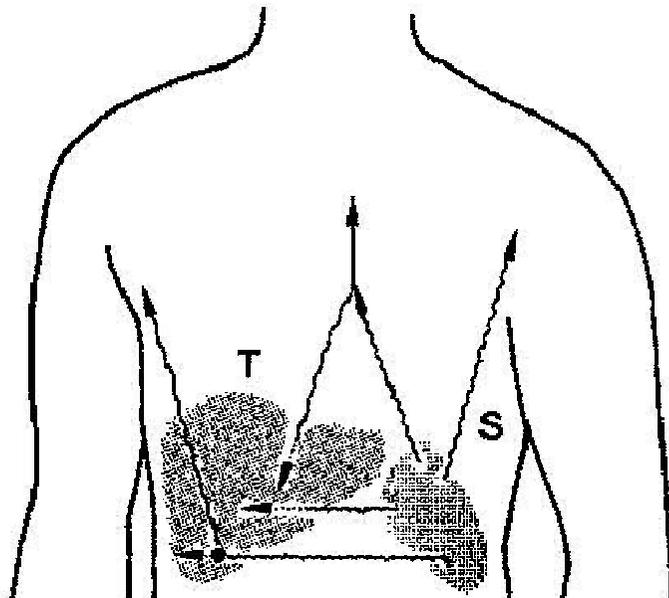


Neuentwicklungen von Modellen für die interne Dosimetrie durch die ICRP

Dietmar Noßke
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Umwelt und Gesundheit
Oberschleißheim/Neuherberg



Modelle in der internen Dosimetrie



Biokinetische Modelle

berechnen die Anzahl der Zerfälle in den Quellenbereichen S

Dosimetrische Modelle

berechnen die Dosis im Targetgewebe T auf Grund eines Zerfalles Im Quellenbereich S

Ziel des Vortrags

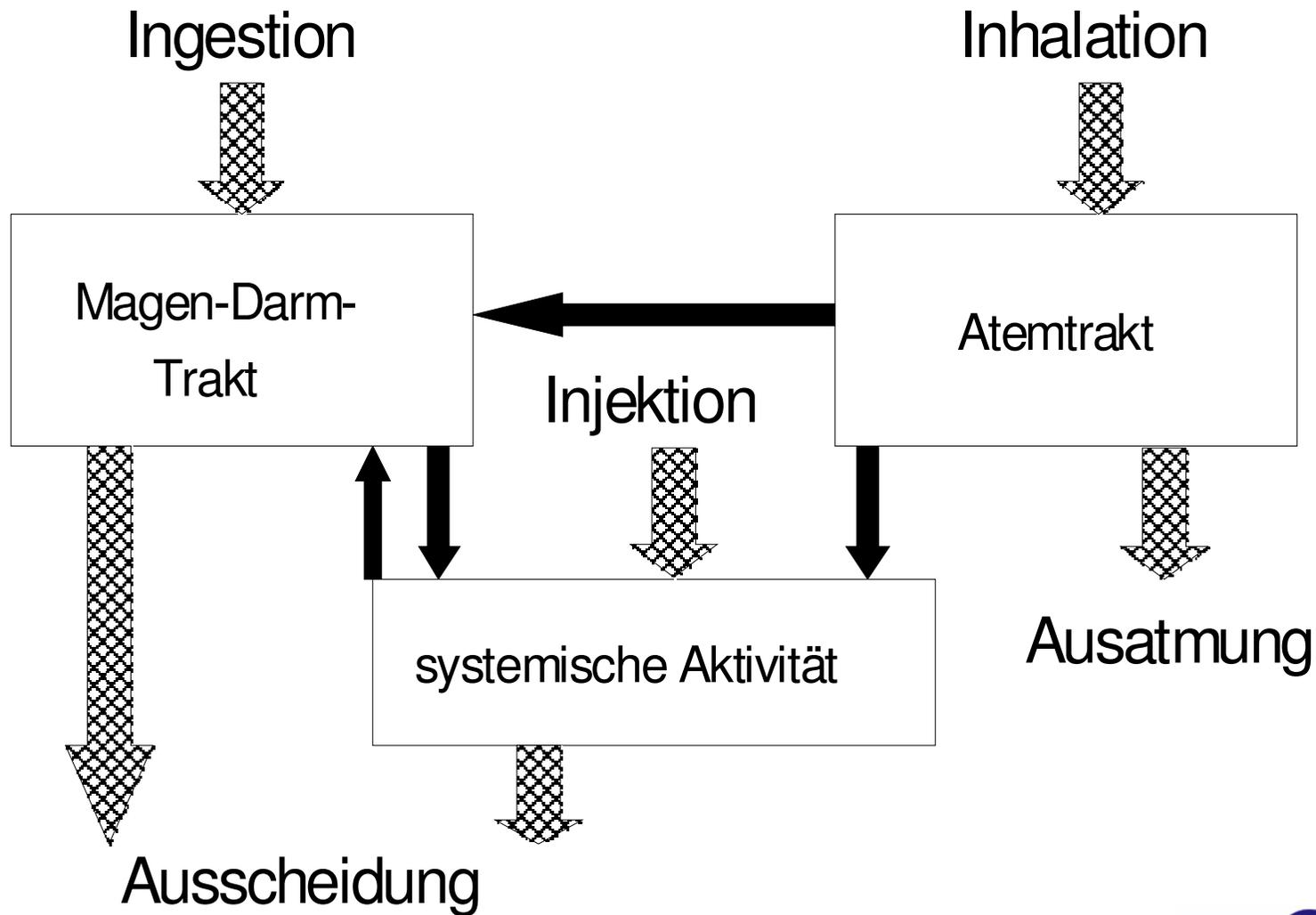
- Vorstellung der neuen biokinetischen und dosimetrischen Modelle der ICRP für beruflich Strahlenexponierte (in den OIR-Reports) im Vergleich mit den gegenwärtigen Modellen
- Überlegungen zu den möglichen Auswirkungen dieser Modelländerungen auf die Dosiskoeffizienten
- Besondere Berücksichtigung von C-14
- Berücksichtigung von Besonderheiten für Radiopharmaka

