

# Grundlagen

<b>Technische Voraussetzungen</b>	<b>2</b>
Was Ihr Rechner leisten sollte	2
<b>Einführung und Programmphilosophie</b>	<b>3</b>
Was ist WinFACT?	3
Hardware-Schnittstellen	4
<b>WinFACT-Dateiformate</b>	<b>5</b>
Projekt-Information	5
Dateitypen	7
Übertragungsfunktionen (UFK-Dateien)	7
Simulationsergebnisse (SIM-Dateien)	7
Allgemeine Wertepaare (XY-Dateien)	8
Mehrfachwertepaare (MXY-Dateien)	8
Frequenzgänge (BD- bzw. OK-Dateien)	8
Vektoren (VEK-Dateien)	9
Komplexe Vektoren (KVK-Dateien)	9
Matrizen (MAT-Dateien)	10
Zustandsraummodelle (ZRM-Dateien)	11
Funktionswertmatrizen (FWM-Dateien)	12
Blocklisten (BL-Dateien)	13
Geschlossene Regelkreise (SCL-Dateien)	16
<b>Spezielle Hilfsfunktionen</b>	<b>16</b>
Toolbar-Hilfe	16
Wertebereiche numerischer Parameter	16

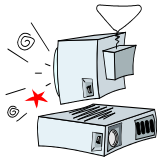
---

---

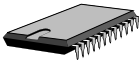
## Technische Voraussetzungen

### Was Ihr Rechner leisten sollte

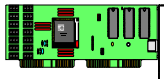
Eine Arbeit mit WinFACT ist bereits auf Standard-Hardware möglich. Wie immer gilt auch hier, dass Arbeitskomfort und -geschwindigkeit mit der Leistungsfähigkeit der Rechnerhardware steigen. Die Mindestanforderungen sind:



ein Rechner vom Typ 486, Pentium oder dazu kompatibel  
(sinnvoll: Pentium oder höher)



mindestens 32 MB Hauptspeicher (sinnvoll: mind. 64 MB)



ein Grafikadapter mit einer Mindestauflösung von 800x600  
Punkten bei 256 Farben



freier Festplattenspeicher von mindestens 80 MB



eine Maus, ein Trackball oder ähnliches



die grafische Benutzeroberfläche Windows 95/98/NT/2000

---

---

# Einführung und Programmphilosophie

## Was ist WinFACT?

WinFACT stellt ein modular aufgebautes Programmsystem dar, das einerseits Werkzeuge zur Analyse, Synthese und Simulation konventioneller Regelungssysteme zur Verfügung stellt, andererseits aber insbesondere auch Komponenten zur Behandlung von Fuzzy-Systemen beinhaltet. Durch die grafische Benutzeroberfläche Windows wird ein extrem geringer Einarbeitungsaufwand bei gleichzeitig hohem Bedienungskomfort gewährleistet. Eine Vielzahl von Programmschnittstellen und Datenformaten ermöglicht die Kommunikation mit den unterschiedlichsten Peripheriegeräten, externen Prozessen und anwendereigenen Softwareprodukten sowie Fremdsoftware. Aus diesem Grunde ist WinFACT sowohl für die Lehre als auch für Forschung und Entwicklung von Interesse.

WinFACT besteht aus einer Zusammenstellung einzelner, im Prinzip unabhängiger und beliebig kombinierbarer Programmmodule, zwischen denen auf äußerst einfache Weise ein Datentransfer über verschiedene Kommunikationskanäle möglich ist. Das Programmsystem in der Komplettversion enthält zunächst alle Komponenten, die zur Analyse und Synthese konventioneller Regelkreise erforderlich sind. Dazu gehören:

- Die Identifikation linearer Systeme anhand gemessener Verläufe der Ein- und Ausgangsgröße. Der eingesetzte Identifikationsalgorithmus zeichnet sich insbesondere durch seine Robustheit gegenüber Störungen wie z. B. Messrauschen aus und ist bei beliebigen Typen von Eingangssignalen anwendbar.
- Die Analyse linearer Übertragungssysteme durch Berechnung von Sprungantwort, Bode-Diagramm, Ortskurve, Wurzelortskurve sowie Pol-Nullstellenverteilung.
- Die Synthese linearer Regler. Als Reglerkomponenten stehen alle gebräuchlichen Standardglieder zur Verfügung.
- Die Simulation und Optimierung von Regelkreisen

