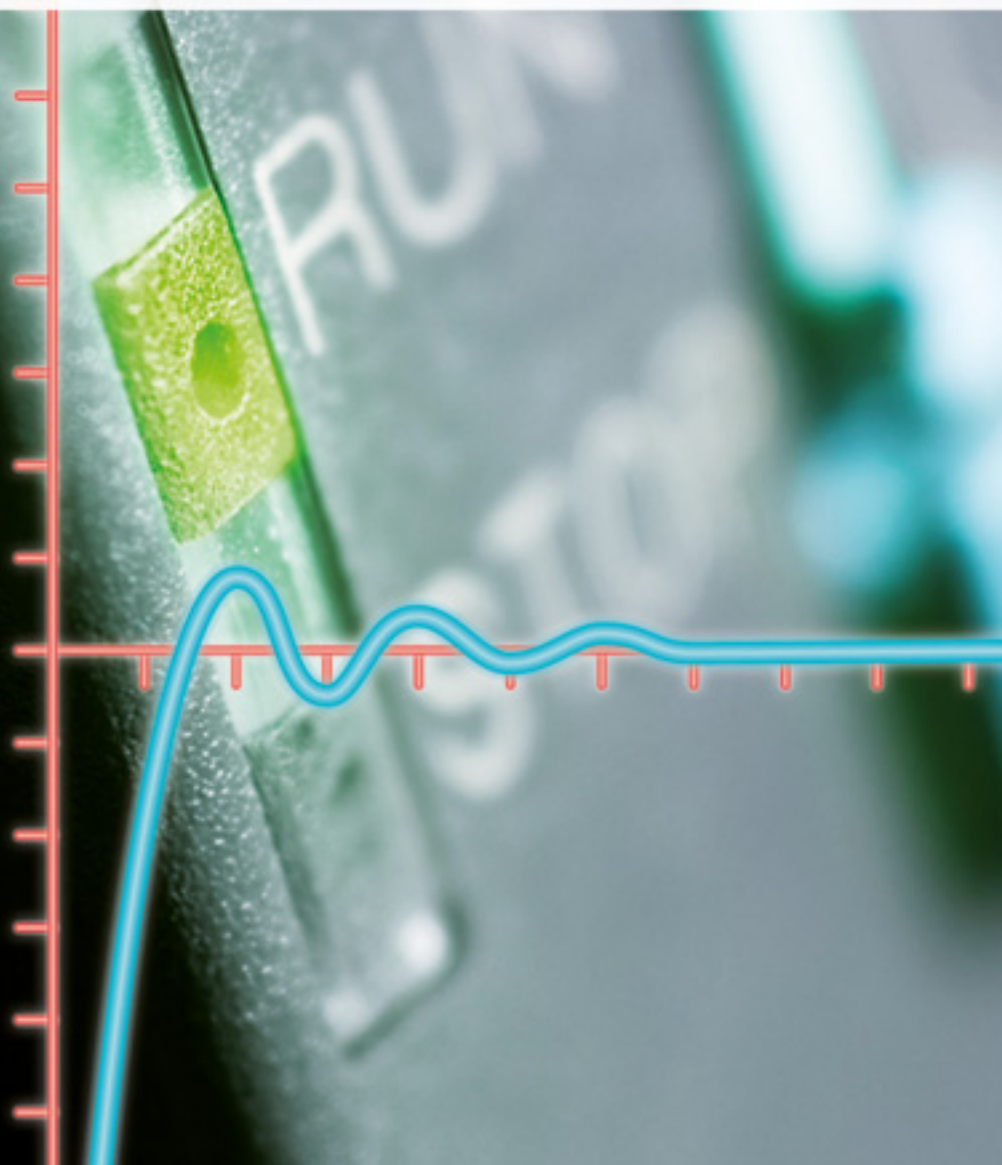


Jürgen Müller, Bernd-Markus Pfeiffer, Roland Wieser

Regeln mit SIMATIC

Praxisbuch für Regelungen
mit SIMATIC S7 und SIMATIC PCS 7
für die Prozessautomatisierung

SIEMENS



Müller/Pfeiffer/Wieser
Regeln mit SIMATIC

Regeln mit SIMATIC

Praxisbuch für Regelungen
mit SIMATIC S7 und SIMATIC PCS 7
für die Prozessautomatisierung

von Jürgen Müller
Bernd-Markus Pfeiffer
Roland Wieser

4., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2011

Publicis Publishing

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Autoren und Verlag haben alle Texte und Abbildungen in diesem Buch mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Eine Haftung des Verlags oder der Autoren, gleich aus welchem Rechtsgrund, für durch die Verwendung der Programmierbeispiele verursachte Schäden ist ausgeschlossen.

www.publicis-books.de

ISBN 978-3-89578-688-4

4. Auflage, 2011

Vollständige E-Book-Ausgabe von Jürgen-Klaus Müller, Bernd-Markus Pfeiffer, Roland Wieser „Regeln mit SIMATIC“, ISBN 978-3-89578-340-1 (Printausgabe)

Herausgeber: Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München

Verlag: Publicis Publishing, Erlangen

© 2011 by Publicis Erlangen, Zweigniederlassung der PWW GmbH

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Bearbeitungen sonstiger Art sowie für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Dies gilt auch für die Entnahme von einzelnen Abbildungen und bei auszugsweiser Verwertung von Texten.

Printed in Germany

Vorwort

Als Mitarbeiter der Siemens AG hat Jürgen Müller über viele Jahre im Bereich Regelungen mit SIMATIC S5 und S7 sowie Prozessregelung gearbeitet. Dabei haben sich die Tätigkeitsfelder von Projektierung und Softwareerstellung, Mitwirkung in der Produktentwicklung, über die Lastenhefterstellung von regelungstechnischen Standardprodukten und den entwicklungsbegleitenden Systemtests bis hin zu Störungsbeseitigungen und Serviceeinsätzen bei Endkunden im In- und Ausland erstreckt. Aus seiner Tätigkeit und insbesondere aus den Erfahrungen in der Praxis zu Anforderungen in der Automatisierungstechnik mit dem Steuerungssystem SIMATIC S7 und dem Prozessleitsystem SIMATIC PCS 7 erkannte er die Notwendigkeit eines Fachbuches als Brücke zwischen rein theoretischem Grundwissen und den praktischen Anforderungen. Die ersten drei Auflagen des Buches hat er als Hauptautor maßgeblich geprägt.

