



# **Ionisationsdosimetrie**

**Dr. Roberto Mini**

## Sondenmethode

Bei der Sondenmethode wird für die Messung eine Sonde in das zu untersuchende Medium gebracht. Gemessen wird dann die durch das Strahlenfeld im Sondenmaterial erzeugte Sondendosis. Diese muss anschliessend mit Hilfe von Korrektur-faktoren in die Energiedosis des Umgebungsmaterials, die ohne Anwesenheit der Sonde entstehen würde, umgerechnet werden.

Bei der Anwendung der Sondenmethode darf das zu untersuchende Strahlenfeld im Idealfall nicht durch die Sonde verändert werden. Das Sondenmaterial sollte deshalb möglichst Gewebeäquivalent sein.



## Dosimetrische Äquivalenz

$$k = \rho \cdot \frac{Z^n}{A} \cdot f(E)$$

Dominierende Wechselwirkung	Strahlungsqualität	Exponent n
Photoeffekt	weiche Photonenstrahlung	$\approx 4$
Comptoneffekt	harte Photonenstrahlung	1
Paarbildung	ultraharte Photonenstrahlung	2
Stoßbremsung	schnelle Elektronen, Photonen	1
Strahlungsbremsung	schnelle Elektronen, ultraharte Photonen	2
Elektronenstreuung	schnelle Elektronen, ultraharte Photonen	2

☺ Zuordnung von dominierender Wechselwirkung und Wechselwirkungsexponent n  
für Photonen- und Elektronenstrahlungen.



# Dosimetrische Äquivalenz

Substanz	Dichte $\rho(\text{g/cm}^3)$	$(Z^n/A)_{\text{eff}}$		
		n = 1	n = 2	n = 4
Wasser	1.0	0.555	3.66	227
Luft*	0.001293	0.499	3.67	223
Acryl(Plexi)glas, PMMA	1.18	0.539	3.16	147
Polystyrol	1.06	0.538	2.84	99.6
Polyäthylen	0.92	0.570	2.71	92.5
Paraffin	0.88	0.573	2.70	92.0
Kork	0.3	0.529	3.37	175.4
Muskel	1.05	0.549	3.60	230
Lunge	0.3	0.557	3.67	227.7
Fett	0.92	0.558	2.87	111.0
Knochen	1.5	0.530	4.63	847

Dichten und effektive Ordnungszahlabhängigkeiten einiger wichtiger dosimetrischer Substanzen (nach [DIN 6809-1] und [Jaeger/Hübner]). \*: Unter Normalbedingungen.



## Sonden mit Gasfüllung

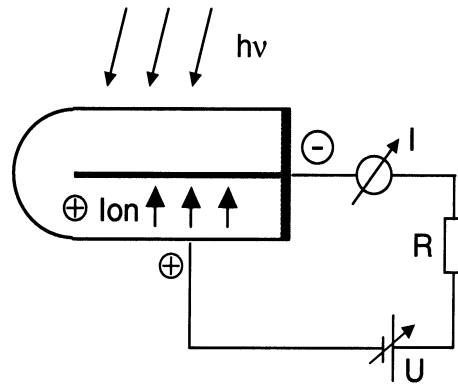
### Ionisationskammern

#### Allgemeines:

- Gasgefüllte Ionisationskammern sind die wichtigsten Detektoren für die klinische Dosimetrie
- Häufigstes Füllgas ist Luft (billig, dosimetrisch äquivalent zu Wasser)
- Empfindlichkeit abhängig von Messvolumen und Druck von Füllgas
- Einfache Bauart, unkomplizierter Umgang, Langzeitstabilität
- Geringer Aufwand bei Strom- und Ladungsmessung
- Einsetzbar für fast beliebige Messaufgaben dank Wählbarkeit der Kammer-volumina, des Gasdrucks (bis 25bar) und der Kammer-spannung



## Funktionsweise



Prinzipdarstellung eines gasgefüllten Detektors

Der in einem Strahlenfeld resultierende Strom ist proportional zur Anzahl erzeugter Ionenpaare im Gasvolumen

# Sonden mit Gasfüllung

## Ionisationskammern

Durch Messung der strahleninduzierten Ionisationen (Ladung in Luft) lassen sich die **Standard- oder Hohlraumionendosis** bestimmen.

