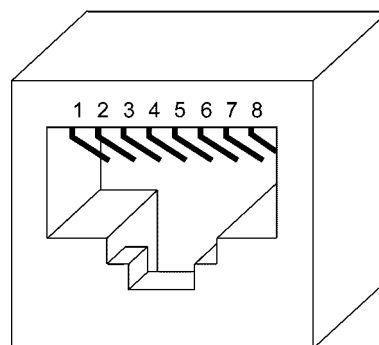


## 1.1 Anschlußbelegung Multifunktionsstecker

ABBILDUNG A1 Anschlußbelegung Multifunktionsstecker

- 1 = I<sup>2</sup>C-Bus SCL (Takt)
- 2 = I<sup>2</sup>C-Bus SDA (Daten)
- 3 = Reserviert
- 4 = RxD (RS-232 Empfangsleitung)
- 5 = TxD (RS-232 Sendeleitung)
- 6 = Masse
- 7 = + 5V
- 8 = Impuls-Ein-/Ausgang (+5V)



## 1.2 Meßwertausgabe an PC und Drucker

Die Datenübertragungsrate von medCONT ist fest auf


**2400 Baud, 8 Datenbits, keine Parität, 1 Stopbit (2400,8,N,1)** eingestellt.

Über das mitgelieferte PC-Programm „MEDCONT.EXE“ (ab DOS 3.3 oder Windows®-Programm „MEDTERM“) ist eine Übertragung der Meßwerte an jeden PC mit VGA-Bildschirm möglich. Das Programm auf die Festplatte in ein geeignetes Verzeichnis kopieren. Nach dem Starten (*medcont*) den Hinweisen am Bildschirm folgen.

Das Windows®-Programm muß zuerst mit SETUP im Windows® Programm-Manager (Datei - Ausführen) installiert werden.

Die Meßwerte können aber auch mit jedem anderen Terminal-Programm ausgelesen werden.

Durch Drücken von  gelangt man in den Meßwertspeicher. Über  oder  können die Meßwerte betrachtet werden. Durch Drücken von  wird der Meßwertspeicher verlassen. Durch Drücken von  wird der angezeigte Meßwert mit allen jüngeren Meßwerten an die serielle Schnittstelle mit einer Datenübertragungsrate von 2400 Baud (2400,8,N,1) gesendet. An die Schnittstelle kann ein Drucker oder ein PC angeschlossen werden.

Die Ausgabe der Meßwerte wird mit  gestartet. Die Meßwerte werden in nachstehendem (ASCII) Text-Format ausgegeben.

medCONT: Netto- bzw. Brutto- Messwerte ab Nr. 989:

```
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
122.0
118.2 118.0 113.6 114.6 114.6 112.7 116.9 117.2 122.6 118.9 118.4 117.8 118.2 122.0
124.1 122.3 123.5
```

Die Blockmarken werden als „Neue Zeile“ (CR, LF) gekennzeichnet. Dieses Ausgabeformat unterstützt die Weiterverarbeitung der Meßwerte mit dem von uns angebotenen Auswerteprogramm 3D-Graphics, sowie die gängigsten Tabellenkalkulationsprogramme.

---

### 1.3 Stromversorgung

MedCONT kann mit vier Mignonzellen Batterien oder Nickel-Cadmium-Akkus (NiCd-Akkus) betrieben werden.

Die Betriebszeit von medCONT liegt bei Verwendung von nicht wiederaufladbaren Batterien hoher Qualität bei ca. 16 Stunden (je nachdem ob Beleuchtung ein- oder ausgeschaltet ist). Der Energieinhalt von NiCd-Akkus ist geringer als der Energieinhalt von Batterien. Deshalb liegt die Betriebszeit beim Einsatz von geladenen NiCd-Akkus bei max. ca. 8 Std.

Für den Einsatz von NiCd-Akkus ist als Option eine **Tisch-Wand-Ladestation** lieferbar.

- **Niemals einen mit Batterien bestückten medCONT in die Ladestation legen. Die Batterien können platzen und der dadurch auslaufende Elektrolyt kann medCONT und die Ladestation zerstören!**

Die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit der in medCONT verwendeten NiCd-Akkus wird von der richtigen Nutzung bestimmt.

---

### 1.4 Batteriewechsel

Zum Betrieb von medCONT sind vier Mignonzellen Batterien oder NC-Akkus (Bauform AA) notwendig. Sie werden in das Batteriefach an der Rückseite eingesetzt. Hierzu muß das Batteriefach mit Hilfe eines Schraubendrehers oder einer Münze geöffnet werden. Beim Einsetzen der Mignonzellen ist auf richtige Polarität zu achten. Nichtbeachtung kann eine Beschädigung von medCONT zur Folge haben. Nach dem Einschalten von medCONT, nach einem Batterie- oder Akkuwechsel, erscheint im Display eine Abfrage, ob Batterien oder Akkus eingesetzt sind. Hier sollte im Interesse des Benutzers die richtige Wahl getroffen werden. Batterien können ihre Energie bis zur vollständigen Entladung abgeben. Deshalb wird medCONT die von den eingesetzten Batterien zur Verfügung gestellte Energie restlos verwerten.

Akkus hingegen können durch Tiefentladung zerstört werden. Deshalb erscheint im Display nach der Auswahl „geladener Akku“ und bei drohender Akku-Tiefentladung eine entsprechende Warnung mit anschließender automatischer Selbstabschaltung.

medCONT verhindert auch das Wiedereinschalten bei entladenen Akkus.

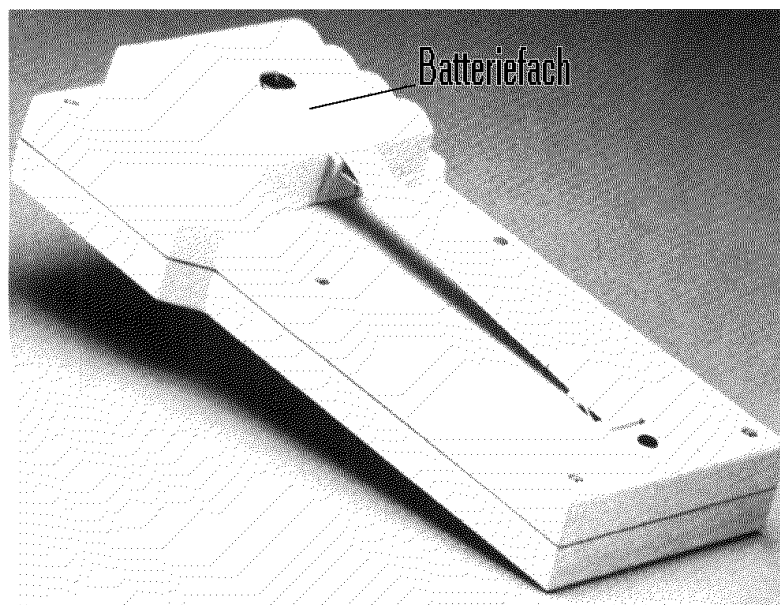
Bei längerem Nichtgebrauch (> 2 Wochen) von medCONT sollten die eingesetzten Mignonzellen entfernt werden, um eine allmähliche Entladung der Batterien mit nachfolgendem Auslaufen zu verhindern.

*Hinweis: medCONT benötigt auch im ausgeschalteten Zustand einen geringen Ruhestrom (ca. 0,25 mA). Bei längerem Nichtgebrauch von medCONT sollten die eingesetzten Mignonzellen deshalb entfernt werden.*


*Falls medCONT mit Akkus betrieben wird und während der Arbeitspausen im Ladegerät verbleibt, so kann diese Maßnahme selbstverständlich entfallen.*

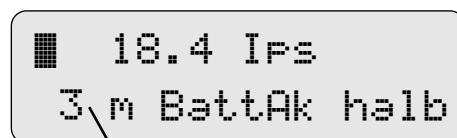
ABBILDUNG A.2

Batteriefach



### 1.5 Batteriekontrolle

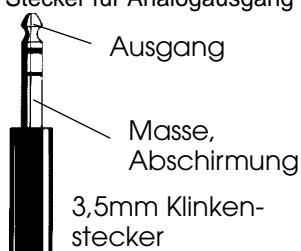
Die in den Batterien oder Akkus enthaltene Restkapazität wird durch Druck auf die -Taste angezeigt.



Betriebsdauer 3 Minuten

### 1.6 Analogausgang (Option)

ABBILDUNG A3 Stecker für Analogausgang



medCONT kann auch mit einem Analogausgang ausgerüstet werden. Der Analogausgang ist Kurzschlußfest und liefert eine Spannung von 0 bis +2,5 Volt entsprechend der analogen Bargraph-Anzeige im Display. D.h.: je mehr sich der Balken der eingestellten Alarmschwelle nähert, umso größer die Ausgangsspannung.

## 2.1 Vorbemerkungen

Um die in medCONT gespeicherten Meßwerte in den PC zu übertragen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen das DOS-Programm „MEDCONT.EXE“, das Windows®-Programm „medTERM“ sowie jedes andere Terminalprogramm (z.B. Windows® Terminal, HyperAccess, das mit Windows® 95/98 und OS/2 ausgeliefert wird, oder Zterm für Macintosh).

Windows®-Programme sind u. U. auf einem Notebook nicht oder nur eingeschränkt zu verwenden. Die meisten älteren Notebooks verfügen aus Platzgründen nur über eine einzige serielle Schnittstelle. Hier steckt gewöhnlich die Maus. Hat ein Notebook keine eingebaute Maus (Trackball oder Notepad), so muß in diesem Fall Windows® mit der Tastatur bedient werden (geht auch, aber sehr umständlich).

Trotzdem soll nachfolgend anhand dem Windows®-Terminalprogramm „medTERM“ gezeigt werden, wie die Meßdaten in den PC kommen.

Nebenstehende Grafik soll dies verdeutlichen. Die Beschreibung der Weiterverarbeitung der Meßdaten mit Grafikprogrammen würde den Rahmen dieser Anleitung sprengen. Es sei deshalb auf die entsprechenden Handbücher dieser Programme verwiesen.

*medCONT mit PC verbinden*

*auf PC Terminalprogramm  
starten*

*Meßdaten übertragen*

*gespeicherte Meßdaten  
mit weiteren Programmen  
(z.B. Xact, Excel, Works,  
3D-Graphics, o.ä.)  
grafisch ausgeben*

## 2.2 medTERM installieren

Auf der mit medCONT gelieferten Diskette befindet sich das Windows®-3.1-Programm medTERM.

PC einschalten und Windows® 3.1 starten.

Im Programm Manager mit „Datei - Ausführen“ das Programm „SETUP.EXE“ von Diskette starten.

Oder über den Datei-Manager ins Diskettenlaufwerk wechseln und „**SETUP.EXE**“ (und **nicht** SETUP1.EXE!) mit Doppelklick starten.

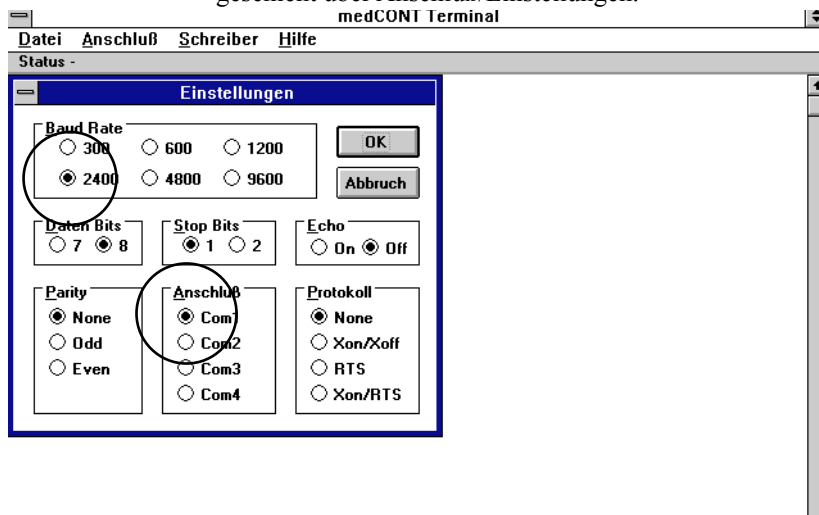
Das Setup-Programm kopiert das Programm „medTERM“ auf die Festplatte und richtet eine neue Programmgruppe ein.

Treten Meldungen auf, daß die eine oder andere Datei nicht kopiert werden kann, einfach mit „Ignorieren“ weitermachen

War die Installation erfolgreich, medTERM starten.

### 2.3 Vorbereitungen

Nach dem Programmstart muß als erstes der richtige Anschluß ausgewählt werden. Das geschieht über Anschluß/Einstellungen.

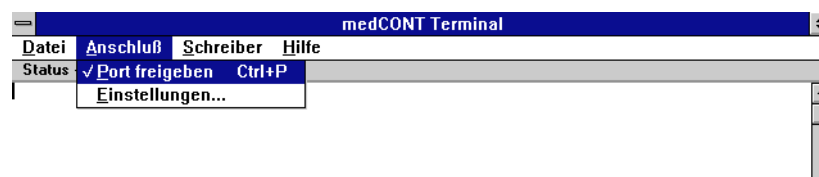


Wenn Ihr PC nur eine serielle Schnittstelle besitzt, so ist COM1 die richtige Wahl.

Wenn Ihr PC über zwei Schnittstellen verfügt, muß ggf. COM2 gewählt werden (da auf COM1 die Maus sitzt oder umgekehrt).

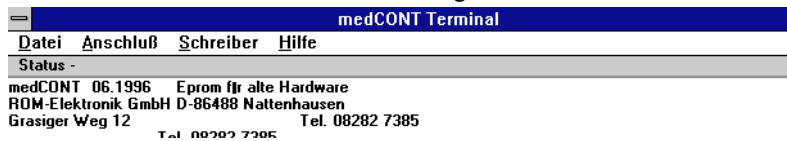
Außerdem sollte die Baud Rate auf 2400 eingestellt sein.

Nach der Auswahl muß der Anschluß noch aktiviert werden (erkennbar am „Häkchen“).



## 2.4 PC mit medCONT verbinden

medCONT über Schnittstellenkabel mit PC verbinden. Auf der PC-Seite gibt es entweder einen 9 oder 25-poligen Anschluß mit Stiften; evtl. muß die Maus abgesteckt werden.



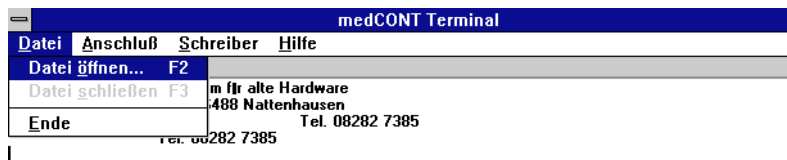
Ist der richtige Anschluß gefunden und die Einstellungen korrekt erfolgt, so meldet sich medCONT nach dem Einschalten mit einer Meldung. Die Verbindung funktioniert!

Falls diese Meldung ausbleiben sollte, so kontrollieren Sie bitte Ihre Einstellungen und die Verbindung.

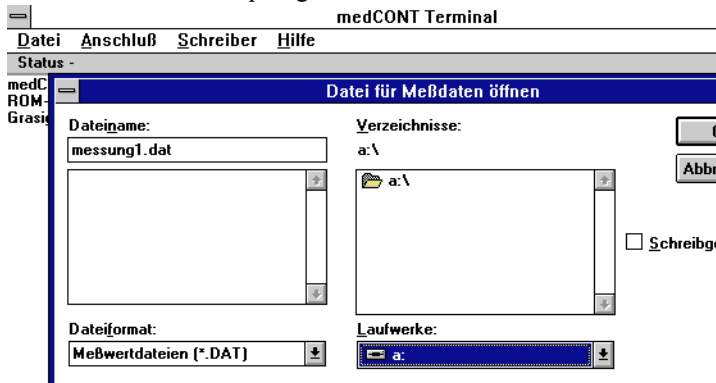
## 2.5 Meßwertspeicher

An medCONT in den Meßwertspeicher gehen. Über  und/oder  Taste zur gewünschten „Start-Speicherstelle“ gehen.

