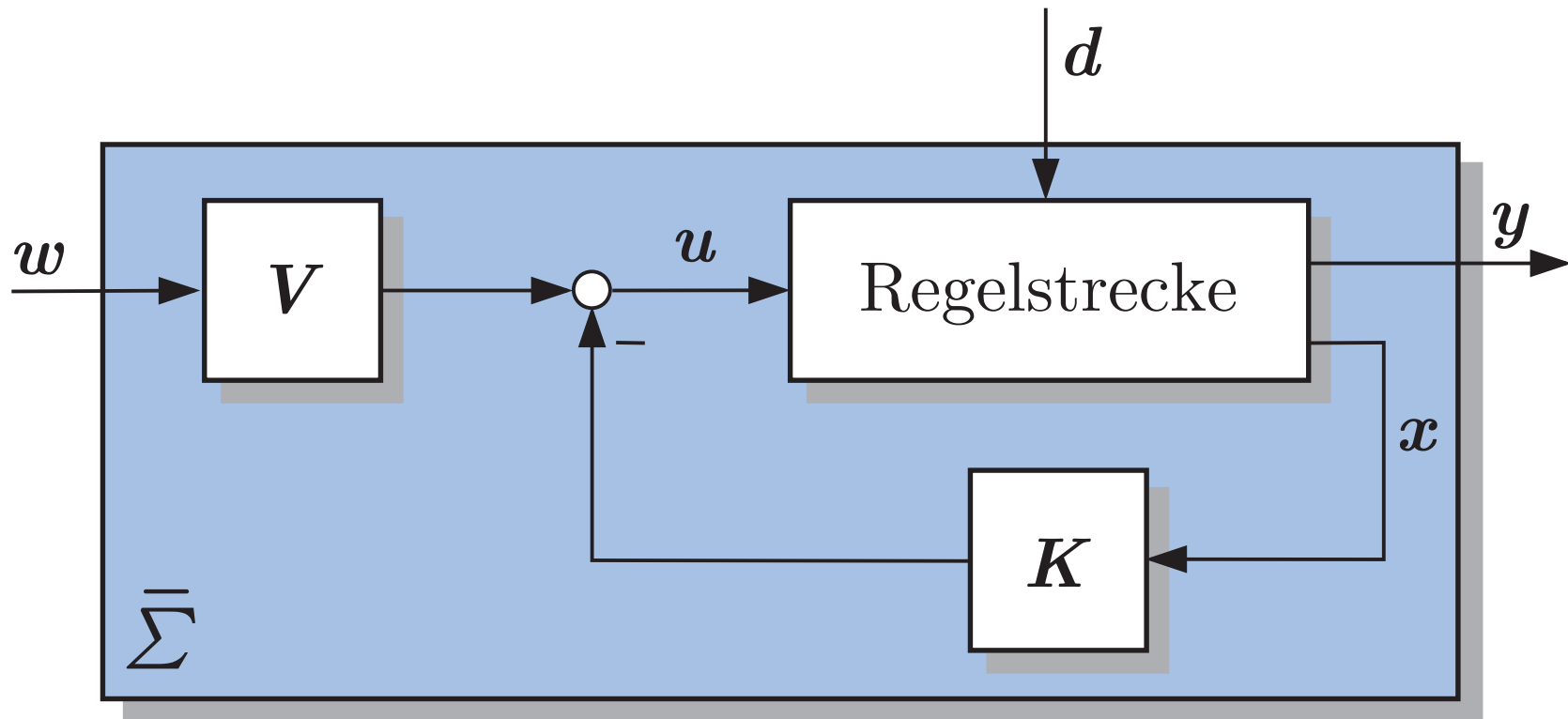


Abb. 4.2. Regelkreis mit Zustandsrückführung und Vorfilter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

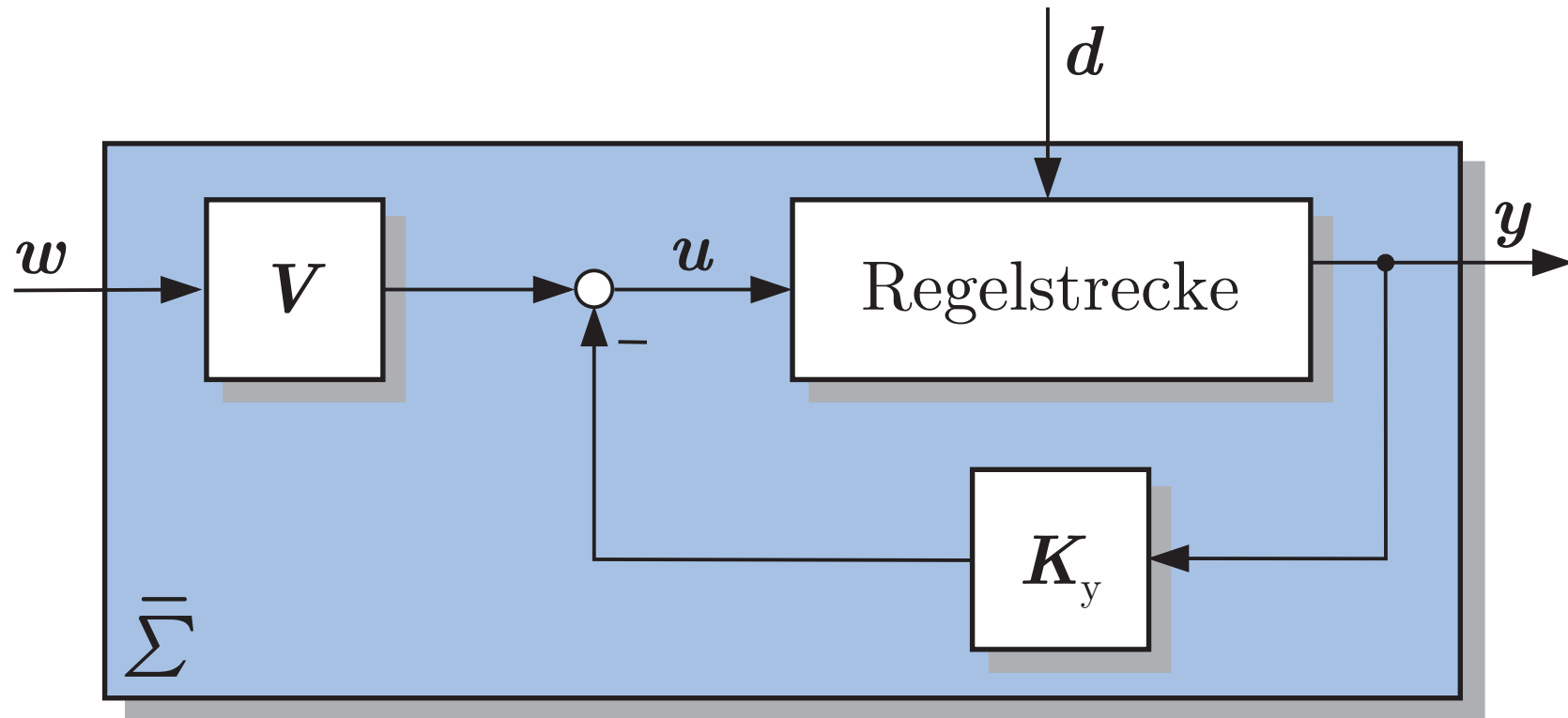


Abb. 4.3. Regelkreis mit Ausgangsrückführung und Vorfilter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

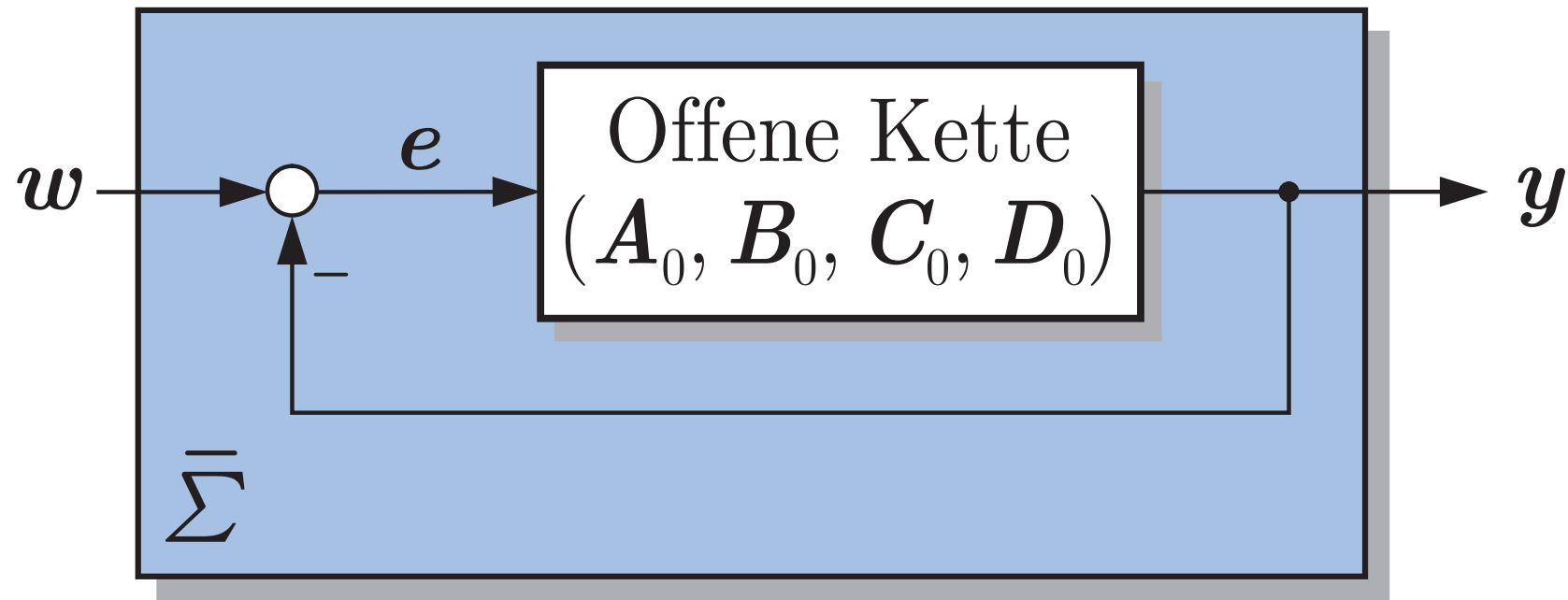


Abb. 4.4. System mit Einheitsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

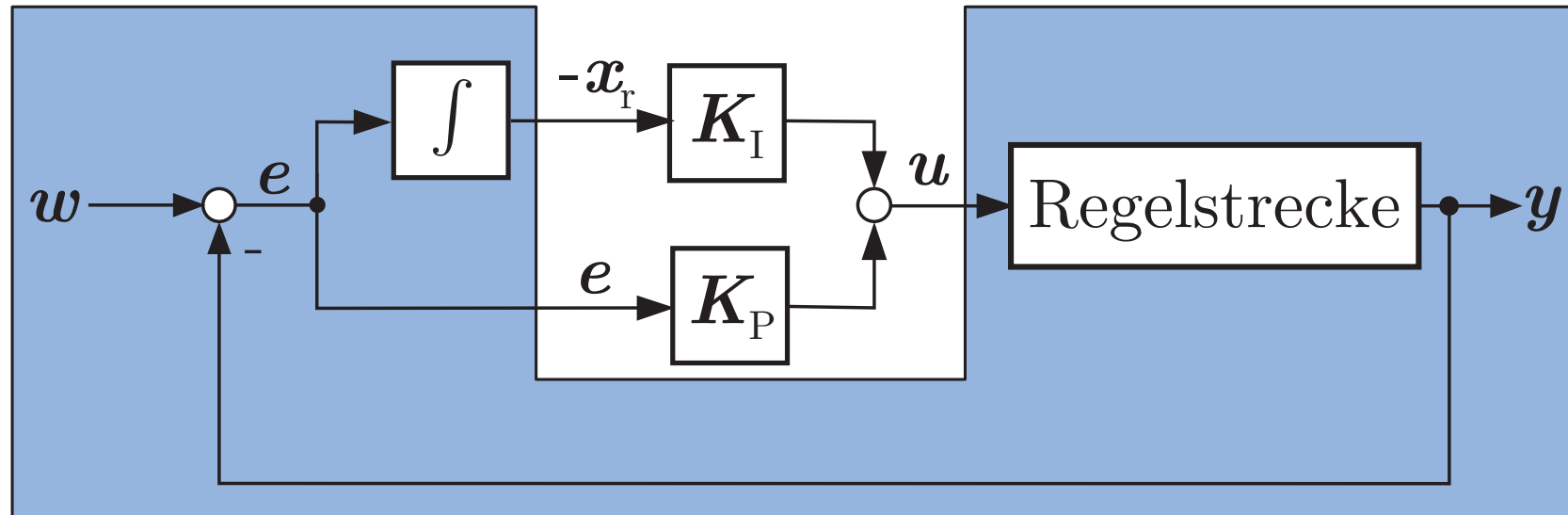


Abb. 4.5. Mehrgrößenregelkreis mit PI-Regler

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

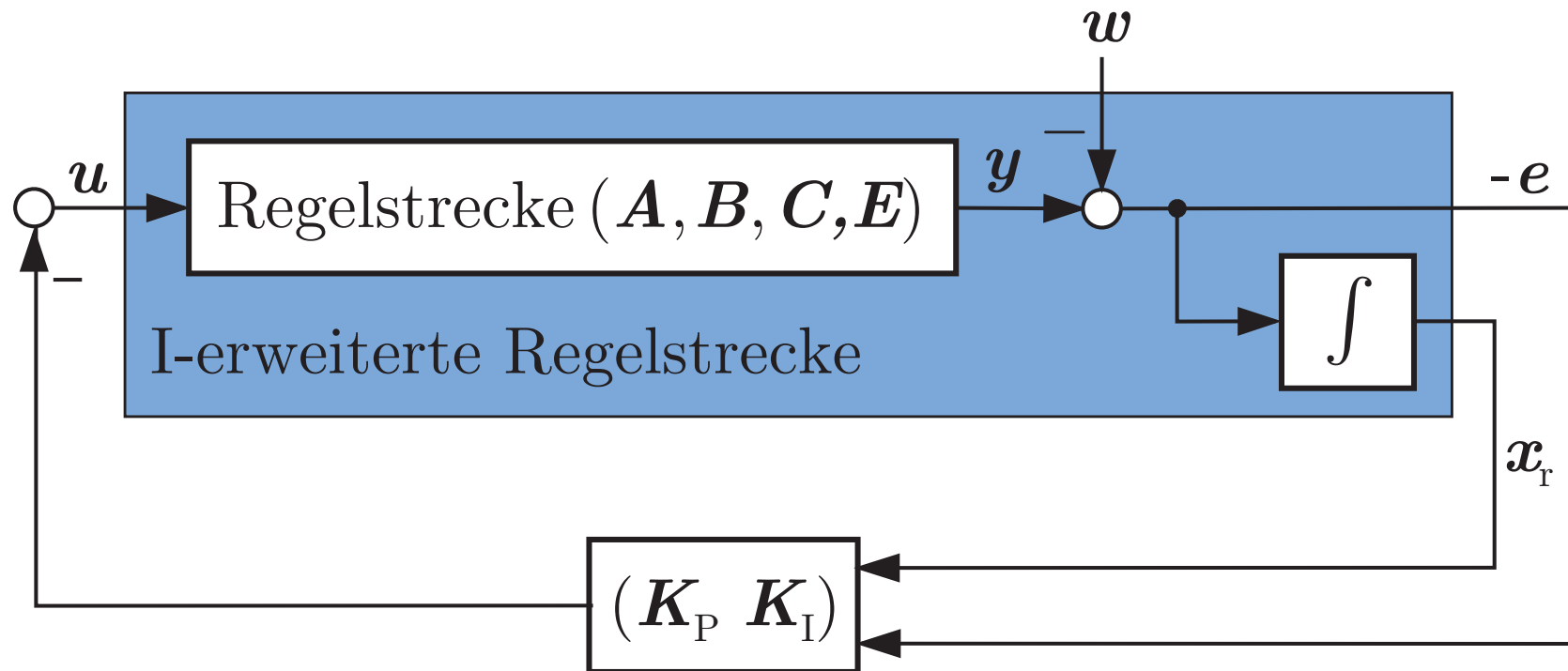


Abb. 4.6. Regelkreis bestehend aus I-erweiterter Strecke und Ausgangsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

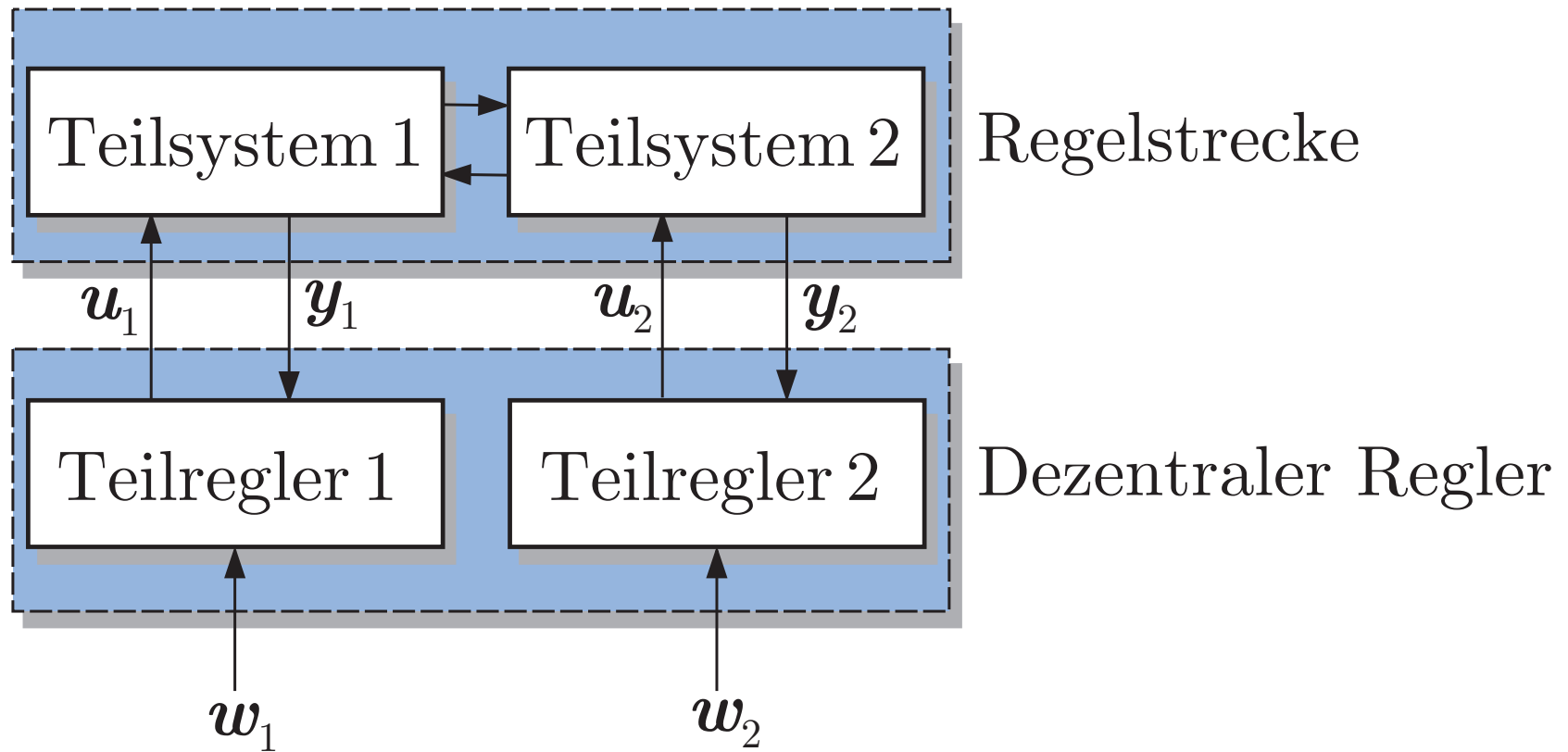


Abb. 4.7. Grundstruktur einer dezentralen Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

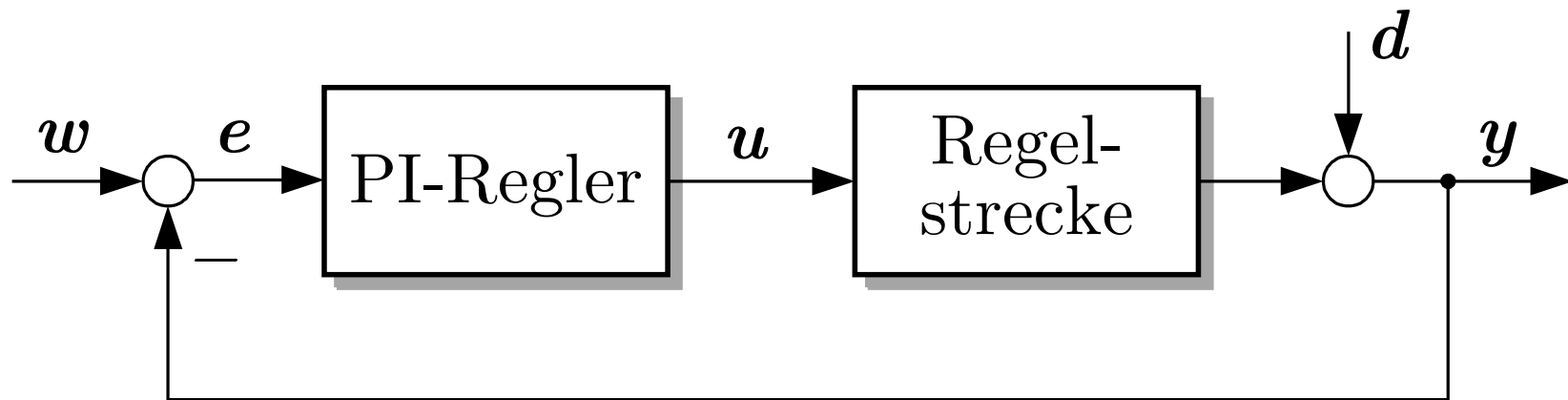


Abb. 4.8. Mehrgrößenregelkreis mit PI-Regler

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

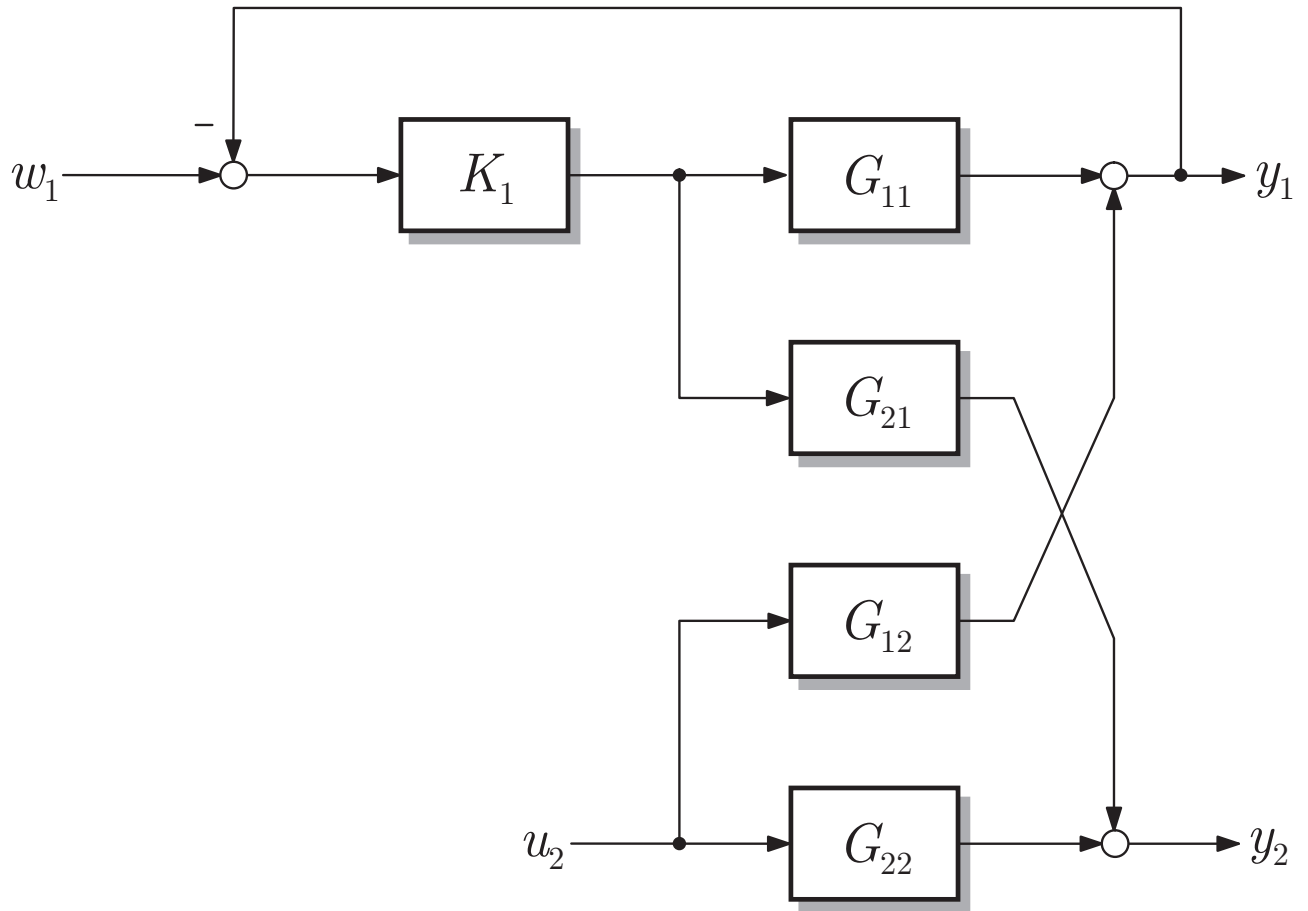


Abb. 4.9: Mehrgrößensystem mit einem dezentralen Teilregler

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

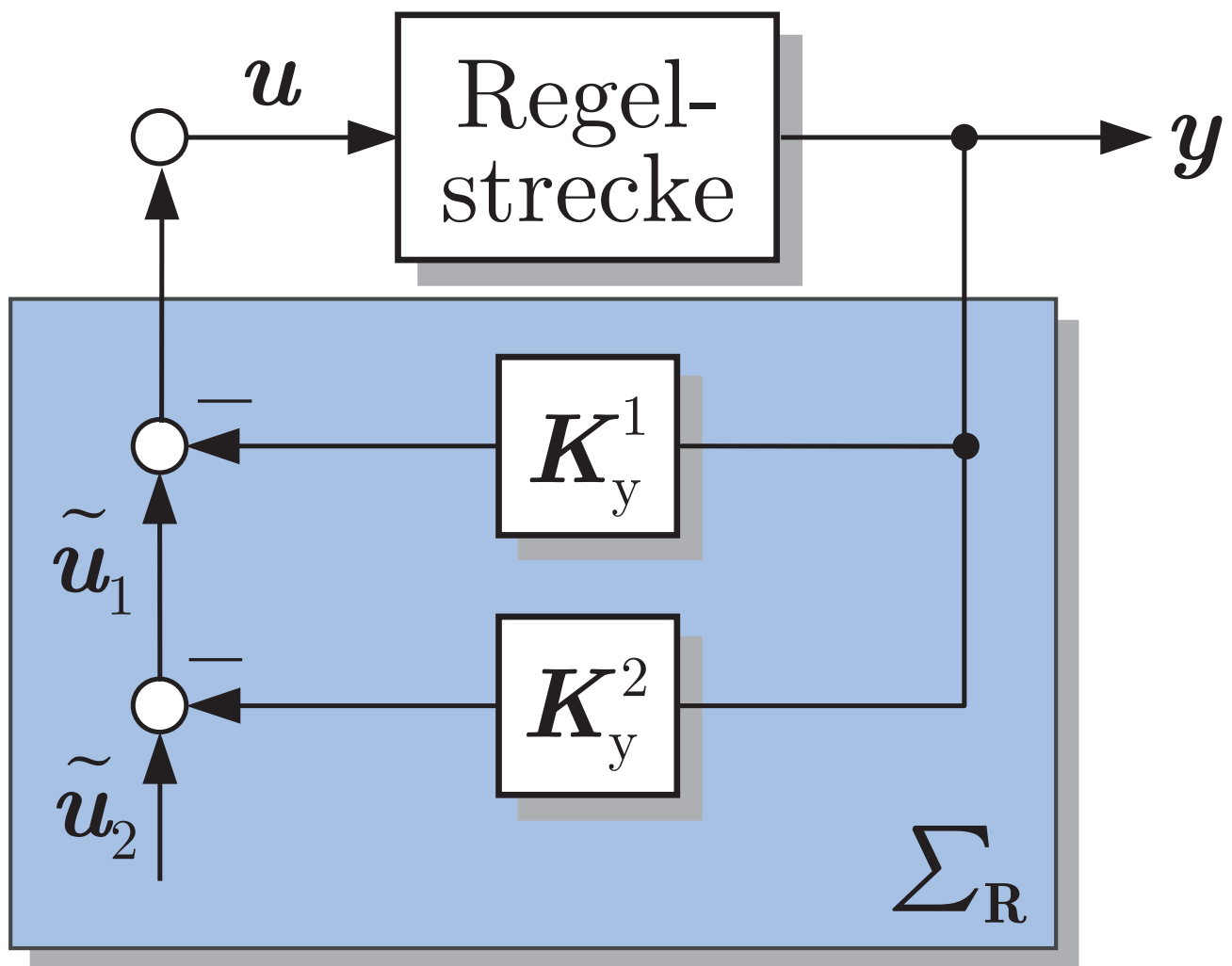


Abb. 4.10: Überlagerung zweier Ausgangsrückführungen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

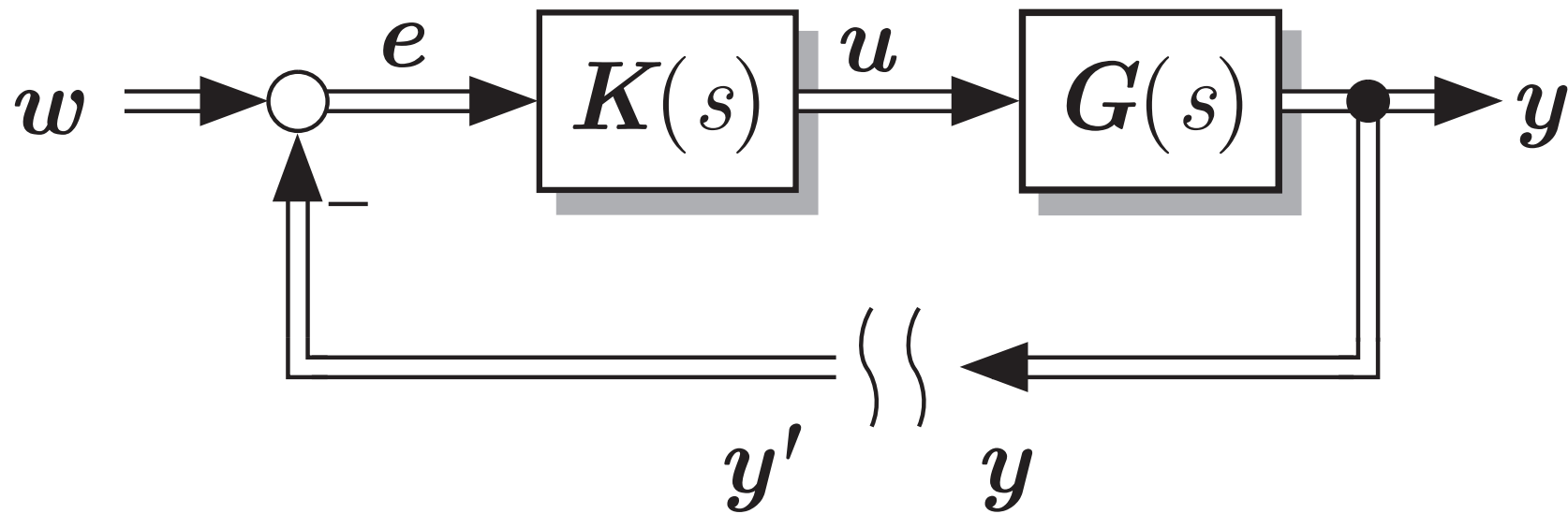


Abb. 4.11. Mehrgrößenregelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

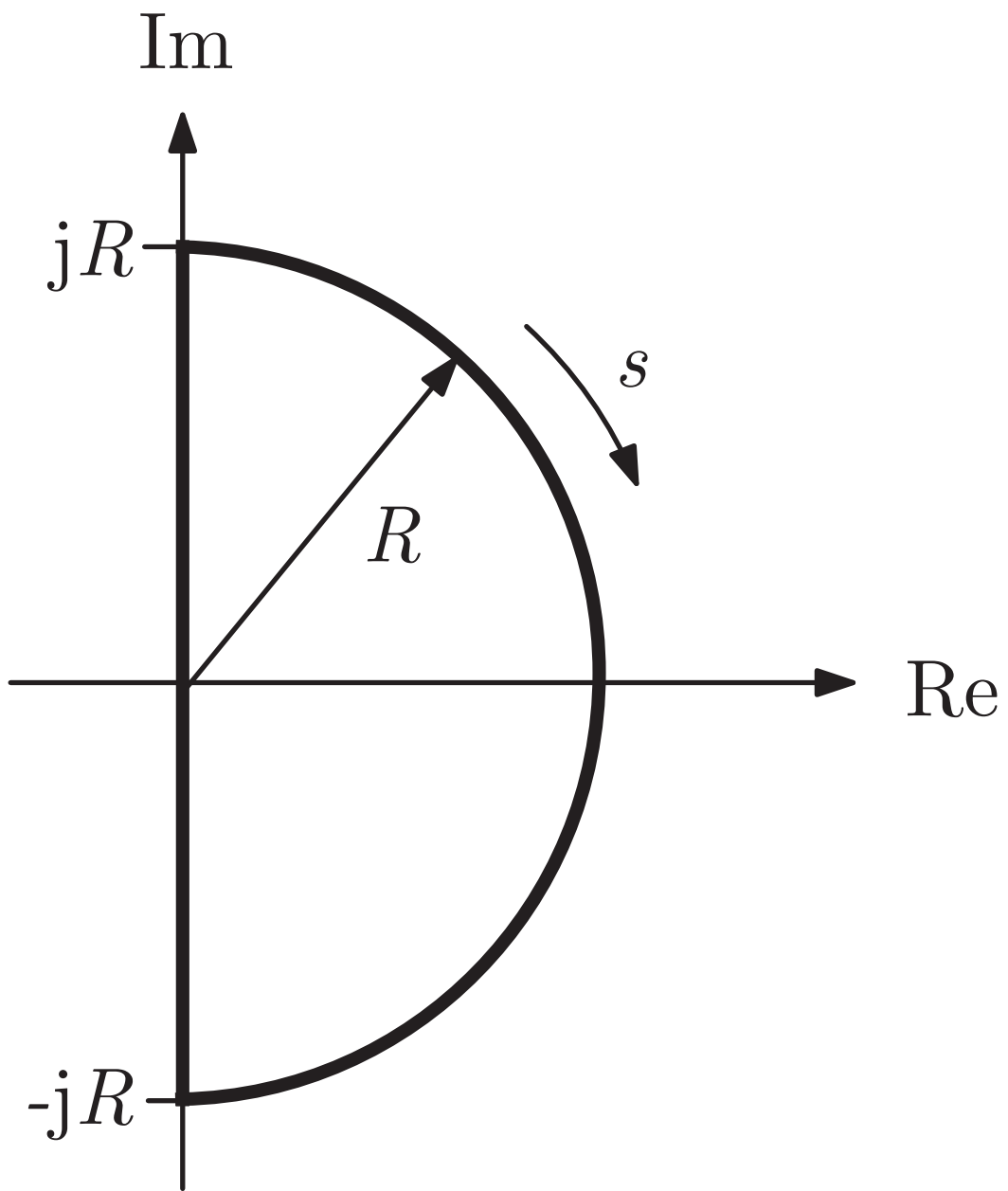


Abb. 4.12. Nyquistkurve \mathcal{D}

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

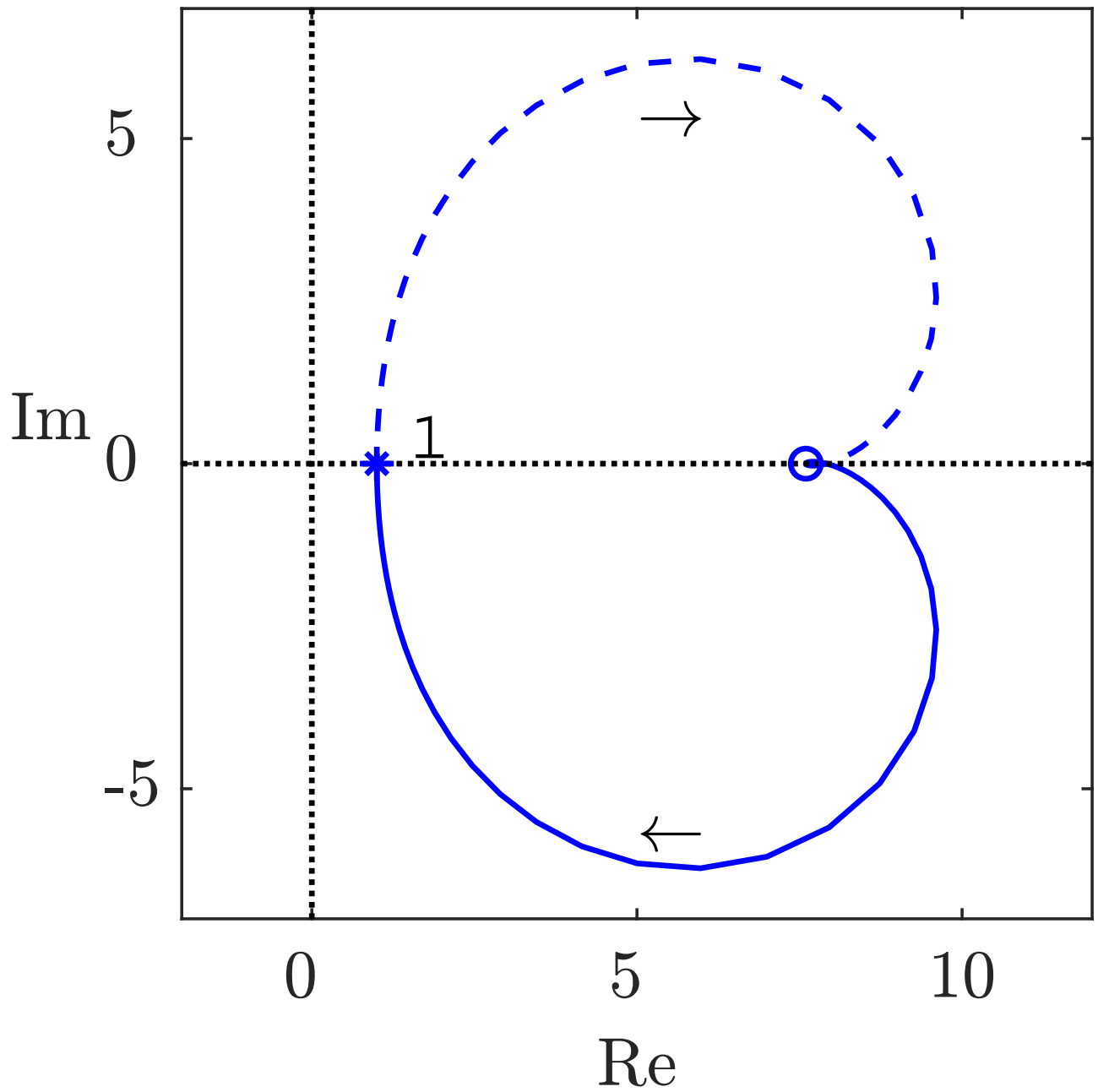
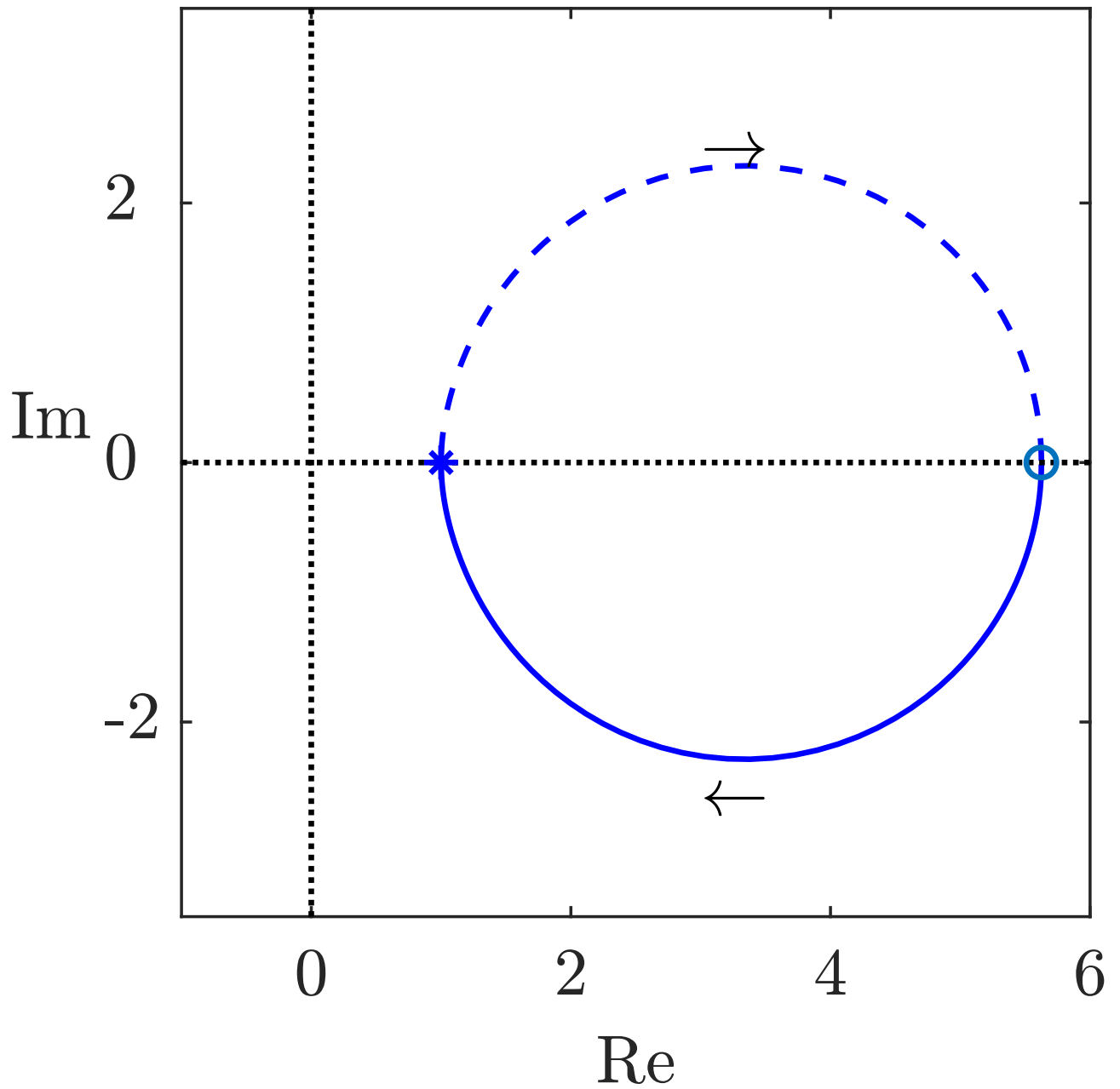


Abb. 4.12: Abbildung der Nyquistkurve durch die Determinante der Rückführdifferenzmatrix

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



**Abb. 4.13: Ortskurve für die geregelten
Rührkesselreaktoren**

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

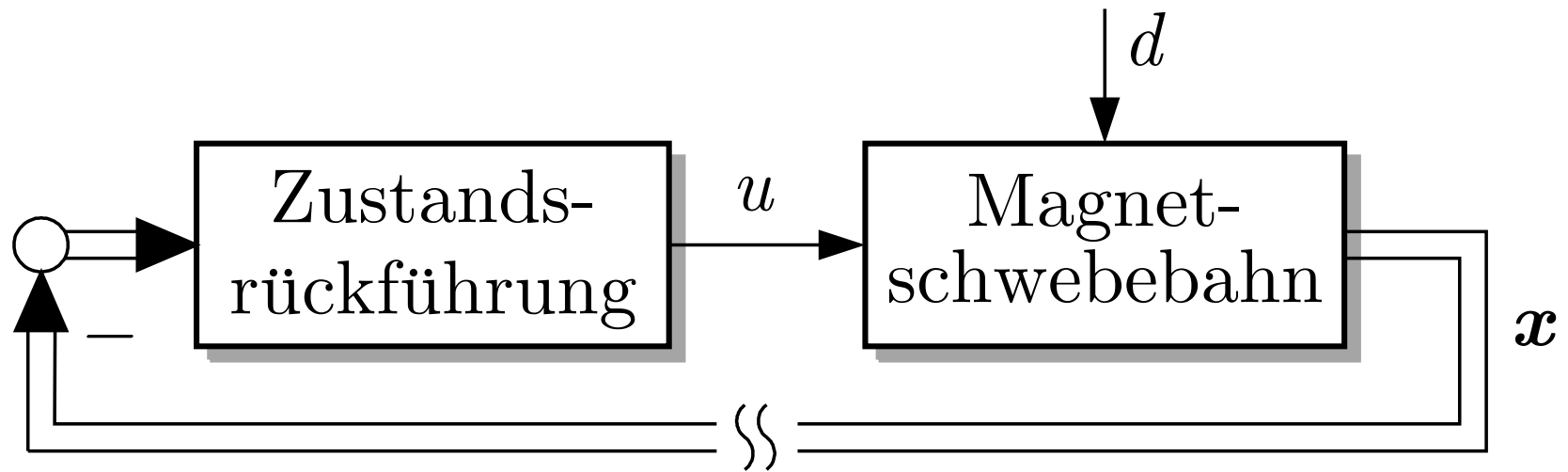


Abb. 4.14. Magnetschwebebahn mit Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

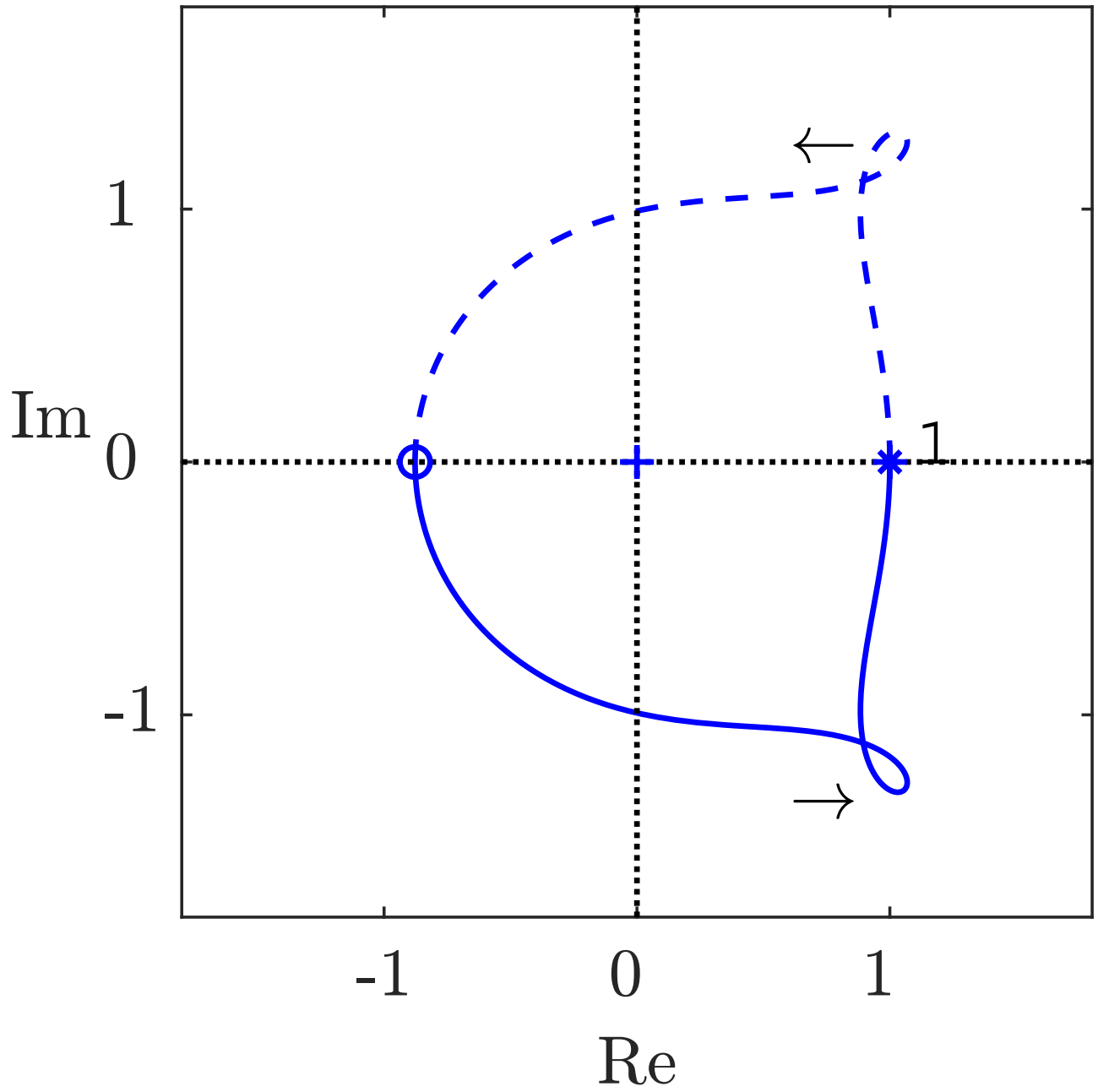


Abb. 4.15: Ortskurve für die Magnetschwebbahn

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

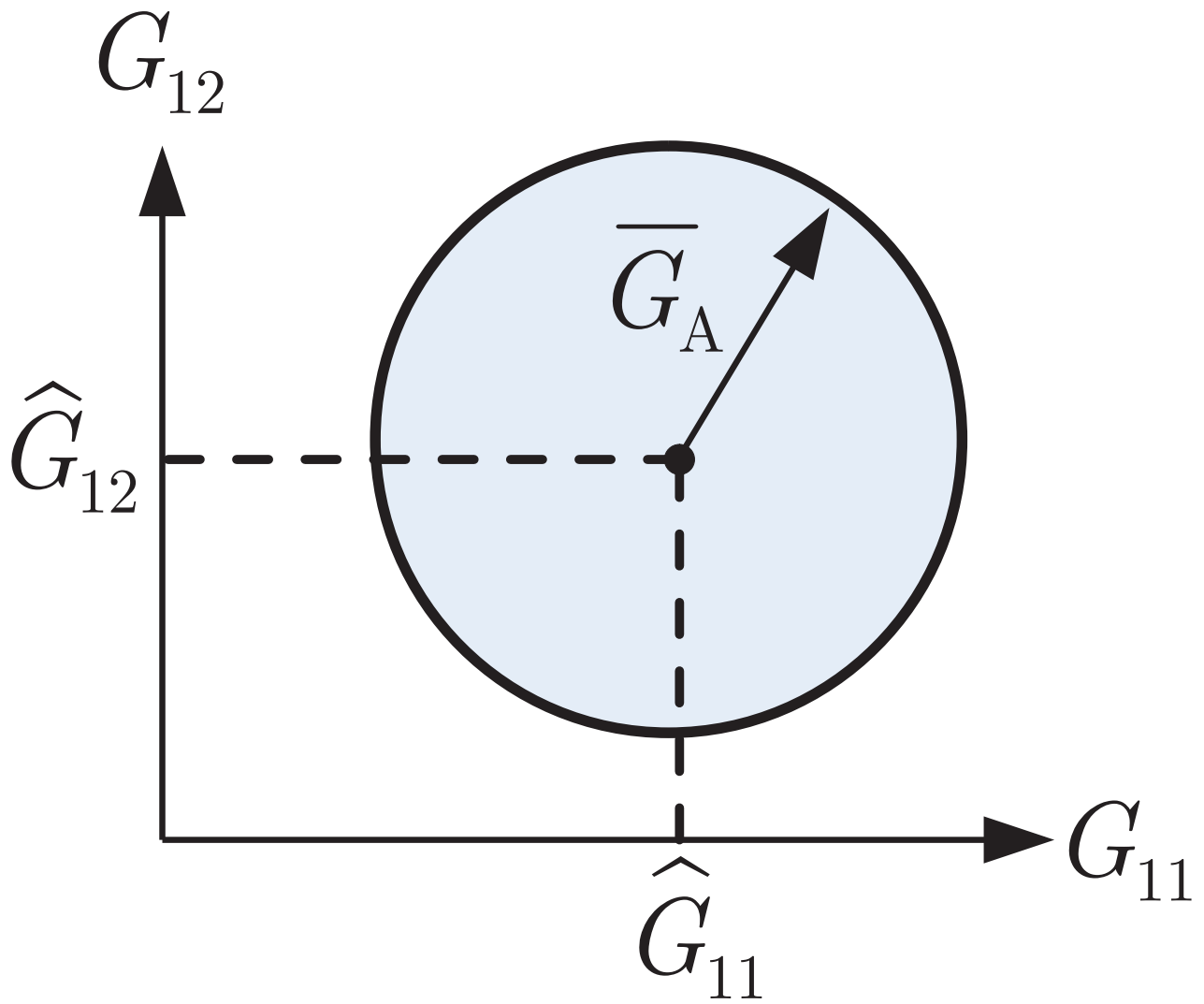


Abb. 4.16: Menge \mathcal{G} der zu betrachtenden Regelstrecken bei Normabschätzung der Modellunbestimmtheiten

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

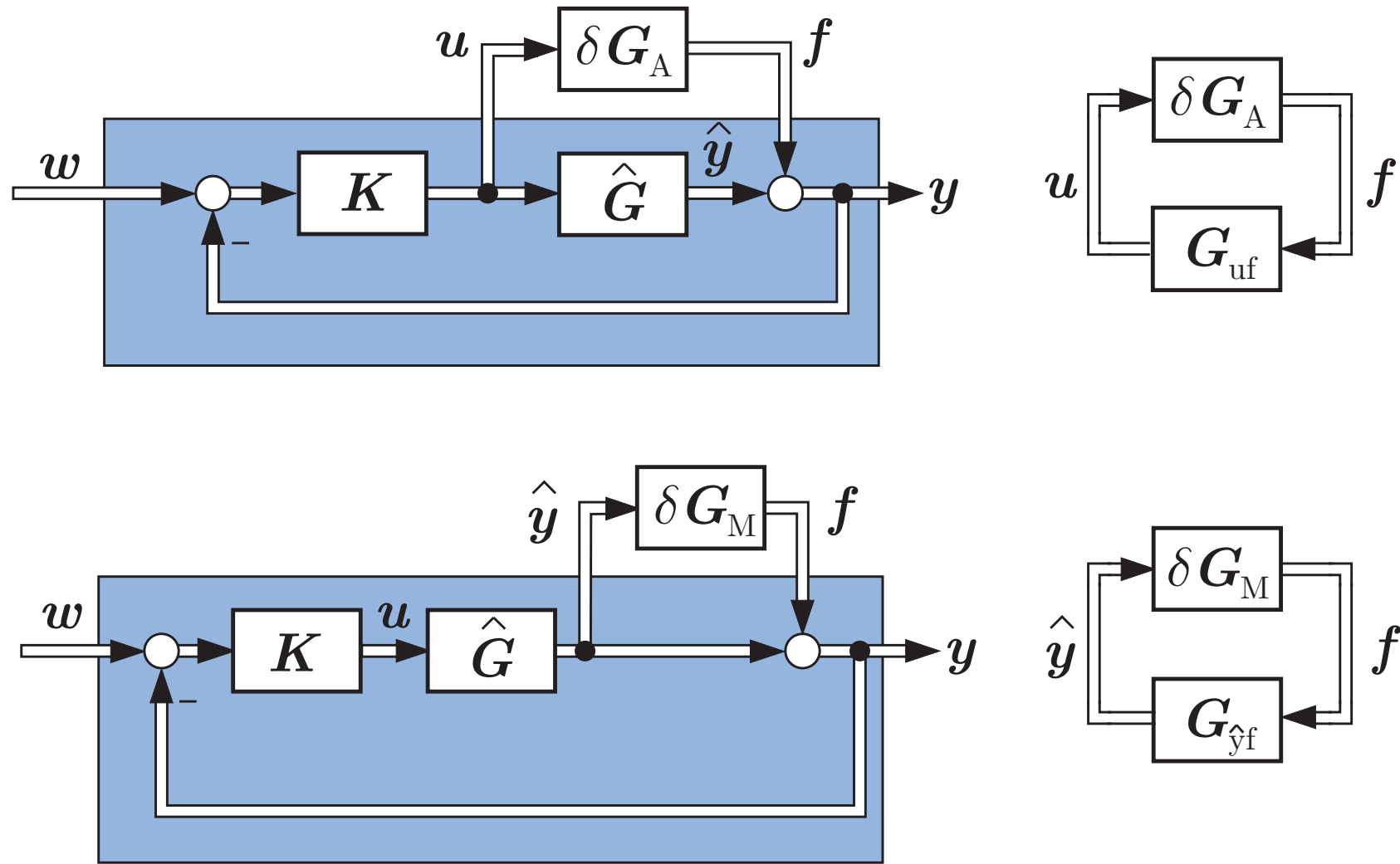


Abb. 4.17. Regelkreis mit additiven bzw. multiplikativen Modellunbestimmtheiten

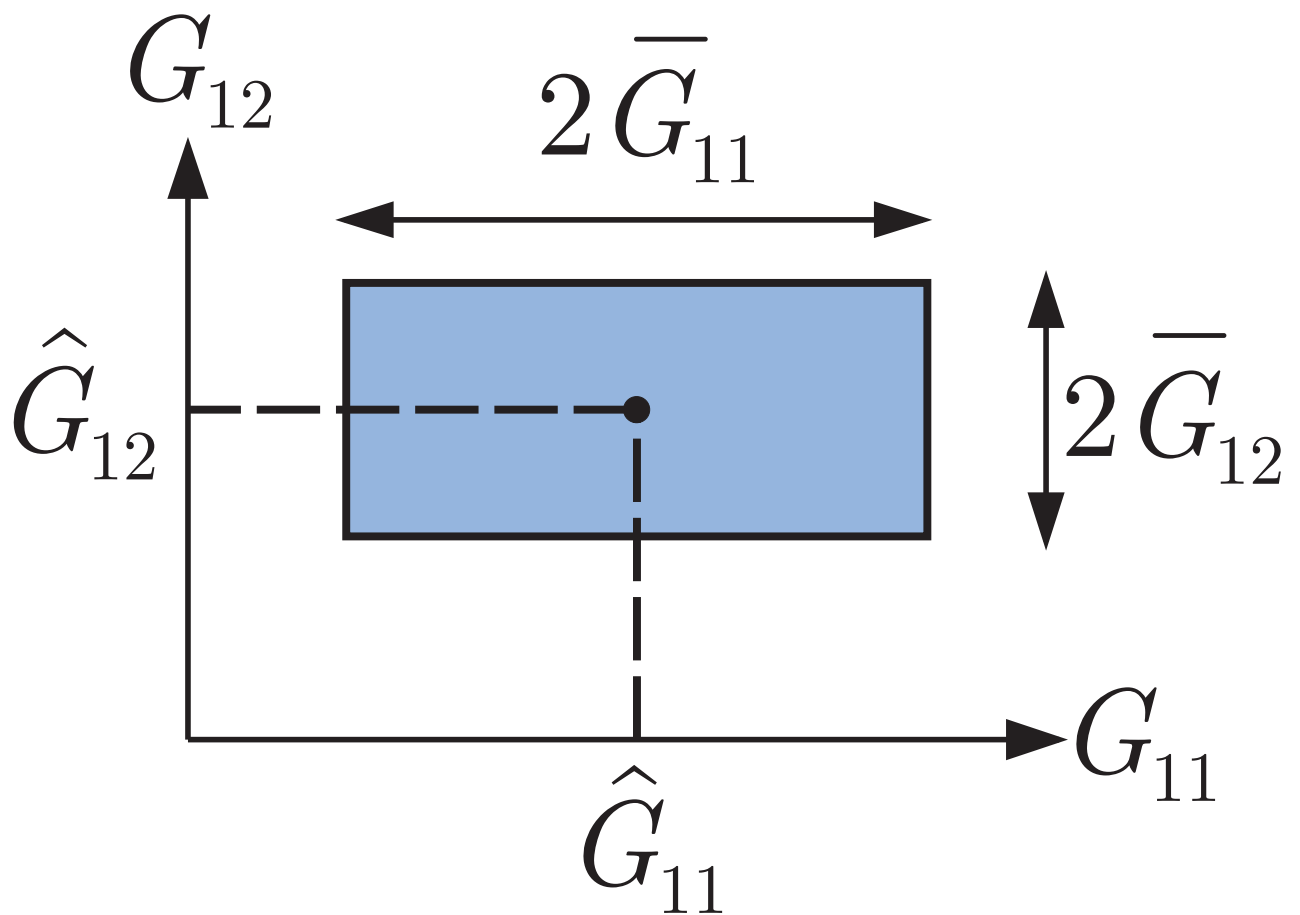


Abb. 4.18: Menge \mathcal{G} der zu betrachtenden Regelstrecken bei elementweiser Abschätzung der Modellunbestimmtheiten

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

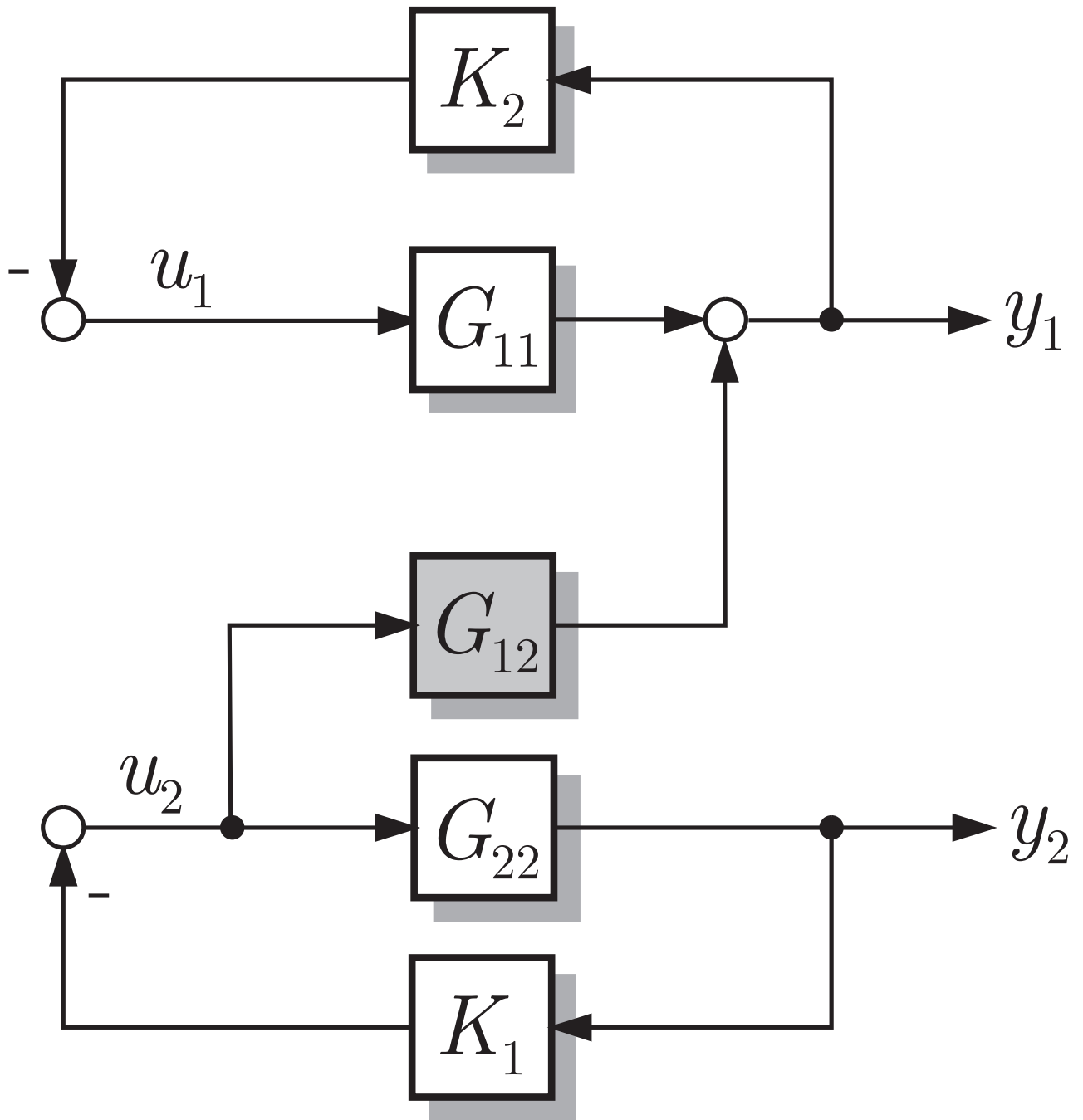


Abb. 4.19: System mit einseitiger Kopplung und dezentraler Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

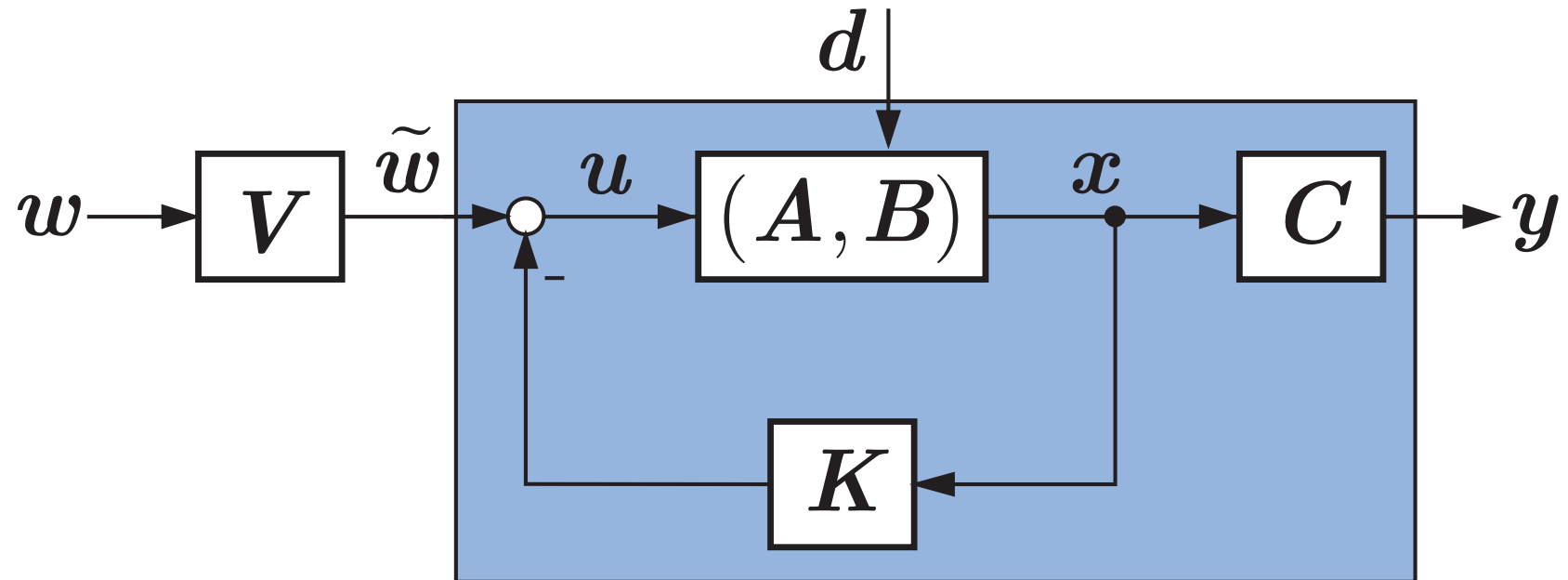


Abb. 4.20. Zustandsrückführung mit Vorfilter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

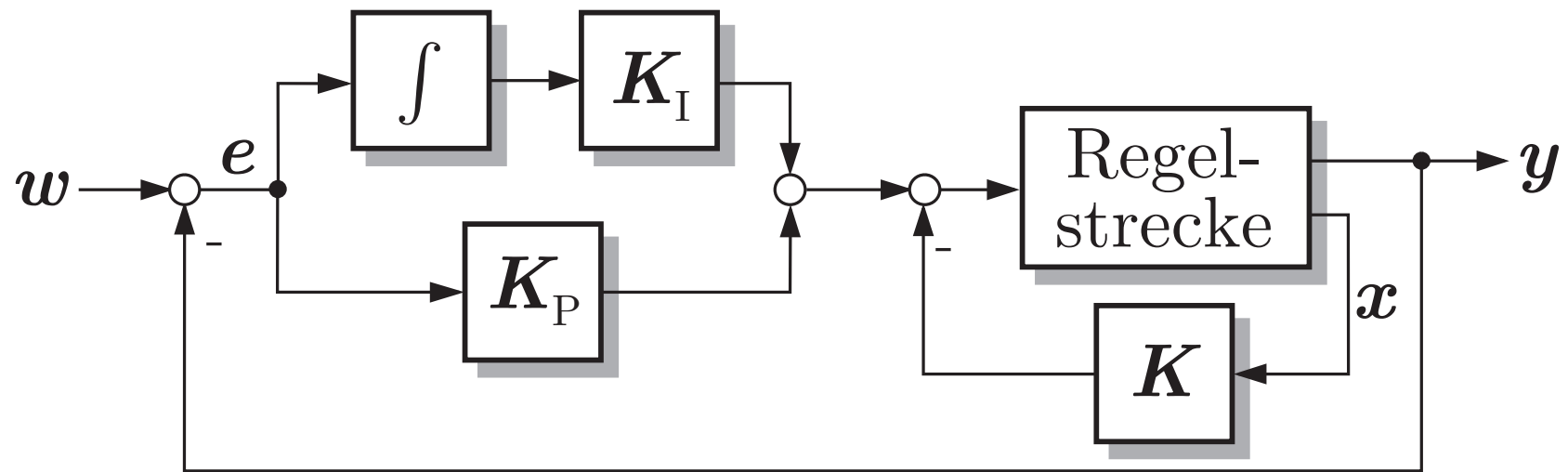


Abb. 4.21. PI-Mehrgrößenregler in Kombination mit einer Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

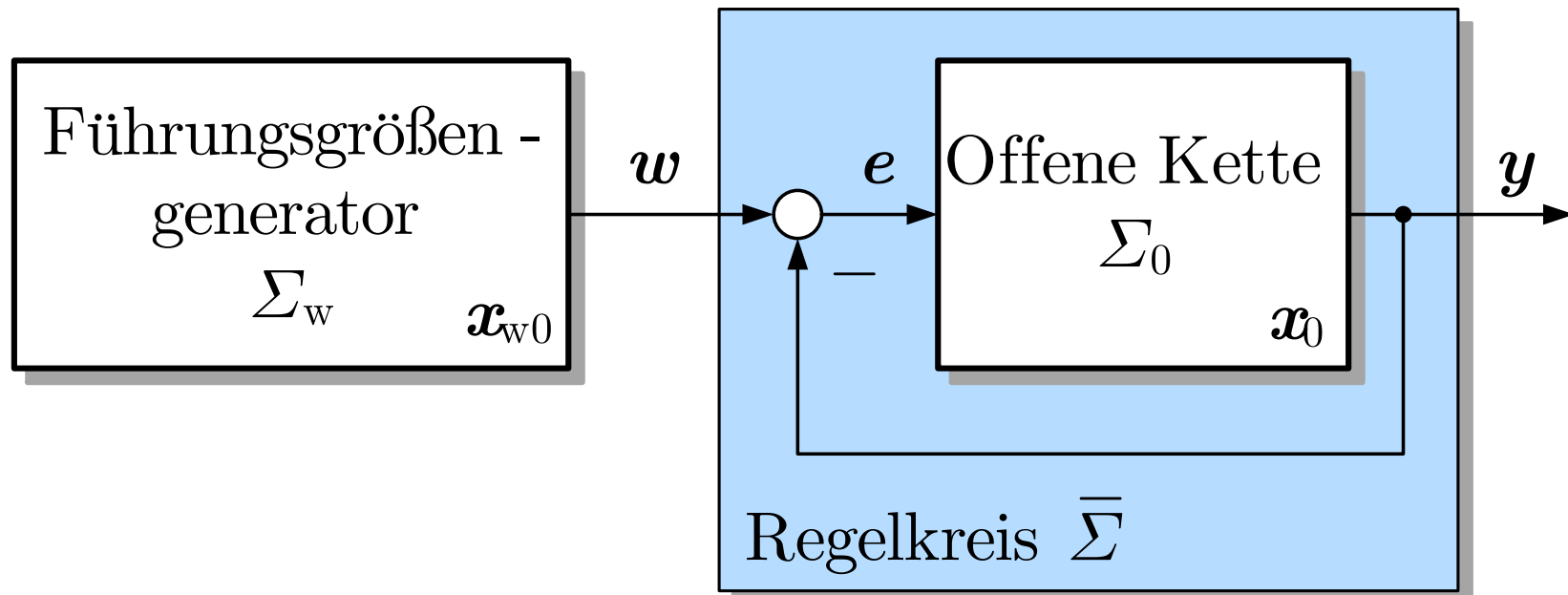


Abb. 4.22. Führungsverhalten des Regelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

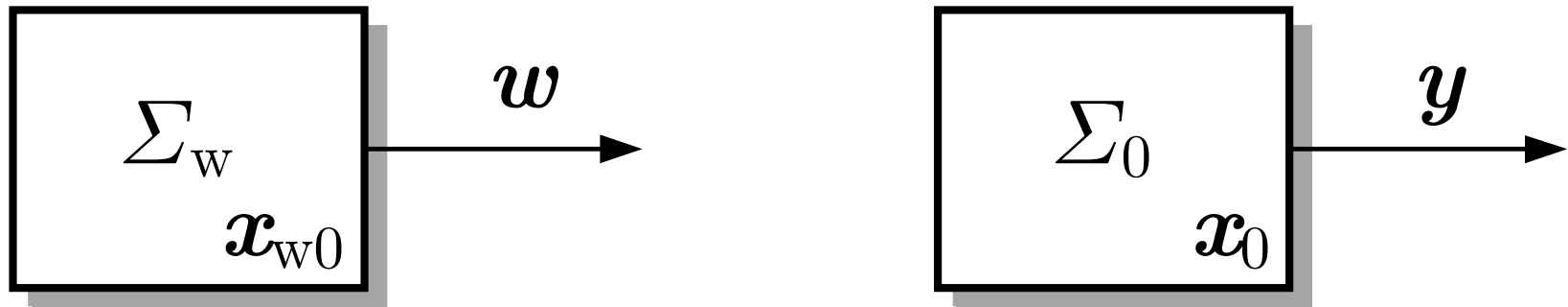


Abb. 4.23. Definition der Systemeinschließung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

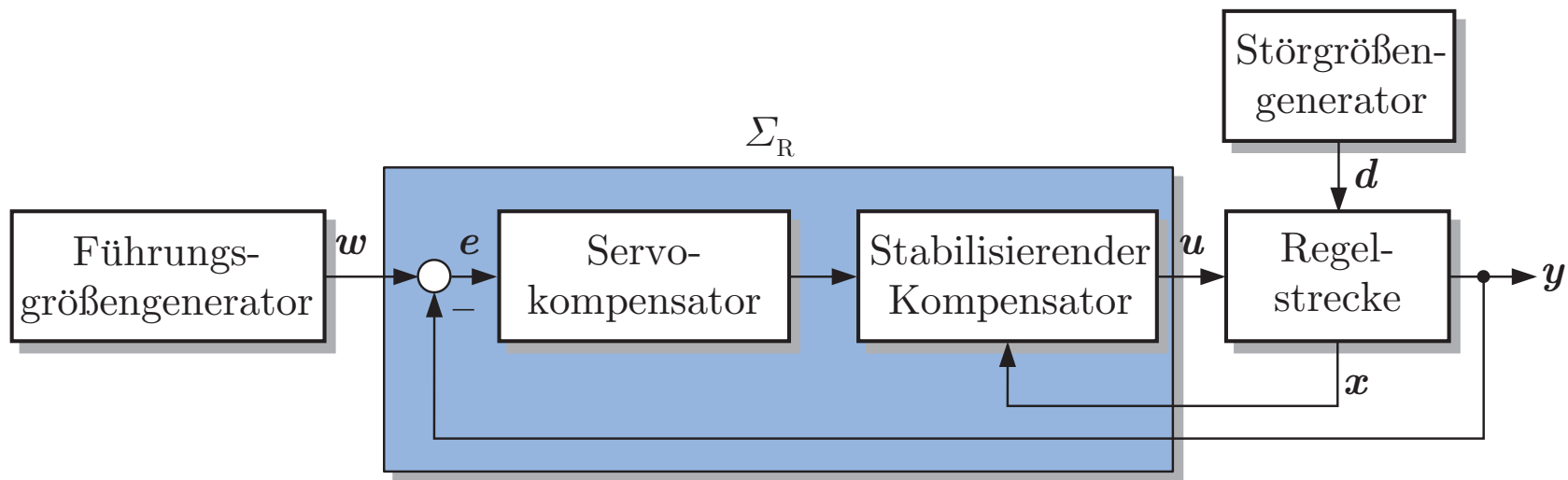


Abb. 4.24. Servoregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

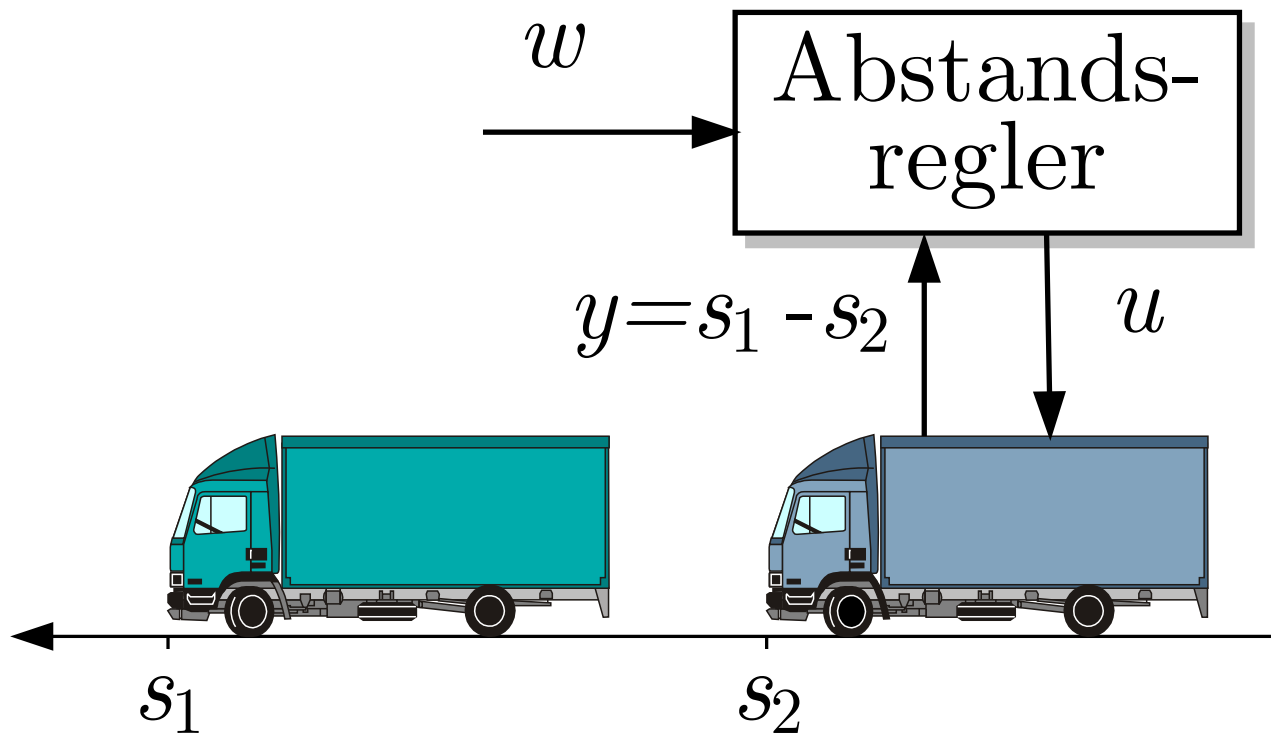


Abb. 4.25: Abstandsregelung eines Fahrzeugs

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

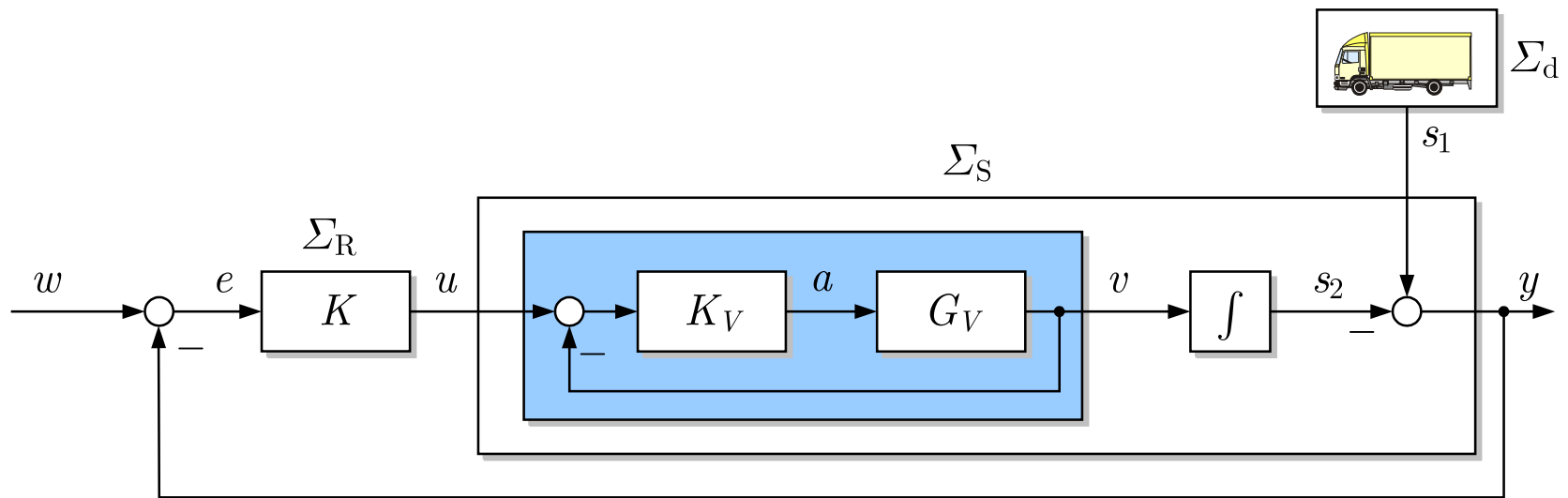


Abb. 4.26. Blockschaltbild der Abstandsregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

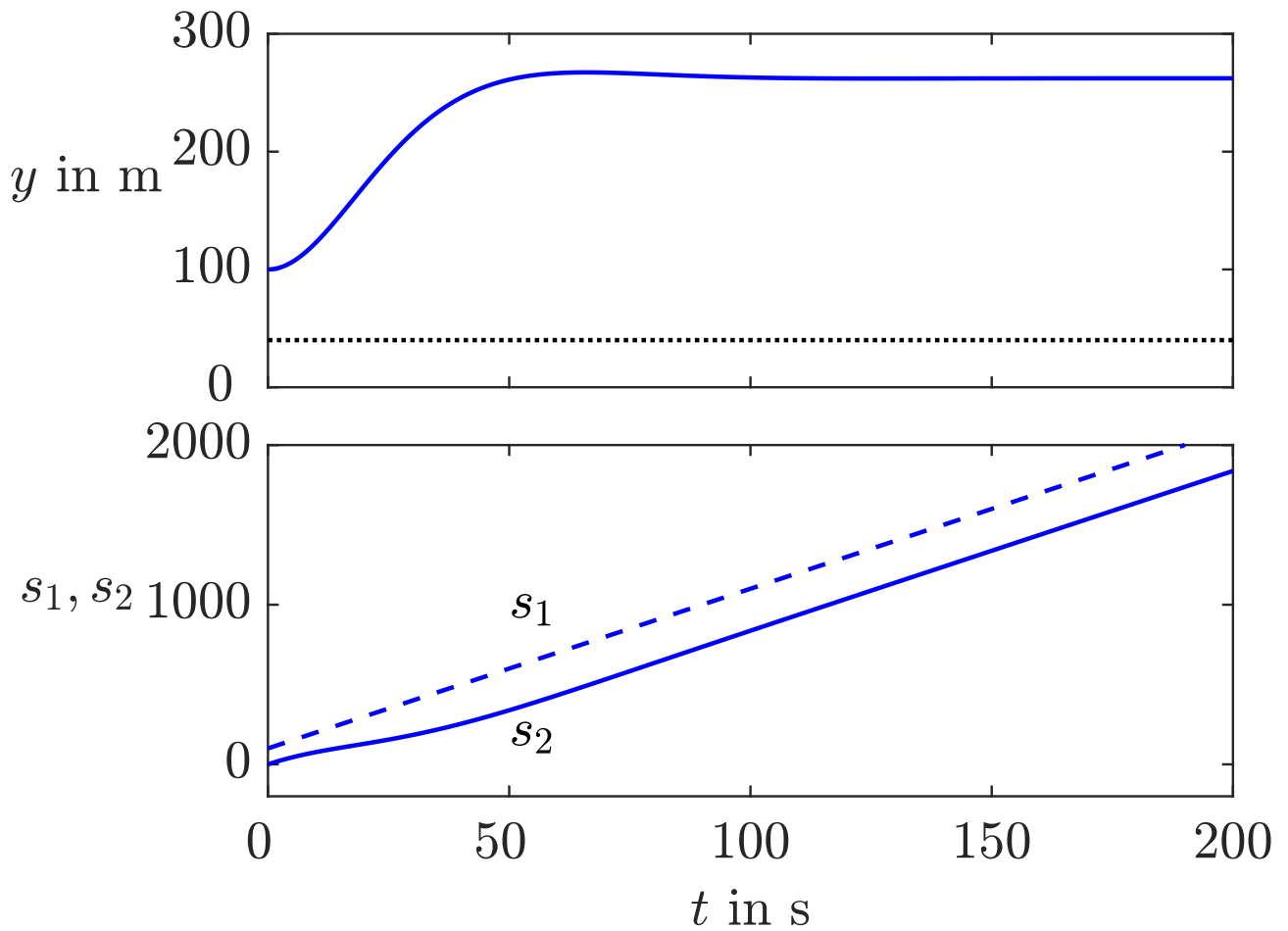


Abb. 4.27: Fahrzeugabstand (oben) und Fahrzeugpositionen (unten) bei P-Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

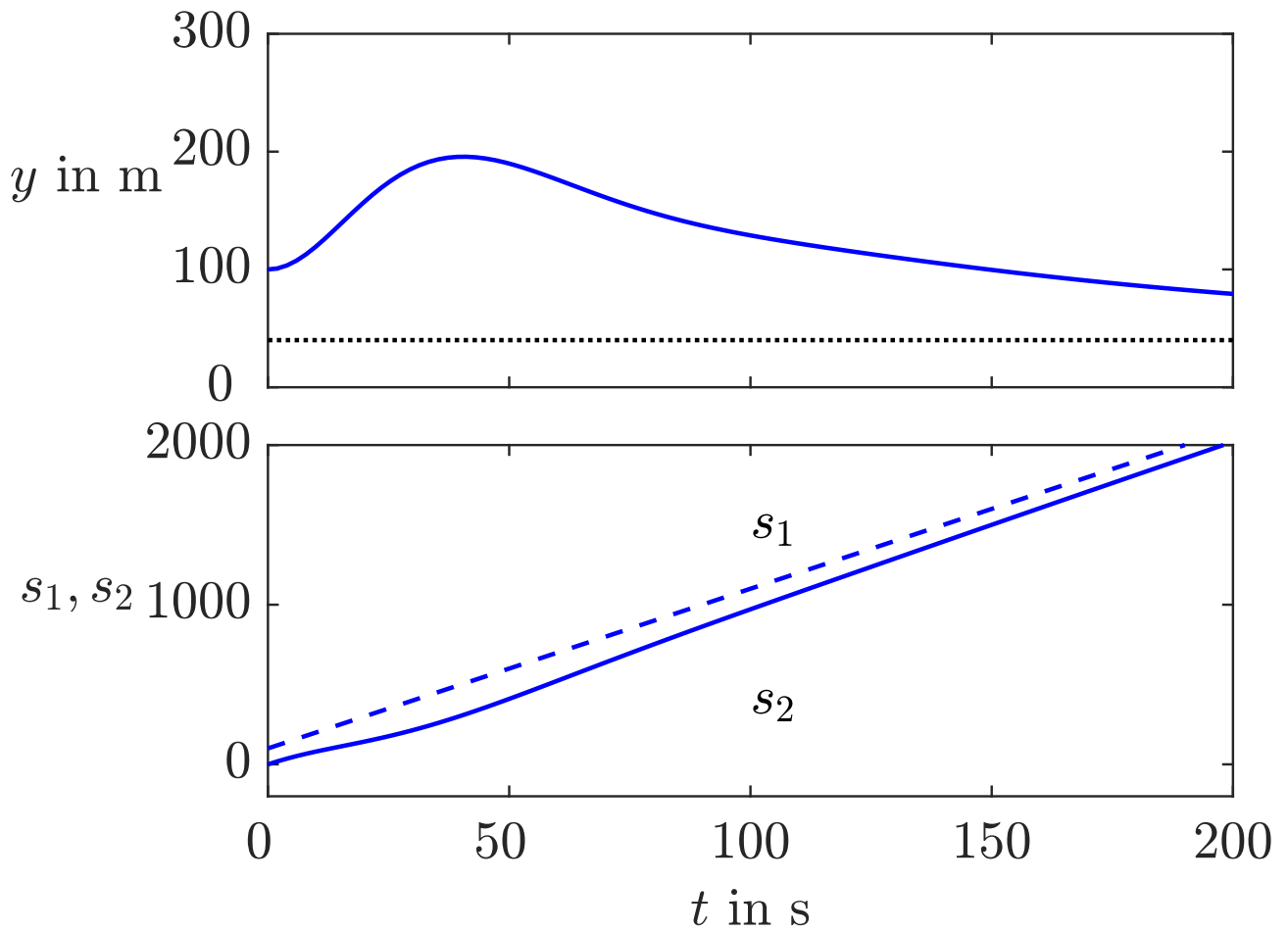


Abb. 4.28: Fahrzeugabstand (oben) und Fahrzeugpositionen (unten) bei PI-Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

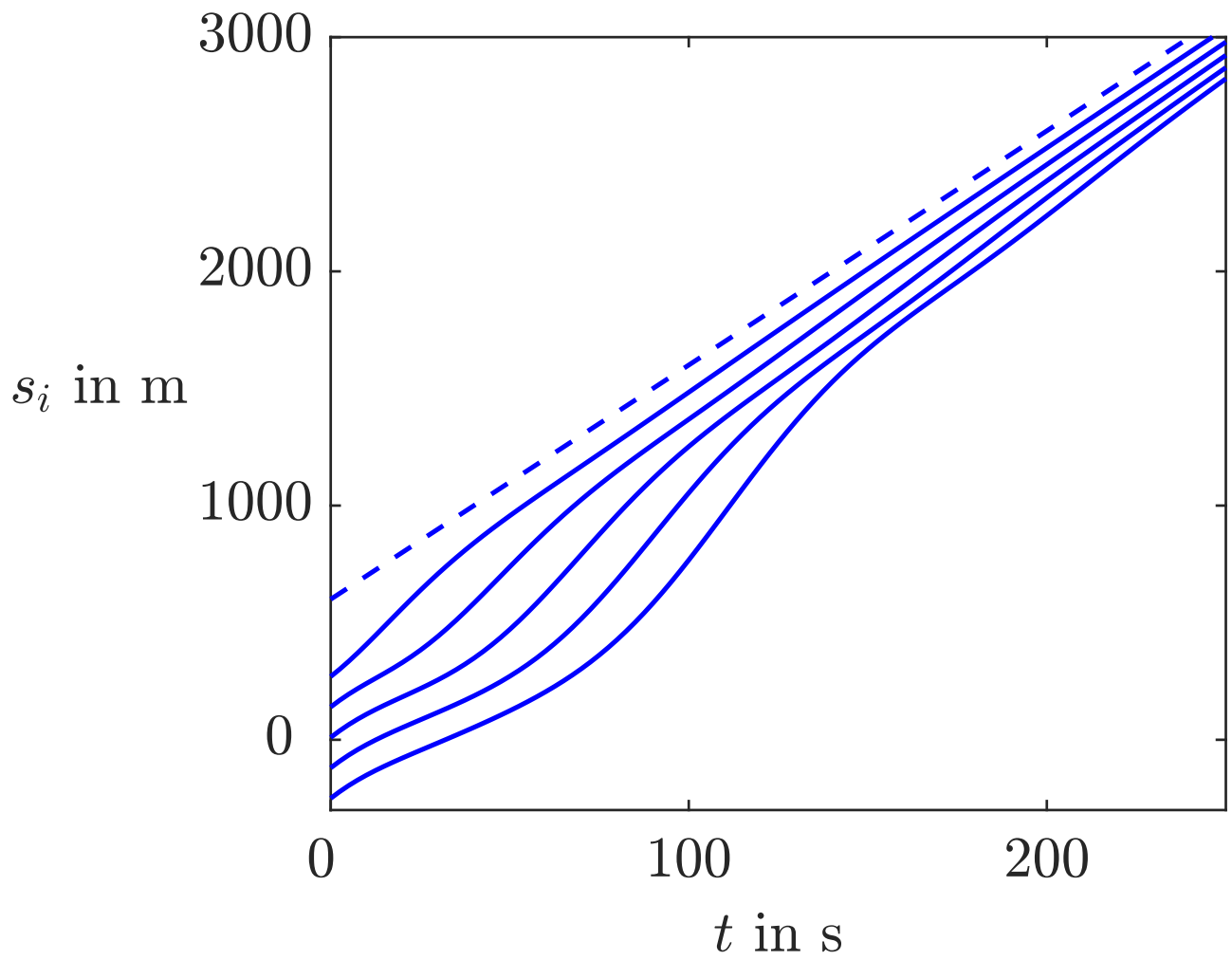


Abb. 4.29: Verhalten einer Fahrzeugkolonne

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

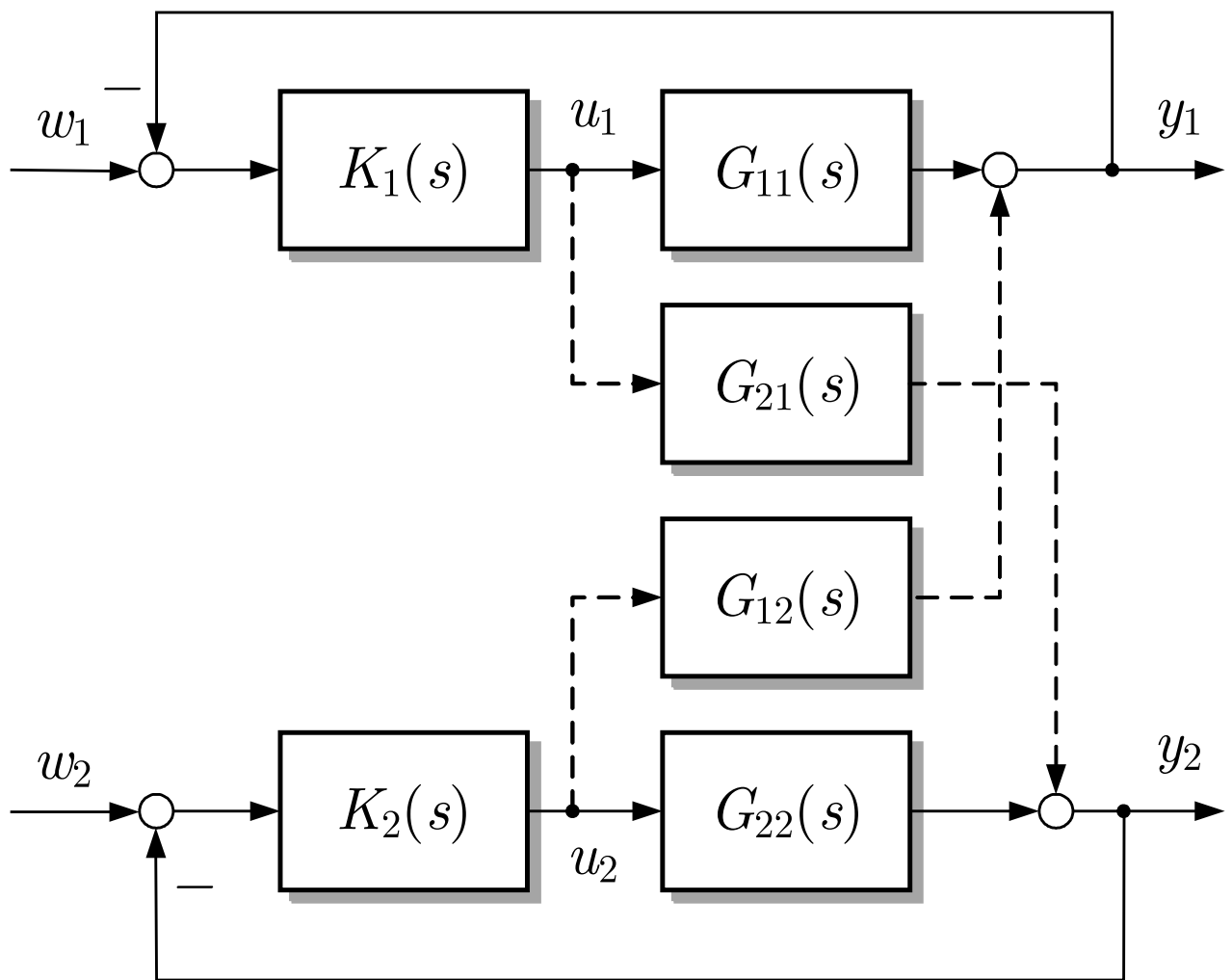


Abb. 4.30: Regelkreis mit dezentraler Regelung (4.80), (4.81)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

