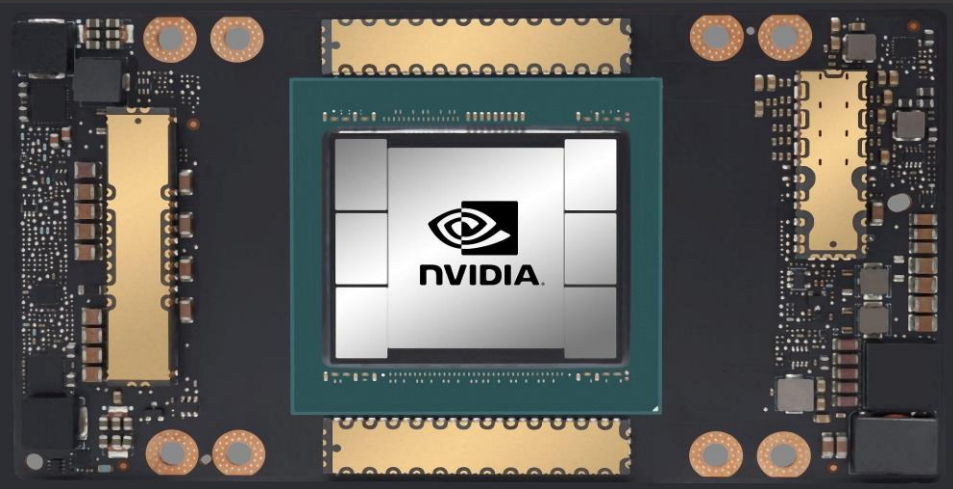


DIE TECHNOLOGIE OPTISCHER HIGH PERFORMANCE PROFILERS



parallele Datenverarbeitung mit Hochleistungs-Algorithmen

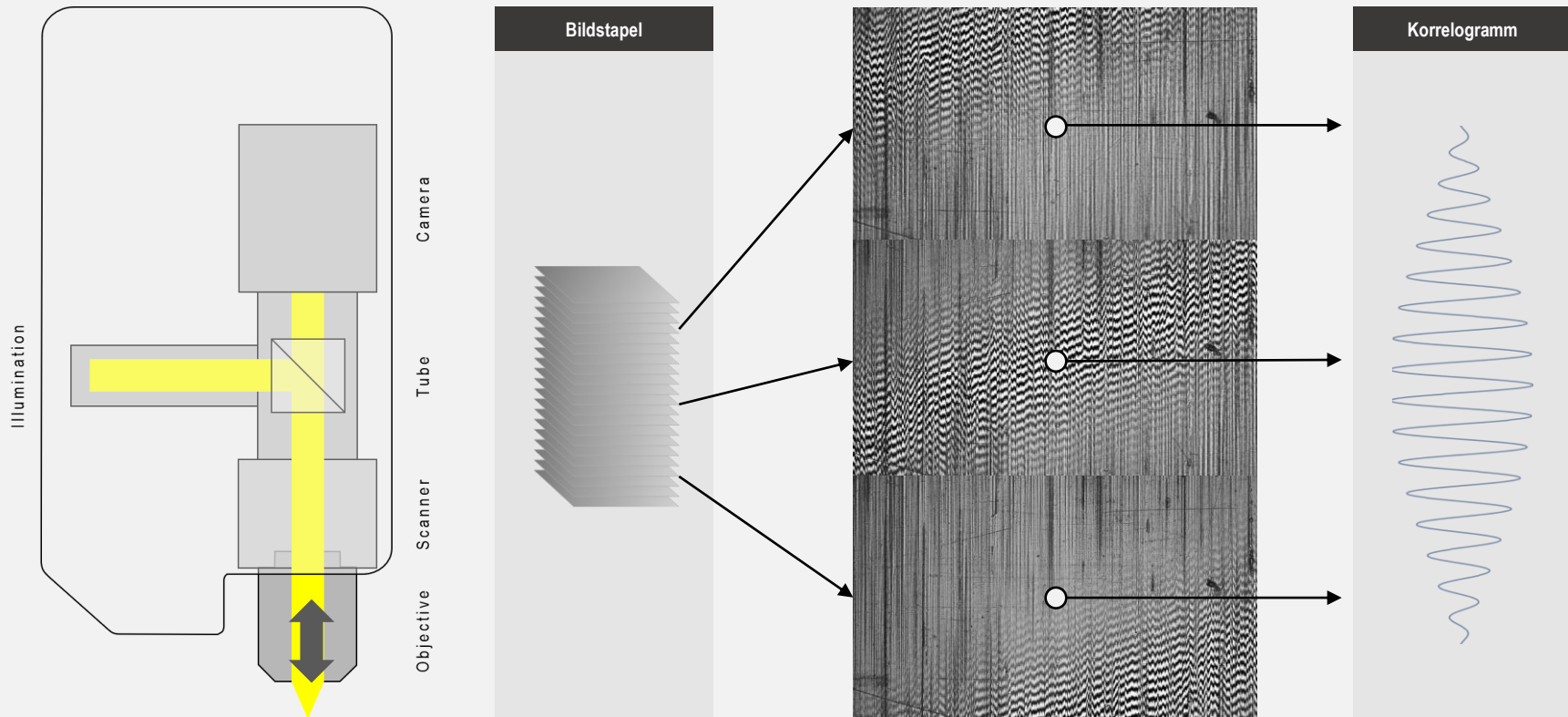
GPGPUs (General Purpose Graphic Processing Units) nutzen tausende Prozessor Cores welche für die massive parallele und extrem schnelle Bildverarbeitung optimiert sind, so dass auch die besten CPUs keine vergleichbare Leistungsfähigkeit bieten können. Da bei der Kohärenz-Scanning (Weißlicht) Interferometrie tausende hochauflösender Kamerabilder verarbeitet werden müssen ist dies von besonders großem Nutzen und führt zu:

- höherer Auflösung in xyz
- der Möglichkeit größere Bereiche mit vielen Einzelmessungen zu erfassen
- kürzere Messzeiten
- geringerem Einfluss von Umgebungsbedingungen

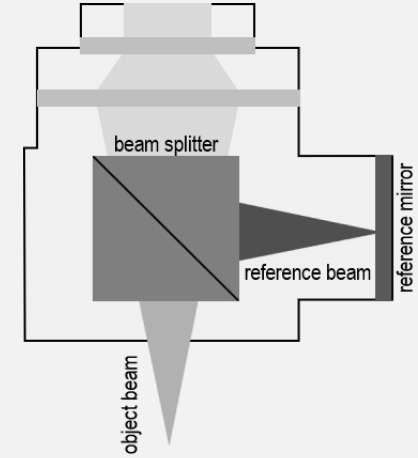
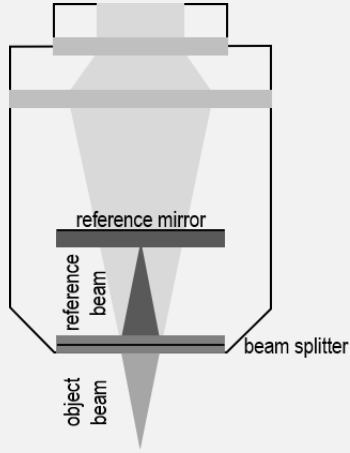
performance comparison

	Core I9 13900K	GTX 1060	RTX 2060	RTX 3060	RTX 4090
release date	2022	2018	2019	2020	expected 2022
FP32 (float) performance	0.74 TFLOPS	4,4 TFLOPS	6,4 TFLOPS	16,2 TFLOPS	82,6 TFLOPS
process size	10 nm	16 nm	12 nm	8 nm	5 nm

GPGPUs sind wesentlich schneller als CPUs und konnten in ihrer Leistungsfähigkeit in den letzten Jahren deutlich gesteigert werden. Dieser kontinuierliche Trend sorgt auch für eine kontinuierliche Leistungssteigerung aller smartWLI Sensoren. Einerseits kann die Leistung dazu genutzt werden, um durch bessere Algorithmen die Auflösung zu steigern und z.B. deutlich steilere Strukturen zu messen und andererseits können die Bilddaten auch bei immer schnelleren Kameras weiterhin in Echtzeit ohne Zwischenspeicherung verarbeitet werden.



Kohärenz-Scanning-(Weißlicht-) Interferometer bewegen das Interferenzobjektiv und erfassen kontinuierlich Bilddaten. Jedes Pixel enthält im Bereich der Interferenzzone ein Korrelogramm mit dem Maximum an der Position, wo der Abstand zur Oberfläche exakt dem Abstand zum Referenzspiegel im Interferenzobjektiv entspricht. Intensität und Phasenlage jedes Pixels werden dazu genutzt, die Topographie der Oberfläche zu berechnen.