Achtung

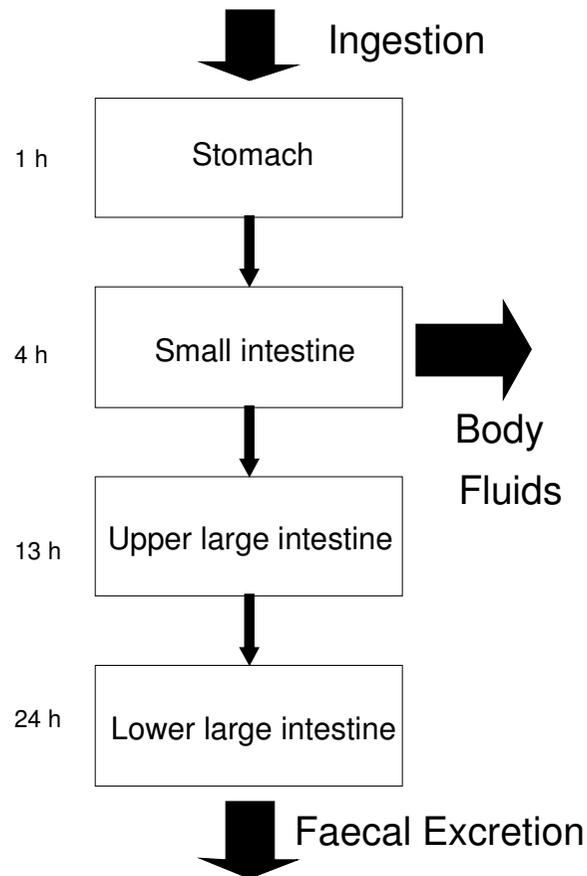
- Modelle noch nicht publiziert

=> Inhalt des Vortrages (noch) nicht ICRP

Biokinetische Modelle

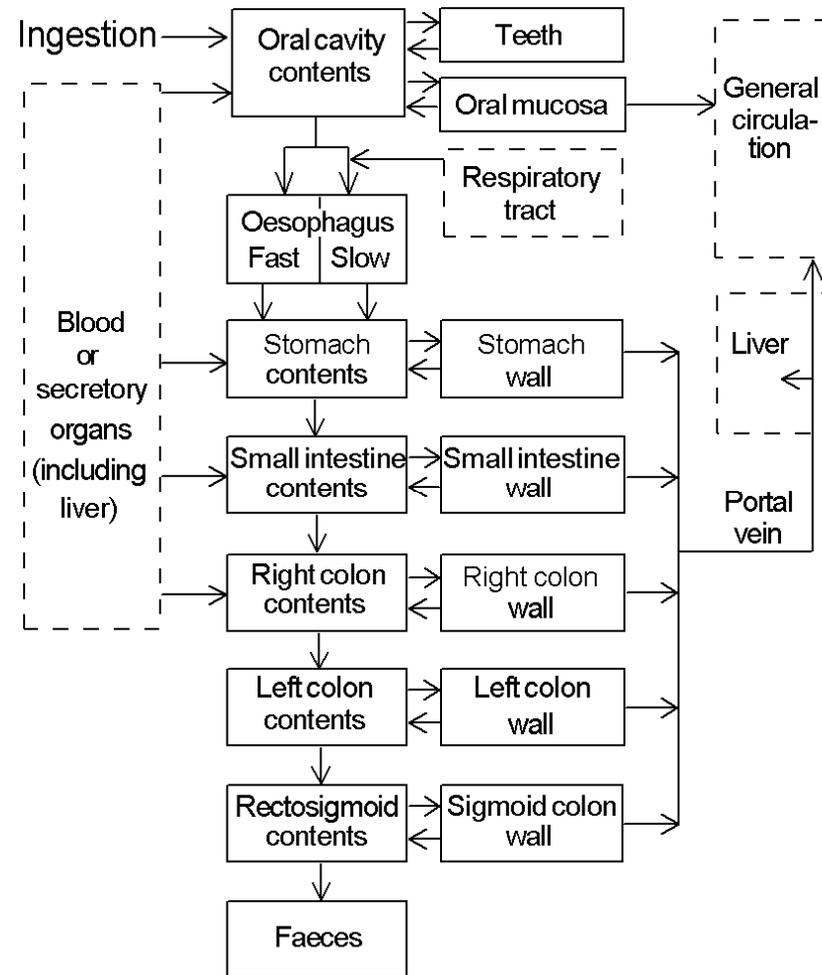
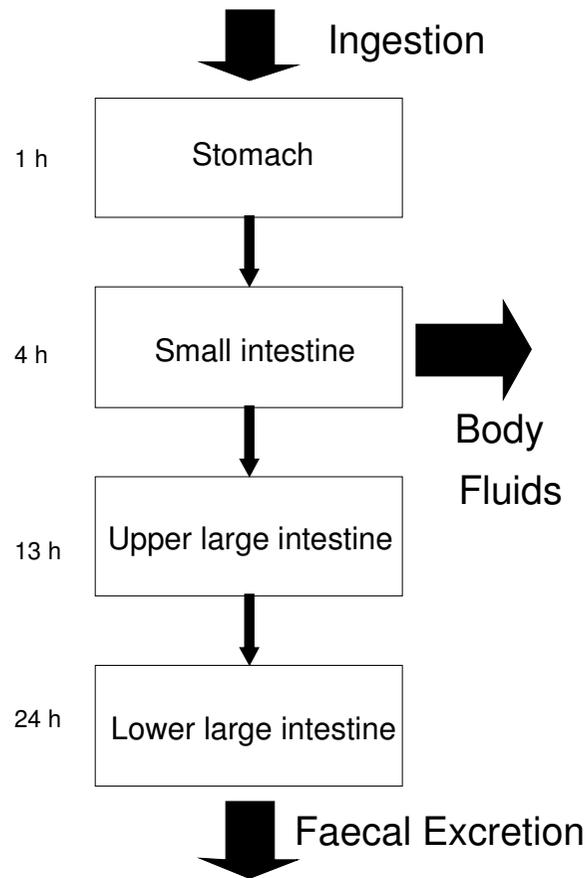


Magen-Darm-Trakt-Modell (ICRP 30)



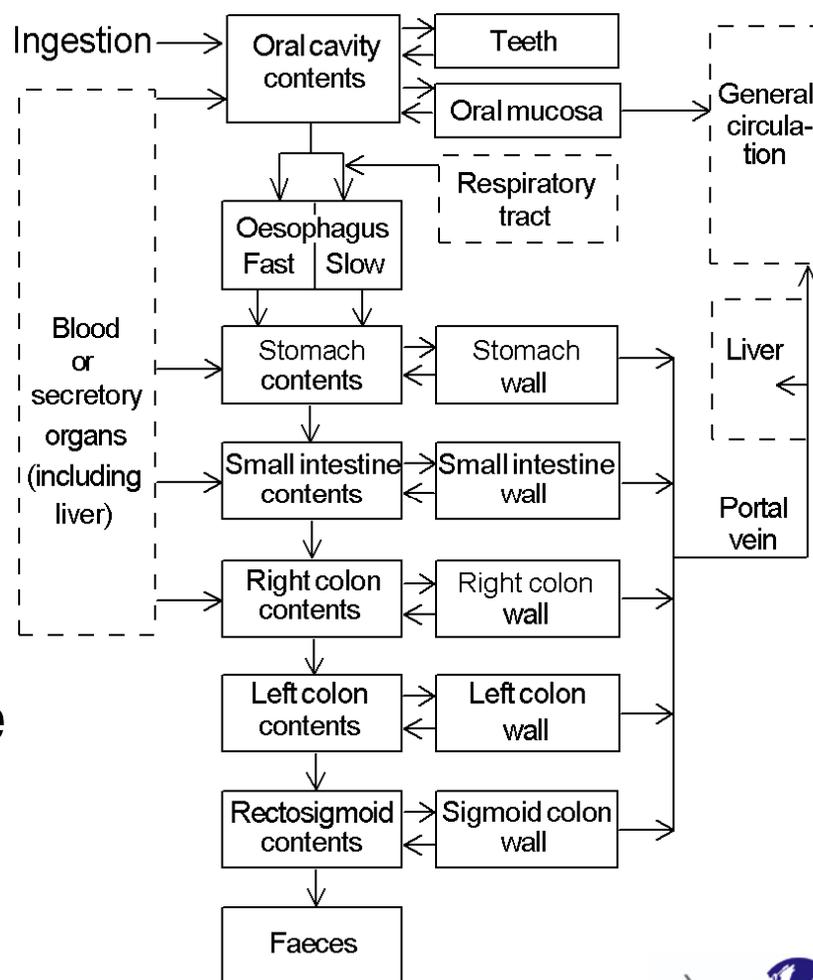
- Transferraten durch den Trakt unabhängig von Alter, Geschlecht und Material
- Anteil, der ins Blut absorbiert wird, abhängig von Alter und Material (Löslichkeit)

Weiterentwicklung des Magen-Darm-Trakt-Modells



Verdauungstraktmodell (ICRP 100)

- mehr Kompartimente
- Transferraten abhängig von Alter, Geschlecht und Material
- genauere Modellierung der Absorptionsprozesse
- Targetgewebe strahlensensible Zellen in einer bestimmten Tiefe der Wände (keine Dosis durch α -Emitter im Inhalt)