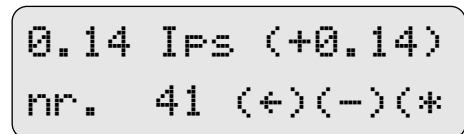
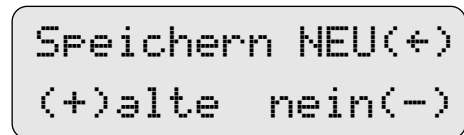
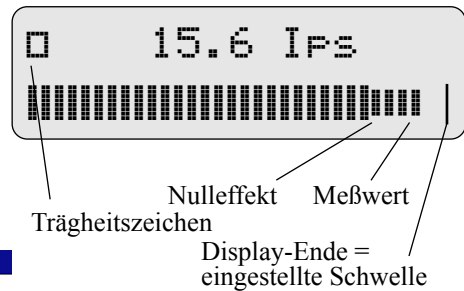
In medTERM im Menu Datei



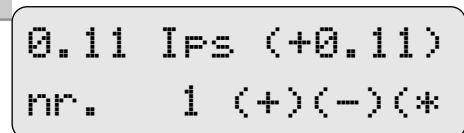
empfangen wählen.



einschalten.



sooft betätigen bis gewünschte Speicherstelle erscheint



Dateinamen evtl. ändern und mit OK bestätigen. Danach an medCONT mit die Datenübertragung starten.

```

medCONT Terminal
Datei  Anschluß  Schreiber  Hilfe
-----
Status -
medCONT 06.1996  Eprom für alte Hardware
ROM-Elektronik GmbH D-86488 Nattenhausen
Grasiger Weg 12      Tel. 08282 7385
                        Tel. 08282 7385

"Brutto-Ips (incl. Nulleffekt) ab Nr. 340 "
....
" 3409.97  9.97 10.01 10.02 10.02 10.00 10.03 10.01 10.00 10.04 10.02 10.00 10.03
" 35399 10.01 10.01  9.98  9.97  9.97 10.00 10.00  9.97 10.01  9.99
" 3640  9.90  9.87  9.85  9.86  9.87  9.86  9.85  9.86  9.85  9.87  9.87  9.84  9.38  9.38  9.30
" 380  9.34  9.35  9.32  9.29  9.33  9.34  9.30  9.36  8.92  8.91  8.88  8.89
    
```

Es werden alle Meßwerte beginnend von der gewählten Start-Speicher-Nr. in der Meßwertdatei gespeichert.

Nach der Speicherung die Datei wieder schließen!

**Das Datenformat der Meßwertdatei ist Standard Textformat (ASCII) mit Leerzeichen als Trennzeichen .**

Somit ist eine evtl. Nachbearbeitung mit jeder Textverarbeitung möglich (manchmal kommt es vor, daß man die falsche Start-Nr. erwischt hat und eine Zeile der Meßreihe oder einen Meßwert löschen will usw.).

Die (evtl. modifizierte) Meßwertdatei kann nun mit einem Grafik-Programm grafisch aufbereitet werden.

## 2.6 Schreiberdarstellung

Das Programm medTERM bietet die Möglichkeit, einen "Schreiber" auf dem PC zu emulieren.

Hierzu muß medCONT über die serielle Schnittstelle mit dem PC verbunden sein.

Anstatt den Speicher - wie vor beschrieben - auszugeben, wird bei medCONT die automatische Speicherung gestartet!

medCONT gibt bei jeder Speicherung den Meßwert auch auf die seriellen Schnittstelle aus.

Somit kann auch in eine Langzeitaufzeichnung mit laufendem PC bewerkstelligt werden.



```

15.6 Ips
████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████
    
```



```

Speichern NEU(+)
(+)alte  nein(*)
    
```



*bereits gespeicherte Meßwerte*

```

..letzte nr. 131
= 12      + Nr. 119
    
```

*Anzahl Meßwerte der letzten Reihe*



```

speichernHand(+)
autoSpeichern(+)
    
```



```

AutoStore      0 s
(+)(-)        (+)OK(*)
    
```



```

(last line:    28)
this line:    12
    
```

Sind die Daten auf dem Bildschirm sichtbar, so kann der Schreiber "angeklickt" werden.

```

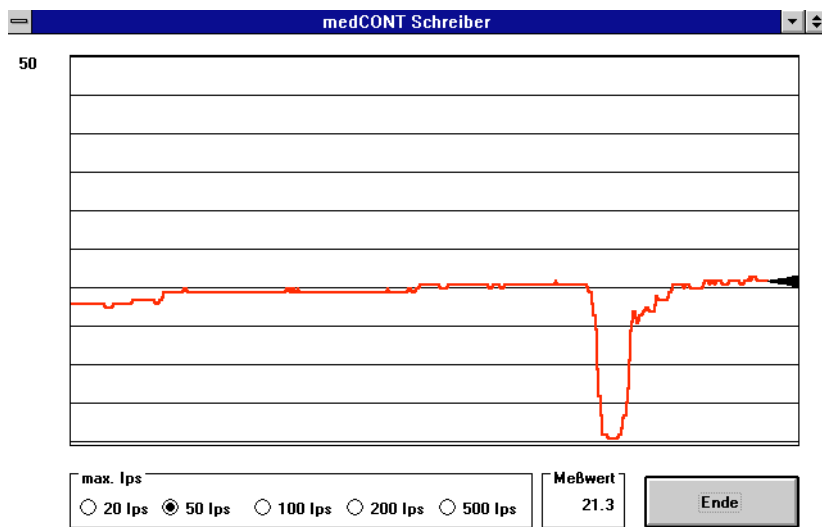
medCONT Terminal
Datei  Anschluß  Schreiber  Hilfe
-----
Status -
21.3 21.3 21.3 21.1 21.2 21.1 21.0 21.0 21.0 20.9 21.2 21.0 21.1 21.1 20.9 20.9 20.9 20.9
.6 20.6 20.7 20.7 20.5 20.7 20.5 20.5 20.5 20.4 20.4 20.4 20.5 20.4 20.3 20.2 20.3 20.1
20.3 20.10 19.9 19.8 19.9 19.8 19.8 19.7 18.9 19.1 19.0 18.9 19.0 18.9 18.9 18.8 18.7 16.7
21.1 21.1 21.0 20.8 20.8 20.7 20.8 20.8 20.7 20.8 20.9 20.8 20.9 20.9 20.9 21.0 21.0 2
1.5 21.7 21.7 21.6 21.3 21.3 21.3 21.3 21.3 21.2 21.1 21.0 21.0 20.9 20.4 20.7 20.7 20
0.8 20.9 20.8 20.9 20.8 20.9 20.8 20.9 21.0 21.1]
    
```



```

15.6 Ips
nr. 132 AutoStor
    
```

Auf dem Bildschirm ist dann ein Schreiber zu sehen, der die Meßdaten grafisch darstellt.



## 2.7 Anmerkung

Die gezeigte Methode funktioniert prinzipiell mit **jedem Terminal-Programm**. Bei anderen Programmen sind ggf. umfangreichere Einstellungen möglich und auch erforderlich.



## 2.8 Datenübertragung mit Apple Macintosh und ZTerm

Für Anwender, die die Daten auf einem Macintosh spielen wollen, ist nachfolgend die Vorgehensweise mit dem Sharewareprogramm ZTerm gezeigt.

Prinzipiell ist die Vorgehensweise dieselbe wie beim PC!

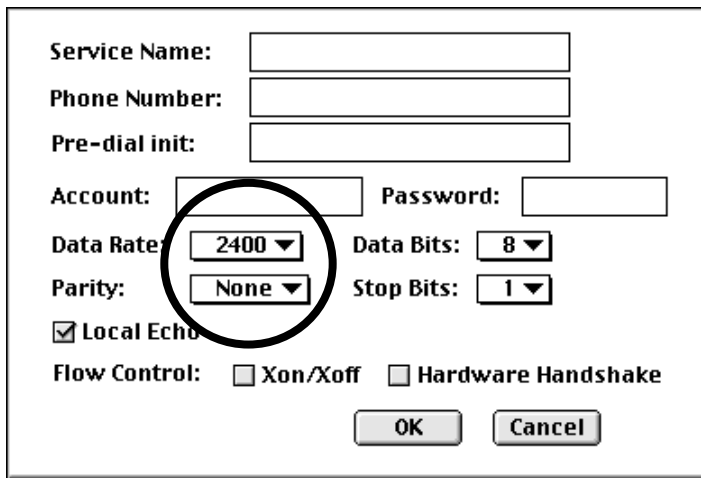
```

Messwert-Speicher
wird geschlossen
    
```

ZTerm mit dem Finder auf die Festplatte des Macintosh kopieren und mit Doppelklick starten. Es erscheint ein Fenster, das zum Drücken der „Shift-Taste“ (Umschalttaste für Großschreibung) auffordert. Hier kann der Anschluß (Drucker- oder Modemanschluß) ausgewählt werden.

Wählen Sie den richtigen Anschluß aus!

Danach ist im Menü „Settings - Connections“ die richtige Baudrate von 2400 einzustellen.



Kontrollieren Sie auch die anderen Einstellungen wie in der Abbildung.

## 2.9 Mac mit medCONT verbinden

medCONT über Schnittstellenkabel und Modemkabel mit Mac verbinden.

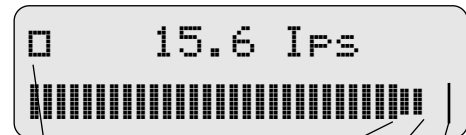
medCONT einschalten!



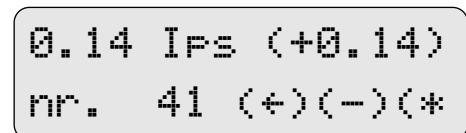
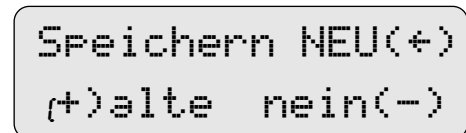
Ist der richtige Anschluß gefunden und die Einstellungen korrekt erfolgt, so meldet sich medCONT nach dem Einschalten mit einer Meldung. Die Verbindung funktioniert!



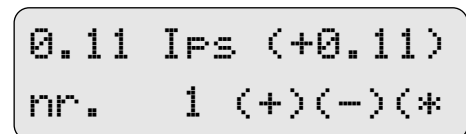
einschalten.



Trägheitszeichen  
Nulleffekt  
Meßwert  
Display-Ende = eingestellte Schwelle





sooft betätigen bis gewünschte Speicherstelle erscheint



Falls diese Meldung ausbleiben sollte, so kontrollieren Sie bitte Ihre Einstellungen und die Verbindung.

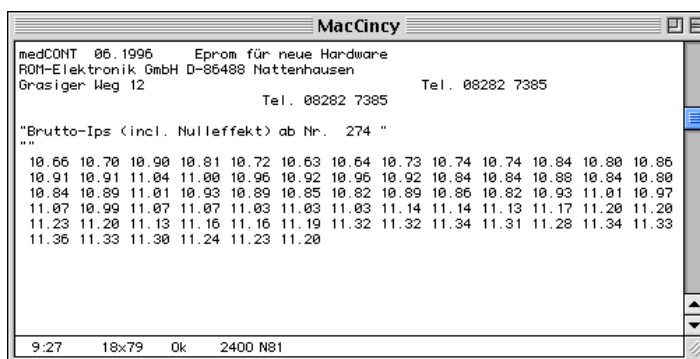
## 2.10 Meßwertspeicher


An medCONT in den Meßwertspeicher gehen. Über  und/oder  Taste zur gewünschten „Start-Speicherstelle“ gehen.

In ZTerm im Menü „File“ die Option „Start Capture“ wählen!



Hierdurch werden alle Zeichen, die medCONT sendet in eine Datei gespeichert, die mit jedem Texteditor (z. B. SimpleText) bearbeitet werden kann.



Dateinamen wählen und mit OK bestätigen.  
Danach an medCONT mit  die Datenübertragung starten. Fertig.


Nach der Datenübertragung in ZTerm im Menü „File“ die Option „Stop Capture“ wählen und medCONT ausschalten.

Die gespeicherte Datei kann anschließend mit Claris Works Textverarbeitung geöffnet werden. Ersetzt man die Leerzeichen im Zahlenblock durch Tabulatorzeichen (\t), so kann der markierte Zahlenblock anschließend in Claris Works Tabellenkalkulation eingefügt werden.

In der Tabelle dann den Zahlenbereich markieren und Diagramm erstellen.

## 3.1 Spektrum in medCONT aufnehmen

medCONT kann ein Spektrum „stand alone“ oder mit angeschlossenem PC aufnehmen. Ist ein PC angeschlossen und das DOS-Programm „MEDCONT.EXE“ ist aufgerufen, so kann das wachsen des Spektrums auf dem PC verfolgt werden.



Das DOS-Programm „MEDCONT.EXE“ wird am besten auf die Festplatte des PC kopiert. Danach wird es mit „MEDCONT “ gestartet.

medCONT über Schnittstellenkabel mit PC verbinden. Auf der PC-Seite gibt es entweder einen 9 oder 25-poligen Anschluß mit Stiften; evtl. muß die Maus abgesteckt werden.

Zuerst muß im Programm die richtige Schnittstelle gewählt werden (COM 1 oder COM 2, meistens ist auf COM1 die Maus).

Danach mit „F8“ in die Spektroskopie gehen.



Mit „+“ kann ein in medCONT gespeichertes Spektrum in den PC geholt werden.

 gedrückt halten und  einschalten.

```
Messbetrieb  (*)
Spektroskopie(+)
```



```
Spektrum leer(-)
weiter füllen(+)
```

Mit der Auswahl  wird das gespeicherte Spektrum gelöscht und ein neues Spektrum begonnen. Mit  wird das gespeicherte Spektrum weiter aufgenommen.

Kanal in Hexadezimealer Schreibweise

```
Channel 6F H
1FBC H Counts
```

Anzahl Impulse für angezeigten Kanal

### 3.2 Installation Windows-Programm

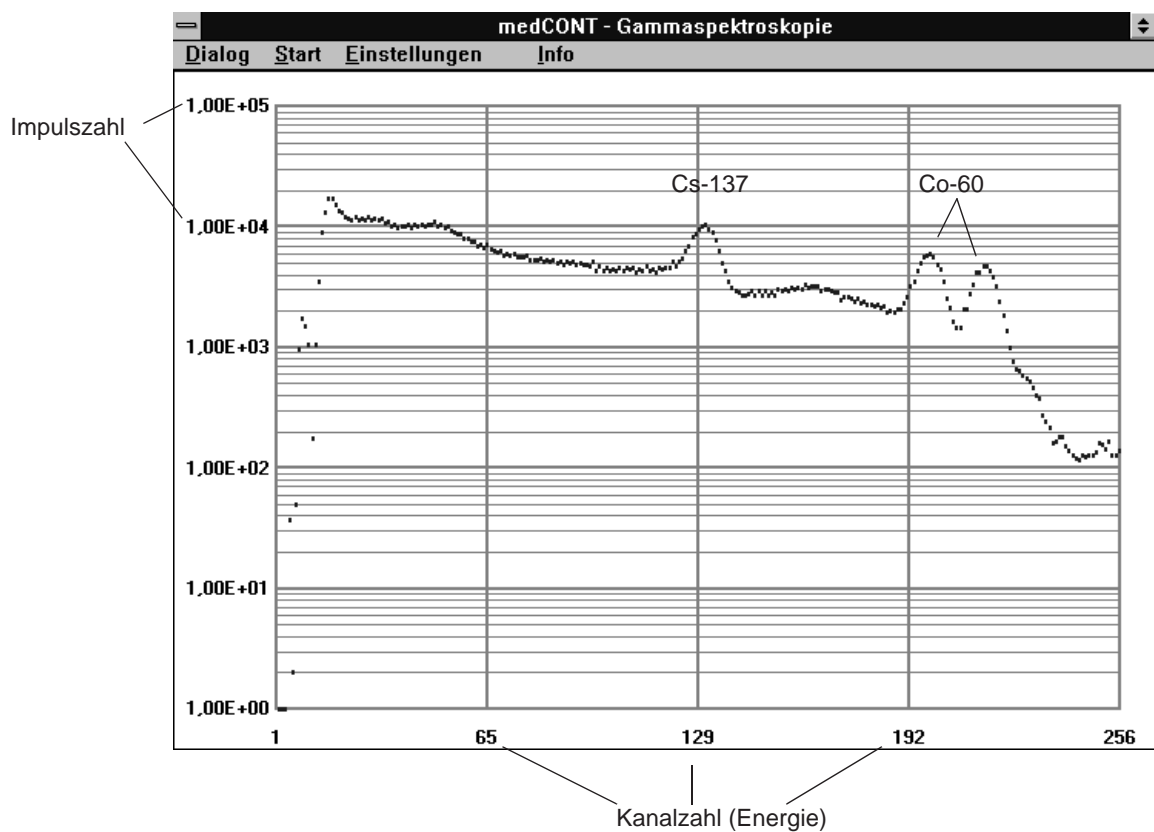
Diskette in PC-Laufwerk einlegen und unter Windows im DATEI-MANAGER (Datei/Ausführen) „A:SETUP“ eingeben und SETUP-Programm starten.

