

ISIGAMMA 2005

**Internationaler Messvergleich zur Bestimmung der Radioaktivität
im Boden mittels In-Situ-Gammaspektrometrie
9. bis 12. Mai 2005**

**Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt**

Christian Brummer
Christopher Strobl



Bundesamt für Strahlenschutz

An der Erstellung des Berichtes waren weiterhin beteiligt:

**Gerd Böhm
Helmut Buchröder
Carola Cronfeld
Andreas Deller
Martina Haustein,
Christian Hohmann
Beatrix von Helden
Inge Krol
Joachim Köppke
Ines Lohse
Angelika Maier
Stefan Mundigl
Jürgen Nowak
Sabine Schwarz
Michael Thomas**

BfS-SW-20/15

(ersetzt den Bericht SW 2-16/2006 vom September 2006)

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2015111813780

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, November 2015

ISIGAMMA 2005

**Internationaler Messvergleich zur Bestimmung der Radioaktivität
im Boden mittels In-Situ-Gammaspektrometrie
9. bis 12. Mai 2005**

**Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt**

Christian Brummer

Christopher Strobl

DANKSAGUNG

Für die Bereitstellung von Messflächen, Infrastruktur sowie für die großzügige Unterstützung bei der Vorbereitung und Organisation bedanken wir uns bei der WISMUT GmbH, insbesondere bei den Mitarbeitern Peter Schmidt, Uwe R. Scholz, Manfred Knittel und Detlef Rach.

INHALTSVERZEICHNIS

SEITE

1	Einleitung.....	1
2	Teilnehmer	2
3	Durchführung des Messvergleichs	3
4	Messaufgaben	4
5	Allgemeines zur Auswertung.....	5
6	Ergebnisse.....	6
6.1	Messort Reust A	6
6.1.1	Messbedingungen und Aufgaben.....	6
6.1.2	Ergebnisse.....	9
6.1.3	Diskussion und Bewertung.....	12
6.2	Messort Reust B	18
6.2.1	Bestimmung von Aktivitäten und Tiefen vergrabener rad. Quellen.....	19
6.2.2	Aktivitätsbestimmung an Punktquellen	21
6.2.3	Messungen zur Bestimmung der Winkelabhängigkeit	22
6.3	Messort Dänkritz	25
6.3.1	Messfläche Dänkritz-Halde	27
6.3.2	Messfläche Dänkritz-Tailing	30
6.3.3	Fragebogen zur Messfläche Dänkritz-Tailing	33
6.4	Messort Trünzig	35
6.5	Messort Sorge-Settendorf	39

ISIGAMMA 2005 in Bildern

Anhänge

1 EINLEITUNG

Nach einem kerntechnischen Unfall oder bei Verdacht auf radioaktive Kontamination einer größeren Fläche ist es entscheidend, schnell einen Überblick über die Radioaktivität in der Umwelt zu erhalten. Die im und auf dem Boden befindliche Radioaktivität kann auf unterschiedliche Weise bestimmt werden. Ein sehr genaues aber auch sehr zeit- und kostenaufwendiges Verfahren ist die Entnahme von Bodenproben und deren anschließende Analyse im Labor. Sehr viel schneller und repräsentativer ist die Methode der In-situ-Gammaspektrometrie, mit der der Gehalt an natürlichen und künstlichen radioaktiven Stoffen direkt vor Ort („In-Situ“) bestimmt werden kann. In Deutschland und in vielen anderen Ländern ist die In-Situ-Gammaspektrometrie mittlerweile fester Bestandteil von Messprogrammen, die nach einem kerntechnischen Unfall helfen, schnell Entscheidungen über geeignete Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung zu treffen.



Abbildung 1: Großvolumiger In-situ-Detektor mit Stickstoff-Dewar, Tragevorrichtung und Stativ

Als Maßnahme zur Qualitätssicherung bei Messungen mittels In-Situ-Gammaspektrometrie veranstaltete das Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Wismut GmbH vom 9. bis 12. Mai 2005 in Gera und Umgebung eine internationale Vergleichsmessung zur Bestimmung der Radioaktivität im Boden.

2 TEILNEHMER

Am Messvergleich **ISIGAMMA 2005** nahmen insgesamt 150 Personen aus 68 nationalen und internationalen Institutionen teil. Eine Liste der Teilnehmer ist diesem Bericht als **Anhang 1** beigefügt.



Abbildung 2: Die Teilnehmer bei der Einführungsveranstaltung am 09.05.2005

3 DURCHFÜHRUNG DES MESSVERGLEICHS

Eine Woche vor Beginn der Veranstaltung wurde den Teilnehmern ein detailliertes Messprogramm mit den verschiedenen Aufgabenstellungen, ein genau festgelegter zeitlicher Ablaufplan sowie entsprechendes Kartenmaterial zugesandt. Eine Zusammenstellung der einzelnen Messaufgaben ist in **Anhang 2**, der zeitliche Ablaufplan der Übung in **Anhang 3** dokumentiert.

Die Durchführung der Messaufgaben erfolgte an vier verschiedenen Messorten südwestlich der Stadt Gera. Die Lage der Messorte ist in **Abbildung 3** dargestellt.

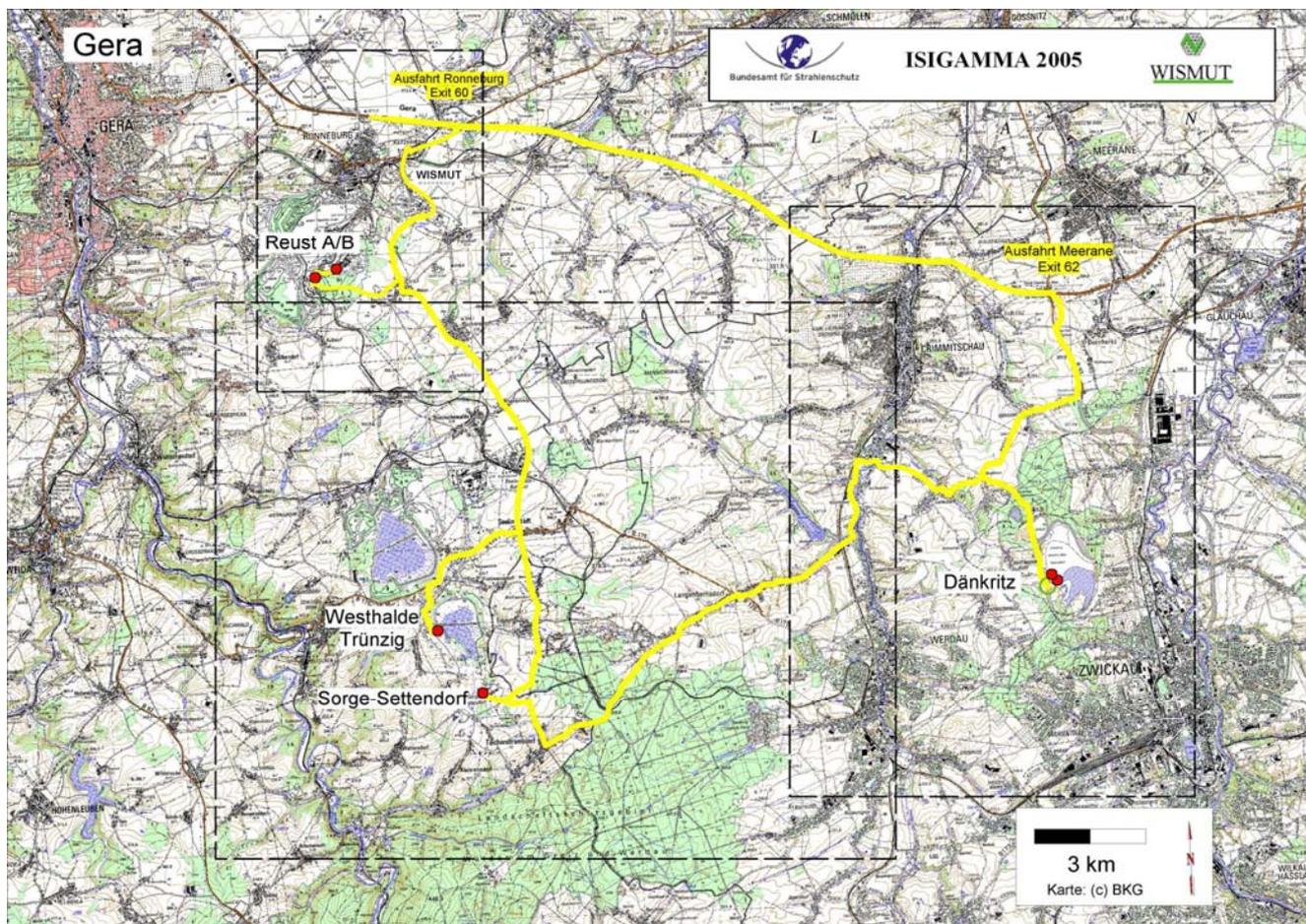


Abbildung 3: Lage der Messorte in der Umgebung von Gera

4 MESSAUFGABEN

Der Messvergleich *ISIGAMMA 2005* umfasste folgende Aufgabenschwerpunkte:

- Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide an mehreren Messorten mit unterschiedlicher Bodenzusammensetzung
- Bestimmung der flächenbezogenen Aktivität des Radionuklids ^{137}Cs an einem der Messorte unter der Annahme unterschiedlicher Tiefenverteilungen
- Messung der Gamma-Ortsdosisleistung
- Berechnung der nuklidspezifischen Einzelbeiträge zur Gamma-Ortsdosisleistung
- Überprüfung der Detektorkalibrierung durch Messung und Aktivitätsbestimmung punktförmiger Aktivitätsnormale
- Bestimmung von Aktivitäten und Tiefen vergrabener radioaktiver Quellen
- Kartierung der Ortsdosisleistung auf einer Fläche von mehreren 10000 m²

Eine besondere Erschwernis stellte für die Teilnehmer der relativ knapp bemessene und strikt einzuhaltende Zeitrahmen dar, der von den Veranstaltern für die einzelnen Messaufgaben festgelegt worden war. Diese enge zeitliche Reglementierung war jedoch aufgrund der großen Anzahl der Messteams, der zum Teil weit voneinander entfernten Messorte und der Vielzahl der Messaufgaben zwingend erforderlich, um einen reibungslosen Ablauf der Veranstaltung sicherzustellen.

5 ALLGEMEINES ZUR AUSWERTUNG

Von Seiten der Veranstalter war zunächst vorgesehen, die Ergebnisse der Teilnehmer bereits unmittelbar nach Abschluss der Messungen einzufordern. Aufgrund der Aufgabenfülle und des sehr engen Zeitplans konnte diese Vorgabe von einem Großteil der Teilnehmer jedoch nicht eingehalten werden. Aus diesem Grund wurde den Teilnehmern eine verlängerte Abgabefrist bis zum 31.05.2005 eingeräumt.

Insgesamt wurden etwa 40 Prozent der in diesem Bericht zusammengestellten Messergebnisse unmittelbar am Ende des Messvergleichs (12.05.2005) vorgelegt. Die restlichen etwa 60 Prozent der Daten gingen im Zeitraum bis zum verlängerten Abgabetermin am 31.05.2005 bei den Veranstaltern ein. Zahlreiche Messteams nahmen dabei auch die Möglichkeit wahr, innerhalb der verlängerten Abgabefrist ihre bereits vor Ort in Gera abgegebenen Messdaten zu korrigieren.

Mit der Bitte um Überprüfung wurde allen Teilnehmern am 31.12.2005 eine Zusammenstellung der übermittelten Messdaten in Form mehrerer Excel-Dateien zugesandt. Korrekturwünsche wurden von den Veranstaltern jedoch nur dann entsprochen, wenn es sich um einen Eingabefehler des Veranstalters oder um einen erkennbaren Flüchtigkeitsfehler des Teilnehmers handelte.

Ein grundsätzliches Problem bei der Auswertung des Messvergleichs ergab sich aus dem Sachverhalt, dass ein Teil der Messteams die spezifischen Aktivitäten nicht wie gefordert massenbezogen [Bq/kg], sondern flächenbezogen [Bq/m²] berechnete. Diese Werte wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz - soweit vom Teilnehmer Angaben über das zu Grunde gelegte Tiefenverteilungsmodell vorlagen - in massenbezogene Aktivitäten umgerechnet. Die dazu verwendeten Umrechnungsfaktoren sind in **Anhang 4** beigefügt.

Allen vom Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführten Berechnungen von Mittelwerten wurde ein Ausreißertest vorangestellt. Dieser Test wurde nach GRUBBS für ein Vertrauensniveau von 95 % durchgeführt. In den graphischen Darstellungen sind Ausreißer als nicht ausgefüllte Symbole dargestellt. Liegen Ausreißer außerhalb des Darstellungsbereichs, so ist dies mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Alle in diesem Bericht angegebenen oder dargestellten Messunsicherheiten bzw. Standardabweichungen sind mit einem Vertrauensniveau von 68 Prozent angegeben. Bei der Berechnung von Standardabweichungen wurden die Messunsicherheiten der Einzelwerte nicht berücksichtigt.

6 ERGEBNISSE

6.1 MESSORT REUST A

6.1.1 MESSBEDINGUNGEN UND AUFGABEN

Am Messort Reust A befinden sich drei Referenzmessflächen zur Qualitätssicherung bei der Bestimmung der Gamma-Ortsdosisleistung natürlicher Radionuklide. Alle drei Flächen sind jeweils 20 m x 20 m groß und damit auch als Kalibriergeometrie für die In-situ-Gammaspektrometrie geeignet.

Diese Eignung wird durch eine vom Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführte Abschätzung belegt: Bei Annahme einer homogenen Tiefenverteilung und einer Detektorhöhe von 1 m beträgt die Unterschätzung gegenüber einer unendlich ausgedehnten Messgeometrie auch bei Photonenenergien von mehr als 2 MeV nur einige Prozent. Die Mächtigkeit der drei Flächen beträgt jeweils etwa 0,6 m. Die Flächen sind damit für die Modellannahme einer homogenen Tiefenverteilung geeignet.



Abbildung 4: Die Referenzflächen der Wismut GmbH am Messort Reust A

REFERENZWERTE

Alle drei Referenzflächen wurden im Zuge ihrer Herstellung in den 1990er Jahren durch umfangreiche Beprobungen und anschließende gammaspektrometrische Analysen auf den Gehalt natürlicher Radionuklide untersucht. Durchgeführt wurden diese Analysen vom Bundesamt für Strahlenschutz in Berlin. Die ermittelten massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide werden im Rahmen dieses Berichtes als Referenzwerte herangezogen.

Am 7. und 8.06.2005, also etwa vier Wochen nach dem Messvergleich **ISIGAMMA 2005**, wurde auf den drei Referenzflächen ein internationaler Messvergleich zur Qualitätssicherung umgebungsdosimetrischer Messungen mit tragbaren Ortsdosisleistungsmessgeräten durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Messvergleichs, an dem 35 Institutionen mit insgesamt 103 Messgeräten teilnahmen, werden im Folgenden als Referenzwerte für die Gamma-Ortsdosisleistung verwendet.

CHARAKTERISTIKA DER REFERENZFLÄCHEN

Die drei Referenzmessflächen unterscheiden sich hinsichtlich des verwendeten Materials und insbesondere hinsichtlich der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Reust A1: Unbearbeitetes Material der Zentralhalde des Sanierungsbetriebes Ronneburg

Reust A2: Aufbereitungsrückstände des ehemaligen Aufbereitungsbetriebes Seelingstädt mit Zementzusatz. Diese Fläche ist mit einer Polyurethanabdeckung versiegelt.

Reust A3: Beton mit natürlichem Aktivitätsgehalt

STRAHLUNGSBEITRÄGE AUS DER UMGEBUNG

Zur Abschätzung von Strahlungsbeiträgen aus der Umgebung wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz auf der Messfläche Reust A3 ein nach unten mit Blei ($d = 5 \text{ cm}$) abgeschirmtes In-situ-Spektrometer aufgebaut (Detektorhöhe = 100 cm). Durch diese Messanordnung werden im Wesentlichen die Strahlungsbeiträge der Umgebung registriert und die Strahlungsbeiträge der Messfläche ausgeblendet. Mit diesem System wurden während des gesamten Messvergleichs Stundenspektren aufgenommen.



Abbildung 5:

Germanium-Detektor mit Bleiabschirmung zur Bestimmung von Strahlungsbeiträgen aus dem oberen Halbraum

In **Abbildung 6** sind die ermittelten Stundenmittelwerte der Nettozählrate für insgesamt vier unterschiedliche Gesamtabsorptionslinien von Radionukliden der ^{238}U -Zerfallsreihe dargestellt.

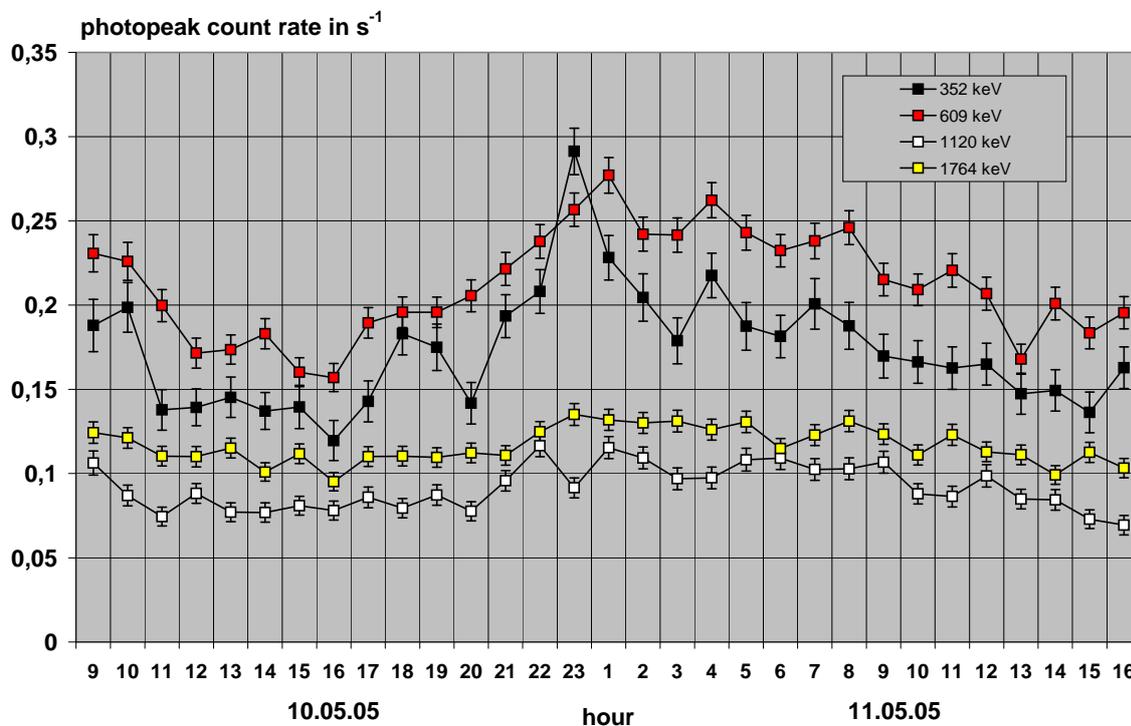


Abbildung 6: Stundenmittelwerte von Nettozählraten des nach unten abgeschirmten In-situ-Spektrometers für vier Gesamtabsorptionslinien am Messort Reust A3.

Wie **Abbildung 6** zeigt, weisen die Zählraten in den Zeiträumen von jeweils 9:00 bis 16:00 Uhr relativ konstante Werte auf. Lediglich in der Nacht vom 10. auf den 11.05.2005 (18:00 Uhr bis 8:00 Uhr) waren die Strahlungsbeiträge aus der Luft etwas erhöht. Ein Vergleich mit den entsprechenden Zählraten eines nach unten nicht abgeschirmten In-situ-Spektrometers belegt ferner, dass die Strahlungsbeiträge aus der Luft bzw. aus der Umgebung selbst auf der wenig aktiven Referenzfläche Reust A3 bei weniger als 10 Prozent liegen.

Gemäß einer Langzeitmessung durch das Bundesamt für Strahlenschutz lag die volumenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{222}Rn in der Umgebungsluft des Messortes Reust A während des Messvergleichs im Mittel bei 30 Bq/m^3 .

MESSAUFGABEN

- Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide mittels In-situ-Gammaspektrometrie
- Messung der Gamma-Ortsdosisleistung
- Nuklidspezifische Berechnung der Gamma-Ortsdosisleistung auf Grundlage der ermittelten massenbezogenen Aktivitäten

6.1.2 ERGEBNISSE

In den **Anhängen RA1, RA2 und RA3** sind die von den Teilnehmern ermittelten massenbezogenen Aktivitäten sowie die gemessenen und berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen graphisch dargestellt.

In den **Tabellen 1, 2 und 3** sind die Mittelwerte der von den Teilnehmern bestimmten massenbezogenen Aktivitäten des Messvergleichs den Referenzwerten gegenübergestellt.

Tabelle 1: Mittel- und Referenzwerte der massenbezogenen Aktivitäten der Messfläche Reust A1

Nuklid	Energie [keV]	Mittelwert ISIGAMMA [Bq/kg]	Referenzwert [Bq/kg]	Abweichung vom Referenzwert
^{234m} Pa	1001	305 ± 105	319 *	- 5 %
²²⁶ Ra	186	435 ± 120	319	+ 35 %
²¹⁴ Pb	295	240 ± 40	319 *	- 25 %
²¹⁴ Pb	352	240 ± 30	319 *	- 25 %
²¹⁴ Bi	609	245 ± 30	319 *	- 24 %
²¹⁴ Bi	1120	245 ± 35	319 *	- 24 %
²¹⁴ Bi	1764	250 ± 40	319 *	- 22 %
²²⁸ Ac	911	38 ± 5		
²²⁸ Ac	968	37 ± 8		
²¹² Pb	239	38 ± 6		
²⁰⁸ Tl	583	20 ± 11		
²⁰⁸ Tl	2614	25 ± 16		
⁴⁰ K	1461	591 ± 60	636	-7 %

* Referenzwert für das Radionuklid ²²⁶Ra

Tabelle 2: Mittel- und Referenzwerte der massenbezogenen Aktivitäten der Messfläche Reust A2

Nuklid	Energie [keV]	Mittelwert ISIGAMMA [Bq/kg]	Referenzwert [Bq/kg]	Abweichung vom Referenzwert
^{234m} Pa	1001	240 ± 115	-	
²²⁶ Ra	186	1590 ± 370	2682	- 41 %
²¹⁴ Pb	295	1425 ± 285	2682 *	- 47 %
²¹⁴ Pb	352	1435 ± 235	2682 *	- 47 %
²¹⁴ Bi	609	1550 ± 200	2682 *	- 42 %
²¹⁴ Bi	1120	1625 ± 245	2682 *	- 40 %
²¹⁴ Bi	1764	1640 ± 230	2682 *	- 39 %
²²⁸ Ac	911	14 ± 10	-	
²²⁸ Ac	968	14 ± 11	-	
²¹² Pb	239	13 ± 6	-	
²⁰⁸ Tl	583	7 ± 5	-	
²⁰⁸ Tl	2614	6,5 ± 3,5	-	
⁴⁰ K	1461	169 ± 30	313	-46 %

* Referenzwert für das Radionuklid ²²⁶Ra

Tabelle 3: Mittel- und Referenzwerte der massenbezogenen Aktivitäten auf der Messfläche Reust A3

Nuklid	Energie [keV]	Mittelwert ISIGAMMA [Bq/kg]	Referenzwert [Bq/kg]	Abweichung vom Referenzwert
^{234m} Pa	1001	54 ± 3	31,9 *	+ 70 %
²²⁶ Ra	186	65 ± 24	31,9	+ 103 %
²¹⁴ Pb	295	27 ± 5	31,9 *	- 17 %
²¹⁴ Pb	352	27 ± 5	31,9 *	- 14 %
²¹⁴ Bi	609	30 ± 5	31,9 *	- 8 %
²¹⁴ Bi	1120	32 ± 5	31,9 *	± 0 %
²¹⁴ Bi	1764	34 ± 5	31,9 *	+ 8 %
²²⁸ Ac	911	11 ± 2	14,6 **	-27 %
²²⁸ Ac	968	10 ± 3	14,6 **	-33 %
²¹² Pb	239	10 ± 3	14,6 **	-29 %
²⁰⁸ Tl	583	6,5 ± 4,5	5,29 ***	+18 %
²⁰⁸ Tl	2614	9,0 ± 6,5	5,29 ***	+ 64 %
⁴⁰ K	1461	235 ± 24	248	-5 %

* Referenzwert für das Radionuklid ²²⁶Ra

** Referenzwert für das Radionuklid ²²⁴Ra

*** Referenzwert für das Radionuklid ²²⁴Ra unter Berücksichtigung des Verzweigungsfaktors 0,362

In **Tabelle 4** sind die Mittelwerte der von den Teilnehmern gemessenen und berechneten Äquivalentdosisleistungen den Referenzwerten gegenübergestellt. Von einem Teil der Teilnehmer wurde die Gamma-Ortsdosisleistung jedoch nicht als Äquivalentdosisleistung [Sv/h], sondern als Energiedosisleistung [Gy/h] angegeben. Diese Ergebnisse wurden bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Vergleich der ermittelten Äquivalentdosisleistungen

Ort	Referenzwert [nSv/h]	Mittelwert ISIGAMMA <u>gemessen</u> [nSv/h]	Abweichung vom Referenzwert	Mittelwert ISIGAMMA <u>berechnet</u> [nSv/h]	Abweichung vom Referenzwert
Reust A1	213	213	± 0 %	215	+ 1 %
Reust A2	819	791	- 3 %	807	- 1 %
Reust A3	88	86	- 2 %	74	- 16 %

6.1.3 DISKUSSION UND BEWERTUNG

REFERENZFLÄCHE REUST A1



Abbildung 7: Die Referenzfläche Reust A1

²³⁴Pa: Der Mittelwert des Messvergleichs stimmt im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten mit dem ²²⁶Ra-Referenzwert überein.

²²⁶Ra: Der Mittelwert des Messvergleichs liegt über dem Referenzwert. Ursache für die Überschätzung sind möglicherweise Interferenzen mit der Gesamtabsorptionslinie des Radionuklids ²³⁵U bei 186 keV, die nicht von allen Messteams berücksichtigt wurden.

²¹⁴Pb und ²¹⁴Bi:

Die Diskrepanzen von bis 25 Prozent können nach Ansicht der Veranstalter auf die Emanation des Radionuklids ²²²Rn zurückgeführt werden.

²²⁸Ac und ²¹²Pb:

Die Mittelwerte für die drei ausgewerteten Gesamtabsorptionslinien stimmen im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten überein. Ein Referenzwert liegt nicht vor.

²⁰⁸Tl:

Ausgehend von dem für die Mutternuklide ²²⁸Ac und ²¹²Pb ermittelten Aktivitäten von etwa 38 Bq/kg, ergibt sich für das Radionuklid ²⁰⁸Tl ein Erwartungswert von etwa 14 Bq/kg. Zurückzuführen ist dieser reduzierte Wert auf die Entstehungswahrscheinlichkeit des Radionuklids ²⁰⁸Tl beim Zerfall des Mutternuklids ²¹²Bi, die bei nur 36,2 Prozent liegt. Offensichtlich haben jedoch einige Teilnehmer dieses Verzeigungsverhältnis innerhalb der ²³²Th-Zerfallsreihe nicht berücksichtigt. Die graphische Darstellung der Einzeldaten im **Anhang RA 1** zeigt dies für die Gesamtabsorptionslinie bei 583 keV deutlich. Zwar liegt der Mittelwert gemäß **Tabelle 1** deutlich über dem Erwartungswert von 14 Bq/kg, der Großteil der im **Anhang RA1** dargestellten Einzelergebnisse stimmt jedoch im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten mit dem Erwartungswert überein.

⁴⁰K:

Der Mittelwert von 591 Bq/kg stimmt im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten mit dem Referenzwert von 636 Bq/kg überein.

Gamma-Ortsdosisleistung:

Der Mittelwert der gemessenen Äquivalentdosisleistung von 213 nSv/h stimmt sowohl mit dem Referenzwert von 215 nSv/h als auch mit dem Mittelwert aus den von den Teilnehmern über die massenbezogenen Aktivitäten berechneten Äquivalentdosisleistungen (215 nSv/h) überein.

Für die als Energiedosisleistung angegebenen Messwerte ergibt sich ein Mittelwert von 183 nGy/h. Dieser Wert liegt um etwa 15 Prozent unter dem entsprechenden Mittelwert der gemessenen Äquivalentdosisleistung von 213 nSv/h.

REFERENZFLÄCHE REUST A2



Abbildung 8: Die Referenzfläche Reust A2

Die von den Teilnehmern ermittelten massenbezogenen Aktivitäten liegen für alle Radionuklide, für die auch Referenzwerte vorliegen (^{40}K , ^{226}Ra und Tochternuklide), signifikant unter den Referenzwerten. Die Abweichungen zeigen keine nennenswerte Abhängigkeit von der Photonenenergie. Damit sind Abschirmeffekte durch Bodenmatten oder die etwa 10 cm dicke Polyurethanabdeckung der Messfläche als Hauptursache für die Diskrepanz auszuschließen. Auch auf die begrenzte Ausdehnung der Kalibrierfläche (20m x 20m) können die festgestellten Diskrepanzen nicht zurückgeführt werden, da sich die entsprechenden Korrekturen der Geometriefaktoren auf nur wenige Prozent belaufen.

Aufschlussreich ist, dass die von den Teilnehmern auf Basis der ermittelten massenbezogenen Aktivitäten berechneten Äquivalentdosisleistungen mit im Mittel 807 Sv/h sowohl mit dem gemessenen Mittelwert von 791 nSv/h als auch mit dem Referenzwert von 819 nSv/h gut übereinstimmen. Dieser Sachverhalt spricht für die Plausibilität der von den Teilnehmern im Rahmen des Messvergleichs ermittelten massenbezogenen Aktivitäten.

Eine wesentliche Ursache der festgestellten Diskrepanzen zwischen den Referenzwerten und den Ergebnissen des Messvergleichs liegt möglicherweise in der Zumischung von Bindemittel (Zement) und Wasser im Zuge der Herstellung der Referenzfläche. Diese Bestandteile wurden dem Tailingmaterial zur Vermeidung von Kontaminationen der Umgebung beigegeben. Nach Kenntnis des Bundesamtes ist die durch die Zumischung von Bindemittel und Wasser bedingte Verringerung der massenbezogenen Aktivitäten in den Referenzwerten der Fläche jedoch nicht berücksichtigt. Als Referenzwerte wurden lediglich die massenbezogenen Aktivitäten des verwendeten Tailingmaterials übernommen und nicht die des letztlich eingebrachten Gesamtgemisches bestimmt. Eine entsprechende Korrektur ist jedoch aufgrund des nicht genau bekannten Mischungsverhältnisses von Tailingmaterial, Bindemittel und Wasser aus heutiger Sicht nicht mehr möglich.

REFERENZFLÄCHE REUST A3



Abbildung 9: Die Referenzfläche Reust A3

- ²³⁴Pa:** Der Mittelwert des Messvergleichs liegt zwar deutlich über dem ²²⁶Ra-Referenzwert, allerdings resultiert dieser Mittelwert aus nur zwei Einzelwerten, die mit Messunsicherheiten von 40 bzw. 52 Prozent behaftet sind. Unter Berücksichtigung dieser Messunsicherheiten sind beide Einzelwerte mit dem ²²⁶Ra-Referenzwert vergleichbar.
- ²²⁶Ra:** Der Mittelwert des Messvergleichs weist eine vergleichsweise hohe Standardabweichung auf, liegt aber erkennbar über dem Referenzwert. Ursache für die Überschätzung sind möglicherweise Interferenzen mit der Gesamtabsorptionslinie des Radionuklids ²³⁵U bei 186 keV, die von einem Teil der Messteams nicht berücksichtigt wurden.

^{214}Pb und ^{214}Bi :

Mittelwerte der Teilnehmer und Referenzwerte können im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten als übereinstimmend bewertet werden. Auffällig ist jedoch eine tendenzielle Zunahme der massenbezogenen Aktivitäten bei den Messvergleichsdaten mit zunehmender Photonenenergie der Gesamtabsorptionslinie (geringere massenbezogene Aktivitäten bei niedrigen Photonenenergien und höhere massenbezogene Aktivitäten bei hohen Photonenenergien). Erklärbar wäre dieser Effekt durch die Emanation des Radionuklids ^{222}Rn aus oberflächennahen Schichten der Messfläche. Strahlungsbeiträge aus den höheraktiven Referenzflächen bzw. der Umgebung könnten diesen Effekt verstärken, dürften jedoch gemäß Abschnitt 6.1.1 keine nennenswerte Rolle spielen.

 ^{228}Ac und ^{212}Pb :

Für alle zur Auswertung herangezogenen Emissionslinien liegen die Mittelwerte signifikant unter dem ^{224}Ra -Referenzwert von 14,6 Bq/kg. Diese Diskrepanz kann weder auf eine zu geringe Ausdehnung der Kalibrierfläche noch auf Verluste aufgrund der Emanation des Radionuklids ^{220}Rn zurückgeführt werden, da dessen Halbwertszeit nur 55,6 s beträgt. Möglicherweise lagen bei der Bestimmung des Referenzwertes Interferenzprobleme mit der Gesamtabsorptionslinie des Radionuklids ^{214}Pb bei 242 keV vor.

 ^{208}Tl :

Berücksichtigt man die für die Mutternuklide ^{228}Ac und ^{212}Pb von den Teilnehmern ermittelten Aktivitäten von etwa 10 Bq/kg, so ergibt sich für das Radionuklid ^{208}Tl ein Erwartungswert von etwa 3,6 Bq/kg. Ganz offensichtlich haben jedoch zahlreiche Teilnehmer das Verzweigungsverhältnis innerhalb der ^{232}Th -Zerfallsreihe nicht berücksichtigt. Die graphische Darstellung der Einzeldaten im **Anhang RA 3** zeigt dies für die Gesamtabsorptionslinie bei 583 keV deutlich. Zwar liegt der Mittelwert gemäß **Tabelle 3** deutlich über dem Erwartungswert von 3,6 Bq/kg, der Großteil der in **Anhang RA3** dargestellten Einzelergebnisse stimmt jedoch im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten mit dem Erwartungswert überein.

^{40}K : Der Mittelwert von 235 Bq/kg stimmt mit dem Referenzwert von 248 Bq/kg überein.

Gamma-Ortsdosisleistung:

Der Mittelwert der gemessenen Äquivalentdosisleistung von 86 nSv/h stimmt sowohl mit dem Referenzwert von 88 nSv/h als auch mit dem Mittelwert aus den von den Teilnehmern über die massenbezogenen Aktivitäten berechneten Äquivalentdosisleistungen (71 nSv/h) überein. Für die als Energiedosisleistung angegebenen Messwerte ergibt sich ein Mittelwert von 65 nGy/h. Dieser Wert liegt um etwa 25 Prozent unter dem entsprechenden Mittelwert der gemessenen Äquivalentdosisleistung von 86 nSv/h.

6.2 MESSORT REUST B

Ziel der Messaufgaben am Messort Reust B war es, die Kalibrierung der von den Teilnehmern verwendeten Detektorsysteme zu überprüfen. Darüber hinaus sollte durch die Identifikation von vergrabenen radioaktiven Präparaten eine praktische Übung zur Aktivitäts- und Tiefenbestimmung unbekannter Quellen angeboten werden. Bei den verwendeten Punktquellen handelte es sich überwiegend um punktförmige Aktivitätsnormale der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt (PTB). Lediglich bei den im Rahmen der Messaufgabe "Vergrabene Quellen" verwendeten Präparaten (^{131}I und ^{60}Co) wurde die Bestimmung der Referenzaktivität vor Beginn des Messvergleichs durch das Fachgebiet SW 2.1 des Bundesamtes für Strahlenschutz vorgenommen.

Die einzelnen Standorte der Kalibrierquellen am Messort Reust B waren räumlich so weit von einander getrennt, dass eine wechselseitige Beeinflussung ausgeschlossen werden konnte. Interferenzprobleme mit der Umgebungsstrahlung waren lediglich beim Radionuklid ^{137}Cs zu erwarten. Gemäß einer Abschätzung des Bundesamtes für Strahlenschutz kann der Einfluss der ^{137}Cs -Umgebungsstrahlung auf das Ergebnis der Messaufgaben jedoch vernachlässigt werden.



Abbildung 10: Der Messort Reust B wurde auf einem Parkplatz der Wismut GmbH eingerichtet

6.2.1 BESTIMMUNG VON AKTIVITÄTEN UND TIEFEN VERGRABENER RADIOAKTIVER QUELLEN

An vier Messstationen wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz jeweils ein ^{60}Co -Präparat sowie ein ^{131}I -Präparat in den Boden eingebracht. Beide Präparate können im Rahmen der gegebenen Messbedingungen als „punktförmig“ betrachtet werden. Aktivität und Tiefe der Präparate waren an allen vier Messstationen gleich. Die relativen Unsicherheiten der Aktivitäten betragen jeweils fünf Prozent, die absolute Unsicherheit der Tiefe im Boden kann mit jeweils ± 1 cm angegeben werden.

Zur Einbringung der Präparate in den Boden wurde an jeder Messstation eine etwa 50 cm tiefe Bohrung ($d=10$ cm) vorgenommen, die jeweils mit einem Plexiglasrohr (Wandstärke = 3 mm) stabilisiert wurde. In diese Bohrungen wurde jeweils ein mit Sand ($\rho=1,5\text{g/cm}^3$) gefülltes Kunststoffrohr eingebracht, das auch die beiden Präparate enthielt. Zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften des über den Präparaten befindlichen Sandes wurde den Teilnehmern eine Graphik mit dem Massenschwächungskoeffizienten als Funktion der Photonenenergie zur Verfügung gestellt.



Abbildung 11: Einbringung der „Vergrabenen Quellen“ am Messort Reust B. Die Quellen befinden sich in dem gelben, mit Sand gefüllten Kunststoffrohr

Von den Teilnehmern mussten an jeweils einer Messstation die vergrabenen Radionuklide, deren Aktivität und Tiefe im Boden bestimmt werden. Zur Aktivitäts- und Tiefenbestimmung wurde von den Teilnehmern überwiegend die Methode zweier Messungen senkrecht über den Quellen in verschiedenen Abständen zur Oberfläche angewandt. Wie **Anhang 5** zeigt, erlauben die über diese beiden Messungen erhaltenen Zählratenverhältnisse Aussagen zu Tiefe und Aktivität einer vergrabenen Quelle. Einige Teilnehmer bestimmten Tiefen und Aktivitäten der vergrabenen Quellen durch ein anderes Verfahren, das jedoch nur bei Mehrliniennukliden anwendbar ist. Dabei wird nur eine Messung durchgeführt und aus dem Zählratenverhältnis der Gesamtabsorptionslinien unterschiedlicher Photonenenergien Information über Aktivität und Tiefe der Quelle abgeleitet. Ein drittes mögliches Verfahren, bei dem eine Messung senkrecht über dem Präparaten und eine zweite Messung seitlich versetzt durchgeführt wird, war aufgrund der unterschiedlichen Bodenmaterialien innerhalb und außerhalb des Kunststoffrohres vergleichsweise wenig geeignet.



Abbildung 12: Bestimmung der Aktivität „vergrabener“ Quellen durch Messungen in unterschiedlichem Abstand über der Bodenoberfläche

Im **Anhang RB1** sind die von den Teilnehmer ermittelten Aktivitäten und Tiefen der vergrabenen Präparate den tatsächlichen Werten gegenübergestellt. Von den 47 für jedes Radionuklid ermittelten Aktivitäten lagen beim Radionuklid ^{60}Co acht Teilnehmer und beim Radionuklid ^{131}I sieben Teilnehmer innerhalb einer Toleranz von ± 20 Prozent um die tatsächliche Aktivität. Bei der Tiefe des Radionuklid ^{60}Co lagen zehn von insgesamt 49 angegebenen Werten weniger als 1 cm von der tatsächlichen Tiefe entfernt. Beim Radionuklid ^{131}I , das sich direkt an der Bodenoberfläche befand, waren dies sechs der insgesamt 44 angegebenen Werte. Bemerkenswert ist, dass die Tiefenbestimmung bei drei Messteams eine Position des ^{131}I -Präparats oberhalb der Bodenoberfläche ergab.

6.2.2 AKTIVITÄTSBESTIMMUNG AN PUNKTQUELLEN

Zur Überprüfung der Detektorkalibrierung (Detektorausbeute) mussten von den Teilnehmern an jeweils einer von insgesamt vier vorbereiteten Messstationen die Aktivitäten punktförmiger radioaktiver Quellen bestimmt werden. Bei den verwendeten Aktivitätsnormalen handelte es sich um die Radionuklide ^{60}Co und ^{137}Cs mit Gesamtabsorptionslinien bei 1173, 1332 und 662 keV. Die Aktivitäten der Aktivitätsnormale lagen beim Radionuklid ^{60}Co zwischen 19 und 88 kBq und beim Radionuklid ^{137}Cs zwischen 72 und 183 kBq. Die Aktivität einer radioaktiven Punktquelle kann wie folgt berechnet werden:

$$A = \frac{N \cdot 4 \cdot \pi \cdot d^2}{p_\gamma \cdot R_0} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit N = Nettozählrate [s^{-1}]
 R_0 = Detektorausbeute [cm^2]
 d = Abstand Punktquelle – Kristallmittelpunkt des Detektors [cm]
 p_γ = Übergangswahrscheinlichkeit

Die von den Teilnehmern ermittelten Aktivitäten sind in **Anhang RB2** messpunktbezogen den tatsächlichen Werten gegenübergestellt. Für das Radionuklid ^{60}Co liegt dabei der Mittelwert der 50 Einzelergebnisse - ohne Berücksichtigung von insgesamt sieben Ausreißern - lediglich um ein Prozent unterhalb des Sollwertes. Beim Radionuklid ^{137}Cs ergab die entsprechende Auswertung eine Abweichung von minus zwei Prozent, wobei hier insgesamt vier Ausreißer nicht berücksichtigt wurden. Insgesamt 68 Prozent der Einzelergebnisse für das Radionuklid ^{137}Cs und 72 Prozent der Einzelergebnisse für das Radionuklid ^{60}Co liegen innerhalb eines Toleranzbereiches von ± 10 Prozent um die tatsächliche Aktivität.



Abbildung 13: Bestimmung der Aktivität von radioaktiven Punktquellen durch Messung in Richtung der Kristallsymmetrieachse des Detektors

6.2.3 MESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER WINKELABHÄNGIGKEIT DES GERMANIUMDETEKTORS

Weist ein zur In-situ-Gammaspektrometrie verwendeter Detektor eine Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens auf, so muss diese Winkelabhängigkeit bei der Berechnung von massen- oder flächenbezogenen Aktivitäten berücksichtigt werden. Die dazu notwendigen Messungen und Berechnungen sind im Allgemeinen sehr aufwändig, zumal die Winkelabhängigkeit nicht nur eine Funktion des Azimut- und des Polarwinkels, sondern zusätzlich eine Funktion der Photonenenergie ist. Im Allgemeinen weisen Detektoren, deren Kristalldurchmesser in etwa der Kristalllänge entspricht, nur geringe Winkelabhängigkeiten auf.

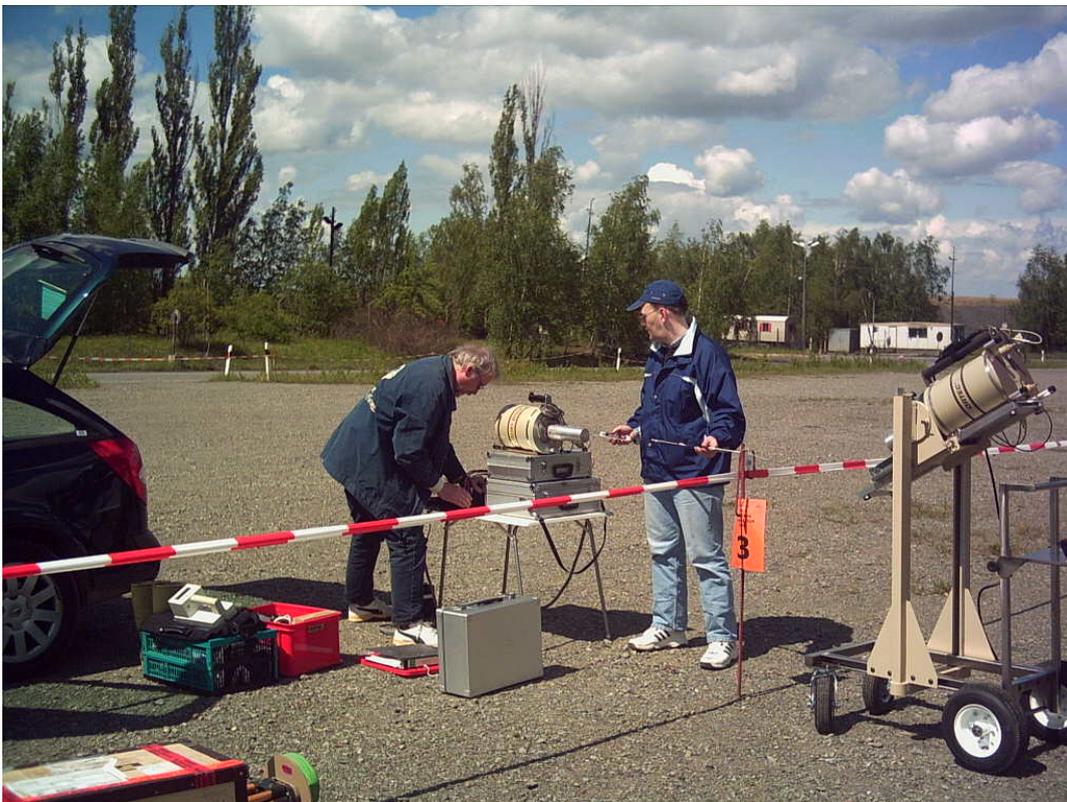


Abbildung 14: Die Bestimmung der Winkelabhängigkeit eines Detektors erfolgt durch Punktquellenmessungen unter verschiedenen Einfallswinkeln der Photonen

Um die Teilnehmern mit dieser Problematik zu konfrontieren, wurden neben den unter Abschnitt 6.2.2 beschriebenen Punktquellenmessungen in entsprechender Weise jeweils zwei zusätzliche Messungen gefordert. Diese Messungen waren senkrecht zur Kristallsymmetrieachse (90-Grad-Messung) des Detektors sowie für einen Polarwinkel von 45 Grad (45-Grad-Messung) durchzuführen. Die Berechnung der Aktivität der Punktquellen kann auch bei diesen Messungen entsprechend **Gleichung 1** erfolgen.

Der Quotient der über verschiedene Einfallswinkel ermittelten Aktivitäten ist ein Maß für die Winkelabhängigkeit des Detektors bei der betrachteten Photonenenergie. Die aus der Messaufgabe resultierenden Quotienten für unterschiedliche Einfallswinkel (45 Grad, 90 Grad) und unterschiedliche Photonenenergien (662 keV, 1172 keV, 1332 keV) ermöglichen es dem Teilnehmer zu entscheiden, ob für sein Detektorsystem eine Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit bei der Bestimmung von massen- oder flächenbezogenen Aktivitäten erforderlich ist, oder vernachlässigt werden kann.

In **Anhang RB3** sind die entsprechenden Quotienten für die drei zu bearbeitenden Photonenenergien und die zwei zu bearbeitenden Polarwinkel messteambezogen dargestellt. Zusammengefasst sind die Ergebnisse in **Tabelle 5**. Sie zeigt den prozentualen Anteil der von den Teilnehmern verwendeten Detektoren mit Winkelabhängigkeiten von weniger als zehn Prozent. Demzufolge weist der überwiegende Teil der von den Teilnehmern verwendeten Detektoren zumindest in dem für die In-situ-Gammaspektrometrie bevorzugt genutzten Energiebereich nur eine geringe Winkelabhängigkeit des Ansprechverhaltens auf. Zurückzuführen ist dieser Sachverhalt auf die Kristallgeometrien der von den Teilnehmern eingesetzten Germaniumdetektoren, deren Längen zum Großteil ihren Durchmessern entsprechen (**Abbildung 15**). Im Mittel ergibt sich für das Verhältnis aus Kristalllänge zu Kristalldurchmesser aller Teilnehmer ein Wert von 0,9.

Tabelle 5: Prozentualer Anteil der beim Messvergleich eingesetzten Detektoren mit Winkelabhängigkeiten von weniger als 10 Prozent

Photonenenergie [keV]	Prozentueller Anteil	
	Polarwinkel 45 Grad	Polarwinkel 90 Grad
662	77	70
1173	77	68
1332	77	61

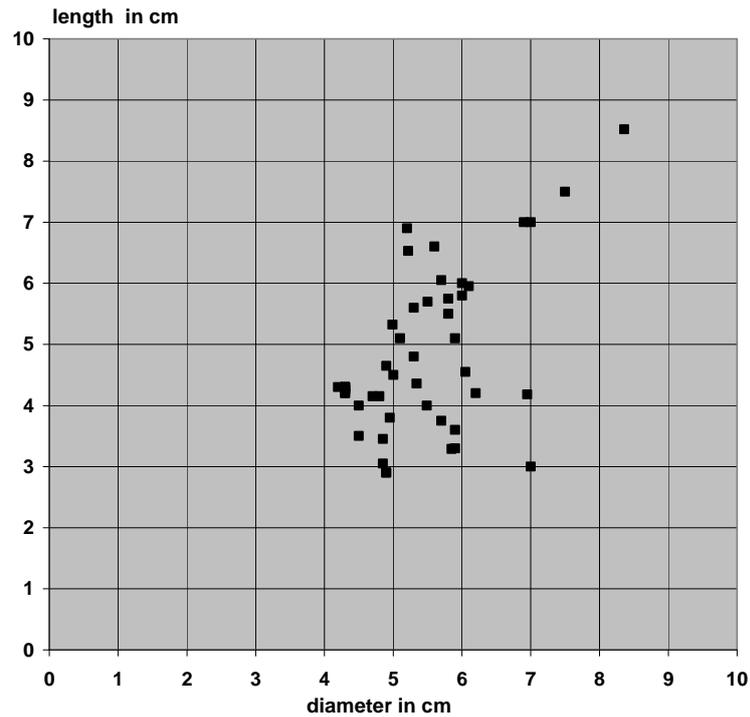


Abbildung 15: Kristalllängen und Kristalldurchmesser der im Rahmen von *ISIGAMMA 2005* eingesetzten Germanium-Detektoren

Abbildung 16 gibt einen Überblick über die relativen Effizienzen der im Rahmen von *ISIGAMMA 2005* eingesetzten Germaniumdetektoren.

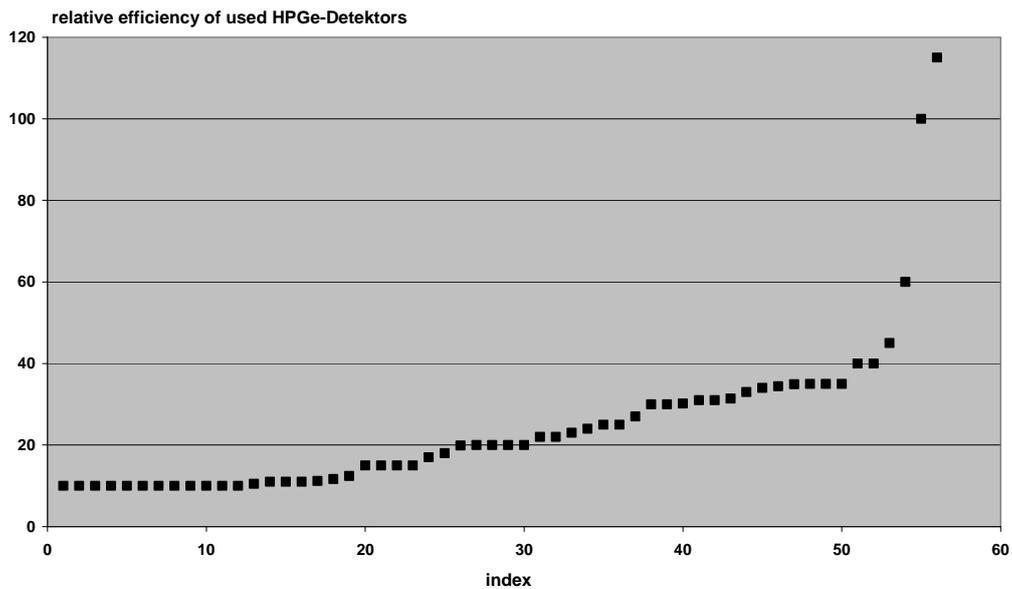


Abbildung 16: Relative Effizienzen der im Rahmen von *ISIGAMMA 2005* eingesetzten Germanium-Detektoren

6.3 MESSORT DÄNKRITZ

Am Messort Dänkriz waren auf zwei unterschiedlichen Messflächen (Halde, Tailing) jeweils zwölf Messpunkte markiert. An jeweils zwei Messpunkten eines Standortes waren von den Teilnehmern folgende Messaufgaben zu bearbeiten:

- Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide mittels In-situ-Gammaspektrometrie
- Messung der Gamma-Ortsdosisleistung
- Nuklidspezifische Berechnung der Gamma-Ortsdosisleistung auf Grundlage der ermittelten massenbezogenen Aktivitäten



Abbildung 17: Überblick über den Messort Dänkriz

Bei beiden Standorten handelte es sich um weiträumige, ebene und unbewachsene Flächen. Erschwert wurden die Messaufgaben durch den Umstand, dass sich beide Standorte innerhalb eines Strahlenschutzbereiches der Wismut GmbH befanden und daher nur mit Schutzausrüstung betreten und nicht mit dem eigenen Messfahrzeug befahren werden durften. Die Teilnehmer konnten daher nur die zur Messung zwingend erforderlichen Komponenten ihrer Ausrüstung mit Hilfe eines von der Wismut GmbH eingerichteten Shuttle-systems zu den einzelnen Messflächen bringen. Darüber hinaus hatten die Teilnehmer zumindest teilweise mit extremer Witterung (Sturmböen, Hagel) zu kämpfen.



Abbildung 18: Hagelschauer am Nachmittag des 10.05.2005 auf der Messfläche Dänkriz-Tailing

Problematisch erwies sich auch die Auswertung der Messdaten. So zeigte sich insbesondere auf der Messfläche Dänkriz-Tailing, dass die massenbezogenen Aktivitäten an den zwölf Messpunkten teilweise sehr unterschiedliche Werte aufwiesen. Dieser Sachverhalt erlaubte für beide Standorte keine messflächenbezogene Auswertung der Ergebnisse sondern machte eine messpunktbezogene Auswertung erforderlich. Problematisch ist dabei jedoch, dass die Anzahl der pro Messpunkt tätigen Messteams teilweise gering und die Aussagekraft der Mittelwerte damit entsprechend eingeschränkt ist. Im Zuge der Planung der Messkampagne **ISIGAMMA 2005** war von Seiten des Bundesamtes für Strahlenschutz nicht mit derart heterogenen Aktivitätsverhältnissen gerechnet worden. Entsprechende Vorabmessungen konnten jedoch nicht durchgeführt werden, weil beide Messflächen aufgrund der ständig fortschreitenden Sanierungsarbeiten am Messort Dänkriz erst sehr kurzfristig (am 8.05.2005) festgelegt werden konnten.

Gemäß einer Langzeitmessung des Bundesamtes für Strahlenschutz lag die volumenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{222}Rn in der Umgebungsluft des Messortes Dänkriz während des Messvergleichs im Mittel bei 82 Bq/m^3 .

6.3.1 MESSFLÄCHE DÄNKRITZ-HALDE

Bei der Messfläche Dänkritz-Halde handelt es sich um eine Aufschüttung von unbearbeitetem Haldenmaterial, auf der von den Veranstaltern insgesamt zwölf Messpunkte (1 bis 12) markiert worden waren. In **Anhang DH1** sind die von den Teilnehmern ermittelten massenbezogenen Aktivitäten messpunktbezogen dargestellt. Zum Vergleich sind auch die entsprechenden Mittelwerte des jeweiligen Messpunktes angegeben.



Abbildung 19: Die Messfläche Dänkritz-Halde

In **Anhang DH2** befindet sich eine messteambezogene Darstellung der relativen Abweichung der von den einzelnen Messteams ermittelten Aktivitäten vom entsprechenden Messpunktmittelwert. Ausgewertet wurden insgesamt fünf Radionuklide mit jeweils einer Gesamtabsorptionslinie. Ausgewählt wurden Radionuklide bzw. Gesamtabsorptionslinien die vergleichsweise geringe zählstatistische Unsicherheiten aufweisen, die keine systematischen Unsicherheiten (Interferenzen) erwarten lassen und die zusammen den gesamten für die In-situ-Gammaspektrometrie primär relevanten Energiebereich abdecken. Abweichungen von mehr als 100 Prozent sind durch nicht ausgefüllte Symbole am oberen Rand der Diagrammfläche dargestellt.

In **Tabelle 6** sind für sieben ausgewählte Radionuklide die Mittelwerte der massenbezogenen Aktivität für die zwölf Messpunkte zusammengestellt. In Klammern ist dazu jeweils die Anzahl der Einzelwerte angegeben, die bei der Bildung des Mittelwertes berücksichtigt wurden. In **Abbildung 20** sind die entsprechenden Mittelwerte für fünf ausgewählte Radionuklide graphisch dargestellt.

Tabelle 6: Mittelwerte der massenbezogenen Aktivität auf der Messfläche Dänkritz-Halde mit den entsprechenden Standardabweichungen

site	²²⁶ Ra	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb (352 keV)	²¹⁴ Bi (609 keV)	²²⁸ Ac (911 keV)	²¹² Pb (239 keV)	⁴⁰ K
1	1313 ± 177 [8]	863 ± 196 [6]	596 ± 42 [9]	606 ± 32 [8]	34 ± 2 [6]	33 ± 5 [9]	882 ± 62 [9]
2	1057 ± 321 [10]	712 ± 177 [10]	574 ± 54 [11]	577 ± 40 [9]	36 ± 5 [11]	35 ± 8 [11]	865 ± 37 [10]
3	1052 ± 399 [10]	470 ± 303 [4]	529 ± 31 [8]	579 ± 62 [9]	34 ± 7 [9]	33 ± 4 [7]	833 ± 79 [10]
4	1136 ± 280 [4]	839 ± 139 [3]	557 ± 22 [4]	599 ± 47 [3]	34 ± 2 [4]	30 ± 2 [3]	795 ± 59 [4]
5	1681 ± 189 [9]	762 ± 318 [4]	727 ± 60 [9]	719 ± 75 [10]	31 ± 3 [7]	35 ± 5 [9]	850 ± 81 [9]
6	1228 ± 466 [8]	770 ± 185 [9]	656 ± 115 [11]	670 ± 99 [9]	34 ± 5 [10]	35 ± 11 [11]	919 ± 127 [11]
7	1316 ± 156 [10]	624 ± 154 [6]	572 ± 60 [11]	576 ± 62 [10]	30 ± 3 [11]	31 ± 5 [10]	831 ± 85 [12]
8	1319 ± 418 [6]	766 ± 154 [5]	640 ± 34 [5]	695 ± 58 [6]	34 ± 6 [6]	29 ± 7 [6]	833 ± 19 [6]
9	1087 ± 282 [7]	643 ± 147 [6]	679 ± 131 [8]	704 ± 111 [7]	35 ± 5 [8]	33 ± 7 [7]	878 ± 130 [8]
10	1540 ± 154 [8]	830 ± 187 [5]	680 ± 82 [9]	687 ± 65 [9]	30 ± 4 [8]	34 ± 7 [10]	844 ± 111 [10]
11	1557 [2]	861 ± 5 [2]	622 ± 209 [4]	721 ± 102 [4]	32 ± 7 [4]	31 ± 9 [3]	933 ± 270 [6]
12	1400 [1]	490 [1]	600 [1]	590 [1]	30 [1]	27 [1]	880 ± 184 [2]

Wie **Tabelle 6** zeigt, liegen messpunktbezogen für die Nuklide der ^{238}U -Zerfallsreihe $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{214}Pb und ^{214}Bi jeweils vergleichbare massenbezogene Aktivitäten vor. Eine gute messpunktbezogene Übereinstimmung ergibt sich auch bei den Aktivitäten der Radionuklide der ^{232}Th -Zerfallsreihe ^{228}Ac und ^{212}Pb . Aus dem Rahmen fallen jedoch die massenbezogenen Aktivitäten des Radionuklids ^{226}Ra , die an nahezu allen Messpunkten signifikant über den Vergleichswerten der Radionuklide $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{214}Pb und ^{214}Bi liegen. Das Bundesamt für Strahlenschutz führt diese Diskrepanz darauf zurück, dass von einem Teil der Messteams die Interferenzen der Radionuklide ^{226}Ra und ^{235}U bei den Gesamtabsorptionslinien im Bereich von 186 keV nicht berücksichtigt und daher zu hohe Aktivitäten berechnet wurden.

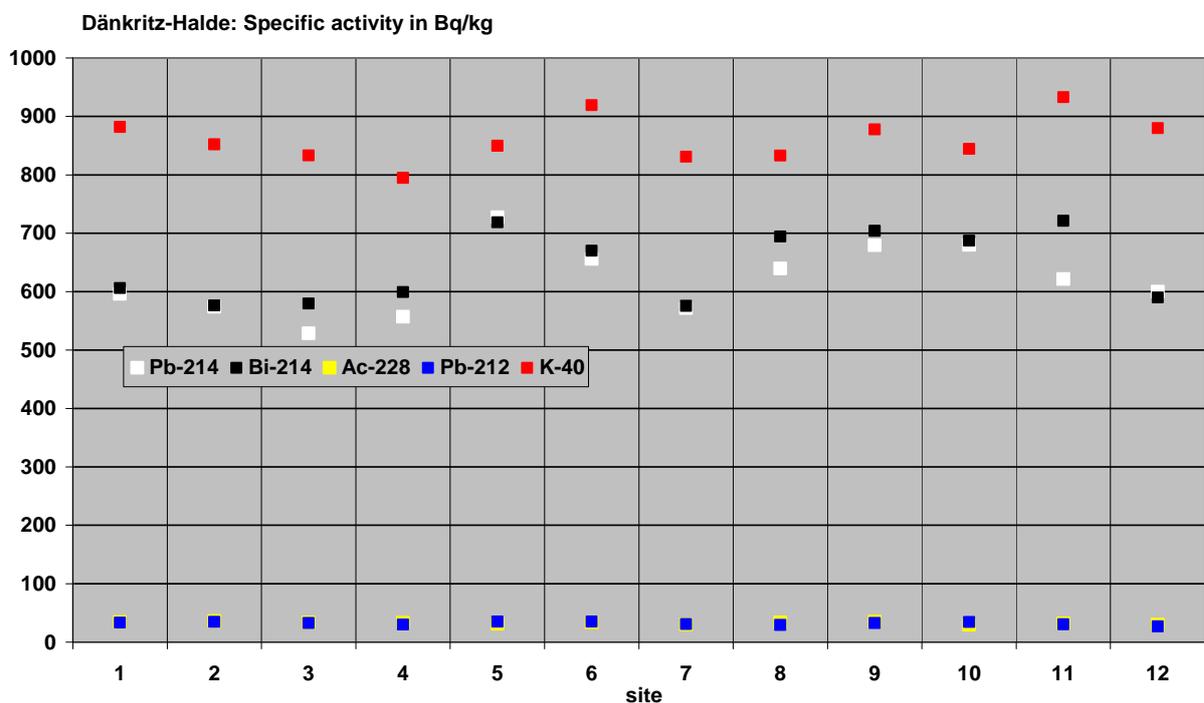


Abbildung 20: Graphische Darstellung von Mittelwerten der massenbezogenen Aktivität auf der Messfläche Dänkriz-Halde

Die von den Teilnehmern gemessen bzw. berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen sind ebenfalls in **Anhang DH2** messteambezogen dargestellt. Aufgrund der an den einzelnen Messpunkten unterschiedlichen massenbezogenen Aktivitäten wurde von einer statistischen Auswertung (Mittelwertbildung, Ausreißertest) der gemessenen und berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen abgesehen.

6.3.2 MESSFLÄCHE DÄNKRITZ-TAILING

Bei der Messfläche Dänkritz-Tailing handelt es sich um eine Aufschüttung von fein gemahlenem und anschließend chemisch behandeltem Uranerz, dem durch diesen Prozess Uran-Isotope entzogen wurden. Auf der Messfläche waren insgesamt zwölf Messpunkte (1.1 bis 3.4) markiert. In **Anhang DT1** sind die von den Teilnehmern ermittelten massenbezogenen Aktivitäten messpunktbezogen dargestellt. Zum Vergleich sind auch die entsprechenden Mittelwerte des jeweiligen Messpunktes angegeben.

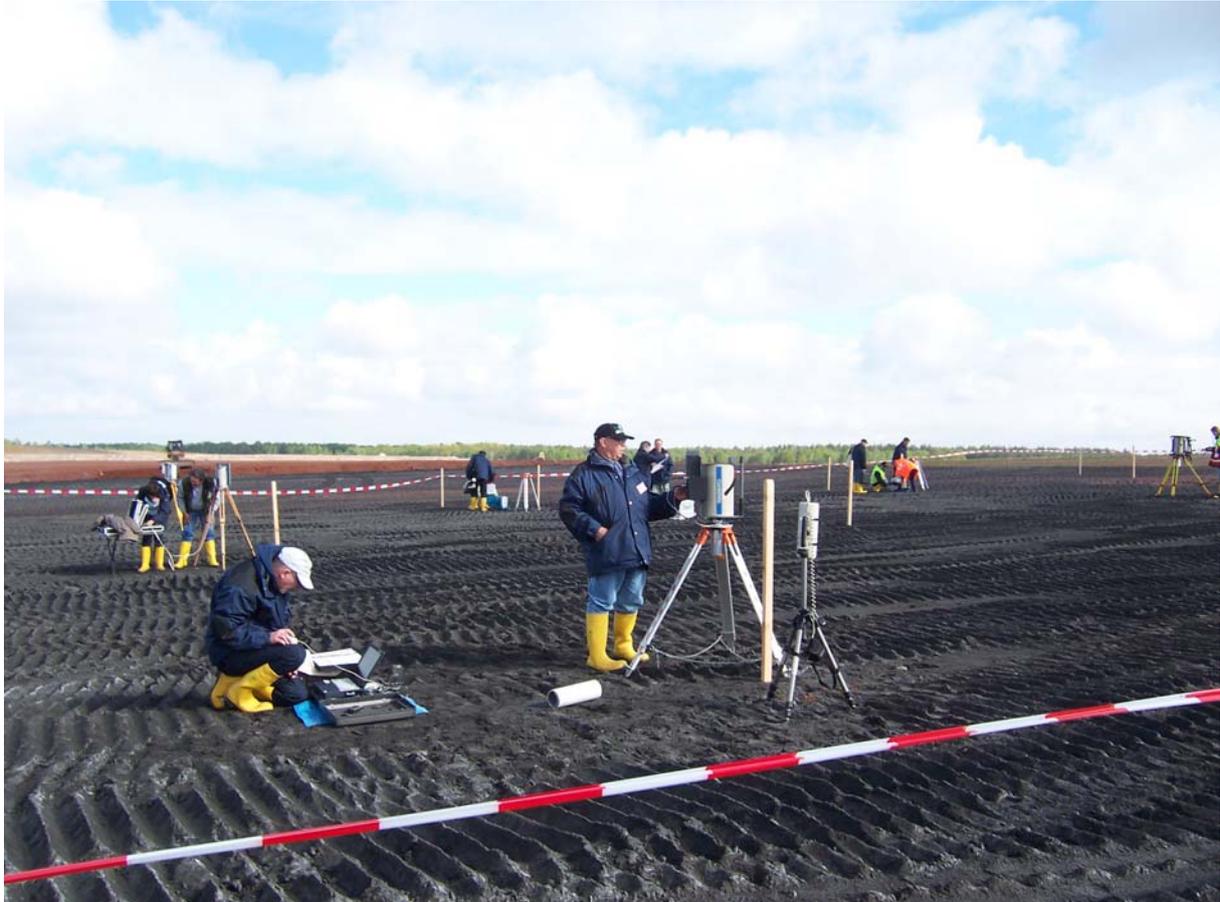


Abbildung 21: Die Messfläche Dänkritz-Tailing

In **Anhang DT2** befindet sich eine messteambezogene Darstellung der relativen Abweichung der von den einzelnen Messteams ermittelten Aktivitäten vom entsprechenden Messpunktmittelwert. Ausgewertet wurden insgesamt fünf Radionuklide mit jeweils einer Gesamtabsorptionslinie. Ausgewählt wurden Radionuklide bzw. Gesamtabsorptionslinien die vergleichsweise geringe zählstatistische Unsicherheiten aufweisen, die keine systematischen Unsicherheiten (Interferenzen) erwarten lassen und die zusammen den gesamten für die In-situ-Gammaspektrometrie primär relevanten Energiebereich abdecken. Abweichungen von mehr als 100 Prozent sind durch nicht ausgefüllte Symbole am oberen Rand der Diagrammfläche dargestellt.

In **Tabelle 7** sind für einige ausgewählte Radionuklide die Mittelwerte der massenbezogenen Aktivität für die zwölf Messpunkte zusammengestellt. In Klammern ist dazu jeweils die Anzahl der Einzelwerte angegeben, die bei der Bildung des Mittelwertes berücksichtigt wurden. In **Abbildung 22** sind die entsprechenden Mittelwerte für fünf ausgewählte Radionuklide graphisch dargestellt.

Tabelle 7: Mittelwerte der massenbezogenen Aktivität auf der Messfläche Dänkritz-Tailing mit den entsprechenden Standardabweichungen

site	²²⁶ Ra	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb (352 keV)	²¹⁴ Bi (609 keV)	²²⁸ Ac (911 keV)	²¹² Pb (239 keV)	⁴⁰ K
1.1	3590 ± 1186 [3]	740 [1]	2727 ± 322 [3]	2606 ± 171 [3]	38 ± 11 [2]	41 ± 14 [3]	627 ± 15 [3]
1.2	4364 ± 862 [7]	995 ± 339 [5]	3185 ± 505 [7]	3216 ± 554 [6]	34 ± 9 [5]	36 ± 9 [4]	616 ± 109 [8]
1.3	4090 ± 1229 [12]	1333 ± 130 [3]	3384 ± 489 [12]	3235 ± 402 [12]	37 ± 11 [9]	36 ± 9 [10]	564 ± 104 [13]
1.4	3290 ± 1637 [6]	898 ± 12 [2]	2365 ± 245 [5]	2542 ± 248 [6]	38 ± 8 [4]	34 ± 2 [3]	564 ± 74 [6]
2.1	3671 ± 562 [7]	1196 ± 305 [3]	2202 ± 275 [7]	2192 ± 364 [7]	32 ± 5 [5]	41 [2]	566 ± 48 [7]
2.2	4987 ± 537 [9]	939 ± 72 [5]	3027 ± 200 [10]	3104 ± 189 [10]	36 ± 8 [6]	30 ± 7 [5]	608 ± 50 [10]
2.3	4742 ± 1037 [10]	968 ± 443 [5]	2884 ± 539 [12]	3069 ± 363 [9]	35 ± 10 [8]	45 ± 14 [7]	647 ± 121 [13]
2.4	3618 ± 832 [12]	938 ± 267 [6]	2269 ± 153 [11]	2249 ± 266 [11]	31 ± 8 [8]	39 ± 5 [8]	583 ± 49 [11]
3.1	3206 ± 142 [2]	1069 ± 212 [2]	2993 ± 57 [2]	3044 [1]	46 ± 1 [2]	66 ± 31 [2]	697 ± 30 [2]
3.2	3990 ± 759 [7]	731 ± 227 [2]	2647 ± 205 [8]	2708 ± 359 [8]	32 ± 5 [4]	42 ± 13 [7]	597 ± 96 [9]
3.3	3548 ± 773 [6]	920 ± 268 [3]	1829 ± 552 [8]	2012 ± 431 [6]	32 ± 16 [7]	42 ± 5 [5]	605 ± 157 [8]
3.4	3273 ± 1068 [9]	1109 ± 518 [5]	2060 ± 398 [8]	2005 ± 291 [8]	25 ± 1 [3]	35 ± 6 [5]	605 ± 119 [10]

Wie **Tabelle 7** zeigt, liegen die massenbezogenen Aktivitäten des ^{238}U -Tochternuklides $^{234\text{m}}\text{Pa}$ erwartungsgemäß deutlich (etwa Faktor 4) unter den massenbezogenen Aktivitäten des Radionuklids ^{226}Ra und dessen Tochternukliden ^{214}Pb und ^{214}Bi .

Die massenbezogenen Aktivitäten des Radionuklids ^{226}Ra , liegen um etwa 30 Prozent über den entsprechenden Vergleichswerten der Radionuklide ^{214}Pb und ^{214}Bi . Das Bundesamt für Strahlenschutz führt diese Diskrepanz auf die durch die Feinkörnigkeit des Tailingmaterials sicherlich stark erhöhte Emanation des Radionuklids ^{222}Ra zurück. Interferenzen bei der Bestimmung des Radionuklids ^{226}Ra sind auf der Messfläche Dänkritz-Tailing von untergeordneter Bedeutung, da aus dem vorliegenden Tailingmaterial der Großteil der Uranisotope bereits radiochemisch abgetrennt wurde.

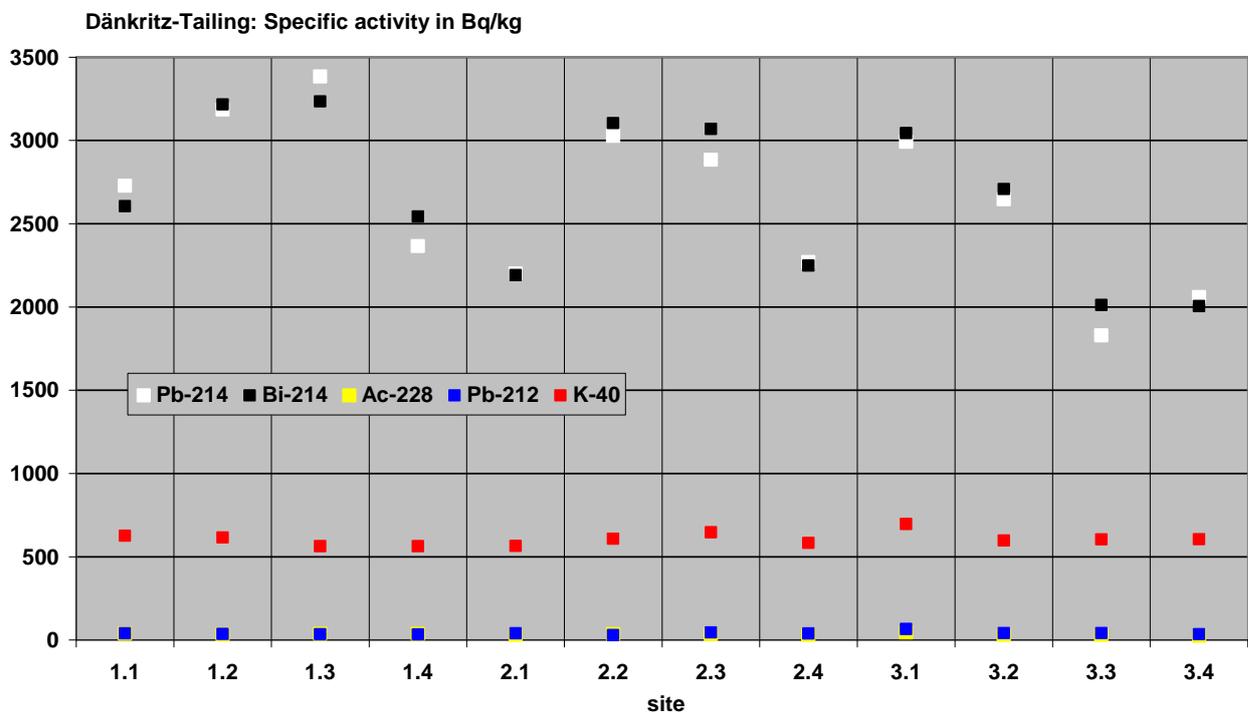


Abbildung 22: Graphische Darstellung von Mittelwerten der massenbezogenen Aktivität auf der Messfläche Dänkritz-Tailing

Die von den Teilnehmern gemessen bzw. berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen sind ebenfalls in **Anhang DT2** messteambezogen dargestellt. Aufgrund der an den einzelnen Messpunkten unterschiedlichen massenbezogenen Aktivitäten wurde von einer statistischen Auswertung (Mittelwertbildung, Ausreißertest) der gemessenen und berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen abgesehen.

6.3.3 FRAGEBOGEN ZUR MESSFLÄCHE DÄNKRITZ-TAILING

Zu den radiologischen Gegebenheiten auf der Messfläche Dänkritz-Tailing wurde den Teilnehmern ein Fragebogen vorgelegt. Insgesamt sollten - unter Berücksichtigung der ermittelten Messdaten - 13 Thesen als „**richtig**“ oder „**falsch**“ eingestuft werden. Die Teilnehmer hatten darüber hinaus die Möglichkeit, die einzelnen Thesen als „**möglicherweise richtig**“ einzustufen, oder das Feld „**weiß nicht**“ anzukreuzen. Der Fragebogen wurde von insgesamt 21 Messteams ausgefüllt.

Die 13 von den Teilnehmern zu bewertenden Thesen sind in **Anhang DT3** dokumentiert. Angegeben sind jeweils auch die richtigen Antworten sowie eine kurze Begründung. In **Abbildung 23** sind für alle 13 Thesen die Häufigkeiten der angekreuzten Antworten sowie die richtigen Antworten dargestellt. Lediglich bei These 12 erfolgte keine Festlegung, da die Formulierung der These vom Bundesamt für Strahlenschutz im Nachhinein als nicht eindeutig genug eingestuft wird.

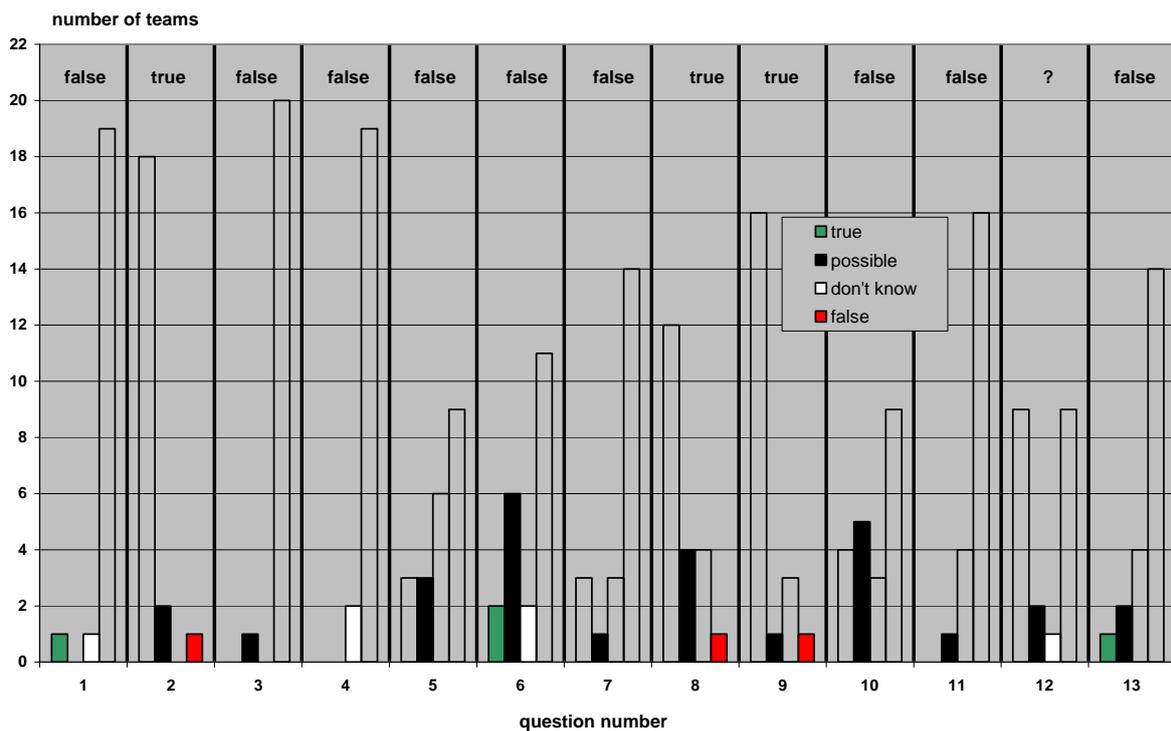


Abbildung 23: Häufigkeiten der von den Teilnehmern abgegebenen Antworten zum Fragebogen Dänkritz-Tailing

Eine messteambezogene Auswertung des Fragebogens Dänkritz-Tailing ergibt folgende

RANGLISTE



6.4 MESSORT TRÜNZIG

Beim Messort Trünzig handelt es sich um eine großflächige Ebene, die als Dauergrünland genutzt wird. Unter einer wenige Zentimeter mächtigen Deckschicht mit vergleichsweise geringen massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide befindet sich uran- und thoriumhaltiges Gestein. Diese Messfläche wurde von den Veranstaltern vor allem deshalb in das Messprogramm aufgenommen, um auch dem Aspekt der flächenbezogenen Bestimmung eines künstlichen Radionuklids (^{137}Cs) Rechnung zu tragen. Den Teilnehmern standen insgesamt 21 Messpunkte (A bis U) zur Verfügung. Auf jeweils zwei dieser Messpunkte waren folgende Aufgaben durchzuführen:

- Bestimmung der flächenbezogenen Aktivität des Radionuklids ^{137}Cs mittels In-situ-Gammaspektrometrie für drei unterschiedliche Tiefenverteilungen
 - Oberflächenbelegung
 - exponentielle Verteilung mit einer Relaxationsmassenflächendichte von 3 kg/m^2
 - homogene Verteilung bis in eine Tiefe von 5 cm
- Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide mittels In-situ-Gammaspektrometrie
- Messung der Gamma-Ortsdosisleistung
- Nuklidspezifische Berechnung der Gamma-Ortsdosisleistung auf Grundlage der ermittelten massen- und flächenbezogenen Aktivitäten



Abbildung 24: Der Messort Trünzig

Gemäß einer Langzeitmessung durch das Bundesamt für Strahlenschutz lag die volumenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{222}Rn in der Umgebungsluft des Messortes Trünzig während des Messvergleichs im Mittel bei 14 Bq/m^3 .

In **Anhang T1** sind die von den Teilnehmern ermittelten massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide messpunktbezogen dargestellt und den entsprechenden Messpunktmittelwerten gegenübergestellt. Diese messpunktbezogene Auswertung war notwendig, da die Aktivitäten der natürlichen Radionuklide auf der Messfläche Trünzig wie **Tabelle 8** zeigt zum Teil deutliche Inhomogenitäten aufweisen. Problematisch ist dabei jedoch, dass die Anzahl der pro Messpunkt tätigen Messteams teilweise gering und die Aussagekraft der Mittelwerte damit entsprechend eingeschränkt ist. Die Anzahl der zur Mittelwertbildung berücksichtigten Einzelwerte ist in **Tabelle 8** jeweils in eckigen Klammern angegeben.

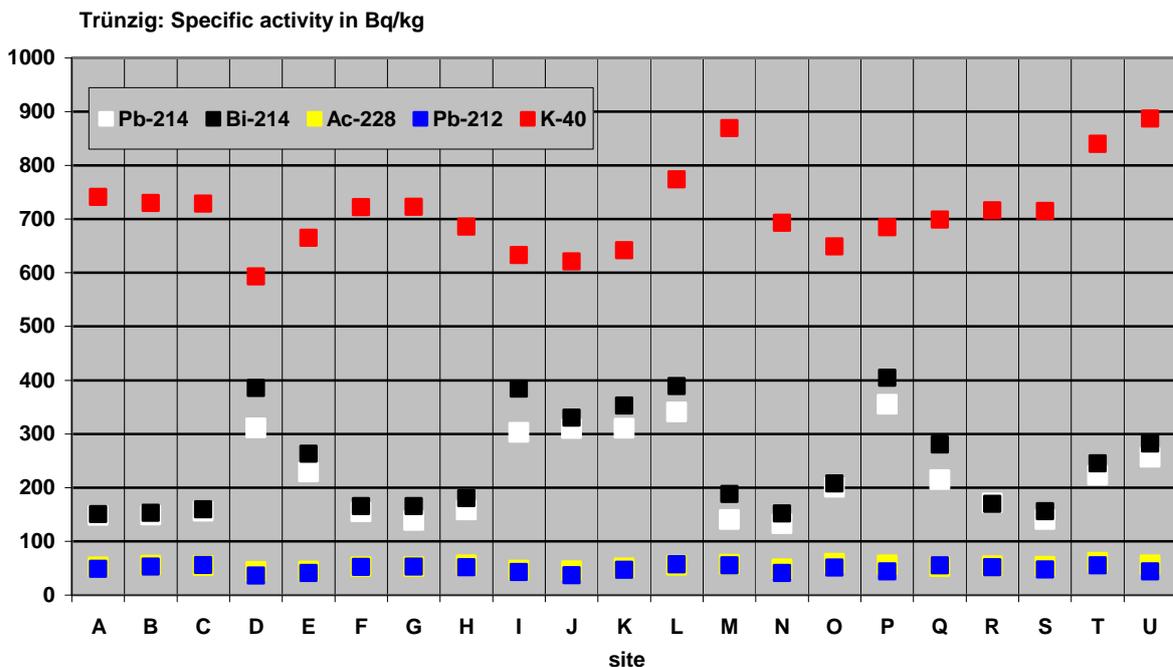


Abbildung 25: Graphische Darstellung von Mittelwerten der massenbezogenen Aktivität auf der Messfläche Trünzig

Tabelle 8: Mittelwerte der massenbezogenen Aktivität am Messort Trünzig mit den entsprechenden Standardabweichungen

site	²²⁶ Ra	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb (352 keV)	²¹⁴ Bi (609 keV)	²²⁸ Ac (911 keV)	²¹² Pb (239 keV)	⁴⁰ K
A	191 ± 36 [5]	382 [1]	148 ± 20 [6]	150 ± 11 [5]	52 ± 4 [6]	49 ± 8 [6]	741 ± 64 [6]
B	191 ± 100 [7]	263 ± 106 [4]	148 ± 19 [7]	153 ± 17 [7]	55 ± 5 [7]	53 ± 5 [6]	730 ± 55 [7]
C	311 ± 132 [6]	388 ± 337 [2]	156 ± 15 [6]	159 ± 23 [6]	54 ± 8 [6]	56 ± 9 [5]	729 ± 56 [6]
D	507 ± 319 [6]	273 ± 107 [2]	311 ± 81 [7]	385 ± 89 [7]	44 ± 12 [7]	36 ± 8 [7]	593 ± 79 [7]
E	315 ± 97 [3]	279 ± 114 [4]	229 ± 38 [6]	263 ± 4 [4]	45 ± 6 [6]	41 ± 8 [6]	665 ± 39 [5]
F	279 ± 86 [4]	281 ± 69 [4]	155 ± 17 [6]	165 ± 8 [6]	53 ± 1 [6]	52 ± 8 [6]	722 ± 38 [6]
G	291 ± 83 [5]	160 [1]	138 ± 29 [6]	165 ± 31 [5]	53 ± 6 [6]	53 ± 5 [6]	723 ± 38 [6]
H	321 ± 106 [5]	359 ± 146 [4]	158 ± 20 [5]	180 ± 18 [4]	56 ± 11 [6]	52 ± 10 [6]	686 ± 68 [6]
I	676 ± 203 [6]		303 ± 61 [5]	384 ± 62 [6]	46 ± 6 [6]	43 ± 11 [6]	633 ± 65 [6]
J	61 [1]	320 [1]	310 [1]	330 ± 28 [2]	45 ± 3 [2]	37 [1]	621 ± 6 [2]
K	713 ± 158 [4]	264 [1]	310 ± 40 [6]	353 ± 54 [6]	51 ± 11 [6]	47 ± 9 [5]	642 ± 59 [5]
L	699 ± 156 [5]	301 ± 49 [2]	341 ± 92 [5]	389 ± 52 [5]	55 ± 13 [5]	57 ± 6 [4]	774 ± 131 [5]
M	344 ± 53 [5]	212 [1]	141 ± 4 [4]	188 ± 38 [6]	57 ± 9 [5]	55 ± 9 [5]	869 ± 193 [7]
N	302 ± 92 [5]	444 ± 335 [3]	133 ± 9 [4]	152 ± 13 [5]	49 ± 9 [3]	41 ± 7 [6]	693 ± 50 [7]
O	376 ± 53 [4]	220 ± 96 [3]	201 ± 29 [4]	208 ± 16 [3]	59 ± 5 [4]	51 ± 5 [4]	649 ± 11 [3]
P	730 ± 149 [4]	295 ± 78 [3]	355 ± 99 [4]	404 ± 19 [3]	56 ± 5 [4]	44 ± 8 [4]	685 ± 81 [4]
Q	543 ± 2 [3]	210 ± 1 [2]	215 ± 53 [5]	280 ± 19 [4]	53 ± 12 [6]	55 ± 9 [3]	699 ± 91 [6]
R	350 ± 81 [5]	193 ± 55 [3]	171 ± 74 [6]	169 ± 27 [4]	54 ± 10 [6]	52 ± 12 [5]	716 ± 86 [6]
S	273 ± 58 [6]	344 ± 111 [2]	140 ± 13 [5]	156 ± 17 [6]	54 ± 3 [5]	47 ± 4 [6]	715 ± 40 [6]
T	419 ± 72 [2]	180 [1]	223 ± 14 [3]	245 [1]	61 ± 6 [3]	56 ± 9 [2]	840 ± 119 [3]
U	515 [1]	502 [1]	257 ± 35 [2]	282 [1]	56 ± 10 [2]	44 [1]	887 ± 215 [2]

Im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten und unter Berücksichtigung der Emanation des Radionuklids ^{222}Rn können die Messpunktmittelwerte der dargestellten Nuklide der ^{238}U -Zerfallsreihe im Allgemeinen als vergleichbar bewertet werden. Wie bereits bei den zuvor dokumentierten Messaufgaben sind jedoch erneut die massenbezogenen Aktivitäten des Radionuklids ^{226}Ra erhöht. Ursache hierfür dürften auch hier die bereits beschriebenen Interferenzen mit der 186 keV-Gesamtabsorptionslinie des Radionuklids ^{235}U sein, die von einem Teil der Teilnehmer offensichtlich nicht berücksichtigt wurden.

In **Anhang T2** befindet sich eine messteambezogene Darstellung der relativen Abweichung der ermittelten Aktivitäten vom entsprechenden Messpunktmittelwert. Ausgewertet wurden insgesamt fünf Radionuklide mit jeweils einer Gesamtabsorptionslinie. Ausgewählt wurden Radionuklide bzw. Gesamtabsorptionslinien die vergleichsweise geringe zählstatistische Unsicherheiten aufweisen, die keine systematischen Unsicherheiten (Interferenzen) erwarten lassen und die in ihrer Summe den gesamten für die In-situ-Gammaspektrometrie primär relevanten Energiebereich abdecken. Abweichungen von mehr als 100 Prozent sind durch nicht ausgefüllte Symbole am oberen Rand der Diagrammfläche dargestellt.

Die Auswertung der Messdaten der flächenbezogenen Aktivität des Radionuklids ^{137}Cs (Ausreißertest, Mittelwertbildung) erfolgte über alle 21 Messpunkte gemeinsam. Auf eine messpunktbezogene Auswertung konnte in diesem Fall verzichtet werden, weil von der Annahme einer homogenen Flächenbelegung mit Kernwaffen- bzw. Tschernobyl-Fallout ausgegangen werden kann. Lediglich bezüglich der vorliegenden Tiefenverteilungen muss mit Abweichungen zwischen den einzelnen Messpunkten gerechnet werden. In **Anhang T2** sind die flächenbezogenen Aktivitäten aller Teilnehmer für die drei vorgegebenen Tiefenverteilungen dargestellt und den entsprechenden Mittelwerten gegenübergestellt.

Ebenfalls in **Anhang T2** sind messteambezogen die Verhältnisse der für die unterschiedlichen Tiefenverteilungen berechneten flächenbezogenen Aktivitäten des Radionuklids ^{137}Cs dargestellt. Da die flächenbezogenen Aktivitäten für die unterschiedlichen Tiefenverteilungen aus jeweils dem gleichen Spektrum berechnet wurden, geben die dargestellten Verhältnisse auch die Verhältnisse der von den Teilnehmern verwendeten Geometriefaktoren wieder. Die bei einer Detektorhöhe von 100 cm und unter Vernachlässigung eventueller Winkelabhängigkeiten zu erwartenden Quotienten der verschiedenen Geometriefaktoren wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz berechnet und sind zum Vergleich ebenfalls in **Anhang T2** dargestellt.

Des Weiteren sind in **Anhang T2** die von den Teilnehmern gemessen bzw. berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen messteambezogen dargestellt. Aufgrund der gemäß **Tabelle 8** an den einzelnen Messpunkten unterschiedlichen massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide wurde von einer statistischen Auswertung (Mittelwertbildung, Ausreißertest) der gemessenen und berechneten Gamma-Ortsdosisleistungen abgesehen.

6.5 MESSORT SORGE-SETTENDORF

Beim Messort Sorge-Settendorf handelt es sich um großflächiges Dauergrünland mit deutlichen Inhomogenitäten der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide im Boden. Auf dieser Fläche wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz in einem Raster von 25 m x 25 m insgesamt 98 Messpunkte markiert, an denen die Teilnehmer die Gamma-Ortsdosisleistung in 1 m Höhe zu messen hatten. Alle 98 Messpunkte konnten jedoch nicht von allen Messteams bearbeitet werden, da der Grundstückseigentümer die Messungen auf dem nördlichen Teil der Messfläche im Verlauf des Messvergleichs untersagte.

Anhand der von den Teilnehmern ermittelten Dosisleistungswerten wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz mit dem Programm „MAPINFO“ für jedes Messteam eine entsprechende Karte erstellt, die die Höhe der Dosisleistung auf der Messfläche graphisch darstellt. Diese Dosisleistungskarten befinden sich in **Anhang S**. Darüber hinaus wurde sowohl für alle als Energiedosisleistung [Gy/h] als auch für alle als Äquivalentdosisleistung [Sv/h] angegebenen Werte eine Karte erstellt, die die entsprechenden Mittelwerte darstellt und einen Vergleich mit dem einzelnen Teilnehmerergebnis erlaubt. Zum Vergleich mit dem jeweiligen Einzelergebnis können diese beiden Karten ausgeklappt werden.



Abbildung 26: Der Messort Sorge-Settendorf

„ISIGAMMA 2005“ in Bildern

Wer In-situ-Gammaspektrometrie betreibt, hat mit einer Vielzahl von Problemen zu kämpfen. Bereits die Auswahl geeigneter Messflächen ...



... ist oftmals reichlich ungemütlich.

Ein Parkplatz für das Messfahrzeug ist zwar meist schnell gefunden...



... jedoch nicht immer in jeder Hinsicht optimal.

Und am Messort selbst...



... sind Mensch und Material...

... nahezu schutzlos ...



....der Witterung ausgesetzt.

In-Situ-Gammaspektrometrie ist also wirklich ein hartes Geschäft ...



... auch wenn es zugegebenermaßen nicht immer danach aussieht.

Nicht zu vergessen sind auch die zahlreichen Zusatzmessungen



und „Untergrund“-Messungen, ...



... ohne die eine ordnungsgemäße Auswertung der Messdaten sicherlich nicht denkbar wäre.

Und selbst nach Abschluss der Messungen ...



... nehmen die Mühen kein Ende.

Jedoch weist die In-situ-Gammaspektrometrie auch positive Aspekte auf. Für den einen stellt sie den Einstieg ...



...in eine erfolgreiche Filmkarriere dar...

... und bei dem anderen ist die Freude doch groß ...



... wenn eine schwierige Aufgabenstellung erfolgreich gelöst werden konnte.

Auf jeden Fall erspart diese Messmethode den nicht unerheblichen Aufwand, der notwendig wäre,



... um das von einem In-situ-Spektrometer erfasste Probenmaterial zur Messung ins Labor zu transportieren.

