

# Pränatale Strahlenexposition aus medizinischer Indikation

Dosisermittlung, Folgerungen für  
Arzt und Schwangere

H.-K. Leetz, Homburg

Biologische Effekte einer pränatalen Strahlenexposition: Werte für Risiko-Koeffizienten und ggf. des risikorelevanten Zeitraumes sowie untere Schwellenwerte der Dosis für das Auftreten des jeweiligen Effektes nach Exposition mit locker ionisierender Strahlung (1 mSv = 1 mGy bei locker ionisierender Strahlung).

Effekt	Zeitraum nach Konzeption	Unterer Schwellenwert der Dosis für Auftreten des Effekts	Risiko-Koeffizient
Tod während der Präimplantationsphase	-10 d	100 mSv	0,1 % pro mSv *
Mißbildungen	10 d - 8. Woche	100 mSv	0,05 % pro mSv *
Schwere geistige Retardierung	8. - 15. Woche	300 mSv	0,04 % pro mSv *
	16. - 25. Woche	300 mSv	0,01 % pro mSv *
IQ-Reduktion (Intelligenztest)	8.-15. Woche		0,03 IQ pro mSv
	16.-25. Woche		0,01 IQ pro mSv
Maligne Erkrankungen			0,006% pro mSv
Vererbare Defekte			0,0003 % pro mSv männl.
			0,0001 % pro mSv weibl.
			* oberhalb des Schwellenwertes

## Beispiel 1:

Dosisabschätzung:

Strahlenexposition von Embryo bzw. Fetus = 20 mSv.

Folgerung: Effekte 1 - 3 sind **nicht** zu diskutieren, da die Dosis unterhalb der dort angegebenen Schwellendosis liegt.

Exposition in der 8. – 15. Woche: Reduktion des Intelligenzquotienten im Mittel um weniger als 1 IQ-Punkt.

Induktion maligner Erkrankungen: Risiko in der Größenordnung von 0,12 % entsprechend 1:830.

Induktion vererbbarer Defekte: Risiko bei der Exposition eines männlichen Feten in der Größenordnung von < 0,006 % entsprechend < 1:15000.

Risiko bei der Exposition eines weiblichen Feten < 0,002 % entsprechend < 1:50000,

## Beispiel 2:

Dosisabschätzung:

Strahlenexposition von Embryo bzw. Fetus = 200 mSv (d. h. 100 mSv über der Schwelle)

Folgerungen: Effekte 1-2 diskutieren.

