

Online-Statistik zur Validierung von Analyseverfahren in Excel

Ansprechpartner: **Dr. Stefan Schömer**

Pro-isomehr
Altenkesseler Straße 17
66115 Saarbrücken

Tel: +49 178/87 62-744
Fax: +49 6831/501-3704
email:schoemer@pro-isomehr.com

Eine immer stärker wachsende **Zahl statistischer Programmpakete** auf dem Softwaremarkt bietet dem Anwender eine nur noch schwer überschaubare Fülle von Möglichkeiten, statistische Kenndaten zu berechnen und Tests durchzuführen.



Der nicht speziell geschulte Anwender sucht in **komplexen Menüstrukturen** oft vergeblich nach dem für seine Daten geeigneten Testverfahren. Die weitaus größte Zahl der in diesen Programmen angebotenen statistischen Verfahren bleibt hingegen ungenutzt.

Zusätzlich bedeutet der Import der eigenen Daten in das jeweils notwendige Format trotz umfassender Möglichkeiten des **Datenimport zusätzlichen Zeitaufwand** und stellt im Routinebetrieb eine weitere Quelle möglicher **Konvertierungsfehler** dar.

Unser Ziel ist, für den Anwendungsbereich von **Einzelanalysen bis zu Routineuntersuchungen** sowohl dem Laborleiter als auch dem Laboranten ein Werkzeug anzubieten, um das im Analytik-Labor anfallende Spektrum von Daten analysieren zu können. Das Programm stellt dazu eine Palette statistischer Testverfahren in Form einer Standard-Tabellenauswertung zur Verfügung.

Routineaufgaben, wie die **Validierung von Meßverfahren nach DIN-Norm** sind durch einfaches Betätigen von Schaltflächen automatisiert durchführbar. Die Benutzerführung durch Standard-Dialogflächen erlaubt notwendige Entscheidungen und Eingaben während der Auswertung.

ProControl bietet:

- **statistische Tests und Kenndaten nach DIN-Normen:**
Eine Excel Standardtabelle dient zur statistischen Auswertung Ihrer Daten
- **zusätzliche Tests zur Kalibrierung:**
Validierung von Methoden durch automatisierte Funktionen per Mausklick.
Automatische Auswahl der besten Anpassung nach Regression 1. und 2. Ordnung. Berechnung der Kalibrierfunktion.
- **interaktive Analyse, Kontrolle und Dokumentation Ihrer Ergebnisse:**
Dialogfelder führen Sie durch die Möglichkeiten und Optionen unter MS-Excel.
- **sofortige Kontrolle Ihrer Meßwerte:**
Sie tragen einen Wert ein, die Berechnung der neuen Ergebnisse aller Kenndaten und Tests wird sofort aktualisiert
- **Ihr Vorteil ist der schnelle Überblick:**
Sofortiges Erkennen von Ausreißern, Datenreihen mit inhomogener Varianz und signifikant unterschiedlicher Analysenergebnisse

Auswertungen in ProControl:

Online:
 (direkte Anzeige von Excel-Standard-Tabellen)

- **statistische Kenndaten für Meßreihen und -verfahren:**
 - ▶ DIN 53 804 T1
 - ✓ Mittelwerte, Standardabweichung
 - ✓ jeweilige Vertrauensgrenzen
 - ✓ Wiederholpräzision, Vergleichspräzision
- **Kenndaten von Kontrollkarten:**
 - ▶ DIN 55 303 T2
 - ✓ Statistik über alle analysierten Probenreihen, Mittelwerte, Standardabweichung
 - ✓ Kontroll- bzw. Warngrenzen für Mittelwerte und Standardabweichung
- **Ausreißertests (99%):**
 - ✓ Grubbs Test mit höchster Empfindlichkeit bei Verdacht auf einen Ausreißer
 - ▶ DIN 53 804 T1
 - ✓ Test der Stichprobenwölbung, der als einziger Test zuverlässig auch auf mehrere Ausreißer beidseitig der Verteilung von Meßwerten reagiert
- **Test auf Homogenität der Varianzen:**
 - ✓ Test nach Bartlett
 - ▶ DIN ISO 5725
 - ✓ Verweis auf die Datenreihe mit der höchsten Abweichung der Streuung ihrer Meßwerte vom erwarteten Wert der Varianz bzw. Standardabweichung
 - ✓ flexible Auswahl des Arbeitsbereiches mit homogenen Varianzen
- **signifikante Mittelwertdifferenzen:**
 - ▶ DIN ISO 5725
 - ✓ bei Eingabe von mehr als 2 Meßreihen wird automatisch auf eine signifikante Abweichung eines Mittelwertes der Meßreihen getestet
 - ✓ Verweis auf die Datenreihe mit abweichendem Mittelwert
 - ✓ Übersicht vom Gesamtmittel abweichende Mittelwerte