Objektiv

Objektiv Typ	Mirau					Michelson	
Vergrößerung	115x	100x	50x	20x	10x	5x	2,5x
Apertur	0.8	0.7	0,55	0.4	0.3	0.13	0.075
Parfocal Abstand [mm]	45	45	45	45	45	49	90
Arbeitsabstand [mm]	0.7	2.0	3.4	4.7	7.4	9.4	10.3

Kohärenz-Scanning-(Weißlicht-) Interferometer nutzen Interferenzobjektive mit verschiedenen Vergrößerungen. Aus technischen Gründen werden Mirau Objektive für größere Vergrößerungen: 115x, 100x, 50x, 20x und 10x und Michelson Objektive für kleine Vergrößerungen 5x und 2.5x verwendet

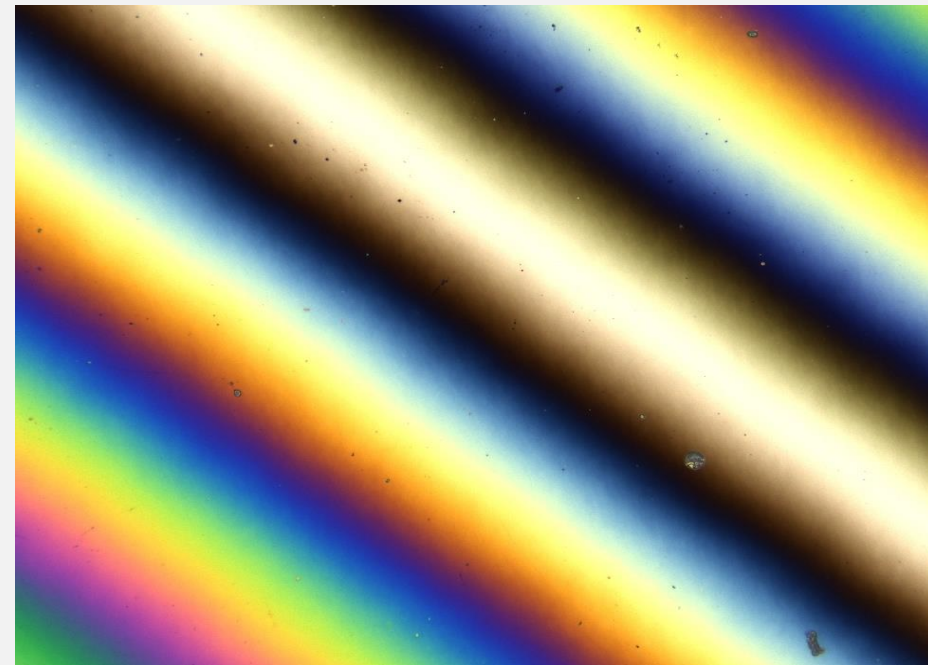
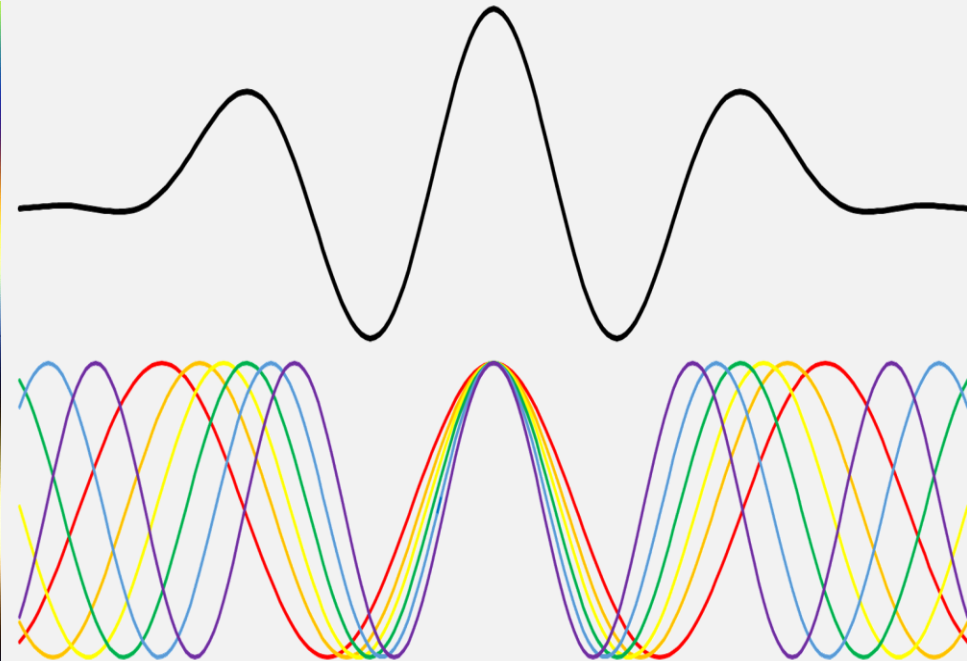
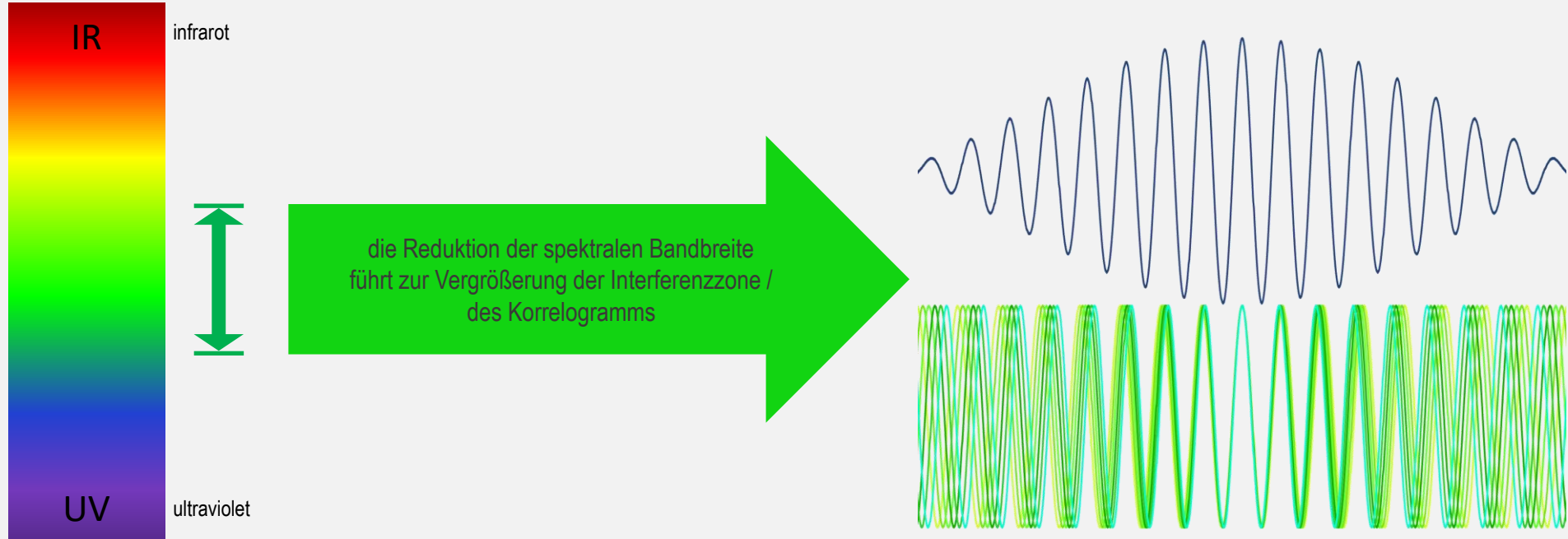


Abbildung eines Spiegels im Zentrum der Interferenzzone

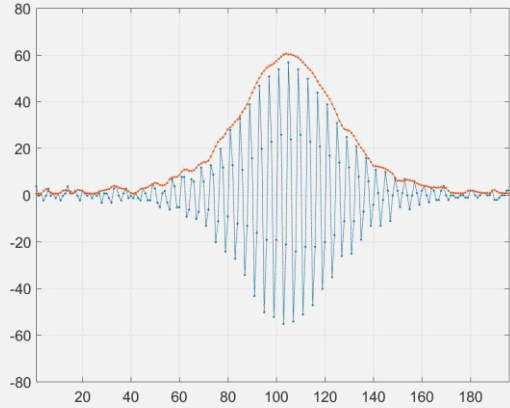


resultierende Lichtintensität spektral verschobener Lichtwellen

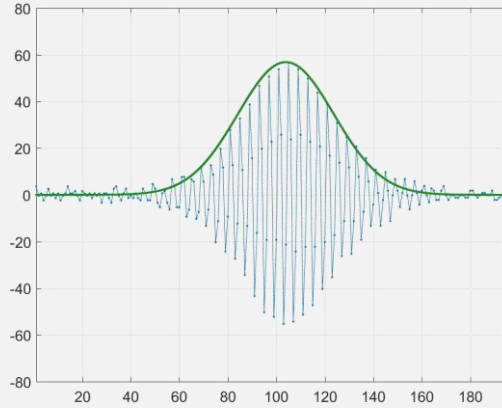
Weißes Licht besteht aus einer kontinuierlichen Verteilung verschiedener Spektralfarben. Die Spektralfarben zeigen Interferenzen mit einer sinusförmigen Verteilung der Lichtintensität. Alle Farben haben dort, wo Referenz- und Objektstrahlengang gleich lang sind, ein Maximum. Die Überlagerung der Intensität aller Spektralfarben führt zu einem schnellen Abklingen der Modulation der Lichtintensität.



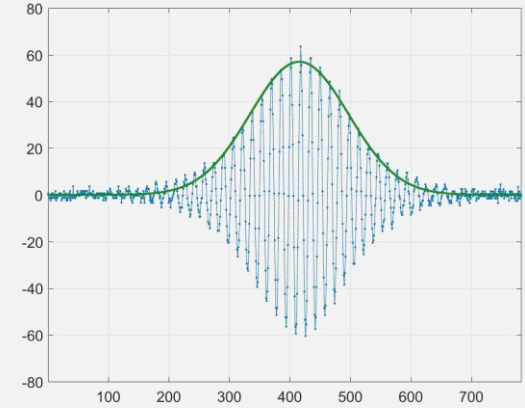
Größere Korrelogramme mit einigen Intensitätsmodulationen ermöglichen die genaue Berechnung der Phasenlage (PSI – Phase-Shifting-Interferometrie). Diese Algorithmen erhöhen die Auflösung und reduzieren das Rauschen. Im Vergleich zu weißen Lichtquellen mit einer kürzeren Kohärenzlänge kann der Einfluss statistischer Positionsabweichungen durch Vibrationen oder Positionierfehler besser eliminiert werden. Diese Algorithmen erfordern eine sehr hohe Rechenleistung, können aber durch den Einsatz von leistungsfähigen GPGPUs in Echtzeit angewendet werden.



