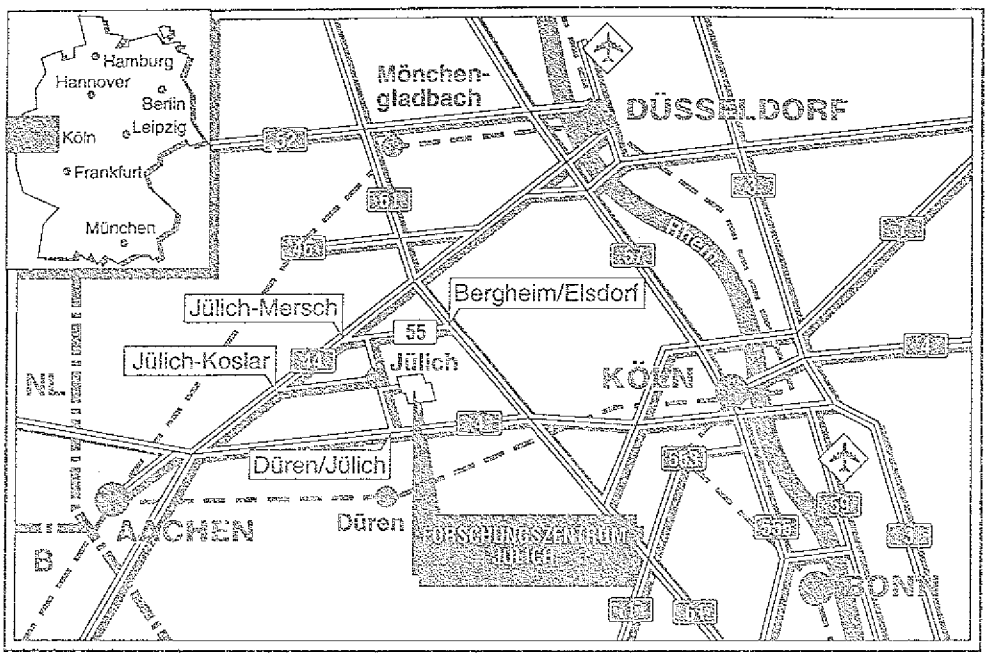
FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

Messungen in der Umgebung von Tschernobyl

Maximilian Heinzelmann
Friedel Schirmer



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2513
ISSN 0366-0885
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jül-2513

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
Postfach 1913 · D-5170 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d

Messungen in der Umgebung von Tschernobyl

Maximilian Heinzelmann
Friedel Schirmer

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Die Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz des Forschungszentrums Jülich beteiligte sich mit einer Meßfahrt an dem IAEA-Projekt zur Bestimmung der radiologischen Konsequenzen in der UdSSR aus dem Tschernobyl Unfall (Assess the Radiological Consequences in the USSR from the Chernobyl Accident). Für diese Meßfahrt waren geplant

- das in der Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz entwickelte Suchgerät für radioaktive Partikel unter realistischen Bedingungen im Gelände zu erproben,

- mit dem Suchgerät die Dosisleistung auf Straßen und Wegen in ausgewählten Gebieten in der weiteren Umgebung von Tschernobyl kontinuierlich zu messen,

- an einigen ausgewählten Stellen Bodenproben zu nehmen, um die Radioaktivität der Proben in Jülich zu bestimmen und

- an den Orten der Bodenprobennahme Vergleichsmessungen von Kontamination und Dosisleistung durchzuführen.

Die Fahrt erstreckte sich über den Zeitraum vom 27. Juli 1990 bis zum 7. August 1990. Die Messungen selbst wurden in der Zeit vom 31. Juli 1990 bis zum 3. August 1990 durchgeführt.

2. Suchgerät

Das Suchgerät besteht aus 2 Detektoren, 2 digitalen Ratemetern und einem Schreiber. Zum schnellen Aufspüren radioaktiver Partikel oder örtlicher Dosisleistungserhöhungen kann das Suchgerät in einem Auto betrieben werden.

Die Detektoren, Typ NE 102A/DM 1-3 der Firma Nuclear Enterprises, besitzen einen Plastikszintillator NE 102 A von 3" Durchmesser und 4" Höhe, einen Photomultiplier und einen Vorver-

stärker. Die Spannungsversorgung des Detektors liefert das Ratemeter. Der im Detektor NE 102 A/DM 1-3 übliche Vorverstärker wurde zur Anpassung an die Versorgungsspannung von ± 15 V des Ratemeters geändert.

Die digitalen Ratemeter des Typs FHT 1100 der Firma Kugelfischer sind batteriebetrieben und können auch an die 12 V-Batterie eines Autos angeschlossen werden. Die Ratemeter wurden mit der kleinsten einstellbaren Meßzeit von einer Sekunde betrieben. Bei dieser Einstellung werden die Geräte nicht als "Ratemeter" verwendet, sondern die Anzeige entspricht der jeweils in einer Sekunde gemessenen Impulszahl. Angezeigt wird die dieser Impulszahl entsprechende Dosisleistung unter Annahme von Cs-137 γ -Strahlung.

Die von den beiden Ratemetern angezeigten Werte werden auf einem batteriebetriebenen 2 Linien Mini-Flachschreiber des Typs 222 B der Firma Laumann registriert. Der Flachschreiber kann ebenfalls an eine 12 V-Autobatterie angeschlossen werden.

Bei Betrieb des Suchgerätes in einem Fahrzeug werden die beiden Detektoren innen an der rechten und linken Fahrzeugseite angebracht. Hierdurch ist eine grobe Lokalisation der Strahlenquelle möglich. Bei den Meßfahrten in der Umgebung von Tschernobyl wurde als Fahrzeug ein VW-Kleinbus benutzt. Die Detektoren waren zum Schutz vor Erschütterungen mit einer 4 cm dicken Schaumgummischicht umgeben.

Eine zusätzlich zur Registrierung der Detektoranzeigen vorgesehene Wegstreckenmarkierung konnte bisher noch nicht angebracht werden.

Das Suchgerät wurde mit Cs-137 γ-Strahlung kalibriert. Bei dieser Strahlung entspricht eine Zählrate von $2600 s^{-1}$ einer Dosisleistung von 1 $\mu Sv.h^{-1}$. Diese Kalibrierung gilt für die Detektoren frei in Luft. Die gleiche Umrechnung der Impulszahl in die Dosisleistung wird auch verwendet, wenn die Detektoren auf dem Boden des Fahrzeuges angebracht sind. Dort waren die Detektoren zunächst angebracht.

Bei der ersten Fahrt in der Umgebung von Tschernobyl wurde festgestellt, daß es günstiger ist, die Detektoren möglichst hoch über dem Erdboden im Fahrzeug anzubringen. Die Detektoren wurden daraufhin im rückwärtigen Teil des Fahrzeuges in Fensterhöhe ca. 1,5 m über dem Erdboden angebracht. Bei dieser Anordnung befinden sich die Detektoren über dem Motorblock des Fahrzeuges, und ein Teil der von einer Bodenkontamination ausgesandten Strahlung wird durch den Motor absorbiert. Nach Rückkehr aus der Umgebung von Tschernobyl wurde mit einer Cs-137 Strahlenquelle in verschiedenen Positionen unter und neben dem Fahrzeug die Absorption durch das Fahrzeug gemessen. Diese Absorption hängt stark von der genauen Position der Strahlenquelle unter dem Fahrzeug ab. Je nach Lage der Strahlenquelle werden zwischen weniger als 5 % und 60 % absorbiert. Im Mittel wird die vom Boden ausgehende Cs-137 γ-Strahlung durch das Fahrzeug bei Anordnung der Detektoren in Fensterhöhe über dem Motorblock um 20 % geschwächt. Bei den in den Fig. 3 bis 10 dargestellten Meßkurven wurde diese 20 % Absorption schon berücksichtigt.

Das Suchgerät ist konzipiert zum Aufspüren radioaktiver Quellen auf oder in der Nähe von Straßen und Wegen. Darum ist eine möglichst empfindliche und schnelle Feststellung örtlicher Änderungen des Strahlenpegels wichtiger als die genaue Bestimmung der Ortsdosisleistung. Trotzdem ist das Gerät zur Dosisleistungsmessung geeignet. Bei einer Dosisleistungsmessung vom Fahrzeug aus muß aber berücksichtigt werden, daß die Anzeige des Suchgerätes bei einer auf einen kleinen Bereich beschränkten Dosisleistungserhöhung von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängt. Die Anzeige des Suchgerätes hängt auch ab von der Energie der γ-Strahlung. Eine Messung der Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens ist bei den kleinen Dosisleistungen, für die das Suchgerät konzipiert ist, nur schwierig durchzuführen. Eine Messung der Energieabhängigkeit wurde darum bisher noch nicht vorgenommen. Bei den Messungen in der Umgebung von Tschernobyl wurde wiederholt die Anzeige des

Suchgerätes verglichen mit denen energieunabhängiger, tragbarer Dosisleistungsmeßgeräte (Babyline 31 und MAB601). Bei diesen Messungen stimmten die Anzeigen der verschiedenen Geräte innerhalb ± 20 % überein.

Eine erste Erprobung des Suchgerätes wurde auf dem Gelände und in der Umgebung des Forschungszentrums Jülich durchgeführt. Eine kleine Cs-137 Strahlenquelle mit einer Aktivität von 354 kBq erzeugte bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 20 $km.h^{-1}$ eine Ausschlagsverdopplung gegenüber der Anzeige durch den natürlichen Strahlenpegel. Bei Probefahrten stellte sich heraus, daß das Suchgerät empfindlich auf geringe Unterschiede des Radioaktivitätsgehaltes natürlichen Ursprungs im Straßenbelag reagiert. Eine andere Färbung des Straßenbelags, verursacht z.B. durch einen erneuerten Belag nach einer Reparatur, wurde vom Suchgerät in vielen Fällen als Ausschlagsänderung angezeigt. Das Aufspüren einer Strahlenquelle kleiner Aktivität ist deswegen weniger durch die Empfindlichkeit des Suchgerätes als durch die örtlichen Schwankungen des Strahlenpegels, bedingt z.B. durch Inhomogenitäten im Straßenbelag, begrenzt. Befinden sich die Detektoren im Suchfahrzeug in 1 m Höhe über dem Erdboden, dann kann ein radioaktives Partikel mit einer Dosisleistung von 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$ in 1 m Abstand auf einer Breite von 7 m bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 20 $km.h^{-1}$ und auf einer Breite von 6 m bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 30 $km.h^{-1}$ festgestellt werden .

In der Bundesrepublik Deutschland war eine weitergehende Erprobung des Suchgerätes unter realistischen Bedingungen im Gelände nicht möglich. Eine solche Erprobung ist aber in der Umgebung von Tschernobyl in fast idealer Weise möglich, obwohl es sich hier weniger um das Aufspüren radioaktiver Quellen als um eine Messung des Dosisleistungsprofils entlang von Straßen und Wegen handelt.

3. Meßfahrten

Zur Aufnahme des Dosisleistungsprofils entlang von Straßen und Wegen wurden von Gomel aus mehrere Fahrten durchgeführt:

a) Meßfahrt von Gomel in Richtung Vetka

Die Fahrt führte von Gomel zunächst in Richtung Vetka. Vorher wurde abgebogen in Richtung "Roter Winkel". Von dort ging es durch Kosizkaja und Popsuevka in einen zu Popsuevka gehörenden, evakuierten Ortsteil und von dort teilweise auf anderer Strecke zurück zur Straße Gomel-Vetka. Dort endete die eigentliche Meßfahrt. Einige zusätzliche Messungen wurden bei einer Bodenprobenahme in einem lichten Wald an der Straße Gomel-Vetka kurz hinter der Einmündung der Straße von "Roter Winkel" durchgeführt.

Diese Fahrt von Gomel aus in ein Gebiet mit erheblich erhöhter Bodenkontamination diente vor allem dem Test des Suchgerätes nach dem Transport.

Dosisleistungsmessungen wurden auf einer Strecke von 41,7 km durchgeführt.

b) Meßfahrt in die Region Bragin

Mit Messungen wurde begonnen auf der Straße von Rečica nach Chojniki. Die Fahrt führte über Poseliče, Marchlevsk, Listwin, Weletin, Pudakov, Mikuliji, Schkurati, Bragin, Gorodische, Malejkj, Sarejče, Kriwa, Kr. Niva, Ritow, Malogin, Cemerisi, Chrakoviči, Leninskij, Novaja Greblja, Promiči, Gruschnoj, Saviči, Ludvinovo, Krasnoe, Golnbovka, Komarin und Gden. Die Messung wurde beendet an der Absperrung der Straße in Richtung Tschernobyl durch eine Schranke.

Bei Mikuliji und Saviči wurden je eine Bodenprobe genommen. Dosisleistungsmessungen wurden auf einer Strecke von 169,8 km durchgeführt.

c) Meßfahrt in die Region Novozybkov

Mit Messungen wurde begonnen an der Abzweigung der Straße nach Novozybkov von der Straße Gomel - Bransk. Die Fahrt führte durch Novozybkov, N. Mesto, Karna, Stare Bobovič̌i, Nov. Bobovič̌i, Gatka und Novozybkov zurück zur Straße Bransk - Gomel.

Bei Nov. Bobovič̌i und Gatka wurden je eine Bodenprobe genommen. Dosisleistungsmessungen wurden auf einer Strecke von 71,2 km durchgeführt.

d) Rückfahrt von Novozybkov nach Gomel

Auf der Rückfahrt von Novozybkov wurde bis Gomel und in Gomel die Dosisleistung auf einer Strecke von 87 km gemessen.

e) Meßfahrt in der Region Ovruč̌

Mit den Messungen wurde begonnen auf der Straße von Kalinkovič̌i nach Ovruč̌ kurz vor Duborij Gaj. Die Fahrt führte durch Duborij Gaj nach Ovruč̌ bis zum Fluß Norin, von dort ging es eine kurze Strecke zurück und weiter in Richtung Slovečno. Nach einem Abstecher nach Korčevka führte die Strecke über Gaevič̌i, Pokalev, Nagorjni, Levkovič̌i, Moscharje, Werpa und Slovečno bis Listwin. Auf etwa derselben Strecke ging es zurück bis Slovečno. Ende der Messung in Slovečno.

