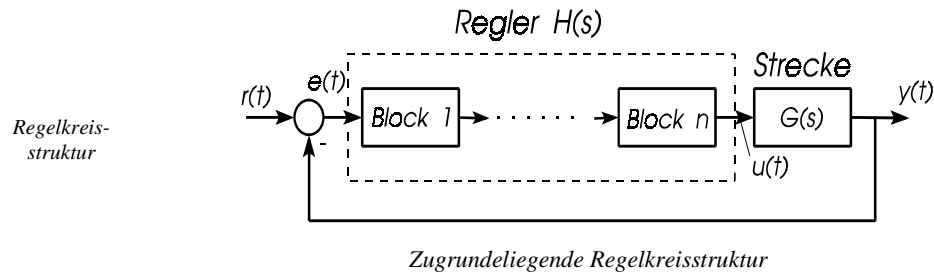


Entwurf linearer Regelkreise mit RESY

Leistungsumfang	5.2
Programmooptionen	5.5
Dateiformat	5.5
Bildschirmaufbau	5.6
Konfigurierung des Regelkreises	5.8
Speichern von Ergebnissen	5.10
Programmkonstanten	5.11
Anwendungsbeispiel	5.11

Leistungsumfang

RESY ermöglicht die Analyse, Synthese und Simulation linearer einschleifiger Regelkreise der folgenden Struktur:



Die Regelstrecke muss in Form einer Übertragungsfunktion $G(s)$ vorliegen. Der Regler kann schrittweise aus linearen Standardkomponenten aufgebaut werden. Zur Verfügung stehen:

- P-, I-, PI-, PD- und PID-Komponenten der allgemeinen Form

$$H_i(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_N s} + \frac{T_V s}{1 + T_{Vz} s} \right)$$

- Lead-Lag-Glieder der Form

$$H_{i,\text{Lead}}(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_i}}{1 + \frac{s}{m\omega_i}} \quad \text{bzw.} \quad H_{i,\text{Lag}}(s) = \frac{1 + \frac{s}{m\omega_i}}{1 + \frac{s}{\omega_i}}$$

- Allgemeine gebrochen rationale Übertragungsfunktionen mit Totzeit der Form

$$H_i(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} e^{-Ts}$$

RESY ermittelt daraus

- die Gesamtübertragungsfunktion $H(s)$ des Reglers,
- die Übertragungsfunktion $L(s) = G(s)H(s)$ des offenen Regelkreises,
- die Übertragungsfunktion $T(s) = L(s) / (1 + L(s))$ des geschlossenen Regelkreises,
- die zugehörigen Frequenzgänge $G(j\omega)$, $H(j\omega)$, $L(j\omega)$, $T(j\omega)$

und im Zeitbereich für eine sprungförmige Führungsgröße $r(t)$ den Verlauf

- der Regelabweichung $e(t)$,
- der Stellgröße $u(t)$,
- der Regelgröße $y_T(t)$

sowie die Sprungantwort $y_G(t)$ der Regelstrecke selbst.

Kennwerte

Sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich können charakteristische Kenngrößen ermittelt werden, die einen Anhaltspunkt für das dynamische Verhalten des Systems darstellen. Dies sind im Zeitbereich:

- Die Überschwingweite M_p der Regelgröße. Sie entspricht dem erreichten Maximalwert der Regelgröße während des Ausregelvorgangs.
- Die Ausregelzeit T_a bezogen auf einen 10%-Fehlerrand um den stationären Endwert der Regelgröße. Sie ist ein Maß für die Schnelligkeit des Ausregelvorgangs.
- Die bleibende Regelabweichung $e(t \rightarrow \infty)$.
- Der maximale Stellgrößenbedarf u_{\max} . Er entspricht dem Maximalwert des Betrags der Stellgröße $u(t)$ während des Ausregelvorgangs.

