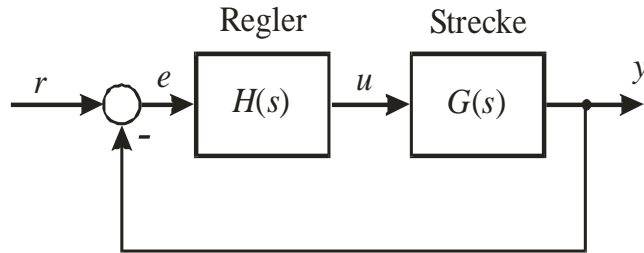


# Entwurf linearer Regelkreise mit RESY

<b>Leistungsumfang</b>	<b>2</b>
<b>Programmooptionen</b>	<b>6</b>
Dateiformat	6
Bildschirm Aufbau	6
Konfigurierung des Regelkreises	8
Messmodus	10
Speichern von Ergebnissen	10
Programmkonstanten	11
<b>Anwendungsbeispiel</b>	<b>11</b>

## Leistungsumfang

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



Regelkreis-  
struktur

*Zugrundeliegende Regelkreisstruktur*

Regler und Regelstrecke können schrittweise aus linearen Standardkomponenten aufgebaut werden. Zur Verfügung stehen die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Glieder.



Typ	Übertragungsfunktion $H_i(s)$ bzw. $G_i(s)$	Anmerkung
P	$K_P$	
P-T1	$\frac{K_P}{1 + T_1 s}$	nur Strecke
P-T2	$\frac{K_P}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$	nur Strecke
P-T3	$\frac{K_P}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(1 + T_3 s)}$	nur Strecke

P-T2S	$\frac{K_P}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + \frac{2D}{\omega_0}s + 1}$	nur Strecke
I	$\frac{K_I}{s}$	
I-T1	$\frac{K_I}{s(1+T_1s)}$	nur Strecke
P-Tt	$K_P e^{-T_t s}$	nur Strecke
D-T1	$\frac{T_D s}{1+T_1 s}$	nur Strecke
LEAD/LAG	$K_P \frac{1+T_1 s}{1+T_2 s}$	
TransFct	$\frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} e^{-T_t s}$	
PDT1	$K_P \left(1 + \frac{T_V s}{1+T_1 s}\right)$	nur Regler
PI	$K_P \left(1 + \frac{1}{T_N s}\right)$	nur Regler
PIDT1	$K_P \left(1 + \frac{1}{T_N s} + \frac{T_V s}{1+T_1 s}\right)$	nur Regler

RESY ermittelt daraus

- die Gesamtübertragungsfunktion  $H(s)$  des Reglers,

- die Gesamtübertragungsfunktion  $G(s)$  der Strecke,
- 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.

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:

#### Kennwerte

- Die Überschwingweite  $M_p$  der Regelgröße. Sie entspricht dem erreichten Maximalwert der Regelgröße während des Ausregelvorgangs.
- Die Ausregelzeit  $T_a$  bezogen auf einen 10%-Fehlerschlauch 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  $\omega_c$ , d. h. diejenige Frequenz, an der die Betragskennlinie die 0 dB-Linie schneidet.
- Die Phasenreserve  $\Phi_r$ , die den Abstand der Phasenkennlinie von der -180°-Linie bei der Durchtrittsfrequenz darstellt. Sie ist ein Maß

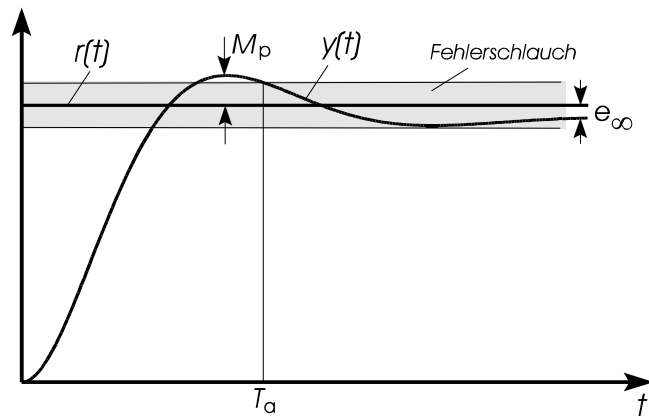
für das Schwing- bzw. Stabilitätsverhalten des geschlossenen Regelkreises.