VSI (vertical scanning interferometry)
intensitätsbasierende Auswertung des Interferenzsignals



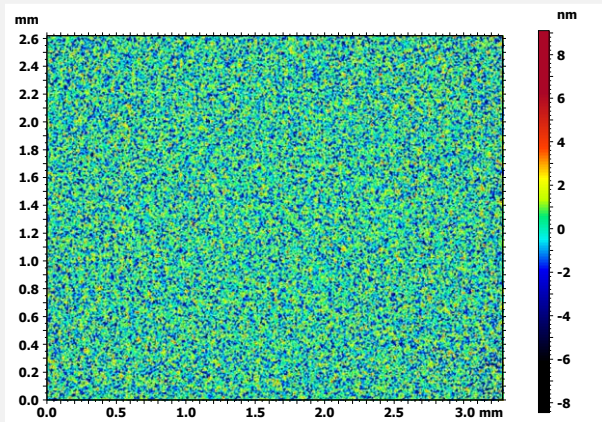
EPSI (extended phase shift interferometry)
Berücksichtigung der Phasenlage des Interferenzsignals



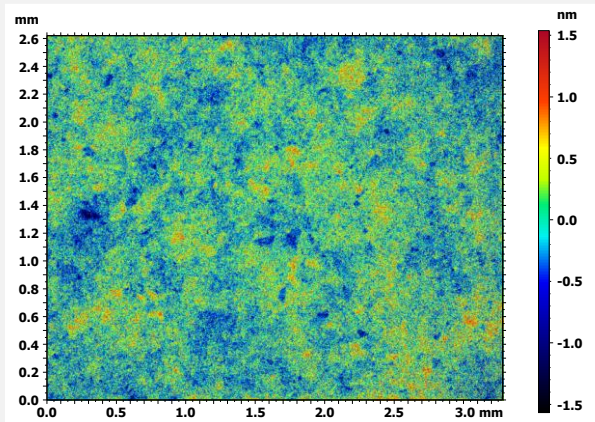
HD - EPSI (high density extended phase shift
interferometry) Abtastung mit kleineren Schrittweiten und
Berücksichtigung der Phasenlage des Interferenzsignals

Abgebildet sind die Signale und die Bewertungsfunktion ein und desselben Pixel / Messpunktes. Die intensitätsbasierende Auswertung des Interferenzsignals (VSI) zeigt deutliche Abweichungen von einer idealen Gauß-Kurve, die zu einem signifikant höherem Rauschen der gemessenen Topographie im Vergleich zu der Berücksichtigung der Phasenlage (EPSI) zeigt. Mit kleineren Schritt (hier verwendet die Reduktion von $\lambda/8 \rightarrow \lambda/32$) kann das Rauschen weiter reduziert werden. Die Vorteile spielen insbesondere dann eine wichtige Rolle, wenn Oberflächen mit Strukturen kleiner 1 nm gemessen werden sollen.

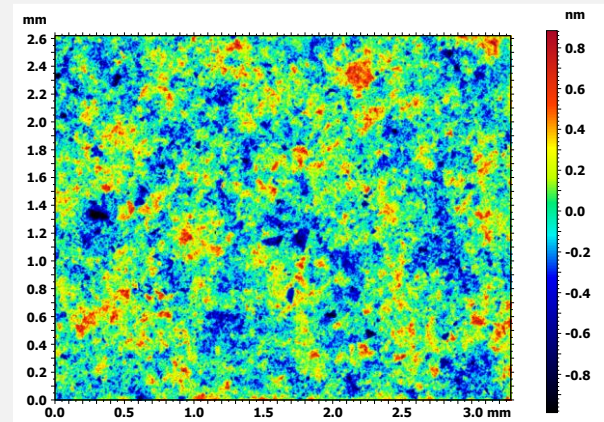




VSI (vertical scanning interferometry)



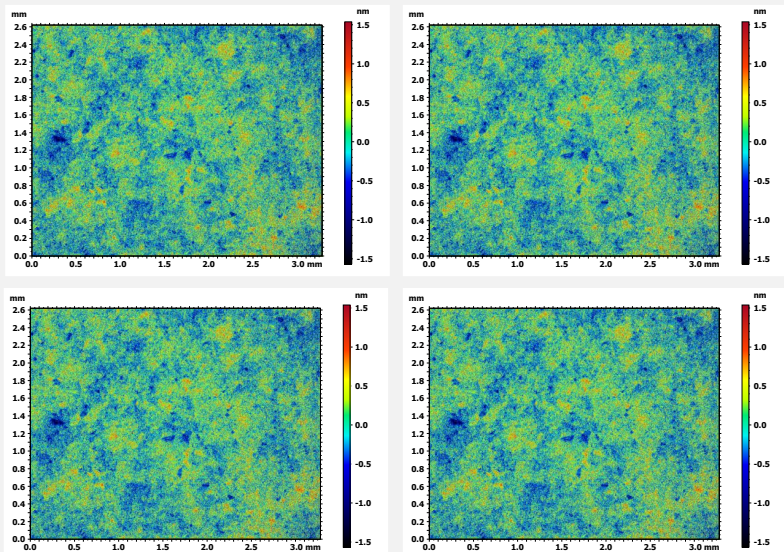
EPSI (extended phase shift interferometry)



HD-EPSI (high density extended phase shift interferometry)

Die Bilder zeigen exakt den gleichen Bereich einer superpolierten SiC-Oberfläche mit einer Oberflächenrauheit S_q von ca. 0,3 nm. VSI (Vertical Scanning Interferometry) liefert nicht die erforderliche Höhengauflösung, um die Topographie zu quantifizieren. EPSI mit einer viel höheren Auflösung und einer Reproduzierbarkeit der Topographie (durchschnittliches Rauschen) von etwa 0,1 nm machen einige Strukturen sichtbar, eine detaillierte Bewertung ist jedoch erst mittels HD-EPSI-Scan möglich.

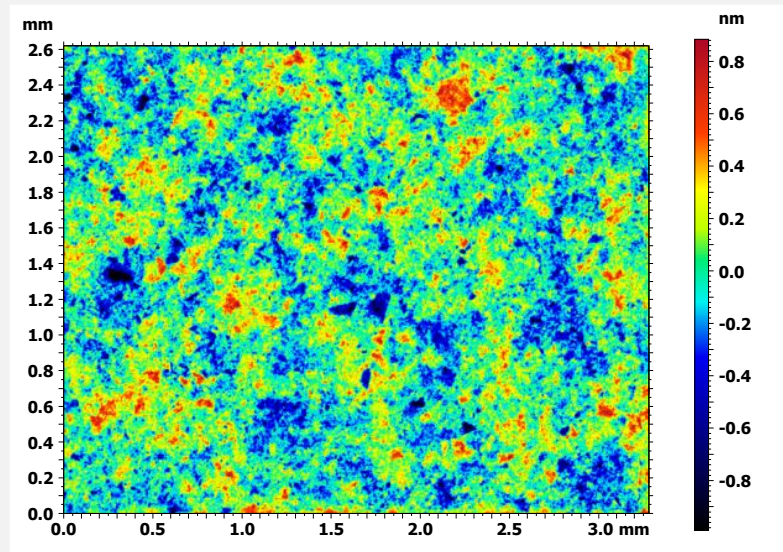
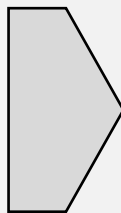




4 Messungen mittels EPSI

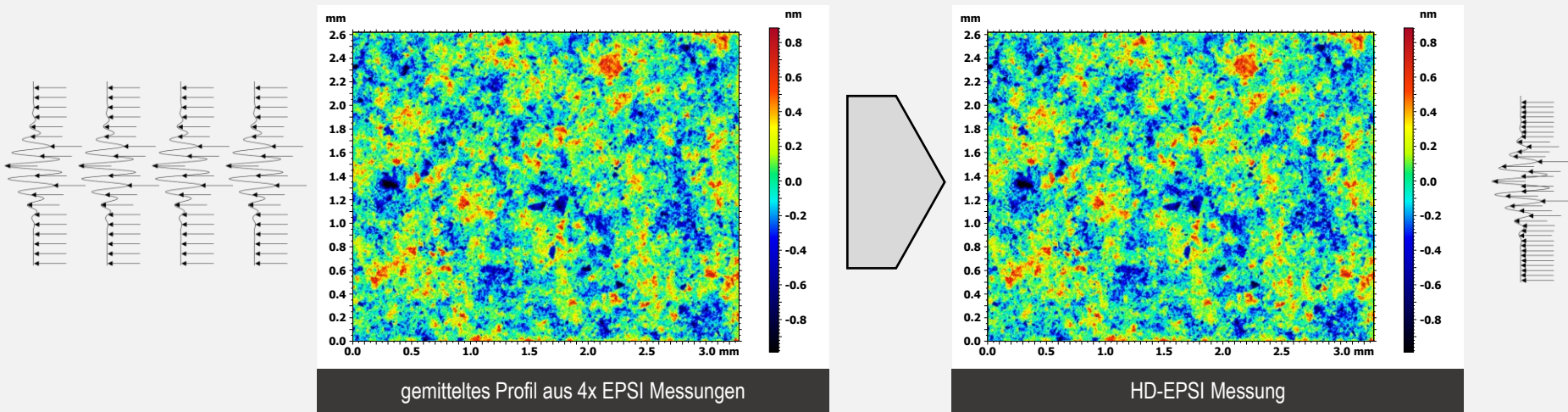
- die Mittelung mehrerer Messungen ist eine weit verbreitete Methode zur Reduktion des Rauschens
- zufälliges Rauschen hat eine annähernd Gauß-Verteilung – damit gilt:

$$\text{resultierendes Rauschen} = \frac{\text{Rauschen einer Einzelmessung}}{\sqrt{\text{Anzahl der Einzelmessungen}}}$$



gemitteltes Resultat unter Verwendung mehrerer EPSI Messungen

- durch Mittelung mehrere Einzelmessungen wird das Rauschen signifikant reduziert
- die Messzeit wird durch eine größere Anzahl von Messungen deutlich erhöht
- Drift Effekte – insbesondere bei der Verwendung höherauflösender Objektive – können jedoch die laterale Strukturauflösung beeinträchtigen
- Profil Mittelungen werden mitunter zur Reduktion des Rauschens bei der Angabe der Systemspezifikation verwendet, so dass entsprechende Spezifikationsangaben nur unter Berücksichtigung der Messzeit verglichen werden können

