

Hochexponierte Kinder in Belarus

November 2006

P. Hill

R. Hille

M. Schläger

A. Nesterenko

W. Nesterenko

Diesen Bericht haben die Forschungszentrum Jülich GmbH und das Institut BELRAD (Minsk, Belarus) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des UFO-Plan-Forschungsvorhabens StSch. 4350 erstellt.

Der Bericht gibt die Auffassung und die Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BMU übereinstimmen.

Der BMU behält sich alle Rechte an der weiteren Nutzung oder Vervielfältigung des Berichtes vor.

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

1. Einleitung

Nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl sind weite Gebiete in der Region Gomel in Weißrussland kontaminiert. Dies führt zu einer chronischen Aufnahme von radioaktiven Substanzen über die Nahrungskette, vor allem dann, wenn nicht auf kontaminationsfreie Lebensmittel aus anderen Gebieten zurückgegriffen werden kann. Das kann dazu führen, dass Teile der Bevölkerung auch 20 Jahre nach dem Reaktorunfall stärker belastet sind als nach internationalen Regelungen zulässig. Wo der ICRP Grenzwert von 1 mSv/a überschritten wird, lebt die Bevölkerung heute noch in einer Ausnahmesituation. Dieser Zustand ist eigentlich nicht länger hinnehmbar.

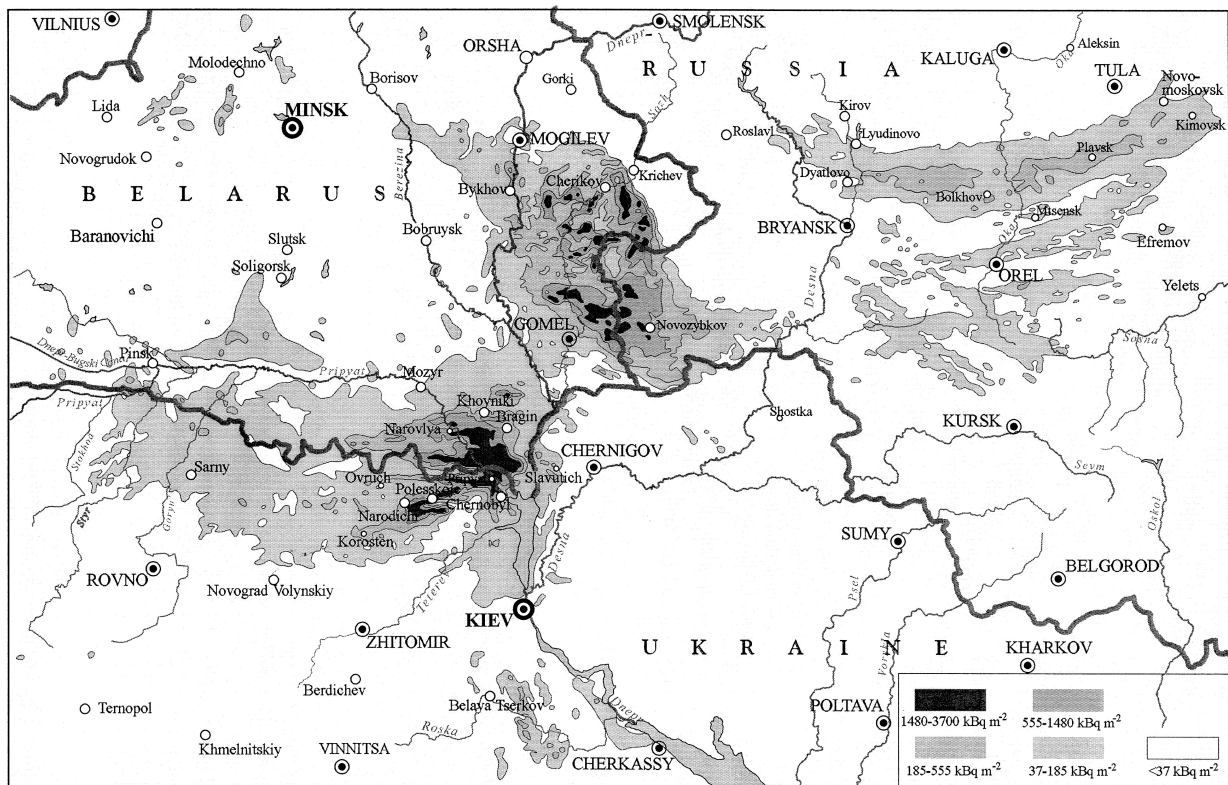


Abbildung 1 : Oberflächenkontamination nach dem Tschernobyl-Unfall. Weissrussland ist mit einem grossen Teil der Landesfläche betroffen. (Karte aus [Uns00])

Zur Identifizierung von Regionen, in denen Kinder infolge des Tschernobylunfalls eine Strahlendosis von mehr als 1 mSv im Jahr erhalten, sollten in einem BfS-Vorhaben (StSch4350) in kontaminierten Gebieten von Belarus Ganzkörpermessungen des Leitradionuklids ¹³⁷Cs zur Bestimmung der Körperdosis durchgeführt werden. Maßnahmen zur Dosisreduzierung, wie die Einnahme von Vitapekt sollten untersucht werden. Das Projekt wurde in drei Phasen durchgeführt. Partner in Weissrussland war das Institut BELRAD in Minsk (W. Nesterenko und A. Nesterenko).

Vor Aufnahme der Ganzkörpermessungen bei Kindern im Rahmen dieses Projekts erfolgte in Phase 1 eine Zusammenfassung aller bisher bei den Projektpartnern BELRAD (Minsk) und FZJ (Jülich) vorhandenen Messergebnisse in einer Datenbank. Diese dient dazu, die Ortschaften und Messgebiete zu identifizieren und festzulegen, in denen die individuelle Strahlenexposition von Kindern den Wert von 0,3 mSv im Jahr überschreiten kann, und zwar mit dem Ziel grundsätzlich höher belastete Ortschaften für ein erneutes Screening in einer weiteren Projektphase zu finden.

Mit der Messung von nahezu 17000 Kindern wurden in Projektphase 2 aktuelle Messwerte ermittelt, um die derzeitige Situation zu beurteilen. Die Reihenuntersuchungen wurden mit den vorhandenen mobilen Messplätzen der beiden Projektpartner in den Orten durchgeführt, die aufgrund der Vorstudie (Projektphase 1) ermittelt wurden. Die Validierung der Ganzkörpermessergebnisse erfolgte im Rahmen von Vergleichsmessungen zwischen den Messplätzen des Instituts BELRAD und den mobilen Messsystemen des Forschungszentrums Jülich sowohl mit Probanden als auch mit Kalibrierphantomen.

In der 3. Projektphase sollte insbesondere untersucht werden, ob die kurmäßige Einnahme von Pektinen bei Kindern einen günstigen Einfluß auf den Körpergehalt von ^{137}Cs und damit auf die interne Dosis hat. In einer plazebokontrollierten Doppelblindstudie wurde die Wirkung des Pektinpräparats Vitapekt mit der eines Plazebopräparats verglichen. Zusätzlich wurden begleitende medizinische Untersuchungen und radiologische Untersuchungen an Lebensmitteln durchgeführt.

2. METHODIK UND ERGEBNISSE IN PROJEKTPHASE 1

Aufbau einer ACCESS-Datenbank

Die bisherigen Messungen an Kindern in Weißrussland, die das Institut für Strahlensicherheit BELRAD in Minsk durchführte, fanden in den Jahren 1996 bis März 2002 statt. Die Messdaten aus diesem Zeitraum wurden in einer Access-Datenbank erfasst.

Für alle Einzelmessergebnisse liegen folgende Angaben vor:

- Name
- Vorname
- Vatersname
- Geburtsjahr
- Körpergewicht in kg
- Spezifische Aktivität in Bq/kg
- Berechnete interne Dosis in mSv/a
- Gesamte effektive Dosis in mSv/a

Zusätzlich zu den Messergebnissen von BELRAD wurden in die Datenbank auch Ganzkörpermessungen aufgenommen, die vom Forschungszentrum Jülich in den Jahren 1991 bis 1993 in Weißrussland durchgeführt wurden. Auch die in späteren Projektphasen gewonnenen Messergebnisse wurden in die Datenbank übernommen. Die Tabellenstruktur ist im Detail in Anhang 1 beschrieben.

Zusammenstellung der Messergebnisse

Die Datenbank enthält Angaben zu den jeweiligen Ortschaften und ihrer Bevölkerungsstruktur, der Zahl der Messungen, der externen Strahlenexposition, der internen Strahlenexposition und Werte für eine kritische Gruppe, die die 10 Kinder mit den höchsten inneren Dosiswerten umfasst. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Datenumfang und über die Variationsbreite der Messergebnisse beim Abschluß der Projektphase 1:

Tabelle 1 : Datenumfang und Klassifizierung der BELRAD-Ergebnisse in der Datenbank (Stand 2002)

Gruppe	Anzahl der Ortschaften	Anzahl der Messungen	Externe Dosis zwischen	Int. Dosis (gesamt) zwischen	Int. Dosis (krit. Gr.) zwischen	Gesamtdosis der kritischen Gruppe zwischen
1	34	5559	0,1 – 1,0	0,1 – 1,4	0,6 – 3,8	1,1 – 4,6 mSv/a
2	23	2776	0,1 – 0,6	0,1 – 0,4	0,2 – 0,9	0,8 – 1,0 mSv/a
3	66	8660	0,0 – 0,3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,6	0,3 – 0,7 mSv/a
4	29	4413	0,0 – 0,1	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,0 – 0,2 mSv/a
gesamt	152	21408				

Gemäß den nationalen Aktionsschwellen in Weißrussland für Strahlenexpositionen wurde der Datenbestand bei der Auswertung in vier Untergruppen gegliedert:

- Ortschaften, in denen die gesamte effektive Dosis für die kritische Gruppe den Wert von 1 mSv/a überschreitet (Gruppe 1),
- Ortschaften, für die dieser Wert zwischen 0,8 mSv/a und 1,0 mSv/a liegt (Gruppe 2),
- Ortschaften, für die dieser Wert zwischen 0,3 mSv/a und 0,7 mSv/a liegt (Gruppe 3),
- Ortschaften, für die dieser Wert unter 0,3 mSv/a liegt (Gruppe 4).

Für die externe Strahlenexposition wurde für jede Ortschaft ein mittlerer Wert ermittelt, der stets zu den individuellen Ganzkörpermessergebnissen addiert wurde, um die Gesamtdosis zu erhalten.

Die folgenden Abbildungen 2 bis 9 geben einen Überblick über die mittleren Inkorporationsdosen, die von BELRAD in den Jahren 1997 bis 2002 in den einzelnen Messorten festgestellt wurden. Angegeben sind jeweils der Mittelwert für alle gemessenen Kinder eines Ortes und der Mittelwert für die kritische Gruppe.

