

Inhaltsverzeichnis

1 Bestandsaufnahme und Ausblick	1
U. Büll und H. Schicha	
2 Physikalische Grundlagen	4
D. Lange	
Materie: Physik von Hülle und Kern	4
Aufbau der Atomhülle	4
Aufbau des Atomkerns	4
Radioaktiver Zerfall	5
Nuklidkarte	5
Kernstrahlungen bei der Kernumwandlung	7
α -Zerfall	7
β -Zerfall	7
β^+ -Zerfall	7
EC-Umwandlung und EC/ β^+ -Verzweigungsverhältnis	8
γ -Strahlung	8
Strahlungen als Folge einer Kernumwandlung	9
Vernichtungsstrahlung	9
Konversionselektronen	9
Charakteristische Strahlung	15
AUGER-Elektronen	16
Gesetze des radioaktiven Zerfalls	16
Physikalische Halbwertszeit	16
Biologische und effektive Halbwertszeit	17
Radioaktives Gleichgewicht	18
Herstellung von Radionukliden	18
Neutronenaktivierung	18
Beschleunigeraktivierung	19
Nuklidgeneratoren	19
Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	20
Direkt ionisierende Strahlung	20
Indirekt ionisierende Strahlung	21
Photoeffekt	21
Compton-Effekt	21
Paarerzeugung	23
Klassische Streuung	23
Schwächungsgesetz für indirekt ionisierende Strahlung	23
Schwächungskoeffizienten	24
Halbwertsdicken	24
Strahlungsdetektoren	26
Zählrohre	26
Energieselektive Detektoren	27
NaI-Szintillationsdetektor	27
Impulshöhenspektrum	28
Andere Szintillatoren	32
Halbleiterdetektoren	32
Physikalische Aspekte zur Erkennbarkeit von gezählten oder abgebildeten Signalen ..	32
Zählstatistik	33
Mittelwert bei normalverteilten Meßwerten und Fehlerintervall	33
Fehlerfortpflanzung	35
Informationsdichte im Bild	35
Szintigraphischer Bildkontrast	36
Kollimatorortsauflösung und Empfindlichkeit	36
Kontrastminderung durch Streustrahlung	40
Kontrastminderung durch Septenpenetration	42
Maßeinheiten	44
3 Meßtechnik	47
K. Jordan und B. O. Knoop	
Grundlagen	47
Radioaktivität und Impulsrate	47
Totzeit, Zählverlust und Impulsratencharakteristik	47
γ -Detektoren und γ -Spektrometer	48
Sekundärelektronenvervielfacher, Photomultiplier	48
Diskriminatoren	49
Amplituden- und Energiespektren	49
Streustrahlung	51