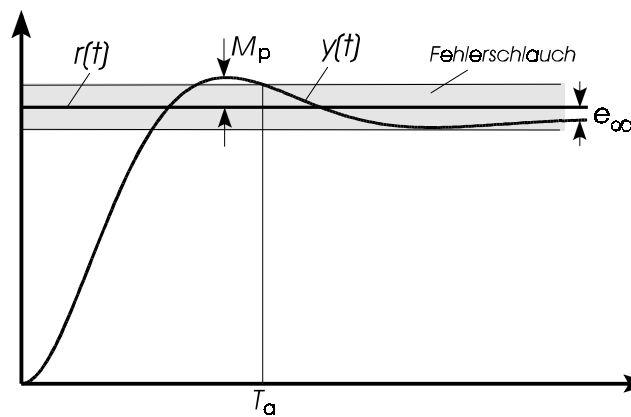
Im Frequenzbereich für den offenen Kreis:

- Die Durchtrittsfrequenz ω_c , d. h. diejenige Frequenz, an der die Betragskennlinie die 0 dB-Linie schneidet.
- Die Phasenreserve Φ_r , die den Abstand der Phasenkennlinie von der -180° -Linie bei der Durchtrittsfrequenz darstellt. Sie ist ein Maß für das Schwing- bzw. Stabilitätsverhalten des geschlossenen Regelkreises.
- Der Amplitudenrand (Stabilitätsgrenze) A_r , der den negativen Betrag des offenen Kreises an der Stelle angibt, an der die Phasenkennlinie die -180° -Linie schneidet.

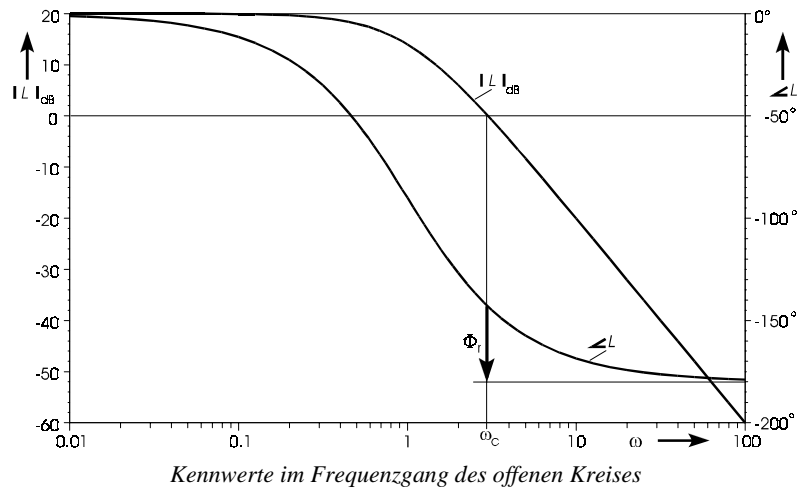
Für den geschlossenen Kreis:

- Die Bandbreite ω_b , die die Frequenz angibt, bei der die Betragskennlinie des geschlossenen Kreises die -3 dB-Linie schneidet.
- Die Resonanzüberhöhung M_m , d. h. der Maximalwert der Betragskennlinie des geschlossenen Kreises.

Der Frequenzgang kann wahlweise in Form des Bode-Diagramms oder der Nyquist-Ortskurve dargestellt werden. Die nachfolgenden Bilder verdeutlichen die Bedeutung einiger der angesprochenen Gütemaße (siehe auch [6, 7]).



Gütekriterien im Zeitbereich



Programmoptionen

Dateiformat

RESY-Datensätze werden in Dateien vom Typ UFK abgespeichert. Sie unterscheiden sich vom Standard-UFK-Dateityp dadurch, dass nach der Übertragungsfunktion $G(s)$ der Regelstrecke, die sich am Anfang der Datei befindet, zusätzlich alle Reglerblöcke abgespeichert werden. Jeder Reglerblock besteht aus seinem Bezeichner (z. B. LEAD) und den zugehörigen Blockparametern (z. B. m und ω_i).

```

0
2
7.120000000000000E-0001
7.120000000000000E-0001
4.270000000000000E+0000
1.000000000000000E+0000
0.00
PI
5.000000000000000E+0000
1.100000000000000E+0000