Das SETUP-Programm kopiert alle benötigten Dateien auf die Festplatte in das Verzeichnis \Spektrum\ und einige Dateien in das Windowsverzeichnis.

Im Programm Manager wird eine Programm Gruppe „SPEKTRUM“ angelegt.

Zum Starten des Programms einfach das Programm-Bild von medCONT doppelklicken.

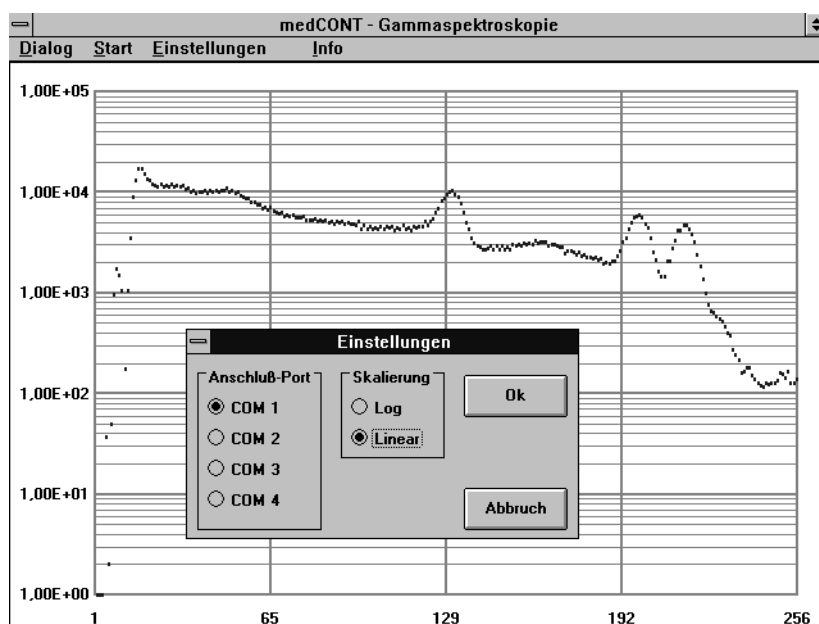
ABBILDUNG 4 Bildschirm nach Programmstart (mit Spektrum)



### 3.3 Einstellungen

Nach dem Start des Programms sollte man zunächst die Einstellungen überprüfen. Voreingestellt ist die Schnittstelle COM1 (erste serielle Schnittstelle). Falls hier die Maus angeschlossen ist, bitte die richtige Schnittstelle wählen!

ABBILDUNG 5 Einstellungen



In den Einstellungen kann auch eine lineare Darstellung anstatt der logarithmischen gewählt werden.

### 3.4 Aufnahme eines Spektrums

Falls nicht schon geschehen, medCONT mit der seriellen Schnittstelle verbinden. An medCONT die Spektromaufnahme starten.

Im Programm die Auswahl START anklicken. Es sollten jetzt in unregelmäßigen Abständen einzelne Impulse aus der Grundlinie „wachsen“.

### 3.5 Optionen

Über die Auswahl „DIALOG“ sind weitere Funktionen wie z.B. Drucken, Spektrum laden und speichern, usw. zu erreichen. Ein in medCONT gespeichertes Spektrum kann in den PC geladen werden, während medCONT ein Spektrum aufnimmt.

### 3.6 Tips

Vor dem Ausdrucken sollte die Aufnahme gestoppt und mit F11 die Funktion Neuzeichnen ausgeführt werden (wg. Hintergrundrauschen).

ABBILDUNG 6 Lineare Darstellung

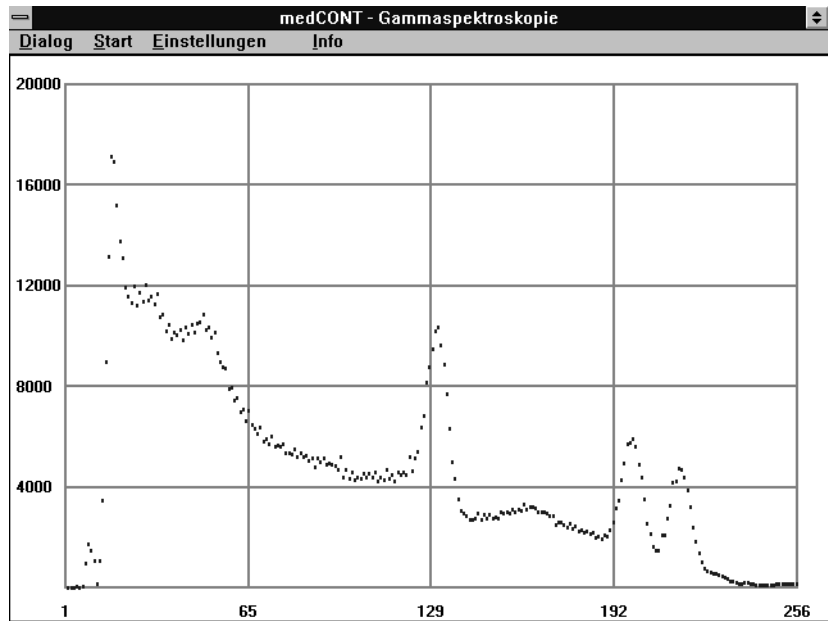
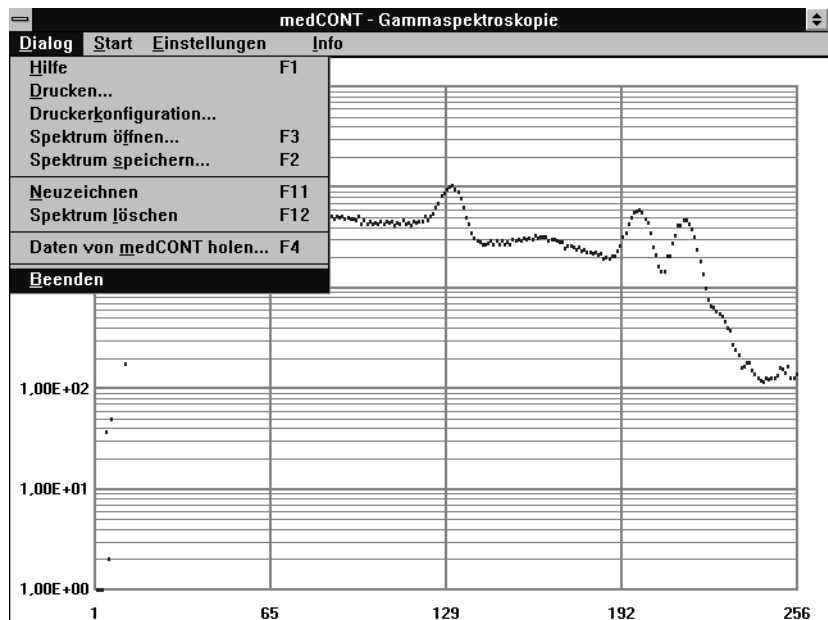


ABBILDUNG 7 Dialog-Auswahl



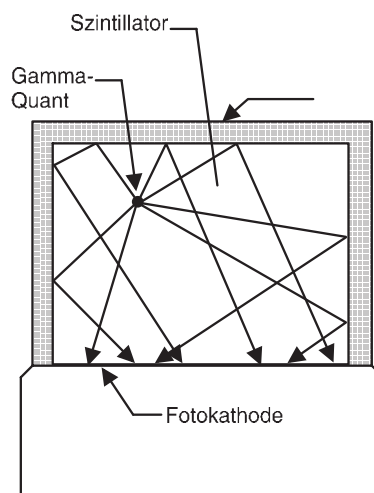
Neuzeichnen ändert ggf. auch die Skalierung bei linearer Skalenteilung.

# Wirkungsweise eines Szintillationszählers

## 4.1 Aufbau

Die Arbeitsweise des Szintillationszählers beruht - im Gegensatz zum Geiger-Müller-Zählrohr - auf Lumineszenzerscheinungen (schwache Lichtblitze) in optisch durchlässigen Materialien (z.B. NaJ-Kristall, Antrazen-Kristall, u.ä.) beim Durchgang ionisierender Strahlung.

**ABBILDUNG 8** Aufbau eines Szintillationszählers

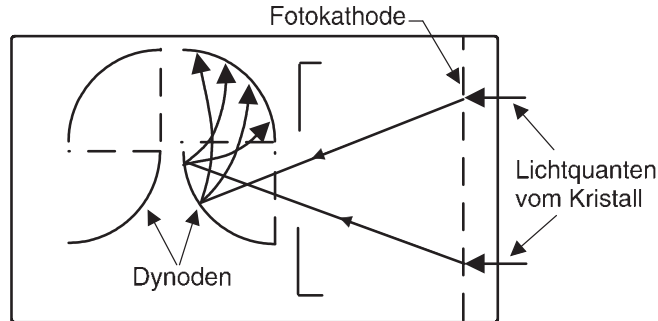


Trifft ein Gammaquant einen Atomkern im NaJ-Kristall, so wird ein schwacher Lichtblitz erzeugt. Um möglichst viele Lichtblitze detektieren zu können, ist der Kristall ringsum mit einer reflektierenden Abschirmung umgeben. Trotzdem wird nur ein Teil der von der Primärstrahlung abgegebenen Energie im Szintillator (Kristall) in Lichtquanten umgewandelt, die dann in der Fotokathode des angeschlossenen Fotomultipliers (Fotoervielfacher) Elektronen auslösen.

Diese gelangen auf eine Elektrode (Dynode), die aus einem Material besteht, bei dem jedes auftreffende Elektron weitere sog. Sekundärelektronen auslöst. Die nächste Dynode zieht diese Elektronen wiederum an, und das Spiel der Elektronenvervielfachung beginnt von neuem. Nachdem ein ganzes System von Dynoden durchlaufen wurde, entsteht ein um den Faktor  $10^5 \dots 10^9$  größerer Elektronenstrom.

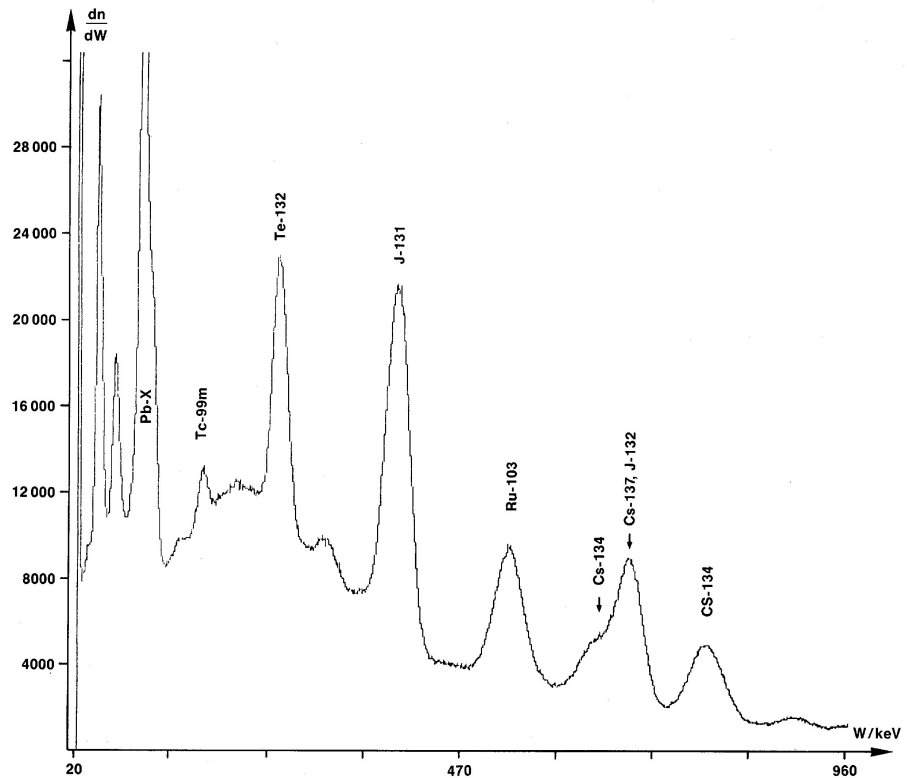
Der Strom wird in eine Spannung umgewandelt und einem Verstärker zugeführt. Dieser verstärkt die noch schwachen Signale und führt sie sodann einem Impulshöhendiskriminator zu. Der Diskriminator sorgt dafür, daß nur Impulse mit einer Mindesthöhe zur Auswerteelektronik gelangen und „Stör- und Rausch-Impulse“ unterdrückt werden.

ABBILDUNG 9 Aufbau und Wirkungsweise eines Fotovervielfachers (Fotomultiplier)



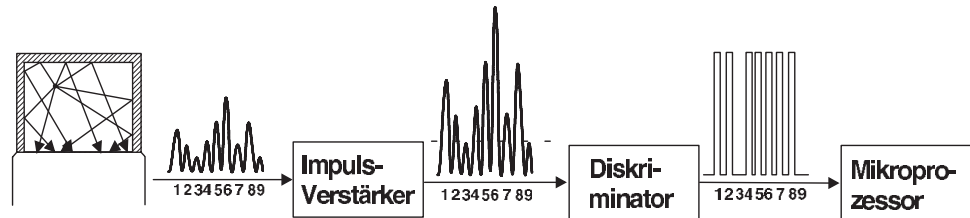
Die verstärkten Impulse könnten auch einem Pulshöhenanalysator zugeführt werden, um ein Gamma-Energiespektrum aufzunehmen. Da an dem gesamten Ablauf aber statistische Prozesse beteiligt sind, ist die Folge davon eine gewisse Schwankung der Impulshöhe, und zwar auch dann, wenn eine monoenergetische Einstrahlung (z.B. von Cs-137 mit 667 keV) vorliegt. Für die Gammaskopie eignet sich daher ein Germanium-Kristall besser.

ABBILDUNG 10 Gammaskopie



$\gamma$ -Spektrum einer Tschernobyl-belasteten Sandprobe mit einem NaJ (TI)-Detektor am 7. 5. 86 gemessen; Meßzeit 20 h

ABBILDUNG 11 Schematische Darstellung der Funktion von medCONT



## 4.2 Funktion

Da die Vorgänge im Szintillator recht verwickelt sind, sollen hier nur die wichtigsten Prozesse, die für den Nachweis radioaktiver Strahlung relevant sind, dargestellt werden.

- **Neutronen** lassen sich nur nachweisen, wenn sie entweder Kernreaktionen auslösen oder durch Zusammenstöße mit anderen Atomkernen Energie an diese abgeben (im Szintillator oder einem davor angebrachten Material).
- **Beta-Strahlung** (Elektronen) können ihre Energie durch Anregung oder durch Ionisation an das Szintillationsmaterial abgeben. Da der NaJ-Kristall eine rel. dicke Metallabschirmung hat, kann dieser keine Beta-Strahlung detektieren. Zum Nachweis von Beta-Strahlung dienen Geiger-Müller-Zählrohre und Proportional-Zählrohre, bzw. ZnS-beschichtete Szintillatormaterialien.
- Für die **Gamma-Strahlung** gibt es im Szintillator drei wichtige Prozesse: es sind dies der Fotoeffekt, die Compton-Streuung und die Paarbildung.

Beim Fotoeffekt wird die gesamte Energie des Gammateilchens (Gammaquant) auf ein Elektron übertragen, das dann mit einer um die Ablösearbeit verminderten Energie im Kristall weiterfliegt. Dieser Effekt ist besonders bei niederen Energien (<200 keV im NaJ) wirksam.

Im Fall der Compton-Streuung geht nur ein Teil der Energie auf ein Elektron über; den übrigen Rest behält das gestreute Gammaquant. Der Compton-Prozess tritt vorwiegend bei Energien zwischen 0,5 MeV - 10 MeV auf. Bei ihm bestehen keine festen Beziehungen zwischen der Primärenergie und der Energie des Elektrons (vom Streuwinkel abhängig). Deshalb ist dieser Effekt für die Gammaspektroskopie nicht verwertbar und eher störend.

