

BAuA-Projekt F 2310

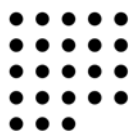
Untersuchungsergebnisse zum Pupillenreflex

Dipl.-Ing. Dirk Beckmann, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Reidenbach

Fachhochschule Köln

Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung



- Kurze Einführung – Bisheriger Kenntnisstand und Ausgangssituation
- Durchgeführte Untersuchungen
- Ergebnisse

■ Teilprojektziel:

**Zeitlicher Verlauf des Pupillenreflexes bei
Blendung unter Dämmerungsbedingungen
- Latenzzeit**

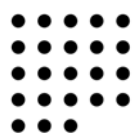


■ Es gibt zwei wesentliche Publikationen

- Stamper, D. A. et al.: Human pupil and eyelid response to intense laser light: implications for protection; *Perceptual and Motor Skills*, 2002, 95, 775-782
- Nakagawara, V. B. et al.: The Effects of Laser Illumination on Operational and Visual Performance of Pilots During Final Approach; DOT/FAA/AM-04/9, June 2004



Summary.-Natural ocular protective measures induced by laser glare at **514 nm** were evaluated concomitant with the performance of a tracking task. Light-induced eyelid and pupil responses of **5 volunteers, 1 woman and 4 men**, ages 23 to 60 years, were recorded as they tracked a target moving at 0.3 °/sec. with an optical sight. Frame-by-frame analysis of video images of the eye allowed assessment of the eyelid response (squint and blink) and **measurement of the pupil diameter**. Three laser exposure durations (**0.1, 1.0, and 3.0 sec.**) were used during bright and dim ambient light conditions. **All laser exposure trials produced a pupillary constriction with a latency, i.e., the time from the onset of the laser exposure until the pupil began to constrict, of approximately 100 msec.** In a representative 3-sec. exposure, the total intraocular energy was reduced by 69% as the pupil diameter decreased from 6.0 to 2.5 mm. For the 0.1-sec. exposures at 1.6 mW/cm², **a blink reflex was observed on 2 of 10 trials under the dim ambient conditions and not observed on 9 trials under bright conditions.** For 1- and 3-sec. exposures at 0.33 mW/cm², a blink reflex was observed on four (3 bright and 1 dim) of the 38 trials. **For conditions evaluated, pupillary constriction was consistent and provided some protection when the exposure duration exceeded the pupillary latency period;** however, a blink reflex was observed on only a limited number of trials, possibly due to the exposure dose, the small retinal irradiance diameter produced by the laser exposure, and the volunteers' attention to the demanding performance task.



■ Aus Stamper, D. A. et al.(2002):

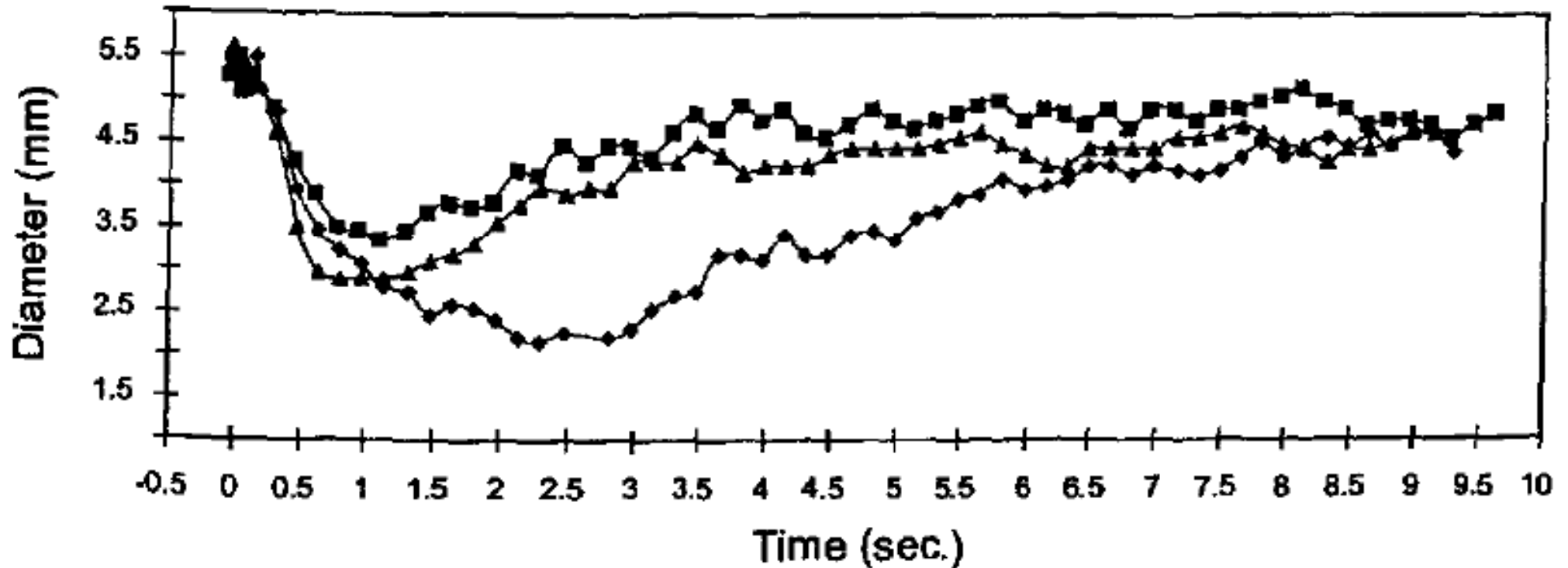


FIG. 1. Pupil diameter changes follow flash for one volunteer in bright light: 0.1 sec. (■), 1.0 sec. (▲), and 3.0 sec. (◆)