startbare Auswertungen:
 (Auswahl der Berechnungen über Schaltflächen)

- **grafische Prüfung auf Normalverteilung:**
 - ▶ DIN 53 804 T1
 - ✓ Darstellung der Meßwerte im Wahrscheinlichkeitsnetz;
 - ✓ halbquantitative Prüfung der Übereinstimmung der standardisierten Meßwerte mit der Sollgerade durch lineare Regression
 - ✓ verteilungsfreie Prüfung der Korrelation (F-Statistik)
- **Eliminieren von Ausreißern:**
 - ▶ DIN ISO 5725
 - ✓ automatisches Markieren und Löschen gefundener Ausreißer
 - ✓ Interaktive Steuerung über Dialogfelder und gleichzeitige grafische Kontrolle der betreffenden Datenreihen im Wahrscheinlichkeitsnetz.
- **Eliminieren ganzer Datenreihen:**
(mit inhomogener Varianz)
 - ▶ DIN ISO 5725
 - ✓ automatisches und interaktives Markieren und Löschen von Datenreihen mit signifikant abweichender Streuung
 - ✓ Schnelles Auffinden eines validierbaren, verkleinerten Arbeitsbereiches bei Auftreten von Varianzeninhomogenitäten innerhalb einer Meßserie.
 - ✓ Gezielte Auswahl von Arbeitsbereichen mit homogener Varianz auf einen Blick.
 - ✓ Dokumentation aller Änderungen an Quelldaten (Eliminieren) bei automatischer Ausführung von Tests.
- **Kalibrierfunktion und Linearität:**
 - ▶ DIN 32645
 - ✓ Test auf Regression 1. und 2. Ordnung.
 - ✓ Grafische Ausgabe der Meßwerte und Residuen im Vergleich der beiden Anpassungen
 - ✓ Auswahl der optimalen Regression.
 - ✓ Parameter des Analyseverfahrens:
Verfahrens-Standardabweichung, Empfindlichkeit, Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze mit den jeweiligen Vertrauensbereichen.

✓ Test auf Normalverteilung - Eintragung geordneter Stichproben im Wahrscheinlichkeitsnetz

Normalverteilung
→ Auswahl der Datenreihen

Automatisch
→ Datenreihe an der aktuellen Cursorposition testen

alle Datenreihen ab Cursorposition
→ Datenreihen ab der aktuellen Cursorposition nacheinander testen

Testergebnis:
→ Test der Normalverteilung

Grafik im Wahrscheinlichkeitsnetz:
→ Qualitativer Test

Informationsfeld:
→ halbquantitativer Test

STOP

© Dr. Stefan Schömer

Seite 3a von 8

✓ Ausreißertests - Ausreißer können menügeführt markiert und die Verteilung der Meßwerte geprüft werden

Ausreißertest
→ Einstellungen

Löschmodus
→ Markieren mit Einzelabfrage oder

Kontrollmodus
→ mit oder ohne grafische Kontrolle der Normalverteilung

Ausreißer
→ Markieren/Löschen

Testergebnis

Grafik im Wahrscheinlichkeitsnetz
→ Vergleich der Regressionsgerade mit der Sollgerade normalverteilt normalverteilter Werte