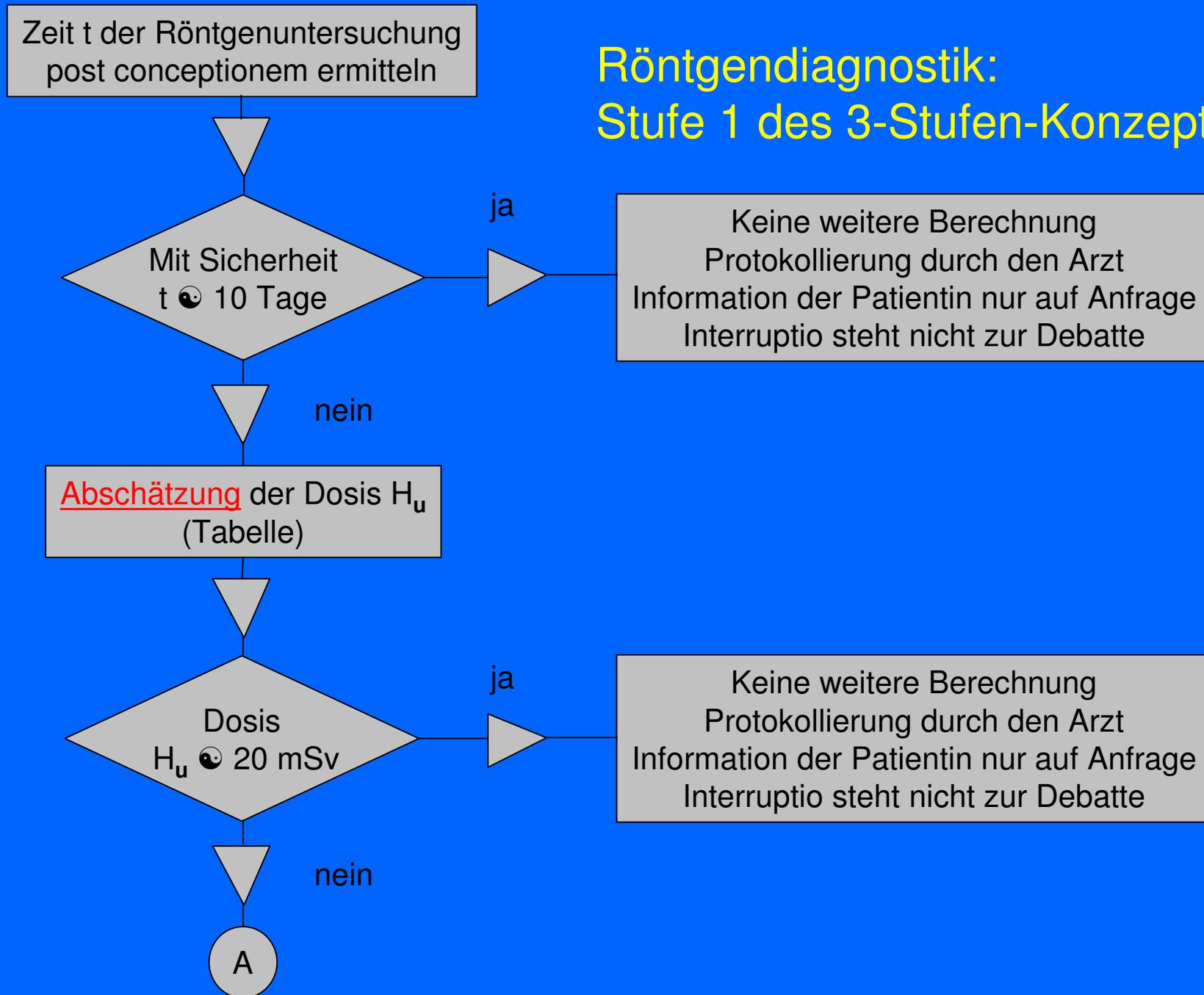
Je nachdem, ob man die Risiko-Koeffizienten auf die ermittelte Dosis abzüglich der Schwellendosis oder auf die ermittelte Dosis selbst anwendet, erhält man

- bei einer Exposition während der Präimplantationsphase ein Risiko des Absterbens des Embryos vor der Implantation im Bereich von 10 - 20 %;
- bei einer Exposition im Zeitraum zwischen 10 d und der 8. Woche ein Mißbildungsrisiko im Bereich von 5 - 10 %;
- bei einer Exposition zwischen der 8. und 15. Woche ein Risiko der Reduktion des Intelligenzquotienten um 6 IQ-Punkte;
- bei einer Exposition zwischen der 16. und 25. Woche ein Risiko der Reduktion des Intelligenzquotienten um 2 IQ-Punkte;
- ein Risiko der Induktion maligner Erkrankungen in der Größenordnung von 1,2 %;
- ein Risiko vererbbarer Defekte in der Größenordnung  $< 0,06$  % (männl.) bzw.  $< 0,02$  % (weibl.).

## Das 3-Stufen-Konzept zur Dosisermittlung in der Röntgen-Diagnostik

	Methoden	Durchführung
<b>Stufe 1</b>	grobe Abschätzung nach Tabellen	Arzt
<b>Stufe 2</b>	Abschätzung durch Berechnung mit Untersuchungsparametern und geräte- und patiententypischen Daten	Medizinphysiker
<b>Stufe 3</b>	Berechnung auf der Basis individueller Untersuchungsparameter und geräte- und patientenspezifischer Daten	Medizinphysiker

