



# Prüfmittelbeurteilung mittels Prozessfähigkeitsanalyse

37. Zwieseler Fachschulkolloquium 2023

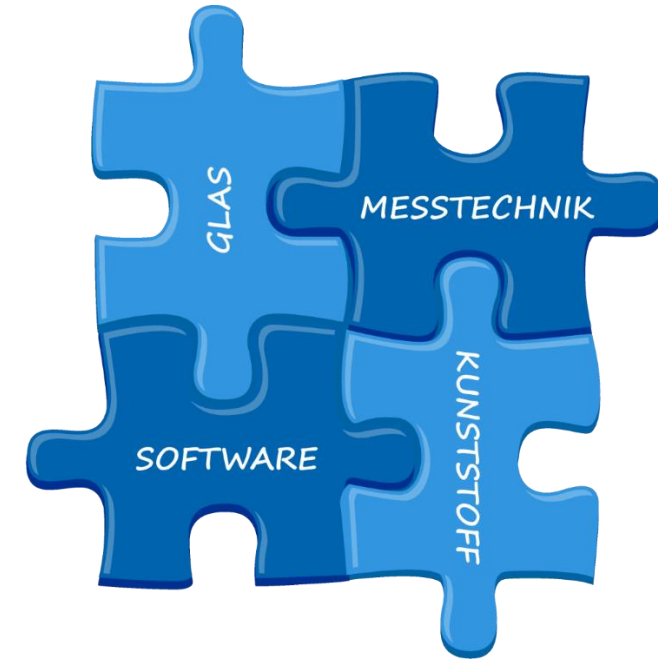
**Henning Katte**

ilis gmbh, Erlangen



# ilis gmbh

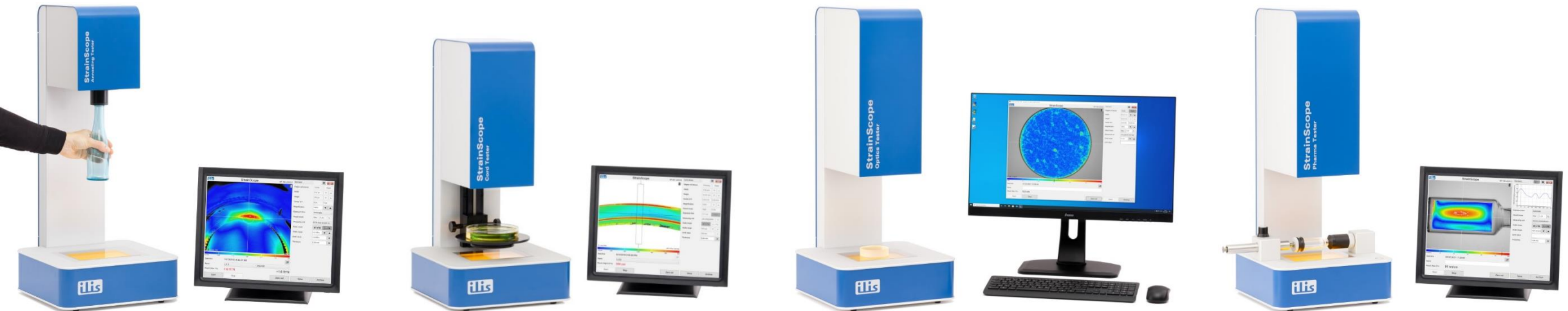
- 1998 gegründet, mit Sitz in Erlangen
- Kompetenzen  
Spannungsmessung, Farbmessung, Gemengeberechnung
- Zielmärkte  
Glasindustrie, Optik & Photonik, Automotive, Aerospace, Pharma
- Anwendungen  
Behälterglas, Flachglas, Wirtschaftsglas, Rohr- und Laborglas, pharmazeutische Verpackungen, optische Materialien und Komponenten, transparente Kunststoffe
- Produkte und Marken  
BatchMaker<sup>®</sup>, Chroma<sup>™</sup>, StrainMatic<sup>®</sup>, StrainScope<sup>®</sup>, StrainScanner<sup>®</sup>, StrainCam<sup>®</sup>



# StrainScope®

## Bildgebende Messung von Eigenspannungen in Echtzeit

- Genaue und reproduzierbare Messung der Spannungsverteilung in Echtzeit
- Verschiedene, speziell an die jeweilige Messaufgabe angepasste Varianten



### StrainScope® Annealing Tester

Restspannungen in Behälter- und Wirtschaftsglas

### StrainScope® Cord Tester

Schlierenspannungen in Behälterglas

### StrainScope® Optics Tester

Spannungsdoppelbrechung in optischen Materialien und Komponenten

### StrainScope® Pharma Tester

Restspannungen in pharmazeutischen Verpackungen (Spritzen, Vials, Ampullen)

# Fragestellung

- Wie lässt sich möglichst objektiv beurteilen, ob ein Prüfmittel (z.B. ein Messgerät) besser für eine Messaufgabe geeignet ist als ein anderes?
- Gibt es eine einfache Kennzahl als absolutes Maß mit Grenzwert dazu?



# Gliederung

- Prüfmittleignung und Prozessfähigkeit
- Definitionen und Begriffe
- Untersuchung der Prüfmittelfähigkeit mittels Gage R&R Analyse
- Anwendungsbeispiel

# Prüfmittleignung

- Die Beurteilung der Qualität eines Produktes oder einer Produktion erfolgt durch Messungen, dafür sind in der Regel Prüfmittel (z.B. Messgeräte) notwendig
- Messwerte dienen als Grundlage für weitreichende Entscheidungen
- Intuitiv ist ein Prüfmittel für eine Messaufgabe geeignet, wenn es „richtig“, „genau“ oder „präzise“ misst
- Aber was heißt das? Und wie kann man objektiv beurteilen, ob ein Prüfmittel für eine Messaufgabe geeignet ist oder nicht?
- Bei der Prüfmittelbeurteilung (Prozessfähigkeitsanalyse) müssen alle Einflüsse im Messsystem einbezogen werden (5 M):  
**M**ensch, **M**essobjekt, **M**essgerät, **M**ethode, **M**itwelt

# Definitionen und Begriffe

- Auflösung
- Linearität
- Genauigkeit und Präzision
- Systematische Abweichung
- Wiederholbarkeit
- Reproduzierbarkeit
- Stabilität

