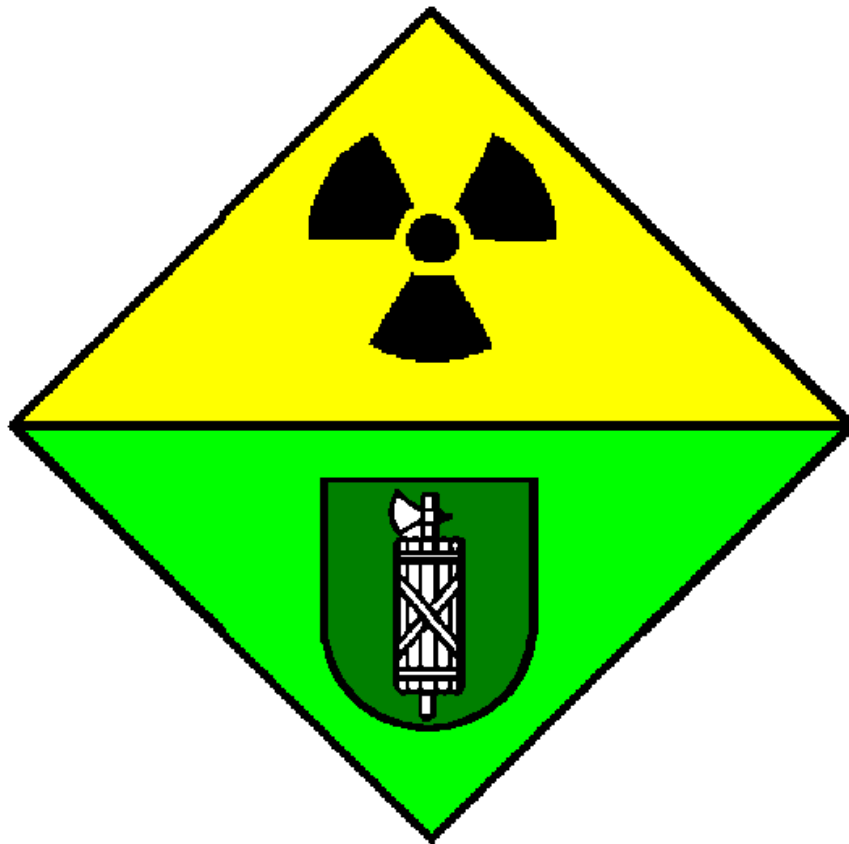


# Natürliche Radioaktivität im Kanton St. Gallen



Kantonsschule Heerbrugg

**Klasse 3tc/4tc**

Koordinationsstelle für  
Katastrophenhilfe

1996

Prof. Dr. Peter Bützer, Prof. Hans Frischknecht

# Inhalt

Inhalt.....	2
1 Natürliche Radioaktivität im Kanton St.Gallen.....	3
1.1 Ortsdosisleistung .....	4
1.1.1 Ein Überblick.....	5
1.1.2 Der Hotspot .....	7
1.2 Die Topographie der Hotspots.....	9
1.2.1 Zur Geologie der Hotspots .....	12
1.3 Statistik.....	14
1.4 Die Aktivitäten der Hotspots .....	22
1.4.1 Vorbemerkungen .....	22
1.4.2 Hotspot Nr.1 .....	22
1.4.3 Hotspot Nr.2 .....	23
1.4.4 Hotspot Nr.3 .....	24
1.4.5 Hotspot Nr.8 .....	25
1.5 Tritium ( $^3_1\text{H}$ ).....	27
1.6 Beryllium ( $^7_4\text{Be}$ ).....	29
1.7 Kohlenstoff ( $^{14}_6\text{C}$ ).....	29
1.8 Kalium ( $^{40}_{19}\text{K}$ ) .....	30
1.9 Radon ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ ).....	32
1.10 Uran und Thorium ( $^{238}_{92}\text{U}$ , $^{235}_{92}\text{U}$ , $^{232}_{92}\text{Th}$ ) .....	34
1.11 Kosmische Strahlung.....	35
1.12 Zusammenfassende Beurteilung.....	37
2 Teilnehmerinnen und Teilnehmer .....	37
3 Dank .....	38
4 Literatur und Hinweise .....	39

# 1 Natürliche Radioaktivität im Kanton St.Gallen

## Kurzinfo

Ist der Kanton St. Gallen ein Gebiet mit besonders hoher oder aussergewöhnlich tiefer natürlicher Radioaktivität? Oder anders gefragt, wo könnten bei uns hohe, wo tiefe **Strahlenexpositionen** für den Menschen durch natürliche Radioaktivität auftreten?

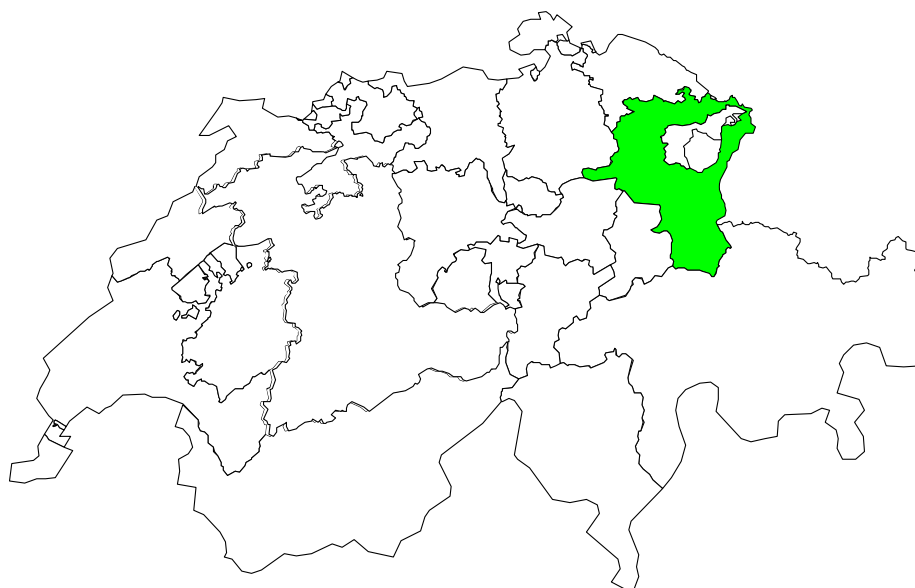


Abbildung 1: Kanton St. Gallen

Bisherige gesamtschweizerische Messungen der **Ortsdosisleistungen** und der Gehalte an natürlichen radioaktiven Stoffen in Nahrungsmitteln und Trinkwasser zeigen, dass der Kanton St. Gallen keine besondere Stellung einnimmt. Die mittleren Werte der an einem Ort direkt messbaren Strahlung liegen bei 60 bis 80 nSv/h<sup>1</sup>. Vor allem weist er, wie die Radonmessungen von 1996 gezeigt haben, keine grösseren Gebiete auf, die eine hohe Radioaktivität zeigen.

Was sagen aber Mittelwerte aus, wie sind sie für einzelne Personen zu interpretieren?

Wieviel natürliche Strahlung ist bei uns vorhanden, was tragen die einzelnen Nuklide bei? Wie gross sind die

Aktivitätsbereiche und was sind die Schwankungen?

Irgendwie steht immer auch die Frage im Raum: „Ist diese natürliche Strahlung gefährlich?“

Eine endgültige Antwort darauf ist uns nicht möglich. **Sicher ist, dass sich der Mensch in seiner ganzen Evolution zusammen mit der natürlichen Radioaktivität entwickelt hat.** Es somit anzunehmen, dass sich das Leben auf diese Strahlung eingestellt hat. Somit können wir die Fragestellung einengen auf: „Wie stark schwankt die natürliche Radioaktivität für Personen, die im Kanton St. Gallen leben?“

## 1.1 Ortsdosisleistung

Als Ortsdosisleistung wird die Aktivität pro Zeit an einem Ort verstanden.

Ortsdosisleistungen werden auf dem Gebiet des Kantons St. Gallen und dem benachbarten Fürstentum Liechtenstein mit dem automatischen Netz NADAM<sup>1</sup> dauernd, und in sehr kurzen Intervallen bestimmt.

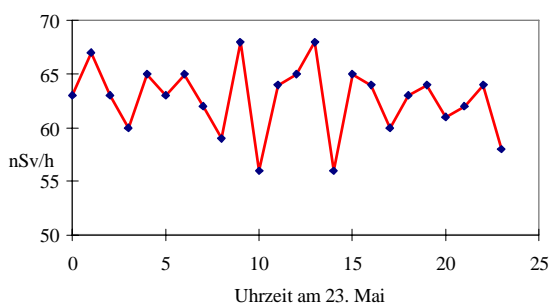


Abbildung 2: Ortsdosisleistung am 23. Mai in St. Gallen, Stundenmittelwerte der NADAM-Sonden

Am Tag der Messungen im Kanton St. Gallen (Übung NARASG<sup>2</sup>), am 23. Mai 1996 war es trocken und sonnig, die Schwankungen der Dosisleistungen also relativ klein, ca. 24%.

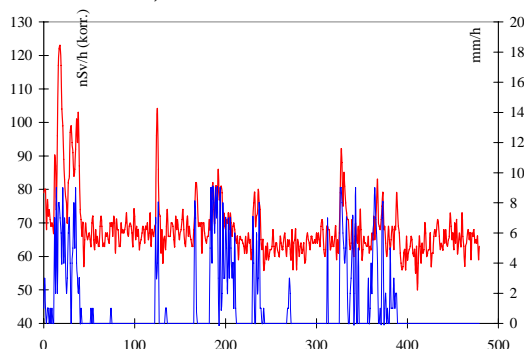


Abbildung 3: Ortsdosisleistungen in St. Gallen, NADAM-Sonden, Stundenmittelwerte, Stunden beginnend am 12. Mai 1996 (rot: Ortsdosisleistungen, blau: Niederschläge)

Der **Regen** hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ortsdosisleistung, da mit ihm radioaktive Stoffe aus der

Atmosphäre ausgewaschen, aber auch Radon aus dem Boden freigesetzt werden kann.

Diese Dosisleistungen sind über die Zeit gesehen nicht konstant. Die Stundenmittelwerte variieren besonders stark bei Niederschlägen - über 100%!!.

Die Tagesmittelwerte streuen weniger, sie sind „ausgeglichener“. An verschiedenen Orten sind sie unterschiedlich.

Interessant ist die Feststellung, dass grössere Niederschläge immer zu einer erhöhten Dosisleistung führen, aber dass diese nach dem Regen sofort absinkt. Dies trifft in der Stadt, auf dem Land und auf dem Berggipfel des Säntis zu. Die Aktivität kommt also mit dem Regen und verschwindet mit ihm.

Ortsdosisleistungen wurden am 23. Mai 1996 vom Zivilschutz der Kantone St. Gallen und Appenzell mit 20 EG90<sup>3</sup> Messgeräten, ca. 1 Meter über Boden bestimmt. Die Messungen dauerten, bis das Blinken der Anzeige aufhörte, was nach den Gerätespezifikationen einem statistischen Fehler kleiner etwa 5% entspricht. Systematische Abweichungen von 10 Geräte wurden mit einem Vergleich der Ortsdosisleistung an demselben Parcours am Donnerstag 22. Mai 1996 ermittelt. Sie betragen von verschiedenen Personen gemessen in Altstätten 68,2 nSv/h mit einer Standardabweichung von 3,5 nSv/h (5.16%). Somit lassen sich systematische Abweichungen mit mehr als 5% kaum

<sup>1</sup> NADAM: Netz zur automatischen Dosis-Alarmierung und -Messung

<sup>2</sup> NARASG: Natürliche Radioaktivität St. Gallen

<sup>3</sup> EG90: Bezeichnung für das Gerät der Firma Automess, 6150 AD 2, Anzeigebereich: 0.1  $\mu$ Sv/h - 10 mSv/h, Messbereich: 0.5  $\mu$ Sv/h - 9.99 mSv/h, Energiebereich: 60 keV - 1.3 MeV

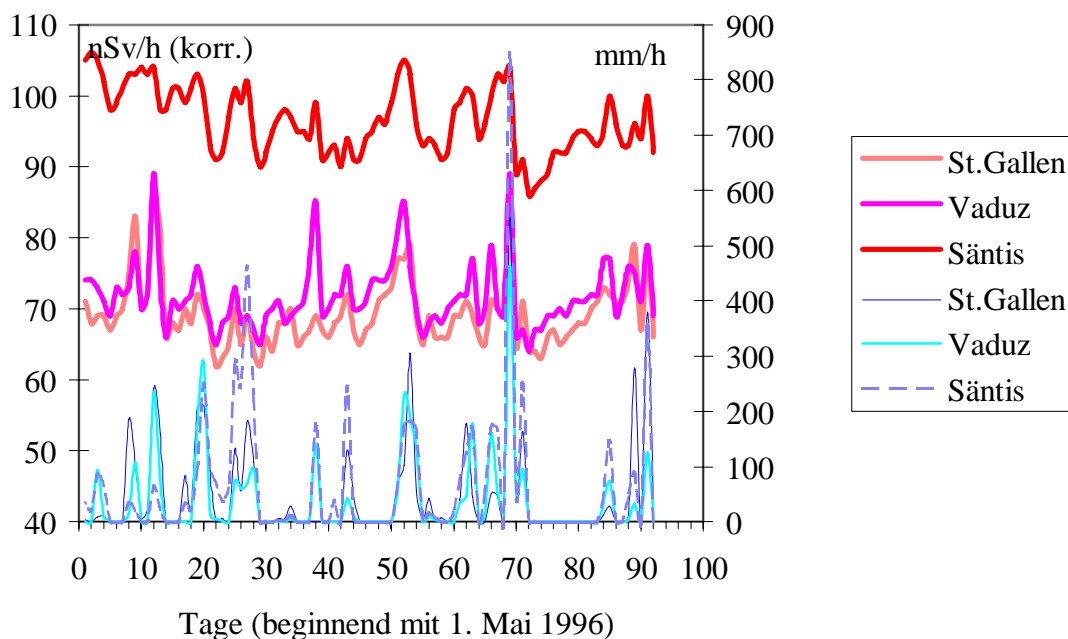


Abbildung 4: Ortsdosisleistungen und Niederschläge, gemessen mit NADAM-Sonden (rötlich: Ortsdosisleistungen, bläulich: Niederschläge)

von der Präzision der Einzelinstrumente unterscheiden.

Die **Messungen im Weisstannental** sind am 3. Juli 1996 durchgeführt worden und

sind immer mindestens fünffache Bestimmungen.

### 1.1.1 Ein Überblick

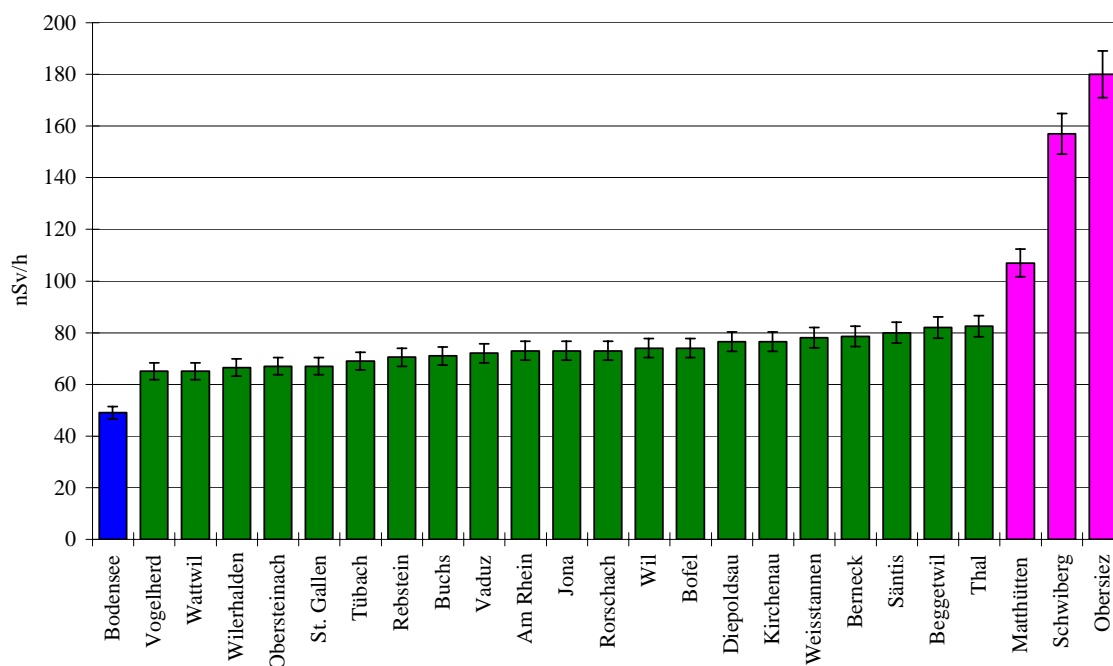
Die Ortsdosisleistung gibt uns lediglich einen unspezifischen Überblick über die externe Strahlenexposition. Mit ihr können die Eigenheiten der Strahlenquellen nicht erkannt werden. Sie ist aber schon deshalb von grosser Bedeutung, weil sie sich leicht messen lässt.

Ein Teil der Messungen wurde der NARASG<sup>4</sup>-Übung und dem Test der Atomwarnposten des Kt. St. Gallen vom Mai 1996 entnommen.

<sup>4</sup> NARASG: Natürliche Radioaktivität, St. Gallen

Abbildung 5: Ein EG-90 Messgerät auf dem Bodensee im Einsatz

Abbildung 7: Der Helikopter beim Messflug am 23.

