

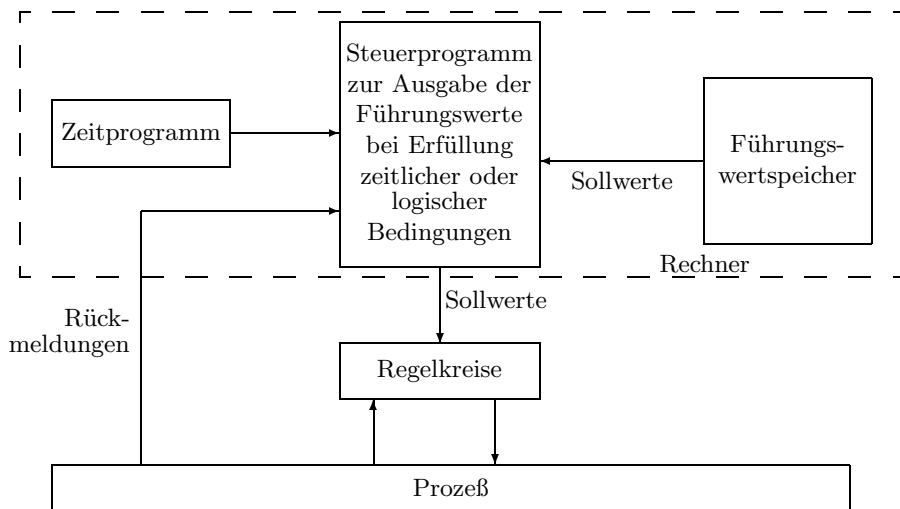
D.6 Führung

- ◆ Aufgabe der automatischen Prozessführung ist es, die Zustandsgrößen des Prozesses durch Vorgabe von **übergeordneten Sollwerten** (Prozessanforderungen) für die Regler bzw. durch direkten Eingriff über die Stellglieder so zu beeinflussen, dass der Prozess in **gewünschter Weise** abläuft
-
- ◆ Bei einer großen Zahl von Anwendungen ist die automatische Prozessführung das **eigentliche Ziel des Rechnereinsatzes**.
- ◆ Das **Bedienungspersonal** ist dadurch weitgehend **entlastet** und hat nur noch die Aufgabe, im **Störungsfall** geeignete Maßnahmen zu ergreifen und evtl. bei Rechnerausfall einen **Notbetrieb** zu fahren.

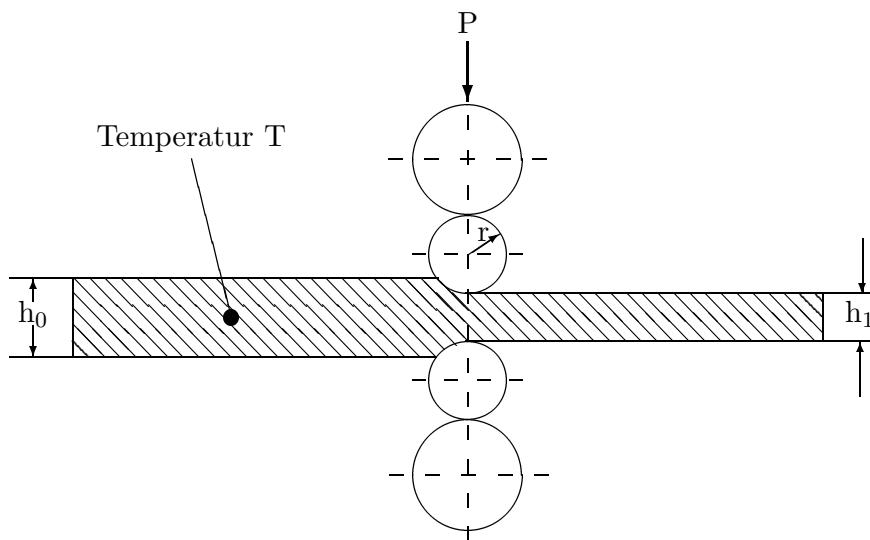
1 Führung nach Festprogramm

- ◆ **Einfachste** Form der Prozessführung
- ◆ Abhängig von logischen und zeitlichen Bedingungen liegen **feste Werte** und **Befehlsabläufe** vor, die aus dem Speicher des Rechners abgerufen und als **Sollwerte** an die entsprechenden **Regelungen** und **Steuerungen** ausgegeben werden.
- ◆ Der Rechner wird bei diesen Aufgaben als **Datenspeicher** sowie zur **Verknüpfung** logischer Bedingungen benutzt.
- ◆ Die **Sollwerte** werden **nicht** vom Rechner selbst **ermittelt** sondern müssen ihm **vorgegeben** werden.

