

1. INHALT IM ÜBERBLICK

2. ANWENDUNGEN PROGRAMMTEIL <PROGNOSTIK>

2.1 BEISPIELE

2.2 BEDIENUNG

2.3 BASISFORMELN

3. ANWENDUNGEN PROGRAMMTEIL <REGRESSION>

3.1 BEISPIELE

3.2 BEDIENUNG

3.3 BASISFORMELN

1. INHALT IM ÜBERBLICK

Der vorliegende Programmteil <PROGNOSTIK> ist eine Adaption des Rechenmodells <STATISTIK>, wie im „Schwesterprogramm“ <Grafische Statistik TREND SS 2000> erläutert. Mit Blick auf die jetzt (2012) stattfindende, unentgeltliche öffentliche Freigabe wird nun auch für diese Anwendungen nachträglich noch eine kurze Dokumentation und Beispielsammlung erstellt.

Es handelt sich bei diesem Programmteil <PROGNOSTIK> um die statistische Fortschreibung von bekannten Zeitreihen in die Zukunft. Im Ansatz werden dazu dieselben drei logistischen Sättigungsfunktionen verwendet, wie zum eingangs genannten Statistikprogramm im Detail beschrieben. Auch hier finden sich sehr viele praktische Anwendungen – nämlich überall dort, wo bei einem (Wachstums -) Vorgang oder Verlauf „die Bäume nicht in den Himmel wachsen“. Sowohl dieses, wie auch das genannte „Schwesterprogramm“ wurden in den Jahren 1998/99 für den Eigenbedarf entwickelt und jetzt über die IG OEKOPRIORITY allgemein zugänglich gemacht.

Neben der Erfassung von entsprechenden Zeitreihen – bzw. solchen, welche sich in Anwendung des Programms <PROGNOSTIK> als „gegen einen Grenzwert strebend“ herausstellen – können mit diesem Instrument auch beliebige Regressionsanalysen durchgeführt werden, sofern die gegebenen Wertepaare bei der Eingabe „von Hand“ nach ihrer Grösse gegliedert werden. Das Deckungsmass zwischen den gegebenen Wertepaaren und einer der drei vermuteten Sättigungskurven kommt in der Resultatgrafik sowie durch den berechneten Korrelationskoeffizienten (r) zum Ausdruck.

Mit dem zweiten Programmteil <REGRESSION> lassen sich – bei analogem Aufbau der Resultatgrafik – gegebene Wertepaare nach neun verschiedenen Funktionen (keine Sättigungsfunktionen) hinsichtlich ihres Zusammenhangs untersuchen. Jene der neun angenommenen Funktionen, welche mit den Vorgaben am besten zur Deckung kommt, wird als Resultatgrafik mit Angabe der entsprechenden Funktion und ihrer Kenngrössen sowie dem zugehörigen (grössten) Korrelationskoeffizienten (r) dargestellt.

2. ANWENDUNGEN PROGRAMMTEIL <PROGNOSTIK>

2.1 BEISPIELE

Vorbemerkung: Innerhalb des Programmteils <PROGNOSTIK> können je nach Wertvorgaben zwei verschiedene Resultatgrafiken abgerufen werden.

a) Eingabe von Summenwerten: Stellt das verfügbare Zahlenmaterial eine Aufsummierung der „y – Werte“ (Ordinate) in Funktion der Zeit (x – Werte, Abszisse) dar, wird als Resultatgrafik die gestreckte Summenkurve mit den anliegenden Vorgabewerten, den massgebenden Kennwerten der Funktion sowie eine Abfrageleiste geliefert.

b) Eingabe von Einzelwerten: Jede Summenkurve die nach einem Grenzwert strebt, impliziert damit gegen die „Unendlichkeit“ hin zwangsläufig bis auf den praktischen Wert Null abnehmende Einzelwerte. Werden als y – Werte solche Einzelwerte in die Berechnung aufgenommen, so wird nach Betätigung des entsprechenden Buttons eine an diese Y – Einzelwerte adaptierte Glockekurve dargestellt. Mit den Vorgabewerten x_i sowie $X_{(i+d)}$ kann nun das Integral (z. B. zwischen 0 und 100 Jahren) abgefragt werden, welches ebenfalls den maximalen Summenwert einer Entwicklung beziffert. Wie das zugehörige Beispiel 2.1.2 allerdings zeigt, kann zwischen der Berechnung über die Summenwerte, bzw. über die Einzelwerte für ein und dieselbe Aufgabenstellung ein sehr ungleicher Endwert resultieren, was sich aber plausibel erklären lässt (siehe dort).

2.1.1 Beispiel „Fernsehkonzessionen“ über Summenwerte

Eine im Jahre 1973 publizierte Statistik lieferte den Zuwachs an Fernseh - konzessionen „seit Anbeginn“ im Jahre 1953 bis zum aktuellen Publikationsdatum (von 920 Konzessionen auf 1.59 Mio. im Jahre 1973). Die Autoren haben sich damals gefragt, welche Entwicklung dieses Medium bis in die ferne Zukunft wohl nehmen würde. Statt einer Prognose wurden einprägsam drei mögliche Kurven (versehen mit Fragezeichen) abgebildet – so wie wir das heute für alle möglichen Zukunftsentwicklungen vorgesetzt bekommen.

In der nachstehenden Eingabemaske zum Programmteil <PROGNOSTIK> sind die Summenwerte (Konzessionen) für die damals bekannten Jahre (teilweise) abgebildet. Wie die entsprechende Resultatmaske zeigt, folgte der reale Verlauf

zwischen 1953 bis 1973 sehr exakt einer logistischen Summenkurve mit degressiv abnehmender Wachstumsrate. (\rightarrow Korrelationskoeffizient $r \sim 0.999\dots$). Mittels der Abfrageleiste auf der Resultatmaske kann beispielsweise die Prognose für das (damals) ferne Jahr ende 2000 mit ($2.570 < 2.650 < 2.730$) Mio. abgelesen werden. Laut Statistik SRG waren es zu diesem Zeitpunkt 2.7 Mio. Oder: Für Dezember 1968 (innerhalb der Wertevorgaben) meldete die SRG den 1 – millionsten Konzessionär. Nach Abfrageleiste waren für diesen Zeitpunkt 999'082 Konzessionäre zu erwarten. Für das „aktuelle Betriebsjahr 2011“ liegen keine amtlichen Angaben vor. Nach Abfrageleiste müsste die Zahl etwa zwischen 2.595 und 2.758 Mio. liegen. Nach der Resultatgrafik dürfte (müsste) aber ende 2001 ($x \sim 101.6$) rund 99%ige Sättigung erreicht worden sein. Eine noch bessere Prognose könnte erzielt werden, wenn jetzt alle bekannten Jahressummen bis ende 2011 neu eingegeben würden. Grosse Abweichungen wären aber kaum zu erwarten!

Bezeichnung (max. 52 Zeichen) :
Wachstum Fernsehkonzess.1953 -73; ab 74 = Prognose

Anzahl Wertepaare (max. 21) :
21
Anzahl OK

Bezugshorizont X1 :
53
Neu

Messwert K1 :
.00092
alle Eingaben OK

Eingabe-Korrektur erst nach Eingabe-Ende !
Eingabe speichern

Liste der eingegebenen Werte :
Zurück zum Start

1	53.0000000	0.0009200
2	54.0000000	0.0044570
3	55.0000000	0.0105070
4	56.0000000	0.0199710
5	57.0000000	0.0313740
6	58.0000000	0.0503140
7	59.0000000	0.0787000
8	60.0000000	0.1289580
9	61.0000000	0.1938190

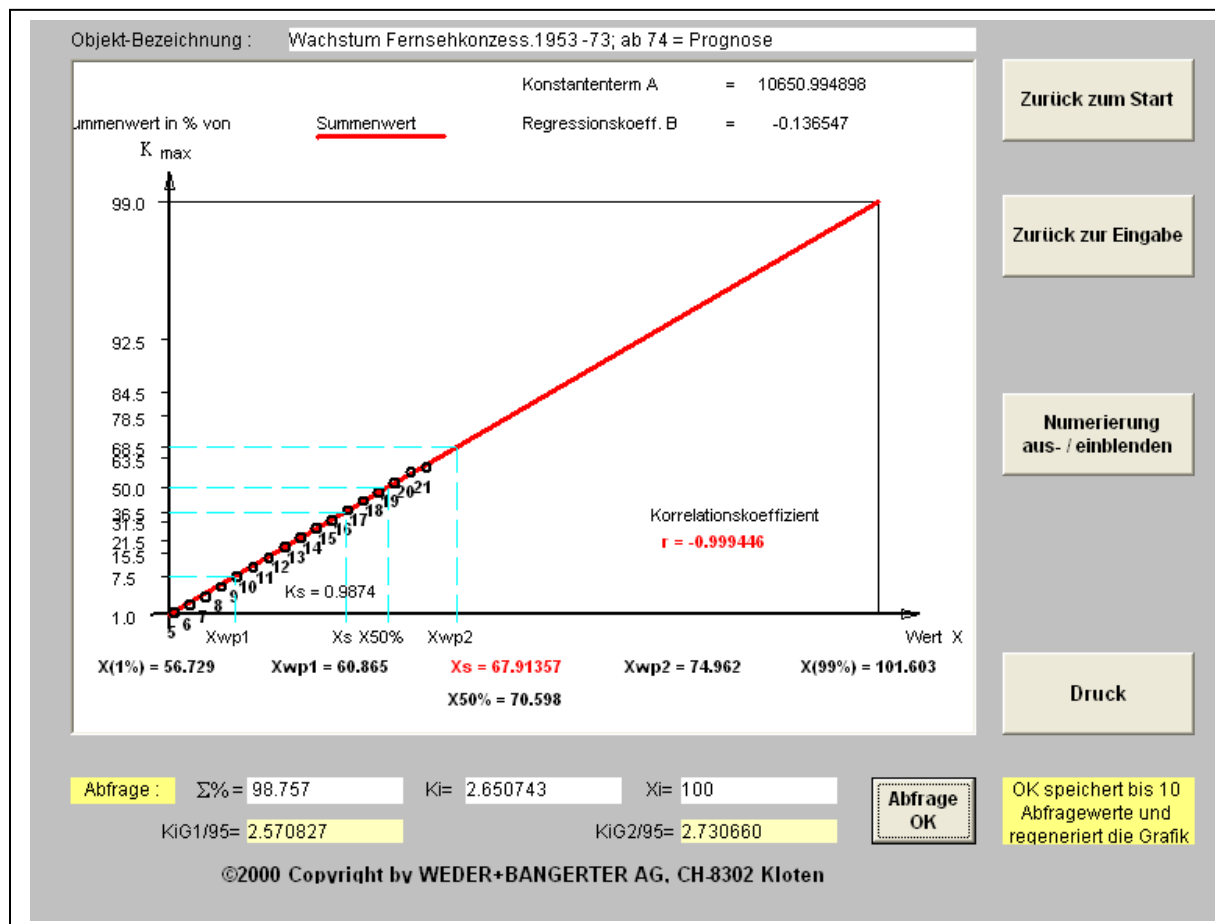
Fall Summenwerte :
 $r = -0.9994464000$

Fall Einzelwerte :
 $r = -0.9994538693$

Grafik Fall Summenwert

Grafik Fall Einzelwerte

©2000 Copyright by WEDER+BANGERTER AG, CH-8302 Kloten



Merke: Nr. 21 = 1973, bzw. x (99% Sättigung) ~ ende Sept. 2001

2.1.21 Beispiel Flugbewegungen über Summenwerte

Beginnend im Jahr 1975 wurde die Entwicklung der Flugbewegungen auf dem Flughafen Zürich bis ins Jahr 1997 verfolgt (wie und was dabei genau gezählt wurde, ist hier unerheblich). Die Summenwerte – beginnend bei 138'011 fürs Jahr 1975 bis 276'131 ende 1997 sind in der unten abgebildeten Eingabemaske (teilweise) ersichtlich. Sie ergeben nach Resultatmaske – trotz gutem Korrelationskoeffizienten von $r = 0.9902...$ (Vorzeichen irrelevant) – einen etwas utopischen „Sättigungswert“ (basierend auf welcher Infrastruktur?) von ca. 1.510 bis 1.646 Mio. Flugbewegungen pro Jahr – oder einen 99% - Sättigungswert im Jahre 2195 von ca. 1.496 bis 1.563 Mio.?! Wie glaubhaft ist das Ergebnis?

Wie die Grafik zeigt, liegen die Messpunkte zwar recht genau auf einer Summenkurve mit progressiv abnehmender Wachstumsrate – aber auch noch im weiten Bereich des „exponentiellen“ Kurvenabschnitts angesiedelt. Im Gegensatz dazu folgen die bekannten Messwerte bei Beispiel 2.1.1 (mit „Degressiv - Summenkurve“) schon dem typischen S – Verlauf bei Sättigungsfunktionen. Das Ergebnis nach 2.1.21 ist daher – abgesehen aller Infrastrukturfragen – mit Vorsicht zu geniessen.