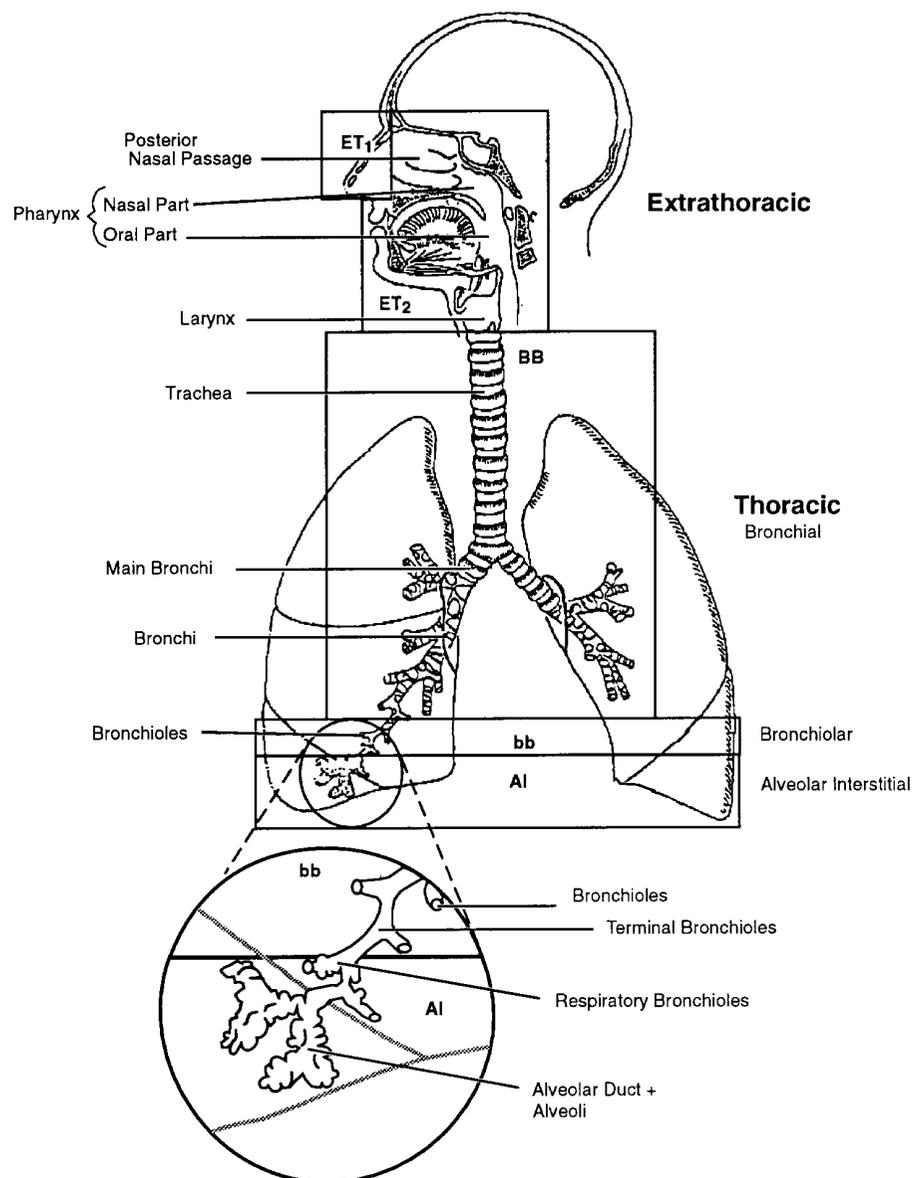
Durchschnittliche Aufenthaltszeiten im Verdauungstrakt

	ICRP 100			ICRP 30
	männlich	weiblich		
Mund	12 s	12 s		
Speiseröhre	7 / 40 s	7 / 40 s		
Magen	70 min	95 min	Magen	60 min
Dünndarm	4 h	4 h	Dünndarm	4 h
rechter Kolon	12 h	16 h	oberer Dickdarm	13 h
linker Kolon	12 h	16 h	unterer Dickdarm	24 h
Rektosigmoid	12 h	16 h		

Anwendung des Verdauungstraktmodells

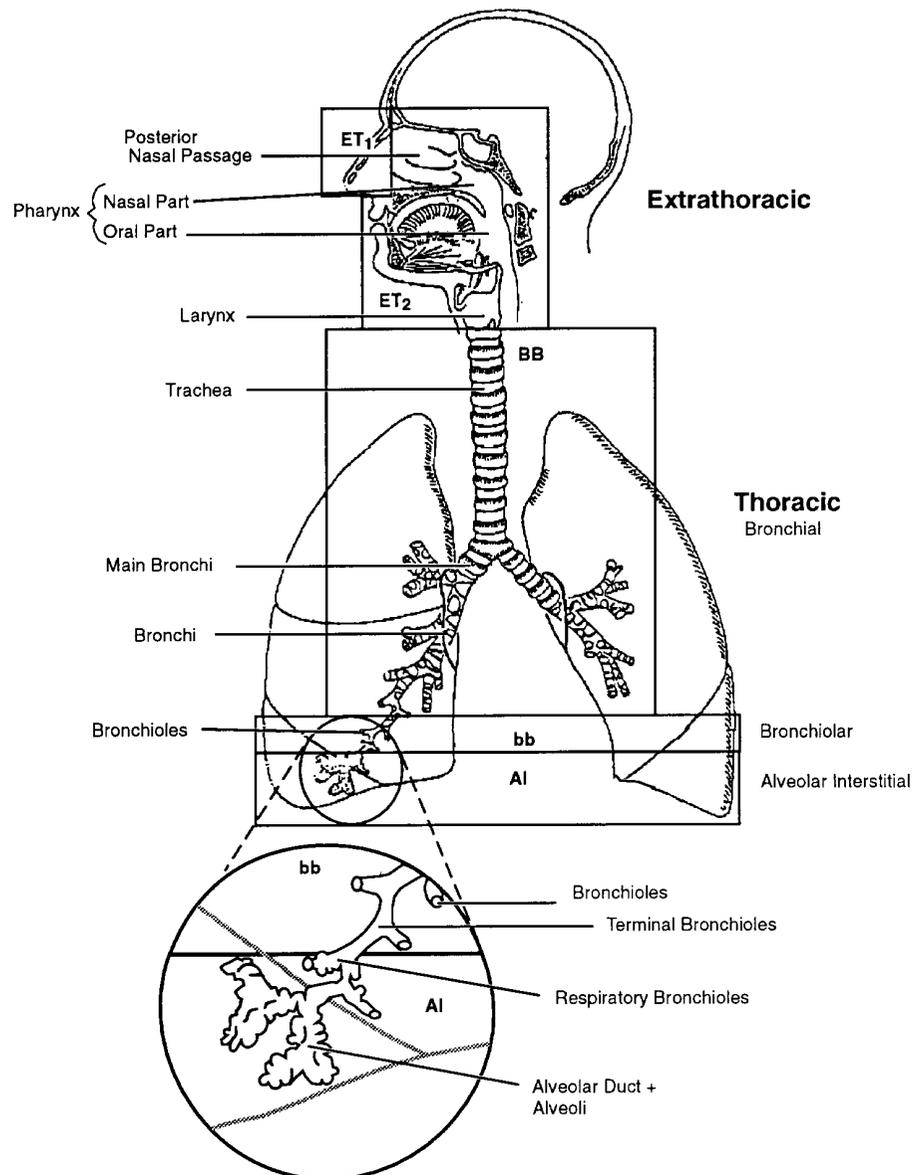
- in OIR (bisher) keine Verwendung eines speziellen Absorptionsverhaltens
 - entsprechende Kenntnisse sollten aber erworben und angewandt werden
- in OIR nur männliche Transferraten
 - es sollten auch weibliche Transferraten berücksichtigt werden
- in OIR kaum Änderungen der Dosiskoeffizienten wegen der neuen Transferraten
- realistischere Dosis für die Speiseröhre (ca. 50% höher)
- (deutliche) Verringerung der Dosis für die Wände des Verdauungstrakts durch Zerfälle im Inhalt für kurzreichende Strahlung (0 für α -Strahlung)

Biokinetische Modelle für den Atemtrakt



Bei den gegenwärtigen ICRP-Modellen Unterscheidung des extrathorakalen Atemtrakts (vorderer Nasenbereich sowie Pharynx, Larynx) und des thorakalen Atemtrakts (Bronchien, Bronchiolen, Alveolarbereich)

