

# „PHOTOGRAMMETRISCHE MESSVERFAHREN IN DER ANWENDUNG – CROSSOVER VON SCHIFFBAU BIS MEDIZIN“

AXIOS 3D® Services GmbH  
Im Technologiepark 4 - 26129 Oldenburg  
Tel.: +49(0)441-2174700, [www.axios3d.de](http://www.axios3d.de)

AXIOS 3D® wurde durch die Beurkundung am 27.12.1999 gegründet und ist seit 2005 zertifiziert.

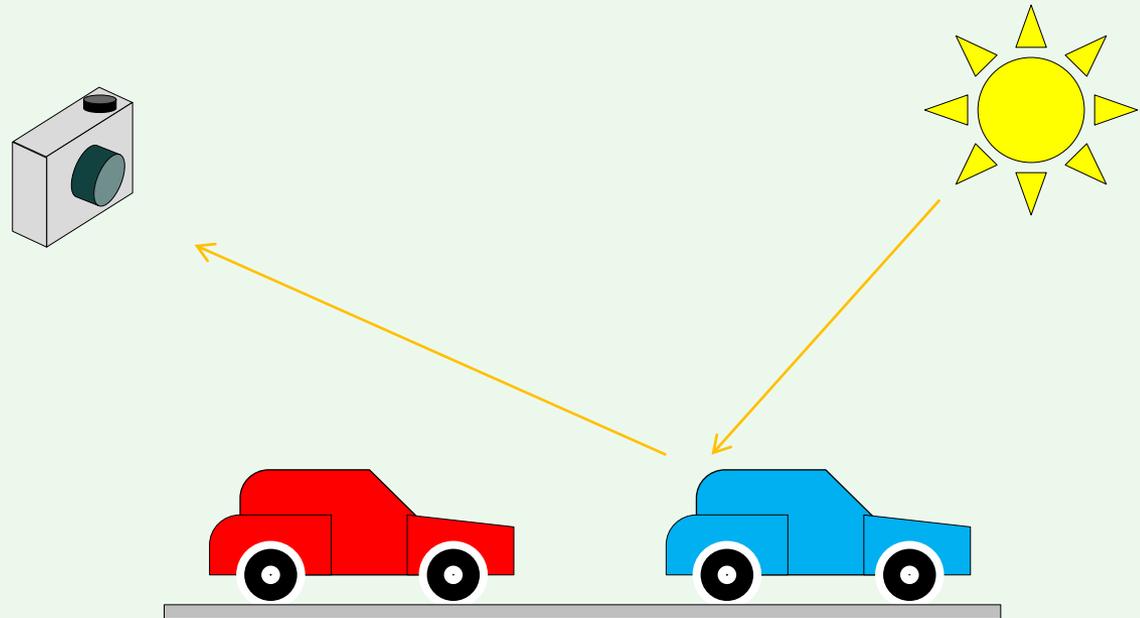
### **Qualitätsmanagementsystem nach**

DIN EN ISO 9001  
DIN EN ISO 13485

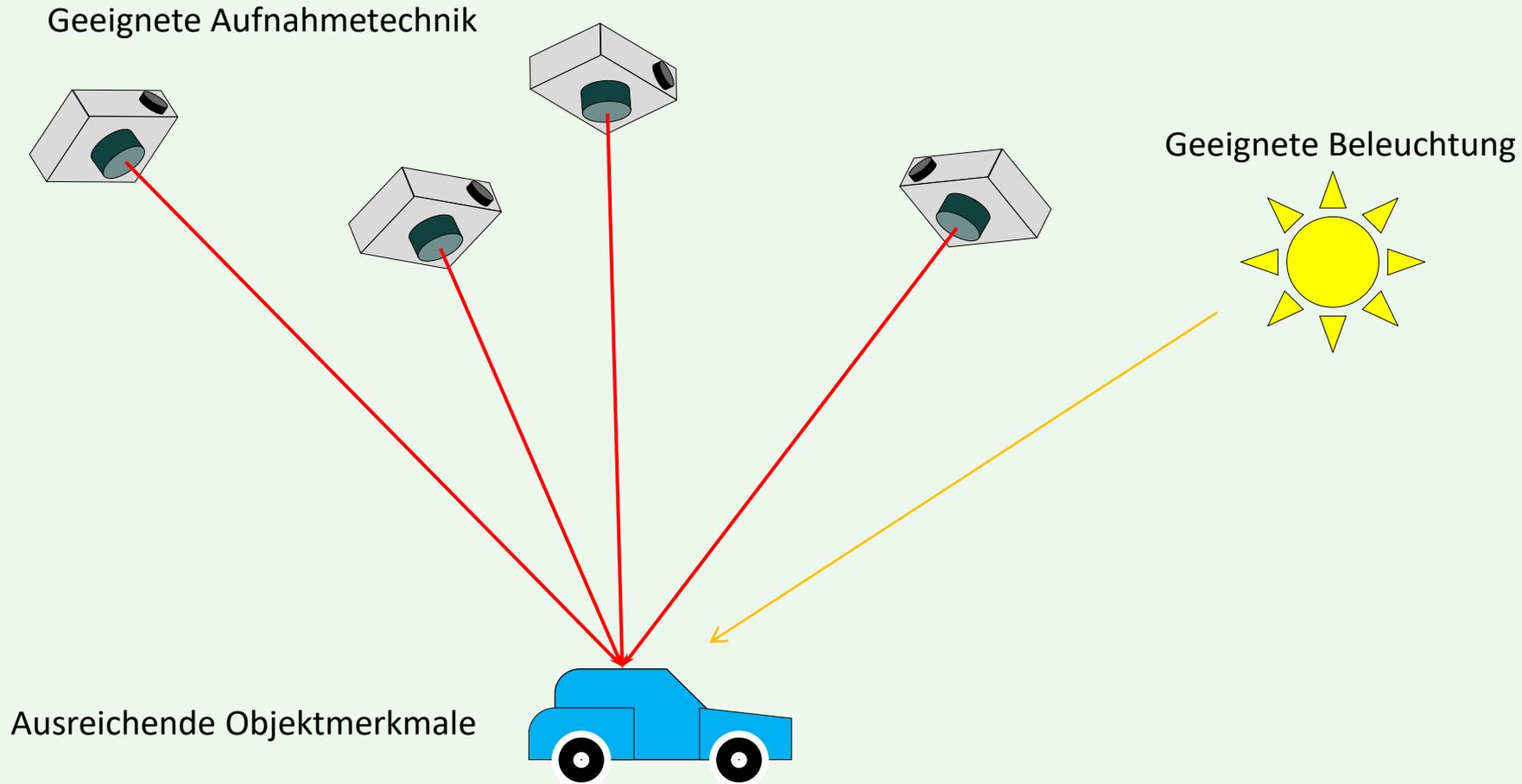
Hauptgeschäftsfelder sind die Entwicklung und der Vertrieb photogrammetrischer Systeme für medizinische und industrielle Anwendungen.

AXIOS 3D® erreicht mit 14 Beschäftigten einen Jahresumsatz von 1,0 - 1,5 Mio. €

Photogrammetrie umschreibt berührungslose Methoden für die Bestimmung von räumlichen Objektinformationen aus Bildmessungen.  
Diese Informationen können in unterschiedlichsten Anwendungen weiterverarbeitet werden.



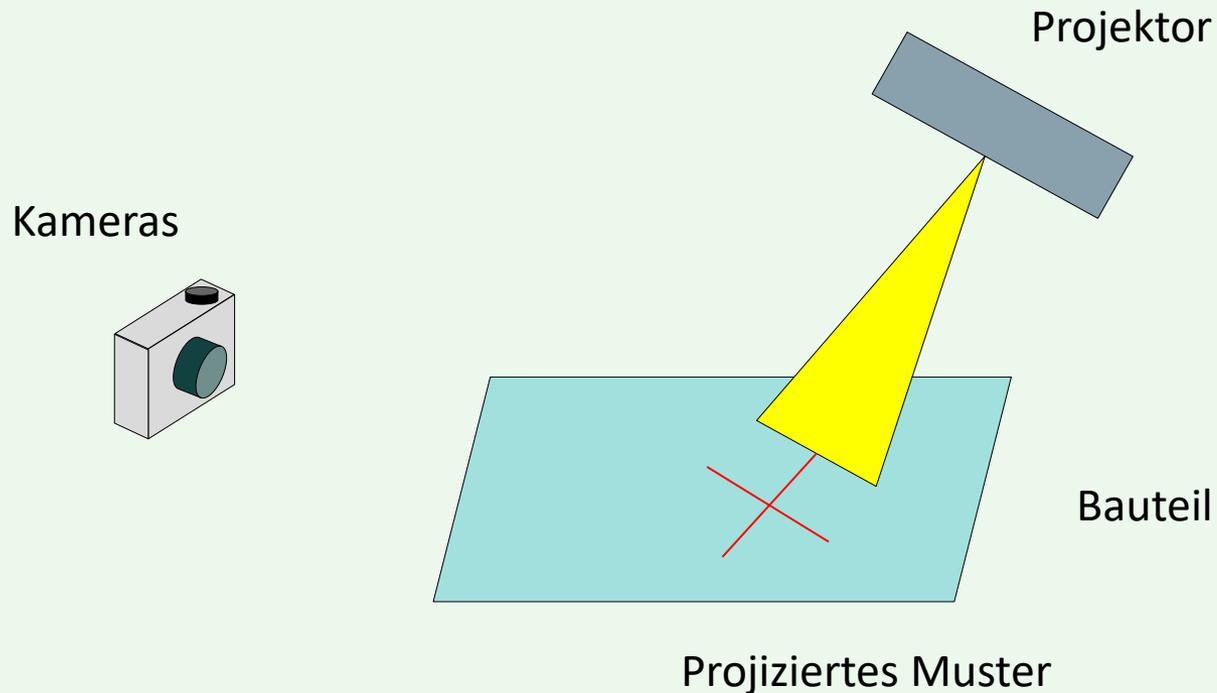
Mit bekannten Abbildungseigenschaften der Aufnahmesysteme können aus identifizierten homologen Punkten die Objektkoordinaten berechnet werden.



# SIGNALISIERUNG MIT PROJEKTOREN AUF DIFFUS REFLEKTIERENDEN FLÄCHEN

Zeigen Objekte ausreichend Merkmale und Strukturen können diese direkt für die 3D-Berechnung verwendet werden. Durch künstlich angebrachte Zielmarken oder strukturiertes Licht können auch schwach strukturierte Objekte signalisiert werden.

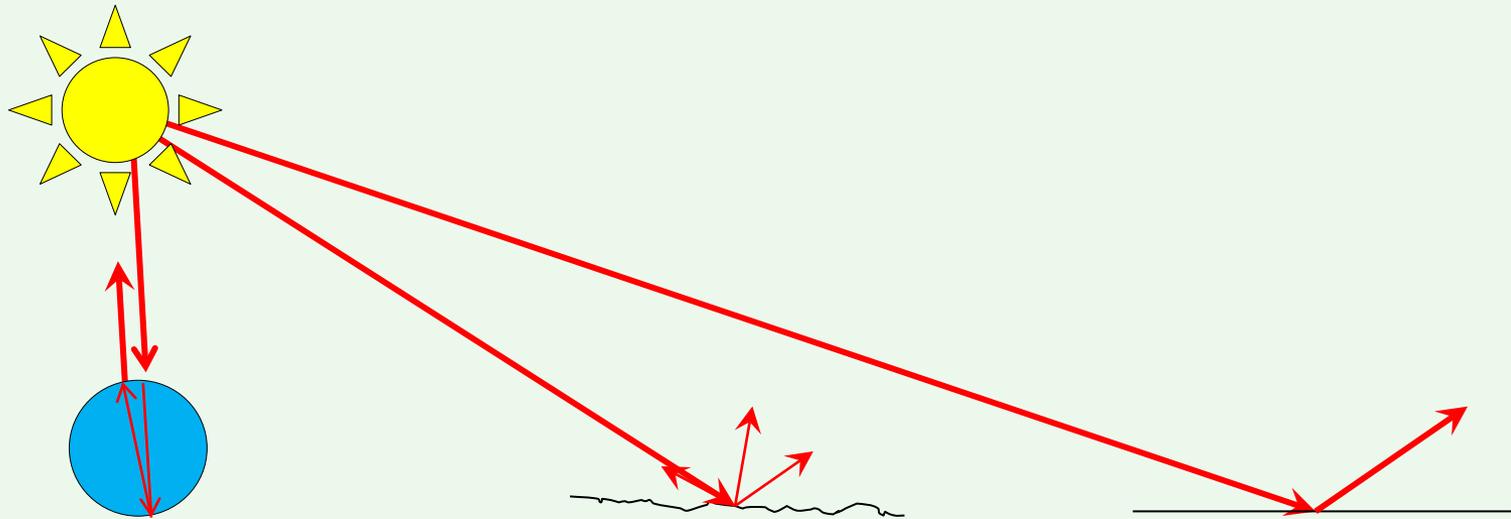
Mit Hilfe von projizierten Mustern können künstliche Objektmerkmale erzeugt werden. Die Messqualität ist stark abhängig von Neigung und Beschaffenheit der Merkmale, z.B. der Rauigkeit.



# REFLEXION ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN (z.B. LICHT)

## Grundlagen

Ein weit verbreitetes Hilfsmittel für die Optimierung des Bildsignals optischer Messsysteme ist die **Retroreflektion**. Schon geringe Beleuchtungsintensitäten ermöglichen eine kurze Belichtungszeit, was dazu führt, dass diffus reflektierender Hintergrund nicht sichtbar ist und eine Bildauswertung nur die signalisierten Objektmerkmale filtert.



### Retroreflexion

Bei der Retroreflexion wird die Strahlung in Richtung ihrer Quelle reflektiert (Lüneburg-Linse/ Tripelprisma).

### Diffuse Reflexion

An rauen Oberflächen (Rauigkeit/ Wellenlänge) wird die Strahlung gestreut reflektiert.

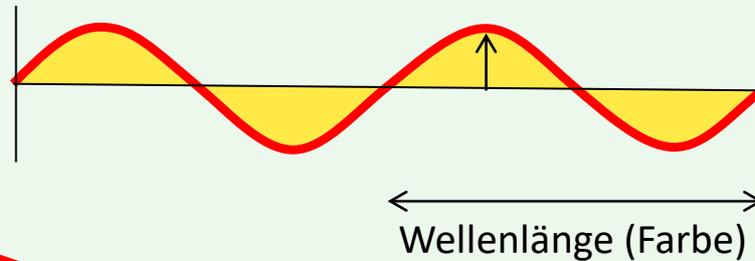
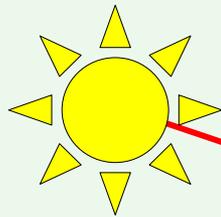
### Gerichtete Reflexion

An glatten Oberflächen (Rauigkeit/ Wellenlänge) wird die Strahlung überwiegend gerichtet reflektiert.

# POLARISATION ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN (z.B. LICHT)

## Grundlagen

Die Schwingungsrichtung von Licht ist unterschiedlich und räumlich zufällig verteilt, schwingen es in einer Richtung, ist es **polarisiert**.



### Gerichtete Reflexion

An glatten Oberflächen (Rauigkeit/ Wellenlänge) wird die Polarisation überwiegend gedreht.

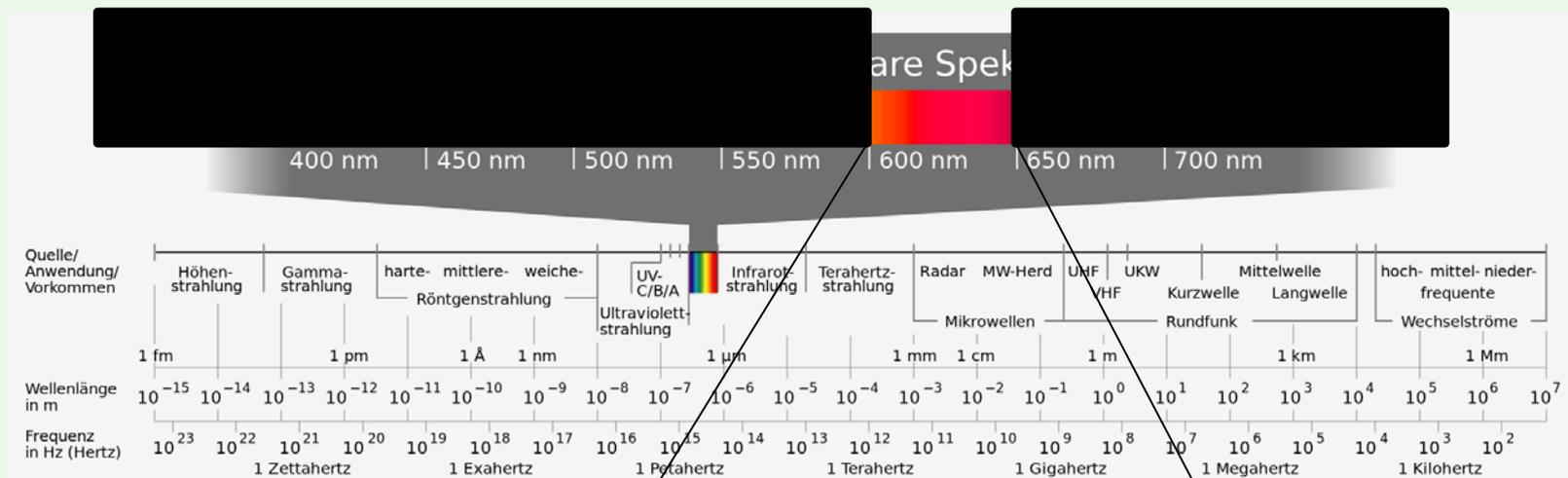


Mit polarisierter Beleuchtung und Verwendung von Polarisationsfiltern vor der Aufnahmeeinheit (Objektiv/ Sensor) können Spiegelungen ausgeblendet werden.

# ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN (z.B. LICHT)

## Grundlagen

Die Beleuchtung kann z.B. durch die Einschränkung der Wellenlänge optimiert werden. Mit den entsprechend ausgestatteten optischen Filtern ist im Bild nur noch die definierte Lichtquelle sichtbar. Andere Lichtquellen sind dann lediglich von untergeordneter Bedeutung.



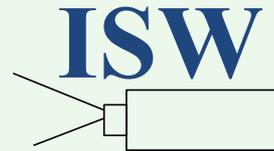
Mit einem solchen Filter werden nur Signale gemessen, die zwischen 600nm und 650nm reflektieren. Dadurch werden **Störsignale minimiert** und **Auswertezeiten verringert!**

(Wikipedia.de; Urheber: Horst Frank / Phrood/ Anony)

1. Positionieren



2. Scannen



3. Bohren



# VERARBEITUNG SEHR GROßER STAHLPLATTEN

## Fräsen

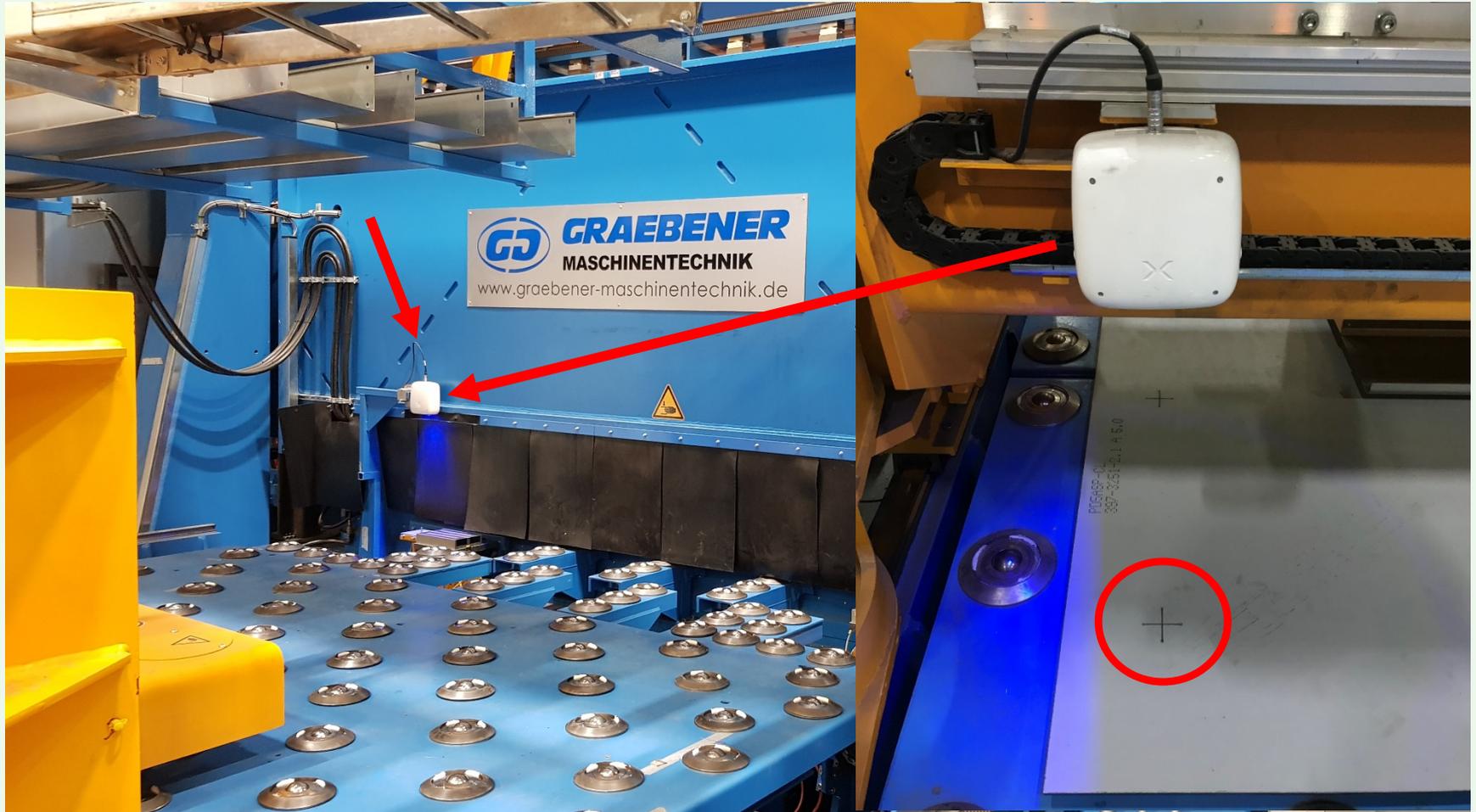
Im ersten Schritt werden transportable Stahlplatten (LKW-Trailergröße) mit einem Koordinatensystem bedruckt. Mit der Kamera kann die Stahlplatte vermessen und in der Fräsmaschine positioniert werden. Die Fräsmaschine ist dann in der Lage, eine scharfe Kante für das Schweißen vorzubereiten. Nach der Vorbearbeitung werden diese Platten auf bis zu 20 m x 30 m zusammengefügt und zu einer Sektion verbaut. Zehn Sektionen sind dann für ein 300 m langes Schiff notwendig.

Ein kleiner Fehler am Anfang führt zu einem großen Fehler am Ende des Zusammenfügens. Deshalb werden alle Stahlplatten vor dem Schweißen sehr präzise gefräst.



© MEYER WERFT

# FRÄSMASCHINE



© Graebener Maschinentchnik

# TRACKING

Measurement RoI: -90, -90, -650, 90, 90, -500  
Frames per second: 8.2 FPS

Measurement system  
Serial number: 81-032  
Last referenced: 2018-07-18T19:33:53  
Reference machine coordinate: No file loaded  
Measurement RoI: data/MeasurementRoI.xml

Camera  
Camera: Left/Right  
Frames per second: 10  
Stop image acquisition

Measurement  
Type: Reference/Cross  
Accuracy: Best/Medium  
Measurement frequency (Hz): 25  
Shot  
Stop tracking

