

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Simons, Franz; Schmitt-Heiderich, Peter**

## **Automatisierung der Abfluss- und Stauzielregelung alter Wehranlagen**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102277>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Simons, Franz; Schmitt-Heiderich, Peter (2015): Automatisierung der Abfluss- und Stauzielregelung alter Wehranlagen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wasserbauwerke - Vom hydraulischen Entwurf bis zum Betrieb. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 73-78.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Automatisierung der Abfluss- und Stauzielregelung alter Wehranlagen

Dipl.-Ing. Franz Simons, Bundesanstalt für Wasserbau

Dr.-Ing. Peter Schmitt-Heiderich, Bundesanstalt für Wasserbau

### Einleitung

Moderne Leittechnik erlaubt einen voll automatisierten Betrieb von Wehranlagen im beherrschbaren Abflussbereich. Zudem ermöglichen die in der Leittechnik hinterlegten Algorithmen eine nachvollziehbare und standardisierte Bewirtschaftung der Stauhaltung.

Durch die Vielfalt der zu erfüllenden Anforderungen wird die Entwicklung und Parametrisierung der Regelalgorithmen jedoch zu einer anspruchsvollen Aufgabe. Oberstes Ziel für die Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt ist dabei die Einhaltung des Stauziels innerhalb vorgegebener Toleranzen. Dazu kommen die Gewährleistung der Hochwasserabfuhr, die Verringerung von Abflussschwankungen und die Nutzung des Wasserkraftpotentials. Weitere Herausforderungen resultieren aus Stauzielabsenkungen, kurzfristige Änderungen des Stauvolumens durch Schleusungen und nicht erfassten Zuflüsse, wie sie bei Starkregenereignissen im Einzugsgebiet der Stauhaltung auftreten können.

Neben diesen grundsätzlich für alle Wehranlagen gültigen Anforderungen, sind insbesondere bei alten Bauwerken weitere Problematiken zu berücksichtigen. Eine automatisierte Regelung mit dem einzigen Ziel einer exakten Einhaltung des Stauziels führt zwangsläufig zu vielen, kleinen Stellbewegungen des Verschlussorgans. Die Verschlüsse sind häufig nicht für diese Feinregulierung ausgelegt und der Verschleiß und die Alterung der Anlagen nehmen zu. Als weitere Forderung an die Automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) muss also die Reduktion der Stellbefehle gestellt werden.

Durch häufige Stellbewegungen verursachte Verschleißschäden wurden zum Beispiel an mehreren Wehren am Main beobachtet (Hofmann, 2011). Wie in Bild 1 zu sehen, zeigen Zahnschienen



*Bild 1: Plastische Verformungen an Zahnschiene und Zahnkränzen der Versenkwalze der Mainstaustufe Viereth (Braun, 2009; Braun, 2012)*

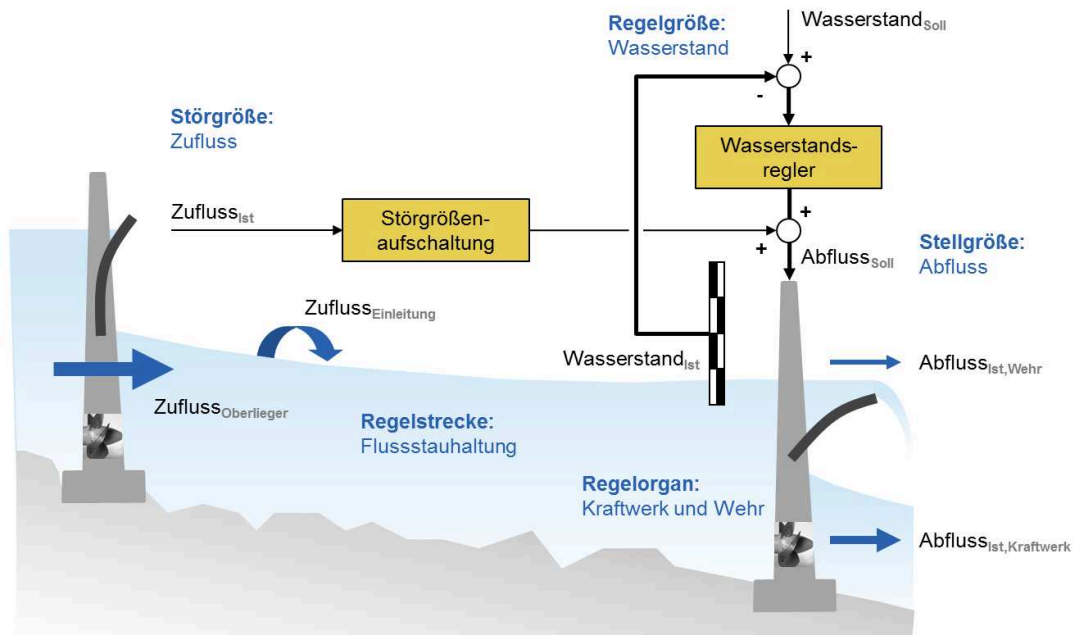


Bild 2: Schematische Darstellung der OW/Q-Regelung

und Zahnkränze der Wehrwalzen plastische Verformungen, in deren Folge Schwingungsanfälligkeit und Schiefstellungen begünstigt werden (Hofmann, 2011). Die Wehranlagen am Main stellen bei der Parametrisierung der Regelalgorithmen eine besondere Herausforderung dar, da sie mit teilweise mehr als 80 Jahren sehr alt sind und häufig mit Normal- und Versenkwalzen als Verschlussorgane ausgestattet sind. Die BAW führt zurzeit eine Untersuchung und Neuparametrisierung der ASR der Staustufe Randersacker durch.

In diesem Beitrag soll zunächst die Funktionsweise der OW/Q-Regelung vorgestellt werden. Anschließend wird das Vorgehen bei der Analyse der ASR für die Staustufe Randersacker vorgestellt. Dabei soll insbesondere auf die Berücksichtigung der eingangs erwähnten Anforderungen eingegangen werden. Anhand erster Simulationsergebnisse wird die Qualität der Regelung bewertet.

### OW/Q-Regelung

Das verwendete Regelungskonzept wird OW/Q-Regelung bezeichnet. Ihr Aufbau ist in Bild 2 dargestellt. Es zeigt schematisch eine Stauhaltungskette mit Absperrbauwerken. Der Abfluss aus der Haltung geht zum einen Teil durch das Kraftwerk und zum anderen Teil über das Wehr. Der Zufluss in die Stauhaltung kommt aus der oberstrom gelegenen Haltung und aus eventuell vorhandenen Einleitungen im Verlauf der Strecke. Der Wasserstand oberhalb des Absperrbauwerks wird mit Hilfe eines Pegels gemessen. Im Wasserstandsregelkreis wird dieser Ist-Wert mit einem vorgegebenen Soll-Wasserstand verglichen. Die Abweichung der beiden Werte dient dem Wasserstandsregler als Eingangsgröße, der daraus einen Soll-Wert für den Abfluss berechnet. Dieser Soll-Abfluss wird dann von Kraftwerk und Wehr, mehr oder weniger schnell und genau, umgesetzt. Der geän-

derte Abfluss der Stauhaltung wirkt sich dann wiederum auf den Oberwasserstand in der Haltung aus, wodurch ein geschlossener Regelkreis entsteht. In der Regelungstechnik wird der Wasserstand in der Stauhaltung als Regelgröße, der Abfluss über die Stauanlage als Stellgröße und die Anlage selbst als Regelorgan bezeichnet. Die Flusssauhaltung stellt die Regelstrecke dar. Insgesamt stellt der beschriebene Regelkreis den Oberwasserstand(OW)-Anteil der OW/Q-Regelung dar.

Die reine OW-Regelung ermöglicht eine automatisierte Nachführung des Ist-Wasserstands an den gegebenen Soll-Wasserstand, unabhängig von Schwankungen des Zuflusses. Um solche Schwankungen zu kompensieren, müssen sich diese jedoch erst am Pegel bemerkbar machen, um eine Reaktion des Reglers zu erzeugen. Dies führt zu einer Unruhe in der Regelung. Mit Hilfe einer Störgrößenaufschaltung kann dies vermindert werden. Diese sagt aus dem momentanen Zufluss in die Stauhaltung, der sogenannten Störgröße, einen Anteil am Soll-Abfluss voraus. Dieser wird dann auf den vom Wasserstand-Regler berechneten Wert aufaddiert. Die Störgrößenaufschaltung ist unabhängig vom tatsächlichen Wasserstand in der Stauhaltung. Das heißt, es findet keine Rückkopplung statt und man spricht deshalb von einer Steuerung. Diese Steuerung stellt den Zufluss(Q)-Anteil der OW/Q-Regelung dar.

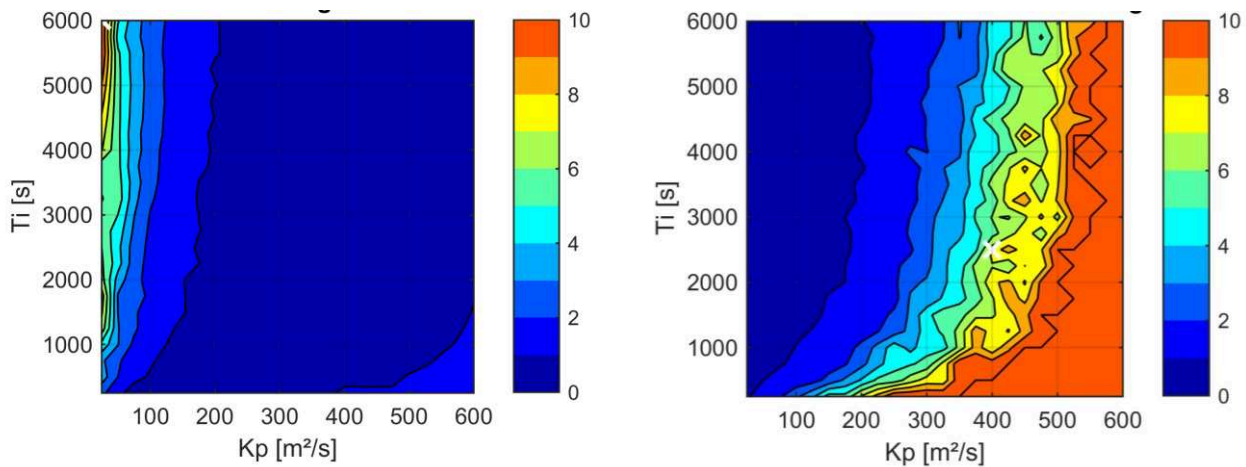
### **Modellbasierte Betrachtung**

Für die Analyse der ASR müssen für alle Komponenten der OW/Q-Regelung, also Regelstrecke, Regelorgan, Wasserstandsregler und Störgrößenaufschaltung, Modelle entwickelt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Modellierung der einzelnen Komponenten ist in den BAW-Mitteilungen Nr. 96 (Bundesanstalt für Wasserbau, 2012) zu finden. Den wichtigsten Einfluss auf die Qualität und die Eigenschaften der Regelung haben die Parametrisierung des Wasserstandsreglers und das Bauwerksmodell.

In einem einfachen Bauwerksmodell werden ausschließlich eine Totzeit zwischen den Stellbefehlen und ein Mindestverstellschritt vorgegeben. Der Wasserstandsregler wird im Modell durch einen sogenannten Proportional-Integral(PI)-Regler realisiert. Es handelt sich dabei um einen in der Regelungstechnik zum Standard gehörenden Regelalgorithmus (z.B. Lunze, 2010). Seine Regeleigenschaften basieren auf zwei Parametern, dem Verstärkungsfaktor  $K_p$  und der Nachstellzeit  $T_i$ .

### **Parametrisierung**

Bei der Parametrisierung des PI-Reglers spielen die einleitend erwähnten Anforderungen an die ASR eine entscheidende Rolle. Um die Qualität der Parametrisierung bezüglich dieser Anforderungen zu bewerten, müssen Kriterien definiert werden. Dies ist zunächst die Abweichung des Wasserstands vom zu erreichenden Sollwert. Weitere Kriterien sind die Unruhe des Regelungsverlaufs, welche sich mathematisch über die Anzahl der Wendepunkte im Bewertungszeitraum bestimmen lässt, die Anzahl der Verletzungen eines minimal bzw. maximal erlaubten Wasserstands und die Anzahl der der Stellbefehle.

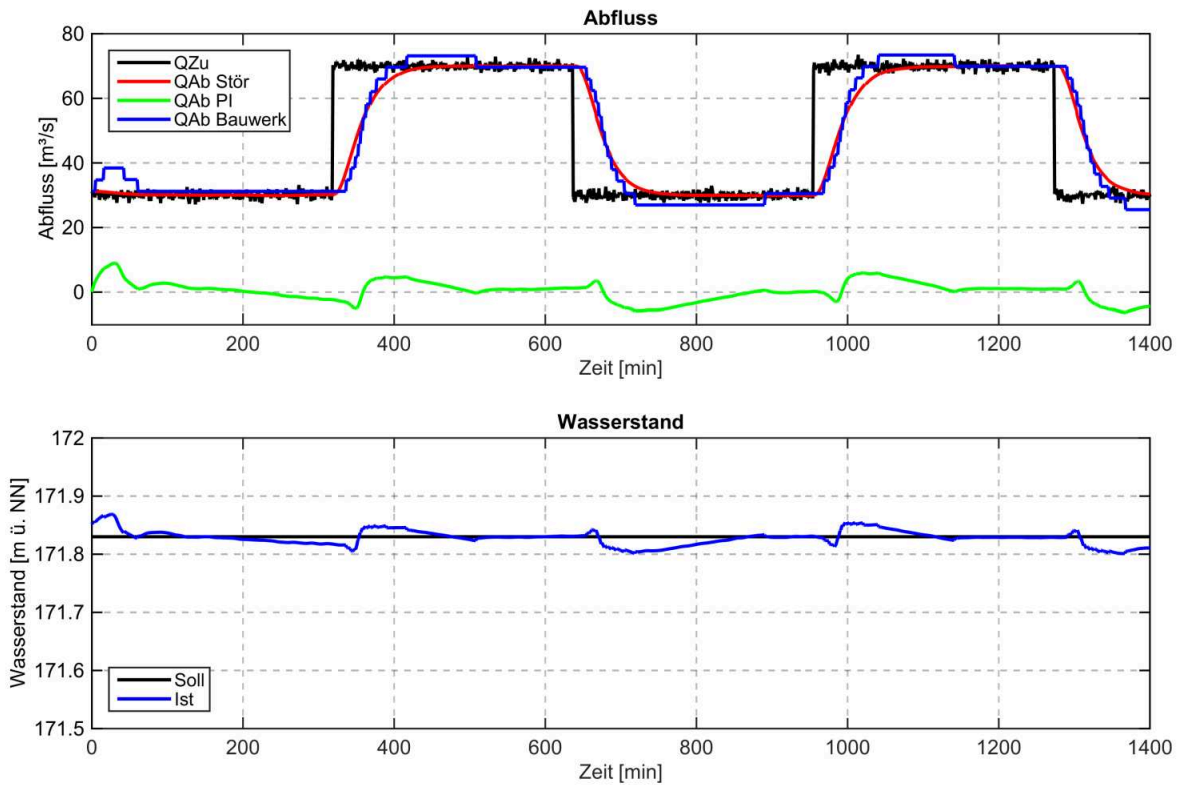


**Bild 3:** *Bewertung der Simulationsergebnisse für die Stauhaltung Randersacker für einen Basisabfluss von 30 m³/s. Links: Sollwertabweichung des Wasserstands. Rechts: Wendepunkte des Wasserstands.*