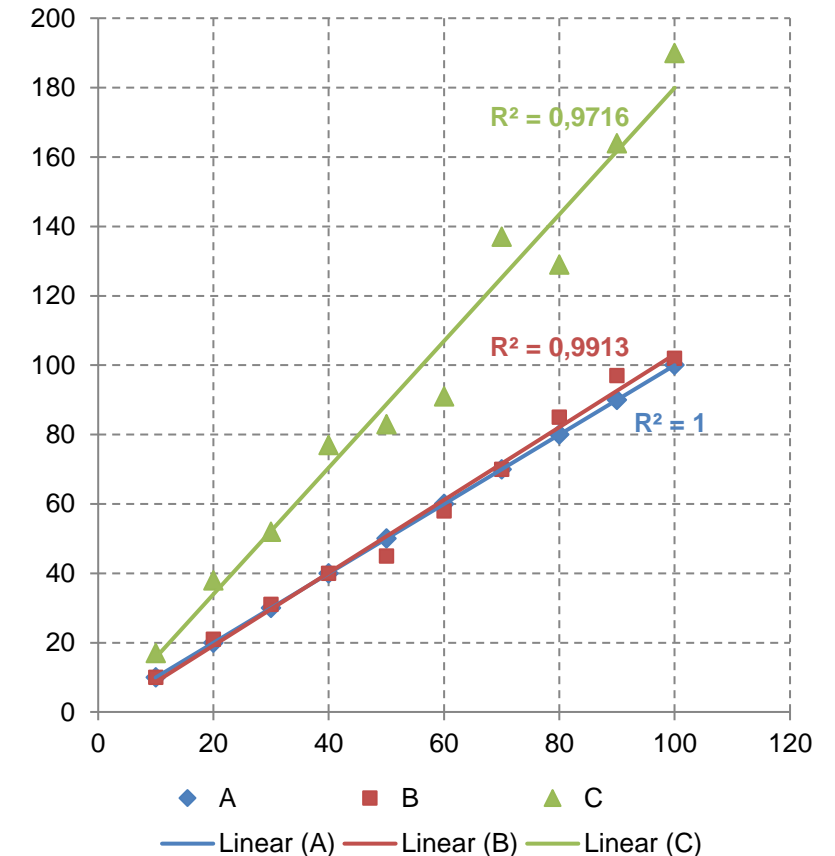
# Messwert-Auflösung

- Kleinster Wert der Änderung eines zu prüfenden Merkmales, der vom Prüfmittel noch erkannt werden muss
- Häufige Forderung:  
Auflösung  $< 5\%$  des Toleranzschwellwertes
- Empfehlung:  
Auflösung  $< 10\%$  der Prozessstreuung



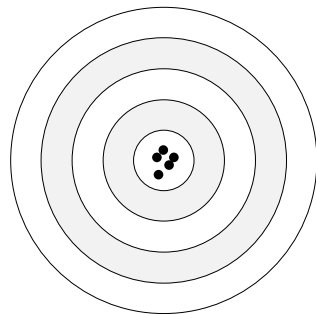
# Linearität

- Der Messwert soll über den Messbereich proportional zum Referenzwert sein
- Bei Prüfmitteln mit linearer Maßverkörperung ist die Linearität in der Regel gegeben (z.B. Mikrometerschraube)
- Überprüfung der Linearität durch lineare Regression (Berechnung einer Ausgleichsgeraden und des Korrelationskoeffizienten  $R^2$ )
- Achtung:  $R^2$  erlaubt keine Aussage über die absolute Richtigkeit der Messwerte!

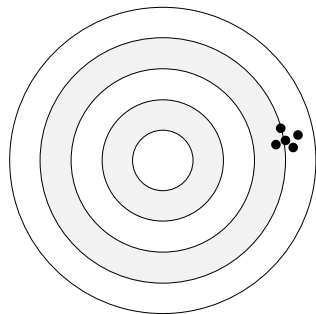


# Genauigkeit und Präzision

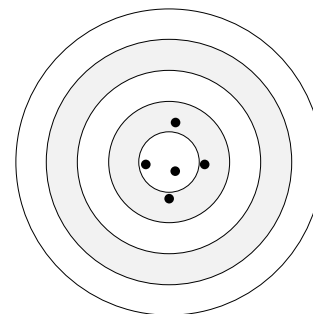
- Die **Genauigkeit** beschreibt den Unterschied zwischen dem Messwert und dem tatsächlichen Wert
- Die **Präzision** beschreibt die beobachtete Streuung, wenn dasselbe Merkmal wiederholt mit demselben Gerät gemessen wird



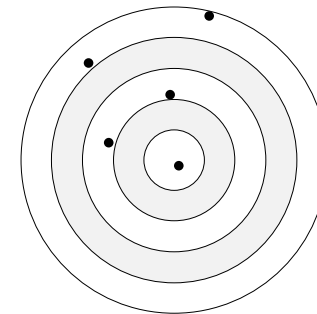
genau und präzise



präzise, aber nicht genau



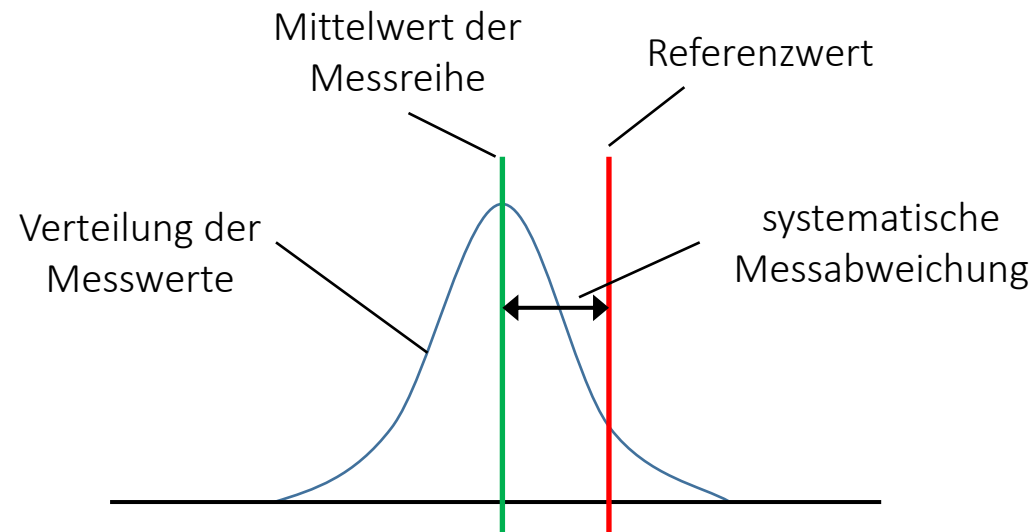
genau, aber nicht präzise



weder genau, noch präzise

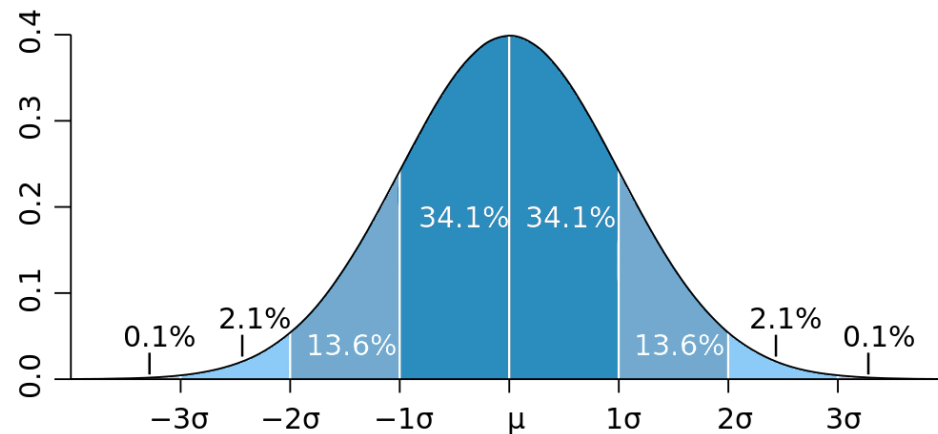
# Systematische Abweichung

- Abweichung zwischen dem Mittelwert der Messwerte und dem tatsächlichen Wert des untersuchten Merkmals (Referenzwert)



# Wiederholbarkeit (Repeatability)

- Maß für zufällige Messabweichungen und damit für die Streuung des Messsystems
- Die Wiederholbarkeit wird meist über die empirische Standardabweichung ermittelt (Messung desselben Merkmals in kurzen Zeitabständen unter denselben Bedingungen)