◆ Führung nach Festprogramm



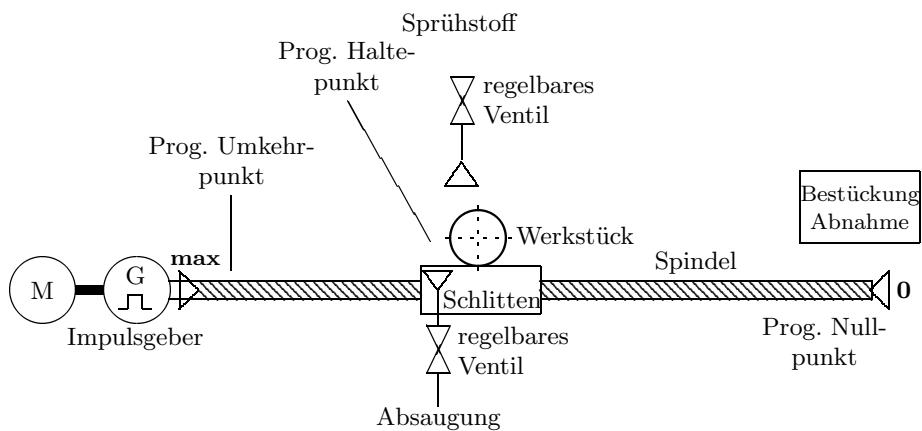
■ Beispiel: Walzen von Blechen in einer Walzstraße



Walzkraft P , Arbeitswalze mit Radius r , Walzgut der Breite B ,
mit Temperatur T , Anfangshöhe h_0 und Endhöhe h_1

- ◆ Über **Messgeräte** bzw. durch von außen eingegebene Daten erhält der Rechner beim Eintreffen einer neuen **Bramme** (Walzstück, Eisenblock) **Informationen** über die Eingangs- bzw. Endabmessungen, das Gewicht und die Materialeigenschaften des Walzgutes.
- ◆ Diese Werte werden an das zu startende **Walzprogramm** weitergegeben, das dafür sorgt, dass die **Sollwerte** (Führungsgrößen) für die **Walzeneinstellung** (Drehzahl, Position des Walzgutes auf den Rollgängen, Walzspalt), je nach gewünschtem Ausgangsprodukt, **zeitrichtig** weitergeleitet werden.
- ◆ Die angelieferte **Bramme** wird mit diesem Festprogramm, welches Bleche einer bestimmten **Dicke** und **Qualität** erzeugt, gewalzt.
- ◆ Durch entsprechende **Signale** von **Messfühlern** (z.B. Fotozellen, Pressdiktoren), die auf Alarneingänge geschaltet sind, erhält der Rechner ständig **Rückmeldungen** aus dem Prozess über die Lage des Walzgutes innerhalb der Walzstraße.

■ Beispiel: Besprühungsanlage



- ◆ Auf der rechten Seite wird der fahrbare **Schlitten** mit dem zu besprühenden **Werkstücktyp be-** bzw. **entladen**.
- ◆ Danach wird durch Betätigung eines Starttasters der **Schlitten** bei noch **ausgeschaltetem Sprühstoff** nach einem wegabhängigen **Geschwindigkeitsprogramm 1** bis zum **Umkehrpunkt** gefahren.
- ◆ Und dann mit dem wegabhängigen **Geschwindigkeitsprogramm 2** bis zum **Haltepunkt** in Düsen Nähe gefahren.
- ◆ Gleichzeitig mit dem Beginn des Programms 2 wird ein **wegabhängiges Blasprogramm 3** und **wegabhängiges Absaugprogramm 4** gestartet, die beide am **Haltepunkt** beendet sind.

- ◆ An dieser Position wird, während einer festgelegten **Wartezeit**, ein **zeitabhängiges Blasprogramm 5** und ein **zeitabhängiges Absaugprogramm 6** gestartet.
- ◆ Nach Ablauf der Zeitprogramme wird gleichzeitig mit dem **wegabhängigen Geschwindigkeitsprogramm 7** das **wegabhängige Blas-** bzw. **Absaugprogramm 8/9** gestartet, nach deren Ablauf der Schlitten wieder in **Grundstellung** steht.
- ◆ Dann wird nochmals **Programm 1** gestartet, so dass der Schlitten bis zum **Umkehrpunkt** fährt.
- ◆ Dort wird das **wegabhängige Geschwindigkeitsprogramm 10** mit voll **aufgesteuertem Sprühstoff** und **maximaler Absaugung** gestartet.
- ◆ Nach Beendigung des Programms 10 steht der Schlitten wieder am programmierten **Nullpunkt** zur **Entnahme** des **Werkstücks**.