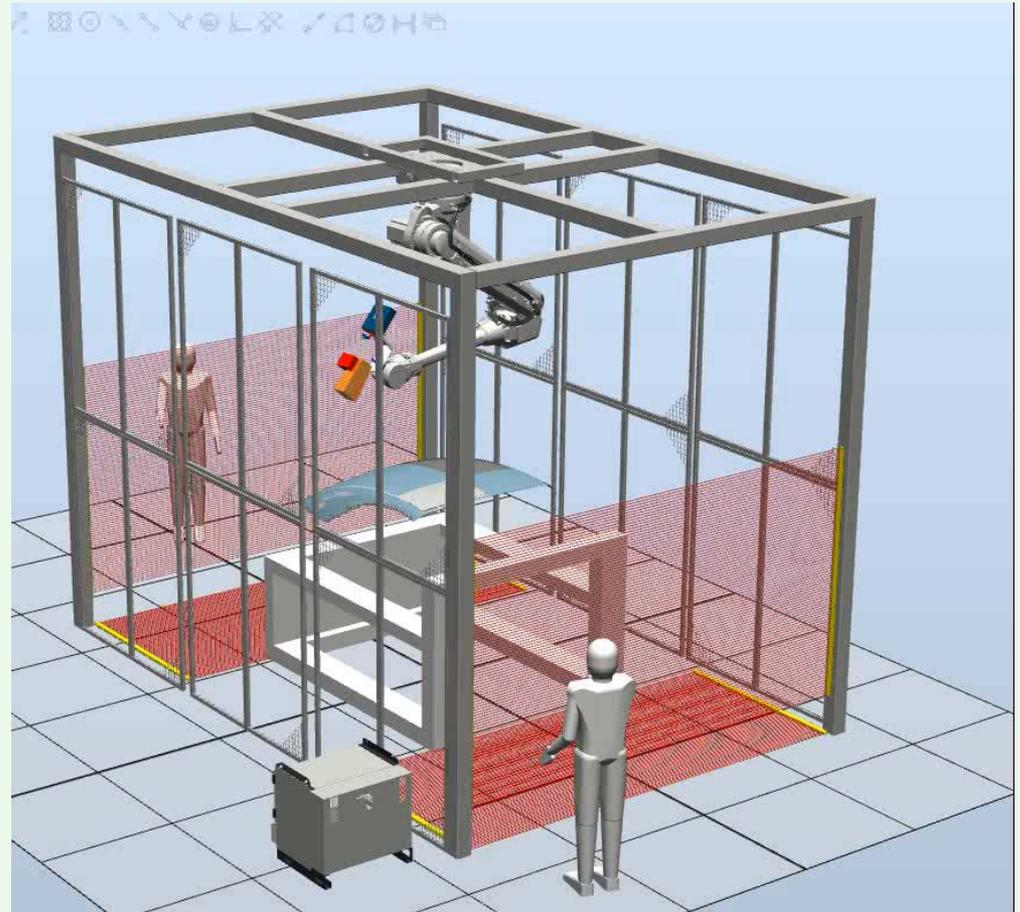
Data retrieval  
Timestamp: Unix timestamp in milliseconds  
Include image: Yes/No  
Retrieve  
Stop auto retrieve

Result  
Timestamp: 1551448262102 (2019-03-01T14:51:02.102)  
X: 40.86 mm  
Avg., Range, Std.Dev: 40.86 mm, 0.03 mm, 0.009 mm  
Y: -98.58 mm  
Avg., Range, Std.Dev: -98.58 mm, 0.05 mm, 0.016 mm  
Z: 52.14 mm  
Avg., Range, Std.Dev: 52.06 mm, 1.12 mm, 0.358 mm  
Measurements per second: 10.6 Hz

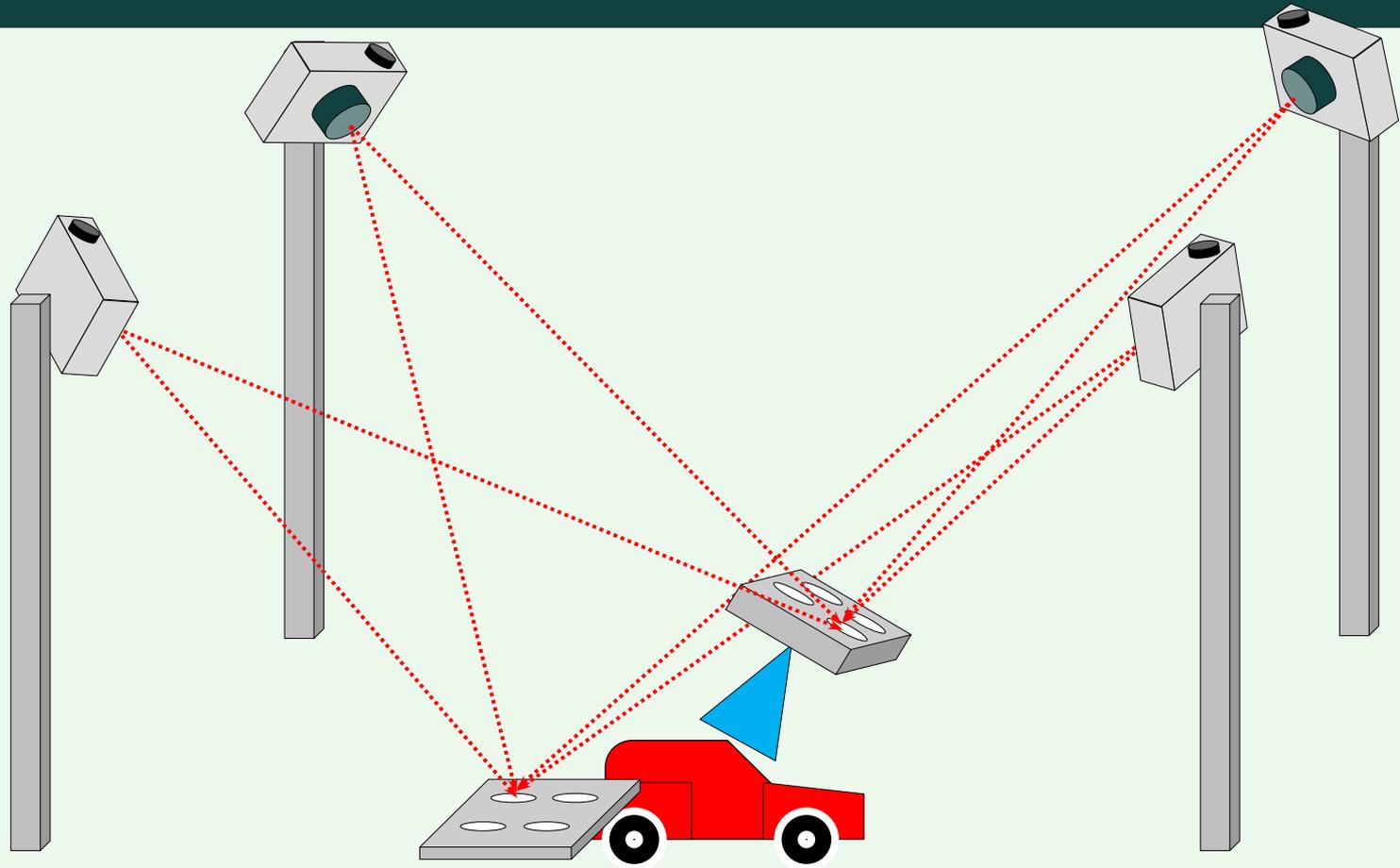
Positionsgenauigkeit:  $x/y < 100\mu\text{m}$ ,  $z < 1\text{mm}$  (wird nicht verwendet)

# KONTROLLE DER MAßHALTIGKEIT IN DER PRODUKTIONSLINIE

Anforderungen:  
An ca. 60 Positionen  
innerhalb von 3 Minuten die  
Maßhaltigkeit mit einer  
Genauigkeit von  $100\mu\text{m}$   
überprüfen.



© ISW



Vier Einzelkameras messen indirekt die Position eines Streifenlichtscanners relativ zum Fahrzeugkoordinatensystem.



Streifenlichtscanner mit einem Messvolumen von  $100 \times 100 \times 120 \text{ mm}^3$  bei einer Entfernung von 220 mm bis 320 mm.

Projizierte Streifen werden in Abhängigkeit der Objekt-oberfläche deformiert. Aus der Deformation können dann Objektgeometrien gerechnet werden.



Streifenlichtscanner mit retroreflektierenden Messmarken (Roboterlokator) für das übergeordnete Kamerasystem.

Mit einer sogenannten Hand-Auge – Kalibrierung wird die Transformation des Scanners in den Roboterlokator bestimmt.

# SYSTEMKOMPONENTEN

Fahrzeugdach mit retroreflektierenden Messmarken am Fahrzeugkoordinatensystem.