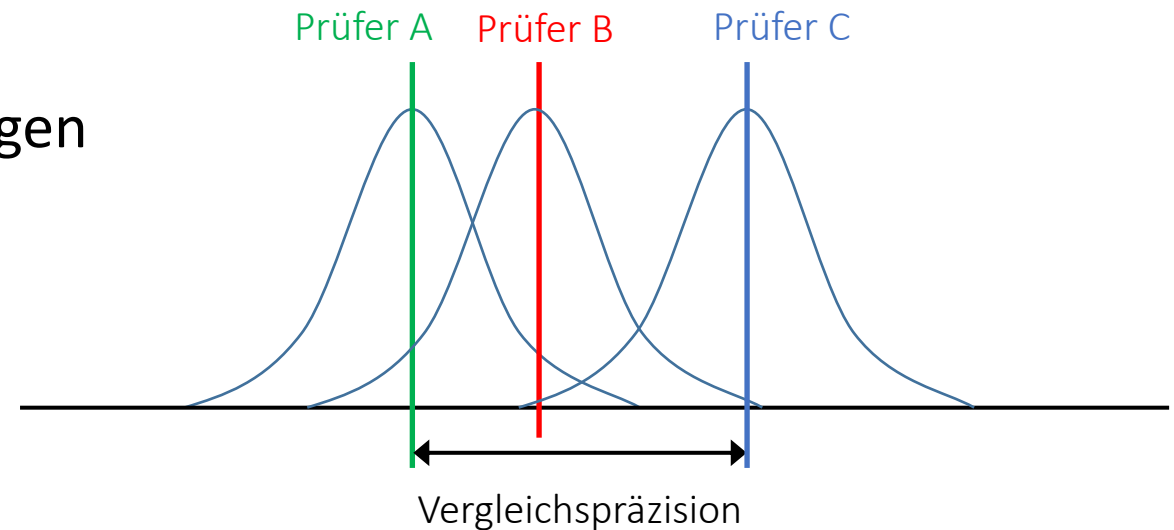
$1\sigma$	68,3%
$2\sigma$	95,45%
$3\sigma$	99,73%
$4\sigma$	99,994%

<http://de.wikipedia.org/wiki/Standardabweichung>

**VORSICHT:** Gilt nur für normalverteilte Größen!

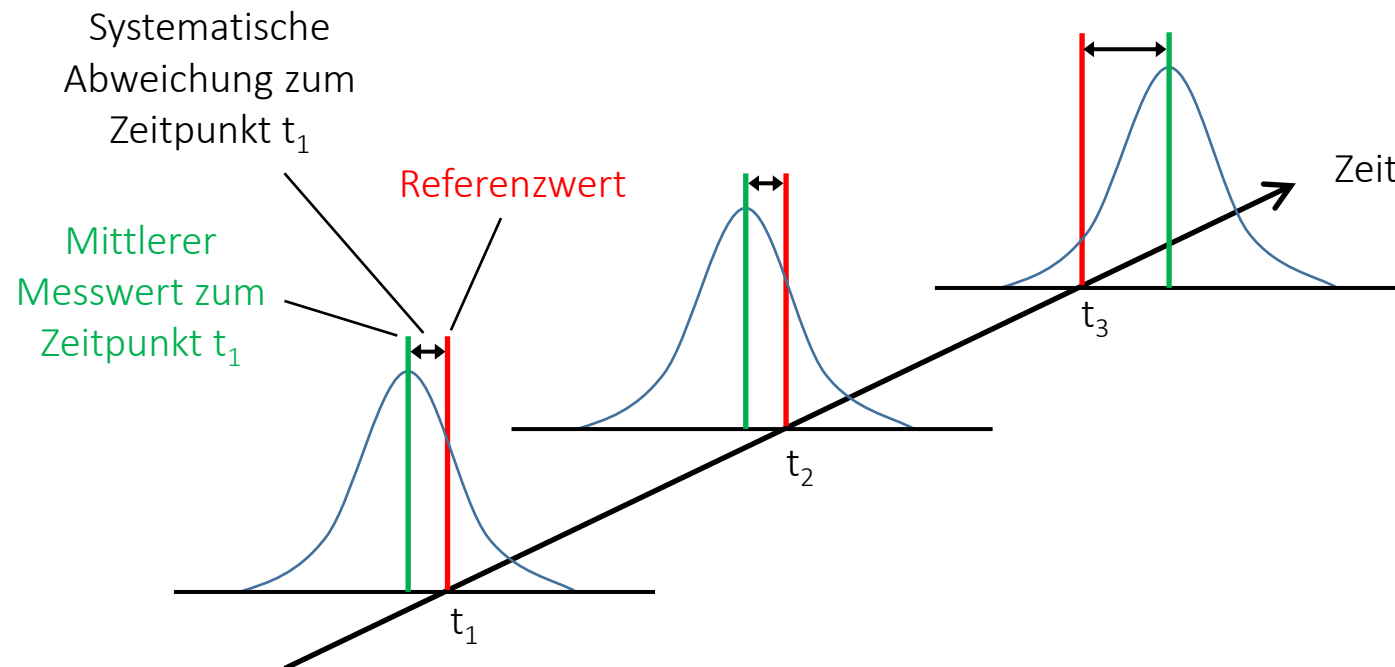
# Reproduzierbarkeit (Reproducibility)

- Maß für die Spannweite der Mittelwerte von Messreihen unter Variation:
  - des Prüfers
  - des Ortes
  - des Messsystems
- Es wird immer nur eine der Bedingungen gleichzeitig geändert



# Stabilität (Drift)

- Maß für die Spannweite der Mittelwerte von Messreihen unter denselben Bedingungen (Prüfer, Messgerät) über einen längeren Zeitraum



# Untersuchung der Prüfmittelfähigkeit mit Gage R&R-Analyse

- Untersuchung der Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit
- Empfehlung: Dreimalige Messung von 5 bis 10 Proben durch 3 Prüfer
- Wichtig: Die Proben müssen repräsentativ sein, also die Prozessstreuung abbilden
- Ergebnis: Gesamtstreuung des Messsystem (Gage R&R Study Var, kurz GRR) und Number of Distinct Categories (NDC)

$GRR < 10\%$	$NDC \geq 5$	Messsystem ist geeignet
$10\% \leq GRR \leq 30\%$		Messsystem ist bedingt geeignet
$GRR > 30\%$	$NDC < 5$	Messsystem nicht geeignet

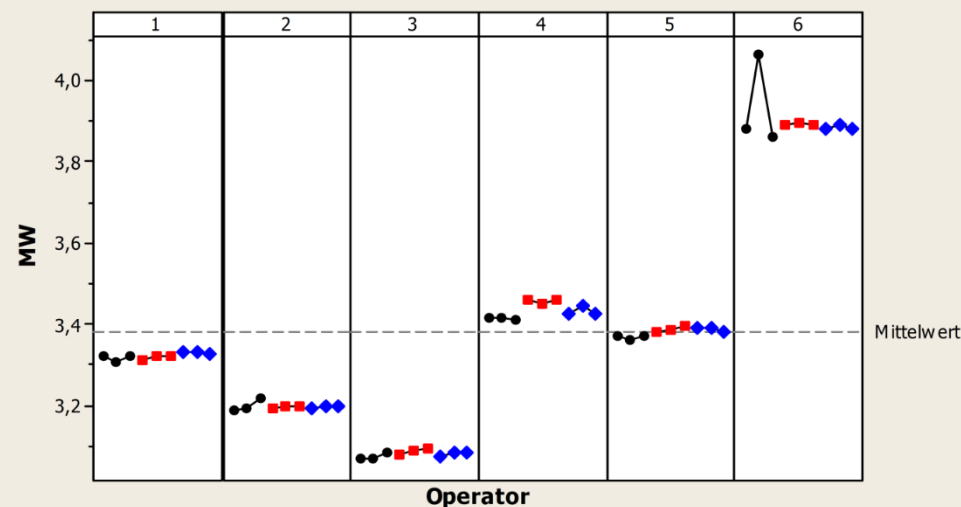
# Beispiel für Gage R&R-Analyse (Mikrometerschraube, mit Minitab)



## Messverlaufdiagramm von MW nach Sample, Operator angeordnet

Messgerätename: Mikrometer-Schraube  
Untersuchungsdatum: 19.11.2012

Berichtersteller: DS  
Toleranz:  
Sonstiges:

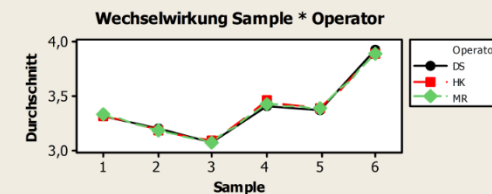
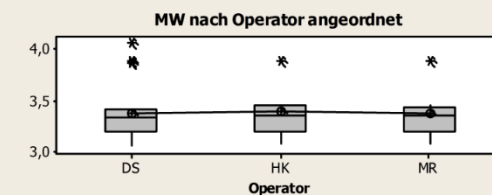
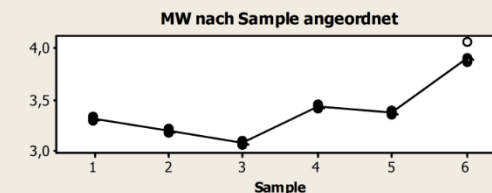
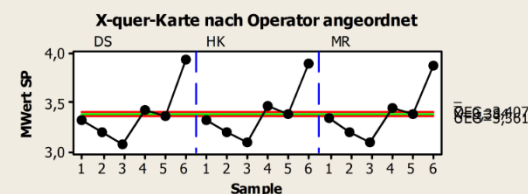
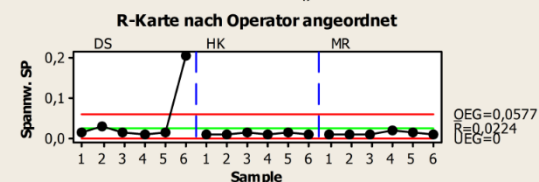
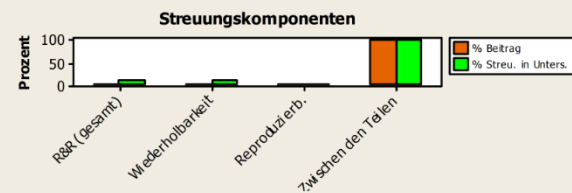


Feldvariable: Sample

## Messsystemanalyse (ANOVA) für MW

Messgerätename: Mikrometer-Schraube  
Untersuchungsdatum: 19.11.2012

Berichtersteller: DS  
Toleranz:  
Sonstiges: R&R (gesamt) = 9,69%





# Anwendungsbeispiel: Messung von Restspannungen in Behälterglas

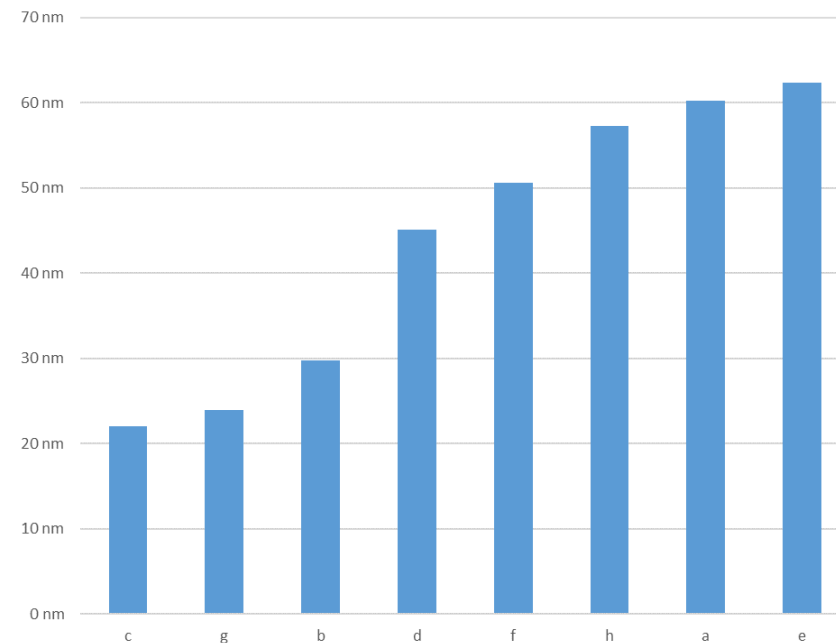
## Fragestellung:

- Sind digitale Polariskope besser zur Beurteilung der Restspannungen nach dem Abkühlprozess geeignet als herkömmliche manuelle Polarimeter?
- Ist eine neue Geräteversion besser als die bisherige?



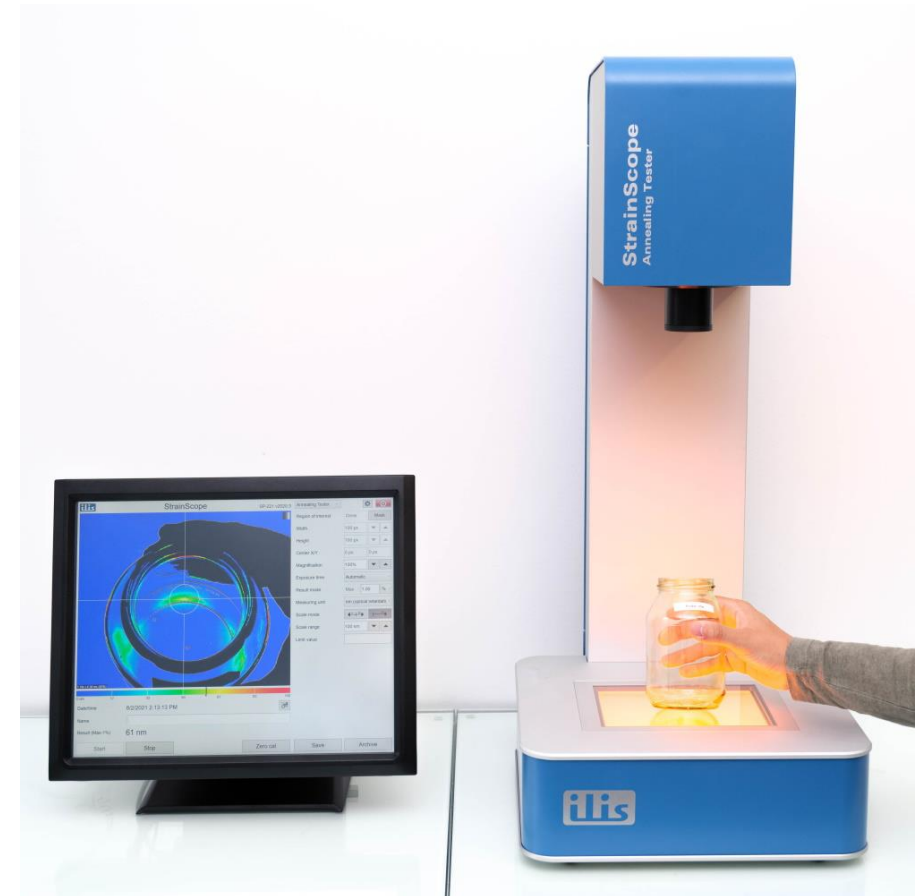
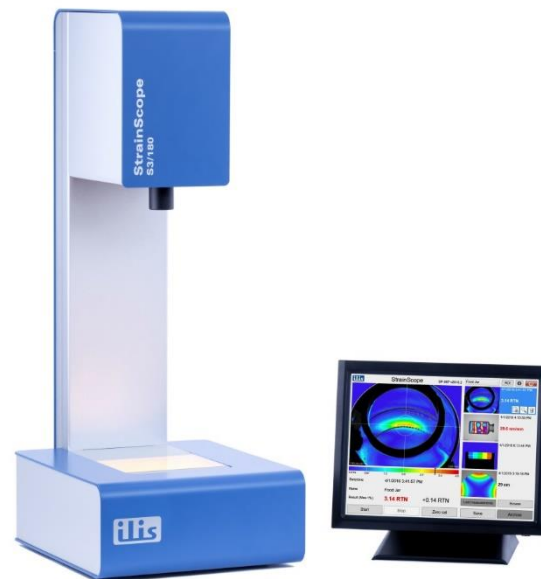
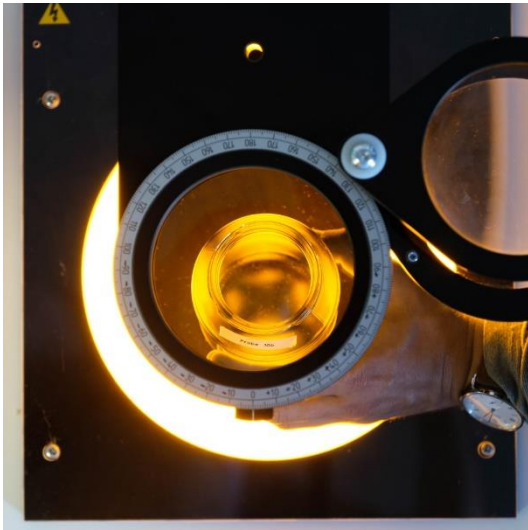
# Proben

- 8 Behälterglasproben (500 ml Joghurtgläser, mit a bis h nummeriert)
- Proben decken einen Messbereich von ca. 20 bis 60 nm optischem Gangunterschied relativ gleichmäßig ab



# Messgeräte

1. Sharples Senarcom (manuelles Polarimeter)
2. ilis StrainScope S3/180
3. ilis StrainScope Annealing Tester

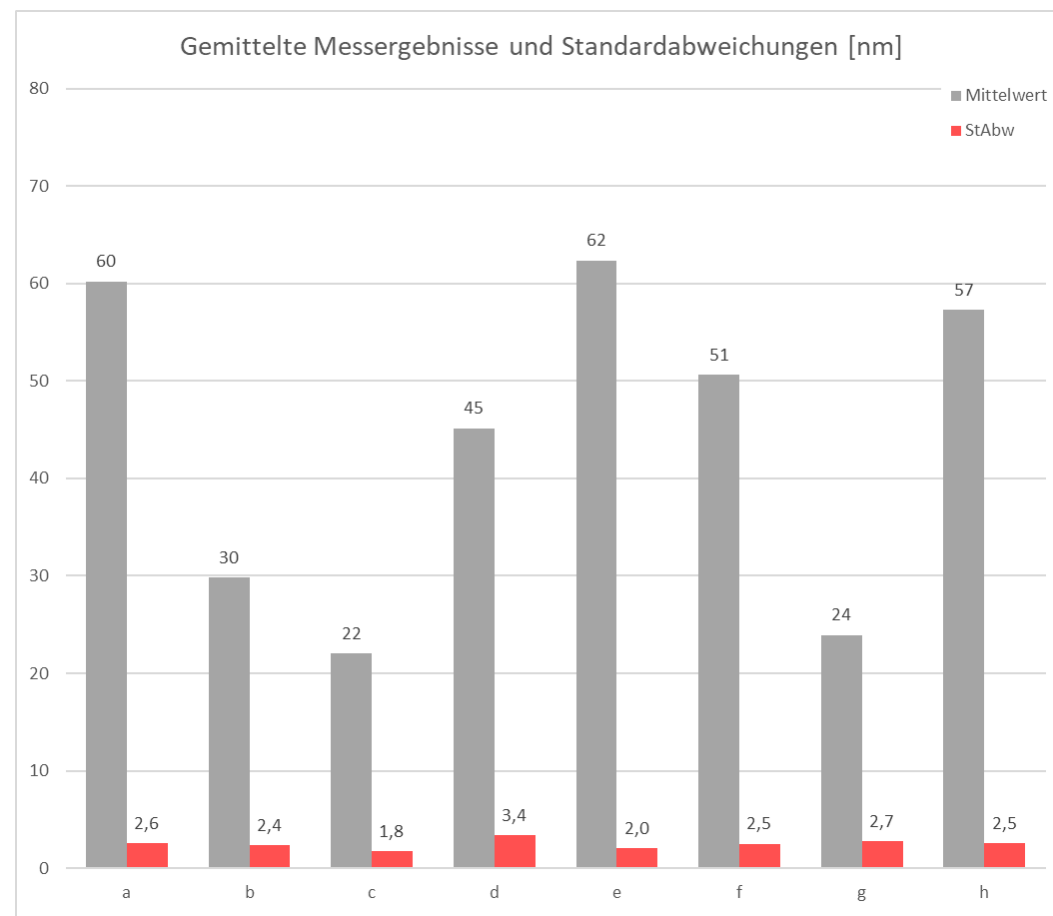


# Testplanung und -durchführung

- 8 Proben (a bis h) wurden von 3 Bedienern (DS, EM, TW) jeweils 3 Mal mit jedem der 3 Messgeräte (Manuelles Polarimeter, StrainScope S3/180, Strainscope AT) gemessen  
⇒  $8 \times 3 \times 3 \times 3 = 216$  Messungen
- Test wurde randomisiert, d.h. die Reihenfolge der Proben wurde in jedem Durchlauf geändert
- Messaufgabe war, den höchsten Messwert (opt. Gangunterschied in nm) im Bodenbereich für jede Probe zu finden und zu messen

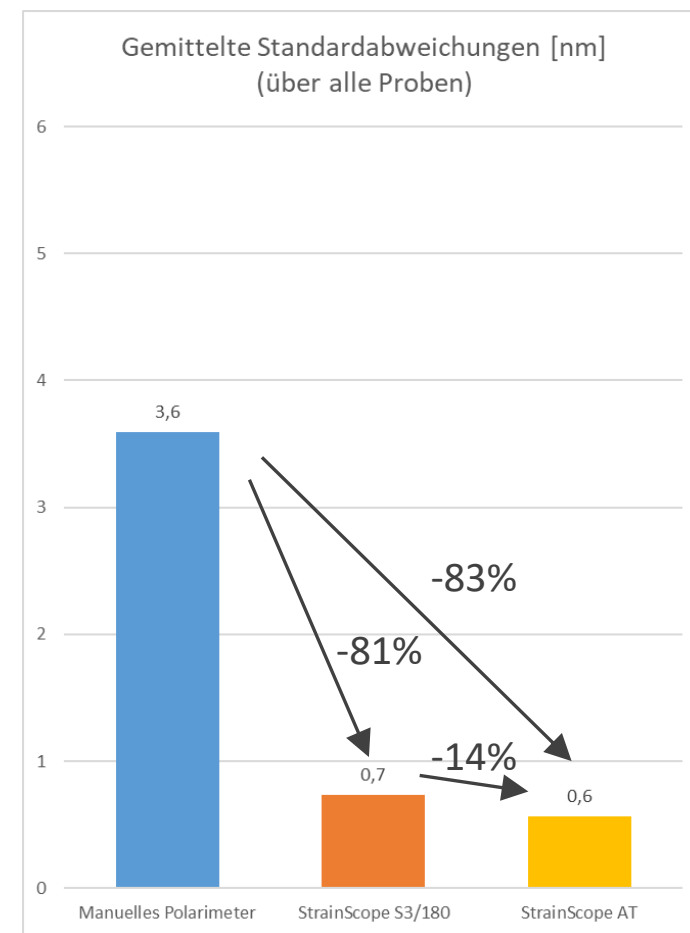
# Messergebnisse (alle Werte)