Aktivimeter	51	Bildmatrix, Pixel, Voxel, Trixel	61
Kollimatoren	52	Rastermaßstab, Abtastintervall	62
In-vivo- und In-vitro-Meßplätze	53	Ausgabemaßstab	62
In-vivo-Meßsysteme	53	Zoomabbildung	62
In-vitro-Meßsysteme	55	Emissionstomographie	62
Scanner	55	Meßvolumen und Sichtfelder	66
Gammakamera	56	Objektschicht, Schichtebene, Schicht- dicke und Schichtlagewinkel	66
Sichtfeld	58	Systemachse und Neigungswinkel	67
Energiebereich	58	Sinogramm	67
Energieauflösung	58	Inhomogenität	67
Ausbeute	58	SPECT	68
Homogenität	58	PET	69
Linearität	59	Koinzidenzkamera	74
Zeitauflösung, Impulsraten- charakteristik	59	Rechnersysteme	75
Ortsauflösung	60	Qualitätssicherung	77
Abbildungsmaßstab	61		
4 Radiochemie	79		
W. Brandau, W. Becker und G.-J. Meyer			
Einleitung	79	Anreicherungsprinzipien	94
Radionuklidproduktion	79	Qualitätskontrolle	96
Konventionelle Radionuklide	80	Kriterien der Qualitätskontrolle	96
Reaktornuklide	80	Qualitätskontrollmethoden	96
Generatornuklide	80	Hochdruckflüssigkeitschromato- graphie (HPLC)	97
Zyklotronnuklide	83	Dünnschicht- (DC) und Papier- chromatographie (PC)	97
PET-Radionuklide	84	Theoretische Grundlagen des Immuno- assays	103
Eigenschaften der Positronen- strahler	84	Kinetische Grundlagen	103
Herstellungsmethoden für PET- Nuklide	85	Massenwirkungsgesetz	103
Markierungsmethoden	86	Praktische Grundlagen des Immunoassays ..	104
Markierungsmethoden für konven- tionelle Radiopharmaka	86	Antikörper	104
Allgemeines	86	Monoklonale Antikörper	105
Technetiumradiopharmaka	87	Antigene	105
Protein-Metall-Bindungen	88	Antigenmarkierung	105
Iodradiopharmaka	89	Trennung von freiem und antikörper- gebundenem Antigen	106
Markierungsmethoden für PET-Radio- pharmaka	90	Standards	107
Markierung mit [^{11}C]Kohlenstoff	92	Immunradiometrischer Assay (IRMA) ..	107
Markierungen mit [^{15}O]Sauerstoff	92	Nichtradioaktive Immunoassays	108
Markierungen mit [^{18}F]Fluor	92	Meßgeräte	109
Radiopharmakologie	94	Qualitätskriterien	109
		Definition wichtiger Begriffe	110
5 Prinzipien der Diagnostik	113		
E. Henze, H.-J. Kaiser, W. H. Knapp, G.-J. Meyer, St. Müller und G. Wagenknecht			
Klinische Bedeutung physiologischer Größen	113	Vaskulär determinierte Verteilung: Blutfluß	115
Nuklearmedizinische Funktionsdiagnostik ..	114	Blutflußmessungen mit Nonkom- partmentmodellen	117

Blutflußmessungen mit Kompart- mentmodellen	119	Rezeptordichte	128
Geweistransport	121	Darstellung von Funktionen	128
Metabolismus	123	Planare Funktionsdarstellung	129
Glucosestoffwechsel	123	Tomographische Funktionsdarstellung ..	130
Sauerstoffmetabolismus	126	Statistisch parametrische Darstellung ..	130
Fettsäurestoffwechsel	127	Multimodale Bildverarbeitung	131
Aminosäurestoffwechsel	127	Bewertung diagnostischer Untersuchungs- ergebnisse	136
6 Dosimetrie und Strahlenschutz	143		
J. Kretschko und U. Wellner			
Dosisbegriffe	143	Strahlenexposition in verschiedenen nuklearmedizinischen Funktions- bereichen	151
Dosisleistung in der Umgebung von radio- aktiven Strahlern	144	Strahlenschutzverordnung	153
Strahleneffekte	145	Strahlenschutzmaßnahmen	154
Strahlenexposition des Patienten	146	Strahlenschutzplan	154
Abhängigkeit der Strahlenexposition von verschiedenen Parametern	146	Technische Anlagen	154
Applizierte Aktivität	146	Abschirmmaßnahmen	155
Art und Energie der Strahlung	147	Organisatorische und betriebliche Maßnahmen	156
Effektive Halbwertszeit	147	Überwachung des Personals	156
Organmasse	147	Belehrung des Personals	156
Bestimmung der Organdosis	147	Organisation des Strahlenschutzes in der Nuklearmedizin	156
Strahlenexposition in der nuklear- medizinischen Diagnostik	148	Organisation des Strahlenschutzes, Zuständigkeit, Befugnisse und Aufgaben der Behörden und Stellen	157
Strahlenexposition in der nuklear- medizinischen Therapie	148	Organisation des Strahlenschutzes in einem nuklearmedizinischen Betrieb ...	157
Maßnahmen zur Reduktion der Strahlenexposition des Personals	148	Schutz der Bevölkerung bei kern- technischen Unfällen durch Iodblockade der Schilddrüse (SSK 136. Sitzung)	158
Strahlenexposition des Personals	150		
Externe Strahlenexposition	150		
Inkorporation radioaktiver Stoffe	150		
Strahlenexposition Dritter	151		
7 Endokrine Organe	160		
Chr. Reiners und J. Rendl			
Schilddrüse	160	Ergebnisse, Interpretationen, Grenzen ..	186
Anatomie – Physiologie	160	In-vitro-Diagnostik	186
Morphologie – Organogenese	160	Lokalisationsdiagnostik	187
Physiologie – Pathophysiologie	161	Indikationen	189
Untersuchung	164	Euthyreose	189
In-vitro-Diagnostik	164	Hyperthyreose	189
Lokalisationsdiagnostik	168	Hypothyreose	190
Schilddrüsendiagnostik mit Radio- iod	174	Struma	190
Strahlenexposition	179	Schilddrüsenentzündungen	191
Spezielle Qualitätskontrolle, Fehler- quellen	179	Schilddrüsentumoren	192
In-vitro-Diagnostik	179	Nebenschilddrüsen	193
Lokalisationsdiagnostik	183	Anatomie – Physiologie	193
		Morphologie – Organogenese	193
		Physiologie – Pathophysiologie	193