Abbildung 6: Ortsdosisleistungen gemessen mit EG90 im Kanton St. Gallen<sup>2</sup> (incl. Vaduz)

Die Messungen (Mehrfachbestimmungen) auf dem Bodensee, in der Gegend von Weisstannen und beim Hotspot wurden von uns selbst durchgeführt. Die gemessenen Ortsdosisleistungen im Kanton St. Gallen bewegen sich zwischen 60 und 85 nSv/h, Werten also, die im schweizerischen Mittelland üblich sind<sup>3</sup> (gemessen mit EG90). Diese Messungen konnten mit **aeroradiometrischen Aufnahmen**<sup>4,5,6</sup> in den Gebieten südlicher Bodensee und Altstätten bestätigt werden.

Mai 1996

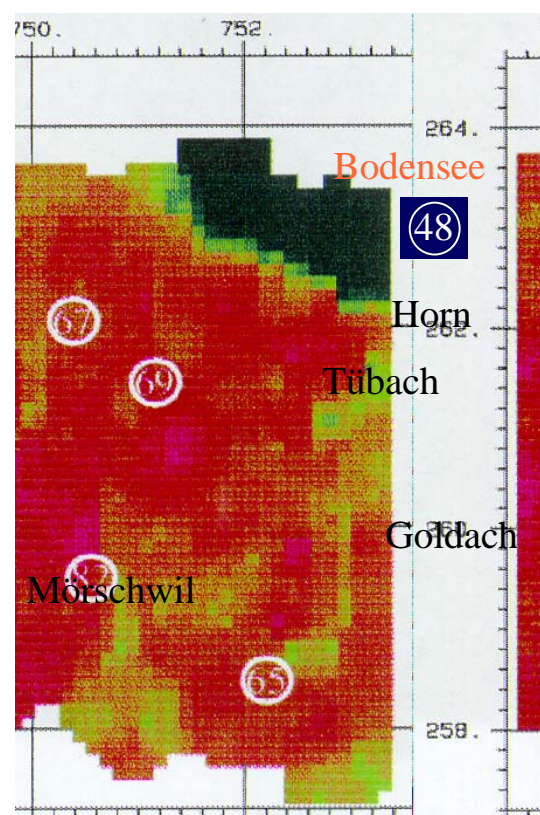


Abbildung 8: Aeroradiometrische Bodenmessungen 23. Mai 1996. Dunkelblau: 7.5 - 46, Hellblau: 46-72, grün: 72-98 nSv/h. (Die Ortsdosisleistungen mit EG90 gemessen sind in nSv/h eingetragen).

Gelangt man aber in ein Gebiet mit höheren Urangelhalten, dann steigen die Ortsdosisleistungen massiv an, das zeigen die Messungen auf den drei Orten Mattshütten, Schwiberg und Obersiez (Weisstannental).

Es ist kein Zufall, dass wir diese Messungen im hinteren Teil des Weisstannentals vorgenommen haben - dazu lagen uns einige wenig bekannte Hinweise als geologische Besonderheiten vor.

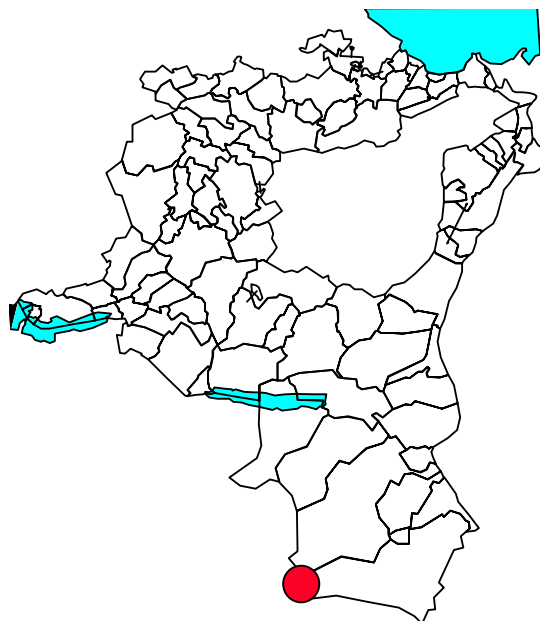


Abbildung 9: Der Kanton St. Gallen mit dem hinteren Weisstannental, dem Gebiet höherer Urangelhalte (als Punkt eingezeichnet)

### 1.1.2 Der Hotspot

Erste **Uranfunde** in der Ostschweiz sind aus dem Jahre 1950 von G.C. Amstutz bekannt<sup>7</sup>, bedeutendere Vorkommen sind von K. Bächtiger im Jahre 1960<sup>8</sup> beschrieben worden. Im Jahre 1970 wurden von W. Balderer und N. Leflef auf St. Galler Boden, im Gebiet „Oberer Plattnerboden“ und „Obersiez“ Uranfunde, und damit **höhere natürliche Ortsdosisleistungen** beschrieben (zitiert in<sup>9</sup>) - im

Vergleich zur Umgebungsstrahlung bezeichnen wir diese als **Hotspots**. Trotz dieser und weiterer Unterlagen von Rybach<sup>10,11,12</sup>, Engi<sup>13</sup> und Gilliéron mit Labhart<sup>14</sup> gelang es uns erst bei der dritten Begehung des Gebietes mit einem Geiger-Müller-Zählrohr<sup>15</sup>, im hinteren Weisstannental die offenen geologischen Schichten mit höheren Uranerzgehalten, diese Hotspots, zu finden.

Abbildung 10: Das Gebiet der "Hotspots" bei der Alp Obersiez

Stellen wir uns einen Aufstieg vom Bodensee, durch das Rheintal (Buchs), über Weisstannen (Untersäss) und die Alpen (Matthütten, Schwiberg) zu unse-

rem Hotspot Nummer 8 vor. Dabei wird die Ortsdosisleistung 1 Meter über dem Boden bestimmt.

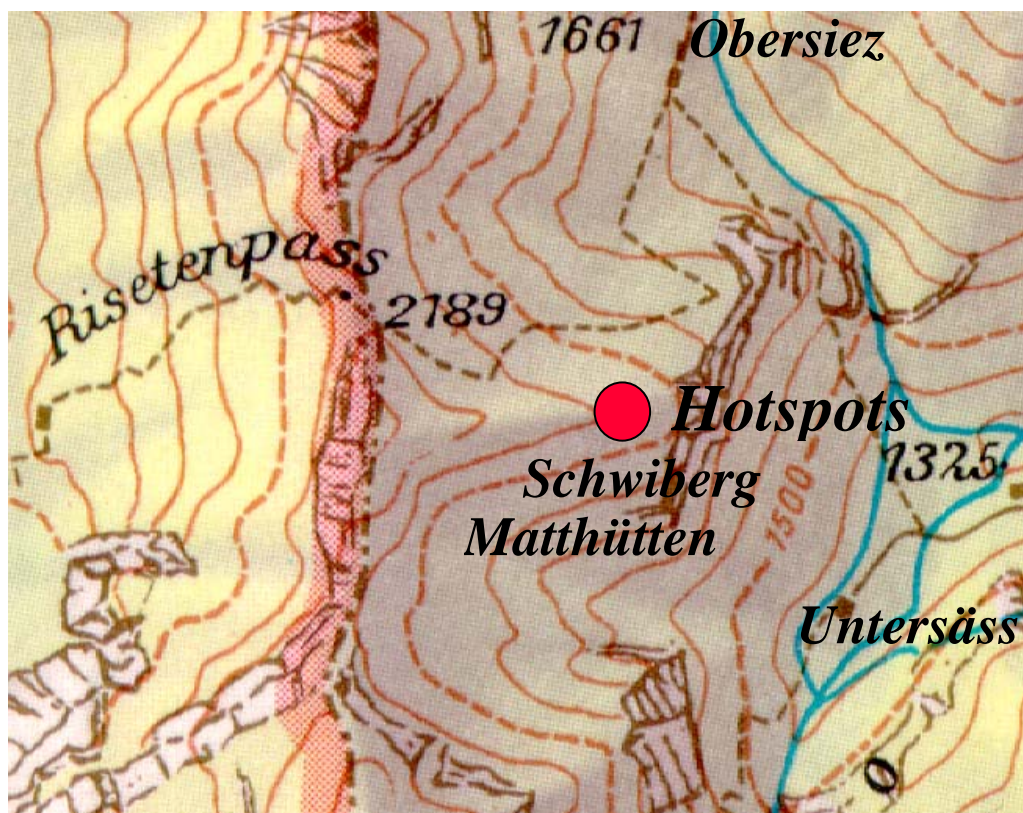


Abbildung 11: Kartenausschnitt des Gebietes im Weisstannental mit den Hotspots (mit Bewilligung von Kümmerly & Frei vom 10.7.96)<sup>16</sup>

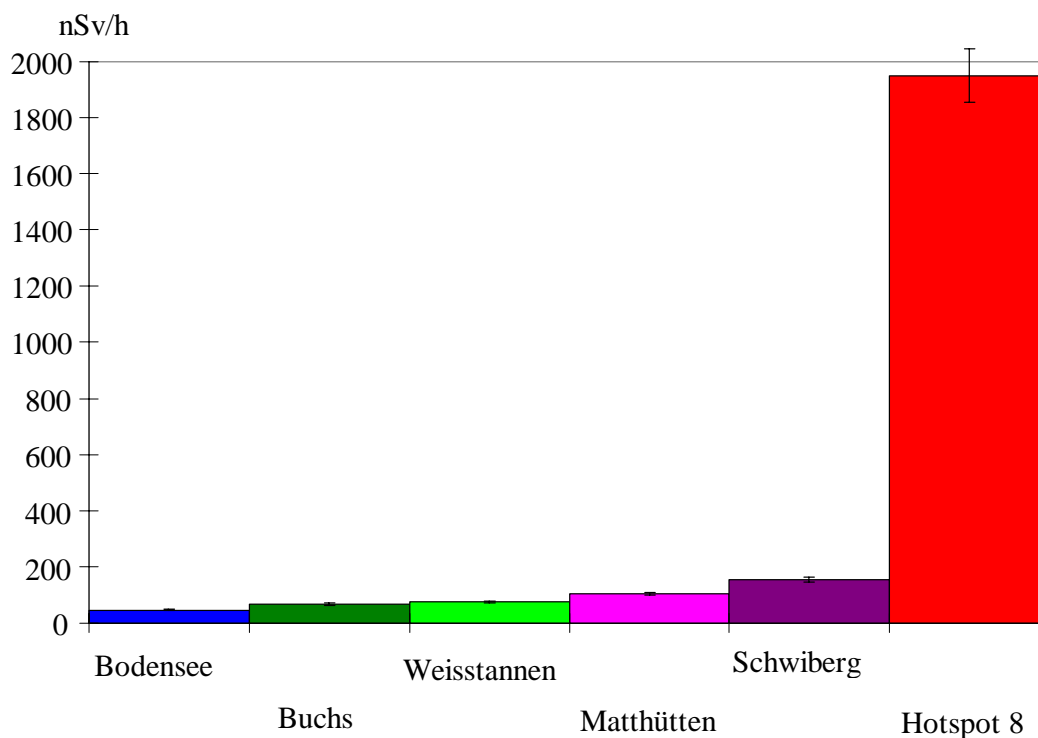


Abbildung 12: Ortsdosisleistungen vom Bodensee zu "Hotspot "

Wir stellen fest, dass die Ortsdosisleistung im Kanton um einen **Faktor 50 schwanken** kann, wenn wir die aktivsten Stellen miteinbeziehen. Wenn wir nur gerade Gebiete berücksichtigen, auf denen Häuser stehen (Matthütten), dann ist es immer noch ein Faktor drei. Ist das gefährlich? In Brasilien findet man Monazitsand entlang von einigen Stränden. Die Ortsdosisleistung kann dort bis zu 50'000 nSv/h betragen. Einige der Hauptstrassen der umliegenden Städte weisen immer noch Dosisleistungen von bis zu 1300 nSv/h auf.

Gebiete mit ähnlich hoher natürlicher Strahlung sind von Indien und China bekannt. Genaue Untersuchungen haben ergeben, dass Chromosomenveränderungen bei Personen aus diesen Gebieten häufiger sind, dass aber keine erhöhte Krebsrate nachweisbar ist.

Was können wir tun?

Wenn man einen Stein von diesem Hotspot ausmisst, dann stellt man fest, dass die Strahlungsintensität mit dem Abstand sehr rasch abnimmt.

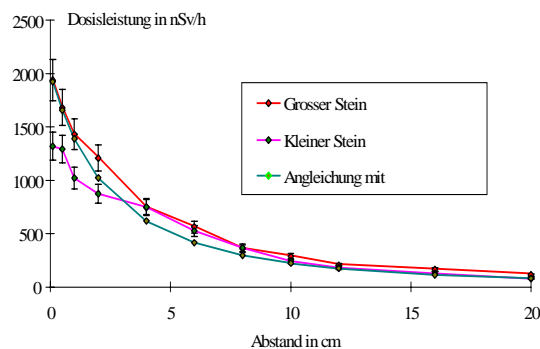


Abbildung 13: Dosisleistung in Funktion des Abstandes bei zwei Steinen aus dem Weisstannental mit einem hohen Urangehalt

Bei einem kleinen Stein ist, im Vergleich zur Oberfläche, in 2.5 cm **Abstand** nur noch die halbe Dosisleistung zu finden, beim grossen Stein sind dazu 4 cm notwendig. Wir können aus diesen Messungen schliessen, dass die direkte Strahlung im Quadrat mit der Entfernung von der Quelle abnimmt. Daraus folgt ein Grundsatz für den **Strahlenschutz**: „Abstand halten“. Der zweite Grundsatz: „Kurze Aufenthaltsdauer“ ergibt sich aus diesen Messungen zwangsläufig, handelt es sich doch um Strahlenexpositionen pro Zeit (Dosisleistungen).

## 1.2 Die Topographie der Hotspots vermessen mit dem Leica-VECTOR

Der **Leica-Vector** ist ein modernes Hochleistungsfernglas mit dessen Hilfe der Vektor - im Sinne der Geometrie - vom Standort des Beobachters zum anvisierten Punkt auf einfachste Weise bestimmt werden kann. Die Anzeige, im Sehfeld eingespiegelt, gibt die **Schrägdistanz (SD)**, das **Azimut (AZ)** und den **Neigungswinkel (N)**. Die Distanz wird in ganzen Metern angezeigt, die beiden Winkel in ganzen Graden.

Der Messbereich des Laser-Entfernungsmessers erstreckt sich von 25 bis 1000 m,

derjenige des Neigungsgebers von +35 bis -35 Grad.

Der Leica-Vector hat sich für unser Vorhaben, die gefundenen Hotspots kartographisch zu erfassen als sehr geeignet erwiesen.. Das handliche Gerät mit äusserst einfacher Bedienung erlaubte es uns trotz des bergigen Geländes die Stellen mit radioaktiver Anomalie mit genügender Genauigkeit in kürzester Zeit zu vermessen.

Für den Anschluss an die **Landesvermessung** (LK 1174) stand uns der **Messpunkt "Oberer Plattnerboden"** zur Verfügung. (Y = 738685, X = 204177.6, H = 1998.5) Er ist in Form eines Messbolzens in der Betonkonstruktion der Bergstation einer **ehemaligen Seilbahn** vorhanden.

Mit Hilfe von 3 Vektoren verschafften wir uns **3 eigene Bezugspunkte**: Stein1, Stein2, Schwiberg.(Vgl. mit den nachstehenden Tabellen)

Vom Bezugspunkt Schwiberg aus wurden die Hotspots Nr.5 und Nr.6 vermessen. Stein2 diente als Bezugspunkt für alle anderen Hotspots, sowie für zusätzliche 20 Geländepunkte (Pt.1 bis Pt.20), mit deren Hilfe die Umgebung der Hotspots topographisch erfasst werden konnte. Ergänzt mit einigen einfachen trigonometrischen Rechnungen resultierten die folgenden Tabellen.