Dosisleistungsmessungen wurden auf einer Strecke von 59 km durchgeführt.

f) Rückfahrt von Ovruč̌ über Kalinkovič̌i

Auf der Rückfahrt nach Gomel wurde vom Ortsausgang Ovruč̌ bis kurz hinter Kalinkovič̌i auf einer Strecke von 115 km die Dosisleistung gemessen.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Dosisleistung

Die Dosisleistungen während des Fahrtverlaufes sind - ausgenommen hiervon ist die Fahrt in die Region Ovruč - in den Anhängen 1 bis 5 zusammengestellt. Beispiele einiger Dosisleistungsprofile entlang der Wegstrecke zeigen die Figuren 1 bis 10.

In der Region Ovruč änderte sich die Dosisleistung als Funktion des Ortes nur sehr wenig. Die Dosisleistung war auf der gesamten Strecke gering. Die größten Werte wurden bei Gaevići angezeigt. Die Dosisleistung betrug dort auf einer Strecke von 1,2 km Länge etwa 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$. Die Dosisleistung auf dem größten Teil der Strecke lag zwischen 0,10 und 0,20 $\mu Sv.h^{-1}$. Die Anzeigen der beiden Detektoren des Suchgerätes zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Bei den Fahrtbeschreibungen in den Anhängen 1 bis 5 ist zu berücksichtigen, daß uns kein genaues Kartenmaterial zur Verfügung stand. Zur Kennzeichnung der Strecke wurden vom fahrenden Auto aus die Ortsnamen von den Ortseingangstafeln notiert. Dabei kann ein Fehler bei Transkription der Ortsnamen nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden. Da Wegweiser auf den Nebenstrecken fehlten und wegen des fehlenden Kartenmaterials mußte von den Anwohnern der Weg zu den nächsten Zielen erfragt werden. Häufig war deren Wegbeschreibung falsch, und es waren Umwege oder ein Umkehren erforderlich.

Die für eine genaue Ortsbestimmung erforderliche Wegstreckenmarkierung auf den Registrierkurven des Suchgerätes ist noch nicht fertiggestellt. Die genauen "Entfernungen seit Meßbeginn" (Anhang 1 bis 5), bei denen die Dosisleistung festgelegte Grenzen über- oder unterschreitet, mußten anhand der Protokollnotizen während der Meßfahrten und mit Hilfe der Registrierkurven (Fig. 1 - 10) bestimmt werden. Bei konstanter

Geschwindigkeit wäre so eine genaue Ortsbestimmung möglich gewesen. Eine konstante Geschwindigkeit - es sei denn Schrittgeschwindigkeit - war aber bei den gegebenen Straßenverhältnissen nicht einzuhalten. Bei den Entfernungen seit Meßbeginn in Anhang 1 bis 5 handelt es sich darum nur um ungefähre Angaben.

Die Angaben der Dosisleistung in den Anhängen 1 bis 5 beziehen sich auf den Detektor mit der größeren Anzeige.

Bei der ersten Fahrt, der Probefahrt in Richtung Vetka, wurde festgestellt, daß die Anzeige des Suchgerätes im wesentlichen durch die Kontamination in einem schmalen Bereich unter den Detektoren hervorgerufen wird. Das folgte u.a. daraus, daß bei wiederholter Fahrt auf derselben Strecke die Anzeigen des Suchgerätes unterschiedlich waren. Besonders deutlich konnte die Tatsache, daß die Detektoranzeige hauptsächlich von der Kontamination in einem schmalen Bereich unter den Detektoren hervorgerufen wird, demonstriert werden bei Fahrt mit den beiden rechten Rädern des Fahrzeuges auf den Randstreifen neben der Fahrbahn (Fig. 1). In dem Augenblick, wo die beiden rechten Räder des Fahrzeuges die Fahrbahn verließen, stieg die Anzeige des Detektors an der rechten Fahrzeugseite um etwa den Faktor 2 an. Um diese Abhängigkeit der Detektoranzeige von der Kontamination nur eines schmalen Bereichs unter dem Fahrzeug zu verringern, wurden die Detektoren bei den folgenden Meßfahrten möglichst hoch im Fahrzeug in etwa 1,5 m Höhe über dem Erdboden angebracht.

Vor einer zusammenfassenden Betrachtung der Dosisleistung auf den Straßen und Wegen in der Umgebung von Tschernobyl sollen zunächst einige allgemeine Feststellungen getroffen werden:

In Bereichen mit großer Dosisleistung ist die Änderung der Dosisleistung als Funktion des Ortes im allgemeinen erheblich größer als in Bereichen mit kleiner Dosisleistung.

In Bereichen mit großer Dosisleistung unterscheiden sich die Anzeigen der beiden Detektoren des Suchgerätes erheblich mehr als in Bereichen mit kleiner Dosisleistung. In Bereichen kleiner Dosisleistung zeigen beide Detektoren vielfach gleich an, oder die Anzeigen beider Detektoren sind nur geringfügig voneinander verschieden, und die Dosisleistung als Funktion des Ortes verläuft parallel. Fig. 3 zeigt ein Beispiel, wo bei schon deutlich erhöhten Werten der Dosisleistung die Anzeigen beider Detektoren zunächst gleich sind. Dann zeigt der Detektor an der rechten Fahrzeugseite zwar deutlich größere Werte als der andere Detektor an. Die Dosisleistung ändert sich bei beiden Detektoren etwa gleichartig. Dieses letztere Verhalten gilt nicht allgemein. Vielfach ändert sich die Anzeige des Detektors auf der rechten Fahrzeugseite mehr als die des Detektors auf der linken Fahrzeugseite (Fig. 6).

Von seltenen Ausnahmen abgesehen, zeigt in Gebieten mit höherer Dosisleistung der Detektor auf der rechten Fahrzeugseite mehr an als der auf der linken Seite. Abgesehen von dem nicht ganz charakteristischen Beispiel in Fig. 1, bei dieser Fahrt war der Detektor in nur ca. 50 cm über dem Boden angebracht und die beiden rechten Räder des Fahrzeuges befanden sich auf dem Randstreifen, zeigt der Detektor an der rechten Fahrzeugseite bis zum 1,7-fachen des anderen Detektors an. Hieraus folgt, daß in Bereichen hoher Dosisleistung die Kontamination am Straßenrand und außerhalb der Fahrbahn größer ist als mitten auf der Straße. Hierfür gibt es auch noch weitere Hinweise: Am Ende der Fahrt in Richtung Vetka, schon nach Abschluß der eigentlichen Dosisleistungsmessungen, wurde auf der Fahrt zur Bodenprobenahme die Dosisleistung zusätzlich gemessen (Fig. 2). Beim Abbiegen von der Straße in einen sehr schmalen Waldweg steigt die Dosisleistung um mehr als einen Faktor 3 auf 2,8 $\mu Sv.h^{-1}$ an. Ebenso wurde auf der Fahrt in der Region Novozybkov beim Zurücksetzen des Fahrzeuges auf einen kleinen Nebenweg 2,4 $\mu Sv.h^{-1}$ gemessen.

In einigen Bereichen mit geringer Dosisleistung - dies gilt besonders für die Rückfahrt von Novozybkov nach Gomel ab etwa 46 km nach Meßbeginn und, nicht so deutlich, auch für die Fahrt von Ovruč nach Kalinkoviči - zeigt der Detektor an der linken Fahrzeugseite höhere Werte als der an der rechten Seite an. Auf diesen Strecken ist offensichtlich die Dosisleistung auf der Fahrbahn größer als neben der Fahrbahn. Ob dies an einem höheren Gehalt radioaktiver Stoffe natürlichen Ursprungs im Straßenbelag liegt oder auf einer Cs-137 Kontamination beruht, die von Fahrzeugen aus Bereichen höherer Dosisleistung eingeschleppt wird, kann hier nicht entschieden werden.

Auf Strecken, die zweimal befahren wurden (Hin- und Rückfahrt), sind die Anzeigen des Suchgerätes bei beiden Fahrten nicht völlig gleich. Dies ist erklärlich, da das Fahrzeug sich bei Hin- und Rückfahrt auf verschiedenen Seiten der Straße befindet und da der Detektor an der rechten Fahrzeugseite die möglicherweise unterschiedliche Kontamination von verschiedenen Bereichen außerhalb der Fahrbahn sieht. Bei einem Zurücksetzen des Fahrzeuges auf einem sehr schmalen Weg dagegen sind die registrierten Werte der Dosisleistung bei Hin- und Rückfahrt praktisch gleich (Fig. 2).

Zu den einzelnen Fahrten müssen einige Anmerkungen gemacht werden:
Bei der Fahrt in Richtung Vetka ist bemerkenswert, daß in dem geräumten Ortsteil von Popsuevka verglichen mit anderen Gebieten die Dosisleistung nicht besonders groß ist. Es muß aber berücksichtigt werden, daß unsere Messungen nur die Dosisleistung auf der Straße erfassen und daß die Flächenkontaminationen örtlich sehr unterschiedlich sein können. Letzteres wurde in dem geräumten Ort von uns direkt festgestellt: Mit einem Kontaminationsmonitor (Typ Minicont) wurde dort auf der Straße eine Impulsrate von 10 s^{-1} festgestellt. Der normale Nulleffekt dieses Gerätes in nicht kontaminierten Bereichen beträgt 3 bis 4 s^{-1}. Auf Sandboden wurden in dem geräumten Ort eine Impulsrate von 20 s^{-1} und im Hof eines Hauses auf Holzbalken etwa 30

bis 40 s^{-1} gemessen, aber auf dem Eternitdach eines Verschlages auf demselben Hof wurde an einer Stelle eine Impulsrate von 1000 s^{-1} festgestellt.

Auf der Fahrt in die Region Bragin wurden auf der Strecke von Savići nach Komarin in einem evakuierten Bereich 3,75 $\mu Sv.h^{-1}$ gemessen. Dies ist die höchste, von uns festgestellte Dosisleistung.

In der Region Novozybkov änderte sich die Dosisleistung als Funktion des Ortes besonders stark (Fig. 6). In diesem Gebiet ist die mittlere Dosisleistung relativ hoch. Die Anzeigen der Detektoren an der rechten und linken Fahrzeugseite unterscheiden sich in diesem Gebiet teilweise stark (Fig. 7). Geringe Dosisleistungen sind dort, wo außerhalb der Straße die Kontamination klein ist, an einem Fluß (Fig. 5) oder auf einer Brücke (Fig. 8).

In der Region Ovruč wurden von uns nur relativ kleine Werte der Dosisleistung gemessen.

Auf der Strecke von Ovruč nach Kalinkovići ist die markante Erhöhung der Dosisleistung in einem relativ kleinen Bereich bemerkenswert.

Auf einer Strecke von insgesamt 543 km Länge wurde von uns die Dosisleistung gemessen. Die Meßwerte liegen zwischen etwa 0,08 $\mu Sv.h^{-1}$ und 3,75 $\mu Sv.h^{-1}$. Der größte gemessene Wert ist um fast einen Faktor 50 größer als der kleinste Wert. Tabelle 1 gibt einen Überblick der Streckenlängen in verschiedenen Bereichen der Dosisleistung. Die Zusammenstellung in der Tabelle hängt selbstverständlich von der ausgewählten Wegstrecke ab. Wir glauben aber trotzdem, daß die Angaben einen guten Überblick über die Dosisverteilung auf Straßen und Wegen geben. Aus der Tabelle folgt auf mehr als der Hälfte der Strecke eine Dosisleistung kleiner als 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$. Die größten Werte der Dosisleistung wurden in einem unbewohnten Gebiet gemessen.

Tabelle 1

Steckenlänge innerhalb verschiedener Bereiche der Dosisleistung

a)

	Streckenlänge km					
$\dot{H}$ $\frac{\mu Sv}{h}$ Meß-fahrt	< 0,25	0,25-0,50	0,50-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	> 2,5
Richtung Vetka	2,4	20,2	18,3	0,8	---	---
Region Bragin	112,7	32,2	20,8	1,2	1,7	1,2
Region Novozybkov	1,4	21,1	28,4	18,9	1,4	---
Novozybkov-Gomel	41,2	5,6	10,1	18,8	11,3	---
Region Ovruč	57,8	1,2	---	---	---	---
Ovruč-Kalinkoviči	64,6	38,9	11,1	0,4	---	---
Summe	280,1	119,2	88,7	40,1	14,4	1,2

b)

	Streckenlänge *) %					
$\dot{H}$ $\frac{\mu Sv}{h}$ Meß-fahrt	< 0,25	0,25-0,50	0,50-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	> 2,5
Richtung Vetka	6	48	44	2	---	---
Region Bragin	66	19	12	1	1	1
Region Novozybkov	2	30	40	27	2	---
Novozybkov-Gomel	47	6	12	22	13	---
Region Ovruč	98	2	---	---	---	---
Ovruč-Kalinkoviči	56	34	10	< 1	---	---
Summe	52	22	16	7	3	< 1

*) Angaben auf ganzzahlige Werte gerundet.

Mit Hilfe der gemessenen Werte der Dosisleistung kann die Bodenkontamination abgeschätzt werden. Die Ortsdosisleistung $\dot{H}$ bei einer Bodenkontamination ist gleich

$$\dot{H} = b \cdot 3600 \sum_{r} Ko_r \cdot g_r \qquad (1)$$

Dabei sind

$\dot{H}$ = Gammaortsdosisleistung durch Bodenstrahlung in $Sv.h^{-1}$

b = 0,5 Korrektionsfaktor zur Berücksichtigung der Bodenrauhigkeit und des Eindringens der Nuklide in tiefere Bodenschichten (nach (1))

Ko_r = Kontamination des Bodens in $Bq.m^{-2}$ durch das Nuklid r

g_r = effektiver Dosisleistungsfaktor für Bodenstrahlung des Nuklids r in $Sv.m^2.Bq^{-1}.s^{-1}$

Zur Abschätzung der Bodenkontamination werden nur Cs-134 und Cs-137 berücksichtigt, die Nuklide, die überwiegend zur Bodenkontamination beitragen. Es wird nach Anhang 6 ein Verhältnis der Cs-134 Aktivität zur Cs-137 Aktivität von 0,14 angenommen. Mit einem effektiven Dosisleistungsfaktor von $1,5.10^{-15}$ für Cs-134 und $5,5.10^{-16}$ für Cs-137 (2) folgt, daß eine Dosisleistung von 1 $\mu Sv.h^{-1}$ erzeugt wird durch eine Bodenkontamination von $7,31.10^5$ $Bq \cdot m^{-2}$ Cs-137 zusammen mit $1,02.10^5$ $Bq \cdot m^{-2}$ Cs-134. Die gesamte Bodenkontamination bei 1 $\mu Sv.h^{-1}$ beträgt $8,33.10^5$ $Bq \cdot m^{-2}$. Der höchsten, von uns gemessenen Dosisleistung von 3,75 $\mu Sv.h^{-1}$ entspricht nach dieser Abschätzung eine Kontamination von 3,1 $MBq.m^{-2}$. Den kleinsten gemessenen Werten von 0,08 $\mu Sv.h^{-1}$ entspräche eine Kontamination von 67 $kBq.m^{-2}$. Dieser letzte Wert ist aber nur eine obere Grenze der Kontamination, denn bei den kleinen Werten der Dosisleistung darf der Beitrag der natürlichen Strahlenexpositon nicht vernachlässigt werden. Die Kontamination ist kleiner als 67 $kBq.m^{-2}$.