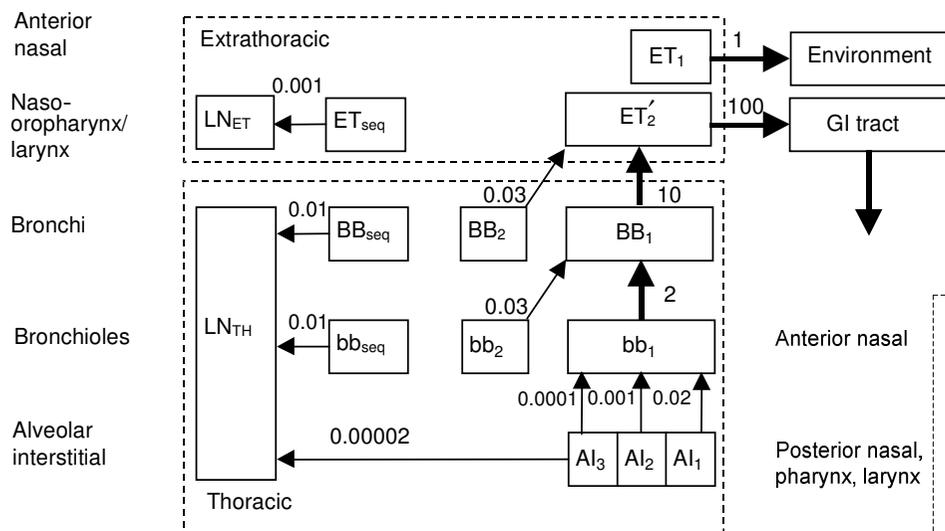
Biokinetische Modelle für den Atemtrakt



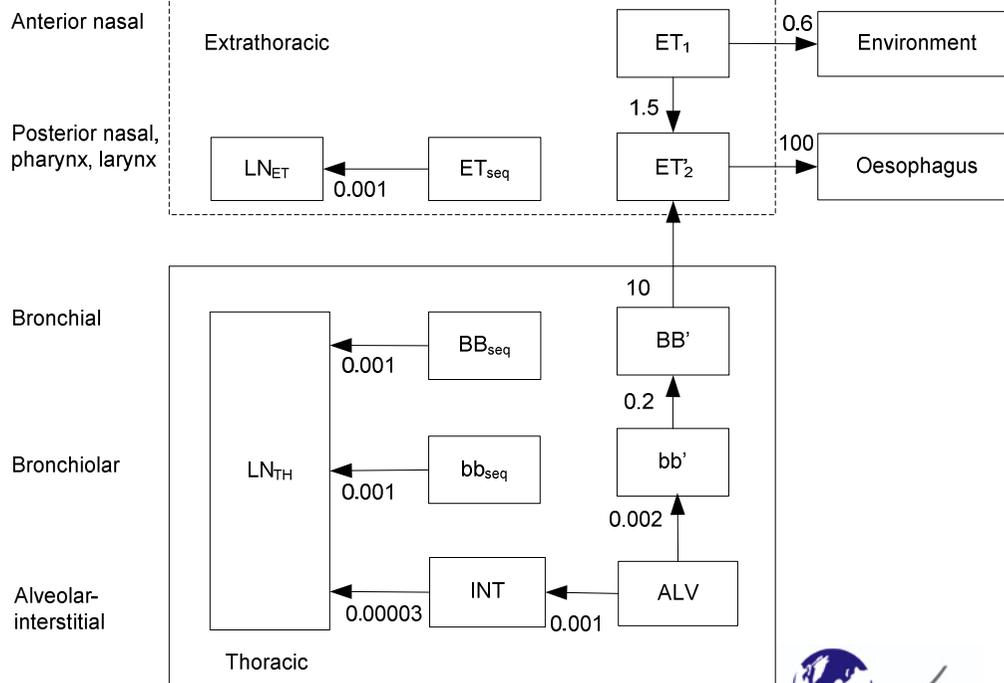
Deposition in den Bereichen des Atemtrakts hängt bei Aerosolen insbesondere von der Teilchengröße (AMAD) ab, bei Gasen von der Löslichkeit und Reaktivität

Außer im vorderen Nasenbereich konkurrieren mechanischer Transport in die oberen Luftwege und in die Lymphknoten sowie Absorption ins Blut

Änderungen der Struktur des Atemtraktmodells



ICRP 66



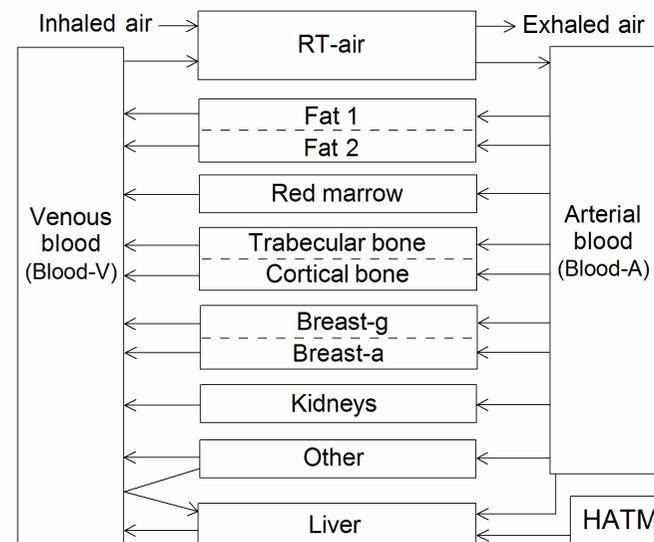
OIR

Änderungen im Atemtraktmodell

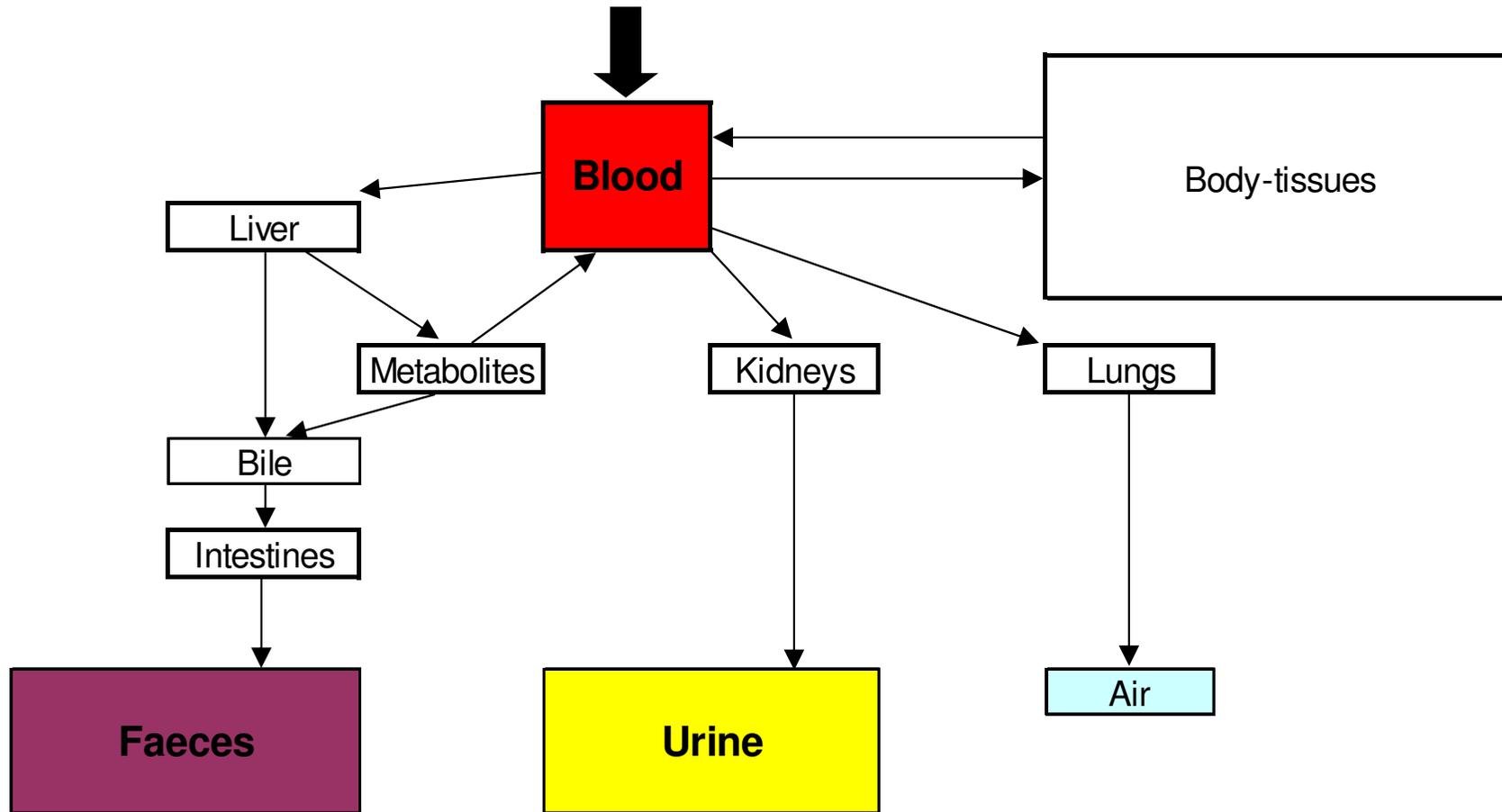
- **Deposition** für Aerosole ist (fast) unverändert; in OIR-Reports werden nur männliche Werte verwendet;
- **Mechanischer Transport** ist (etwas) schneller;
- **Absorption** ist langsamer für Default-Klasse F (und elementabhängig); es gibt teilweise zusätzliche spezielle Absorptionsparameter für spezifische Verbindungen (z.B. neun weitere für Uran);
- manchmal Verwendung des "bound state" (z.B. Pb);
- auch Parameter für **Edelgase**