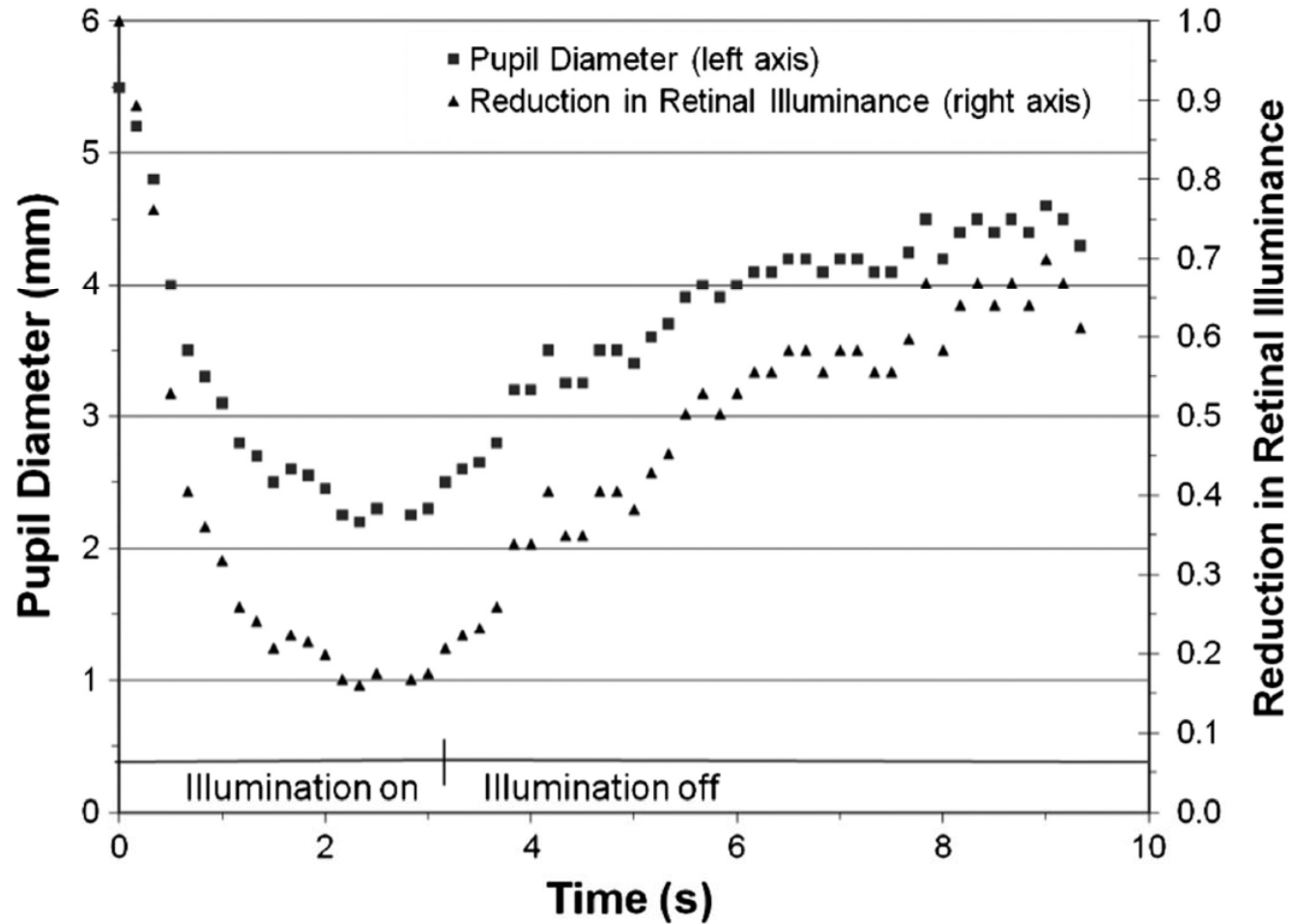
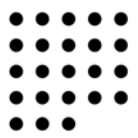
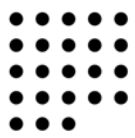


Fig. 4. Dynamics of the pupillary constriction and reopening (squares-left axis) after a 3-s exposure to a bright light and the reduction of the retinal illuminance due to pupil diameter change (triangles-right axis). The initial pupil diameter was 5.5 mm. Adapted from Stamper et al. (2002)

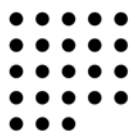


- Warum das Thema überhaupt?
- Zur Erinnerung: Erst war's der Lidschlussreflex
 - Als der sich nicht zeigte
- waren's die Abwendungsreaktionen
 - Als die's dann auch nicht waren, da musste etwas anderes herhalten:

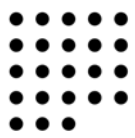
■ Der Pupillenreflex



- “Since it is the pupillary response that overcomes the further temperature rise within the 0.25 s, I would spend a few sentences on the subject in a scientific publication, since it is not truly a case of stopping the exposure always, but I guess the wording could be improved as you suggest.” (Zitat aus E-Mail D.H. S, 3.10.2010)
- „ ... With all due respect, this jump to the aversion response is absolutely a total misunderstanding of the aversion response **which rests on the 0.25 fraction of pupillary closure** and NOT THE "BLINK REFLEX" as it is described in some German documents.” (Zitat aus E-Mail D.H. S., 8.10.2010)
- Bedarf dies noch eines Kommentars?

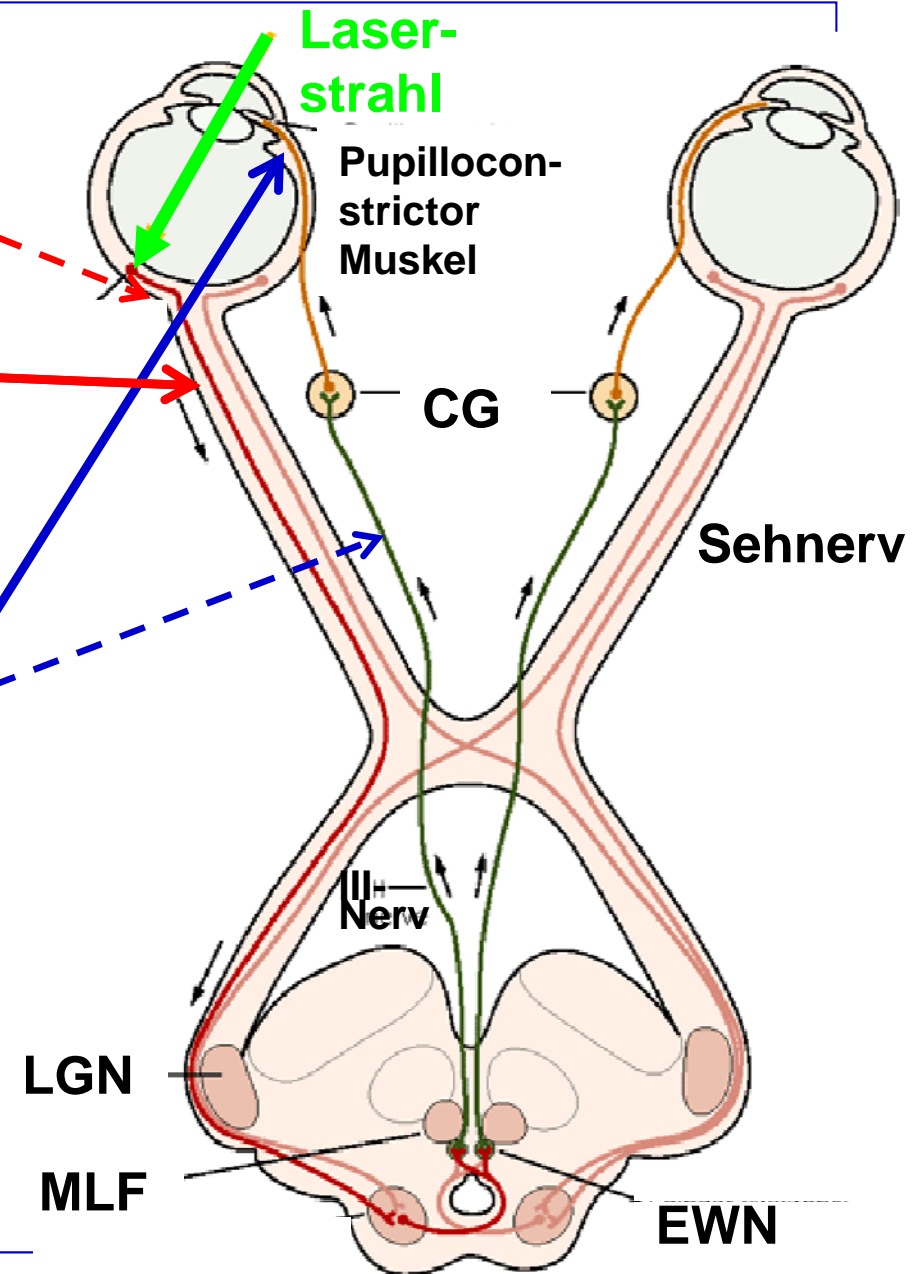


- Bisher lagen zwar schon einige Erkenntnisse zum Pupillenreflex vor
 - bei IOS aus früheren Jahren
 - bei Laserstrahlung aus den Untersuchungen von Stamper et al.,
 - ❖ allerdings nur bei einer Wellenlänge (514,5nm)
- Teilziele waren daher:
 - Pupillenreflex bei Dunkeladaptation
 - Pupillenreflex bei verschiedenen Wellenlängen
 - ❖ Insbesondere bei 405 nm, 445 nm, 532 nm, 635 nm, 670 nm
 - Schwelle des Pupillenreflexes
 - Funktionale Zusammenhänge



