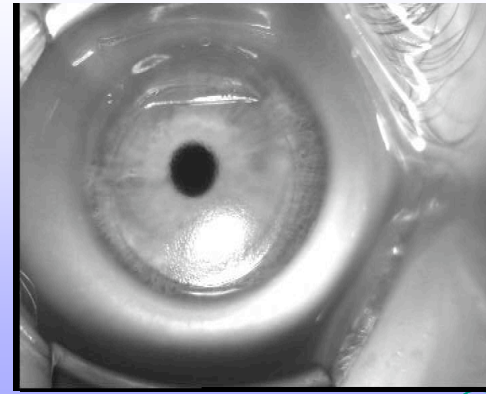


Neueste Entwicklungen in der Eyetracker Technologie

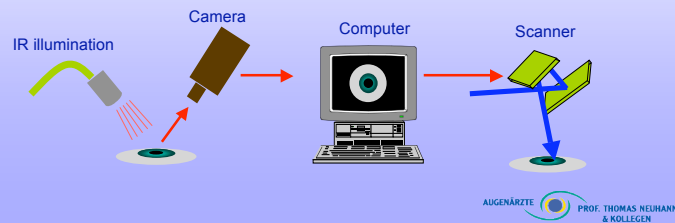
Thomas Neuhann
München

Wozu braucht man einen eye tracker?



Was ist ein eye tracker?

Eine Kombination aus hardware- und software-
Komponenten, die sicherstellen, dass jede Laserexposition,
unabhängig von Augenbewegungen, jederzeit an die
gewünschte Stelle erfolgt

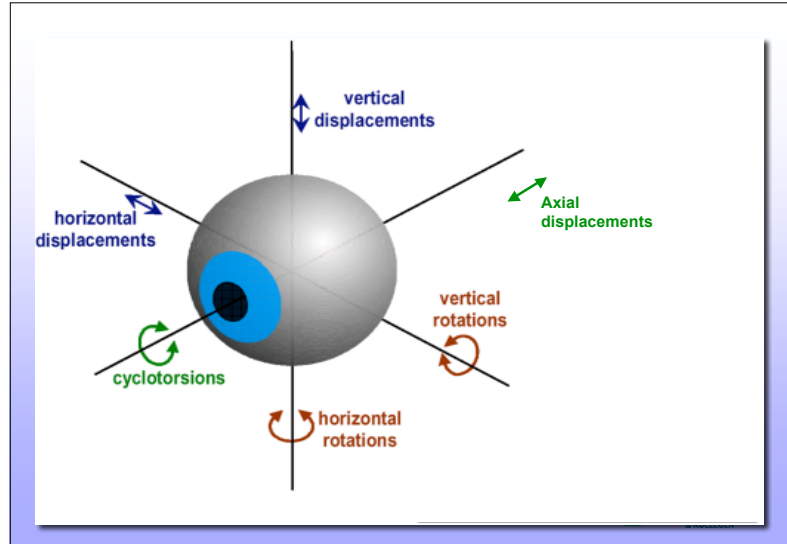


Relevanz von Augenbewegungen

- Genauigkeit der sphärischen Korrektur
- Genauigkeit der astigmatischen Korrektur
 - Betrag
 - Achsenlage
- Genauigkeit der Korrektur von Aberrationen
- Induktion von Aberrationen

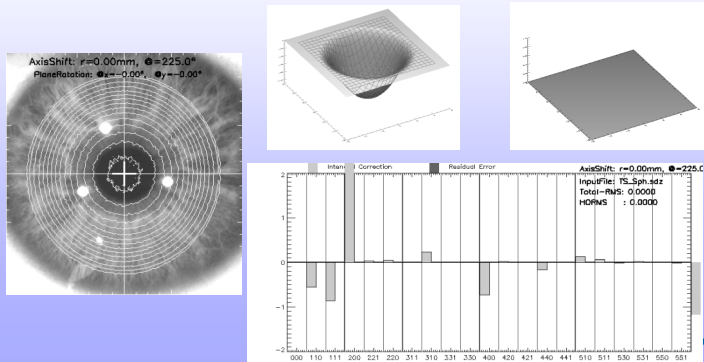
Tracking-relevante Bewegungen des Auges

- Translatorisch (im Bereich von Sekunden)
- Rotatorisch
 - Drifts:
 - wenigen Winkelminuten
 - 2-8 Winkelmin/sec
 - Mikrosakkaden
 - 3 - ca 60 Winkelminuten
 - 8 - 80°/sec linear abh von Amplitude
 - Mikrotremor
 - < 1 Winkelminute
 - Bis 10 Winkelmin/sec



