

Abschlussbericht

Vergleichsuntersuchung Milch 2021

Abschlussbericht

Vergleichsuntersuchung Milch 2021

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: 28. Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und allgemeine Hinweise	1
2. Organisation & Durchführung	2
3. Probenaufbereitung	3
3.1. Probenherstellung und Versand	3
3.2. Probenanalyse der Leitstelle	5
4. Auswertung	5
4.1. Prüfung der zugewiesenen Werte	10
5. Ergebnisse und Beurteilung	11
5.1. K - 40	14
5.2. Co - 60	15
5.3. I - 131	15
5.4. Ba - 133	15
5.5. Cs - 134 und Cs - 137	16
5.6. Sr - 89 und Sr - 90	18
6. Fazit und Ausblick	19
A. Anhang	28
A.1. Liste aller teilnehmenden Laboratorien	28
A.2. Übersicht über alle Messwerte und Ergebnisse	31
A.3. Zertifikate der verwendeten Standards	45
Literaturverzeichnis	59

Tabellenverzeichnis

3.1. Messwerte der Leitstelle (Kiel). In der Nullmilch sind nur das natürliche K - 40 sowie Sr - 90 nachweisbar gewesen. Die Wiederholungsmessungen sind mit einem * gekennzeichnet.	5
4.1. Übersicht über die Bewertung (ζ -Score) der Messwerte der Leitstelle. Die Wiederholungsmessungen sind mit einem * gekennzeichnet.	11
5.1. Kenngrößen Vergleichsuntersuchung Milch 2021	13
A.1. Liste der teilnehmenden Laboratorien (Reihenfolge entspricht nicht dem Laborcode)	30
A.2. Messwerte und Bewertungen K - 40	32
A.3. Messwerte und Bewertungen Co - 60	34
A.4. Messwerte und Bewertungen I - 131	36
A.5. Messwerte und Bewertungen Ba - 133	38
A.6. Messwerte und Bewertungen Cs - 134	40
A.7. Messwerte und Bewertungen Cs - 137	42

A.8. Messwerte und Bewertungen Sr - 89	43
A.9. Messwerte und Bewertungen Sr - 90	44

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	12
5.2. Verteilungen der ζ -score	12
5.3. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für K - 40	14
5.4. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Co - 60	14
5.5. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für I - 131	15
5.6. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Ba - 133	16
5.7. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 134	16
5.8. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 137	17
5.9. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 89	17
5.10. Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 90	18
6.1. S-Plot K - 40	20
6.2. S-Plot Co - 60	21
6.3. S-Plot I - 131	22
6.4. S-Plot Ba - 133	23
6.5. S-Plot Cs - 134	24
6.6. S-Plot Cs - 137	25
6.7. S-Plot Sr - 89	26
6.8. S-Plot Sr - 90	27
A.1. Co - 60 Zertifikat	46
A.2. I - 131 Zertifikat	48
A.3. Ba - 133 Zertifikat	49
A.4. Cs - 134 Zertifikat	50
A.5. Cs - 137 Zertifikat	52
A.6. Sr - 89 Zertifikat	55
A.7. Sr - 90 Zertifikat	58

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 trotz der Covid-19-Pandemie insgesamt 71 nationale und internationale Laboratorien teil. In diesem Jahr waren die Aktivitätskonzentrationen der Gamma-Strahler K-40, I-131, Ba-133, Cs-134 und Cs-137 sowie der reinen Beta-Strahler Sr-89 und Sr-90 zu bestimmen. Die von den 71 nationalen und internationalen 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, 71 national and international laboratories have participated in the proficiency test. The task in this year's competition was the measurement and determination of the activities 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. 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 allgemeine Hinweise

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.

Zur Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] in Verbindung mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem (AVV-IMIS) [2] führt die Leitstelle am MRI regelmäßig Vergleichsmessungen für die Messstellen der Bundesländer durch. Diese 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 ggf. 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 werden neue Messmethoden entwickelt und ggf. in Form von offiziellen Messanleitungen [7] etabliert.

Seit 1977 wurden von der Leitstelle insgesamt 28 Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Historisch bedingt war am Standort Kiel das Umweltmedium Milch schon immer von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund wurden bereits 19 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.

Im Rahmen der diesjährigen Vergleichsuntersuchungen wurde der Messumfang und die Messaufgabe im Vergleich zum Vorjahr etwas reduziert und vereinfacht. Es sollten die Aktivitätskonzentrationen der Gamma-Strahler K-40, Co-60, I-131, Ba-133, Cs-134, Cs-137, sowie die Aktivitätskonzentrationen der Beta-Strahler Sr-89 und Sr-90 in Rohmilch bestimmt werden. Dazu sollten jeweils **zwei unabhängige** Messungen (Gamma-

Strahler) und Analysen (Beta-Strahler) je Isotop durchgeführt und eingereicht werden. Den Laboren war 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.

Die Vergleichsuntersuchung zum Umweltmedium Milch wird von der Leitstelle Kiel derzeit in einem jährlichen Rhythmus durchgeführt. Dementsprechend ist sie auch wieder für das Jahr 2022 eingeplant.

2. Organisation & Durchführung

Durch die weiterhin grassierende Covid-19-Pandemie sind viele Untersuchungslabore immer noch stark in ihrer Kapazität eingeschränkt. Daher war es sehr erfreulich, dass auch in diesem Jahr das Interesse an der Vergleichsuntersuchung zum Umweltmedium Rohmilch sehr hoch war.

Mit dem Anschreiben vom 29.06.2021 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 31.07.2020 zugeschickt worden. Die Anzahl an Rückmeldungen mit insgesamt 72 nationalen und internationalen interessierten Laboren war trotz der Pandemie erfreulicherweise auf dem Niveau der Vorjahre.

Die Milchproben wurden am 26.10.2021 am MRI in Kiel hergestellt und im Anschluss 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 ein Schreiben, in dem die Modalitäten der Vergleichsuntersuchung dargestellt waren.

Aufgrund der Erfahrungen aus den Vorjahren wurde auch in diesem Jahr die Messaufgabe wieder etwas angepasst. Es sollten jeweils zwei **unabhängige** Messungen durchgeführt werden. Auf eine Berechnung des Mittelwertes der Messwerte inkl. der zugehörigen Unsicherheit des Mittelwertes wurden in diesem Jahr verzichtet, da dies im letzten Jahr nicht einheitlich umgesetzt wurde (vgl. hierzu Abschnitt 4 im Abschlussbericht 2020 [8]) und dies insbesondere die Aussagekraft des ζ -scores negativ beeinflusst. Alle Ergebnisse der Messungen/Analysen waren der Leitstelle mittels eines Formblattes bis zum 31.11.2021 digital zurückzumelden. Den Laboratorien stand es darüber hinaus frei auch weitere Ergebnisse einzureichen, z. B. wenn aus Gründen der Qualitätssicherung mehrere Mitarbeiter die Messungen durchführen oder verschiedene (Schnell-) Methoden/Messverfahren in Ansatz gebracht werden sollten.

Wie im Vorjahr wurde darauf verzichtet einen Wert für die Dichte der zu untersuchenden Milchprobe vorzugeben, um den Laboren die Auswahl des passenden Messverfah-

rens 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 und werden in regelmäßigen Abständen gemäß den aktuellen Erkenntnissen und Forschungsergebnissen sowie den Rückmeldungen der Messstellen überarbeitet und gepflegt.

Der Rücklauf der Ergebnisse war bis zum offiziellen Abgabetermin am 31.11.2021 erfreulich hoch. Einige wenige Teilnehmende haben aufgrund der Pandemie um einen späteren Abgabetermin gebeten. Dieses wurde zugelassen. Schlussendlich haben 71 von den 72 Laboratorien, die sich im Vorfeld für die Vergleichsuntersuchung angemeldet haben, auch Ergebnisse übermittelt. Dabei wurden bis zu 105 Datensätze für die Gamma-Spektrometrie (im Fall von Cs - 134 und Cs - 137) gemeldet. 31 bzw. 39 Laboratorien teilten Messergebnisse der Beta-Strahler Sr - 89 bzw. Sr - 90 mit insgesamt 41 bzw. 49 Datensätzen mit. Dabei sei angemerkt, dass einige Laboratorien mehrere Datensätze übermittelt haben. Alle 71 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 Ansprechpartnern und Ansprechpartnerinnen des jeweiligen Laboratoriums per separater E-Mail mitgeteilt.

In diesem Jahr haben insgesamt 52 nationale sowie 19 internationale Laboratorien an der Vergleichsuntersuchung teilgenommen. Unter den nationalen Teilnehmenden waren 34 amtliche Landesmessstellen sowie eine Leitstelle des Bundes. In der beigefügten Abbildung 2.1 ist die Herkunft der einzelnen Laboratorien graphisch aufbereitet dargestellt.

3. Probenaufbereitung

3.1. Probenherstellung und Versand

Am 26.10.2021 hat das Versuchsgut des MRI in Schädtebek ca. 200 Liter Rohmilch zur Verfügung gestellt. Die Milch wurde nicht entfettet. Der Fett- und Proteingehalt war in diesem Jahr etwas höher als üblich (Fettgehalt ca. 4,5 %, Proteingehalt ca. 3,5 %).

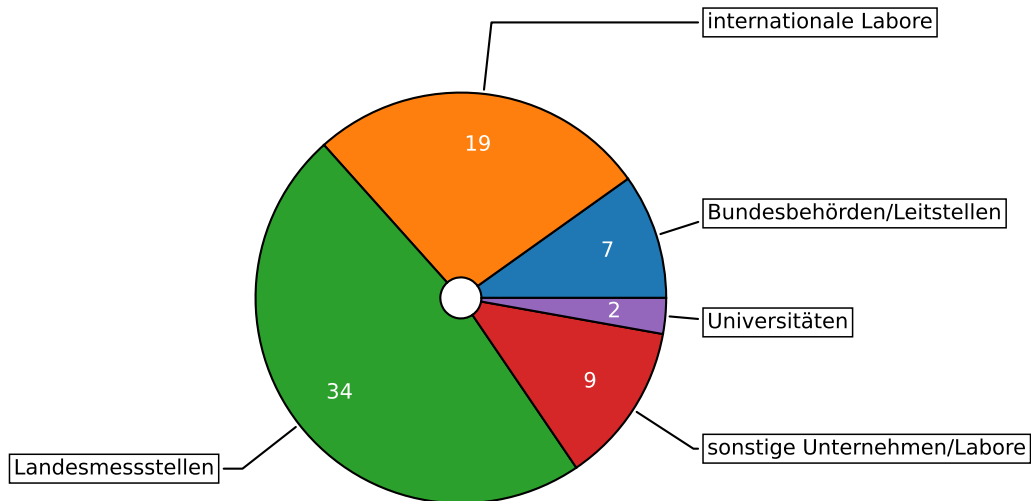


Abbildung 2.1: Herkunft der teilnehmenden Laboratorien

Um die Aufräumung des Milchfettes während des Transports und der Analysen zu reduzieren, wurde die Milch im Milchtechnikum des MRI bei ca. 36 °C zweistufig bei 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) stabil sein. In Abbildung 3.1 ist der Ablauf der Probenherstellung als schematisch dargestellt.

Am selben Tag wurden die nach der Homogenisierung noch verfügbaren ca. 180 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 mit Rührwerk vermischt. Nach einer Mischzeit von ca. einer Stunde wurden acht Milchproben aus dem Tank genommen und gamma-spektrometrisch vermessen, um die homogene Verteilung der Nuklide zu prüfen und sicherzustellen. Anschließend wurde die Milch in 120 Probenbehälter à ca. 1,25 l abgefüllt und in die vorbereiteten Postpäckchen verpackt.

Am nächsten Tag (27.10.2021) wurden die Proben zur Post gefahren und an die angemeldeten Laboratorien verschickt. Dabei haben einige Labore 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.

Die Rückmeldungen der teilnehmenden Labore zum Eingang der Proben waren sehr vielfältig. Die innerdeutschen Pakete sind zumeist nach wenigen Tagen eingegangen. Die

Nuklid	x_0 [Bq/l]	x_1 [Bq/l]	x_2 [Bq/l]	x_1^* [Bq/l]	x_2^* [Bq/l]
K - 40	49,37 ± 1,96	48,72 ± 1,93	49,25 ± 1,96	48,90 ± 1,95	49,44 ± 1,98
Co - 60	n. N.	2,82 ± 0,09	2,86 ± 0,10	2,84 ± 0,10	2,85 ± 0,1
I - 131	n. N.	341,72 ± 10,84	343,59 ± 10,90	333,69 ± 15,82	343,39 ± 15,15
Ba - 133	n. N.	4,27 ± 0,14	4,24 ± 0,14	4,13 ± 0,13	4,10 ± 0,13
Cs - 134	n. N.	5,61 ± 0,17	5,69 ± 0,18	5,55 ± 0,17	5,61 ± 0,18
Cs - 137	n. N.	7,67 ± 0,25	7,69 ± 0,25	7,65 ± 0,25	7,55 ± 0,25
Sr - 89	n. N.	15,38 ± 0,92	15,23 ± 0,96	–	–
Sr - 90	0,02 ± 0,002	4,25 ± 0,26	4,25 ± 0,27	–	–

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

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 wurde nicht an die angegebene Lieferadresse versendet und musste erst intern weitergeleitet werden. Nichtsdestotrotz ist auch kein Paket verloren gegangen, so dass schlussendlich alle Teilnehmenden ihre angemeldeten Messungen durchführen konnten.

3.2. Probenanalyse der Leitstelle

Die Leitstelle Kiel hat auch in diesem Jahr an der Vergleichsuntersuchung teilgenommen und die Proben analysiert. Die Ergebnisse der zwei Messungen 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 mit dem Erweiterungsfaktor $k = 1$ dargestellt.

Die Ergebnisse der Gamma-Nuklide sind, sofern notwendig, hinsichtlich der Summationseffekte korrigiert worden. Alle Messwerte der Leitstelle sind in der Tabelle 3.1 dargestellt. Diese werden im Folgenden als Referenzwerte (x_{ref}) bezeichnet und werden genutzt, um die Homogenität sowie deren Stabilität der Proben über den Zeitraum der Vergleichsuntersuchung abzuschätzen (siehe auch Abschnitt 4.1). Alle Messwerte sind, wie diejenigen in den nachfolgenden Ergebnistabellen und Graphiken und durch die Aufgabenstellung vorgegeben, auf den 01.11.2021 12:00 MEZ bezogen. Mitte Januar 2022 wurden die zwei Proben zur Prüfung der Stabilität erneut gamma-spektroskopisch vermessen (in Tabelle 3.1 mit einem * markiert).