ANHANG 1

Orange Group

- * Canberra Eurisys GmbH
- * Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; Aussenstelle Kulmbach –I
- * Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; Aussenstelle Kulmbach –II
- * Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dienststelle Kassel
- * Ciemat Radiation Protection Service (Spain)
- * WISMUT GmbH
- * TÜV Energie- und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg
- * Energiewerke Nord GmbH
- * Kernkraftwerk Krümmel GmbH und Co.OHG
- * Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
- * Institut National des Radioelements (Belgium)
- * Deutscher Wetterdienst
- * AGES, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (Austria)
- * Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- * Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
- * Bundesamt für Strahlenschutz Team III

Red Group

- * Freie Hansestadt Hamburg; Behörde für Umwelt und Gesundheit
- * Kernkraftwerk Würgassen
- * EnBW Kernkraftwerk Obrigheim GmbH
- * Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; Augsburg – I
- * Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; Augsburg – II
- * University Salzburg, Department of Physics & Biophysics (Austria)
- * Ametek GmbH – Ortec
- * National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene (Hungary)
- * Swedish Radiation Protection Authority (Sweden)
- * Landesamt für Umweltschutz; Sachsen-Anhalt
- * Senatsverwaltung für Stadtentwicklung; Strahlenmessstelle
- * Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH Kernkraftwerk Emsland
- * Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich SW 3.4 – IV
- * Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich SW 3.4 – V
- * Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich SW 3.4 – VI
- * National Food Investigation Institute (Hungary)
- * Paks Nuclear Power Plant (Hungary)

Blue Group

- * ARC Seibersdorf research GmbH, Abteilung Sicherheit und Risiko (Austria)
- * Institut de Recherches Subatomiques (France)
- * Environmental Radiation Protection Control Laboratory, NPP Bohunice (Slovak Republic)
- * KFKI - Atomic Energy Research Institute (Hungary)
- * National Directorate General for Disaster Management (Hungary)
- * Division de la Radioprotection (Luxembourg)
- * School of Biology and Environmental Sciences, University of Stirling (United Kingdom)
- * Landeslabor Brandenburg; Landesmessstelle Oranienburg
- * Landeslabor Brandenburg; Landesmessstelle Frankfurt/Oder
- * Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik e.V. Rossendorf – I
- * Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik e.V. Rossendorf – II
- * CEZ Nuclear Power Plant Temelin (Czech Republic)
- * KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH
- * RWE Power AG Kraftwerk Biblis
- * IAEA Agency's Laboratories Seibersdorf (Austria)
- * Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen
- * Target Systemelectronic GmbH
- * Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich SW 3.4 – I

Green Group

- * National Radiation Protection Institute (Czech Republic)
- * Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie; Mecklenburg-Vorpommern
- * Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht; Rheinland-Pfalz
- * Office Federal de la Sante Publique (Switzerland)
- * Bundesamt für Bevölkerungsschutz (Switzerland)
- * Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz – I
- * Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz – II
- * Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- * Environmental Radiation Protection Control Laboratory (Slovak Republic)
- * Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft Geschäftsbereich 2 Umweltradioaktivität; Radebeul
- * CEA (France)
- * Institut de Radioprotection et de surete nucleaire (France)
- * Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie - Jena
- * Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie – Gera
- * Mecsekerc Co (Hungary)
- * GKSS-Forschungszentrum; Prüflaboratorium für Umgebungsüberwachung
- * Swedish Defence Research Agency (Sweden)
- * Kuwait Institute for Scientific Research (Kuwait)
- * Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich SW 3.4 – II

STAND: 01.05.2005

Abt, Dominique	CEA Bât. G, BP 12 91680 Bruyires la Châtel France
Algermissen, Janine	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Hannover – Hildesheim Umweltradioaktivität Göttinger Straße 14 30449 Hannover
Ågren, Göran	Swedish Defence research Agency FOI NBC DEFENCE Cementvägen 20 Sweden
Áncsán, Zoltán	MECZKÉRC Environmental Co Hungary
Barsi, László	National Directorate General for Disaster Management Mogyoródist. 43 1149 Budapest Hungary
Bartel, Uwe	Wismut GmbH Postfach 30 02 52 09034 Chemnitz
Beetz, Joachim	Landesmessstelle Brandenburg - Oranienburg, Sachsenhausener Straße 7b 16515 Oranienburg

Berndt, Jürgen	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt; FG 14 Umweltradioaktivität/Landesmessstellen Reideburger Straße 47 06116 Halle
Blickheuser, Christoph	RWE Power Aktiengesellschaft Kraftwerk Biblis Strahlenschutz Außerhalb 68647 Biblis
Bodnár, Róbert	Paks Nuclear Power Plant Hungary
Brauer, Günter	Bundesamt für Strahlenschutz Willy-Brandt-Straße 5 38226 Salzgitter
Bosan, Jonas	Swedish Defence research Agency FOI NBC DEFENCE Cementvägen 20 Sweden
Bossew, Peter	University of Salzburg; Department of Physics & Biophysiks Georg Sigl-Gasse 13/11 A-1090 Vienna Austria
Bubán, Peter	Environmental Radiation Protection Control Laboratory, NPP Bohunice Okružná 14 91701 Trnava Slovak Republic

Bürkle, Peter	TÜV Energie- und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg Abteilung Strahlenschutz Dudenstraße 28 68167 Mannheim
Byrde, Francois	Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BARS) Labor Spiez CH-3700 Spiez Switzerland
Cespirova, Irena	National Radiation Protection Institute Bartoškova 28 104 00 Praha 4 – Nusle Czech Republic
Collatz, Rüdiger	Gesellschaft für Forschungs- und Entwicklungsservice mbH Im Guldernen Wingert 16 a 64342 Seeheim
Czakó, Péter	National Directorate General for Disaster Management Mogyoródistr. 43 1149 Budapest Hungary
Daróczi, László	Paks Nuclear Power Plant Hungary
Derdau, Dagmar	Kernkraftwerk Krümmel Elbuferstraße 82 21502 Geesthacht
Déri, Zsolt	National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene 5. Anna Budapest Hungary
Diehl, Roland	GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH Prüflaboratorium für Umgebungsüberwachung Max-Planck-Straße 1 21502 Geesthacht
Dietrich, Jörg	Landeslabor Brandenburg Fachbereich U2 Frankfurt /Oder Ringstraße 1030 15236 Frankfurt/Oder
Dirkes, Paul	Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH Kernkraftwerk Emsland Am Hilgenberg 1 49811 Lingen

Doll, Harry	Bundesamt für Strahlenschutz Rosastraße 9 79098 Freiburg
Duda, Jean-Marie	CEA Bât. G, BP 12 91680 Bruyères la Châtel France
Emmermann, Dieter	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Kaiser-Friedrich-Straße 7 55130 Mainz
Ettl, Hermann	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz Ref 4/8 Radioaktivitätsmesswesen 86177 Augsburg
Ejemova, Marie	National Radiation Protection Institute Bartoškova 28 104 00 Praha 4 – Nusle Czech Republic
Estier, Sybille	Office Federal de la Sante publique (OFSP) Ch. Du Musée 3 CH-1700 Fribourg Switzerland
Feichtinger, Jakob	ARC Seibersdorf research GmbH, Dep. Of Risk and Safety A-2444 Seibersdorf Austria
Fertala, Bettina	Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik e.V. Rossendorf Postfach 510119 01314 Dresden
Filgas, Radim	National Radiation Protection Institute Bartoškova 28 104 00 Praha 4 – Nusle Czech Republic
Fritz, Gerhard	Canberra Eurisys GmbH Walter-Flex-Straße 66 65428 Rüsselsheim

Fronka, Ales	National Radiation Protection Institute Bartoškova 28 104 00 Praha 4 – Nusle Czech Republic
Füger, Joachim	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Ref. 24, Landesmessstelle für Umweltradioaktivität Prüssingerstraße 25 07745 Jena
Galbavý, Vojtech	Environmental Radiation Protection Control Laboratory, NPP Bohunice Okružná 14 91701 Trnava Slovak Republic
Garcés, Enrique Correa	Ciemat Radiation Protection Service Avda. Complulense 22 E-28040 Madrid Spain
Gorjánác, Zorán	MECZKÉRC Environmental Co Hungary
Göttle, Herbert	KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH Am Schröcker Tor 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Gragort, Frank	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt; FG 14 Umweltradioaktivität/Landesmessstellen Reideburger Straße 47 06116 Halle
Grúbel, Stefan	Environmental Radiation Protection Control Laboratory Komenského 4 Levice Slovak Republic
Gulyás, György	National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene 5. Anna Budapest Hungary

Gurtner, André	Office Federal de la Sante publique (OFSP) Ch. Du Musée 3 CH-1700 Fribourg Switzerland
Gurriaran, Rodolfo	Institut de Radioprotection et de Sûreté (IRSN) Bâtiment 501 – Bois des Rames 91400 Orsay – France France
Gutierrez, Sebastien	CEA Bât. G, BP 12 91680 Bruyères la Châtel France
Hänsel, Lothar	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dienststelle Kassel Ludwig-Mond-Str. 33 34121 Kassel
Hauske, Hans	KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH Am Schröcker Tor 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Heinrich, Thomas	Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, GB 2, Umweltradioaktivität Altwahnsdorf 12 01445 Radebeul
Hetz, Peter	Bundesamt für Strahlenschutz Ingolstädter Landstraße 1 85764 Oberschleißheim
Hoffmann, Holger	E.ON Kernkraft GmbH Kernkraftwerk Würzgassen Zum Kernkraftwerk 25 37688 Beverungen
Höpner, Jens	Wismut GmbH Postfach 30 02 52 09034 Chemnitz
Horlbeck, Bernd	DBE Peine (Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern f. Abfallstoffe mbH)
Horrak, Katharina	ARC Seibersdorf research GmbH, Dep. Of Risk and Safety A-2444 Seibersdorf Austria

Horvath, Roland	KFKI Atomic Energy Research Hungary
Huber, Lutz	Kernkraftwerk Krümmel Elbuferstraße 82 21502 Geesthacht
Ilchmann, Constanze	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Strahlenmessstelle Rubensstraße 111 12157 Berlin
Jakes	Kuwait Institute for Scientific Research Kuwait
Jeschor, Horst	DBE Peine (Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern f. Abfallstoffe mbH)
Johansson, Jan	Swedish Radiation Protection Authority SE-17116 Stockholm Sweden
Johansson, Erik	Swedish Defence research Agency FOI NBC DEFENCE Cementvägen 20 Sweden
John, Herrmann	Bundesamt für Strahlenschutz
Kaden, Michael	Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik e.V. Rossendorf Postfach 510119 01314 Dresden
Kahn, Andreas	Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik e.V. Rossendorf Postfach 510119 01314 Dresden
Karlberg, Olof	Swedish Radiation Protection Authority SE-17116 Stockholm Sweden
Katzlberger, Christian	AGES, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GEE/CC Strahlenschutz Wien Spargelfeldstraße 191 A-1226 Wien Austria

Kies, Antoine	Division de la Radioprotection Allée Marconi, Villa Lourigny L-2120 Luxemburg Luxembourg
Kihel, Melle	Institut de Recherches Subatomiques (IReS) Radioprotection et Mesures Environnementales (RaMsEs) Bât 35 23, rue du Loess 67037 Strasbourg France
Kis-Benedek, Gyula	IAEA Laboratories Seibersdorf Wagrauerstraße 5 A-1400 Wien Austria
Kisite, Indra	IAEA Laboratories Seibersdorf Wagrauerstraße 5 A-1400 Wien Austria
Knauer, Claudia	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Hertzstraße 173 76187 Karlsruhe
Koch, Thomas	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz Außenstelle Nordbayern Schloss Steinenhausen 95326 Kulmbach
Koch, Peter	Ametek GmbH Rudolf-Diesel-Straße 16 40670 Meerbusch
Köhler, Bernd	GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH Prüflaboratorium für Umgebungsüberwachung Max-Planck-Straße 1 21502 Geesthacht
Kolb, Wolfgang	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz Ref 4/8 Radioaktivitätsmesswesen 86177 Augsburg

Körner, Martin	AGES, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GEE/CC Strahlenschutz Wien Spargelfeldstraße 191 A-1226 Wien Austria
Kraus, Markus	ARC Seibersdorf research GmbH, Dep. Of Risk and Safety A-2444 Seibersdorf Austria
Krüger, Siegfried	Target Systemelektronik GmbH Kölner Straße 99 42651 Solingen
Krüger, Jan	Landeslabor Brandenburg Fachbereich U2 Frankfurt /Oder Ringstraße 1030 15236 Frankfurt/Oder
Kubezek, Lothar	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dienststelle Kassel Ludwig-Mond-Str. 33 34121 Kassel
Kurfirt, Marek	CEZ NPP Temelin Czech Republic
Kühne, Jürgen	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern Badenstraße 18 18439 Stralsund
Lange, Hans-Jürgen	Canberra Eurisys GmbH Walter-Flex-Straße 66 65428 Rüsselsheim
Lauer, Raimund	Behörde für Umwelt und Gesundheit Amt für Umweltschutz Umweltuntersuchungen Marckmannstraße 129 b 20539 Hamburg
Lecomte, Marielle	Division de la Radioprotection Allée Marconi, Villa Lourigny L-2120 Luxemburg Luxembourg
Lelles de, Carlo	Institut National des Radioelements Avenue de L'Esperance B-6220 Fleurus Belgium

Lemercier, M.	Institut de Radioprotection et de Sûreté (IRSN) Bâtiment 501 – Bois des Rames 91400 Orsay France
Lidström, Kenneth	Swedish Defence research Agency FOI NBC DEFENCE Cementvägen 20 Sweden
Lovranich, Ernst	ARC Seibersdorf research GmbH, Dep. Of Risk and Safety A-2444 Seibersdorf Austria
Lünendonk, Günter	Target Systemelektronik GmbH Kölner Straße 99 2651 Solingen
Maaß, Kevin	Bundesamt für Strahlenschutz Graf-von-Stauffenberg-Straße 1 24768 Rendsburg
Makarewicz, Marek	IAEA Laboratories Seibersdorf Wagrauerstraße 5 A-1400 Wien Austria
Manga, László	Paks Nuclear Power Plant Hungary
Melerowicz, Thomas	Landeslabor Brandenburg Fachbereich U2 Oranienburg, Sachsenhausener Straße 7b 16515 Oranienburg
Michael, Frank	Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik e.V. Rossendorf Postfach 510119 01314 Dresden
Miethke, Arthur	Bundesamt für Strahlenschutz Köpenicker Allee 120 – 130 10318 Berlin
Mirsch, Michael	Deutscher Wetterdienst Karserlerstraße 29/35 63067 Offenbach
Nagy, Attila	KFKI Atomic Energy Research Hungary

Nemcovic, Vladimir	Environmental Radiation Protection Control Laboratory, NPP Bohunice Okružná 14 91701 Trnava Slovak Republic
Neu, Alfred	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Hertzstraße 173 76187 Karlsruhe
Niesler, Eberhard	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg Vorpommern Badenstraße 18 18439 Stralsund
Nietgen, Dieter	Bundesamt für Strahlenschutz Deutschherrenstraße 93 – 95 53177 Bonn
Nourreddine, M.	Institut de Recherches Subatomiques (IreS) Radioprotection et Mesures Environnementales (RaMsEs) Bât 35 23, rue du Loess 67037 Strasbourg France
Nußhardt, Michael	Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
Obraz, Otakar	National Radiation Protection Institute Bartoškova 28 104 00 Praha 4 – Nusle Czech Republic
Oehling, Otmar	Canberra Eurisys GmbH Walter-Flex-Straße 66 65428 Rüsselsheim
Oster, Denis	Institut de Recherches Subatomiques (ihres)Radioprotection et Mesures Environnementales (RaMsEs) Bât 35 23, rue du Loess 67037 STRASBOURG France
Otto, Roland	LUFA-ITL GmbH Gutenbergstraße 75 – 77 24116 Kiel

Pierrat	CEA Bât. G, BP 12 91680 Bruyères la Châtel France
Poleschensky, Rudolph	KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH Am Schröcker Tor 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Pospichal, Jiri	CEZ NPP Temelin Czech Republic
Pottiez, Dominique	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Strahlenmessstelle Rubensstraße 111 12157 Berlin
Prüssmann, Stefan	KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH Am Schröcker Tor 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Put v., Philippe	Institut National des Radioéléments Avenue de L'Esperance B-6220 Fleurus Belgium
Pütz, Wolfgang	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen Postfach 10 23 63 45023 Essen
Rapp	Kernkraftwerk Gundremmingen Dr.-August-Weckesser-Straße 1 89355 Gundremmingen
Reuter, Wolfgang	Target Systemelektronik GmbH Kölner Straße 99 42651 Solingen
Riede, Julia	University of Salzburg; Department of Physics & Biophysics Georg Sigl-Gasse 13/11 A-1090 Vienna Austria
Ringer, Wolfgang	AGES, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GEE/CC Strahlenschutz Wien Spargelfeldstraße 191 A-1226 Wien Austria

Rox, Axel	Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
Röllin, Stefan	Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BARS) Labor Spiez CH-3700 Spiez Switzerland
Reuß, Klaus	Bundesamt für Strahlenschutz Willy-Brandt-Straße 5 38226 Salzgitter
Rupp, Alexander	Bundesamt für Strahlenschutz Köpenicker Allee 120 – 130 10318 Berlin
Sáez Vergara, Jose Carlos	Ciemat Radiation Protection Service Avda. Complulense 22 E-28040 Madrid Spain
Salfeld, Hans-Christoph	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Hannover – Hildesheim Umweltradioaktivität Göttinger Straße 14 30449 Hannover
Sandtner, Susanne	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen Postfach 10 23 63 45023 Essen
Sans, Kareen	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Kaiser-Friedrich-Straße 7 55130 Mainz
Sargent, Philip	KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH Am Schröcker Tor 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Schibli, Markus	Office Federal de la Sante publique (OFSP) Ch. Du Musée 3 CH-1700 Fribourg Switzerland
Schmidt, Peter	Wismut GmbH Postfach 30 02 52 09034 Chemnitz

Schneider, Henry	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Ref. 24, Landesmessstelle für Umweltradioaktivität Prüssingerstraße 25 07745 Jena
Schuh, Werner	Target Systemelektronik GmbH Kölner Straße 99 42651 Solingen
Schulz, Herbert	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Hannover – Hildesheim Umweltradioaktivität Göttinger Straße 14 30449 Hannover
Schüürmann, Heinrich	Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH Kernkraftwerk Emsland Am Hilgenberg 1 49811 Lingen
Sellam, M.	Institut de Recherches Subatomiques (IreS) Radioprotection et Mesures Environnementales (RaMsEs) Bât 35 23, rue du Loess 67037 STRASBOURG France
Severen van, Uwe-Jörg	Ametek GmbH Rudolf-Diesel-Straße 16 40670 Meerbusch
Spohr, Hans-Peter	RWE Power Aktiengesellschaft Kraftwerk Biblis Strahlenschutz Außerhalb 68647 Biblis
Stark, Thomas	Kernkraftwerk Obrigheim Kernkraftwerksstraße 1 74847 Obrigheim
Sternkopff, Thomas	Deutscher Wetterdienst Karserlerstraße 29/35 63067 Offenbach
Stettner, Frank	KHG Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH Am Schröcker Tor 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Straten, Holger thor	LUFA-ITL GmbH Gutenbergstraße 75 – 77 24116 Kiel

Striegler, Rostislav	CEZ NPP Temelin Czech Republic
Szabó, Alexander	Environmental Radiation Protection Control Laboratory Komenského 4 Levice Slovak Republic
Tarján, Sandor	National Food Investigation Institute Mester u. 81 H-1095 Budapest Hungary
Thieme, Klaus	AEA Technology QSA GmbH Gieselweg 1 38110 Braunschweig
Tyler, Andrew	School of Biological and Environmental Sciences University of Stirling Stirling FK9 4LA United Kingdom
Ullrich, Frank	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Ref. 24, Messstelle Gera Hermann-Drechsler-Straße 1 07548 Gera
Vandamme	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg- Vorpommern Badenstraße 18 18439 Stralsund
Varga, Beáta	National Food Investigation Institute Mester u. 81 H-1095 Budapest Hungary
Vasarab, Julius	Environmental Radiation Protection Control Laboratory Komenského 4 Levice Slovak Republic

Vonderau, Steffen	TÜV Energie- und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg Abteilung Strahlenschutz Dudenstraße 28 68167 Mannheim
Voss, Ulrich	Behörde für Umwelt und Gesundheit Amt für Umweltschutz Umweltuntersuchungen Marckmannstraße 129 b 20539 Hamburg
Warnecke, Wilfried	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) Betriebsstelle Hannover – Hildesheim Umweltradioaktivität Göttinger Straße 14 30449 Hannover
Warwel, Peter	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen Postfach 10 23 63 45023 Essen
Waterstradt, Jörg	Energiewerke Nord GmbH Lutzower Straße 1 17509 Lubmin
Weber, Ralf	Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, GB 2, Umweltradioaktivität Altwahnsdorf 12 01445 Radebeul
Weinsziehr, Lutz	Target Systemelektronik GmbH Kölner Straße 99 42651 Solingen
Weith, Klaus	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz Außenstelle Nordbayern Schloss Steinenhausen D-95326 Kulmbach
Witzani, Josef	University of Salzburg; Department of Physics & Biophysiks Georg Sigl-Gasse 13/11 A-1090 Vienna Austria
Wolff, Karl-Josef	Bundesamt für Strahlenschutz Rosastraße 5 79098 Freiburg
Wolfsheimer, Bodo	Deutscher Wetterdienst Karserlerstraße 29/35 D-63067 Offenbach

Zeisberg, Horst	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Hertzstraße 173 D-76187 Karlsruhe
Ziegler, Bernd	E.ON Kernkraft GmbH Kernkraftwerk Würgassen Zum Kernkraftwerk 25 37688 Beverungen
Zimmer, Ronald	Energiewerke Nord GmbH Lutzower Straße 1 17509 Lubmin
ZiB, Helmut	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Kaiser-Friedrich-Straße 7 55130 Mainz

ANHANG 2

Detaillierte Informationen zu den Messaufgaben auf den einzelnen Messflächen

Reust A:

Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide

Auf jeder der drei Referenzflächen wird jeweils eine In-situ-Messung sowie eine Gamma-Ortsdosisleistungsmessung durchgeführt.

Für die Übung steht eine Messzeit von insgesamt 2 Stunden zur Verfügung.

Die Referenzflächen sind jeweils 20 m x 20 m groß.

Bis zu drei Messteams messen jeweils auf einer der Referenzflächen zeitgleich.

Der Wechsel der Messflächen erfolgt für alle Teams zeitgleich.

Die Messzeit wird jeweils 30 Minuten sein.

Die Messflächen liegen nahe beieinander.

Die Messungen müssen netz- und fahrzeugunabhängig durchgeführt werden.

Reust B-I:

Überprüfung der Detektorkalibrierung durch Messung punktförmiger Aktivitätsnormale

Für die Messaufgabe steht insgesamt etwa 1 Stunde zur Verfügung.

Jeweils einem Messteam steht jeweils ein Messpunkt mit zwei punktförmigen Aktivitätsnormalen (Cs-137 + Co-60) zur Verfügung.

Die Messungen werden im Abstand von 100 cm (Punktquelle-Kristallmitte) durchgeführt.

Es wird eine Messung in Richtung der Kristallsymmetrieachse und eine Messung senkrecht zur Kristallsymmetrieachse durchgeführt.

Optional kann eine weitere Messung unter einem Einfallswinkel von 45 Grad durchgeführt werden.

Reust B-II:

Bestimmung von vergrabenen Quellen

Für die Messaufgabe steht insgesamt etwa 1 Stunde zur Verfügung.

Jeweils einem Messteam steht jeweils ein Messpunkt zur Verfügung.

Die Zahl der vergrabenen Quellen liegt pro Messpunkt zwischen 1 und 3.

Das Material oberhalb der Quellen entspricht nicht dem seitlichen Bodenmaterial.

Halde Dänkritz:

Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide

Für die Messaufgabe stehen insgesamt etwa 4 Stunden zur Verfügung.

Es liegen zwei Arten von Flächen vor, auf denen jeweils 10 Messpunkte markiert sind. Auf beiden Flächen sind an jeweils 2 Messpunkten In-situ- und jeweils 2 Gamma-Ortsdosisleistungsmessungen durchzuführen.

Die Messdauer wird pro Messpunkt bei jeweils etwa 45 Minuten liegen.

Beide Messflächen liegen mehrere hundert Meter vom Fahrzeugparkplatz entfernt und können nur mit Hilfe eines Shuttle-Systems erreicht werden. Der Transport der Messteams und der Messausrüstung von und zu den Messflächen erfolgt mit VW-Bussen des Veranstalters. Bitte reduzieren Sie ihr Equipment.

Vor betreten der Messflächen wird vom Veranstalter Schutzausrüstung ausgegeben (Stiefel). Bitte nehmen sie Folien und Säcke mit, um Ihr Equipment ggf. vor Kontamination zu schützen.

Westhalde Trünzig:

Bestimmung der massenbezogenen Aktivitäten natürlicher Radionuklide und der flächenbezogenen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137

Für die Messaufgabe stehen insgesamt etwa 2 Stunden zur Verfügung.

Auf der Messfläche sind 21 Messpunkte markiert.

An jeweils zwei Messpunkten sind In-situ-Messungen und Gamma-Ortsdosisleistungsmessungen durchzuführen.

Die Messdauer wird pro Messpunkt jeweils etwa 1 Stunde betragen.

Die Messfahrzeuge müssen auf dem neben der Messfläche angrenzenden Feldweg abgestellt werden.

Sorge Settendorf:

Kartierung der Ortsdosisleistung

Für die Messaufgabe stehen insgesamt etwa 2 Stunden zur Verfügung.

An insgesamt 49 Messpunkten ist die Gamma-Ortsdosisleistung in 1 m Höhe zu bestimmen. Nach Möglichkeit sollte an allen weiteren der insgesamt 98 markierten Messpunkte die Gamma-Ortsdosisleistung bestimmt werden. Die Messpunkte sind in einem 25 m*25 m-Raster markiert und befinden sich auf einer Freifläche.

ANHANG 3

ANHANG 4

Umrechnung von flächenbezogenen Aktivitäten in massenbezogene Aktivitäten

Team code	Tiefenverteilung
14	3 kg /m ²
58	3 kg /m ²
63	3 kg /m ²
18	10 kg /m ²
22	10 kg /m ²
33	10 kg /m ²
49	10 kg /m ²
55	10 kg /m ²
57	10 kg /m ²
60	10 kg /m ²
66	10 kg /m ²
16	surface

Zur Umrechnung von flächenbezogenen Aktivitäten in massenbezogene Aktivitäten wurden die in den **Tabellen A4/1** und **A4/2** aufgelisteten Faktoren in **Gleichung A4/1** eingesetzt.

$$A_H = A_F \cdot \frac{F_{G,F}}{F_{G,H}} = A_F \cdot F_x \quad (\text{Gleichung A4/1})$$

mit:

A_H = spezifische Aktivität [Bq/kg]

A_F = flächenbezogene Aktivität [Bq/m²]

$F_{G,F}$ = Geometriefaktor für exponentielle Radionuklidverteilung im Boden

$F_{G,H}$ = Geometriefaktor für homogene Radionuklidverteilung im Boden [kg/m²]

F_x = Faktor x, mit x = 1, 2, 3

Tabelle A4/1: Geometriefaktoren einzelner Radionuklide für verschiedene Tiefenverteilungen im Boden

Radionuklid	Energie [keV]	Geometriefaktor $F_{G,F1}$ $\xi = 3 \text{ kg/m}^2$	Geometriefaktor $F_{G,F2}$ $\xi = 10 \text{ kg/m}^2$	Geometriefaktor $F_{G,H}$ homogen	Faktor 1 $F_{G,F1}/F_{G,H}$	Faktor 2 $F_{G,F2}/F_{G,H}$
^{226}Ra	186	1,30	0,93	36,95	0,03518	0,02517
^{214}Pb	295	1,37	1,00	43,94	0,03118	0,02276
^{214}Pb	352	1,40	1,03	46,99	0,02979	0,02192
^{214}Bi	609	1,50	1,13	58,43	0,02567	0,01934
^{214}Bi	1764	1,77	1,38	103,11	0,01717	0,01338
^{228}Ac	911	1,59	1,21	70,72	0,02248	0,01711
^{212}Pb	239	1,34	0,97	40,57	0,03303	0,02391
^{212}Bi	727	1,54	1,16	63,26	0,02434	0,01834
^{208}Tl	583	1,50	1,12	57,35	0,02615	0,01953
^{208}Tl	2615	1,86	1,47	125,48	0,01482	0,01172
^{40}K	1460	1,72	1,33	92,34	0,01863	0,01440

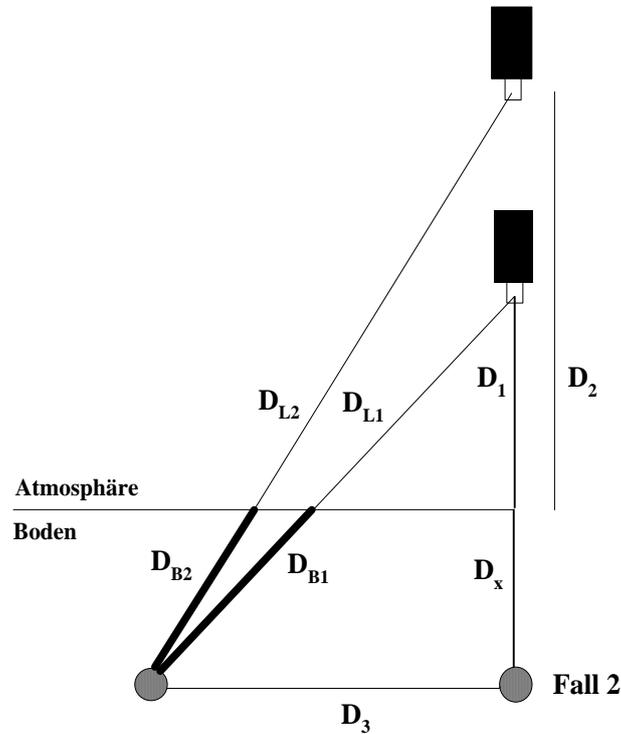
Tabelle A4/2: Umrechnungsfaktor für Oberflächenbelegung

Radionuklid	Energie [keV]	Faktor 3
^{226}Ra	186	0,0495
^{214}Pb	295	0,0430
^{214}Pb	352	0,0405
^{214}Bi	609	0,0340
^{214}Bi	1764	0,0225
^{228}Ac	911	0,0295
^{212}Pb	239	0,0455
^{208}Tl	583	0,0345
^{208}Tl	2615	0,0200
^{40}K	1460	0,0245

ANHANG 5

Beispiel zur Berechnung der Tiefe und der Aktivität der vergrabenen radioaktiven Quelle

Zwei In-situ Messungen in unterschiedlichen Höhen



$$A_{60\text{Co}} = \frac{N_1 \cdot 4\pi \cdot (D_1 + D_x)^2}{p_\gamma \cdot R_0 \cdot t} \cdot e^{(\mu_B D_x + \mu_L D_1)}$$

$$A_{60\text{Co}} = \frac{N_2 \cdot 4\pi \cdot (D_2 + D_x)^2}{p_\gamma \cdot R_0 \cdot t} \cdot e^{(\mu_B D_x + \mu_L D_2)}$$

$$\frac{N_1 \cdot (D_1 + D_x)^2}{N_2 \cdot (D_2 + D_x)^2} = e^{\mu_L (D_2 - D_1)}$$

mit $o := e^{\mu_L (D_2 - D_1)}$ folgt:

$$\left(o - \frac{N_1}{N_2}\right) \cdot D_x^2 + \left(2oD_2 - 2\frac{N_1}{N_2}D_1\right) \cdot D_x + \left(oD_2^2 - \frac{N_1}{N_2}D_1^2\right) = 0$$

$$\text{mit } D_{x_{1/2}} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\text{und } a = 0 - \frac{N_1}{N_2}$$

$$b = 2 \cdot 0 \cdot D_2 - 2 \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot D_1$$

$$c = 0 \cdot D_2^2 - \frac{N_1}{N_2} \cdot D_1^2$$

$$D_{x_{1/2}} = \frac{(D_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{0}} \cdot \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}) - D_2}{(\sqrt{0} - \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}) \cdot (\sqrt{0} + \sqrt{\frac{N_1}{N_2}})}$$

$$\frac{(\sqrt{0} \cdot (\sqrt{0} + \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}))}{(\sqrt{0} \cdot (\sqrt{0} + \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}))}$$

$$D_{x_{1/2}} = \frac{D_1 \cdot \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} \cdot e^{\mu_L (D_1 - D_2)/2} - D_2}{1 - \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} \cdot e^{\mu_L (D_1 - D_2)/2}}$$

mit der Annahme $e^{\mu_L (D_1 - D_2)} = 1$

$$D_{x_{1/2}} = \frac{D_1 \cdot \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} - D_2}{1 - \sqrt{\frac{N_1}{N_2}}}$$

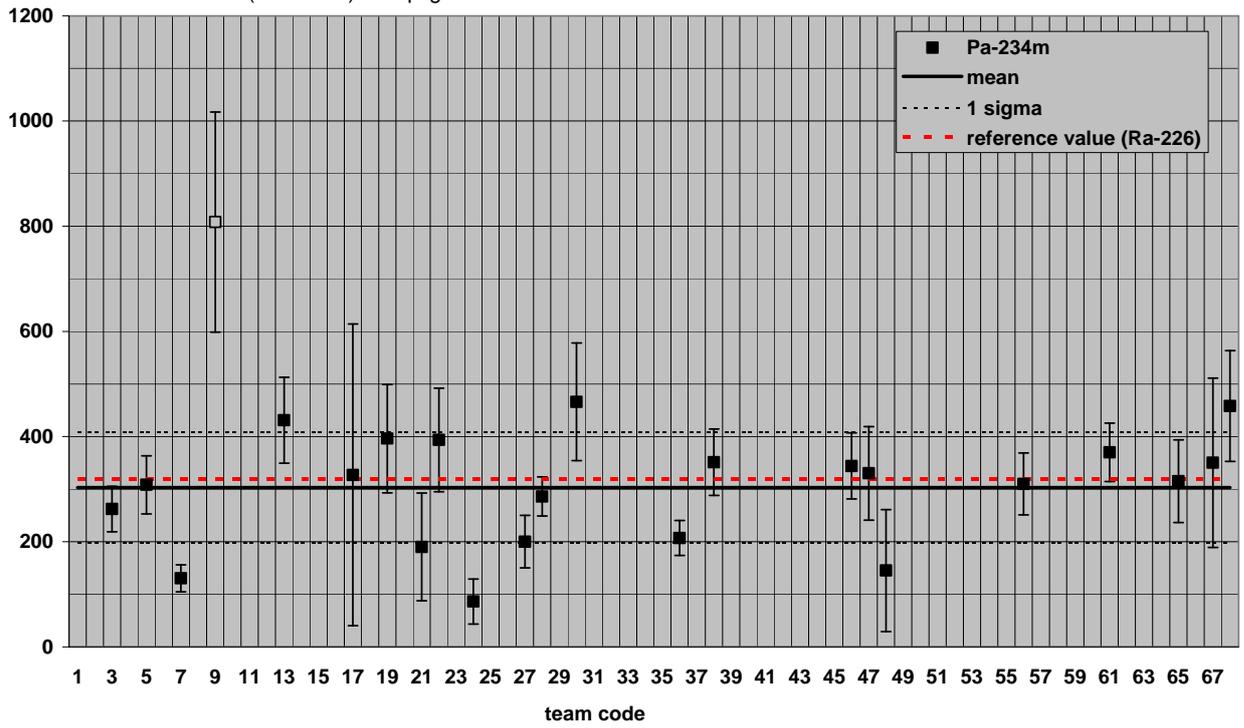
mit

A = Aktivität [Bq]

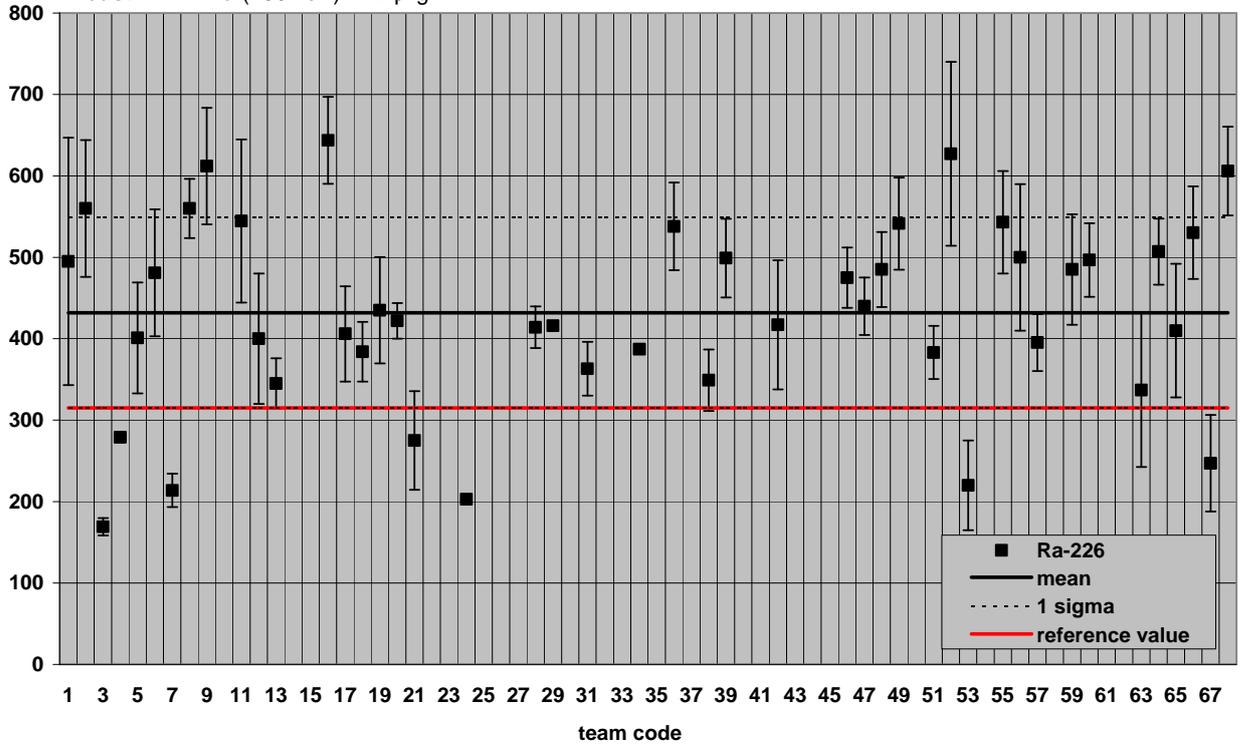
N = Zählrate

ANHANG RA1

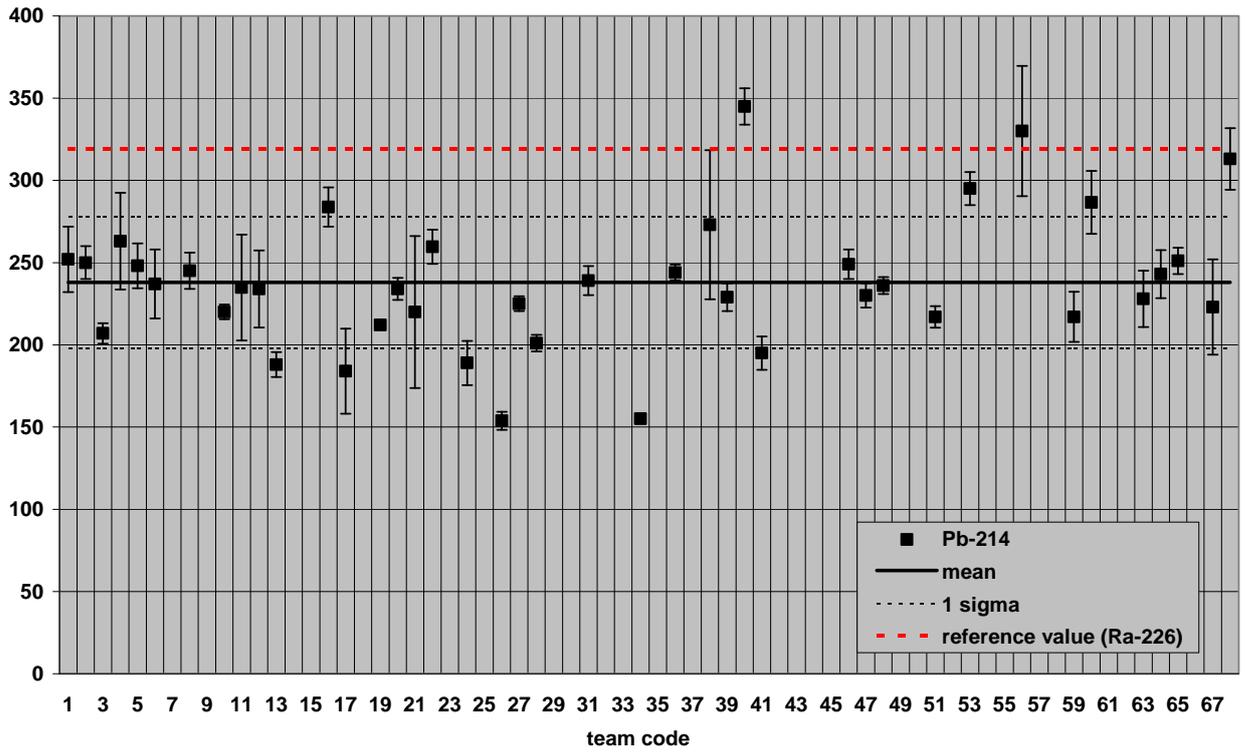
Reust A1: ^{234m}Pa (1001 keV) in Bq/kg



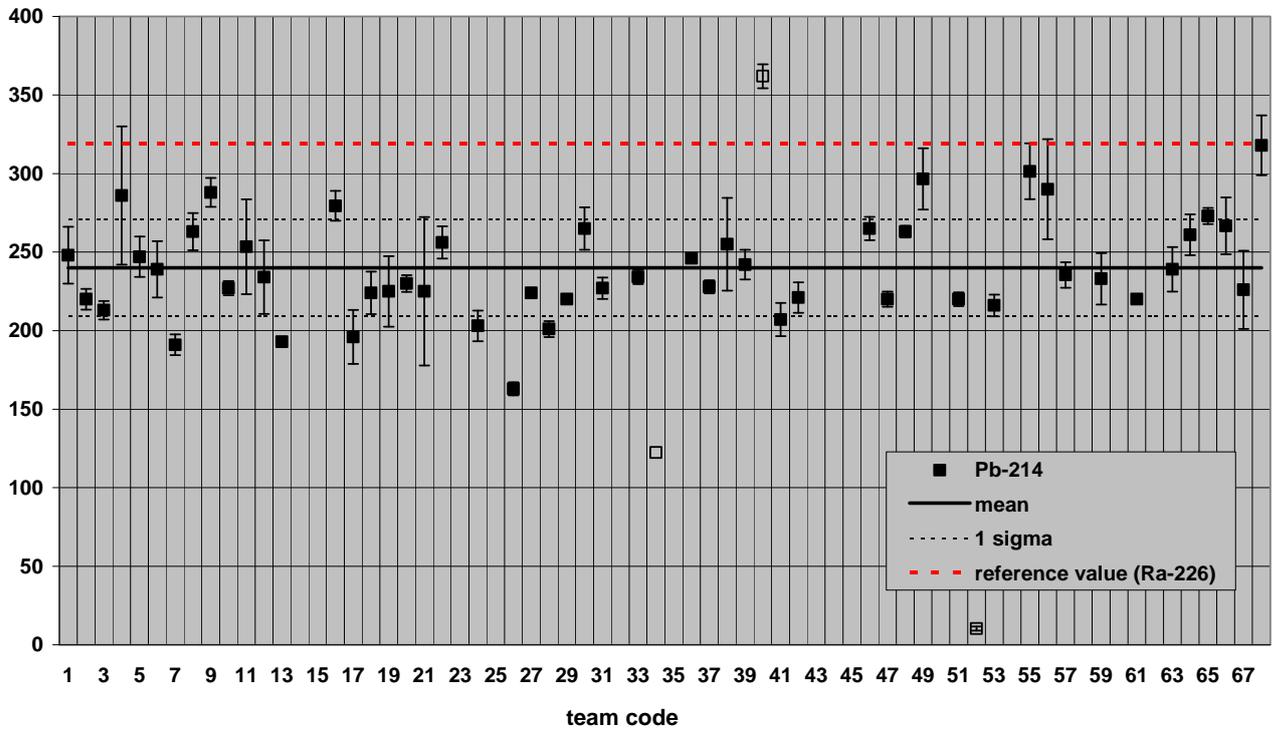
Reust A1: ^{226}Ra (186 keV) in Bq/kg

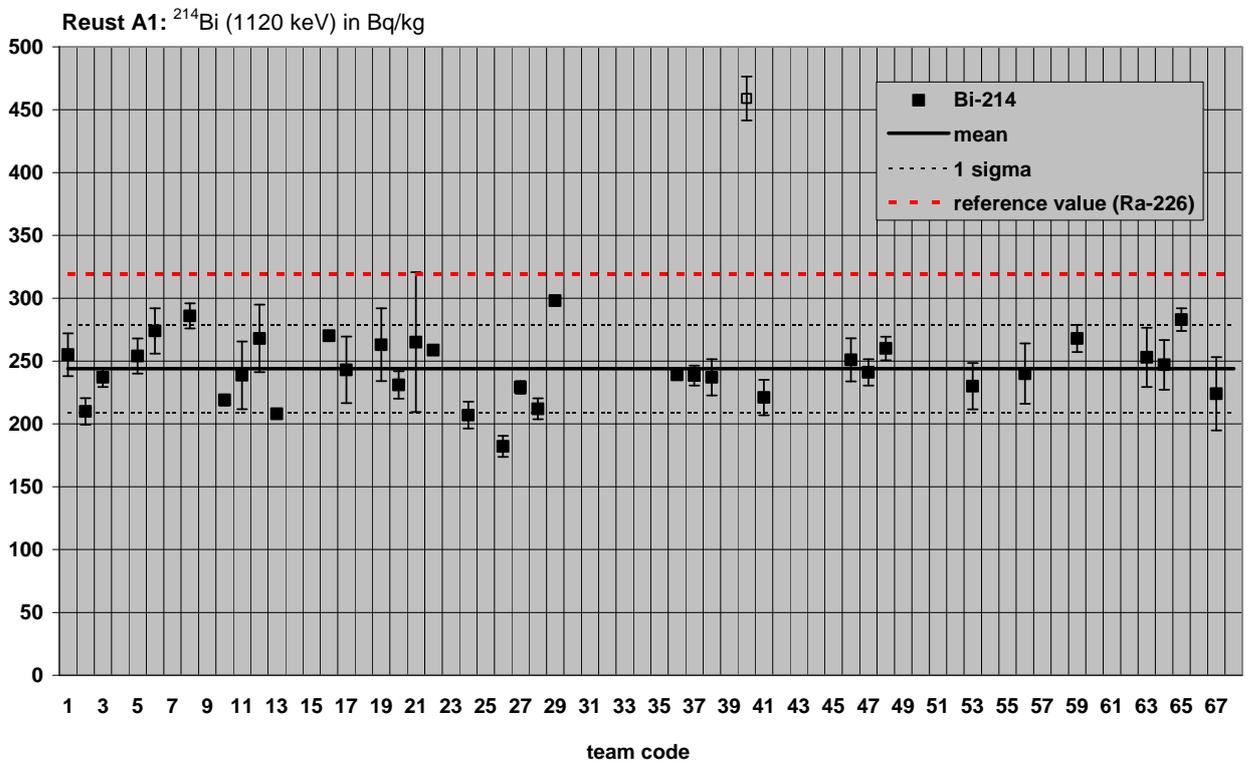
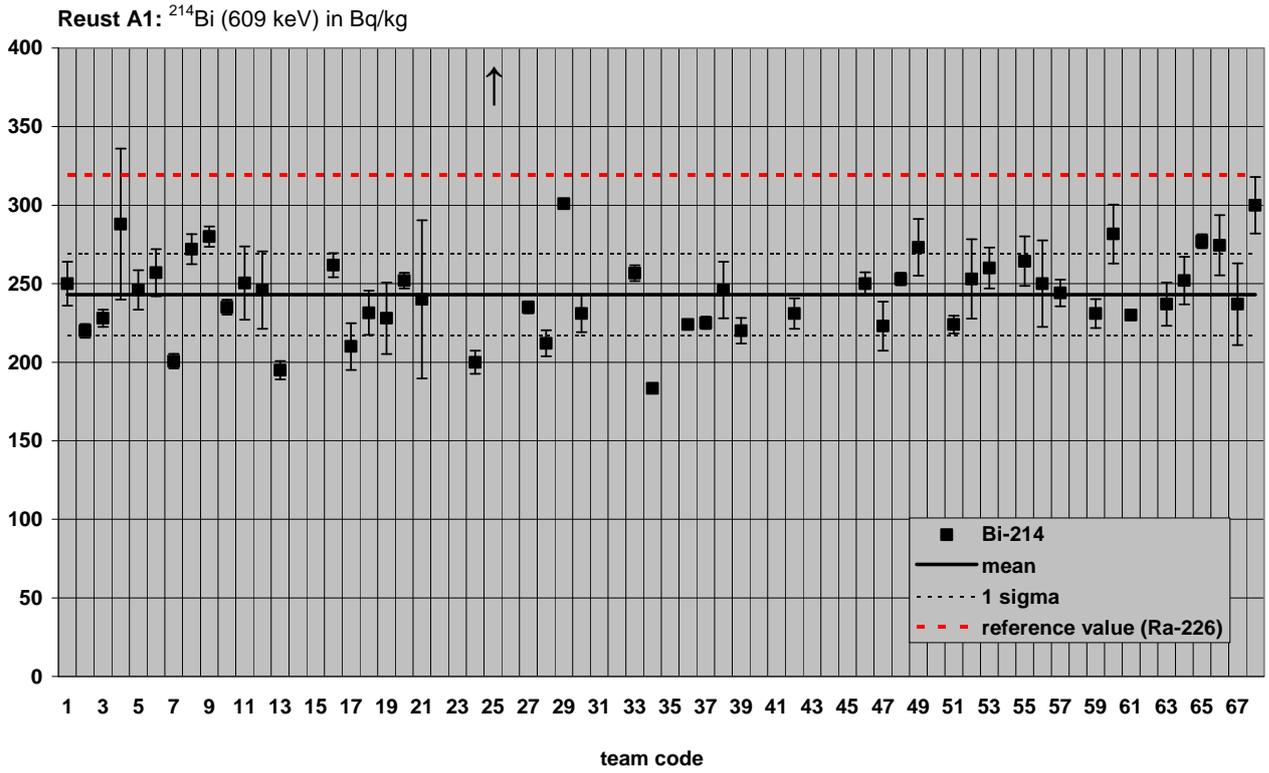


Reust A1: ^{214}Pb (295 keV) in Bq/kg

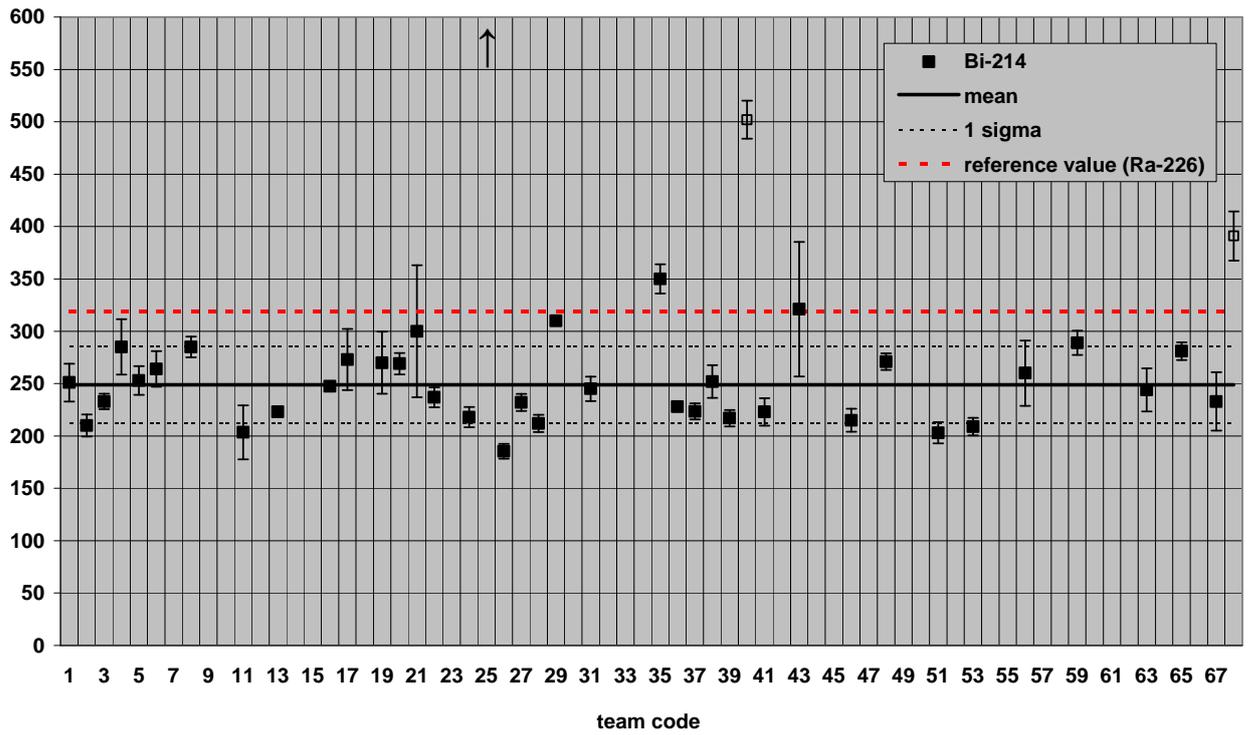


Reust A1: ^{214}Pb (352 keV) in Bq/kg

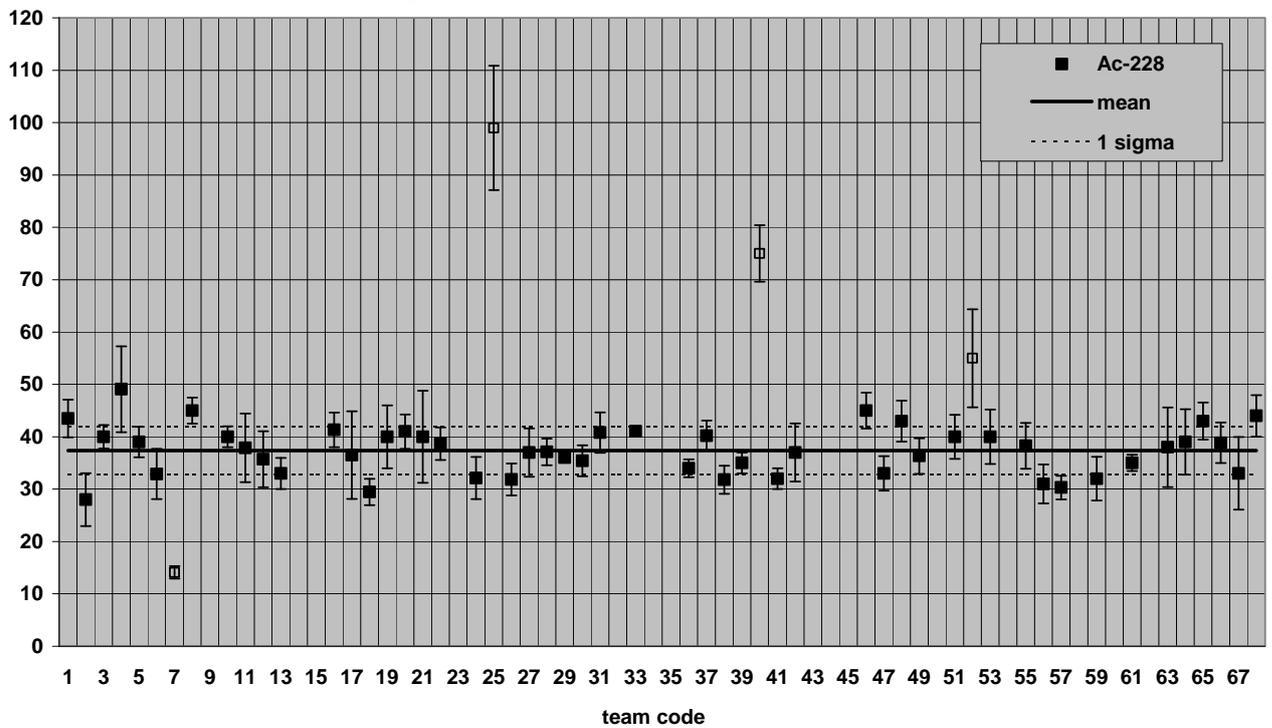


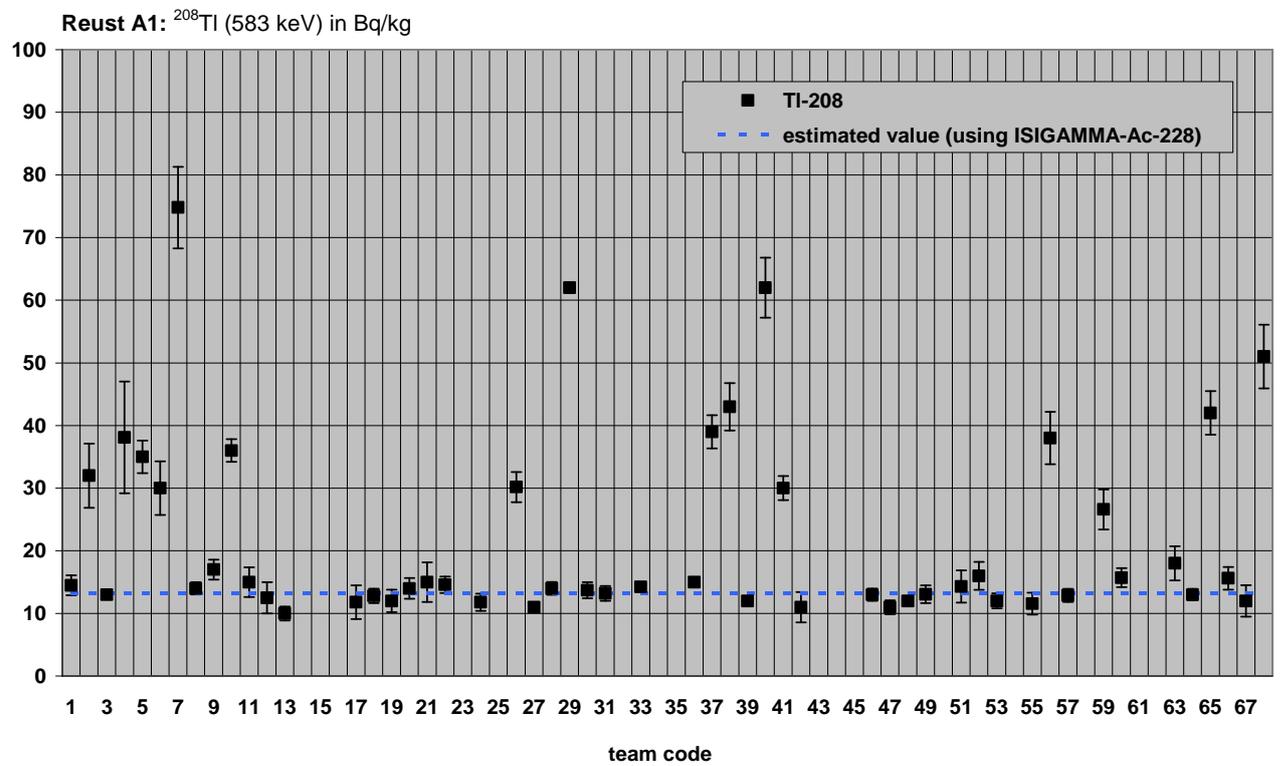
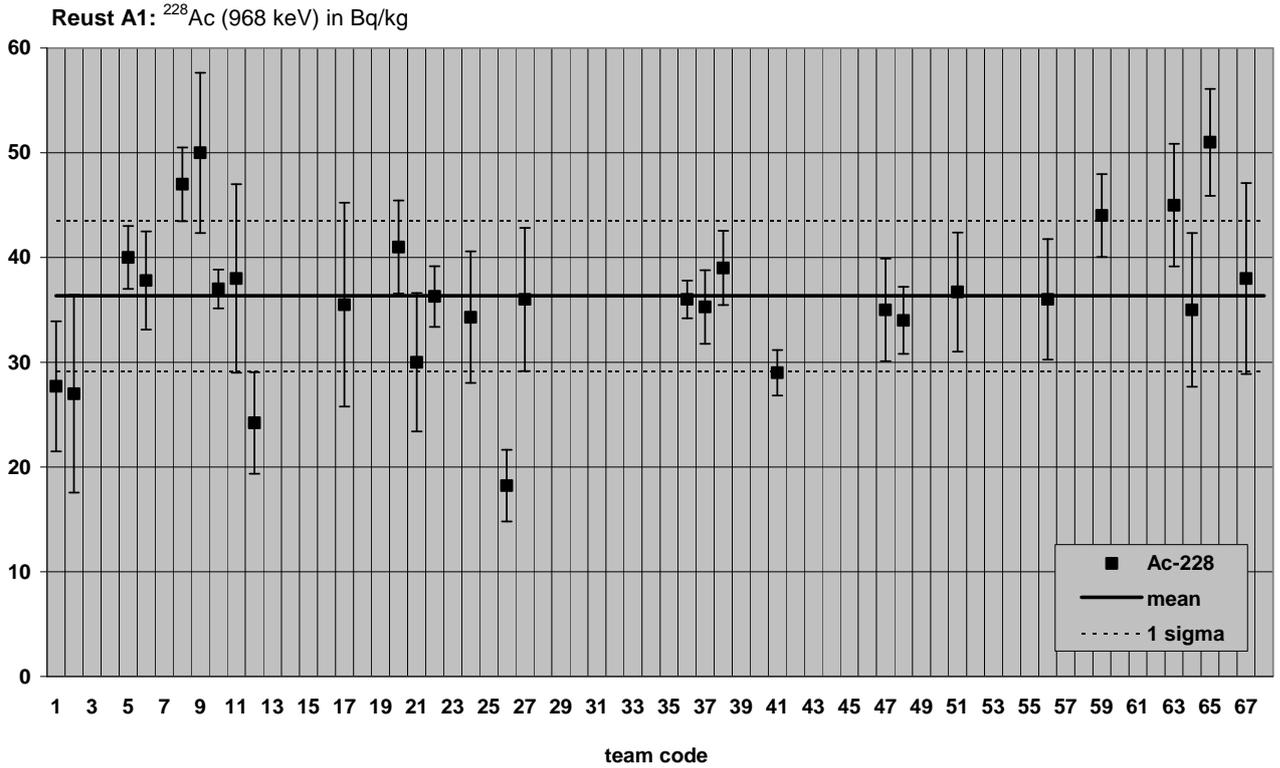


Reust A1: ^{214}Bi (1764 keV) in Bq/kg

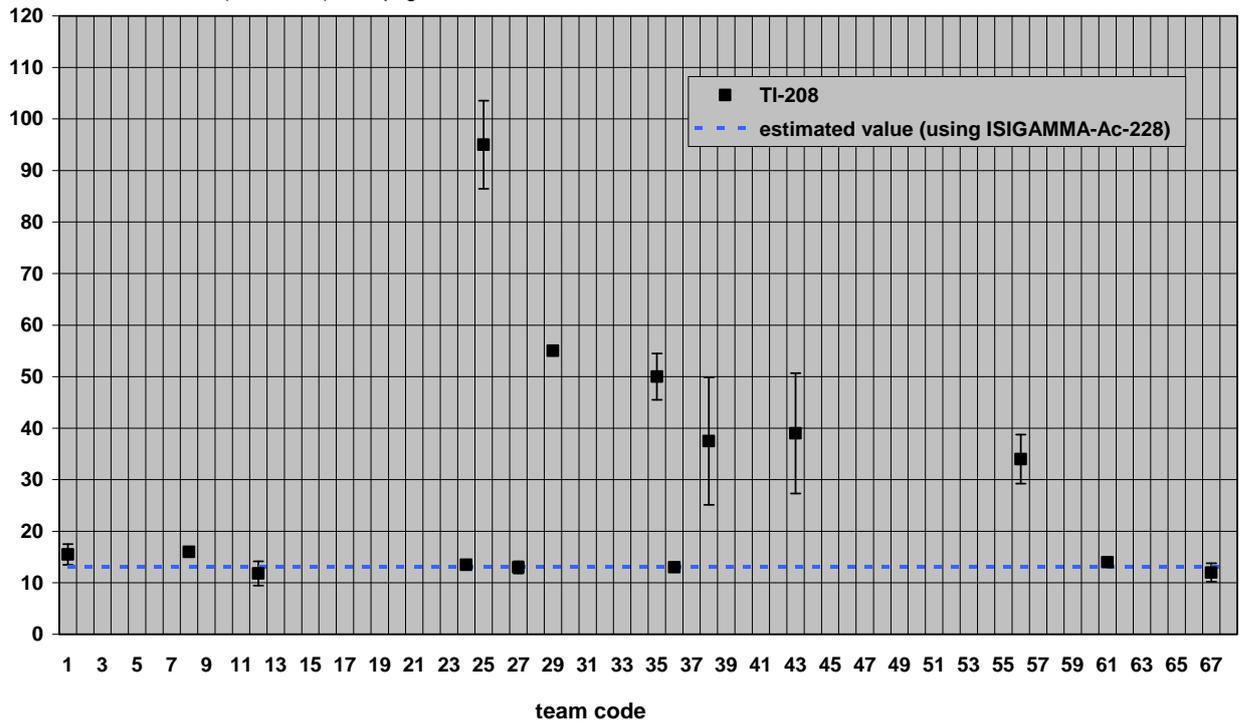


Reust A1: ^{228}Ac (911 keV) in Bq/kg

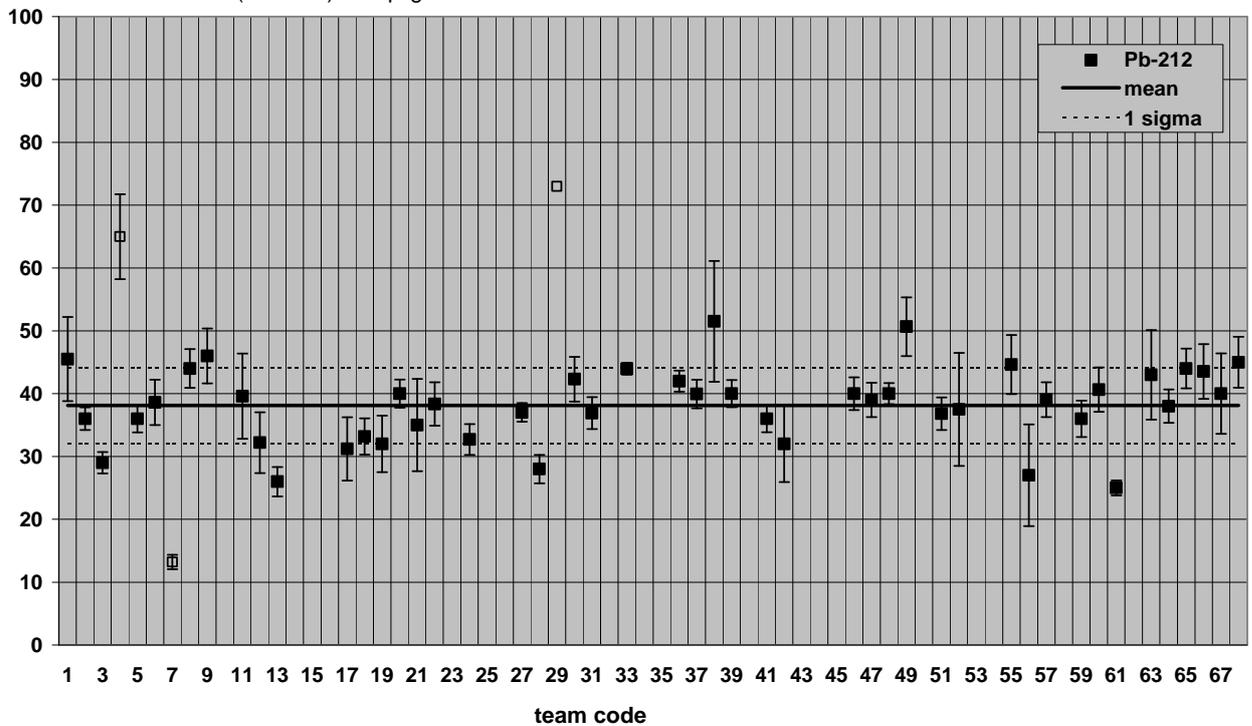


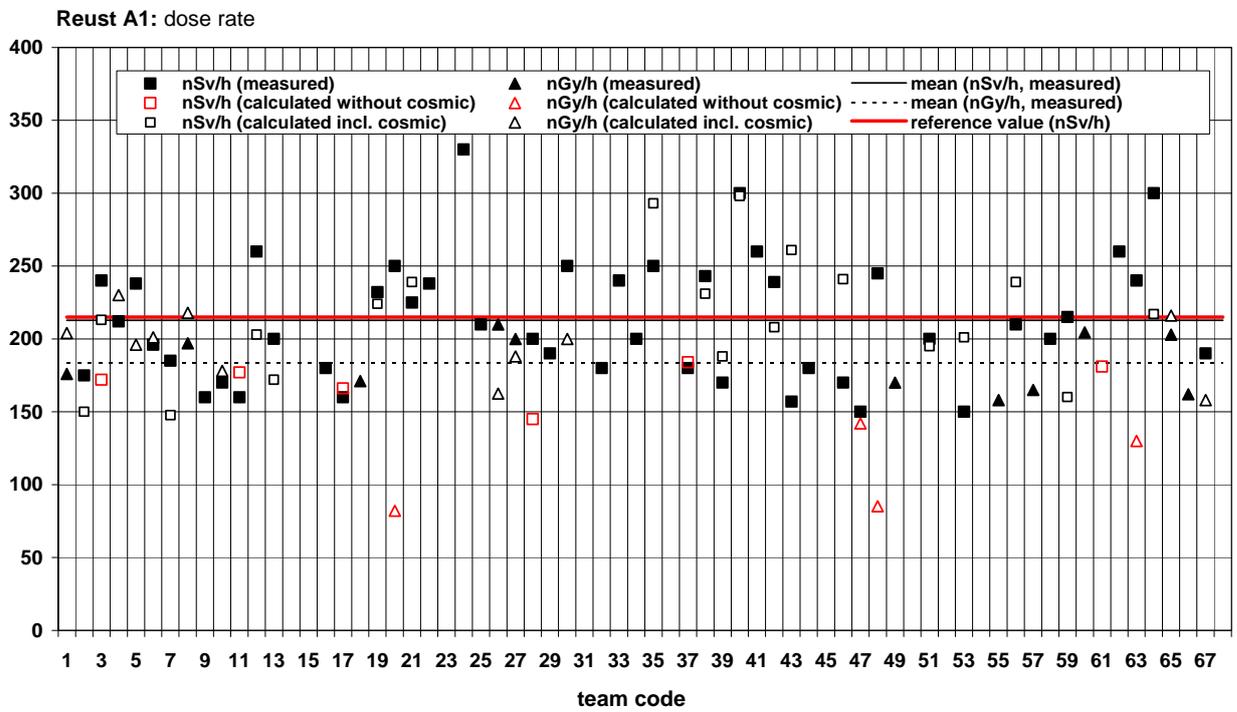
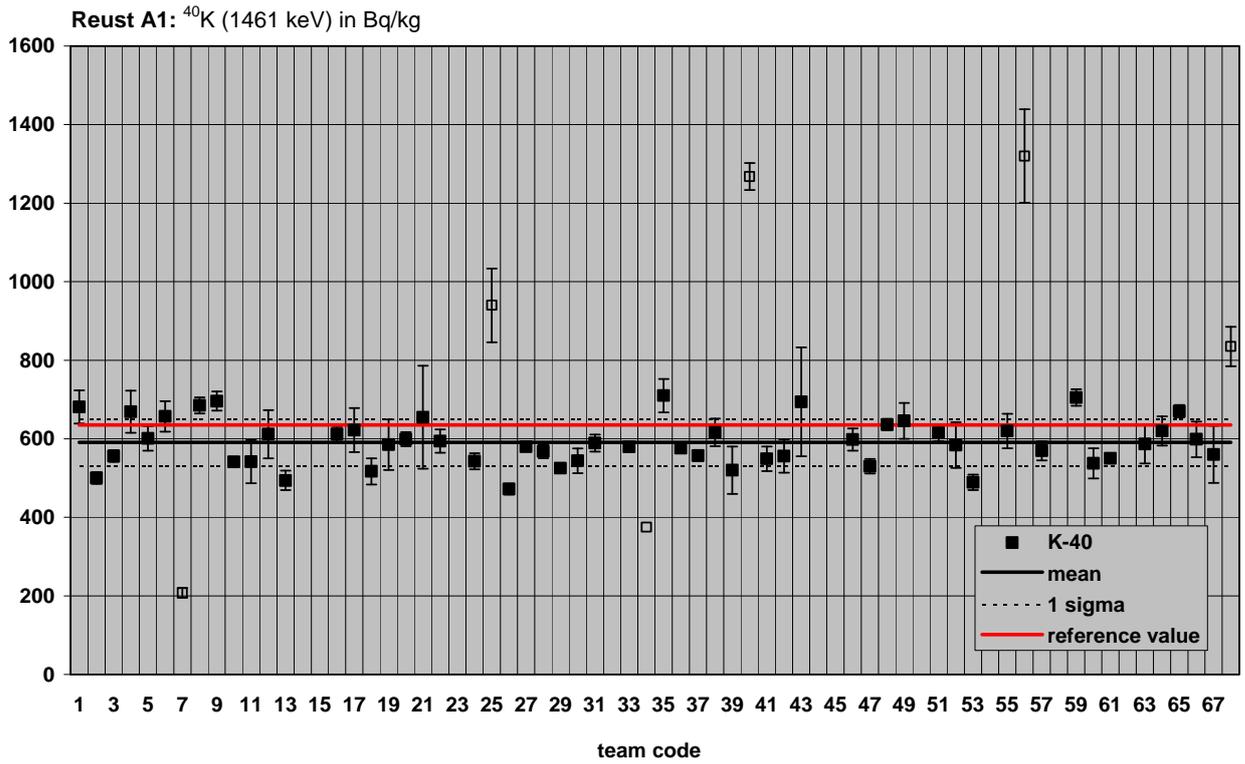