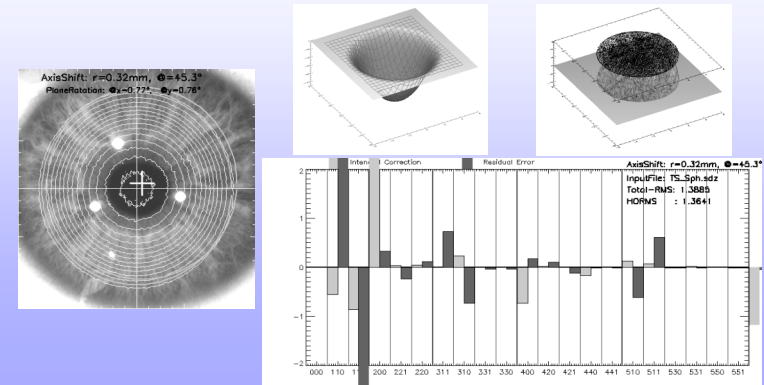
Simulation: perfekte Zentrierung

- Treatment: TissueSaving: -6.00D / -0.00D / 0.0°, OZ=7.0mm
- Misalignment: $\varphi = 0^\circ$ $\Delta r = 0 \mu\text{m}$



Simulation: geringe Dezentrierung (Translation)

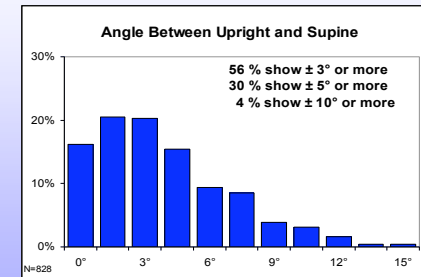
- Treatment: TissueSaving: -6.00D / -0.00D / 0.0°, OZ=7.0mm
- Misalignment: $\Delta\varphi = 45.3^\circ$ $\Delta r = 320 \mu\text{m}$



Sonderfall: Zyklorotation

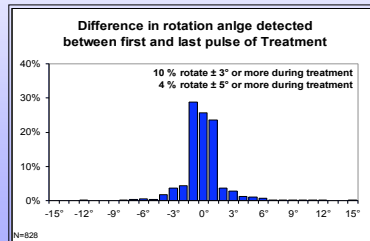
- „Statisch“: Die zyklorotatorische Bulbusstellung ist positionsabhängig
 - aufrecht bei Untersuchung
 - liegend während Behandlung
- „Dynamisch“: Der Bulbus vollführt zyklorotatorische Bewegungen während der Fixation

Zyklorotation: "Statisch"

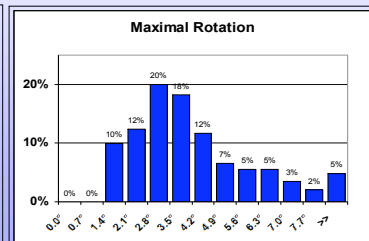


Zyklorotation: "Dynamisch"

Winkel zwischen erstem und letztem Schuss der Behandlung



Differenz zwischen niedrigstem und höchstem Winkel während der Behandlung



Simulation: zyklorotatorische Fehlausrichtung

Wavefront Error

Wavefront Correction

Residual Wavefront

Alignment of Correction

Point Spread Function

T V
IF YOU
CAN READ THIS
YOUR VISUAL ACUITY IS
20/20

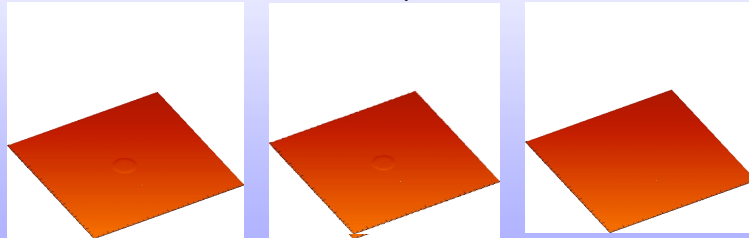
Simulation: zyklorotatorische Fehlaurichtung