Bezeichnung (max. 52 Zeichen) :

Anzahl Wertepaare (max. 21) :

Bezugshorizont X1 :

Messwert K1 :

Eingabe-Korrektur erst nach Eingabe-Ende !

Liste der eingegebenen Werte :

1	75.0000000	138011.0000000
2	77.0000000	145130.0000000
3	78.0000000	150456.0000000
4	79.0000000	154215.0000000
5	80.0000000	161129.0000000
6	81.0000000	163358.0000000
7	83.0000000	165820.0000000
8	84.0000000	170391.0000000
9	86.0000000	178764.0000000

Fall Summenwerte :
 $r = -0.9902069769$

Fall Einzelwerte :
 $r = -0.9955484388$

Anzahl OK

Neu

alle Eingaben OK

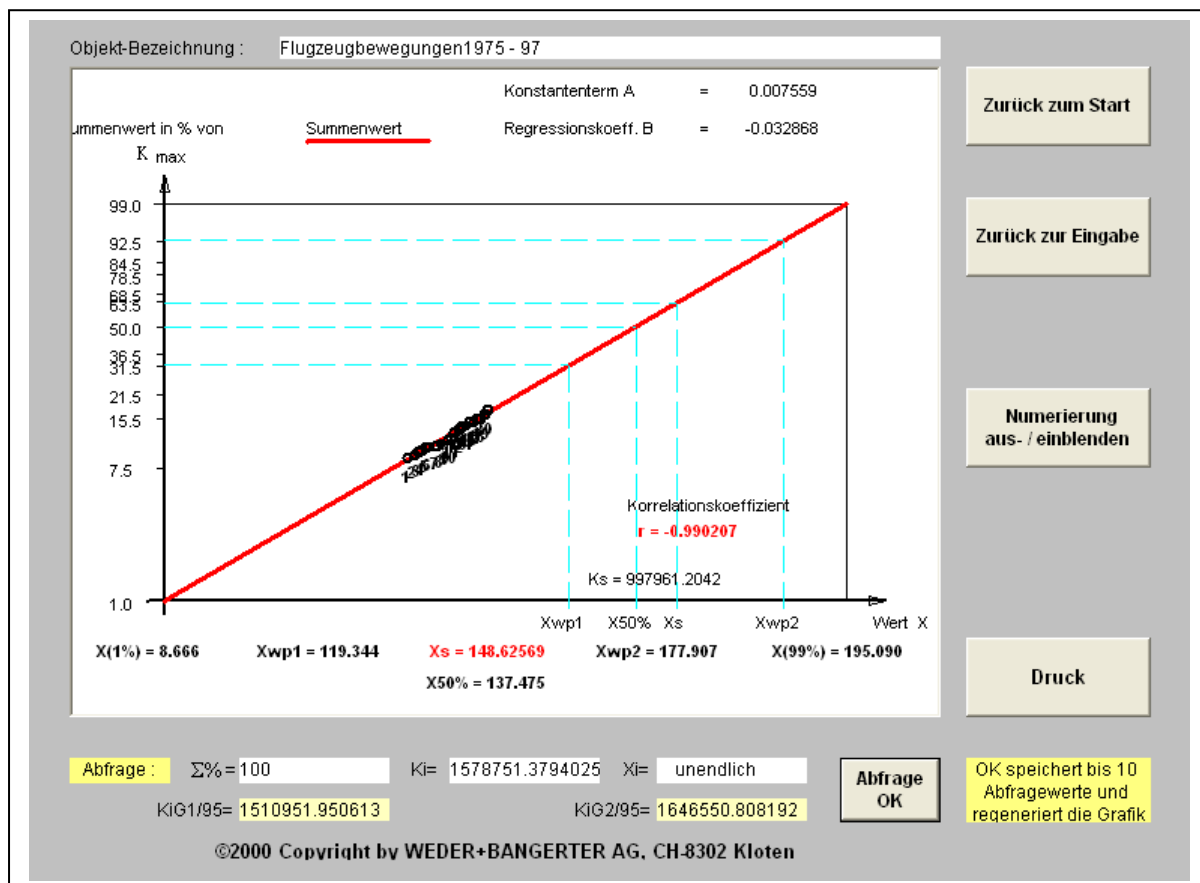
Eingabe speichern

Zurück zum Start

Grafik Fall Summenwert

Grafik Fall Einzelwerte

©2000 Copyright by WEDER+BANGERTER AG, CH-8302 Kloten



2.1.22 Beispiel Flugbewegungen über Differenzwerte

Mit Hilfe der jährlichen „Differenzwerte“ an Flugbewegungen kann alternativ gemäss Beispiel 2.1.22 ebenfalls eine entsprechende Prognose abgegeben werden. Die Jahresdifferenzen (Zuwächse) von 1975 bis 1997 gemäss Abbildung unten führen über den Button <Einzelwerte> zur erwarteten Glockenkurve des Differenzen – Verlaufs. Der zugehörige Korrelationskoeffizient ist mit $r = 0.990$ zwar etwas tiefer als bei der Berechnung nach Beispiel 2.1.21, andererseits wird hier als beste Korrelation eine zugeordnete (nicht abgebildete) Summenkurve mit degressiv abnehmender Wachstumsrate gefunden. Merke: Wenn der y – Wert beim „linksdrehenden“ Wendepunkt x_1 der Glockenkurve kleiner ist als beim „rechtsdrehenden“ x_2 , dann liegt (wie hier) der <Fall degressiv> vor.

Die x – Eingabewerte (Zuwächse) bei Beispiel 2.1.22 (Werte 75 bis 95) liegen nach Grafik „entsprechend schön“ im S – Kurvenbereich und sind damit – trotz etwas tieferem Korrelationskoeffizienten als nach Beispiel 2.1.21 – viel vertrauenswürdiger. Um nun nach dieser zweiten Berechnung eine Prognose über den „Endwert“ der Flugbewegungen pro Jahr anzustellen, kann folgendermassen vorgegangen werden:

Es wird – beispielsweise – in der Abfrageleiste zuerst für $x_{(i+d)}$ der Wert 150 (Jahr 2050 → gemäss Grafik praktisch kein Zuwachs mehr), und danach für x_i der Wert 76 (Jahr 1976) eingegeben. Für das Integral über diese Zeitspanne resultieren dann Ablesewerte für den 95% - Vertrauensbereich zwischen 210'743 und 228'009 aufsummierten Zuwächsen. Hinzuzuzählen sind dann noch laut Statistik die für 1975 ermittelten 138'148 Bewegungen pro Jahr (erster Summenwert Beispiel 2.1.21). Endwerte sind somit in der (glaubhaften) Bandbreite von ca. 348'900 bis 366'200 Bewegungen pro Jahr zu erwarten.