Tabelle 1: Messdaten mit Leica VECTOR ermittelt

A	B	SD	AZ	N	AZ-Bogen	N-Bogen	HD	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta H$	YB	XB	HB
Seilbahn											738685.0	204177.6	1998.5
Seilbahn	Stein 2	179.6	258.8	-13.8	4.517	-0.241	174.416	-171.094	-33.878	-42.841	738513.9	204143.8	2041.3
Stein 2	Stein 1	54.8	257.0	3.0	4.485	0.052	54.725	-53.322	-12.310	2.868	738460.6	204131.5	2044.2
Stein 1	Schwiberg	206.3	239.0	-12.0	4.171	-0.209	201.792	-172.969	-	-42.892	738287.6	204027.5	2001.3
Hotspots													
Stein 2	Nr.1	69.5	261.9	5.4	4.571	0.094	69.192	-68.501	-9.749	6.541	738445.4	204134.0	2047.9
Stein 2	Nr.2	74.8	264.9	6.1	4.623	0.106	74.376	-74.082	-6.612	7.949	738439.9	204137.2	2049.3
Stein 2	Nr.3	66.1	264.3	6.0	4.613	0.105	65.738	-65.413	-6.529	6.909	738448.5	204137.2	2048.2
Stein 2	Nr.4	67.3	263.0	6.0	4.590	0.105	66.931	-66.432	-8.157	7.035	738447.5	204135.6	2048.4
Schwiberg	Nr.5	185.9	57.1	14.0	1.0	0.2	180.4	151.4	98.0	45.0	738513.9	204143.8	2046.3
Schwiberg	Nr.6	184.0	57.5	13.9	1.0	0.2	178.6	150.6	96.0	44.2	738513.9	204143.8	2045.5
Stein 2	Nr.8	65.1	285.0	-1.1	4.974	-0.019	65.088	-62.870	16.846	-1.250	738451.1	204160.6	2040.1

Geländept.													
Stein 2	Pt.1	116.0	274.0	11.0	4.8	0.2	113.9	-133.6	7.9	22.1	738400.3	204151.7	2063.5
Stein 2	Pt.2	109.0	278.7	10.0	4.9	0.2	107.3	-106.1	16.2	18.9	738407.8	204159.9	2060.3
Stein 2	Pt.3	99.0	276.3	10.0	4.8	0.2	97.5	-96.9	10.8	17.2	738417.0	204154.5	2058.5
Stein 2	Pt.4	102.0	268.0	9.0	4.7	0.2	100.7	-100.7	-3.5	16.0	738413.3	204140.2	2057.3
Stein 2	Pt.5	87.7	275.0	9.0	4.8	0.2	86.6	-86.3	7.5	13.7	738427.7	204151.3	2055.1
Stein 2	Pt.6	79.3	276.0	7.0	4.8	0.1	78.7	-78.3	8.2	9.7	738435.6	204152.0	2051.0
Stein 2	Pt.7	77.3	269.0	7.7	4.7	0.1	76.6	-76.6	-1.3	10.3	738437.3	204142.4	2051.7
Stein 2	Pt.8	74.3	258.0	5.3	4.5	0.1	74.0	-72.4	-15.4	6.9	738441.5	204128.4	2048.2
Stein 2	Pt.9	60.7	258.0	5	4.5	0.1	60.4	-59.1	-12.6	5.3	738454.8	204131.2	2046.6
Stein 2	Pt.10	58.3	245.0	4.0	4.3	0.1	58.2	-52.7	-24.6	4.1	738461.2	204119.2	2045.4
Stein 2	Pt.11	51.3	257.0	4.0	4.5	0.1	51.2	-49.9	-11.5	3.6	738464.0	204132.2	2044.9
Stein 2	Pt.12	64.3	268.0	5.0	4.7	0.1	64.1	-64.0	-2.2	5.6	738449.9	204141.5	2046.9
Stein 2	Pt.13	71.3	278.0	4.0	4.9	0.1	71.2	-70.5	9.9	5.0	738443.3	204153.7	2046.3
Stein 2	Pt.14	79.7	285.0	2.0	5.0	0.0	79.6	-76.9	20.6	2.8	738437.0	204164.4	2044.1
Stein 2	Pt.15	64.3	281.0	1.0	4.9	0.0	64.3	-63.1	12.3	1.1	738450.8	204156.0	2042.5
Stein 2	Pt.16	53.7	276.0	1.0	4.8	0.0	53.7	-53.4	5.6	0.9	738460.6	204149.4	2042.3
Stein 2	Pt.17	43.0	270.0	3.0	4.7	0.1	42.9	-42.9	0.0	2.3	738471.0	204143.8	2043.6
Stein 2	Pt.18	33.0	260.0	3.0	4.5	0.1	33.0	-32.5	-5.7	1.7	738481.5	204138.0	2043.1
Stein 2	Pt.19	28.0	229.0	0.7	4.0	0.0	28.0	-21.2	-18.2	0.3	738492.7	204125.5	2041.7
Stein 2	Pt.20	30.7	279.0	1.0	4.9	0.0	30.7	-30.3	4.8	0.5	738483.7	204148.6	2041.9

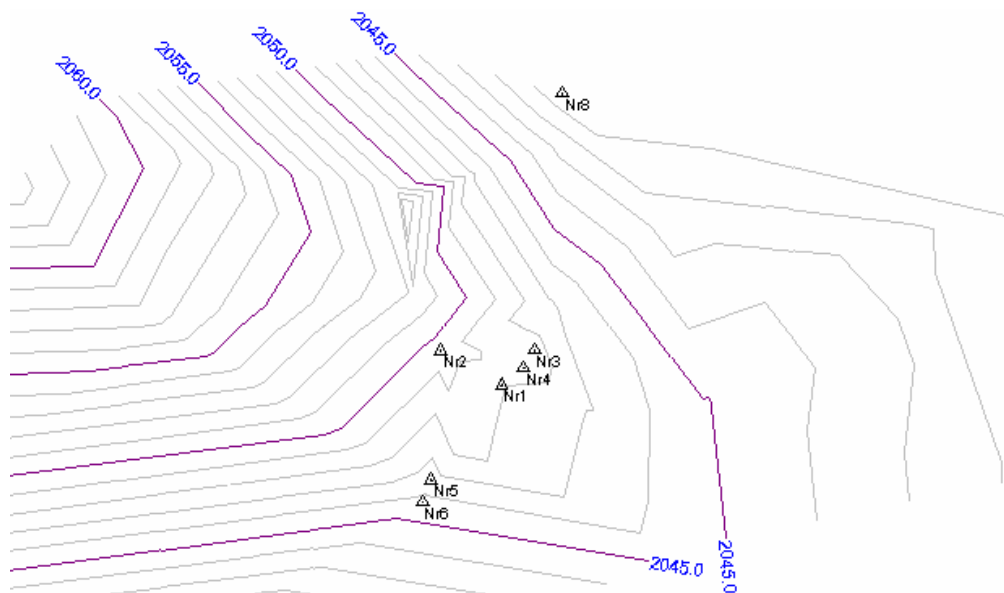
(A: Standort des Beobachters; B: anvisierter Punkt; SD: Schrägdistanz; AZ: Azimut; N: Neigungswinkel; AZ-Bogen: AZ in rad; N-Bogen: N in rad; HD: Horizontaldistanz)

Aus den in obiger Tabelle enthaltenen Messdaten ergab sich mit Hilfe der zum Leica-VECTOR gehörenden Software **Liscad** das folgende **Höhenlinien-Diagramm** im Masstab 1 : 500. Die **Koordinaten der Hotspots**, welche von dieser Software bestimmt worden sind, stimmen praktisch mit unseren eigenen Rechenresultaten überein. (Vgl. die erste Tabelle mit der dieser Tabelle.)

*Tabelle 2: Mit dem Programm Liscad von Leica berechnete Koordinaten*

Punkt	Ost	Nord	Höhe
Pt.1	738445.4	204134.1	2048.0
Pt.2	738439.8	204137.2	2049.4
Pt.3	738448.5	204137.3	2048.4
Pt.4	738447.5	204135.6	2048.5
Pt.5	738439.0	204125.4	2046.5
Pt.6	738438.2	204123.4	2045.7

Pt.8	738451.0	204160.6	2040.3
Pt.1	738400.3	204151.7	2043.6
Pt.2	738407.8	204160.0	2040.4
Pt.3	738417.0	204154.5	2048.7
Pt.4	738413.2	204140.3	2047.5
Pt.5	738436.5	204150.6	2043.8
Pt.6	738435.6	204152.0	2041.2
Pt.7	738437.3	204142.5	2041.9
Pt.8	738441.6	204128.4	2048.4
Pt.9	738454.8	204131.2	2046.8
Pt.10	738461.2	204119.2	2045.6
Pt.11	738464.1	204132.3	2045.1
Pt.12	738449.9	204141.6	2047.1
Pt.13	738443.5	204153.7	2046.5
Pt.14	738437.0	204164.4	2044.3
Pt.15	738450.8	204156.1	2042.6
Pt.16	738460.5	204149.4	2042.4
Pt.17	738471.0	204143.8	2043.8
Pt.18	738481.5	204138.1	2043.2
Pt.19	738492.7	204125.5	2041.8
Pt.20	738483.6	204148.6	2042.0
Schwiberg	738287.6	204027.5	2001.3
Stein2	738513.9	204143.8	2041.3



*Abbildung 14: Höhenliniendiagramm des Gebiets mit den Hotspots (Nr. 1 - 8), dargestellt mit LISCAD (Leica AG)*

Dieses Diagramm diente uns wiederum als Grundlage um von Hand gezeichnete **Blockdiagramme** zu erstellen, welche in perspektivischer Darstellung einen Ausschnitt aus dem Geländeerücken veranschaulichen, welcher vom Risetenhorn herunterläuft und auf welchem die Hotspots auf einer Höhe

von 2040 bis 2050 Meter ü.M. eingebettet sind.

Gestützt auf die Zahlen, welche sich aus den Messungen und unseren Rechnungen ergeben haben, konnte mit Hilfe eines

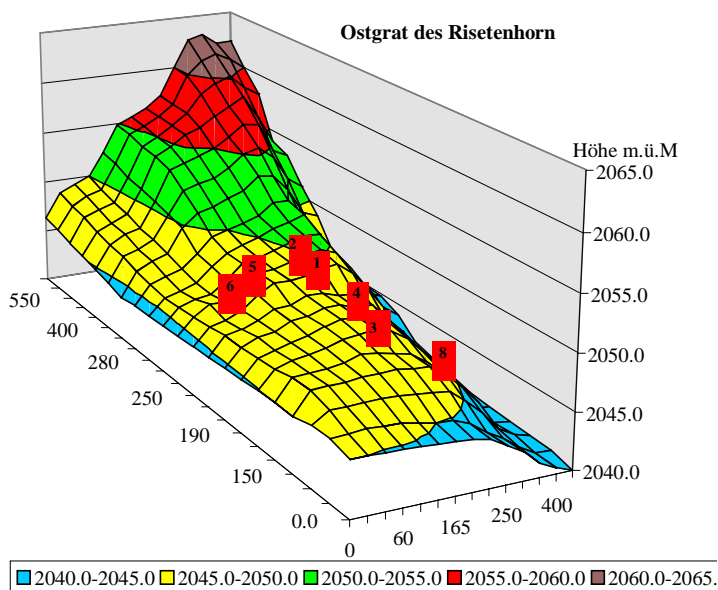
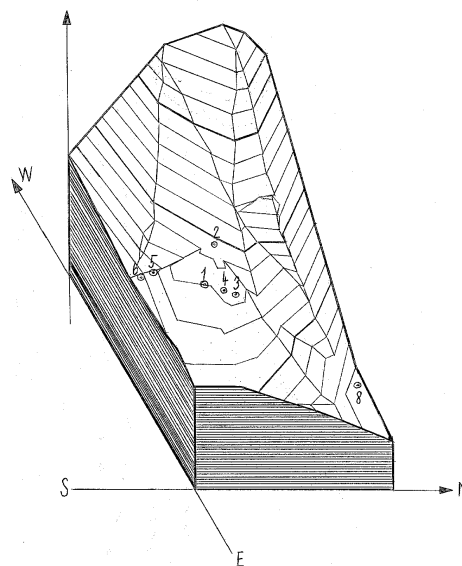


Abbildung 15: Dreidimensionale Darstellung des Gebiets der ausgemessenen Hotspots (Nr. 1 - 8) Achsen in Metern

Tabellenkalkulations - Programmes ein weiteres Blockdiagramm gezeichnet werden. Neben den üblichen Höhenlinien enthält es weitere Geländelinien, welche durch Schneiden der Gelände fläche mit gewissen Vertikalebene n entstanden sind:



### 1.2.1 Zur Geologie der Hotspots

Die Hotspots im hinteren Weisstantal, oberhalb Mels lassen sich geographisch wie folgt grob beschreiben:

„Oberer Plattnerboden“: Ostausläufer des Risetenhorn mit dem südlichen Abschluss des „Oberen Plattnerbodens“ (Koordinaten: 738 440 / 204 135 / 2050).

„Obersiezsäss“: Am Fusse des Fülen, südwestlich der Alphütten „Obersiezsäss“ (Koordinaten 738 410 / 205 340 / 1760).

#### 1.2.1.1 Aussehen und Beschaffenheit

Die **radiometrische Anomaliegruppe** erstreckt sich vom Mont Blanc-Massiv, entlang dem Aaremassiv (Wallis und Innerschweiz) über den Hinterrhein bei Ilanz zum Gebiet südlich des Walensees. Im Kanton St. Gallen liegen die Uranvorkommen unterhalb des Risetenhorns in den Gneisen und Schiefen des Verrucanos<sup>17,18</sup>. In diesen Gesteinsschichten ist Uran in Form von **Pechblende** ( $U_3O_8$ ), als kleine Punkte mit senfgelber Farbe,

gebunden. Diese Ablagerungen sind sehr brüchig und sandig. Das verleiht dem Gestein verschiedene Brauntöne (meist rostbraun), wodurch die Suche nach uranhaltigem Gestein erleichtert wird. Die Anomalien können nur an freiliegendem Fels gemessen werden. Schon eine geringe Überdeckung mit Erde oder Gestein verringert die messbare Strahlung so stark, dass sie nicht mehr von der üblichen Umgebungsdosisleistung zu unterscheiden ist. Die geringe Mächtigkeit der Schicht ( $\leq 20$  cm) erschwert die Suche sehr stark.

#### 1.2.1.2 Uranreserven

Die Reserven der Gesteinsschichten des „Oberen Plattnerboden“ werden bei einem durchschnittlichen Urangehalt von 1000 ppm auf minimal 6 Tonnen, maximal 14 Tonnen Uran geschätzt. Die Reserven vom „Obersiezsäss“ sind deutlich geringer, als die vom „Oberen Plattnerboden“.

Auf der Grundlage der Bestimmungen der 70er Jahre ergeben sich für unsere Hotspots die in der Tabelle aufgeführten Uran- und Thoriumgehalte als grobe Abschätzungen (möglicher Fehler ca. 45%):

*Tabelle 3: Lokale Uran- und Thoriumgehalte des Gesteins<sup>19</sup>*

Hotspot Nr.	Dosisleistung g Mittelwert ( $\mu\text{Sv/h}$ )	U (ppm)	Th (ppm)
1	12.613	1261	39
2	12.518	1252	39
3	10.808	1081	34
8	9.584	968	30

Die hier aufgeführten Dosisleistungen sind rund 100 mal höher, als die von Gesteinen mit den üblichen Urangehalten (siehe bei Uran und Thorium, Tabelle von Dosisleistungen verschiedener Gesteinsarten). Die vorliegenden Urangehalte, vor allem aber die geringen Mächtigkeiten der uranhaltigen Schichten

haben schon bei den ersten Prospektionen zum Schluss geführt, dass diese Vorkommen nicht abbauwürdig sind. Zum Vergleich: der Durchschnitt des Urangehaltes ( $^{238}_{92}\text{U}$ ) in Sedimentgesteinen beträgt 0.5 bis 5 ppm.

*Abbildung 16: Ein "tickender" Stein von Obersiez*

## 1.3 Statistik

Ein faustgrosser, auffällig **gelber Stein**<sup>20</sup> im Geschiebe eines Baches auf der Alp Obersiez zuhinterst im Weisstannental zieht unsere Aufmerksamkeit auf sich. Da er in nicht allzugrosser Entfernung von den Hotspots gefunden wurde, setzen wir einen Geiger-Müller-Zähler (ABX-ALERT, MR 9511) auf ihn an, in Anlehnung an eine Untersuchung, die Rutherford und Geiger zur Radioaktivität von Polonium machten. Tatsächlich: Der gelbe Stein tickt - mit unseren Sinnen nicht wahrnehmbar - unablässig vor sich hin.

Diese geheimnisvolle Radioaktivität lässt uns nun keine Ruhe mehr, und wir versuchen, den Fall soweit wie möglich zu klären.

In 500 aufeinanderfolgenden Messungen mit dem Geigerzähler ermitteln wir die Anzahl Impulse (counts) pro 10 s. Die 10 s - Zeitabschnitte beistimmen wir mit einer gewöhnlichen Armbanduhr. Die entstehende Zahlenfolge, welche Impulsanzahlen von 0 bis 10 enthält, lässt keinerlei Regelmässigkeit erkennen:

3,2,1,3,1,1,2,4,0,4,2,4,3,0,3,3,1,1,2,3,2,3,3,3,1,5, ... .

Wie gross ist nun die Aktivität dieses Steins wirklich? Vielleicht hilft die Statistik - auch wenn sie nicht überall den besten Ruf genießt - weiter. Wir versuchen es mit den relativen Häufigkeiten der Impulsanzahlen (counts / 10 s). Wie sieht wohl die Verteilung aus? Ist es ein Fall für Poisson oder für Gauss?

Unsere erste Auswertung der Zahlenfolge erstreckt sich über sämtliche 500 Einzelmessungen hinweg. (Jede einzelne Messung wird als solche beachtet, d.h. es

wird keine Klassenbildung vorgenommen.)

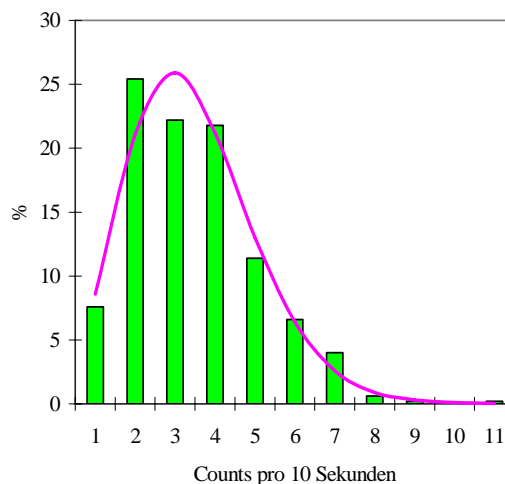


Abbildung 17: Gelber Stein 1. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m1 = 2.456$

Emp. Standardabweichung:  $s1 = 1.615$

Bei allen grafischen Darstellungen sind die Messwerte ( $h(x)$  [%]) als grüne Balken, die berechneten Werte ( $y$  [%]) als ausgezogene Kurven dargestellt.

