

I	Allgemeiner Teil	1
1	Einführung und Geschichte der Nuklearmedizin	3
1.1	Einführung	3
1.2	Geschichte der Nuklearmedizin 1896–1945	3
1.3	Geschichte der Nuklearmedizin 1945 – heute	4
2	Grundprinzipien der Nuklearmedizin	7
2.1	Grundprinzip	7
2.2	Strahlenbelastung und Halbwertszeit	7
2.3	Nuklearmedizinische Therapie ...	8
2.4	Stoffwechselvorgänge	8
2.5	In-vivo, In-vitro	8
3	Physikalische Grundlagen ..	9
3.1	Aufbau der Materie	9
3.1.1	Elementarteilchen	9
3.1.2	Stabiles Atom	9
3.1.3	Charakterisierung der Kernart und Nuklide	10
3.2	Radioaktiver Kernzerfall	11
3.2.1	Radioaktivität	11
3.2.2	Kernreaktor und Teilchen- beschleuniger	11
3.2.3	Radionuklidherstellung	13
3.2.4	Kernreaktionsarten	14

3.2.5	Kernumwandlung	14
3.3	Gesetz des radioaktiven Zerfalls (Halbwertszeit)	15
3.3.1	Zerfallsgesetz	15
3.3.2	Halbwertszeit	16
3.4	Maßeinheiten der Radioaktivität ..	16
3.5	Wechselwirkung von Strahlung und Materie	17
3.5.1	Wechselwirkung von Elektronen, Positronen und Photonen	17
3.5.2	Photoeffekt, Comptoneffekt und Streuung	18
4	Radioaktive Nuklide (Radiopharmaka) in der Nuklearmedizin	21
4.1	Grundlagen der Radio- pharmakologie	21
4.2	Radionuklidgenerator	22
4.3	Markierung von Radio- pharmaka	23
4.4	Markierung von Fertig- präparaten	24
4.5	Markierung von Radiopharmaka mit Hilfe von Markierungs- bestecken (Kits)	25
4.6	Bestimmung physiologischer Parameter mit PET	26
4.7	Qualitätskontrolle von Radio- pharmaka	26
4.7.1	Toxizität	30
4.7.2	Radiotoxizität	30
4.7.3	Sterilität	30
4.7.4	Pyrogenität	30

4.7.5	Radionuklidreinheit	31
4.7.6	Bestimmung der radiochemischen Reinheit	31
4.7.7	Lagerung von Radiopharmaka	33
5	Kinetik von Radiopharmaka .	35
6	Nuklearmedizinische Messtechnik	39
6.1	Szintillationszähler	39
6.1.1	Szintillationskristall	40
6.1.2	Photomultiplier und Messelektronik	40
6.1.3	β -Counter	40
6.1.4	γ -Spektrometrie, Bohrlochkristall ..	41
6.1.5	Ganzkörperzähler	42
6.2	Ionisationsdetektoren	42
6.3	Festkörperdetektoren (Halbleiterdetektoren)	43
6.4	Scanner	44
6.5	Gammakamera (Szintillationskamera)	45
6.5.1	Kamera-Messkopf (-Detektor)	45
6.5.2	Messprinzip	47
6.5.3	Transmissionsszintigraphie	49
6.6	Emissions-Computer-Tomo- graphie (ECT, SPECT, PET)	49
6.6.1	Prinzip von ECT und CT	49
6.6.2	ECT-Kamerasysteme	50
6.6.3	Messprinzip der ECT	51
6.6.4	Positronenemissionstomographie (PET)	53
6.7	Kollimatoren	55
6.7.1	Kollimatoren für Gammakameras ..	56
6.7.2	Kollimatoren (Hochenergiefilter) für Hybridkameras	61
6.7.3	Kollimatoren für Funktions- messplätze	61
6.8	Messgerätetechnik	63
6.8.1	Geräteeinstellung	63
6.8.2	Qualitätskontrolle nuklear- medizinischer Messgeräte	66