© ISW

# SYSTEMKOMPONENTEN

Kamerasystem:



© ISW



Mit Hilfe des optischen Systems konnte die absolute Positionsgenauigkeit des Roboters von 5mm auf eine Standardabweichung von 40  $\mu\text{m}$  gesenkt werden. Festgestellte Abweichungen können direkt in die Produktion zurückfließen, um dort den Produktionsprozess unmittelbar zu verbessern. © ISW

# PRÄZISIONSBOHRUNG IM KOPF

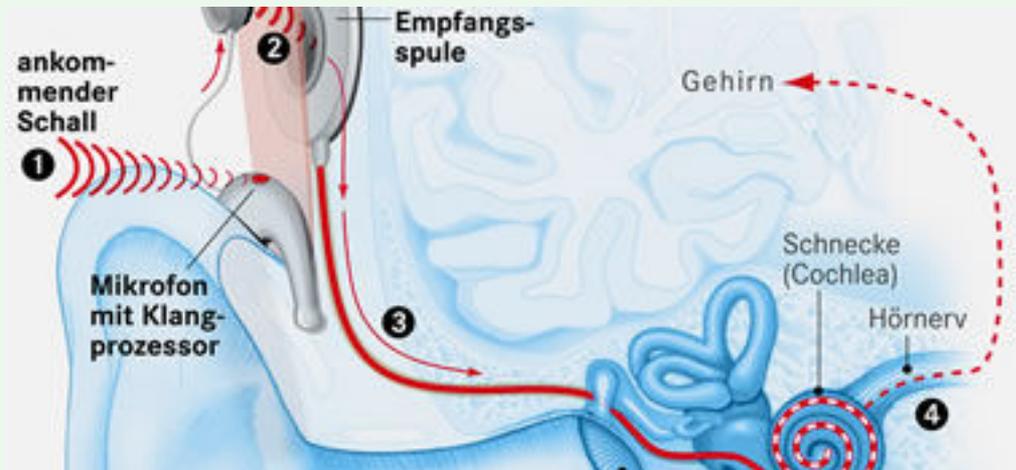
MED<sup>EL</sup>

CASINATION<sup>+</sup>



# HEARO

# COCHLEA-IMPLANTAT



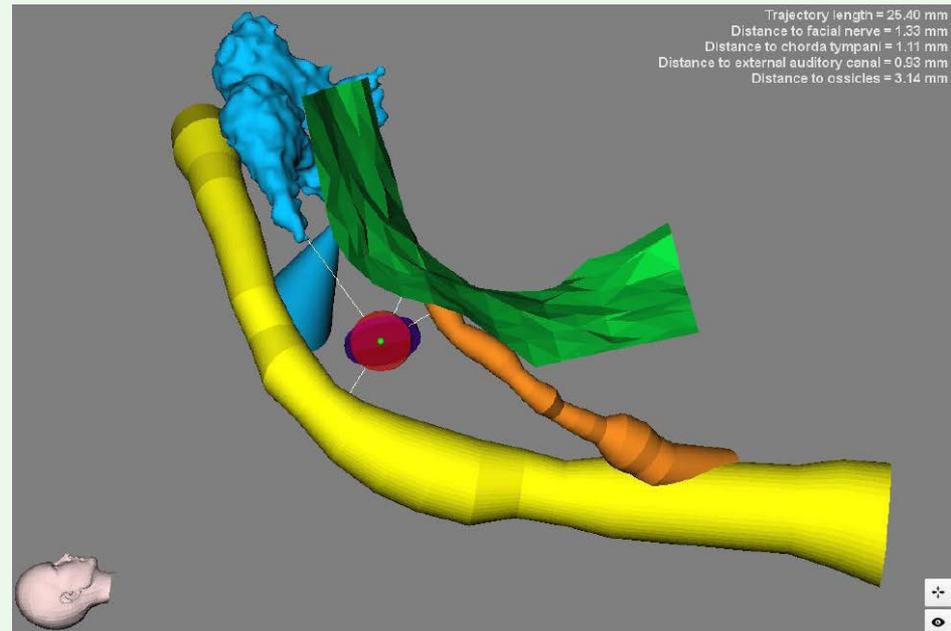
1. Über ein Mikrofon nimmt der Klangprozessor Schallwellen auf und wandelt sie in digitale Signale um.
2. Eine unter die Haut implantierte Empfangsspule nimmt die Signale auf.
3. Das Implantat wandelt die empfangenen Signale in elektrische Impulse um und leitet diese zu den Elektroden in der Hörschnecke (Cochlea).
4. Die elektrischen Impulse stimulieren den Hörnerv in der Cochlea. Im Gehirn entsteht ein Höreindruck.

*Grafik und Text aus der Apotheken Umschau*

# COCHLEA

AXIOS 3D®

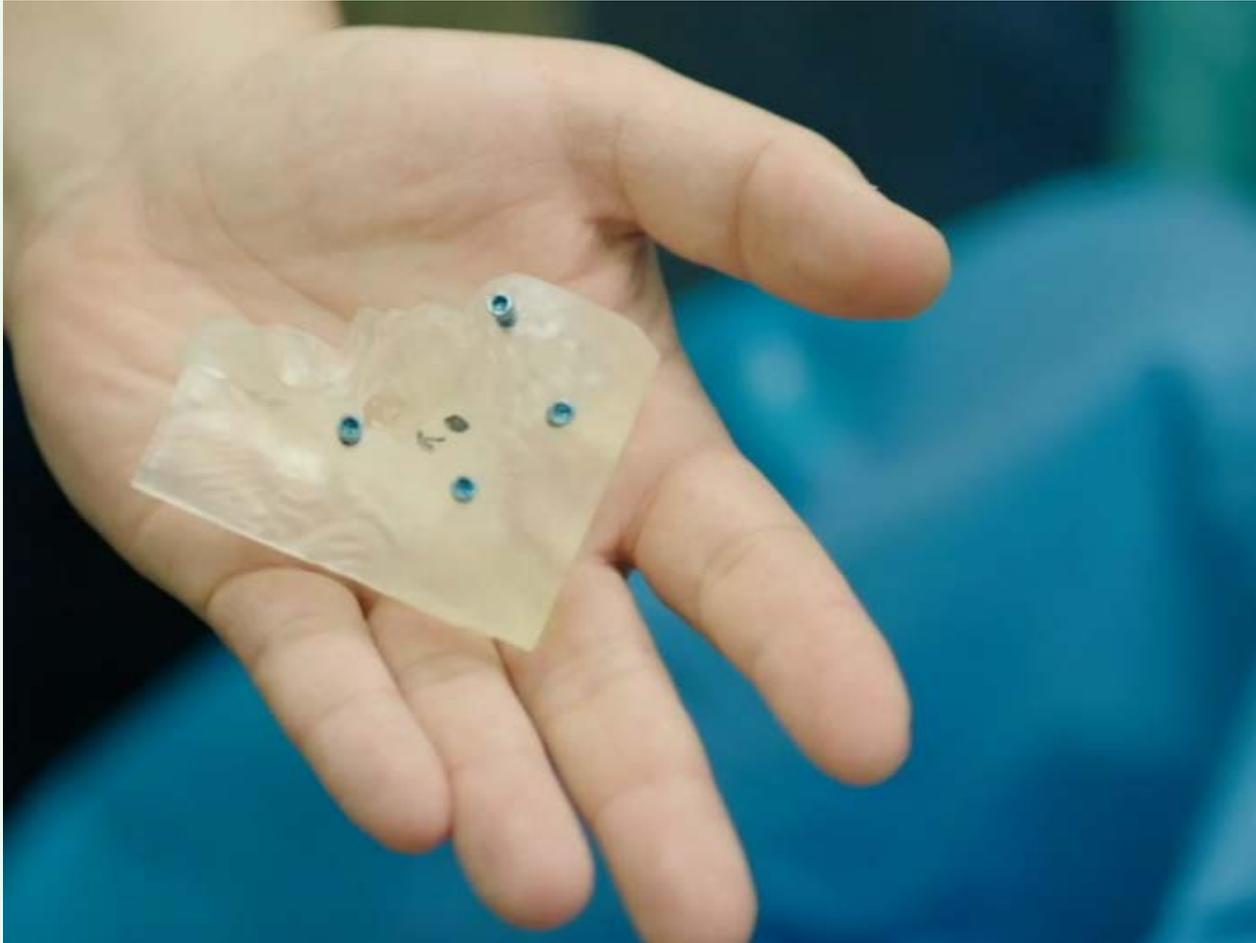
Hauptproblem der Operationstechnik ist der Zugang. Obwohl das Implantat nur ca. 1,5mm bis 2mm im Durchmesser misst, muss ohne geeignete Messtechnik ein relativ großer Bereich eröffnet werden, um sicher zwischen Gesichts- und Geschmacksnerv zur eigentlichen Cochlea zu gelangen.