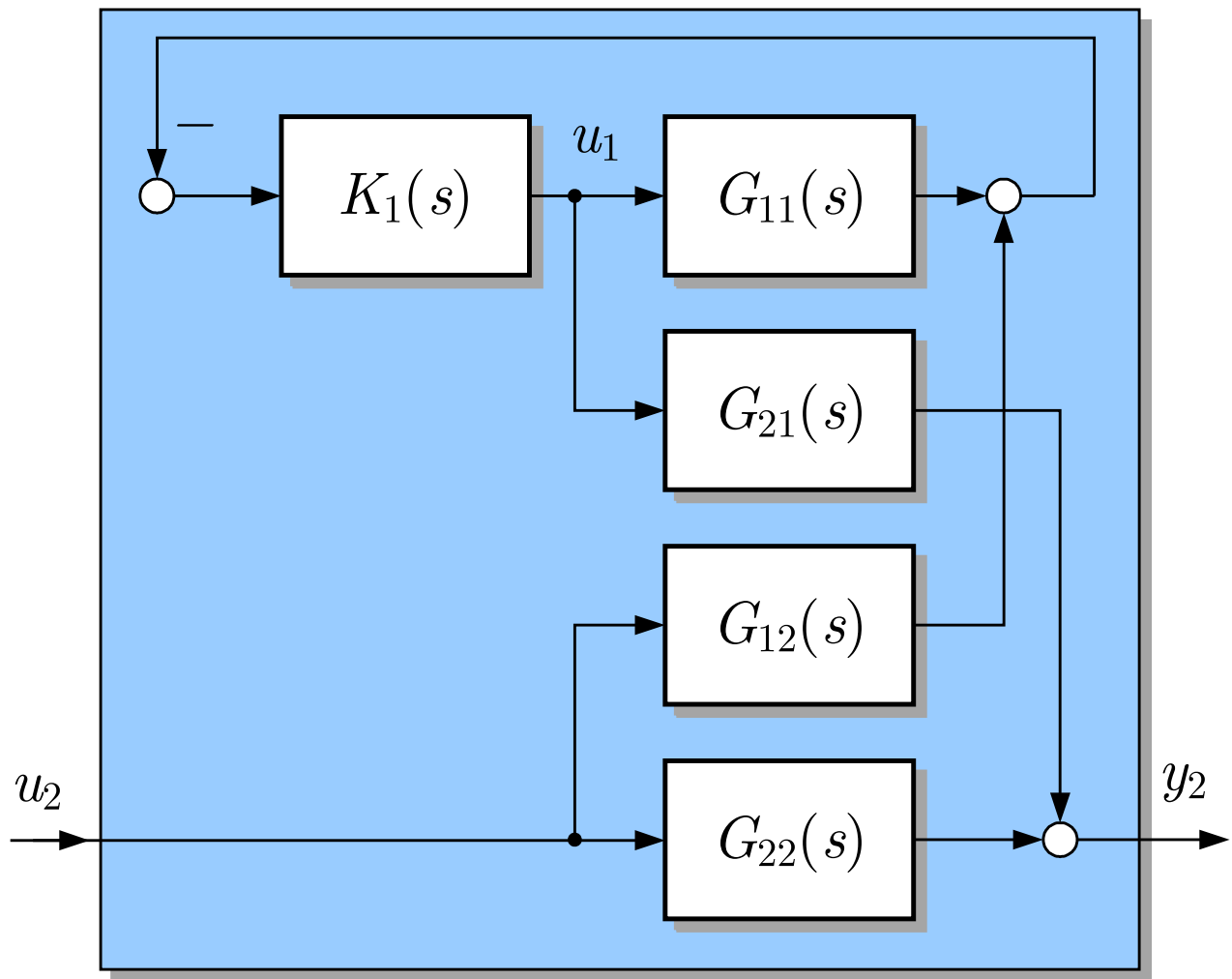


Abb. 4.31: Veränderte Hauptregelstrecke des zweiten Teilreglers

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

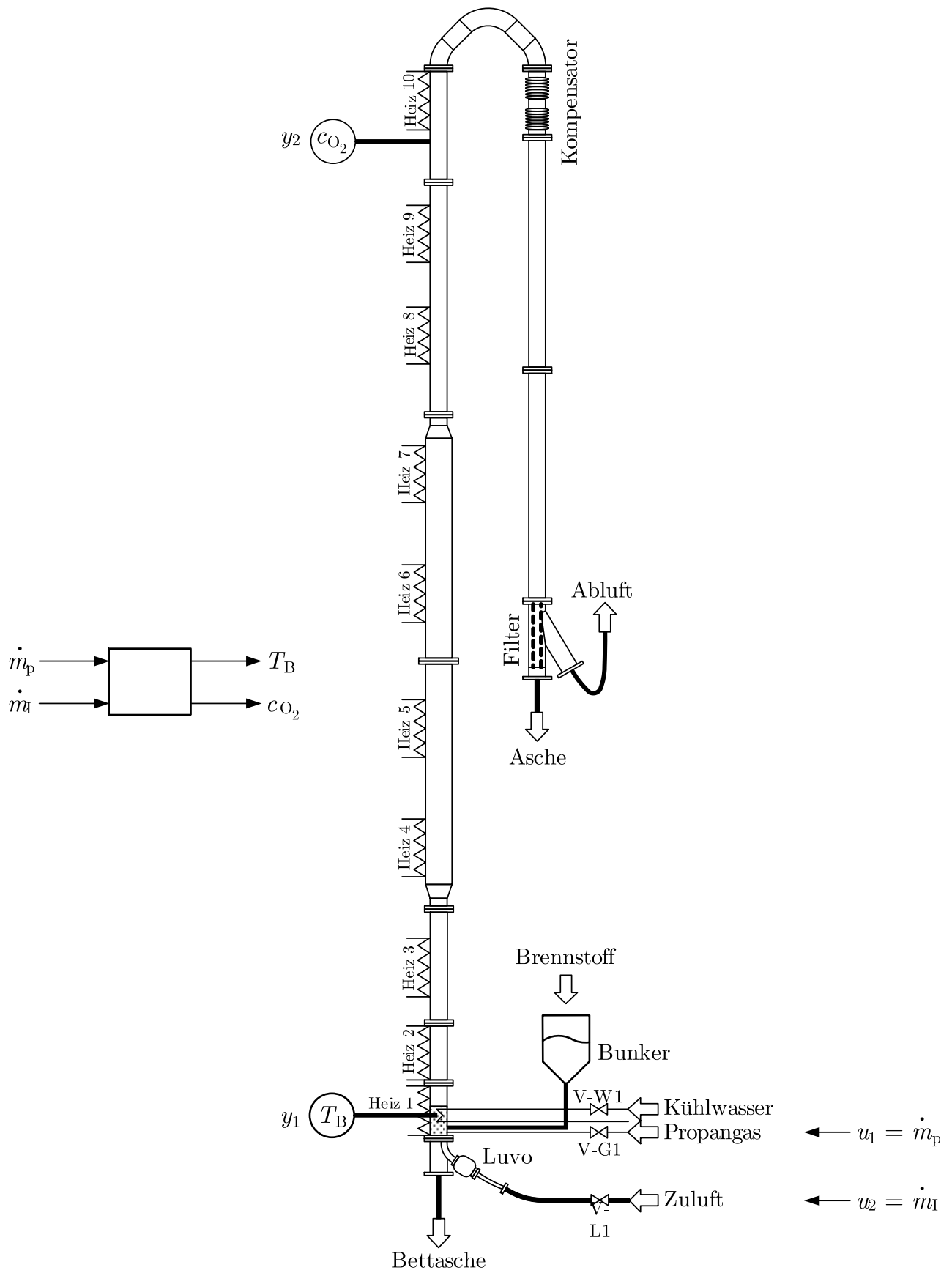


Abb. 4.32: Klärschlammverbrennungsanlage

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

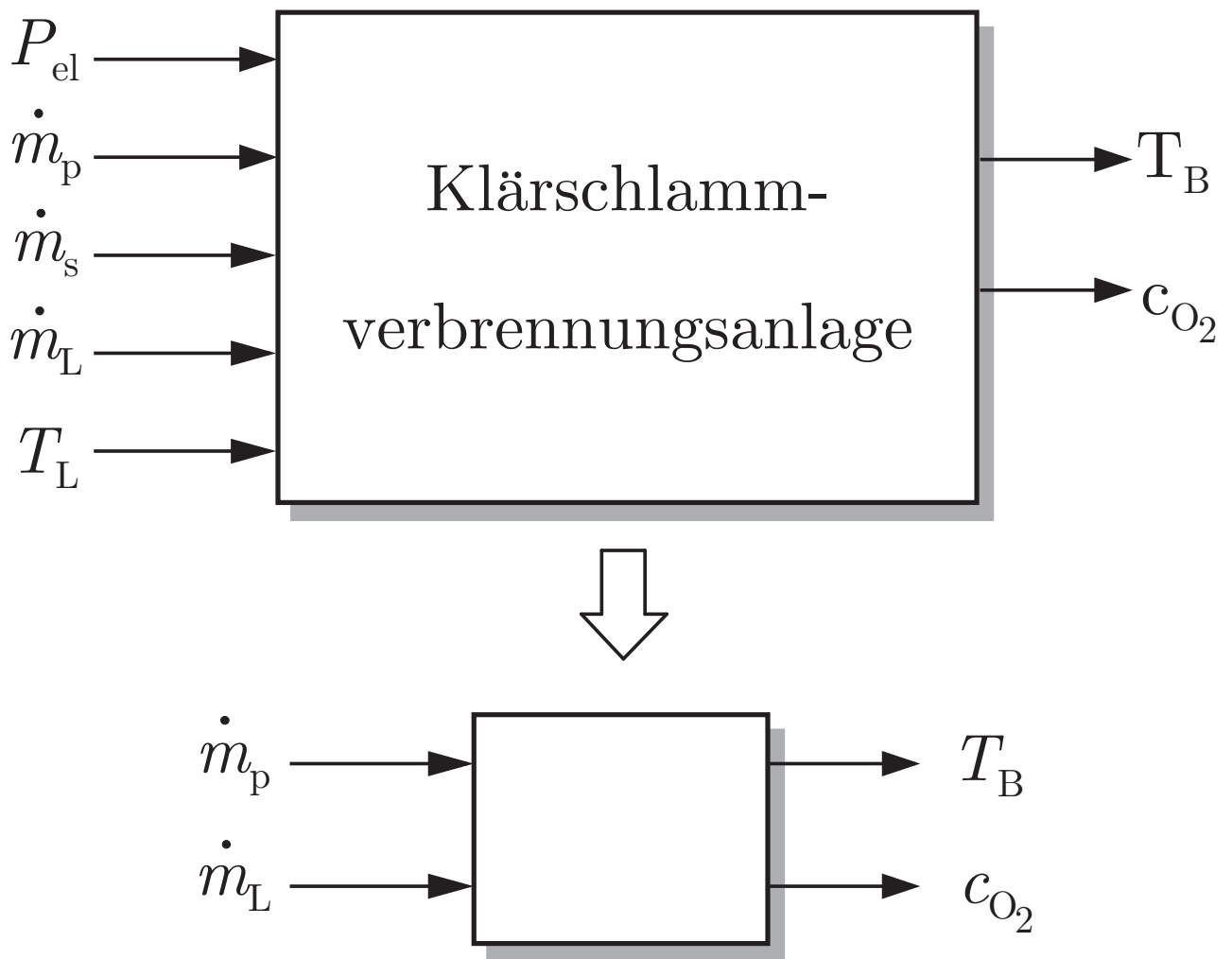


Abb. 4.33: Blockschaltbild der Klärschlammverbrennungsanlage vor und nach Auswahl der Stellgrößen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

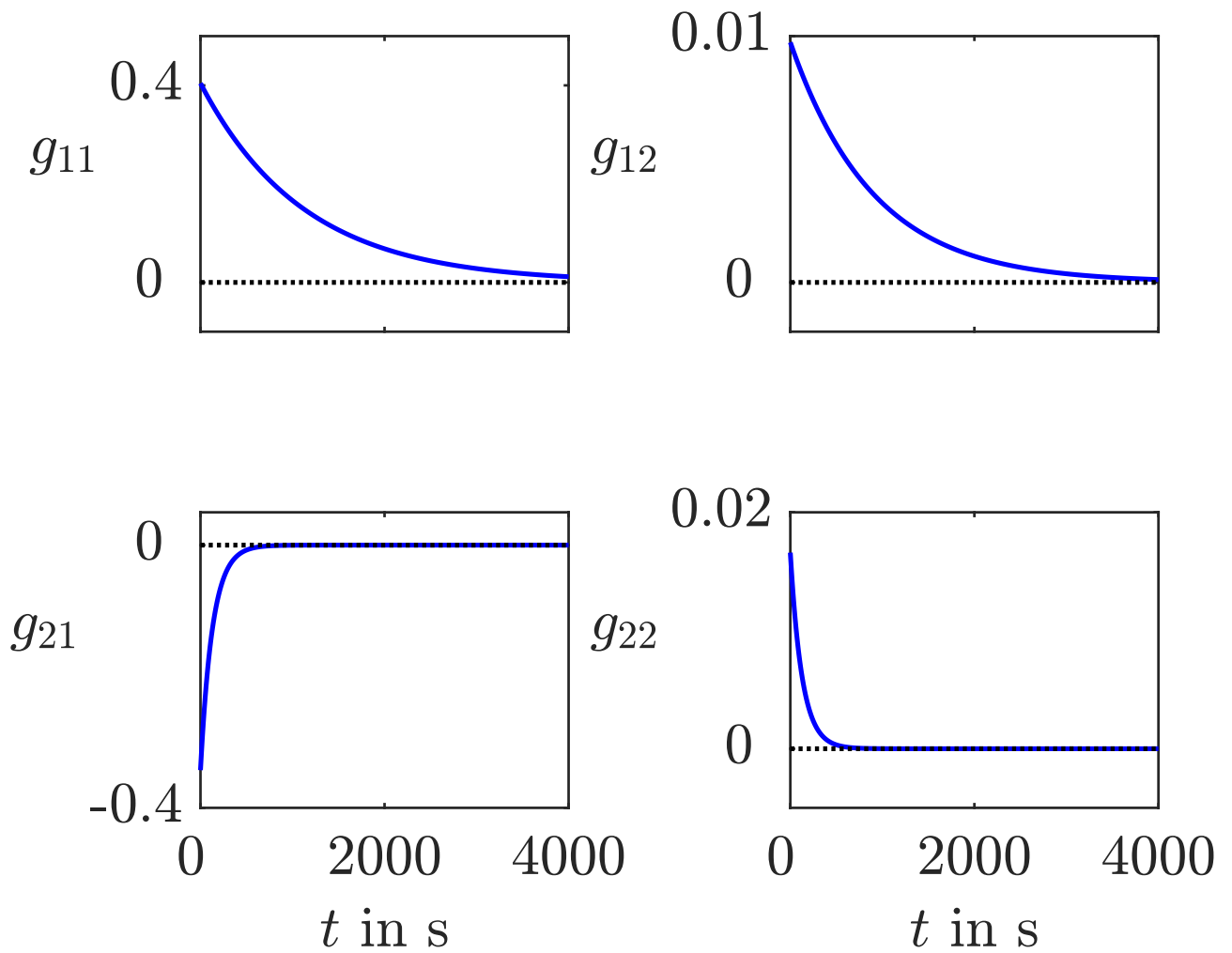


Abb. 4.34: Gewichtsfunktionsmatrix der Klärschlammverbrennungsanlage

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

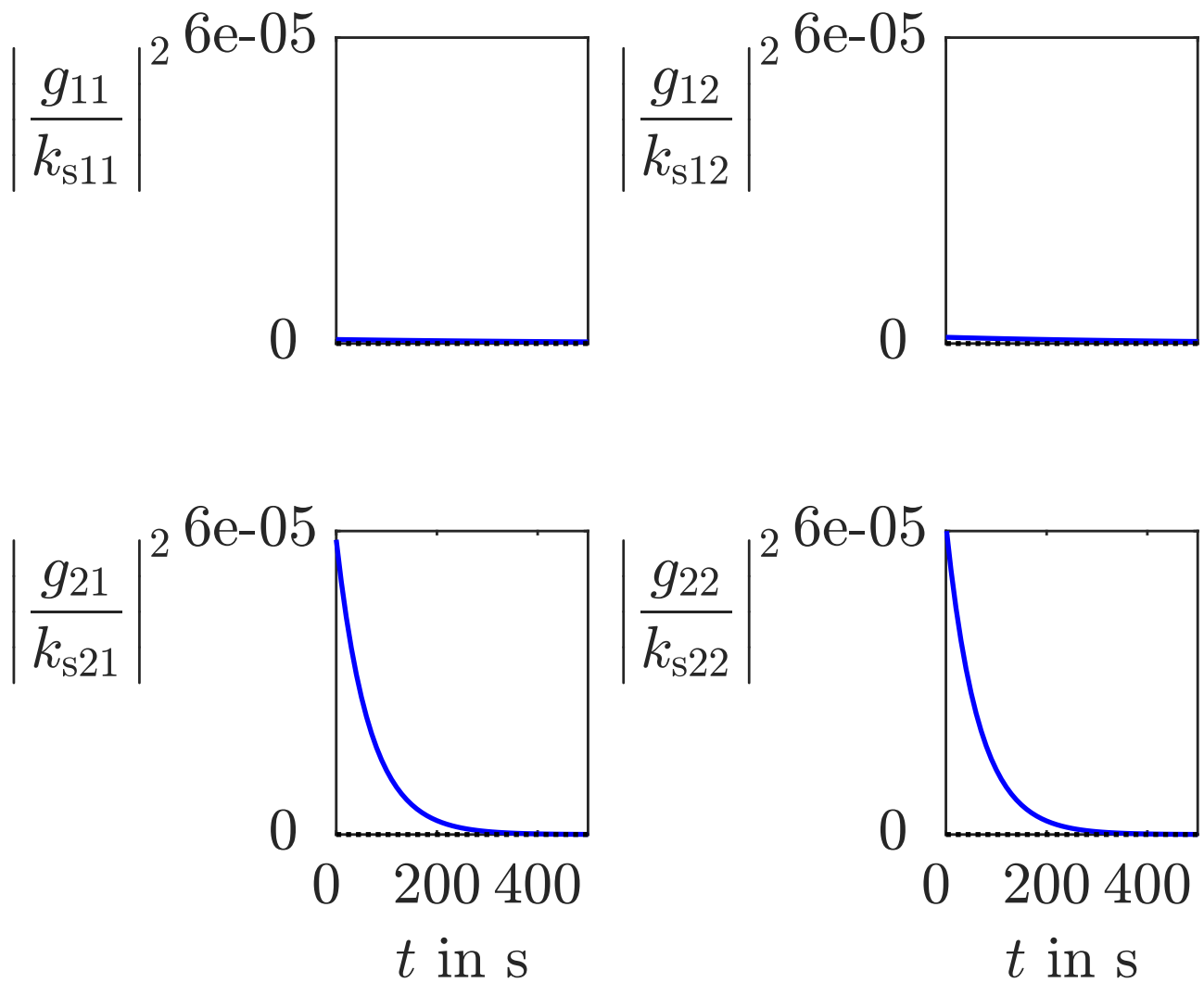


Abb. 4.35: Matrix der Funktionen $\frac{g_{ij}^2(t)}{k_{sij}^2}$ der Klärschlammverbrennungsanlage

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

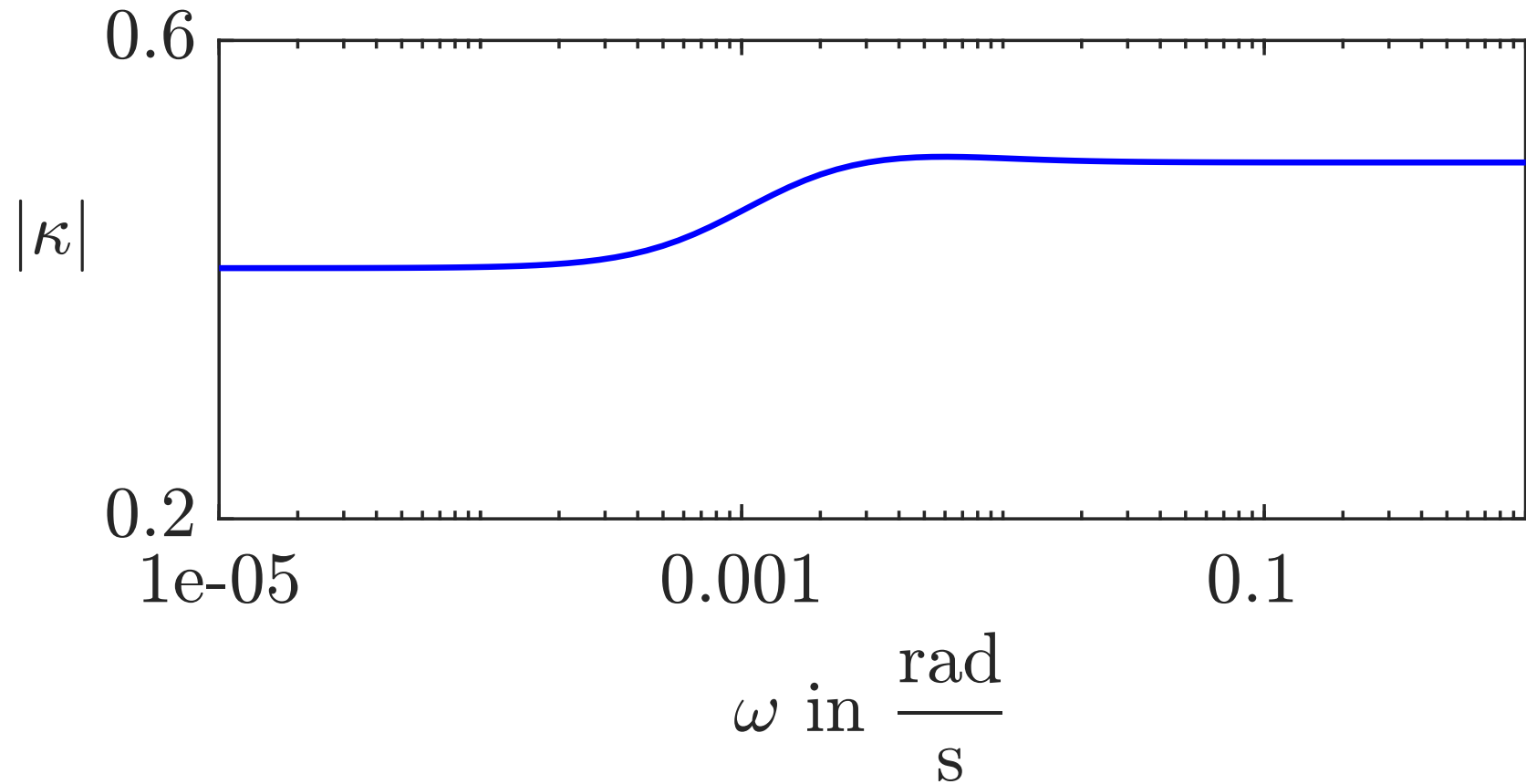


Abb. 4.36. Verlauf des Koppelfaktors für die Klärschlammverbrennungsanlage

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

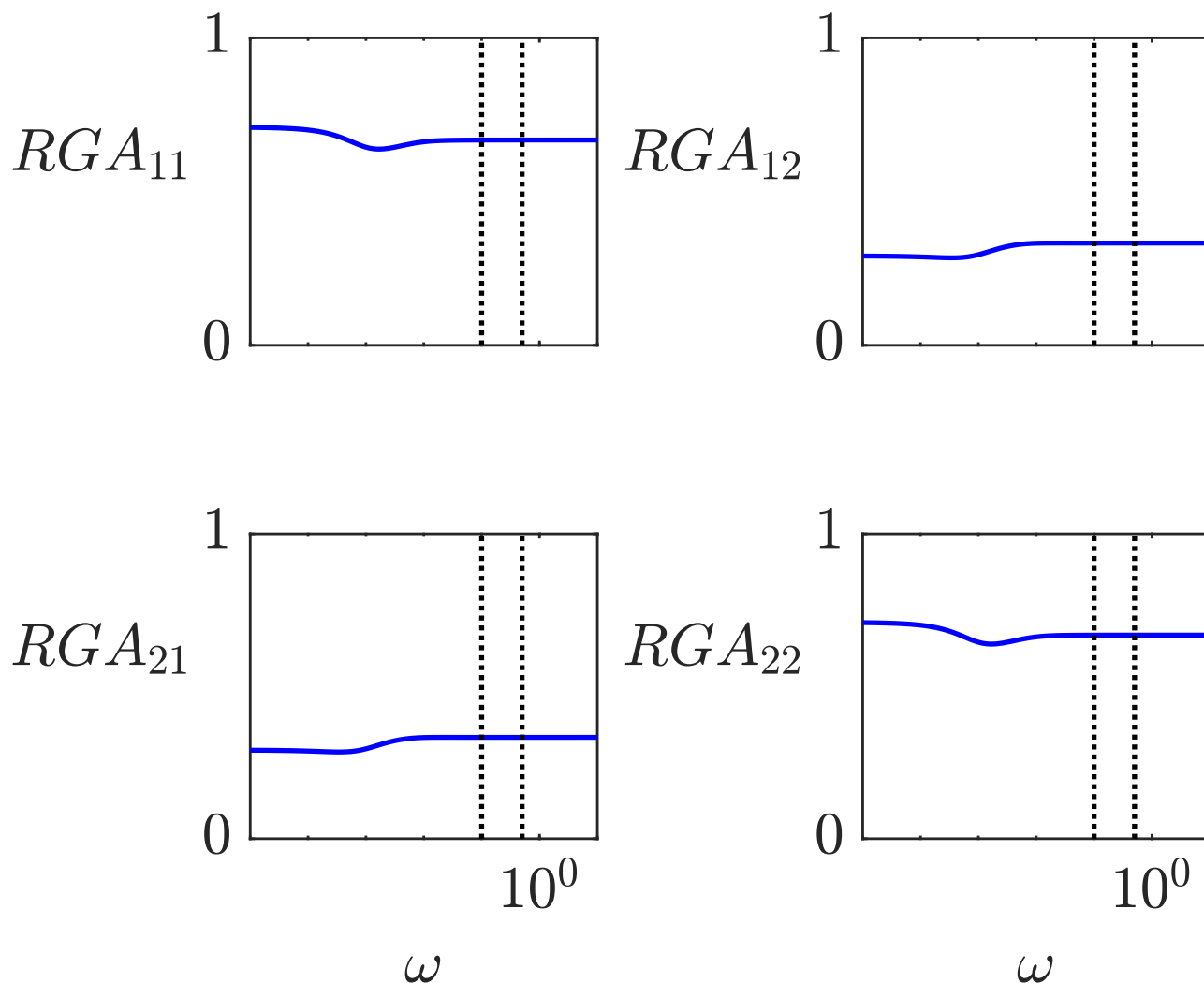


Abb. 4.37: Matrix der Beträge der relativen Verstärkungsfaktoren der Klärschlammverbrennungsanlage

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

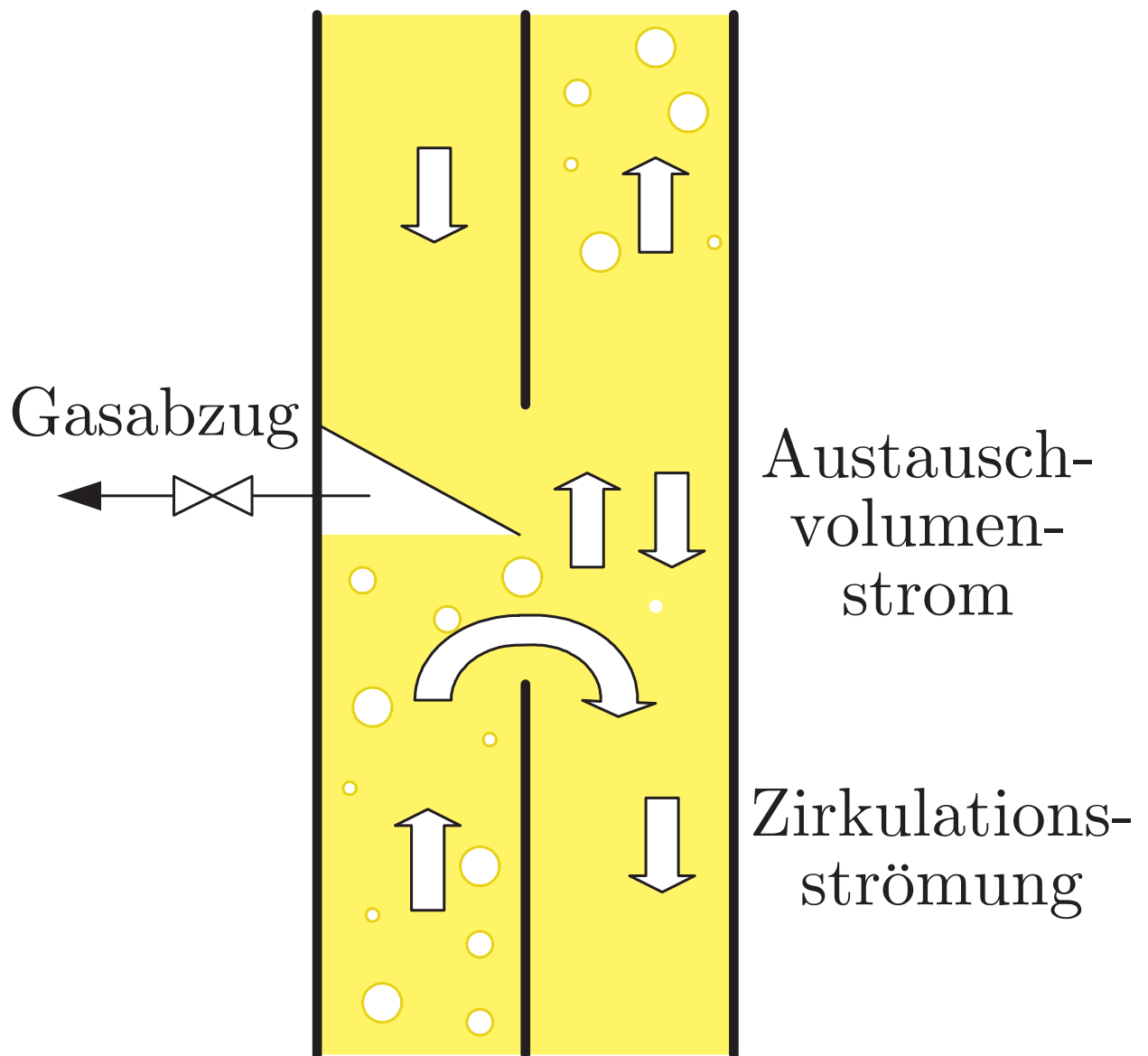


Abb. 4.38: Detail des Biogasreaktors aus Abb. 1.5

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

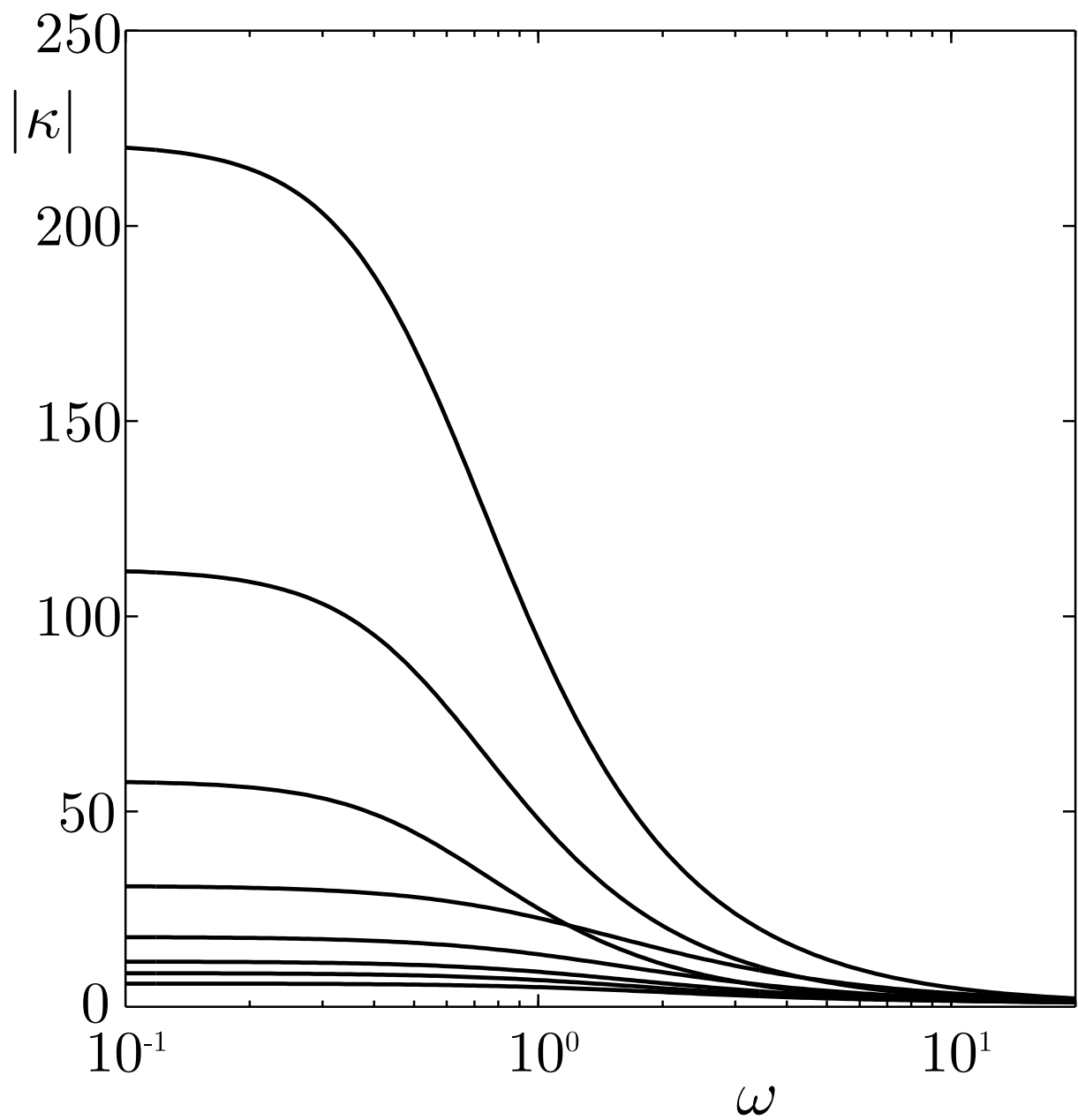


Abb. 4.39: Koppelfaktor (links) und $\|RGA\|$ (rechts) für den Biogasreaktor

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

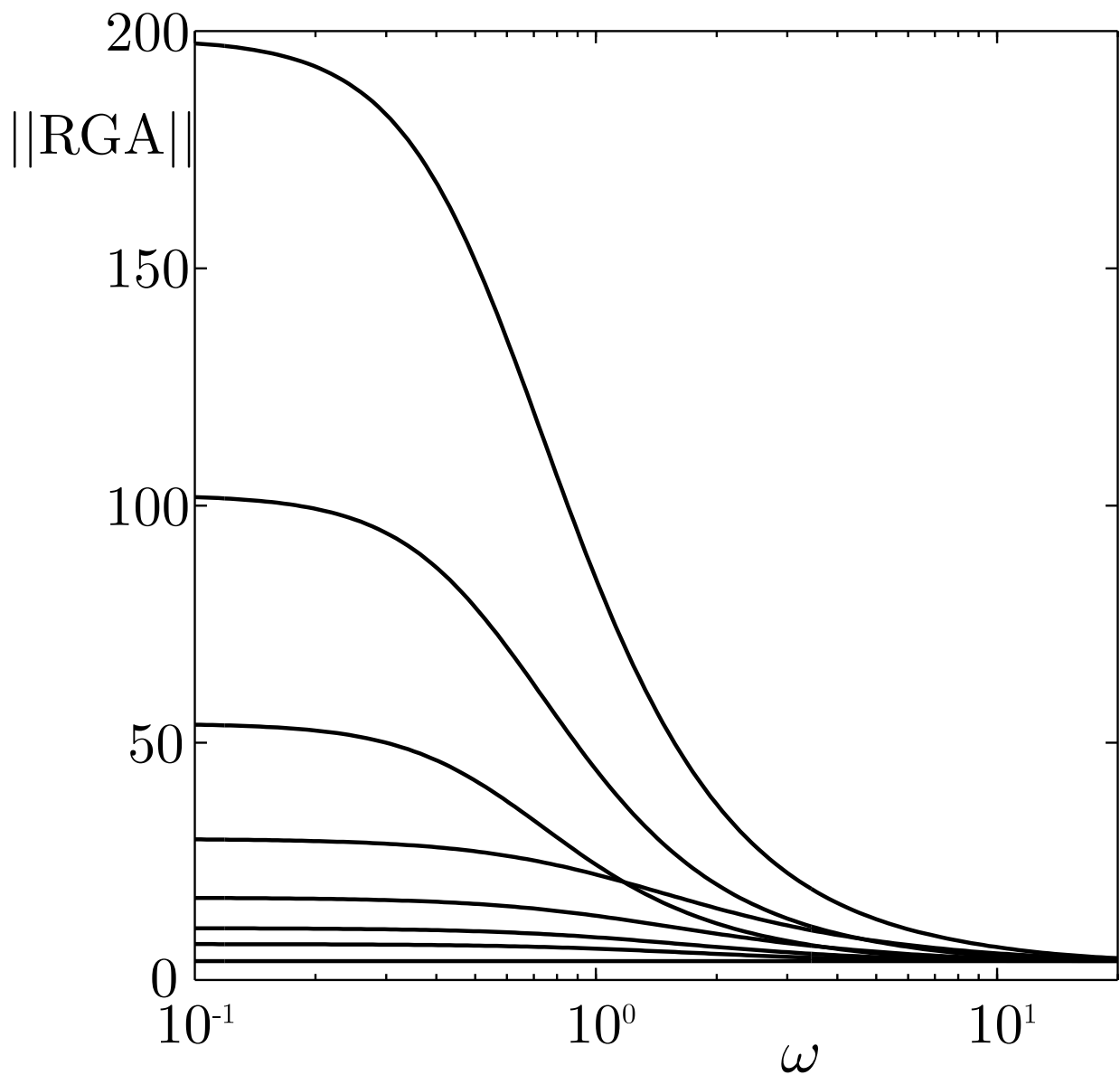


Abb. 4.39: Koppelfaktor (links) und $\|RGA\|$ (rechts) für den Biogasreaktor

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

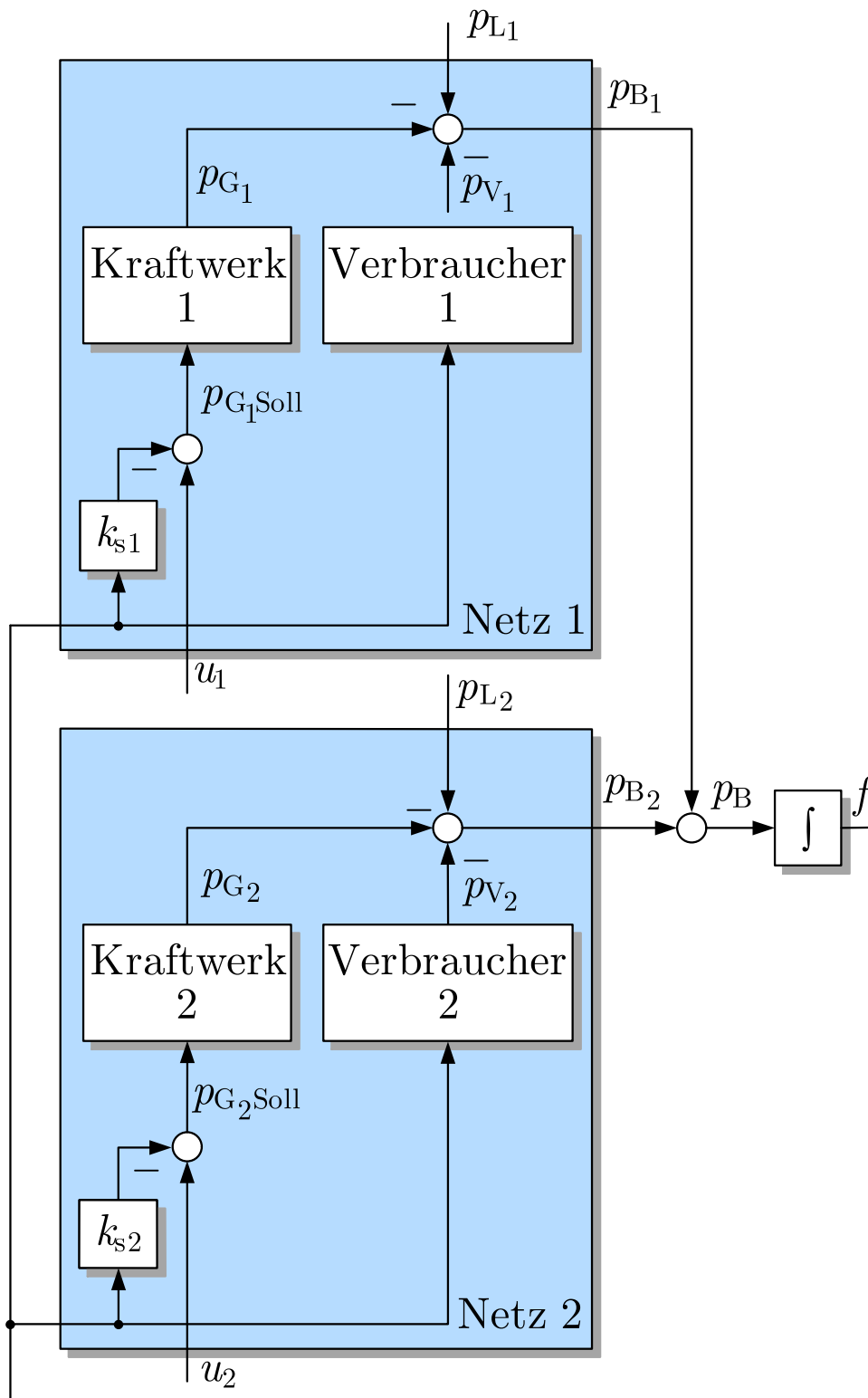


Abb. 5.1. Blockschaltbild eines aus zwei Netzen bestehenden Elektroenergiesystems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

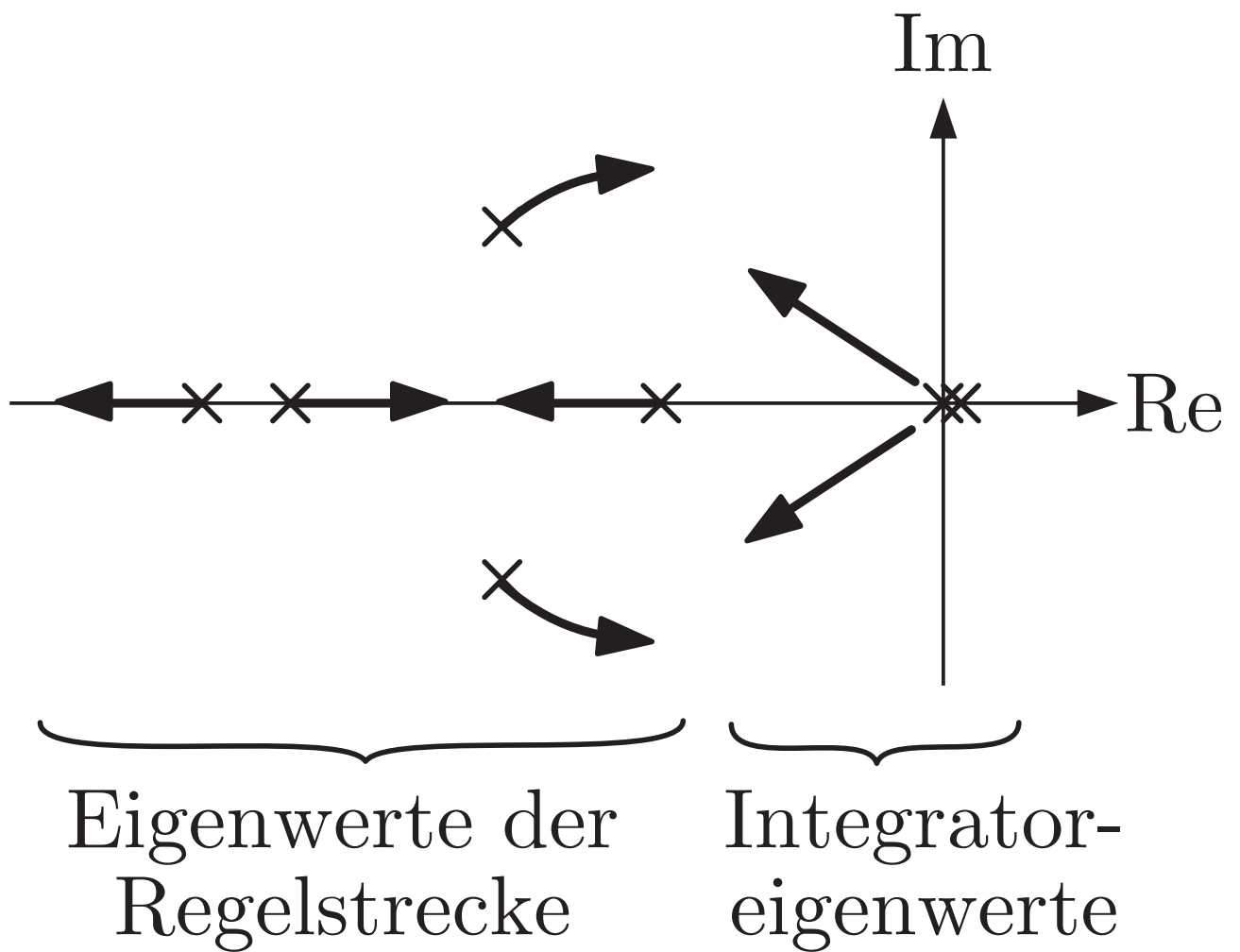


Abb. 5.2: Eigenwerte der offenen Kette

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

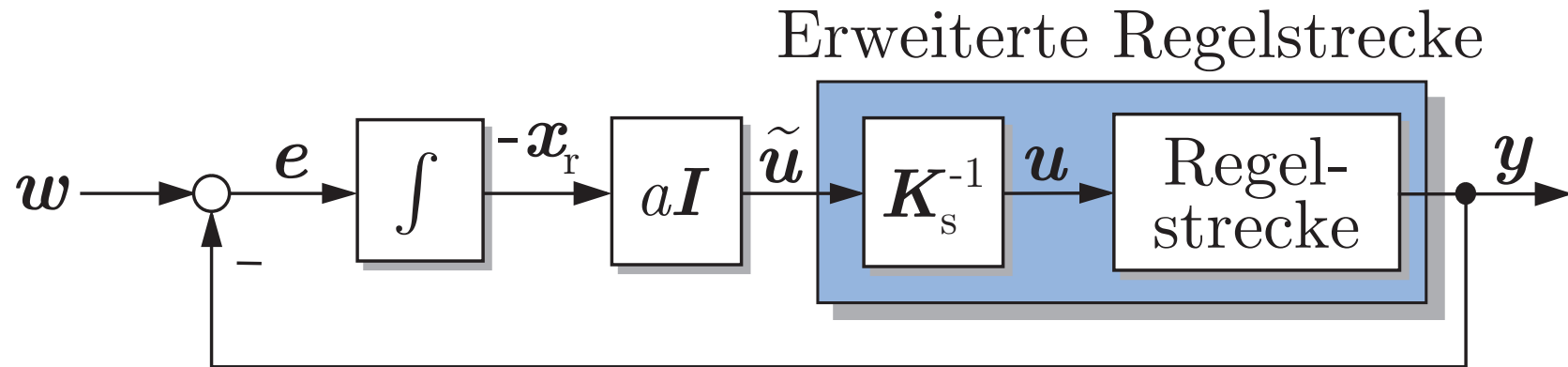


Abb. 5.3. Umformung des Regelkreises zur Erläuterung der Entkopplungseigenschaft

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

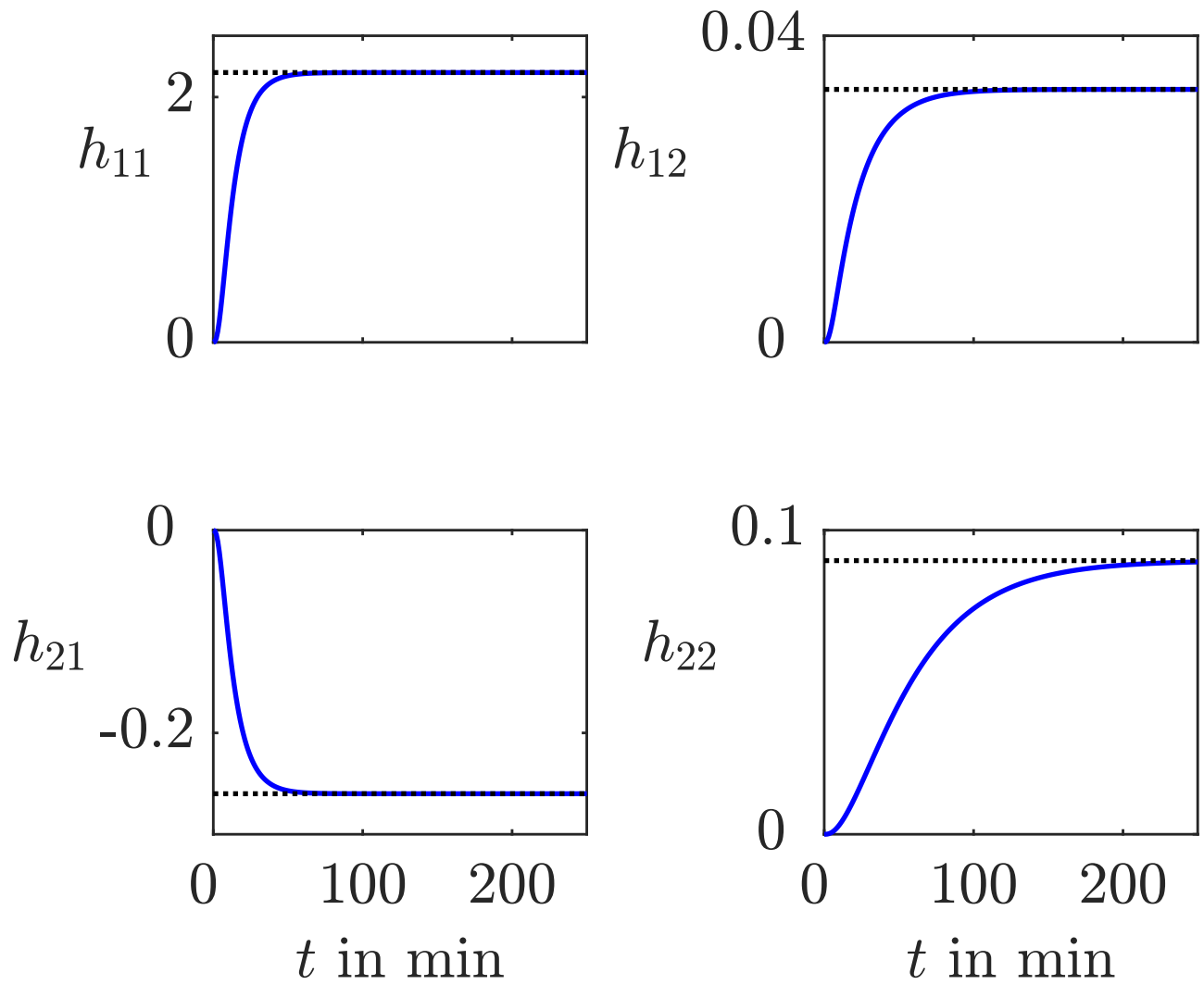


Abb. 5.4: Übergangsfunktionsmatrix der AHL-Anlage

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

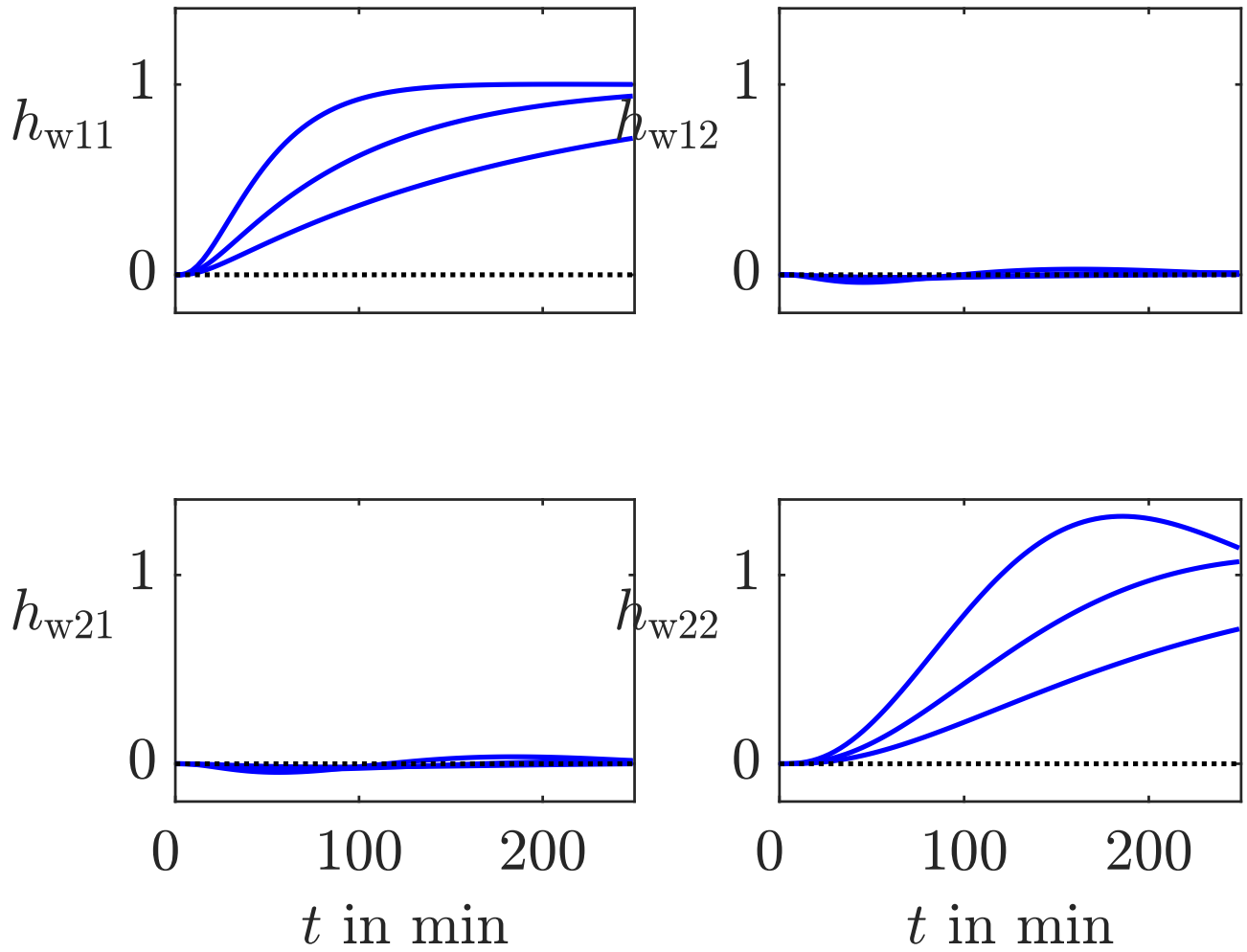


Abb. 5.5: Führungsübergangsfunktionen der I-geregelten AHL-Anlage für $a = 0,005, 0,01$ und $0,02$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

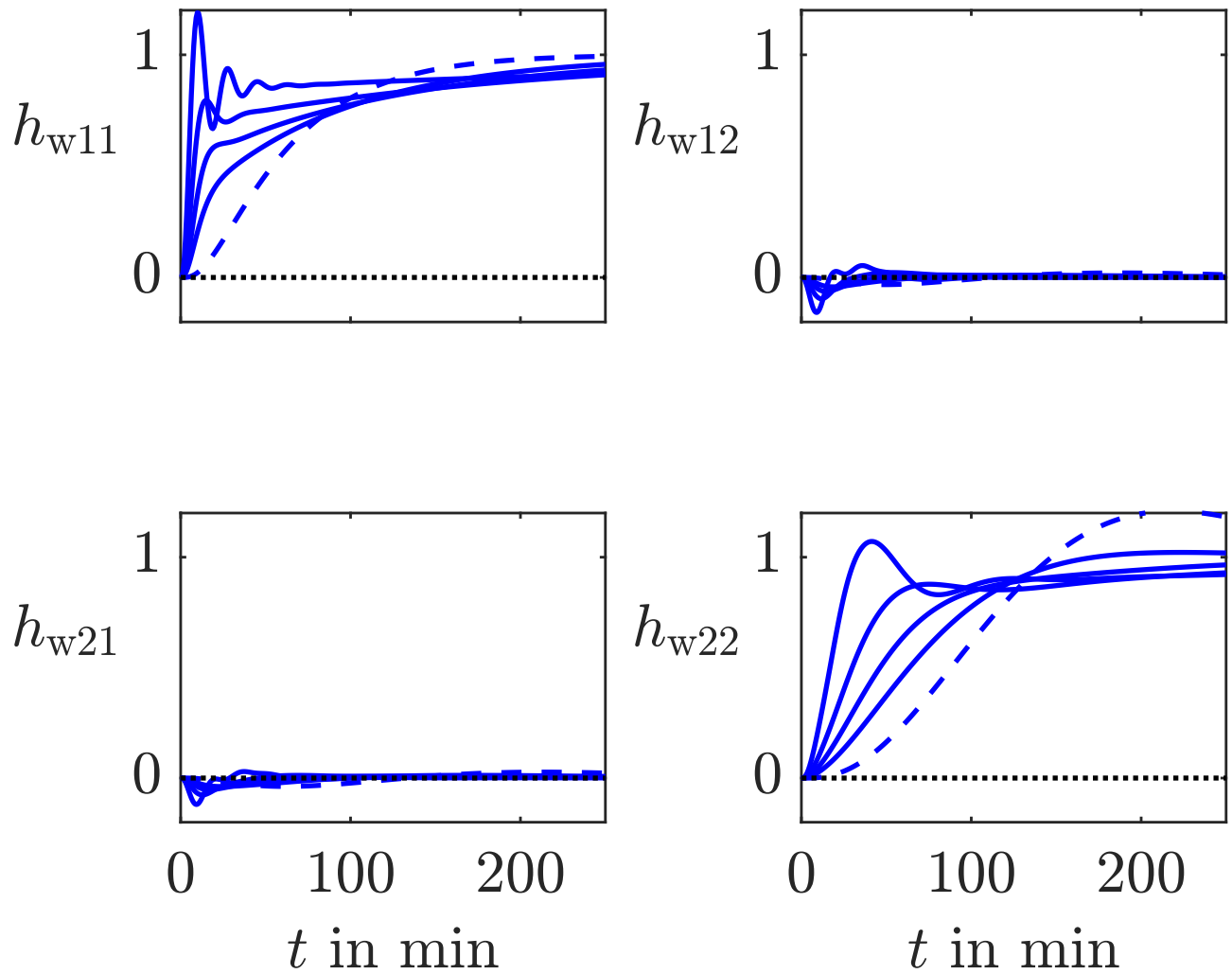


Abb. 5.6: Führungsübergangsfunktionen der PI-geregelten AHL-Anlage (erste Reglereinstellung mit $b = 0, 0,5, 1, 2$ und 5)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

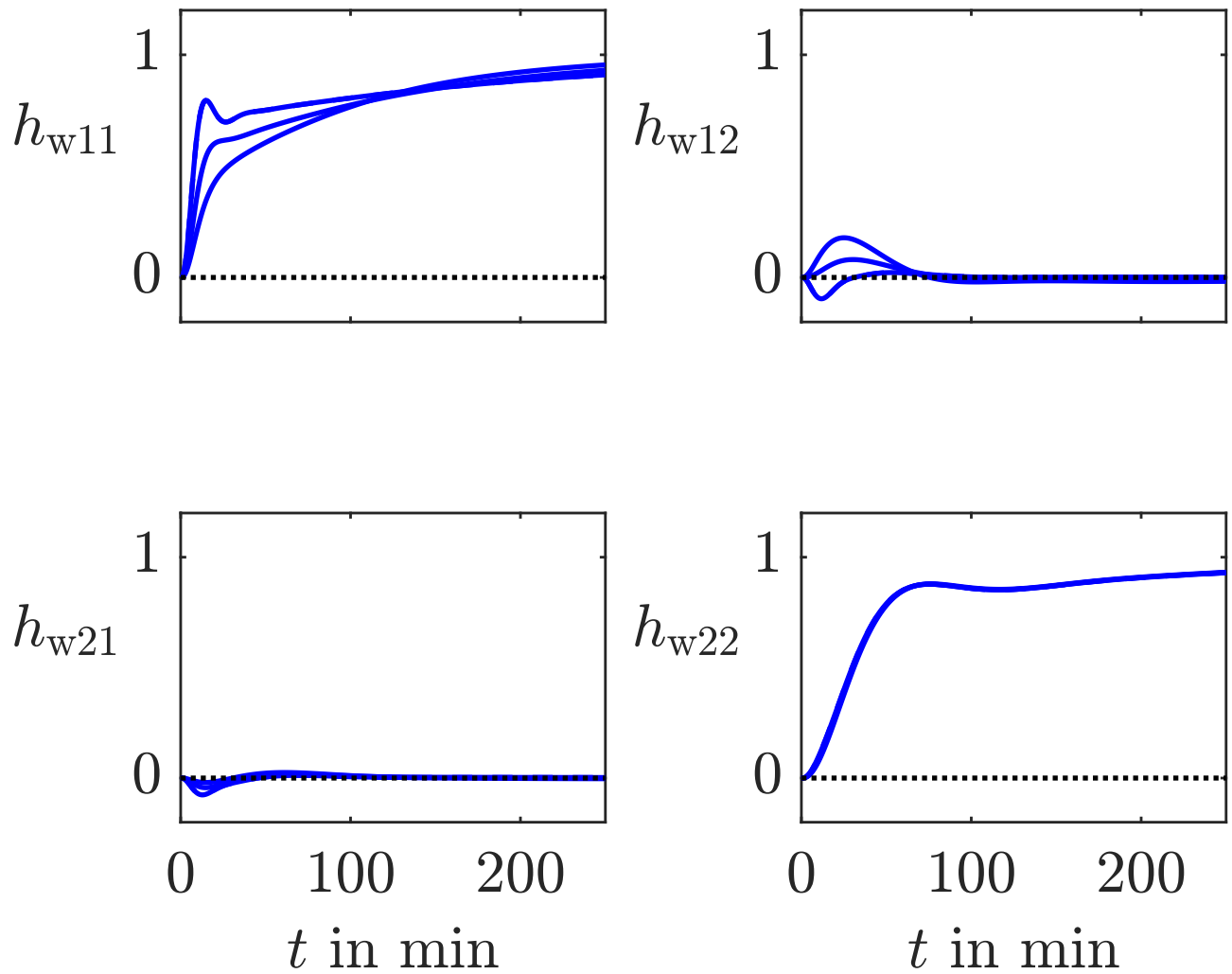


Abb. 5.7: Führungsübergangsfunktionen der PI-geregelten AHL-Anlage (zweite Reglereinstellung mit $b_1 = 0, 0,5, 1$ und 2)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

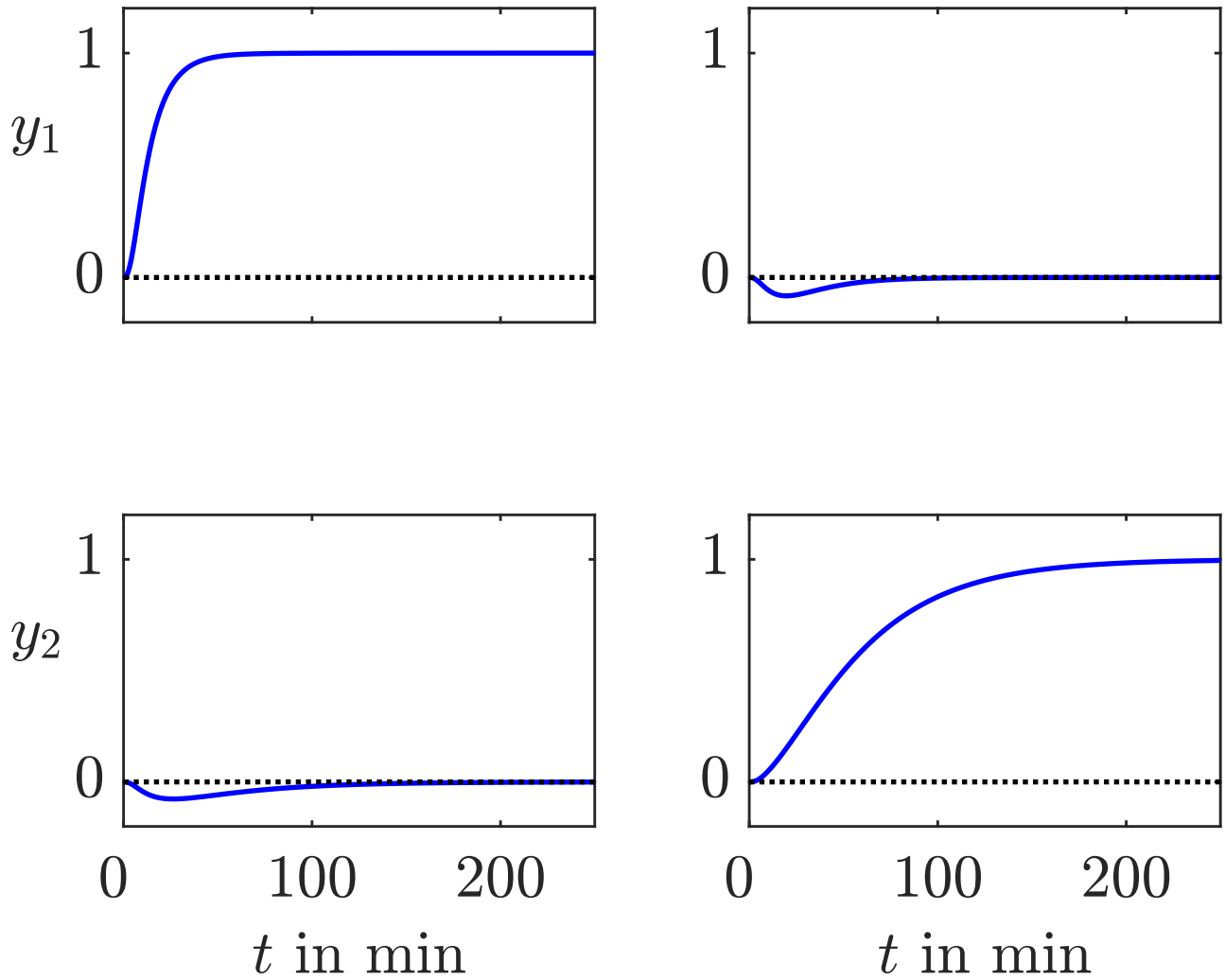


Abb. 5.8: Übergangsfunktionsmatrix der AHL-Anlage bezüglich der modifizierten Eingangsgröße

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

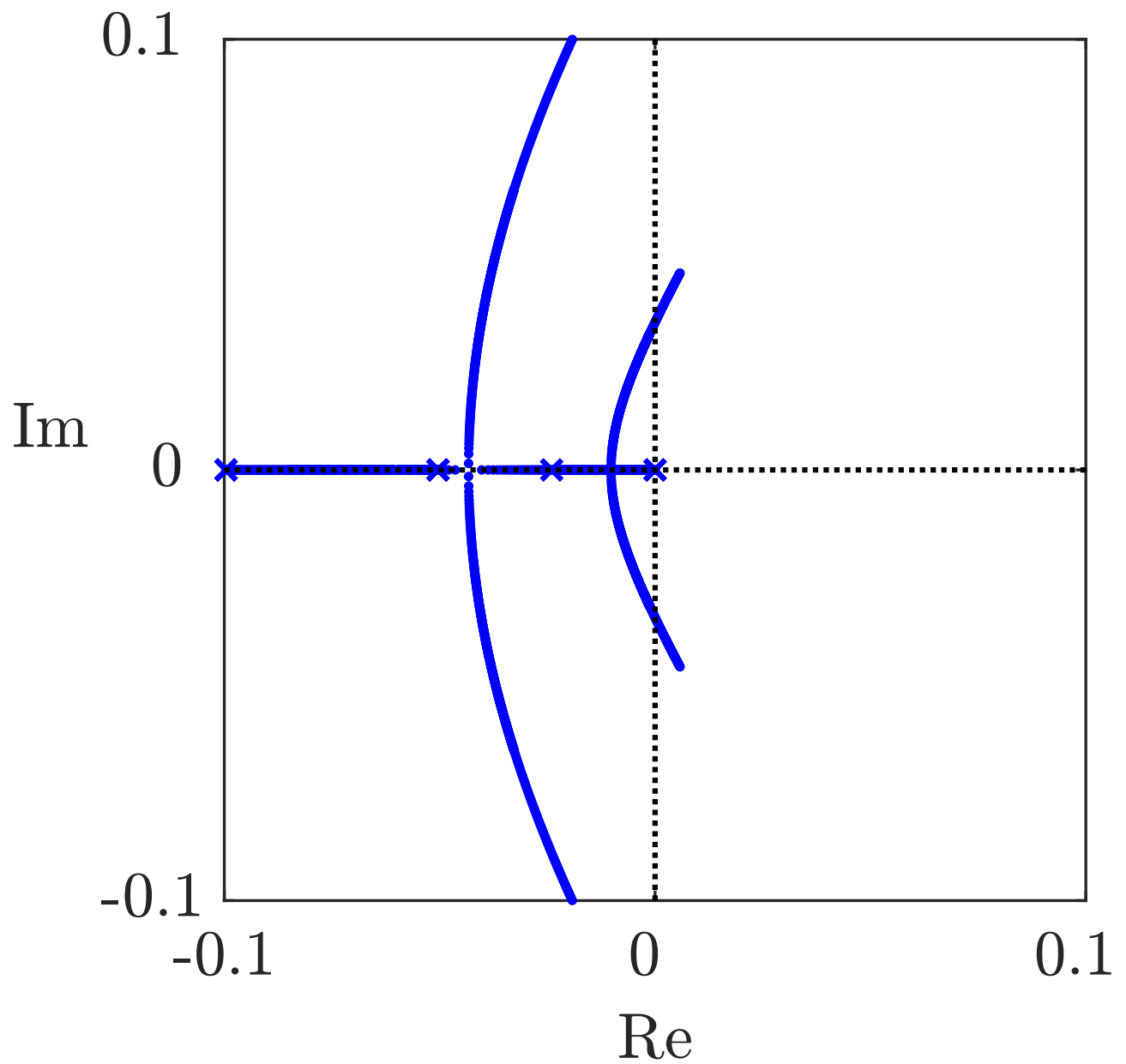


Abb. 5.9: Wurzelortskurve des I-geregelten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

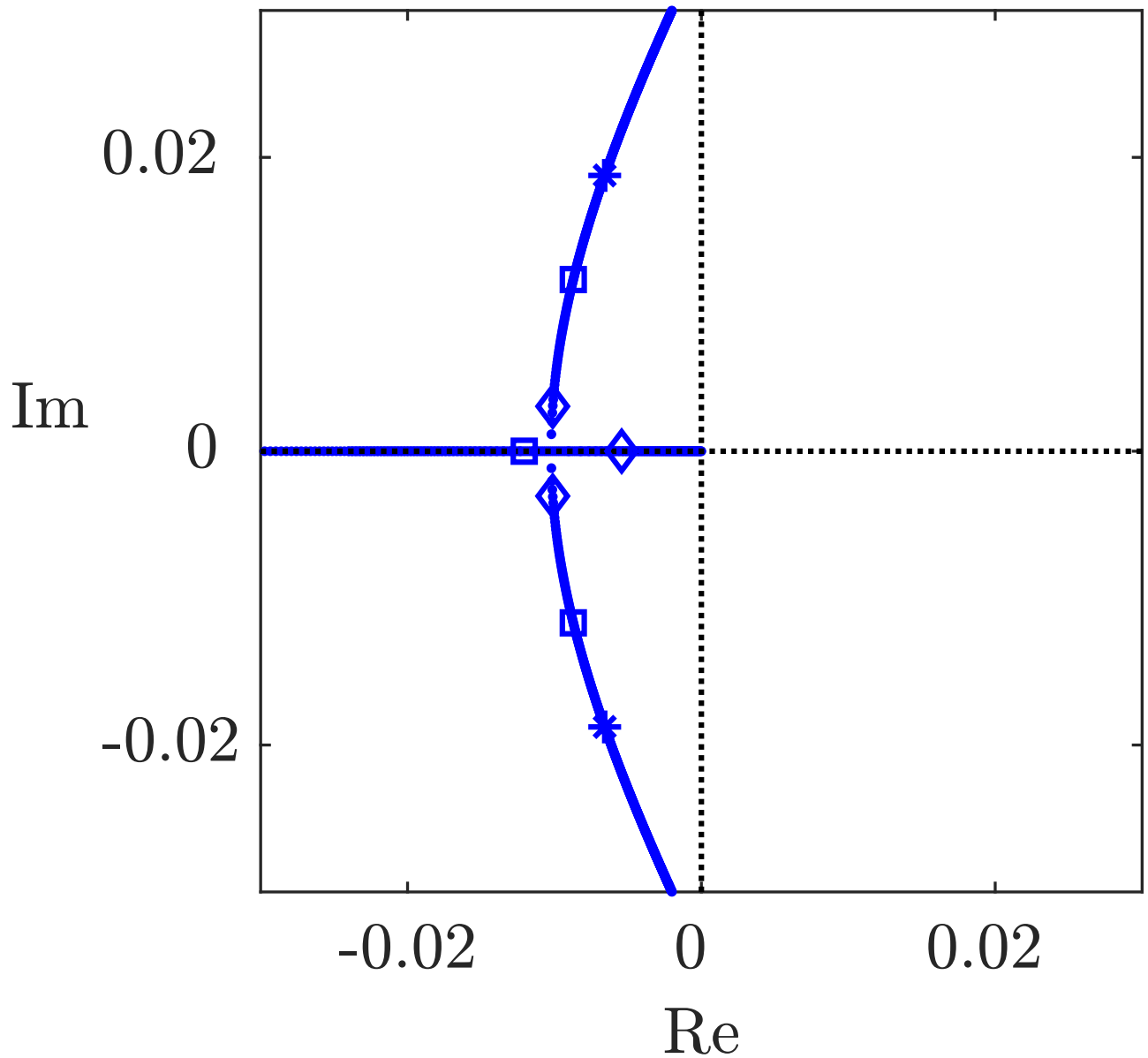


Abb. 5.9: Ausschnitt der Wurzelortskurve mit Markierung der Eigenwerte für $a = 0,05$ (\diamond), $0,1$ (\square) und $0,2$ ($*$)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

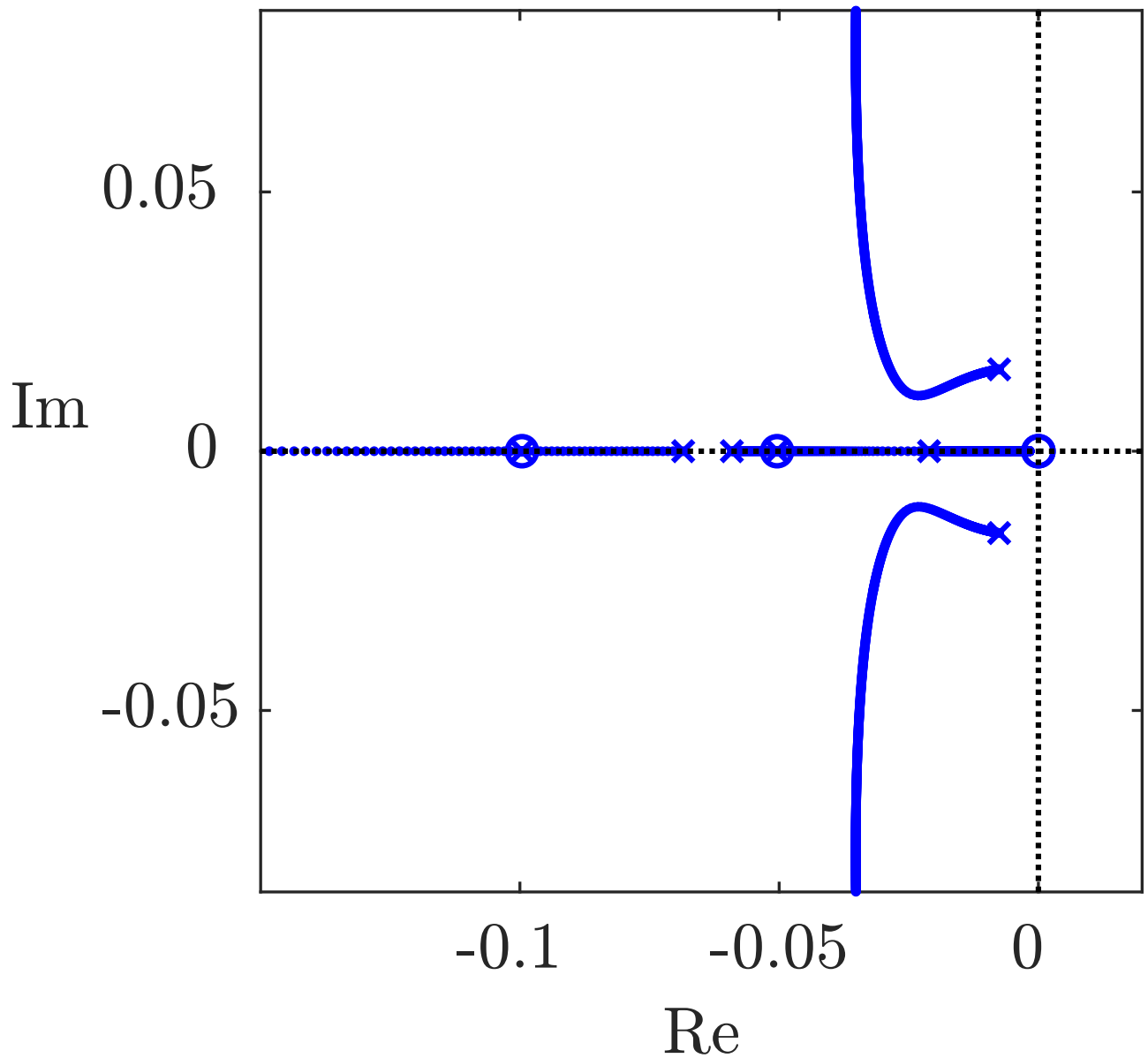


Abb. 5.10: Wurzelortskurve der PI-geregelten AHL-Anlage bezüglich des Tuningfaktors für den P-Anteil

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

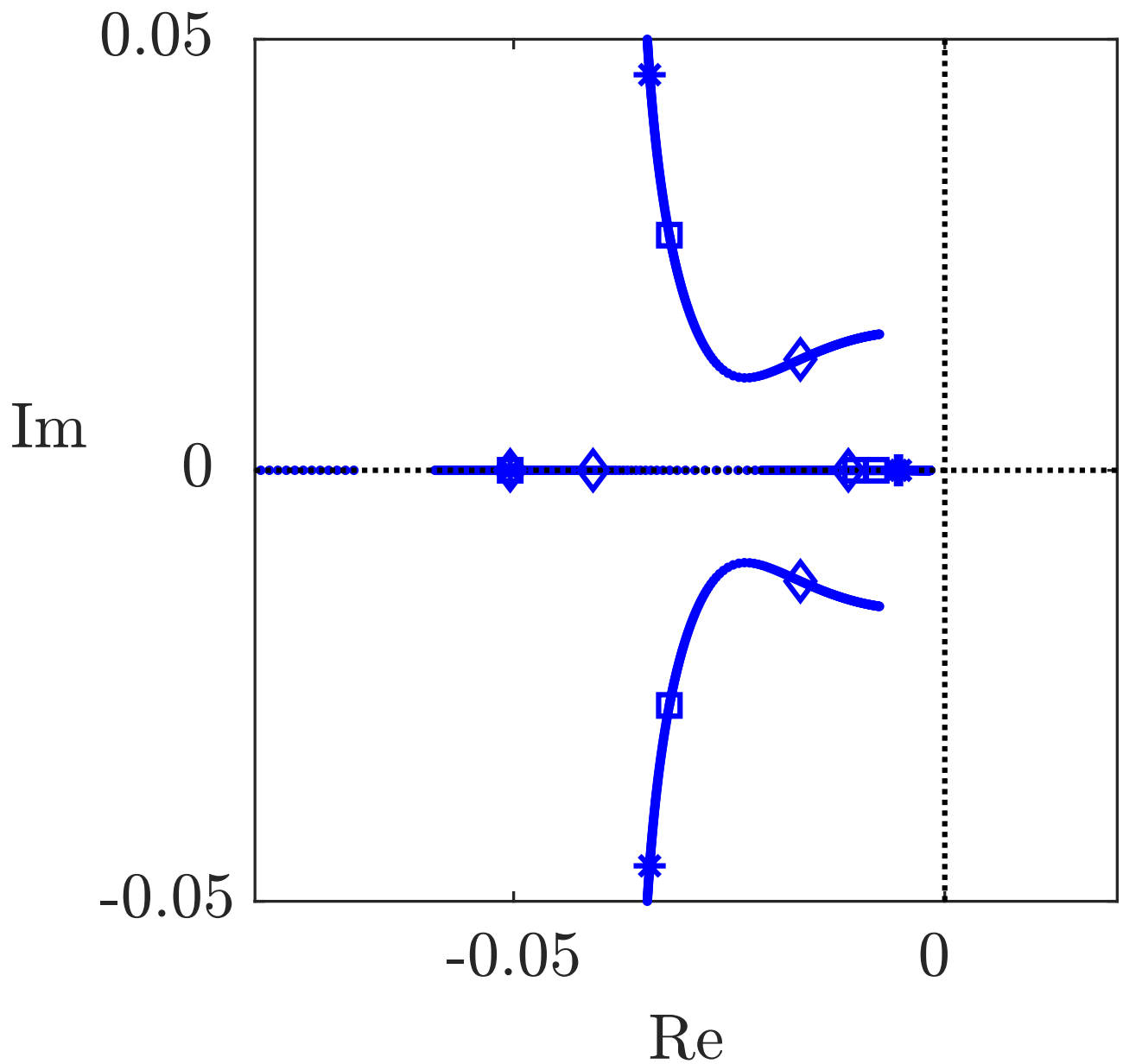


Abb. 5.10: Ausschnitt der Wurzelortskurve mit Markierung der Eigenwerte für $b = 0,5$ (\diamond), 1 (\square) und 2 ($*$)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

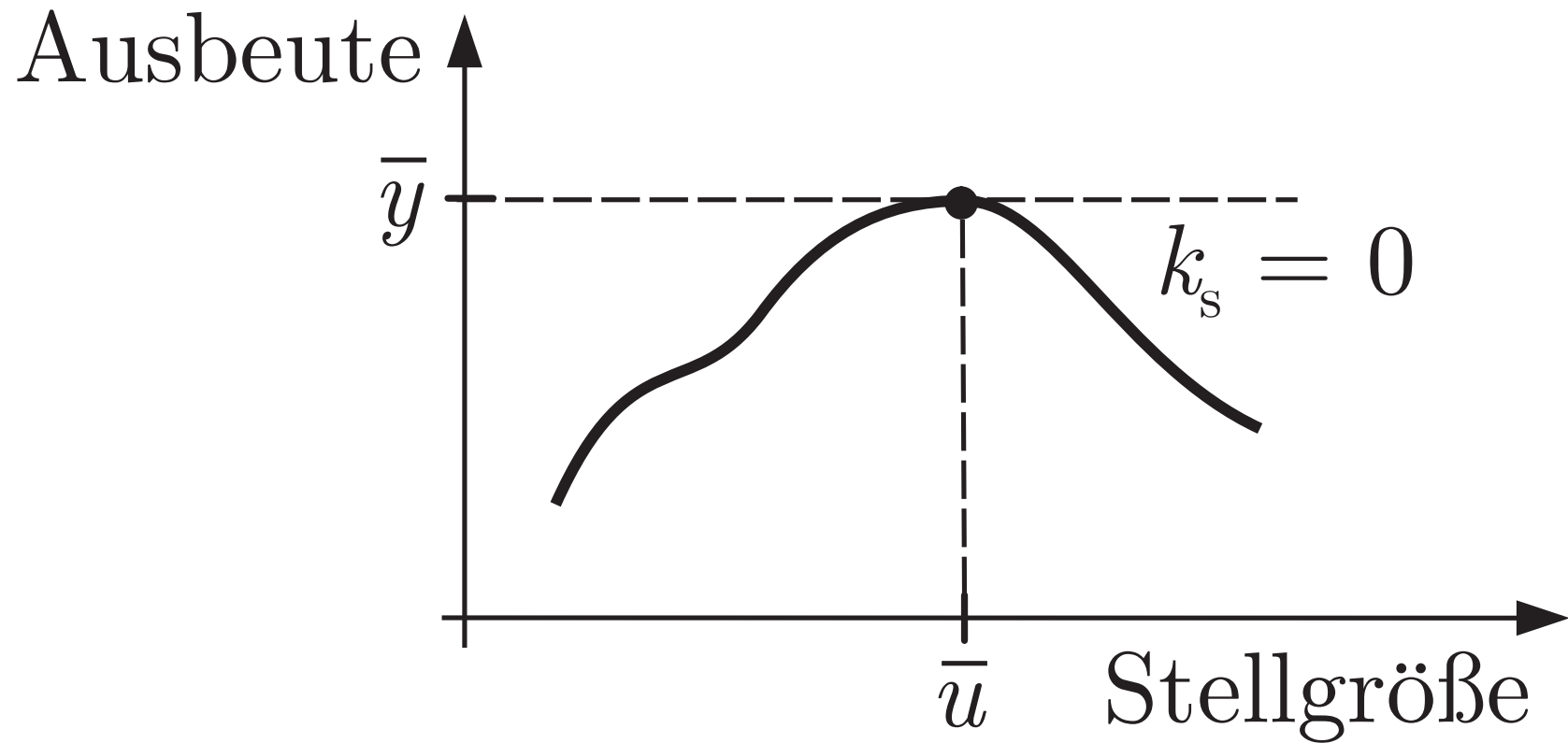


Abb. 5.11. Statisches Verhalten von Reaktoren

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

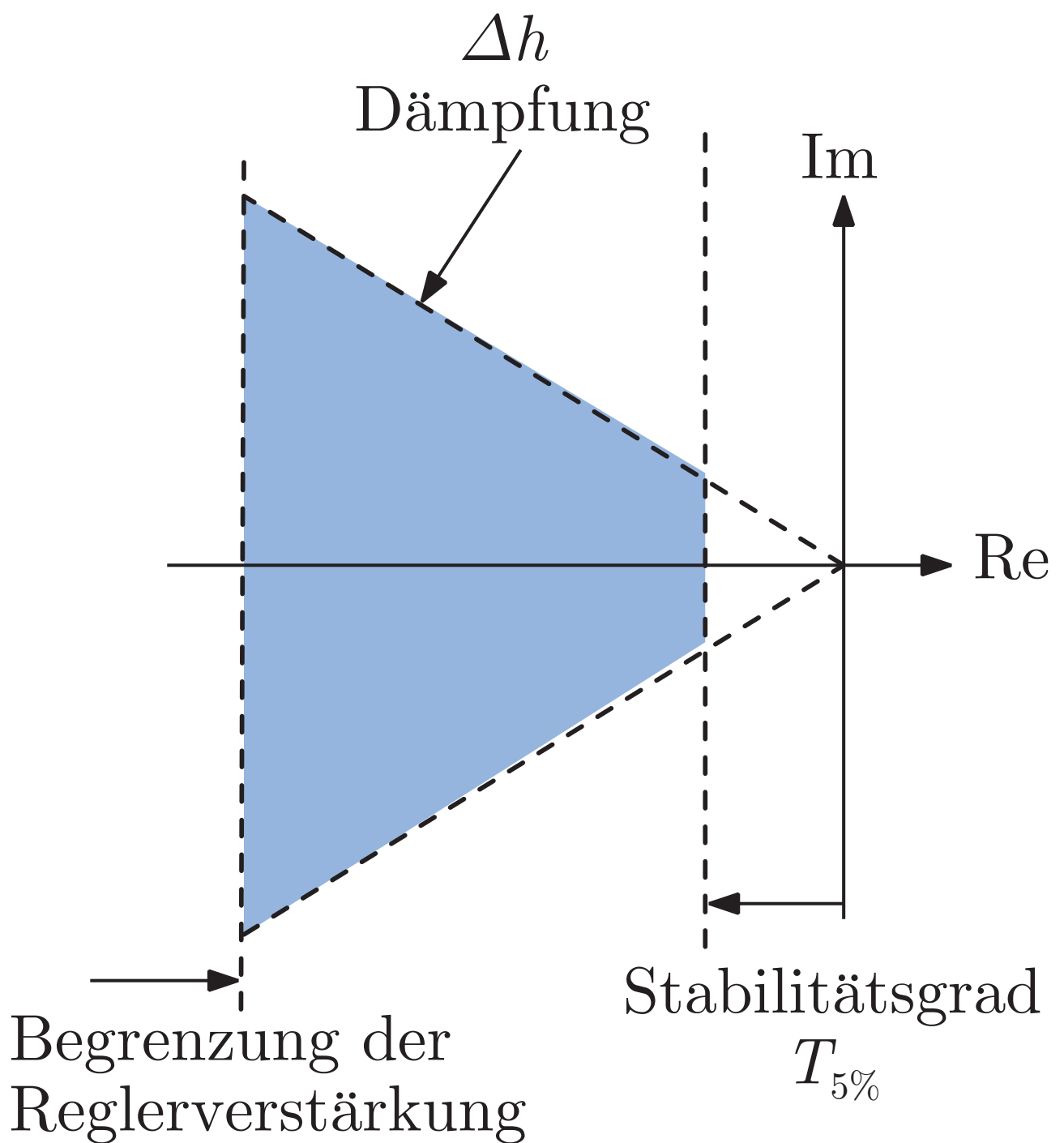


Abb. 6.1: Gebiet für die Eigenwerte des geregelten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

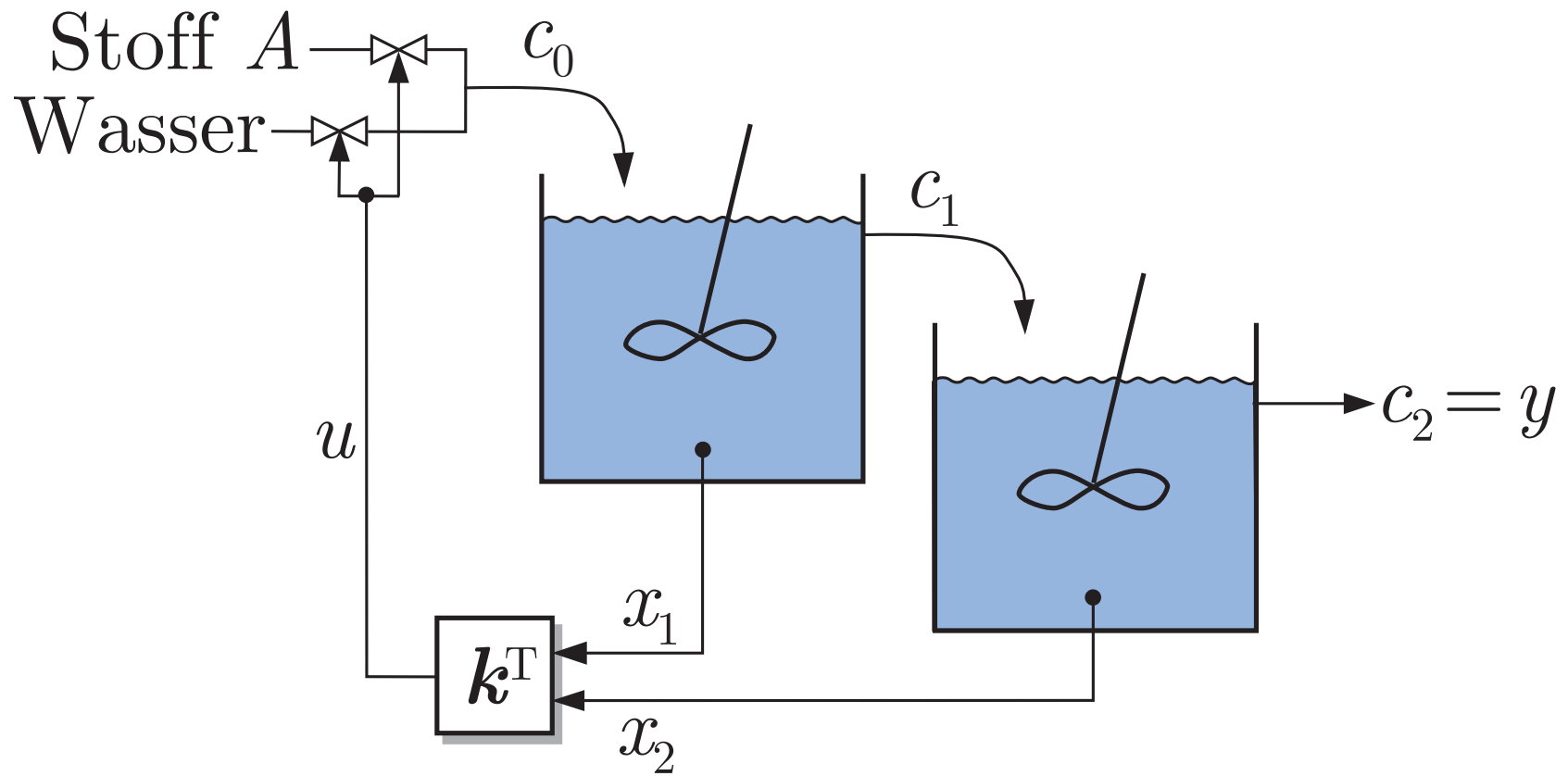


Abb. 6.2. Rührkesselreaktoren mit Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

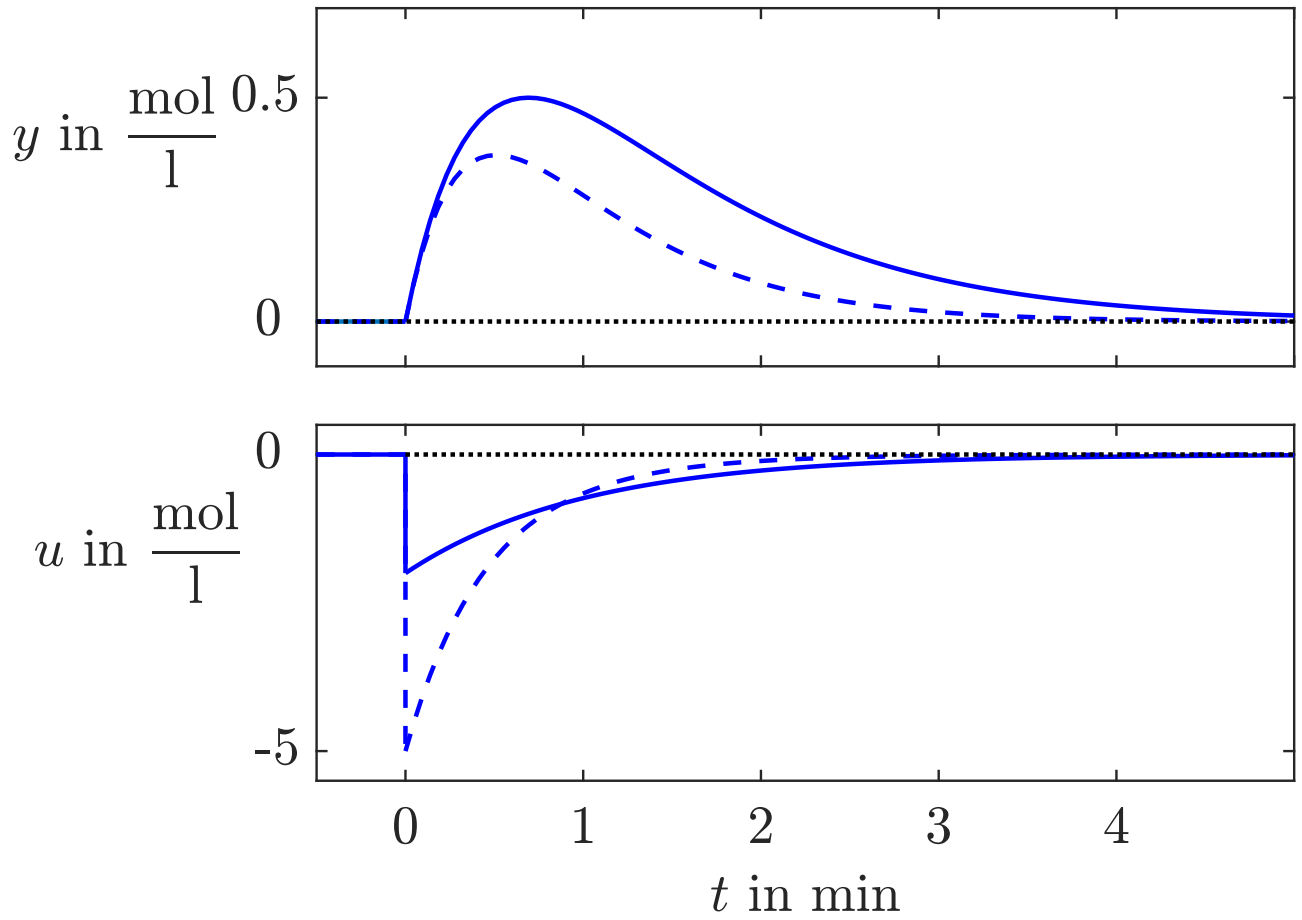


Abb. 6.3: Eigenbewegung der geregelten Reaktoren

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

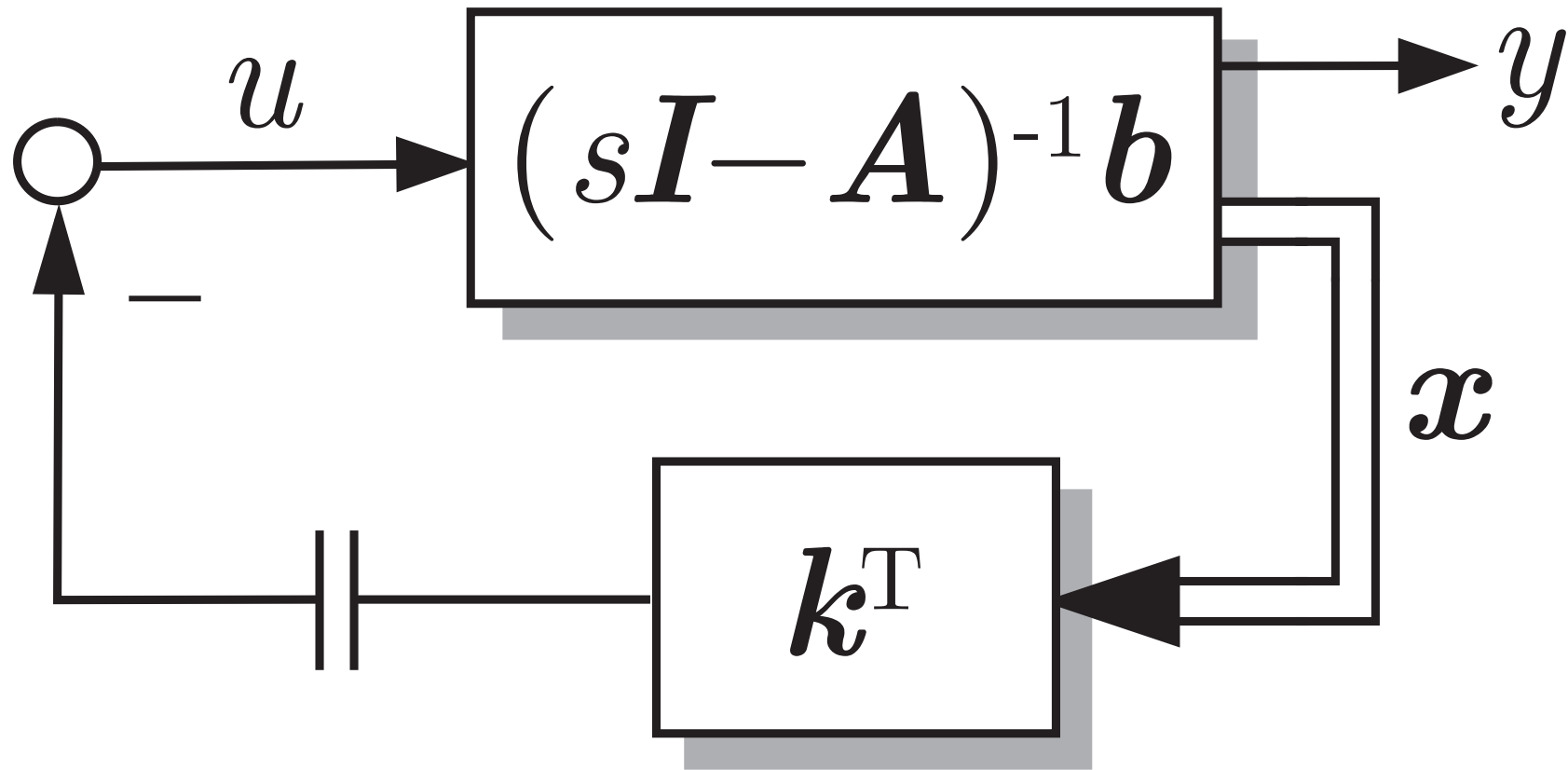


Abb. 6.4. Regelkreis mit Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

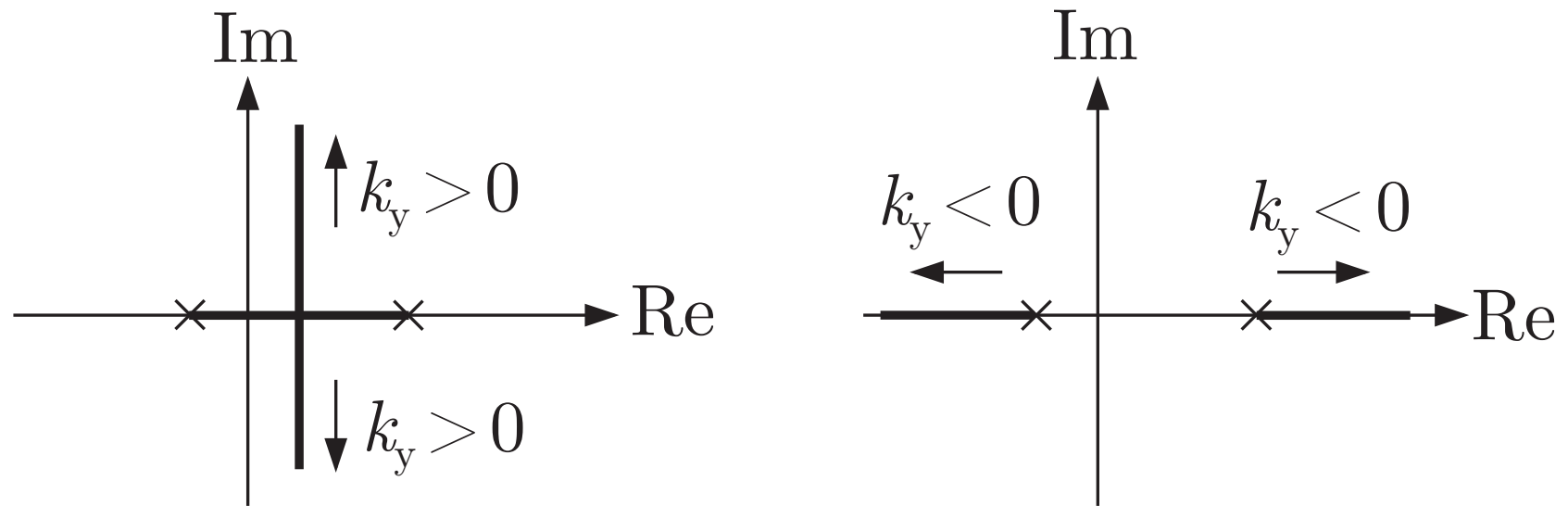


Abb. 6.5. Wurzelortskurve eines Systems zweiter Ordnung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

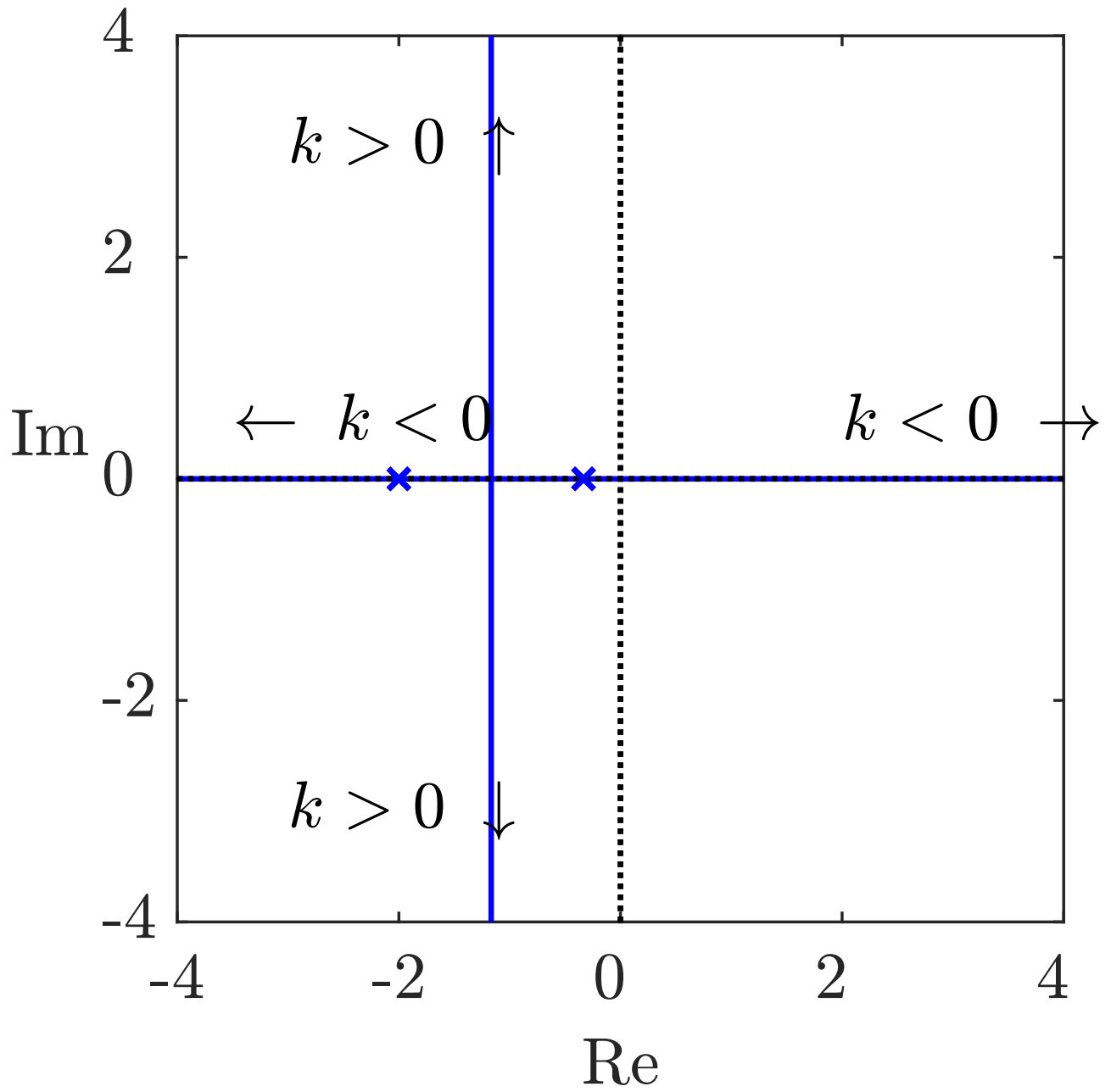


Abb. 6.6: Wurzelortskurve der Reaktorregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

