

Kapitel 9

Steuerungstheorie

In diesem Abschnitt soll die Einbindung der Aussagen der vorhergehenden Abschnitte, der Signaldarstellung und der Übertragungsglieder, in den zu beeinflussenden technologischen bzw. technischen Prozess dargestellt werden.

Als Hauptaufgaben der Steuerung sind die

- Prozessüberwachung und -sicherung
- Prozessstabilisierung
- Prozessführung
- Prozessoptimierung

zu sehen. Diese Aufgaben werden durch die Vorgänge Messen, Stellen und Steuern gelöst.

Unter **Messen** soll die Informationsgewinnung, -vorverarbeitung, -übertragung und die Darstellung von Signalen und Informationen verstanden werden. Diese Problematik wird vor allem im Abschnitt 4.1 Messtechnik weiter behandelt.

Das **Stellen** ist in der Automatisierungstechnik die zielgerichtete Beeinflussung von Prozessen durch Eingriffe in den Energie- und Massenstrom oder in den Informationsfluss. Diese Eingriffe werden auf Grund von Informationen manuell oder automatisch ausgeführt. Stelleingriffe sind erforderlich, um den Energie- oder Massenstrom im Sinne der Aufgabenstellung zu beeinflussen. Stelleinrichtungen werden vorwiegend mit einem energiearmen Eingangssignal angesteuert, sind aber meist in der Lage, große Kräfte und Leistungen zu erzeugen und dadurch erhebliche Energie- und Masseströme zu stellen. Wassertechnische Stelleinrichtungen sind z.B. Drosselklappen, Ventile, Schieber, Pumpen, Verdichter und Förderbänder.

Unter **Steuern** wird die zielgerichtete Erfüllung von Aufgaben zur Prozessstabilisierung, -führung und -optimierung verstanden. Steuern ist ein Vorgang, bei dem eine oder mehrere Größen (Eingangsgrößen) andere Größen (Ausgangsgrößen) auf Grund der dem Steuerungssystem zugeordneten Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Im Allgemeinen wird die Steuerung in die **offene Steuerung**, (als Steuerung oder als Vorwärtssteuerung bezeichnet), und in die **geschlossene Steuerung**, (als Regelung oder als Steuerung mit Rückführung bezeichnet), eingeteilt.

9.1 Steuerung und Regelung

9.1.1 Steuerung

Bei der **Steuerung** (siehe Abbildung 9.1 (a)) liegt zwischen der Zielgröße x und der Stell- bzw. Steuergröße y kein geschlossener Wirkungsablauf (offene Wirkungskette) vor. Das Prinzip funktioniert nur so lange automatisch, wie keine Störungen z vorliegen. Sind die Störungen messbar, so können sie u.U. im Steuerungsalgorithmus berücksichtigt werden.

Die **Vorteile** der Steuerung bestehen darin, dass:

- das Verhalten offener Wirkungsabläufe einfach zu überschauen ist
- sofort und unmittelbar bei Wirken einer messbaren Störung in den Prozess eingegriffen werden kann
- die Zielgröße nicht gemessen werden muss

Die **Nachteile** sind darin zu sehen, dass:

- nur die messbaren Störungen beseitigt werden können
- der Prozess sehr genau bekannt sein muss, um den richtigen Steuerungsalgorithmus anzuwenden
- keine Rückmeldung erfolgt, ob der Steuereingriff die gewünschte Änderung der Zielgröße zur Folge hatte

9.1.2 Regelung

Charakteristisch für die **Regelung** (siehe Abbildung 9.1 (b)) ist, dass ein geschlossener Wirkungsablauf, eine Rückführung der Zielgröße x , vorhanden ist. Die Auswirkungen von Störungen z oder Führungsgrößenänderungen w werden mit der Zielgröße x erfasst und brauchen deshalb nicht extra gemessen zu werden. Es ist auch möglich, ausschließlich oder zusätzlich innere Größen, Zustandsgrößen x_z , des Prozesses zurückzukoppeln. Die Rückkopplung der Zielgröße x muss derart erfolgen, dass die abgeleitete Stellgröße y der Störung entgegen wirkt.

Vorteile von Regelungen bestehen darin, dass:

- eine ständige Rückmeldung über die Wirkung der Steuereingriffe vorhanden ist
- alle Störungen, auch die nichtmessbaren, ausgeregelt werden, da ein ständiger Vergleich zwischen Ist- und Zielgröße erfolgt

Nachteilig ist dagegen, dass:

- die Ausregelung der Störung erst dann erfolgt, wenn ihre Auswirkung auf die Zielgröße erfolgt ist (bei sehr trägen Systemen kann dies sehr lange dauern, zeitverzögert)
- durch die Rückkopplung ein relativ kompliziertes, schwer überschaubares Systemverhalten auftritt
- durch die Rückkopplung Instabilitäten des Systems (Schwingungen) entstehen können

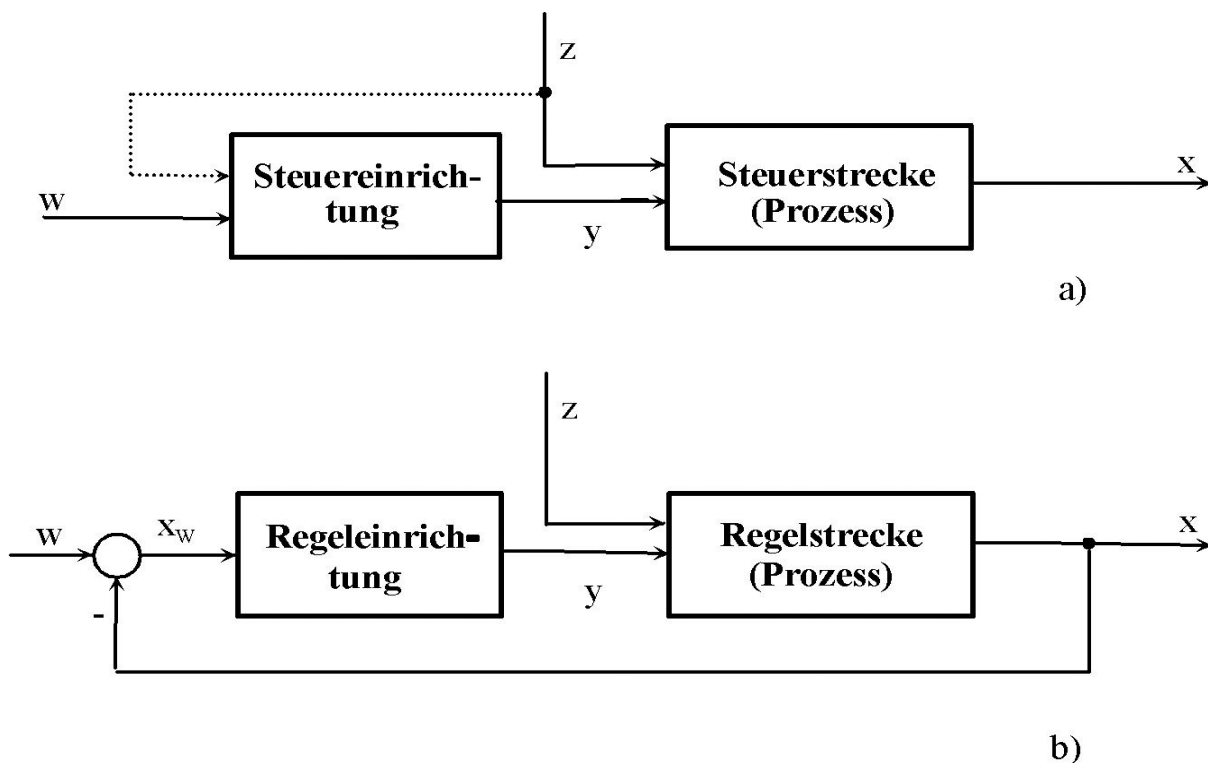


Abbildung 9.1: Steuerung (a) und Regelung (b)

9.1.3 Grundbegriffe des Regelkreises

Die wichtigsten regelungstechnischen Größen sind (siehe Abbildung 9.1):

x	Regel- bzw. Steuergröße
z	Störgröße
y	Stellgröße
w	Führungsgröße
x_W	Regelabweichung
x_d	Regeldifferenz
R_E	Regeleinrichtung
S_E	Steuereinrichtung
S_R	Regelstrecke
S_S	Steuerstrecke
v	Ersatzregelgröße

- **Regel- bzw. Steuergröße (Zielgröße)**

Die Zielgröße x ist die Größe im Prozess, die entsprechend dem Ziel durch Steuereingriffe in den Prozess beeinflusst werden soll bzw. kann. Sie wird entsprechend der offenen oder geschlossenen Steuerung als zu steuernde Größe x oder Regelgröße x bezeichnet.

- **Führungsgröße (Sollwert)**

Die Führungsgröße (Sollwert) w gibt den gewünschten Wert der Zielgröße x bzw. dessen Verlauf als Funktion der Zeit oder anderer Größen vor.

- **Regelabweichung und Regeldifferenz**

Die Regelabweichung $x_W = x - w$ gibt an, in welcher Größe und Richtung die Zielgröße von der Führungsgröße abweicht und wie demzufolge in den Prozess einzugreifen ist. Die Regeldifferenz $x_d = w - x$ führt zu den gleichen Aussagen mit umgekehrtem Vorzeichen, d.h. $x_W = -x_d$.