Grafik: ISTB Universität Bern

# DRILLING

Initialisieren des Systems und Einbringung der Referenzschrauben



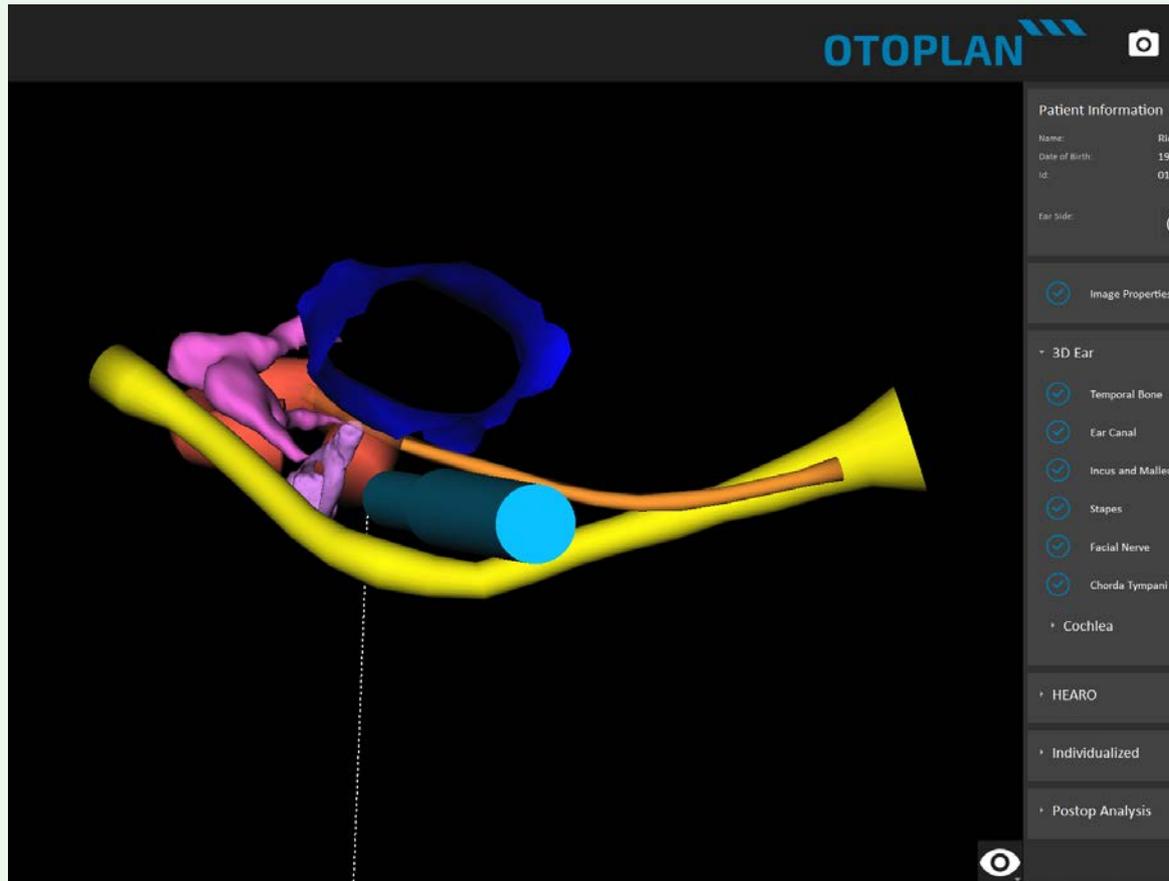
**MED<sup>9</sup>EL**  
**CAS**CINATION<sup>+</sup>

© MED-EL



**MED<sup>9</sup>EL**  
**CAScINATION<sup>+</sup>**

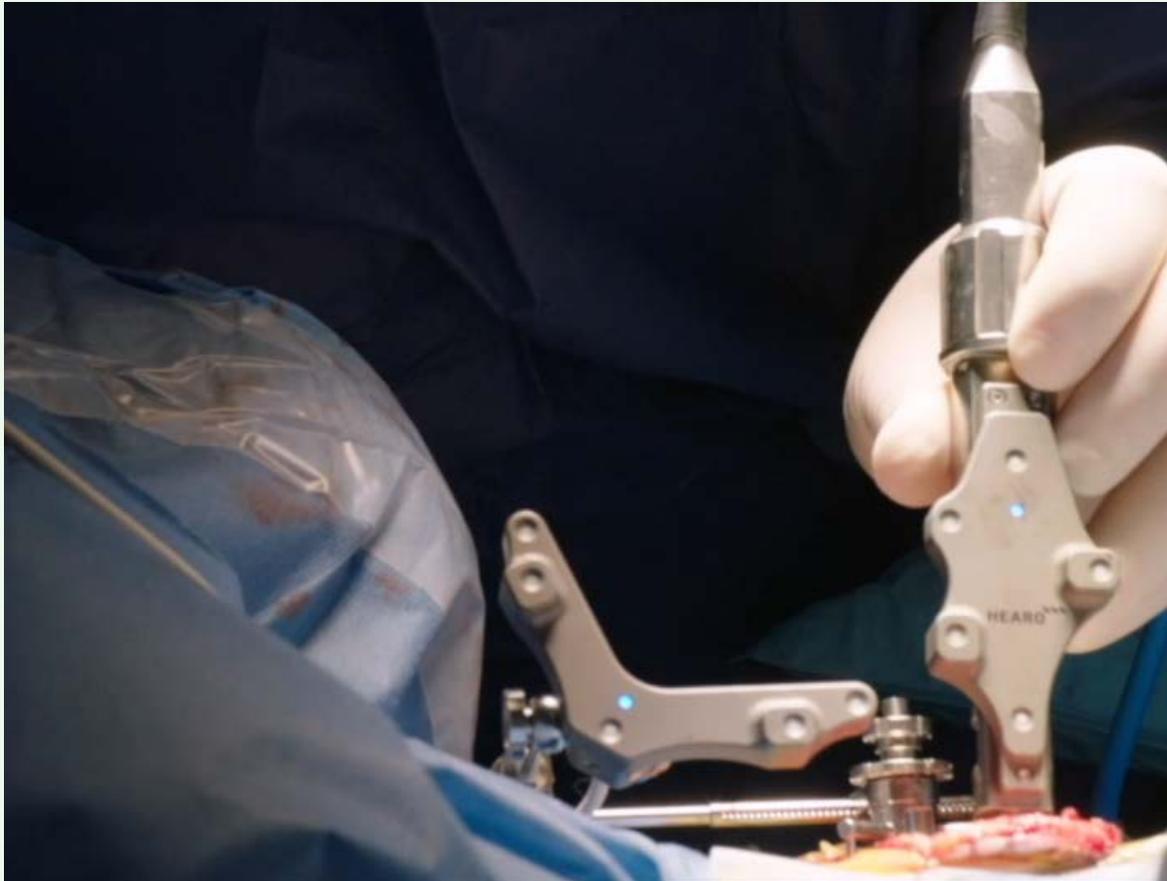
© MED-EL





# DRILLING

Messung der Referenzschrauben relativ zum am Schädel angebrachten Referenzkoordinatensystem