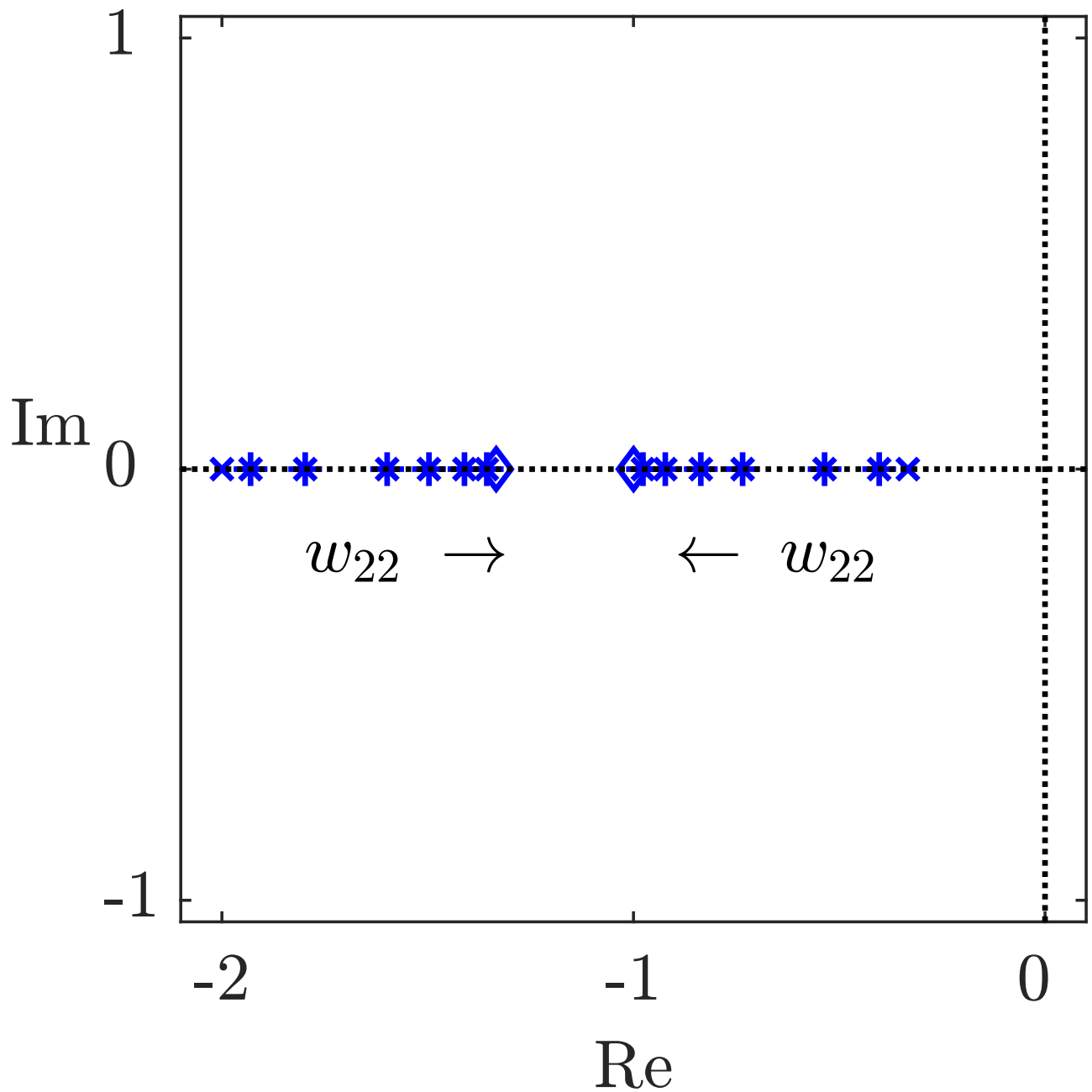


Abb. 6.7: Eigenwerte des Regelkreises, die durch die Ausgangsrückführung bei unterschiedlicher Wichtung $w_{22} = 0,5, 1, 2, 3, 5, 10$ erzeugt werden

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

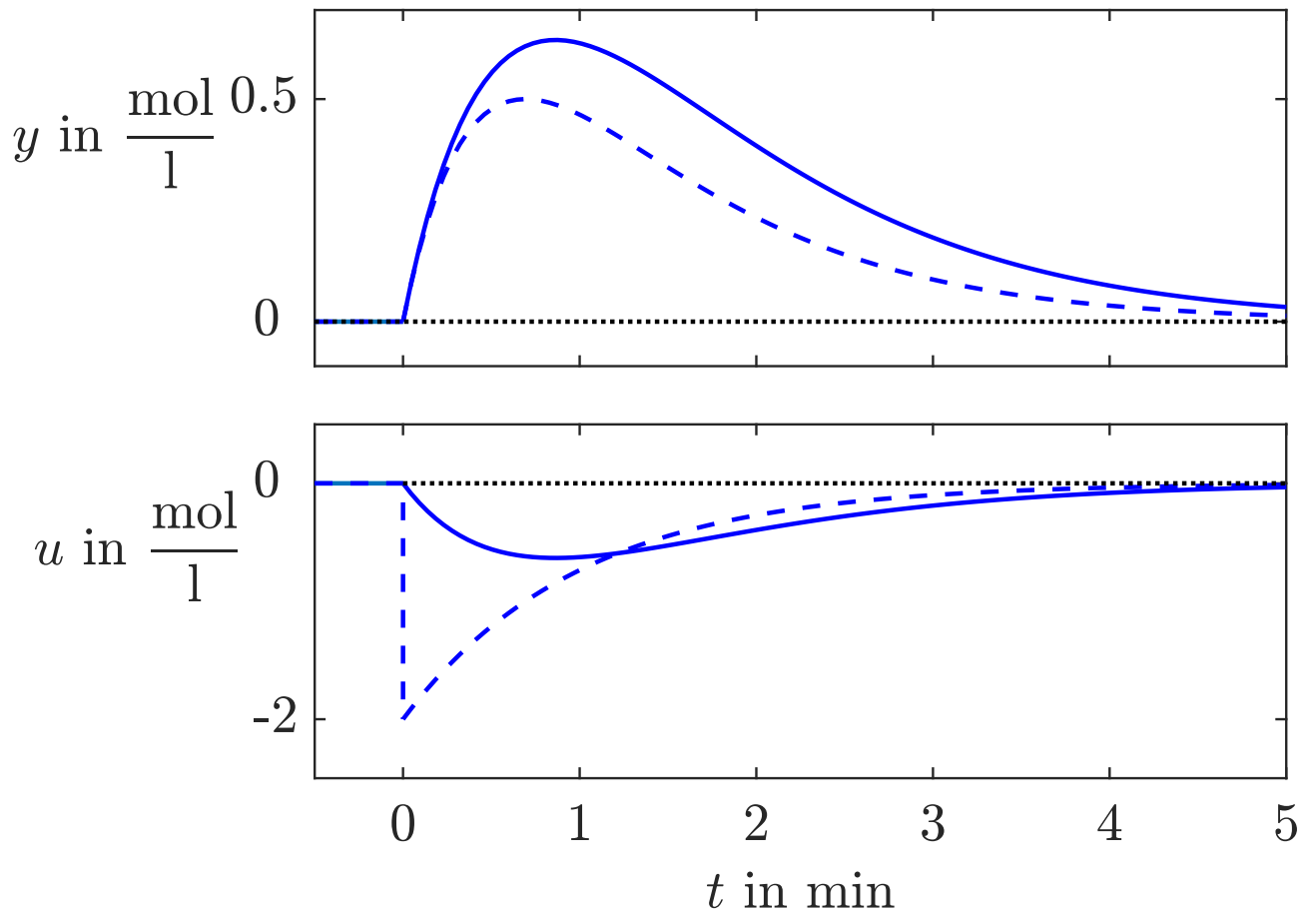


Abb. 6.8: Eigenbewegung der Reaktoren bei Ausgangsrückführung – und bei der ersten Zustandsrückführung - -

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

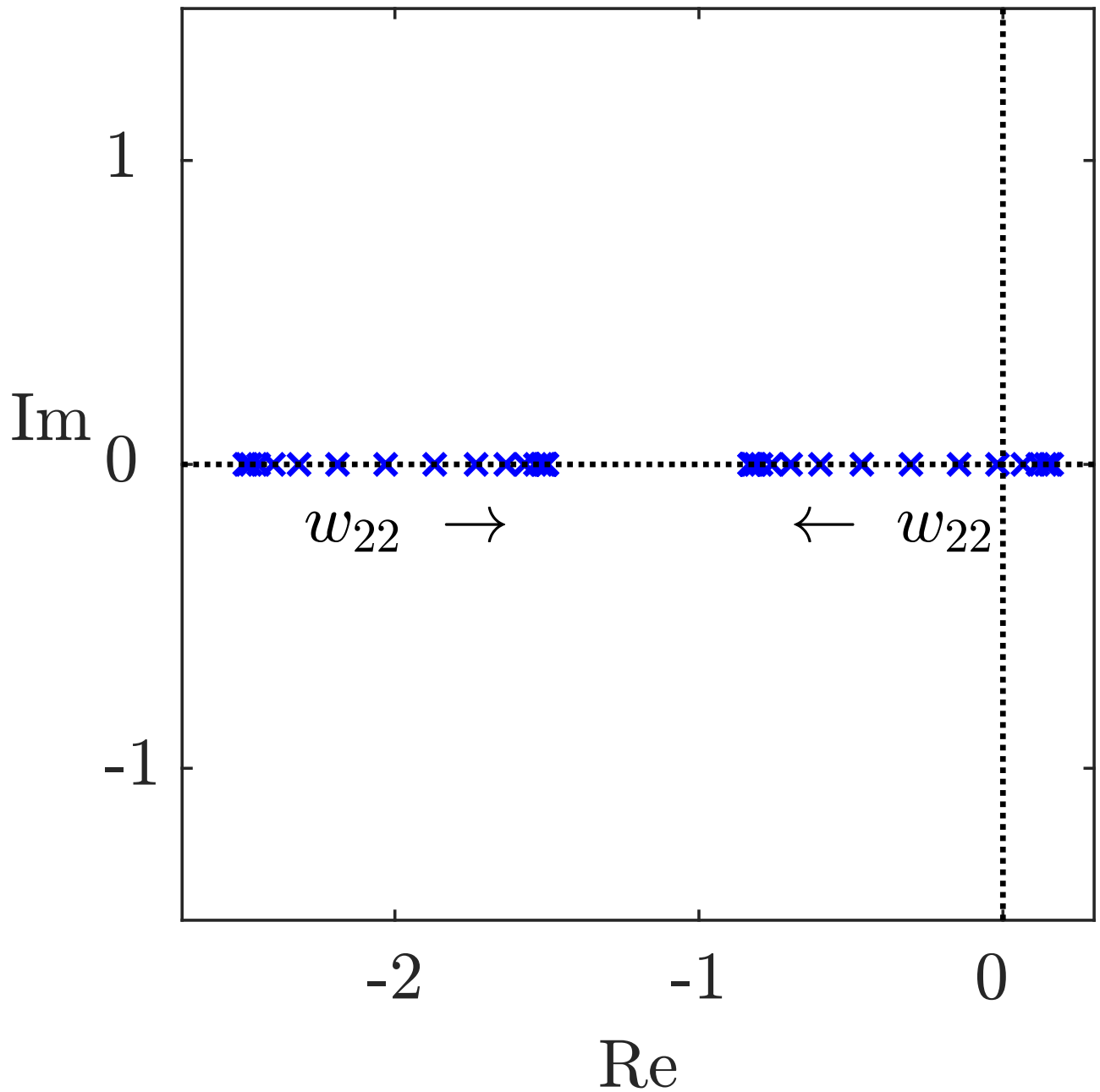


Abb. 6.9: Eigenwerte des Regelkreises mit einer Ausgangsrückführung, die für unterschiedliche Wichtungen aus der zweiten Zustandsrückführung entsteht

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

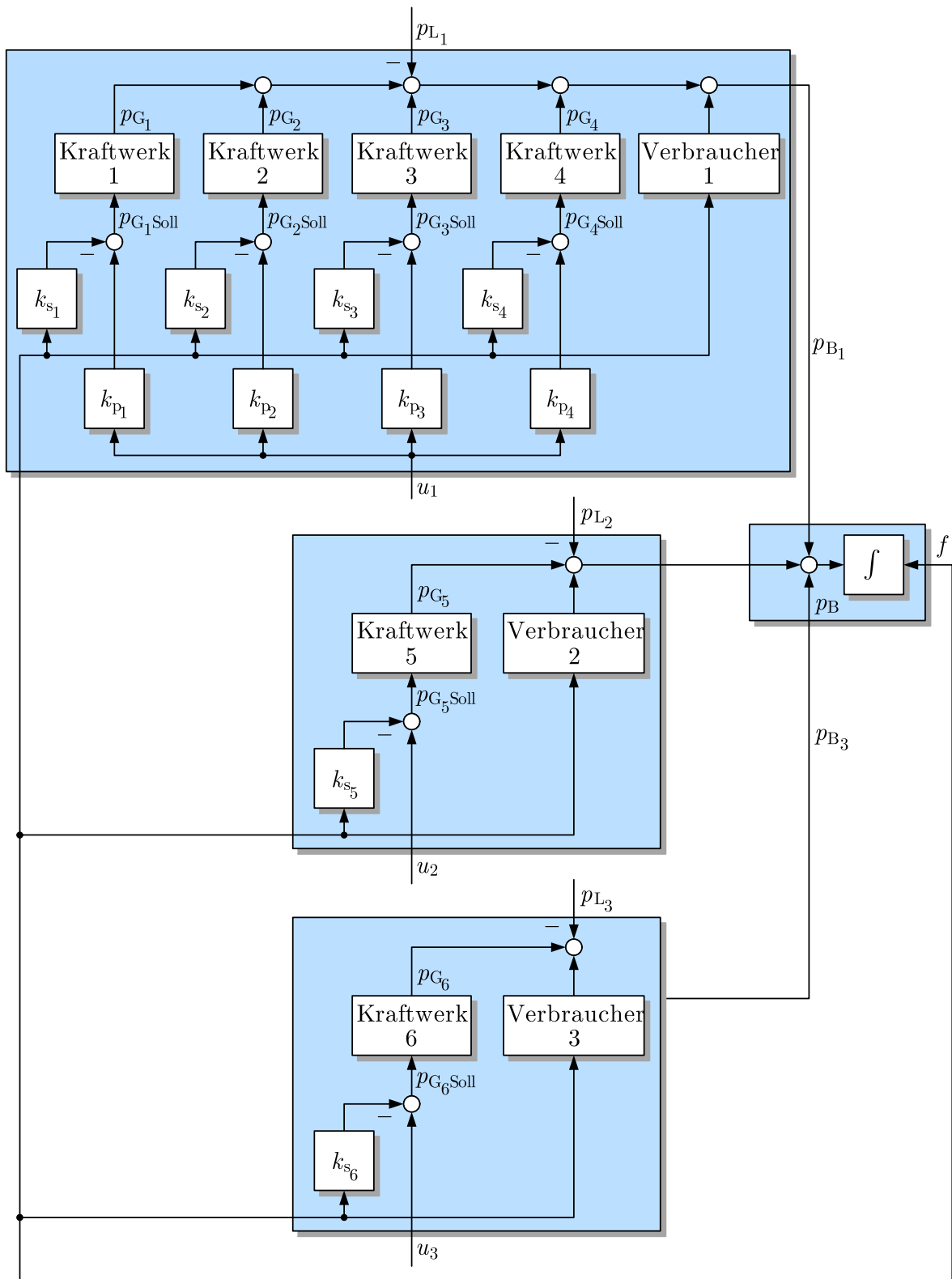


Abb. 6.10. Elektroenergienetz

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

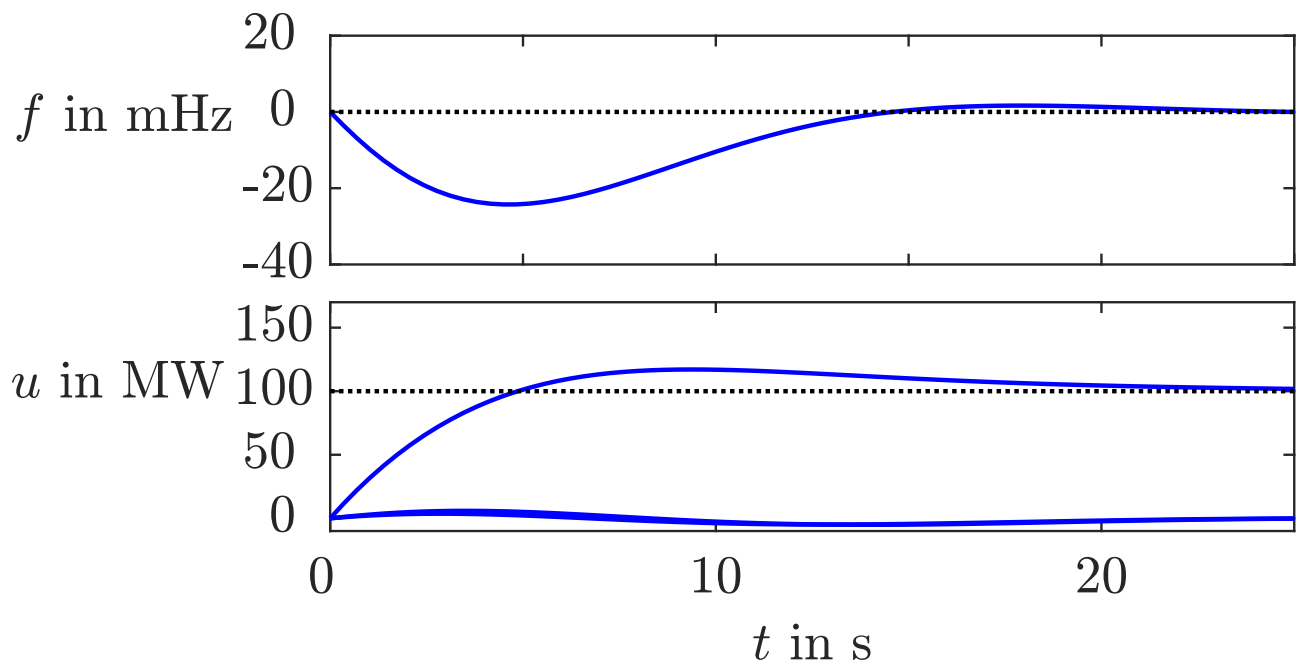


Abb. 6.11: Störübergangsfunktion des Netzes mit Zustandsrückführung bei einer Lasterhöhung um 100 MW

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

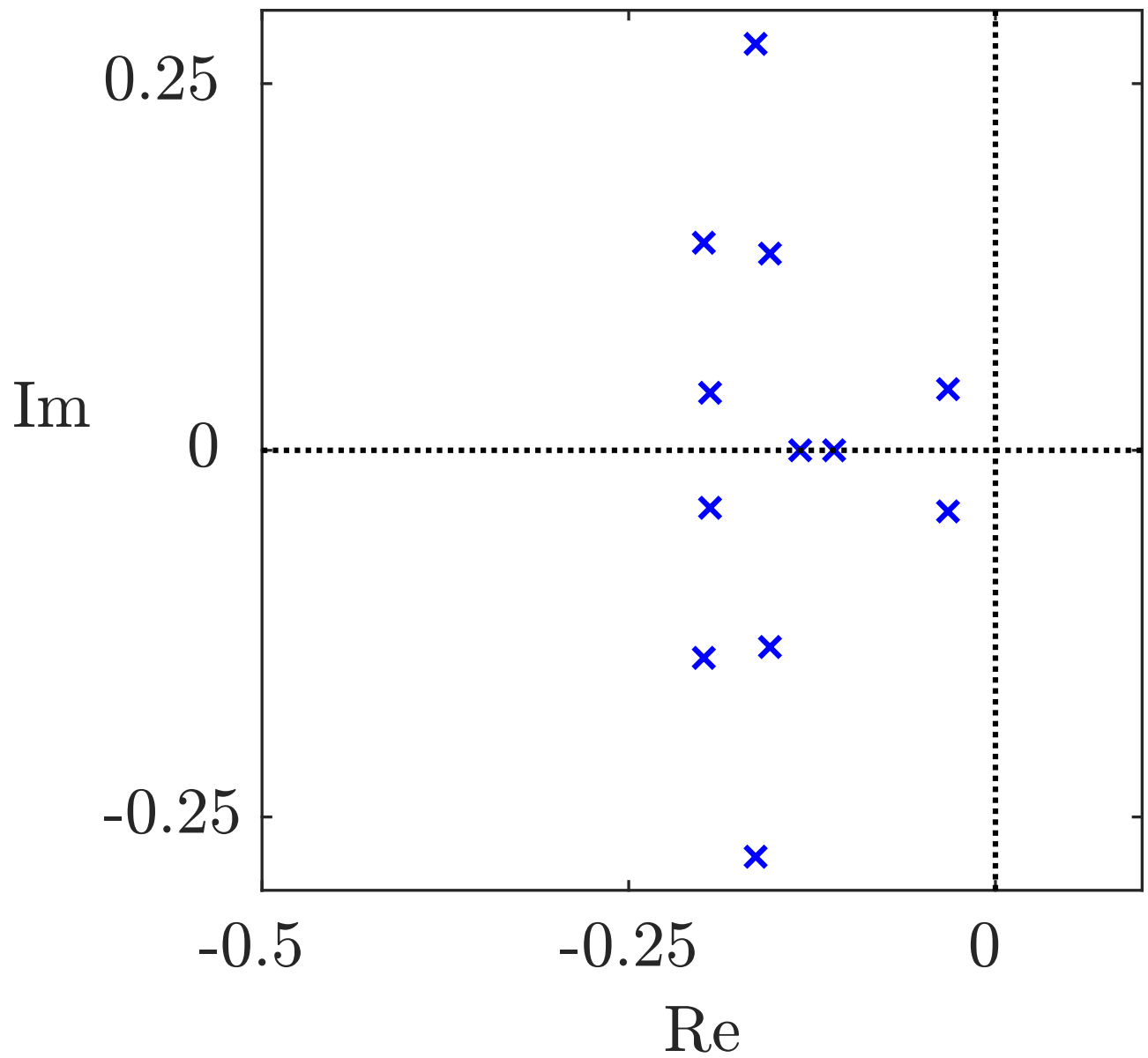


Abb. 6.12: Eigenwerte des Netzes mit Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

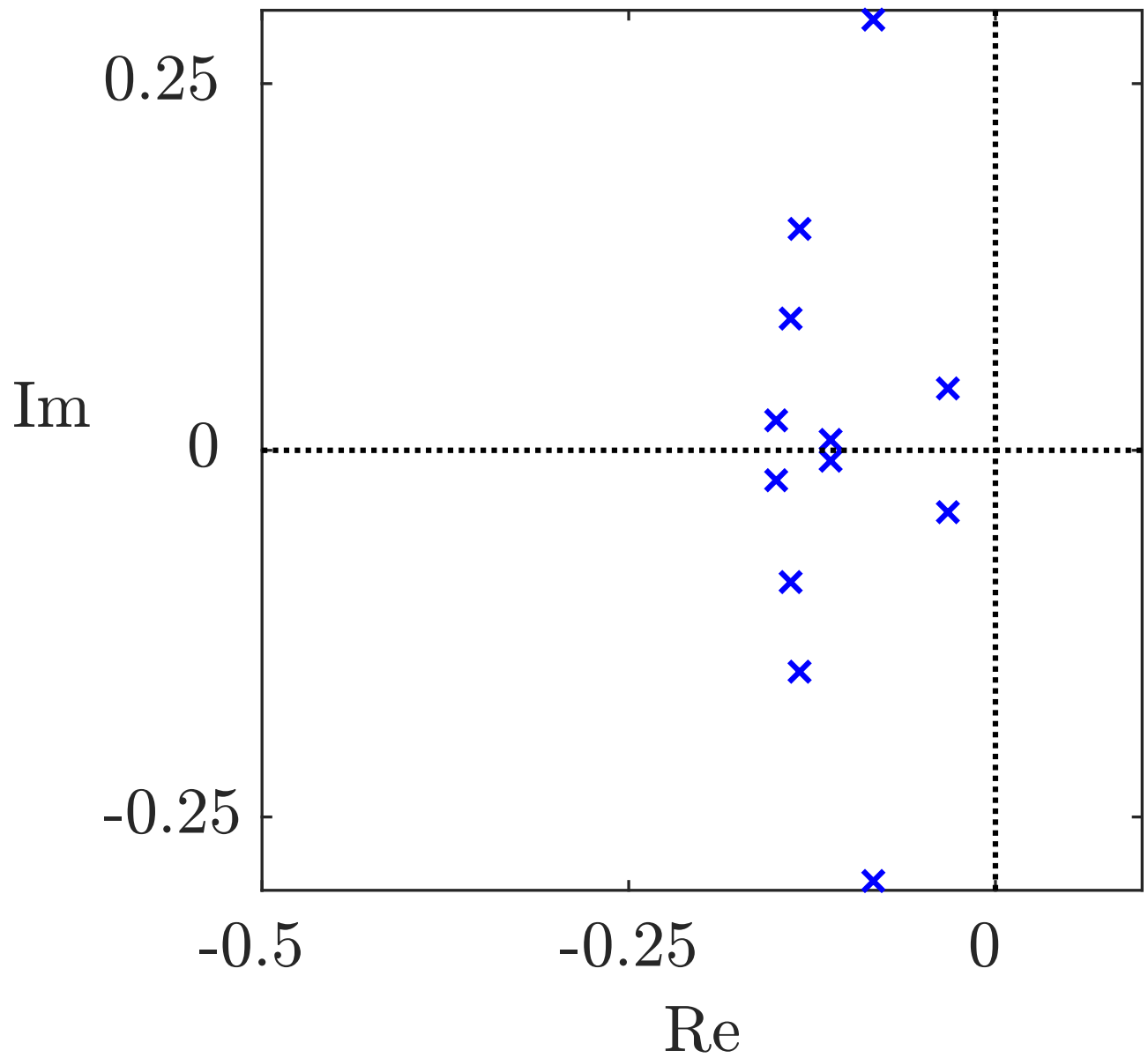


Abb. 6.12: Eigenwerte des Netzes bei Verwendung der ersten dezentralen Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

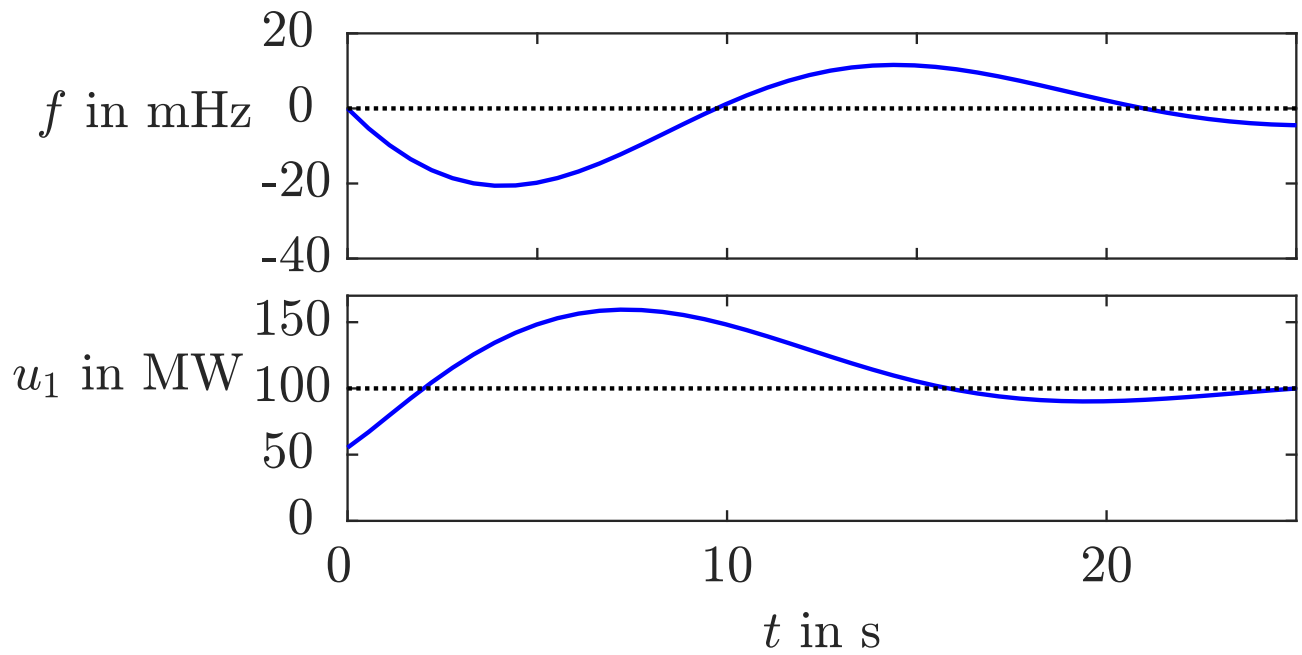


Abb. 6.13: Störübergangsfunktion des Netzes mit der ersten dezentralen Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

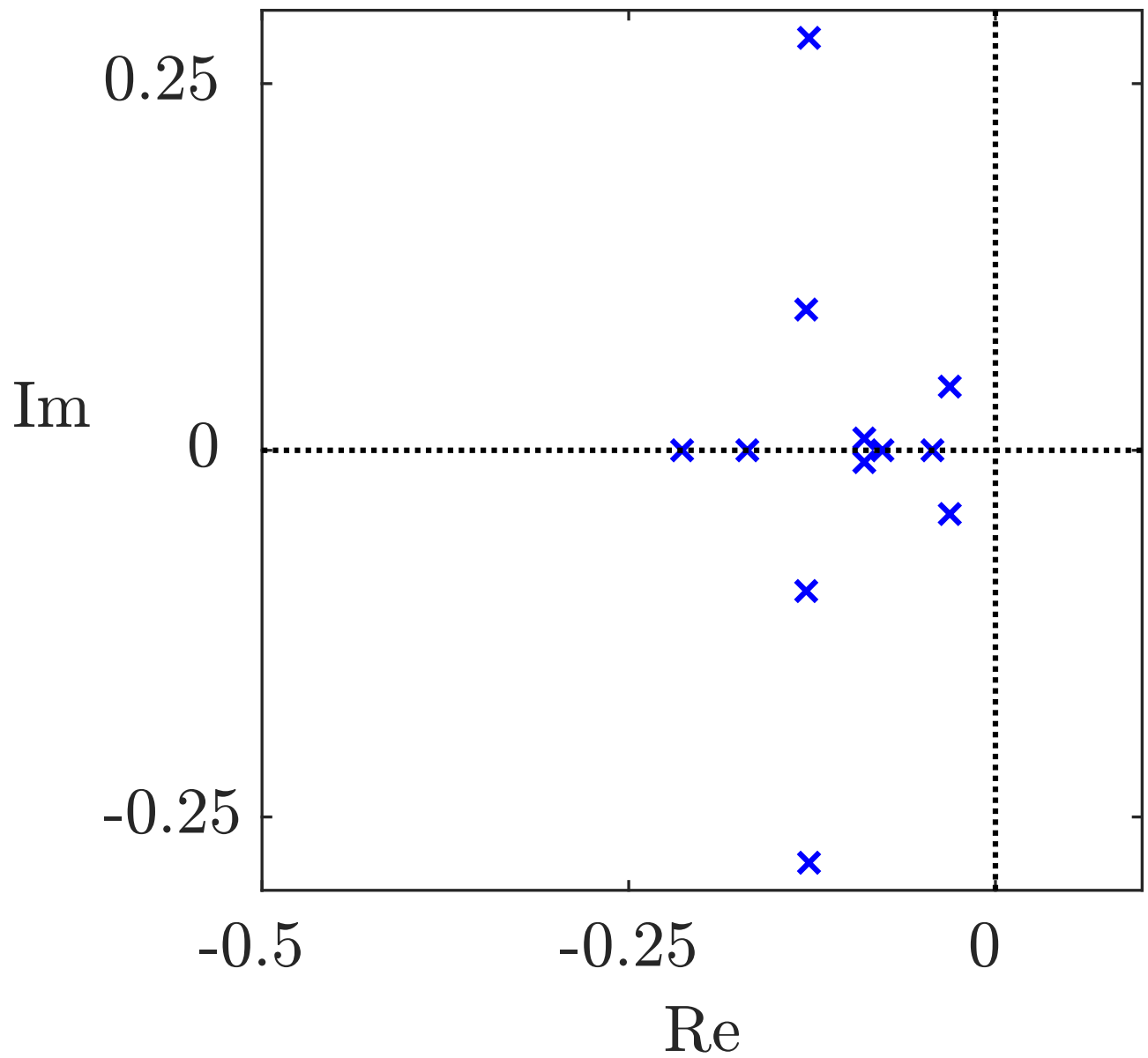


Abb. 6.14: Regelkreiseigenwerte bei Verwendung der zweiten dezentralen Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

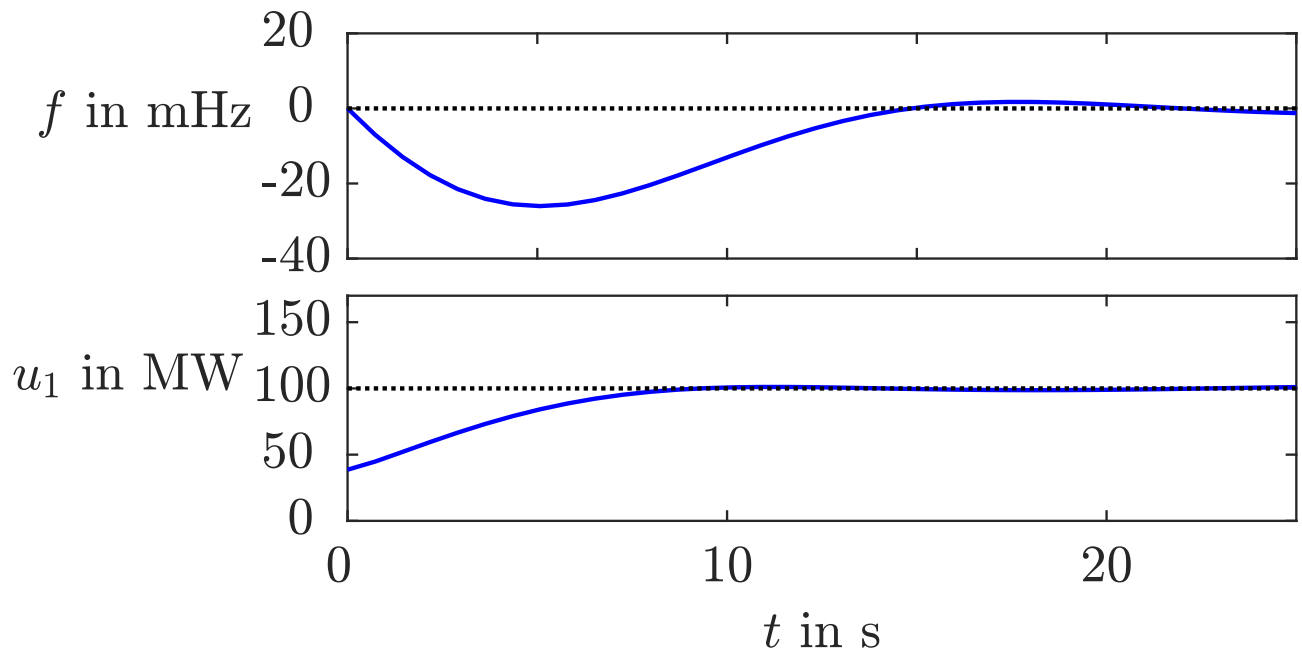


Abb. 6.15: Störübergangsfunktion des Netzes mit der zweiten dezentralen Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

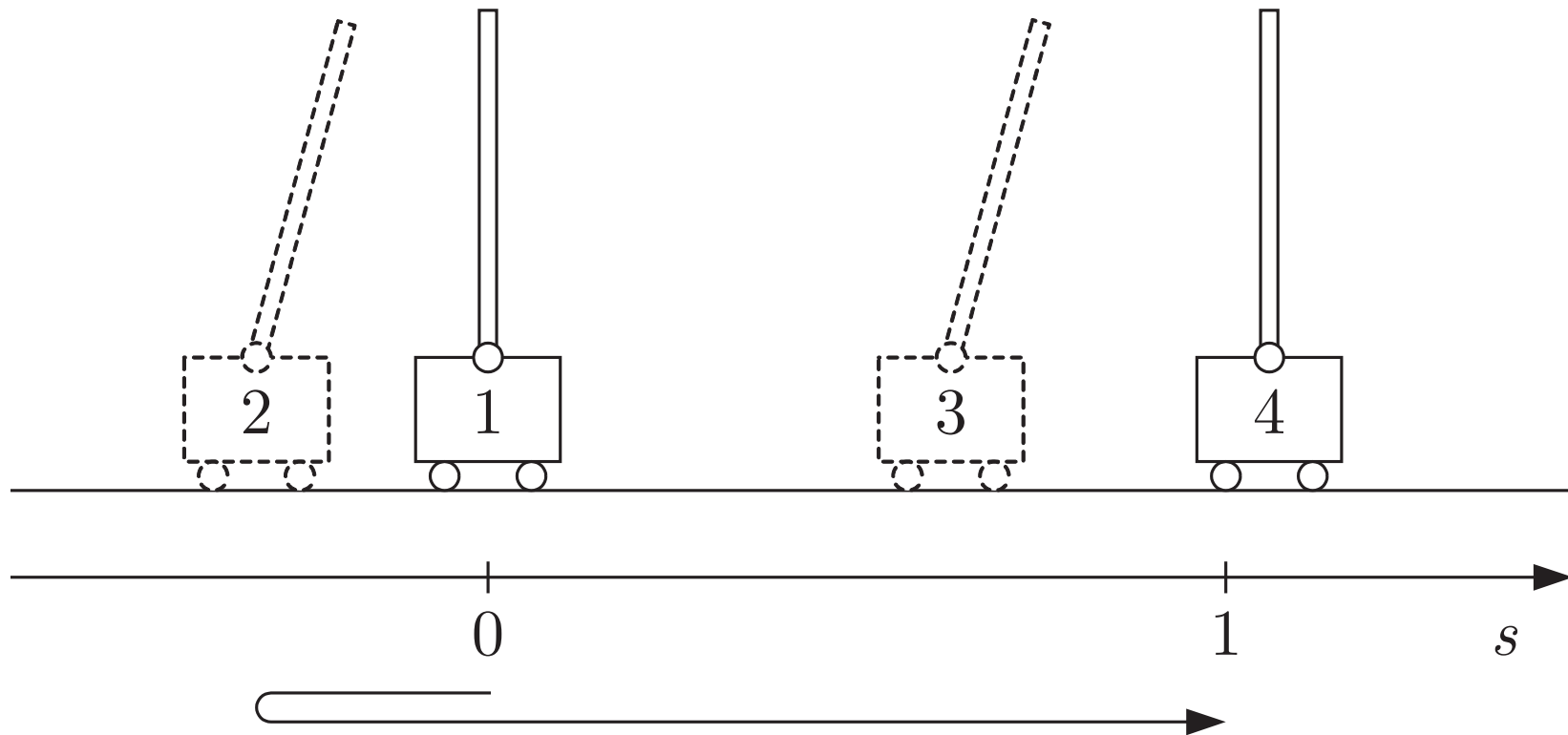


Abb. 6.16. Nichtminimalphasiges Verhalten des geregelten inversen Pendels bei Veränderung der Sollposition des Wagens

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

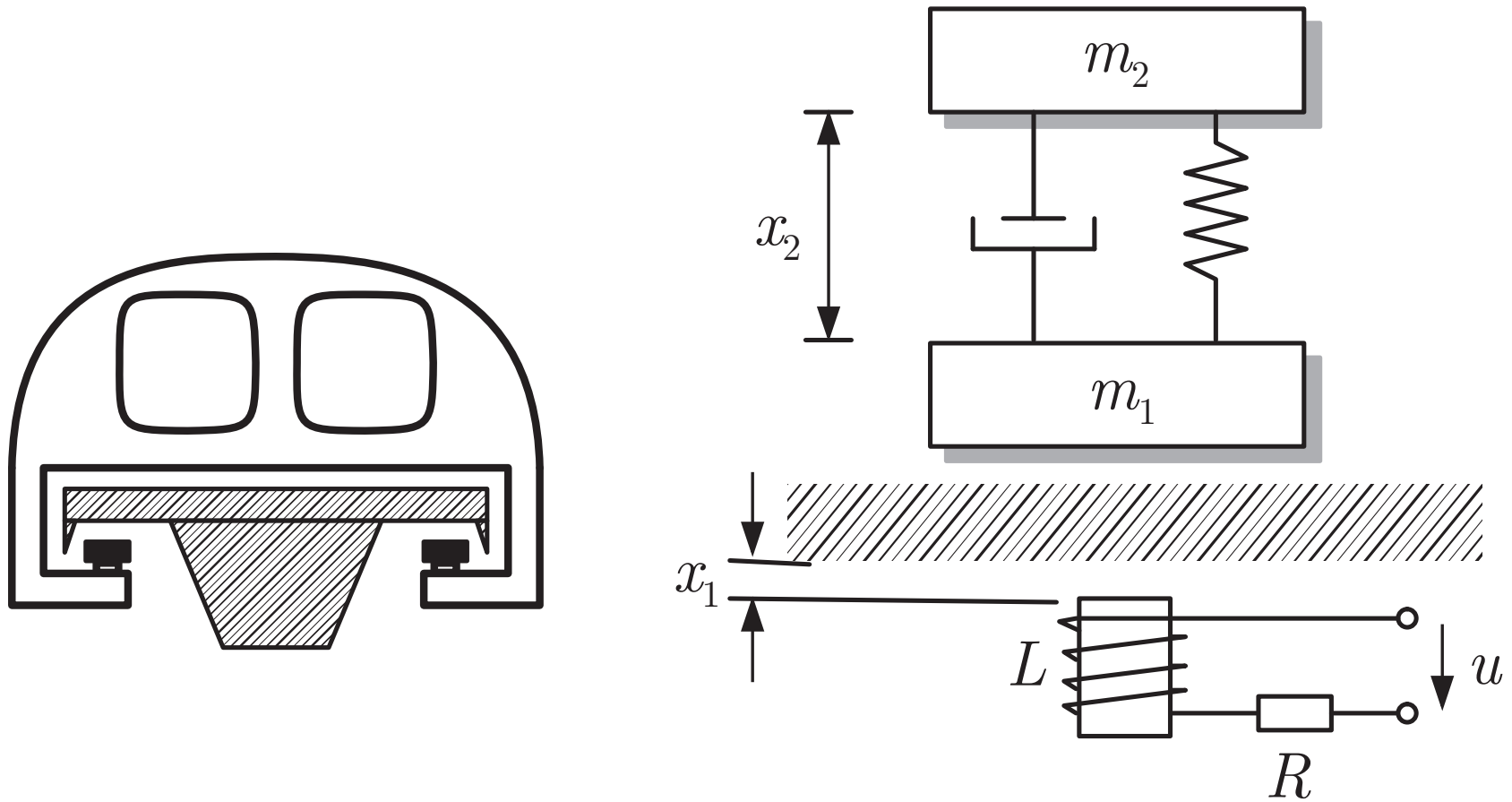


Abb. 6.17. Vertikalbewegung der Magnetschwebbahn

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

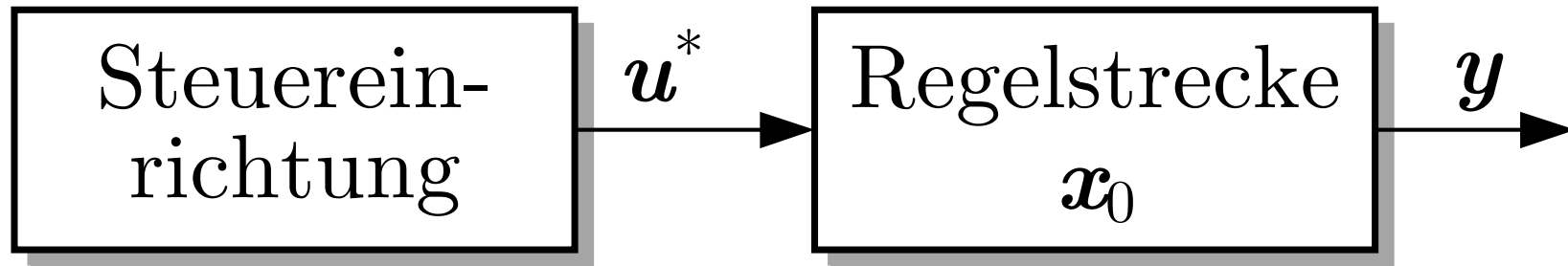


Abb. 7.1. Optimale Steuerung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

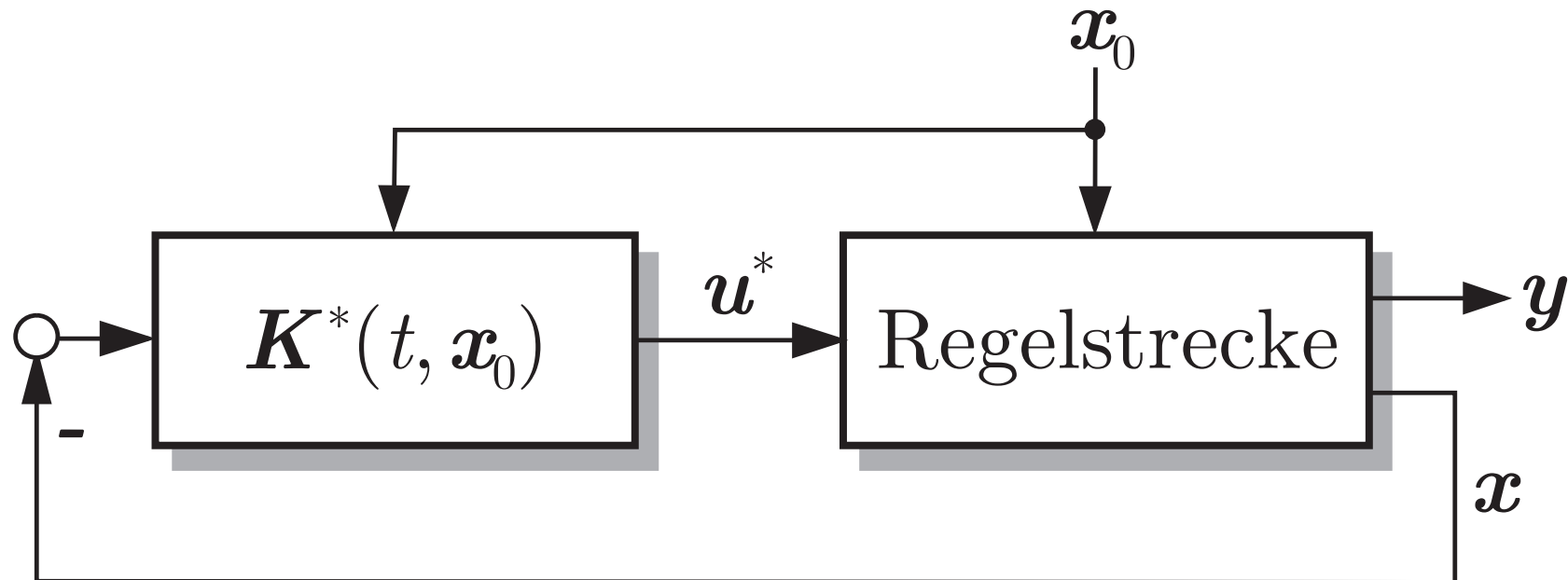


Abb. 7.2. Optimale Regelung bei endlichem Optimierungshorizont

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

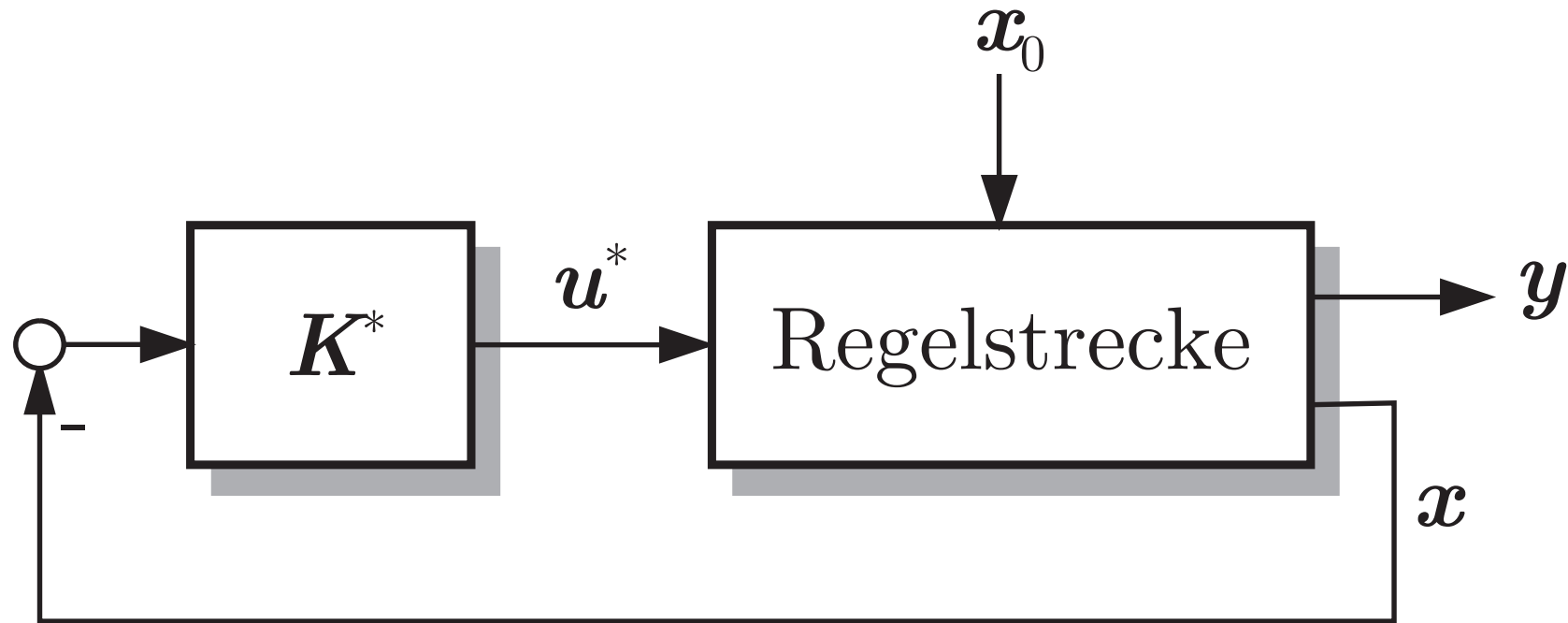


Abb. 7.3. Optimale Regelung mit unendlichem Optimierungshorizont

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

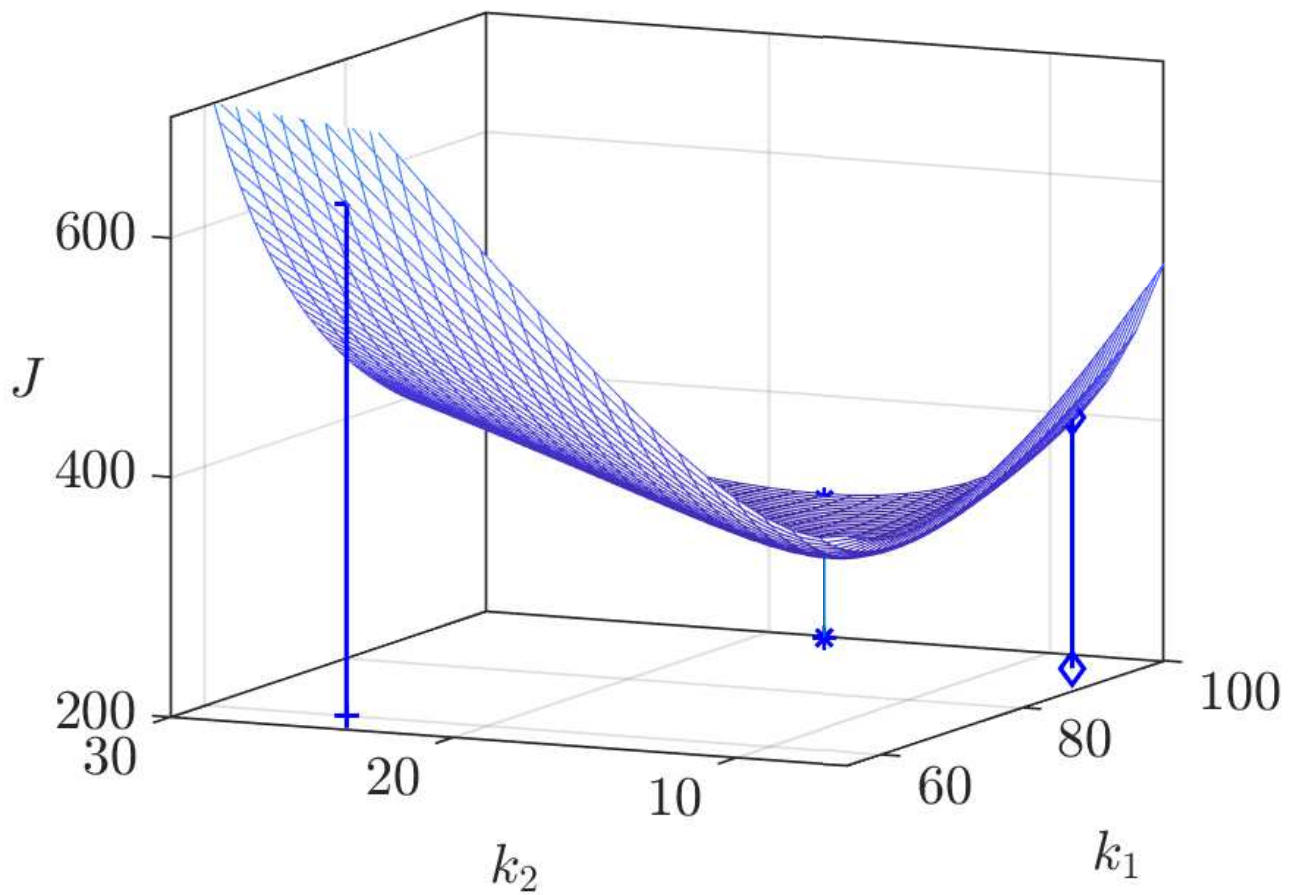


Abb. 7.4: Gütegebirge des LQ-Problems für das invertierte Pendel

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

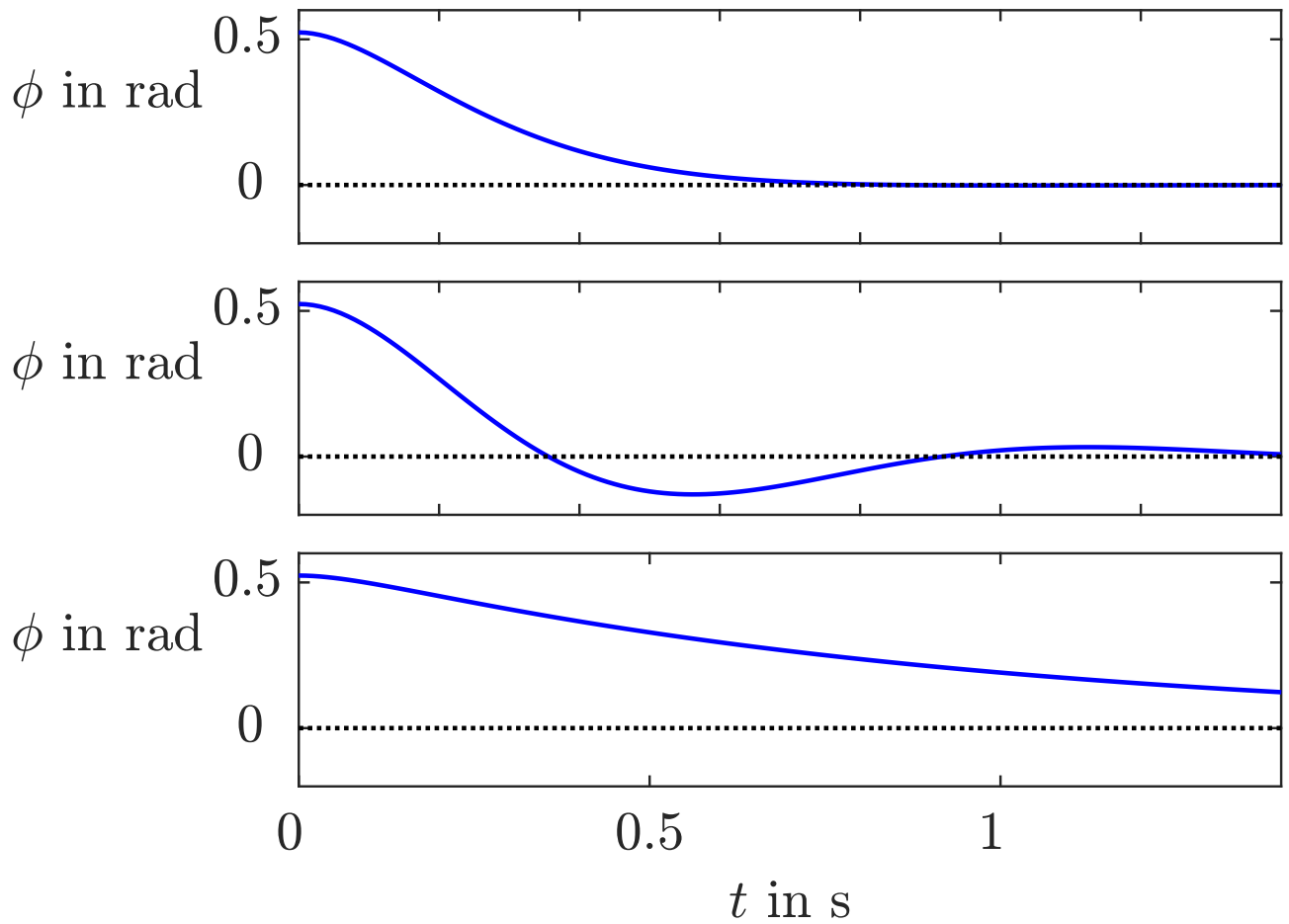


Abb. 7.5: Pendelwinkel bei drei verschiedenen Zustandsrückführungen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

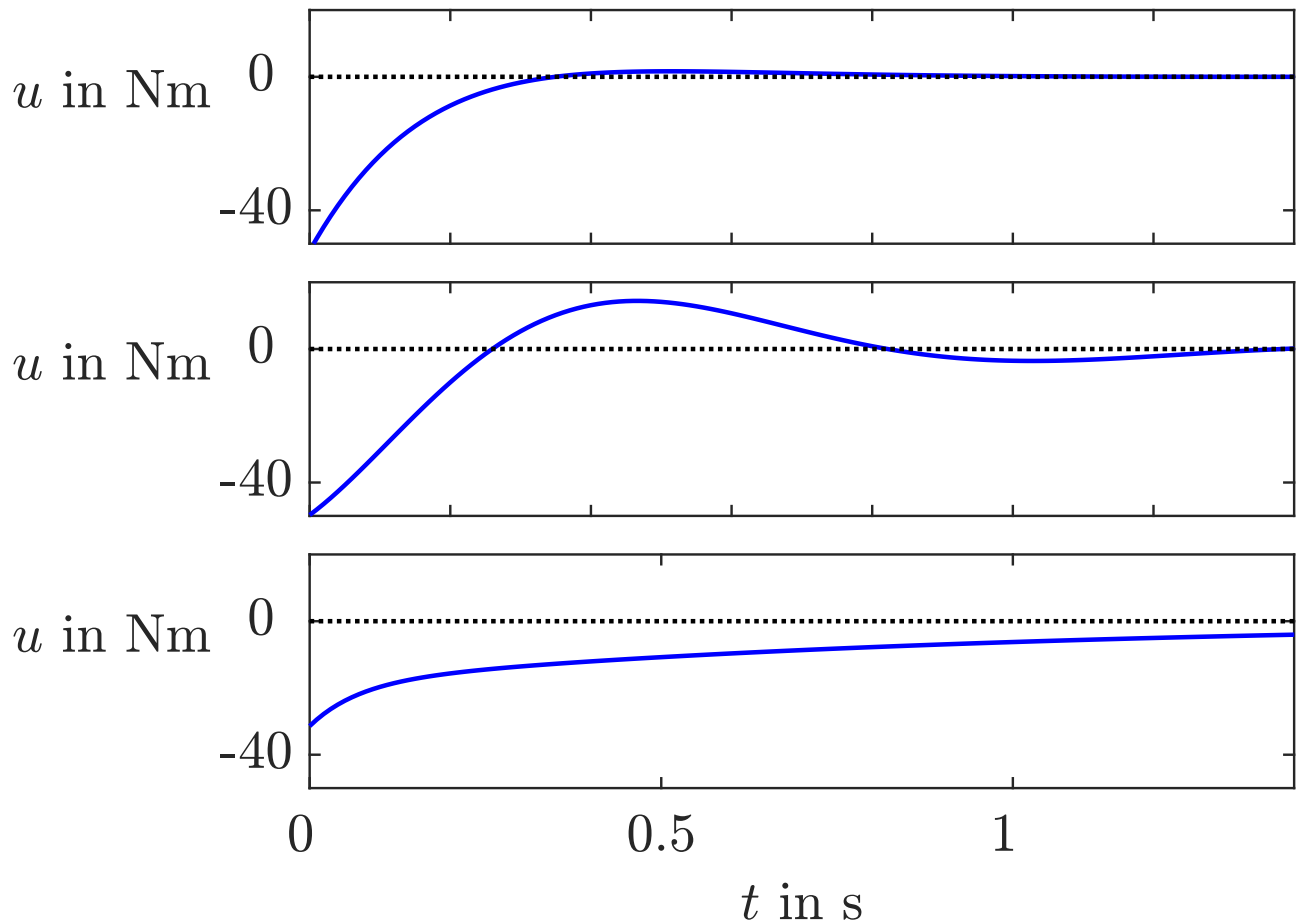


Abb. 7.5: Stellgröße bei drei verschiedenen Zustandsrückführungen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

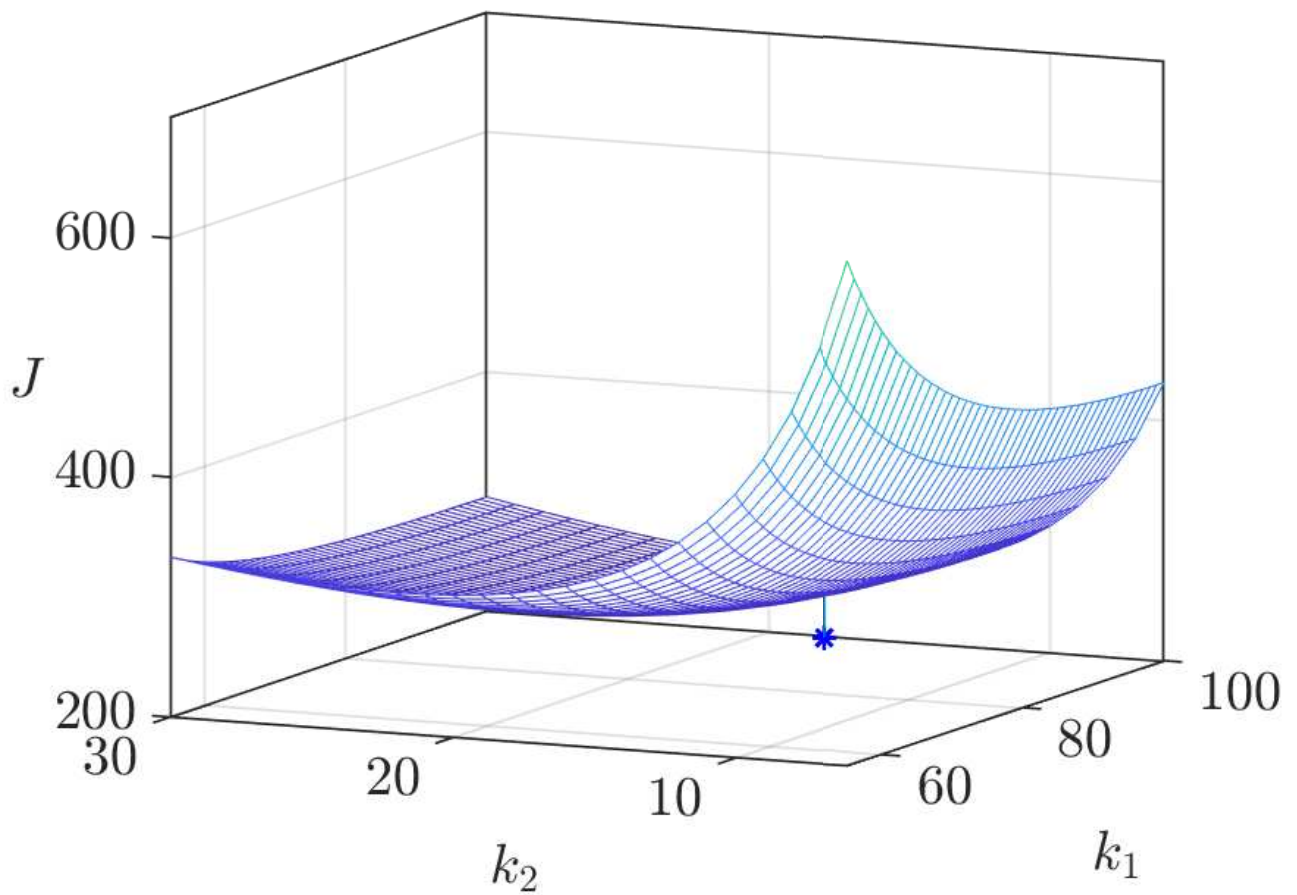


Abb. 7.6: Gütegebirge bei veränderter Anfangsbedingung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

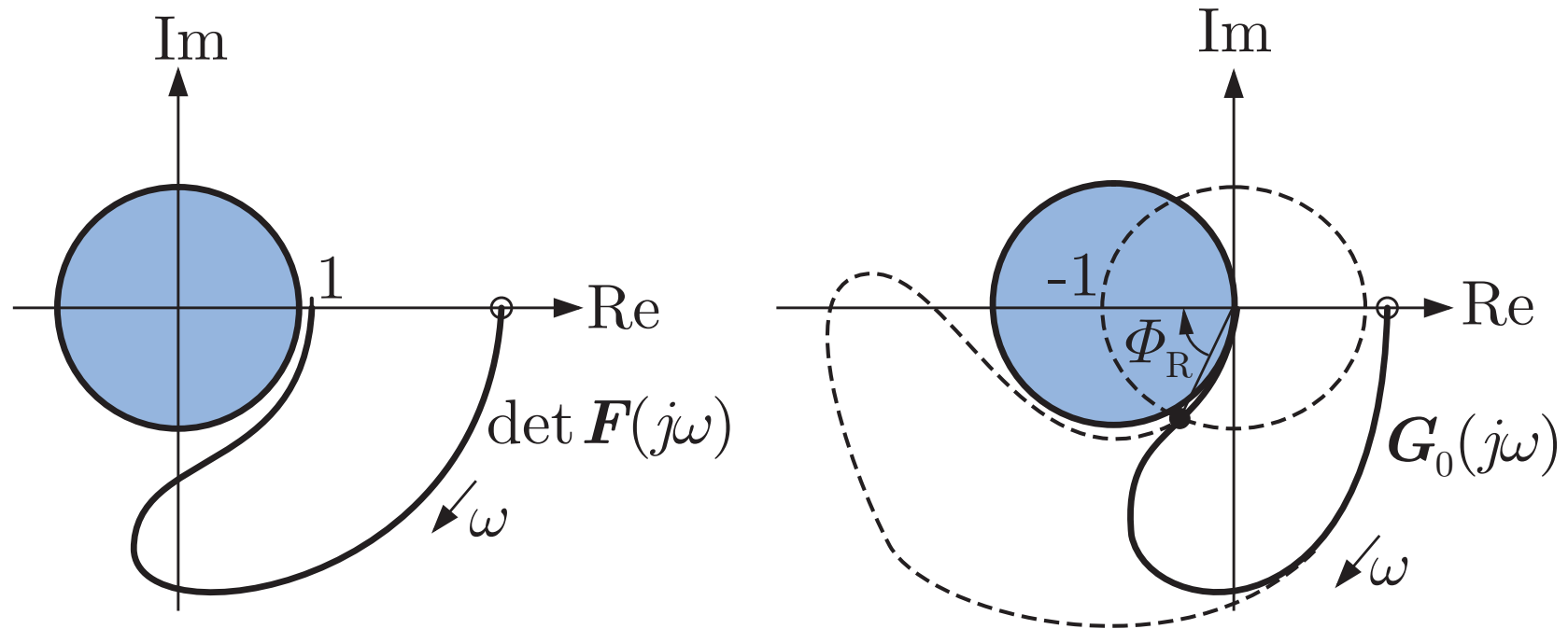


Abb. 7.7. Eigenschaft der Rückführdifferenzmatrix für Systeme mit mehreren Stellgrößen (links) bzw. einer Stellgröße (rechts)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

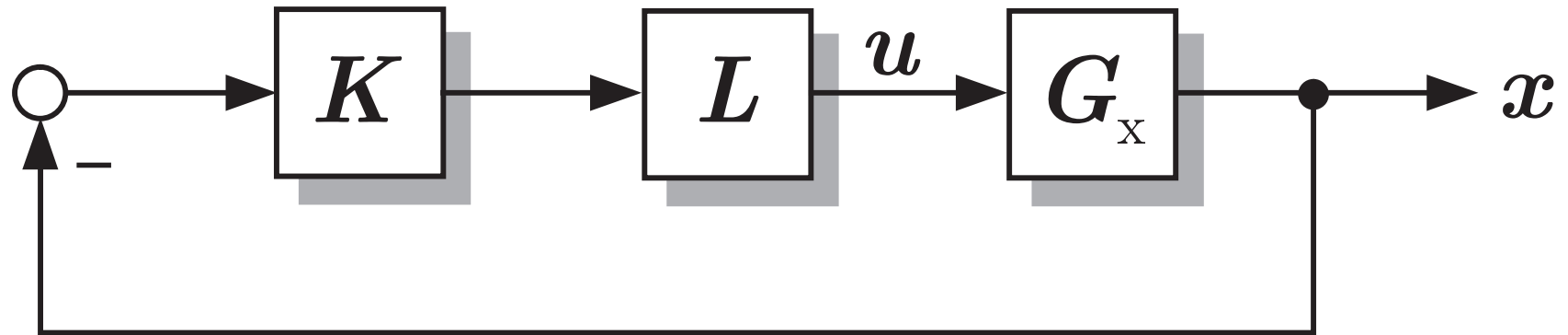


Abb. 7.8. Erweiterung des Regelkreises für die Robustheitsanalyse

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

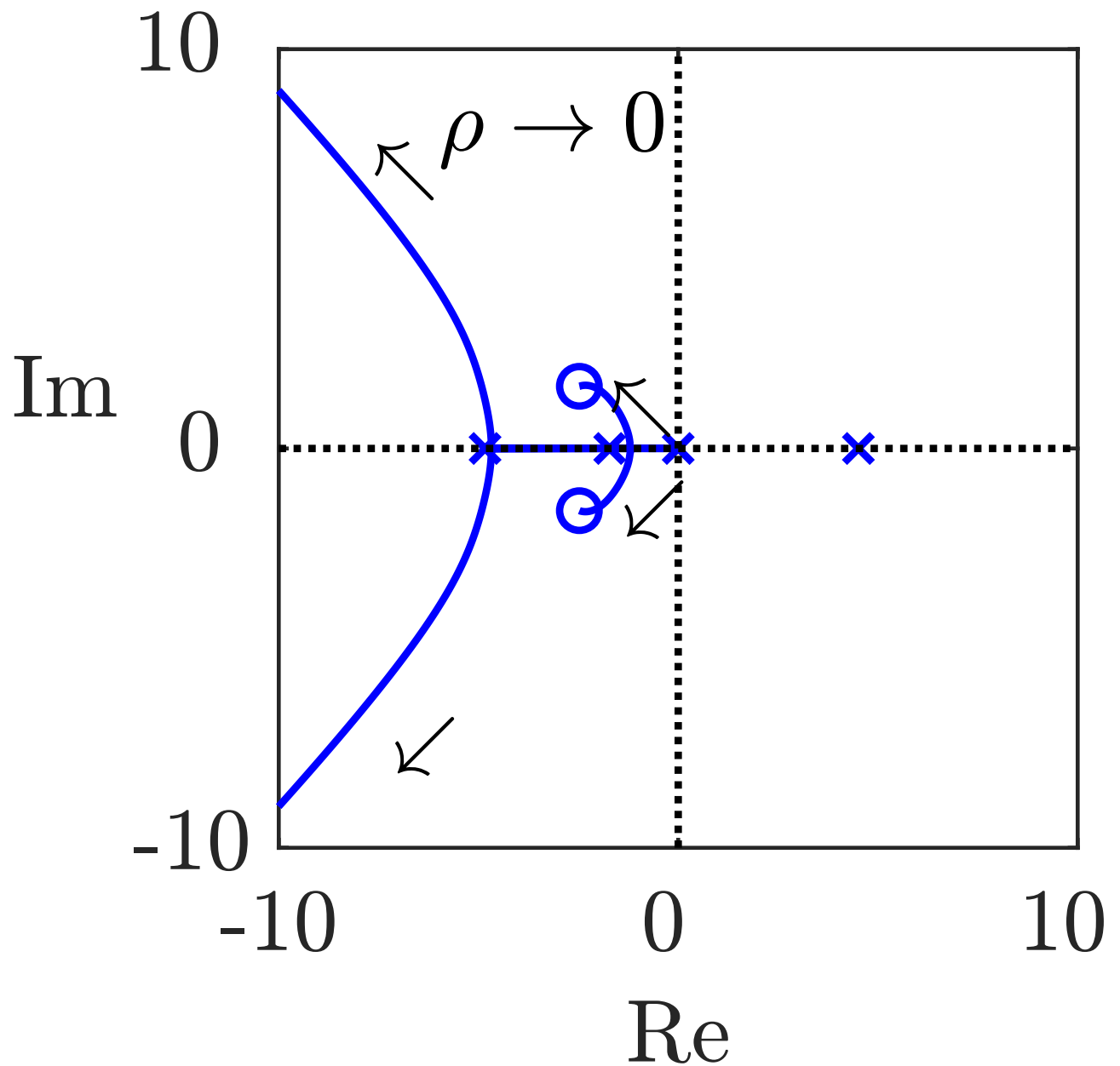


Abb. 7.9: Wurzelortskurve des geschlossenen Kreises bei Wichtungen mit $\rho \rightarrow 0$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

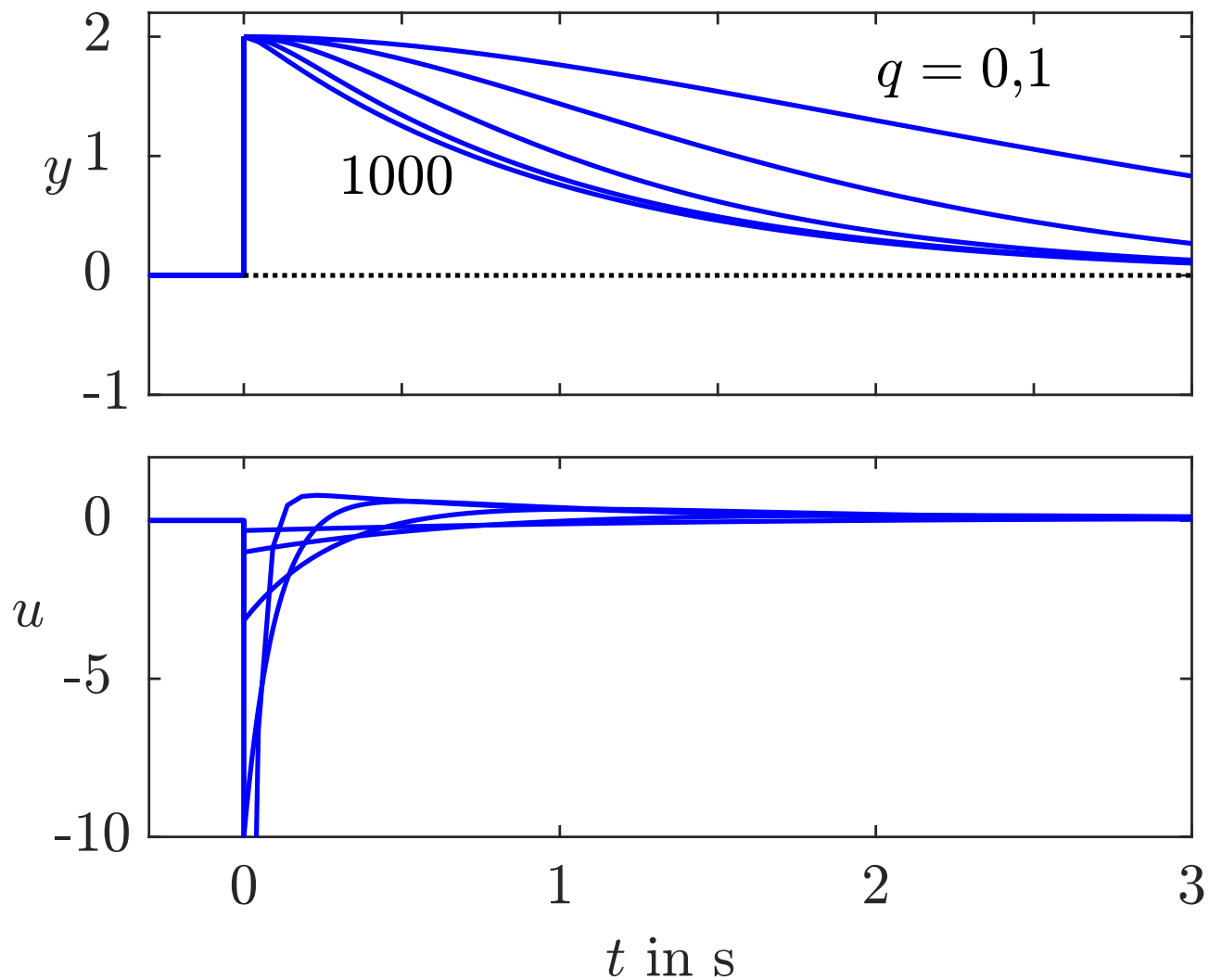


Abb. 7.10: Eigenbewegung des geregelten Flugzeugs bei veränderter Wichtungsmatrix

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

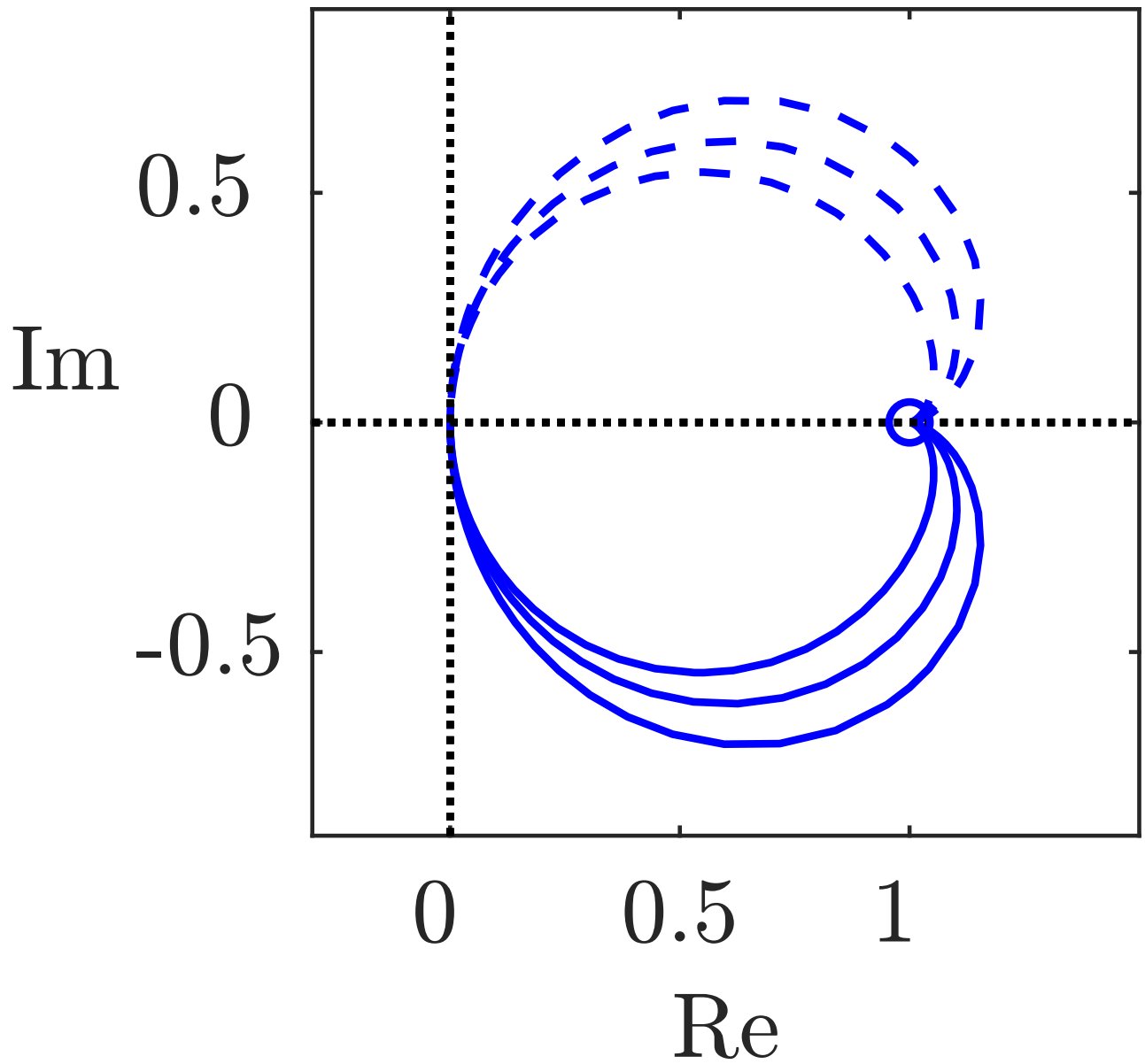


Abb. 7.11: Ortskurve der offenen Kette (Flugzeug und Optimalregler)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

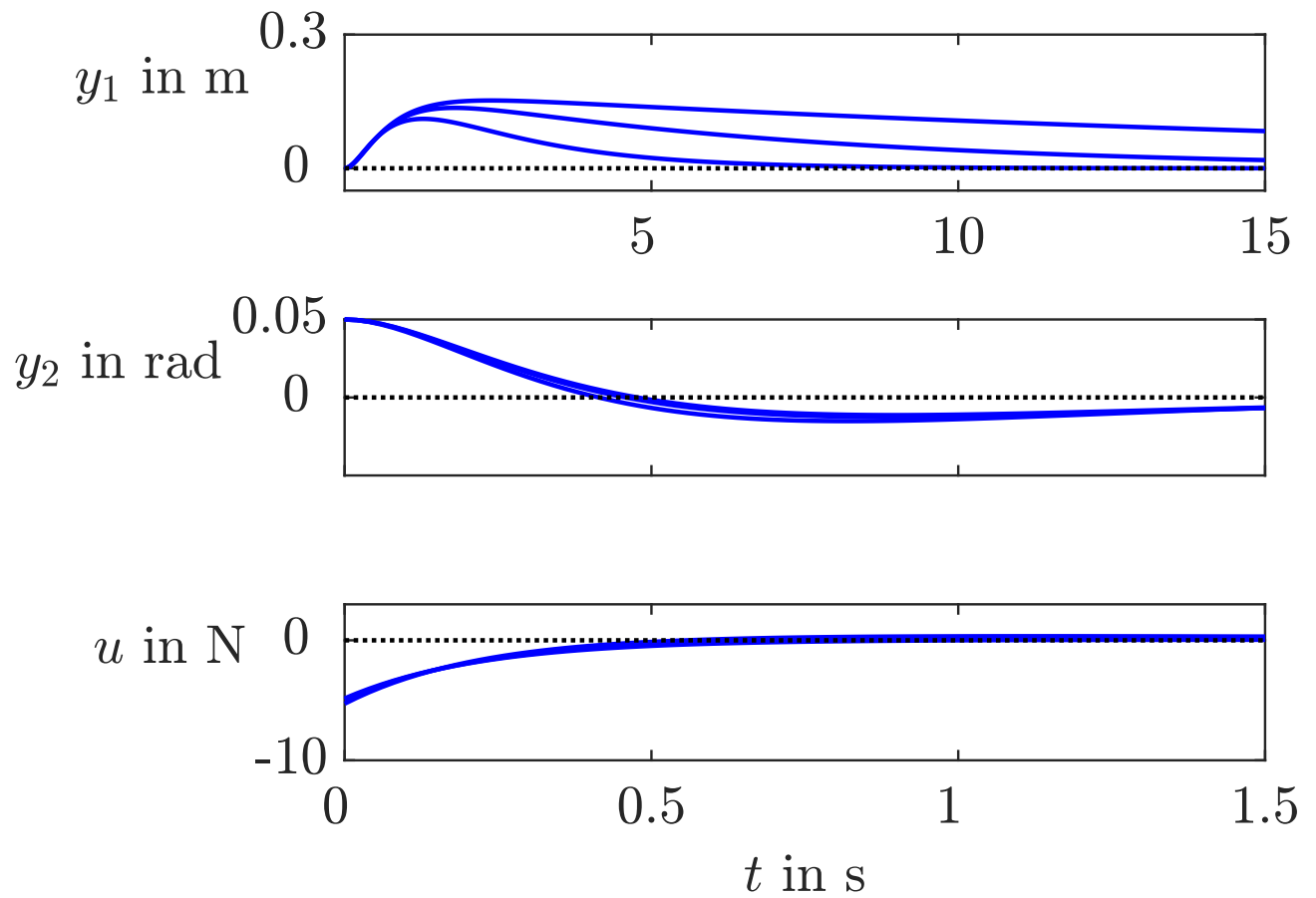


Abb. 7.12: Eigenbewegung des geregelten invertierten Pendels bei Verwendung der Wichtungsfaktoren $q = 0,1, 1$ und 10

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

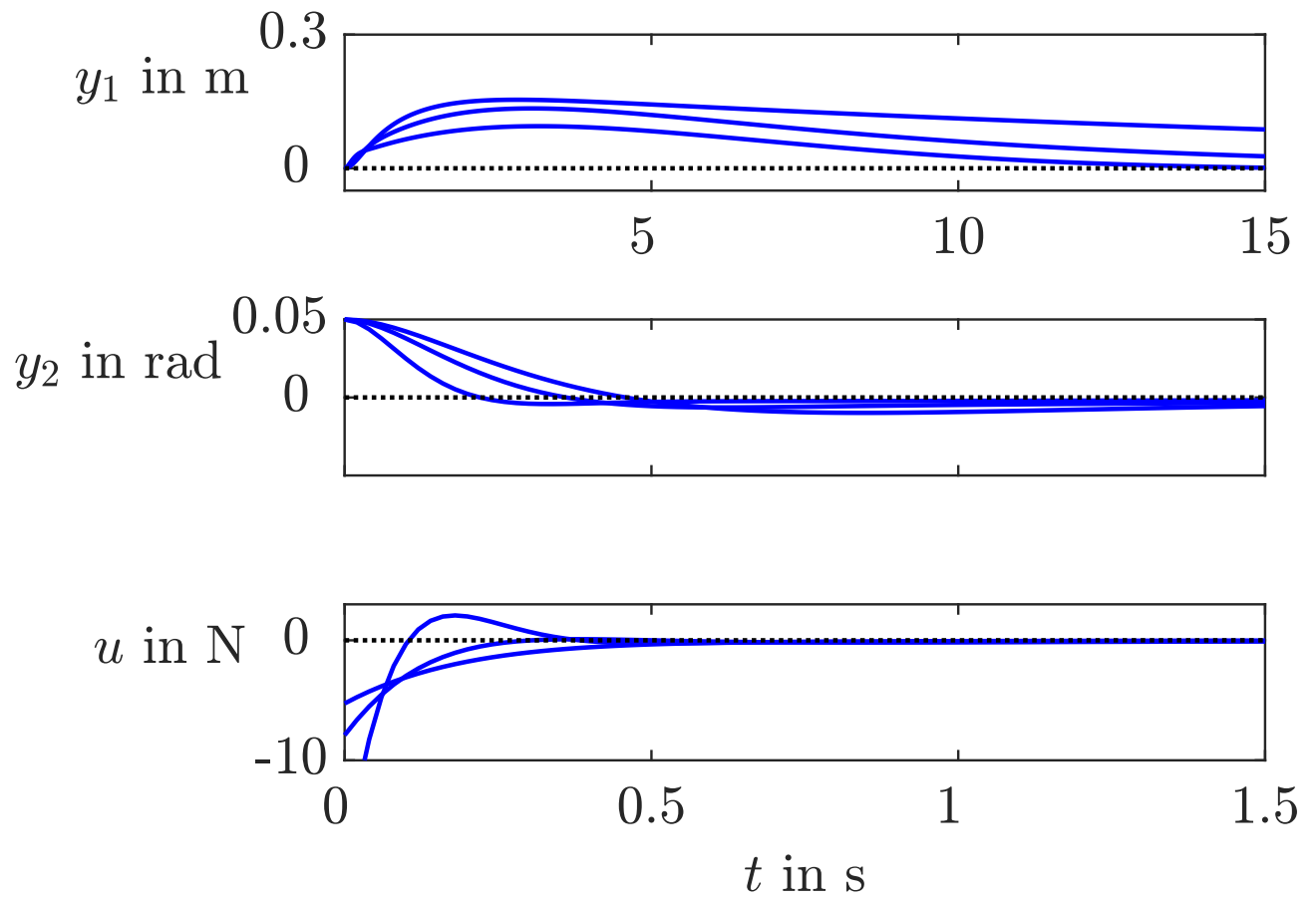


Abb. 7.13: Eigenbewegung bei Verwendung der Wichtungsmatrix (7.35)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

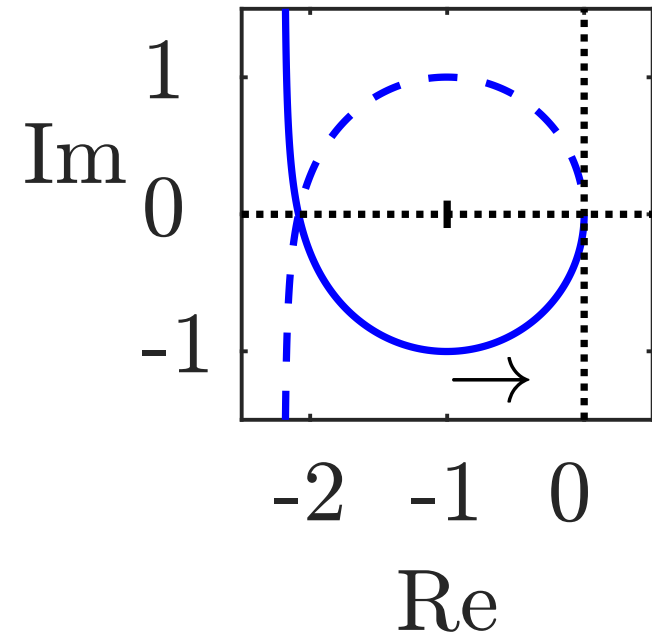
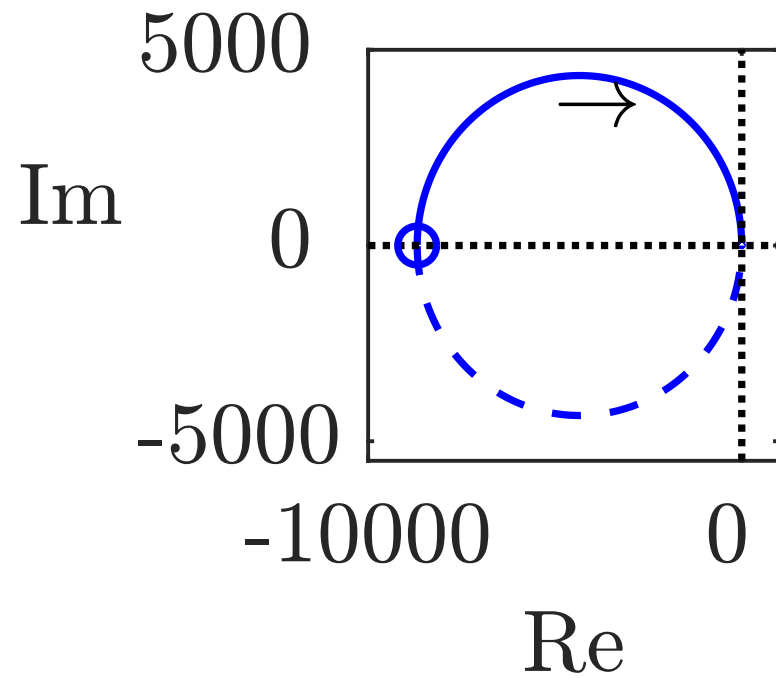


Abb. 7.14. Ortskurve der offenen Kette des invertierten Pendels

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

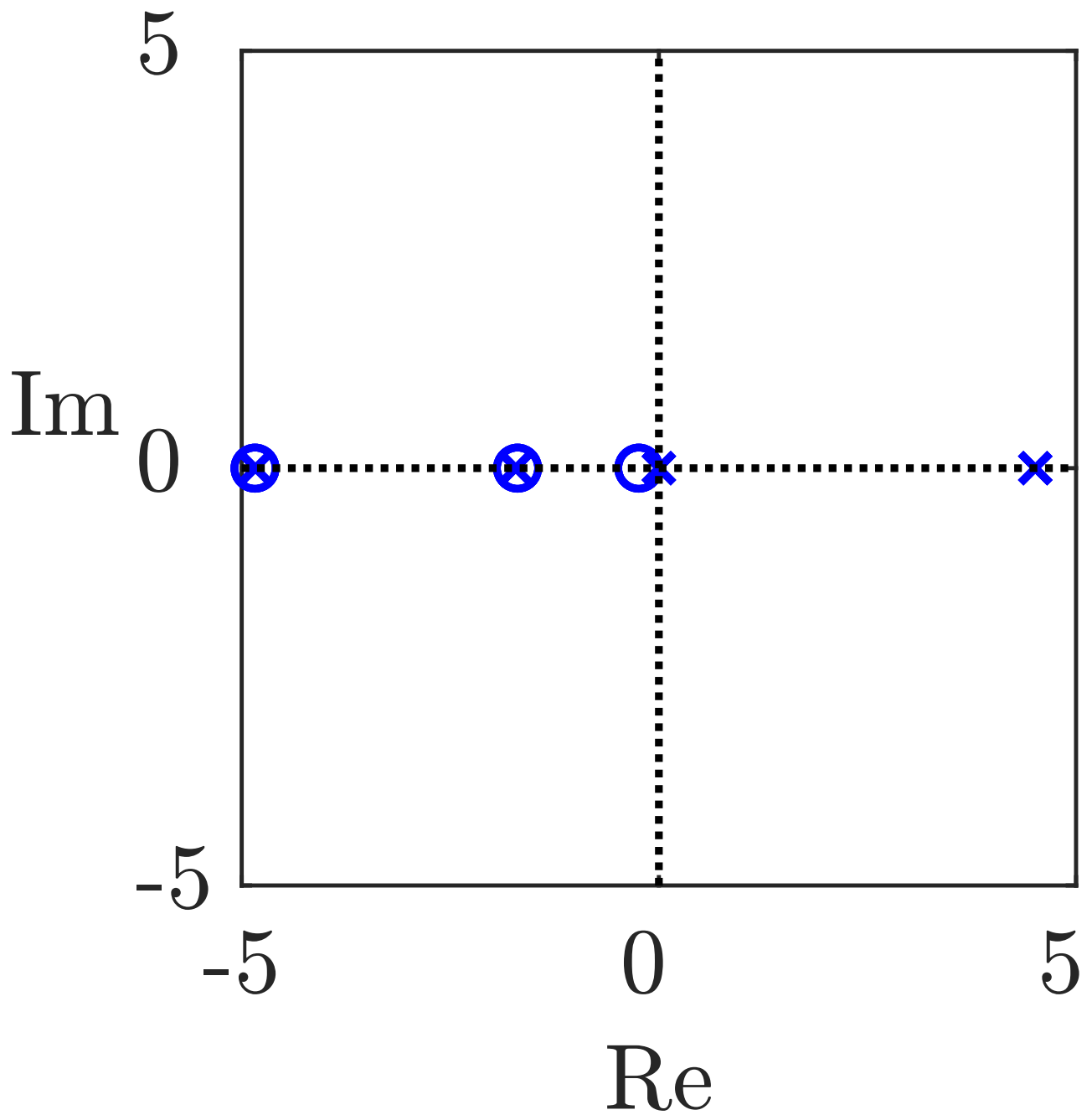


Abb. 7.15: PN-Bild der offenen Kette des Pendels mit Optimalregler

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

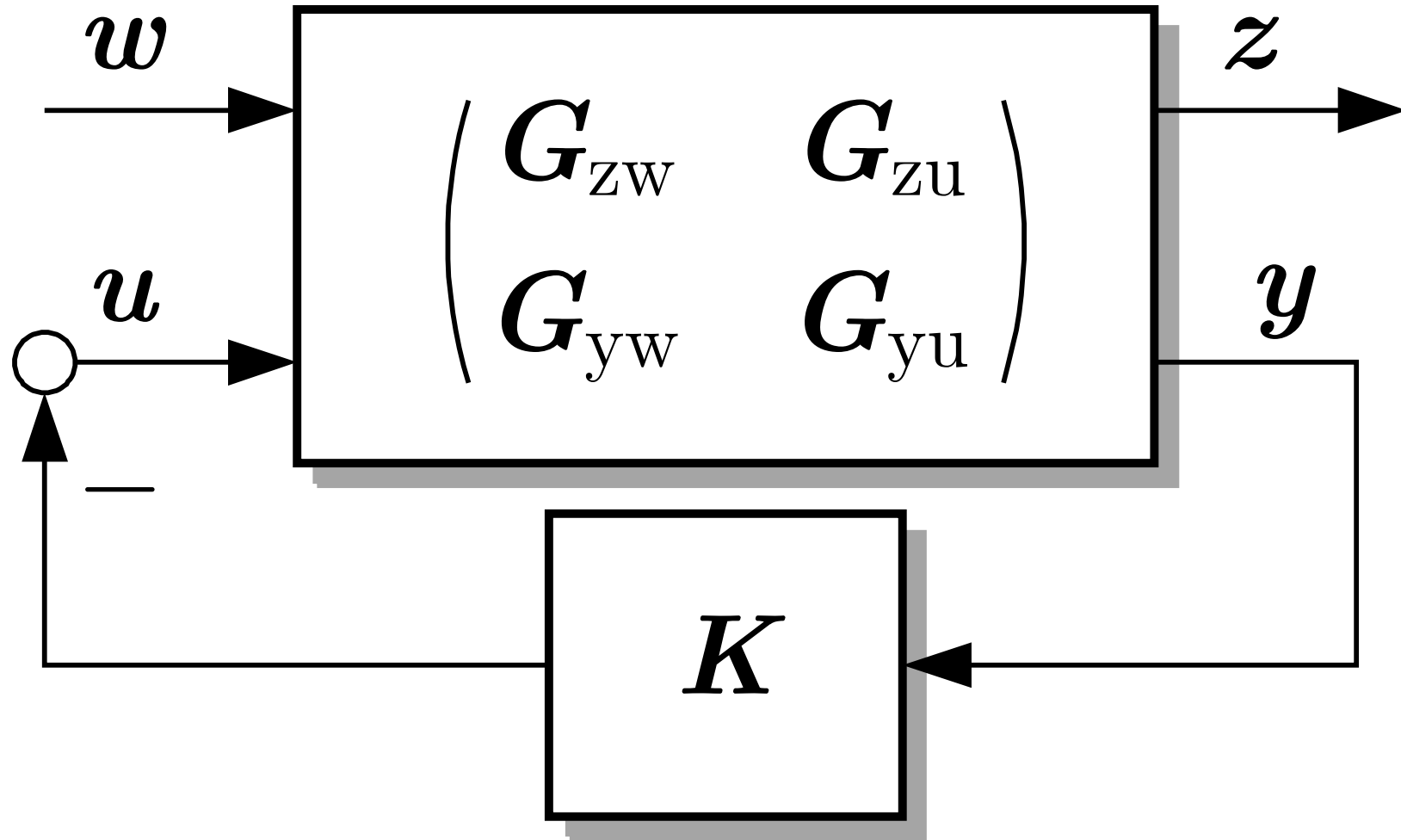


Abb. 7.16. H^∞ -Entwurfsproblem

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

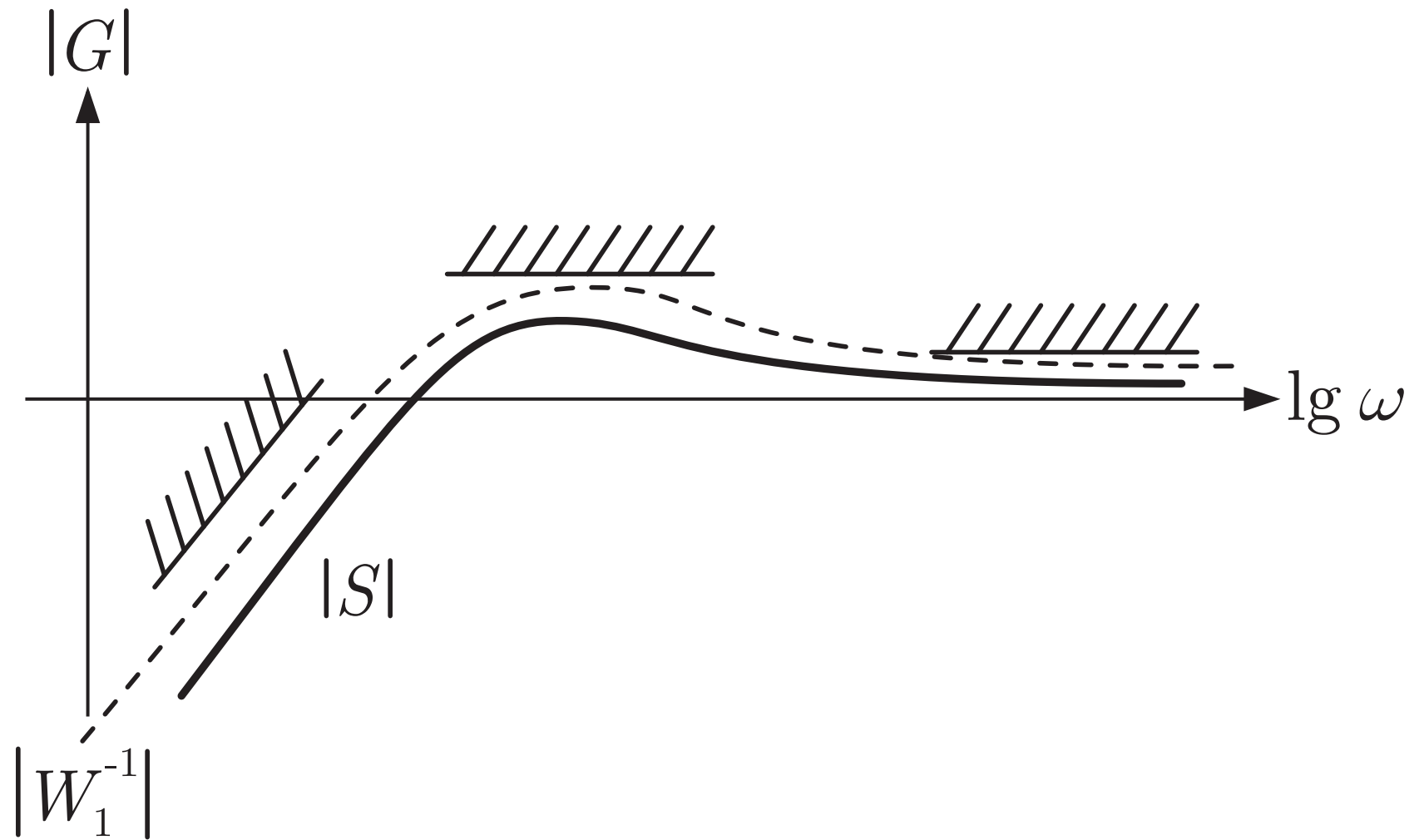


Abb. 7.17. Wahl der Wichtungen beim H^∞ -Entwurf

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

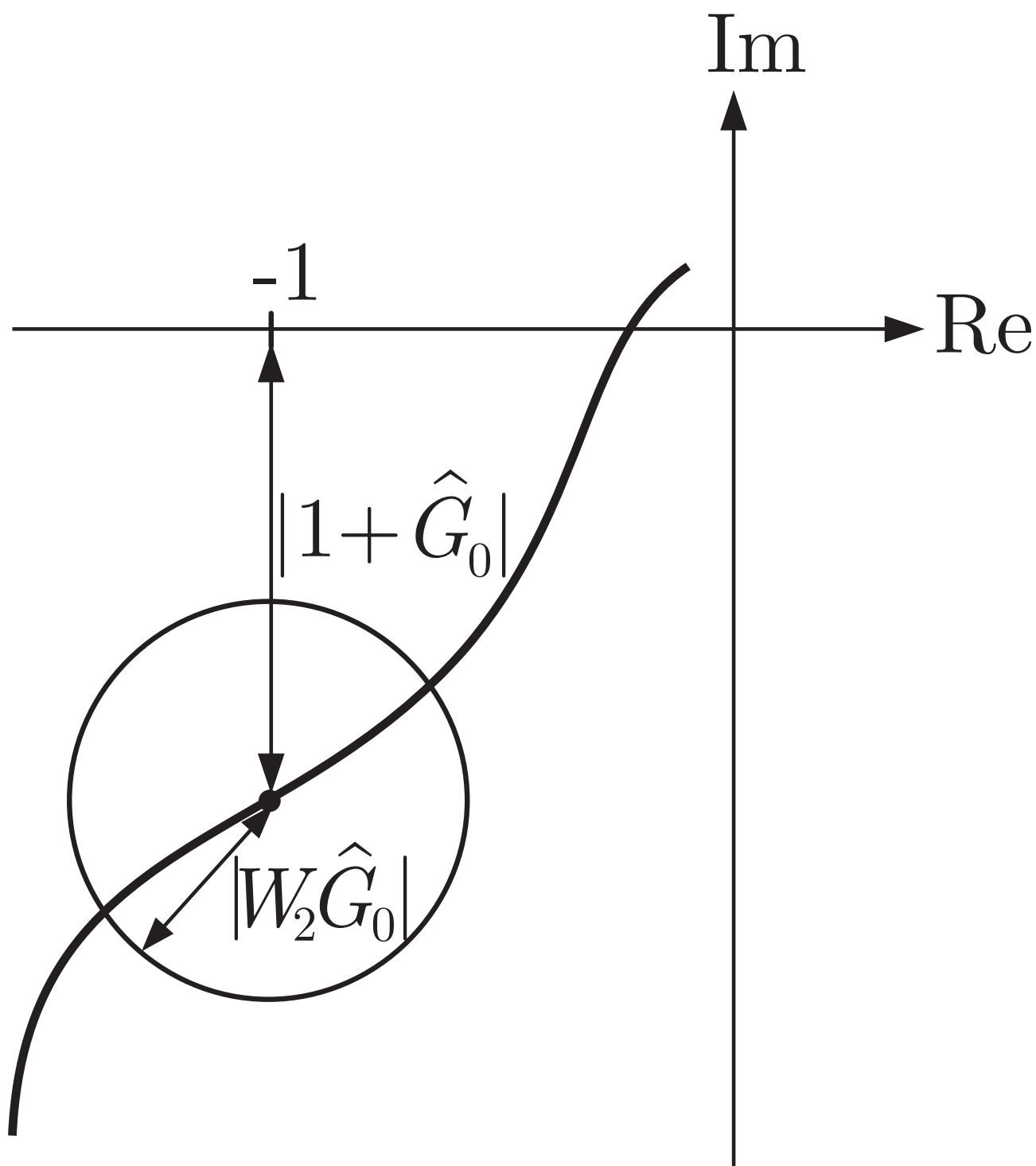


Abb. 7.18: Robustheitsforderung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