- **Stellgröße**

Die Stell- bzw. Steuergröße y ist die Größe, über die in den Prozess eingegriffen wird,

um die Zielgröße x einzuhalten. Bei der geschlossenen Steuerung ist die Stellgröße y so zu wählen, dass die Regelabweichung x_W beseitigt wird.

- **Störgröße**

Störgrößen z sind zufällig auftretende und nicht beeinflussbare Größen, die von außen auf das System einwirken. Bei der offenen Steuerung können nur die Störgrößen kompensiert werden, die meßtechnisch erfassbar sind. Demgegenüber werden bei der geschlossenen Steuerung, der Regelung, alle Störgrößen, die auf die Zielgröße x einwirken, ausgeregelt. Dies ist oft mit einer Zeitverzögerung verbunden.

- **Ersatzregelgröße**

Die Ersatzregelgröße v stellt eine Hilfsgröße innerhalb des Regelkreises dar, die für eine effektive Informationsübertragung und -verarbeitung geeignetere physikalische Eigenschaften als die Zielgröße x besitzt. In ihrem Systemverhalten wird sie aus der Zielgröße x abgeleitet.

- **Steuer- bzw. Regelstrecke**

Die Steuer- bzw. Regelstrecke umfasst den durch die Stellgröße y beeinflussbaren Teil eines Prozesses mit der Ausgangsgröße, der Zielgröße x . Dazu werden auch die Glieder gerechnet, die unveränderlich vorgegeben sind (z.B. feststehende Stell- und Messglieder)

- **Steuer- bzw. Regeleinrichtung**

Die Steuer- bzw. Regeleinrichtung umfasst bei der geschlossenen Steuerung alle Glieder, die zur Informationserfassung (Messeinrichtung, Messwertspeicher, Messwertübertragungseinrichtung), Informationsverarbeitung (Regler, Rechner, Mensch) und Informationsnutzung (Stelleinrichtungen) bei der Erfüllung der Steuerungsaufgaben dienen.

Bei den Einrichtungen zur Informationserfassung wird aus der zu steuernden Größe bzw. aus der Regelgröße x die Ersatzregelgröße v gebildet. In dem Block der Informationsverarbeitung wird der Vergleich zwischen der zu steuernden Größe x oder der daraus abgeleiteten Ersatzregelgröße v und der Führungsgröße w durchgeführt. Als Ergebnis entsteht die Regelabweichung x_W , die in die Stelleinrichtungen des Informationsnutzungsblockes einfließt und die Stellgröße y an die Strecke (Prozess) liefert.

In der Abbildung 9.2 sind am Beispiel der Beeinflussung des Grundwasserströmungsprozesses die oben aufgeführten Definitionen dargestellt.

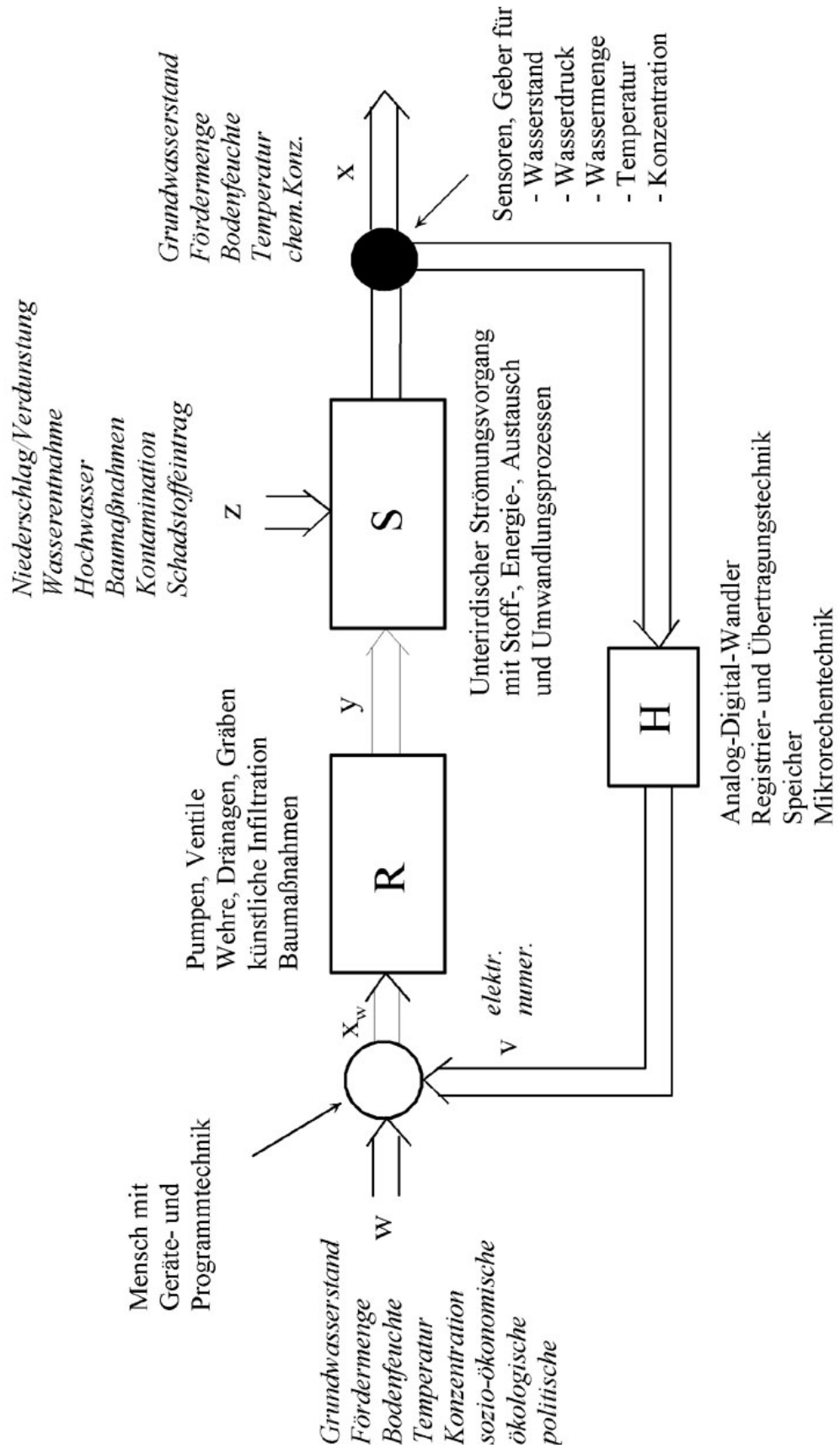


Abbildung 9.2: Schematischer Regelkreis von Grundwasserprozessen mit beispielhaften Regelgrößen

9.1.4 Reglerarten

Die Regeleinrichtungen (kurz auch als Regler bezeichnet) werden entsprechend ihres Arbeitsverhaltens in stetige und unstetige Regler eingeteilt. Analog zur Quantisierung der Signaldarstellung wird auch bei den unstetigen Reglern eine Quantisierung der Zeit und des Informationsparameters durchgeführt.

9.1.4.1 Unstetige Regler

Bei **unstetigen Reglern** kann die Stellgröße unter Vernachlässigung der Schaltübergänge nur eine begrenzte Zahl verschiedener Werte (z.B. zwei, drei) annehmen.

Die in der Praxis eingesetzten unstetigen Regeleinrichtungen sind im wesentlichen Zwei- und Dreipunktregler. Die Regelgröße schwankt dann zwischen diesen Grenz- bzw. Schaltwerten.

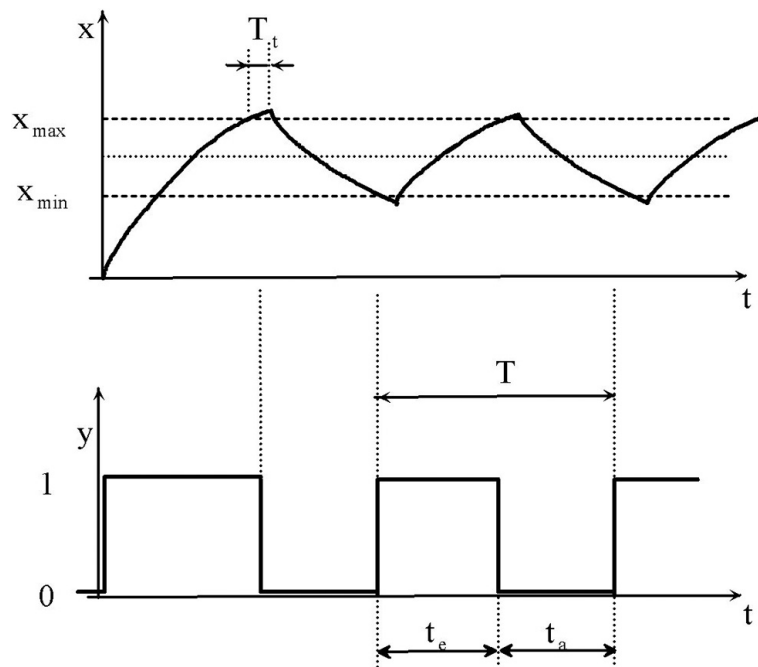


Abbildung 9.3: Regelverhalten eines Zweipunktreglers

Zweipunktregler geben als Stellgröße nur zwei Schaltzustände "0" oder "1" ab. Diese Schaltzustände werden durch so genannte Grenzwertschalter, z.B. Schwimmerkontakte, erzeugt. Um die Schalthäufigkeit der Zweipunktregler gering zu halten, empfiehlt es sich, sie auf langsame (Verzögerungsverhalten mit großer Zeitkonstante) Regelstrecken einwirken zu lassen (siehe Abbildung 9.3). Es ist zu beachten, dass die Schalthäufigkeit mit kleiner werdender Schwankungsbreite der Regelgröße zunimmt. Beim praktischen Einsatz kann ei-

ne hohe Schalthäufigkeit zur Zerstörung der mechanischen Schaltelemente (Relais, Ventile) und zu einem überhöhten Energie- und Stoffverbrauch führen.