Alle Messungen			Probennummer							
Messgerät	Bediener	Durchlauf	a	b	c	d	e	f	g	h
Manuelles Polarimeter	DS	1	62	31	19	50	65	59	28	50
		2	59	31	25	47	65	47	22	65
		3	65	37	19	44	62	50	28	56
	EM	1	53	28	19	37	62	44	31	59
		2	56	25	25	50	62	50	28	59
		3	59	34	25	44	62	53	28	56
	TW	1	53	25	19	37	65	53	28	53
		2	62	28	19	37	69	50	25	62
		3	59	25	22	41	65	47	25	59
StrainScope S3/180	DS	1	61	30	22	44	60	50	20	57
		2	60	31	21	45	60	49	22	56
		3	60	30	22	45	60	49	20	56
	EM	1	62	30	22	46	62	52	23	57
		2	62	30	22	48	61	50	23	57
		3	60	30	23	46	61	50	22	58
	TW	1	60	30	22	46	60	50	22	57
		2	61	30	22	46	60	51	22	57
		3	60	30	22	47	60	50	22	57
StrainScope AT	DS	1	61	30	22	45	62	51	23	57
		2	61	30	21	47	63	52	22	57
		3	61	30	24	47	62	51	23	56
	EM	1	62	30	23	46	63	51	24	58
		2	61	30	22	46	62	51	22	58
		3	62	30	23	47	63	52	23	57
	TW	1	61	30	23	47	62	52	23	58
		2	62	30	22	46	63	52	23	57
		3	61	30	24	48	63	52	24	57
Alle Messgeräte	Alle	Mittelwert	60	30	22	45	62	51	24	57
		StAbw	2,6	2,4	1,8	3,4	2,0	2,5	2,7	2,5
		StAbw/MW	4%	8%	8%	7%	3%	5%	11%	4%

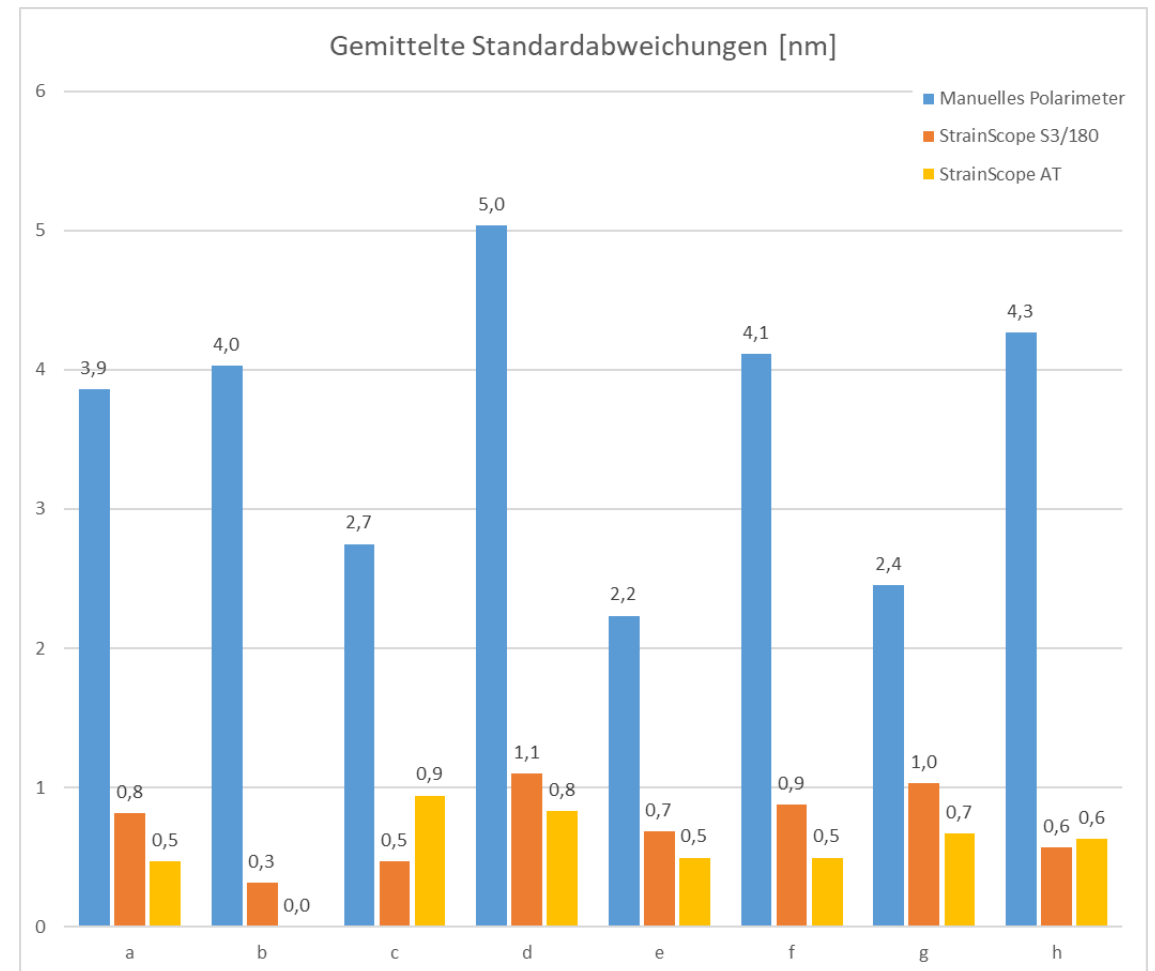
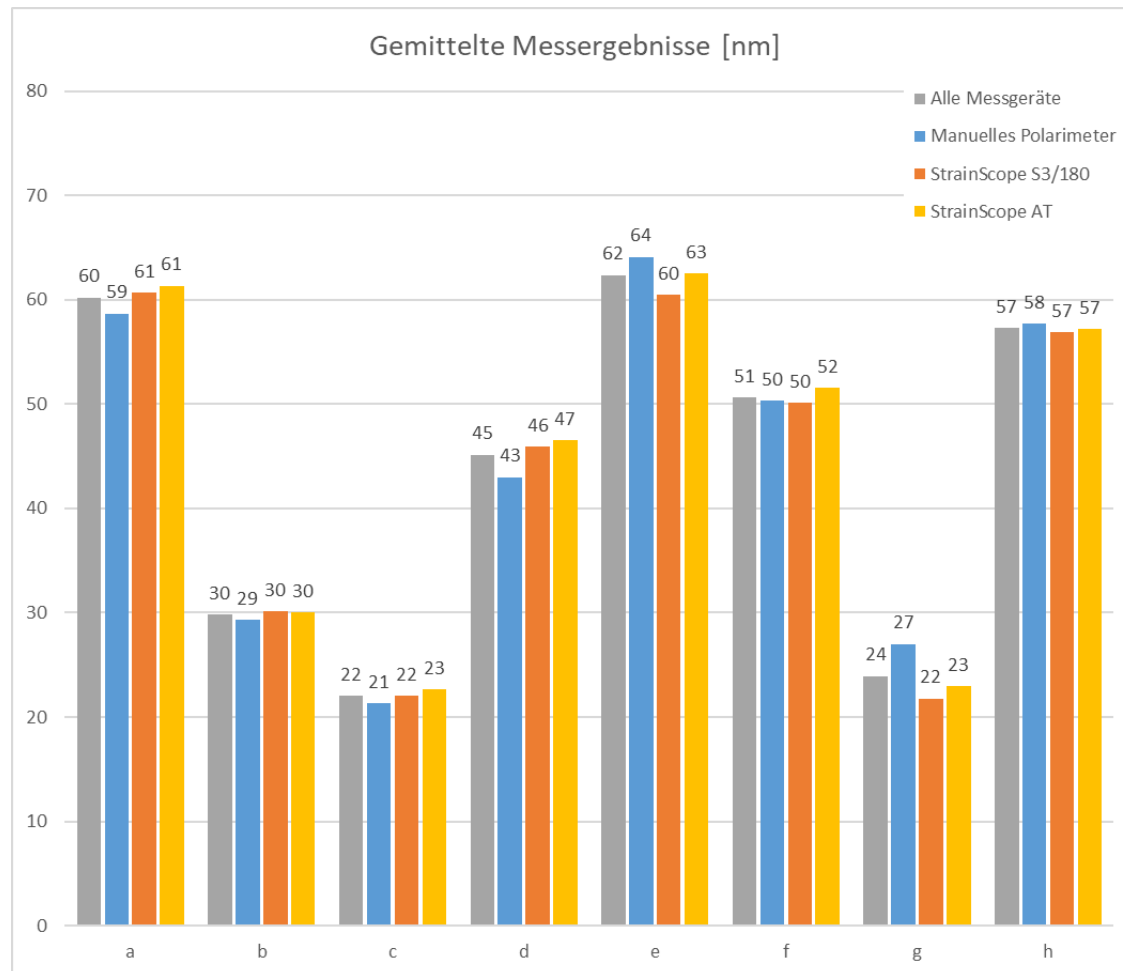