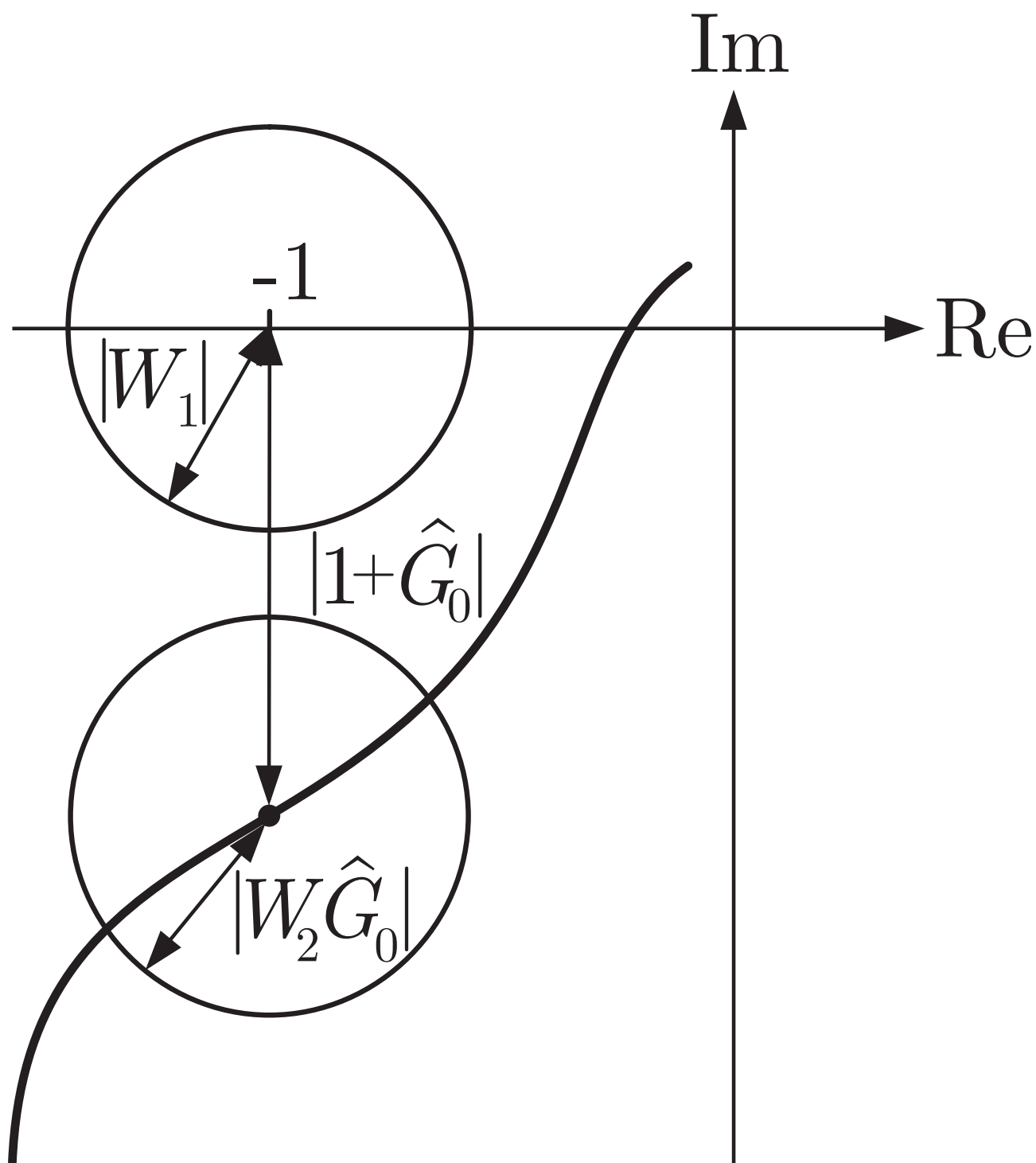


Abb. 7.18: Forderung nach Robustheit und gutem E/A-Verhalten

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

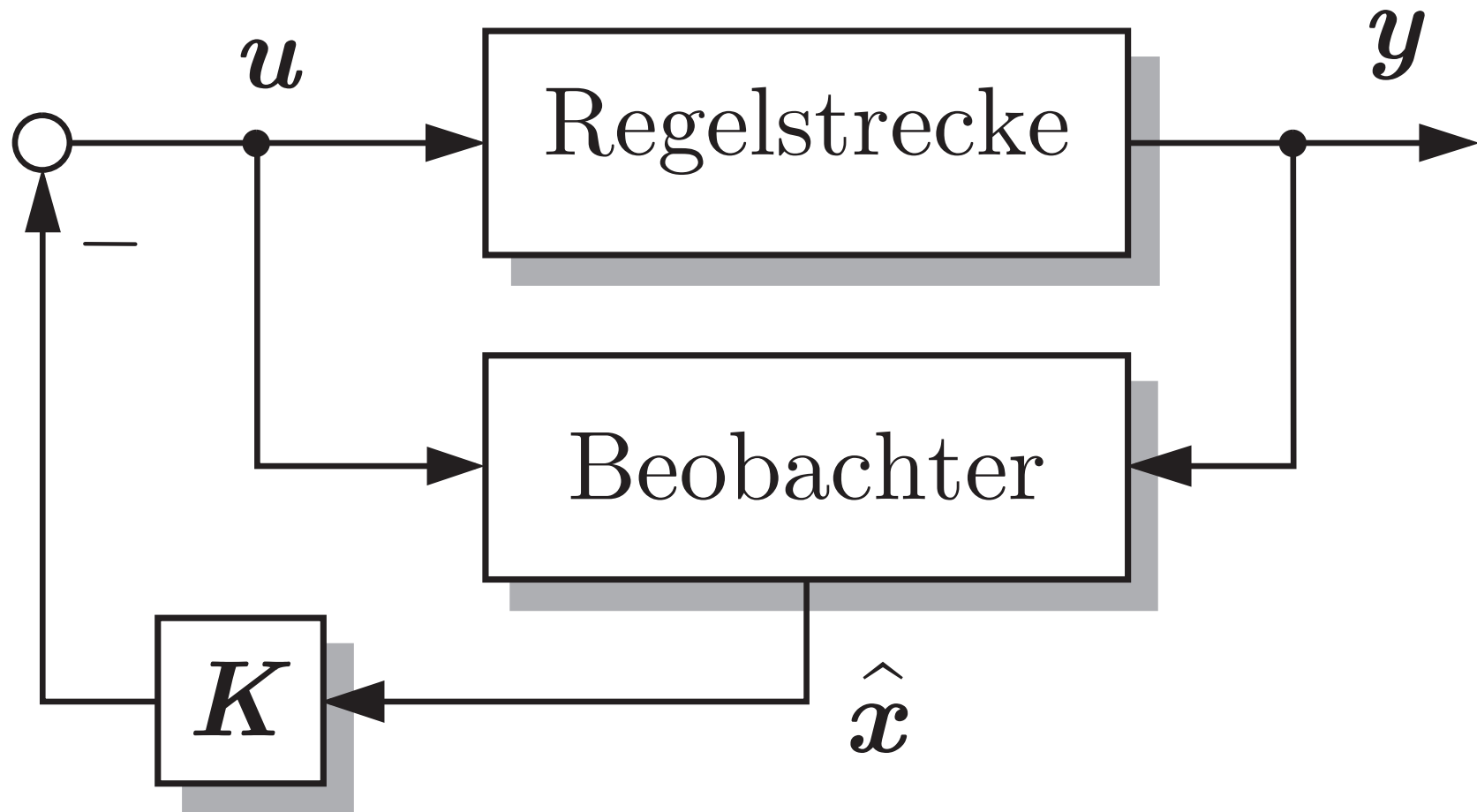


Abb. 8.1. Realisierung einer Zustandsrückführung mit Hilfe eines Zustandsbeobachters

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

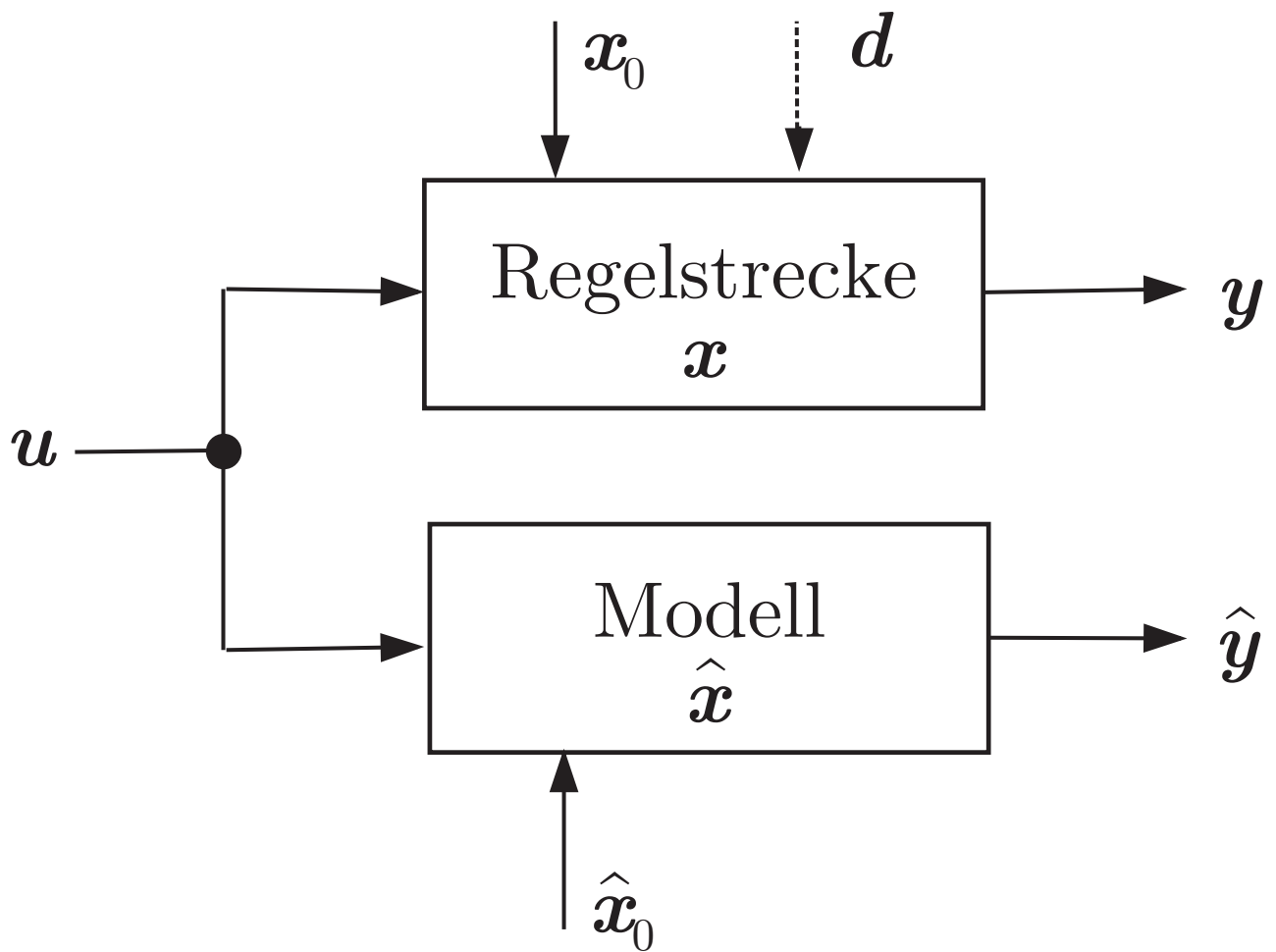


Abb. 8.2: Parallelschaltung von Regelstrecke und Regelstreckenmodell

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

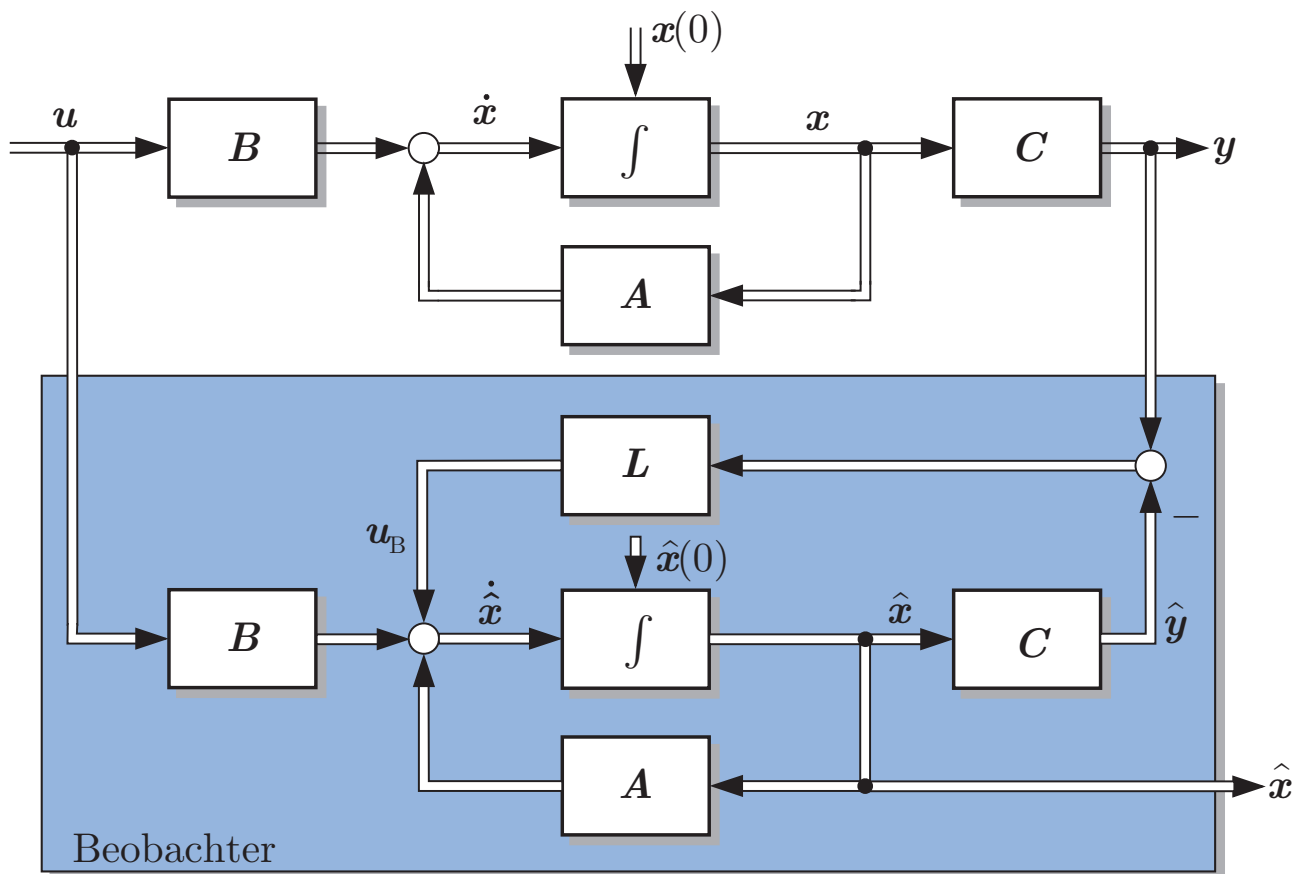


Abb. 8.3: Struktur des Luenbergerbeobachters

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

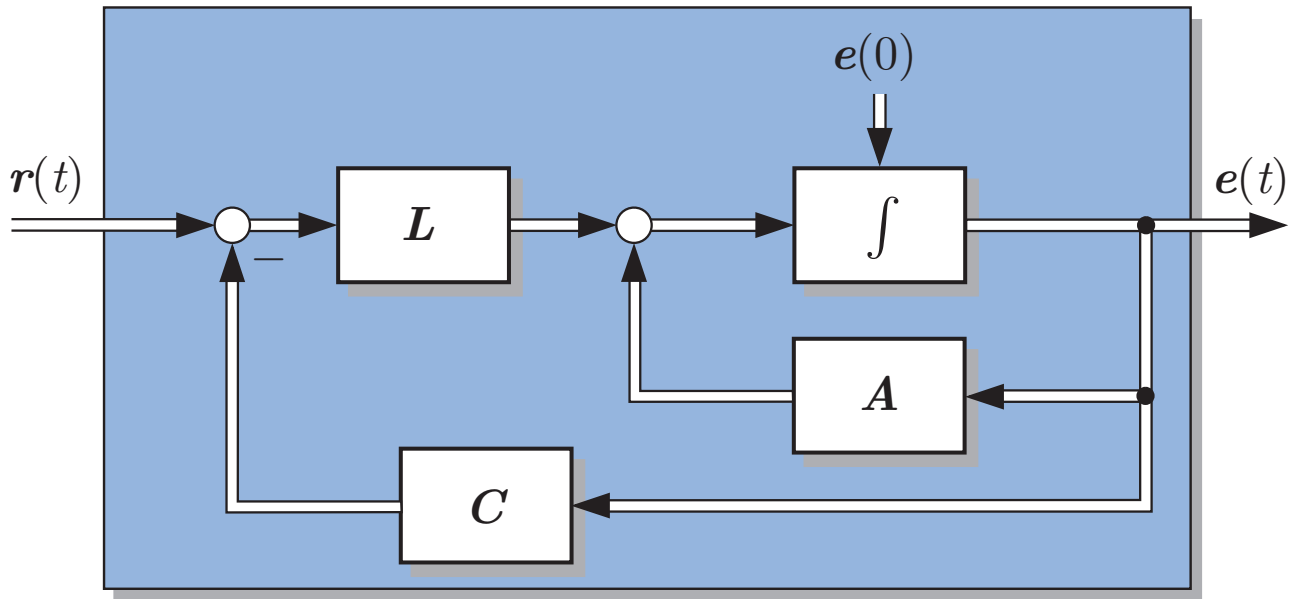


Abb. 8.4: Strukturbild zur Fehlergleichung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

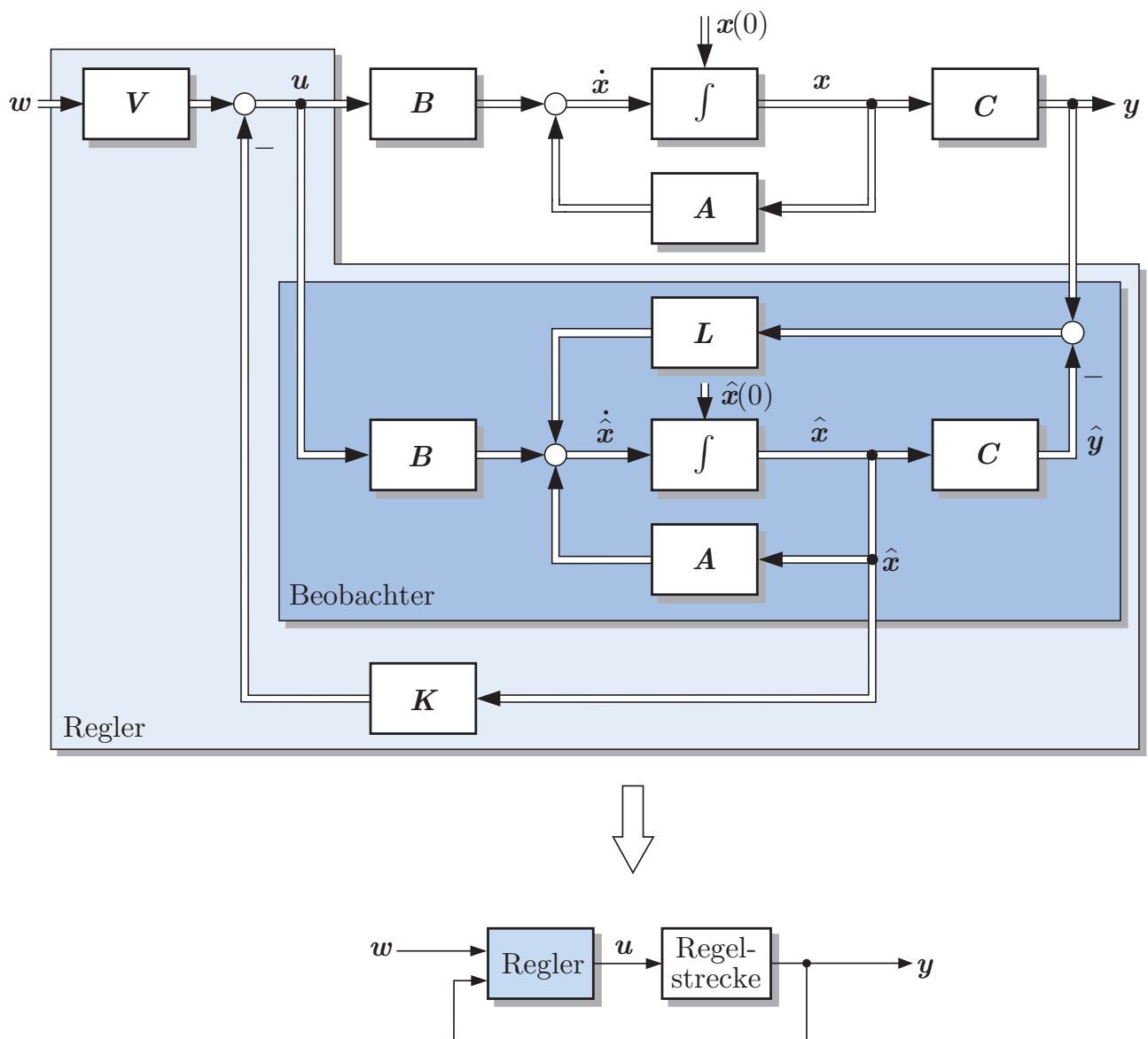


Abb. 8.5: Realisierung einer Zustandsrückführung unter Verwendung eines Beobachters

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

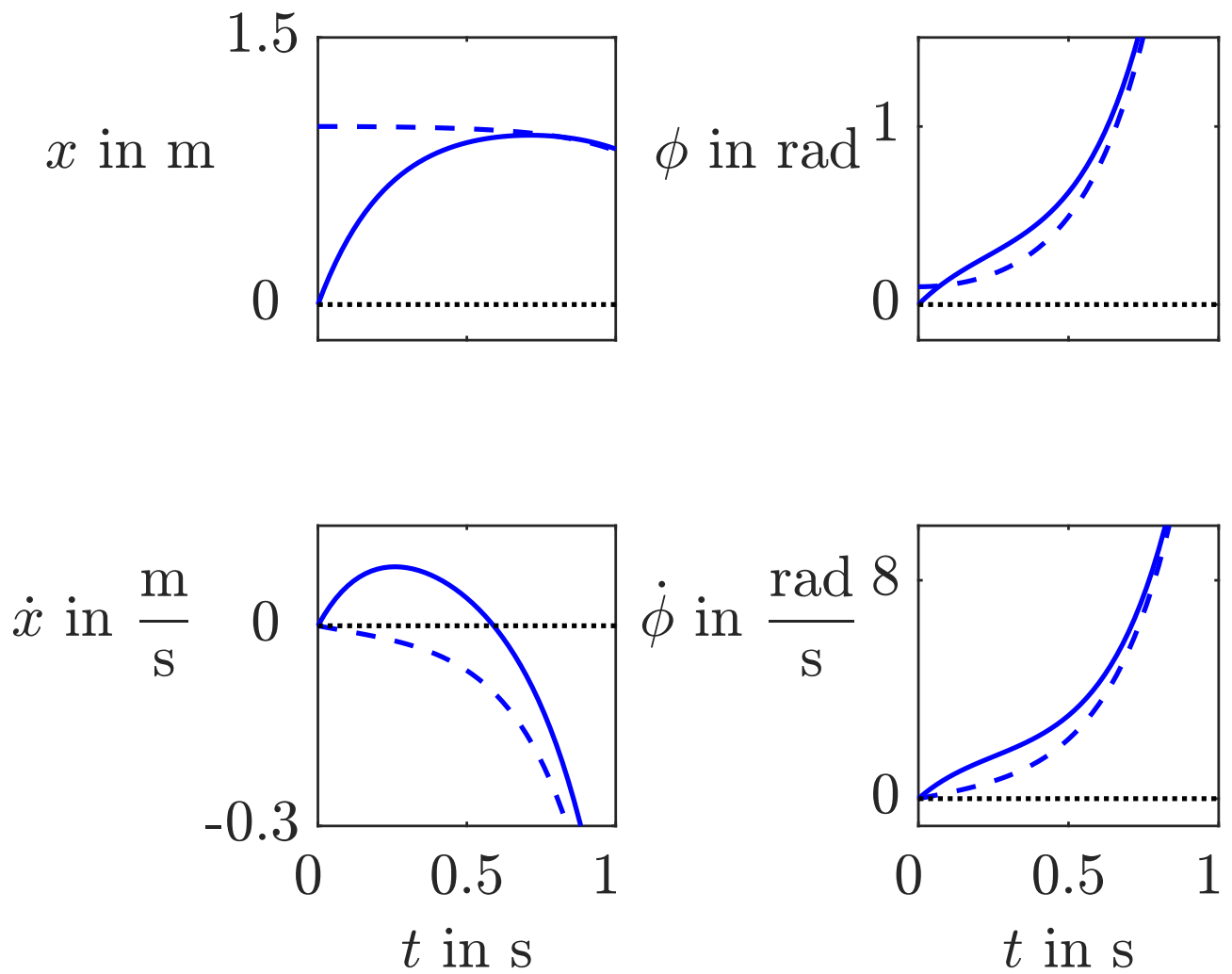


Abb. 8.6: Eigenbewegung des Pendels - - und des Beobachters –

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

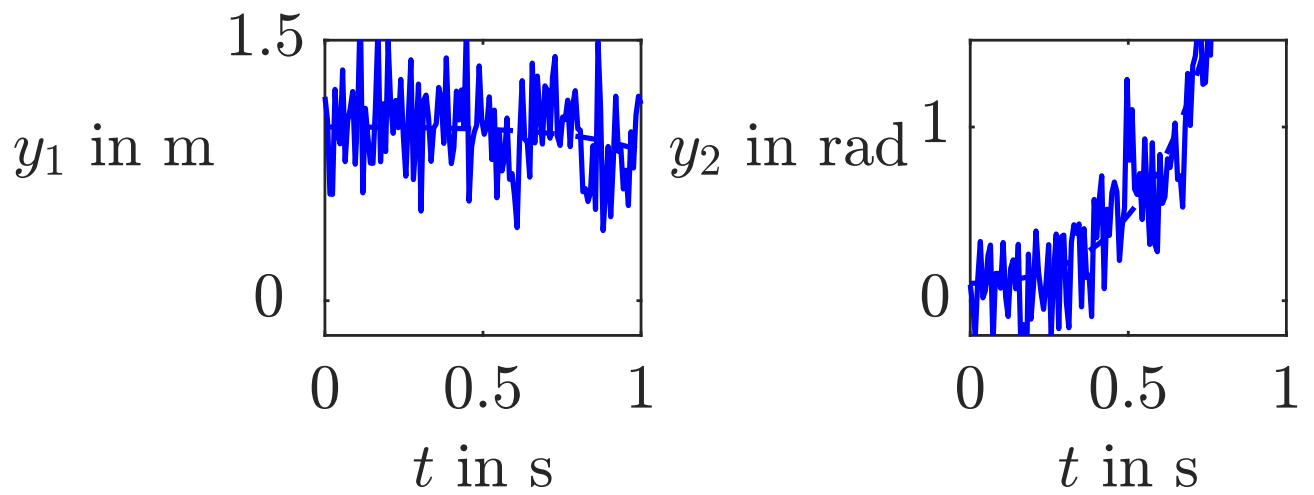


Abb. 8.7: Gestörte Messgrößen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

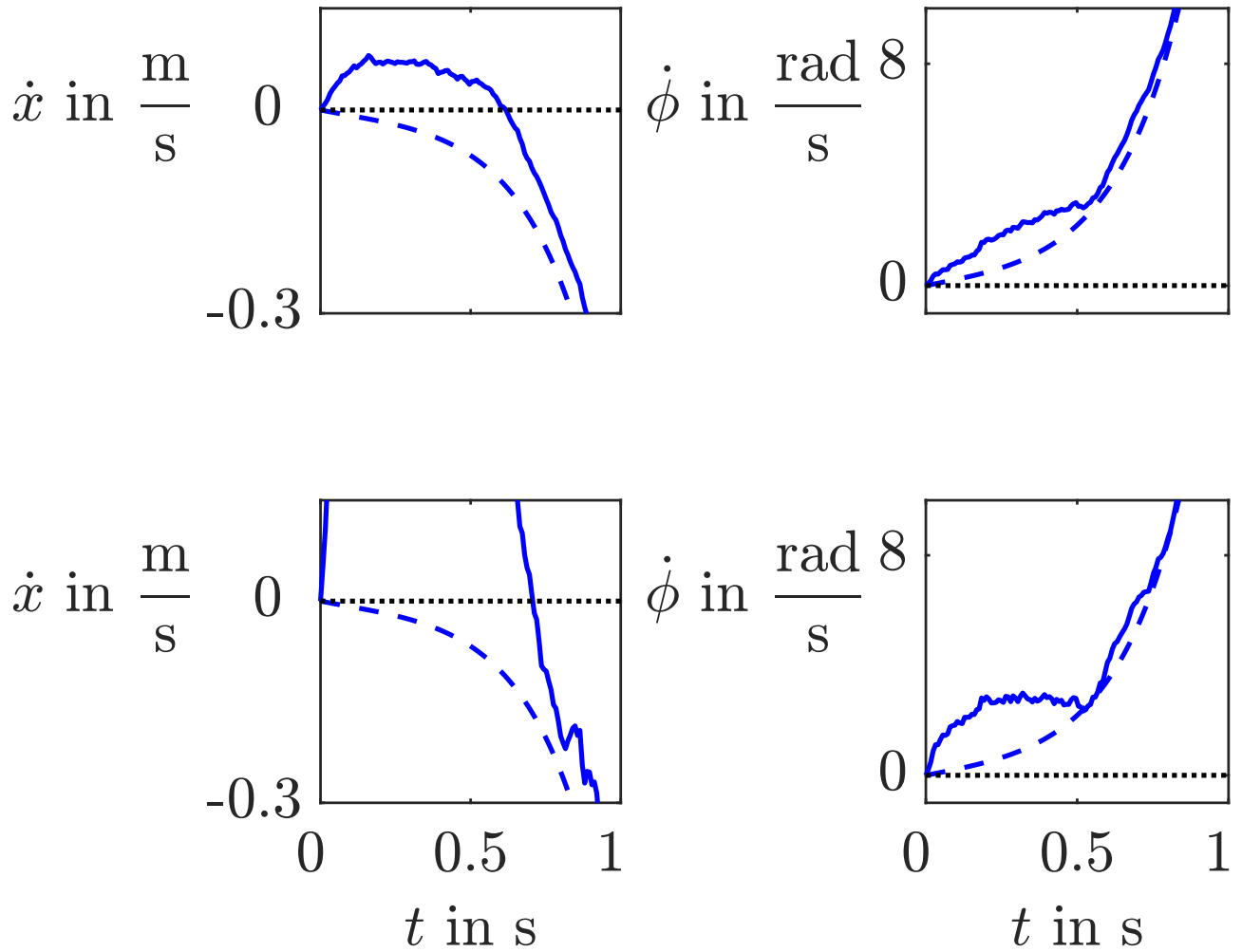
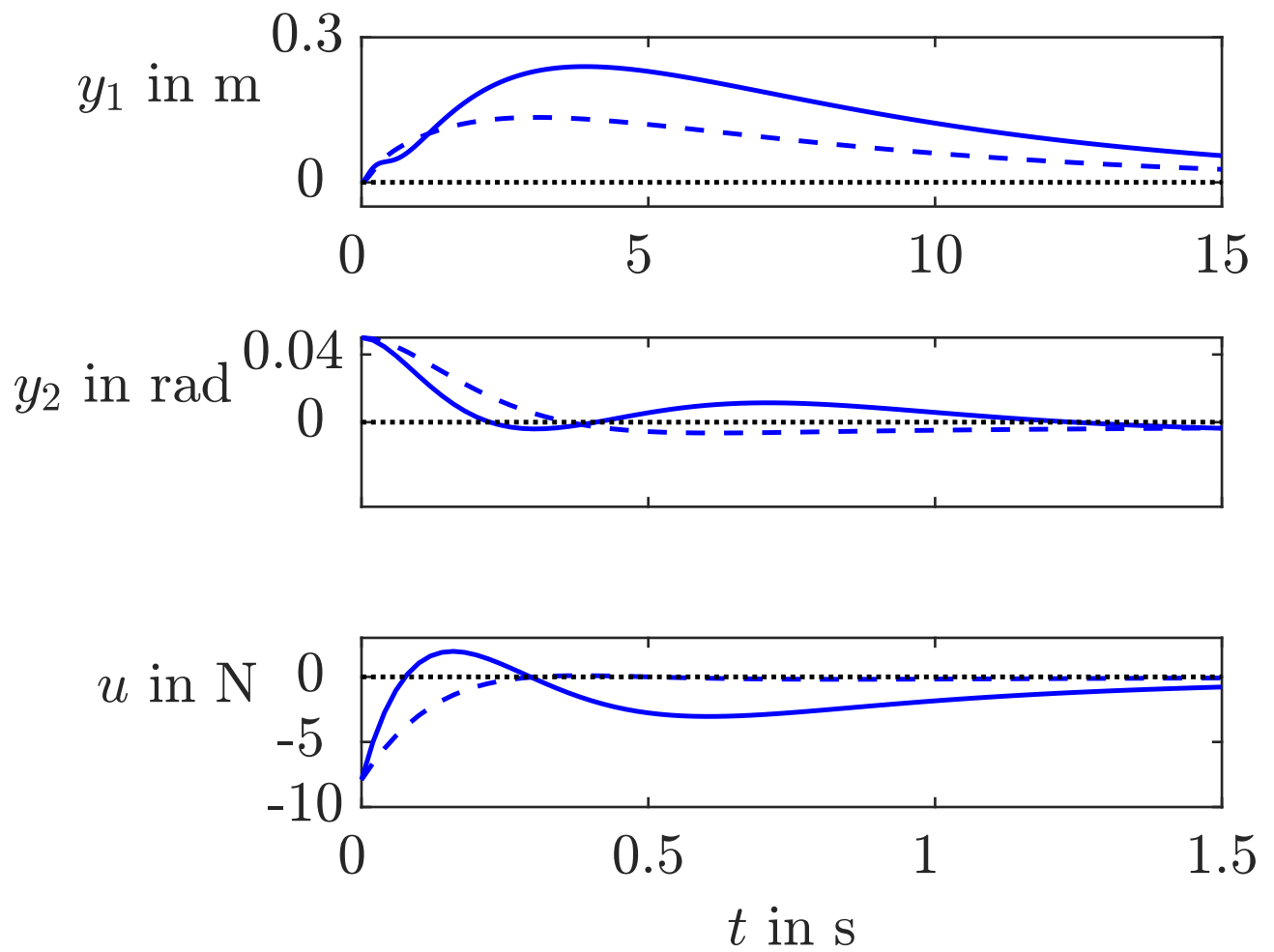


Abb. 8.8: Beobachtungsergebnis bei stochastisch gestörter Messung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



**Abb. 8.9: Eigenbewegung des geregelten Pendels ohne -
- und mit — Beobachter**

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

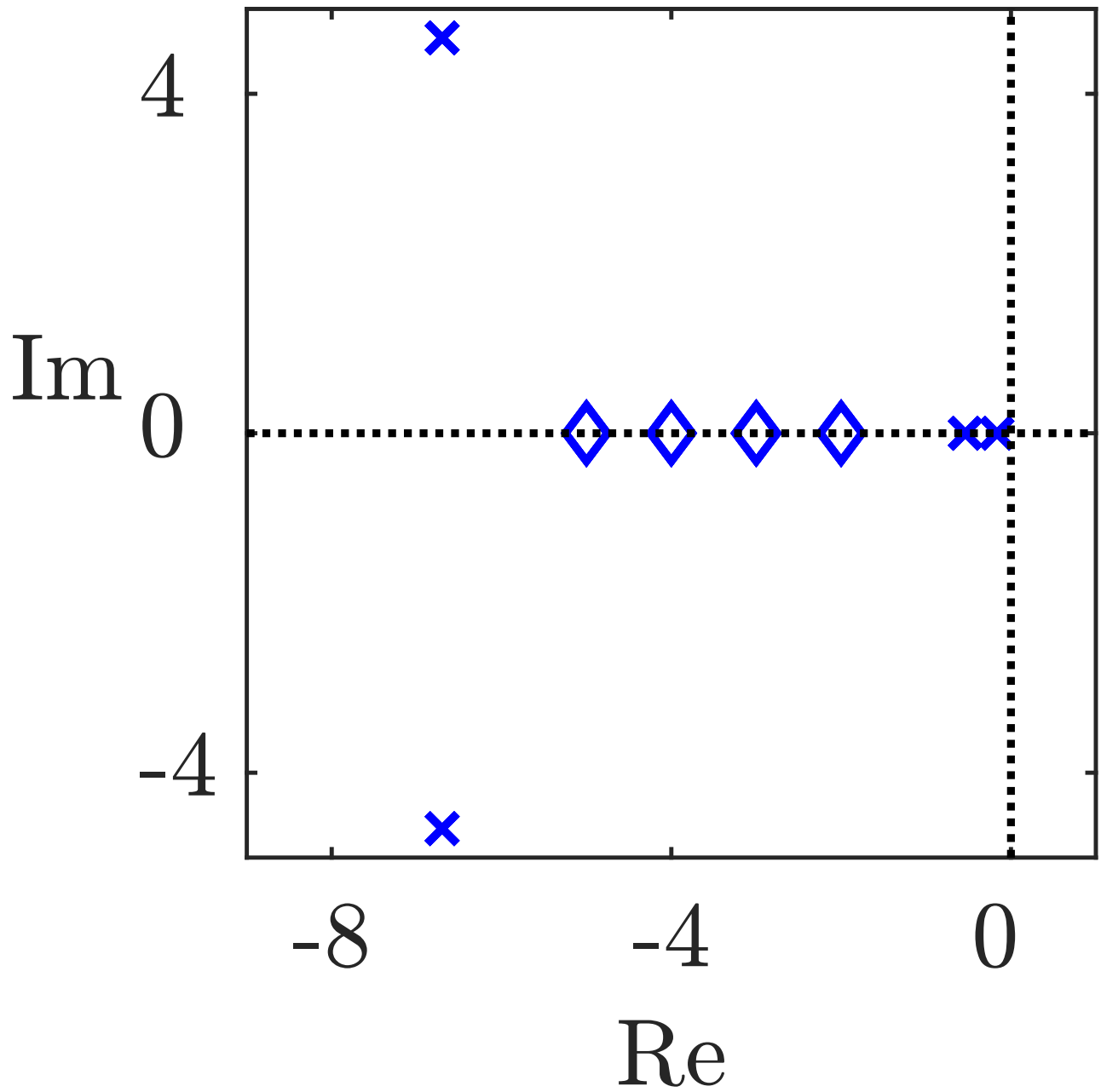
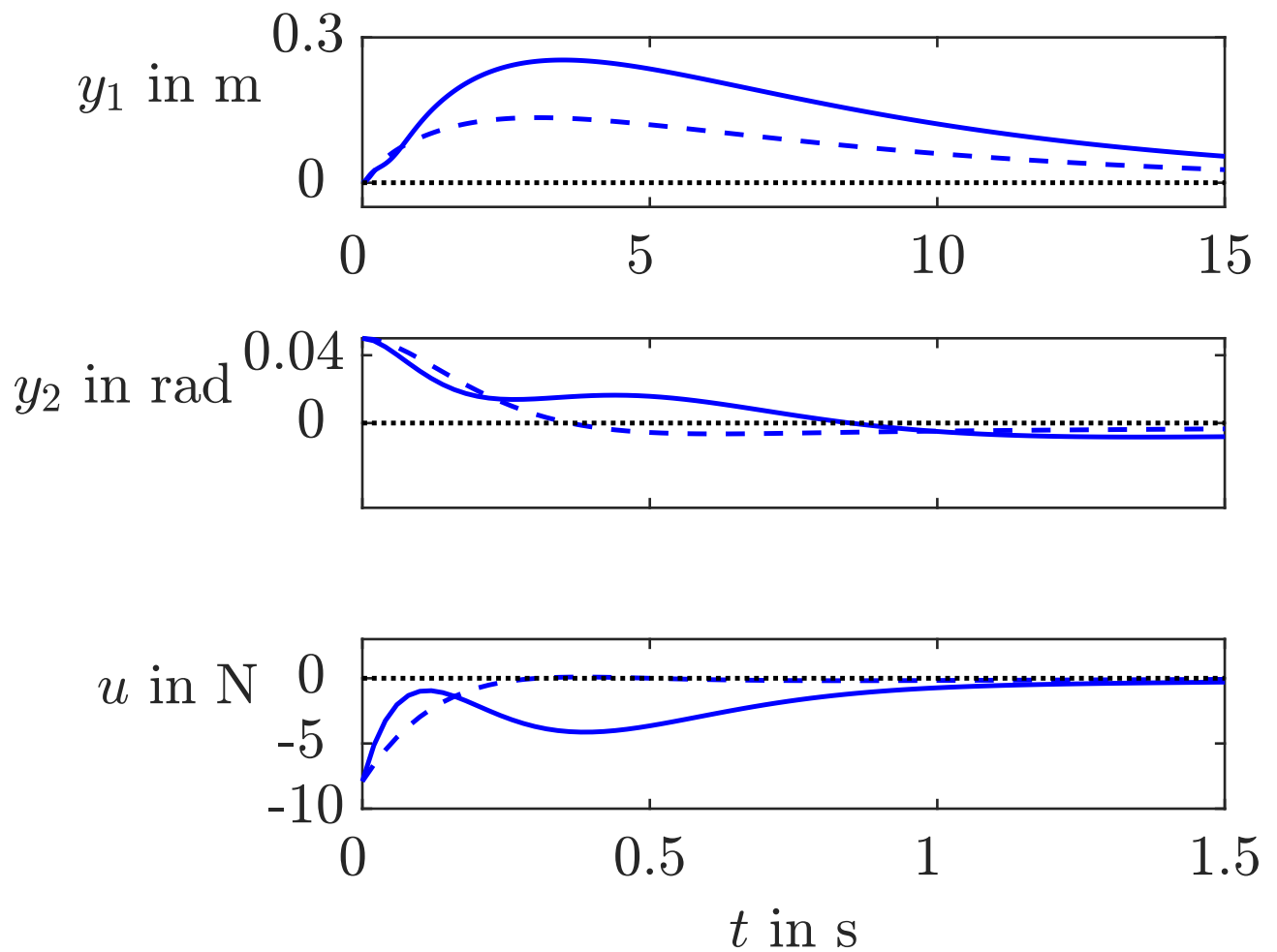


Abb. 8.10: Eigenwerte des Regelkreises mit Beobachter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



**Abb. 8.11: Eigenbewegung des geregelten Pendels ohne -
- und mit — Beobachter bei veränderten
Beobachtereigenwerten**

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

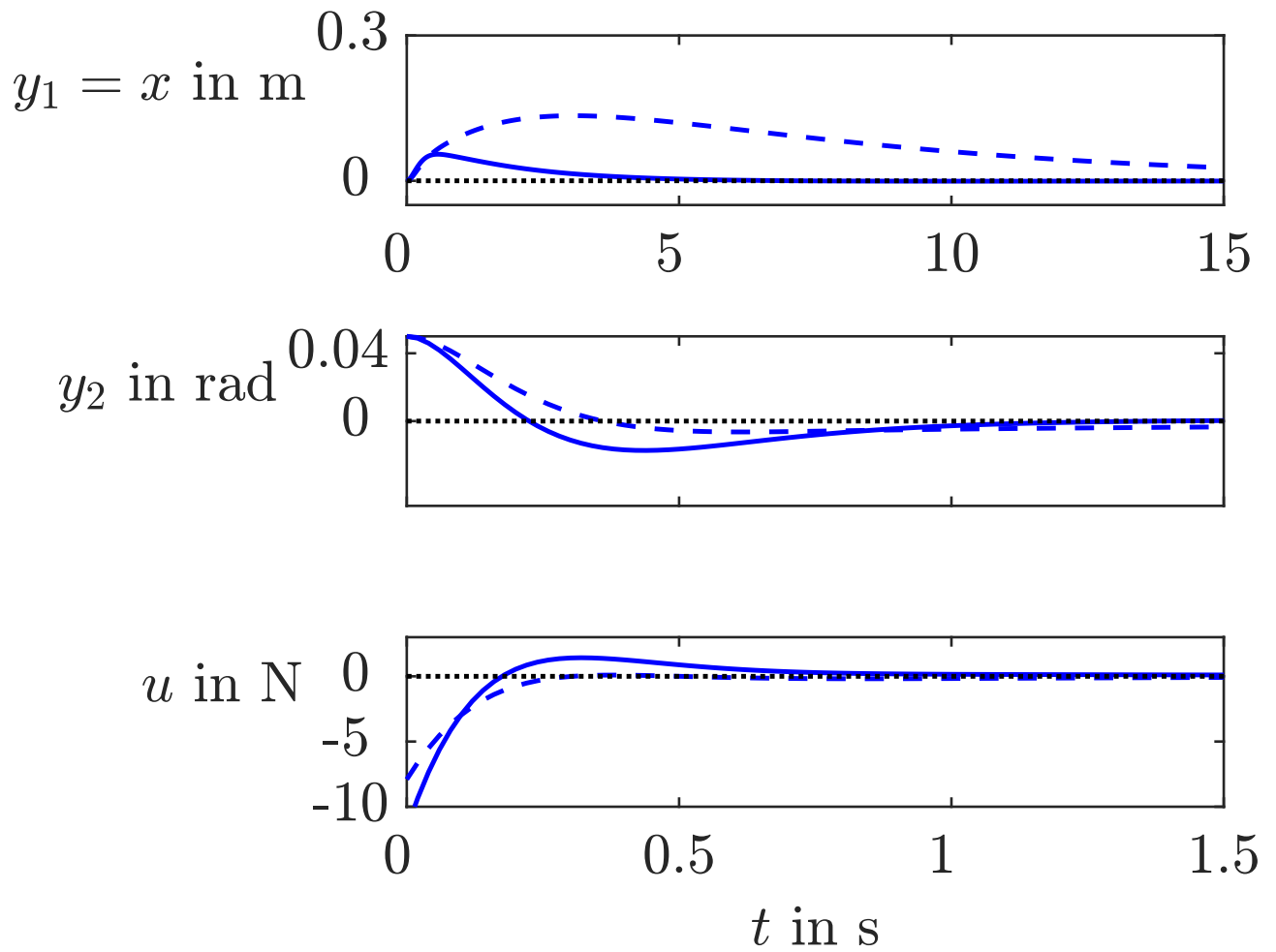


Abb. 8.12: Geregelter Pendel mit reduziertem Beobachter — bzw. Zustandsrückführung - -

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

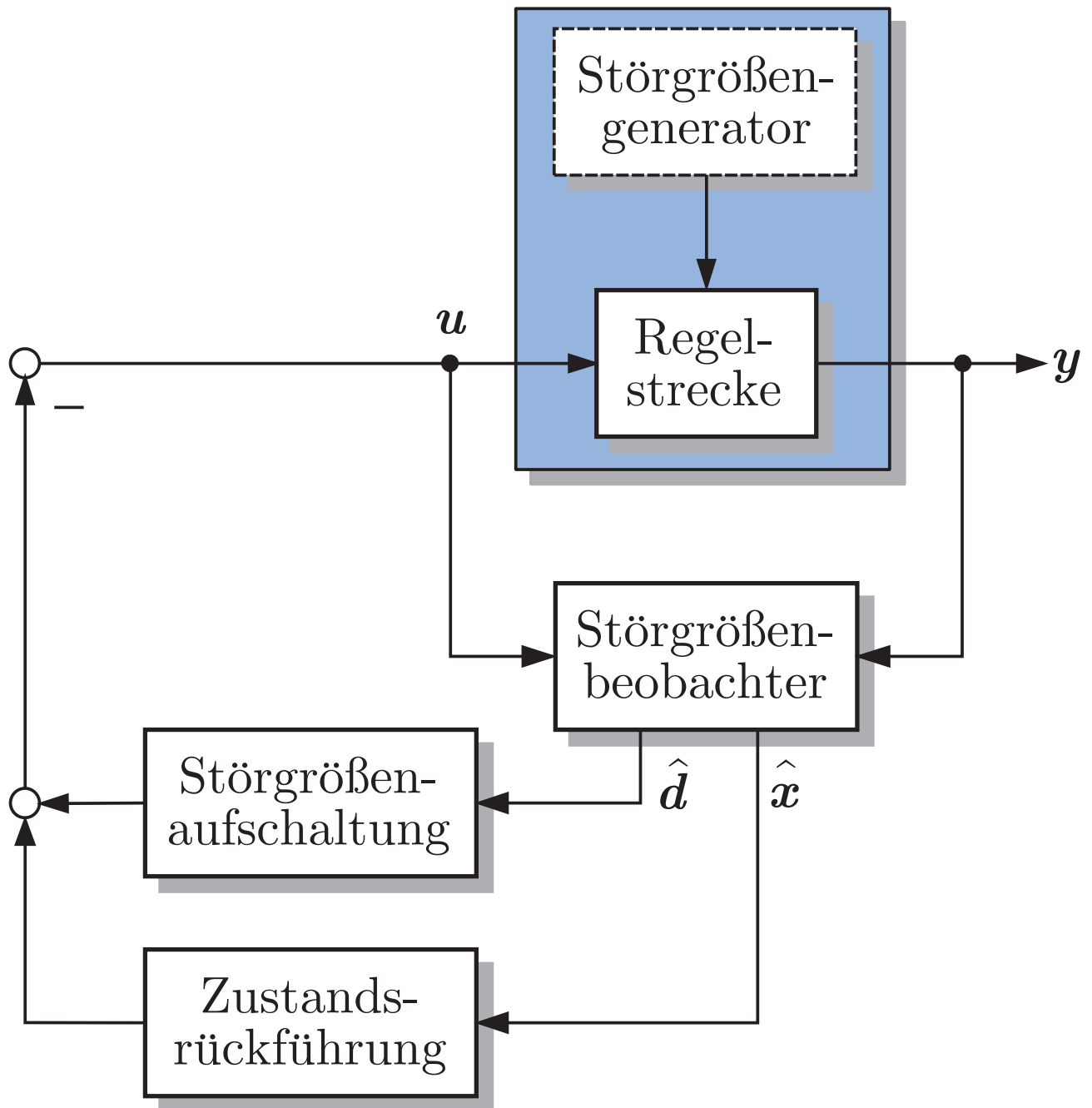


Abb. 8.13: Realisierung einer Zustandsrückführung und einer Störgrößenaufschaltung mit Hilfe eines Beobachters

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

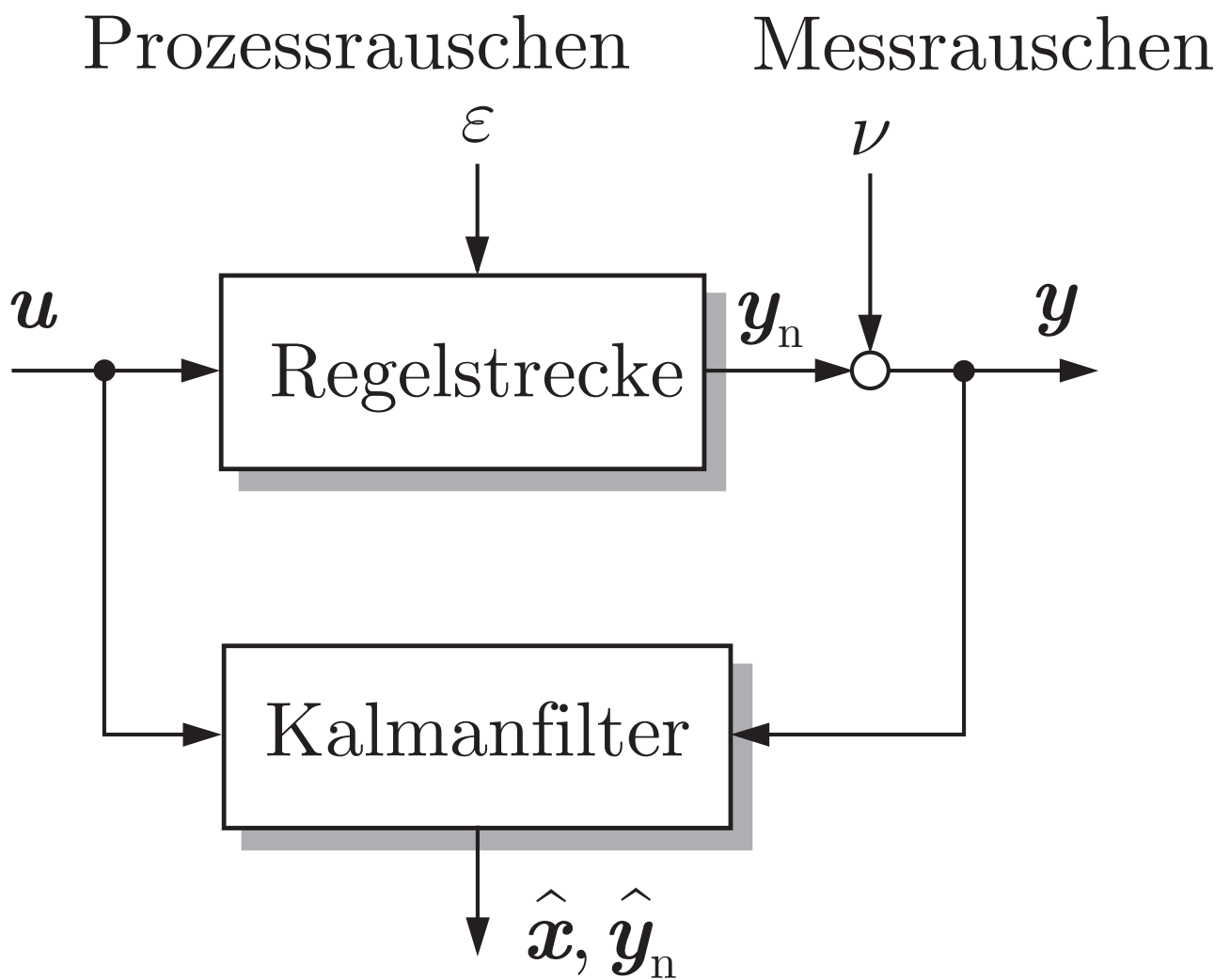


Abb. 8.14: Regelstrecke mit Kalmanfilter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

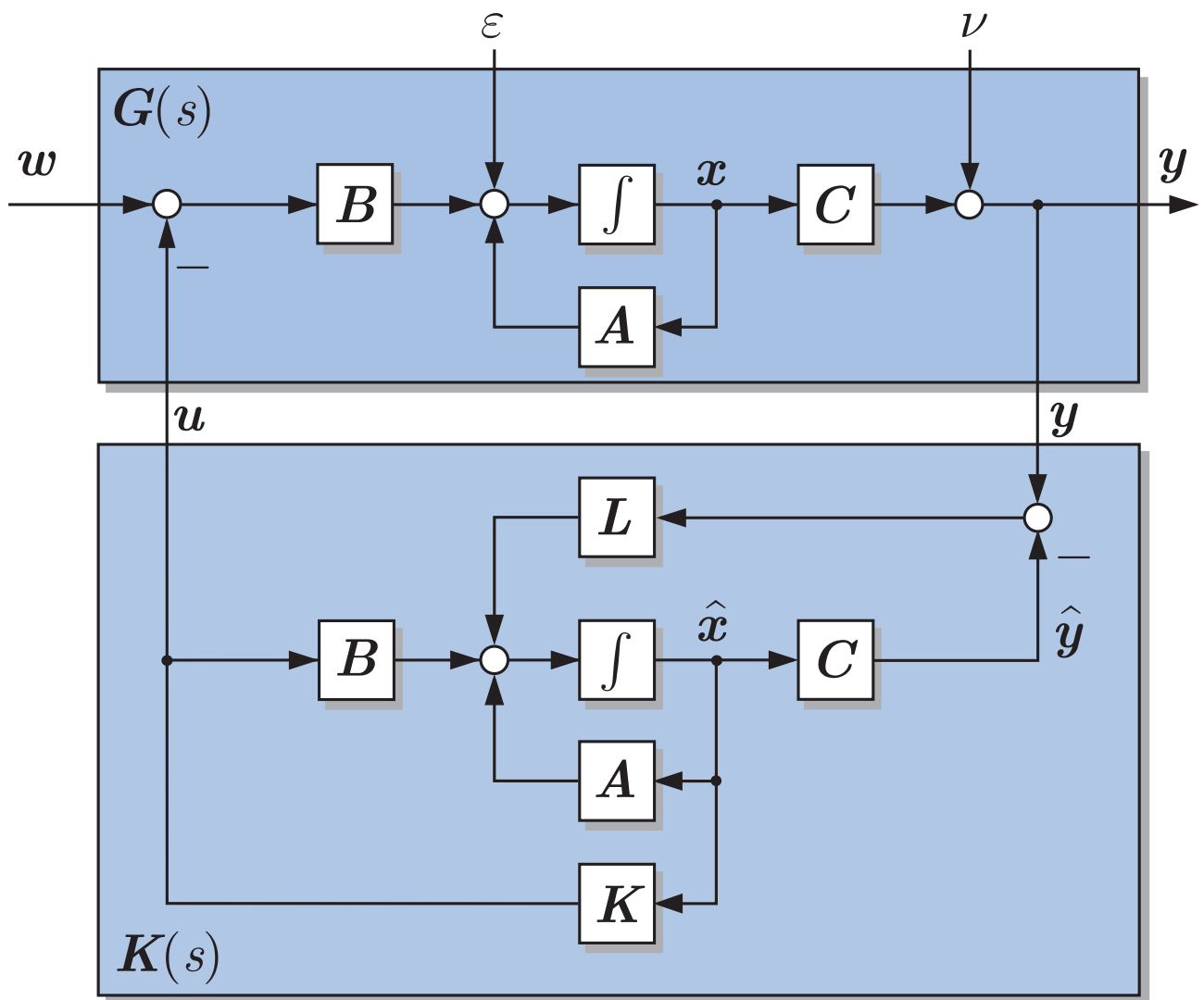


Abb. 8.15: Zustandsrückführung mit Kalmanfilter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

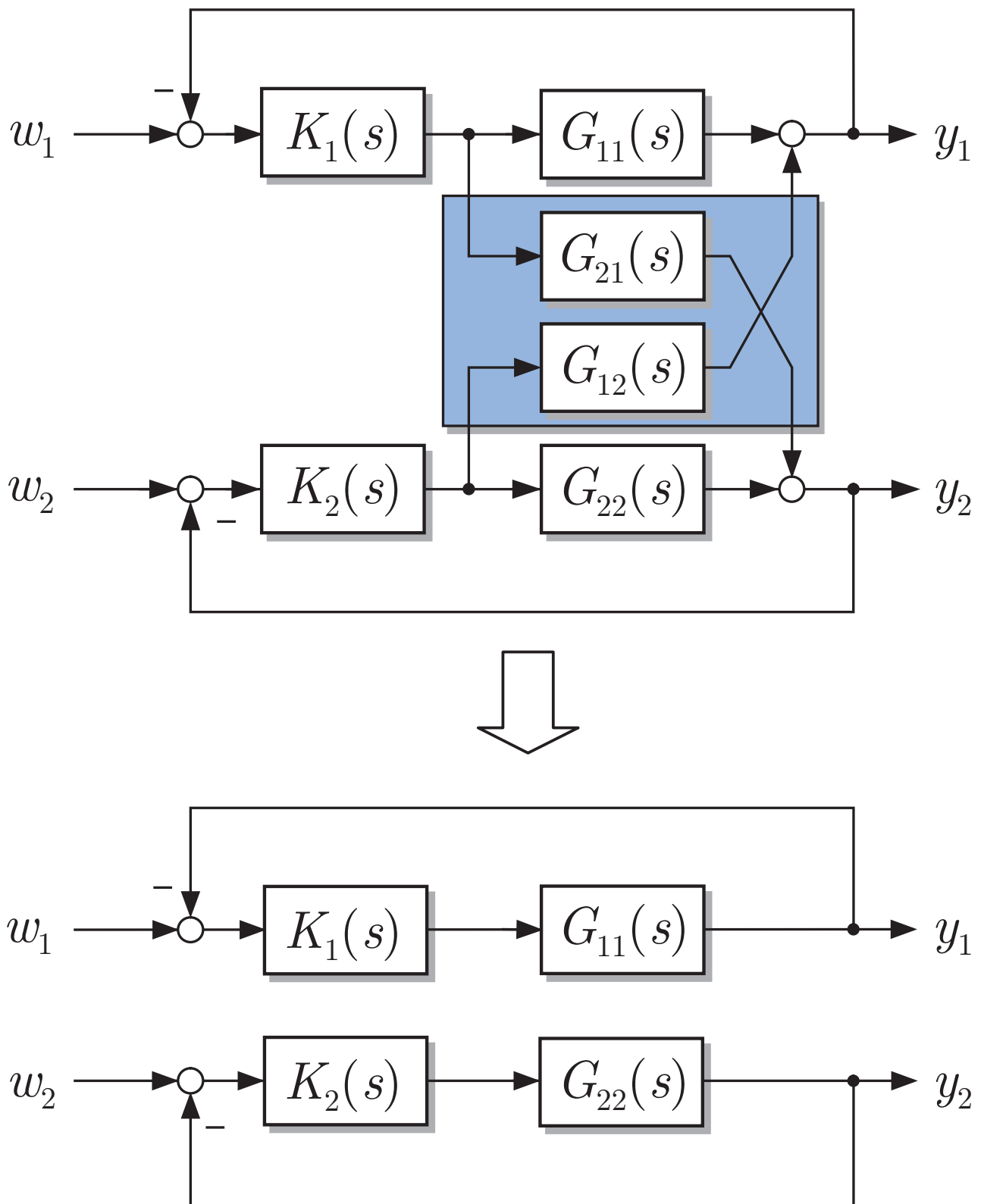


Abb. 9.1: Grundidee des Direkten Nyquistverfahrens

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

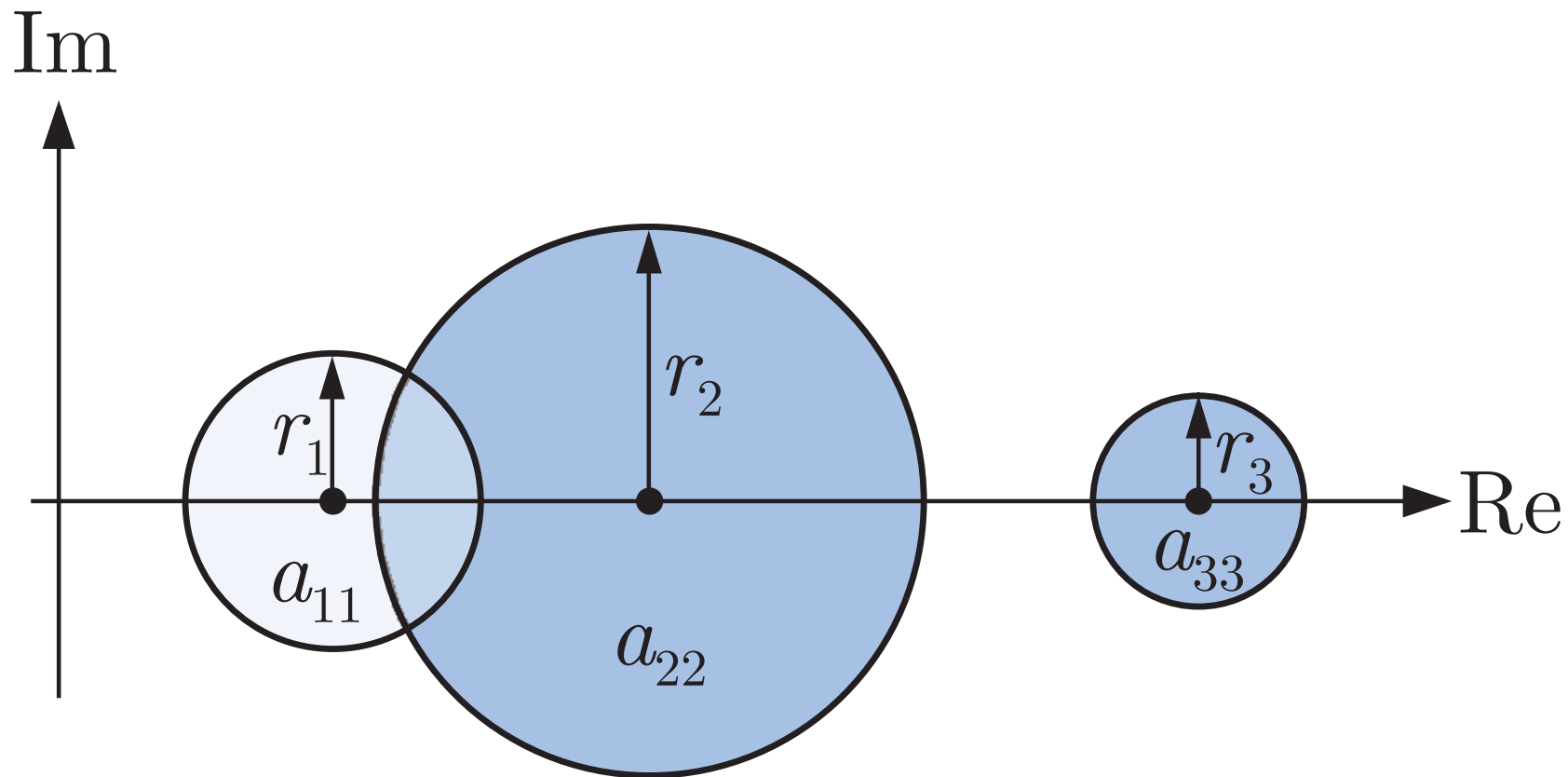


Abb. 9.2. Veranschaulichung des Gershgorintheorems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

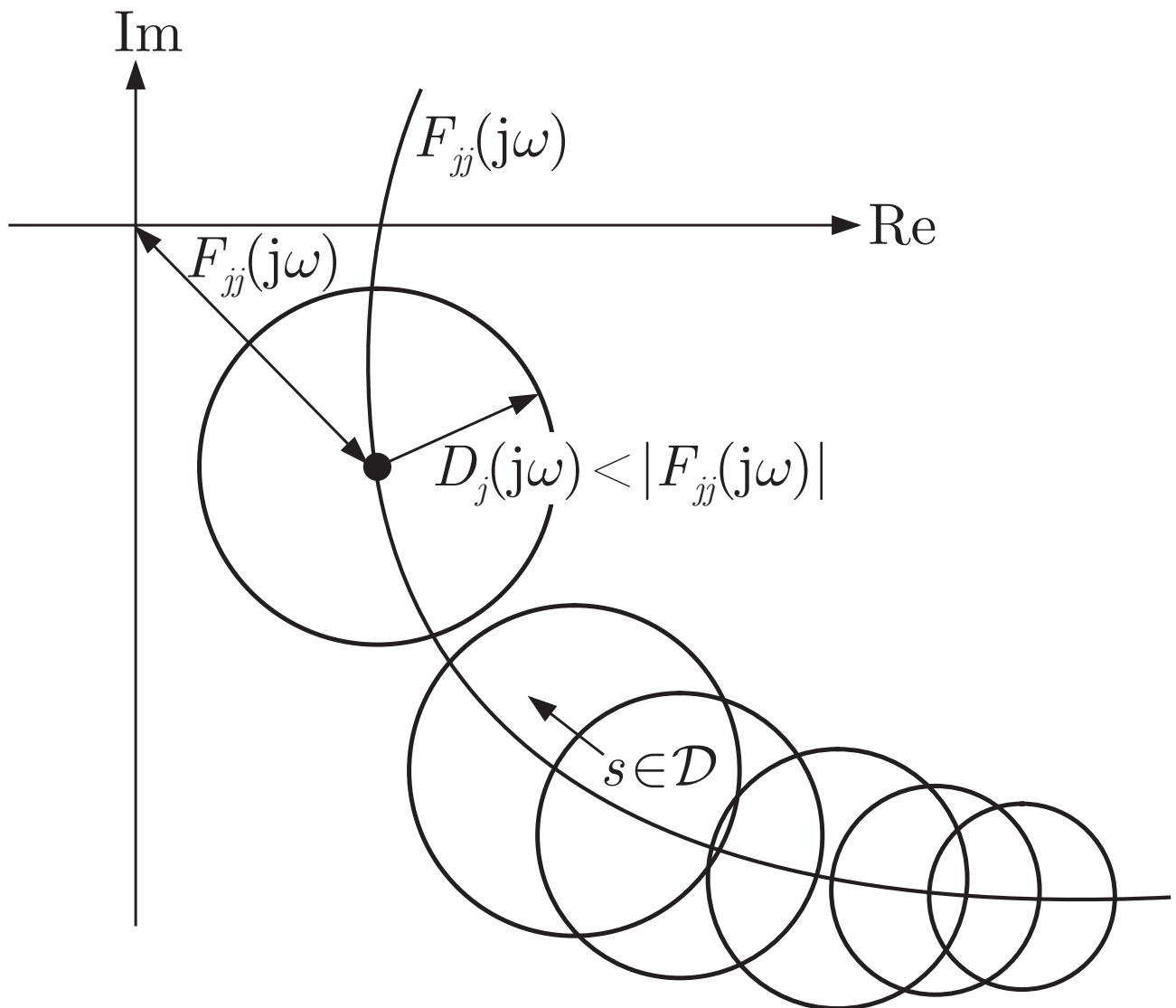


Abb. 9.3: Band um ein Hauptdiagonalelement der Rückführdifferenzmatrix

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

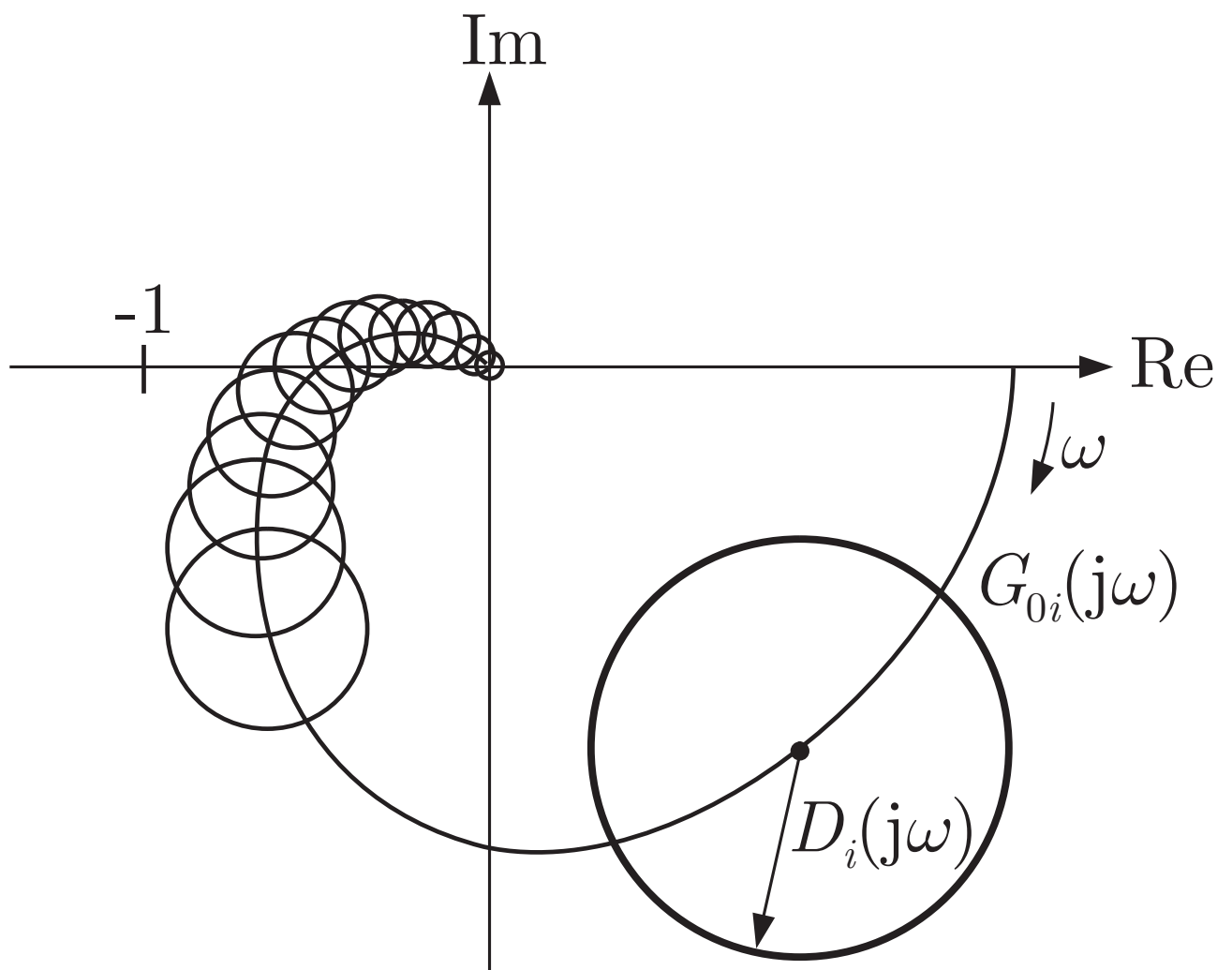


Abb. 9.4: Gershgorinkreise um die Ortskurve der offenen Kette

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

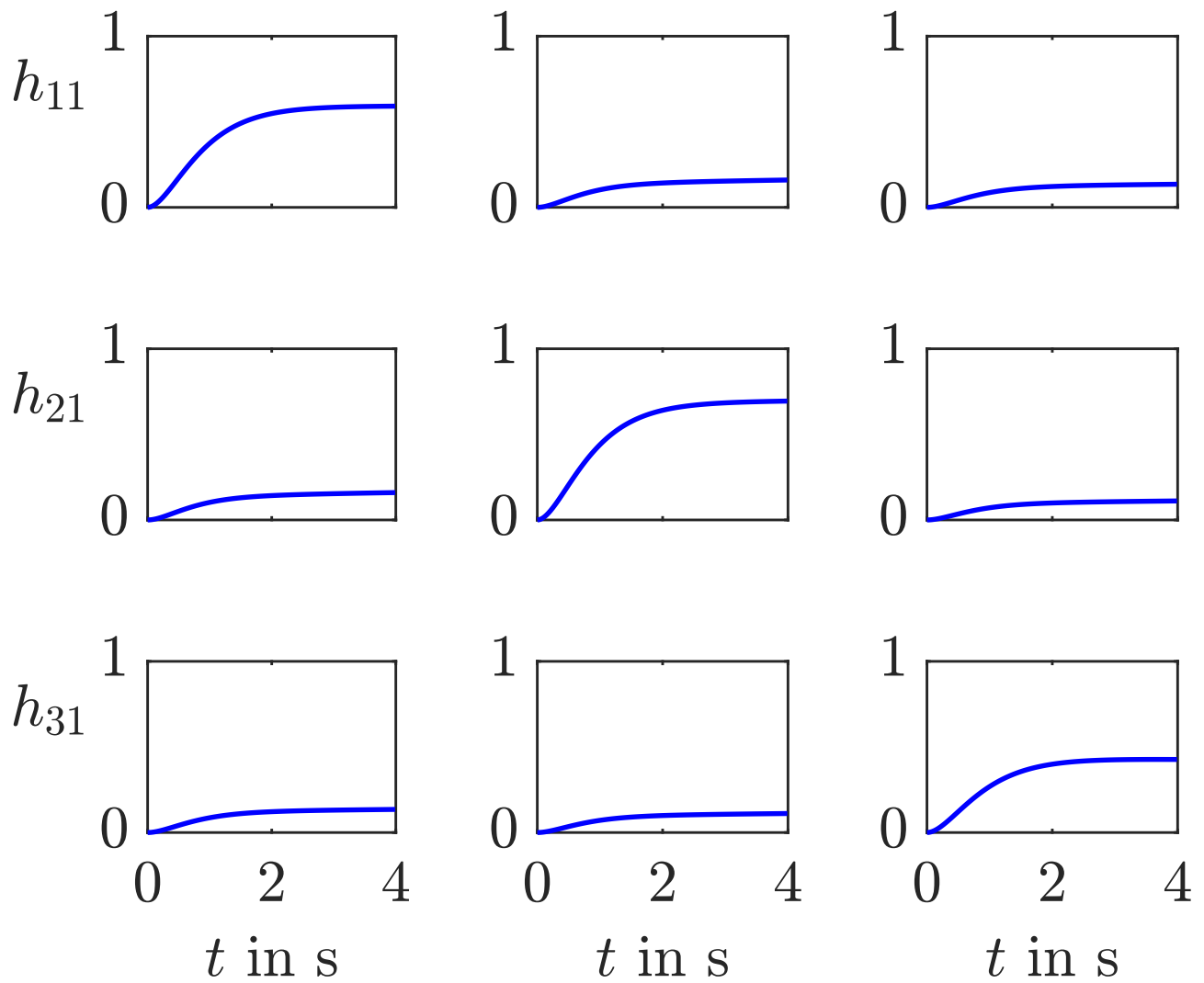


Abb. 9.5: Übergangsfunktionsmatrix der Regelstrecke

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

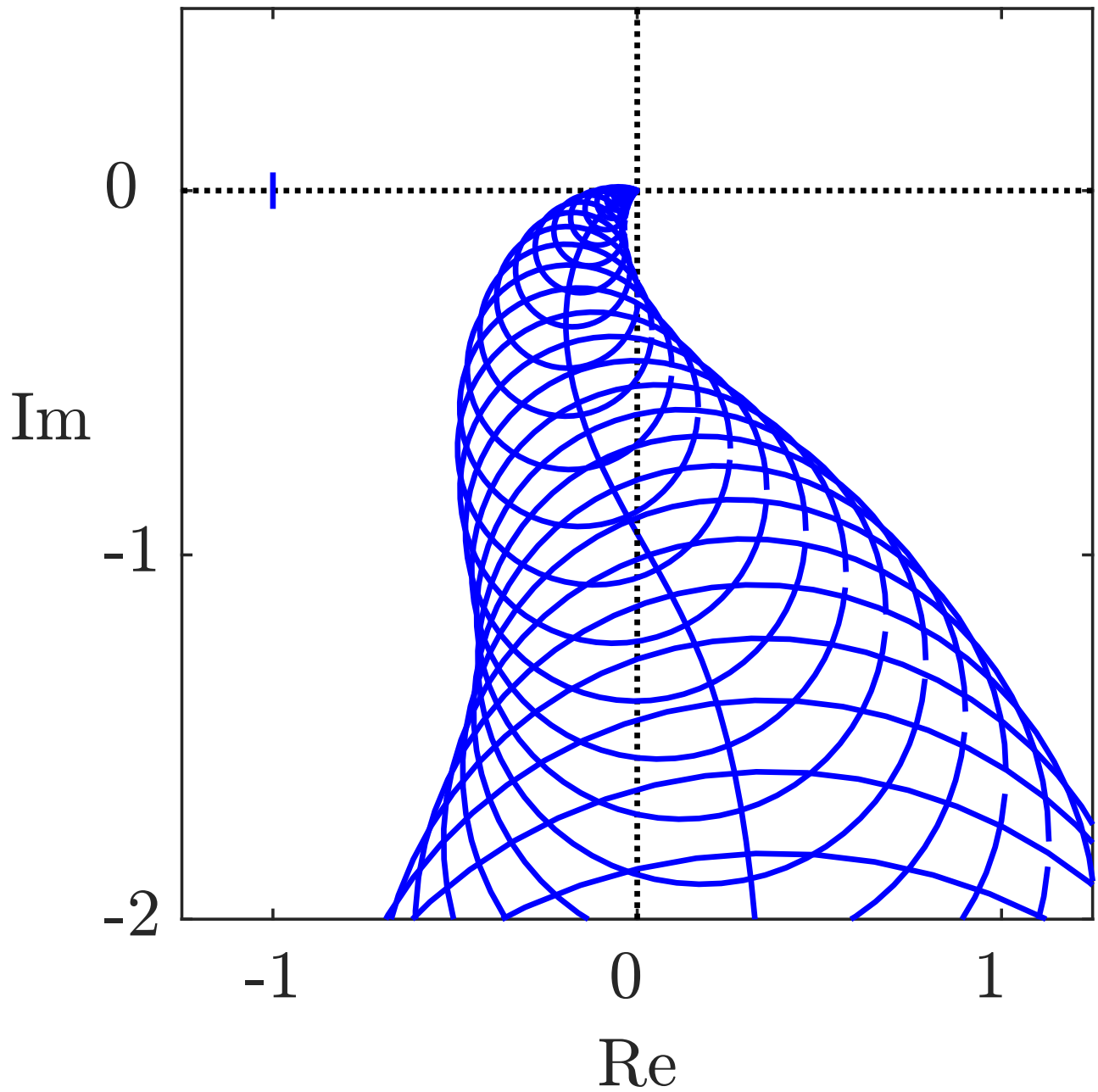


Abb. 9.6: Gershgorinband für den ersten und den zweiten Regelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

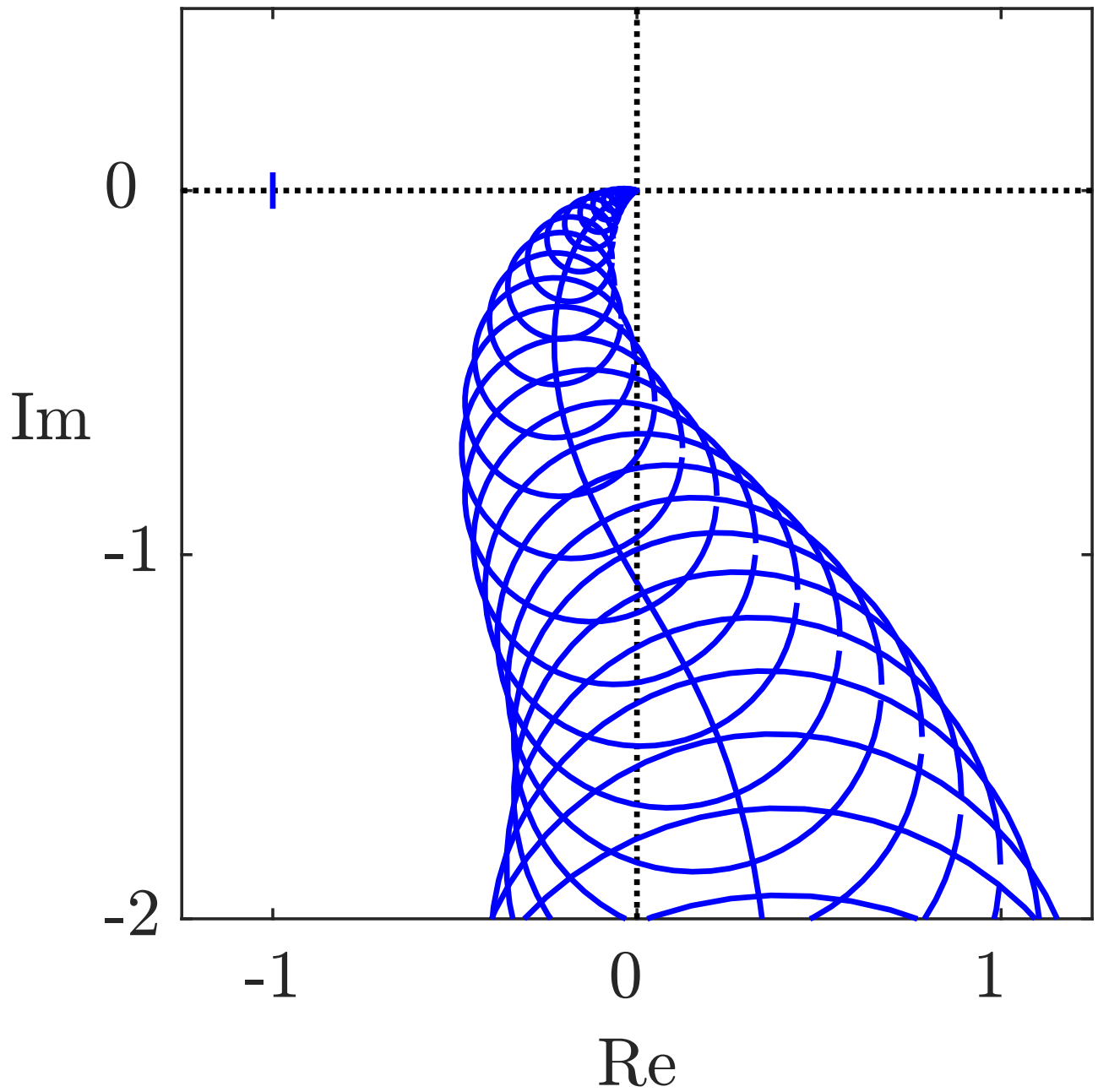


Abb. 9.6: Gershgorinband für den ersten und den zweiten Regelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

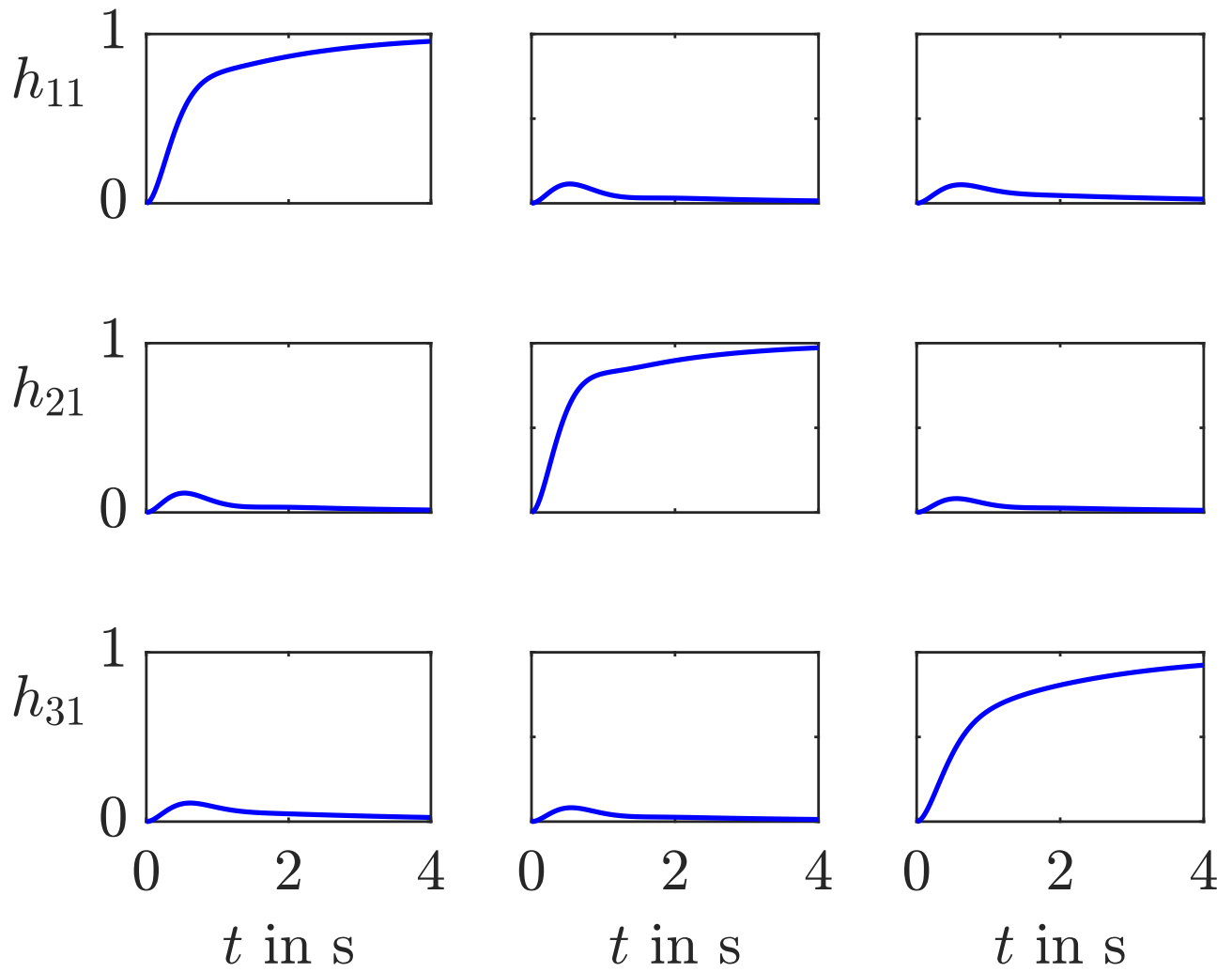


Abb. 9.7: Führungsübergangsfunktionsmatrix des Elektroenergienetzes mit dezentraler Knotenspannungsregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

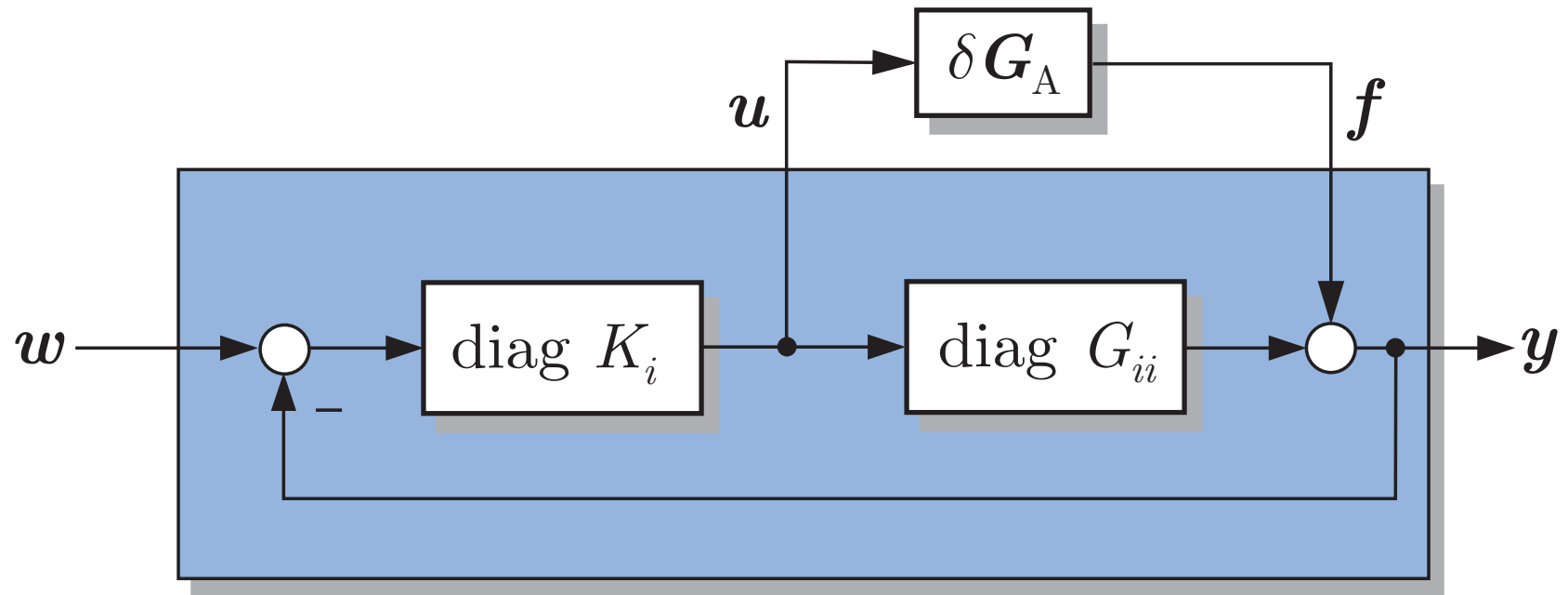


Abb. 9.8. Zerlegung des Regelkreises $\bar{\Sigma}$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

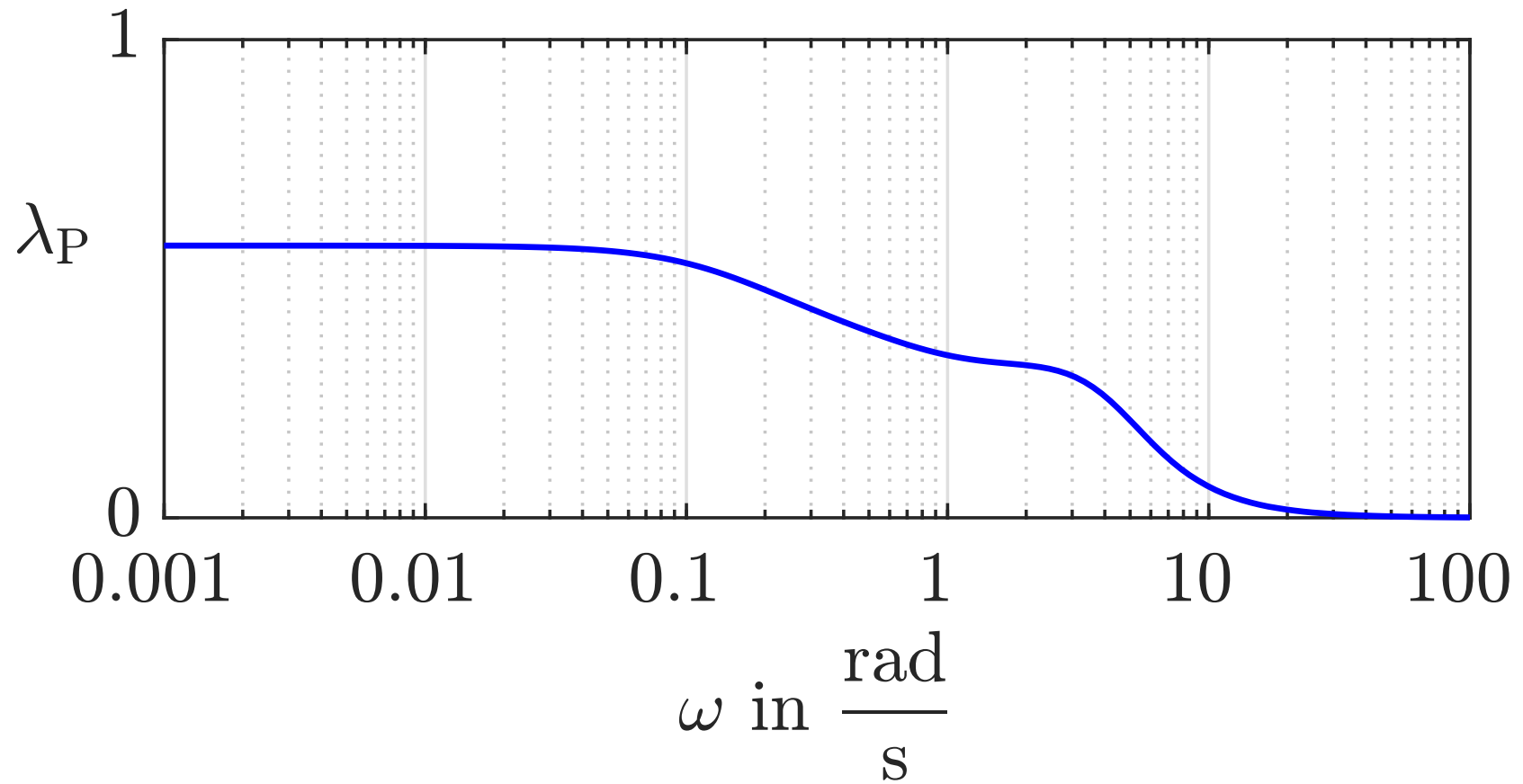


Abb. 9.9. Prüfung der verallgemeinerten Diagonaldominanz für die dezentrale Knotenspannungsregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