- Der Amplitudenrand (Stabilitätsgrenze)  $A_r$ , der den negativen Betrag des offenen Kreises an der Stelle angibt, an der die Phasenkennlinie die  $-180^\circ$ -Linie schneidet.

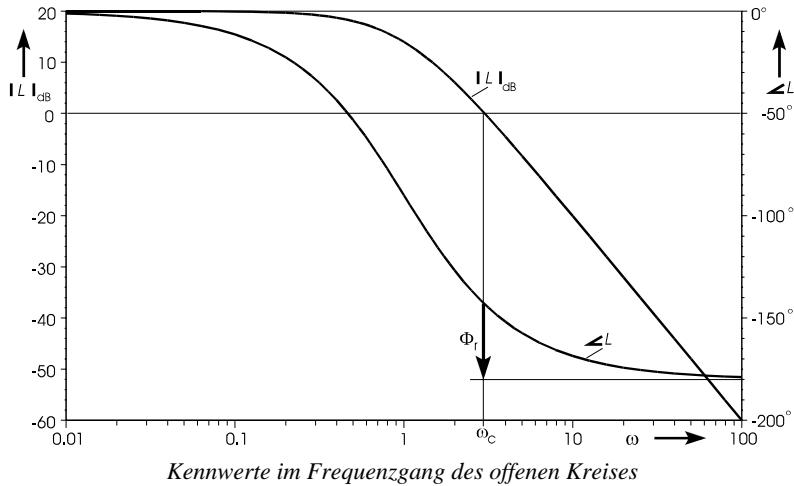
Für den geschlossenen Kreis:

- Die Bandbreite  $\omega_b$ , 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



**Hinweis:** Sofern der offene Regelkreis eine Totzeit ausweist, wird diese im Frequenzgang des geschlossenen Regelkreises *nicht* berücksichtigt.

---

## Programmooptionen

### Dateiformat

RESY-Datensätze werden in Dateien vom Typ SCL (*Standard Control Loop*) abgespeichert. Mit älteren Versionen erstellte Dateien, die noch die Extension UFK aufweisen, können jedoch eingelesen und umgewandelt werden.

### Bildschirmaufbau

Nachfolgendes Bild zeigt ein typisches Hauptfenster während der Arbeit mit RESY. Der Darstellungsmodus des Regelkreisverhaltens kann über die Menü-


option *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).

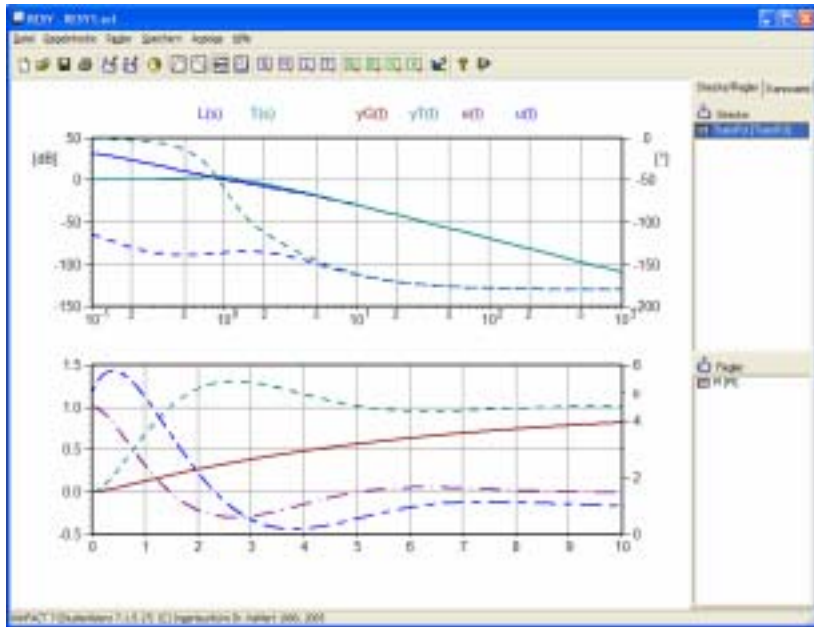
Die Auswahl der darzustellenden Frequenzgänge bzw. Zeitverläufe erfolgt über die Menüfolge ANZEIGE | OPTIONEN bzw. die Toolbar. Standardmäßig werden angezeigt

- 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. Über die Schaltfläche  kann in dieser Darstellungsart erzwungen werden, dass der Einheitskreis unabhängig von der Bildschirmauflösung und der aktuellen Fenstergröße immer tatsächlich kreisförmig dargestellt wird.


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



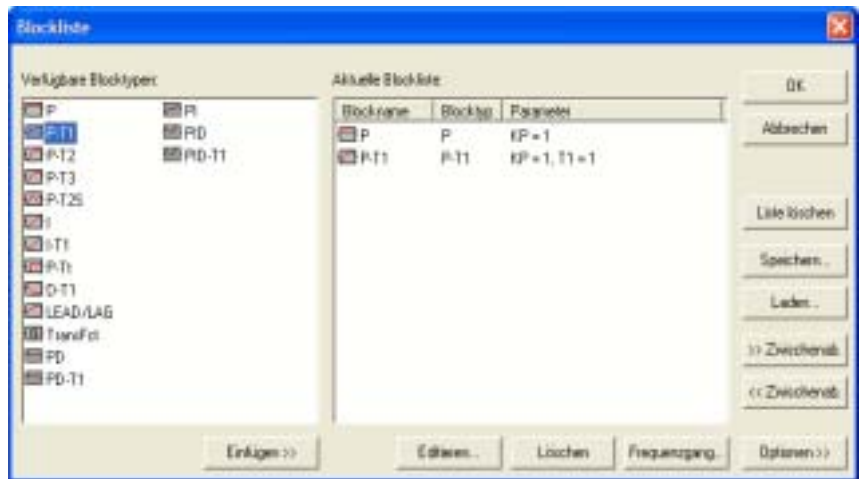
Hauptfenster des Programms (hier mit Anzeige von Zeit- und Frequenzbereich)

Am rechten Fensterrand befindet sich ein Anzeigebereich, der die beiden Paletten *Strecke/Regler* bzw. *Kennwerte* aufweist. Ersterer stellt jeweils die aktuelle Regler-/Streckenkombination dar, während die Palette *Kennwerte* die charakteristischen Kennwerte des aktuellen Regelkreises anzeigt.

## Konfigurierung des Regelkreises

Zur Konfigurierung des Regelkreises ist zunächst die Regelstrecke festzulegen. Zu diesem Zweck dient die Menüoption **REGELSTRECKE | REGELSTRECKE BEARBEITEN...** bzw. die Schaltfläche  der Toolbar. Es erscheint daraufhin der nachfolgend dargestellte Blocklisten-Dialog.






*Eingabedialog für Regelstrecke*

Im linken Dialogteil sind alle zur Verfügung stehenden Blocktypen aufgelistet; ein Block kann jeweils durch Doppelklick oder Anwahl des Blocktyps und Betätigen der Schaltfläche *Einfügen >>* in die Blockliste übernommen werden. Im rechten Teil des Dialogs werden alle in der aktuellen Blockliste geführten Blöcke mit ihrem Namen, dem Blocktyp und den Blockparametern aufgeführt. Durch Doppelklick auf einen Block innerhalb dieser Liste kann der Block bearbeitet werden (siehe nachfolgende Bildschirmgrafik). Über die Schaltfläche *Frequenzgang* kann das Bode-Diagramm des ausgewählten Blocks angezeigt werden. Die Schaltflächen am rechten Dialogrand erlauben u. a. das Laden und Speichern von Blocklisten in einer Blocklisten-Datei (Extension BL) oder der Windows-Zwischenablage.




*Beispiel: Dialog zur Bearbeitung eines P-T1-Blocks*

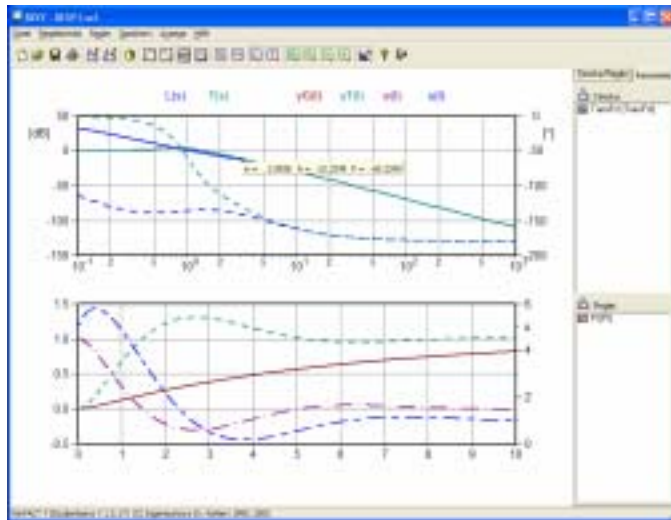
Die Konfigurierung des Reglers erfolgt in völlig analoger Weise über die Menüoption **REGLER | REGLER BEARBEITEN...** bzw. die Schaltfläche . Regler

und Strecke werden anschließend in zwei Listenfensters a rechten Rand des RESY-Hauptfensters angezeigt; einzelne Blöcke können dann auch direkt innerhalb dieser Liste durch Doppelklick mit der linken oder Anklicken mit der rechten Maustaste bearbeitet werden.