STOP

© Dr. Stefan Schömer

Seite 3b von 8

✓ Varianztests zur Festlegung von Arbeitsbereichen mit homogener Varianz



Bartlett-Test

Eliminieren/Markieren
→ inhomogene Datenreihen erkennen und Markieren

Markieren der x-Werte
→ Kenndaten ohne inhomogene Datenreihen ermitteln

Testergebnis:

Fensterausgabe
→ Datenreihe mit s_{max} und Testbewertung

Infofeld
→ Zufallsstreuung der Standardabweichung

gezielte Arbeitsbereichsauswahl
→ Anzeige des optimalen Bereiches homogener Streuung



Bartlett-Test
Inhomogenität der Varianzen
10 Freiheitsgrad extern+1 (Anzahl Meßreihen, n_p-1)
86 Freiheitsgrad gesamt aus 10 Meßreihen(n) im Test
186,67 χ^2 -Wert (einseitiger Test, $P=99\%$)
21,67 χ^2 -Krit. (einseitiger Test, $P=99\%$)
41,05 Standardabweichung mit max. Abstand
8 Nr. der Datenreihe

Vergleich der Mittelwerte
einfache Varianzanalyse (statt t-Tests)
10 Freiheitsgrad extern+1 (Meßreihen, n_p-1)
86 Freiheitsgrad gesamt aus 10 Meßreihen(n) im Test
F-Wert (einseitiger Test, $P=99\%$)
Test auf Gleichheit der inneren und äußeren Varianzen
nicht getestet, Varianzen inhomogen oder nicht getestet

Microsoft Excel Dialog:
Inhomogene Varianz in der 8. Probenreihe festgestellt!
Zufallsstreuungbereich $s > 6,49E+00 < s [i] < 2,39E+01$
aktueller Wert : $4,10E+01$
Wollen Sie die markierten Werte löschen ?

✓ Regressionen und Verfahrenskenndaten, Kalibrierung



optimale Anpassung

→ F-Statistik liefert eine praxisnahe Entscheidung

Regressionskenndaten

Eingabe:
→ Anzahl Analysenwerte
→ Leerwert
→ rel. Unsicherheit

Vergleich der Anpassungen:

→ Meßwert
→ Funktion 1. Ordnung
→ Funktion 2. Ordnung

Residuen im Vergleich:

→ Residuen 1. Ordnung
→ Residuen 2. Ordnung



Microsoft Excel Dialog:
Die Kalibrierkurve wird durch eine lineare Funktion am besten angenähert.
Zur Berechnung zusätzlicher Kenndaten und Grenzen des Analyse-Verfahrens folgen Sie bitte den Eingabefeldern unter Angabe der für Ihre Methode zutreffenden Werte.

Lineare Regression Ergebnisse:
Steigung m: 6,0677
Achsenabschnitt b: 21,8045
Fehler [m]: 0,9807
Fehler [b]: 6,0854
Bestimmtheitsmaß r^2 : 0,8271
Reststandardabweichung: 8,9081
t-Statistik: 38,2763
Freiheitsgrad: 8
Standardabweichung: 3,04E+03
Quadratsumme Residuen: 6,35E+02
Verfahrens-Standardabw.: 1,4681
Verfahrens-Var.-Koeff.: 26,69%

Test auf Regressionen Dialog:
Eingabe: Analysenumfang / Leerwert / rel. Unsicherheit
Eine hohe Anzahl von Meßwerten in zukünftigen Analysen erhöht die Genauigkeit der Methode. Geben Sie 1 für Einzelwertbestimmungen an. Der erwartete Umfang zukünftiger Analysen beträgt: 1
Der ideale Leerwert beträgt 0. Eine reale Angabe ist der kleinste Mittelwert des gewählten Arbeitsbereiches. Der y-Wert der zu berücksichtigenden Leerprobe beträgt: 0
Angabe des Anteils des Vorhersagebereiches an der Bestimmungsgrenze (rel. Unsicherheit). Die nach zu tolerierende rel. Unsicherheit der Bestimmungsgrenze beträgt: 0,33333