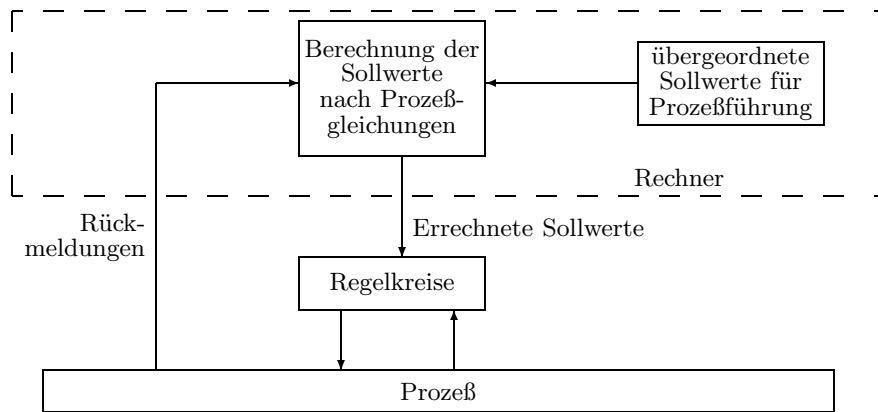
◆ Ansteuerung der Stellglieder

- Die **Geschwindigkeit** des **Verfahrmotors** (der die Spindel rotieren lässt) wird direkt vom gestarteten Festprogramm als **Sollwert** (0 bis 10 V) einem **Regler** übergeben.
- Die **Richtung** des Antriebs wird über **Digitalausgänge** und **Umkehrschütze** realisiert.
- Der **Weg** des Schlittens wird mit einem **Impulsgeber** verfolgt.
- Ein angestoßenes **Sprühprogramm** regelt den **Druck** des Sprühstoffs (für die Istwerterfassung ist im Sprührrohr ein Druckmessumformer eingebaut) und die **Position** des Sprühventils.
- Das **Sprühprogramm** gibt einen **Sollwert** (0 bis 10V) auf eine **Ventilansteuerbaugruppe**, die dann das entsprechende Stellsignal für das Sprühventil erzeugt.
- Auf gleiche Weise funktioniert die Absaugung.

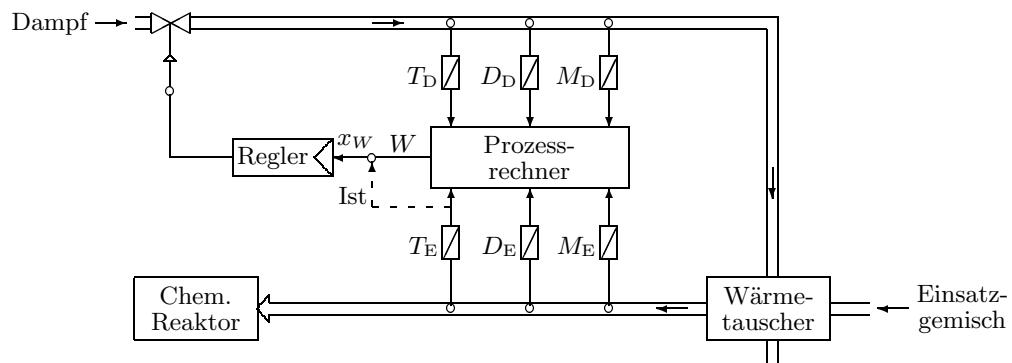
2 Führung nach Prozessgleichungen

- ◆ Bei der Führung nach Prozessgleichungen werden die **Sollwerte** (Führungsgrößen) für die entsprechenden Regelkreise durch den **Rechner** bestimmt.
- ◆ **Ziel:** einige ausgewählte Prozessausgangsgrößen auf vorgegebenen Werten zu halten.
- ◆ **Voraussetzung** dafür ist, dass diese **Prozessgrößen gemessen** werden können.
- ◆ Über **Prozessgleichungen** ermittelt der Rechner aufgrund der übergeordneten **Sollwerte** (Prozessanforderungen) und den **Rückmeldungen** aus dem Prozess, die **Sollwerte** für die **unterlagerten Regelkreise**

◆ Führung nach Prozessgleichungen



■ Beispiel: Chemischer Reaktor



- ◆ Dem chemischen Reaktor eines Kraftwerkes wird das **Einsatzgemisch**, unter Verwendung eines Rechners, in der richtigen **Menge** M_E mit dem richtigen **Druck** D_E und insbesondere der richtigen **Temperatur** T_E zugegeben.