```

Beispiel für eine RESY-Eingabedatei mit Regelstrecke und PI-Regler

Bildschirmaufbau



Nachfolgendes Bild zeigt ein typisches Hauptfenster während der Arbeit mit RESY. Der Darstellungsmodus des Regelkreisverhaltens kann über die Menüoption *Anzeige* mit der entsprechenden Unteroption bzw. des entsprechenden Tastenkürzels oder die Toolbar gewählt werden. Mögliche Optionen sind

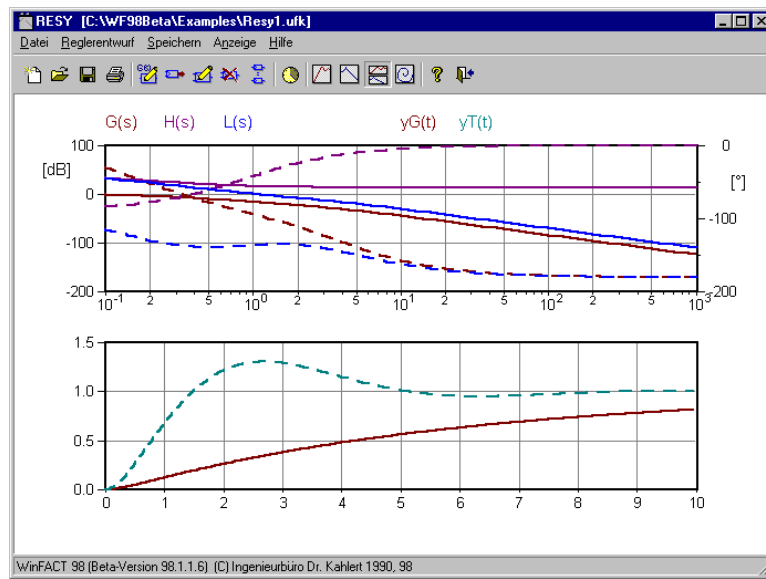
- Vollbild-Anzeige im Zeitbereich,
- Vollbild-Anzeige im Frequenzbereich als Bode-Diagramm oder Nyquist-Ortkurve,
- gleichzeitige Anzeige von Zeitverhalten und Bode-Diagramm (voreingestellt).

Die Auswahl der darzustellenden Frequenzgänge bzw. Zeitverläufe erfolgt über die Menüfolge **ANZEIGE | OPTIONEN** bzw. die Toolbar. Standardmäßig werden angezeigt

- im Frequenzbereich $G(s)$, $H(s)$ und $L(s)$,
- im Zeitbereich die Sprungantwort $y_G(t)$ der Regelstrecke sowie die Sprungantwort $y_T(t)$ des geschlossenen Regelkreises.

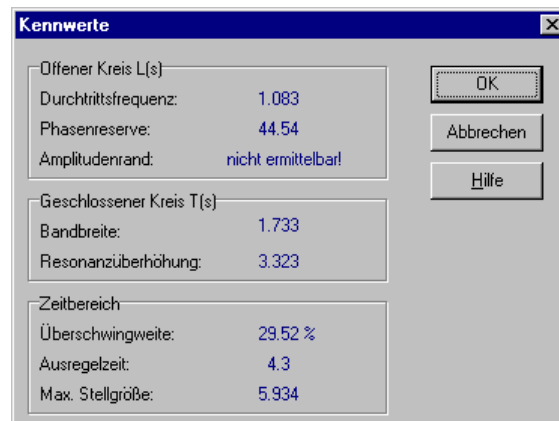
Im Anzeigemodus *Nyquist-Ortskurve* wird lediglich $L(s)$ angezeigt.

Die Skalierung der Koordinatenachsen kann über die Menüfolge **DATEI | FREQUENZBEREICH** bzw. **DATEI | SIMULATIONSPARAMETER** beeinflusst werden.



Hauptfenster des Programms (hier mit Anzeige von Zeit- und Frequenzbereich)

Die aktuellen Kennwerte im Zeit- und Frequenzbereich werden über die Menüfolge REGLERENTWURF | KENNWERTE abgerufen. Sie werden dann in einem entsprechenden Dialogfenster angezeigt. Ist ein Kennwert nicht ermittelbar, so wird ein entsprechender Hinweis ausgegeben.



Ausgabe der Kennwerte

Konfigurierung des Regelkreises



Zur Konfigurierung des Regelkreises ist zunächst die Regelstrecke zu definieren bzw. aus einer Datei vom Typ UFK zu lesen. Die manuelle Eingabe bzw. Modifikation ist über die Menüfolge DATEI | REGELSTRECKE BEARBEITEN bzw. die Toolbar möglich. Man gelangt auf diese Weise in den nachfolgend dargestellten Eingabedialog. Über diesen Eingabedialog kann die Regelstrecke auch aus der Zwischenablage geholt werden (oberste Schaltfläche) bzw. in ihr abgelegt werden. Einzelheiten zum Eingabedialog entnehme man der Beschreibung zum Modul LISA.

The dialog box 'Übertragungsfunktion' is used for configuring the transfer function. It includes the following sections:

- Zähler (Numerator):** Grad: 0, Reset button, coefficients b(0) to b(4).
- Nenner (Denominator):** Grad: 2, Reset button, coefficients a(0) to a(4).
- Zählerterm (Numerator term):** Grad: 0, Hinzufügen button, coefficients c(0) to c(2).
- Nennerterm (Denominator term):** Grad: 0, Hinzufügen button, coefficients d(0) to d(2).
- Totzeit (Dead time):** Totzeit: 0.
- Buttons:** UFK-Datei öffnen..., UFK-Datei speichern..., << Zwischenablage, >> Zwischenablage, Projekt-Info..., OK, Abbrechen, Hilfe.

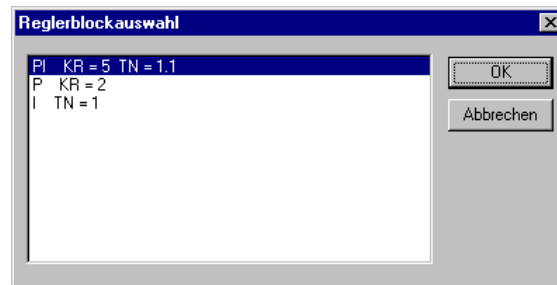
Eingabedialog für Regelstrecke

Nach Festlegung der Regelstrecke kann der Regler schrittweise aufgebaut werden. Dazu stehen im Menü REGLERENTWURF bzw. in der Toolbar folgende Optionen zur Verfügung:

- Einfügen von Reglerblöcken,
- Löschen von Reglerblöcken,
- Modifizieren bereits vorhandener Blöcke,

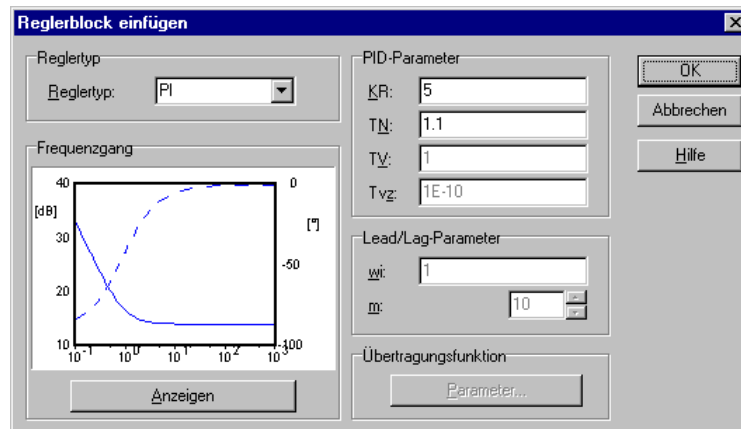
- Auflisten aller vorhandenen Blöcke.

Die Auswahl des jeweiligen Reglerblocks bei den Optionen *Löschen* und *Modifizieren* wird über eine Liste vorgenommen.



Anwahl bereits vorhandener Reglerblöcke über eine Listbox

Nachfolgendes Bild zeigt den zentralen Eingabedialog für die Konfigurierung von Reglerblöcken.



Zentraler Eingabedialog für die Konfigurierung von Reglerblöcken

Der Dialog enthält:


- Ein Gruppenfeld zur Festlegung des *Reglertyps* (linker Rand des Dialogfensters)
- Editierfelder zur Eingabe der *Reglerparameter* (Mitte des Dialogfensters)

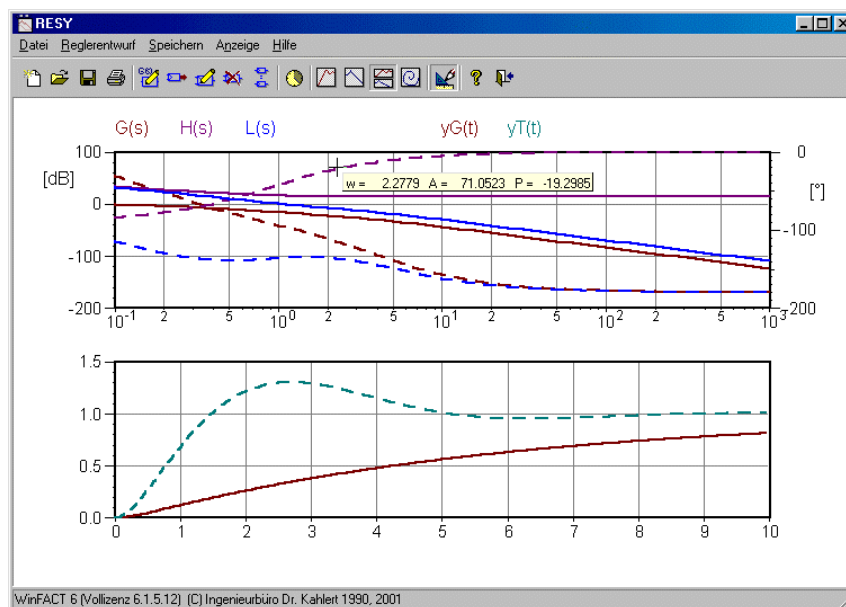
- Ein Anzeigefenster für den *Frequenzgang* des konfigurierten Reglerblocks

Die Schaltfläche *Parametereingabe* dient zur Festlegung von beliebigen Regler-Übertragungsfunktionen. Sie ist bei anderen Reglertypen nicht anwählbar. Bevor der entsprechende Reglerblock in den Regelkreis übernommen wird, kann der Frequenzgang des Blocks über die Schaltfläche *Anzeigen* berechnet und angezeigt werden. Die Betragskennlinie wird in diesem Fall als durchgezogene Kurve, die Phasenkennlinie gestrichelt dargestellt.

Messmodus



Über die Option ANZEIGE | MESSMODUS AKTIVIEREN oder die Schaltfläche  kann der Messmodus aktiviert werden. Ist dieser aktiv, wird beim Bewegen des Mauszeigers innerhalb des Koordinatensystem ständig ein kleines Hinweisfenster (Tooltip) angezeigt, das die Koordinaten an der aktuellen Position des Mauszeigers enthält.



Programmfenster bei aktiviertem Messmodus

Speichern von Ergebnissen

Über das Menü **SPEICHERN** ist ein Abspeichern sämtlicher Ergebnisse in entsprechenden Dateien möglich. Es können gespeichert werden

- die Übertragungsfunktionen $H(s)$, $L(s)$ und $T(s)$ in Dateien vom Typ UFK,
- die Zeitverläufe $y_G(t)$ und $y_T(t)$ in Dateien vom Typ SIM,
- die Frequenzgänge $H(j\omega)$, $G(j\omega)$, $L(j\omega)$ und $T(j\omega)$ in Dateien vom Typ BD oder OK, abhängig vom aktuellen Anzeigemodus.