Reust A1: ^{208}Tl (2614 keV) in Bq/kg



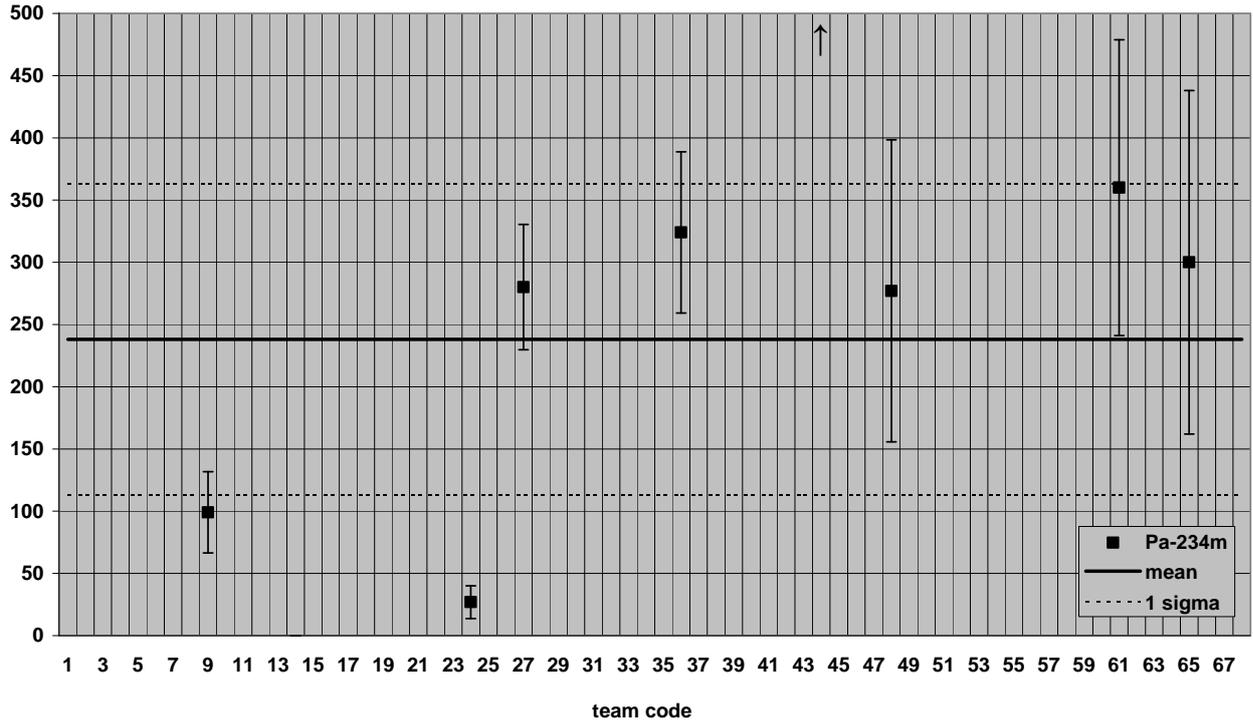
Reust A1: ^{212}Pb (239 keV) in Bq/kg



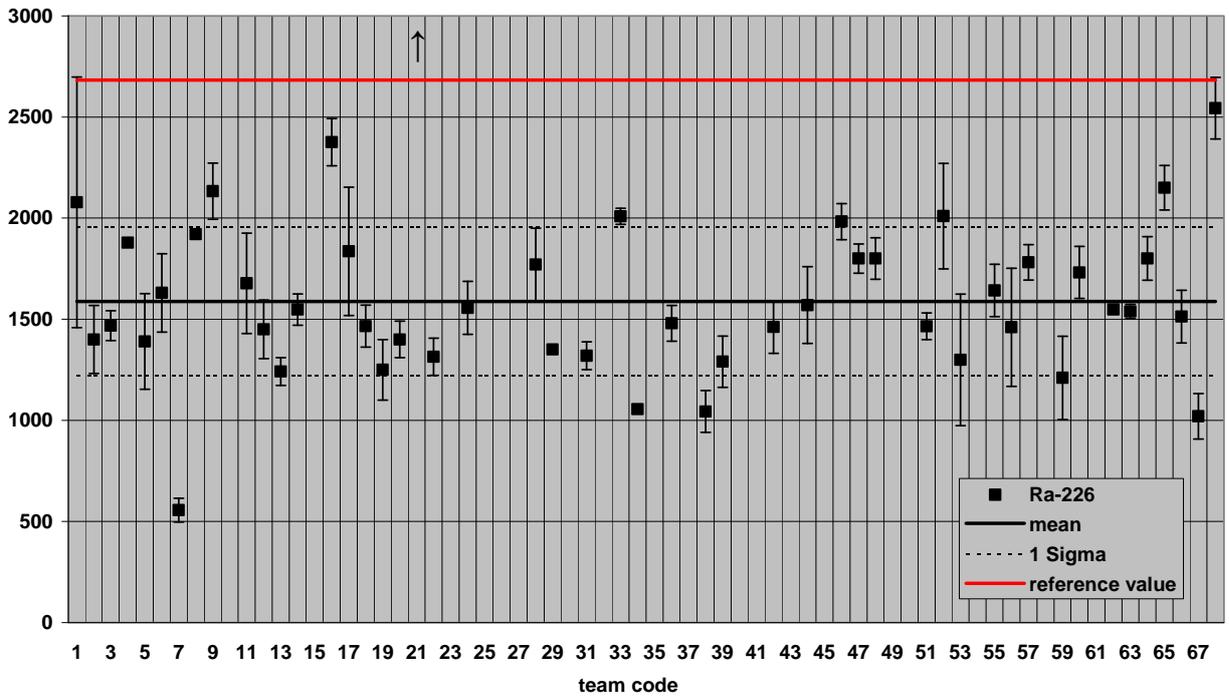


ANHANG RA2

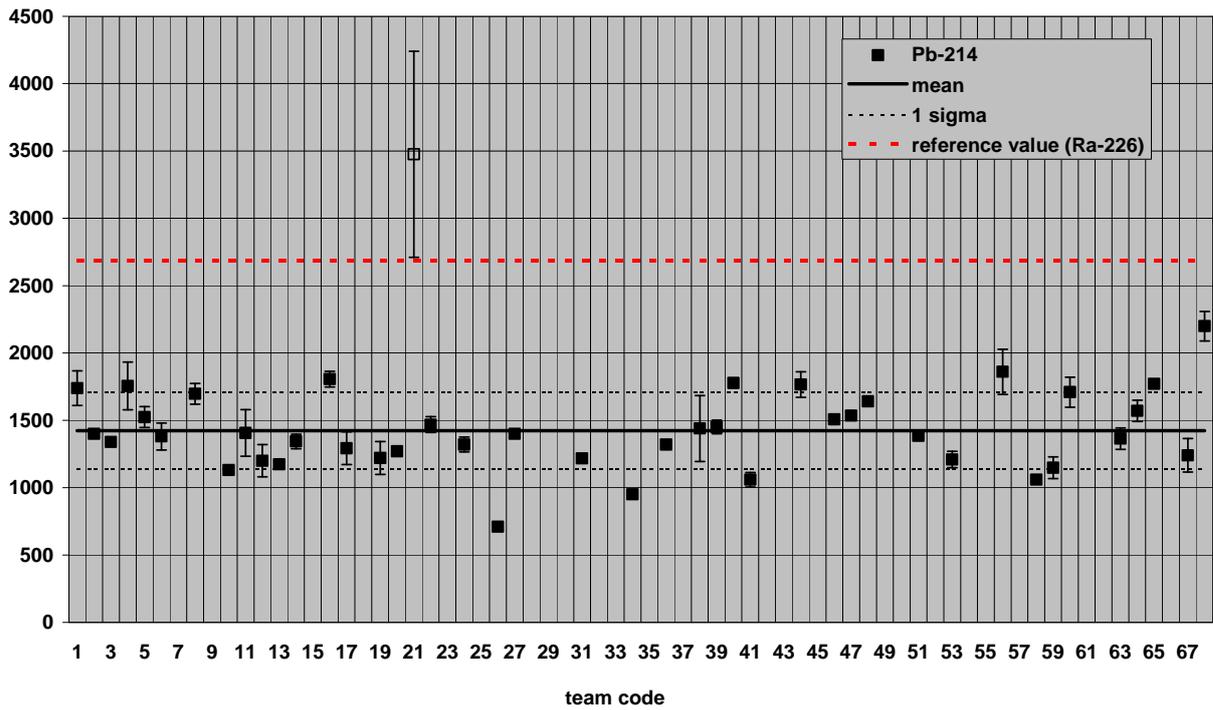
Reust A2: ^{234m}Pa (1001 keV) in Bq/kg



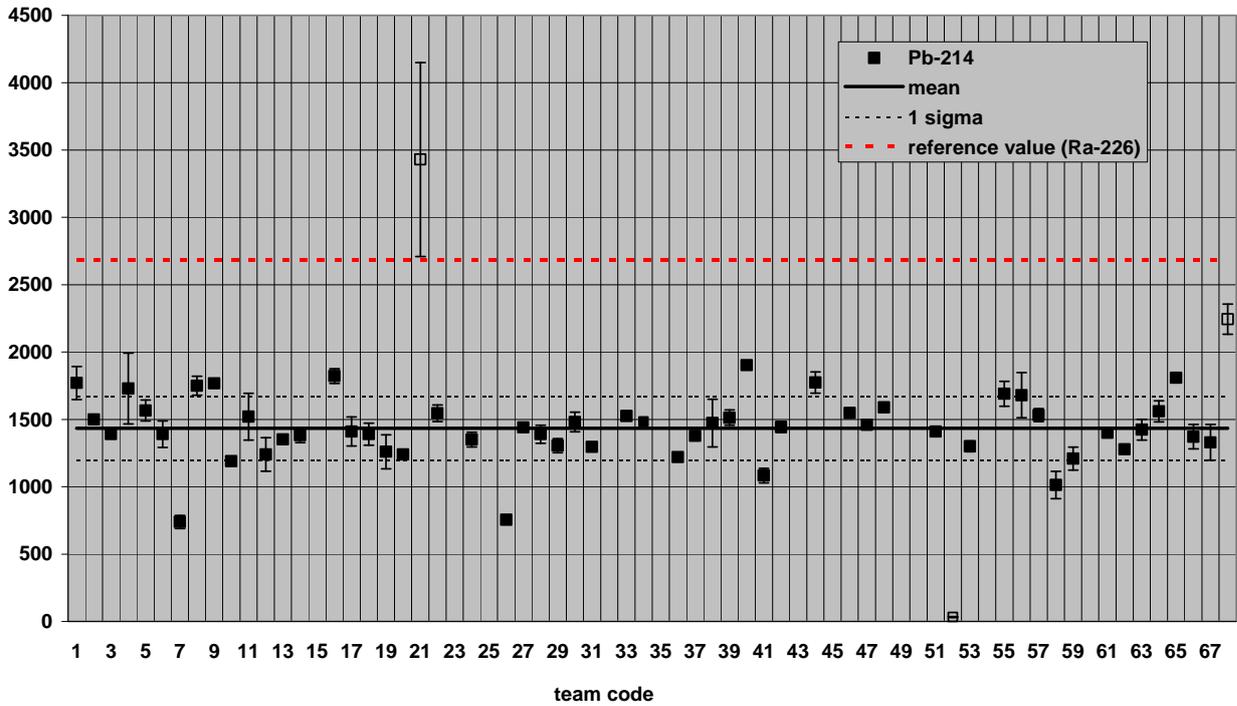
Reust A2: ^{226}Ra (186 keV) in Bq/kg



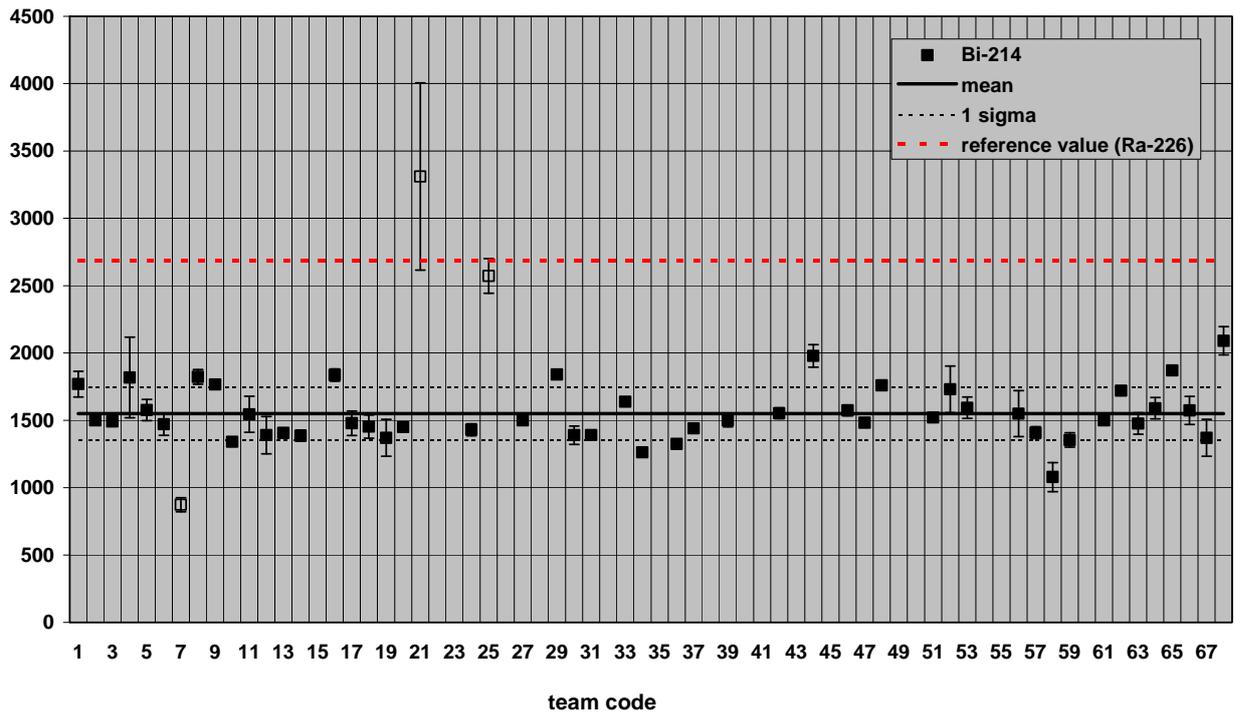
Reust A2: ^{214}Pb (295 keV) in Bq/kg



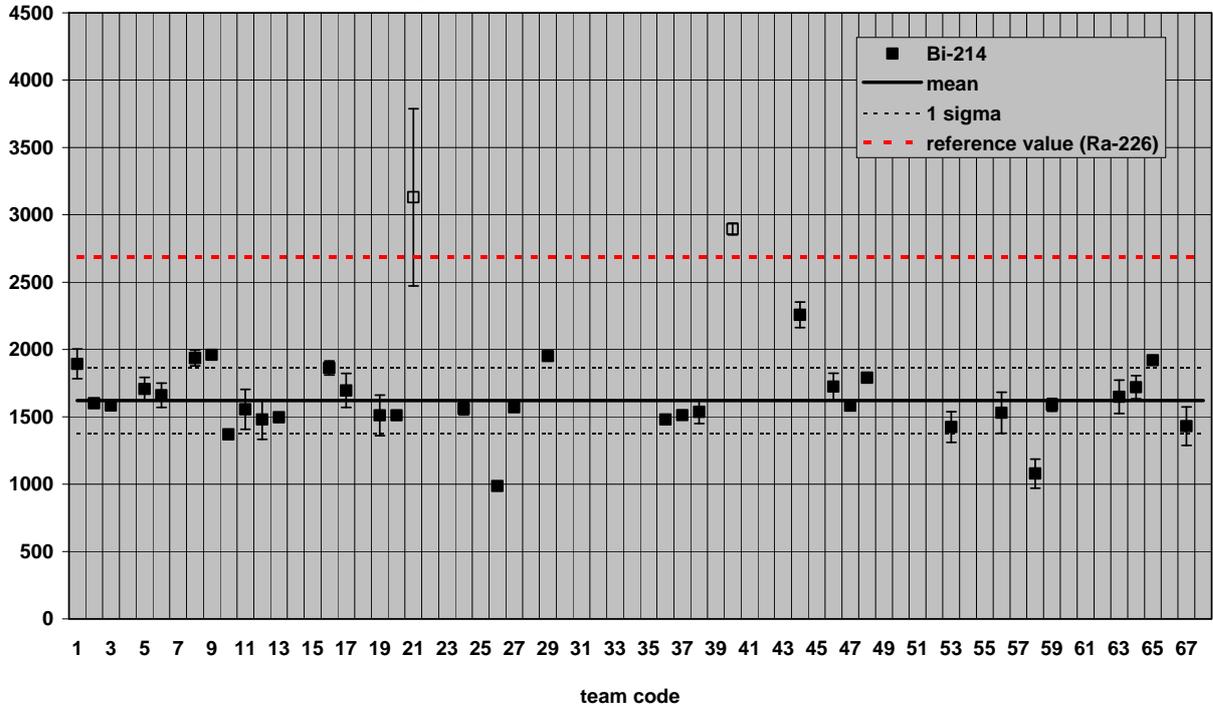
Reust A2: ^{214}Pb (352 keV) in Bq/kg



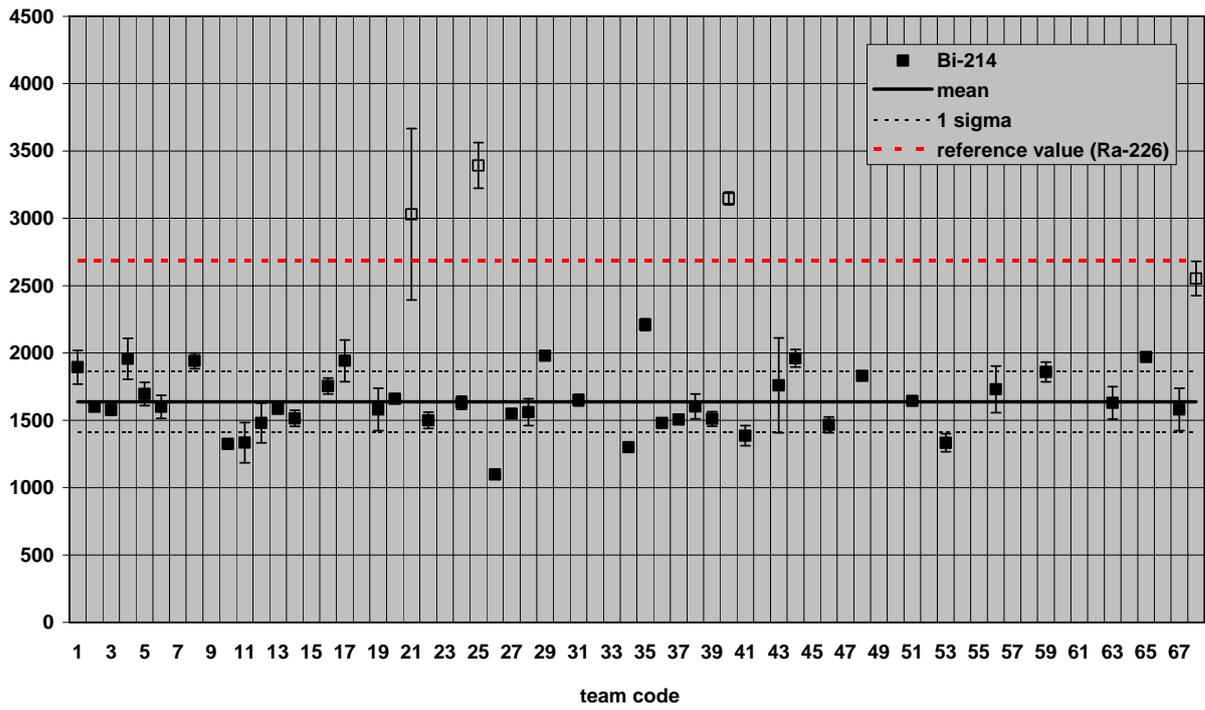
Reust A2: ^{214}Bi (609 keV) in Bq/kg



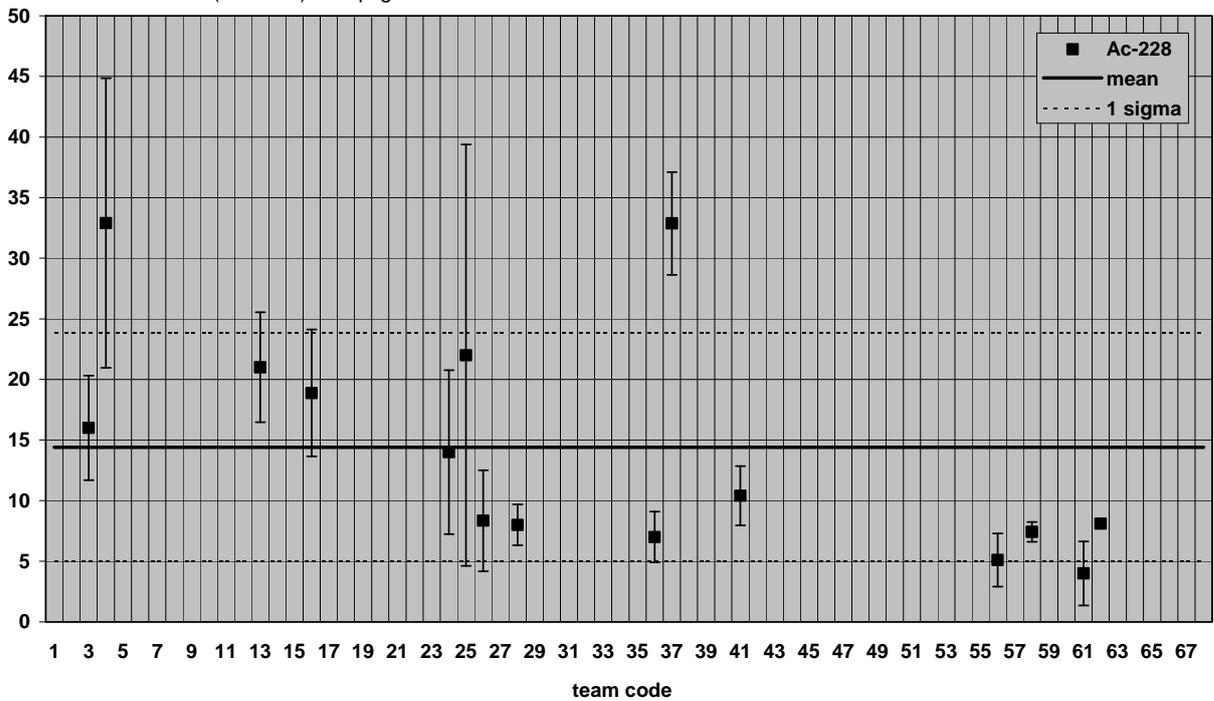
Reust A2: ^{214}Bi (1120 keV) in Bq/kg



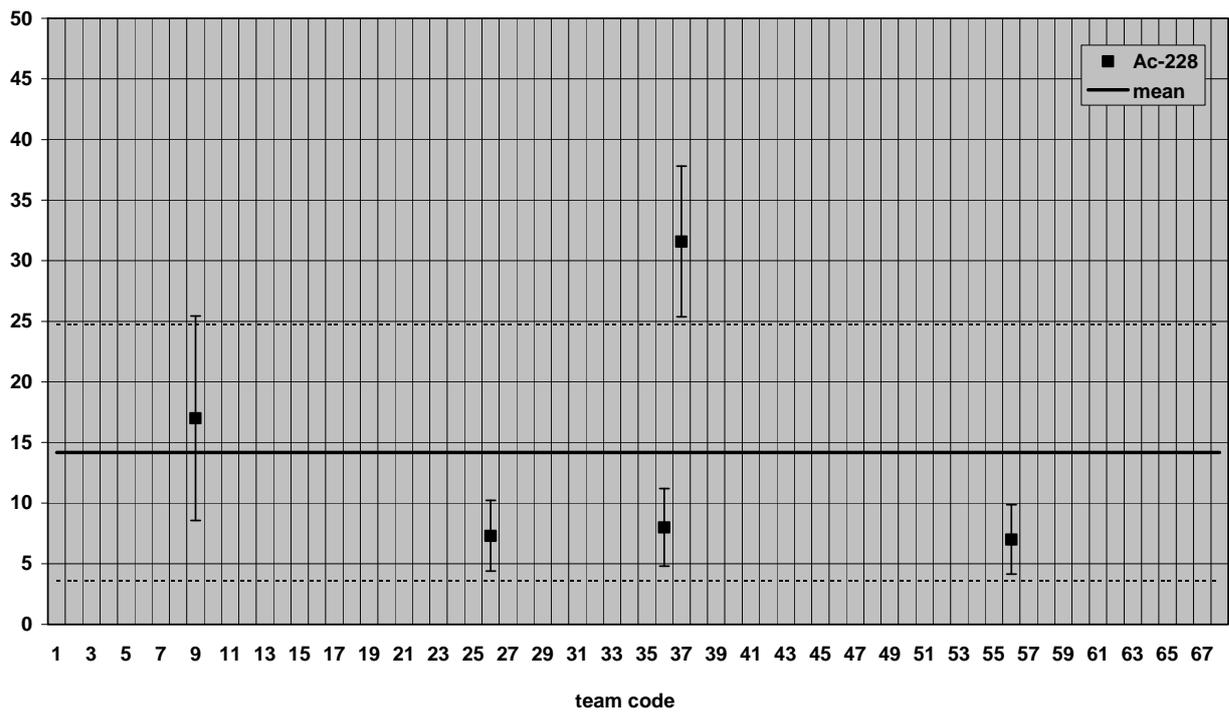
Reust A2: ^{214}Bi (1764 keV) in Bq/kg



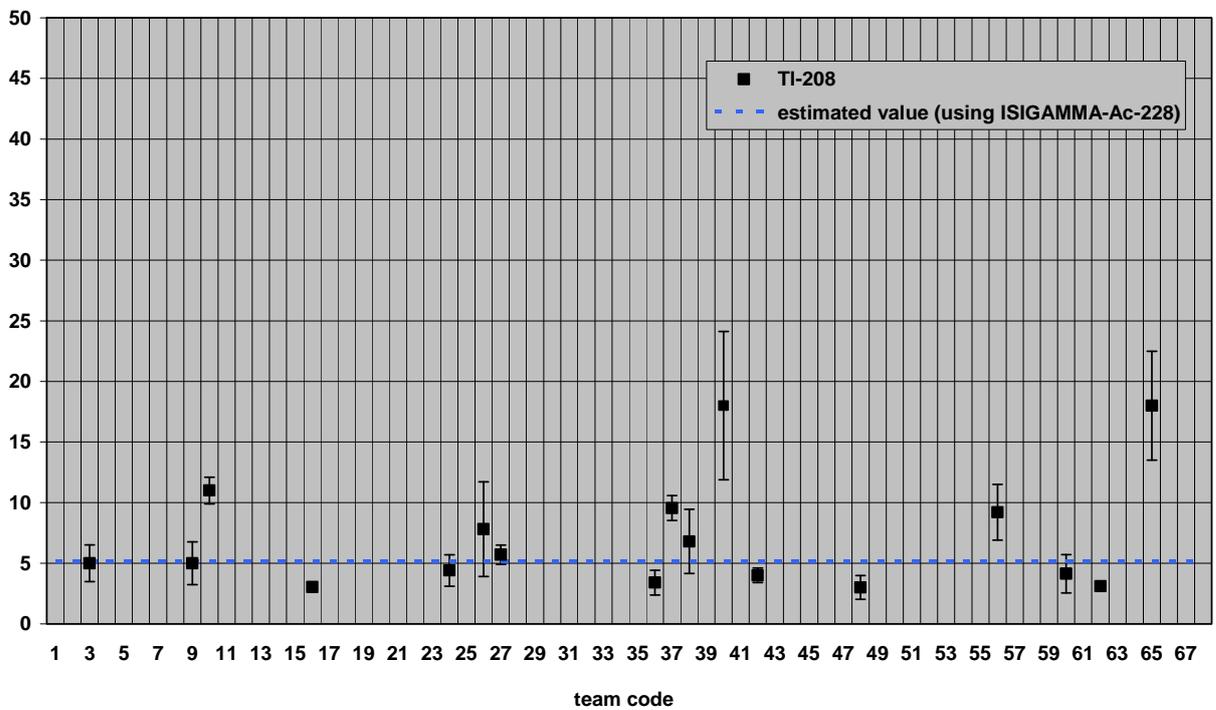
Reust A2: ^{228}Ac (911 keV) in Bq/kg



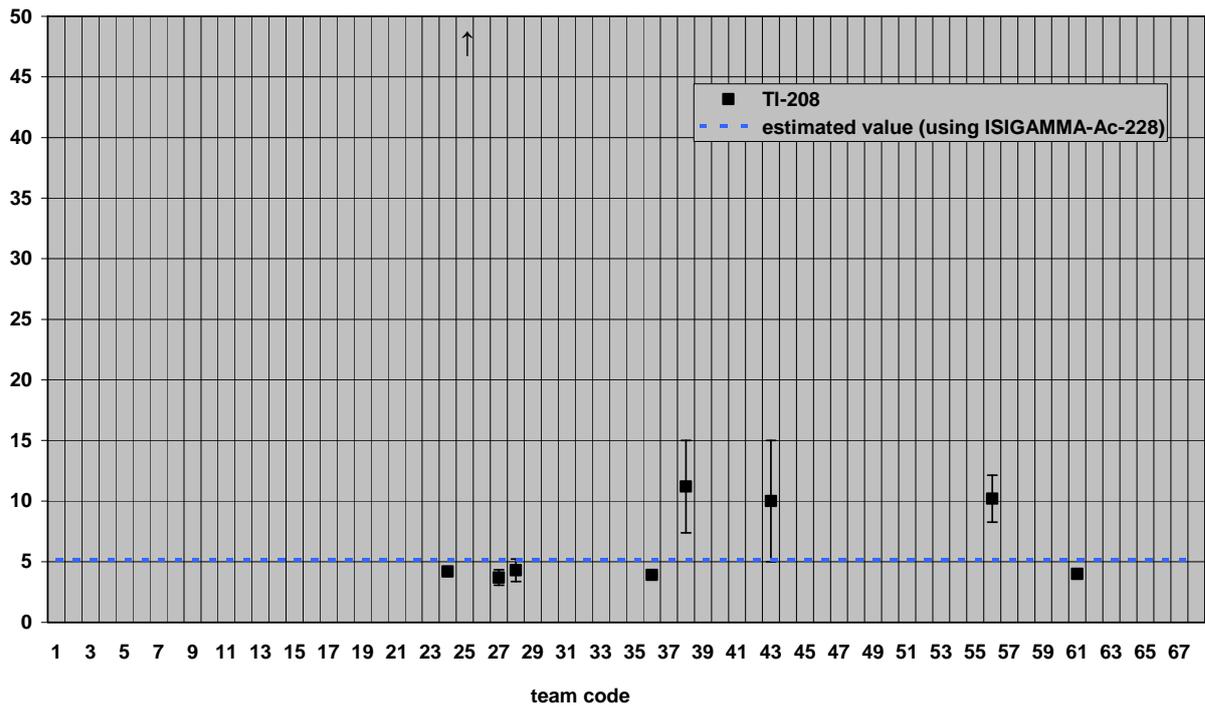
Reust A2: ^{228}Ac (968 keV) in Bq/kg



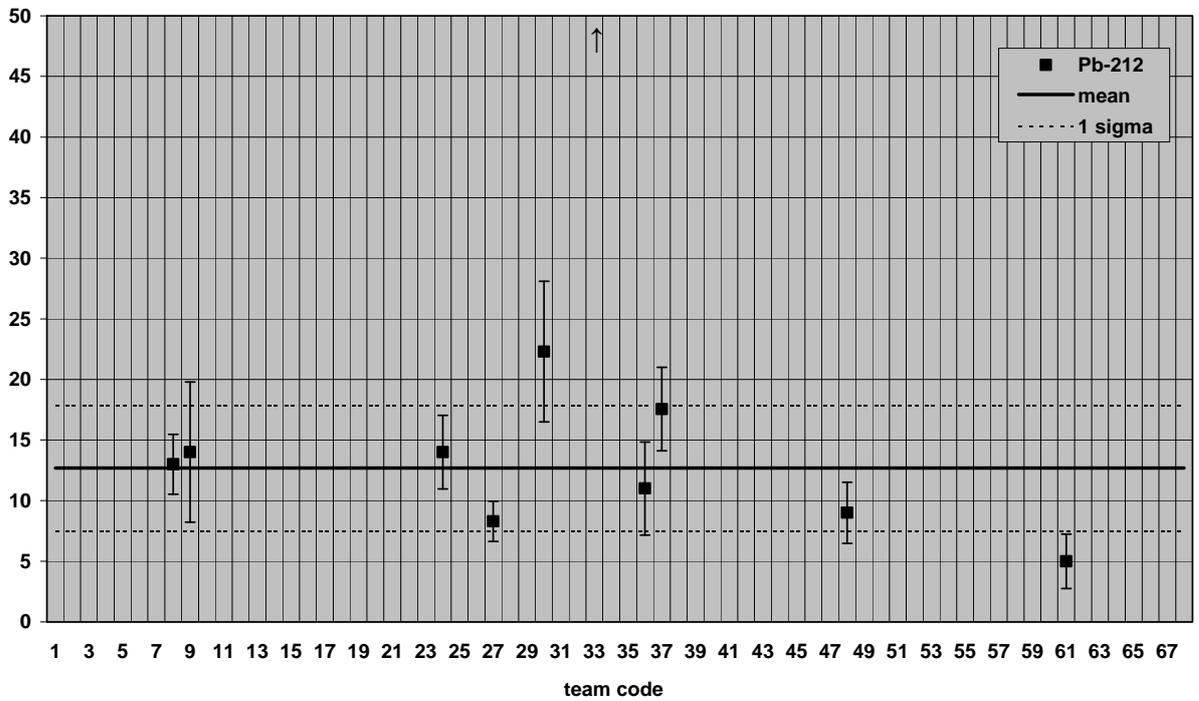
Reust A2: ^{208}Tl (583 keV) in Bq/kg



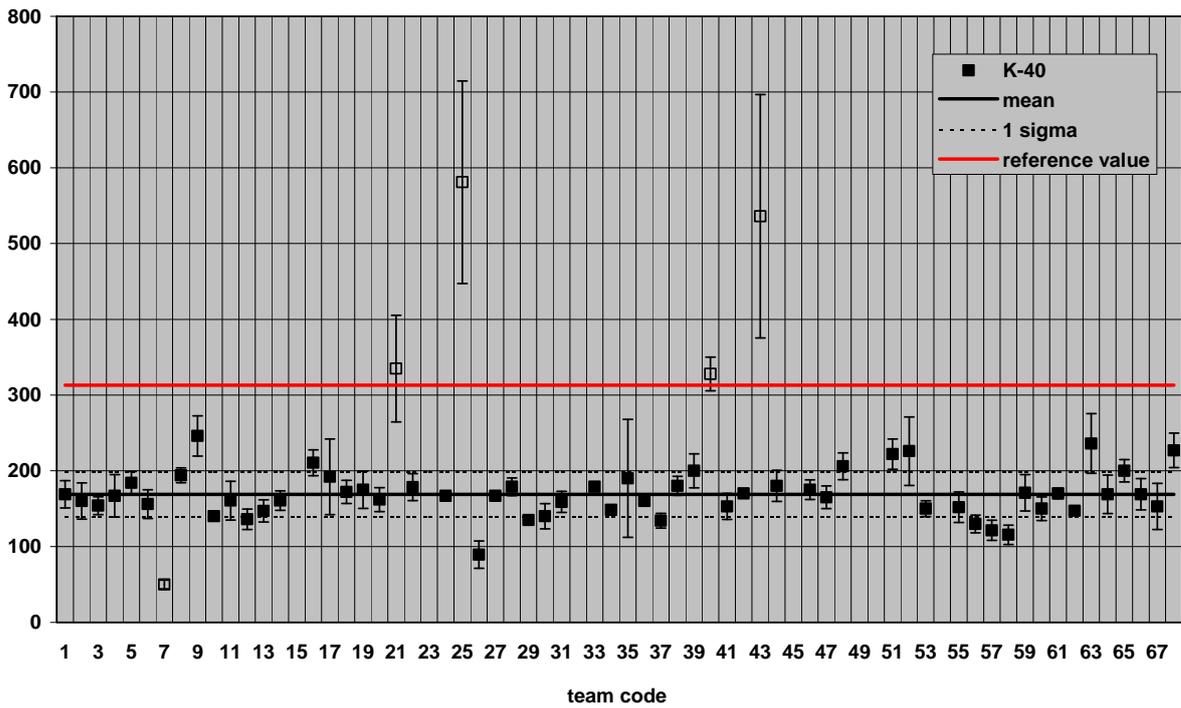
Reust A2: ^{208}Tl (2614 keV) in Bq/kg



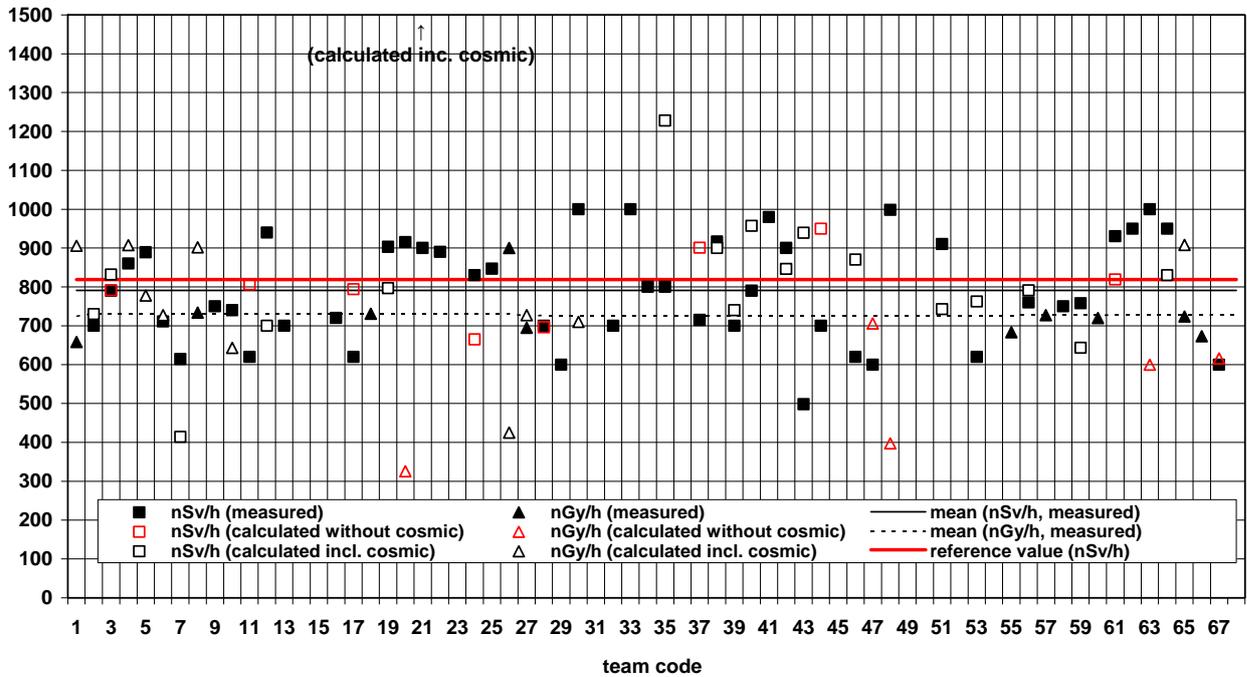
Reust A2: ^{212}Pb (239 keV) in Bq/kg



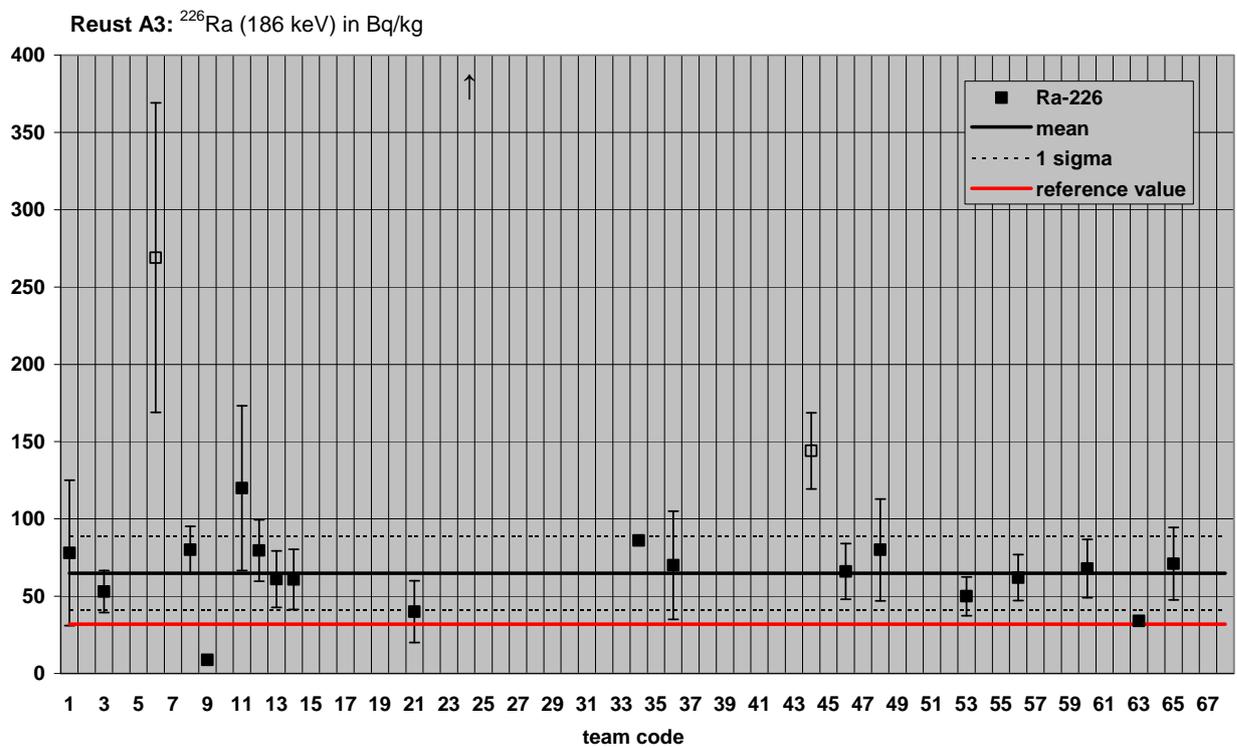
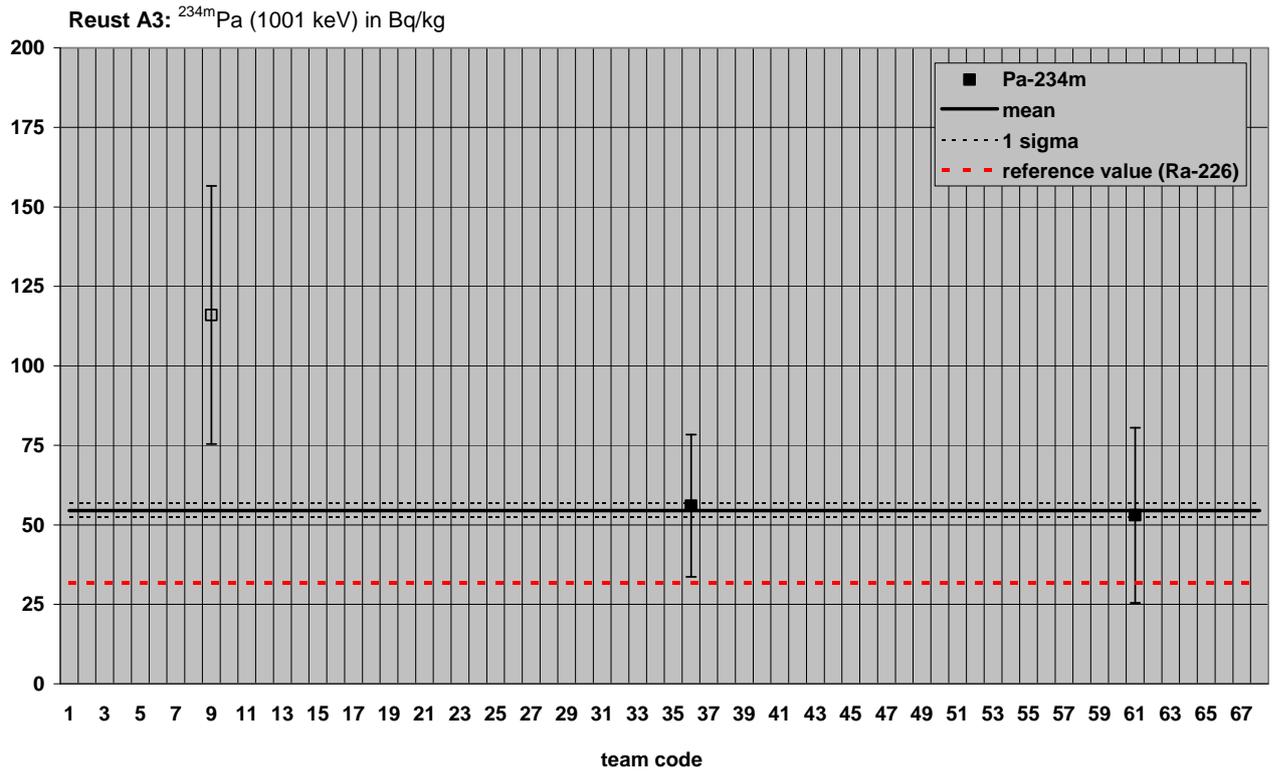
Reust A2: ^{40}K (1461 keV) in Bq/kg



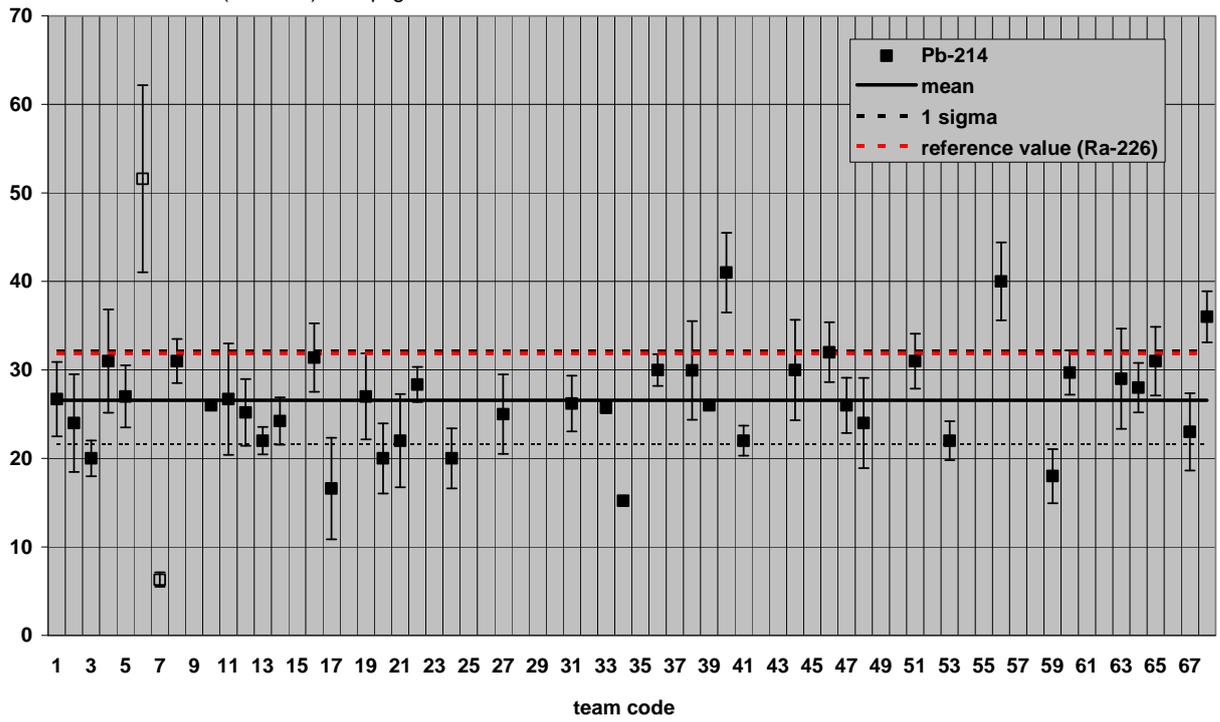
Reust A2: dose rate



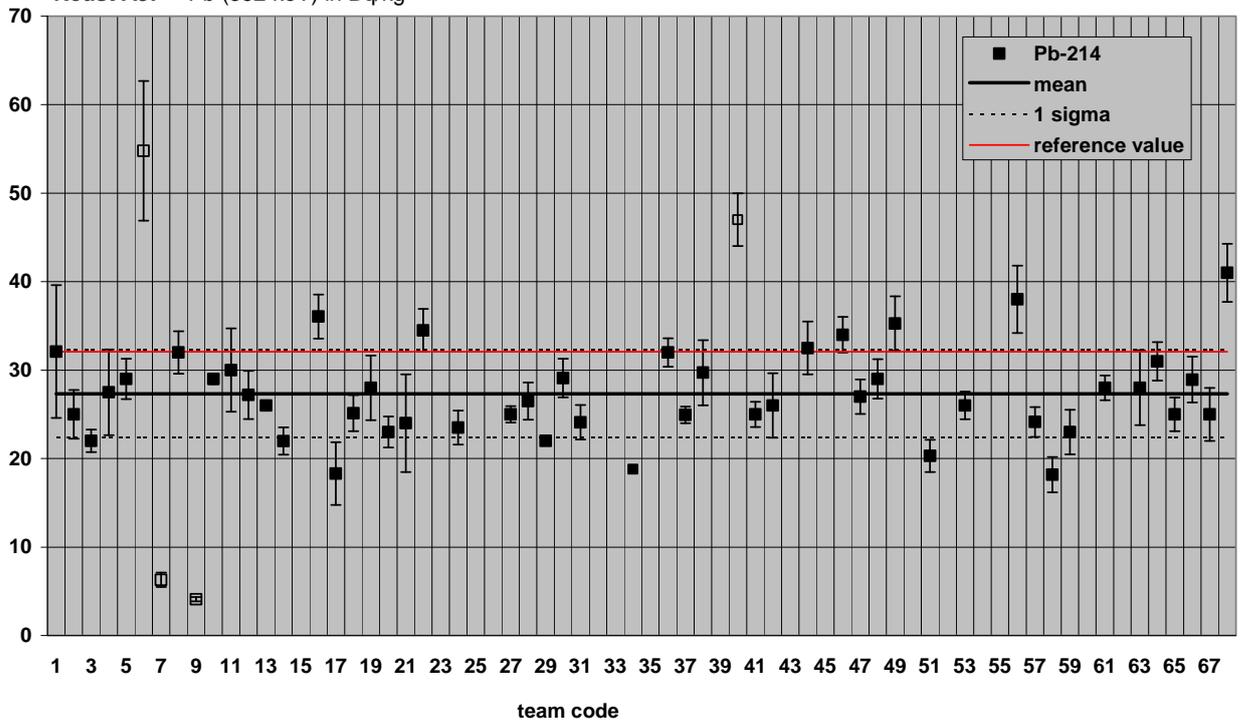
ANHANG RA3



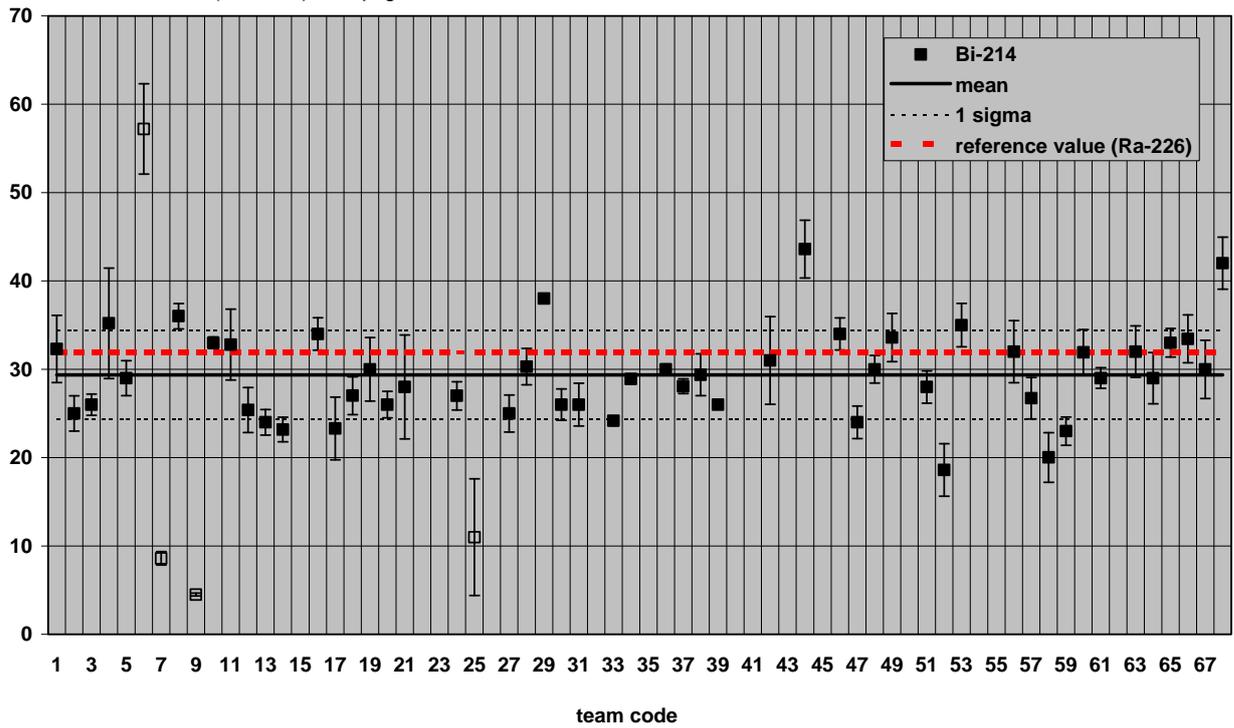
Reust A3: ^{214}Pb (295 keV) in Bq/kg



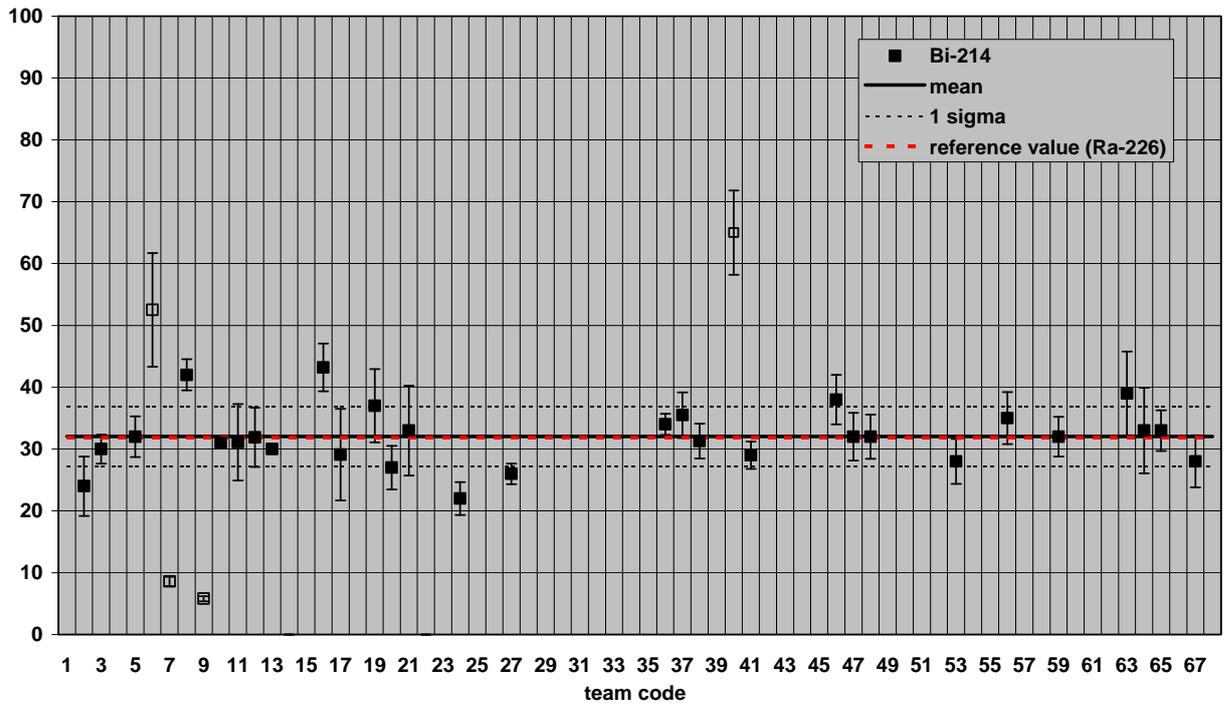
Reust A3: ^{214}Pb (352 keV) in Bq/kg



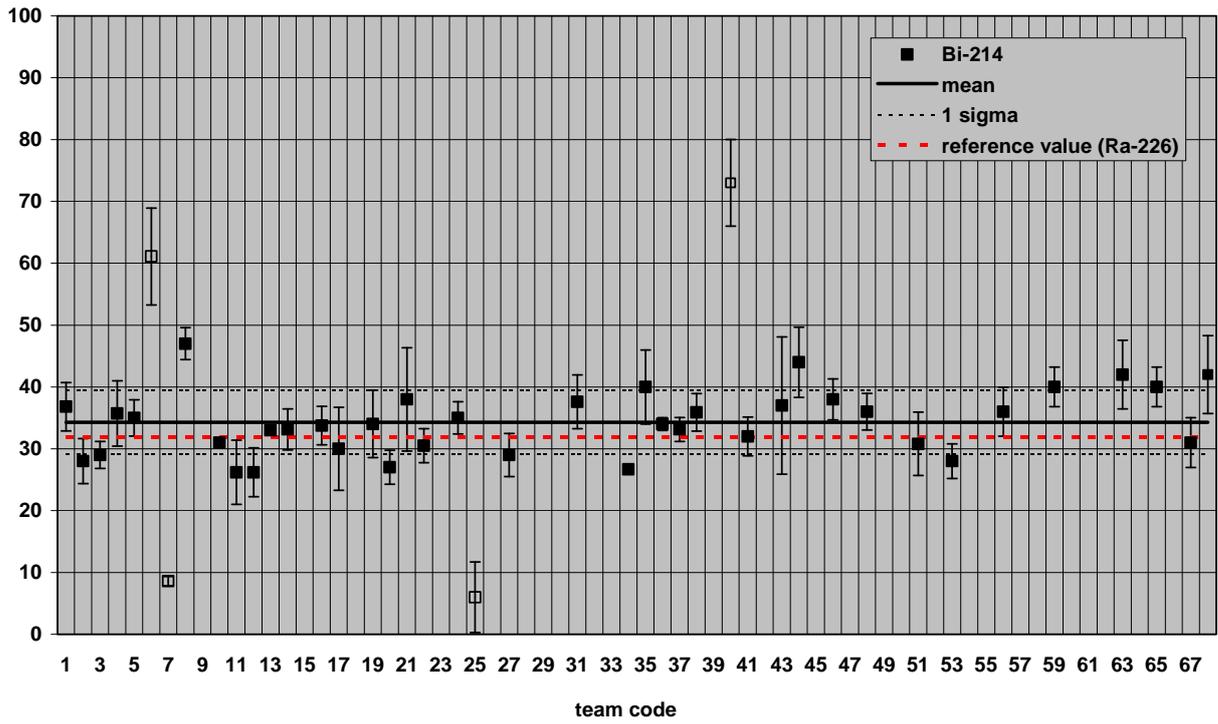
Reust A3: ^{214}Bi (609 keV) in Bq/kg



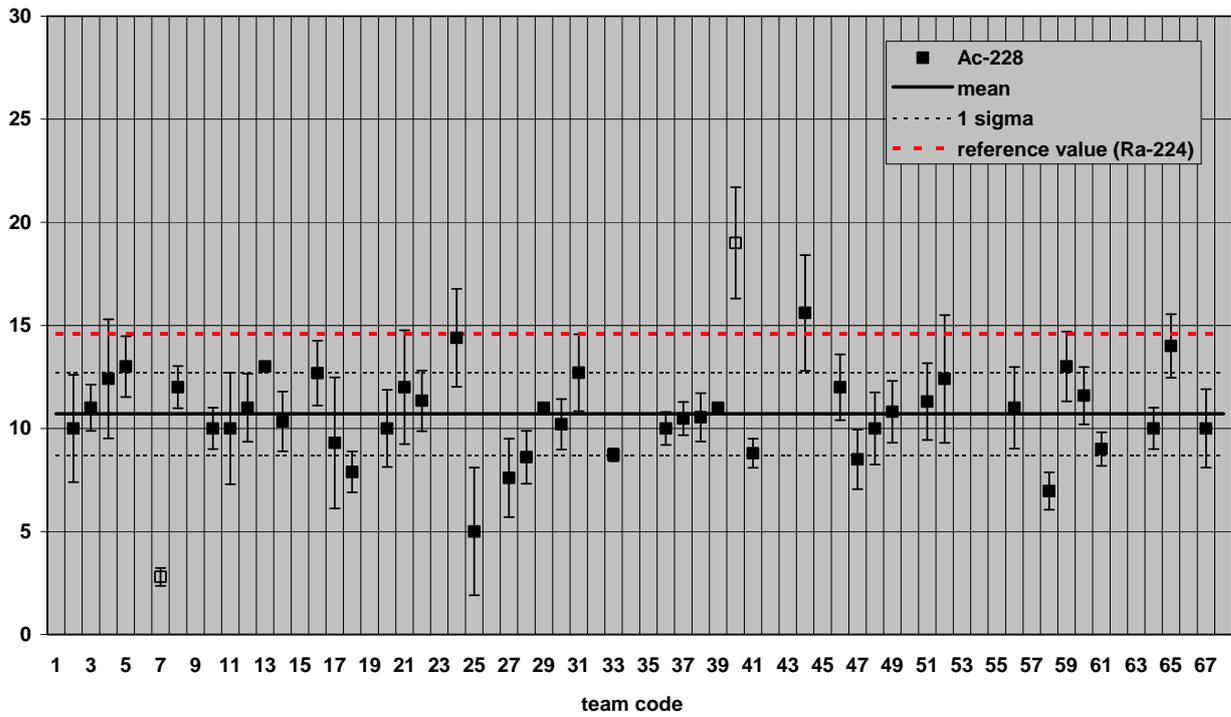
Reust A3: ^{214}Bi (1120 keV) in Bq/kg



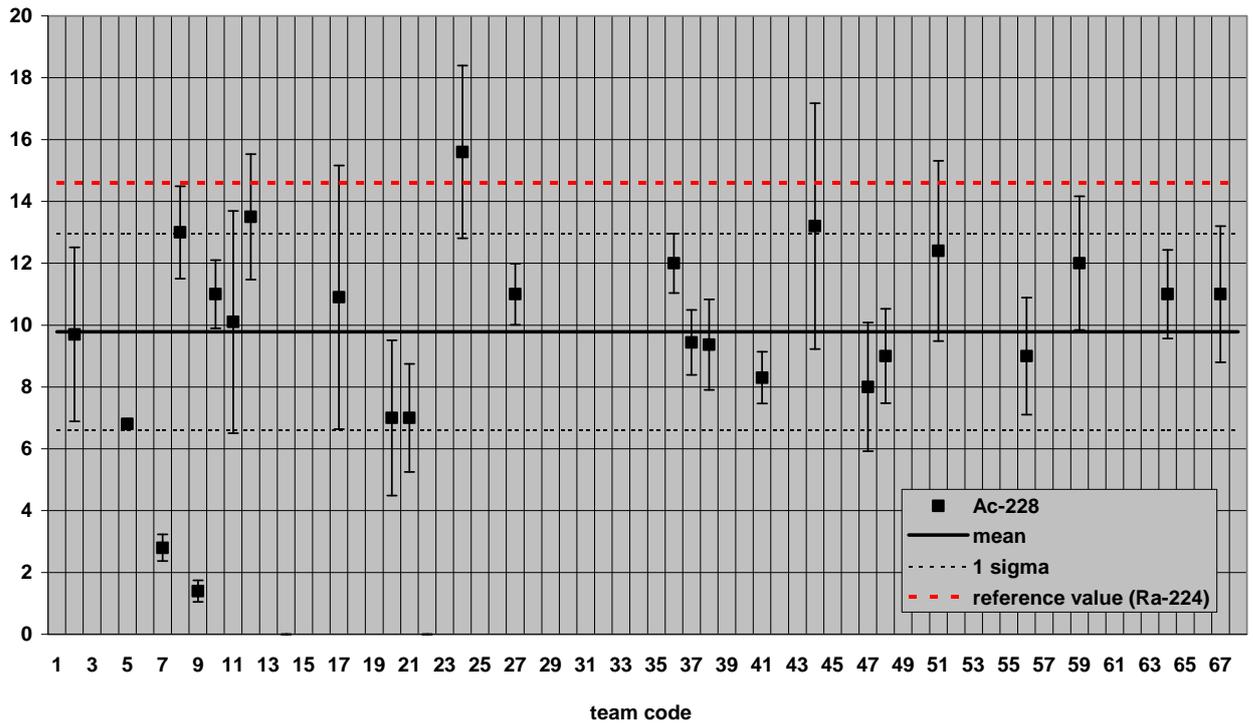
Reust A3: ^{214}Bi (1764 keV) in Bq/kg



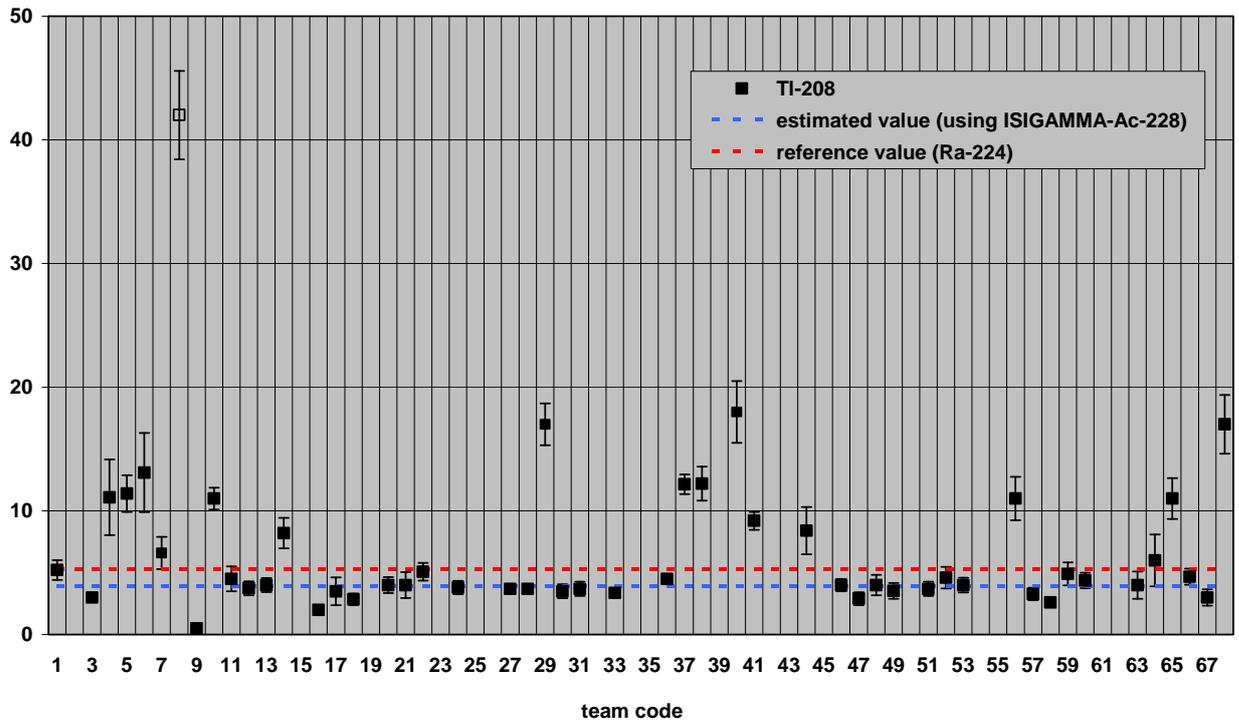
Reust A3: ^{228}Ac (911 keV) in Bq/kg



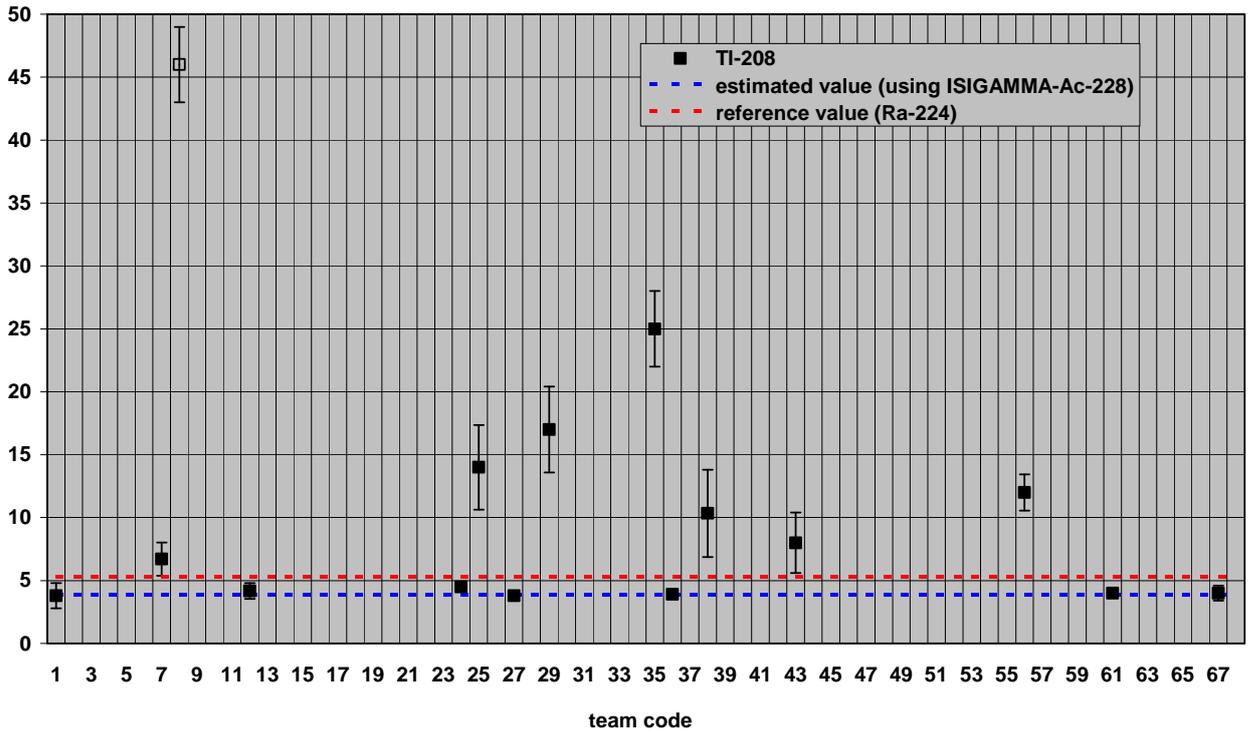
Reust A3: ^{228}Ac (968 keV) in Bq/kg



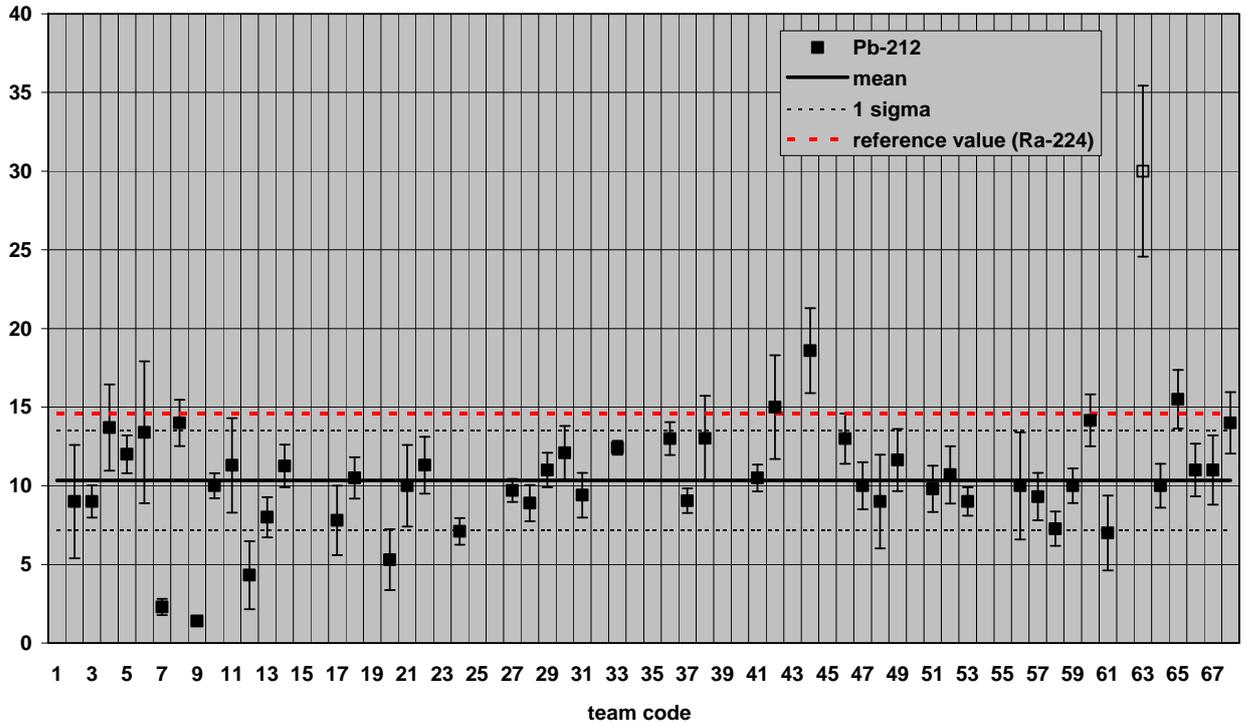
Reust A3: ^{208}Tl (583 keV) in Bq/kg



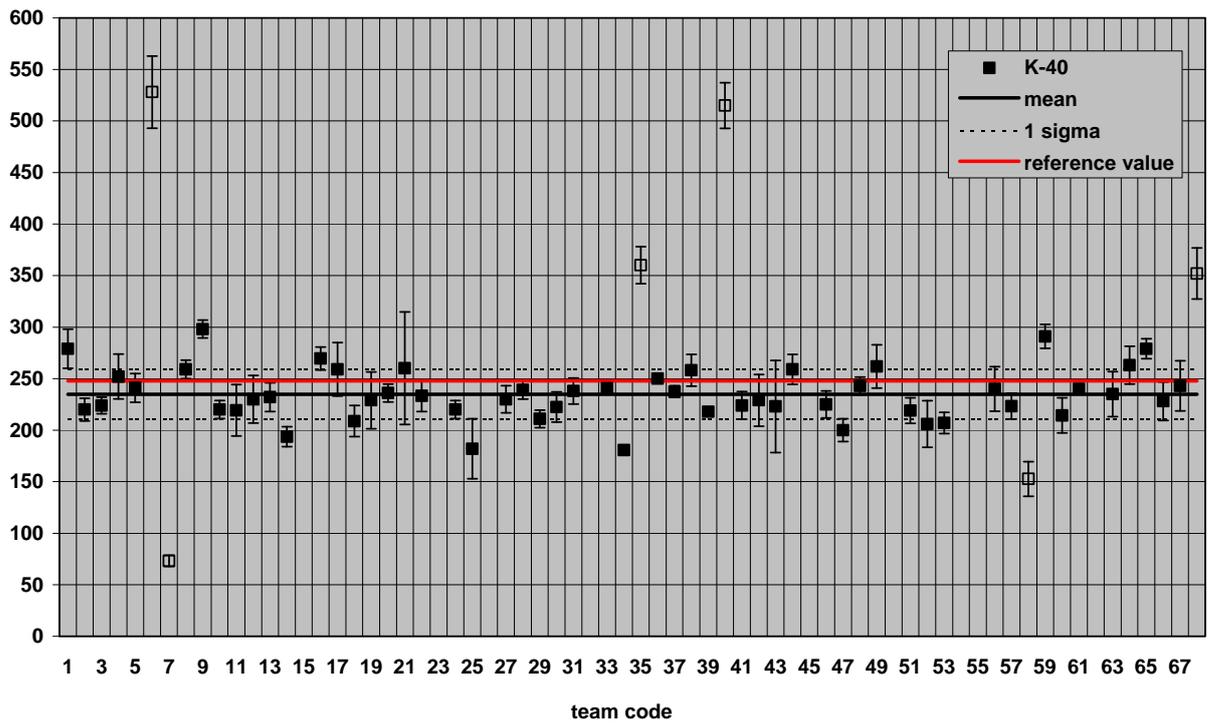
Reust A3: ^{208}Tl (2614 keV) in Bq/kg



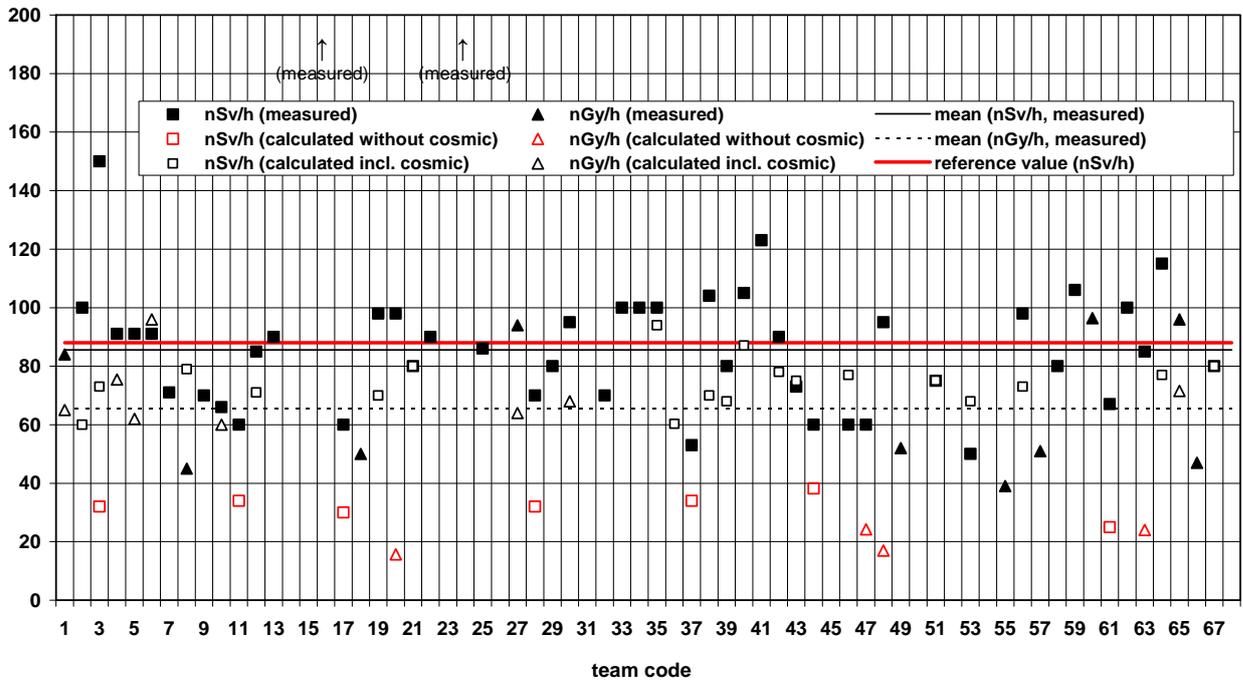
Reust A3: ^{212}Pb (239 keV) in Bq/kg



Reust A3: ^{40}K (1461 keV) in Bq/kg

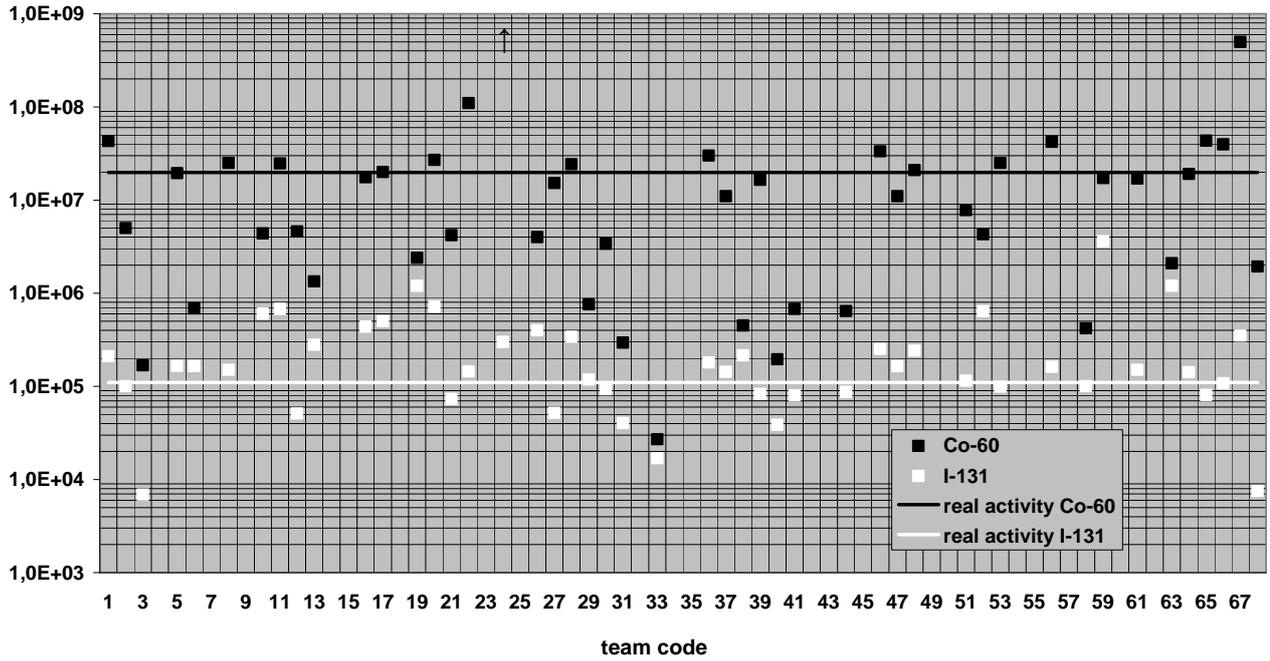


Reust A3: dose rate

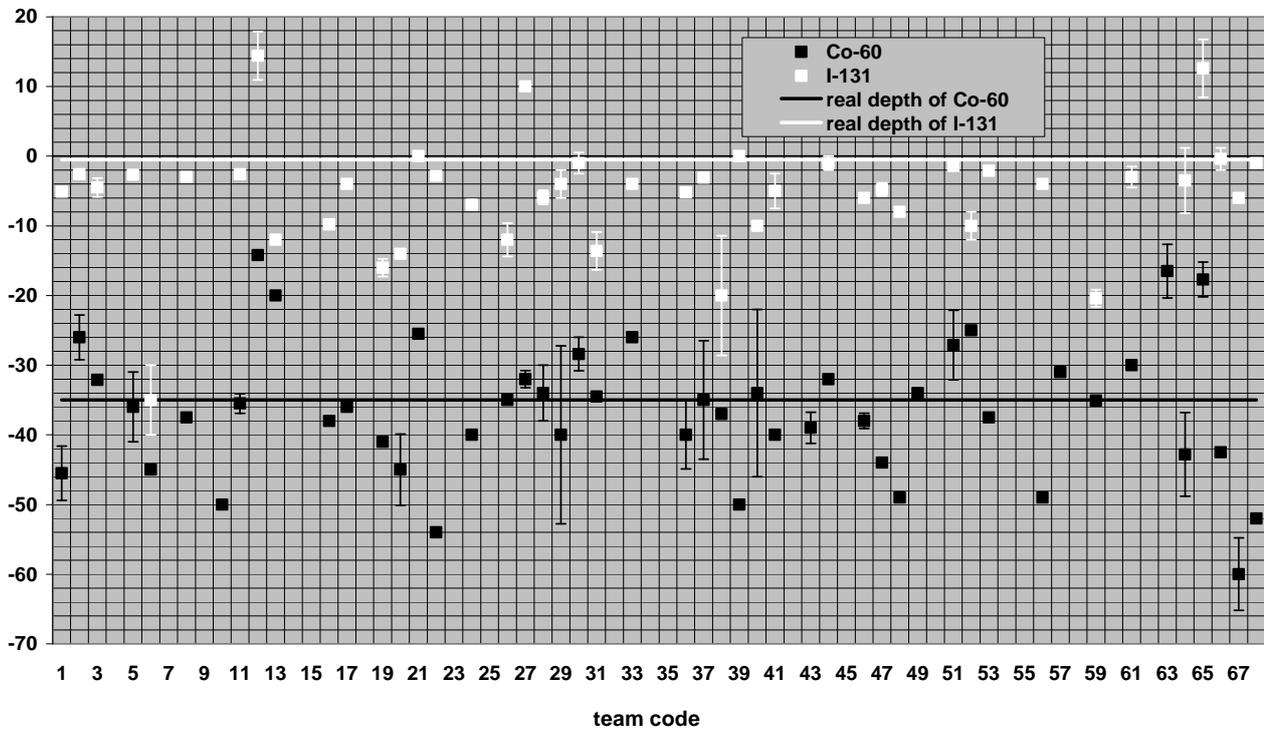


ANHANG RB1

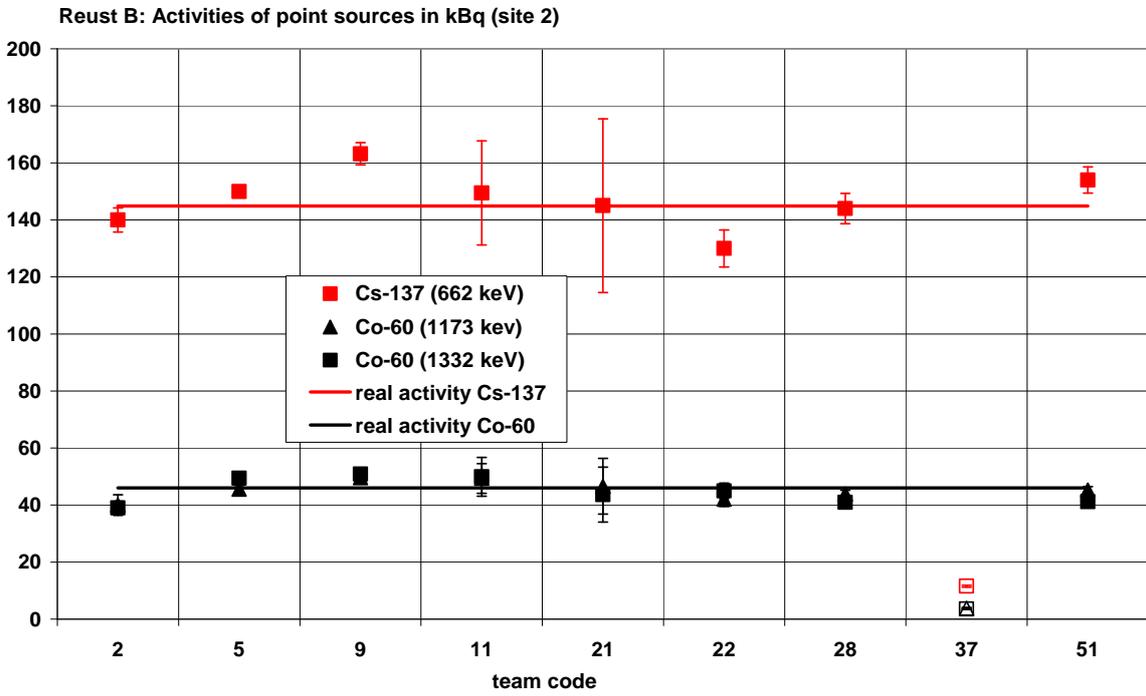
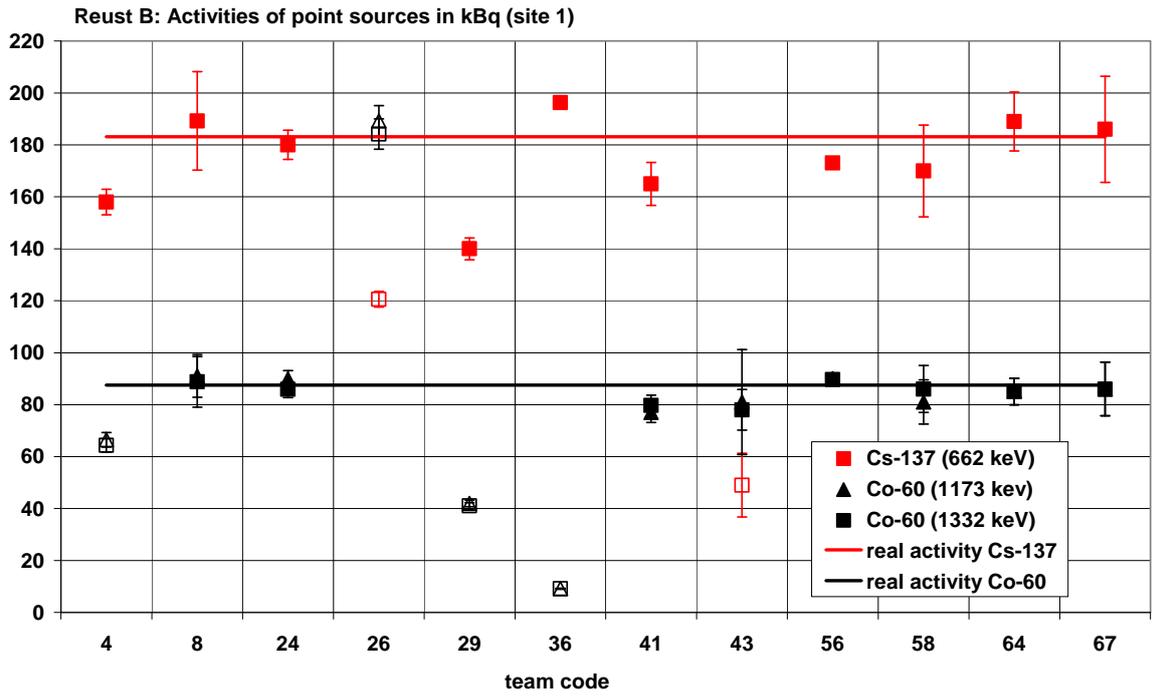
Reust B: Activities of buried sources in Bq



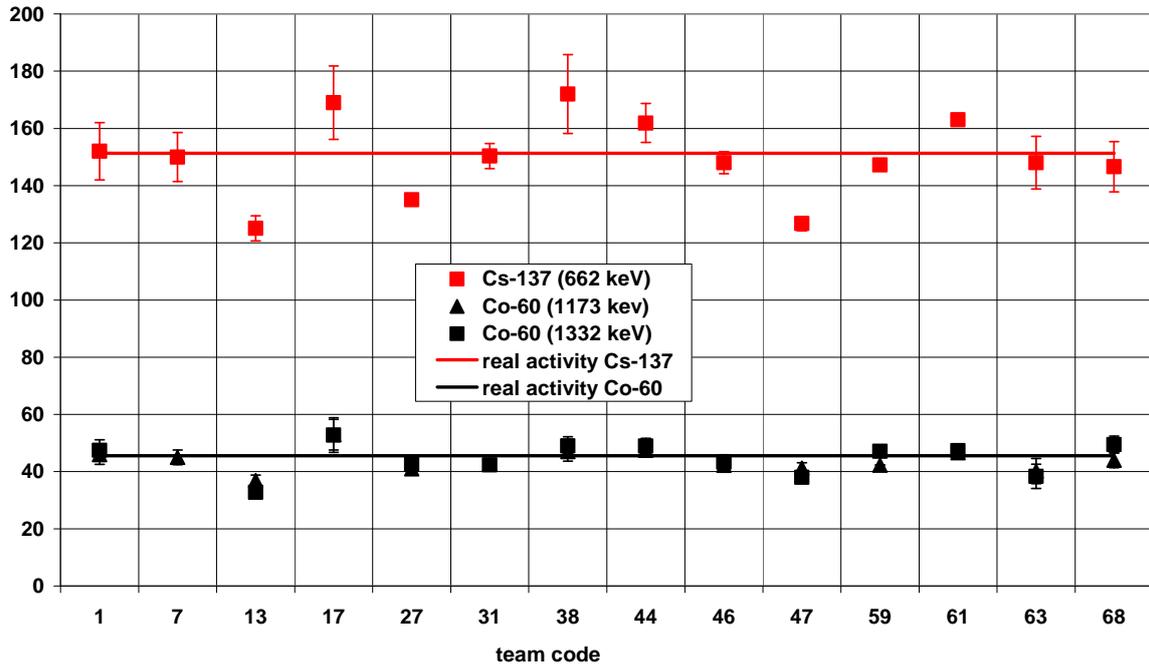
Reust B: Depth of buried sources in cm



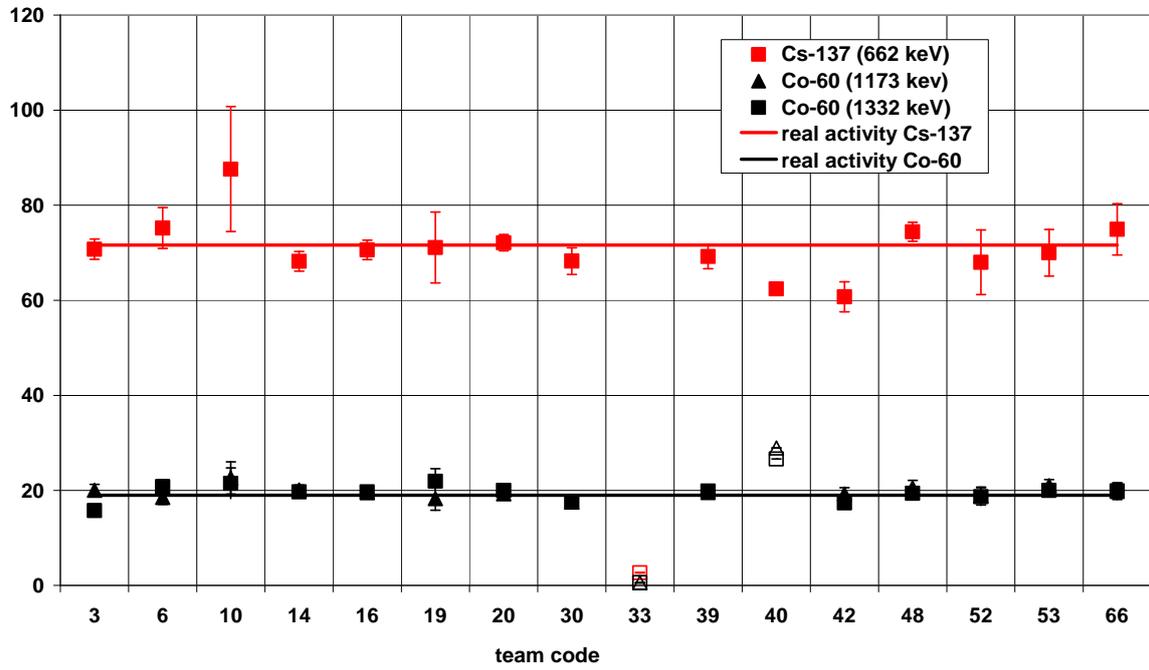
ANHANG RB2



Reust B: Activities of point sources in kBq (site 3)

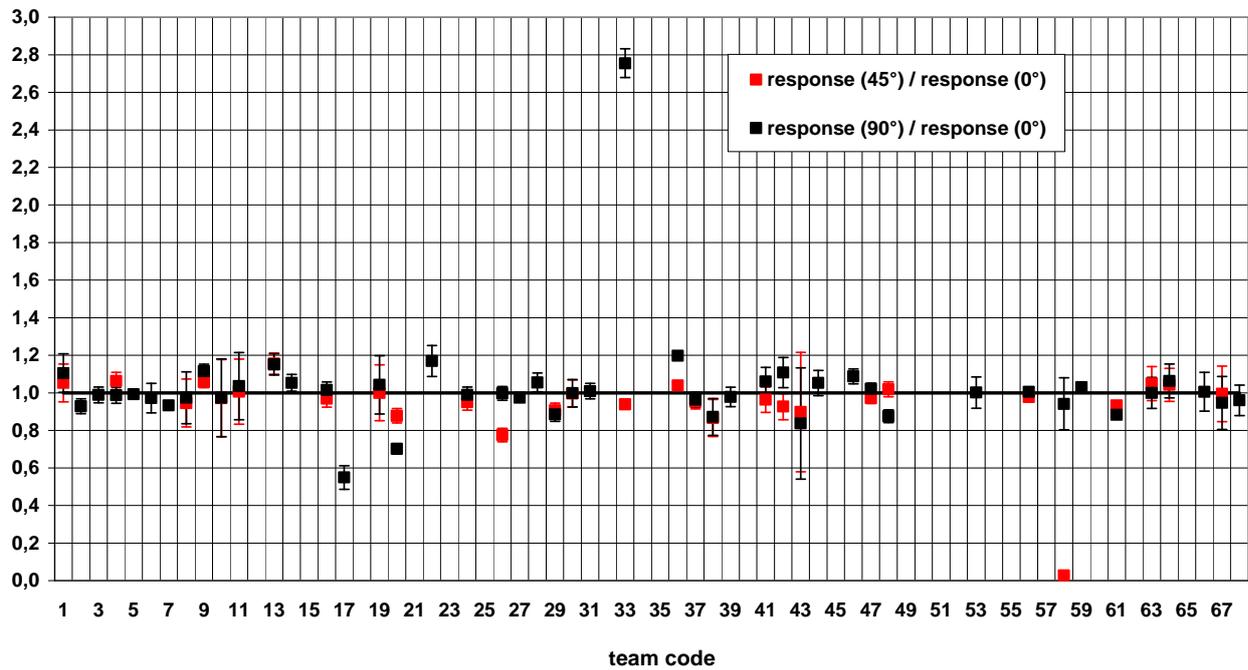


ReustB: Activities of point sources in kBq (site 4)

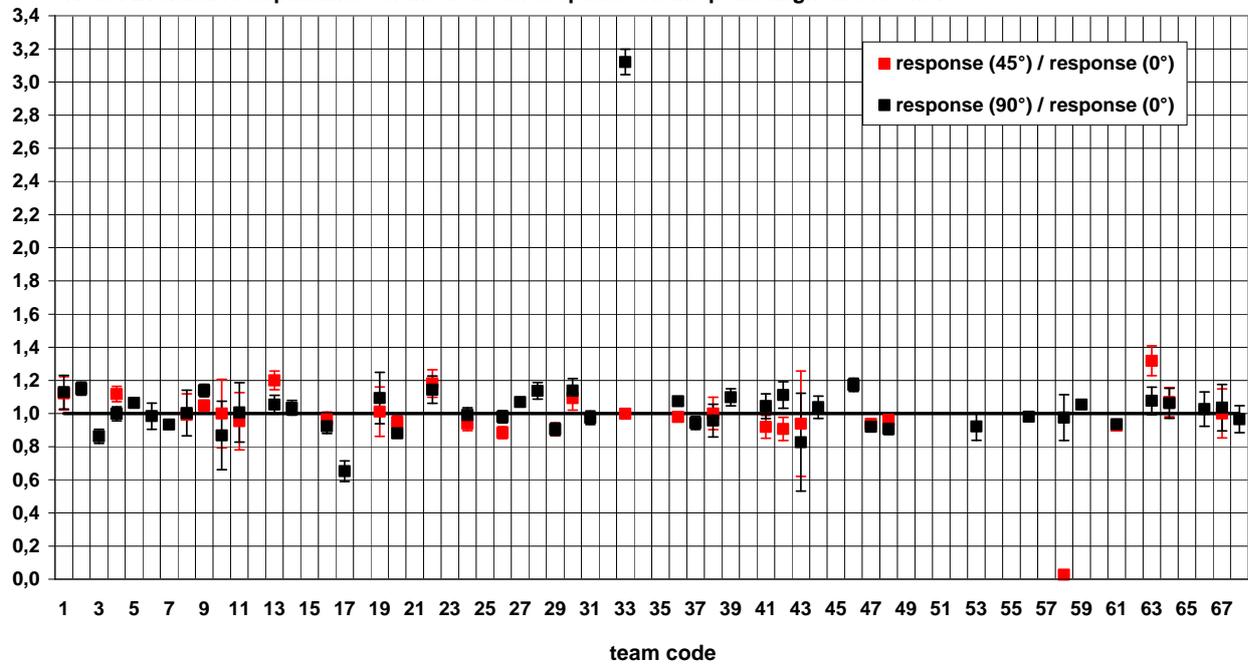


ANHANG RB3

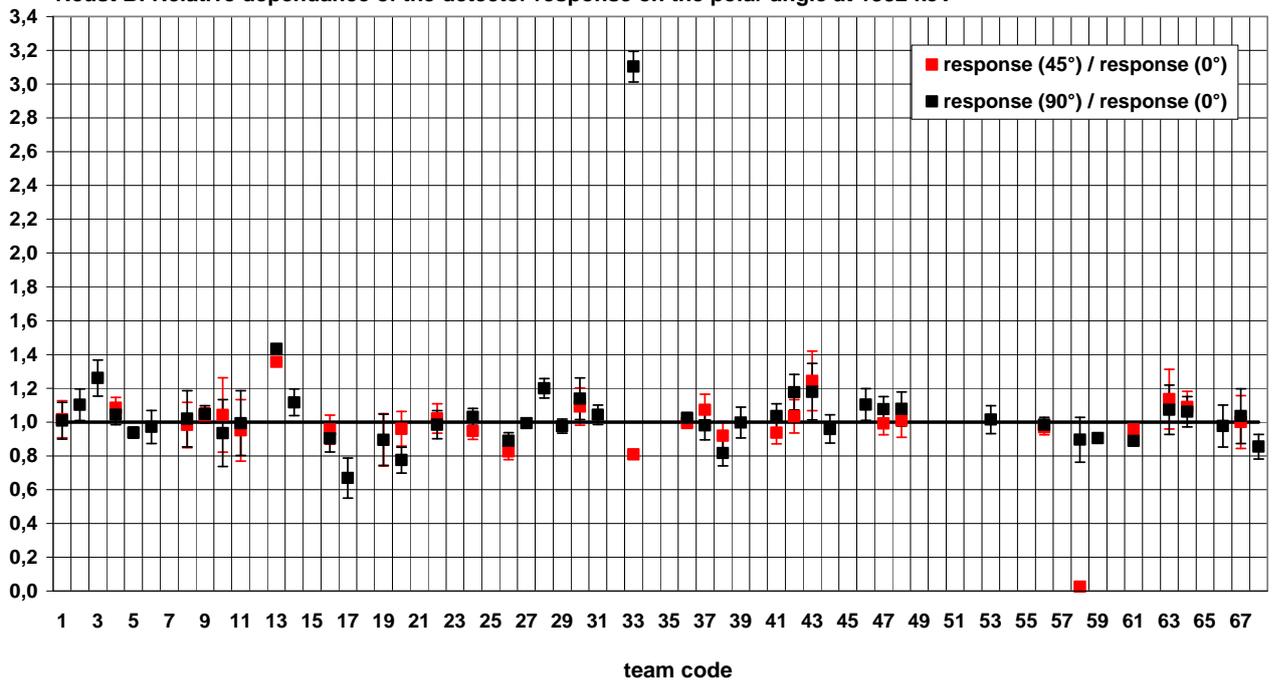
Reust B: Relative dependance of the detector response on the polar angle at 662 keV



Reust B: Relative dependance of the detector response on the polar angle at 1173 keV

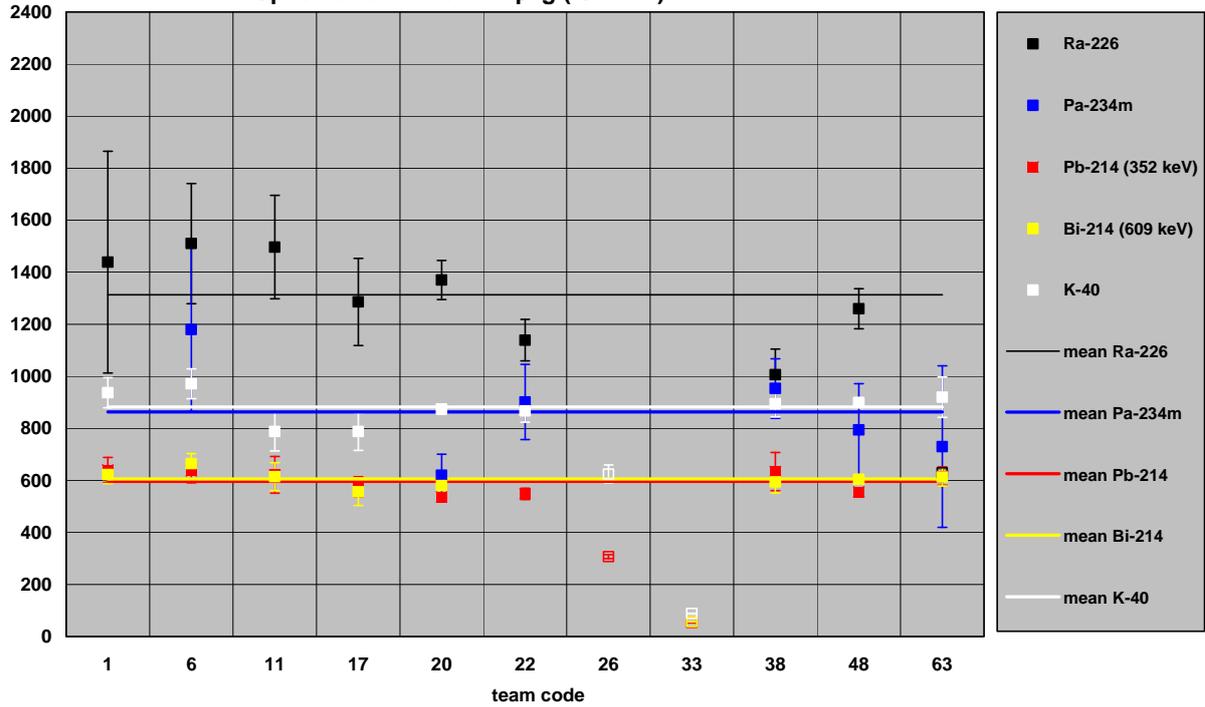


Reust B: Relative dependance of the detector response on the polar angle at 1332 keV

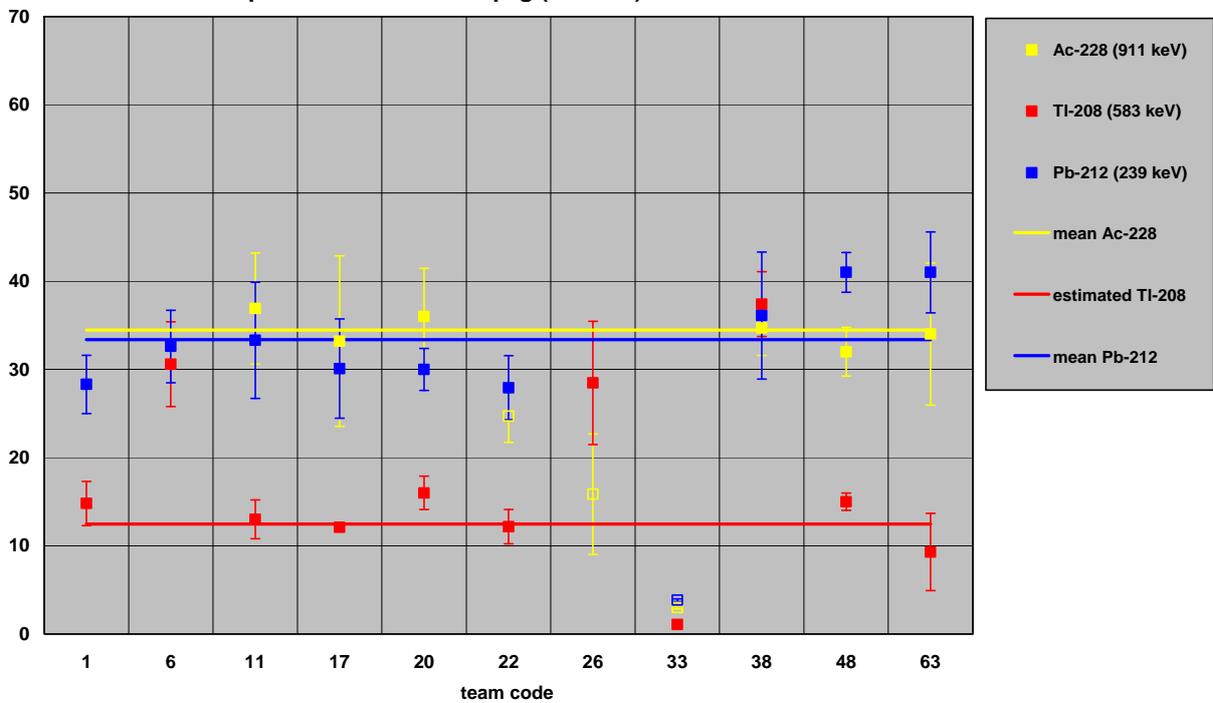


ANHANG DH1

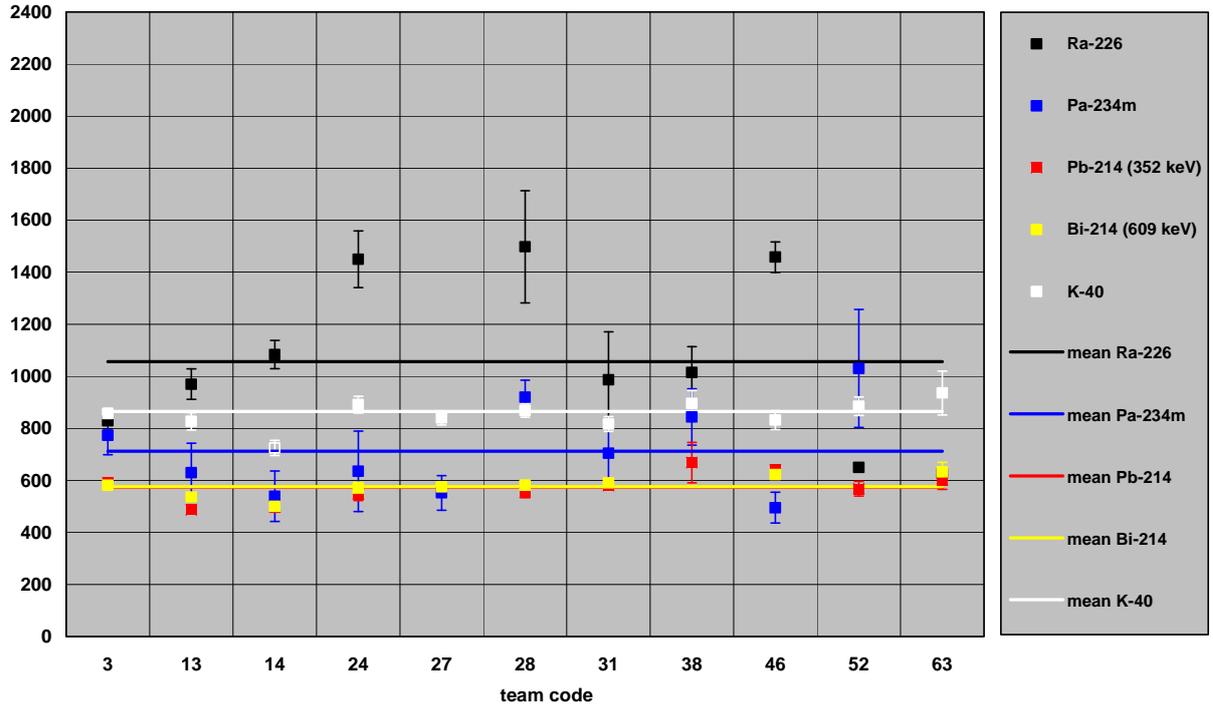
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 1)



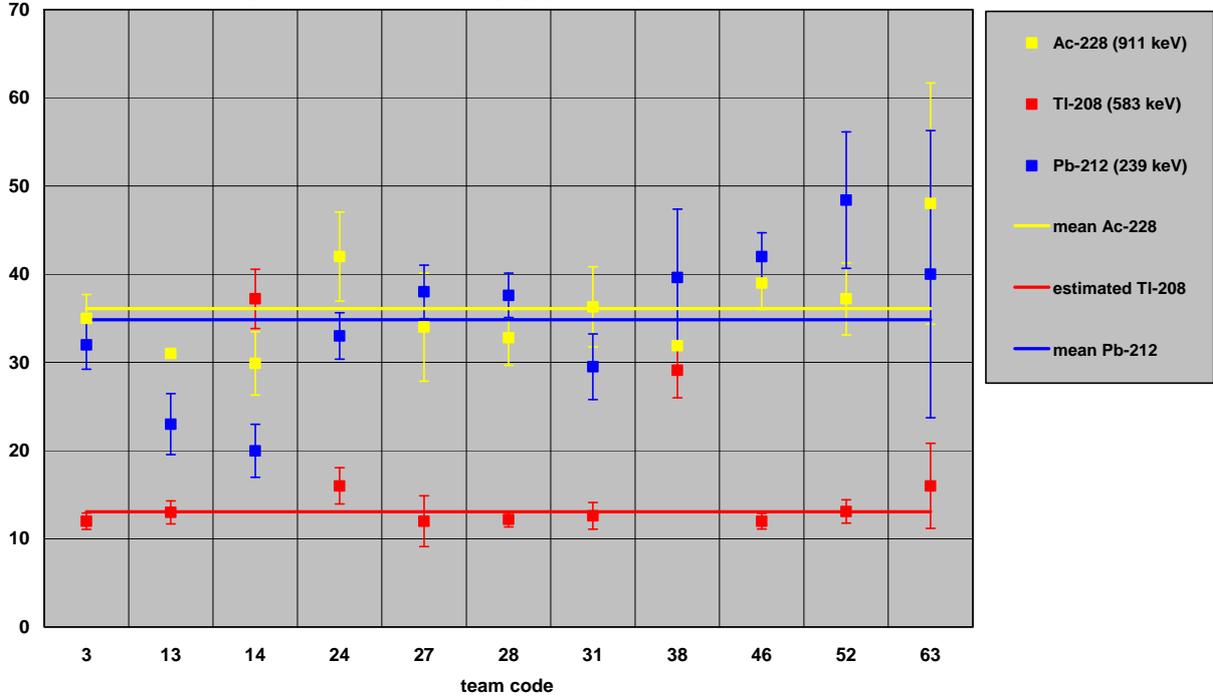
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 1)



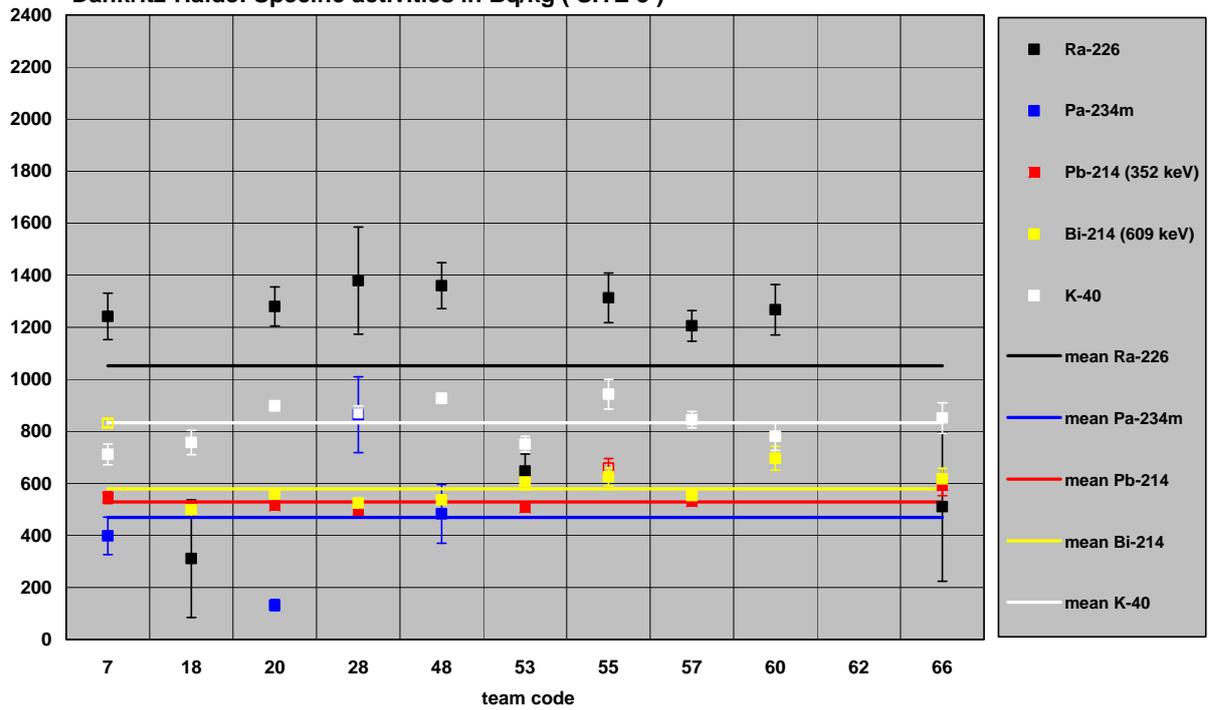
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 2)