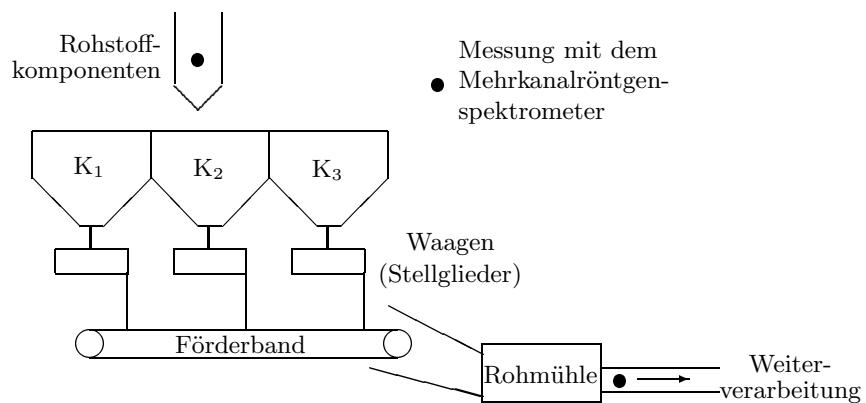
- ◆ Die **Istwerte** von Menge, Temperatur und Druck des **Einsatzgemisches** werden, direkt vor Eintritt in den Reaktor, **gemessen** und an den Prozessrechner **weitergeleitet**.
- ◆ Parallel dazu werden die **Istwerte** des **Dampfes**, der das Einsatzgemisch in einem Wärmetauscher erhitzen soll, erfasst.
- ◆ Der Rechner ermittelt daraus, aufgrund von eingespeicherten **Prozessgleichungen**, die **Sollwerte** W und die **Regelabweichung** x_W
- ◆ Diese wird an den **Regler** weitergeleitet, der daraufhin das **Ventil** für die **Dampfmenge** entsprechend einstellt.
- ◆ Durch das Verändern der **Dampfmenge** erfolgt ein ständiger Abgleich des Istwertes mit dem Sollwert für die **Temperatur** des **Einsatzgemisches**

■ Beispiel: Rohmehlaufbereitung bei der Zementherstellung

- ◆ Zur Herstellung von **Zement** benötigt man **Ausgangsrohstoffe** wie **Kalkstein**, **Mergel** und **Ton**.
- ◆ Diese werden **gemahlen** und als **Rohmehl** mit festgelegten Mischungs-spezifikationen in einem **Brennprozess** zum sogenannten **Klinker** gesintert.
- ◆ Das **Mischungsverhältnis** der **Grundstoffe** (Ca, Fe, Al, Si) im **Rohmehl** ist entscheidend für die **Qualität** des Klinkers und des Endprodukts, dem Zement.
- ◆ **Aufgabe** des Führungsprogramms ist es, die **gleichmäßige chemische Zusammensetzung** des Rohmehls sicherzustellen.

- ◆ Der Istwert, die chemische **Zusammensetzung** des **Rohmehls**, wird mit einem **Mehrkanal-Röntgenspektrometer** (MRS), erfasst.
- ◆ Ebenso die **Zusammensetzung** der **Rohstoffkomponenten**.
- ◆ Daraus bestimmt der Rechner die **Stellgrößen** für die **Waagen** der Rohstoffkomponenten.
- ◆ Für diese Berechnungen **benötigt** der **Rechner** die mathematischen Zusammenhänge der einzelnen Parameter, die **Prozessgleichungen**.

◆ Rohmehlaufbereitung bei der Zementherstellung



◆ Herleitung der **Prozessgleichungen**:

- **Rohmehl** besteht aus n **Rohstoffkomponenten** (Kalkstein, Ton, ...)
- **Rohstoffkomponenten** bestehen aus m **Grundstoffen** (Ca, Fe, Al, Si, ...)

Der Grundstoff g ($1 \leq g \leq m$) ist im Rohstoff s ($1 \leq s \leq n$) in der *Konzentration* k_{gs} enthalten.

Der *Gewichtsanteil* des Rohstoffs s im Rohmehl beträgt:
 w_s ($1 \leq s \leq n$), das ist die *zu ermittelnde Waageneinstellung*.
Der Grundstoff g ist im Rohmehl in der *Konzentration* r_g ($1 \leq g \leq m$) enthalten (r_g ist der geforderte *Sollwert*).

- Die **Konzentration** eines **Grundstoffes** g im **Rohmehl** mit n Rohstoffkomponenten errechnet sich aus der **Summe** der Gewichtsanteile der einzelnen **Rohstoffkomponenten** w_s die jeweils mit den zugehörigen **Konzentrationen** k_{gs} **multipliziert** werden:

$$r_g = \sum_{s=1} w_s k_{gs} \quad \text{mit } (1 \leq g \leq m);$$

d.h. man hat folgendes Gleichungssystem:

$$r_1 = w_1 k_{11} + w_2 k_{12} + \dots + w_n k_{1n}$$

⋮

$$r_m = w_1 k_{m1} + w_2 k_{m2} + \dots + w_n k_{mn}$$

Die **Konzentration** k_{gs} des **Grundstoffes** g in der **Rohstoffkomponente** s wird mit dem **MRS** gemessen.

