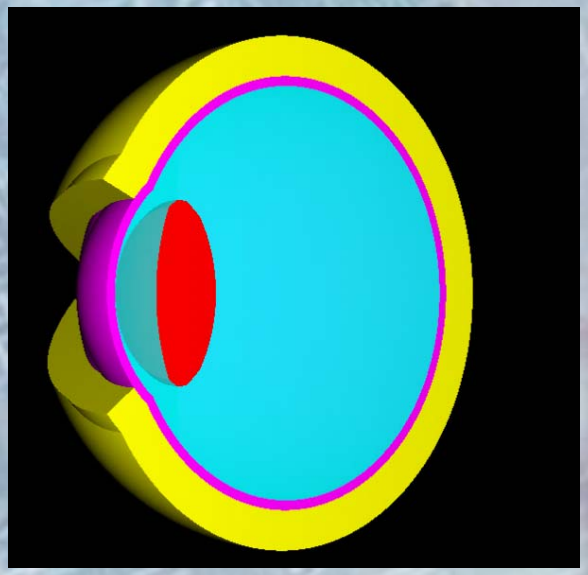
Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

INS INNOVATION MIT NORMEN UND STANDARDS



Augenlinsenexposition - Simulation

Rolf Behrens

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

PTB

Motivation

EUROPÄISCHE KOMMISSION

Brüssel, den 29.9.2011

RICHTLINIE DES RATES

zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung

- ICRP April 2011; auch im Entwurf
  Grenzwert H_{lens}: 150 mSv → 20 mSv pro Jahr
  → Schutz und Überwachung kann notwendig werden!

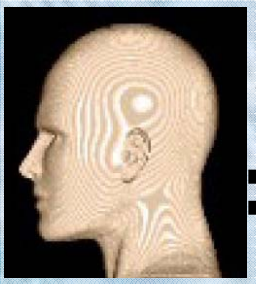
- Frage:
  Welche Messgröße bzw. Dosimeterart ist geeignet?
  $H_p(0.07)$, $H_p(3)$ oder $H_p(10)$?

  $H_p(3)$ sollte geeignet sein, ABER:
  bisher nicht verwendet,
  nur wenige Dosimeter verfügbar.

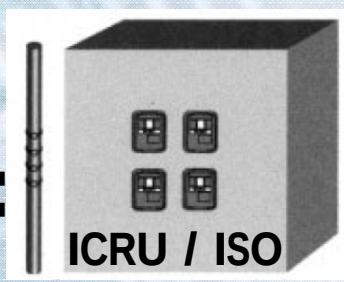
- Methode:
  Vergleiche Anzeige von idealen Dosimetern und H_{lens},
  d.h. vergleiche Konversionskoeff. für $H_p(d)$ und H_{lens}

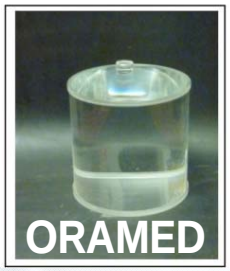
Datenbasis

Operative Größe
(Messgrößen)



?



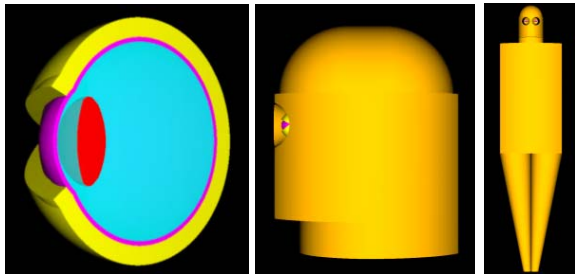


$h_{p\Phi}(d;E)$

?

Organdosis der Linse
(Schutzgrößen)

$h_{lens\Phi}(E)$



Strahlung	Messgröße	Datenbasis	Messgröße	Datenbasis
Elektronen	$H_p(0.07)_{slab}$ $H_p(3)_{slab}$ $H_p(10)_{slab}$ $H_p(3)_{cyl}$	ICRP74 + ICRU57 Ferarri and Gualdrini	H_{lens}	ICRP116 (Rev. ICRP74); Behrens
Photonen	$H_p(0.07)_{slab}$ $H_p(10)_{slab}$ $H_p(0.07)_{rod}$ $H_p(3)_{slab}$ $H_p(3)_{cyl}$	ICRP74 + ICRU57 Grosswendt Till et al. Vanhavere et al.	H_{lens}	ICRP116 (Rev. ICRP74); Behrens and Dietze

Datenbasis

Organdosis der Linse

PHYS. MED. BIOL., 1975, VOL. 20, NO. 2, 202–218. © 1975

Dimensions of the Human Eye Relevant to Radiation Protection

M. W. CHARLES, PH.D.

Central Electricity Generating Board, Berkeley Nuclear Laboratories, Berkeley, Gloucestershire

and

NICHOLAS BROWN, F.R.C.S.

Institute of Ophthalmology, Judd Street, London

Datenbasis

Organdosis der Linse

M. W. CHARLES
and
NICHOLAS BROWN

Biologie

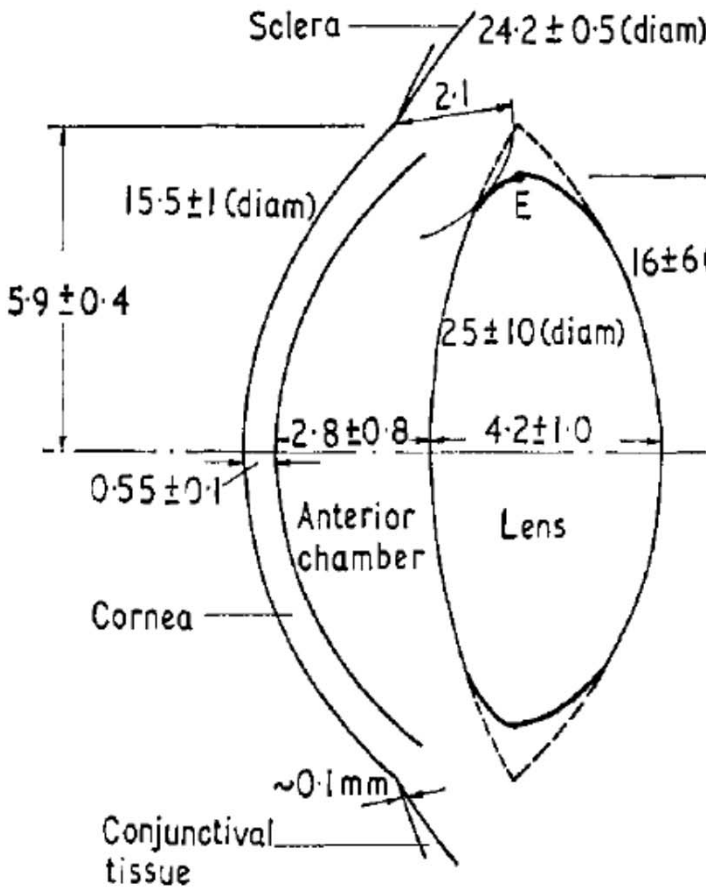
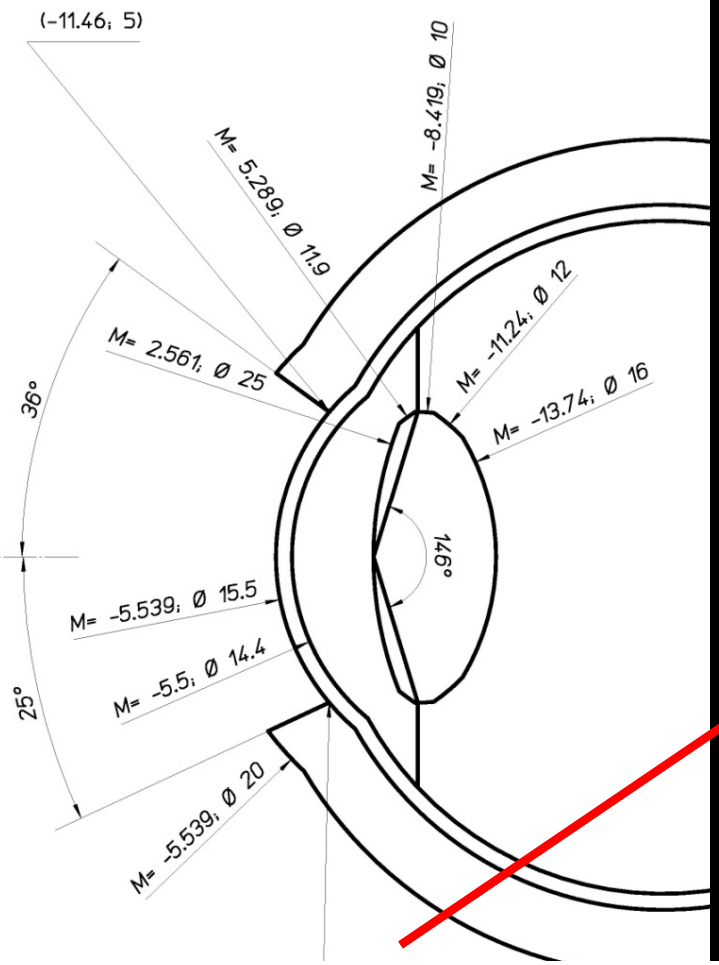
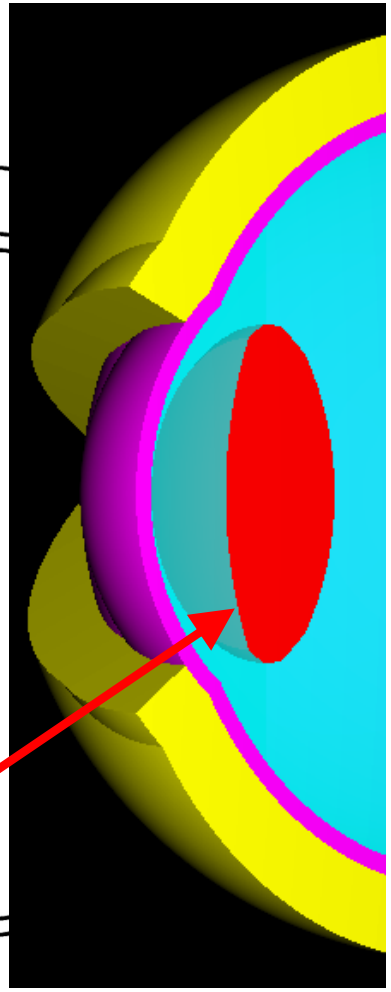


Fig. 8. Mean ocular dimensions for the unaccomm
represent the limits found in a normal adult

Simulation





Gesamte Linse: *ICRP Standard*

Datenbasis

Organdosis der Linse

M. W. CHARLES
and
NICHOLAS BROWN

Biologie

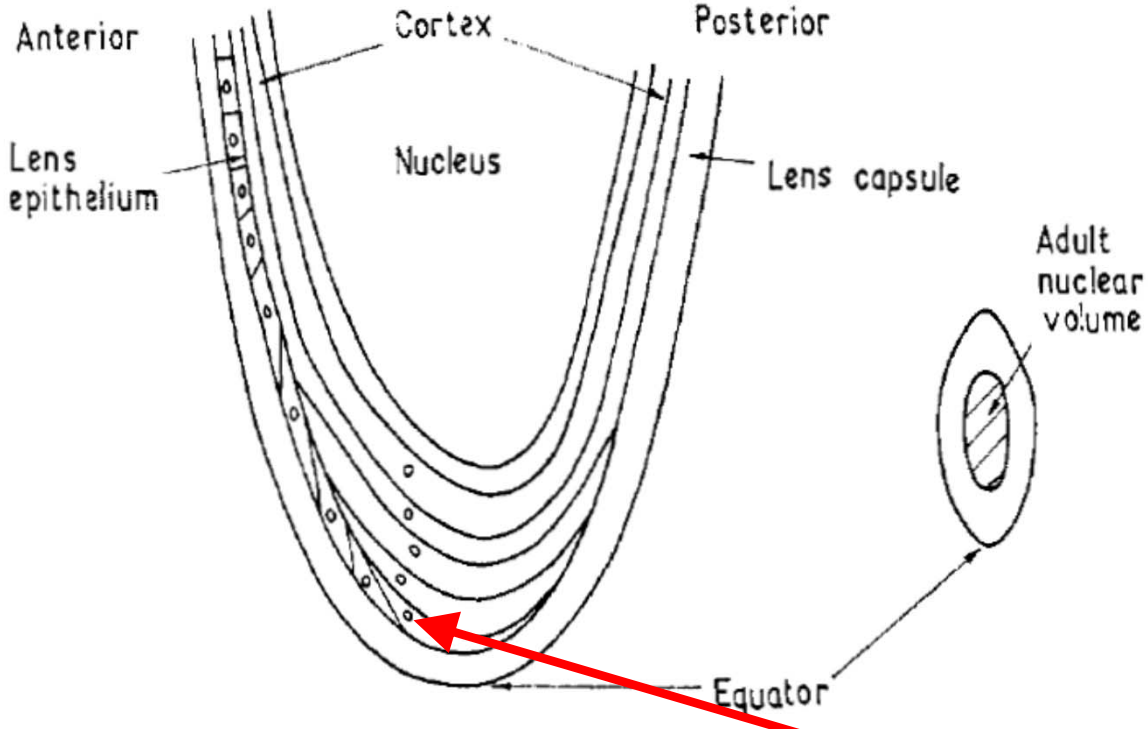
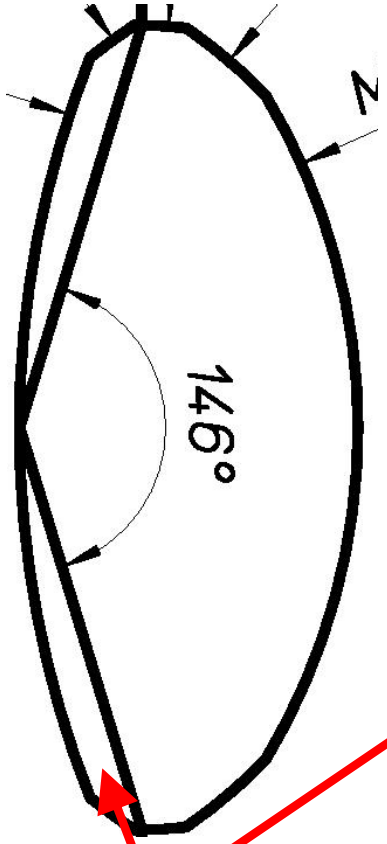
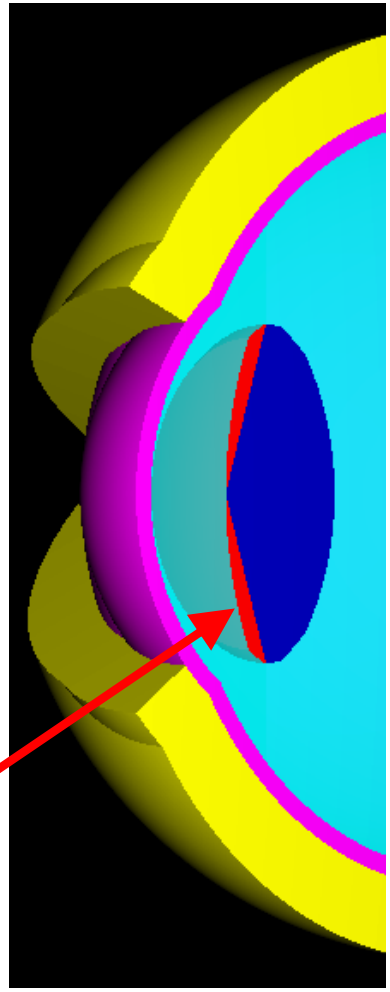


Fig. 2. Transverse section of the lens.