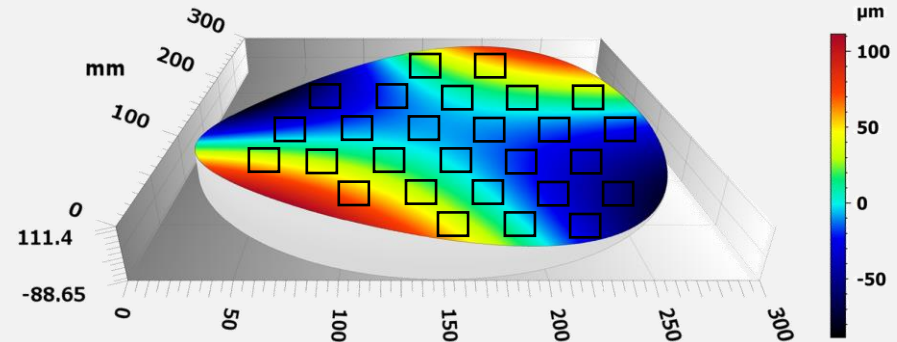


Vergleich zwischen HD-EPISI und EPISI mit Profil Mittelung

- mit 4x EPISI Scans können genau so viele Bilder wie mit einem HD-EPISI Scan und 4x kleinerer Schrittweite erfasst werden
- unter sehr guten Messbedingungen können beide Methoden das Systemrauschen annähernd gleich stark reduzieren
- die Scan Geschwindigkeit des HD-EPISI reduziert sich zwar ebenfalls auf $\frac{1}{4}$ der EPISI Scans wobei trotzdem deutliche Vorteile erzielt werden können
 - die notwendige Rückführung des Objektivs zur Startposition bei 4 EPISI Scans entfällt, sowie die notwendige Zeit für die Beschleunigung des Objektivs
 - die vergleichsweise geringere Geschwindigkeit reduziert die Bewegungsunschärfe
 - höherer Kontrast und größere Bildanzahl ermöglichen die Messung steilerer Flanken
 - einige Rechenschritte wie z.B. die notwendige Mittelung entfallen und reduzieren die Gesamtmesszeit
- Test haben folgende signifikante Vorteile gezeigt
 - HD-EPISI Scans sind signifikant schneller als mehrfache EPISI Scans mit Profil Mittelung
 - HD-EPISI zeigen eine deutlich geringere Empfindlichkeit gegen Vibrationen und deutlich geringere Drifteffekte
- HD-EPISI erfordern deutlich mehr Speicherplatz und Rechenleistung so dass leistungsfähige GPGPU für die Bewertung eingesetzt werden müssen

Die Messung vieler Positionen auf einem superpolierten Wafer:

- superpolierte Wafer haben sehr kleine Oberflächenstrukturen mit Rauheiten unterhalb 1 nm mitunter nur 0.1 nm dies erfordert hochauflösende HD-EPSI Scans und mitunter Mehrfachmessungen mit Profilmittelung
- zusätzlich kann die Durchbiegung einige 100 μm betragen, so dass ein recht großer Messbereich erforderlich ist die Kombination kann relativ große Messzeiten erfordern
- insbesondere für große Wafer mit vielen Messpositionen ist eine drastische Reduktion der Messzeit durch die Verwendung von Prescans möglich
- der Prescan ermöglicht die schnelle Lokalisierung der Position der Oberfläche, so dass die anschließend hochauflösende Messung zügig in einem geringen Höhenbereich mit mittlerer Oberfläche erfolgen kann
- unterstehend die Kalkulation der Messzeit mit und ohne Prescan unter Verwendung des schnellsten Sensors smartWLI firebolt
- die Zeitvorteile hängen dabei von der geforderten Auflösung ab und sind bei der Verwendung langsamerer Sensoren noch größer



Messaufgabe: die Kontrolle von Polierprozessen auf einem Wafer mit Ebenheitsabweichungen bis zu 200 μm



Standard Messzeit:

- Verwendung des schnellsten 3D Sensors smartWLI firebolt
- Messbereich 200 μm
- Messgeschwindigkeit HD-EPSI mit 17 nm Inkrement und voller Kameraauflösung = 16 $\mu\text{m/s}$
- Scan Zeit = 200 μm / 16 $\mu\text{m/s}$ = 12,5 s
- Vorbereitung der Messung und Datentransfer 0.5 s
- **Gesamtmesszeit ca. 13 s**

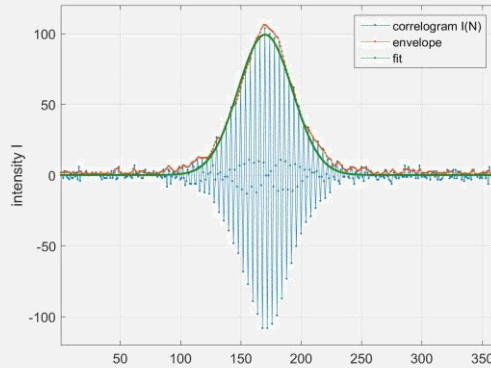
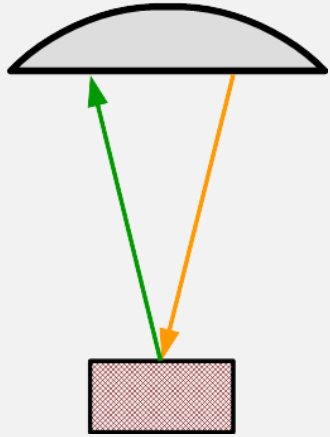


+

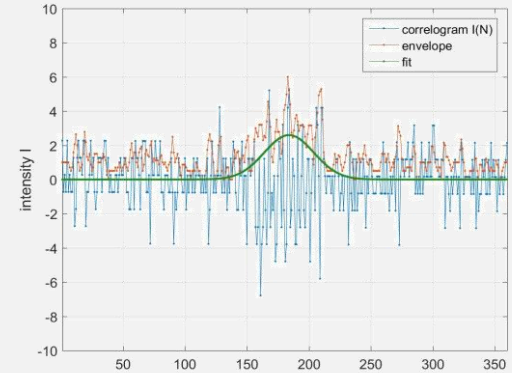
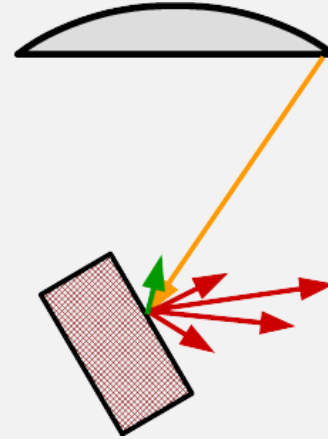


Durch Prescan beschleunigte Messung

- Scangeschwindigkeit Prescan: Dezimation 5 / Inkrement 200 nm = 1029 $\mu\text{m/s}$
- Zeit Prescan = 200 μm / 1029 $\mu\text{m/s}$ = 0,2 s
- Vorbereitung der Messung und Datentransfer 0.5 s
- Scanbereich / Wafer Oberfläche = 10 μm
- Scan Zeit = 10 μm / 16 $\mu\text{m/s}$ = 0,6 s
- Vorbereitung der Messung und Datentransfer 0.5 s
- **Gesamtmesszeit ca. 1,8 s**