6.8.3	Funktionskontrollen, Fehlermöglichkeiten	79
6.9	Nuklearmedizinische Einrichtungen	82
6.9.1	Nuklearmedizinische Diagnostik ..	82
6.9.2	Nuklearmedizinische Therapie	84
6.9.3	Lagerung, Umgangsgenehmigung .	84
6.10	Technisches Zubehör, Injektionstechniken	85
6.10.1	Positionierungshilfen	85
6.10.2	Gasfalle	85
6.10.3	Markierungsvorrichtungen	85
6.10.4	Strahlenschutzzubehör	87
6.10.5	Injektionstechniken	87
6.11	Positionierung des Patienten, Kennzeichnung von Szintigrammen	88
6.11.1	Positionierung	88
6.11.2	Kennzeichnung	89
7	Datenverarbeitung (EDV) in der Nuklearmedizin	93
7.1	Aufbau und Funktion eines Rechners	93
7.1.1	Zentraleinheit	94
7.1.2	Peripherie	95
7.1.3	EDV-Strukturen in der Nuklearmedizin	96
7.1.4	Bildbearbeitungs- und Archivierungssysteme (PACS), Kommunikationssysteme (KIS, RIS), Datenstruktur (DICOM) und workflow ..	97
7.2	Datenquelle Gammakamera	100
8	Dosimetrie, Strahlenbelastung, Strahlenrisiko, Strahlenschutz, Umgang mit radioaktivem Material am Arbeitsplatz	103
8.1	Dosimetrie	103
8.1.1	Energiedosis, Energiedosisleistung	103
8.1.2	Ionendosis, Äquivalentdosis	103

8.1.3	Effektive Dosis	104
8.2	Strahlenbelastung	105
8.2.1	Natürliche und künstliche Strahlenbelastung	105
8.2.2	Biologische Strahlenwirkung	105
8.2.3	Indikationsstellung zu nuklear- medizinischen Untersuchungen ...	107
8.2.4	Strahlenbelastung und Strahlen- risiko durch nuklearmedizinische Untersuchungen	107
8.3	Somatisches und genetisches Strahlenrisiko	109
8.4	Strahlenschutz	110
8.4.1	Umgangsgenehmigung, Strahlen- schutzbereiche, Dosisgrenzwerte ..	110
8.4.2	Überwachungsmaßnahmen	111
8.4.3	Umgang mit radioaktivem Material .	113
9	Organisation	115
9.1	Organisation in einer größeren Abteilung	115
9.1.1	Anmeldung, Patientensteuerung ..	116
9.1.2	Terminplan	116
9.1.3	Reihenfolge von Untersuchungen ..	116
9.1.4	Funktionsablauf	119
9.1.5	Archivierung	120
9.2	Organisation in einer radiologischen bzw. nuklear- medizinischen Praxis	120
10	Berufsbild der MTAR in der Nuklearmedizin	123
10.1	Gesetzliche Grundlagen für die MTAR-Ausbildung	123
10.2	MTA-Ausbildung	123
10.2.1	Ausbildungsziel und vorbehaltene Tätigkeiten	123
10.2.2	Aufgaben der MTAR in der Nuklearmedizin	124
10.2.3	Weiterbildung und MTAR-Fach- qualifikation im Modulsystem	125

II	Nuklearmedizinisch- diagnostische Organ- untersuchungen	127
11	Zentralnervensystem	129
11.1	Grundlagen (Anatomie und Physiologie)	129
11.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	131
11.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	133
11.3.1	Hirnperfusionsszintigraphie	133
11.3.2	Rezeptorszintigraphie	133
11.3.3	Liquorraumszintigraphie, Myeloszintigraphie	133
11.3.4	RCBF-Messung	135
11.4	Diagnostische Bedeutung der nuklearmedizinischen Unter- suchungen des ZNS	135
12	Schilddrüse	139
12.1	Grundlagen (Jodstoffwechsel, Anatomie, SD-Erkrankungen)	139
12.1.1	Jodstoffwechsel	139
12.1.2	Schilddrüsenanatomie	141
12.1.3	Schilddrüsenerkrankungen	141
12.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	142
12.2.1	Jodisotope	142
12.2.2	^{99m}Tc -Pertechnetat	143
12.2.3	Tumorspezifische Substanzen	143
12.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	143
12.3.1	Radiojod-Zweiphasentest	144
12.3.2	Jodidclearance	145
12.3.3	Messung der thyreoidalen ^{99m}Tc - Pertechnetat-Aufnahme (TcTu)	146
12.3.4	Suppressions- und Stimulations- test	146
12.3.5	Depletionstest	149
12.3.6	Schilddrüsenszintigraphie mit ^{99m}Tc -Pertechnetat	149