Bernd-Markus Pfeiffer ist seit 1995 in der Vorfeldentwicklung der Siemens AG Karlsruhe für die Konzeption, Spezifikation, Entwicklung, Dokumentation und Erprobung regelungstechnischer Verfahren in SIMATIC S7 und vor allem PCS 7 verantwortlich. Er ist Fachexperte für Advanced Process Control, Lehrbeauftragter an der Universität Karlsruhe und Mitglied im VDI/VDE-GMA-Fachausschuss 6.22 „Prozessführung und gehobene Regelungsverfahren“. Das Buch „Regeln mit SIMATIC“ hat er zunächst als fachlicher Berater, dann als Ko-Autor begleitet. In der vorliegenden vierten Auflage hat er als Hauptautor zusammen mit Roland Wieser die Ausführungen zum Regeln mit SIMATIC PCS 7 stärker in den Vordergrund gerückt sowie den Themenbereich „Advanced Process Control“ erweitert und vertieft.

Roland Wieser ist seit 1978 bei der Siemens AG in Karlsruhe tätig, wo er zunächst in der Vorfeldentwicklung u. a. auch bei der Entwicklung von Teleperm M mitgewirkt hat. Es folgte eine Tätigkeit in der Fachabteilung Teleperm M, aus der er heraus die Entstehung und Vermarktung von SIMATIC PCS 7 mitgestaltet und die Etablierung am Markt begleitet hat. Heute ist er im Marketing von PCS 7 für div. Technologiethemen zuständig, u. a. auch für Advanced Process Control.

Mit diesem Anspruch definiert sich auch die Zielgruppe dieses Buches. Es richtet sich an alle, die mit der Planung, dem Vertrieb, der Realisierung, der Ausführung und der Inbetriebnahme von Regelungen in der Fertigungstechnik und im Industrieanlagenbau mit SIMATIC S7 und der Automatisierung von Regelungen in verfahrenstechnischen Anlagen mit SIMATIC PCS 7 zu tun haben. Dies sind in der Regel Inbetriebsetzer, Projektleute und Verfahrenstechniker und alle Ingenieure, für die das Thema Regelungstechnik, und im speziellen Regelungstechnik in den freiprogrammierbaren Steuerungen der SIMATIC-Reihe, in ihrer täglichen Arbeit eine zunehmende Rolle spielt. Das Buch will praktische Hinweise, Faustformeln, pragmatische „Kochrezepte“ und Beispiele aus der Praxis bieten und somit eine

Hilfe darstellen für den praktisch arbeitenden Ingenieur. Theorie und schulmäßige Grundlagen werden nur am Rand gestreift oder dort zitiert, wo es sich nicht vermeiden lässt. Alle aufgeführten Beispiele sind an existierende industrielle Applikationen angelehnt und sollen dem Leser die eine oder andere Anregung und Hilfestellung für die Projektierung und Inbetriebnahme seiner eigenen regelungstechnischen Anwendungen bieten.

Das Buch verfolgt im Wesentlichen zwei unterschiedliche Schwerpunkte:

- Regelungstechnik im Maschinenbau (Serienmaschinenbau/Fertigungstechnik), im individuellen Anlagenbau bei kleinen und mittleren Anlagengrößen, im Anlagenbau im Investitionsgüterbereich und
- Regelungstechnik in leittechnischen Anlagen, sowie in mittleren und größeren verfahrenstechnischen Anlagen.

Regler als Teil einer gesamten Automatisierungslösung im Maschinenbau und im Kleinanlagenbau werden heute noch stark durch den Einsatz von separaten Einzelprodukten (Software oder Hardware) realisiert. Mit SIMATIC TIA (Totally Integrated Automation) werden neben den Standard-SPS-Produkten auch Regelprodukte angeboten, die voll in die SIMATIC-Welt integriert sind. Für die jeweilige Aufgabenstellung werden leistungsmäßig abgestufte Regelprodukte in Hardware- und Softwareausführung angeboten. Um den Trend zur immer weitergehenden Modularisierung der Steuerungsaufgaben gerecht zu werden, kommen Regler mehr und mehr auch im Bereich der Kleinsteuerungen (LOGO!, SIMATIC S7-200 und S7-1200) zum Einsatz.

Regler als Teil einer gesamten Automatisierungslösung in verfahrenstechnischen Anlagen sind integrierte Bestandteile eines Gesamtsystems, das heute unter dem Begriff SIMATIC PCS 7 (Process Control System) vermarktet wird.

Für die Regler-Optimierung spielen diese Unterscheidungen keine wesentliche Rolle. Die Unterschiede treten auf bei der Art der Projektierung und Visualisierung, beim Anschluss an ein Stör- und Betriebsmeldesystem sowie bei der Integration in das Kommunikationskonzept der Anlage.

Dieses Buch stellt viele Beispiele aus realen Applikationen sowie deren regelungstechnische Lösungen mit SIMATIC-Reglern dar.

Begeben Sie sich mit uns zusammen auf die spannende Reise durch die Welt der Regelungstechnik in der SIMATIC, ihr Umfeld und die typischen Applikationen.

Karlsruhe, im April 2011

Bernd-Markus Pfeiffer
Roland Wieser

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Überblick	11
1.1	Prozesse und ihr Verhalten	11
1.2	Regler und Reglerbenennungen	15
1.2.1	Benennung nach Einsatz und Aufbau	16
1.2.2	Benennung nach verwendeten Parameteranteilen	17
1.2.3	Benennung nach verwendeter Regelgröße	22
1.2.4	Benennung nach verwendeter Regelstruktur	23
1.2.5	Benennung nach dem zu regelnden Prozess	24
1.2.6	Benennung nach Art und Quelle des Sollwerts	24
1.3	Verwendete Formelzeichen	25
1.4	Regler und ihre Signale	26
1.4.1	Formen der Eingangssignale an Reglern im Controller	27
1.4.2	Formen der Ausgangssignale an Reglern im Controller	28
2	Planung von Regelungen mit SIMATIC S7 und SIMATIC PCS 7	33
2.1	Übersicht der SIMATIC-Regelprodukte	33
2.2	Auswahl des Regelprodukts	36
2.2.1	Anschlusstechnik	38
2.2.2	Mengengerüst und Dynamik einer Regelung	40
2.2.3	Gütekriterium und Genauigkeit einer Regelung	43
2.2.4	Sicherheitsanforderungen	45
2.2.5	Bedienung und Visualisierung	45
2.2.6	Komplexität und Flexibilität	46
2.2.7	Einstellhilfe: PID Self-Tuner	46
2.2.8	Regler mit integrierter Einstellhilfe	48
2.3	Vorteile von Softwareregler und FMs	50
3	Aktoren und Sensoren einer Regelung	53
3.1	Einfluss der Stellorgane auf die Regelung	53
3.1.1	Schütze, Relais und Halbleiterrelais	58
3.1.2	Ventile und Schieber	58
3.1.3	Klappen und Drosselklappen	61
3.1.4	Magnetventile	61
3.1.5	Drehzahlveränderbare Pumpen und Motoren	61
3.1.6	Stellglieder der Dosierung	62
3.2	Einfluss der Messtechnik auf die Regelung	63
3.2.1	Messsignale direkt angeschlossener Thermoelemente	64
3.2.2	Messsignale direkt angeschlossener Widerstandsthermometer	67
3.2.3	Standardsignale (0...10 V, 4...20 mA oder 0...20 mA)	69
3.2.4	Messprinzip der Analogfassung	70
3.2.5	Auflösung, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit	72
3.3	Anschluss der Aktoren und Sensoren an den Controller	73

4	Darstellung von Regelungen	76
4.1	Fließbilder nach DIN 28004	76
4.2	Planunterlagen nach DIN 19227, Teil 1	78
4.3	Regler in der Projektieroberfläche	81
4.3.1	Softwareregeln in der textuellen Darstellung AWL	81
4.3.2	Modulare Regelungen in der Darstellung CFC	81
4.3.3	Parametrierung kompakter Regelungen	82
4.3.4	Projektierung der PID-Regler in der S7-200/S7-1200	83
4.3.5	Projektierung der PI-Regler im Logikmodul LOGO!	84
4.3.6	Regler-Projektierung in SIMATIC PCS 7	85
4.4	Softwareregler in der Bedienoberfläche	86
4.5	Die Bedienoberfläche der Hardwareregler	89
4.5.1	Die Bedienung der Regel-FMs	89
4.5.2	Die Bedienung des Logikmoduls LOGO!	89
4.5.3	Die Bedienung der SIPART-Regler	90
5	Betriebsarten	91
5.1	Übersicht der Betriebsarten	91
5.2	Die Betriebsarten Hand und Automatik	93
5.2.1	Hand-/Automatikumschaltung mit Stoßfreiheit	93
5.2.2	Automatik-/ Handumschaltung mit Stoßfreiheit	94
5.2.3	Hand-/ Automatikumschaltung ohne Stoßfreiheit	95
5.2.4	Automatik-/Handumschaltung ohne Stoßfreiheit	96
5.2.5	Automatik-/Sicherheitsstellwertumschaltung	96
5.2.6	SPC- bzw. DDC-/Sicherheitssollwertumschaltung	96
5.3	Anfahren des (Software-)Reglers nach Wiederanlauf/Neustart der CPU	97
5.3.1	Anfahren des Regelkreises ohne Stoßfreiheit	97
5.3.2	Anfahren des Regelkreises mit Stoßfreiheit	98
5.4	Betriebsweise nach Regler AUS/EIN	99
5.4.1	Gesteuertes Anfahren eines Regelkreises	100
5.4.2	Geregeltes Anfahren eines Regelkreises	101
5.5	Sicherheitsbetriebsarten	102
5.5.1	SPC-Backup	102
5.5.2	DDC-Backup	102
5.5.3	Sicherheitssollwert	103
5.5.4	Sicherheitsstellwert	104
6	Funktionen eines Prozessreglers	105
6.1	Die elementaren Funktionen des Sollwertzweigs	105
6.1.1	Interne Sollwertvorgabe	105
6.1.2	Externe Sollwertvorgabe	106
6.1.3	Sollwertrampe	106
6.1.4	Sollwertbegrenzung	107
6.2	Die elementaren Funktionen des Istwertzweigs	107
6.2.1	Der Filter	107
6.2.2	Die Normierung	108
6.2.3	Die Linearisierung	108
6.2.4	Istwertüberwachung	108

6.3	Elementare Funktionen der Regeldifferenzbildung	110
6.3.1	Die Ansprechschwelle	110
6.3.2	Die Verhältnissbildung eines Verhältnisreglers	110
6.4	Die elementaren Funktionen des PID-Algorithmus	111
6.4.1	Standard-PI- oder PID-Algorithmus mit D-Anteil im Vorwärtszweig	111
6.4.2	PI- oder PID-Algorithmus mit D- und/oder P-Anteil im Rückführungszweig (Strukturzerlegung)	112
6.4.3	PI-Algorithmus mit D-Anteil im Störzweig	113
6.4.4	P-Algorithmen	114
6.4.5	Quasi-kontinuierliche und inkrementelle PID-Algorithmen	115
6.4.6	Parallele und seriell-interaktive PID-Struktur	116
6.5	Elementare Funktionen der Signalausgabe	117
6.5.1	Die Stellwertbegrenzung im Automatikbetrieb	117
6.5.2	Handstellwertbegrenzung	117
6.5.3	Pulsweitenmodulation	117
6.5.4	Schrittregler mit und ohne Stellungsrückmeldung	119
7	PID-Regelstrukturen und Advanced Process Control	121
7.1	Störgrößenaufschaltung	121
7.2	Vorsteuerregelung	124
7.3	Verhältnisregelung	124
7.4	Kaskadenregelung	126
7.5	Splitrange-Regelung	131
7.6	Hilfsgrößenregelung	132
7.7	Ablöse- oder Auswahlregelung (Override-Regelung)	133
7.8	PID Gain-Scheduling für nichtlineare Prozesse	136
7.9	PID mit Smith-Prädiktor für Totzeitprozesse	137
7.10	Mehrgrößenregelung	139
7.10.1	Grundlagen zu Gegenkopplung, Mitkopplung, Entkopplung	140
7.10.2	Modellbasierte Prädiktivregelung: Grundlagen	142
7.10.3	Modellbasierte Prädiktivregelung: Realisierungsalternativen	145
7.10.4	Leitsystem-intergrierte Prädiktivregelung	146
7.10.5	Ankopplung externer APC-Softwarepakete	149
7.11	Vorgehensweise zur Auswahl des geeigneten Regelungsverfahrens	151
8	Der Aufruf von Softwarereglern im Controller	154
8.1	Zeitalarmebenen und Abtastzeiten	154
8.2	Aufrufe in SIMATIC STEP 7	154
8.2.1	Aufteilung von zyklischen und Weckalarm-gesteuerten Programmteilen	154
8.2.2	Zeittaktverteilung und Abtastzeiten der Funktionsglieder	155
8.2.3	Zeittaktverteilung mit dem Baustein LP_SCHED	156
8.2.4	Aufbau einer modularen Regelung	157
8.3	Aufrufe in S7-200	159
8.4	Aufrufe in LOGO	160
8.5	Aufrufe in SIMATIC PCS 7	160

9	Inbetriebnahme von Prozessreglern	162
9.1	Erste Schritte	162
9.1.1	Installation und Überprüfung der Signalverbindungen	162
9.1.2	Wirk Sinn eines Prozessreglers	162
9.1.3	Vorbereitung der Regelparameter	163
9.1.4	Linearisierung von Prozesswerten	164
9.1.5	Einstellungen der Pulsformerstufen	166
9.1.6	Einstellungen eines Kaskadenreglers	168
9.2	Aufnahme der Sprungantwort des Prozesses	170
9.2.1	Checkliste der Vorbereitungen	171
9.2.2	Erste Aufnahme	172
9.2.3	Strecken mit reinem Verzögerungsverhalten	172
9.2.4	Temperaturstrecken mit aktivem Heizen und passivem Kühlen	174
9.2.5	Temperaturstrecken mit aktivem Heizen und aktivem Kühlen	176
9.3	Einstellregeln – Auswahl, Grenzen und Bewertung	177
9.3.1	Einstellung der Abtastzeit bei Softwareregelungen	179
9.3.2	Einstellung nach Chien/Hrones/Reswick	180
9.3.3	Einstellregeln totzeitbehafteter Strecken nach Ziegler/Nichols	181
9.3.4	Einstellregel nach der Anstiegsgeschwindigkeit	181
9.3.5	Einstellregel für empirisches Nachoptimieren	183
9.4	Umrechnung von S5 nach S7	185
9.5	Inbetriebnahme mit PID Self-Tuner	186
9.6	PCS 7 PID-Tuner	188
9.7	Inbetriebnahme der S7-200/S7-1200 mit dem integrierten Autotuner	192
9.8	Überwachung von Regelkreisen (Control Performance Monitoring)	194
10	Beispiele	196
	Literaturverzeichnis	197
	Normen, Vorschriften, Berichte und Links	198
	Verwendete Abkürzungen	199
	Stichwortverzeichnis	203

1 Einführung und Überblick

1.1 Prozesse und ihr Verhalten

Als Prozess bezeichnet man ein abgegrenztes System, in dem Materie, Energie und/oder Information umgeformt und/oder transportiert wird. Die Beherrschung der Prozesse und Prozesswerte im industriellen Umfeld ist das Haupteinsatzgebiet von Regelgeräten oder Regeleinrichtungen. Sie umfassen die Gesamtheit der zur Regelung benötigten Geräte einschließlich Software mit mindestens einem Messglied zur Erfassung der Regelgröße, einem Vergleichler zur Bildung der Regelabweichung, einem Rechenglied, um aus der Regelabweichung einen Stellwert berechnen zu können, und einem Stellglied, das in den zu regelnden Prozess eingreift. Regelgeräte kommen im Wesentlichen in Form von Einzelregelgeräten oder Softwarereglern vor und werden im Maschinenbau eingesetzt zur Regelung von Temperatur, Druck, Durchfluss, Menge, Dosierung, Füllstand, Lage, Position, Geschwindigkeit, Entfernung – in der Verfahrenstechnik zusätzlich noch zur Regelung von Konzentration, Leitfähigkeit, Viskosität, Dichte, chemischen Zusammensetzungen, usw.

Dieses breite Feld an Anwendungen wird zusätzlich dadurch noch vergrößert, dass es zu fast jeder Regelung der oben genannten Prozesse noch verschiedene Produktionsanforderungen gibt, die eine Klassifizierung des Aufgabengebiets fast unmöglich macht. Man unterscheidet im Wesentlichen kontinuierliche Produktionsprozesse (mit kontinuierlicher Rohstoffzufuhr und kontinuierlichem Abfluss des Produktes) und diskontinuierliche Produktionsprozesse (Chargenprozesse, Rezepturverfahren, usw.) sowie ereignisdiskrete Prozesse (Stückgutprozesse).

Fast jede Regelung einer bestimmten physikalischen Größe weist ihr eigenes spezifisches Problem auf, das häufig durch die verwendete Aktorik und Sensorik bestimmt wird. Sensorik bezeichnet Technik, mit der Messwerte aufgenommen werden. Als Sensor werden miniaturisierte, mit integrierter elektronischer (Verstärker-)Schaltung versehene Messwertaufnehmer bezeichnet. Hierzu liefert das Buch „Handbuch der Prozessautomatisierung“ [6] neben einer ausführlichen Tabelle zur Marktübersicht auch eine umfassende Beschreibung der Funktionsweise und der verschiedenen Verfahren von Aktor- und Sensorsystemen in der Prozessautomatisierung. Im Folgenden sollen die Besonderheiten und Unterschiede der einzelnen Regelstrecken kurz erläutert werden.

Temperatur

Die Beherrschung von Temperaturregelstrecken zählt (oft zu unrecht) auch heute noch zu den „einfachen“ Regelungsaufgaben. Sie sind meist unsymmetrisch (unterschiedliches Verhalten beim Aufheizen und Abkühlen) und erhalten durch

die eingesetzten Aktoren/Sensoren nichtlineares Verhalten. Die Folge sind zeitaufwendige Inbetriebnahmen durch die langen Aufheiz- und Abkühlzeiten und durch die Beeinflussungen benachbarter Temperaturregelstrecken über thermische Ausgleichsvorgänge. Derartiges Streckenverhalten erschwert die Optimierung und Einstellung der Regler – des als Baueinheit oder Softwarefunktion zusammengefassten Teils der Regeleinrichtung, der mindestens den Vergleicher und das Rechenglied enthält. Das Rechenglied bestimmt das Übertragungsverhalten der Regeleinrichtung. Obwohl die Temperaturregelungen zu den langsamen Regelvorgängen zählen, sind Optimierungen von komplexeren Temperaturstrecken sehr schwierig und externe Optimierwerkzeuge liefern in der Praxis nicht immer brauchbare Ergebnisse. Trotzdem werden die meisten thermischen Prozesse im Anlagenbau und im Maschinenbau, nicht zuletzt aus Kostengründen, mit kompakten Regelgeräten oder softwaremäßig realisierten Regeleinrichtungen ausgestattet. Bei vielen Temperaturregelstrecken lohnt sich der bewusste Einsatz von PID-Reglern mit D-Anteil sowie die gezielte Betrachtung von Führungs- und Störverhalten.

Zum Messen der zu regelnden Temperaturen werden Widerstandsthermometer, Thermoelemente und Strahlungsthermometer (Pyrometer) eingesetzt.

Druck

Druckregelungen in Rohrleitungen gelten im Allgemeinen als schnelle Regelungen, die unter Umständen an die (Geschwindigkeits-) Grenzen von kompakten Regelgeräten oder softwaremäßig realisierten Regeleinrichtungen stoßen können. Druckregelungen in großen Behältern verhalten sich dagegen eher wie Temperaturregelstrecken. Je nach Art und Lage der Stelleinrichtung können Druckregelstrecken einen positiven oder negativen Wirksinn haben: Bei Eingriff über ein Ventil im Zulauf bewirkt ein Öffnen des Ventils einen Druckanstieg, bei Eingriff über ein Ventil im Ablauf bewirkt ein Öffnen des Ventils einen Druckabfall. Entsprechend müssen die Vorzeichen der Reglerverstärkung unterschiedlich festgelegt werden. Man unterscheidet Druck- und Differenzdruckmessverfahren.

In der Verfahrenstechnik werden hauptsächlich statische Druckmesssysteme in flüssigen und gasförmigen Medien eingesetzt. Druckregelstrecken sind meistens reine Verzögerungsstrecken niedriger Ordnung und damit leicht zu optimieren. Optimierungswerkzeuge liefern in der Regel außergewöhnlich gute Ergebnisse. Kritisch kann es für einen Druckregler werden, wenn Absperrmechanismen im Leitungssystem schnell reagieren können oder müssen. Schlagartige Druckerhöhungen ausregeln zu müssen, stellt sehr hohe Anforderungen an die Dynamik des Reglers und sein Stellglied. Durch geeignete konstruktive Maßnahmen kann hier der Maschinenbau hohe Aufwendungen auf der E-Seite vermeiden helfen.

Die Druckmessung erfolgt über induktive, piezoresistive oder kapazitive Verfahren mit Dehnungsmessstreifen (DMS) oder Resonanzdrahtsensoren.

Durchfluss und Menge

Durchflussregelungen und Mengenregelungen spielen in verfahrenstechnischen Anlagen eine wesentliche Rolle und verhalten sich aus regelungstechnischer Sicht in der Praxis ähnlich wie schnelle Druckregelungen, wobei das Beherrschen von Totzeiten erschwerend hinzu kommen kann. Voraussetzung für eine gute Durchfluss- und Mengenregelung ist eine hochwertige und störunempfindliche Ausführung der Sensorik. Das Messrauschen ist typischerweise stärker bei Durchfluss- als bei Temperatur-Sensoren. Die Stellglieder sind meist Ventile, so dass Form und Varianz der Stellsignale im Hinblick auf Verschleiß und Verbrauch an pneumatischer Hilfsenergie eine wichtige Rolle spielen. Regler mit D-Anteil sind daher bei Durchflussregelungen meist nicht ratsam. Bei Durchflussregelungen von Flüssigkeiten gibt es in der Praxis häufig Probleme mit den Sensoren (z. B. durch Gasmitförderung), die nicht direkt als Sensorprobleme erkannt werden und die dann oft irrtümlich dem Regler angelastet werden. Der Unterschied von mengen- oder durchflussproportionalen Messsignalen liegt in der Berücksichtigung der Zeiteinheit.

Zur Messung von Durchfluss und Mengen kommen Wirkdruckmessung, Verdrängungszählung, Strömungszählung, Schwebekörper-Durchflussmessung, magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID), Coriolis-Durchflussmessung (CMD) und Ultraschall-Durchflussmessung (USD) zum Einsatz. Moderne Durchfluss- und Mengenmessgeräte sind häufig als eigenständige Feldgeräte mit einer eigenen Recheneinheit ausgestattet und bieten eine komfortable Bedieneinheit zur aufgabenspezifischen Normierung des Messsignals sowie der Vorort-Anzeige des Messwerts.

Dosierung

Dosierung ist das Abmessen, Abgeben, oder Zuteilen bestimmter Mengen. In der Verfahrenstechnik ist das Dosieren oft an Rezepte gebunden. Das kann diskontinuierlich oder kontinuierlich geschehen. Nach der Definition der Regelung, im Sinne eines geschlossenen Wirkkreises besteht die Aufgabe des Dosierens in einer Regelung des Materialflusses und ähnelt damit stark der Druck bzw. Mengenregelung. Bei einer Dosierungsregelung erfolgt der Stelleingriff durch die Zugabe flüssiger bzw. fester Komponenten zu einem Chargenprozess bzw. zu einem kontinuierlichen Prozess. Diese Aufgabe wird von Dosierpumpen, Dosierbandwaagen, Zellenrad-, Vibrations- oder Schneckendosierer übernommen.

Zur Messung der zu regelnden Mengen kommen die bereits genannten Druck- und Mengenerfassungssensoren in Frage.

Füllstand

Füllstandsregelungen in der Verfahrenstechnik gelten in ihrer Reinform oft als einfach beherrschbar und sind aufgrund ihres integrierenden Verhaltens mit Hilfe von P(D)-Reglern leicht einzustellen. Die Kombination aus einem Regler mit I-Anteil und einem integrierenden Prozess ist dagegen aus Sicht der Systemdynamik unvorteilhaft. In verfahrenstechnischen Anlagen gibt es eine Vielzahl von

Behältern, deren Füllstände geregelt werden müssen, z. B. Pufferbehälter, Abscheidegefäße, Rührkesselreaktoren, Kolonnensümpfe, Speisewasserbehälter, Abwassergruben. Wichtig bei Füllstandsregelung ist eine klare Definition der Anforderungen, weil es verschiedene Ziele geben kann:

- Füllstand konstant (exakt auf Sollwert) halten – wichtig bei Füllständen, die den Prozess direkt beeinflussen. Störungen werden an den Ausgang (Ablauf) weitergegeben.
- Füllstand möglichst niedrig halten – wenn Totvolumina oder Lagerbestände unerwünscht sind.
- Füllstand in gewissen Grenzen halten, aber Behälter als Puffer verwenden – Füllstandsänderungen tolerieren, um den Ablauf ruhig zu halten.

In der Praxis können durch eine Reihe von zu berücksichtigenden Störgrößen vereinzelt höhere Anforderungen an den Entwurf von Regelungskonzepten für solche Prozesse gestellt werden.

Zur Messung von Niveau und Füllstand kommen Schwimmer, Verdrängergeräte, Bodendruckmessung, kapazitive und konduktive Füllstandsmessung, Laufzeit- und radiometrische Messgeräte sowie Grenzsignalgeber und Gewicht in Frage.

Lage, Position, Geschwindigkeit und Entfernung

Lage, Position, Geschwindigkeit und Entfernung sind bereits Grenzfälle mancher Standardregelgeräte, im Hinblick auf Zykluszeiten und andere spezielle Anforderungen wie z. B. Taktsynchronisation. Daher gibt es für den Bereich Mechatronik bzw. Bewegungsführung spezielle Regelsysteme (Hard- und oder Software). Langsamere Positionieraufgaben wie Tänzerregelungen, Walzenpositionsregelung usw. können dagegen noch mit Standardprodukten gelöst werden.

Man unterscheidet die Messung von Lage, Position, Geschwindigkeit und Entfernung und erfasst diese durch Winkelschrittgeber, SSI-Geber und Impulsgeber über Vorwärts-/Rückwärtszählung.

Chemische Größen

Bei der Regelung chemischer Größen handelt es sich häufig um Konzentrationsregelungen wie pH-Wertregelung, Sauerstoffregelung, und andere biochemische Messgrößen, die über teilweise sehr aufwendige Analyseverfahren ermittelt werden.

Als Beispiele der Analysetechnik können genannt werden: Messung des pH-Wertes, Sauerstoffanalyse, Feuchtemessung, Rauchgasanalyse, Gaswarnsensorik, Messung der Viskosität, sowie Fotometrie, Gaschromatographie, Spektrometrie u. v. m.

Nicht selten spielen bei solchen chemischen oder biochemischen Verfahren auch noch physikalische oder thermodynamische Kopplungen mit anderen Regelgrößen wie Temperaturen oder Drücken eine Rolle, wie am Beispiel der Temperaturabhängigkeit einer exothermen Reaktion oder eines Phasengleichgewichts von Dampf und Flüssigkeit in einer Destillationskolonne ersichtlich ist. Diese Regelungen zäh-

len allgemein zu den komplexen Regelungsthemen in der Verfahrenstechnik, da diese Prozesse oft stark nichtlinear, zeitvariant, totzeitbehaftet und/oder unsymmetrisch sind.

Um für solche Prozesse einen idealen Reglerentwurf vorzunehmen, werden sehr leistungsstarke Rechnersysteme benötigt. Die Projektierung und Inbetriebnahme solcher individuellen Systeme können sehr aufwendig werden. Aus diesem Grund ist die Verwendung von kompakten Regelgeräten oder softwaremäßig realisierten Regeleinrichtungen in der Industrie für solche Prozesse trotz der zuvor geschilderten Probleme weit verbreitet. Es darf hierfür bei der Projektierung der Aufwand für Inbetriebnahme und Optimierung nicht unterschätzt werden.

Regelstrukturen in der Software von frei programmierbaren Steuerungen bzw. Prozessleitsystemen oder den Standardregelgeräten bieten in der Regel genügend Eingriffsmöglichkeiten, um den Regler im Zusammenspiel mit einer überlagerten Steuerung zu „übersteuern“ bzw. zu beeinflussen. Beispielsweise mit einer Fuzzy-Softwarelösung wird dem regelungstechnischen Anwender ein sehr flexibles Instrument angeboten, mit dem er solche überlagerten Steuernetzwerke erstellen und bearbeiten kann.

1.2 Regler und Reglerbenennungen

Regler – im Sinne von selbsttätigen Regelungen – sind Funktionselemente, die abhängig von der messtechnisch (per Sensor) erfassten Prozessgröße in einem geschlossenen, analogen Wirkungskreis mit exakt mathematischer Rechenvorschrift über ein Stellglied (Aktor) auf eine physikalische Größe einwirken. Dies wird in Bild 1.1 gezeigt.

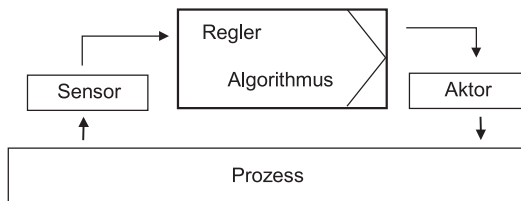


Bild 1.1
Prinzipieller Signalfluss
einer Regelung

Praxisgerechte Regler bestehen nicht nur aus einer Rechenvorschrift (Algorithmus), sondern sie beinhalten auch eine Reihe von Steuerfunktionen für Bedienung, Beobachtung, Sicherheitsfunktionen und Verschaltmöglichkeiten in einem Reglernetzwerk.

Alle im Folgenden beschriebenen Regelalgorithmen (PID-Regler) lassen sich im Wesentlichen untergliedern in: Erfassung der Eingangssignale, Bildung des Sollwerts, Bildung der Regeldifferenz, Algorithmus (P-, I-, D-, Z-Anteil bei PID-Reglern) und Bildung des Ausgangssignals. Für jeden Teil eines Reglers gibt es eine Reihe von verschiedenen, optionalen Funktionen, deren Implementierung, bzw. Aktivie-

rung das Verhalten eines Reglers wesentlich bestimmt und die Benennung bzw. Kategorisierung der vielen Regler und Reglertypen festlegt.

Neben den oben erwähnten Möglichkeiten, Regler und Regeleinrichtungen nach ihrer Parametrierung zu benennen oder zu klassifizieren gibt es etliche weitere Möglichkeiten der Einteilung und Benennung. Diese Vielzahl von verschiedenen Begriffen mit oft gleichen Bedeutungen trägt sicher zu der vermeintlichen Komplexität des Themengebiets „Regelungstechnik“ bei.

In der Norm DIN 19225 von 1981 „Benennung und Einteilung von Reglern“ sind diese Begriffe zusammengestellt. Dem Wort „Regler“ lassen sich verschiedene Wortvorsätze (z. B. Temperaturregler, Tänzerregler, Prozessregler, PI-Regler, Zweipunktregler, Folgeregler, Zustandsregler usw.) zuordnen und schon erhält man eine schier unüberschaubare Menge an Begriffen, bei denen oft auch Experten durcheinander kommen. Im Folgenden soll nur eine Auswahl an Beispielen von Reglern und deren Einteilung aufgelistet werden:

1.2.1 Benennung nach Einsatz und Aufbau

Industrieregler

Der Begriff Industrieregler oder Kompaktregler wird häufig verwendet zur Bezeichnung eines Einzelreglergerätes im Maschinenbau oder im Kleinanlagenbau, wobei diese Geräte häufig zur Regelung von Temperatur, Druck, Höhenstand verwendet werden. Regler dieses Typs sind gekennzeichnet durch ihre robuste und auf die Applikation zugeschnittene Prozessschnittstelle (analog und binär) für Messwerterfassung und Stellwertausgabe, eine eigene Mikroprozessorsteuerung mit eigenem Bedienfeld und einer Schnittstelle zu einem überlagerten Leitsystem. Industrieregler werden oft in Steuerpulten oder Schaltschränktüren, also maschinennah eingebaut.

Prozessregelgeräte

Prozessregelgeräte sind ähnlich aufgebaut wie die Industrieregler, mit robusten und universell einsetzbaren und erweiterbaren Prozessschnittstellen für Messwerterfassung und Stellwertausgabe, eigenen Optimierungsfunktionen, einer eigenen Mikroprozessorsteuerung mit eigenem Bedienfeld und einer Schnittstelle zu einem überlagerten System. Zusätzlich verfügen Prozessregelgeräte über regelungstechnische Funktionen, die eine Regelung aller wichtigen Prozesse ermöglichen. Prozessregelgeräte sind häufig in Messwarten installiert und können über eine recht komplexe Kommunikation zu überlagerten Prozessleitsystemen verfügen.