Simulation





R. Behrens et al. in Phys. Med. Biol. (PMB):
PMB 54 (2009) 4069 + PMB 55 (2010) 3937,
PMB 56 (2011) 415 und PMB 57 (2012) eingereicht

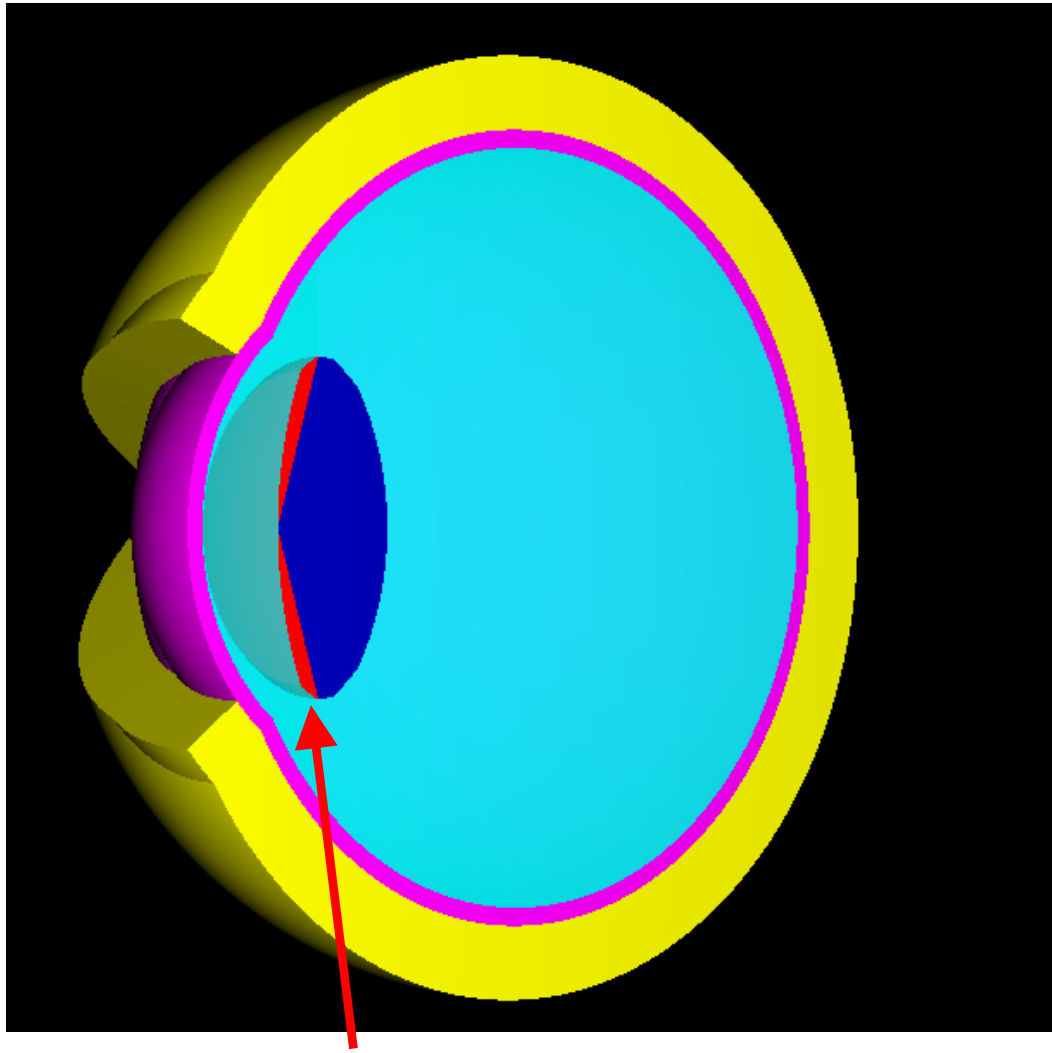
Empfindl. Teil: *In ICRP Diskussion*

Datenbasis

Organdosis der Linse

Umsetzung im Simulationsprogramm EGSnrc:

- **Mathematisches Modell**
- **Kleine Volumina möglich**
- **Keine Probleme mit endlich großen Voxeln**



Relevantes Volumen

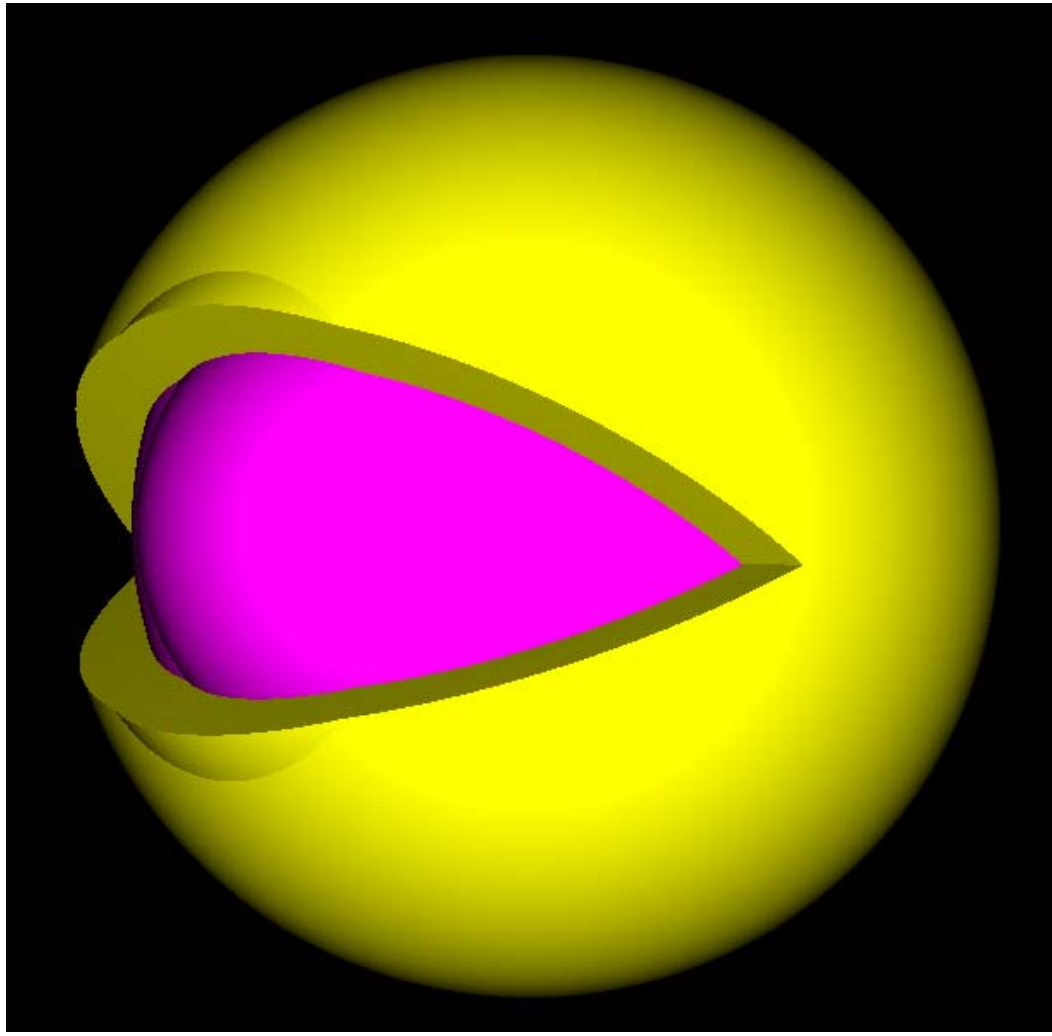
R. Behrens et al. in Phys. Med. Biol. (PMB):
PMB 54 (2009) 4069 + PMB 55 (2010) 3937,
PMB 56 (2011) 415 und PMB 57 (2012) eingereicht

Datenbasis

Organdosis der Linse

Umsetzung im Simulationsprogramm EGSnrc:

- **Mathematisches Modell**
- **Kleine Volumina möglich**
- **Keine Probleme mit endlich großen Voxeln**



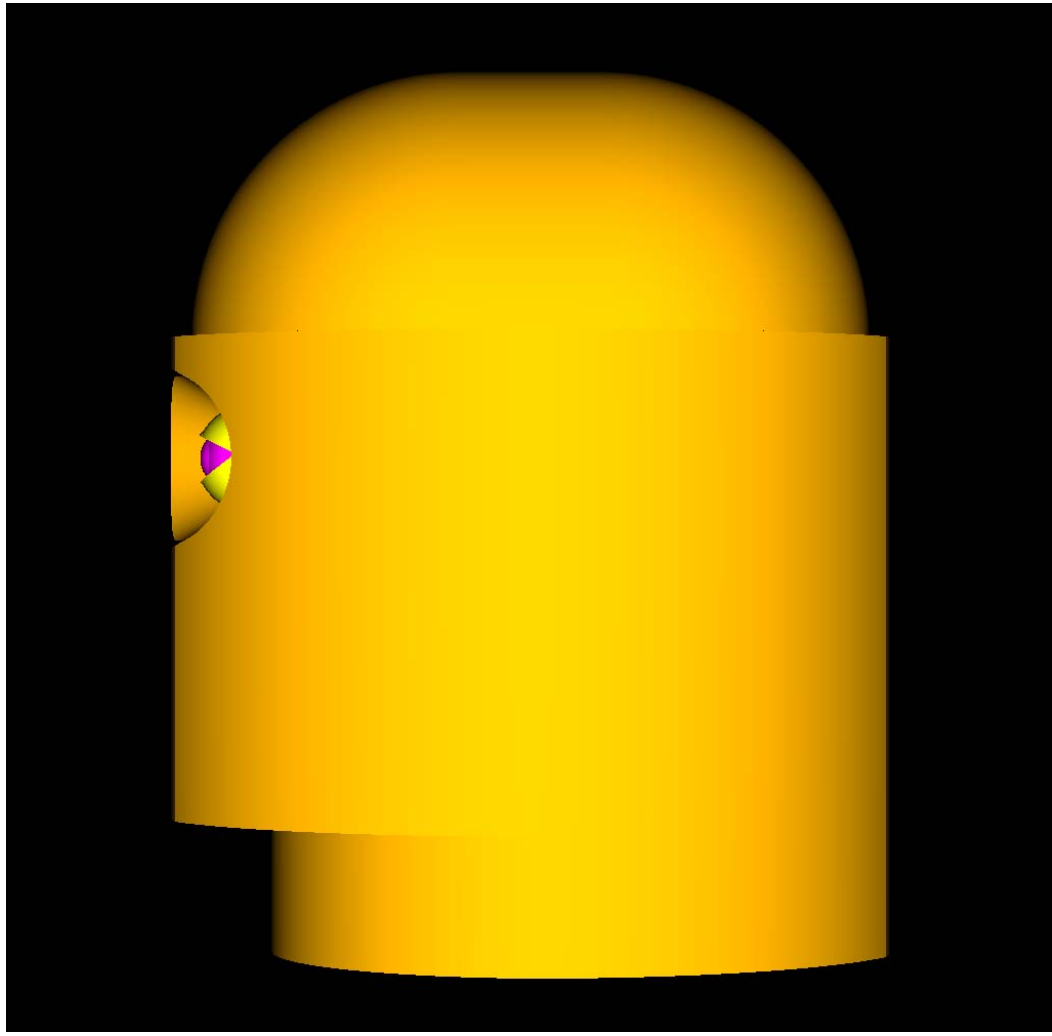
R. Behrens et al. in Phys. Med. Biol. (PMB):
PMB 54 (2009) 4069 + PMB 55 (2010) 3937,
PMB 56 (2011) 415 und PMB 57 (2012) eingereicht

Datenbasis

Organdosis der Linse

Umsetzung im Simulationsprogramm EGSnrc:

- **Mathematisches Modell**
- **Kleine Volumina möglich**
- **Keine Probleme mit endlich großen Voxeln**
- **Zwei Augen in Kopfphantom implementiert**



R. Behrens et al. in Phys. Med. Biol. (PMB):
PMB 54 (2009) 4069 + PMB 55 (2010) 3937,
PMB 56 (2011) 415 und PMB 57 (2012) eingereicht

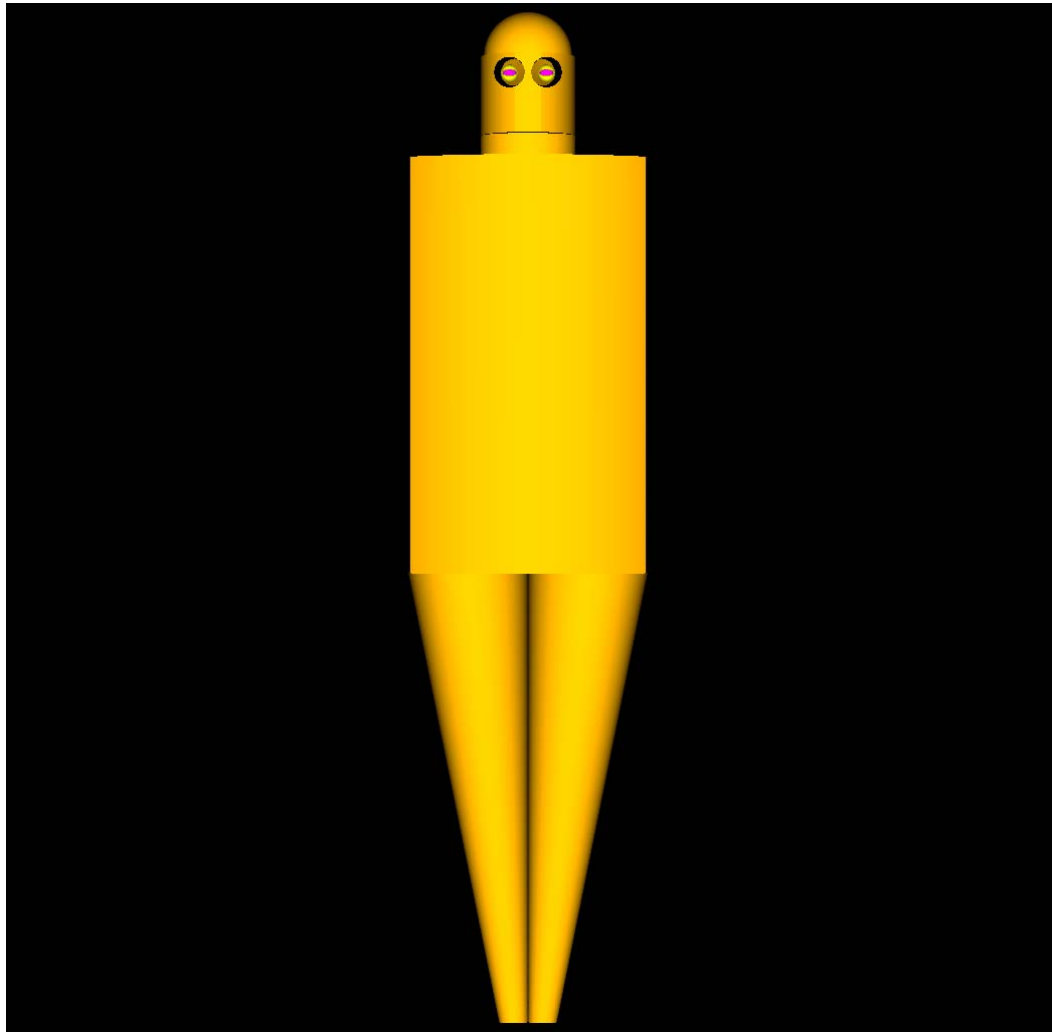
Datenbasis

Organdosis der Linse

Umsetzung im Simulationsprogramm EGSnrc:

- **Mathematisches Modell**
- **Kleine Volumina möglich**
- **Keine Probleme mit endlich großen Voxeln**
- **Zwei Augen in Kopf-bzw. Körperphantom implement.**

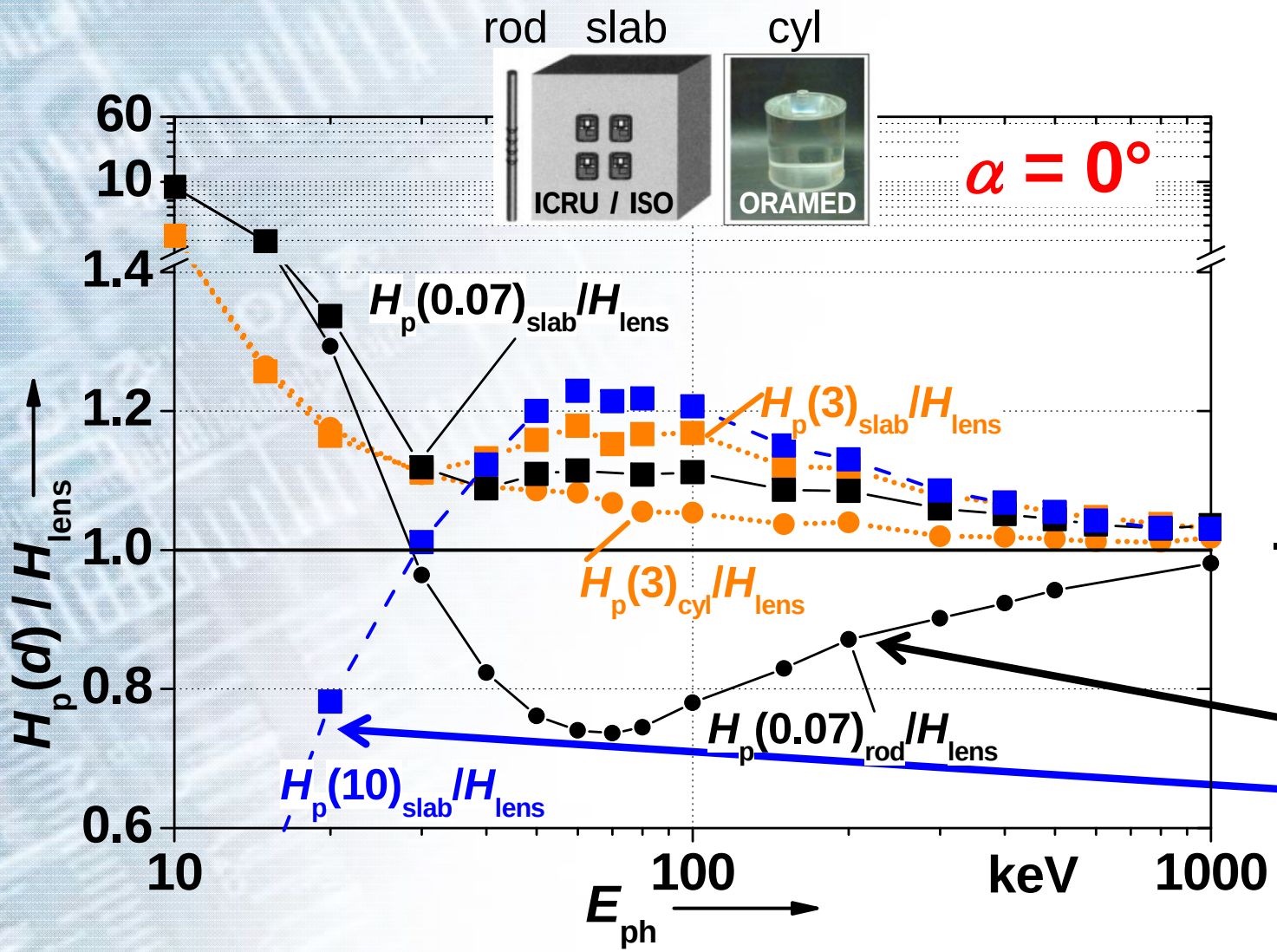
➔ Korrekte Berechnung von $H_{\mathbf{lens}}$

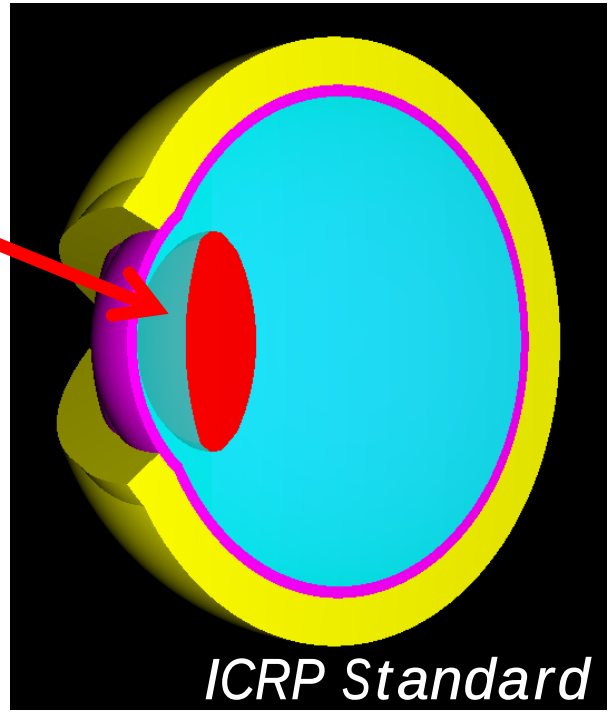


R. Behrens et al. in Phys. Med. Biol. (PMB):
PMB 54 (2009) 4069 + PMB 55 (2010) 3937,
PMB 56 (2011) 415 und PMB 57 (2012) eingereicht

Photonenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)





Konservativ

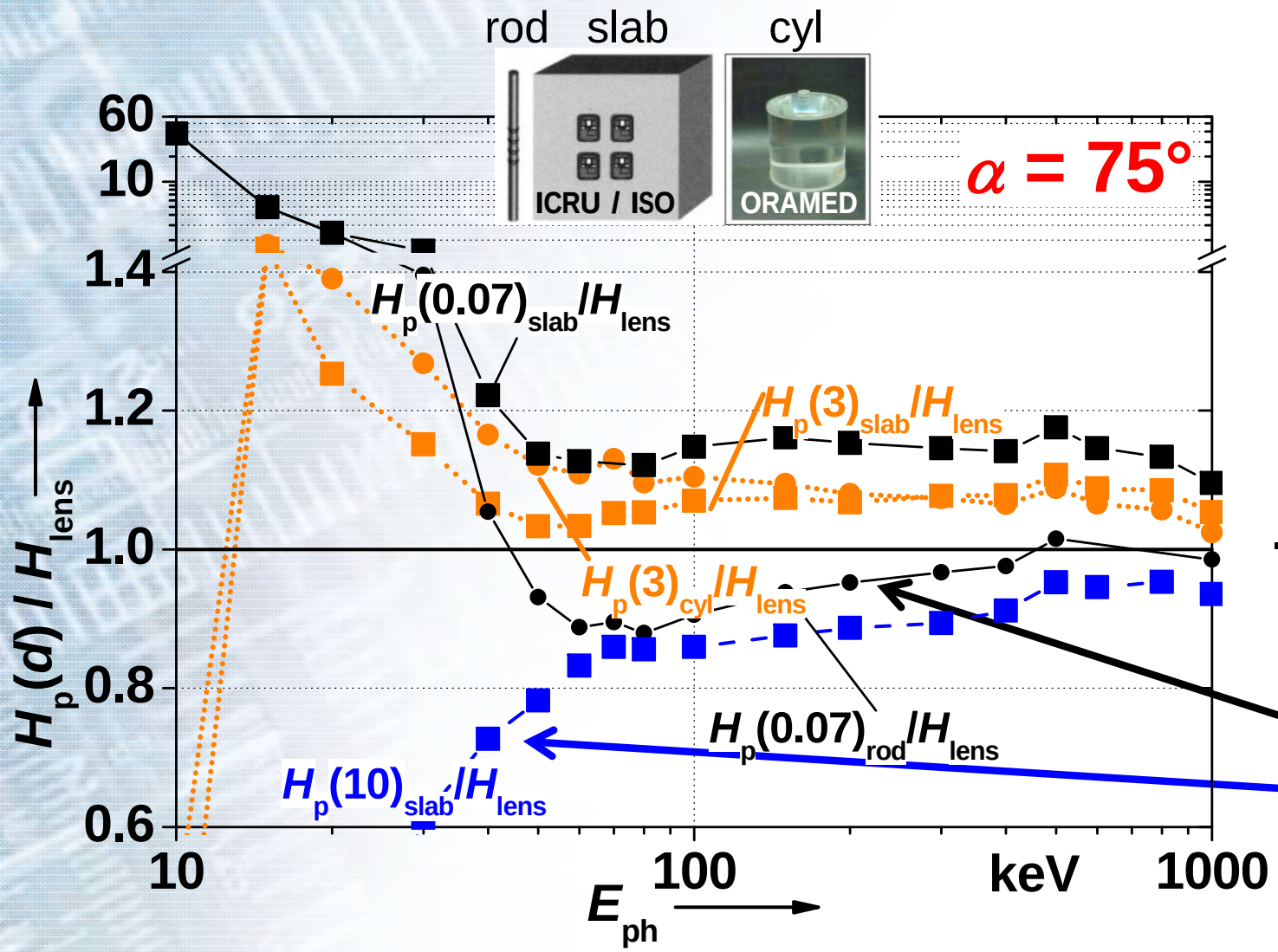
Nicht konservativ

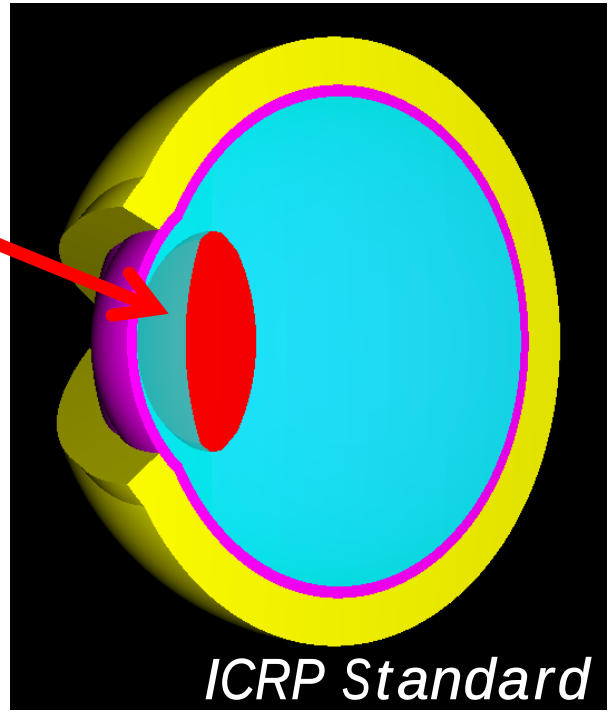
Fehlende Rückstreuu.

Zu viel Absorption

Photonenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)





Konservativ

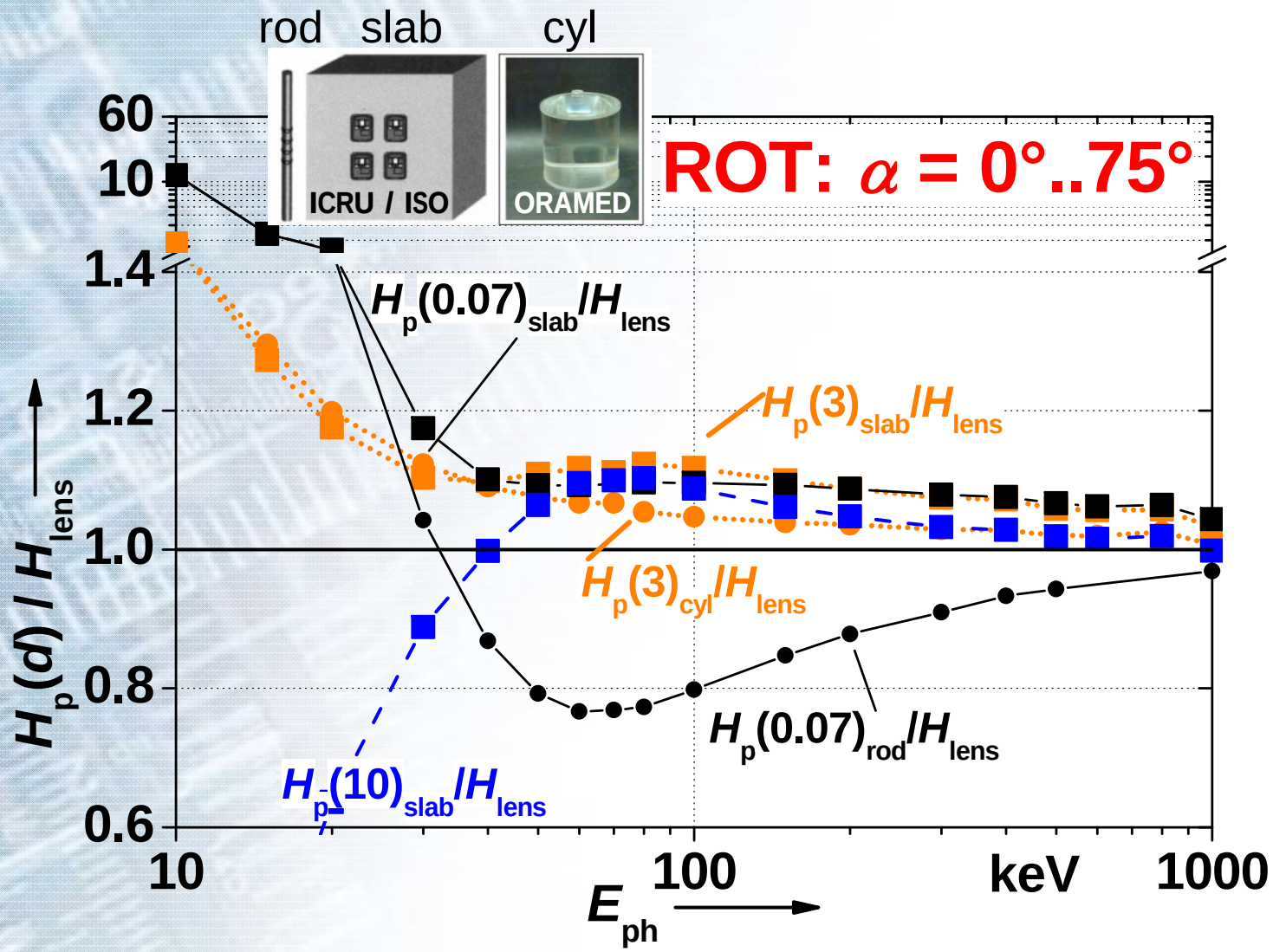
Nicht konservativ

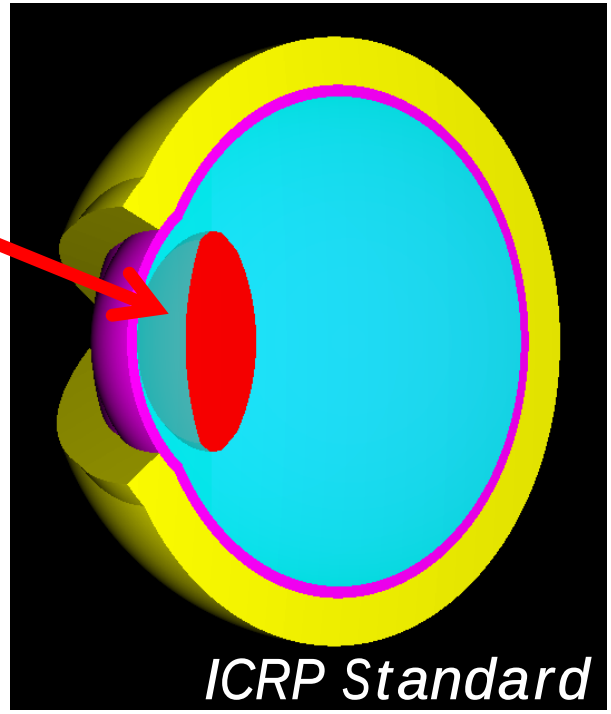
Fehlende Rückstreuu.

Zu viel Absorption

Photonenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)



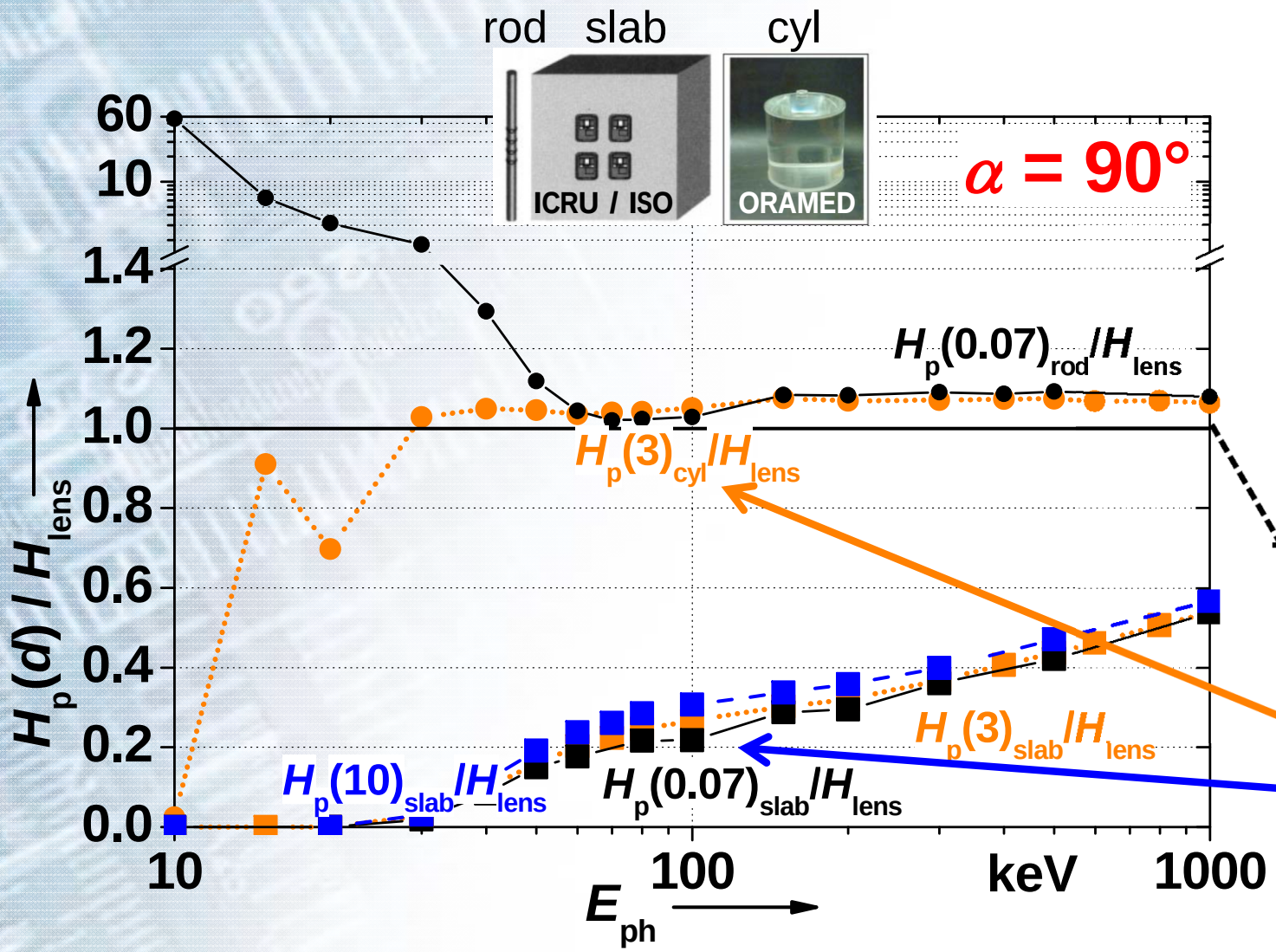


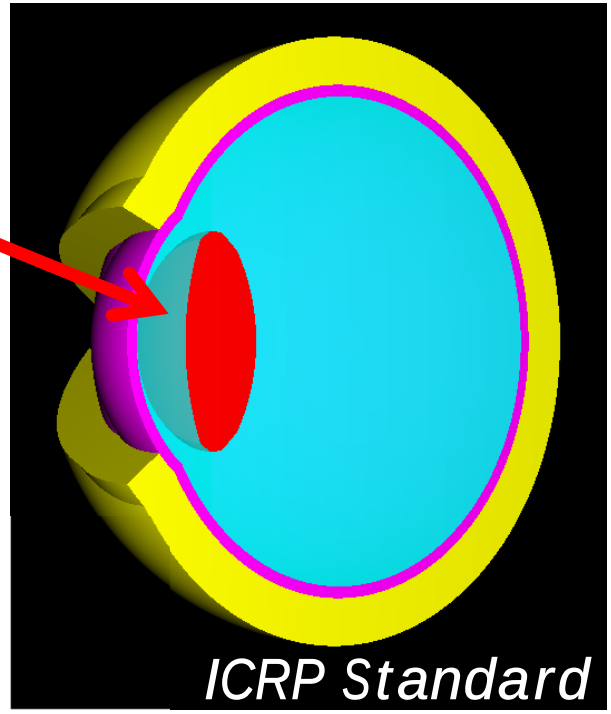
Konservativ

Nicht konservativ

Photonenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)





Konservativ

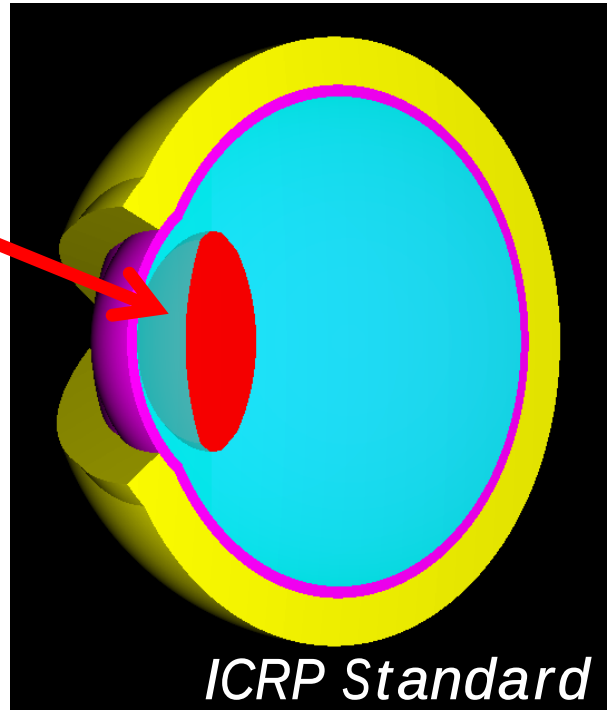
Nicht konservativ

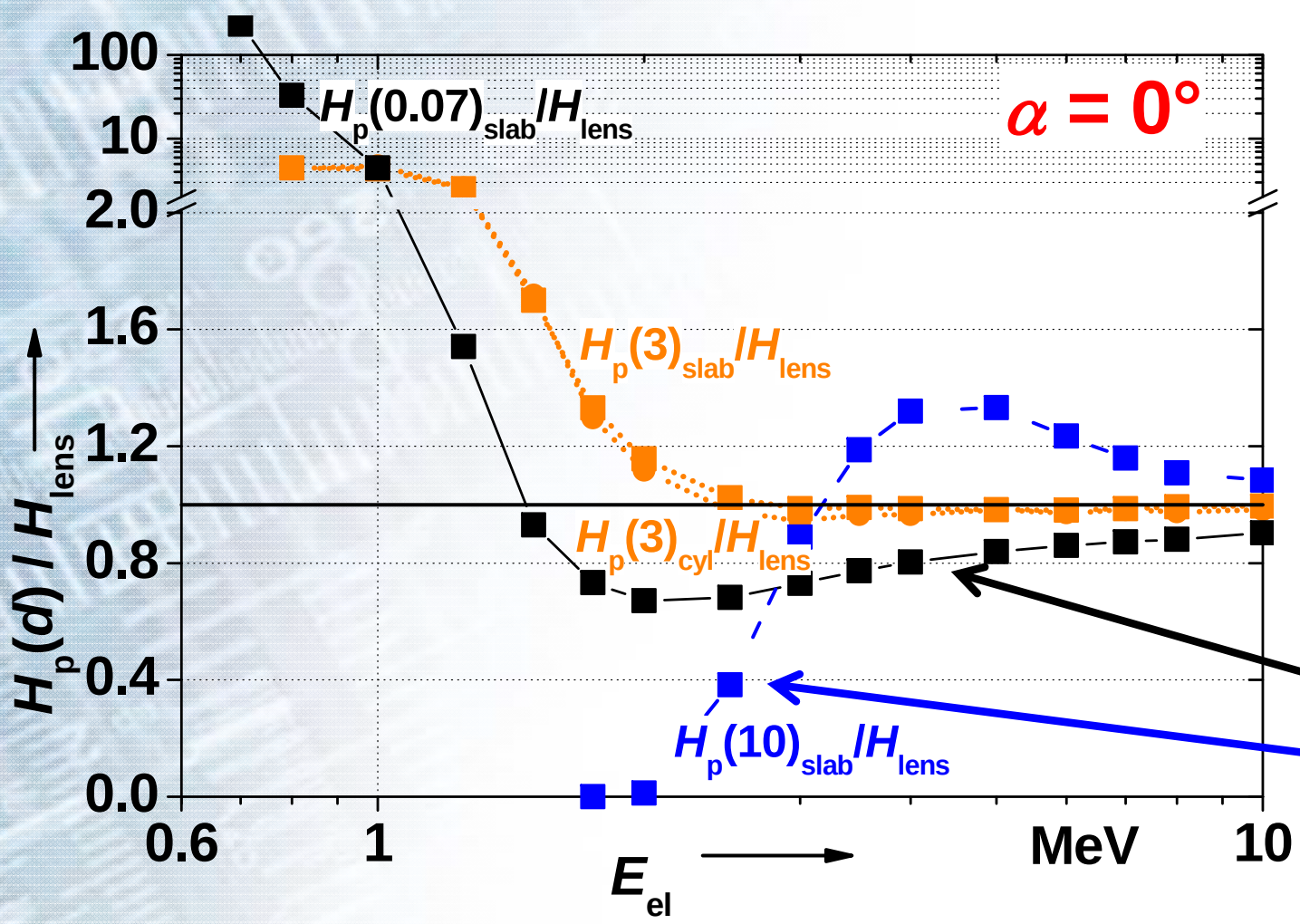
Nur Zyl.-ph. geeignet

Absorption in Kante des Quaderphantoms; nicht in realen Dosim.

Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)





Konservativ

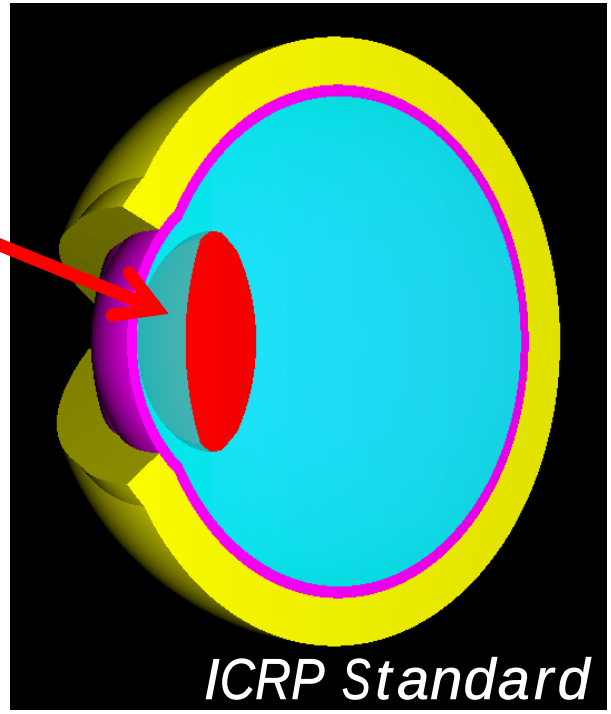
Nicht konservativ

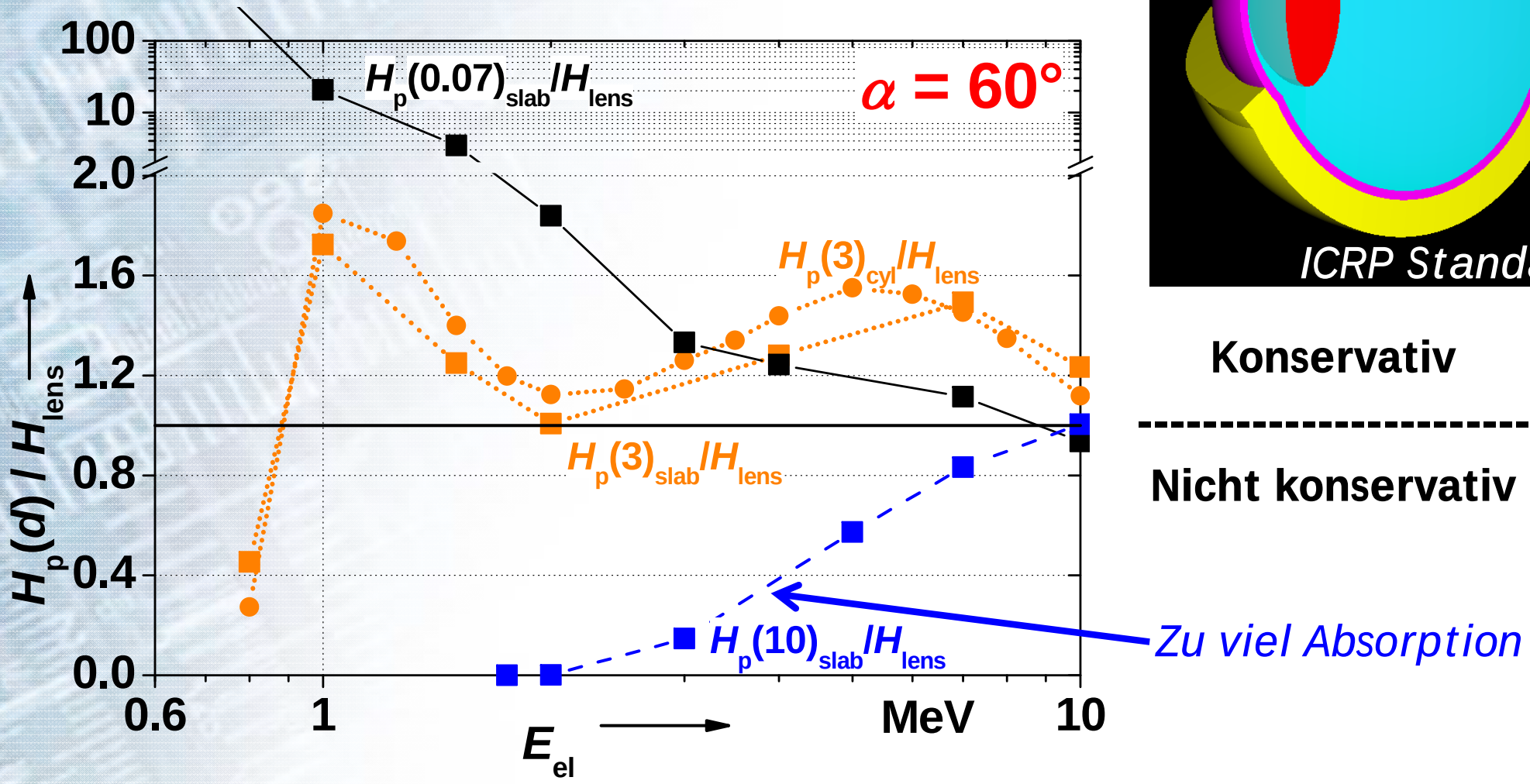
Fehlender Dosisaufbau

Zu viel Absorption

Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)



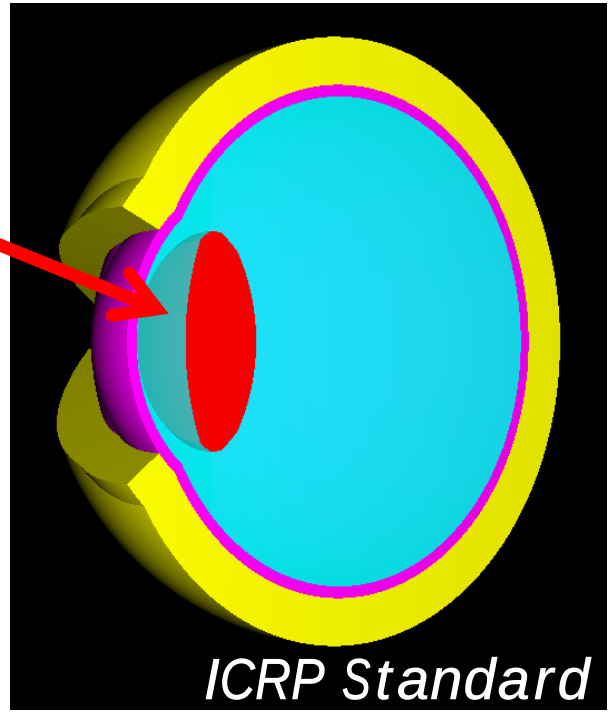


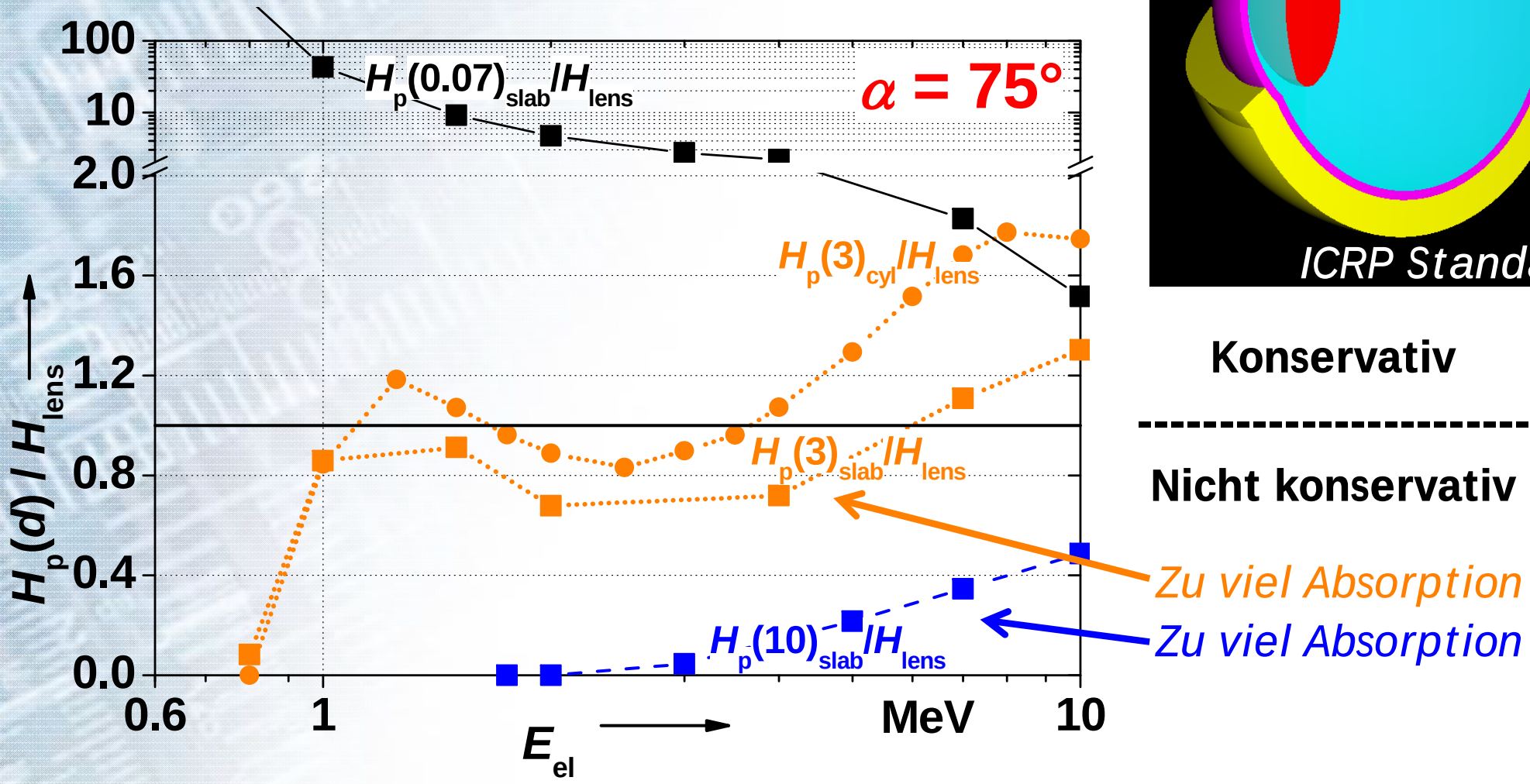
Konservativ

Nicht konservativ

Elektronenstrahlung:

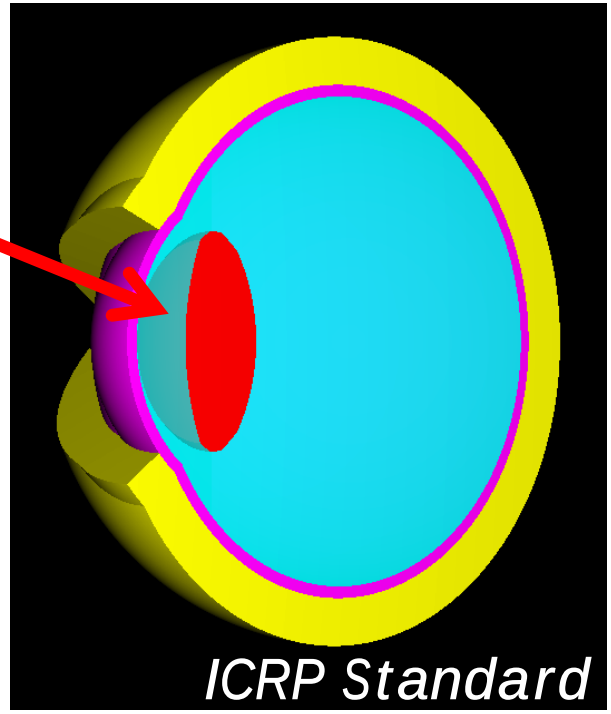
$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)

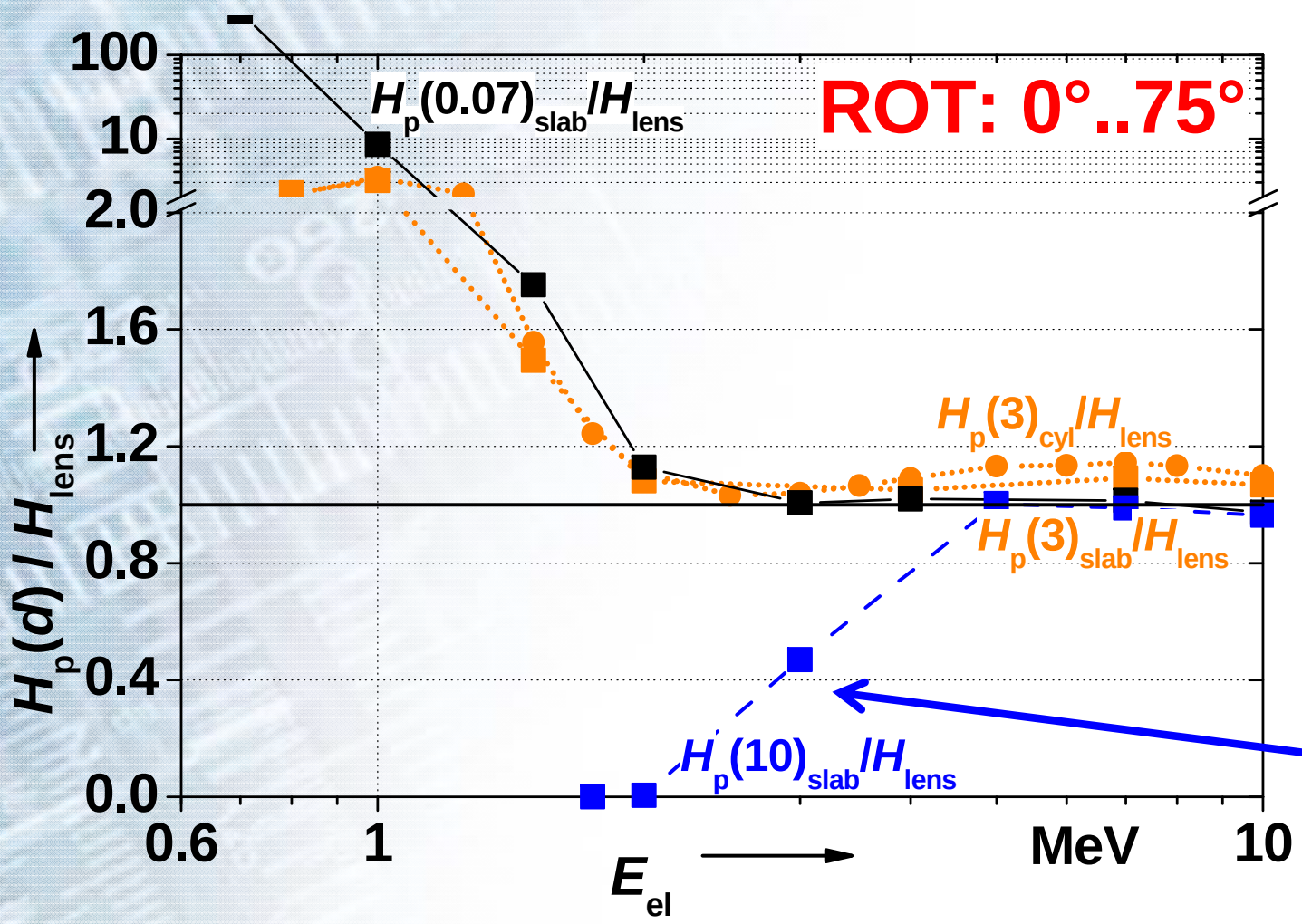




Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / H_{lens} (basiert auf gesamter Linse)





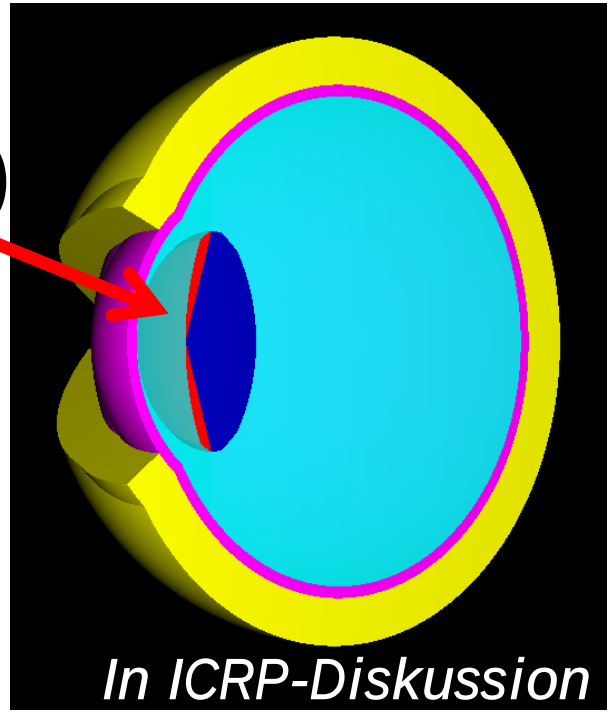
Konservativ

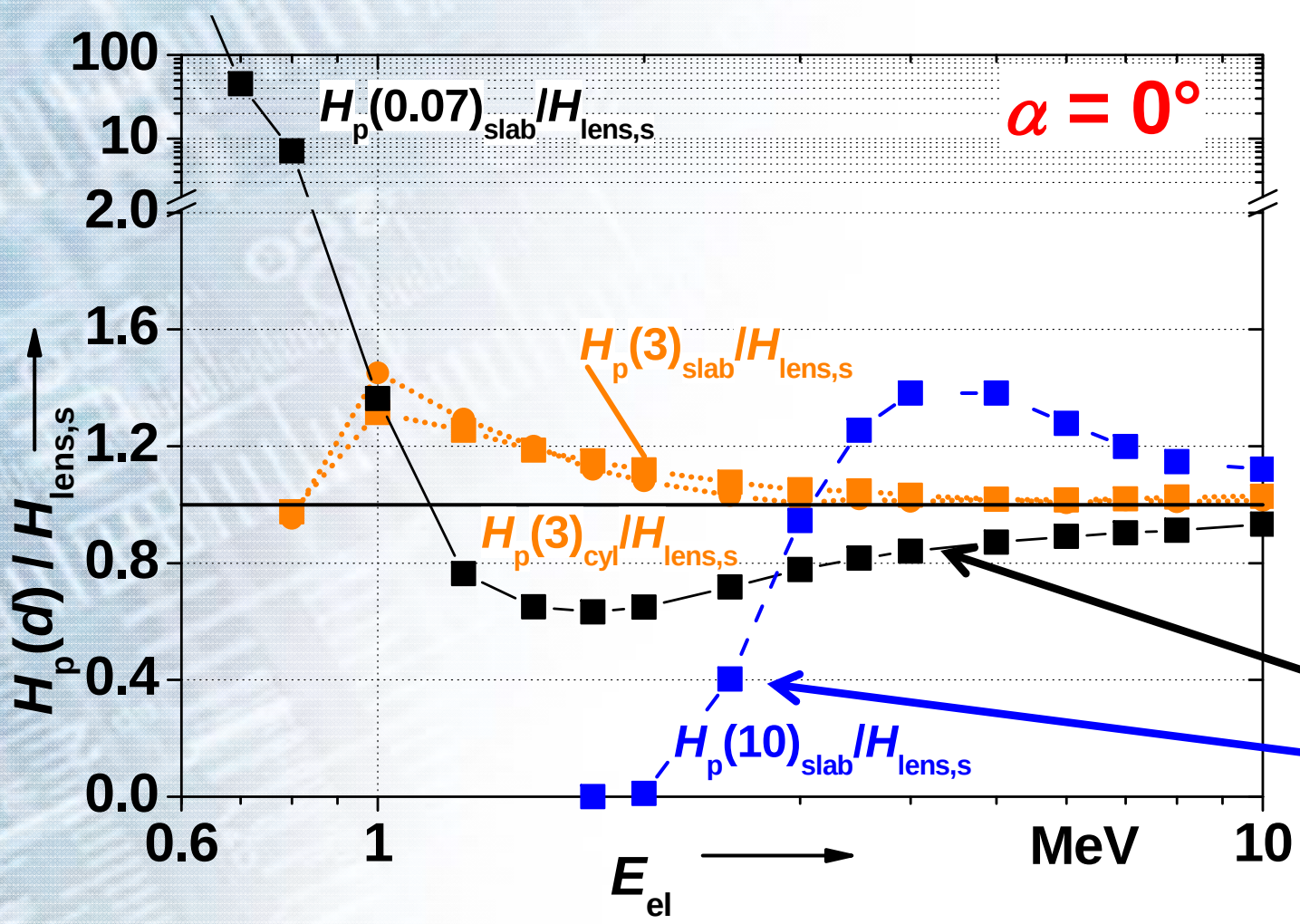
Nicht konservativ

Zu viel Absorption

Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / $H_{lens,s}$ (bas. auf empf. Teil d. Linse)





Konservativ

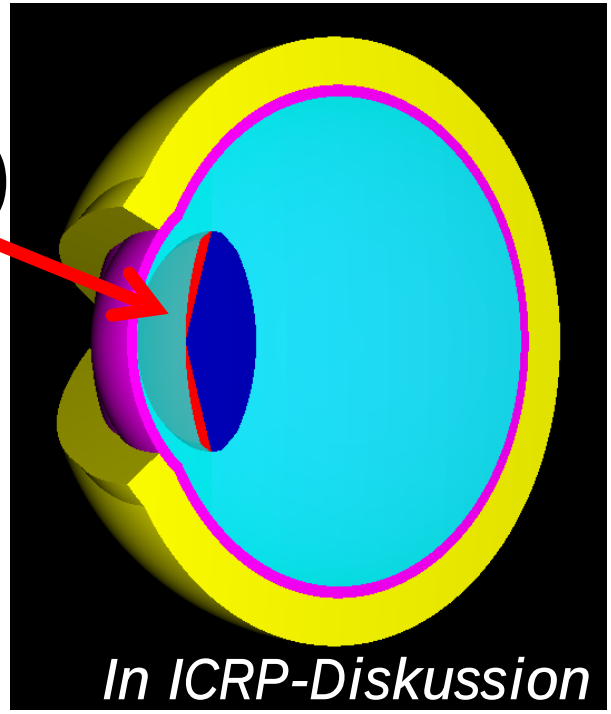
Nicht konservativ

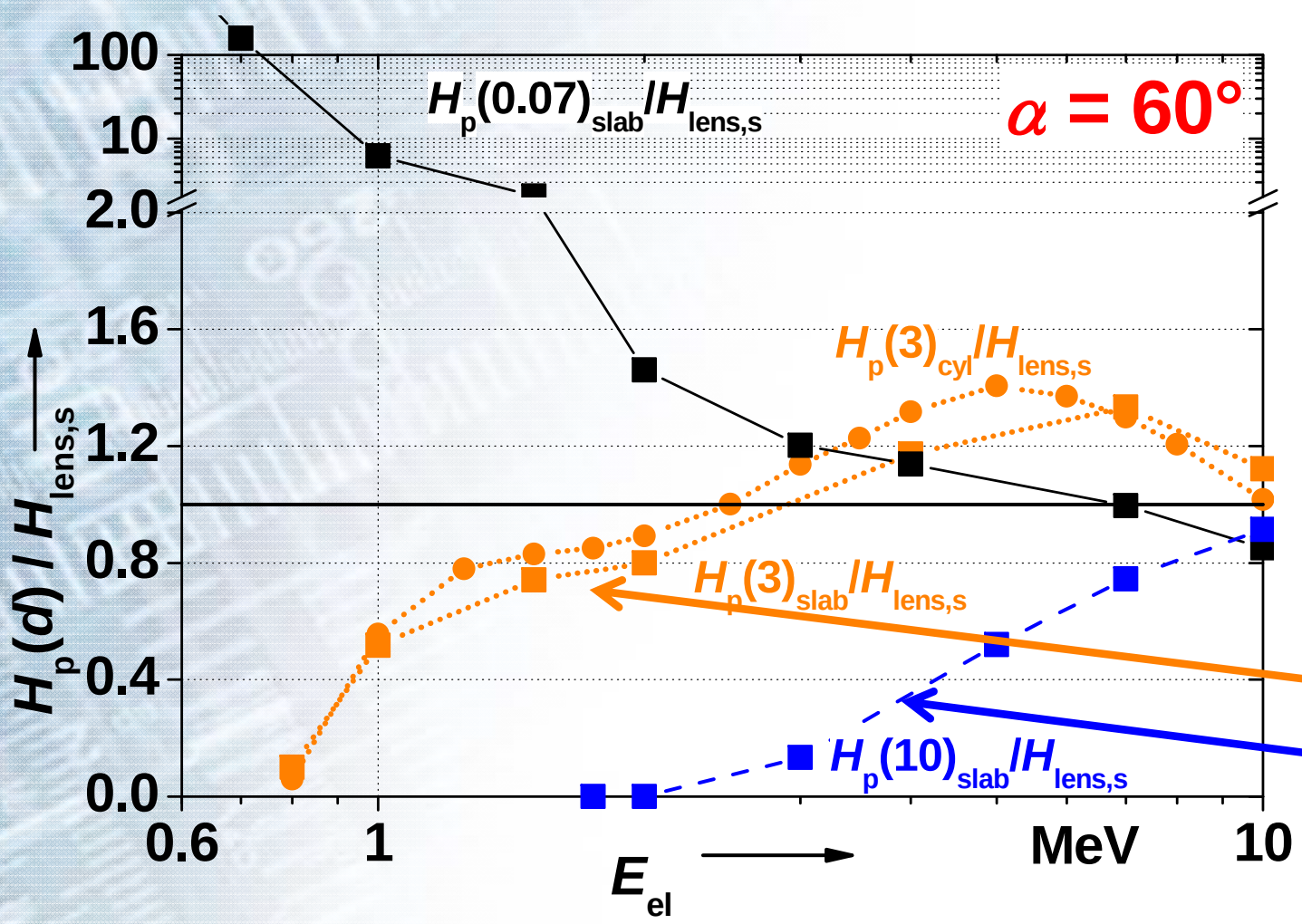
Fehlender Dosisaufbau

Zu viel Absorption

Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / $H_{lens,s}$ (bas. auf empf. Teil d. Linse)





Konservativ

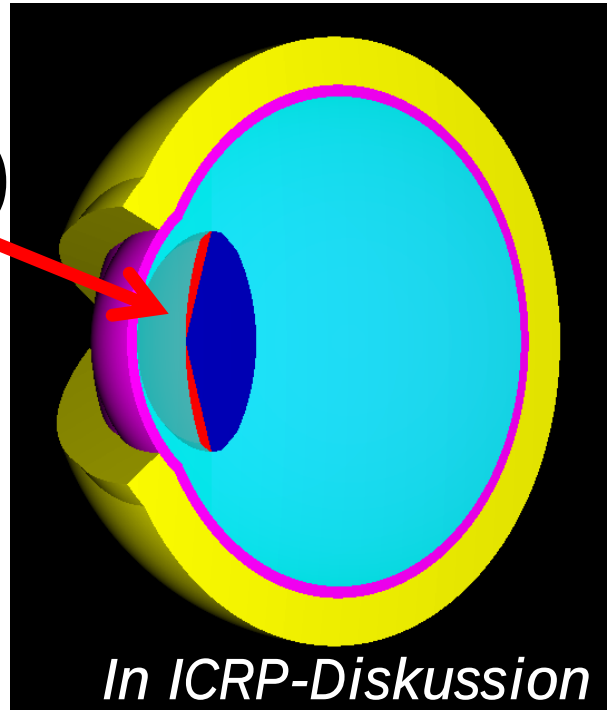
Nicht konservativ

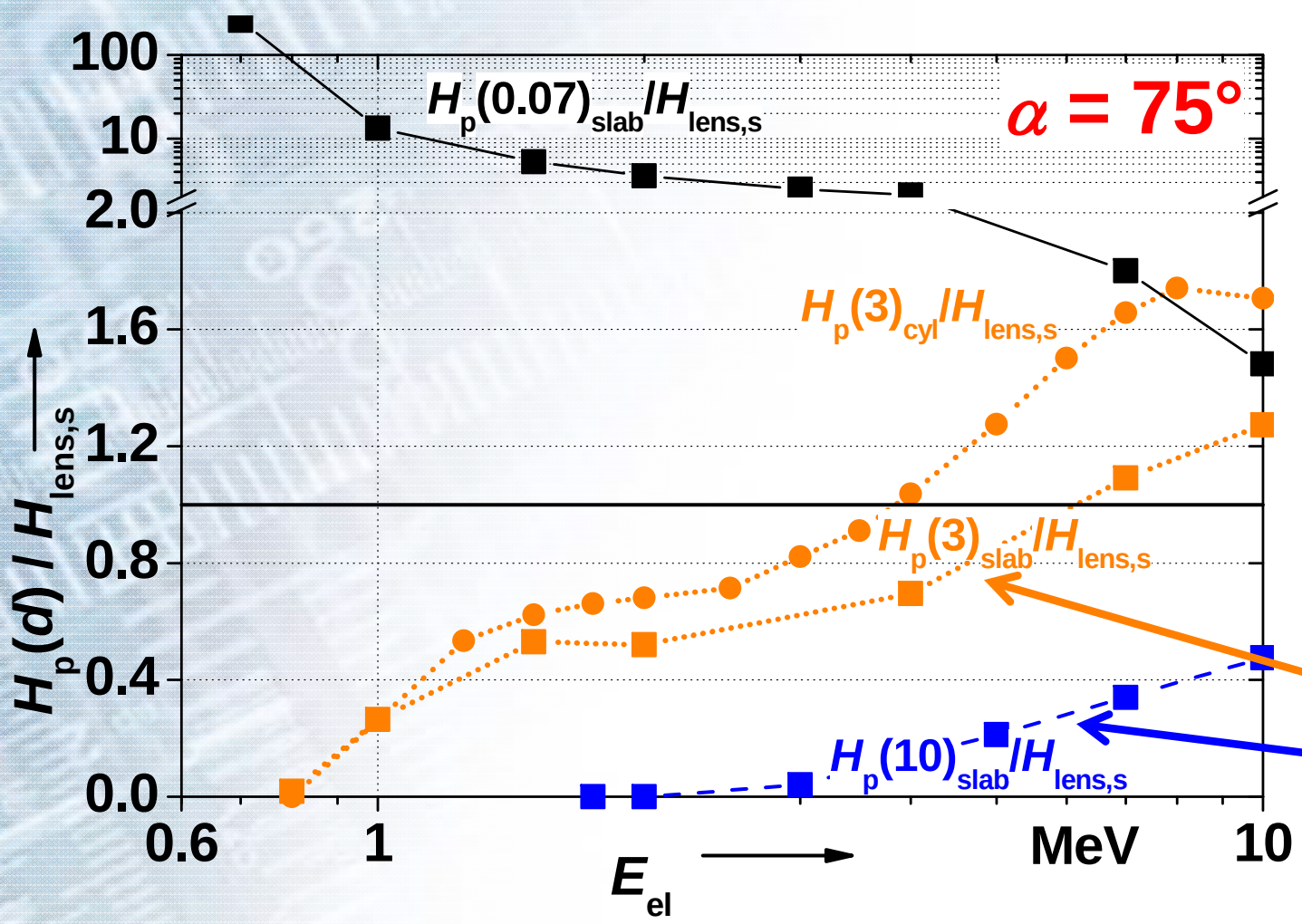
Zu viel Absorption

Zu viel Absorption

Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / $H_{lens,s}$ (bas. auf empf. Teil d. Linse)





Konservativ

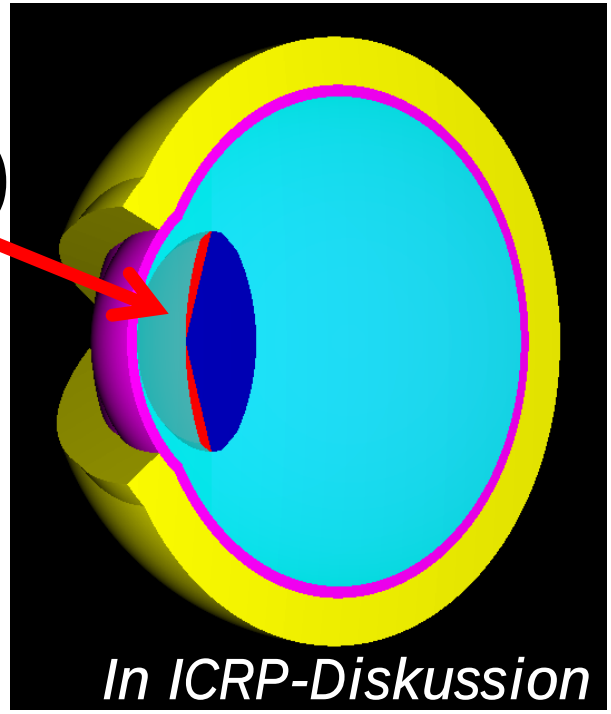
Nicht konservativ

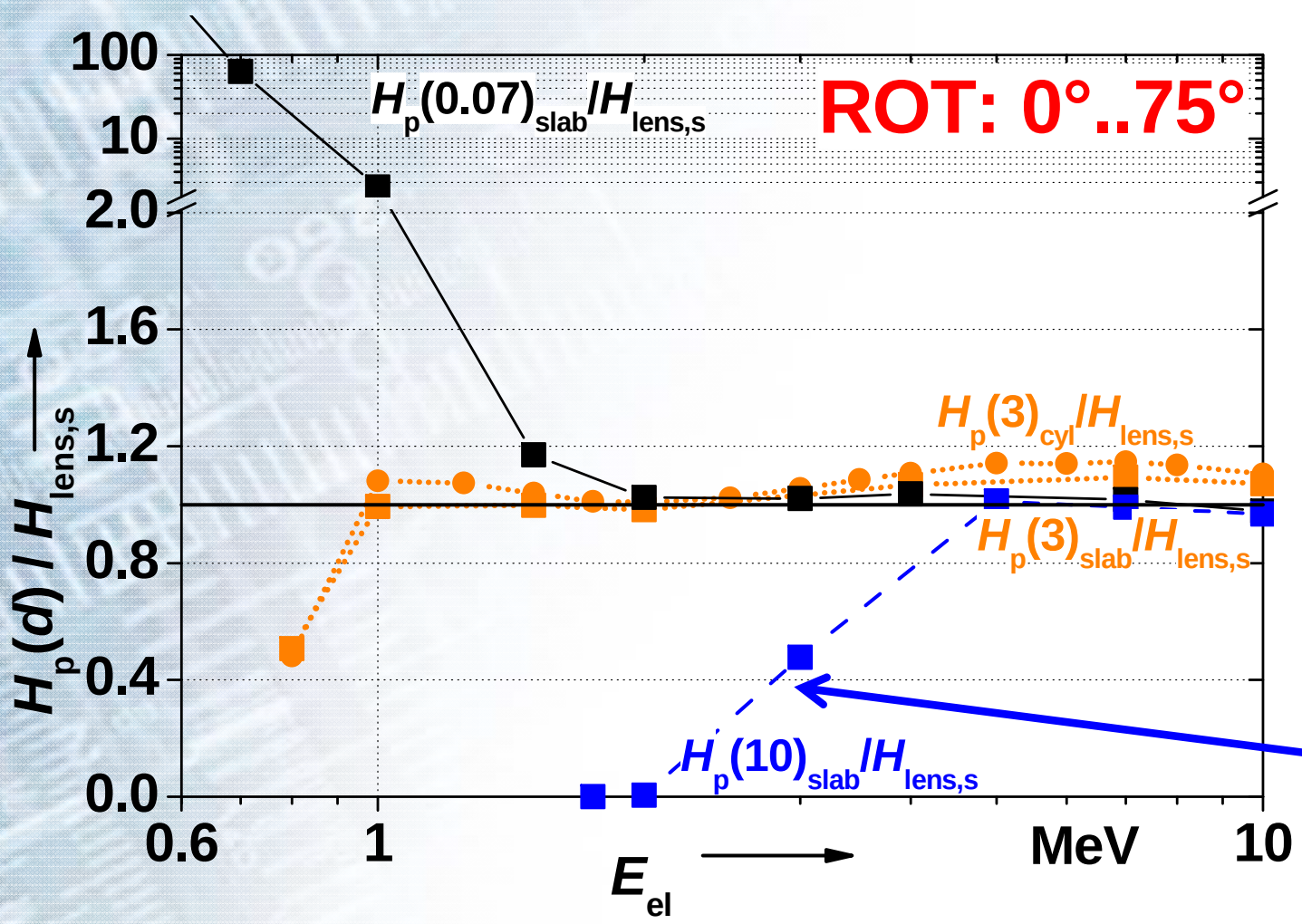
Zu viel Absorption

Zu viel Absorption

Elektronenstrahlung:

$H_p(d)$ / $H_{lens,s}$ (bas. auf empf. Teil d. Linse)





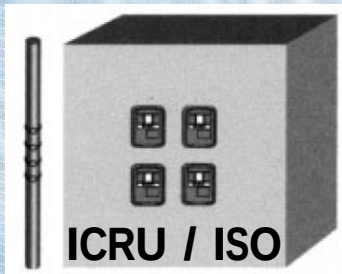
Zu viel Absorption

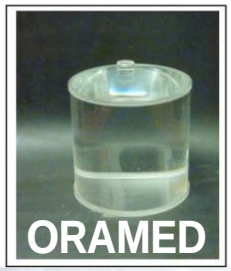
Konservativ

Nicht konservativ

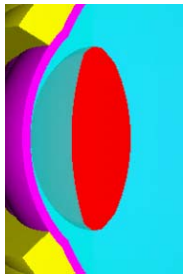
Fazit

Operative Größe (Messgröße) ? > **Organdosis der Linse (Schutzgröße)**

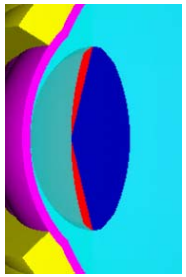




ICRP Standard: Gesamte Linse: H_{lens}



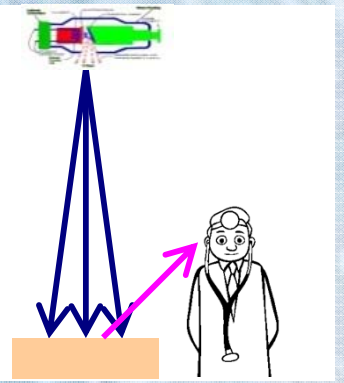
In ICRP-Diskussion: Empfindl. Zellen: $H_{lens,s}$

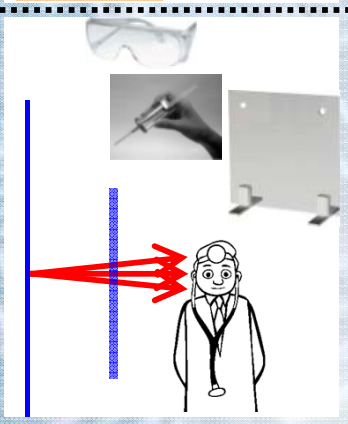


Strahlungsart	Größe	Geeignet, H_{lens} zu schätzen?	Geeignet, $H_{lens,s}$ zu schätzen?
Photonen	$H_p(0.07)_{rod}$ $H_p(10)_{slab}$ $H_p(0.07)_{slab}$ $H_p(3)_{slab}$ $H_p(3)_{cyl}$	Unterschätzung Untersch. unter 40 keV } bis 75 geeignet bis 90 geeignet	wie für H_{lens}
Elektronen	$H_p(0.07)_{slab}$ $H_p(3)_{slab}$ $H_p(3)_{cyl}$ $H_p(10)_{slab}$	extreme Überschätzung } bis 60 geeignet Unterschätzung	extreme Überschätzung $H_p(3)$ → Unterschätzung → $H_p(d<3)$ notwendig? Unterschätzung

Fazit - gleich für reale Strahlungsfelder

$H_p(0.07)_{rod}$, d.h. Ringdosimeter am Kopf, für Photonen auch geeignet?





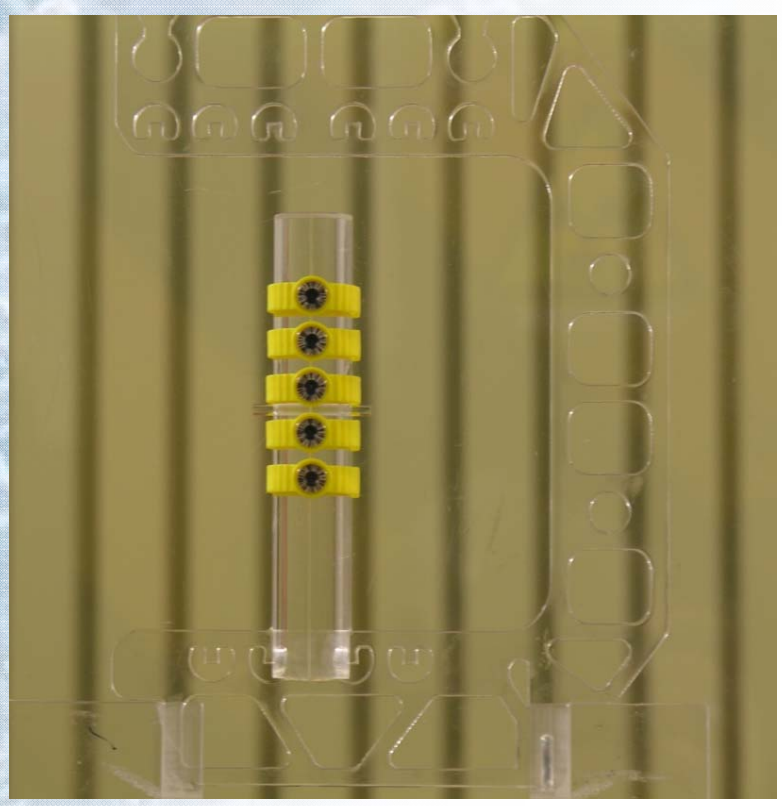
Strahlungsfeld	$H_p(0.07)_{rod}$ / H_{lens}	$H_p(0.07)_{slab}$ / H_{lens}	$H_p(3)_{slab}$ / H_{lens}	$H_p(10)_{slab}$ / H_{lens}
Photonen < 30 keV	0.9 – 5	1.1 – 5	0.6 – 1	0.01 – 0.9
Photonen > 30 keV	0.8 – 0.9	≈ 1.1	1 – 1.2	0.9 – 1.2
Elektronen < 0.6 MeV und Photonen	1 – 100	1 – 100	≈ 1	siehe oben
Elektronen < 0.6 MeV und Photonen	1 – 500	1 – 500	≈ 1	2×10^{-4} – 1
	$H_p(0.07)_{slab}$ ist NUR für Photonen-felder geeignet.	$H_p(3)$ ist NOTWENDIG für Betastrahlung.		$H_p(10)$ ist NICHT geeignet!

R. Behrens und G. Dietze:
Phys. Med. Biol. 55 (2010) 4047 und
Phys. Med. Biol. 56 (2011) 511

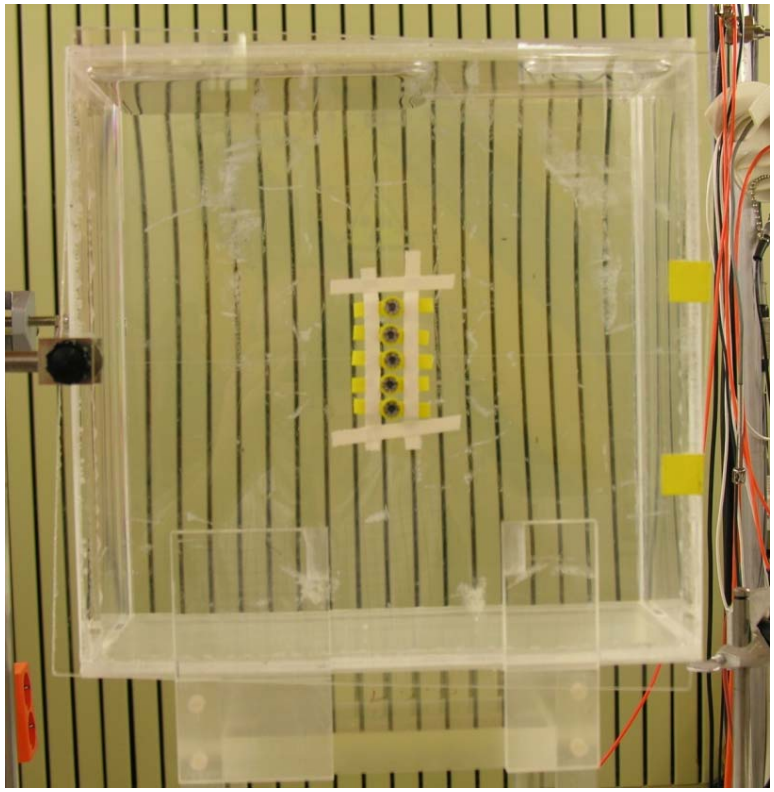
Ringdosimeter für die Augenlinse?

Sind $H_p(0.07)$-Ringdosimeter, getragen am Kopf, geeignet?
Ist übliche Kalibrierung auf Stabphantom hinreichend?

Stabphantom

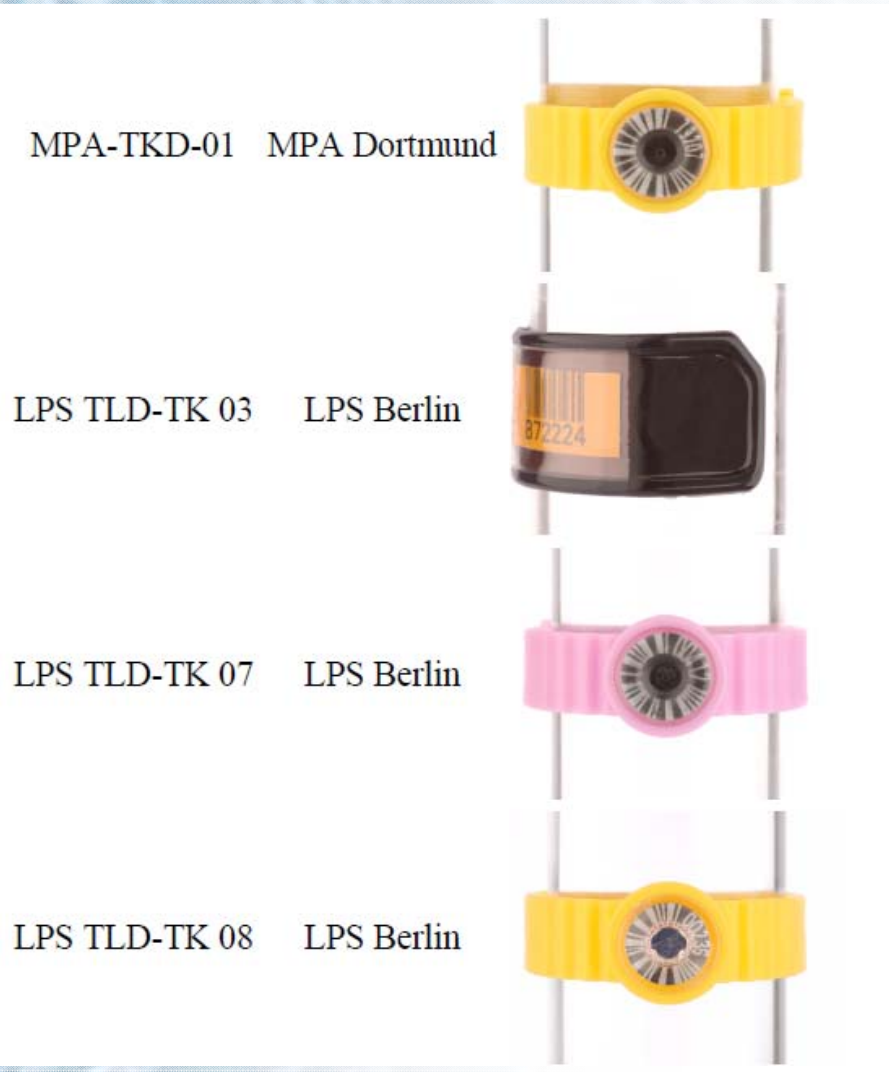


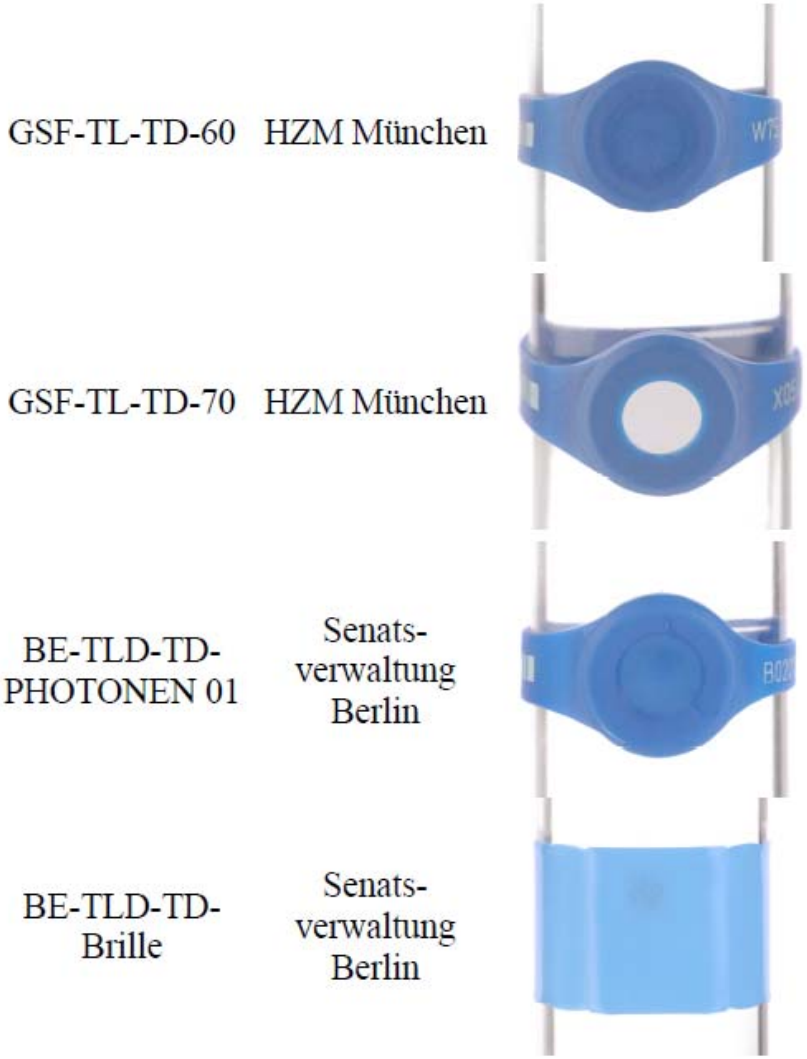
Quaderphantom



R. Behrens, J. Engelhardt, M. Figel, O. Hupe, M. Jordan, R. Seifert:
Rad. Prot. Dosim. 148 (2012) 139

Ringdosimeter für die Augenlinse?

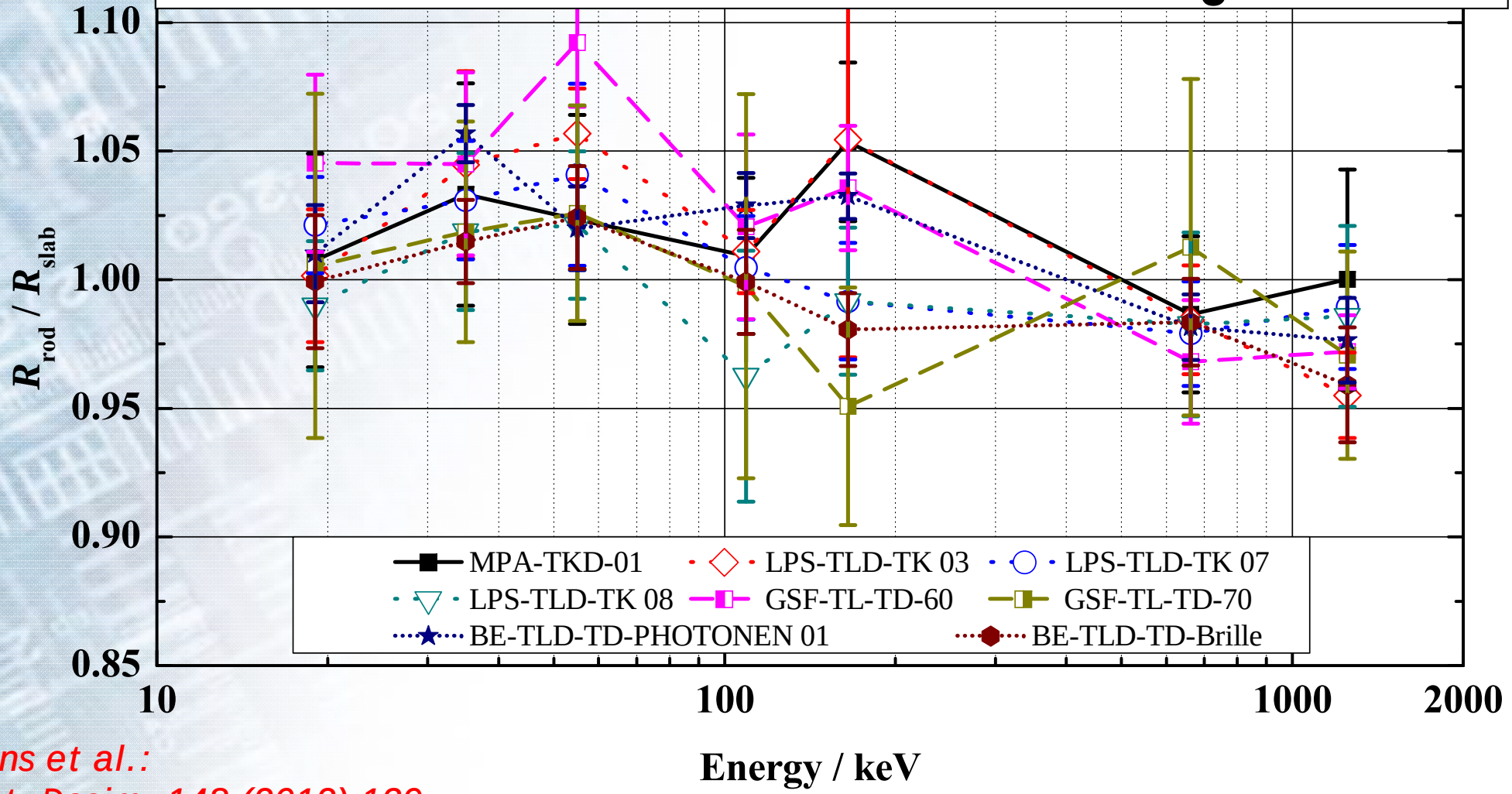




R. Behrens, J. Engelhardt, M. Figel, O. Hupe, M. Jordan, R. Seifert: Rad. Prot. Dosim. 148 (2012) 139

Ringdosimeter für die Augenlinse?

$H_p(0.07)$-Ringdosimeter schätzen die Dosis der Linse in reinen Photonenfeldern gut ab!



R. Behrens et al.:
Rad. Prot. Dosim. 148 (2012) 139

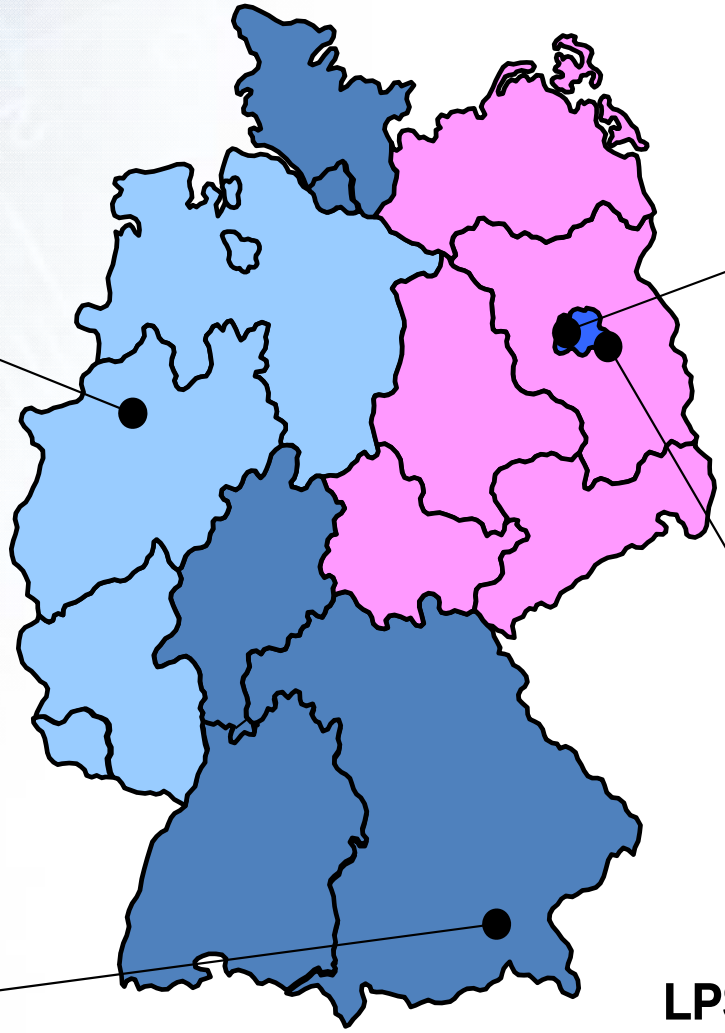
Photonen-Ringdosimeter sind als Augendosimeter verfügbar:

MPA-TKD-01
mit Stirnband
in Planung

MPA NRW
Ihr Partner für Sicherheit und Qualität

GSF-TL-TD-60
auch mit
Stirnband

HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt



Berlin.de

BE-TLD-TD-Brille

LPS

LPS TLD-TK 07

Zusammenfassung: Welche Messgröße/Dosimeterart?

Ganzkörperdosimeter messen $H_p(10)$:

- am Rumpf (weit entfernt von den Augen);
- unterschätzen H_{lens} bei E_{ph}<40 keV und Betastrahlung (Gehäuse zu dick)
- unter Schutzkleidung (mehr Unterschätzung);

➔ Gefahr für die Augen, besonders bei Betas!

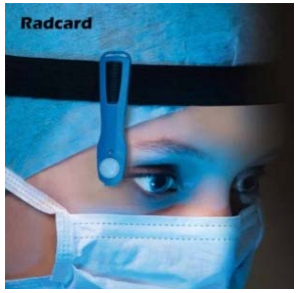
Hautdosimeter messen $H_p(0.07)$:

- müssen zur Strahlungsquelle ausgerichtet sein;
- können in Augennähe getragen werden, dann
- schätzen sie H_{lens} in Photonenfeldern ab aber
- überschätzen H_{lens} in Betafeldern (Gehäuse zu dünn)

➔ Mögl. Ausschluss aus Kontrollbereich obwohl nicht notw.!

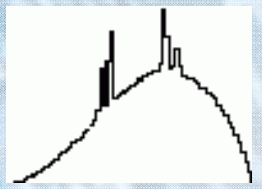
Augendosimeter messen $H_p(3)$:

- müssen zur Strahlungsquelle ausgerichtet sein;
- müssen in der Nähe der Augen getragen werden;
- einzige Dosimeterart, die H_{lens} (aber nicht $H_{lens,s}$) angemessen in Beta- und Photonenfeldern misst!



Bestrahlungen in $H_p(3)$ sind möglich

Photonen:



- **Konversionskoeffizienten für K_a ➔ $H_p(3)_{slab}$:**
  Rad. Prot. Dosim. 147, 373 (2011)
- **Konversionskoeffizienten für K_a ➔ $H_p(3)_{cyl}$:**
  Rad. Prot. Dosim. doi:10.1093/rpd/ncs032 (2012)

Betas:

- **Erweiterung des Betasekundärnormals BSS 2:**
  Inkl. Umrechnungsfaktoren $H_p(0.07)$ ➔ $H_p(3)$:
  J. Instrum. 6, P11007 (2011)
- **Durch neue SW-Version verfügbar für alte Geräte**

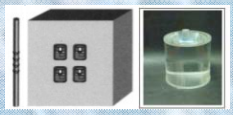
IEC 62387:

- **Passive Dosimetriesysteme (Schlussentw. FDIS 2012)**
  $H_p(3)$ implementiert für Photonen und Betas

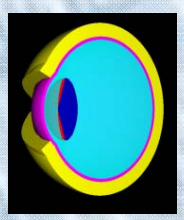
DANK: Förderung durch INS-Projekt: 08/11 - 12/12

Verbesserung der Überwachung der Dosis der Augenlinse

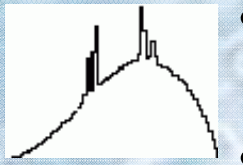
Literatur



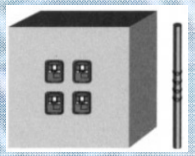
- **Überwachung der Augenlinse: Welche Messgröße ist geeignet? Phys. Med. Biol. 55, 4047 (2010) and Phys. Med. Biol. 56, 511 (2011)**



- **Konversionskoeffizienten für monoenergetische Elektronen: $\Phi \rightarrow H_{eye}$: Phys. Med. Biol. 54, 4069 (2009) und Phys. Med. Biol. 55, 3937 (2010)**
- **Konversionskoeffizienten für monoenergetische Photonen: $\Phi \rightarrow H_{eye}$: Phys. Med. Biol. 56, 415 (2011)**



- **Konversionskoeffizienten für Photonenspektren: $K_a \rightarrow H_p(3)_{slab}$: Rad. Prot. Dosim. 147, 373 (2011)**
- **Konversionskoeffizienten für Photonenspektren: $K_a \rightarrow H_p(3)_{cyl}$: Rad. Prot. Dosim. doi:10.1093/rpd/ncs032 (2012)**



- **$H_p(0.07)$-Photonendosimeter: Kalibrierung auf dem Stab vs. Quaderphantom: Rad. Prot. Dosim. 148 (2012) 139-142**

- **Erweiterung des Betasekundärnormals BSS 2: J. Instrum. 6, P11007 (2011) and Erratum and Addendum**