



# Prüfmittelbeurteilung mittels Prozessfähigkeitsanalyse

37. Zwieseler Fachschulkolloquium 2023

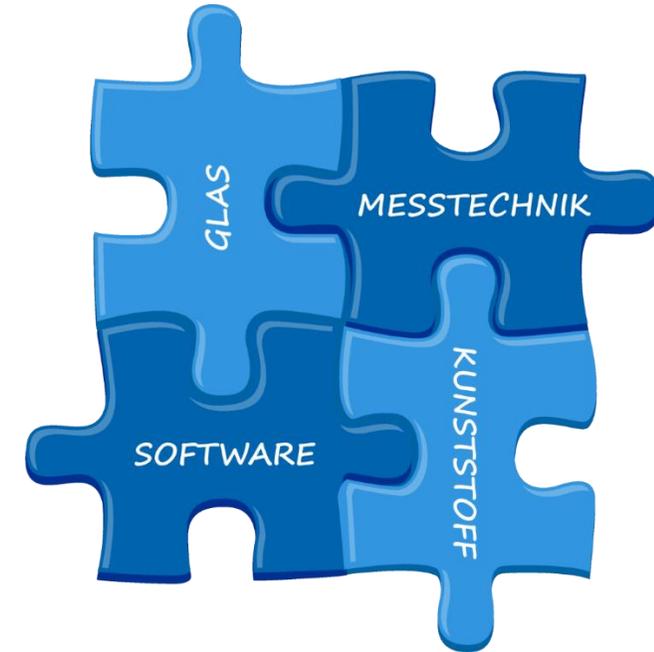
**Henning Katte**

ilis gmbh, Erlangen



# ilis gmbh

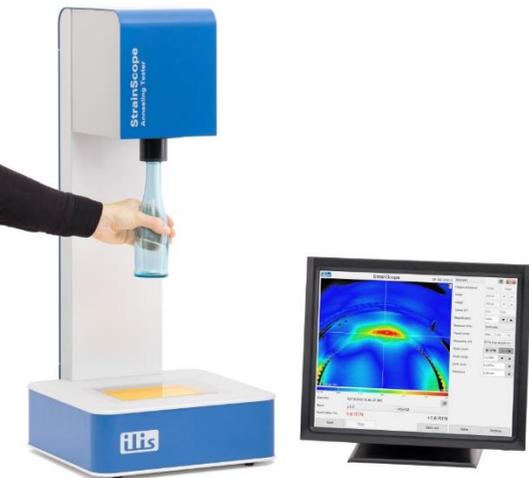
- 1998 gegründet, mit Sitz in Erlangen
- Kompetenzen  
Spannungsmessung, Farbmessung, Gemengeberechnung
- Zielmärkte  
Glasindustrie, Optik & Photonik, Automotive, Aerospace, Pharma
- Anwendungen  
Behälterglas, Flachglas, Wirtschaftsglas, Rohr- und Laborglas, pharmazeutische Verpackungen, optische Materialien 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®

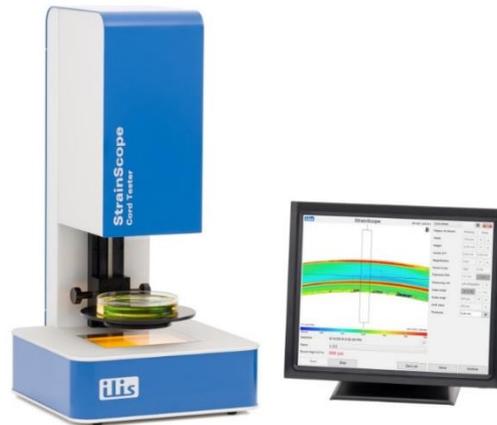
## Bildgebende Messung von Eigenspannungen in Echtzeit