Lineare Regression Ergebnisse (weiteres Fenster):
Korrelation signifikant!
F-Verteilungsfunktion > 99%
Entscheidung nach F-Statistik:
Vertrauensbereiche (für lineare Regression)
stat. Sicherheit P=99%
Wahrscheinlichkeit alpha=1%
VB Unten: 3
VB Oben: 12

Beispiel einer Auswertung:

I. Eintragen oder Import der Analysenwerte (Bsp. Linearitätstest):

Die Auswertung statistischer Tests erfolgt, sobald genügend Werte eingetragen wurden. Die Eintragung der zugehörigen x-Werte (z.B. Sollkonzentrationen von Kalibrierlösungen) ist nur für die **Prüfung auf Linearität** erforderlich. Alle übrigen Tests prüfen die Verteilung der y-Meßgrößen (z.B. Absorption, Peakflächen, Peakhöhen ...), d.h. deren Mittelwerte und Streuung. Die Angabe der x-Werte ist zur Berechnung dieser statistischen Kennwerte nicht erforderlich.

Tabelle der Meßwerte:

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
y-Wert-Nr	0,012	0,025	0,035	0,052	0,065	0,076	0,089	0,101	0,115	0,132
1	602,48	1259,42	1754,63	2608,54	3254,54	3808,37	4440,80	5074,25	5727,98	6623,37
2	603,24	1254,06	1759,36	2608,25	3253,40	3806,66	4456,78	5058,49	5796,59	6631,76
3	608,65	1257,15	1752,04	2605,97	3254,68	3803,72	4451,03	5055,47	5754,57	6611,48
4	608,20	1254,83	1754,83	2608,36	3254,68	3809,09	4460,71	5051,75	5758,51	6604,46
5	601,84	1253,55	1752,29	2610,21	3253,48	3804,38	4455,17	5059,93	5753,32	6614,57
6	606,02	1257,15	1755,72	2608,70	3259,09	3809,47	4454,32	5054,14	5751,27	6633,98
7	601,34	1252,54	1753,88	2604,70	3255,68	3808,29	4460,43	5059,49	5754,42	6607,66
8	608,50	1255,94	1759,80	2603,43	3251,22	3810,98	4453,22	5051,17	5760,33	6625,84
9	606,20	1259,89	1759,80	2607,74	3255,22	3803,72	4451,94	5051,94	5753,69	6620,37
10	605,88	1252,77	1759,80	2609,95	3259,47	3804,69	4456,96	5051,94	5758,88	6620,37

II. statistische Kenndaten der einzelnen Meßreihen:

die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der letzten 4 Meßreihen (blau hinterlegte Tabellenfelder) weichen in unserem Beispiel auffallend von den Ergebnissen der übrigen Werte ab.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	
Anzahl gültige Werte:	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Mittelwert:	605,24	1255,46	1755,52	Standard-Kennwerte			4454,66	5057,36	5756,96	6617,52	
Standardabweichung:	2,81	2,64	2,66	Standard-Kennwerte			5,74	6,76	16,65	11,25	
Var.-Koeffizient [%]	0,47%	0,21%	0,15%	0,08%	0,09%	0,07%	0,13%	0,13%	0,29%	0,17%	
ZSB : $\bar{x}_{\text{unten}} (0,99\%)$	ZSB - Zufallsstrebereich					3246,70	3798,29	4435,99	5035,39	5702,83	6580,95
ZSB : $\bar{x}_{\text{oben}} (0,99\%)$	ZSB - Zufallsstrebereich					3264,94	3815,58	4473,32	5079,32	5811,08	6654,09
VB : $\bar{x}_{\text{unten}} (0,99\%)$	602,34	Vertrauensbereiche der Mittelwerte					4448,75	5050,41	5739,84	6605,95	
VB : $\bar{x}_{\text{oben}} (0,99\%)$	608,13	Vertrauensbereiche der Mittelwerte					4460,56	5064,30	5774,07	6629,09	
VB : $s_{\text{unten}} (0,99\%)$	1,74	1,63	1,64	1,27	Vertrauensbereiche der Standardabweichung						
VB : $s_{\text{oben}} (0,99\%)$	6,41	6,02	6,06	4,68	Vertrauensbereiche der Standardabweichung						

Ursache dieser Abweichungen sind **Ausreißer in den Meßreihen 7, 8 und 9** auf die im Testbereich für Ausreißertests verwiesen wird. Die **10. Datenreihe** weist eine **Inhomogenität der Varianz** auf. Die betreffenden Werte sind in der Tabelle der Meßwerte ebenfalls blau hinterlegt.

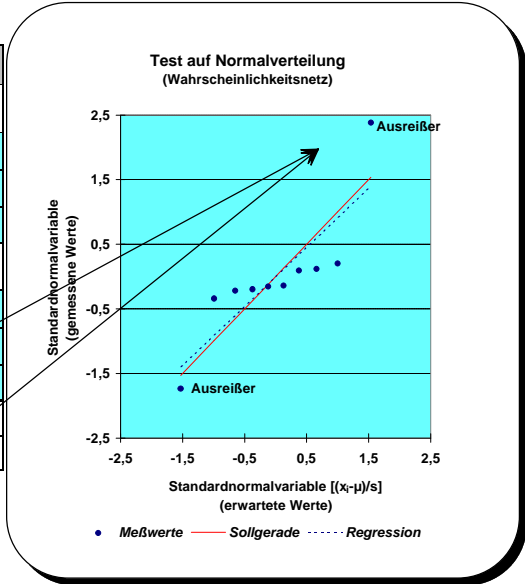
III. Ausreißertests und Kontrolle im Wahrscheinlichkeitsnetz:

Ausreißer können sowohl in der Online-Bearbeitung, als auch automatisch markiert oder ersetzt werden. Markierte Werte werden in der Auswertung nicht mehr berücksichtigt. Auch mehrere Ausreißer innerhalb einer Datenreihe werden nacheinander gefunden, angezeigt und können eliminiert werden.

Die beiden implementierten Tests, **Grubbs-Test** und **Test der Stichprobenwölbung**, ergänzen sich gegenseitig und erlauben das Erkennen von Ausreißern mit optimaler Zuverlässigkeit auch in Grenzfällen.

Das Beispiel der 9. Datenreihe und deren Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz zeigt deutlich, daß fehlerhafte Daten durch den Test nach Grubbs (oder auch den 4-Sigma-Test) nicht in jedem Fall erkannt werden.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
1. Grubbs Test										
Ergebnis :							JA !	JA !		
Ausreißer Wert Nr.:							1	1		
2. Test der Stichprobenwölbung										
Ergebnis :							JA !	JA !		
Ausreißer Wert Nr.:							1	2		
						4440,80	5074,25			
							5074,25	5796,59		



IV. Test der Varianzhomogenität:

Bartlett-Test: der Test auf inhomogene Varianzen einer oder mehrerer Datenreihen (Ausreißer in Varianzen) wird durchgeführt, wenn alle Ausreißer in den Datenreihen selbst eliminiert wurden.

Der Verweis auf die **Datenreihe mit signifikant unterschiedlicher Streuung** erlaubt das Einengen des betrachteten Arbeitsbereiches. Die so ermöglichte Neufestlegung eines möglichen Arbeitsbereiches für das untersuchte Analysenverfahren erspart die aufwendige Neuerfassung zusätzlicher Meßreihen. Im linken Teil der Tabelle sehen Sie das Ergebnis, nachdem Ausreißer in den Datenreihen 7, 8 und 9 eliminiert wurden. Die Varianz der 10. Datenreihe ist signifikant verschieden von der zu erwartenden Streuung der Meßreihen.