Neben konventionellen Methoden liegt ein Schwerpunkt des Programmkonzeptes im Bereich neuartiger Verfahren wie *Fuzzy-Logik* und *Fuzzy Control*. WinFACT bietet hierzu Module an, die sämtliche Ebenen beginnend bei der Durchführung von "Fuzzy-Logik-Experimenten" über den interaktiven Entwurf regelbasierter Systeme bis hin zur Synthese und Simulation komplexer Fuzzy-Regelkreise erschließen. Dabei können alle Freiheitsgrade, die die Fuzzy-Logik bietet, vollständig ausgeschöpft werden:

- Unterschiedliche Typen von Fuzzy-Sets (dreiecksförmig, trapezförmig, Singleton)
- Verschiedene Verknüpfungsoperatoren und Inferenzmechanismen
- Vielzahl von Defuzzifizierungsmethoden

Entwurf und Analyse hybrider Systeme - bestehend aus konventionellen und Fuzzy-Komponenten sowie Neuronalen Netzen - ist auf der Basis einer blockorientierten Simulation möglich. Komponenten beispielsweise zur grafischen Auswertung von Mess- oder Simulationsergebnissen auf Basis des Windows-MDI-Standards vervollständigen das Programmsystem.

Das Programmsystem weist die Windows-typische Benutzeroberfläche auf. Dies äußert sich für den Anwender speziell in der charakteristischen Menüstruktur mit der optionalen Anwahl über Tastenkürzel oder Toolbars, der integrierten Hilfefunktion und den gewohnt komfortablen Eingabedialogen, die Fehleingaben weitestgehend ausschließen.

## Hardware-Schnittstellen

WinFACT besitzt eine ganze Reihe verschiedenartiger Hardware-Schnittstellen, über die eine Prozessankopplung (beispielsweise zur Messdatenerfassung oder Regelung) möglich ist oder sich mit WinFACT entworfene Strukturen (z. B. Regler) auf die Zielhardware portieren lassen:

- Über *A/D-D/A-Karten*. Nahezu alle handelsüblichen Kartentypen werden von WinFACT unterstützt (z. B. Advantech, Meilhaus, National Instruments, Keithley, Sorcus, Wasco, Bitzer, Leybold, Analog Devices, Intelligent Instrumentation, PCMCIA-Cards usw.). Der Einsatz dieser Karten empfiehlt sich insbesondere für Ausbildungszwecke und Prototypenregelungen am realen Prozess.
- Über die *serielle Schnittstelle* in Verbindung mit entsprechenden Hardwaresystemen (z. B. ISM-Serie der Fa. Gantner, ADAM-Module der

Fa. Advantech). Diese Realisierungsform ist besonders geeignet für Messwerterfassung und zeitunkritische Anwendungen.

- SPS und Prozessleitsysteme
- Für die PC-unabhängige, autarke Realisierung bietet sich der äußerst leistungsfähige *C-Code-Generator* an. Er "übersetzt" beliebige Systemstrukturen in universellen ANSI-C-Code, der dann auf praktisch jede Zielhardware (z. B. Microcontrollerboards mit Standard-Controllern wie 68HC11, 80C166 usw. oder DSPs, SPS, ...) übertragen werden kann. Auf diese Weise sind auch hochdynamische Prozesse in Echtzeit steuer- und regelbar.

Einzelheiten sind den entsprechenden Produktinformationen zu entnehmen.

---

---

## WinFACT-Dateiformate

Die in WinFACT benutzten Dateien zur Speicherung systemspezifischer Daten sind grundsätzlich ASCII-Dateien. Dies hat für den Anwender den Vorteil, dass er über die Verarbeitung in WinFACT hinaus die Daten jederzeit mit Hilfe eines gewöhnlichen Texteditors einsehen und gegebenenfalls auch modifizieren kann. Da die auftretenden Dateien in der Regel einige hundert Zeilen nicht überschreiten, hat die Wahl von ASCII-Dateien auf die Ein- und Ausgabegeschwindigkeit nur einen unwesentlichen Einfluss.