In Matrizenschreibweise erhält man:

$$\begin{aligned}\underline{r} &= \underline{K} \underline{w} && \text{oder} \\ \underline{w} &= \underline{K}^{-1} \underline{r} && \text{falls } \underline{K} \text{ invertierbar}\end{aligned}$$

mit

$$\begin{aligned}\underline{r}^T &= (r_1, \dots, r_m), \quad \underline{w}^T = (w_1, \dots, w_n) \\ \underline{K} &= \begin{pmatrix} K_{11} & \cdots & K_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ K_{m1} & \cdots & K_{mn} \end{pmatrix}\end{aligned}$$

- Die **Waageneinstellungen** w_s werden, unter Zuhilfenahme des **Gleichungssystems**, so bestimmt, dass -- auch bei unterschiedlichen Konzentrationen der einzelnen Grundstoffe in den Rohstoffkomponenten k_{gs} -- die **Gesamtkonzentration** der jeweiligen **Grundstoffe im Rohmehl** r_g konstant bleibt.

D.7 Optimierung

- Bei der Prozessoptimierung geht man noch einen Schritt weiter als bei der Prozessführung. Der Rechner hat hier die Aufgabe, die **optimalen Sollwerte** für die Prozessführung zu ermitteln. Hinsichtlich der Optimierung lassen sich **zwei Gruppen von Prozessen** unterscheiden:

- ◆ Prozesse mit ständig **gleichbleibenden** Produktionsprogrammen.
 - Diese können bereits bei der **Planung** optimiert werden (z.B. Wärmekraftwerke).
- ◆ Prozesse mit häufig **wechselnden** Produktionsprogrammen.
 - Diese müssen bei jedem Produktionswechsel optimiert werden (z.B. Transportsysteme, elektrische Netze). Die Optimierung muss hierbei schritthal tend mit dem **Prozessablauf** durchgeführt werden.

- Wichtig für die Optimierung ist die **Zielgröße**, die von der Art der Optimierungsaufgabe abhängt:
 - ◆ **Minimierung der Rohstoffkosten**, z.B. durch Ausnutzung zulässiger Toleranzen bei der Chargierung oder kontinuierlicher Mischung, bestmögliche Ausnutzung von preiswerten Rohstoffsorten.
 - ◆ **Minimierung der Betriebskosten** durch Ausnutzung der jeweils billigsten Anbieter oder Tarife.
 - ◆ **Minimierung des Verschnitts** bei der Aufteilung von Fertigungslosen in Auftragsabmessungen, indem alle möglichen Aufteilungen der Lose nach der günstigsten durchsucht werden.
 - ◆ **Minimierung der Fertigungszeit**, indem die Zugriffe auf Werksteile in ihrer Anzahl so klein wie möglich gehalten und alle benötigten Teile rechtzeitig angefordert werden.
 - ◆ **Minimierung der Umweltbelastung** durch Verringerung der Schadstoffaustritte und rechtzeitigen Prozessabbruch im Falle einer Störung.

- ◆ **Maximierung des Prozesswirkungsgrades** durch Auswahl der jeweils effektivsten Produktionseinheiten oder durch Wahl des günstigsten Betriebspunktes unter Ausnutzung eines erlaubten Spielraums für die Produktionsleistung.
- ◆ **Maximale Ausnutzung der Produktionskapazität** durch optimale Bearbeitungsfolge verschiedener Produktionsprogramme. Damit können bei neuen Anlagen Investitionskosten gespart oder die Kapazität bereits bestehender Anlagen durch Einsatz eines Rechners erhöht werden (z.B. Transportsysteme, Galvanikanlagen).
- ◆ **Maximierung der Produktqualität** durch rechtzeitige Prüfung von Substanzen (z.B. durch Analyseverfahren) und schnelle Reaktion bei veränderten Ausgangsbedingungen.
- ◆ **Optimierung der Lastverteilung** um z.B. eine gleichmäßige Ausnutzung von elektrischen Versorgungsnetzen zu gewährleisten und damit den Ausfall einzelner Netzteile durch Überlast zu vermeiden.

- Bei den verschiedenen **Optimierungsverfahren** handelt es sich um Methoden, mit deren Hilfe es möglich ist, diejenigen Werte der Einflussgrößen eines Prozesses zu finden, für die die Zielgrößen einen optimalen Wert annehmen.

- Für eine **Zielfunktion** $Z = f[x_1, x_2, \dots, x_n]$ sind die **Variablen** x_1 bis x_n so zu bestimmen, dass Z ein **Maximum** oder ein **Minimum** annimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bestimmte **Nebenbedingungen** $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ fest vorgegebene **Schranken** b_i nicht über- bzw. unterschreiten.

1 Lineare Optimierung

- Falls die Gleichungen für die Zielfunktion und die Nebenbedingungen einfache Linearkombinationen der Variablen x_i sind, spricht man von **linearer Optimierung** oder auch **linearer Programmierung**.