Bezeichnung (max. 52 Zeichen) : Flugzeugbewegungen Einzelwerte

Anzahl Wertepaare (max. 21) : 20

Bezugshorizont X1 : 75

Messwert K1 : 4692

Eingabe-Korrektur erst nach Eingabe-Ende !

Liste der eingegebenen Werte :

1	75.0000000	4692.0000000
2	76.0000000	1809.0000000
3	77.0000000	5310.0000000
4	78.0000000	5326.0000000
5	79.0000000	3759.0000000
6	80.0000000	6914.0000000
7	81.0000000	2229.0000000
8	83.0000000	2462.0000000
9	84.0000000	4571.0000000

Fall Summenwerte : $r = 0.1944897017$

Fall Einzelwerte : $r = -0.9900301109$

Anzahl OK

Neu

alle Eingaben OK

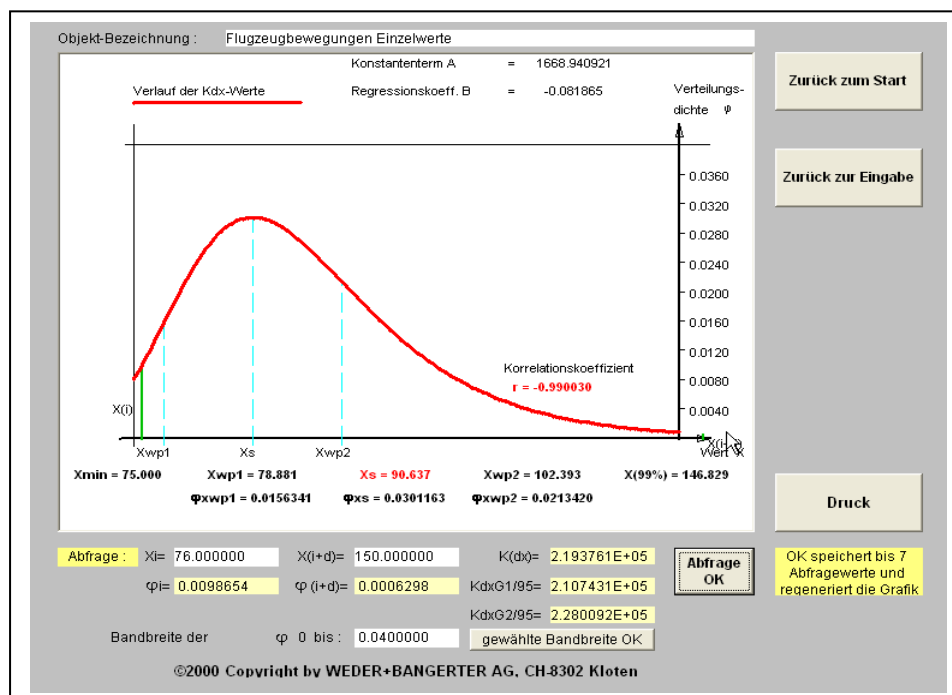
Eingabe speichern

Zurück zum Start

Grafik Fall Summenwerte

Grafik Fall Einzelwerte

©2000 Copyright by WEDER+BANGERTER AG, CH-8302 Kloten



Eine Kontrollrechnung dazu kann auch gemacht werden, wenn das Integral der Zuwächse von (beispielsweise) 1998 bis 2050 ermittelt (89'077 bis 100'833), und der aktuelle Wert von 1997 (276'131) hinzugezählt wird. Es resultiert dann als vergleichbare Gösse ein „Endwert“ zwischen ca. 365'200 und 377'000 Bewegungen pro Jahr. Beide Endwerte – basierend auf der bestehenden Infrastruktur – dürften im Gegensatz zur Prognose nach Beispiel 2.1.21 noch realistisch sein. Ein Kontrollblick in die neuste Statistik des Flughafens Zürich zeigt denn auch, dass der momentane Spitzenwert mit 325'622 Bewegungen schon im Jahr 2000 erreicht wurde und seither tendenziell (gesamthaft – 55'000 in den letzten 10 Jahren!) rückläufig ist. Um eine verlässlichere Aussage über die Prosperität des Flughafen zu machen, müsste allerdings (z. B.) das Produkt aus (Bewegungen x Passagiere) verfolgt werden.

2.2 BEDIENUNG

Nach Anklicken des betreffenden Programnteils <PROGNOSTIK> muss die Eingabemaske zuerst (fakultativ) mit Objektbezeichnung versehen sowie zwingend die Anzahl verfügbarer Wertepaare (max. 21) beschriftet werden. Nach Doppelklick auf ENTER (Tastatur Keyboard) öffnet sich die Maske vollständig, und die Wertepaare können eingegeben werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die x – Werte dem ansteigenden Verlauf entsprechend folgen. Nach der Bestätigung von: <alle Eingaben OK>, berechnet das Programm für die beiden Fälle <Summenwerte> und <Einzelwerte> den Verlauf mit bestmöglichem Korrelationskoeffizienten. Entsprechend den Wertvorgaben (Summenwerte oder Einzelwerte) ist für die Resultatgrafik anschliessend der zutreffende Button anzuklicken. Auf der Abfrageleiste ist standardmässig für ein $X_i = \infty$ der „Endwert“ direkt ablesbar. Er kann auch durch den mitgeteilten Wert K_s (y an der Stelle des Wendepunktes der Summenkurve) bestimmt werden, indem K_s beim Fall „degressiv“ durch den Faktor $(e^{\lambda}-1)$, im Fall „linear“ durch 0.5 und im Fall „progressiv“ durch $(1 - e^{\lambda}-1)$ dividiert wird. Bei der „Summenkurve“ können desgleichen beliebige Wert K_i (Summenwerte) eingegeben und der zugehörige x_i – Wert abgefragt werden – oder umgekehrt! Die hellgelb untermalten Werte K_{iG1} und K_{iG2} stecken (in etwa) den 95% - Vertrauensbereich für den Erwartungswert K_i ab.

Ein paar Tipps noch zur Eingabe der Wertepaare:

*Sollte man sich bei der Eingabe vertippt haben, kann die Berichtigung erst nach eintippen aller der unter <Anzahl> festgelegten Zahlenpaare erfolgen.