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



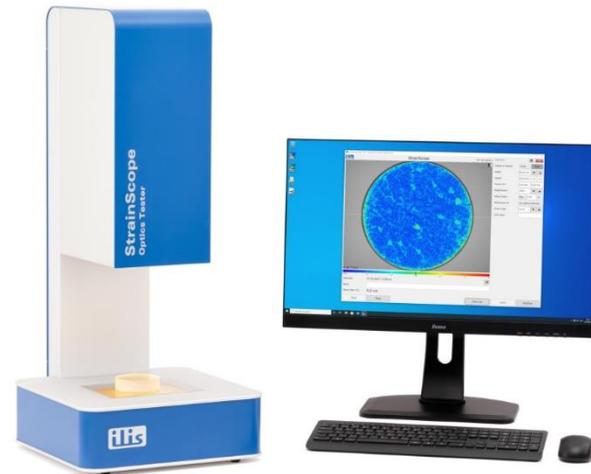
**StrainScope® Annealing Tester**

Restspannungen in Behälter- und Wirtschaftsglas



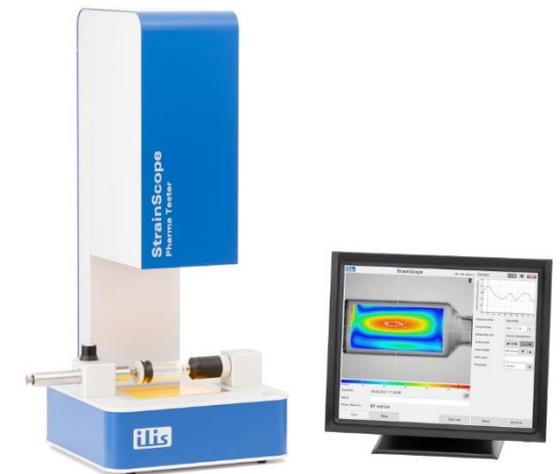
**StrainScope® Cord Tester**

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

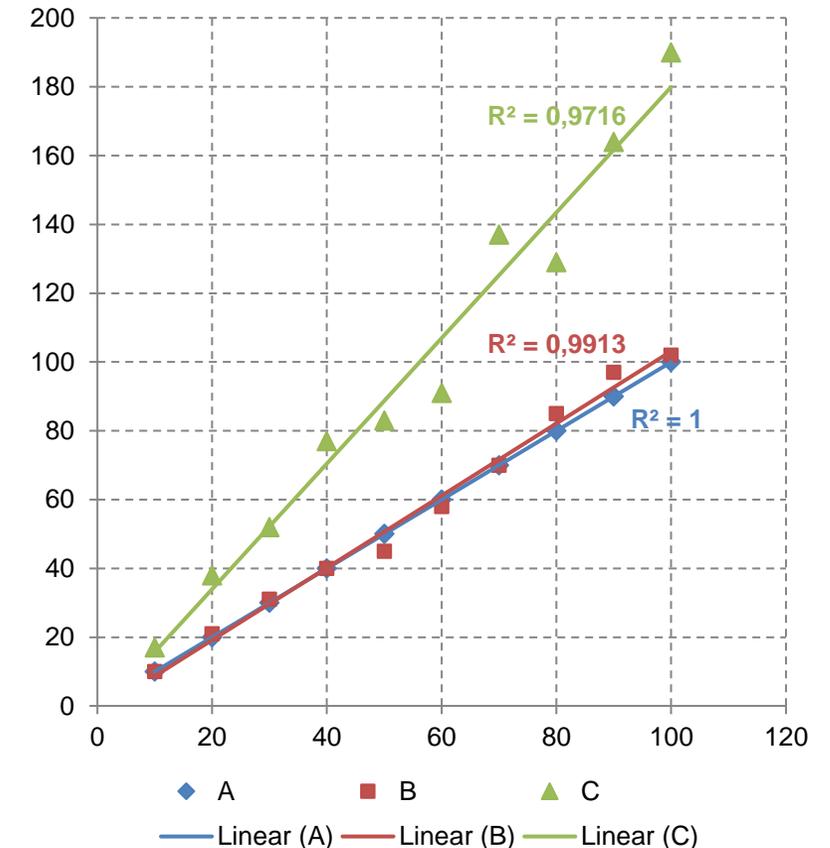
- Auflösung
- Linearität
- Genauigkeit und Präzision
- Systematische Abweichung
- Wiederholbarkeit
- Reproduzierbarkeit
- Stabilität

# Messwert-Auflösung

- Kleinsten 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

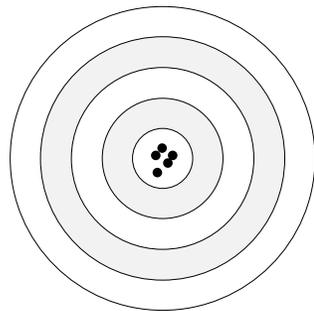
# Linearität

- 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!

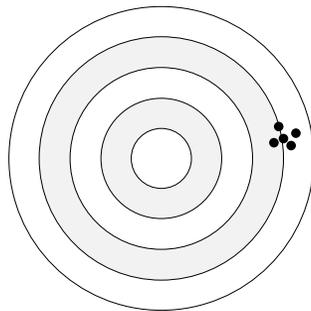


# Genauigkeit und Präzision

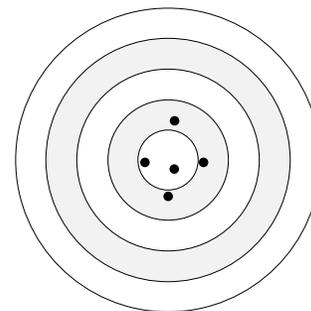
- Die **Genauigkeit** beschreibt den Unterschied zwischen dem Messwert und dem tatsächlichen Wert
- Die **Präzision** beschreibt die beobachtete Streuung, wenn dasselbe Merkmal wiederholt mit demselben Gerät gemessen wird



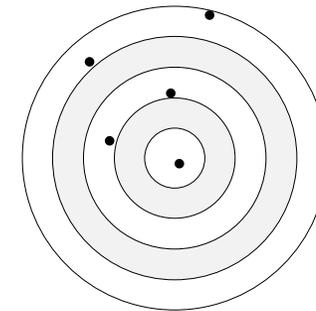
genau und präzise



präzise, aber nicht genau



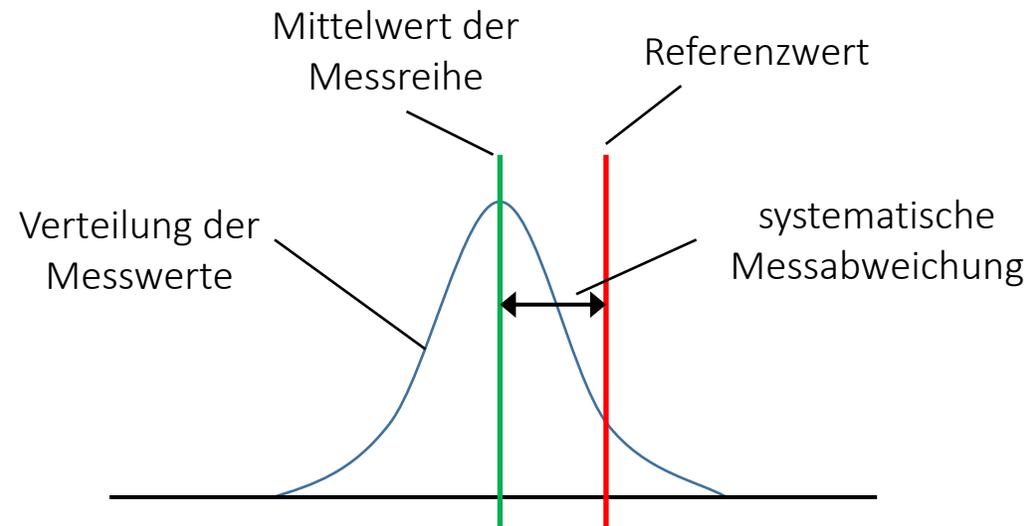
genau, aber nicht präzise



weder genau, noch präzise

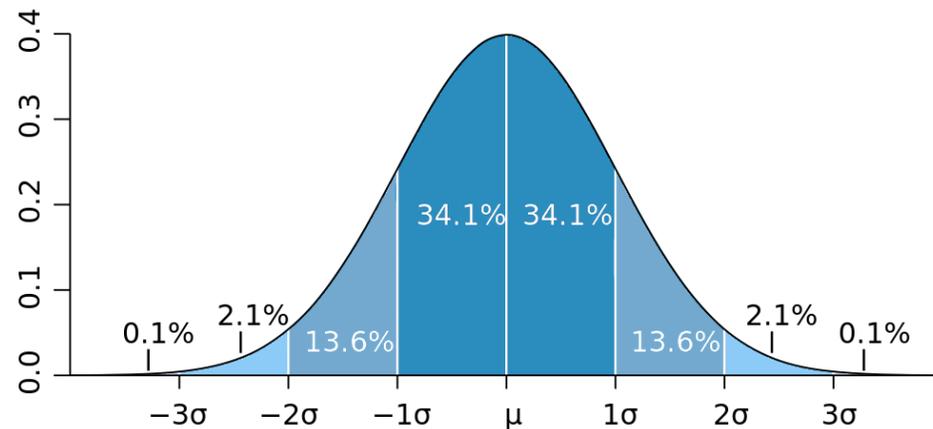
# Systematische Abweichung

- 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)