Ermittelt wird das Minimum oder Maximum einer Zielfunktion der Form $Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$, wobei die Variablen x_j endlich vielen *linearen Nebenbedingungen* (Restriktionen) $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j$ genügen müssen, mit a_{ij} bzw. c_j als bekannte Konstanten.

■ Beispiel:

Zu maximieren sei

$$Z = \frac{1}{2}x_1 + x_2$$

unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen

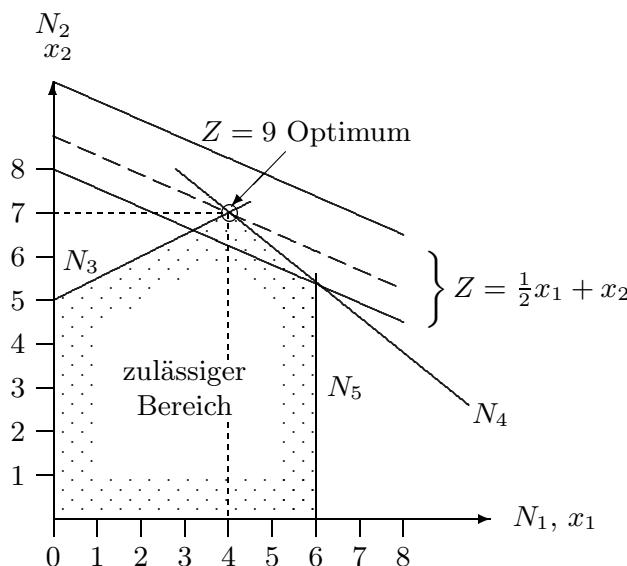
$$N_1: x_1 \geq 0$$

$$N_2: x_2 \geq 0$$

$$N_3: -\frac{1}{2}x_1 + x_2 \leq 5$$

$$N_4: x_1 + x_2 \leq 11$$

$$N_5: x_1 \leq 6$$



- ◆ Jede **Ungleichung** definiert eine **Halbebene**, in der jede Lösung der linearen Optimierungsaufgabe liegen muss.
- ◆ Da die Lösung der Optimierungsaufgabe **allen Nebenbedingungen** genügen muss, definiert das Gebiet der **Schnittmenge** all dieser Halbebenen die Menge aller möglichen Lösungen (zulässiger Bereich).
- ◆ Gefunden werden muss nun der Punkt aus der Schnittmenge, der die **Zielfunktion maximiert**.

■ Simplexmethode:

- ◆ Nur die **Eckpunkte** kommen als Lösungsmöglichkeiten in Betracht und nicht die Punkte im Inneren der Schnittmenge.
- ◆ Derjenige Eckpunkt, dessen Koordinaten ein **Maximum für Z** liefern, stellt die geforderte Lösung dar.
- ◆ Im Beispiel ergibt sich der Eckpunkt mit den Koordinaten (4,7) als Maximum für die Zielfunktion Z, die in diesem Punkt den Wert 9 als gesuchtes Optimum annimmt.

- Anwendungsbeispiele der Linearen Optimierung;
 - ◆ **Mischungsrechnungen**, z.B. das möglichst kostengünstigste Mischen von Benzinen und Zusätzen zu Treibstoffen in Raffinerien
 - ◆ **Transportprobleme**, z.B. die optimale Ausnutzung von Transportkapazitäten unter Minimierung der Kosten
 - ◆ **Lastverteilungsfragen**, z.B. bei der elektrischen Stromversorgung in Netzen
 - ◆ **Verschnittreduktion**, z.B. beim Zuschneiden von Tafelglas, so dass der Verschnitt minimal wird
 - ◆ **Kostenfragen**, z.B. die Minimierung der Kosten in einem Verbundnetz unter bestimmten Nebenbedingungen, wie feste Rechnerleistung.

2 Nichtlineare Optimierung

- ◆ Ist **mindestens eine** der in der Optimierungsaufgabe vorkommende **Funktion nichtlinear**, so heißt die Aufgabe nichtlinear.
- ◆ Beispiele für Verfahren zur nichtlinearen Optimierung:
 - Klassische Optimierungsverfahren:
 - **Lagrangemethode**
 - **Gradientenverfahren**
 - **Approximationsverfahren**, die das Problem so aufbereiten, dass der Simplexalgorithmus anwendbar wird.
 - **Stochastische Suchverfahren** (lassen sich auch zur linearen Optimierung anwenden)