V. Mittelwerttest:

Test auf **signifikante Unterschiede der Mittelwerte**. Getestet wird, ob die Streuung innerhalb der Datenreihen mit der zwischen den Datenreihen ähnlich ist. Ist die Differenz einer der Mittelwerte größer als diese Streuung erwarten läßt, so ist dieser Mittelwert signifikant verschieden von den Mittelwerten der übrigen Datenreihen. Der Test ist also nur sinnvoll wenn auch die Varianzen der zu prüfenden Probenreihen homogen sind.

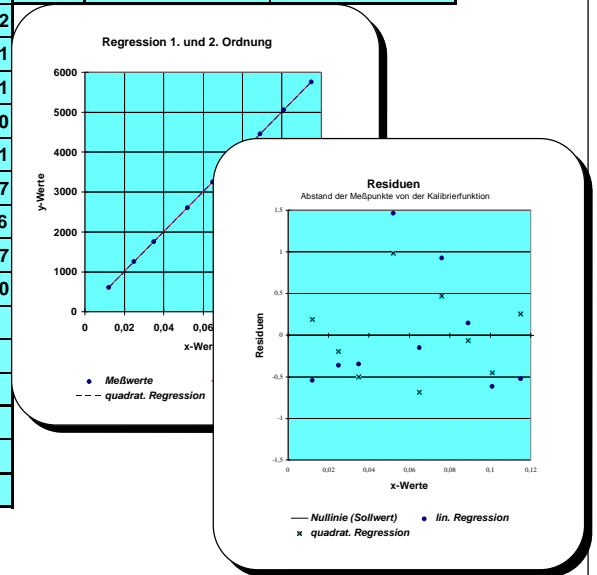
Für die in der Beispielauswertung vorliegenden Kalibrierdaten ist ein Mittelwerttest natürlich nicht sinnvoll.

Bartlett-Test		Vergleich der Mittelwerte \bar{x}_i	
Test auf Inhomogenität der Varianzen		einfache Varianzanalyse	
10	Freiheitsgrad extern+1	3,576E+06	$F_{\text{Prüf.}}$
86	Freiheitsgrad gesamt	2,7513	$F_{\text{krit.}}$ (einseitig, 99%)
55,98	$c^2_{\text{Prüf}}$	Streuung (intern) < Streuung (extern)	
21,67	$c^2_{\text{krit.}}$ (zweiseitig;0,99%)	=> mind. ein Mittelwert unterschiedlich	
11,25	max. Abweichung		
10	Nr. der Datenreihe		
Varianzen inhomogen !!			

VI. Test der Linearität (Regression 1. und 2. Ordnung)

Der Test auf Linearität erfolgt durch Anlicken der entsprechenden Schaltfläche. Nach Prüfung auf Ausreißer und Varianzhomogenität werden die **Parameter der Kalibrierfunktion** nach DIN-Norm 32645 berechnet. Die Ergebnisse werden sowohl in Tabellenform als auch in grafischer Form dargestellt.

lineare Regression: $y = mx + b$		quadr. Regression: $y = m_1x^2 + m_2x + b$		Vertrauensbereiche (lin. Regression; 99%)	
Steigung m	5,000E+04	m_1	-4,869E+02		
Achsenabschnitt b	5,736E+00	m_2	5,006E+04	VB _{unten}	1,469E-03
Fehler in m	7,810E-00	b	4,338E+00	VB _{oben}	4,251E-03
Fehler in b	5,587E-01	Fehler m_1	2,123E+02		Bestimmungsgrenze
Bestimmtheitsmaß r^2	1	Fehler m_2	2,748E+01		5,143E-03
Rest-Std.-Abweichung	7,789E-01	Fehler b	7,521E-01		1,582E-02
F-Statistik	4,099E+07	Bestimmtheitsmaß r^2	1,0000		
Freiheitsgrad	7	Rest-Std.-Abweichung	6,142E-01		
Quadratsum.-Regression	2,487E+07	F-Statistik	3,296E+07		
Quadratsum.-Residuen	4,247E+00	Freiheitsgrad	6		
Verfahrens-Std.-Abw.	1,558E-05	Quadratsum.-Regression	2,487E+07		
Verfahrens-Var.-Koeff..	0,02%	Quadratsum.-Residuen	2,263E+00		
Nachweisgrenze (DIN 32645):	2,221E-03				
Erfassungsgrenze (DIN 32645):	4,443E-03	Empfindlichkeit			
Bestimmungsgrenze (DIN)	7,779E-03	Verfahrens-Standardabw.			
Korrelation signifikant !		Korrelation signifikant !			
Wert der F-Verteilungsfunktion < 99%		Wert der F-Verteilungsfunktion < 99%			
Entscheidung nach F-Statistik:		lineare Regression optimal			