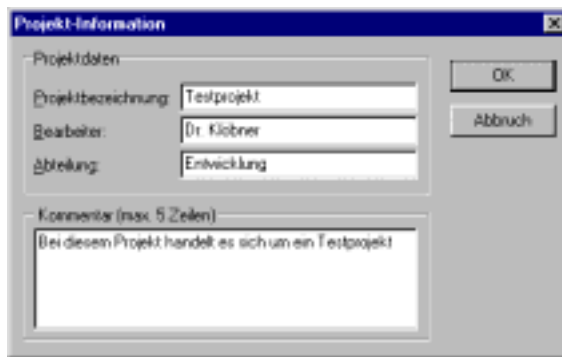
Für die unterschiedlichen Typen der innerhalb von WinFACT verwendeten Daten werden Dateien mit unterschiedlichen Erweiterungen (*Extensions*) benutzt, deren Format im Folgenden beschrieben wird.

## Projekt-Information

Alle Dateitypen können zur näheren Beschreibung des Dateiinhalts eine *Projekt-Information* enthalten, die bis zu acht Zeilen umfassen kann und am Dateianfang vor den eigentlichen Daten angeordnet ist. Die entsprechenden Dateizeilen sind durch ein führendes Ausrufezeichen gekennzeichnet. Die ersten fünf dieser Zeilen sind für die *Projektbeschreibung* reserviert. Zeile sechs kann

einen *Projekttitel* enthalten, Zeile sieben den Namen des *Projektbearbeiters* und Zeile acht seine *Abteilung*. Die Projektinformation wird beim Einlesen des Datensatzes - sofern gewünscht - vom jeweiligen Einzelprogramm angezeigt und beim erstmaligen Speichern einer Datei auf Wunsch abgefragt (siehe dazu den Abschnitt *Konfigurierung von WinFACT* im Kapitel *Erste Schritte* weiter vorn in diesem Handbuch).

Nachfolgende Bilder zeigen den Projekt-Info-Dialog und den zu den eingegebenen Daten generierten Dateikopf. Die entsprechenden Projekt-Informationen werden im DATEI ÖFFNEN-Dialog von WinFACT bereits vor dem eigentlichen Öffnen einer Datei angezeigt, sodass ein Auffinden einer gesuchten Datei anhand der Projekt-Information sehr einfach möglich ist.



*Dialog zur Anzeige und Modifikation des Projekt-Infos*

---

```
! Bei diesem Projekt handelt es sich um ...  
!  
!  
!  
!  
! Testprojekt  
! Dr. Klöbner  
! Entwicklung
```

---

*Zu obigem Projekt-Info-Dialog generierter Dateikopf*

## Dateitypen

### Übertragungsfunktionen (UFK-Dateien)

Übertragungsfunktionen linearer Systeme mit Totzeit der Form

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

werden in Dateien mit der Extension UFK und folgender Struktur abgelegt:<sup>1</sup>

```
=====
m
n
b0
.
.
bm
a0
.
.
an
T
=====
```

### Simulationsergebnisse (SIM-Dateien)

Eine Auflistung von Wertepaaren ( $t_i$ ,  $y_i$ ), wie sie beispielsweise in Form von Simulationsergebnissen entstehen können, werden von WinFACT paarweise untereinander und durch mindestens ein Leerzeichen getrennt dargestellt. Die Anzahl der Wertepaare wird automatisch ermittelt. Die Dateien haben die Extension SIM.

```
=====
t1   y1
t2   y2
t3   y3
.    .
.    .
.    .
=====
```

*WinFACT-Datei mit Wertepaaren*

<sup>1</sup> Die Projekt-Information wird bei den nachfolgenden Dateilistings der Übersichtlichkeit wegen weggelassen

## Allgemeine Wertepaare (XY-Dateien)

Zur Speicherung allgemeiner Wertepaare  $(x_i, y_i)$  werden Dateien mit der Extension XY benutzt. Das Dateiformat ist mit dem von SIM-Dateien identisch.