## Röntgendiagnostik: Stufe 1 des 3-Stufen-Konzepts



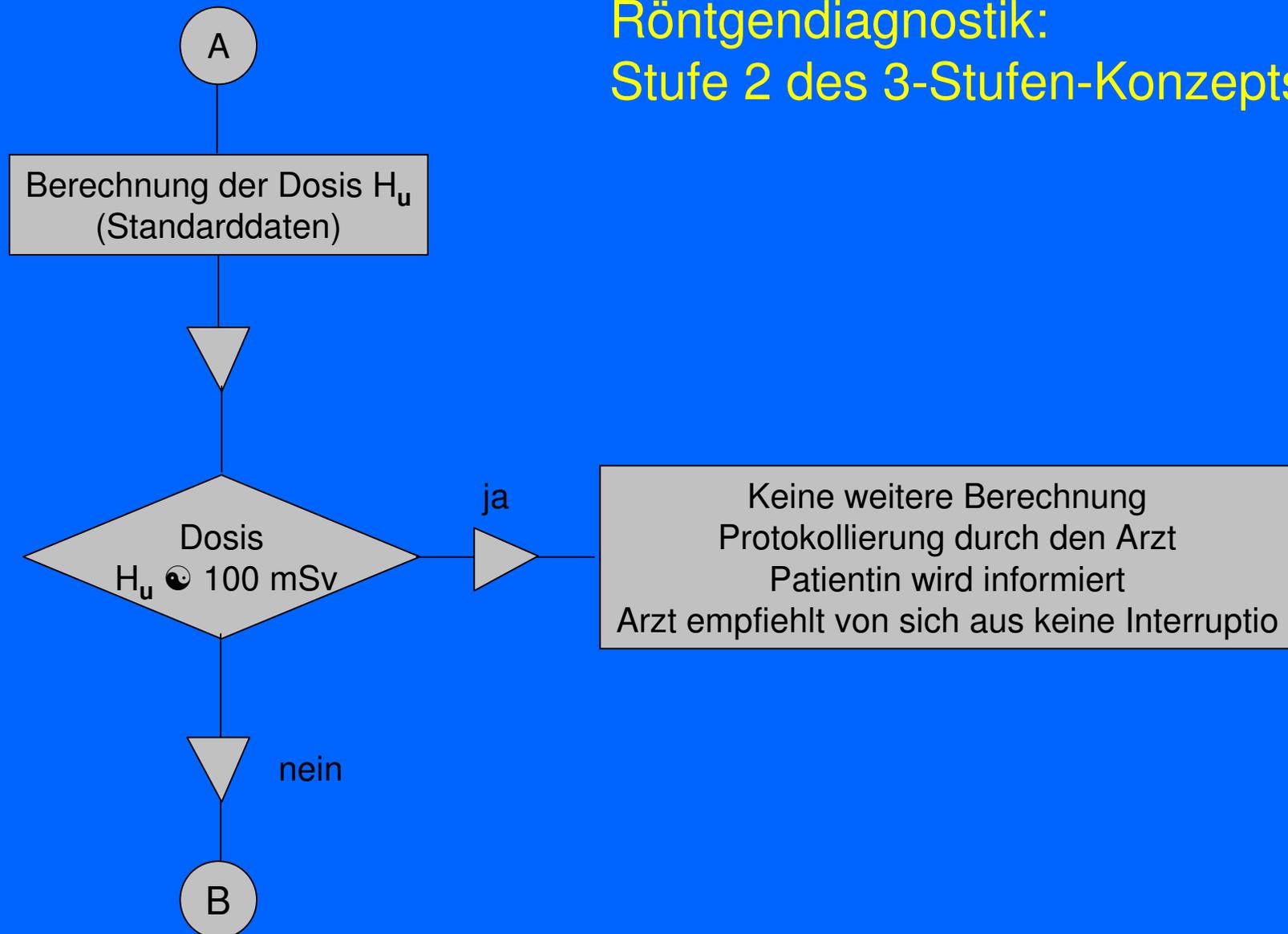
## Höchstwerte der Äquivalentdosis für den Uterus in mSv bei Röntgenaufnahmen

Projektion	Äquivalentdosis für den Uterus in mSv pro Aufnahme						
	a.p.			p.a.			lat.
Konstitution	dünn 17 cm	normal 22 cm	dick 26 cm	dünn 17 cm	normal 22 cm	dick 26 cm	normal 36 cm
Rasteraufnahme mit Film-Folien- System	2	3	5	1	1,5	2,5	4
Digitale Bildverstärker- Aufnahme	1	1,5	2	0,5	0,8	1	2
DSA-Aufnahme	4	6	10	2	3	5	8