*Änderungen werden vorgenommen, indem das fragliche Zahlenpaar in der Eingabemaske mit dem linken Mauszeiger markiert und alsdann der Neueintrag vorgenommen wird.

*Soll ein Zahlenpaar generell gelöscht werden, so wird dies mit entsprechendem Doppelklick in der Eingabemaske eingeleitet und die aufscheinende Frage mit JA beantwortet.

*Soll schliesslich nach abgeschlossenem Werteeintrag die Anzahl an Wertepaaren erhöht werden, so kann dies nach Markieren der aktuellen <Anzahl> und folgender Änderungseingabe eingeleitet werden.

Merke: Grundsätzlich ist das „Handling“ der Eingabemaske dasselbe, wie schon in der Dokumentation zum Programm <STATISTIK UND SIMULATION TREND SS> beschrieben.

3. ANWENDUNGEN PROGRAMMTEIL <REGRESSION>

Regressionsanalysen haben einen grossen praktischen Nutzen. Es können damit interessante Zusammenhänge „auf statistischem Weg“ hergestellt werden, ohne dass dazu die mathematischen Abhängigkeiten zwischen den Wertepaaren <X> und <Y> bekannt sind – oder stets neu berechnet werden müssen.

Beispiel eines praktischen Nutzens: Zwischen der Rohdichte und der Wärmeleitfähigkeit von (homogenen) Dämmstoffen besteht tendenziell der Zusammenhang, dass mit zunehmender Rohdichte auch die Wärmeleitfähigkeit zunimmt. Es ist aber nicht gesagt, dass dieser Zusammenhang linear sein muss.

Nun muss bekannterweise der massgebende Wärmeleitwert des Dämmstoffs nach internationalen Normen deklariert sein, wobei als Ausgangsgrösse der „90% - Fraktilwert auf 90% Vertrauensniveau“ dient. Ausgehend von einer möglichst grossen Stichprobe (Lambdawert – Messungen) wird nach statistischen Regeln dieser Kennwert festgelegt. Darüber hinaus fordern nun aber die Normen auch periodische Fremdüberwachungen, welche ihrerseits nach statistischen Regeln

die Überwachung des deklarierten Grenzwertes ermöglichen. Da diese periodischen Lambdawert – Messungen relativ teuer sind, bieten die Normen eine „mittels Regression“ kostengünstige Ersatzlösung wie folgt an:

Werden die Prüfmuster zur erstmaligen Deklaration der Wärmeleitfähigkeit vorgängig durchnummeriert und zuerst einer kostengünstigen, individuellen Messung ihrer Rohdichte unterzogen, so könnte nach ebenfalls erfolgter, individueller Wärmeleitprüfung mit den durchnummerierten Wertepaaren mittels des Programnteils <REGRESSION> (oder durch eine Regression mit <PROGNOSTIK>?) ein funktionaler Zusammenhang hergestellt werden. Damit dürfte nach geltenden Normen für die künftig wiederkehrenden Stichproben / Qualitätsüberwachungen statt der teuren Wärmeleitprüfung die kostengünstige Rohdichte – Erhebung durchgeführt werden. Die gemessenen Rohdichtewerte liessen sich auf entsprechende Wärmeleit – Stichprobewerte umrechnen und letztere mit der früher festgestellten Referenz - Verteilung vergleichen. Ob dieses Angebot zur Prüfkosten – Senkung „mittels Regression“ tatsächlich genutzt wird, ist nicht bekannt. Es liegt allerdings nicht unbedingt auch im wirtschaftlichen Interesse von externen, beglaubigten Prüfstellen.

3.1 BEISPIELE

Als <Beispielsammlung / Grundmuster> sind neun verschiedene Funktionen, an welche sich gegebene Wertepaare bestmöglich „anlehnen“ könnten, im vorliegenden Zip – Ordner <Anwendungen REGRESSION> abgelegt. Sie können gemäss Beschrieb im Ordner <Zuerst lesen: Thematik + Installation> (zweitletzter Abschnitt) auf die Festplatte kopiert werden. Ausserdem finden sich in dieser Zip – Ablage auch die EDV – Daten und Grafiken zu den nachstehenden zwei Beispielen (3.1.1 und 3.1.2). Ferner ist im analogen Zip – Ordner <Anwendungen PROGNOSTIK> neben den entsprechenden Beispielen unter 2.1.1 und 2.1.2 auch ein Beispiel (3.1.3) abgelegt, bei welchem aus der Regression der gegebenen Wertepaare ein S – Kurvenverlauf (3.1.31), bzw. ein „Glocken - Kurvenverlauf“ (3.1.32; anschwellen und wieder abklingen) vermutet wird, was durch eine Überprüfung mittels eben dieses Programnteils <PROGNOSTIK> untersucht werden soll.

3.1.1 Beispiel Korrelation von Sonnenstunden und Aussentemperatur

Basierend auf langjährigen Wetterbeobachtungen der SMA-Meteo Schweiz

– Auswertungen siehe <http://www.baudaten.com/weba/> → Klimadaten – kann für die über 60 Jahre gemittelten Extremwerte der Sonnenstunden resp.

Aussentemperaturen für den Wintermonat Januar am Standort Lugano der unten abgebildete Zusammenhang hergestellt werden (Eingaben: Sonnenstunden = x – Werte; zugeordnete Aussentemperatur = y – Werte).

Bezeichnung (max. 52 Zeichen) : S/T - Korrelation Lugano Jan 1901 - 60

Anzahl Wertepaare (max. 21) : 9

Wert X1 : 3.5787

Wert Y1 : 5.4374

Eingabe-Korrektur erst nach Eingabe-Ende !