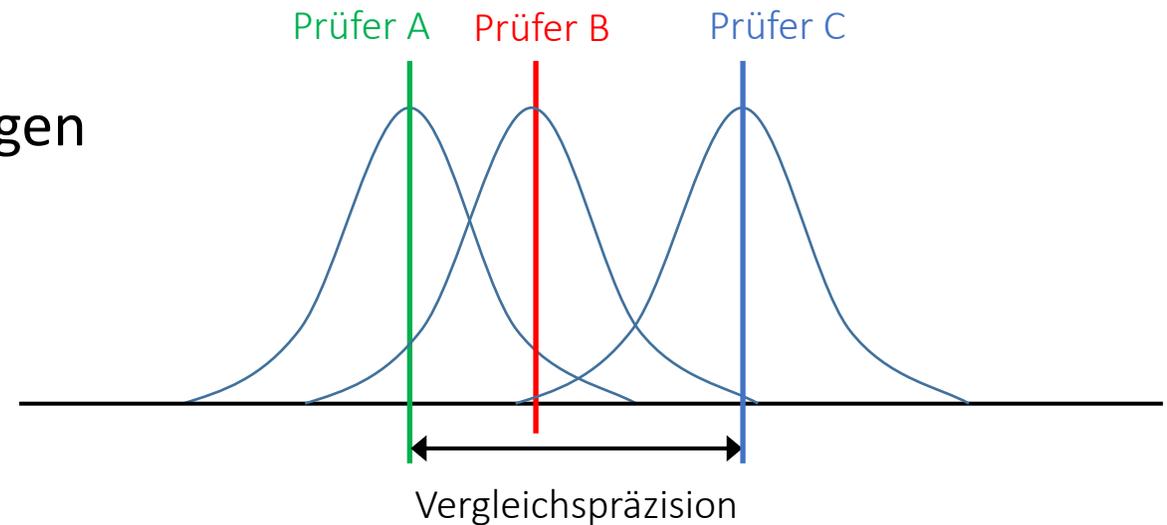
$1\sigma$	68,3%
$2\sigma$	95,45%
$3\sigma$	99,73%
$4\sigma$	99,994%

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

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

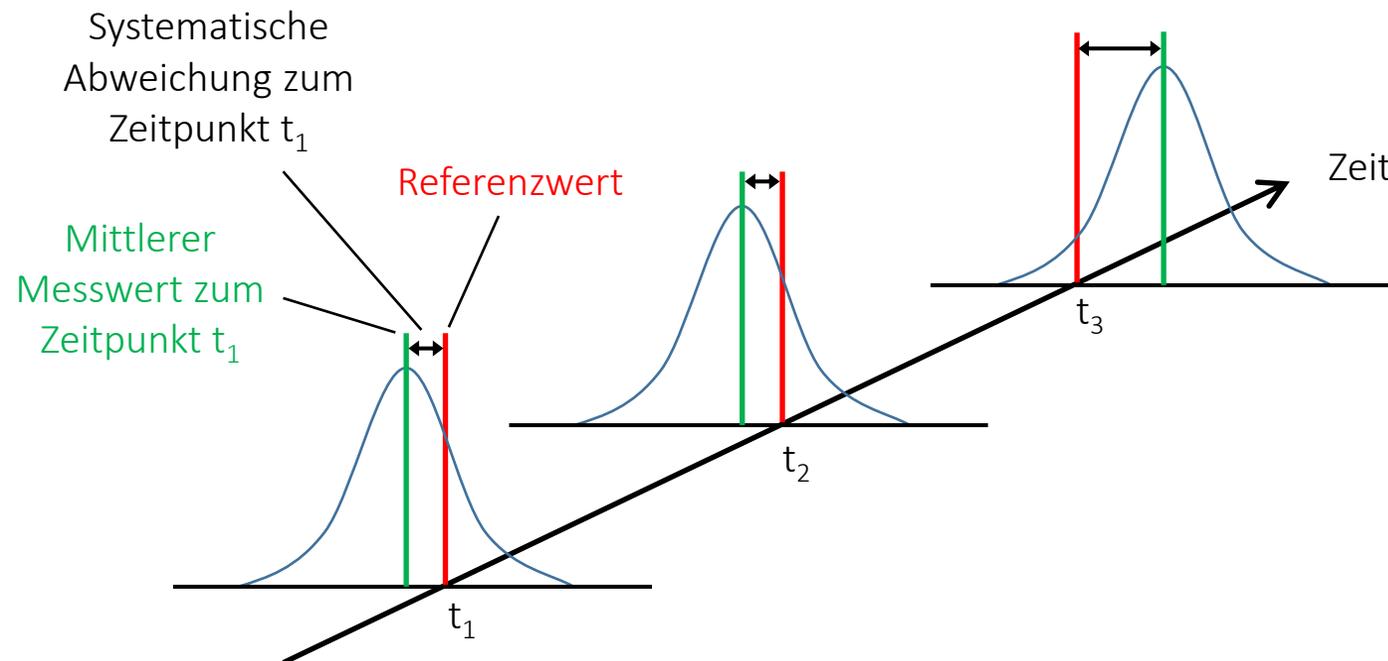
# Reproduzierbarkeit (Reproducibility)