Korrelogramm einer glatten Oberfläche



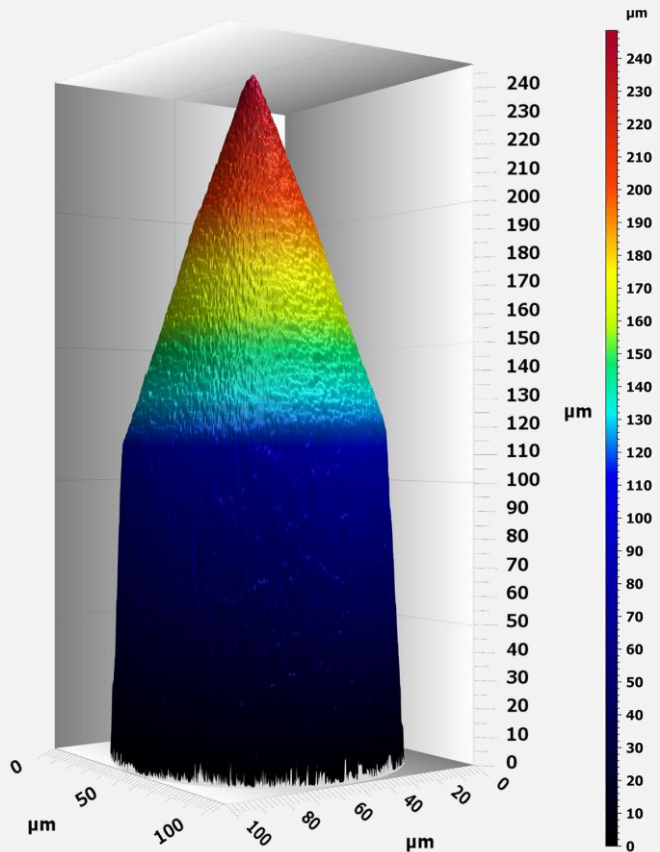
Korrelogramm einer geneigten Oberfläche

maximaler Winkel für sehr glatte Oberflächen

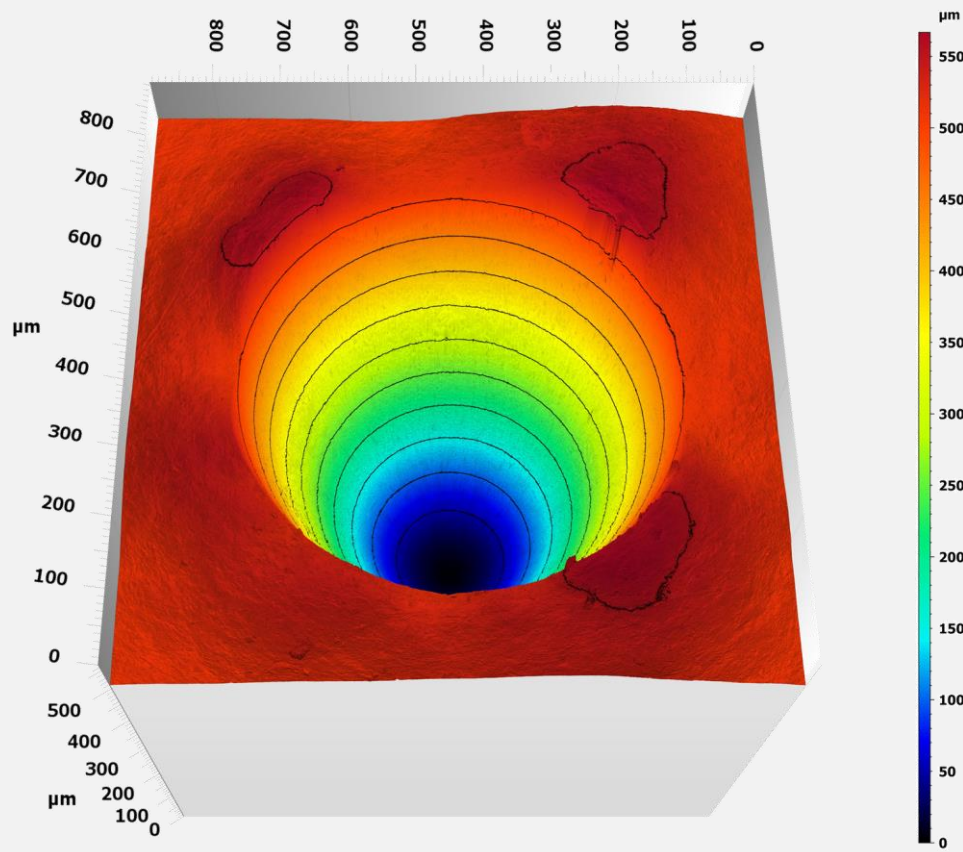
Vergrößerung	2.5x	5x	10x	20x	50x	100x	115x
numerische Apertur	0.075	0.13	0.3	0.4	0.55	0.7	0.8
maximaler Winkel	4.3°	7.4°	17.5°	23.6°	33.4°	44.4°	53.1°

Alle mikroskopischen Oberflächenmessgeräte, welche das Messobjekt durch das selbe Objektiv beleuchten und beobachten haben bei sehr glatten Oberflächen einen durch die Apertur begrenzten Winkelbereich, bei dem vom Objekt noch Licht zum Messgerät reflektiert wird. Ist der Winkel zu groß, wird kein Licht in das Objektiv zurück reflektiert. Viele Oberflächen reflektieren zumindest einen kleinen Anteil des Lichtes diffuse und können somit gemessen werden. Dies ist jedoch nur mit sehr leistungsfähigen Algorithmen und einer großen Rechenleistung möglich.



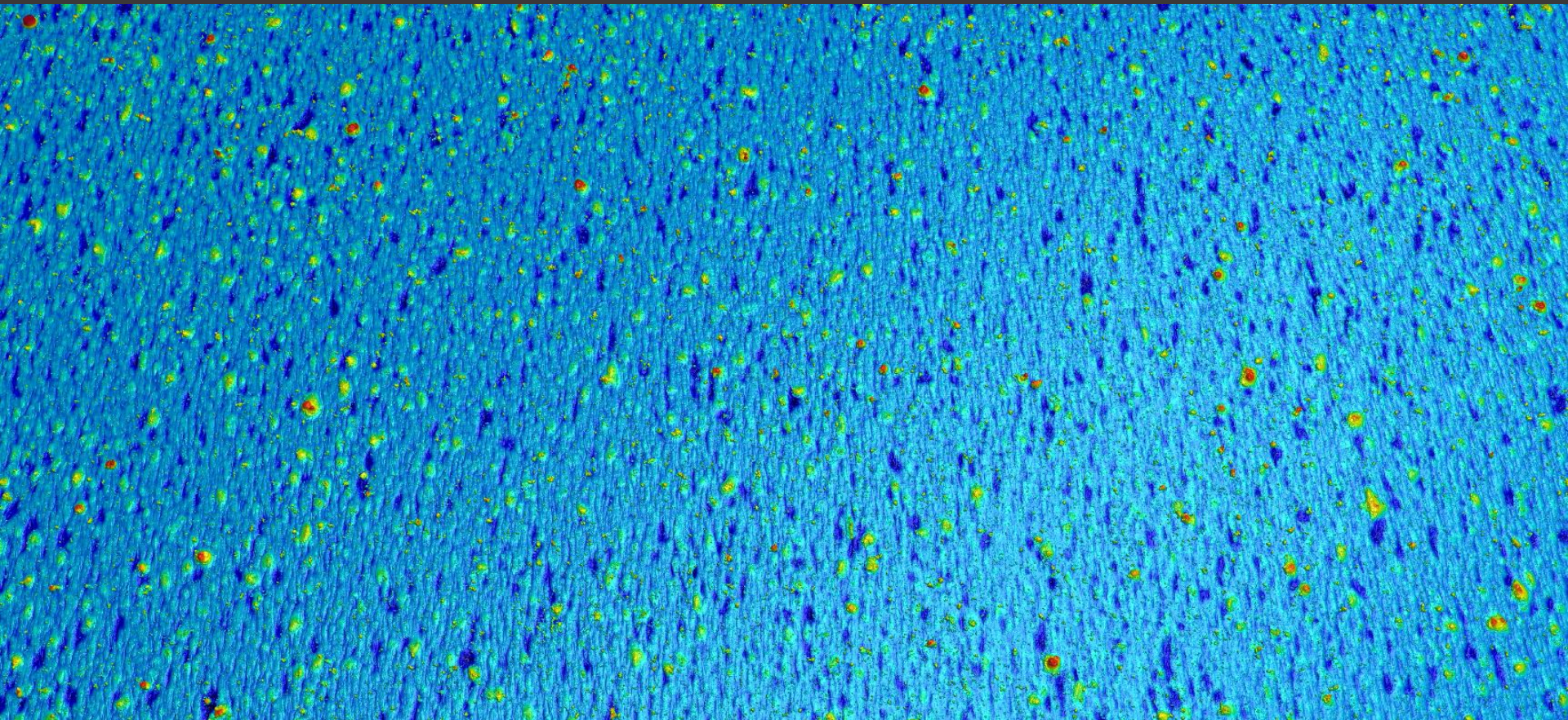


Nadel zur Herstellung von Spinddüsen



“Linse” zur Fokussierung von Röntgenstrahlen

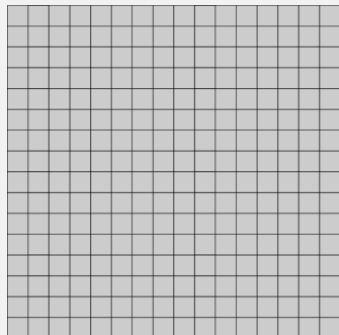




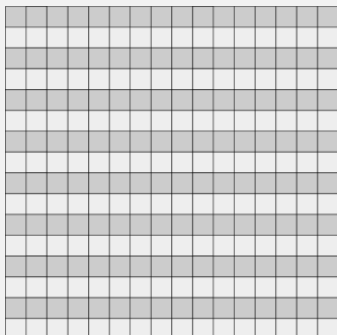
200 μ m 30 mm

Fortschrittliche Algorithmen ermöglichen schnelle Scans großer Flächen stark strukturierter Oberflächen unter Einsatz von Objektiven mit geringer Vergrößerung

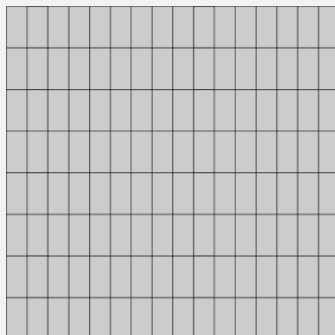
Prinzip der Linien – Dezimation im smartWLI firebolt



Teilbereich von 1280 x 1024 Pixel

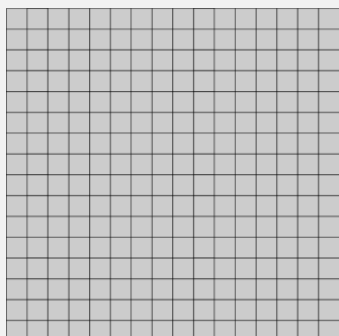


aktive Pixel – Dezimation 2

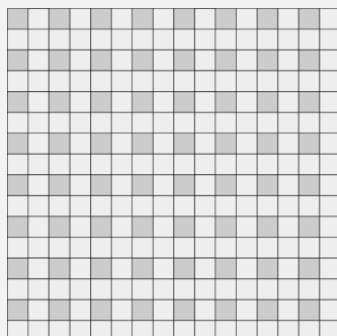


Ergebnis: 1280 x 512 Pixel

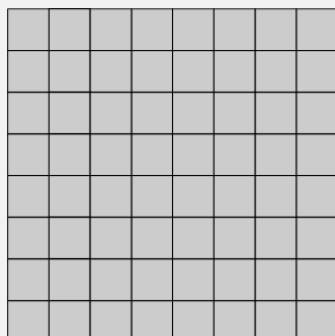
Prinzip der Flächen Dezimation in den Sensoren smartWLI compact, extended, extended range und next mit 2.3 MP Kamera



Teilbereich von 1920 x 1200 Pixel



aktive Pixel – Dezimation 2 x 2



Ergebnis: 960 x 600 Pixel

smartWLI firebolt:

- 1.3 MP; 10 GigE Interface; Bandbreite 1000 MByte/s; 935 f/s (volle Auflösung)
- mögliche Dezimation: 2 ... 15

smartWLI compact, extended, extended range und next mit 2.3 MP Kamera:

- 2.3 MP; USB 3.0 Interface; Bandbreite 400 MByte/s; 169 f/s (volle Auflösung)
- mögliche Dezimation 2 x 2 in x- und y Richtung

Dezimation ist eine Methode, um die Anzahl der verwendeten Pixel/Messpunkte zu reduzieren und die Scangeschwindigkeit zu erhöhen. Die Dezimation verändert nicht die Messbereichsgröße, sondern die Anzahl der Messpunkte in diesem Bereich. Bei der Dezimation bleiben – im Gegensatz zum Binning – die Messpunkte gleich groß. Dadurch bleibt der Interferenzkontrast insbesondere bei rauen und geneigten Oberflächen erhalten.