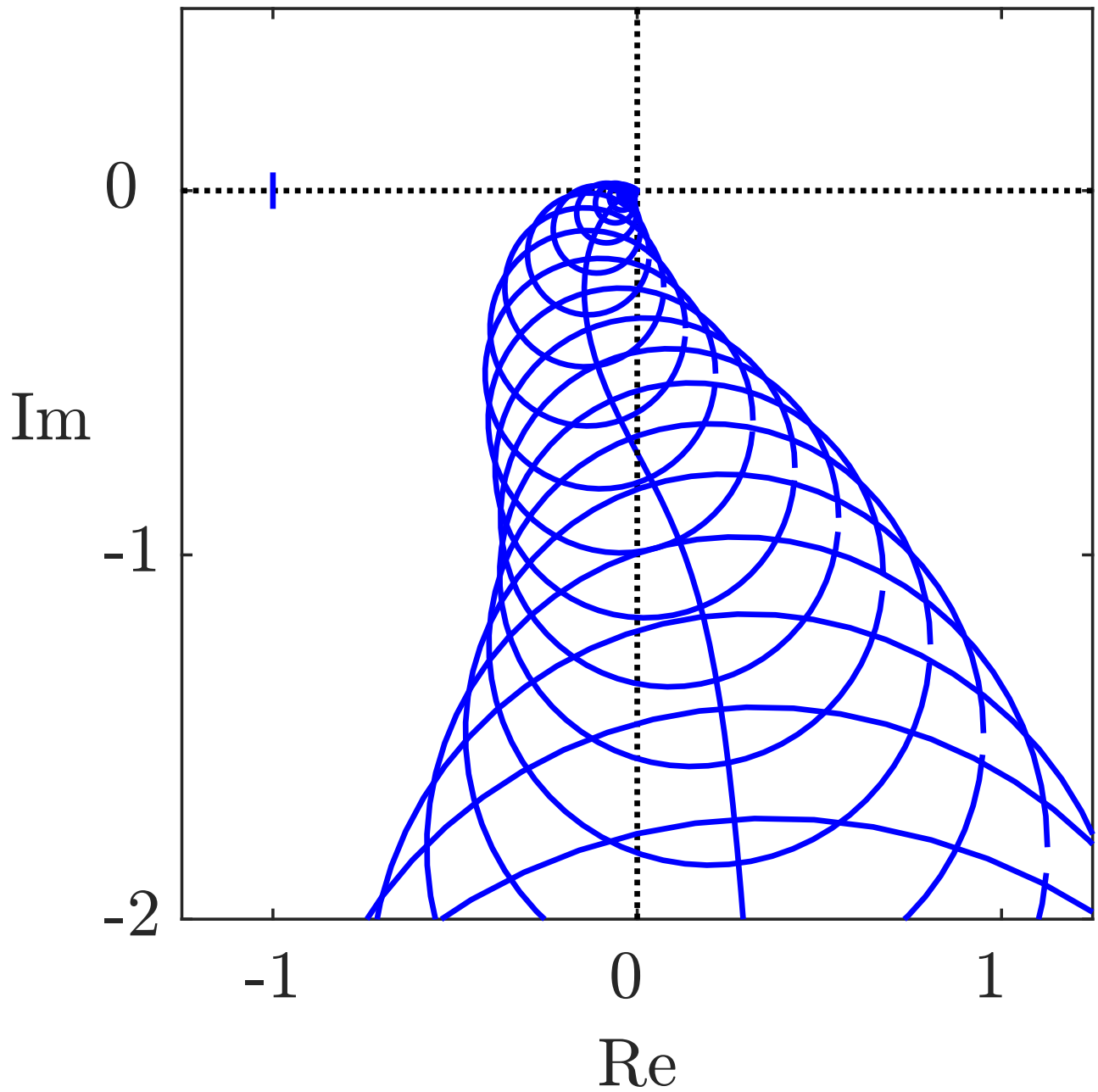


Abb. 9.10: Verbessertes Gershgorinband für den dritten Regelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

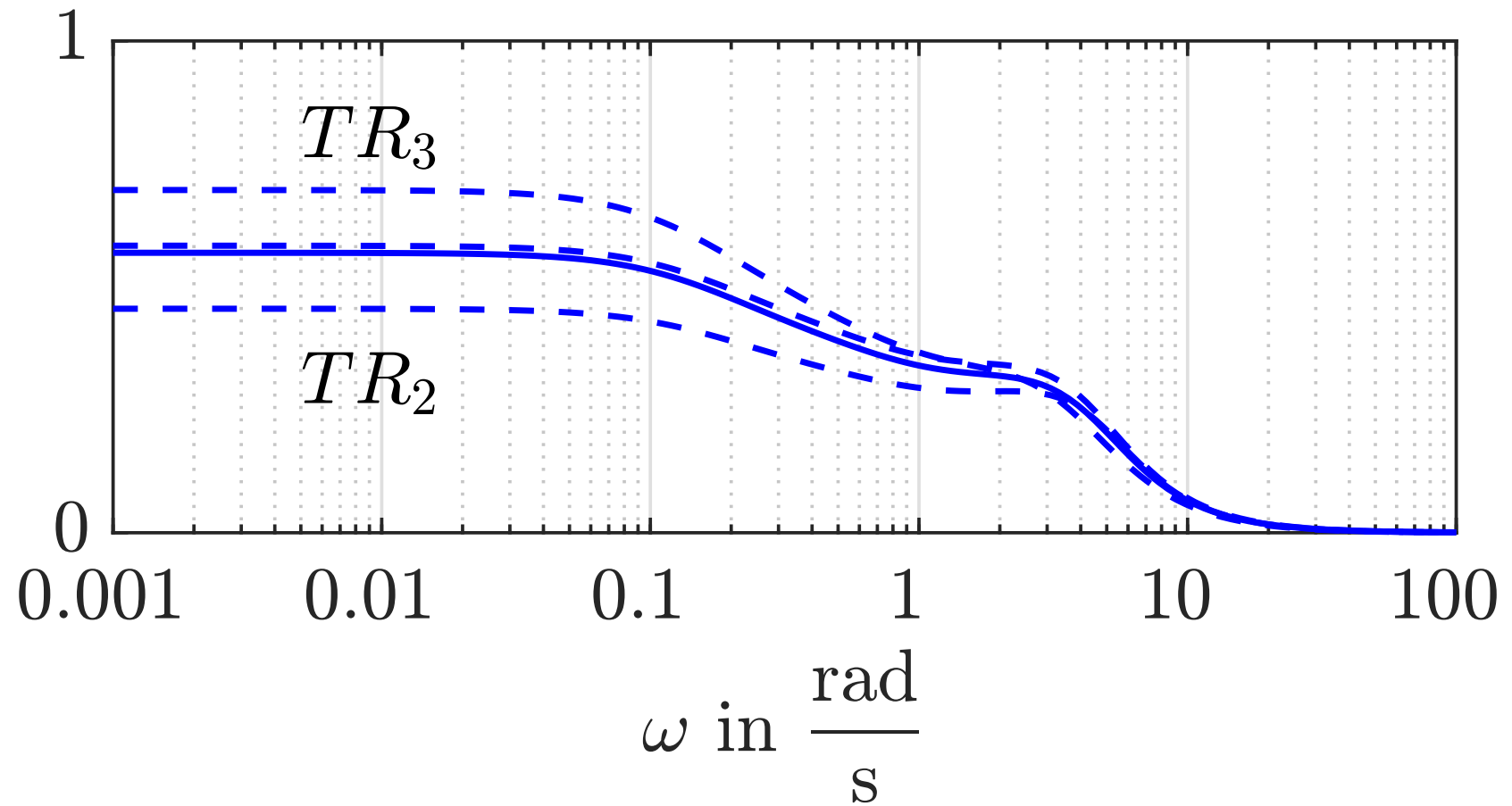


Abb. 9.11. Vergleich der Breiten der Gersgorinbänder ($\text{---} \lambda_P$)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

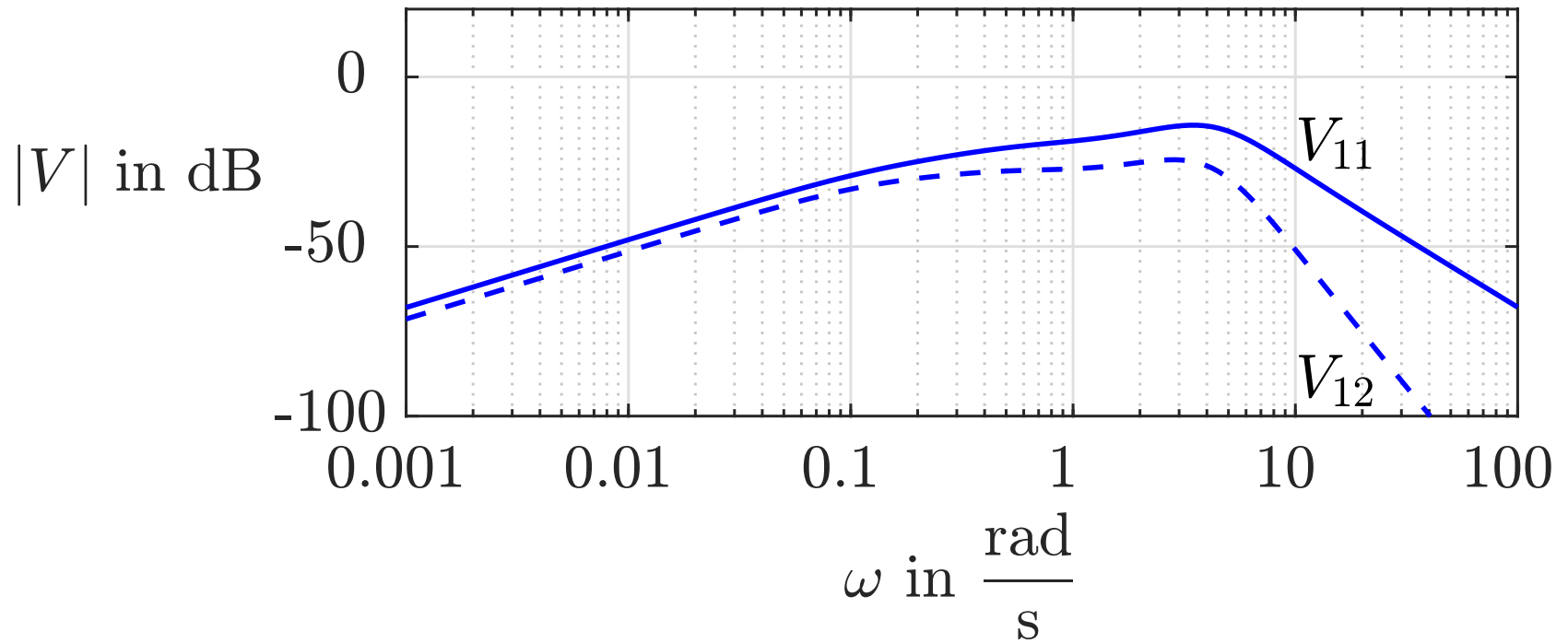


Abb. 9.12. Amplitudengang der Fehlerschranken V_{11} und V_{12}

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

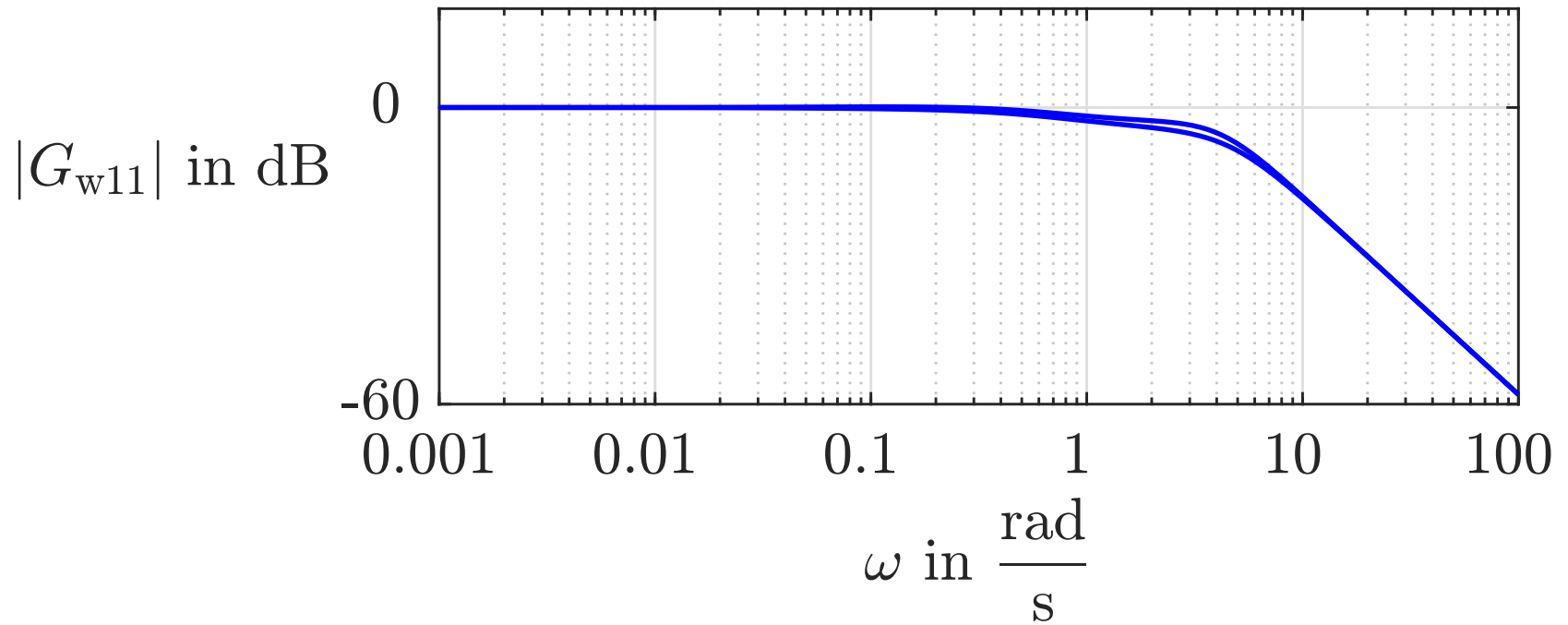


Abb. 9.13. Toleranzband für den Amplitudengang des ersten Regelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

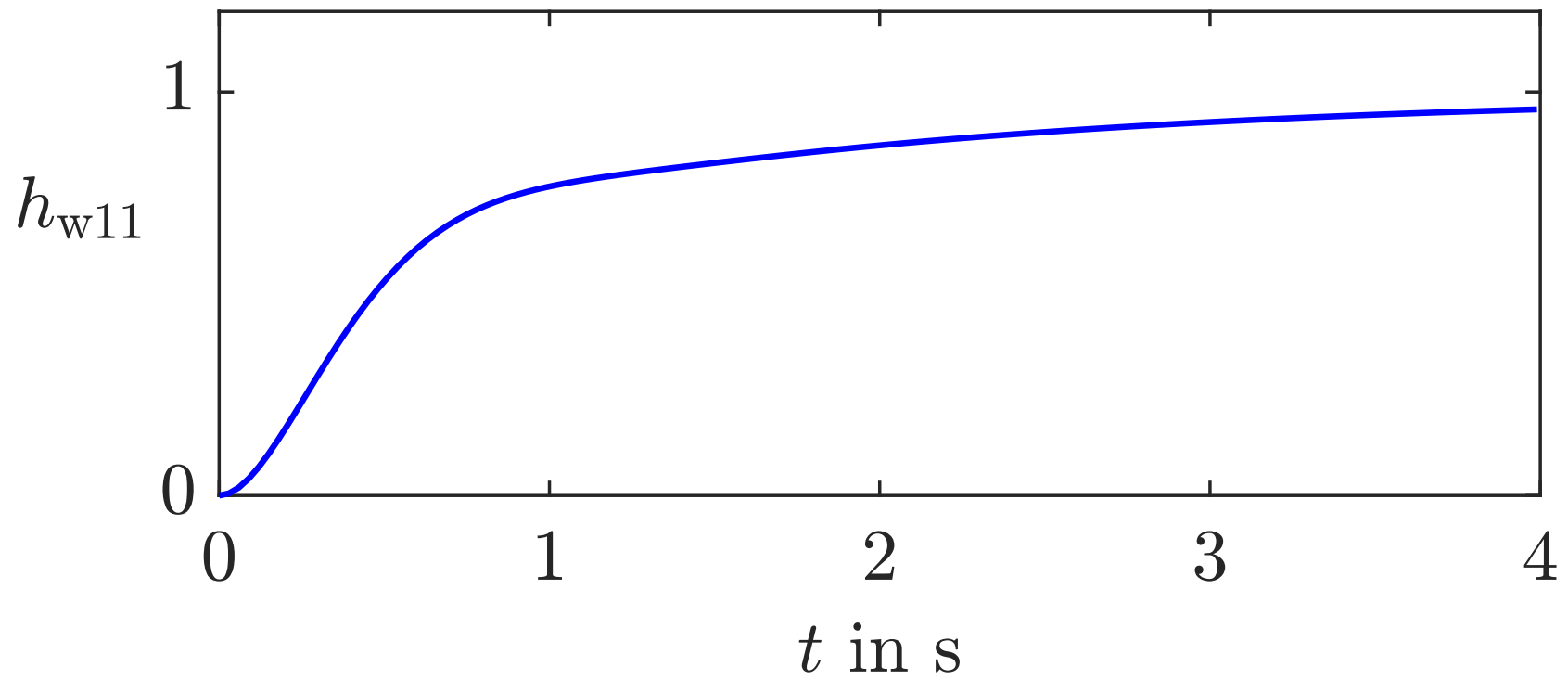


Abb. 9.14. Führungsübergangsfunktion des ersten Regelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

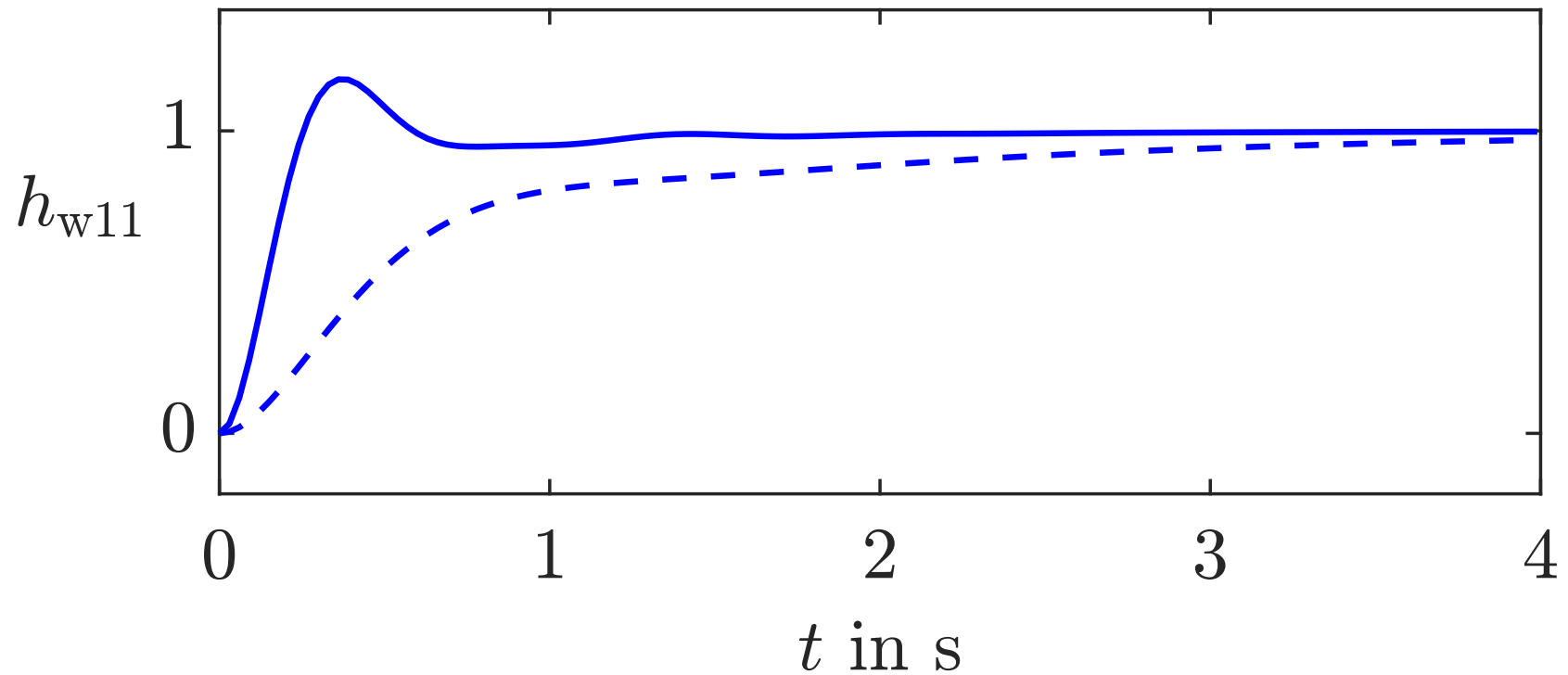


Abb. 9.15. Führungsübergangsfunktionen des ersten Regelkreises nach Vergrößerung der Reglerverstärkung (– entkoppelter Regelkreis, - - - dezentral geregeltes System)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

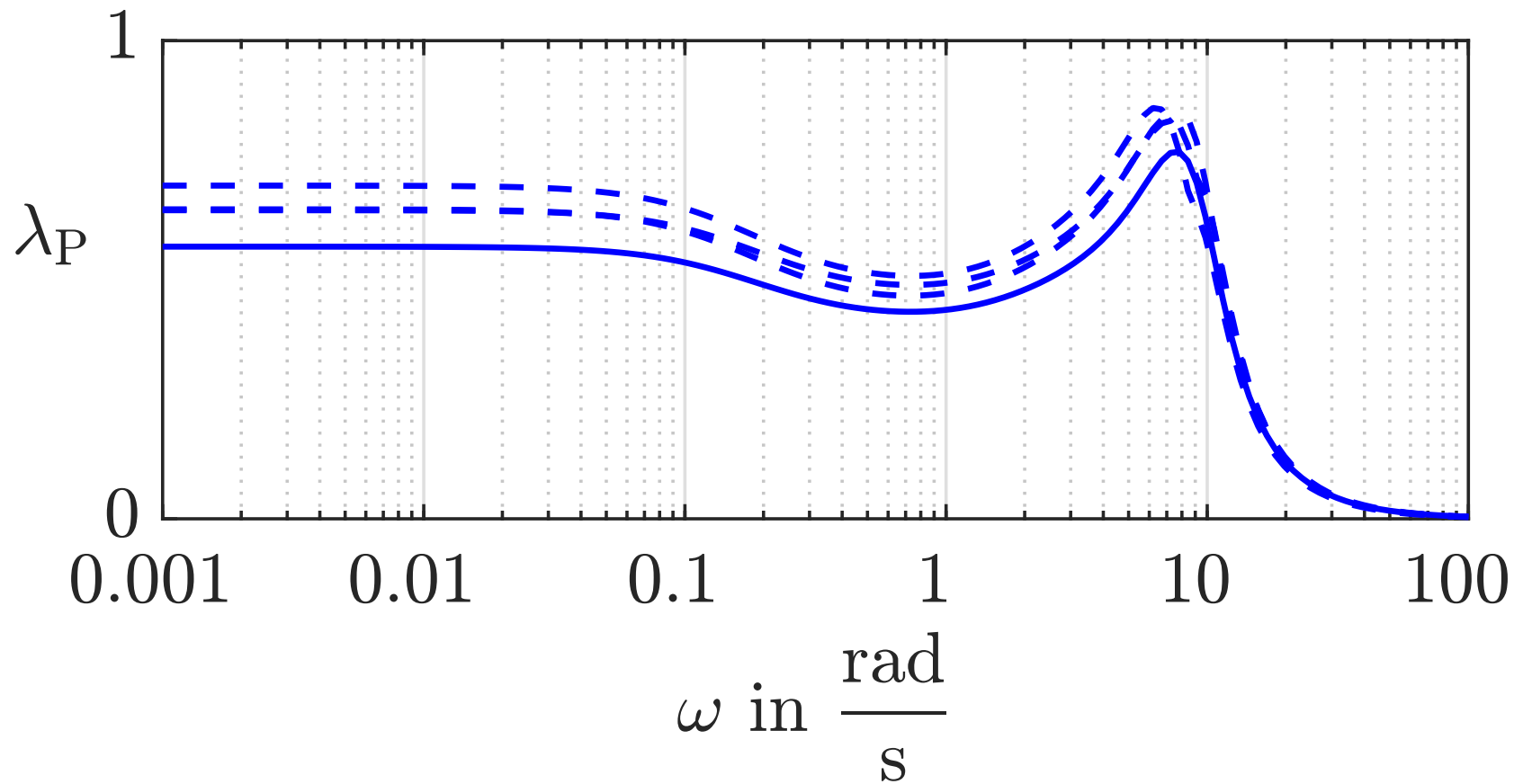


Abb. 9.16. Breiten der Gershgorinbänder nach Erhöhung der Reglerverstärkung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

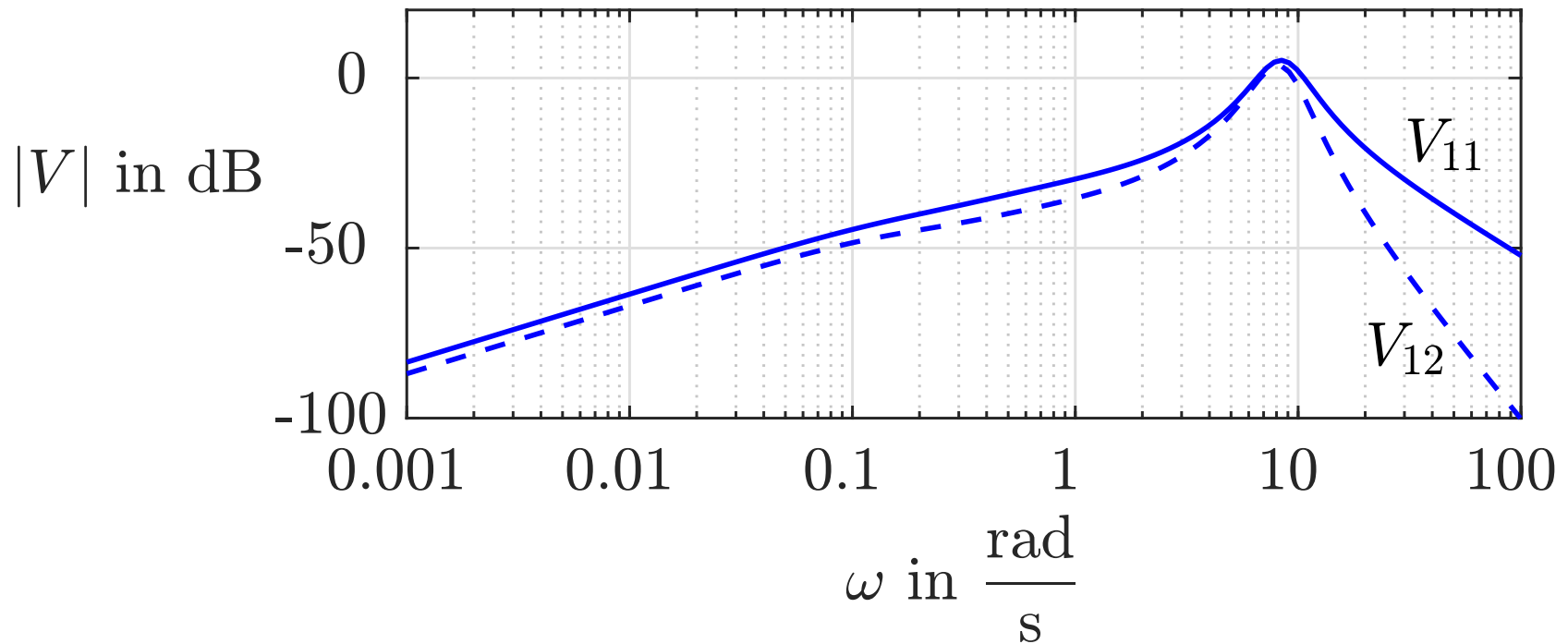


Abb. 9.17. Amplitudengang der Fehlerschranken V_{11} und V_{12} nach Erhöhung der Reglerverstärkung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

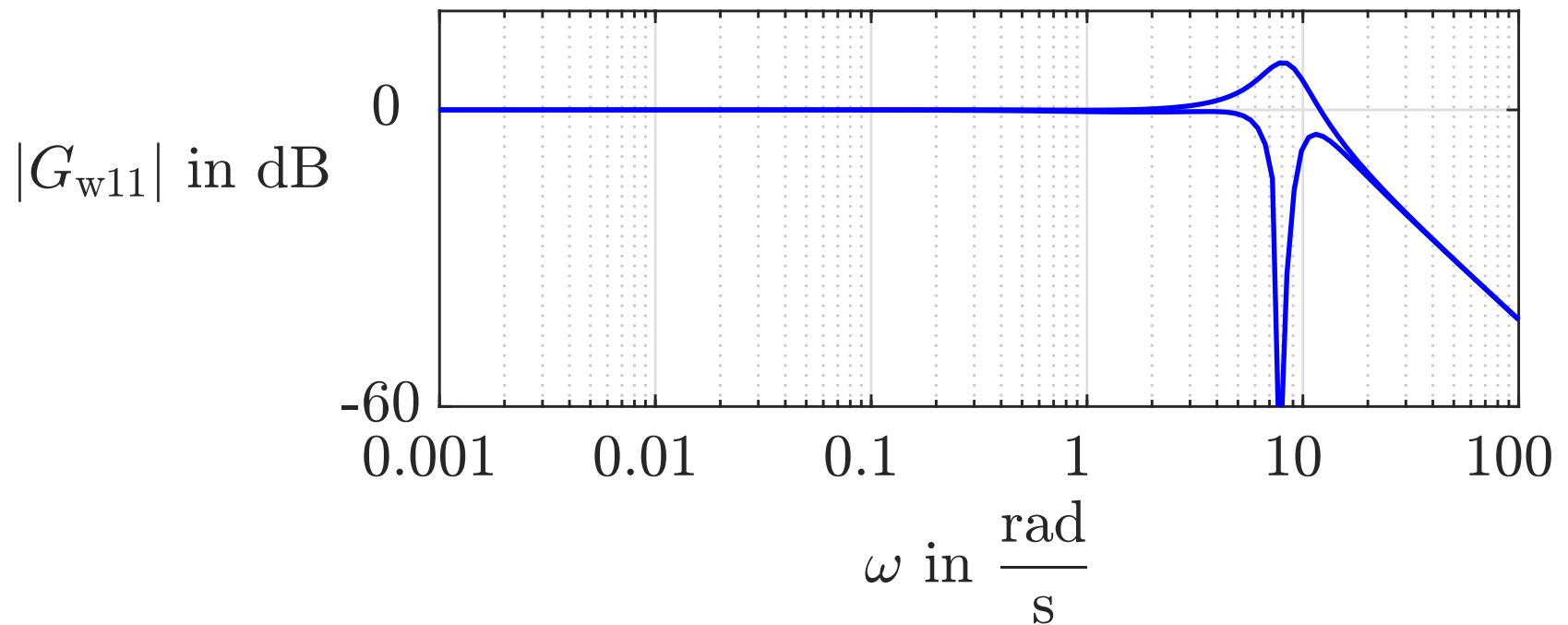


Abb. 9.18. Toleranzband für das Führungsverhalten des ersten Regelkreises nach Erhöhung der Reglerverstärkung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

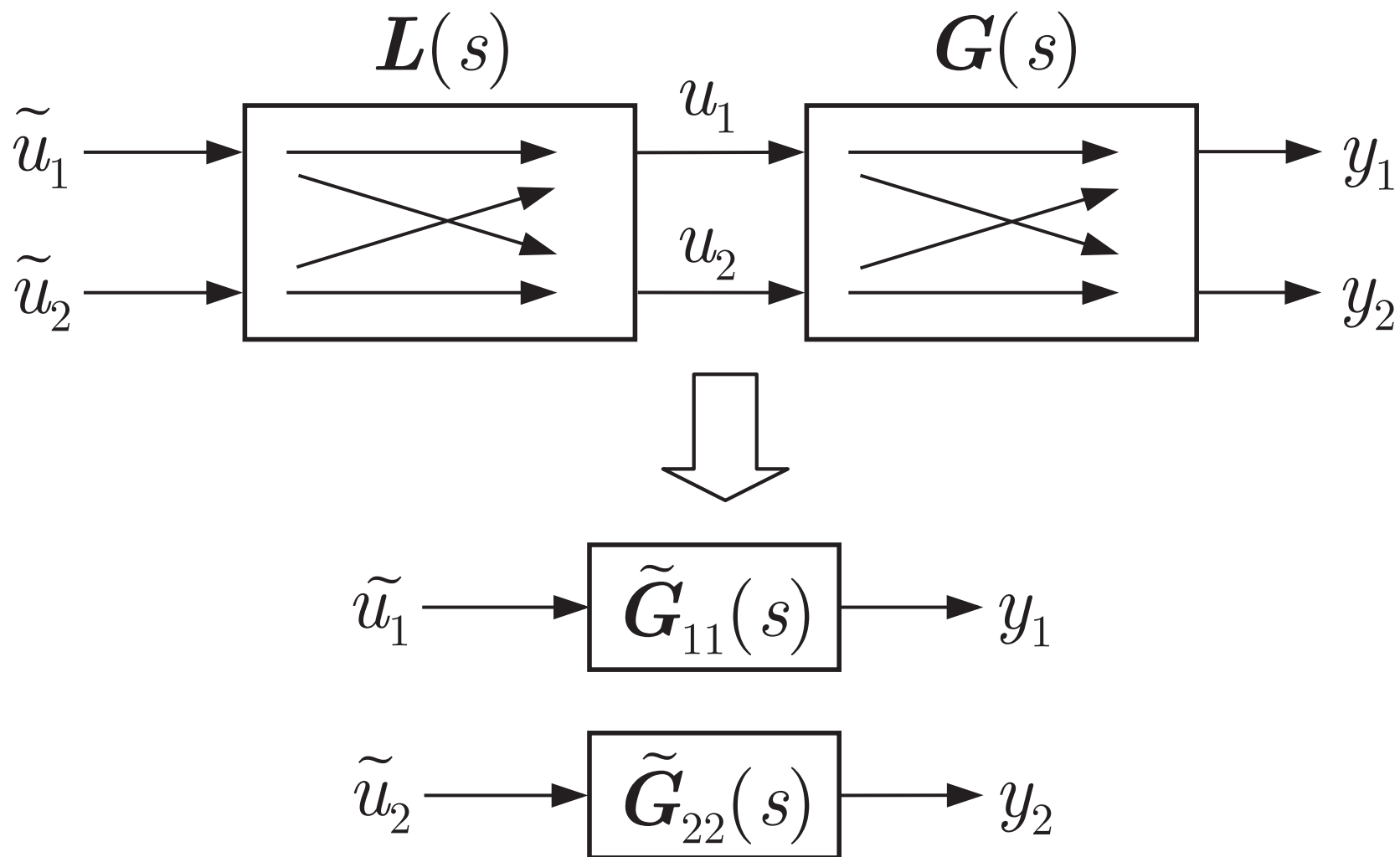


Abb. 9.19. Prinzip der Entkopplung von Regelkreisen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

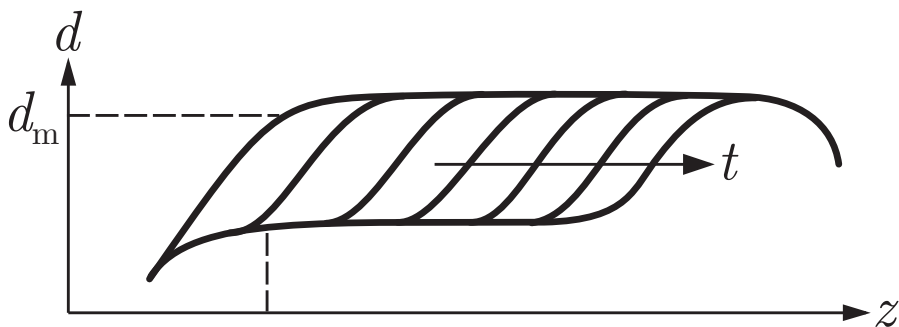
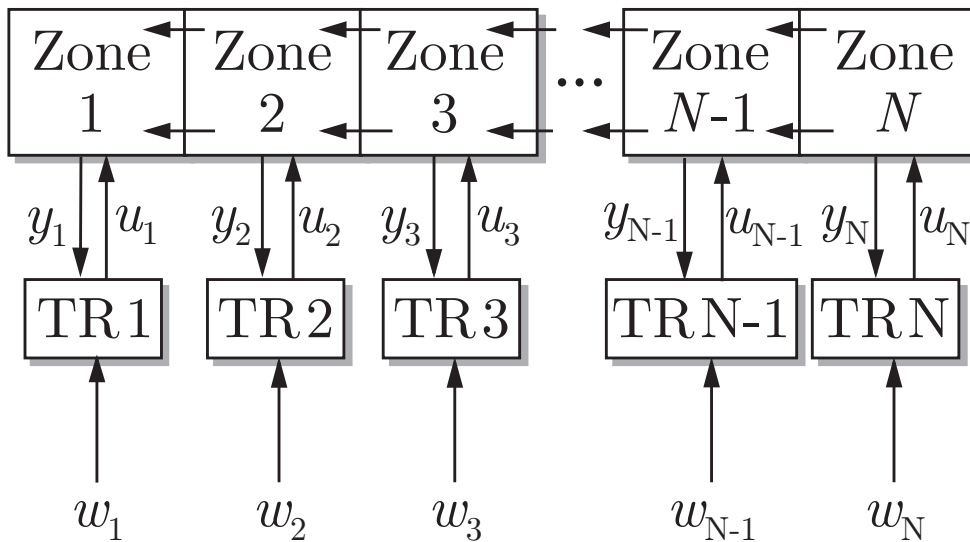
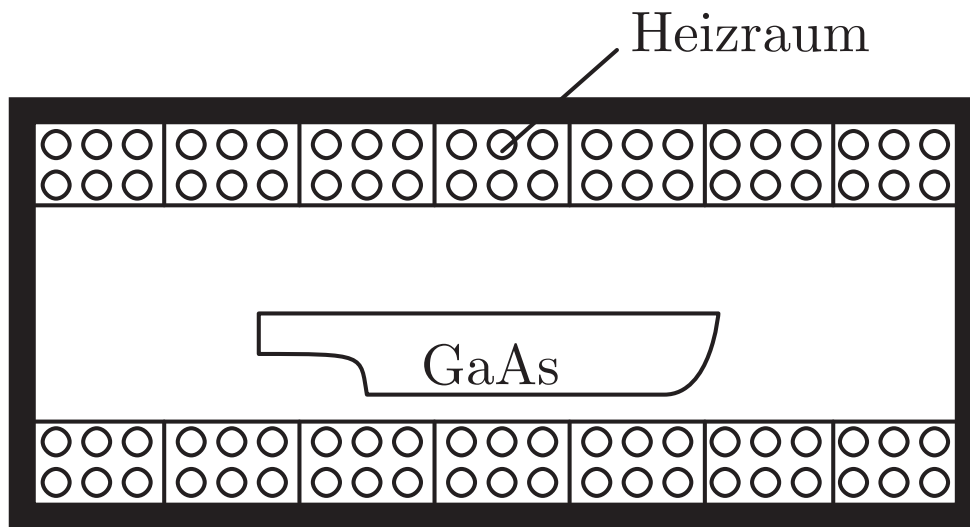


Abb. 9.20. Regelung eines Mehrzonenofens zur Züchtung von GaAs-Einkristallen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

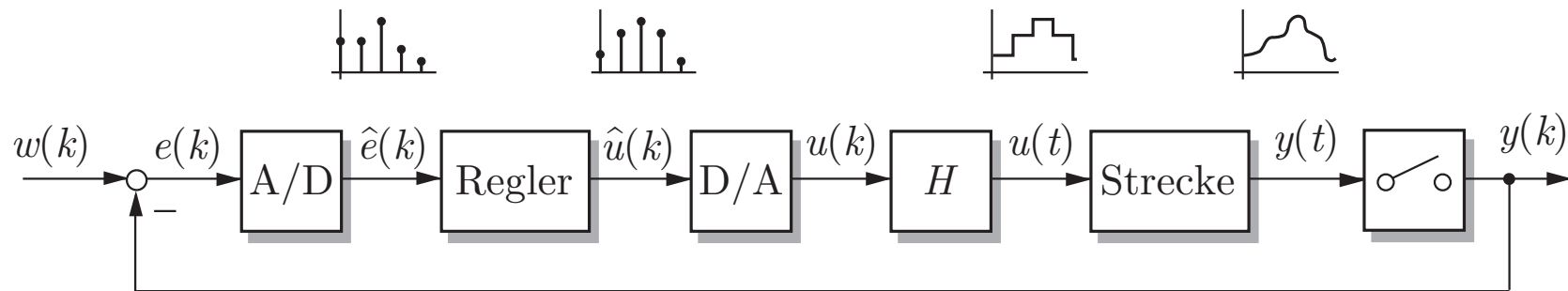


Abb. 10.1. Digitaler Regelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

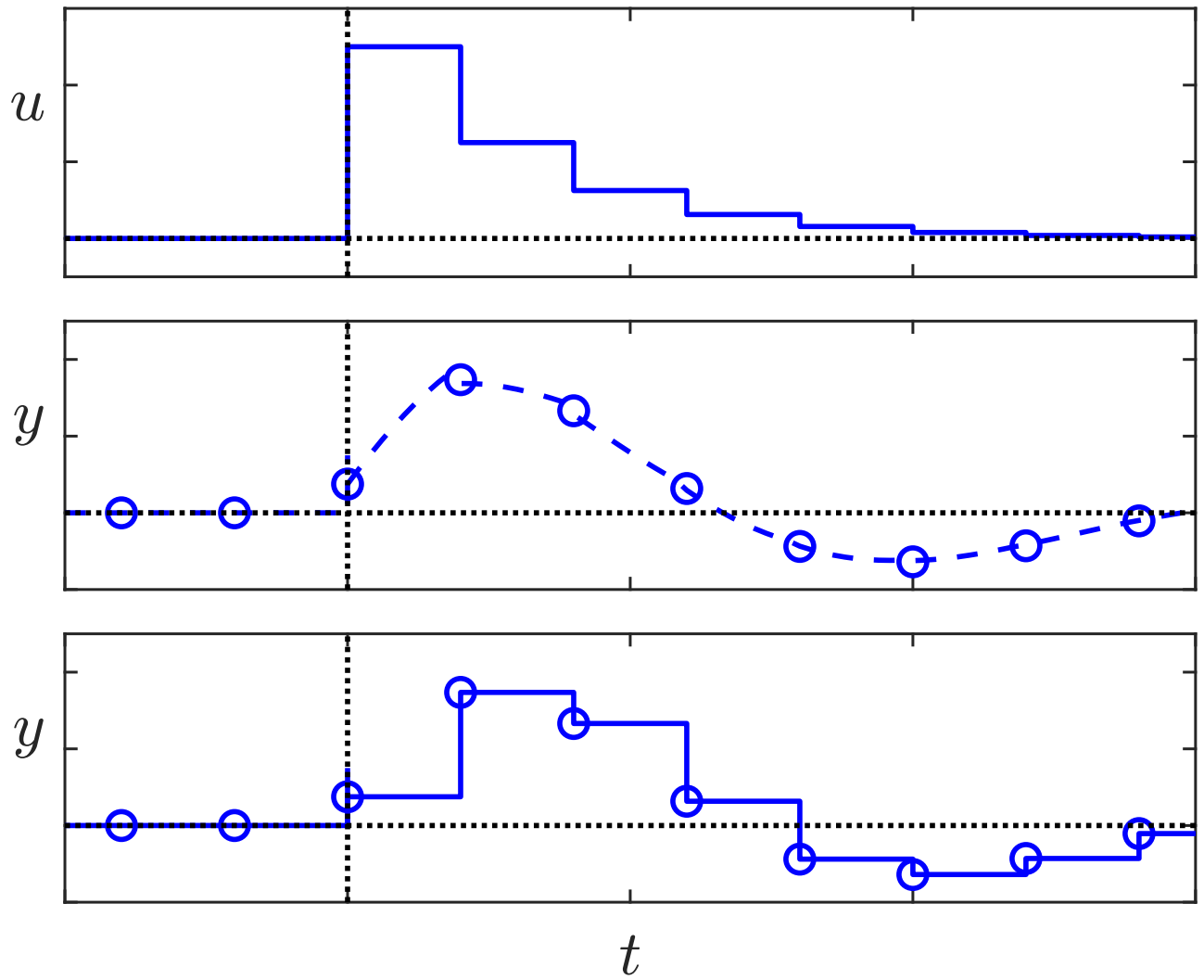


Abb. 10.2: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Regelstrecke

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

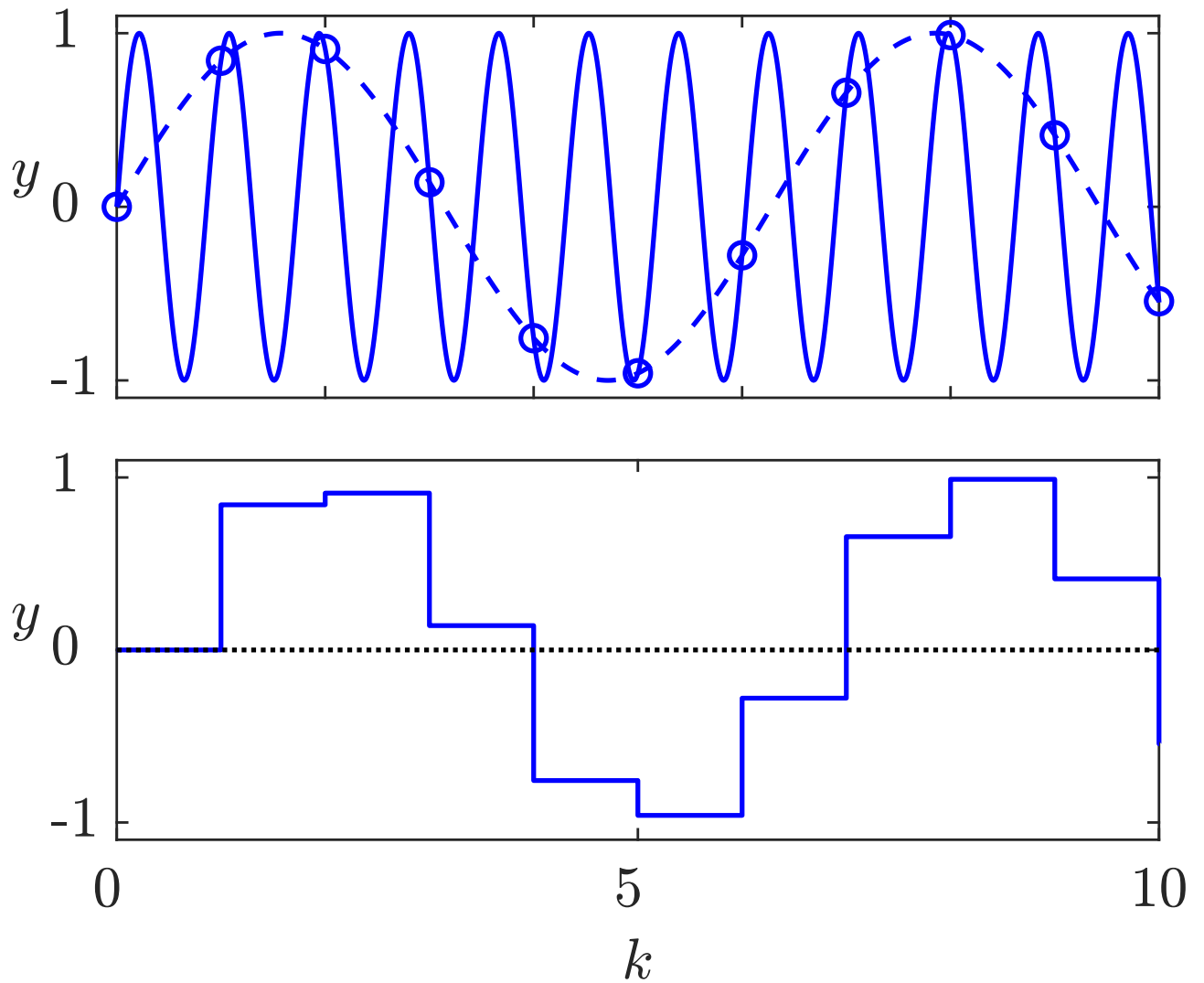


Abb. 10.3: Aliasing-Effekt

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

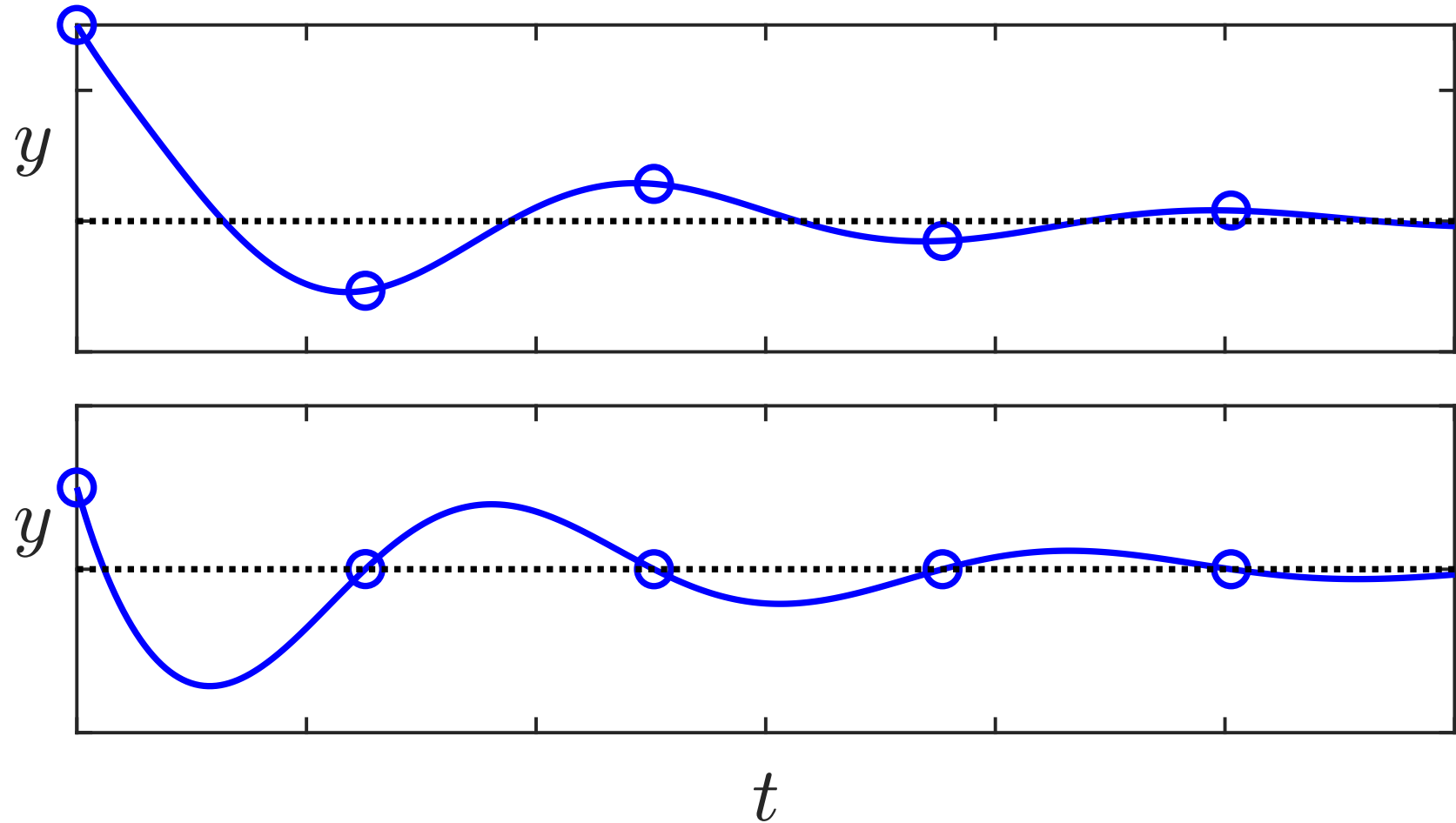


Abb. 10.4. Versteckte Schwingungen eines Systems dritter Ordnung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

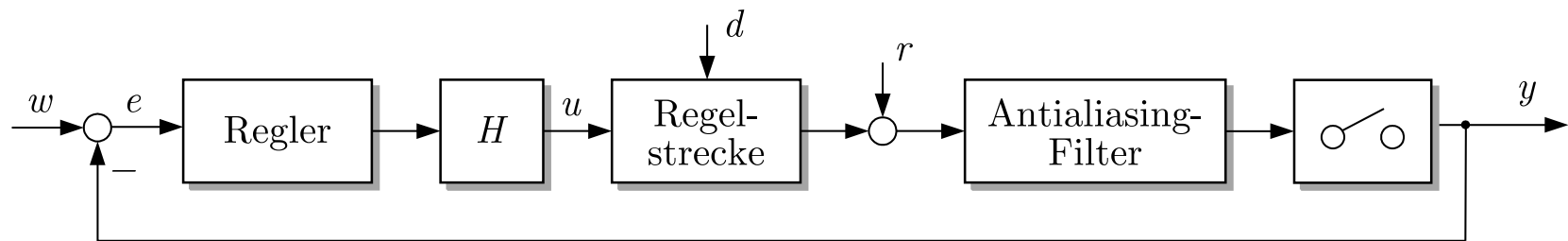


Abb. 10.5. Antialiasing-Filter zur Unterdrückung der Wirkung des hochfrequenten Messrauschens $r(t)$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

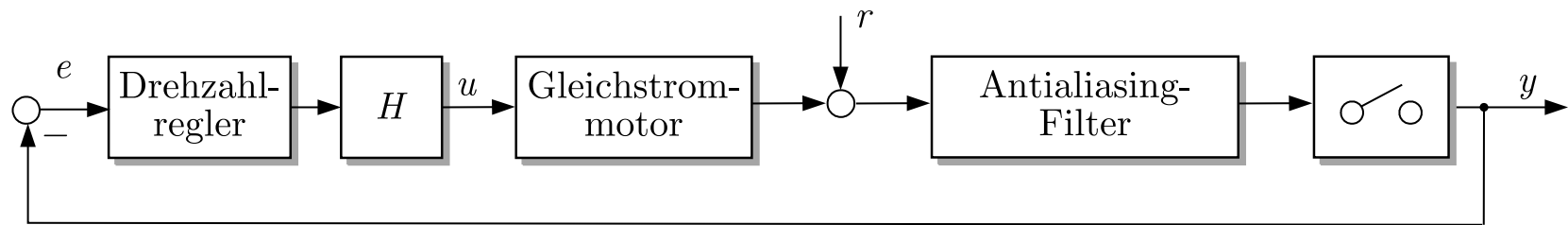


Abb. 10.6. Zeitdiskrete Realisierung einer Drehzahlregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

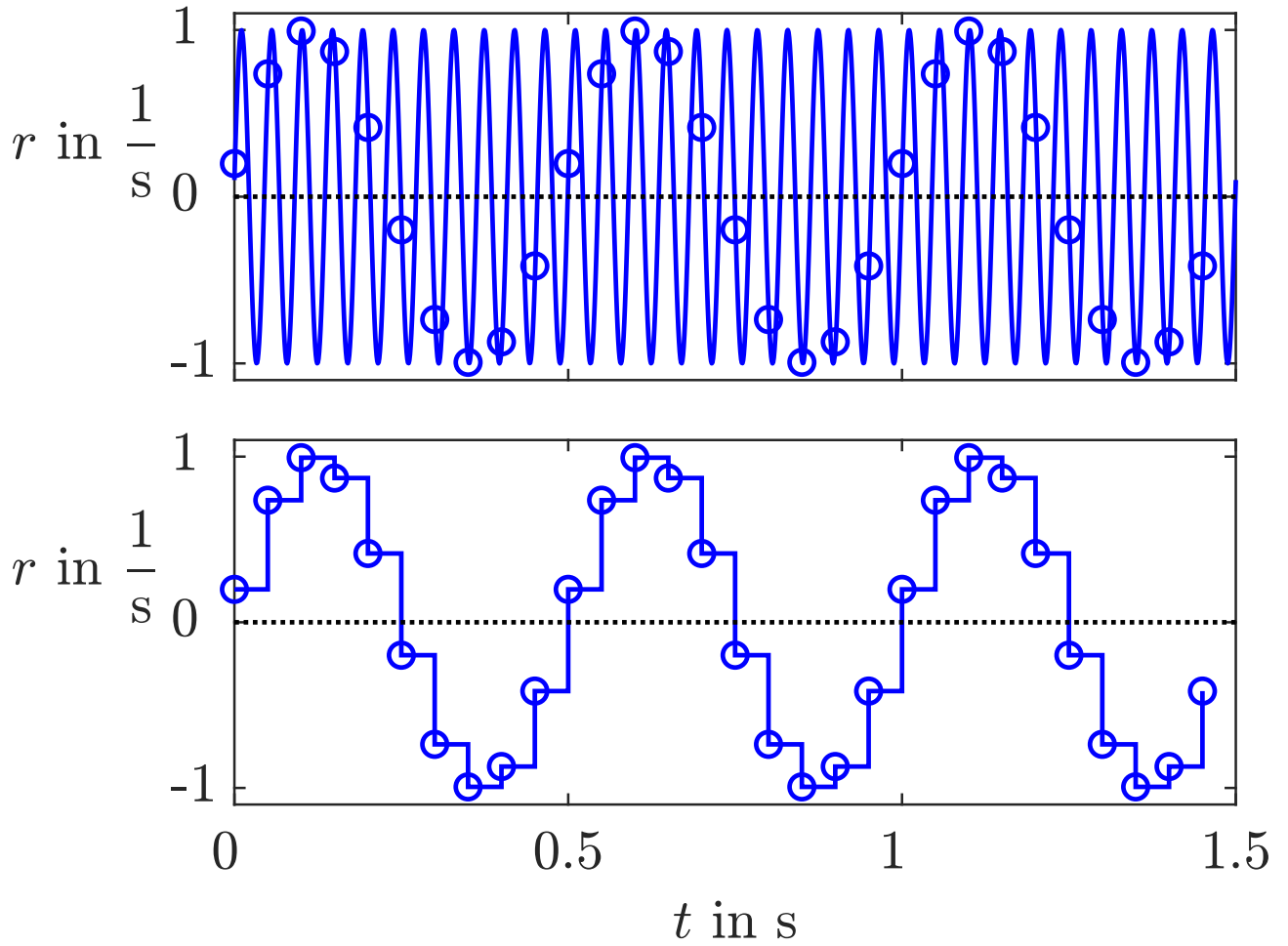


Abb. 10.7: Aliasing beim Abtasten des Rauschsignals

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

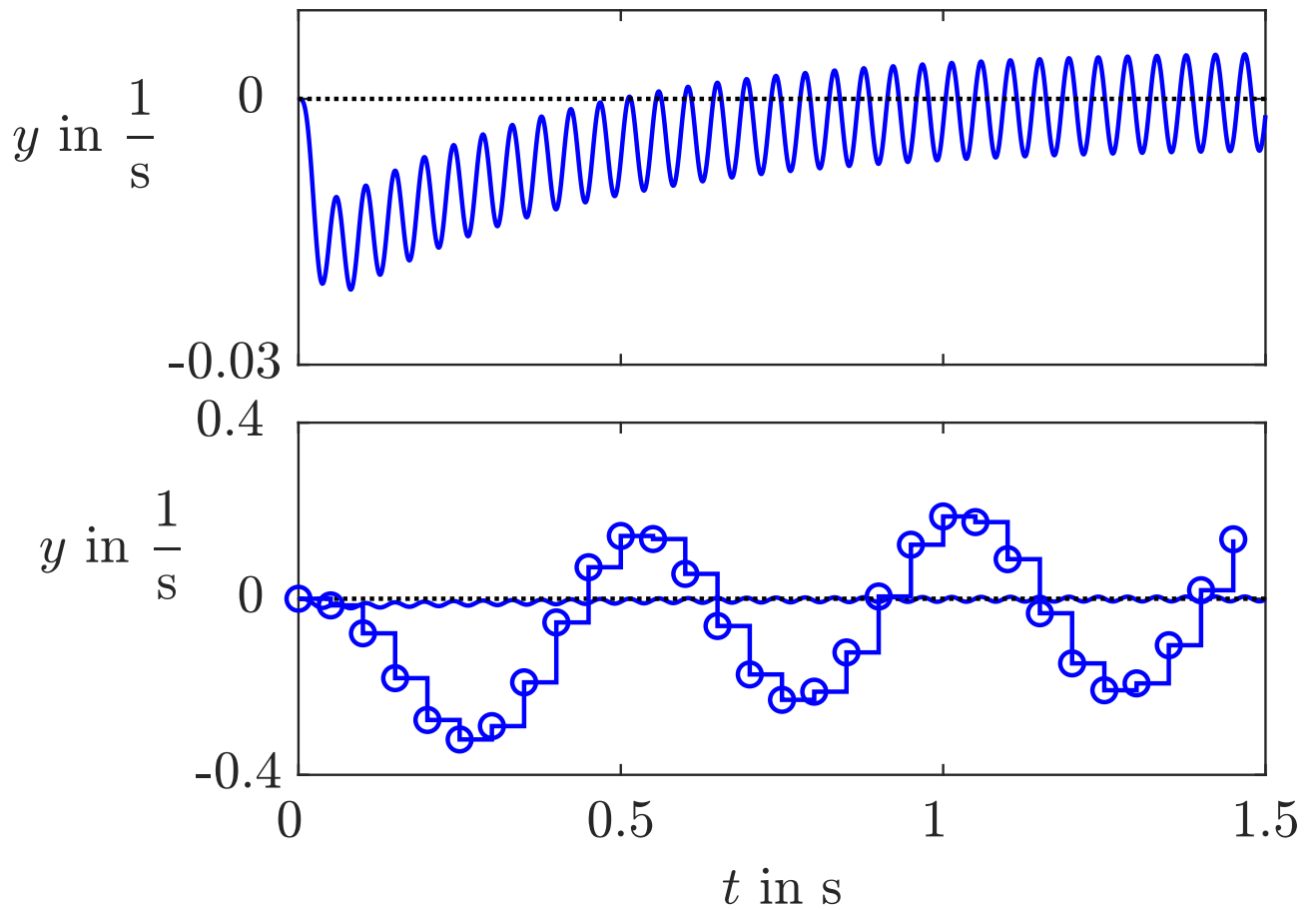


Abb. 10.8: Verhalten des gestörten Gleichstrommotors bei kontinuierlicher Regelung (oben) und bei zeitdiskreter Regelung (unten)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

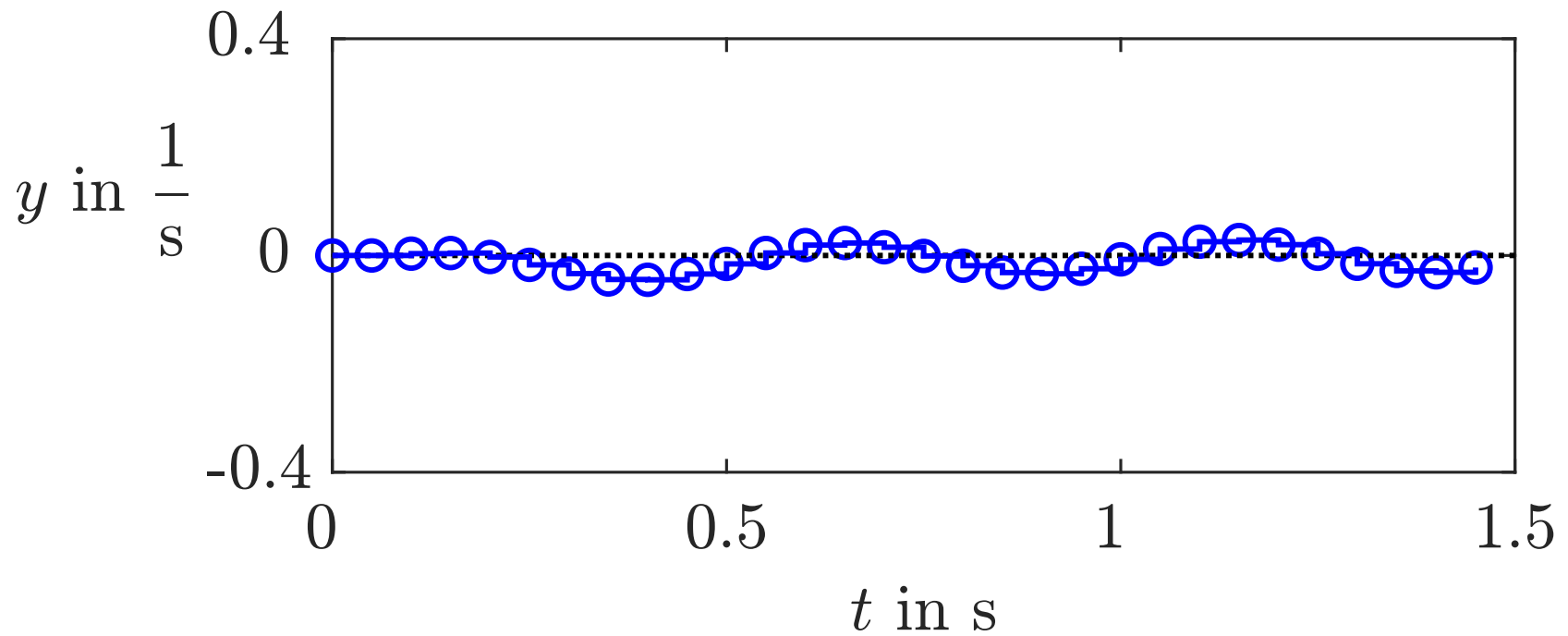


Abb. 10.9. Verbesserung des Störverhaltens durch Verwendung eines Antialiasing-Filters

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

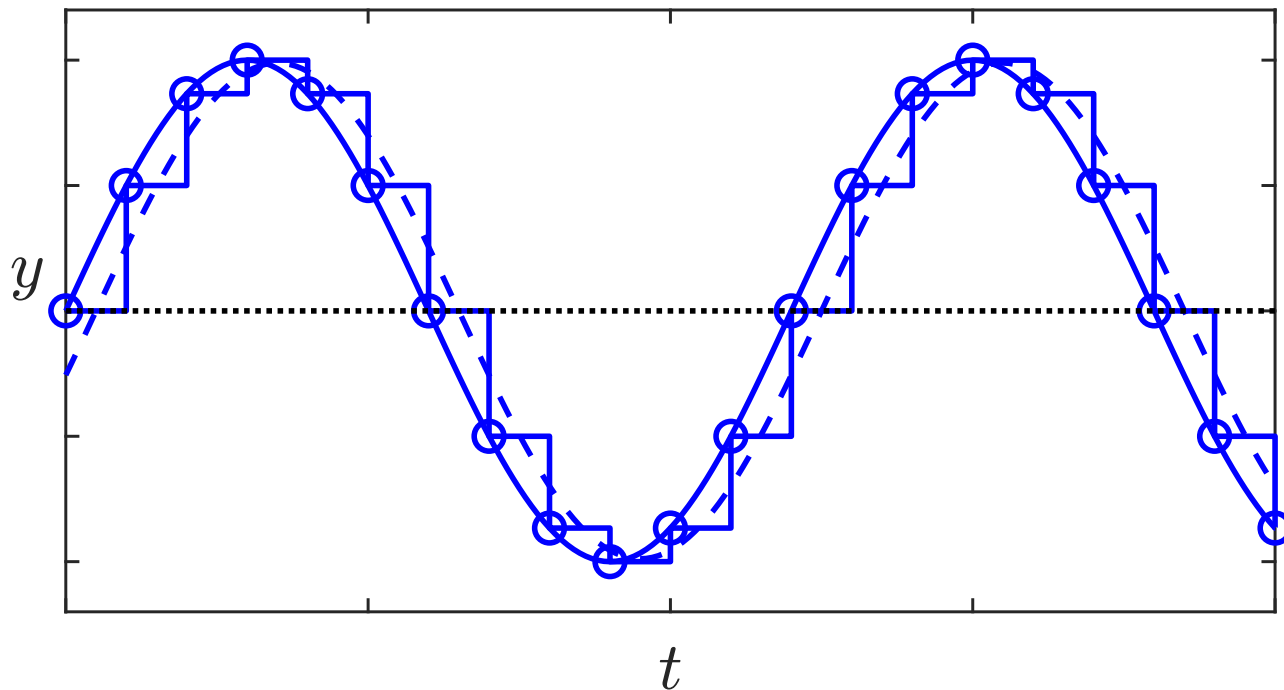


Abb. 10.10: Wirkung des Haltegliedes bei einem sinusförmigen Signal

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

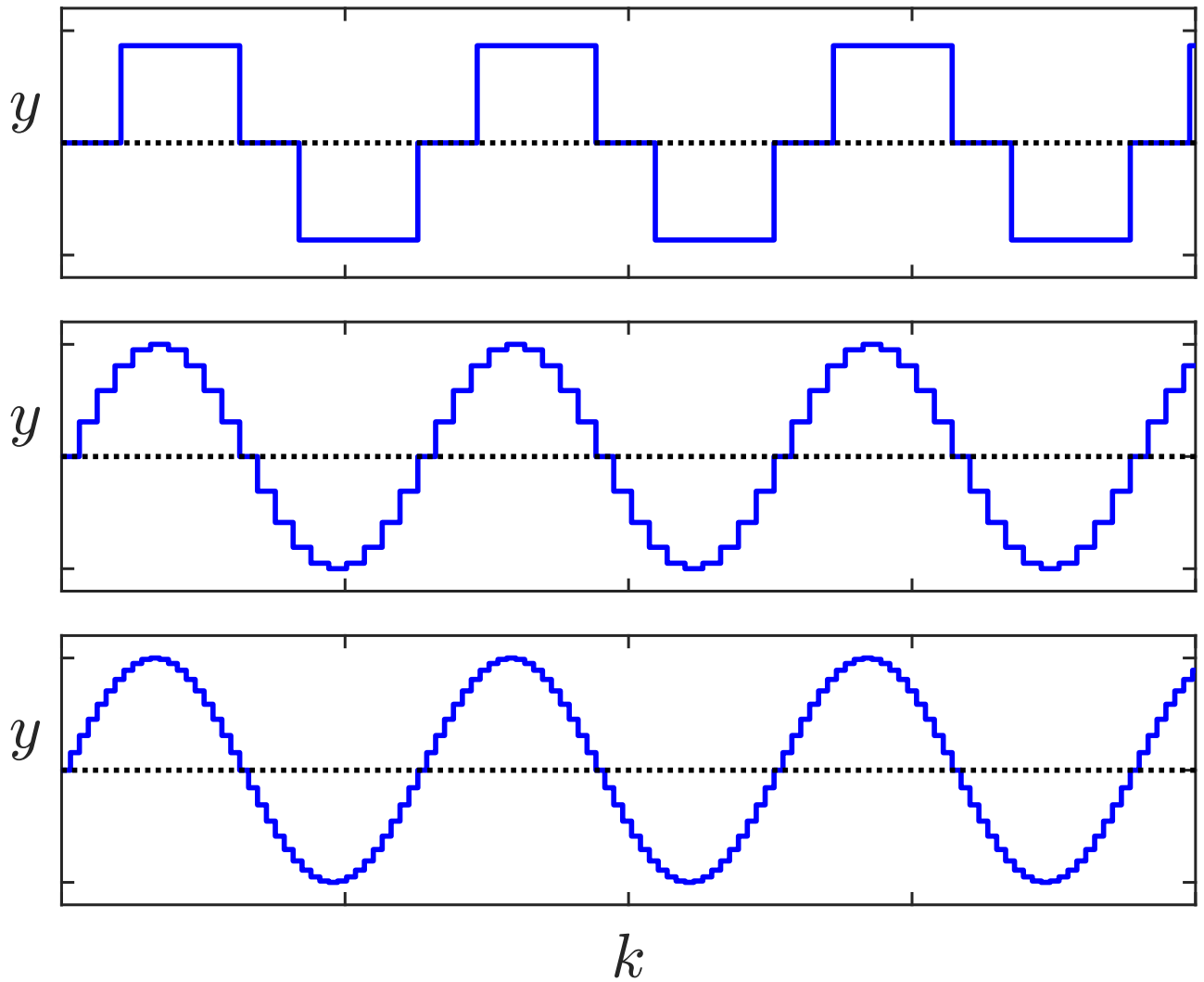


Abb. 10.11: Sinusförmiges Signal mit unterschiedlicher Abtastfrequenz

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

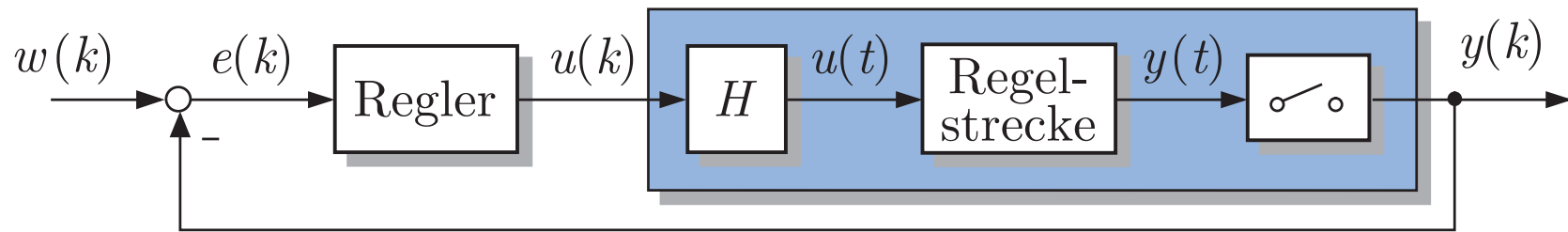


Abb. 11.1. Abtastsystem

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

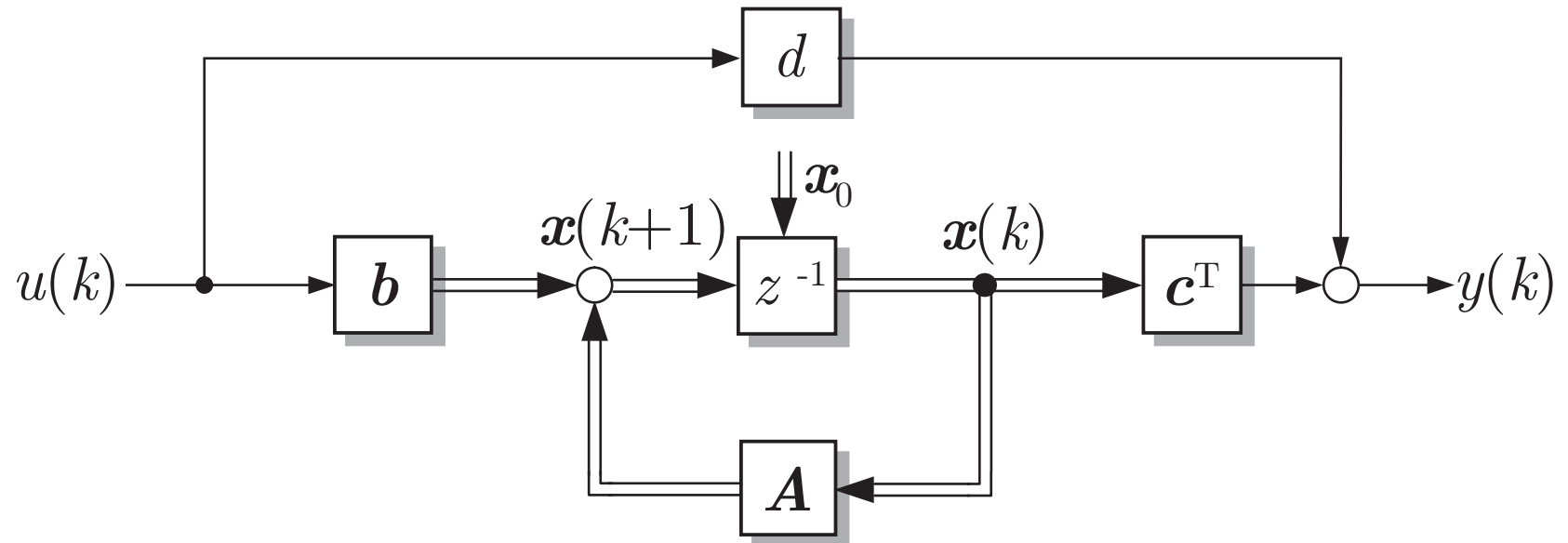


Abb. 11.2. Strukturbild des zeitdiskreten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

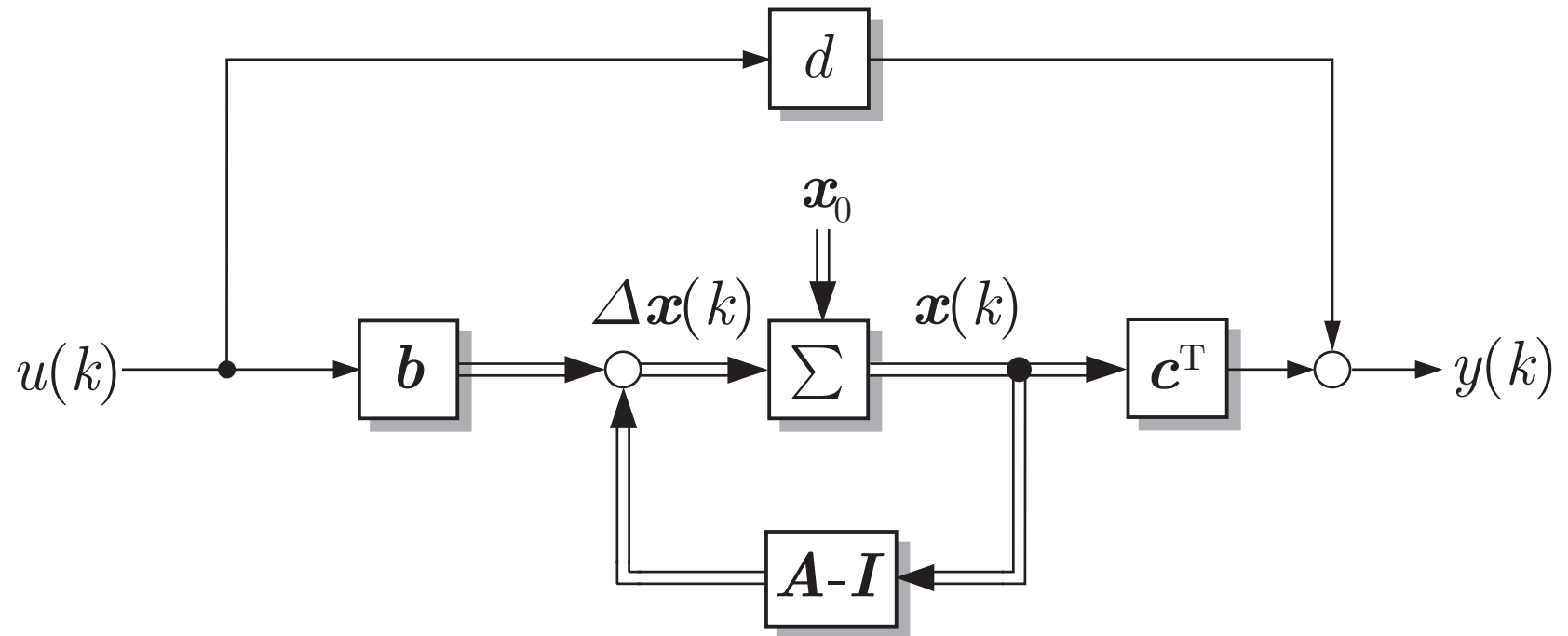


Abb. 11.3. Strukturbild des umgeformten Zustandsraummodells

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

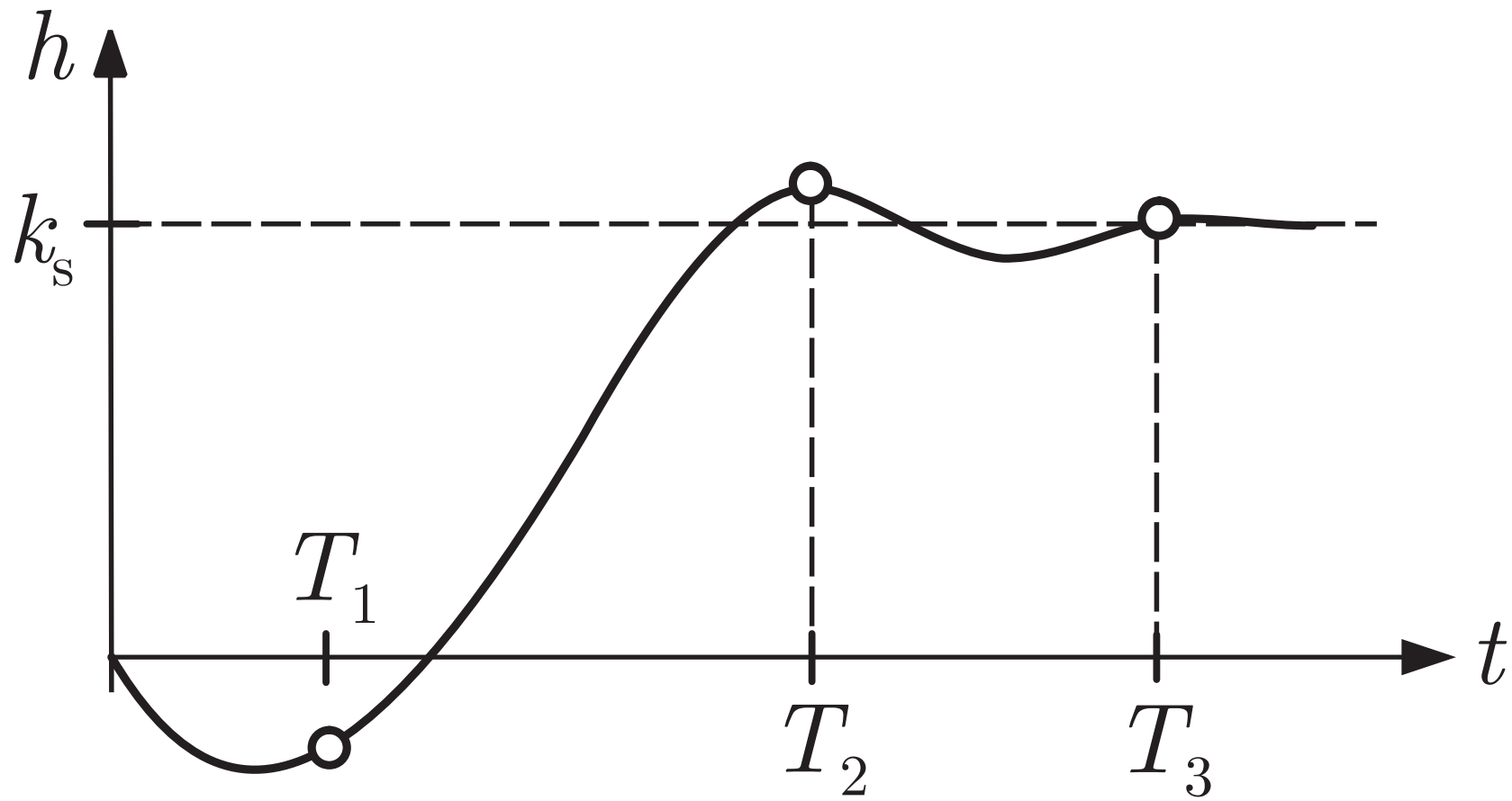


Abb. 11.4. Modell für sehr große Abtastzeit

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

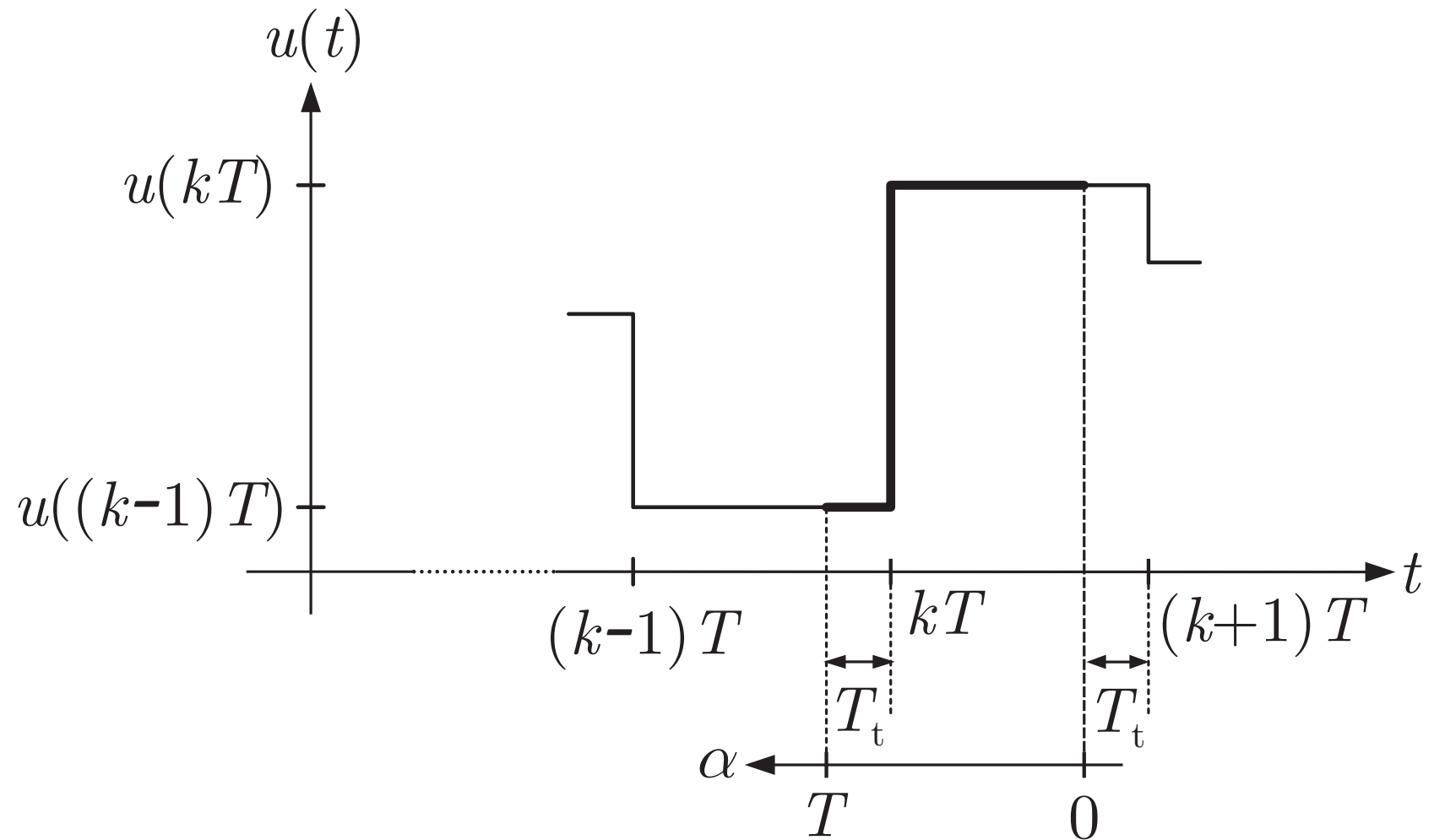


Abb. 11.5. Verlauf von $u(t)$ in dem für die Integration wichtigen Zeitintervall

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

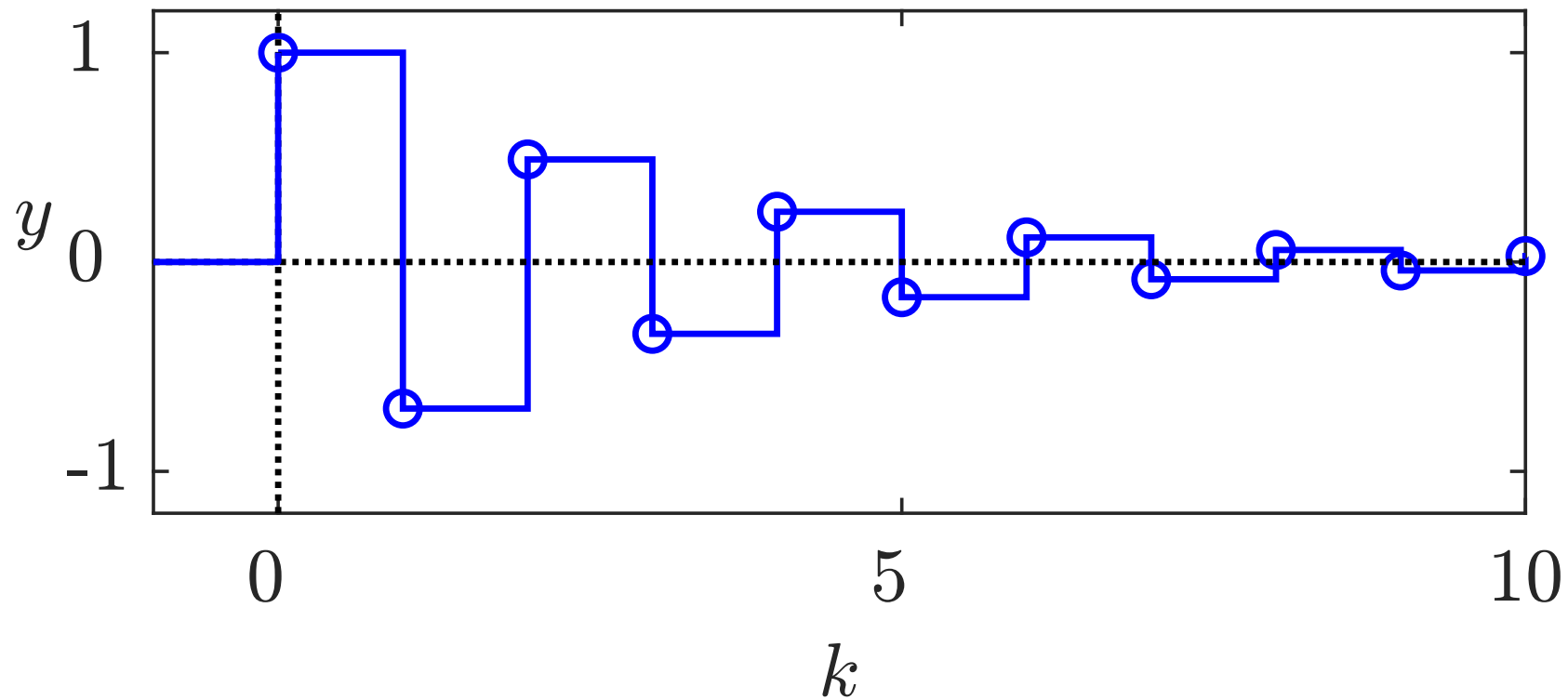


Abb. 11.6. Eigenbewegung eines Systems erster Ordnung mit $a_d = -0,7$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

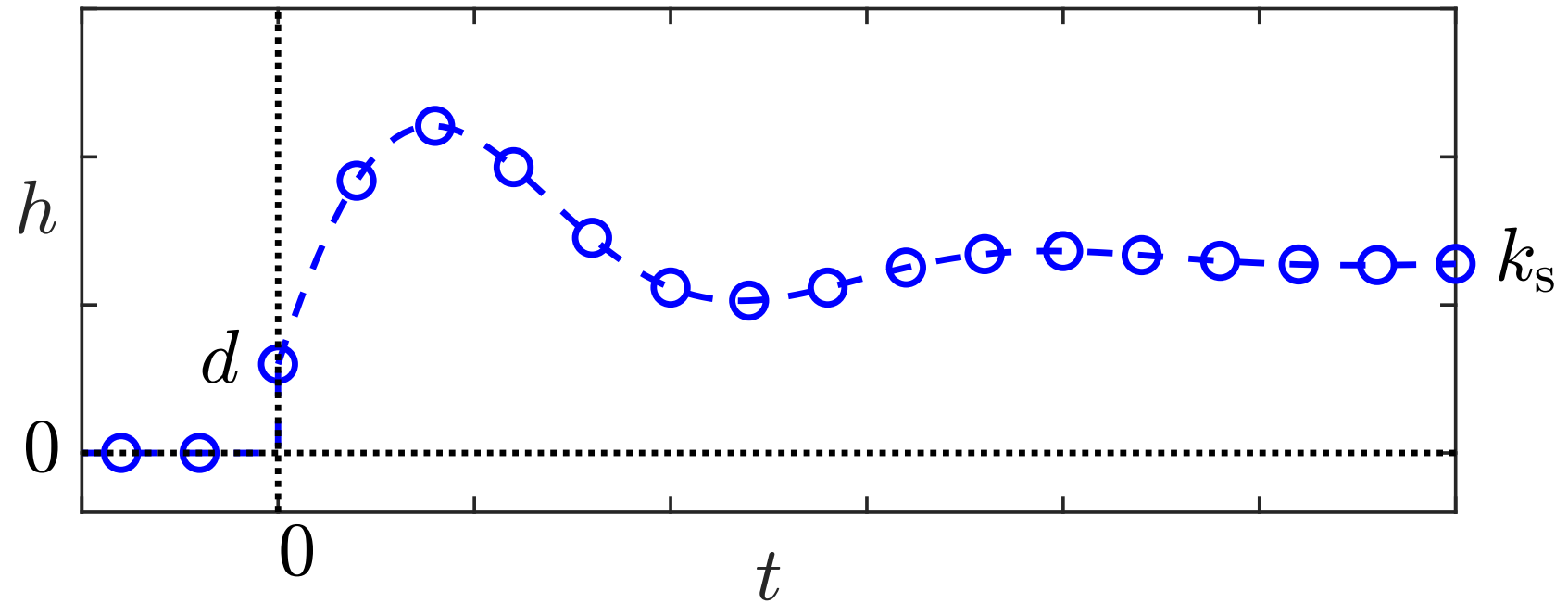


Abb. 11.7. Vergleich von Übergangsfolge und Übergangsfunktion eines Systems zweiter Ordnung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

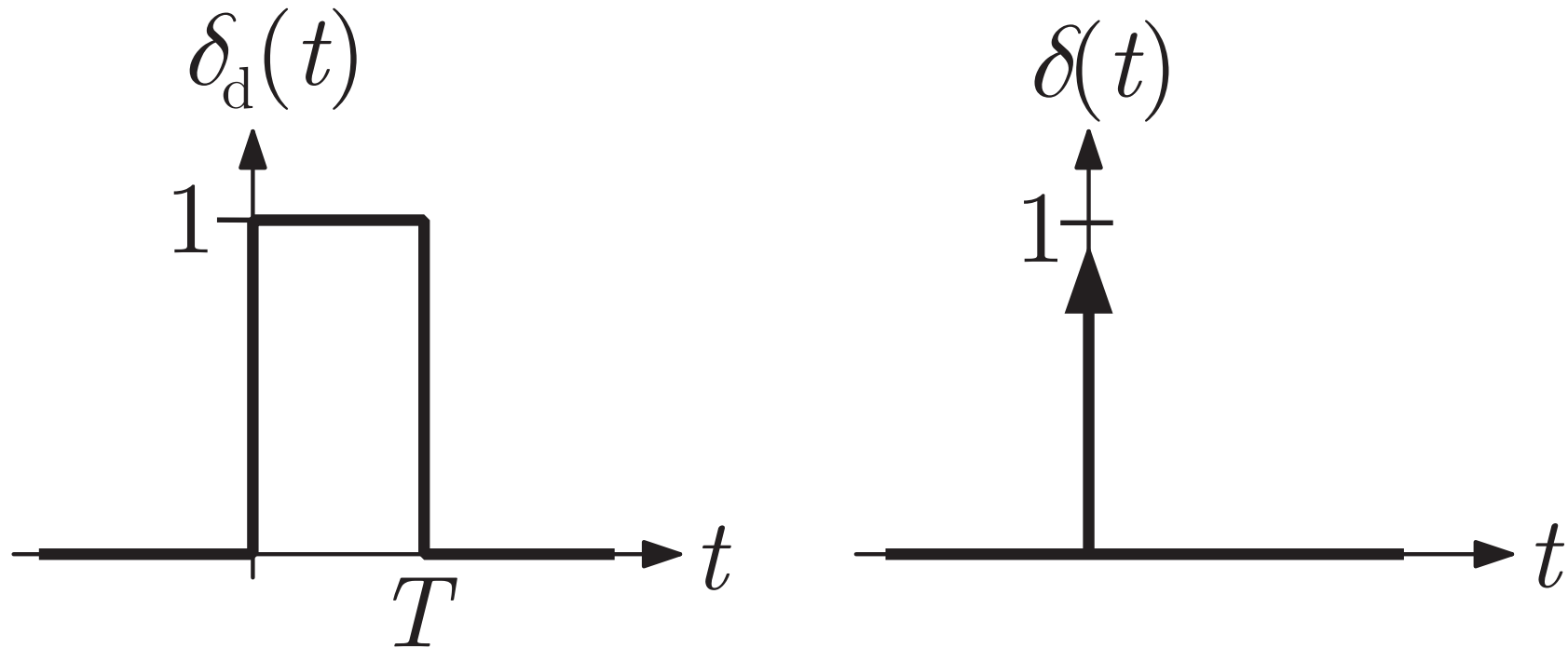


Abb. 11.8. Diskreter Einheitsimpuls (links) und Dirac-Impuls (rechts)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

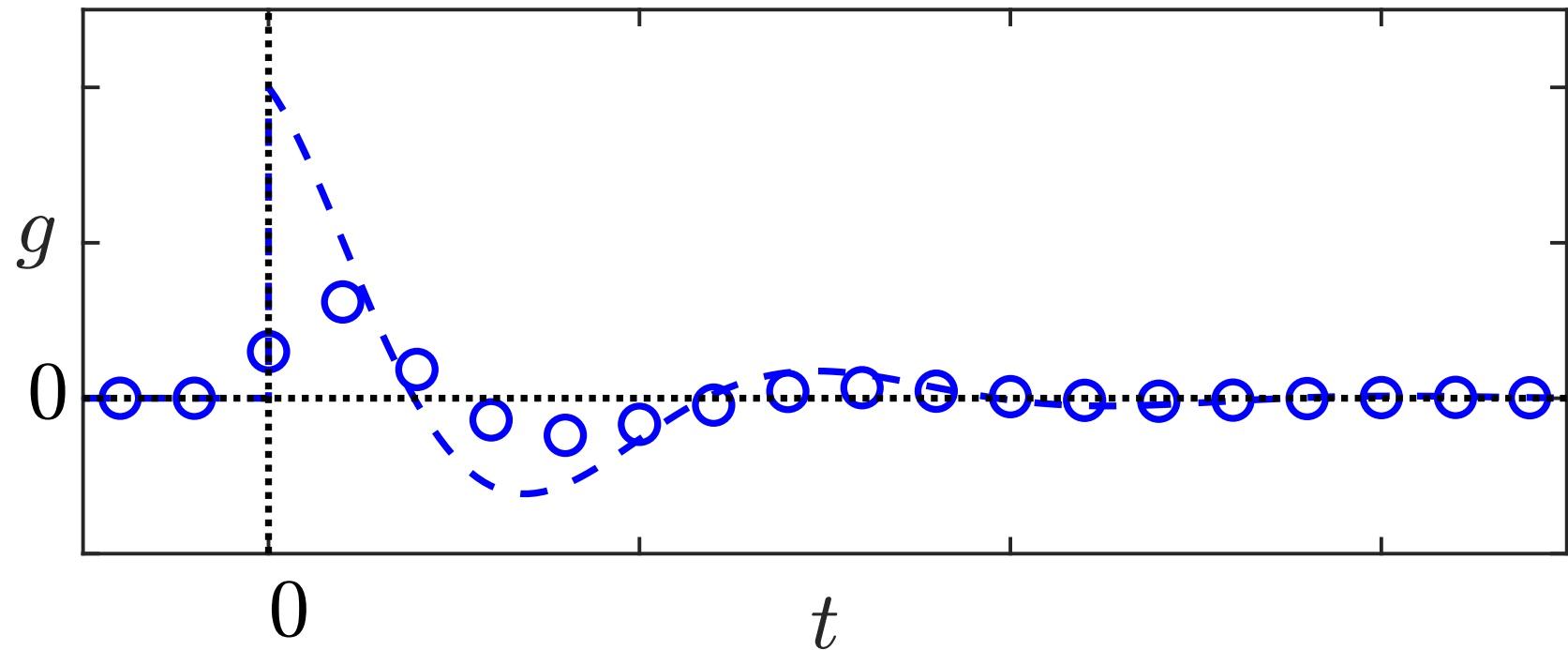


Abb. 11.9. Gewichtsfunktion und Gewichtsfolge des kontinuierlichen und des abgetasteten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