■ Einfallendes Licht:

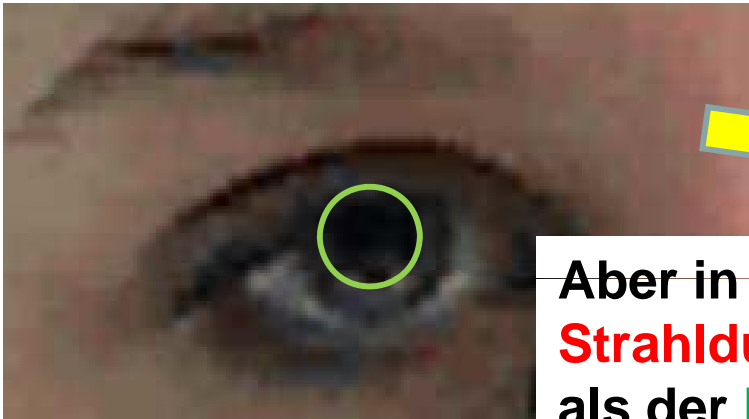
- Afferenter Zweig (sensorisch):
Photoempfindliche Nervenzellen zum retinohypothalamischen Trakt (RHT), Teil des Sehnervs
- Weiterer Zweig geht von den fotoempfindlichen Ganglienzellen (ipRGCs) aus
- Efferenter Zweig (aktorisch):
Bewirkt über die **Pupilloconstrictor-Muskeln** das Zusammenziehen der Pupille



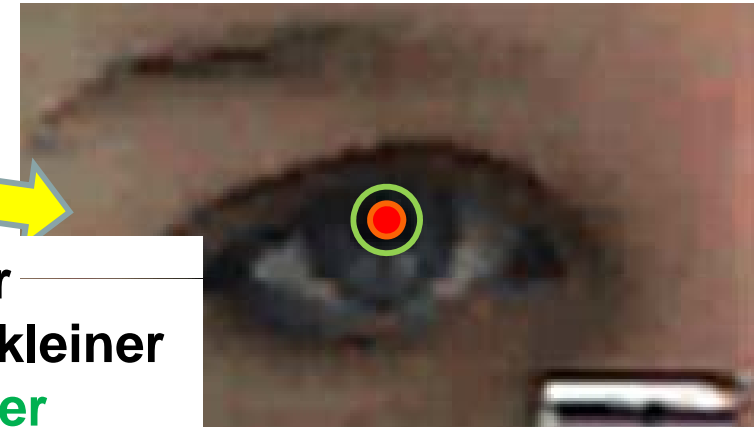


Pupillenreflex – ein Beispiel

$t = 0 \text{ s}$



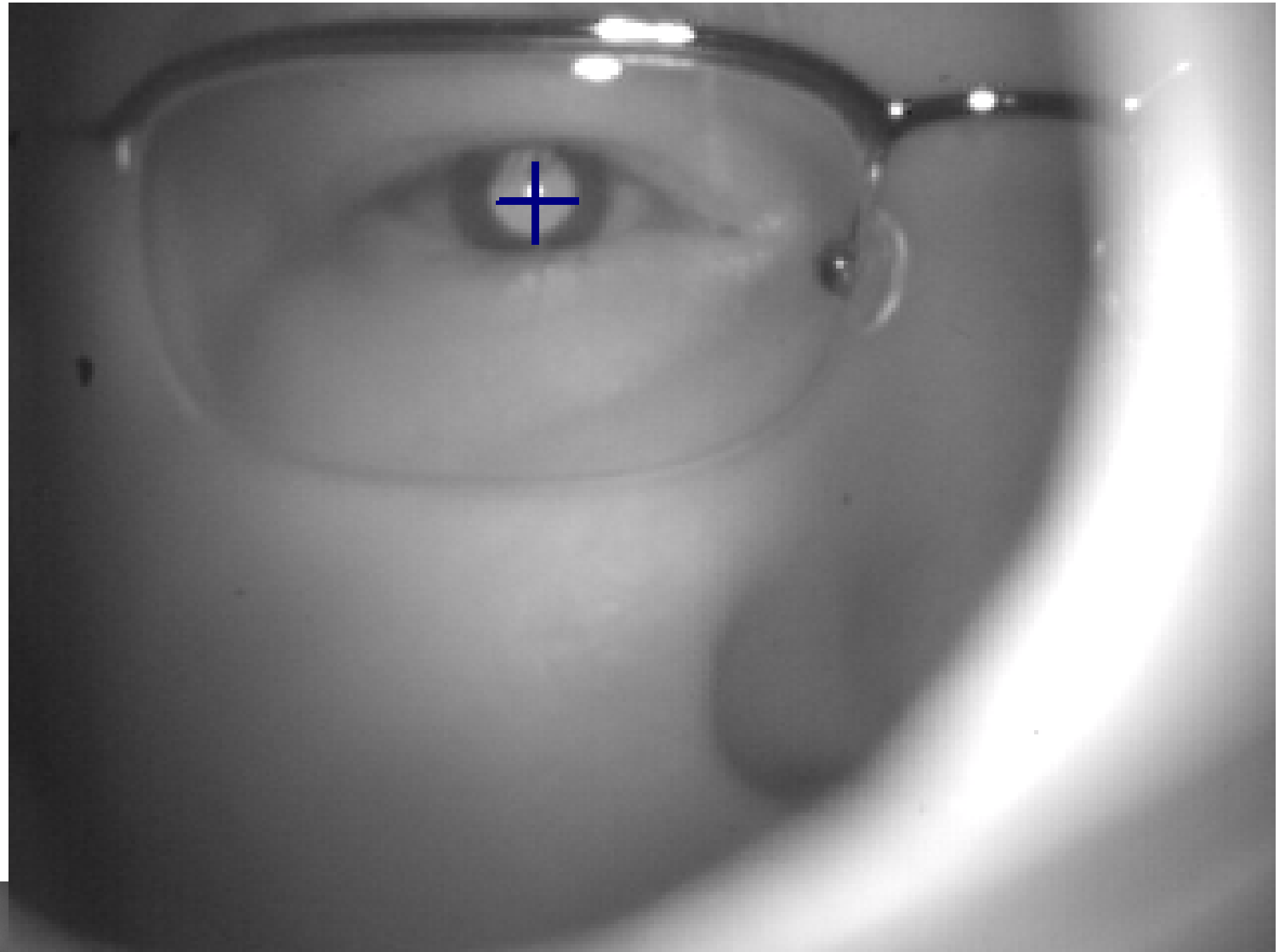
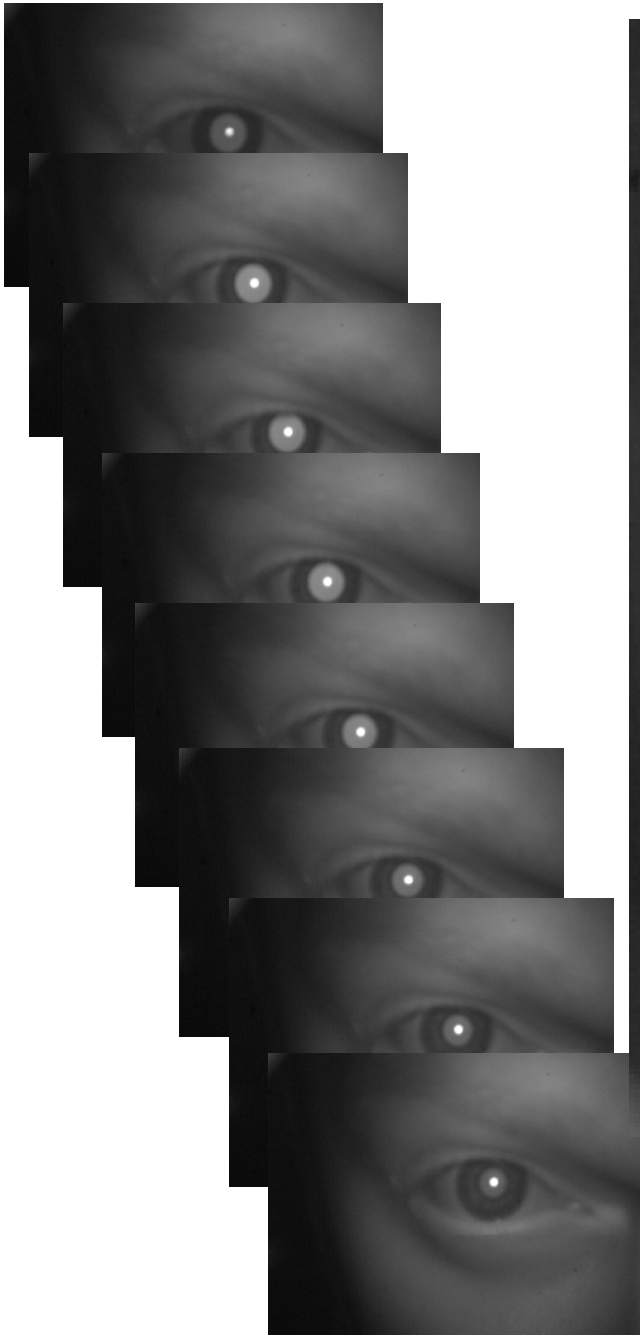
$t \approx \text{„}1+\text{“ s}$