VII. Statistik über alle Werte und Meßreihen, statistische Prozeßführung¹⁾

Als **Daten zur statistischen Prozeßführung** werden neben den Vertrauensgrenzen der **Wiederhol- und Vergleichspräzision** nach DIN ISO 5725 auch die **Warn- und Eingriffsgrenzen** (Kontrollgrenzen, DIN 55 303 T2) der entsprechenden (\bar{x}, s) -Kontrollkarte ermittelt.

Stat. Sicherheit: 99% Irrtumswahrsch.: 1%	Kennwerte der Stichprobenreihe aus			
	Einzelwerten	Kennwerten	intern	extern
Anzahlen (ges.; intern ;extern)	N	k	n(i)	k
Mittelwert:	2605,982	2605,982	2605,982	2605,982
Standardabweichung:	2,98436	2,98436	2,92799	3,49841
Var.-Koeffizient [%]	0,12%	0,12%	0,11%	0,13%
ZSB[x] _{unten} :	2598,294	2598,294	2598,440	2596,970
ZSB[x] _{oben} :	2613,669	2613,669	2613,524	2614,993
ZSB[x] _{unten} :	2605,213	2603,551	2603,597	2603,132
ZSB[x] _{oben} :	2606,750	2608,413	2608,367	2608,831
ZSB[s] _{unten} :	2,4461	2,4203	1,2856	1,536
ZSB[s] _{oben} :	3,5361	3,5632	4,7403	5,6638
Stat. Sicherheit: 99% Irrtumswahrsch.: 1%	Präzisionsparameter nach DIN 5725			
	Wiederholbarkeit innerhalb einer Messung		Vergleichbarkeit zwischen Meßreihen	
Anzahlen (Meßwerte; Labors)	1n		1n	
Mittelwert:	2605,982		2605,982	
Standardabweichung:	2,92799		2,98436	
Var.-Koeffizient [%]	0,11%		0,12%	
	Grenzwerte	Differenzen	Grenzwerte	Differenzen
ZSB[x] _{unten} :	2598,440	± 7,542	2598,294	± 7,6872
ZSB[x] _{oben} :	2613,524		2613,669	
ZSB[x] _{unten} :	2603,597	± 2,385	2603,551	± 2,4309
ZSB[x] _{oben} :	2608,367		2608,413	
ZSB[s] _{unten} :	1,2856	- 1,6424	1,3103	- 1,674
ZSB[s] _{oben} :	4,7403	+ 1,8123	4,8315	+ 1,8472

Wiederholpräzision
von Einzelmeßwerten, Mittelwerten und Standardabweichung als **Wiederholungsgrenzen und -differenzbetrag**

Vergleichspräzision
von Einzelmeßwerten, Mittelwerten und Standardabweichung als **Vergleichsgrenzen und -differenzbetrag**

\bar{x}, s -Qualitätsregelkarte
Parameter für Warn- bzw. Eingriffsgrenzen durch einfachen Wechsel der stat. Sicherheit (95% ↔ 99%)

¹⁾ zur Berechnung dieser Kenndaten wurden 10 Meßreihen bei der mittleren Konzentration x_s ausgewertet.