**MED<sup>o</sup>EL**  
**CAS**CINATION<sup>+</sup>



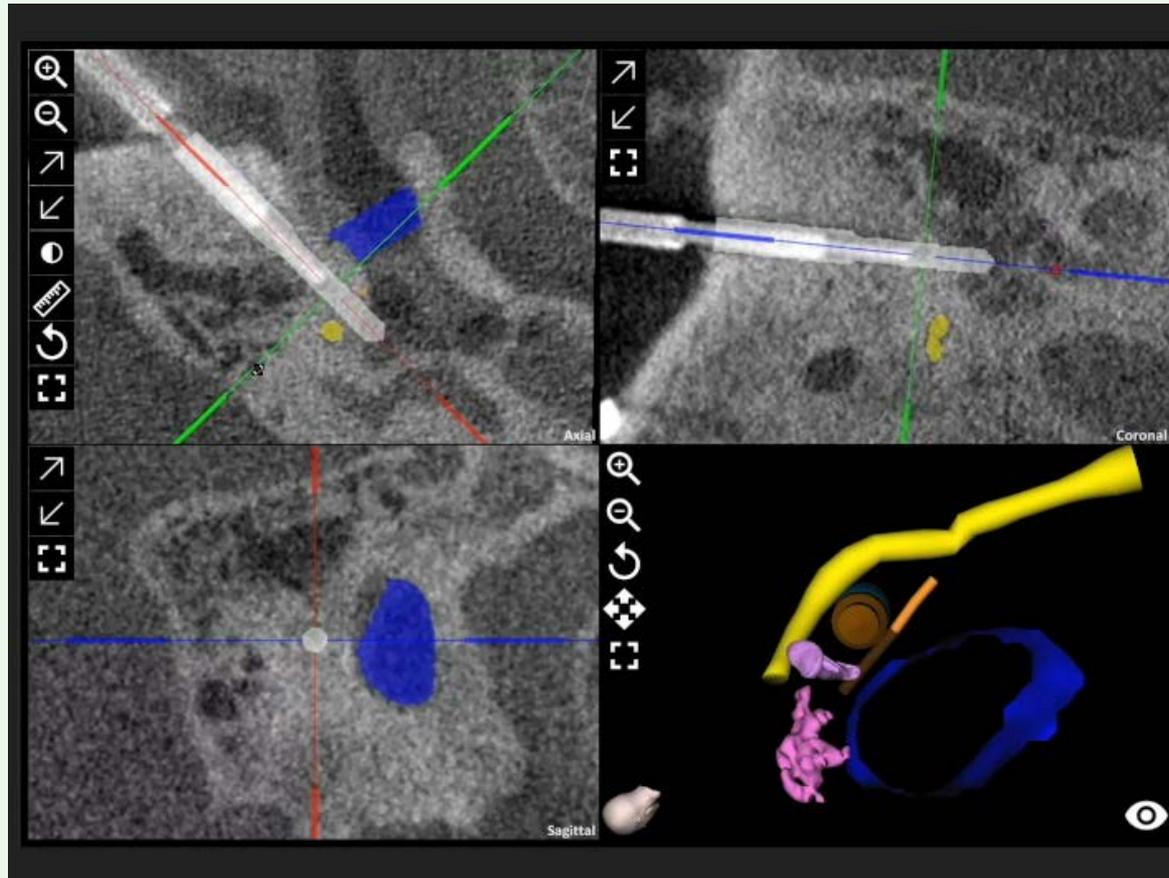


© MED-EL



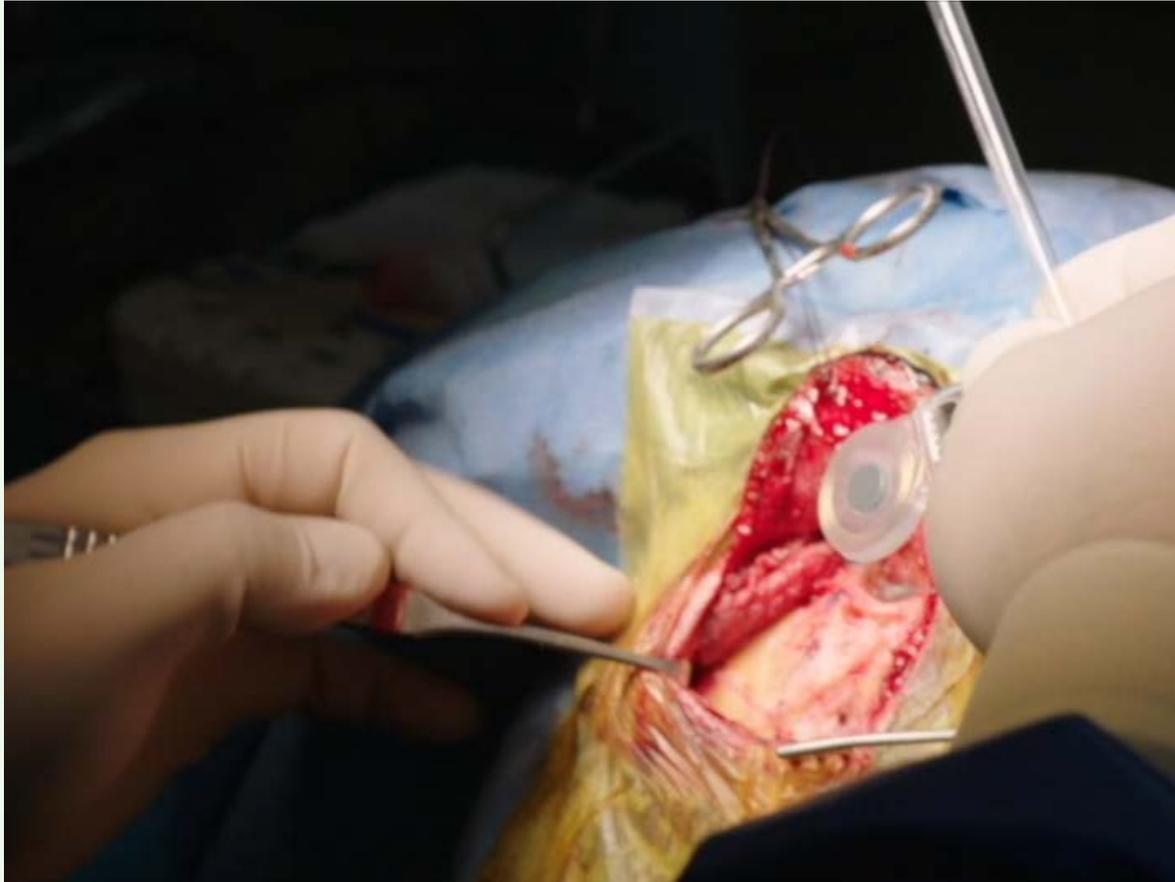
# DRILLING

## Liveverfolgung in der Bildgebung



© MED-EL





© MED-EL



Erst der hochgenaue robotergestützte Bohr- bzw. Fräsvorgang verringert die Wundgröße erheblich und ermöglicht durch eine deutlich verkürzte OP-Zeit eine ambulante Behandlung. Sämtliche räumlichen Bewegungsabläufe werden dabei mit einem hochgenauen optischen Trackingsystem überwacht - kontinuierliches Messen (Tracken) des Fräasers relativ zum Schädel.

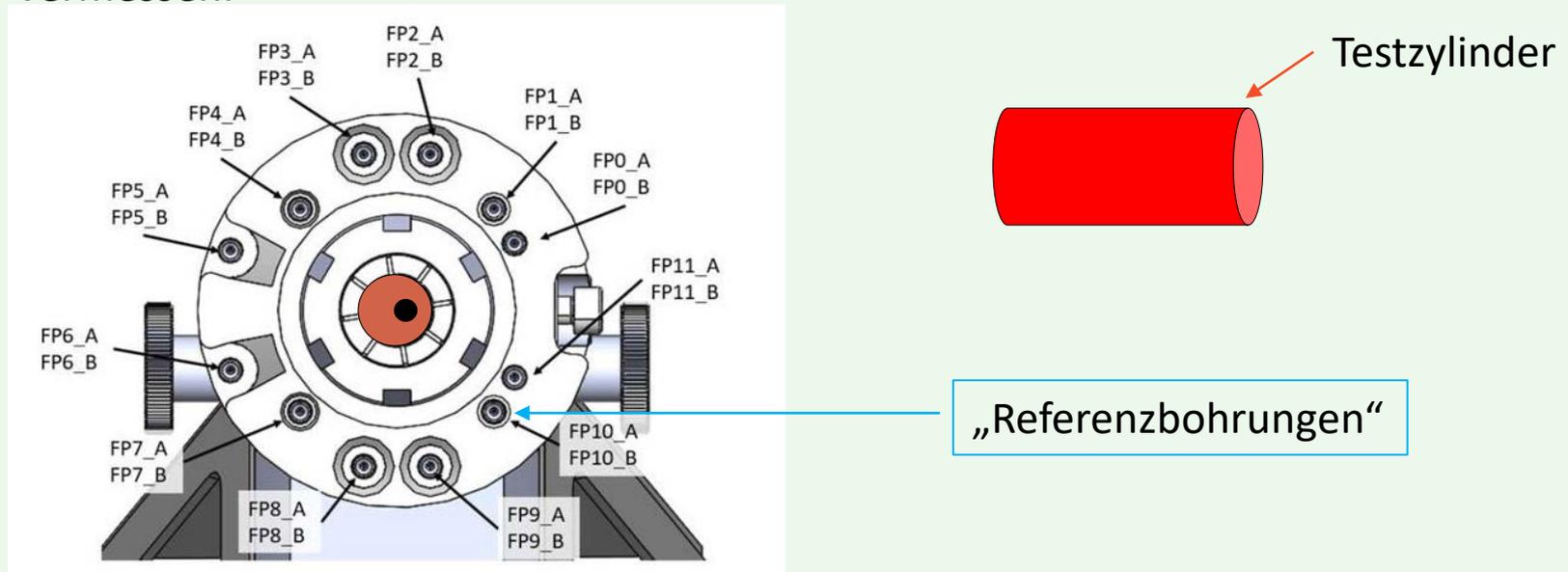
Die absolute Genauigkeit über das gesamte Verfahren (die Planungsdaten werden am Ende mit dem tatsächlichen Bohrkanal verglichen) lagen in den Kadaver-Studien unter 150 µm.