Aber in diesem Fall war der **Strahldurchmesser** immer kleiner als der **Pupillendurchmesser**



Pupillenreflex und dessen Dynamik

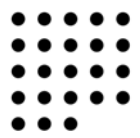




- In einigen Sicherheitsfestlegungen beruht die Abwendungsreaktion auf **dem 0,25 s-Anteil des Pupillenreflexes**
- Wenn dies zutrifft, dann ist dies nur für große Strahldurchmesser von Bedeutung, d. h.
 $d_{\text{Strahl}} > d_{\text{Pupille}}(t)$, also z. B.:
 - In entsprechender Entfernung zur Laserstrahlquelle oder
 - In Falle einer Exposition durch eine ausgedehnte Quelle wie eine LED oder ein Array
- Wirkung ist nicht so wichtig für kleine Strahldurchmesser oder bei geringem Abstand zur Strahlquelle



- Blitz erzeugt nur einen phasischen Anteil des Pupillenreflexes, d. h.
 - Schnelle und starke Reaktion auf eine Stimulation
- Längere Exposition führt zu einer tonischen Pupillenreaktion
 - Bemerkenswerte und verlängerte Muskelkontraktion



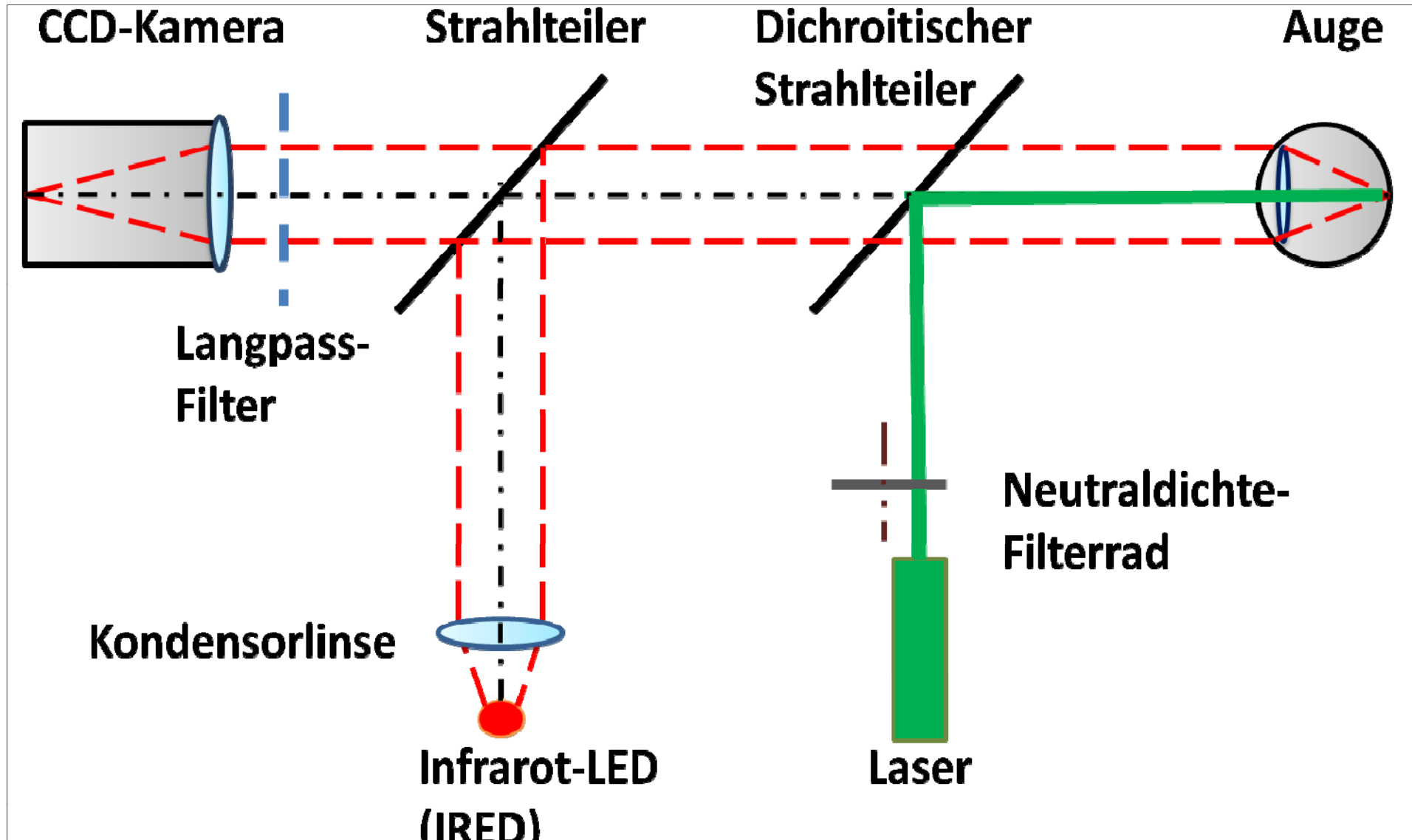
■ Fortsetzung – Teil 2



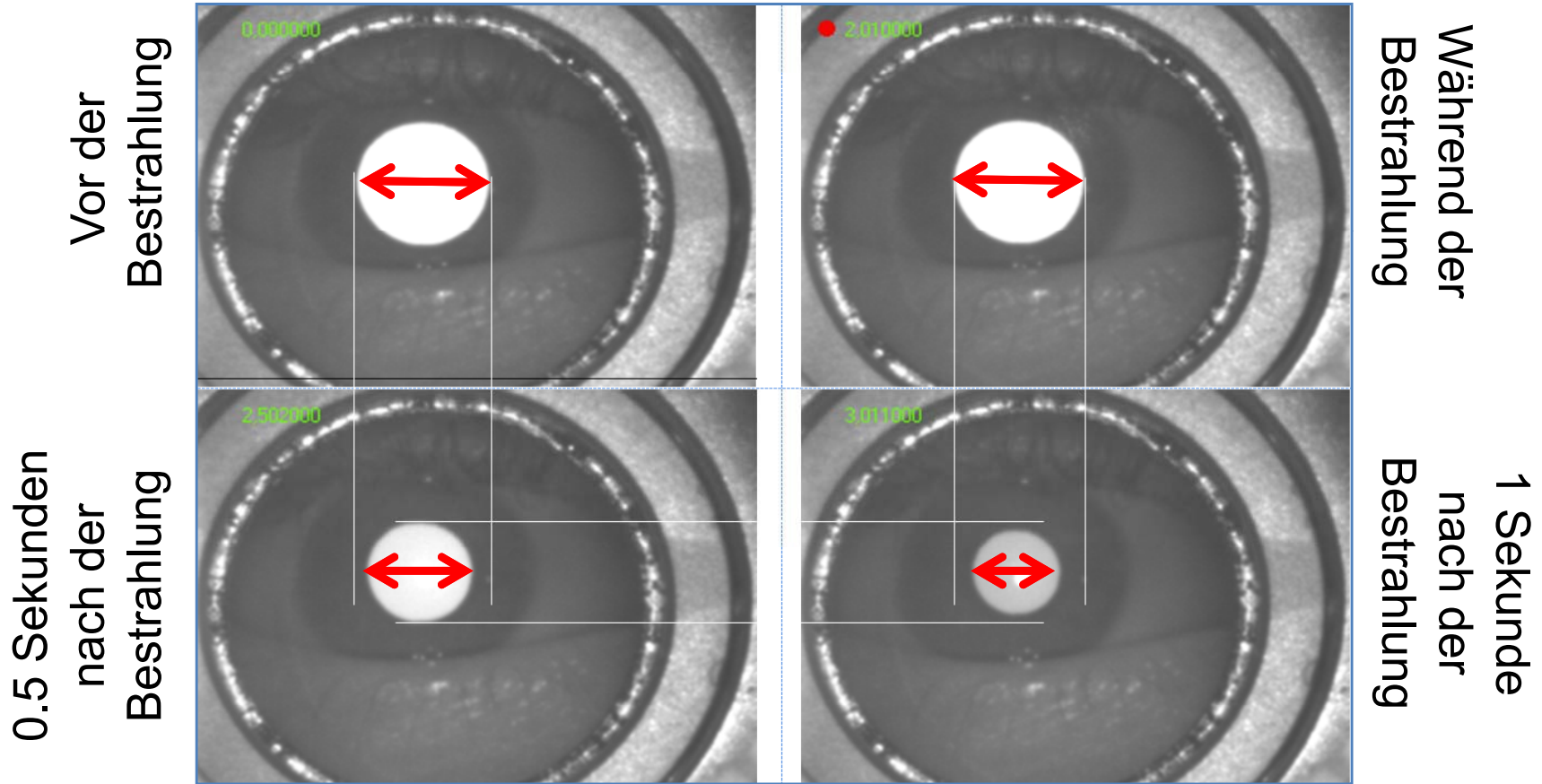
Infrarot Pupillographie

- Bestrahlung des Auges mit Infrarotstrahlung
- Strahlung wird von der Netzhaut reflektiert
- Videoaufzeichnung mittels einer CCD Kamera
 - 120 Bildern pro Sekunde
 - 240 x 360 Pixel
- Auswertung des Videos mittels Algorithmen der Bildverarbeitung

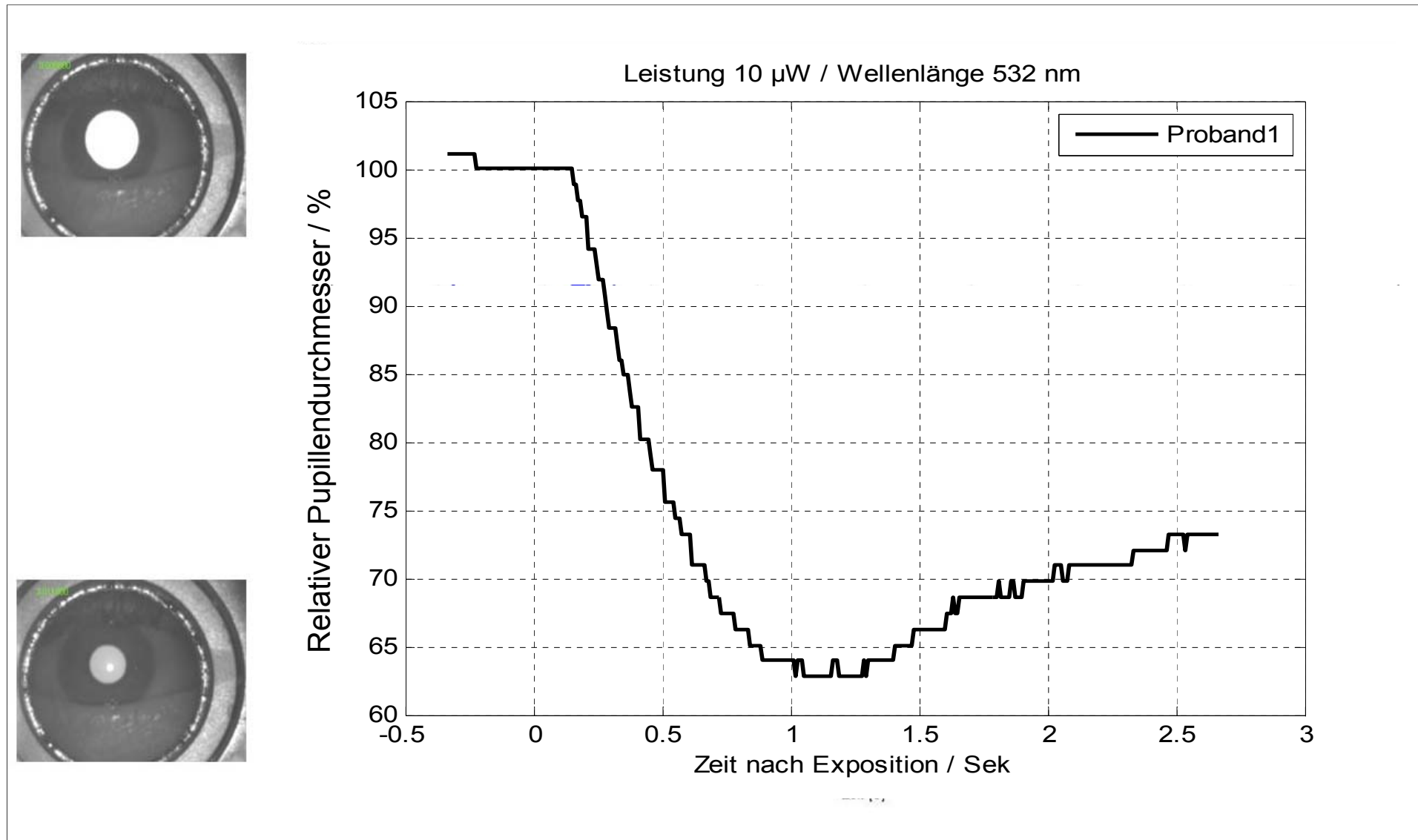
Aufbau



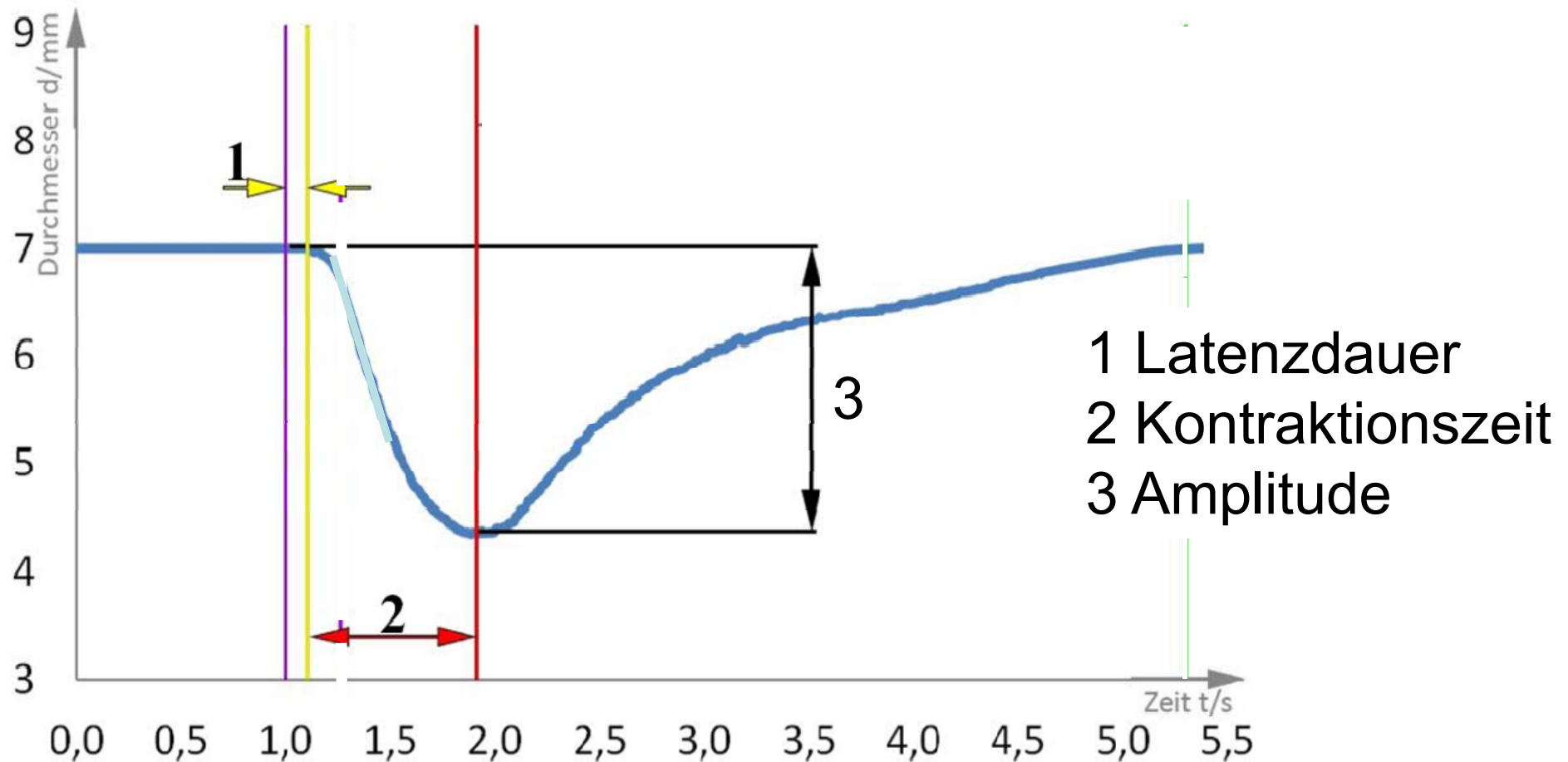
Beispiel Bilder

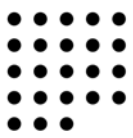


Beispiel Graph



Darstellung der einzelnen Parameter





Probanden

■ Insgesamt 6 Probanden

- Alter von 26 bis 70 Jahre
- Geschlecht 4 männlich 2 weiblich
- Augenfarben unterschiedlich
- Sehkorrekturen wurden nicht verwendet

■ 5 Wellenlängen

- 405nm 445nm 532nm 635nm 670nm

■ Leistung

- 0.1 nW, 1 nW, 10 nW, 100 nW, 1 μ W, 10 μ W, 100 μ W

■ Bestrahlungsdauer

- 100 ms

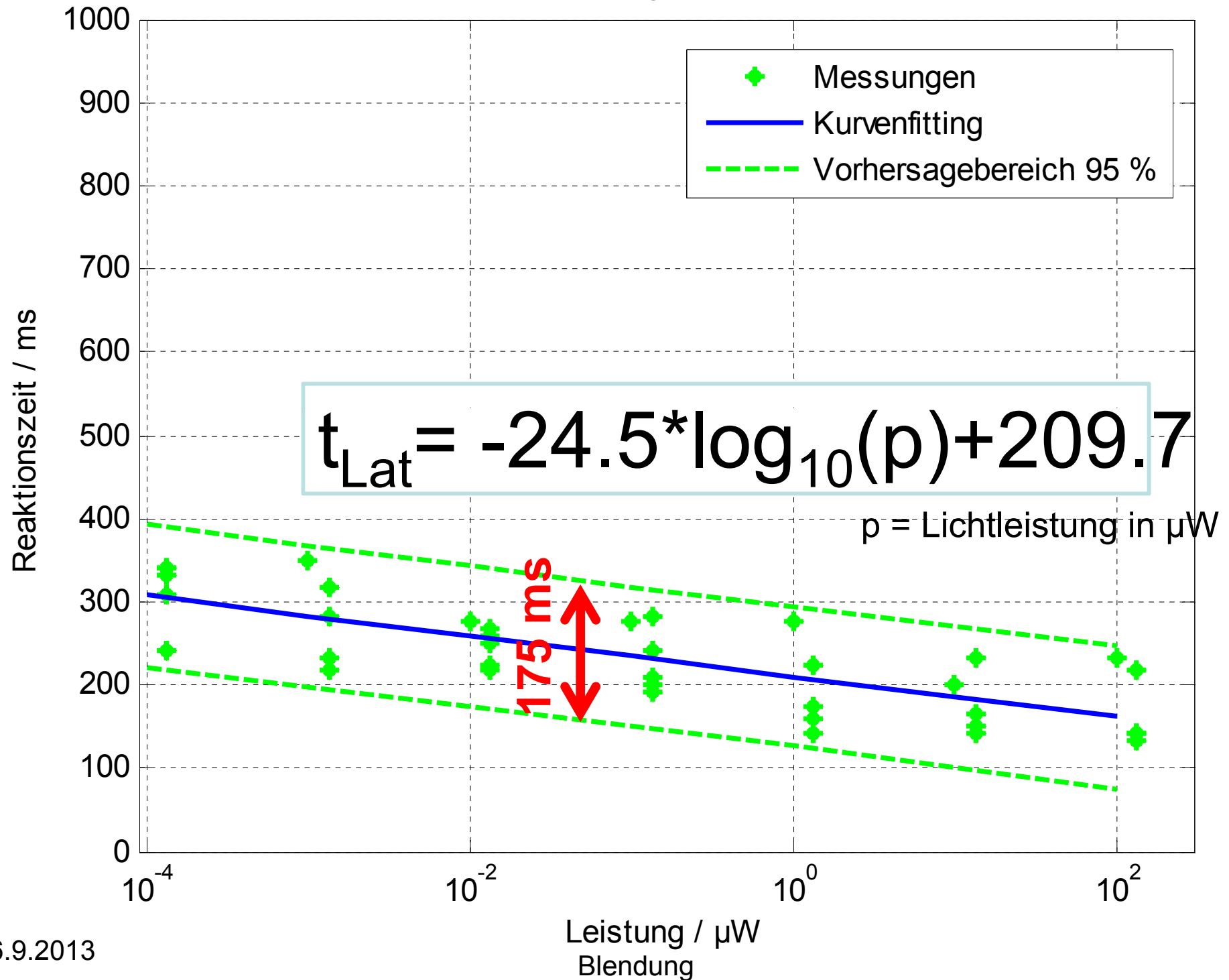
■ 10 Minuten Dunkeladaptationszeit



Latenzdauer

Bei 532 nm

Wellenlänge = 532 nm





Latenzdauer

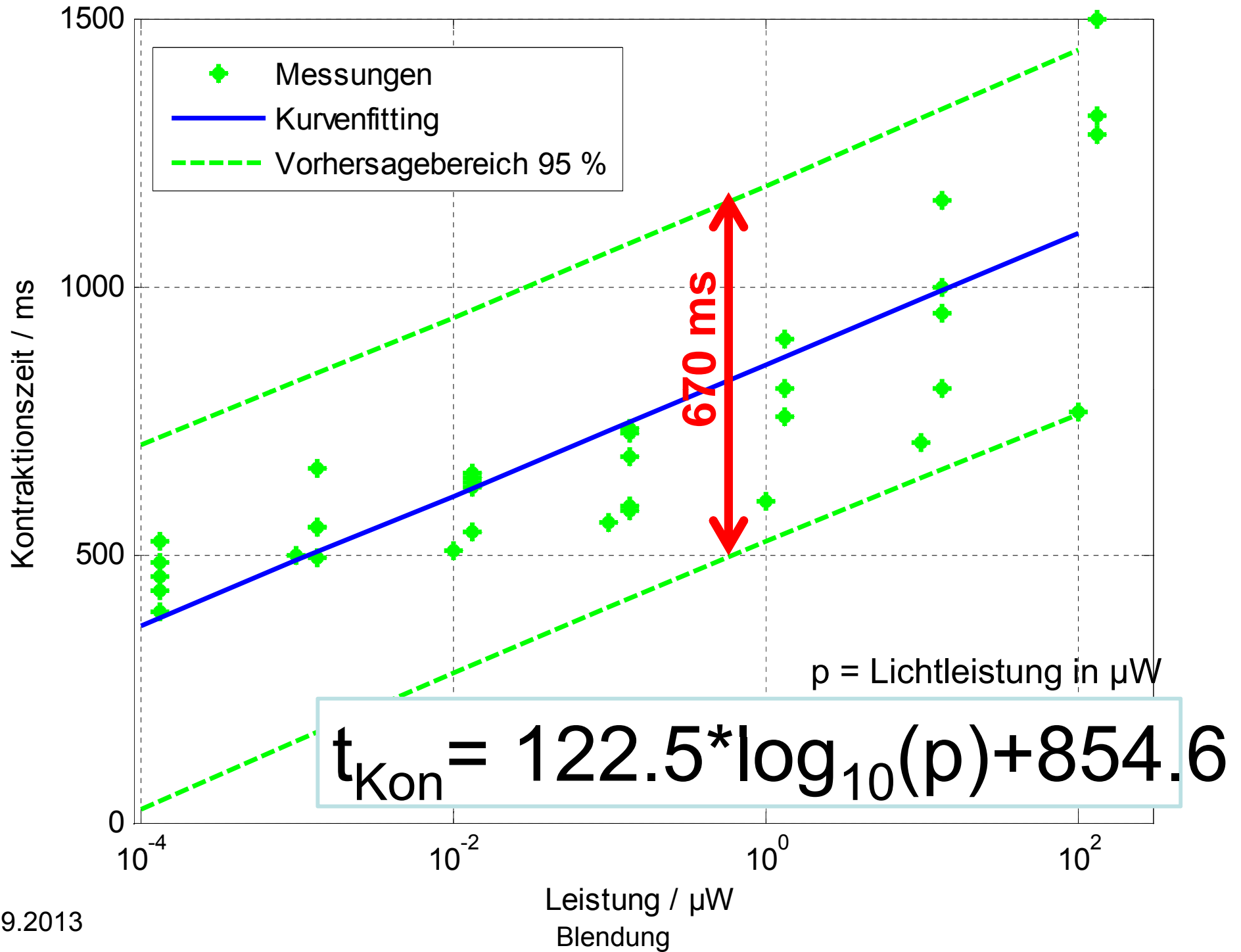
- Latenzdauer bei 532 nm
 - Bei 0.1 nW 306 ms
 - Bei 1 μ W 210 ms
 - Bei 100 μ W 162 ms
- Pro 10er Dekade nimmt die Latenzdauer
24 ms ab
- Breite des Vertrauensbereich ca 175 ms