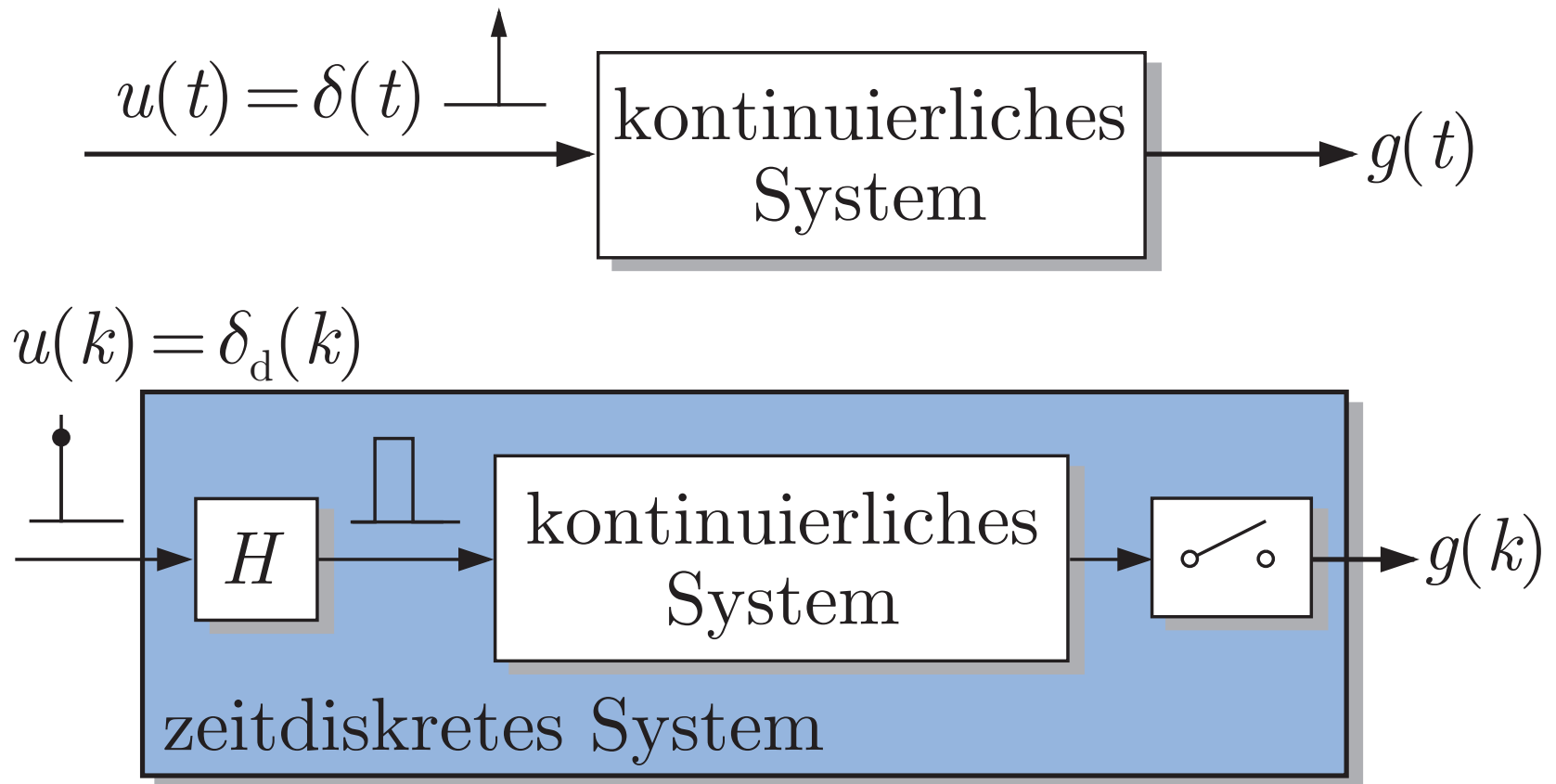


Abb. 11.10. Vergleich von Gewichtsfunktion und Gewichtsfolge

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

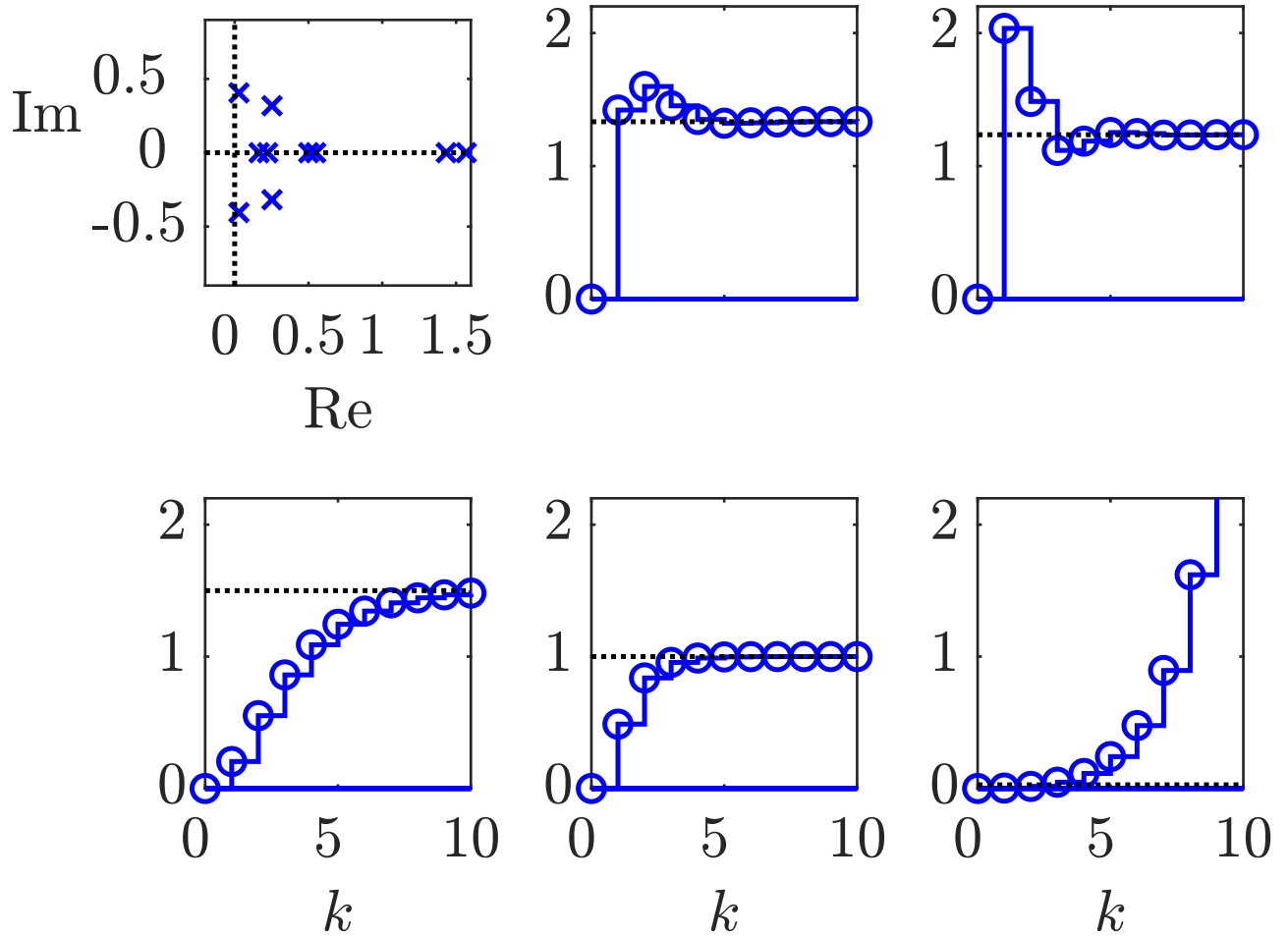


Abb. 11.11: Lage der Eigenwerte sowie Übergangsfolgen für fünf Systeme zweiter Ordnung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

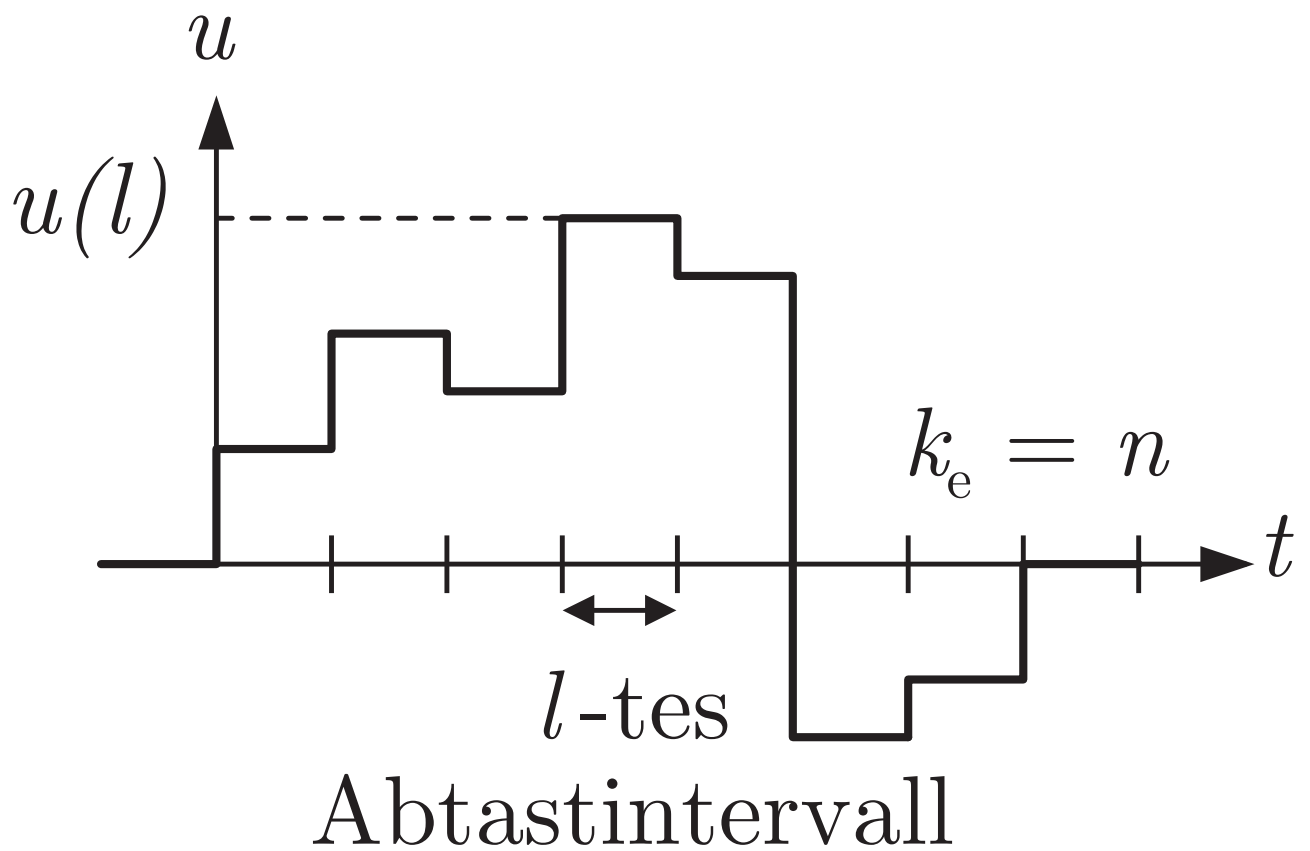


Abb. 11.12: Eingangsfolge zur Umsteuerung eines zeitdiskreten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

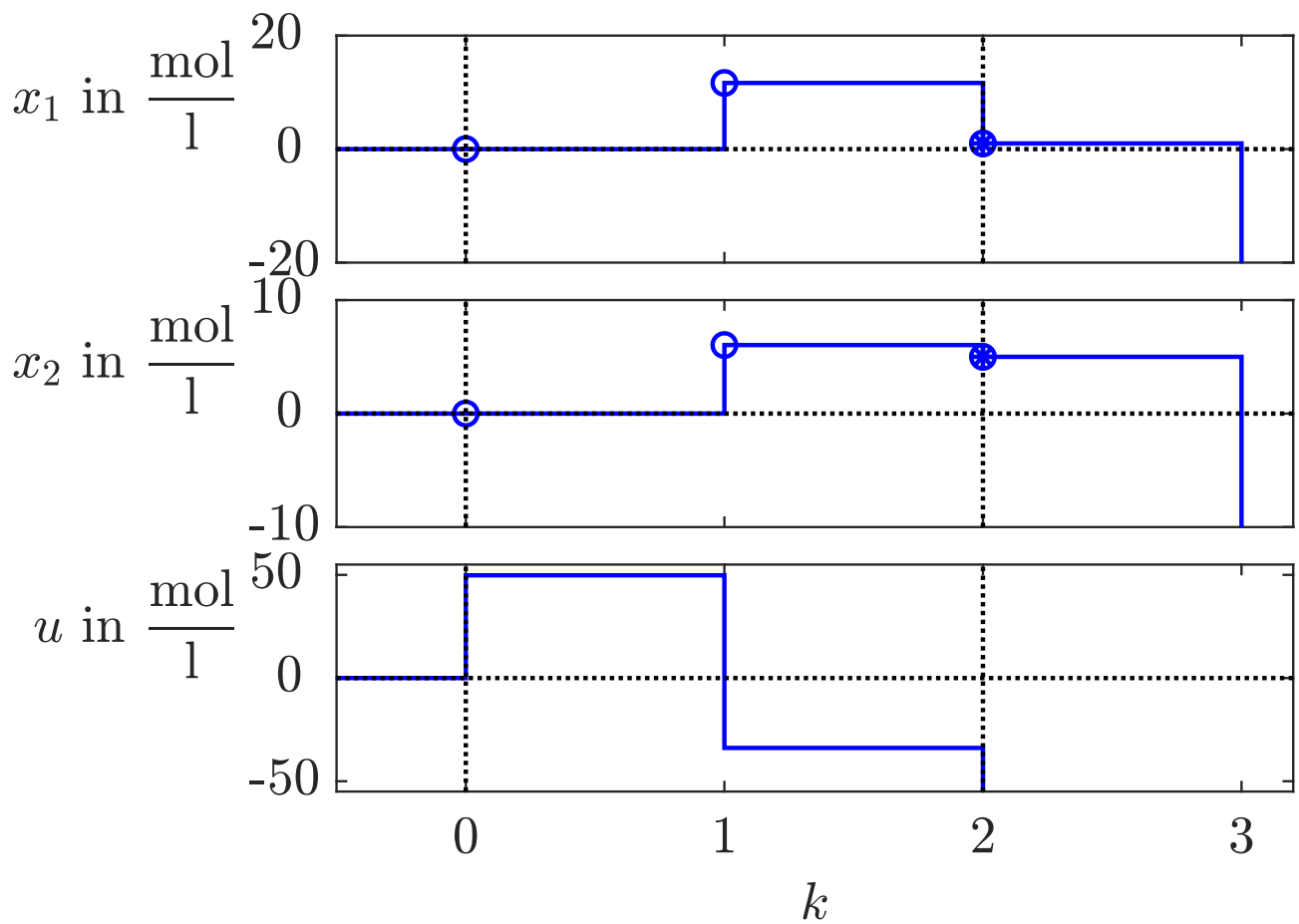


Abb. 11.13: Steuer- und Ausgangsfolge der Rührkesselreaktoren bei einer Abtastzeit $T = 0,8$ min

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

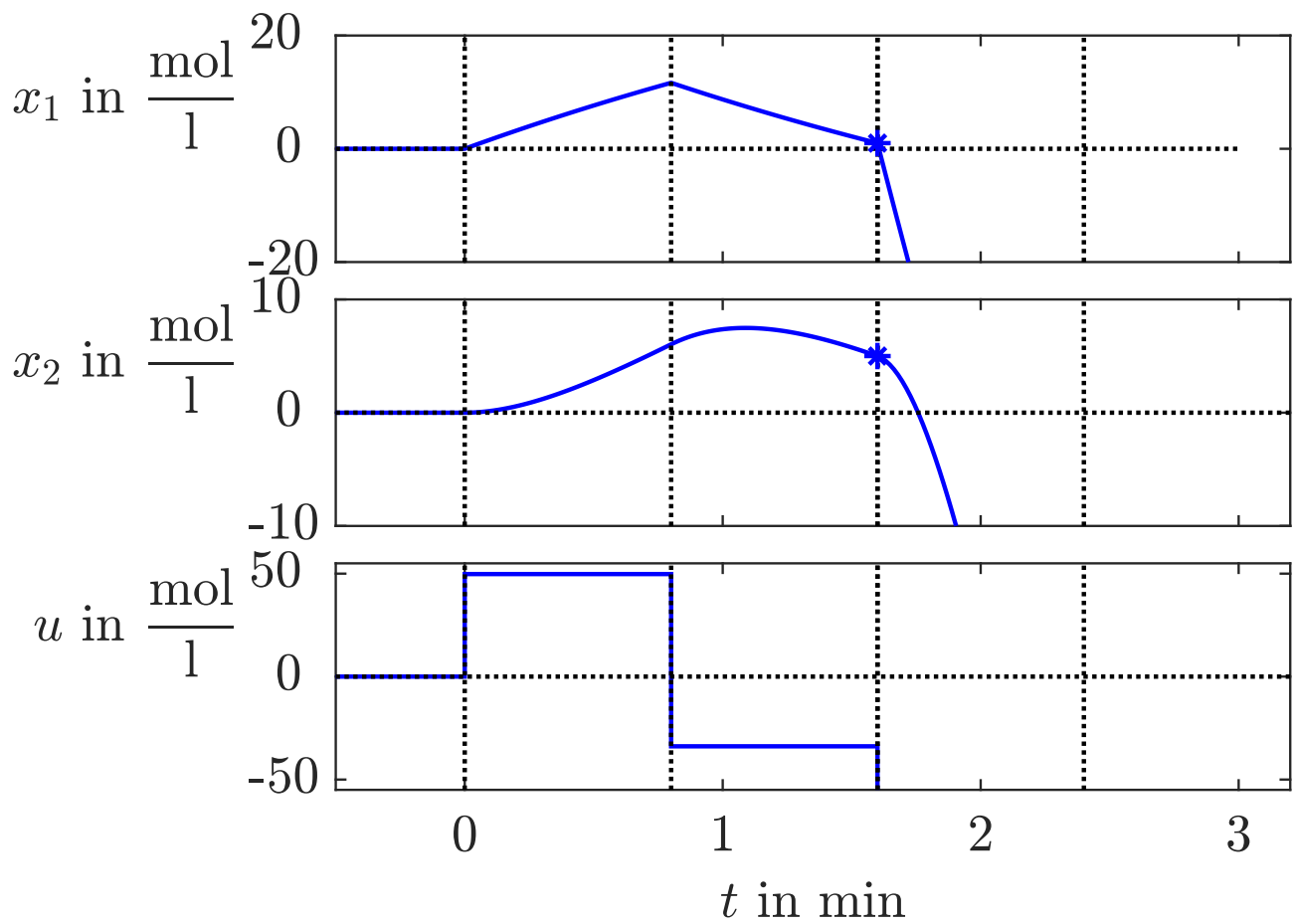


Abb. 11.14: Verhalten des Reaktors bei der Umsteuerung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

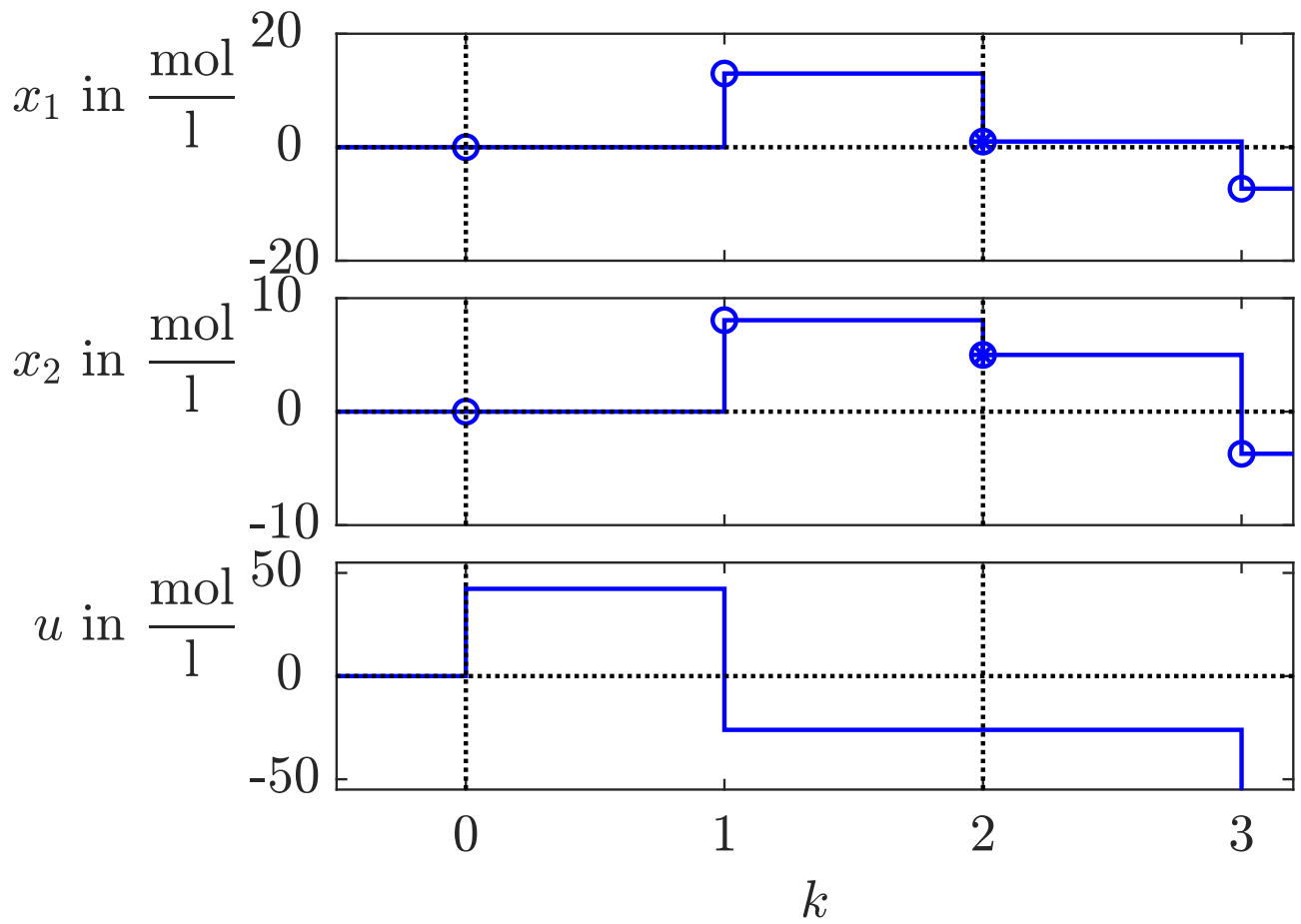


Abb. 11.15: Steuer- und Ausgangsfolge der Rührkesselreaktoren bei einer Abtastzeit $T = 1,1$ min

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

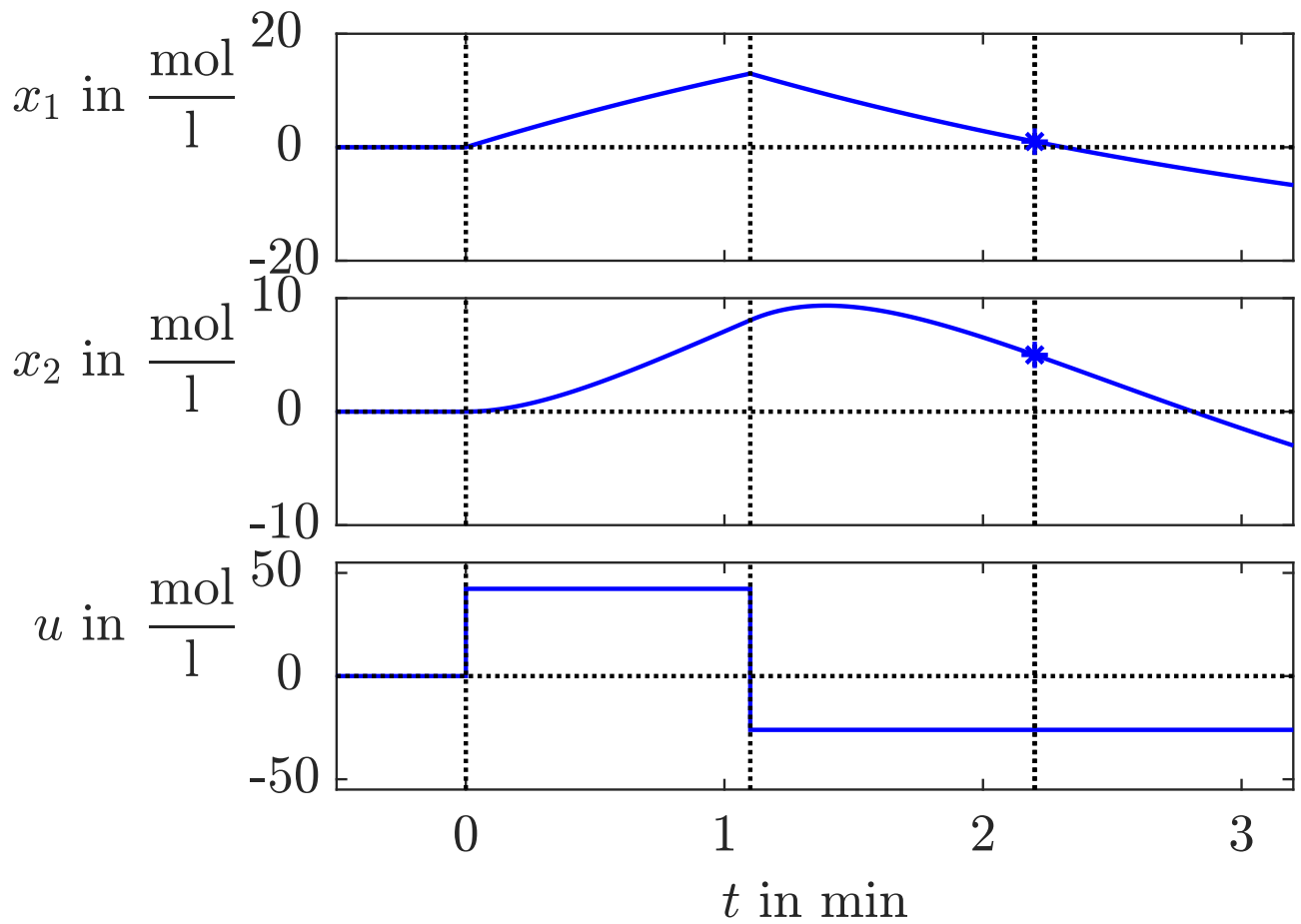


Abb. 11.16: Verhalten des Reaktors bei der Umsteuerung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

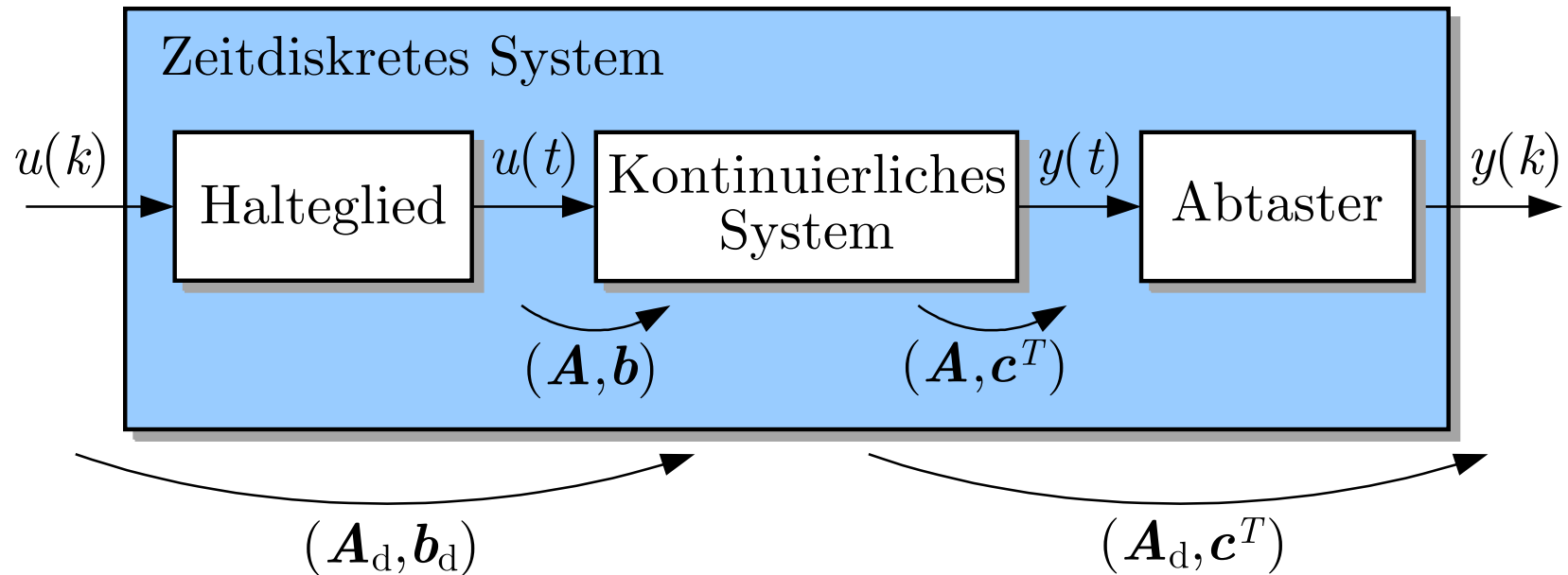


Abb. 11.17. Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit des kontinuierlichen und des zeitdiskreten Systems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

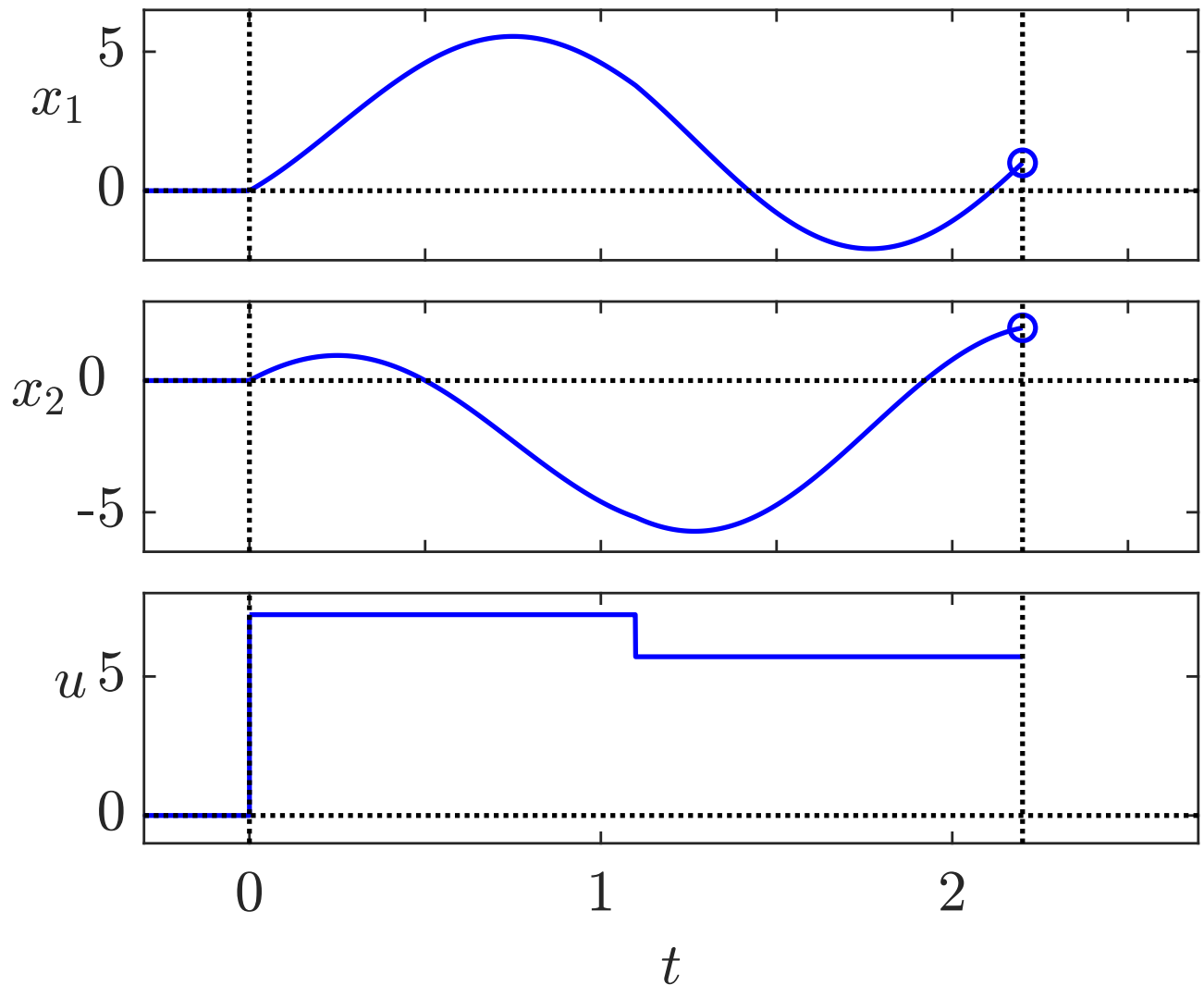


Abb. 11.18: Stückweise konstante Eingangsgröße zur Steuerung des Systems in den Endzustand $(1 \ 2)^T$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

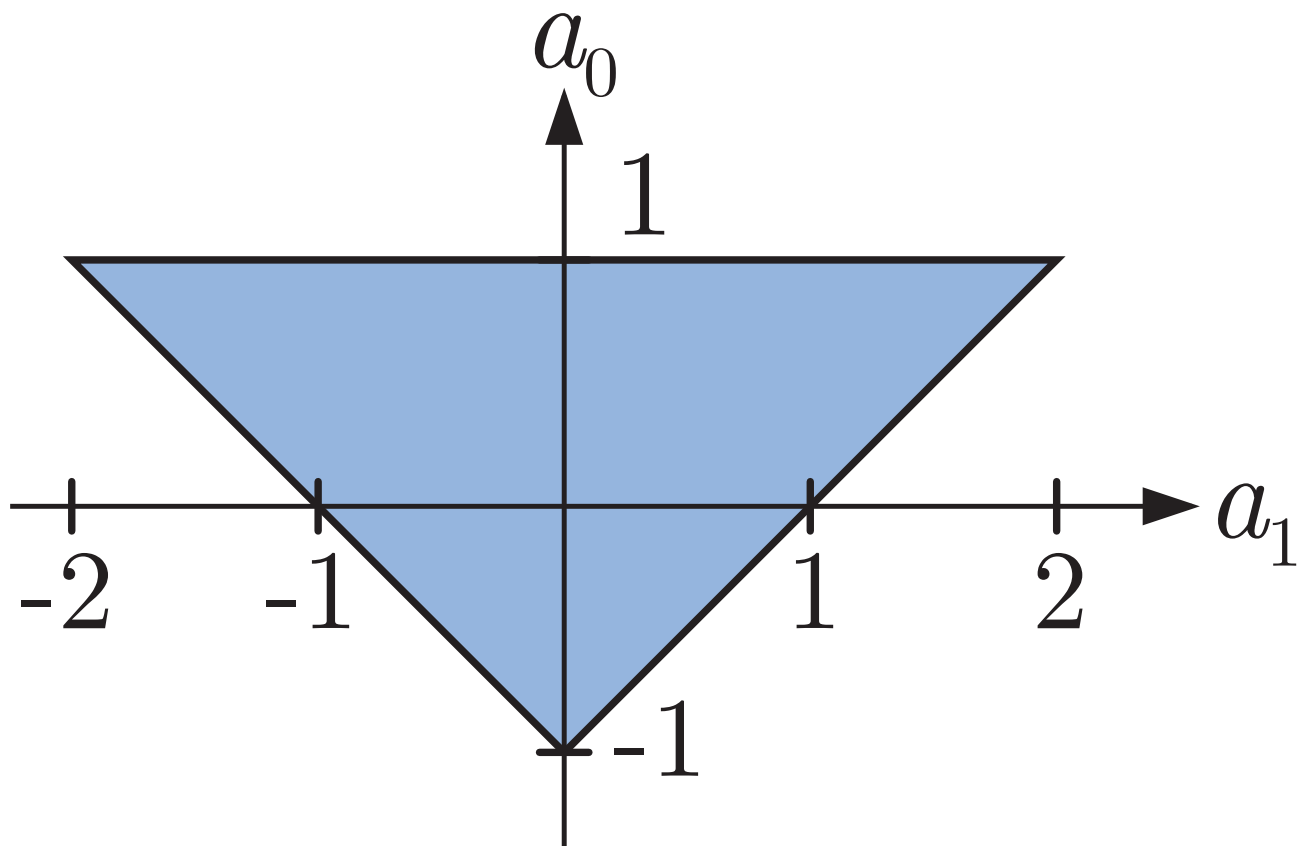


Abb. 11.19: Menge der Koeffizienten, die auf ein stabiles System führen

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

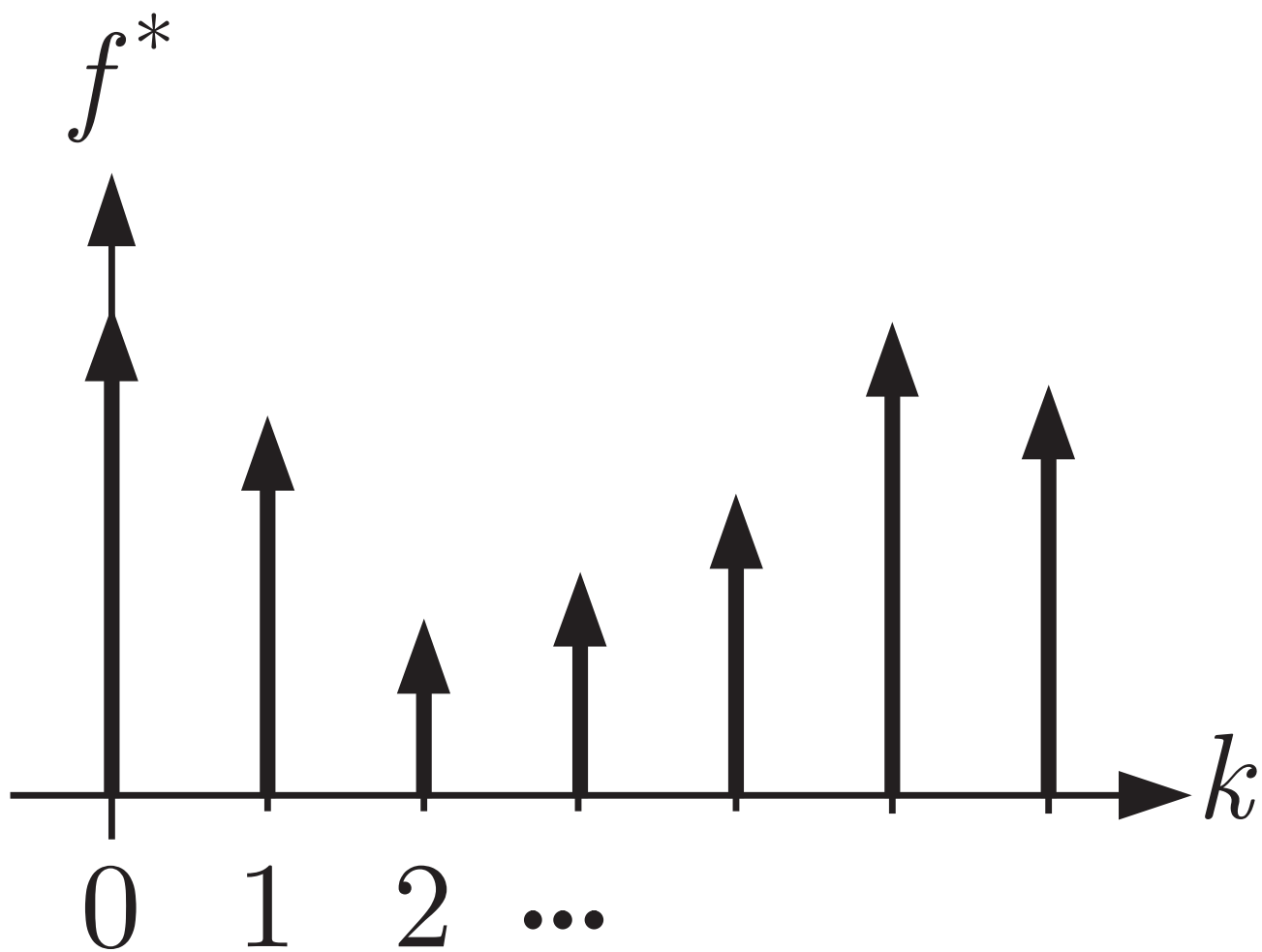
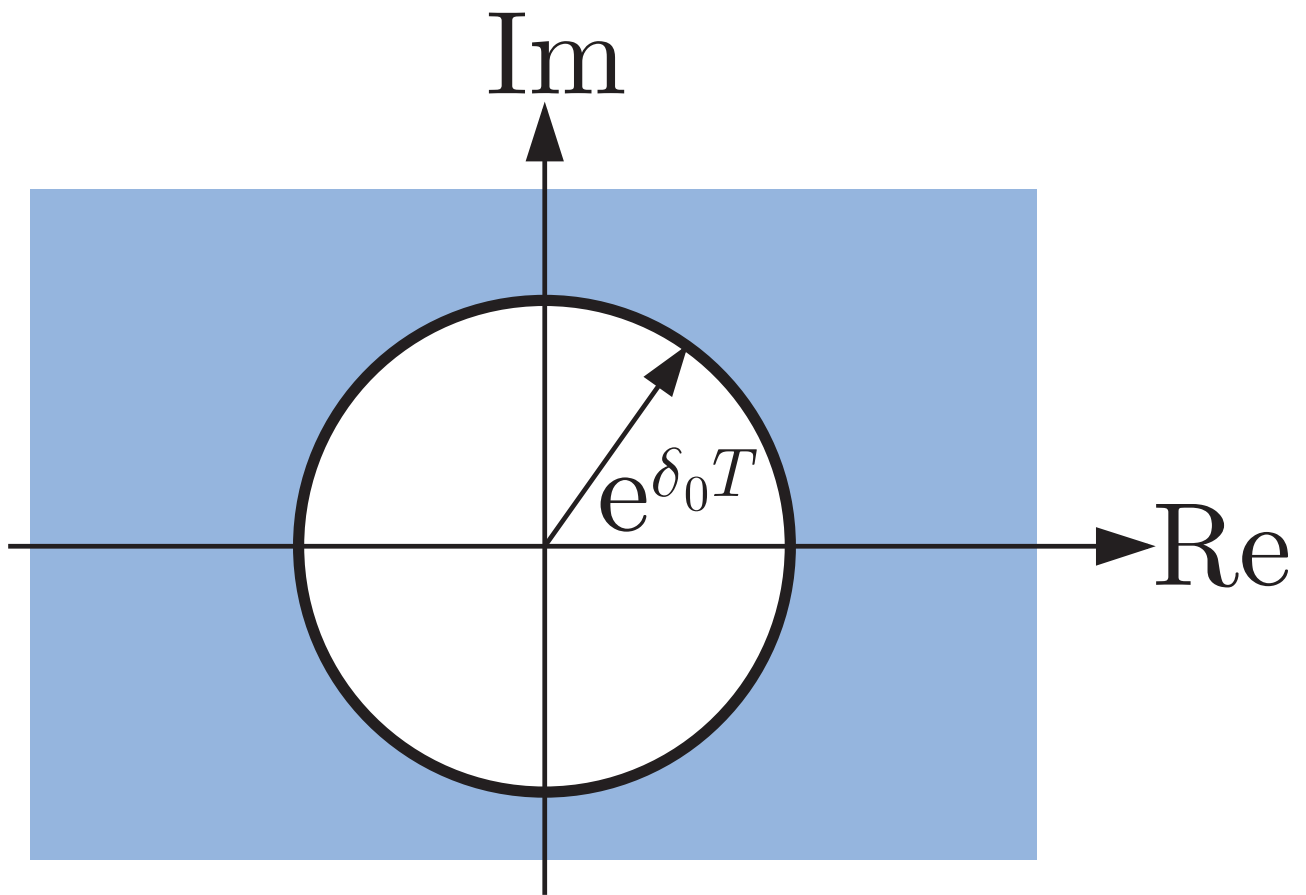


Abb. 12.1: Darstellung der Abtastfolge durch Dirac-Impulse

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020



**Abb. 12.2: Konvergenzgebiet der \mathcal{Z} -Transformation
(graue Fläche)**

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

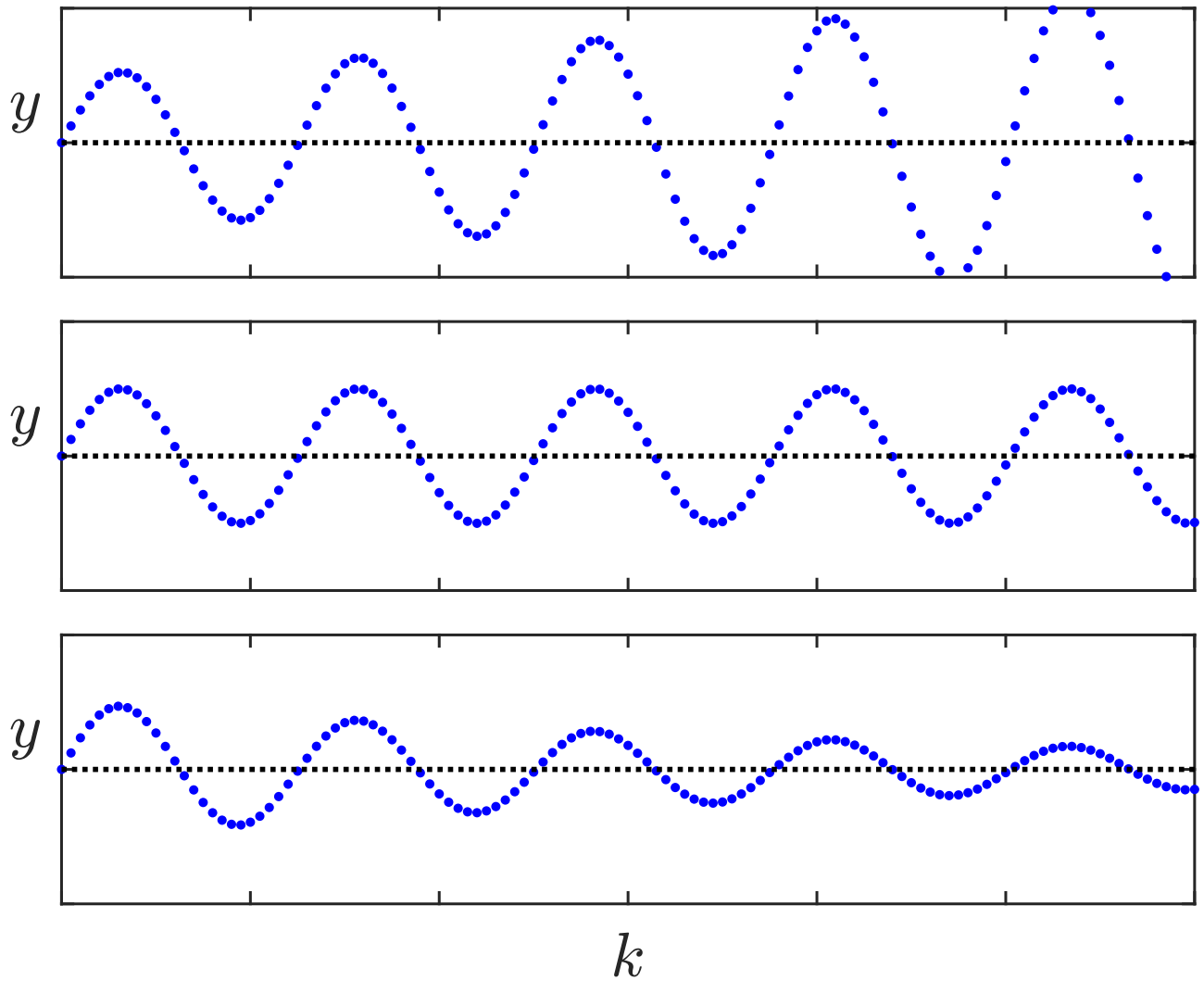


Abb. 12.3: Elementarfolgen der \mathcal{Z} -Transformation

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

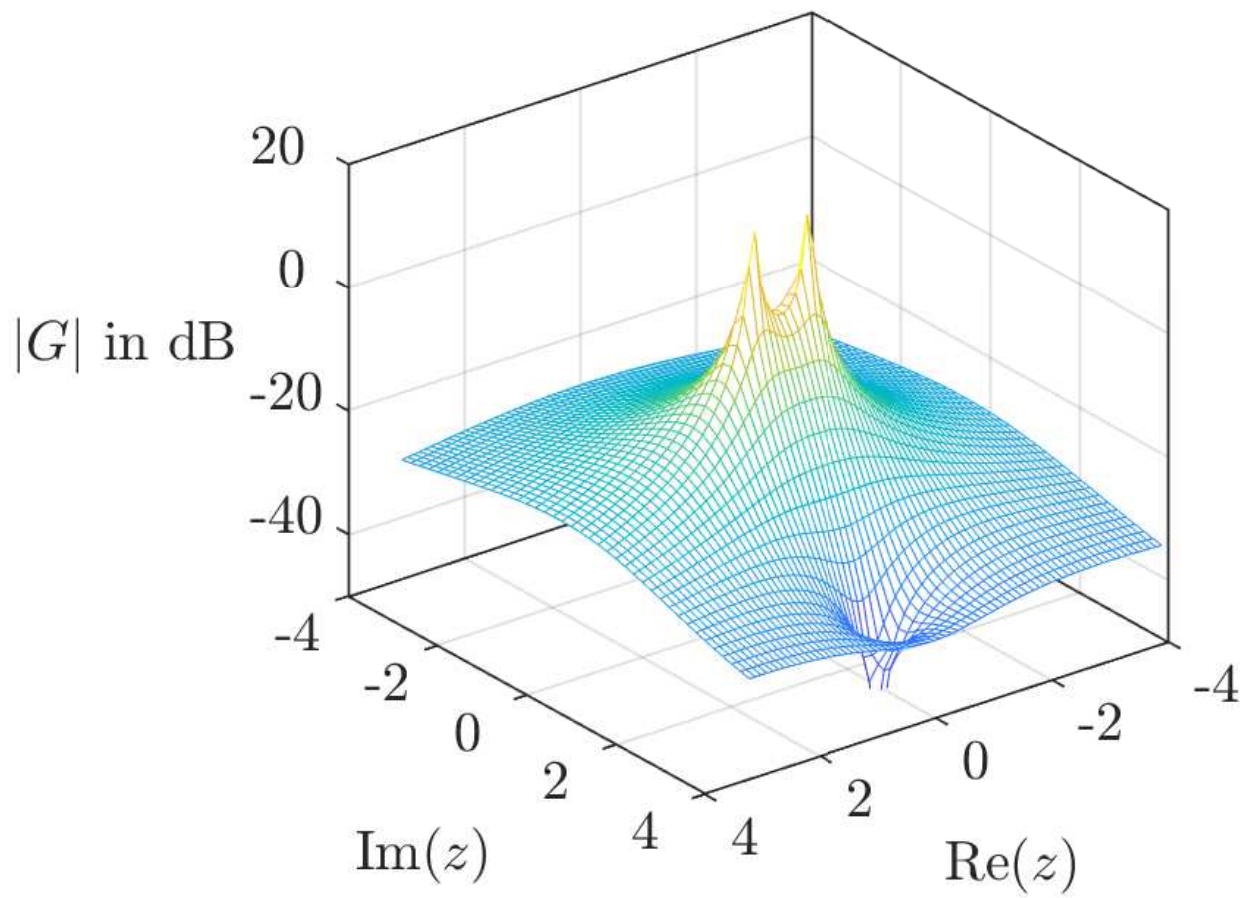


Abb. 12.4: Dreidimensionale Darstellung von $|G(z)|$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

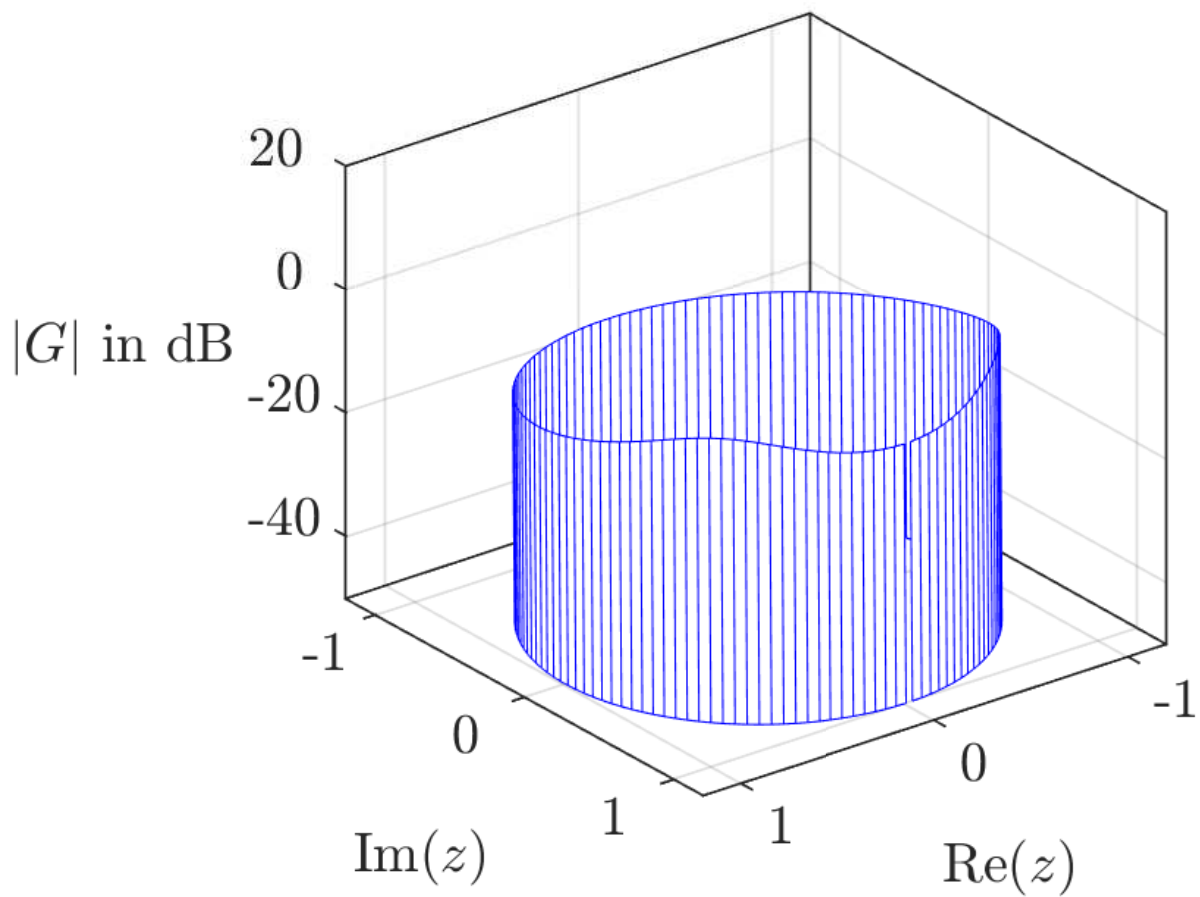


Abb. 12.5: Dreidimensionale Darstellung des Frequenzganges

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

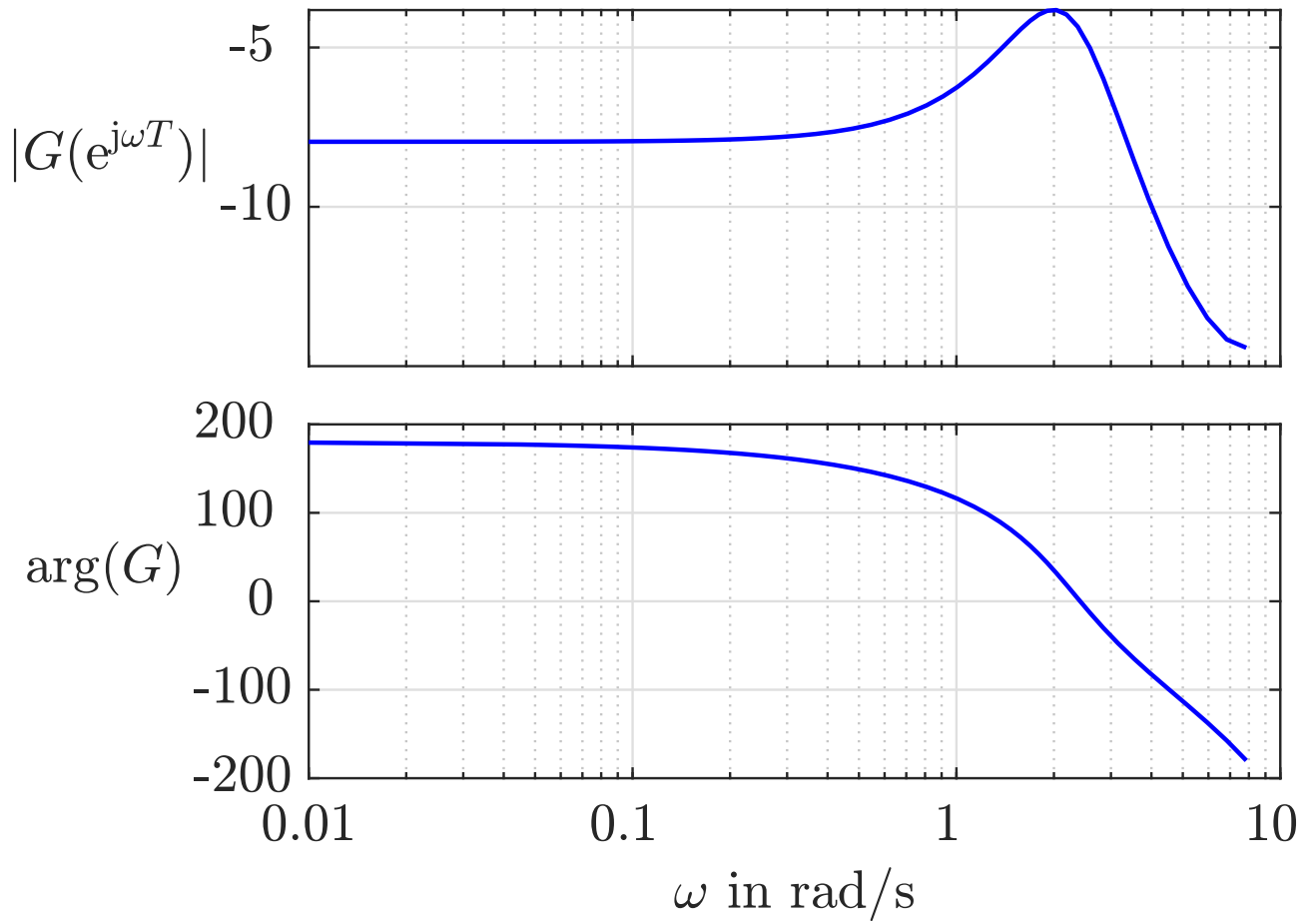


Abb. 12.6: Frequenzkennliniendiagramm

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

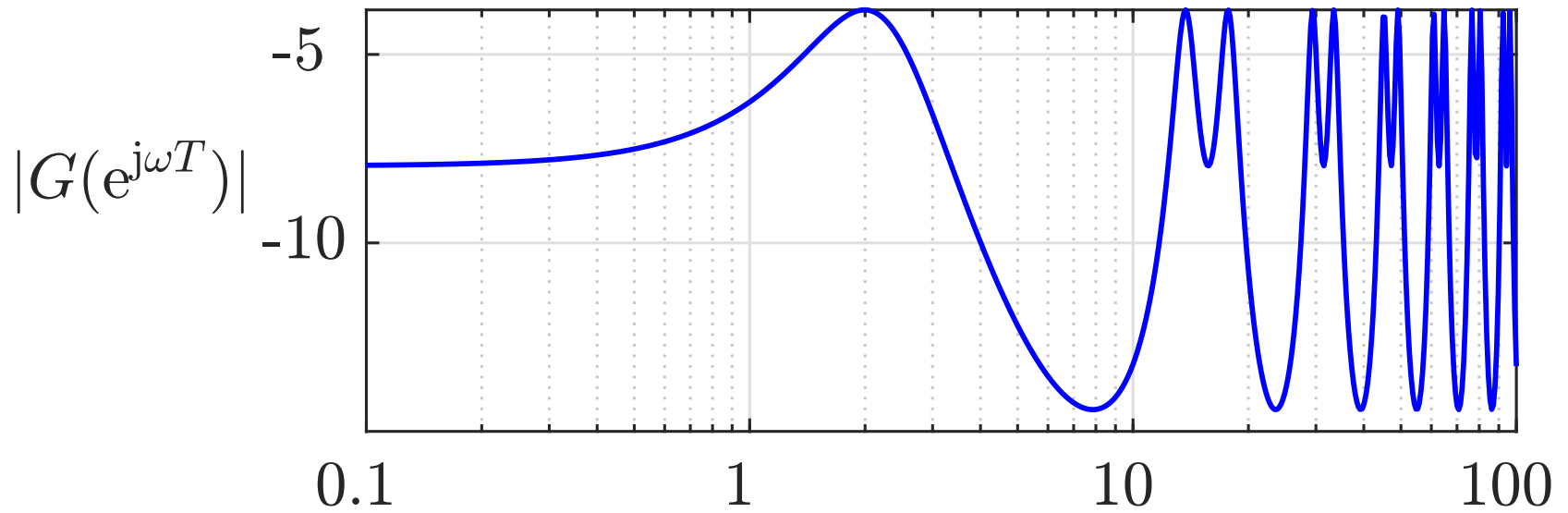


Abb. 12.7. Frequenzkennliniendiagramm, das auch den über der Abtastfrequenz liegenden Bereich zeigt

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

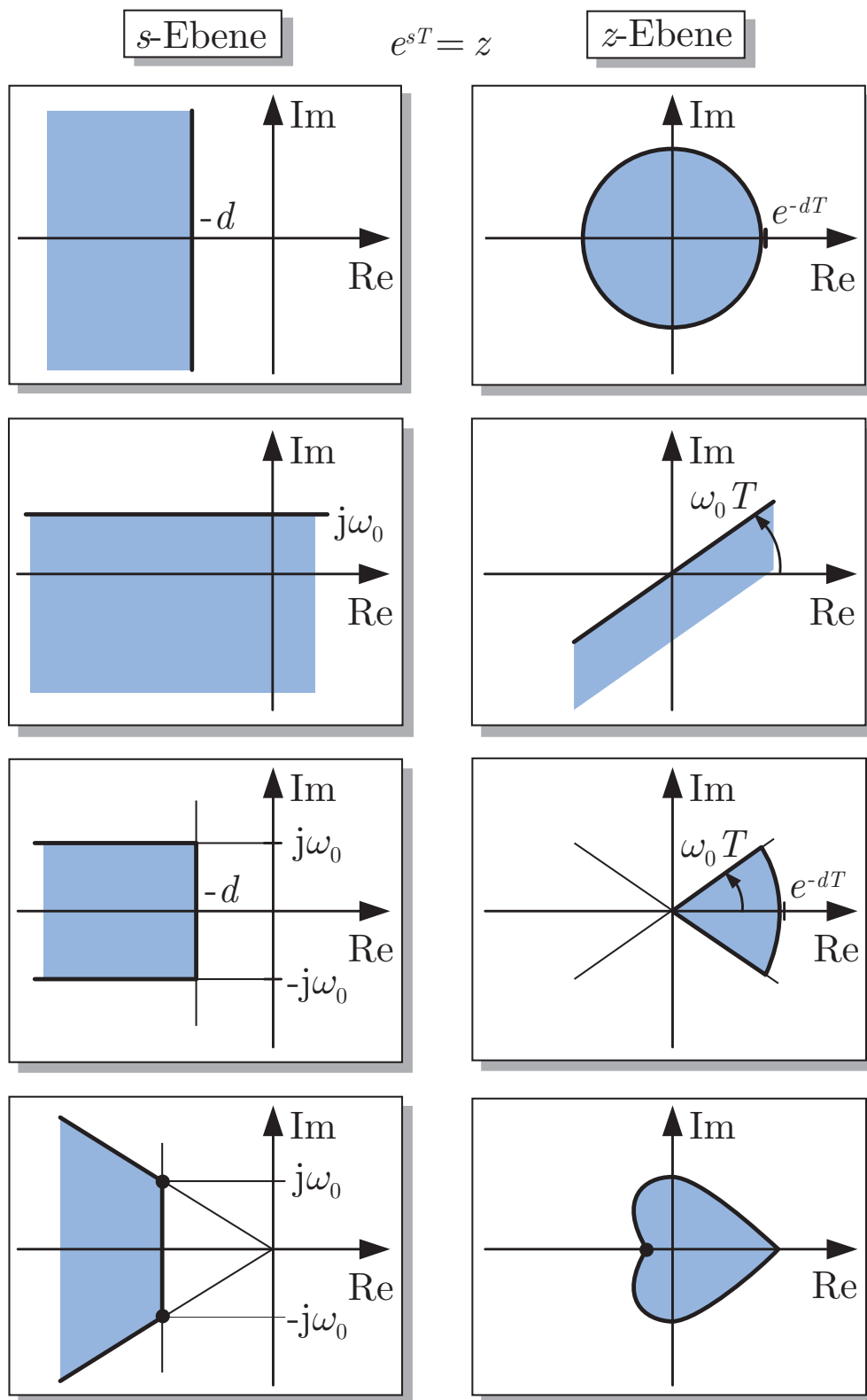


Abb. 12.8. Vergleich von s -Ebene und z -Ebene

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

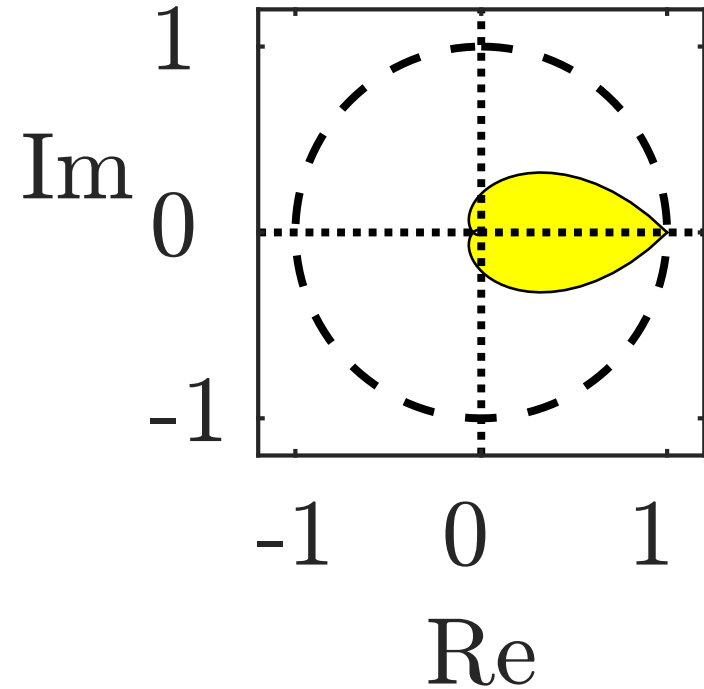
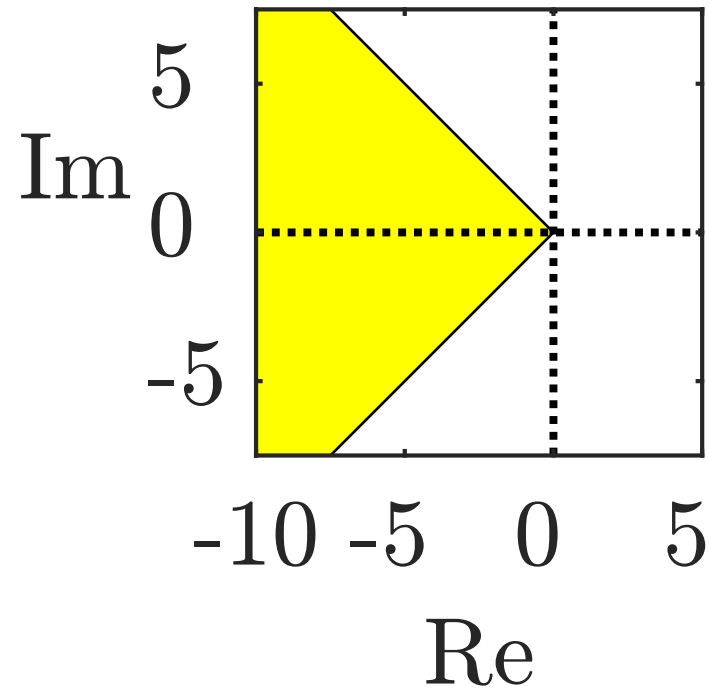


Abb. 12.9. Lage der Pole vorgegebener Dämpfung in der s - und der z -Ebene

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

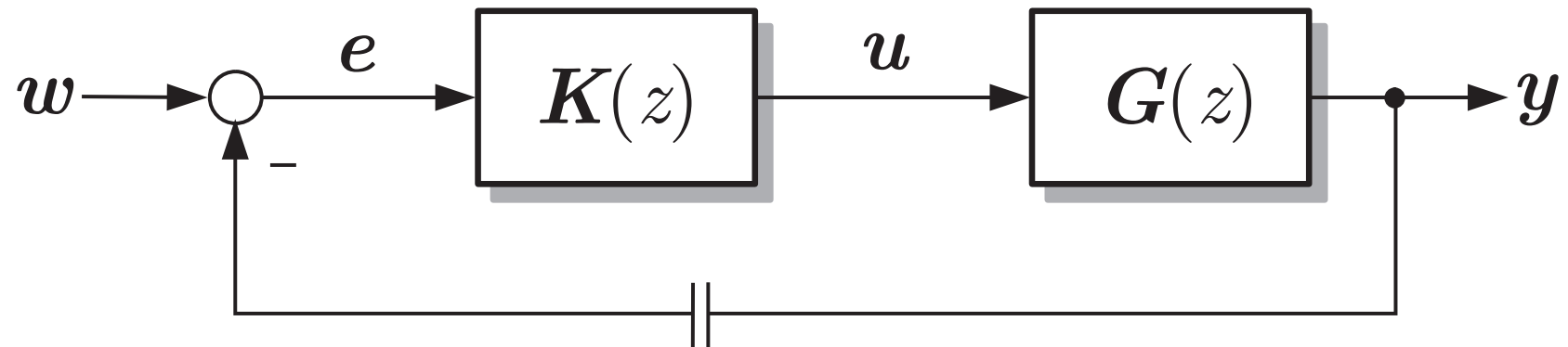


Abb. 13.1. Digitaler Regelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

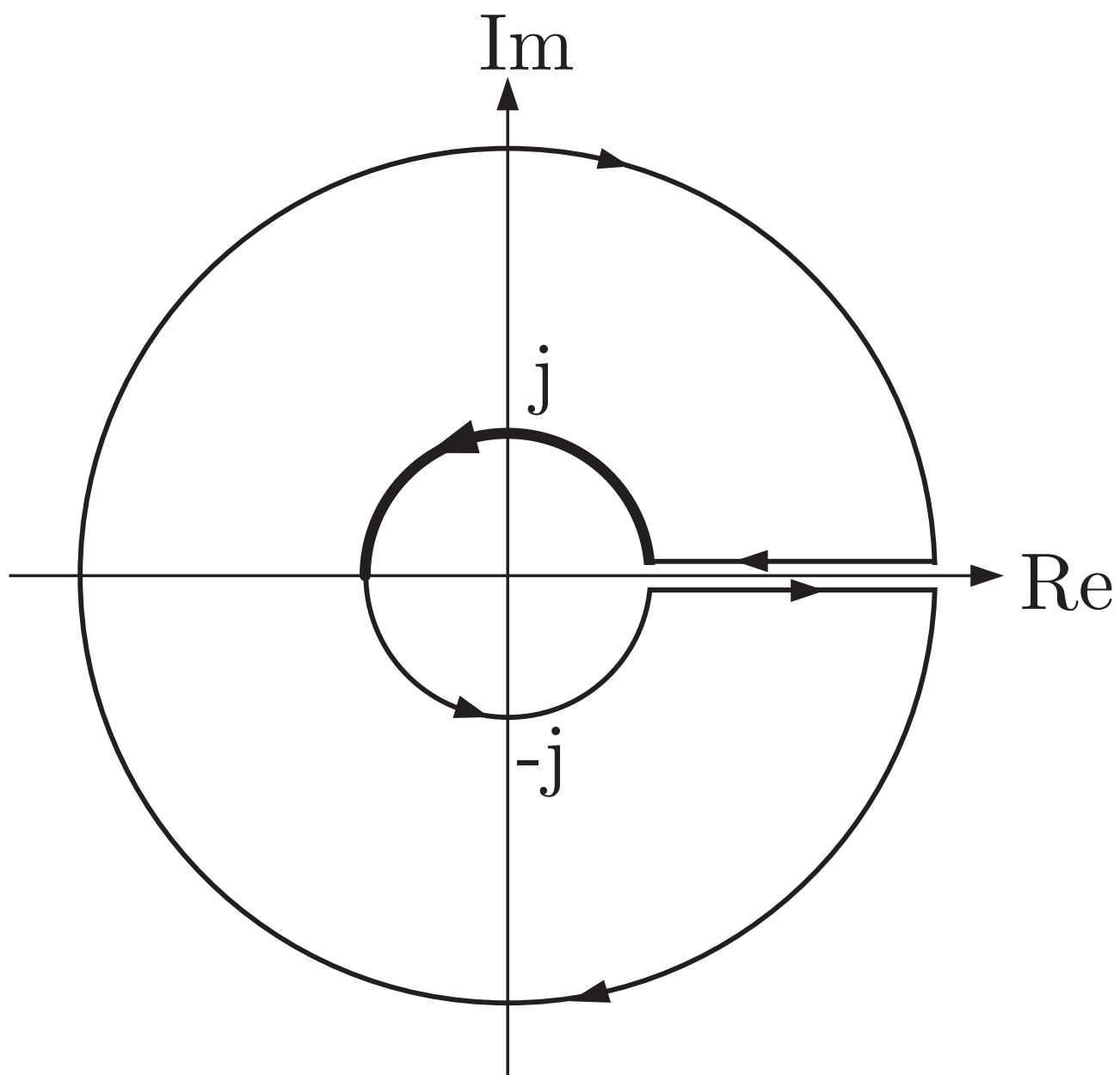


Abb. 13.2: Nyquistkurve für zeitdiskrete Systeme

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

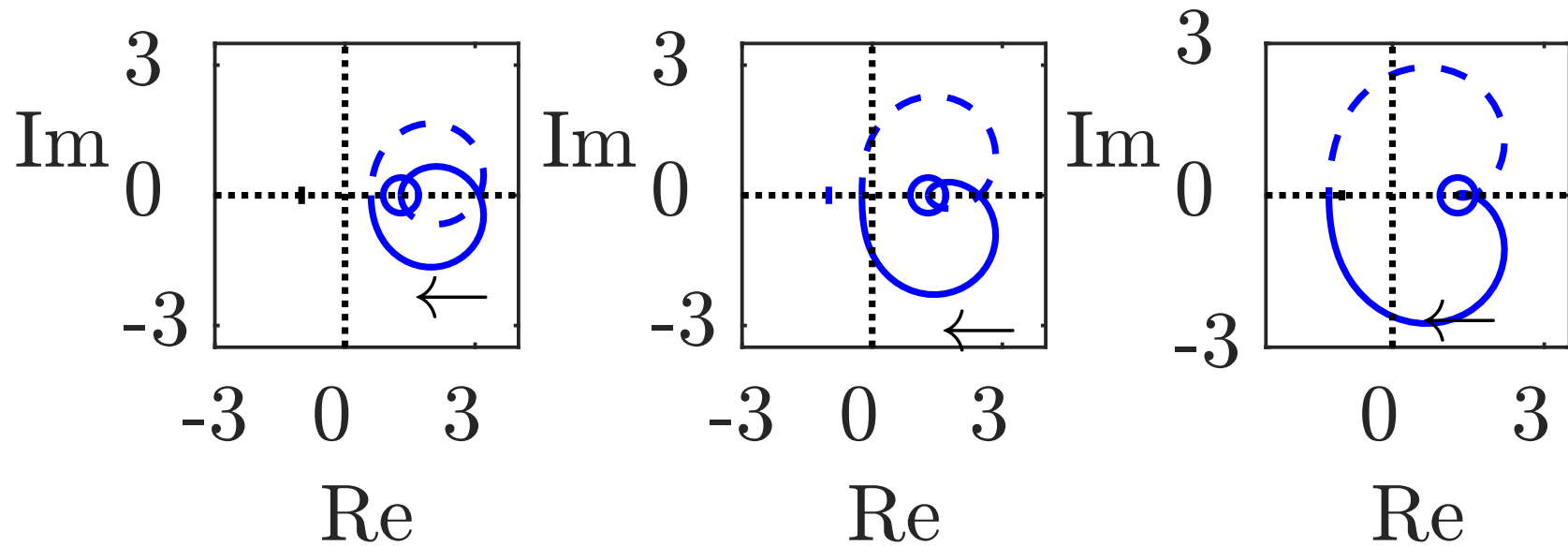


Abb. 13.3. Ortskurve des kontinuierlichen Systems (links) und des zeitdiskreten Systems bei zwei Abtastzeiten (rechts)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

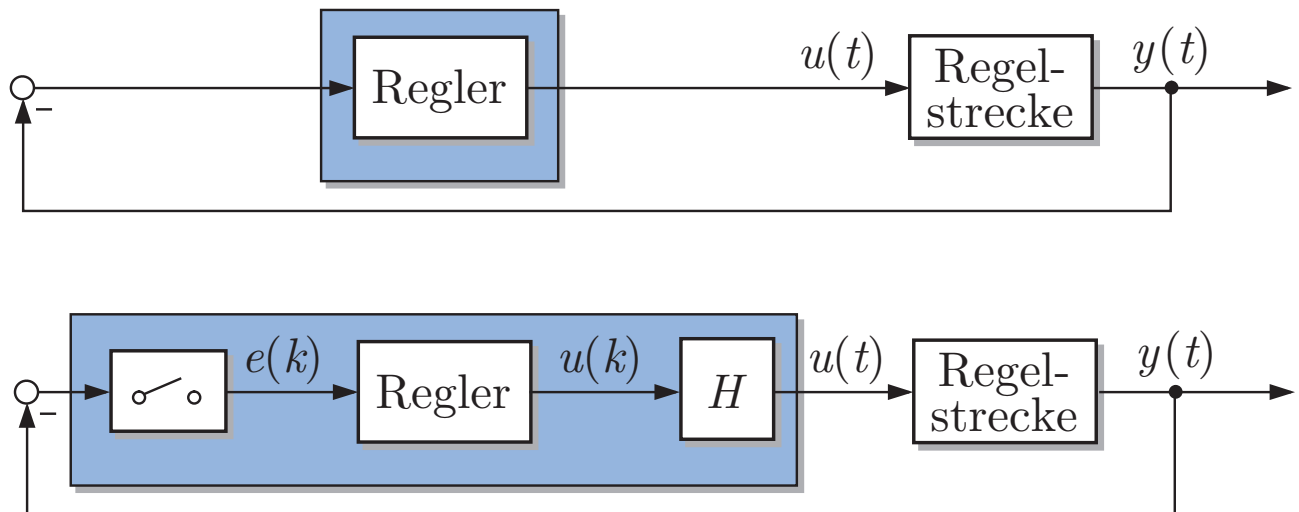


Abb. 13.4: Vergleich von kontinuierlichem Regelkreis (oben) und Abtastregelkreis (unten)

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

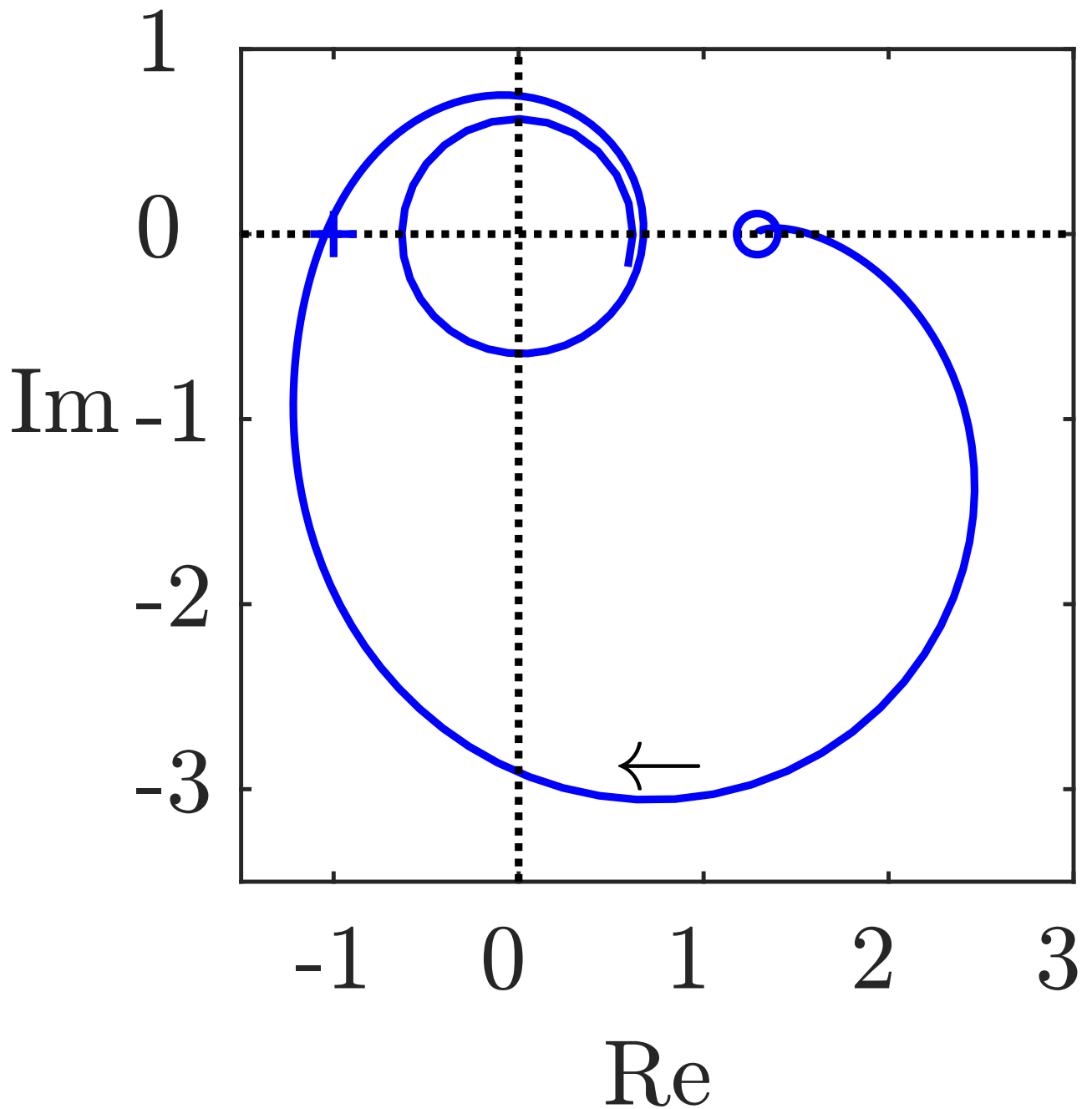


Abb. 13.5: Ortskurve der kontinuierlichen offenen Kette mit Totzeitglied zur Approximation der Wirkungen von Abtaster und Halteglied

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

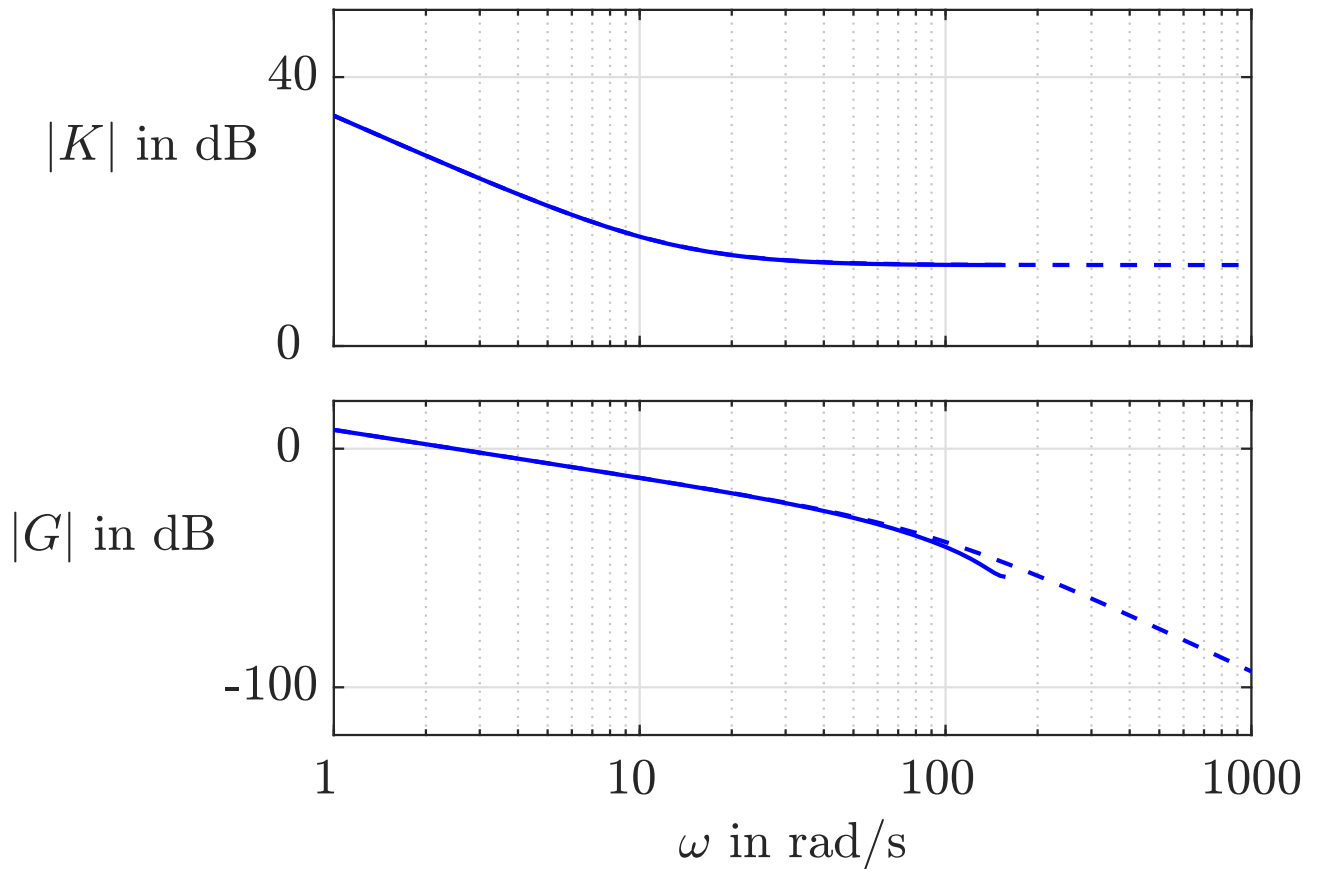


Abb. 14.1: Bodediagramm des kontinuierlichen und des zeitdiskreten Reglers bei $T = 0,02$ s

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

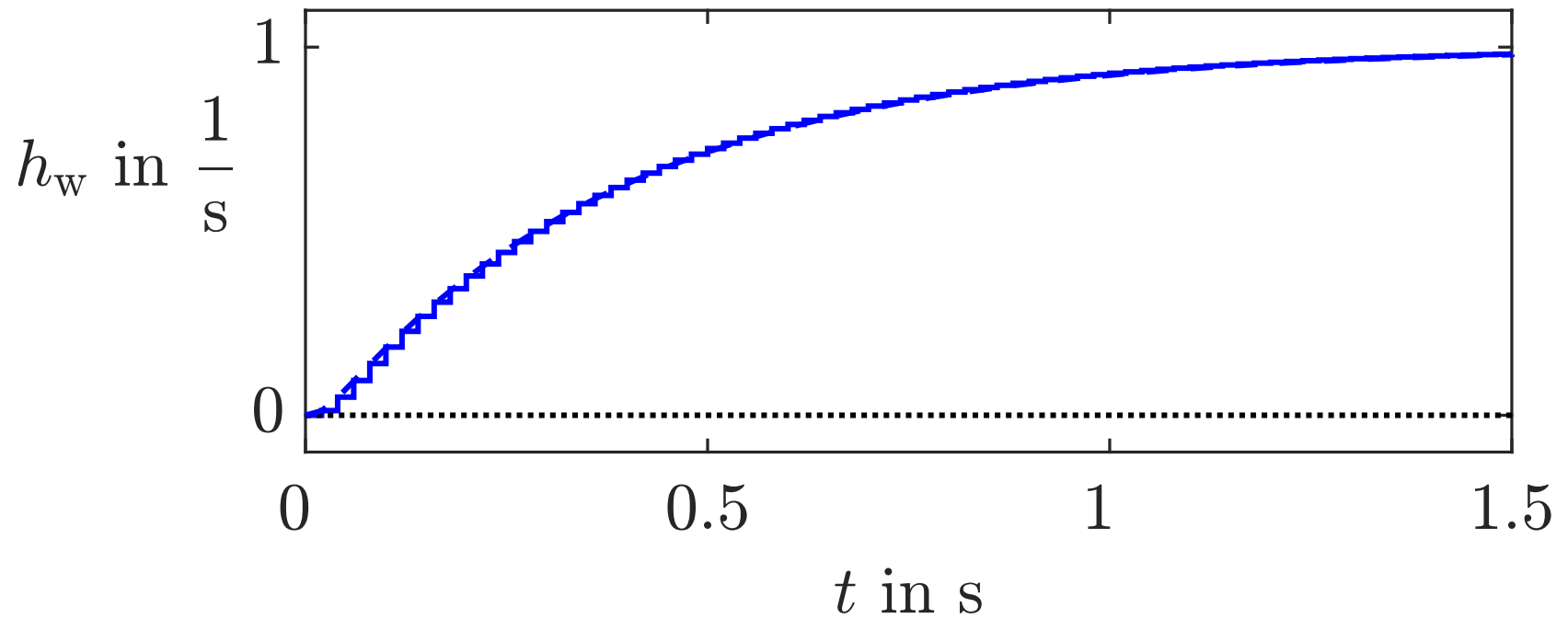


Abb. 14.2. Führungsübergangsfunktion des drehzahlgeregelten Gleichstrommotors mit der Abtastzeit $T = 0,02 s$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

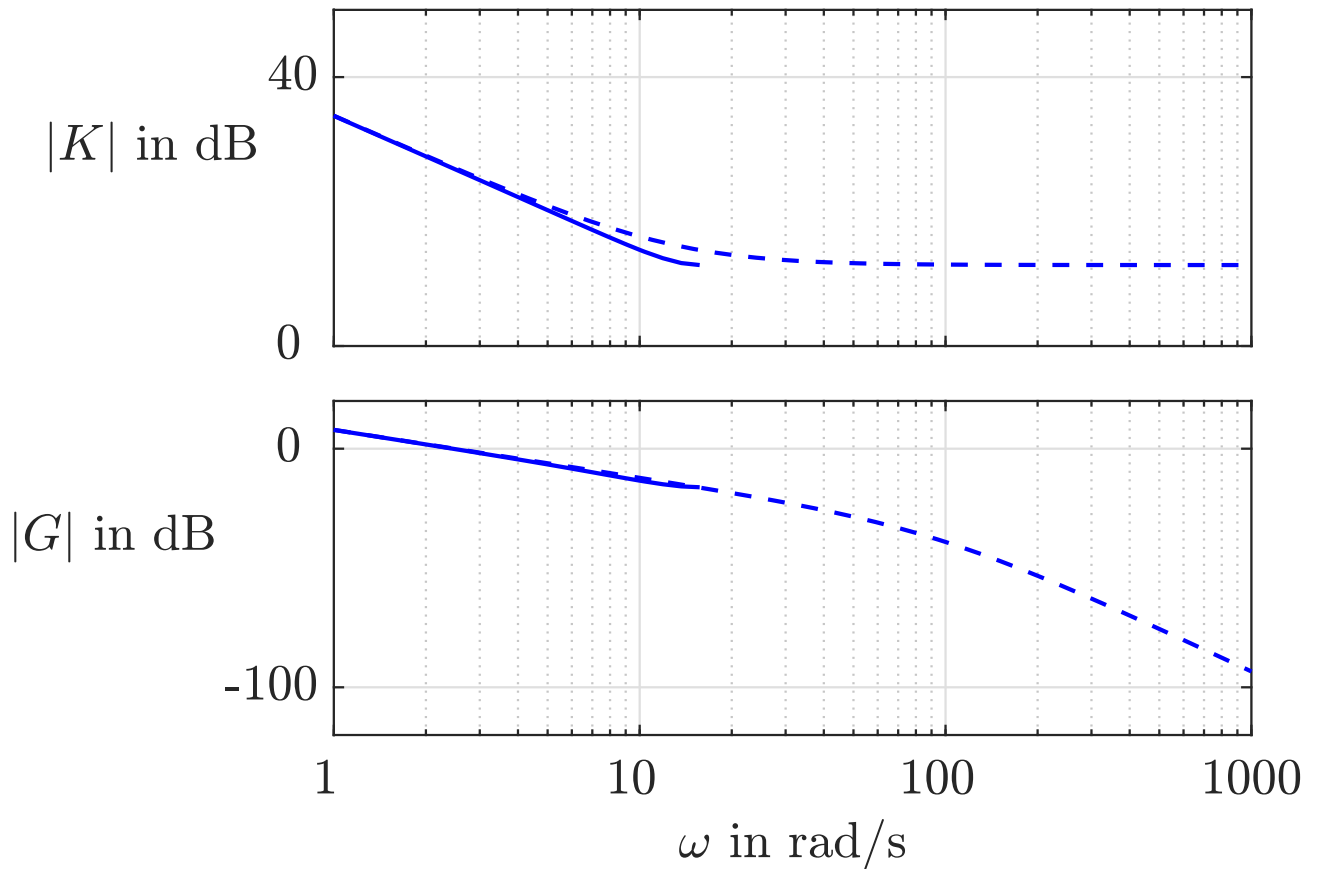


Abb. 14.3: Bodediagramm des kontinuierlichen und des zeitdiskreten Reglers mit der Abtastzeit $T = 0,2$ s

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

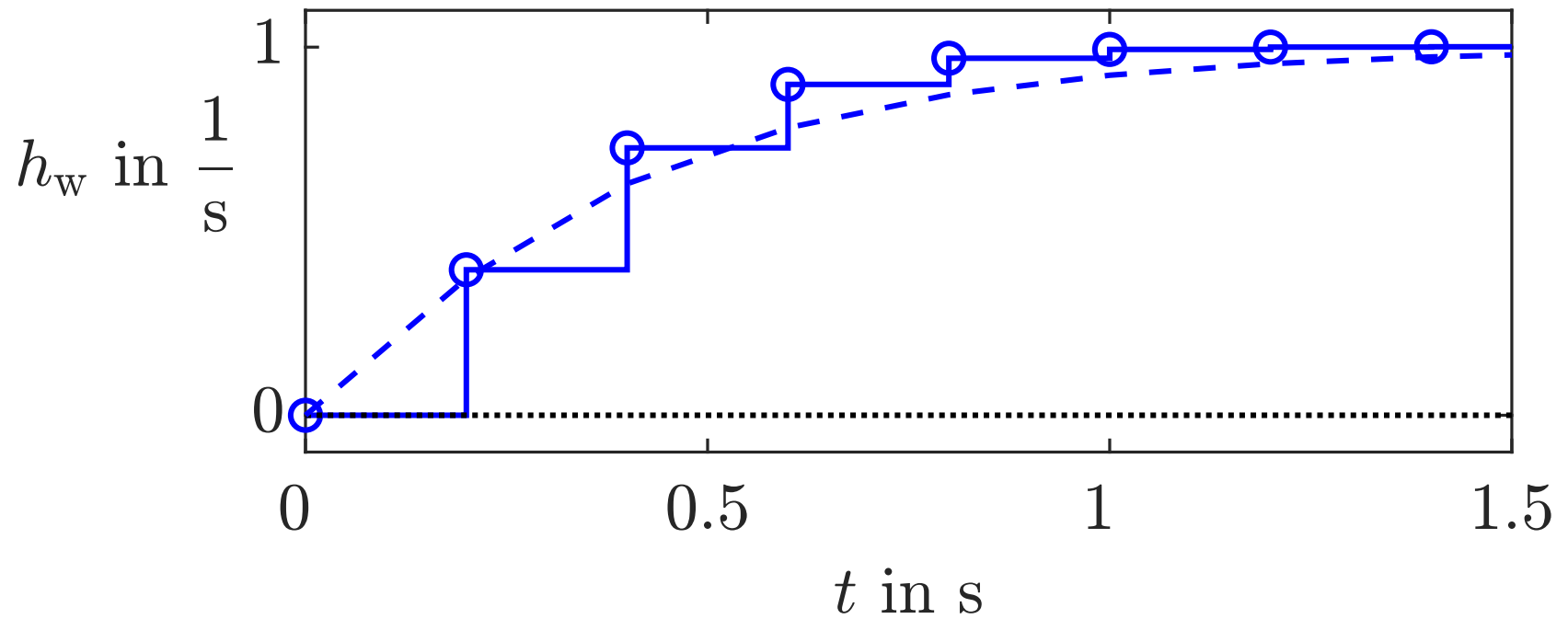


Abb. 14.4. Führungsübergangsfunktion des drehzahlgeregelten Gleichstrommotors mit der Abtastzeit $T = 0,2$ s

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

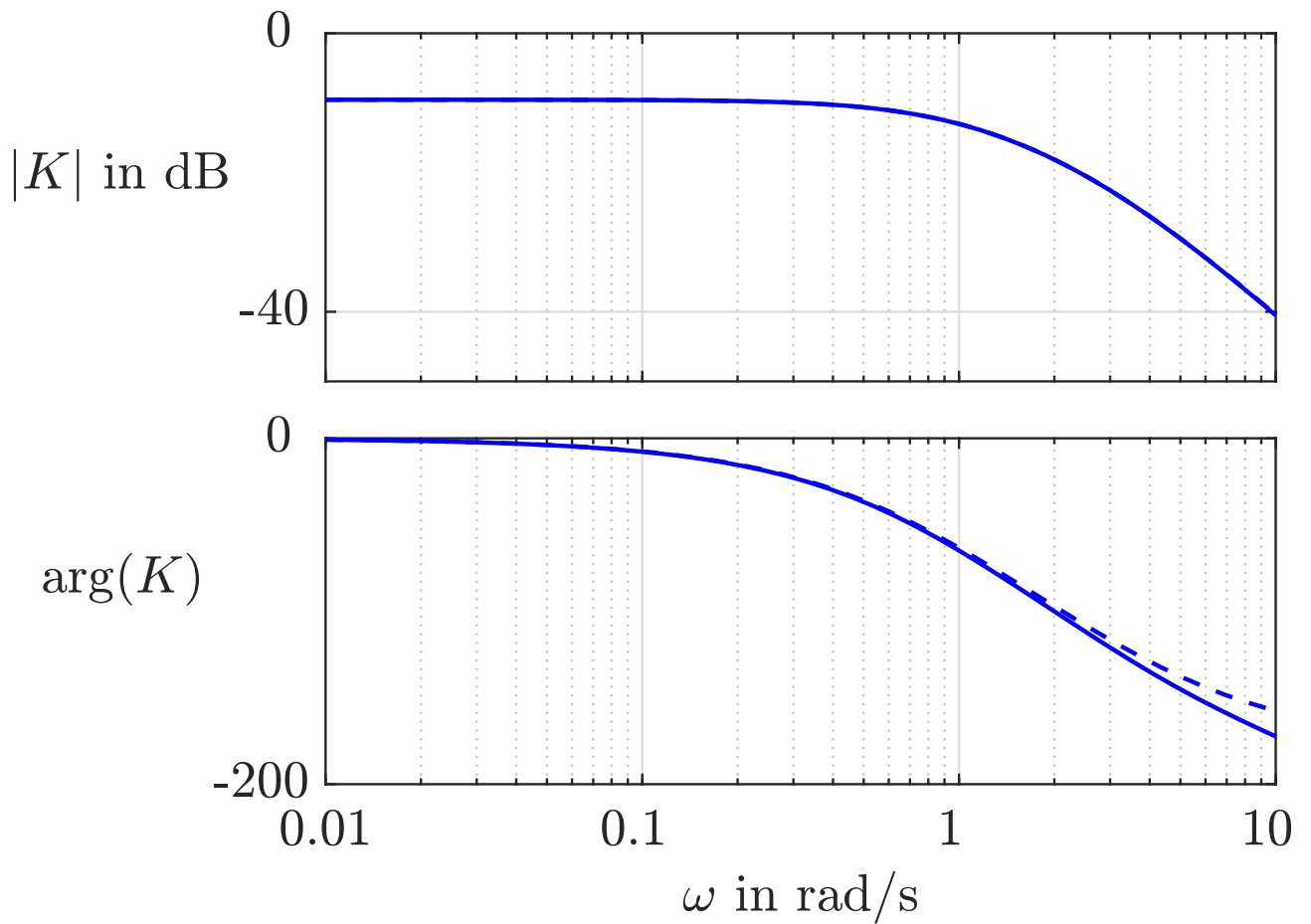


Abb. 14.5: Vergleich der Frequenzkennlinien des kontinuierlichen - - und des zeitdiskreten Reglers –