- 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

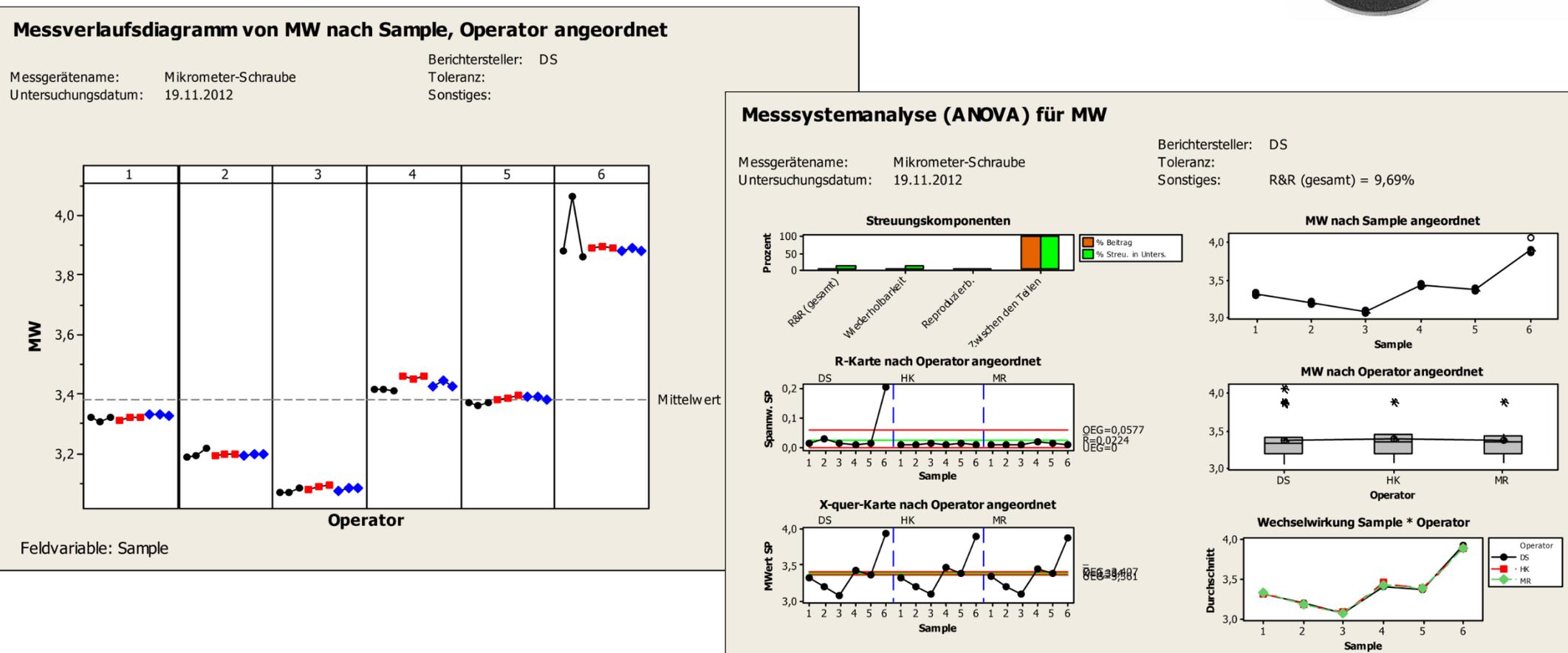
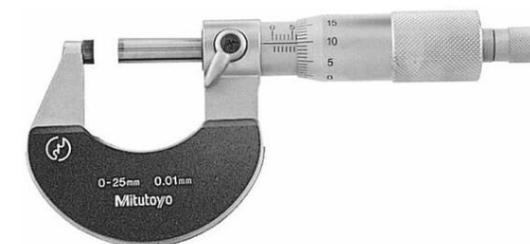


# Untersuchung der Prüfmittelfähigkeit mit Gage R&R-Analyse

- 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)



# Anwendungsbeispiel: Messung von Restspannungen in Behälterglas

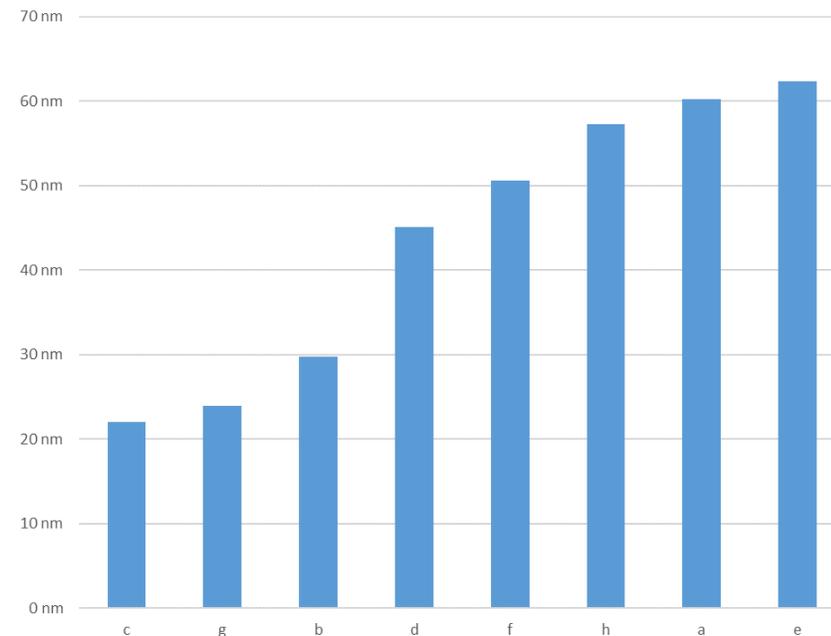
## Fragestellung:

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



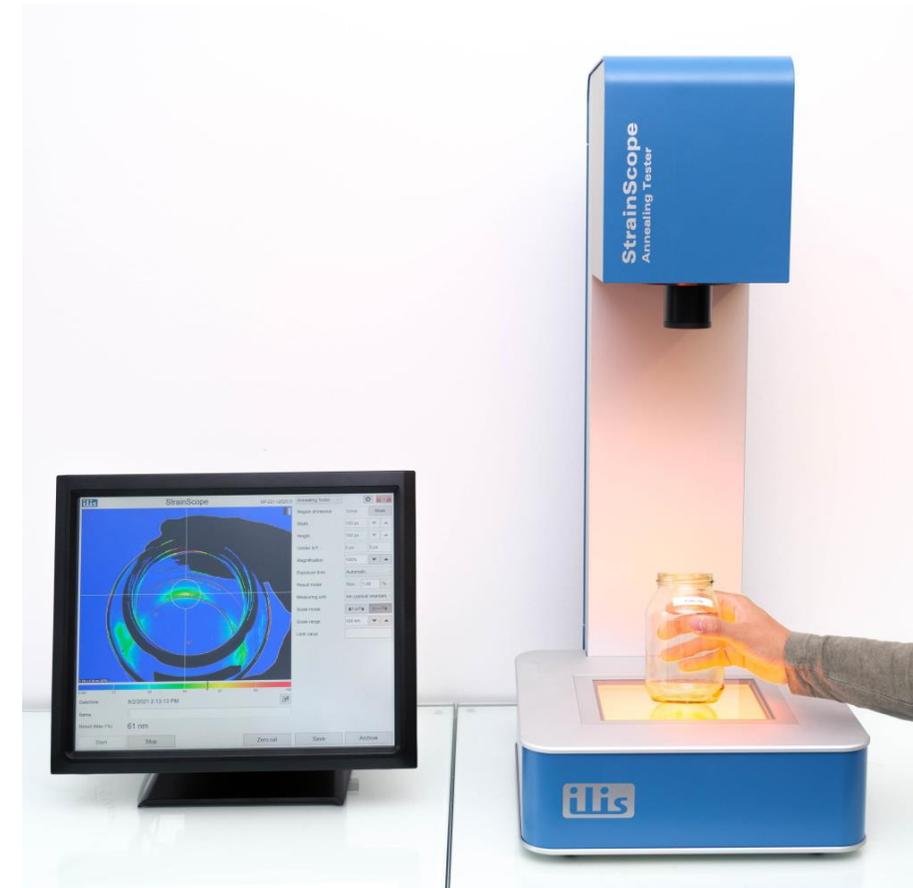
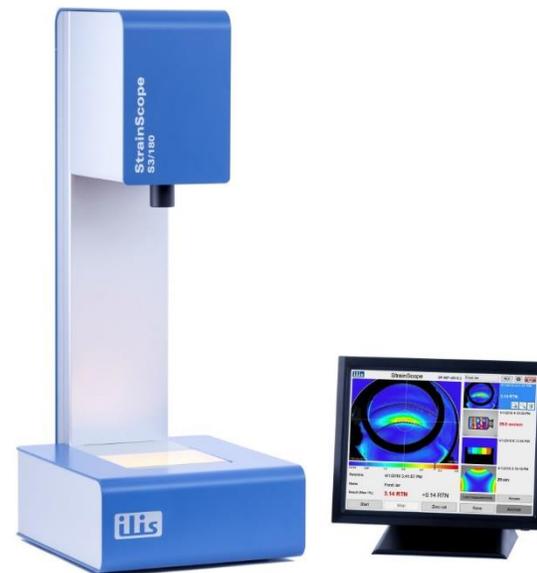
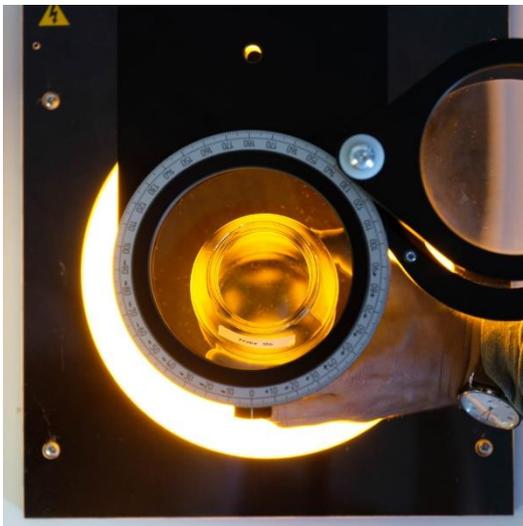
# Proben

- 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

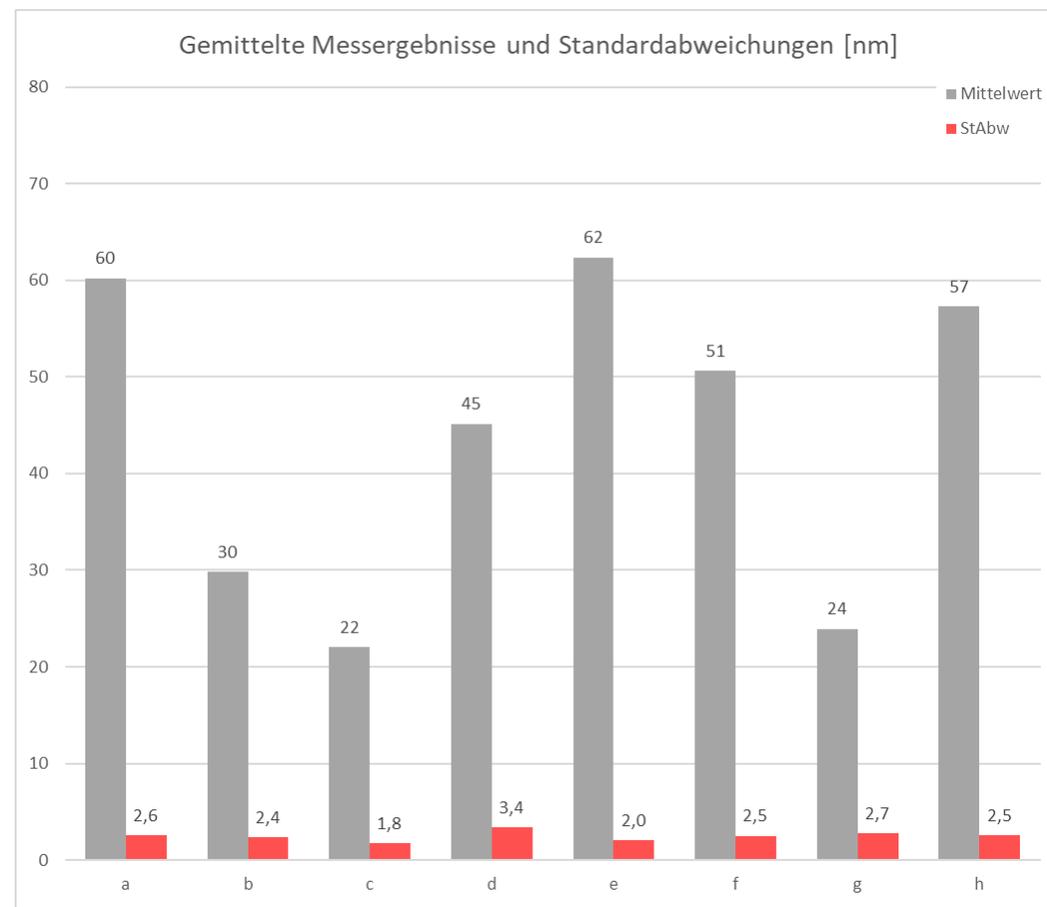


# Testplanung und -durchführung

- 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

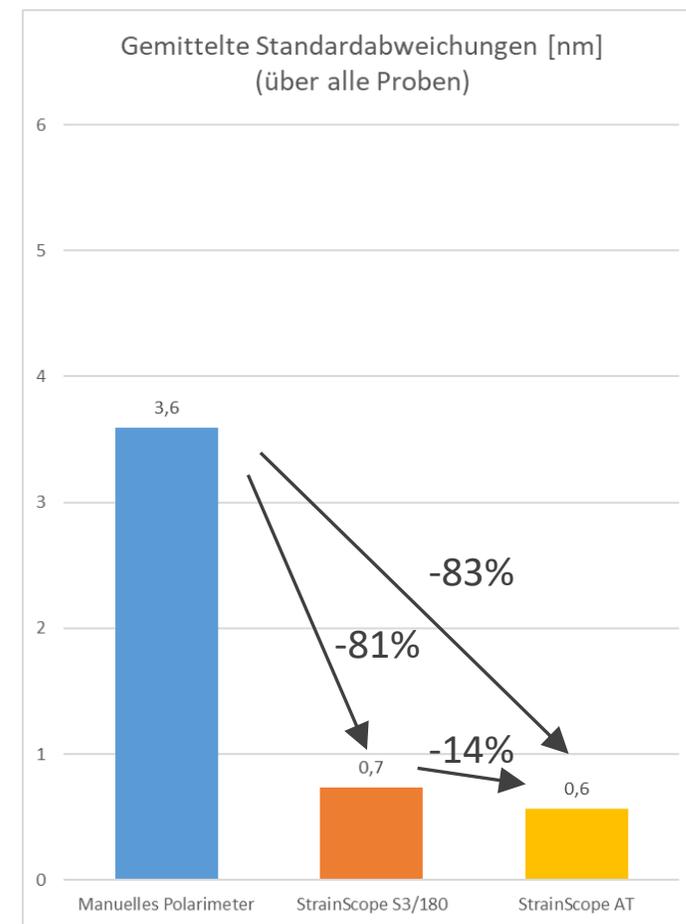
# Messergebnisse (alle Werte)

