



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Abschlussbericht

Vergleichsuntersuchung Milch 2022

Abschlussbericht

Vergleichsuntersuchung Milch 2022

Max Rubner-Institut (MRI)
Bundforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel
Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch
Leitstelle für die Überwachung der Umweltradioaktivität

Dr. Florian Ober
Dr. Gerhard Haase
Dr. Taida Gil Haenelt
Dipl. Ing. Thomas Vagt

Stand: 16. März 2023

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	1
2. Organisation & Durchführung	2
3. Probenaufbereitung	4
3.1. Probenherstellung und Versand	4
3.2. Probenanalyse der Leitstelle	5
4. Auswertung	8
4.1. Prüfung der zugewiesenen Werte	11
5. Ergebnisse und Beurteilung	12
5.1. K - 40	15
5.2. Co - 60	15
5.3. I - 131	16
5.4. Ba - 133	17
5.5. Cs - 134 und Cs - 137	17
5.6. Sr - 89 und Sr - 90	19
6. Fazit und Ausblick	22
A. Anhang	31
A.1. Liste aller teilnehmenden Laboratorien	31
A.2. Übersicht über alle Messwerte und Ergebnisse	34
A.3. Zertifikate der verwendeten Standards	47
Literaturverzeichnis	60

Tabellenverzeichnis

3.1. Messwerte (Index 1, 2) der Leitstelle (MRI). In der Nullmilch (Index 0) sind nur das natürliche K - 40 sowie Sr - 90 nachweisbar gewesen. Die Wiederholungsmessungen sind mit einem * gekennzeichnet.	8
4.1. Übersicht über die Bewertung (ζ -Score) der im Oktober gemessenen Aktivitätskonzentrationen der Leitstelle. Die Wiederholungsmessungen im Dezember sind mit einem * gekennzeichnet. Der ζ_{kont}^* für Cs - 137 ergibt 0,0, da es sich um den zugewiesenen Wert handelt.	11
5.1. Kenngrößen Vergleichsuntersuchung Milch 2022	14
A.1. Liste der teilnehmenden Laboratorien (Reihenfolge entspricht nicht dem Laborcode)	33
A.2. Messwerte und Bewertungen K - 40	35
A.3. Messwerte und Bewertungen Co - 60	37
A.4. Messwerte und Bewertungen I - 131	39
A.5. Messwerte und Bewertungen Ba - 133	41

A.6. Messwerte und Bewertungen Cs - 134	42
A.7. Messwerte und Bewertungen Cs - 137	44
A.8. Messwerte und Bewertungen Sr - 89	45
A.9. Messwerte und Bewertungen Sr - 90	46

Abbildungsverzeichnis

2.1. Herkunft der teilnehmenden Laboratorien	4
3.1. Ablaufdiagramm der Probenherstellung	6
3.2. Ermittelte Fettkugeldurchmesser-Verteilung der Ursprungsmilch, nach den jeweils durchlaufenden Homogenisierungsstufen, nach einer Standzeit von zwei Wochen bei ca. 20 °C und einer Handelsprobe.	7
5.1. Verteilungen der z-score	13
5.2. Verteilungen der ζ -score	13
5.3. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für K - 40	15
5.4. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Co - 60	16
5.5. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für I - 131	16
5.6. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Ba - 133	17
5.7. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 134	18
5.8. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 137	18
5.9. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 89	20
5.10. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 90	20
6.1. S-Plot K - 40	23
6.2. S-Plot Co - 60	24
6.3. S-Plot I - 131	25
6.4. S-Plot Ba - 133	26
6.5. S-Plot Cs - 134	27
6.6. S-Plot Cs - 137	28
6.7. S-Plot Sr - 89	29
6.8. S-Plot Sr - 90	30
A.1. Co - 60 Zertifikat	48
A.2. I - 131 Zertifikat	50
A.3. Ba - 133 Zertifikat	51
A.4. Cs - 134 Zertifikat	53
A.5. Cs - 137 Zertifikat	55
A.6. Sr - 89 Zertifikat	56
A.7. Sr - 90 Zertifikat	59

Zusammenfassung

Zur Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem (AVV-IMIS) [2] werden von der Leitstelle zur Überwachung der Umweltradioaktivität am Max Rubner-Institut (MRI) Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. An der diesjährigen Vergleichsuntersuchung zum Umweltmedium *Rohmilch* nahmen insgesamt 69 nationale und internationale Laboratorien teil. In diesem Jahr waren die Aktivitätskonzentrationen der gamma-strahlenden Radionuklide K - 40, I - 131, Ba - 133, Cs - 134 und Cs - 137 sowie der reinen Beta-Strahler Sr - 89 und Sr - 90 zu bestimmen. Als besondere Herausforderung wurde insgesamt eine sehr geringe Aktivitätskonzentration gewählt. Die von den 69 Teilnehmenden übermittelten Messergebnisse wurden gemäß den Empfehlungen der DIN 17043:2010 [3] in Kombination mit der DIN ISO 13528 [4] analysiert und ausgewertet.

Zur Beurteilung der Leistung der teilnehmenden Labore wurden individuelle z- und ζ -score (Formeln 4.2 und 4.3 in Abschnitt 4) berechnet. Die einzelnen Ergebnisse sowie alle von den Teilnehmenden eingereichten Datensätze sind im Anhang in den beigefügten Tabellen A.2 bis A.9 sowie in den Diagrammen 6.1 - 6.8 anonymisiert über dem den Laboren zugeordneten Laborcode dargestellt. Zudem wurde jedem teilnehmenden Laboratorium ein individuelles Schreiben mit den jeweils erreichten Ergebnissen per E-Mail zugestellt.

Abstract

We are the federal coordinating office for the surveillance of radioactivity in the environmental areas of soil, vegetation, animal feed and food of vegetables or animal origin in Kiel at the Max Rubner-Institut (MRI). To fulfill the German radiation protection law (StrlSchG) [1] we are obligated to organise and carry out proficiency tests with the official radioactivity surveillance laboratories of the Länder and other participants in the federal Integrated Measurement and Information System (IMIS) [2]. Over the years, we have widened the scope of the proficiency experiments to include participants from neighbouring European countries.

This year, 69 national and international laboratories have participated in the proficiency test. The task in this year's competition was the measurement and determination of the activity concentration of the gamma-emitting radionuclides K - 40, I - 131, Ba - 133, Cs - 134 and Cs - 137 as well as the pure beta-emitting nuclides Sr - 89 and Sr - 90. This year, a challenging low activity concentration was chosen for all radionuclides. The measurement results provided by the participants have been analysed according to the recommendations of DIN 17043:2010 [3] in combination with DIN ISO 13528 [4]. To evaluate the performance of the laboratories z- and ζ -scores (see Equations 4.2 and 4.3 in section 4) have been calculated and provided. Each participant was sent an individual letter by email with the results achieved. Information about the performed data analysis can

be found in section 4. For a more in-depth analysis, the anonymous results are provided within the tables A.2 to A.9 and figures 6.1 to 6.8.

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Am Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel in Kiel, ist am Institut für Sicherheit und Qualität bei Fisch und Milch die Leitstelle E und F des Bundes für die Überwachung der Umweltradioaktivität in Umweltproben angegliedert. Die Leitstelle ist gemäß der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [5] für die Umweltbereiche Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft zuständig.

Aufgrund der gesetzlichen Aufgaben gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] in Verbindung mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem (AVV-IMIS) [2] ist die Leitstelle am MRI dazu verpflichtet regelmäßig Vergleichsuntersuchungen für die amtlichen Messstellen der Bundesländer durchzuführen. Aus historischen Gründen hat sich in der Kieler Leitstelle die Vergleichsuntersuchung zum Umweltmedium Milch seit vielen Jahren etabliert und wird derzeit in einem jährlichen Rhythmus angeboten und durchgeführt. Dementsprechend ist sie auch wieder für das Jahr 2023 eingeplant.

Diese von den Leitstellen angebotenen Vergleichsanalysen sind ein wichtiges Element zur Sicherstellung eines bundeseinheitlichen Qualitätsstandards. Die Messstellen der Bundesländer sind nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [6] und der StrlSchV [5] dazu aufgerufen an entsprechenden Vergleichsmessungen teilzunehmen. Darüber hinaus steht die Teilnahme an den Vergleichsuntersuchungen des MRI seit vielen Jahren auch allen interessierten Laboren im In- und Ausland offen.

Die Ergebnisse dienen dazu, die eigenen Leistungen durch eine externe Instanz prüfen zu lassen, sich im Vergleich mit anderen Teilnehmern einzuordnen und die Einhaltung der jeweiligen gesetzlichen bzw. laboreigenen Qualitätsanforderungen zu dokumentieren. Im Sinne der Qualitätssicherung zur Erfüllung der Anforderungen der AVV-IMIS [2] ist zudem eine hohe Anzahl an Teilnehmenden sehr wünschenswert. Dies ermöglicht zum einen eine verbesserte statistische Auswertung, was in der Konsequenz i. d. R. zu gerechteren Bewertungen führt. Zum anderen lassen sich so die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Analyseverfahren erkennen und bewerten. Diese Erkenntnisse dienen der Leitstelle wiederum dazu, ggf. auftretende Probleme der Messstellen ein- bzw. abschätzen zu können. Auf dieser Basis können neue Messmethoden entwickelt und beispielsweise in Form von offiziellen Messanleitungen [7] etabliert werden.

Seit 1977 wurden von der Leitstelle insgesamt 29 Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Historisch bedingt war am Standort Kiel das Umweltmedium Milch schon immer von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund wurden bereits 20 Vergleichsuntersuchungen zum Medium Milch (Rohmilch, Frischmilch, Magermilch, Milchpulver, Milchasche) durchgeführt. Allerdings haben sich die jeweils betrachteten Radionuklide über die Zeit leicht verändert bzw. wurde die Auswahl an die aktuellen Rahmenbedingungen (wissenschaftliche Fragestellungen, gesetzliche Vorgaben, Störfallrelevanz etc.) angepasst.

Diesjährige Aufgabestellung

Aufgrund der sehr guten Erfahrungen bei den Vergleichsuntersuchungen Milch und Tee (zusammen mit der Leitstelle I) im letzten Jahr, wurde die grundsätzliche Aufgabestellung beibehalten. Es sollten die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide K-40, Co-60, I-131, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Sr-89 und Sr-90 in Rohmilch bestimmt werden. Im Vergleich zum Vorjahr wurden sehr niedrige Aktivitätskonzentrationen (jeweils ca. 1-2 Bq/l und für Cs-137 in der Größenordnung der Nachweisgrenze von Co-60 von 0,2 Bq/l gewählt).

Für die reinen Beta-Strahler Sr-89 und Sr-90 ist zur Aktivitätsbestimmung eine aufwändige radiochemische Analyse sowie normalerweise im Anschluss eine komplexe Messung (z. B. wiederholte LSC-Messungen) notwendig. Auch war zu berücksichtigen, dass die Probe in diesem Jahr mit Sr-85 (ca. 1,26 Bq/l) kontaminiert war. Dies ist bei Verfahren, die Sr-85 als Ausbeutetracer verwenden, entsprechend zu berücksichtigen. Die Aktivitätskonzentrationen der anderen Radionuklide sind durch gamma-spektroskopische Messungen ermittelbar. Das bedeutet, dass die Milch i. d. R. dazu ohne aufwändige Probenaufbereitung gemessen werden kann.

Insgesamt sollten jeweils **zwei unabhängige** Messungen bzw. Analysen (Beta-Strahler) je Radionuklid durchgeführt und die Ergebnisse eingereicht werden. Wie in den Jahren zuvor, war den Laboratorien dabei freigestellt, welche Mess- bzw. Analyseverfahren sie in Ansatz bringen und durchführen wollen bzw. können, sowie welche Ergebnisse sie schlussendlich für die Auswertung und den Vergleich einreichen wollen. Insbesondere war auch der Einsatz von Schnellmethoden (z. B. im Fall der Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Sr-89 bzw. Sr-90) zugelassen bzw. erwünscht.

2. Organisation & Durchführung

Auch in diesem Jahr war es sehr erfreulich, dass das Interesse an der Vergleichsuntersuchung zum Umweltmedium Rohmilch, trotz der national und international angespannten Lage, weiterhin auf konstant hohem Niveau lag.

Mit dem Anschreiben vom 19.07.2022 war allen Laboratorien, die bei der Leitstelle registriert sind und über anstehende Vergleichsanalysen informiert werden wollen, die Ankündigung mit einem Formblatt zur Anmeldung bis zum 15.09.2022 zugeschickt worden. Insgesamt haben sich 68 nationale und internationale Labore für die Vergleichsuntersuchung angemeldet.

Die Milchproben wurden am 06.10.2022 am MRI in Kiel hergestellt und am nächsten Tag an die angemeldeten Laboratorien per Post versendet. Details zur Probenherstellung und zum Ablauf der Vergleichsuntersuchung sind in Abschnitt 3 dargestellt. Mit den Proben erhielten die teilnehmenden Labore wie in jedem Jahr ein Schreiben, in dem die

Modalitäten und Aufgabenstellung der diesjährigen Vergleichsuntersuchung dargestellt waren.

Aufgrund der guten Erfahrungen aus dem Vorjahr, wurde die grundsätzliche Aufgabenstellung vom letzten Jahr beibehalten. Es sollten jeweils zwei **unabhängige** Messungen durchgeführt werden. Auf eine Berechnung des Mittelwertes der Messwerte inkl. der zugehörigen Unsicherheit des Mittelwertes wurden verzichtet (vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 4 im Abschlussbericht 2020 [8]). Alle Ergebnisse der Messungen/Analysen waren der Leitstelle bis zum 30.11.2022 mittels eines Formblattes digital zurückzumelden. Den Laboratorien stand es darüber hinaus frei auch weitere Ergebnisse einzureichen, z. B. wenn aus Gründen der Qualitätssicherung mehrere Mitarbeitende die Messungen bzw. Analysen durchführen oder verschiedene (Schnell-) Methoden/Messverfahren in Ansatz gebracht werden sollten.

Wie in den letzten Jahren etabliert, wurde darauf verzichtet einen Wert für die Dichte der zu untersuchenden Milchprobe vorzugeben, um den Laboren die Auswahl des passenden Messverfahrens selber zu überlassen und keine potentiellen systematischen Unsicherheiten vorzugeben.

Um einen Überblick über die Ausstattung der einzelnen Laboratorien zu erhalten, wurden mit diesem Formblatt auch Angaben zu den Messgefäßen, den Detektoren und der für die Auswertung der Spektren eingesetzte Software abgefragt. Darüber hinaus wurde um eine Kurzdarstellung der in Ansatz gebrachten radiochemischen Analyse der Beta-Strahler Sr-89 und Sr-90 gebeten. Dabei zeigte sich, dass die Labore eine Vielzahl von verschiedenen Analyseverfahren zur Anwendung gebracht haben. An dieser Stelle sei auf die Messanleitungen des Bundes sowie im speziellen auf die von der Leitstelle am MRI bereitgestellten Messanleitungen verwiesen [7]. Eine Vielzahl dieser Anleitungen sind insbesondere für die Analyse von Milchproben entwickelt worden. Diese werden in regelmäßigen Abständen gemäß den Rückmeldungen der amtlichen Messstellen, den aktuellen Forschungsergebnissen sowie den Ergebnissen dieser Vergleichsanalyse gepflegt und ggf. überarbeitet.

Der Rücklauf der Ergebnisse war bis zum offiziellen Abgabezeitpunkt am 30.11.2022 erfreulich hoch. Einige wenige Teilnehmende haben aus organisatorischen Gründen um einen späteren Abgabetermin gebeten. Dieses wurde zugelassen. Schlussendlich haben alle 68 Laboratorien, die sich im Vorfeld für die Vergleichsuntersuchung angemeldet haben, auch Ergebnisse übermittelt.

Es wurden bis zu 148 Datensätze für die Gamma-Spektrometrie (I-131) eingereicht. 24 bzw. 30 Laboratorien teilten Messergebnisse der Beta-Strahler Sr-89 bzw. Sr-90 mit insgesamt 29 bzw. 35 Datensätzen mit. Es wurde also etwas weniger Strontium-Analytik durchgeführt, als in den letzten Jahren. Dabei sei angemerkt, dass einige Laboratorien mehrere Datensätze übermittelt haben.

Alle 68 Laboratorien, die an der diesjährigen Vergleichsuntersuchung teilgenommen haben, sind im Anhang in der Tabelle A.1 aufgelistet. Jedem Labor wurde ein anonymer

Laborcode zugeordnet. Mit diesem ist es möglich, die jeweils erreichten Ergebnisse abzulesen, im Gesamtkontext einzuordnen und ggf. im bilateralen Austausch zu vergleichen. Der Laborcode wurde den jeweiligen Ansprechpartnern bzw. Ansprechpartnerinnen des Laboratoriums per separater E-Mail mitgeteilt.

In diesem Jahr haben insgesamt 49 nationale sowie 19 internationale Laboratorien an der Vergleichsuntersuchung teilgenommen. Unter den nationalen Teilnehmenden waren 31 amtliche Landesmessstellen sowie eine Leitstelle des Bundes. In der beigefügten Abbildung 2.1 ist die Herkunft der einzelnen Laboratorien graphisch aufbereitet dargestellt.

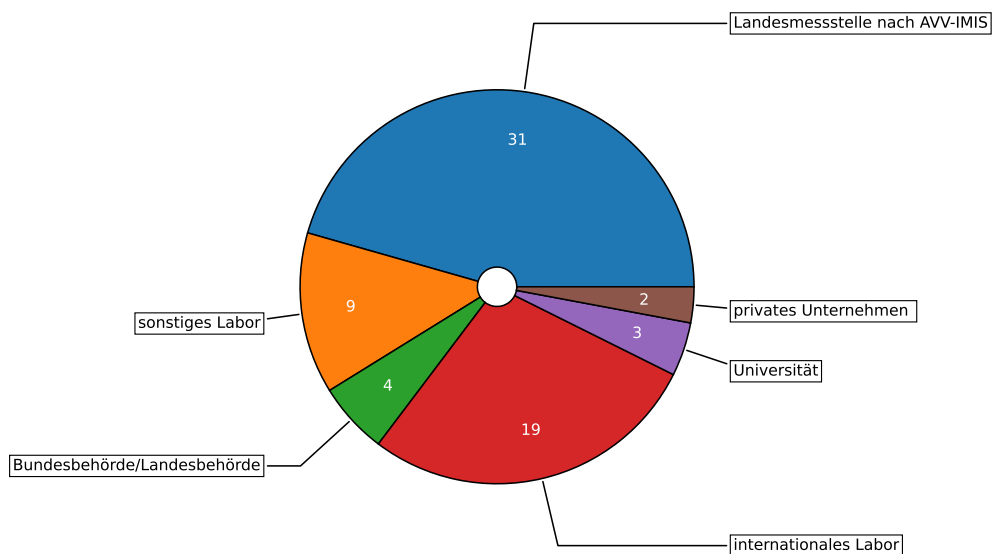


Abbildung 2.1: Herkunft der teilnehmenden Laboratorien

3. Probenaufbereitung

3.1. Probenherstellung und Versand

Am 06.10.2022 hat das Versuchsgut des MRI in Schädtebek ca. 180 kg Rohmilch zur Verfügung gestellt. Die Milch wurde nicht entfettet. Der Fett- und Proteingehalt war in diesem Jahr etwas niedriger als im Jahr zuvor (Fettgehalt ca. 4,2 %, Proteingehalt ca. 3,4 %, Lactosegehalt ca. 4,8 %). Die Dichte betrug ca. 1,03 g/cm³ bei 20 °C.

Um die Aufrahmung des Milchfettes während des Transports und der Analysen zu reduzieren, wurde die Milch im Milchtechnikum des MRI bei ca. 36 °C zweistufig bei ca. 250/50 bar insgesamt zweimal homogenisiert. Um einen mikrobiologischen Verderb der Milch zu unterdrücken, wurde der Milch zwischen den zwei Homogenisierungen Natriumazid (ca. 0,18 g/l) beigefügt. Dabei wurde ein Großteil der Fettkugeln verlässlich auf unter 1 µm zerteilt (siehe Abbildung 3.2). Der Peak größer 1 µm ist unerwünscht und sollte eigentlich durch das Homogenisieren eliminiert werden. Das gelingt bei den niedrigen Temperaturen (steife Fettkugelmembran, Neigung zur Reaggregation) aber nicht

vollständig. Nach einer Lagerung von zwei Wochen bei ca. 20 °C sieht man eine leichte Verschiebung der Partikelgrößenverteilung zurück zu größeren Fettkugeln, als Folge von Koaleszenz oder Aggregation. Dennoch ist die Milch vergleichbar mit einer zu Vergleichszwecken vermessenen Handelsprobe und sollte über mehrere Wochen (physikalisch) hinreichend stabil sein.

Am selben Tag wurden die nach der Homogenisierung noch verfügbaren ca. 160 Liter Milch mit den Gamma-Strahlern Co-60, I-131, Ba-133, Cs-134 und Cs-137, sowie den reinen Beta-Strahlern Sr-89 und Sr-90 kontaminiert und in einem Tank manuell vermischt. Auch ist die Aktivitätskonzentration x_{kont}^* jedes Radionuklids, welche sich aus den jeweils zugegeben und zertifizierten Aktivitäten ergeben, in der Tabelle 3.1 eingetragen. Diese werden im Folgenden als Referenzwerte x_{ref} bezeichnet. Die Zertifikate der verwendeten Standards sind im Anhang A.3 beigefügt. Nach einer Mischzeit von ca. einer Stunde wurde die Milch in Probenbehälter à ca. 1,25 l abgefüllt.

Am nächsten Tag (07.10.2022) wurden Proben und in die vorbereiteten Postpäckchen verpackt, im Anschluss zur Post gefahren und an die angemeldeten Laboratorien verschickt. Einige Labore haben bei der Anmeldung den Wunsch geäußert, mehr als eine 1,25 l Probe für die Messungen und Analysen zu bekommen. Diese konnten ihnen auch überlassen werden. In Abbildung 3.1 ist der gesamte Ablauf der Probenherstellung schematisch dargestellt.

Die Rückmeldungen der teilnehmenden Labore zum Eingang der Proben waren sehr vielfältig. Die innerdeutschen Pakete sind zumeist nach wenigen Tagen eingegangen. Die in die Nachbarstaaten versendeten Pakete wurden allerdings erst ca. eine Woche und die an die Schweizer Kollegen und Kolleginnen versendeten Pakete erst bis zu drei Wochen später zugestellt. Ein Paket kam aufgrund von Schwierigkeiten bei der Zustellung drei Wochen später wieder in der Leitstelle Kiel an, obwohl ein zweites, zeitgleich versendetes Paket mit demselben Adressaufkleber und sich gemäß Sendungsverfolgung im selben Zustellfahrzeug befand, dem Laboratorium ordnungsgemäß zugestellt werden konnte. Nichtsdestotrotz konnten alle Probleme ausgeräumt werden, so dass schlussendlich alle Teilnehmenden ihre angemeldeten Messungen durchführen konnten.