4.2 Bodenproben

Die gesammelten Bodenproben wurden im Forschungszentrum Jülich in der Unterabteilung Umweltschutz der Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz ausgewertet (Anhang 6). Die nuklidspezifische Kontamination wurde sowohl für die Bodenproben als auch für das noch an den Proben befindliche Gras bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Da die Gewichte der Bodenproben stark streuen, ist nur eine Angabe der nuklidspezifischen Kontamination pro Quadratmeter sinnvoll.

Die Kontamination der Bodenproben liegt zwischen $6{,}0.10^5$ und $1{,}4.10^6$ $Bq.m^{-2}$. Bei Probe Nr. 3, deren Probenahmeort dem Reaktor von Tschernobyl am nächsten liegt, ist die relative Kontamination für die Nuklide Co-60, Sr-90, Rh-106 und Ce-144 signifikant größer als bei den 4 anderen Proben (siehe Tabelle 2 in Anhang 6).

4.3 Vergleichsmessung

Am Orte der Bodenprobenahme wurde die Dosisleistung in 1 m Höhe über dem Erdboden gemessen. Zusätzlich wurden mit einem Kontaminationsmonitor (Typ Minicont) die Zählraten in etwa 5 cm Höhe über dem Boden bestimmt. Bei einem Teil dieser Messungen wurde die Detektorfläche des Kontaminationsmonitors mit 1 cm Plexiglas abgedeckt.

Aus den Werten der nuklidspezifischen Kontamination wurde in Anlage 6 die Dosisleistung über dem Boden berechnet. Die berechneten Werte (Tabelle 2) stimmen in 4 von 5 Fällen gut mit den gemessenen Dosisleistungen überein, insbesondere wenn berücksichtigt wird, daß die berechneten Werte nicht den Anteil der Strahlenexposition durch natürliche Radioaktivität des Bodens und durch Kosmische Strahlung enthalten. Es fällt auf, daß alle berechneten Werte auch unter Berücksichtigung der Strahlenexposition durch die natürliche Radioaktivität des Bodens kleiner als die gemessenen Werte sind.

Tabelle 2

Nuklidspezifische Kontamination der Bodenproben und des Grases und Vergleich der aus der nuklidspezifischen Kontamination berechneten Ortsdosisleistung mit gemessenen Werten

Proben-Nr.:	Ort	Kontamination des Bodens in Bq/m²							Kontamination des Grases in Bq/m²		Ortsdosisleistung in µSv/h	
		Co-60	Rh-106	Sb-125	Cs-134	Cs-137	Ce-144	Sr-90	Cs-134	Cs-137	gemessen	gerechnet *
1	Waldstück bei Gomel	8,7	$1,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$8,0 \cdot 10^5$	$5,8 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^4$	1,5	1,2
2	Wiese bei Mikuliji	$<3,5 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^4$	$9,4 \cdot 10^3$	$6,8 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^3$	1,3	0,8
3	Wiese bei Savići	$3,7 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^3$	1,4	1,0
4	Wiese mit Bäumen bei Bobovići	$<3,0 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$	$<3,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^4$	5**	1,7
5	Wiese am Kieferwald bei Gatka	$<1,1 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$	$<1,1 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^4$	2	1,7

* Ohne den Beitrag der natürlichen Radioaktivität von etwa 0,1 µSv/h.
** Dieser Meßwert erscheint zu hoch.

Bei Bodenprobe Nr. 4 ist die gemessene Dosisleistung etwa dreimal so groß wie die berechnete. Ob dies auf einem Meßfehler oder auf einer ungleichförmigen Verteilung der Kontamination beruht, - das Dosimeter in 1 m Höhe über dem Boden erfaßt die Dosisleistung, erzeugt von der Kontamination einer erheblich größeren Fläche als die der Bodenprobe - kann nachträglich nicht mehr entschieden werden.

In Tabelle 3 werden die Meßwerte des Kontaminationsmonitors mit den Bodenkontaminationen verglichen. Angegeben als Bodenkontamination sind in Tabelle 3 die Summen der Werte für die einzelnen Nuklide aus Tabelle 2. Aus Tabelle 3 folgt, daß das Verhältnis der Zählrate des unabgedeckten Kontaminationsmonitors N_{ges} zur Bodenkontamination nicht konstant ist. Die Werte unterscheiden sich für die 5 Bodenproben bis zu einem Faktor 2,7. Das Verhältnis der durch β-Strahlung erzeugten Zählrate $N_{ges} - N_{Plexi}$ zur Bodenkontamination ist ebenfalls nicht konstant. Die 3 Werte unterscheiden sich bis zu einem Faktor 10. Das Verhältnis der durch γ-Strahlung erzeugten Zählrate N_{Plexi} zur Bodenkontamination dagegen ist etwa konstant. Diese Tatsache ist zu erwarten, da bei der schon über 4 Jahre alten Kontamination des Bodens die Aktivität sich zum größten Teil nicht mehr auf dem Boden befindet, sondern in die oberste Bodenschicht eingedrungen ist. Für die 3 Bodenproben Nr. 3 bis 5 ist das Verhältnis der Zählrate des abgedeckten Kontaminationsmonitors zur Bodenkontamination im Mittel gleich $5{,}4 \cdot 10^{-5}\ s^{-1} \cdot Bq \cdot m^{-2}$.

5. Zusammenfassung

Bei der Meßfahrt in die Umgebung von Tschernobyl wurde das in dem Forschungszentrum Jülich entwickelte Suchgerät erprobt, und mit dem Gerät wurde auf Straßen und Wegen in der weiteren Umgebung von Tschernobyl die Dosisleistung kontinuierlich gemessen. Zusätzlich wurden Bodenproben genommen, und am Ort der Bodenprobenahme wurden zu Vergleichszwecken die Dosisleistung und die Kontamination mit tragbaren Geräten gemessen.

Tabelle 3

Vergleich der Meßwerte des Kontaminationsmonitors am Ort der Bodenprobenahme mit den Bodenkontaminationen

Proben Nr.	$\frac{A_{ges}}{F}$ *) $Bq \cdot m^{-2}$	N_{ges} **) s^{-1}	N_{Plexi} ***) s^{-1}	$N_{ges} - N_{Plexi}$ s^{-1}	$\frac{N_{ges}}{A_{ges}/F}$ $s^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot m^2$	$\frac{N_{Plexi}}{A_{ges}/F}$ $s^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot m^2$	$\frac{N_{ges} - N_{Plexi}}{A_{ges}/F}$ $s^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot m^2$
1	$9{,}6 \cdot 10^5$	150	---	---	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	---	---
2	$6{,}0 \cdot 10^5$	100	---	---	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	---	---
3	$7{,}7 \cdot 10^5$	150	40	110	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$
4	$1{,}4 \cdot 10^6$	100	80	20	$7{,}1 \cdot 10^{-5}$	$5{,}7 \cdot 10^{-5}$	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$
5	$1{,}3 \cdot 10^6$	100	70	30	$7{,}7 \cdot 10^{-5}$	$5{,}4 \cdot 10^{-5}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$

*) $\frac{A_{ges}}{F}$ = Bodenkontamination; Summe der Werte für die verschiedenen Nuklide in Tabelle 2

**) N_{ges} = Zählrate des unabgedeckten Kontaminationsmonitors

***) N_{Plexi} = Zählrate des Kontaminationsmonitors, wenn die Detektorfläche mit 1 cm Plexiglas abgedeckt ist.

Das Suchgerät hat sich beim Einsatz im zum Teil recht rauhen Gelände gut bewährt. Es stellte sich heraus, daß es für die Erfassung der Strahlung aus einem größeren Bereich günstiger ist, das Suchgerät nicht auf dem Boden des Meßfahrzeugs, sondern in größerer Höhe anzubringen. Durch die ergänzend zur Dosisleistungsregistrierung noch vorgesehene Wegstreckenmarkierung kann die nachträgliche Lokalisation örtlicher Änderungen der Dosisleistung verbessert werden.

Auf einer Strecke von 543 km Länge in Weißrußland, Rußland und der Ukraine wurde die Dosisleistung gemessen. Die gemessenen Werte der Dosisleistung liegen zwischen 0,08 und 3,75 $\mu Sv.h^{-1}$. Die höchsten Werte wurden in einem unbewohnten Bereich gemessen. Auf mehr als der Hälfte der Strecke war die Dosisleistung kleiner als 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$. In den Gebieten mit größeren Werten der Dosisleistung änderte sich diese als Funktion des Ortes relativ stark. Es gibt zahlreiche Hinweise dafür, daß in den Bereichen höherer Dosisleistung diese vielfach außerhalb oder am Rande der Straße größer ist als mitten auf der Straße. In Gebieten mit kleinen Werten der Dosisleistung ist dagegen in weiten Bereichen die Dosisleistung auf der Straße geringfügig größer als außerhalb der Straße.

Die nuklidspezifische Kontamination wurde von 5 Bodenproben aus Gebieten mit höheren Werten der Dosisleistung bestimmt. Die Kontamination der Proben lag zwischen $6,0 \cdot 10^5$ und $1,4 \cdot 10^6$ $Bq \cdot m^{-2}$. Festgestellt wurden Co-60, Sr-90, Rh-106, Sb-125, Cs-134, Cs-137 und Ce-144. Der Cs-137 Anteil betrug mindestens 70 %. Bei der Bodenprobe von dem zu dem Reaktor nächstgelegenen Probenahmeort war der relative Co-60, Sr-90, Rh-106 und Ce-144 Anteil signifikant größer als bei den anderen Bodenproben.

Die aus der Kontamination berechnete Dosisleistung stimmt in 4 von 5 Fällen gut mit den gemessenen Werten überein.

6. Literatur

(1) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung:
Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen
Bundesanzeiger Nr. 64 a, Jahrgang 42, vom 31. März 1990

(2) Bekanntmachung der Zusammenstellung von Dosisfaktoren - Teil 1
Äußere Exposition - Erwachsene und Kleinkinder (1 Jahr)
Bundesanzeiger Nr. 185 a, Jahrgang 41, vom 30. September 1989

Bei Vorbereitung und während der Fahrt wurden wir von allen Seiten bereitwillig unterstützt. Für die gute Betreuung danken wir der IAEA, insbesondere Herrn Beranek und seinen Mitarbeiterinnen in Gomel und Herrn Prof. Steinhäusler und seinen Mitarbeiterinnen in Wien, sowie Herrn Y. Bussurin vom Ministerium für Kernenergie und Industrie in Moskau. Unser ganz besonderer Dank gilt unseren Begleitern auf den Fahrten in der UdSSR, Herrn Alexej Jermilov und Herrn Alexander Ljapin. Den Kollegen aus dem Forschungszentrum Jülich gilt ebenfalls für ihre Hilfe unser Dank.

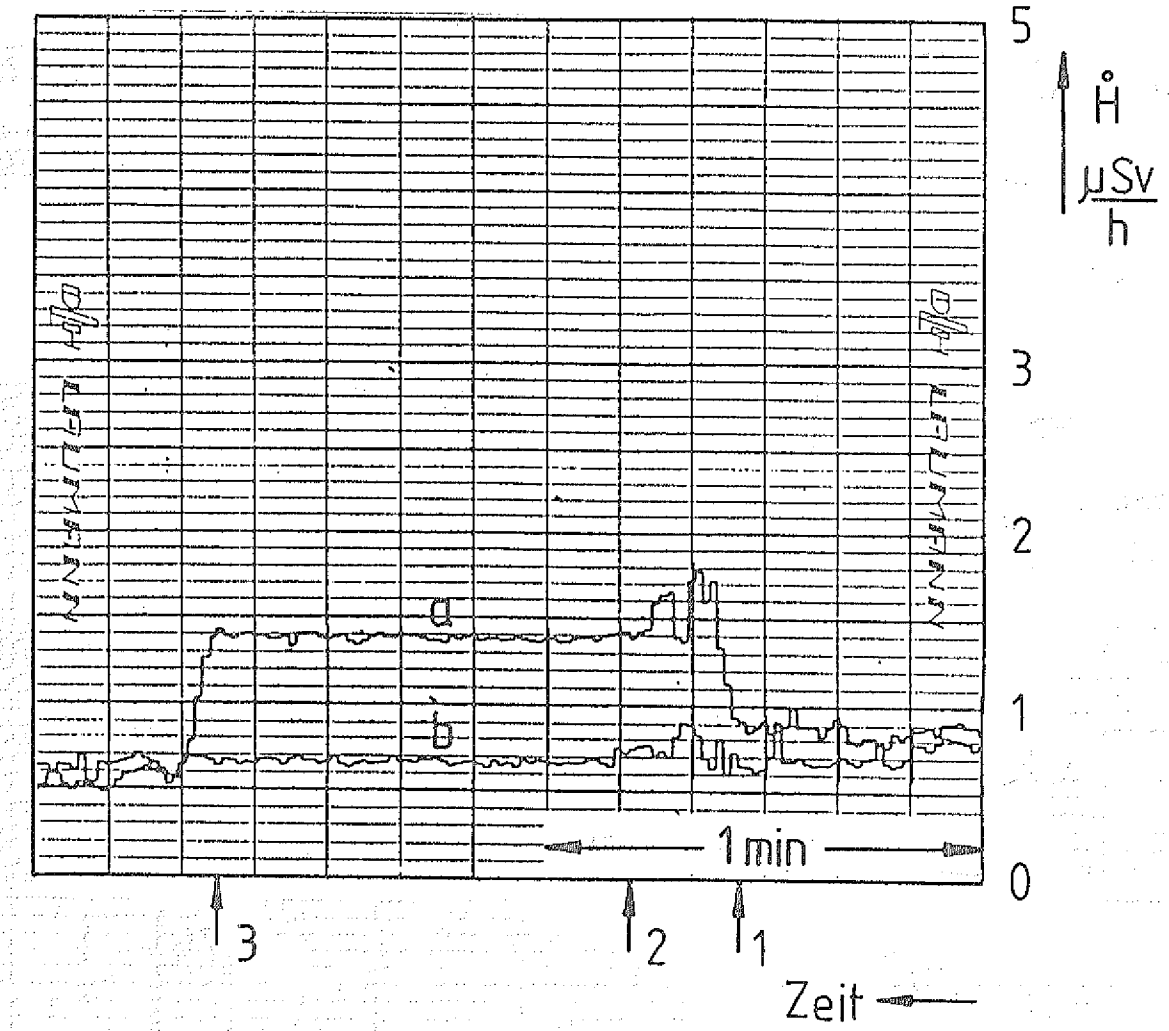


Fig. 1: Anzeige des Suchgerätes, wenn die rechte Seite des Fahrzeuges die asphaltierte Fahrbahn verläßt. Messung nach Beendigung der Fahrt in Richtung Vetka auf der Straße von Vetka nach Gomel kurz hinter der Abzweigung der Straße nach "Roter Winkel"

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges

1 = Rechte Seite des Fahrzeuges verläßt die Fahrbahn
2 = Halt
3 = Weiterfahrt und zurück auf die Fahrbahn

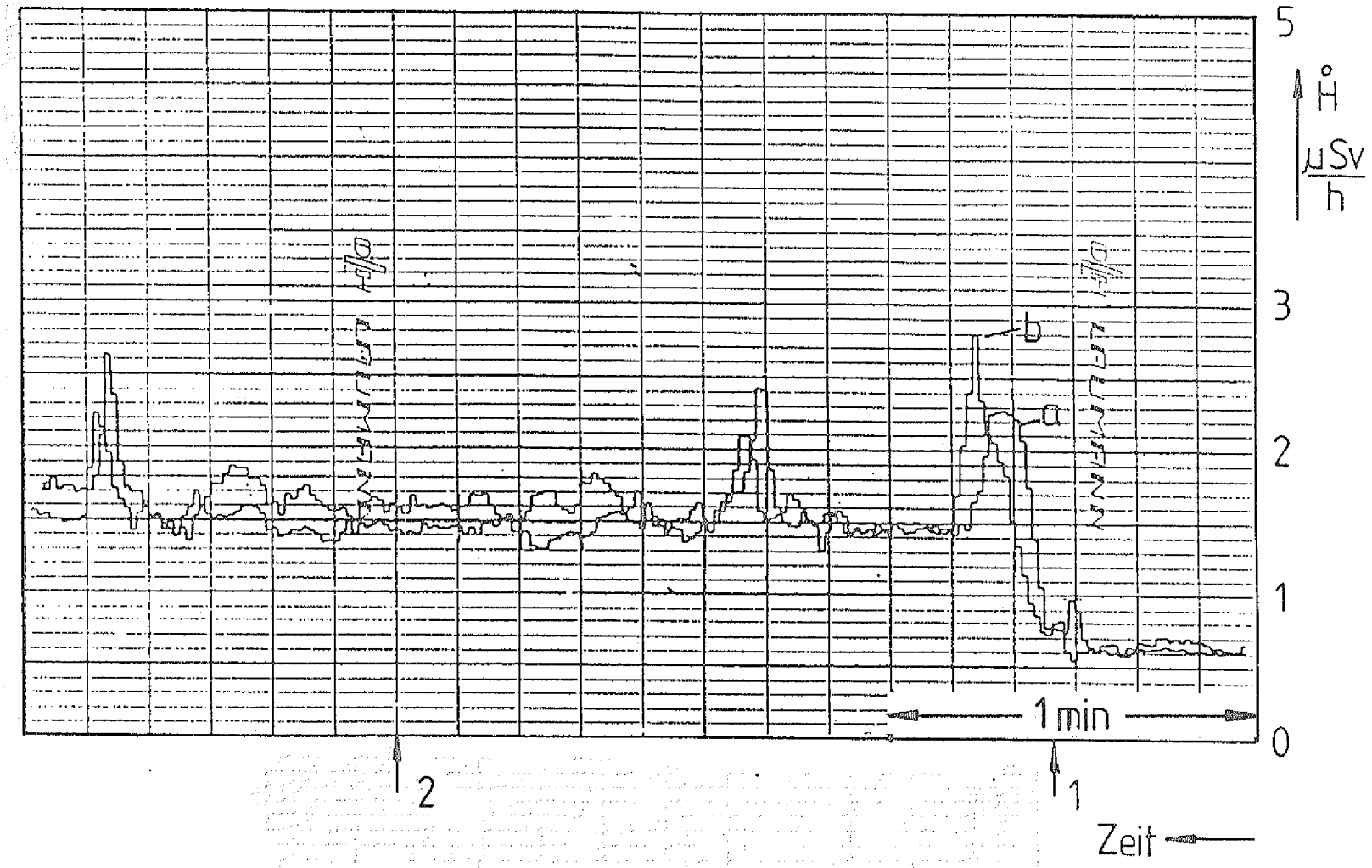


Fig. 2: Anzeige des Suchgerätes bei Fahrt zur Bodenprobenahme in einen Waldweg nach Beendigung der Fahrt in Richtung Vetka

a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges
H = Dosisleistung

1 = Abbiegen von der Strahße auf den Waldweg
2 = Halt und Zurücksetzen des Fahrzeuges in derselben Spur

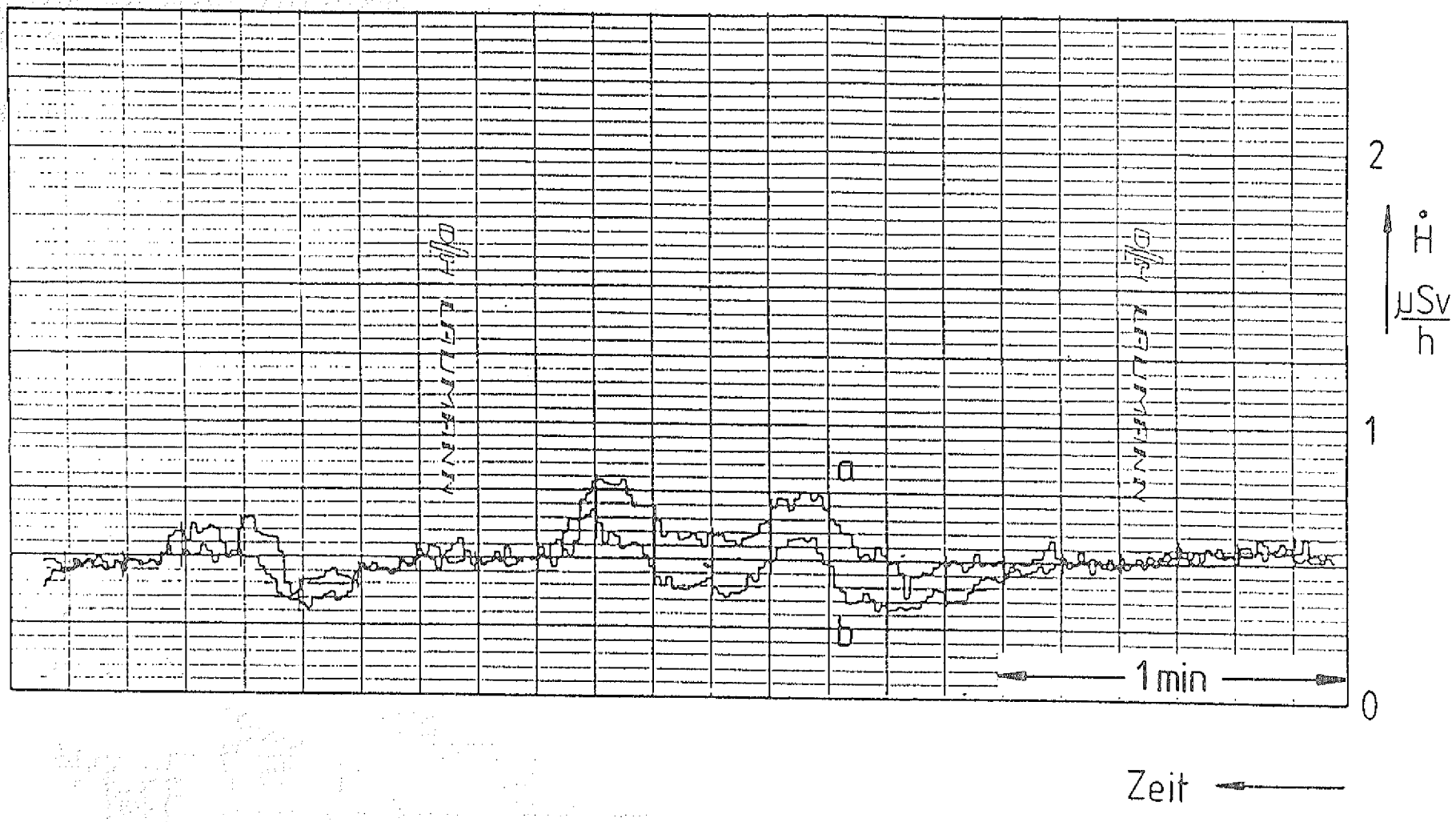


Fig. 3: Beispiel des Dosisleistungsverlaufs in der Region Bragin

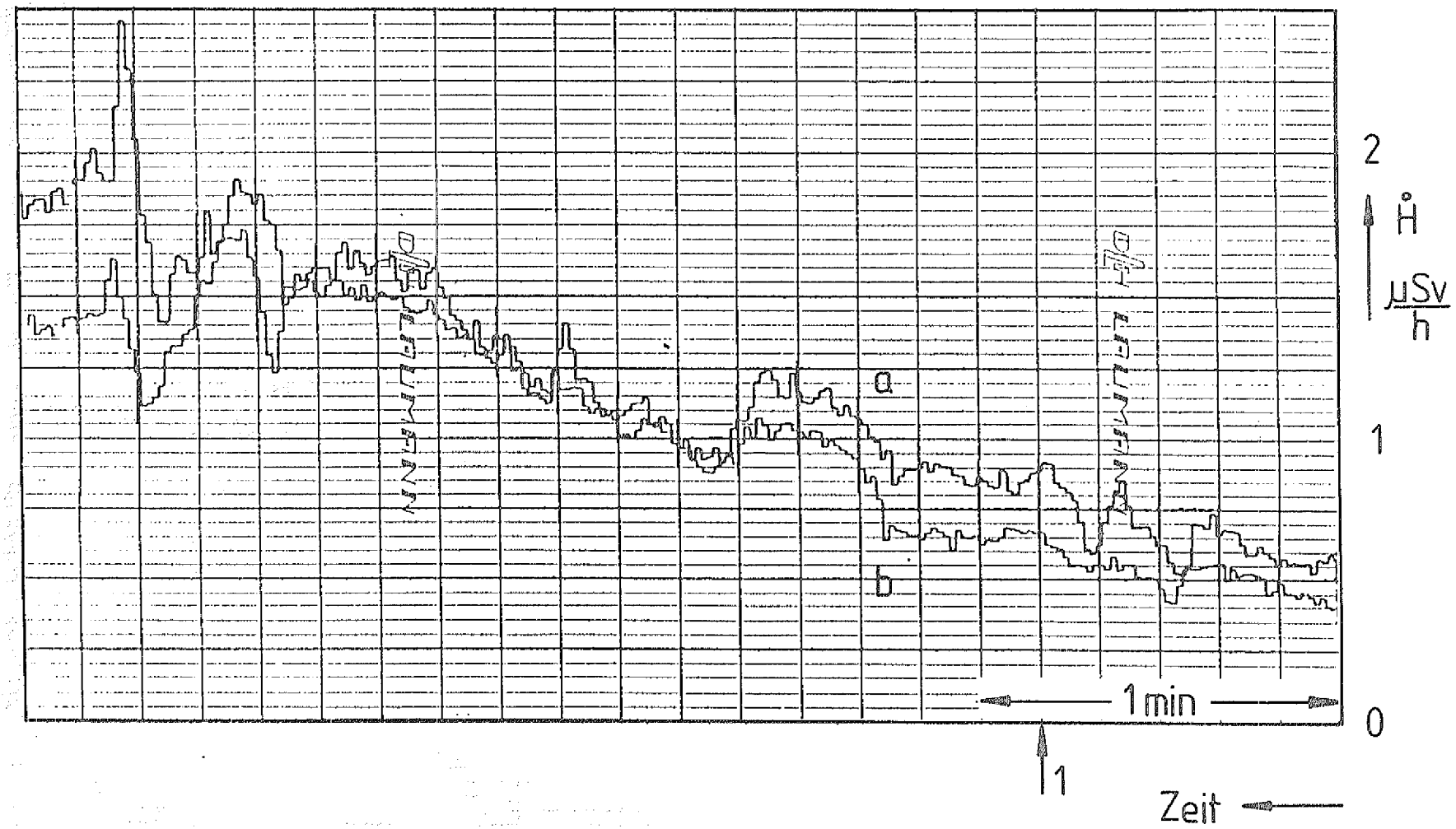


Fig. 4a: Strecke mit den höchsten gemessenen Dosisleistungen auf der Straße von Savići nach Komarin (Teil 1)

$\dot{H}$ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges
1 = 117 km nach Meßbeginn

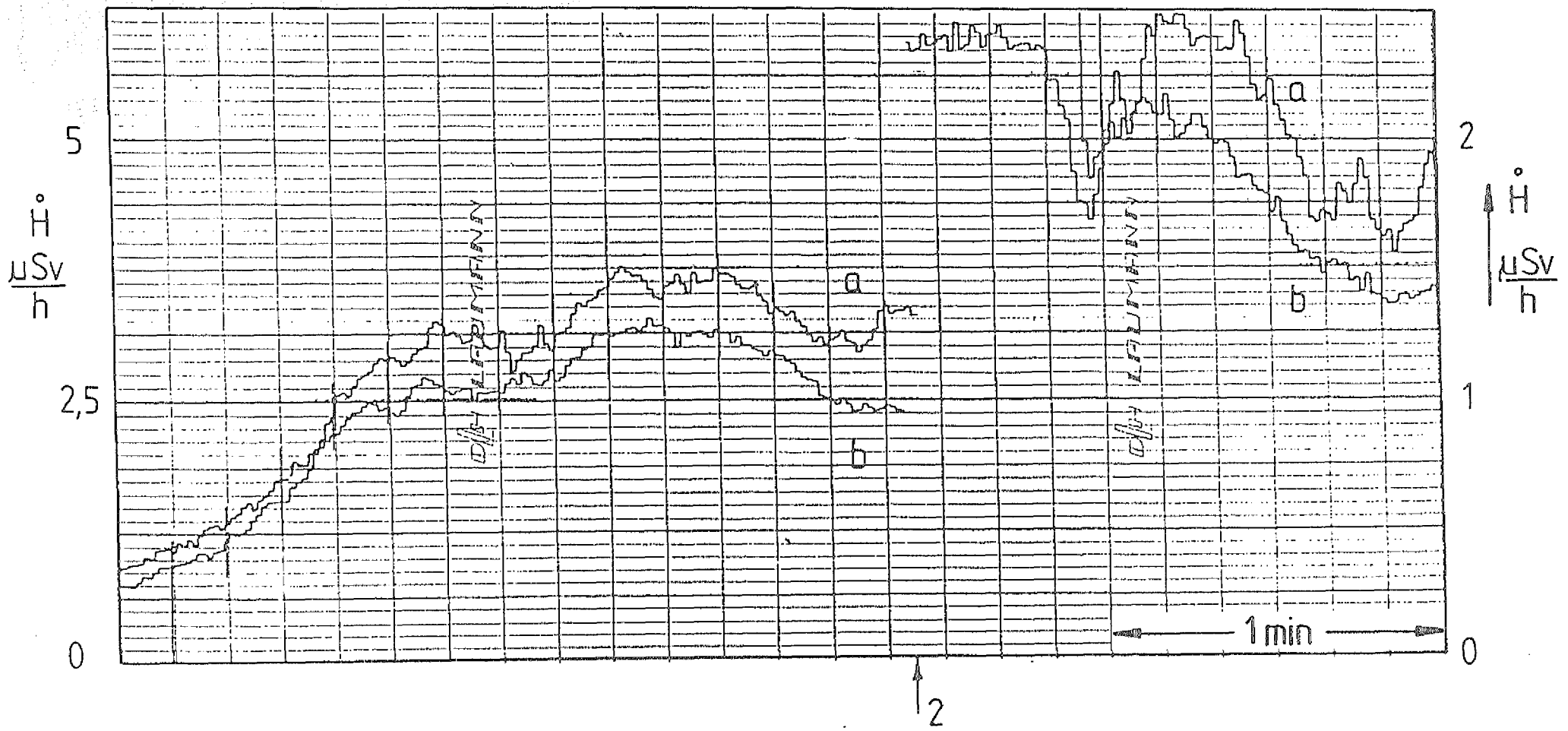


Fig. 4b: Strecke mit den höchsten gemessenen Dosisleistungen auf der Straße von Savići nach Komarin (Teil 2)

2 = Änderung des Meßbereichs an der Brücke über den Fluß Braginka, 120 km nach Meßbeginn

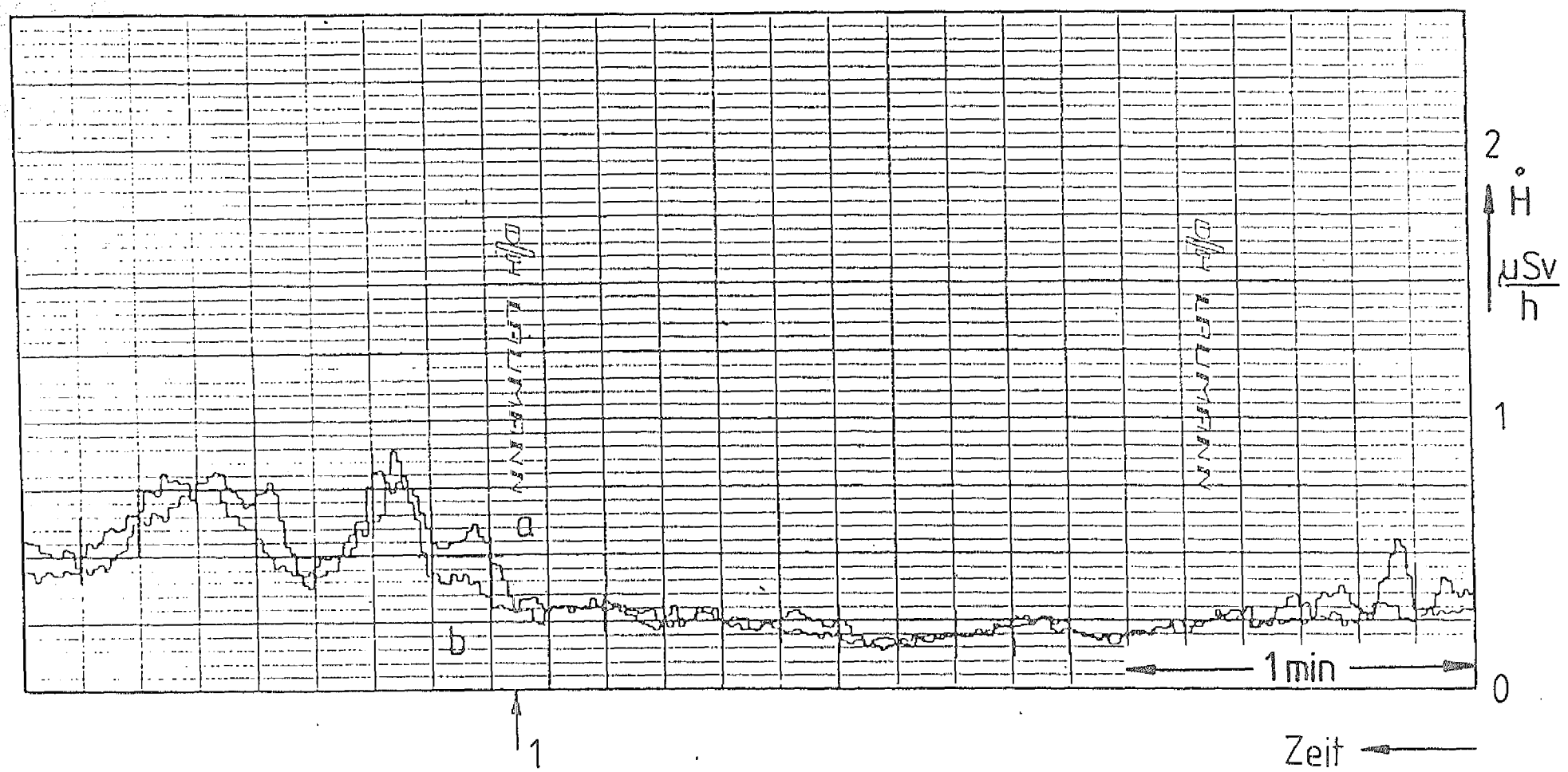


Fig. 5: Beispiel für eine Strecke mit kleineren Werten der Dosisleistung in der Stadt Novozybkov auf einer Straße, die parallel zum Fluß verläuft

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges
1 = Abbiegen von der Straße am Fluß

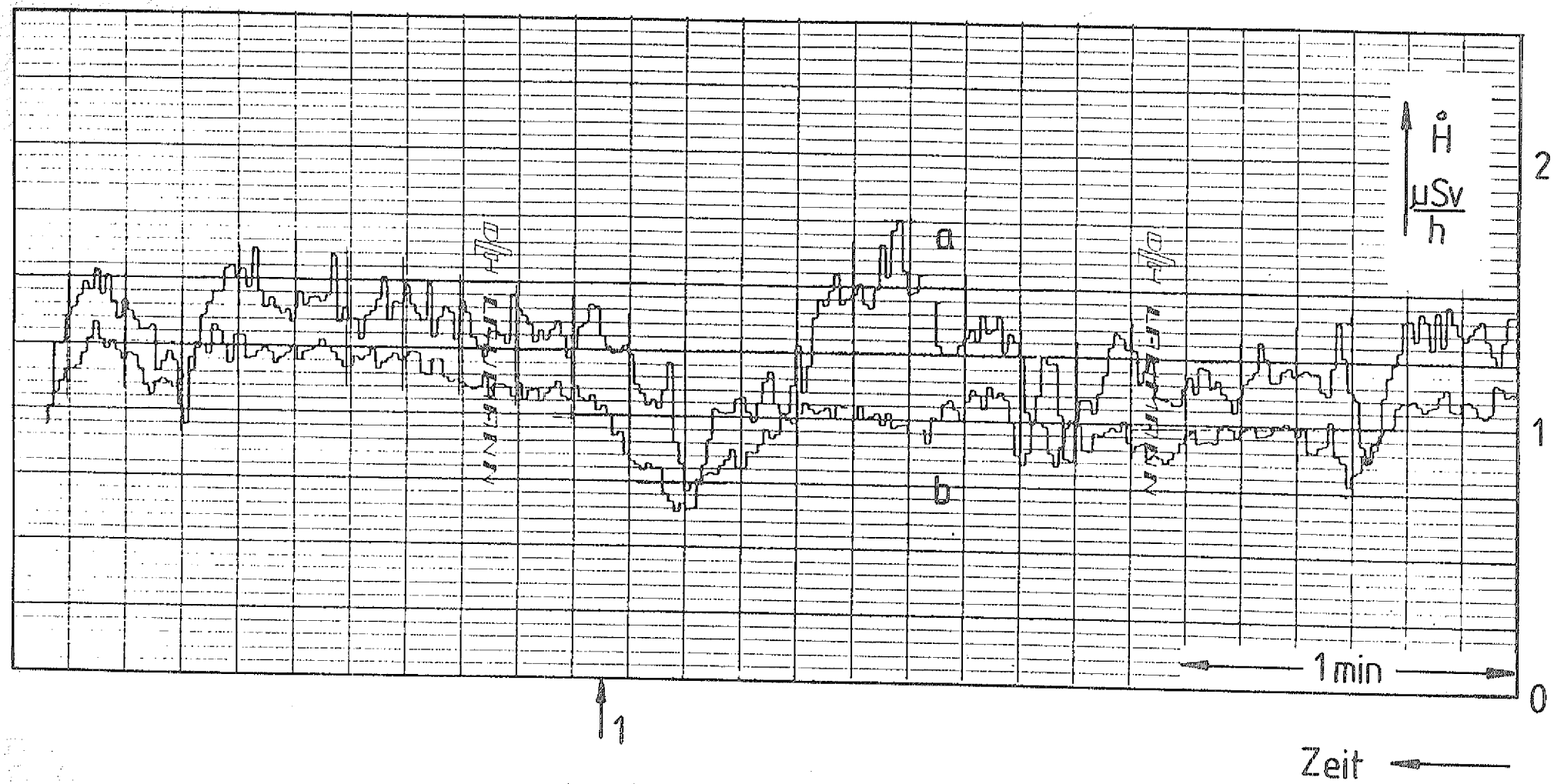


Fig. 6: Beispiel des Dosisleistungsverlaufs in der Region Novozybkov
Der Detektor an der rechten Fahrzeugseite registriert größere Änderungen der Dosisleistung als der andere Detektor

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges
1 26,7 km nach Meßbeginn, Ortsende Karna

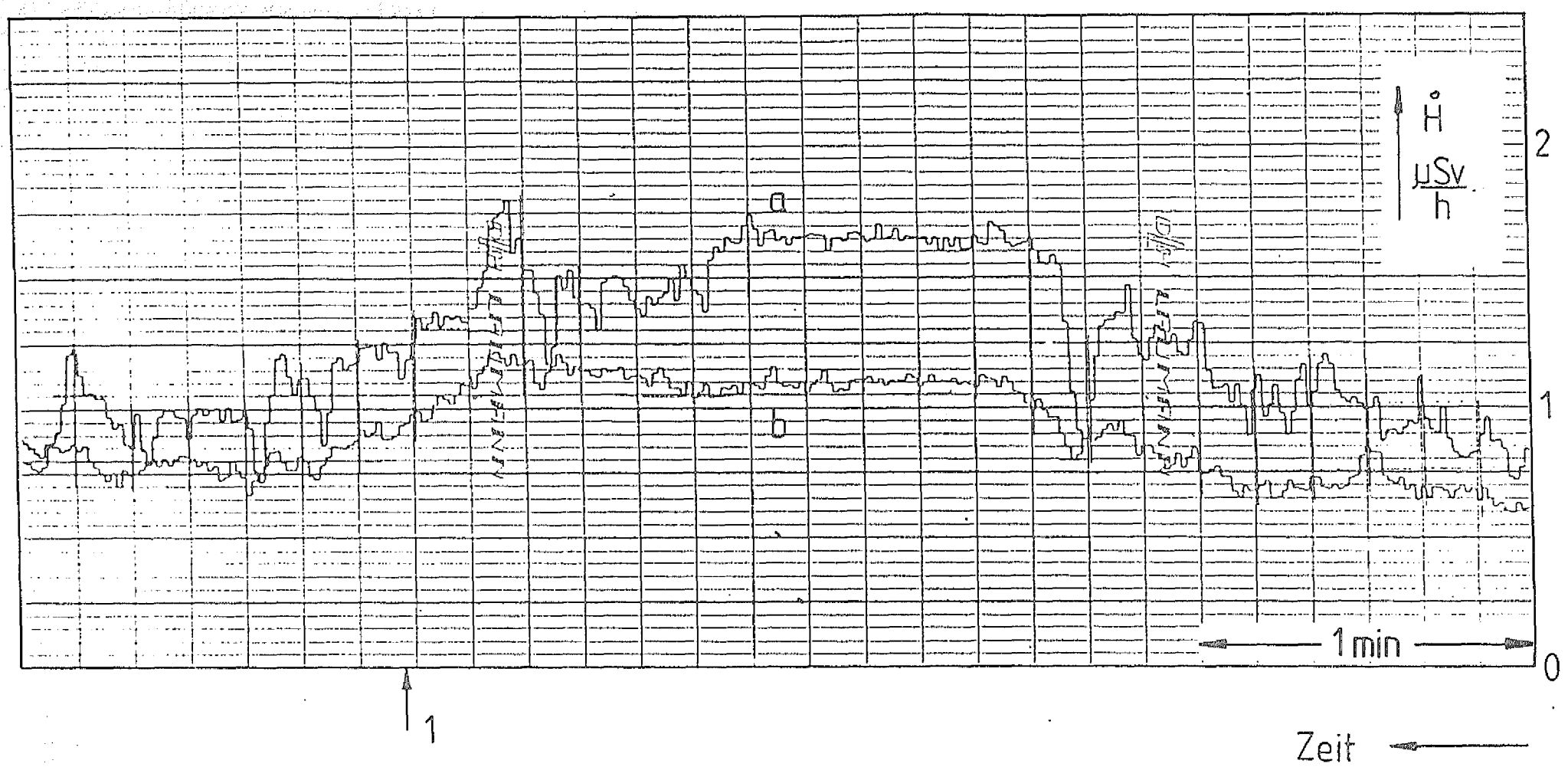


Fig. 7: Beispiel des Dosisleistungsverlaufs in der Region Novozybkov

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges
1 = 35,1 km nach Meßbeginn, Ortseingang Nov. Bobovič̌i

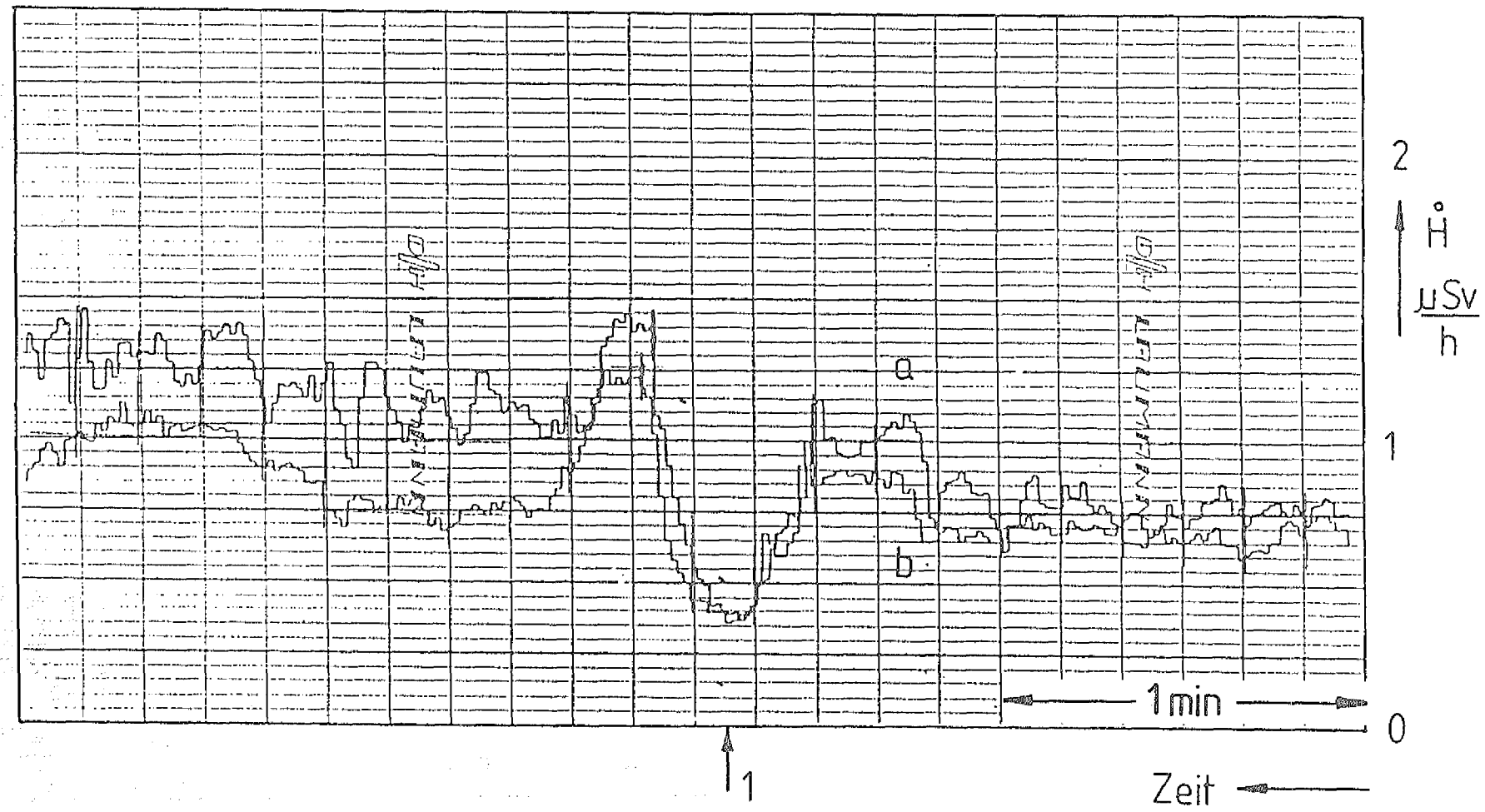


Fig. 8: Beispiel des Dosisleistungsverlaufs in der Region Novozybkov
Dosisleistung bei Überquerung des Flusses Iputj

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges
1 = Brücke über den Iputj

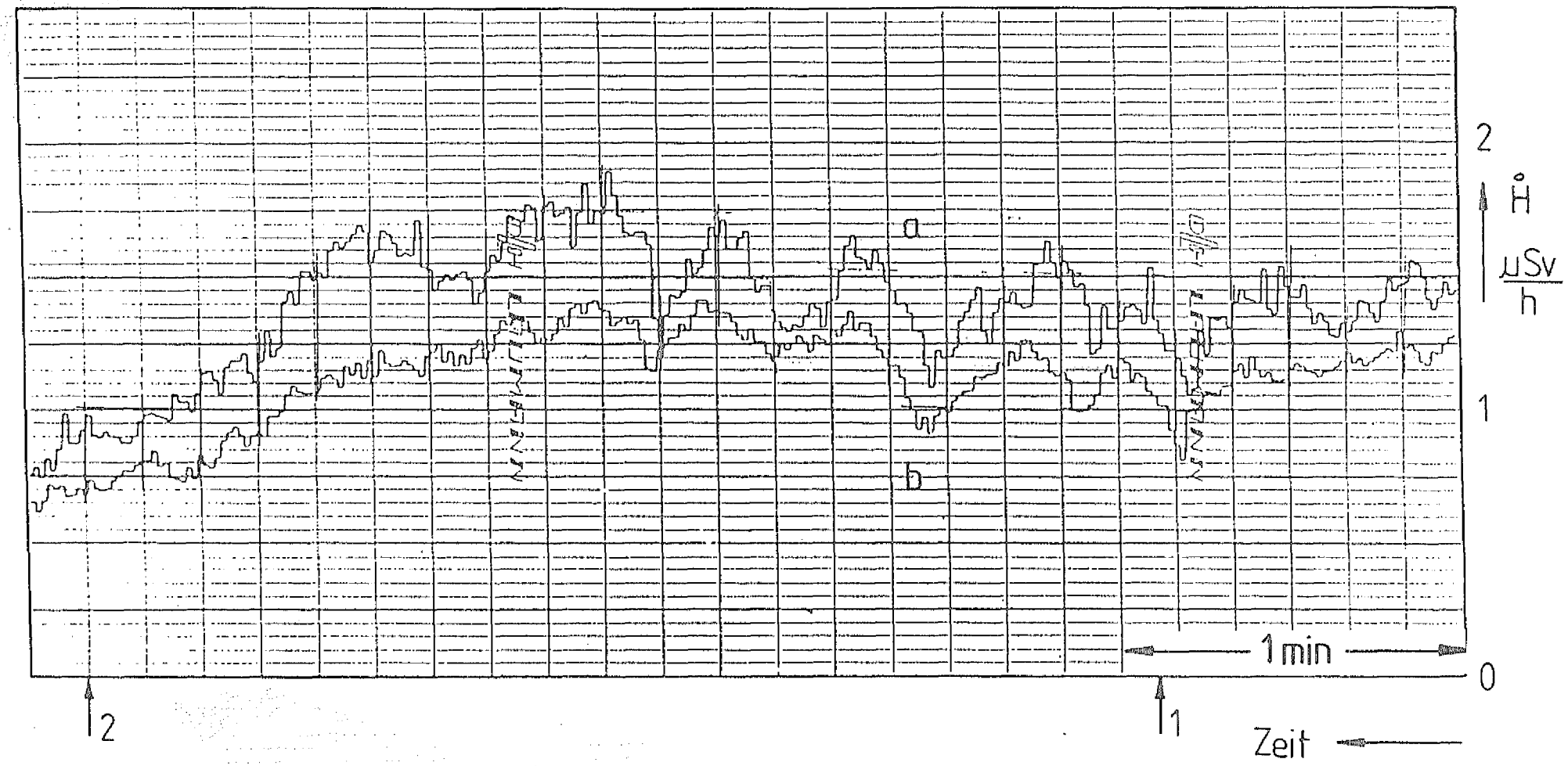


Fig. 9: Beispiel für größere Änderungen der Dosisleistung als Funktion des Ortes auf der Fahrt von Novozybkov nach Gomel

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges

1 = 32 km nach Meßbeginn
2 = 36 km nach Meßbeginn

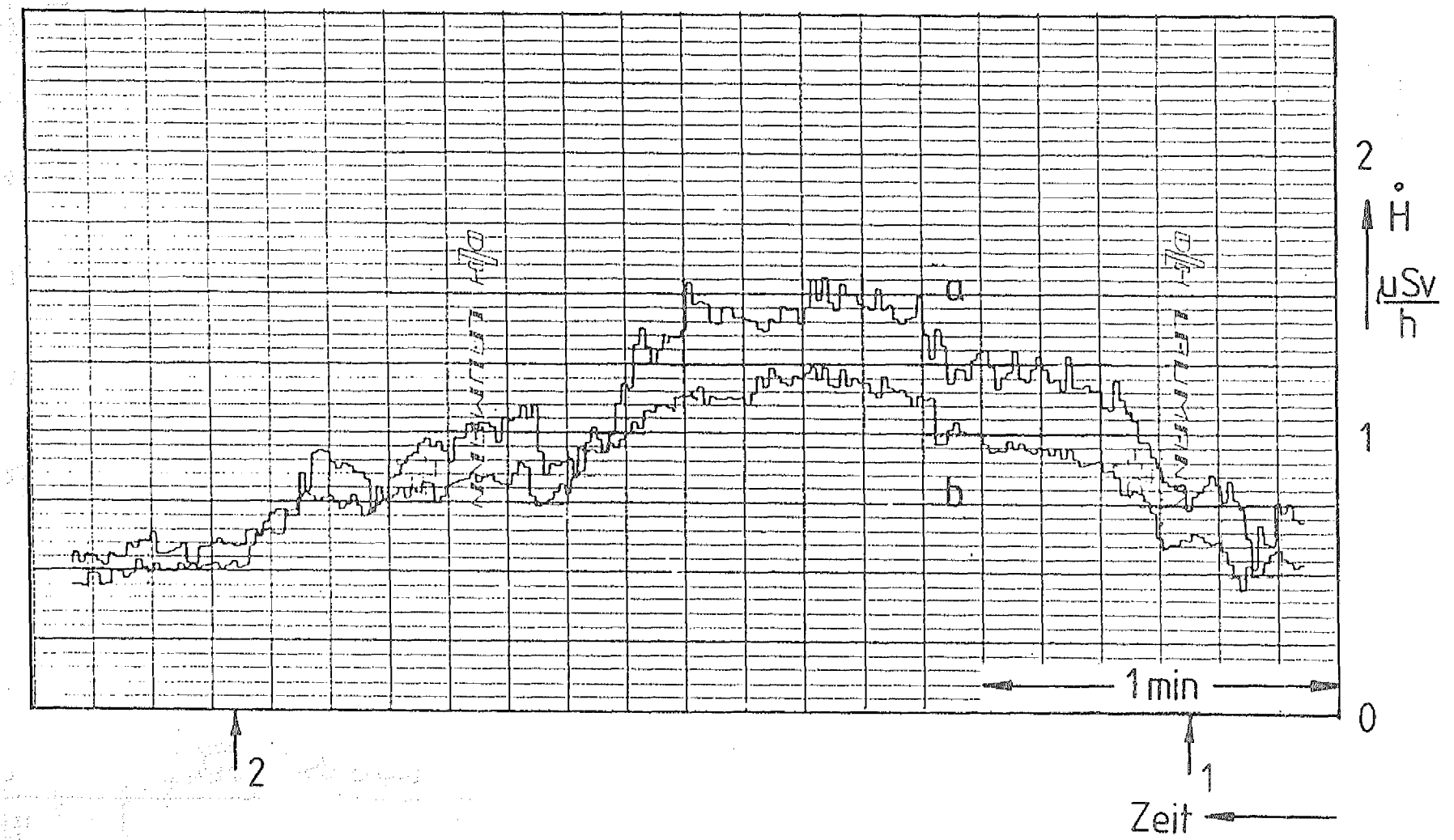


Fig. 10: Markante Dosisleistungserhöhung auf der Fahrt von Ovruč nach Kalinkoviči

Ḣ = Dosisleistung
a = Detektor an der rechten Seite des Fahrzeuges
b = Detektor an der linken Seite des Fahrzeuges

1 = 51 km nach Meßbeginn
2 = 53 km nach Meßbeginn

Anhang 1

Dosisleistung auf Straßen und Wegen
bei der Fahrt in Richtung Vetka

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
0	Nördlich von Gomel an der Brücke über den Sož			
		Fahrt in Richtung Vetka	< 0,25	0,35 $\mu Sv.h^{-1}$ auf dem Parkplatz vor Fahrtbeginn. Auf der Straße sinkt die Dosisleistung sofort auf ≈ 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$.
2,4	---			
		---	0,25 - 0,50	
3,2	---			
		---	0,50 - 1,0	
3,3	---			
		---	0,25 - 0,50	
4,3	---			
		nach 9,4 km einbiegen in die Straße in Richtung "Roter Winkel"	0,50 - 1,0	Anzeigen 2 x kurzzeitig größer als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$; Maximalwert 1,2 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
11,2	---			
		in "Roter Winkel"	0,25 - 0,50	
11,9	---			
		---	0,50 - 1,0	
12,1	---			
		durch Kosizkaja	0,25 - 0,50	Dosisleistung kurz-zeitig einmal größer 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$
16,7	---			
		---	0,50 - 1,0	
17,4	---			
		---	0,25 - 0,50	
18,4	---			
		---	0,50 - 1,0	
18,9	---			
		durch Popsuevka	0,25 - 0,50	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
20,5	---			
		---	0,50 - 1,0	Werte kurzzeitig kleiner 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$
25,9	Anfang eines Orts-teiles von Popsuevka			
		in einem evakuierten Orts-teil von Popsuevka	0,25 - 0,50	Werte kurzzeitig größer 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$ Maximalwerte 0,55 $\mu Sv.h^{-1}$
27,0	---			
		zurück nach Popsuevka auf anderem Weg als bei der Hinfahrt	0,50 - 1,0	
27,9	---			
		---	0,25 - 0,50	Werte kurzzeitig auch größer 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$
28,6	---			
		---	0,50 - 1,0	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
29,3	---			
		in Popsuevka, von dort auf dem gleichen Weg wie bei der Hinfahrt zurück zur Straße nach Gomel	0,25 - 0,50	
31,1	in Popsuevka			
		---	0,50 - 1,0	
31,4	in Popsuevka			
		---	0,25 - 0,50	
32,4	---			
		---	0,50 - 1,0	
33,3	---			
		durch Kosizkaja	0,25 - 0,50	Kurzzeitig Werte über 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$. Bei 36,9 km Anzeigenerhöhung des einen Detektors auf 0,85 $\mu Sv.h^{-1}$ für die Dauer von 1 s.

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
38,8	---			
		---	0,50 - 1,0	
39,2	---			
		---	0,25 - 0,50	
39,5	---			
		---	0,50 - 1,0	
40,0	---			
		---	1,0 - 1,5	Maximalwert 1,2 $\mu Sv.h^{-1}$
40,8	---			
		---	0,50 - 1,0	
41,6	---			
		---	0,25 - 0,50	
41,7	Einmündung der Straße von "Roter Winkel" auf die Straße Gomel-Vetka			Ende der Messungen

Anhang 2

Dosisleistung auf Straßen und Wegen
in der Region Bragin

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
0	Auf der Straße von Rečica nach Chojniki, 10,8 km vor Abzweigung nach Poseliče			
		Fahrt in Richtung Chojniki	< 0,25	
9,0	Auf der Straße von Rečica nach Chojniki			
		Abbiegen nach Poseliče bei Streckenkilometer 10,8, weiter über Marchlevsk	0,25 - 0,50	Vor Marchlevsk zeigt der zum Straßenrand gerichtete Detektor auf einer kurzen Strecke Werte etwas größer als 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$ an.
12,0	etwa Ortsmitte Marchlevsk			
		Bis Ortsende Listwin, dann teilweise auf anderer Strecke zurück nach Marchlevsk	0,50 - 1,0	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
21,2	Ortsende Marchlevsk			
		über Weletin	0,25 - 0,50	In Weletin Werte kurz geringfügig höher als 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$
25,5	Ortsende Weletin			
		über Pudakov	0,50 - 1,0	
28,5	Ortsende Pudakov			
		---	0,25 - 0,50	
29,2	Zwischen Pudakov und Mikuliji			
		über Mikuliji	0,50 - 1,0	Dosisleistung siehe Fig. 3
34,0	vor Schkurati			
		über Schkurati, Bragin	0,25 - 0,50	
36,0	hinter Bragin			
		über Gorodische	< 0,25	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
51,5	kurz vor Ortsende Gorodische			
			0,25 - 0,50	Werte nur gering-fügig über 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$
52,0	kurz vor Malejkj			
		über Malejkj	< 0,25	
53,5	in Malejkj			
			0,25 - 0,50	
56,0	etwa in der Mitte zwischen Malejkj und Sarejče			
		über Sarejče	< 0,25	
60,0	zwischen Sarejče und Kriwa			
		Richtung Kriwa	0,25 - 0,50	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$ <	Bemerkungen
61,7	Ortsanfang Kriwa			
		über Kriwa, Kr. Niva, Ritow, Malogin, Cemerisi, Chrakovič, Leninskij, Novaja Greblja, Prosmič, Gruschnoj	< 0,25	Zwischen Prosmič und Gruschnoj und vor Savič liegen die Werte praktisch bei 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$
102,8	kurz vor Savič			
		über Savič	0,25 - 0,50	
106,4	hinter Ortsausgang Savič			
		Drehen und Fahrt zurück	0,50 - 1,0	Entnahme einer Bodenprobe kurz hinter Ortsausgang Savič
106,6	hinter Ortsausgang Savič			
		durch Savič weiter in Richtung Komarin	0,25 - 0,50	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
116,0	Rechts an der Straße liegt ein unbewohnter Ort			
			0,50 - 1,0	
117,5	---			
			1,0 - 1,5	
118,5	---			
			1,5 - 2,5	
120,0	Vor der Brücke über den Fluß Braginka			
			> 2,5	Maximalwert 3,75 $\mu Sv.h^{-1}$ Dosisleistung siehe Fig. 4
121,2	---			
			1,5 - 2,5	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
121,4	---			
			1,0 - 1,5	
121,6	---			
			0,5 - 1,0	
123,7	vor Ludvinovo			
		über Ludvinovo, Krasnoe, Golnbovka	0,25 - 0,50	
128,2	in Golnbovka			
		an Bezioski vorbei durch Komarin, hinter Komarin abbiegen auf eine Straße in Richtung Tschernobyl, durch Gden bis zu der Schranke, die die Weiter-fahrt in Richtung Tschernobyl begrenzt	< 0,25	Auf dieser Strecke war 4 x kurzzeitig die Dosisleistung größer 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$ und zwar am Orts-ende Golnbovka, bei Bezioski, vor Komarin und bei Gden.
169,8	Schranke auf dem Weg nach Tschernobyl			An der Schranke Dosisleistung ca. 0,10 $\mu Sv.h^{-1}$

Anhang 3

Dosisleistung auf Straßen und Wegen in der Region Novozybkov

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
0	Abzweigung der Straße nach Novozybkov von der Straße M 13 (Gomel - Bransk)			
		Fahrt Richtung Novozybkov	0,50 - 1,0	Werte nur gering-fügig größer als 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$
0,5	---	---	0,25 - 0,50	
1,4	---	---	0,50 - 1,0	Werte nur gering-fügig größer als 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$
2,0	Kurz vor Ortsein-gang Novozybkov			
		---	0,25 - 0,50	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
2,2	Ortseingang Novozybkov			
		Durch verschiedene Straßen in Novozybkov insgesamt 17,7 km, davon 1,1 km 11,3 km 5,3 km	< 0,25 0,25 - 0,50 0,50 - 1,0	Dosisleistung in der Stadt relativ stark ortsabhängig. Werte zwischen 0,15 und 0,9 $\mu Sv.h^{-1}$. Die geringsten Werte wurden auf einer Straße, die parallel zum Fluß verlief (Fig. 5), und auf dem Leninplatz gemessen.
19,9	Ortsausgang Novozybkov			
		in Richtung Bobovič̌i	0,50 - 1,0	
22,1	---			
		---	1,0 - 1,5	Werte etwa bei 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
22,4	---			
		durch N. Mesto	0,50 - 1,0	In N. Mesto Dosisleistung 2 x kurzzeitig kleiner als 0,50 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
24,2	vor Karna			
		Karna	1,0 - 1,5	Am Ortseingang Karna auf einer Strecke von ca. 50 m Werte kleiner als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
26,1	in Karna			
		Karna	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,75 $\mu Sv.h^{-1}$. Der zum Straßenrand gerichtete Detektor zeigt 1,7 x so große Werte wie der andere Detektor an. (Fig. 6)
26,2	in Karna			
		Karna	1,0 - 1,5	Fig. 6
26,5	in Karna			
		Karna	0,50 - 1,0	Fig. 6
26,6	in Karna			
		von Karna in Richtung Stare Bobovici	1,0 - 1,5	Auf dieser Strecke Dosisleistung 2 x kurzzeitig größer 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$ und 2 x kurzzeitig kleiner 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$ (Fig. 6)

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
28,5	---			
		---	0,50 - 1,0	
28,8	---			
		---	1,0 - 1,5	
29,3	---			
		---	0,50 - 1,0	
29,8	kurz vor der Brücke über den Iputj			
		---	1,0 - 1,5	
30,0	Anfang der Brücke			
		auf der Brücke	0,50 - 1,0	Auf der Brücke war die Dosisleistung kurzzeitig sogar kleiner 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$
30,2	Ende der Brücke			
		---	1,0 - 1,5	
30,4	vor Stare Bobovič̌i			
		Stare Bobovič̌i	0,50 - 1,0	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
31,7	in Stare Bobovič̌i			
		Stare Bobovič̌i	1,0 - 1,5	
31,8	in Stare Bobovič̌i			
		Stare Bobovič̌i	0,50 - 1,0	
32,6	---			
		---	0,75 - 1,25	Werte schwanken um 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
33,6	---			
		---	1,0 - 1,5	Werte kurzzeitig kleiner als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
33,8	---			
		---	1,5 - 2,5	Der zum Straßenrand gerichtete Detektor zeigt 1,5 x so hohe Werte wie der andere Detektor an. (Fig.7) Maximalwert 1,70 $\mu Sv.h^{-1}$
34,4	---			
		---	1,0 - 1,5	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
34,9	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,75 $\mu Sv.h^{-1}$ (Fig. 7)
35,0	Kurz vor Ortsein-gang Nov. Bobovič̌i			
		Nov. Bobovič̌i	1,0 - 1,5	
35,3	in Nov. Bobovič̌i			
		Nov. Bobovič̌i	0,50 - 1,0	
36,2	in Nov. Bobovič̌i			
		in Nov. Bobovič̌i drehen und zurück	0,25 - 0,5	
36,4	in Nov. Bobovič̌i			
		Nov. Bobovič̌i	0,50 - 1,0	Werte z.T. gering-fügig größer als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
37,9	Nahe des Ortsein-ganges			Einfahrt in eine Sei-tenstraße zur Boden-probenahme.

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
		Nach Bodenprobennahme Rückfahrt über Stare Bobovič zur Brücke über den Iputj	1,0 - 1,5	Anzeige des zum Straßenrand gerichteten Detektors bei Hin- und Rückfahrt unterschiedlich. Anzeigen kurzzeitig über 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$.
39,9	---			
		---	0,50 - 1,0	
42,6	Ende der Brücke über den Iputj			Werte mehrmals kurzzeitig über 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$ und zweimal kleiner als 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$ (Wert kleiner 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$ auf der Brücke). (Fig. 8)
		Fahrt in Richtung Karna bis ca. 1,4 km hinter der Brücke, dann abbiegen in Richtung Gatka	1,0 - 1,5	Anzeigen mehrmals kurzzeitig etwas kleiner als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$. Bei einem Zurücksetzen und Drehen des Autos,

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
				als das Auto sich außerhalb der Straße auf einem Nebenweg befand, Anzeigenerhöhung kurzzeitig auf 2,4 $\mu Sv.h^{-1}$.
45,6	---			
		---	0,50 - 1,0	
46,1	---			
		---	1,0 - 1,5	
46,3	---			
		---	0,50 - 1,0	
46,5	---			
		---	1,0 - 1,5	Werte 2 x kurzzeitig kleiner als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
46,8	in Gatka			
		Gatka	0,50 - 1,0	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
46,9	in Gatka			
			1,0 - 1,5	
47,2	etwa Ortsende Gatka			
		Nach Bodenprobenahme zurück durch Gatka zur Straße nach Novozybkov	1,5 - 2,5	Hinter Ort Gatka Bodenprobenahme Maximalwert 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$
47,8	Ortsende Gatka			
		---	1,0 - 1,5	
49,0	---			
		---	0,50 - 1,0	
49,9	---			
		Abbiegen auf die Straße nach Novozybkov über Karna und N. Mesto	1,0 - 1,5	Zunächst Werte kurzzeitig einige Male unter 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$, später Werte kurzzeitig einige Male über 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$.
52,7	---			
		---	0,50 - 1,0	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
52,8	---			
		---	1,0 - 1,5	Werte kurzzeitig größer als 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$.
54,8	---			
		---	0,50 - 1,0	Werte kurzzeitig unter 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$.
56,4	---			
		---	1,0 - 1,5	
56,6	---			
		---	0,50 - 1,0	
57,9	---			
		---	1,0 - 1,5	
58,1	---			
		---	0,50 - 1,0	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
60,6	Anfang Novozybkov			
		durch Novozybkov auf anderen Wegen als bei der Hinfahrt 0,3 km	< 0,25	
		6,9 km	0,25 - 0,5	
		1,2 km	0,50 - 1,0	
69,0	Ortsende Novozybkov			
		von Novozybkov zur Straße M 13 (Gomel - Bransk)	0,50 - 1,0	Werte nur wenig über 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$.
69,2	---			
		---	0,25 - 0,50	
70,8	---			
		---	0,50 - 1,0	
71,2	Einmündung der Straße von Novozybkov auf die M 13			Ende der Messungen in der Region Novozybkov.