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%

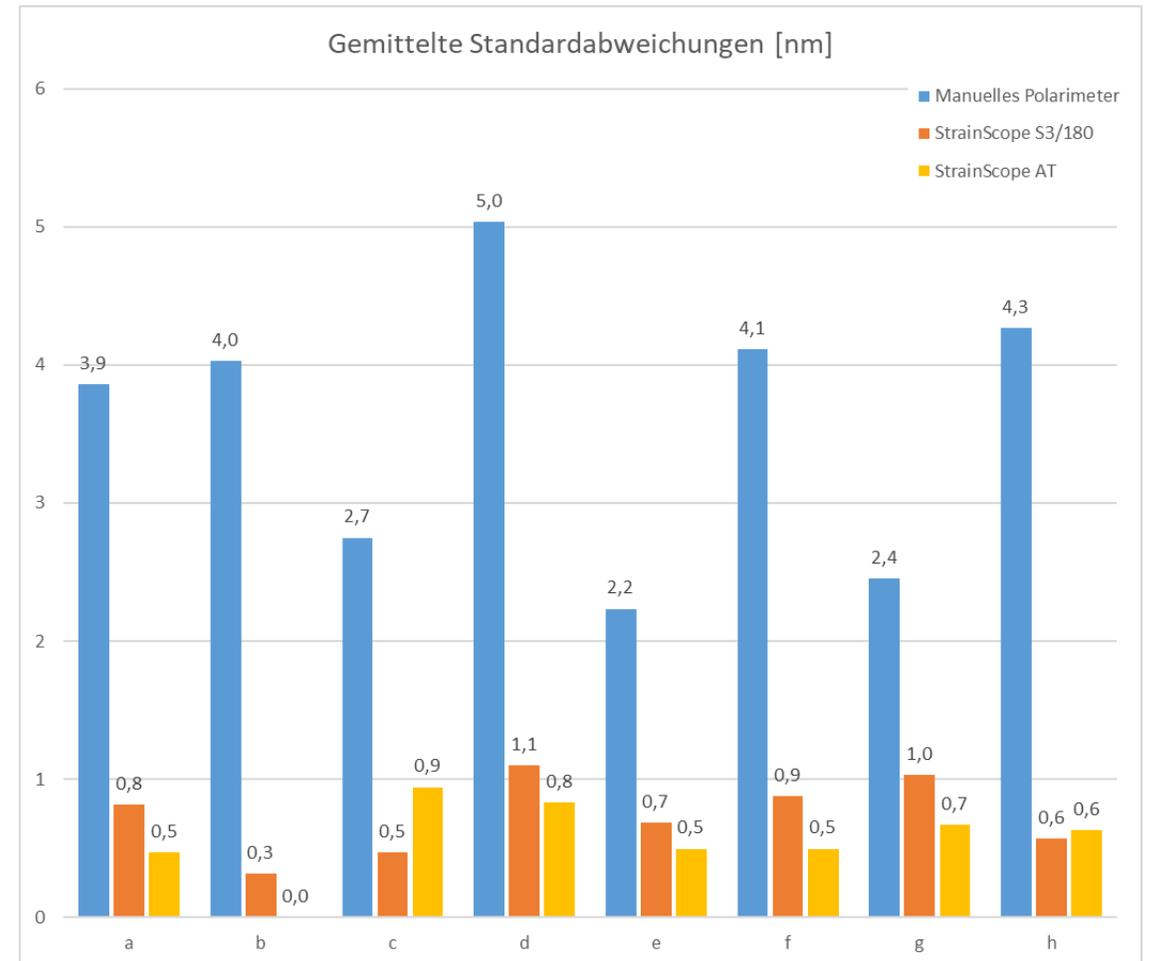
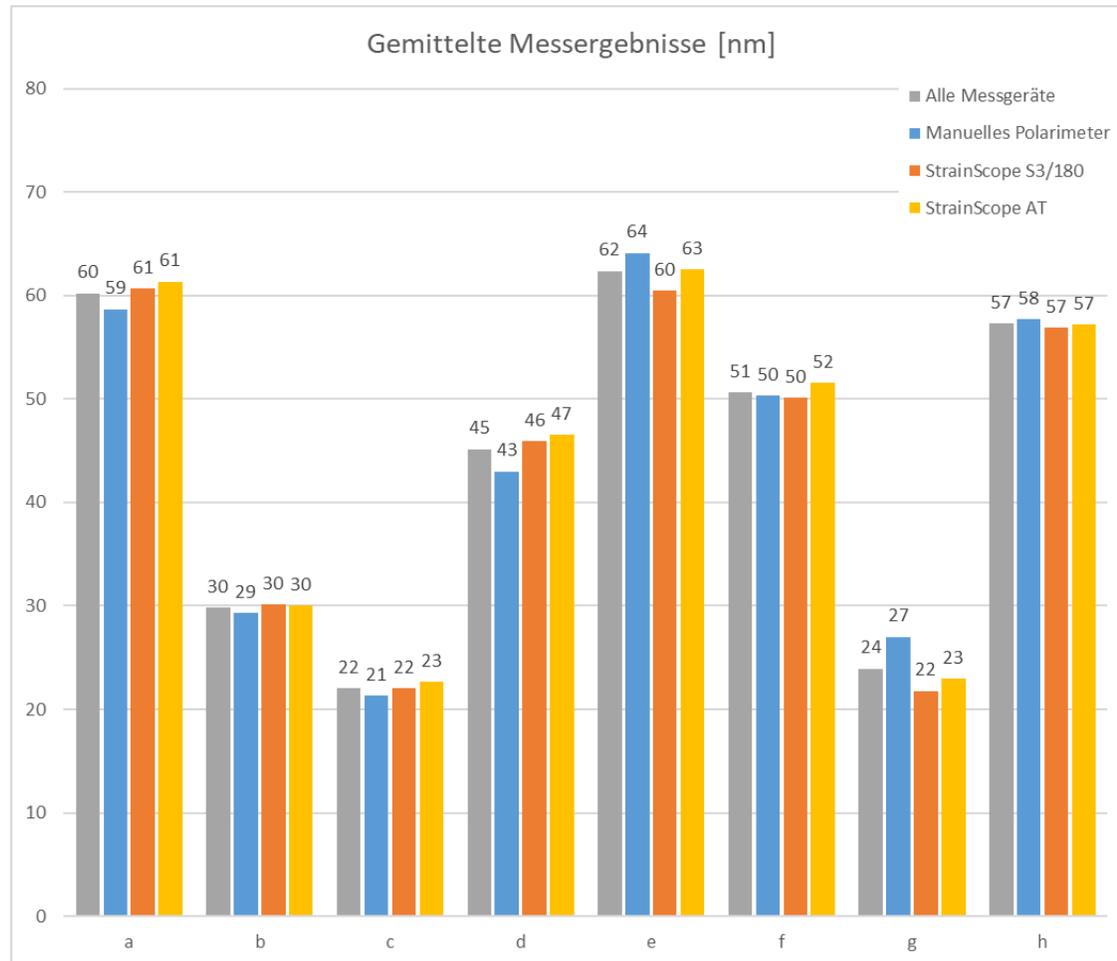