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

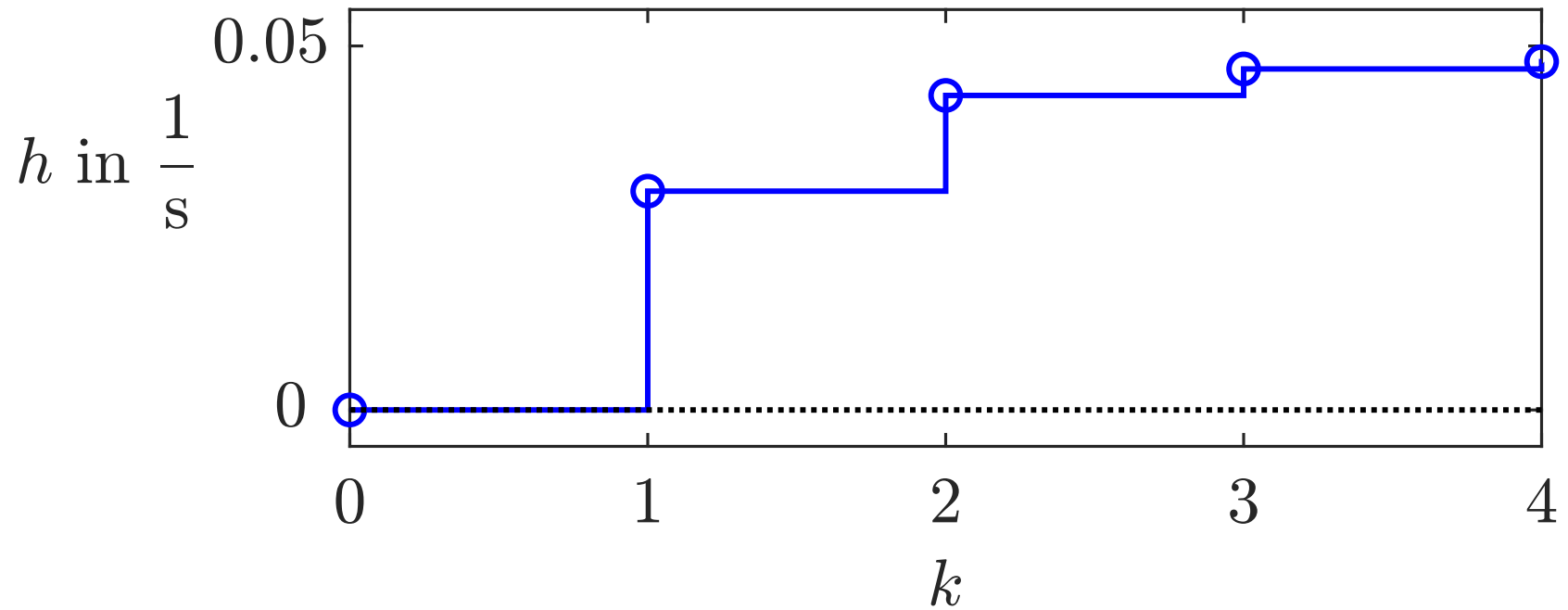


Abb. 14.6. Übergangsfolge des Gleichstrommotors

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

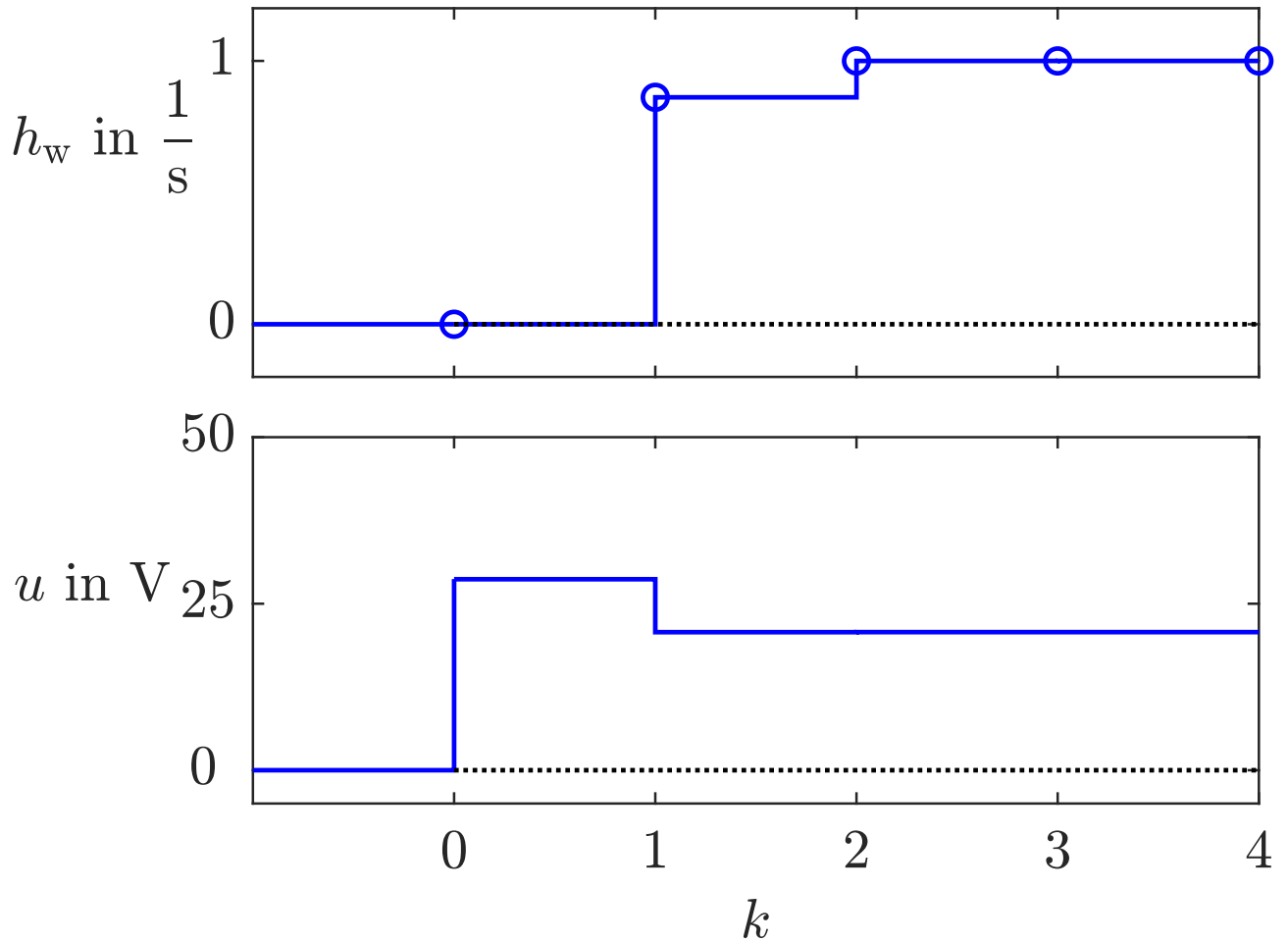


Abb. 14.7: Führungsübergangsfolge des geregelten Gleichstrommotors

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

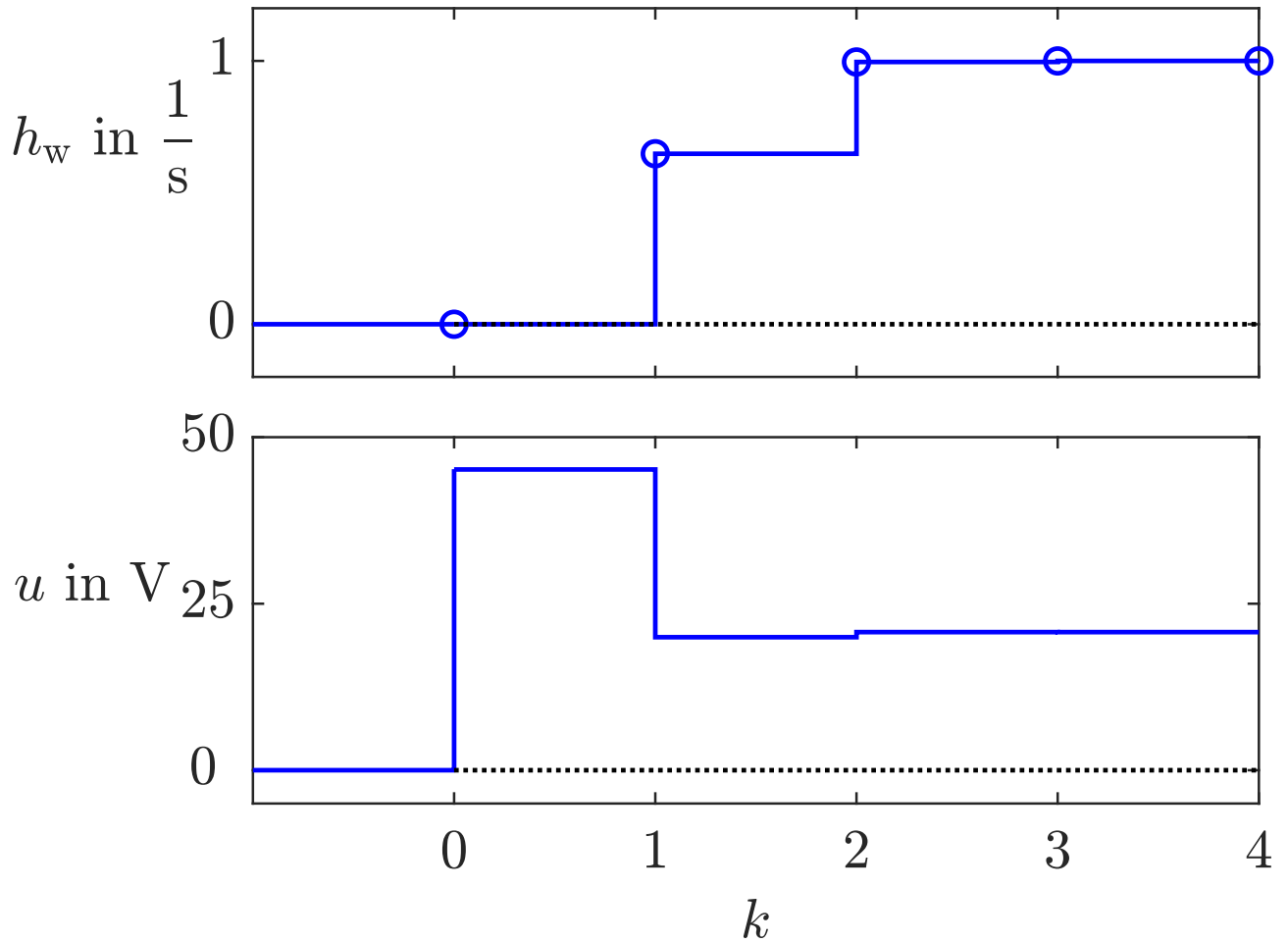


Abb. 14.8: Führungsübergangsfolge des geregelten Gleichstrommotors nach Verkleinerung der Abtastzeit

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

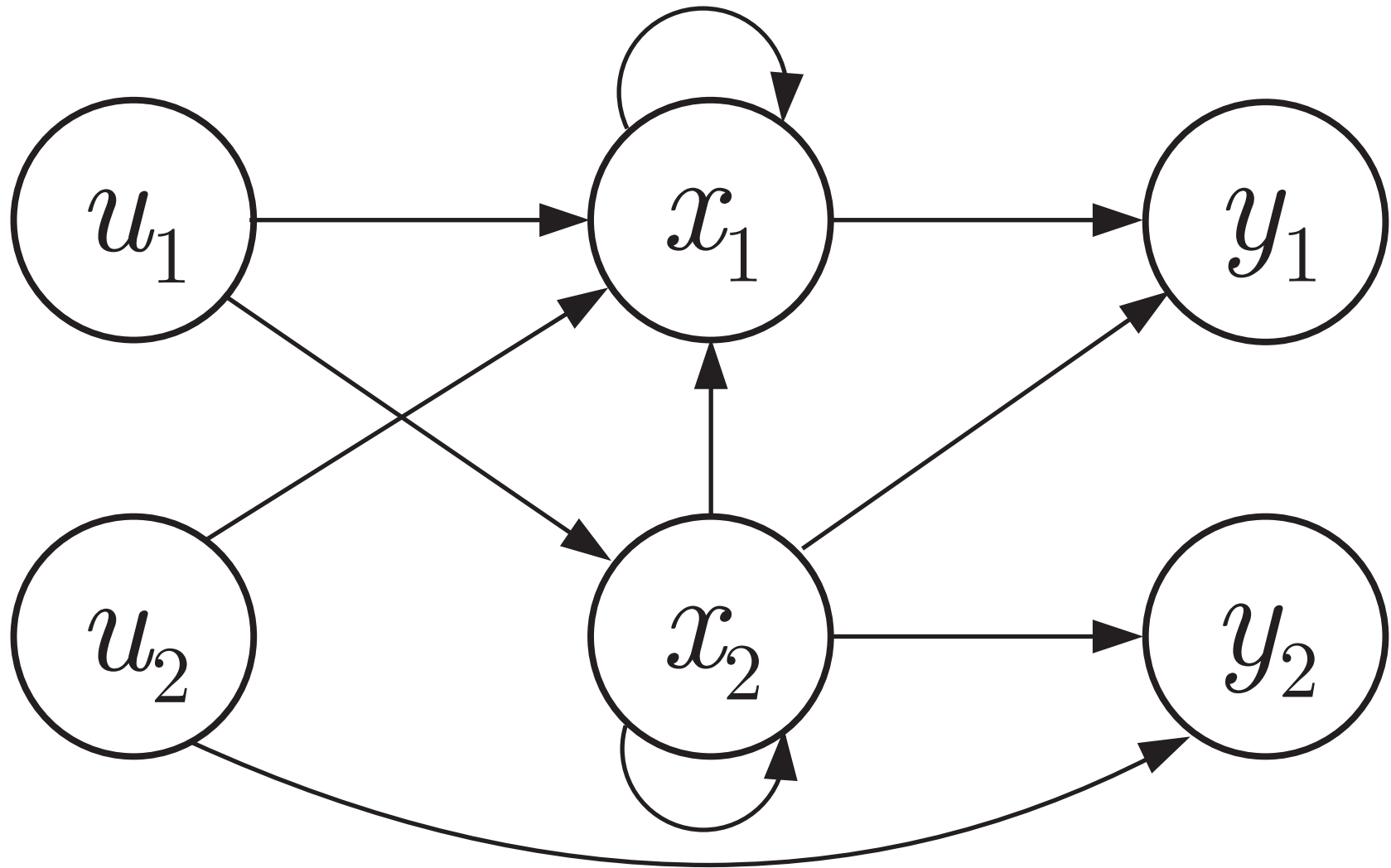


Abb. A.1. Signalflussgraph des gegebenen Mehrgrößensystems

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

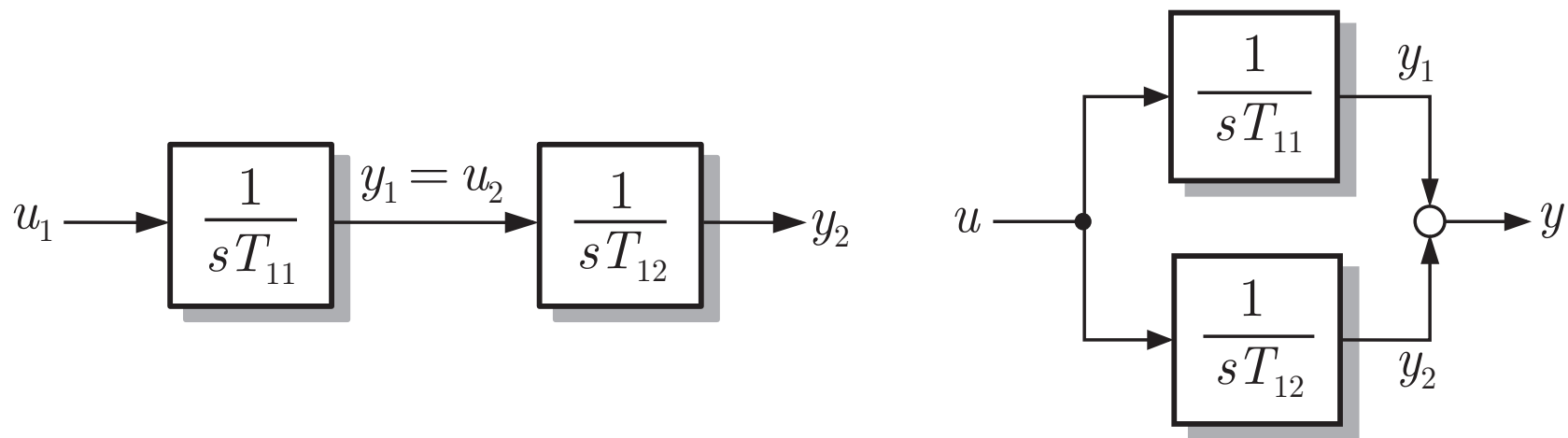


Abb. A.2. Reihenschaltung (links) und Parallelschaltung (rechts) zweier Integratoren

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

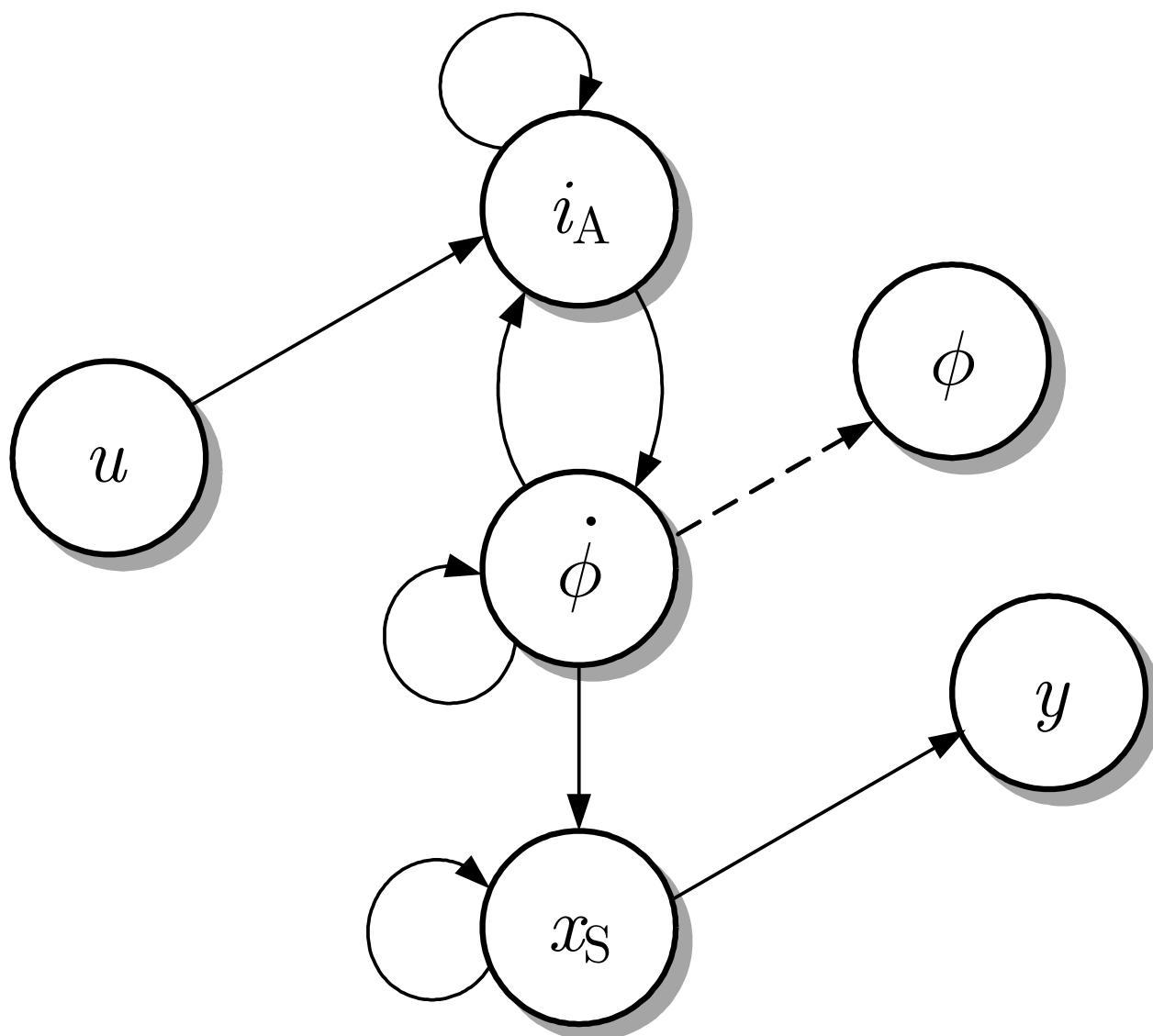


Abb. A.3: Strukturgraph des Gleichstrommotors mit Sensor für die Winkelgeschwindigkeit

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

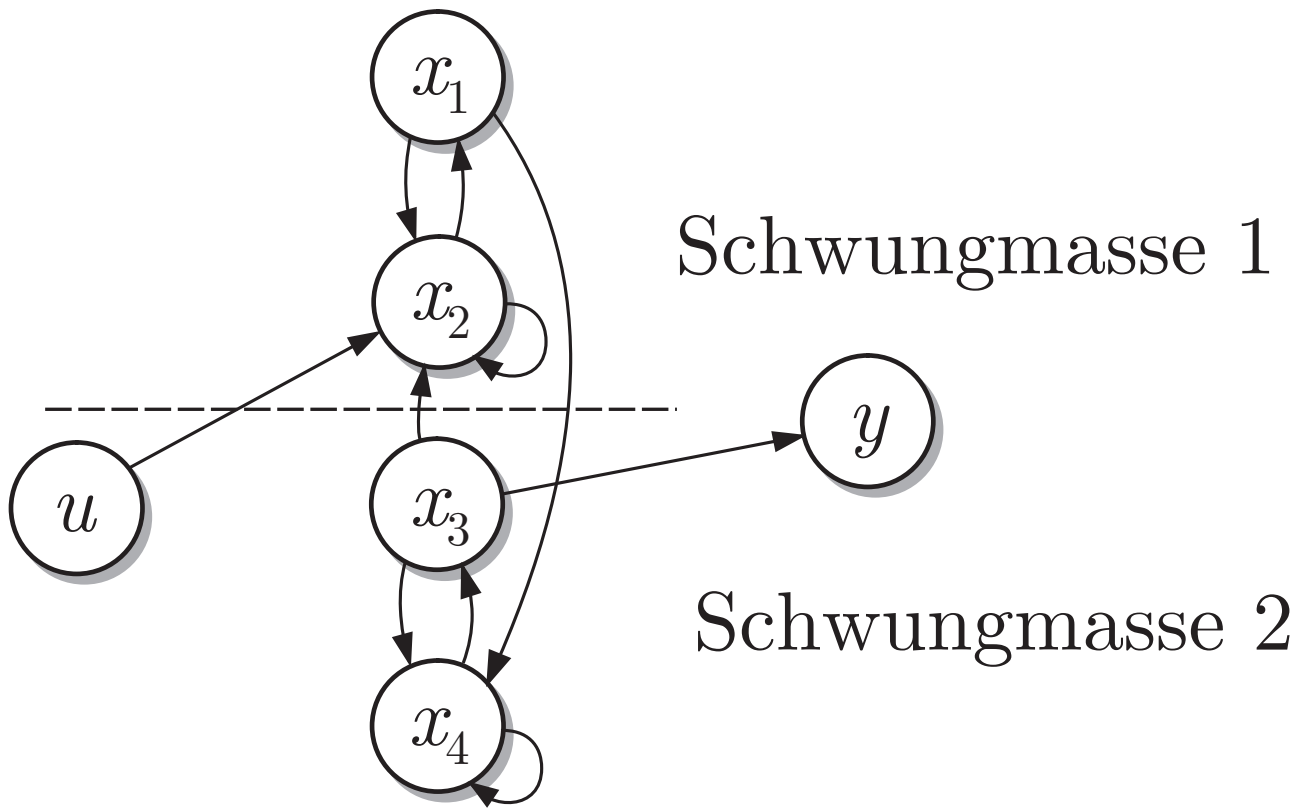


Abb. A.4: Strukturgraph des Rotationsantriebs

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

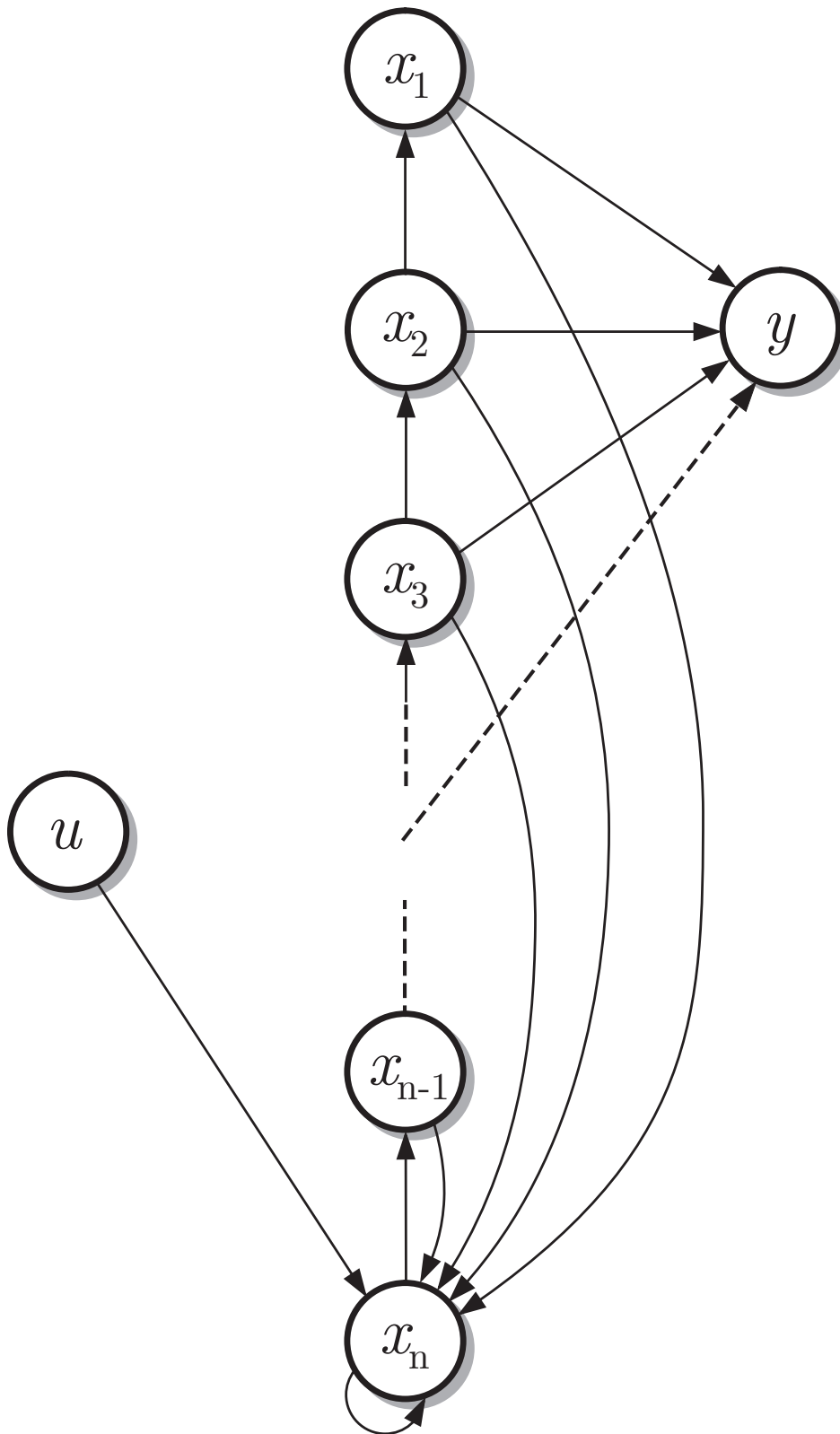


Abb. A.5. Strukturgraph eines Systems in Regelungsnormform

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

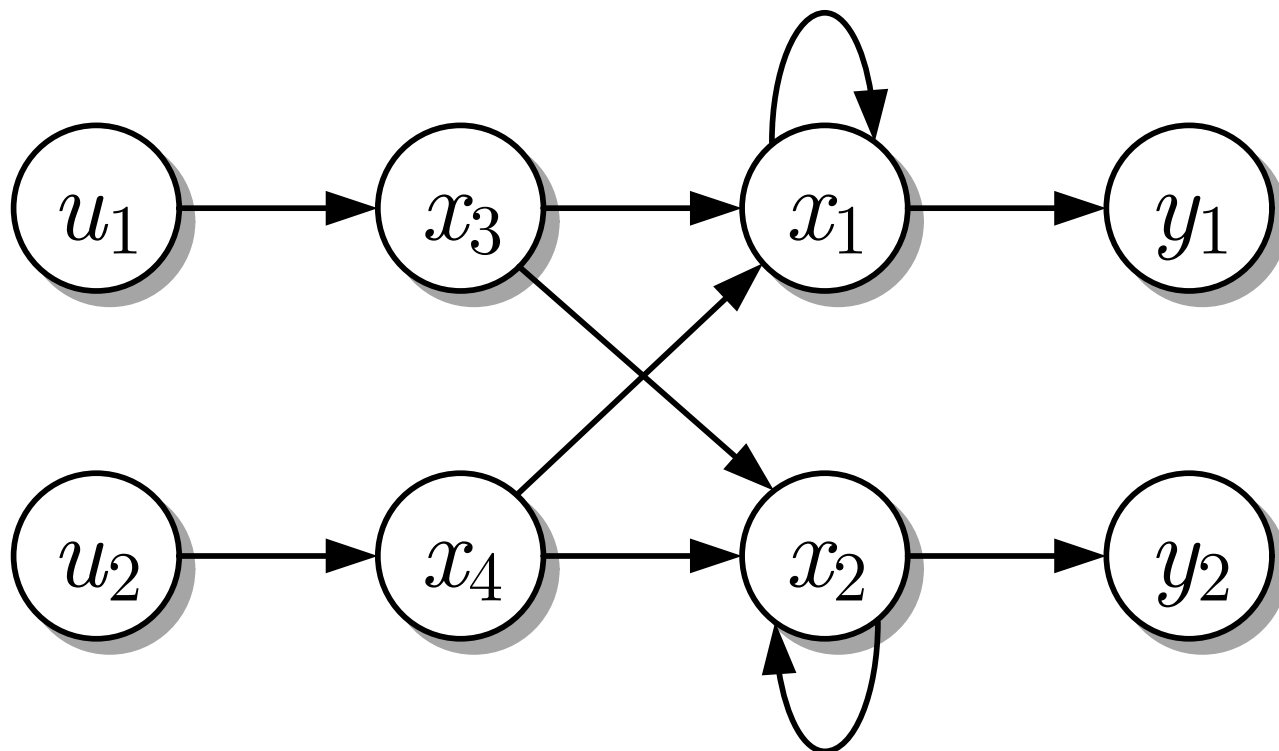


Abb. A.6: Strukturgraph des Mischprozesses

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

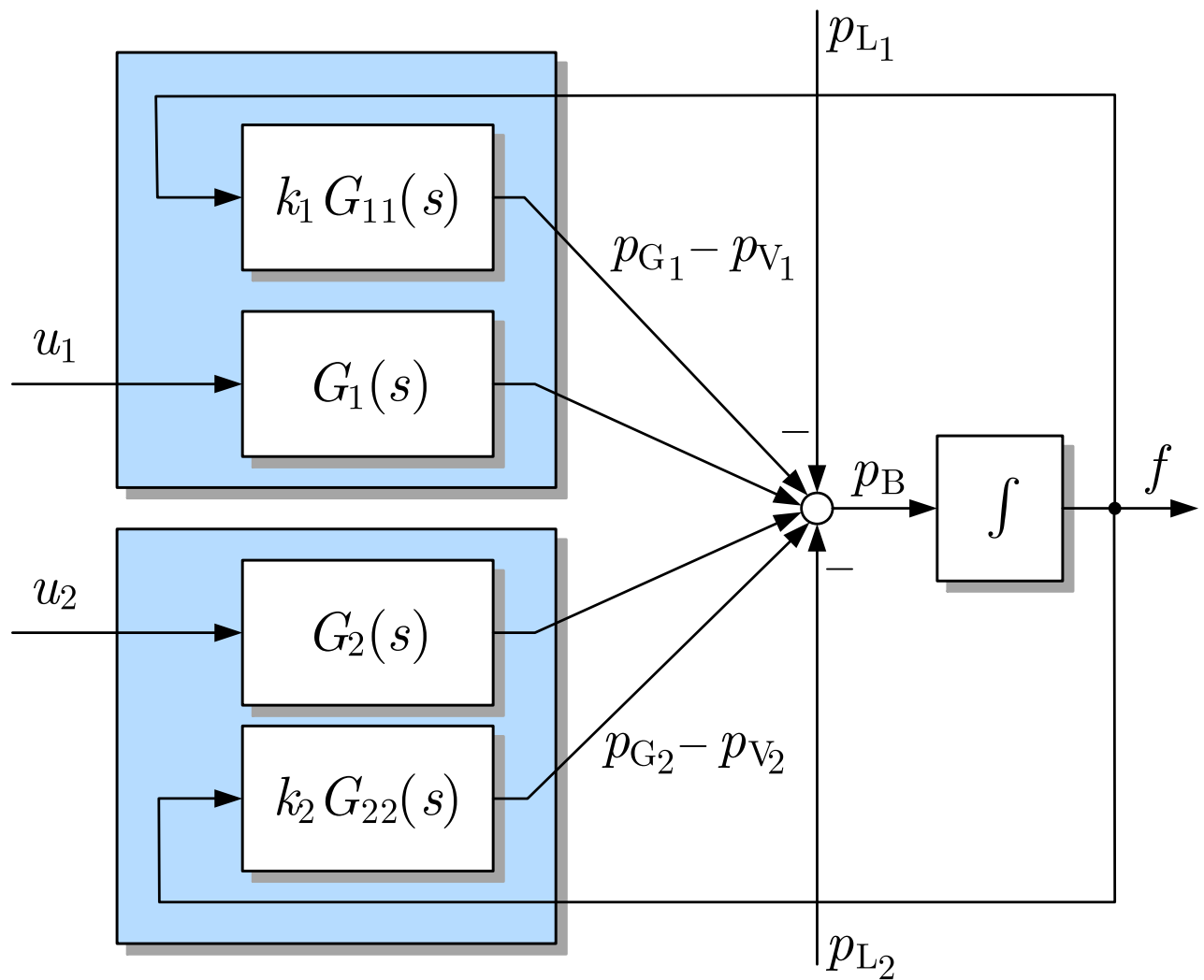


Abb. A.7: Blockschaltbild des Netzes mit Primärregelkreis

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

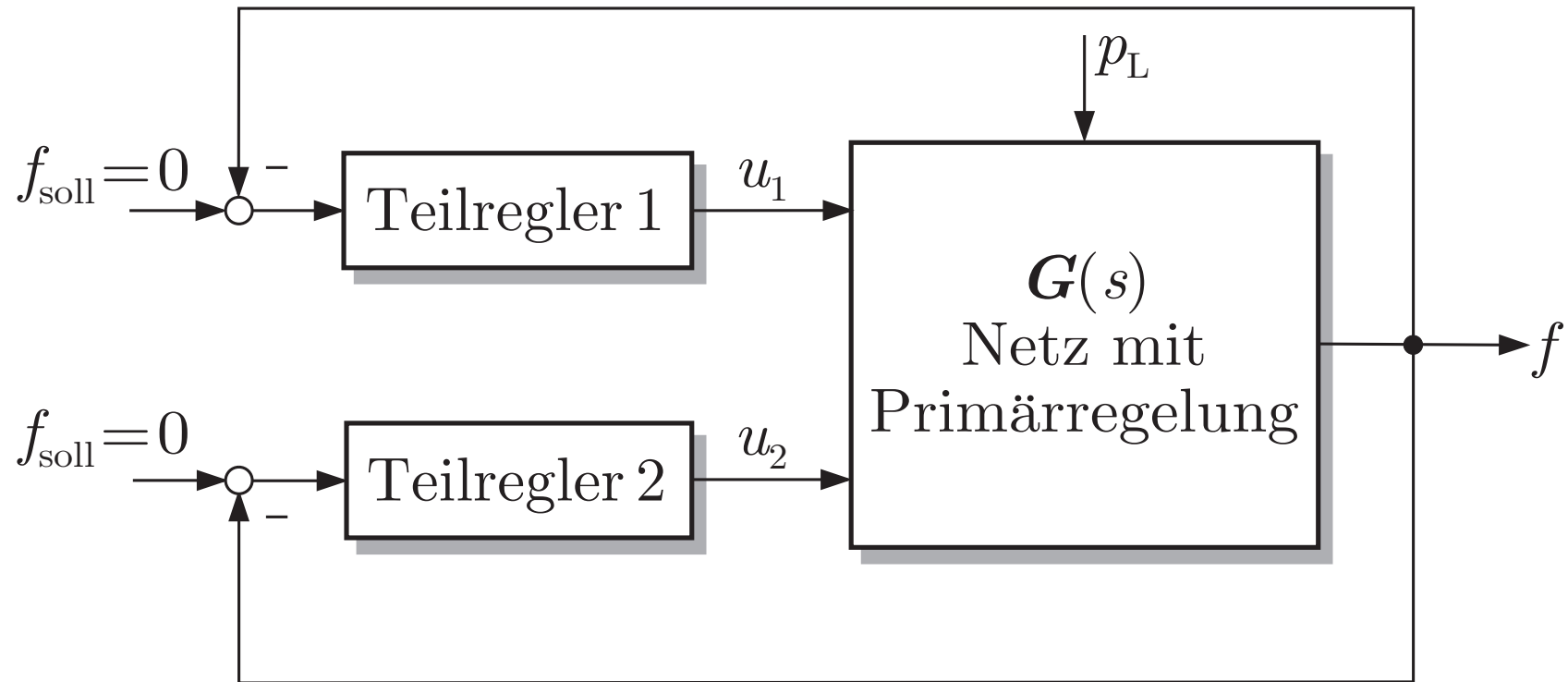


Abb. A.8. Blockschaltbild des Sekundärregelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

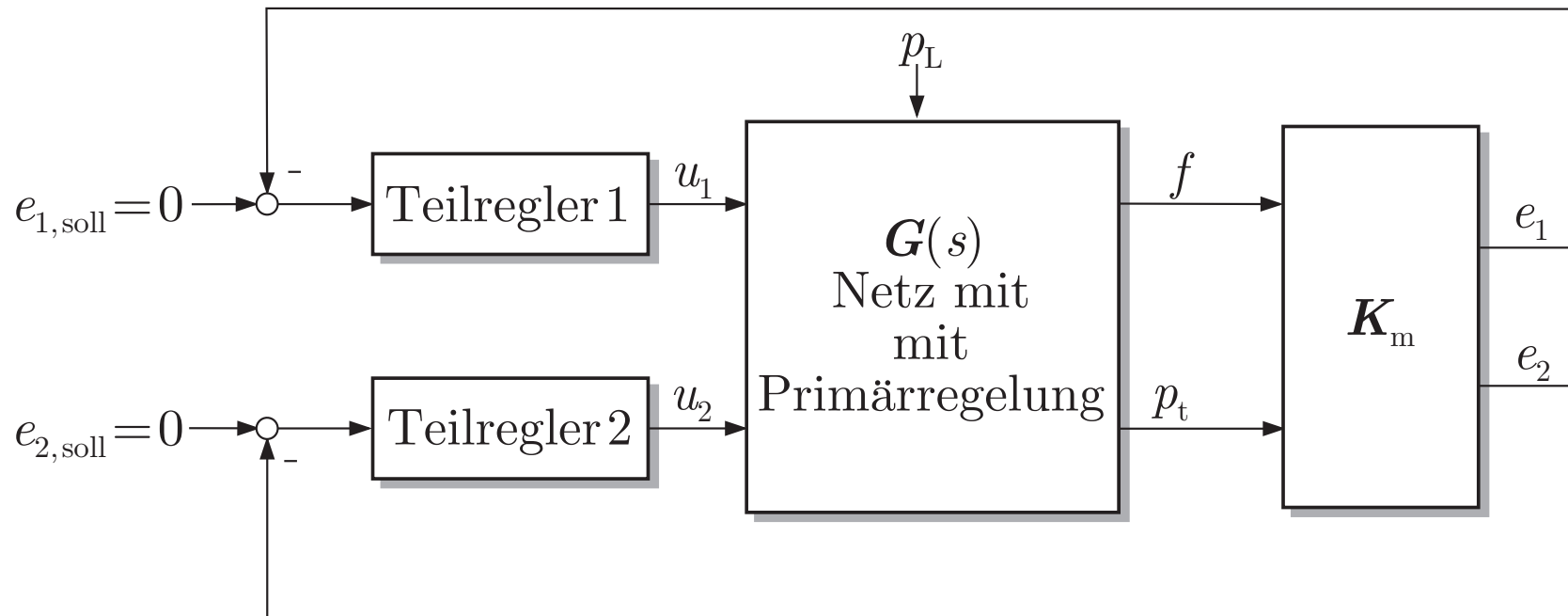


Abb. A.9. Sekundärregelung nach dem Netzkennlinienverfahren

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

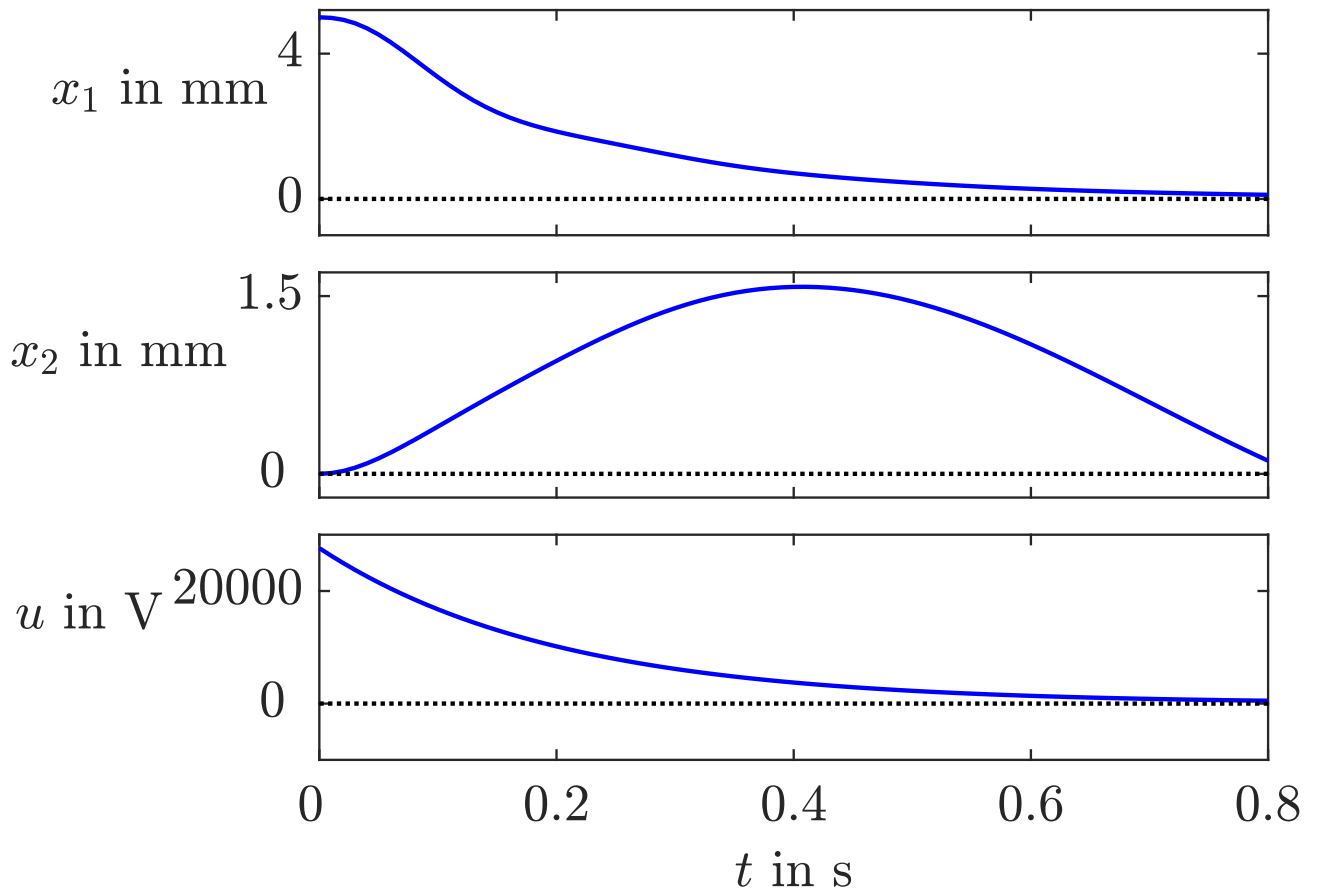


Abb. A.10: Eigenbewegung der geregelten Magnetschwebbahn

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

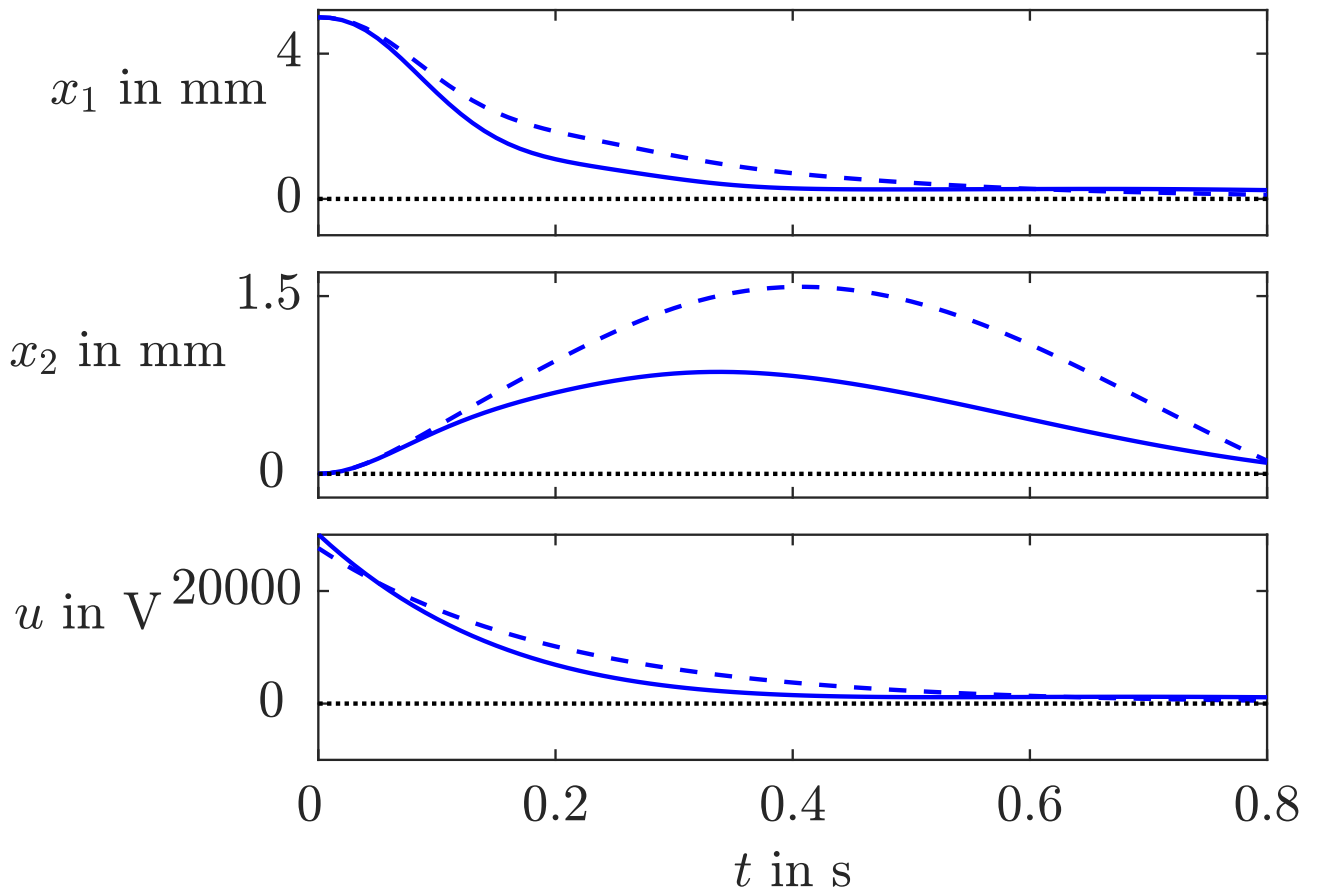


Abb. A.11: Eigenbewegung der geregelten Magnetschwebbahn mit der zweiten Zustandsrückführung im Vergleich zum Verhalten mit dem ersten Regler - - -

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

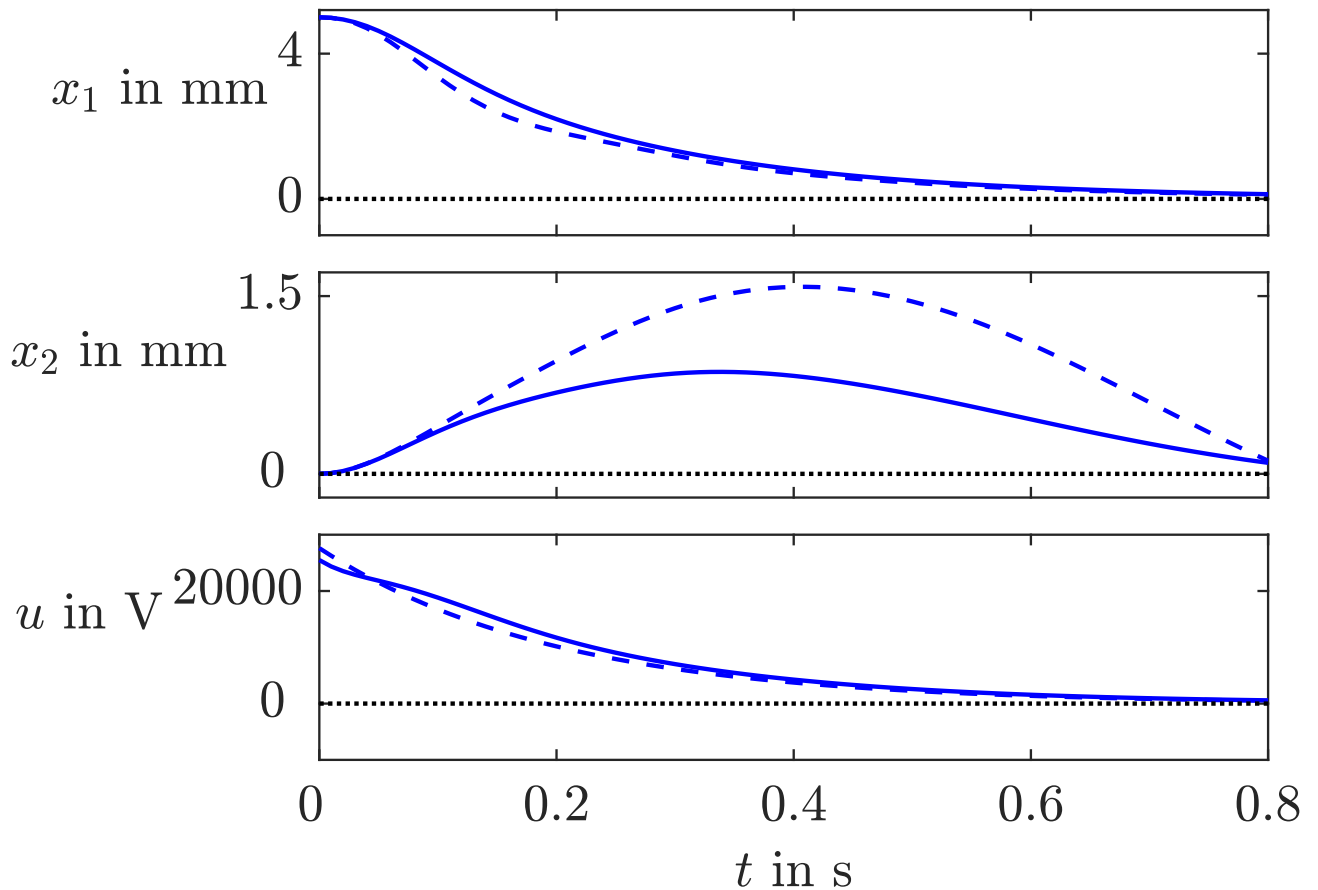


Abb. A.12: Eigenbewegung der geregelten Magnetschwebbahn mit der dritten Zustandsrückführung im Vergleich zum Verhalten mit dem ersten Regler - - -

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

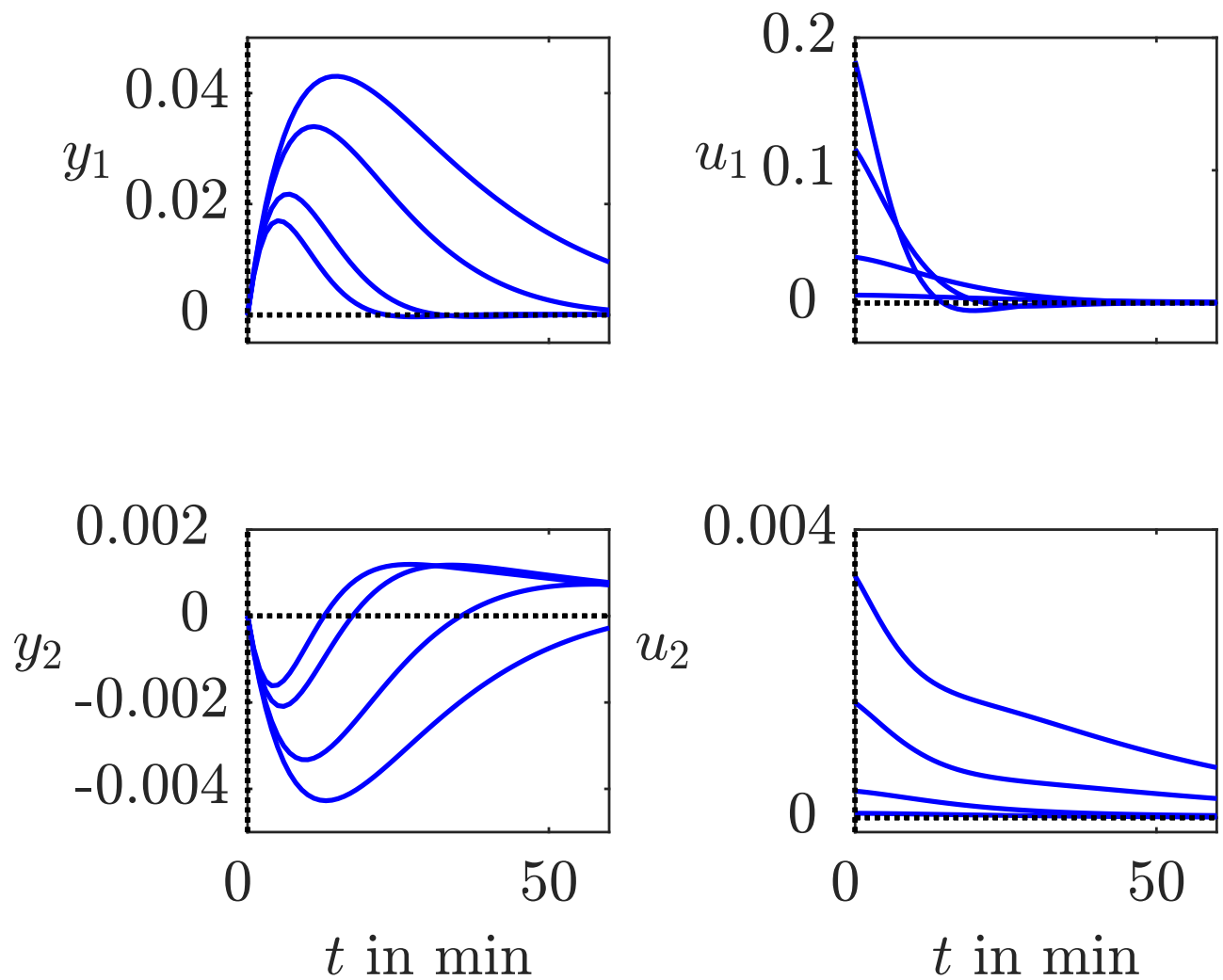


Abb. A.13: Eigenbewegung des geregelten Dampferzeugers bei unterschiedlicher Wichtung der Ausgangsgröße

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

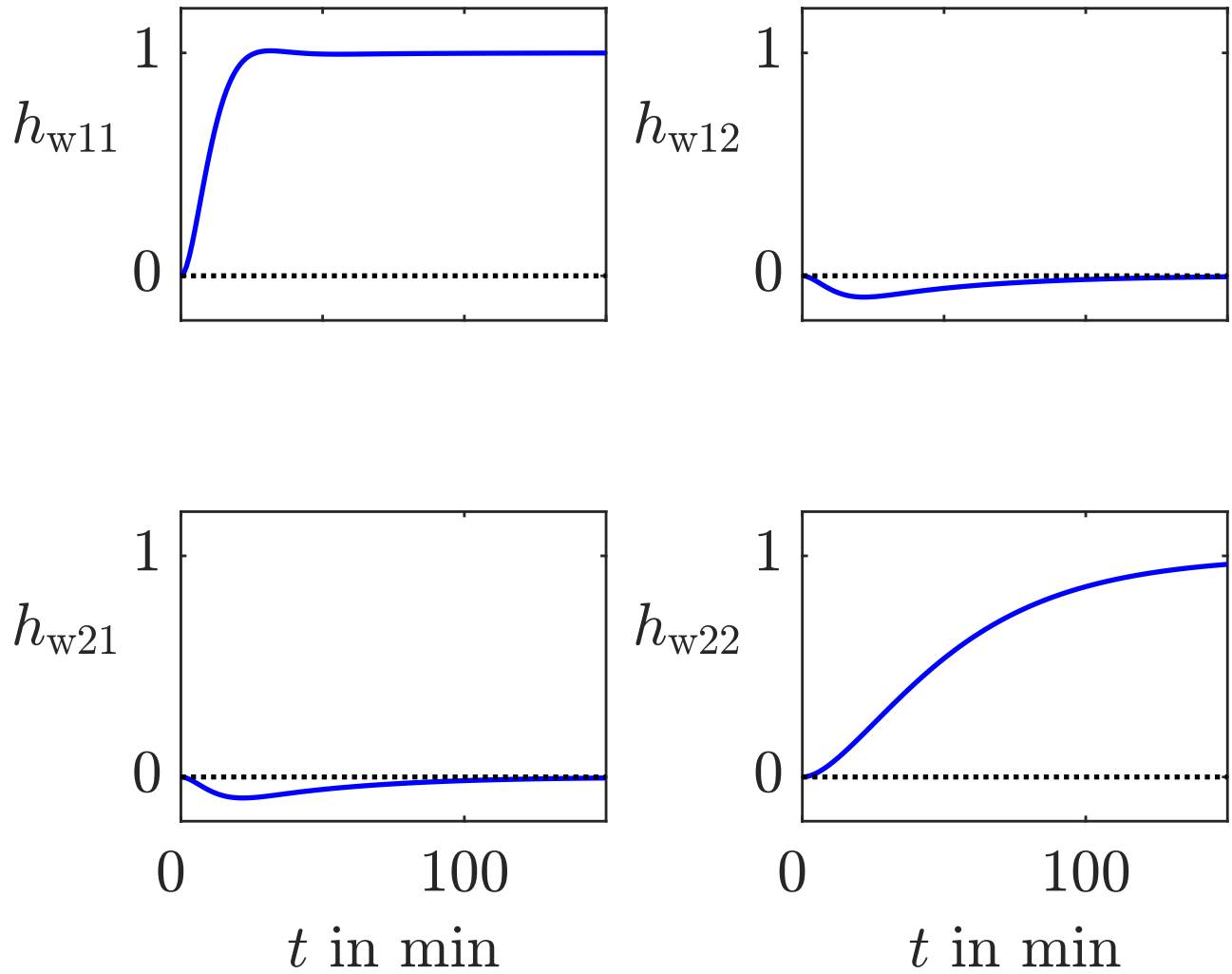


Abb. A.14: Führungsübergangsfunktionsmatrix des geregelten Dampferzeugers mit dem für $q = 10$ erhaltenen Regler

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

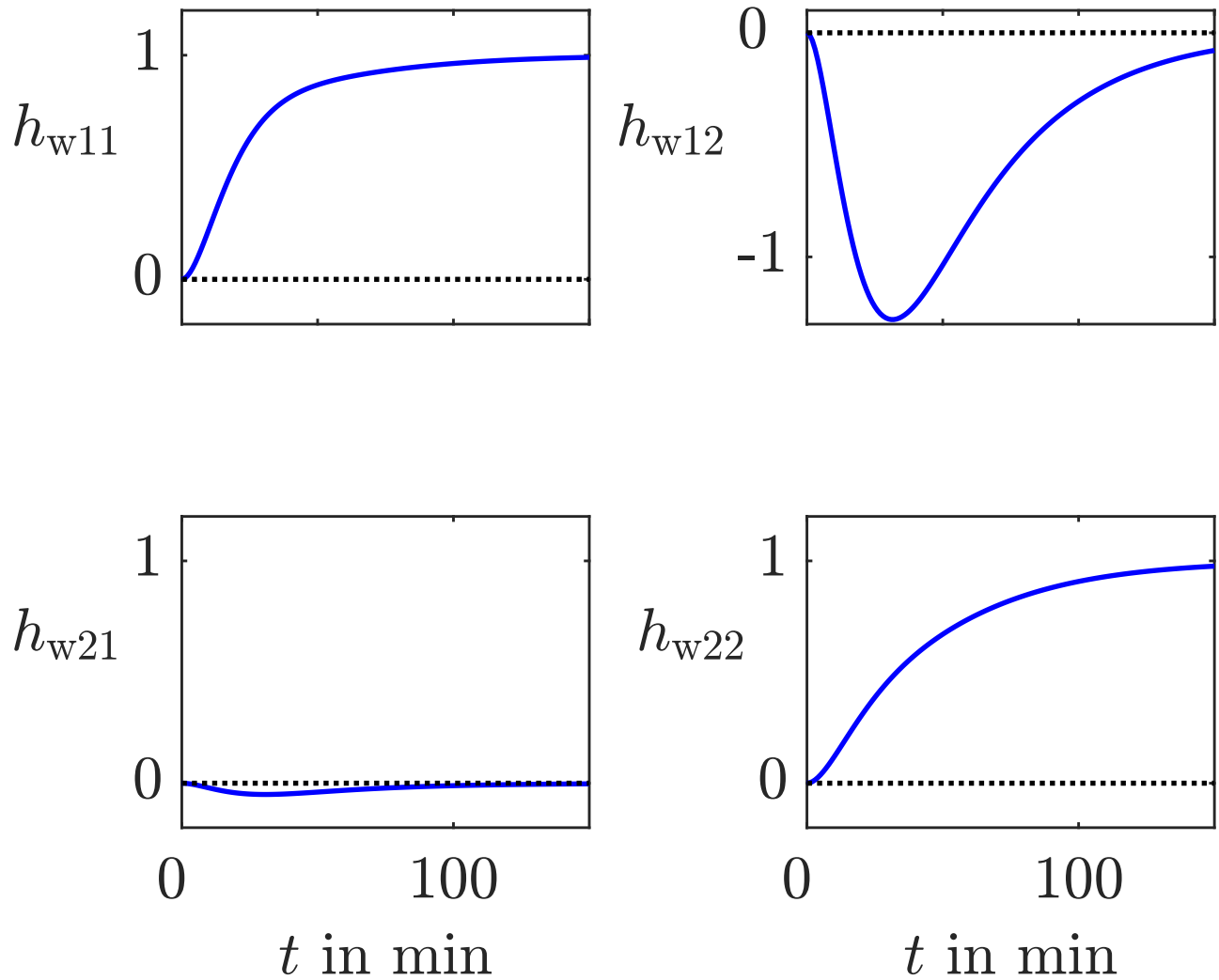


Abb. A.15: Führungsübergangsfunktion für den bei der neuen Wichtung erhaltenen Optimalregler

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

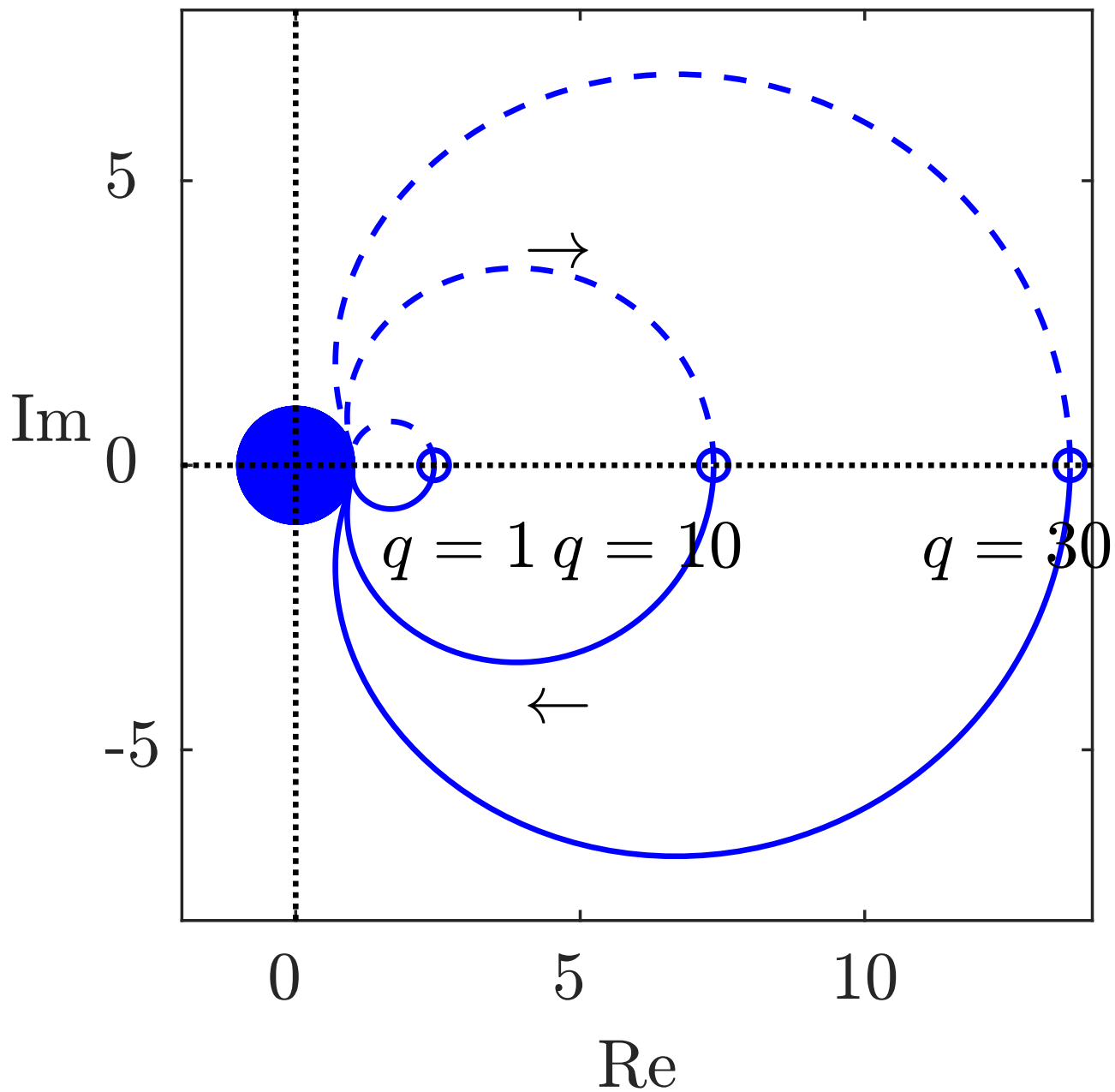


Abb. A.16: Ortskurve der Determinante der Rückführdifferenzmatrix für unterschiedliche Wichtung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

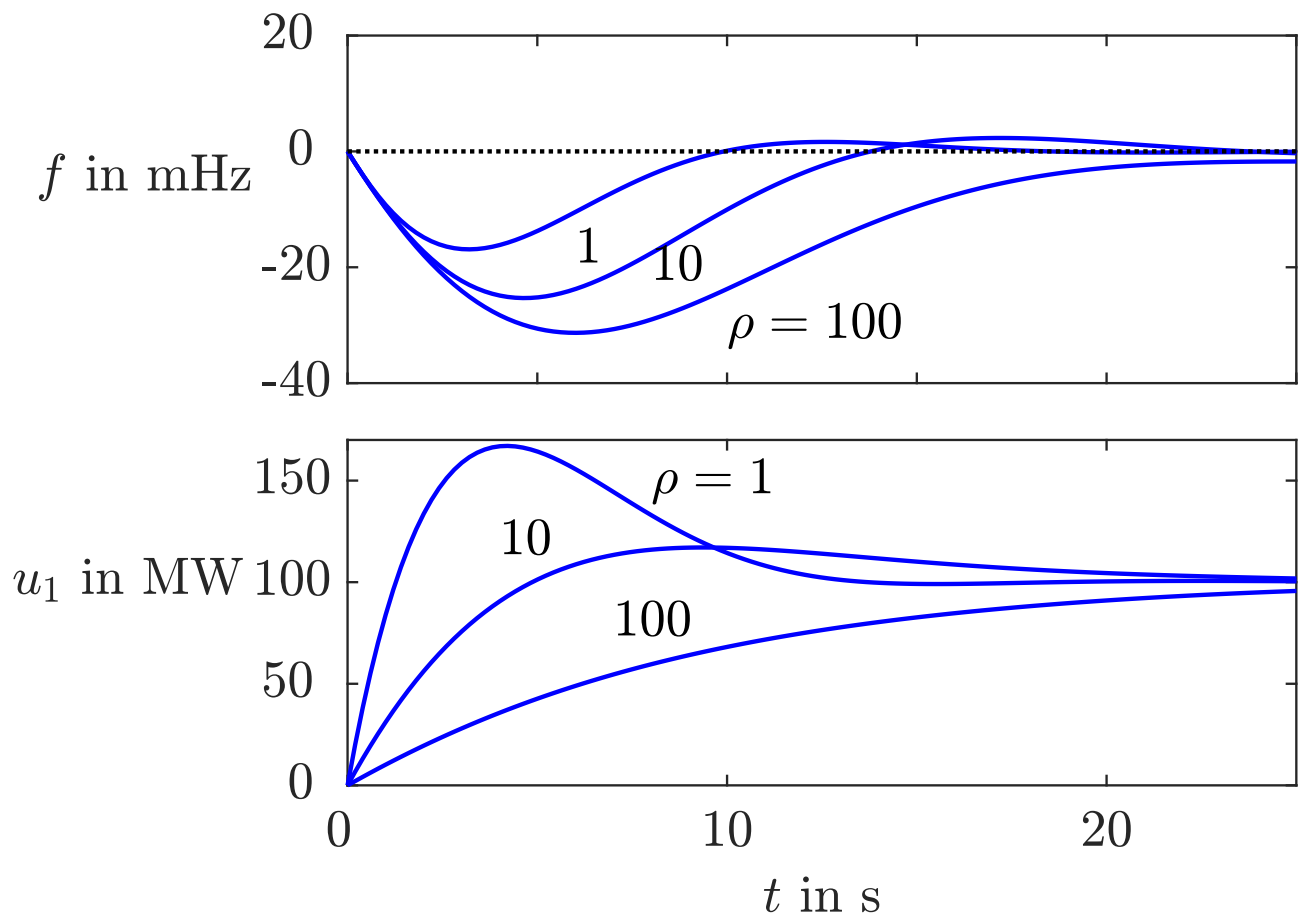


Abb. A.17: Störverhalten des Netzes mit PI-Zustandsrückführung für die Wichtungen mit $\rho = 1, 10, 100$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

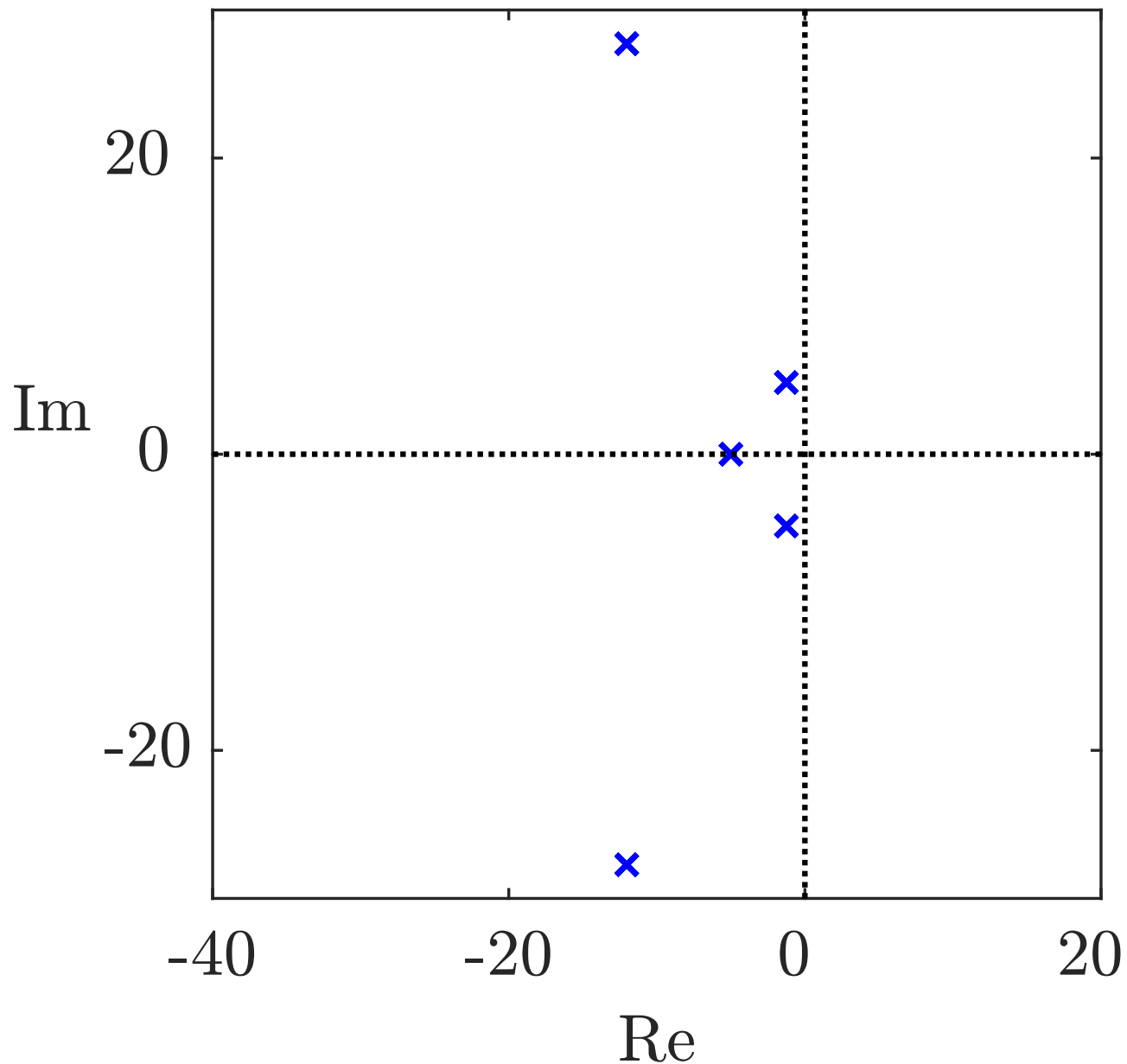


Abb. A.18: Eigenwerte des Regelkreises mit Zustandsrückführung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

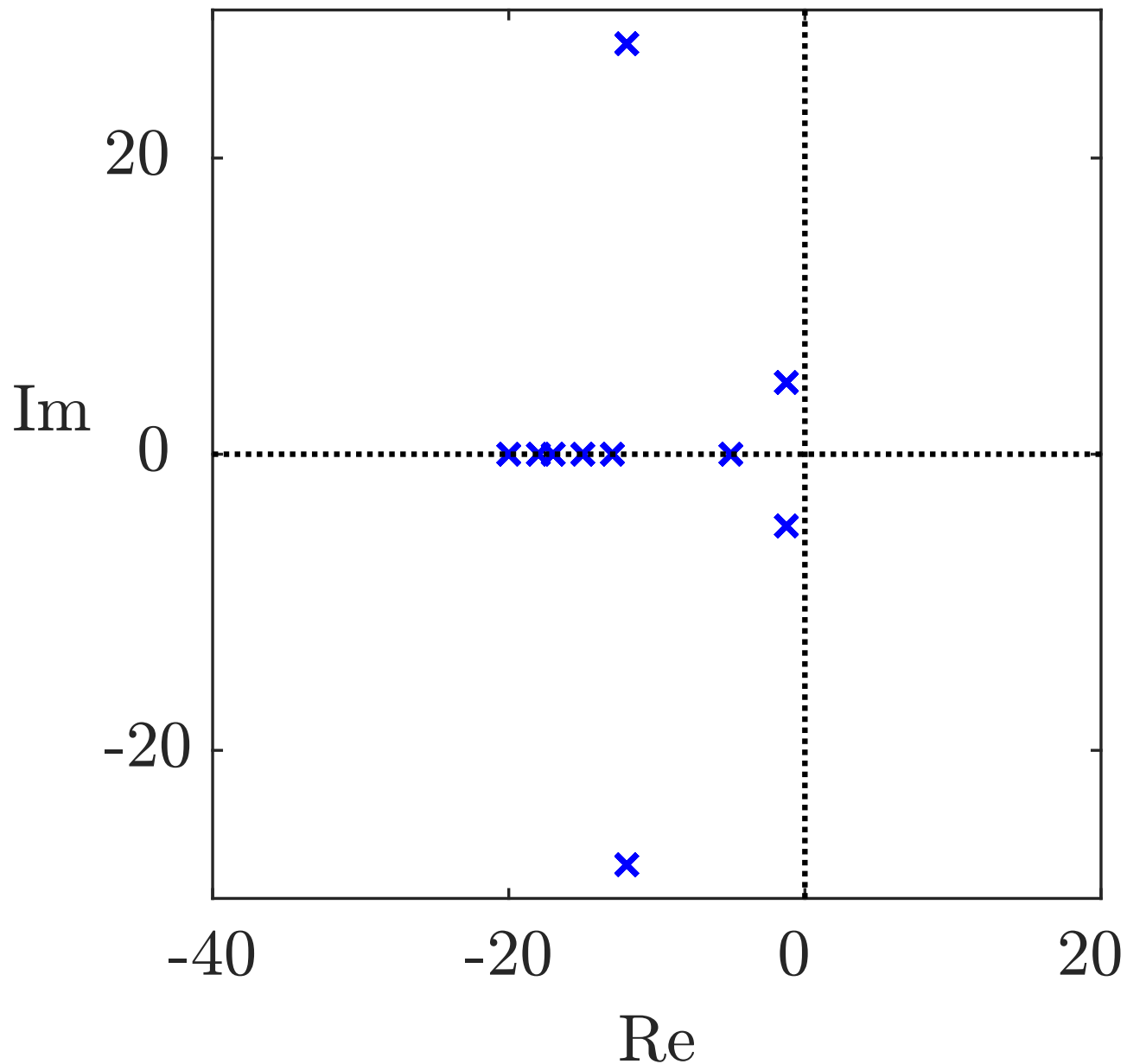


Abb. A.18: Eigenwerte des Regelkreises mit Beobachter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

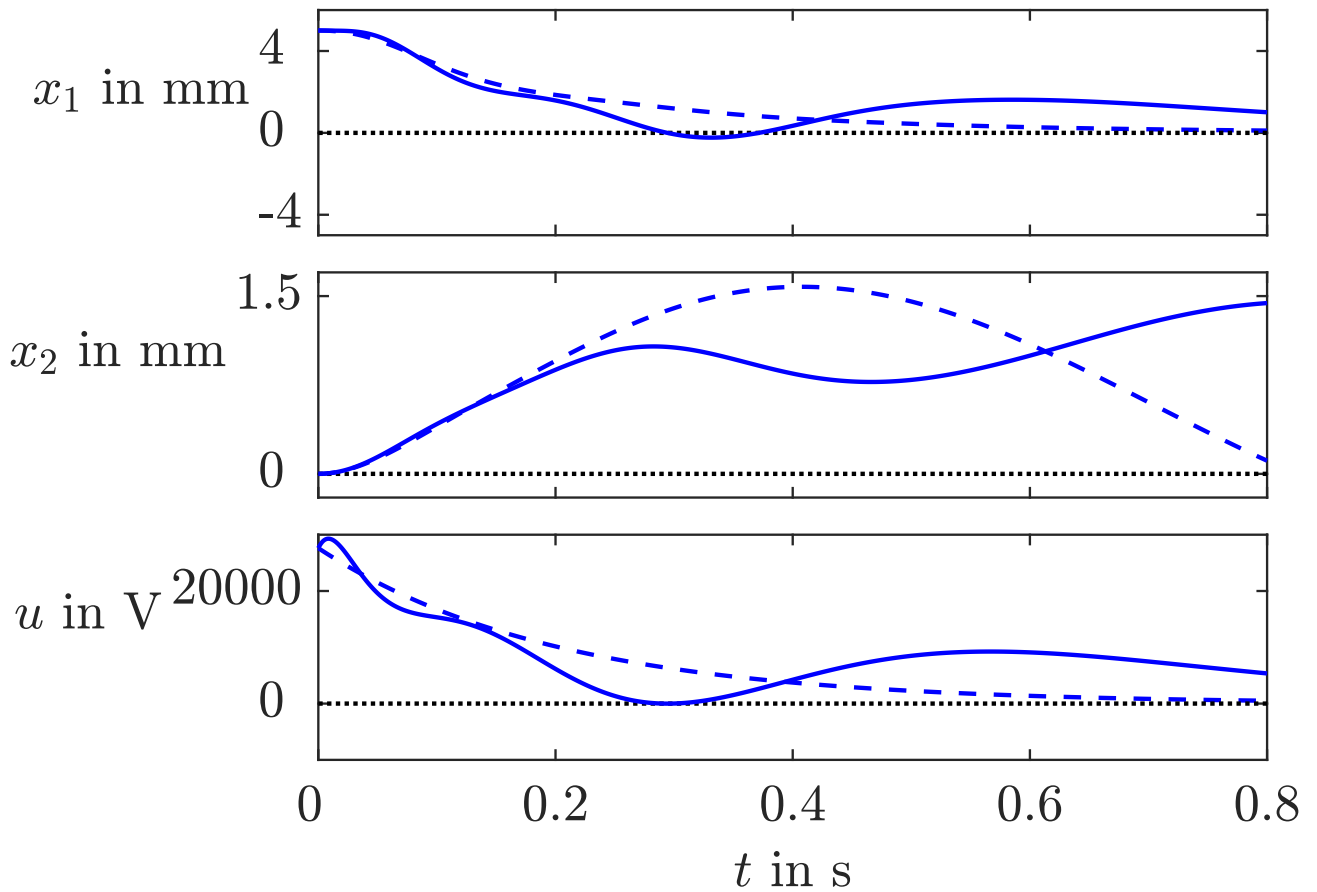


Abb. A.19: Eigenbewegung der geregelten Magnetschwebbahn mit Beobachter – und mit Zustandsrückführung - -

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

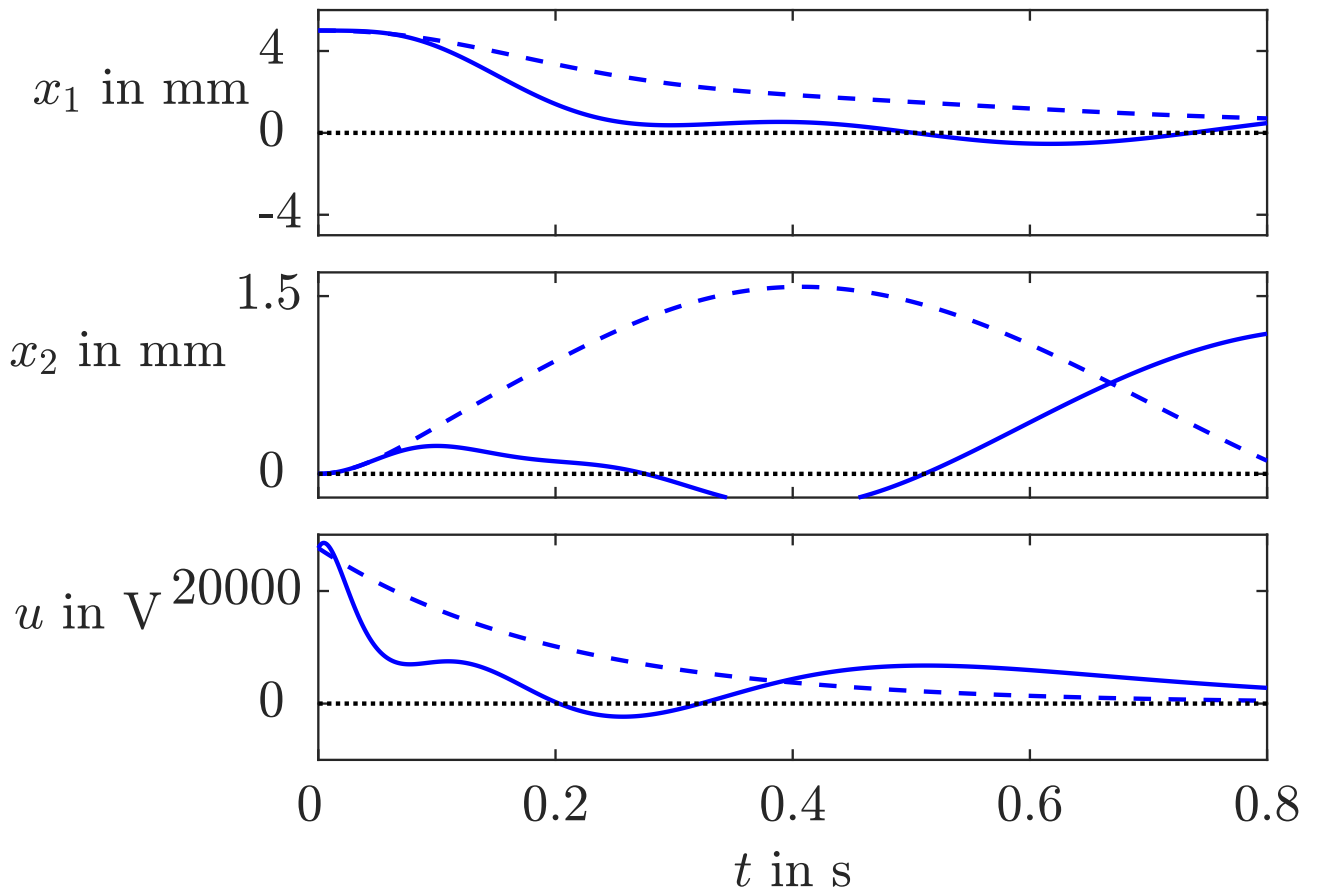


Abb. A.20: Eigenbewegung der geregelten Magnetschwebbahn mit dem schnelleren Beobachter – und mit Zustandsrückführung - -

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

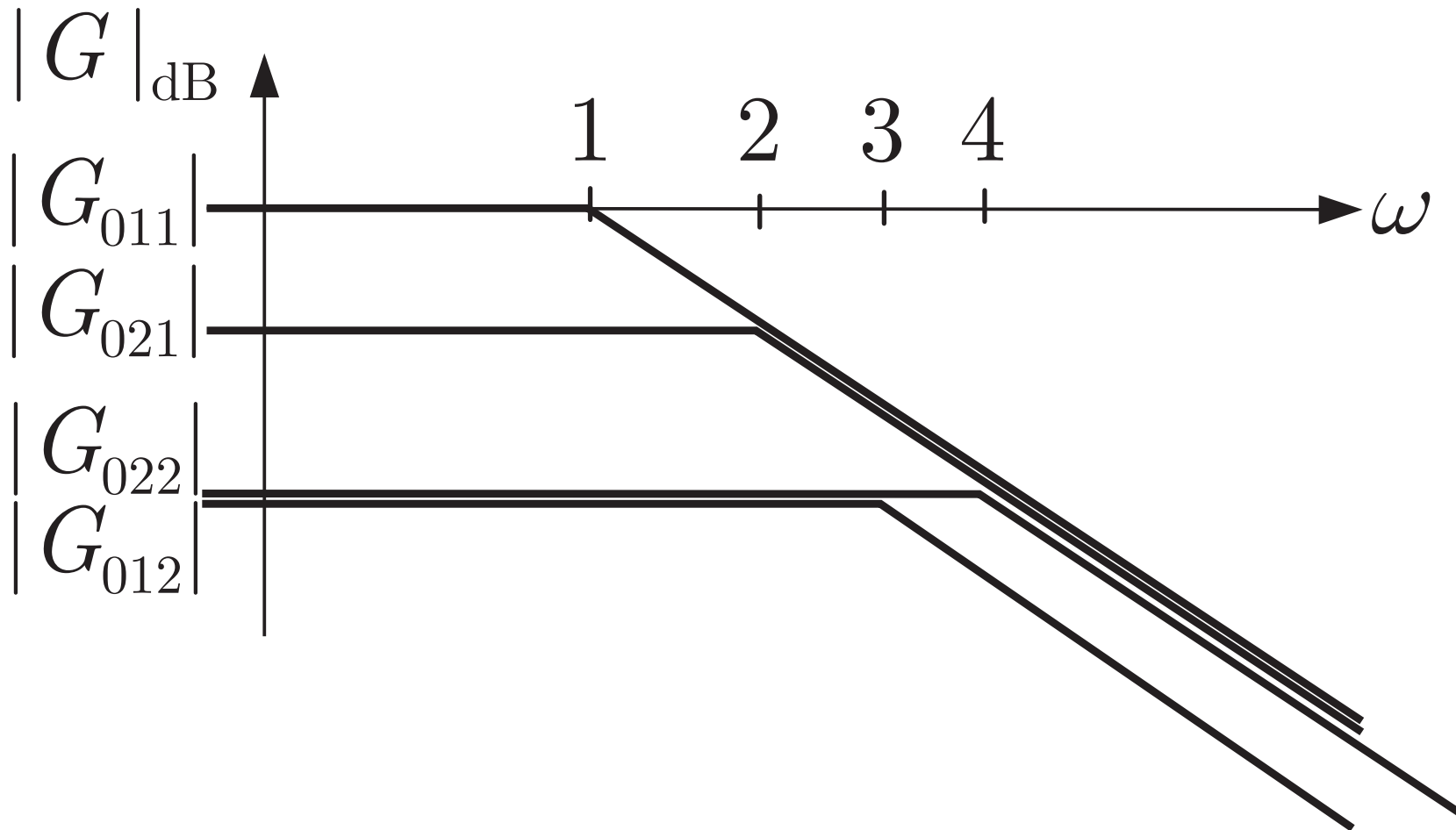


Abb. A.21. Geradenapproximation der zu vergleichenden Amplitudengänge

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

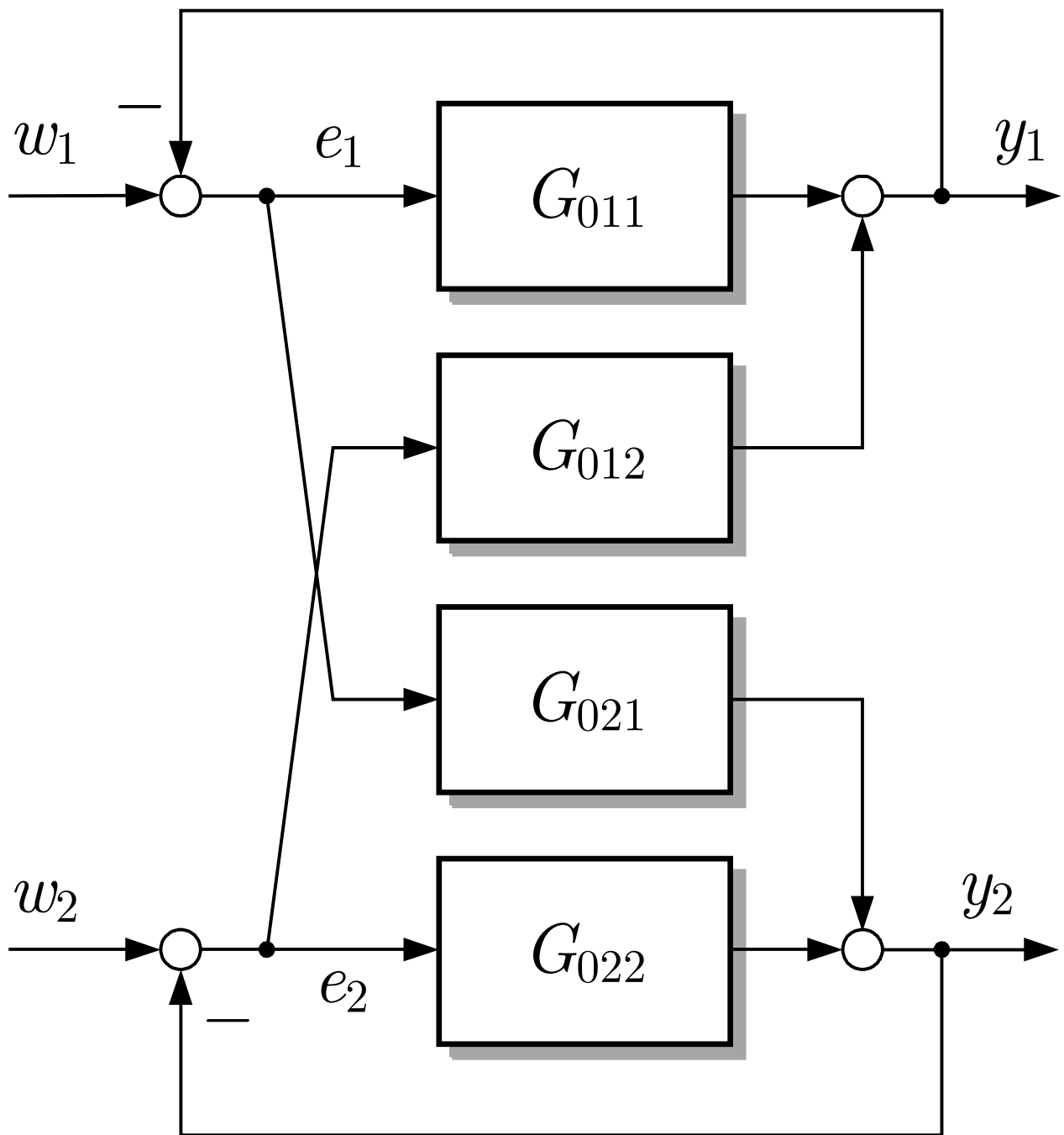


Abb. A.22: Prüfung der Integrität

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

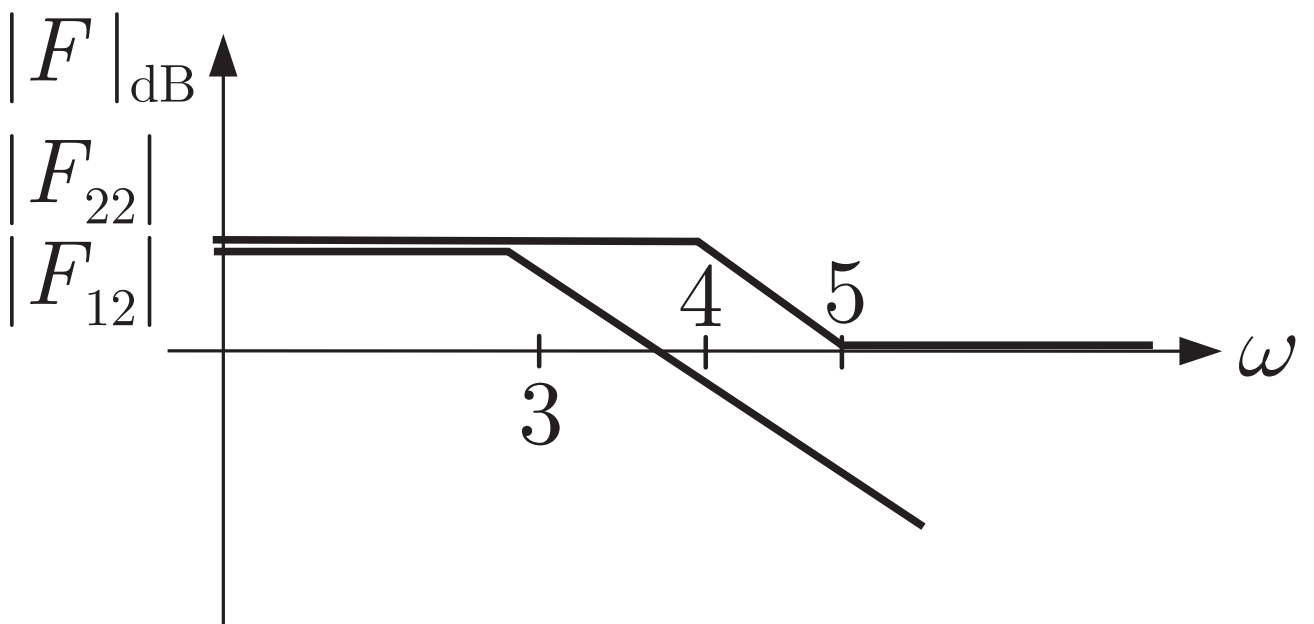
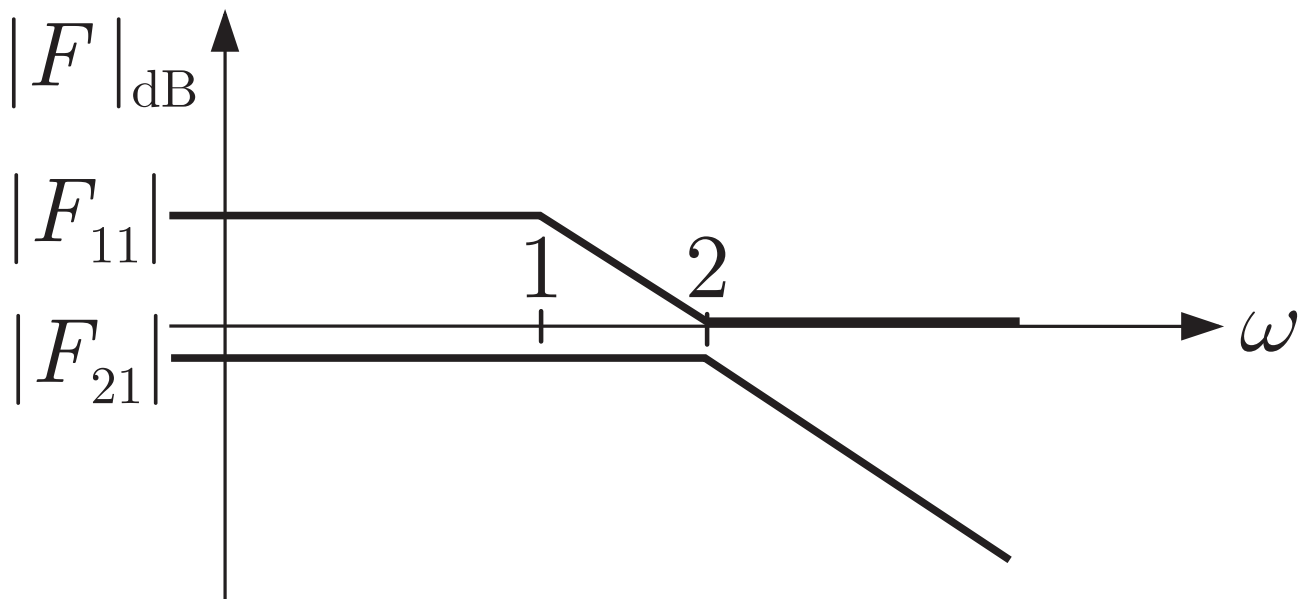