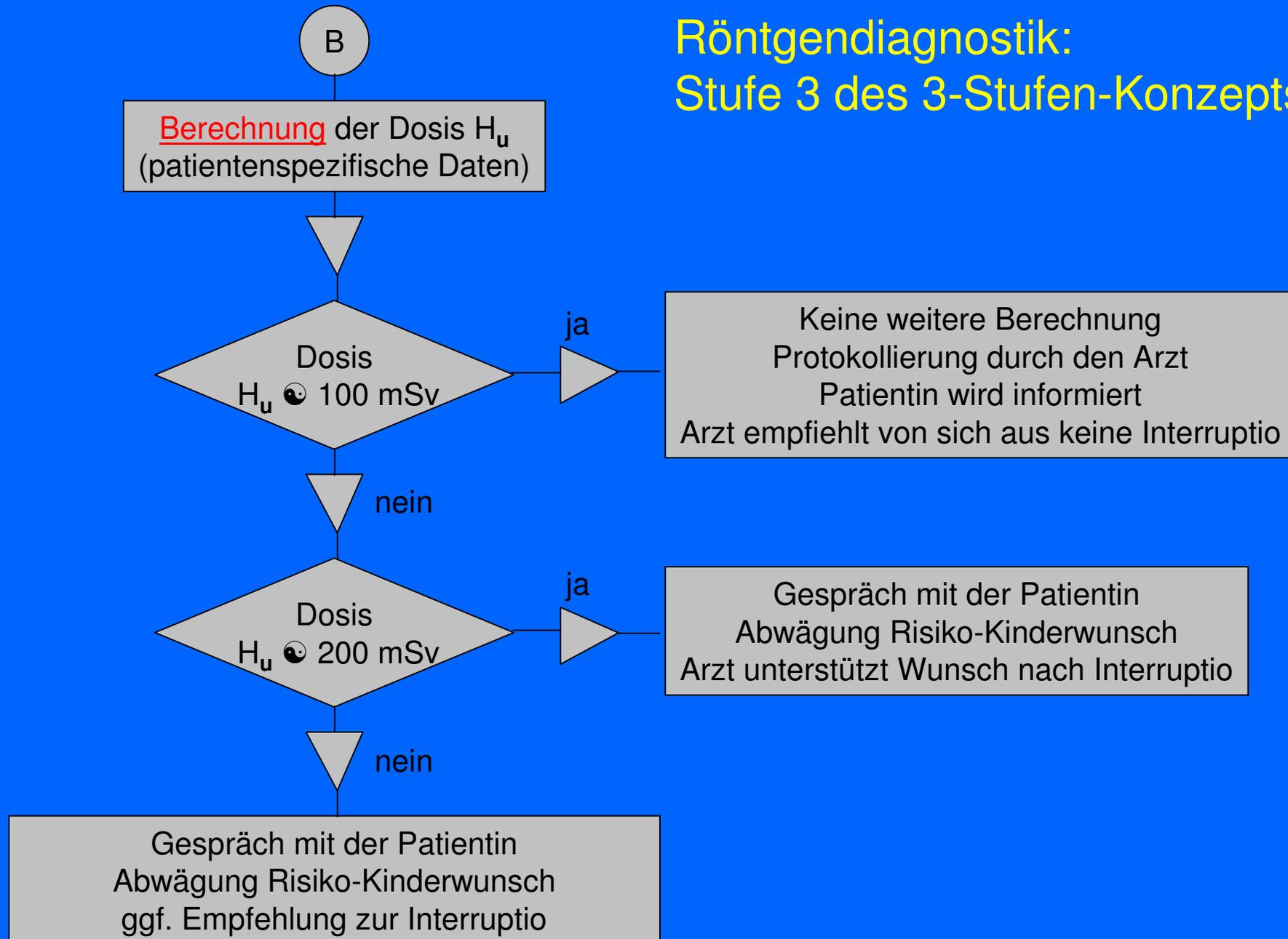
- Annahme: Uterus liegt bei einer ap-Aufnahme bei 3/10 des Patientendurchmessers bzw. seitlich etwa in Patientenmitte.
- Annahme: Strahlungsqualität 70 - 80 kV , Filterung etwa 2,5 mm Al
- Annahme: Dosisbedarf am Bildempfänger 5  $\mu$ Gy pro Aufnahme mit Film-Folien-System, 2  $\mu$ Gy bei digitalen BV-Aufnahmen sowie von 10  $\mu$ Gy bei DSA-Aufnahmen .



## Röntgendiagnostik: Stufe 2 des 3-Stufen-Konzepts



## Röntgendiagnostik: Stufe 3 des 3-Stufen-Konzepts



### **Berechnung der Uterusdosis $H_u$ :**

Stufe 2: Gerätetypische Eingangsgrößen und Standardwerte für Exposition und Patientengeometrie.

Stufe 3: gerätespezifische Eingangsgrößen, z.B. aus Protokollen der Abnahmeprüfung nach §16 der RÖV und Expositionsbedingungen unter Berücksichtigung der Patientengeometrie, in Ausnahmefällen mit entsprechenden Phantomen meßtechnisch erfaßt.