9.1.4.2 Stetige Regler

Bei den **stetigen Reglern** kann die Stellgröße y jeden beliebigen Wert innerhalb des Stellbereiches einnehmen, der zur Aufrechterhaltung des gewünschten Wertes der Regelgröße benötigt wird. Stetige Regler besitzen die im Abschnitt 8 Übertragungsverhalten vorgestellten Übertragungseigenschaften. Als ausgewähltes Übertragungsverhalten, auch als Regelverhalten bezeichnet, treten dabei das P-, I-, PI- und das PID-Verhalten auf. Im Allgemeinen können für die Reglertypen folgende Merkmale angegeben werden:

- **P-Regler**
bleibende Regelabweichung; immer anwendbar, außer bei Strecken mit Laufzeitverhalten (Totzeitstrecken)
- **I-Regler**
keine bleibende Regelabweichung; nur an Strecken mit Laufzeitverhalten gut anwendbar; an Strecken ohne Verzögerungsverhalten nicht verwendbar; langsame Ausregelung bei großen Zeitkonstanten der Strecke
- **PI-Regler**
keine bleibende Regelabweichung; schnellere Ausregelung als beim I-Regler; für alle Strecken geeignet
- **PID-Regler**
keine bleibende Regelabweichung; hohe Regelgüte erreichbar, wenn der Anteil der Laufzeit am Zeitverhalten der Regelstrecke gering ist; schwierige Einstellung

Die stetigen Regler sollen im Weiteren Gegenstand der Betrachtung sein, da sie auf Grund ihrer ständigen Regelung dem Prozess wesentlich schneller folgen. Damit läßt sich eine wesentlich höhere Regelgenauigkeit erreichen. Die verbesserte Regelgenauigkeit bringt im Allgemeinen eine Einsparung an Energie- und Stoffverbrauch. Weiterhin wird dadurch die Prozesssicherheit erhöht.

Das Übertragungsverhalten $G(p)$ eines Regelkreises ergibt sich aus der Reihenschaltung des Übertragungsverhaltens der Regeleinrichtung $R(p)$ und des der Regelstrecke $S(p)$ bei Auftrennung der Rückkopplung.

$$G(p) = R(p) \cdot S(p) \quad (9.1)$$

Da das Übertragungsverhalten der Strecke durch die technischen, naturwissenschaftlichen oder technologischen Bedingungen meist vorgegeben ist, kann zur Erreichung eines bestimmten Übertragungsverhaltens des Regelkreises nur das der Regeleinrichtung $R(p)$ frei gewählt werden. Die Forderungen an das Übertragungsverhalten des Regelkreises beziehen sich auf:

- den technologischen Betriebsablauf
- das statische (bleibende Regelabweichung) und dynamische Verhalten (Stabilität, Überschwingen, Ausregeln) bei Führungs- und Störgrößenänderungen
- Investitions- und Betriebskosten
- die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit (Ausfallwahrscheinlichkeit)
- die Realisierungsmöglichkeit durch die verfügbare Technik
- das Verhältnis zum Bedienpersonal (Arbeitsbedingungen, Mensch-Maschine-Kommunikation)
- die Auswirkung auf die Umwelt

Der zeitliche Verlauf der Regelabweichung $x_w(t)$ nach einer Führungs- oder Störgrößenänderung, der wegen stets vorhandener Trägheit nicht der Idealwert $x_w(t) \implies 0$ sein kann, dient zur Bewertung der Qualität einer Regelung. Das Verhalten der Regelgröße nach einer Führungs- oder Störgrößenänderung ist in Abbildung 9.4 dargestellt. Die Regelabweichung $x_w(t)$ und damit auch die optimale Wahl des Übertragungsverhaltens der Regeleinrichtung $R(p)$ hängt vom jeweiligen Eingangssignal, der Führungs- oder der Störgröße, ab. Je nach den am Regelkreis zu erwartenden Größen muss $R(p)$ beispielsweise wie in Tabelle 9.1 gewählt werden.

Tabelle 9.1: Beispiele von Regelzielen

Eingangsfunktion	gewünschtes Zielverhalten
Sprung- und rampenartige Führungsgrößenänderung	gutes Folgeverhalten
Störgrößensprung am Streckeneingang oder -ausgang	gute Störungsausregelung
periodische Störgrößen	kleine Amplitude der bleibenden Regelabweichung
stochastische Störgrößen	minimales quadratisches Mittel der Regelabweichung

Bei der Festlegung der Regeleinrichtung $R(p)$ müssen

- der zeitliche Verlauf der Regelgröße

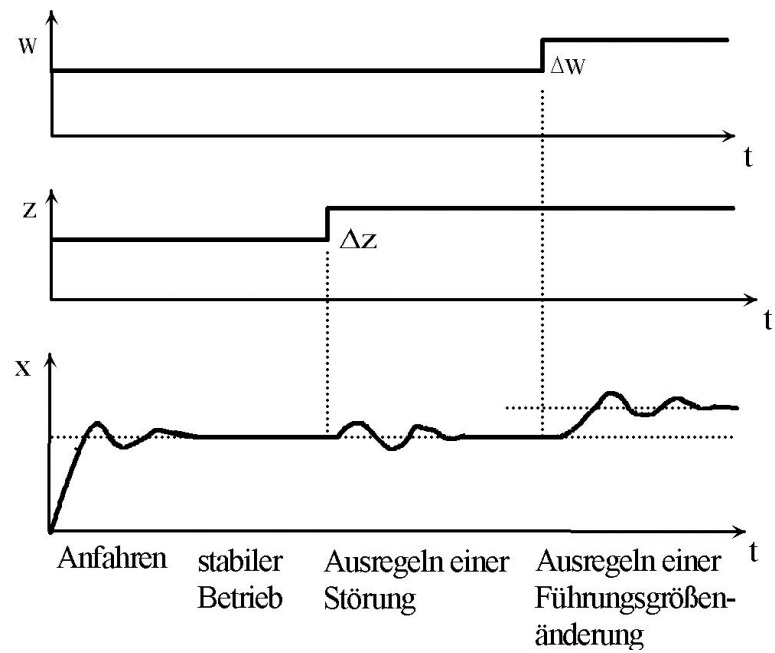


Abbildung 9.4: Regelverhalten eines stetigen Reglers

- der zeitliche Verlauf der Störgröße
- die Angriffsstellen der Störgröße
- der zeitliche Verlauf der Führungsgröße

untersucht werden.

Tabelle 9.2: Wahl eines geeigneten Reglers bei bekannter Übergangsfunktion der Regelstrecke

Regler	P	I	PI	PD	PID
Strecke					
T_L	unbrauchbar	etwas schlechter als PI	Führung + Störung	unbrauchbar	unbrauchbar
T_L+PT_1	unbrauchbar	schlechter als PI	etwas schlechter als PID	unbrauchbar	Führung + Störung
T_L+PT_2	nicht geeignet	schlecht	schlechter als PID	schlecht	Führung + Störung
PT_1+T_L ($T_L \sim 0$)	Führung	nicht geeig-net	Störung	Führung bei Verzögerung	Störung bei Verzögerung
PT_n	nicht geeig-net	schlechter als PID	etwas schlechter als PID	nicht geeignet	Führung + Störung
$P+T_L$	Führung (ohne Verzögerung)	unbrauchbar, strukturstabil	Störung (ohne Verzögerung)	Führung	Störung

9.2 Verbesserte Steuerungskonzepte

Ausgehend von den Vor- und Nachteilen der offenen und geschlossenen Steuerung liegt es nahe, Strukturen anzuwenden, die die Vorteile von beiden Systemen vereinen und damit die Nachteile weitgehend eliminieren. Solche Steuerungsstrukturen lassen sich, im Gegensatz zu den Grundregelkreisen, nur noch mit mehrschleifigen Regelkreisen aufbauen. Die bekanntesten Methoden sind:

- die Störgrößenaufschaltung
- die Nutzung einer Hilfsregelgröße
- die Nutzung einer Hilfsstellgröße

9.2.1 Störgrößenaufschaltung

Durch die Methode der **Störgrößenaufschaltung** (siehe Abbildung 9.5) können die Einflüsse der messbaren Störgrößen, deren Reaktionsort in der Regelstrecke lokalisierbar ist, mittels zusätzlicher Stellsignale vollständig oder teilweise aufgehoben werden. Der Auswirkung der Störgrößen wird durch zusätzliche Reaktionen der Regeleinrichtung bereits vor ihrer Wirkung auf die Steuerstrecke entgegengewirkt. Diese zusätzliche Steuerung wird dem bestehenden Regelkreis überlagert. Damit bleibt der Regelkreis einschleifig und es wird

- das Führungsverhalten nicht geändert
- die Stabilität nicht beeinflusst
- aber nur der aufgeschalteten Störgröße entgegengewirkt

9.2.2 Nutzung einer Hilfsregelgröße

Eine andere Möglichkeit der Verbesserung des Regelalgorithmus stellt die Einführung einer **Hilfsregelgröße** (siehe Abbildung 9.6) dar. Das bedeutet, dass aus solch einer Hilfsregelgröße, die im Inneren der Regelstrecke gemessen werden kann, ein zusätzliches Stellsignal zur Verbesserung des Regelkreisverhaltens abgeleitet wird. Diese Hilfsregelgröße reagiert auf Störgrößen, die am Streckeneingang mit einer geringeren Trägheit als die Regelgröße angreifen.

Mit der Aufschaltung einer Hilfsregelgröße wird angestrebt, die Störgrößen bereits durch die innere Schleife mit geringerer Trägheit auszuregulieren, wodurch das dynamische Verhalten des Kreises durch die innere Rückführung verbessert wird.

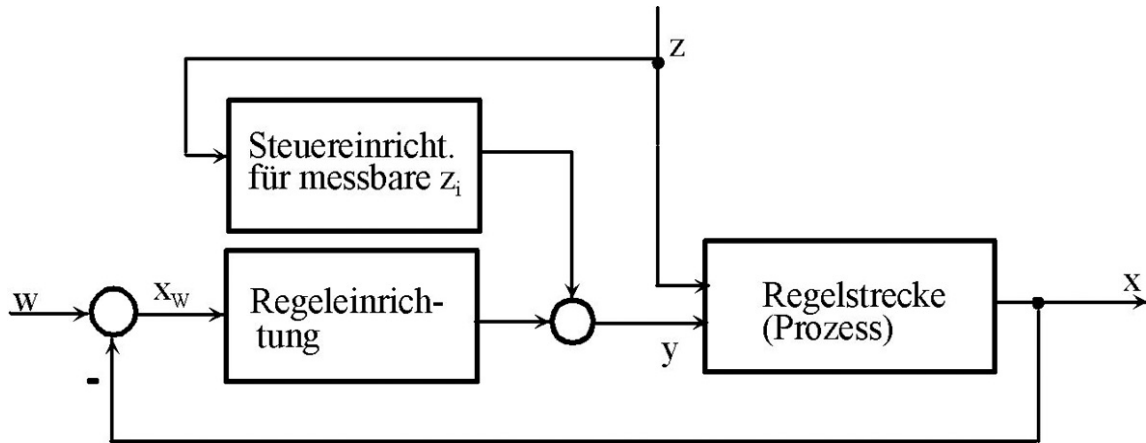


Abbildung 9.5: Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung

Dabei kann die Aufschaltung der Hilfsregelgröße entweder

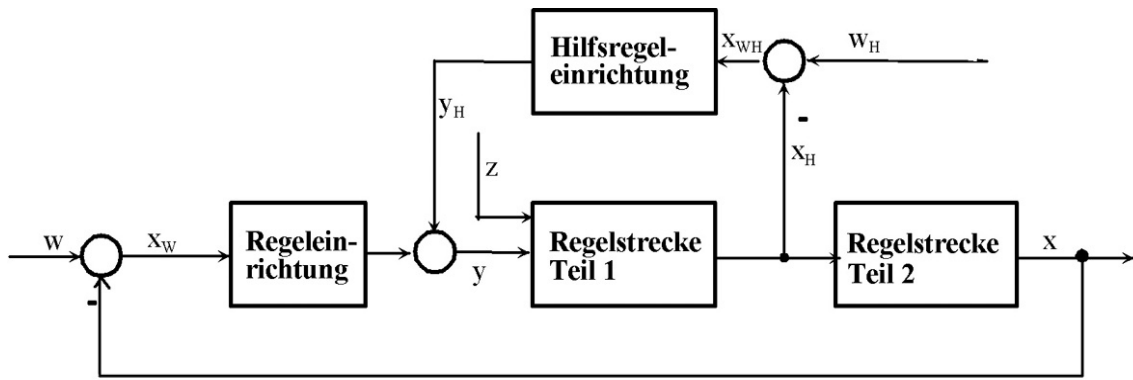
- auf die Stellgröße (Streckeneingang) oder
- auf die Regelabweichung (Reglereingang) erfolgen.

Mit der Aufschaltung einer Hilfsregelgröße wird eine zusätzliche Schleife im Regelkreis geschaffen, die

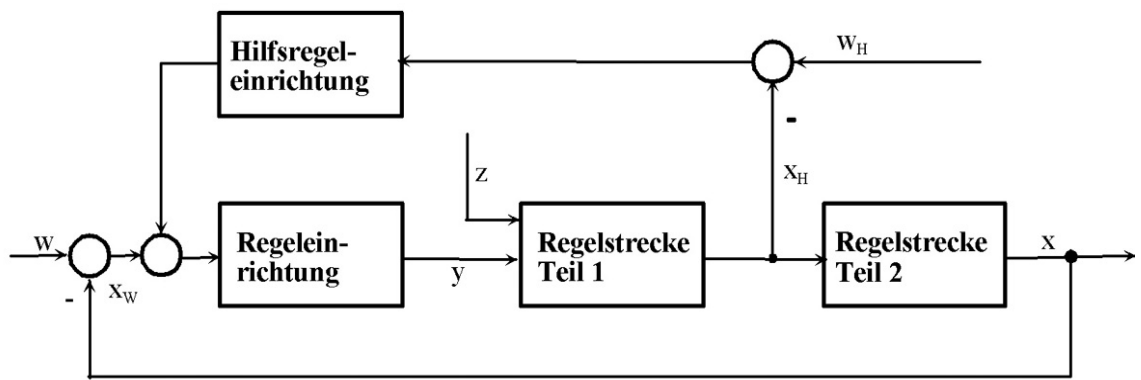
- das Führungs- und Störverhalten verändert
- die Stabilität des Kreises beeinflusst
- allen Störgrößen, bevorzugt aber denen innerhalb der Schleife angreifenden, entgegenwirkt

9.2.3 Nutzung einer Hilfsstellgröße

Eine Möglichkeit, die allgemein zur Verbesserung des Verhaltens eines Regelkreises dient und gleichzeitig erfolgversprechend für die Steuerstrategie bei Wassergewinnungsprozessen ist, stellt die Anwendung einer **Hilfsstellgröße** (siehe Abbildung 9.7) dar. Mit dieser Hilfsstellgröße, die wie die Hauptstellgröße aus der Regelabweichung abgeleitet wird, kann, wenn Stellmöglichkeiten vorhanden sind, im Inneren der Regelstrecke zusätzlich auf die Regelgröße mit geringerer Trägheit als durch die Hauptstellgröße eingewirkt werden. Die Hilfsstellgröße dient zum schnelleren Abbau einer Regelabweichung, die durch



a)



b)

Abbildung 9.6: Regelkreis mit Hilfsregelgrößen-aufschaltung auf den Streckeneingang (a) und auf die Regelabweichung (b)

- Änderung der Führungsgrößen und
- angreifende Störgrößen in Nähe des Streckenausganges

entstehen.

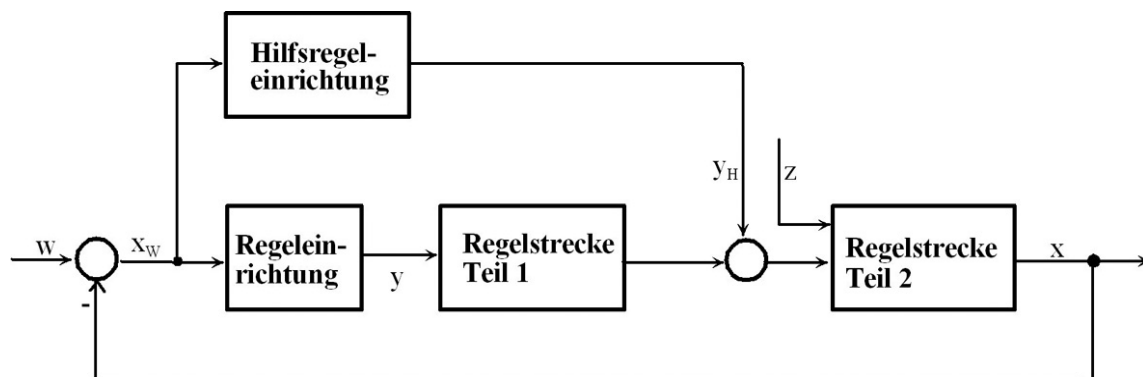


Abbildung 9.7: Regelkreis mit Hilfsstellgröße

9.3 Hierarchische Steuerungskonzepte

Der Grundgedanke hierarchischer Steuerungskonzepte besteht darin, dass das technisch/technologische System, das zu steuern ist, in einzelne Stufen zerlegt wird. Der Abstraktionsgrad und die Detaildarstellung unterscheiden sich dabei in den einzelnen Stufen. Für die technisch/technologischen Prozesse bei der Wasseraufbereitung und der Abwasserbehandlung kann z.B. folgende Hierarchiestruktur (siehe Abbildung 9.8) angegeben werden:

Erste Ebene: In der **Prozessebene** erfolgt die Automatisierung vor Ort. Diese Ebene ist für die Erfassung und Überwachung der Prozessparameter und für die Auslösung der Steuerbefehle direkt an der technologischen Steuerstrecke verantwortlich.