Hierzu wird eine Spannung zwischen zwei Elektroden angelegt. Die im dazwischen liegenden Gasvolumen gebildeten Ionen wandern zur entsprechenden Elektrode, wodurch im angeschlossenen Stromkreis ein elektrischer Strom induziert wird. Dieser ist proportional zur Anzahl gebildeter Ionenpaare ist.

Aus den gemessenen Ionendosen lassen sich die entsprechenden Energiedosen in der Sondenluft bestimmen, da der mittlere Energieaufwand zur Erzeugung eines Ionenpaares (inkl. des rel. Energieanteiles für Anregungen) in Luft bekannt ist ( $W/e = 33.97 \text{ eV}$ )



## Bauform von Ionisationskammern

### Auswahl von klinisch verwendeten Ionisationskammern



Farmerkammer 0.6cc



Rigid Stem Chamber, 0.3 cc



Markus Chamber, 0.055 cc



PinPoint Chamber, 0.015 cc

## Messung der primären Strahlenwirkung in gasförmigen Medien (Luft)

### Ionendosis J

$$J = \frac{dQ}{dm_a} = \frac{dQ}{\rho_a \cdot dV}$$

Die Ionendosis J ist die durch Strahlenexposition eines Luftvolumens erzeugte elektrische Ladung dQ eines Vorzeichens geteilt durch die Masse dm des Luftvolumens (wobei  $dm = \rho \cdot dV$ ).

Die SI-Einheit der **Ionendosis J** ist  $[J] = \text{C/kg}$ ; früher war die Einheit für die Ionendosis J das Röntgen:  $1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$



# Ionisationsdosimetrie

Ionisationskammern können in der klinischen Praxis je nach Strahlenqualitäten und den damit verbundenen unterschiedlichen Reichweiten der dosisbestimmenden Primär- und Sekundärstrahlungen in Abhängigkeit von Strahlenart, Strahlenqualität und Messanordnung entweder unter Elektronengleichgewicht als Gleichgewichtssonden, oder unter BRAGG-GRAY-Bedingungen als Hohlraumsonden verwendet werden.

## Sondenarten

### 1. Ideale Sonden

Ideale Sonden, sind Sonden die das Strahlenfeld nicht merklich stören und die folgenden Strahlungsfeldbedingungen in idealer Weise erfüllen:

- Sekundärelektronengleichgewicht oder
- Bragg-Gray- (Hohlraum-) Bedingung

Unter diesen Bedingungen kann die in den Sonden erzeugte Energiedosis  $D_s$  aus den physikalischen Basisgrößen unter Benutzung von Materialdaten abgeleitet werden.

In der Praxis ist die Erfüllung der erwähnten Bedingungen jedoch nur näherungsweise möglich.



# Sekundärelektronengleichgewicht bei Ionisationskammern

Soll eine Ionisationskammer in einem Medium, dessen chemische Zusammensetzung sich vom Sondenmaterial unterscheidet unter **Sekundärelektronengleichgewicht** verwendet werden, muss

- 1) die **Kammerwandung äquivalent** zum **Sondenmaterial** sein und eine Stärke haben, die grösser als die maximale Reichweite der Sekundärelektronen in diesem Wandmaterial ist,
- 2) die **Dimension der Kammer** genügend **klein** sein um innerhalb der Sonde einen konstanten Photonenfluss zu gewährleisten,
- 3) die **Dimension der Kammer** möglichst **gross** sein, damit die in der Sonde auf Sekundärelektronen übertragene Energie möglichst vollständig auf das Sondenmaterial übertragen wird.



# Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

## Messung der Standardionendosis $J_s$

**"Die Standardionendosis  $J_s$  an einem Punkt in einem beliebigen Material ist diejenige Ionendosis, die von der dort vorhandenen spektralen Photonenfluenz bei Sekundärelektronengleichgewicht in Luft erzeugt würde."**

Eine Voraussetzung für die Messung der Standardionendosis  $J_s$  ist das Fehlen von Streustrahlung aus der Umgebung. Die Standardionendosis sollte deshalb frei in Luft gemessen werden. Ist dies nicht möglich muss der Streuanteile aus der „Nicht-Luft-Umgebung“ durch Korrekturfaktoren berücksichtigt werden.