4. Auswertung

Im Rahmen der Aufgaben der diesjährigen Vergleichsuntersuchung wurde gefordert, dass je zwei **unabhängige** Einzelmessungen durchzuführen sind und für jede Einzel-

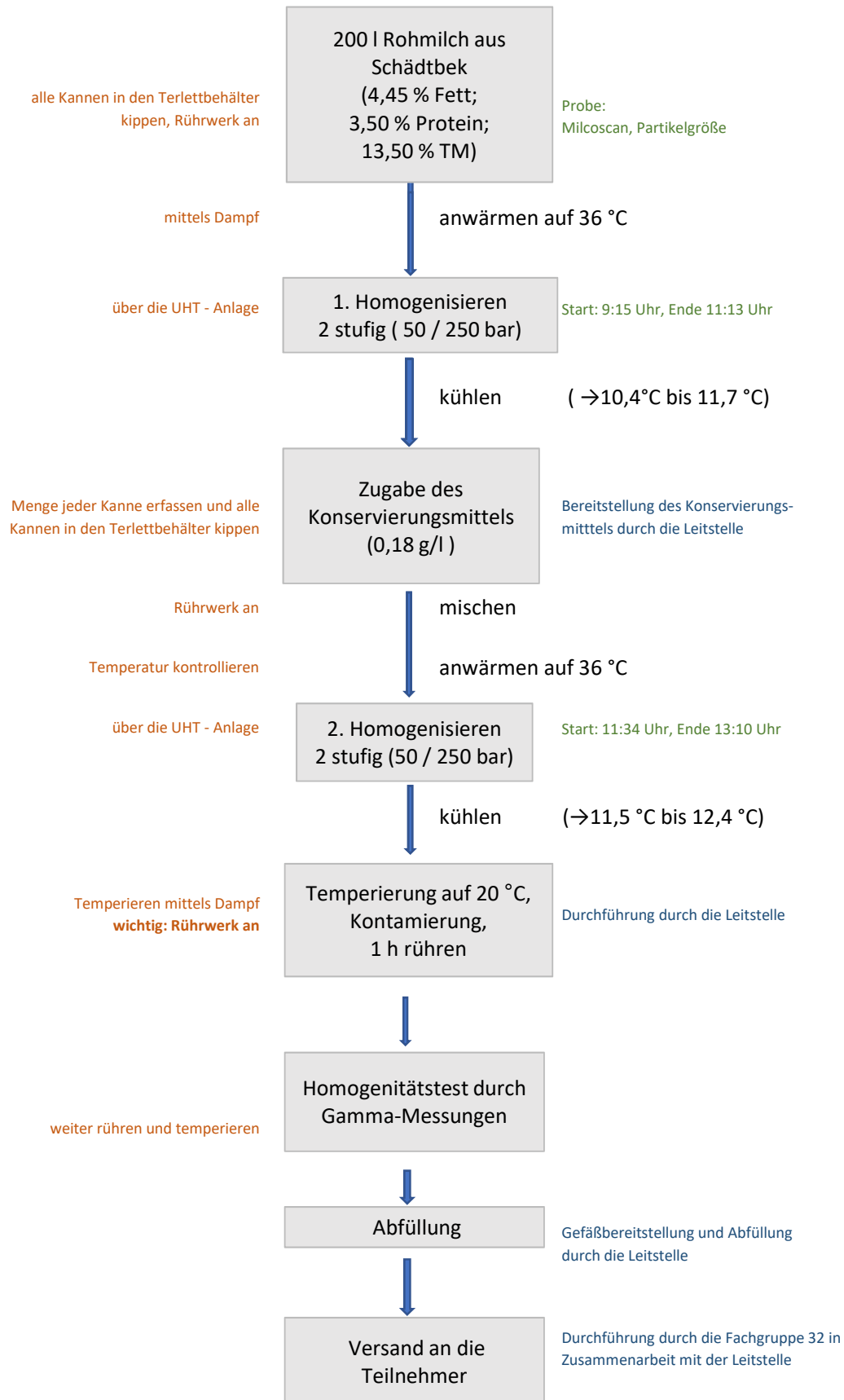


Abbildung 3.1: Ablaufdiagramm der Probenherstellung

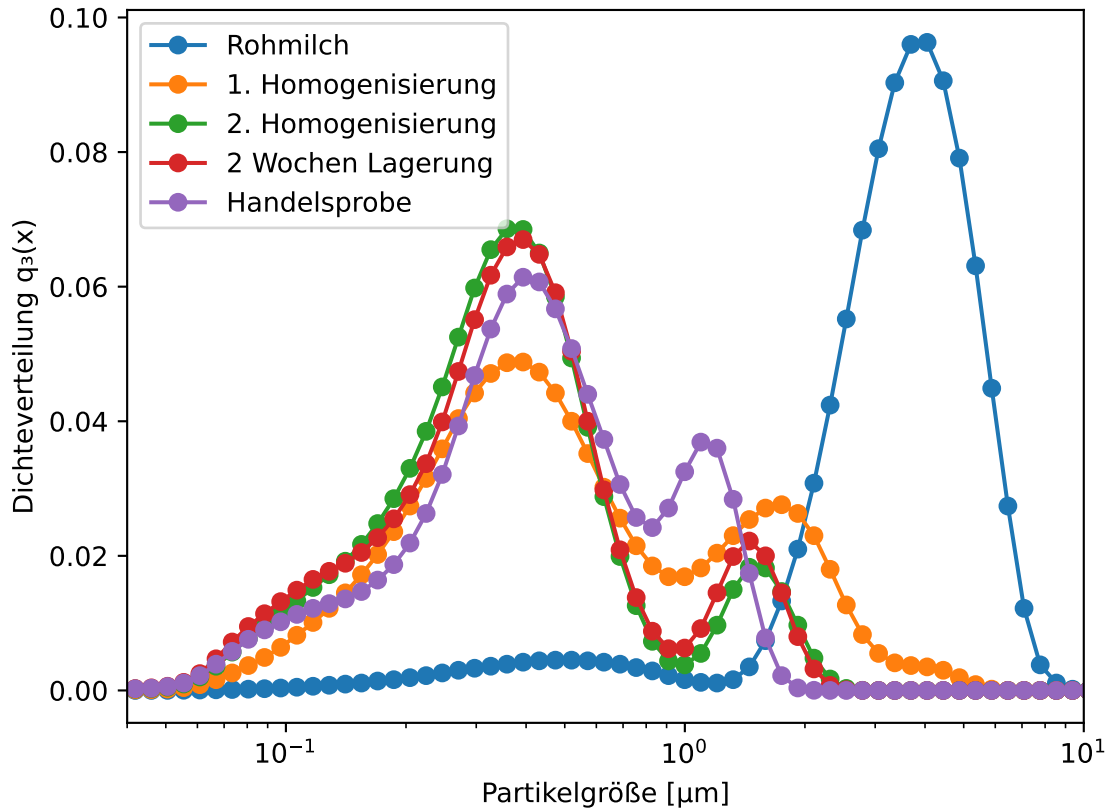


Abbildung 3.2: Ermittelte Fettkugeldurchmesser-Verteilung der Ursprungsmilch, nach den jeweils durchlaufenden Homogenisierungsstufen, nach einer Standzeit von zwei Wochen bei ca. 20 °C und einer Handelsprobe



Impressionen der Probenherstellung

messung die Gesamtunsicherheit gemäß DIN 11929 [12] bzw. GUM [9]–[11] (inkl. Typ A und Typ B-Unsicherheiten) ermittelt und angegeben werden sollte. Auf eine Bestimmung des Mittelwertes inkl. der Unsicherheit des Mittelwertes wurde für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre 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 ggf. 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]:

$$\begin{aligned} |z| \leq 2 & \text{ zufriedenstellendes Ergebnis,} \\ 2 < |z| < 3 & \text{ fragwürdiges Ergebnis,} \\ |z| \geq 3 & \text{ nicht zufriedenstellendes Ergebnis.} \end{aligned}$$

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 $u(x_{\text{pt}})$ 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:

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

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 ggf. 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 fragwürdigen oder nicht zufriedenstellenden Ergebnis in einem der Teilbereiche, die Ursache zu ermitteln und einzuordnen und ggf. Korrekturmaßnahmen (z. B. im Rahmen ihrer jeweiligen Qualitätssicherung) abzuleiten. Sollte es notwendig sein, kann die Leitstelle im Einzelfall den Laboren (insbesondere den Landesmessstellen) zu diesem Thema Hinweise geben und ggf. 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 $\pm 2 \sigma_{pt}$ und $\pm 3 \sigma_{pt}$ sowie die erweiterte Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $x_{pt} \pm U(x_{pt})$ ($k=2$) 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. Da zertifizierte Referenzwerte nicht zur Verfügung standen, hat die Leitstelle eigene Messungen der Proben durchgeführt (siehe Tabelle 3.1). Mit diesen wird nachgewiesen, dass das durch die folgende Gleichung 4.4 definierte Kriterium für jedes Isotop erfüllt ist. Beim Vergleich mit Gleichung 4.3 erkennt man, dass es sich bei diesem Kriterium um einen ζ -Score der MRI-Messwerte handelt:

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

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.

Hinweis:

Alle Berechnungen wurden mit doppelter Gleitkomma-Genauigkeit auf Basis der originalen, von den jeweiligen Laboren in einem Excel®-Formular übermittelten Daten, durchge-

Nuklid	ζ_1	ζ_2	ζ_1^*	ζ_2^*
K - 40	0,08	0,19	0,01	0,28
Co - 60	0,35	0,78	0,55	0,67
I - 131	0,44	0,61	0,20	0,43
Ba - 133	1,20	0,99	0,28	0,05
Cs - 134	1,17	1,60	0,86	1,18
Cs - 137	0,54	0,59	0,44	0,05
Sr - 89	0,52	0,64	–	–
Sr - 90	0,19	0,19	–	–

Tabelle 4.1: Übersicht über die Bewertung (ζ -Score) der Messwerte der Leitstelle. Die Wiederholungsmessungen sind mit einem * gekennzeichnet.

führt. 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 zur Planung und Durchführung von Vergleichsuntersuchungen zum Nachweis von Radioaktivität in Umweltproben, sind in diesen Diagrammen auch die Ergebnisse der 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 geringfügig besser abschneiden.

Bei den Ergebnissen der Beta-Analysen für Sr-89 und Sr-90 lässt sich 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.