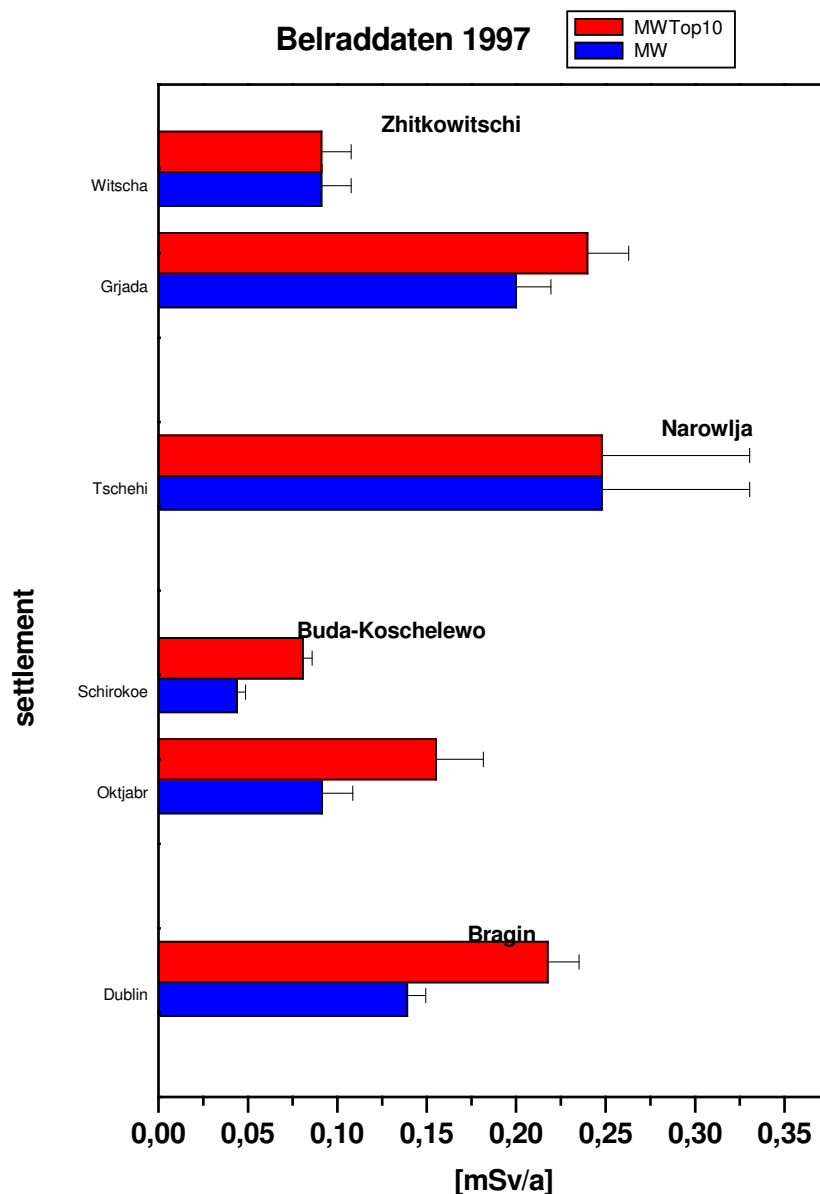


Abbildung 2 : Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 1997 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

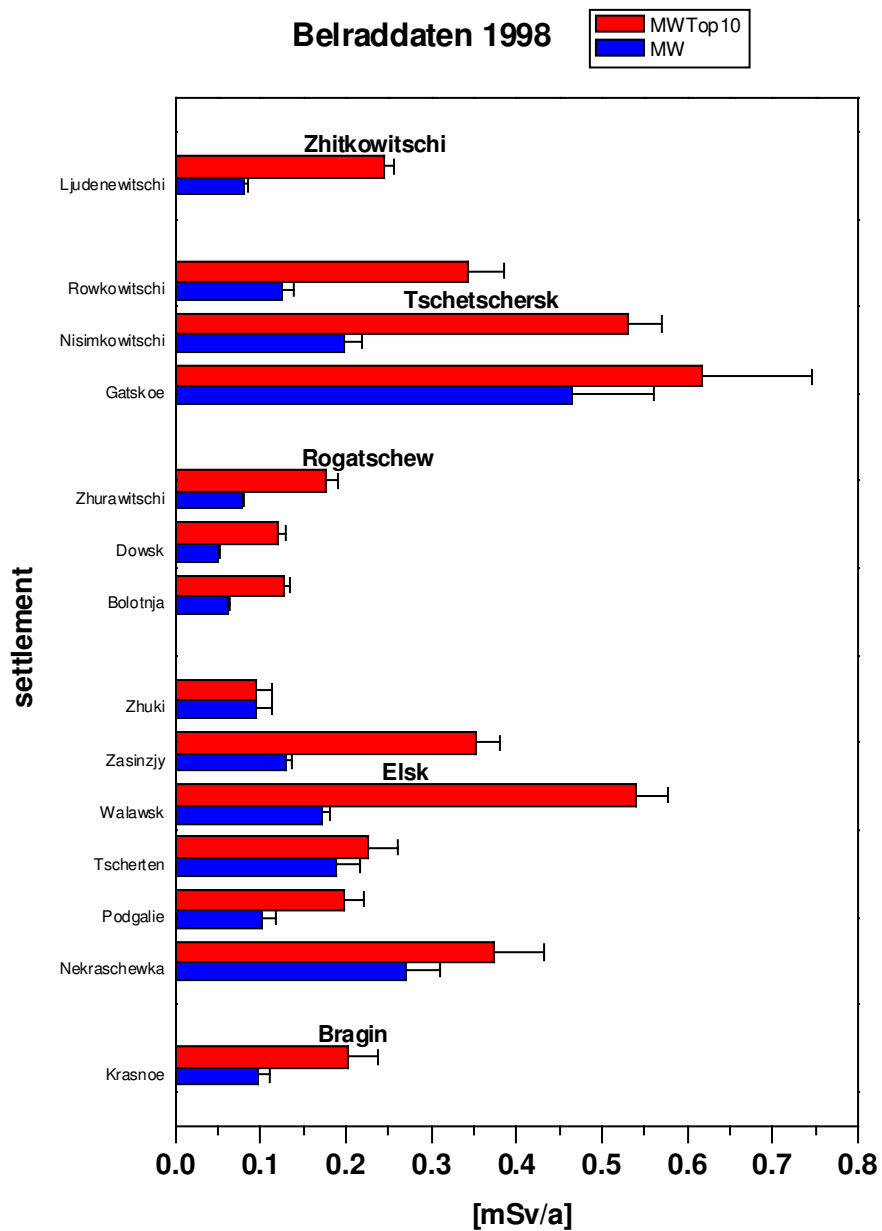


Abbildung 3 : Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 1998 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

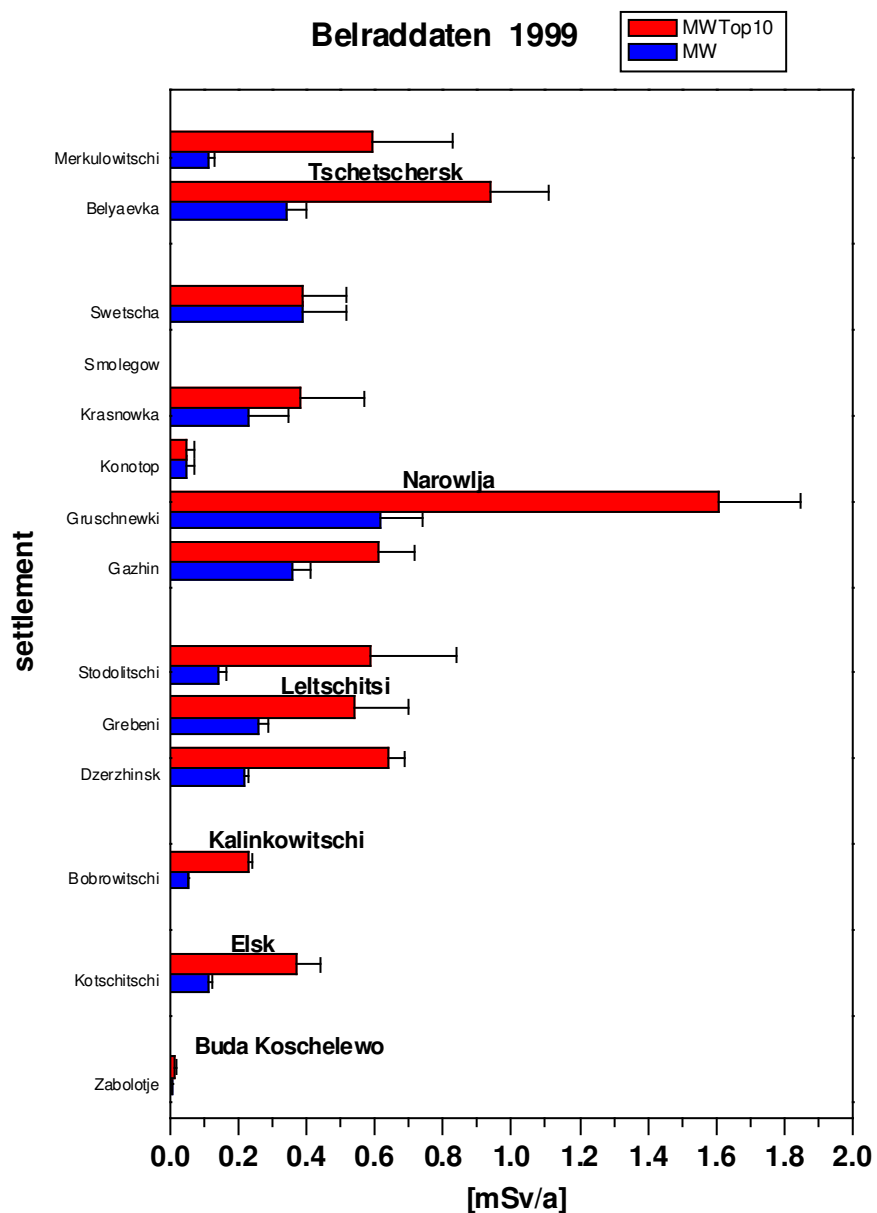
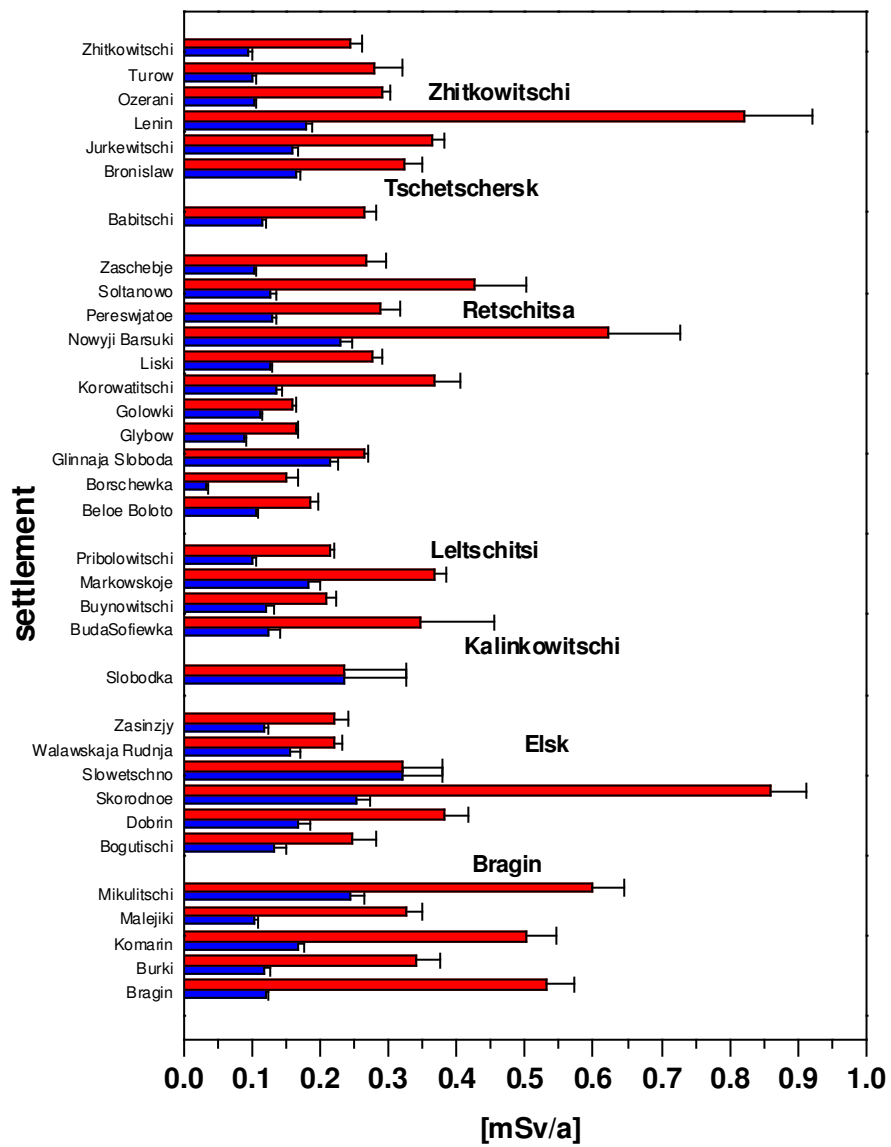


Abbildung 4 : Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 1999 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