Zweite Ebene: In der **prozessnahen Ebene** werden die Verarbeitung und die Überwachung ausgewählter Prozessparameter sowie eine weitere Datenverdichtung für die weitere Verarbeitung in der übergeordneten Ebene, für die Stabilisierung und für die dezentralisierte Koordinierung des Systems durchgeführt. In dieser Ebene wird die Basisautomatisierung durchgeführt.

Dritte Ebene: Die **zentrale Ebene** übernimmt die Berechnung und Vorgabe der Sollwerte bzw. Führungsgrößen, die zentralisierte Steuerung, Überwachung, Optimierung und Koordinierung des Systems eines technologischen Prozesses sowie die Kontrolle der Hilfsprozesse. In dieser Ebene sind die zentralen Warten angesiedelt.

Ab vierter Ebene: In der **vierten** und in **weiteren Ebenen** werden die Koordinierung und Optimierung der Gesamtsysteme aller technologischen Prozesse vorgenommen. Sie wird deshalb als **Dispatcherebene** oder als **überregionale Ebene** bezeichnet.

In vielen technischen Bereichen, insbesondere aber bei wasserwirtschaftlichen Prozessen, lässt sich die Steuerung nicht vollständig durch gerätetechnische Lösungen erzielen. In diesen Fällen ist es notwendig, dass der Mensch mehr oder weniger in den Steuerungsprozess eingreift. Die Stellung des Menschen innerhalb eines hierarchischen Steuerungssystems lässt sich in sechs Gruppen einteilen. Der Mensch dient dabei entsprechend Abbildung 9.9

- a) als alleiniger Regler im Teilsystem
- b) zur Überwachung des Teilsystems
- c) zur Überwachung des Systems und verwendet den Rechner als Hilfsmittel zur Steuerung
- d) zur Entscheidung über die Prozessführung nach im Rechner direkt anstehenden Daten
- e) als Programmierer und als Überwacher der technologischen Prozesse
- f) als Überwacher des Gesamtsystems und der Kopplung zu den übergeordneten Führungssystemen.

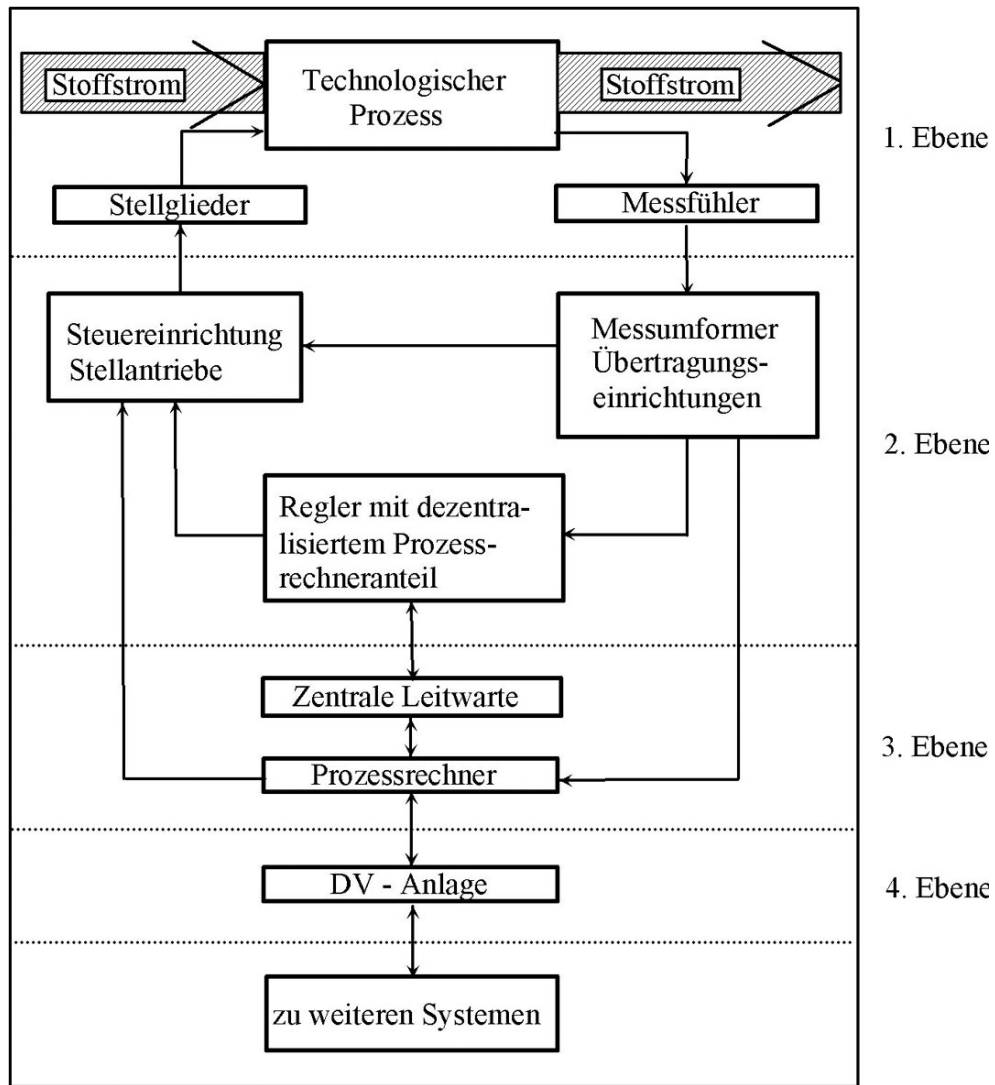


Abbildung 9.8: Hierarchische Struktur von wasserwirtschaftlichen Anlagen

Für die verschiedenen Stufen werden auch oft die angelsächsischen Begriffe off-/on-line und open-/closed-loop verwendet.

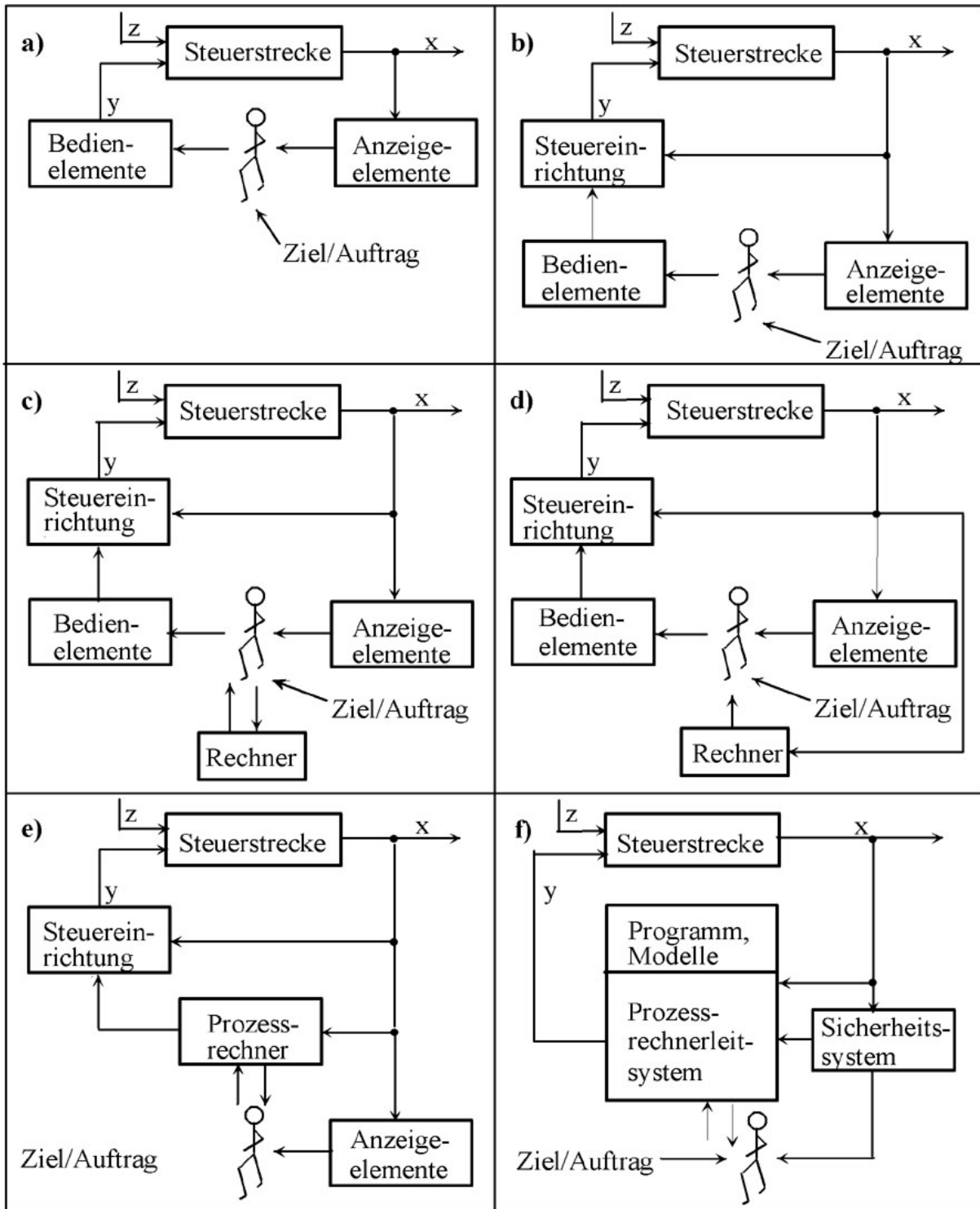


Abbildung 9.9: Stellung des Menschen innerhalb eines Steuerungssystems (off-line: Bild c,d; on-line, open-loop: Bild e; on-line, closed-loop: Bild f)