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

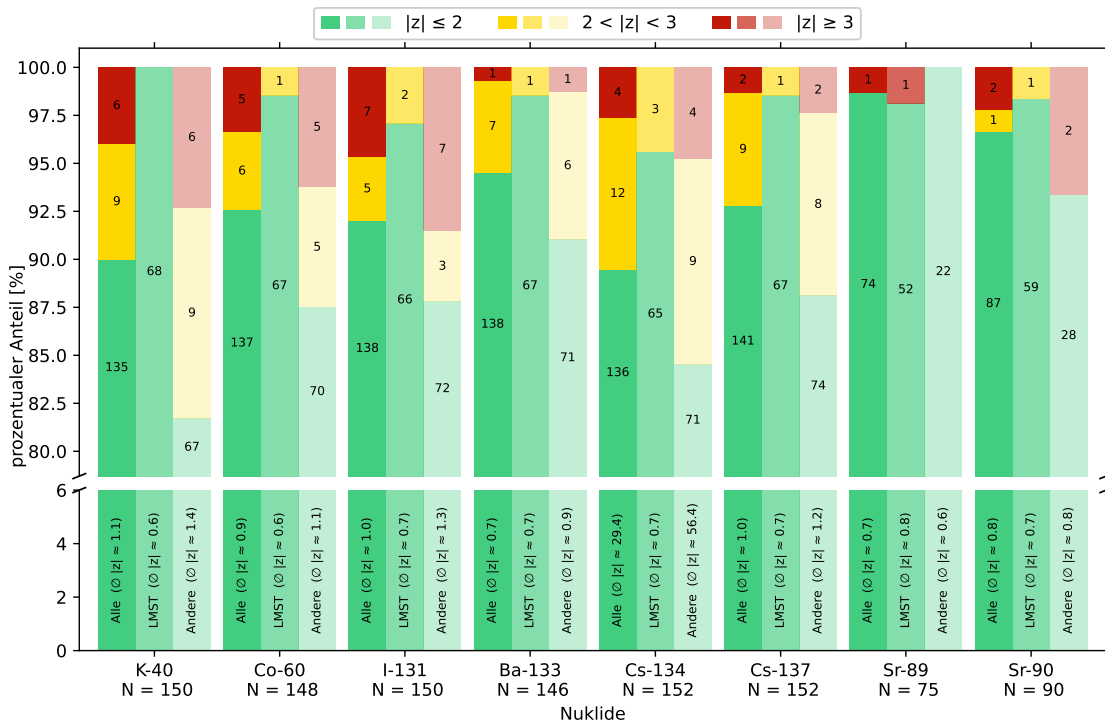


Abbildung 5.1: Verteilungen der z-score

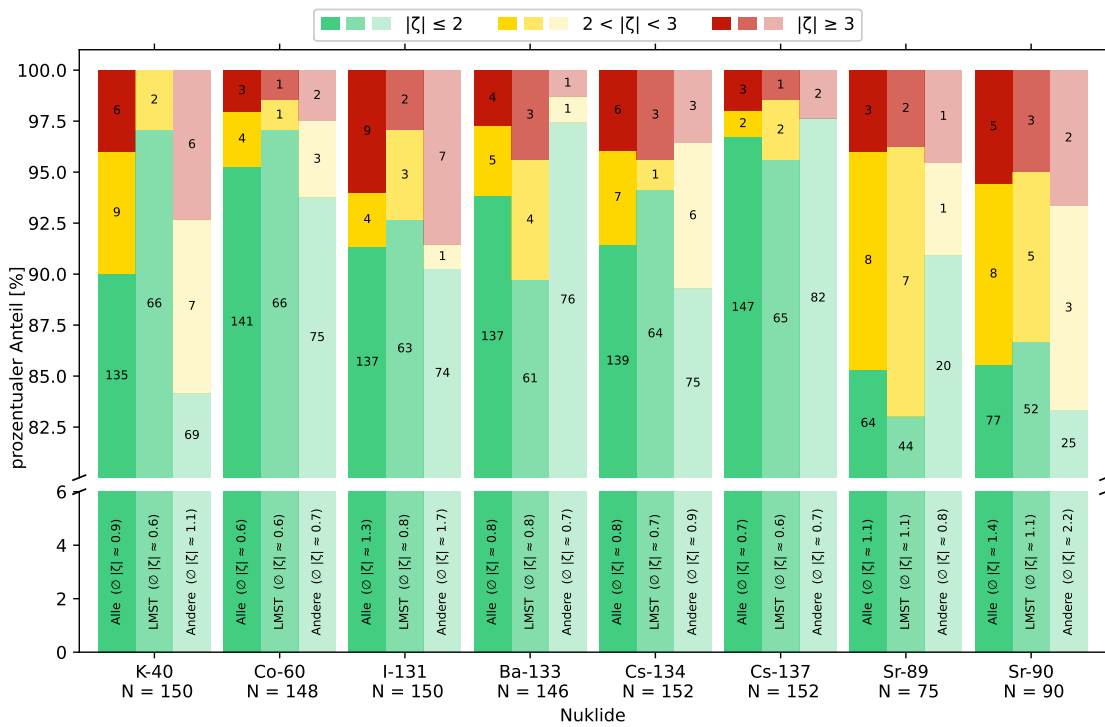


Abbildung 5.2: Verteilungen der zeta-score

Radionuklid	K-40	Co-60	I-131	Ba-133	Cs-134	Cs-137	Sr-89	Sr-90
Anzahl an Laboratorien i :	69	68	68	67	70	70	33	41
Anzahl der Datensätze p :	75	74	75	73	76	76	38	46
Anzahl der einzelnen Messwerte N :	150	148	150	146	152	152	75	90
Arithmetischer Mittelwert \bar{x} [Bq/l]:	48,61	2,77	338,64	4,10	11,89	7,48	15,98	4,33
Robuster Mittelwert \bar{x}^* [Bq/l]:	48,88	2,79	336,90	4,10	5,40	7,54	15,87	4,30
Robuste Standardabweichung s^* [Bq/l]:	2,78	0,11	12,96	0,25	0,21	0,28	1,72	0,59
zugewiesener Wert x_{pt} [Bq/l]:	48,88	2,79	336,90	4,10	5,40	7,54	15,87	4,30
Standardabweichung des zugewiesenen Wertes σ_{pt} [Bq/l]:	2,78	0,11	12,96	0,25	0,21	0,28	1,72	0,59
Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $u(x_{pt})$ [Bq/l]:	0,28	0,01	1,32	0,03	0,02	0,03	0,25	0,08
rel. Unsicherheit des zugewiesenen Wertes $u(x_{pt})$ [%]:	0,58	0,40	0,39	0,64	0,40	0,37	1,56	1,81
Minimum [Bq/l]:	2,30	1,96	225,80	3,47	4,70	2,70	13,05	3,20
Maximum [Bq/l]:	61,08	3,17	448,00	5,29	533,20	8,17	22,60	6,36
Spannweite [Bq/l]:	58,78	1,21	222,20	1,82	528,50	5,47	9,55	3,16

Tabelle 5.1: Kenngrößen Vergleichsuntersuchung Milch 2021

5.1. K-40

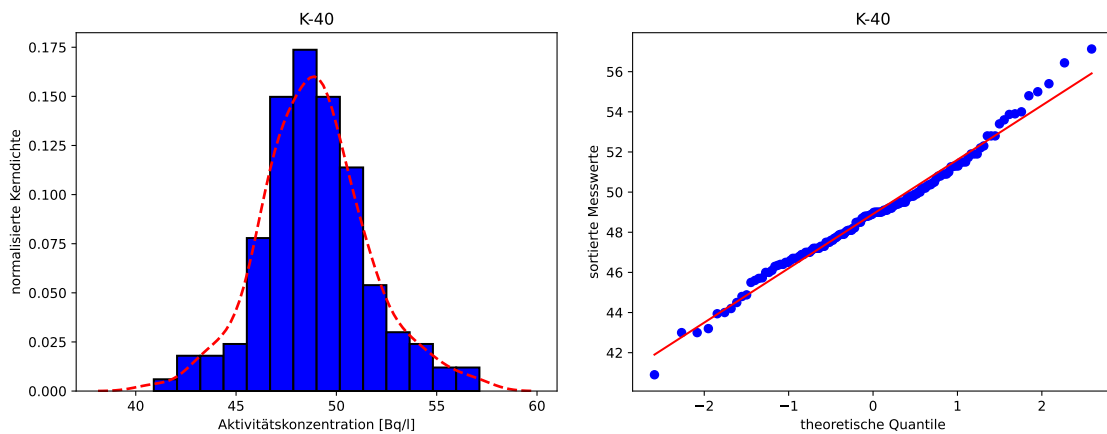


Abbildung 5.3: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für K - 40

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 für K - 40 keine Abweichungen zur Normalverteilung ermittelt werden. Dies ist sehr erfreulich, da es in der Vergangenheit immer wieder zu Problemen bei diesem Nuklid gekommen ist.

Von 69 Laboratorien wurden für K - 40 insgesamt 150 Messwerte übermittelt. Sechs Messwerte lagen außerhalb von $x_{\text{Pt}} \pm 3 \sigma_{\text{Pt}}$ (siehe Abbildung 6.1) und sind somit als nicht zufriedenstellend einzustufen. Neun weitere Datensatzmittelwerte sind als fragwürdig ($2 < |z| < 3$) einzustufen. Alle eingereichten Messwerte der Landesmessstellen sind als zufriedenstellend einzustufen.

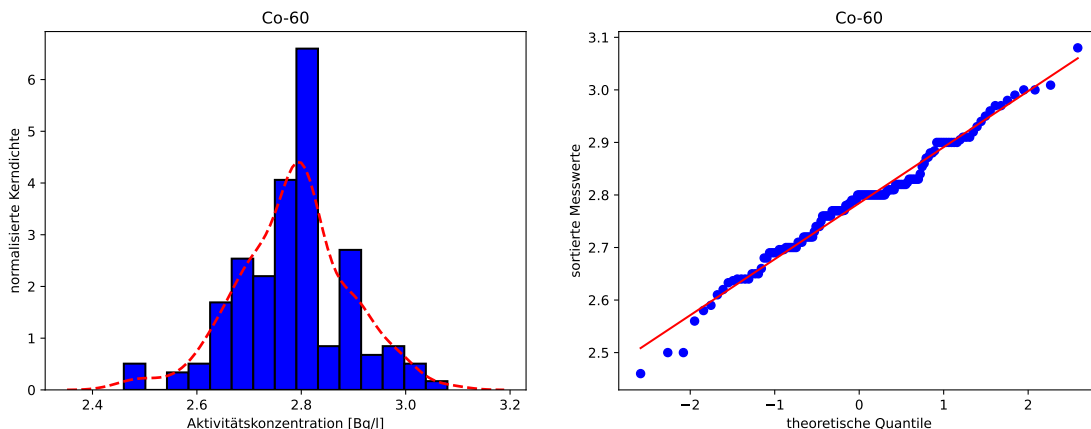


Abbildung 5.4: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Co - 60

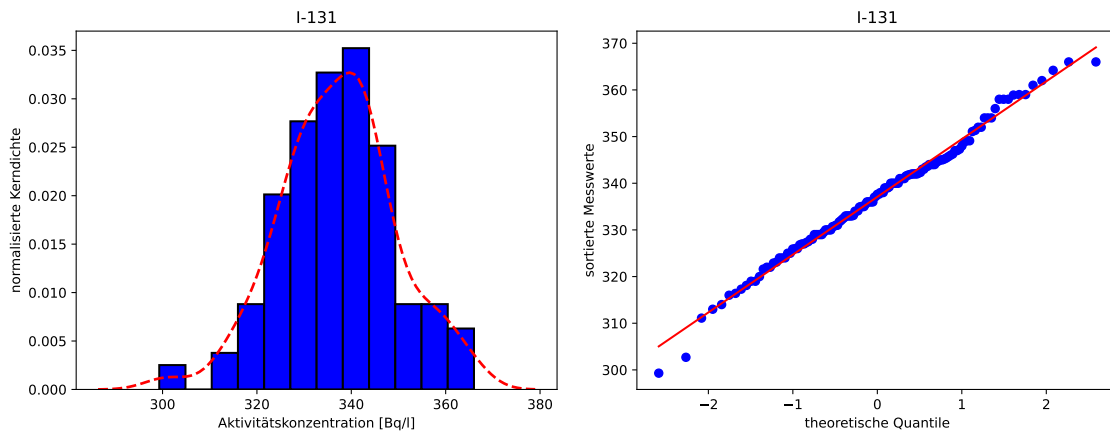


Abbildung 5.5: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für I-131

5.2. Co-60

Auch in diesem Jahr hat sich die Leitstelle dazu entschlossen, die Aktivitätsbestimmung dieses gemäß AVV-IMIS [2] zu berichtende Nuklid in die Aufgabenstellen aufzunehmen. Die Aktivitätsbestimmung erfolgt i. d. R. 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. Im Ergebnis lagen nur fünf von 148 übermittelten Messwerten außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (siehe Abbildung 6.2) und sind daher mit einem $|z|$ -score > 3 als nicht zufriedenstellend einzustufen.

5.3. I-131

I-131 ist ein Spaltprodukt und gemäß AVV-IMIS [2] ein zu berichtendes Radionuklid. Weiter wird es aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit von nur ca. 8 Tagen und der sehr einfachen Nachweisbarkeit mittels der starken 364,5 keV Linie in der Medizindiagnostik z. B. bei der Erforschung von Schilddrüsenkrankheiten eingesetzt. In diesem Jahr haben 68 Laboratorien insgesamt 150 Messwerte übermittelt. Es konnte mathematisch sowie grafisch (Abbildung 5.5) keine Abweichung von der Normalverteilung ermittelt werden. In diesem Fall liegen nur sieben Messergebnisse außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (siehe Abbildung 6.3) und sind daher als nicht zufriedenstellend einzustufen. Fünf weitere Ergebnisse sind als fragwürdig einzustufen.

5.4. Ba-133

Ba-133 wird aufgrund seiner relativ niedrigen Gamma-Energielinien 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 Abwei-

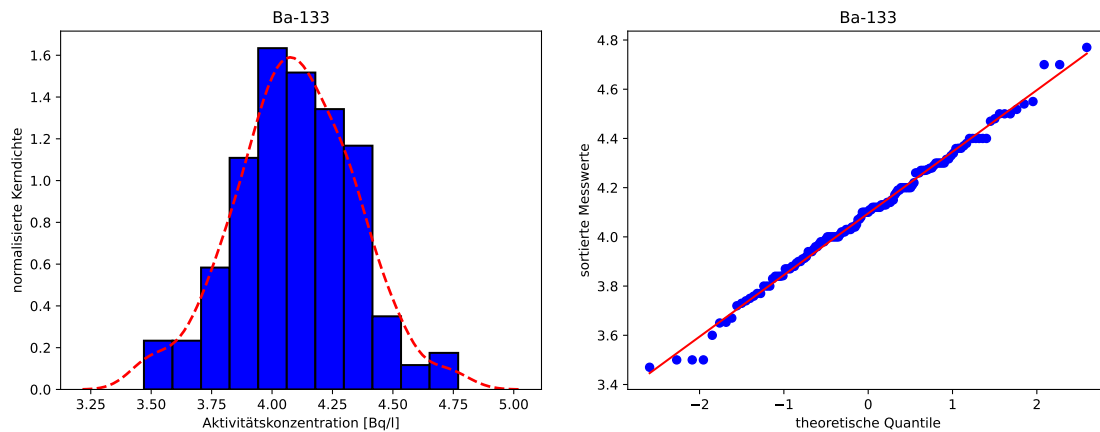


Abbildung 5.6: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Ba - 133

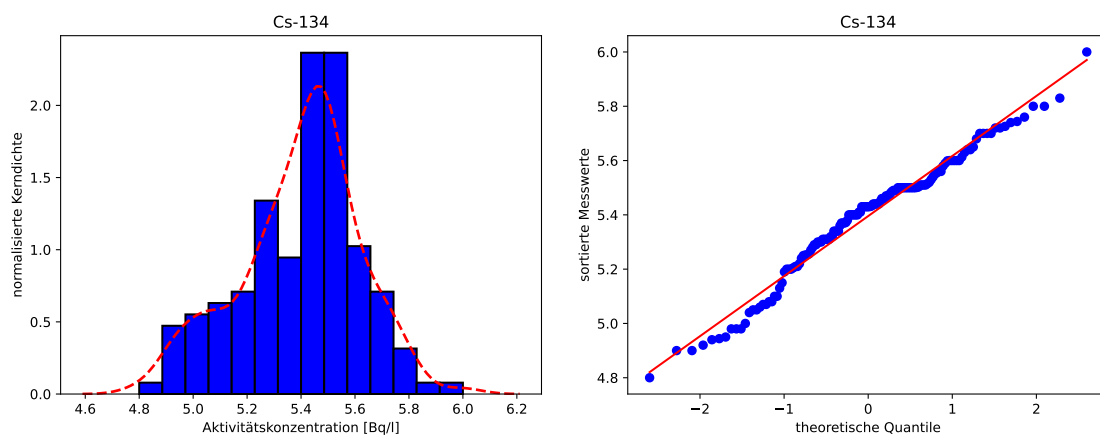


Abbildung 5.7: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 134

chung zur Normalverteilung ermittelt werden konnte. Die Verteilung ist in Abbildung 5.6 dargestellt.

In diesem Jahr ist Ba - 133 von 67 Laboratorien mit insgesamt 146 Einzelmessungen berichtet worden. Das Ergebnis ist als sehr gut zu bezeichnen. Wie im letzten Jahr lag nur ein Messwert außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (Abbildung 6.4).

5.5. Cs - 134 und Cs - 137

Cs - 134 und Cs - 137 sind von 70 Laboratorien gemessen worden, wobei jeweils 152 Messwerte zur Auswertung gekommen sind. Die Anzahl der eingereichten Messwerte lassen darauf schließen, dass die Labore mit diesen Nukliden sehr viel Erfahrung haben. Dies ist sicherlich auch darauf zurückzuführen, dass insbesondere Cs - 137 in sehr vielen Kalibrierstandards enthalten ist und die Aktivitätsbestimmung anhand der starken 661,7 keV Gamma-Linie der Tochter Ba - 137 i. d. R. sehr einfach durchführbar ist. Für die Aktivitätsbestimmung von Cs - 134 ist jedoch eine Summationskorrektur unbedingt notwendig.