Belraddaten 2000



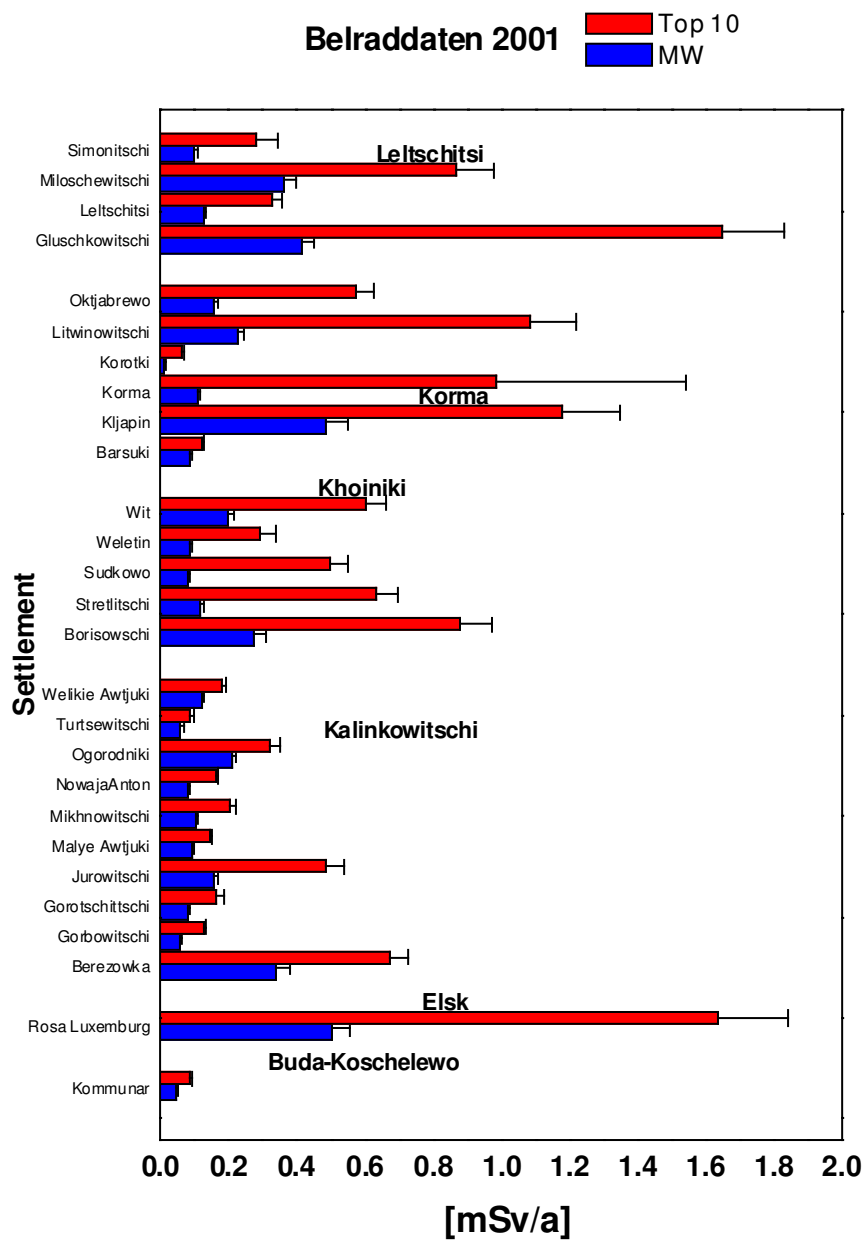


Abbildung 6: Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 2001 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

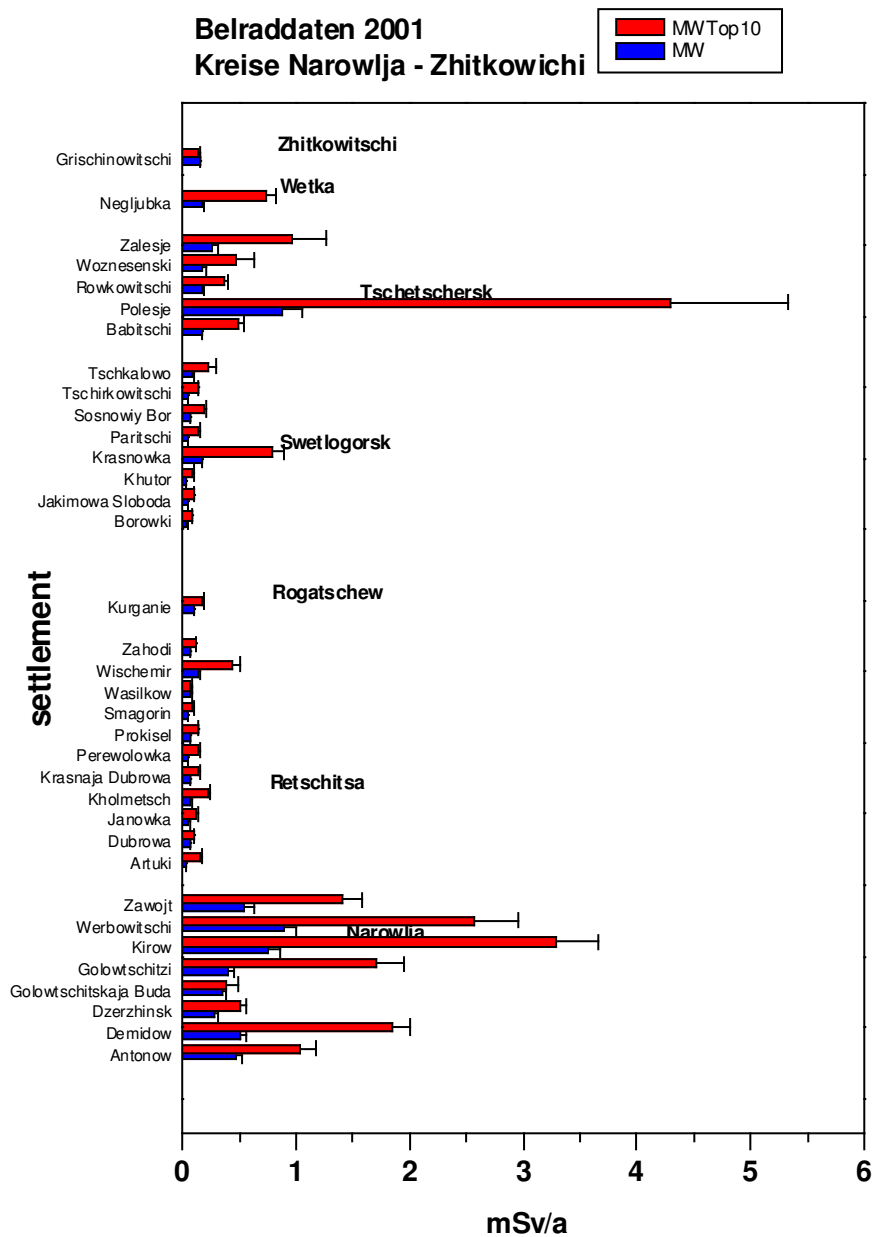


Abbildung 7: Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 2001 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

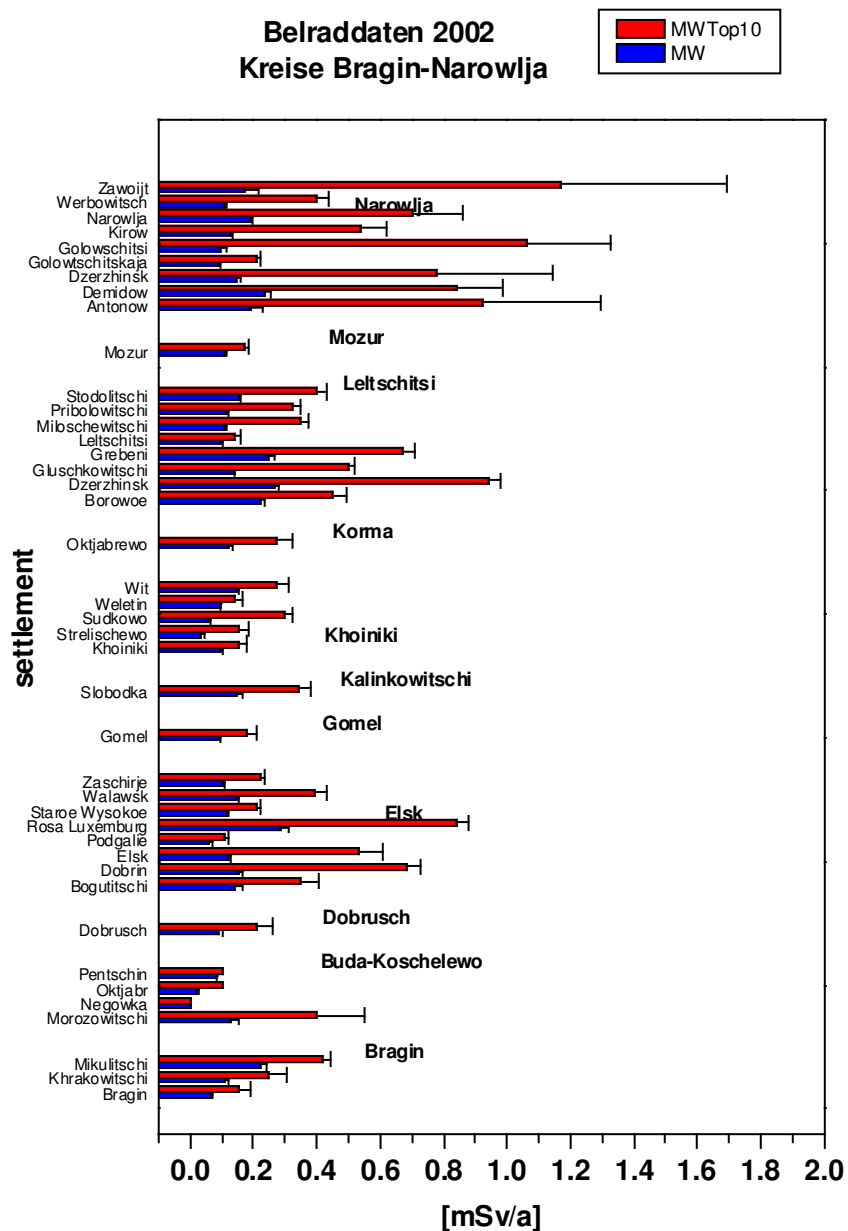


Abbildung 8: Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 2002 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

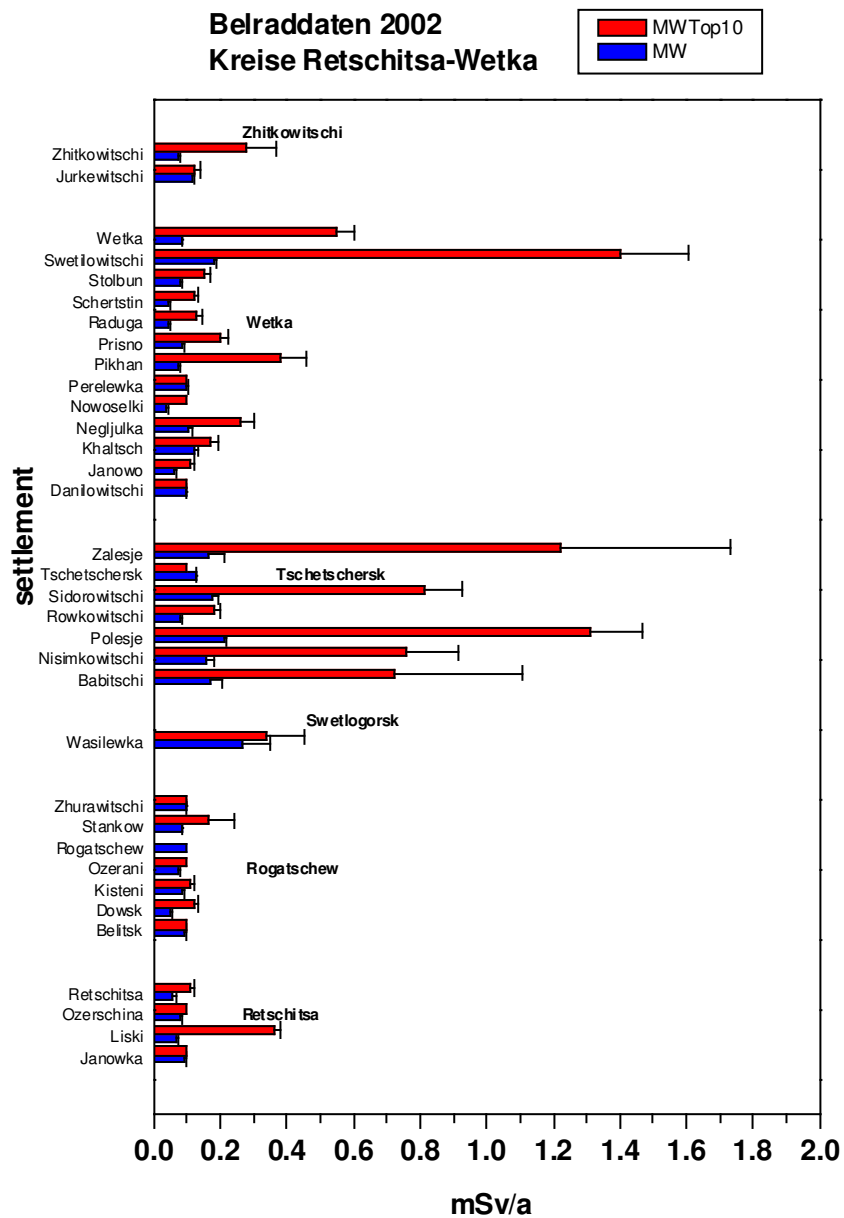


Abbildung 9: Mittelwerte der Cs-137-Inkorporationsdosen für alle im Jahr 2002 gemessenen Kinder des jeweiligen Messortes (MW) bzw. für die kritische Gruppe des Messortes (MW Top 10)

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

3. METHODIK UND ERGEBNISSE IN PROJEKTPHASE 2

Portable und mobile Messeinrichtungen

Der Schwerpunkt der Messaufgabe lag beim weißrussischen Partner BELRAD. Er war für die Durchführung der Messungen und Untersuchungen verantwortlich. Das FZJ beschränkte sich während der Feldmessungen auf kurzzeitige Einsätze in den Gebieten, in denen bereits früher von deutscher Seite Messungen durchgeführt worden waren. Deutsche Messfahrzeuge wurden vor allem zu Vergleichsmessungen mit Phantomen (Interkalibrierung) bzw. Kindern (Intervallierung) eingesetzt. Vom weißrussischen Partner wurden für die Reihenuntersuchungen nur solche Inkorporationsmonitore eingesetzt, die an den Vergleichsmessungen teilgenommen hatten.