Universalregler

Universalregler sind Prozessregler in Form von Steckkarten, die in ein frei programmierbares Steuerungssystem (SIMATIC S7/C7/PCS 7/WinAC oder in einem PROFIBUS-System) eingebaut sind. Durch den Verzicht auf ein eigenes Bedienfeld kann die Bedienung des Reglers sehr flexibel und universell in die Bedienober-

fläche der vorhandenen Prozessleitebene bzw. Prozessvisualisierung integriert werden. Wie die Prozessregler verfügen die Universalregler über eigene robuste und universell einsetzbare Prozessschnittstellen (analog und binär) für Messwertfassung und Stellwertausgabe und eigene Optimierungsfunktionen. Die Kommunikation zum überlagerten Leitsystem erfolgt über den Rückwandbus bzw. den PROFIBUS.

Spezial- bzw. Branchenregler

Spezialregler sind Prozessregler, die für eine spezielle Branche entwickelt und optimiert wurden. Im Maschinenbau für die kunststoffverarbeitende Industrie oder in der Gebäudeautomation gibt es Regler als Einzelgeräte oder ganze kompakte Mikrocomputersysteme mit speziellen Regleralgorithmen. Zusätzlichen Steuer- und Eingriffsfunktionen erfüllen dabei wesentlich besser die spezifischen Anforderungen, als Universalregler oder „einfache“ Prozessregler. Es gibt eine Reihe von Sonderentwicklungen im SIMATIC-Spektrum, die eine Vielzahl von Spezialreglern hervorgerufen haben.

Softwareregler

Alle Softwareregler im SIMATIC-Spektrum sind ebenfalls Prozessregler bzw. Universalregler, da sie universell einsetzbar sind, durch bestehende bzw. selbst erstellte Zusatzfunktionen erweitert werden können und mit dem weiten Spektrum an Peripheriebaugruppen und Feldgeräten der SIMATIC S7 zu Universalreglern konfiguriert werden können. Mit den Visualisierungsmöglichkeiten der SIMATIC übertreffen sie die Flexibilität der Prozessregelgeräte. Allerdings muss dabei der erhöhte Aufwand für Projektierung und Inbetriebnahme gesehen werden.

Während alle Hardwareregler (Industrieregler, Prozessregler und Universalregler) autonome Regeleinrichtungen sind und deshalb häufig in Anlagen mit hohen Anforderungen an Ausfallsicherheit zum Einsatz kommen, sind Softwareregler zwangsläufig immer an die SPS bzw. das Automatisierungssystem gebunden und können bei Ausfall bzw. im STOP-Zustand des Controllers ihre Funktion nicht weiter erfüllen (siehe Tabelle 1.1). Aus diesem Grund werden teilweise gemischte Formen von Reglern (überlagerte Softwareregelstrukturen mit unterlagerten Backup-Hardwarereglern) in leittechnischen Anlagen verwendet oder die Software-Regler auf hochverfügbaren, redundanten Controllern realisiert (SIMATIC S7 H-Maschinen). Die Softwareregelprodukte können wieder in drei verschiedene Gruppen unterteilt werden:

- Kompaktregelstrukturen,
- modulare Regelfunktionen sowie
- Optimierungs- und Inbetriebnahmetools.

1.2.2 Benennung nach verwendeten Parameteranteilen

Durch die Parametervorgabe (und vereinzelt auch durch die Wahl der Strukturshalter) legt der Anwender den Reglertyp fest. Die Funktion eines bestimmten

Tabelle 1.1 Übersicht über die Arten von Regelprodukte und deren typische Vertreter in der SIMATIC

	Regler			
	Industrieregler	Prozessregler	Universalregler	Temperaturregler
Einzelgerät (stand-alone)	SIPART DR19	SIPART DR21, DR22, DR24	–	
Hardware-Baugruppe in SIMATIC S7			FM 355 ¹ FM 455	FM 355-2
Softwareprodukt in SIMATIC S7			PCS 7-Regler PID Control (FB 41-43) Standard PID Control Modular PID Control PID Compact für S7-200, S7-1200	PID Temperature Control (FB 58/59)

¹ FM steht als Abkürzung für Funktionsmodul (Baugruppe bzw. Steckmodul in SIMATIC S7)

Reglertyps lässt sich am Besten veranschaulichen wenn man den Regler im geöffneten Regelkreis testet.

Das bedeutet man speist einen konstanten Istwert am Reglereingang ein und verschaltet einen Schreiber oder eine grafische Aufzeichnungsfunktion (z. B. Trenddarstellung in einem Bedien- und Beobachtungssystem wie z. B. WinCC der Fa. Siemens) an den analogen Ausgang des Reglers. Der Sollwert kann entweder über die „normale Bedienung“ des Reglers vorgegeben, oder ebenfalls über einen Analogwert eingespeist werden. Damit besteht keine Rückwirkung des Ausgangssignals auf den Eingang. Man spricht von einem „geöffneten Regelkreis“.

Die Differenz zwischen dem normierten Sollwert und dem normierten Istwert (0...100%) ergibt die Regeldifferenz, die mit dem Buchstaben „e“ bzw. mit der Parameterbezeichnung ER (engl. Abkürzung für „error signal“) gekennzeichnet wird. Der Regler, oder besser gesagt die im Regler hinterlegte Rechenvorschrift (Algorithmus), reagiert auf die anstehende Regeldifferenz.

Der P-Regler

Beim P-Regler wird wie in Bild 1.2 beschrieben eine anstehende Regeldifferenz mit dem Proportionalbeiwert K_p (Parameterbezeichnung Gain) multipliziert. Vereinzelt wird anstelle von K_p (Verstärkungsbeiwert oder Verstärkungsfaktor) die Kenngröße X_p (Proportionalbereich) verwendet. Der Zusammenhang zwischen K_p und X_p wird durch die Formel 1.1 beschrieben:

$$K_p = \frac{100\%}{X_p} \quad (1.1)$$

Formel 1.1 ist gültig, solange die Regelkreisverstärkung über den gesamten Arbeitsbereich des Reglers konstant ist. Das Ergebnis des Produkts aus Proportionalbeiwert und Regeldifferenz wird Proportionalanteil (P-Anteil genannt). Mit dem Wert $K_p = 0$ wird der gesamte Regler deaktiviert.