Bei Energien oberhalb 1,02 MeV können auch Elektron-Positron-Paare entstehen, da die Ruheenergie eines Elektrons 0,51 MeV beträgt. Die evtl. überschüssige Gammaenergie nehmen beide Teilchen als kinetische Energie mit.



## 5.1 Wesen der radioaktiven Strahlung

Generell unterscheidet man zwei Arten der radioaktiven Strahlung; nämlich

1. Partikelstrahlung (Elektronen, Neutronen, Protonen, Alpha) und
  2. Quantenstrahlung ("Licht", Mikrowellen, Röntgen- und Gammastrahlung).
- $\alpha$ -Strahlung (Alpha-Strahlung) = **Heliumkerne**, die aus dem Atomkern geschleudert werden (nur bei schweren Kernen).
  - $\beta$ -Strahlung (Beta-Strahlung) = **Elektronenstrahlung**. Diese Elektronen werden von instabilen Atomkernen abgegeben, obwohl keine Elektronen im Kern vorhanden sind (sie werden im instabilen Kern spontan aus Neutronen gebildet).
  - $\gamma$ -Strahlung (Gamma-Strahlung): ähnlich der **Röntgenstrahlung**. Man spricht von "Gamma-Quanten".
  - Neutronen-Strahlung (n-Strahlung) = ungeladene, instabile Elementarteilchen aus dem Atomkern. Das freie Neutron zerfällt mit einer Halbwertszeit von 13 Minuten.

## 5.2 Maßeinheiten für die Radioaktivität

Seit Tschernobyl sind Begriffe wie "Becquerel" (Bq), "Röntgen" (R), "rem", u.a. in aller Munde. Hier soll deshalb ein Überblick über die einzelnen Begriffe geschaffen werden.

Man kann Einheiten in Physik und Technik nur nach den **Wirkungen** der betrachteten Größe definieren (z.B. Temperatur, el. Strom).

Die Einheit "Becquerel" (Bq) ist eine solche Maßeinheit. Sie ist ein Maß für die Anzahl der **Kernumwandlungen pro Sekunde** ("Zerfälle" pro Sekunde). Bq ist also eine Maßeinheit für die Aktivität eines Stoffes. "10 Bq" bedeutet z.B., daß pro Sekunde 10 Zerfälle stattfinden. Bei einem Zerfall wird  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Strahlung verbunden mit  $\gamma$ -Strahlung ausgesandt.

Um überhaupt physikalisch eine Aussage machen zu können, muß man angeben, ob es sich beispielsweise um 1000 Bq Strontium-90, Cäsium-137 oder Jod-131 handelt. Damit man dann vergleichbare Ergebnisse erhält, ist noch die Angabe der Fläche oder des Volumens notwendig (z.B. 1220 Bq pro kg, l oder m<sup>2</sup> Jod-131). Früher war anstatt Becquerel die Einheit "Curie" (Ci) üblich, die 1g Radium äquivalent sein sollte:

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ Milliarden Bq} = 37 \cdot 10^9 \text{ Bq} \quad (\text{GL 1})$$

**Die Angabe der Aktivität eines radioaktiven Stoffes allein sagt nichts über die biologische Wirkung aus.** Hierzu muß man wissen, welche Strahlendosis ein Organismus absorbiert.

In den Anfängen der Dosimetrie suchte man nach Meßmethoden für die Energiemenge der vom Körper aufgenommenen Strahlung. Anschaulich kann man sich einen Fotografen vorstellen, für den die Helligkeit der Lampen und der Abstand von den Lichtquellen wichtig ist. Wir brauchen also Einheiten für die Quellstärke (Becquerel) und ebenso für die Helligkeit (Sv/h, rem/h, rad/h).

Der Beleuchtung mit sichtbarem Licht entspricht die "Dosisleistung", welche die augenblickliche "Intensität" der Strahlung am bestrahlten Objekt angibt (z. B. in Sv/h). Die zeitlich aufsummierte Dosisleistung ist die Strahlendosis. Da bekannt war, daß Röntgen- und Gammastrahlung ionisierend wirkte, war es naheliegend, die Ionisierung in Luft (**Ionendosis**) als Maß für die vom Körper aufgenommene Strahlung zu definieren.

### 5.3 Die Ionendosis (J)

Die SI-Einheit für die Ionendosis ist Coulomb pro Kilogramm ( $C/kg=As/kg$ ), die alte Einheit Röntgen (R). Sie gibt die elektrische Ladung der durch ionisierende Strahlung erzeugten, positiv oder negativ geladenen Ionen bezogen auf die Masse der Luft an und dient zur Berechnung der Energiedosis. Die Ionendosis wird zur messtechnischen Erfassung ionisierender Strahlung benutzt; dabei wird die in Luft erzeugte elektrische Ladung (Ionendosis) bzw. die dafür notwendige Energie (Kerma) ermittelt, bezogen auf die Masse der Luft. Aus der gemessenen Ionendosis bzw. Kerma ist die Berechnung der Energiedosis z. B. für die verschiedenen Körpergewebe möglich.

Die **Ionendosisleistung** ist Ionendosis pro Zeiteinheit. Die alte Einheit war Röntgen/Stunde =  $1R/h = 1000000 \mu R/h$ . Die Maßeinheit "Röntgen" kommt aus der Anfangszeit der Röntgenaufnahmen.

**ZUR BEACHTUNG: Dosis = Dosisleistung mal Zeit; so kann die Dosis  $100\mu Sv$  durch die Dosisleistung von  $100\mu Sv/h$  während einer Stunde oder durch  $20\mu Sv/h$  während 5 Stunden verabreicht werden.**

Man merkte sehr bald, daß sich mit der Verwendung der Ionendosis die Wirkung von einigen Strahlenarten (Alpha-, Beta-, Neutronen- und Protonenstrahlung) nur sehr unzureichend bestimmen ließ (da z. B.  $\alpha$ -Strahlen eine sehr hohe Ionisationsdichte=hohe Schädigung besitzen). Es wurde daher versucht die im Material absorbierte Energie der Strahlung zur Bestimmung der Dosis heranzuziehen. Dies führte zu dem Begriff

**Energieabsorption (Energiedosis).**

### 5.4 Energiedosis D (absorbierte Dosis)

Die Energiedosis wird in "Gray" gemessen. Früher war die Einheit Rad (radiation absorbed dose  $1 \text{ rad} = 10^{-6} \text{ Ws pro g}$ ) gebräuchlich. Per Definition ist  $1 \text{ Gy} =$  diejenige Dosis (bel. Strahlung), bei welcher eine Energie von  $1 \text{ J/kg}$  (Joule/Kilogramm) im Material absorbiert (also in Wärme umgewandelt) wird. Sie dient in der Strahlentherapie zur Dosierung der dort verwendeten Strahlenarten, läßt sich aber bei routinemäßigen medizinischen Strahlenanwendungen nicht direkt messen (da die Messung dieser geringen Temperaturerhöhung des Körpers nicht möglich ist).

Da Partikelstrahlung bei gleicher Energiedosis unterschiedliche biologische Wirkungen zur Folge hat, war eine Verallgemeinerung der Doseinheit "Röntgen" und "Gray" auf n, p,  $\alpha$ ,... notwendig. Dies ist die

## 5.5 Äquivalentdosis H

Sie wird im Strahlenschutz verwendet und nur sie allein trägt der Tatsache Rechnung, daß die verschiedenen Strahlenarten bei gleicher Energiedosis unterschiedliche biologische Wirkungen entfalten können; dies wird durch den dimensionslosen Bewertungsfaktor  $q$  erfaßt, der die Ionisationsdichte der einzelnen Strahlenarten berücksichtigt und zusätzlich die Berücksichtigung weiterer modifizierender Faktoren wie z.B. Art der Einwirkung (von außen, oder innen) sowie deren zeitliche Verteilung erlaubt. Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung hängt u.a. zusammen mit:

1. der im Gewebe durch Anregung und Ionisierung absorbierten Energie (Dosis);
2. der Ionisationsdichte im Gewebe (Bewertungsfaktor  $q$ );
3. modifizierender Faktoren wie z. B. zeitliche Verteilung der Bestrahlung

Die neue SI-Einheit Sievert = Sv gibt das Dosisäquivalent für 1 Gray und ersetzt die Einheit rem:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \cdot q. \text{ (Da } 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad gibt } 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem).}$$

Die Äquivalentdosisleistung ist also ein Maß für die **vermutete biologische Wirkung** einer definierten Strahlenexposition auf Zellen und Gewebe; in Ihre Berechnung gehen daher ein:

1. die Energiedosis  $D$  (quantitative Merkmale der absorbierten Strahlung)
2. der Qualitätsfaktor  $Q$  (qualitative Merkmale der Strahlung)
3. der Modifikationsfaktor  $N$  (andere Merkmale wie z. B. Bestrahlungsbed.)

Das Produkt der Faktoren  $Q$  und  $N$  entspricht dem Bewertungsfaktor  $q$ ; für aktuelle Berechnungen wird nach ICRP in der Regel  $N=1$  gesetzt, daher gilt meist  $q=Q$ .

Tabelle 1 zeigt in der Übersicht die Umrechnungsfaktoren der einzelnen Größen.

Als Beispiel sei hier die z.Zt. herrschende "natürliche" Strahlendosis (äußere Strahlenbelastung) des Menschen genannt (also nur  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung, da  $\alpha$ -Strahlung in Luft nur eine Reichweite von wenigen cm hat und rel. leicht abgeschirmt werden kann;  $\alpha$ -Strahlung wirkt nur bei Inkorporation extrem schädigend). Die genetisch signifikante Dosis beträgt im Durchschnitt 0,9...1,6 mSv/Jahr, wobei es regionale Unterschiede gibt. Diese Äquivalentdosis kann man wie oben beschrieben in Sievert/Stunde umrechnen ( $Q$ -Faktor =1) und erhält somit eine Dosisleistung von 100...180 nSv/h (Nano Sievert pro Stunde).

**TABELLE 1**

Umrechnungsfaktoren für gebräuchliche Einheiten.

Liegt ein Wert in einer der Einheiten in der 1. Zeile vor, so sucht man in der jeweiligen Spalte den Faktor, mit dem der Wert multipliziert werden muß, um die gewünschte Einheit in der 1. Spalte zu erhalten.

Einheit	Sievert (Sv)	Gray (Gy)	Röntgen (R)	Rem (rem)	rad (rd)
<b>Sievert (Sv)</b>	Q·Gy	1	100	100	100
<b>Gray (Gy)</b>	1	1 J/kg	100	100	100
<b>Röntgen (R)</b>	0,01	0,01	$2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$	1	1
<b>Rem (rem)</b>	0,01	0,01	1	Q·rad	1
<b>rad (rd)</b>	0,01	0,01	1	1	0,01 J/kg

TABELLE 2 Zusammenhang zwischen den Maßeinheiten

Vorgang	Bezeichnung	Einheiten	Umrechnungen	Abgeleitete Einheiten
Radioaktive Stoffe wandeln sich um ↓ und geben Energie an Materie ab, z.B. an den menschlichen Körper ↓ je nach Strahlenart wirkt die Strahlung unterschiedlich stark	Umwandlungsgeschwindigkeit = Aktivität   Energiedosis = $\frac{\text{an das Gewebe abgegebene Strahlenenergie}}{\text{Masse des bestrahlten Gewebes}}$  Äquivalentdosis = Energiedosis · Bewertungsfaktor	heute: Becquerel (Bq) früher: Curie (Ci)   heute: Gray (Gy) früher: Rad (rd)   heute: Sievert (Sv) früher: Rem (rem)	$1 \text{ Bq} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$ $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$   $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ rd}$ $1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy}$   $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$	Oberflächenaktivität: Bq/cm <sup>2</sup> , Bq/m <sup>2</sup> Spezifische Aktivität: Bq/kg Aktivitätskonzentration: Bq/l, Bq/m <sup>3</sup>   Energiedosisleistung: heute: Gy/Stunde früher: rd/Stunde   Äquivalentdosisleistung:  heute: Sv/Stunde früher: rem/Stunde

## 5.6 Umrechnung von Becquerel in Sievert bei Inkorporation

Neben den oben genannten Bewertungsfaktoren für die biologische Wirkung der verschiedenen Strahlenarten gibt es noch sogenannte Dosisfaktoren, ebenfalls Schätzwerte, die u.a. aus den Strahlenerfahrungen der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki abgeleitet wurden. Mit diesen Dosisfaktoren läßt sich berechnen, welche Äquivalentdosis in Sievert aus der Aufnahme (Inkorporation) einer bestimmten Aktivität (in Bq) einer radioaktiven Substanz (z.B. Cs-137, Sr-90, etc.) resultiert.

Dosisfaktoren ermöglichen die Umrechnung von Becquerel in Sievert (bzw. Millirem). Für jedes Organ und für jedes Radionuklid gibt es andere Dosisfaktoren. Nachfolgende Tabelle enthält eine Auswahl bekannter Nuklide mit ihren Dosisfaktoren

**TABELLE 3** Dosisfaktoren einiger ausgewählter Nuklide.

Nuklid	kritisches Organ	Personengruppe	Dosisfaktor Inhalation mSv/Bq	Dosisfaktor Ingestion mSv/Bq
<b>Strontium-90</b>	Knochen	Erwachsene	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
		Kleinkinder	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$
	Ganzkörper	Erwachsene	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
		Kleinkinder	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
<b>Jod-131</b>	Schilddrüse	Erwachsene	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		Kleinkinder	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
	Ganzkörper	Erwachsene	$6,2 \cdot 10^{-7}$	$8,4 \cdot 10^{-7}$
		Kleinkinder	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$
<b>Cäsium-134</b>	Leber	Erwachsene	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$
		Kleinkinder	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
	Ganzkörper	Erwachsene	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
		Kleinkinder	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
<b>Cäsium-137</b>	Leber	Erwachsene	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
		Kleinkinder	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
	Ganzkörper	Erwachsene	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
		Kleinkinder	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
<b>Plutonium-239</b>	Knochen	Erwachsene	1,9	$2,2 \cdot 10^{-4}$
		Kleinkinder	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
	Leber	Erwachsene	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
		Kleinkinder	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$
	Ganzkörper	Erwachsene	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$
		Kleinkinder	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$





Folgende Überlegungen sollen hier etwas weiterhelfen. Da die Extremitäten, also Beine und Arme, nicht so sehr Strahlenempfindlich sind, wie der Rumpf, wäre es Zweckmäßig, in Rumpfhöhe zu messen. Die Kleidung schirmt vor allem die Beta-Strahlung noch ab. Je nach Bodenbeschaffenheit kann der Meßwert bis zu **100% und mehr** zwischen direktem Bodenkontakt und ca. 1m Höhe schwanken. Der Grund ist einfach; **die Strahlenbelastung nimmt mit zunehmender Entfernung von der Strahlenquelle quadratisch ab!** Hierzu ein Beispiel:

Wir nehmen an, daß wir in 10 cm Abstand zu einer Strahlenquelle (z.B. Boden) 100 Impulse (Netto) erhalten. In 20 cm werden wir dann nur noch 25 Impulse (Netto) messen (2-facher Abstand bewirkt 1/4 Aktivität).

Somit wird klar, daß jeder Baubiologe - bewußt oder unbewußt - sein Meßergebnis beeinflussen und damit auch in **gewissen Grenzen vorherbestimmen kann.**

Bei einer Wohnraumuntersuchung wird man die meiste Aktivität in den Zimmerecken finden, da hier mindestens zwei "Strahlenquellen" (die beiden Zimmerwände) und evtl. noch der Fußboden den Meßwert nach oben beeinflussen werden.

## 6.1 Natürliche Strahlenbelastungen

Die größte Zahl der natürlichen radioaktiven Stoffe entstammt einer der drei Zerfallsreihen, deren Anfangsnuklide eine, gegenüber der Zeit seit der Entstehung der Elemente, lange Halbwertszeit (HWZ) besitzen (Alter des Sonnensystems ca. 10 Milliarden Jahre). Diese sind

- die Uran-Radium-Reihe, ausgehend vom Uran-238 (HWZ: 4,5 Milliarden Jahre)
- die Actinium-Reihe, ausgehend vom Uran-235 (HWZ: 0,7 Milliarden Jahre)
- die Thorium-Reihe, ausgehend vom Thorium-232 (HWZ: 14 Milliarden Jahre).

Neben den 47 Radionukliden, die einer der drei Zerfallsreihen angehören, gibt es weitere 18 Radionuklide mit zum Teil extrem langen Halbwertszeiten, die seit Entstehung der Erde vorhanden sind.