9.4 Praktische Beispiele

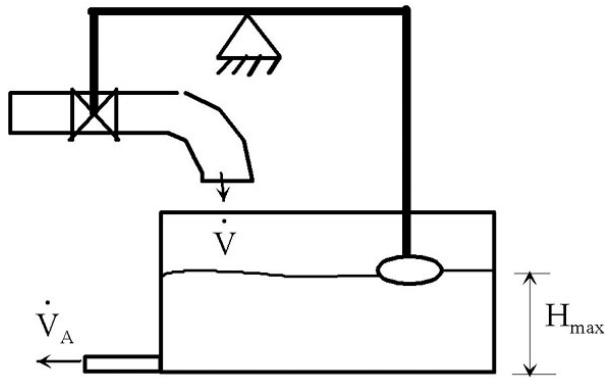
Die Untersuchung des Zeitverhaltens praktischer Steuerungsvorgänge beginnt mit der Zerlegung des technisch/technologischen Systems in einzelne einfache Teilelemente. Bei dieser Zerlegung sollte man von dem Funktionsprinzip ausgehen und die Elemente entsprechend dem Massen- oder Energiestromfluss bilden.

Das Übertragungsverhalten erhält man, indem der Regelkreis aufgeschnitten und das zeitquantisierte Übertragungsverhalten gebildet wird. Die exakte Methode führt über die Gesetze der Zusammenschaltung von Übertragungsgliedern (siehe Abschnitt 8.3). Für viele praktische Aufgaben, bei denen nur eine quantitative Aussage getroffen werden muss, reicht meist eine grafische Analyse aus. Der Vorteil dieser Methode besteht in der besseren Anschaulichkeit und der wesentlich einfacheren Handhabung. In der Abbildung 9.10 ist die Abstraktion einer Wasserstandsregelung in einem Regelkreis dargestellt. Dabei sind den Regelungstechnischen Begriffen die äquivalenten wassertechnologischen Begriffe und Anlagenteile zugeordnet.

Die Abbildung 9.11 stellt ein Beispiel eines Regelkreises für die Mischung zweier Flüssigkeiten, speziell zur pH-Wert-Steuerung durch Kalkmilchzugabe, dar.

Weitere Beispiele sind:

- Steuerungsschema für einen Grundwasserleiter (siehe Abbildung 9.12)
- Uferfiltratsteuerung (siehe Abbildung 9.13)



- Strecke** : Füllvorgang
- Einricht** : Hebel und Schieber
- x** : Istwasserstand H
- w** : Sollwasserstand H_{\max}
- z** : Abfluss \dot{V}_A
- y** : Zufluss \dot{V}
- x_w** : Differenz $H_{\max} - H$

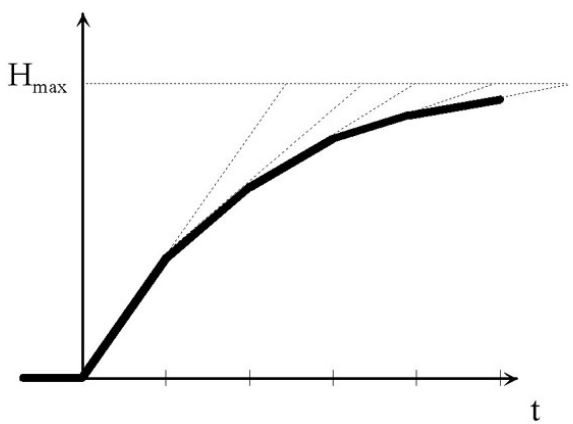
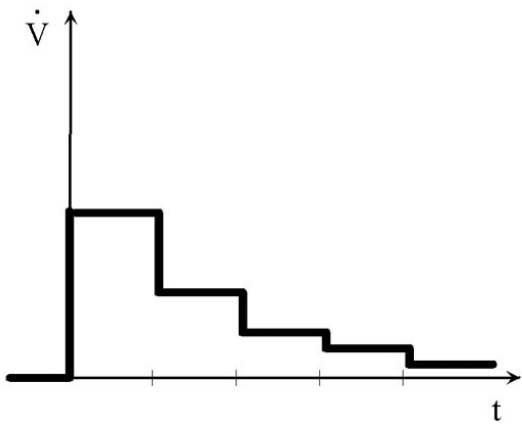
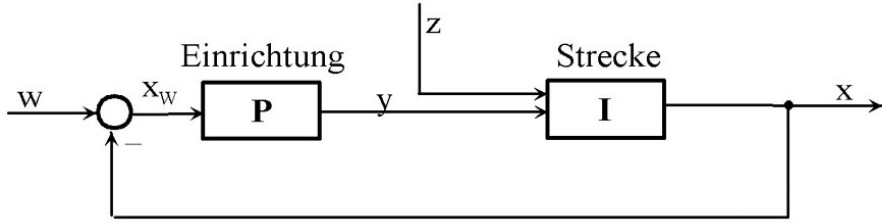