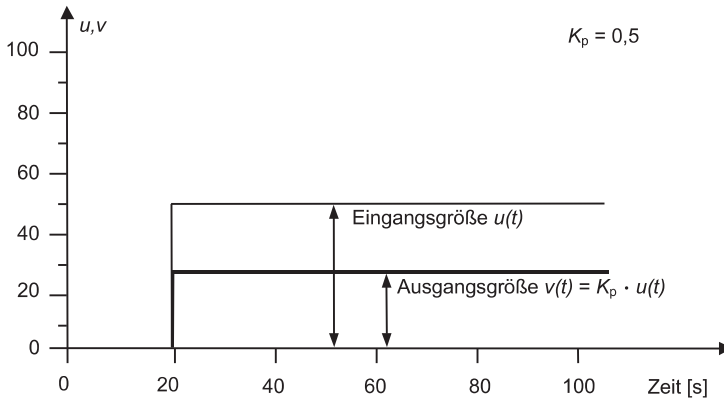


Bild 1.2 Die Sprungantwort eines P-Reglers im geöffneten Regelkreis

Der PI-Regler

Der PI-Regler überlagert einen Proportionalteil und einen Integralanteil (I-Anteil). Der Parameter Nachstellzeit T_n führt bei einer konstant anstehenden Regeldifferenz mehr oder minder schnell zu einem Ansteigen bzw. Abfallen des I-Anteils, je nach Vorzeichen der Regeldifferenz. Dies wird im Bild 1.3 gezeigt.

Im SIMATIC-Sprachgebrauch wird meistens anstelle von T_n (Nachstellzeit) die Kenngröße T_i (Integrationszeit) verwendet. Je nach Produkt ist in der Dokumentation festgelegt welche der Parameterbezeichnungen verwendet werden. Erreicht der Ausgang des PI-Reglers (nicht nur der I-Anteil) einen der am Regler eingestellten Begrenzungswerte, so muss der Integrator (I-Anteil) für diese Richtung gesperrt werden. Man spricht auch vom Blockieren des I-Anteils an der Reglerbegrenzung, zur Vermeidung der Integralsättigung. Der Integrator oder das Integrierglied ist ein Rechenglied, das aus einem gegebenen Verlauf seines analogen Eingangs am Ausgang dessen zeitliches Integral bildet.

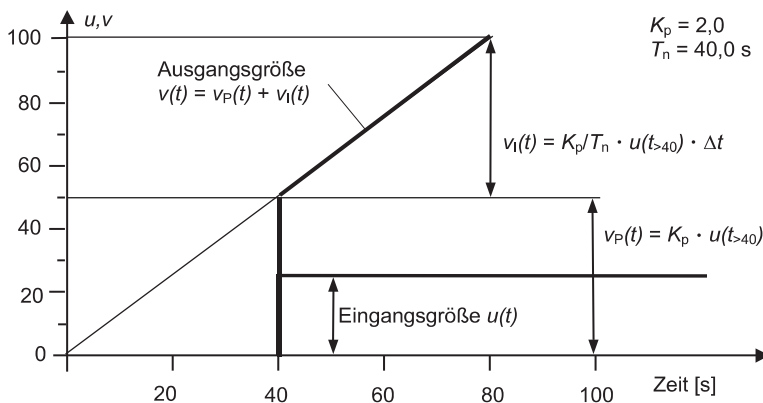


Bild 1.3 Die Sprungantwort eines PI-Reglers im geöffneten Regelkreis

Das Ergebnis des Produkts aus Verstärkungsbeiwert, Regeldifferenz und Nachstellzeit wird Integralanteil (I-Anteil genannt).

Vorsicht: Mit größer werdenden T_n -Werten reagiert der Regler langsamer; mit kleiner werdenden T_n -Werten reagiert der Regler schneller.
 Wird T_n jedoch kleiner als die doppelte Abtastzeit des Reglers gewählt, kommt es zu Fehlfunktionen am Reglerausgang (der Regler oszilliert), falls diese Fehlparametrierung nicht in der Software abgefangen wird.
 Der Wert $T_n = 0,0$ ist eigentlich nicht erlaubt, da der Algorithmus sonst eine Division durch 0 durchführen müsste. Dies wird durch eine Parameterprüfung in der Software aller Siemens-Regelprodukte abgefangen, so dass die Vorgabe einer Nachstellzeit gleich null zum Deaktivieren des I-Anteils zulässig ist. Manche Softwareprodukte (z. B. STANDARD PID CONTROL) haben stattdessen einen eigenen Parameter (I_SEL = TRUE) zum Aktivieren des I-Anteils.

PD- T_1 -Regler

Der PD- T_1 -Regler überlagert einen Proportionalteil und einen realen Differentialteil (D-Anteil). Der Parameter Vorhaltezeit T_v führt bei einer Änderung der Regeldifferenz zu einer schlagartigen Änderung des D-Anteils, je nach Vorzeichen der Regeldifferenz. Mit der Zeit baut sich der D-Anteil nach einer e-Funktion mit der Zeitkonstante T_1 selbständig wieder ab, vorausgesetzt, die Regeldifferenz bleibt unverändert. Dies wird im Bild 1.4 gezeigt.

Die Funktion des D-Anteils bietet beim Prozessregler die Möglichkeit, die Sprunghöhe des D-Anteils bestimmen zu können. Voreinstellung der sogenannten Vorhalteverstärkung V_v ist der Faktor 5. Dieser Wert ist historisch begründet. Als die Regler noch diskret mit Operationsverstärker aufgebaut wurden, hat eine definierte

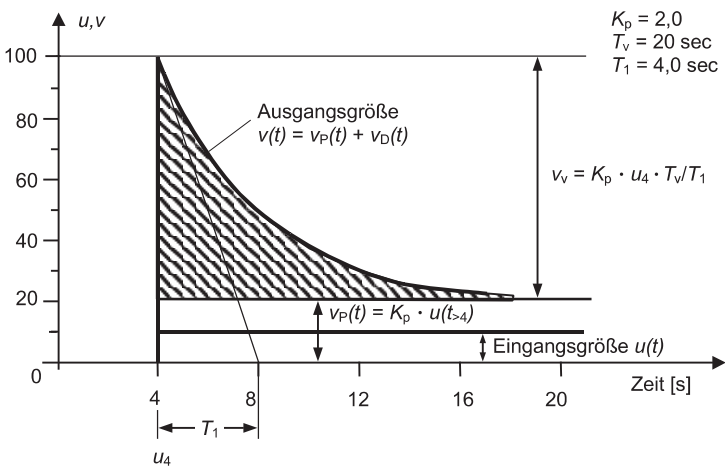


Bild 1.4 Sprungantwort eines PD- T_1 -Reglers im geöffneten Regelkreis