3.2. Probenanalyse der Leitstelle

Die Leitstelle Kiel hat auch in diesem Jahr die Proben ausführlich analysiert und so an der Vergleichsuntersuchung teilgenommen. Die Ergebnisse der zwei Messungen/Analysen je Radionuklid sind in der Tabelle 3.1 dargestellt. Die Unsicherheiten wurden gemäß GUM [9]–[11] in Verbindung mit der DIN 11929 [12] mit Genie™ 2000 [13] bzw. im Fall der Strontium-Analyse mit UncertRadio [14] ermittelt und sind mit dem Erweiterungsfaktor $k = 1$ dargestellt.

Die Ergebnisse der gamma-spektrometrischen Messungen sind, sofern notwendig, hinsichtlich der Summationseffekte korrigiert worden. Alle Messwerte der Leitstelle sind in

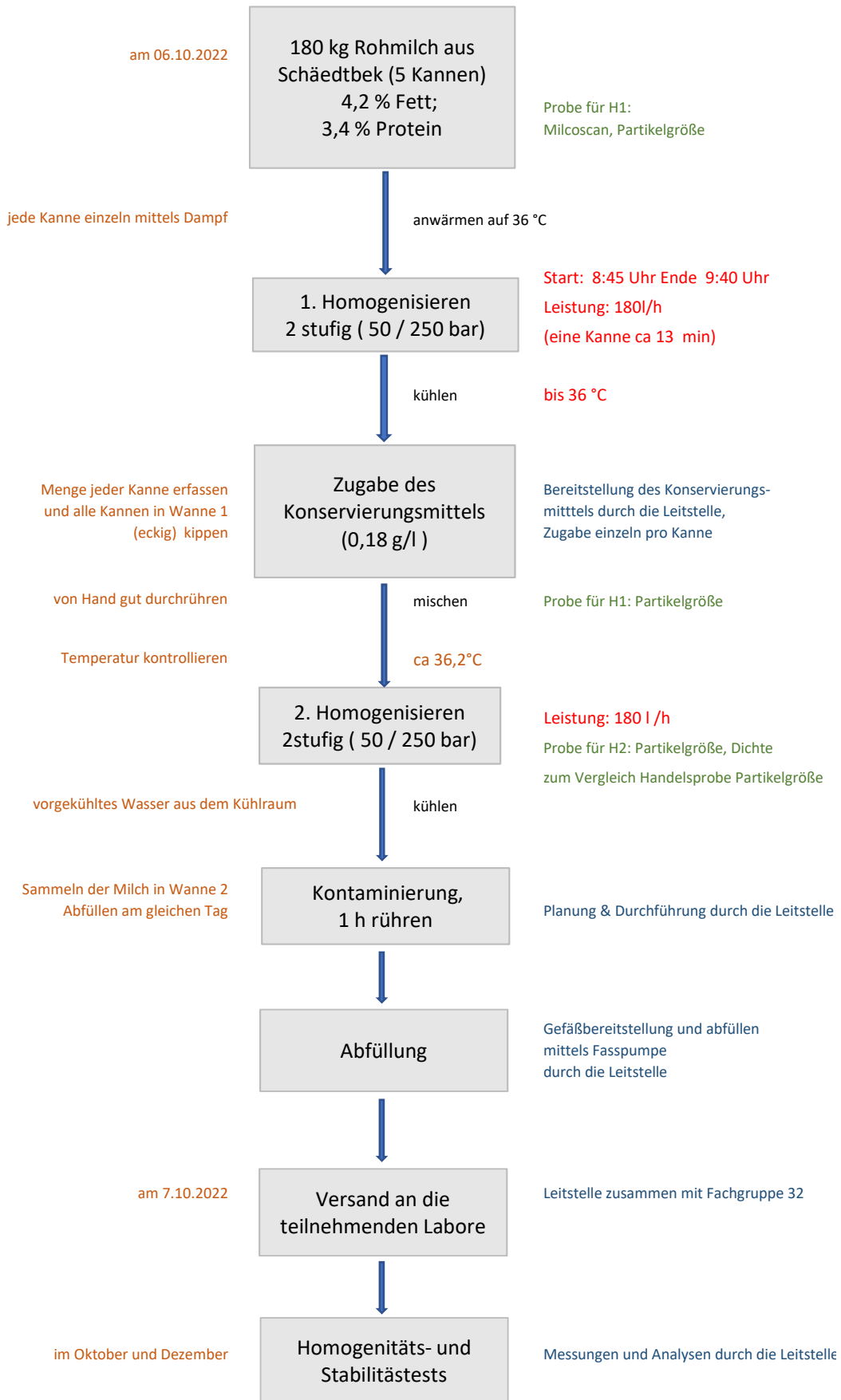


Abbildung 3.1: Ablaufdiagramm der Probenherstellung

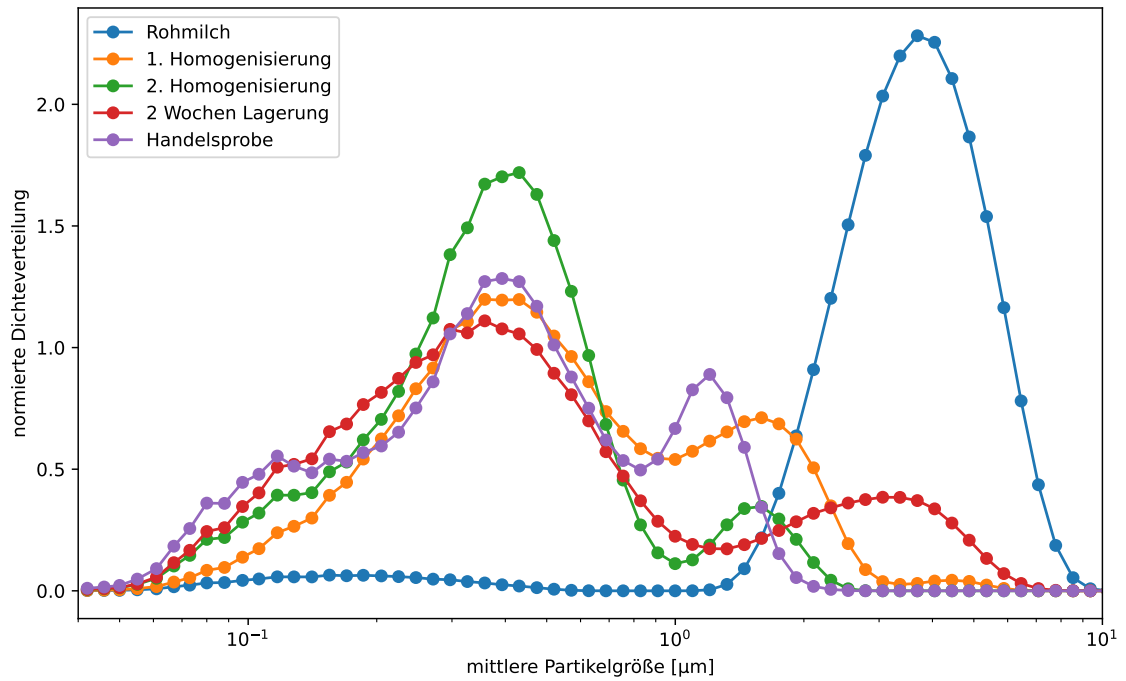


Abbildung 3.2: Ermittelte Fettkugeldurchmesser-Verteilung der Ursprungsmilch, nach den jeweils durchlaufenden Homogenisierungsstufen, nach einer Standzeit von zwei Wochen bei ca. 20 °C und einer Handelsprobe.



Impressionen der Probenherstellung

Nuklid	$x_{\text{MRI},0}$ [Bq/l]	$x_{\text{MRI},1}$ [Bq/l]	$x_{\text{MRI},2}$ [Bq/l]	$x_{\text{MRI},1}^*$ [Bq/l]	$x_{\text{MRI},2}^*$ [Bq/l]	x_{ref}^* [Bq/l]
K - 40	50,6 ± 2,8	50,7 ± 2,0	49,3 ± 2,8	51,1 ± 2,1	49,4 ± 2,8	–
Co - 60	n. N.	1,55 ± 0,06	1,50 ± 0,06	1,55 ± 0,06	1,46 ± 0,06	1,5 ± 0,05
I - 131	n. N.	186,7 ± 5,8	185,9 ± 6,3	180 ± 8,1	187,7 ± 14,79	177,9 ± 5,3
Ba - 133	n. N.	1,39 ± 0,05	1,32 ± 0,08	1,37 ± 0,05	1,43 ± 0,08	1,38 ± 0,04
Cs - 134	n. N.	1,22 ± 0,04	1,19 ± 0,04	1,23 ± 0,04	1,17 ± 0,04	1,20 ± 0,04
Cs - 137	n. N.	0,18 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,180 ± 0,005
Sr - 89	n. N.	3,05 ± 0,31	3,06 ± 0,36	–	–	3,0 ± 0,09
Sr - 90	0,006 ± 0,001	2,2 ± 0,2	2,3 ± 0,2	–	–	2,4 ± 0,07

Tabelle 3.1: Messwerte (Index 1, 2) der Leitstelle (MRI). In der Nullmilch (Index 0) sind nur das natürliche K - 40 sowie Sr - 90 nachweisbar gewesen. Die Wiederholungsmessungen sind mit einem * gekennzeichnet.

der Tabelle 3.1 zusammen mit den Referenzwerten x_{ref} (siehe oben) dargestellt. Die Messungen dienen dazu, die hinreichende Homogenität sowie die Stabilität der Proben über den Zeitraum der Vergleichsuntersuchung nachzuweisen (siehe auch Abschnitt 4.1). Alle Messwerte sind, wie diejenigen in den nachfolgenden Ergebnistabellen und Graphiken und durch die Aufgabenstellung vorgegeben, auf den 01.10.2022 12:00 MEZ bezogen. Mitte Dezember 2022 wurden die zwei Proben zur Prüfung der Stabilität erneut gamma-spektroskopisch vermessen (in Tabelle 3.1 mit einem * markiert). Auf eine erneute Sr - 89 bzw. Sr - 90 Analyse wurde verzichtet.

4. Auswertung

Im Rahmen der Aufgaben der diesjährigen Vergleichsuntersuchung wurde gefordert, dass je zwei **unabhängige** Einzelmessungen durchzuführen sind und für jede Einzelmessung die Gesamtunsicherheit gemäß DIN 11929 [12] bzw. GUM [9]–[11] (inkl. Typ A und Typ B-Unsicherheiten) ermittelt und angegeben werden sollte.

Aufgrund der positiven Erfahrungen im letzten Jahr wurde auf eine Bestimmung des Mittelwertes inkl. der Unsicherheit des Mittelwertes zugunsten einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse verzichtet.

Für die Auswertung wurde zudem nicht weiter differenziert, dass im Falle der gamma-spektrometrischen Messungen zum Teil Korrekturen für die Summation vorgenommen wurden, zum Teil aber auch keine Korrekturen erfolgten. Auch wurde nicht nach verwendeter Methode bzw. Analyse differenziert bzw. eine vorgegeben, damit die Labore zum einen die Methoden/Analysen auswählen und verwenden können, die sie am besten beherrschen bzw. welche täglich im Einsatz sind. Zum anderen sind auch möglichst vielfältige Analyseverfahren erwünscht, um aufzeigen zu können, ob verschiedene Verfahren systematische Abweichungen mit sich bringen (z. B. dass Messwerte dieser Verfahren tendenziell niedriger liegen). In diesem Fall wäre eine Normalverteilung der Messergebnisse nicht unbedingt zu erwarten. Zur besseren Vergleichbarkeit und Übersicht

über die Verteilungen der Messergebnisse wurden für jedes Nuklid verschiedene grafische (Histogramm mit Kerndichte, Quantil-Quantil (Q-Q)-Diagramm) und mathematische Tests auf Normalverteilung (D'Agostino-Pearson [15], [16], Shapiro-Wilk [17], Anderson-Darling [18]) durchgeführt, wobei jeweils nur Messwerte x_k mit einem z-score $|z| \leq 3$ (siehe Formel 4.2) berücksichtigt wurden.

Die Messergebnisse wurden grundsätzlich gemäß der DIN 17043:2010 [3], die wiederum auf die Ausführungen der DIN ISO 13528 [4] verweist, analysiert und ausgewertet. Wie bereits beschrieben, besteht ein Datensatz im Regelfall aus zwei unabhängigen Messwerten k pro Radioisotop j . Allerdings haben einzelne Labore auch mehrere Datensätze i übermittelt, sodass insgesamt $N \geq 2 \cdot i$ Messergebnisse je Radioisotop in die Auswertung eingeflossen sind. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen und Diagrammen beigefügt, die weitgehend selbsterklärend angelegt sind.

Den Empfehlungen der DIN 17043:2010 [3] folgend wurde zur Minimierung des Einflusses von Ausreißern gemäß den Ausführungen der DIN ISO 13528 [4] der robuste Mittelwert \bar{x}^* , die robuste Standardabweichung s^* sowie die einfache ($k = 1$) Unsicherheit $u(\bar{x}^*)$ des robusten Mittelwertes berechnet. Dafür wurde der **Q-Hampel**-Algorithmus in Ansatz gebracht. Dieser besitzt gemäß den Ausführungen der DIN ISO 13528 [4] bei Anwesenheit von Ausreißern gegenüber dem oft genutzten **Algorithmus A** statistische Vorteile. Dieses Vorgehen erlaubt es auf eine in der Regel aufwändige und oftmals uneindeutige Ausreißer-Identifikation und -Elimination zu verzichten.

Die Unsicherheit $u(\bar{x}^*)$ des (robusten) Mittelwertes \bar{x}^* berechnet sich dann aus der robusten Standardabweichung s^* gemäß der folgenden Formel:

$$u(\bar{x}^*) = 1,25 \cdot \frac{s^*}{\sqrt{N}}, \quad (4.1)$$

wobei N die Gesamtanzahl der Messwerte (je Radioisotop) bezeichnet.

Zur Beurteilung der Leistung der Labore wurden für jeden eingereichten Messwert x_k (mit $k \in 1, 2$) je Radioisotop j der z-score und der ζ -score berechnet. Da auch in diesem Jahr keine zertifizierten Referenzwerte zur Verfügung standen, wurden zur Ermittlung des z-scores gemäß den Empfehlungen der DIN ISO 13528 [4] bzw. der DIN 17043:2010 [3] die übermittelten Messergebnisse auf den o. g. robusten Mittelwert \bar{x}^* und die robuste Standardabweichung s^* des jeweiligen Radionuklids bezogen. Dieser berechnet sich für das k -te Messergebnis x_k des i -ten Datensatzes gemäß der folgenden Formel 4.2:

$$z_k = \frac{(x_k - \bar{x}^*)}{s^*} = \frac{x_k - x_{\text{pt}}}{\sigma_{\text{pt}}} \quad \text{mit } k \in 1, 2. \quad (4.2)$$

Dabei bezeichnet x_{pt} den zugewiesenen Wert gemäß DIN ISO 13528 [4] und σ_{pt} dessen Standardabweichung.

Die Beurteilung erfolgt gemäß dem Bewertungsschema der DIN 17043:2010 [3]:

$|z| \leq 2$ zufriedenstellendes Ergebnis,
 $2 < |z| < 3$ fragwürdiges Ergebnis,
 $|z| \geq 3$ nicht zufriedenstellendes Ergebnis.

Werte, die außerhalb des $\pm 3 s^*$ Intervalls liegen (dies entspricht einem z-score $|z| \geq 3$), können als nicht zufriedenstellendes Ergebnis betrachtet werden. Ein Wert zwischen $\pm 2 s^*$ und $\pm 3 s^*$ (entspricht analog $2 < |z| < 3$) beschreibt ein fragwürdiges Ergebnis und stellt gemäß DIN 17043:2010 [3] ein Warnsignal dar.

Der ζ -score bezieht die übermittelte einfache ($k = 1$) Gesamtunsicherheit der einzelnen Messwerte $u(x_k)$ sowie die ermittelte einfache Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $u(x_{pt})$ in die Bewertung mit ein. Er berechnet sich für den k -ten Messwert x_k des i -ten Datensatzes gemäß der folgenden Formel 4.3:

$$\zeta_k = \frac{(x_k - x_{pt})}{\sqrt{u(x_k)^2 + u(x_{pt})^2}} \quad \text{mit } k \in 1, 2. \quad (4.3)$$

Die Beurteilung erfolgt analog nach den oben dargestellten Kriterien für den z-score.

Ein ungünstiger ζ -score kann verschiedene Ursachen haben. So kann ein ungünstiger ζ -score auf eine große Abweichung des jeweiligen Messergebnisses x_k vom zugewiesenen Wert x_{pt} (Mittelwert), auf eine Unterschätzung der vom Labor berichteten Unsicherheit $u(x_k)$ des k -ten Messergebnisses x_k oder aber auch auf eine Kombination von beiden hinweisen. Insbesondere für die Unsicherheitsanalyse von radiochemischen Analysen (in diesem Fall bei der Sr-89 und Sr-90 Bestimmung) wird von der Leitstelle auf den *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)* [9]–[11] bzw. die Normenreihe DIN 11929:2021:1-4 [12] in Verbindung mit den jeweiligen Messanleitungen des Bundes [7] verwiesen. Diese geben Vorschläge und Vorgaben zur vollständigen Unsicherheitsbetrachtung (inkl. der Beachtung von Typ B-Unsicherheiten) im Allgemeinen und im Fall von ionisierender Strahlung. Auch Rechenbeispiele mit Beispielprojekten für Excel® und UncertRadio [14] sind für viele Analysemethoden verfügbar.

Die Beurteilungen sollen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern dazu dienen, ihre eigene Arbeit zu verifizieren, zu überprüfen und zu verbessern. Daher wurde beschlossen, für diese Vergleichsuntersuchung kein globales Kriterium zu definieren, ob ein teilnehmendes Labor bestanden hat oder nicht. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sind dazu aufgerufen, bei einem eventuell fragwürdigem oder nicht zufriedenstellendem Ergebnis in einem der Teilbereiche, die Ursache zu ermitteln und einzuordnen und wenn nötig Korrekturmaßnahmen (z. B. im Rahmen ihrer jeweiligen Qualitätssicherung) abzuleiten. Bei Bedarf kann die Leitstelle den teilnehmenden Laboren (insbesondere den Landesmessstellen) zu diesem Thema Hinweise geben und im Einzelfall bei der Aufbereitung dieser Vergleichsuntersuchung unterstützen.

In den beigefügten *S-Plots* (siehe Abbildungen 6.1 bis 6.8) sind für jedes Radionuklid alle übermittelten Messwerte sowie der zugewiesene Wert x_{pt} über dem anonymisierten Laborcode dargestellt. Zusätzlich sind die Intervalle der Standardabweichungen

Nuklid	$\zeta_{\text{MRI},1}$	$\zeta_{\text{MRI},2}$	$\zeta_{\text{MRI},1}^*$	$\zeta_{\text{MRI},2}^*$	ζ_{kont}^*
K - 40	0,51	-0,12	-0,04	-0,08	–
Co - 60	0,88	-0,02	0,84	-0,57	0,09
I - 131	0,94	0,74	-0,15	0,44	0,61
Ba - 133	0,06	-0,78	-0,36	0,61	0,04
Cs - 134	1,34	0,52	1,40	0,02	0,94
Cs - 137	-0,13	-0,37	1,50	-0,48	0,0*
Sr - 89	-0,08	-0,04	–	–	0,45
Sr - 90	-1,59	-1,07	–	–	-1,5

Tabelle 4.1: Übersicht über die Bewertung (ζ -Score) der im Oktober gemessenen Aktivitätskonzentrationen der Leitstelle. Die Wiederholungsmessungen im Dezember sind mit einem * gekennzeichnet. Der ζ_{kont}^* für Cs - 137 ergibt 0,0, da es sich um den zugewiesenen Wert handelt.

$\pm 2 \sigma_{\text{pt}}$ und $\pm 3 \sigma_{\text{pt}}$ sowie die erweiterte Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $x_{\text{pt}} \pm U(x_{\text{pt}})$ ($k=2$) eingezeichnet. In der folgenden Tabelle 5.1 sind alle ermittelten Kenndaten der diesjährigen Vergleichsuntersuchung in Anlehnung an die DIN ISO 13528 [4] sowie der DIN ISO 5725-2 [19] übersichtlich für jedes Radionuklid zusammengestellt.

4.1. Prüfung der zugewiesenen Werte

Gemäß den Empfehlungen der DIN ISO 13528 [4] sind die zugewiesenen Werte x_{pt} gegen Referenzwerte x_{ref} zu prüfen, sofern diese verfügbar sind. Zertifizierte Referenzwerte standen in diesem Jahr nicht zur Verfügung. Allerdings waren die der Probe beigefügten Aktivitäten bekannt. Zusätzlich hat die Leitstelle eigene Messungen der Proben durchgeführt (siehe Tabelle 3.1). Mit Werten wird nachgewiesen, dass das durch die folgende Gleichung 4.4 definierte Kriterium für jedes zu untersuchende Radionuklid erfüllt ist.

Beim Vergleich mit Gleichung 4.3 erkennt man, dass es sich bei diesem Kriterium um einen ζ -Score der MRI-Messwerte handelt:

$$\frac{|x_{\text{ref}} - x_{\text{pt}}|}{\sqrt{u(x_{\text{ref}})^2 + u(x_{\text{pt}})^2}} < 2. \quad (4.4)$$

Die in der Tabelle 4.1 dargestellten Ergebnisse (alle ζ -Score < 2) deuten darauf hin, dass die Proben zum einen ausreichend homogen waren und zudem über den gesamten Zeitraum der Vergleichsuntersuchung hinreichend stabil geblieben sind. Für Cs - 137 ergibt sich ein Spezialfall. Wird der ermittelte robuste Mittelwert x_{pt} als zugewiesener Wert angenommen, so ergibt die Prüfung gegen die Messwerte der Leitstelle und gegen die aus der Zugabe berechnete Aktivitätskonzentration jeweils $|\zeta|$ -Werte > 4 . Zusammen mit

der hohen robusten Standardabweichung s^* von ca. 18 % (Vorjahr ca 4 %) deutet dies darauf hin, dass die teilnehmenden Labore im Mittel einen zu hohen Messwert berichtet haben, der nicht im Einklang mit dem wahren Wert ist. Ob einige Labore aufgrund der geringen Aktivität nur Erkennungs- oder Nachweisgrenzen berichtet haben und dies ggf. eine Erklärung darstellt, lässt sich aus den abgegebenen Messdaten nicht ableiten. Die Messwerte von Laboren, die dies explizit ausgewiesen haben, wurden gemäß DIN ISO 13528 [4] von der Auswertung ausgenommen. Aus diesem Grund wurde für Cs - 137 entschieden die berechnete Aktivitätskonzentration als zugewiesenen Wert x_{pt} mit einer Standardabweichung σ_{pt} von 10 % anzunehmen.