Weitere Informationen finden Sie in der Science:

<http://robotics.sciencemag.org/content/2/4/eaal4916>

# SYSTEMVALIDIERUNG AM PRÜFNORMAL

Am Prüfnormal wird eine zylindrische Testhülse gebohrt. Das Vorgehen ist dabei wie in der OP. Zunächst werden die Referenzbohrungen gemessen und die Planungsdaten in die Halterung transformiert. Auch das Prüfnormal ist mit einem Referenzlokator ausgestattet. Die Bohrung im Testzylinder wird anschließend auf einer Koordinatenmessmaschine sowohl auf der Eintritts- wie auf der Austrittsseite vermessen.



Die Exzentrizität der Bohrung zeigt die Messfehler des Gesamtsystems.

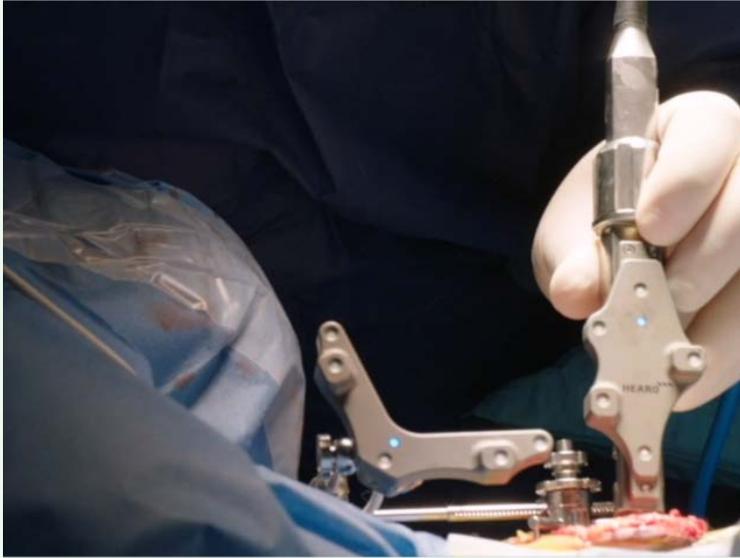
# PROZESSVALIDIERUNG ERGEBNISSE

CASCINATION		Humboldt left		Confidential - Vertraulich	
		Printed by Slobodan Koprivica		Wed, 2021-Jun-09, 13:59	
Measurement results					
Drilled by	Gordana Veljanoska	Drilling date	2021-06-09, 10:59		
Measured by	Gordana Veljanoska	Measurement date	2021-06-09, 11:03		
Number of samples	5	Side	Left		
Drilling	Mean	STD	MIN	MAX	Dim
Entrance Accuracy	0.074	0.010	0.062	0.086	mm
$\Delta x_{Ent}$	0.065	0.005	0.061	0.073	mm
$\Delta y_{Ent}$	-0.026	0.030	0.004	-0.055	mm
Target Accuracy	0.071	0.023	0.049	0.105	mm
$\Delta x_{Tar}$	0.056	0.011	0.048	0.076	mm
$\Delta y_{Tar}$	-0.024	0.044	0.008	-0.088	mm
Angular Accuracy	0.070	0.046	0.020	0.144	deg
$\Delta \alpha$	0.028	0.017	0.009	0.054	deg
$\Delta \beta$	0.060	0.046	0.013	0.132	deg
FRE	0.020	0.002	0.017	0.023	mm

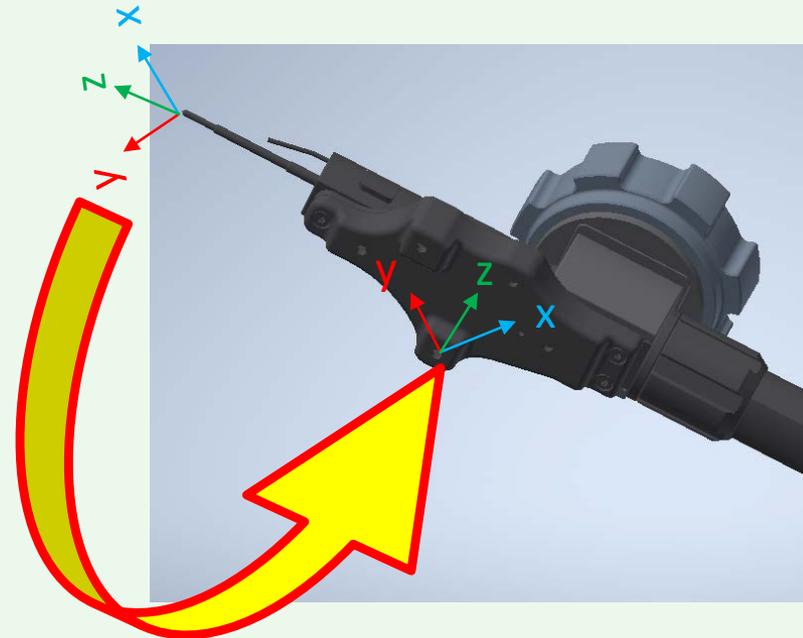
  

CASCINATION		HUMBOLDT right		Confidential - Vertraulich	
		Printed by Slobodan Koprivica		Wed, 2021-Jun-09, 14:34	
Measurement results					
Drilled by	Gordana Veljanoska	Drilling date	2021-06-09, 14:31		
Measured by	Gordana Veljanoska	Measurement date	2021-06-09, 14:34		
Number of samples	5	Side	Right		
Drilling	Mean	STD	MIN	MAX	Dim
Entrance Accuracy	0.055	0.013	0.036	0.067	mm
$\Delta x_{Ent}$	-0.000	0.014	-0.002	-0.022	mm
$\Delta y_{Ent}$	-0.053	0.014	-0.031	-0.066	mm
Target Accuracy	0.083	0.024	0.060	0.112	mm
$\Delta x_{Tar}$	0.003	0.014	0.006	0.017	mm
$\Delta y_{Tar}$	-0.082	0.025	-0.058	-0.112	mm
Angular Accuracy	0.098	0.036	0.057	0.147	deg
$\Delta \alpha$	0.033	0.020	0.002	0.053	deg
$\Delta \beta$	0.086	0.046	0.021	0.142	deg
FRE	0.016	0.001	0.014	0.018	mm

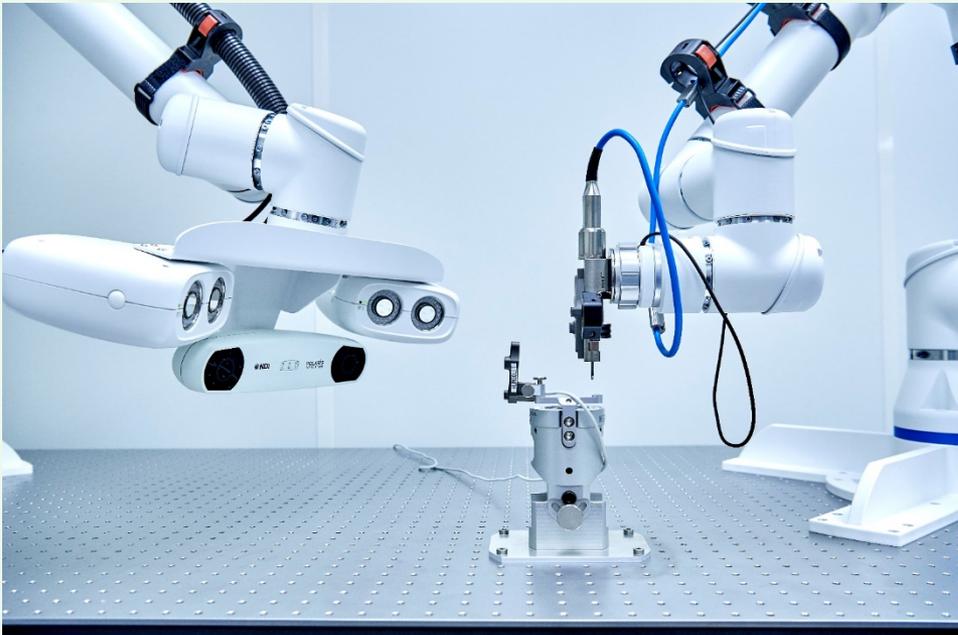
# KALIBRIERUNG DER WERKZEUGE



Für das Erreichen dieser Genauigkeiten werden auch die Werkzeuge und Lokatoren kalibriert.



Mit Hilfe zweier Roboter und der Bündeltriangulation (mathematisches Ausgleichsverfahren) wird die Transformation zwischen Werkzeug und Koordinatensystem des Lokators bestimmt.



# WARUM MANCHE DINGE MIT OPTISCHER MESSTECHNIK ZUVERLÄSSIGER SIND:

Oder sehen sie parallele Linien?