Untersuchung	194	Morphologie – Organogenese	199
In-vitro-Diagnostik	194	Physiologie – Pathophysiologie	199
Lokalisationsdiagnostik	194	Untersuchung	200
Weitere Lokalisationsverfahren	198	In-vitro-Diagnostik	200
Indikationen, Ergebnisse, Interpretation, Grenzen	198	Lokalisationsdiagnostik	200
Nebennierenrinde	198	Weitere Lokalisationsverfahren	201
Anatomie – Physiologie	199	Indikationen, Ergebnisse, Interpretation, Grenzen	201

8 Herz/Kreislauf/Gefäße 208

U. Büll und M. Schwaiger

Physiologie und Pathophysiologie	208	Gefäße	245
Koronarperfusion, Koronarreserve, Mikrozirkulation	208	Lymphwege	246
Myokardstoffwechsel und -reserve	209	Ergebnisse, Interpretation, Grenzen	246
Myokardiale Nekrose, Hypoxie, Stunning, Entzündung	210	Akuter Myokardinfarkt	246
Myokardiale Rezeptoren, autonomes Nervensystem	211	Chronische koronare Herzkrankheit	248
Pumpfunktion und Pumpreserve	212	Therapeutische Interventionen	257
Periphere Zirkulation	212	Herztransplantation (HTx)	262
Venenperfusion, Thrombose	212	Medikamentenwirkung, Therapie- kontrolle	263
Lymphabfluß	212	Herzklappenerkrankungen	264
Untersuchungsmethoden und Unter- suchungsprotokolle	213	Primäre und sekundäre Myokard- erkrankungen	265
Spezielle Patientenbedingungen	213	Pädiatrie	266
Spezielle Aufnahmetechniken	215	Vergleich Szintigraphie mit Echo- kardiographie, Magnetresonanztomographie	266
Myokardiale Perfusionsszintigraphie	219	Periphere Gefäßerkrankungen	269
Myokardstoffwechsel	224	Lymphabflußstörungen	270
Myokardhypoxie/-nekrose/ -entzündung	236	Indikationen	270
Pumpfunktion, Kontraktion	239	Myokardperfusionsszintigraphie (mit ^{99m} Tc-Perfusionsmarkern oder ²⁰¹ TlCl)	270
Gefäße	243	Stoffwechsel	271
Lymphwege	244	Myokardszintigraphie (mit anderen Markern)	272
Strahlenexposition	244	Ventrikelfunktionsszintigraphie	272
Spezielle Qualitätskontrolle, Fehler- quellen	244	Periphere Durchblutungsstörungen	272
Myokardszintigraphie inklusive PET	244	Thrombosenachweis	272
Pumpfunktion, Kontraktion	245	Lymphabflußstörungen	273

9 Lunge 284

C. Schümichen

Physiologie, Pathophysiologie und Morphologie	284	Kombinierte Ventilations-/Perfusions- szintigraphie	287
Untersuchung	284	Clearancebestimmungen	287
Anamnese	284	Quantitative Messungen	288
Ventilation	285	Strahlenexposition	289
Perfusion	286	Spezielle Qualitätskontrolle, Fehler- quellen	289