Hinweis:

Alle Berechnungen wurden mit doppelter Gleitkomma-Genauigkeit auf Basis der originalen, von den jeweiligen Laboren in einem Excel®-Formular übermittelten Daten, durchgeführt. Die in den Tabellen angegebenen Werte wurden zu Darstellungszwecken mathematisch korrekt gerundet, die Bewertung erfolgte allerdings auf Basis der ungerundeten Werten. So kann es beispielsweise vorkommen, dass ein z-score von 3,0 rot (ungerundeter Wert $\geq 3,0$) aber auch gelb markiert (ungerundeter Wert $< 3,0$) ist.

5. Ergebnisse und Beurteilung

In den Diagrammen 5.1 und 5.2 sind die Ergebnisse klassenweise entsprechend der empfohlenen Bewertungen der DIN 17043:2010 [3] zusammengefasst. Gemäß des gesetzlichen Auftrages (StrISchV [5]) zur Planung und Durchführung von Vergleichsuntersuchungen zum Nachweis von Radioaktivität in Umweltproben, sind in diesen Diagrammen auch die Ergebnisse der amtlichen Landesmessstellen alleine dargestellt. Betrachtet man nur die Ergebnisse der Gamma-Messungen, so ist sowohl bei dem z-score als auch bei dem ζ -score (Einbeziehung der übermittelten ermittelten Unsicherheiten der Mittelwerte) tendenziell festzustellen, dass die Landesmessstellen bei der diesjährigen Vergleichsuntersuchung geringfügig besser abschneiden als die weiteren Teilnehmenden. Auffällig in diesem Jahr ist die erhöhte Anzahl an fragwürdigen bzw. nicht zufriedenstellenden Ergebnissen für Cs - 137. Die Ursache wird unten im Detail weiter erläutert.

Bei den Ergebnissen der Beta-Analysen für Sr - 89 und Sr - 90 lässt sich wie auch im Vorjahr weder beim z-score noch beim ζ -score ein statistisch relevanter Unterschied zwischen den Leistungen der Landesmessstellen und den restlichen Laboratorien ableiten.

In den im Anhang beigefügten Tabellen A.2 bis A.9 sind alle eingereichten Einzelmesswerte und Mittelwerte sowie die Differenzen D , die relativen Differenzen $D_{\%}$ sowie die z-score und ζ -score für alle im Rahmen der diesjährigen Vergleichsuntersuchung zu untersuchenden Radionuklide (K - 40, Co - 60, I - 131, Ba - 133, Cs - 134, Cs - 137, Sr - 89, Sr - 90) aufgeführt.

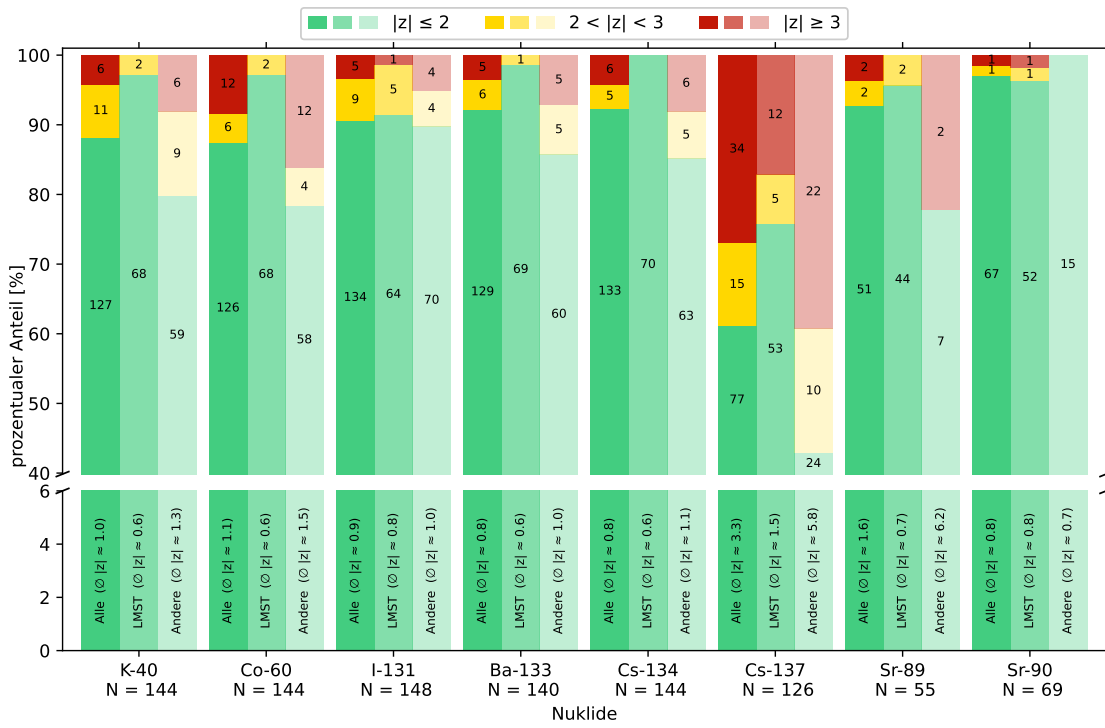


Abbildung 5.1: Verteilungen der z-score

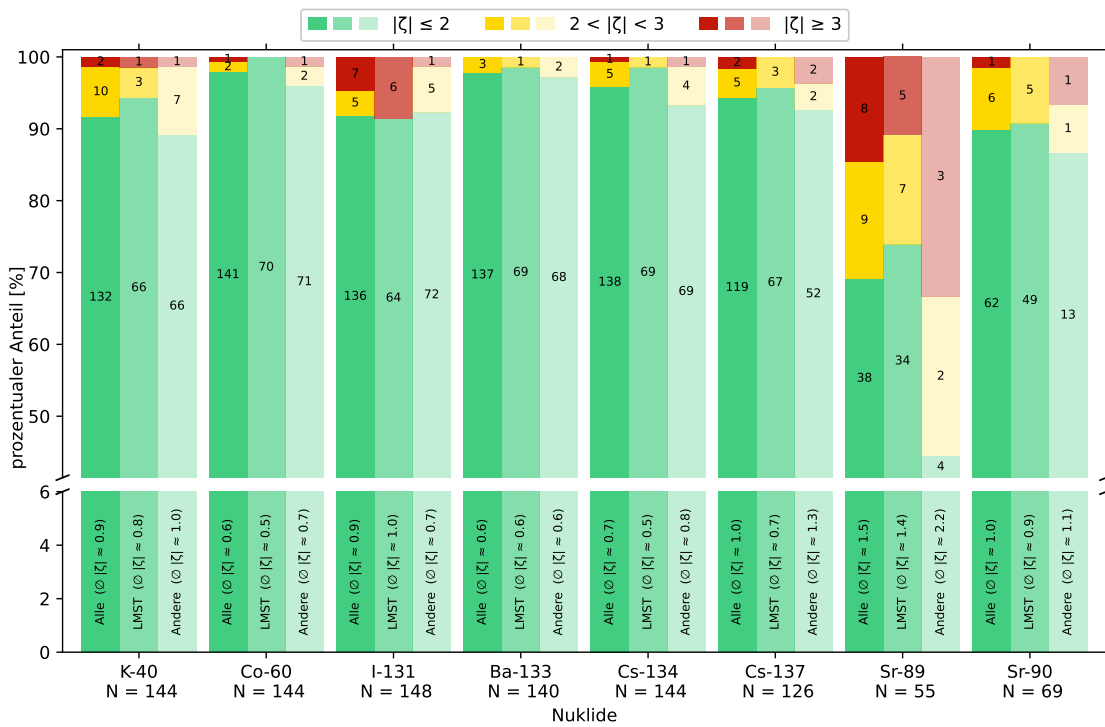


Abbildung 5.2: Verteilungen der zeta-score

Radionuklid	K-40	Co-60	I-131	Ba-133	Cs-134	Cs-137	Sr-89	Sr-90
Anzahl an Laboratorien i :	67	67	68	65	67	60	24	30
Anzahl der Datensätze p :	73	73	75	71	73	65	29	35
Anzahl der einzelnen Messwerte N :	144	144	148	140	144	126	55	69
Arithmetischer Mittelwert \bar{x} [Bq/l]:	49,26	1,50	180,69	1,40	1,16	0,24	3,79	2,57
Robuster Mittelwert \bar{x}^* [Bq/l]:	49,65	1,50	181,24	1,38	1,17	0,21	3,08	2,54
Robuste Standardabweichung s^* [Bq/l]:	3,13	0,06	6,37	0,10	0,07	0,04	0,76	0,34
Referenzwert x_{ref} [Bq/l]:	–	1,50	177,93	1,38	1,20	0,18	3,00	2,41
zugewiesener Wert x_{pt} [Bq/l]:	49,65	1,50	181,24	1,38	1,17	0,18	3,08	2,54
Standardabweichung des zugewiesenen Wertes σ_{pt} [Bq/l]:	3,13	0,06	6,37	0,10	0,07	0,02	0,76	0,34
Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $u(x_{pt})$ [Bq/l]:	0,33	0,01	0,65	0,01	0,01	0,01	0,13	0,05
rel. Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $u(x_{pt})$ [%]:	0,66	0,42	0,36	0,77	0,66	3,00	4,18	2,04
Minimum [Bq/l]:	16,00	0,94	135,00	1,14	0,80	0,12	1,81	2,00
Maximum [Bq/l]:	61,20	2,11	203,00	1,89	1,44	1,80	22,20	3,72
Spannweite [unit]:	45,20	1,17	68,00	0,75	0,64	1,68	20,39	1,72
$ z \leq 2$: zufriedenstellend	127	126	134	129	133	77	51	67
$2 < z < 3$: fragwürdig	11	6	9	6	5	15	2	1
$ z \geq 3$: nicht zufriedenstellend	6	12	5	5	6	34	2	1
$ z \leq 2$: zufriedenstellend	132	141	136	137	138	117	38	62
$2 < z < 3$: fragwürdig	10	2	5	3	5	7	9	6
$ z \geq 3$: nicht zufriedenstellend	2	1	7	0	1	2	8	1

Tabelle 5.1: Kenngrößen Vergleichsuntersuchung Milch 2022

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Radionuklide betrachtet und bewertet:

5.1. K - 40

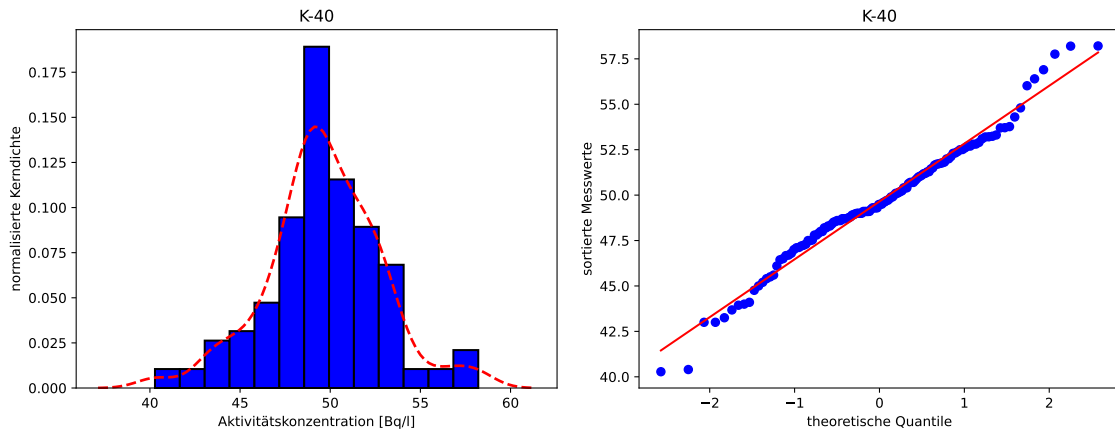


Abbildung 5.3: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für K - 40

Die Aktivitätskonzentration des Beta-Strahlers K - 40 wird i. d. R. gamma-spektroskopisch durch Messung der 1460,8 keV Linie des Tochternuklids Ar - 40 ermittelt. Durch den Mangel an Stützpunkten in der Nähe dieser Gamma-Linie in den üblichen Kalibrierstandards können erhöhte Unsicherheiten auftreten. In diesem Jahr konnten wie im Vorjahr für K - 40 keine relevante Abweichungen zur Normalverteilung ermittelt werden. Der Kontrollwert liegt aus den Messungen der Leitstelle bei max. 0,5. Dies ist sehr erfreulich, da die Teilnehmenden in der Vergangenheit immer wieder leichte Schwierigkeiten bei der Aktivitätsbestimmung bei diesem Radionuklid hatten und tendenziell zu hohe Messwerte eingereicht hatten.

Von 67 Laboratorien wurden für K - 40 insgesamt 144 Messwerte übermittelt. Sechs Messwerte lagen außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (siehe Abbildung 6.1) und sind somit als nicht zufriedenstellend einzustufen. Elf weitere Datensatzmittelwerte sind als fragwürdig ($2 < |z| < 3$) einzustufen. Kein einziger Messwert der Landesmessstellen ist als nicht zufriedenstellend einzustufen. Damit können die Ergebnisse als gut bezeichnen.

5.2. Co - 60

Auch in diesem Jahr hat sich die Leitstelle dazu entschlossen, die Aktivitätsbestimmung dieses gemäß AVV-IMIS [2] sehr relevanten Radionuklids in die Aufgabenstellen aufzunehmen. Die Aktivitätsbestimmung erfolgt normalerweise über die starken Gamma-Linien des angeregten Ni - 60 bei ca. 1173 keV und ca. 1332 keV. Eine Summationskorrektur ist notwendig. Die ermittelte Verteilung ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Eine Abweichung zur Normalverteilung ist nicht ersichtlich. Wahrscheinlich aufgrund der diesjährigen niedrigen Aktivitätskonzentration lagen zwölf von 144 übermittelten Messwerten außerhalb

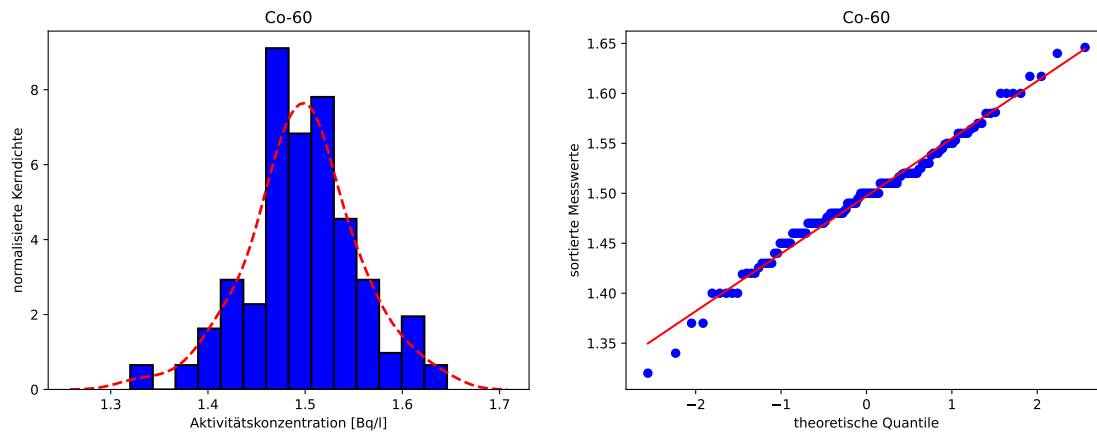


Abbildung 5.4: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Co-60

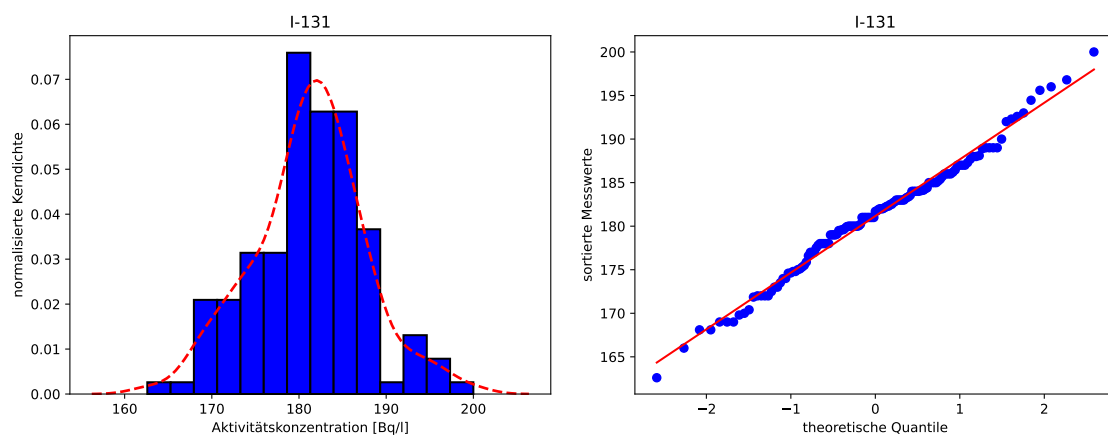


Abbildung 5.5: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für I-131

von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (siehe Abbildung 6.2) und sind daher mit einem $|z|$ -score > 3 als nicht zufriedenstellend einzustufen. Wie bei K-40 betrifft dies allerdings nicht die amtlichen Messstellen, die nur insgesamt zwei fragwürdige Ergebnisse eingereicht haben.

5.3. I-131

I-131 ist ein Spaltprodukt und ein gemäß AVV-IMIS [2] von den amtlichen Messstellen zu berichtendes Radionuklid. Es wird zudem aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit von nur ca. 8 Tagen und der sehr einfachen Aktivitätsbestimmung mittels der starken 364,5 keV Linie in der Medizindiagnostik z. B. bei der Erforschung von Schilddrüsenerkrankheiten eingesetzt. In diesem Jahr haben 68 Laboratorien insgesamt 148 Messwerte eingereicht. Damit ist es das einzige Nuklid, welches von allen teilnehmenden Laboren analysiert wurde. Es konnte mathematisch sowie grafisch (Abbildung 5.5) keine relevanten Abweichung von der Normalverteilung ermittelt werden. Die Beträge der Kontrollwerte lagen alle < 1 . Es wurden nur fünf Messergebnisse außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ identifiziert (siehe Abbildung 6.3). Diese sind daher als nicht zufriedenstellend einzustufen. Neun von 148 Ergebnissen sind als fragwürdig einzustufen. Ein Messwert einer Landesmessstelle

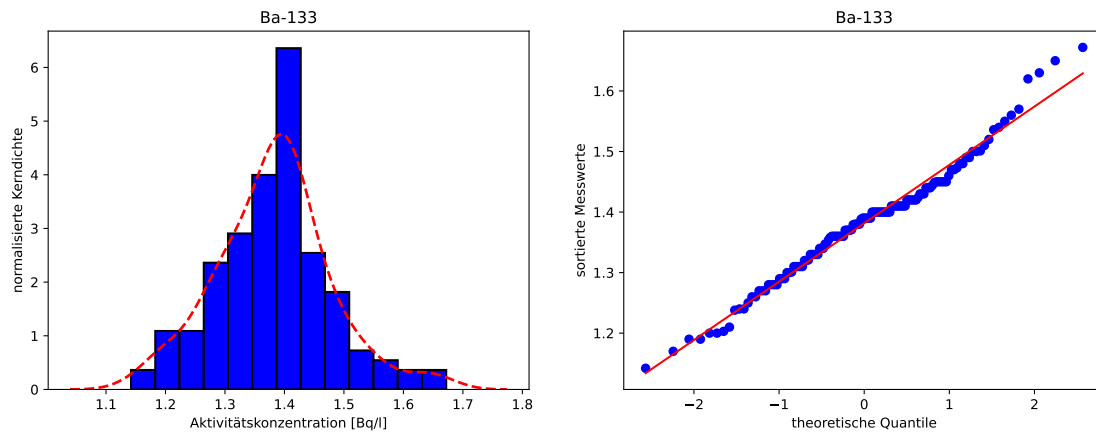


Abbildung 5.6: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Ba - 133

ist als nicht zufriedenstellend zu bezeichnen.

5.4. Ba - 133

Ba - 133 wird aufgrund seiner niedrig energetischen Gamma-Linien gerne in den verfügbaren Kalibrierstandards verwendet. Aus diesem Grund stellt die Aktivitätsbestimmung für die Teilnehmenden i. d. R. kein großes Problem dar, auch wenn eine Summationskorrektur unbedingt notwendig ist. So ist es auch nicht verwunderlich, dass keine Abweichung zur Normalverteilung ermittelt werden konnte. Die Verteilung ist in Abbildung 5.6 dargestellt.

In diesem Jahr sind für Ba - 133 von 65 Laboratorien insgesamt 140 Einzelmessungen eingereicht worden. Das Ergebnis ist als gut zu bezeichnen. Es zeigt sich, dass die teilnehmenden Labore aufgrund der niedrigen Aktivitätskonzentration im Vergleich zum Vorjahr deutlich mehr Schwierigkeiten hatten. So wurden in diesem Jahr insgesamt fünf nicht zufriedenstellende Ergebnisse ($x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$) ermittelt (Abbildung 6.4). In den letzten Jahren war es bei einer deutlich höheren Aktivitätskonzentration lediglich nur jeweils ein Messwert, der als nicht zufriedenstellend eingestuft wurde.