Abbildung 10: Durchführung von Reihenuntersuchungen mit einem portablen Ganzkörperzähler

Bei den Messkampagnen setzte BELRAD sieben transportable in-vivo-Monitore des Typs SCRINNER-3M (siehe Anhang 2) ein, die aus der Ukraine stammen. Diese Geräte, mit denen Personen in sitzender Position gemessen werden, enthalten jeweils einen zylindrischen NaI-Detektor zur gammaspektrometrischen Bestimmung der inkorporierten Aktivität. Die Nachweisgrenze für ^{137}Cs liegt bei etwa 0,6 kBq für eine Messzeit von 3 Minuten. Das Forschungszentrum Jülich war an den Interkalibrierungen mit insgesamt drei mobilen Ganzkörperzählern beteiligt; einem FASTSCAN-System, in dem Personen stehend gemessen werden und zwei weiteren Ganzkörpermonitoren, auf denen die Testpersonen während der Messung liegen. Jede dieser drei Messeinrichtungen enthält zwei große quaderförmige NaI-Detektoren. Die Nachweisgrenze der Geräte liegt bei nicht mehr als ca. 0,3 kBq für eine Standardmessdauer von einer Minute.

Interkalibrierungen / Intervallierungen

Zur Validierung der Messergebnisse fanden im April 2002, November 2002 und Oktober 2003 in Minsk drei Messvergleiche (Interkalibrierungen mit Phantomen bzw. Intervallierungen mit weißrussischen Kindern) zwischen den in Weißrussland eingesetzten Ganzkörperzählern und den mobilen Zählern des Forschungszentrums Jülich statt. Als Vergleichsphantome (siehe auch

Anlage 3) wurden Blockziegelphantome [Kov03] mit den Gewichtsklassen 70 kg, 50 kg, 24 kg und 12 kg eingesetzt. Die Aktivität variierte je nach Phantomgröße zwischen knapp 3 kBq und 16 kBq ^{137}Cs . Als zusätzliche Qualitätskontrolle wurde im Herbst 2003 der mobile FastScan-Ganzkörperzähler des Forschungszentrums Jülich bezüglich des Isotops ^{137}Cs mit sehr gutem Ergebnis in den Ringversuch der Leitstelle für Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz einbezogen.

BELRAD nahm mit sieben Monitoren teil (Serien-Nummern: 232, 234, 240, 243, 245, 246, 251), vom Forschungszentrum Jülich wurden im April 2002 der FastScan-Ganzkörperzähler, im November 2002 die große Liege und im Oktober 2003 alle drei mobilen Messanlagen (auch die kleine Liege) eingesetzt. Im Allgemeinen wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den insgesamt 10 einbezogenen Ganzkörperzählern festgestellt. Als Beispiel sind in Tabelle 2 die Ergebnisse für die Interkalibrierung im April 2002 angegeben.

Tabelle 2 : Ergebnisse der Interkalibrierung im April 2006

	70 kg	50 kg	24 kg	12 kg
Phantom activity [kBq]	16,15	11,61	5,55	2,78
FASTSCAN (<i>uncorrected</i>)	-2%	0%	5%	8%
FASTSCAN (<i>weight corrected</i>)	5%	-3%	1%	4%
Skrinner 232	-19%	-2%	1%	-6%
Skrinner 234	-1%	-5%	-7%	2%
Skrinner 240	-11%	9%	-2%	1%
Skrinner 243	-11%	-	-	26%
Skrinner 245	0%	-10%	-5%	12%
Skrinner 246	-4%	5%	5%	-5%
Skrinner 251	-1%	-2%	-2%	11%

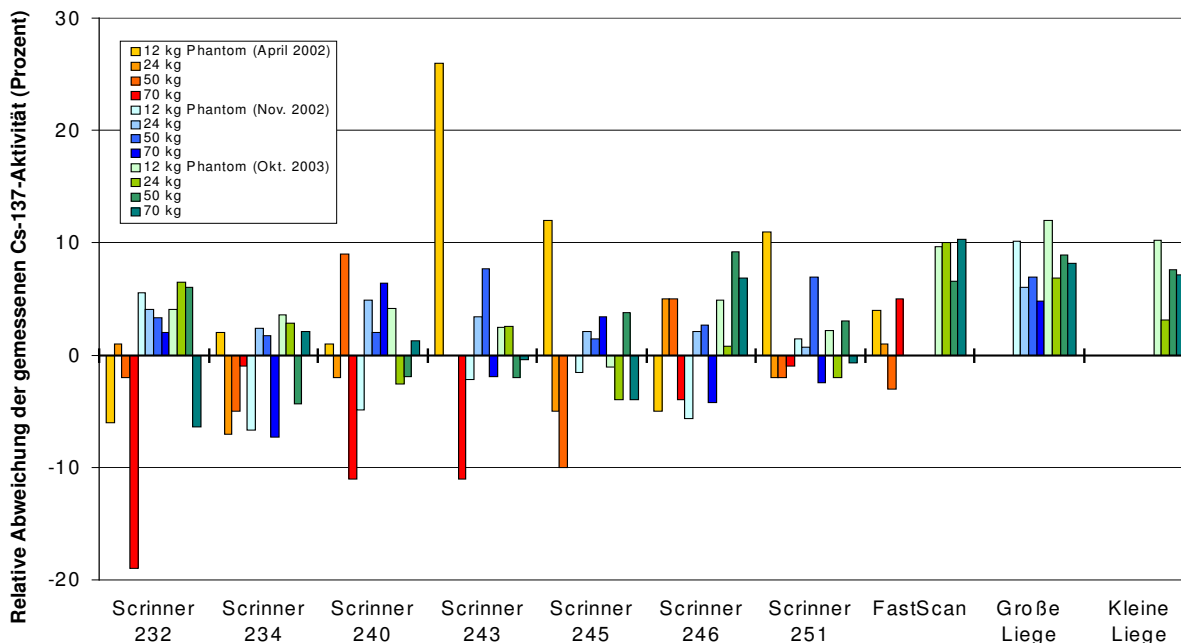


Abbildung 11 : Ergebnisse der Vergleichsmessungen zwischen BELRAD und FZJ

Die relativen Abweichungen der gemessenen Aktivitäten bezogen auf die zertifizierte Phantomaktivität lagen bei allen drei Messvergleichen normalerweise in einem Bereich von $\pm 10\%$, nur in wenigen Einzelfällen deutlich höher (vgl. Abb. 11). Dies ist ein Ergebnis, wie man es auch bei

Ringversuchen der Leitstelle für Inkorporationsüberwachung für die behördlich bestimmten Messstellen in Deutschland beobachtet.

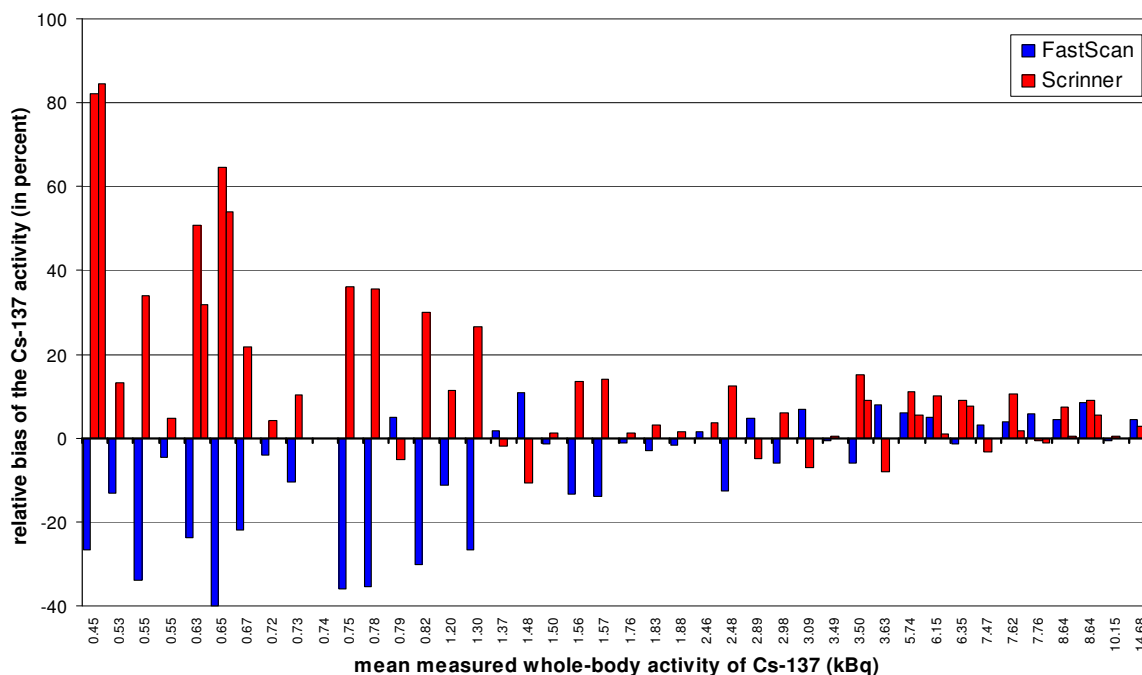


Abbildung 12 : Ergebnisse der Vergleichsmessungen mit weissrussischen Kindern

Insgesamt 64 Kinder aus hochkontaminierten weißrussischen Regionen mit unterschiedlichen spezifischen Aktivitäten, die sich zur Erholung in einem Sanatorium in Minsk aufhielten, wurden für Vergleichsmessungen (Intervallvalidierung) ausgewählt. Jedes dieser Kinder wurde mindestens einmal auf einem Ganzkörperzähler des FZJ und auf einem Skrinners-Monitor gemessen. Abb. 12 zeigt als typisches Beispiel die Ergebnisse aus dem Vergleich zwischen dem FastScan und drei Skrinners-Geräten (Nr. 243, 246, 251). Bei höheren Aktivitäten zeigen die Ergebnisse eine gute Übereinstimmung zwischen den einzelnen Messgeräten; dagegen neigen die Skrinners-Monitore im unteren Aktivitätsbereich (ca. ≤ 1 kBq) zu einer systematischen Überschätzung der tatsächlichen Aktivität. Die Ursache dafür ist möglicherweise eine ungenügende Untergrundkorrektur der Spektren, was bei niedrigen Aktivitäten (d. h. kleinen Nettopeakflächen) stärkere Auswirkungen hat als bei höheren Aktivitäten. Die Monitore sollten daher nur für Messungen im Aktivitätsbereich über 1 kBq benutzt werden. Eine systematische Unterschätzung von niedrigen Cs-137-Aktivitäten durch das FastScan-System kann dagegen ausgeschlossen werden.

Reihenuntersuchungen

Unter Verwendung des in Projektphase 1 zusammengestellten Datenmaterials wurden 84 Ortschaften ausgewählt (grundsätzliches Kriterium war eine effektive Dosis der kritischen Gruppe höher als 0,3 mSv/a), in denen weitere fast 17000 Messungen an Kindern durchgeführt wurden.

Die Messungen der Kinder fanden hauptsächlich in Schulen und Kindergärten statt. Die internen Dosen wurden für jedes Kind aus dem Aktivitätsmesswert für ^{137}Cs errechnet, wobei eine gleichmäßige chronische Zufuhr angenommen wurde. Die mittlere interne Dosis wurde sowohl für die Gesamtgruppe der Kinder eines Messortes, als auch für die kritische Gruppe (das sind die zehn höchstbelasteten Kinder in einem Messort) bestimmt. Zur Abschätzung der Gesamtdosis ist zur internen Dosis der Beitrag der externen Dosis hinzuzuaddieren, der für den jeweiligen Messort einheitlich festgelegt wurde.

In Abbildung 13 sind für zwei Messorte die arithmetischen Mittelwerte der internen Dosis für verschiedene Altersgruppen dargestellt und um den Mittelwert für die jeweilige kritische Gruppe ergänzt.

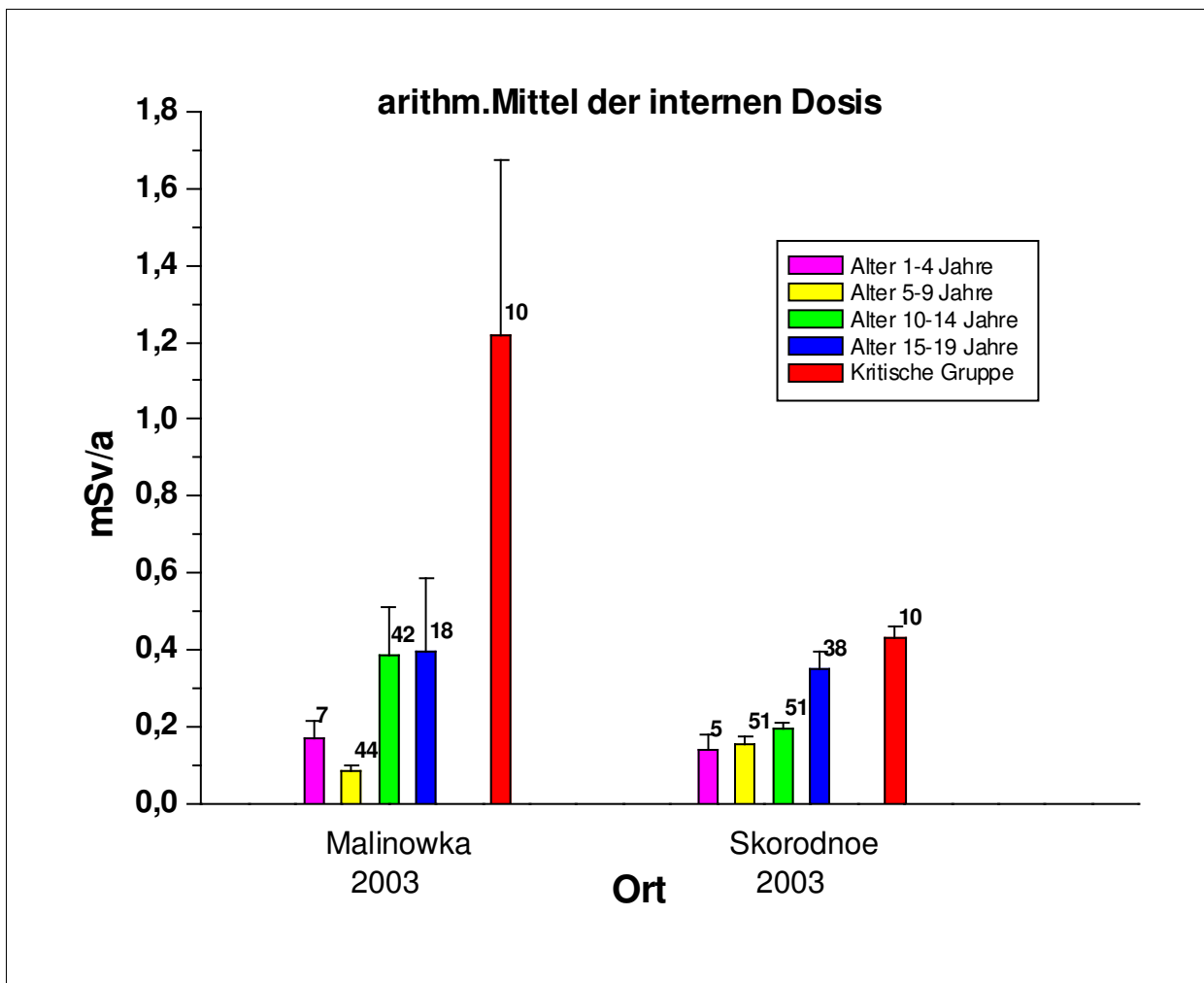


Abbildung 13 : Zwei Beispiele für die Ergebnisse zur internen Dosis aus den Messungen der 2. Projektphase. Die Zahlen an den Säulen geben die Zahl der Personen an. Die kritische Gruppe wurde unabhängig von der Altersklasse definiert.

Ein wichtiges Ergebnis der Reihenuntersuchungen ist, dass es durch Inkorporation immer noch zu Jahresdosen kommen kann, die auch für Kinder über 1 mSv/a betragen.

4. METHODIK UND ERGEBNISSE IN PROJEKTPHASE 3

Doppelblindstudie

Für die Doppelblindstudie in Phase 3 zur potentiellen Dekorporationswirkung von Pektinen wurde der Aufenthalt von Kindern aus kontaminierten Gebieten in Sanatorien genutzt. Solche Aufenthalte dauern typischerweise 3 Wochen. In diesem Rhythmus wechselt auch die Belegung des Sanatoriums. Zu Beginn des Aufenthaltes wurden Eingangsmessungen mit einem portablen Ganzkörperzähler für alle Kinder durchgeführt, die am Sanatoriumsaufenthalt teilnahmen. Eine Wiederholungsmessung am Ende des Kuraufenthaltes wurde angeboten und von den meisten Kindern auch wahrgenommen. Insgesamt wurden 6600 Ganzkörpermessungen durchgeführt. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Eingangsmessungen (spezifische Körperaktivität an ^{137}Cs) wurden für die Doppelblindstudie insgesamt 8 Gruppen von Kindern gebildet, die über einen Zeitraum von zwei Wochen unter kurärztlicher Aufsicht mit Vitapekt¹ behandelt wurden. Dieselbe Anzahl von Kontrollgruppen erhielt statt Vitapekt ein Placebopräparat. Die Ergebnisse wurden mit Modellrechnungen verglichen. Ergänzend wurden medizinische Begleituntersuchungen durchgeführt und ausgewählte Lebensmittel auf ihren ^{137}Cs -Gehalt untersucht.

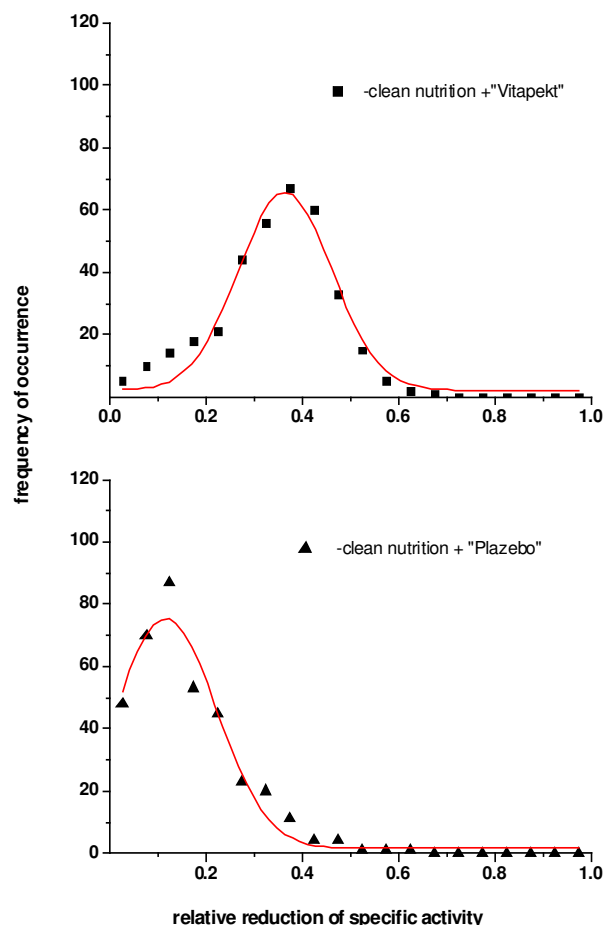


Abbildung 14 : Die relative Reduktion der spezifischen Cs-Aktivität für die beiden Untersuchungsgruppen

¹ Vitapekt enthält neben Apfelppektinen auch Vitamine und Mineralstoffe

Die Auswertung der Doppelblindstudie zeigt, dass die mittlere relative Reduzierung der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität im zweiwöchigen Untersuchungszeitraum in der Vitapektgruppe ungefähr 33 % beträgt, in der Placebogruppe dagegen nur etwa 14 % (vgl. Tabelle 3) .

Tabelle 3 : Statistische Auswertung der Doppelblindstudie

	Pektingruppe	Placebogruppe
Relative Reduktion der spezifischen Aktivität (%)		
Arithmetischer Mittelwert	32,4 ($\pm 0,6$)	14,2 ($\pm 0,5$)
Median	33,6	13,1
Standardabweichung	10,5	8,5
Anzahl der untersuchten Kinder		
männlich	149	170
weiblich	136	160
gesamt	285	330
Alter der Kinder (Jahre)		
Minimum	5	6
Maximum	18	18
Arithmetischer Mittelwert	12,9 ($\pm 0,2$)	12,6 ($\pm 0,2$)
Median	13,0	12,5
Standardabweichung	3,0	3,1
Gewicht der Kinder (kg)		
Minimum	19	17
Maximum	81	79
Arithmetischer Mittelwert	43,0 ($\pm 0,8$)	41,6 ($\pm 0,7$)
Median	43,0	41,0
Standardabweichung	13,2	13,2
Spezifische Aktivität der Kinder bei der 1. Messung (Bq/kg)		
Minimum	17	16
Maximum	582	332
Arithmetischer Mittelwert	58,2 ($\pm 3,4$)	50,8 ($\pm 2,0$)
Median	42,0	40,6
Standardabweichung	56,6	37,1

Die Placebogruppe repräsentiert auch den Einfluss der im Sanatorium verwendeten sauberen Nahrungsmittel. Die Reduktion der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität ist dabei wesentlich auf den Abbau durch den normalen Stoffwechsel mit der biologischen Halbwertszeit zurückzuführen. Vitapekt führt offensichtlich zu einer Dekorporation, die weit darüber hinaus geht, also de facto die biologische Halbwertszeit verkürzt.

Modellierung

Unter der Annahme, dass Vitapekt die Aufnahme von Cäsium im Magen-Darmtrakt blockiert und damit auch Recycling-Vorgänge effektiv unterbindet und die Aktivität in den einzelnen Organen der Gleichgewichtsverteilung entspricht , wurden theoretische Rechnungen mit einem Kompartimentmodell [Leg06] durchgeführt. Das Modell gilt streng genommen für Erwachsene,

sollte aber in erster Näherung in den Retentionsverläufen entsprechend der unterschiedlichen effektiven biologischen Halbwertszeit der verschiedenen Altersgruppen skalierbar sein. Entsprechend sind die Ergebnisse der Rechnungen in Abbildung 15 dargestellt. Die in der experimentellen Studie beobachtete Reduktion der effektiven biologischen Halbwertszeit ist in der Abbildung auf der Abzisse markiert und wird durch diese Modellrechnung gut wiedergegeben.

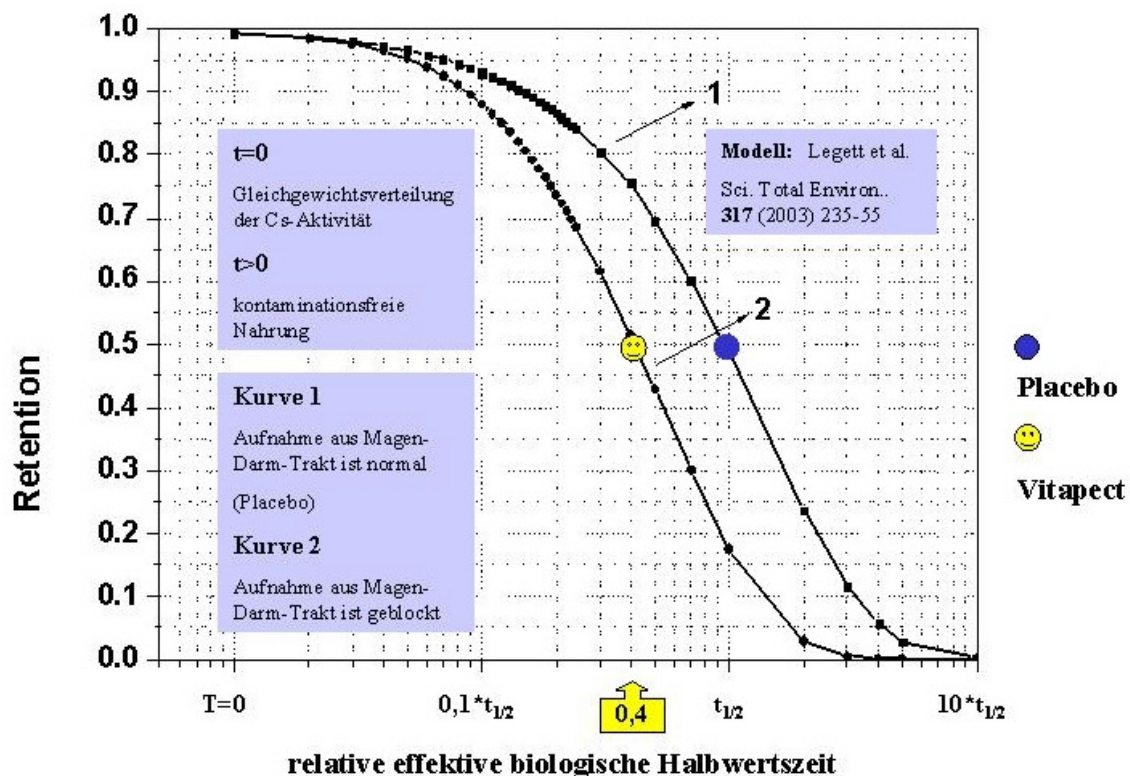


Abbildung 15: Auf die effektive biologische Halbwertszeit skalierte Retentionsfunktionen die aus dem Modell von Leggett et al. berechnet wurden. Dabei wurde angenommen, dass bei Beginn der Pektinkur die Aktivität in den einzelnen Organen der Gleichgewichtsverteilung entspricht. Kurve 1 zeigt den reinen Effekt sauberer Nahrung. Kurve 2 zeigt den Verlauf, wenn zusätzlich die Absorption von Cäsium aus dem Magen-Darm-Trakt vollständig blockiert ist. Gelb markiert ist die in der experimentellen Studie beobachtete Reduktion der effektiven biologischen Halbwertszeit.

Dosisreduktion

Eine Frage von besonderem Interesse ist, in welcher Höhe eine Pektinkur zur Dosisreduktion beiträgt. Eine Abschätzung ist zunächst für vereinfachte Szenarien und die ICRP-Altersklasse '10 Jahre' durchgeführt worden. Es wurde angenommen, dass zu Beginn der Kur die Cs-Verteilung im Körper zwischen den verschiedenen Organen im Gleichgewicht ist. Es wurde weiter angenommen, dass die beobachtete Körperaktivität aus einer gleichmäßigen Zufuhr durch Ingestion stammt. Bei der betrachteten Altersklasse kann nach einem Jahr kontinuierlicher Aktivitätszufuhr das Erreichen des Gleichgewichts angenommen werden. Allen Szenarien ist gemeinsam, dass nach Ende der Behandlung ein Wiederaufbau der Körperaktivität mit derselben Ingestionsrate angenommen wird wie vor der Behandlung (Rückkehr in die alten Verhältnisse ohne weitere ingestionsreduzierende Maßnahmen).

In der Tabelle 4 ist für drei Szenarien der prozentuale Anteil der effektiven Dosis angegeben, der im Laufe eines Jahres nach Beginn einer kurmäßigen Behandlung mit Pektinen vermieden werden könnte. Gegenübergestellt ist für die gleichen Behandlungszeiträume der Effekt sauberer Nahrungsmittel alleine. Szenario 1 entspricht der Situation im durchgeführten Doppelblindversuch. Entsprechend den Szenarien 2 und 3 könnte eine kurmäßige Behandlung in Dörfern erfolgen. Es sei daran erinnert, dass die Rechnungen einer kompletten Blockierung der Aufnahme aus dem Magen-Darm-Trakt entsprechen. Sollte die Blockade in der Realität doch nicht ganz komplett sein, ist der relative Prozentsatz der vermiedenen Dosis kleiner als in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 : Der Anteil der effektiven Dosis aus der Inkorporation von ^{137}Cs der in der ICRP-Altersklasse '10 Jahre' durch eine Pektinkur innerhalb eines Jahres nach Beginn vermieden wird. Siehe auch Text. Die Ziffern sind mit zwei signifikanten Stellen angegeben.

Kurzbeschreibung des Szenarios	Dosiseinsparung		
	Pektin (*)	Saubere Nahrung	Verhältnis Pektin/Nahrung
<i>Szenario 1: Eine Pektinkur von zwei Wochen Dauer</i>	12 %	8%	1,5
<i>Szenario 2: Eine Pektinkur von vier Wochen Dauer</i>	18 %	12 %	1,5
<i>Szenario 3: Pektinkur von vier Wochen Dauer, die nach einem halben Jahr wiederholt wird</i>	33 %	22 %	1,5

*) Berechnet unter der Annahme einer vollständigen Blockade der Aufnahme von ^{137}Cs aus dem Magen-Darm-Trakt

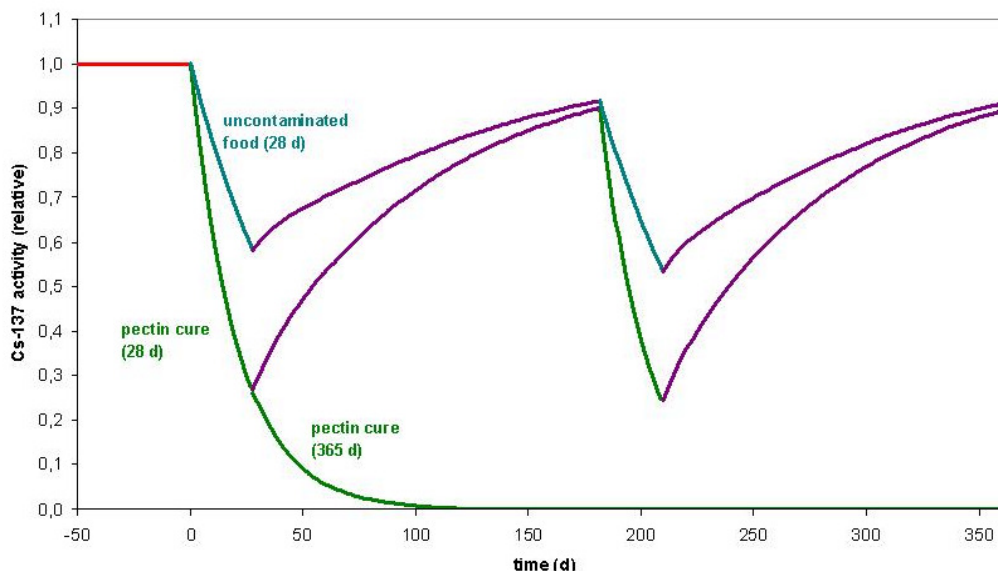


Abbildung 16 : Retentionsfunktion für die ICRP-Altersgruppe '10 Jahre' im Falle einer Pektinkur von vier Wochen Dauer, die nach einem halben Jahr wiederholt wird. Zum Vergleich: der Effekt sauberer Nahrungsmittel für gleiche Verwendungszeiträume.

Die zeitliche Entwicklung der Ganzkörperretention von Cs ist für Szenario 3 in Abb. 16 dargestellt. Im Hinblick auf die Finanzierung von Pektinkuren durch Dritte, wie in Belarus bereits praktiziert, ist dieses Szenario von besonderem Interesse. Bis zu einem Drittel der Jahresdosis könnten durch jährlich zwei Pektinkuren von je 4 Wochen Dauer vermieden werden.

In Abb. 16 ist aus akademischem Interesse die Retentionskurve ergänzt, die sich für eine ganzjährige tägliche Pektingabe ergäbe. Es zeigt sich zwar eine hohe dekontaminierende Wirkung, aber die Frage von möglichen Nebenwirkungen bei einer Einnahme über solche Zeiträume hinweg sollte besser als bisher geklärt werden. Der beste Weg der Reduzierung der Inkorporationsdosis bleibt also die dauerhafte Ernährung mit sauberer Nahrung. In Fällen in denen aus irgendeinem Grund saubere Nahrungsmittel nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen, mag die zusätzliche kurmäßige Anwendung von Pektinpäparaten, z.B. entsprechend Szenario 3, bei der Reduzierung und Vermeidung von zu hohen Dosen durch die Inkorporation von ^{137}Cs jedoch nützlich sein.

Tabelle 5 : Ergebnisse der Blutuntersuchungen zur Spurenelementkonzentration zu Beginn und Ende des Aufenthaltes im Sanatorium

	Konzentration von Spurenelementen in Blutproben							
	Vitapekt-Gruppe				Plazebo-Gruppe			
	K (n = 99)	Zn (n = 93)	Cu (n = 67)	Fe (n = 87)	K (n = 31)	Zn (n = 34)	Cu (n = 30)	Fe (n = 29)
Beginn	4,08 ± 0,06	22,2 ± 0,4	16,1 ± 0,8	16,4 ± 0,7	4,09±0,09	23,3 ± 1,1	16,4 ± 0,9	17,4 ± 1,5
Ende	4,01 ± 0,06	20,4 ± 0,5	18,4 ± 0,7	16,7 ± 0,6	4,3 ± 0,2	20,8 ± 0,7	18,4 ± 0,9	17,7 ± 1,4
Normbereich	3,1 - 4,7 mmol/l	10,7 - 22,9 µmol/l	14,3 - 29,8 µmol/l	8,9 - 21,5 µmol/l	3,1 - 4,7 mmol/l	10,7 - 22,9 µmol/l	14,3 - 29,8 µmol/l	8,9 - 21,5 µmol/l

Begleitende medizinische Untersuchungen

Alle an der Doppelblindstudie beteiligten Kinder waren während des Aufenthaltes in den Sanatorien unter medizinischer Kontrolle. Medizinische Begleituntersuchungen betrafen u. a. den Spurenelementhaushalt. Es konnte insbesondere gezeigt werden, dass der Gebrauch von Vitapekt (10 g täglich) für den Zeitraum von 10-14 Tagen ein positives Gleichgewicht der Spurenelemente Kalium, Kupfer, Zink und Eisen erhält (Tabelle 5). Es wird zwar erwartet, dass sich dies für eine Anwendungsdauer von 4 Wochen nicht wesentlich ändert, aber das sollte künftig noch näher untersucht werden. Leider konnten diese Blutanalysen nicht für alle Kinder durchgeführt werden. Weitere Untersuchungen betrafen insbesondere das Herz-Kreislaufsystem.

Pektin-Effekt bei kontaminierter Nahrung

Es wäre noch zu untersuchen, wie hoch der Pektin-Effekt bei unveränderter Ernährungssituation (kontaminierte Nahrung) wäre. Erstens entspricht dies mehr der realen Situation in den kontaminierten Gebieten, zweitens könnte bewertet werden, inwieweit die Blockade im Darm tatsächlich vollständig ist.

Auf der Basis der Reihenuntersuchungen (Gesamtdosis der kritischen Gruppe) in der Projektphase 2 wurden für eine vierte Projektphase zunächst 23 Orte in den Landkreisen Tschechersk, Elsk, Kalinkowitschi, Korma, Lelschitsi, Narowlja, Stolin, Wetka und Zhitkowitschi für entsprechende Messungen vorgeschlagen. Leider kam es zu massiven administrativen Verzögerungen, die Projektnehmer und Unterauftragnehmer nicht zu verantworten hatten. Von daher konnten diese Untersuchungen wegen Zeitablauf im Rahmen dieses Projektes nicht mehr durchgeführt werden.

5. Zusammenfassung

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass der Körpergehalt an ^{137}Cs durch eine Pektinkur (z.B. mit Vitapekt) signifikant reduziert werden kann. Für die ICRP-Altersklasse '10 Jahre' weist ein vereinfachtes Szenario darauf hin, dass eine Reduktion um bis zu einem Drittel der jährlichen Inkorporationsdosis durch jährlich zwei Pektinkuren von vier Wochen Dauer erreichbar ist.