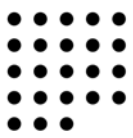


Kontraktionszeit

Bei 532 nm

Wellenlänge = 532 nm





Kontraktionszeit

■ Kontraktionszeit bei 532 nm

- Bei 0.1 nW 364 ms
- Bei 1 μ W 854 ms
- Bei 100 μ W 1.099 ms

■ Pro 10er Dekade ein Anstieg um 122.5 ms

■ Breite des Vertrauensbereichs ca. 670 ms



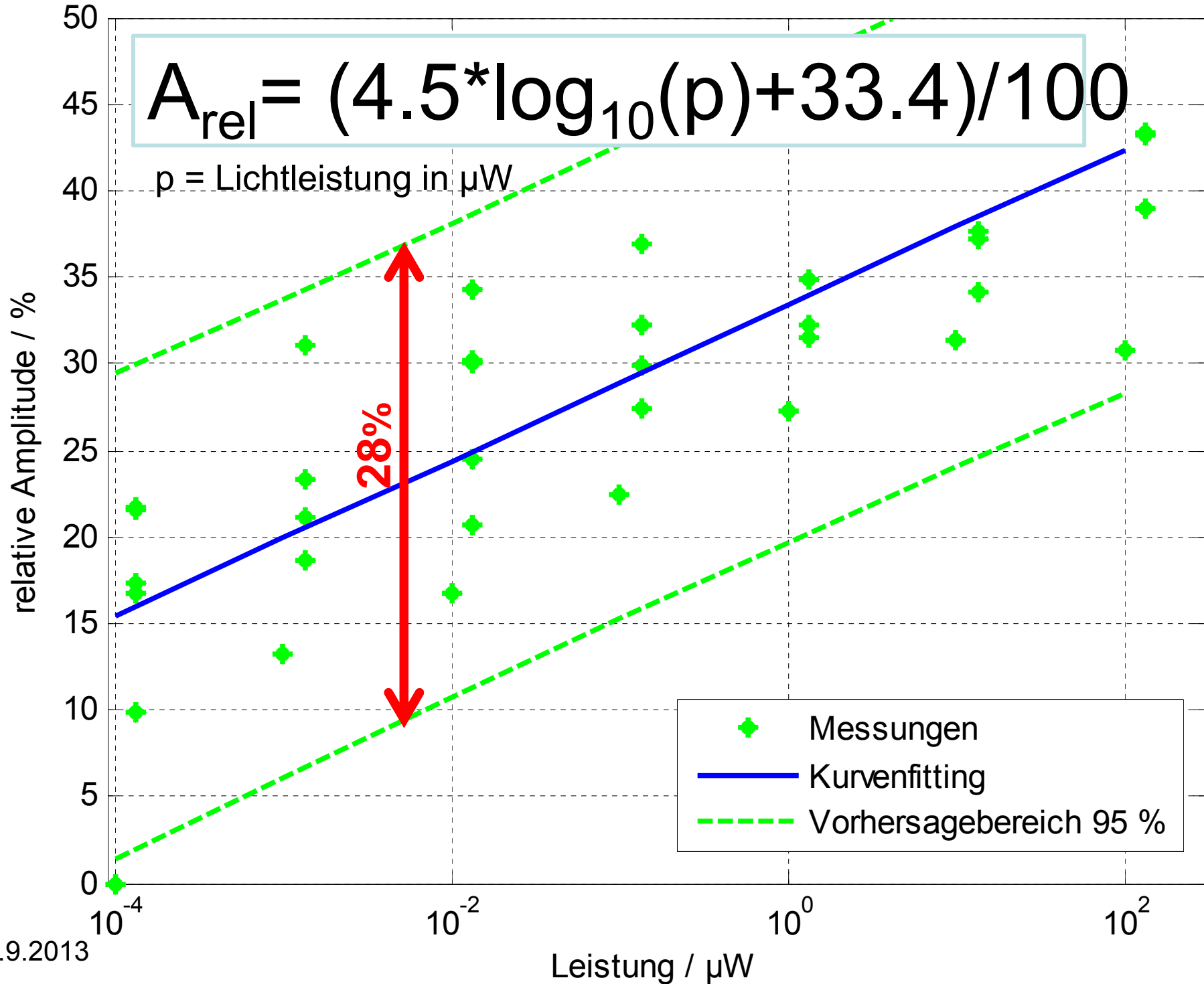
Amplitude

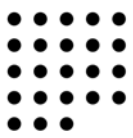
Bei 532 nm

Wellenlänge = 532 nm

$$A_{\text{rel}} = (4.5 \cdot \log_{10}(p) + 33.4) / 100$$

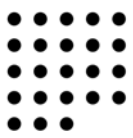
p = Lichtleistung in μW





Relative Amplitude

- Verkleinerung des Pupillendurchmesser bei 532 nm
 - Bei 0.1 nW 15 %
 - Bei 1 μ W 33 %
 - Bei 100 μ W 42 %
- Pro 10er Dekade ein Anstieg um 4.5 %
- Breite des Vertrauensbereichs ca. 28 %

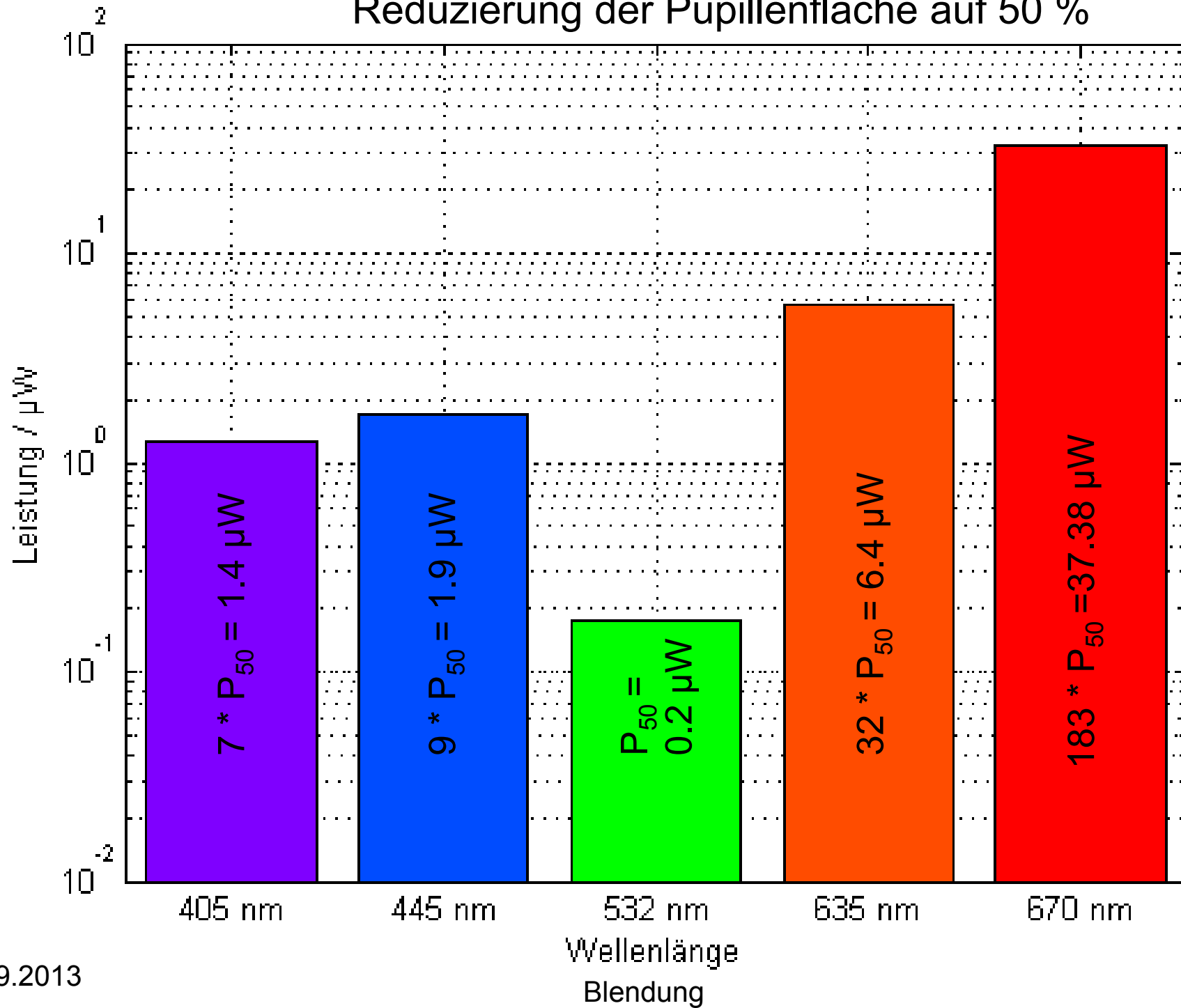


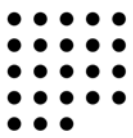
Wellenlängenabhängigkeit

■ Messungen bei 5 Wellenlängen

- Reflex ist am stärksten bei Grün
- Pupillenreflex ist stärker bei 405 nm, 445 nm wie bei 635 nm, 670 nm
- CIE $v(\lambda)$ Empfindlichkeitskurve kann nicht als verwendet werden
- Folgendes Beispiel zeigt, wie viel Leistung nötig ist um die Pupillenfläche auf 50 % zu reduzieren.

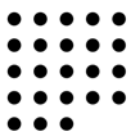
Reduzierung der Pupillenfläche auf 50 %





Individuelle Abhängigkeit

- Es gibt starke individuelle Schwankungen
 - Tageszeit und -form
 - Müdigkeit
 - Andere Farbempfindlichkeit
 - Geschlecht, Alter usw.
- Für Sicherheitsfragen müsste der schlechteste Fall betrachtet werden



Zusammenfassung

- Pupillenreflex startet frühestens nach 160 ms (bei hoher Leistung)
- Kontraktion braucht mindestens 400 ms (bei geringer Leistung)
- Kombination aus Latenz und Kontraktion selten kleiner 1 s
- Reduzierung des Pupillendurchmessers zu gering
- **Pupillenreflex bietet keinen Schutz vor Blendung**



Fragen ?