12.3.7	Schilddrüsenszintigraphie	
	mit Jodisotopen	150
12.3.8	Ganzkörperszintigraphie (Radiojod)	150
12.3.9	Sonographie der Schilddrüse	152
12.4	Diagnostische Bedeutung der nuklearmedizinischen und sono- graphischen Untersuchungen der Schilddrüse	153
13	Lunge	155
13.1	Grundlagen (Anatomie, Perfusion, Ventilation)	155
13.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	155
13.2.1	Radioaktive Gase	156
13.2.2	Radioaktive Partikel	157
13.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	158
13.3.1	Kombinierte Perfusions- und Ventilationsszintigraphie	158
13.3.2	Ventilationsszintigraphie	160
13.3.3	Perfusionsszintigraphie	160
13.3.4	Inhalationsszintigraphie	163
13.4	Diagnostische Bedeutung der Lungenszintigraphie	165
14	Kardiovaskuläres System ..	167
14.1	Anatomische und physiologische Grundlagen	167
14.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	169
14.2.1	Substanzen zur Blutpoolszintigra- phie (intravaskuläre Indikatoren) ..	169
14.2.2	Substanzen zur Durchblutungs- messung (Myokarddurchblutung) .	170
14.2.3	Substanzen zur Markierung des Myokardstoffwechsels, der Neuro- rezeptoren und Nekrosen	172
14.2.4	Substanzen zum Nachweis von Thromben und Thrombosen	173

14.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	174
14.3.1	Sequenz- und Funktionsszintigraphie des Herzens (Radionuklid-angiokardiographie)	174
14.3.2	Ejection fraction (Auswurf-fraktion)	176
14.3.3	Ejection velocity (Kontraktions-geschwindigkeit)	178
14.3.4	Herzminutenvolumen	178
14.3.5	Shuntbestimmung	178
14.3.6	Mittlere Transitzeiten, Peak-zu-Peak-Zeiten, minimale Transitzeiten	178
14.3.7	Myokardszintigraphie	180
14.3.8	Untersuchungen der peripheren Strombahn	183
14.4	Diagnostische Bedeutung nuklearmedizinischer Untersuchungen des kardiovaskulären Systems	185
15	Leber, Milz, Pankreas, Knochenmark	187
15.1	Grundlagen (Anatomie und Physiologie)	187
15.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	188
15.2.1	Leber	188
15.2.2	Milz	189
15.2.3	Pankreas	189
15.2.4	Knochenmark	190
15.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	190
15.3.1	Leberszintigraphie	190
15.3.2	Lebersequenzszintigraphie	192
15.3.3	Leberperfusionsszintigraphie, Blutpoolszintigraphie	192
15.3.4	Milzszintigraphie	192
15.3.5	Pankreasszintigraphie	196
15.3.6	Knochenmarkszintigraphie	197
15.4	Diagnostische Bedeutung der Leber-, Milz-, Pankreas- und Knochenmarkszintigraphie	198

16	Nieren, ableitende Harn- wege und Hoden	201
16.1	Grundlagen (Anatomie und Physiologie)	201
16.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	202
16.2.1	Glomerulär filtrierte Radio- pharmaka	202
16.2.2	Tubulär sezernierte Radio- pharmaka	203
16.2.3	Radiopharmaka zur Durch- blutungsuntersuchung der Nieren ..	204
16.2.4	Radiopharmaka zur statischen Nierenszintigraphie	204
16.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	205
16.3.1	Prinzip und Technik der Clearancebestimmung	205
16.3.2	Clearancebestimmung am teil- abgeschirmten Ganzkörpermess- stand (Oberhausen-Methode)	208
16.3.3	Radioisotopennephrographie	209
16.3.4	Statische Nierenszintigraphie	210
16.3.5	Dynamische Nierensequenzszinti- graphie (renale Funktionsszinti- graphie)	211
16.3.6	Restharn-, Exkretionsindex- und Refluxmessung	215
16.3.7	Perfusionsszintigraphie	216
16.3.8	Hodenszintigraphie	217
16.4	Diagnostische Bedeutung nuklearmedizinischer Nieren- und Hodenuntersuchungen	217
17	Gastrointestinaltrakt	221
17.1	Speicheldrüsen	221
17.1.1	Grundlagen (Anatomie und Physiologie)	221
17.1.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	221
17.1.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	221

17.1.4	Diagnostische Bedeutung der Speicheldrüsenzintigraphie	222
17.2	Tränenwege	222
17.3	Magen, Ösophagus	223
17.3.1	Grundlagen	223
17.3.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	223
17.3.3	Untersuchungsmethoden	223
17.3.4	Diagnostische Bedeutung nuklear- medizinischer Untersuchungen des Magens und Ösophagus	225
17.4	Dünndarm	225
17.4.1	Grundlagen	225
17.4.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	226
17.4.3	Untersuchungsmethoden	227
17.4.4	Diagnostische Bedeutung der nuklearmedizinischen Resorptions- bzw. Ausscheidungstests und der Szintigraphie bei gastrointes- tinalen Blutungen	229
18	Nebennieren	231
18.1	Grundlagen (Anatomie, Physiologie)	231
18.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	231
18.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	232
18.3.1	Nebennierenrindenzintigraphie ..	232
18.3.2	Nebennierenmarkszintigraphie ...	233
18.4	Diagnostische Bedeutung der Nebennierenzintigraphie	234
19	Nebenschilddrüsen	235
19.1	Grundlagen (Anatomie, Physiologie)	235
19.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	235

19.3	Untersuchungsmethode und praktische Durchführung	235
19.4	Diagnostische Bedeutung der Nebenschilddrüsenszintigraphie	236
20	Lymphsystem	237
20.1	Grundlagen (Anatomie, Physiologie)	237
20.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	237
20.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	238
20.4	Diagnostische Bedeutung der Lymphszintigraphie	242
21	Knochen und Gelenke	243
21.1	Grundlagen (Anatomie, Physiologie)	243
21.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	243
21.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	244
21.3.1	Knochenszintigraphie	244
21.3.2	Gelenkszintigraphie	249
21.3.3	Calciumkinetik	249
21.4	Diagnostische Bedeutung der Knochen- und Gelenkszintigraphie	249
22	Blut und hämatopoetisches System	251
22.1	Grundlagen (Anatomie, Physiologie)	251
22.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	251
22.2.1	Eisenkinetik	251
22.2.2	Erythrozytenkinetik	252

22.2.3	Thrombozytenkinetik	252
22.2.4	Blutvolumen	252
22.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	252
22.3.1	Eisenkinetik	252
22.3.2	Erythrozytenkinetik	254
22.3.3	Thrombozytenkinetik	256
22.3.4	Blutvolumen	256
22.4	Diagnostische Bedeutung nuklearmedizinischer Methoden in der Hämatologie	257
23	Tumoren	259
23.1	Grundlagen (Histologie, Physiologie)	259
23.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	260
23.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung	263
23.3.1	Galliumszintigraphie	263
23.3.2	Szintigraphie mit metabolisch spezifischen Radiopharmaka und Rezeptorszintigraphie	264
23.3.3	Immunszintigraphie	264
23.3.4	FDG-Szintigraphie	264
23.4	Diagnostische Bedeutung der Tumorszintigraphie	265
24	Entzündungen	267
24.1	Grundlagen	267
24.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	268
24.3	Untersuchungsmethoden und praktische Durchführung ...	268
24.4	Diagnostische Bedeutung der Szintigraphie bei Entzündungen ..	270
25	Grundlagen des Radioassays	271