# Messergebnisse (nach Messgerät & Bediener)

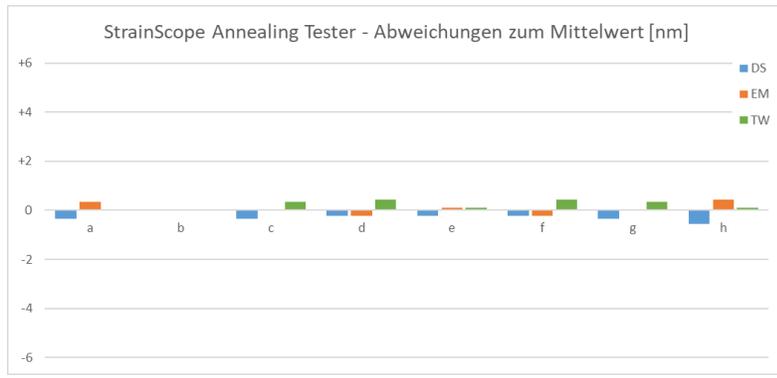
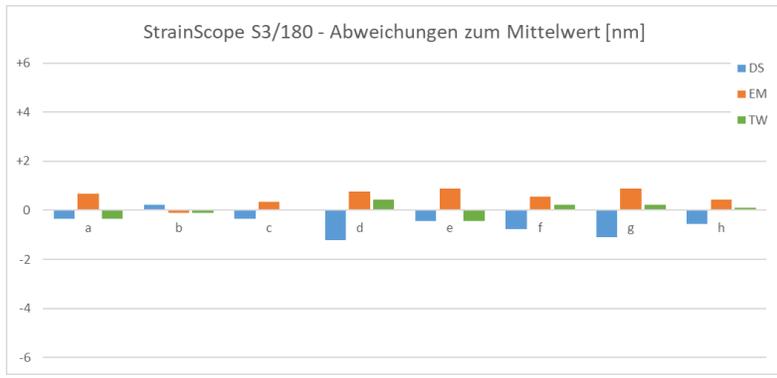
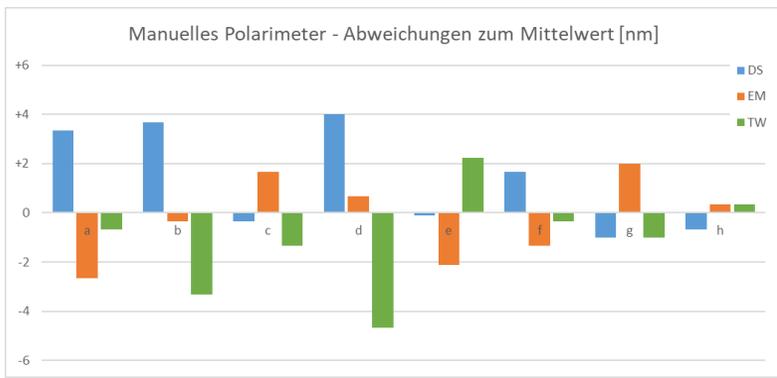
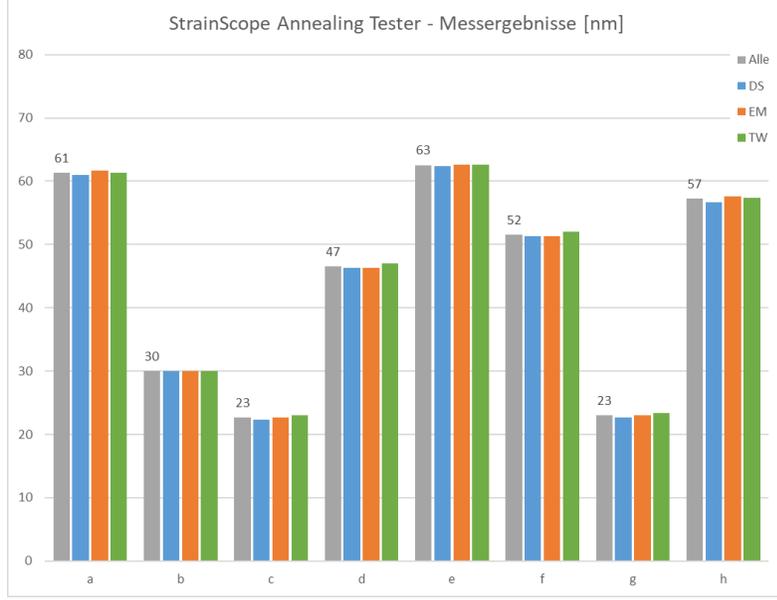
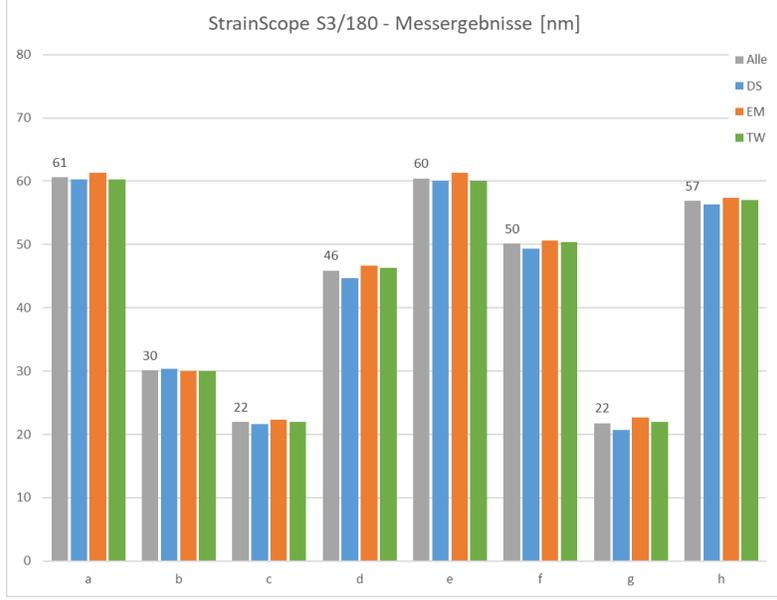
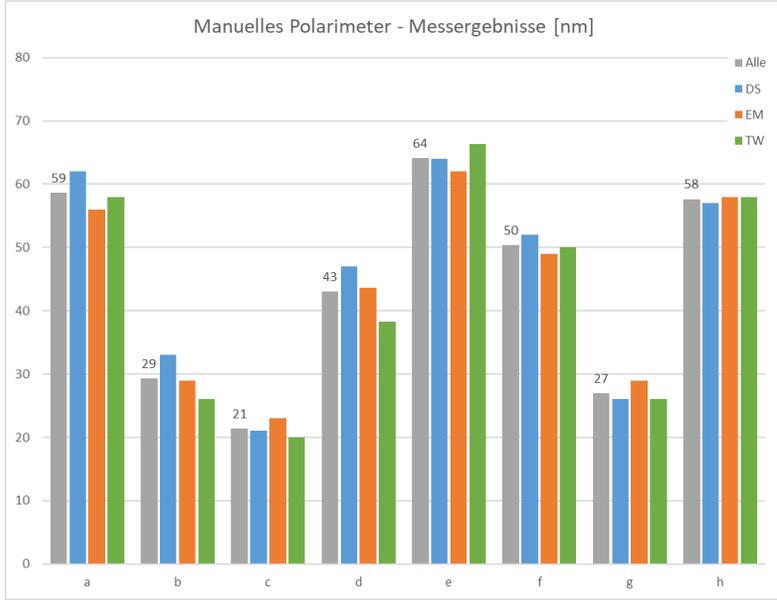
Nach Messgerät & Bediener (alle Durchläufe)			Probennummer								Mittl. StAbw
			a	b	c	d	e	f	g	h	
Manuelles Polarimeter	Alle	Mittelwert	59	29	21	43	64	50	27	58	3,6
		StAbw	3,9	4,0	2,7	5,0	2,2	4,1	2,4	4,3	
	DS	Mittelwert	62	33	21	47	64	52	26	57	3,3
		StAbw	2,4	2,8	2,8	2,4	1,4	5,1	2,8	6,2	
	EM	Mittelwert	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)