Generisches Modell für Edelgase

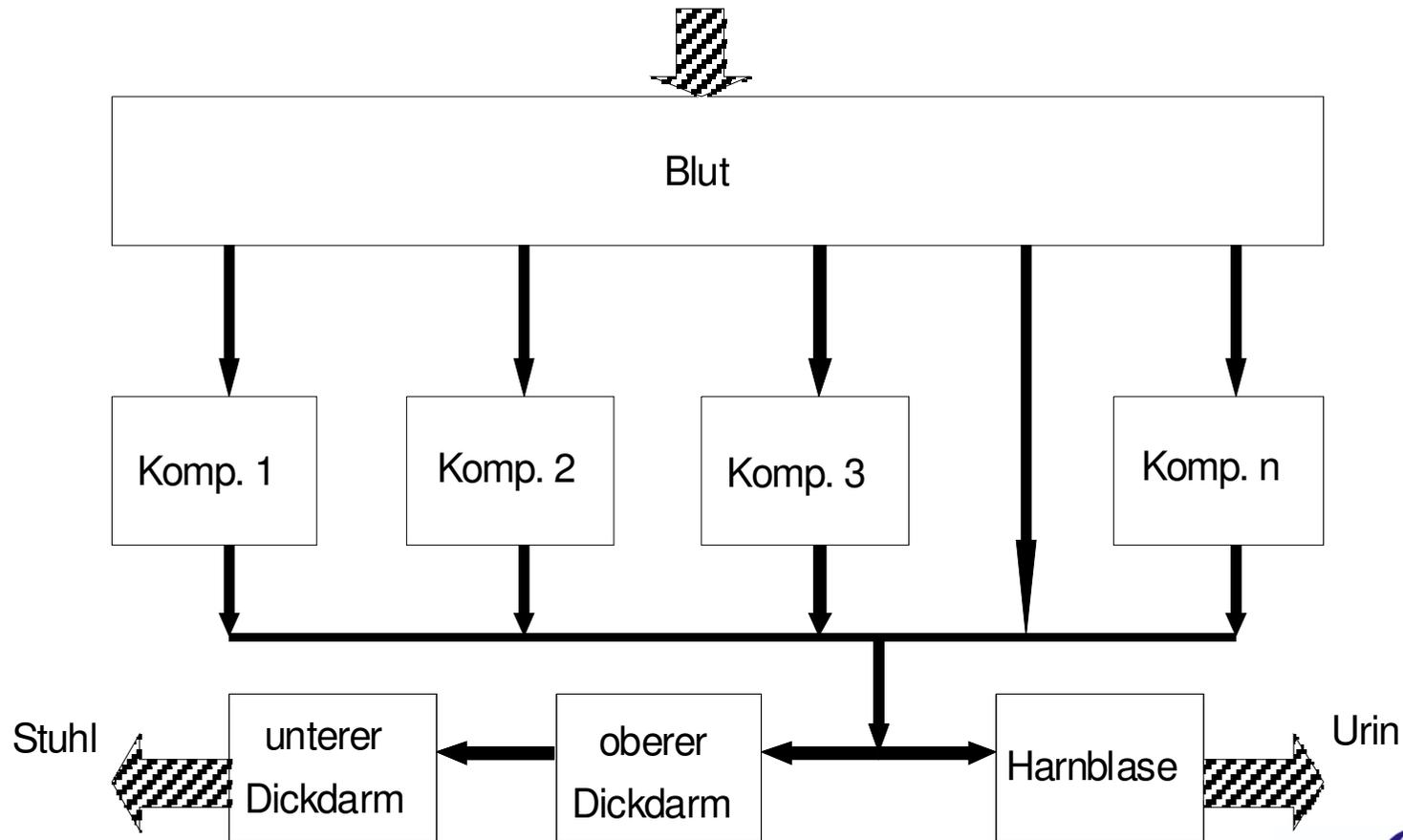
- Bisher keine biokinetischen Modelle für Edelgase (außer Radon), da externe Dosis gegenüber der internen Dosis überwiegt
- Verteilung im Atemtrakt entsprechend der Volumina der Luftwege
- Parameter werden bestimmt durch Blut/Luft-Partitions-Koeffizient, Blut-Perfusionsraten, den Gewebe-/Blut-Partitions-Koeffizienten und die Volumina der Gewebe



Systemische Modelle



Generisches Modell der ICRP-Publikation 67 für systemische Aktivität



ICRP 53/80/106-Ausscheidungsmodelle

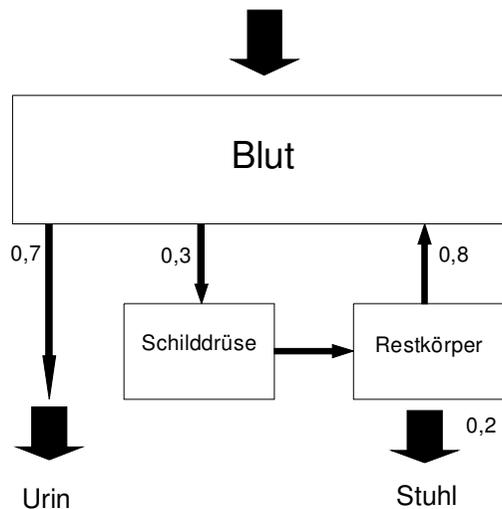
Urinausscheidung über Nieren und Harnblase

- 5 Minuten Retention in den Nieren
- realistische Retention in der Harnblase
- Blasenentleerungsintervall für Erwachsene 3,5 Stunden