## Mehrfachwertepaare (MXY-Dateien)

MXY-Dateien eignen sich zur Speicherung mehrerer Kurvenzüge (z. B. Simulationsergebnisse) in einer einzigen Datei und werden in WinFACT zur Speicherung von Trajektorienfeldern im Modul SUSY benutzt. Jeder Kurvenzug enthält zu Beginn die Anzahl seiner Werte und danach die Wertepaare im Format wie bei SIM- bzw. XY-Dateien. Nach dem ersten Kurvenzug können beliebig viele weitere Kurvenzüge folgen. Das Ende der Datei wird automatisch erkannt, sodass die Angabe der Anzahl der enthaltenen Kurvenzüge nicht erforderlich ist.

## Frequenzgänge (BD- bzw. OK-Dateien)

Der Frequenzgang  $G(j\omega)$  eines linearen Übertragungssystems kann in zweierlei Form dargestellt werden:

- Als *Bode-Diagramm* in Form von Wertetripeln

$$\left( \omega_i, |G(j\omega_i)|_{\text{dB}}, \angle G(j\omega_i) \right)$$

bestehend aus Frequenz, Betrag in dB und Phase in Grad. Die zugehörige Datei weist die Extension BD und die folgende Struktur auf:

$\omega_1$	$ G(j\omega_1) _{\text{dB}}$	$\angle G(j\omega_1)$
$\omega_2$	$ G(j\omega_2) _{\text{dB}}$	$\angle G(j\omega_2)$
$\omega_3$	$ G(j\omega_3) _{\text{dB}}$	$\angle G(j\omega_3)$
.	.	.
.	.	.
.	.	.

- Als *Ortskurve* in Form von Wertetripeln

$$\left( \omega_i, \text{Re}\{G(j\omega_i)\}, \text{Im}\{G(j\omega_i)\} \right)$$



bestehend aus Frequenz, Real- und Imaginärteil. Die Datei weist in diesem Fall die Extension OK und die folgende Struktur auf:

$\omega_1$	$\text{Re}\{G(j\omega_1)\}$	$\text{Im}\{G(j\omega_1)\}$
$\omega_2$	$\text{Re}\{G(j\omega_2)\}$	$\text{Im}\{G(j\omega_2)\}$
$\omega_3$	$\text{Re}\{G(j\omega_3)\}$	$\text{Im}\{G(j\omega_3)\}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.

## Vektoren (VEK-Dateien)

Vektoren werden komponentenweise in Dateien mit der Extension VEK abgespeichert; jede Zeile der Datei enthält eine Komponente. Die erste Zeile nach der Projekt-Information enthält die Anzahl der Vektorkomponenten. Der Vektor

$$\underline{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

führt also zu folgender Datei:

n
b1
b2
.
.
bn

## Komplexe Vektoren (KVK-Dateien)

Komplexe Vektoren (z. B. Eigenwertvektoren) der Form

$$\underline{r} = \begin{pmatrix} a_1 + jb_1 \\ a_2 + jb_2 \\ \vdots \\ a_n + jb_n \end{pmatrix}$$

werden in Dateien mit der Extension KVK wie folgt abgelegt:

```

=====
n
a1  b1
a2  b2
.
.
an  bn
=====

```

*WinFACT-Datei mit komplexem Vektor*

## Matrizen (MAT-Dateien)

Matrizen werden zeilenweise abgespeichert, wobei jede Zeile genau ein Element enthält. Die erste Dateizeile nach der Projekt-Information enthält die Zeilen- und Spaltenzahl, durch ein Leerzeichen getrennt. Matrizendateien erhalten die Extension MAT. Eine  $m \times n$ -Matrix

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

wird also in folgender Struktur abgelegt:

```

=====
m n
a11
a12
.
.
a1n
a21
a22
.
.
=====

```

## Zustandsraummodelle (ZRM-Dateien)

Zustandsraummodelle der Form

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A}\underline{x} + \underline{b}u, \quad y = \underline{c}^T \underline{x} + d u$$

mit der Systemmatrix

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

dem Steuervektor

$$\underline{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

und dem Ausgangsvektor

$$\underline{c}^T = (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

werden in Dateien mit der Extension ZRM gemäß folgender Struktur abgelegt:

```

=====
n
a11 a12 ... a1n
a21 a22 ... a2n
.   .   ... .
.   .   ... .
an1 an2 ... ann
b1
b2
.
.
bn
c1
c2
.
.
cn
d
=====

```

## Funktionswertmatrizen (FWM-Dateien)

Funktionswertmatrizen enthalten eine Funktion zweier Veränderlicher

$$z = f(x, y)$$

in diskretisierter Form, d. h. in Form diskreter Stützstellen

$$z_{ij} = f(x_i, y_j), \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$$

auf einem Wertebereich  $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$ ,  $y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$ . Diese Dateien lassen sich zur Darstellung der Funktion als 3D-Kennfeld oder in Höhenlinienform nutzen, beispielsweise mit Hilfe des WinFACT - Moduls INGO oder Programmen wie Mathematica.

**Beispiel:** Für die Funktion

$$z = x^2 + y^2, \quad 0 \leq x \leq 5, \quad 0 \leq y \leq 10$$

ergibt sich für  $m = 6$  Stützstellen für  $x$  und  $n = 6$  Stützstellen für  $y$  folgende Funktionswertmatrix:

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 16 & 36 & 64 & 100 \\ 1 & 5 & 17 & 37 & 65 & 101 \\ 4 & 8 & 20 & 40 & 68 & 104 \\ 9 & 13 & 25 & 45 & 73 & 109 \\ 16 & 20 & 32 & 52 & 80 & 116 \\ 25 & 29 & 41 & 61 & 89 & 125 \end{pmatrix}$$

Das Dateiformat entspricht im Wesentlichen dem von MAT-Dateien; die Datei hat folgende Struktur:

---



---

```

m n
a11
a12
.
.
aln
a21
a22
.
.
amn
[xmin xmax]
[ymin ymax]

```

---



---

Die Angabe des Wertebereichs in den letzten beiden Zeilen der Datei ist optional und kann daher entfallen; das Kennfeld wird dann in INGO über einem frei wählbaren Wertebereich dargestellt.

## Blocklisten (BL-Dateien)

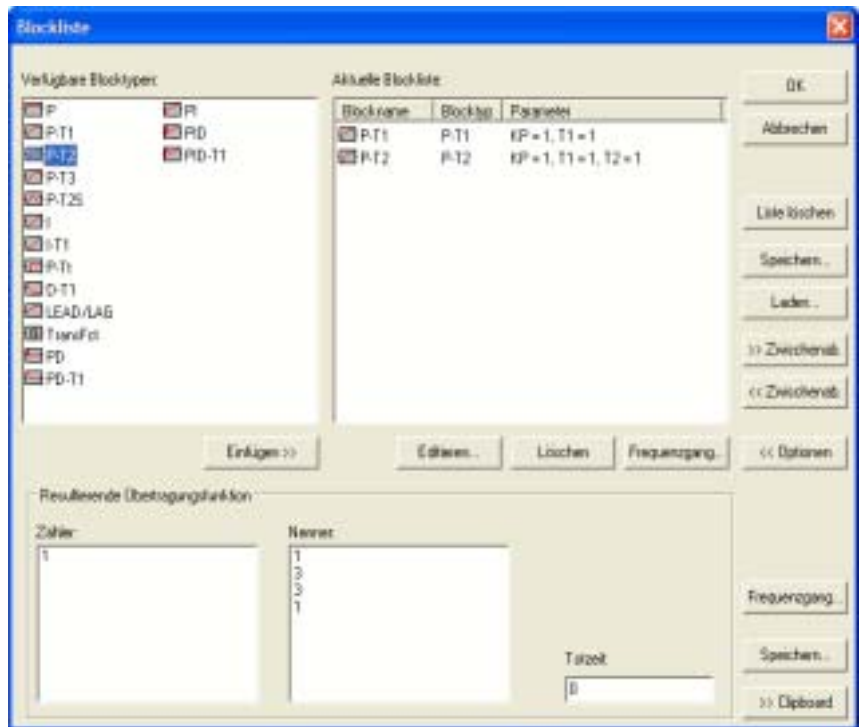


Blocklisten werden u. a. von den Programmen LISA, RESY und BORIS unterstützt. Sie enthalten eine Liste aus i. Allg. mehreren linearen Übertragungsgliedern wie P-T1, P-T2 usw. und werden beispielsweise zur Beschreibung zusammengesetzter Regler oder Regelstrecken benutzt. Nachfolgende Tabelle listet alle zur Verfügung stehenden Blocktypen auf.

Typ	Übertragungsfunktion
P	$K_P$
P-T1	$\frac{K_P}{1 + T_1 s}$
P-T2	$\frac{K_P}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$
P-T3	$\frac{K_P}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(1 + T_3 s)}$
P-T2S	$\frac{K_P}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + \frac{2D}{\omega_0} s + 1}$

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

Nachfolgende Bildschirmgrafik zeigt den Dialog zur Konfigurierung von Blocklisten.



Dialog zur Konfigurierung von Blocklisten

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. 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 oder der Windows-Zwischenablage. Im unteren Dialogdrittel wird nach Betätigung der Schaltfläche *Optionen >>* die zur aktuellen Blockliste gehörende Übertragungsfunktion angezeigt; sie kann ebenfalls direkt aus dem Dialog heraus in einer UFK-Datei gespeichert oder in die Zwischenablage kopiert werden.

Eine genauere Kenntnis des internen Dateiformats ist für die Arbeit mit diesen Dateien nicht erforderlich.

## Geschlossene Regelkreise (SCL-Dateien)



Die vom Programm RESY erzeugten einschleifigen Standardregelkreise werden in Dateien mit der Extension SCL (für *Standard Control Loop*) abgelegt. Sie enthalten Regler und Regelstrecke jeweils in Form einer Blockliste. Eine genauere Kenntnis des internen Dateiformats ist für die Arbeit mit diesen Dateien nicht erforderlich.

---

---

## Spezielle Hilfefunktionen

### Toolbar-Hilfe

Eine wesentliche Erleichterung insbesondere für den Neueinsteiger stellt die über das Setup-Programm WFSETUP aktivierbare Toolbar-Hilfe dar. Ist sie aktiviert, erscheint automatisch ein Hilfefenster mit einer Erläuterung der Schaltflächen-Funktion, sobald sich der Cursor länger als etwa eine Sekunde über der Schaltfläche befindet. So lassen sich die mit den verschiedenen Schaltflächen verbundenen Funktionen auf einfache Weise erlernen.



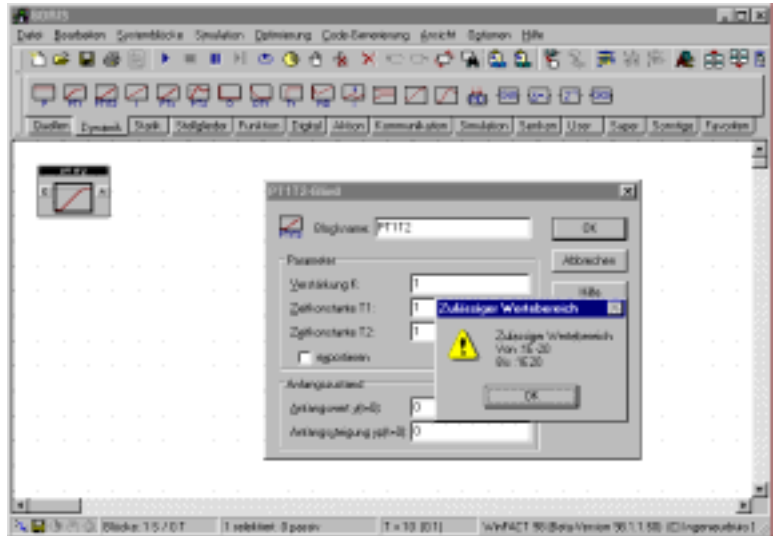
*Toolbar-Hilfefunktion*

### Wertebereiche numerischer Parameter

Bei der Eingabe numerischer Werte über einen entsprechenden Eingabedialog ist es häufig wünschenswert, den zulässigen Wertebereich vorab zu kennen, um von entsprechenden Fehlermeldungen und Warnungen "verschont" zu bleiben. Daher wurde in WinFACT eine automatische Bereichsangabe integriert: Bei



numerischen Eingabefeldern in Parameterdialogen genügt ein Anklicken mit der *rechten* Maustaste, um ein Meldungsfenster mit der Angabe des zulässigen Wertebereichs erscheinen zu lassen.



Anzeige des zulässigen Wertebereichs für numerische Parameter