5.5. Cs - 134 und Cs - 137

Cs - 134 ist von 67 Laboratorien gemessen worden, wobei 144 Messwerte zur Auswertung gekommen sind. Eine Summationskorrektur ist jedoch unbedingt notwendig. Im letzten Jahr hatten die Labore bei einer Aktivitätskonzentration von ca. 5,4 Bq/l einige leichte Probleme. Viele Labore hatten tendenziell zu niedrige Ergebnisse mitgeteilt. Dies war wahrscheinlich auf Probleme bei der Summationskorrektur zurückzuführen. In diesem Jahr konnten diese Probleme erfreulicherweise nicht ermittelt werden, obwohl die Aktivitätskonzentration nochmal deutlich niedriger war. Eine relevante Abweichung von der

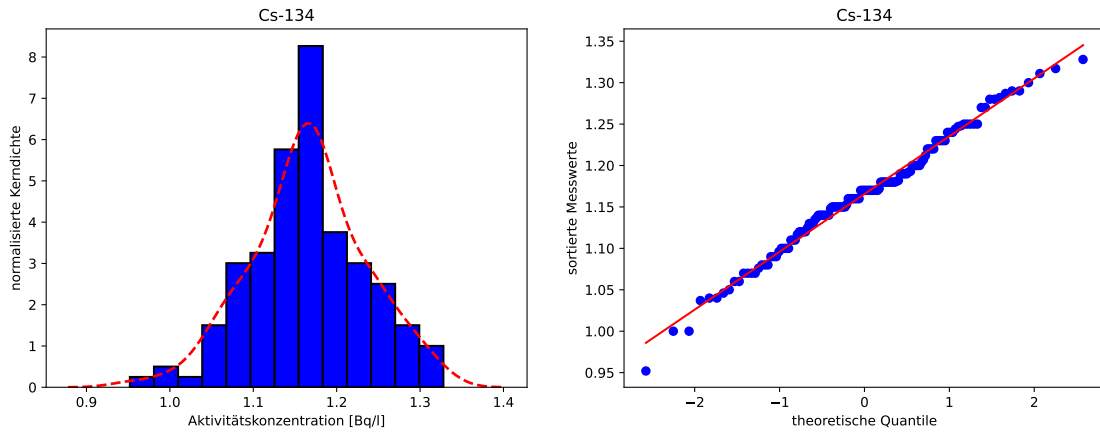


Abbildung 5.7: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 134

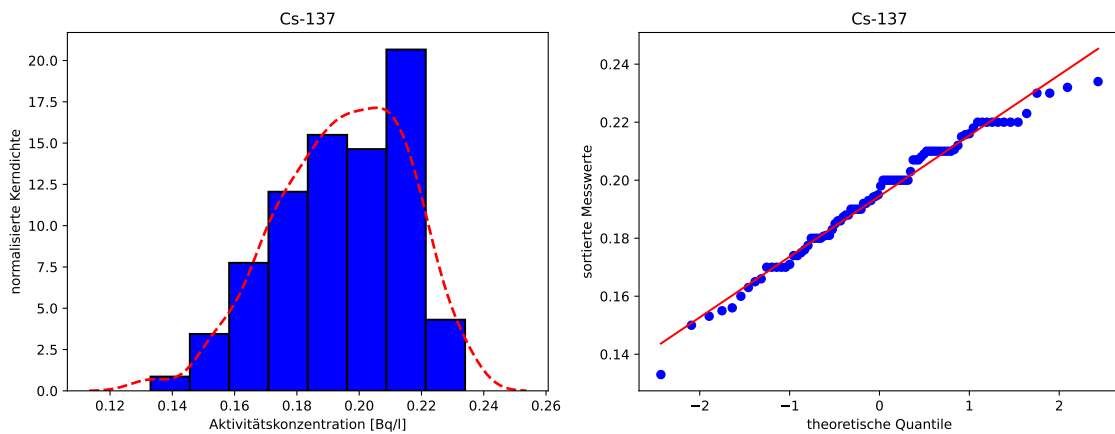


Abbildung 5.8: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 137

Normalverteilung konnte weder mathematisch noch grafisch (siehe Abbildung 5.7) nachgewiesen werden. Auch waren die Kontrollwerte betragsmäßig alle deutlich < 2 (4.1). Lediglich fünf nicht zufriedenstellende Ergebnisse ($x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$) sowie sechs fragwürdige Ergebnisse ($2 < |z| < 3$) konnten ermittelt werden. Dabei ist hervorzuheben, dass die amtlichen Messstellen nur zufriedenstellende Messwerte eingereicht haben. Damit sind die Ergebnisse analog zu Ba - 133 für dieses Radionuklid als sehr erfreulich und sehr gut anzusehen. Der zugehörige S-Plot ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

In der Regel ist die Aktivitätsbestimmung von Cs - 137 anhand der starken 661,7 keV Gamma-Linie des Tochternuklids Ba - 137 sehr einfach durchführbar. Aus diesem Grund befindet sich Cs - 137 in sehr vielen Kalibrierstandards und entsprechend groß ist die Erfahrung der Labore mit diesem Nuklid. Daher gab es in den letzten Jahren keine Probleme bei der Aktivitätsbestimmung.

In diesem Jahr stellt sich die Situation aufgrund der geringen Aktivitätskonzentration von nur ca. 0.18 Bq/l allerdings ein wenig anders dar. Wie bereits in Abschnitt 4.1 dargestellt, ergaben Kontrollwerte $|\zeta|$ -Werte > 4 , wenn der ermittelte robuste Mittelwert \bar{x}^* (Konsens der Teilnehmenden) als zugewiesener Wert x_{pt} angenommen wurde. Dies deutete darauf hin, dass der robuste Mittelwert \bar{x}^* nicht dem wahren Wert entspricht, da viele Labore einen zu hohen Messwert ausgewiesen haben. Aus diesem Grund wurde entschieden für dieses Radionuklid die berechnete Aktivitätskonzentration als zugewiesenen Wert x_{pt} mit einer Standardabweichung σ_{pt} von 10 % anzunehmen, um eine gerechte Bewertung zu gewährleisten.

Die sich nach diesem Ansatz ergebenden Verteilungen sind in Abbildung 5.8 beigefügt. Schlussendlich wurden von 126 eingereichten Messwerten insgesamt 34 nicht zufriedenstellende Ergebnisse außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ sowie 15 fragwürdige Ergebnisse (Abbildung 6.6) identifiziert.

Diese Anzahl erscheint zunächst sehr hoch, insbesondere im Vergleich zu den anderen Nukliden, deren Aktivitätskonzentrationen ebenfalls per Gamma-Messung ermittelt wurden. Nichtsdestotrotz muss auch festgehalten werden, dass man in diesem Fall sehr gut die Nachteile des z-scores erkennen kann, da dieser die zugehörigen Unsicherheiten der Messwerte ignoriert und diese somit nicht in die Bewertung einfließen. Da aber ein Messwert ohne Angabe einer Unsicherheit keine Aussagekraft hat, ist auch eine Bewertung alleine auf Basis des Messwertes zumindest fragwürdig. Schaut man sich die Ergebnisse des ζ -scores an (z. B. Abbildung 5.2), so erkennt man, dass die Ergebnisse von Cs - 137 sehr vergleichbar mit den Ergebnissen der weiteren Gamma-Nuklide sind.

5.6. Sr - 89 und Sr - 90

Während bis zu 68 Laboratorien Gamma-Spektren gemessen und ausgewertet haben, liegen nur von 24 Laboratorien Sr - 89 (55 eingereichte Messergebnisse) bzw. von 30 Laboratorien Sr - 90 Ergebnisse (69 eingereichte Messergebnisse) vor. Dies ist etwas weniger als im Vorjahr und wahrscheinlich ebenfalls auf die allgemein niedrige Aktivitäts-

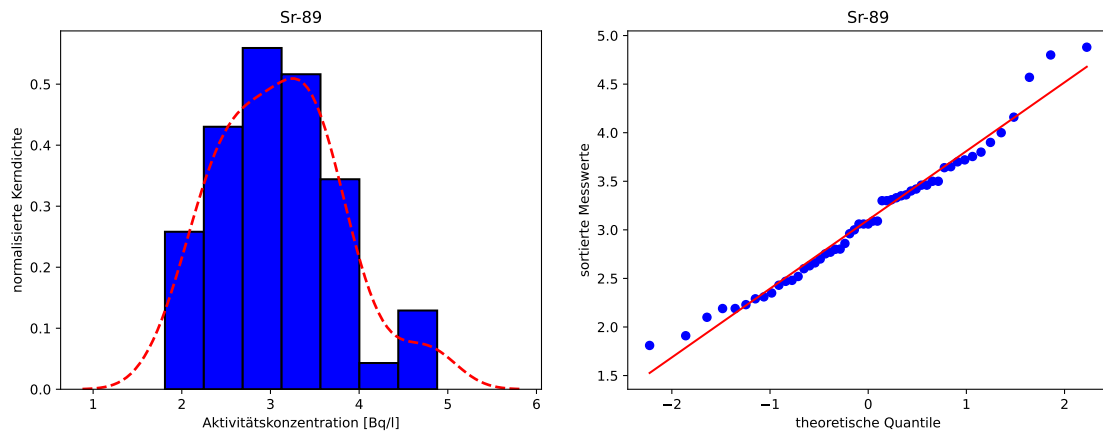


Abbildung 5.9: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 89

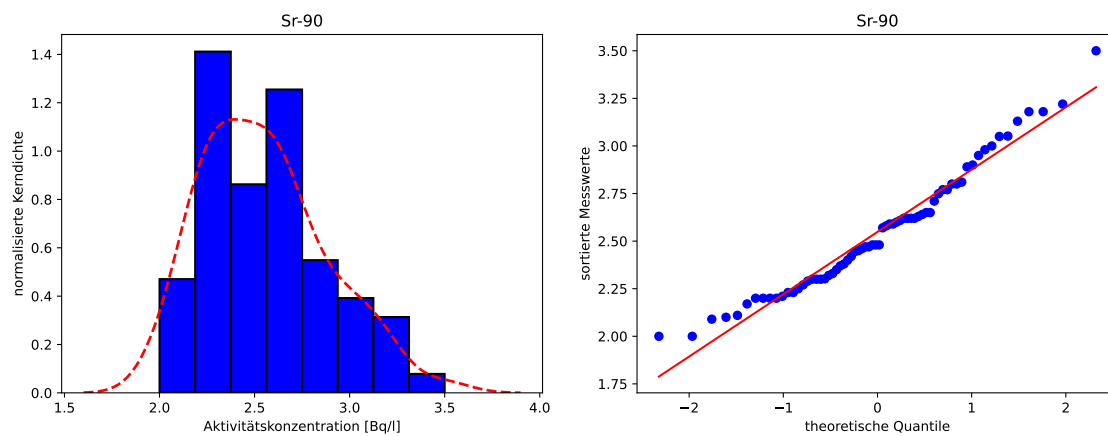


Abbildung 5.10: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 90

konzentrationen oder die Tatsache, dass der Probe Sr - 85 beigefügt wurde, zurückzuführen.

Zudem sind einige Labore auch nur an der Gamma-Spektroskopie interessiert. Dies trifft in der Regel auf die externen Teilnehmenden (z. B. private Labore) aus dem In- und Ausland zu, die nicht aufgrund von gesetzlichen Vorgaben die Strontium-Analytik betreiben müssen. Dies lässt sich auch sehr gut anhand der abgegebenen Messwerte darstellen. Von den 55 eingereichten Messwerten für Sr - 89 wurden 46 (ca. 84 %) Messwerte von den Landesmessstellen eingereicht. Bei Sr - 90 waren es 54 von 69 (ca. 78 %).

Gemäß den Angaben der Teilnehmenden wurden auch in diesem Jahr viele unterschiedliche Methoden und Schnellmethoden in Ansatz gebracht. Die Bestimmung der Sr - 89 Aktivitätskonzentration wurde oftmals mittels Flüssigszintillationszähler (LSC) über die Čerenkov-Strahlung durchgeführt. Im Anschluss wurde nach Zugabe des Szintillatorcocktails die Sr - 90 Aktivitätskonzentration bestimmt. Aber auch die *klassische* Methode der Aktivitätsbestimmung mittels wiederholter Messungen mit einem Proportionalzählrohr wurde oft in Ansatz gebracht.

Die Verteilungen und Q-Q-Plots für die beiden Nuklide sind in den Diagrammen 5.9 und 5.10 dargestellt. Beide Verteilungen sind ganz leicht linksschief, was ggf. auf die zusätzliche Kontamination durch Sr - 85 oder im allg. auf die niedrige Aktivität zurückzuführen ist. Allerdings konnten für diese beiden Nuklide keine statistische relevanten Abweichungen zur Normalverteilung ermittelt werden. Zudem waren alle Kontrollwerte vom Betrag < 2 . Die Kontamination der Probe mit Sr - 85 scheint den Laboren keine allzu großen Probleme bereitet zu haben. Auch deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die unterschiedlichen Methoden keinen gravierenden Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse haben.

Insgesamt wurden nur zwei (Sr - 89) bzw. nur ein (Sr - 90) nicht zufriedenstellende Ergebnis außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (siehe auch Abbildung 6.7 und 6.8) ermittelt. Darüber hinaus sind noch zwei (Sr - 89) bzw. ein (Sr - 90) weiteres Ergebnis als fragwürdig einzustufen. Alle anderen Ergebnisse sind zufriedenstellend. Es ist offensichtlich, dass die teilnehmenden Labore, die überhaupt Strontium-Messergebnisse eingereicht haben, die Strontium-Analytik auch sehr gut beherrschen.

Leider fällt auch in diesem Jahr wieder auf, dass sich die Teilnehmenden mit der Abschätzung der Messunsicherheiten bei den Beta-Analysen deutlich schwerer tun als bei den Gamma-Strahlern (vgl. Abbildung 5.2). Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass auf eine vollständige Unsicherheitsanalyse z. B. nach GUM [9]–[11] oder nach DIN 11929 [12] verzichtet wird. Oftmals wird dann nur die zählstatistische Unsicherheit der Messung oder eine empirische Abschätzung für die Gesamtunsicherheit angegeben. Damit werden z. B. Unsicherheiten bei den einzelnen Analyse-Phasen (inkl. Typ B-Unsicherheiten) vernachlässigt.

6. Fazit und Ausblick

Die diesjährigen Ergebnisse zeigen grundsätzlich, dass die teilnehmenden Labore die Messungen und Analysemethoden auch bei niedrigen Aktivitätskonzentrationen sehr gut beherrschen. Insbesondere die guten z-score der Landesmessstellen sind sehr erfreulich. Dies lässt sich besonders an den Ergebnissen der Gamma-Messungen ablesen, bei denen es bei den Landesmessstellen kaum zu fragwürdigen Ergebnissen kommt.

Allerdings muss auch festgehalten werden, dass bei sehr geringen Aktivitätskonzentrationen (in diesem Fall bei Cs - 137) durchaus gewisse Probleme zu erkennen sind. Dies ist aus dem Grund kritisch zu sehen, da die Aktivitätsbestimmung von Cs - 137 im allgemeinen keine große Herausforderung darstellen sollte, auch wenn die Aktivitätskonzentration von Cs - 137 von ca. 0,18 Bq/l nur in der Größenordnung der nach AVV-IMIS [2] geforderten Nachweisgrenze für Co - 60 (0,2 Bq/l) liegt.

Bei der Strontium-Analyse wiederum ist, aufgrund der geringen Anzahl an Messwerten (insbesondere von externen Laboren), statistisch kein Unterschied zwischen den Ergebnissen der Landesmessstellen und der externen Teilnehmenden auszumachen.

Auch in diesem Jahr muss wieder darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse der ζ -score darauf schließen lassen, dass es bei der Ermittlung der Messunsicherheiten weiterhin einen gewissen Nachholbedarf gibt. Anhand dieses Bewertungskriteriums lassen sich kaum relevante Unterschiede zwischen den externen Laboren und den Landesmessstellen ausmachen. Aus diesem Grund ermutigt die Leitstelle alle Teilnehmende dazu, ihre in Ansatz gebrachte und wahrscheinlich standardisierte Unsicherheitsanalyse einer kritischen Überprüfung zu unterziehen und im Bedarfsfall Korrekturmaßnahmen abzuleiten. Dies betrifft in der Regel die Landesmessstellen, die gemäß der AVV-IMIS [2] die Unsicherheitsanalyse bzw. die Berechnung der charakteristischen Grenzen gemäß DIN 11929 [12] einheitlich durchzuführen zu haben.

Die Leitstelle hofft, dass diese Vergleichsanalyse für alle teilnehmenden Laboratorien eine nützliche Möglichkeit zur Überprüfung der täglichen Routinemessungen war. Sollten Fragen zur Auswertung oder zur Interpretation der Ergebnisse aufkommen, so steht die Leitstelle selbstverständlich jederzeit per E-Mail oder telefonisch zur Verfügung.

Die nächste Vergleichsuntersuchung zum Umweltmedium Milch ist wie gewohnt für Anfang Oktober 2023 eingeplant. Informationen über die Modalitäten erhalten alle in der Datenbank der Leitstelle vermerkte Laboratorien mit dem Anschreiben zur Anmeldung. Weitere interessierte Messstellen bzw. Labore im In- und Ausland sind herzlich zu den zukünftigen Vergleichsuntersuchungen eingeladen und dürfen sich gerne an die Leitstelle wenden. Geben Sie dazu auch gerne unsere Kontaktinformationen weiter.

Falls Sie Anregungen/Wünsche z. B. bzgl. des Messumfanges haben, so zögern Sie nicht uns einfach anzusprechen. Wir werden diese sammeln und soweit es möglich ist in die nächstjährige Planung einbeziehen.

Die Leitstelle freut sich über eine rege Teilnahme.