Ergebnisse, Interpretation, Grenzen	289	Alveoläre Permeabilität	299
Lungenembolie	289	Mukoziliäre Clearance	300
Verlaufsbeobachtung	293	Fehlanlagen der Gefäße und	
Vergleich Szintigraphie, Pulmonalis-		Bronchien	300
angiographie, Spiral-CT	295	Quantifizierende Untersuchungen ...	301
Risikobetrachtung	298	Lungentransplantation	301
Indikationen	298	Lungenrundherd, Staging	301
Voraussage der postoperativen			
Lungenfunktion	298		

10 Zentralnervensystem 305

H.-J. Biersack, F. Grünwald und K. Reichmann

Morphologie, Physiologie, Pathophy-		Spezielle Qualitätskontrolle und Fehler-	
siologie	305	quellen	321
Anatomie und Morphologie	305	Gammakamera	321
Perfusion, Mikrozirkulation,		Radiopharmakon	321
Perfusionsreserve	305	Glucosestoffwechsel	321
Blut-Hirn-Schranke	305	Proteinstoffwechsel und	
Glucosestoffwechsel	307	-inkorporation	321
Proteinstoffwechsel und		Rezeptoren	321
-inkorporation	307	Liquorraum	322
Rezeptoren	308	Ergebnisse – Interpretation und	
Liquorproduktion und -zirkulation ..	310	Grenzen	322
Prinzipien der Untersuchung, Radio-		Durchblutungsstörungen (inklusive	
pharmazeutika, Vorbereitung und		Blut-Hirn-Schranke)	322
Durchführung der Untersuchung,		Störungen des Glucosestoff-	
spezielle Datenanalyse, interventionelle		wechsels	322
Techniken	310	Proteinstoffwechsel und	
Durchblutung	310	-inkorporation bei Tumoren	322
Chemische Mikrosphären	314	Erkrankungen mit Rezeptor-	
Blut-Hirn-Schranke	315	beteiligung	323
Glucosestoffwechsel	315	Erkrankungen der Liquorräume und	
Proteinstoffwechsel und		umgebenden Strukturen	323
-inkorporation	316	Indikationen	323
Rezeptoren	317	Durchblutungsstörungen	323
Liquorraum	318	Stoffwechselstörungen	325
Magnetresonanztomographie	319	Hirntumoren	325
Strahlenexposition	319	Epilepsie	326
Durchblutung	319	Endogene Psychosen	327
Blut-Hirn-Schranke	320	Demenzen	328
Glucosestoffwechsel	320	Morbus Parkinson, Chorea	
Proteinstoffwechsel und		Huntington	330
-inkorporation	320	Migräne	331
Rezeptoren	320	Entzündliche Hirnerkrankungen	331
Liquorraum	320	Pädiatrie	331
		Feststellung des Hirntodes	331