Abbildung 9.10: Schwimmergeregelter Füllvorgang

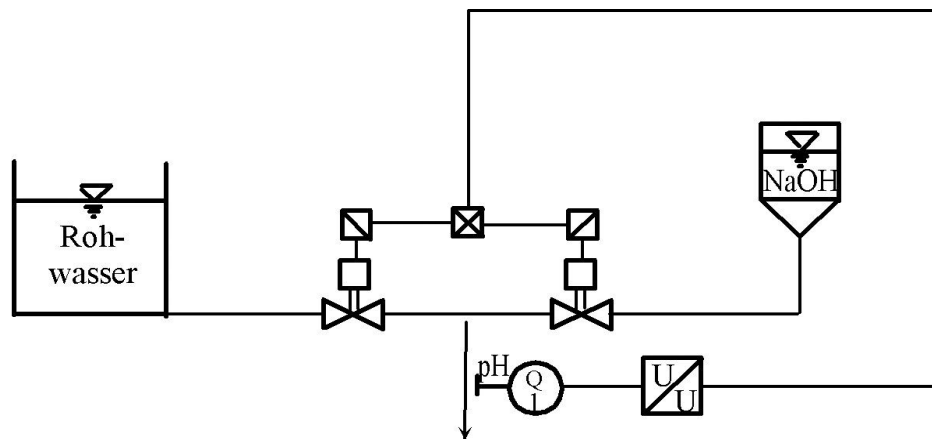


Abbildung 9.11: Regelkreis zur pH-Wert-Regelung

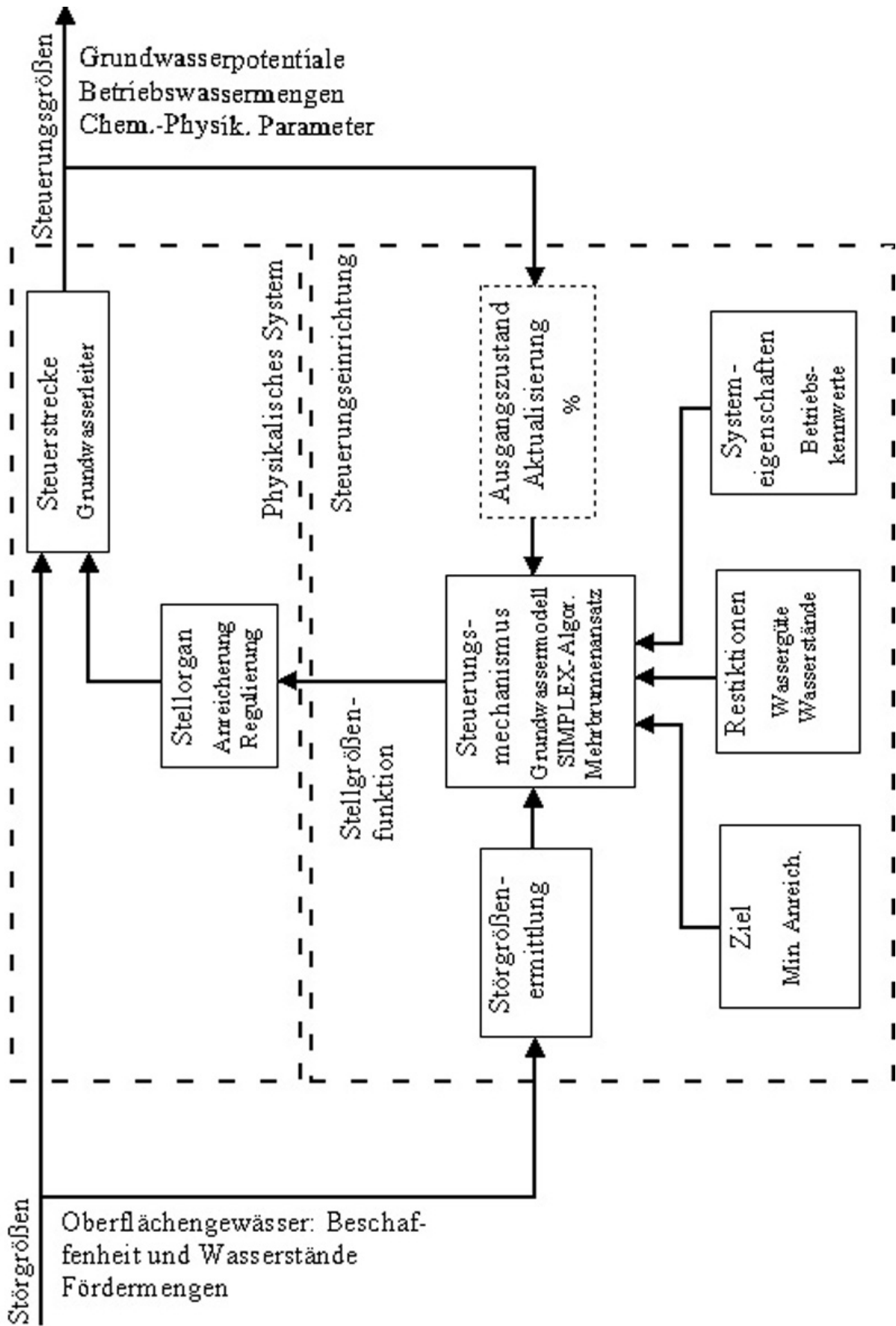


Abbildung 9.12: Steuerungsschema für einen Grundwasserleiter

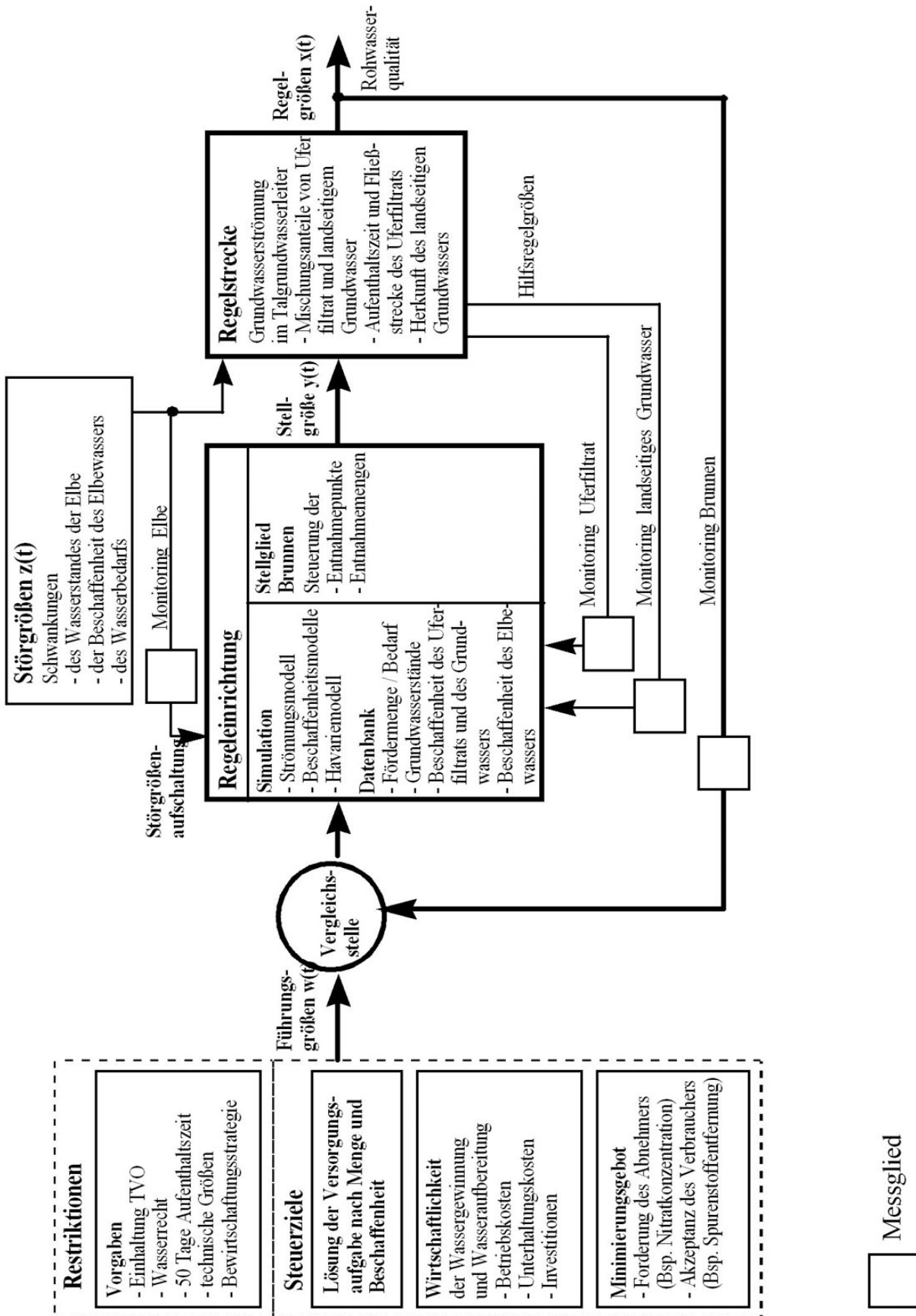


Abbildung 9.13: Uferfiltratsteuerung

9.5 Übungsaufgaben

1. Welche Aufgaben hat die Automatisierung im Rahmen der Wasser- und Abwasserbehandlung?
2. Welche drei Arten von Automatisierungseinheiten (Steuerung, Antriebe) kennen Sie?
3. Kennzeichnen Sie an einer einfachen Wasserstandsregelung (z.B. einer Füllstandsregelung eines Rieselfeldteiches mittels Schwimmerprinzip) die Größen und Glieder einer Regelung!
4. Welche Vorteile haben unstetige Regler gegenüber den stetigen?
Nennen Sie charakteristische Einsatzfälle für derartige Regler!
5. Wozu wird eine Regelung eingesetzt bzw. was soll sie ausregeln?
6. Welche Aufgaben hat die Regeleinrichtung (Regler) innerhalb des Regelkreises?
7. Nennen Sie aus der wasserwirtschaftlichen Praxis ein Beispiel für den Einsatz eines verbesserten Steuerungskonzeptes und begründen Sie die Verbesserung!
8. Skizzieren Sie eine pH-Wert-Regelung mittels NaOH-Zugabe.
Ordnen Sie dabei den einzelnen regelungstechnischen Größen und Gliedern prozessbezogene Begriffe zu und zeichnen Sie das Verhalten der Regelung bei einer Änderung der Rohwasserqualität auf.
9. Ein Trinkwasserwerk auf Uferfiltratbasis hat zur Steigerung des Grundwasservorrates künstliche Infiltrationsbecken eingesetzt. Die Beschickung der Infiltrationsbecken richtet sich nach dem Bedarf an Rohwasser. Der Grundwasserspiegel in der Nähe der Förderbrunnen soll möglichst eine zeitliche konstante Höhe haben.
Entwerfen Sie einen Regelkreis zur Regelung des Grundwasserstandes!
Benennen Sie alle Teile und Größen mit den regelungstechnischen Begriffen und den wasserwirtschaftlichen Äquivalenten!
Geben Sie geeignete Messtechnik (Geräte, Messort, Messzeit usw.) zur Überwachung der Regelparameter an!
10. Schildern Sie an einem Praxisbeispiel (z.B. Qualität der Rohwasserförderung) die Unterschiede zwischen einem Grundwassermonitoring- und einem Grundwassercontrollingsystem.
Verwenden Sie dabei die systemtheoretischen Begriffe und stellen Sie diese in Beziehung zu wasserwirtschaftlichen.
11. Für die Überwachung der Rohwasserförderung in einem Grundwasserwerk soll ein Messsystem konzipiert werden.
Skizzieren Sie ein Messprogramm (Messgerät/-verfahren, Art der Messung, Stoffgruppe) zur Überwachung.

12. Zur Wasserstandsregelung eines Absatzbeckens soll folgende Konstruktion (Abbildung 9.14) verwendet werden:

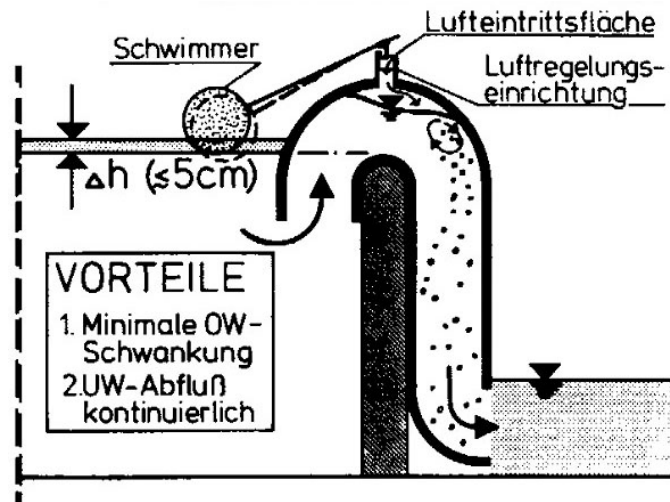


Abbildung 9.14: Luftgesteuertes Heberwehr

Skizzieren Sie für folgende Anordnung den Regelkreis und ordnen Sie den regelungstechnischen Begriffen die hydraulischen Größen und Anlagenteile zu.