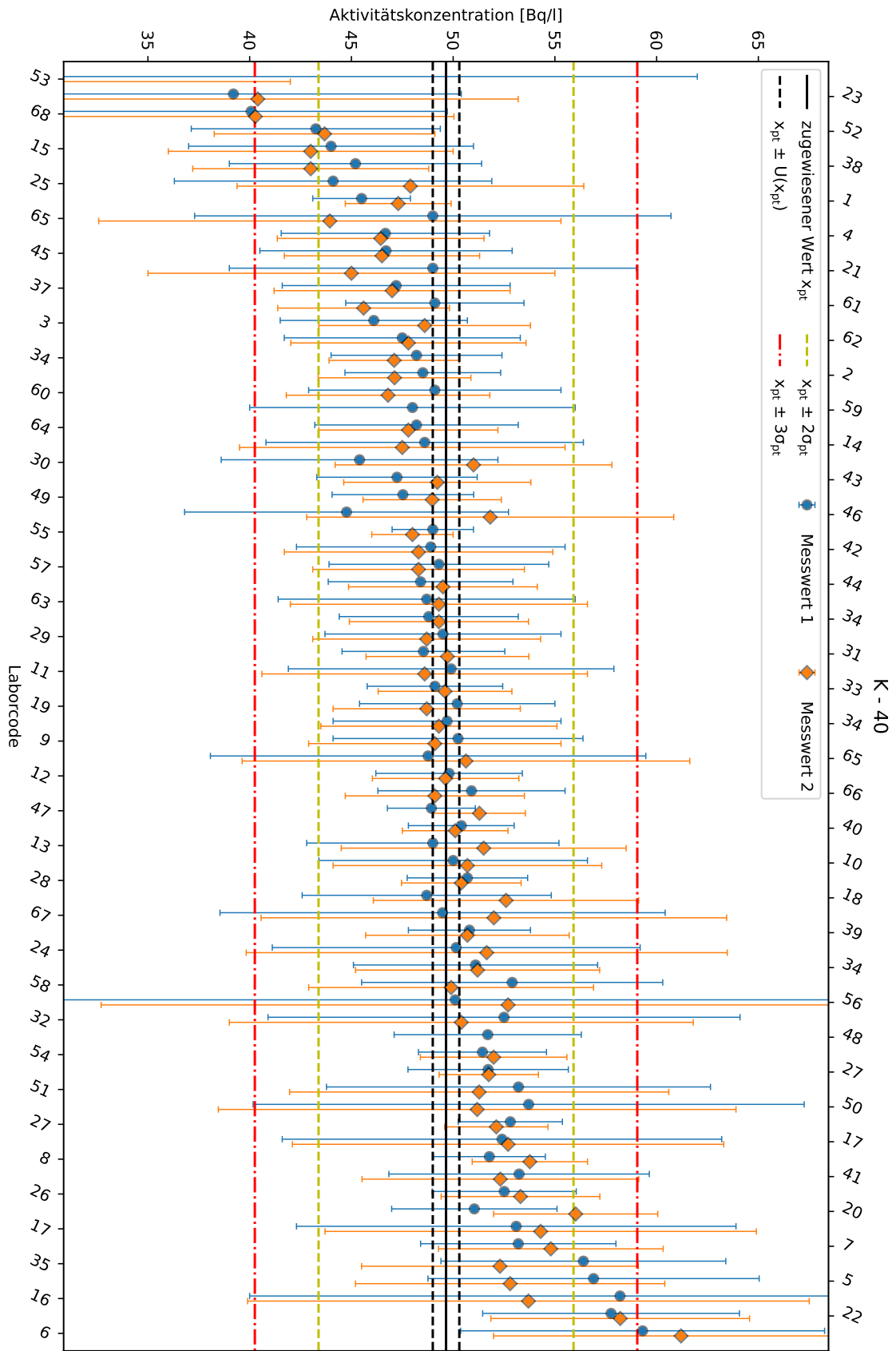


Abbildung 6.1: S-Plot K - 40

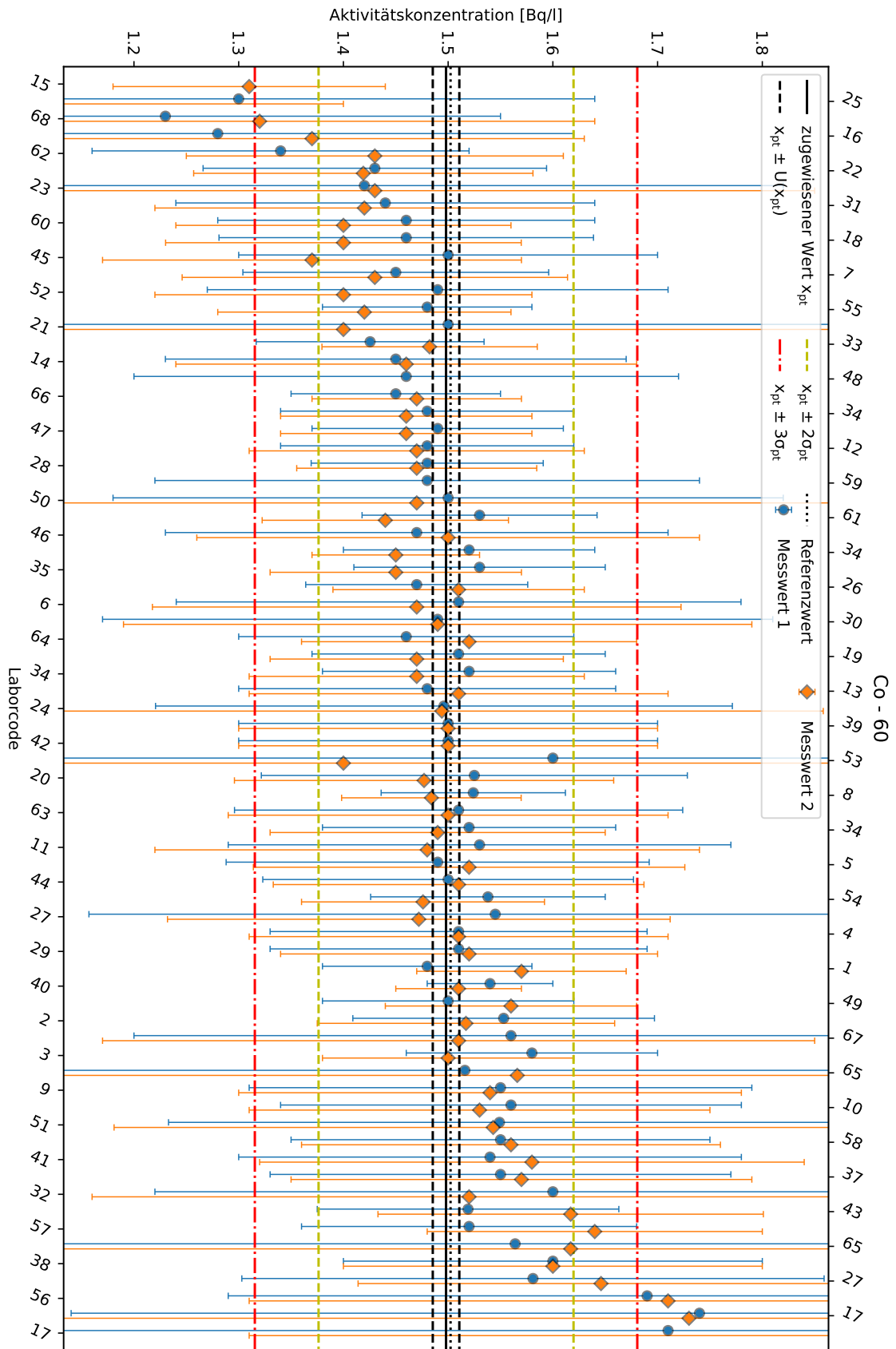


Abbildung 6.2: S-Plot Co - 60

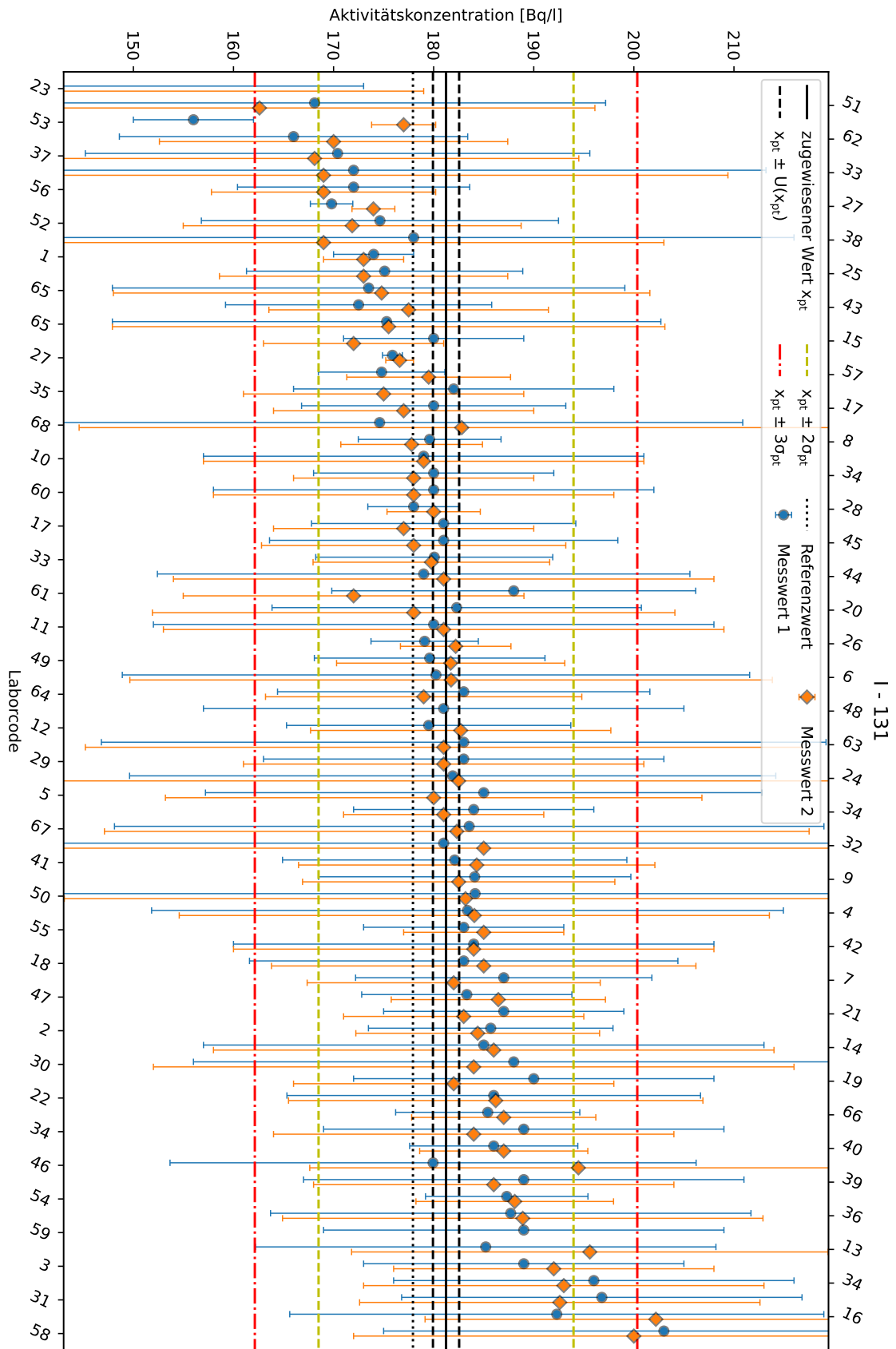


Abbildung 6.3: S-Plot I - 131

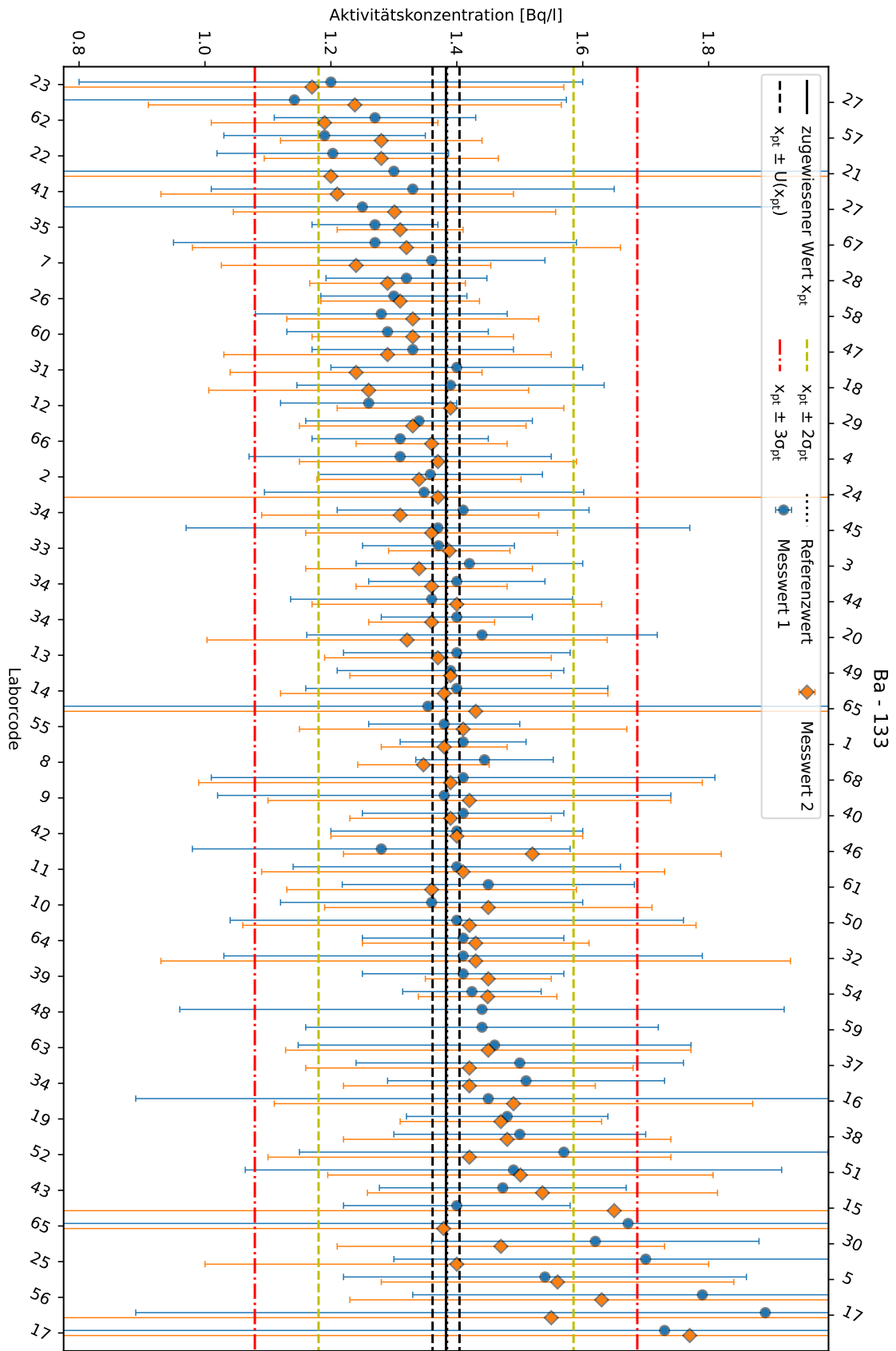


Abbildung 6.4: S-Plot Ba - 133

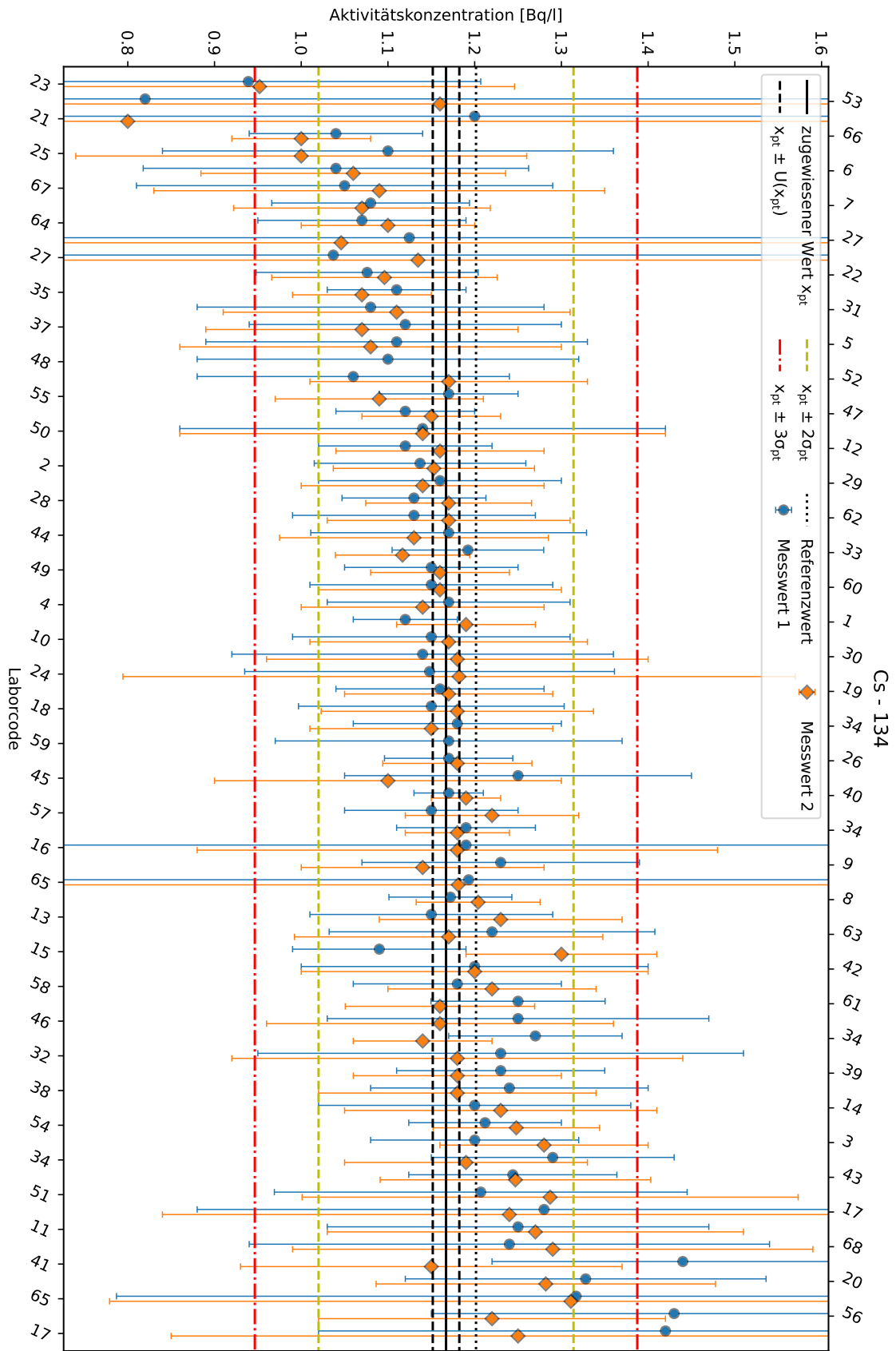


Abbildung 6.5: S-Plot Cs - 134

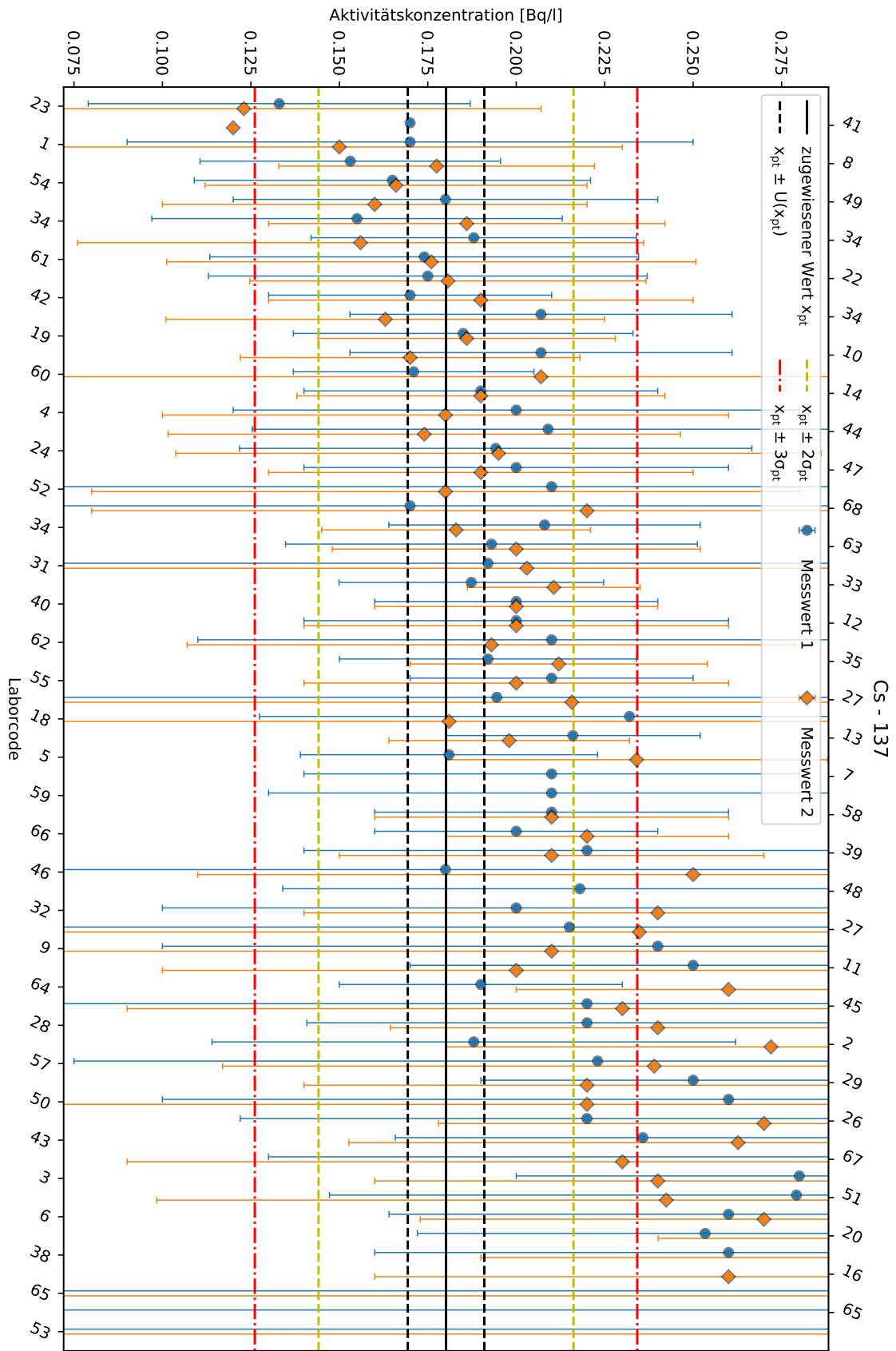


Abbildung 6.6: S-Plot Cs - 137

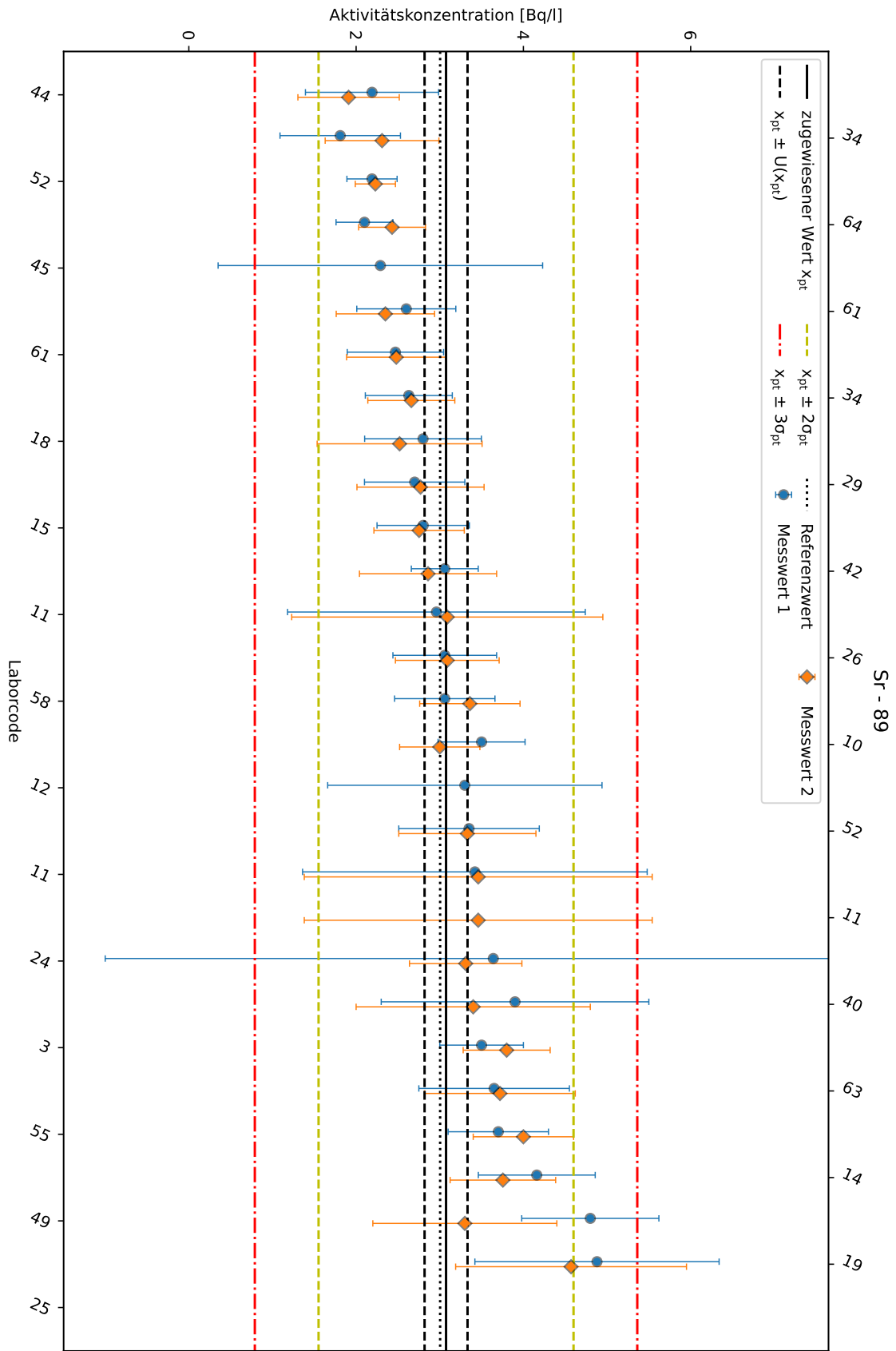


Abbildung 6.7: S-Plot Sr - 89

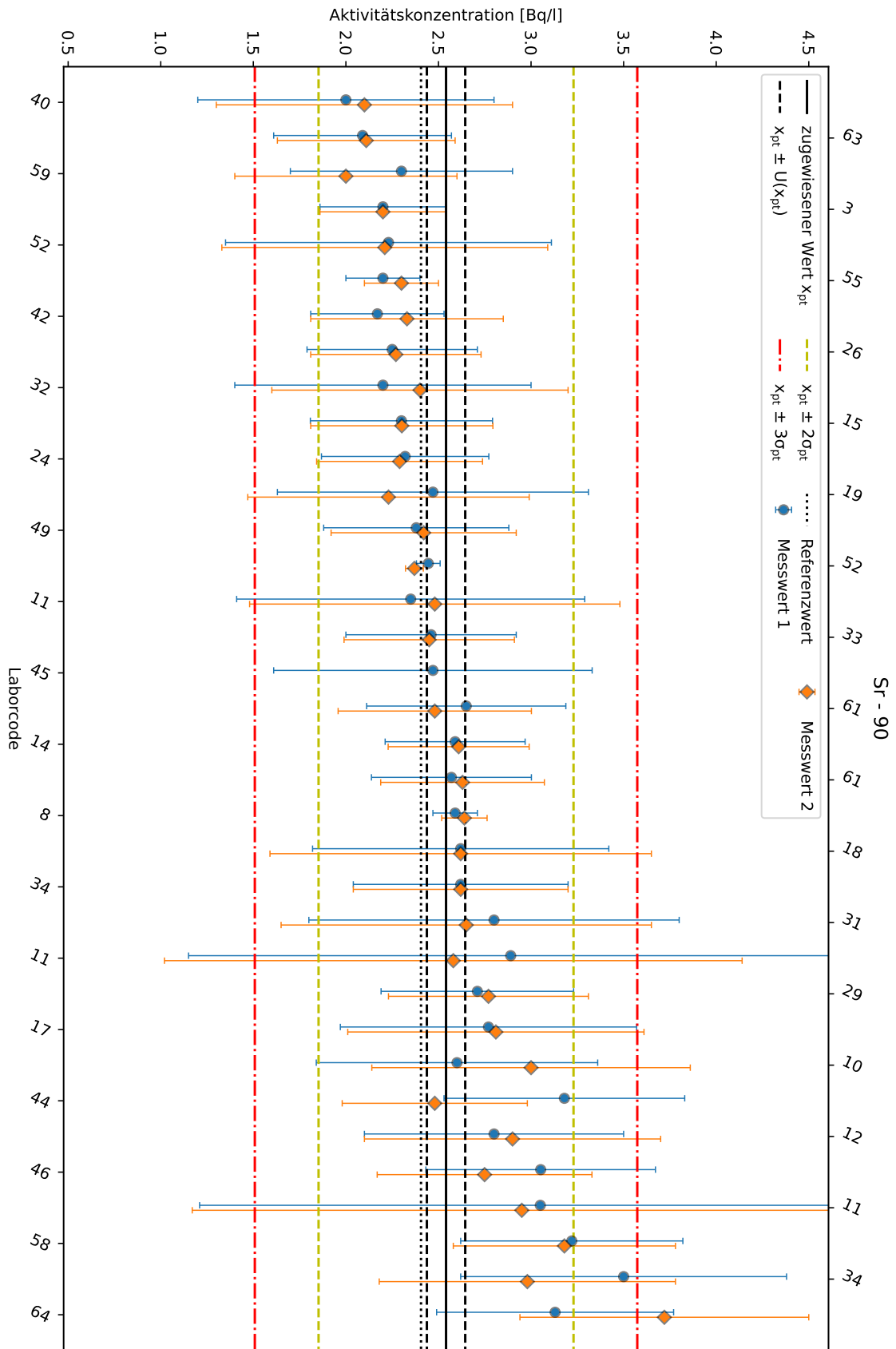


Abbildung 6.8: S-Plot Sr - 90

A. Anhang

A.1. Liste aller teilnehmenden Laboratorien

Institut bzw. Firma	Ort
Amt für Verbraucherschutz Aargau	Aarau
Bayerisches Landesamt für Umwelt	Augsburg
Agri-Food and Biosciences Institute	Belfast
Institut Kirchhoff Berlin	Berlin
Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz	Berlin
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr Kiel Außenstelle Berlin	Berlin
Bundesamt für Gesundheit	Bern
Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz	Bozen
Nds. Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES), Lebensmittel- und Veterinärinstitut Braunschweig/Hannover, Braunschweig	Braunschweig
National Public Health Center	Budapest
staatl. Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft	Chemnitz
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit Graubünden	Chur
LAVES IFF Cuxhaven	Cuxhaven
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Darmstadt
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Ostwestfalen- Lippe (CVUA-OWL)	Detmold
LBME NRW, Eichamt Dortmund	Dortmund
VKTA Strahlenschutz, Analytik, Entsorgung	Dresden
Environmental Protection Agency	Dublin
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW	Duisburg
Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsbestaltung NRW	Düsseldorf
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart (CVUAS)	Fellbach
Landeslabor Berlin-Brandenburg	Frankfurt (Oder)
CVUA Freiburg	Freiburg
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr München	Garching
Helmholtz-Zentrum Hereon	Geesthacht