firebolt, 1.3 MP Kamera – Scangeschwindigkeit - $\mu\text{m/s}$

Dezimation	Inkrement 17 nm	Inkrement 70 nm	Inkrement 200 nm
ohne	16	65	206
2	32	131	411
3	48	196	617
4	64	262	823
5	79	327	1029
6	95	393	1234
7	111	458	1440
8	127	524	1646
9	143	589	1851
10	159	655	2057
11	175	720	2263
12	191	785	2468
13	207	851	2674
14	223	916	2880
15	238	982	3086

Sensoren mit 2.3 MP Kamera – Scangeschwindigkeit - $\mu\text{m/s}$

Dezimation	Inkrement 17 nm	Inkrement 70 nm	Inkrement 200 nm
ohne	2,8	11,4	34,2
2 x 2	9	36	108



smartWLI Sensor	1,3 MP Kamera		2,3 MP Kamera		5 MP Kamera	
	firebolt		compact, extended, extended range, next		compact, extended, extended range, next, nanoscan	
Feature	Pixel / Messpunkte	Speed - f/s	Pixel / Messpunkte	Speed - f/s	Pixel / Messpunkte	Speed - f/s
kompletter Messbereich	1280 x 1024	935	1920 x 1200	169	2456 x 2054	77
halbe Linienanzahl	1280 x 512	1800	1920 x 600	350	2456 x 1028	148
halbe Linien / halbe Reihen	640 x 512	2100	960 x 600	600	1228 x 1028	148
max. Geschwindigkeit	1280 x 8	84000	1920 x 36	3200	2456 x 2	1958

ROIs sind eine alternative Methode zur Beschleunigung der Messgeschwindigkeit. Im Gegensatz zur Dezimation bleibt die Messpunktdichte erhalten. Dafür wird die Bereichsgröße (Sichtfeld) reduziert. Diese Beschleunigung ist für Inline-Messungen unter Vibration interessant, wenn Teilbereiche alle Merkmale umfassen oder mehrere Linien geeignet sind, 2D-Linienrauheitsparameter im Gegensatz zu 3D-Rauheitsparametern auszuwerten.

Optischen Auflösung und Punktdichte zur Spezifikation optischer 3D-Profiler:

- Basis der Definition der optischen Auflösung ist die Fähigkeit des optischen Systems 2 nebeneinanderliegende Lichtquellen zu unterscheiden. Zur Unterscheidung muss einerseits die optische Auflösung ausreichend groß sein, andererseits aber auch eine ausreichende Punktdichte vorhanden sein.
- Beide Parameter sollten deutlich kleiner als der kleinste Abstand / das kleinste zu messende Feature in der jeweiligen Applikation sein.
- Ist der Messpunktabstand deutlich kleiner als die optische Auflösung verbessert sich die Strukturauflösung nur noch geringfügig.
- Beim Vergleich verschiedener Systeme muss berücksichtigt werden, dass es verschiedene Wege gibt, diese zu berechnen und Systeme mit verschiedenen Messprinzipien und unterschiedlichen Verfahren zur Berechnung der 3D Daten nur anhand praktischer Test und nicht allein anhand von Messpunktabstand und theoretisch aus der Apertur berechneter optischer Auflösung miteinander verglichen werden können.

Objektiv und System vergleich

Vergrößerung	2.5x	5x	10x	20x	50x	100x	115x	
Apertur	0.075	0.13	0.3	0.4	0.55	0.7	0.8	
optische Auflösung / Rayleigh Kriterium [µm]	4.35	2.51	1.09	0.82	0.59	0.47	0.41	grüne LED
	3.78	2.18	0.95	0.71	0.52	0.41	0.35	blaue LED / nanoscan
optische Auflösung Sparrow Kriterium [µm]	3.57	2.06	0.89	0.67	0.49	0.38	0.33	grüne LED
	3.10	1.79	0.78	0.58	0.42	0.33	0.29	blaue LED / nanoscan
Messpunktabstand 1.3 MP Kamera [µm]	5.2	2.6	1.3	0.65	0.26	0.13	0.11	
Messpunktabstand 2.3 MP Kamera [µm]	3.8	1.9	0.96	0.48	0.19	0.1	0.08	
Messpunktabstand 5 MP Kamera [µm]	2.8	1.4	0.69	0.35	0.14	0.07	0.06	
Messpunktabstand 5 MP Kamera / nanoscan [µm]	1.4	0.7	0.35	0.175	0.07	0.35	0.03	

Rayleigh Kriterium:

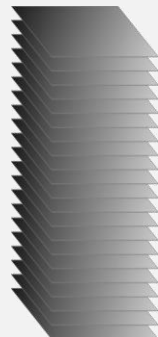
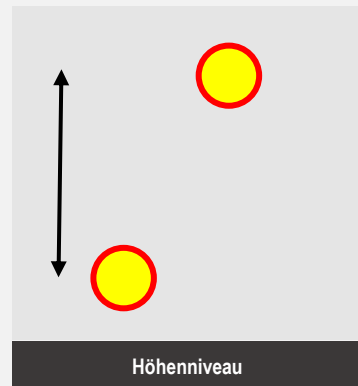
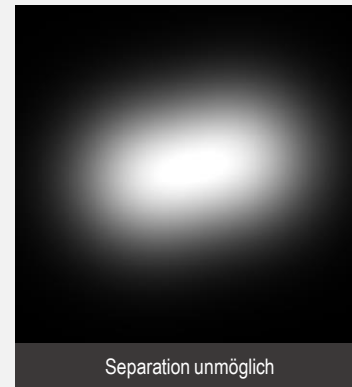
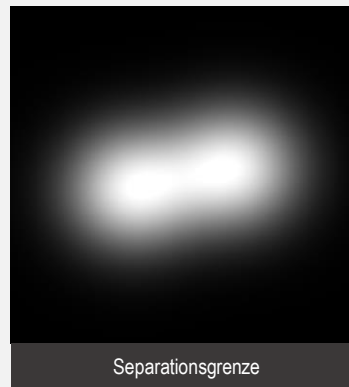
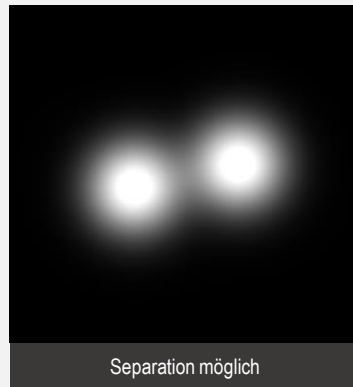
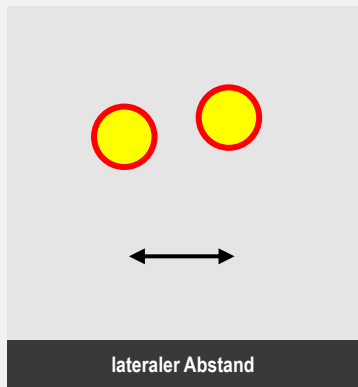
- die Lichtintensität zwischen 2 Lichtquellen muss auf 73.5% der max. Lichtintensität dieser Lichtquellen abfallen
- Standard Verfahren für mikroskopische Beobachtungen mit dem menschlichen Auge

$$\text{Auflösung} = \frac{0,61 * \lambda}{\text{Apertur}}$$

Sparrow Kriterium:

- Grenze wobei die Intensität zwischen den Lichtquellen abfällt
- Spezifikation für Beobachtungen mit Matrixkameras die einen deutlich geringeren Intensitätsabfall beobachten können

$$\text{Auflösung} = \frac{0,47 * \lambda}{\text{Apertur}}$$

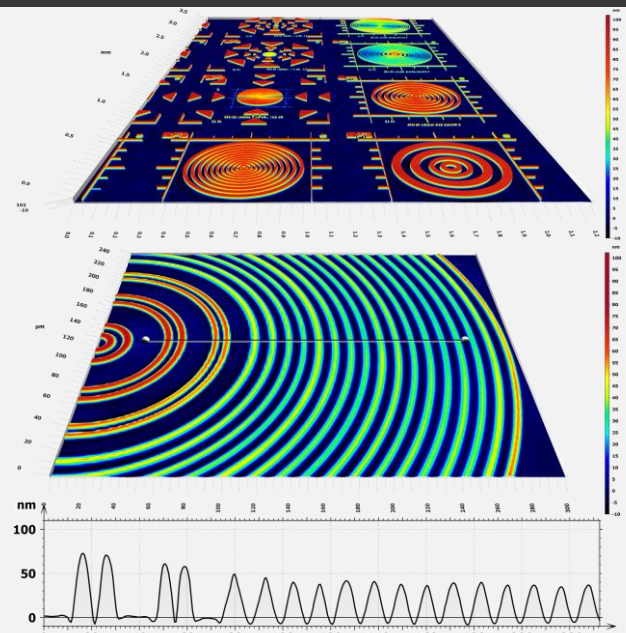
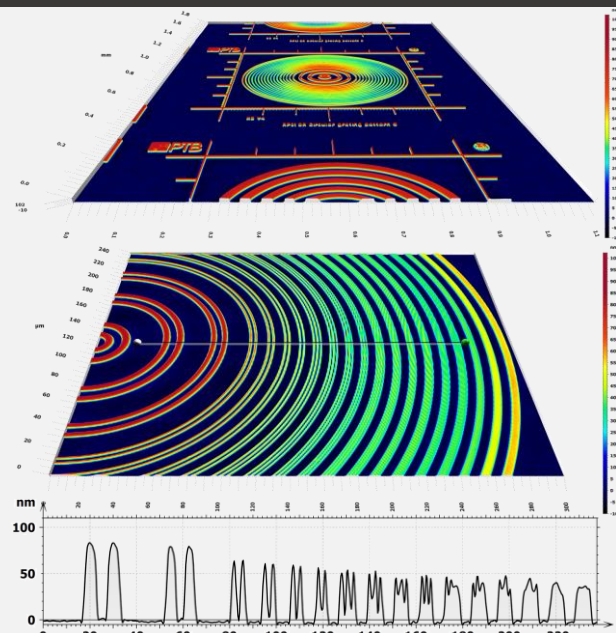
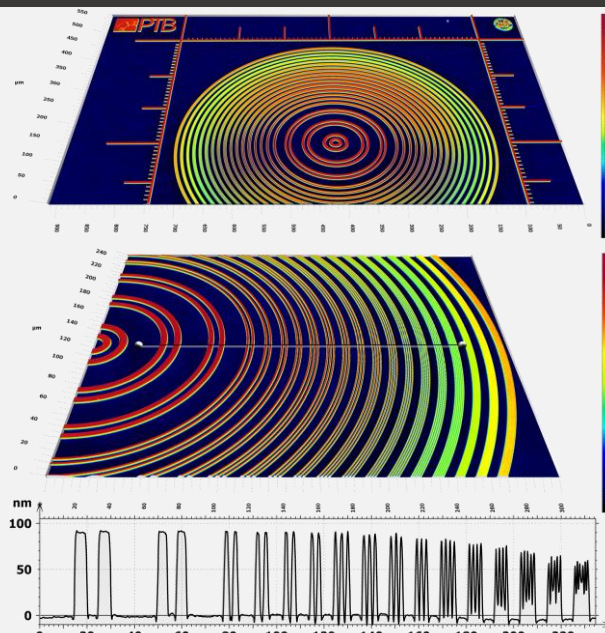