11 Niere und ableitende Harnwege	335
A. Hertel und G. Hör	
Physiologie, Pathophysiologie, Morphologie	335
Physiologische Funktionsparameter	336
Morphologie	337
Untersuchung (planar und SPECT)	337
Verfahren (Technik und Aussagen) ..	337
Strahlenexposition	344
Spezielle Qualitätskontrolle, Fehlerquellen	346
Ergebnisse, Interpretation, Grenzen	347
Obstruktive Nephrouropathie	347
Hypertonie (Nierenarterienstenose) ..	350
Transplantatnieren	352
Pädiatrie: Abflußstörungen, Reflux, Mißbildungen	355
Akutes Nierenversagen	358
Chronisches Nierenversagen	358
Tumor	358
Funktionsevaluation vor nierenaffektiven Therapien	359
Trauma	359
Indikationen und Strategien	361
12 Gastrointestinaltrakt	365
O. Schober	
Physiologie und Morphologie	365
Untersuchungsverfahren	366
Speicheldrüsen	366
Gastrointestinaltrakt	368
Ösophagus	368
Magen	368
Reflux	372
Gastroösophagealer Reflux	372
Duodenogastraler Reflux	373
Leber	374
Untersuchung	374
Statische Leber-(Milz-)Szintigraphie	374
Perfusionsszintigraphie	374
Hepatobiliäre Funktionsszintigraphie (Choleszintigraphie)	376
Spezielle Fragestellungen	378
Blutungsquellen	381
Markierte Erythrozyten	381
Extravasale RES-Marker	382
Meckel-Divertikel	383
Pankreas	383
Resorption und gastrointestinale Permeabilität	384
Proteinverlust; exsudative Enteropathie	385
Vitamin-B ₁₂ -Resorption (Schilling-Test)	385
⁷⁵ Se-Homotaurocholsäure-Test (SeHCAT)	385
Exhalationstest	386
Andere Resorptionsmessungen	386
13 Skelettsystem	390
K. Hahn und A. Bockisch	
Physiologie, Pathophysiologie und Morphologie	390
Untersuchung	391
Strahlenexposition	394
Spezielle Qualitätskontrolle	396
Artefakte	397
Indikationen und Ergebnisse	398
Degenerative Veränderungen	398
Trauma	399
Postoperative Folgezustände	403
Primäre Knochentumoren	405
Sekundäre Knochentumoren	410
Entzündung	413
Osteonekrose	414
Systemerkrankungen	414
Extraskelettale Anreicherungen	415
Knochenmarkszintigraphie	416
Untersuchung	416
Strahlenexposition	416
Fehlerquellen	416
Ergebnisse, Interpretation	417



14 Hämatologie und retikuloendotheliales System	419
O. Schober	
Erythrozytöses System	419
Blut-, Erythrozyten- und Plasma-	
volumenbestimmung	419
Erythrozytenkinetik	419
Eisenresorption	420
Eisenausscheidung, Blutverlust	420
Eisen-(Ferro-)Kinetik	421
Thrombozytöses System	424
Strahlenexposition	426
Knochenmark und Milz	426
Grundlage	426
Radiopharmaka und Untersuchungs-	
gang	426
Erythropoetisches System	426
Retikuloendotheliales System (RHS) ..	427
Granulopoetisches System	427
Indikationen zur Knochenmarkszinti-	
graphie	427
Indikationen zur Milzszintigraphie	427
Strahlenexposition	428
Wasser- und Elektrolythaushalt	428
Ganzkörperwasser	429
Extra- und Intrazellulärraum	429
Ganzkörperkalium	430
15 Entzündungen	433
W. Becker	
Physiologie – Pathophysiologie der	
Entzündung	433
Diagnostik	433
Untersuchung	434
⁶⁷ Ga-Citrat	434
^{99m} Tc-Nanokolloid	434
^{99m} Tc- (oder ¹¹¹ In-)markiertes huma-	
nes unspezifisches Immunglobulin	
(HIG)	435
¹¹¹ In- oder ^{99m} Tc-markierte autologe	
Leukozyten	436
^{99m} Tc-markierte Antigranulozyten-	
antikörper	438
Strahlenexposition	438
Spezielle Qualitätskontrolle, Fehler-	
quellen	439
Qualitätskontrolle	439
Fehlerquellen	439
Ergebnisse, Interpretation und	
Grenzen	440
Entzündungen innerer Organe	440
Entzündungen an Knochen und	
Gelenken	445
Entzündungen nach operativen	
Eingriffen	448
Fieber unklarer Genese	449
Indikationen	450
16 Tumoren	454
W. H. Knapp, E. Moser, R. Bares und S. N. Reske	
Einführung	454
Tumorphysiologie	454
Klinische Fragestellungen	454
Radiopharmaka für die onkologische	
Diagnostik	455
Tumordiagnostik: Radiopharmaka mit	
unspezifischer zellulärer	
Affinität	455
⁶⁷ Ga-Citrat	455
Mechanismen der Anreicherung	455
Technik (Vorbereitung und Durch-	
führung)	456
Normalverteilung	456
Tumornachweis	456
Klinische Wertigkeit	459
²⁰¹ Tl-Chlorid	460
Kinetik	460
Klinische Wertigkeit	460
^{99m} Tc-MIBI	461
Kinetik	461
Klinische Rolle und Einsatz von	
²⁰¹ Tl-Chlorid und ^{99m} Tc-MIBI bei	
verschiedenen Tumorarten	462
Strahlenexposition: Radiopharmaka mit	
unspezifischer zellulärer Affinität	464
Tumordiagnostik unter Nutzung definierter	
metabolischer Prozesse mit Hilfe der PET ...	464