TABELLE 4

Typische Aktivitätskonzentrationen von Kalium-40, Thorium-232 und Uran-238 in verschiedenen Gesteinsarten

Aktivitätskonzentration in Bq/kg			
Gesteinsart	K-40	Th-232	U-238
Granit	1000	80	60
Diorit	700	30	20
Basalt	250	10	10
Kalkstein	90	7	30
Sandstein	350	10	20
Tonschiefer	700	50	40
<b>Mittelwert</b>	<b>400</b>	<b>25</b>	<b>25</b>

Die Baustoffe für unsere Häuser und Wohnungen stammen aus der Erde. Eine triviale Erkenntnis, die aber trotzdem eine große Bedeutung für unsere Gesundheit hat. Denn jedes Baumaterial enthält mithin Beimengungen radioaktiver Stoffe, insbesondere Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232) und Kalium-40 (K-40), sowie deren radioaktiven Umwandlungsprodukte der bei-

den erstgenannten Radionuklide. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über typische Aktivitätskonzentrationen von Kalium-40, Thorium-232 und Uran-238 in verschiedenen Gesteinsarten.

Die sich daraus ergebende zusätzliche Strahlenexposition ist in Tabelle 5 im Überblick zu sehen. Der negative Wert bei Holz ist kein Druckfehler; er kennzeichnet die Abschirmung der Umgebungsstrahlung.

**TABELLE 5** Einfluß der Baumaterialien auf die Strahlenexposition in Wohngebäuden in der BRD

Baustoff	zusätzliche Strahlenexposition in mSv/Jahr
Holz	-0,2 - 0
Kalksandstein, Sandstein	0 - 0,1
Ziegel, Beton	0,1 - 0,2
Naturstein, techn. erz. Gips	0,2 - 0,4
Schlackensteine, Granit	0,4 - 2

In der Baubiologie sind vor allem zwei radioaktive Stoffe interessant; nämlich das radioaktive Kalium-40 und das radioaktive Edelgas Radon. K-40 besitzt eine Halbwertszeit von  $1,28 \cdot 10^9$  Jahren und ist seit der Entstehung unserer Erde vorhanden. Nachfolgende Tabelle 6 soll einen kleinen Überblick über den K-40 Gehalt von verschiedenen Stoffen wiedergeben.

**TABELLE 6** Überblick über den Kalium-40 Gehalt von verschiedenen Stoffen

Stoff	K-40 Gehalt [Bq/kg]
Boden	40 - 1000
Baustoffe	100 - 3000
Düngemittel	40 - 8000
Milch	- 50
Fleisch	- 100
Pflanzen	40 - 200

**TABELLE 7** Strahlenbelastung aus verschiedenen Quellen

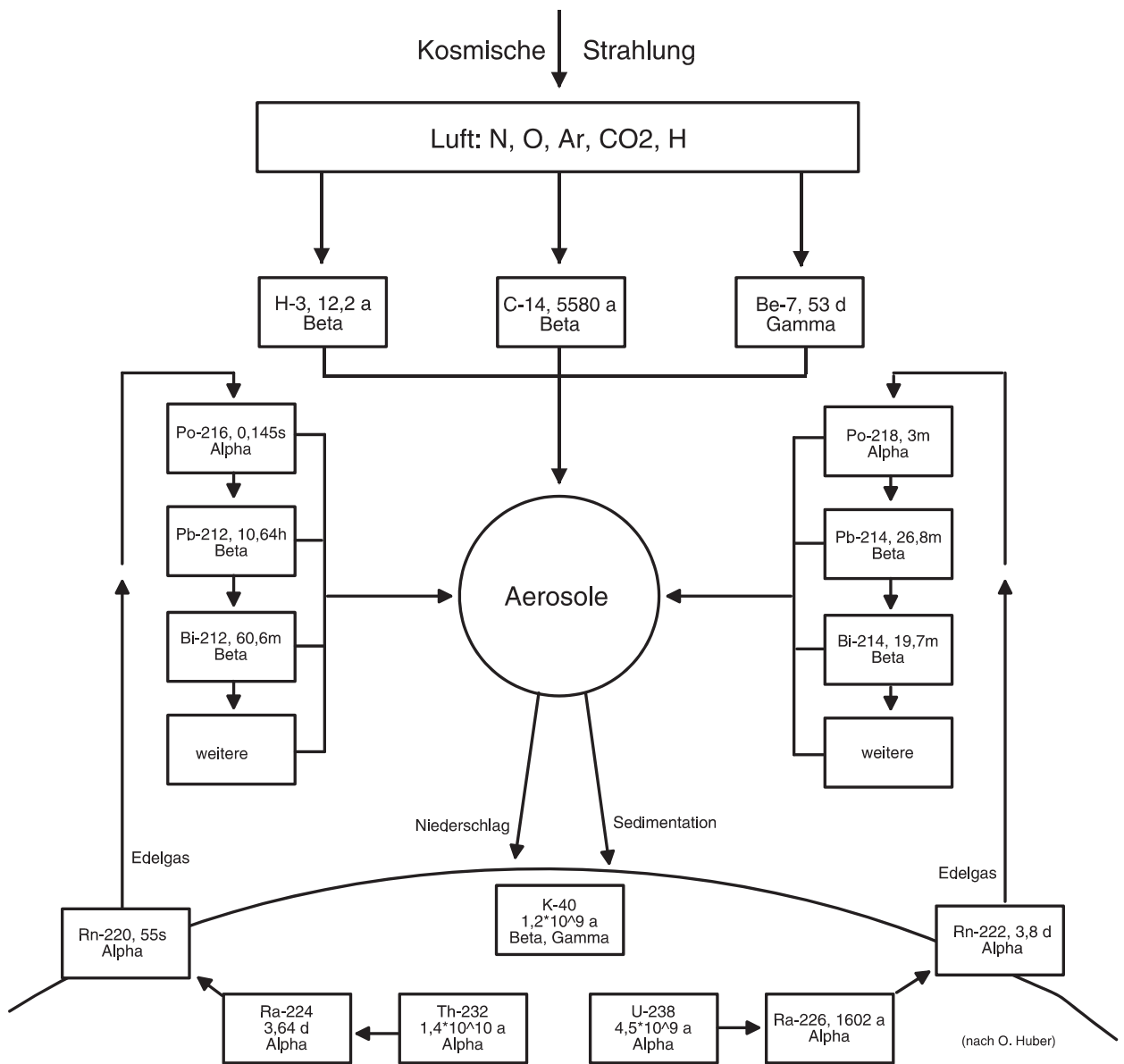
	Mittelwert	Streubereich
Bodenstrahlung	0,5 mSv/a	0,2-1,5 mSv/a
Höhenstrahlung	0,3 mSv/a	0,3-1,2 mSv/a
Kalium 40 (K-40)	0,2 mSv/a	-
Radon	0,8 mSv/a	0,2-2 mSv/a
sonst. (z.B. Tschernobyl)	0,2 mSv/a	-
<b>Summe</b>	<b>2 mSv/a</b>	<b>1-5 mSv/a</b>

Die natürliche Strahlenbelastung beträgt ca. 2 Millisievert pro Jahr (mSv/a). Auf kerntechnische Anlagen entfallen ca. 0,01 mSv/a (=10 µSv/a =1 mrem/a). Diese Strahlenbelastung kann regional sehr unterschiedlich sein und setzt sich im einzelnen wie in obiger Aufstellung zusammen.

Radon entsteht bei der radioaktiven Umwandlung von Ra-226 und Th-232. In einer Untersuchung wurde festgestellt, daß in jeder 200sten Wohnung die Konzentration an radioaktivem Radon über dem von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) empfohlenen Höchstwert von 250 Bq/m<sup>3</sup> Luft liegt (Richtwert für neue Häuser 100 Bq/m<sup>3</sup> Luft).

Die Isotope Radon-220 und Radon-222 sind Glieder der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-235 und Thorium-232. Die nachfolgende Darstellung zeigt noch andere natürliche Nuklide und ihre Entstehung.

ABBILDUNG 13 Natürliche Nuklide und ihre Entstehung.



Einen Einfluß auf die Radonkonzentration in den Wohnungen haben sowohl die verwendeten Baustoffe als auch die Bauart des Hauses. Ein vom Bundesinnenministerium eingesetztes Beratungsgremium hat eine Summenformel zur Anwendung für Wohn- und Aufenthaltsräume empfohlen. Die Formel lautet:

$$\frac{A_{\text{Kalium}}}{4810 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}} + \frac{A_{\text{Radium}}}{380 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}} + \frac{A_{\text{Thorium}}}{259 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}}} \leq 1$$

(A ist die Aktivität der entsprechenden Substanz im Baustoff)

(GL 2)

Die Formel bedeutet, daß bei einer Baustoffmessung die Summe der Radioaktivitäten von Kalium, Radium und Thorium, geteilt jeweils durch einen die Gefährlichkeit der einzelnen Radionuklide berücksichtigenden Faktor, insgesamt höchstens 1 betragen soll.

Damit ist gewährleistet, daß die aus Baustoffen stammende Strahlenbelastung 1,5 Millisievert pro Jahr (1,5 mSv/a=1500 µSv/a =150 mrem/a) nicht überschreitet, was allerdings immer noch relativ viel ist. Messungen von Baustoffen lassen sich sehr gut mit medCONT durchführen, da medCONT über die Möglichkeit der Kalibrierfaktorwahl verfügt. Somit ist auch eine Kalibrierung in Bq/kg (Becquerel pro Kilogramm) einfach möglich.

TABELLE 8

Ra-226-Aktivitätskonzentration verschiedener Böden und Gesteine

	Bq/kg
Granit	115
Mergel	85
Rotlehm	70
Schiefer	59
Diabas	56
Buntsandstein	52
Kalk	52
Quarzit	44
Basalt	44
Sand	37

Grundsätzlich läßt sich sagen, daß Sand, Kies, Kalkstein und Naturgips im allgemeinen nur geringe Mengen radioaktiver Stoffe enthalten. Dagegen sind technisch erzeugter Gips (Chemiegips, mit Ausnahme desjenigen aus Kola-Phosphat; Kola=Herkunftsbezeichnung), manche Tuff- und Bimssteine, Granit u.a. in vielen Fällen höher belastet. Beim Hausbau sollte auf diese Baustoffe weitgehend verzichtet werden. In Zweifelsfällen kann eine Messung auf Radioaktivität Klarheit verschaffen. Denn wegen der starken Schwankungen der Radioaktivität des Baustoffs - je nach Herkunft - kann es durchaus sein, daß Sie zum Beispiel einen Granitstein bekommen, dessen Radioaktivität unter dem vorgeschlagenen Richtwert liegt, obwohl ein Großteil der Granitsteine über dem Richtwert liegen.

**TABELLE 9**

Radium- und Thoriumgehalte verwendeter Baumaterialien lassen nur sehr bedingte Schlüsse auf die Radonkonzentration der Raumluft zu. Die Porosität der Oberfläche spielt eine wesentliche Rolle für die Freisetzung des Gases. Wieviel Aktivität pro Zeiteinheit aus einer bestimmten Oberfläche austritt, gibt die Exhalationsrate an.

Baustoff	Konzentration in Bq/kg		Exhalationsrate in Bq/h·m <sup>-2</sup> ,	
	Radium-226	Thorium-232	Radon-222	Radon 220
Natursandstein	30 (< 20 - < 70)	< 30 (< 20 - 70)	1,0	170
Granit	100 (30-500)	80 (50 - 200)		
Porphyry	40	22	3,3	150
Kalksandstein	< 20 (< 20 - 80)	< 20 (20 - 60)	0,9	90
Ziegel, Klinker	60 (20 - 100)	60 (< 20 - 200)	0,2	30
Naturbims	100 (< 20 - 200)	100 (30 - 300)	1,5	180
Hüttenbims	70	55	0,7	150
Hüttenschlacke	100 (40 - 200)	100 (30 - 300)	0,6	110
Beton	< 20	< 20	1,1	70
Gasbeton	20	15	1,0	60
Naturgips	< 20 (< 20 - 70)	< 10 (< 10 - 20)	0,2	30
Chemiegips				
– Apatit	60 (40 - 70)	< 20	0,4	150
– Phosphorit	600 (300 - 1000)	< 20 (< 4 - 160)	24,1	80
– Rauchgasentschwefelung	< 20 (< 20 - 70)	< 20		

Auch die Bauweise der Häuser spielt eine entscheidende Rolle. So wurden zum Beispiel bei alten Fachwerkhäusern mit vergleichsweise schwach radioaktiven Baustoffkombinationen wie Lehm/Holz und Naturstein relativ hohe Radonkonzentrationen festgestellt. Der Grund dafür liegt in der Bauweise solcher Häuser - Natursteinkeller, oft mit Naturboden wie Lehm oder Sand - führt zu einer weit höheren Anreicherung von Radon aus dem Erdreich im Haus als bei modernen Häuser mit Betonplatte und Feuchtigkeitssperre.

Fest steht, daß die höchsten Radonkonzentrationen in Kellerwohnungen zu erwarten sind. Diese Erkenntnisse müssen nun aber nicht dazu führen, eine Kellerwohnung zu räumen. Da der Haupteinflußfaktor auf die Radonkonzentration die Lebens- und Lüftungsgewohnheiten der Bewohner sind. Die Radonkonzentration steigt nämlich mit sinkender Luftaustauschrate sehr stark an. Eine Abdichtung der Wohnung unter gleichzeitigem Verzicht auf regelmäßiges Lüften kann zu einer bedeutenden Strahlenbelastung der Bewohner führen.

---

## 6.2 Empfehlungen

---

- Lüften Sie mindestens dreimal am Tag kurz, aber kräftig. Dadurch werden das radioaktive Radon und dessen radioaktive Umwandlungsprodukte aus der Wohnung entfernt. Für regelmäßigen Luftwechsel sollte übrigens auch aus Gründen der Sauerstoffversorgung, der Minderung des Kohlendioxid-Gehalts sowie der Konzentrationsminderung von giftigen Gasen aus z.B. Holzschutzmitteln gesorgt werden
- Sorgen Sie nachts für Lüftung im Schlafzimmer
- Wählen Sie beim Hausbau das Baumaterial auch unter dem Aspekt radioaktiver Beimengungen. Da aber die Radioaktivität gleicher Baustoffe je nach Herkunft sehr unterschiedlich sein kann, empfiehlt es sich beim Hausbau, vom Baustoff-Lieferanten eine Unbedenklichkeitserklärung mit Meßwerten zu verlangen. Verschiedene Institute und Baubiologen führen entsprechende Untersuchungen durch.

---

## 6.3 Kacheln und Fliesen

---

Während bei den Baustoffen der Hauptanteil der radioaktiven Innenraumbelastung durch das ausdünstende Radon und dessen Umwandlungsprodukte bedingt ist, steht bei radioaktiven Kacheln und Fliesen die direkte Strahlung im Vordergrund. Nicht alle Kacheln und Fliesen sind starke radioaktive Strahler, aber zur Erzielung bestimmter Glasurfarben, insbesondere Grün und Rot, wurde und wird Uran verwendet.

Während früher der Urangehalt in der Keramikglasur bis zu 20% betragen durfte, sind seit dem 31. Mai 1981 nur noch 2 mg (Milligramm) Uran pro Quadratcentimeter Glasur erlaubt.

Das heißt nun nicht, daß in jeder Wohnung radioaktive Kacheln und Fliesen zu finden sind; ganz im Gegenteil. Es ist vielmehr so, daß diese starken Strahler eher sehr selten zu finden sind. Die Frage nach der Strahlenbelastung läßt sich nicht so ohne weiteres beantworten. Sie hängt stark von den individuellen Gegebenheiten ab.

Um einen ungefähren Anhaltspunkt zubekommen, werden die Ergebnisse einer Untersuchung mitgeteilt, in der die Strahlenbelastung in verschiedenen Abständen von Fliesen bestimmt wurde.

Während die Äquivalentdosis in 5 cm Entfernung 23 Mikrosievert ( $23 \mu\text{Sv}=2,3 \text{ mrem}$ ) pro Stunde betrug, wurden im Abstand von 90 cm  $12 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Unter Berücksichtigung der Abschirmung der Kleidung und bei einer Aufenthaltszeit von einer halben Stunde täglich in der Nähe der radioaktiven Fliesen beträgt die jährliche Strahlenbelastung etwa  $1100 \mu\text{Sv}$  (110 mrem).