Institut bzw. Firma	Ort
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz	Gera
Justus-Liebig-Universität	Gießen
Technische Hochschule Mittelhessen	Gießen
UKHSA	Glasgow
Georg-August-Universität Göttingen	Göttingen
Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Landesmessstelle "Nord"	HS Osterburg/Altmark
Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt	Halle/Saale
Eurofins WeJ Contaminants	Hamburg
Institut für Hygiene und Umwelt	Hamburg
SGS Germany GmbH	Hamburg
LAVES LVI Braunschweig/Hannover - Standort Hannover	Hannover
NLWKN	Hildesheim
AGES GmbH Geschäftsfeld Strahlenschutz	Innsbruck
Institut für Strahlenschutz und Dosimetrie Landeskrankenhaus Innsbruck - Universitätskliniken	Innsbruck
Forschungszentrum Jülich GmbH	Jülich
LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden Württemberg	Karlsruhe
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Kassel
Central Mining Institute	Katowice
Wojewodzki Inspektorat Weterynarii w Katowicach	Katowice
muva kempten GmbH	Kempten (Allgäu)
AGROLAB LUFA GmbH	Kiel
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr Kiel	Kronshagen
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Dienststelle Kulmbach	Kulmbach
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH	Köln
ZVD ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU D. O. O.	Ljubljana Polje
Jozef Stefan Institute	Ljubljana
The Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (Cefas)	Lowestoft
SCK CEN	Mol
Cavendish Nuclear Ltd	Moor Row
TÜV SÜD Industrie Service GmbH	München
Umweltinstitut München e.V.	München

Institut bzw. Firma	Ort
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe	Münster
LUFA Nord-West	Oldenburg
Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg	Oldenburg
Landeslabor Berlin-Brandenburg	Oranienburg
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft	Radebeul
Universität Regensburg	Regensburg
Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz	Saarbrücken
Landesuntersuchungsamt, Institut für Lebensmittelchemie	Speyer
WFSR (Wageningen Food Safty Research)	Wageningen
Kantonales Labor Zürich	Zürich
ARPA Lazio	viterbo

Tabelle A.1: Liste der teilnehmenden Laboratorien (Reihenfolge entspricht nicht dem Laborcode)

A.2. Übersicht über alle Messwerte und Ergebnisse

K - 40						
$x_{pt} = 49,65 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 3,13 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,33 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	45,5 ± 1,2	47,3 ± 1,3	-1,3	-0,8	-3,3	-1,8
2	48,5 ± 1,9	47,1 ± 1,9	-0,4	-0,8	-0,6	-1,3
3	46,1 ± 2,3	48,6 ± 2,6	-1,1	-0,3	-1,5	-0,4
4	46,7 ± 2,6	46,4 ± 2,5	-1,0	-1,0	-1,2	-1,3
5	56,9 ± 4,1	52,8 ± 3,8	2,3	1,0	1,8	0,8
6	59,3 ± 4,5	61,2 ± 4,6	3,1	3,7	2,2	2,5
7	53,2 ± 2,4	54,8 ± 2,8	1,1	1,6	1,5	1,9
8	51,8 ± 1,4	53,8 ± 1,4	0,7	1,3	1,5	2,8
9	50,2 ± 3,1	49,1 ± 3,1	0,2	-0,2	0,2	-0,2
10	50,0 ± 3,3	50,7 ± 3,3	0,1	0,3	0,1	0,3
11	49,9 ± 4,0	48,6 ± 4,0	0,1	-0,3	0,1	-0,3
12	49,8 ± 1,8	49,6 ± 1,8	0,0	-0,0	0,1	-0,0
13	49,0 ± 3,1	51,5 ± 3,5	-0,2	0,6	-0,2	0,5
14	48,6 ± 3,9	47,5 ± 4,0	-0,3	-0,7	-0,3	-0,5
15	44,0 ± 3,5	43,0 ± 3,5	-1,8	-2,1	-1,6	-1,9
16	58,2 ± 9,1	53,7 ± 6,9	2,7	1,3	0,9	0,6
17	52,4 ± 5,4	52,7 ± 5,3	0,9	1,0	0,5	0,6
17	53,1 ± 5,4	54,3 ± 5,3	1,1	1,5	0,6	0,9
18	48,7 ± 3,1	52,6 ± 3,3	-0,3	0,9	-0,3	0,9
19	50,2 ± 2,4	48,7 ± 2,3	0,2	-0,3	0,2	-0,4
20	51,0 ± 2,0	56,0 ± 2,0	0,4	2,0	0,7	3,1
21	49,0 ± 5,0	45,0 ± 5,0	-0,2	-1,5	-0,1	-0,9
22	57,8 ± 3,2	58,2 ± 3,2	2,6	2,7	2,6	2,7
23	39,2 ± 5,6	40,4 ± 6,4	-3,3	-3,0	-1,9	-1,4
24	50,1 ± 4,5	51,6 ± 5,9	0,2	0,6	0,1	0,3
25	44,1 ± 3,9	47,9 ± 4,3	-1,8	-0,6	-1,4	-0,4
26	52,5 ± 1,8	53,3 ± 1,9	0,9	1,2	1,6	1,9
27	51,7 ± 2,0	51,8 ± 1,2	0,7	0,7	1,0	1,7
27	52,8 ± 1,3	52,1 ± 1,3	1,0	0,8	2,4	1,9
28	50,7 ± 1,5	50,4 ± 1,5	0,3	0,2	0,7	0,5
29	49,5 ± 2,9	48,7 ± 2,8	-0,0	-0,3	-0,1	-0,3
30	45,4 ± 3,4	51,0 ± 3,4	-1,4	0,4	-1,2	0,4
31	48,5 ± 2,0	49,7 ± 2,0	-0,4	0,0	-0,5	0,0
32	52,5 ± 5,8	50,4 ± 5,7	0,9	0,2	0,5	0,1
33	49,1 ± 1,7	49,6 ± 1,6	-0,2	-0,0	-0,3	-0,0
34	48,8 ± 2,2	49,3 ± 2,2	-0,3	-0,1	-0,4	-0,2
34	48,2 ± 2,1	47,1 ± 1,6	-0,5	-0,8	-0,7	-1,6
34	49,7 ± 2,8	49,3 ± 2,9	0,0	-0,1	0,0	-0,1
34	51,1 ± 3,0	51,2 ± 3,0	0,5	0,5	0,5	0,5
35	56,4 ± 3,5	52,3 ± 3,4	2,2	0,8	1,9	0,8
37	47,2 ± 2,8	47,0 ± 2,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9
38	45,2 ± 3,1	43,0 ± 2,9	-1,4	-2,1	-1,4	-2,3
39	50,8 ± 1,5	50,7 ± 2,5	0,4	0,3	0,7	0,4

K - 40						
$x_{pt} = 49,65 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 3,13 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,33 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
40	50,4 ± 1,3	50,1 ± 1,3	0,2	0,1	0,6	0,3
41	53,2 ± 3,2	52,3 ± 3,4	1,1	0,9	1,1	0,8
42	48,9 ± 3,3	48,3 ± 3,3	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4
43	47,2 ± 2,0	49,2 ± 2,3	-0,8	-0,1	-1,2	-0,2
44	48,4 ± 2,3	49,5 ± 2,3	-0,4	-0,0	-0,5	-0,1
45	46,7 ± 3,1	46,5 ± 2,4	-0,9	-1,0	-0,9	-1,3
46	44,8 ± 4,0	51,8 ± 4,5	-1,6	0,7	-1,2	0,5
47	48,9 ± 1,1	51,3 ± 1,1	-0,2	0,5	-0,6	1,4
48	51,7 ± 2,3	-	0,7	-	0,9	-
49	47,5 ± 1,7	49,0 ± 1,7	-0,7	-0,2	-1,2	-0,4
50	53,7 ± 6,8	51,2 ± 6,4	1,3	0,5	0,6	0,2
51	53,2 ± 4,7	51,3 ± 4,7	1,1	0,5	0,8	0,3
52	43,2 ± 3,1	43,7 ± 2,7	-2,0	-1,9	-2,1	-2,2
53	26,0 ± 18,0	16,0 ± 13,0	-7,5	-10,7	-1,3	-2,6
54	51,4 ± 1,6	52,0 ± 1,8	0,6	0,7	1,1	1,3
55	49,0 ± 1,0	48,0 ± 1,0	-0,2	-0,5	-0,6	-1,6
56	50,1 ± 10,0	52,7 ± 10,0	0,1	1,0	0,0	0,3
57	49,3 ± 2,7	48,3 ± 2,6	-0,1	-0,4	-0,1	-0,5
58	52,9 ± 3,7	49,9 ± 3,5	1,0	0,1	0,9	0,1
59	48,0 ± 4,0	-	-0,5	-	-0,4	-
60	49,1 ± 3,1	46,8 ± 2,5	-0,2	-0,9	-0,2	-1,1
61	49,1 ± 2,2	45,6 ± 2,1	-0,2	-1,3	-0,2	-1,9
62	47,5 ± 2,9	47,8 ± 2,9	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6
63	48,7 ± 3,6	49,3 ± 3,6	-0,3	-0,1	-0,3	-0,1
64	48,2 ± 2,5	47,8 ± 2,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8
65	49,0 ± 5,9	43,9 ± 5,7	-0,2	-1,8	-0,1	-1,0
65	48,8 ± 5,3	50,6 ± 5,5	-0,3	0,3	-0,2	0,2
66	50,9 ± 2,3	49,1 ± 2,2	0,4	-0,2	0,5	-0,2
67	49,5 ± 5,5	52,0 ± 5,7	-0,1	0,7	-0,0	0,4
68	40,1 ± 4,8	40,3 ± 4,9	-3,1	-3,0	-2,0	-1,9

Tabelle A.2: Messwerte und Bewertungen K - 40

Co - 60						
$x_{pt} = 1,50 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,06 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	-0,3	1,2	-0,4	1,4
2	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,9	0,3	0,8	0,3
3	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,3	0,0	1,4	0,0
4	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
5	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,1	0,4	-0,1	0,2
6	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,2	-0,5	0,1	-0,2
7	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,8	-1,1	-0,7	-0,7

Co - 60						
$x_{pt} = 1,50 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,06 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
8	1,5 ± 0,0	1,5 ± 0,0	0,4	-0,2	0,6	-0,3
9	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,9	0,7	0,4	0,3
10	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,0	0,5	0,6	0,3
11	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,5	-0,3	0,3	-0,1
12	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3
13	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,3	0,2	-0,2	0,1
14	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3
15	0,9 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-9,2	-3,1	-9,2	-2,9
16	1,3 ± 0,2	1,4 ± 0,1	-3,6	-2,1	-1,3	-1,0
17	1,7 ± 0,3	1,7 ± 0,3	4,0	3,8	0,8	0,8
17	1,7 ± 0,3	2,1 ± 0,4	3,5	10,1	0,7	1,5
18	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,6	-1,6	-0,4	-1,2
19	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,2	-0,5	0,2	-0,4
20	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,4	-0,3	0,3	-0,2
21	1,5 ± 0,3	1,4 ± 0,3	0,0	-1,6	0,0	-0,3
22	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-1,1	-1,3	-0,8	-1,0
23	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	-1,3	-1,1	-0,4	-0,3
24	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,2	-0,0	-0,1	-0,0	-0,0
25	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,1	-3,3	-6,5	-1,2	-2,7
26	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,5	0,2	-0,5	0,2
27	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,1	0,8	-0,4	0,2	-0,2
27	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,4	2,4	0,6	1,3
28	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,5
29	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,2	0,4	0,1	0,2
30	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,1	-0,1	-0,1	-0,0	-0,1
31	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-1,0	-1,3	-0,6	-0,8
32	1,6 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,7	0,4	0,5	0,1
33	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-1,2	-0,3	-1,3	-0,3
34	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,3	-0,6	-0,3	-0,6
34	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,0	0,4	-0,8	0,4	-1,2
34	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,4	-0,1	0,3	-0,1
34	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,4	-0,5	0,3	-0,3
35	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,5	-0,8	0,5	-0,8
37	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,9	1,2	0,5	0,7
38	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,7	1,7	1,0	1,0
39	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
40	1,5 ± 0,0	1,5 ± 0,0	0,7	0,2	1,4	0,4
41	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,7	1,3	0,3	0,6
42	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
43	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,3	2,0	0,3	1,3
44	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,0	0,2	0,0	0,1
45	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,0	-2,1	0,0	-1,3
46	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,5	0,0	-0,2	0,0
47	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,1	-0,6	-0,1	-0,6

Co - 60						
$x_{pt} = 1,50 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,06 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
48	1,5 ± 0,1	-	-0,6	-	-0,3	-
49	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,0	1,0	0,0	1,0
50	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,3	0,0	-0,5	0,0	-0,1
51	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,2	0,8	0,7	0,3	0,2
52	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,1	-1,6	-0,1	-1,1
53	1,6 ± 1,0	1,4 ± 0,7	1,7	-1,6	0,1	-0,1
54	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,7	-0,4	0,7	-0,4
55	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,3	-1,3	-0,4	-1,1
56	1,7 ± 0,2	1,7 ± 0,2	3,2	3,5	1,0	1,1
57	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,4	2,3	0,3	1,8
58	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,9	1,0	0,5	0,6
59	1,5 ± 0,1	-	-0,3	-	-0,1	-
60	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,6	-1,6	-0,4	-1,2
61	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,5	-1,0	0,6	-1,0
62	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-2,6	-1,1	-1,8	-0,8
63	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,2	0,0	0,1	0,0
64	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,6	0,4	-0,5	0,3
65	1,6 ± 0,3	1,6 ± 0,3	1,1	2,0	0,2	0,3
65	1,5 ± 0,3	1,6 ± 0,3	0,3	1,1	0,1	0,2
66	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-0,8	-0,5	-1,0	-0,6
67	1,6 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,0	0,2	0,3	0,1
68	1,2 ± 0,2	1,3 ± 0,2	-4,4	-2,9	-1,7	-1,1

Tabelle A.3: Messwerte und Bewertungen Co - 60

I - 131						
$x_{pt} = 181,24 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 6,37 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,65 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	174,0 ± 2,0	173,0 ± 2,0	-1,1	-1,3	-3,4	-3,9
2	185,7 ± 6,1	184,4 ± 6,1	0,7	0,5	0,7	0,5
3	189,0 ± 8,0	192,0 ± 8,0	1,2	1,7	1,0	1,3
4	183,4 ± 15,8	184,1 ± 14,7	0,3	0,4	0,1	0,2
5	185,0 ± 13,9	180,0 ± 13,4	0,6	-0,2	0,3	-0,1
6	180,2 ± 15,7	181,7 ± 16,0	-0,2	0,1	-0,1	0,0
7	187,0 ± 7,4	182,0 ± 7,3	0,9	0,1	0,8	0,1
8	179,6 ± 3,6	177,8 ± 3,5	-0,3	-0,5	-0,5	-1,0
9	184,1 ± 7,8	182,5 ± 7,8	0,4	0,2	0,4	0,2
10	179,0 ± 11,0	179,0 ± 11,0	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2
11	180,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0	-0,2	-0,0	-0,1	-0,0
12	179,5 ± 7,1	182,7 ± 7,5	-0,3	0,2	-0,2	0,2
13	185,2 ± 11,5	195,6 ± 11,9	0,6	2,3	0,3	1,2
14	185,0 ± 14,0	186,0 ± 14,0	0,6	0,7	0,3	0,3
15	180,0 ± 4,5	172,0 ± 4,5	-0,2	-1,5	-0,3	-2,0

I-131						
$x_{pt} = 181,24 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 6,37 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,65 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
16	192,3 ± 13,3	202,2 ± 11,5	1,7	3,3	0,8	1,8
17	181,0 ± 6,6	177,0 ± 6,5	-0,0	-0,7	-0,0	-0,6
17	180,0 ± 6,6	177,0 ± 6,5	-0,2	-0,7	-0,2	-0,6
18	183,0 ± 10,7	185,0 ± 10,6	0,3	0,6	0,2	0,4
19	190,0 ± 9,0	182,0 ± 8,0	1,4	0,1	1,0	0,1
20	182,3 ± 9,2	178,0 ± 13,1	0,2	-0,5	0,1	-0,2
21	187,0 ± 6,0	183,0 ± 6,0	0,9	0,3	1,0	0,3
22	186,0 ± 10,3	186,2 ± 10,3	0,7	0,8	0,5	0,5
23	135,0 ± 19,0	139,0 ± 20,0	-7,3	-6,6	-2,4	-2,1
24	181,9 ± 16,1	182,5 ± 39,8	0,1	0,2	0,0	0,0
25	175,1 ± 6,9	173,0 ± 7,2	-1,0	-1,3	-0,9	-1,1
26	179,1 ± 2,7	182,2 ± 2,8	-0,3	0,2	-0,8	0,3
27	169,8 ± 1,1	174,0 ± 1,1	-1,8	-1,1	-9,2	-5,8
27	175,9 ± 0,5	176,6 ± 0,7	-0,8	-0,7	-6,5	-4,9
28	178,0 ± 2,3	180,0 ± 2,3	-0,5	-0,2	-1,4	-0,5
29	183,0 ± 10,0	181,0 ± 10,0	0,3	-0,0	0,2	-0,0
30	188,0 ± 16,0	184,0 ± 16,0	1,1	0,4	0,4	0,2
31	196,8 ± 10,0	192,6 ± 10,0	2,4	1,8	1,6	1,1
32	181,0 ± 20,0	185,0 ± 30,0	-0,0	0,6	-0,0	0,1
33	172,0 ± 20,6	169,0 ± 20,2	-1,5	-1,9	-0,4	-0,6
33	180,1 ± 5,9	179,8 ± 5,9	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
34	180,0 ± 6,0	178,0 ± 6,0	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5
34	184,0 ± 6,0	181,0 ± 5,0	0,4	-0,0	0,5	-0,0
34	189,0 ± 10,0	184,0 ± 10,0	1,2	0,4	0,8	0,3
34	196,0 ± 10,0	193,0 ± 10,0	2,3	1,8	1,5	1,2
35	182,0 ± 8,0	175,0 ± 7,0	0,1	-1,0	0,1	-0,9
36	187,7 ± 12,0	188,9 ± 12,0	1,0	1,2	0,5	0,6
37	170,4 ± 12,6	168,1 ± 13,2	-1,7	-2,1	-0,9	-1,0
38	178,0 ± 19,0	169,0 ± 17,0	-0,5	-1,9	-0,2	-0,7
39	189,0 ± 11,0	186,0 ± 9,0	1,2	0,7	0,7	0,5
40	186,0 ± 4,2	187,0 ± 4,2	0,7	0,9	1,1	1,4
41	182,1 ± 8,6	184,3 ± 8,9	0,1	0,5	0,1	0,3
42	184,0 ± 12,0	184,0 ± 12,0	0,4	0,4	0,2	0,2
43	172,5 ± 6,6	177,5 ± 7,0	-1,4	-0,6	-1,3	-0,5
44	179,0 ± 13,3	181,0 ± 13,5	-0,4	-0,0	-0,2	-0,0
45	181,0 ± 8,7	178,0 ± 7,6	-0,0	-0,5	-0,0	-0,4
46	179,9 ± 13,1	194,5 ± 13,4	-0,2	2,1	-0,1	1,0
47	183,3 ± 5,2	186,5 ± 5,3	0,3	0,8	0,4	1,0
48	181,0 ± 12,0	-	-0,0	-	-0,0	-
49	179,6 ± 5,8	181,7 ± 5,7	-0,3	0,1	-0,3	0,1
50	184,1 ± 21,4	183,2 ± 20,0	0,5	0,3	0,1	0,1
51	168,1 ± 14,5	162,6 ± 16,8	-2,1	-2,9	-0,9	-1,1
52	174,6 ± 8,9	171,9 ± 8,4	-1,0	-1,5	-0,7	-1,1
53	156,0 ± 3,0	177,0 ± 1,6	-4,0	-0,7	-8,2	-2,5

I - 131						
$x_{pt} = 181,24 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 6,37 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,65 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
54	187,3 ± 4,1	188,1 ± 4,9	1,0	1,1	1,5	1,4
55	183,0 ± 5,0	185,0 ± 4,0	0,3	0,6	0,3	0,9
56	172,0 ± 5,8	169,0 ± 5,6	-1,5	-1,9	-1,6	-2,2
57	174,8 ± 3,2	179,5 ± 4,1	-1,0	-0,3	-2,0	-0,4
58	203,0 ± 14,0	200,0 ± 14,0	3,4	2,9	1,6	1,3
59	189,0 ± 10,0	-	1,2	-	0,8	-
60	180,0 ± 11,0	178,0 ± 10,0	-0,2	-0,5	-0,1	-0,3
61	188,0 ± 9,1	172,0 ± 8,5	1,1	-1,5	0,7	-1,1
62	166,0 ± 8,7	170,0 ± 8,7	-2,4	-1,8	-1,7	-1,3
63	183,0 ± 18,1	181,0 ± 17,9	0,3	-0,0	0,1	-0,0
64	183,0 ± 9,3	179,0 ± 7,9	0,3	-0,4	0,2	-0,3
65	175,3 ± 13,7	175,5 ± 13,8	-0,9	-0,9	-0,4	-0,4
65	173,5 ± 12,8	174,8 ± 13,4	-1,2	-1,0	-0,6	-0,5
66	185,4 ± 4,6	187,0 ± 4,6	0,7	0,9	0,9	1,2
67	183,6 ± 17,7	182,3 ± 17,6	0,4	0,2	0,1	0,1
68	174,6 ± 18,1	182,8 ± 19,1	-1,0	0,2	-0,4	0,1

Tabelle A.4: Messwerte und Bewertungen I - 131

Ba - 133						
$x_{pt} = 1,38 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,10 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,3	-0,0	0,5	-0,1
2	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,5
3	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,4	-0,4	0,4	-0,5
4	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,7	-0,1	-0,6	-0,1
5	1,5 ± 0,2	1,6 ± 0,1	1,6	1,7	1,0	1,3
7	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,2	-1,4	-0,3	-1,3
8	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,6	-0,4	1,1	-0,7
9	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	-0,0	0,4	-0,0	0,2
10	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,2	0,7	-0,2	0,5
11	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
12	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-1,2	0,1	-1,7	0,1
13	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,2	-0,1	0,2	-0,1
14	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,2	-0,0	0,1	-0,0
15	1,4 ± 0,1	1,6 ± 0,8	0,2	2,6	0,2	0,4
16	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,2	0,7	1,1	0,2	0,6
17	1,9 ± 0,5	1,6 ± 0,4	5,0	1,7	1,0	0,4
17	1,7 ± 0,5	1,8 ± 0,5	3,4	3,8	0,7	0,8
18	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,1	-1,2	0,1	-1,0
19	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,0	0,9	1,2	1,1
20	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,2	0,6	-0,6	0,4	-0,4
21	1,3 ± 0,5	1,2 ± 0,5	-0,8	-1,8	-0,2	-0,4

Ba - 133						
$x_{pt} = 1,38 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,10 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
22	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-1,8	-1,0	-1,9	-1,1
23	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,2	-1,8	-2,1	-0,9	-1,1
24	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,3	-0,3	-0,1	-0,3	-0,0
25	1,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	3,1	0,2	1,6	0,1
26	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-0,8	-0,7	-1,4	-1,1
27	1,2 ± 0,3	1,3 ± 0,1	-1,3	-0,8	-0,4	-0,6
27	1,1 ± 0,2	1,2 ± 0,2	-2,4	-1,4	-1,1	-0,9
28	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-0,6	-0,9	-1,0	-1,5
29	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6
30	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	2,3	0,9	1,8	0,7
31	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,2	-1,4	0,2	-1,4
32	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	0,3	0,5	0,1	0,2
33	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,0	-0,1	0,1	-0,2	0,1
34	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,2	-0,2	0,2	-0,4
34	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,2	-0,2	0,3	-0,4
34	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,3	-0,7	0,3	-0,7
34	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,3	0,4	1,2	0,4
35	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-1,1	-0,7	-2,2	-1,4
37	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,2	0,4	0,9	0,3
38	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,2	1,0	1,2	0,7
39	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,3	0,7	0,3	1,3
40	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
41	1,3 ± 0,2	1,2 ± 0,1	-0,5	-1,7	-0,3	-1,2
42	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
43	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,9	1,5	0,9	1,1
44	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,2	0,2	-0,2	0,1
45	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2
46	1,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	-1,0	1,4	-0,7	0,9
47	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-0,5	-0,9	-0,7	-0,7
48	1,4 ± 0,2	-	0,6	-	0,2	-
49	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
50	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	0,2	0,4	0,1	0,2
51	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,1	1,2	0,5	0,8
52	1,6 ± 0,2	1,4 ± 0,2	1,8	0,4	0,9	0,2
54	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,4	0,7	0,7	1,2
55	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,0	0,3	-0,0	0,2
56	1,8 ± 0,2	1,6 ± 0,2	4,0	2,4	1,8	1,2
57	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-1,9	-1,0	-2,4	-1,3
58	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-1,0	-0,5	-1,0	-0,5
59	1,4 ± 0,1	-	0,6	-	0,4	-
60	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-0,9	-0,5	-1,2	-0,7
61	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,7	-0,2	0,6	-0,2
62	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-1,1	-1,9	-1,4	-2,1
63	1,5 ± 0,2	1,4 ± 0,2	0,8	0,7	0,5	0,4

Ba - 133						
$x_{pt} = 1,38 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,10 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
64	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,3	0,5	0,3	0,5
65	1,7 ± 0,5	1,4 ± 0,3	2,9	-0,0	0,6	-0,0
65	1,4 ± 0,4	1,4 ± 0,4	-0,3	0,5	-0,1	0,1
66	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1	-0,7	-0,2	-1,0	-0,4
67	1,3 ± 0,2	1,3 ± 0,2	-1,1	-0,6	-0,7	-0,4
68	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	0,3	0,1	0,1	0,0

Tabelle A.5: Messwerte und Bewertungen Ba - 133

Cs - 134						
$x_{pt} = 1,17 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,07 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	1,1 ± 0,0	1,2 ± 0,0	-0,6	0,3	-1,5	0,6
2	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,4	-0,2	-0,5	-0,2
3	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,4	1,5	0,5	1,9
4	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,0	-0,4	0,0	-0,4
5	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-0,8	-1,2	-0,5	-0,8
6	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-1,7	-1,5	-1,1	-1,2
7	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,3
8	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,1	0,5	0,1	1,0
9	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,9	-0,4	0,8	-0,4
10	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,2	0,0	-0,2	0,0
11	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,1	1,4	0,8	0,9
12	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,6	-0,1	-0,9	-0,1
13	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,2	0,9	-0,2	0,9
14	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,4	0,9	0,4	0,7
15	1,1 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-1,0	1,8	-1,5	2,4
16	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,3	0,2	0,1	0,1
17	1,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3,4	1,1	1,3	0,4
17	1,3 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,5	1,0	0,6	0,4
18	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,2	0,2	-0,2	0,2
19	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0
20	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	2,2	1,6	1,5	1,2
21	1,2 ± 0,6	0,8 ± 0,6	0,4	-5,0	0,1	-0,6
22	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-1,2	-1,0	-1,4	-1,1
23	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,1	-3,1	-2,9	-1,7	-1,5
24	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,2	-0,3	0,2	-0,2	0,1
25	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1	-0,9	-2,3	-0,5	-1,3
26	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,0	0,2	0,1	0,3
27	1,0 ± 0,5	1,1 ± 0,4	-1,8	-0,4	-0,3	-0,1
27	1,1 ± 0,5	1,0 ± 0,4	-0,6	-1,6	-0,1	-0,3
28	1,1 ± 0,0	1,2 ± 0,0	-0,5	0,0	-0,9	0,1
29	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-0,1	-0,4	-0,1	-0,4

Cs - 134						
$x_{pt} = 1,17 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,07 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
30	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,4	0,2	-0,2	0,1
31	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-1,2	-0,8	-0,9	-0,6
32	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,9	0,2	0,4	0,1
33	1,2 ± 0,0	1,1 ± 0,0	0,3	-0,7	0,6	-1,3
34	1,3 ± 0,1	1,1 ± 0,0	1,4	-0,4	2,0	-0,7
34	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,3	0,2	0,6	0,4
34	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,2	-0,2	0,2	-0,2
34	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,7	0,3	1,7	0,3
35	1,1 ± 0,0	1,1 ± 0,0	-0,8	-1,3	-1,4	-2,4
37	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-0,6	-1,3	-0,5	-1,1
38	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,0	0,2	0,9	0,2
39	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,9	0,2	1,0	0,2
40	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,0	0,3	0,1	1,1
41	1,4 ± 0,1	1,1 ± 0,1	3,7	-0,2	2,5	-0,2
42	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,4	0,4	0,3	0,3
43	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,0	1,1	1,3	1,0
44	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,0	-0,5	0,0	-0,5
45	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1	-0,9	0,8	-0,7
46	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,1	-0,1	0,8	-0,1
47	1,1 ± 0,0	1,1 ± 0,0	-0,6	-0,2	-1,2	-0,4
48	1,1 ± 0,1	-	-0,9	-	-0,6	-
49	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,0	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2
50	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2
51	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,5	1,6	0,3	0,8
52	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-1,5	0,0	-1,2	0,0
53	0,8 ± 0,7	1,2 ± 0,5	-4,7	-0,1	-0,5	-0,0
54	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0	0,6	1,1	1,0	1,7
55	1,2 ± 0,0	1,1 ± 0,1	0,0	-1,0	0,1	-1,3
56	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,1	3,6	0,7	1,9	0,5
57	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,2	0,7	-0,3	1,0
58	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,2	0,7	0,2	0,9
59	1,2 ± 0,1	-	0,0	-	0,0	-
60	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1
61	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,1	-0,1	1,6	-0,1
62	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	-0,5	0,0	-0,5	0,0
63	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,7	0,0	0,6	0,0
64	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-1,3	-0,9	-1,6	-1,3
65	1,3 ± 0,3	1,3 ± 0,3	2,0	2,0	0,6	0,5
65	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,3	0,4	0,2	0,1	0,1
66	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,0	-1,7	-2,3	-2,5	-4,1
67	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	-1,6	-1,0	-1,0	-0,6
68	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,0	1,7	0,5	0,8

Tabelle A.6: Messwerte und Bewertungen Cs - 134

Cs - 137						
$x_{pt} = 0,18 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,02 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	-0,6	-1,7	-0,3	-0,7
2	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,4	5,1	0,2	2,0
3	0,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	5,5	3,3	2,5	1,5
4	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,1	-0,0	0,5	-0,0
5	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,0	3,0	0,0	2,0
6	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	4,4	5,0	1,7	1,8
7	0,2 ± 0,0	-	1,7	-	0,8	-
8	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-1,5	-0,1	-1,2	-0,1
9	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	3,3	1,7	0,9	0,4
10	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,5	-0,6	1,0	-0,4
11	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,1	3,9	1,1	1,7	0,4
12	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,1	1,1	0,7	0,7
13	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	2,0	1,0	1,9	1,0
14	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,5	0,5	0,4	0,4
16	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,1	9,4	4,4	14,9	1,6
18	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	2,9	0,0	1,0	0,0
19	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,3	0,3	0,2	0,3
20	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	4,1	7,6	1,8	3,5
22	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0
23	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	-2,6	-3,2	-1,7	-1,3
24	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,8	0,8	0,4	0,3
26	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	2,2	5,0	0,8	1,9
27	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,8	2,0	0,1	0,4
27	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	1,9	3,0	0,3	0,5
28	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	2,2	3,3	1,0	1,6
29	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	3,9	2,2	2,3	1,0
31	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,7	1,3	0,1	0,2
32	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	1,1	3,3	0,4	1,2
33	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,4	1,7	0,4	2,3
34	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-1,4	0,3	-0,9	0,2
34	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,5	0,2	1,2	0,1
34	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,4	-1,3	0,3	-0,6
34	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,5	-1,0	1,0	-0,5
35	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,7	1,8	0,5	1,5
38	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1	4,4	8,3	1,6	2,1
39	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	2,2	1,7	1,0	1,0
40	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,1	1,1	1,0	1,0
41	0,2 ± nan	0,1 ± nan	-0,6	-3,3	-	-
42	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-0,6	0,5	-0,5	0,3
43	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,1	3,1	4,6	1,6	1,5
44	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,6	-0,3	0,7	-0,2
45	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	2,2	2,8	0,4	0,7
46	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	-0,0	3,9	-0,0	1,0
47	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,1	0,5	0,7	0,3

Cs - 137						
$x_{pt} = 0,18 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,02 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
48	0,2 ± 0,0	-	2,1	-	0,9	-
49	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-0,0	-1,1	-0,0	-0,7
50	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	4,4	2,2	1,0	0,5
51	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	5,5	3,5	1,5	0,9
52	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	1,7	-0,0	0,4	-0,0
53	1,8 ± 1,4	1,5 ± 0,9	89,9	74,4	1,2	1,5
54	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-0,8	-0,8	-0,5	-0,5
55	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,7	1,1	1,4	0,7
57	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	2,4	3,3	0,6	1,0
58	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,7	1,7	1,2	1,2
59	0,2 ± 0,0	-	1,7	-	0,7	-
60	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,1	-0,5	1,5	-0,5	0,4
61	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1
62	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,0	1,7	0,7	0,6	0,3
63	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,7	1,1	0,4	0,7
64	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,5	4,4	0,5	2,6
65	0,4 ± 0,2	-	13,8	-	1,1	-
65	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,2	7,5	6,4	0,9	0,6
66	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,1	2,2	1,0	1,9
67	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	6,1	2,8	1,4	0,7
68	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	-0,6	2,2	-0,1	0,6

Tabelle A.7: Messwerte und Bewertungen Cs - 137

Sr - 89						
$x_{pt} = 3,08 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,76 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,13 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
3	3,5 ± 0,2	3,8 ± 0,3	0,6	1,0	1,5	2,5
10	3,5 ± 0,3	3,0 ± 0,2	0,6	-0,1	1,5	-0,3
11	3,0 ± 0,9	3,1 ± 0,9	-0,2	0,0	-0,1	0,0
11	3,4 ± 1,0	3,5 ± 1,0	0,5	0,5	0,3	0,4
11	-	3,5 ± 1,0	-	0,5	-	0,4
12	3,3 ± 0,8	-	0,3	-	0,3	-
14	4,2 ± 0,3	3,8 ± 0,3	1,4	0,9	2,9	2,0
15	2,8 ± 0,3	2,8 ± 0,3	-0,4	-0,4	-0,9	-1,1
18	2,8 ± 0,3	2,5 ± 0,5	-0,4	-0,7	-0,7	-1,1
19	4,9 ± 0,7	4,6 ± 0,7	2,4	2,0	2,4	2,1
24	3,6 ± 2,3	3,3 ± 0,3	0,7	0,3	0,2	0,7
25	21,8 ± 5,6	22,2 ± 5,7	24,6	25,1	3,3	3,4
26	3,1 ± 0,3	3,1 ± 0,3	-0,0	0,0	-0,0	0,0
29	2,7 ± 0,3	2,8 ± 0,4	-0,5	-0,4	-1,1	-0,8
34	2,6 ± 0,3	2,7 ± 0,3	-0,6	-0,5	-1,5	-1,4
34	1,8 ± 0,4	2,3 ± 0,3	-1,7	-1,0	-3,3	-2,1

Sr - 89						
$x_{pt} = 3,08 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,76 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,13 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
40	3,9 ± 0,8	3,4 ± 0,7	1,1	0,4	1,0	0,5
42	3,1 ± 0,2	2,9 ± 0,4	-0,0	-0,3	-0,1	-0,5
44	2,2 ± 0,4	1,9 ± 0,3	-1,2	-1,5	-2,1	-3,5
45	2,3 ± 1,0	-	-1,0	-	-0,8	-
49	4,8 ± 0,4	3,3 ± 0,6	2,3	0,3	4,0	0,4
52	2,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1	-1,2	-1,1	-4,5	-4,8
52	3,4 ± 0,4	3,3 ± 0,4	0,4	0,3	0,6	0,6
55	3,7 ± 0,3	4,0 ± 0,3	0,8	1,2	1,9	2,8
58	3,1 ± 0,3	3,4 ± 0,3	-0,0	0,4	-0,0	0,9
61	2,5 ± 0,3	2,5 ± 0,3	-0,8	-0,8	-1,9	-1,8
61	2,6 ± 0,3	2,4 ± 0,3	-0,6	-1,0	-1,5	-2,3
63	3,6 ± 0,5	3,7 ± 0,5	0,8	0,8	1,2	1,4
64	2,1 ± 0,2	2,4 ± 0,2	-1,3	-0,8	-4,6	-2,7

Tabelle A.8: Messwerte und Bewertungen Sr - 89

Sr - 90						
$x_{pt} = 2,54 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,34 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,05 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
3	2,2 ± 0,2	2,2 ± 0,2	-1,0	-1,0	-1,9	-1,9
8	2,6 ± 0,1	2,6 ± 0,1	0,1	0,3	0,6	1,2
10	2,6 ± 0,4	3,0 ± 0,4	0,2	1,3	0,2	1,1
11	2,9 ± 0,9	2,6 ± 0,8	1,0	0,1	0,4	0,0
11	3,0 ± 0,9	3,0 ± 0,9	1,5	1,2	0,6	0,5
11	2,4 ± 0,5	2,5 ± 0,5	-0,6	-0,2	-0,4	-0,1
12	2,8 ± 0,3	2,9 ± 0,4	0,8	1,0	0,7	0,9
14	2,6 ± 0,2	2,6 ± 0,2	0,1	0,2	0,3	0,3
15	2,3 ± 0,2	2,3 ± 0,2	-0,7	-0,7	-1,0	-1,0
17	2,8 ± 0,4	2,8 ± 0,4	0,7	0,8	0,6	0,7
18	2,6 ± 0,4	2,6 ± 0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
19	2,5 ± 0,4	2,2 ± 0,4	-0,2	-0,9	-0,2	-0,8
24	2,3 ± 0,2	2,3 ± 0,2	-0,6	-0,7	-1,0	-1,1
26	2,2 ± 0,2	2,3 ± 0,2	-0,8	-0,8	-1,2	-1,1
29	2,7 ± 0,3	2,8 ± 0,3	0,5	0,7	0,6	0,8
31	2,8 ± 0,5	2,6 ± 0,5	0,8	0,3	0,5	0,2
32	2,2 ± 0,4	2,4 ± 0,4	-1,0	-0,4	-0,8	-0,3
33	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4
34	2,6 ± 0,3	2,6 ± 0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
34	3,5 ± 0,4	3,0 ± 0,4	2,8	1,3	2,2	1,1
40	2,0 ± 0,4	2,1 ± 0,4	-1,6	-1,3	-1,3	-1,1
42	2,2 ± 0,2	2,3 ± 0,3	-1,1	-0,6	-2,0	-0,8
44	3,2 ± 0,3	2,5 ± 0,2	1,9	-0,2	1,9	-0,2
45	2,5 ± 0,4	-	-0,2	-	-0,2	-

Sr - 90						
$x_{pt} = 2,54 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,34 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,05 \text{ Bq/l}$						
Labor- code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
46	3,1 ± 0,3	2,7 ± 0,3	1,5	0,6	1,6	0,7
49	2,4 ± 0,2	2,4 ± 0,2	-0,5	-0,4	-0,6	-0,5
52	2,4 ± 0,0	2,4 ± 0,0	-0,3	-0,5	-1,6	-3,0
52	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,4	-0,9	-1,0	-0,7	-0,7
55	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,1	-1,0	-0,7	-3,0	-2,1
58	3,2 ± 0,3	3,2 ± 0,3	2,0	1,9	2,2	2,1
59	2,3 ± 0,3	2,0 ± 0,3	-0,7	-1,6	-0,8	-1,8
61	2,6 ± 0,3	2,5 ± 0,3	0,3	-0,2	0,4	-0,2
61	2,6 ± 0,2	2,6 ± 0,2	0,1	0,3	0,1	0,4
63	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,2	-1,3	-1,3	-1,8	-1,8
64	3,1 ± 0,3	3,7 ± 0,4	1,7	3,4	1,8	3,0

Tabelle A.9: Messwerte und Bewertungen Sr - 90

A.3. Zertifikate der verwendeten Standards

		
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Nationales Metrologieinstitut		
		
	Kalibrierschein <i>Calibration Certificate</i>	
Gegenstand: <i>Object:</i>	Aktivitätsnormal <i>Activity standard</i>	
Hersteller: <i>Manufacturer:</i>	Physikalisch-Technische Bundesanstalt Fachbereich 6.1	
Typ: <i>Type:</i>	Wässrige Lösung in Glasampulle (AM05) <i>Aqueous solution in glass ampoule (AM05)</i>	
Kennnummer: <i>Serial No.:</i>	2018-1503	
Auftraggeber: <i>Customer:</i>	Bundesamt für Strahlenschutz - Radioökologie - Ingolstädter Landstraße 1 85764 Oberschleißheim	
Anzahl der Seiten: <i>Number of pages:</i>	4	
Geschäftszeichen: <i>Reference No.:</i>	PTB-6.11-300/29.2021	
Kalibrierzeichen: <i>Calibration mark:</i>	PTB-6.11-2018-1503	
Ort der Kalibrierung: <i>Location of calibration:</i>	PTB Braunschweig	
Datum der Kalibrierung: <i>Date of calibration:</i>	12.04.2021	
Im Auftrag <i>On behalf of PTB</i>	Braunschweig, 12.04.2021	Im Auftrag <i>On behalf of PTB</i>
	Siegel <i>Seal</i>	
Dr. O. Nähle		S. Hennig
<small>Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die kalibrierten Gegenstände. <i>Calibration Certificates without signature and seal are not valid. This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt. The presented results relate only to the items calibrated.</i></small>		

Gegenstand:
Object: Aktivitätsnormal
Activity standard

Typ:
Type: Wässrige Lösung in Glasampulle (AM05)
Aqueous solution in glass ampoule (AM05)

Kennnummer:
Serial No.: 2018-1503

Radionuklid:
Radionuclide: Cobalt-60
Cobalt-60

Chemische Zusammensetzung
der wässrigen Lösung:
Chemical composition of the
aqueous solution: HCl 0,1 mol/L
CoCl₂ 50 mg/L

Kalibrierverfahren:
Method of calibration:

Die Lösung wurde durch definierte Mischung einer Ausgangslösung bekannter spezifischer Aktivität mit einem Verdünnungsmittel hergestellt. Die spezifische Aktivität der verwendeten Ausgangslösung wurde durch Messung der Photonenstrahlung mit einer 4 π -Ionisationskammer bestimmt. Die 4 π -Ionisationskammer ist eine Sekundärnormal-Messeinrichtung, kalibriert mit Aktivitätsnormalen der PTB.

Die spezifische Aktivität dieses Aktivitätsnormals ergibt sich aus der spezifischen Aktivität und der Lösungsmasse der verwendeten Ausgangslösung und der Gesamtmasse der durch Mischung hergestellten Lösung.

Die Aktivität dieses Aktivitätsnormals ergibt sich aus dessen spezifischer Aktivität und Lösungsmasse.

Die Lösungsmassen wurden durch Wägung bestimmt.

The solution was prepared by a defined mixture of a parent solution of known specific activity (activity divided by mass of solution) and a carrier solution. The specific activity of the parent solution was determined by measuring its photon radiation with a 4 π ionization chamber. The 4 π ionization chamber is a secondary-standard measuring system calibrated by means of activity standards of PTB.

The specific activity of this activity standard follows from the specific activity and the mass of the applied parent solution and the total mass of the mixed solution.

The activity of this activity standard follows from its specific activity and the mass of the solution.

The masses of the solutions were determined by weighing.

Lösungsmasse:
Mass of solution:

$m = (2,0338 \pm 0,0017) \text{ g}$

Spezifische Aktivität:
Specific activity:

$a = (3,06 \pm 0,03) \text{ kBq/g}$

Bezugszeitpunkt:
Reference date:

1. März 2021, 00:00 Uhr MEZ
00:00 CET on 1 March 2021



This calibration certificate is written in German. In case of any conflict between the German language version and the English translation of it, the German version shall prevail.

PTB | Physikalisch-Technische Bundesanstalt | Nationales Metrologieinstitut

Abbildung A.1: Co - 60 Zertifikat

Kalibrierschein / Calibration Certificate

erstellt durch das Kalibrierlaboratorium
as issued by the calibration laboratory



Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH
Gieselweg 1
38110 Braunschweig

Tel +49 5307 932-0
Fax +49 5307 932-293
E-Mail infostrak@ezag.com

Seriennr. / Serial No. **BD-8061**

Kalibrierzeichen
Calibration mark

037847
D-K- 15203-01-00
2022-09

Gegenstand Object	Referenz-Lösung	<p>Dieser Kalibrierschein dokumentiert die metrologische Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).</p> <p>Die DAKKS ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.</p> <p>Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.</p> <p><i>This calibration certificate documents the metrological traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The DAKKS is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.</i></p> <p><i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i></p>
Hersteller Manufacturer	Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH Gieselweg 1 38110 Braunschweig	
Typ Type	IBYB2495-OCE	
Seriennr. Serial No.	BD-8061	
Auftraggeber Customer	Max Rubner-Institut (MRI) Bundesinstitut für Ernährung und Lebensmittel Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch Hermann-Weigmann-Straße 1 24103 Kiel Deutschland	
Auftragsnummer Order No.	CO-0185896	
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines Number of pages of the certificate	2	
Datum der Kalibrierung Date of calibration	15. September 2022	

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine sind bei Nennung des für die Freigabe Verantwortlichen in Klarschrift auch ohne Unterschrift gültig.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates with the full name of the approval responsible person are valid without signature.

Datum der Ausstellung
Date of issue

Freigabe des Kalibrierscheins durch
Approval of the calibration certificate by

14. September 2022 Florian Lovis

Seite 2
Page

037847
D-K- 15203-01-00
2022-09

Referenz-Lösung

Serien-Nr.	BD-8061
Zeichnung	VZ-1725-001
Form	offen
Volumen der Lösung	circa 2 ml
Nuklid	Iod-131
Aktivität	9,76 MBq
Relative Messunsicherheit*	3 %
Referenzdatum	15. September 2022 um 12:00 UTC
Radioaktive Verunreinigungen	keine Nachgewiesen
Kalibrierstandard	NIST 2174-13
Messmethode	Die Messung erfolgte an einer kalibrierten 4 π -Ionisationskammer.
Umgebungsbedingungen	Temperatur: 21 °C \pm 5 °C, Luftfeuchte: 45 % rF \pm 20 % rF
Ende des Kalibrierscheins	

Nicht akkreditierte Zusatzinformationen

Chem./phys. Form	Das I-131 liegt als Natriumiodid in 0,05N NaOH-Lösung in einem 10 ml Injektionsfläschchen vor.
Kontaminationsprüfung*	Wischtest nach ISO 9978.
Wischtest bestanden am	13. September 2022
Ihre Bestellung	991-03730-19 01559/22-1 MF Ober
Bemerkung	---
* siehe A4_01_01_D1	

Abbildung A.2: I- 131 Zertifikat



Eckert & Ziegler

Isotope Products

24937 Avenue Tibbitts
Valencia, California 91355

Tel 661•309•1010
Fax 661•257•8303

BB 300

NOMINAL LIQUID SOURCE DATA SHEET

Customer: Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH

Date: 25-Jul-13

P.O. Number: P701013

Catalog No.: 6133

Quantity: 1

Source No.	Nuclide	Activity	Spec. Act.	Ref. Date	Conc.
1686-64-1	Ba-133	270 μ Ci 10 MBq	8.04 Ci / g	15-Aug-13	10 MBq / mL

Volume: 1 mL

Chemical Form: BaCl₂ in 0.1M HCl

Radionuclidic Purity: > 99%

Carrier: None added

Leak Test Information is on the reverse side.

Impurities: None detected

Remarks: 1 mL V-vial

Precaution: This container must not be opened until adequate health and safety measures are taken (such as placed in a hood, glove box, cell) to protect the user from excessive exposure to the body as a result of radiation and/or contamination. This material has not been sterilized or tested for pyrogenicity. For laboratory or manufacturing use only.

Lab Book-Page: 1686-64

David Gragji 5-Aug-13
Signature, Date

ISO 9001 CERTIFIED

Medical Imaging Laboratory

24937 Avenue Tibbitts Valencia, California 91355

Industrial Gauging Laboratory

1800 North Keystone Street Burbank, California 91504

Abbildung A.3: Ba - 133 Zertifikat



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut



Kalibrierschein

Calibration Certificate

Gegenstand: Object:	Aktivitätsnormal <i>Activity standard</i>
Hersteller: Manufacturer:	Physikalisch-Technische Bundesanstalt Fachbereich 6.1
Typ: Type:	Wässrige Lösung in Glasampulle (AM05) <i>Aqueous solution in glass ampoule (AM05)</i>
Kennnummer: Serial No.:	2014-1616
Auftraggeber: Customer:	Bundesamt für Strahlenschutz - Radioökologie - Ingolstädter Landstraße 1 85764 Oberschleißheim
Anzahl der Seiten: Number of pages:	4
Geschäftszeichen: Reference No.:	PTB-6.11-300/29.2021
Kalibrierzeichen: Calibration mark:	PTB-6.11-2014-1616
Ort der Kalibrierung: Location of calibration:	PTB Braunschweig
Datum der Kalibrierung: Date of calibration:	12.04.2021

Im Auftrag
On behalf of PTB

Dr. O. Nähle

Braunschweig, 12.04.2021

Siegel
Seal



Im Auftrag
On behalf of PTB

S. Hennig

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die kalibrierten Gegenstände.

- Calibration Certificates without signature and seal are not valid. This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt. The presented results relate only to the items calibrated.

Gegenstand: Aktivitätsnormal
Object: Activity standard

Typ: Wässrige Lösung in Glasampulle (AM05)
Type: Aqueous solution in glass ampoule (AM05)

Kennnummer: 2014-1616
Serial No.:

Radionuklid: Caesium-134
Radionuclide: Caesium-134

Chemische Zusammensetzung der wässrigen Lösung: HCl 0,1 mol/L
Chemical composition of the aqueous solution: CsCl 50 mg/L

Kalibrierverfahren: Die Lösung wurde durch definierte Mischung einer Ausgangslösung bekannter spezifischer Aktivität mit einem Verdünnungsmittel hergestellt. Die spezifische Aktivität der verwendeten Ausgangslösung wurde durch Messung der Photonenstrahlung mit einer 4π -Ionisationskammer bestimmt. Die 4π -Ionisationskammer ist eine Sekundärnormal-Messeinrichtung, kalibriert mit Aktivitätsnormalen der PTB.
Method of calibration:

Die spezifische Aktivität dieses Aktivitätsnormalen ergibt sich aus der spezifischen Aktivität und der Lösungsmasse der verwendeten Ausgangslösung und der Gesamtmasse der durch Mischung hergestellten Lösung.

Die Aktivität dieses Aktivitätsnormalen ergibt sich aus dessen spezifischer Aktivität und Lösungsmasse.

Die Lösungsmassen wurden durch Wägung bestimmt.

The solution was prepared by a defined mixture of a parent solution of known specific activity (activity divided by mass of solution) and a carrier solution. The specific activity of the parent solution was determined by measuring its photon radiation with a 4π ionization chamber. The 4π ionization chamber is a secondary-standard measuring system calibrated by means of activity standards of PTB.

The specific activity of this activity standard follows from the specific activity and the mass of the applied parent solution and the total mass of the mixed solution.

The activity of this activity standard follows from its specific activity and the mass of the solution.

The masses of the solutions were determined by weighing.

Lösungsmasse: $m = (2,0022 \pm 0,0017) \text{ g}$
Mass of solution:

Spezifische Aktivität: $a = (12,64 \pm 0,13) \text{ kBq/g}$
Specific activity:

Bezugszeitpunkt: 1. März 2021, 00:00 Uhr MEZ
Reference date: 00:00 CET on 1 March 2021



This calibration certificate is written in German. In case of any conflict between the German language version and the English translation of it, the German version shall prevail.

Abbildung A.4: Cs - 134 Zertifikat

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin



Kalibrierschein Calibration certificate

Gegenstand: Aktivitätsnormal
Object: Activity standard

Hersteller: Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Manufacturer: Fachlaboratorium 6.11

Typ: Wässrige Lösung in Glasampulle
Type: Aqueous solution in glass ampoule

Kenn-Nummer: 2000-1362
Serial number:

Auftraggeber: Bundesanstalt für Milchforschung
Applicant: Hermann-Weigmann-Straße 1
24103 Kiel

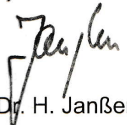
Anzahl der Seiten: 3
Number of pages:

Geschäftszeichen: PTB-6.11-PTB-6.11-213/18.2001
Reference number:

Kalibrierzeichen: PTB-6.11-2000-1362
Calibration mark:

Datum der Kalibrierung: 10.10.2001
Date of calibration:


Im Auftrag Braunschweig, 10.10.2001
By order


Dr. H. Janßen

Siegel
Seal



Bearbeiter:
Examiner:


Dr. R. Dersch

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.
Calibration certificates without signature and seal are not valid. This calibration certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Seite 2 zum Kalibrierschein vom 10.10.2001, Kalibrierzeichen: PTB-6.11-2000-1362
 Page 2 of calibration certificate of 10.10.2001, calibration mark: PTB-6.11-2000-1362

Gegenstand: <i>Object</i>	Aktivitätsnormal <i>Activity standard</i>
Typ: <i>Type</i>	Wässrige Lösung in Glasampulle <i>Aqueous solution in glass ampoule</i>
Kenn-Nummer: <i>Serial number</i>	2000-1362
Radionuklid: <i>Radionuclide</i>	Caesium-137 <i>Caesium-137</i>
Chemische Zusammensetzung der wässrigen Lösung: <i>Chemical composition of the aqueous solution</i>	HCl 0,1 mol/L CsCl 50 mg/L
Kalibrierverfahren: <i>Method of calibration</i>	Die spezifische Aktivität der Lösung wurde durch Messung der Gammastrahlung mit einer 4 π -Ionisa- tionskammer bestimmt. Die 4 π -Ionisationskammer ist eine Sekundärnormal-Messeinrichtung, kalibriert mit Aktivitätsnormalen der PTB. <i>The activity per unit mass of the solution (specific activity) was determined by measuring the photon radiation with a 4π-ionization chamber. The 4π-ionization chamber is a secondary-standard measuring system calibrated by activity standards from primary standardization of the PTB.</i>
Lösungsmasse: <i>Mass of solution</i>	$m = (2,0498 \pm 0,0017) \text{ g}$
Spezifische Aktivität: <i>Specific activity</i>	$a = (461 \pm 5) \text{ kBq/g}$
Bezugszeitpunkt: <i>Reference date</i>	01.10.2001, 00:00 Uhr MEZ <i>00:00 CET on 1. October 2001</i>
Messunsicherheit: <i>Uncertainty of measurement</i>	Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multi- plikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Sie wurde gemäß dem "Guide to the Expression of <i>Uncertainty in Measurement</i> " (ISO, 1995) ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt im Regelfall mit einer Wahrscheinlichkeit von annähernd 95 % im zugeord- neten Werteintervall. <i>The uncertainty stated is the expanded uncertainty obtained by multiplying the standard uncertainty by the coverage factor $k=2$. It has been determined in accordance with the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (ISO, 1995). Normally, the value of the measurand lies within the assigned range of values with a coverage probability of approximately 95%.</i>

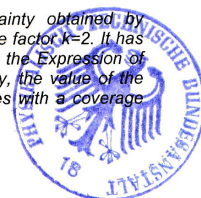


Abbildung A.5: Cs - 137 Zertifikat



Czech Metrology Institute

Okružní 31, 638 00 Brno, Czech Republic
phone +420 545 555 111
www.cmi.cz

33337

Workplace: Regional Inspectorate Prague, Radiová 1136/3, 102 00 Praha 10
Department of Radionuclide Standards Production, Radiová 1288/1a
phone +420 266 020 460

CERTIFICATE
of the measurement standard of activity

Certificate No.: 1035-SE-40836-21 **Type:** ER 25 **Serial No.:** 221121-1842007

Radionuclide: Sr-89 **Half life:** 50,57 (3) days

Specific activity: 105,7 (6) kBq /g **Mass:** 5,003 (1) g

Activity: 528,6 (32) kBq

Radionuclide impurities: Sr-85 0,40 (12) kBq

Reference date: 21.12.2021

Description:

The measurement standard is in the form of a radioactive solution in a 5 ml glass ampoule.
The activity of the measurement standard is calculated from the mass and specific activity of the standardized solution.

Metrological traceability:

The declared activity is traceable to the Czech National Standard of Activity of Radionuclides (ECM 440-1/97-002).

Chemical composition:

Carrier solution consists of 20 mg SrCl₂/l + 3 g HCl/l in distilled water.

Note:

-

Date of the certificate issue: 3.12.2021

Certificate validity period: 1 year

Customer:

MRI Max Rubner - Institut
Hermann-Weigmann-Str. 1
24103 Kiel
Germany

Checked by: *R. Obrazová*
Renata Obrazová



Sochor
Vladimír Sochor
Deputy Director of RI Prague

Abbildung A.6: Sr - 89 Zertifikat



Kalibrierschein
Calibration Certificate

Gegenstand: Aktivitätsnormal
Object: Activity standard

Hersteller: Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Manufacturer: Fachbereich 6.1

Typ: Wässrige Lösung in Glasampulle (AM)
Type: Aqueous solution in glass ampoule (AM)

Kenn-Nummer: 2005-1705
Serial No.:

Auftraggeber: MRI
Applicant: Max Rubner-Institut
Hermann-Weigmann-Straße 1
24103 Kiel

Anzahl der Seiten: 4
Number of pages:

Geschäftszeichen: PTB-6.11-273/25.2014
Reference No.:

Kalibrierzeichen: PTB-6.11-2005-1705
Calibration mark:

Datum der Kalibrierung: 19.08.2014
Date of calibration:

Im Auftrag Braunschweig, 19.08.2014
On behalf of PTB

Dr. K. Kossert

Siegel
Seal



Im Auftrag
On behalf of PTB

M. Ehlers

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.
Calibration certificates without signature and seal are not valid. This calibration certificate may not be reproduced other than in full.
Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



Seite 2 zum Kalibrierschein vom 19.08.2014, Kalibrierzeichen: PTB-6.11-2005-1705
Page 2 of calibration certificate of 19.08.2014, calibration mark: PTB-6.11-2005-1705

Gegenstand: Aktivitätsnormal
Object: Activity standard

Typ: Wässrige Lösung in Glasampulle (AM)
Type: Aqueous solution in glass ampoule (AM)

Kenn-Nummer: 2005-1705
Serial number:

Radionuklid: Strontium-90
Radionuclide: Strontium-90

Chemische Zusammensetzung der wässrigen Lösung:
Chemical composition of the aqueous solution:

HCl	0,1 mol/L
SrCl ₂	30 mg/L
YCl ₃	30 mg/L

Kalibrierverfahren:
Method of calibration:

Die Lösung wurde durch definierte Mischung einer Ausgangslösung bekannter spezifischer Aktivität mit einem Verdünnungsmittel hergestellt. Die spezifische Aktivität der verwendeten Ausgangslösung wurde mit einem Flüssigszintillations-Spektrometer nach der CIEMAT/NIST-Methode mit H-3 als Tracer bestimmt. Das Messverfahren wurde in *Metrologia 44 (2007), S36-S52* beschrieben.

Die spezifische Aktivität dieses Aktivitätsnormals ergibt sich aus der spezifischen Aktivität und der Lösungsmasse der verwendeten Ausgangslösung und der Gesamtmasse der durch Mischung hergestellten Lösung.

Die Aktivität dieses Aktivitätsnormals ergibt sich aus dessen spezifischer Aktivität und Lösungsmasse.

Die Lösungsmassen wurden durch Wägung bestimmt.

The solution was prepared by a defined mixture of a parent solution of known specific activity (activity divided by mass of solution) and a carrier solution. The specific activity of the parent solution was determined by means of a liquid scintillation spectrometer by the CIEMAT/NIST method, using H-3 as tracer. The measurement procedure was described in Metrologia 44 (2007), S36-S52.

The specific activity of this activity standard follows from the specific activity and the mass of the applied parent solution and the total mass of the mixed solution.

The activity of this activity standard follows from its specific activity and the mass of the solution.

The masses of the solution were determined by weighing.



This calibration certificate is written in German. In case of any conflict between the German language version and the English translation of it, the German version shall prevail.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



Seite 3 zum Kalibrierschein vom 19.08.2014, Kalibrierzeichen: PTB-6.11-2005-1705
Page 3 of calibration certificate of 19.08.2014, calibration mark: PTB-6.11-2005-1705

Lösungsmasse: $m = (2,0253 \pm 0,0017) \text{ g}$
Mass of solution:

Spezifische Aktivität: $a = (337 \pm 5) \text{ kBq/g}$
Specific activity:

Bezugszeitpunkt: 1. August 2014, 00:00 Uhr MEZ
Reference date: 00:00 CET on 1 August 2014

Messunsicherheit:
Uncertainty of measurement:

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Sie wurde gemäß dem „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)“ ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt dann im Regelfall mit einer Wahrscheinlichkeit von annähernd 95 % im zugeordneten Überdeckungsintervall.

The uncertainty stated is the expanded measurement uncertainty obtained by multiplying the standard measurement uncertainty by the coverage factor $k = 2$. It has been determined in accordance with the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)". The value of the measurand then normally lies, with a probability of approximately 95 %, within the attributed coverage interval.

Bemerkung:
Remark:

Die spezifische Aktivität bezieht sich allein auf Sr-90. Y-90 befindet sich im radioaktiven Gleichgewicht mit Sr-90.

The activity divided by mass (specific activity) refers to Sr-90 only. Y-90 is in radioactive equilibrium with Sr-90.



This calibration certificate is written in German. In case of any conflict between the German language version and the English translation of it, the German version shall prevail.

Abbildung A.7: Sr - 90 Zertifikat

Literaturverzeichnis

- [1] *Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung: StrlSchG.* Juni 2017. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/strlschg/>.
- [2] Bundesministerium für Umwelt. *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS).* Jan. 2006. URL: http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_13122006_RSII5114349.htm.
- [3] *DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05: Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen.* Techn. Ber. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Mai 2010. DOI: 10.31030/1558950.
- [4] *DIN ISO 13528:2020-09: Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO_13528:2015, korrigierte Fassung 2016-10-15); Text Deutsch und Englisch.* Techn. Ber. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Sep. 2020. DOI: 10.31030/3116750.
- [5] *Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung: StrlSchV.* Nov. 2018. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2018/.
- [6] *Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI).* Techn. Ber. Dez. 2015.
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. *Messanleitungen zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt.* Juni 2022. URL: <https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/ionisierende-strahlung/ueberwachung-der-radioaktivitaet-in-der-umwelt/messanleitungen/>.
- [8] Florian Ober, Gerhard Haase und Thomas Vagt. *Ringversuch Milch 2020: Abschlussbericht der Leitstelle für die Überwachung der Umweltradioaktivität.* Techn. Ber. MRI, 2021. URL: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00068129.
- [9] Joint Committee for Guides in Metrology. *Guide to the expression of uncertainty in measurement: JCGM 100:2008.* Techn. Ber. International Bureau of Weights and Measures, Jan. 2008. URL: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>.
- [10] Joint Committee for Guides in Metrology. *Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the GUM: JCGM 101:2008.* Techn. Ber. International Bureau of Weights and Measures, Jan. 2008. URL: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>.
- [11] Joint Committee for Guides in Metrology. *Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the GUM: JCGM 102:2011.* Techn. Ber. International Bureau of Weights and Measures, Jan. 2011. URL: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>.

- [12] DIN ISO 11929-1:2021-11: *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung - Grundlagen und Anwendungen - Teil 1: Elementare Anwendungen*. Techn. Ber. DIN ISO. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Nov. 2021, S. 53. URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-11929-1/337873649>.
- [13] Mirion und Mirion. *Genie™ 2000: Gamma Analysis Software*. Okt. 2020. URL: <https://www.mirion.com/products/genie-2000-gamma-analysis-software>.
- [14] Günter Kanisch. *UncertRadio: Software zur Berechnung charakteristischer Grenzen nach ISO 11929 für Messungen der Aktivität*. Feb. 2022. URL: <https://www.thuenen.de/de/fi/arbeitsbereiche/meeresumwelt/leitstelle-umweltradioaktivitaet-in-fisch/uncertradio/>.
- [15] Ralph B. D'Agostino. „An Omnibus Test of Normality for Moderate and Large Size Samples“. In: *Biometrika* 58.2 (Jan. 1971), S. 341. ISSN: 00063444. DOI: 10.2307/2334522.
- [16] Ralph D'Agostino und E. S. Pearson. „Tests for Departure from Normality. Empirical Results for the Distributions of b^2 and $\sqrt{b^2 - 1}$ “. In: *Biometrika* 60.3 (Jan. 1973), S. 613. ISSN: 00063444. DOI: 10.2307/2335012.
- [17] S. S. Shapiro und M. B. Wilk. „An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)“. In: *Biometrika* 52.3/4 (Jan. 1965), S. 591. ISSN: 00063444. DOI: 10.2307/2333709.
- [18] M. A. Stephens. „EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons“. In: *Journal of the American Statistical Association* 69.347 (Jan. 1974), S. 730–737. ISSN: 0162-1459. DOI: 10.1080/01621459.1974.10480196.
- [19] DIN ISO 5725-2:2002-12: *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen Teil_2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens (ISO_5725-2:1994 einschließlich Technisches Korrigendum_1:2002)*. Techn. Ber. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Dez. 2002. DOI: 10.31030/9264532.

Max Rubner-Institut
Bundeskundungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel

Adresse Haid- und -Neu-Straße 9, 76131 Karlsruhe
Telefon +49 (0)721 6625 201
Fax +49 (0)721 6625 111
E-Mail praesident@mri.bund.de
Internet www.mri.bund.de