Programmkonstanten

Maximale Ordnung des offenen Kreises:	20
Maximale Anzahl an Reglerblöcken:	20
Maximale Anzahl an Simulationsschritten:	unbegrenzt

Anwendungsbeispiel

Für die Regelstrecke mit der Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{0.712}{s^2 + 4.27s + 0.712}$$

ist ein PI-Regler zu entwerfen, der für den Frequenzgang $L(j\omega)$ die folgenden Spezifikationen erfüllt:

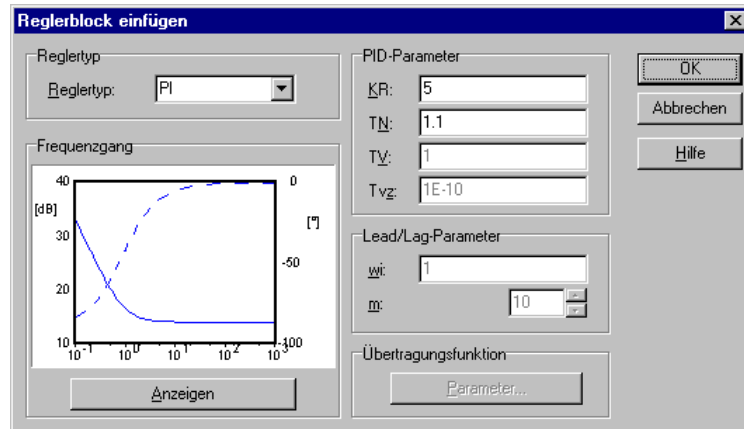
- Die Durchtrittsfrequenz soll $\omega_c \approx 1$ betragen.
- Die Phasenreserve soll $\Phi_r \approx 45^\circ$ betragen.

Der Entwurf liefert für den resultierenden Regler die Parameter

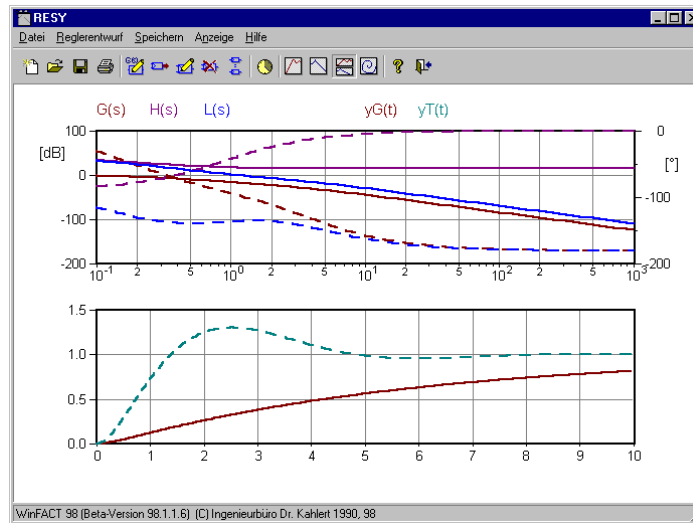
$$K_R = 5, \quad T_N = 1.1$$



Die nachfolgenden Bilder zeigen die Konfiguration des Reglers sowie das Hauptfenster des Programms nach Konfiguration des Reglers. Die Kennwertmittlung liefert eine Überschwingweite von ungefähr 30% und eine Ausregelzeit von 4.3 bei einer maximalen Stellgröße von 5.9. Das Beispiel befindet sich unter dem Namen RESY1.UFK im Beispiel-Verzeichnis.



Konfigurierung des PI-Reglers



Entwurf eines PI-Reglers für Strecke 2. Ordnung

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled 'Kennwerte'. It contains three sections of parameters:

- Offener Kreis L(s)**
 - Durchtrittsfrequenz: 1.083
 - Phasenreserve: 44.54
 - Amplitudenrand: nicht ermittelbar!
- Geschlossener Kreis T(s)**
 - Bandbreite: 1.733
 - Resonanzüberhöhung: 3.323
- Zeitbereich**
 - Überschwingweite: 29.52 %
 - Ausregelzeit: 4.3
 - Max. Stellgröße: 5.934

On the right side of the dialog, there are three buttons: 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Zugehörige Kennwerte