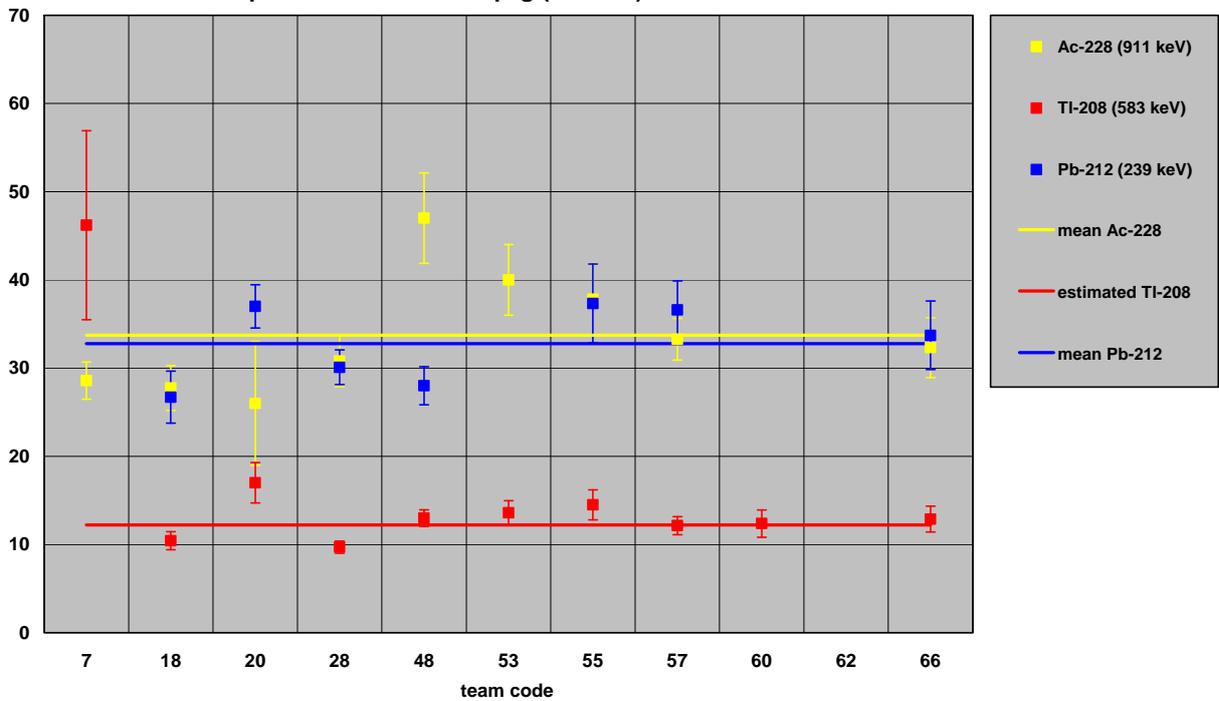
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 2)



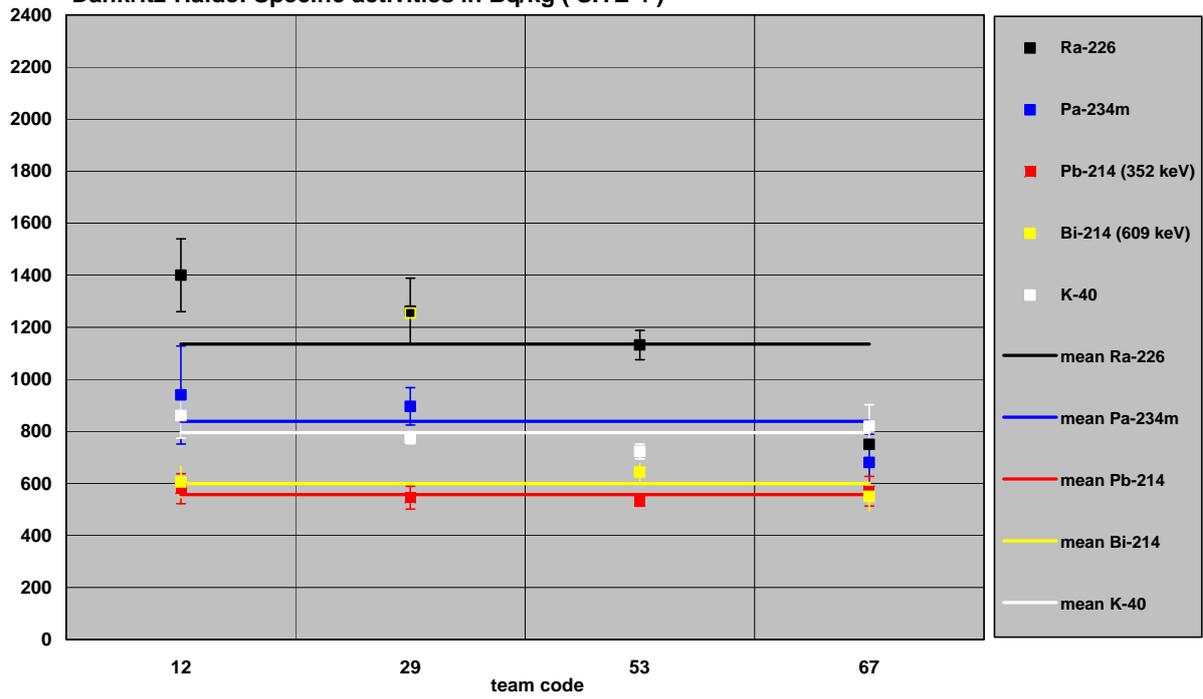
Dänkriz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 3)



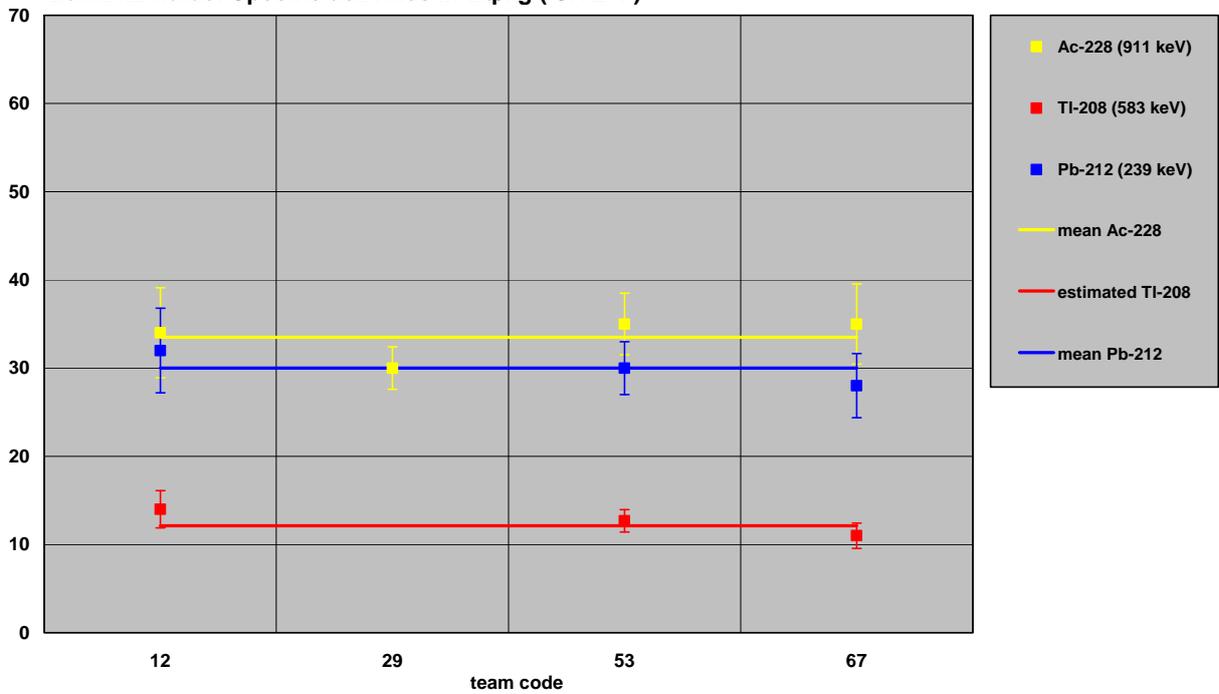
Dänkriz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 3)



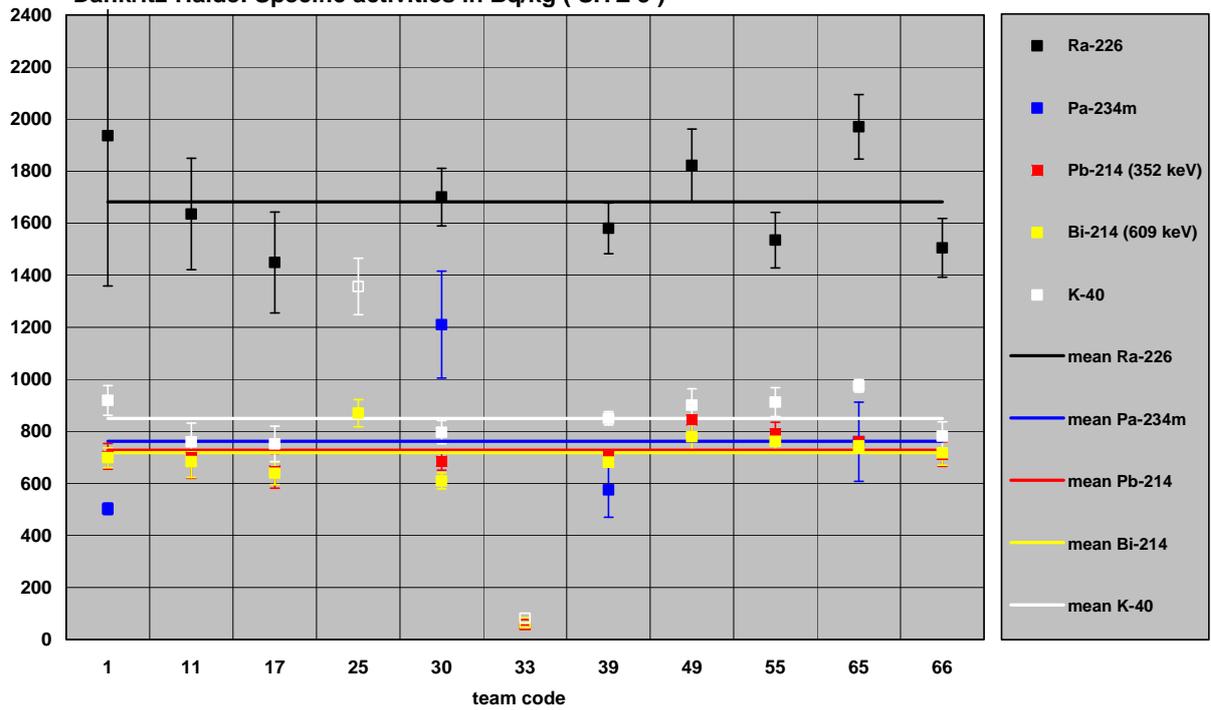
Dänkriz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 4)



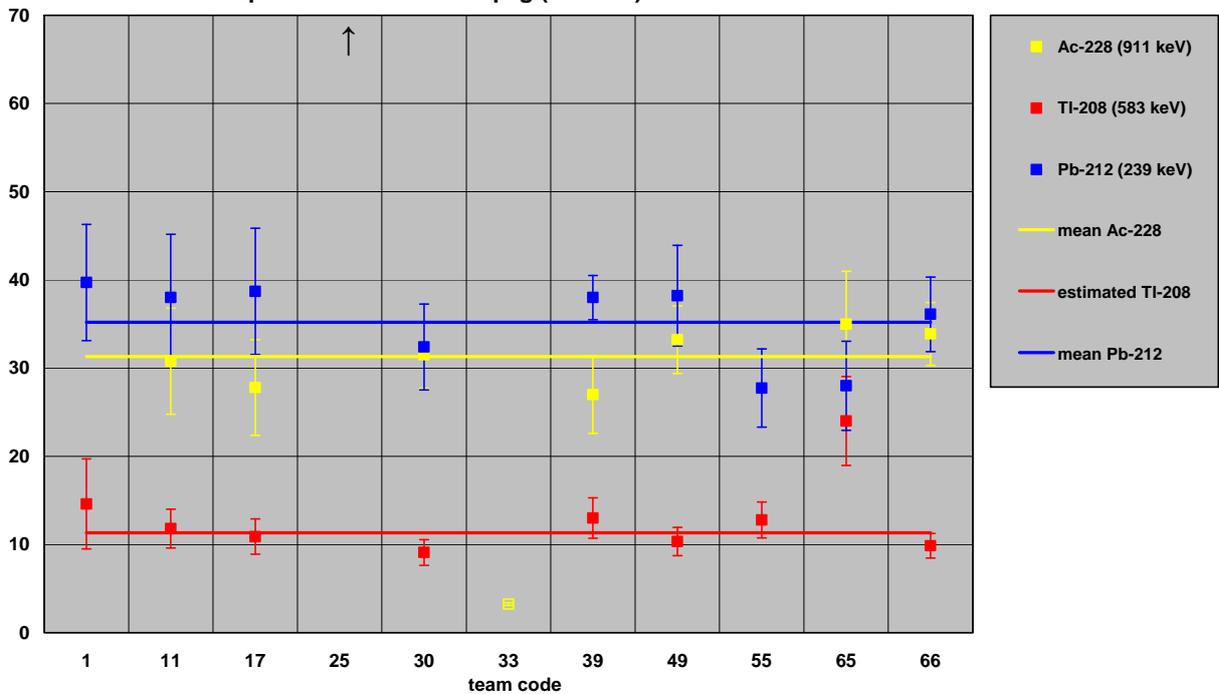
Dänkriz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 4)



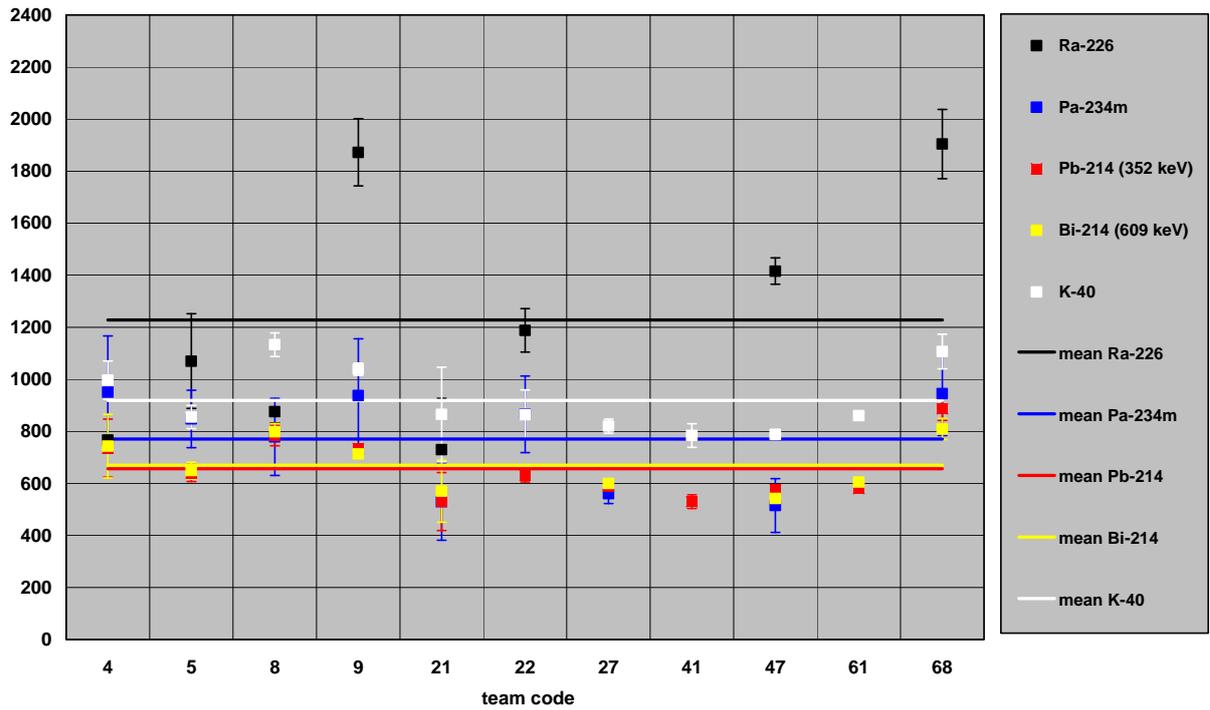
Dänkriz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 5)



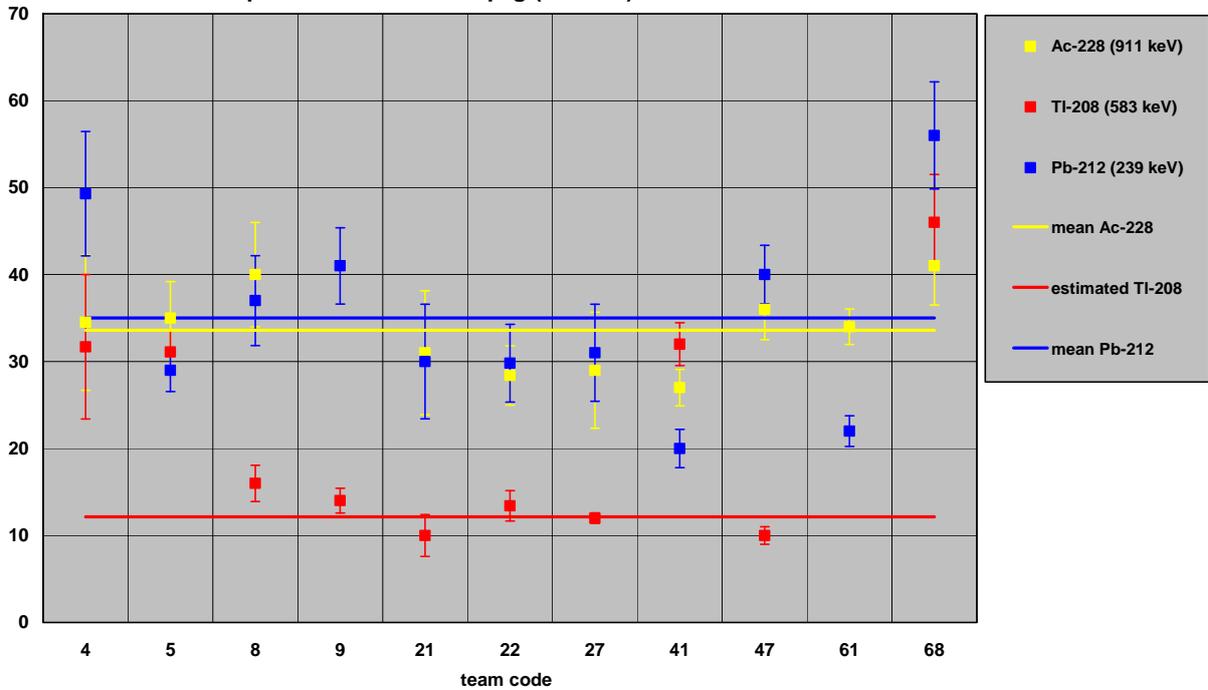
Dänkriz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 5)



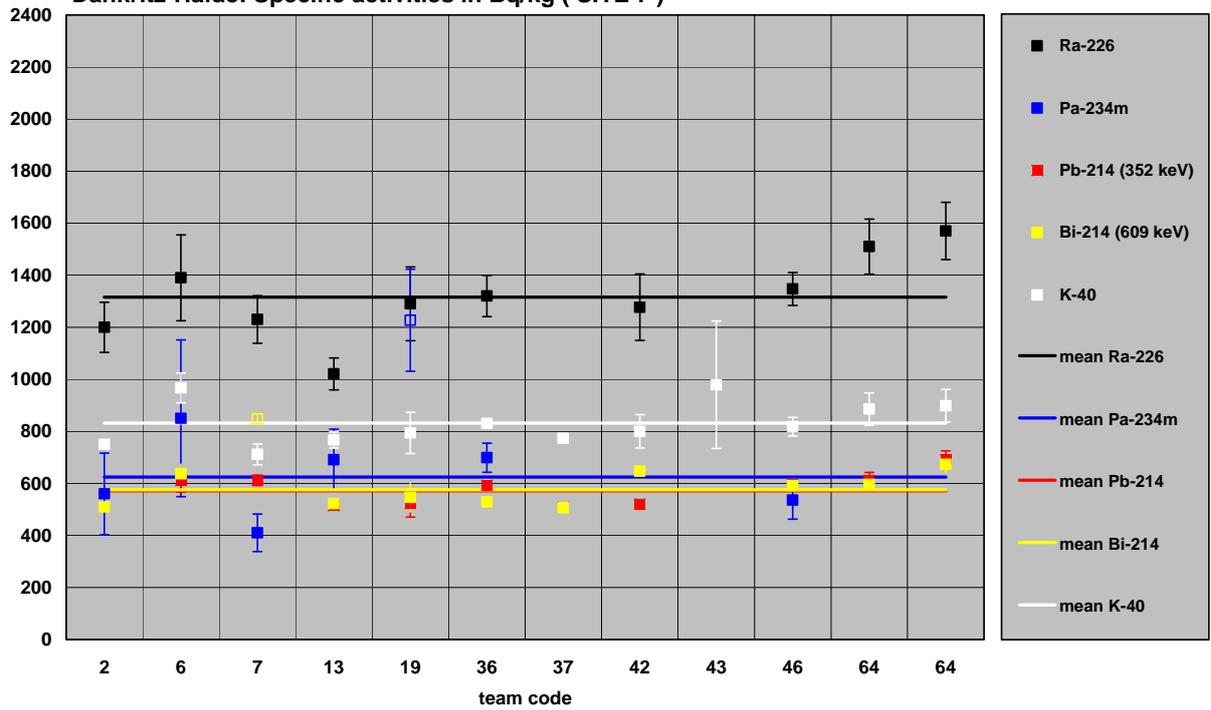
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 6)



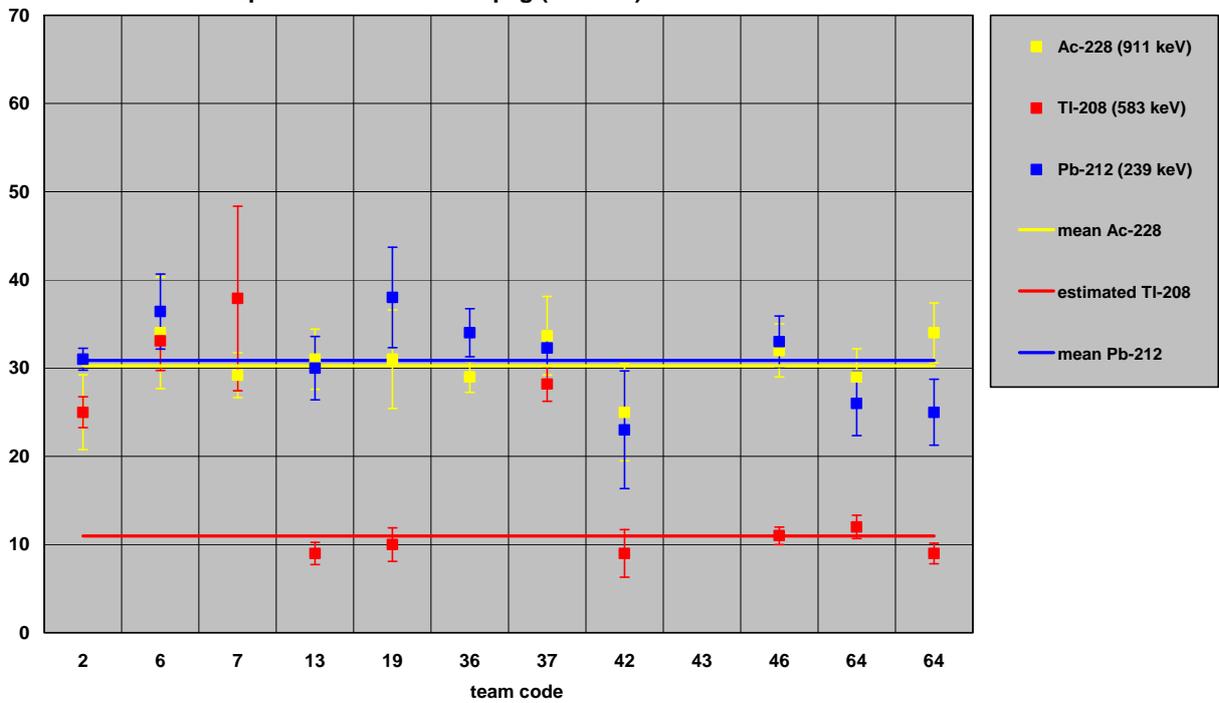
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 6)



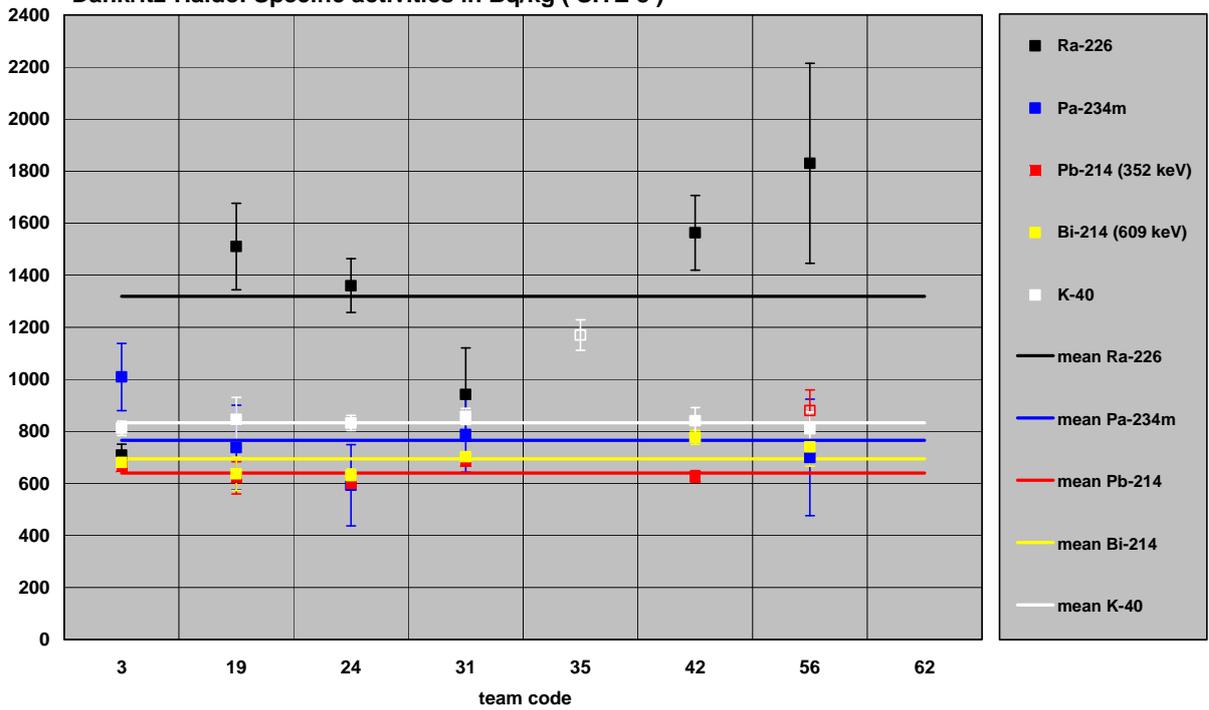
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 7)



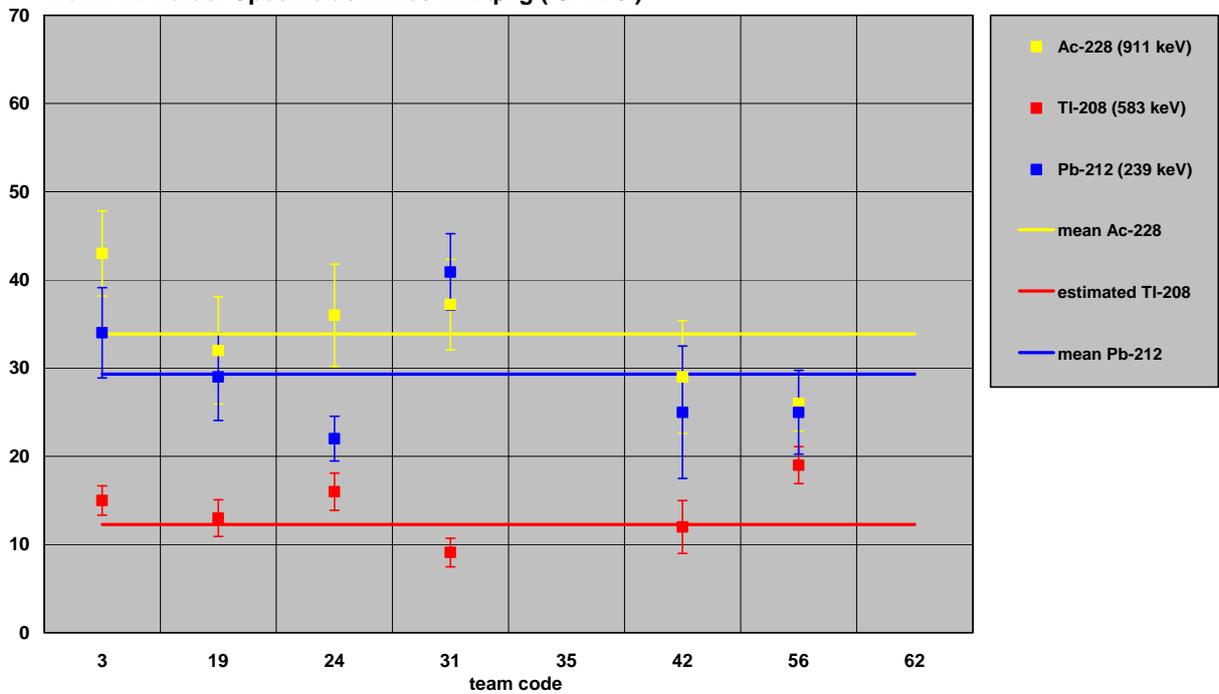
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 7)



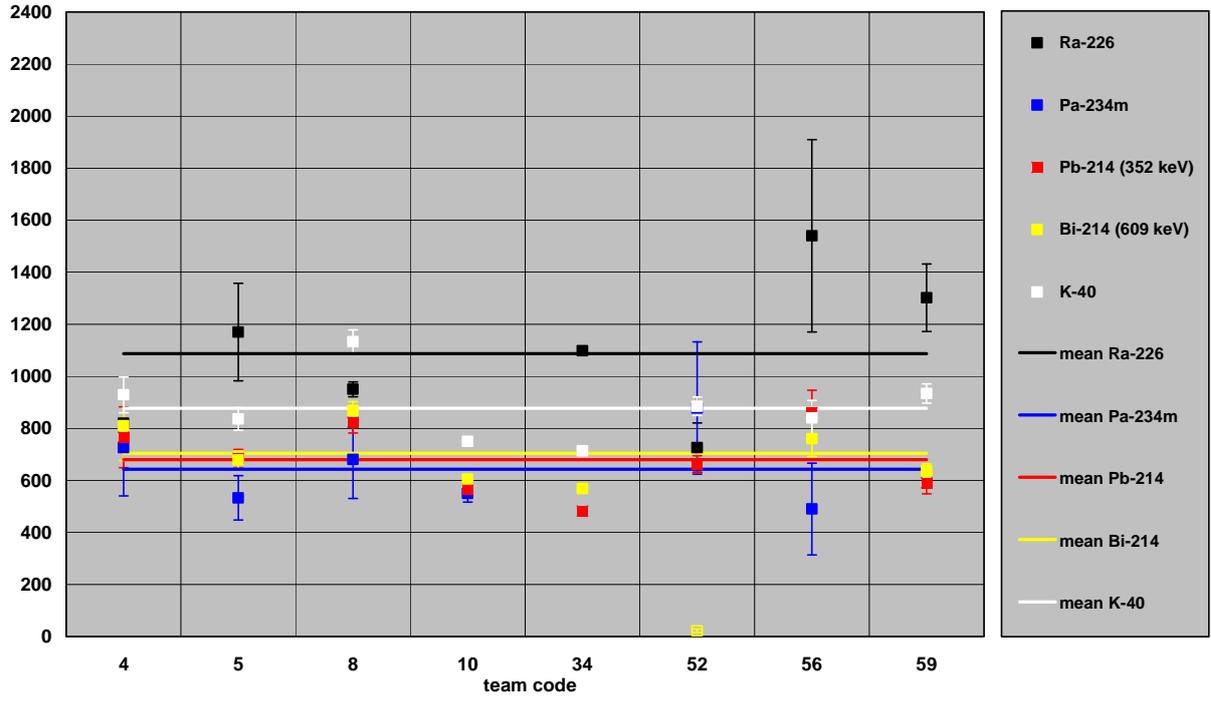
Dänkritz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 8)



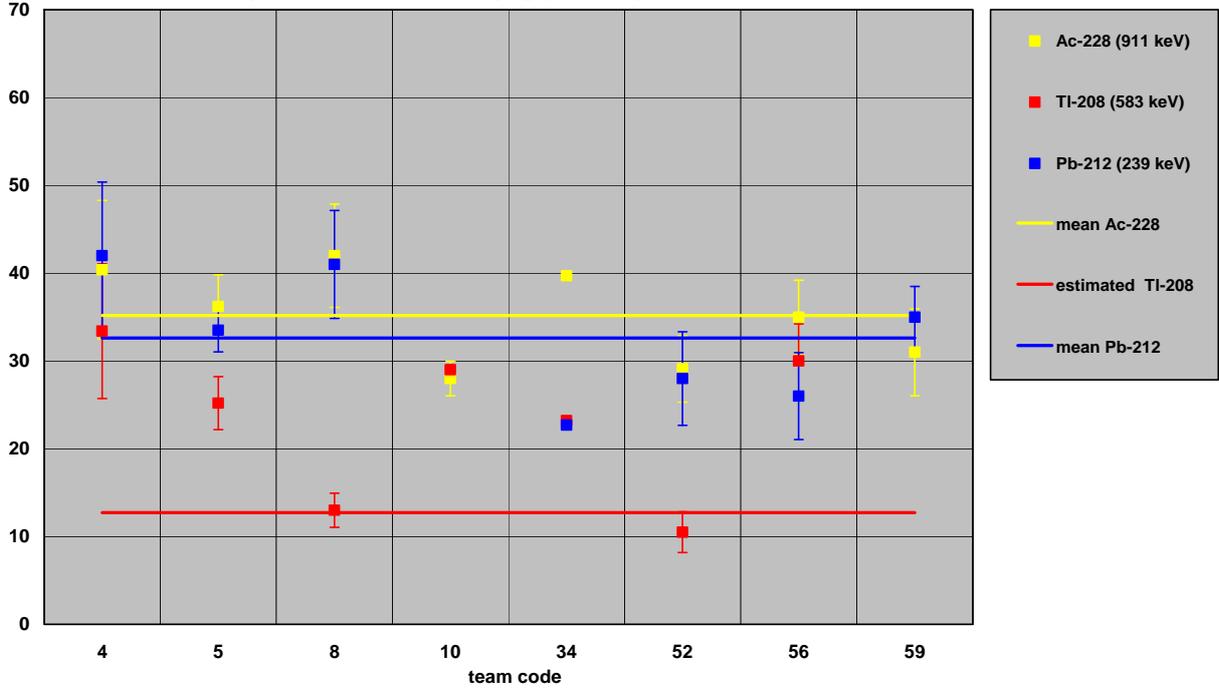
Dänkritz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 8)



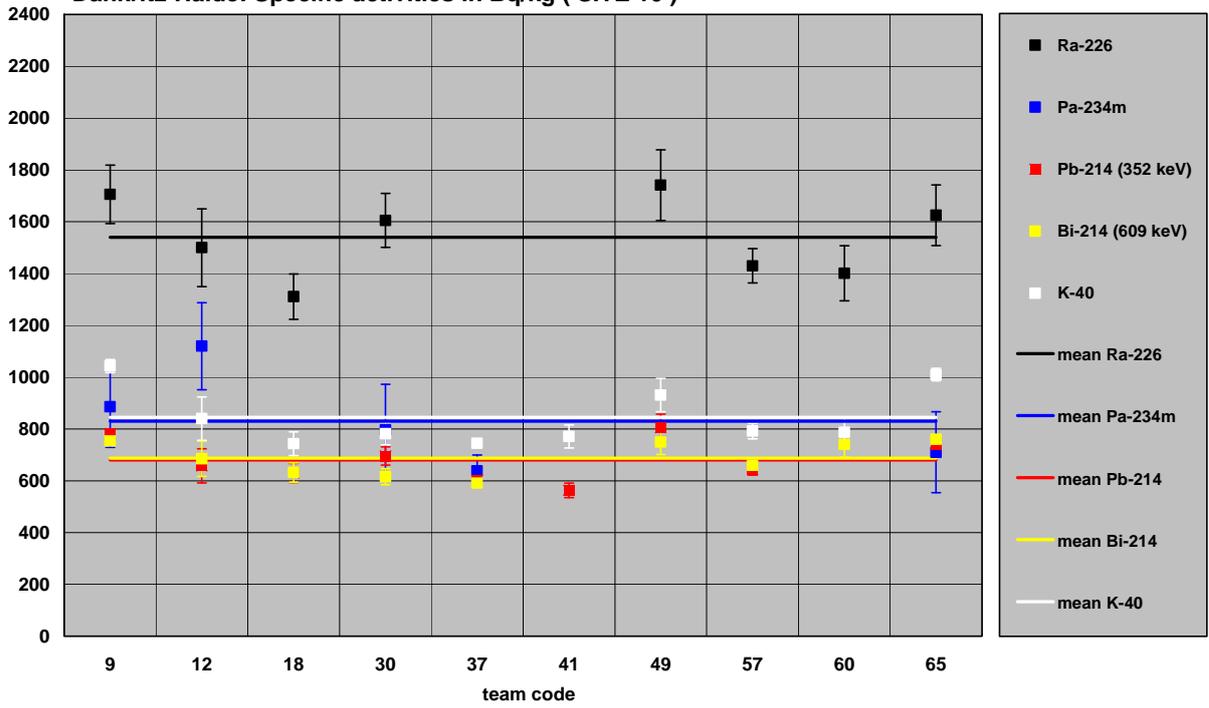
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 9)



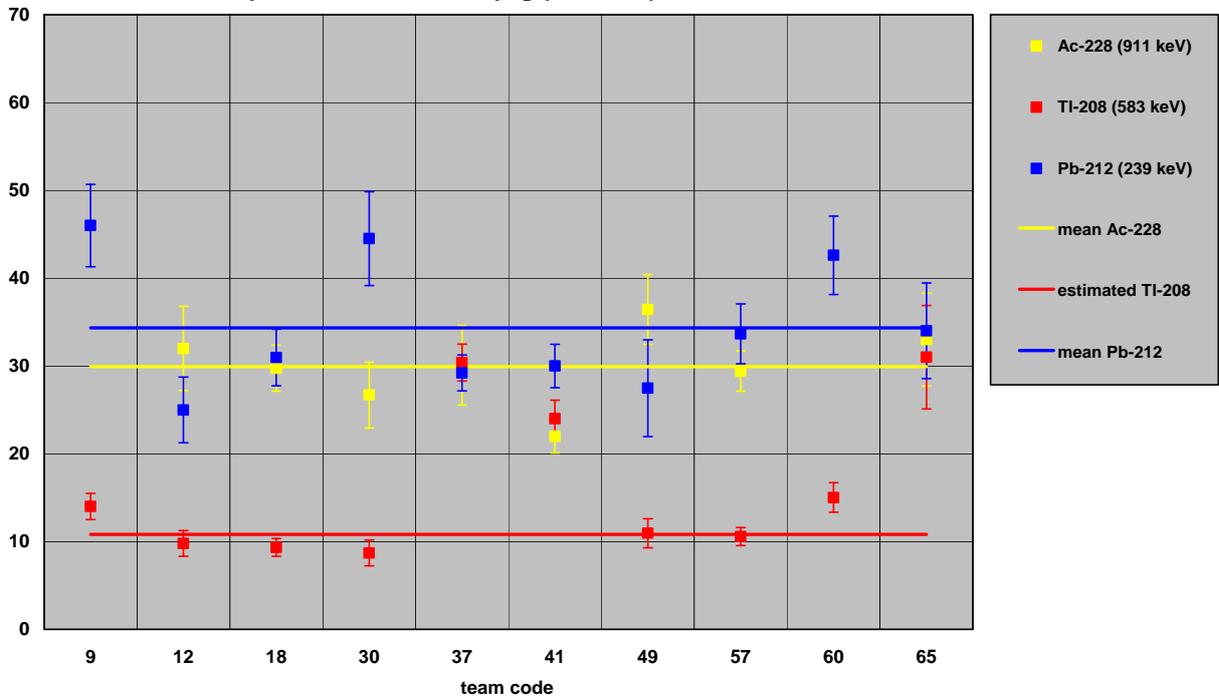
Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 9)

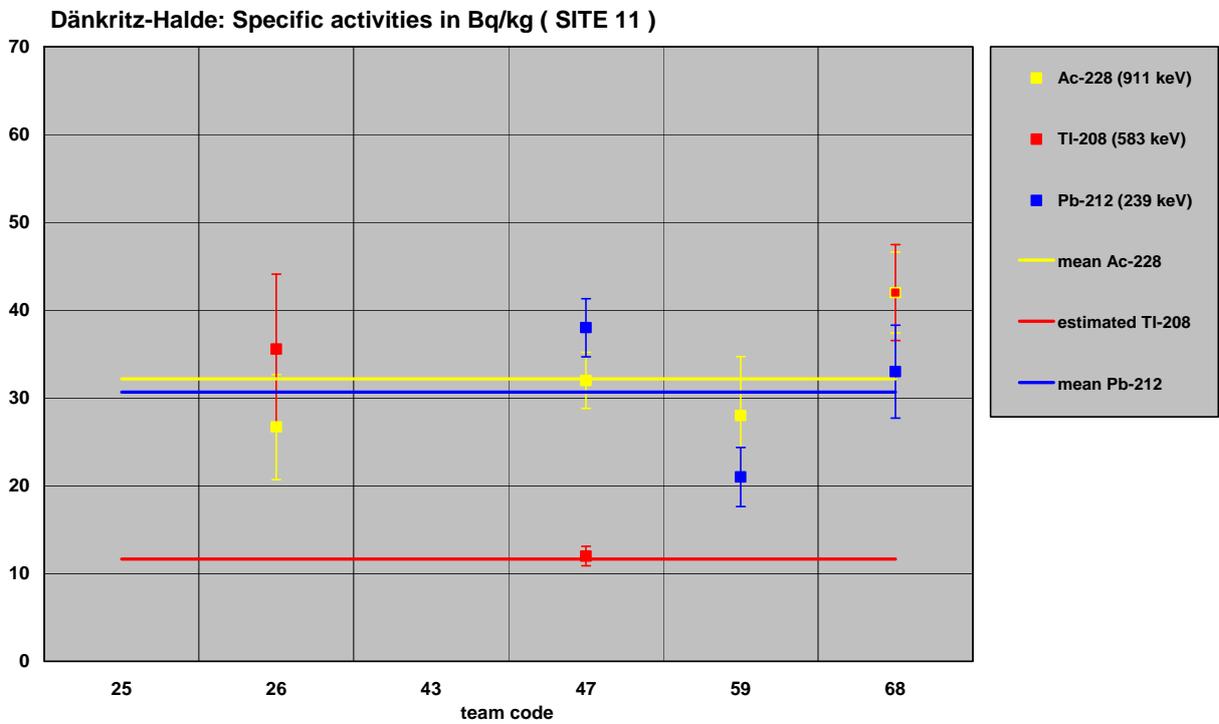
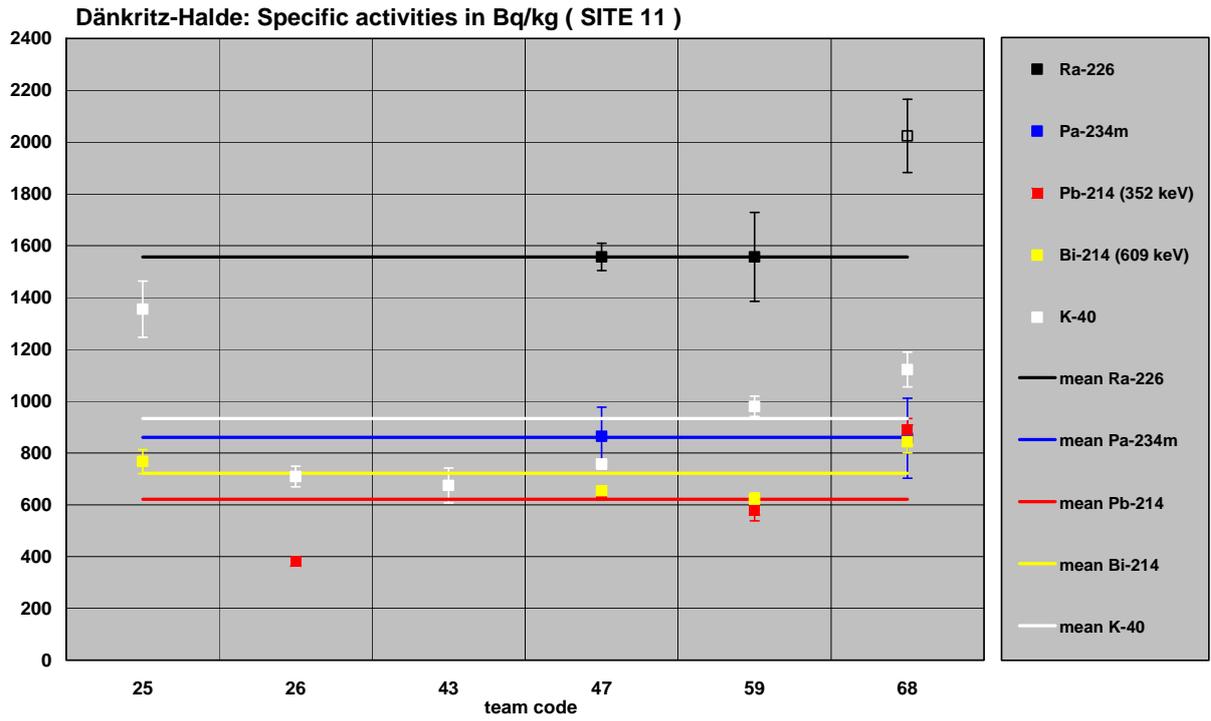


Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 10)

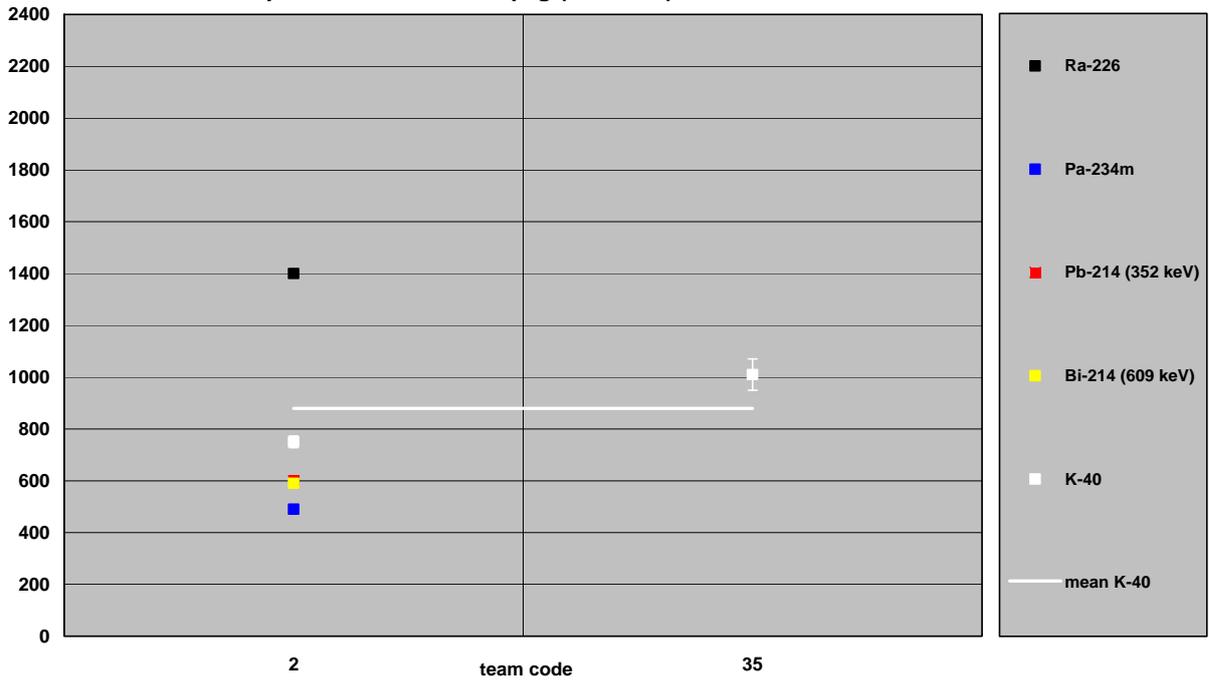


Dänkrizt-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 10)

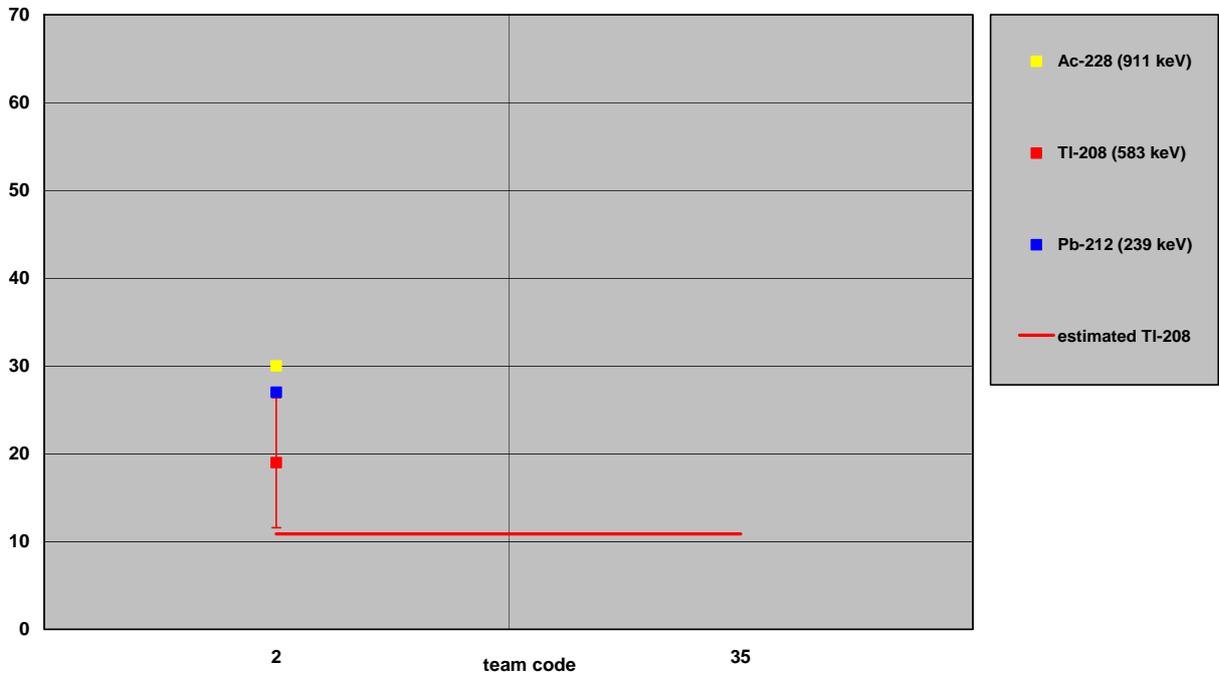




Dänkritz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 12)

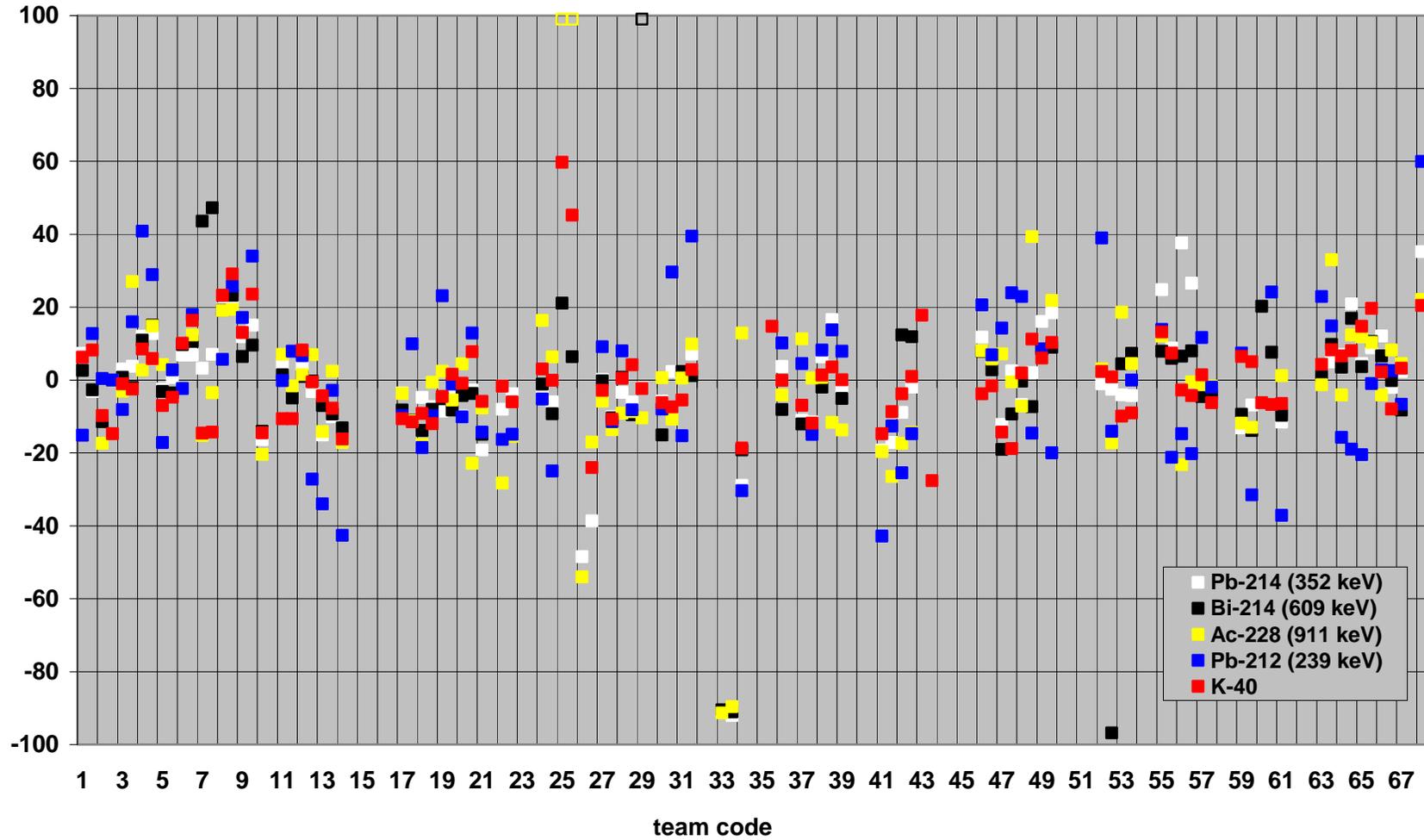


Dänkritz-Halde: Specific activities in Bq/kg (SITE 12)

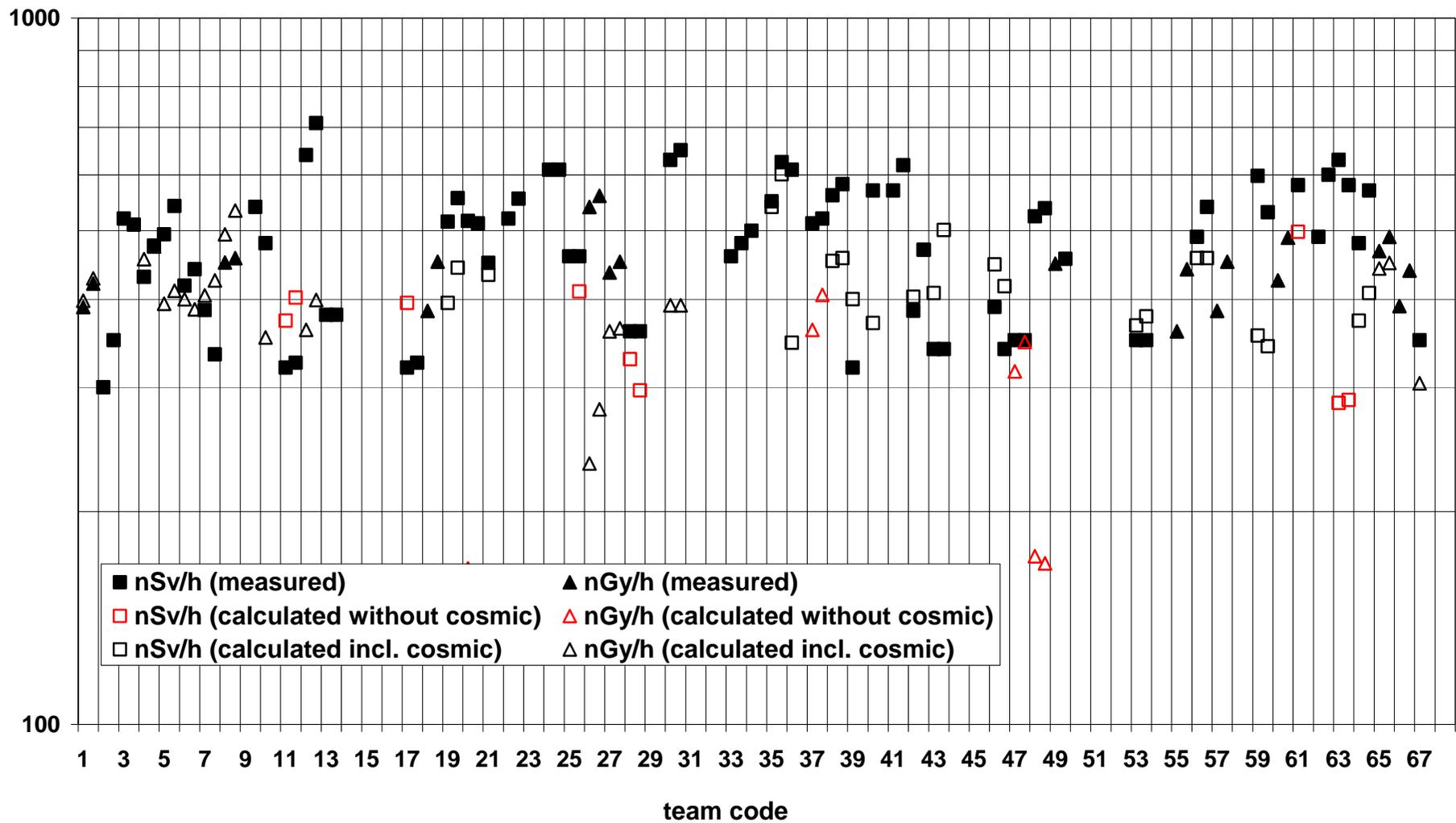


ANHANG DH2

Dänkritz-Halde: Relative difference to the site mean value in %

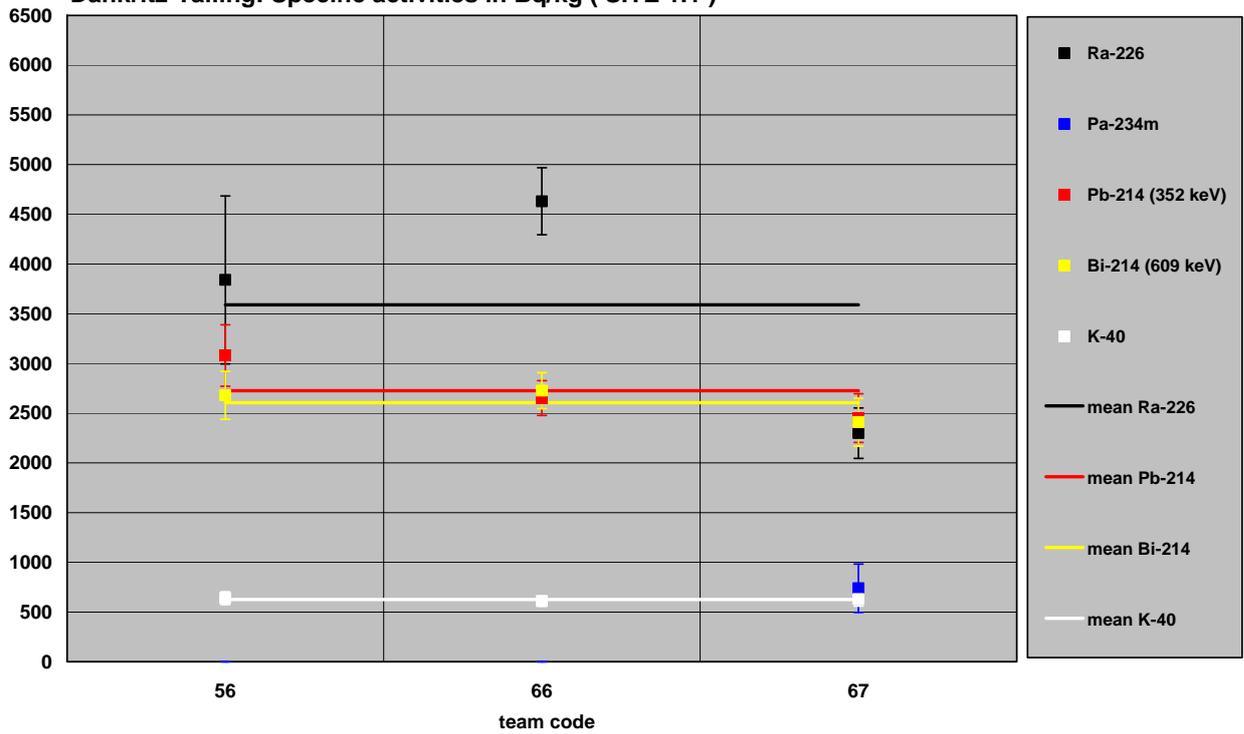


Dänkriz-Halde: Dose rate

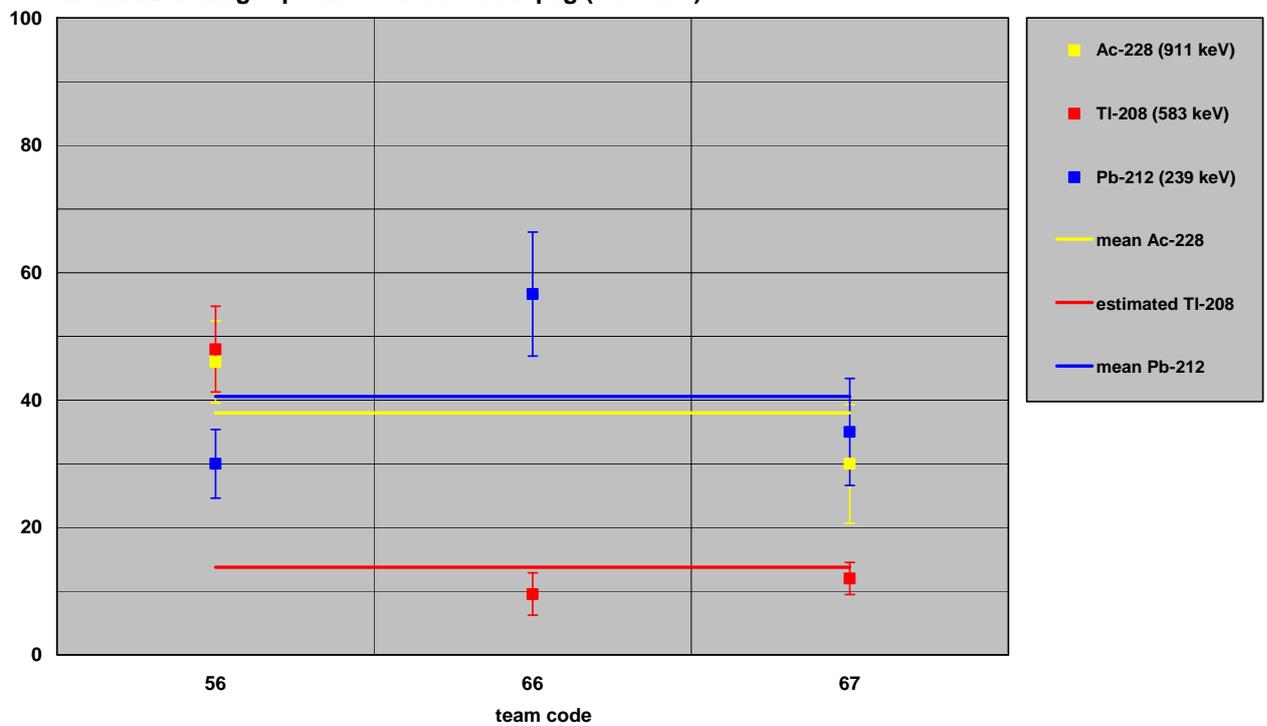


ANHANG DT1

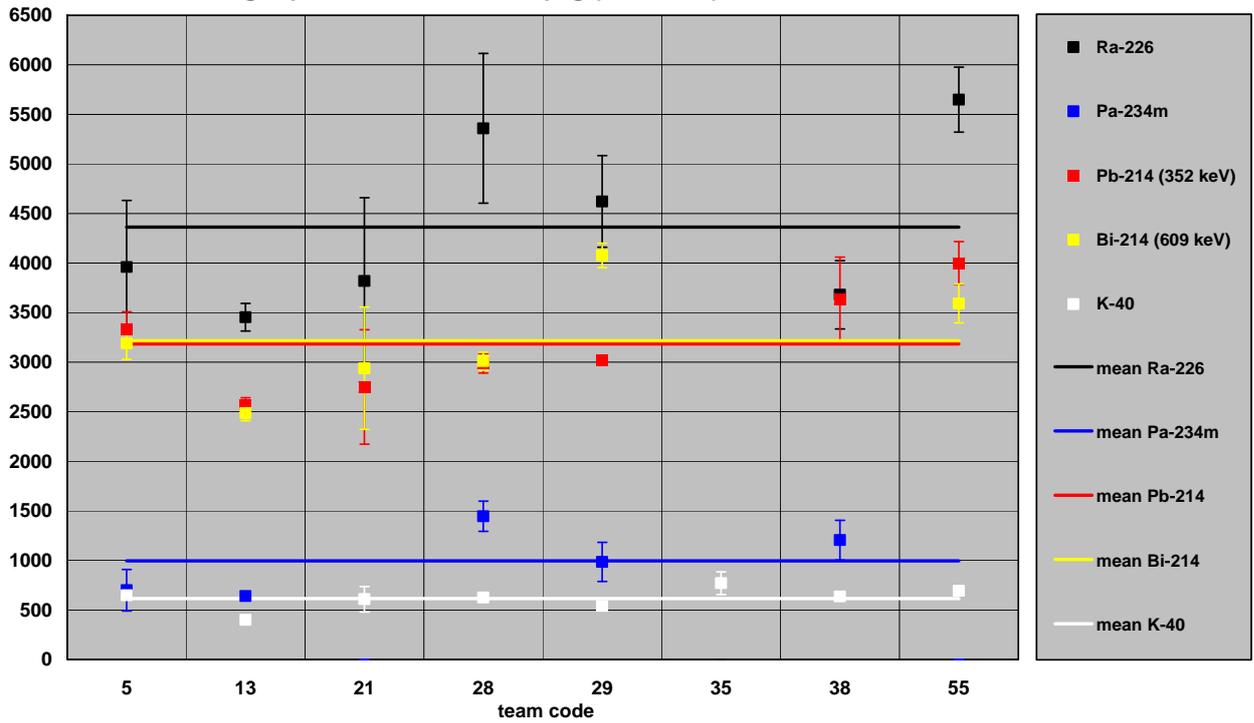
Dänkritz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 1.1)



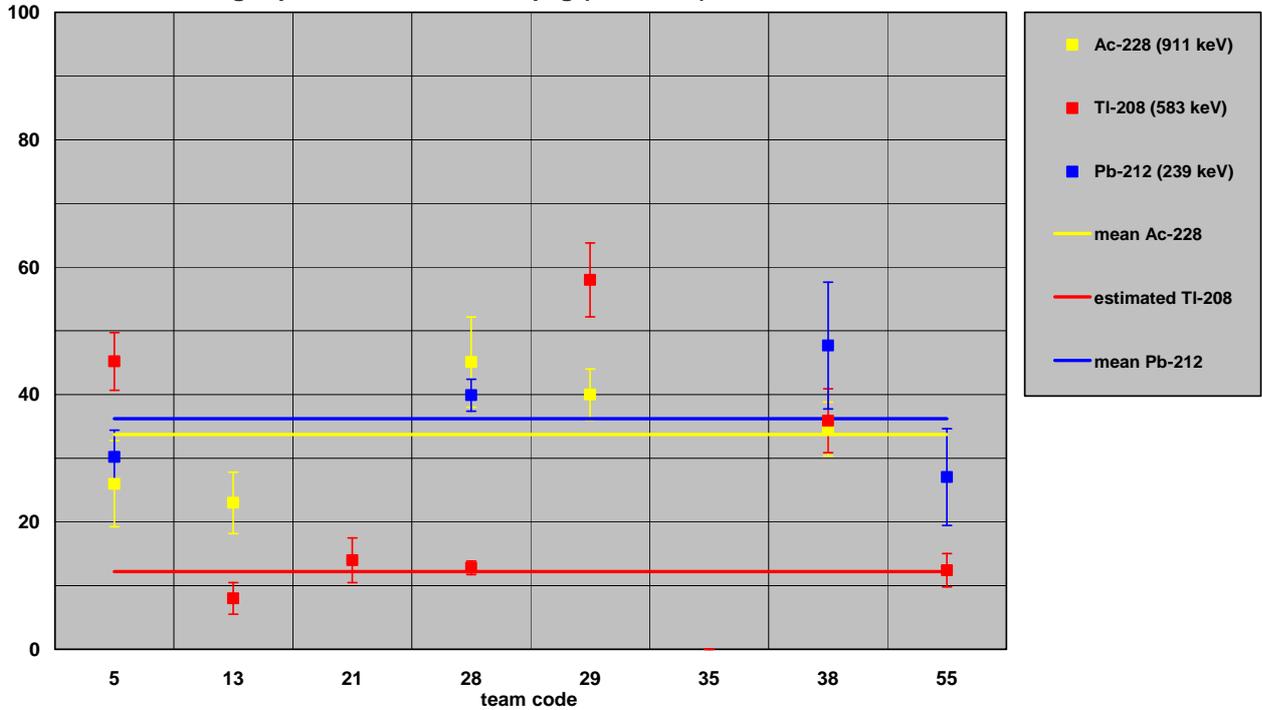
Dänkritz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (Site 1.1)

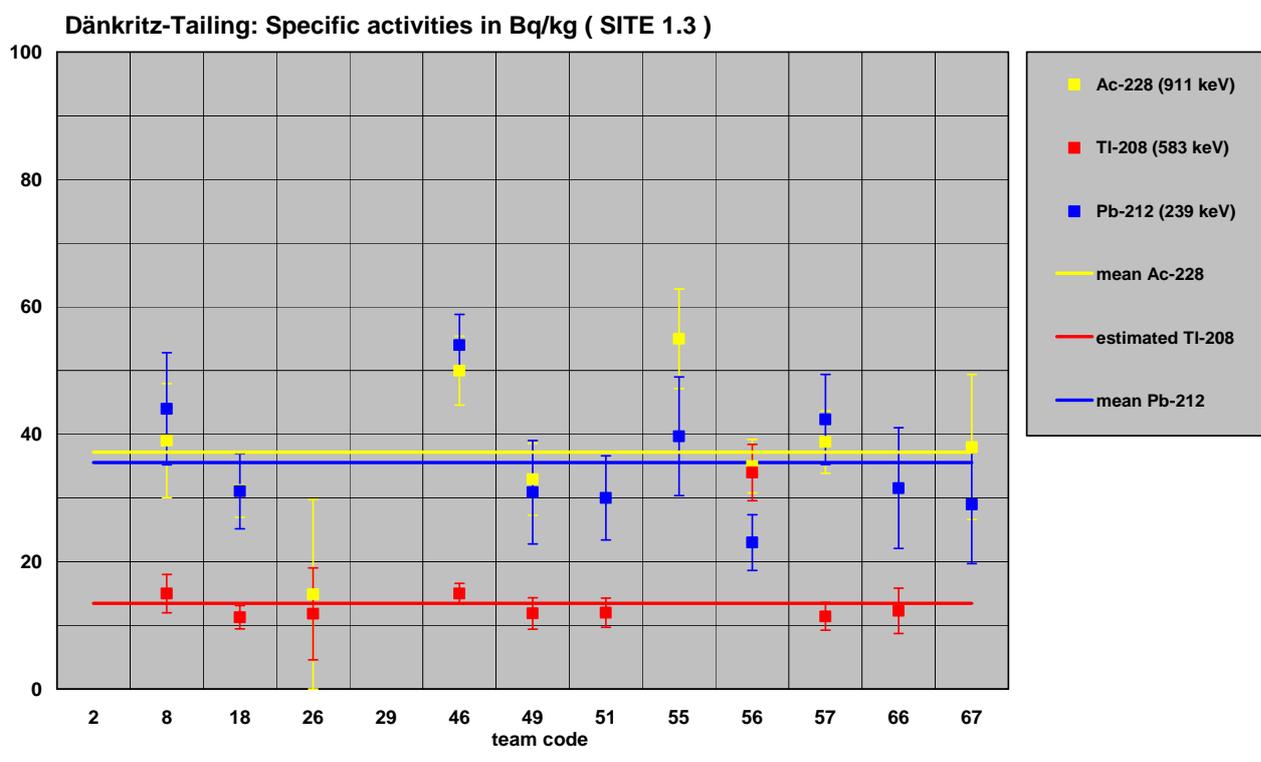
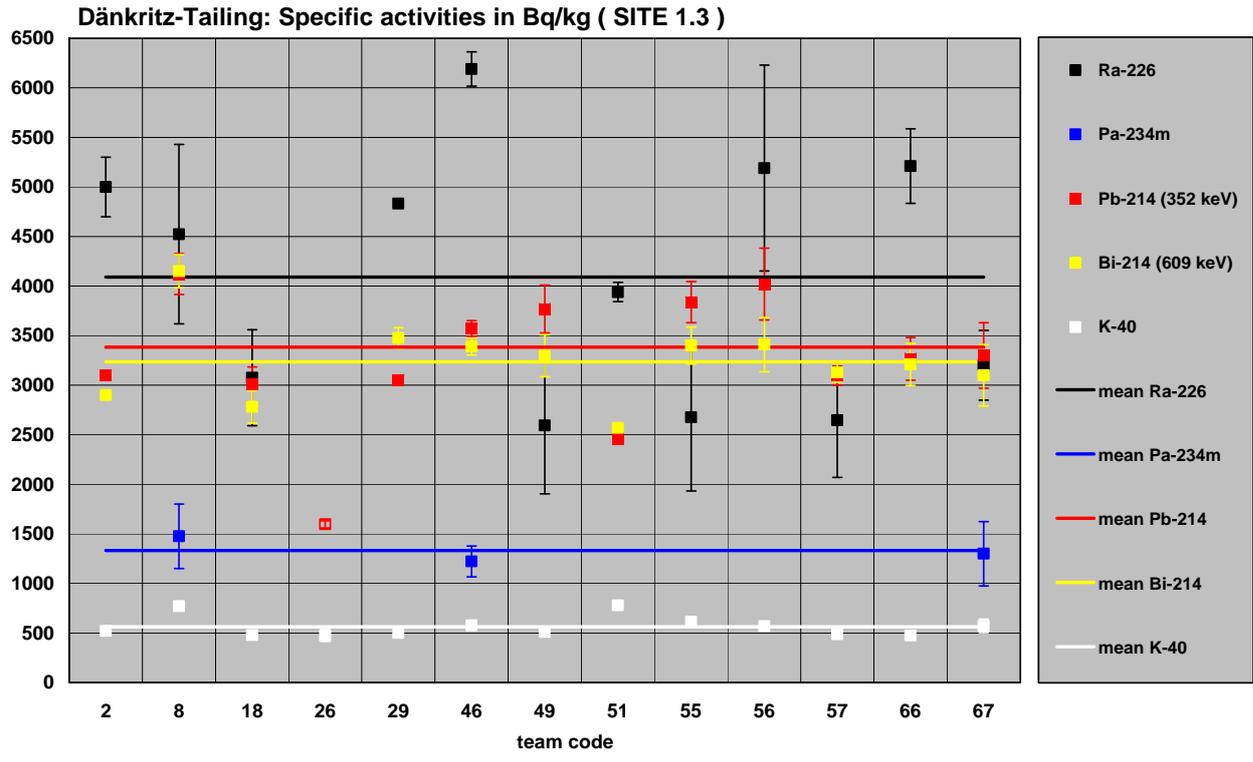


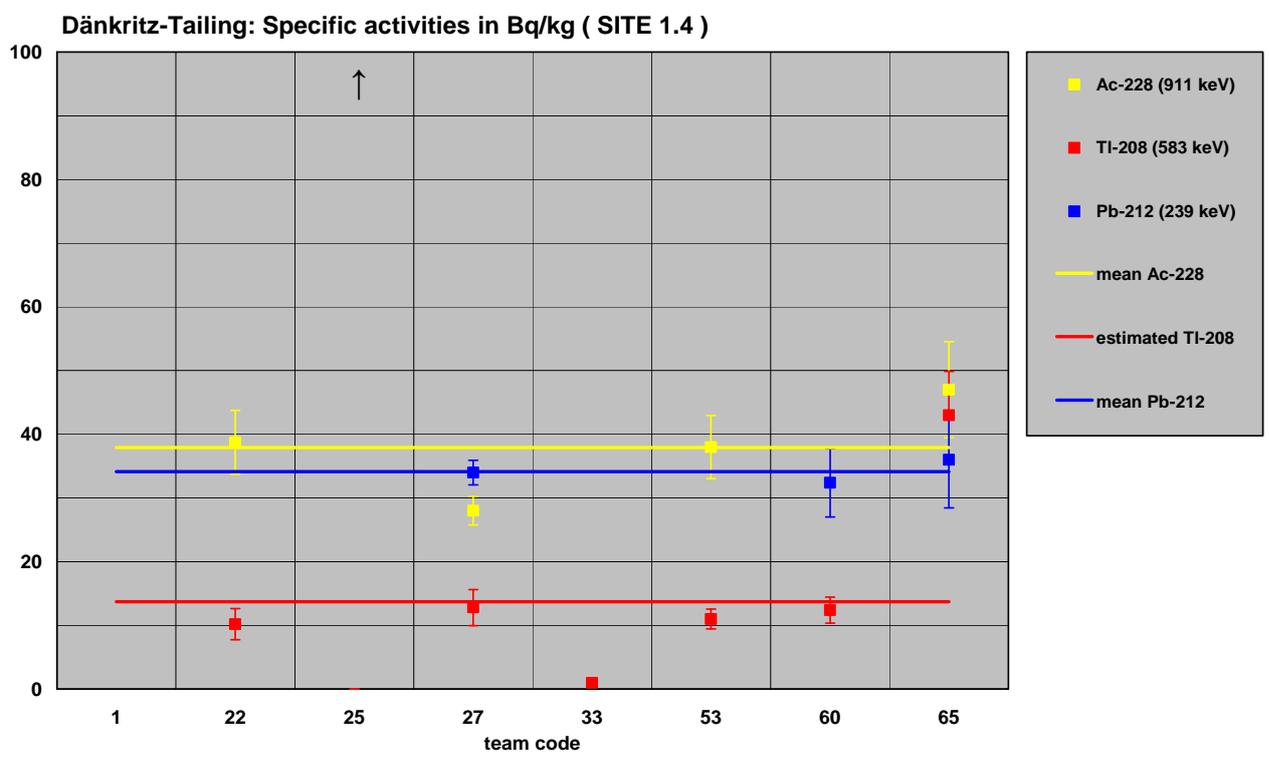
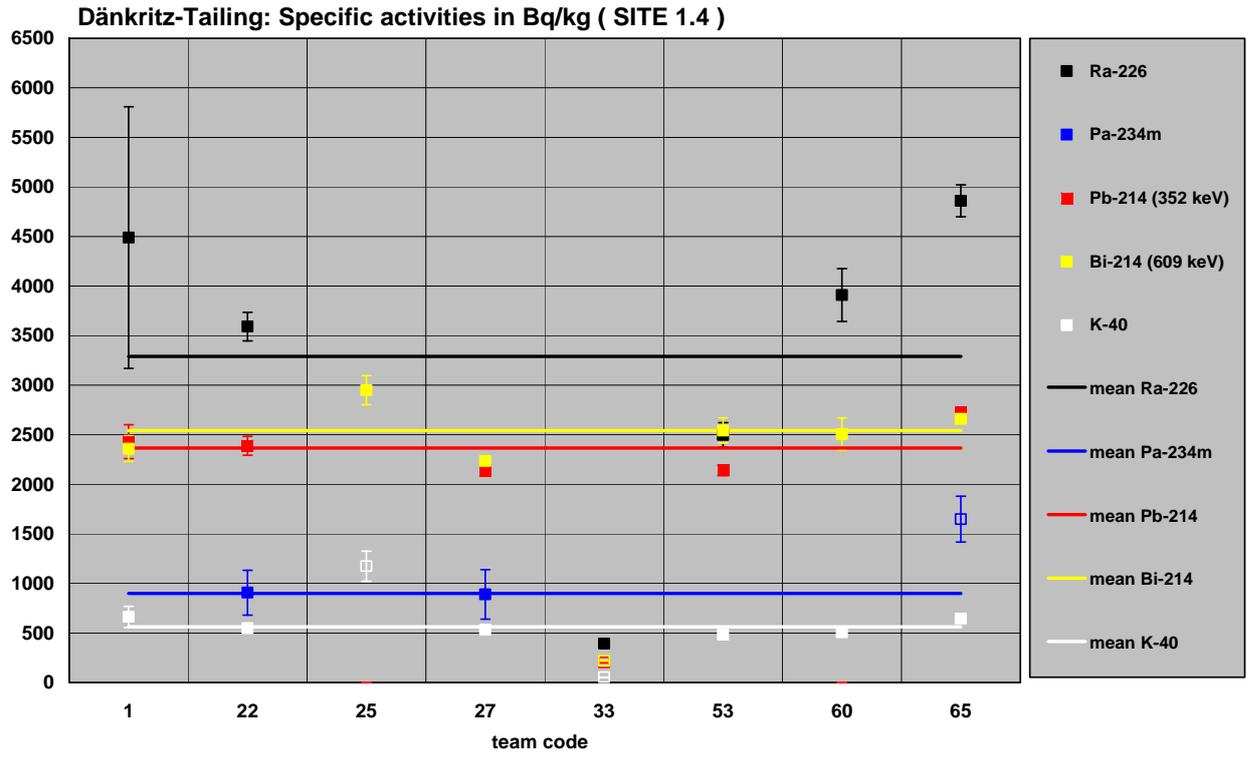
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 1.2)



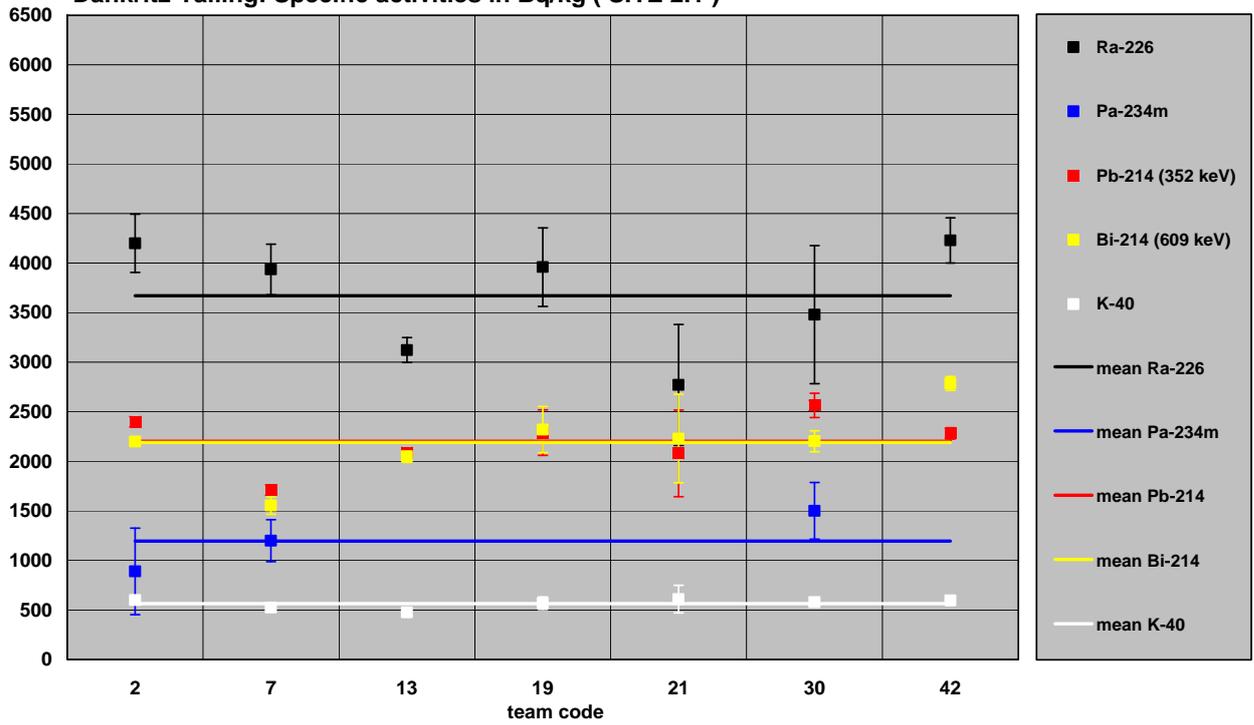
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 1.2)



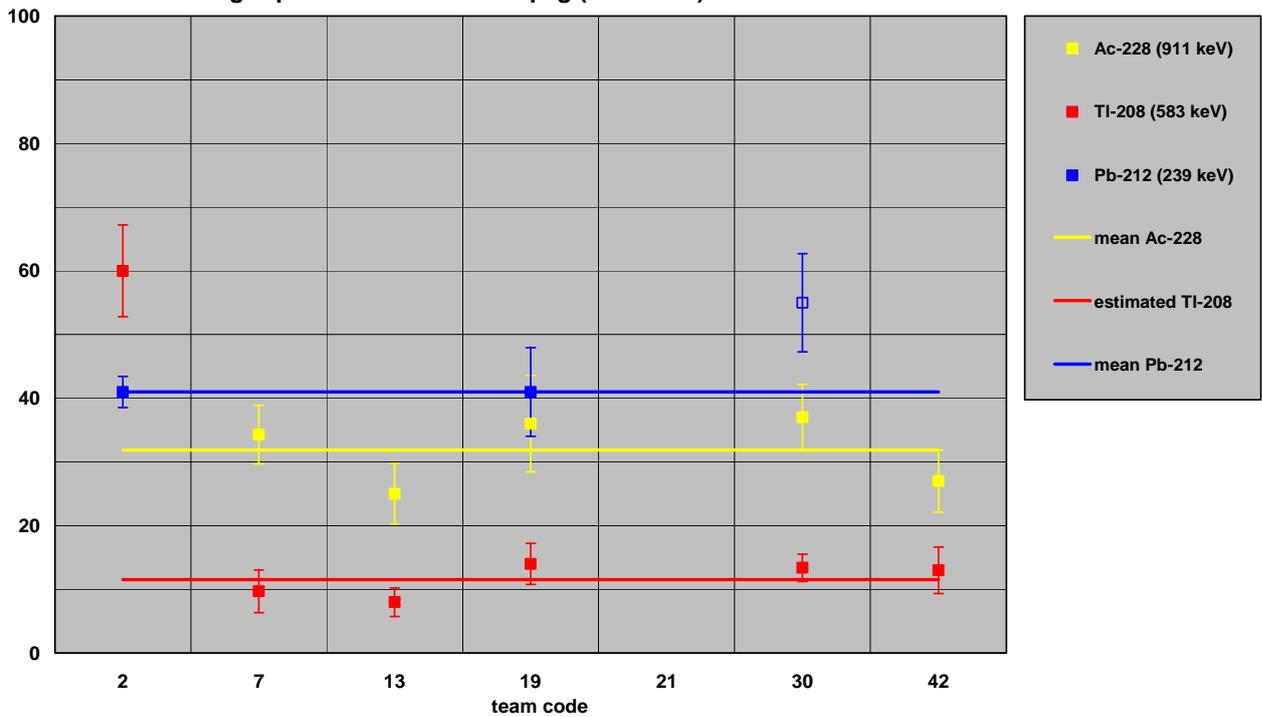




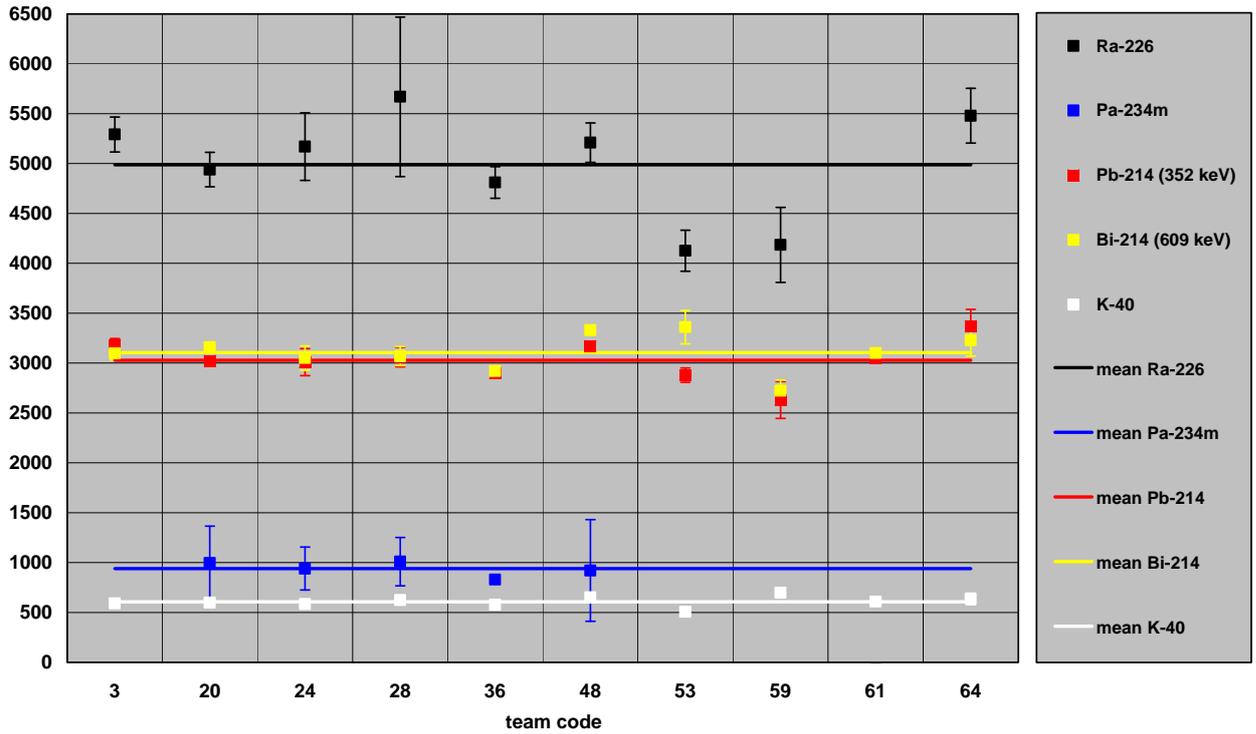
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.1)



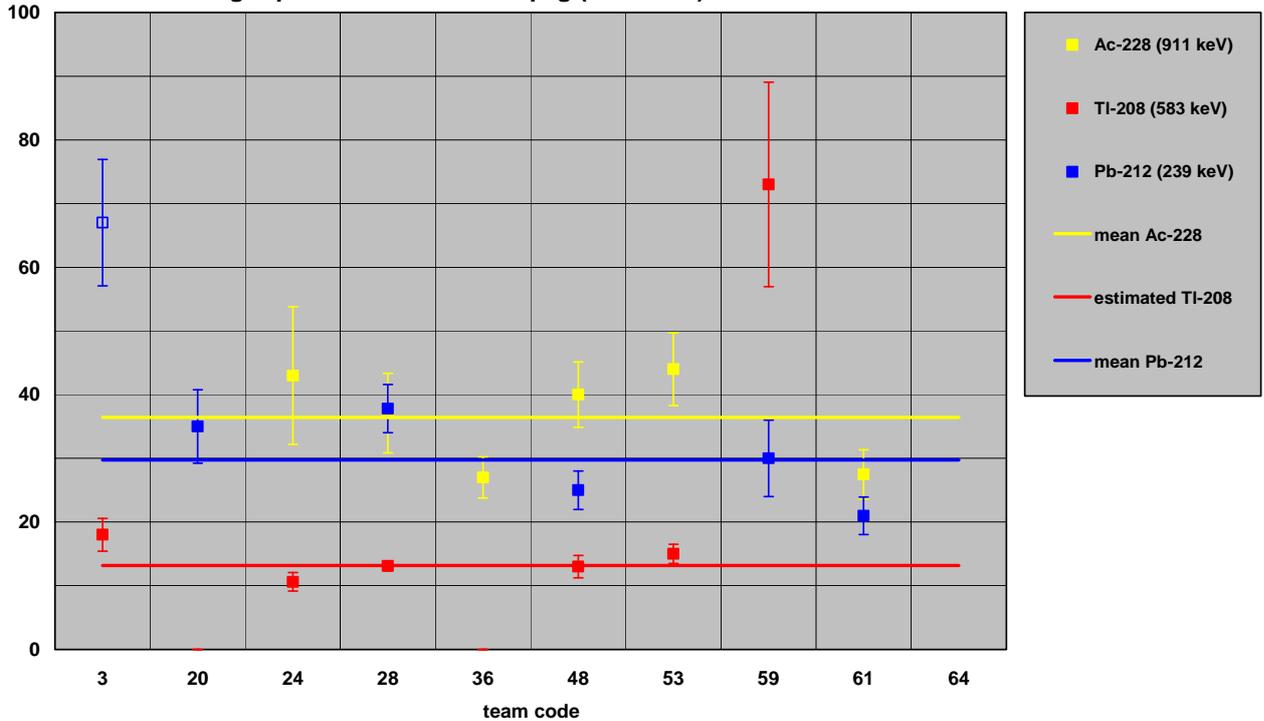
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.1)



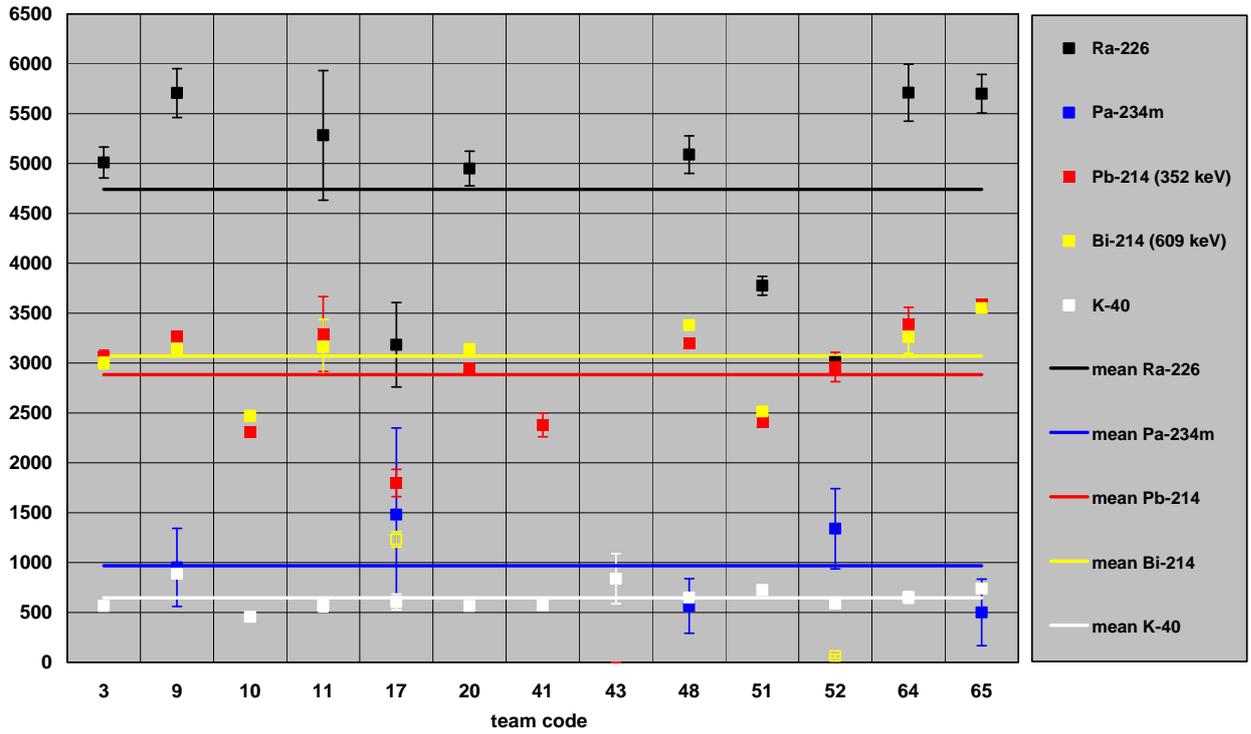
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.2)