So kommt eine empirische Häufigkeitsverteilung zustande, welche deutlich asymmetrisch ist, und es lässt sich zeigen: Es ist ein Fall für **Poisson**: die Gleichung der sogenannten Poisson-Verteilung,

$$y = (e^{-m} \cdot m^x) / x! ,$$

ergibt ein gutes mathematisches Modell (ausgezogene, rote Kurve) für die in der ersten Auswertung gefundenen relativen Häufigkeiten (grüne Balken).

( $x$ : Anzahl Counts /10 s;  $y$ : zugehörige relative Häufigkeit;  $m$ : empirischer Mittelwert aus den 500 Messungen;  $e$ : Eulerische Zahl).

Hat also Gauss mit dem Fall nichts zu tun? Doch, er hat !

Eine zweite Auswertung wird so vorgenommen, dass die 500 Messungen in 50 Stichproben zu je 10 Messungen zerlegt werden. Nun wird die Verteilung der 50 Stichprobenmittel untersucht. Neu ergibt sich jetzt ein angenähert symmetrisches Bild, für welches die Gauss-Verteilung (Normalverteilung) ein brauchbares Modell abgibt. In mathematischer Form:

$$y = a \cdot e^{-b(x - m)^2}$$

(x: Klassenmitte; y: zugehörige relative Häufigkeit; m: empirischer Mittelwert der Klassenmitten; a,b: Parameterwerte, welche mit Hilfe von "prgm Nelder" auf dem TI-82<sup>21</sup> berechnet worden sind. Ein Schüler hat dieses Programm, welches nach der Nelder-Mead-Methode arbeitet, aus dem Internet bezogen.)

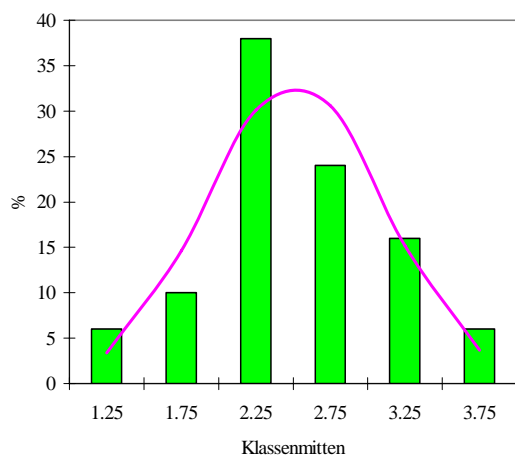


Abbildung 18: Gelber Stein 2. Auswertung  
Emp. Mittelwert:  $m2 = 2.251$   
Emp. Standardabweichung:  $s2 = 0.610$

Der radioaktive gelbe Stein ist also wirklich ein Fall für zwei, nämlich für Poisson und Gauss, je nachdem, in welcher Weise die statistische Auswertung der 500 Messungen erfolgt.

Die eine Frage ist damit beantwortet. Und wie immer tauchen neue Fragen auf. Etwa die folgenden:

1. Wie steht es eigentlich mit der Verifizierbarkeit der Resultate aus einer 500er-Messserie ?
2. Welche Rolle spielt die Anzahl der Messungen ?
3. Welche Rolle spielt die Umgebung des Steines in bezug auf die Radioaktivität?
4. Welche Rolle spielt die Grösse des Steines ?

Wie schon gesagt: Der gelbe Stein wurde in einiger Entfernung von den Hotspots gefunden. Um die neu gestellten Fragen anzugehen, begeben wir uns nun in Teufels Küche: Vom Hotspot Nr.1 holen wir uns einen grünlich-rost-braunen Gesteinsbrocken<sup>22</sup>, von welchem wir einen daumennagelgrossen Splitter abschlagen. Diesen untersuchen wir in gleicher Weise wie den gelben Stein.

Eine 1.Serie von 500 Messungen (bei einem Abstand von 1 cm zwischen Zählrohrgitter und Splitter) ergibt eine weitere Reihe von Zufallszahlen (Anzahl counts / 10 s): 5,7,7,0,5,4,2,7,3,10, ... ,3,6,3,4.

Die erste und zweite Art der Auswertung ergeben die folgenden Diagramme.

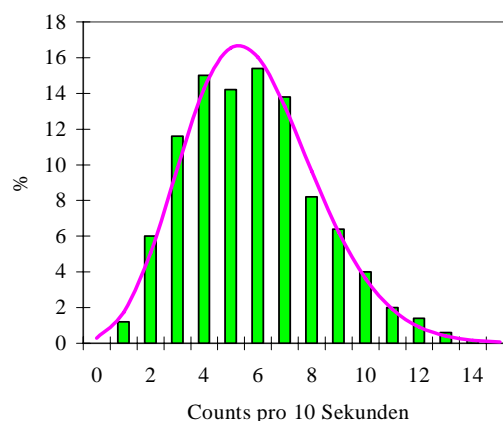


Abbildung 19: Splitter, 1. Messserie, 1. Auswertung  
Emp. Mittelwert:  $m1 = 5.806$   
Emp. Standardabweichung:  $s1 = 2.473$

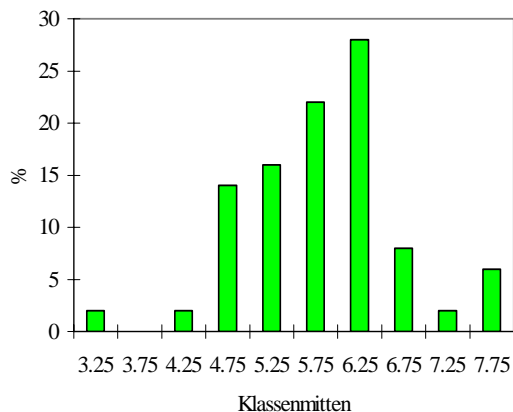


Abbildung 20: Splitter, 1. Messserie,  
2. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 5.820$   
Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.883$

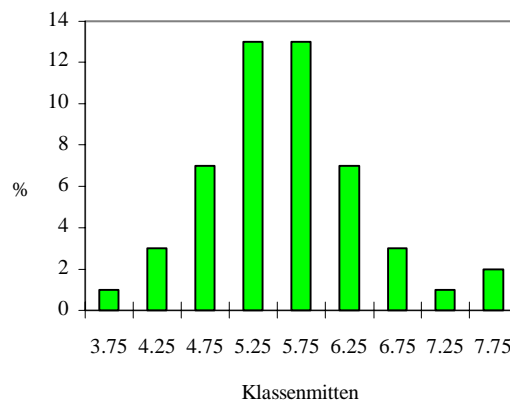


Abbildung 22: Splitter, 2. Messserie,  
2. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 5.59$   
Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.833$

Um der Frage der Verifizierbarkeit nachgehen zu können, werden für den Splitter in unveränderter Weise 4 weitere 500er-Messserien erstellt. Die Auswertungen geschehen wieder auf die erste bzw. zweite Art. Die Resultate der 2. Messserie sind nachstehend dargestellt.

Welche Resultate einer 500er-Messserie genügen nun dem naturwissenschaftlichen Anspruch der Verifizierbarkeit? Genauer: Welche Resultate einer 500er-Messserie können in jeder der übrigen 500er-Messserien wiedergefunden werden?

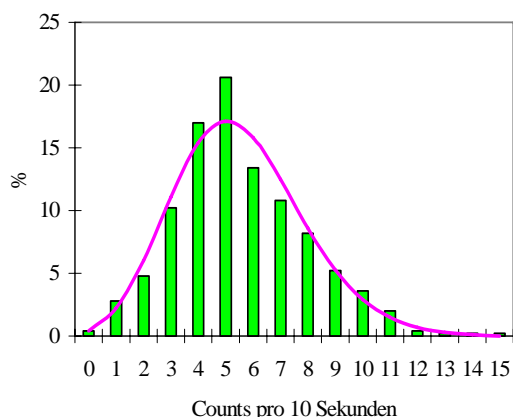


Abbildung 21: Splitter, 2. Messserie,  
1. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_1 = 5.536$   
Emp. Standardabweichung:  $s_1 = 2.390$

Die Impuls-Anzahlen, wie sie sich im Verlaufe einer Messserie ergeben, bilden eine Folge von Zufallszahlen, deren exakte Wiederholung nicht erwartet werden kann.

Dagegen stellen die statistischen Masszahlen des **Mittelwertes** und der **Standardabweichung** verifizierbare Ergebnisse dar. Es sind überprüfbare, spezifische Daten des radioaktiven Splitters (mitsamt seiner Umgebung). Gewisse Schwankungen sind allerdings vorhanden, so dass Mittelwert und Standardabweichung sich nicht punktuell, aber immerhin in Form von Intervallen kleiner Länge erfassen lassen. Bezeichnen wir Mittelwert und Standardabweichung mit  $m_1$ ,  $s_1$  bzw.  $m_2$ ,  $s_2$ , je nachdem es sich um die 1. oder 2. Auswertung handelt, so kann aus den Ergebnissen der insgesamt 5 Messserien folgendes entnommen werden:

$$\begin{aligned} 5,5 < m_1 < 6,0 \\ 5,5 < m_2 < 6,0 \\ 2,3 < s_1 < 2,5 \end{aligned}$$

$$0,8 < s_2 < 0,9$$

Zu den verifizierbaren Resultaten gehören auch die Feststellungen, dass pro Messserie jeweils die beiden Mittelwerte praktisch übereinstimmen, und  $s_1$  rund 3mal so gross ist wie  $s_2$ . Der theoretische Hintergrund zu diesen Feststellungen liefert der sogenannte Zentrale Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung<sup>23</sup>. Er besagt, dass unter gewissen Voraussetzungen  $m_1$  und  $m_2$  übereinstimmen, während  $s_1 = s_2 \cdot \sqrt{n}$  ist. Dabei bedeutet  $n$  den Stichprobenumfang. (In unserem Fall ist  $n$  (vorläufig) = 10.) Der erwähnte Grenzwertsatz enthält insbesondere auch die Aussage, dass sich für die 2.Auswertung (Stichprobenmittel) eine Gauss-Verteilung ergebe. Eine solche ist allerdings in den meisten unserer 5 Messserien kaum erkennbar. Wir werden auf diesen Umstand noch zurückkommen.

Obwohl im Falle der 1.Auswertung die relativen Häufigkeiten der Impuls-Anzahlen von Messserie zu Messserie zum Teil deutlich variieren, ist dennoch in guter Annäherung jedes Mal eine **Poisson-Verteilung** erkennbar. Auch hierzu lässt sich eine theoretische Untermauerung angeben:

Es ist der sogenannte Poisson-Prozess, dessen definierende Axiome auf der genauen Beobachtung einer **langsam zerfallenden radioaktiven Substanz** basieren. Aus diesen Axiomen lässt sich die bereits weiter oben angegebene Gleichung für die Poisson-Verteilung mathematisch herleiten<sup>24</sup>.

Zusammengefasst:

Es sind die folgenden Resultate einer 500er-Messserie (für den radioaktiven Splitter, mitsamt seiner Umgebung) von Serie zu Serie **verifizierbar**: Mittelwert und Standardabweichung für die 1. und 2.Auswertung, ferner im Falle der 1.Auswertung die Poisson-Verteilung.

Es ist naheliegend zu fragen, inwiefern die Verifizierbarkeit der Resultate einer Messserie (für den radioaktiven Splitter) von der **Anzahl Messungen** abhängt. Wir sind damit bei der zweiten Zusatzfrage angelangt.

Wir benützen die fünf schon vorhandenen 500er-Messserien S1, S2, S3, S4 und S5. Indem wir S1 und S2, dann S1, S2 und S3, dann S1, S2, S3 und S4 und schliesslich S1, S2, S3, S4 und S5 zusammenlegen, erhalten wir umfangreichere Serien mit 1000, 1500, 2000 bzw. 2500 Einzelmessungen. Bearbeitet man diese neuen Serien gemäss der 1. und 2. Art der Auswertung, findet man die nachstehenden Tabellen und Diagramme. (Die 2.Auswertung ist einerseits für den Stichprobenumfang 10, andererseits für den Stichprobenumfang 20 vorgenommen worden.)

Abbildung 23: Uranvererzungen (Pechblende) im Gestein der Hotspots

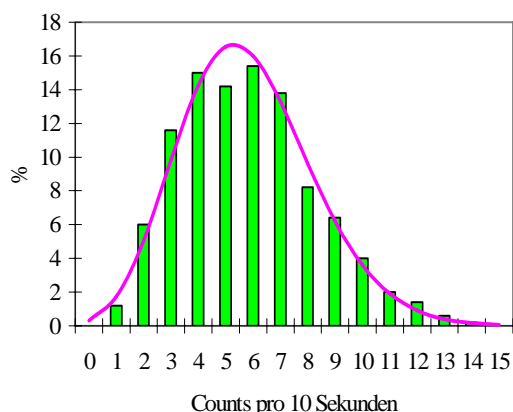


Abbildung 24: Splitter, 500 Messungen, (S1) 1. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m1 = 5.806$   
Emp. Standardabweichung:  $s1 = 2.473$

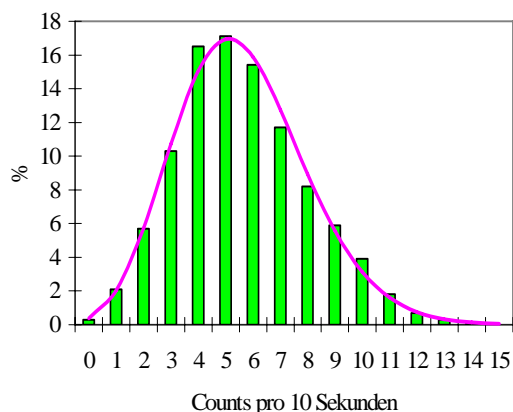


Abbildung 25: Splitter, 1500 Messungen, (S1+S2+S3) 1. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m1 = 5.621$   
Emp. Standardabweichung:  $s1 = 2.395$

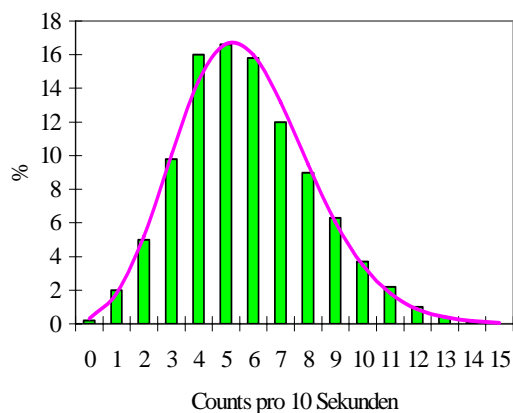


Abbildung 26: Splitter, 2500 Messungen, (S1+S2+S3+S4+S5) 1. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m1 = 5.764$   
Emp. Standardabweichung:  $s1 = 2.431$

Ein Blick über S1 und die anschliessenden 4 zusammengesetzten Serien zeigt vor allem eine Art von **Konvergenz**, ein **Einpendeln auf stabile Werte**.

In der **1. Auswertung** zeigt sich dies für die einzelnen relativen Häufigkeiten  $h(x)$  (welche damit zu sog. Wahrscheinlichkeiten werden), sowie für ihre Verteilung, welche nun in sehr guter Annäherung als Poisson-Verteilung mit der Gleichung

$$y = (e^{-5.764} \cdot 5.764^x) / x!$$

beschrieben werden kann (Vgl. 1. Auswertung mit 2500 Messungen).

Der empirische Mittelwert stabilisiert sich mit etwa 5.7, die empirische Standardabweichung mit rund 2,4.

In der **2. Auswertung** tritt nun deutlich zutage, was, gestützt auf die eine oder andere 500er-Messserie noch nicht wirklich feststellbar war: Die Verteilung der relativen Häufigkeiten für das Stichprobenmittel (Umfang 10 bzw. 20) konvergiert gegen eine **Gauss-Verteilung**. Für den Fall des Stichprobenumfanges 10 ergibt sich sowohl bei 2500 Messungen als brauchbares Modell die Gleichung:

$$y = 23 \cdot e^{-0.65(x - 5.75)^2}$$

(Vgl. 2. Auswertung mit 2500 Messungen)

Die gemäss Grenzwertsatz zu erwartende Beziehung  $s1 = s2 \cdot \sqrt{n}$  ist noch immer nur in grober Annäherung erkennbar. Dies hat wohl vor allem damit zu tun, dass der Stichprobenumfang (auch mit  $n=20$ ) noch sehr klein ist.

Dagegen stimmen die Mittelwerte der 2. Auswertung sehr gut mit denjenigen der 1. Auswertung überein.

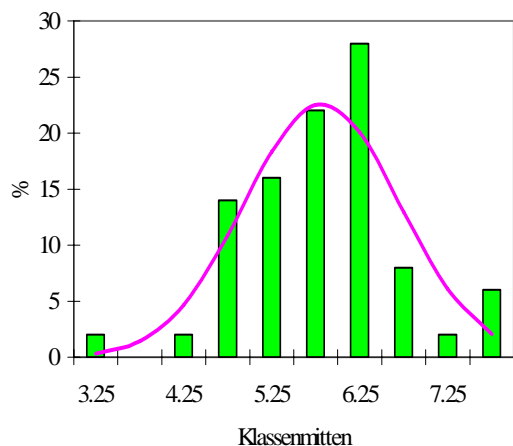


Abbildung 27: Splitter, 500 Messungen, 2.Auswertung ( $n=10$ )

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 5.820$   
 Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.833$

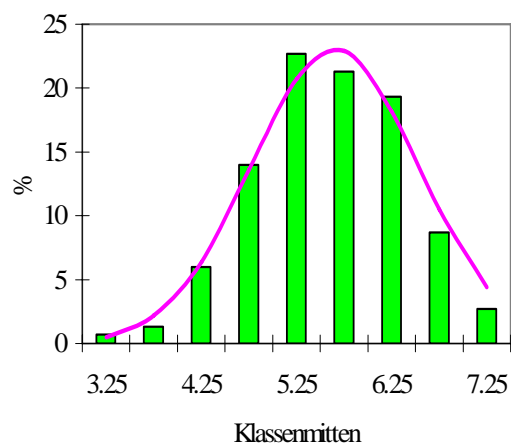


Abbildung 28: Splitter, 1500 Messungen, 2.Auswertung ( $n=10$ )

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 5.653$   
 Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.864$

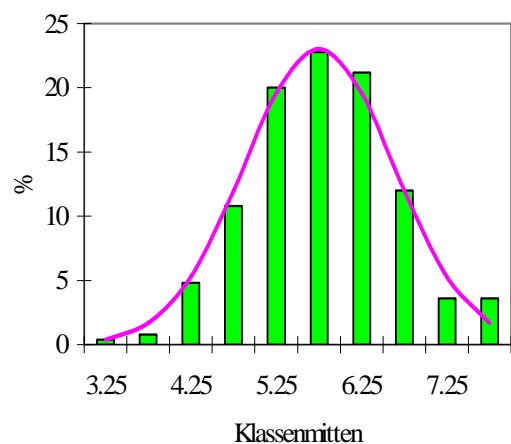


Abbildung 29: Splitter 2500 Messungen, 2.Auswertung ( $n=10$ )

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 5.796$   
 Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.848$

Zusammengefasst:

Die **Erhöhung der Anzahl Messungen** hat zu einer weitgehenden **Stabilisierung der statistischen Werte** geführt, mit deren Hilfe die Radioaktivität des Splitters (samt seiner Umgebung) in verifizierbarer Weise beschrieben werden kann.

Wir wenden uns nun der 3. Zusatzfrage zu: Welche Rolle spielt die **Umgebung des Splitters** ? Tickt sie auch ? Und wenn ja, welches ist ihr Beitrag zur Impulsanzahl pro 10 s ? Und was bleibt allenfalls noch für den Splitter übrig ?

Wir entfernen den Splitter unter Beibehaltung der gesamten übrigen Situation. Der Geigerzähler meldet trotzdem Impulse, und eine so erstellte 500er-Messserie - für die Umgebung des Splitters also - hat zu folgenden Resultaten geführt:

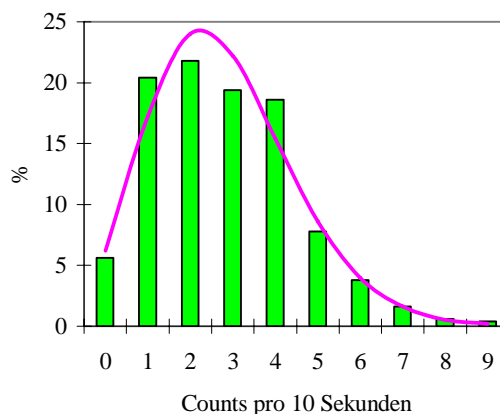


Abbildung 30: Umgebung des Splitters, 1.Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_1 = 2.780$   
 Emp. Standardabweichung:  $s_1 = 1.697$

Die nachstehende Zusammenstellung zeigt ein Stück weit die Impuls-Anzahlen (x) im Total (Splitter samt Umgebung), sowie für die Umgebung allein und den Splitter allein. In den Klammern stehen die zugehörigen relativen Häufigkeiten, soweit sie sich empirisch ergeben haben. Im Falle des Totals benützen wir die weiter oben erwähnte Serie von 2500 Messungen, für den Beitrag der Umgebung sind es die Werte aus der einzigen entsprechenden 500er-Messserie. Die relativen Häufigkeiten des

Beitrages des Splitters sind noch nicht beistimmte Werte  $p(x)$ .

Tabelle 4: Häufigkeiten der Beiträge von Splitter und Umgebung

Total	Beitrag Umgebung	Beitrag Splitter
0 (0,002)	0 (0,056)	0 (p(0))
1 (0,02)	0 (0,056) 1 (0,204)	1 (p(1)) 0 (p(0))
2 (0,05)	0 (0,056) 1 (0,204) 2 (0,218)	2 (p(2)) 1 (p(1)) 0 (p(0))

Setzt man voraus, dass der Splitter und seine Umgebung unabhängig voneinander ticken, so lässt sich ein einfaches lineares Gleichungssystem aufbauen, welches die Berechnung der Zahlen  $p(0)$ ,  $p(1)$ , ... ermöglicht:

Aus

$$0,002 = 0,056 p(0) \text{ ergibt sich } p(0) = 0,036.$$

Aus

$$0,02 = 0,056 p(1) + 0,204 p(0) \text{ ergibt sich weiter } p(1) = 0,226.$$

Aus

$0,05 = 0,056 p(2) + 0,204 p(1) + 0,218 p(0)$  kommt für  $p(2)$  eine negative Zahl zustande, was wohl bedeutet, dass der Rechengang kollabiert. Bei genauerem Hinsehen erkennt man, dass die sukzessive Berechnung der Werte für  $p(x)$  sehr empfindlich auf kleine Veränderungen der Startwerte reagiert. Dies veranlasst uns, anstelle der empirisch gewonnenen relativen Häufigkeiten die  $y$ -Werte der jeweils zugeordneten Poisson-Verteilung zu benutzen. Tatsächlich bricht jetzt der Rechengang nicht schon nach wenigen Schritten zusammen, sondern es ergeben sich die folgenden, plausibel erscheinenden Resultate:

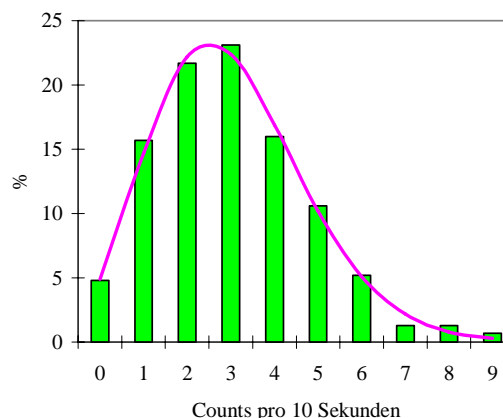


Abbildung 31: Aktivität des Splitters ohne die Umgebung, 1. Auswertung

Mittelwert:  $m = 3,024$

Standardabweichung:  $s = 1,765$

Gestützt auf die  $p$ -Werte ergibt sich als Mittelwert  $m$  für den Splitter allein  $m = 3,024$ .

Mit  $y = (e^{-m} \cdot m^x) / x!$

entsteht wieder eine zugeordnete Poisson-Verteilung, welche die Verteilung der  $p$ -Werte sehr gut wiedergibt. (Vgl. Aktivität des Splitters ohne die Umgebung)

Zusammengefasst:

Der Geiger-Zähler nimmt sowohl den **Splitter allein** als auch dessen Umgebung als **asymmetrischen "Würfel"** wahr, welcher "**Augenzahlen**" ( $x$ ) von 0 bis etwa 9 generiert. Für den **Splitter mitsamt seiner Umgebung** entstehen so "**Summen von Augenzahlen**" von 0 bis etwa 18, was mit der 2500er-Messserie bestätigt wird. Mit Hilfe dieser Begriffe bzw. Modellbildungen versuchen wir schliesslich noch die 4. Zusatzfrage, die **Grösse des radioaktiven Steines** betreffend, zu bearbeiten (resp. dessen Aktivität).

Wir gehen von der Vorstellung aus, ein grösserer Stein oder gar ein Gesteinsbrocken enthalte mehrere radioaktive "Zellen", welche - wie oben dargestellt - als voneinander unabhängige asymmetrische "Würfel" agieren. So können dann entsprechend hohe "Summen von Augen-

zahlen" zustande kommen. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse für den Splitter, ein grösseres Handstück und einen noch grösseren Gesteinsbrocken (alle vom Hotspot Nr.1) scheinen diese Annahme zu bestätigen: Für den Splitter, das Handstück bzw. den Gesteinsbrocken reichen die x-Werte von 0 bis 15, 0 bis 25 bzw. 0 bis 162. Die relativen Häufigkeiten der x-Werte ergeben in den drei Beispielen die folgenden Bilder.

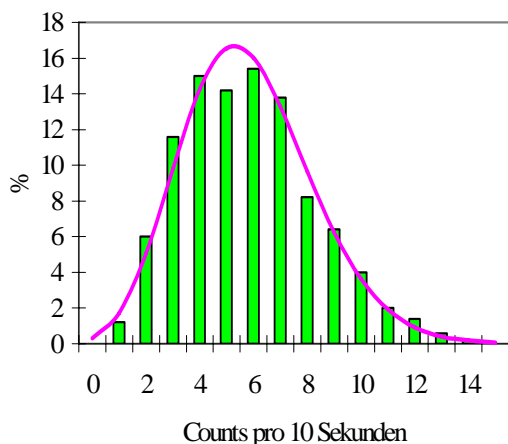


Abbildung 32: Splitter, 1. Auswertung  
 Emp. Mittelwert:  $m1 = 5.806$   
 Emp. Standardabweichung:  $s1 = 2.473$

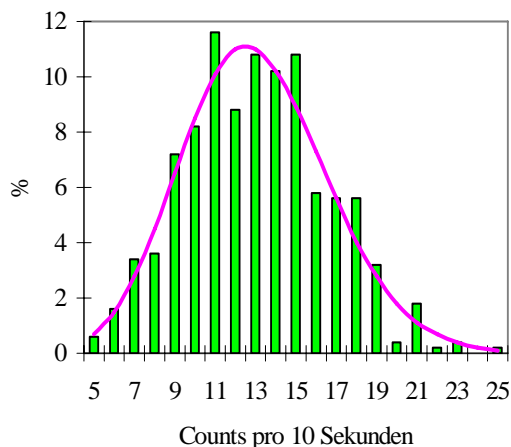


Abbildung 33: Handstück, 1. Auswertung  
 Emp. Mittelwert:  $m1 = 13.044$   
 Emp. Standardabweichung:  $s1 = 3.526$

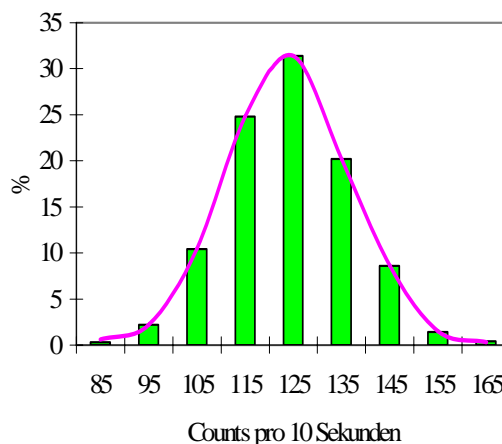


Abbildung 34: Gesteinsbrocken, 1. Auswertung (mit Klassenbildung)

Emp. Mittelwert:  $m1 = 123.86$   
 Emp. Standardabweichung:  $s1 = 12.965$

Bemerkenswert ist schliesslich sicher noch, dass das mathematische Modell der (asymmetrischen) Poisson-Verteilung beim Übergang zu grösseren Steinen gegen das symmetrische Modell der Gauss Verteilung strebt. Der theoretische Hintergrund wird auch hier vom Zentralen Grenzwertsatz geliefert<sup>25</sup>.

Zusammengefasst:

Grössere radioaktive Steine desselben Materials bringen bei unverändertem Messintervall höhere Spitzenwerte bei den Impuls-Anzahlen (pro 10 s). Ferner strebt die Poisson-Verteilung gegen die **Gauss-Verteilung**.

Damit kommen wir auf die schon zu Beginn gemachte Feststellung zurück, dass die Radioaktivität unserer Steine ein Fall für zwei sei, eben für **Poisson und Gauss**.

## 1.4 Die Aktivitäten der Hotspots

### 1.4.1 Vorbemerkungen

Die Messungen für die **Dosisleistung** der Hotspots (in  $\mu\text{Sv/h}$ ) wurden mit Geräten des Typs 6150 AD2 der Firma Automation und Messtechnik GmbH, Ladenburg, D, vorgenommen (Schweizer Bezeichnung: EG90). Diese Geräte sind uns von der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) leihweise zur Verfügung gestellt worden.

Während des Messvorganges wird der laufend aktualisierte Mittelwert der Dosisleistung angezeigt, bis schliesslich, nach jeweils einigen Minuten, ein stabilisierter Wert abgelesen und protokolliert werden kann. Diesem Wert liegen rund 400 Einzelmessungen zugrunde. Er kann somit als **Stichprobenmittel** interpretiert werden.

Um zu einer ausreichenden statistischen Basis zu kommen, hatten wir uns vorgenommen, pro Hotspot 100 solche Stichprobenmittel zu beschaffen, und zwar eine **1.Messserie** mit dem Gerät **auf dem Boden** und eine **2.Messserie** mit dem

Gerät **im Abstand von 1 m vom Boden**. Mit einem einzelnen Gerät bedeutete dies einen Zeitaufwand von 4 bis 5 Stunden pro Messserie im zweiten bzw. etwa 2 Stunden im ersten Fall. Unsere immer kälter werdenden Füsse - es waren Schneeschauer im Anzug - veranlassten uns, die ausgewählten Hotspots mindestens zum Teil unter Einsatz von mehreren Geräten auszumessen. So konnten wir Zeit gewinnen, gleichzeitig haben wir uns damit aber auch Probleme für die statistische Auswertung eingebrockt.

Ganze Messerien sind nur für die Hotspots Nr.1, 2, 3 und 8 gemacht worden.

Wird ein **einzelner Hotspot** (aus einer Anzahl nicht unterscheidbarer Hotspots zusammengesetzt) mit einem **einzelnen Gerät** ausgemessen, kann wohl von der Annahme ausgegangen werden, dass die 100 Stichproben einer Messserie **normalverteilt** sind.

### 1.4.2 Hotspot Nr.1

(Koordinaten:738445/204134/2048)

Es wurde vorerst mit zwei Geräten, dann mit vier Geräten gemessen und stets darauf geachtet, dass das einzelne Gerät immer in der gleichen Position verwendet wurde.

#### 1.4.2.1 Geräte auf dem Boden:

Die resultierende empirische Häufigkeitsverteilung für die Stichprobenmittel lässt sich in guter Annäherung mit einer **Normalverteilung** (Gauss-Verteilung) darstellen:

$$y = a \cdot e^{-b(x-m)^2},$$

wobei  $x$  für die Klassenmitte steht und für die Parameter die folgenden Werte benützt wurden:

$$a = 37.080, b = 1.735, m = 12.675.$$

Diese Parameterwerte wurden mit dem Programm Nelder auf dem TI-82 berechnet. (Vgl. mit dem Abschnitt

”Radioaktivität und Statistik”)

Das nachstehende Histogramm repräsentiert die empirische Verteilung der Stichprobenmittel, während die Glockenkurve die oben definierte Normalverteilung veranschaulicht.

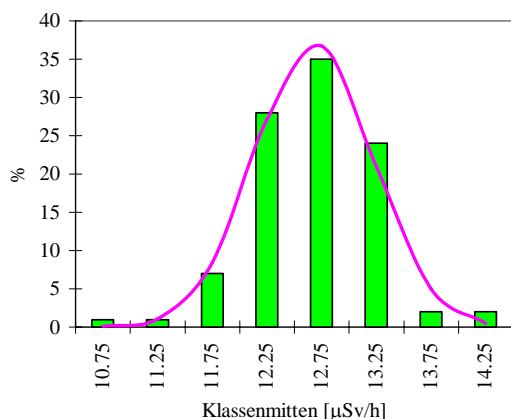


Abbildung 35: Hotspot 1, Messung auf dem Boden, 2. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 12.613$

Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.538$

#### 1.4.2.2 Geräte 1 m über Boden:

Auch in diesem Fall lässt sich die empirische Verteilung recht gut mit einer **Normalverteilung** beschreiben. Wir haben in diesem Fall die folgenden

Parameterwerte verwendet:  $a = 21.200$ ;  $b = 62.785$ ;  $m = 1.148$ . Auch hier wurde das schon erwähnte Nelder-Programm verwendet.

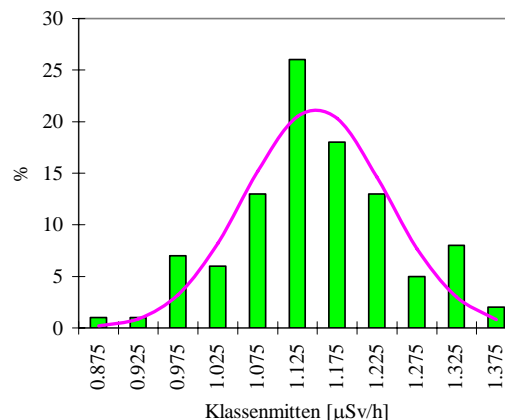


Abbildung 36: Hotspot 2, Messung 1 m über dem Boden, 2. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 1.143$

Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.101$

Es wird deutlich, dass die Aktivität in 1 Meter Abstand von der Oberfläche markant abnimmt, hier im Mittel von rund  $12 \mu\text{Sv/h}$  auf  $1.1 \mu\text{Sv/h}$ , also mehr als ein Faktor 10!!

### 1.4.3 Hotspot Nr.2

(Koordinaten: 738440/204137/2949)

#### 1.4.3.1 Geräte auf dem Boden:

Die ganze Messserie wurde mit zwei Geräten erstellt, welche parallel nebeneinander und gleichgerichtet platziert wurden.

Das Histogramm der empirischen Verteilung entzieht sich in diesem Fall einer befriedigenden Beschreibung mit **einer** Normalverteilung. Allenfalls zerfällt der Hotspot Nr. 2 in eine Anzahl von **”Unter-Hotspots”**.

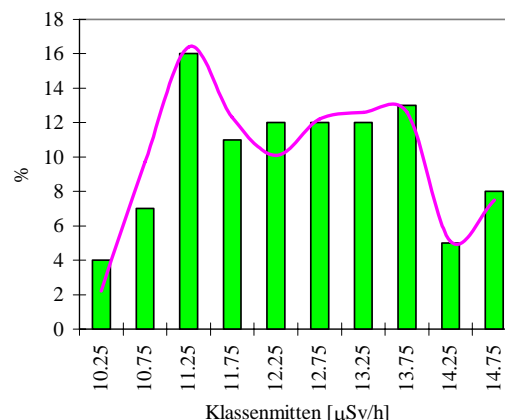


Abbildung 37: Hotspot 2, Messung auf dem Boden, 2. Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 12.518$

Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 1.231$

Basierend auf dieser Vorstellung haben wir mit dem folgenden Ansatz versucht, zu einem Modell zu kommen, welches dem experimentell gewonnenen Histogramm einigermaßen gerecht wird:

$$y = a_1 \cdot e^{-b_1(x - m_1)^2} + a_2 \cdot e^{-b_2(x - m_2)^2} + a_3 \cdot e^{-b_3(x - m_3)^2} + a_4 \cdot e^{-b_4(x - m_4)^2}$$

Die Parameter-Werte der vier involvierten Glockenkurven sind propädeutisch unter möglichst guter Berücksichtigung der Geometrie des Histogrammes schrittweise entwickelt worden. Dieses Vorgehen ist in der Beschreibung von Hotspot Nr.3 genauer dargestellt.

$$\begin{array}{lll} a_1 = 16, & b_1 = 2, & m_1 = 11,25 \\ a_2 = 11,5, & b_2 = 1,5, & m_2 = 12,75 \\ a_3 = 10, & b_3 = 3, & m_3 = 13,75 \\ a_4 = 7, & b_4 = 32, & m_4 = 14,75 \end{array}$$

Die Abbildung zeigt die empirische Verteilung samt der Modellkurve.

Diese Annahme der **heterogenen Uranverteilung** in den Gesteinsschichten ist mit der Autoradiografie eines Steines aus diesem Gebiet bestätigt worden (siehe: Geburtstag).

#### 1.4.3.2 Geräte 1 m über Boden:

Es wurden vorerst zwei, dann vier Geräte eingesetzt.

Hier lässt sich die empirische Verteilung wieder in guter Annäherung mit einer **Normalverteilung** erfassen:

### 1.4.4 Hotspot Nr.3

(Koordinaten: 738449/204137/2048)

#### 1.4.4.1 Geräte am Boden:

Für den grössten Teil der Messserie wurden zwei Geräte verwendet, parallel liegend, aber in entgegengesetzter Richtung. Abgeschlossen wurde die Serie mit zwei zusätzlichen Geräten.

$$y = a \cdot e^{-b(x - m)^2},$$

wobei  $a = 22.042$ ,  $b = 64.841$ ,  $m = 1.071$  zugrunde gelegt wurde.

Es scheint, dass die Heterogenität des Hotspots Nr.2, wie sie aufgrund der Messresultate mit den Geräten auf dem Boden vermutet werden kann, wegen der jetzt grösseren Distanz zwischen den Messgeräten und dem radioaktiven Gestein verwischt ist.

Nachstehend die Resultate im Bild:

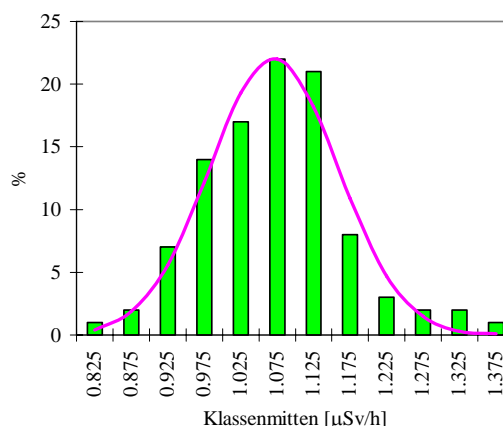


Abbildung 38: Hotspot 2, Messungen 1 m über Boden, 2.Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 1.064$   
Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.097$

Beim Ablesen der Mittelwerte von den beiden anfänglich verwendeten Geräten ist aufgefallen, dass das eine Gerät stets etwa 2 µSv/h weniger anzeigte als das andere. Dies könnte der Grund sein für die zwei markanten Buckel, welche das Stabdiagramm für die empirische

Verteilung zeigt. Dementsprechend haben wir versucht, ein mathematisches Modell mit folgendem Ansatz zu gewinnen:

$$y = a1 \cdot e^{-b1(x - m1)^2} + a2 \cdot e^{-b2(x - m2)^2}$$

Mit dieser Vorgabe und den Festsetzungen  $m1 = 9.75$  und  $m2 = 11.75$  (mit Blick auf das Histogramm) lieferte das Nelder-Programm die folgenden Parameterwerte:

$$\begin{aligned} a1 &= 17,166, & b1 &= 1,537, \\ a2 &= 17,547, & b2 &= 0,982. \end{aligned}$$

Das graphische Resultat ist nachstehend zu sehen.

#### 1.4.5 Hotspot Nr.8

(Koordinaten: 738451/204160/2040)

##### 1.4.5.1 Gerät auf dem Boden:

Die ganze Messserie wurde mit einem einzigen Gerät erstellt, in stets derselben Position.

Trotzdem zeigt das Histogramm der empirischen Verteilung deutlich erkennbar **drei Buckel**, was vielleicht damit erklärt werden kann, dass der Hotspot 8 aus (mindestens) **drei "Unter-Hotspots"** besteht. Dies ist umso mehr denkbar als der Hotspot Nr.8 eine deutlich grössere Ausdehnung hat als die anderen Hotspots. Beim Hotspot Nr.8 konnten wir in einer annähernd rechteckigen Fläche von etwa 1.5 m Länge und rund 0.4 m Breite die markant höhere Radioaktivität gegenüber der weiteren Umgebung feststellen.

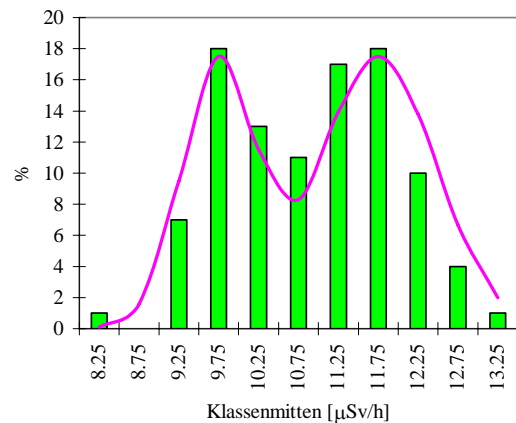


Abbildung 39: Hotspot 3, Messung auf dem Boden, 2.Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m2 = 10.808$   
Emp. Standardabweichung:  $s2 = 1.026$

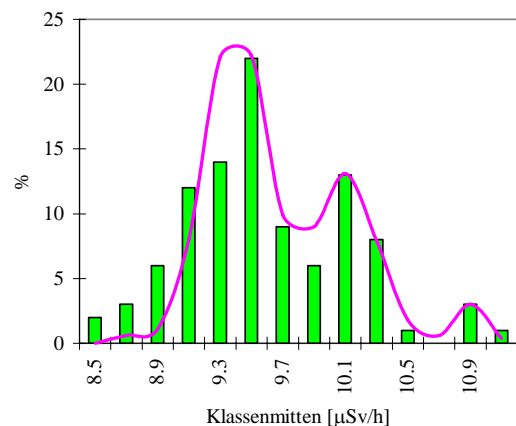


Abbildung 40: Hotspot 8, Messung auf dem Boden, 2.Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m2 = 9.584$   
Emp. Standardabweichung:  $s2 = 0.527$

Der folgende Ansatz liefert ein Modell, welches den drei Buckeln einigermaßen angepasst ist:

$$y = a1 \cdot e^{-b1(x - m1)^2} + a2 \cdot e^{-b2(x - m2)^2} + a3 \cdot e^{-b3(x - m3)^2}$$

Die Parameterwerte sind diesmal nicht mit dem schon mehrfach erwähnten Nelder-Programm berechnet worden, sondern in etwa fünf Schritten unter möglichst guter Beachtung der Daten des

Histogrammes gewählt worden. Die drei Mittelwerte  $m_1$ ,  $m_2$  und  $m_3$  stimmen ziemlich mit den  $x$ -Werten der drei Histogramm-Spitzen überein.  $a_1$ ,  $a_2$  und  $a_3$  repräsentieren die drei Spitzenwerte selber, während mit  $b_1$ ,  $b_2$  und  $b_3$  die "Breite" der Glockenkurven gesteuert werden kann. Im weiteren wurde auch auf die Summe der  $y$ -Werte geachtet, welche ja wenigstens angenähert den Wert 1 bzw. 100% haben sollte. In dieser Weise hat sich folgendes ergeben:

$$\begin{aligned} a_1 &= 22, & b_1 &= 5.56, & m_1 &= 9.4 \\ a_2 &= 13, & b_2 &= 12.5, & m_2 &= 10.1 \\ a_3 &= 3, & b_3 &= 50, & m_3 &= 10.9 \end{aligned}$$

Die Abbildung der Messwerte in 1 Meter Abstand über Boden von Hotspot 8, zeigt das Histogramm mitsamt der Summe der **drei** im obigen Ansatz zugrundegelegten **Normalverteilungen** in Form einer glatten Kurve.

$$\begin{aligned} a_1 &= 17, & b_1 &= 62, & m_1 &= 1.9 \\ a_2 &= 11, & b_2 &= 78.1, & m_2 &= 2.15 \\ a_3 &= 8, & b_3 &= 12.5, & m_3 &= 2.5. \end{aligned}$$

Die nachstehende Darstellung zeigt das Histogramm mitsamt der Modellkurve.

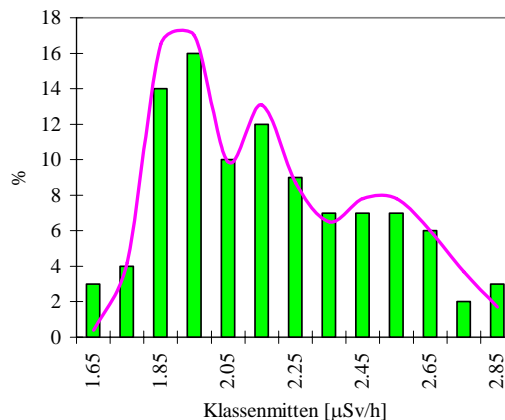


Abbildung 41: Hotspot 8, Messung 1 m über Boden, 2.Auswertung

Emp. Mittelwert:  $m_2 = 2.163$   
 Emp. Standardabweichung:  $s_2 = 0.299$

#### 1.4.5.2 Geräte 1 m über Boden:

Die ersten rund 40 Messungen wurden mit nur einem Gerät vorgenommen. Etwa 20 weitere Messungen wurden mit Hilfe von zwei Geräten getätigt, und schliesslich waren sogar vier Geräte im Einsatz.

Auch jetzt zeigt das Histogramm für die empirische Verteilung der Dosisleistung **drei Buckel**, wenn auch nicht mehr so ausgeprägt wie im Fall, wo das eine Gerät auf dem Boden liegend verwendet worden ist. Unsere Annahme, der Hotspot Nr.8 bestehe aus (mindestens) **drei "Unter-Hotspots"** wird damit weiter gefestigt. Um auch in diesem Fall zu einem mathematischen Modell zu kommen, verwenden wir denselben Ansatz wie oben:

$$y = a_1 \cdot e^{-b_1(x - m_1)^2} + a_2 \cdot e^{-b_2(x - m_2)^2} + a_3 \cdot e^{-b_3(x - m_3)^2}$$

Die Parameterwerte legen wir mit der oben beschriebenen propädeutischen Methode fest, was zu folgenden Resultaten geführt hat:

## 1.5 Tritium ( $^3_1H$ )

Als Anhaltspunkt dient uns die Auswertung des Tritiumgehaltes von **Regenwasser** auf dem Säntis. Das Tritium rührt noch zu einem wesentlichen Teil von den Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre her, es ist also nicht alles natürliche Strahlung, was hier gemessen wurde.

nicht auf St. Galler-Boden steht. Aber er ist vom Kanton St. Gallen umgeben. Somit können die Messungen von diesem berühmten Ostschweizer Gipfel sehr gut auf das St.Gallische Kantonsgebiet übertragen werden.

Auch ist uns ganz klar, dass der Säntis

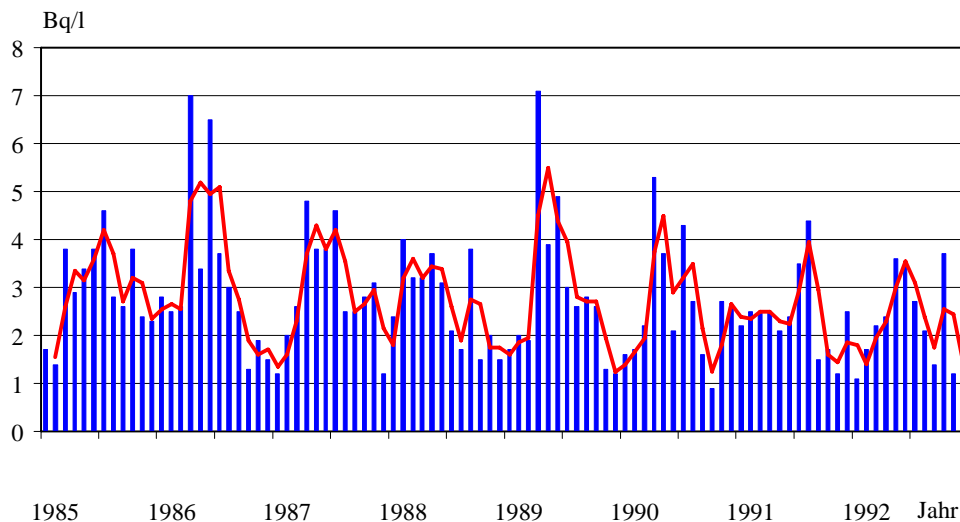


Abbildung 42: Schwankungen des Tritiumgehalts im Regenwasser auf dem Säntis (1985-1992, Monate beginnend mit Januar 1985)<sup>26,27,28,29,30</sup>. Die rote Linie zeigt den gemittelten Verlauf.

Die Tritiumwerte im Regenwasser auf dem Säntis der einzelnen Monate zeigen **sehr grosse Schwankungen** (bis Faktor 3!!), die selbstverständlich auch mit den Niederschlägen in einen Zusammenhang zu stellen sind.

Werden die obigen Messwerte über die Jahre gemittelt, sind die Schwankungen wesentlich kleiner, lassen aber auch nur schwer Interpretationen zu.

Abbildung 43: Auch die Seez bei Weisstannen enthält Tritium

Berechnung geht dabei davon aus, dass der natürliche Tritiumgehalt etwa 0.75 - 1.2 Bq/l beträgt<sup>31</sup> und sich noch immer Tritium aus den Kernwaffentests in der

Atmosphäre befindet, welches mit der Halbwertszeit von 12.26 Jahren zerfällt. Alle Messwerte liegen im Band der Streuungen. Es fällt dabei auf, dass im Jahre 1986 aber auch im Jahre 1989 zwei Spitzen auftreten - eine Korrelation mit dem Unfall von Tschernobyl von 1986 lässt sich somit nicht finden - wie liesse sich sonst die Spitze von 1989 erklären?

Eine Möglichkeit wären industrielle Quellen oder der „Frühlingsaustausch“ zwischen Stratosphäre und Troposphäre.

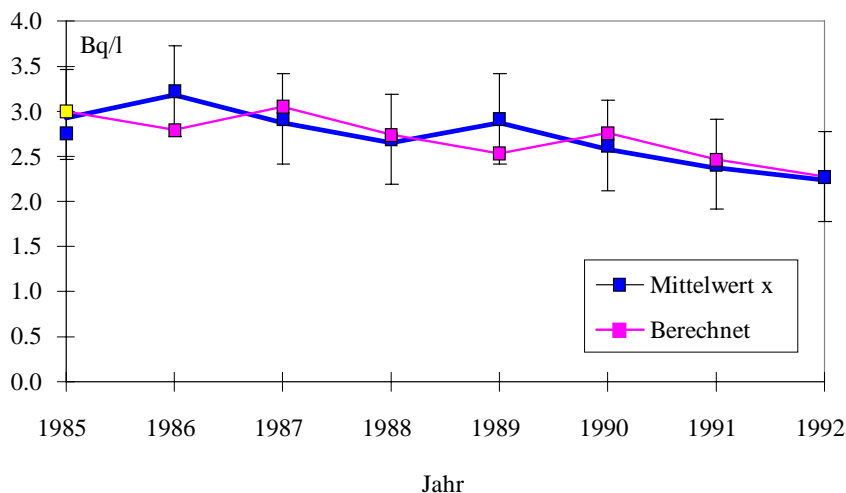


Abbildung 44 : Tritiumgehalte im Regenwasser auf dem Säntis (Die Balken zeigen eine Messstreuung von 5% an, die berechneten Werte berücksichtigen den natürlichen Zerfall)

Tritium wird mit dem Wasser von Pflanzen Tieren und auch vom menschlichen Körper aufgenommen. Es wird aber auch mit dem Wasser ausgeschieden. Somit ist die maximale Tritiumaktivität in unserem Körper vom Anteil des Wasserstoffs abhängig.