26	Pharmakokinetik des Radioimmunoassays (RIA)	275
27	Radiopharmakologie und Messmethoden	277
27.1	Antigenherstellung	277
27.2	Radioaktive Markierung der Antigene	277
27.3	Herstellung spezifischer Antikörper	278
27.4	Inkubation	280
27.5	Eichkurven	280
27.6	Zuverlässigkeitskriterien	281
27.7	Spezifität	281
28	Technische Durchführung des Radioimmunoassays am Beispiel des TSH-RIA ...	283
29	Radioimmunologischer Nachweis von Proteo- und Steroidhormonen	287
29.1	Proteohormone	287
29.1.1	Insulin	287
29.1.2	Wachstumshormon (STH)	287
29.1.3	Adrenocorticotropes Hormon (ACTH)	287
29.1.4	Thyreotropes Hormon (TSH)	287
29.1.5	Hypophysäre Gonadotropine	288
29.1.6	Parathormon und Calcitonin	288
29.1.7	Renin, Angiotensin	288
29.2	Steroidhormone	289
29.2.1	Cortisol, Corticosteron, 11-Desoxycortisol	289
29.2.2	Aldosteron	289
29.2.3	Testosteron	290
29.2.4	Östrogene	290
29.2.5	Gestagene	290

30	Radioimmunologischer Nachweis von Schilddrüsenhormonen	291
30.1	Trijodthyronin (T3), Thyroxin (T4)	291
30.2	T3-Uptake (Bindungskapazität für T3, T3-Test, CPBA-T3)	292
30.3	Bestimmung des freien Trijodthyronins im Serum (F T3)	293
30.4	Bestimmung des freien Thyroxins im Serum (F T4)	293
31	Diagnostische Bedeutung der Radioassays	295
III	Nuklearmedizinische Therapie mit offenen Radionukliden	297
32	Grundlagen	299
33	Radiojodtherapie	301
33.1	Strahlenwirkung, Pharmakokinetik und Dosimetrie	301
33.1.1	Strahlenwirkung	301
33.1.2	Pharmakokinetik	301
33.1.3	Dosisberechnung	301
33.2	Applikation der Radiojoddosis ..	303
33.3	Radiojodtherapie der Schilddrüsenüberfunktion (Hyperthyreose)	304
33.4	Radiojodtherapie des autonomen Adenoms	305
33.5	Radiojodtherapie der euthyreoten Struma	306

33.6	Radiojodtherapie des Schilddrüsenkarzinoms	307
33.6.1	Standarddosiskonzept	307
33.6.2	Individualdosiskonzept	308
33.6.3	Nachsorgekonzept	309
34	^{131}J-MIBG-Therapie und Radioimmuntherapie	311
34.1	^{131}J -MIBG-Therapie neuroendokriner Tumoren	311
34.2	Radioimmuntherapie mit markierten monoklonalen Antikörpern	311
35	Phosphor-32-Therapie hämatologischer Erkrankungen	313
35.1	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	313
35.2	Technische Durchführung und Ergebnisse der ^{32}P -Therapie	313
36	Intrakavitäre Therapie	315
36.1	Grundlagen	315
36.2	Radiopharmakologie und Pharmakokinetik	315

36.3	Behandlung von Gelenkerkrankungen (Radiosynoviorthese) ...	316
36.4	Behandlung von malignen Peritonealerkrankungen	317
36.5	Behandlung von malignen Pleura- oder Perikardergüssen ...	318
36.6	Behandlung der Meningiosis leucaemica und des Medulloblastoms	319
36.7	Behandlung von Skelettmetastasen	320

IV Anhang

Antworten	323
------------------------	------------

Glossar	349
----------------------	------------

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	355
--	------------

Stichwortverzeichnis	357
-----------------------------------	------------

Abkürzungen	381
--------------------------	------------

Farbanhang	383
-------------------------	------------