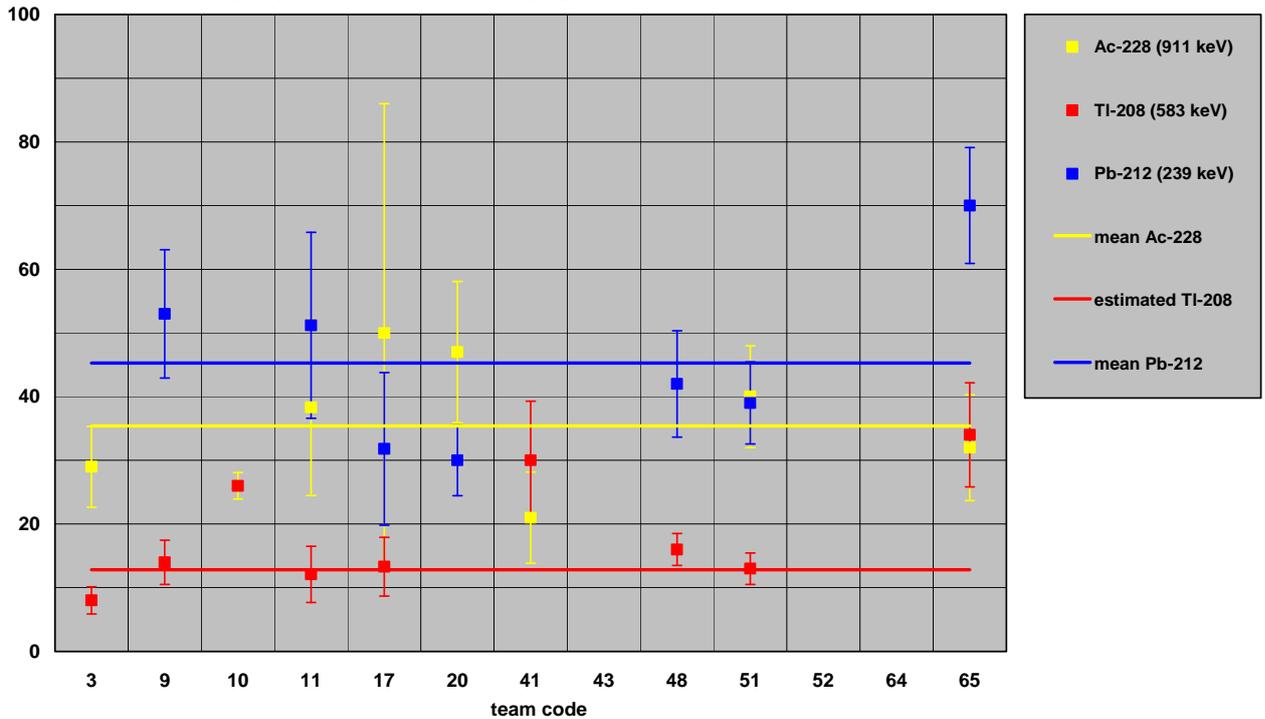
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.2)



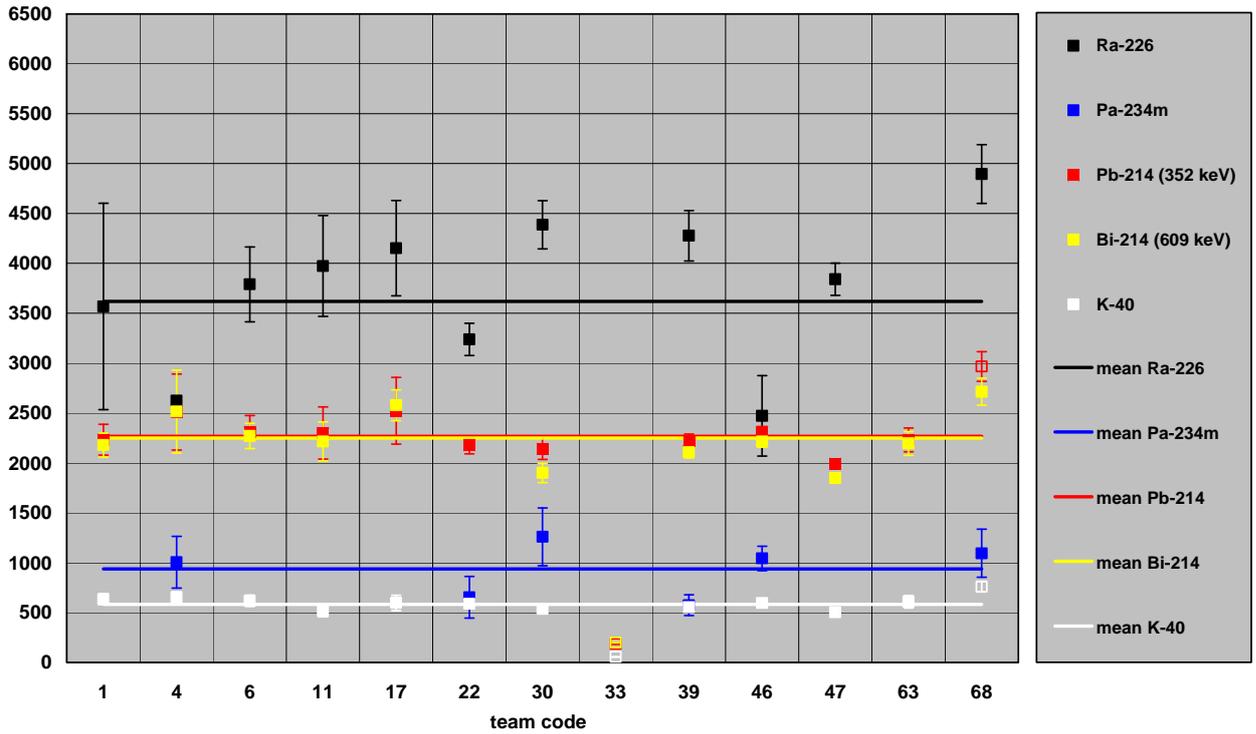
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.3)



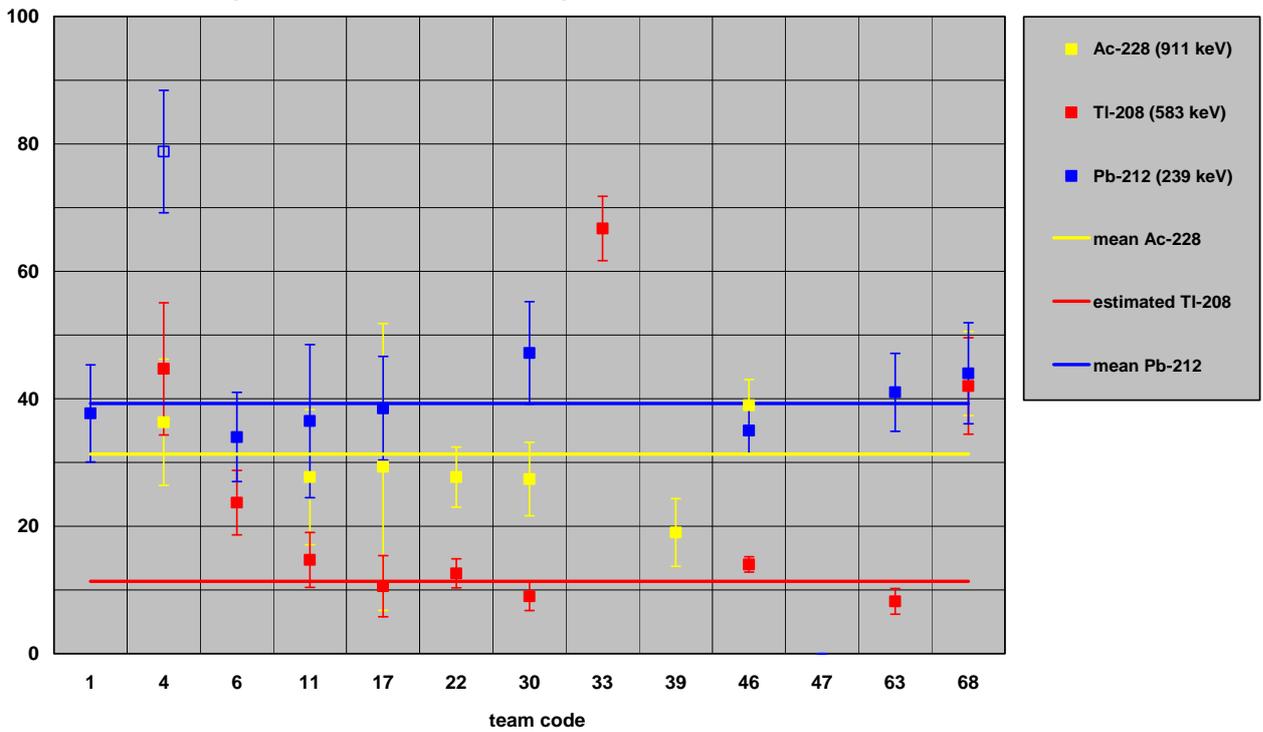
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.3)



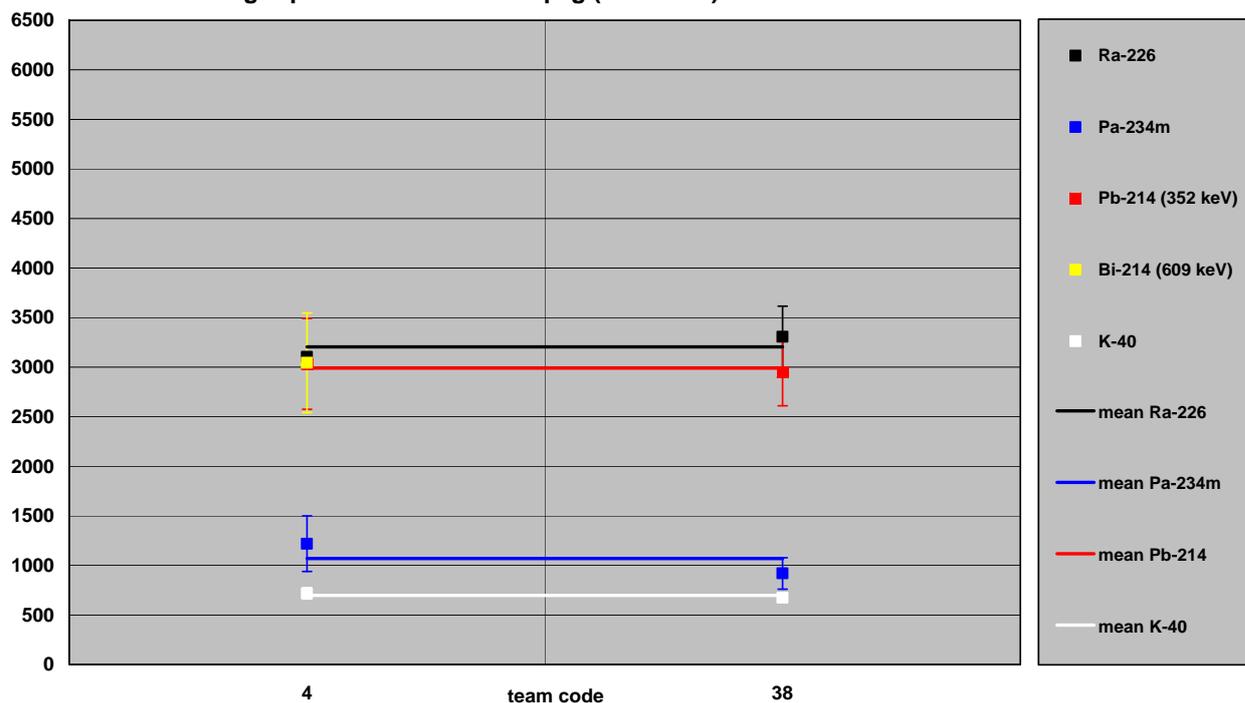
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.4)



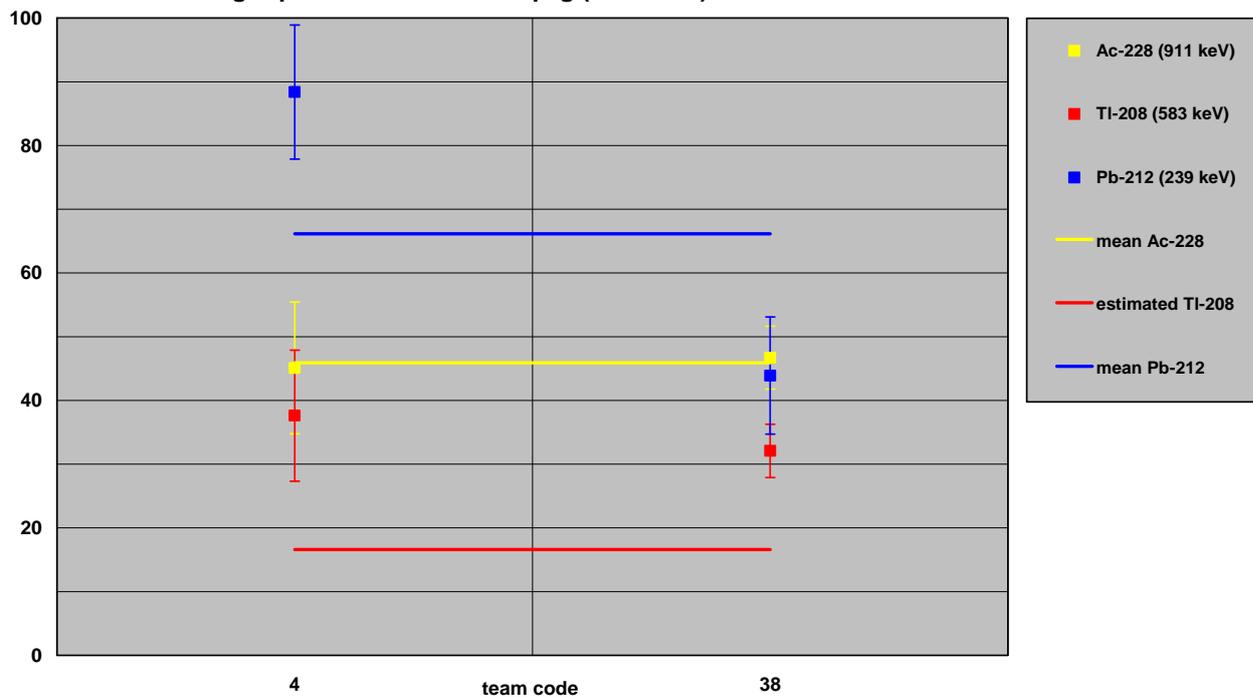
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 2.4)



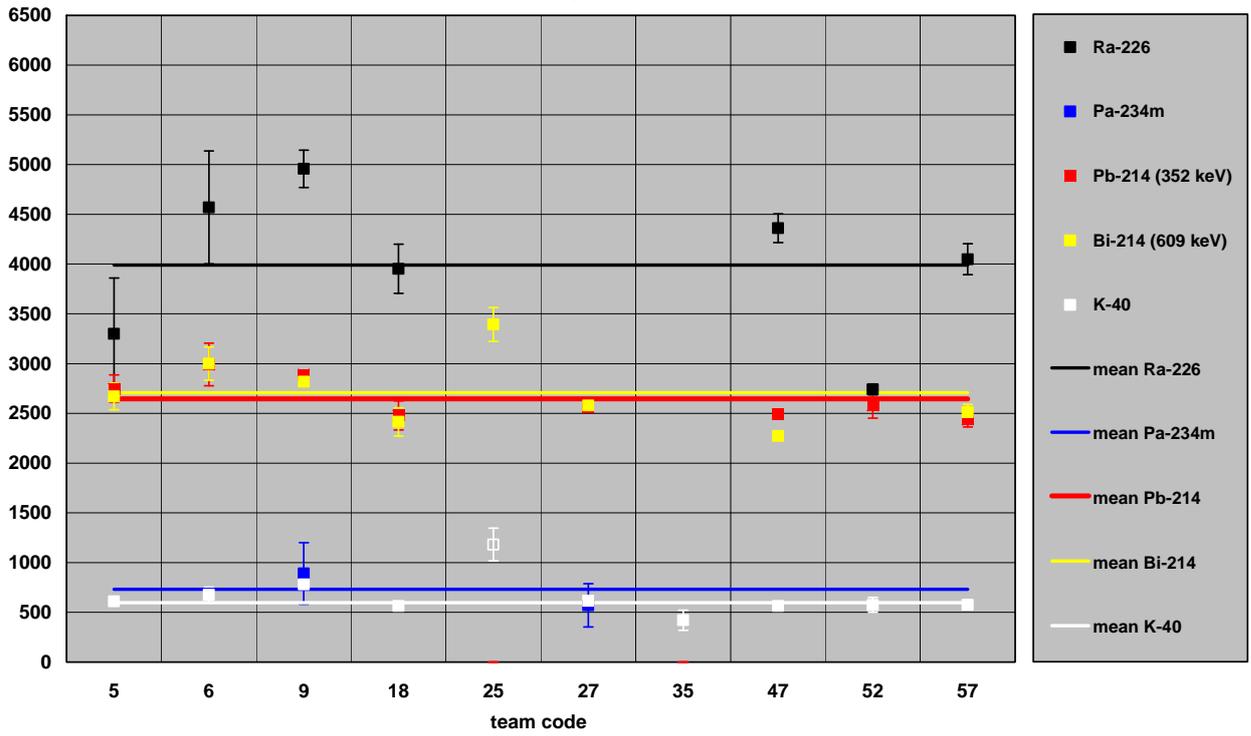
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.1)



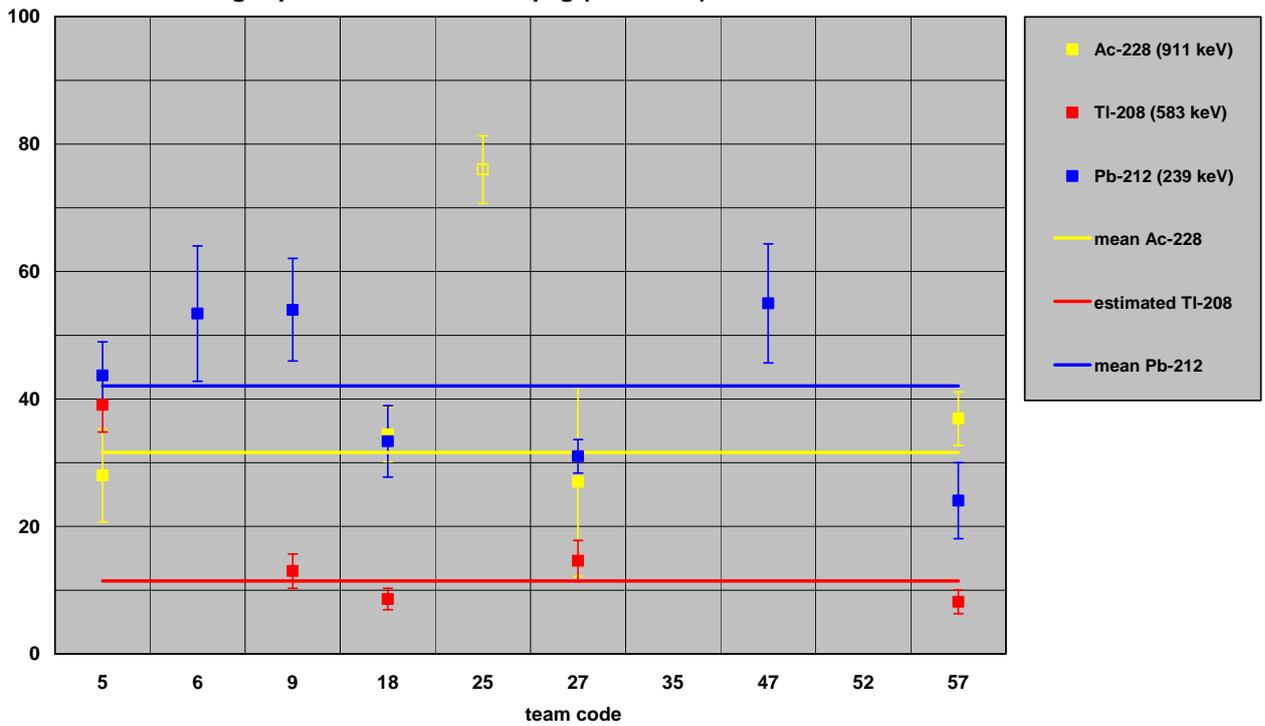
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.1)



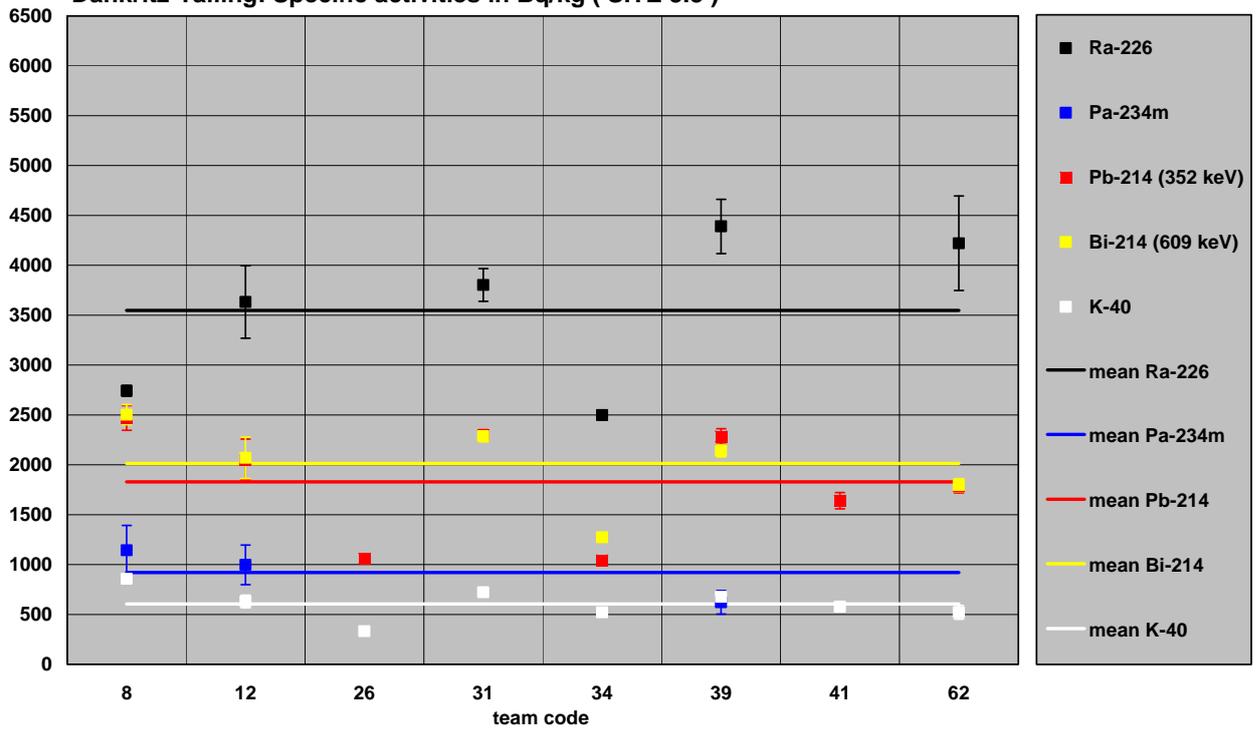
Dänkritz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.2)



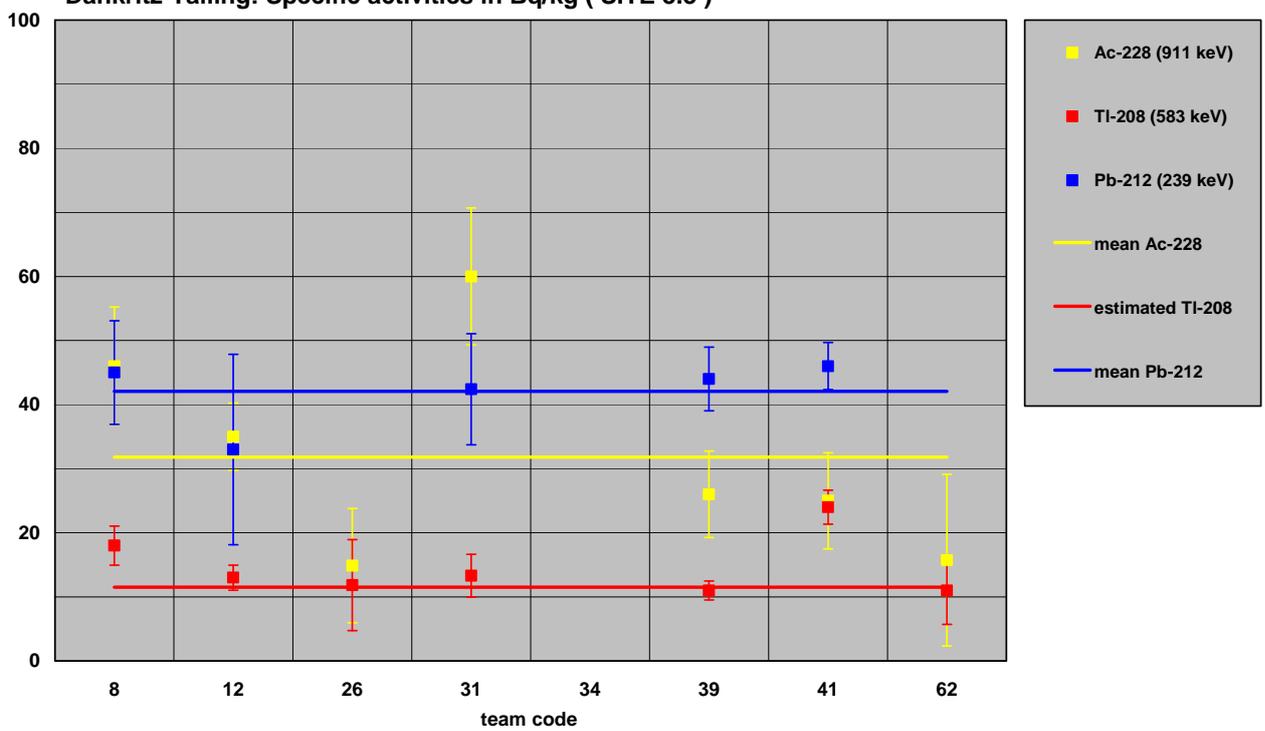
Dänkritz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.2)



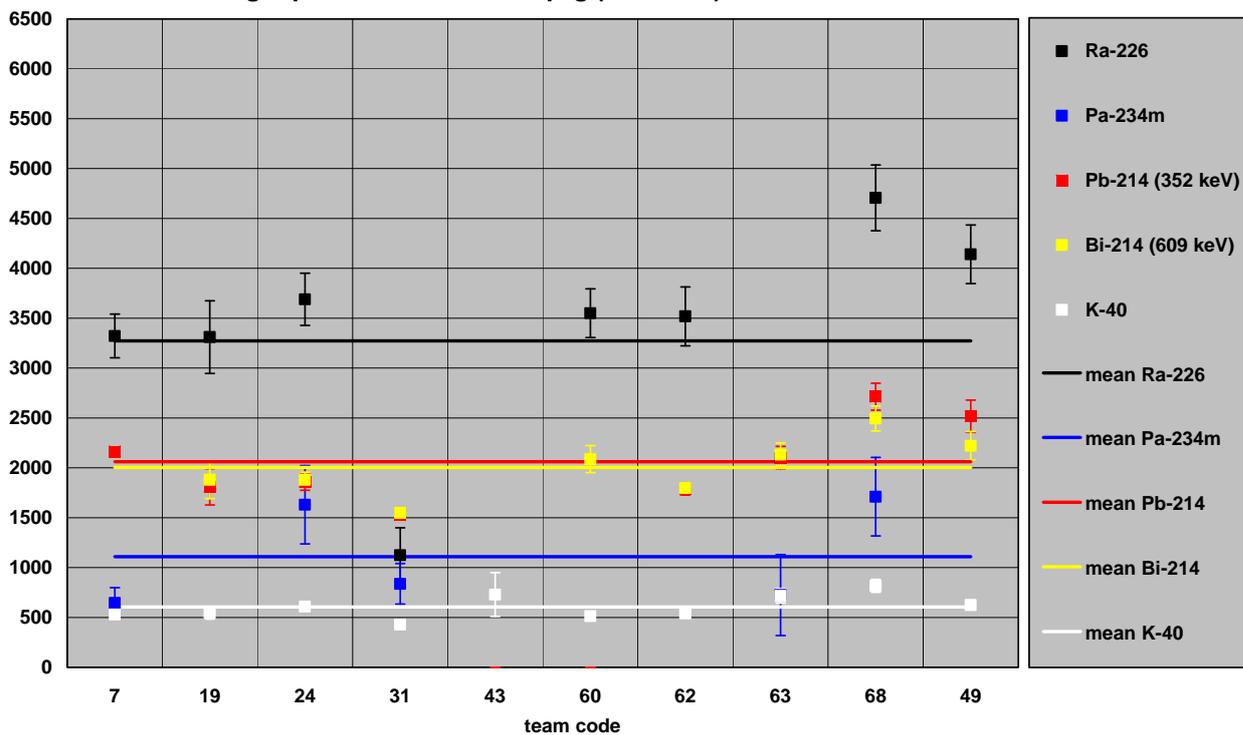
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.3)



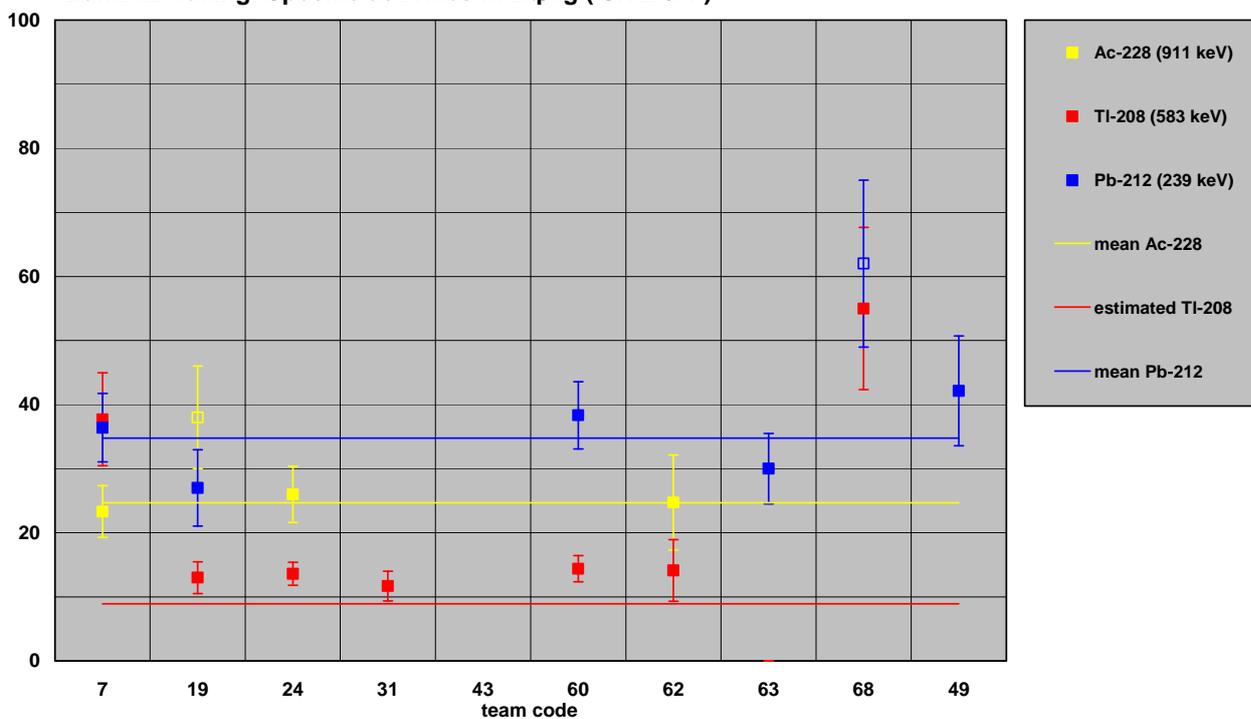
Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.3)



Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.4)

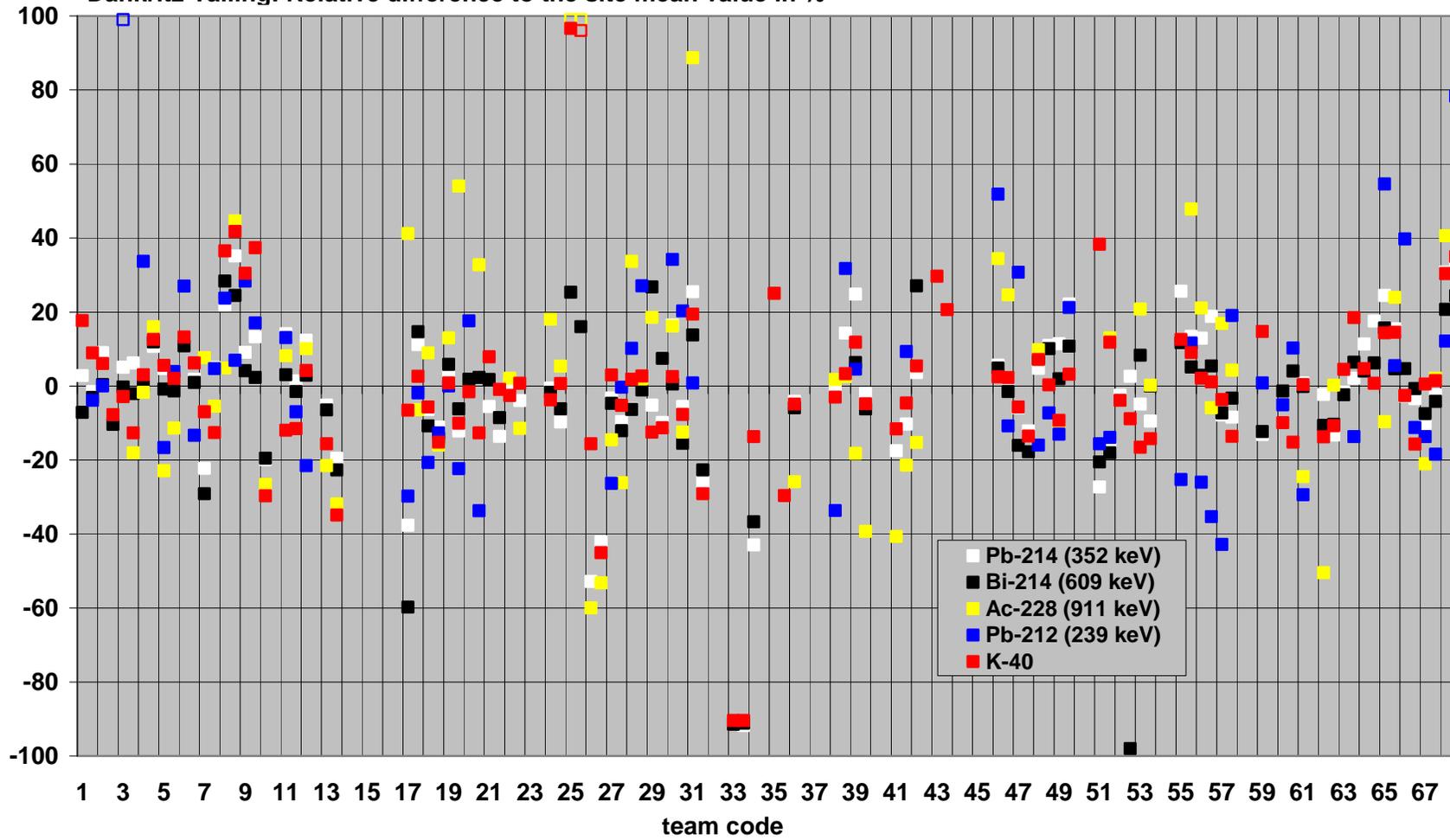


Dänkriz-Tailing: Specific activities in Bq/kg (SITE 3.4)

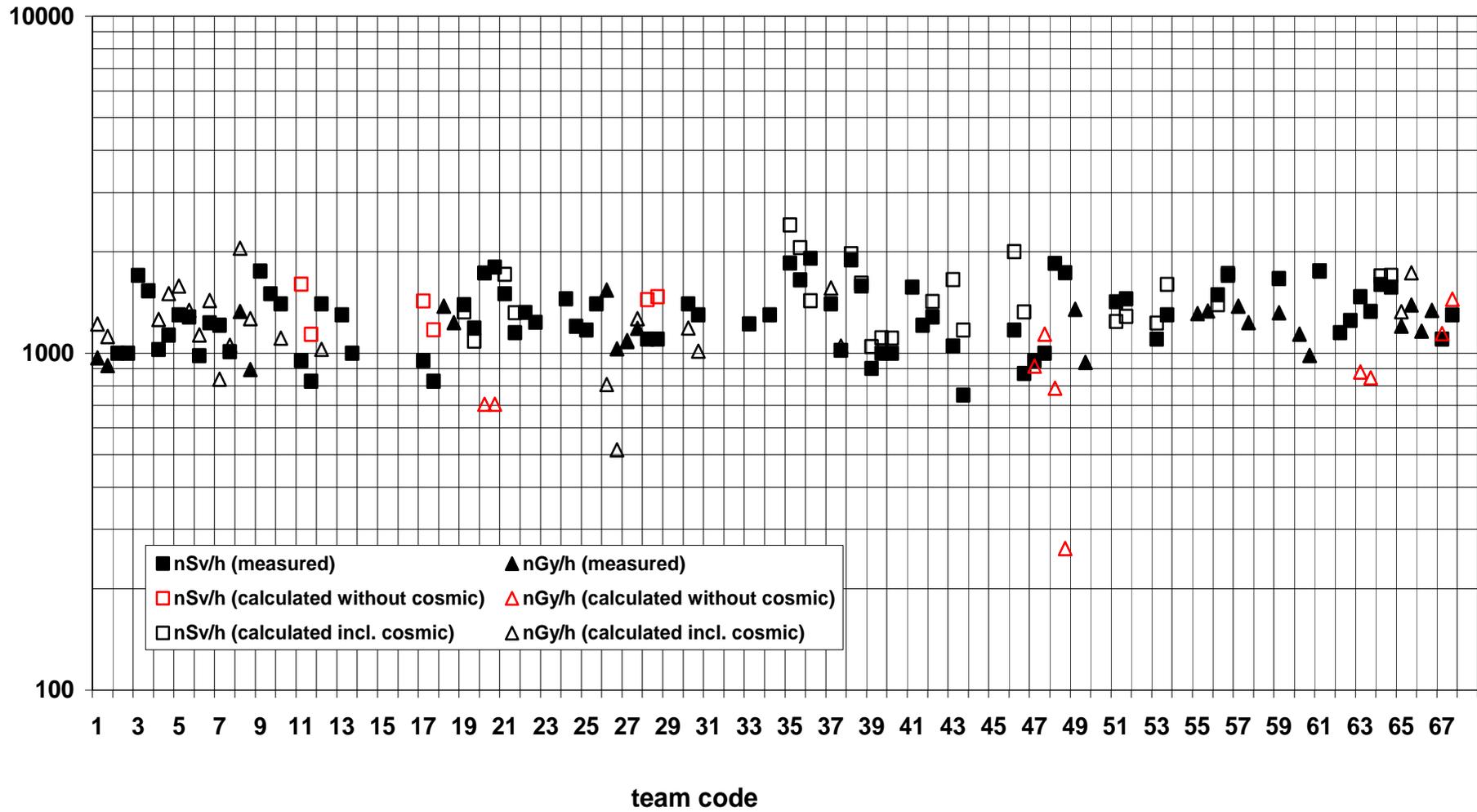


ANHANG DT2

Dänkritz-Tailing: Relative difference to the site mean value in %



Dänkritz-Tailing: Dose rate



ANHANG DT3

FRAGEBOGEN – ANWORTEN UND BEGRÜNDUNGEN

Aussage 1 ist falsch: Würden in den oberen Bodenschichten tatsächlich nur geringe Aktivitäten natürlicher Radionuklide vorliegen, so ergäben sich bei der Auswertung hochenergetischer Gesamtabsorptionslinien höhere Aktivitäten als bei der Auswertung niederenergetischer Gesamtabsorptionslinien. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Aussage 2 ist richtig. Für die verschiedenen Gesamtabsorptionslinien der Radionuklide ^{214}Pb und ^{214}Bi ergeben sich jeweils vergleichbare massenbezogene Aktivitäten.

Aussage 3 ist falsch. Im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten ist keine Abhängigkeit der ermittelten massenbezogenen Aktivitäten von der Energie der Gesamtabsorptionslinie erkennbar. Darüber hinaus ist die ermittelte massenbezogene Aktivität bei homogener Verteilung der Radionuklide im Boden grundsätzlich unabhängig von der Dichte des Bodens.

Aussage 4 ist falsch. Der Großteil der registrierten Photonen stammt aus dem Bodenvolumen. Die volumenbezogene Aktivität von ^{222}Rn im Luftvolumen betrug gemäß einer Messung des Bundesamtes im Mittel nur etwa $90 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Aussage 5 ist falsch. Würden registrierten Photonen von Radionukliden der ^{232}Th -Zerfallsreihe tatsächlich aus einer tiefer liegenden Schicht stammen, so ergäbe die Auswertung von hochenergetischen Linien (z.B. ^{208}Tl : 2614 keV) höhere massenbezogene Aktivitäten als die Auswertung von niederenergetischen Linien (z.B. ^{208}Tl : 583 keV). Dies ist jedoch nicht der Fall.

Aussage 6 ist falsch: Lägen die Radionuklide der ^{238}U -Zerfallsreihe tatsächlich in einer dünnen Schicht auf der Oberfläche, so ergäben sich (bei einer Auswertung unter der Annahme einer homogenen Verteilung im Boden) mit zunehmender Photonenenergie abnehmende massenbezogene Aktivitäten. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Aussage 7 ist falsch: Eine Abdeckung durch eine weniger aktive Schicht ergäbe (bei einer Auswertung unter der Annahme einer homogenen Verteilung im Boden) zunehmende massenbezogene Aktivitäten mit zunehmender Energie der Gesamtabsorptionslinien. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Aussage 8 ist richtig: Die über die verschiedenen Gesamtabsoptionslinien der Radionuklide ^{228}Ac , ^{212}Pb und ^{208}Tl ermittelten massenbezogenen Aktivitäten stimmen im Rahmen der gegebenen Messunsicherheiten überein. Die Annahme einer homogenen Nuklidverteilung im Boden ist daher plausibel.

Aussage 9 ist richtig. Die massenbezogene Aktivität des Radionuklids $^{234\text{m}}\text{Pa}$ ist deutlich geringer als die massenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{226}Ra .

Aussage 10 ist falsch: Die massenbezogenen Aktivitäten der Tochternuklide des Radionuklids ^{222}Rn (^{214}Pb und ^{214}Bi) liegen deutlich unter der massenbezogenen Aktivität des Radionuklids ^{226}Ra . Dies weist auf eine hohe Emanation des Radionuklids ^{222}Rn hin. Im Gegensatz zu allen anderen Messorten spielt auf dieser Messfläche die Überschätzung der massenbezogenen Aktivität des Radionuklids ^{226}Ra aufgrund nicht berücksichtigter Interferenzen mit dem Radionuklid ^{235}U keine entscheidende Rolle, weil dem vorliegenden Material der Großteil des Radionuklids ^{235}U entzogen wurde. Die Emanation des Radionuklides ^{222}Rn dürfte vor allem durch die Feinkörnigkeit des Tailingmaterials begünstigt werden.

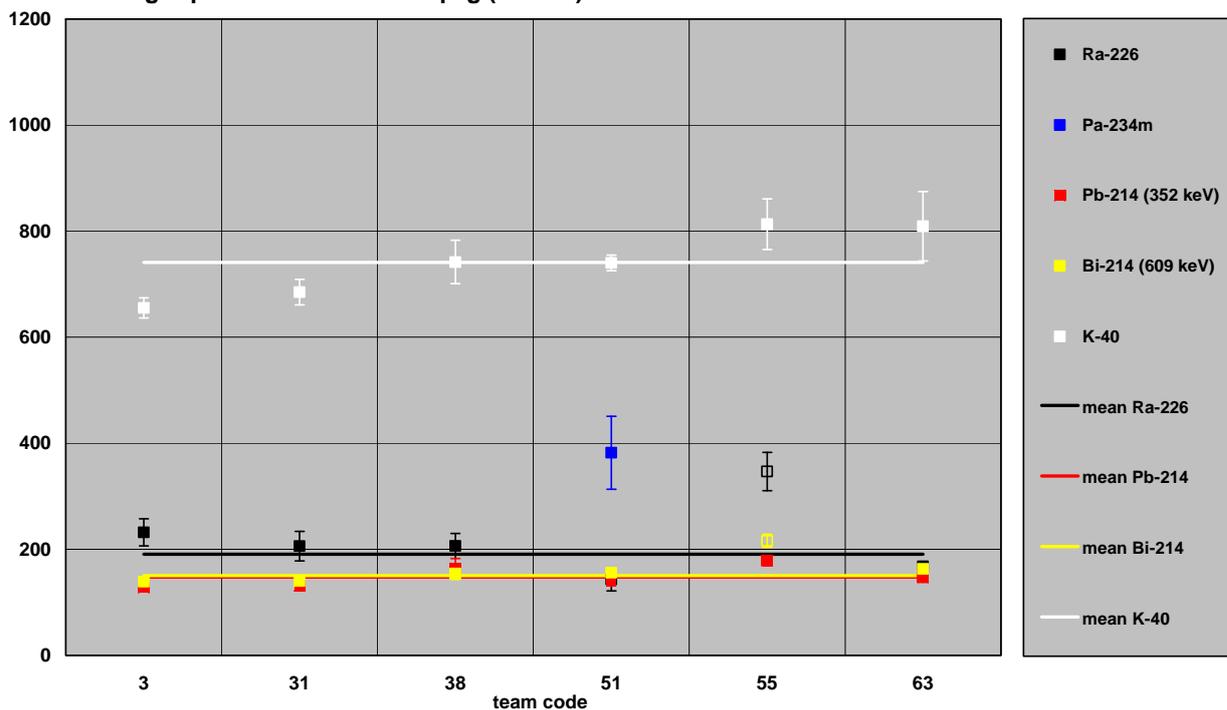
Aussage 11 ist falsch: Die massenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{226}Ra liegt höher als der entsprechende Vergleichswert des Radionuklids $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Ein Hinweis auf einen Entzug von Radium-Isotopen ergibt sich daraus nicht. Zugegebenermaßen ist es jedoch nicht auszuschließen, dass bei der verfahrenstechnischen Uran-Abreicherung dem Material in geringem Umfang auch Radium-Isotope entzogen wurden.

Aussage 12 kann nicht eindeutig beantwortet werden, weil aus der Fragestellung nicht hervor geht, ob die Emanation des Radionuklids ^{222}Rn zu berücksichtigen ist. Zwar liegt die massenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{226}Ra deutlich über den entsprechenden Werten der Radionuklide ^{214}Pb und ^{214}Bi , unter Berücksichtigung der Emanation des Radionuklids ^{222}Rn können die Werte jedoch als vergleichbar eingestuft werden.

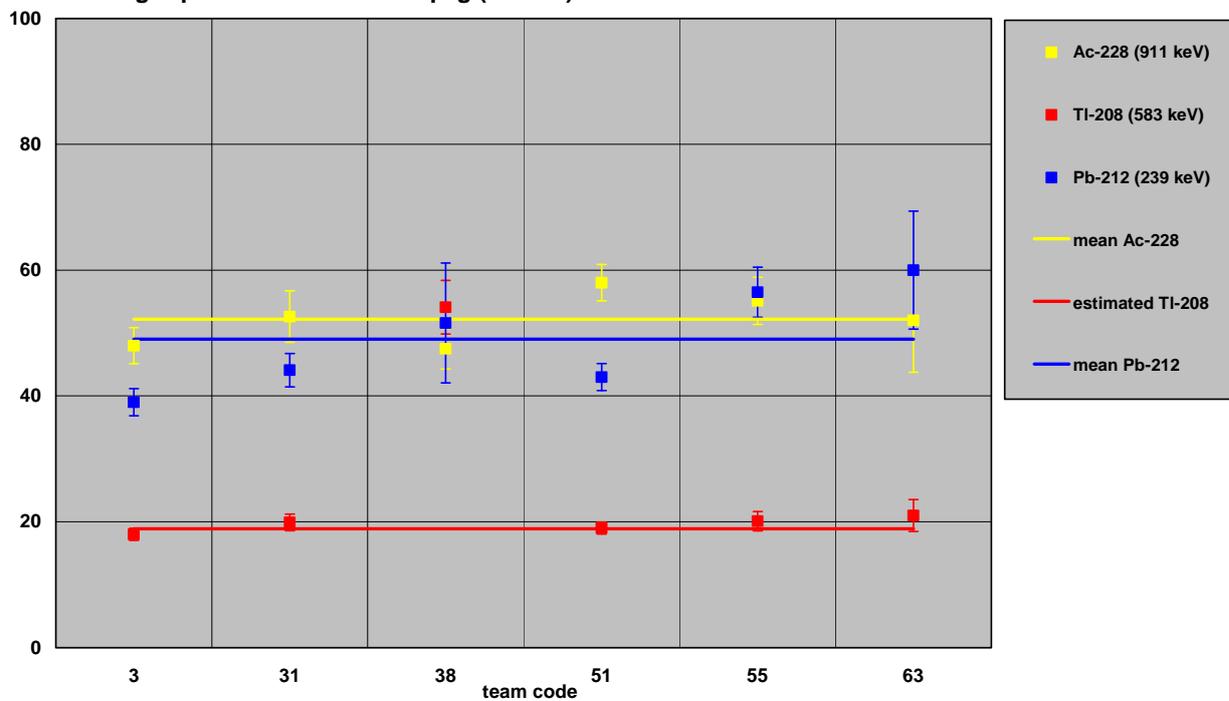
Aussage 13 ist falsch: Die massenbezogene Aktivität des Radionuklids ^{226}Ra liegt deutlich über dem entsprechenden Wert des ^{238}U -Tochternuklids $^{234\text{m}}\text{Pa}$.

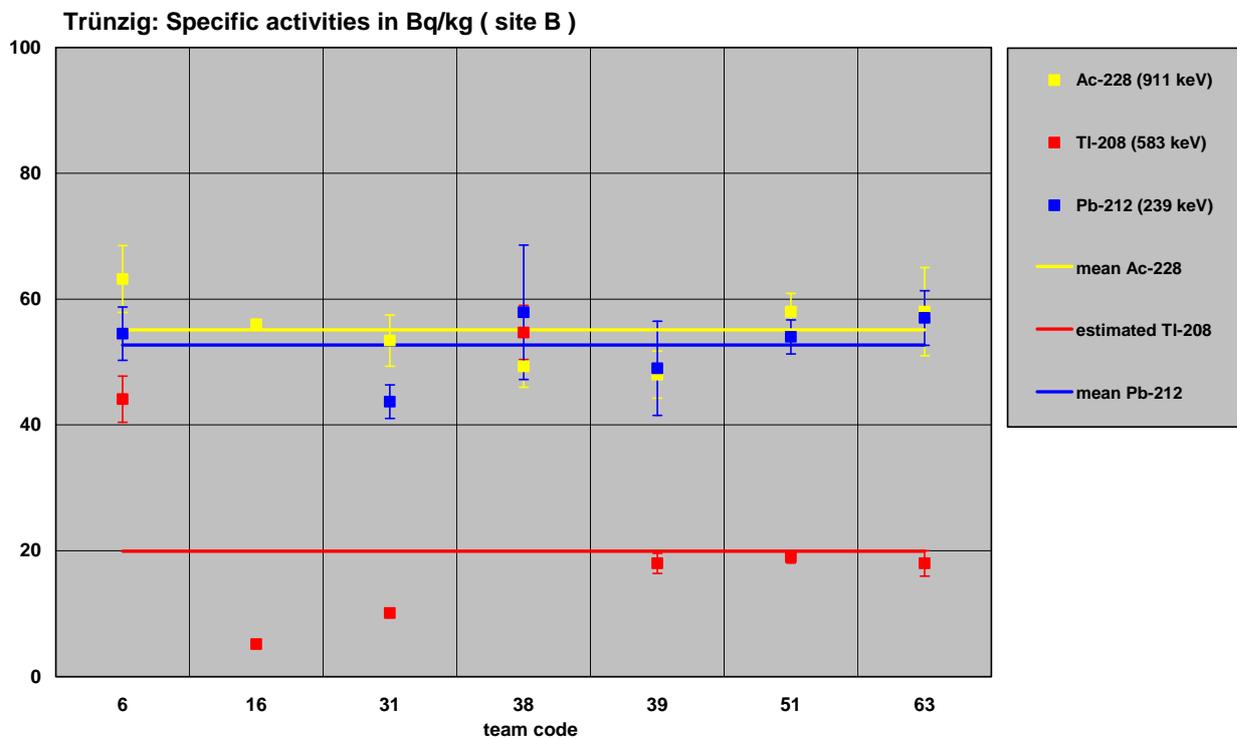
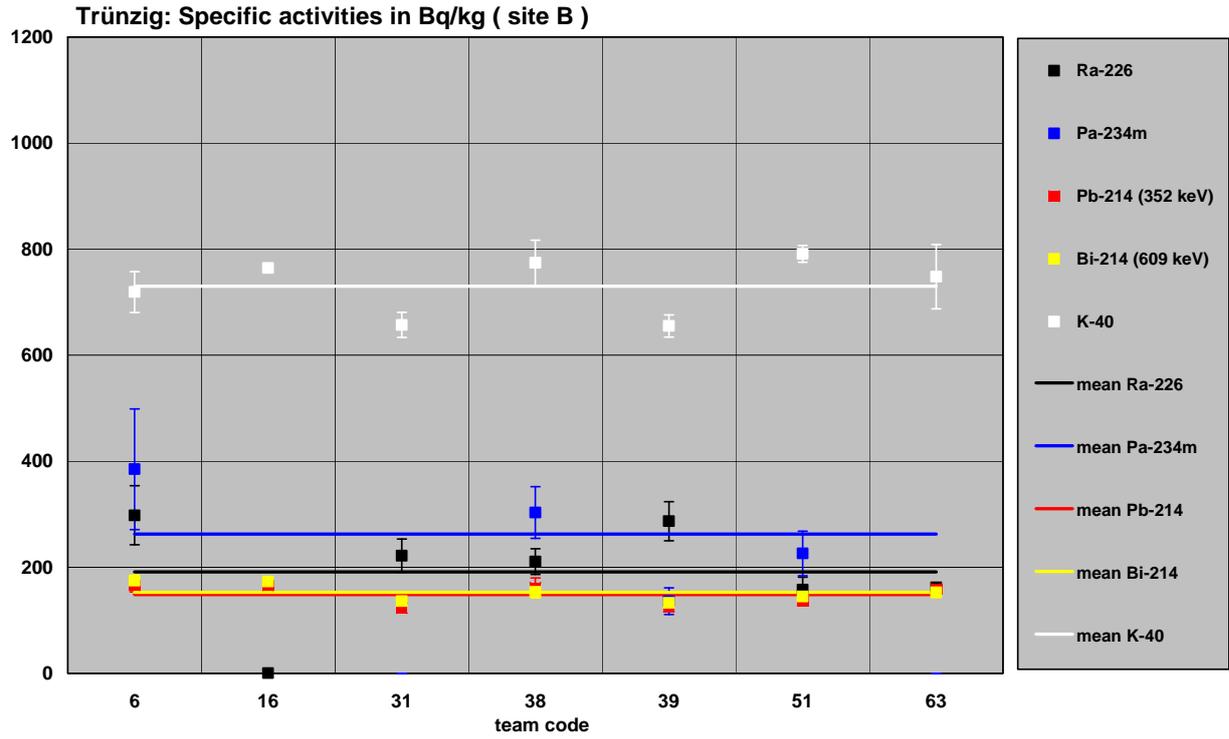
ANHANG T1

Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site A)

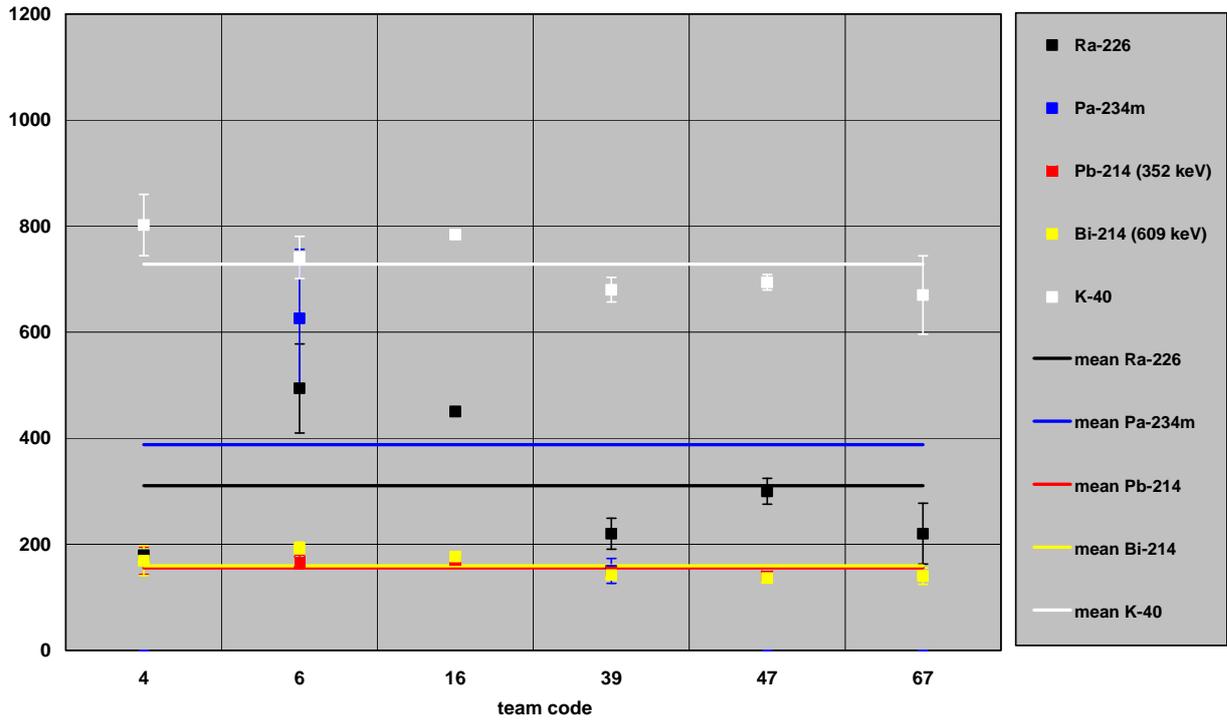


Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site A)

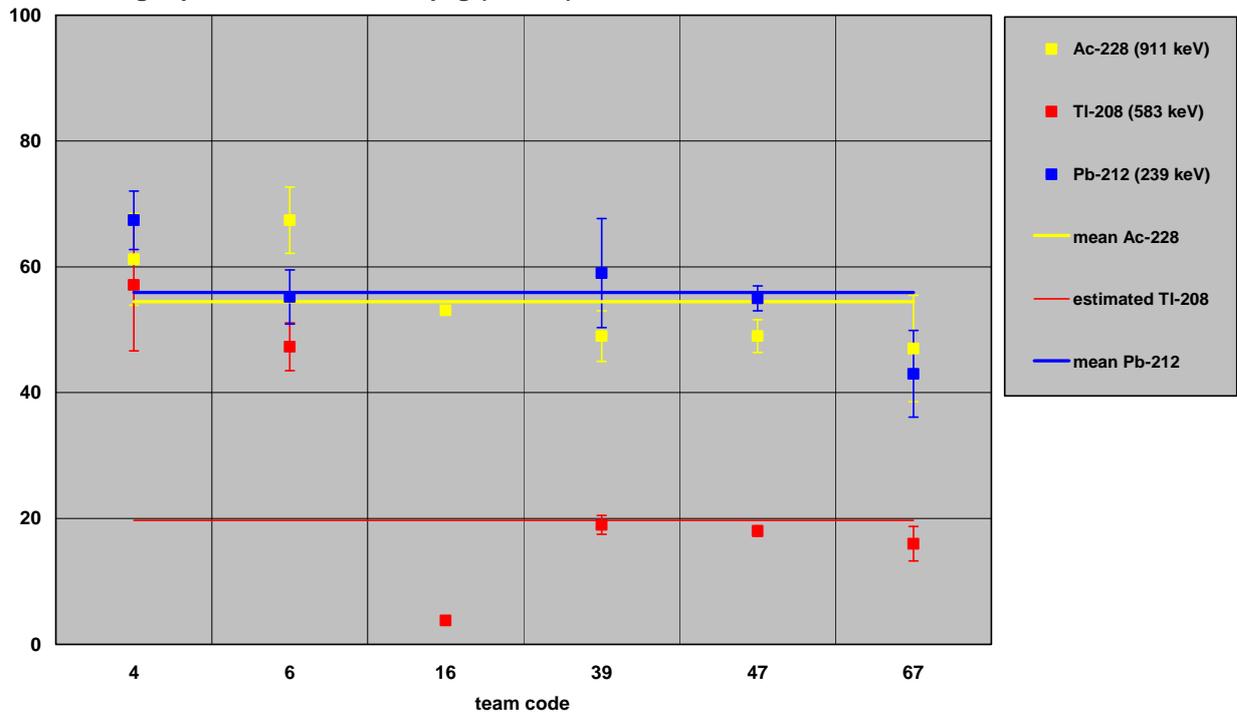




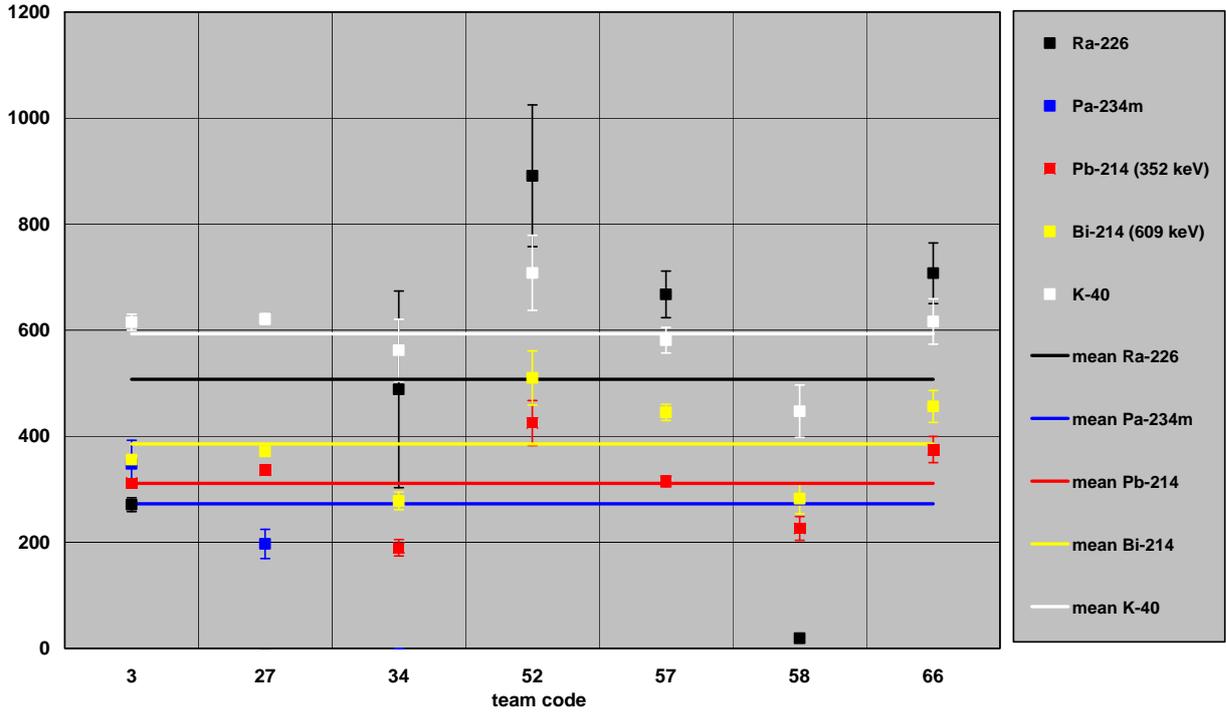
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site C)



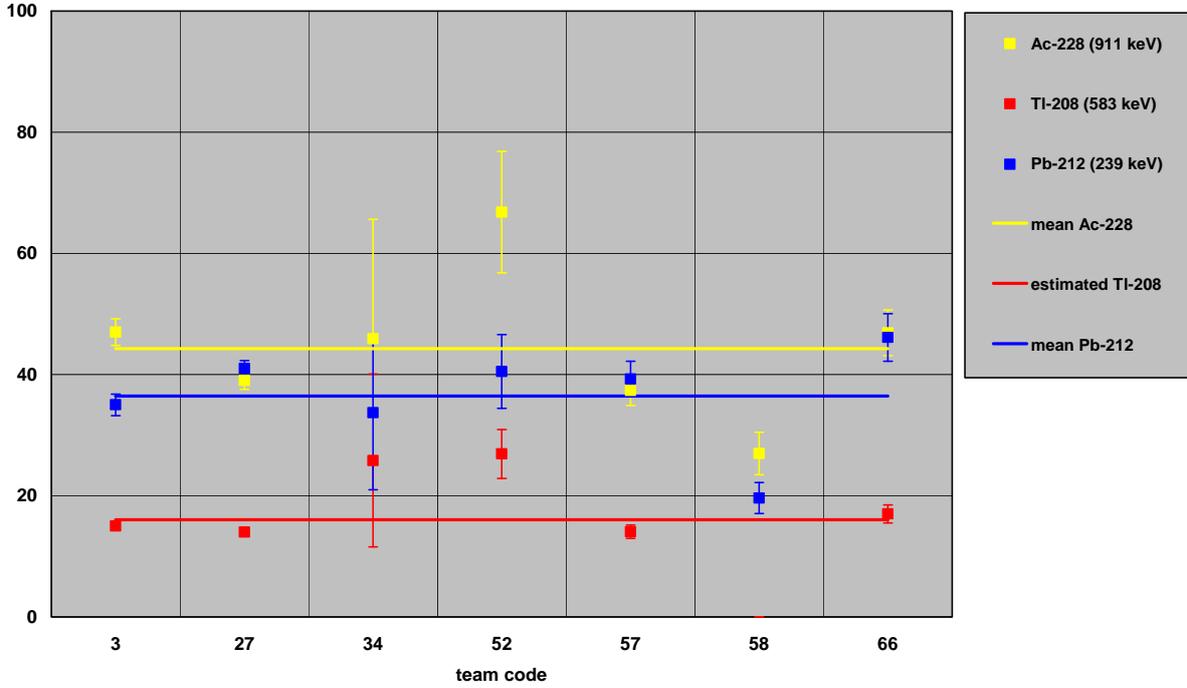
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site C)



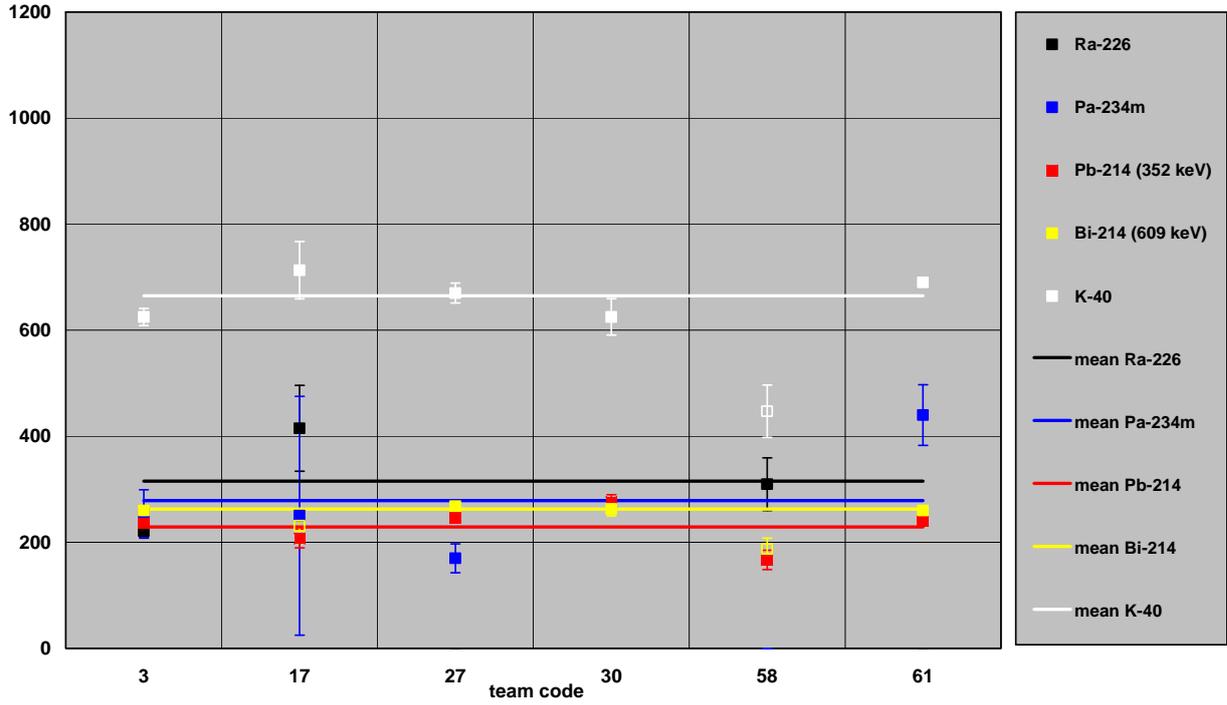
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site D)



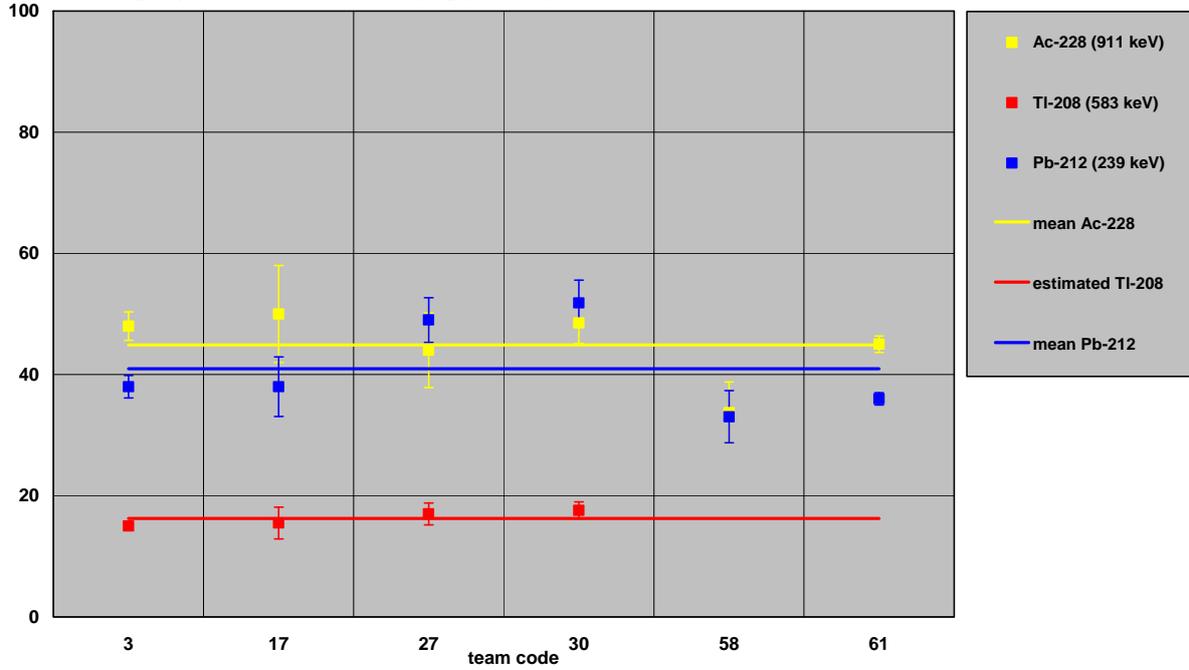
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site D)



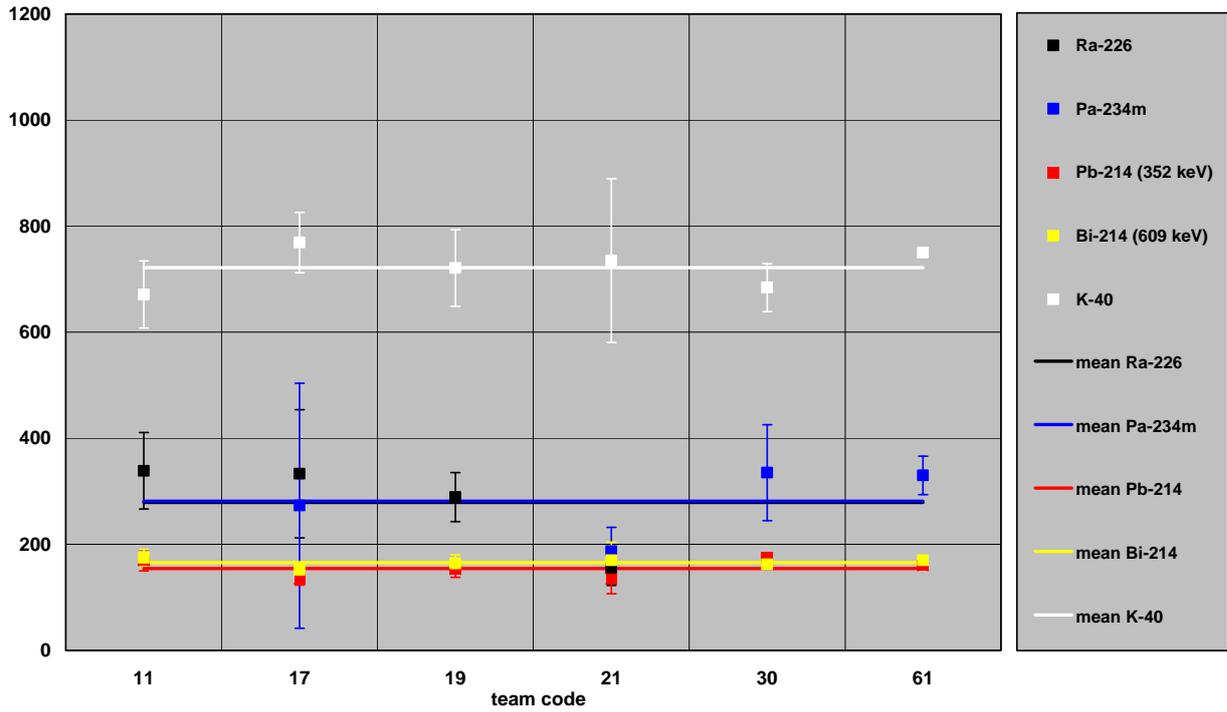
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site E)



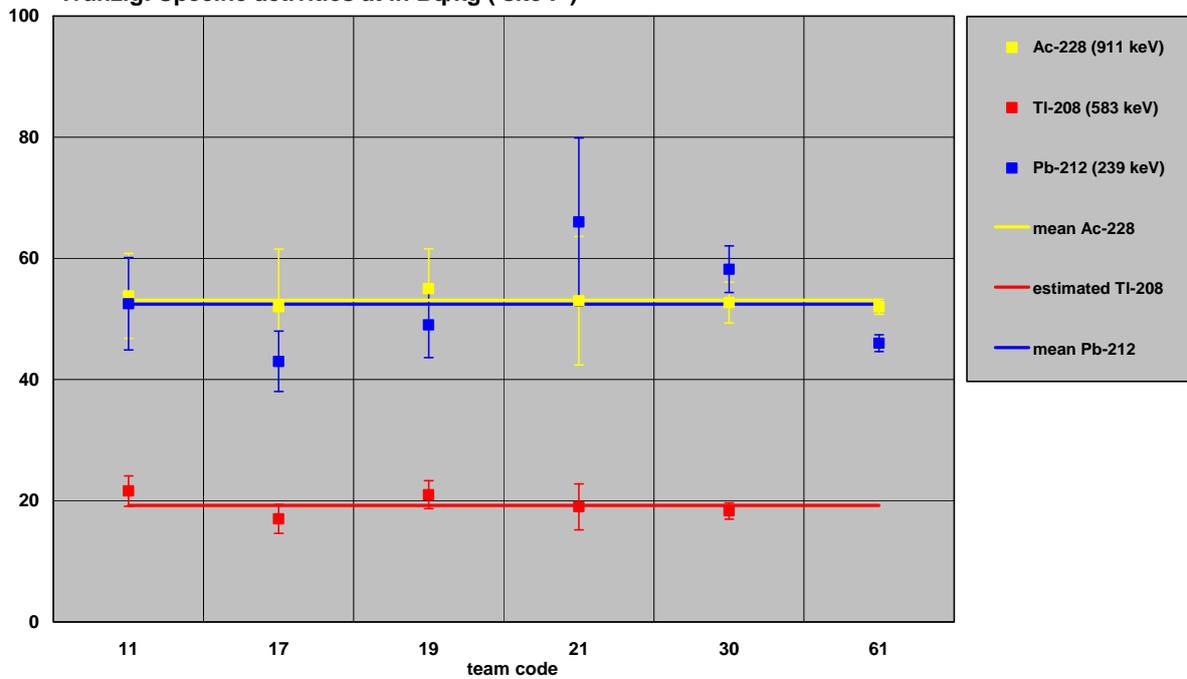
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site E)



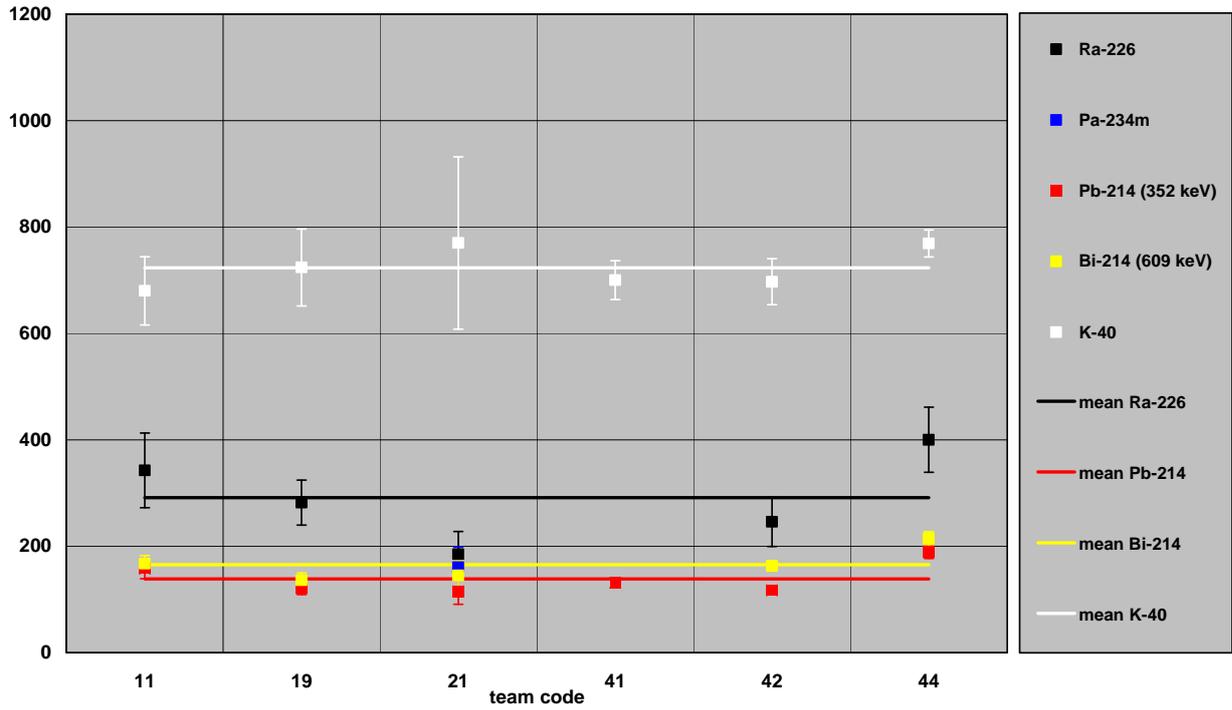
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site F)



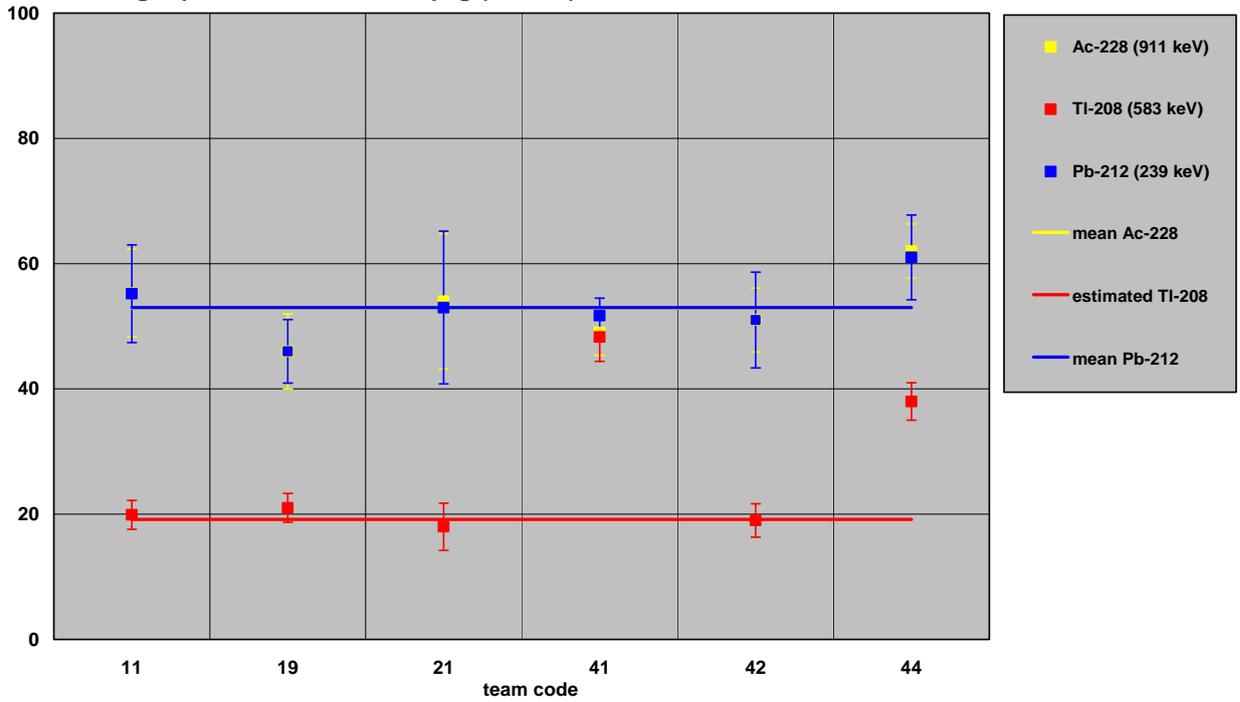
Trünzig: Specific activities at in Bq/kg (site F)



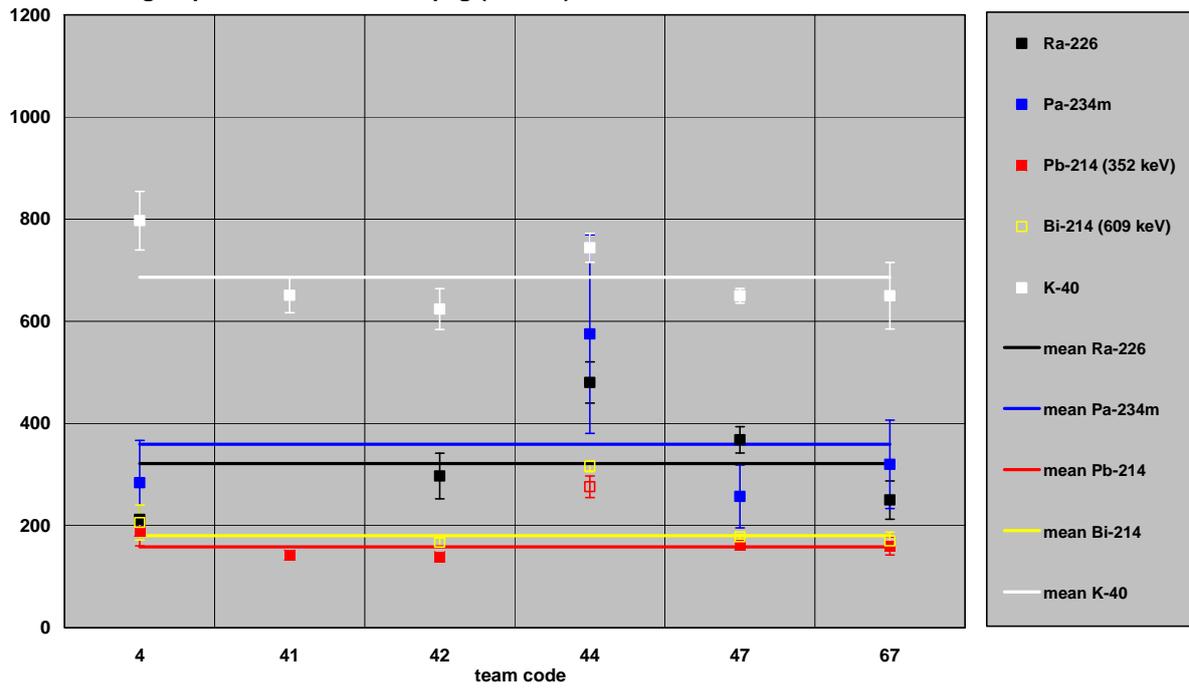
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site G)



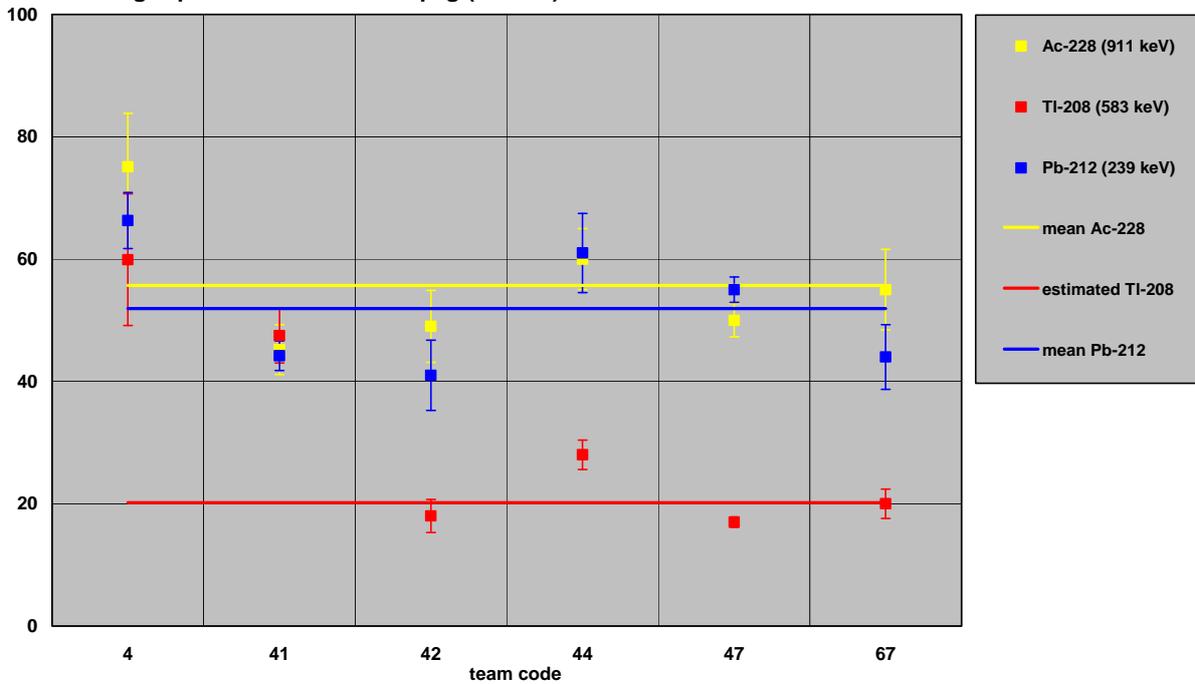
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site G)



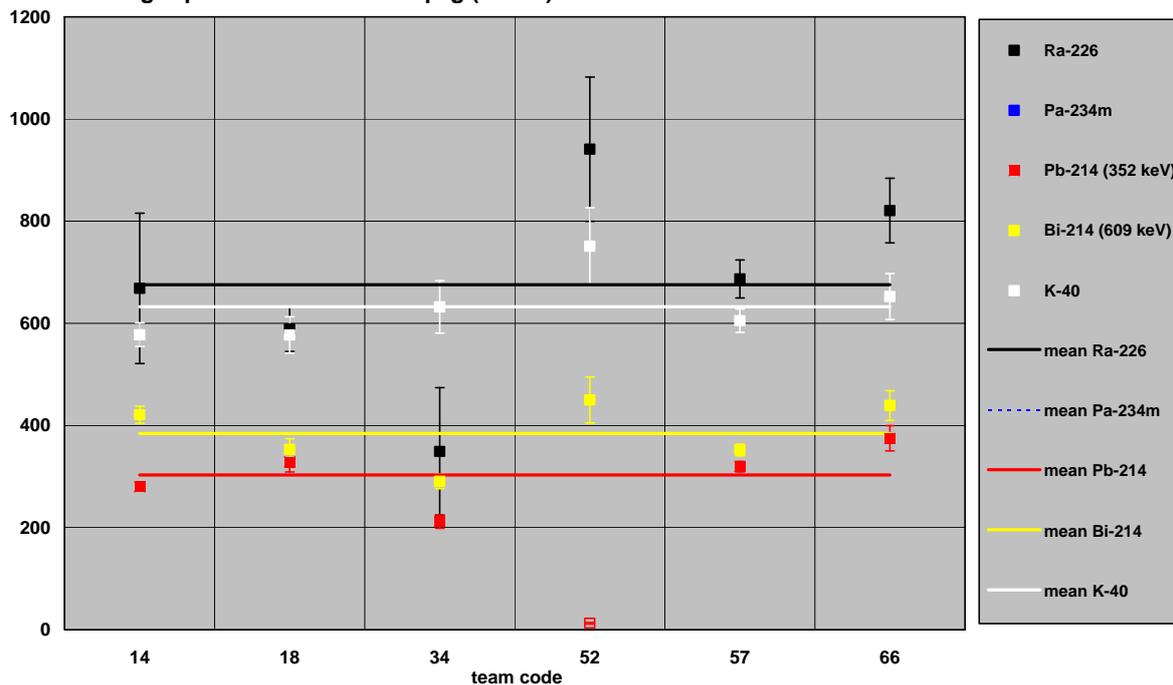
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site H)



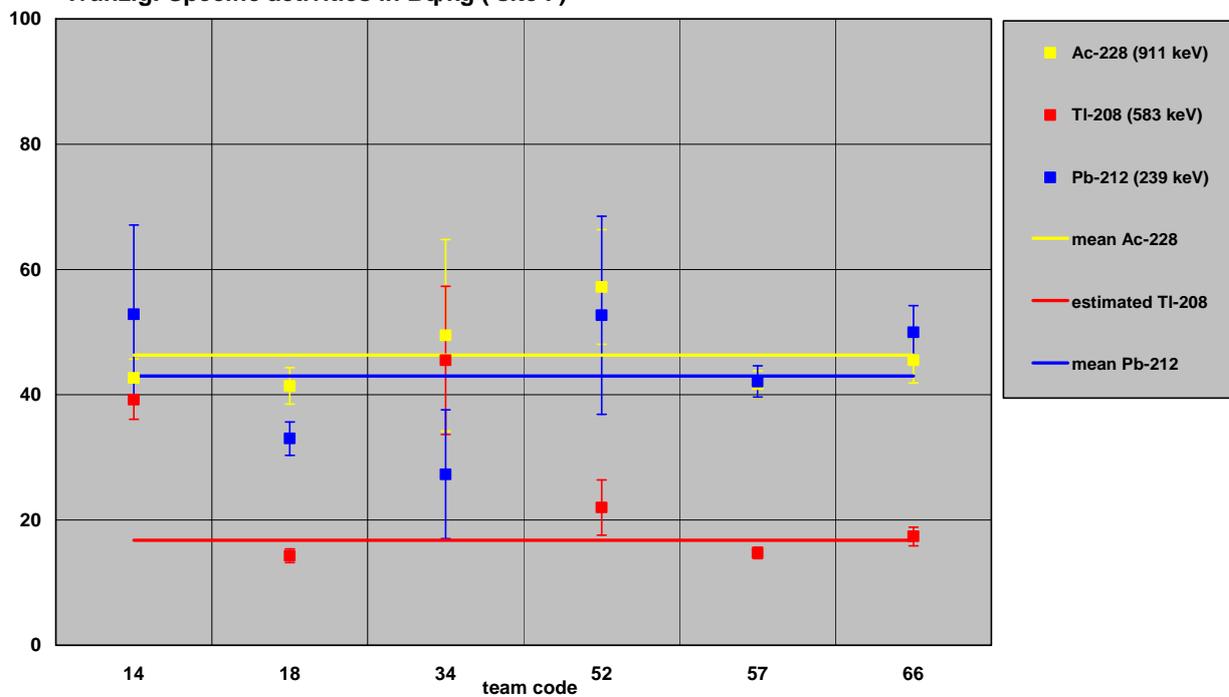
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site H)

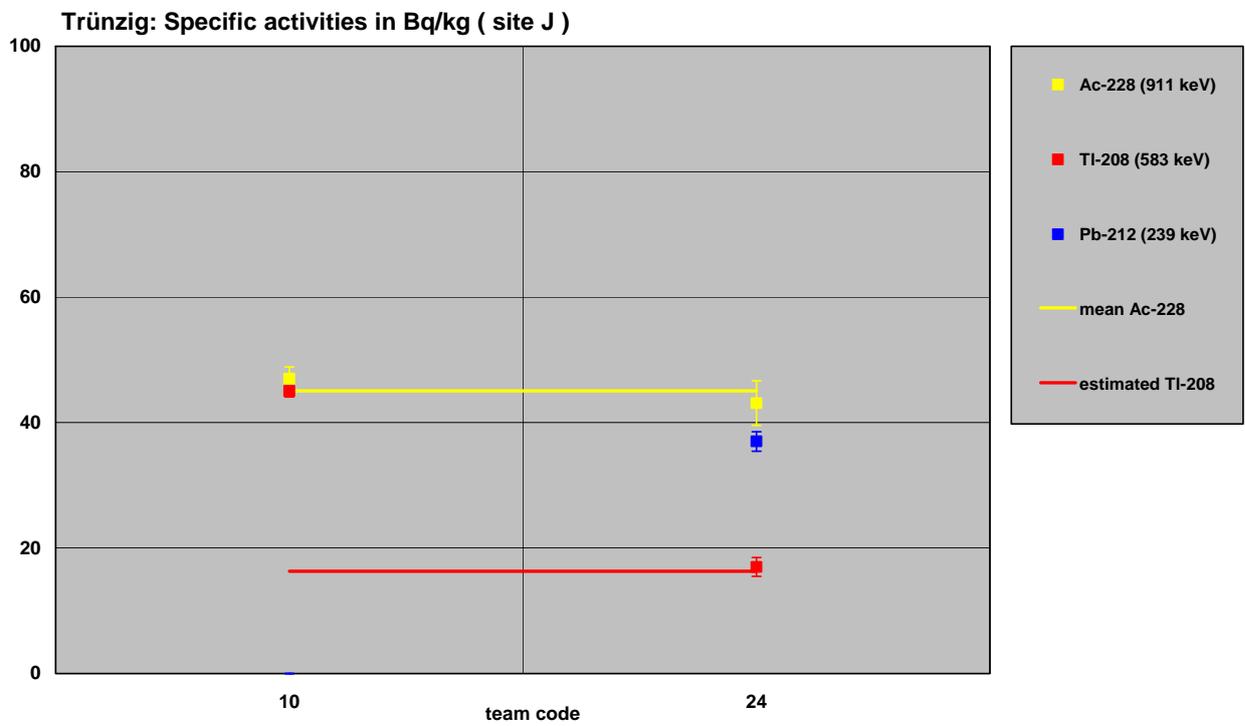
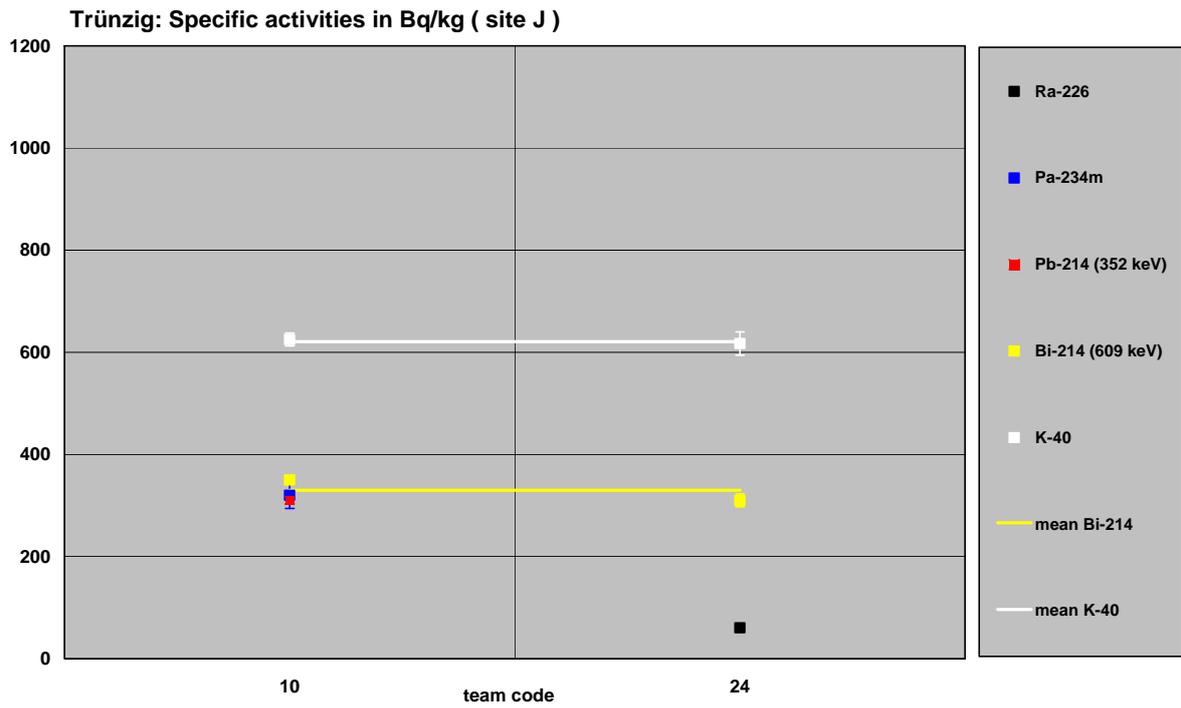


Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site I)

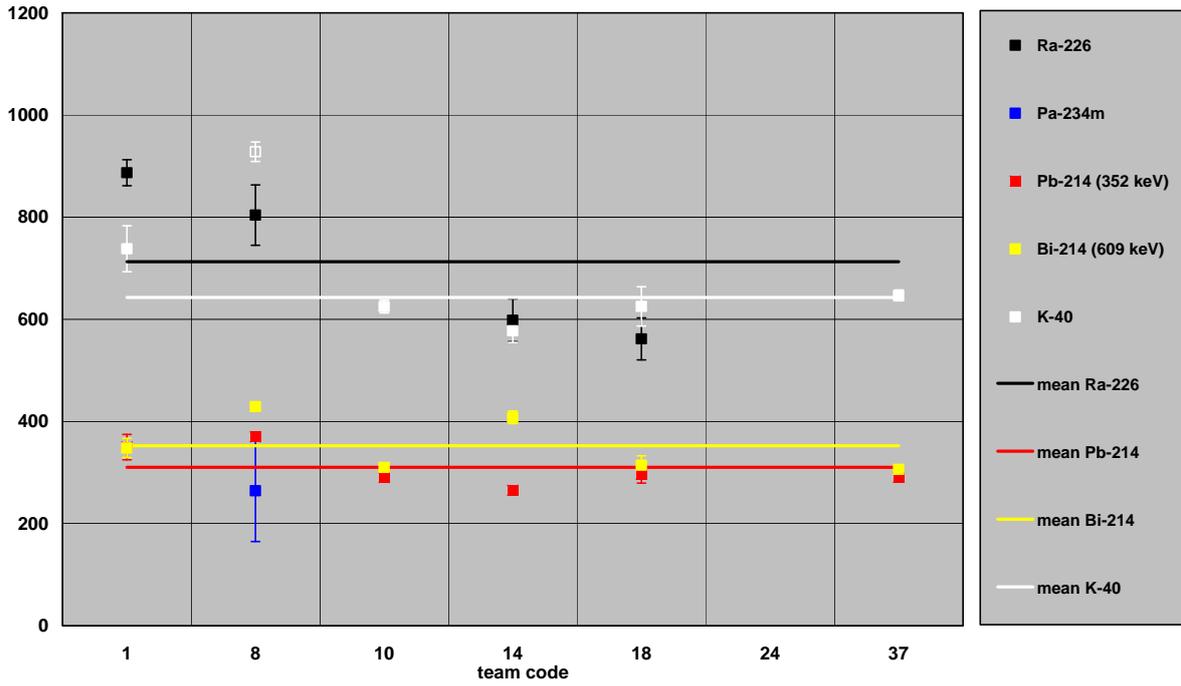


Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site I)

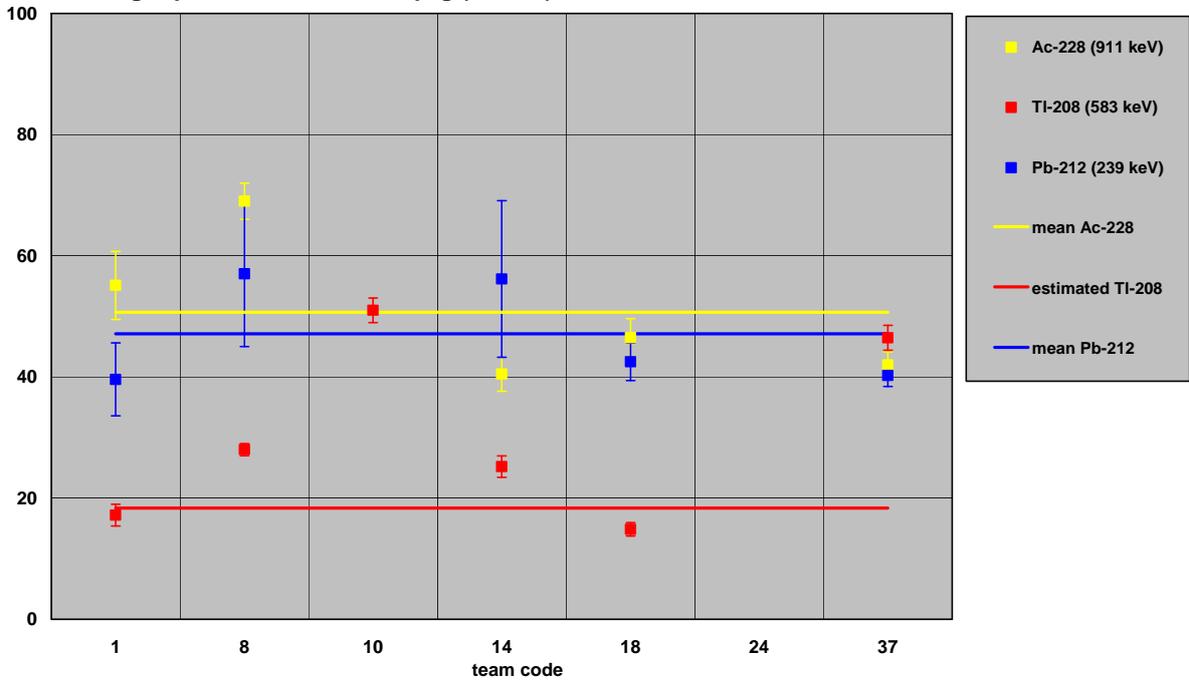




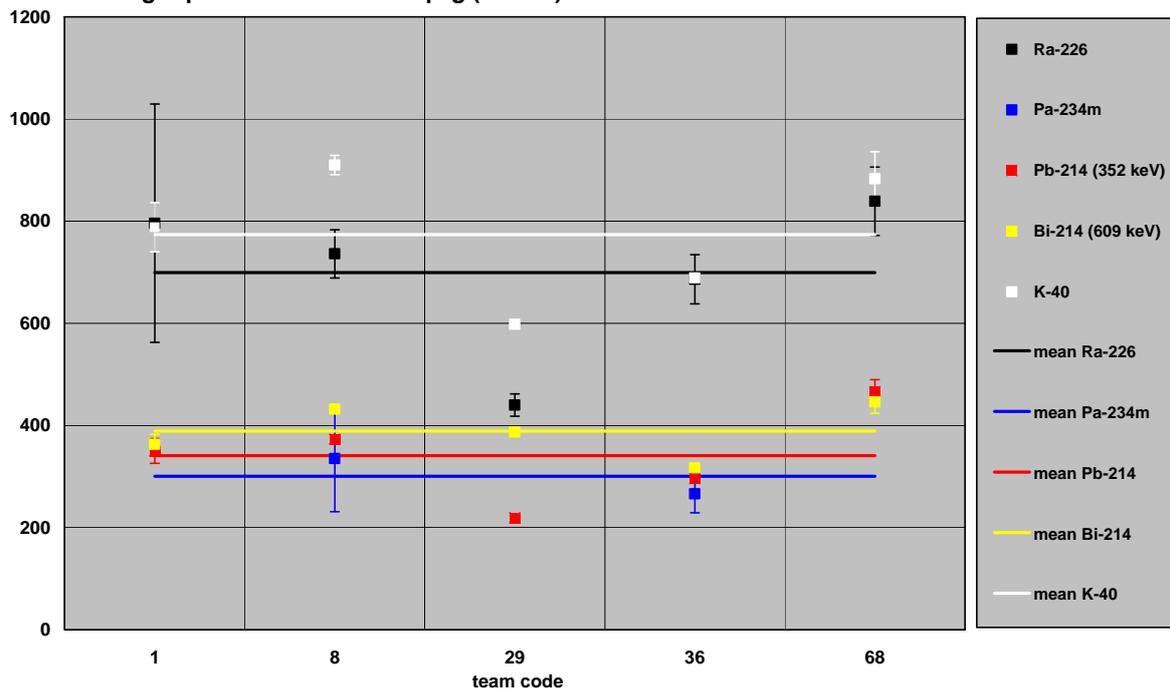
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site K)



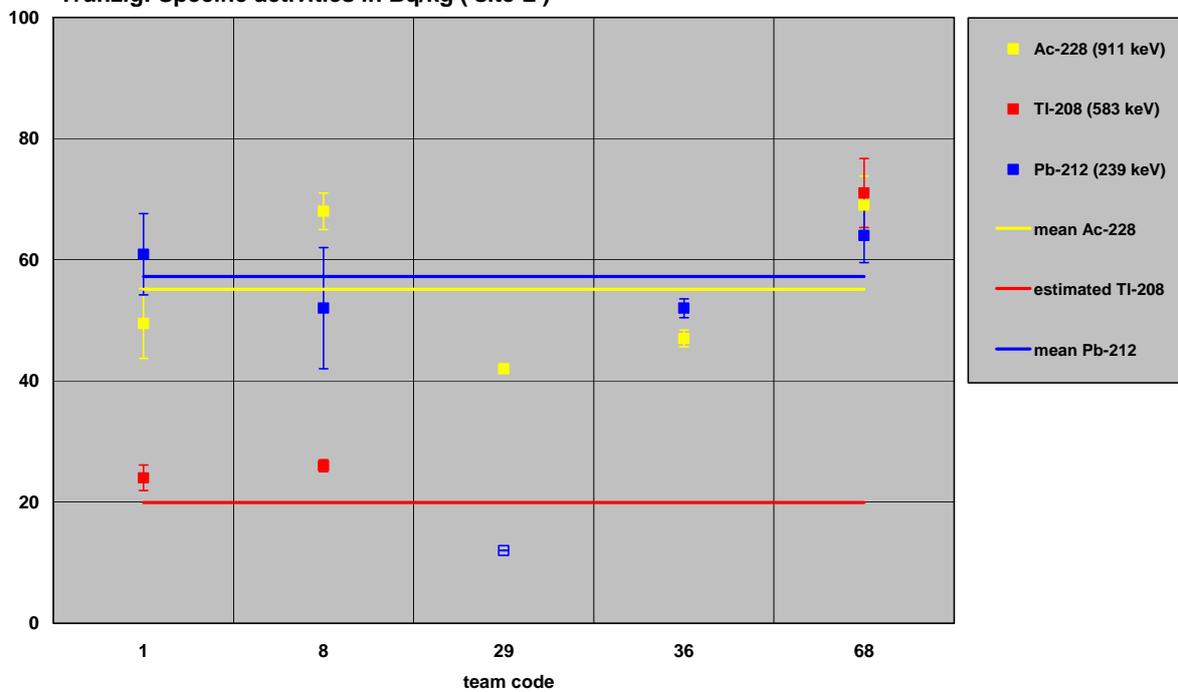
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site K)



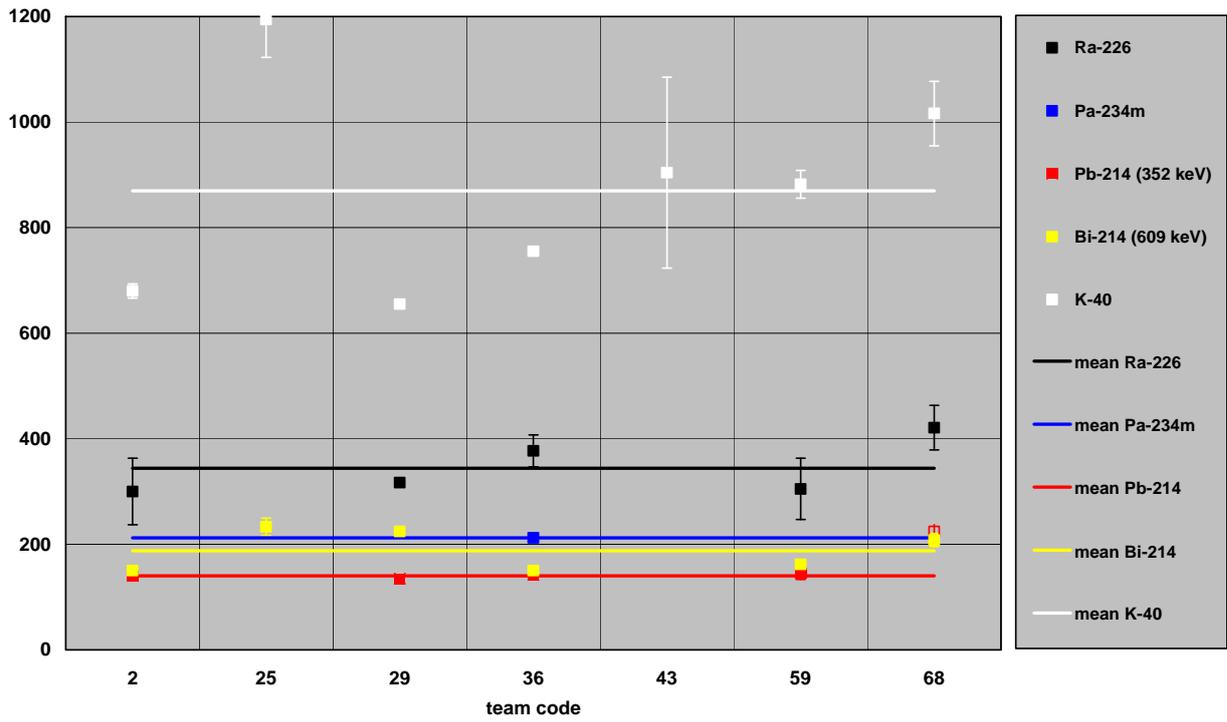
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site L)



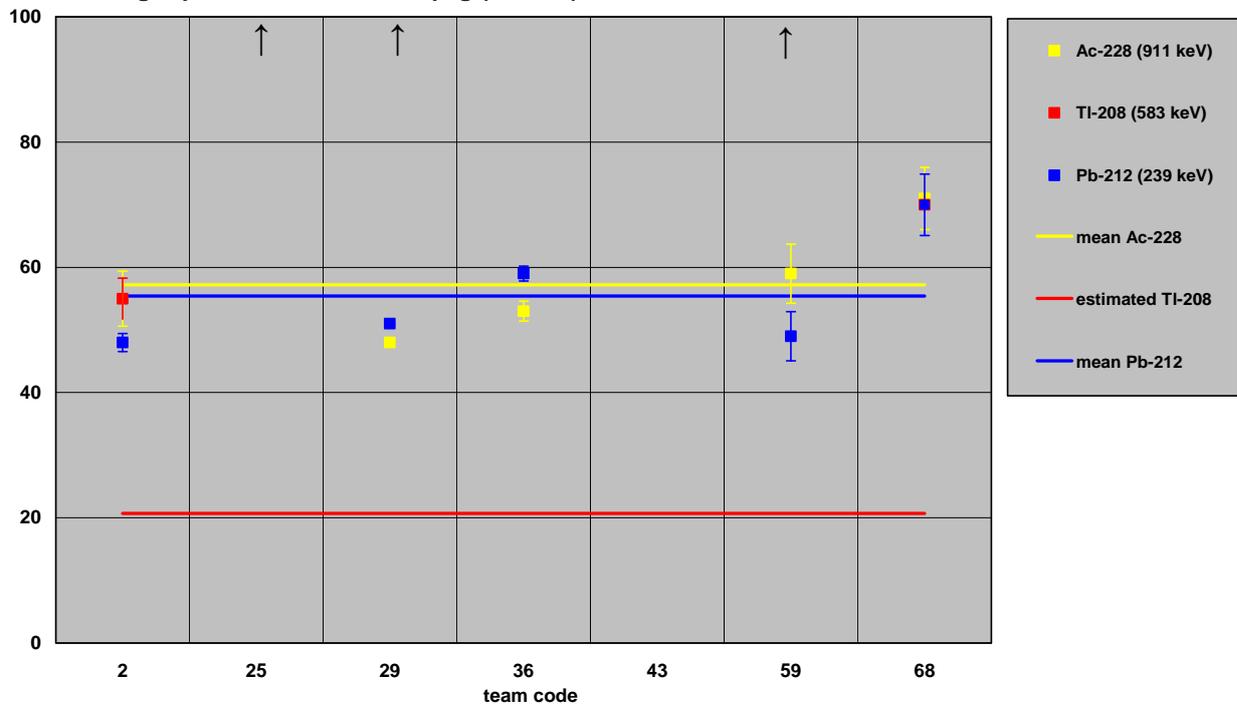
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site L)



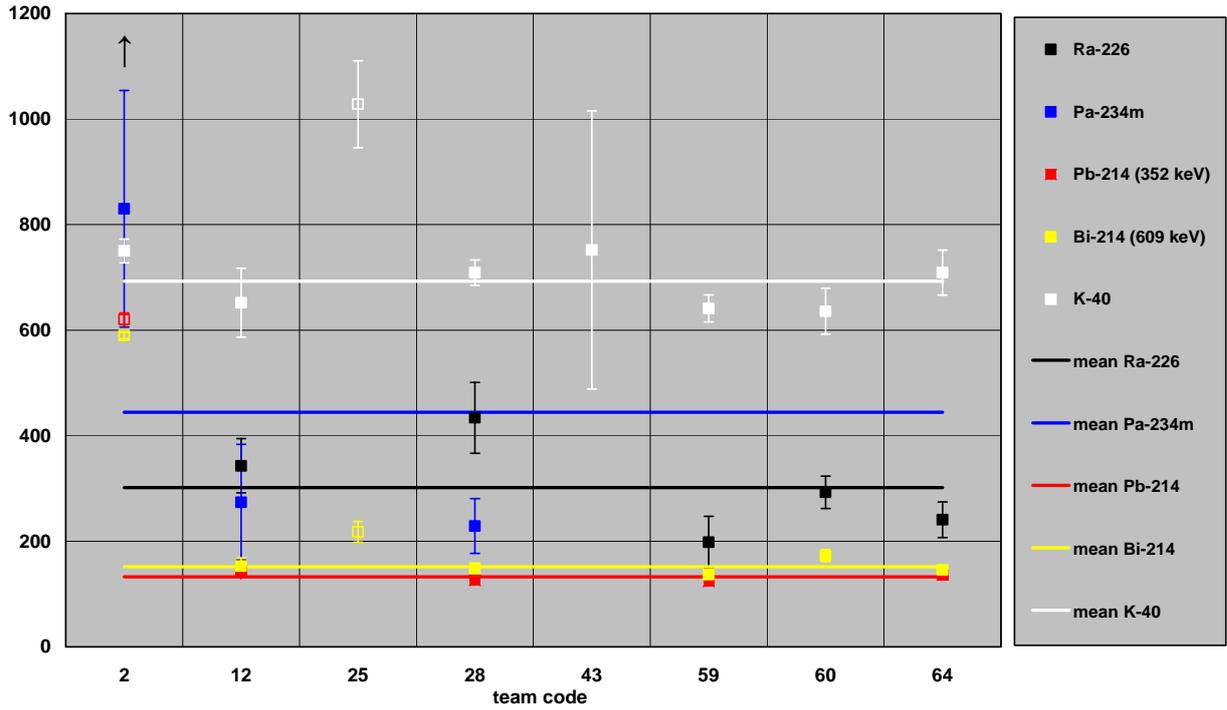
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site M)



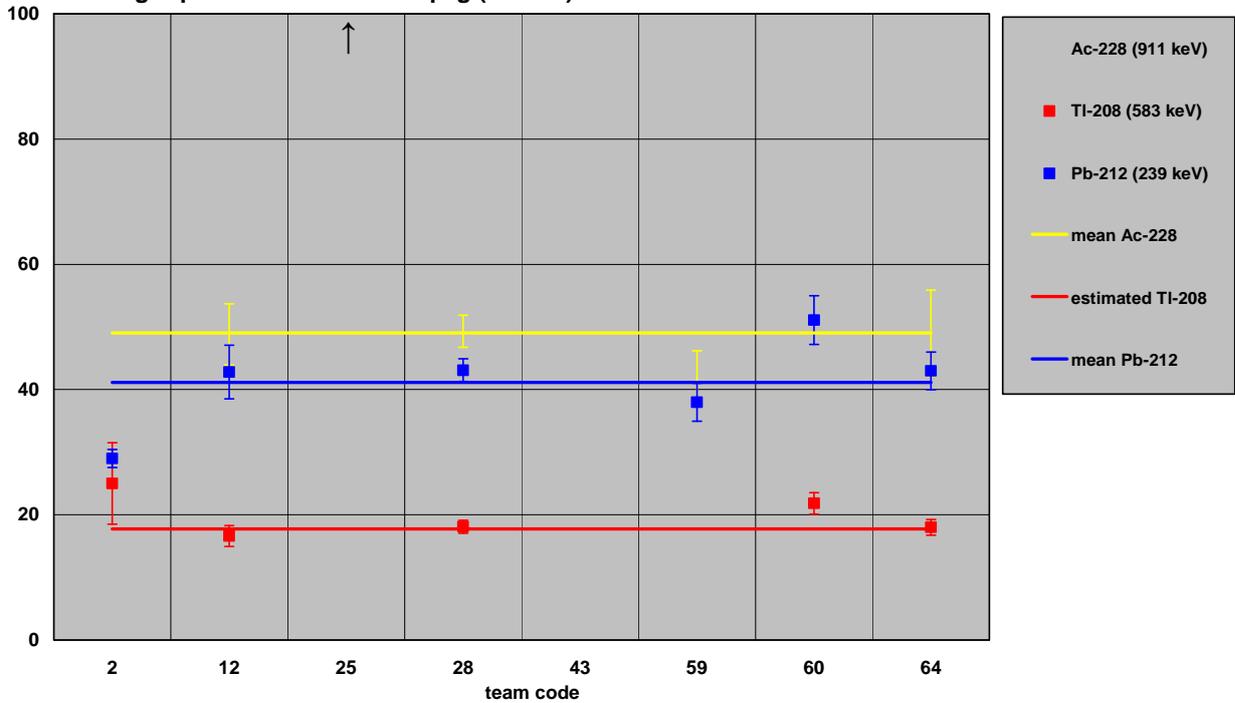
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site M)



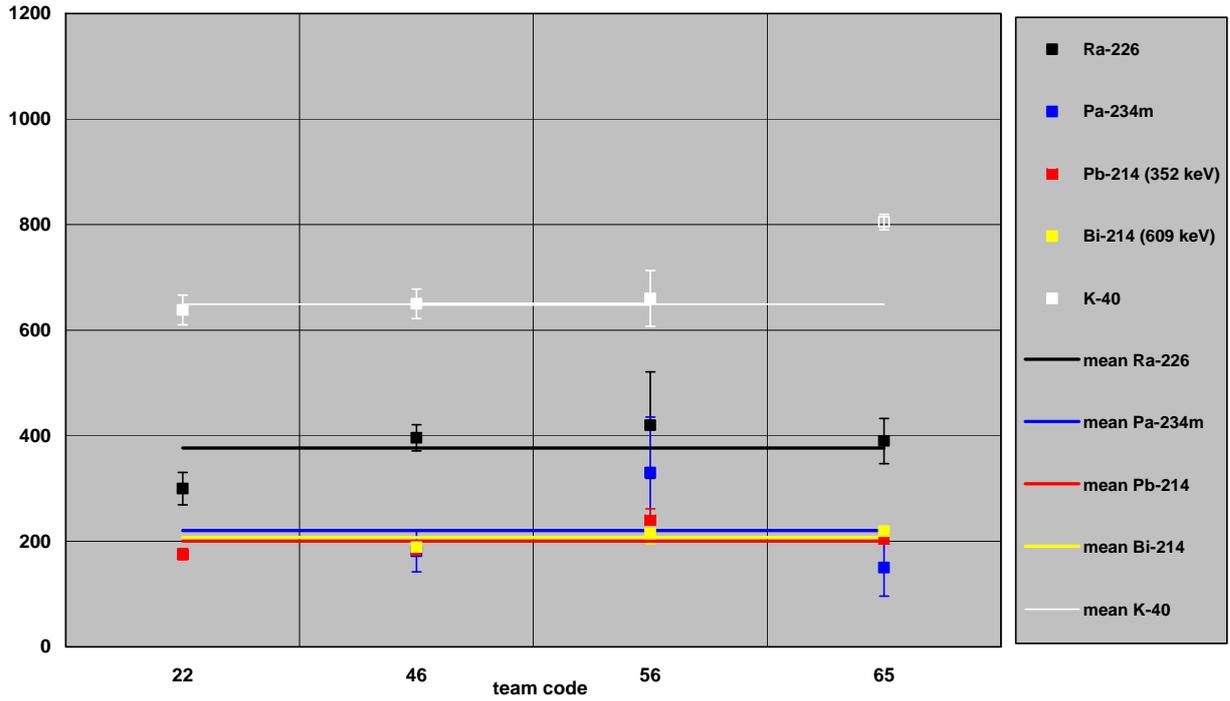
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site N)



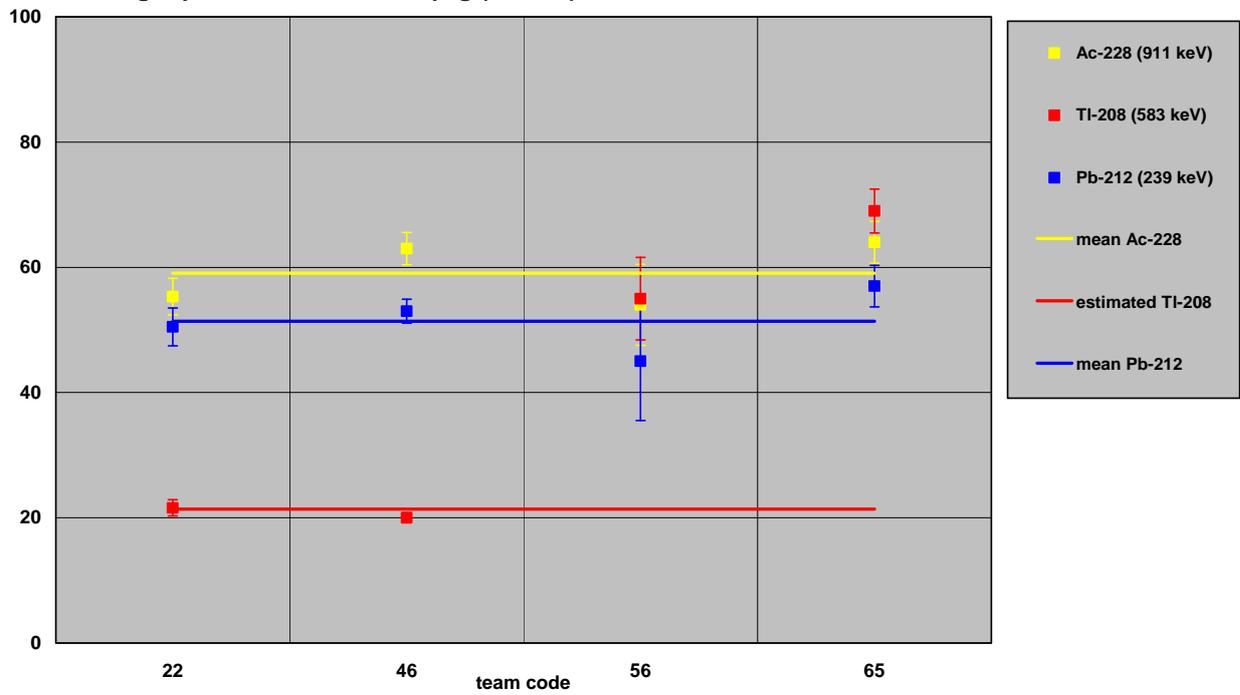
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site N)



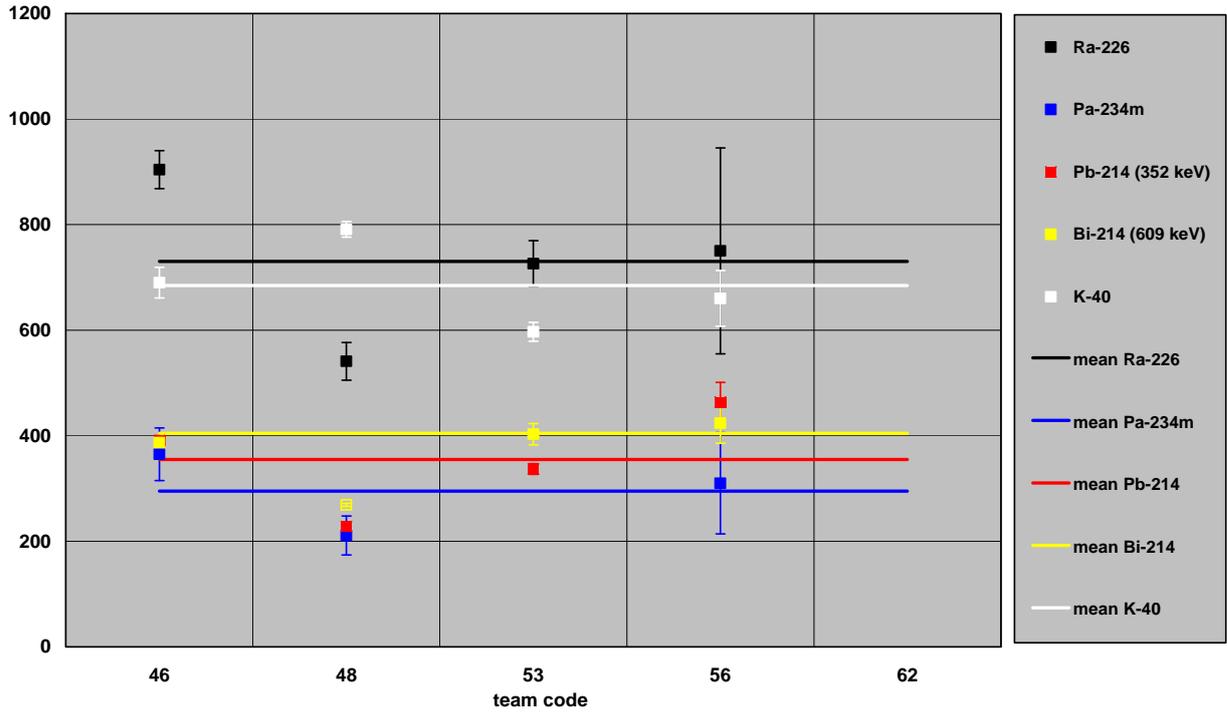
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site O)



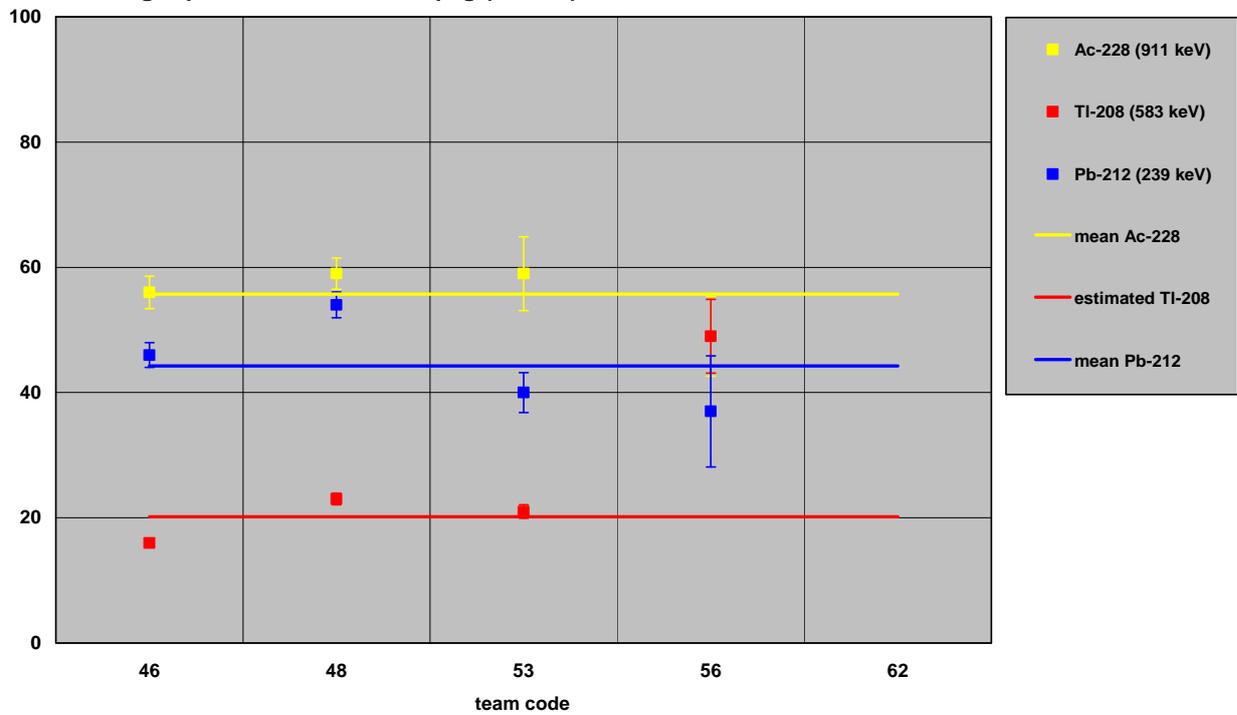
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site O)



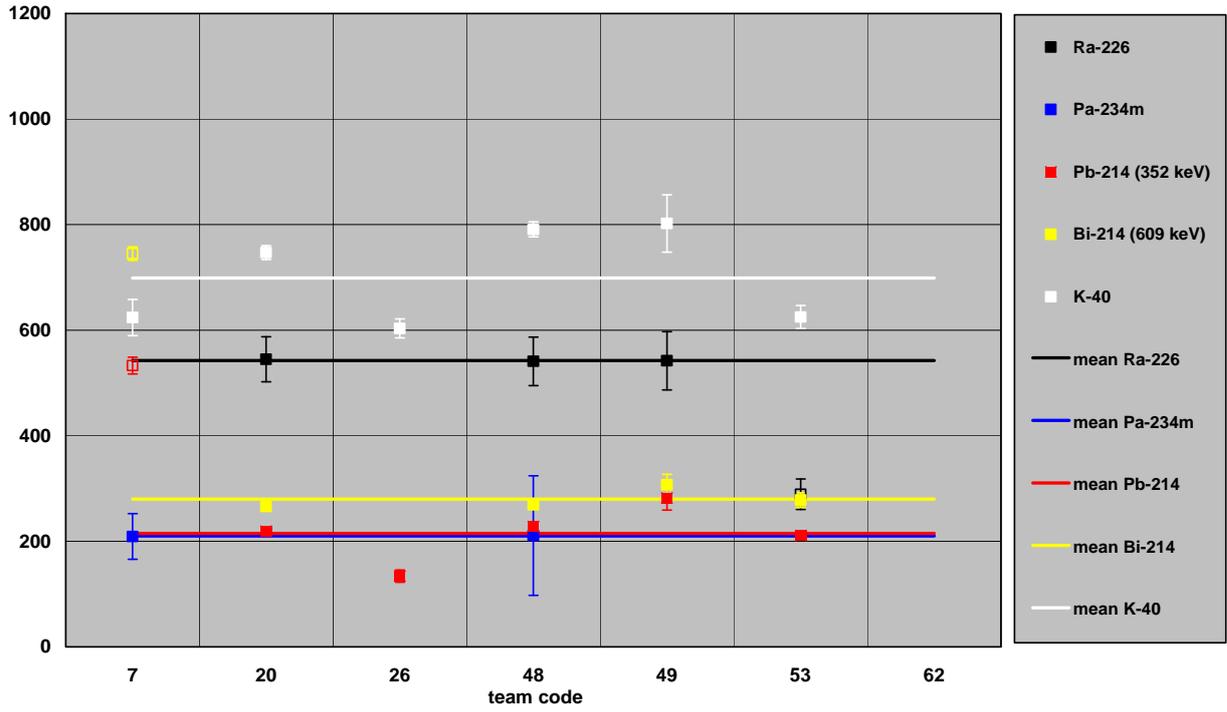
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site P)



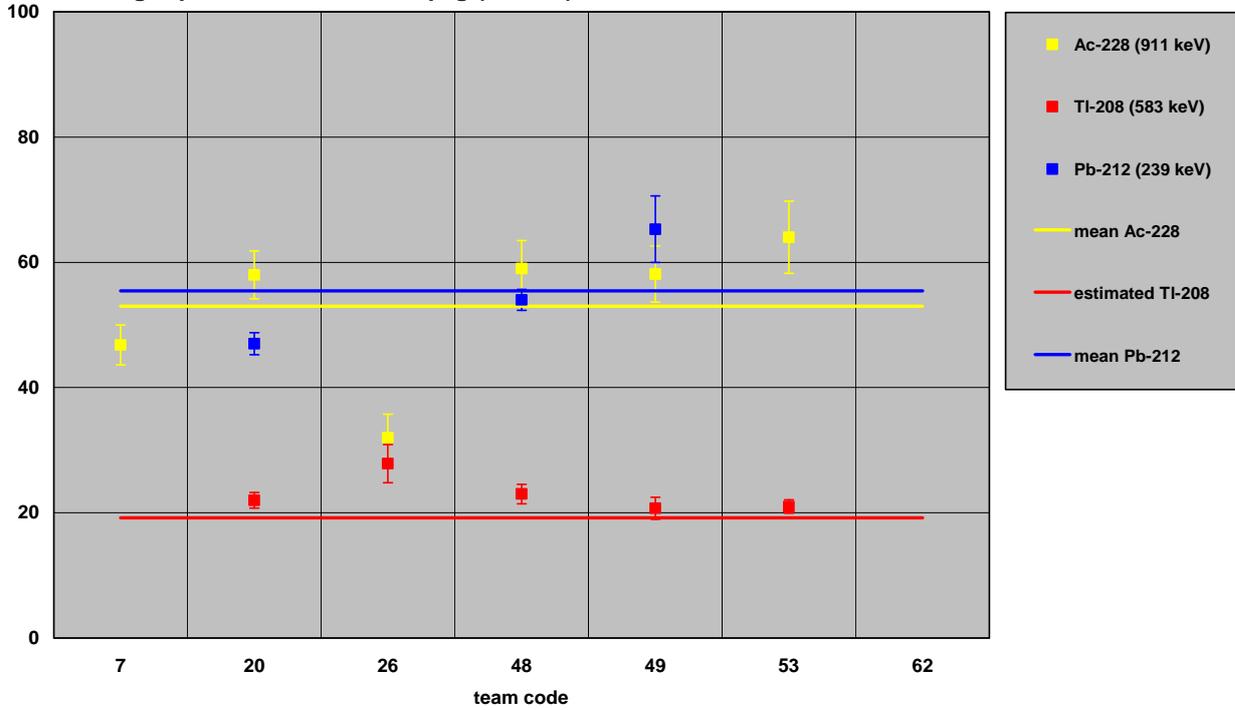
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site P)



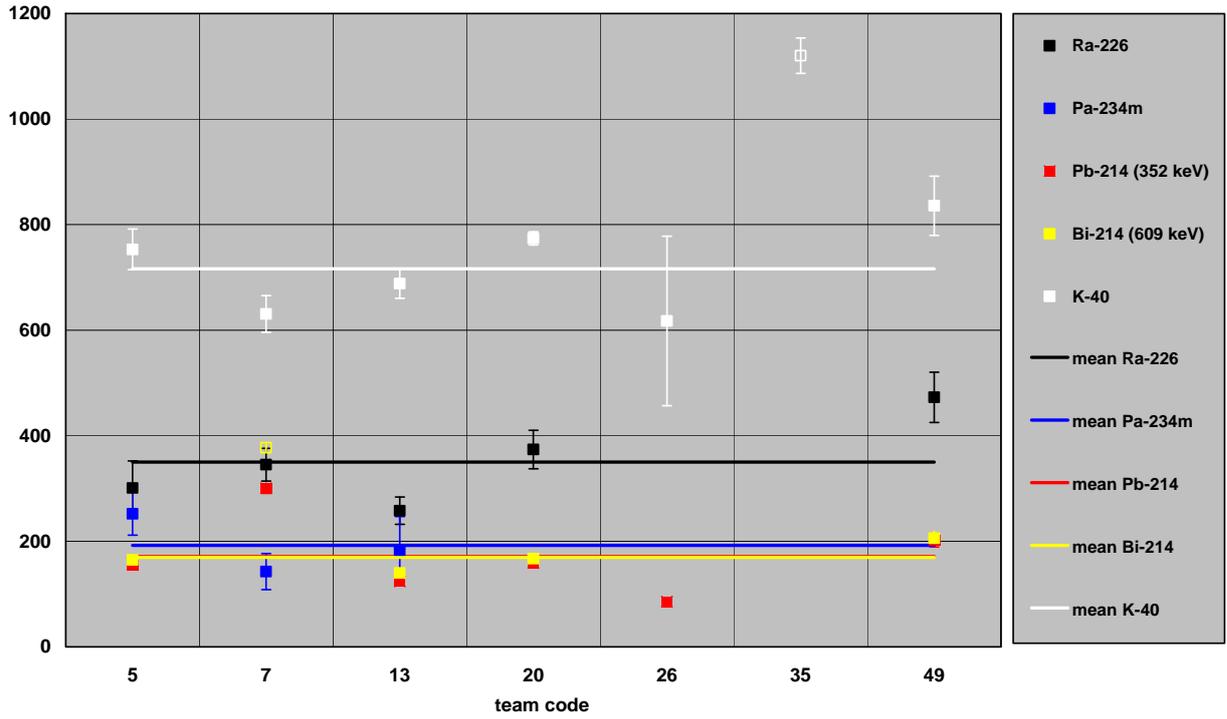
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site Q)



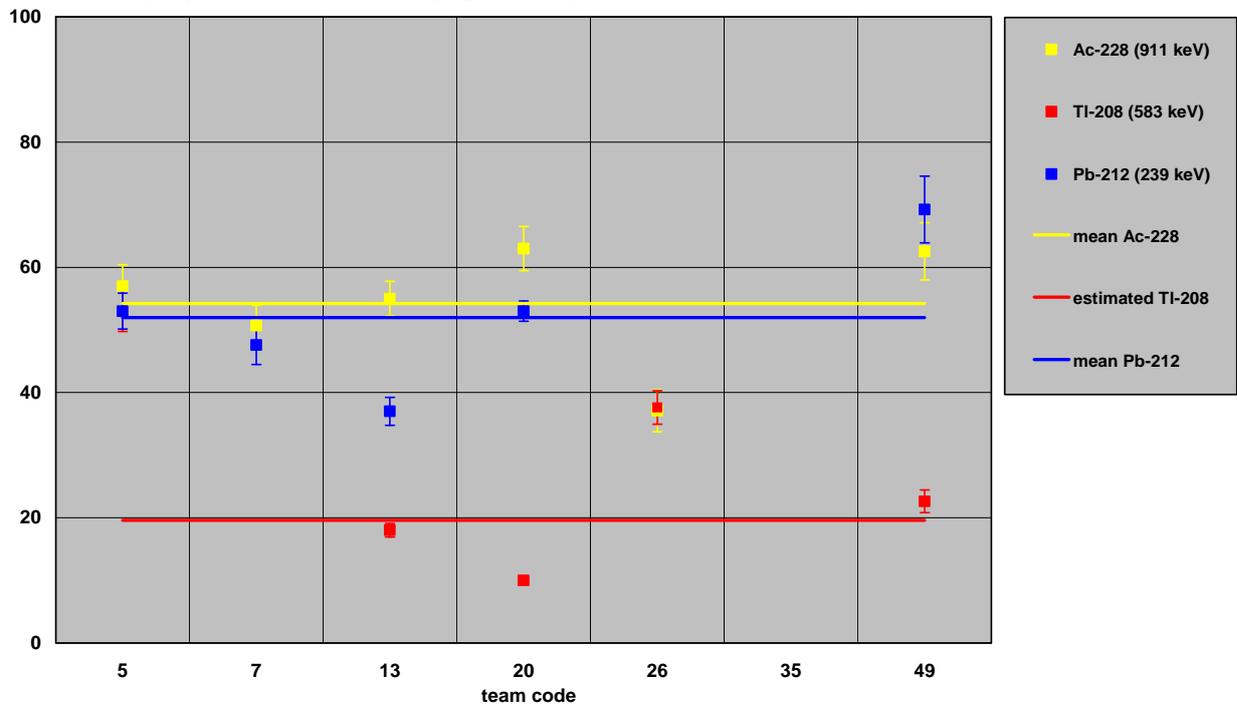
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site Q)



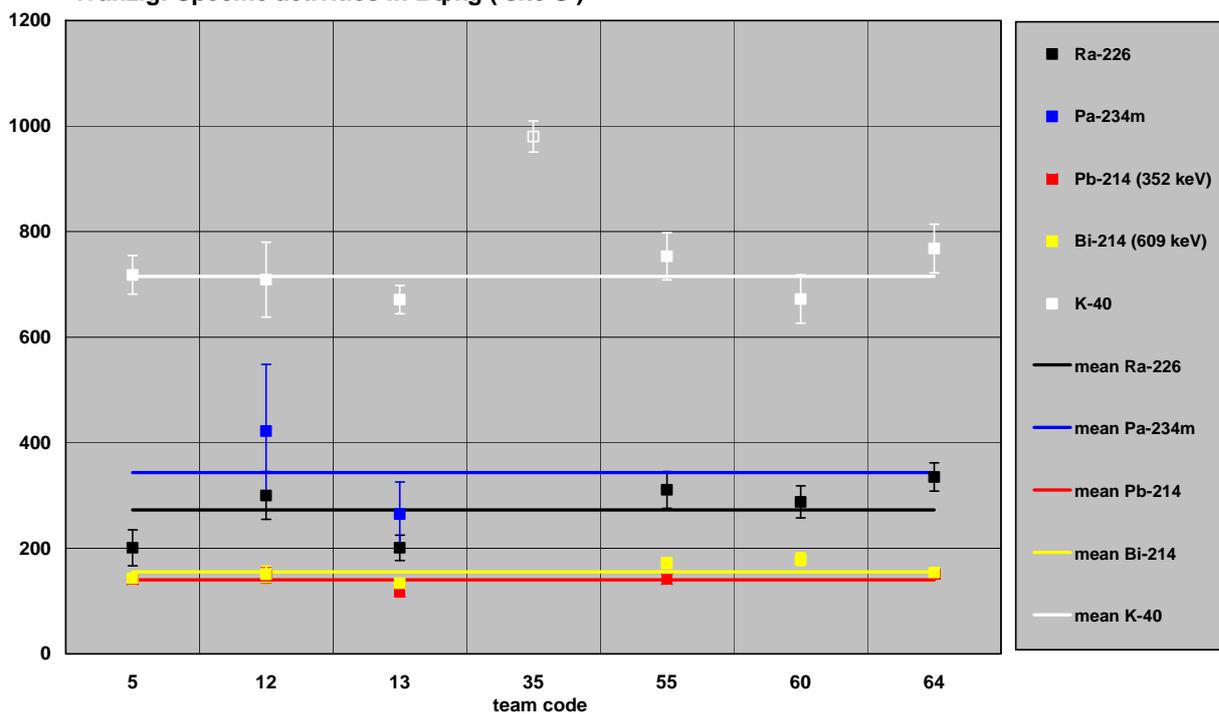
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site R)



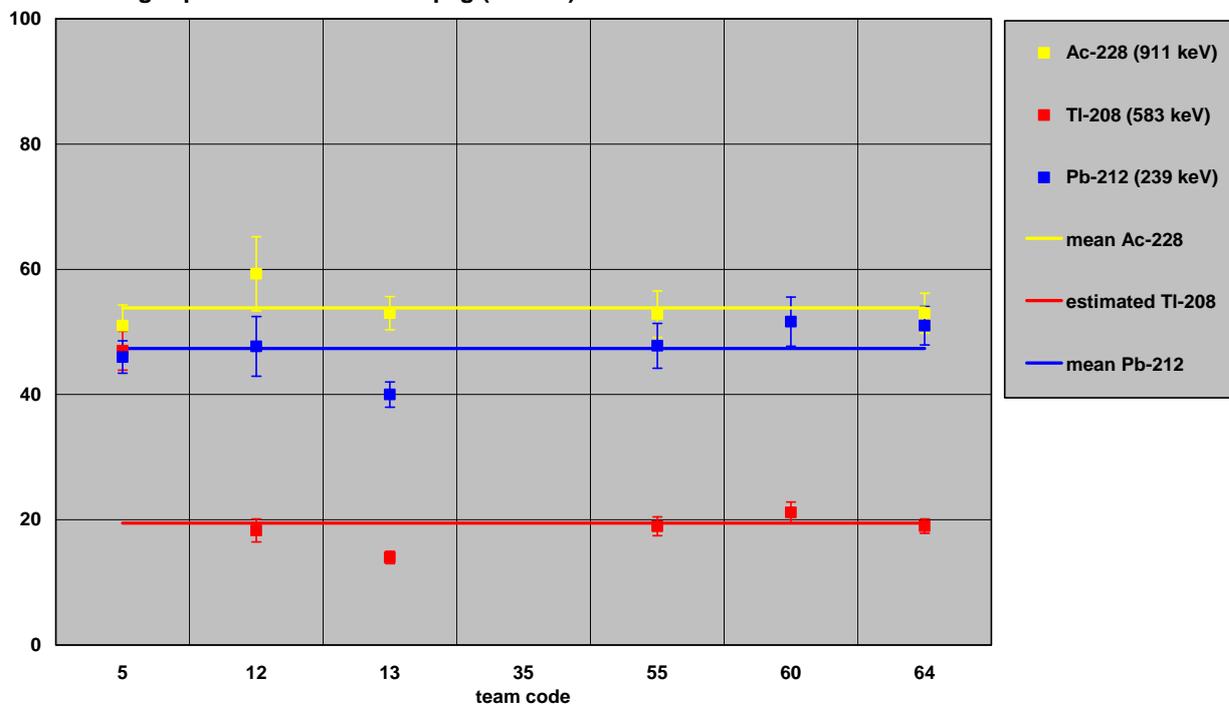
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site R)



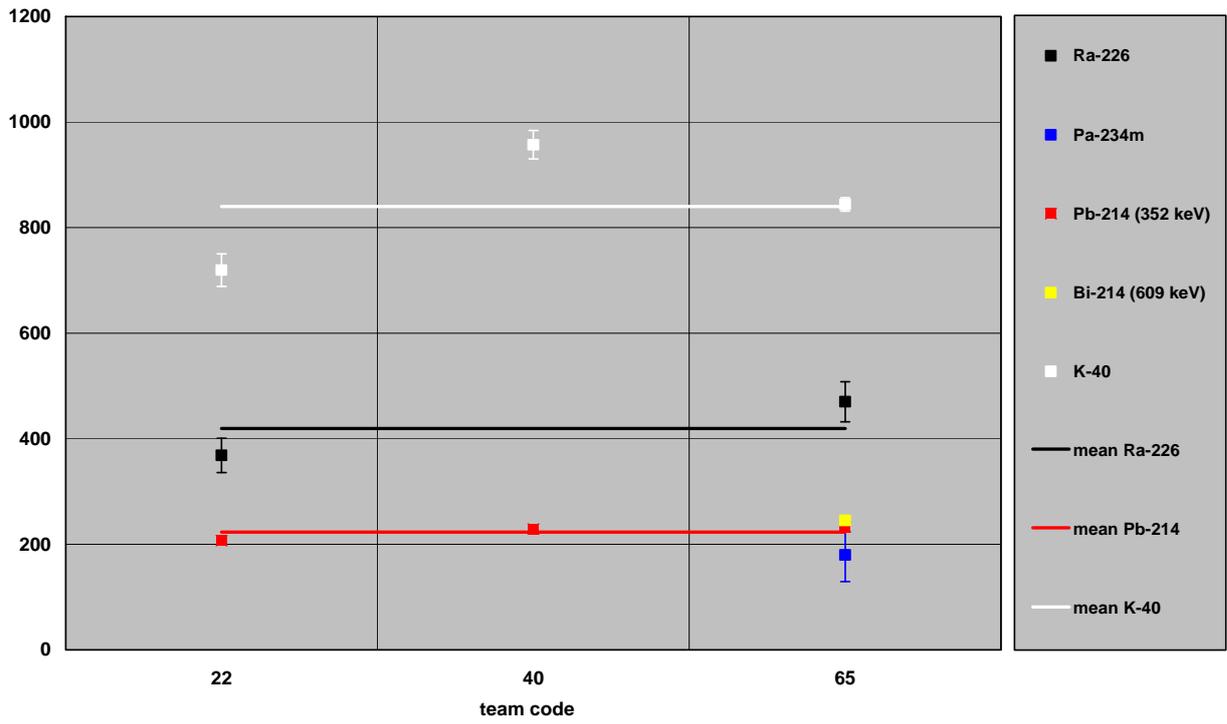
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site S)



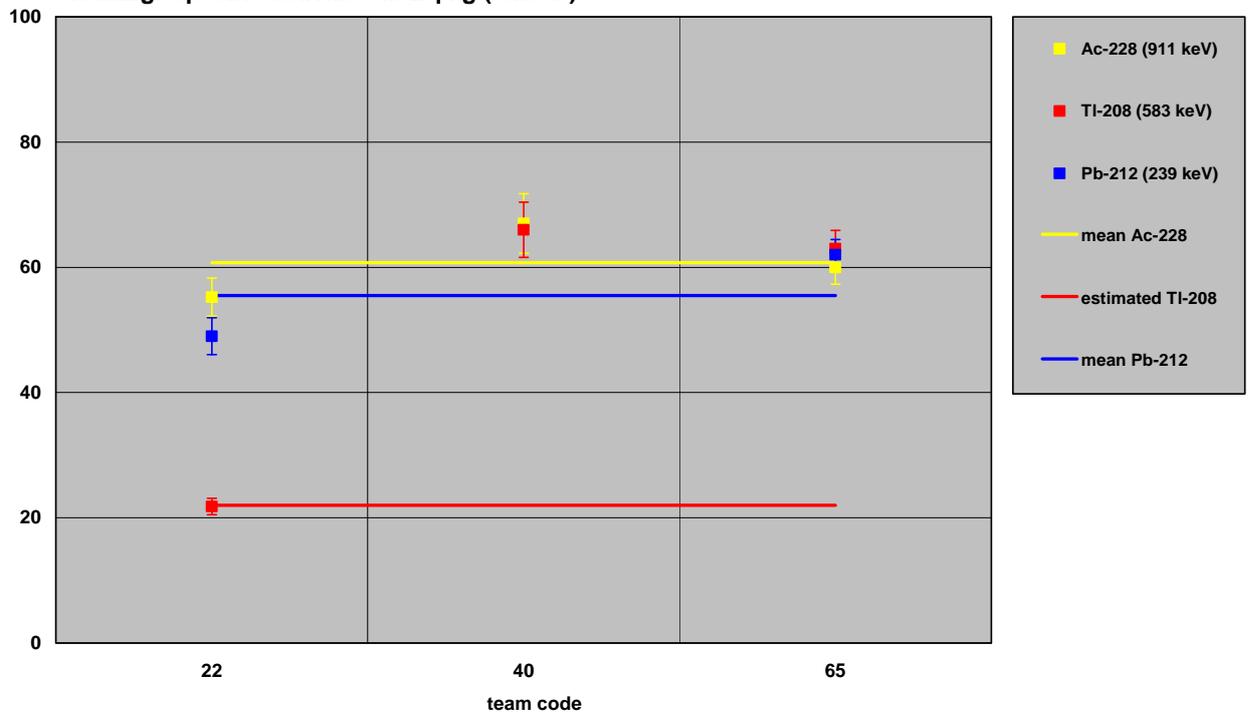
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site S)



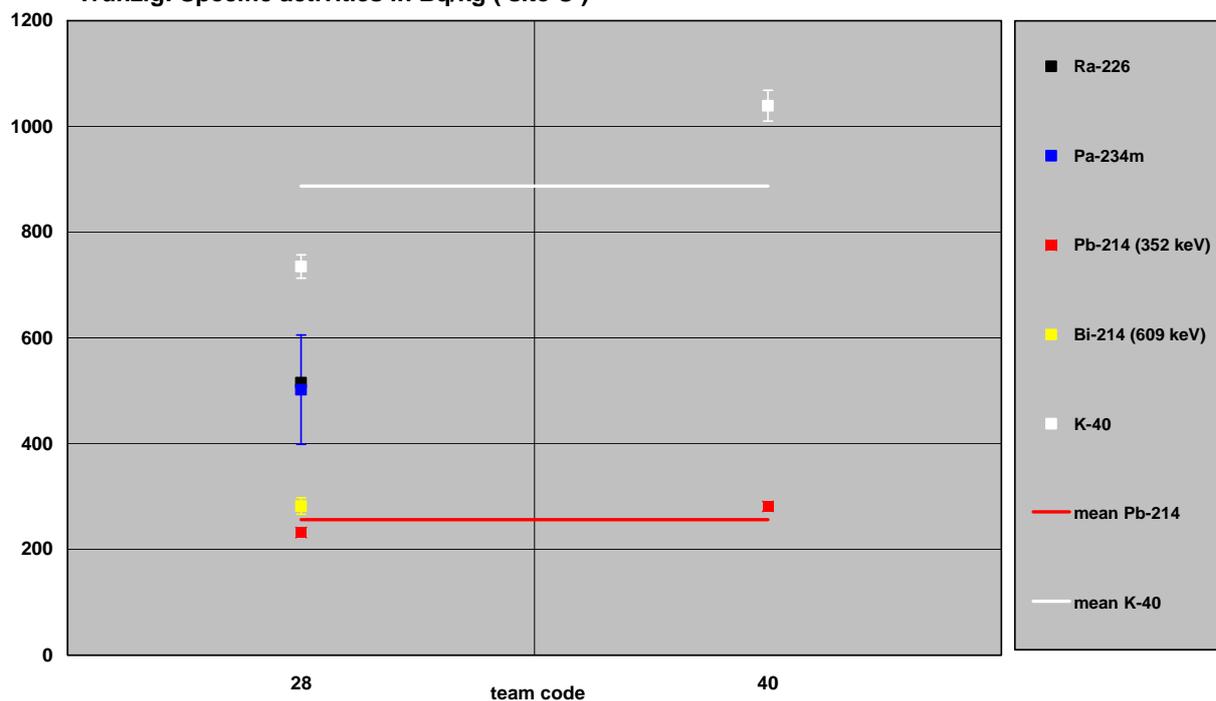
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site T)



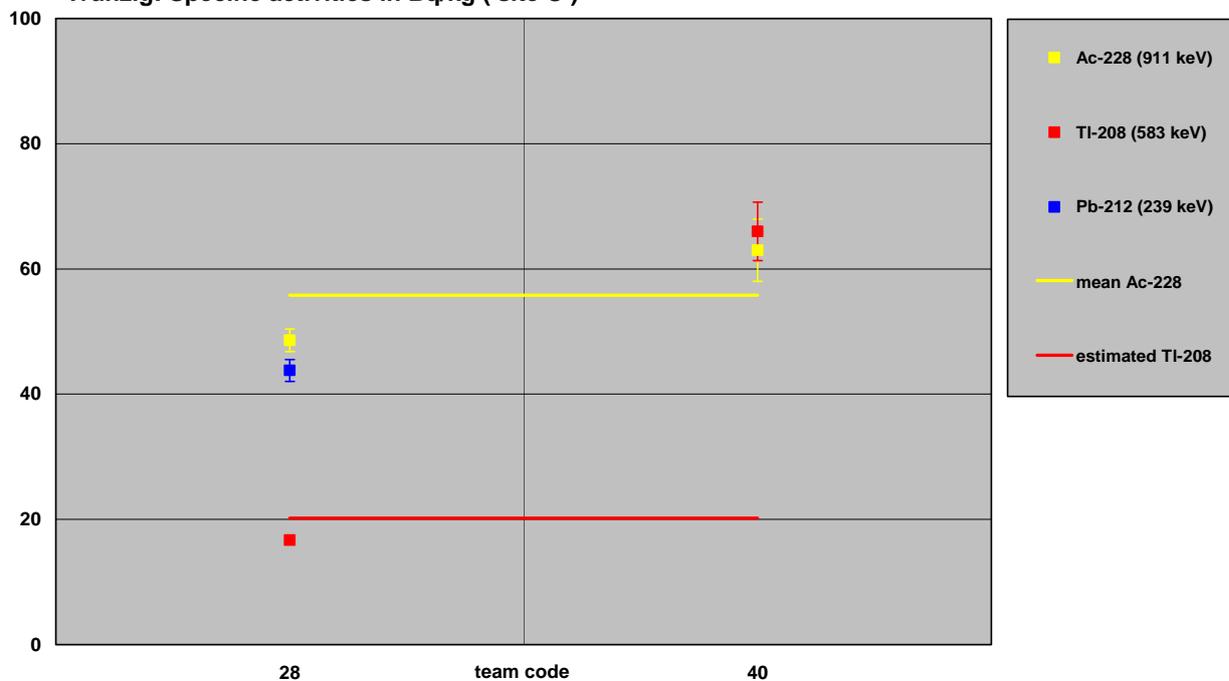
Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site T)



Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site U)

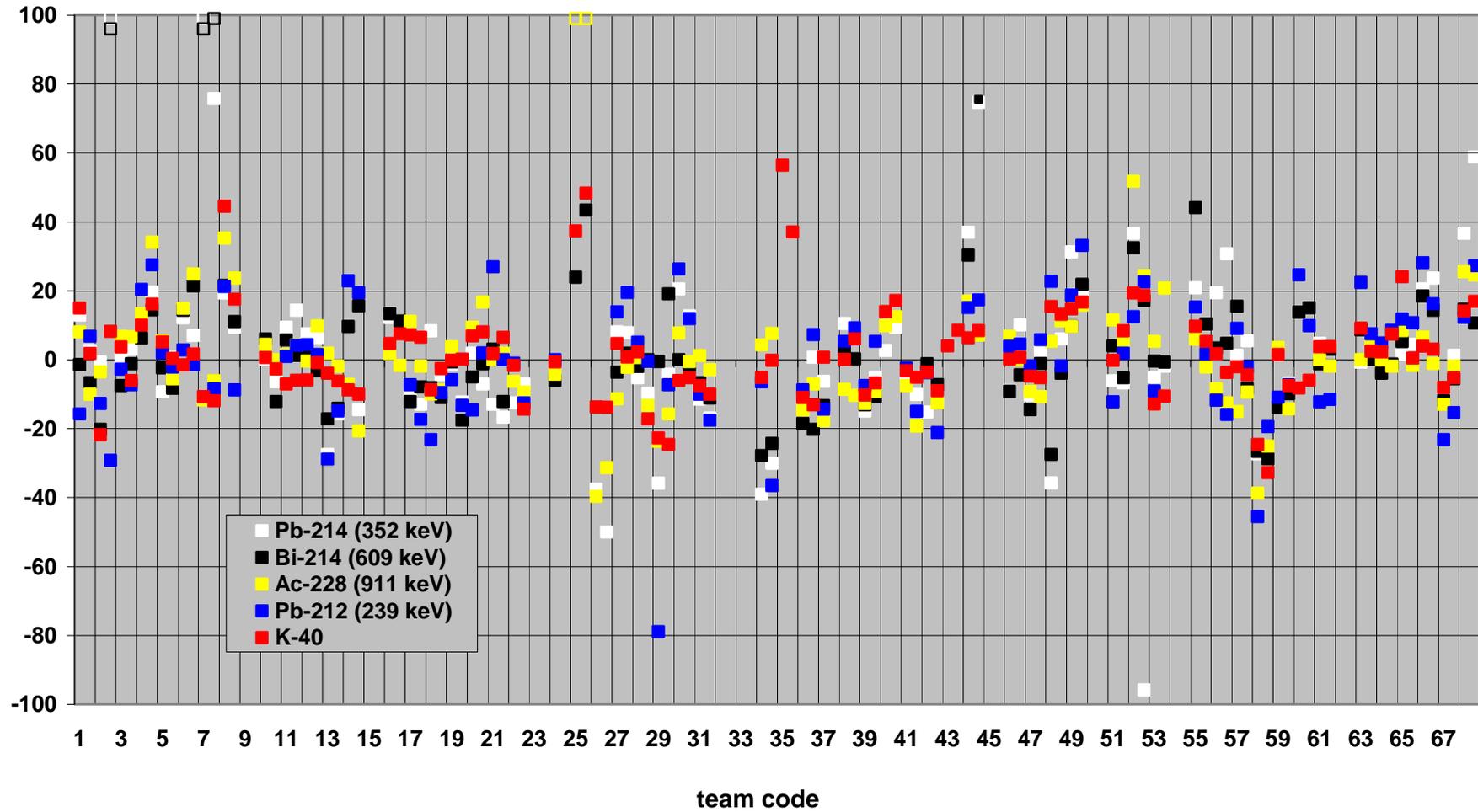


Trünzig: Specific activities in Bq/kg (site U)

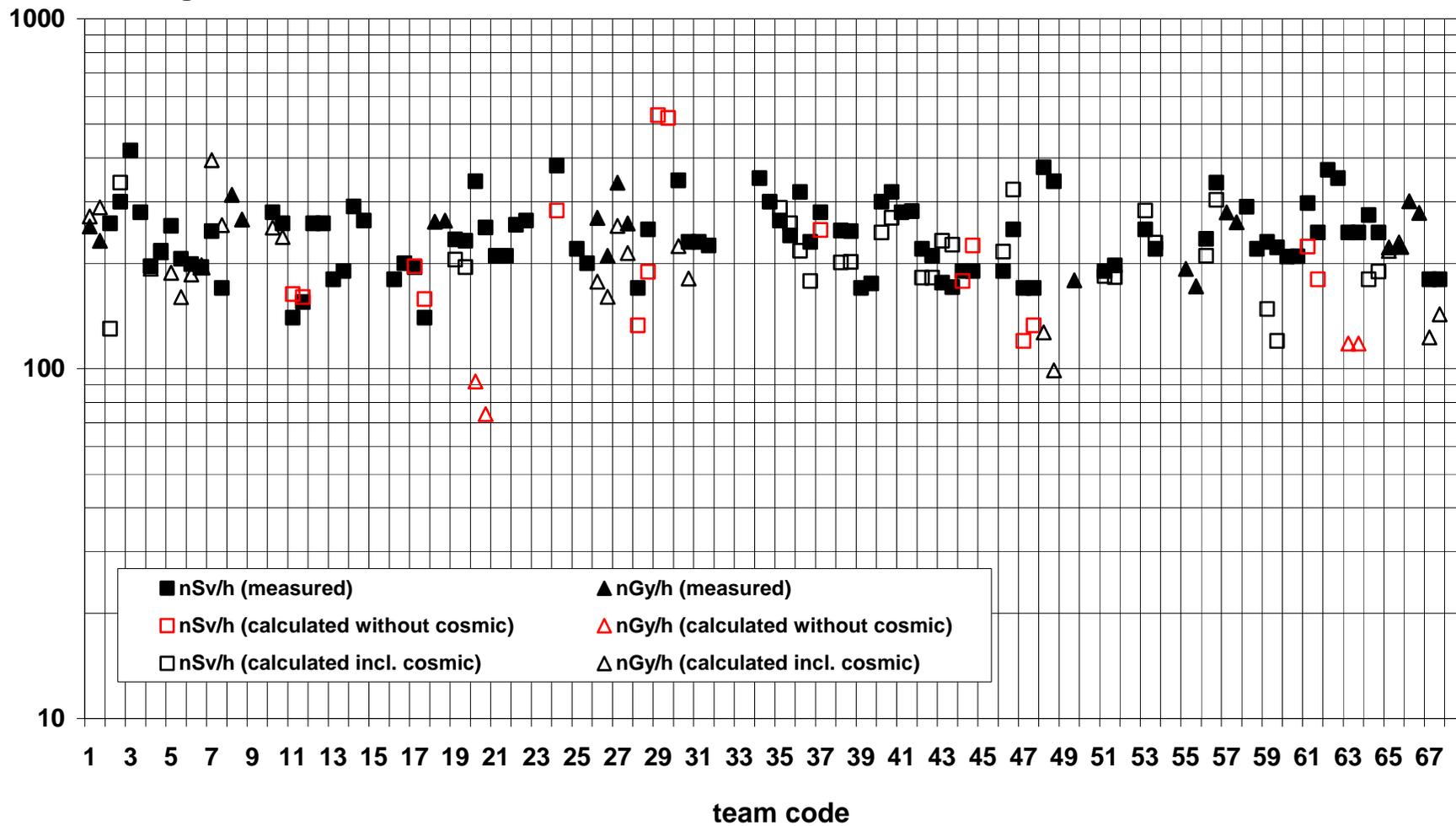


ANHANG T2

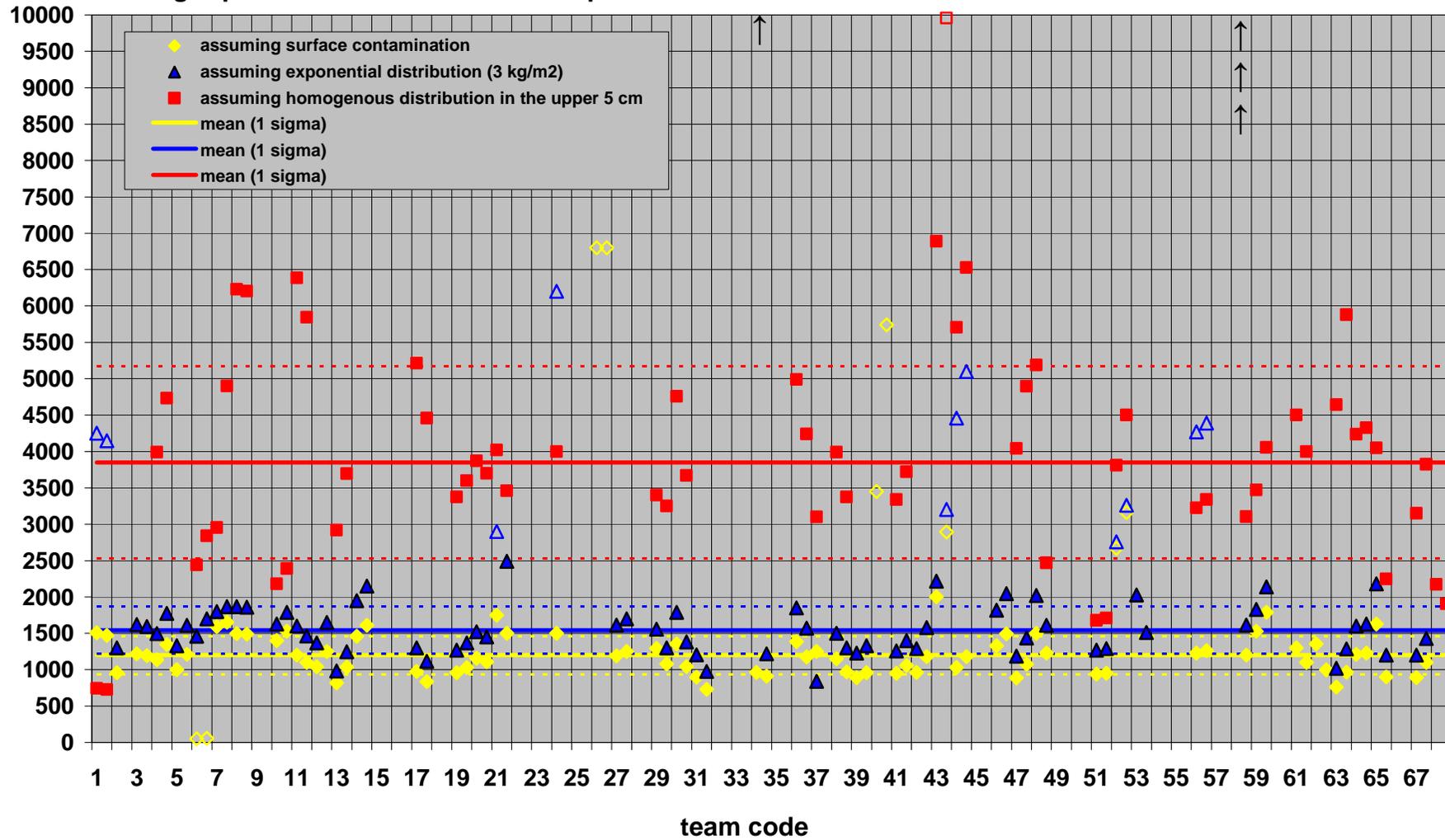
Trünzing: Relative difference to the site mean value in %



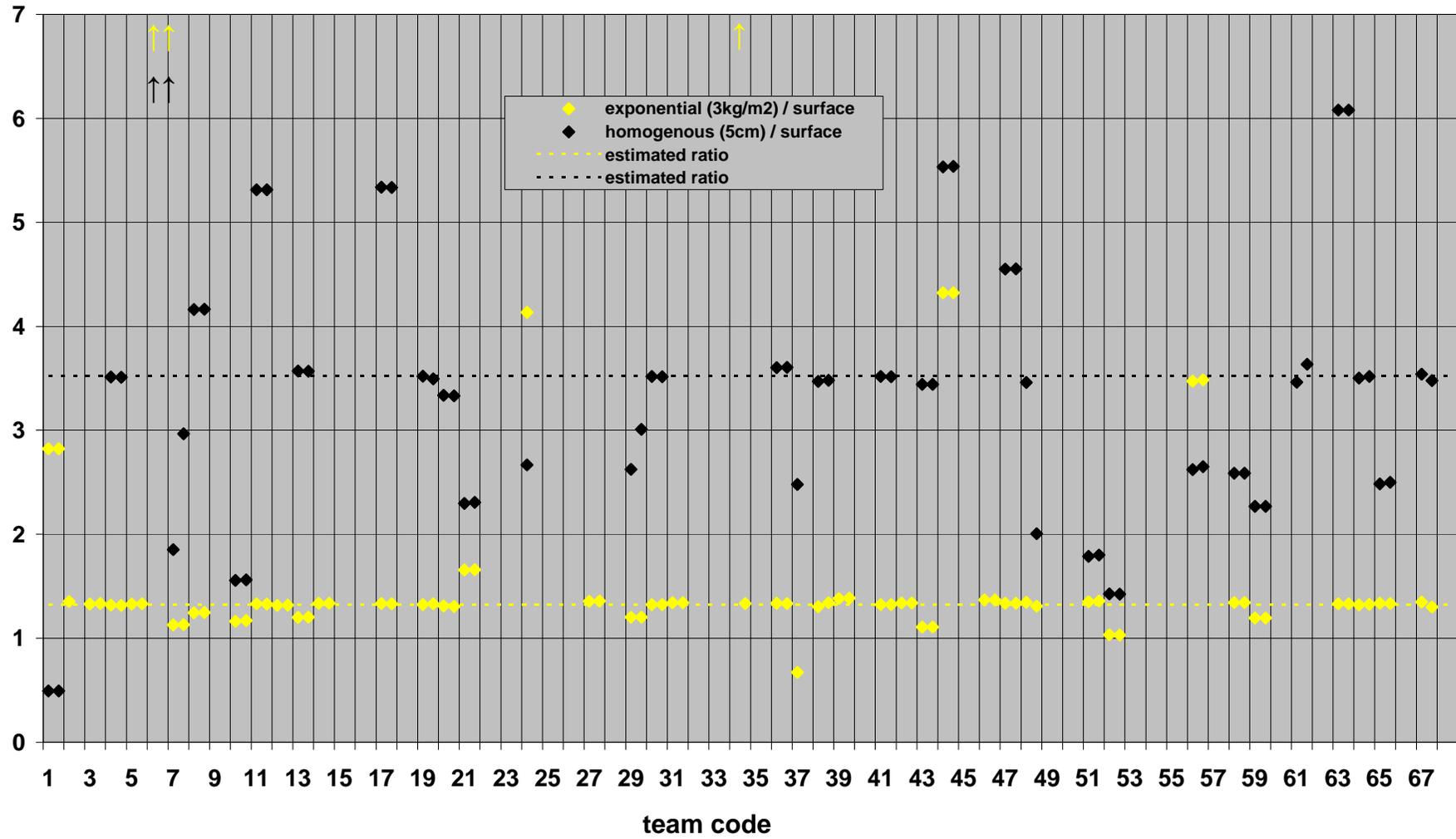
Trünzig: Dose rate



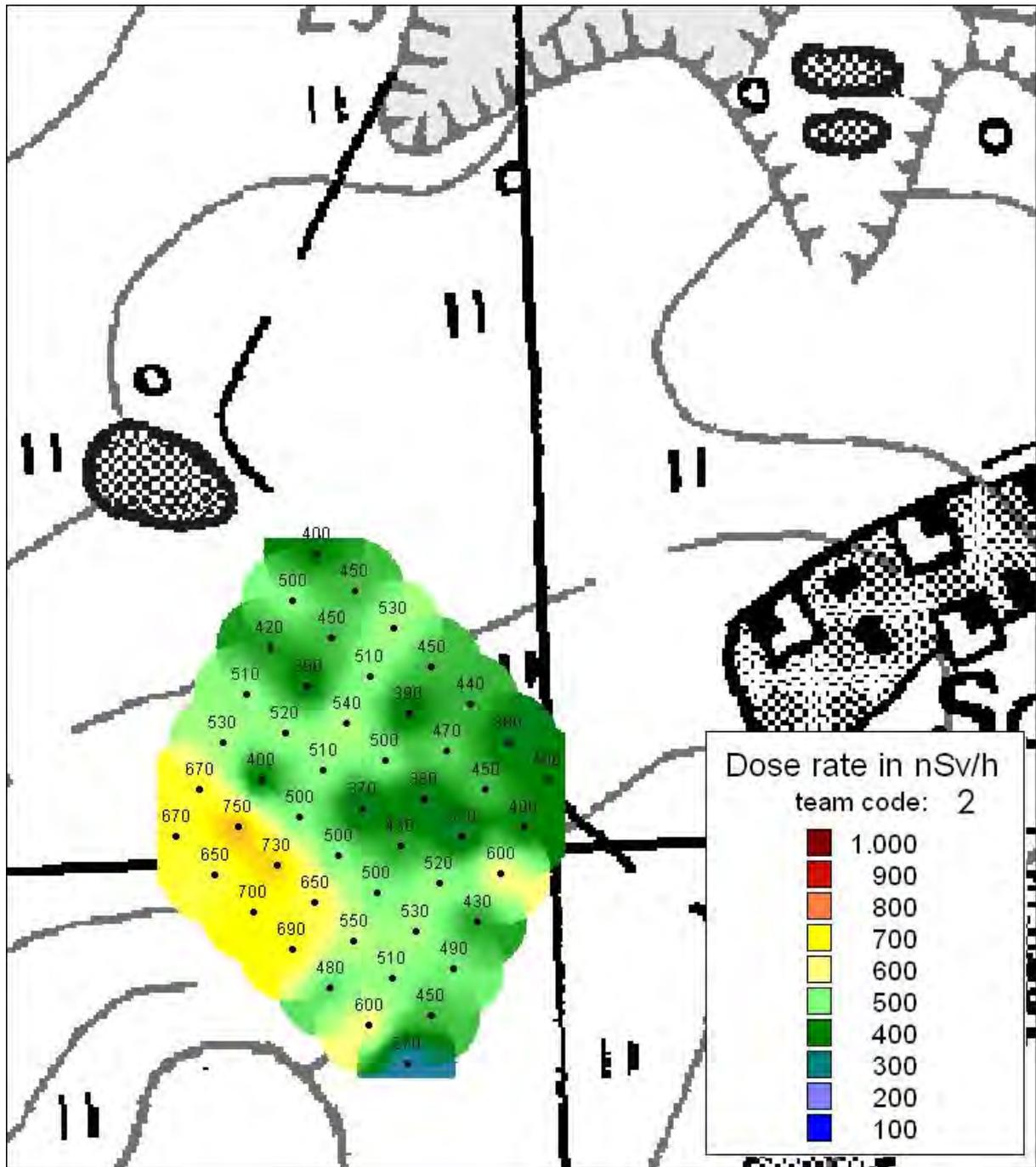
Trünzig: Specific activities of ^{137}Cs in Bq/m^2

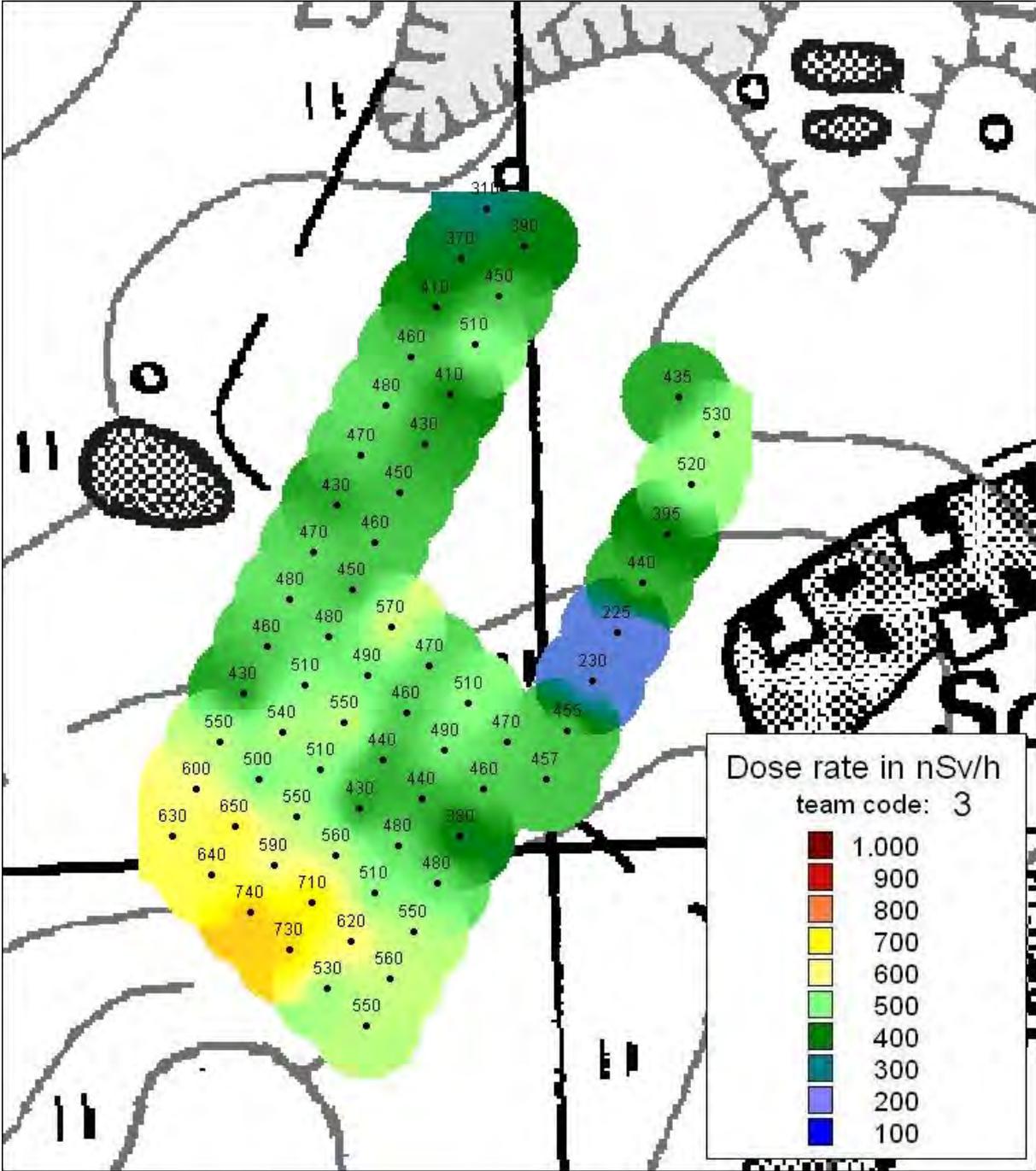


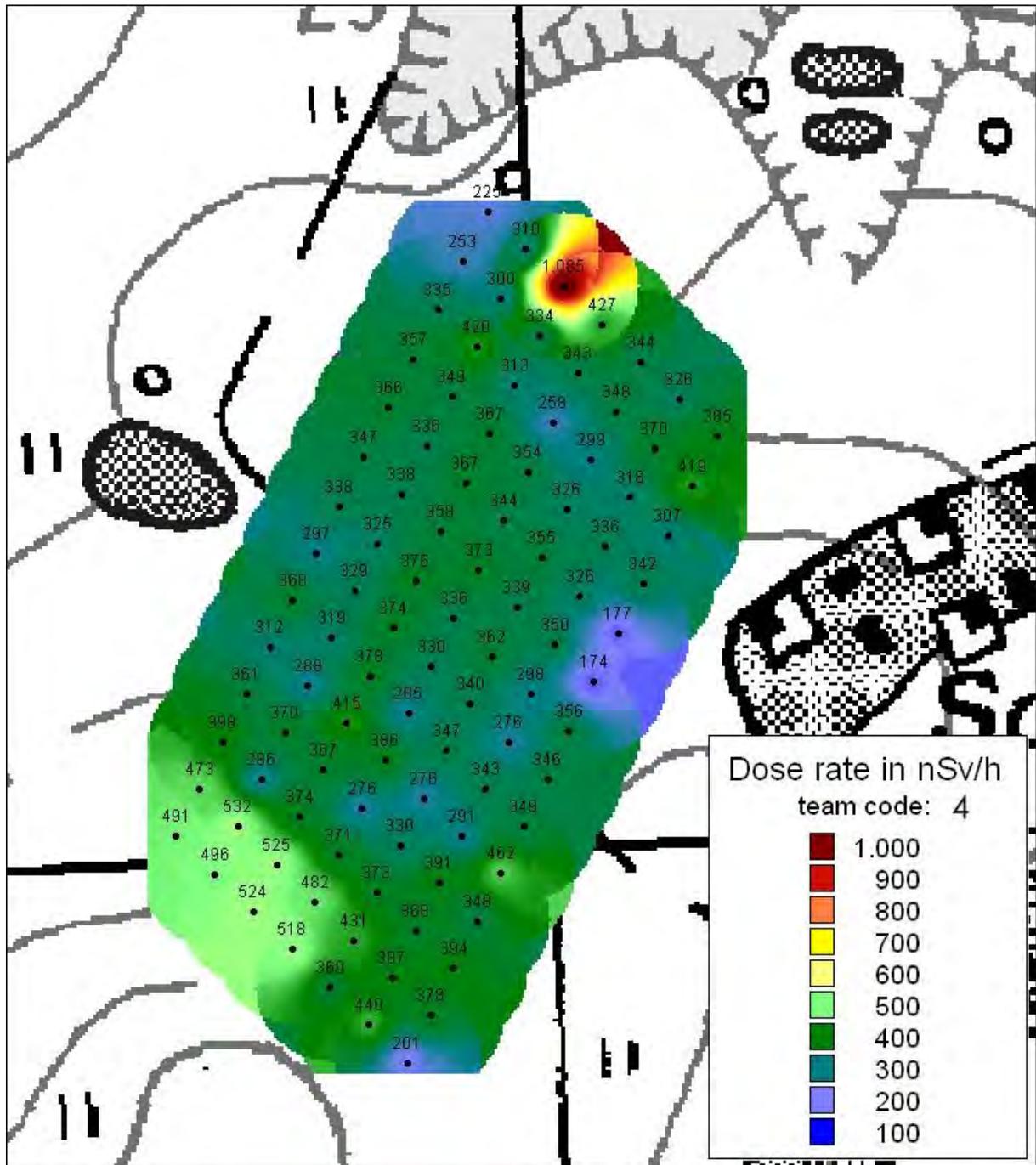
Trünzig: Ratio of calculated activities of ¹³⁷Cs

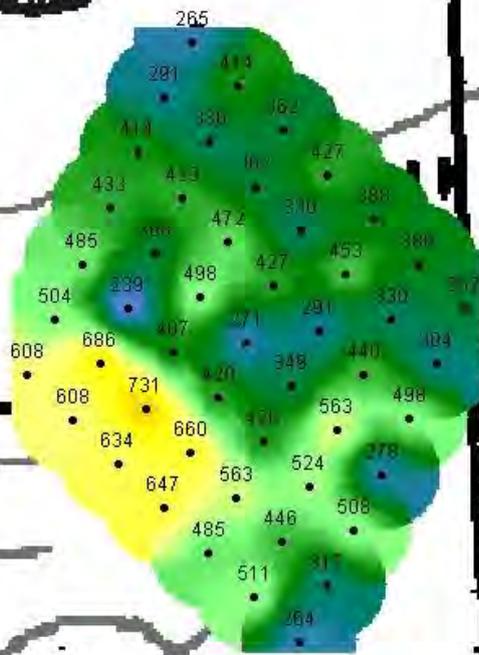
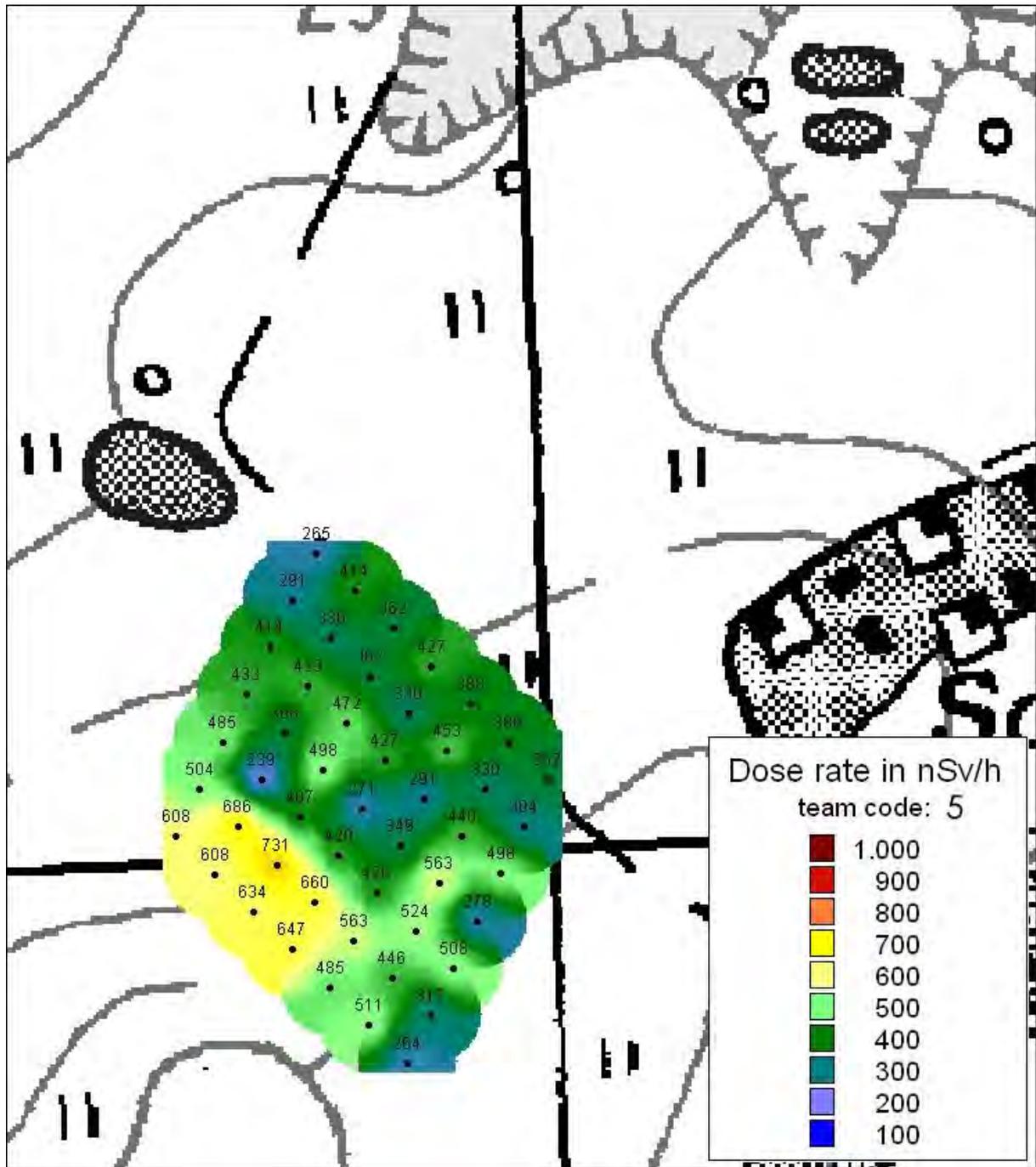