Rein sphärischer Abtrag

ideal

Simuliert mit den Daten eines Patienten aus dem Zyklotracker

Differenz



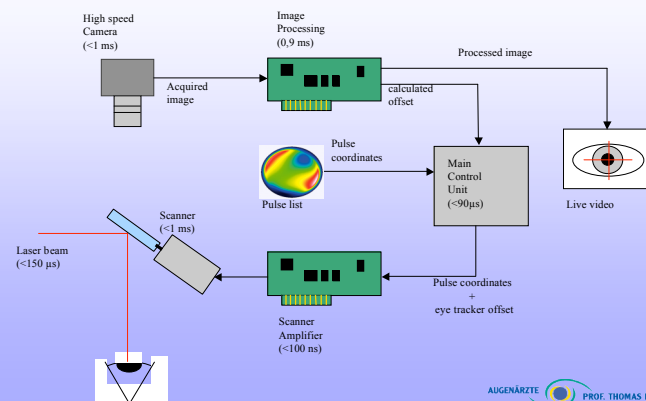
Fehler/Grenzen des eye-tracking bei Hornhautabtragung

➤ Geschwindigkeit

- Der gesamten Rückkoppelungsschleife
 - Erkennen des Ist Zustandes
 - Verarbeitung und Vergleich der Bilder mit dem Soll Zustand
 - Nachführen der Schussposition
 - Positionsrückmeldung des Scanners
 - Abfeuern des Laserpulses

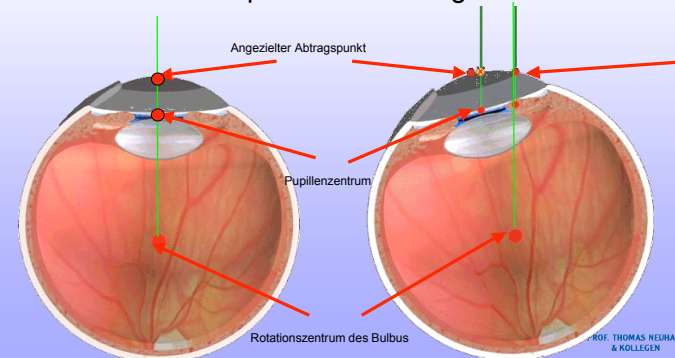
➤ Winkel-/Projektionsfehler bei den Drehbewegungen

Eyetracker: Geschwindigkeiten von Regelkreis-Komponenten



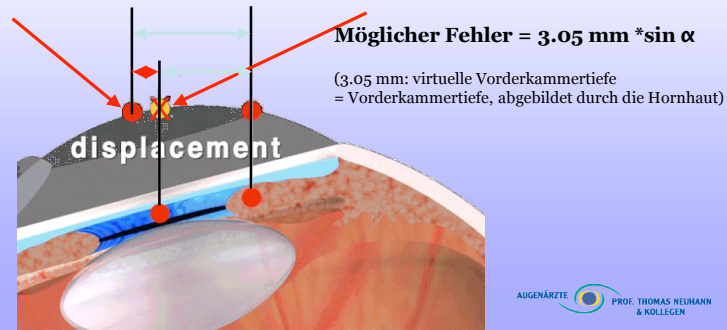
Projektions-/Winkel-Fehler

Entsteht, wenn rotatorische Bewegungen anhand der Pupillenmitte verfolgt werden



Projektions-/Winkel-Fehler

Entsteht, wenn rotatorische Bewegungen anhand der Pupillenmitte verfolgt wird



Technische Verwirklichung

- Translatorische Bewegungen
 - Horizontal und vertikal: Pupillenmitte
 - Axial: Ø bzw passiv „Z-Komponente“
- Rotatorisch
 - Horizontal und vertikal: Pupillenmitte
 - Cave: Projektionsfehler
 - Axial/Zyklorotatorisch: Iris, Limbus
 - Statisch
 - dynamisch