Die Konzentrationen von Tritium ( $^3_1\text{H}$ ) sind vor dem Hintergrund zu beurteilen, dass ca. 600'000 Bq bei der Aufnahme in den Körper **Folgedosen** von etwa 10  $\mu\text{Sv}$  verursachen.

Wir nehmen das Regenwasser direkt als Trinkwasser und indirekt mit der Nahrung (dem Wasser in Pflanzen und Fleisch) auf. Verwendete man

ausschliesslich täglich 2.2 Liter Regenwasser als Trinkwasser, hätte das eine zusätzliche Dosis von 0,00004 mSv zur Folge. Vergleichbare Dosiswerte ergeben sich, wenn angenommen wird, dass sich eine Person dauernd an derselben Stelle (Mittelland) im Freien aufhält und Tritium aus der Luftfeuchte durch die Atmung aufnimmt. Durch die Messungen und die Dosisabschätzungen kann mit Begründung gefolgert werden, dass die radiologischen Auswirkungen des Tritiums in Niederschlag und Gewässer für den Menschen vernachlässigbar sind.

## 1.6 Beryllium ( ${}^7_4\text{Be}$ )

Beryllium wird, wie Tritium und  ${}^{14}_6\text{C}$  in der Stratosphäre gebildet und gelangt von dort über die Luft auf die Erdoberfläche.

Die Messungen beschränken sich auf Grasproben.

*Tabelle 5:  ${}^7_4\text{Be}$  Aktivität von Grasproben in Bq/kg am 23.5.96<sup>32</sup> und am Hotspot 8 am 25.8.96<sup>33</sup>*

Ort	Gras
Altstätten	54
Mörschwil	21
Hotspot (schmalblättrig)	$262 \pm 13\%$
Hotspot (langes Gras)	$614 \pm 15\%$

${}^7_4\text{Be}$  war in der Milch nur in so geringen Mengen vorhanden, dass es nicht zuverlässig bestimmt werden konnte.

Verwunderlich hoch sind die  ${}^7_4\text{Be}$  aus dem Bereich der „Hotspots“ vom Plattnerboden. Mit der Aktivität des Bodens hat dies keinen Zusammenhang, da das  ${}^7_4\text{Be}$  in der Stratosphäre gebildet wird, die Höhenlage könnte aber einen Einfluss haben.

Beryllium kommt als Oxid (Festkörper) aus der Atmosphäre, und wird auf dem Boden deponiert. Der Regen spielt für die Deposition eine wichtige Rolle. Es kann aber ausser über die Nahrung, auch direkt über die Lungen aufgenommen werden. Die mittlere Dosis durch  ${}^7_4\text{Be}$  beträgt etwa 0.0003 mSv/Jahr.

## 1.7 Kohlenstoff ( ${}^{14}_6\text{C}$ )

Dieser Gehalt ist auf unserem Kantonsgebiet für uns nicht bekannt. Er schwankt, entsprechend der Bildung durch die kosmische Strahlung, sehr global. Er ist aber auch bestimmt durch den  ${}^{14}_6\text{C}$ -Gehalt der Luft, und damit geringfügig auch abhängig von den  $\text{CO}_2$ -Emissionen unserer Gesellschaft.

*Abbildung 45: Jeder Baum, auch im Weisstannental, enthält  ${}^{14}_6\text{C}$*

Der  $^{14}_6\text{C}$ -Gehalt dürfte durch den industriellen  $\text{CO}_2$ -Eintrag aus fossilen Brennstoffen um etwa 2% abgenommen haben. Je höher diese Emissionen, desto tiefer ist der  $^{14}_6\text{C}$  Gehalt der Luft, und desto tiefer derjenige der Pflanzen, und somit auch der unserer Nahrung. Das rührt daher, dass Kohlenstoff als fossiles Material sehr alt ist und der Kohlenstoff-14 mit seiner Halbwertszeit von 5730 Jahren weitgehend zerfallen ist.

Das  $\text{CO}_2$  aus den Verbrennungsprozessen hat somit einen sehr geringen  $^{14}_6\text{C}$ -Gehalt, die Pflanzen nehmen weniger auf und damit auch der Mensch über die Nahrung.

In organischem Material kann für die  $^{14}_6\text{C}$ -Aktivität etwa 0.22 Bq pro Gramm Material angenommen werden.

Die mittlere Dosis durch natürliches  $^{14}_6\text{C}$  beträgt etwa 0.012 mSv/Jahr.

## 1.8 Kalium ( $^{40}_{19}\text{K}$ )

Die Messungen von  $^{40}_{19}\text{K}$  beschränken sich auf **Boden-**, **Gras**proben und eine Bestimmung in **Milch**.

Wichtig für uns ist die Aufnahme mit der Nahrung.

Tabelle 6:  $^{40}_{19}\text{K}$  Gehalte in Bq/kg<sup>34</sup>

Ort	Boden	Gras	Milch
Altstätten 1 (Magerwiese)	379	124	64
Altstätten 2	400	276	
Mörschwil 1	389	545	
Mörschwil 2	144	58	
Goldach	329	167	
Horn (TG)	411	200	
Obersteinach	235	280	
Hotspot 8 (schmalblättr.)		144 ±66%	
Hotspot 8 (langes Gras)		<80	

Milch aus Gras etwa 50%. Milch hat somit den kleinsten  $^{40}_{19}\text{K}$ -Gehalt. 2000 Bq  $^{40}_{19}\text{K}$  verursachen bei der Aufnahme in den menschlichen Körper Folgedosen von etwa 10  $\mu\text{Sv}$ .

Die gefundenen Werte alle untersuchten Böden liegen im erwarteten Bereich von 37 - 1100 Bq/kg.

Bei unseren Messungen sind zwei vergleichende Bestimmungen besonders interessant. Eine Bodenprobe eines gedüngten Gebietes, und eine Bodenprobe eines ausgemagerten Gebietes, mit den dazugehörigen Messwerten des Grasses.

Die Aufnahme von Kalium mit Gras aus dem Boden führt zu einer mittleren Abreicherung von ca. 30%, jene von

Abbildung 46: Die Messung von Gras- und Bodenproben im Messwagen des AC-Labor Spiez.

Die örtlichen Streuungen sind, wie die Messungen zeigen so gross, dass nur von einem ungefähren Gehalt von  $^{40}_{19}\text{K}$  gesprochen werden kann. Die Strahlenexposition durch  $^{40}_{19}\text{K}$  hängt von der Kaliumaufnahme und somit entscheidend

von der **Ernährung** und der Aufnahme ab.

## 1.9 Radon ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ )

Die in den Wintern 1984/85 und 1987/88 im Kanton St. Gallen durchgeführten Messungen von Radon-222 -Gehalten in Häusern haben keine überhöhten werte gezeigt<sup>35,36</sup>. Mit einer sehr grossen Kampagne wurde im Kanton St. Gallen von Januar bis April 1996 vom Kantonsarzt die Radon-Situation mit Messungen genauer und viel umfangreicher untersucht<sup>37</sup>. Die Auswertungen von rund 2400 Dosimetern sind in einer

Übersichtskarte dargestellt. Es handelt sich hier um die Mittelwerte für die verschiedenen Gemeinden. Bei 0.35% der Messungen lag die Konzentration über dem gesetzlichen Grenzwert von  $1000 \text{ Bq/m}^3$ , bei 1.3% ergaben sich Werte zwischen dem Richtwert von  $400 \text{ Bq/m}^3$  und  $800 \text{ Bq/m}^3$ .

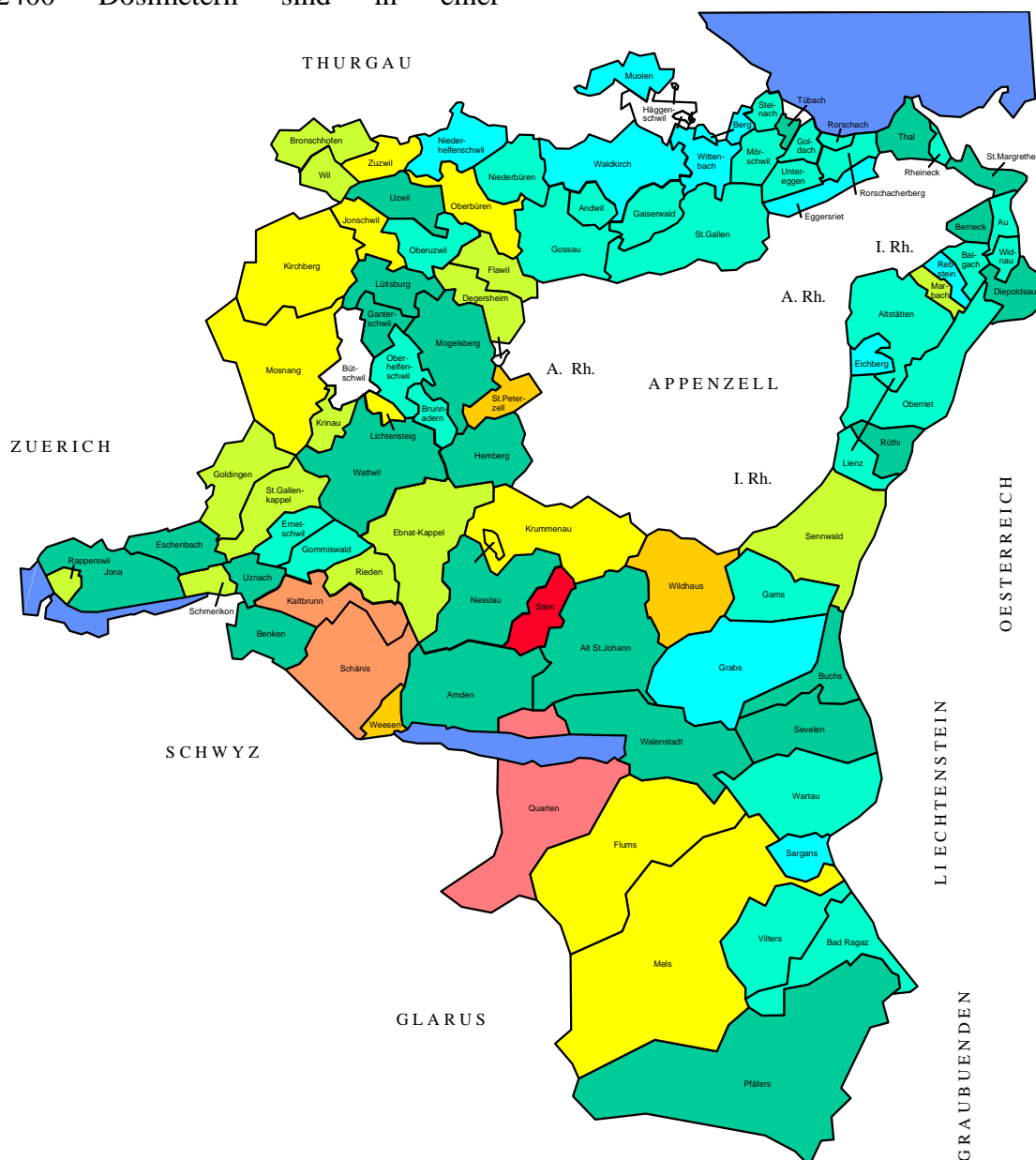


Abbildung 47: Mittlere Radonexposition in Gebäuden. Die Belastung ist rot ( $>200 \text{ Bq/m}^3$ ) am höchsten, orange, gelb ( $100-120 \text{ Bq/m}^3$ ), grün, blau ( $30-40 \text{ Bq/m}^3$ ) ist sie am tiefsten.

Es sind zwei Faktoren, welche zu einer grösseren Radonexposition führen können, erstens ein höherer Uran- und Radiumgehalt (Gegend um den Walensee, Nachweis auch mit unseren Experimenten) und zweitens eine grössere **Porosität des Bodens** (Karstgebiete). Die höheren **Urangehalte** sind bekannt und am Ort ihrer höchsten Intensität in diesem Bericht untersucht.

Die Direktstrahlung von Radon ist unbedeutend. Die Folgeprodukte des Radon als werden vor allem über die Lungen aufgenommen.

Radonfreisetzung konnte bei einem Gesteinsbrocken der Hotspots im Germanium-Lithium-Spektrometer (AC-Labor,

15.8.96) gemessen werden, eine Eigenschaft von Uran, die zur Zeit der ersten Untersuchungen dieses Gases als Emanation bezeichnet wurde.

Das Uran und das Thorium aller Steine aus dem Gebiet zwischen Hotspot 2 und 3 produzieren gut messbar Radon. Das wurde mit einem einfachen Versuch nachgewiesen. Ein Gesteinsbrocken wurde in einen Kessel, der mit einem Plastiksack lose zugedeckt war, gelegt. Nach einer bestimmten Zeit wurde die Luft vom Boden des Gefässes mit einem Staubsauger durch ein Rohr abgesaugt, welches vorne bei der Einsaugöffnung mit einem doppelagigen Polyestergewebe überzogen war<sup>38</sup>. An der Oberfläche des Gewebes konnte dann die Aktivität gemessen werden.

*Tabelle 7: Radonbildung durch einen Stein aus dem Weisstannental<sup>5</sup>*

Probe	Saugzeit (sec)	Lagerzeit (Std.)	Aktivität Imp/100s
Laborluft <sup>a)</sup>	10	-	35-42
Stein	10	24	130-150
Stein	3	10	347-407
Stein	3	24	801

*a) Incl. Untergrund*

*Bei den Hotspots: In diesem Gebiet bildet sich natürlicherweise viel Radon*

<sup>5</sup> Stein in Kübel mit 18 Liter Inhalt gelagert. Messung mit  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -Sonde, Messzeit 100 Sekunden Radiation Control Meter, MR 9530, Metallarbeiterschule, CH-8400 Winterthur

## 1.10 Uran und Thorium ( $^{238}_{92}\text{U}$ , $^{235}_{92}\text{U}$ , $^{232}_{92}\text{Th}$ )

Diese beiden Elemente sind sehr weit verbreitet. Dort, wo sich geologisch besonders grosse Anreicherungen finden, haben wir Messungen durchgeführt - das ist der Hotspot im Kanton. Uns ist im Kanton kein Ort bekannt, wo die Strahlung, gemessen als Ortsdosisleistung, grösser wäre. Ein Meter über Boden ist bei diesem Gestein die Aktivität rund 50 mal, direkt auf der Oberfläche etwa 500 mal grösser, als an dem Ort mit dem tiefsten Strahlungspegel, dem Bodensee.

Uran und Thorium werden nur in Spuren mit der Nahrung aufgenommen. Sie würden eine beachtliche Wirksamkeit zeigen. 6 Bq  $^{232}_{92}\text{Th}$  verursachen bei der Aufnahme in den menschlichen Körper Folgedosen von etwa 10  $\mu\text{Sv}$ .

Verschiedene Gesteine zeigen unterschiedliche Gehalte von Uran oder Thorium, und damit auch unterschiedliche Dosisleistungen.

Tabelle 8: Dosisleistungen von verschiedenen Gesteinsarten<sup>39</sup>

Gestein	Dosisleistungen nSv/h
Granit	166 - 258
Quarzporphyr	282 - 299
Porphyrit	142 - 244
Glimmerschiefer	95 - 249
Grünschiefer	77 - 103
Verrucano	160 - 200
Serpentin	63-?
Kalke	21 - 153
Dolomit	104 - 129
Mergel, Mergelschiefer	78 - 170
Tonschiefer	94 - 201
Nagelfluh	79 - 115
Schotter	26 - 108
Sande	109 - 118

Die Zone des Verrucano zwischen Walensee und dem Bündner Rheintal, in

den sogenannten helvetischen Glarneralpen-Decken, zeigen gegenüber dem Mittelland erhöhte Dosisleistungen, und damit bei porösem Gestein auch erhöhte Radongehalte.

Im hinteren Weisstannental sind geologische Schichten mit stark erhöhten Urangehalten bekannt. Die **Dosisleistungen** sind dort wegen dem Uran **rund hundert mal höher**, als bei den hier üblichen Gesteinen (Verrucano), wie sie in der Tabelle aufgeführt sind. Von einem Stein aus dem Gebiet des Hotspots (Oberer Plattnerboden) wurde ein Spektrum aufgenommen und die Folgeprodukte des Urans anhand der charakteristischen Peaks einwandfrei identifiziert. Die  $\gamma$ -Strahlen von Uran haben die hier gefundenen ganz typischen Energien. Gleichzeitig konnte bei dieser Probe im Spektrometer auch die Radonfreisetzung beobachtet werden.