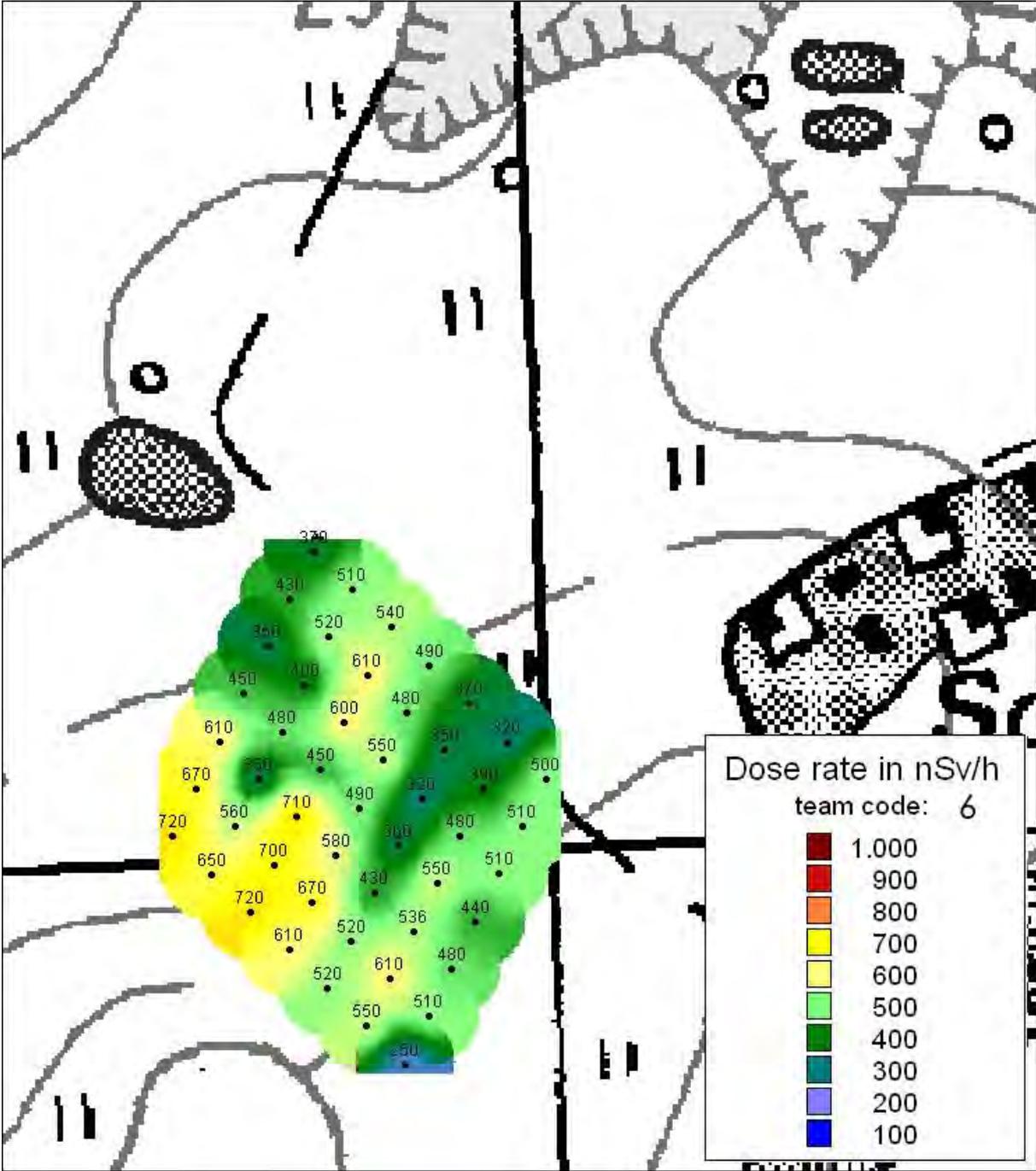
ANHANG S

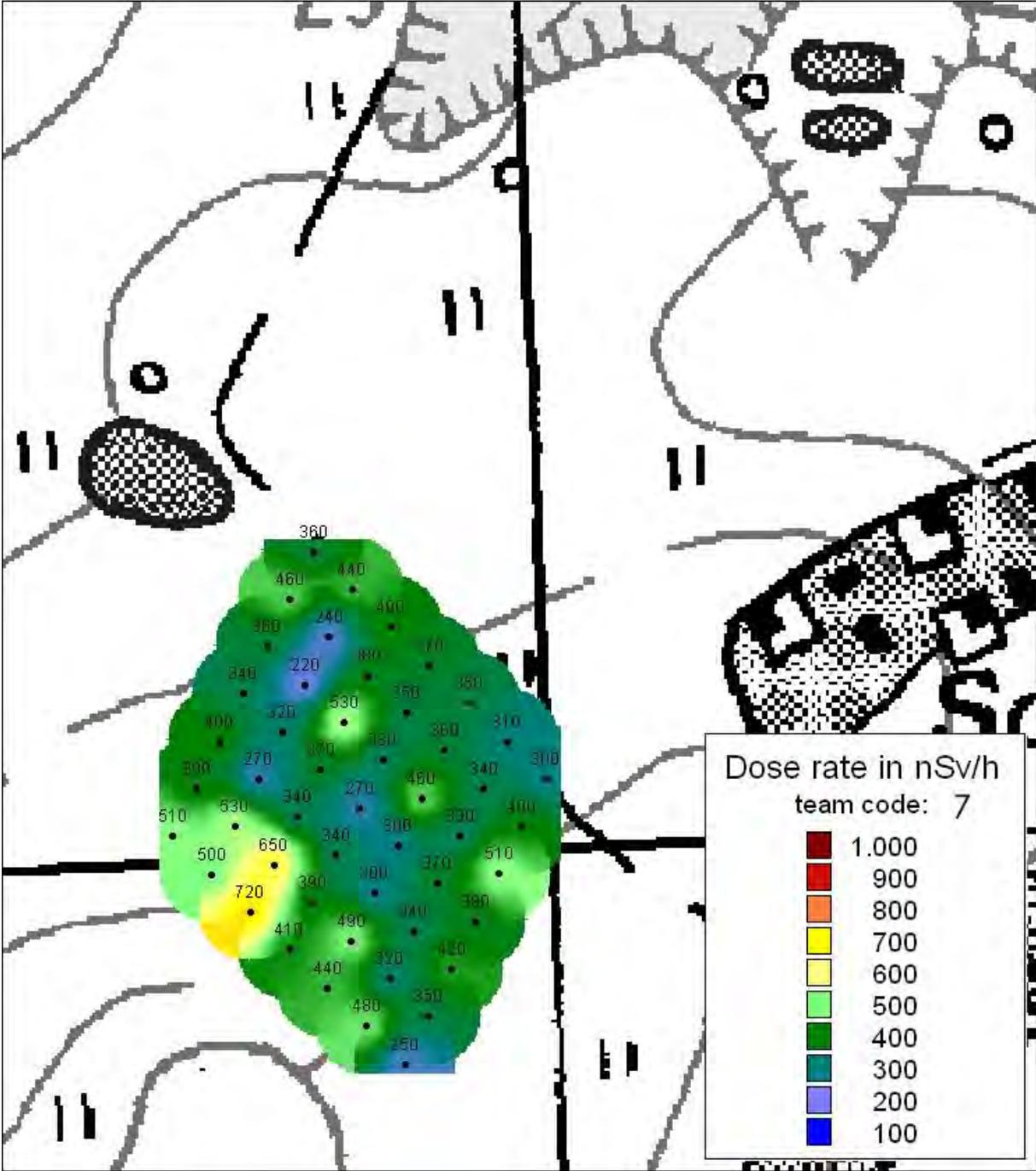


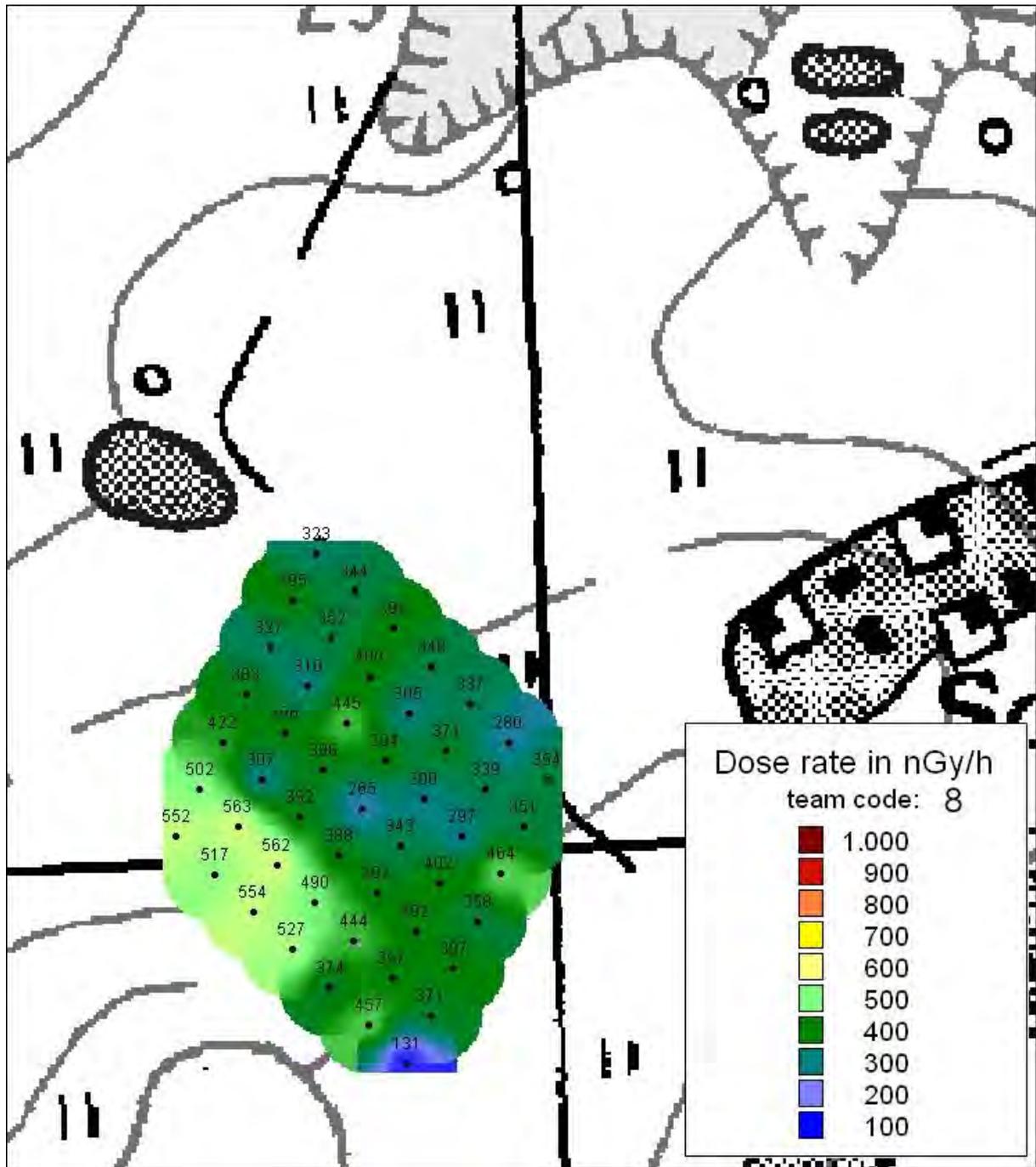


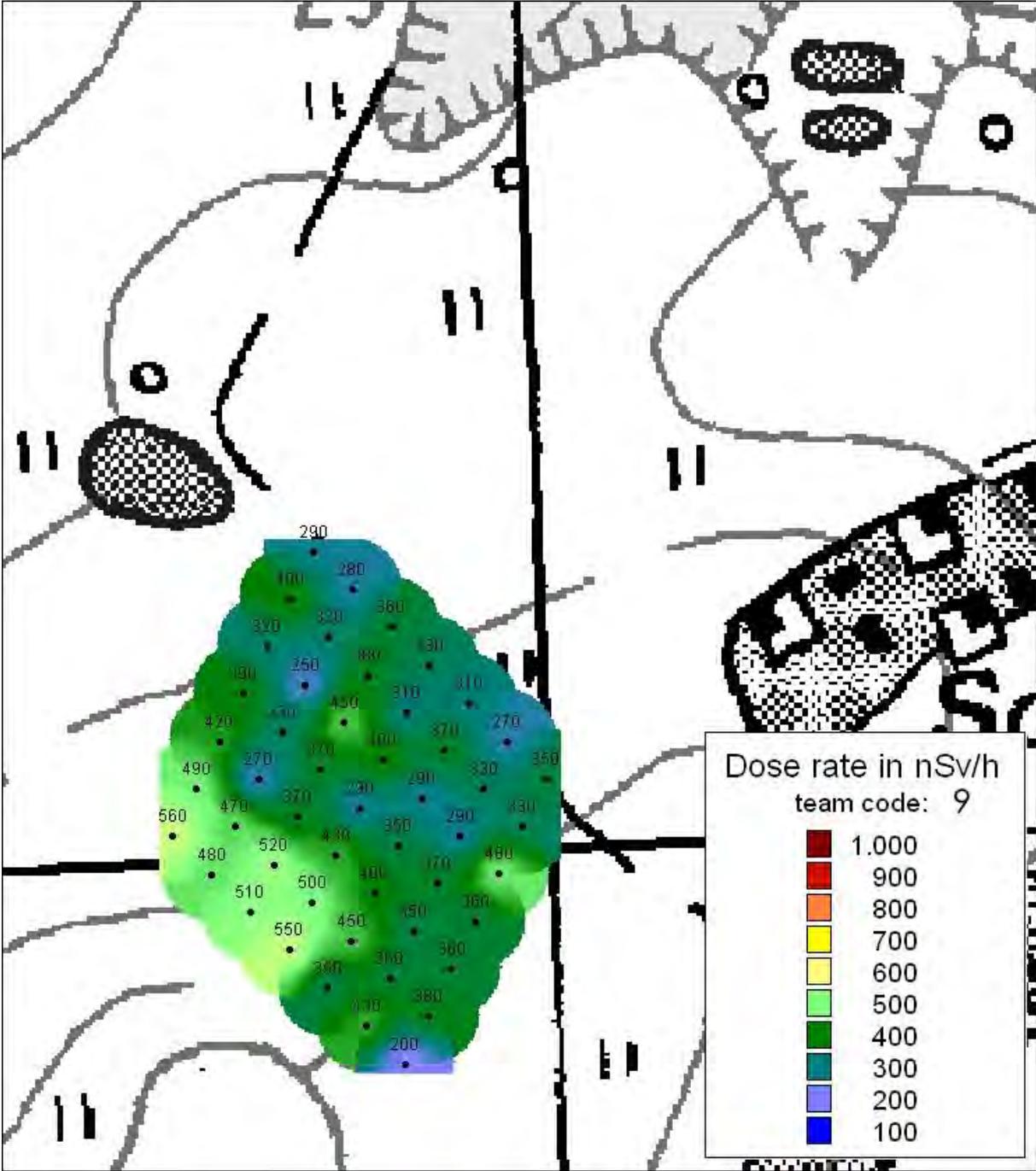


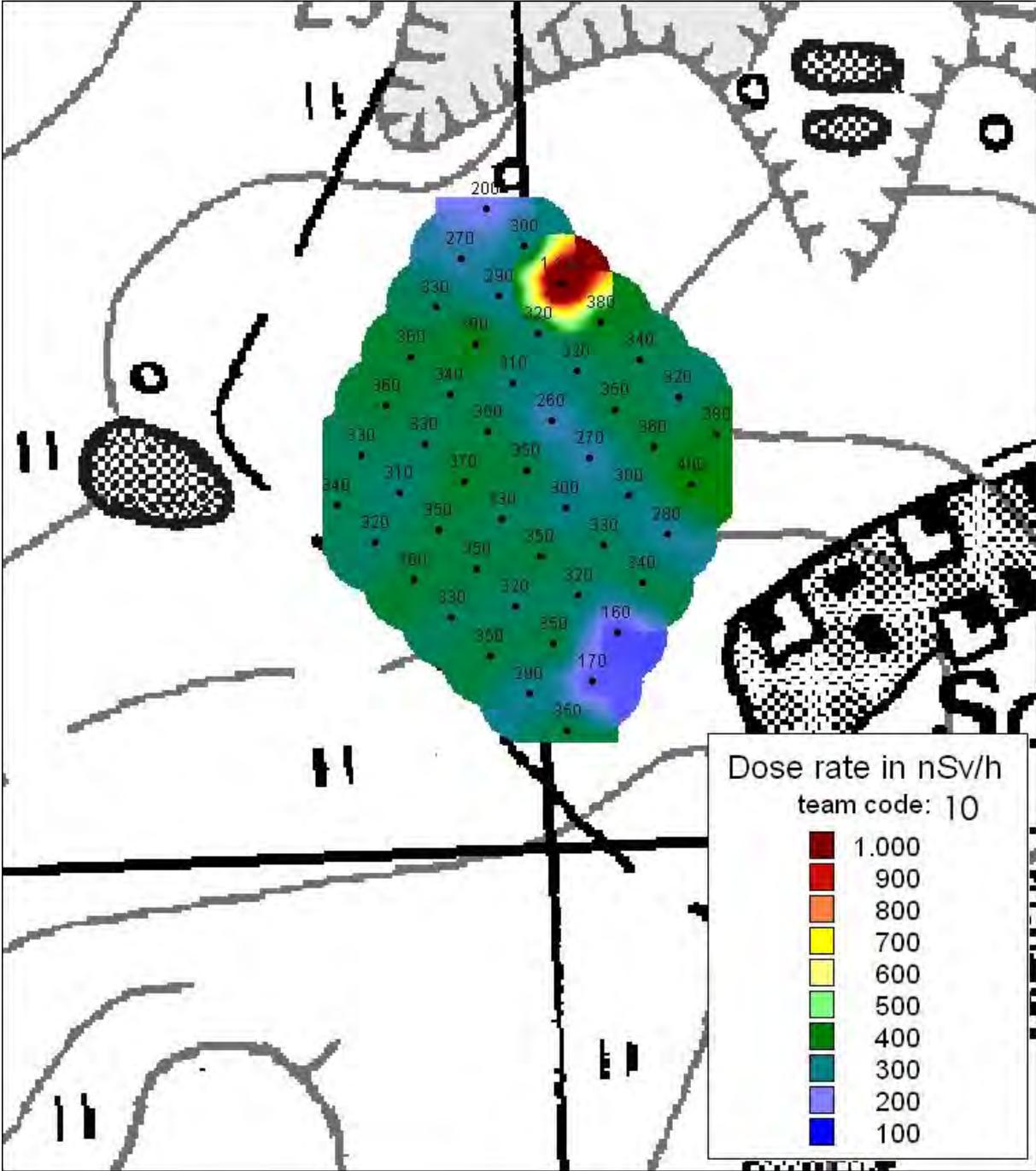


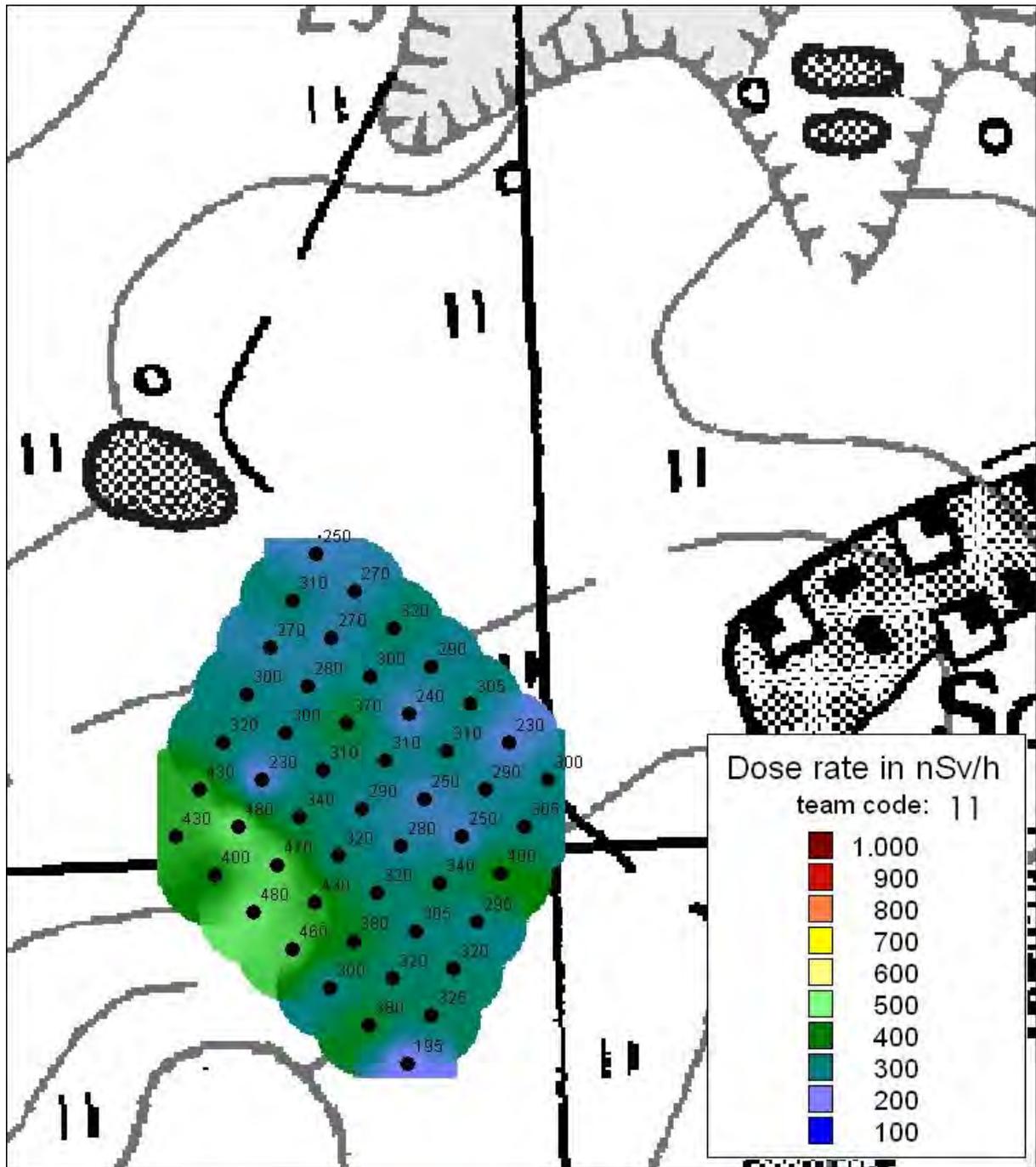


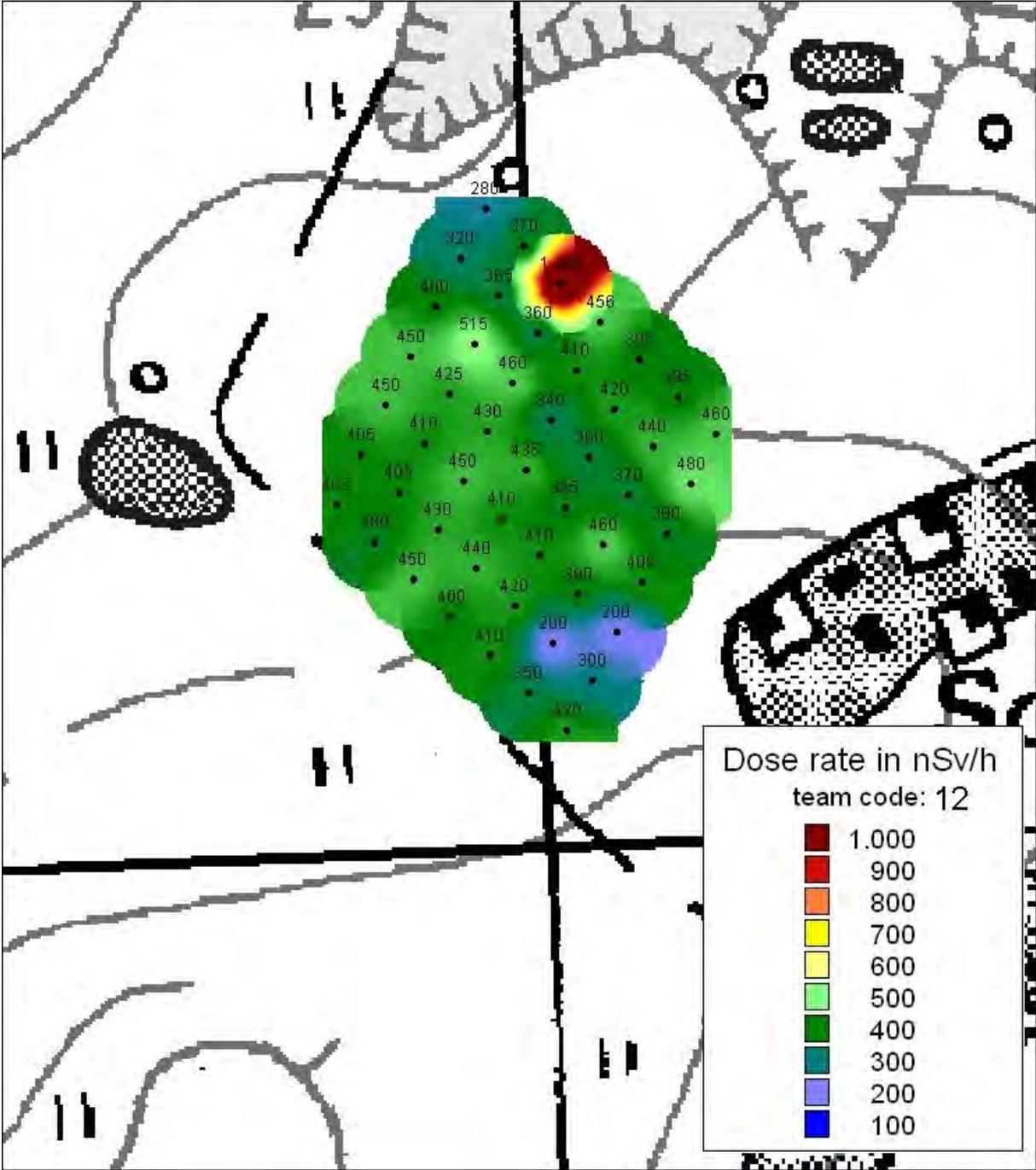


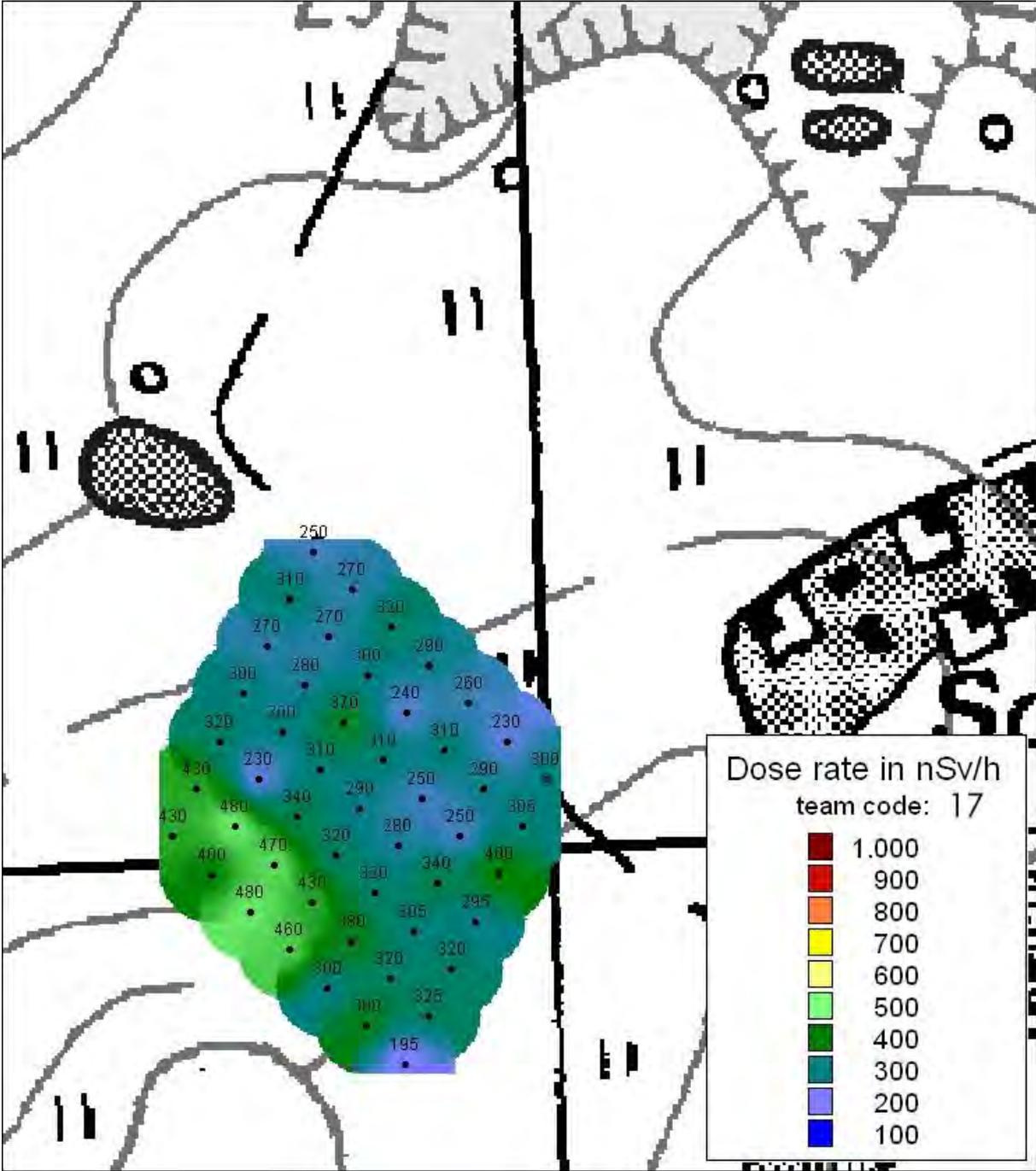


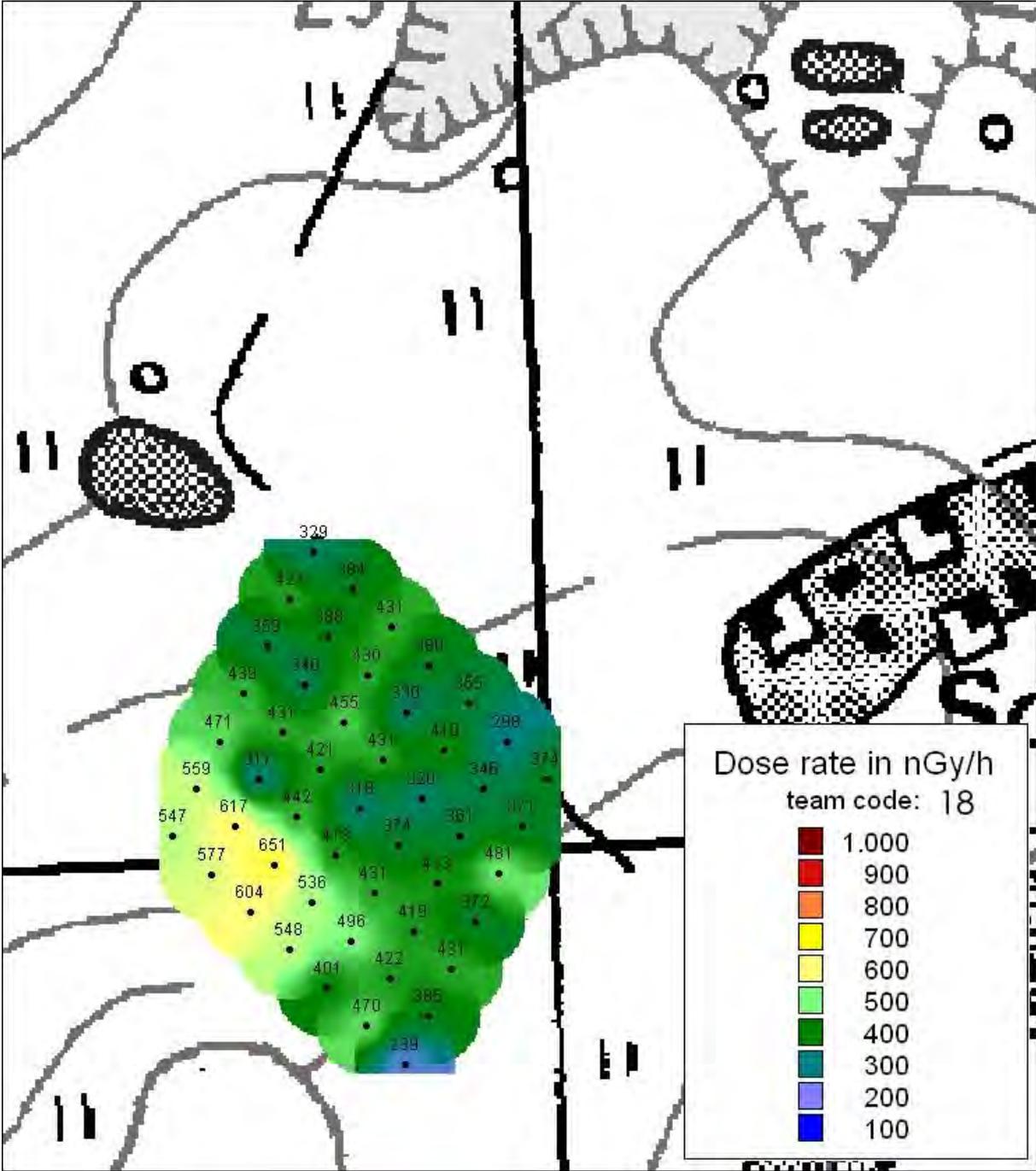


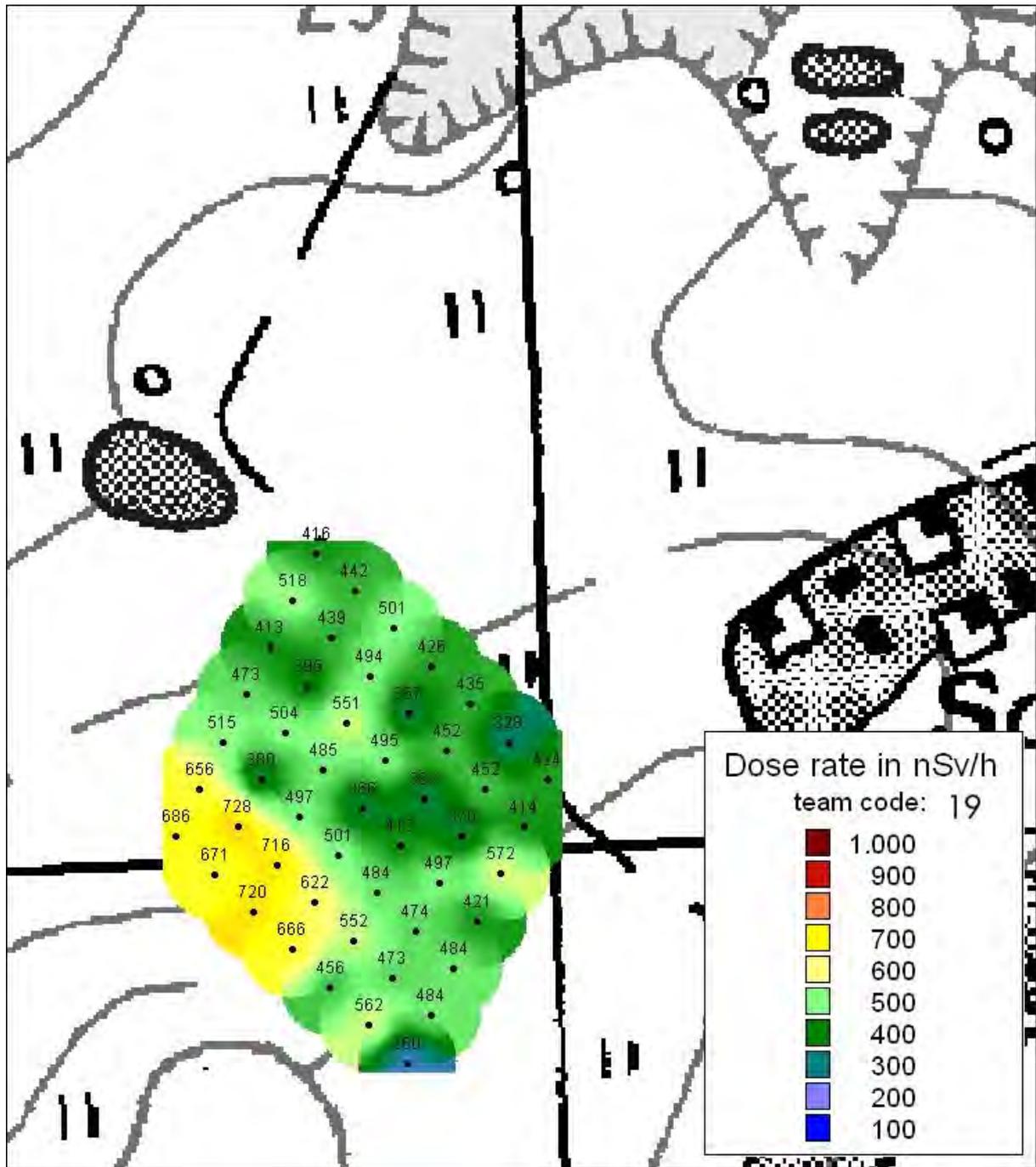


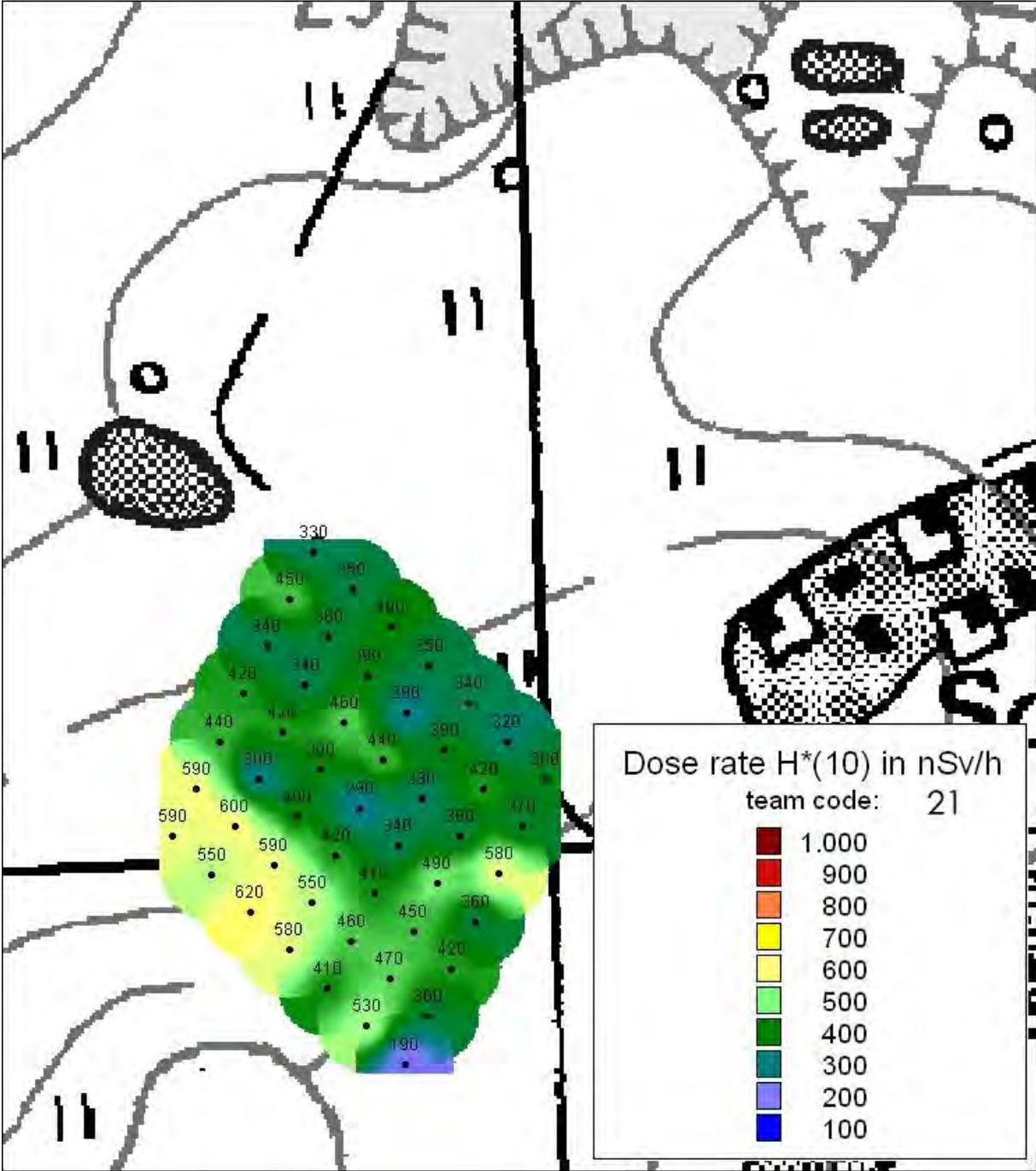


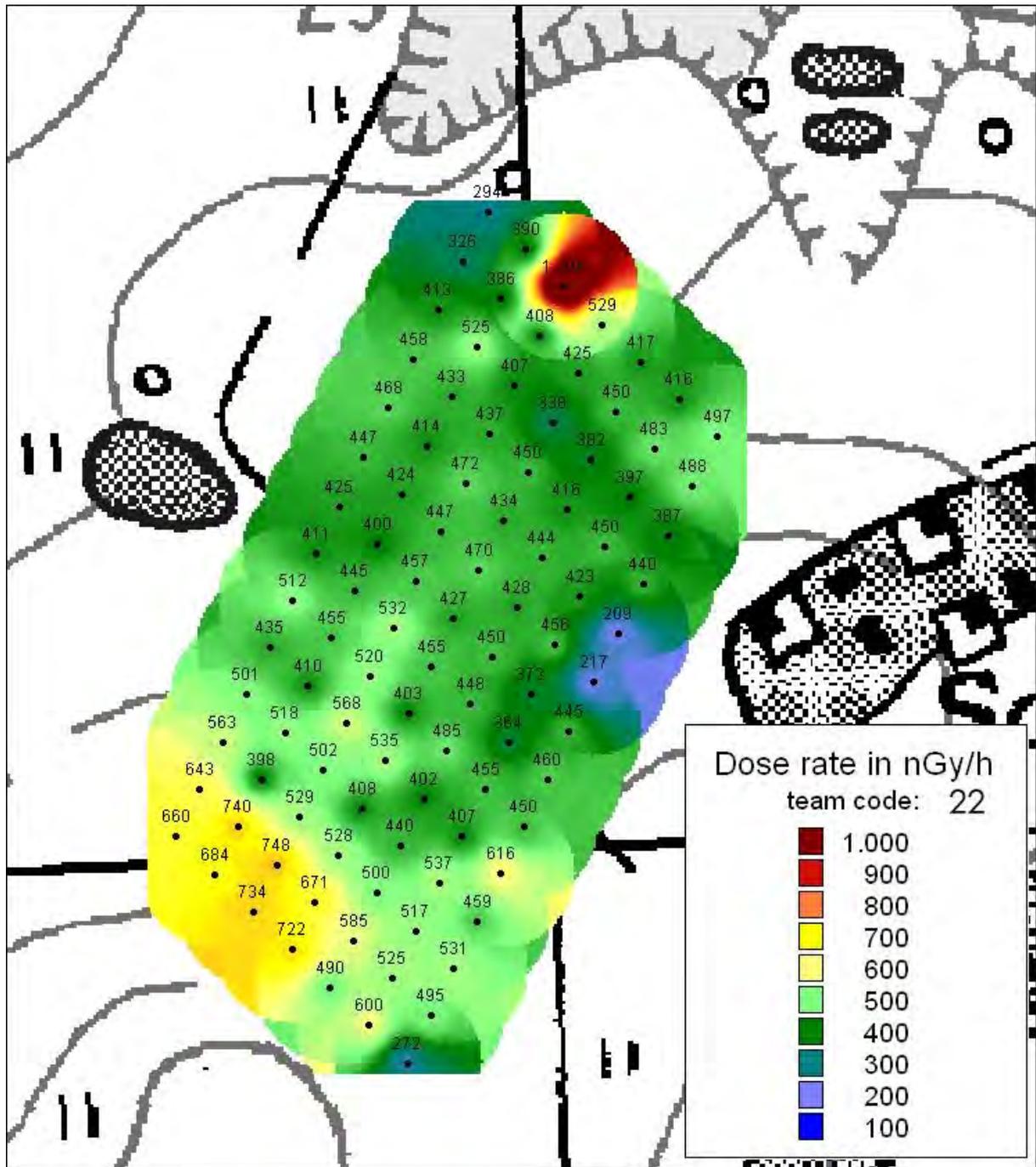


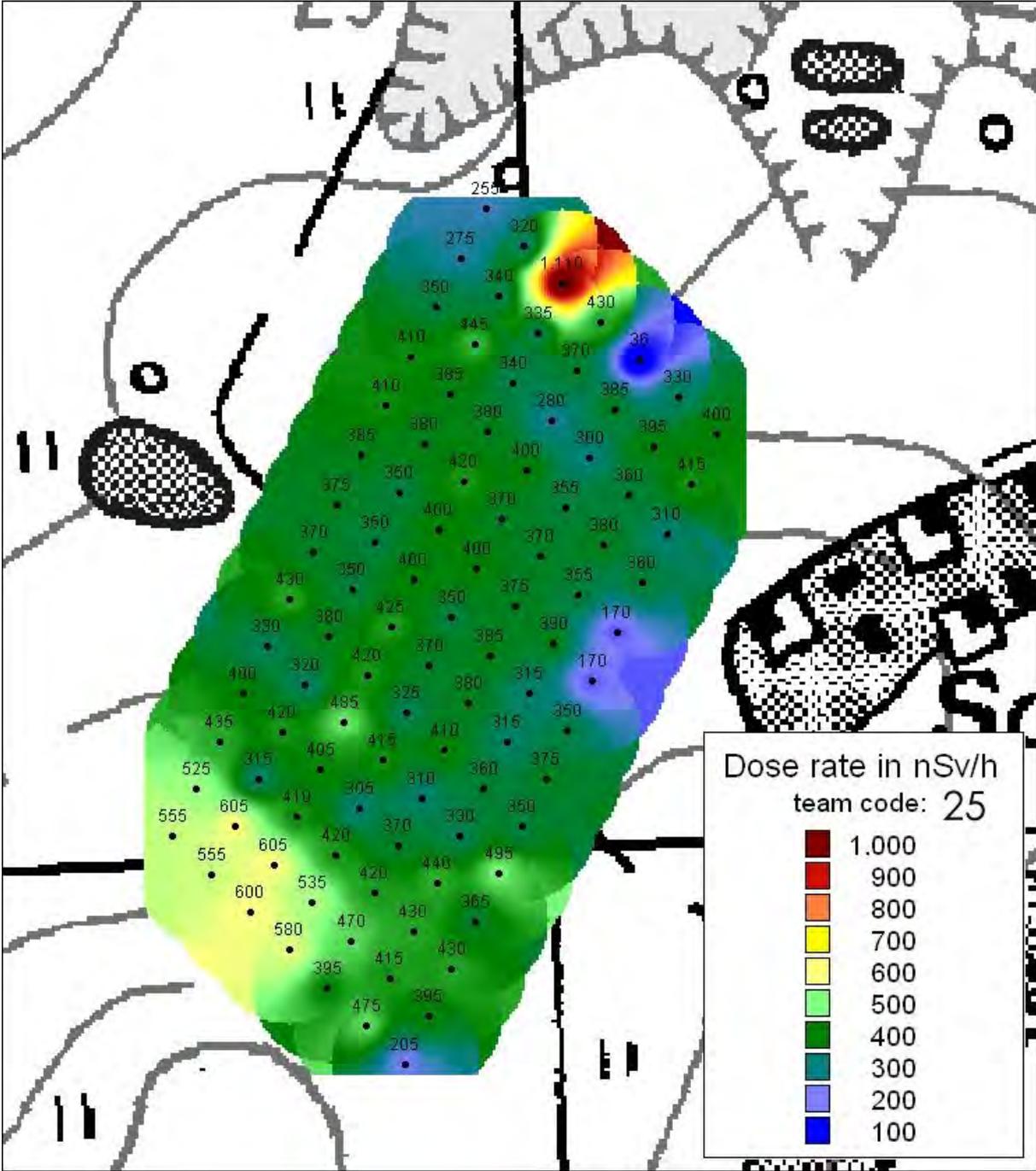


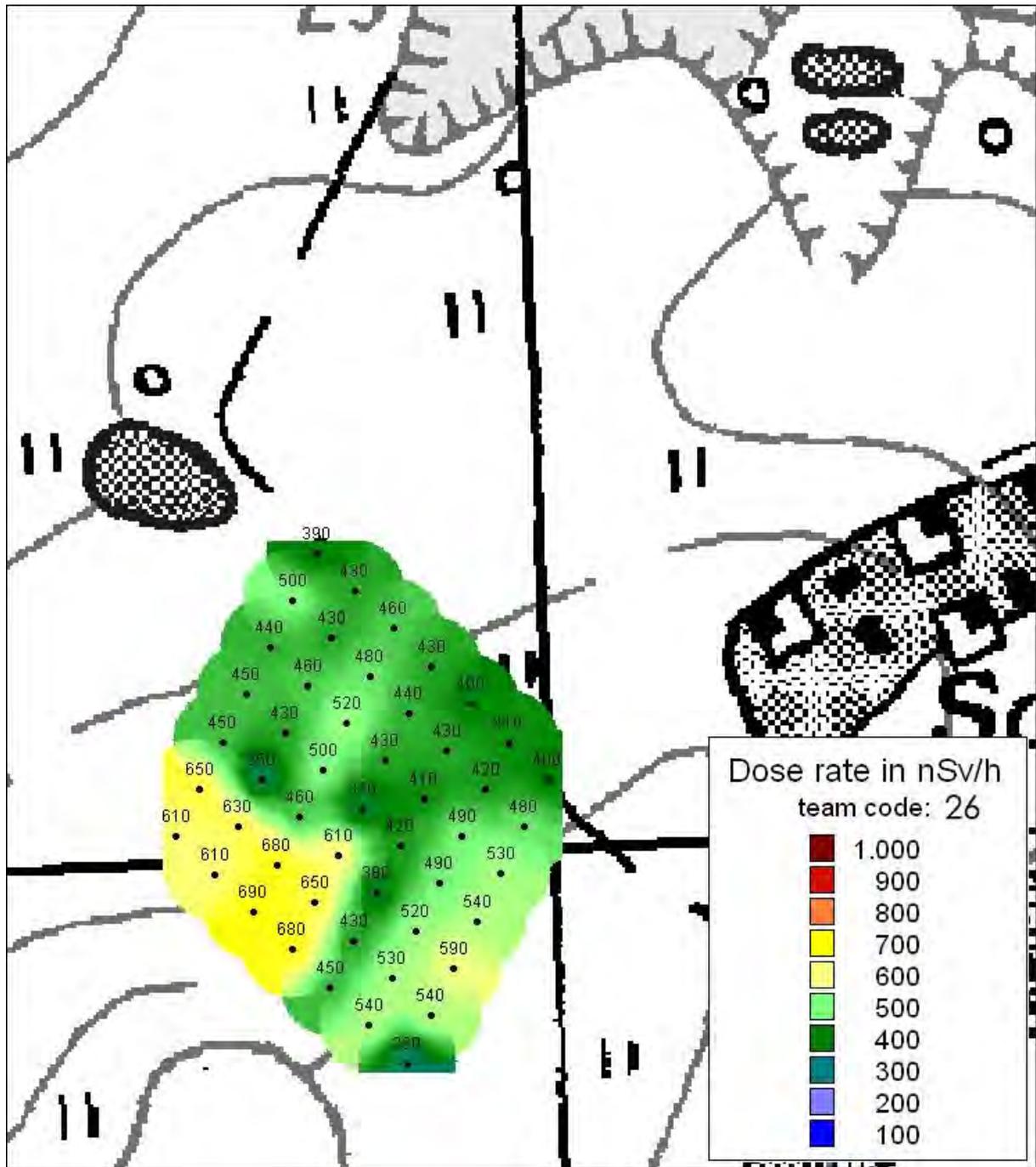


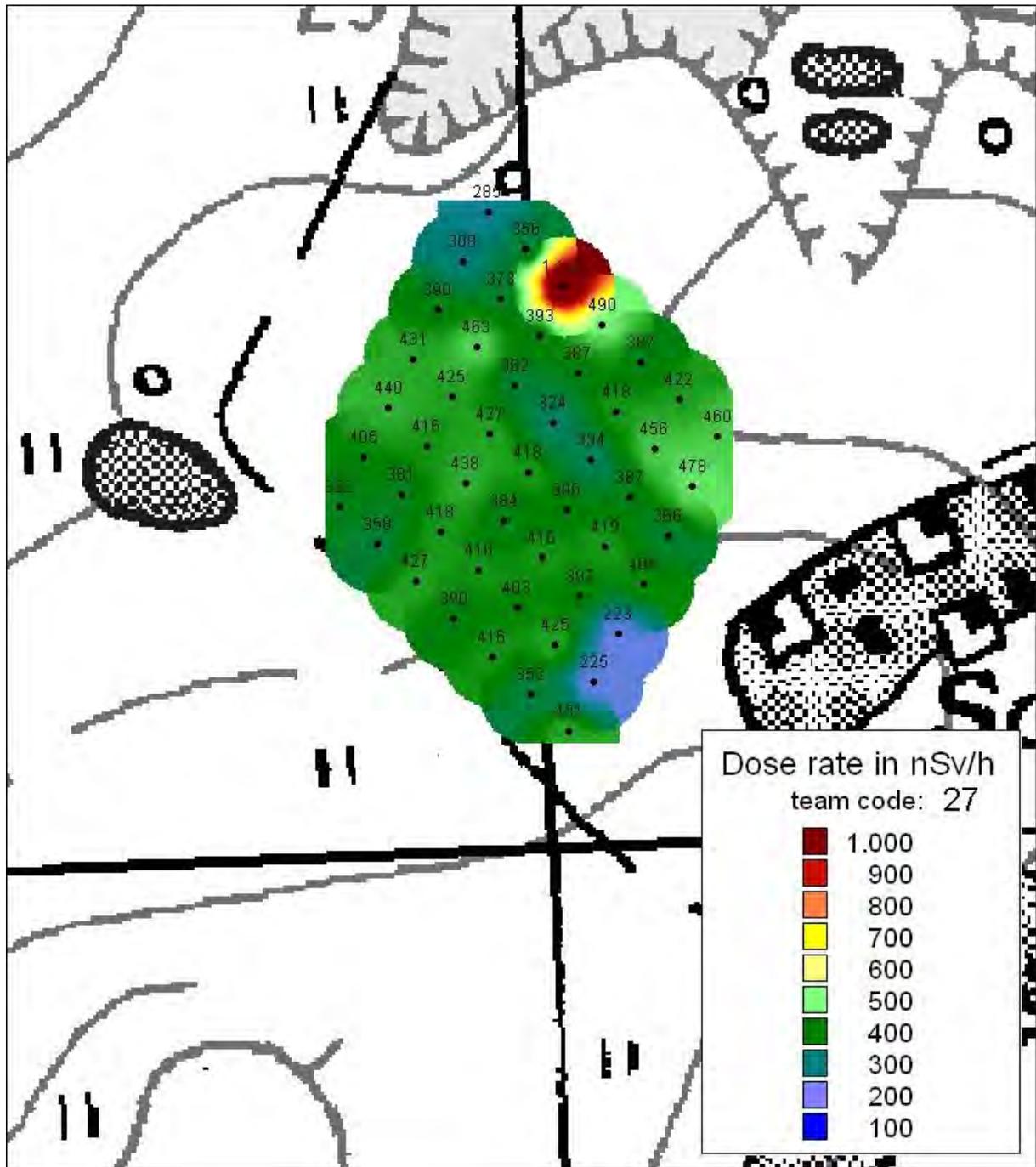


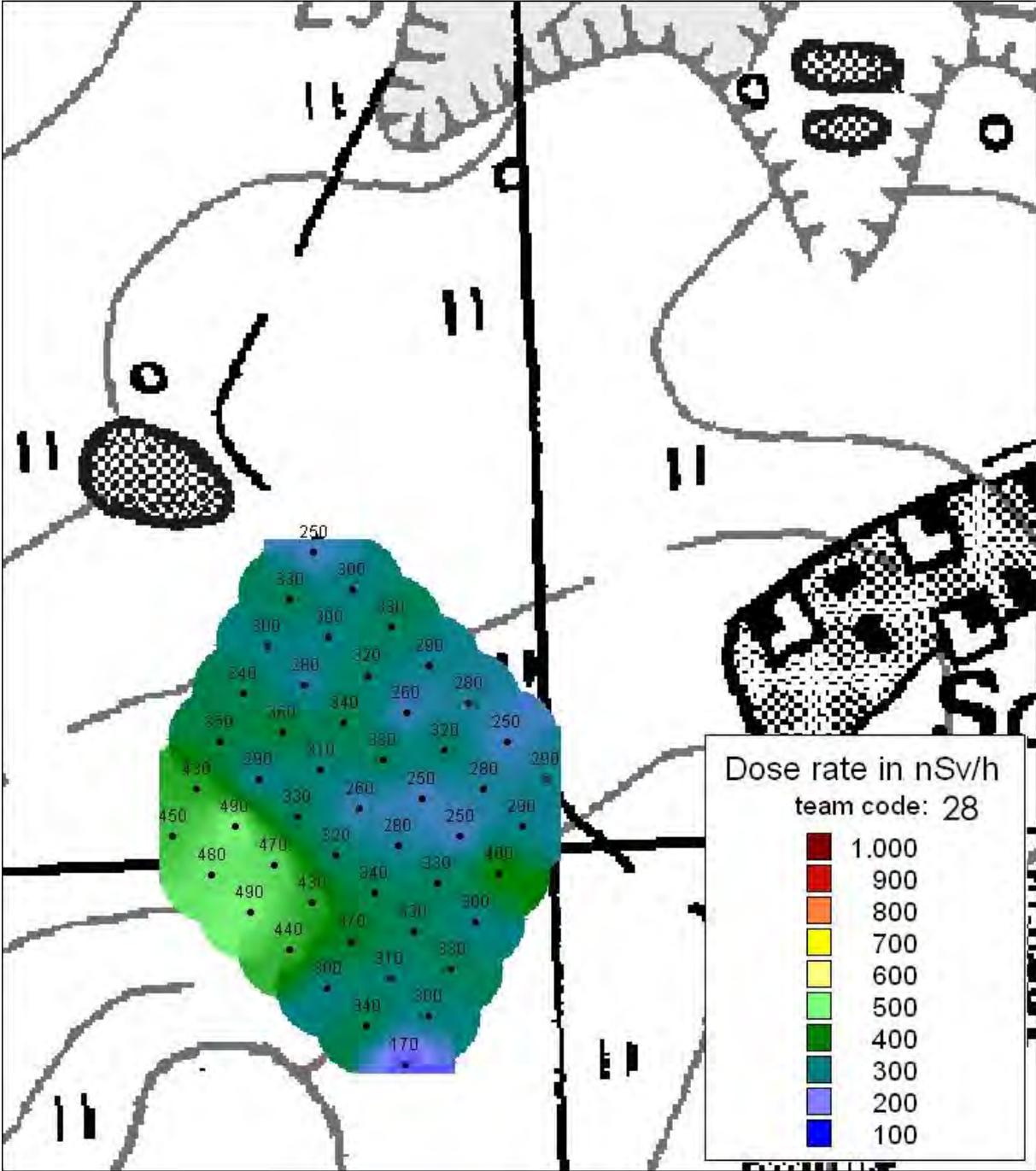


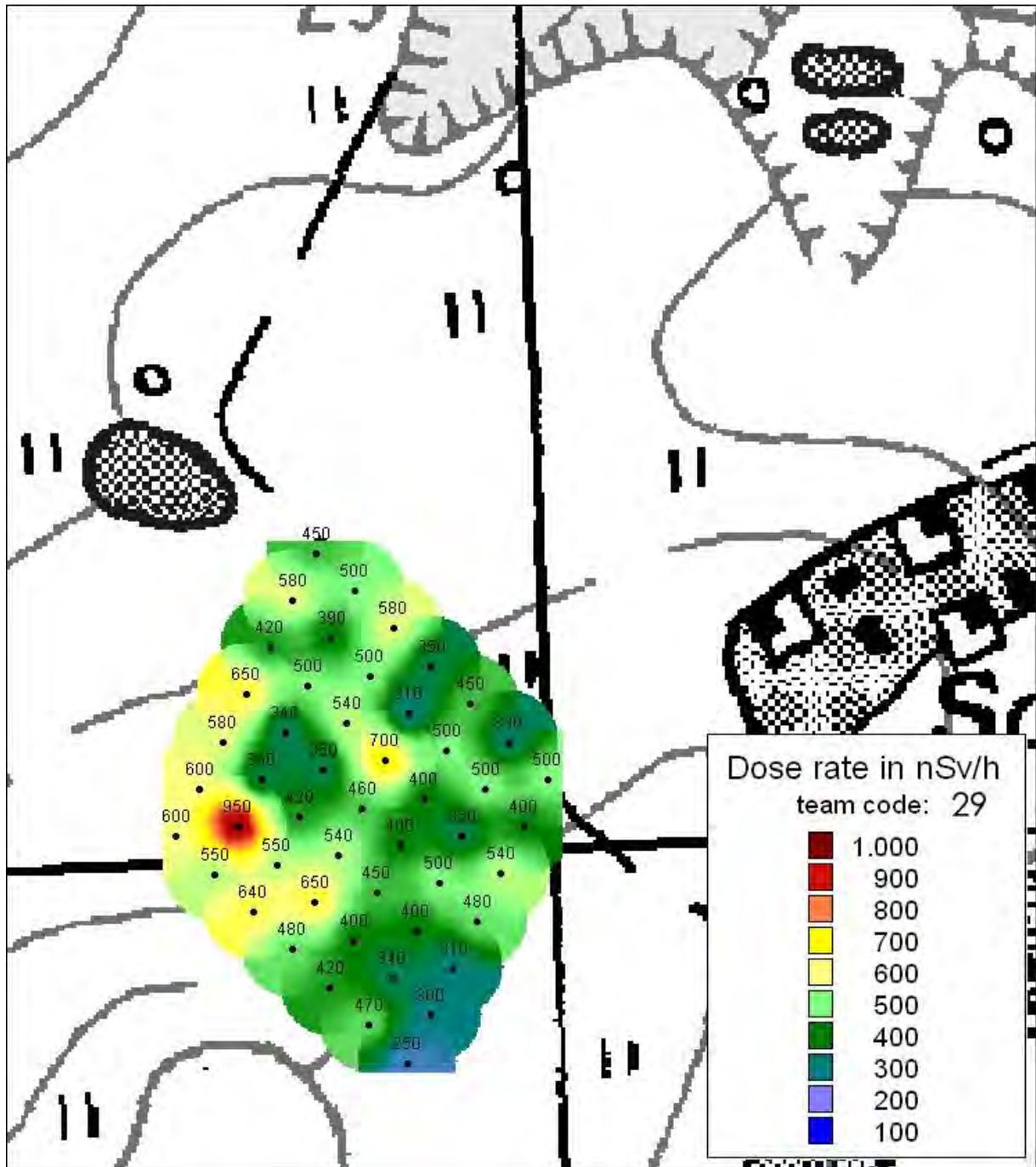


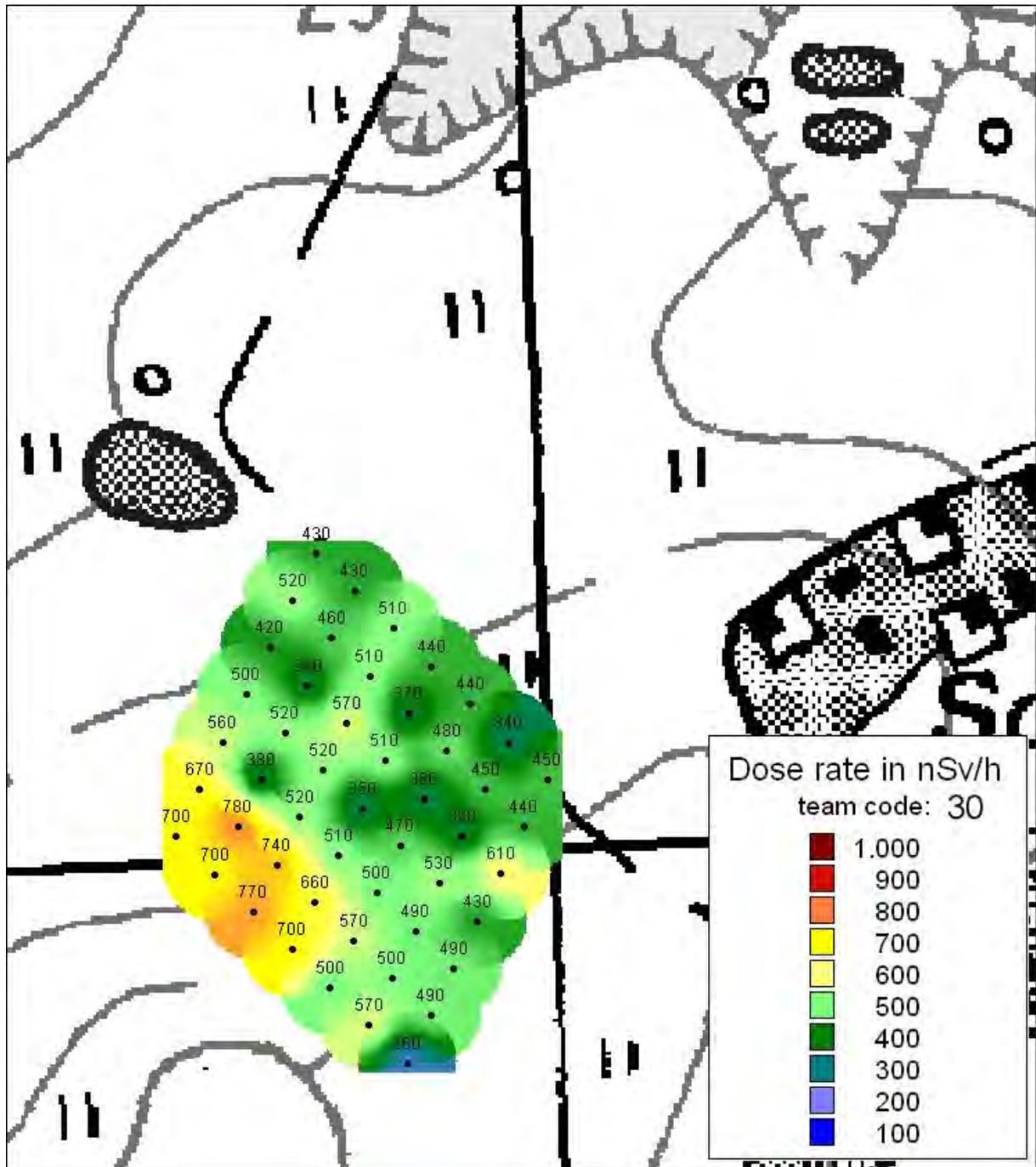


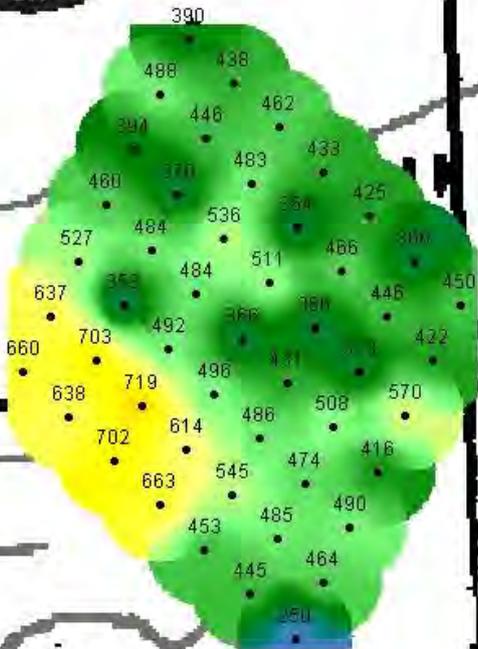
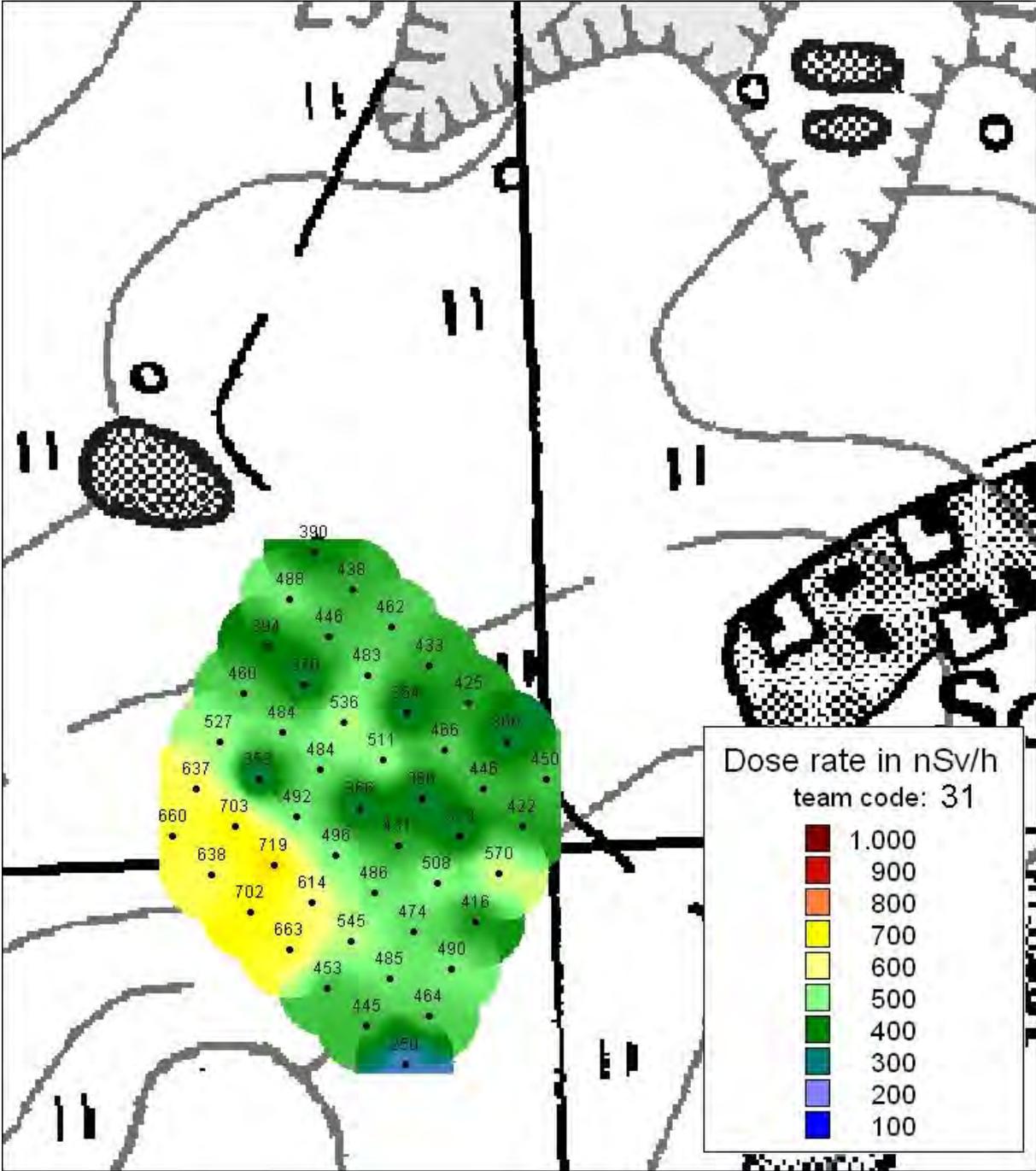