### **Berechnungsmethodik:**

- mit Hilfe von Organdosis-Konversionsfaktoren aus der Einfalldosis oder dem Dosisflächenprodukt standardisierter Untersuchungen,
- mit Hilfe des Gewebe-Luft-Verhältnisses ausgehend von der Einfalldosis und der daraus abgeleiteten Gewebe-Energiedosis in Uterustiefe und
- mit Hilfe von Tiefendosistabellen aus der Einfalldosis oder der strahleneintrittsseitigen Oberflächendosis.

### **Berechnung der Einfalldosis $K_E$ nach dem Quellenkonzept:**

Die Einfalldosis  $K_E$  wird nach dem Quellenkonzept bei bekannten Aufnahme- oder Durchleuchtungs-Parametern aus der auf den Röhrenstrom bezogenen Luftkermaleistung im Fokusabstand  $d_K$  (s. auch Kenndosisleistung) ermittelt nach:

$$K_E = \dot{K}_a(I, d_K) \cdot I_R \cdot t \cdot (d_K / d_E)^2$$

Hier bedeuten:

$\dot{K}_a(I, d_K)$  röhrenstrombezogene Luftkermaleistung im Fokusabstand  $d_K$

$K_E$  Einfalldosis pro Aufnahme oder Durchleuchtungsabschnitt. Die Einfalldosis ist die Luftkerma auf dem Zentralstrahl am Ort des Strahleneintritts in den Patienten ohne Rückstreuung aus dem Patienten.

$I_R$  Röhrenstrom

$t$  Aufnahme- oder Durchleuchtungszeit

$d_E$  Fokusabstand der Strahleneintrittsseite der Patientin (Fokus-Haut-Abstand)

$d_K$  Bezugsfokusabstand zur Angabe der Kenndosisleistung

### **Berechnung der Einfalldosis $K_E$ nach dem Bildempfängerkonzept:**

Die Einfalldosis  $K_E$  wird nach dem Bildempfängerkonzept aus dem Dosis- bzw. Dosisleistungsbedarf des Bildempfängers unter Berücksichtigung der Schwächung der Röntgenstrahlung zwischen der Strahleneintrittsseite der Patientin und dem bildgebenden System bestimmt:

Es gilt für Aufnahmen:  $K_E = S \cdot K_B$

und für Durchleuchtung:  $K_E = S \cdot \dot{K}_B \cdot t$

In den Gleichungen bedeuten:

- $K_E$  Einfalldosis pro Aufnahme oder Durchleuchtungsabschnitt
- $K_B$  Dosis (Luftkerma) pro Aufnahme am Bildempfänger
- $\dot{K}_B$  Dosisleistung (Luftkermaleistung) am BV-Eingang (Meßwert mit gewebeäquivalentem Phantom, falls hinter dem Streustrahlenraster gemessen werden kann). Wenn anlagenspezifische Meßwerte benutzt werden, ist die Energieabhängigkeit des Bildempfängers zu berücksichtigen
- t Durchleuchtungszeit
- S Gesamtschwächungsfaktor zwischen der Strahleneintrittsseite der Patientin und dem Bildempfänger

## Berechnung der Uterusdosis $H_U$ nach dem Konversionsfaktorenkonzept

Nach dem Konversionsfaktorenkonzept kann die Uterusdosis  $H_U$  sowohl aus der Einfalldosis  $K_E$  als auch aus dem Dosisflächenprodukt  $P_F$  nach

$$H_U = K_E \cdot f_U$$

oder 
$$H_U = P_F \cdot f'_U$$

Hier bedeuten:

- $H_U$  Organdosis für den Uterus (über die Organmasse gemittelte Äquivalentdosis)
- $K_E$  Einfalldosis
- $P_F$  Dosisflächenprodukt
- $f_U, f'_U$  Organdosis-Konversionsfaktor für Uterus in mSv/mGy bei Bezug auf die Einfalldosis oder in mSv/(mGy·cm<sup>2</sup>) bei Bezug auf das Dosisflächenprodukt für standardisierte Projektionen