Auf längere Sicht bleibt der empfehlenswerteste Weg Dosis zu vermeiden die Verwendung sauberer Nahrung. Soweit dies nicht möglich ist oder nur eine Verringerung der Lebensmittelkontamination erreichbar ist , können Pektinkuren hilfreich sein um hohe Inkorporationsdosen durch ^{137}Cs zu vermeiden.

Beim derzeitigen Stand der Untersuchungen ist noch nicht nachgewiesen, dass der unter Sanatoriumsbedingungen bei gleichzeitiger Verwendung sauberer Nahrungsmittel beobachtete Effekt der Pektine direkt auf die Verhältnisse unter den normalen Lebensbedingungen in den Dörfern und Städten der kontaminierten Gebiete übertragen werden kann. Zusätzliche Untersuchungen zur Klärung dieser Frage wären erforderlich. Insofern müssen die gezogenen Rückschlüsse auch noch als vorläufig gelten.

6. Mögliche Weiterführung

In weiterführenden Untersuchungen wäre es wichtig Feldstudien in Dörfern durchzuführen, um die Gültigkeit der Ergebnisse unter normalen Lebensbedingungen zu überprüfen und mit grösseren Fallzahlen evtl. auch eine Aussage zur Altersabhängigkeit der Effekte treffen zu können. Jedenfalls erscheint es dringend geboten, durch geeignete Strahlenschutzmaßnahmen für jedes Kind in den hochkontaminierten Gebieten eine Dosis unter 1 mSv/a sicherzustellen. Dieses Ziel wird bisher nicht mit dem nötigen Nachdruck verfolgt und sollte aus wissenschaftlichen und humanitären Gründen unbedingt realisiert werden.

Ausgewählte Publikationen

1. Hill, P., Schläger, M., Dederichs, H., Lennartz, R., Hille, R., Babenko, V. I., Nesterenko, A. V., Nesterenko, V.B.; *Evaluation of the Current Radiation Burden of Children Living in Regions Contaminated by the Chernobyl Accident*, IRPA 11, May 23-28, 2004, Madrid, Spain, paper ID 789 (on CD-ROM)
2. Schläger, M., Dederichs, H., Lennartz, R., Hill, P., Hille, R., Babenko, V. I., Nesterenko, A. V., Nesterenko, V.B.; *Intercalibration and intervalidation of in-vivo monitors used for whole-body measurements within the framework of a German-Belarussian project*, IRPA 11, May 23-28, 2004, Madrid, Spain, paper ID 839 (on CD-ROM)
3. Hill, P., Schläger, M., Vogel, V., Hille, R., Nesterenko, A. V., Nesterenko, V.B.; *Studies on the current ^{137}Cs body burden of children in Belarus – can the dose be further reduced ?*, Proceedings IM2005, April 11- 15, 2005, Vienna , Austria; submitted to Radiation Protection Dosimetry
4. Hill, P., Schläger, M., Vogel, V., Hille, R., Nesterenko, A. V., Nesterenko, V.B; *On the reduction of internal radiation doses resulting from ingestion of Cs-137 in areas contaminated by the Chernobyl accident*, Proceedings 2nd European IRPA conference, May 15-19, 2006, Paris, paper ID P-xx (on CD-ROM)

Danksagungen

V.Vogel, H.Dederichs, R.Lennartz, Th.Opitz, J.Höbig, G.Henschke, L.Henschke
V.I.Babenko, BELRAD- Mitarbeiter

Referenzen

- [Kov01] Kovtun, A. N., Firsanov, V. B., Fominykh, V. I., Isaakyan, G. A., *Metrological parameters of the unified calibration whole-body phantom with gamma-emitting radionuclides*, Rad. Prot. Dosim. 89 (2000) 239 – 242
- [Leg06] Leggett RW, Williams LR, Melo DR, Lipsztein JL. *A physiologically based biokinetic model for Caesium in the human body*. Sci. Total Environ. 317 (2003) 235-55
- [Uns00] United Nations. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with annexes. Vol. I/II*.United Nations sales publication E.00.IX.3/ E.00.IX.4, United Nations, New York, 2000

ggfls. um weitere Referenzen zu ergänzen
--

Anhang 1

Datenbankstruktur

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Die Datenbank (Microsoft Access 97) mit den Messergebnissen umfasst die beiden Tabellen *Messorte* und *Messungen*, die Informationen über die verschiedenen Messorte (z. B. geographische Lage und örtliche Bodenkontamination) bzw. die eigentlichen Messdaten (Aktivitäten), dosimetrische Ergebnisse und personenbezogene Daten enthalten. Die Tabellen sind durch eine Fremdschlüsselbeziehung verknüpft (das Fremdschlüsselfeld *MessortID* der Tabelle *Messungen* bezieht sich auf den Primärschlüssel *ID* der Tabelle *Messorte*).

Die folgende Auflistung zeigt im Detail die Datentypen und die Beschreibung der einzelnen Felder in den Tabellen *Messorte* und *Messungen*.

Struktur der Tabelle „Messorte“

Feldname	Beschreibung des Feldinhalts	Datentyp	Feldgröße (Byte)
ID	Primärschlüssel des Messortes	Zahl (Long)	4
Messort	Name des Messortes	Text	50
Messort_Info	Weitere Angaben zum Messort	Text	255
Kreis	Kreis, zu dem der Messort gehört	Text	50
Region	Region, in der der Messort liegt	Text	50
Bodenkontamination	Cs-137-Bodenkontamination (in Ci pro Quadratkilometer)	Zahl (Double)	8
Bodenkontamination_von	untere Bereichsgrenze für die Cs-137-Bodenkontamination (in kBq pro Quadratmeter)	Zahl (Double)	8
Bodenkontamination_bis	obere Bereichsgrenze für die Cs-137-Bodenkontamination (in kBq pro Quadratmeter)	Zahl (Double)	8
Jahr	Stand der Information über die Bodenkontamination (Jahreszahl)	Zahl (Integer)	2
Quelle	Quelle der Information über die Bodenkontamination	Text	255
Messungen_Belrad	Anzahl der von Belrad im Messort durchgeführten Messungen	Zahl (Long)	4

Struktur der Tabelle „Messungen“

Feldname	Beschreibung des Feldinhalts	Datentyp	Feldgröße (Byte)
MessortID	Identifikationsnummer des Messortes; Fremdschlüsselverweis auf Tabelle „Messorte“	Zahl (Long)	4
MessJahr	Jahr der Messung	Zahl (Integer)	2
GebJahr	Geburtsjahr der gemessenen Person	Zahl (Integer)	2
Gewicht	Gewicht der gemessenen Person zum Zeitpunkt der Messung	Zahl (Integer)	2
Aktivitaet	gemessene Cs-137-Aktivität (in kBq)	Zahl (Double)	4
Nachname	Nachname der gemessenen Person	Text	50
Vorname	Vorname der gemessenen Person	Text	50
Datum	Datum der Messung	Datum/Zeit	8
Groesse	Größe der gemessenen Person (in cm) zum Zeitpunkt der Messung	Zahl (Integer)	2
Geschlecht	1 = männlich; 2 = weiblich	Zahl (Integer)	2
GeburtsDat	Geburtsdatum der gemessenen Person	Datum/Zeit	8
A_Unit	Aktivitätseinheit für die Felder CS137AKT, CS134AKT und K40AKT	Text	7
A_Prefix	Präfix zu A-Unit: n = nano; u = mikro	Text	1
Kommentar	Bemerkungen zur Messung	Text	80
CounterNu	Nummer des Ganzkörperzählers	Zahl (Integer)	2
CS134AKT	gemessene Cs-134-Aktivität (Einheit siehe Feld A-Unit)	Zahl (Double)	8
CS134ERROR	relative Unsicherheit der Cs-134-Aktivität (in %)	Zahl (Double)	8
CS137AKT	gemessene Cs-137-Aktivität (Einheit siehe Feld A-Unit)	Zahl (Double)	8
CS137ERROR	relative Unsicherheit der Cs-137-Aktivität (in %)	Zahl (Double)	8
K40AKT	gemessene K-40-Aktivität (Einheit siehe Feld A_Unit)	Zahl (Double)	8

K40ERROR	relative Unsicherheit der K-40-Aktivität (in %)	Zahl (Double)	8
ProtoNu	Protokollnummer	Zahl (Long)	4
Organisation	Organisation, von der die Messung durchgeführt wurde (FZJ oder BELRAD)	Text	10
MessMonat	Monat der Messung	Zahl (Integer)	2
Messkampagne	Nummer der Messkampagne	Zahl (Integer)	2
SpezAkt	spezifische Aktivität (in Bq/kg)	Zahl (Double)	8
Intervall	Klassifizierung nach Gesamtdosis (G1, G2, G3)	Text	10
IntDosis	"Interne Dosis" (in mSv/a)	Text	10
GesDosis	Gesamtdosis (in mSv/a)	Text	10
Messort	Ort an dem die Messung durchgeführt wurde	Text	50
OrtKommentar	zusätzliche Angaben zum Messort	Text	255
Nummer	laufende Nummer in der Original-Datei	Zahl (Integer)	2
fehlerhaft	Verdacht auf fehlerhafte Daten?	Ja/Nein	1
geprüft	wurde der Datensatz kontrolliert? (manuell oder durch Prüfprogramme)	Ja/Nein	1
nachbearbeitet	Wurde der Datensatz korrigiert bzw. ergänzt?	Ja/Nein	1
Fehlerbeschreibung	Kommentar zum Feld „fehlerhaft“	Text	255
erwachsen	War die Person zum Zeitpunkt der Messung älter als 18 Jahre?	Ja/Nein	1
Groesse_durch_Gewicht	Hilfsfeld für Zwischenrechnung	Zahl (Double)	8

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Anhang 2

Messplätze

SCRINNER-3

BELRAD verfügt über sieben tragbare in-vivo-Monitore des Typs Skinner-3M (Abb. 18), die in der Ukraine hergestellt wurden. Mit diesen sesselförmigen Ganzkörperzählern werden Personen im Sitzen gemessen; die Standardmesszeit beträgt 3 Minuten. Jedes der Geräte enthält einen zylinderförmigen Natriumiodid-Detektor (NaI(Tl)) mit 15 cm Durchmesser und 10 cm Länge, der sich in einem nach hinten abgeschirmten Gehäuse in der Rückenlehne befindet. Bei einer Messzeit von 3 Minuten und niedrigem Strahlungsuntergrund liegt die Nachweisgrenze für Cs-137 bei etwa 0,6 kBq.



Abbildung 16 : In-vivo-Monitor SKRINNER-3M mit Steuerungs-PC und Drucker

FastScan (Canberra)

Im FastScan steht die Person während der Messung in einer kleinen durch Stahlplatten abgeschirmten Kabine (Abb. 19). Das FastScan-System ist fest in einem Container eingebaut, der mit einer Zugmaschine transportiert werden kann.

Das FastScan-System enthält zwei große quaderförmige Natriumiodid-Detektoren mit den Abmessungen $7,6 \times 12,7 \times 40,6$ cm. Diese befinden sich in der Säule vor der stehenden Person, bei Erwachsenen in der Regel in der Höhe Brustraum und Unterleib. Bei einer Standardmesszeit von einer Minute erreicht der FastScan für Cs-137 eine Nachweisgrenze von etwa 0,3 kBq (Erwachsene) bzw. 0,15 kBq bei kleineren Kindern. Zur Datenaufnahme werden zwei AccuSpec-Vielkanalanalysatoren eingesetzt.

Das Messsystem wurde auch mit Softwarepaketen von Canberra gesteuert, und zwar mit AccuSpec/Abacos-PC unter DOS.



Abbildung 17:
Messposition für
Kleinkinder

Mobile Ganzkörperliegen (Eigenentwicklung FZJ)

Die beiden Ganzkörpermessliegen bestehen aus einer wannenförmigen Bleiabschirmung, die mit einer gepolsterten Aluminiumplatte abgedeckt ist, auf der die Person während der Messung liegt. Die beiden anderen Messgeräte können entweder (zusätzlich zum FastScan) im Container oder in kleineren Transportern installiert werden. Grosse und kleine Liege unterscheiden sich im wesentlichen nur in der Dimension der Abschirmung.

Jedes der beiden Messgeräte enthält zwei große quaderförmige Natriumiodid-Detektoren mit den Abmessungen $7,6 \times 12,7 \times 40,6$ cm. Dabei handelt es sich um denselben Detektortyp, wie in Canberras FastScan-System. Die beiden Detektoren sind in den Liegen innerhalb der Bleiwanne unter dem Rücken der liegenden Person angeordnet. Bei einer Standardmesszeit von einer Minute erreicht der FastScan für Cs-137 eine Nachweisgrenze von etwa 0,3 kBq; die Nachweisgrenze für die beiden Liegen ist etwas niedriger.