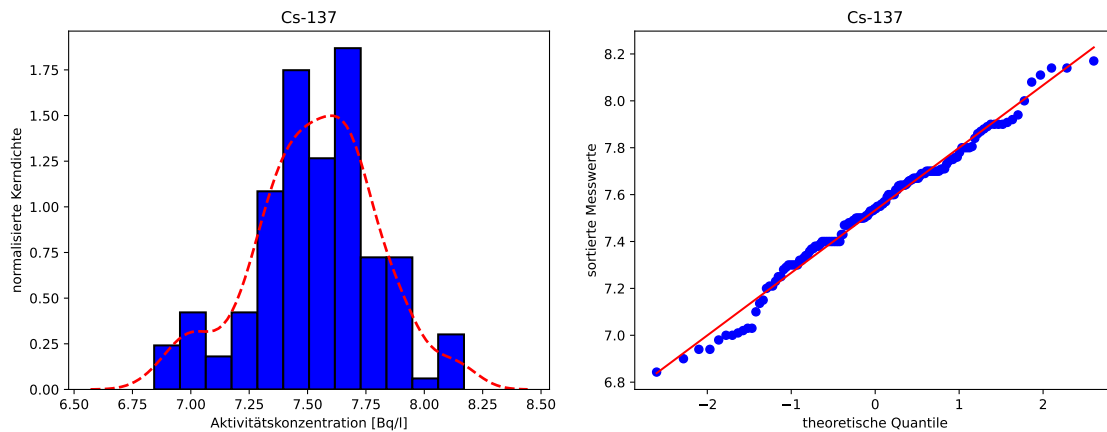


Abbildung 5.8: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Cs - 137

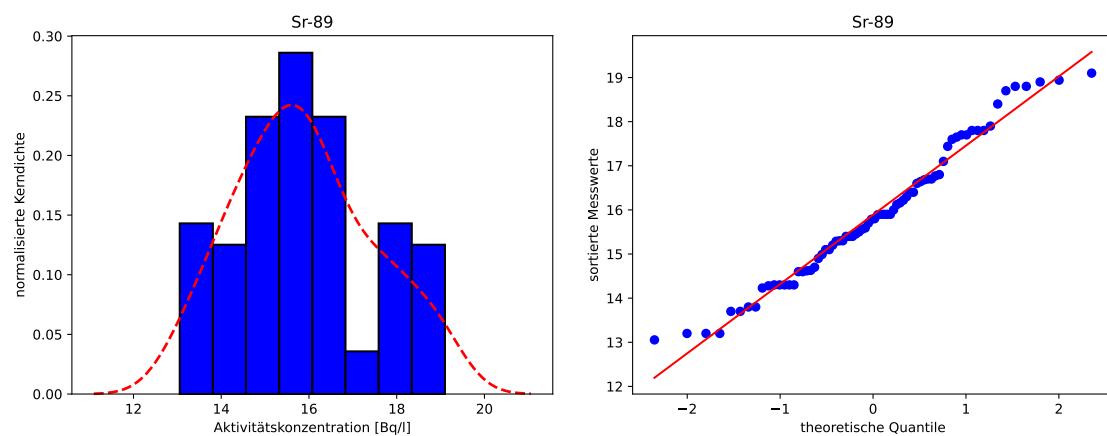


Abbildung 5.9: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 89

Eine relevante Abweichung von der Normalverteilung konnte auch für Cs - 137 weder mathematisch noch grafisch (Abbildung 5.8) nachgewiesen werden. Das Ergebnis für Cs - 137 ist als gut zu bezeichnen. Es konnten nur zwei nicht zufriedenstellende Ergebnisse außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ sowie neun fragwürdige Ergebnisse (Abbildung 6.6) identifiziert werden.

Bei Cs - 134 stellt sich die Situation allerdings ein wenig anders dar. Es lassen sich viele Messwerte identifizieren, die tendenziell als zu niedrig einzustufen sind. Die Verteilung ist linksschief (vgl. Abbildungen 5.7). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass dieses Nuklid in diesem Jahr mit einer im Vergleich zu den letzten Jahren relativ geringen Aktivitätskonzentration von nur ca. 5,4 Bq/l beigesetzt wurde. In Verbindung mit der notwendigen Summationskorrektur kann dies zu dem o. g. Effekt führen. Insgesamt konnten für Cs - 134 vier Ergebnisse außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ sowie zwölf fragwürdige Ergebnisse ($2 < |z| < 3$) (siehe Abbildung 6.5) ermittelt werden.

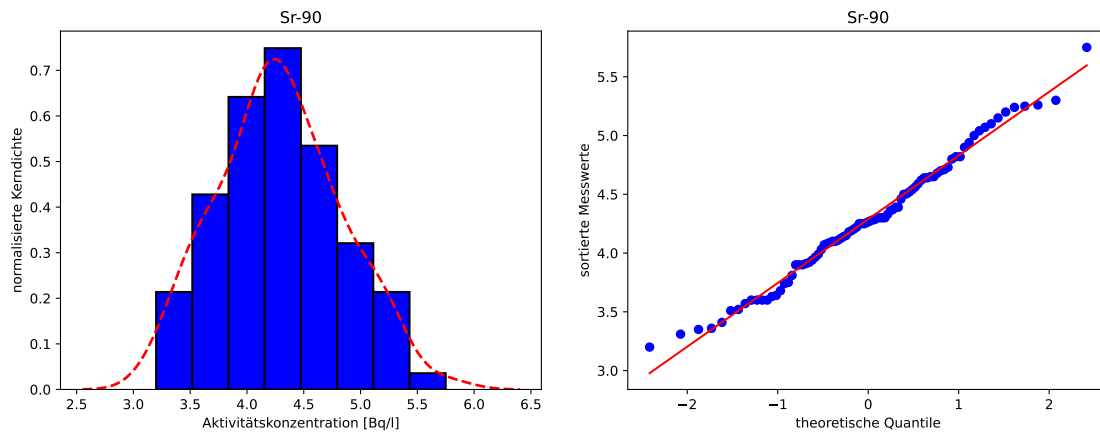


Abbildung 5.10: Histogramm mit Kerndichte (links) und Q-Q-Plot (rechts) für Sr - 90

5.6. Sr - 89 und Sr - 90

Während bis zu 70 Laboratorien Gamma-Spektren gemessen und ausgewertet haben, liegen nur von 33 Laboratorien Sr - 89 (75 eingereichte Messergebnisse) bzw. von 41 Laboratorien Sr - 90 Ergebnisse (90 eingereichte Messergebnisse) vor.

Offensichtlich sind viele der teilnehmenden Laboratorien nicht für die Strontium-Analytik eingerichtet (z. B. externe oder internationale Labore), scheuen den notwendigen hohen radiochemischen Aufwand für die Abtrennung oder sind einfach nur an der Gamma-Spektroskopie interessiert. Dies trifft in der Regel auf die externen Teilnehmenden aus dem In- und Ausland zu, die nicht aufgrund von gesetzlichen Vorgaben die Strontium-Analytik betreiben müssen. Allerdings ist auch anzumerken, dass erfreulicherweise die Zahl der eingereichten Ergebnisse vergleichbar mit den Vorjahren ist.

Gemäß den Angaben der Teilnehmenden wurden auch in diesem Jahr viele unterschiedliche Methoden und Schnellmethoden verwendet. 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. Auch für diese Nuklide konnten keine Abweichungen zur Normalverteilung ermittelt werden. Dies ist besonders erfreulich, da dies in den letzten Jahren, aufgrund der geringeren Anzahl an eingereichten Datensätzen, nicht immer eingehalten werden konnte. Auch deutet es darauf hin, dass die unterschiedlichen Methoden keinen gravierenden Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse haben. Für Sr - 89 und Sr - 90 konnten nur ein bzw. zwei Messwerte nicht zufriedenstellende Ergebnisse außerhalb von $x_{pt} \pm 3 \sigma_{pt}$ (siehe auch Abbildung 6.7 und 6.8) ermittelt werden. Im Fall von Sr - 90 ist nur ein weiteres Ergebnis als fragwürdig einzustufen. Alle anderen Ergebnisse sind als zu-

friedenstellend einzuordnen. Es ist offensichtlich, dass die Teilnehmenden, die Strontium-Messergebnisse eingereicht haben, die Strontium-Analytik sehr gut beherrschen.

Auch in diesem Jahr fällt wieder auf, dass sich die Teilnehmenden mit der Abschätzung der Messunsicherheiten bei den reinen Beta-Strahlern Sr-89 und Sr-90 deutlich schwerer tun als bei den Gamma-Strahlern. Dies liegt i. d. R. in der notwendigen aufwendigen radiochemischen Analyse begründet und 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 die Messungen und Analysemethoden sehr gut beherrschen. Insbesondere die durchweg guten z-score der Landesmessstellen sind sehr erfreulich. Dies ist insbesondere bei den Gamma-Messungen auffällig, bei denen es bei den Landesmessstellen kaum zu fragwürdige Ergebnisse kommt. Nicht zufriedenstellende Ergebnisse konnten gar nicht identifiziert werden. Bei der Strontium-Analyse ist allerdings kein Unterschied zwischen den Ergebnissen der Landesmessstellen und der externen Teilnehmenden auszumachen.

Allerdings muss auch in diesem Jahr wieder darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse der ζ -score auch darauf schließen lassen, dass es bei der Ermittlung der Messunsicherheiten weiterhin etwas Nachholbedarf gibt. Anhand dieses Bewertungskriteriums lassen sich kaum relevante Unterschiede zwischen den externen Teilnehmenden und den Landesmessstellen ausmachen. Aus diesem Grund ermutigt die Leitstelle alle Teilnehmende dazu, ihre in Ansatz gebrachte und ggf. 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 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 wird aller Voraussicht nach im Herbst 2022 stattfinden. Informationen über die Modalitäten erhalten alle in der Datenbank der Leitstelle vermerkte Laboratorien wie gewohnt mit dem Anschreiben zur Anmeldung. Die Leitstelle freut sich über eine hoffentlich rege Teilnahme.

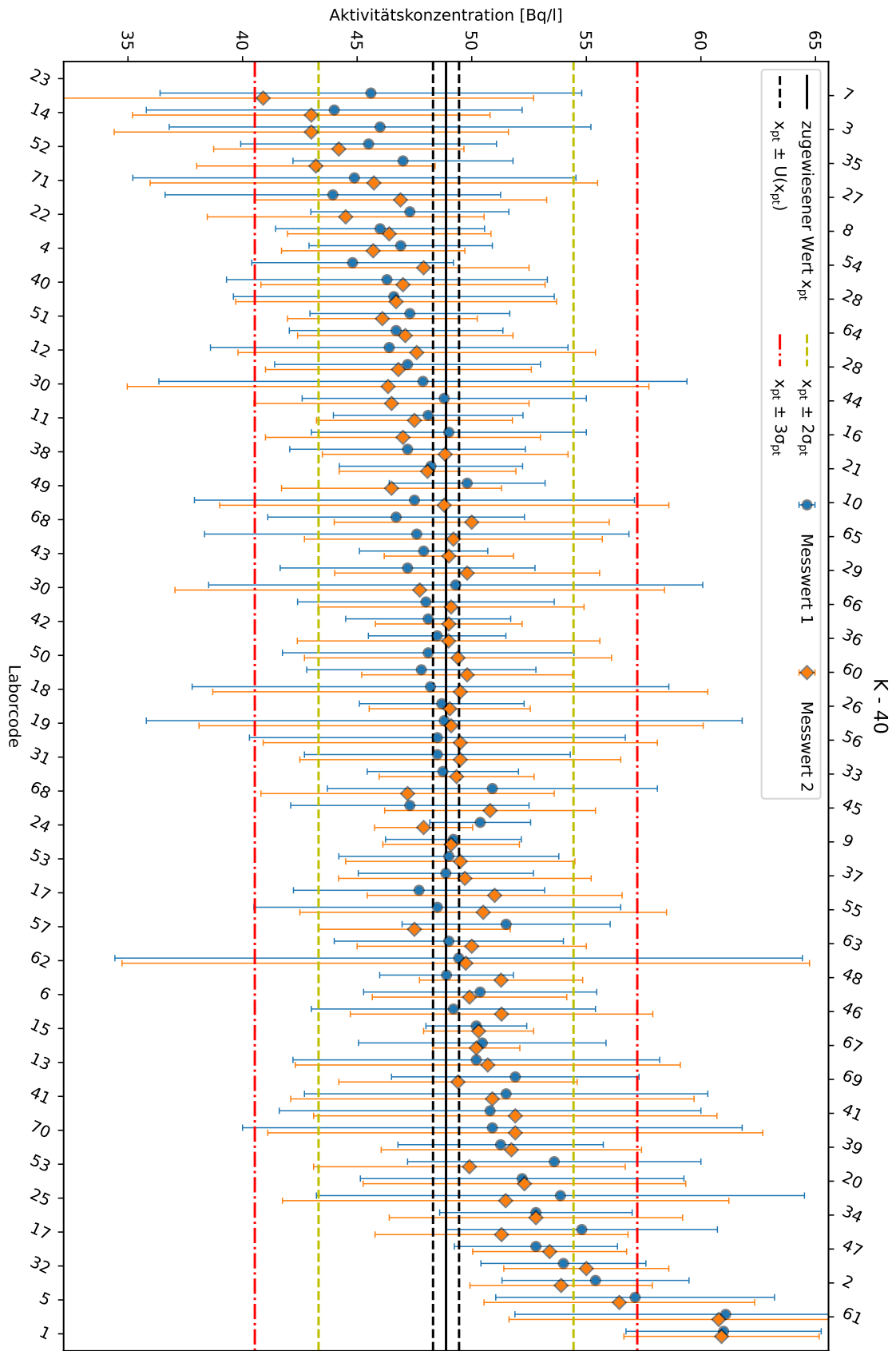


Abbildung 6.1: S-Plot K - 40

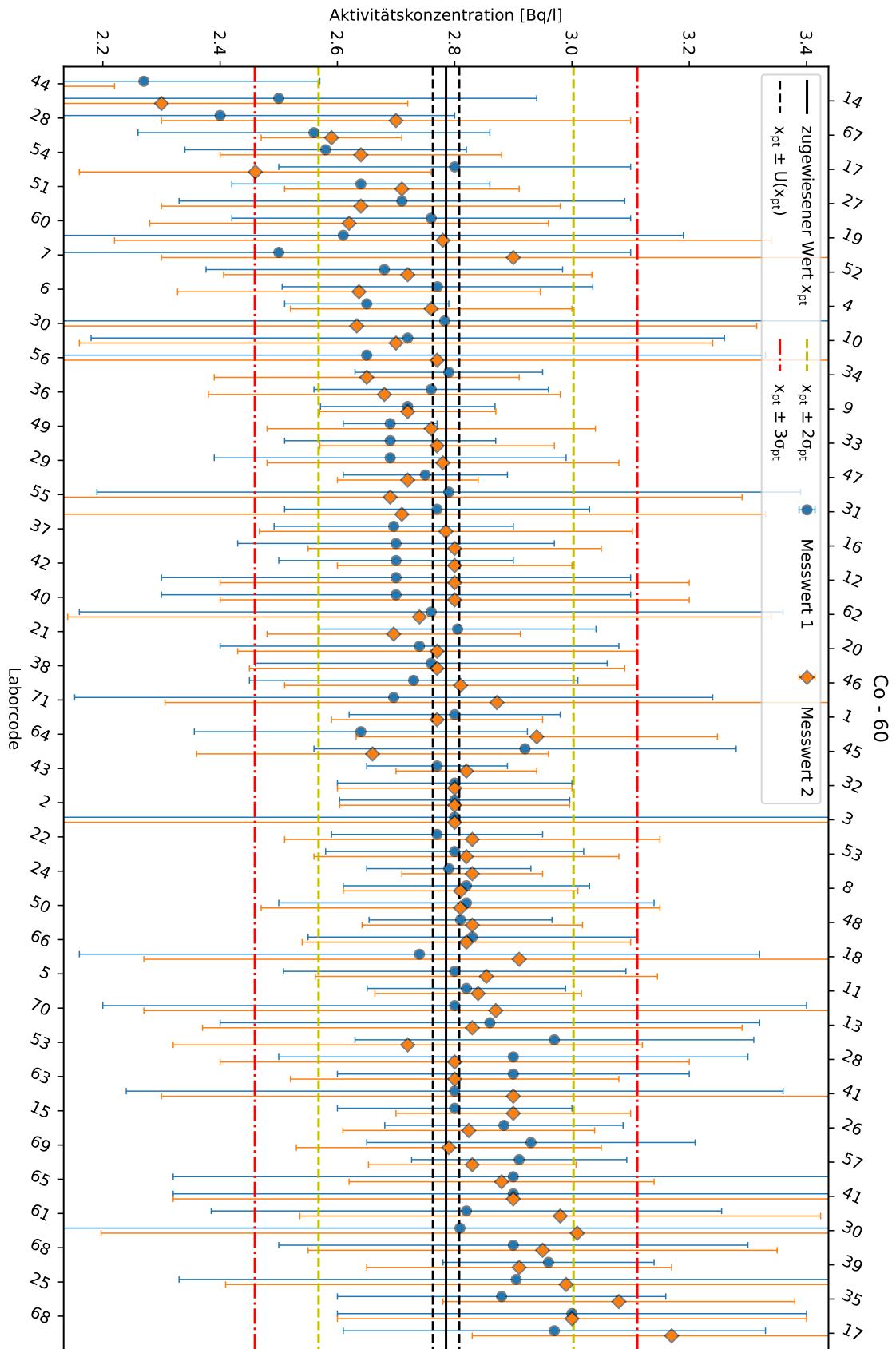


Abbildung 6.2: S-Plot Co - 60

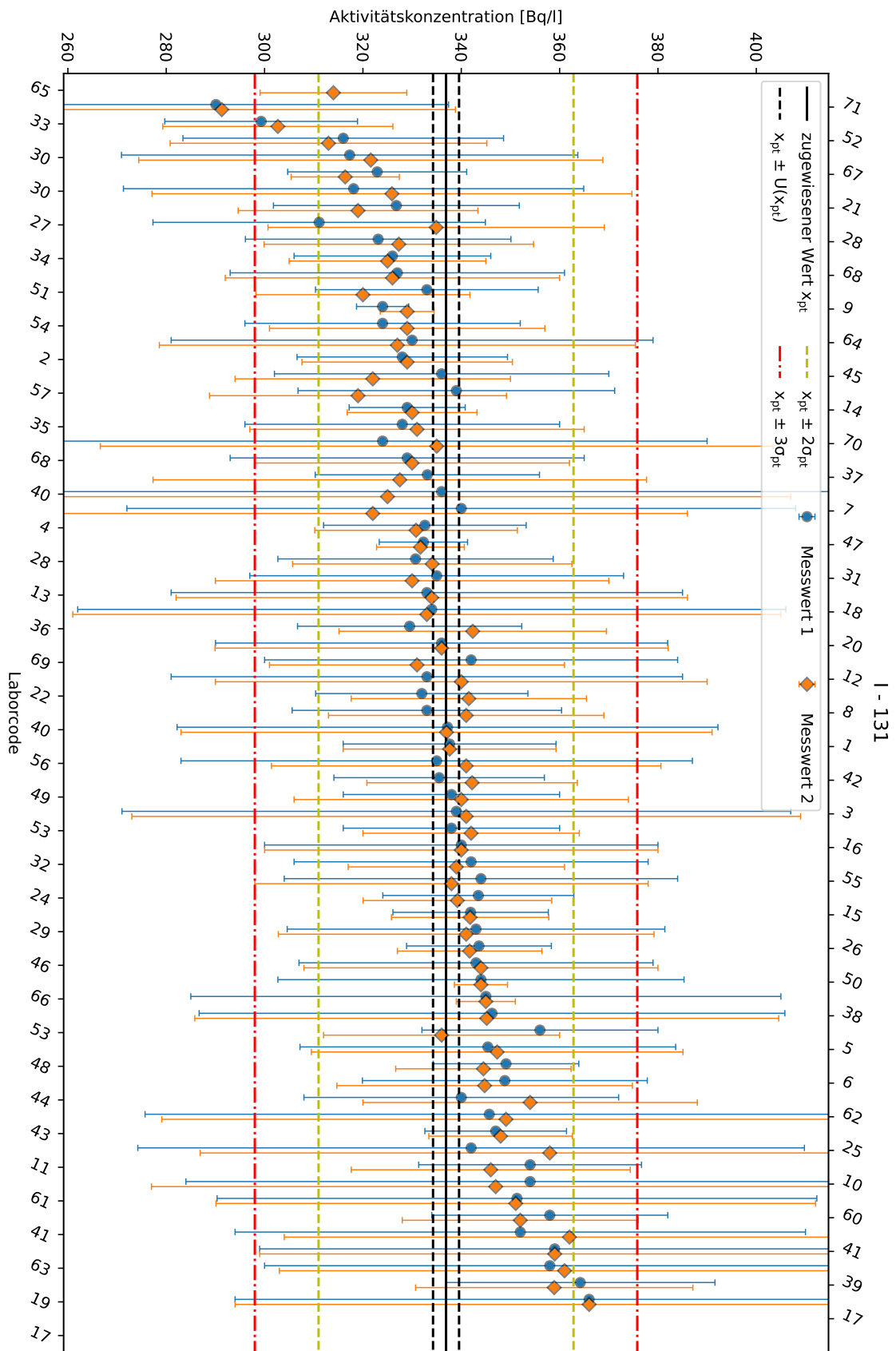


Abbildung 6.3: S-Plot I - 131

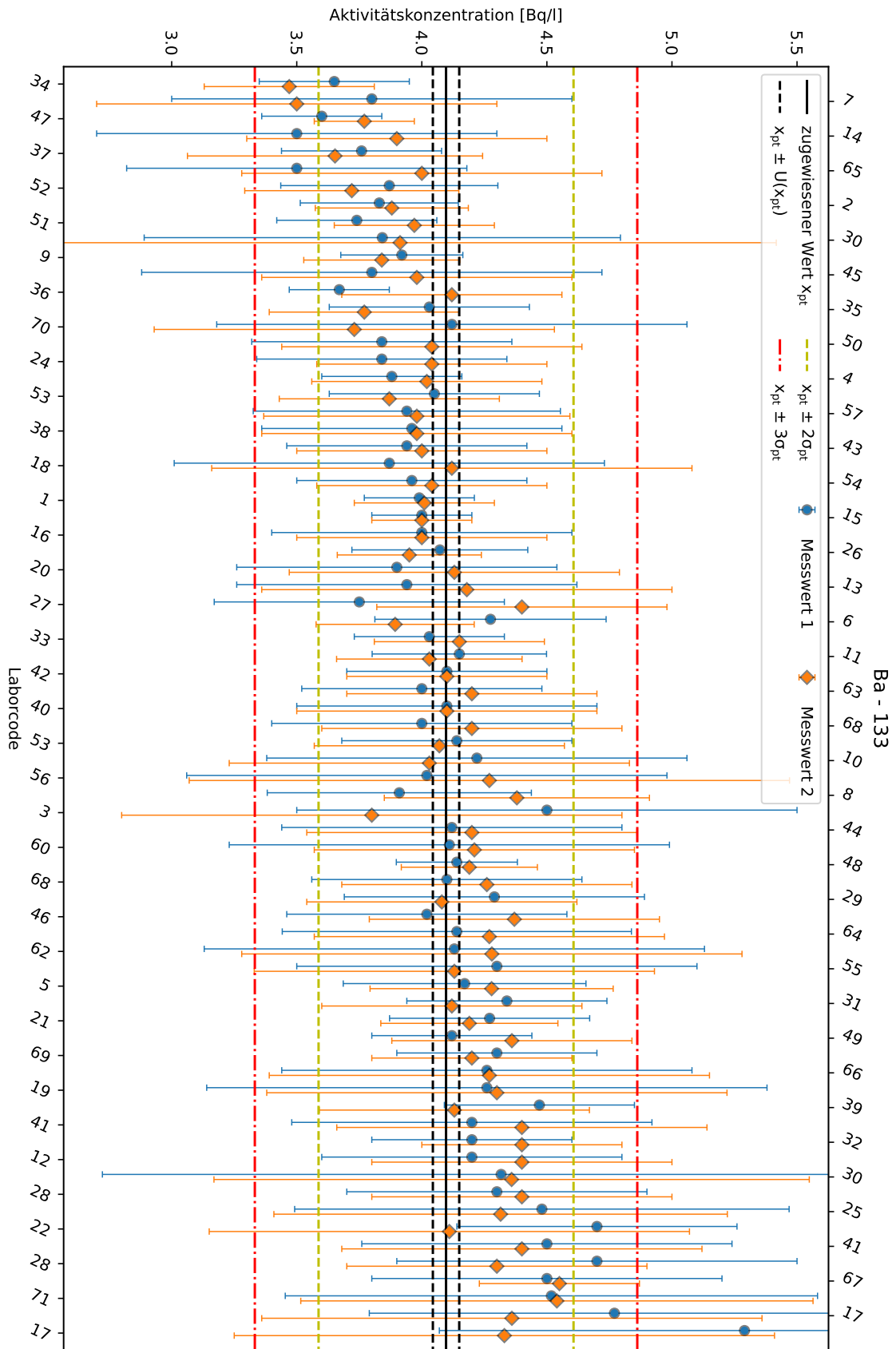


Abbildung 6.4: S-Plot Ba - 133

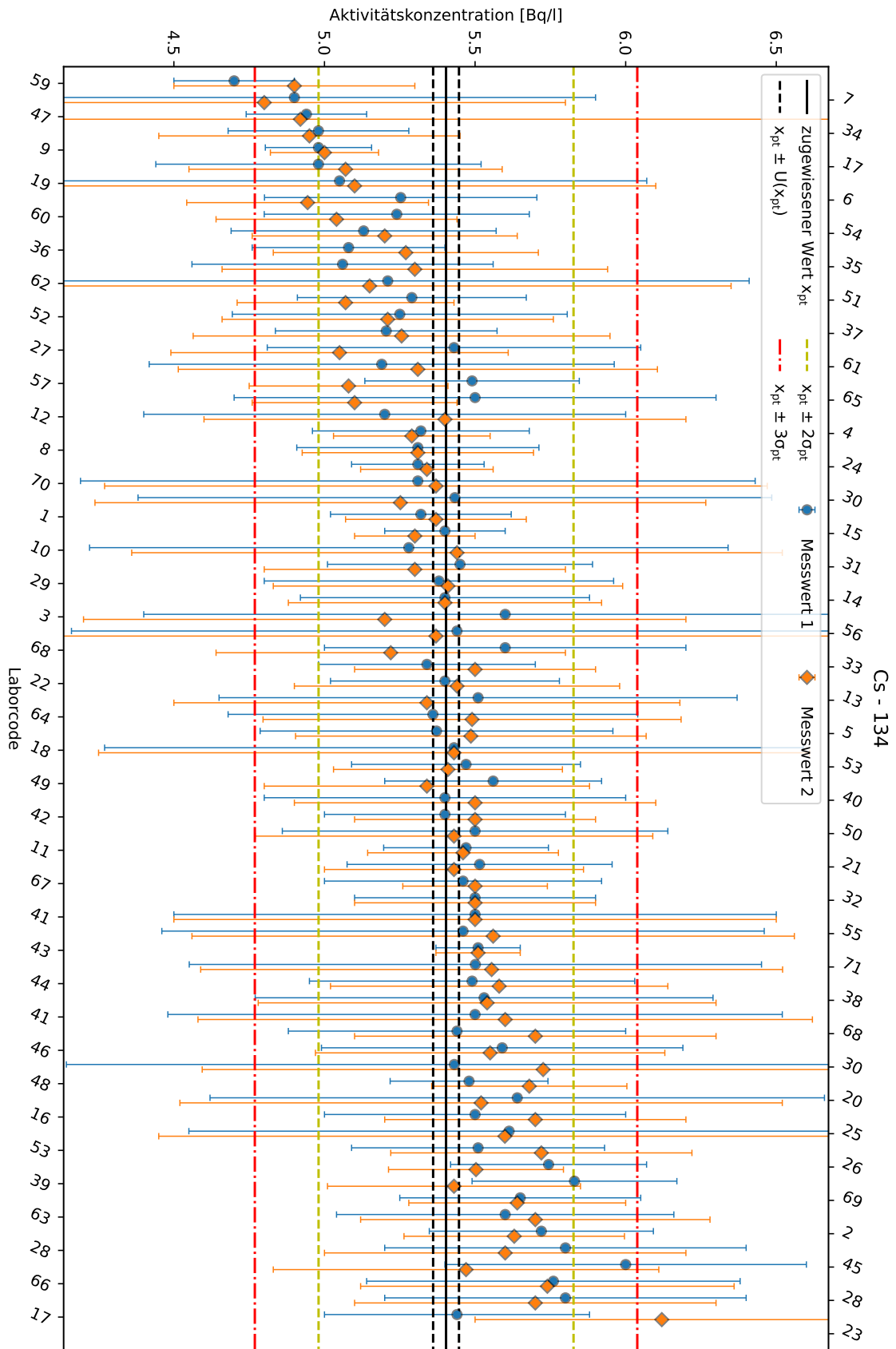


Abbildung 6.5: S-Plot Cs - 134

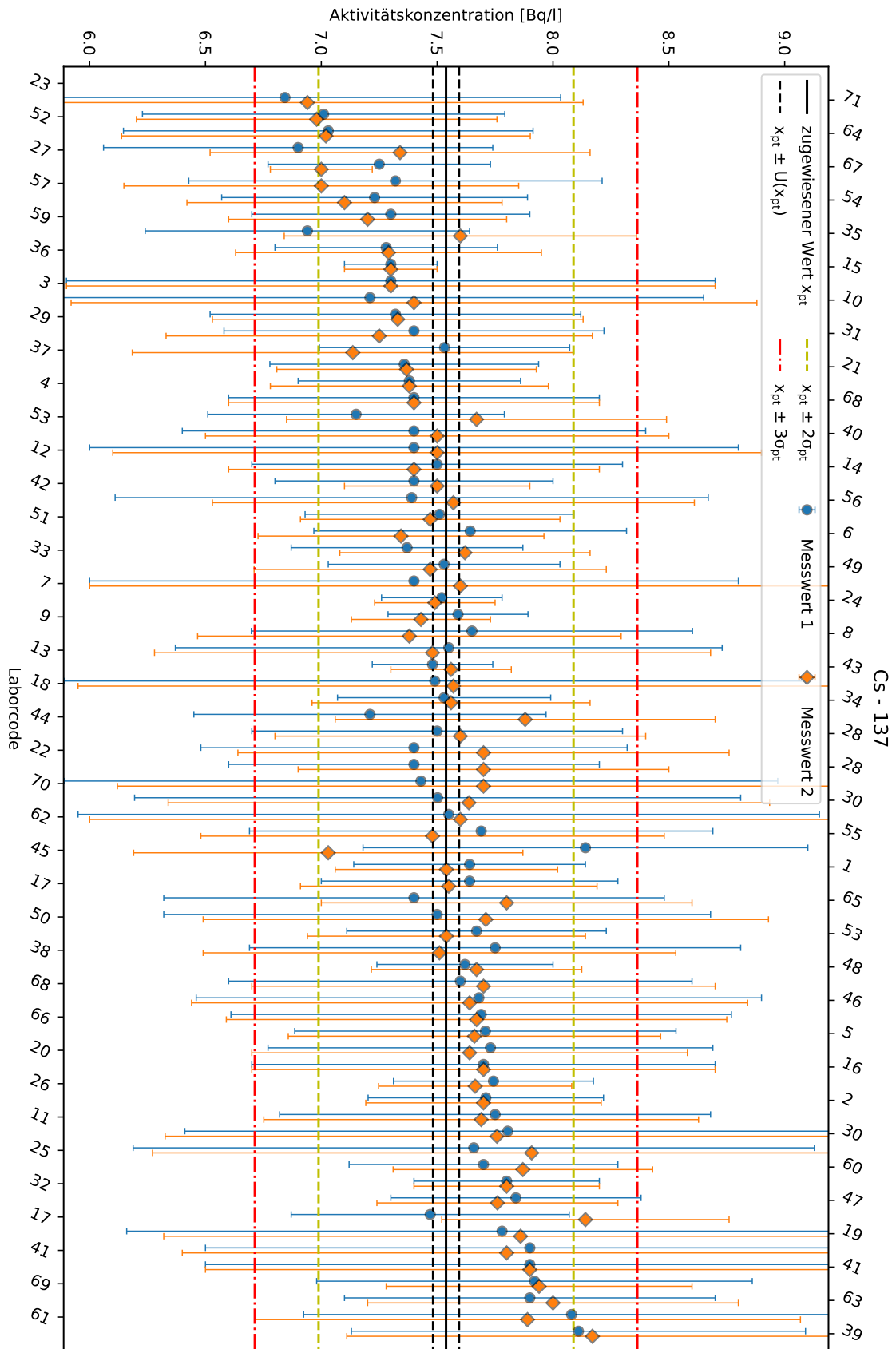


Abbildung 6.6: S-Plot Cs - 137

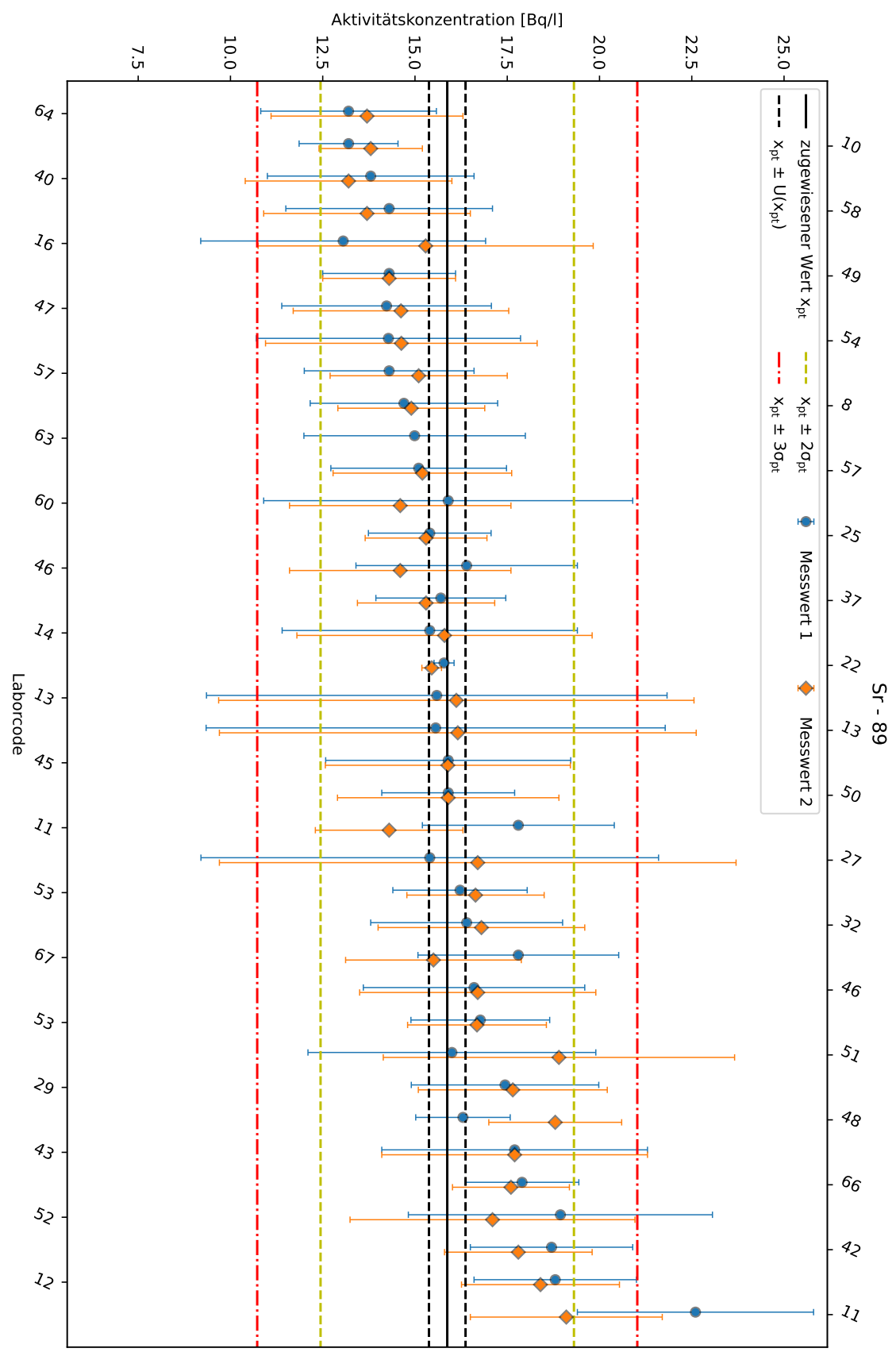


Abbildung 6.7: S-Plot Sr - 89

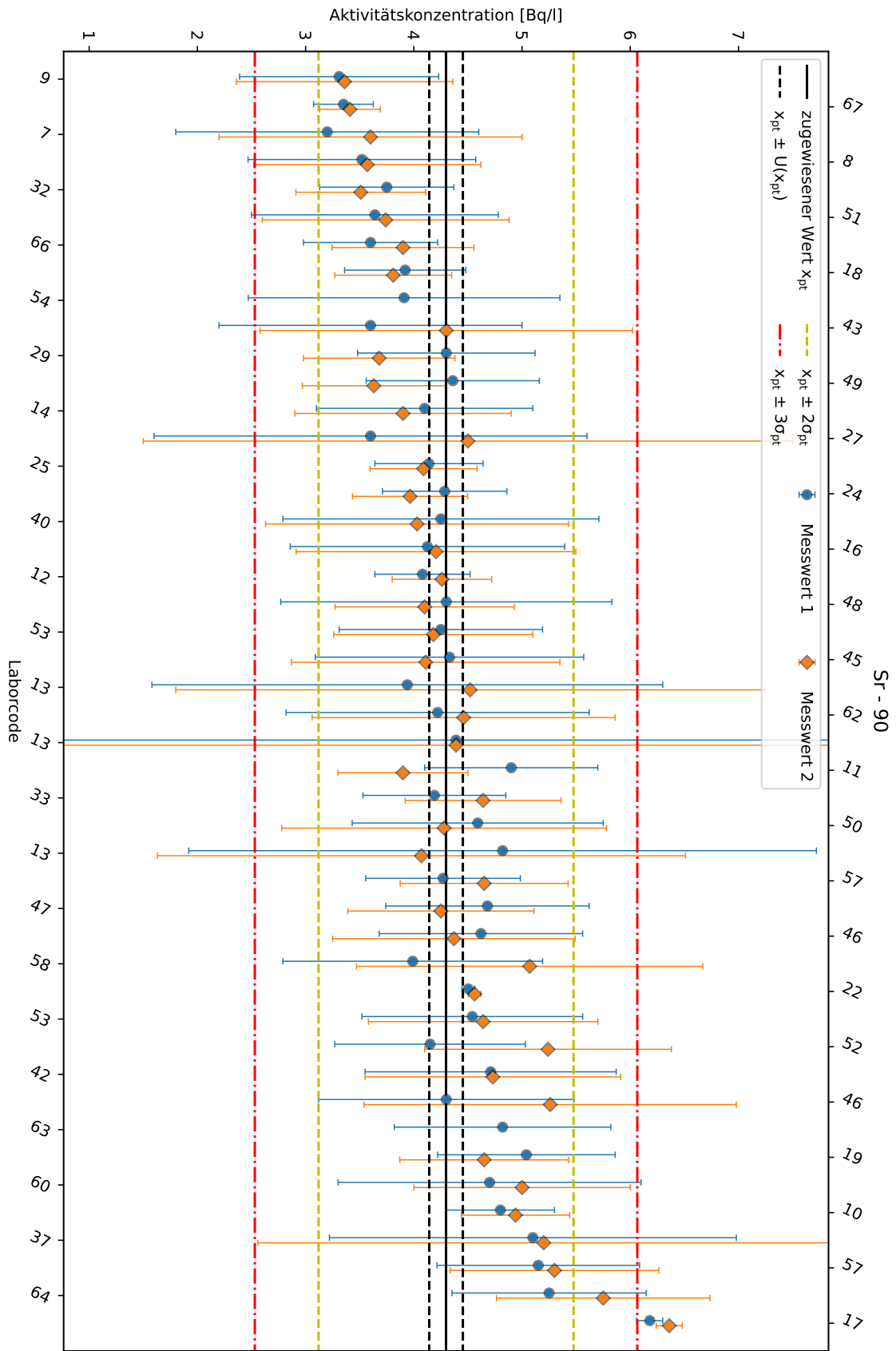


Abbildung 6.8: S-Plot Sr - 90

A. Anhang

A.1. Liste aller teilnehmenden Laboratorien

Institut bzw. Firma	Ort
Amt für Verbraucherschutz Aargau	Aarau
Bayerisches Landesamt für Umwelt	Augsburg
Kantonales Laboratorium Basel-Stadt	Basel
Agri-Food and Biosciences Institute	Belfast
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr 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)	Braunschweig
Universität Bremen, Landesmessstelle für Radioaktivität	Bremen
National Public Health Centre	Budapest
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft	Chemnitz
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit Graubünden	Chur
Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit	Cuxhaven
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Darmstadt
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Ostwestfalen- Lippe (CVUA-OWL)	Detmold
LBME NRW, Betriebstelle für Sonderaufgaben, Eichamt Dortmund	Dortmund
Environmental Protection Agency (EPA) Ireland	Dublin 14