- Lichtquellen können sich auf unterschiedlichen Höhenniveaus befinden
- der Höhenunterschied kann die laterale Separation der Lichtquellen ermöglichen

smartWLI compact, 20x Objektiv

smartWLI compact, 10x Objektiv

smartWLI compact, 5x Objektiv

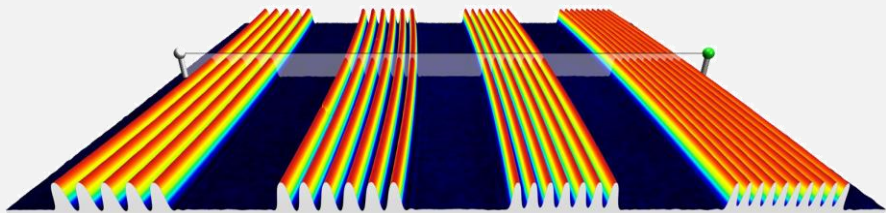


lateral Periodengrenzwert D_{LIM} (definiert in der ISO 25178-604 – die gemessene Amplitude als Funktion der Wellenlänge fällt auf 50% der realen Höhe) - smartWLI compact mit 2.3 MP Kamera

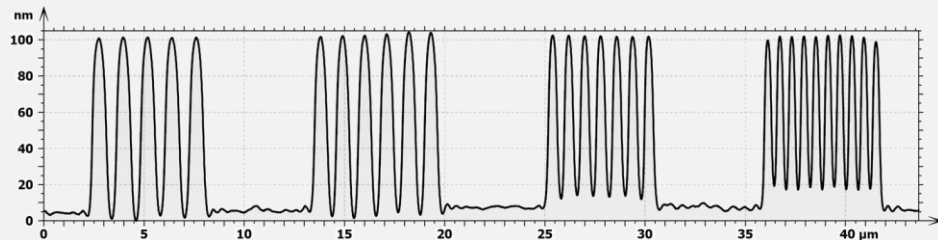
Objektiv	2.5x	5x	10x	20x	50x	100x
Messpunktstand [μm]	3.8	1.9	0.96	0.48	0.19	0.1
D_{LIM} / μm	10	5	2.5	1.25	0.8	0.5



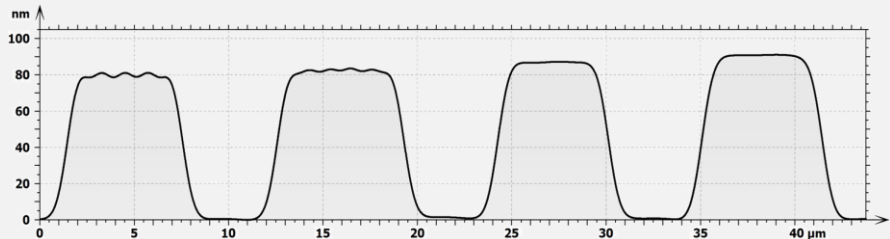
smartWLI Vergleich zu taktilen Messungen



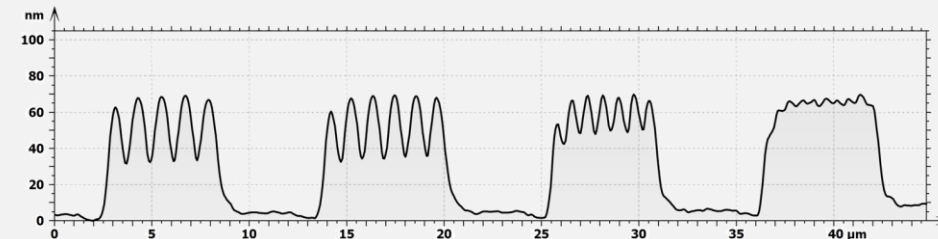
PTB Auflösungsnormal, nominale Höhe der Sinusstrukturen: 100 nm



smartWLI nanoscan, 100x Objektiv
optische Auflösung = 0,27 µm, Messpunktabstand = 0.03 µm

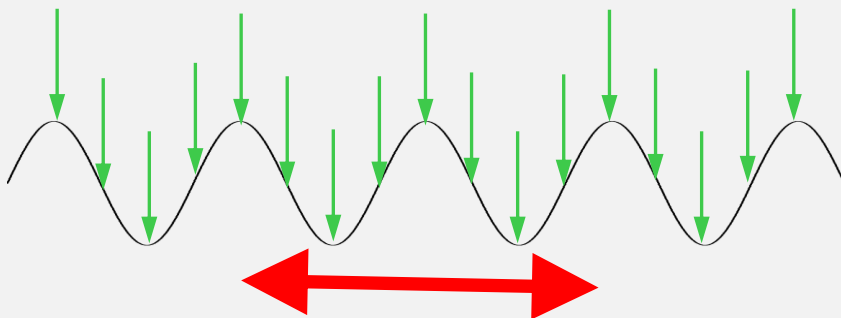


taktile Messung (Simulation, ohne Messrauschen und Oberflächendeformation)
Durchmesser Taster = 4 µm, Filter $\lambda_s = 2,5$ µm

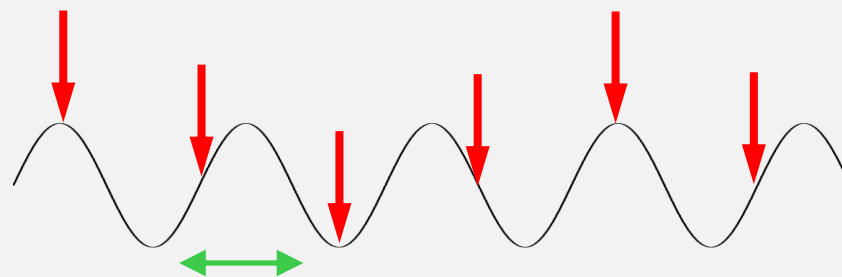


smartWLI compact, 50x Objektiv
optische Auflösung = 0,48 µm, Messpunktabstand = 0.2 µm

Die gemessene Strukturhöhe hängt von der Auflösung des Messgerätes ab – insbesondere vom Durchmesser des Tasters oder der Auflösung des Objektivs. Insbesondere bei sehr kleinen Strukturen wird nicht mehr die reale Strukturhöhe gemessen. Die Messungen mit dem smartWLI compact unter Verwendung von 50x/100x Objektiven zeigen eine deutlich höhere Auflösung als das taktile Messgerät.

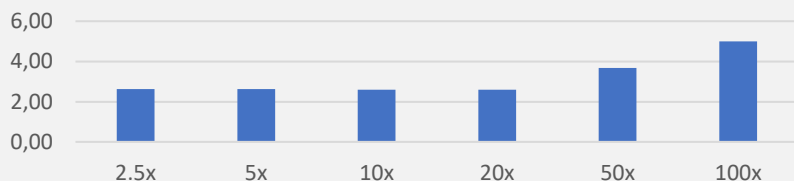


Messpunktabstand gut / optische Auflösung zu schlecht



Messpunktabstand zu schlecht / optische Auflösung gut

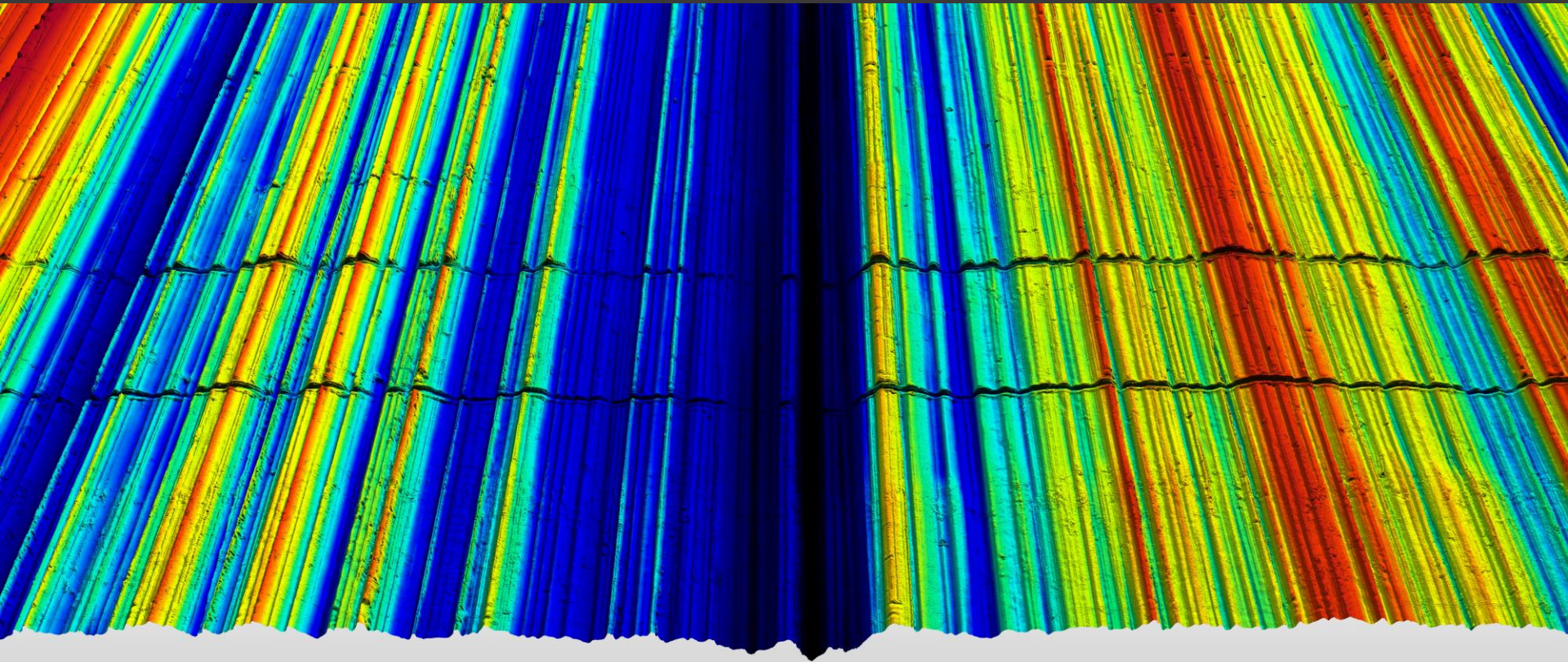
Messpunktabstand / Periodengrenzwert
DLIM