Ersetzen Sie in obiger Anordnung die mechanische Messwerterfassung und die Stellglieder durch elektrische Automatisierungseinrichtungen und begründen Sie Ihre Wahl. Skizzieren und beschreiben Sie eine Lösung, bei der die Mischstelle durch einen PC realisiert wird, der in der 500m entfernten Messwarte steht.

Zeigen Sie an Hand eines Zeitdiagramms die Auswirkung einer Störgrößenänderung auf die Regelgröße.

Zeigen Sie an Hand eines Zeitdiagramms die Auswirkung einer Führungsgrößenänderung auf die Regelgröße.

13. Zur pH-Wert-Regelung soll folgender Regelkreis (Abbildung 9.15) eingesetzt werden: Erläutern Sie die Messstellen 1 bis 4 an Hand der vorgegebenen Beschriftungen.

Skizzieren Sie zu dem vorgegebenen Regelkreis das entsprechende Blockschaltbild und ordnen Sie den Regelungstechnischen Begriffen die hydraulischen Größen und Anlagenteile bzw. Prozesse zu.

Geben Sie für die einzelnen Blöcke des Regelkreises die Übertragungsfunktionen als Bezeichnung, als Zeitdiagramm und als Formel an.

Zeigen Sie an Hand eines Zeitdiagramms die Auswirkungen einer Störgrößenänderung auf die Regelgröße.

Zeigen Sie an Hand eines Zeitdiagramms die Auswirkungen einer Führungsgrößenänderung auf die Regelgröße.

14. Neben den elektrischen Steuerungseinrichtungen (Regler, Stellglieder) werden auch andere technische Lösungen benutzt.

Nennen Sie die anderen technischen Realisierungen.

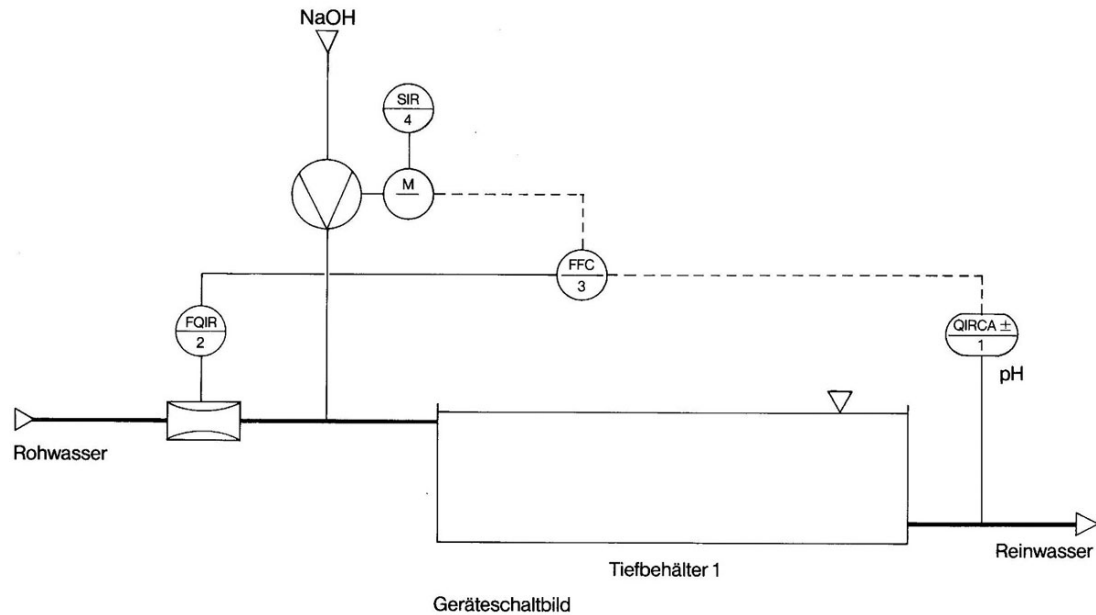


Abbildung 9.15: pH-Wert-Regelkreis

Beschreiben und begründen Sie mindestens 2 wasserwirtschaftliche Beispiele, bei denen keine elektrischen Steuerungseinrichtungen verwendet werden.

15. Zur pH-Wert-Regelung soll folgender Regelkreis (Abbildung 9.16) eingesetzt werden:

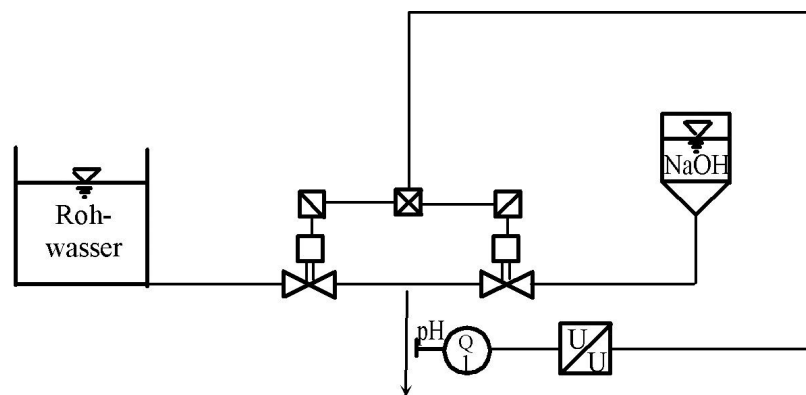


Abbildung 9.16: Regelkreis zur pH-Wert-Steuerung

Skizzieren Sie zu dem vorgegebenen Regelkreis das entsprechende Blockschaltbild und ordnen Sie den Regelungstechnischen Begriffen die hydraulischen Größen und Anlagenteile bzw. Prozesse zu.

Zeigen Sie an Hand eines Zeitdiagramms die Auswirkungen einer Störgrößenänderung auf die Regelgröße.

Zeigen Sie an Hand eines Zeitdiagramms die Auswirkungen einer Führungsgrößenän-

derung auf die Regelgröße.

16. Warum ist es vorteilhaft, in der wasserwirtschaftlichen Praxis zu automatisieren?
Nennen Sie drei signifikante Beispiele zum effektiven Einsatz von wasserwirtschaftlichen Automatisierungsanlagen.
17. Im Wasserwerk Hosterwitz wird ein Mehrschichtfilter zur Flusswasserfiltration verwendet. Zur Reinigung wird das Gegenstromspülverfahren eingesetzt.
Entwerfen Sie ein Steuerungsschema zur automatisch gesteuerten Filterspültechnologie.
Bilden Sie dazu ein regelungstechnisches Schema ab.
Ordnen Sie den regelungstechnischen Größen und Bauteilen die entsprechenden wasserwirtschaftlichen Begriffe zu.
Geben Sie schematisch die Übertragungsfunktion der Regelstrecke an.
18. Nennen Sie die zwei Arten der Prozessanalyse und erklären Sie deren Vor- und Nachteile.
19. Erklären Sie den Unterschied zwischen Steuern und Regeln einschließlich der Vor- und Nachteile.
20. Skizzieren Sie die Größen des Regelkreises (Abbildung 9.17) und leiten Sie den zeitlichen Verlauf der Stellgröße und der Regelgröße ab, wenn schlagartig ein großer Volumenstrom \dot{V}_A entnommen wird.

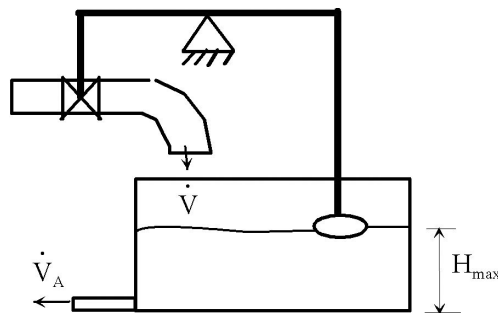


Abbildung 9.17: Wasserstandsregelung mittels Schwimmer

21. Nennen und erklären Sie die hierarchische Struktur von wasserwirtschaftlichen Anlagen am Beispiel:
Wasserversorgung Dresdens
Deponieverwaltung
22. Skizzieren und erklären Sie ein Messstellenschema einer Wassergewinnungsanlage mit Uferfiltrat und künstlicher Grundwasseranreicherung.

23. Nennen Sie aus dem Bereich der Wasserwirtschaft ein Beispiel, wo durch automatisierungstechnische Maßnahmen Vorteile entstanden sind, und beschreiben Sie die Vorteile!
24. Warum werden in der Wasserwirtschaft auch hydraulische Automatisierungseinrichtungen verwendet?
25. Skizzieren Sie am Beispiel der Überwachung einer Deponie das hierarchische Steuerungskonzept.