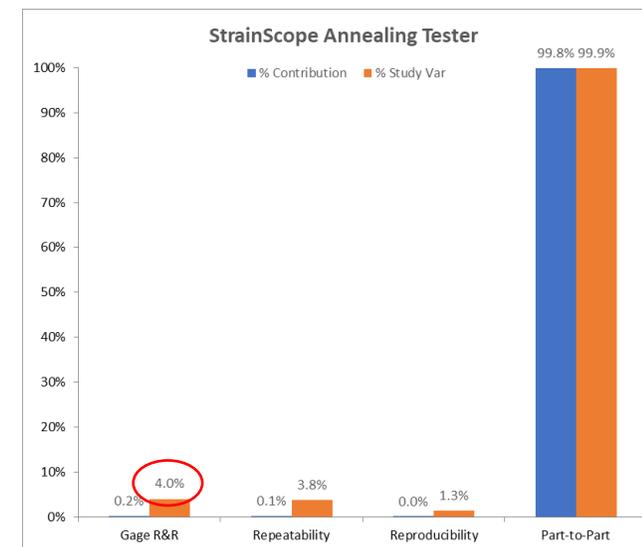
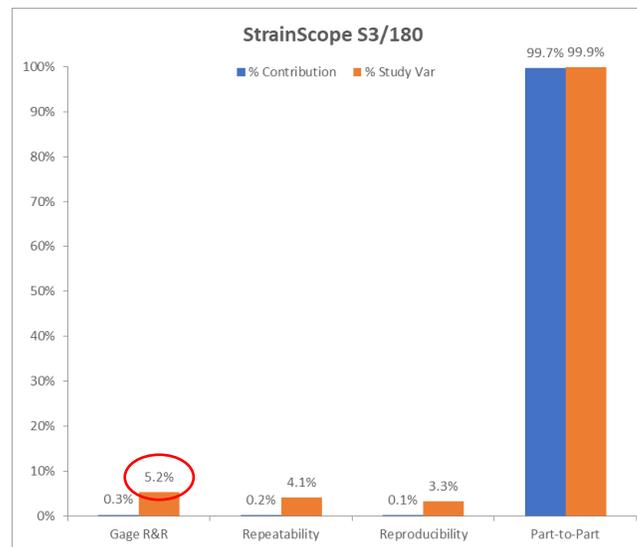
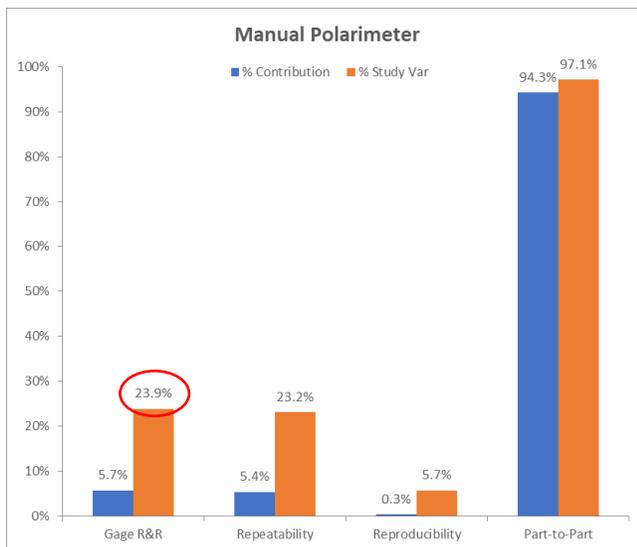
# Messergebnisse (gemittelt nach Bediener)



# 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)