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW; Dienststelle Duisburg	Duisburg
Landesinstitut für Arbeitsgestaltun NRW	Düsseldorf
Landesinstitut für Arbeitsgestaltung NRW	Düsseldorf
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart (CVUAS)	Fellbach
Landeslabor Berlin-Brandenburg	Frankfurt (Oder)
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg	Freiburg

Institut bzw. Firma	Ort
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr München	Garching
Helmholtz-Zentrum Hereon	Geesthacht
TeLA GmbH	Geestland
Justus-Liebig-Universität	Gießen
UKHSA	Glasgow
Georg-August-Universität Göttingen	Göttingen
Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Landesmessstelle "Nord"	HS Osterburg/Altmark
Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, LmSt SSüd"	Halle
GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH	Hamburg
Institut für Hygiene und Umwelt	Hamburg
SGS Germany GmbH	Hamburg
LAVES LVI Braunschweig/Hannover - Standort Hannover	Hannover
NLWKN	Hildesheim
Institut für Strahlenschutz und Dosimetrie Landeskrankenhaus Innsbruck - Universitätskliniken	Innsbruck
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz	Jena
Forschungszentrum Jülich GmbH	Jülich
LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden Württemberg	Karlsruhe
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Kassel
Central Mining Institute	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
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
Ministry of Health	Luxembourg
SCK CEN	Mol
Cavendish Nuclear Ltd	Moor Row
TÜV SÜD Industrie Service GmbH	München