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Messung der [Standardionendosis](#) unter klinischen Bedingungen

Die Standardionendosis  $J_s$  kann prinzipiell auch in beliebigen Umgebungsmaterialien ermittelt werden, allerdings muss der Messpunkt zur Einhaltung der Gleichgewichtsbedingung für Sekundärelektronen von einer Luftschicht umgeben sein, deren Dicke mindestens der maximalen Reichweite dieser Elektronen in Luft entspricht.

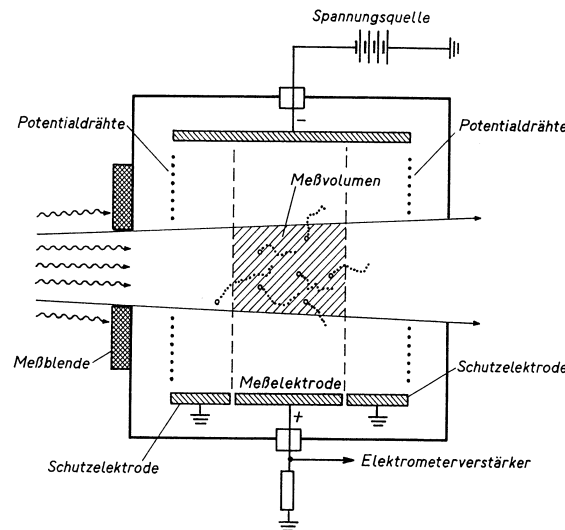
Ionisationskammern zur direkten Messung der Standardionendosis  $J_s$  können daher erhebliche Abmessungen erreichen. Dies schränkt den Einsatz dieser dosimetrischen Methode in der Praxis ein.

**Sekundärelektronengleichgewichtsmessungen sind nur bei  
Photonenstrahlungen mit Energien bis 3 MeV möglich!**



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Messung der Standardionendosis  $J_s$  unter Laborbedingungen mit wandlosen Fass- oder Parallelplatten-Ionisationskammern



Parallelplatten-Ionisationskammer zur Messung der Standard-Ionendosis (schematisch) für Röntgenstrahlungen bis 400 kV Spannung. Das Meßvolumen ist so angeordnet, daß Sekundär-Elektronen-Gleichgewicht gewährleistet ist. Der Elektrodenabstand beträgt deshalb 60 cm, die Kammer-spannung für das Arbeiten im Sättigungsbereich mehr als 10 kV.

## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Berechnung der Luftkerma  $K_a$  aus der Standardionendosis  $J_s$

$$K_a = W/e_0 \cdot J_s \cdot 1/(1-G_a)$$

$$W/e_0 = 33.97 \text{ (J/C)} = 33.97 \text{ (eV)}$$

mit

$(1-G_a)$ : Korrektur für den Bremsstrahlungsverlust

$G_a$ : Röntgenstrahlen  $G_a < 0.1\%$ ; Co-60  $G_a = 0.3\%$

$W/e_0$ : Ionisierungskonstante (inkl. Energie für Anregungen); die effektive Ionisierungsenergie eines Luftmoleküls beträgt nur ca. 15 eV



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

### Bestimmung der Kerma $K_w$

$$K_w = \frac{(\mu_{tr} / \rho)_w}{(\mu_{tr} / \rho)_a} \cdot K_a$$

Ist eine Ionisationskammer in Luftkerma kalibriert entfällt die Umrechnung der Standardionendosis und die Korrektur der Bremsstrahlungsverluste, da diese in der Kalibrierung enthalten ist.



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Bestimmung der Energiedosis ( $D_w$ )

$$D_w = \frac{(\mu_{\text{en}} / \rho)_w}{(\mu_{\text{en}} / \rho)_a} \cdot (1 - G_a) \cdot K_a$$



## Sondenarten

### Kalibrierte Sonden

In der Praxis werden zur klinischen Bestimmung der Luft-Kermadosis  $K_a$  entsprechend **kalibrierte** kleinvolumige Messkammern mit Kammerwand verwendet.

Bei kalibrierten Sonden werden die in Bezug auf die Strahlenfeldbedingungen erforderlichen Korrekturen durch den sog. **Kalibrierfaktor** berücksichtigt.

Deren Konstruktion ist ein Kompromiss zwischen der Erfüllung der speziellen Strahlenfeldbedingungen, wodurch eine angenäherte Konstanz des Ansprechvermögens in einem grösseren Energiebereich erzielt wird, und anderen praktischen Bedürfnissen wie mechanische Stabilität, ausreichende Messempfindlichkeit, gute Ortsauflösung usw..