Stuhlausscheidung (teilweise) über Gallenblase möglich

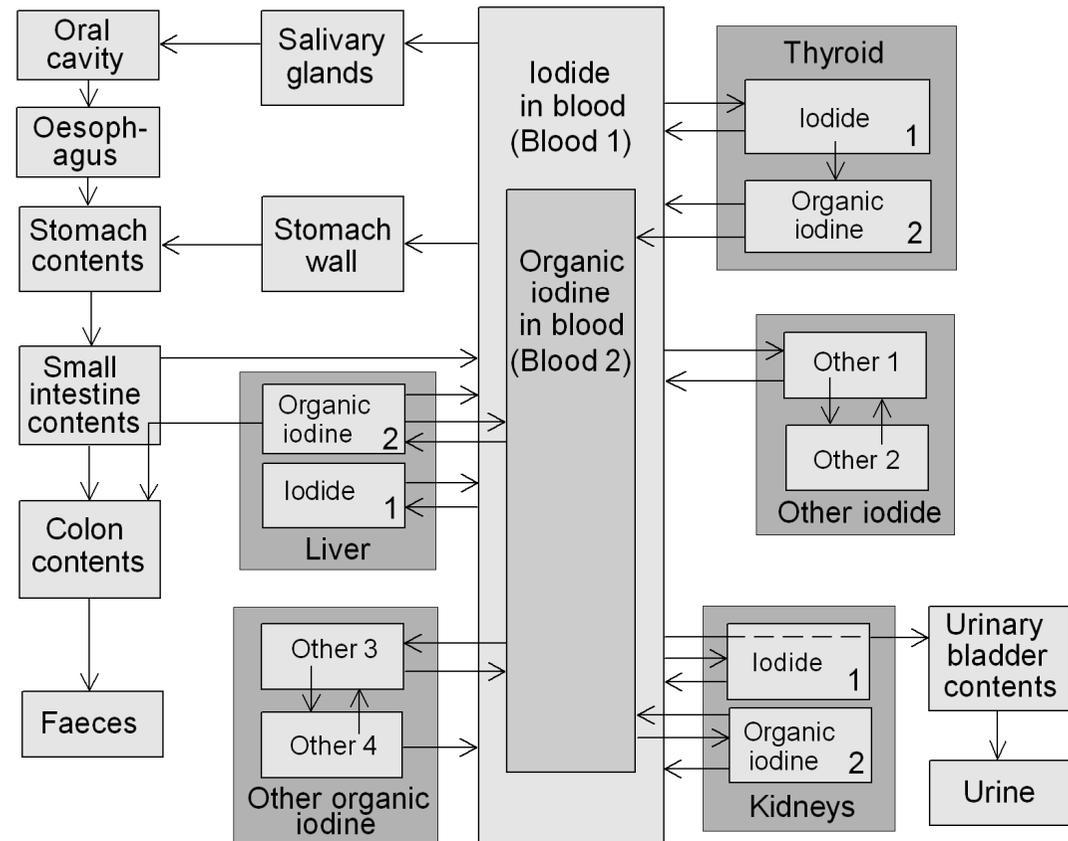
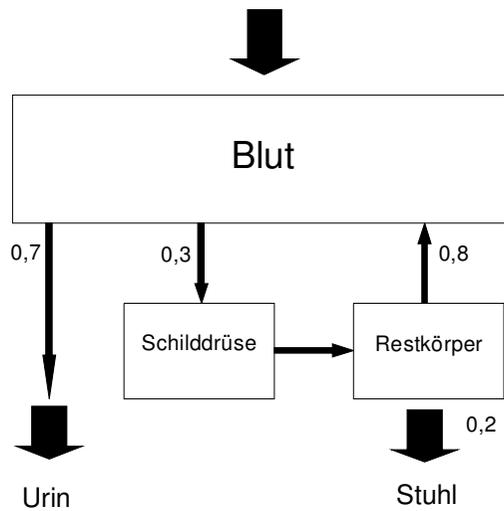
- Entleerungen der Gallenblase in den Dünndarm
 - nach 3 Stunden 3/4 der vorhandenen Aktivität
 - nach 9 Stunden 3/4 der vorhandenen Aktivität
 - nach 24 Stunden restliche Aktivität
- keine Re-Absorption aus dem Dünndarm

Systemisches Modell für Jod (ICRP 67)



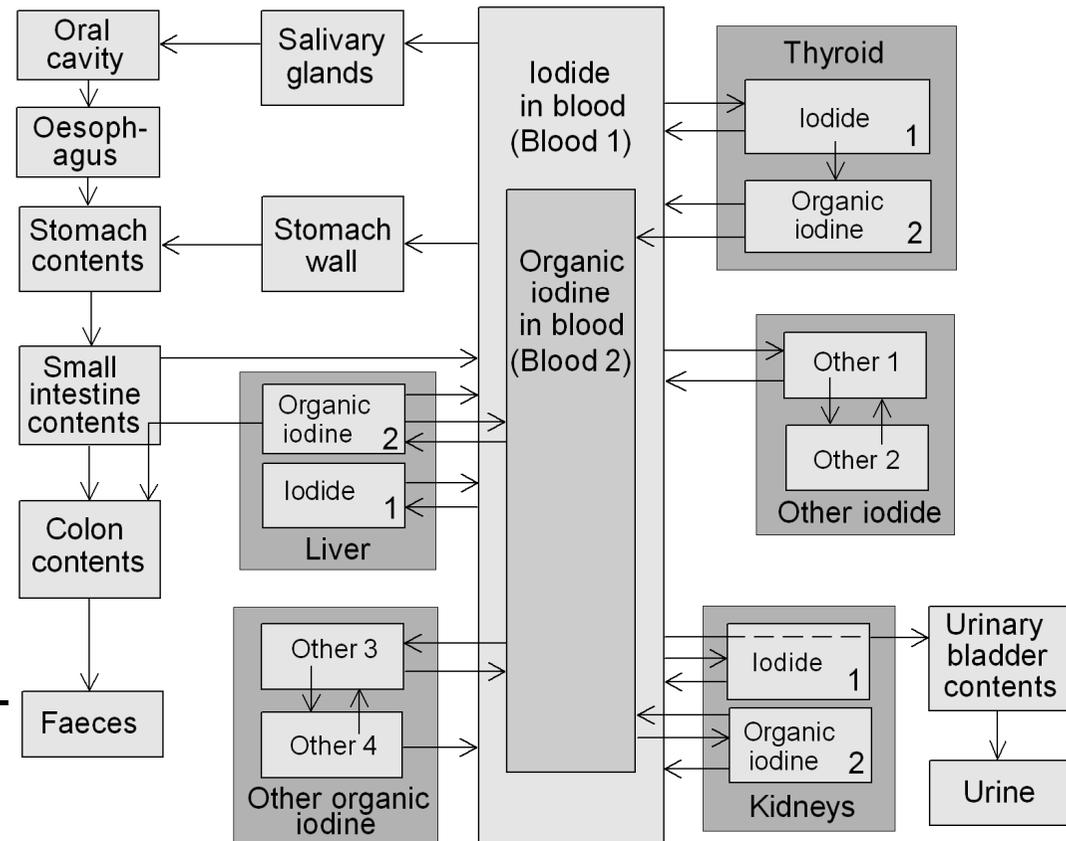
- erstes Recycling-Modell der ICRP
- Jod wird in der Schilddrüse aufgenommen (30%) oder im Urin ausgeschieden (70%)
- Jod aus der Schilddrüse wird mit einer biologischen Halbwertszeit von 80 Tagen in organisches Jod umgewandelt und in den Restkörper transferiert
- Jod im Restkörper wird über den Stuhl ausgeschieden (20%) bzw. gelangt wieder als anorganisches Jod ins Blut (80%)