---

## 6.4 Empfehlungen

---

- Die Wahrscheinlichkeit, auf radioaktive Fliesen oder Kacheln zu stoßen ist relativ gering. Sie ist etwas größer, wenn diese Fliesen oder Kacheln vor längerer Zeit (vor mehr als 10 Jahren) verlegt wurden und aus Italien stammen.
- Wurde einwandfrei festgestellt, daß stark strahlende Fliesen oder Kacheln vorhanden sind, so sollten diese nach Möglichkeit entfernt werden. Alternativ können auch neue Fliesen oder Kacheln über den alten angebracht werden.
- Ein Teppichbodenbelag mit gummiertem Rücken reduziert die Strahlung uranhaltiger Fliesen oder Kacheln um etwa 30%.

# Baubiologische Untersuchungen mit medCONT



Mit medCONT können Hausuntersuchungen sehr einfach durchgeführt werden, da medCONT mit unterschiedlichen Detektoren betrieben werden kann. So kann medCONT mit einem Geiger-Müller-Zählrohr (GM-Zählrohr), einem ZnS-Szintillationsdetektor und einem NaJ-Szintillationsdetektor bestückt werden. Jeder Detektor ist für unterschiedliche Meßaufgaben geeignet.



ZnS-Szintillationsdetektor

NaJ-Szintillationsdetektor

GM-Zählrohr

Gas-Durchflußdetektor

Der NaJ-Szintillationsdetektor ist nur für Gamma-Strahlung ( $\gamma$ -Strahlung) empfindlich. Mit ihm können alle Radioaktivitätsmessungen in der Baubiologie abgedeckt werden. Der NaJ-Szintillationsdetektor ist auch für Dosisleistungsmessungen geeignet. Da medCONT über die Wahl von Kalibrierfaktoren verfügt, ist eine einfache Kalibrierung des Messwertes auf die Dosisleistung gewährleistet.

Der ZnS-Szintillationsdetektor ist dagegen für Beta- und Gamma-Strahlung ( $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung) empfindlich. Er ist eine gelungene Synthese aus  $\gamma$ -empfindlichem Szintillator und  $\beta$ -empfindlichem Kontaminationsdetektor. Er ist sehr gut geeignet, z.B. Fliesen und andere Baustoffe neben der  $\gamma$ -Strahlung auch auf  $\beta$ -Strahlung zu untersuchen.

Mit einem GM-Zählrohr kann sowohl  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung wie auch noch Alpha-Strahlung ( $\alpha$ -Strahlung) gemessen werden. medCONT mit GM-Zählrohr ist der preiswerteste Einstieg in die Messung der Radioaktivität. Für  $\gamma$ -Strahlung hat jedoch das GM-Zählrohr (gilt für **alle** Zählrohre) einen wenig günstigen Wirkungsgrad von nur 3%-4%. Das bedeutet, daß durch 100  $\gamma$ -Strahlen, die auf den Detektor treffen, nur drei bis vier als Impulse im Zählrohr erzeugt werden. Die Nachweisempfindlichkeit für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung ist dagegen gut bis sehr gut (hängt vom Radionuklid

ab); sie ist jedoch durch die rel. kleine Zählrohrenfensterfläche begrenzt. Will man  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung mit größerer Empfindlichkeit messen, so ist man gezwungen, auf Gasdurchflußzählrohre auszuweichen.

Für den Einsatz in der Baubiologie wird sich über kurz oder lang ein Meßgerät wie medCONT mit NaJ- oder ZnS-Szintillationsdetektor durchsetzen.

Detektorart	$\alpha$ -Strahlung	$\beta$ -Strahlung	$\gamma$ -Strahlung	Neutronen	Dosisleistung
NaJ-Szintillationsdetektor	☹	☹	☺	☺	☺
ZnS-Szintillationsdetektor	☹	☺	☺	☹	☺
GM-Zählrohr (Endfenster)	☺	☺	☹	☹	☹
Gasdurchflußzählrohr	☺	☺	☹	☹	☹

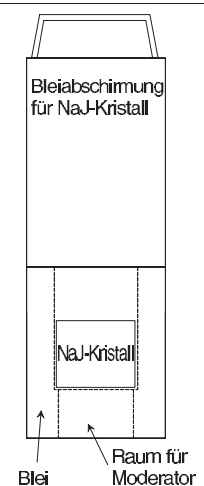
**TABELLE 10** Übersicht einiger Detektoren für medCONT und ihre Eignung für bestimmte Meßaufgaben. Bedeutung: ☹ = nicht möglich, ☹ = weniger geeignet, ☺ = gut geeignet.

Die Mehrzahl der Baubiologen hat sich für die Ausführung medCONT mit NaJ-Szintillationsdetektor entschieden. In Baustoffen kommen keine reinen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahler vor; sie sind auch so sehr selten. Jedes natürliche Radionuklid in Baustoffen sendet auch  $\gamma$ -Strahlung aus. Deshalb ist der NaJ-Szintillationsdetektor – auch wegen seiner unproblematischen Handhabung – eine durchaus gute Wahl für Baubiologen.

**ABBILDUNG 14** Bleiabschirmung für NaJ-Szintillationsdetektor

Folgende Ausstattung hat sich für baubiologische Untersuchungen bewährt:

- medCONT mit NaJ-Szintillationsdetektor
- Bleiabschirmung
- Grafik-Programm für PC (3D-Graphics, CorelChart,..)
- Laptop, Notebook oder ein PC
- Drucker für Ausdruck der Meßwerte



Die Bleiabschirmung ist als Kollimator konstruiert und läßt im Wesentlichen nur Gammastrahlung von unten (und oben) in den NaJ-Kristall gelangen. Vor dem NaJ-Kristall ist noch Platz für einen Moderator.

Wird der NaJ-Kristall ohne Bleiabschirmung betrieben, so sind Impulsraten von ca. 100 Impulsen pro Sekunde (Ips) zu erwarten. Mit Bleiabschirmung werden lediglich noch ca. 20 Ips (= 1/5!) gemessen. Dies bedeutet konkret, daß die (unerwünschte) Hintergrundstrahlung (sog. Nulleffekt, NE) um ca. 80% auf ca. 20% abgeschirmt wird.

Für die Praxis hat dies folgende Bedeutung:

Angenommen, wir messen ohne Bleiabschirmung mit unseren 100 Ips Hintergrund. An einer Stelle messen wir z.B. 110 Ips, also eine Erhöhung um 10%.

Die selbe Messung mit Bleiabschirmung ergäbe 20 Ips Hintergrund plus 10 Ips Erhöhung, also 30 Ips. Die Erhöhung ist jetzt aber 50%!

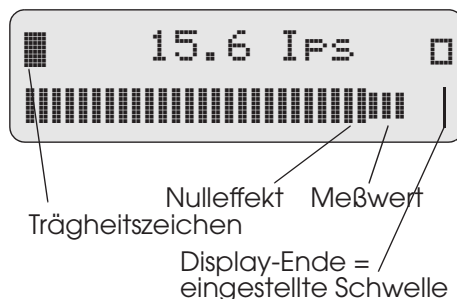
Mit anderen Worten bedeutet dies, daß mit Bleiabschirmung leichter eine signifikante Erhöhung erkannt wird, als ohne. medCONT bietet aber dennoch mit seiner Grenzwertfunktion eine geeignete Hilfestellung erhöhte Radioaktivität zu finden und selbst Grenzwertüberschreitungen von 1 Ips (auch ohne Bleiabschirmung) noch sicher zu erkennen.


## 7.1 Bauplatzuntersuchung, Wohnraumuntersuchung

Bevor nun mit den Messungen begonnen werden kann, ist die zu untersuchende Fläche in mehrere Meßfelder einzuteilen. Dabei hat sich für größere Flächen wie Bauplätze ein Raster von ca. 2m·2m (1m·2m), für Wohnräume 1m·1m (0,5m·1m) als zweckmäßig erwiesen.

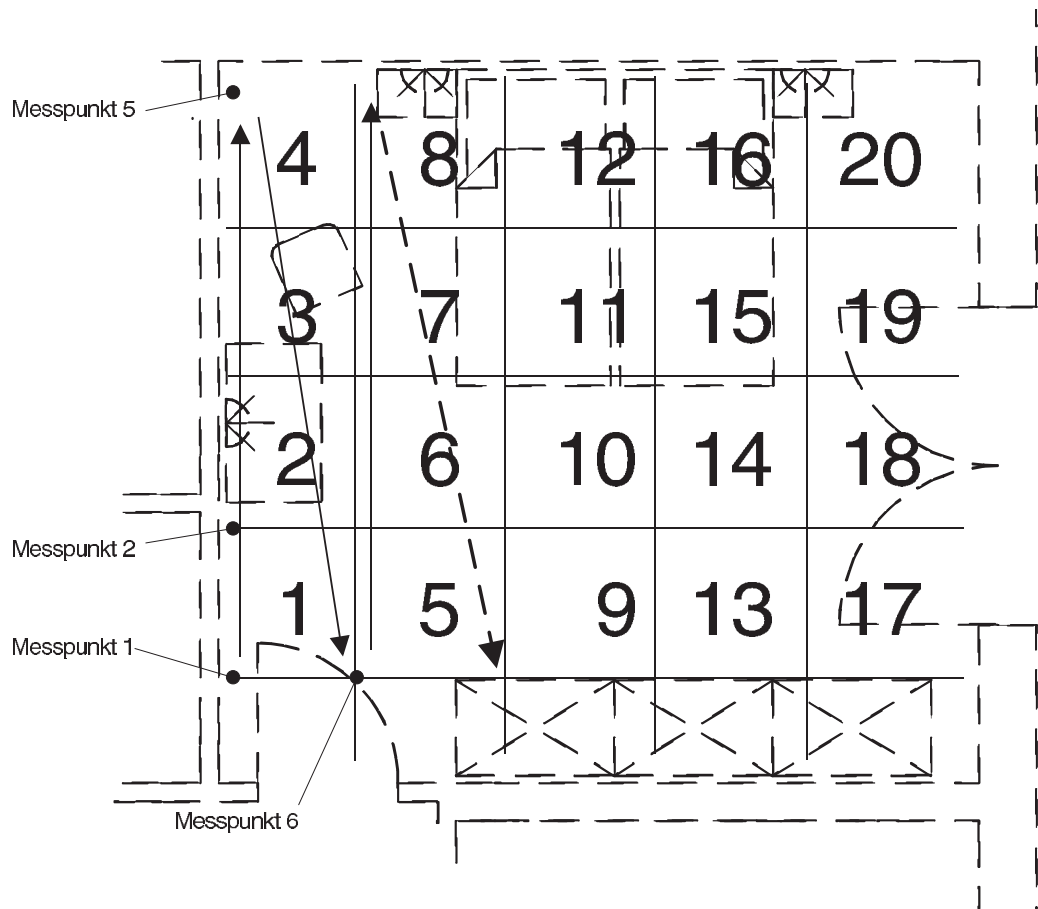
Um eine "schöne" grafische Darstellung zu bekommen, ist es von Vorteil, wenn man nun nicht in der Mitte eines jeden Meßfeldes, sondern jeweils an den Kreuzungspunkten mißt. Je mehr Meßwerte vorhanden sind, umso übersichtlicher wird die Grafik.

medCONT wird am besten im Standardmodus (Brutto-Impulse incl. Nulleffekt, Anzeige in Ips) betrieben. Diese Darstellung der Meßwerte erlaubt eine einfache und schnelle Messung. Dabei ist darauf zu achten, daß die eingestellte Meldeschwelle so eingestellt ist, daß sich der analoge Bargraph im rechten drittel bis viertel bewegt und sich in etwa untenstehendes Bild ergibt.



Der NaJ-Kristall wird nun über Meßpunkt 1 gehalten und – wenn sich der Meßwert etwas stabilisiert hat – die -Taste betätigt, um den Meßwertspeicher zu öffnen und den Meßwert abzuspeichern. Beim Abspeichern des ersten Meßwertes sollte man sich die erste Meßwert-Nummer merken oder notieren, unter der medCONT den Meßwert abspeichert, um später den Beginn der Meßreihe wiederzufinden. Der Meßwert ist ausreichend genau, wenn medCONT einen Wechsel der beiden Quadrate (neben dem Meßwert) von links nach rechts bzw. umgekehrt vollzogen hat. Die Zeit von einem Wechsel der Quadrate ist von der eingestellten Meldeschwelle (=Anzeigebereich der analogen Balkenanzeige) abhängig. Ist die Meldeschwelle z.B. nur 1 Ips höher eingestellt als der aktuell angezeigte Meßwert, so kann es u.U. länger dauern, bis das Quadrat wechselt.

Dasselbe geschieht mit Meßpunkt 2, 3, usw. Ist, wie in der Abbildung zu sehen, Meßpunkt 5 abgespeichert, so wird medCONT ausgeschaltet. Durch das Aus- und Einschalten von medCONT wird eine Marke gesetzt. Näheres hierzu ist in der Bedienungsanleitung nachzulesen. Durch die vorgeschlagene Anordnung der Meßfelder wird eine Auswertung mit dem Grafik-Programm sehr erleichtert.



Der NaJ-Kristall wird nun über Meßpunkt 6 positioniert und medCONT wieder eingeschaltet. Wenn sich der Meßwert wieder stabilisiert hat, wird wieder die  $\square$ -Taste betätigt, und der neue Meßwert abgespeichert.

Sind nun alle Meßwerte abgespeichert, so können die gespeicherten Meßwerte von medCONT über die serielle Schnittstelle und das DOS-Programm „MEDCONT.EXE“ in einen PC eingespielt werden. Es ist aber auch möglich, die gespeicherten Meßwerte manuell über die Tastatur des PCs in das Grafik-Programm einzugeben.

Mit der  $\square$ -Taste wird automatisch auf die jeweils letzte Marke zurückgefahren. Hat man durch wiederholtes Drücken der  $\square$ -Taste die Einschaltmarke der Meßreihe für den 1. Meßwert erreicht, kann anschließend mit der  $\oplus$ -Taste jeder einzelne Meßwert auf dem Display von medCONT betrachtet werden. Ein Druck auf die  $\ast$ -Taste sendet nun alle späteren Meßwerte über die serielle Schnittstelle gleich im richtigen Format für das Grafik-Programm an den PC.

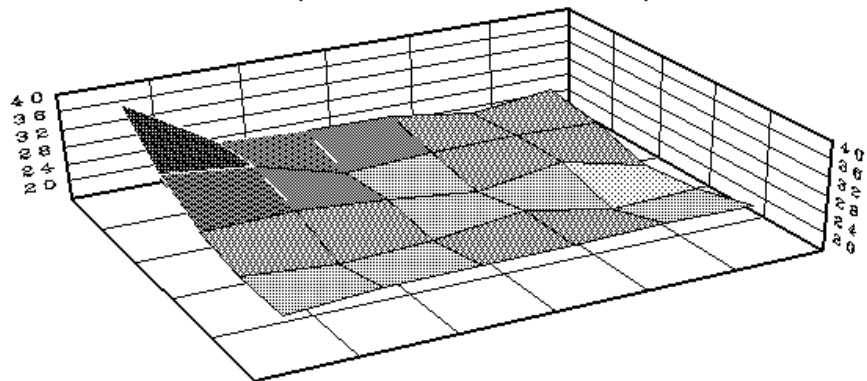
“Brutto-Messwerte (incl. Nulleffekt) ab Nr. 42:”

39.2	26.9	25.8	25.5	22.6	24.6
30.0	27.9	22.4	23.5	23.9	23.1
24.6	25.2	23.4	21.1	24.2	19.5
22.7	20.8	21.7	24.0	20.5	20.9
22.6	23.9	24.2	24.0	24.7	24.3

Nun wird das Grafik-Programm aufgerufen und die gesendeten Daten eingelesen. Alternativ können die Meßwerte auch manuell eingegeben werden. Dabei sollte man darauf achten, daß die Meßwerte zeilen- und spaltenrichtig eingegeben werden. Das Grafik-Programm ermöglicht sehr viele Darstellungsarten, die hier nicht beschrieben werden können; darum wird hier auf die Dokumentation des Grafik-Programms verwiesen.

Sind alle Einstellungen zur gefälligen Darstellung im Grafik-Programm erfolgt, kann das Ergebnis auf einem Drucker zur Dokumentation ausgegeben werden.

### **Brutto-Messwerte (incl. Nulleffekt) ab Nr. 42 :**



## **7.2 Bewertung der Meßergebnisse**

Wie in der Grafik gut zu erkennen ist, sind die Meßwerte an den Wänden höher als im übrigen Raum. Auffallend niedrig sind die Meßwerte im Bereich der Verandatüren. Dies ist auch zu erwarten, da sich hier keine Wand befindet.