Einführung	464	Anreicherungsmechanismus und Biokinetik	489
Kinetik von ^{18}F -Fluorodeoxyglucose (FDG) und ^{11}C -Methionin	465	Untersuchungstechnik	490
Patientenvorbereitung	466	Klinische Ergebnisse	490
Klinische Fragestellungen	466	Indikationen	491
Hirntumoren	466	Somatostatinrezeptorliganden	492
Kopf-Hals-Tumoren	468	Anreicherungsmechanismus und Biokinetik	492
Lungentumoren	470	Untersuchungstechnik	494
Primäre Lebertumoren	474	Klinische Ergebnisse	494
Pankreastumoren	476	Indikationen	496
Kolorektale Karzinome	477	Immunszintigraphie	497
Neuroendokrine Tumoren	479	Anreicherungsmechanismus und Biokinetik	497
Mammakarzinome	481	Untersuchungstechnik	497
Schilddrüsenkarzinome	483	Klinische Ergebnisse	498
Maligne Melanome	484	Indikationen	499
Keimzelltumoren	484	Lymphszintigraphie	499
Urologische Tumoren	487	Klinische Rolle	499
Muskuloskelettale Tumoren	487	Untersuchungstechnik	500
Gynäkologische Tumoren	487	Ergebnisse	500
Tumordiagnostik mit tumortypspezifischen Radiopharmaka	489		
Meta-Iod-Benzylguanidin (MIBG)	489		
17 Varia	506		
C. Puskás und A. Bockisch			
Szintigraphie der Tränenwege (Dakryoszintigraphie)	506	Physiologie	508
Physiologie, Pathophysiologie und Morphologie	506	Untersuchung	508
Untersuchung	506	Strahlenexposition	508
Ergebnisse	506	Fehlerquellen	508
Strahlenexposition	508	Ergebnisse, Interpretationen	508
Artefakte	508	Indikationen	508
Radionuklidhysterosalpingographie	508	Skrotumszintigraphie (Hodenperfusionszintigraphie)	509
18 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen	512		
H. Schicha, M. Dietlein und K. Scheidhauer			
Grundlagen nuklearmedizinischer Therapie	512	Maligne Schilddrüsenenerkrankungen	527
Benigne Schilddrüsenenerkrankungen	513	Prinzip	527
Dosiskonzepte	514	Dosiskonzepte	527
Vorbereitung des Patienten	515	Vorbereitung des Patienten	528
Dosisberechnung	515	Dosisberechnung	528
Durchführung	516	Durchführung	528
Ergebnisse	519	Ergebnisse	529
Nachsorge	521	Nachsorge	531
Nebenwirkungen und Risiken	524	Nebenwirkungen	532
Indikationen und Differentialindikationen	526	Indikationen	532
		Meta-(^{131}I -)Iodbenzylguanidin-(MIBG-) Therapie neuroendokriner Tumoren	532

Durchführung	533	Pleurale und peritoneale Therapie	536
Indikationen und Ergebnisse	533	Durchführung	536
³² P-Therapie bei Polycythaemia vera	534	Indikationen und Ergebnisse	536
Durchführung	534	Zerebrale Zysten	536
Indikationen und Ergebnisse	534	Palliative Therapie von Skelettmetastasen ..	537
²²⁴ Ra-Radiumchlorid-Therapie		Durchführung	537
bei Spondylitis ankylosans (Morbus		Indikationen und Ergebnisse	537
Bechterew)	535	Radioimmuntherapie mit markierten	
Durchführung	535	monoklonalen Antikörpern	538
Indikationen und Ergebnisse	535	Durchführung	538
Intrakavitäre Therapie	535	Indikationen und Ergebnisse	539
Gelenke	535	Endolymphatische Therapie	539
Durchführung	535	Endovaskuläre Therapie	540
Indikationen und Ergebnisse	536		