Neue(st) Entwicklungen

- Geschwindigkeit
- Winkelfehlerkompensation
- Zyklorotatorisches Tracking

Geschwindigkeit

- Anhaltspunkt: Das tracking-System sollte etwa doppelt so schnell sein, wie die Repetitionsrate des Lasers
- Selbst damit sind Fehlplatzierungen einzelner Laserschüsse nicht ausgeschlossen sondern werden „nur“ minimiert

Geschwindigkeit: Beispiel

- Parameter:
 - Latenzzeit des Trackers: 1,8 ms
 - Bildfrequenz des Trackers: 1050 Hz
 - Positionierungszeit des Scanners: <1 ms
 - Laser Repetitionsfrequenz: 500 Hz
 - Laser Auslöseverzögerung: 150 μ s
- Dies resultiert in einer Platzierungs-genauigkeit von $\pm 200 \mu$ m (Spot \varnothing = 500 μ)

Daten für den Amaris-Laser mit Dank an Fa. Schwind

Pupillenmitte Projektions-/Winkel-Fehler

- Problemstellung: Erkannte Bewegung unterm Laser aufgrund von Verschiebung oder Augendrehbewegung?
- Technische Lösung: Drehungen (Verkippen) können mittels zwei Kameras prinzipiell erkannt werden. Jedoch aufgrund der veränderlichen Pupille und der notwendigen Genauigkeit technisch noch nicht umsetzbar

Pupillenmitte Projektions-/Winkel-Fehler

Lösungsansatz mit Pupillentracking:

- Einfaches Augenmodell, wonach z.B. 50% (oder 100%) der Verschiebung durch Drehung passiert.
- Risiko: Verschiebung könnte dominieren => Verdoppelung des Fehlers

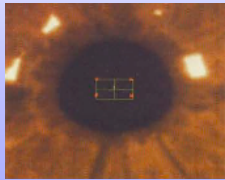
Pupillenmitte Projektions-/Winkel-Fehler Fehlerabschätzung

- Möglicher Fehler 1: Drehung fälschlich als Verschiebung interpretiert
- Möglicher Fehler 2: Verschiebung fälschlich als Drehung interpretiert

Augendrehung [Winkelminuten]	möglicher Fehler [μ m]	x-y Verschiebung [mm]	möglicher Fehler [μ m]
10	9	0	0
20	18	0.1	29
30	27	0.2	58
40	35	0.3	87
50	44	0.4	116
60	53	0.5	145

Zyklorotations-Tracking

- Iris-Struktur basiert
 - Statisch und dynamisch: B&L, Nidek, Schwind
 - Statisch: VisX, Zeiss, Wavelight
- Limbus-Struktur basiert
 - CustomVis
- „Neuro-track“ (Wavelight)



Zyklorotationstracking technische Besonderheiten

- Plattformabhängig in der Diagnostik: Präoperative Daten aus Diagnostikstation müssen mit Lasergerät kompatibel sein.
- Erkennbarkeit der Irisstrukturen bei aufgeklappter Lamelle
- Kameraauflösung
 - Insbes. auch bei Limbusstrukturen

Neueste Tracker-Technologie: Zusammenfassung

- Moderne refraktive Laserchirurgie ohne eye-tracking ist nicht mehr denkbar.
- Die heute erreichbare Geschwindigkeit des gesamten Regelkreises ermöglicht eine Positionierungsgenauigkeit, die sehr gute Genauigkeiten der Korrektur ermöglicht.
- Zyklorotationstracking ist relevant und wird zunehmend verfügbar. Es dürfte sich zum Standard entwickeln.

Neueste Tracker-Technologie: Ausblick

- Wie weit kann, wie weit sollte die Entwicklung weiter getrieben werden? Was ist noch resultat-relevant?
- Wie trennt man ausrichtungs-abhängige Resultateinflüsse von den zahlreichen sonstigen ab?
- Wie kann der Augenarzt noch eine rational basierte Auswahl unter den technischen Optionen treffen?