### **Berechnung der Uterusdosis $H_U$ mit dem Gewebe-Luft-Verhältnis:**

Die Uterus-Energiedosis  $D_U$  erhält man durch Multiplikation der Energiedosis  $D_{dm}$  eines Gewebeelementes  $dm$  frei in Luft im Fokusabstand des Uterus durch Multiplikation mit dem Gewebe-Luft-Verhältnis  $T_a$

$$D_U = D(d_E, x_U, F_U) = D_{dm}(d_E + x_U) \cdot T_a(x_U, F_U)$$

mit 
$$D_{dm}(d_E + x_U) = K_E \cdot (d_E / (d_E + x_U))^2 \cdot t_{w/a}$$

ergibt sich 
$$D_U = K_E \cdot (d_E / (d_E + x_U))^2 \cdot t_{w/a} \cdot T_a(x_U, F_U)$$

In den Gleichungen bedeuten:

- $D(d_E, x_U, F_U)$ : Uterusdosis (Organ-Energiedosis) im Fokusabstand  $d_E + x_U$
- $D_{dm}(d_E + x_U)$ : Dosis im Gewebeelement  $dm$  im Fokusabstand  $d_E + x_U$  frei in Luft
- $x_U$  : Gewebetiefe des Uterus in Strahlrichtung
- $F_U$  : Feldgröße (quadratisches Äquivalentfeld) in der Tiefe  $x_U$
- $T_a(x_U, F_U)$ : Gewebe-Luft-Verhältnis für Gewebetiefe  $x_U$  und Feldgröße  $F_U$
- $t_{w/a}$  : Dosisumrechnungsfaktor ( Quotient der Massenenergieabsorptionskoeffizienten für Wasser und Luft.

### **Berechnung der Uterusdosis $H_U$ mit Tiefendosistabellen:**

Mit Hilfe tabellierter relativer Tiefendosen kann die Uterus-Energiedosis  $D_U$  aus der Gewebe-Oberflächendosis  $D_O$  ermittelt werden gemäß:

$$D_U = D_O \cdot D_{\text{rel}}(x_U, F_E)$$

mit  $D_O = K_E \cdot B \cdot t_{w/a}$

folgt  $D_U = K_E \cdot B \cdot t_{w/a} \cdot D_{\text{rel}}(x_U, F_E)$

In den Gleichungen bedeuten:

$D_O$  : Strahleneintrittsseitige Gewebe-Oberflächendosis (Hautdosis)

$B$  : Rückstreufaktor

$D_{\text{rel}}(x_U, F_E)$ : Relative Tiefendosis für Uterustiefe  $x_U$  und Feldgröße  $F_E$



# Das Konzept zur Dosisermittlung in der Strahlentherapie

Anwendung des 3-Stufen-Konzepts entfällt.

Perkutane Bestrahlung oder Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe in einer Brachytherapie:

Die Ermittlung der Uterusdosis  $D_u$  wird unmittelbar in die physikalische Bestrahlungsplanung integriert.

Angesichts der Seltenheit dieser besonderen Situation im radioonkologischen Klinikalltag sollte individuell in jedem Fall gemeinsam durch fachkundige Medizinphysiker und Radioonkologen entschieden werden, welche weiteren Hilfsmittel und welcher Planungs- bzw. Berechnungsaufwand eingesetzt werden muß, um die Uterusdosis hinreichend genau ermitteln zu können.

# Das Konzept zur Dosisermittlung in der Nuklearmedizin

Die Anwendung des 3-Stufen-Konzepts entfällt.

Die Strahlenexposition des Embryos bzw. Feten ist abhängig von:

- den physikalischen Eigenschaften des Radionuklids
- der applizierten Aktivität,
- dem Verteilungsmuster und Eliminationsverhalten des Radiopharmakons.

Sie kann nicht gemessen werden, sondern muss unter vereinfachenden Annahmen bezüglich der Anatomie der Patientin und der Biokinetik des Radiopharmakons berechnet werden.

Die übliche nuklearmedizinische Diagnostik ist mit Werten der mittleren Embryonal- oder Fetaldosis von meist weniger als 10 mGy verbunden.

Bei der Therapie der Hyperthyreose und der Struma maligna unter Verwendung von I-131 Natriumiodid auftretenden Dosen betragen 50 - 300 mSv, eine Therapie mit I-131 Natriumiodid während der Schwangerschaft ist daher kontraindiziert.

Quellenangabe:

Das Dokument:

**Pränatale Strahlenexposition aus medizinischer Indikation**

Dosisermittlung, Folgerungen für Arzt und Schwangere

ist als DGMP-Bericht Nr. 7 im Jahre 2002 erschienen und kann von der Homepage der DGMP ([www.dgmp.de](http://www.dgmp.de)) kostenlos heruntergeladen werden.