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Bestimmung der Luft-Kerma  $K_a$  in Luft mit einer in Luftkerma kalibrierten Ionisationskammer

$$K_a = N_{K,a} \cdot M$$

Durch die Kalibrierung der Ionisationskammer in Luftkerma entfällt die Umrechnung der Standardionendosis und die Korrektur der Bremsstrahlungsverluste, da diese in der Kalibrierung enthalten ist.



# Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Bestimmung der Luft-Kerma  $(K_a)_m$  im Medium m mit einer in Luftkerma kalibrierten Ionisationskammer

$$(K_a)_m = k_{a \rightarrow m} \cdot N_{K,a} \cdot M$$

Der empirische Korrektur-Faktor  $k_{a \rightarrow m}$  für den Übergang von Luft zum Umgebungsmedium m ist zu berücksichtigen. Diese Korrektur kann bis zu 9% (Krieger 2: .Tab. 10.3) betragen.

Aus  $(K_a)_m$  kann in einem zweiten Schritt wiederum die Energiedosis  $D_m$  berechnet werden.



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

### Das Wasserenergiedosiskonzept für Photonenenergien unter 3 MeV

Die Bestimmung der Energiedosis nach dem Luftkerma-Konzept erfordert eine Reihe von Korrekturfaktoren für Bremsstrahlungs- und Umgebungskorrekturen sowie Umwandlungs- und Absorptionskoeffizienten für die jeweils untersuchten Bestrahlungsbedingungen. Da klinische Photonenspektren nur unvollständig bekannt sind, ist die Ermittlung dieser Faktoren nicht immer problemlos.

Diese Probleme lassen sich weitgehend vermeiden, wenn man Gleichgewichtssonden unter Sekundärelektronengleichgewicht direkt in **Wasserenergiedosis**  $D_w$  kalibriert. Dies ist in der klinischen Dosimetrie bei Photonenenergien bis 3 MeV möglich.



## Photonendosismessung unter Elektronengleichgewicht

Bestimmung der Wasserenergiedosis ( $D_w$ ) mit einer in Wasserenergiedosis kalibrierten Kammer bei Photonenenergien unter 3 MeV

$$D_w(\lambda) = N_w(\lambda) \cdot M$$

mit  $N_w(\lambda)$  : Wasserenergiedosiskalibrierfaktor

Bestimmung der Energiedosis ( $D_m$ ) im Medium m bei Photonenenergien unter 3 MeV

$$D_m = \frac{(\mu_{\text{en}} / \rho)_m}{(\mu_{\text{en}} / \rho)_w} \cdot D_w$$



## BRAGG-GRAY-Bedingungen bei Ionisationskammern (Hohlraumsonden)

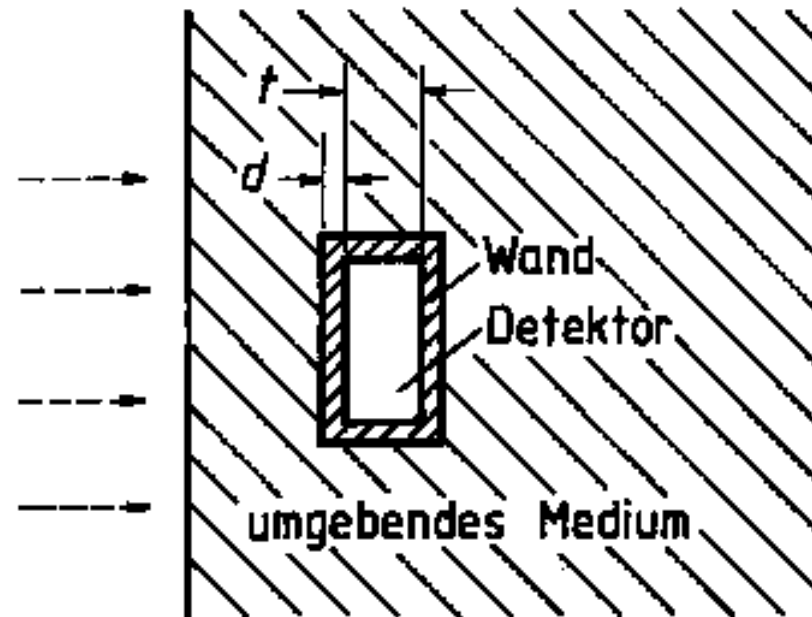
Hohlraumionisationssonden unter BRAGG-GRAY-Bedingungen müssen so beschaffen sein, dass