Einen auffallend hohen Wert ist in der linken hinteren Ecke zu sehen. Diese Erhöhung kann von stärker strahlendem Baumaterial (z.B. Bims) oder von Fliesen oder Kacheln (können auch im angrenzenden Raum, z.B. Küche, Bad, WC,... sein) herrühren. Scheiden die genannten Gründe aus, so kann die Erhöhung nur noch vom Untergrund kommen.

Insgesamt gesehen, sind im Bereich der Betten keine besorgniserregenden Werte festzustellen. Gut zu erkennen, ist die Abnahme der Radioaktivität zur Raummitte hin. Einzige Empfehlung könnte sein, daß die Betten noch etwas weiter nach rechts (ca. 0,5m) in den Bereich niedriger Werte gestellt werden. Aber selbst diese Maßnahme wäre nicht unbedingt nötig, da die Meßwerte hier nur geringfügig unterschiedlich sind.

## **7.3 Messung der Dosisleistung in nSv/h**

Zur Messung der Dosisleistung wird der NaJ-Detektor aus der Bleiabschirmung herausgenommen. In medCONT wird die Einheit nSv/h gewählt und der Meßwert in der Mitte des Raumes, bzw. an den bevorzugten Aufenthaltsorten im Raum gemessen. Die Meßwerte werden in ein Meßprotokoll wie in nachstehendem Beispiel eingetragen. Sie dürfen dieses Meßprotokoll gerne kopieren und für Ihre Messungen einsetzen.

## 7.4 Warum nur Gamma-Messung?

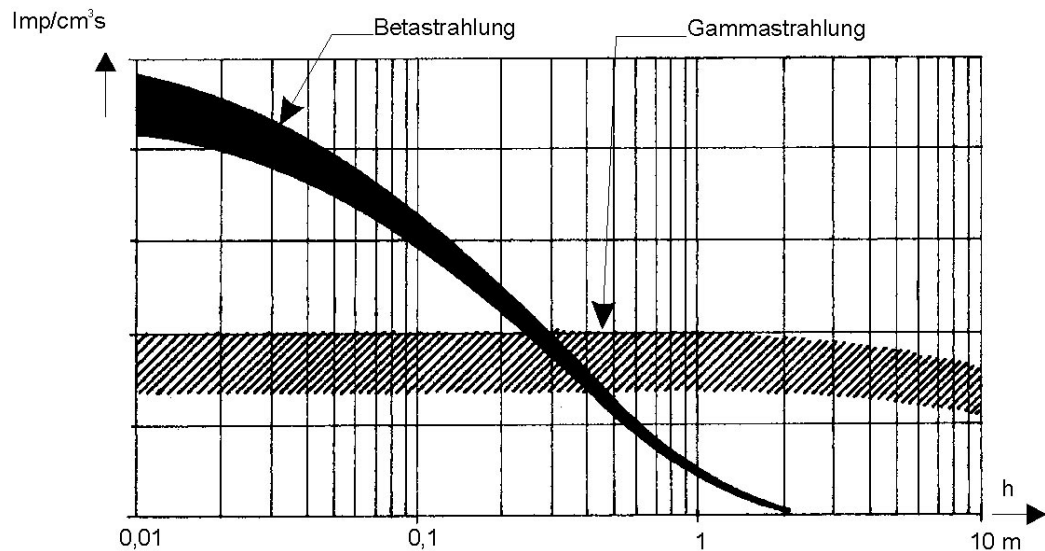
medCONT mit NaJ-Detektor ist „nur“ für Gammastrahlung empfindlich. Was ist nun mit der Alpha- und Betastrahlung? Die ist doch gefährlicher?

Die Antwort ist ein klares jein. Es gibt keinen reinen Gammastrahler! Es gibt zwar reine Alpha- und Betastrahler, aber die sind sehr selten und kommen im Bereich der Baubiologie so gut wie nie vor (außer Radon, siehe Kapitel Radonmessung mit medCONT).

Alphastrahlung hat in Luft eine Reichweite von einigen wenigen cm. Selbst mit einem Alpha-Detektor hat man Probleme, wenn man einen Alphastrahler suchen will; man findet ihn nicht!

Betastrahlung hat in Luft eine Reichweite von 1 - 2 m. Im Abstand von ca. 50 cm - 60 cm überwiegt aber die Gammastrahlung. Sodaß man bei kleinerem Abstand zwar mehr Betastrahlung messen würde, aber auch einen anderen Meßfehler in Kauf nimmt

ABBILDUNG 15 Vergleich der Reichweite von Betastrahlung zu Gammastrahlung.



## 7.5 Radonmessung mit medCONT

Zur Radonmessung mit medCONT existiert ein eigenes Kapitel (siehe Kapitel Radonmessung mit medCONT).

# Messung der Radioaktivität

Früher war der Mensch nur der natürlichen Radioaktivität ausgesetzt. Sie stammt aus drei Quellen: die kosmische, die terrestrische und die mit der Nahrung aufgenommene Strahlung. Heute kommen die technisch bedingten Quellen hinzu. Sie stammen aus der Anwendung in der Röntgendiagnostik, therapeutischem Einsatz, kerntechnische Anlagen, Atomversuchen, Baustoffen usw.

Ionisierende Strahlung kann zu Strahlenschäden führen, die sich unter Umständen erst spät zeigen. Von Tumoren, Schäden an der Erbsubstanz und Zellveränderungen können alle Bereiche des Körpers betroffen werden. Auch kommt es zur Steigerung der Durchlässigkeit (Permeabilität) der Zellmembranen. Es treten Entzündungserscheinungen auf; Mitoseausfall und Zelltod können die Folgen sein.

Gemessen wurde mit einem Szintillationszähler „medCONT“ der Fa. ROM-Elektronik GmbH in nSv/h (Nanosievert pro Stunde; Jahresbelastung [nSv/a] = nSv/h \* 8760h).

Bewertung	Situationskizzen mit Lage der Meßpunkte
bis 20% mehr als außen unbedenklich  <b>GRÜN</b>  keine Sanierung nötig	
bis 30% mehr als außen schwache Abweichung  <b>GELB</b>  langfristig sanieren	
über 30% mehr als außen starke Abweichung  <b>ROT</b> ggf. SOFORT  Maßnahmen ergreifen	

Ergebnisse der wichtigsten Meßpunkte				
IM FREIEN nSv/h		zimmer (A)	zimmer (B)	(C)
Bett Kopfbereich	nSv/h			
Bett Fußbereich	nSv/h			
Außenwand	nSv/h			
Innenwand	nSv/h			
Fußboden	nSv/h			
Meßpunkt I	nSv/h			
Meßpunkt II	nSv/h			
Sanierungsempfehlungen				
<input type="checkbox"/> Entfernen von <input type="checkbox"/> Abstand halten zu <input type="checkbox"/>				

---

## 8.1 Radonmessung mit Filter und Staubsauger (Zerfallsproduktmessung)

---

Beim hier beschriebenen Verfahren handelt es sich um eine ältere, bewährte Methode, Zerfallsprodukte des Radons zu messen. Sie wird immer dann angewandt, wenn mit **hoher Empfindlichkeit** und in **kurzer Zeit** gemessen werden soll.

Wir verwenden einen Staubsauger und einen tragbaren Szintillationsdetektor (medCONT). In der professionellen Variante werden ein sogenannter High Volume Sampler und ein Großflächenzählrohr oder ein Gammaskpektrometer mit Germaniumdetektor verwendet. Der Sampler besteht aus einem staubsaugerähnlichen Gebläse mit Volumenmeßgerät.

Die Idee ist recht einfach: Der Staubsauger zieht die zu untersuchende Luft durch ein Meßfilter (hier müssen wir bei professionellen Typen bleiben). Anschließend messen wir die Filteraktivität mit dem Gammadetektor.

Hier erfahren Sie die nötigen Einzelheiten, damit das Verfahren auch einen brauchbaren Meßwert liefert.

Durch die Gammamessung ergibt sich ein äußerst gutmütiges Verfahren. Das bedeutet: Wir kommen fast ohne Uhr und Streß aus. Sammelzeit, Pause bis zur Aktivitätsmessung und die Zeit der Aktivitätsmessung lassen sich in weiten Grenzen verändern, ohne das Ergebnis zu verfälschen.

Der Vorteil der Messung, die kurze Meßzeit, ist gleichzeitig auch ihr Nachteil. Erfahrungsgemäß ändert sich die Radonkonzentration in Wohnräumen zeitlich sehr stark. Das kann innerhalb einer Stunde mehr als den Faktor 10 ausmachen. Ein Meßwert ist deshalb in keiner Weise repräsentativ für den langzeitigen Mittelwert der Bewohner eines Hauses. Erfolgt die Messung tagsüber, so erhält man in der Regel einen zu niedrigen Meßwert, weil die Radonkonzentration nachts meistens höher ist. Außerdem laufen während der Messung mehrere Menschen im Haus herum, was die Durchlüftung steigert und die Radonkonzentration vermindert.

Das Verfahren liefert also einen **physikalisch einwandfreien Meßwert**, dieser kann jedoch nur der Orientierung dienen. Bevor Sie die Entscheidung über eine Haussanierung fällen, sollten Sie mit einem kommerziellen Verfahren über einen längeren Zeitraum messen.

### Und hier der Ablauf der Meßprozedur im Überblick:

- Zuschneiden des Meßfilters auf die richtige Größe
- Background Messung starten
- Filter in oder auf den Halter legen
- Fünf Minuten saugen, Während dieser Zeit Background ablesen
- Filter geeignet zusammenfalten
- Filter in Meßgerät legen und Bruttomessung (Gamma) starten
- Brutto ablesen
- Auswerten

---

## 8.2 Das Meßfilter

---

Als Filter sind Glasfaserfilter der Klasse S gut geeignet. Sie lassen viel Luft hindurch und scheiden die Radioaktivität zu 99 % ab. Kaffee- oder Staubsaugerfilter lassen in der Regel zu viel Staub und damit Aktivität hindurch. (Anmerkung: Radongas wird nicht gesammelt, es geht vollständig durch das Filter durch.) Andere Filter sind vielfach dicht genug, lassen aber zu wenig Luft hindurch.

Der Filtertest zeigt uns, ob ein Filter geeignet ist: Legen Sie zwei Filter aufeinander und ziehen Sie über längere Zeit Luft hindurch (Vorsicht, Überhitzungsgefahr des Staubsaugers). Messen Sie die Filter getrennt aus. Das zweite Filter darf höchstens 10% der Radioaktivität des ersten Filters aufweisen.

ROM-Elektronik hat einen entsprechenden Filterhalter mit Filtern im Lieferprogramm.

---

## 8.3 Hintergrund (Background) Messung

---

Jeder Szintillationsdetektor ist für die Umgebungsstrahlung (Background) empfindlich. Diese wird natürlich auch während der Filtermessung mitregistriert. Deshalb muß dieser Background gemessen und später vom Meßwert abgezogen werden.

Je niedriger der Background ist, desto genauer wird die folgende Filtermessung. Zum Aufstellen des Detektors sollten wir also einen Platz mit möglichst geringer Umgebungsstrahlung suchen. Ideal und auch am schwersten wäre eine Bleiabschirmung (Bleiburg). Gute Dienste liefert ein flacher Bleiklotz unter dem Detektor.

---

## 8.4 Filterhalter

---

Das Filter muß während der Messung unterstützt werden, damit es nicht zerreißt. Das geschieht durch einen Filterhalter. Die Auflagefläche ist im professionellen Fall ca. 3 mm dickes Sintermetall aus Bronze oder Edelstahl. Gute Dienste leisten auch ein Drahtnetz oder eine Lochplatte. Das Sintermetall würde die hier vorgeschlagene Prozedur zur Luftflußkalibrierung stören.

Es gibt Filterhalter, welche die Filter zwischen Dichtringen halten. Es reicht aber auch, die Filter lose auf die Unterlage zu legen.

Als aktive Filterfläche hat sich eine offene Querschnittsfläche von ungefähr  $30 \text{ cm}^2$  (das entspricht einem Kreis mit 65 mm Durchmesser) bewährt. Das Filter selbst muß größer sein, damit es am Rand dicht aufliegt. Durch eine wesentlich kleinere Fläche geht zuwenig Luft. Ein Filter mit größerer Fläche läßt sich nur schwer zusammenfalten.

Wir haben eine Plexiglasplatte mit 85 mm Durchmesser und 61 auf jeweils 1 mm Abstand gesetzten sechseckigen Löchern (kleiner Durchmesser 8mm, Kantenlänge 4.6 mm) verwendet. Bei runden Löchern verschenkt man 10% der Filterfläche. Die Löcher sollten nicht größer als 8 mm sein, weil das Filter dann innerhalb eines Loches reißen kann.

---

## 8.5 Saugen

---

Das ist die Gelegenheit, Ihren Staubsauger abbrennen zu lassen. Tun Sie es nicht! Je weniger Luft ein Staubsauger fördert, um so weniger ist er belastet und desto schneller läuft auch sein Motor. Der Luftstrom kühlt gleichzeitig den Motor (das war die Erfindung des 1000-W-Staubsaugers).

Strömt also zu wenig Luft durch Filter und Motor, dann wird es dem Motor zu warm. Er ist thermisch überlastet, obwohl er weniger arbeiten muß. Es gilt also einen brauchbaren Kompromiß aus Luftstrom, Sammelzeit und Motortemperatur zu finden. Das müssen Sie selbst erledigen, wir übernehmen keine Verantwortung für Ihren Staubsauger.

Trotzdem einige Tips: Verwenden Sie für Ihre Messung immer **dieselbe unbenutzte Filtertüte** im Staubsauger. Sie brauchen dann nicht immer aufs Neue den Luftfluß zu messen. Ohne Filtertüte zerstören Sie die Motorwicklungen, wenn der Staubsauger versehentlich einen Fremdkörper einsaugt. Arbeiten Sie mit voller Leistung, dafür eventuell mit kürzerer Sammelzeit. Fünf Minuten Sammelzeit haben sich bewährt. Brechen Sie ab, wenn die austretende Luft wärmer wird als es beim Teppichreinigen üblich ist. Bleiben Sie auf jeden Fall in der Nähe.

Sie müssen die angesaugte Meßluftmenge kennen. Die Sammelzeit selbst ist von untergeordneter Bedeutung. Dafür müssen Sie den Staubsauger mindestens einmal kalibrieren. Das heißt, sie müssen den Luftfluß in  $\text{m}^3$  pro Minute kennen. Weil auch ein Staubsauger seine Eigenschaften ändert, sollten Sie die Kalibrierung regelmäßig wiederholen.

---

### 8.6 Kalibrieren des Staubsaugers

---

Die Idee ist wieder einfach: Sie blasen einen leichten Plastiksack (z.B. Müllsack) zunächst auf und saugen ihn durch das Meßfilter wieder leer. Den aufgeblasenen Sack messen Sie aus und berechnen sein Volumen. Mit der Stoppuhr messen Sie, wie lange es dauert, bis er leer ist. Zur Realisation gibt es viele Möglichkeiten, wir beschreiben hier eine von uns ausprobierte.

Besorgen Sie sich einen Müllsack für Tonnen von 240 Litern Inhalt. Der Sack hat in Ihrem Fall ein Volumen von ungefähr 400 Litern. Mit einem Folienschweißgerät (für Gefrierbeutel) schweißen Sie die Öffnung bis auf ein kleineres Loch in der Mitte zu. Durch das Loch muß das Filter mit Halter passen.

Schneiden Sie sich ein passendes Filter aus, legen Sie es auf den Filterhalter und kleben Sie es am äußeren Rand an zwei gegenüberliegenden Stelle am Halter mit Klebeband fest. Verbinden Sie den Filterhalter mit dem Saugrohr des Staubsaugers. Das System funktioniert jetzt wie ein Rückschlagventil. Wenn Sie durch das Rohr blasen, hebt sich das Filter ab, und die Luft tritt leicht aus. Beim Saugen zieht sich das Filter fest auf den Halter.

Stecken Sie den Halter mit Filter in den Müllsack. Legen Sie einen kleinen Teil des Sackes (aus der Nachbarschaft der Öffnung) um das Saugrohr und ziehen Sie einen Gummi dicht darüber. Trennen Sie den Saugschlauch vom Staubsauger, und schalten Sie den Staubsauger ein. Jetzt halten sie den Schlauch lose vor die Ausblasöffnung und warten bis der Sack aufgeblasen ist. Staubsauger ausschalten, Schlauch auf die Ansaugöffnung stecken. Sie haben jetzt Zeit, der Sack sollte einigermaßen dicht sein.