Tests smartWLI compact mit 2.3 MP Kamera

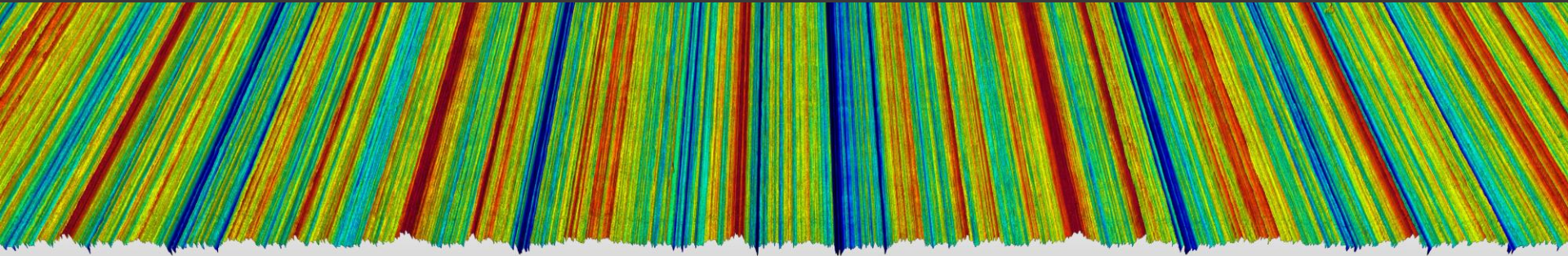
- Die Auflösung eines optischen 3D Profilers wird durch den Messpunktabstand und/oder die optische Auflösung begrenzt
- beim smartWLI compact hängt dies davon ab, welches Objektiv verwendet wird (geringe Vergrößerung bis 20x: Begrenzung durch Messpunktabstand, hohe Vergrößerung ab 50x: Begrenzung durch die optische Auflösung)
- die Ursache liegt in dem nichtlinearen Zusammenhang der optischen Auflösung von der Vergrößerung
- Bei der Steigerung der ca. 40-fachen Steigerung der Vergrößerung von 2.5x zu 100x nimmt die optische Auflösung nur ca. 10-fach zu

smartWLI Kratzer eines taktilen Messgerätes auf einem Raunormal



Das taktilen Messgerät nutzt eine statische Anpresskraft von $0,75 \text{ mN}$ bei einem Tastnadelradius $< 2 \text{ }\mu\text{m}$ während der Abtastung.

Dies führte zu messbaren Kratzern auf dem Normal. Große Radien würden die Auflösung reduzieren und eine minimale Kraft ist notwendig, damit die Tastnadel während der Messung im Kontakt zur Oberfläche bleibt. Optische Profiler auf Basis der Kohärenz-Scanning (Weißlicht) Interferometrie vermeiden dieses Problem und haben die Auflösung solche Spuren zu messen.



Halle – KNT 4058/01 Nr. 7413 / 2015-12
zertifiziertes Raunormal

Ra

0.2059 μm

Rz

1.505 μm

Rmax

1.642 μm

Tolerance: 0.2000 $\mu\text{m} \pm 0.0180 \mu\text{m}$

Tolerance: 1.490 $\mu\text{m} \pm 0.1300 \mu\text{m}$

Tolerance: 1.630 $\mu\text{m} \pm 0.1500 \mu\text{m}$

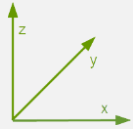
korrekte Messung der Oberflächenrauheit

- viele auf die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit mittels Tastschnittverfahren zurück
- korrekte Messergebnisse erfordern die Berücksichtigung grundlegender Festlegungen der ISO Normen
- ISO 4288 Bsp. für aperiodische Profile mit Ra 0.1 ... 2 μm :
 - Einzelmeßstrecke: 0,8 mm
 - Meßstrecke: 4 mm
- ISO 3274 Bsp. für aperiodische Profile mit Ra 0.1 ... 2 μm :
 - max. Messpunktabstand: 0,5 μm
 - max. Radius des Tasters: 2 μm → übertragen auf optische Messgeräte: Auflösung besser als 2 μm
 - Low Pass Filter λ_c : 2.5 μm

Schlussfolgerungen für optische Profiler:

- die kombinierten Anforderungen aus ISO 4288 und ISO 3274 erfordern die Erfassung von min. 8000 Messpunkten verteilt über eine Länge von 4 mm um Rauheiten die Oberflächen im Bereich von Ra 0.1 – 2 μm korrekt zu erfassen
- da optische, flächenhaft antastende Profiler nicht 8000 Messpunkte in einer Linie erfassen können, ist in der Regel die Erfassung und das Zusammenfügen mehrerer Bereiche notwendig, um den Festlegungen von ISO 4288 und ISO 3274 gerecht zu werden oder alternative Festlegungen wie z.B. der Einsatz von 3d Kennwerten abgesprochen werden
- einer der wichtigsten Vorteile aller smartWLI Sensoren ist die hohe Messgeschwindigkeit die eine schnelle Messung größerer Flächen mit korrekter Bewertung entsprechend ISO 4288 und ISO 3274 ermöglicht

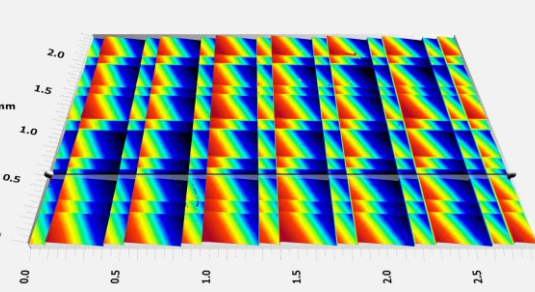




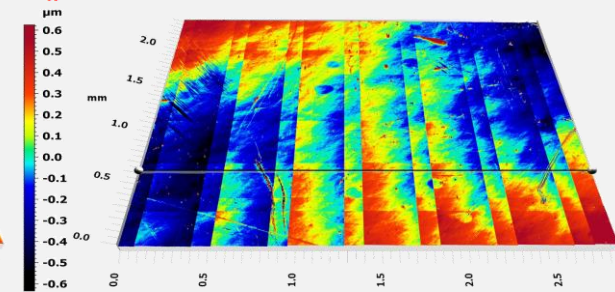
Feature	Ebenheit	Geradheit	Verkippung	Gieren	Technologie
Sensor	< 1 nm	< 1 nm	single μ rad	single μ rad	optisch
Positioniersystem	>> 1 μ m	>> 1 μ m	>> 10 μ rad	>> 10 μ rad	mechanisch

smartSTITCH – akkurates Zusammenführen mehrerer Einzelmessung superpolierter Oberflächen:

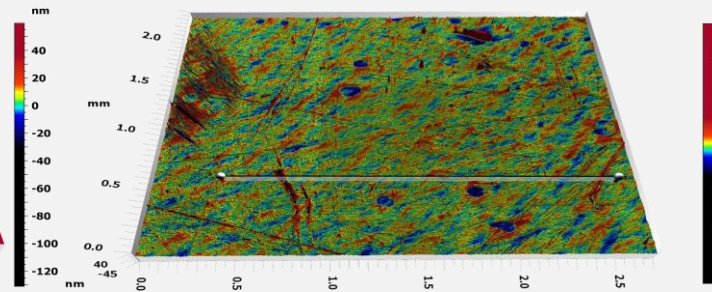
- mechanische Positioniersystem verursachen deutliche Positionierfehler, welche das Zusammenfügen mehrerer Scans beeinträchtigen
- diese Fehler können – insbesondere bei glatten Oberflächen – deutliche Fehler in der zusammengefügte Punktwolke verursachen
- die Höhenkompensation - wie z.B. in MountainsMap® verfügbar – reduziert diese Effekte
- für viele Oberflächen wie spannend bearbeitete Oberflächen mit $R_a > 10$ nm, ist die Höhenkompensation zumeist ausreichend
- bei einigen Messaufgaben ist die Höhenkompensation nicht ausreichend insbesondere:
 - beim Einsatz von Objektiven mit geringer Vergrößerung
 - Messung sehr glatter Oberflächen (Halbleiter, Optiken, polierter und diamantgedrehter Oberflächen)
- smartSTITCH kompensiert nicht nur Höhen- sondern auch Winkelabweichungen und erzielt damit deutlich besserer Messergebnisse



Zusammenfügen ohne Fehlerkompensation



Zusammenfügen mit Höhenkompensation (MountainsMap®)



smartSTITCH mit Höhen- und Winkelkompensation