- 1) ihre Abmessungen (Wandstärke, Sondenvolumen) klein gegenüber der mittleren Reichweite der dosisbestimmenden Sekundärelektronen aus der Sondenumgebung sind. (Ideal wären wandlose, kleinstvolumige Kammern, die das Strahlenfeld der Sekundärelektronen nicht beeinflussen)
- 2) durch eine genügend dicke, luftäquivalente Wandung  $\delta$ -Teilchengleichgewicht erzeugt wird. Die Massenbelegung der Wandung muss somit grösser als die Massenreichweite der  $\delta$ -Teilchen sein.

Massgeben für die Dosisumrechnung sind das **Stoss- und das Strahlungsbremsvermögen** der Sekundärelektronen



## Sondendosimetrie



Sonde im umgebenden Medium,  $d$  Wanddicke,  $t$  Dicke des Meßvolumens

### Photonendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

Dosismessungen unter BRAGG-GRAY-Bedingungen sind nur nach der Sondenmethode möglich, also mit allseitig von Umgebungsmaterial umgebenen, umgebungsäquivalenten Hohlraumsonden. Die im Hohlraum der Sonde dosisbestimmenden Strahlungskomponenten sind:

- bei **Photonenstrahlung** das **Sekundärelektronenfeld**
- bei **Elektronenstrahlung** die **primären Elektronen** des **Strahlenbündels**.

Hohlraumsonden werden heute in Wasserenergiedosis  $D_w$  kalibriert.



## Photonendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

### Charakterisierung der Strahlenqualität der dosisbestimmenden Sekundärelektronen

Das Messsignal einer Ionisationskammer unter BRAGG-GRAY-Bedingung wird durch die Wechselwirkungen der Sekundärelektronen aus dem umgebenden Material mit dem Gasvolumen der Sonde bestimmt. Die dosisbestimmende Grösse ist deshalb das **Massenstossbremsvermögen** dieser Sekundärelektronen.

Der Energiefluss sowie die räumliche und spektrale Verteilung dieser Elektronen hängt von der lokale Strahlenqualität der Photonen ab. Diese ist bei Photonenstrahlungen aus Beschleunigern nur näherungsweise bekannt. Die Qualität der Sekundärelektronen ändert sich aber mit zunehmender Tiefe im Absorber nur wenig.



# Photonendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

## Charakterisierung der Strahlenqualität ultraharter Photonenstrahlungen

Die umfassende Umschreibung der Strahlenqualität ist die vollständige Angabe des Photonenspektrums und seiner Veränderung in der Tiefe des Mediums. Da genaue Angaben fehlen geht man in der klinischen Dosimetrie von dosimetrisch definierten Grössen aus:

- Halbwertschichtdicke (HWSD)
- Ionendosisverhältnis  $J_{100}/J_{200}$
- Strahlenqualitätsindex  $M_{20}/M_{10}$



## Photonendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

### Luftdosiskonzept unter Hohlraumbedingungen

Wurde eine Ionisationskammer unter Bragg-Gray-Bedingungen für Co-60-Strahlung in Hohlraumionendosis  $J_c$  kalibriert, lässt sich die Wasserenergiedosis  $D_w$  für die Strahlenqualität  $\lambda$  wie folgt berechnen:

$$D_w(\lambda) = C_\lambda \cdot J_c$$

$$C_\lambda = \frac{W}{e_0} \cdot \frac{(S/\rho)_w}{(S/\rho)_a} \cdot p_c \cdot k_\lambda = C_{\lambda,c} \cdot k_\lambda$$

$p_c$ : Korrekturfaktor Umgebung;  $k_\lambda$ : Strahlenqualitätsfaktor



# Photonendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

## Wasserenergiedosiskonzept für Photonenstrahlung unter Hohlraumbedingungen

Wurde eine Ionisationskammer für eine bestimmte Strahlenqualität (in der Regel Co-60-Gammastrahlung) unmittelbar in Wasserenergiedosis kalibriert, ergibt sich die Wasserenergiedosis  $D_w$  für anderen Photonenenergien oberhalb 3 MeV unter sonst gleichen Expositionsbedingungen wie folgt:

$$D_w(\lambda) = k_\lambda \cdot N_{w,c} \cdot M$$

$$k_\lambda = \frac{p_\lambda}{p_c} \cdot \frac{s_{w,a}(E_\lambda)}{s_{w,a}(E_c)} \quad \text{mit} \quad s_{w,a} = \frac{(S/\rho)_w}{(S/\rho)_a}$$



# Elektronendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

Bezüglich Sekundärelektronen unterscheiden sich die Verhältnisse bei einer Elektronenstrahlung im Vergleich zu einer primären Photonenstrahlung durch zwei Besonderheiten

- schneller distaler Abfall der Tiefendosis
- Abnahme der mittleren Elektronenenergie mit zunehmender Tiefe im Absorber (Phantom)

Für die Elektronendosimetrie werden Flachkammern empfohlen, da das Volumen zylindrischer Ionisationskammern in der Regel zu gross ist, um die Hohlraumbedingungen (z.B. konstanter Sekundärelektronenfluss) zu erfüllen.



# Elektronendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

Bei der Dosisumrechnung ist die lokale mittlere bzw. wahrscheinlichste Energie der Elektronen massgebend, die im Gegensatz zu den Sekundärelektronen der Photonenstrahlung mit zunehmender Tiefe im Absorber (Phantom) abnimmt. In erster Näherung lässt sich diese wie folgt abschätzen:

$$E_p(z) \approx \bar{E}(z) = E_p(0) \cdot \left(1 - \frac{z}{R_p}\right)$$



## Elektronendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

### Das Wasserenergiedosiskonzept für Elektronenstrahlungen

Zur Messung der Energiedosis von Elektronen-strahlung in Wasser unter Hohlraumbedingungen verwendet man am besten direkt in Wasserenergiedosis für Elektronenstrahlung der gewünschten Strahlenqualität kalibrierte Ionisationsdosimeter

$$D_w = N_w \cdot M$$

$N_w$  ist dabei von der Messtiefe  $z$  abhängig!!



## Elektronendosismessung unter BRAGG-GRAY-Bedingungen

Umrechnung der Energiedosis für Elektronenstrahlungen in andere Medien m

$$D_m = s_{m,w} \cdot \frac{p_{e,m}}{p_{e,w}} \cdot D_w$$

$$s_{m,w} = \frac{(S/\rho)_{m,col}}{(S/\rho)_{w,col}} (\bar{E})$$



## Sondenarten

### 2. Reale Sonden

**Diese Sonden sind reale Abbilder der idealen Sonden. Durch Korrekturen werden die durch die nicht ideale Beschaffenheit der Sonden resultierenden Abweichungen des Messwertes vom wahren Wert soweit wie möglich ausgeglichen.**



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

Bei reale Dosimetrieaufgaben sind in der Regel keine idealen Strahlenfeldbedingungen gegeben. Die verwendeten realen Dosimetriesysteme erfüllen zudem die von der Theorie vorgegebenen Bedingungen nur ungenügend. Bei der Ermittlung der verschiedenen Dosisgrößen sind deshalb eine Reihe von Korrekturen vorzunehmen.



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

Einflußgröße	Ursache	Korrekturmethode
Luftdruck, Temperatur	Gasgesetz	KV, rechnerisch
Luftfeuchte	Änderung Masse + atomare Zusammensetzung	rechnerisch
Verstärkung Anzeigegerät	elektronische Veränderungen	KV
Polarität der Kammerspannung	Aufladungseffekte	exp., rechnerisch
Höhe der Kammerspannung	Rekombinationsverluste	exp., rechnerisch
Kammerform, Kammervolumen	Strahlungsfeldstörung durch Kammer	rechnerisch, exp.
Kammerform, Kammervolumen	Verdrängung des Absorbers durch Kammer	rechnerisch, exp.
Einstrahlrichtung	Anisotropie des Ansprechvermögens der Sonde	geometrisch

Gründe und Methoden für Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie



## Kontrollen und Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

### Luftdruck- und Temperaturkorrektur

$$k_{p,T} = k_p \cdot k_T = \frac{p_0}{p} \cdot \frac{T}{T_0}$$

$T_0$  : 293.15 K ;  $p_0$ : 1013 hPa; Rel. Feuchte : 50%

Merke: 3 Grad Celsius zuwenig bzw. 10 hPa zuviel erhöhen die Dosimeteranzeige um 1 %.