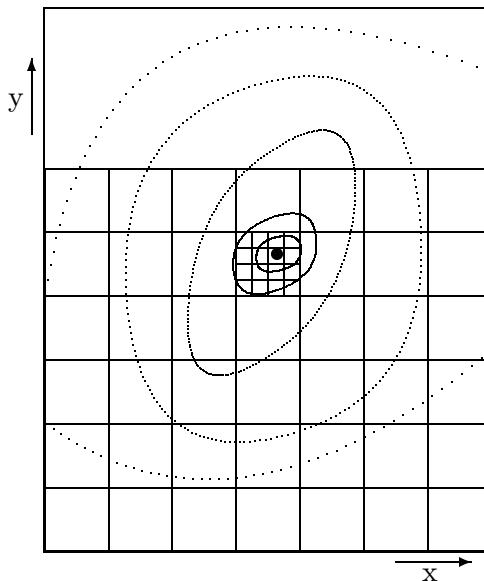
3 Stochastische Suchverfahren

- ◆ Auch **Probierverfahren** oder "Trial and Error"
- ◆ Die **Zielgröße** wird **probeweise** für eine Reihe von Wertekombinationen ermittelt.
- ◆ Nach Vorliegen einiger Funktionswerte, werden --- je nach Verfahren mehr oder weniger zufällig --- diejenigen Kombinationen von Variablen ausgewählt, welche einen **Höchst-** bzw. **Minimalwert** für die **Zielgröße** ergaben.
- ◆ Diese **Verfahren eignen** sich besonders dann, wenn die vorliegenden Zielfunktionen **nicht analytisch behandelbar** sind oder die Zielfunktion sehr **kompliziert** (z.B. nichtlinear) ist.

■ Suche ohne System, Zufallssuche

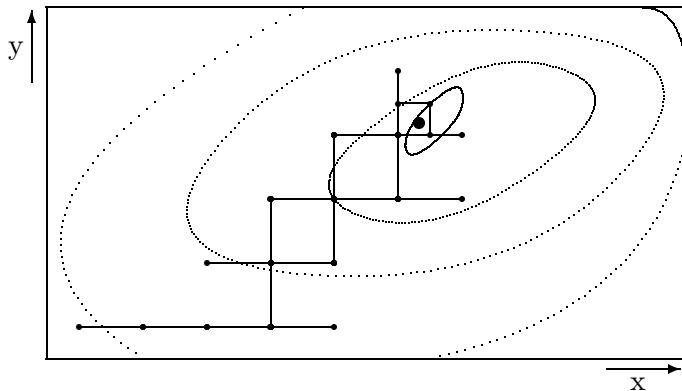
- ◆ Es werden hierbei in dem Gebiet, in dem die Zielgröße zu finden ist, (möglichst viele) **zufällige Wertekombinationen** herausgegriffen.
- ◆ Für diese Wertekombinationen werden die **Werte** für die **Zielgröße** ermittelt.
- ◆ Ausgewählt wird dann die Kombination, für die die **Zielgröße** den **optimalen Wert** hat.
- ◆ **Kaum angewendet**, da Rechen- und Speicheraufwand zu groß.

■ Faktorielle Methode:



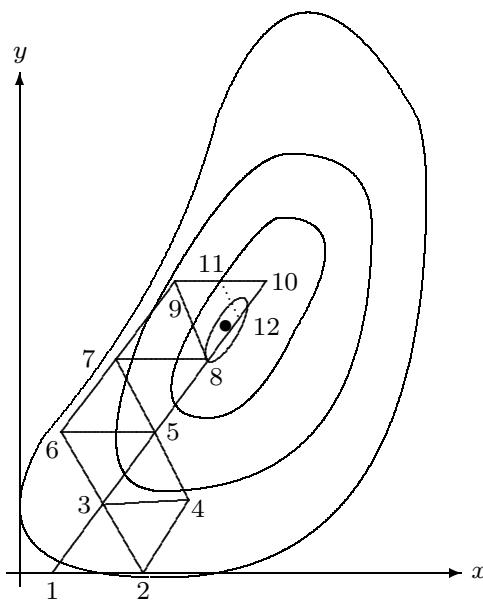
- ◆ Über das zu betrachtende Gebiet wird ein **Raster** (Netz) von Linien gelegt, das sich aus durchgerechneten Variablenkombinationen ergibt.
- ◆ Für die **Schnittpunkte** werden die Werte für die Zielgröße ermittelt
- ◆ Ausgewählt wird dann der **Schnittpunkt**, für den die Zielgröße den **optimalen** Wert hat.
- ◆ Das **Teilgebiet**, in dem das Optimum liegt, wird dann auf die gleiche Weise mit einem Netz überspannt und erneut nach dem Bereich, in dem das Optimum liegt, durchsucht.
- ◆ Wesentlich **effektiver** als Zufallssuche.

■ Ein-Faktor-Methode



- ◆ Der Wert der Zielgröße wird zunächst nur in Abhängigkeit von **einer Einflussgröße** (Faktor) ermittelt.
- ◆ Man erhält für diese einen **bedingten Optimalwert**.
- ◆ Nachfolgend wird dann **ein Faktor nach dem anderen** behandelt.
- ◆ Diese Berechnung muss bei fortlaufender Verbesserung der bedingten Optimalwerte solange fortgesetzt werden, bis der Verbesserungsschritt kleiner als eine vorgegebene Schranke geworden ist.
- ◆ Nur bei einer relativ **geringen Anzahl von Einflussgrößen** lässt sich dieses Verfahren **sinnvoll** einsetzen.