# Messergebnisse (nach Messgerät & Bediener)

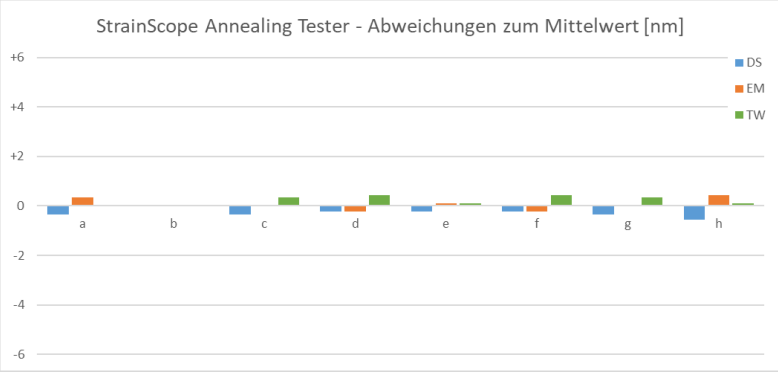
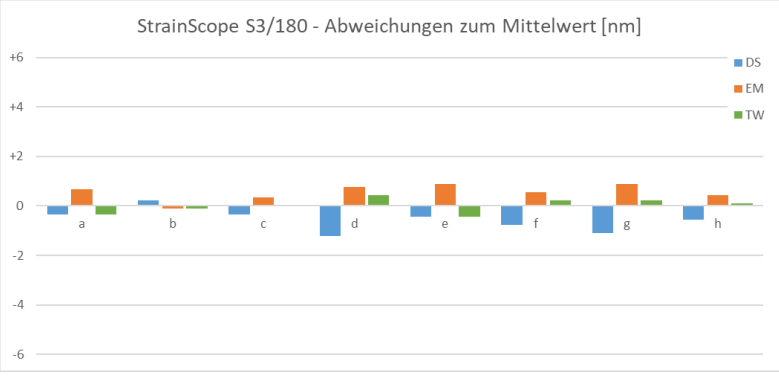
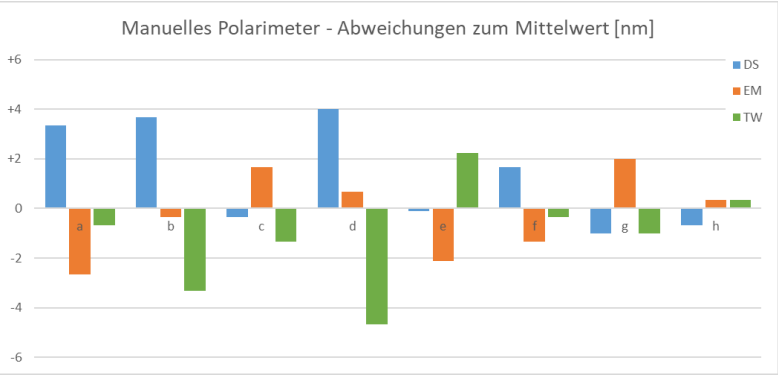
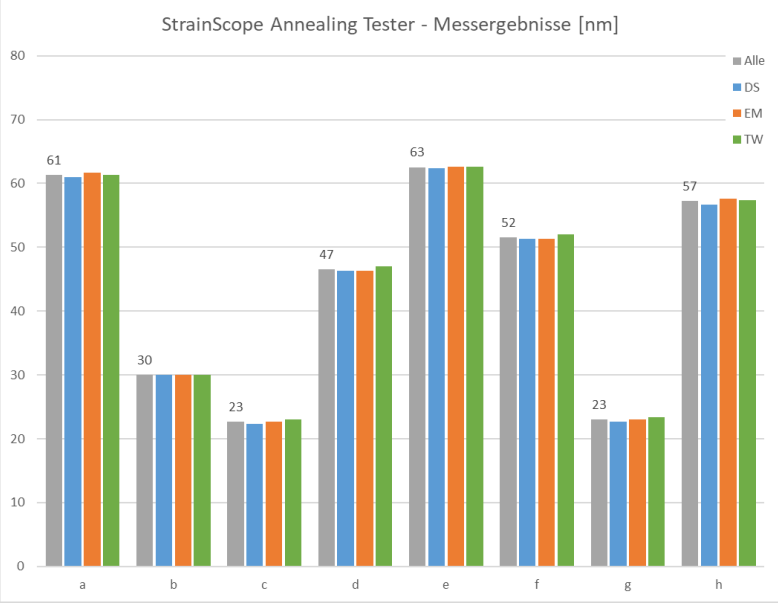
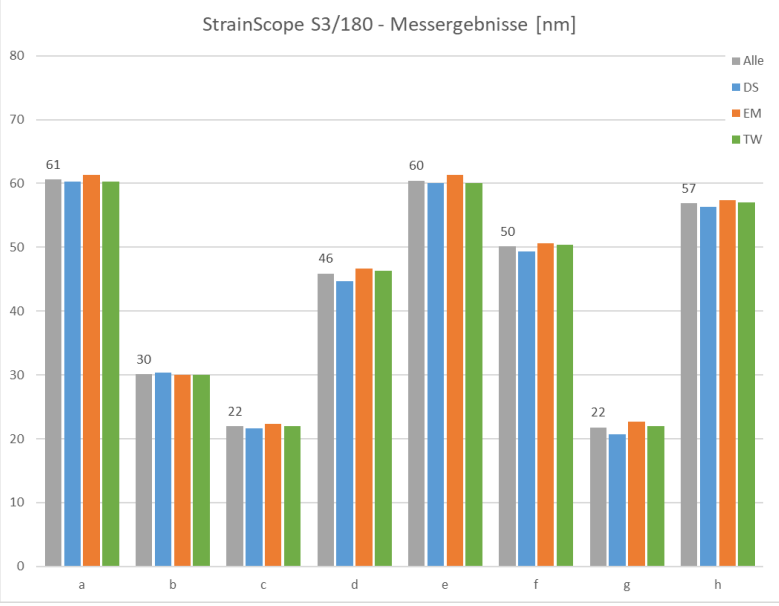
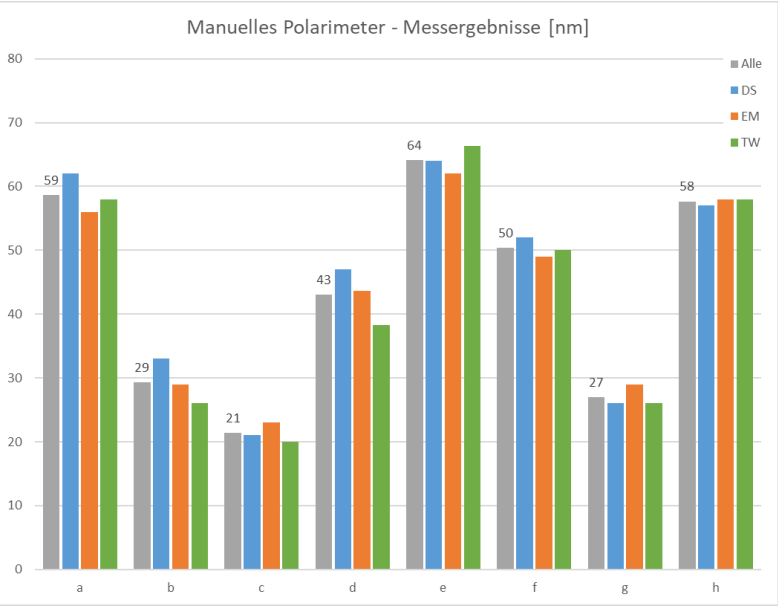
Nach Messgerät & Bediener (alle Durchläufe)			Probennummer								Mittl. StAbw
			a	b	c	d	e	f	g	h	
Manuelles Polarimeter	Alle	Mittelwert	59	29	21	43	64	50	27	58	● 3,6
		StAbw	3,9	4,0	2,7	5,0	2,2	4,1	2,4	4,3	
	DS	Mittelwert	62	33	21	47	64	52	26	57	● 3,3
		StAbw	2,4	2,8	2,8	2,4	1,4	5,1	2,8	6,2	
	EM	Mittelwert	56	29	23	44	62	49	29	58	● 2,6
		StAbw	2,4	3,7	2,8	5,3	0,0	3,7	1,4	1,4	
	TW	Mittelwert	58	26	20	38	66	50	26	58	● 2,2
		StAbw	3,7	1,4	1,4	1,9	1,9	2,4	1,4	3,7	
StrainScope S3/180	Alle	Mittelwert	61	30	22	46	60	50	22	57	● 0,7
		StAbw	0,8	0,3	0,5	1,1	0,7	0,9	1,0	0,6	
	DS	Mittelwert	60	30	22	45	60	49	21	56	● 0,5
		StAbw	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	0,9	0,5	
	EM	Mittelwert	61	30	22	47	61	51	23	57	● 0,6
		StAbw	0,9	0,0	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,5	
	TW	Mittelwert	60	30	22	46	60	50	22	57	● 0,2
		StAbw	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	
StrainScope AT	Alle	Mittelwert	61	30	23	47	63	52	23	57	● 0,6
		StAbw	0,5	0,0	0,9	0,8	0,5	0,5	0,7	0,6	
	DS	Mittelwert	61	30	22	46	62	51	23	57	● 0,5
		StAbw	0,0	0,0	1,2	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	
	EM	Mittelwert	62	30	23	46	63	51	23	58	● 0,5
		StAbw	0,5	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	
	TW	Mittelwert	61	30	23	47	63	52	23	57	● 0,4
		StAbw	0,5	0,0	0,8	0,8	0,5	0,0	0,5	0,5	