Zum Ausmessen stellen Sie den Sack senkrecht auf. Er ist jetzt ziemlich zylinderförmig. Messen Sie die Höhe und den Durchmesser oder Umfang (mit einer Schnur) aus. Notieren Sie alle Maße in Dezimetern ( $1 \text{ dm} = 10 \text{ cm}$ ). Legen Sie den Müllsack wieder hin. Schalten Sie den Staubsauger ein und drücken Sie gleichzeitig die Stoppuhr.

Der Sack schrumpft jetzt. Rollen Sie das hintere Ende vorsichtig locker zusammen, damit das vordere Ende nicht zusammenfällt und vorzeitig das Filter blockiert. Drücken Sie die Stoppuhr, wenn der Sack leer ist.

Berechnung des Luftflusses in  $\text{m}^3/\text{min}$ :

Sie messen den Sackdurchmesser und die Höhe in dm, die Zeit in Sekunden  
Daraus ergibt sich zunächst das Volumen in  $\text{m}^3$ :

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Höhe} \times \text{Durchmesser}^2 \times \pi}{4000} \quad \pi=3,14$$

Sie messen den Umfang und die Höhe in dm, die Zeit in Sekunden  
Daraus ergibt sich zunächst das Volumen in m<sup>3</sup>:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Höhe} \times \text{Umfang}^2}{4000 \times \pi} \quad \pi=3,14$$

Aus dem Volumen und der Zeit ergibt sich der Luftfluß in m<sup>3</sup>/min:

$$\text{Luftfluß} = \frac{\text{Volumen} \times 60\text{sec}}{\text{Zeit}}$$

*Tip: Sie erreichen professionelle Genauigkeit, wenn Sie den Plastiksack in einen sorgfältig gebauten Käfig aus Maschendraht stecken.*

### Beispiel 1

Umfang = 2.4 m = 24 dm

Höhe = 100 cm = 10 dm

Saugzeit = 55 sec

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Höhe} \times \text{Umfang}^2}{4000 \times \pi} = \frac{10\text{dm} \times 24\text{dm} \times 24\text{dm}}{4000 \times 3,14} = 0,459\text{m}^3$$

$$\text{Luftfluß} = \frac{\text{Volumen} \times 60\text{sec}}{\text{Zeit}} = \frac{0,459\text{m}^3 \times 60\text{sec}}{55\text{sec}} = 0,50 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

### Beispiel 2

Durchmesser = 70 cm = 7 dm

Höhe = 100 cm = 10 dm

Saugzeit = 1 min, 55 sec = 115 sec

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Höhe} \times \text{Durchmesser}^2 \times \pi}{4000} = \frac{10\text{dm} \times 7\text{dm} \times 7\text{dm} \times 3,14}{4000} = 0,385\text{m}^3$$

$$\text{Luftfluß} = \frac{\text{Volumen} \times 60\text{sec}}{\text{Zeit}} = \frac{0,385\text{m}^3 \times 60\text{sec}}{115\text{sec}} = 0,20 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

## 8.7 Filter messen

Der Szintillatorkristall von medCONT hat einen Durchmesser von 2 Zoll = 5 cm. Unser Filter ist 8.5 cm groß. Deshalb haben wir es dreifach gefaltet. Besaugte Seite nach oben. Filter vom rechten Rand bis zum linken Drittel falten. Filter vom linken Rand bis zum rechten Drittel (inzwischen rechter Rand) falten. Dasselbe noch einmal vom oberen und unteren Rand. Jetzt ist das Filter quadratisch ungefähr 3 cm x 3 cm. Die Aktivität ist innen und das meiste davon in der Mitte. Ein kleiner Gummi verhindert, daß das Päckchen wieder aufgeht.

Jetzt gehört das Filter möglichst dicht vor den Detektor. Wir haben medCONT verwendet, deshalb legen wir das Filter auf einen rund ausgeschnittenen Plastikschwamm und schieben das ganze von unten soweit es geht in die Bleiabschirmung.

Start im stationären Modus, mit Zeitvorwahl einige Minuten, ips brutto.

---

## 8.8 Auswerten

Es gilt, aus dem gesammelten Luftvolumen und den Impulsraten auf Konzentration der Radonzerfallsprodukte in der Luft zu schließen. Dank der Gammamessung ist die Auswertung recht leicht, weil ein **einzigster Kalibrierfaktor** (im Rahmen unserer Meßgenauigkeit) ausreicht. Der nötige Kalibrierfaktor läßt sich unter Berücksichtigung der Halbwertszeiten der Radonzerfallsprodukte, der Zusammensetzung des entsprechenden Gemisches in der Luft und der Ansprechwahrscheinlichkeit (Detektor Efficiency) des Detektors berechnen. Die Ansprechwahrscheinlichkeit müßte dabei experimentell ermittelt werden (Kalibrierquelle). Wir haben diesen Wert indirekt durch Vergleichsmessungen mit einem kommerziellen Zerfallsproduktmeßgerät bestimmt (WLM-200-plus).

Für die am häufigsten in Wohnungen auftretenden Aktivitätsgemische beträgt der Kalibrierfaktor genau  $\text{Calibr} = 3.5 \text{ Bq/ips}$ . Das heißt: Jedem gemessenen Nettoimpuls pro Sekunde entsprechen  $3.5 \text{ Bq/m}^3$  Gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration.

Folgen Sie der nachfolgenden Auswertanleitung.

---

## 8.9 Weitere Tips für die Messung

**Vorsicht!** Berühren sie beim Zusammenfalten des Filters nicht die gesammelte Radioaktivität. Was in Ihren Fingern klebt, fehlt bei der Messung!

Falten Sie das Filter so zusammen, daß die Aktivität im Innern ist. Andernfalls kontaminieren Sie das Meßgerät.

Falten Sie das Filter immer so zusammen, daß der Hauptteil der Aktivität in der Mitte ist. Sonst stimmt die ermittelte Ansprechwahrscheinlichkeit des Detektors nicht.

---

## 8.10 Auswertung einer Messung mit medCONT

Nach der Meßprozedur sollten folgende Daten vorliegen bzw. bekannt sein:

- Kalibrierfaktor Calibr in  $\text{Bq/m}^3$
- Luftfluß durch das Filter in  $\text{m}^3/\text{min}$
- Sammelzeit in Minuten
- Impulsrate Background (Hintergrund, Nulleffekt) in Ips (Impulse pro Sekunde)
- Impulsrate Brutto mit Filter in Ips

Zunächst wird das gesammelte Luftvolumen in  $\text{m}^3$  berechnet:

$$\text{Volumen} = \text{Luftfluß} \times \text{Sammelzeit}$$

Die Netto-Impulsrate ergibt sich zu

$$\text{Netto} = \text{Brutto} - \text{Background}$$

Die Radon-Zerfallsproduktkonzentration (potentielle  $\alpha$ -Energiekonzentration) in Form der Gleichgewichtsäquivalenten Radonkonzentration beträgt damit (in  $\text{Bq/m}^3$ ):

$$\text{EEC} = \frac{\text{Calibr} \times \text{Netto}}{\text{Volumen}}$$

Anmerkung: In einer typischen Wohnung ist die Radongaskonzentration ungefähr doppelt so groß wie die Zerfallsproduktkonzentration. Diese Regel gilt nicht im Freien (dort ist der Unterschied meistens geringer), in besonders kleinen Räumen (dort ist der Unterschied oft größer) und in Räumen hoher EEC und guter Lüftung (dort ist der Unterschied ebenfalls größer). Die Organisationen SSK/ICRP nehmen das Verhältnis 2,5 an.

---

## 8.11 Auswertung an Beispielen

### Beispiel 1

Calibr = 3,5 Bq/Ips	(fester Kalibrierwert)
Luftfluß = 0,5 $\text{m}^3/\text{min}$	(typisch für bestimmtes Filter und Staubsauger)
Sammelzeit = 4 min, 30 sec = 4,5 min	(gemessen)
Background = 19,5 Ips	(gemessen)
Brutto = 83 Ips	(gemessen)

Daraus ergeben sich

$$\text{Volumen} = 0,5 \text{ m}^3/\text{min} \times 4,5 \text{ min} = 2,25 \text{ m}^3$$

$$\text{Netto} = 83 - 19,5 \text{ Ips} = 63,5 \text{ Ips}$$

$$\text{EEC} = \frac{3,5 \text{ Bq/Ips} \times 63,5 \text{ Ips}}{2,25 \text{ m}^3} = 99 \text{ Bq/m}^3$$

### Anmerkung:

Dieser Wert ist **nicht** mit dem oberen Wert des Normalbereiches für Radongas nach der deutschen SSK zu vergleichen ( $250 \text{ Bq/m}^3$  Radongas). Sondern mit der **präziseren Angabe** der internationalen ICRP ( $100 \text{ Bq/m}^3$  Radonzerfallsprodukte), von dem der deutsche Wert unter bestimmten Annahmen hergeleitet ist. Demnach haben wir gerade die Grenze zwischen Normalbereich und erhöhter Radioaktivität getroffen. **Das bedeutet: Nachmessung machen!**

Soll unbedingt ein Vergleich mit der SSK-Empfehlung erfolgen, so gilt der Rechenwert

$$\text{Radongaskonzentration } C_{\text{Rn}} = \frac{99 \text{ Bq/m}^3}{0,4} = 248 \text{ Bq/m}^3$$

Dies entspricht genau der Rechenweise, die auch die SSK angewendet hat.

### Beispiel 1

Calibr = 3,5 Bq/Ips	(fester Kalibrierwert)
Luftfluß = 0,2 m <sup>3</sup> /min	(hier ist der Staubsauger kleiner als oben)
Sammelzeit = 5,0 min	(bewußt eingehalten)
Background = 25 Ips	(gemessen)
Brutto = 213 Ips	(gemessen)

Daraus ergeben sich

$$\text{Volumen} = 0,2 \text{ m}^3/\text{min} \times 5 \text{ min} = 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Netto} = 213 - 25 \text{ Ips} = 188 \text{ Ips}$$

$$\text{EEC} = \frac{3,5 \text{ Bq/Ips} \times 188 \text{ Ips}}{1 \text{ m}^3} = 658 \text{ Bq/m}^3$$

### Anmerkung:

Dieser Wert ist **nicht** mit dem oberen Wert des Normalbereiches für Radongas nach der deutschen SSK zu vergleichen (250 Bq/m<sup>3</sup> Radongas). Sondern mit der **präziseren Angabe** der internationalen ICRP (100 Bq/m<sup>3</sup> Radonzerfallsprodukte), von dem der deutsche Wert unter bestimmten Annahmen hergeleitet ist. Demnach haben wir den Normalbereich weit überschritten.

Sollte es sich um einen Raum handeln, der nur gelegentlich betreten wird (z.B. Lagerkeller), so sind dennoch keine Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Es sollten vielmehr die Aufenthaltsräume gründlich untersucht werden!

Nachfolgendes Meßprotokoll soll als Hilfe dienen und kann frei kopiert werden.



---

## 9.1 Fachliteratur:

---

Rupprecht Maushart

Man nehme einen Geigerzähler, Teil 1, 2 und 3

GIT Verlag, Darmstadt; ISBN 3-921956-45-5, 3-921956-46-3, 3-921956-83-8

Wolfgang Petzold

Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz

B.G. Teubner, Stuttgart

W. Seelmann-Eggbert, G. Pfennig, H. Münzel

Nuklidkarte Gesellschaft für Kernforschung m.b.H. Karlsruhe

Gersbach u. Sohn Verlag, München

Datenbuch Zählrohre

Valvo, Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH

Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg; ISBN 3-7785-1398-2

Konrad Kleinknecht

Detektoren für Teilchenstrahlung

Teubner Studienbücher, B. G. Teubner, Stuttgart 1992; ISBN 3-519-23058-5

Hans Ulrich Schmidt

Meßelektronik in der Kernphysik

Teubner Studienbücher, B. G. Teubner, Stuttgart 1986; ISBN 3-519-03082-9

Institut für Strahlenhygiene

Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl

ISH-Heft 99, Bundesgesundheitsamt

Institut für Strahlenhygiene

Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf den Raum München

ISH-Heft 103, Bundesgesundheitsamt

M. Winter, H. Völkle, J. Narrog, P. Meyer, K. Kirchhoff

Die Radioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl

Fachverband für Strahlenschutz e.V., FS-86-39-AKU, Oktober 86

A. Neu, L. Goll, H. Völkle, M. Winter

Strontiummessergebnisse aus der Bundesrepublik Deutschland und aus der Schweiz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl

Fachverband für Strahlenschutz e.V., FS-87-43-AKU, Oktober 87

H. Völkle, D. Borchardt  
Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten  
Fachverband für Strahlenschutz e.V., FS-91-56-T, Mai 1991

Tschernobyl: Ermittlung der Strahlendosis und ihre Problematik  
Studie der Expertengruppe Dosis-Wirkung zu Händen der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz, Juni 1987

Glenn F. Knoll  
Radiation Detection and Measurement  
John Wiley & Sons, New York; ISBN 0-471-81504-7

Werner Stolz  
Radioaktivität, Grundlagen-Messung-Anwendung  
Carl Hanser Verlag München Wien 1990; ISBN 3-446-15362-4

Manfred Röttle  
Strahlenschutz  
GIT Verlag Darmstadt 1993; ISBN 3-92886509-9

J. Peter  
Erarbeitung von Bewertungskriterien für Messungen des Radons und seiner Zerfallsprodukte in Häusern  
GSF-Bericht 35/93, GSF-Forschungszentrum Neuherberg

---

## 9.2 Allgemeinverständliche Literatur:

---

Rupprecht Maushart  
Man nehme einen Geigerzähler, Teil 1,  
GIT Verlag, Darmstadt, ISBN 3-921956-45-5

Zink Christoph  
Radioaktivität, Strahlenwirkung, Strahlenschutz; Pschyrembel Wörterbuch  
Walter de Gruyter, Berlin; New York; ISBN 3-11-011343-0

Prof. Dr. rer. nat. Siegfried Fellmann  
Radioaktivität - Entstehung, Messung und Wirkung  
Elektronik-Literatur-Verlag, 2950 Leer

Radioaktivität und Strahlenfolgen  
(Zeitschrift Mensch und Umwelt Dez. 1986) Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) mbH München

Neuere Erkenntnisse zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl  
Bericht der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH Köln/Garching, Nov. 1986

Dr. Walter Zumach  
Strahlenbiologische Bewertung des Tschernobyl-Unfalls, FH Augsburg

Mario Schmidt, Dieter Teufel, Ulrich Höpfner  
Die Folgen von Tschernobyl IFEU-Bericht Nr. 43, Heidelberg, Juni 1986

---

Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (SSK) Band 7  
Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die BRD  
Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York

Holger Strohm  
Friedlich in die Katastrophe  
Zweitausendeins

Holger Strohm  
Was Sie nach der Reaktorkatastrophe wissen müssen  
Zweitausendeins

Holger Strohm  
Warum auch geringe Radioaktivität lebensgefährlich ist  
Zweitausendeins

Strahlung im Alltag, Wie Sie Ihre Strahlenbelastung verringern können  
KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung e.V.  
Zweitausendeins

Strahlenschutz - Radioaktivität und Gesundheit  
Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen  
ISBN 3-910088-82-1

Leitgeb Norbert  
Strahlen, Wellen, Felder - Ursachen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit  
dtv Taschenbuch ISBN3-423-11265-4

Dipl.-Phys. Guglhör Peter  
Radon - ein Ratgeber für Hausbesitzer - Messung, Bewertung, Sanierung  
Verlag TÜV Bayern, Westendstr. 199, München

Till Bastian  
Atomkatastrophen und ihre Folgen  
Jungjohann Verlagsgesellschaft mbH, Neckarsulm; ISBN 3-88454-003-3

IPPNW (Internationale Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges); es sind mehrere Bände erschienen:  
Radioaktive Verseuchung von Himmel und Erde (Band 2)  
Roland Scholz  
Bedrohung des Lebens durch radioaktive Strahlung (Band 4)  
Plutonium - Tödliches Gold des Atomzeitalters (Band 5)  
Christian Küppers, Michael Sailer  
MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung (Band 7)  
IPPNW, Körtestraße 10, 10967 Berlin