■ Simplexmethode



- ◆ Nicht mit dem Simplexalgorithmus von Dantzig zur Lösung linearer Optimierungsprobleme zu verwechseln.
- ◆ Zu Beginn der Suche werden $n+1$ Punkte im n -dimensionalen Raum so festgelegt, dass sie die Ecken eines regulären **Simplex** (Startsimplex) bilden.
- ◆ Im zweidimensionalen Raum entspricht ein regulärer **Simplex** einem gleichseitigen **Dreieck**.
- ◆ Für diese $n+1$ Startsimplexpunkte wird jeweils der Wert der **Zielfunktion** ermittelt.
- ◆ Anschließend wird mit der Suche nach dem Optimum begonnen.
- ◆ Der **schlechteste Wert** der $n+1$ Punkte wird am Schwerpunkt der verbleibenden Ecken **gespiegelt**.

- ◆ Dies ergibt einen **neuen** Punkt, der den **alten ersetzt**.
- ◆ Ergeben sich nach m Spiegelversuchen **nur schlechtere Punkte**, so hat sich der Simplex um den besten Punkt gedreht und befindet sich nun wieder in der **gleichen Position** wie vor den m Spiegelungen.
- ◆ Da sich der Simplex dann entweder in einer sehr **engen Schlucht** oder in der **Nähe des Optimums** befindet, wird er verkleinert, in dem die Abstände **halbiert** werden.

4 Gradientenverfahren

- ◆ Die verschiedenen Gradientenverfahren machen alle Gebrauch von der Tatsache, dass der **Gradient in Richtung des steilsten Anstiegs** bzw. der negative Gradient in Richtung des steilsten Abstiegs von Z zeigt.
- ◆ Diese Verfahren benutzen die Größe und das Vorzeichen der Gradienten der entsprechenden Zielgrößen um ---ausgehend von einer bestimmten Basis --- durch **schrittweise** Verbesserung der Betriebsparameter in **Richtung des jeweiligen Gradienten** zum Optimum zu kommen.
- ◆ Die einzelnen **Verbesserungsschritte** V werden nach folgender Rechenvorschrift durchgeführt:

$$V_{K+1} = V_K + \sigma \nabla Z.$$

Dabei bedeutet K die Anzahl der Verbesserungsschritte, σ die Schrittweite und nabla ∇Z den Gradienten der Zielgröße.

◆ Die **Unterschiede** der einzelnen Verfahren der Gradientenmethode liegen in der Wahl der **Schrittweite** σ und des **Richtungsvektors** ∇Z :

- Bei der Methode des **optimalen Gradienten** wird die anfangs eingeschlagene Richtung so lange beibehalten, bis die Zielgröße nicht mehr zunimmt. Erst dann wird eine neue optimale Gradientenrichtung berechnet.
- Bei der Methode des **steilsten Anstiegs** wird nach jedem Rechenschritt eine neue Gradientenrichtung berechnet, so dass man dadurch auf kurzen Weg zum Optimum kommt.

◆ Um Gradientenverfahren zur Optimierung von Zielgrößen anwenden zu können, müssen eine Reihe von **Voraussetzungen** erfüllt sein:

- Der zu optimierende Prozess muss mittels **Gleichungen** beschreibbar sein.
- Die Zielgröße muss **kontinuierlich** sein.
- Die Topologie des Systems muss **zeitlich konstant** sein.
- Es ist eine günstige Voraussetzung, wenn die Zielgröße im Optimum durch Berechnung der **zweiten Ableitung** genügend sicher bestimmt ist.
- Daraus ergibt sich, dass Gradientenverfahren vorwiegend bei **kontinuierlichen** Prozessen angewendet werden.

5 Diskrete (ganzzahlige) Optimierung

- ◆ Variablen x_i können nur feste, meist **ganzzahlige**, Werte annehmen.
 - Bei **Mischungsprobleme** können oft die Mischungskomponenten nur in bestimmten Portionen zugesetzt werden.
 - Bei **Kapazitätsauslastungen** können oft von vorhandenen Kapazitäten nicht beliebige Anteile genutzt werden.

- ◆ Bekannte **Lösungsverfahren** hierfür sind:
 - **Schnittebenenverfahren**
 - **kombinatorische** Verfahren, z.B. Branch-and-Bound
 - **stochastische** Suchverfahren (s.o.)

6 Dynamische Programmierung

- ◆ Für **komplizierte** lineare und **nichtlineare** Optimierungsprobleme
- ◆ Meist **viele** Parameter
- ◆ **Prinzip:** Ein n-stufiger Entscheidungsprozess wird auf n einstufige Entscheidungsprozesse zurückgeführt.