Institut bzw. Firma	Ort
Umweltinstitut München e.V.	München
Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe (CVUA-MEL)	Münster
Bundesamt für Strahlenschutz	Oberschleissheim
LUFA Nord-West	Oldenburg
Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg	Oldenburg
Landeslabor Berlin-Brandenburg	Oranienburg
IAF Radioökologie GmbH	Radeberg
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft	Radebeul
Universität Regensburg	Regensburg
Radioanalytisches Labor Buheitel	Reichertshofen
Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz	Saarbrücken
Hydroisotop GmbH	Schweitenkirchen
Landesuntersuchungsamt	Speyer
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	Stralsund
WFSR (Wageningen Food Safty Research)	Wageningen
Kantonales Labor Zürich	Zürich

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

A.2. Übersicht über alle Messwerte und Ergebnisse

K-40						
$x_{pt} = 48,88 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 2,78 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,28 \text{ Bq/l}$						
Labor- code	M ₁ [Bq/l]	M ₂ [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ-score ₁	ζ-score ₂
1	61,0 ± 2,1	60,9 ± 2,1	4,4	4,3	5,6	5,6
2	55,4 ± 2,0	53,9 ± 2,0	2,3	1,8	3,2	2,5
3	46,0 ± 4,6	43,0 ± 4,3	-1,0	-2,1	-0,6	-1,4
4	46,9 ± 2,0	45,7 ± 2,0	-0,7	-1,1	-1,0	-1,6
5	57,1 ± 3,0	56,4 ± 3,0	3,0	2,7	2,7	2,5
6	50,4 ± 2,5	49,9 ± 2,1	0,5	0,4	0,6	0,5
7	45,6 ± 4,6	40,9 ± 5,9	-1,2	-2,9	-0,7	-1,4
8	46,0 ± 2,3	46,4 ± 2,2	-1,0	-0,9	-1,3	-1,1
9	49,2 ± 1,5	49,1 ± 1,5	0,1	0,1	0,2	0,1
10	47,5 ± 4,8	48,8 ± 4,9	-0,5	-0,0	-0,3	-0,0
11	48,1 ± 2,1	47,5 ± 2,1	-0,3	-0,5	-0,4	-0,6
12	46,4 ± 3,9	47,6 ± 3,9	-0,9	-0,5	-0,6	-0,3
13	50,2 ± 4,0	50,7 ± 4,2	0,5	0,7	0,3	0,4
14	44,0 ± 4,1	43,0 ± 3,9	-1,8	-2,1	-1,2	-1,5
15	50,2 ± 1,1	50,3 ± 1,2	0,5	0,5	1,2	1,2
16	49,0 ± 3,0	47,0 ± 3,0	0,0	-0,7	0,0	-0,6
17	54,8 ± 3,0	51,3 ± 2,8	2,1	0,9	2,0	0,9
17	47,7 ± 2,7	51,0 ± 2,8	-0,4	0,8	-0,4	0,8
18	48,2 ± 5,2	49,5 ± 5,4	-0,2	0,2	-0,1	0,1
19	48,8 ± 6,5	49,1 ± 5,5	-0,0	0,1	-0,0	0,0
20	52,2 ± 3,5	52,3 ± 3,5	1,2	1,2	0,9	1,0
21	48,2 ± 2,0	48,1 ± 1,9	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4
22	47,3 ± 2,2	44,5 ± 3,0	-0,6	-1,6	-0,7	-1,4
23	2,5 ± 5,9	2,3 ± 8,2	-16,7	-16,7	-7,9	-5,7
24	50,4 ± 1,1	47,9 ± 1,1	0,5	-0,4	1,3	-0,9
25	53,9 ± 5,3	51,5 ± 4,9	1,8	0,9	0,9	0,5
26	48,7 ± 1,8	49,0 ± 1,8	-0,1	0,1	-0,1	0,1
27	43,9 ± 3,7	46,9 ± 3,2	-1,8	-0,7	-1,3	-0,6
28	46,6 ± 3,5	46,7 ± 3,5	-0,8	-0,8	-0,6	-0,6
28	47,2 ± 2,9	46,8 ± 2,9	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7
29	47,2 ± 2,8	49,8 ± 2,9	-0,6	0,3	-0,6	0,3
30	49,3 ± 5,4	47,7 ± 5,3	0,2	-0,4	0,1	-0,2
30	47,9 ± 5,8	46,4 ± 5,7	-0,4	-0,9	-0,2	-0,4
31	48,5 ± 2,9	49,5 ± 3,5	-0,1	0,2	-0,1	0,2
32	54,0 ± 1,8	55,0 ± 1,8	1,8	2,2	2,8	3,4
33	48,7 ± 1,6	49,3 ± 1,7	-0,0	0,2	-0,1	0,3
34	52,8 ± 2,1	52,8 ± 3,2	1,4	1,4	1,9	1,2
35	47,0 ± 2,4	43,2 ± 2,6	-0,7	-2,0	-0,8	-2,2
36	48,5 ± 1,5	49,0 ± 3,3	-0,1	0,0	-0,3	0,0
37	48,9 ± 1,9	49,7 ± 2,8	-0,0	0,3	-0,0	0,3
38	47,2 ± 2,6	48,8 ± 2,7	-0,6	-0,0	-0,6	-0,0
39	51,3 ± 2,2	51,7 ± 2,8	0,9	1,0	1,1	1,0
40	46,3 ± 3,5	47,0 ± 3,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6

K - 40						
$x_{pt} = 48,88 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 2,78 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,28 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
41	51,5 ± 4,4	50,9 ± 4,4	0,9	0,7	0,6	0,5
41	50,8 ± 4,6	51,9 ± 4,4	0,7	1,1	0,4	0,7
42	48,1 ± 1,8	49,0 ± 1,6	-0,3	0,0	-0,4	0,1
43	47,9 ± 1,4	49,0 ± 1,4	-0,4	0,0	-0,7	0,1
44	48,8 ± 3,1	46,5 ± 3,0	-0,0	-0,9	-0,0	-0,8
45	47,3 ± 2,6	50,8 ± 2,3	-0,6	0,7	-0,6	0,8
46	49,2 ± 3,1	51,3 ± 3,3	0,1	0,9	0,1	0,7
47	52,8 ± 1,8	53,4 ± 1,7	1,4	1,6	2,2	2,7
48	48,9 ± 1,5	51,3 ± 1,8	0,0	0,9	0,0	1,3
49	49,8 ± 1,7	46,5 ± 2,4	0,3	-0,9	0,5	-1,0
50	48,1 ± 3,2	49,4 ± 3,4	-0,3	0,2	-0,2	0,2
51	47,3 ± 2,2	46,1 ± 2,1	-0,6	-1,0	-0,7	-1,3
52	45,5 ± 2,8	44,2 ± 2,7	-1,2	-1,7	-1,2	-1,7
53	49,0 ± 2,4	49,5 ± 2,5	0,0	0,2	0,1	0,2
53	53,6 ± 3,2	49,9 ± 3,4	1,7	0,4	1,5	0,3
54	44,8 ± 2,2	47,9 ± 2,3	-1,5	-0,4	-1,8	-0,4
55	48,5 ± 4,0	50,5 ± 4,0	-0,1	0,6	-0,1	0,4
56	48,5 ± 4,1	49,5 ± 4,3	-0,1	0,2	-0,1	0,1
57	51,5 ± 2,3	47,5 ± 2,1	0,9	-0,5	1,1	-0,7
60	47,8 ± 2,5	49,8 ± 2,3	-0,4	0,3	-0,4	0,4
61	61,1 ± 4,6	60,8 ± 4,6	4,4	4,3	2,6	2,6
62	49,4 ± 7,5	49,7 ± 7,5	0,2	0,3	0,1	0,1
63	49,0 ± 2,5	50,0 ± 2,5	0,0	0,4	0,0	0,4
64	46,7 ± 2,3	47,1 ± 2,4	-0,8	-0,6	-0,9	-0,8
65	47,6 ± 4,6	49,2 ± 3,2	-0,5	0,1	-0,3	0,1
66	48,0 ± 2,8	49,1 ± 2,9	-0,3	0,1	-0,3	0,1
67	50,5 ± 2,7	50,2 ± 0,9	0,6	0,5	0,6	1,3
68	46,7 ± 2,8	50,0 ± 3,0	-0,8	0,4	-0,8	0,4
68	50,9 ± 3,6	47,2 ± 3,2	0,7	-0,6	0,6	-0,5
69	51,9 ± 2,7	49,4 ± 2,6	1,1	0,2	1,1	0,2
70	50,9 ± 5,5	51,9 ± 5,4	0,7	1,1	0,4	0,6
71	44,9 ± 4,8	45,7 ± 4,9	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6

Tabelle A.2: Messwerte und Bewertungen K - 40

Co - 60						
$x_{pt} = 2,79 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,11 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,1	-0,1	0,2	-0,2
2	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3	2,8 ± 0,5	2,8 ± 0,5	0,1	0,1	0,0	0,0
4	2,6 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-1,2	-0,2	-1,9	-0,2
5	2,8 ± 0,1	2,9 ± 0,1	0,1	0,6	0,1	0,5

Co - 60						
$x_{pt} = 2,79 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,11 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
6	2,8 ± 0,1	2,6 ± 0,2	-0,1	-1,4	-0,1	-1,0
7	2,5 ± 0,3	2,9 ± 0,3	-2,6	1,1	-1,0	0,4
8	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,3	0,2	0,3	0,2
9	2,7 ± 0,1	2,7 ± 0,1	-0,6	-0,6	-0,9	-0,9
10	2,7 ± 0,3	2,7 ± 0,3	-0,6	-0,8	-0,2	-0,3
11	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,3	0,5	0,4	0,6
12	2,7 ± 0,2	2,8 ± 0,2	-0,8	0,1	-0,4	0,1
13	2,9 ± 0,2	2,8 ± 0,2	0,7	0,4	0,3	0,2
14	2,5 ± 0,2	2,3 ± 0,2	-2,6	-4,5	-1,3	-2,3
15	2,8 ± 0,1	2,9 ± 0,1	0,1	1,1	0,1	1,1
16	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-0,8	0,1	-0,6	0,1
17	3,0 ± 0,2	3,2 ± 0,2	1,7	3,5	1,0	2,3
17	2,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1	0,1	-3,0	0,1	-2,2
18	2,7 ± 0,3	2,9 ± 0,3	-0,4	1,1	-0,2	0,4
19	2,6 ± 0,3	2,8 ± 0,3	-1,6	-0,0	-0,6	-0,0
20	2,7 ± 0,2	2,8 ± 0,2	-0,4	-0,1	-0,3	-0,1
21	2,8 ± 0,1	2,7 ± 0,1	0,2	-0,8	0,2	-0,8
22	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,2	-0,1	0,4	-0,2	0,3
24	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,0	0,4	0,1	0,7
25	2,9 ± 0,3	3,0 ± 0,3	1,1	1,9	0,4	0,7
26	2,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,9	0,4	1,0	0,4
27	2,7 ± 0,2	2,6 ± 0,2	-0,7	-1,3	-0,4	-0,9
28	2,9 ± 0,2	2,8 ± 0,2	1,1	0,1	0,6	0,1
28	2,4 ± 0,2	2,7 ± 0,2	-3,5	-0,8	-1,9	-0,4
29	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-0,9	-0,0	-0,6	-0,0
30	2,8 ± 0,4	2,6 ± 0,3	-0,0	-1,4	-0,0	-0,4
30	2,8 ± 0,4	3,0 ± 0,4	0,2	2,1	0,1	0,6
31	2,8 ± 0,1	2,7 ± 0,3	-0,1	-0,7	-0,1	-0,2
32	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
33	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-0,9	-0,1	-1,1	-0,2
34	2,8 ± 0,1	2,6 ± 0,1	0,0	-1,2	0,1	-1,0
35	2,9 ± 0,1	3,1 ± 0,1	0,9	2,7	0,7	2,0
36	2,8 ± 0,1	2,7 ± 0,1	-0,2	-1,0	-0,3	-0,7
37	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,2	-0,8	-0,0	-0,9	-0,0
38	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1
39	3,0 ± 0,1	2,9 ± 0,1	1,6	1,1	1,9	1,0
40	2,7 ± 0,2	2,8 ± 0,2	-0,8	0,1	-0,4	0,1
41	2,9 ± 0,3	2,9 ± 0,3	1,1	1,1	0,4	0,4
41	2,8 ± 0,3	2,9 ± 0,3	0,1	1,1	0,1	0,4
42	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-0,8	0,1	-0,8	0,1
43	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-0,1	0,3	-0,3	0,6
44	2,3 ± 0,1	2,0 ± 0,1	-4,7	-7,6	-3,4	-6,3
45	2,9 ± 0,2	2,7 ± 0,1	1,2	-1,2	0,7	-0,8
46	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	-0,5	0,2	-0,4	0,2

Co - 60						
$x_{pt} = 2,79 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,11 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,01 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
47	2,8 ± 0,1	2,7 ± 0,1	-0,3	-0,6	-0,5	-1,1
48	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,2	0,4	0,3	0,5
49	2,7 ± 0,0	2,8 ± 0,1	-0,9	-0,2	-2,3	-0,2
50	2,8 ± 0,2	2,8 ± 0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
51	2,6 ± 0,1	2,7 ± 0,1	-1,3	-0,7	-1,3	-0,7
52	2,7 ± 0,2	2,7 ± 0,2	-1,0	-0,6	-0,7	-0,4
53	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,1	0,3	0,1	0,3
53	3,0 ± 0,2	2,7 ± 0,2	1,7	-0,6	1,1	-0,3
54	2,6 ± 0,1	2,6 ± 0,1	-1,9	-1,3	-1,7	-1,2
55	2,8 ± 0,3	2,7 ± 0,3	0,0	-0,9	0,0	-0,3
56	2,6 ± 0,3	2,8 ± 0,4	-1,2	-0,1	-0,4	-0,0
57	2,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1	1,1	0,4	1,3	0,5
60	2,8 ± 0,2	2,6 ± 0,2	-0,2	-1,5	-0,1	-1,0
61	2,8 ± 0,2	3,0 ± 0,2	0,3	1,8	0,2	0,9
62	2,8 ± 0,3	2,7 ± 0,3	-0,2	-0,4	-0,1	-0,2
63	2,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1	1,1	0,1	0,8	0,1
64	2,6 ± 0,1	2,9 ± 0,2	-1,3	1,4	-1,0	1,0
65	2,9 ± 0,3	2,9 ± 0,1	1,1	0,9	0,4	0,7
66	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	0,4	0,3	0,3	0,2
67	2,6 ± 0,1	2,6 ± 0,1	-2,1	-1,8	-1,5	-3,2
68	3,0 ± 0,2	3,0 ± 0,2	2,0	2,0	1,1	1,1
68	2,9 ± 0,2	3,0 ± 0,2	1,1	1,5	0,6	0,8
69	2,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1	1,3	0,0	1,0	0,0
70	2,8 ± 0,3	2,9 ± 0,3	0,1	0,8	0,0	0,3
71	2,7 ± 0,3	2,9 ± 0,3	-0,8	0,8	-0,3	0,3