Änderungen des systemischen Jod-Modells



OIR-Modell für systemisches Jod

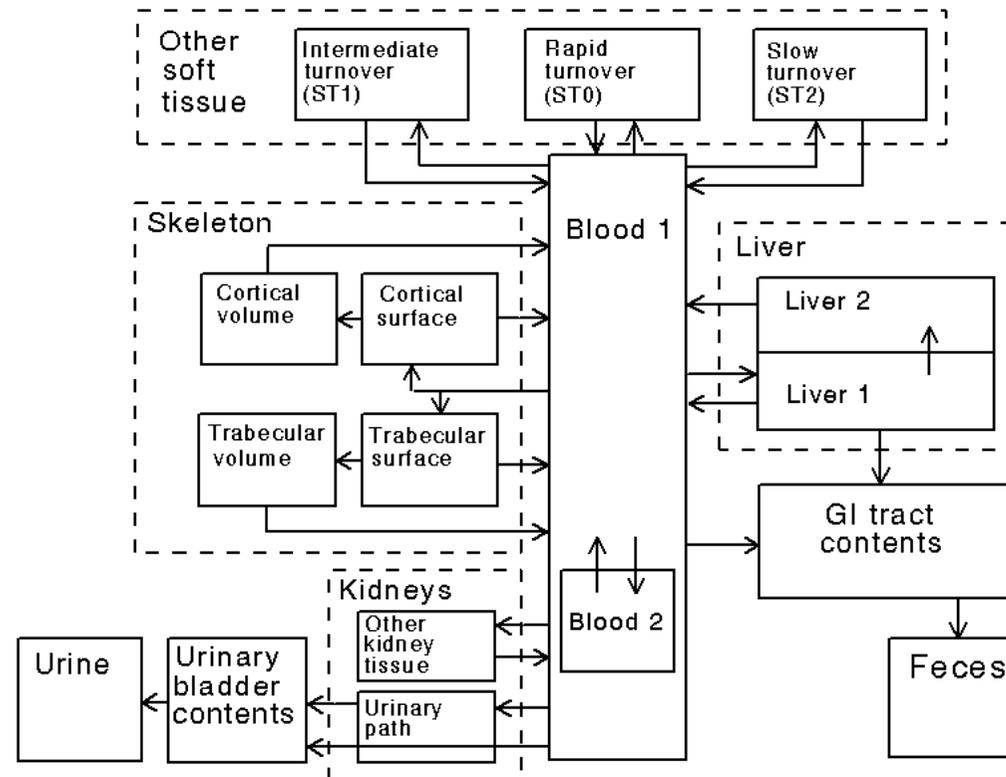
- Unterscheidung von organischem und anorganischem Jod
- Zusätzliche Berücksichtigung von Leber, Nieren, Magenwand und Speicheldrüsen
- realistisch für alle Jod-Isotope (mit Halbwertszeiten zwischen 25 Minuten und 15,7 Millionen Jahren)



Systemische Modelle in OIR-Reports

Recycling-Modelle

Verschiedene Klassen
von Modelltypen



Systemisches Modell für Kobalt

Vorteile physiologischer Modelle

- realistischere Modellierung von Retentions- und Ausscheidungsfunktionen oder zeitlichem Verlauf der Blutaktivität möglich
- zuverlässigere Extrapolation auf jüngere Altersklassen möglich

Kinetik von Tochternukliden

- Tochternuklide, welche im Körper gebildet werden, werden bei der Dosisberechnung berücksichtigt
- Bisher meistens "shared kinetics": Tochternuklid verhält sich biokinetisch wie Mutter nuklid
- in OIR-Reports (meistens) "independent kinetics": Tochternuklid verhält sich elementspezifisch

Verdauungstrakt: Absorptionsparameter "independent"

Atemtrakt: shared kinetics

Systemische Aktivität: Meistens "independent"

Einige biokinetische Modelle der ICRP-Publikation 68 für C-14

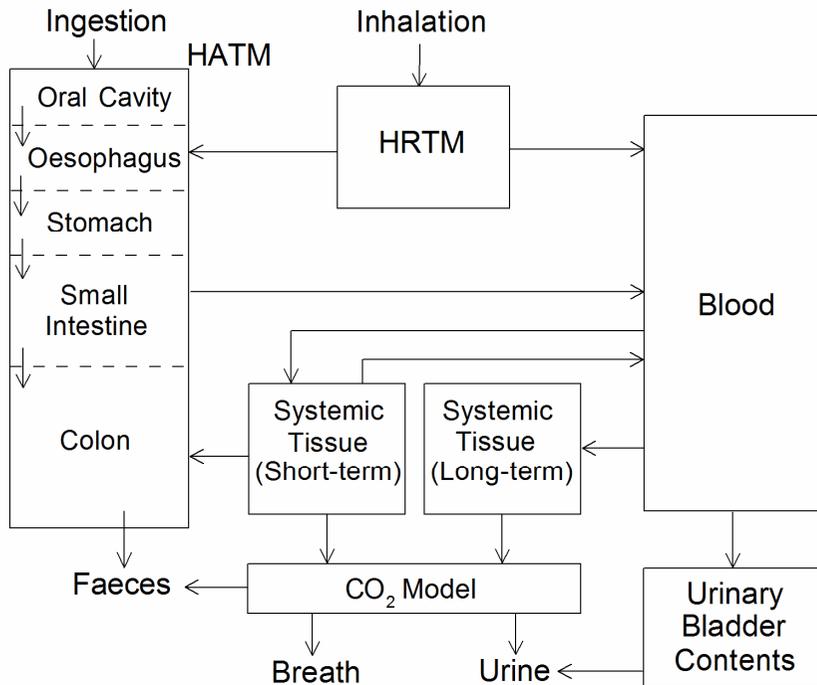
Organischer Kohlenstoff

- Gleichmäßige Verteilung im Körper
- Biologische Halbwertszeit 40 Tage
basierend auf Kohlenstoffzufuhr rate und Kohlenstoff im Körper
- Keine Berücksichtigung der Ausscheidungswege

$^{14}\text{CO}_2$

- Sofortige vollständige Aufnahme ins Blut
- Gleichmäßige Verteilung im Körper
- Biologische Halbwertszeiten 5 Minuten (18%), 1 Stunde (81%) und 40 Tage (1%)
- Keine Berücksichtigung der Ausscheidungswege

Generisches OIR-Modell für organischen Kohlenstoff



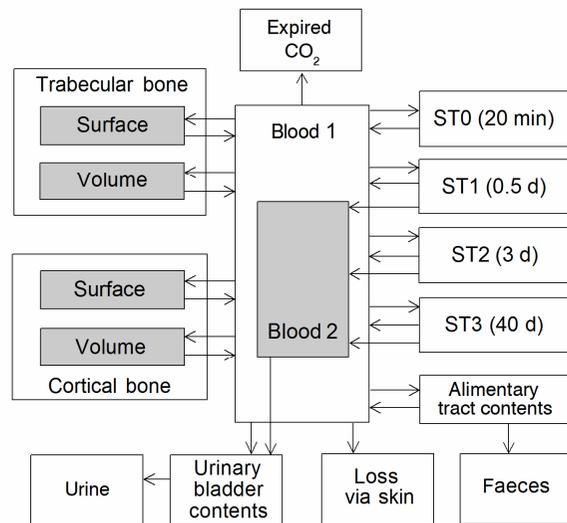
2 Ganzkörperkompartimente:

- kurze Retention (3 Tage) für schnelle Ausscheidung, (40% Uptake)
- lange Retention (70 Tage), überwiegend in Fett, mit Metabolisierung in CO₂, (10% Uptake)