# Messergebnisse (gemittelt nach Messgeräten)



# Messergebnisse (gemittelt nach Bediener)

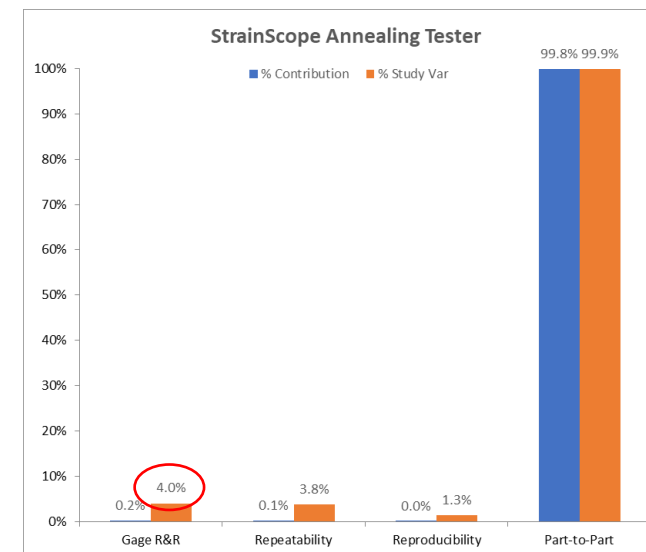
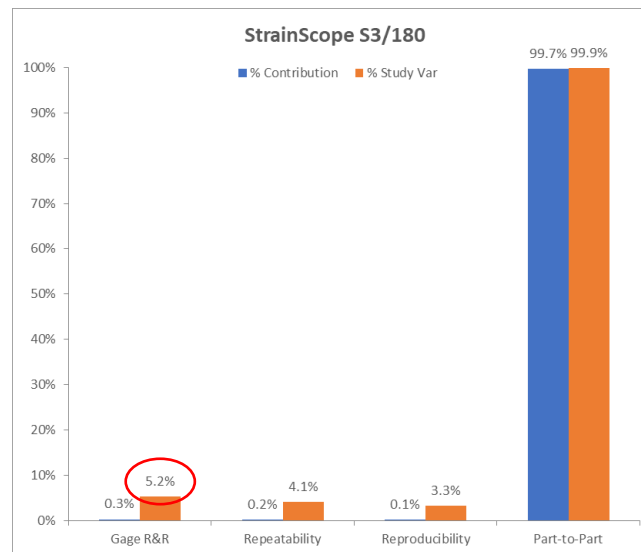
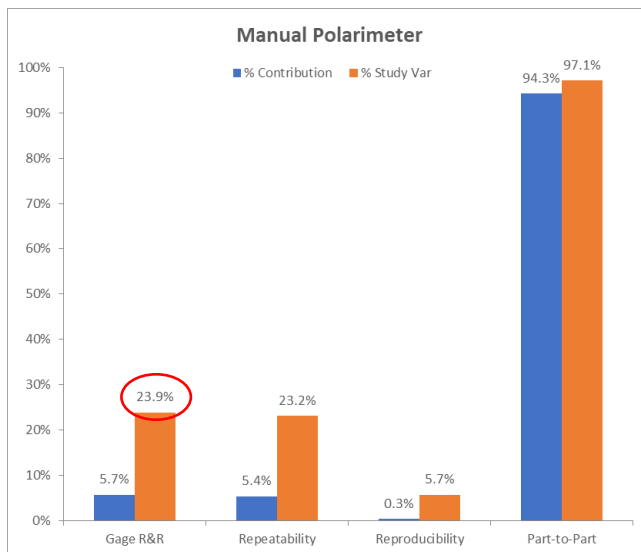




# Gage R&R Analyse-Ergebnisse

Messgerät	GRR	NDC
Manuelles Polarimeter	23,9% 😊	5 😊
StrainScope S3/180	5,2% 😊	26 😊
StrainScope Annealing Tester	4,0% 😊	35 😊

GRR < 10%	NDC ≥ 5	Messsystem geeignet
10% ≤ GRR ≤ 30%		Messsystem bedingt geeignet
GRR > 30%	NDC < 5	Messsystem nicht geeignet



# Zusammenfassung

- Es ist wichtig, bei der Beurteilung von Prüfmitteln zwischen den verschiedenen Begriffen (Auflösung, Genauigkeit, Wiederholbarkeit, Reproduzierbarkeit) zu unterscheiden.
- Für die Prozesstauglichkeit muss immer das gesamte Messsystem, bestehend aus Prüfmittel, Proben, Prüfern und Umgebung, betrachtet werden.
- Die Gage R&R-Methode ist ein einfach zu handhabendes Werkzeug zur Beurteilung der Präzision (aber nicht der Genauigkeit!) von Messgeräten unter realen Bedingungen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!  
Fragen?



**ilis gmbh**

Henkestr. 91  
91052 Erlangen

+49 9131 9747790

[info@ilis.de](mailto:info@ilis.de)

[www.ilis.de](http://www.ilis.de)