Abbildung 48: Uranhaltiges Gestein vom Hotspot im Weisstannental

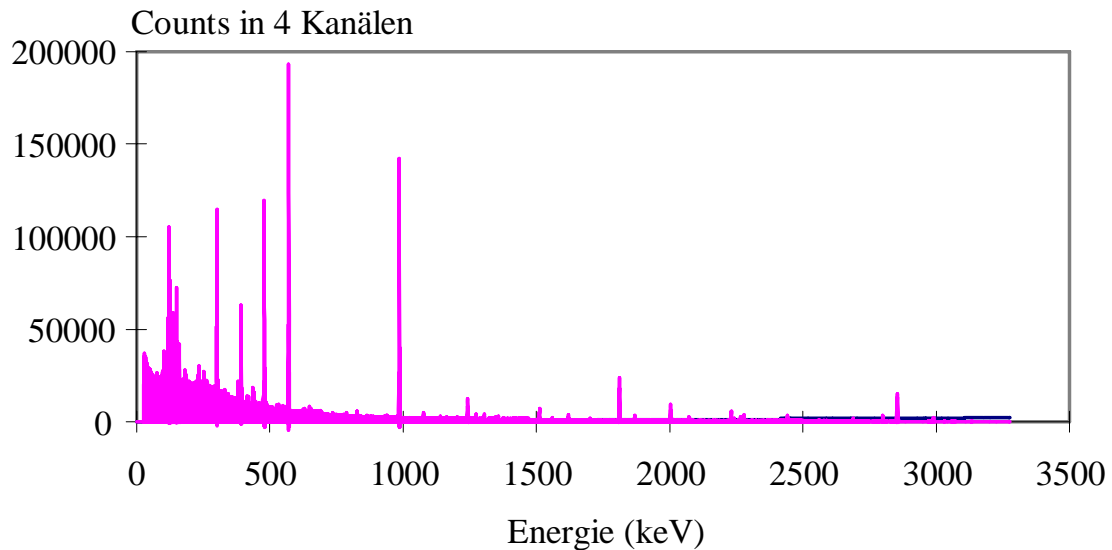


Abbildung 49: Gammaspektrum eines uranhaltigen Steins aus dem hinteren Weisstannental (Bereich zwischen Hotspot 3 und 2)<sup>40</sup>. Für jeden Energiebereich sind 4 Kanäle zur Verfügung, welche die Anzahl Impulse (counts) messen.

## 1.11 Kosmische Strahlung

Die Messung, die uns einen Anhaltspunkt geben kann, wie gross der Anteil der kosmischen Strahlung an der Ortsdosisleistung ist diejenige, die wir am 23. Mai 1996 auf dem **Bodensee** durchgeführt haben (400 m über Meer). In etwa 2 km Distanz südlich vom Ufer bei Rorschach, bei einer Wassertiefe von ca. 300 m ist die Erdstrahlung durch die Abschirmung der grossen Wasserschicht zu vernachlässigen. Die Höhenstrahlung bestimmt mit unseren Messungen zeigen einen Mittelwert von 48 nSv/h ( $\pm 20\%$ ). Er stimmt mit dem Wert der Literatur von 41 nSv/h recht gut überein.

Abbildung 50: Die kosmische Strahlung, auch Höhenstrahlung genannt, kommt vom Himmel

Auch die aeroradiometrischen Auswertungen der Messungen vom 23. Mai 1996 der NAZ haben die Ortsdosisleistungsmessungen, insbesondere auch die Unter-

schiede der Werte auf dem Bodensee und am Land bestätigt.

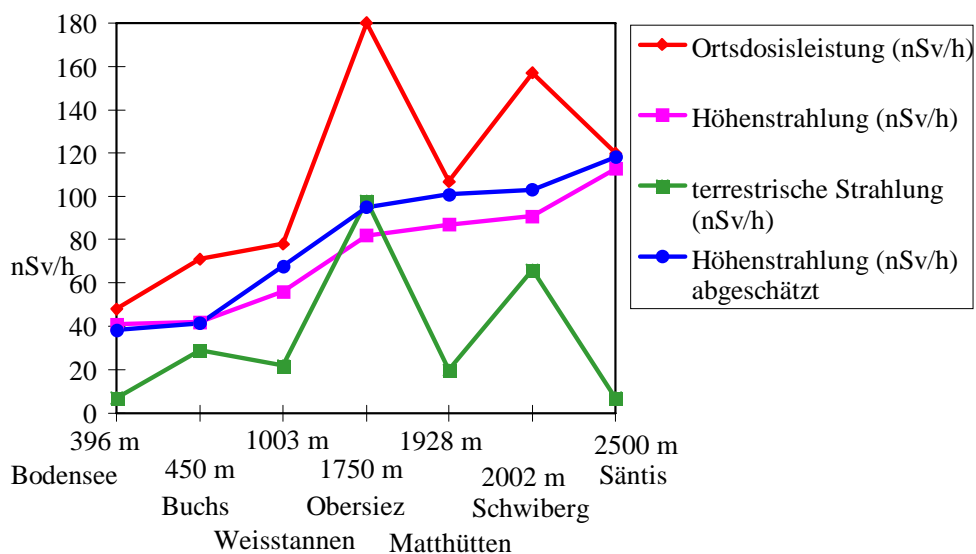


Abbildung 51: Ortsdosisleistungen<sup>41</sup> und abgeschätzter Anteil der Höhenstrahlung. Die Differenz der beiden Werte weist auf einen erhöhten Anteil der terrestrischen Strahlung hin.

Die kosmische Strahlung nimmt mit zunehmender Höhe über Meer zu, weshalb sie hier als Höhenstrahlung bezeichnet ist. Eine einfache von uns adaptierte mögliche Formel für die **Abschätzung der Höhenstrahlung** in nSv/h könnte sein<sup>42</sup>:

$$y = x^{0.61}$$

y: Dosisleistung (nSv/h)

x: Höhe über Meer (m)

Die mit dieser Formel abgeschätzten Dosisleistungen sind den genaueren Werten in der Figur gegenübergestellt.

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass man in Buchs, Obersiez und Schwiberg in ein Gebiet mit wesentlich höherer terrestrischer Strahlung kommt. In unserem Fall ist dies durch das Uran und die anderen schweren Elemente bedingt.

Abbildung 52: Ein Ort mit grosser Höhenstrahlung (über 2000 m über Meer), hoher terrestrischer Strahlung (bei den Hotspots mit Uranerz) und hohem Gehalt an Kontamination mit Beryllium-7 (siehe <sup>7</sup>Be, mit den auch für uns überraschenden Messungen)

## 1.12 Zusammenfassende Beurteilung

In der Einleitung ist eine Zusammenstellung der mittleren Strahlenexposition einer Person in der Schweiz zu finden. Diese trifft für sehr viele Leute auch im Kanton St. Gallen mit entsprechenden Streuungen zu. Die verfügbaren Daten und die eigenen Messungen haben diese Aussagen eindrücklich bestätigt. Die Strahlenexposition jeder Person im Kanton lässt sich nicht vorhersagen, dazu sind die Lebensbedingungen wie Ernährung, Wohnen, Arbeiten und Freizeit zu verschieden. Aufenthaltsort und -zeit spielen eine grosse Rolle, das zeigen alle Daten. Der **Mittelwert** ist für die Einzelpersonen nur ein ganz **grober Anhaltspunkt**, was von den Radon-

messungen eindrücklich bestätigt worden ist. Wichtig für uns ist die Feststellung, dass die Messungen nur mit der **Statistik** richtig ausgewertet und interpretiert werden können.

Und ausgerechnet da zeigen sich die grössten Unsicherheiten. Je kleiner die Strahlenexposition, desto weniger reproduzierbar, und damit auch desto weniger genau werden die Messwerte.

Wir haben einen Hotspot bei der terrestrischen Strahlenexposition im Weissstannental genauer ausgemessen, es ist denkbar, das bei anderen Strahlenquellen auch noch „Hotspots“ zu finden wären.

## 2 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

*Abbildung 53: Wir werden dauernd von Innen und von Aussen bestrahlt.*

*Die Klasse 3tc im Sommer 1996 in Weissstannen.*

Hintere Reihe: Künzler Philippe René, Ruppner Patrick, Stöckli Marco, Gamper Maurus, Lutz Michael, Niederer Brigitte

Mittlere Reihe: Bocker Bryan, Schiess Michelle, Rohrer Fred, Bruderer Michael, Fuchs Christian

Vordere Reihe: Baumann Christian, Salerno Salvatore, Näscher Simon, Meuwly Andreas, Stirnimann Christian, Grossenbacher Mirjam

### 3 Dank

Wir möchten es nicht unterlassen, allen Personen recht herzlich für die grosszügige **Unterstützung unseres Projekts** zu danken. Wir haben erfahren können, dass unsere Anliegen ernst genommen wurden, und es ist keineswegs selbstverständlich, dass für uns soviel Zeit aufgewendet wurde. Es wäre nicht

möglich gewesen, auch nur einen kleinen Teil dieser Arbeit durchzuführen, wenn wir nicht diese phantastische Unterstützung, die Unterlagen, Informationen, Hinweise und Ratschläge erhalten hätten.

Besonders bei unserem Dank erwähnen möchten wir:

- Dr. M. Burger, AC-Labor, Spiez, für die Messungen der Boden- und Grasproben
- Dr. Burkhard, ETH, Uni Zürich, für die guten allgemeinen Unterlagen über die Radioaktivität
- U. Frick, NAGRA, Baden, für die guten Tips, und die sehr gute Literatur
- Dr. K. Gmür, PSI, Villigen, für die Informationen über die Höhenstrahlung
- Dr. P. Heitzmann, Landeshydrologie und -geologie, Bern, für die Hilfe bei der Suche nach ganz seltenen Akten über das Weisstannental
- Dr. H.R. Hunziker, Kantonschemiker St. Gallen, für die Unterstützung bei den Messungen
- Dr. F. Jungi, Kantonsarzt, Kt.St.Gallen, für die Radon-Daten 1996
- M. Kreis vom Grundbuchamt Mels für die Karten mit den Anschlusspunkten.
- Leica AG, Heerbrugg (Geodäsie), für die leihweise Abgabe des „Vector“ und die Unterstützung bei der Auswertung durch die Herren E. Baumann, G. Schwärzler und K. Zeiske.
- Prof. Dr. H. Loosli, Universität Bern, für die Beryllium-Hinweise
- Dr. H. Pfeiffer, PSI, Villigen für die praktischen Tips zum Messen
- Dr. D. Rauber, NAZ, Zürich, für die Messgeräte, die umfangreiche Literatur, die aeroradiometrischen Aufnahmen und die NADAM-Daten
- Prof. Dr. L. Rybach, ETH, Zürich, für die guten Tips und die geologische Literatur
- Dr. Suter, Swissair, Ärztlicher Dienst, Zürich, für Informationen zu Höhenstrahlung und Flugverkehr
- PD Dr. H. Völkle, Universität Freiburg, für seine sehr genauen Korrekturen und die vielen wertvollen Hinweise.
- Dipl. Ing. ETH P. Zäch, Kantonales Laboratorium, St. Gallen, für die Messungen

Für die dauernde Bereitschaft, uns alle nur verfügbaren Unterlagen zugänglich zu machen, für Diskussionen zur Verfügung zu stehen, das Verständnis für die Anliegen der Jungen und damit für die Förderung dieser Arbeit möchten wir speziell danken:

Herrn

- Dipl. Natw. ETH H.P. Wächter, Leiter der Koordinationsstelle für Katastrophenhilfe des Kantons St.Gallen.

## 4 Literatur und Hinweise

<sup>1</sup> Nationale Alarmzentrale, Zürich, Übung NARACH, 31.8. bis 3.9.1992

<sup>2</sup> Ausnahmen: Weisstannen, Matthütten, Schwiberg, Obersiez am 3.7.1996

<sup>3</sup> siehe auch Auswertungen der Übung NARACH der Nationalen Alarmzentrale vom 31.8 bis 3.9.1992

<sup>4</sup> Schwarz G.F., Rybach L., Klingeleé E.E., Data processing and mapping in airborne radiometric surveys, in A.G. Fabbri et J.J. Royer (eds) 3<sup>rd</sup> CODATA Conference on Geomathematics and Geostatistics, Sci. De la Terre, Sér.Inf., Nancy, 1994, 32 577-588

<sup>5</sup> Frei D., Für die schnelle Erfassung der Radioaktivität am Boden, Technische Rundschau, Nr. 34, 1996, 20-23

<sup>6</sup> L. Rybach, G.F. Schwarz, Ground radiation maps of airborne, laboratory, and in situ spectrometry data, First Break, Vol 13, No.3, 1995, 97 - 104

<sup>7</sup> G.C. Amstutz, Kupfererze in den spilitischen Laven des Glarner Verrucano, Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 30, S.182 - 191

<sup>8</sup> K. Bächtiger, Ein neues intramagmatisches Kupfervorkommen in den Keratophyllaven des Gandstockes (Kt. Glarus, Schweiz), Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 40, S.279 - 288

<sup>9</sup> F.Gilliéron, T.P. Labhart, Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 77, 1988

<sup>10</sup> L. Rybach, Bericht über die Untersuchung der Uran-Mineralisation im Oberen Weisstannental (Schürfstelle „Oberer Plattnerboden“, Augst-Chamm) im Jahre 1973 zuhanden des „Arbeitsausschusses für die Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente“, 20. Dezember 1973, Schweiz. Geologische Dokumentationsstelle, Bericht Nr. 21175

<sup>11</sup> L. Rybach, U. Aeberli, Abschliessender Bericht über die in den Jahren 1956 - 1973 durchgeführten Uran - Prospektionsarbeiten im Glarner und St.Galler Verrucano, 1974, Schweiz. Geologische Dokumentationsstelle, Bericht Nr. 21179

<sup>12</sup> D.J.M. Burkhard, L. Rybach, K. Bächtiger, Uranium and copper ore minerals in a Lower Permian lapilli-agglomerate tuff in Eastern Switzerland (Weisstannental, Kanton St. Gallen), Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 65, 335-352, 1985

<sup>13</sup> M. Engi, Bericht über die Untersuchung der Uran-Mineralisationen im hinteren Weisstannental (Kt. St. Gallen), 13.2.1974, Landeshydrologie und -geologie, Schweiz. Geologische Dokumentationsstelle, Bericht Nr. 21178

<sup>14</sup> siehe Lit. Stelle 9

<sup>15</sup> ABX-Alert, MR 9511,  $\gamma$ -Energie ab 0.02 MeV, Nulleffekt <10 Imp/Min ca. 100 nSv/h

<sup>16</sup> Hr. Zihler, Kümmerli & Frei, 10.7.96, Hr. Hofmänner, Kant. Lehrmittelverlag Kt. St. Gallen

<sup>17</sup> siehe Lit. Stelle 13

<sup>18</sup> siehe Lit. Stelle 9, S.42f

<sup>19</sup> Vergleiche mit: Engi M., Bericht über die Untersuchungen der Uran-Mineralisation im hinteren Weisstannental (St. Gallen), Landeshydrologie und -geologie, Zürich 13.2.1974, Schweiz. Geologische Dokumentationsstelle, Bericht Nr. 21178, Bestimmungen von L. Rybach, Seite 9

<sup>20</sup> Quarzit mit Verwitterungsmerkmalen

<sup>21</sup> TI-82: Taschenrechner, Texas Instruments

<sup>22</sup> basaler konglomeratischer Gneis/Schiefer, Plagioklatgneis des Verrucano, Uranmineralien in den Serizit-Chloritschiefern (grau-grün)

<sup>23</sup> Siehe z.B.: Lauter J., Rüdiger K. et al., Mathematik Sekundarstufe II, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Düsseldorf 1979, S.253 f

<sup>24</sup> Siehe z.B.: Engel A., Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Bd.2, Stuttgart 1976, S.150f

<sup>25</sup> Siehe.z.B.: Lauter J., Rüdiger K. et al., Mathematik Sekundarstufe II, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Düsseldorf 1979, S.239 f

<sup>26</sup> 29. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für das Jahr 1985-1986 zuhanden des Bundesrates, S.43

<sup>27</sup> 30. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für das Jahr 1987-1988 zuhanden des Bundesrates, Teil 2, S.21

<sup>28</sup> Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz 1989-1990, B.3.20

<sup>29</sup> Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz, 1991, B.3.2.8

<sup>30</sup> Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz, 1992, B.3.2.5

<sup>31</sup> 28. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für das Jahr 1984 zuhanden des Bundesrates, S. 10

---

<sup>32</sup> Messungen des AC-Labors Spiez und des Kantonalen Laboratoriums St. Gallen vom 23.6.96

<sup>33</sup> Messungen des Kantonalen Laboratoriums St. Gallen vom 17.9.96

<sup>34</sup> Messungen des AC-Labors Spiez und des Kantonalen Laboratoriums St. Gallen vom 23.6.96

<sup>35</sup> 28. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für das Jahr 1984 zuhanden des Bundesrates, S. 8, 9

<sup>36</sup> 29. Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für die Jahre 1987-88 zuhanden des Bundesrates, S. 110

<sup>37</sup> F. Jungi, Gesundheitsgefährdung durch Radon, Medienmitteilung, 3. Sept. 1996  
H.R. Hunziker, Radon-Messungen W95/96 im Kanton St. Gallen, Medienmitteilung, 3. Sept. 1996

<sup>38</sup> Hinweis für diese einfache Versuchsanordnung von Herrn Dr. P. Pfeiffer, PSI, Villigen, 1995

<sup>39</sup> Halm E., Herbst W., Mastrocola, Messungen des natürlichen Strahlenpegels in der Schweiz, Sonderdruck aus Beilage B, Nr. 6 / 1962 zum „Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes“ vom 22. Dezember 1962, S. 11

<sup>40</sup> Messung durch das AC-Labor mit einem GeLi-Detektor Canberra - Packard 11/89 mit 8192 Kanälen, 16.8.96

<sup>41</sup> Aus den NARASG-Messungen vom 23.5.96 und den eigenen Messungen vom 2.7.96

<sup>42</sup> Halm E., Herbst W., Mastrocola, Messungen des natürlichen Strahlenpegels in der Schweiz, Sonderdruck aus Beilage B, Nr. 6 / 1962 zum „Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes“ vom 22. Dezember 1962, S. 7, Tabelle 2