Abb. A.23: Prüfung der Spaltendominanz der Rückführdifferenzmatrix

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

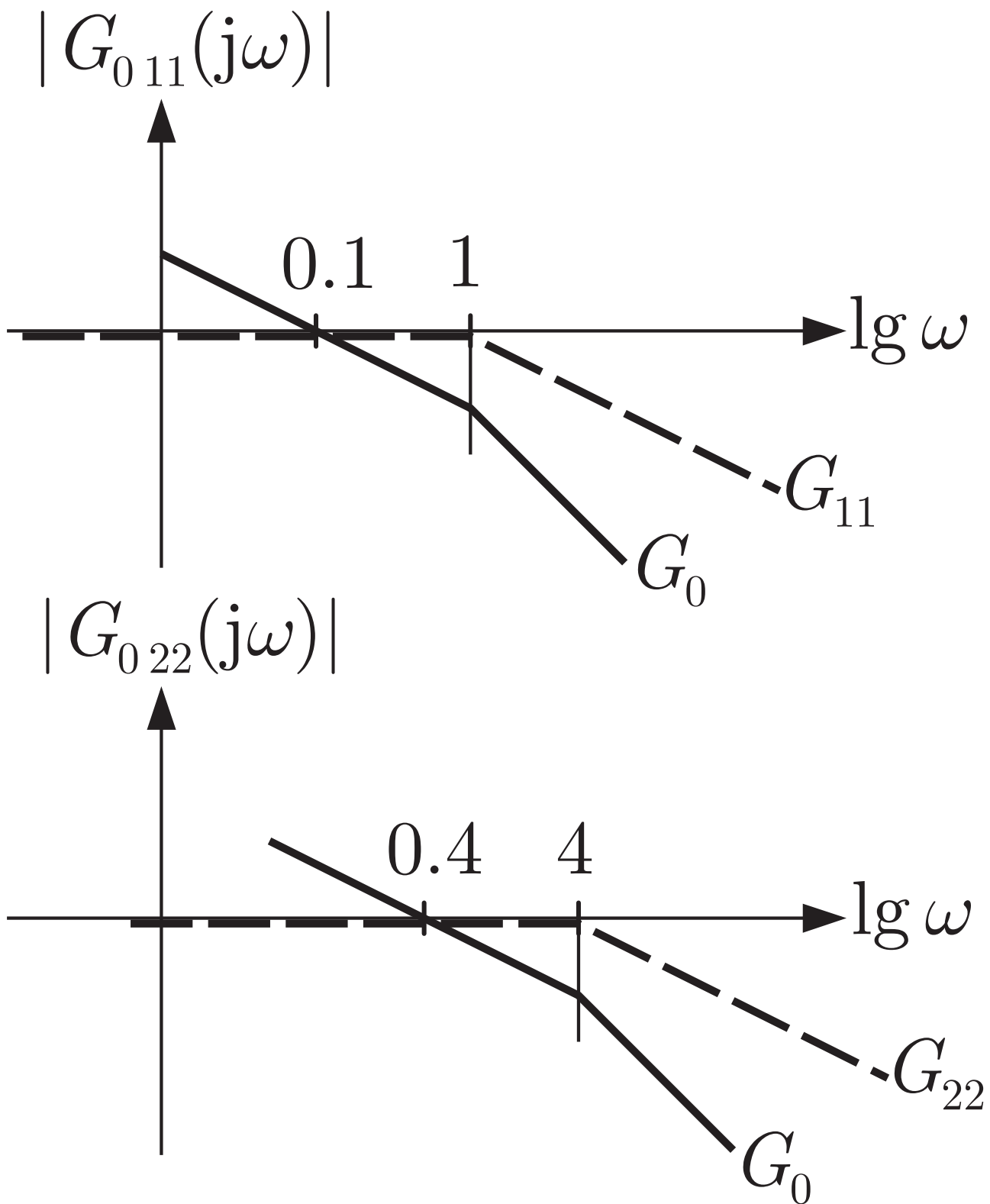


Abb. A.24: Entwurf der Einzelregelkreise

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

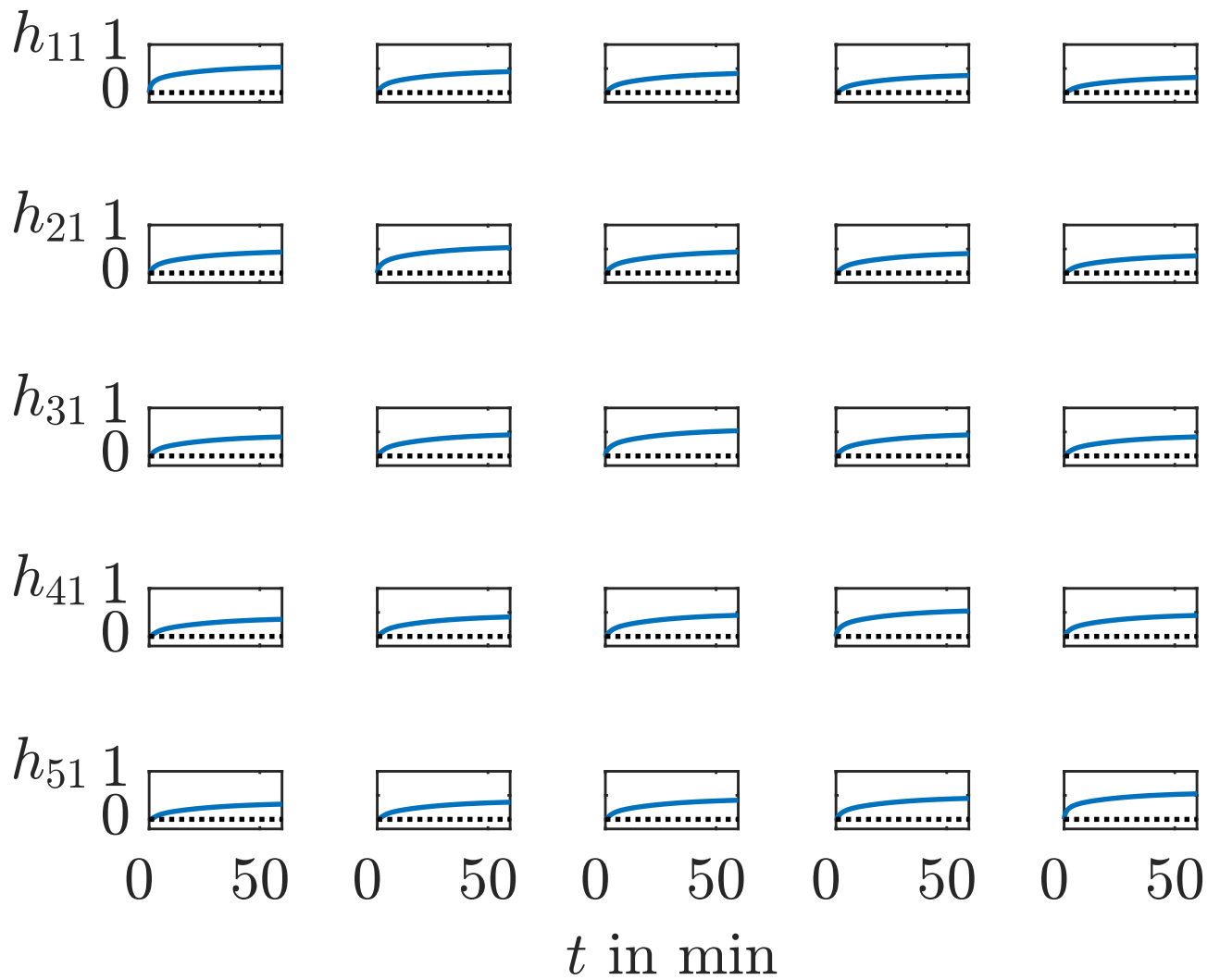


Abb. A.25: Übergangsfunktionsmatrix des Mehrzonenofens

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

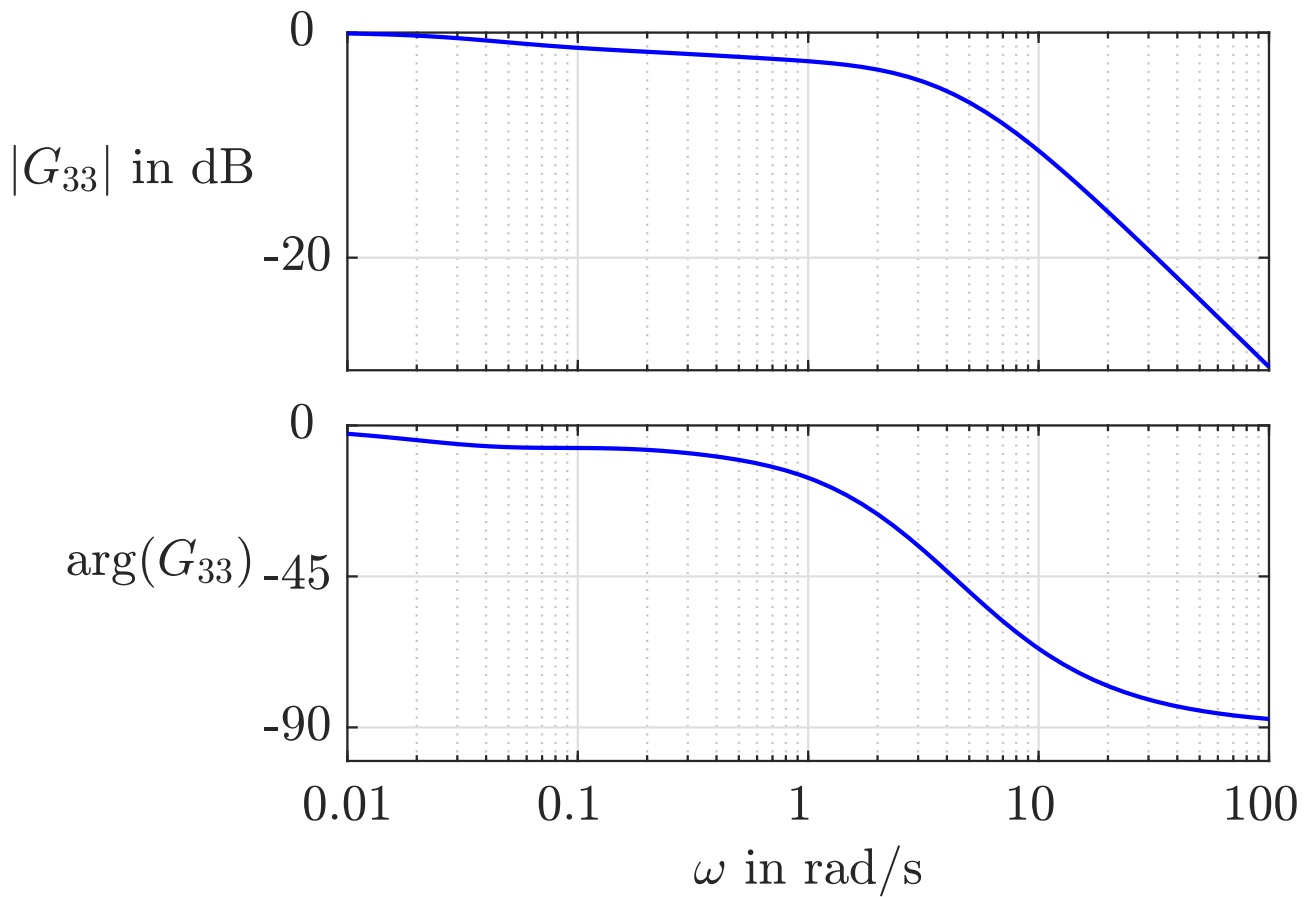


Abb. A.26: Frequenzkennlinien der dritten Heizzone

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

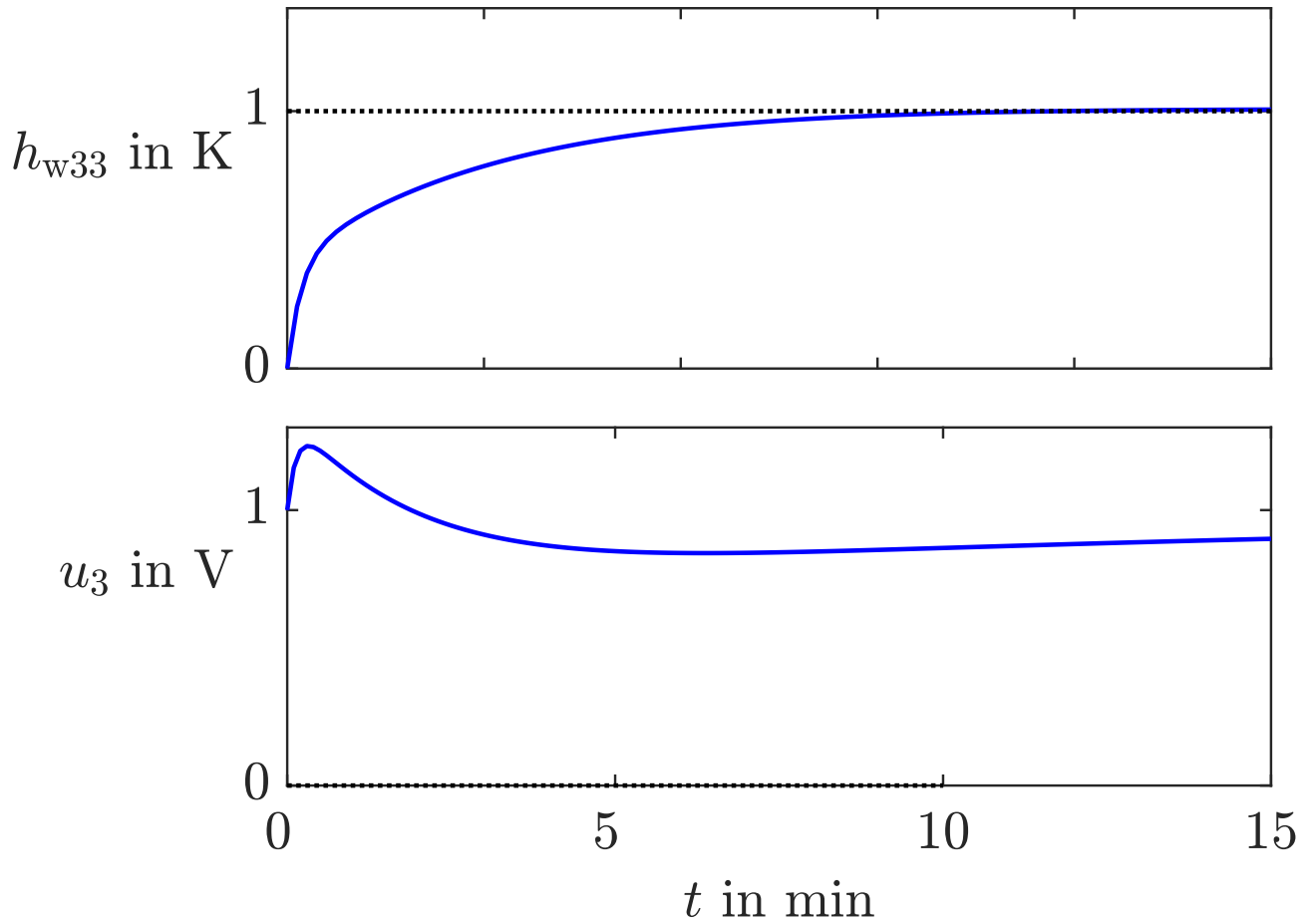


Abb. A.27: Führungsübergangsfunktion und Verlauf der Stellgröße des dritten Temperaturregelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

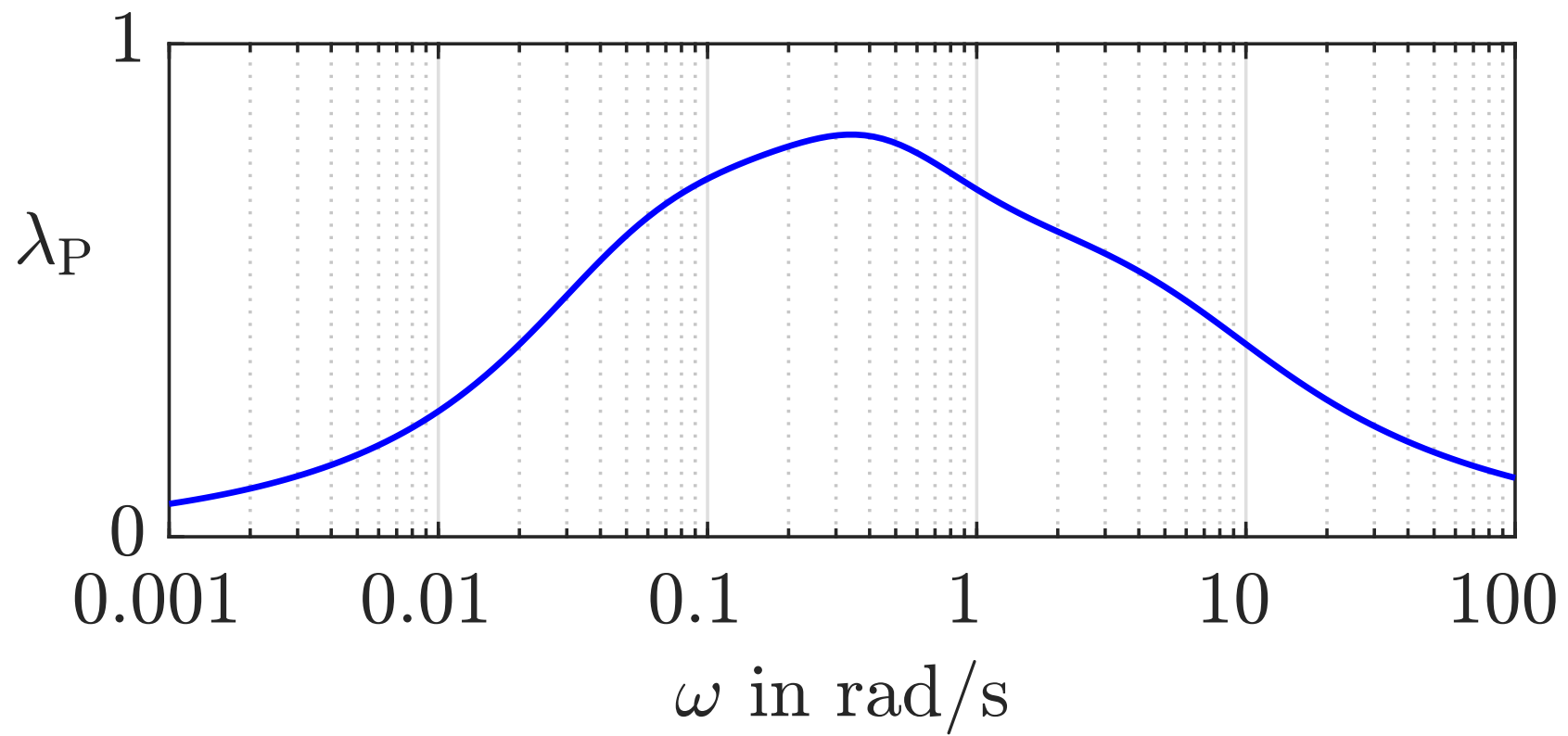


Abb. A.28. Prüfung der Diagonaldominanz

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

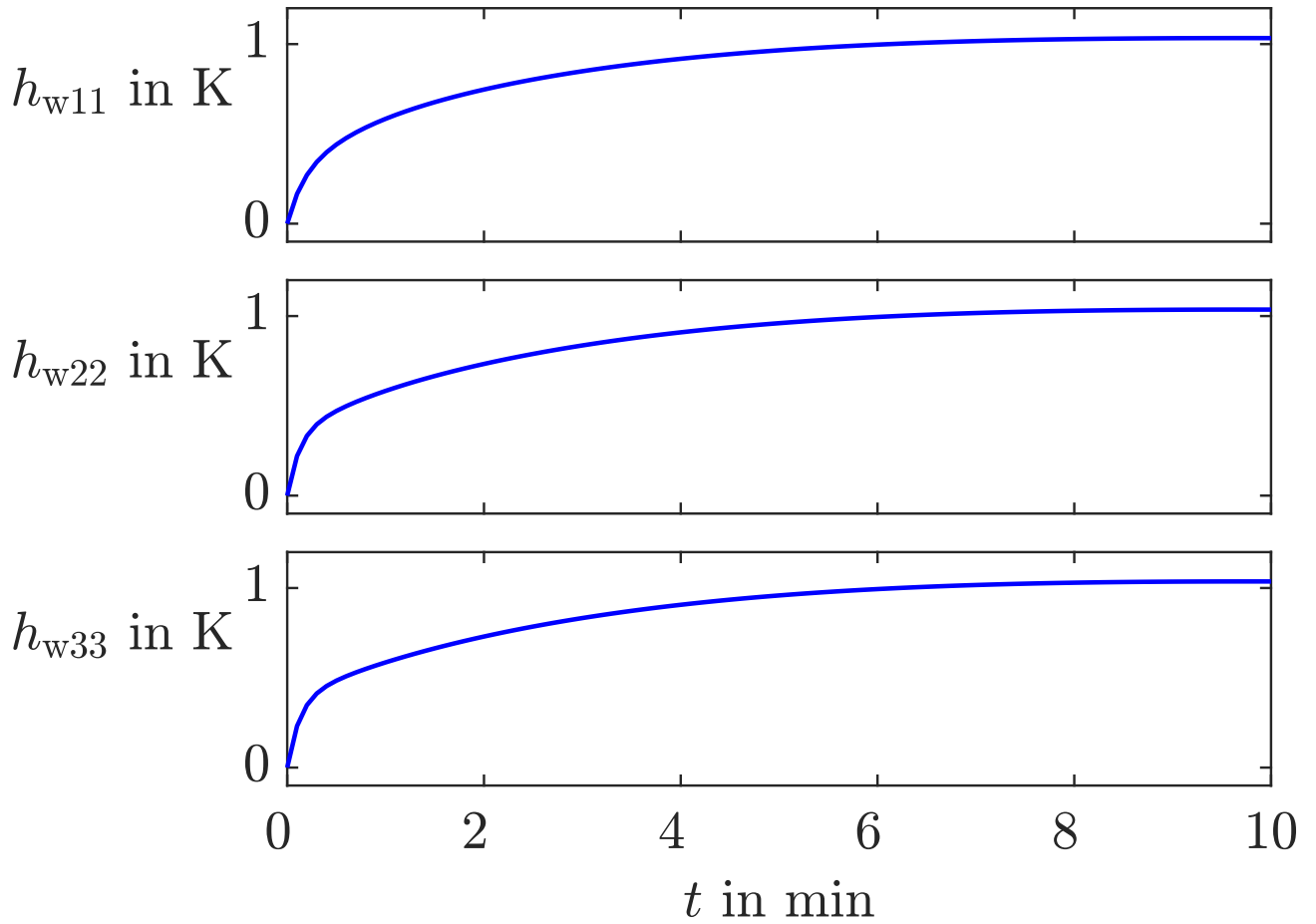


Abb. A.29: Führungsverhalten der ersten Heizzone bei Verwendung des Mehrgrößenreglers

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

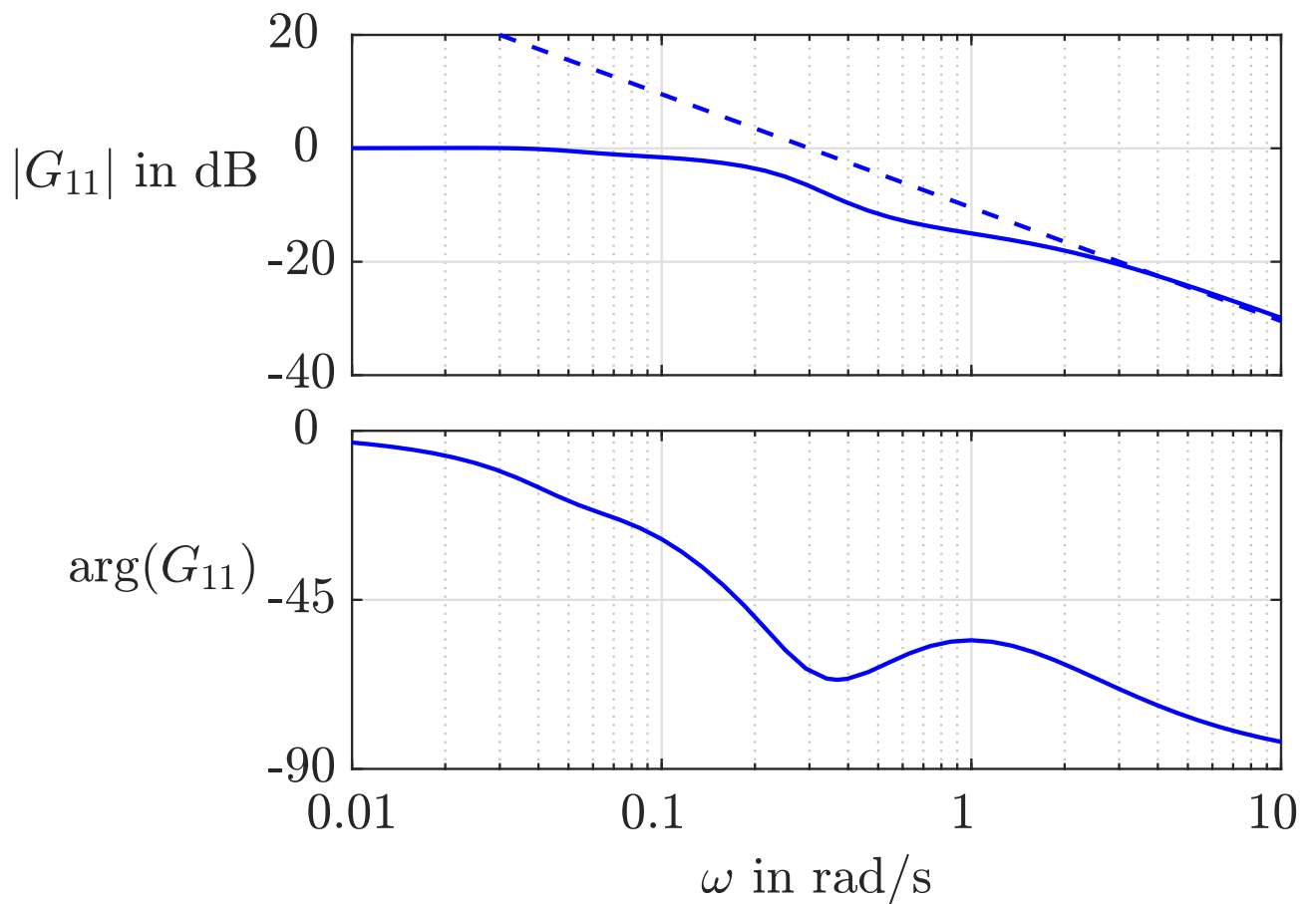


Abb. A.30: Bodediagramm der Regelstrecke von Teilregler 1

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

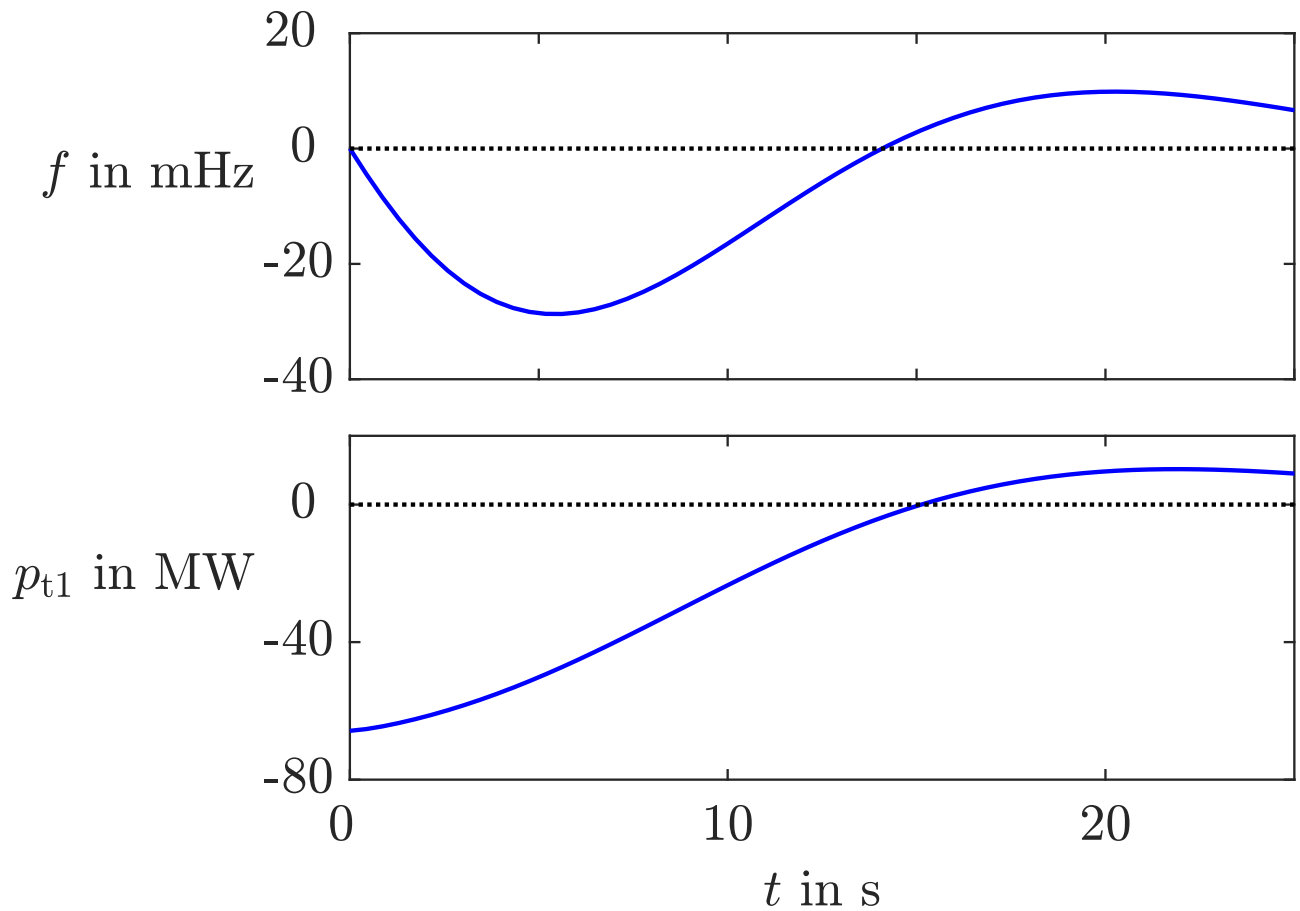


Abb. A.31: Störübergangsfunktionen von Netz 1 mit FÜ-Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

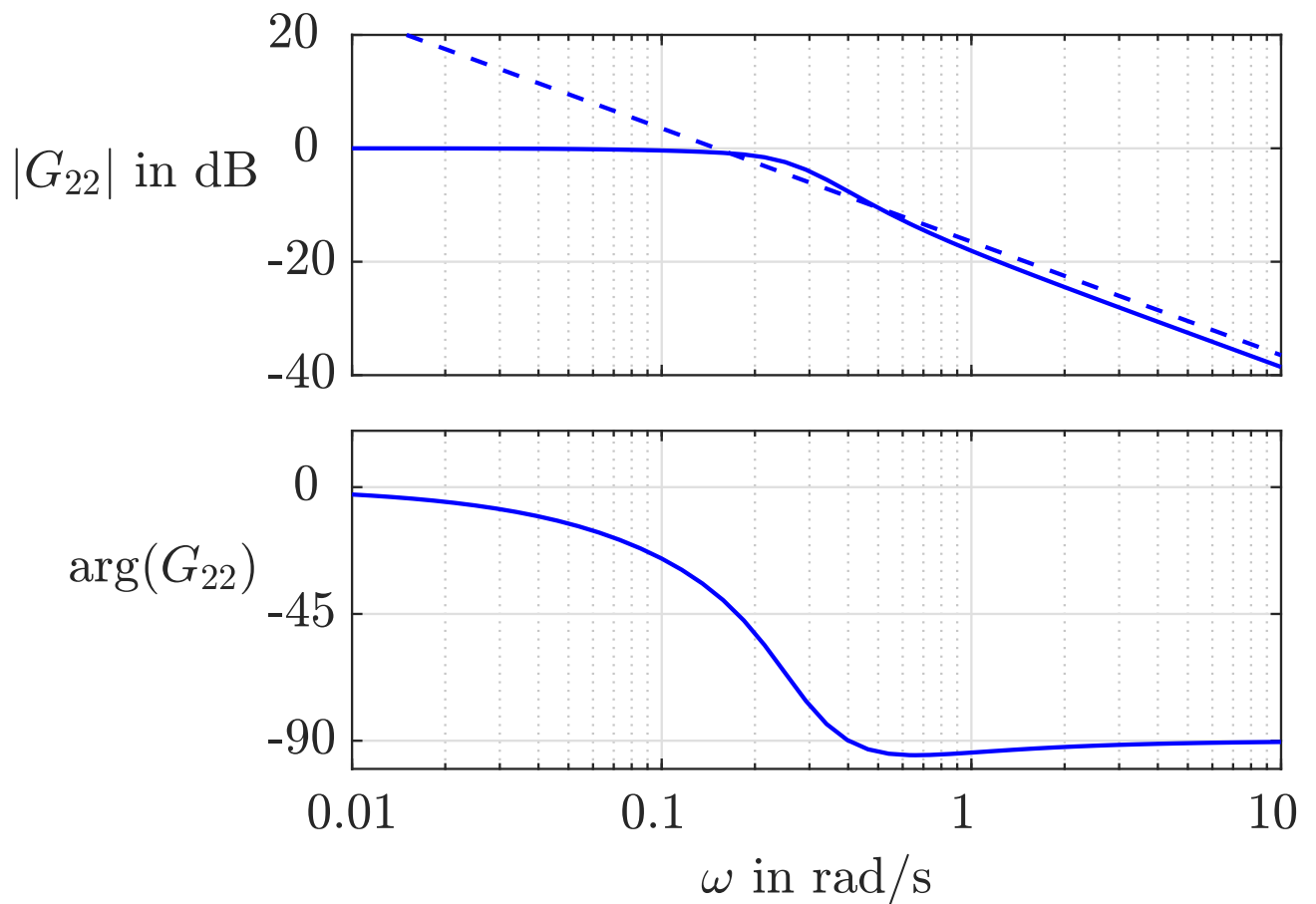


Abb. A.32: Bodediagramm der Regelstrecke von Teilregler 2

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

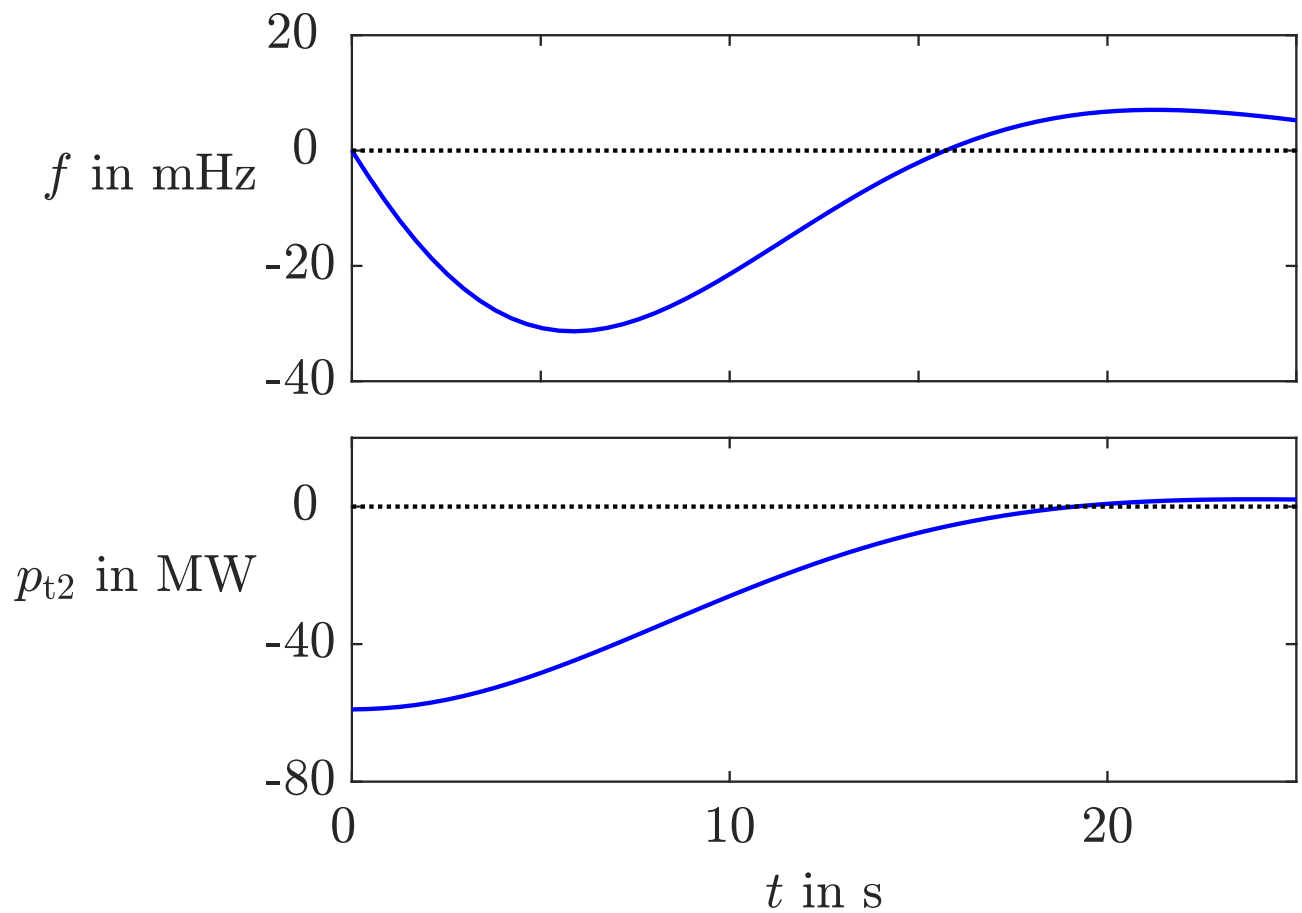


Abb. A.33: Störübergangsfunktionen mit FÜ-Regelung im Netz 2

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

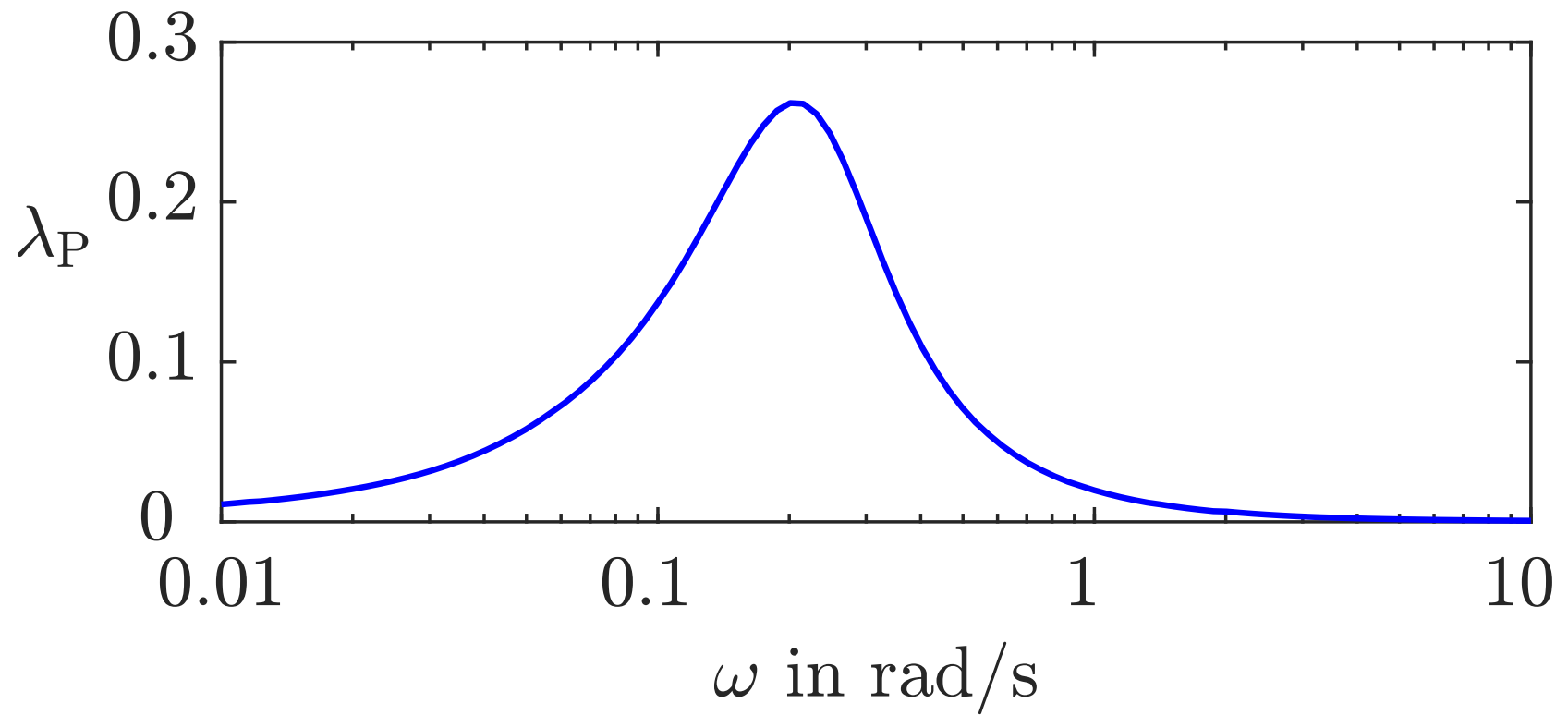


Abb. A.34. Prüfung der verallgemeinerten Diagonaldominanz

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

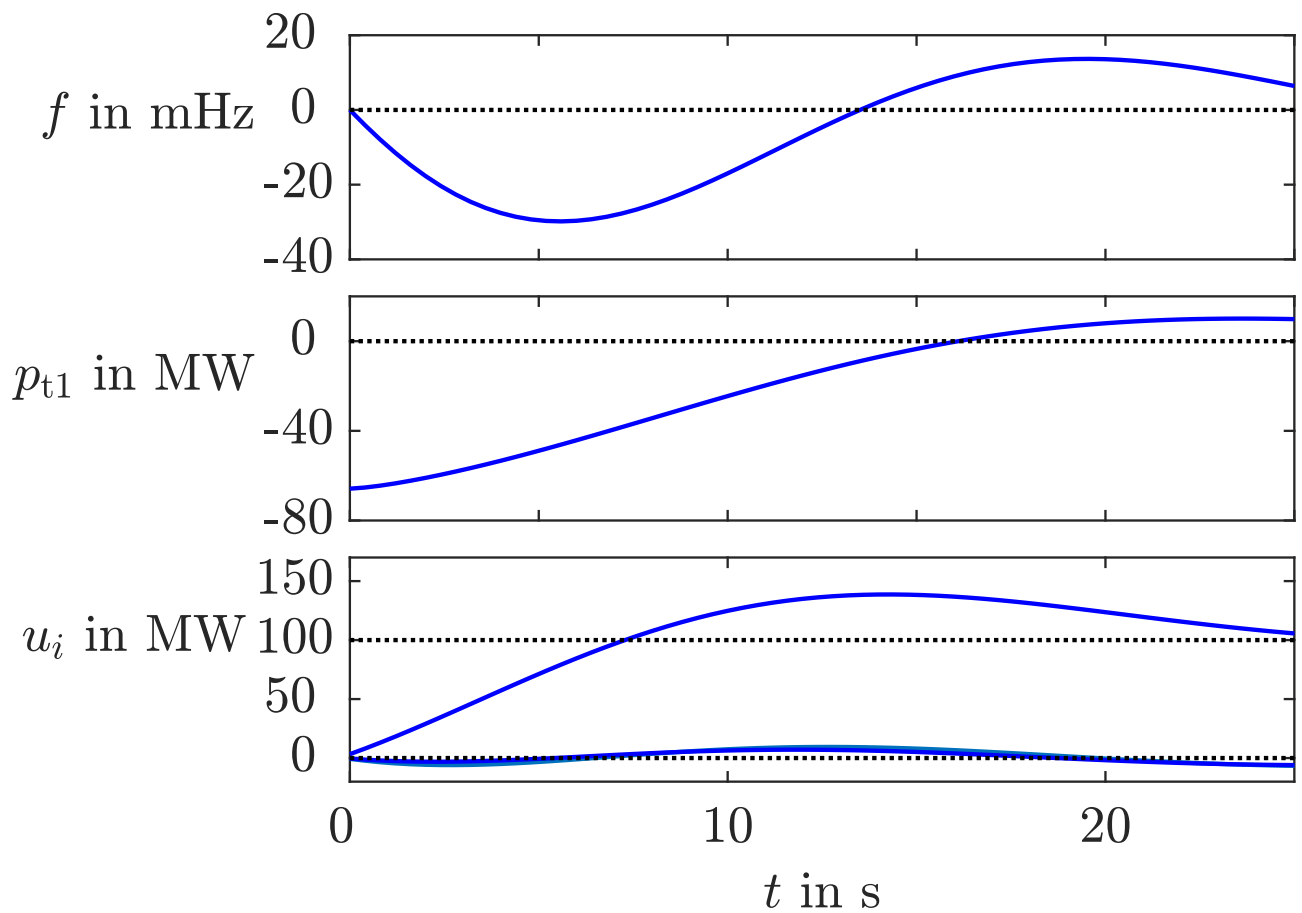


Abb. A.35: Störübergangsfunktion des Energienetzes mit dezentraler FÜ-Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

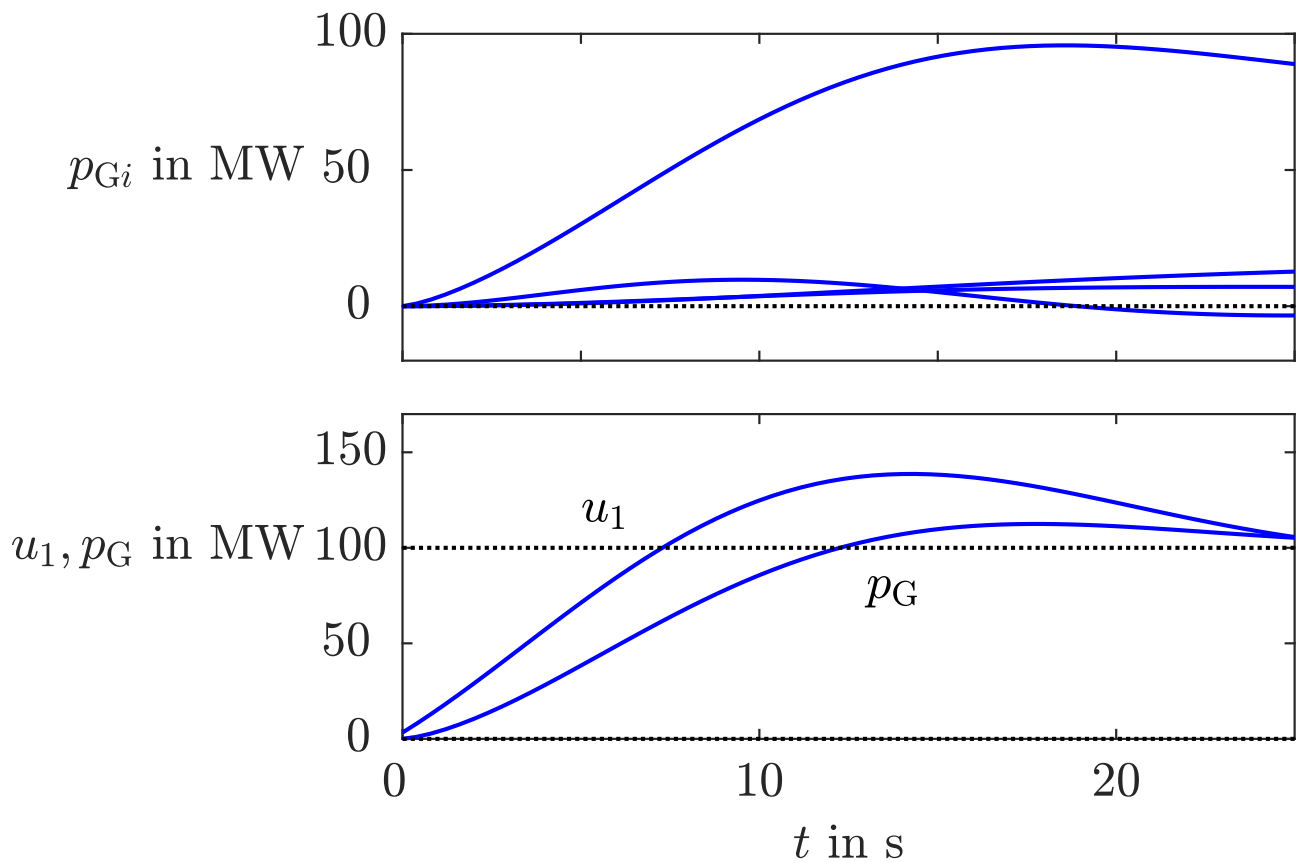


Abb. A.36: Generatorleistungen bei Laststörung von 100 MW

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

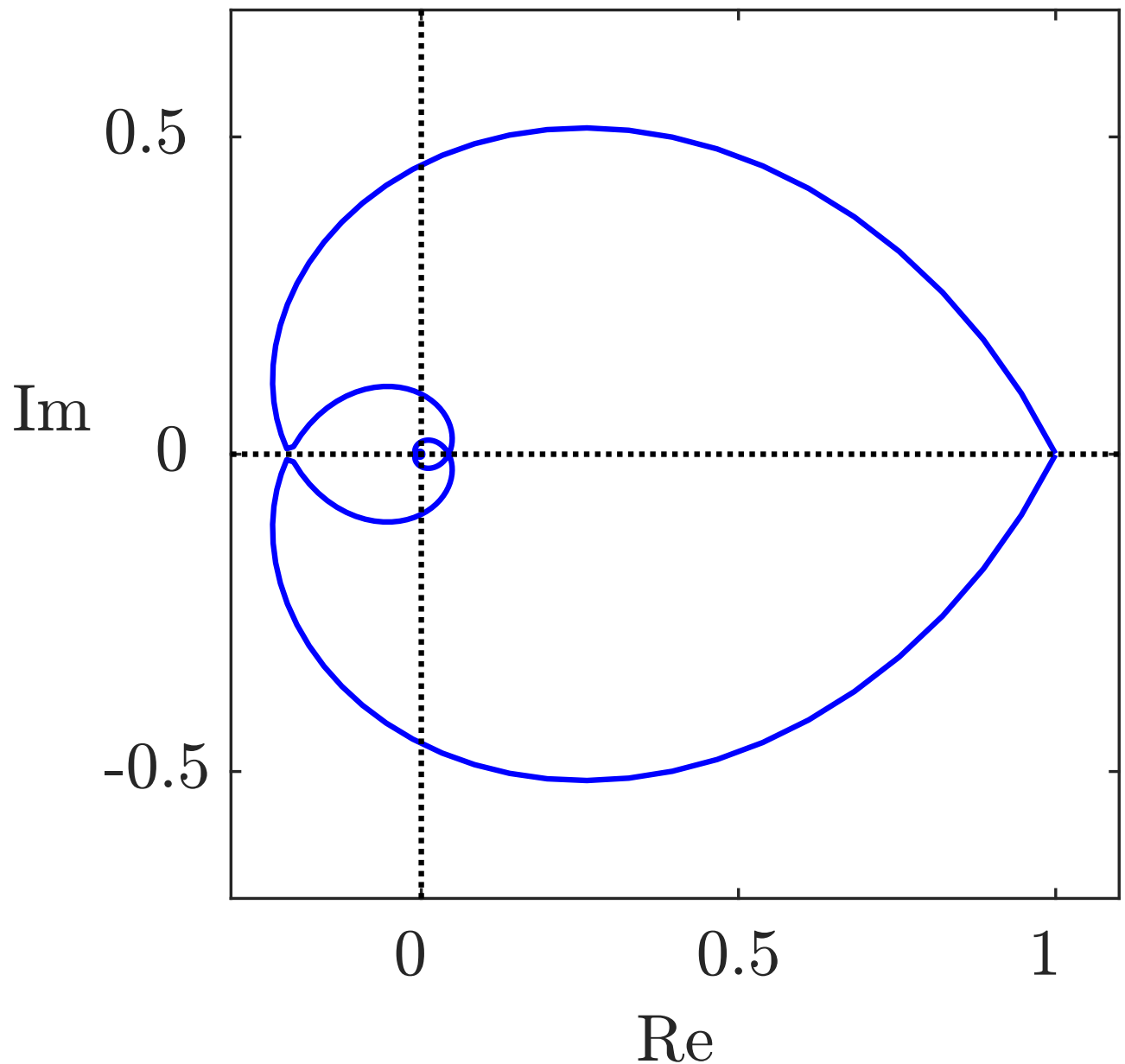


Abb. A.37: Eigenwerte des zeitdiskreten Modells bei Veränderung der Abtastzeit

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

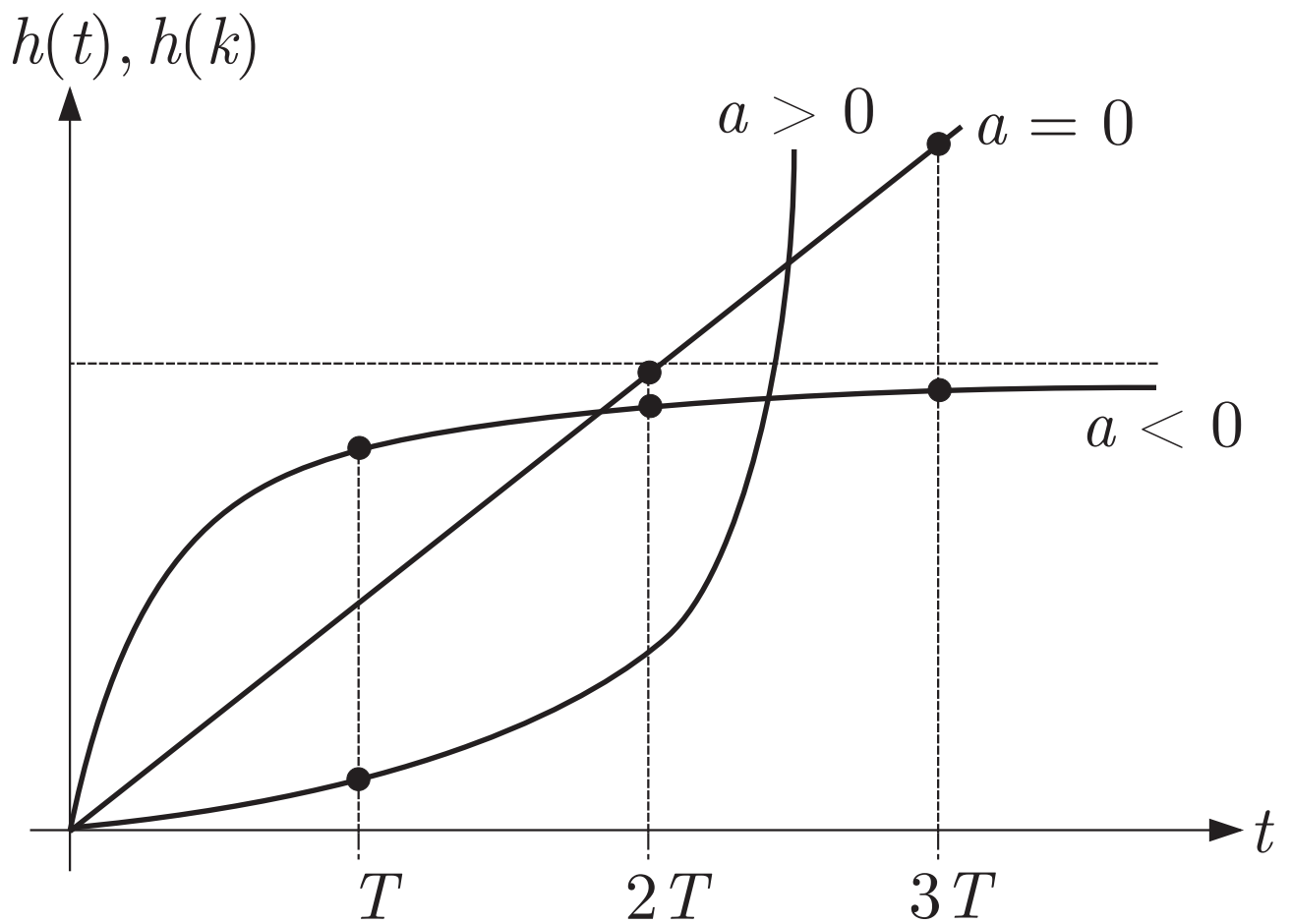


Abb. A.38: Übergangsfunktionen für $a < 0, a = 0, a > 0$

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

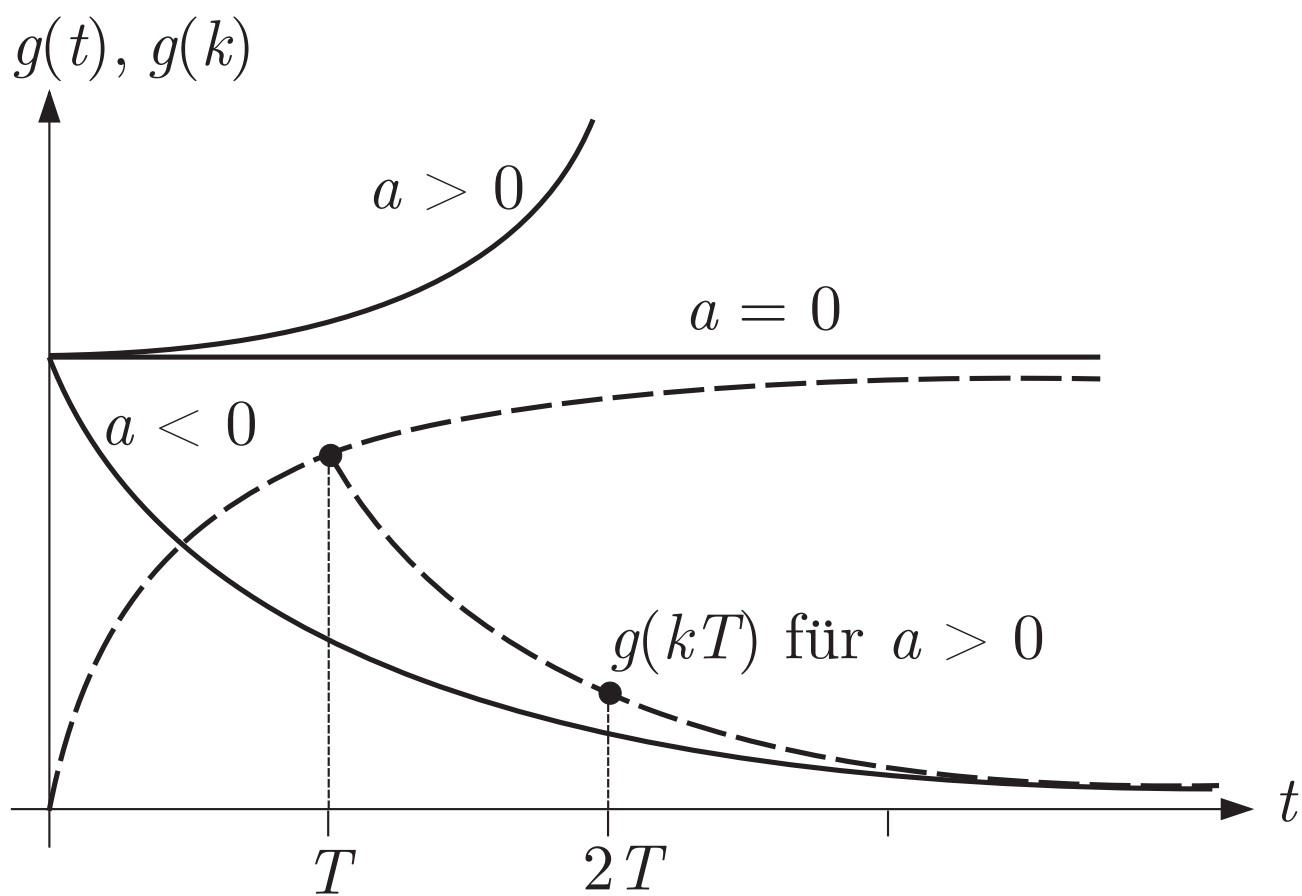


Abb. A.39: Gewichtsfunktionen und Gewichtsfolge

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

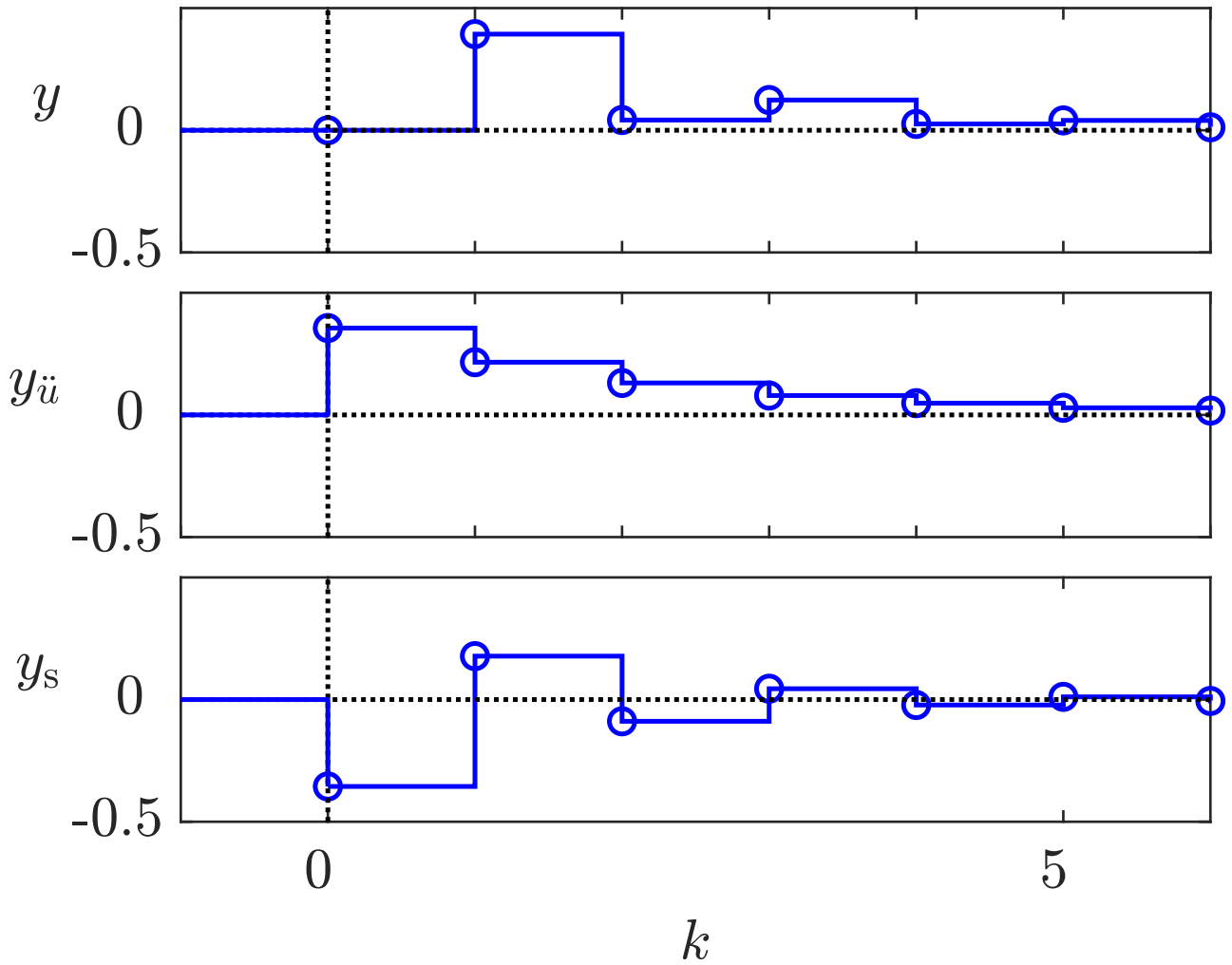


Abb. A.40: Verhalten eines Systems erster Ordnung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

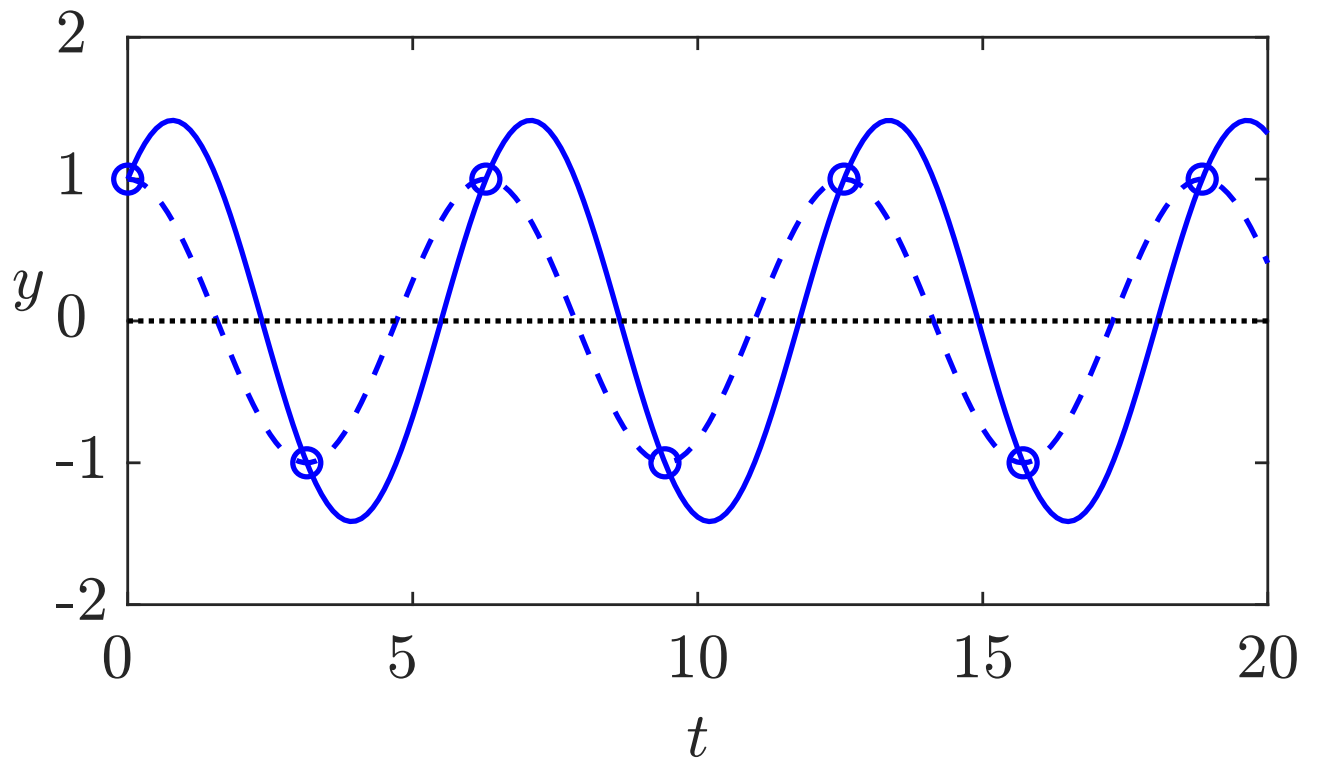


Abb. A.41: Ausgangsgröße des Oszillators mit Angabe der Abtastzeitpunkte

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

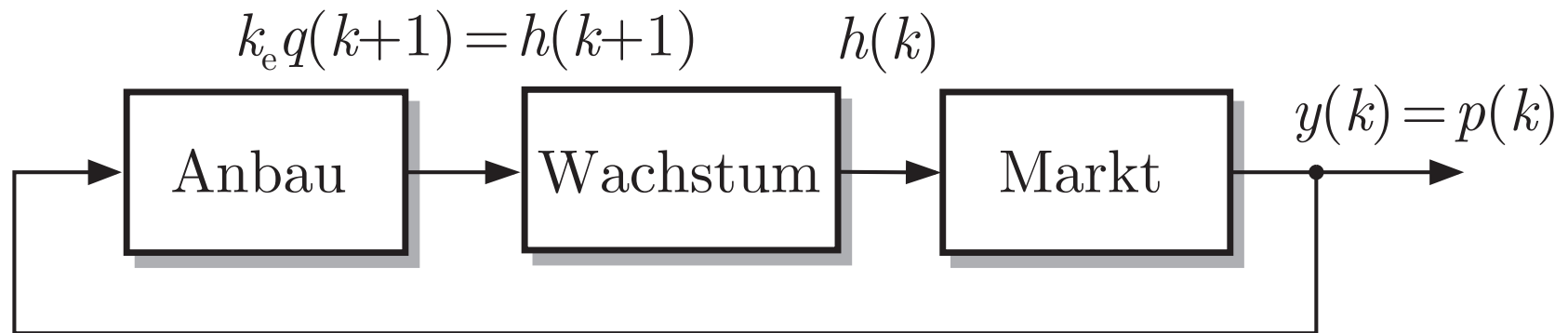


Abb. A.42. Blockschaltbild für die Untersuchung der Preisdynamik

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

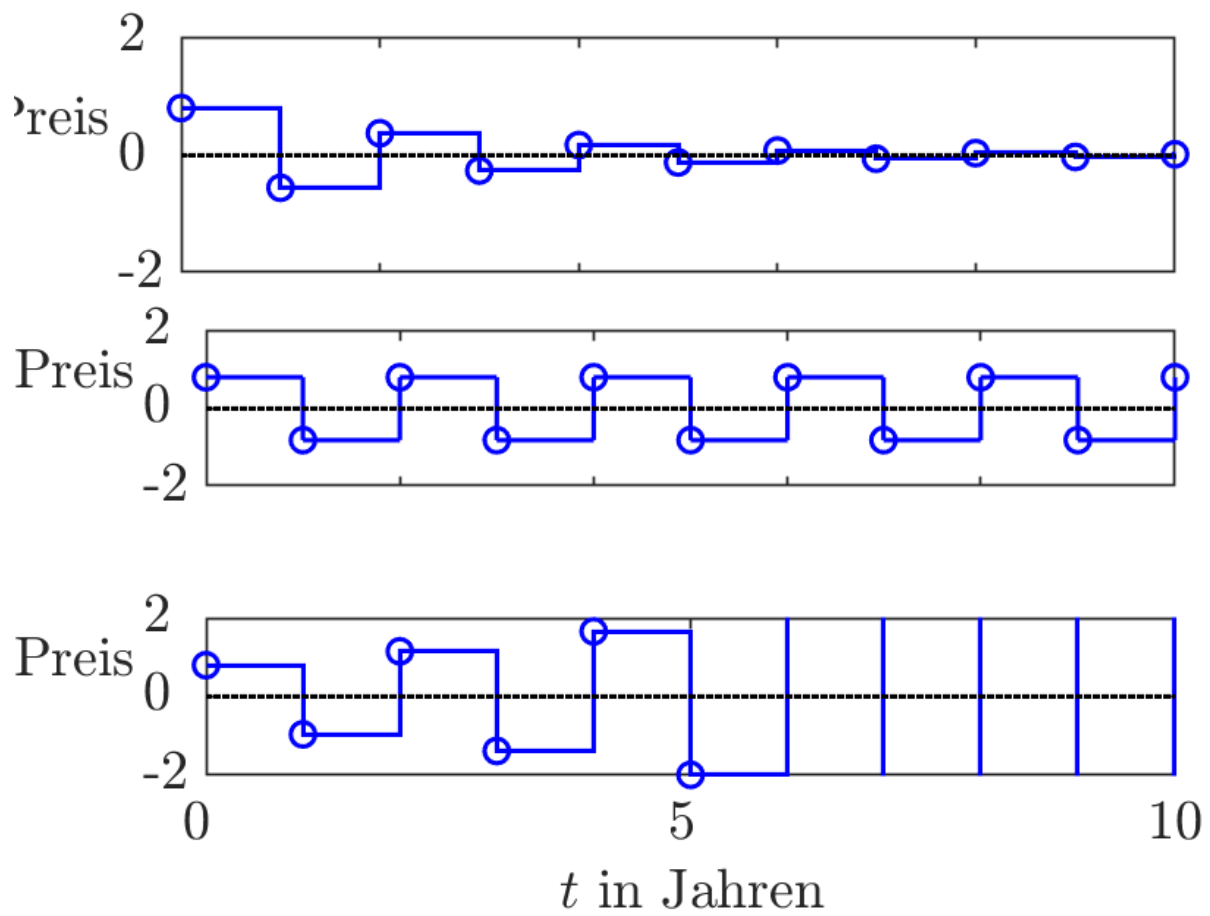


Abb. A.43: Preisdynamik in der Landwirtschaft

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

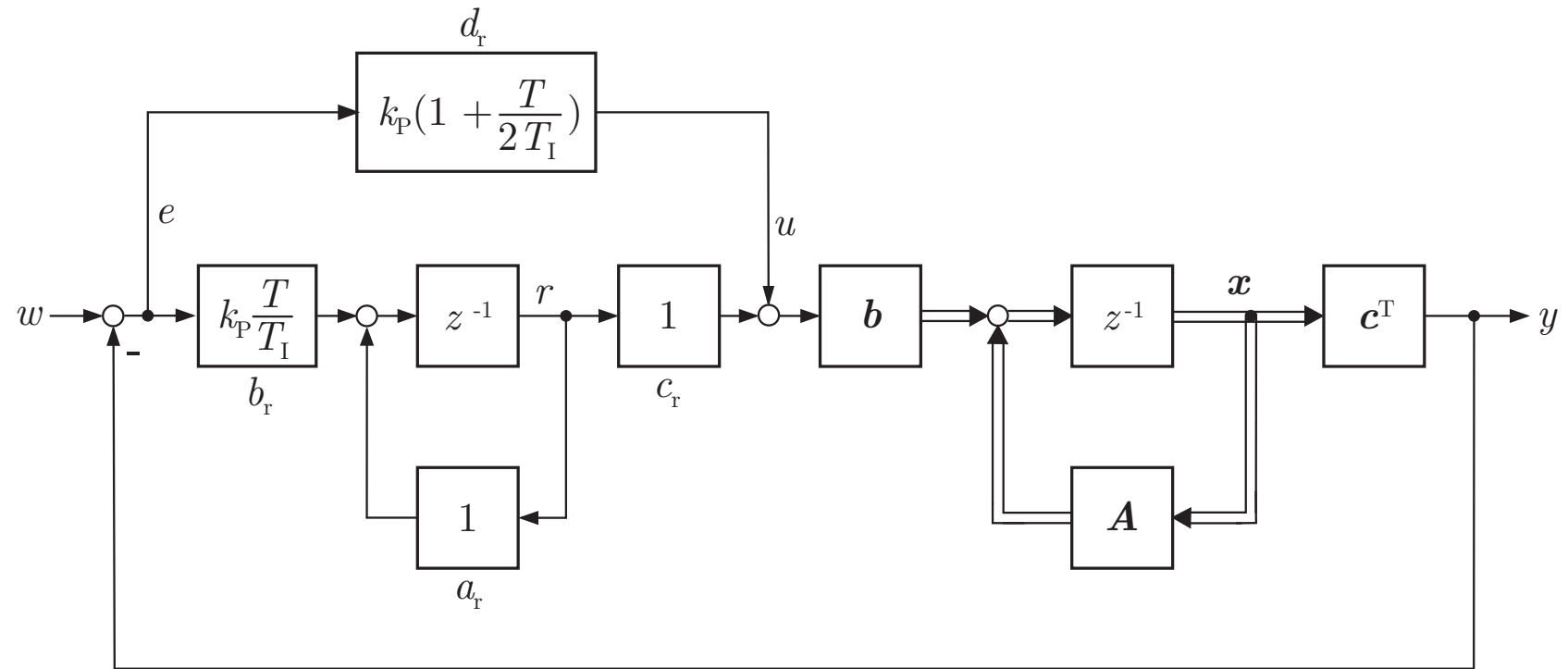


Abb. A.44. Strukturbild des zeitdiskreten PI-Regelkreises

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

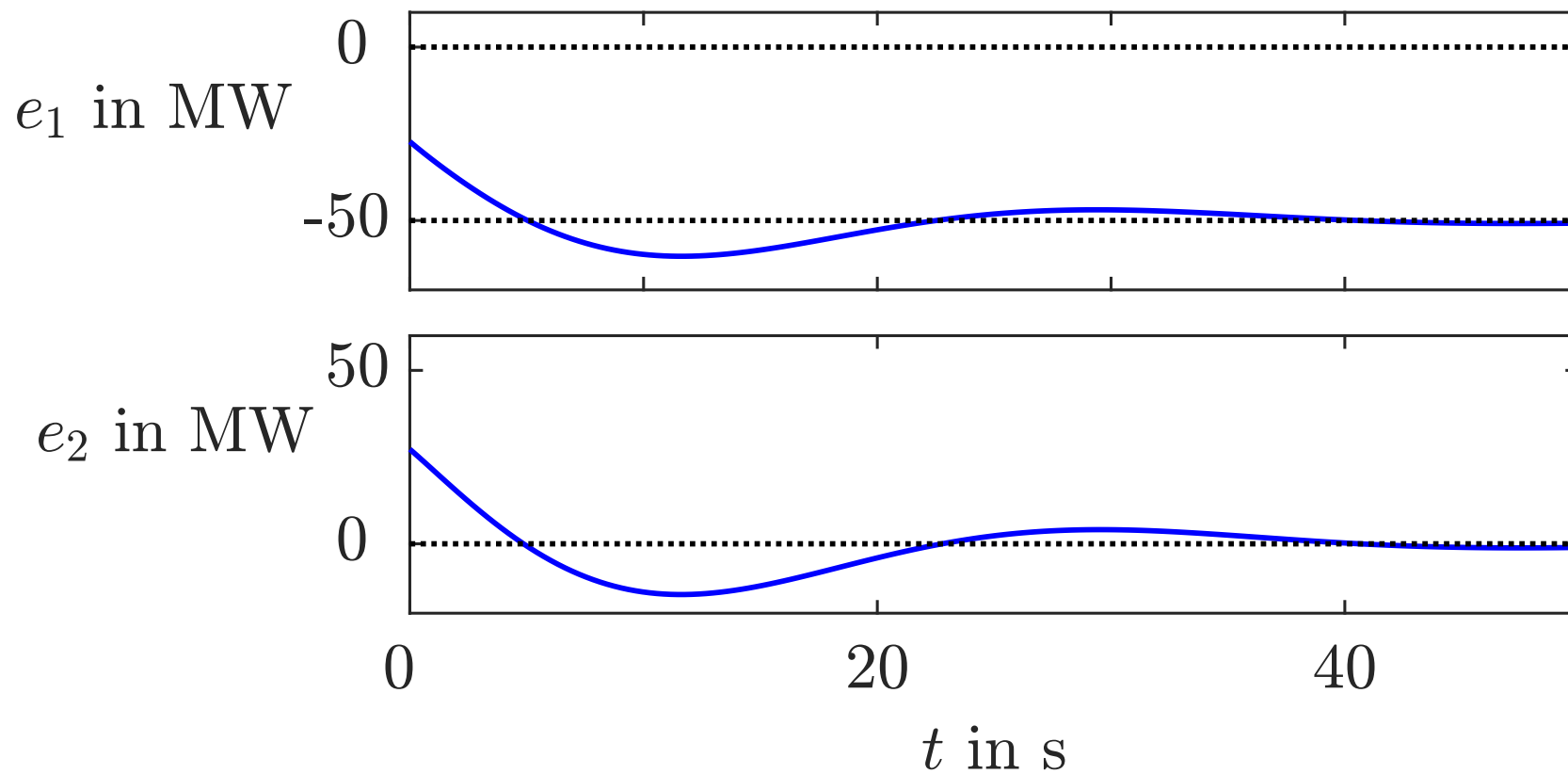


Abb. A.45. Netzkennlinienfehler bei sprungförmiger Erhöhung der Last im Netz 1 um 50 MW

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

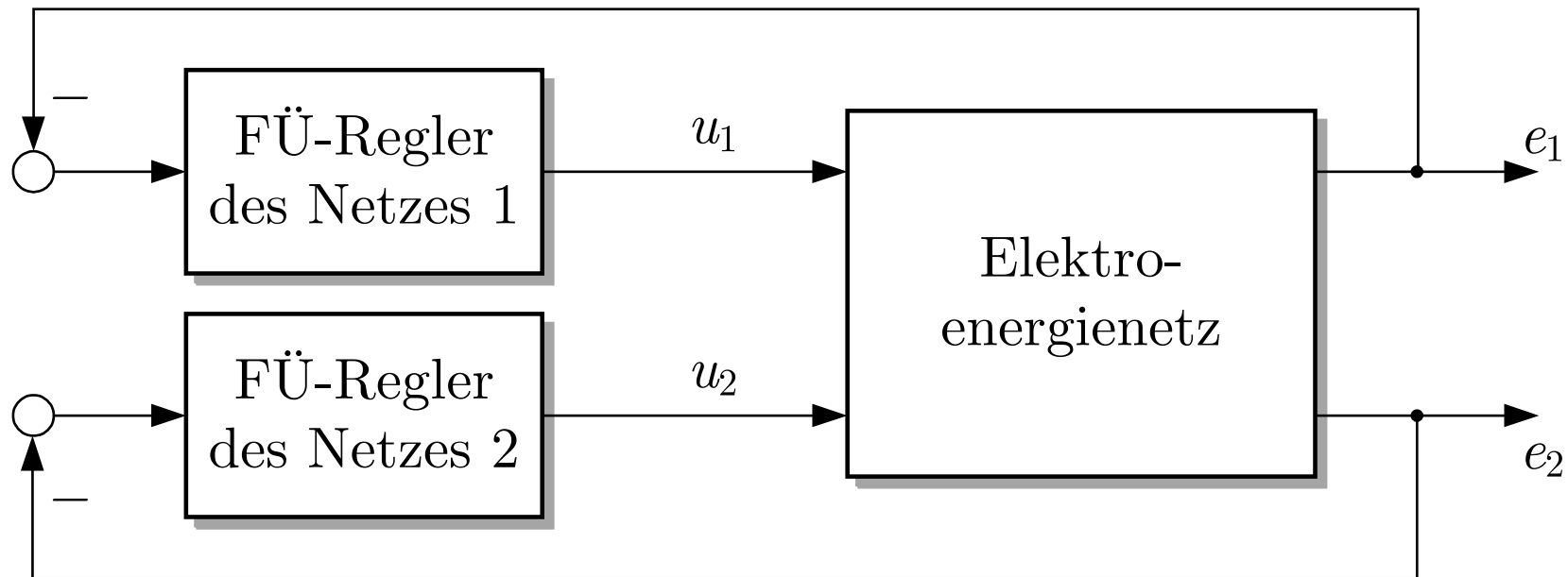


Abb. A.46. Blockschaltbild der dezentralen FÜ-Regelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

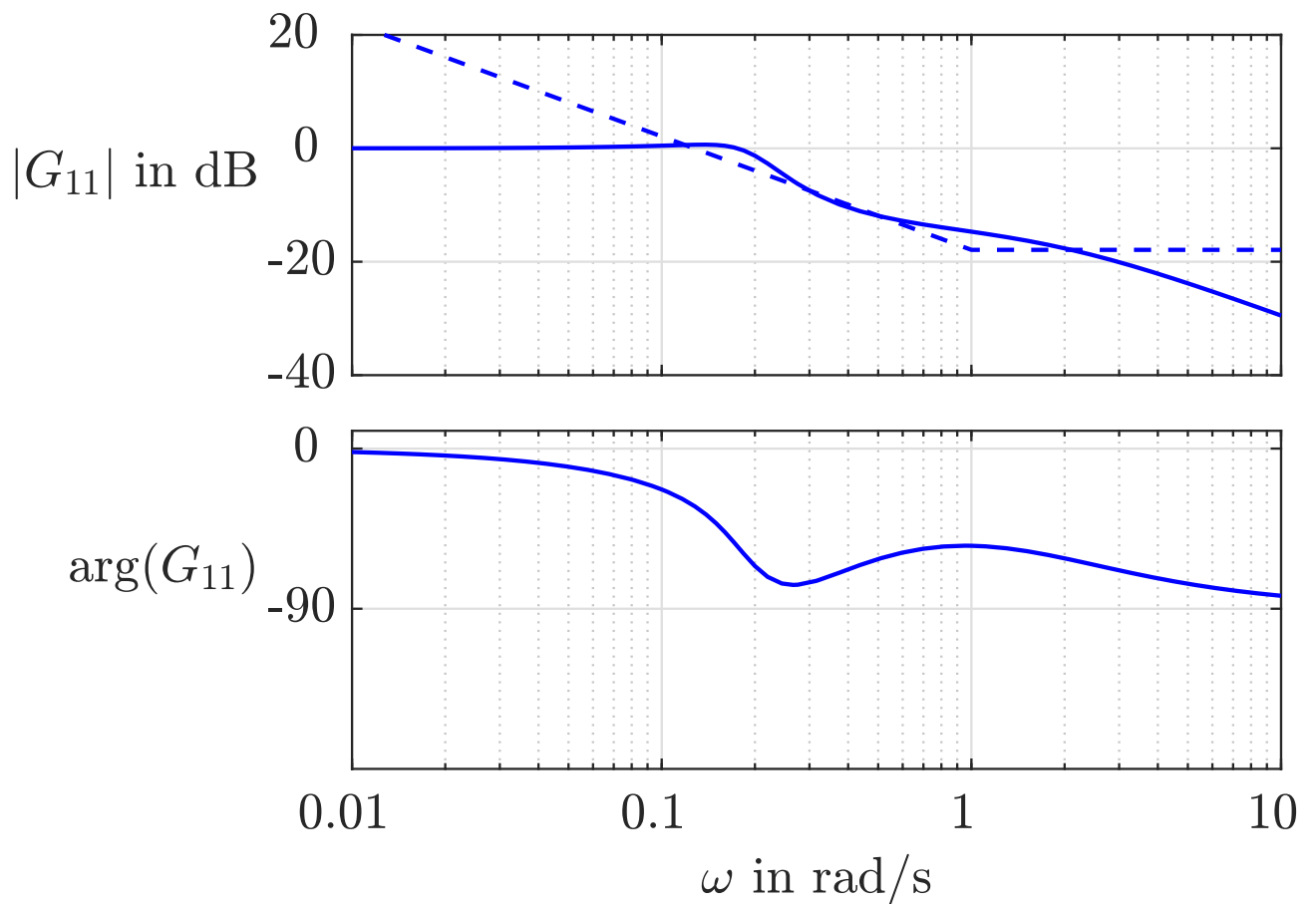


Abb. A.47: Bodediagramm des Teilnetzes 1

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

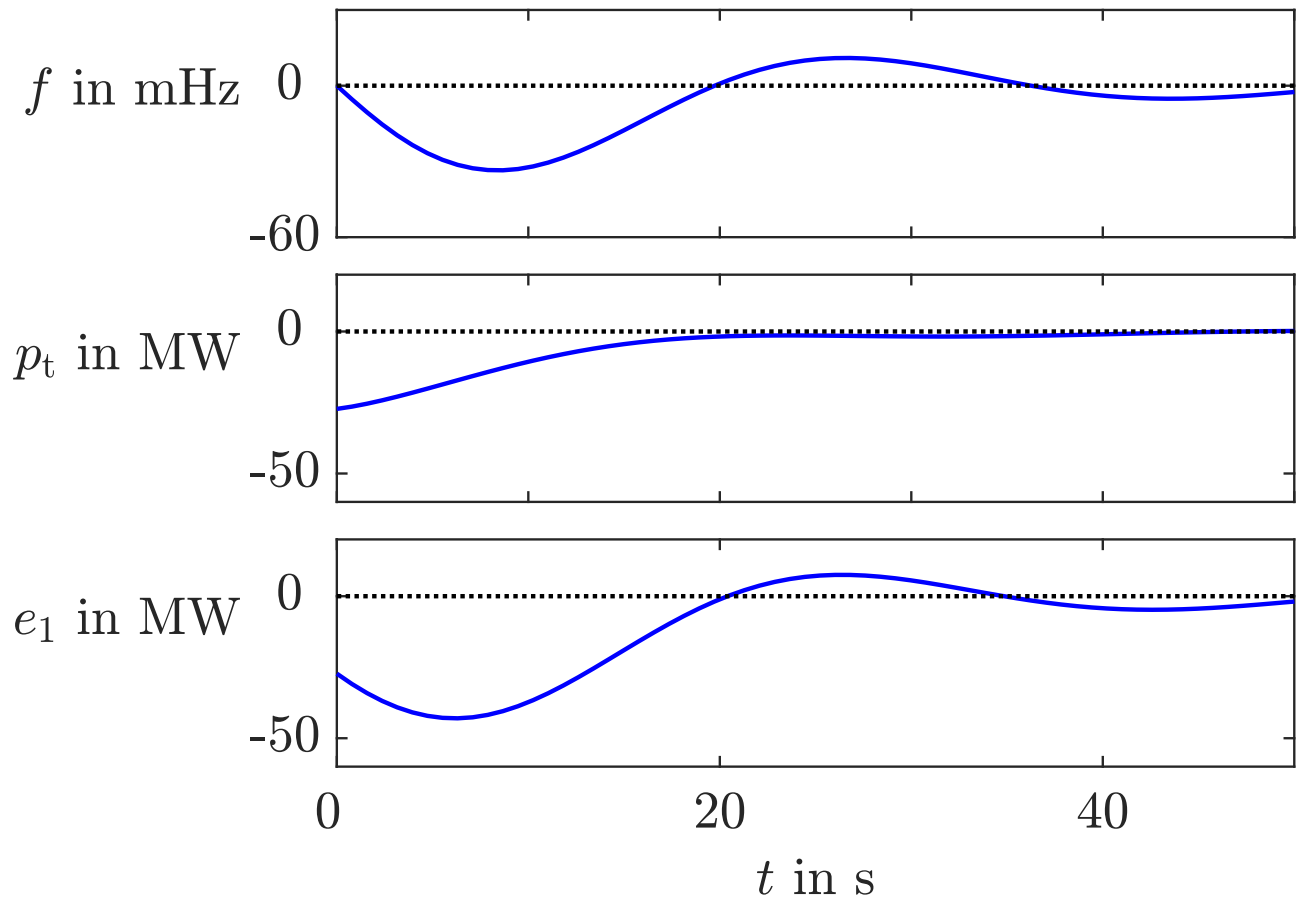


Abb. A.48: Verhalten des geregelten Netzes 1 bei Lasterhöhung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

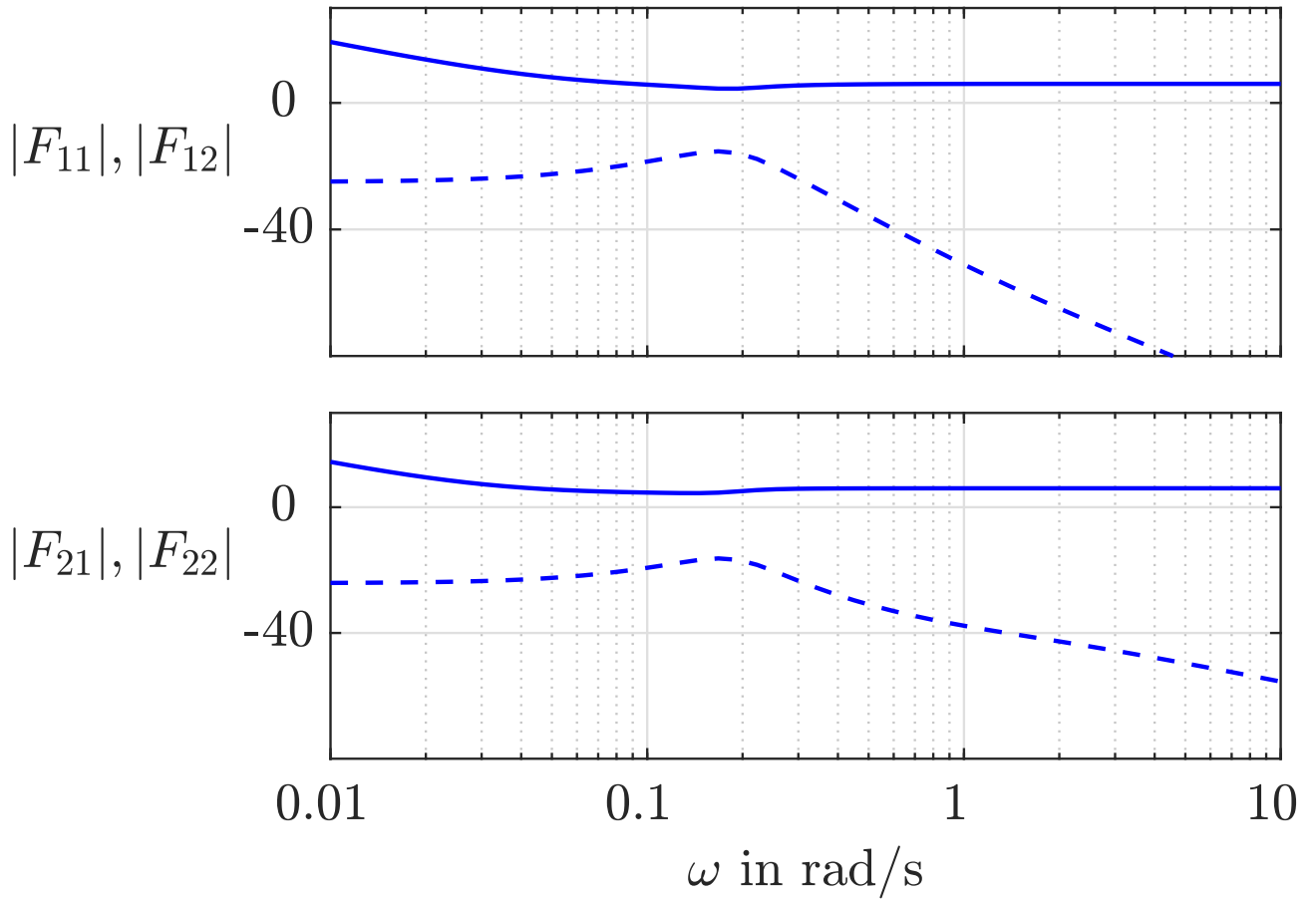


Abb. A.49: Überprüfung der Diagonaldominanz der Rückführdifferenzmatrix

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

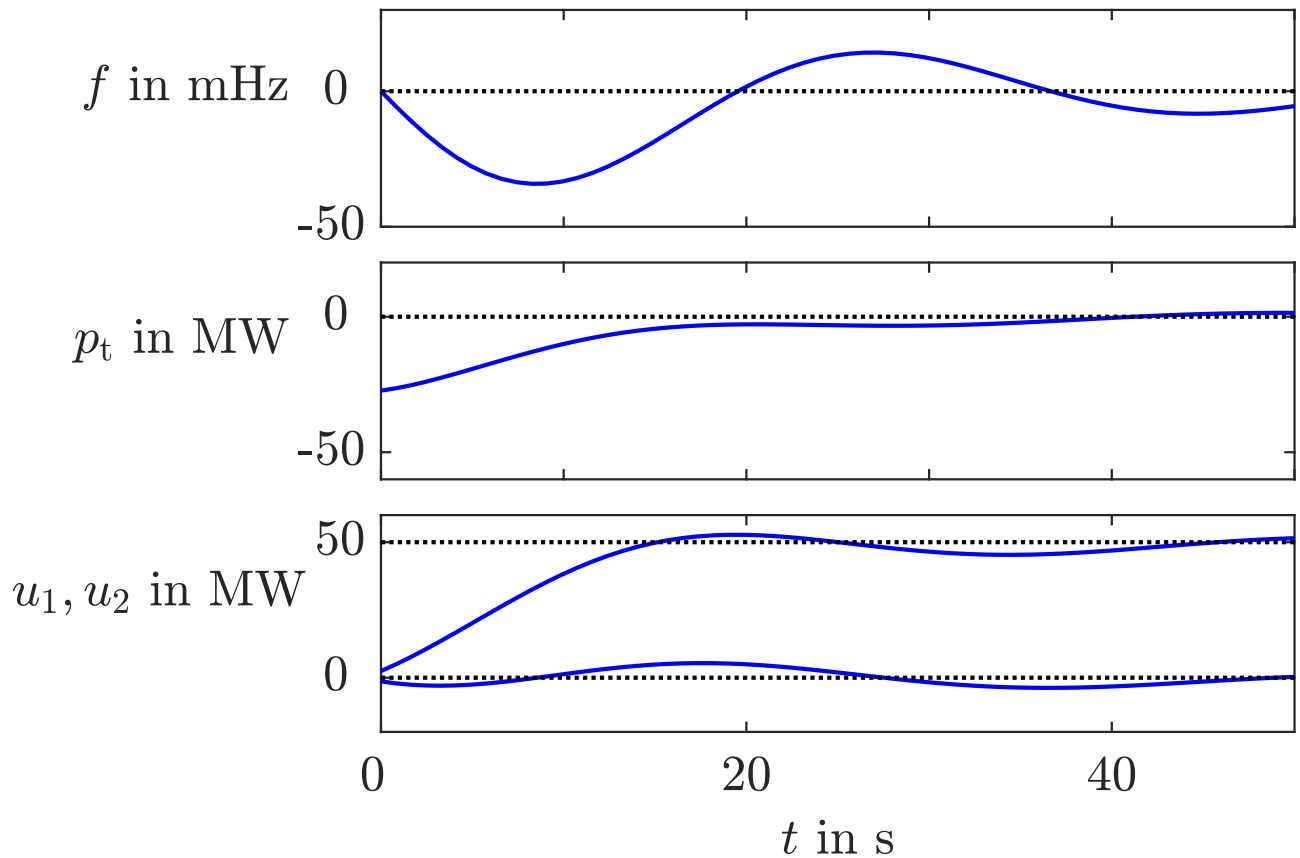


Abb. A.50: Störverhalten des dezentral geregelten Netzes

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

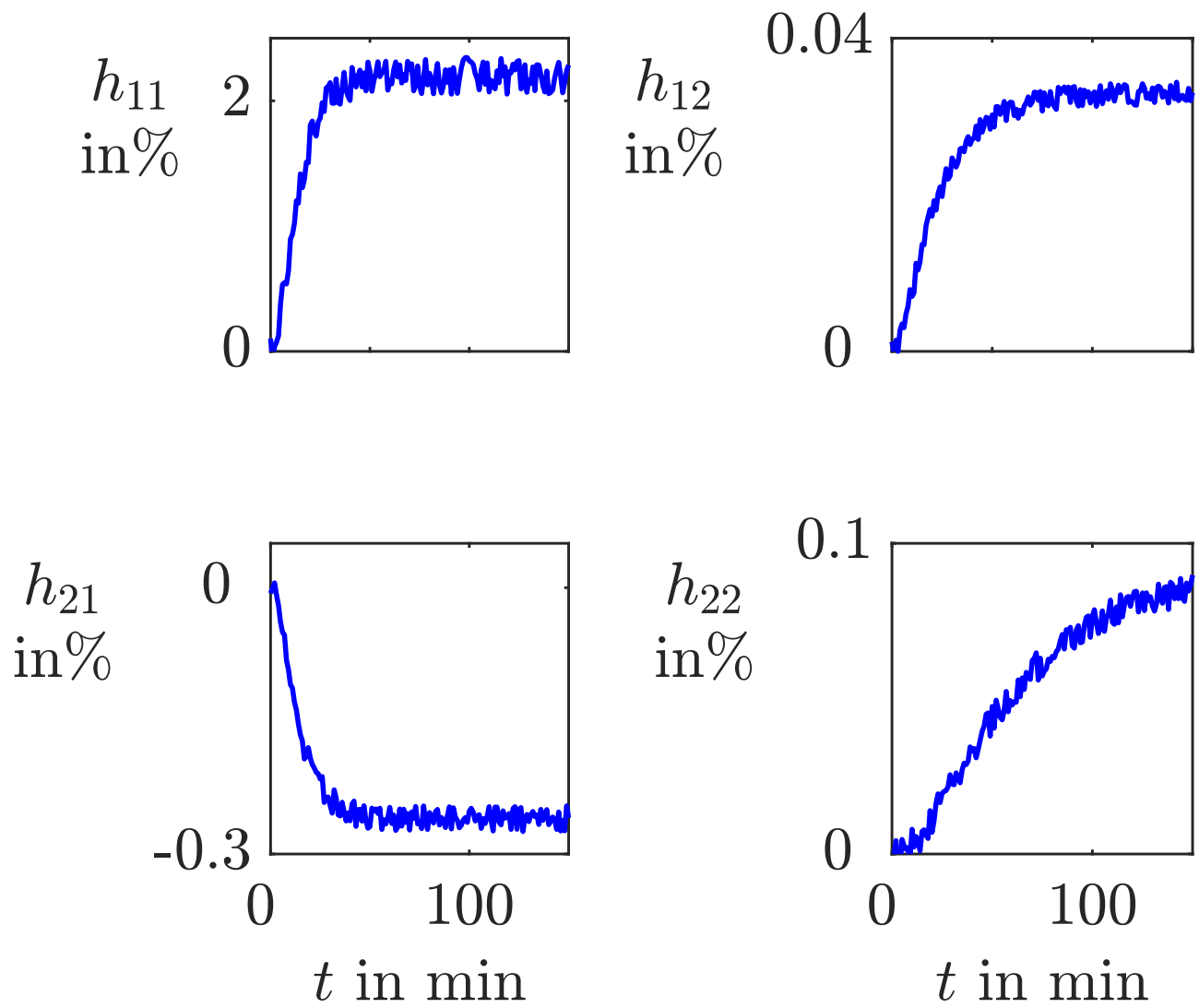


Abb. A5.1: Übergangsfunktionsmatrix der AHL-Anlage

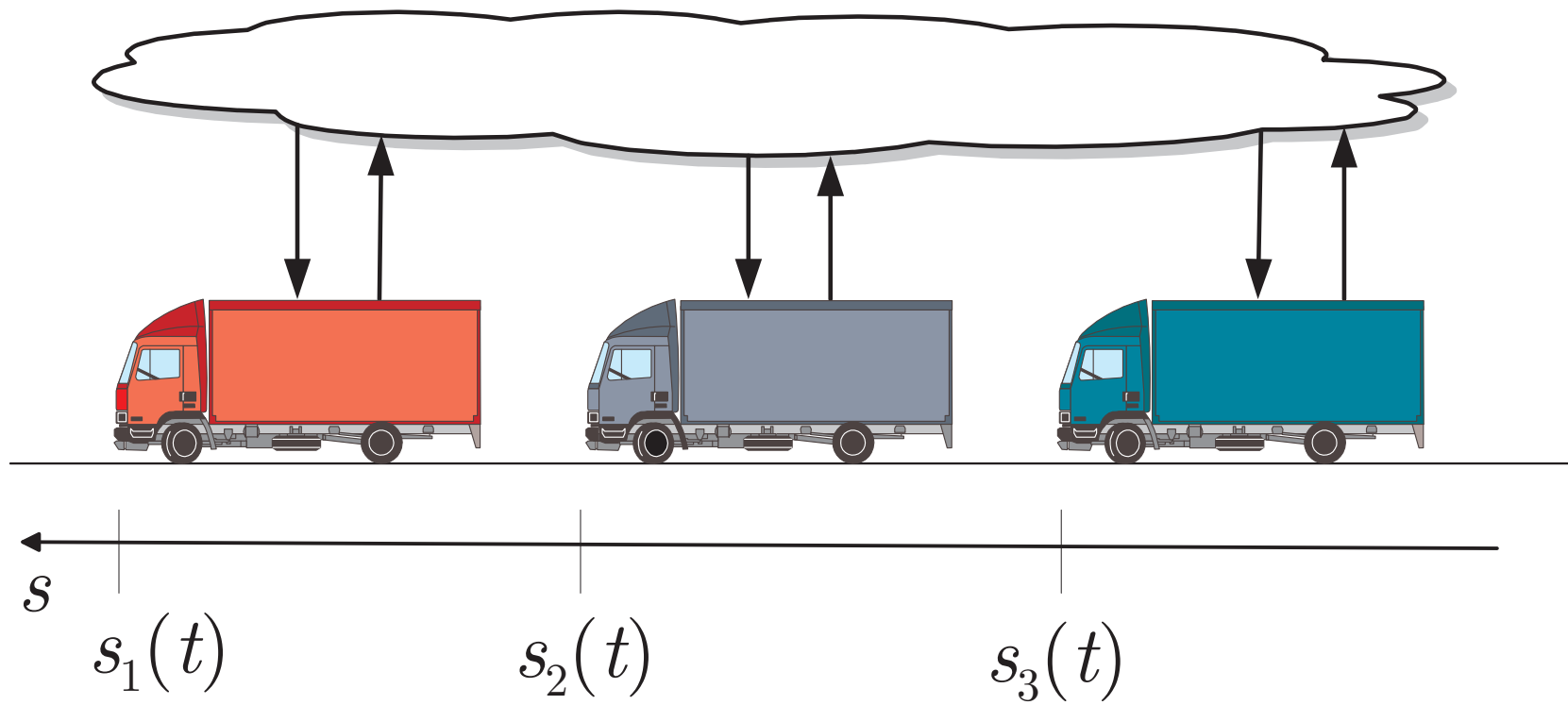


Abb. A5.2. Abstandsregelung einer Fahrzeugkolonne

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

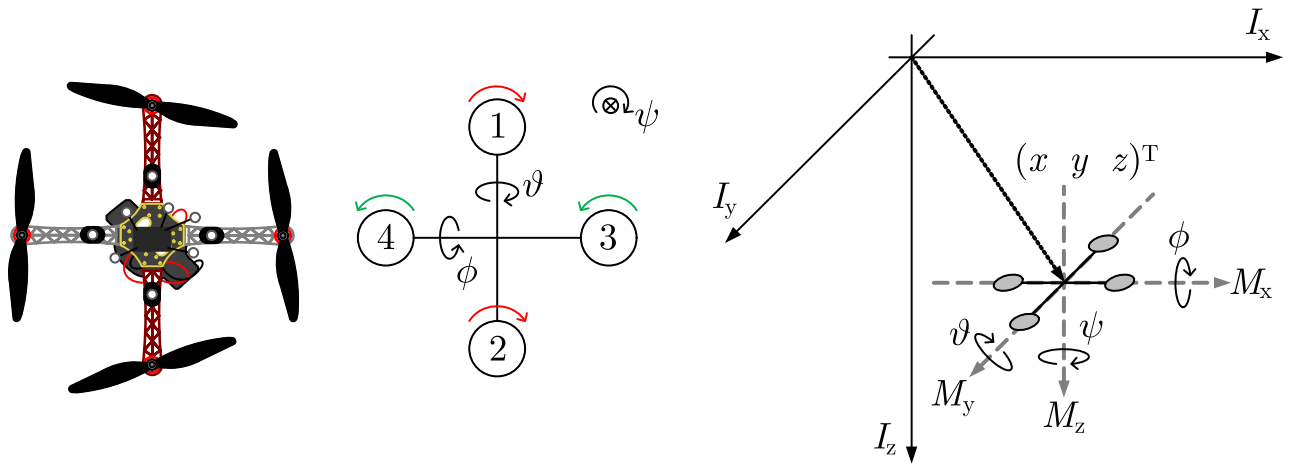


Abb. A5.3: Quadrocopter

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020

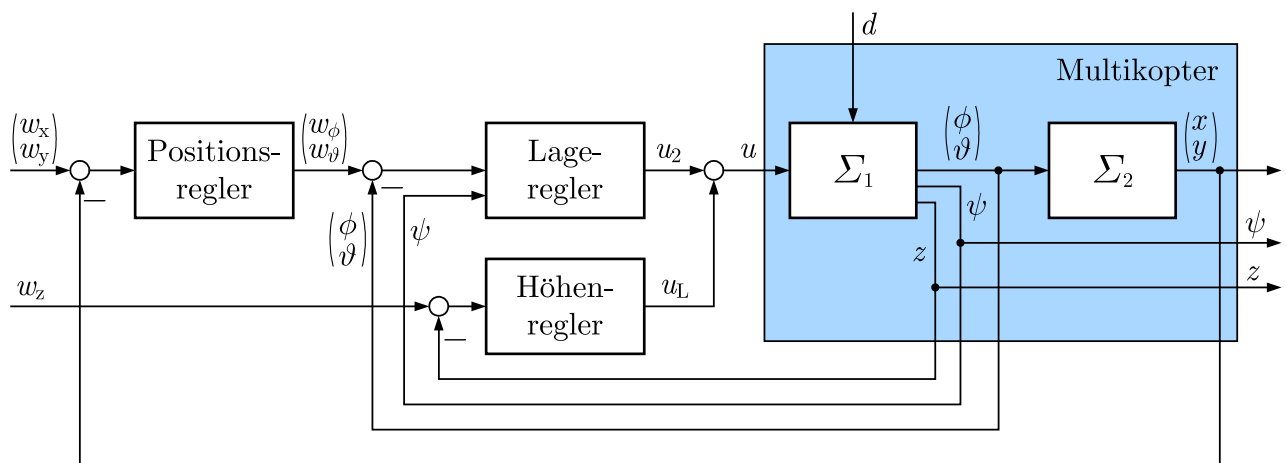


Abb. A5.4: Struktur der Quadropterregelung

J. Lunze: Regelungstechnik, Band 2, Springer-Verlag 2020