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

### Luftfeuchtekorrektur

Aufgrund unterschiedlicher Werte der Ionisierungs-konstanten von Luft und Wasserdampf ( $W_{\text{Wasserdampf}}/W_a = \text{ca. } 0.9$ ) und wegen der Dichteänderung bei der Kammerluftmasse sollte bei Präzisionsmessungen auch auf Luftfeuchte korrigiert werden ( $k_{\text{Feuchte,max}} < 0.997$ )



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

### Polaritätskorrektur

Das Ansprechverhalten von Ionisationskammern kann von den Polarität der Kammerspannung abhängen. Gründe hierfür können Verzerrungen der elektrischen Felder innerhalb der Kammer sein, die durch elektrostatische Aufladungen von ionisierenden Teilen in der Ionisationssonde verursacht werden. Die Polaritätskorrektur kann experimentell bestimmt werden:

$$k_p = \frac{[(M_1 + M_2) / M_1]_{\text{ind}}}{[(M_1 + M_2) / M_1]_{\text{Co}}}$$

$M_1$  : übl. Spannungspolarität

$M_2$  : entgegenges. Polarität

Co : Kalib.-Strahlung

ind. : Test-Strahlung



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

### Sättigungskorrektur

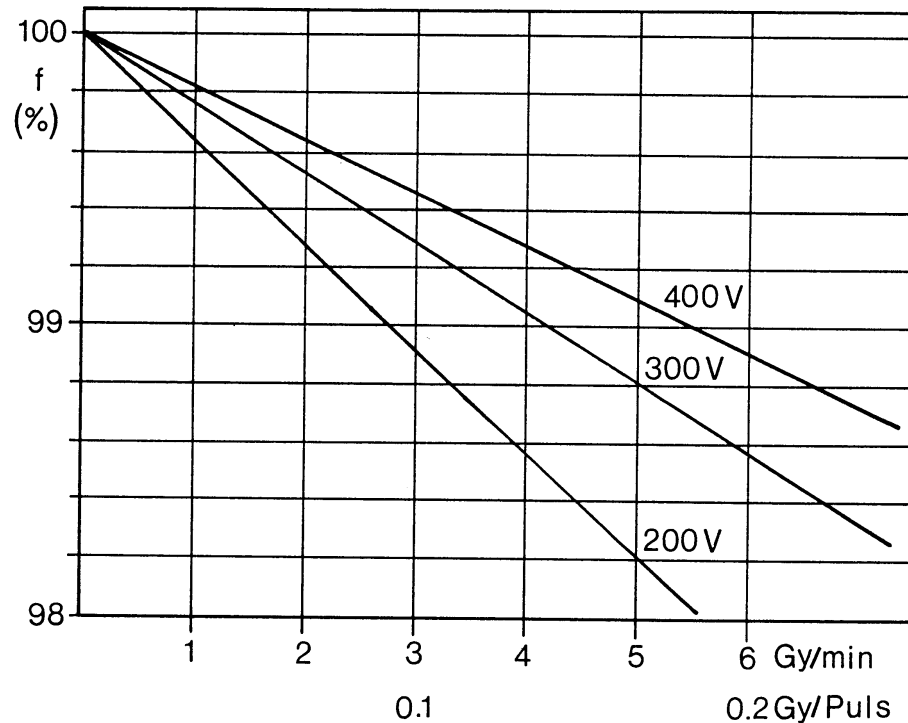
Bei hohen Dosisleistungen und bei gepulster Strahlung von Beschleunigern kommt es zu Signalverlust durch Rekombination der erzeugten Ladungsträger. Der Grund liegt in der Verdrängung des externen ladungssammelnden elektrischen Feldes bei hohen Ionisationsdichten im Gasvolumen der Sonde.

Rekombinationsverluste werden durch einen Korrekturfaktor  $k_s$  berücksichtigt. Entsprechende Werte werden in der Regel durch die Gerätehersteller angegeben. Sie lassen sich aber auch experimentell bestimmen.



# Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

## Sättigungskorrektur



Beispiel einer Sättigungsfunktion  $f$  als Funktion von Kammerspannung und Dosisleistung bzw. Pulsleistung für eine kommerzielle Flachkammer (für  $f = 100\%$  werden alle Ladungen gesammelt). Der Korrekturfaktor  $k_s$  ist der Kehrwert der Sättigungsfunktion  $f$ .

## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

### Feldstörung (engl. perturbation)

Bei Photonenstrahlungen entsteht die Ionisation im Gasvolumen der Kammer vor allem durch Sekundärelektronen, die im Material der Kammerwand ausgelöst wurden. Wenn Kammerwand und umgebendes Medium verschieden sind, führt dies zu einer Feldstörung, d. h. Veränderung des ursprünglichen Strahlenfeldes.

Werden Messungen in einem Elektronenfeld durchgeführt, so führt das Einbringen eines luftgefüllten Hohlraumes durch verminderte Streuung ebenfalls zu Veränderungen des ungestörten Strahlenfeldes.

Entsprechende Korrekturfaktoren können experimentell oder rechnerisch ermittelt werden.



## Äquivalente Messgeometrie

Dosisverteilungen werden nicht nur durch die Wechselwirkungen des Strahlenfeldes mit dem Medium beeinflusst, sondern auch durch die Bestrahlungsgeometrie, insbesondere durch den Abstand der Strahlenquelle vom Phantom. Deshalb müssen bei der Umrechnung von Dosiswerten in verschiedenen Materialien wegen den unterschiedlichen effektiven Messtiefen rechnerische Korrekturen für die Divergenz des Strahlenbündels, z. B. nach dem Abstandsquadratgesetz, berücksichtigt werden.



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

### Feldverdrängung (engl. displacement)

Wird eine luftgefüllte Sonde in das Phantommaterial eingebracht, so verändert sich durch die geringere Dichte der Sonde die Wechselwirkungsrate in diesem verdrängten Volumen. Das Kammersignal entspricht deshalb nicht mehr der Energiedosis an diesem Punkt sondern einem geometrisch verschobenen Ort im Phantom (Messortverschiebung). Der effektive Messort einer Ionisationskammer ist etwa die dem Strahl zugewandte Vorderseite des empfindlichen Sondenvolumens.

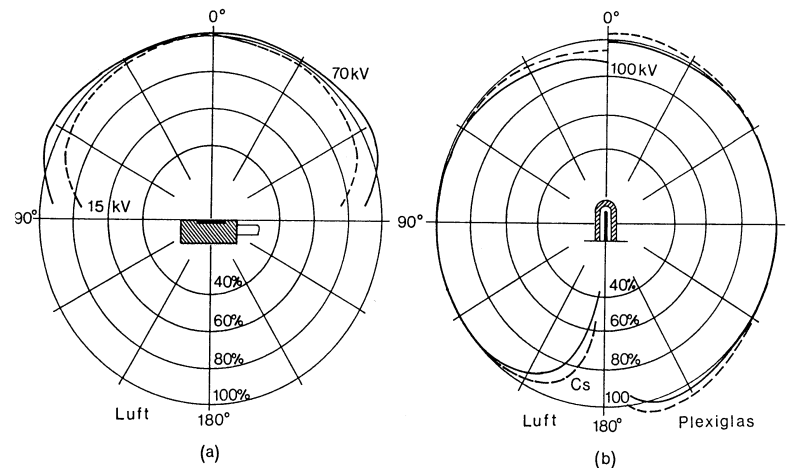
Merke: für Zylindrische Kammern gilt:  $\Delta r = 0.5 r$



## Korrekturen bei der Ionisationsdosimetrie

Alle in der klinischen Dosimetrie verwendeten Ionisationskammern zeigen ausgeprägte, von ihrer Bauart abhängige Richtungsabhängigkeiten ihrer Anzeigen. Dies ist bei der Positionierung solcher Kammern zu beachten. Die Richtungsabhängigkeit wird zudem von der Strahlenqualität und dem umgebenden Medium beeinflusst.

### Richtungsabhängigkeit



Richtungsabhängigkeiten der Meßanzeigen kommerzieller Ionisationskammern, (a): Weichstrahlkammer (in Luft, Anzeige bei 0° auf 100% normiert), (b): gestreckte Fingerhutkammer (Volumen 0.3 cm<sup>3</sup>), links in Luft, rechts in Plexiglas, Anzeige bei 90° auf 100% normiert, Cs:  $^{137}\text{Cs}$ -Gammastrahlung).



# Ionisationsdosimetrie