**Hinweis:** Solange nicht mindestens ein Reglerblock eingefügt wurde, wird der Regler programmintern als P-Regler mit einer Verstärkung von 1 angesetzt.

## 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 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.

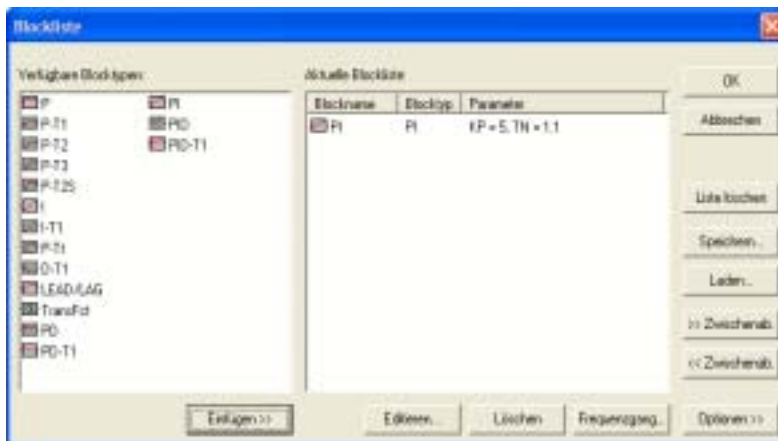
Der Entwurf liefert für den resultierenden Regler die Parameter

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

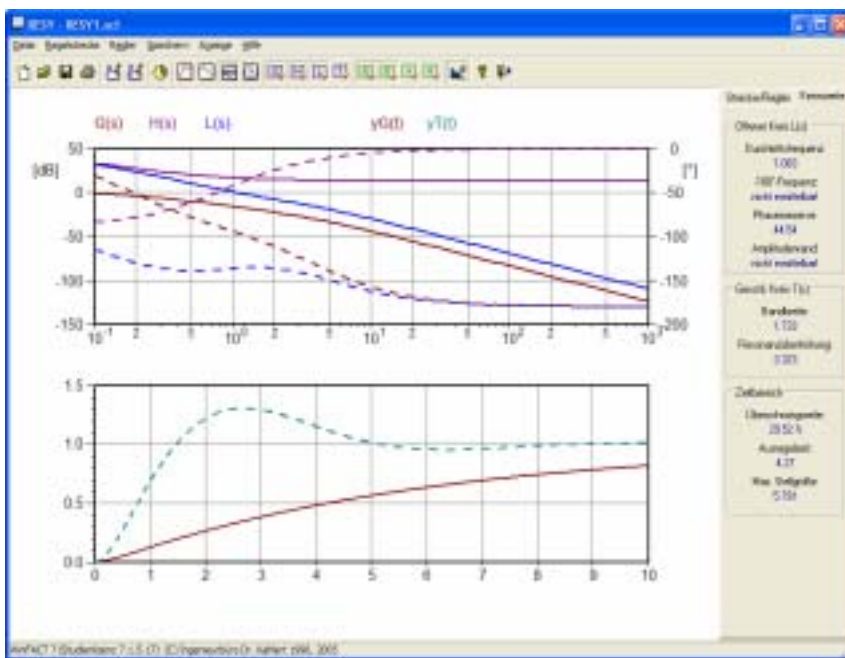


Die nachfolgenden Bilder zeigen die Konfigurierung des Reglers sowie das Hauptfenster des Programms mit den Kennwerten des Regelkreises nach Konfigurierung des Reglers. Die Kennwertermittlung liefert eine Überschwingweite von ungefähr 30% und eine Ausregelzeit von 4.3 bei einer maximalen Stell-

größe von 5.8. Das Beispiel befindet sich unter dem Namen RESY1.SCL im Beispiel-Verzeichnis.



Konfigurierung des PI-Reglers



Entwurf eines PI-Reglers für Strecke 2. Ordnung