Anhang 4

Dosisleistung auf der Straße
von Novozybkov nach Gomel

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
0	Einmündung der Straße von Novozybkov auf die M 13 (Bransk-Gomel)			
		Auf der M 13 in Richtung Gomel	0,50 - 1,0	
0,9	---			
		---	1,0 - 1,5	
1,1	---			
		---	0,50 - 1,0	Werte 2 x kurzzeitig größer als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
5,1	---			
		---	1,0 - 1,5	Werte 2 x kurzzeitig kleiner als 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
11,5	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,7 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
11,8	---			
		---	1,0 - 1,5	
11,9	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$
13,2	---			
		---	1,0 - 1,5	
15,8	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,6 $\mu Sv.h^{-1}$
15,9	---			
		---	1,0 - 1,5	Anzeige kurzzeitig unter 1,0 $\mu Sv.h^{-1}$
16,5	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$ Werte kurzzeitig unter 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
18,4	---			
		---	1,0 - 1,5	2 x Werte kurzzeitig oberhalb 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$
19,2	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,7 $\mu Sv.h^{-1}$
19,4	---			
		---	1,0 - 1,5	kurzzeitig 0,85 $\mu Sv.h^{-1}$
19,8	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$ Werte kurzzeitig unter 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$
21,5	---			
		---	1,0 - 1,5	
21,8	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
23,2	---			
		---	1,0 - 1,5	
26,3	---			
		---	0,50 - 1,0	
26,8	---			
		---	1,0 - 1,5	
27,9	---			
		---	1,5 - 2,5	kurzzeitig Werte unter 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$ Maximalwert 1,8 $\mu Sv.h^{-1}$
30,2	---			
		---	1,0 - 1,5	kurzzeitig Werte oberhalb 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$
31,7	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,6 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
31,9	---			
		---	1,0 - 1,5	Dosisleistungsverlauf bis 36 km siehe Fig.9
32,5	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,6 $\mu Sv.h^{-1}$
32,7	---			
		---	1,0 - 1,5	
33,1	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,7 $\mu Sv.h^{-1}$
33,4	---			
		---	1,0 - 1,5	
33,6	---			
		---	1,5 - 2,5	Maximalwert 1,9 $\mu Sv.h^{-1}$
35,0	---			
		---	1,0 - 1,5	

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
35,5	---			
		---	0,50 - 1,0	
40,2	---			
		---	0,25 - 0,50	
45,8	---			
		Ortseingang Gomel bei Streckenkilometer 69	< 0,25	ab Streckenkilometer 49 Werte etwa bei 0,12 $\mu Sv.h^{-1}$ und kleiner
87,0	---	Ankunft Tourist Hotel in Gomel		

Anhang 5

Dosisleistung auf der Straße
von Ovruc nach Kalinkovici

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
0	Ortsausgang Ovruč			
		Fahrt in Richtung Kalinkoviči	< 0,25	
6,5	---			
		Fahrt in Richtung Kalinkoviči	0,25 - 0,50	Langsamer Anstieg auf 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$. Dieser Wert wird bei 10 km erreicht und etwa 370 m lang beibehalten. Dann wieder langsame Abnahme der Dosisleistung.
13,8	---			
		durch Pziluki	< 0,25	
21,4	---			
		---	0,25	
22,3	---			
		durch Rudnj	< 0,25	Werte nur wenig kleiner als 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
24,6	---			
		---	0,25 - 0,50	Werte etwa bei 0,25 $\mu Sv.h^{-1}$
25,9	---			
		---	< 0,25	
27,7	---			
		---	0,25 - 0,50	
29,7	---			
		---	0,50 - 1,0	Werte nur gering-fügig größer als 0,5 $\mu Sv.h^{-1}$
31,1	---			
		---	0,25 - 0,50	
31,8	---			
		---	0,50 - 1,0	Maximalwert 0,65 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
33,4	---			
		---	0,25 - 0,50	
42,2	---			
		---	0,50 - 1,0	
43,2	---			
		---	0,25 - 0,50	
44,4	---			
		---	0,50 - 1,0	Maximalwert 0,6 $\mu Sv.h^{-1}$
44,8	---			
		---	0,25 - 0,50	
45,0	etwa bei der Brücke über den Fluß Spovečna			
		---	0,50 - 1,0	Maximalwert 0,55 $\mu Sv.h^{-1}$

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
45,1	---			
		Bei 46 km Überquerung der Grenze nach Weißrußland	0,25 - 0,50	
46,6	---			
		---	0,50 - 1,0	Maximalwert 0,8 $\mu Sv.h^{-1}$
48,4	---			
		---	0,25 - 0,50	
48,7	---			
		---	0,50 - 1,0	
49,1	---			
		---	0,25 - 0,50	
49,6	---			
		---	0,50 - 1,0	
51,0	---			
		---	1,0 - 1,5	Kurzzeitig mehrmals 1,5 $\mu Sv.h^{-1}$ über-schritten, Maximal-wert 1,55 $\mu Sv.h^{-1}$ (Fig. 10)

Entfernung seit Meß-beginn km	Lage des Punktes in Spalte 1	Streckenverlauf	Dosisleistung $\mu Sv.h^{-1}$	Bemerkungen
51,2	---			
		---	0,50 - 1,0	
51,4	---			
		---	1,0 - 1,5	Maximalwert 1,1 $\mu Sv.h^{-1}$
51,6	---			
		Bei 53,0 km Ortseingang Asavj	0,50 - 1,0	
54,4	---			
		---	0,25 - 0,50	
68,6	---			
		Fahrt weiter bis Kalinkoviči. Dort bei 104 km Abbiegen auf die Straße M 13 nach Gomel	< 0,25	Werte sinken bei 68,6 km sofort unter 0,2 $\mu Sv.h^{-1}$. Der Wert von 0,2 $\mu Sv.h^{-1}$ wird bis zum Ende der Messung nicht mehr überschritten. Werte liegen größtenteils etwa bei 0,12 $\mu Sv.h^{-1}$.
115	Kurz hinter Kalinkoviči			Ende der Messung

Anhang 6

ASS-UW

Datum: 07.09.1990
Bearbeiter: Dr. Heinemann
Lock
Lfd. Nr.: 112

Laborbericht
ASS-UW/I 90/1

Auswertung der Proben aus der Region Tschernobyl

Von der Meßfahrt in das Gebiet von Gomel hatten Herr Dr. Heinzelmann und Herr Schirmer (beide ASS) fünf Bodenproben mitgebracht. Diese Proben wurden mit dem Spaten von unbearbeiteten Böden genommen und enthielten noch das auf der Bodenfläche gewachsene Gras. Die Probennahmefläche betrug jeweils 20 x 20 cm² und die Einstichtiefe etwa 5 cm. Nach der Probenahme wurden die Proben zum Transport in eine Folie dicht verpackt.

Zur Vorbereitung der Untersuchungen wurden im Aktivlabor der ASS Gras und Boden getrennt in Ringschalen gefüllt. Aliquots der Bodenproben wurden für die Strontium-Analyse abgezweigt. Nach der gammaspektrometrischen Auswertung wurden die Abdeckfolien wieder von den Ringschalen entfernt und die Proben an der Luft getrocknet, um das Trockengewicht zu ermitteln.

In Tabelle 1 sind für jede Probe Probenort, die nuklidspezifischen Kontaminationen des Bodens und des Grases, die am Ort der Probenahme gemessene Ortsdosisleistung, die aus den gemessenen nuklidspezifischen Kontaminationen des Bodens berechneten Ortsdosisleistungen sowie die Gewichte der Proben beim Eintreffen in Jülich und nach der Lufttrocknung angegeben.

Aus der Streuung der Gewichte der Proben bei der Ankunft in Jülich muß man schließen, daß der Boden entweder unterschiedlich feucht war oder unterschiedliche Dichte hat oder mit unterschiedlicher Einstichtiefe genommen wurde. Daher ist nur eine Angabe der nuklidspezifischen Kontaminationen pro Quadratmeter sinnvoll.

Tabelle 1

Angaben zu den "Tschernobylproben"

Proben-Nr.:	Ort	Kontamination des Bodens in Bq/m2							Kontamination des Grases in Bq/m²		Ortsdosisleistung in µSv/h		Bodenmasse in kg	
		Co-60	Rh-106	Sb-125	Cs-134	Cs-137	Ce-144	Sr-90	Cs-134	Cs-137	gemessen	gerechnet *	bei Ankunft	nach Lufttrocknung
1	Waldstück bei Gomel	8,7E0	1,7E4	1,5E4	1,1E5	8,0E5	5,8E3	1,5E4	3,7E3	2,7E4	1,5	1,2	1,45	1,13
2	Wiese bei Mikuliji	<3,5E2	2,2E4	9,4E3	6,8E4	4,9E5	1,8E3	1,3E4	2,2E2	1,7E3	1,3	0,8	2,09	1,90
3	Wiese bei Savači	3,7E2	4,4E4	7,2E3	7,5E4	5,4E5	5,3E4	4,6E4	3,2E2	2,3E3	1,4	1,0	3,13	2,90
4	Wiese mit Bäumen bei Bobovači	<3,0E2	2,1E4	1,6E4	1,6E5	1,2E6	<3,0E3	1,2E4	1,9E3	1,5E4	5**	1,7	2,70	2,17
5	Wiese am Kieferwald bei Gatka	<1,1E2	2,8E4	2,1E4	1,5E5	1,1E6	<1,1E3	1,4E4	1,6E3	1,2E4	2	1,7	3,56	2,92

* Ohne den Beitrag der natürlichen Radioaktivität von etwa 0,1 µSv/h.
** Dieser Meßwert erscheint zu hoch.

Zur stärksten Kontamination trägt das Nuklid Cs-137 mit im Mittel 8,5 E5 Bq/m² = 23 Ci/km² bei. Dies ist eine für dieses Gebiet erwartete Kontamination. Im Bereich Jülich beträgt die entsprechende Kontamination etwa 3,0 E3 Bq/m². Für alle Proben ist das Verhältnis der Kontaminationen von Cs-134 zu Cs-137 relativ konstant (siehe Tabelle 2, Wert: 0,14) und spiegelt bei bekannten Ausgangskontaminationen die Zeit seit dem Reaktorunfall wider. Neben den beiden genannten Cäsiumnukliden wurden im Boden noch Co-60, Sr-90, Rh-106, Sb-125 und Ce-144 nachgewiesen. Zur weiteren Diskussion der gammaspektrometrischen Meßergebnisse sind in Tabelle 2 die auf die in jeder Bodenprobe gemessene Cs-137-Aktivität normierten relativen nuklidspezifischen Kontaminationen A_i* angegeben. Die Zahlen in den einzelnen Spalten sollten alle gleich sein, wenn der Kontaminationsvorgang auf etwa gleiche Bedingungen zurückzuführen ist. Abweichungen können nur dann auftreten, wenn die zu messenden Aktivitäten sehr klein sind und in den Bereich der Erkennungsgrenzen liegen (Tabelle 2 Spalte 2). In der letzten Spalte der Tabelle 2 fällt der Wert für Probe 3 eindeutig heraus. Auch die relativen Kontaminationen dieser Probe für Co-60, Sr-90 und Rh-106 sind signifikant größer als die der anderen Proben. Der Probenahmeort für Probe 3 liegt dem Reaktor von Tschernobyl am nächsten. Damit ist hier das Auftreten von größeren eventuell auch heißen Teilchen wahrscheinlicher.

Zur Berechnung der Ortsdosisleistung aus den gemessenen nuklidspezifischen Kontaminationen wurde folgende Gleichung verwendet:

$$\overset{\circ}{H} = b\ 3600 \sum_r Kor\ gr$$

Dabei bedeutet:

$\overset{\circ}{H}$	Gammaortsdosisleistung durch Bodenstrahlung in Sv/h.
b = 0,5	Korrektur zur Berücksichtigung der Bodenrauhigkeit und des Eindringens der Nuklide in tiefere Bodenschichten.
Kor	Kontamination des Bodens in Bq/m² durch das Nuklid r.
gr	effektiver Dosisleistungsfaktor für Bodenstrahlung des Nuklids r in (Sv.m²)/(Bq.s)
3600	Zahl der Sekunden pro Stunde

Tabelle 2

Vergleich der auf die für die Probe gemessenen Cs-137-Aktivität normierten relativen Kontaminationen A_i^*

Probe	$A_{Co-60}:A_{Cs-137}$	$A_{Sr-90}:A_{Cs-137}$	$A_{Rh-106}:A_{Cs-137}$	$A_{Sb-125}:A_{Cs-137}$	$A_{Cs-134}:A_{Cs-137}$	$A_{Ce-144}:A_{Co-137}$
1	1,1 E - 5	1,9 E - 2	2,1 E - 2	1,9 E - 2	1,4 E - 1	7,3 E - 3
2	<7,1 E - 4	2,6 E - 2	4,5 E - 2	1,9 E - 2	1,4 E - 1	3,7 E - 3
3	6,8 E - 4	8,5 E - 2	8,2 E - 2	1,3 E - 2	1,4 E - 1	9,8 E - 2
4	2,5 E - 4	1,0 E - 2	1,7 E - 2	1,3 E - 2	1,3 E - 1	2,5 E - 3
5	<1,0 E - 4	1,3 E - 2	2,6 E - 2	1,9 E - 2	1,4 E - 1	1,0 E - 3

Die benutzten Dosisleistungsfaktoren sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3

Nuklidspezifische Dosisleistungsfaktoren
für Bodenstrahlung

Nuklid	Dosisleistungsfaktoren in (Sv.m²)/(Bq.s)
Co- 60	2,3 E - 15
Rh-106	2,7 E - 15
Sb-125	4,3 E - 16
Cs-134	1,5 E - 15
Cs-137	5,5 E - 16
Ce-144	5,9 E - 17

Bis auf einen Probenahmeort (Probe Nr. 4) stimmen die gemessenen und die berechneten Ortsdosisleistungen recht gut überein. Dabei ist der Beitrag der natürlichen Radioaktivität zur Dosisleistung in Höhe von etwa 0,1 µSv/h bei den berechneten Ortsdosisleistungen noch nicht berücksichtigt. Diese Übereinstimmung ist um so erstaunlicher, weil es viele Fehlermöglichkeiten gibt. Bei der Messung der Ortsdosisleistung und bei der Probenahme des Bodens sind technische Fehler möglich. Weder wird die Radioaktivität, die in tiefere Bodenschichten eingedrungen ist, voll erfaßt, noch beschreibt der Abschirmfaktor b mit einem Wert alle Verhältnisse vor Ort korrekt. Allerdings fällt auf, daß die gemessene Ortsdosisleistung jeweils größer als die berechnete ist, was auf einen systematischen Fehler schließen läßt.

Obwohl sich für die Gras- als auch für die Bodenproben die Aktivität in Bq/kg angeben läßt, können Transferfaktoren kaum bestimmt werden. Es ist unbekannt, in welchem "Jahr" das Gras gewachsen bzw. kontaminiert wurde und ob sich mit ausreichender Genauigkeit ein Frischgewicht ermitteln läßt. Äußere Kontaminationen des Grases spielen offensichtlich keine größere Rolle, weil durch Waschen die Kontamination des Grases nur um ungefähr 12 % reduziert wurde.

Zur Bewertung dieser Meßergebnisse werden folgende Anmerkungen gemacht:

- Eine Ortsdosisleistung von 1,5 µSv/h führt bei Daueraufenthalt im Freien zu einer äußeren Strahlenexposition von 0,013 Sv/a = 1,3 rem/a.
- Eine Bodenkontamination von 10^6 Bq Cs-137/m² verursacht unter den den bundesdeutschen Rechenverfahren zu grundliegenden Parametern und Gleichungen bei alleinigem Verzehr der hier erzeugten Lebensmittel durch Wurzelaufnahme eine Ingestionsdosis von

  0,0005 Sv/a = 0,05 rem/a für Kinder bzw.

  0,0036 Sv/a = 0,36 rem/a für Erwachsene.

Damit liefert die äußere Strahlenexposition den entscheidenen Dosisbeitrag.

K Heinemann

Dr. Heinemann

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

KFA

JÜL-2513
August 1991
ISSN 0366-0885