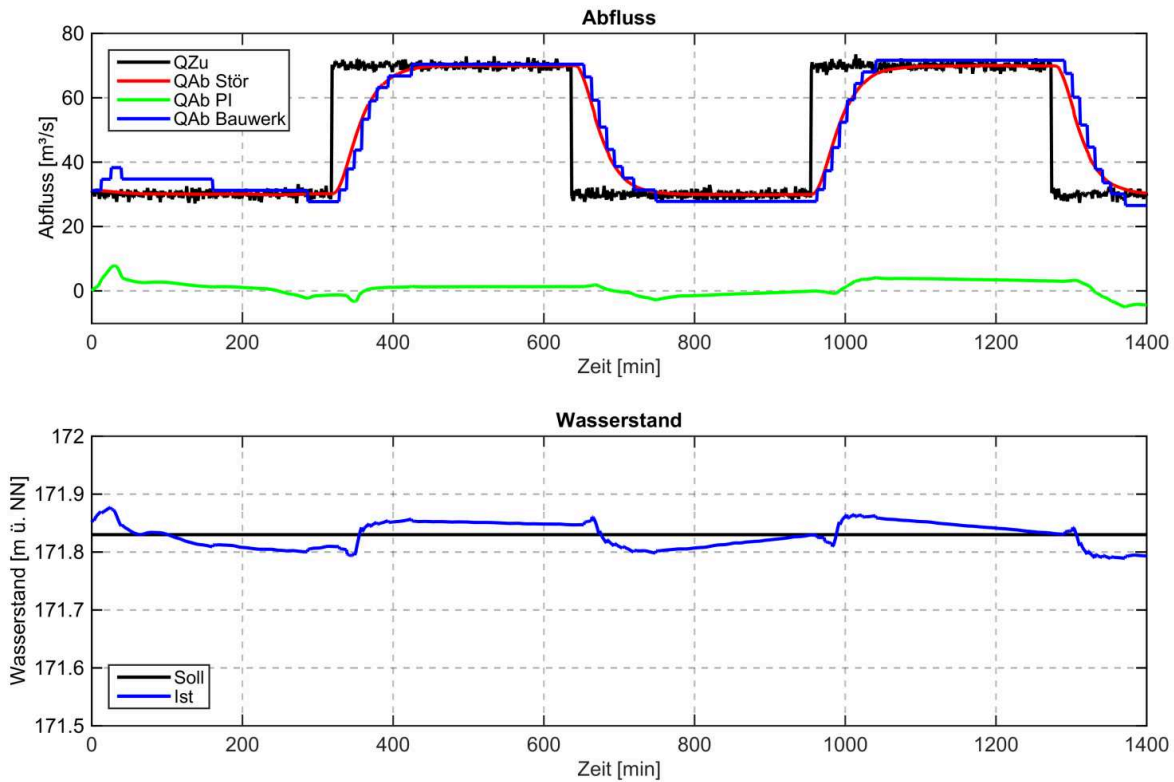
Durch das nichtlineare Verhalten des Regelkreises ist eine direkte, geschlossene Lösung zur Bestimmung der Parameter nicht möglich. Die Parameter werden deshalb mit Hilfe eines Brute-Force-Ansatzes bestimmt. Dazu wird zunächst ein Parameterraum für  $K_p$  und  $T_i$  festgelegt, der auf Erfahrungswerten beruht. Für jede Parameterkombination wird eine Simulationsrechnung für eine synthetische Zuflusskurve durchgeführt und die oben genannten Bewertungskriterien aus dem Simulationsergebnis bestimmt. In Bild 3 sind beispielhaft die Sollwertabweichung und die Wendepunkte des Wasserstands für die Stauhaltung Randersacker bei einem Basisabfluss von 30 m³/s gegeben. Die absoluten Werte wurden durch eine Bewertungsskala normiert. Die Note 0 entspricht dabei einer sehr guten Bewertung und die Note 10 einer sehr schlechten Bewertung. Es lässt sich erkennen, dass sich die Bewertungskriterien konträr zueinander verhalten. Eine geringe Sollwertabweichung führt zu vielen Wendepunkten und damit zu einem unruhigen Verlauf der Regelung. Ein ruhiges Regelungsverhalten führt zu einer hohen Sollwertabweichung. Für die optimale Wahl ist also eine Wichtung der Bewertungskriterien nötig.

## Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse einer ersten Parametrisierung gezeigt. Bild 4 zeigt die Ergebnisse für die Ausgangssituation. Im oberen Teil des Bildes ist der Abfluss dargestellt. Die synthetische Zuflusskurve 'QZu' besteht aus einem Basisabfluss von 30 m³/s, regelmäßigen Sprüngen von 40 m³/s und einem zufälligen Anteil. Die Kurven 'QAb Stör' bzw. 'QAb PI' zeigen den Anteil der Störgrößenaufschaltung bzw. des PI-Reglers am Abfluss. Die Kurve 'QAb Bauwerk' entspricht dem tatsächlich vom Bauwerk umgesetzten Abfluss. Im unteren Teil des Bildes sind Soll- und Ist-Wasserstand dargestellt. Bild 5 zeigt das Ergebnis der Neuparametrisierung. Vergleicht man die Bilder 4 und 5, so fällt auf, dass der Soll-Wasserstand in der Ausgangssituation genauer gehalten



**Bild 4:** Ausgangssituation: 2,4 Stellbefehle pro Stunde



**Bild 5:** Erste Ergebnisse der Parameteroptimierung: 1,6 Stellbefehle pro Stunde

wurde, gleichzeitig aber der Anteil des PI-Reglers größer ist, mehr Stellbefehle erfolgen (2,4 pro Stunde) und die Regelung insgesamt einen unruhigeren Verlauf aufweist. In der Neuparametrisierung weicht der Ist-Wasserstand etwas mehr vom Soll-Wasserstand ab, bleibt jedoch stets im festgelegten Toleranzbereich. Dies führt zu einer Reduktion der Stellbefehle auf 1,6 pro Stunde.

## **Fazit**

Die Verschlüsse alter Absperrbauwerke sind häufig nicht für eine Feinregulierung geeignet. Wenn die exakte Einhaltung des Soll-Wasserstands gefordert ist, werden zwangsläufig viele Stellbefehle benötigt, die den Verschleiß der Verschlüsse erhöhen und deren Alterung beschleunigen. Die Reduktion der Stellbefehle muss also mit als Forderung an die ASR gestellt werden.

Es kann gezeigt werden, dass durch eine geeignete Parametrisierung des Wasserstandsreglers die Stellbefehle reduziert werden können. Dies wird möglich durch die Ausnutzung des Toleranzbereichs, der für das Stauziel vorgegeben wird. Dadurch wird auch eine ruhigere und damit insgesamt bessere Regelung erreicht.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass bei einem Ersatzneubau und der Wahl der Wehrverschlüsse weiteres Optimierungspotential für die ASR besteht. Überströmte Verschlüsse bzw. Aufsatzklappen und für häufige Stellbewegungen geeignete Verschlussorgane ermöglichen eine Feinregulierung des Abflusses und damit eine zusätzliche Vergleichmäßigung und Verbesserung der ASR.

## **Literatur**

- Braun, N. (2009): Walzenprobleme am Main. Interne Präsentation, WSA Schweinfurt.
- Braun, N. (2011): Ursachen und Notwendigkeit für einen Verschlusswechsel am Wehr Viereth. BAW-Kolloquium: Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken, 25. und 26. Oktober 2011 in Karlsruhe.
- Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2012): BAW-Mitteilungen Nr. 96: Automatisierte Abfluss- und Stauzielregelung, Karlsruhe.
- Hofmann, W. (2011): Konzept für die Instandhaltung der Wehre am Main. BAW-Kolloquium: Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken, 25. und 26. Oktober 2011 in Karlsruhe.
- Lunze, J. (2010): Regelungstechnik 1. 8. Aufl., Berlin, Springer.