Für in CO₂ metabolisierten Kohlenstoff wird das CO₂-Modell verwendet

OIR-Modell für CO₂

Vereinfachtes Modell nach Leggett

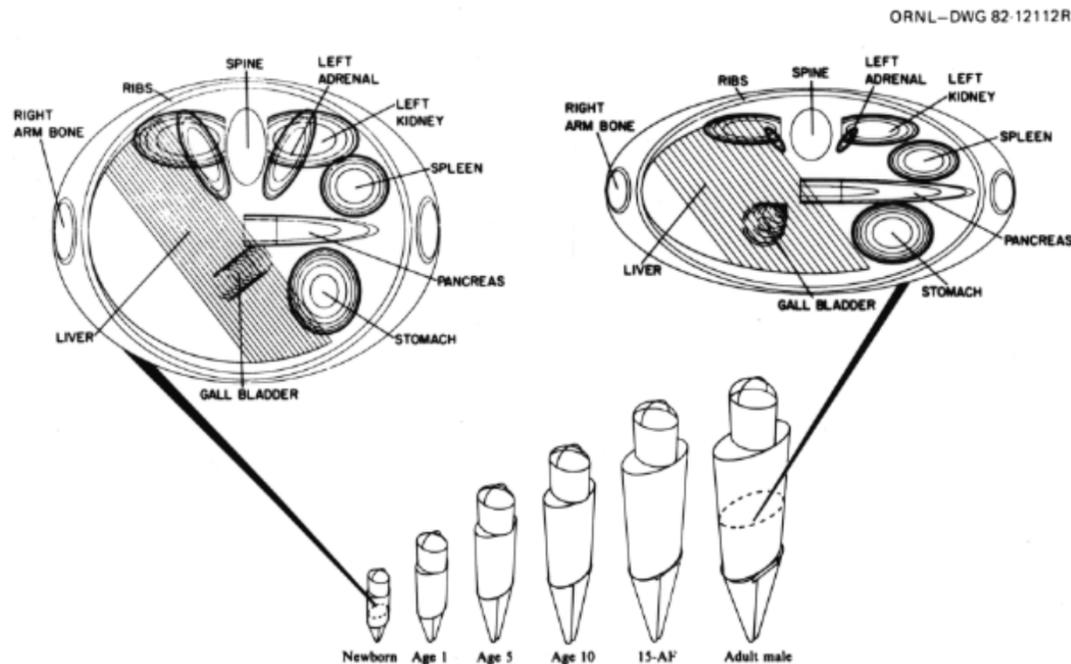


- Sofortige vollständige Aufnahme ins Blut
- 4% aus ST1-3 werden sehr schnell im Urin ausgeschieden
- Uptake im Skelett 0,16%
- Gesamtausscheidung 96,8% durch Exhalation, 2% über Urin, 0,4% über Stuhl, 0,8% durch die Haut

Auswirkungen des neuen Modells

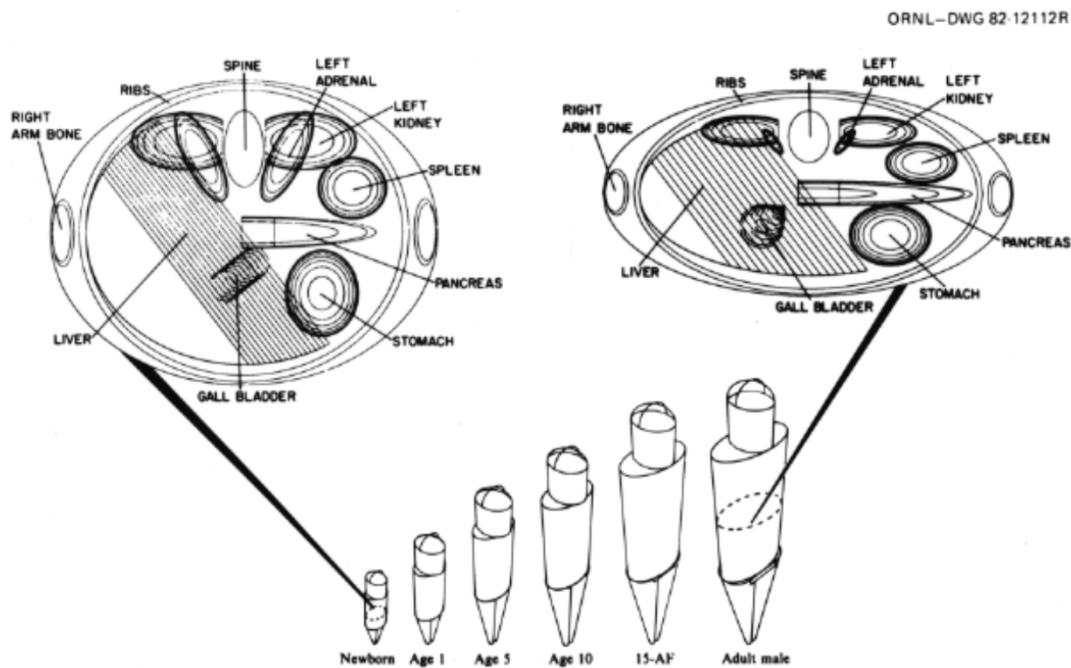
- die Dosis ist etwa 1/3 im Vergleich zum bisherigen Modell
- es ist (immer noch) eher konservativ: Es überschätzt eher die Dosis als dass es sie unterschätzt
- Anzahl der Zerfälle für spezifische Verbindungen liegen zwischen dem 0,02-fachen (Inulin) bis zum 1,2-fachen (Xylose)
- Modell kann durch Messergebnisse im Urin und in der Ausatemluft an spezifische Verbindungen angepasst werden

Dosimetrische Modelle (ICRP 72)



- für γ -Strahlung Monte-Carlo-Berechnungen mit mathematischen Phantomen
- für α - und β -Strahlung
 - einfache Annahmen
 - Standardannahmen für Skelett und Inhalt / Wände von Magen-Darm-Trakt und Harnblase
 - explizite Berechnungen für den Atemtrakt

Änderungen der Phantome



Referenz-Voxel-Phantome (ICRP 110)

Realistische anatomische Modelle auf der Basis von CT-Aufnahmen skaliert auf die ICRP-Referenzpersonen

- Verwendung der Phantome für γ - und β -Strahlung
- Für das Skelett Berechnungen für α - und β -Strahlung auf Basis von Micro-CT-Aufnahmen
- Für den Verdauungstrakt Berechnung der Dosis in den strahlensensiblen Zellen der Wände für α - und β -Strahlung



Dosimetrische Modelle in OIR-Reports

- basieren auf Referenz-Voxel-Modellen für den männlichen und weiblichen Erwachsenen (ICRP 110)
- verwenden SAF-Werte für Photonen- und Elektronen-Strahlung (ICRP-Publikation 1xx)
- verwenden physikalische Zerfallsdaten der ICRP-Publikation 107
- berücksichtigen Konzept der ICRP-Publikation 103 zur Berechnung der effektiven Dosis

und diese Modelle sind allgemeiner Standard

Auswirkungen der neuen dosimetrischen Modelle

- Zerfallsdaten:
 - (Meistens) kein großer Einfluss
- Phantome:
 - Abstand benachbarter Organe oft kürzer
- SAF-Werte
 - Änderungen im Skelett und Magen-Darm-Trakt
- Neues Konzept **effektive Dosis**
 - Tendenz zu größerer effektiver Dosis durch geschlechtsspezifische Mittelung
 - Einfluss der neuen Gewebewichtungsfaktoren, wenn Änderungen bei Organen mit hoher Dosis vorliegen

Änderungen der effektiven Dosis bei beruflich Strahlenexponierten (vorläufige Ergebnisse !!)

- Im Durchschnitt ist die effektive Dosis etwa $\frac{2}{3}$ des bisherigen Wertes
- Bereich des Quotienten neu/alt zwischen 0,03 und 9,1 (?)
- Dieser Bereich kann auch für verschiedene Zufuhrpfade / Löslichkeitsklassen des selben Nuklids stark schwanken

Ausblick

- OIR Teil 1-3 erscheinen (wahrscheinlich) nächstes Jahr
- OIR Teil 4 Lanthanide und Aktinide (wird bearbeitet)
- OIR Teil 5 Restliche Elemente (wie viele?) später
- Entwicklung altersabhängiger Modelle für Einzelpersonen der Bevölkerung begonnen
- Später auch Aktualisierungen der Publikationen zur internen Dosimetrie für Embryo / Foetus sowie das Baby über die Muttermilch
- Parallel dazu Aktualisierung der Publikation für Radiopharmaka

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen bitte jetzt gleich

... oder später an dnosske@bfs.de ...