Liste der eingegebenen Werte :

1	3.5787000	5.4374000
2	3.9971000	5.5992000
3	4.2752000	5.7303000
4	4.5033000	5.8537000
5	4.7125000	5.9797000
6	4.9218000	6.1176000
7	5.1499000	6.2798000
8	5.4282000	6.4917000
9	5.8468000	6.8307000

Anzahl OK

Neu

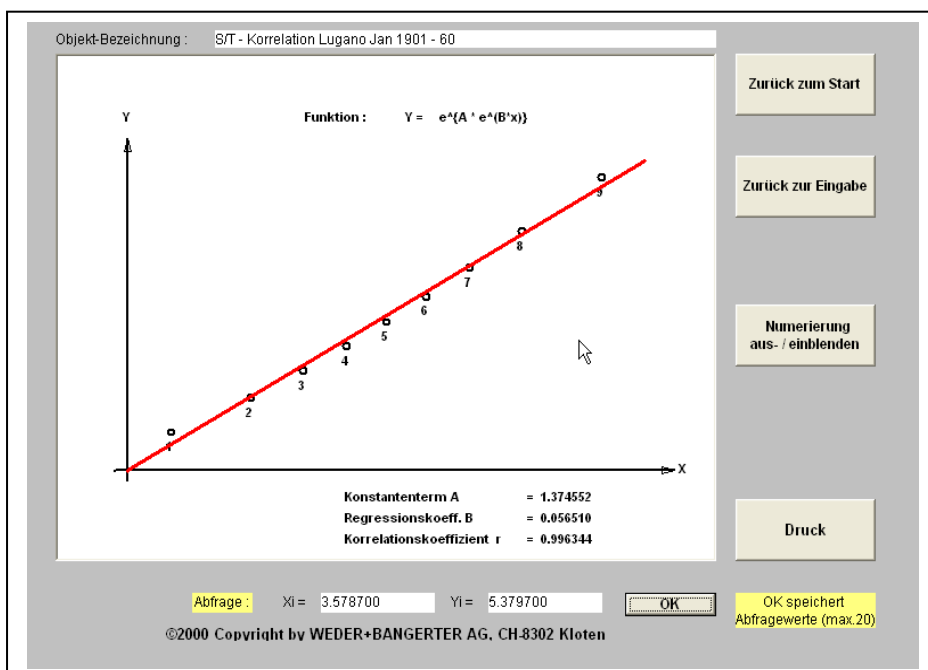
alle Eingaben OK

Eingabe speichern

Zurück zum Start

Grafik

©2000 Copyright by WEDER+BANGERTER AG, CH-8302 Kloten



Wichtig bei dieser genauen Erfassung des Zusammenhangs (Korrelationskoeffizient $r \sim 0.996..$) ist die Einschränkung, dass dieser nur innerhalb der verfügbaren (realistischen) Bandbreite zwischen ca. 3.5 und 6.0 Stunden Sonnenscheindauer vorbehaltlos gilt.

3.1.2 Beispiel Korrelation Bettungsmodul bei <Betonplatte auf Erdreich>

Nach Theorie von Boussinesq und Oedmark besteht hinsichtlich des Bettungsmoduls einer Fundamentplatte eine Wechselwirkung zwischen der Biegesteifigkeit derselben und dem Steifemodul des anstehenden (belasteten) Erdreichs. Werden – bei gegebenem E – Modul Erdreich von hier angenommenen 100 MN/m^2 – mittels der Rechenhilfe unter: [LINK zum ONLINE - BERECHNUNGSTOOL 2d - Flachgründung auf Wärmedämmschicht.zip](#) – für verschiedene Plattenstärken ($150 \text{ mm} \leq d \leq 750 \text{ mm}$) die resultierenden Bettungsmoduli ermittelt, so kann gemäss den folgenden zwei Abbildungen ein sehr genauer, nicht – linearer Zusammenhang gefunden werden.

Bezeichnung (max. 52 Zeichen) :

Bettungsmodul Fundamentplatte auf Erdreich | 100 MN/m²

Anzahl Wertepaare (max. 21) :

13

Anzahl OK

Wert X1 :

150

Neu

Wert Y1 :

114

alle Eingaben OK

Eingabe-Korrektur erst nach Eingabe-Ende !

Eingabe speichern

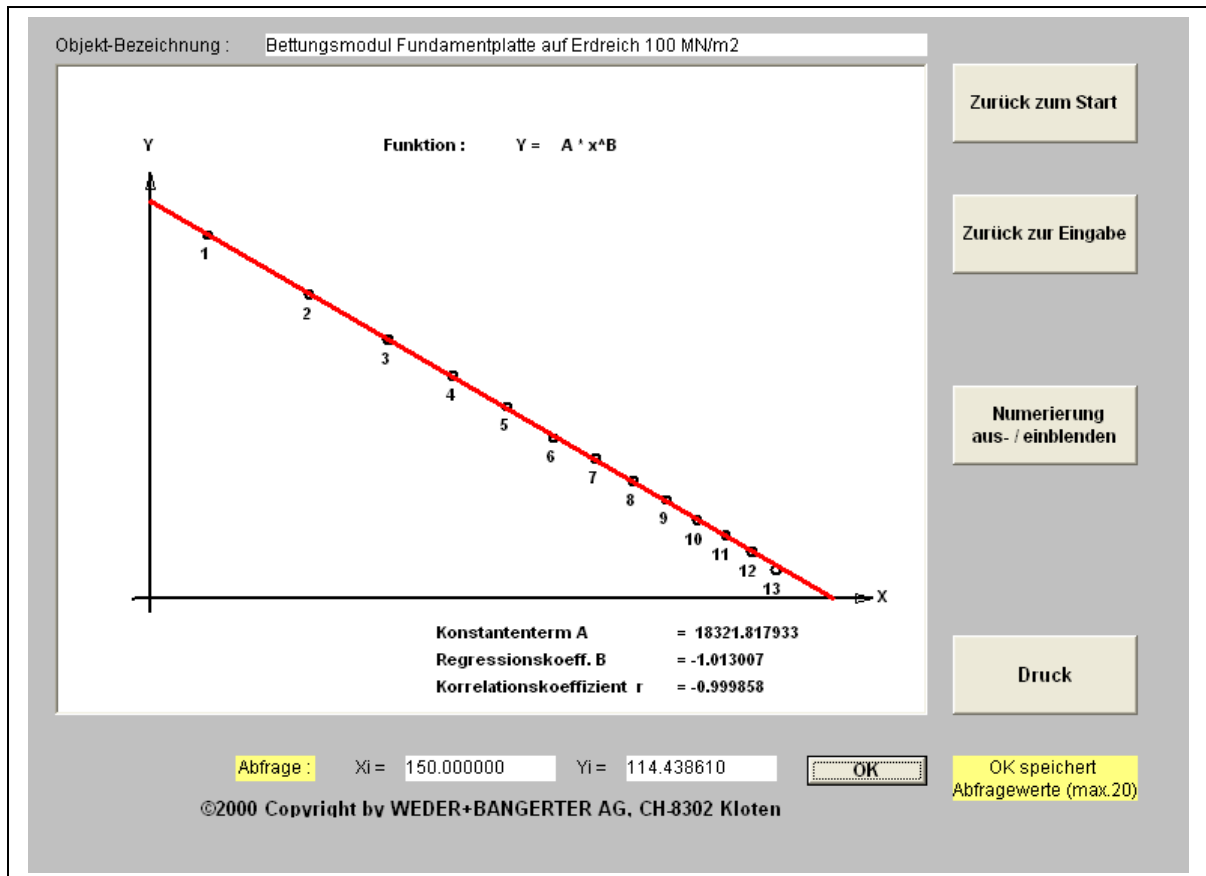
Liste der eingegebenen Werte :

Zurück zum Start

1	150.0000000	114.0000000	▲
2	200.0000000	85.0000000	
3	250.0000000	68.0000000	
4	300.0000000	57.0000000	
5	350.0000000	49.0000000	
6	400.0000000	42.0000000	
7	450.0000000	38.0000000	
8	500.0000000	34.0000000	
9	550.0000000	31.0000000	▼

Grafik

©2000 Copyright by WEDER+BANGERTER AG, CH-8302 Kloten



Zu beachten ist hier, dass die resultierenden Bettungsmoduli (Y – Werte [MN/m³]) nur gelten, wenn der E – Modul des Erdreichs 100 MN/m² beträgt. Mit E – Modul des Erdreichs von 50 MN/m² beispielsweise resultiert zwar ebenfalls eine Potenzregression, aber mit veränderten Kennwerten: A = 7709.89, B = - 1.0248 und r ~ -0.9993....

3.1.3 Beispiel Korrelation bei der Karbonatisierung von Beton

Die allgemein gebräuchliche Karbonatisierungsformel für Beton lautet:

$$y_x [\text{mm}] = [c = (y_1 / t_1^{0.5})] \cdot t_x^{0.5}.$$

Die Karbonatisierungstiefe y_x zum Zeitpunkt x ist demnach das Ergebnis einer [Konstante c (Tiefe Messzeitpunkt / Wurzel Messzeitpunkt)] x Wurzel Zeithorizont. Aus der aufgrund einer im Betonalter t_1 festgestellten Karbonatisierungstiefe y_1 und der daraus berechneten Konstante c wird nach dieser Regel für jedes beliebige Alter des Betons die mutmassliche Karbonatisierungstiefe (y_x) zum fernen Zeitpunkt t_x , oder

die benötigte Zeitdauer t_x zum Erreichen einer bestimmten Karbonatisierungstiefe y_x (Eisenüberdeckung!) berechnet. Es handelt sich hierbei um eine Potenzfunktion der Art: $y = A \cdot x^B$, und hat damit rechnerisch ein „unendliches Wachstum“ zur Folge – was trotz der mit der Zeit definitionsgemäss abnehmenden Karbonatisierungs – konstante nicht hinreichend kompensiert wird.

Nun haben „beschleunigte Messungen“ der <Technischen Forschungsstelle Wildegg> seinerzeit gezeigt, dass der Karbonatisierungs - Zuwachs in Funktion der Zeit einem flacheren Kurvenverlauf folgt und möglicherweise zu einem Endwert hin strebt.

Zeitpunkt	Jahre (Tage)	75 (9)	(150) 18	225 (27)	300 (36)
y-gemessen	(mm)	4,3	5,3	6,0	6,3
C_{result} aus Meßwert y, t; y / \sqrt{t}		0,4994	0,4356	0,4000	0,3637
Hochrechnung mit y_{75}		4,30	6,08	7,49	8,65
Hochrechnung mit y_{150}		3,75	5,30	6,53	7,55
Hochrechnung mit y_{225}		3,46	4,90	6,00	6,93
Hochrechnung mit y_{300}		3,15	4,45	5,45	6,30

Tabelle 1: Gemessene, und nach Zeitwurzel-Gesetz zu unterschiedlichen Erhebungszeitpunkten t gerechnete Karbonatisierungstiefen y

Die beschleunigte Karbonatisierung wurde im Versuch dadurch erreicht, dass statt der natürlichen CO_2 – Konzentration in der Atmosphäre (~ 0.033 Vol%) das Experiment ausschliesslicher CO_2 – Einwirkung (100 Vol% → 3000fach → 300 Jahre = 36 Tage Versuchseinwirkung) ausgesetzt wurde.

Der in der Abbildung gestrichelte Verlauf aus Messung strebt offenbar einem Endwert zu. Verwendet man auf Grund dieser Vermutung für eine Regression den Programmteil <PROGNOSTIK, Summenwerte>, so resultiert aus der Auswertung der gewonnenen Laborwerte (Tabelle oben) ein klar logistischer Verlauf, hier mit Endwert entsprechend ca. 6.37 mm Karbonatisierungstiefe.

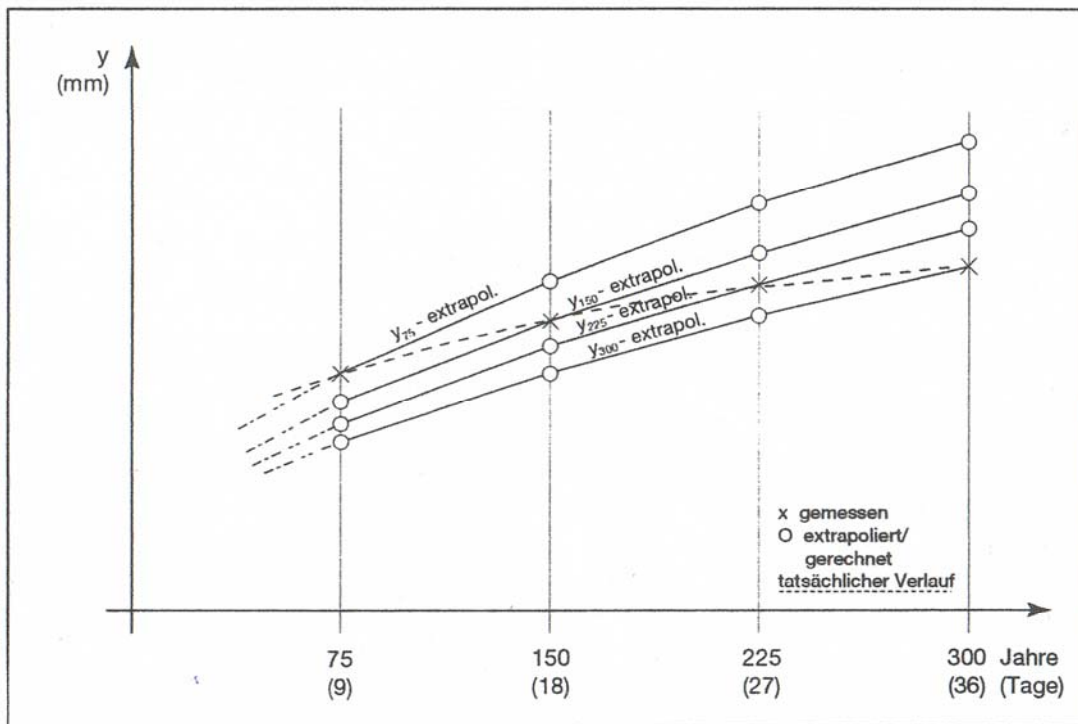
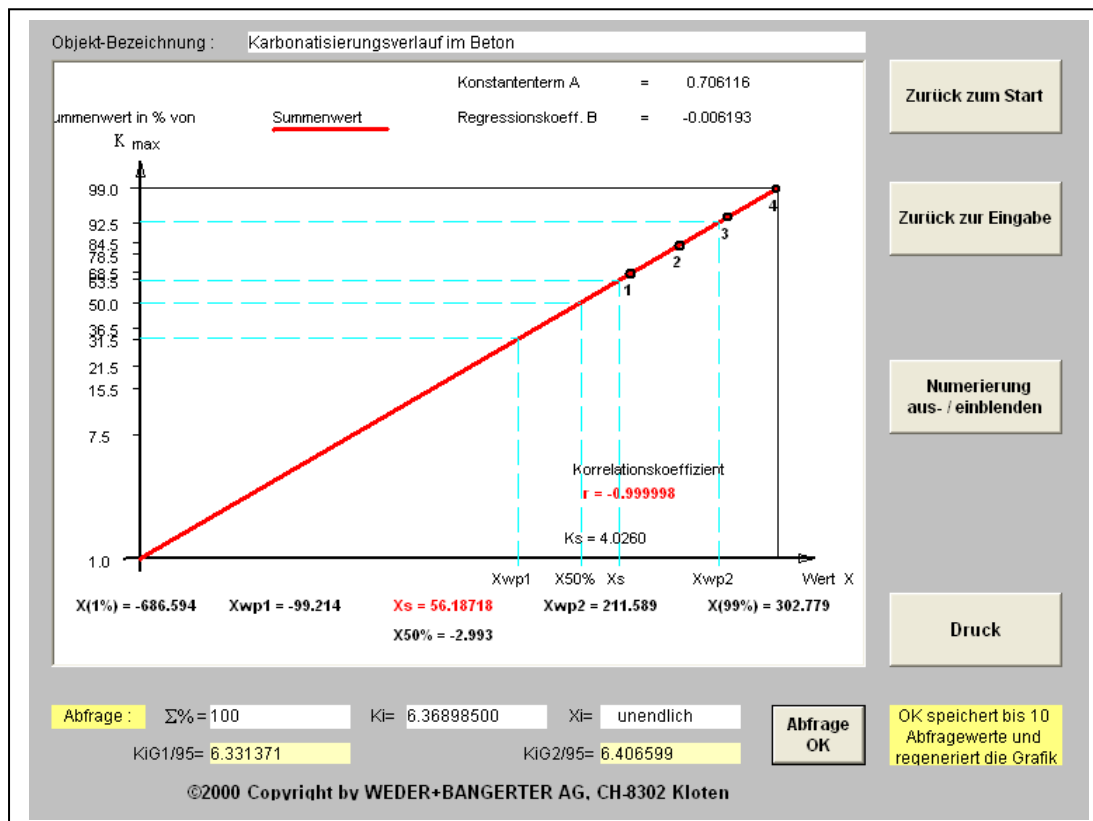


Abbildung 1: Graphische Darstellung von Tabelle 1



Der gezeigte Trend ist dadurch erklärbar, dass nicht nur „der Weg“ für zusätzliche Karbonatisierung in Funktion der Zeit zunimmt, sondern dass zugleich auch die

spezifische Leitfähigkeit als Folge der Karbonatisierung (= „Porenverstopfung“) abnimmt. Dem Vorgang liegt damit nicht eine konstante, sondern offensichtlich eine hier progressiv abnehmende Wachstumsrate der Karbonatisierung zu Grunde.

Aus diesem Ergebnis ergeben sich zwei Einsichten:

- a) Die Karbonatisierung verläuft „flacher“ (günstiger) als mit der „geläufigen“ Karbonatisierungsformel erwartet wird. Sie strebt gegen einen Endwert.
- b) Bedauerlicherweise ist nur eine Messung der Karbonatisierungstiefe (bei bekanntem Alter t_x) für die Prognose über die weitere Entwicklung nicht möglich, wie dies die „geläufige“ Formel in Aussicht stellt – sondern hierfür wären mindestens drei Messwerte (Eindringtiefen) zu unterschiedlichen Zeitpunkten erforderlich. Zum Trost: Mit dem „geläufigen Verfahren“ liegt man wenigstens „auf der sicheren Seite“.

3.2 BEDIENUNG

Bezüglich der Bedienung des Programmteils <REGRESSION> gilt sinngemäss das unter Ziffer 2.2 für den Programmteil <PROGNOSTIK> Gesagte.

3.3 BASISFORMELN

Es gelten grundsätzlich die zur Regressionsanalyse bekannten Formeln zur Ermittlung des Konstanten –Therms <A>, des Regressionskoeffizienten und des Korrelationskoeffizienten <r>. Je nach festgelegter Funktion (lineare Regression, logarithmische Funktion, Exponentialfunktion, Potenzfunktion oder eine der weiteren Funktionen nach Beispielsammlung / Grundmuster), werden die Eingabewerte <x> und <y> automatisch in die entsprechenden Funktionswerte umgerechnet.

Dies gilt im Prinzip auch dort, wo der Programmteil <PROGNOSTIK> dazu verwendet wird, Regressionen mit vermutetem Sättigungswert durchzuführen. Grundsätzlich gilt aber jede durchgeführte Regression mit ausgewiesener Genauigkeit (Korrelationskoeffizient r) immer nur für den „abgesteckten Bereich“ zwischen dem ersten und letzten Wertepaar. Bei Aussagen über diese Grenzen hinaus besteht immer eine gewisse Gefahr hinsichtlich „überraschender Trendänderung“. Insofern ist der Programmteil <PROGNOSTIK> differenziert zu interpretieren, je nach dem, ob es sich um die Verfolgung einer Zeitreihe „in die Zukunft“, oder um eine Regression handelt, bei der die extremen Wertepaare den „Gültigkeitsbereich“ für die Aussage abstecken.

April 2012 / Ba.