Alle drei Messsysteme wurden mit Softwarepaketen von Canberra gesteuert: Der FastScan und die große Liege mit AccuSpec/Abacos-PC unter DOS, die kleine Liege mit Genie 2000/Abacos 2000 unter Windows 2000.

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Anhang 3

Phantome

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

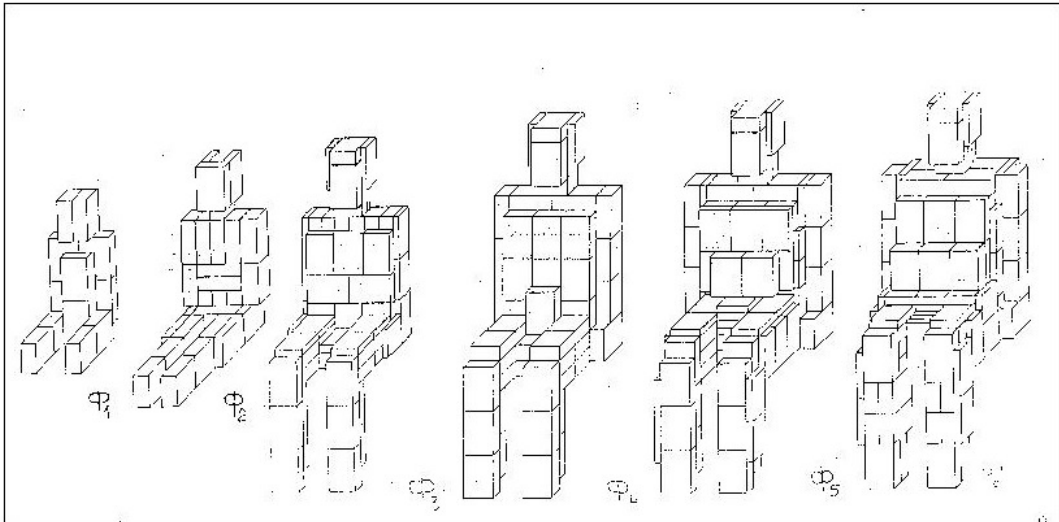


Abbildung 18 : St.Petersburger Blockziegelphantom konfiguriert für sitzende Messungen

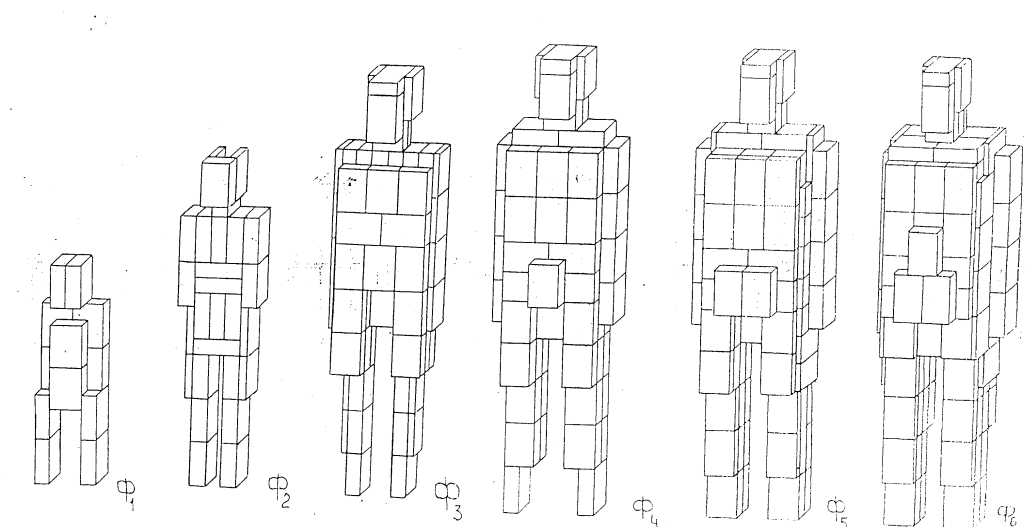


Abbildung 19 : St.Petersburger Blockziegelphantom konfiguriert für stehende Messungen

Das St.Petersburger Blockziegelphantom [Kov 01] ist im FZJ aber auch bei der Weisrussischen Eichbehörde vorhanden. In Abb. 6-7 sind die standardmäßigen Konfigurationen für die den sechs Körpergewichten 12 kg, 24 kg, 50 kg, 70 kg, 90 kg und 110 kg entsprechen dargestellt. Verwendet wurde das Phantom im Rahmen dieser Studie für den Gewichtsbereich 12 kg bis 70 kg.

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Anhang 4

Messorte der Projektphase 2

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Platzhalter

Liste der vorgesehen Messorte für Projektphase 2 wurde
am 29.5.2002 dem BfS übersandt.

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Anhang 5

Messergebnisse der Vitapekt- und Placebogruppen in den Sanatorien

- Seite aus drucktechnischen Gründen unbeschriftet -

Messungen während der Sanatoriumsaufenthalte von Kindern

Die Ganzkörpermessungen in den Sanatorien im Rahmen der Projektphase 2 wurden in der Periode vom 17. November 2003 bis zum 7. April 2004 ausgeführt (insgesamt 6631) . Im Einzelnen wurde bei acht Sanatoriumsaufenthalten das vorgesehene Messprogramm durchgeführt:

- 1.Fahrt – 17.11.2003 – 02.12.2003, «Serebrjanyje Klutschi»- 329 Erstmessungen und 295 Wiederholungsmessungen, insgesamt 624.
- 2.Fahrt – 05.01.2004 – 21.01.2004, «Serebrjanyje Klutschi»- 430 Erstmessungen und 413 Wiederholungsmessungen, insgesamt 843.
- 3.Fahrt – 27.01.2004 – 11.02.2004, «Serebrjanyje Klutschi»- 468 Erstmessungen und 458 Wiederholungsmessungen, insgesamt 926.
- 4.Fahrt – 19.02.2004 – 03.03.2004, «Serebrjanyje Klutschi» - 483 Erstmessungen und 468 Wiederholungsmessungen, insgesamt 951.
- 5.Fahrt – 05.02.2004 – 21.02.2004, «Lesnyje Dali»- 242 Erstmessungen und 189 Wiederholungsmessungen, insgesamt 431.
- 6.Fahrt – 26.02.2004 – 12.03.2004, «Lesnyje Dali» - 198 Erstmessungen und 237 Wiederholungsmessungen, insgesamt 435.
- 7.Fahrt – 15.03.2004 – 29.03.2004, «Serebrjanyje Klutschi» - 492 Erstmessungen und 443 Wiederholungsmessungen, insgesamt 935.
- 8.Fahrt – 24.03.2004–06.04.2004, «Lesnyje Dali» - 188 Erstmessungen und 155 Wiederholungsmessungen, insgesamt 343.

Bei allen numerierten Fahrten wurden Vitapekt- und Placebogruppen gebildet und medizinische Untersuchungen durchgeführt. Zwei zusätzliche Untersuchungsperioden kommen hinzu :

- ohne Nummer – 10.12.2003 – 23.12.2003, «Serebrjanyje Klutschi» - 470 Erstmessungen und 418 Wiederholungsmessungen, insgesamt 888. Es wurde kein Vitapekt und auch keine Placebos gegeben. Die Messungen zielten darauf ab, den reinen Effekt der sauberen Nahrungsmittel nachzuweisen.
- ohne Nummer – 06.01.2004 – 19.01.2004, Sanatorium „Belorusotschka“ – 168 Erstmessungen und 87 Wiedermessungen, insgesamt 255. Kinder und Eltern waren nicht einverstanden, medizinisch untersucht zu werden. Deshalb wurde das Programm für diesen Sanatoriumsaufenthalt nicht fortgesetzt.

Bei jedem dieser Sanatoriumsaufenthalte handelt es sich um eine unterschiedliche Gruppe von Kindern.

1. Aufenthalt (Sanatorium «Serebrjanyje Kljutschi», 17.11.2003 – 02.12.2003)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	17.11.2003	02.12.2003	17.11.2003	02.12.2003
Mittlere spez.Aktivität, Bq/kg	71,42	57,22	77,41	55,05
Mittleres Abweichungsquadrat	± 6,32	± 5,40	± 8,41	± 6,25
Reduktion, %		20		29
Stichprobenumfang (n)	48	48	46	46
Student-Kriterium		2,41		3,02
Zuverlässigkeit		p < 0,01		p < 0,01
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		14		14

2. Aufenthalt (Sanatorium «Serebrjanyje Kljutschi», 05.01.2004 – 21.01.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	05.01.2004	21.01.2004	05.01.2004	21.01.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	44,45	38,90	44,73	34,83
Mittleres Abweichungsquadrat	± 2,23	± 2,00	± 2,25	± 1,81
Reduktion, %		12		22
Stichprobenumfang (n)	45	45	42	42
Student-Kriterium		2,63		4,85
Zuverlässigkeit		p < 0,01		p < 0,01
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		15		15

3. Aufenthalt (Sanatorium «Serebrjanyje Kljutschi», 27.01.2004 – 11.02.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	27.01.2004	11.02.2004	27.01.2004	11.02.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	42,21	34,26	44,41	30,32
Mittleres Abweichungsquadrat	± 2,60	± 2,13	± 4,58	± 3,98
Reduktion, %		19		32
Stichprobenumfang (n)	42	42	44	44
Student-Kriterium		3,35		3,28
Zuverlässigkeit		p < 0,01		p < 0,01
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		14		14

4. Aufenthalt (Sanatorium «Serebrjanyje Kljutschi», 19.02.2004 – 03.03.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	19.02.2004	03.03.2004	19.02.2004	03.03.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	55,60	43,28	60,69	41,23
Mittleres Abweichungsquadrat	± 6,40	± 4,57	± 10,14	± 7,23
Reduktion, %		21		32
Stichprobenumfang (n)	50	50	44	44
Student-Kriterium		2,11		2,20
Zuverlässigkeit		p < 0,01		p < 0,01
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		12		12

5. Aufenthalt (Sanatorium «Lesnyje Dali», 05.02.2004 – 21.02.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	05.02.2004	21.02.2004	05.02.2004	21.02.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	71,74	60,71	76,01	47,87
Mittleres Abweichungsquadrat	± 6,99	± 5,63	± 8,48	± 8,48
Reduktion, %		15		37
Stichprobenumfang (n)	47	47	47	47
Student-Kriterium		1,74		4,07
Zuverlässigkeit		p < 0,09		p < 0,01
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		15		15

6. Aufenthalt (Sanatorium «Lesnyje Dali», 26.02.2004 – 12.03.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	26.02.2004	12.03.2004	26.02.2004	12.03.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	21,13	18,40	21,31	12,42
Mittleres Abweichungsquadrat	± 0,60	± 0,56	± 0,64	± 0,46
Reduktion, %		13		41
Stichprobenumfang (n)	50	50	50	50
Student-Kriterium		4,70		15,95
Zuverlässigkeit		p < 0,01		p < 0,01
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		14		14

7. Aufenthalt (Sanatorium «Serebrjanyje Kljutschki», 15.03.2004 – 29.03.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	15.03.2004	29.03.2004	15.03.2004	29.03.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	45,23	39,39	55,95	35,98
Mittleres Abweichungsquadrat	$\pm 2,44$	$\pm 1,64$	$\pm 12,33$	$\pm 7,86$
Reduktion, %		13		36
Stichprobenumfang (n)	45	45	44	44
Student-Kriterium		2,81		1,92
Zuverlässigkeit		$p < 0,01$		$p < 0,05$
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage		13		13

8. Aufenthalt (Sanatorium «Lesnyje Dali», 23.03.2004 – 06.04.2004)

Kennziffern	Gruppe «Plazebo»		Gruppe «Vitapekt»	
	23.03.2004	06.04.2004	23.03.2004	06.04.2004
Mittlere spezifische Aktivität, Bq/kg	42,87	36,65	42,19	24,80
Mittleres Abweichungsquadrat	$\pm 6,52$	$\pm 5,46$	$\pm 7,35$	$\pm 4,56$
Reduktion, %		15		41
Stichprobenumfang (n)	45	45	40	40
Student-Kriterium		1,03		2,84
Zuverlässigkeit		$p < 0,68$		$p < 0,01$
Zeitraum der Einnahme des Präparats, Anzahl der Tage				

Die statistische Auswertung im Hauptteil ist gegenüber diesen Tabellen verfeinert.