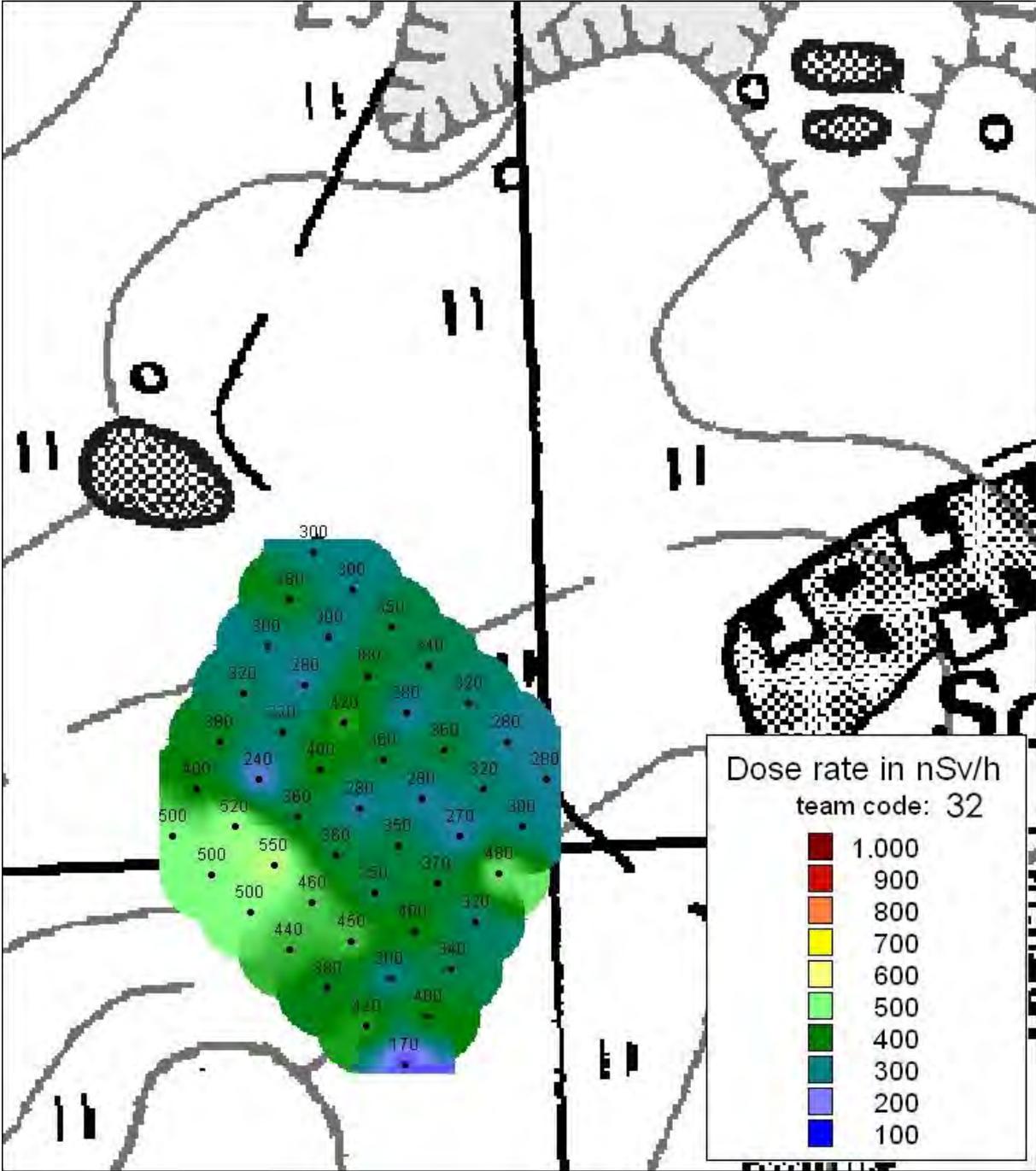


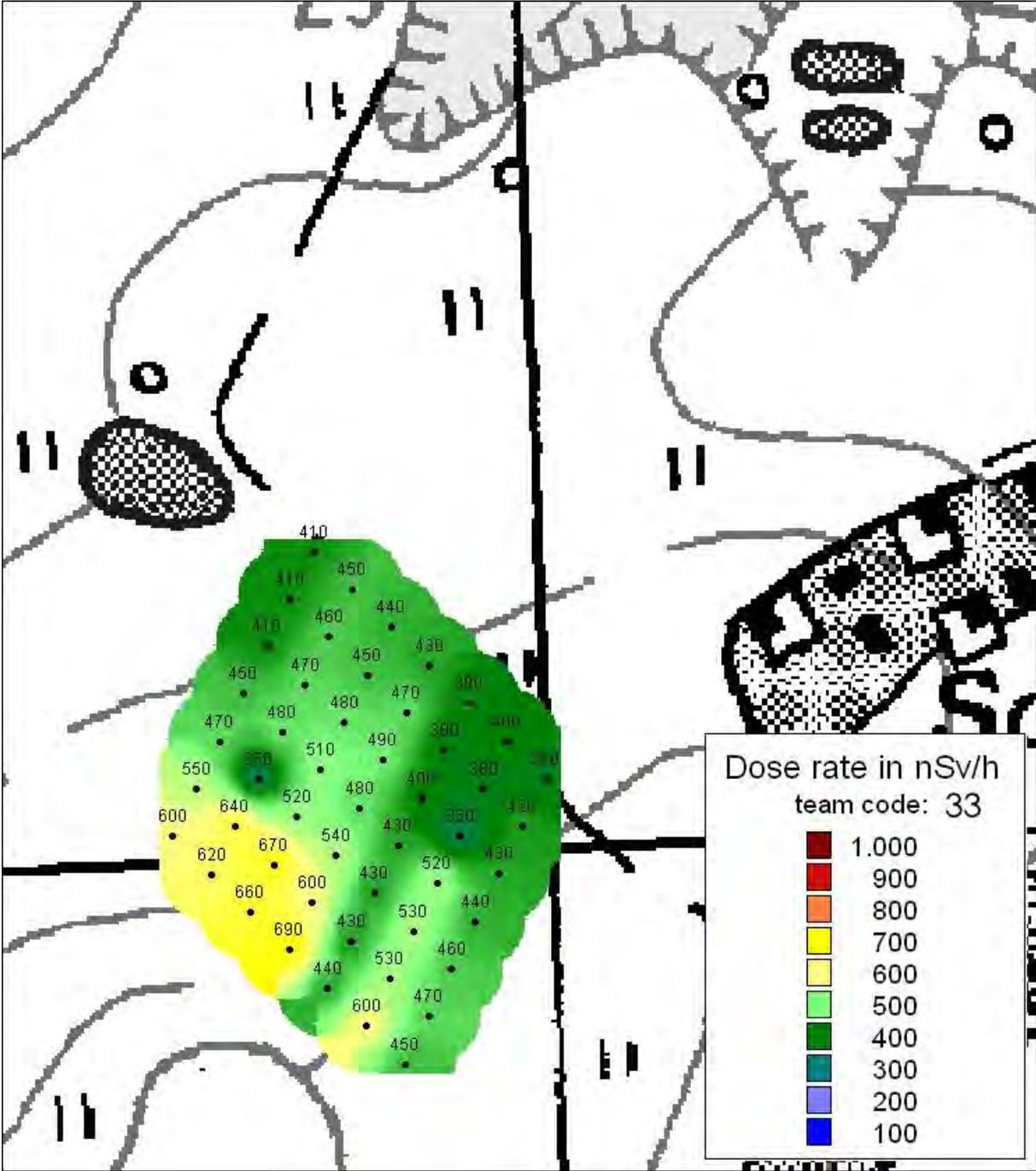


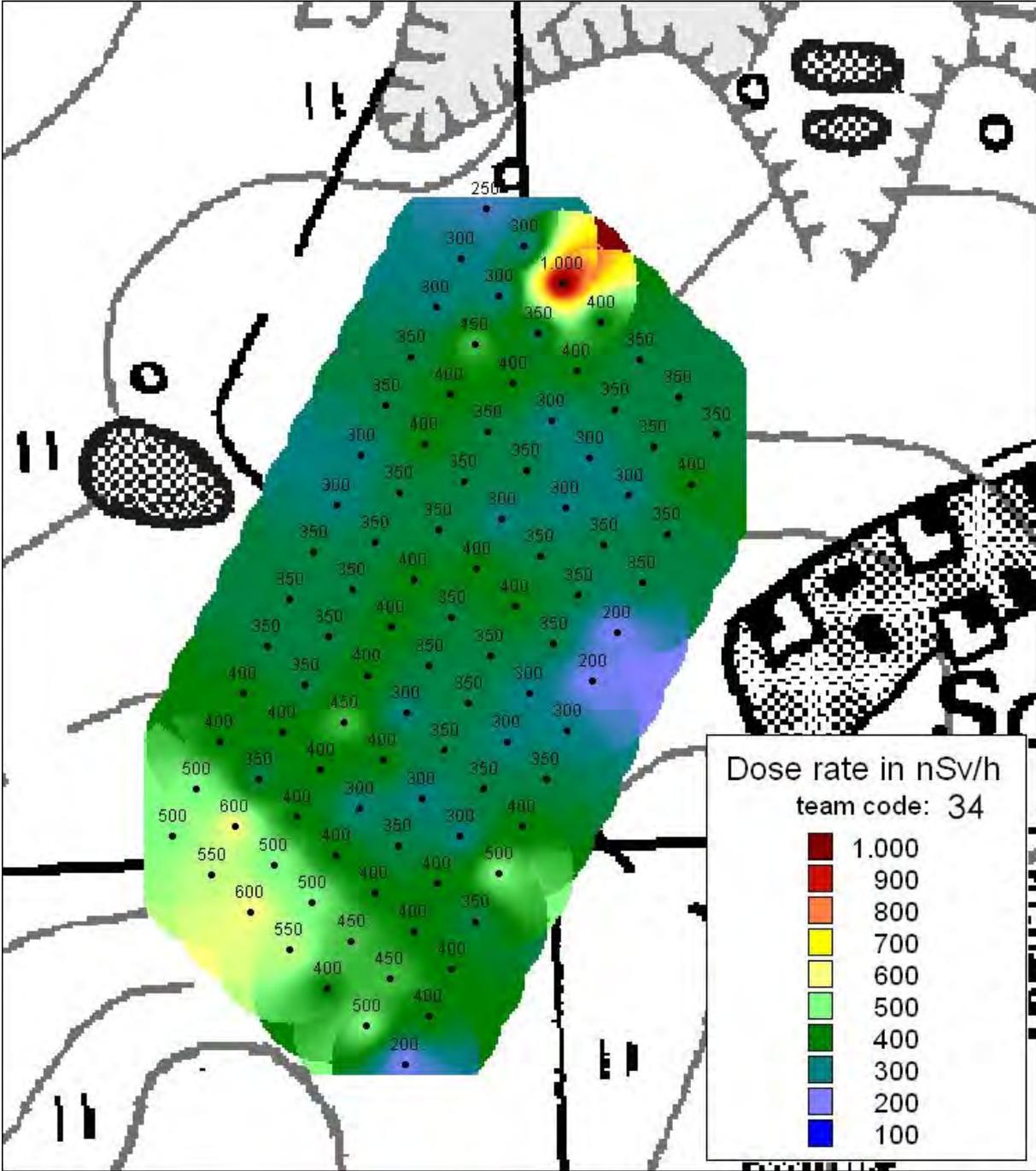


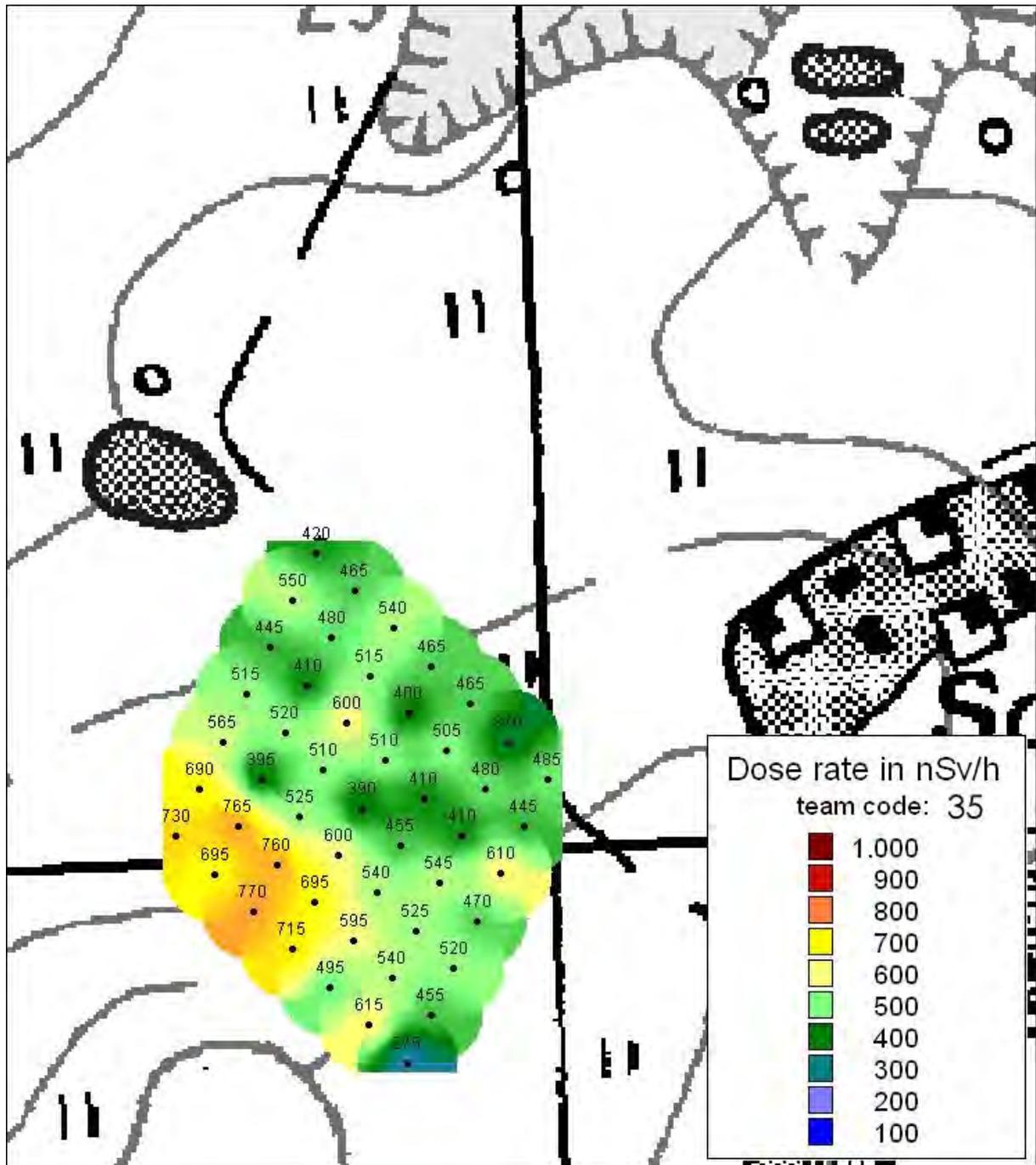


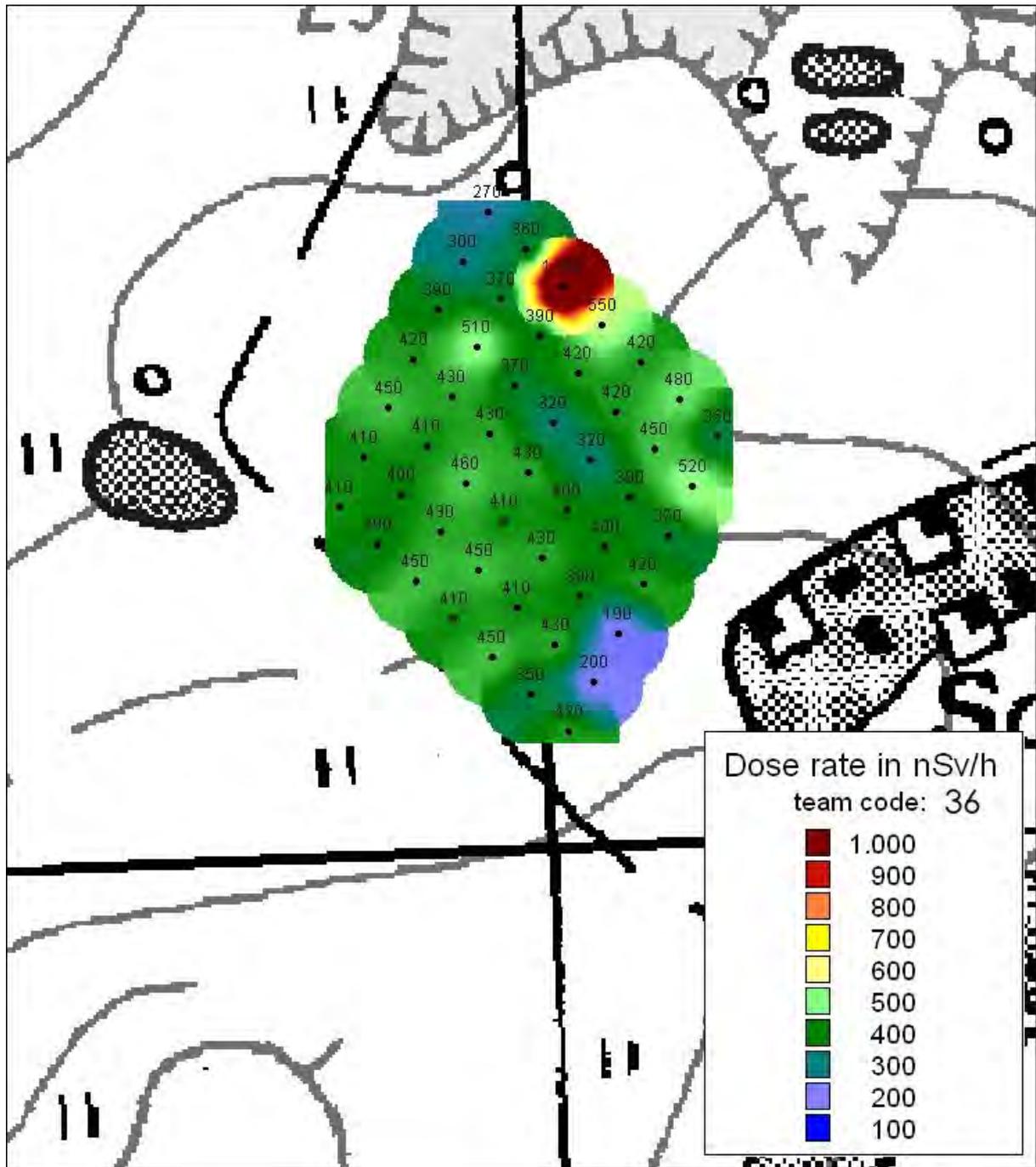


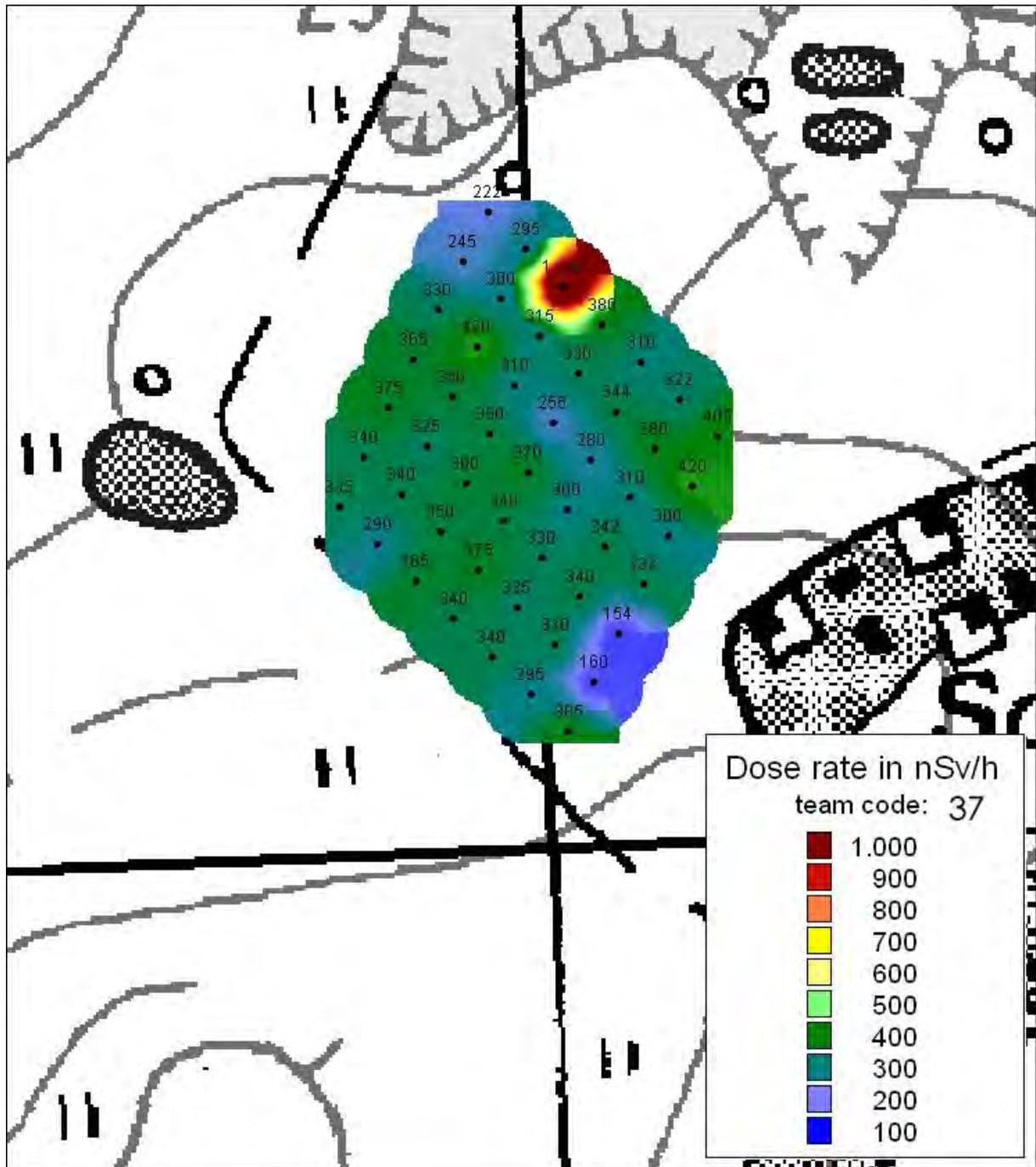


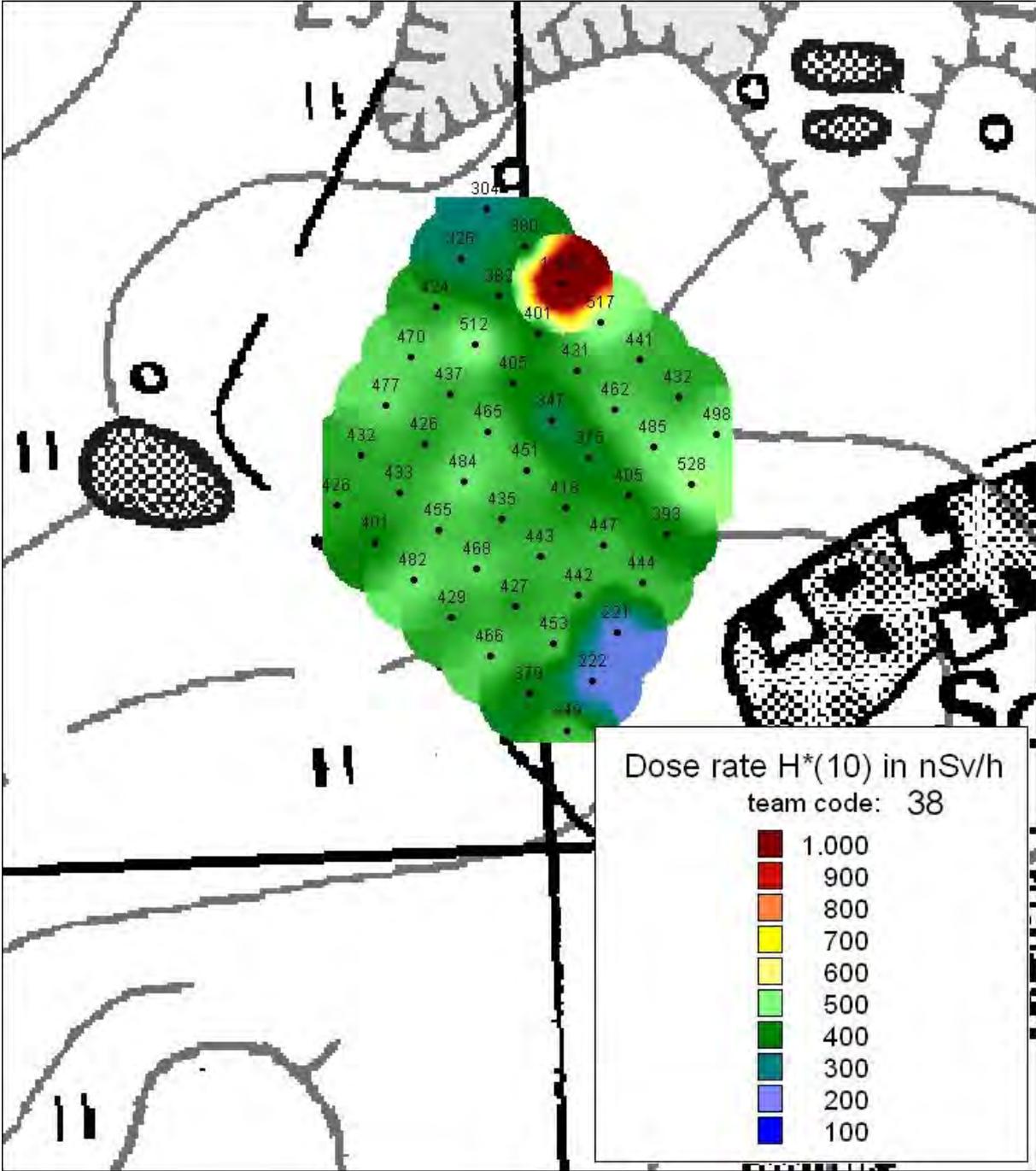


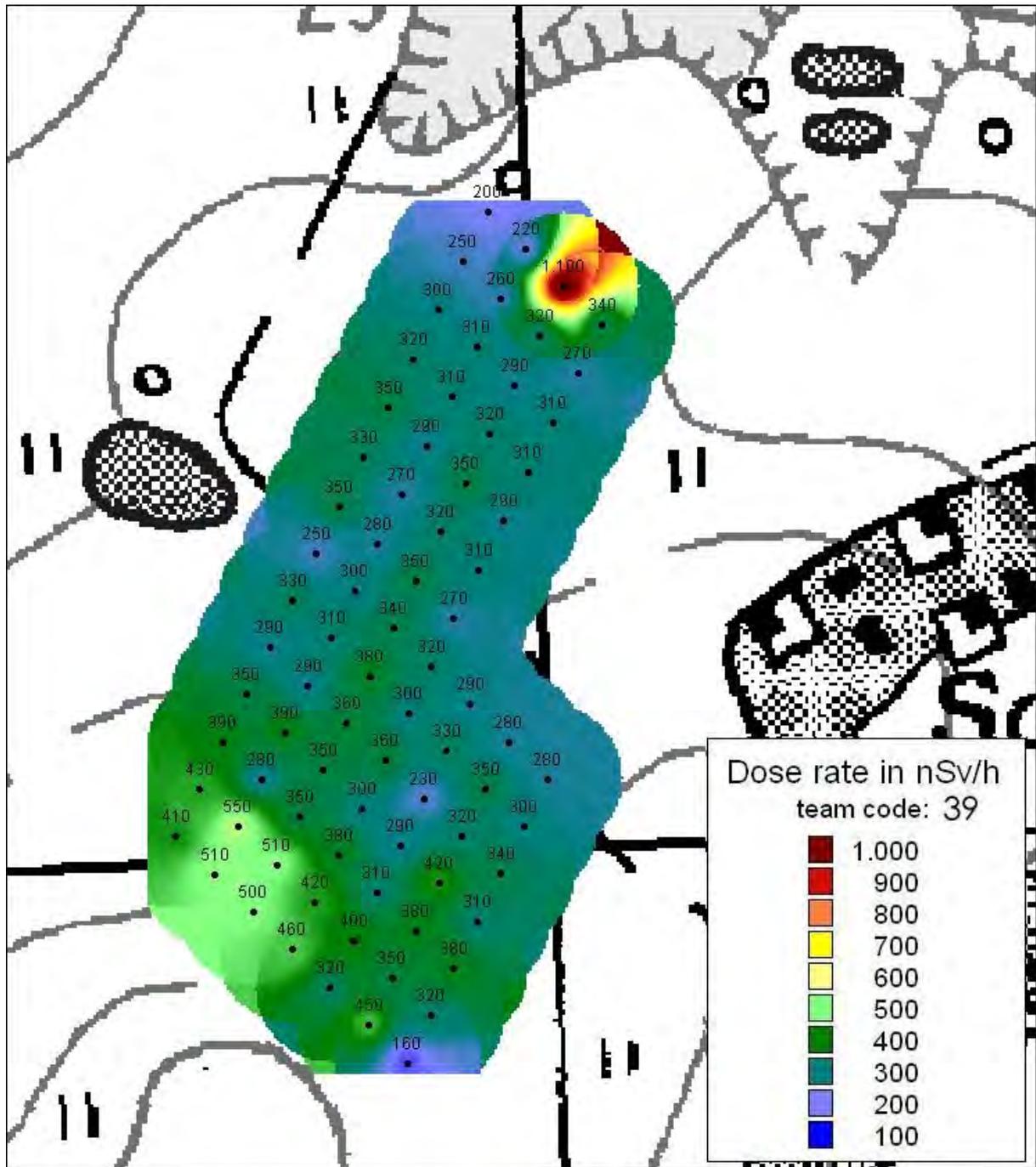


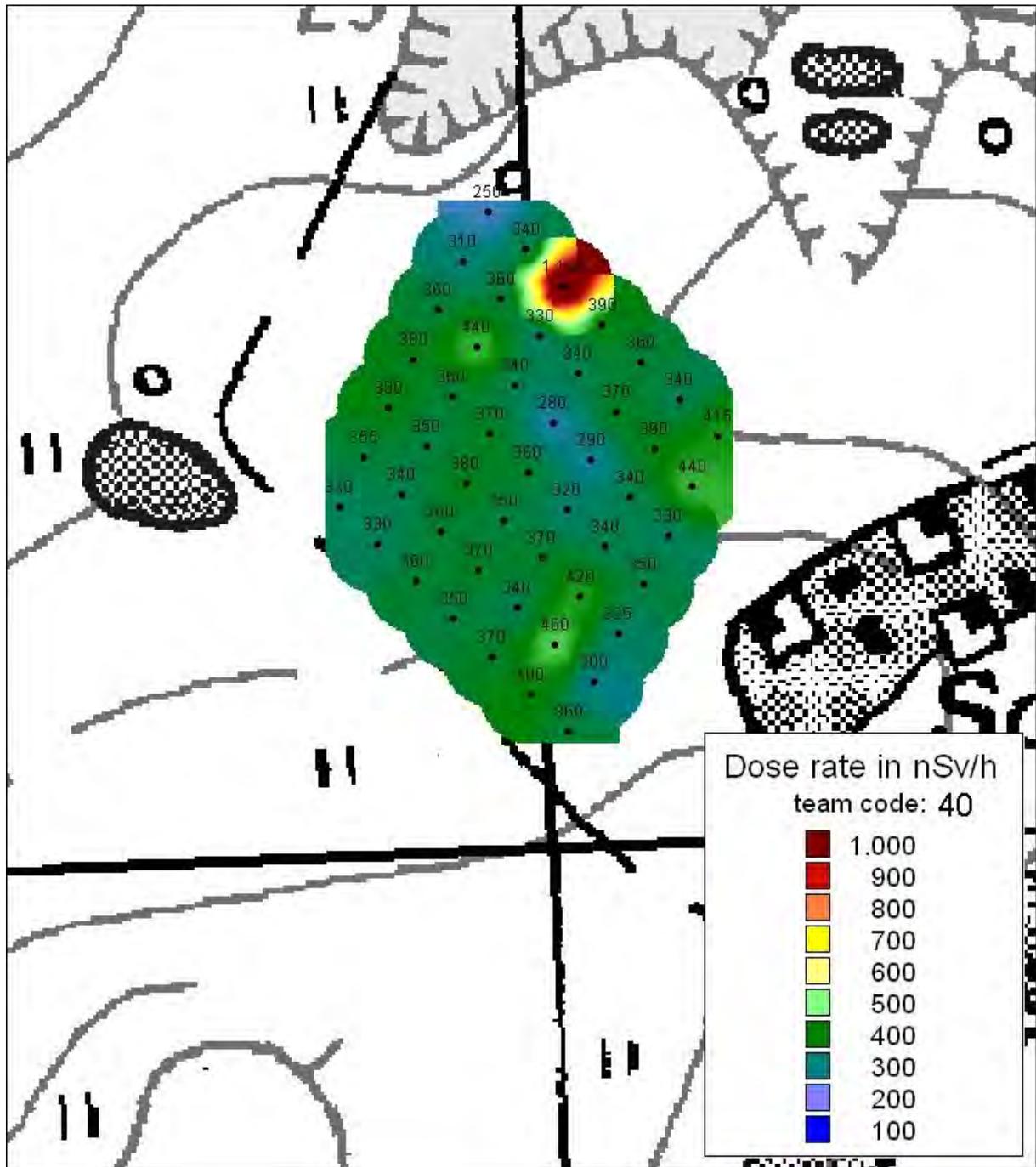


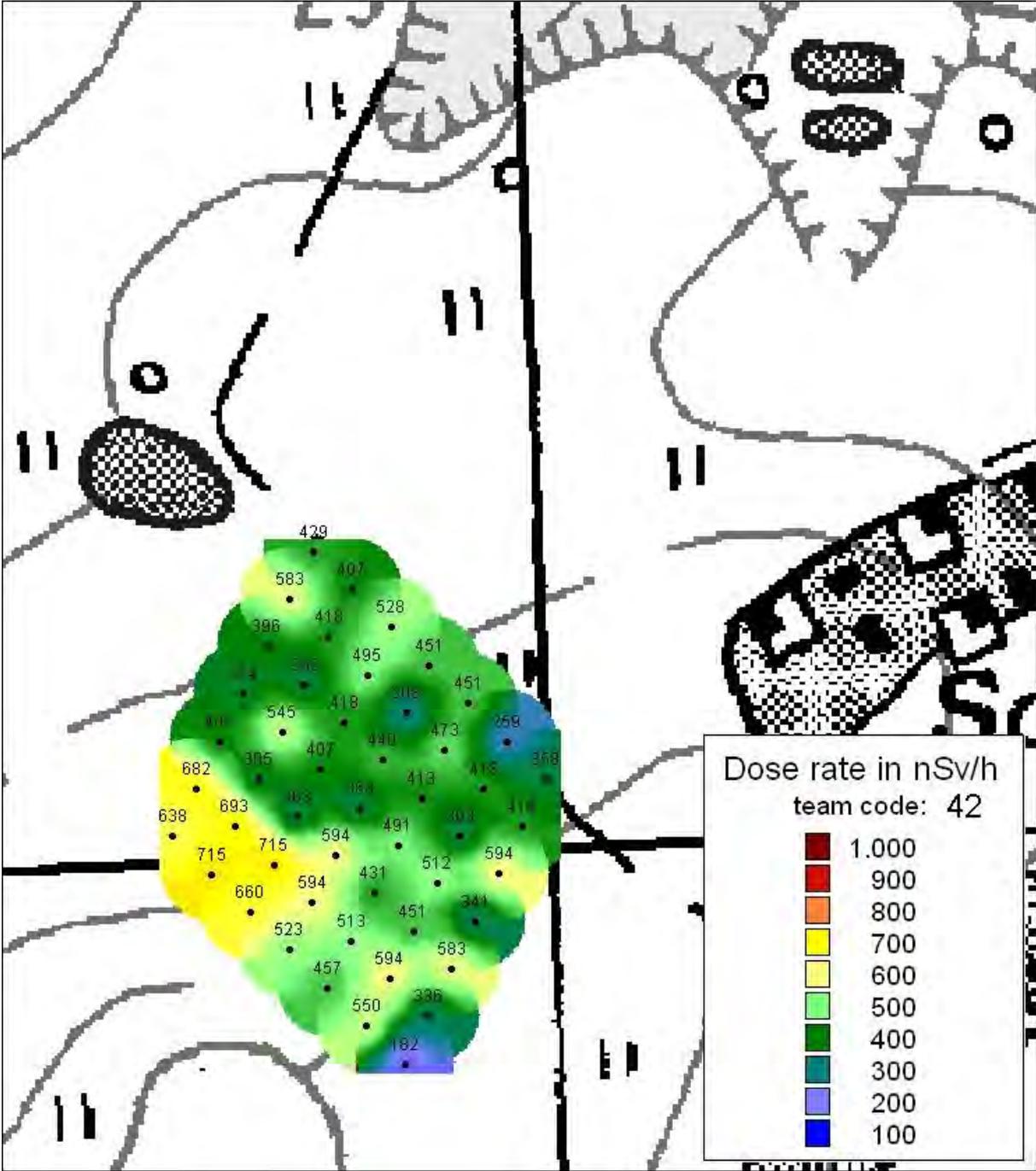


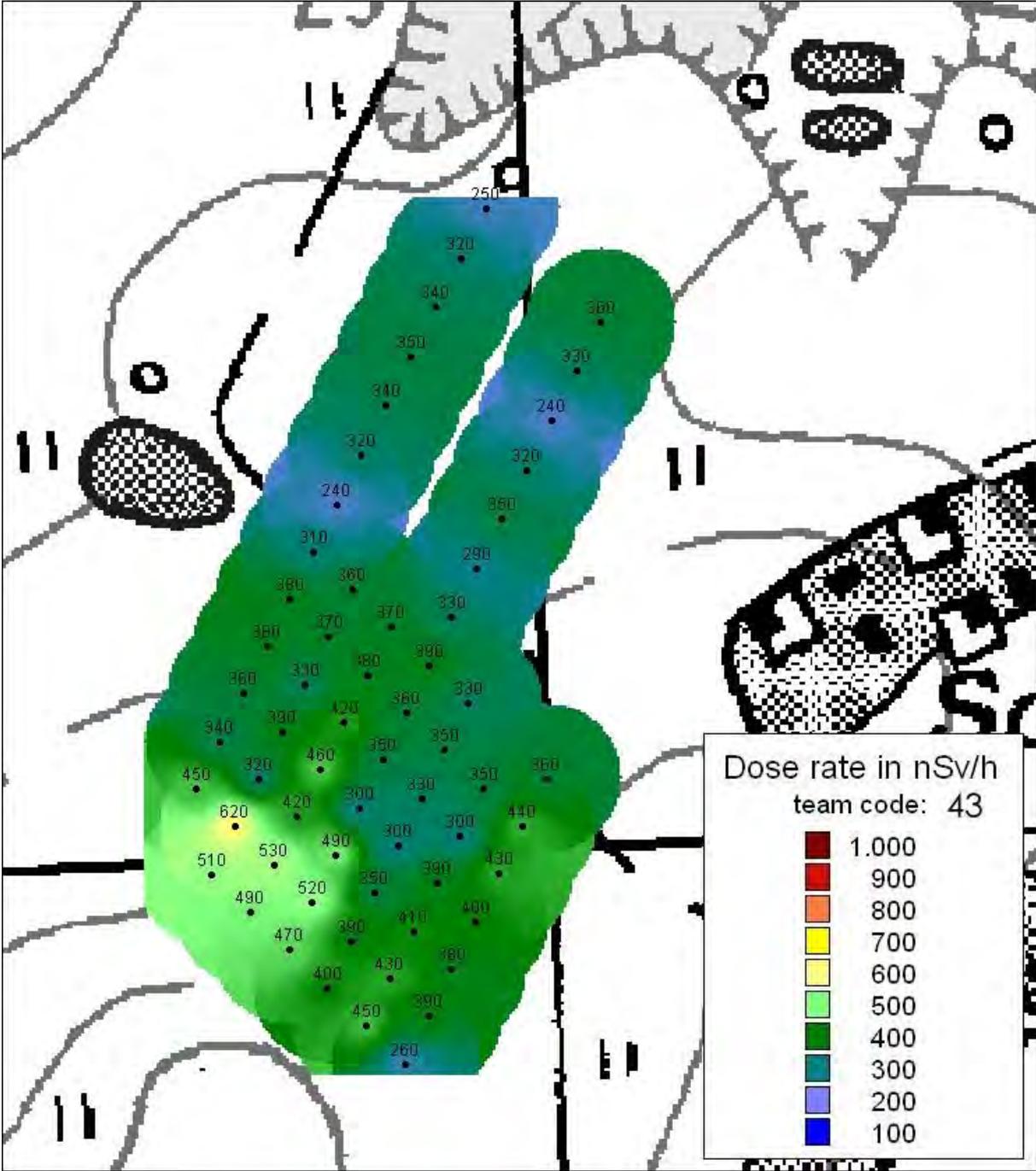


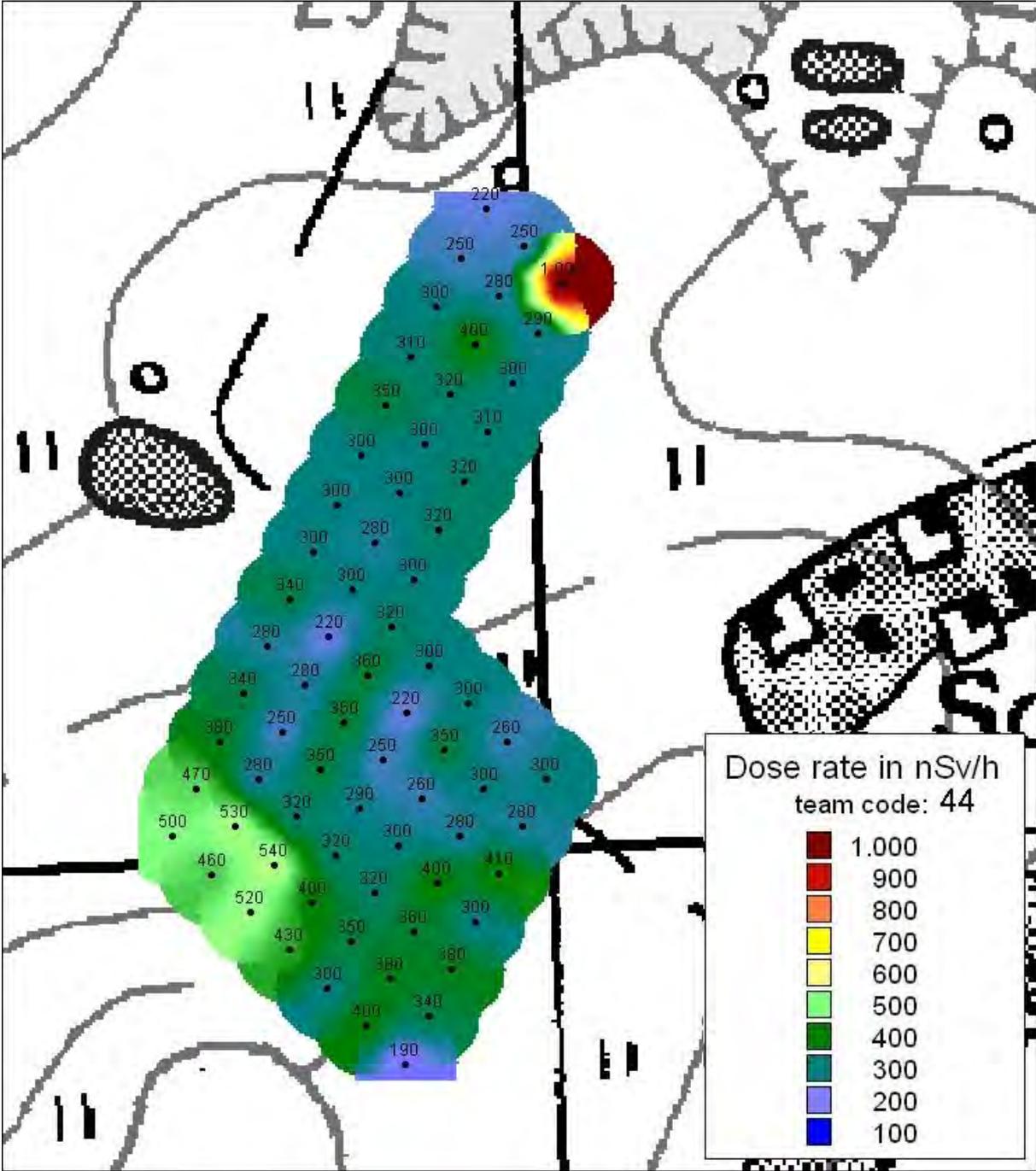


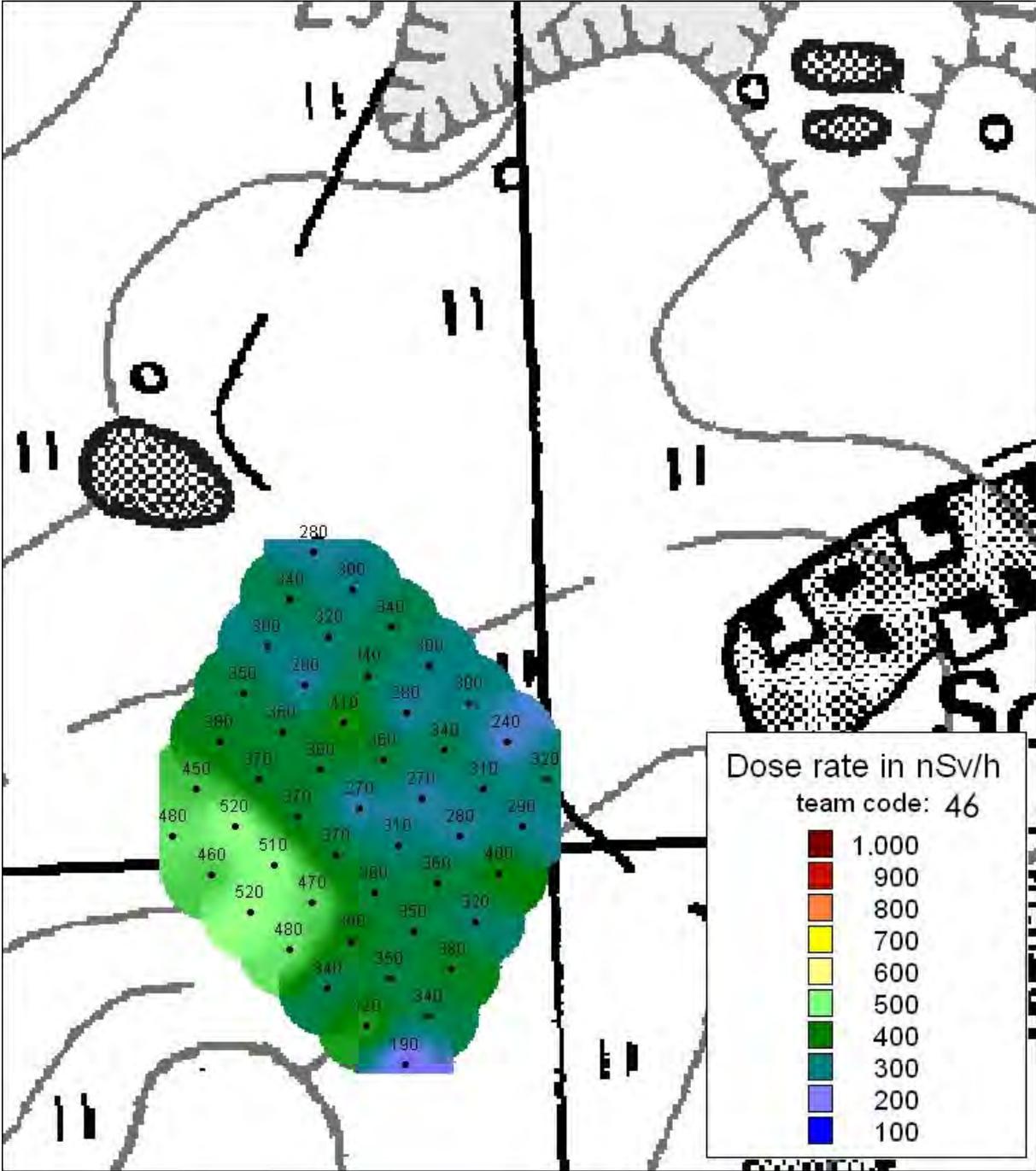


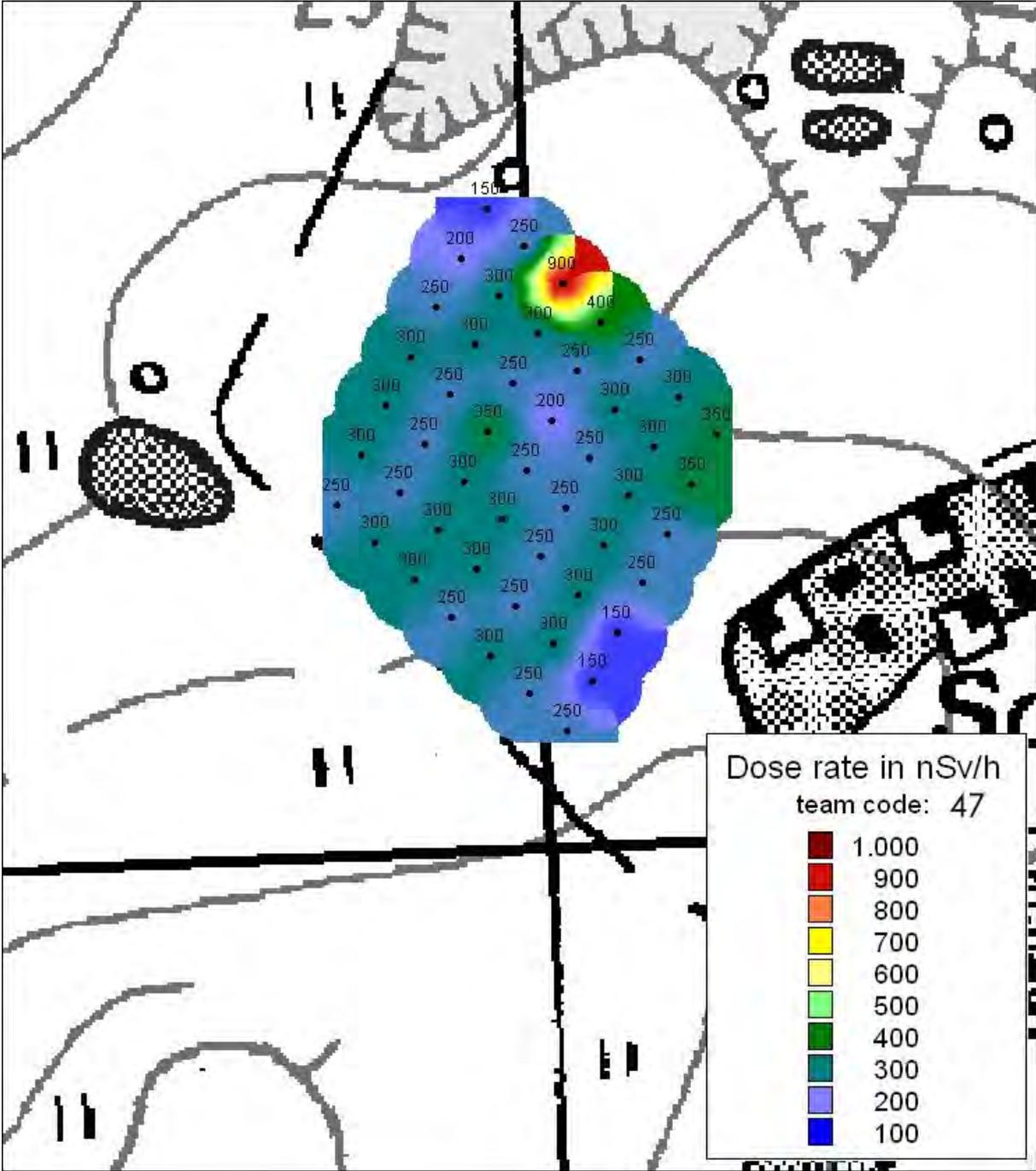


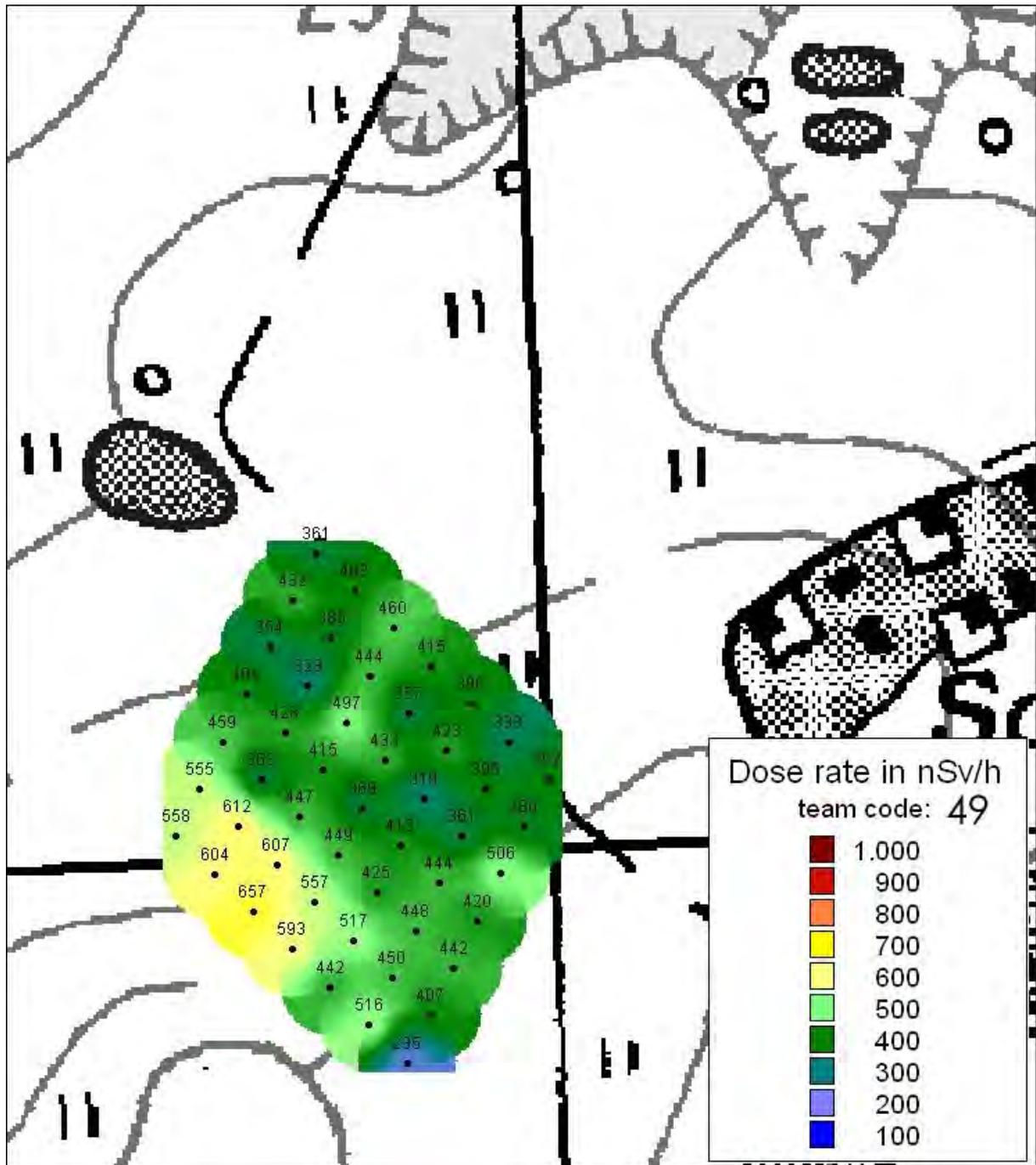


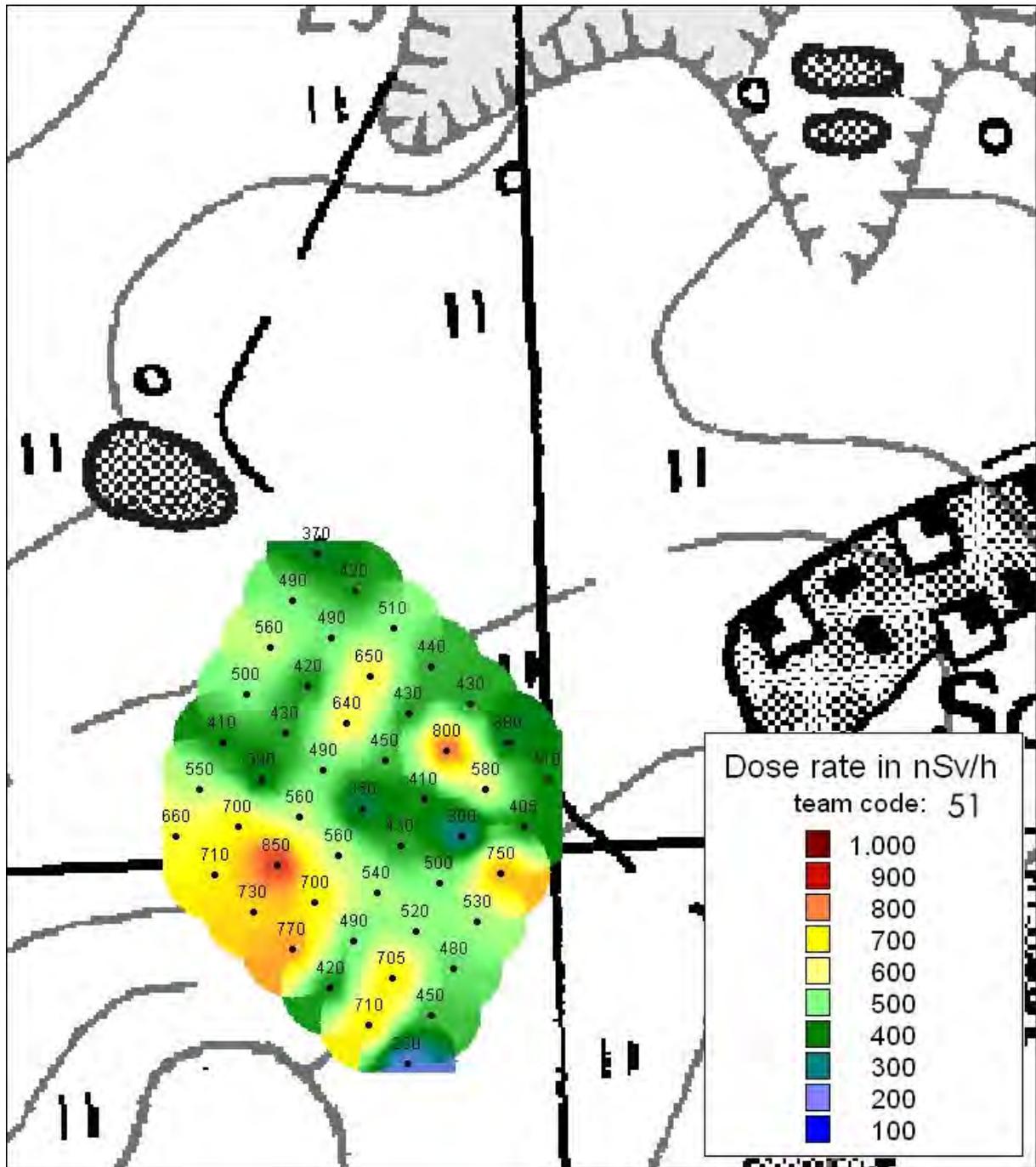


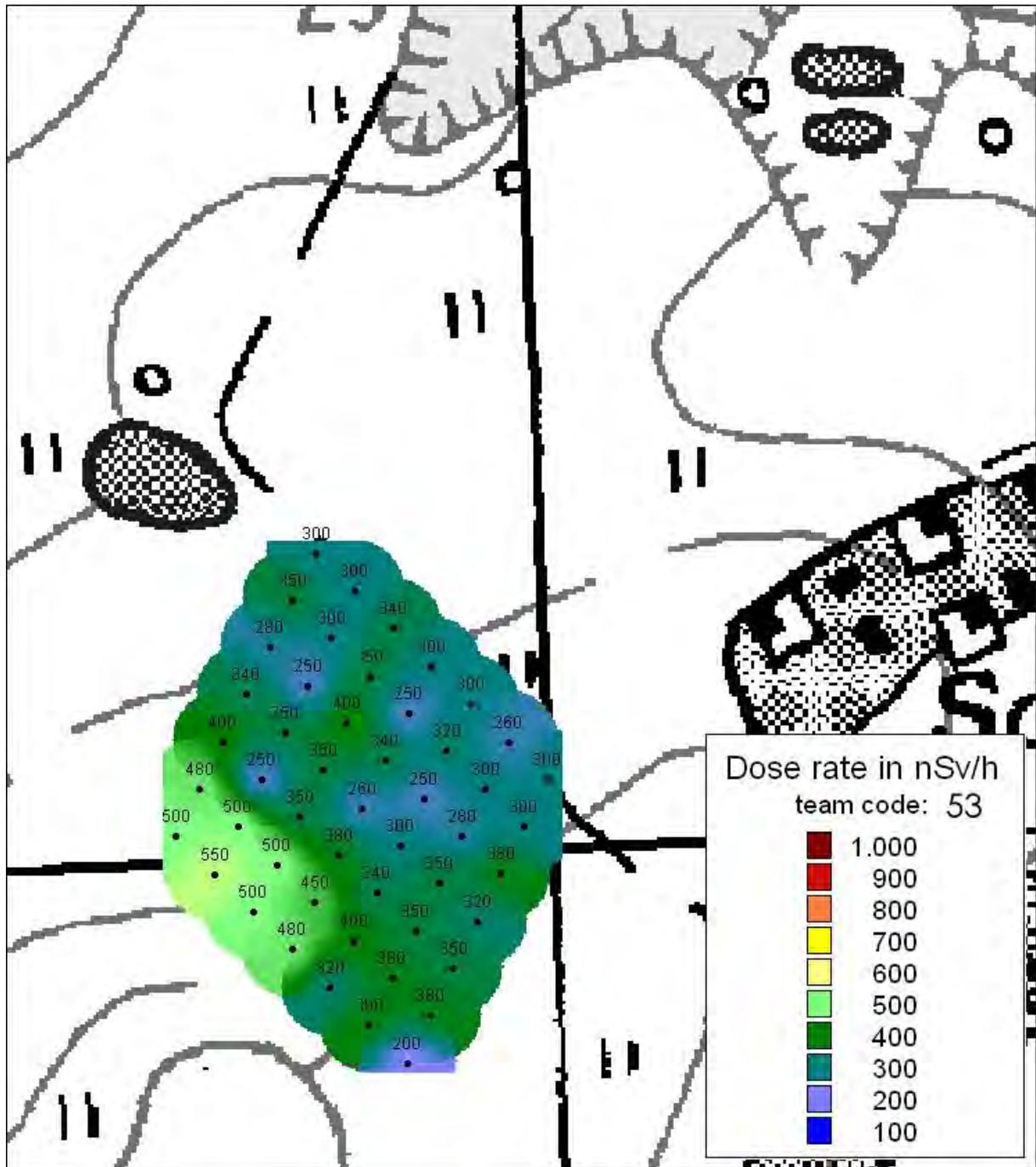


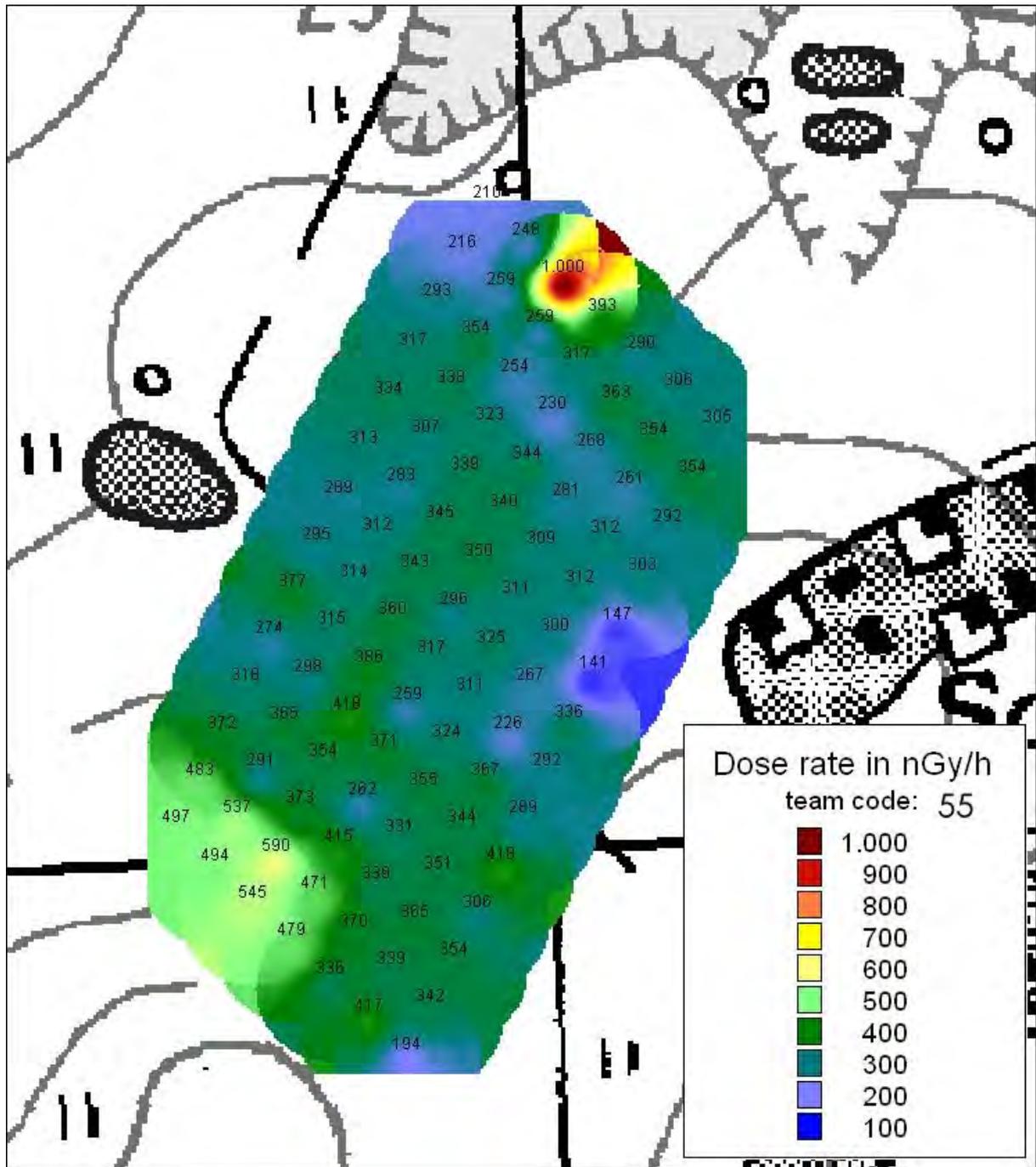


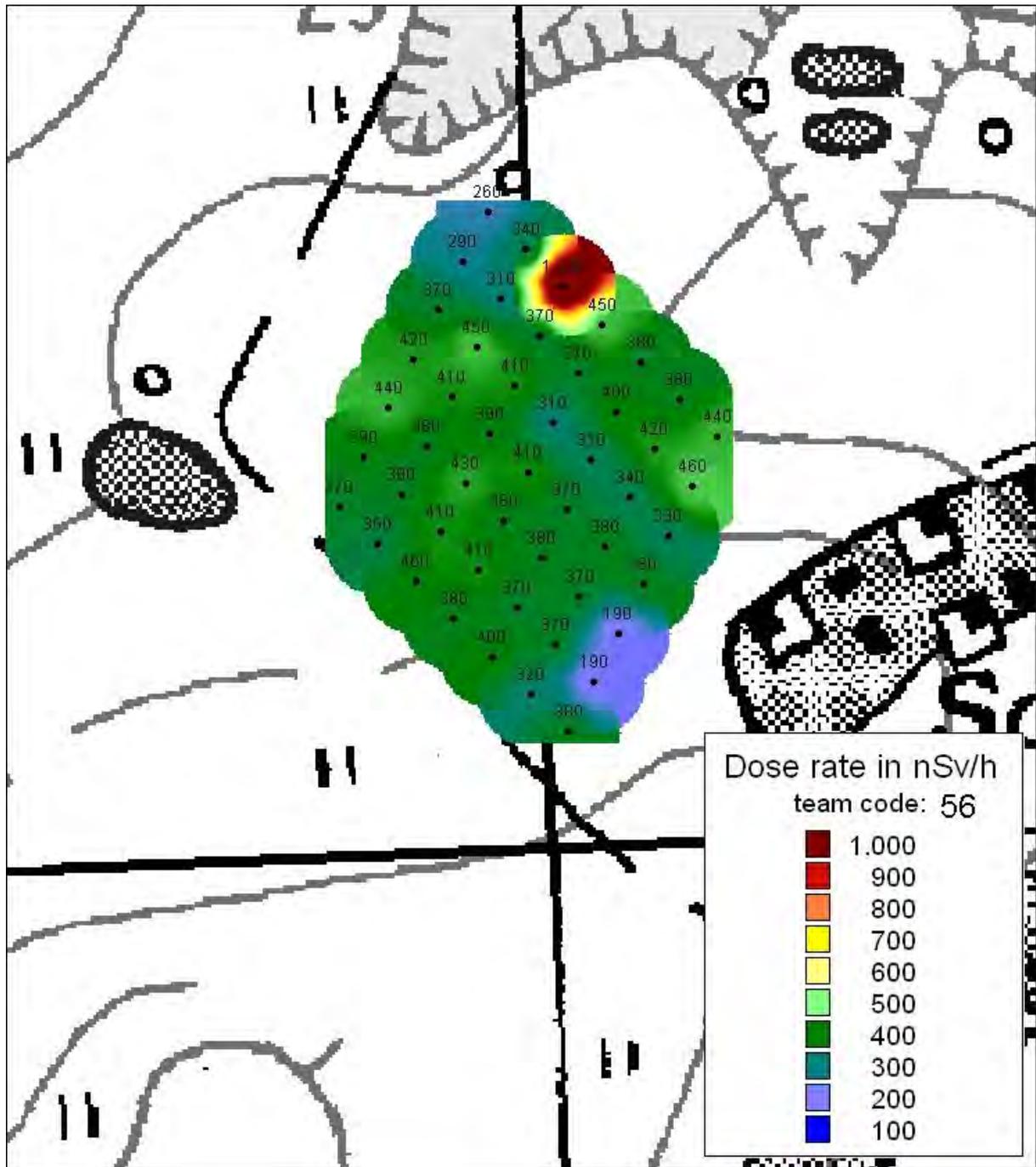


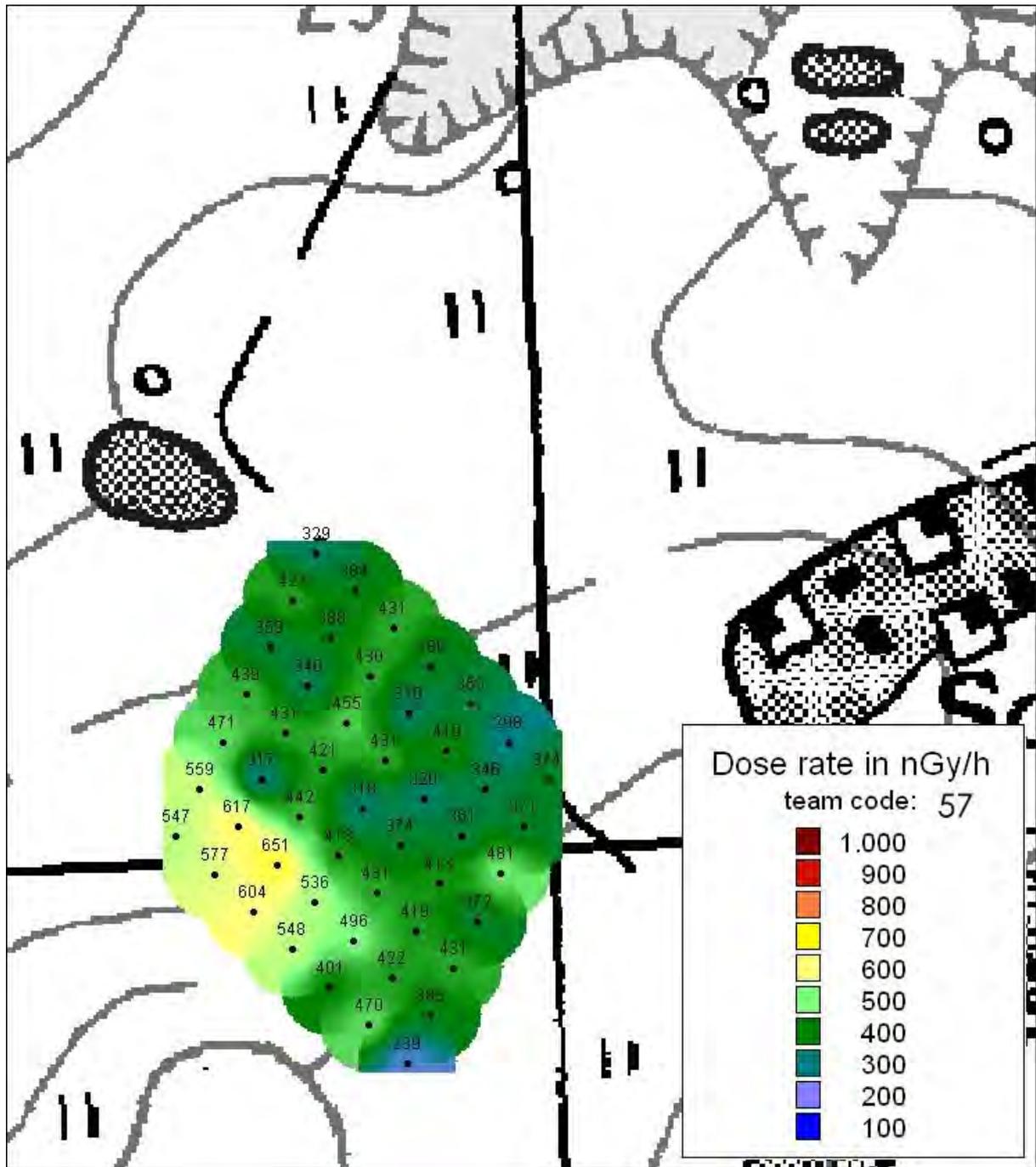


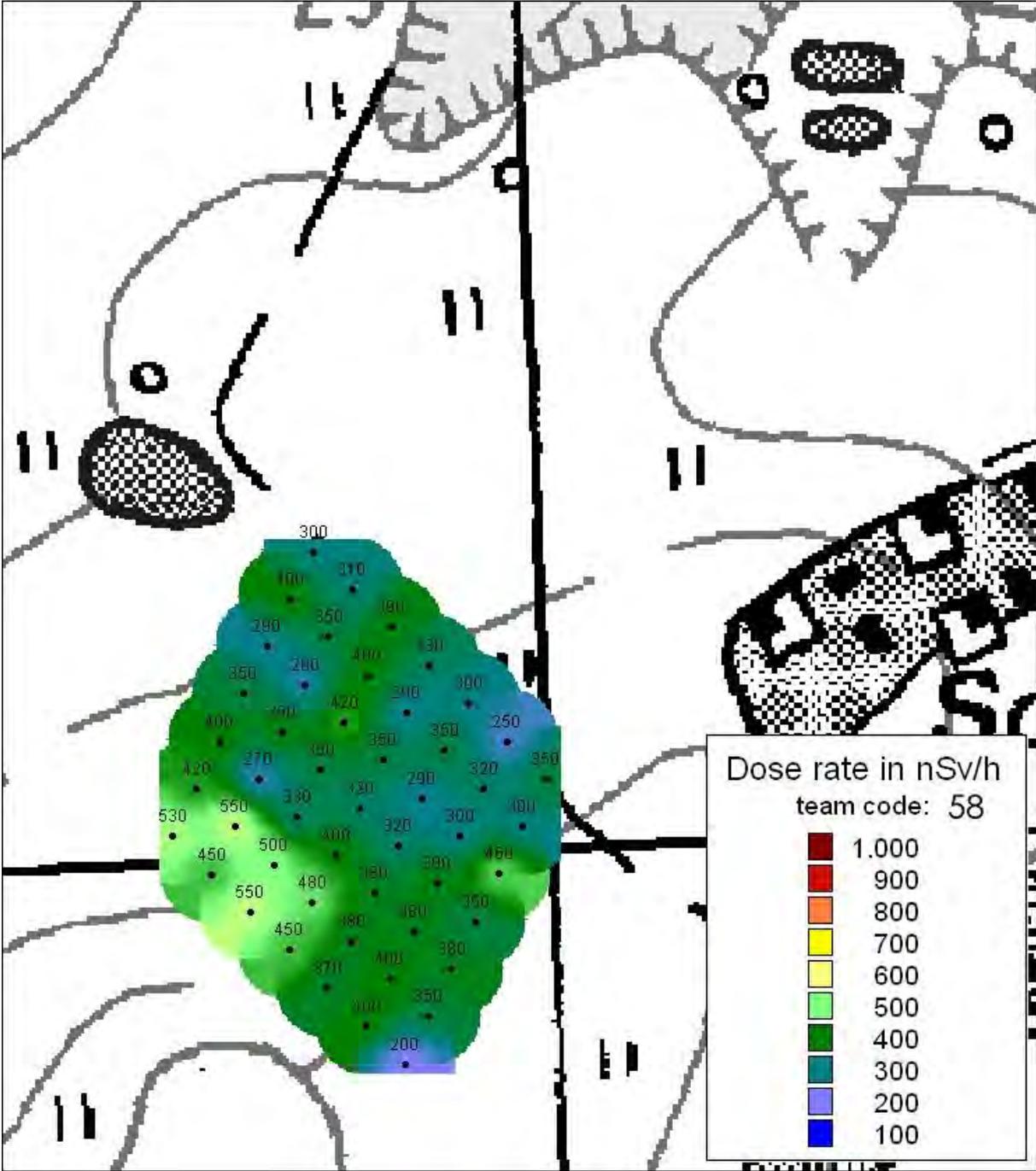


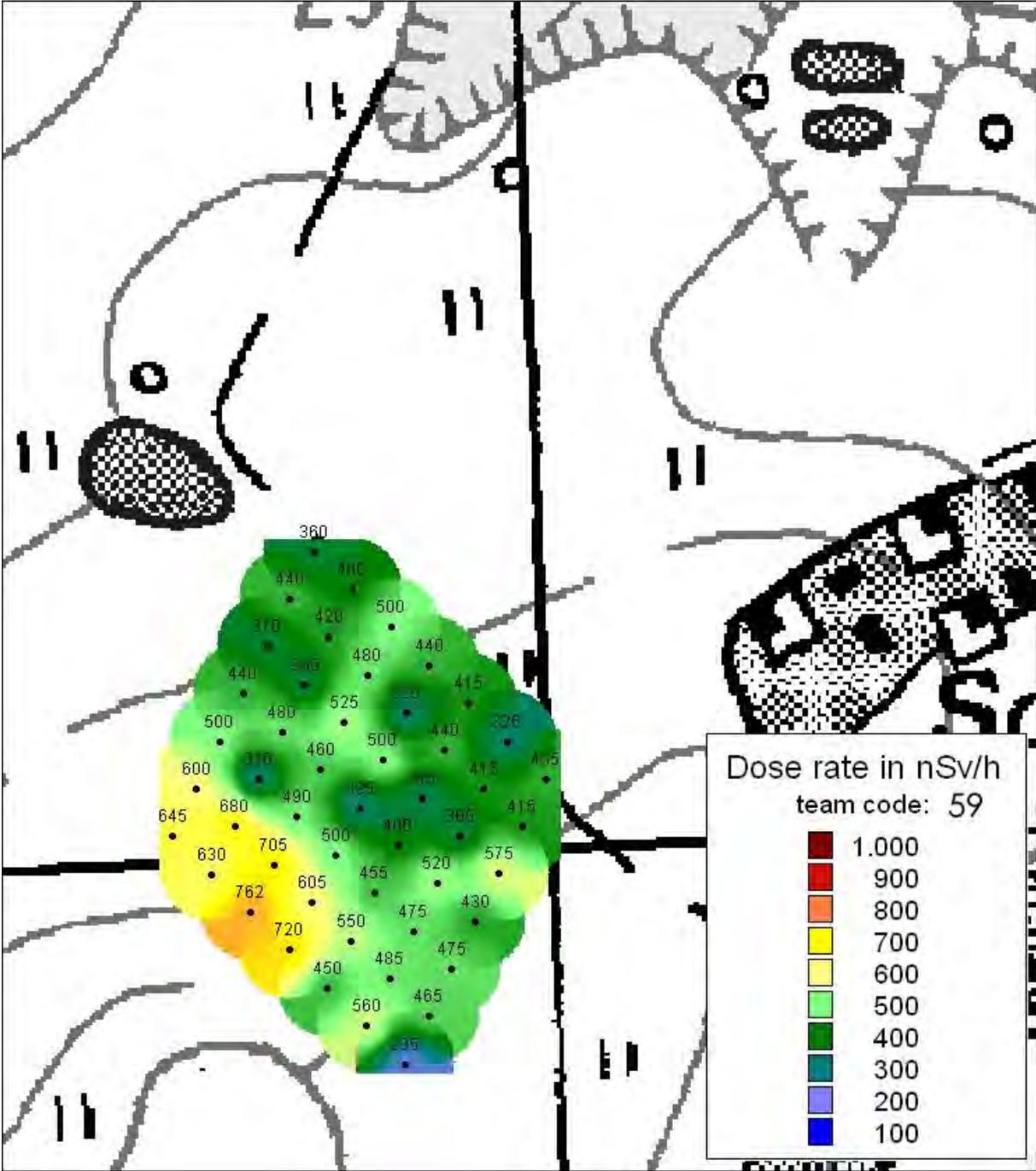


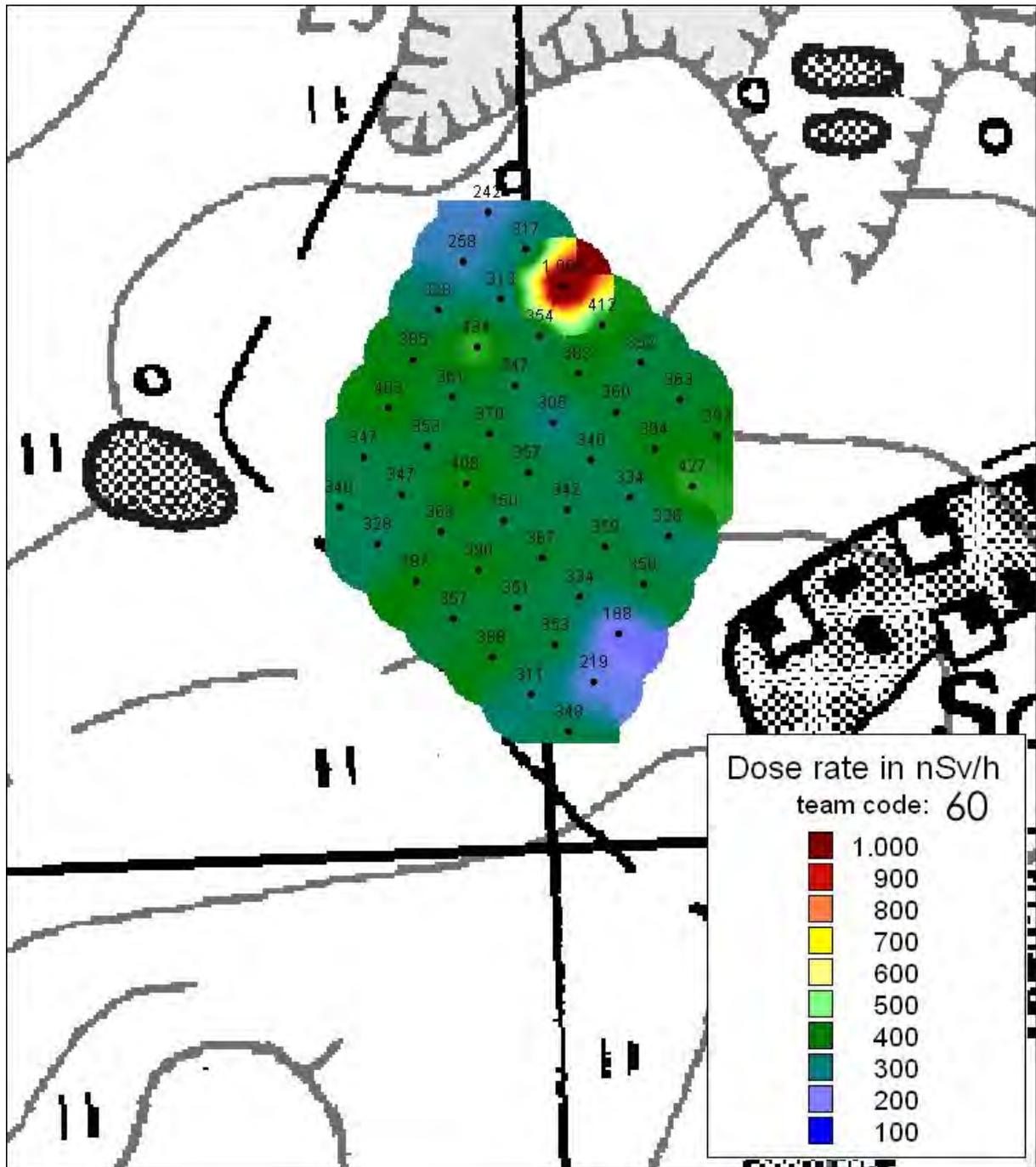


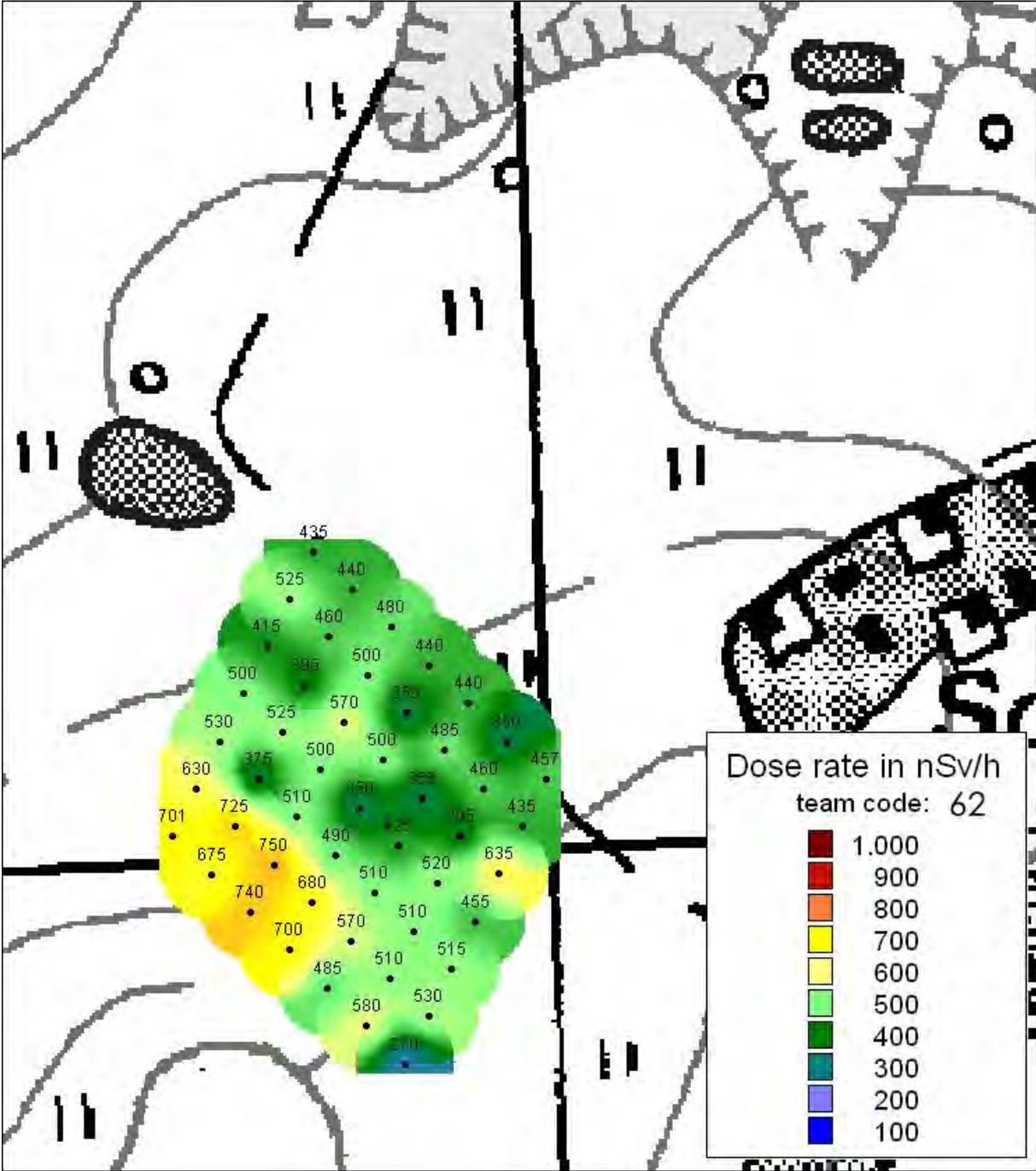


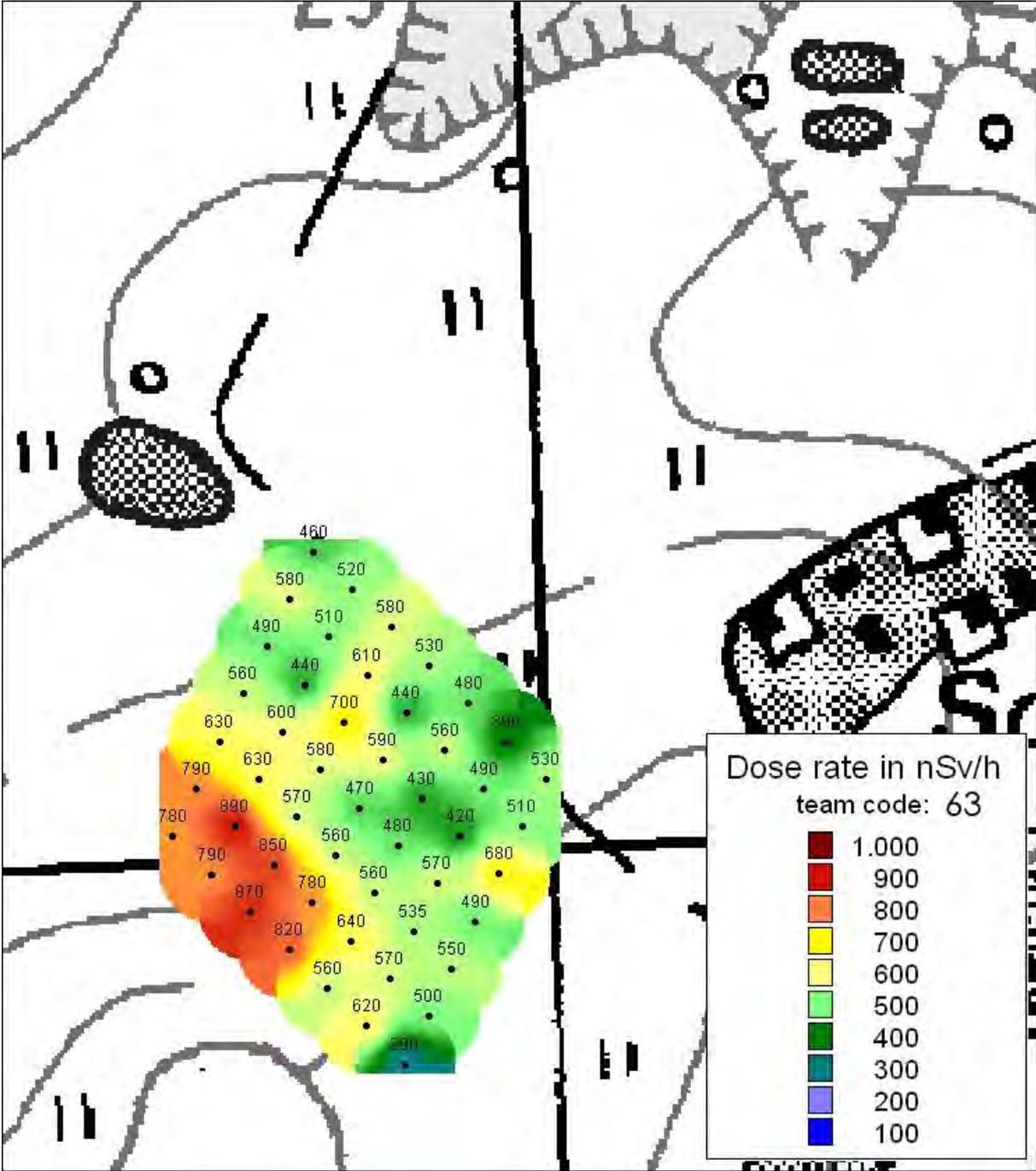


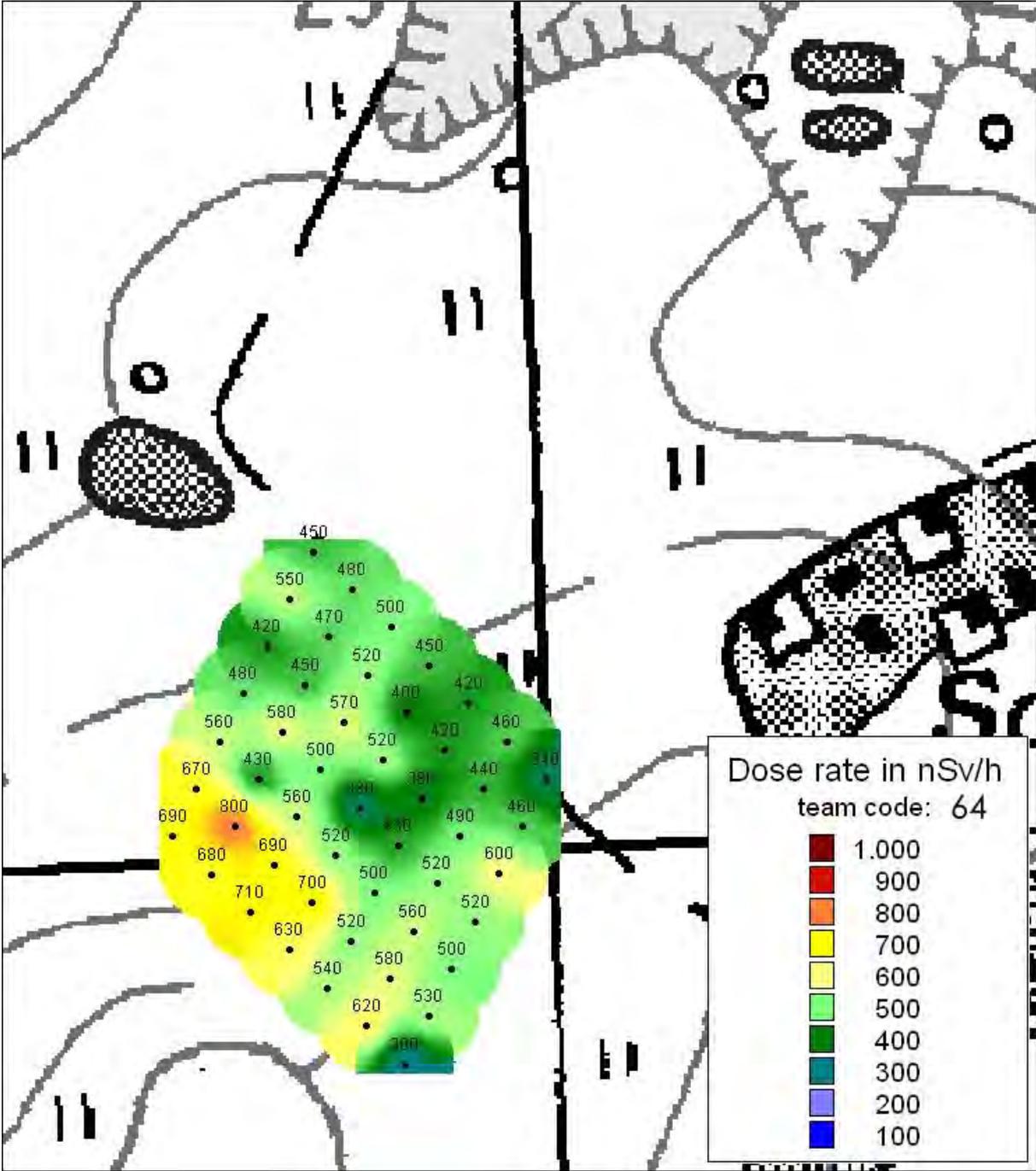


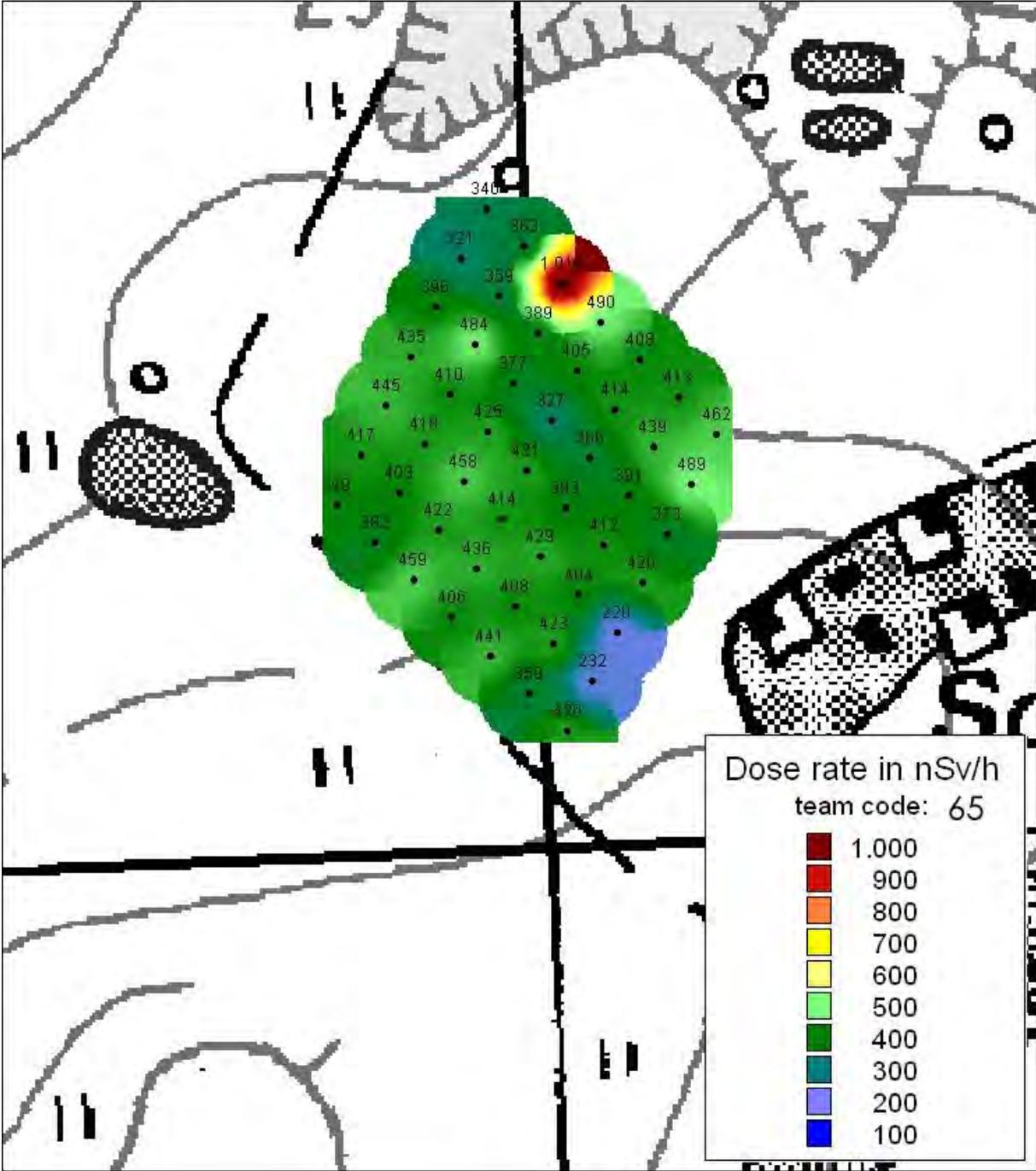


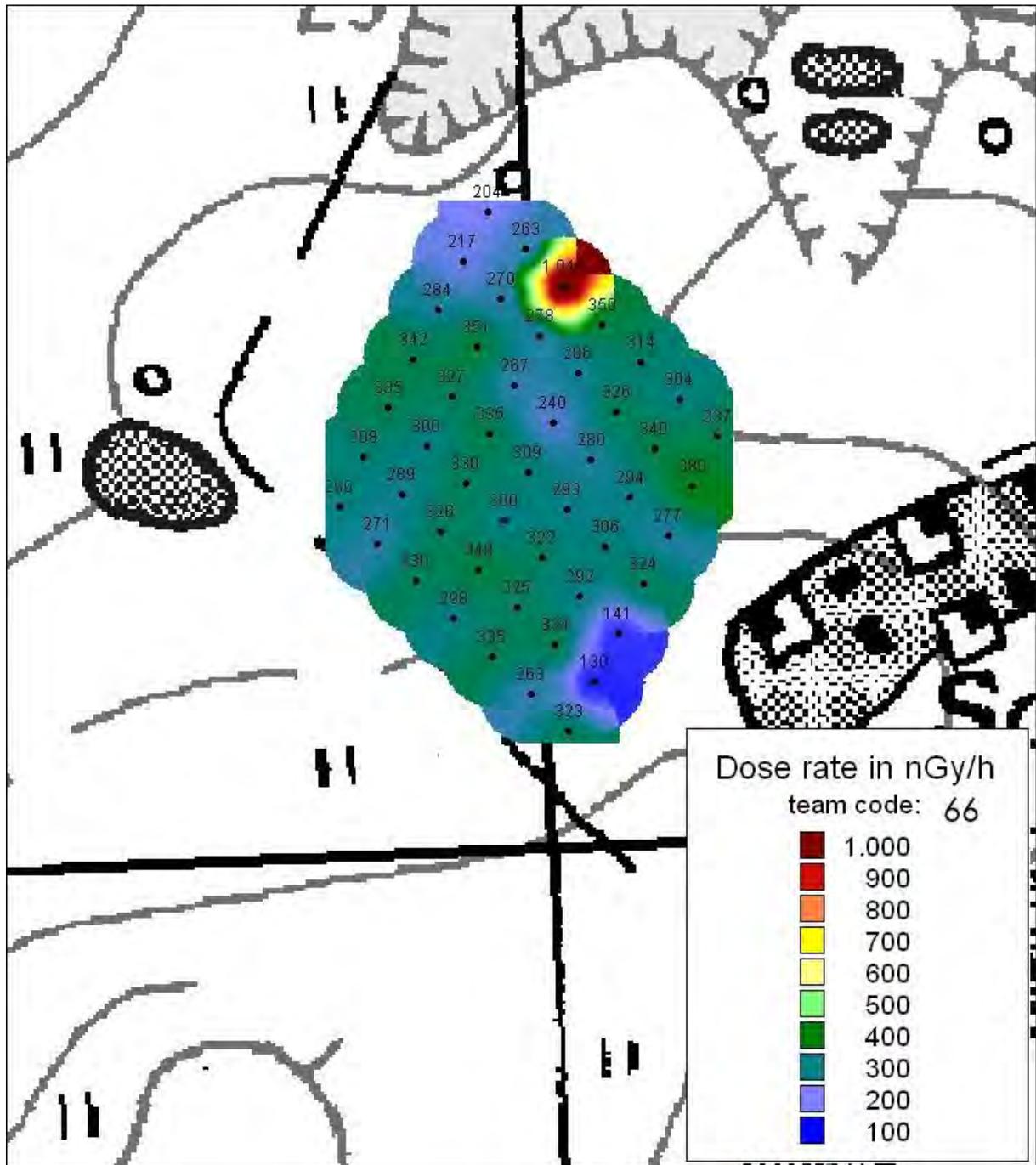


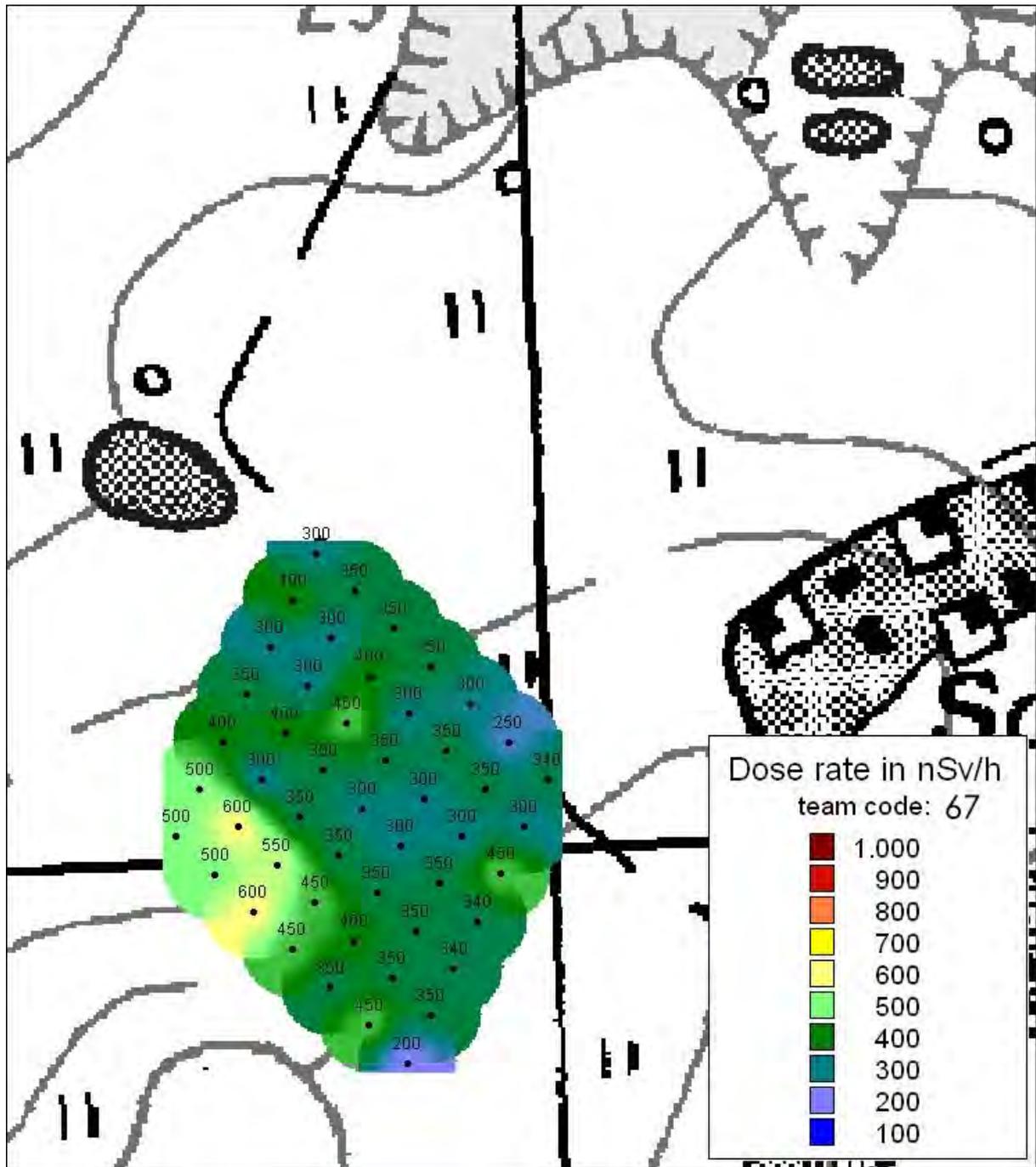


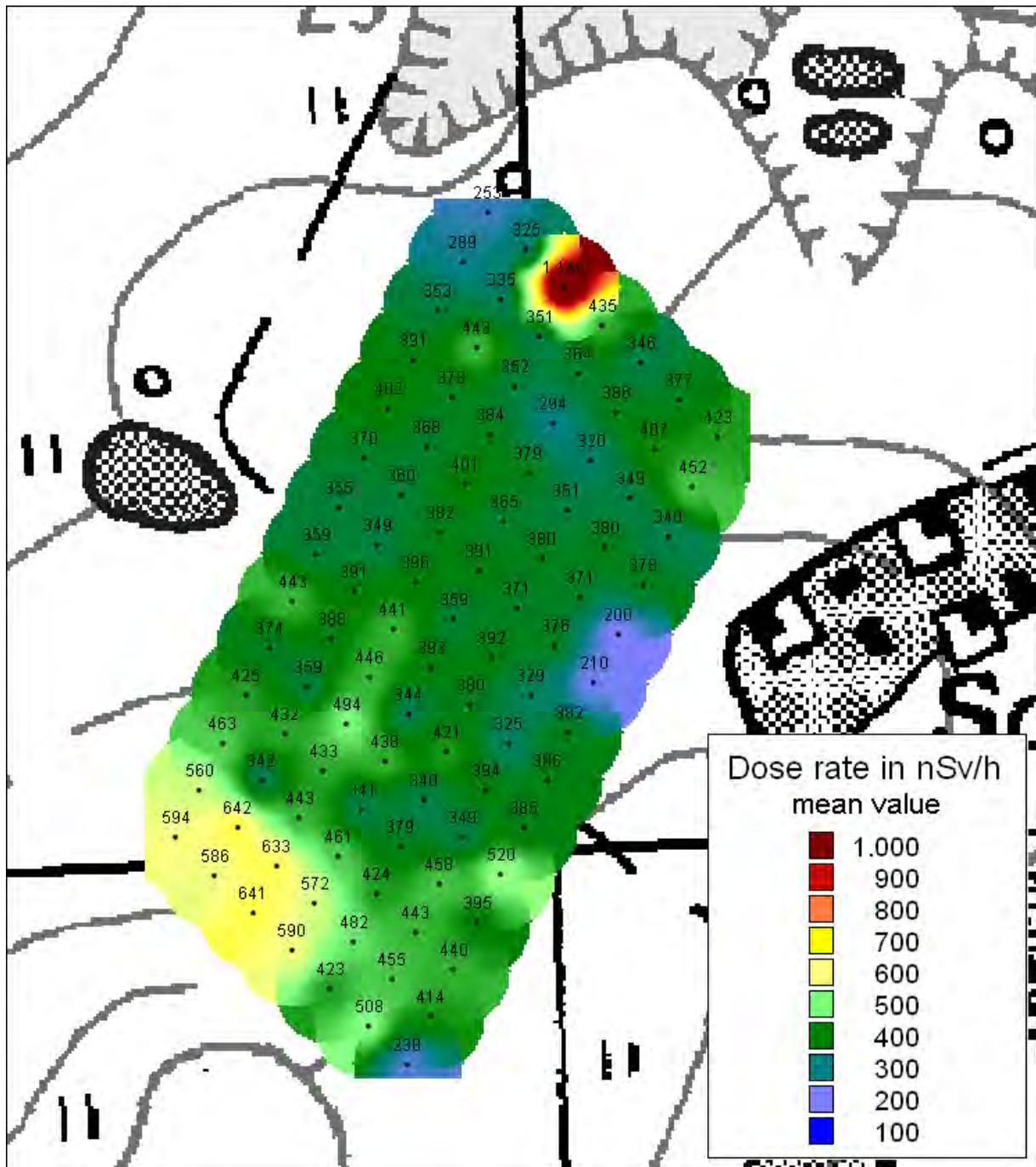


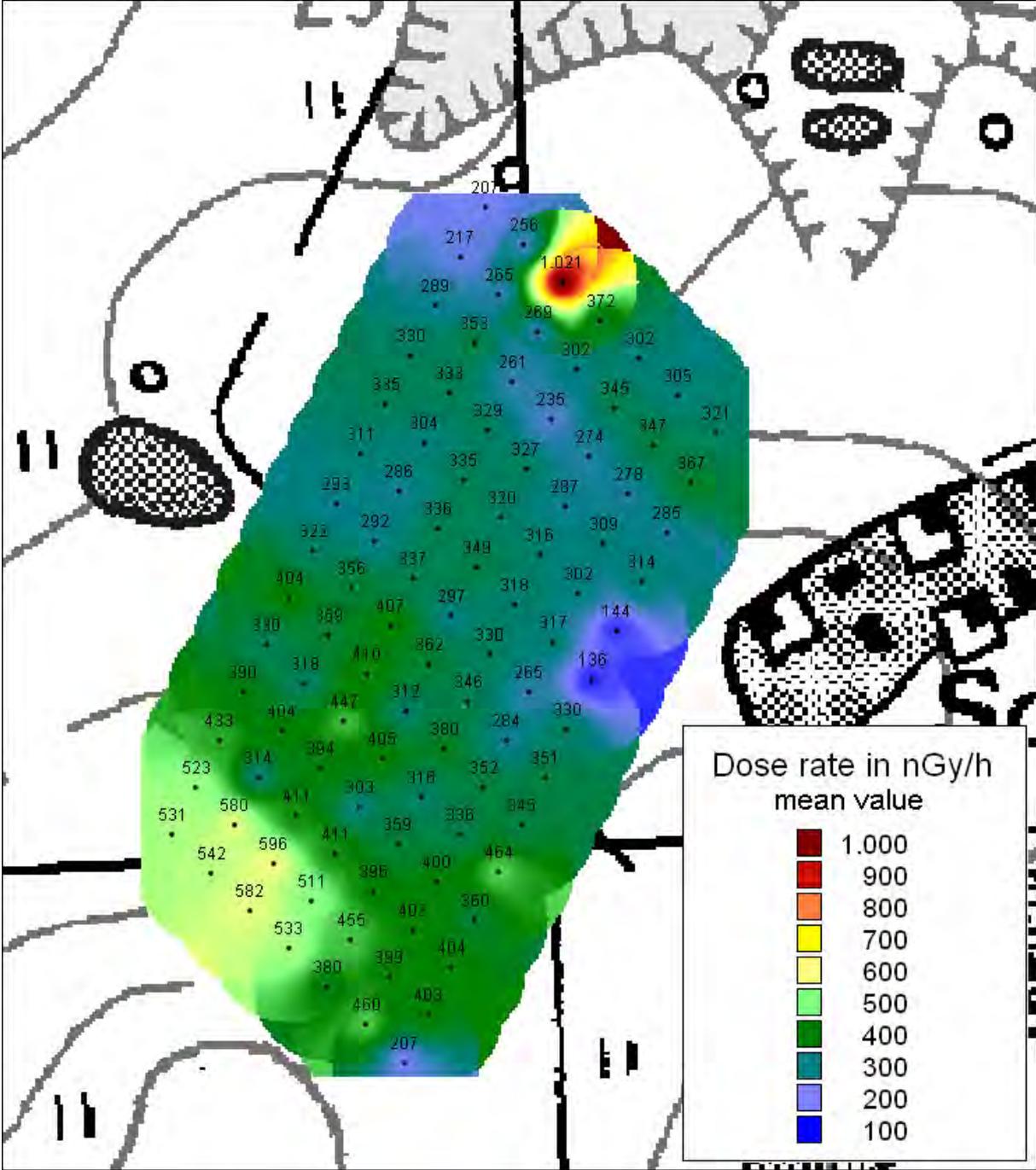












Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-IAR-1/90

Zähringer, M.; Bieringer, P.; Kromer, B.; Sartorius, H.; Weiss, W.
Entwicklung, Erprobung und Einsatz von Schnellmeßmethoden zur nuklidspezifischen Bestimmung atmosphärischer Kontaminationen.
Freiburg, August 1990

BfS-IAR-2/97

Zähringer, M.; Sempau, J.
Calibration Factors for Dose Rate Probes in Environmental Monitoring Networks Obtained from Monte-Carlo-Simulations
Freiburg, Februar 1997

BfS-IAR-3/98

Weiss, W.; Kelly, G.N.; French, S.
Decision Support for Emergency Response - How Best Can it be Improved?
Proceedings of a BfS/EC Workshop Freiburg, Germany, December 8-10, 1997.
Freiburg, September 1998

BfS-AR-1/01

Bieringer, J. u. P.
Abschlussbericht. In-situ Übung 2000. 16. und 17. Mai 2000.
Länder / BfS in Augsburg und die DWD-Stationen.
Freiburg, März 2001

BfS-ST-1/92

Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989.
Berlin, August 1992

BfS-ST-2/92

Umweltradioaktivität in den ostdeutschen Ländern.
Jahresbericht 1990.
Berlin, September 1992

BfS-ST-3/92

2. Biophysikalische Arbeitstagung. Schlema, 11. bis 13. September 1991.
Berlin, November 1992

BfS-ST-4/93

Teil 1: M. Beyermann, B. Höfs, Teil 2: I. Gans, M. Beyermann, M. Lönnig
Teil 1: Radonmessungen in Gebäuden mit Aktivkohledetektoren und Flüssigszintillations-Spektrometrie Teil 2: Verfahren zur Schnellbestimmung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Luft von Gebäuden - Screeningmessung 1993
Berlin, Juli 1993

BfS-ST-5/93

Sarenio, O.; Will, W.
Qualitätssicherung der Dosisleistungsmessungen im Grundpegelbereich.
Berlin, September 1993

BfS-ST-6/95

Schmidt, V.; Feddersen, Ch.; Ullmann, W.
Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von passiven Meßsystemen zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon und kurzlebige Radonfolgeprodukte.
Berlin, Juni 1995

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-ST-7/95

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1993 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1993 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, August 1995

BfS-ST-8/96

Kraus, W.

Strahlenexposition und Strahlenschutzdosimetrie

Berlin, April 1996

BfS-ST-9/96

Umweltradioaktivität im Ostthüringer Bergbaugesamt.

Berlin, Juli 1996

BfS-ST-10/96

Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B.; Leißring, B.

Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg.

Berlin, Oktober 1996

BfS-ST-11/97

Beyermann, M.; Naumann, M.; Sarenio, O.; Schkade U.-K.; Will, W.

Erfahrungen zur Qualitätsüberwachung bei der Ermittlung der Umweltradioaktivität im Rahmen der Meßprogramme zum Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkaster)".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-12/97

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1994 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen. Ergänzung zum Jahresbericht 1994 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-13/97

Will, W.; Borsdorf, K.-H.; Mielcarek, J.; Malinowski, D.; Sarenio, O.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern

Deutschlands. Berlin, August 1997

BfS-ST-14/97

Will, W.; Borsdorf, K.-H.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in Deutschland.

Lehmann, R.; Kemski, J.; Siehl, A.

Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland.

Berlin, November 1997

BfS-ST-15/98

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1995 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1995 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1998

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-ST-16/99

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1996 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1996 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1999

BfS-AS-1/00

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1997 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 2000

BfS-AS-2/00

Jun, J.-S.¹⁾; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.

¹⁾ *Department of Physics, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea*

A Comparative Study on the CL Dosimetric Characteristics of German and Korean Sugar and Sorbite.

Berlin, Oktober 2000

Ab 1. Februar 2003 SW

BfS-SW-01/03

Will, W.; Mielcarek, J.; Schkade, U.-K.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in ausgewählten Regionen Deutschlands.

Salzgitter, Juni 2003

BfS-SW-02/03

Bittner, S.; Braun, H.; H.-W. Dusemund, H.-W.;

Gregor, J.; Raguse, R.; Voß, W.

Einsatz des Entscheidungshilfesystems RODOS in Deutschland

Salzgitter, Juli 2003

BfS-SW-03/06

Beck, Thomas; Ettenhuber, E.

Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten

Leitfaden für die Umsetzung der Regelung nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 StrlSchV

Salzgitter, März 2006

BfS-SW-04/09

urn:nbn:de:0221-2009042344

Beck, Thomas

Spezielle Anforderungen an Geräte zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon- und

Radonzerfallsprodukte

Salzgitter, April 2009

BfS-SW-05/09

urn:nbn:de:0221-2009120417

Dushe, C.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Müller, S.

Ergebnisse der Radonmessungen in der bodennahen Luft der Bergbauggebiete

Salzgitter, Dezember 2009

BfS-SW-06/09

urn:nbn:de:0221-20100319945

Beyermann, M.; Bünger, T.; Gehrcke, K.; Obrikat, D.

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

Salzgitter, Dezember 2009

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-07/10

urn:nbn:de:0221-20100329966

Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau)
Salzgitter, März 2010

BfS-SW-08/10

urn:nbn:de:0221-201008113016

Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Foerster, E.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2010
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2010
Salzgitter, November 2010

BfS-SW-09/11

urn:nbn:de:0221-201109056212

Calculation Guide Mining

Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining
Department Radiation Protection and Environment
Salzgitter, September 2011

BfS-SW-10/11

urn:nbn:de:0221-201109216413

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2011
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2011
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, Oktober 2011

BfS-SW-11/12

urn:nbn:de:0221-201204128010

Gering, F.; Gerich, B.; Wirth, E.; Kirchner, G.

Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-12/12

urn:nbn:de:0221-201204168021

Kümmel, M.

Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität mit den Berechnungsgrundlagen-Bergbau
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-13/12

urn:nbn:de:0221-201209149412

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2012
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2012
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, September 2012

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-14/12

urn:nbn:de:0221-201210099810

Gehrcke, K.; Hoffmann, B.; Schkade, U.; Schmidt, V.; Wichterey, K.

Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende

Strahlenexposition

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2012

BfS-SW-15/13

urn:nbn:de:0221-2013111411138

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition

Vergleichsprüfung 2013

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2013

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2013

BfS-SW-16/14

urn:nbn:de:0221-2014101611834

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222- Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition

Vergleichsprüfung 2014

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2014

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Oktober 2014

BfS-SW-17/15

urn:nbn:de:0221-2015012612255

Kabai E.; Hiersche L.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2013)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2015

BfS-SW-18/15

urn:nbn:de:0221-2015092913543

Kabai E.; Hiersche L.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2014)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, September 2015

BfS-SW-19/15

urn:nbn:de:0221-2015110313768

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222- Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition

Vergleichsprüfung 2015

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2015

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2015

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST-und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-20/15

Brummer, Christian; Strobl, Christopher

urn:nbn:de:0221-2015111813780

ISIGAMMA 2005

Internationaler Messvergleich zur Bestimmung der Radioaktivität im Boden mittels In-Situ-Gammaspektrometrie, 9. bis 12. Mai 2005

(vormals: SW 2-16/2006 vom September 2006)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2015

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333 0

Telefax: + 49 (0)3018 333 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz