

## Anwendungs-Programmsystem DAPROA

### Verarbeitungsprogrammbaustein EVOPGRD

Version 5 .1

Stand: 31.10.2011

#### Leistung:

Anpassung des Verlaufes eines expliziten mathematischen Modells an Versuchs- bzw. Vergleichsdaten durch Schätzung (Anpassung) der linearen und nichtlinearen Koeffizienten des Modells mittels Such- und Gradientenverfahren nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate:

Die Summe { der Quadrate  $_{(berechneter\_Wert - gemessener\_Wert)}$  }  
wird zum Minimum geführt

Summe der Fehlerquadrate → Minimum

Die Berechnung und Parameterschätzung eines expliziten mathematischen Modells  $Z = F(X_1, \dots, X_n; b_0, b_1, \dots)$  durch **EVOPGRD** wird mit dem in **DAPROA** definierten Modelltyp 3 realisiert

#### Modelltyp 3 :

Dies ist ein explizites nichtlineares Modell auf Basis vorgefertigter, sehr variabel nutzbarer Funktionsausdrücke. Die Formulierung des Modells (Funktionsterm-Modell) wird mit den Bausteinen FKTGEN oder REGFKT vorgenommen.

Zum Aufbau der Funktionsausdrücke siehe: Dokument **Funktions-Ausdruck.doc**

Der Algorithmus zur Umwandlung des gewählten Modellausdruckes in Form der Funktionsterme in programminterne Berechnungsvorschriften ist Bestandteil von EVOPGRD. Der Aufruf des Modells erfolgt durch das interne Unterprogramm **fktxy**, um das sich der Nutzer nicht kümmern muss.

$$Z = b_0 + b_1 \cdot FA_1(X_1, \dots, X_i) + b_2 \cdot FA_2(X_1, \dots, X_i) + \dots + b_n \cdot FA_n(X_1, \dots, X_i)$$

Mit: Zielgröße Z, Einflussgrößen  $X_i$ , Funktionsausdrücke  $FA_j$

oder auch

$$Z = b_0 + b_i \cdot FA_1 + \dots + b_j \cdot FA_j$$

$$Z = b_0 + b_i \cdot T_1 \cdot T_2 + \dots + b_j \cdot T_M \cdot T_N$$

$$\text{mit } T_M = \{FKT[(\alpha \cdot X_i \sim X_j + \beta)^{n_1}] \}^{ev1}$$

$$\text{und } T_N = \{FKT[(\gamma \cdot X_k \sim X_l + \delta)^{n_2}] \}^{ev2}$$

Mit einer solchen Modellgenerierung umgeht man, dass jedes benutzte explizite nichtlineare Modell als Unterprogramm geschrieben, übersetzt und mit EVOPGRD verbunden (gelinkt) werden muss. Der Anwender braucht kein Programmentwicklungssystem einzusetzen.

Die Form der Generierung von Modellen Typ 3 lässt eine sehr große Anzahl verschiedener Modellausprägungen zu.

Diese Form der Modellgenerierung hat aber ihren Preis. Die Rechenzeiten erhöhen sich, da bei jedem Modellaufruf während Parameterschätzung und der Nachrechnung jedes Satzes der gemessenen Werte dieser Generierungsvorgang abläuft, d.h. das Modell muss jedes Mal neu "zusammengebaut" werden.

Völlig frei gestaltete explizite nichtlineare Modelle (Typ 4) werden mit EVPGRD4 behandelt. Dazu müssen aber diese expliziten nichtlineare Modelle als Unterprogramm geschrieben,

übersetzt und mit EVPGRD4 verbunden(gelinkt) werden. Damit hat EVPGRD4 immer eine anwenderindividuelle Ausprägung. Auf diese Art eingebundene Modelle sichern kürzere Rechenzeiten als inhaltsgleiche Modelle vom Typ 3.

Geschätzt werden können der lineare Koeffizient  $b_0$  des Gesamtausdruckes (absolutes Glied), die linearen Koeffizienten  $b_j$  und die nichtlinearen Koeffizienten  $n_1, n_2, a_{lp}, b_{et}, g_{am}, d_{lt}$  der jeweiligen Funktionsausdrücke.

Das Programm EVOPGRD ist geeignet für die Bearbeitung großer Datenmengen. Mit ihm kann der nichtlineare Zusammenhang zwischen Messgrößen, Datenmengen ( $Z, X_1, X_2, \dots, X_n$ ) in einem n-dimensionalen Koordinatensystem bzw. abhängigen und unabhängigen Variablen untersucht werden.

Eine Verarbeitung unvollständiger Datensätze wird realisiert, indem solche Sätze nicht einbezogen werden.

#### Eingabedateien:

- **projekt\_nqd.txt** geordnete Zwischendatei im Textformat
- **projekt\_mtx.txt** als Datenmatrix.
- **projekt\_std.txt** Statistik-Steuerdatei mit von NORM berechneten statistische Kenngrößen des Datenbestandes: Mittelwert, Streuung, kleinster und größter Wert der Variablen, einfache Korrelationskoeffizienten zwischen den Variablen.
- **projekt\_abd.txt** Projektsteuerdatei
- **modellname\_mod.txt** Modelldatei Typ 3

#### Parameter, Grenzen:

- Die Anzahl der Datensätze ist faktisch unbegrenzt.
- Fehlstellen bei Messwerten/Einzeldaten werden berücksichtigt

#### Steuerparameter

Anzahl der Variablen in der Auswahl	100
Maximale Anzahl der Variablen in den Funktionsausdrücken	12
Maximale Anzahl von Funktionsausdrücken	10
Maximale Anzahl von Modellparametern	20
Maximale Anzahl von gleichzeitig zu schätzenden Modellparametern	10

#### Ergebnisdateien:

- **projekt\_pps.txt** Ergebnisdatei der Parameterschätzung
- **projekt\_tmp.txt** Protokolldatei zur Parameterschätzung
- **modellname\_mod.txt** angepasstes Modell Typ 3
- **modellname\_tsx.txt** Zwischendatei berechnet - gemessen
- **modellname\_sw1.txt** Ergebnis des Vergleiches berechnet – gemessen, Eingabedatei für die grafische Darstellung
- **modellname\_bg.typ** Grafikdatei berechnet - gemessen
- **EVOPGRD\_mld.txt** Programmnachrichten(Ablauf, Fehler, ...)

In der Datei [projekt\\_pps.txt](#) sind die die Ergebnisse je Iterationsschritt (Fehlerquadratsumme, Parameter) verzeichnet.

In der Protokolldatei [projekt\\_tmp.txt](#) ist jeder Berechnungsschritt mit seinen Ergebnissen (Gradienten, Schrittweiten, Fehlerquadratsummen an den Rasterpunkten bzw. Variationspunkten, Entwicklung der Verfahrenssteuergrößen, usw.) dargestellt.

Aus diesen Informationen kann der Weg der Minimumssuche verfolgt und können Schlussfolgerungen für eine neue Suchstrategie gezogen werden.

### Methoden der Parameterschätzung

Für die Schätzung der nichtlinearen Modellparameter stehen 3 Verfahren zur Verfügung:

- 1) Rasterverfahren
- 2) evolutionäres Suchverfahren
- 3) Gradientenverfahren

Diese Verfahren können einzeln eingesetzt, aber auch in einem Programmaufruf hintereinander abgearbeitet werden, in diesem Fall aber nur in der durch die obigen Ziffern festgelegten aufsteigenden Folge. Der optimale (beste) Parametervektor des vorhergehenden Verfahrens ist dann der Start-Parametervektor des nachfolgenden Verfahrens

Alle Verfahren beruhen auf der Minimierung der Fehlerquadratsumme der Modellzielgröße (abhängige Variable Z). also die Summe von { berechneter Wert Z - minus gemessener Wert Z } zum Quadrat über alle Messpunkte

$$\sum_{i=1,n} [ Z(i) \text{ gemessen} - Z(i) \text{ berechnet} ]^{**2} \rightarrow \text{Minimum}$$

zu den einzelnen Methoden und dem allgemeinem Vorgehen bei der Parameterschätzung siehe: [NichtlinParam.doc](#)

### Aufbau der Datei [projekt\\_abd.txt](#) für den Baustein EVOPGRD:

Steuermerkmal	Spalte	Typ	Parameter	Inhalt des Parameters
<Variablen >	01-03 05-07 09-11 ...	Int	ausvar(n)	Index der Modellvariablen, der letzte Index gehört der abhängigen Variablen
<Steuerparameter >	01-01	Char	zabl	konstant = P , Aufruf der Parameterschätzung
	07-07	Int	mtyp	Modelltyp: konstant = 3
	09-09	Char	ires	Residuenberechnung.: konst. = 0, Summe{(Yg - Yb)**2}
	11-13	Int	itpar	Iterationsanzahl pro Parameterschätzerufruf
	15-19	Int	itges	maximale Iterationsanzahl pro Programmablauf für das Gradientenverfahren
	21-23	Int	isini	Startinitialisierung für den Parameterschätzer

**DAPROA: Daten- und Prozessanalyse**  
Bausteine EVOPGRD / EVPGRD\_e

	25-29	Int	ievop	maximale Iterationsanzahl pro Programmablauf für EVOP-Verfahren
	31-38	Char	modnam	Name Modelldatei
<SteuerEVOPGRD 1 >	01-01	Char	cabs	Verfahren Startpunktsuche: S
	02-02	Char	cabf	Verfahren Faktorplan: F
	03-03	Char	cabg	Gradientenverfahren: G
	04-05	Int	nt	Anzahl unabh. Variablen
	07-08	Int	ny	Anzahl abh. Variablen
	10-11	Int	np	Anzahl Parameter
	13-14	Int	maxips	max. Anz. Startschätzschritte
	16-17	Int	maxh1b	max Anzahl Verkleinerungen
	19-20	Int	ifak0	freier Integerfaktor
	22-23	Int	ngl	Anzahl algebraische Modellgleichungen
	25-26	Int	node	Anzahl gew. Diff.-gleichungen
	28-29	Int	npde	Anzahl part. Diff.-gleichungen
	31-32	Int	maxanf	max. Anzahl Anfangswertprobleme
	34-36	Int	maxndx	max. Anzahl Ortsgitterpunkte
	38-40	Int	iyab	Index abhängige Variable Modelltyp 4
<SteuerEVOPGRD 2 >	01-12	Real	fgrs	Schrittfaktor Gradientenbildg.
	14-25	Real	deps	Minstdifferenz Standardabweichung für Schätzabbruch
	27-38	Real	vks	freier Realfaktor
	40-51	Real	frf	freier Realfaktor
<Schaetzparameter >	01-01	Int	npzu(i)	1: Parameter wird geschätzt 0: Parameter nicht geschätzt
	03-05	Int	nrp(i)	lfd. Nummer des Parameters
	07-19	Real	p(i)	Startwert Parameter
	21-33	Real	ug(i)	untere Grenze Parameter
	35-47	Real	og(i)	obere Grenze Parameter
	49-61	Real	swp0(i)	Standardschätzschritt
	63-77	Char	namp(i)	Bezeichnung des Parameters
	79-86	Real	snwp(i)	Schrittanzahl
	88-90	Int	mump(i)	Interne Koeffizientennummer
	92-94	Int	npv(i)	Zuweisung Verbindungsindex 1
	95-97	Int	npv(i)	Zuweisung Verbindungsindex 2
	98-100	Int	npv(i)	Zuweisung Verbindungsindex 3
<Schpar-FktTerm-bk >	01-03	Int	jk(b)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten bk(j)
	...			
	31-33	Int	jb0	Index bzw. Verbindungsindex des Modellkoeffizienten b0
<Schpar-FktTerm-ho1 >	01-03	Int	jho1(j)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten nh1(j)
	...			
<Schpar-FktTerm-alp >	01-03	Int	jalp(j)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten alp(j)
	...			
<Schpar-FktTerm-bet >	01-03	Int	jbet(j)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten bet(j)
	...			
<Schpar-FktTerm-ho2 >	01-03	Int	jho2(j)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten nh2(j)
	...			
<Schpar-FktTerm-gam >	01-03	Int	jgam(j)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten gam(j)
	...			

**DAPROA: Daten- und Prozessanalyse**  
Bausteine EVOPGRD / EVPGRD\_e

<Schpar-FktTerm-dlt >	01-03	Int	jdlt(j)	Index bzw. Verbindungsindex der Modellkoeffizienten dlt(j)
<Grafikausgabe >	01-01	Char	cbrgm	Kennzeichen Grafikausgabe berechnet-gemessen
	03-10		zugrd	Zusatzname Grafikausgabedatei
	12-14		jsvx	Index unabh. Grafikvariable (Abszisse)
	16-23		uprnam	Unterprojektname
	25-37		ugvx	untere Grenze unabh. Grafikvariable
	39-51		ogvx	obere Grenze unabh. Grafikvariable
	53-55		jxsch	Anzahl Schritte unabh. Grafikvariable (Abszisse)
	57-64		causf	Ausgabetyyp Grafikdatei

Das Bausteinmerkmal <evopgrd > muss genau 10 Zeichen lang sein (Leerstellen und spitze Klammern mitgezählt).

Die Steuermerkmale müssen genau 21 Zeichen lang sein (Leerstellen und spitze Klammern mitgezählt).

Sie müssen, wie in Beispiel und Aufbaubeschreibung dargestellt, geschrieben, also auch mit der entspr. Anzahl von Leerzeichen aufgefüllt werden.

## Dialogbaustein EVPGRD\_e

EVOPGRD Daten- und ProzessAnalyse

Exit: Help Datei

Prozess- und Datenanalyse: EVPGRD\_e - Eingaben für den Programmbaustein EVOPGRD alte Steuersaetze aus wachstum\_abd.txt laden **Projekt: wachstum**

**Modell Typ 3 auswaehlen**

w-eta\_mod.txt  
w-sueta\_mod.txt

Waehle und bestaetige ein Modell

**Modell bestaetigen**

**Modell: w-eta**

**Variablen:**

- Variable Projekt:wachstum  
001 Jahr  
002 Zuwachs  
003 Hoehe  
--Variablen Modell: w-sueta  
003 sum-eta  
001 t  
--Variablen Modell: w-eta  
002 eta  
001 t

**abh. Variable:  $Z = \text{Fkt}(T1^*T2, Tm^*Tn)$**  **Index: 002** **abs.Glied: 0.100224D+01** **Name: eta** Markiere max. 20 Parameter mit Ziffer oder Buchstabe zur SchaeztAuswahl

TM: 1.Funktionsterm				TN: 2.Funktionsterm						
Koeff.	Index	Fkt ev1	n1	alpha	beta	Index	Fkt ev2	n2	gamma	delta
0.943979D-01	1	X f	1.0000	0.102340D+01	0.196594D+01	1	C g	2.0000	0.154869D-01	0.000000D+00
-0.232615D+00	1	X f	1.0000	0.103080D+01	0.375933D+01	1	C g	1.0000	0.100000D+00	0.000000D+00

**Parameterauswahl bestaetigen** **Schaetzparameter bestaetigen**

Markiere max. 10 akt.Schaetzparameter mit 1! Setze: Startwert, untere/obere Grenze

P(n)	1!	VP1	VP2	VP3	Startwert	untere Grenze	obere	Schrittanz.	Name
P(1)	1	0			0.100224D+01	0.501120D+00	0.200448D+01	100.0	b0: abs.Glied
P(2)	1	0			0.943979D-01	0.471990D-01	0.188796D+00	100.0	b(1)
P(3)	1	0			0.100000D+01	0.500000D+00	0.200000D+01	100.0	n1(1)
P(4)	1	0			0.200000D+01	0.100000D+01	0.400000D+01	100.0	n2(1)
P(5)	1	0			-0.232615D+00	-0.465230D+00	-0.116307D+00	100.0	b(2)
P(6)	1	0			0.100000D+01	0.500000D+00	0.200000D+01	100.0	n1(2)
P(7)									
P(8)									
P(9)									
P(10)									
P(11)									
P(12)									
P(13)									
P(14)									
P(15)									
P(16)									
P(17)									
P(18)									
P(19)									
P(20)									

**Vergleich berechnet-gemessen**  
 ber/gem nicht ausfuehren  
 ber/gem darstellen

**Vergleich berechnet-unabh.Variable**  
Waehle Index: einer unabhg.Variablen  
001 Jahr 001

uG: 0.000000D+00 oG: 0.200000D+03 Anzahl Schritte: 100

**Grafikausgabe**  
 keine Grafikausgabe  
 .PNG Grafikausgabe  
 .TIFF Grafikausgabe

Namenszusatz Grafikdatei: \_\_\_\_\_

**Verfahrensparameter**  
max. Iterationsanzahl EVOP-Verfahren: 20  
max. Iterationsanzahl Gradientenverf.: 50  
max. Anzahl Start-schaetzschritte: 8  
max. Anz. Schritte zur Verkleinerung: 20  
Schrittfaktor fuer Gradientenberechnung: 0.10000D-03  
Minstdifferenz Abweichung: 0.10000D-09

**Auswahl Schaeztverfahren** mindestens ein Verfahren waehlen  
 Startpunktsuche  EVOP-Verfahren  Gradientenverfahren  
 nein  nein  nein

**STOPP** **Modell aendern** **Werte aendern** **EVOPGRD starten**

Bild 1:  
Startmaske des  
Dialogbausteins  
EVPGRD\_e

Projekt **wachstum**  
Das Modell **w-eta**  
wurde gewählt und  
vor eingetragen

In dem Dialogbaustein werden die Parameter für die Projektarbeitungsdatei **projekt\_abd.txt** abgefragt, eingegeben und geprüft.

Mit dem Dialogbaustein EVPGRD\_e werden die Schätzparameter des Modells, ihre Anfangswerte, Grenzen und Schrittweiten, die Steuergrößen für die Abarbeitung und die Parameter zur Ergebnisausgabe festgelegt.

Die zu benutzenden Schätzverfahren müssen ausgewählt werden.

### Wahl des Modells

In der Liste **|Modell Typ 3 auswählen|** kann ein Modell ausgewählt werden. Die Auswahl ist mit der Taste **Modell bestätigen** zu bestätigen.

In der darunter stehenden **|Variablenliste|** stehen schon beim Aufruf die Variablen des gewählten Projektes. Nach der Modellwahl werden die im Modell benutzten Variablen angezeigt.

Am Anfang der Variablenliste wird das ausgewählte Projekt bzw. Modell genannt.

Mit der Taste **alte Steuersaetze aus projekt\_abd.txt laden** können die alten Steuersätze zum Modell geladen und in den Dialogmasken vorgelegt werden, soweit welche vorhanden sind.

### Auswahl der Schätzparameter, und davon diejenigen die geschätzt werden sollen

Nach der Auswahl des Modells, wird das explizite nichtlineare Modell vom Typ 3 im Dialogteil zur Parameterauswahl automatisch vorgelegt. Jeder Modellkoeffizient hat einen festen Wert. In den Eingabefeldern hinter jedem Modellkoeffizienten wird durch die Eingabe eines Zeichens der Koeffizient als Schätzparameter gekennzeichnet und damit der Koeffizient als variabel gekennzeichnet.

Zu den Details des Aufbaus der Funktionsausdrücke des Modells siehe: Dokument **Funktions-Ausdruck.doc**

Mit der Taste **Parameterauswahl bestätigen** werden die Parameterauswahl bestätigt und im darunter liegenden Dialogteifenster vorgetragen.

Nun müssen in diesem Dialogteil Steuergrößen für die vorher markierten und nun vorgetragenen Schätzparameter eingegeben werden.

Im Eingabefeld **[1!]** wird durch Eingabe einer **1** festgelegt, dass der Parameter im folgenden Programmlauf **geschätzt** wird.

Es wird durch Eingabe einer **0** festgelegt, dass der Parameter im folgenden Programmlauf **konstant** bleibt.

In den Eingabefeldern [VP1] bis [VP3] kann festgelegt werden, ob ein Koeffizient des Modells, welcher als Schätzparameter ausgewählt wurde, aber im aktuellen Programmlauf konstant bleiben soll, mit anderen Schätzparametern als Summe einen absolut gleichen Wert haben soll. Die anderen Parameter sind mit dem ersten Parameter verbunden. In einem solchen Fall werden in den Eingabefeldern [VP1] bis [VP3] die Indexnummern der verbundenen Parameter eingetragen.

In den Feldern [1!] für Parameter p(m) steht 1 oder 0.

Steht dort eine 1, dann wird im Programmlauf der entsprechende Parameter p(m) geschätzt.

Er muss aber dann in den Feldern [VP1] bis [VP3] eine 0 stehen haben

Steht dort eine 0, dann kann dieser Parameter p(m) mit einem anderen verbunden werden, dazu sind in den zugeordneten Feldern [VP1] bis [VP3] die Indexnummern der zu verbindenden Parameter einzutragen.

In den Feldern [VP1] [VP2] [VP3] für Parameter p(m) steht 0, N oder -N

Steht dort eine 0, dann ist dieser Parameter p(m) mit keinem anderen verbunden

Steht dort ein N, dann ist dieser Parameter p(m) mit dem Parameter p(n) verbunden

Steht dort ein -N, dann ist dieser Parameter p(m) mit dem Parameter p(n) negativ verbunden

Steht dort ein N oder -N, dann muss im entsprechenden Feld [1!] 0 stehen.

Es ist dann  $p(m) = \text{Vorzeichen}(N1) * p(\text{Absolut}(N1)) + \text{Vorzeichen}(N2) * p(\text{Absolut}(N2)) + \text{Vorzeichen}(N3) * p(\text{Absolut}(N3))$

Die Regeln für die Behandlung der Felder [1!] sowie [VP1] [VP2] [VP3] erkennt man am folgenden Beispiel:

Beispiel: Ein Modell hat 5 Schätzparameter  $Y = p(1) + p(2) * [(p(3)*X(1) - p(4)]^{p(5)}$

ohne verbundene Parameter: 

P(n)	1!	VP1	VP2	VP3
p(1)	1	0		
p(2)	0	0		
p(3)	0	0		
p(4)	1	0		
p(5)	1	0		

P(n)	1!	VP1	VP2	VP3
p(1)	1	0		
p(2)	0	0		
p(3)	0	0		
p(4)	1	0		
p(5)	1	0		

p(1), p(3) und p(5) werden als in diesem Programmlauf zu schätzende Parameter ausgewählt.

p(2) und p(4) bleiben in diesem Programmlauf konstant.

verbundene Parameter p(1) und p(4): 

P(n)	1!	VP1	VP2	VP3
p(1)	0	-4	2	0
p(2)	1	0		
p(3)	0	5	0	0
p(4)	1	0		
p(5)	1	0		

P(n)	1!	VP1	VP2	VP3
p(1)	0	-4	2	0
p(2)	1	0		
p(3)	0	5	0	0
p(4)	1	0		
p(5)	1	0		

p(2), p(4) und p(5) werden als in diesem Programmlauf zu schätzende Parameter ausgewählt.

p(1) und p(3) bleiben in diesem Programmlauf konstant.

p(1) wird mit p(4) und p(2) verbunden.

$$p(1) = (-1) * p(4) + p(2)$$

p(3) wird mit p(5) verbunden.

$$p(3) = p(5).$$

p(1) und p(3) werden bei Veränderungen der anderen Parameter mit verändert.



Nun taucht natürlich die Frage auf, warum dieser Mechanismus "mit dem Verbinden von Parametern"?

Man könnte z.B. das obige Modell gleich so formulieren:  $Y = p(1) + p(2) * [(p(3)*X(1) - p(1)]^{p(5)}$

Dies geht leider nicht in dem Fall des in EVOPGRD benutzten nichtlinearen Modells Typ 3.

Diese Modelle werden aus einem vorformulierten Rahmen generiert und darin sind alle Modellkoeffizienten von einander unabhängig.

Die nachfolgenden Felder in diesem Dialogteil müssen für alle Schätzparameter gefüllt werden, auch für diejenigen, die bei diesem Programmlauf konstant gehalten werden.

Im Feld [[Startwert](#)] wird der Anfangswert der Parameterschätzung bzw. der konstante Wert der Schätzparameter, die bei diesem Programmlauf nicht verändert werden, eingetragen.

In den Feldern [[untere Grenze obere](#)] werden die Grenzwerte der Schätzparameter festgelegt. Die Werte der Parameter werden bei der Schätzung nur innerhalb dieser Grenzen variiert.

Im Feld [[Schrittanz.](#)] wird ein Faktor eingetragen, mit dem die normierte Schrittweite berechnet wird. Diese normierte Schrittweite hat Einfluss auf konkrete Schrittweite in den Verfahren:  $\text{normierte Schrittweite} = (\text{obere Grenze} - \text{untere Grenze}) / \text{Schrittanzahl}$ .

Siehe dazu auch [NichtlinParam.doc](#)

Im Feld [[Name](#)] kann eine beliebige Namenszeichenkette für den Schätzparameter vergeben werden.

In die Felder [[untere Grenze obere](#)] und [[Schrittanz.](#)] müssen auch für konstant gehaltene Schätzparameter vernünftige Werte definiert werden, auch wenn sie in dem aktuellen Programmlauf keine Rolle spielen.

Noch einmal zum Verständnis des Begriffes Schätzparameter:

Im oberen Dialogteil wird ein eingetragener Koeffizient des Modells durch "ankreuzen" als ein Schätzparameter bestimmt.

Im darunter liegenden Dialogteil wird durch Vergabe der Werte **0** oder **1** im Feld [[1!](#)] festgelegt, ob im aktuellen Programmlauf der Schätzparameter wirklich variiert wird oder konstant bleibt.

Durch Eintragen der Nummer eines zu schätzenden Parameters in ein Feld [[VP1](#)] bis [[VP3](#)] eines konstanten Schätzparameters wird dieser wertemäßig mit diesem variiert.

Mit der Taste [Schätzparameter bestätigen](#) wird die Auswahl der in diesem Programmlauf zu schätzenden Parameter bestätigt.

## Steuergrößen für die Abarbeitung

In den folgenden Eingabefeldern, Auswahlboxen oder Tasten werden Steuergrößen für die Abarbeitung und Parameter zur Ergebnisausgabe festgelegt.

### °Vergleich berechnet-gemessen°

"ber/gem nicht ausführen" oder  
"ber/gem darstellen"

Falls "ber/gem darstellen" gewählt wurde kann in der Variablenliste |[Vergleich berechnet-unabh.Variable](#) | der Index eine Einflussgröße (unabh. Variable) und ihr Index markiert werden. Diese Variable muss Modellbestandteil und darf nicht die abhängige Variable sein. Nach der erfolgreichen Markierung werden der Index und die Minimal- bzw. Maximalwert dieser Variablen aus den Datensätzen angezeigt.

In den Eingabefeldern [[uG](#)] , [[oG](#)] und [[Anzahl Schritte](#)] können die Werte verändert werden. Diese Werte dienen zur Darstellung der Grafik "berechnet/gemessen gegen die gewählte unabhängige Variable". In der Grafik berechnet-gemessen werden diese Werte über die eingetragene unabhängige Variable als Abszisse dargestellt.

### °Grafikausgabe°

"keine Grafikausgabe" oder  
"Grafikausgabe" auf einen genannten Dateityp

Im Eingabefeld [[Namenszusatz Grafikdatei](#)] kann ein maximal 8-stelliger Namenszusatz für die Grafikausgabedatei gewählt werden. Zu einem Modell können so mehrere Grafiken aufbewahrt werden.

## Verfahrensparameter

Mit den folgenden Eingabefeldern wird direkter Einfluss auf den Schätzverfahrensablauf genommen. In die Felder [[max. Iterationsanzahl EVOP-Verfahren](#)] , [[max. Iterationsanzahl Gradientenverf.](#)] und [[max. Anzahl Startschätzschritte](#)] werden die maximal erfolgreichen Iterationsschritte des jeweiligen Verfahren festgelegt. Wird dieser Wert erreicht hört das Verfahren auf zu arbeiten und geht zum nächsten Verfahren über, wobei der bis dahin optimale Parametersatz mitgenommen wird. Bei ersten Schätzversuchen zu einem Modellanpassungsproblem sollte man diese Werte nicht zu hoch setzen.

Im Feld [[max. Anz. Schritte zur Verkleinerung](#)] wird bestimmt wie oft insgesamt eine Schrittweitenverkleinerung vorgenommen wird, falls mitten im aufgespannten Variationsraster ein lokales Minimum liegt.

Der Wert im Feld [[Schrittfaktor für Gradientenberechnung](#)] spielt nur beim Gradientenverfahren eine Rolle. Er stellt einen multiplikativen Faktor bei der Bestimmung der Parameterdifferenz für die Gradientensuche dar.

Der Wert im Feld [[Minstdifferenz Abweichung](#)] legt die Minstdifferenz für den Verfahrensabbruch "kein neues Minimum" fest.

### Verfahrensauswahl

In der folgenden Auswahlbox werden die Schätzverfahren zur Auswahl angeboten, die EVOPGRD anbietet

°[Auswahl Schaetzverfahren](#)°

"Startpunktsuche"            und/oder

"EVOP-Verfahren"            und/oder

"Gradientenverfahren"

Falls mehrere Verfahren gewählt wurden, werden sie in der Reihenfolge: Startpunktsuche, EVOP-Verfahren, Gradientenverfahren nacheinander abgearbeitet.

### Steuertasten

Mit der Taste [Modell aendern](#) wird die Möglichkeit gegeben ein anderes Modell auszuwählen.

Mit der Taste [Werte aendern](#) wird die Eingabewerte auf der Dialogmaske wieder auf den Eingabezustand zurückgesetzt

Mit der Taste [STOPP](#) wird der Dialog EVPGRD\_e beendet.

Mit der Taste [EVOPGRD starten](#) wird der Verarbeitungsbaustein EVOPGRD ausgeführt.

In den Bausteinen EVOPGRD und EVPGRD4 werden die gleichen Algorithmen und Verfahren zur Modellanpassung bzw. Modellparameterschätzung eingesetzt.

## Dialog und Grafik im Verarbeitungsbaustein EVOPGRD

In EVOPGRD erscheint eine Grafikausgabe, in welcher der Fortschritt der Entwicklung der Parameterveränderungen und der Verkleinerung der Abweichung der berechneten von den gemessenen Zielgrößenwerten (Standardabweichung) angezeigt wird. Bei größeren Schätzparameteranzahlen und großen Datenmengen können spürbare Rechenzeiten auftreten. Durch die Koordination von Rechnen und Grafikausgabe kann es zu Anzeigeverzögerungen kommen. Es gilt mit etwas Geduld auf das Ende des Durchlaufes zu warten. Dann erscheinen vollständig die gewünschten Ausgaben. Auch aus diesem Grund ist es ratsam bei den ersten Anpassungsversuchen nicht mit zu hohen Iterationsanzahlen zu arbeiten.

Mit der Taste **START** auf dem Dialogfenster von EVOPGRD wird die Parameterschätzung / Modellanpassung gestartet.

Mit der Taste **STOPP** wird die Arbeit im Verarbeitungsbaustein beendet.

Mit der Taste **Vergleich berechnet-gemessen** wird der Baustein GRBEGED zur grafischen Auswertung gestartet.

Mit der Taste **Ergebnis in Modell uebernehmen** werden in die Modelldatei **modname\_mod.txt** die Ergebnisse eingetragen.

### KURZANLEITUNG EVPGRD\_e

- (1) Auswahl eines Modell aus der Liste |Modell Typ 3 auswählen|. Die Auswahl ist mit der Taste **Modell bestaetigen**
- (2) Mit der Taste **alte Steuersaetze aus projekt\_abd.txt laden** können die alten Steuersätze zum Modell geladen werden
- (3) Im vorgelegten Modell die Modellkoeffizienten durch Ankreuzen als Schätzparameter festlegen.
- (4) Bestätigen der Parameterauswahl mit der Taste **Parameterauswahl bestaetigen**
- (5) In die Eingabefelder sind die Steuergrößen für die ausgewählten Schätzparameter einzutragen  
[P(n) 1! VP1 VP2 VP3 Startwert untere Grenze obere Schrittzanz. Name] .  
In den Feldern [ 1! VP1 VP2 VP3 ] wird festgelegt, welcher Parameter im vorzubereitenden Programmlauf wie geschätzt werden soll.
- (6) Mit der Taste **Schaetzparameter bestaetigen** wird die Auswahl der in diesem Programmlauf zu schätzenden Parameter bestätigt.
- (7) Nun die übrigen Verarbeitungsparameter festlegen. Dabei sind logische Zusammenhänge zu beachten. So muss das gebildete Modell abgespeichert werden, wenn der Vergleich berechnet/gemessen dargestellt werden soll.
- (8) Ist der Vergleich berechnet/ gemessen gewählt worden, dann in der Variablenliste |Vergleich berechnet-unabh.Variable | die unabhängige Modellvariable markieren, welche als Abszisse in der grafischen Darstellung dient. Diese Variable muss Modellbestandteil und darf nicht die abhängige Variable sein.
- (9) Festlegung der Anzahl der Iterationsschritte zu den wählbaren Verfahren und der anderen die Schätzung beeinflussenden Steuergrößen.
- (10) In der Auswahlbox °Auswahl Schaetzverfahren° die Schätzverfahren bestimmen
- (11) Start des Bausteins EVOPGRD mit der Taste **EVOPGRD starten**
- (12) Mit der Taste **START** auf dem Dialogfenster von EVOPGRD die Parameterschätzung / Modellanpassung starten.

Dialog in EVPGRD\_e zum Beispiel:

The screenshot shows the EVOPGRD\_e software interface. The title bar reads "EVOPGRD Daten- und ProzessAnalyse". The main window contains several sections:

- Top Bar:** "Prozess- und Datenanalyse: EVPGRD\_e - Eingaben für den Programmbaustein EVOPGRD" and "Projekt: spe-fkt".
- Left Panel:** "Modell Typ 3 auswählen" with a list of model files (spe-fktx\_mod.txt, spe-fkt\_mod.txt) and a "Modell bestätigen" button.
- Center Panel:**
  - Equation:  $Z = \text{Fkt}(T1^*T2, Tm^*Tn)$
  - Index: 002, abs.Glied: 0.508914D+02, Name: speemeu
  - Parameter selection table with columns for Koeff., Index, Fkt ev1, n1, alpha, beta, TI: 2.Funktionsterm, gamma, and delta.
  - Buttons: "Parameterauswahl bestätigen", "Schätzparameter bestätigen".
  - Text: "Markiere max. 10 akt. Schätzparameter mit 1! Setze: Startwert, untere/obere Grenze".
  - Table with columns: P(n), 1!, NVP, Startwert, untere Grenze, obere, Schrittlanz., Name.
 

P(n)	1!	NVP	Startwert	untere Grenze	obere	Schrittlanz.	Name
P(1)	1	0	45.	0.400000D+02	0.510000D+02	100.0	b0: abs.Glied
P(2)	1	0	.95	0.900000D+00	0.100000D+01	100.0	b(1)
P(3)	1	0	.95	0.900000D+00	0.100000D+01	100.0	n1(1)
P(4)	0	-1	-45.	-0.510000D+02	-0.400000D+02	100.0	beta(1)
P(5)							
P(6)							
P(7)							
P(8)							
P(9)							
P(10)							
P(11)							
P(12)							
P(13)							
P(14)							
P(15)							
P(16)							
P(17)							
P(18)							
P(19)							
P(20)							
- Right Panel:**
  - "Vergleich berechnet-gemessen" with radio buttons for "ber/gem nicht ausfuehren" and "ber/gem darstellen".
  - "Vergleich berechnet-unabh.Variable" with a list of variables (001 speeralt, 001).
  - "Verfahrensparameter" with input fields for:
    - max. Iterationsanzahl EVOP-Verfahren: 5
    - max. Iterationsanzahl Gradientenverf.: 10
    - max. Anzahl Start-schätzschritte: 5
    - max. Anz. Schritte zur Verkleinerung: 20
    - Schrittfaktor fuer Gradientenberechnung: 0.10000D-03
    - Mindestdifferenz Abweichung: 0.10000D-09
  - "Grafikausgabe" with radio buttons for "keine Grafikausgabe", ".PNG Grafikausgabe", and ".TIFFGrafikausgabe".
  - "Namenszusatz Grafikdatei" with an empty text field.
  - "Auswahl Schätzverfahren" with radio buttons for "Startpunktsuche", "EVOP-Verfahren", and "Gradientenverfahren", each with a "nein" option.
- Bottom Bar:** "STOPP", "Modell ändern", "Werte ändern", "EVOPGRD starten".

Bild 2:  
Projekt: spe-fkt  
Modell: spe-fkt  
Schätzung von  
4 Parametern  
einer davon verbunden

Beispiel: (siehe dazu vorstehendes Bild 2)

Es sollen die Koeffizienten eines expliziten nichtlinearen Modells

"Umrechnung von Leistungen mit dem Speermodell bis 1985 in Leistungen mit dem Speermodell ab 1985"

mittels Regressionsanalyse so bestimmt werden, dass die Abweichung der Modellanpassung an die Messwerte möglichst gering ist.

Hintergrund: Im Jahre 1985 führte der Welt-Leichtathletikverband ein neues Modell für den Mörserspeer ein, weil für die Weltbesten bei Würfungen mit dem alten Modell inzwischen die Stadien zu klein wurden. In den Datensätzen wurde von den weltführenden Speerwerfern in dieser Zeit jeweils der beste Wurf mit dem alten und neuen Modell gegenüber gestellt. Die Streuung der Werte ist relativ groß. Im Mittel wird mit dem neuen Modell weniger weit als mit dem alten Modell geworfen, aber es gab auch einige Werfer, denen mit dem neuen Modell in diesem Zeitraum ein weiterer Wurf gelang.

Modellansatz :  $Y = p(1) + p(2) * [ 1.0 * X(1) - p(4) ]^{p(3)}$  rein inhaltlich ist  $p(1) = p(4)$

- Im Projekt **spe-fkt** wurde das Modell Typ 3 **spe-fkt** gewählt, welches in der Datei **spe-fkt\_mod.txt** aufgezeichnet ist.
- Die abhängige Variable ist  $Y = \text{speerneu} = \text{Weite mit neuem Speermodell}$
- Die unabhängige Variable ist  $X = \text{speeralt} = \text{Weite mit altem Speermodell}$

Parameter für die Modellterme

	absol.Glied	lin.Koeff.		Index	Fkt1	ev1	n1	alpha	beta
Koeffizienten	<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>Term1:</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>f</b>		<b>1.</b>	
Parameter	<b>p(1)</b>	<b>p(2)</b>					<b>p(3)</b>		<b>p(4)</b>

**f:** Funktion ohne weitere Verwendung/Einsatz

**X:** keine spezielle Funktion

Damit ergibt sich die Modellgleichung als Funktionsausdruck:  $Y = b0 + b1 * ( \text{alpha} * X(1) - \text{beta} )^{n1}$

Mit der Taste **EVOPGRD starten** wird EVOPGRD gestartet.

Mit der Taste **START** auf dem Dialogfenster von EVOPGRD wird die Parameterschätzung / Modellanpassung gestartet.

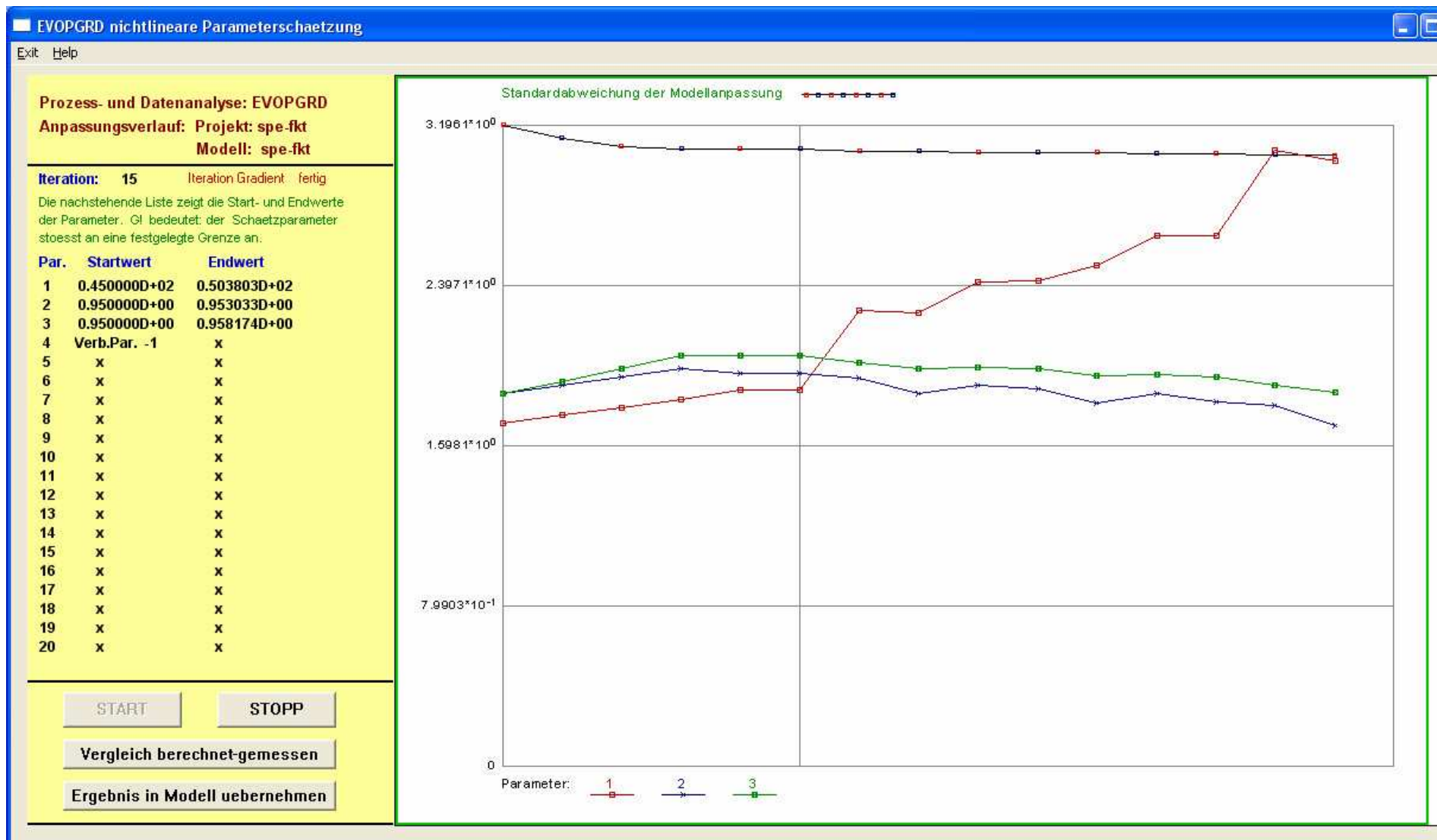


Bild 3: Entwicklung der Standardabweichung  $\square$   $\triangle$   $\square$  und der Parameterwerte im Verlauf der Iteration



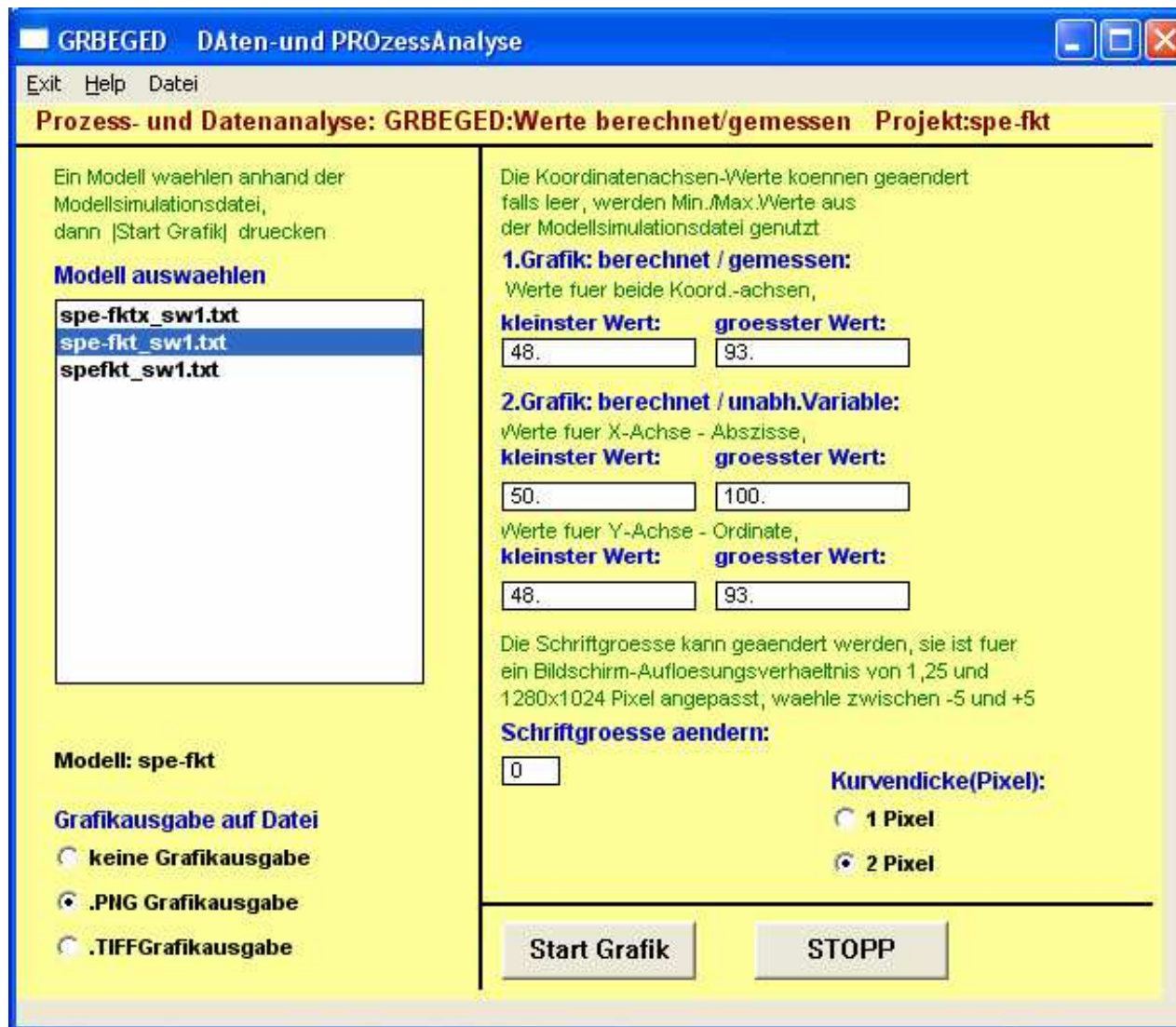


Bild 4:  
Nach betätigen der Taste  
Vergleich berechnet-gemessen  
Dialogmenü für die grafische Auswertung  
berechnet – gemessen  
nach der Parameterschätzung

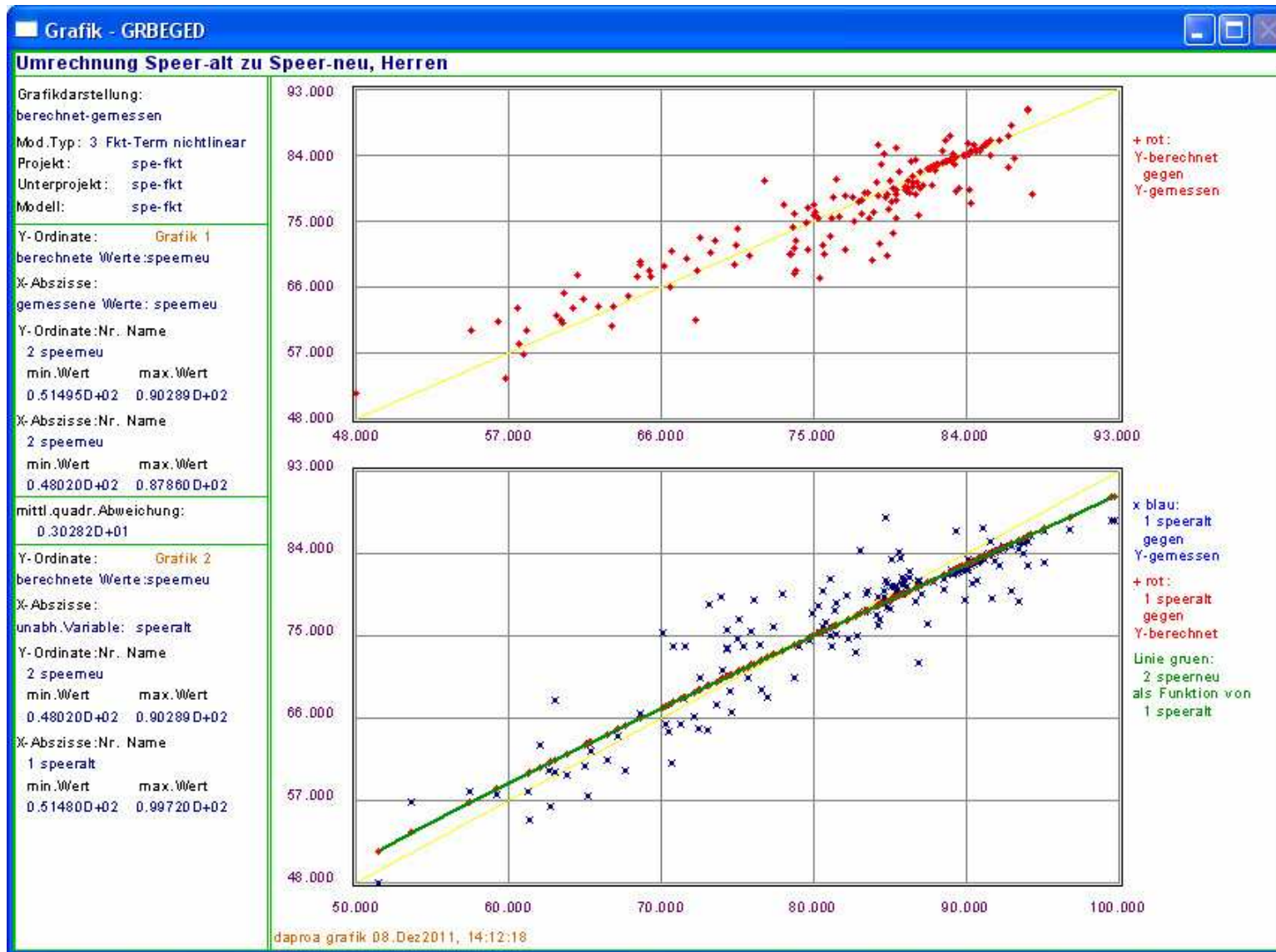


Bild 5:  
grafische Auswertung  
berechnet – gemessen  
nach der Parameter-  
schätzung

obere Grafik:  
direkter Vergleich  
berechnet – gemessen,  
man sieht die relativ  
große Streuung der  
Messpunkte

untere Grafik  
blaue Punkte: gewählte  
unabh. Variable gegen  
abh. Variable

grüne Linie, rote Punk-  
te:  
Simulation des Verlaufes  
der abh. Variablen  
gegen die gewählte  
unabh. Variable

Ergebnisdatei **spe-fkt\_pps.txt**

```
=====  
Parameterschaetzung mit EVOPGRD im Modell: spe-fkt  
  
Verwendetes Parameterschaetzverfahren:      Startpkt  
Verwendetes Parameterschaetzverfahren:      EVOP  
Verwendetes Parameterschaetzverfahren:      GRADIENT  
  
Anzahl der Parameter im Modell:            4  
Anzahl der unabhaengigen Variablen:        1  
Anzahl der abhaengigen Variablen:         1  
=====
```

03.Dez2011 20:09:35

Parameterschaetzung mit dem Projekt: spe-fkt  
Umrechnung Speer-alt zu Speer-neu, Herren

	Startwert_____	Schrittweite__	Status____
Parametereinstellung: P( 1)	0.4500000D+02	0.11000D+00	schaetzen
P( 2)	0.9500000D+00	0.10000D-02	schaetzen
P( 3)	0.9500000D+00	0.10000D-02	schaetzen
P( 4)	-0.4500000D+02	0.11000D+00	verbunden

--- Matrix der Schaetzquaderpunkte ---

```
0  0  0  0  
1 -1 -1 -1  
2  1 -1 -1  
3 -1  1 -1  
4  1  1 -1  
5 -1 -1  1  
6  1 -1  1  
7 -1  1  1  
8  1  1  1
```

\*\*\* Startwertschaetzung mit Parameterquader \*\*\*

ItNr	QP	Zielfunktion	P( 1)	P( 2)	P( 3)
1		0.2320843D+04	0.4511000D+02	0.9510000D+00	0.9510000D+00
2		0.2152278D+04	0.4527500D+02	0.9525000D+00	0.9525000D+00
3		0.2006315D+04	0.4544000D+02	0.9540000D+00	0.9540000D+00
4		0.1882794D+04	0.4560500D+02	0.9555000D+00	0.9555000D+00
5		0.1781549D+04	0.4577000D+02	0.9570000D+00	0.9570000D+00

Ende: Max.Anzahl vorgegebener Schritte erreicht

\*\*\* Parameterschaetzung mit EVOP-Verfahren: Faktorplan \*\*\*

ItNr	QP	Zielfunktion	P( 1)	P( 2)	P( 3)
0	0	0.1781549D+04	0.4577000D+02	0.9570000D+00	0.9570000D+00
1	8	0.1726345D+04	0.4588000D+02	0.9580000D+00	0.9580000D+00
2	8	0.1653497D+04	0.4601553D+02	0.9592937D+00	0.9600000D+00
3	8	0.1610683D+04	0.4615127D+02	0.9605918D+00	0.9620000D+00
4	8	0.1597972D+04	0.4628892D+02	0.9619004D+00	0.9640000D+00
5	2	0.1596922D+04	0.4644216D+02	0.9612710D+00	0.9640000D+00

Ende: Max.Anzahl vorgegebener Minimumsschritte erreicht

\*\*\* Parameterschaetzung mit Gradientenverfahren \*\*\*

ItNr	QP	Zielfunktion	P( 1)	P( 2)	P( 3)
0	5	0.1596922D+04	0.4644216D+02	0.9612710D+00	0.9640000D+00
1	5	0.1588276D+04	0.4781327D+02	0.9604653D+00	0.9629113D+00
4	2	0.1585669D+04	0.4777398D+02	0.9580616D+00	0.9620100D+00
5	5	0.1583193D+04	0.4830651D+02	0.9593501D+00	0.9621622D+00
9	5	0.1581966D+04	0.4831269D+02	0.9588469D+00	0.9619625D+00
10	6	0.1579245D+04	0.4857562D+02	0.9565559D+00	0.9608940D+00
11	5	0.1576791D+04	0.4908135D+02	0.9580133D+00	0.9611091D+00
15	5	0.1574748D+04	0.4909078D+02	0.9568027D+00	0.9606252D+00
16	5	0.1567887D+04	0.5056166D+02	0.9561541D+00	0.9592892D+00
17	6	0.1565704D+04	0.5038034D+02	0.9530333D+00	0.9581743D+00

Ende: Max.Anzahl Iterationsschritte erreicht, Verbesserungen: 10 Gesamt: 18

Schaetzparameter	alt	neu	Status
P( 1)	0.45000000D+02	0.50380345D+02	schaetzen
P( 2)	0.95000000D+00	0.95303331D+00	schaetzen
P( 3)	0.95000000D+00	0.95817429D+00	schaetzen
P( 4)	-0.45000000D+02	-0.50380345D+02	verbunden

Fehlerquadratsumme: 0.15657042D+04  
Standardabweichung: 0.30437677D+01  
mittl.Balance + - : 0.17355002D+00

Die variierten Schätzparameter konvergieren noch nicht gegen eine feste Größe. Auch der Fehler verkleinert sich. Man sieht, dass der Parameter p(1) und mit ihm der verbundene Parameter p(4) sich der obere Grenze annähern. Ehe man die obere Grenze erweitert, sollte man sich den Modellausdruck und die Projektbasisdaten in der Datei [spe-fkt\\_std.txt](#) ansehen.

Modellausdruck:  $Y = p(1) + p(2) * [1.0 * X(1) - p(4)]^{p(3)}$       p(1) = p(4) wegen Parameterverbindung

#### Projektbasisdaten:

Umrechnung Speer-alt zu Speer-neu, Herren

2	170	0			
speeralt	0.514800D+02	0.997200D+02	0.821262D+02	0.990067D+01	170
speerneu	0.480200D+02	0.878600D+02	0.766746D+02	0.821549D+01	170
1.000000	0.928570	1.000000			

Man beachte den markierten Ausdruck im Modell:

p(4) darf nicht größer als die Werte der unabhängigen Variablen X (speeralt) in den Datensätzen werden, sonst entsteht ein negativer Ausdruck potenziert mit einer gebrochenen Zahl, dies führt zu einem "fatalError" und zum Programmabsturz.

Der Minimalwert in den Datensätzen von X (speeralt) ist 51,48

Das heißt die obere Grenze von X (speeralt) muss kleiner 51,48 sein.

Die Modellanpassung und damit die Parameterschätzung wird nun noch einmal mit dem bisher erreichten Werten der Schätzparameter als neuen Startpunkt von p(1) bzw. p(4) gestartet. Eingesetzt wird nur das Gradientenverfahren.

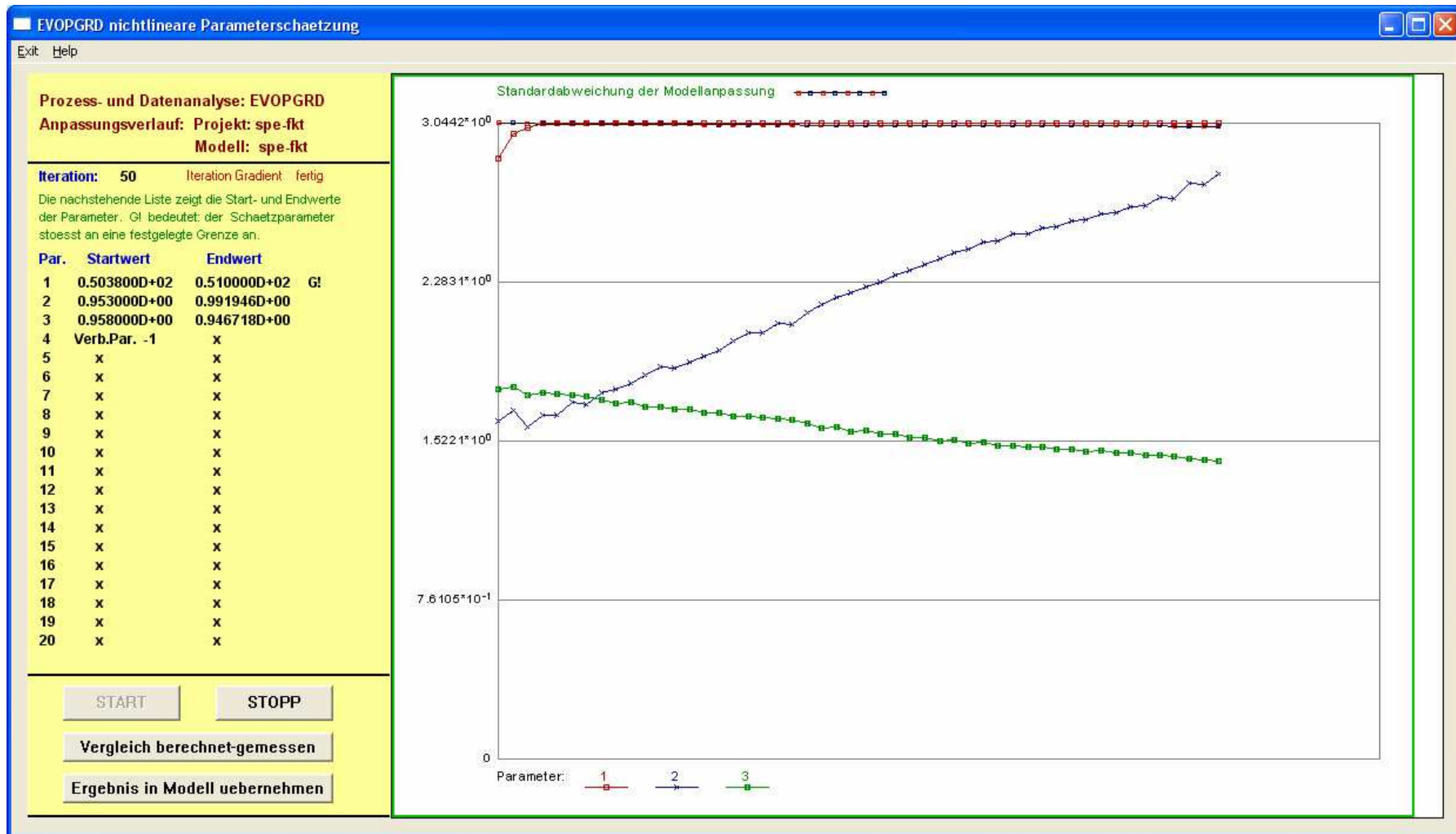


Bild 6: Entwicklung der Standardabweichung  $\square$   $\square$   $\square$  und der Parameterwerte 1, 2, 3 im Verlauf der Iteration nach dem neuem Start der Parameterschätzung. Man sieht die Standardabweichung verringert sich kaum, obwohl die Parameter 2 und 3 sich noch gegenläufig verändern. Der Parameter 1 hat seine festgelegte obere Grenze erreicht. Das Minimum der Modellabweichung scheint sich topografisch gesehen in einem "lang gestreckten, ein wenig abfallenden 3-dimensionalen Tal" zu befinden.

Auszug aus der Ergebnisdatei **spe-fkt\_pps.txt**

=====  
Parameterschaetzung mit EVOPGRD im Modell: spe-fkt

Verwendetes Parameterschaetzverfahren: GRADIENT

Anzahl der Parameter im Modell: 4  
Anzahl der unabhaengigen Variablen: 1  
Anzahl der abhaengigen Variablen: 1

=====

03.Dez2011 20:43:13

Parameterschaetzung mit dem Projekt: spe-fkt  
Umrechnung Speer-alt zu Speer-neu, Herren

		Startwert_____	Schrittweite__	Status____
Parametereinstellung:	P( 1)	0.5038000D+02	0.11000D+00	schaetzen
	P( 2)	0.9530000D+00	0.10000D-02	schaetzen
	P( 3)	0.9580000D+00	0.10000D-02	schaetzen
	P( 4)	-0.5038000D+02	0.11000D+00	verbunden

\*\*\* Parameterschaetzung mit Gradientenverfahren \*\*\*

ItNr__	QP__	Zielfunktion__	P( 1)	P( 2)	P( 3)
0	6	0.1566138D+04	0.5038000D+02	0.9530000D+00	0.9580000D+00
1	5	0.1562755D+04	0.5080321D+02	0.9547947D+00	0.9583685D+00
2	6	0.1562063D+04	0.5091367D+02	0.9521206D+00	0.9571847D+00
3	5	0.1560159D+04	0.5099999D+02	0.9540011D+00	0.9575678D+00
4	2	0.1559982D+04	0.5099999D+02	0.9539113D+00	0.9572993D+00
5	5	0.1559740D+04	0.5099999D+02	0.9559716D+00	0.9571221D+00
6	2	0.1559475D+04	0.5099999D+02	0.9556641D+00	0.9568557D+00
7	5	0.1559026D+04	0.5099999D+02	0.9573954D+00	0.9564626D+00
8	2	0.1558798D+04	0.5099999D+02	0.9579712D+00	0.9558628D+00
9	2	0.1558532D+04	0.5099999D+02	0.9588937D+00	0.9559563D+00
10	2	0.1558045D+04	0.5099999D+02	0.9603616D+00	0.9553780D+00

```
...  
40 2 0.1551289D+04 0.5099999D+02 0.9846923D+00 0.9482923D+00  
41 5 0.1551140D+04 0.5099999D+02 0.9857104D+00 0.9483385D+00  
42 2 0.1551007D+04 0.5099999D+02 0.9857869D+00 0.9479690D+00  
43 5 0.1550853D+04 0.5099999D+02 0.9868237D+00 0.9480249D+00  
44 2 0.1550722D+04 0.5099999D+02 0.9868656D+00 0.9477715D+00  
45 5 0.1550576D+04 0.5099999D+02 0.9882282D+00 0.9477119D+00  
46 2 0.1550426D+04 0.5099999D+02 0.9880756D+00 0.9474956D+00  
47 5 0.1550047D+04 0.5099999D+02 0.9904161D+00 0.9471185D+00  
48 2 0.1549878D+04 0.5099999D+02 0.9901797D+00 0.9468590D+00  
49 5 0.1549700D+04 0.5099999D+02 0.9919464D+00 0.9467177D+00
```

Ende: Max.Anzahl Iterationsschritte erreicht, Verbesserungen: 50 Gesamt: 50

Schaetzparameter	alt	neu	Status
P( 1)	0.50380000D+02	0.50999989D+02	schaetzen
P( 2)	0.95300000D+00	0.99194636D+00	schaetzen
P( 3)	0.95800000D+00	0.94671774D+00	schaetzen
P( 4)	-0.50380000D+02	-0.51000000D+02	verbunden

Fehlerquadratsumme: 0.15496996D+04  
Standardabweichung: 0.30281711D+01  
mittl.Balance + - : 0.45703751D-01

#### Fazit:

Der nochmalige Start der Parameterschätzung brachte nur eine kleine Verbesserung der Fehlerquadratsumme bzw. Standardabweichung, siehe Grafik 6.

Die Parameter 1 und der mit diesem verbundenen Parameter 4 stoßen an Ihre Grenze, erreichen aber fast den nicht überschreitbaren Wert /siehe oben).

Allerdings hat sich die mittlere Balance verkleinert, das bedeutet die Summe der linearen Abstände der Messpunkte links und rechts von der Modellkurve etwa gleich ist. Die Modellkurve liegt sehr harmonisch in der Punkwolke.