Tabelle A.3: Messwerte und Bewertungen Co - 60

I - 131						
$x_{pt} = 336,90 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 12,96 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 1,32 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	337,6 ± 10,8	337,6 ± 10,8	0,1	0,1	0,1	0,1
2	328,0 ± 10,7	329,0 ± 10,7	-0,7	-0,6	-0,8	-0,7
3	339,0 ± 34,0	341,0 ± 34,0	0,2	0,3	0,1	0,1
4	332,6 ± 10,3	330,8 ± 10,3	-0,3	-0,5	-0,4	-0,6
5	345,4 ± 19,1	347,3 ± 18,9	0,7	0,8	0,4	0,5
6	348,9 ± 14,5	344,8 ± 15,0	0,9	0,6	0,8	0,5
7	340,0 ± 34,0	322,0 ± 32,0	0,2	-1,1	0,1	-0,5
8	333,0 ± 13,7	341,0 ± 14,0	-0,3	0,3	-0,3	0,3
9	324,0 ± 2,6	329,0 ± 2,7	-1,0	-0,6	-4,4	-2,6
10	354,0 ± 35,0	347,0 ± 35,0	1,3	0,8	0,5	0,3
11	354,0 ± 11,3	346,0 ± 14,2	1,3	0,7	1,5	0,6
12	333,0 ± 26,0	340,0 ± 25,0	-0,3	0,2	-0,1	0,1

I-131						
$x_{pt} = 336,90 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 12,96 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 1,32 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
13	333,0 ± 26,0	334,0 ± 26,0	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1
14	329,0 ± 5,9	330,0 ± 6,6	-0,6	-0,5	-1,3	-1,0
15	341,9 ± 7,9	341,8 ± 8,0	0,4	0,4	0,6	0,6
16	340,0 ± 20,0	340,0 ± 20,0	0,2	0,2	0,2	0,2
17	448,0 ± 5,9	446,0 ± 5,9	8,6	8,4	18,5	18,0
17	446,0 ± 5,8	447,0 ± 5,9	8,4	8,5	18,2	18,2
18	334,0 ± 36,0	333,0 ± 36,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1
19	366,0 ± 36,0	366,0 ± 36,0	2,2	2,2	0,8	0,8
20	336,0 ± 23,0	336,0 ± 23,0	-0,1	-0,1	-0,0	-0,0
21	326,8 ± 12,5	319,0 ± 12,2	-0,8	-1,4	-0,8	-1,5
22	332,0 ± 10,8	341,5 ± 12,0	-0,4	0,4	-0,5	0,4
24	343,5 ± 9,7	339,2 ± 9,6	0,5	0,2	0,7	0,2
25	342,0 ± 33,9	358,0 ± 35,5	0,4	1,6	0,2	0,6
26	343,6 ± 7,4	341,7 ± 7,3	0,5	0,4	0,9	0,6
27	311,1 ± 16,9	334,9 ± 17,1	-2,0	-0,2	-1,5	-0,1
28	330,7 ± 14,0	334,1 ± 14,2	-0,5	-0,2	-0,4	-0,2
28	323,1 ± 13,5	327,3 ± 13,7	-1,1	-0,7	-1,0	-0,7
29	343,0 ± 19,2	341,0 ± 19,1	0,5	0,3	0,3	0,2
30	317,3 ± 23,2	321,6 ± 23,6	-1,5	-1,2	-0,8	-0,6
30	318,1 ± 23,4	325,9 ± 24,4	-1,5	-0,8	-0,8	-0,5
31	335,0 ± 19,0	330,0 ± 20,0	-0,1	-0,5	-0,1	-0,3
32	342,0 ± 18,0	339,0 ± 11,0	0,4	0,2	0,3	0,2
33	299,3 ± 9,8	302,7 ± 11,7	-2,9	-2,6	-3,8	-2,9
34	326,0 ± 10,0	325,0 ± 10,0	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2
35	328,0 ± 16,0	331,0 ± 17,0	-0,7	-0,5	-0,6	-0,3
36	329,5 ± 11,4	342,3 ± 13,6	-0,6	0,4	-0,6	0,4
37	333,1 ± 11,4	327,5 ± 25,1	-0,3	-0,7	-0,3	-0,4
38	346,2 ± 29,8	345,2 ± 29,7	0,7	0,6	0,3	0,3
39	364,2 ± 13,7	358,9 ± 14,1	2,1	1,7	2,0	1,6
40	336,0 ± 42,0	325,0 ± 41,0	-0,1	-0,9	-0,0	-0,3
40	337,2 ± 27,5	337,0 ± 27,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	359,0 ± 30,0	359,0 ± 30,0	1,7	1,7	0,7	0,7
41	352,0 ± 29,0	362,0 ± 29,0	1,2	1,9	0,5	0,9
42	335,5 ± 10,7	342,2 ± 10,7	-0,1	0,4	-0,1	0,5
43	347,0 ± 7,2	348,0 ± 7,3	0,8	0,9	1,4	1,5
44	340,0 ± 16,0	354,0 ± 17,0	0,2	1,3	0,2	1,0
45	336,0 ± 17,0	322,0 ± 14,0	-0,1	-1,1	-0,1	-1,1
46	343,0 ± 18,0	344,0 ± 18,0	0,5	0,5	0,3	0,4
47	332,3 ± 4,5	331,7 ± 4,5	-0,4	-0,4	-1,0	-1,1
48	349,1 ± 7,4	344,5 ± 8,9	0,9	0,6	1,6	0,8
49	338,0 ± 11,0	340,0 ± 17,0	0,1	0,2	0,1	0,2
50	344,0 ± 20,6	344,0 ± 2,7	0,5	0,5	0,3	2,4
51	333,0 ± 11,3	320,0 ± 10,9	-0,3	-1,3	-0,3	-1,5
52	316,0 ± 16,3	313,0 ± 16,1	-1,6	-1,8	-1,3	-1,5

I-131						
$x_{pt} = 336,90 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 12,96 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 1,32 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
53	338,0 ± 11,0	342,0 ± 11,0	0,1	0,4	0,1	0,5
53	356,0 ± 12,0	336,0 ± 12,0	1,5	-0,1	1,6	-0,1
54	324,0 ± 14,0	329,0 ± 14,0	-1,0	-0,6	-0,9	-0,6
55	344,0 ± 20,0	338,0 ± 20,0	0,5	0,1	0,4	0,1
56	335,0 ± 26,0	341,0 ± 19,8	-0,1	0,3	-0,1	0,2
57	339,0 ± 16,1	319,0 ± 15,1	0,2	-1,4	0,1	-1,2
60	358,0 ± 12,0	352,0 ± 12,0	1,6	1,2	1,7	1,3
61	351,3 ± 30,5	351,1 ± 30,5	1,1	1,1	0,5	0,5
62	345,7 ± 35,0	349,1 ± 35,0	0,7	0,9	0,3	0,3
63	358,0 ± 29,0	361,0 ± 29,0	1,6	1,9	0,7	0,8
64	330,0 ± 24,5	327,0 ± 24,2	-0,5	-0,8	-0,3	-0,4
65	225,8 ± 8,6	314,0 ± 7,5	-8,6	-1,8	-12,8	-3,0
66	345,0 ± 30,0	345,0 ± 3,0	0,6	0,6	0,3	2,5
67	322,9 ± 9,1	316,4 ± 5,5	-1,1	-1,6	-1,5	-3,6
68	327,0 ± 17,0	326,0 ± 17,0	-0,8	-0,8	-0,6	-0,6
68	329,0 ± 18,0	330,0 ± 16,0	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4
69	342,0 ± 21,0	331,0 ± 15,0	0,4	-0,5	0,2	-0,4
70	324,0 ± 33,0	335,0 ± 34,2	-1,0	-0,1	-0,4	-0,1
71	290,1 ± 23,7	291,3 ± 23,8	-3,6	-3,5	-2,0	-1,9

Tabelle A.4: Messwerte und Bewertungen I-131

Ba-133						
$x_{pt} = 4,10 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,25 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,03 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	4,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	-0,4	-0,3	-0,9	-0,6
2	3,8 ± 0,2	3,9 ± 0,2	-1,0	-0,9	-1,7	-1,4
3	4,5 ± 0,5	3,8 ± 0,5	1,6	-1,2	0,8	-0,6
4	3,9 ± 0,1	4,0 ± 0,2	-0,9	-0,3	-1,5	-0,3
5	4,2 ± 0,2	4,3 ± 0,2	0,3	0,7	0,3	0,7
6	4,3 ± 0,2	3,9 ± 0,2	0,7	-0,8	0,8	-1,3
7	3,8 ± 0,4	3,5 ± 0,4	-1,2	-2,3	-0,7	-1,5
8	3,9 ± 0,3	4,4 ± 0,3	-0,7	1,1	-0,7	1,1
9	3,9 ± 0,1	3,8 ± 0,2	-0,7	-1,0	-1,4	-1,6
10	4,2 ± 0,4	4,0 ± 0,4	0,5	-0,3	0,3	-0,2
11	4,2 ± 0,2	4,0 ± 0,2	0,2	-0,3	0,3	-0,4
12	4,2 ± 0,3	4,4 ± 0,3	0,4	1,2	0,3	1,0
13	3,9 ± 0,3	4,2 ± 0,4	-0,6	0,3	-0,5	0,2
14	3,5 ± 0,4	3,9 ± 0,3	-2,3	-0,8	-1,5	-0,7
15	4,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	-0,4	-0,4	-0,9	-0,9
16	4,0 ± 0,3	4,0 ± 0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4
17	4,8 ± 0,5	4,4 ± 0,5	2,6	1,0	1,4	0,5
17	5,3 ± 0,6	4,3 ± 0,5	4,7	0,9	2,0	0,4

Ba - 133						
$x_{pt} = 4,10 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,25 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,03 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
18	3,9 ± 0,4	4,1 ± 0,5	-0,9	0,1	-0,5	0,0
19	4,3 ± 0,6	4,3 ± 0,5	0,6	0,8	0,3	0,4
20	3,9 ± 0,3	4,1 ± 0,3	-0,8	0,1	-0,6	0,1
21	4,3 ± 0,2	4,2 ± 0,2	0,7	0,4	0,9	0,5
22	4,7 ± 0,3	4,1 ± 0,5	2,4	0,1	2,1	0,0
24	3,8 ± 0,2	4,0 ± 0,2	-1,0	-0,2	-1,0	-0,2
25	4,5 ± 0,5	4,3 ± 0,5	1,5	0,9	0,8	0,5
26	4,1 ± 0,2	4,0 ± 0,1	-0,1	-0,6	-0,1	-1,0
27	3,8 ± 0,3	4,4 ± 0,3	-1,4	1,2	-1,2	1,0
28	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,3	2,4	0,8	1,5	0,7
28	4,3 ± 0,3	4,4 ± 0,3	0,8	1,2	0,7	1,0
29	4,3 ± 0,3	4,1 ± 0,3	0,8	-0,1	0,6	-0,1
30	3,8 ± 0,5	3,9 ± 0,8	-1,0	-0,7	-0,5	-0,2
30	4,3 ± 0,8	4,4 ± 0,6	0,9	1,0	0,3	0,4
31	4,3 ± 0,2	4,1 ± 0,3	1,0	0,1	1,2	0,1
32	4,2 ± 0,2	4,4 ± 0,2	0,4	1,2	0,5	1,5
33	4,0 ± 0,1	4,2 ± 0,2	-0,3	0,2	-0,4	0,3
34	3,6 ± 0,1	3,5 ± 0,2	-1,8	-2,5	-2,9	-3,6
35	4,0 ± 0,2	3,8 ± 0,2	-0,3	-1,3	-0,3	-1,7
36	3,7 ± 0,1	4,1 ± 0,2	-1,7	0,1	-4,1	0,1
37	3,8 ± 0,2	3,7 ± 0,3	-1,3	-1,7	-2,1	-1,5
38	4,0 ± 0,3	4,0 ± 0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
39	4,5 ± 0,2	4,1 ± 0,3	1,5	0,1	1,9	0,1
40	4,1 ± 0,3	4,1 ± 0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
41	4,5 ± 0,4	4,4 ± 0,4	1,6	1,2	1,1	0,8
41	4,2 ± 0,4	4,4 ± 0,4	0,4	1,2	0,3	0,8
42	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
43	3,9 ± 0,2	4,0 ± 0,2	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4
44	4,1 ± 0,3	4,2 ± 0,3	0,1	0,4	0,1	0,3
45	3,8 ± 0,5	4,0 ± 0,3	-1,2	-0,5	-0,6	-0,4
46	4,0 ± 0,3	4,4 ± 0,3	-0,3	1,1	-0,3	0,9
47	3,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	-1,9	-1,3	-4,0	-3,2
48	4,1 ± 0,1	4,2 ± 0,1	0,2	0,4	0,3	0,7
49	4,1 ± 0,2	4,4 ± 0,2	0,1	1,0	0,1	1,1
50	3,8 ± 0,3	4,0 ± 0,3	-1,0	-0,2	-1,0	-0,2
51	3,7 ± 0,2	4,0 ± 0,2	-1,4	-0,5	-2,2	-0,8
52	3,9 ± 0,2	3,7 ± 0,2	-0,9	-1,5	-1,0	-1,7
53	4,0 ± 0,2	3,9 ± 0,2	-0,2	-0,9	-0,2	-1,0
53	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2	0,2	-0,1	0,2	-0,1
54	4,0 ± 0,2	4,0 ± 0,2	-0,5	-0,2	-0,6	-0,2
55	4,3 ± 0,4	4,1 ± 0,4	0,8	0,1	0,5	0,1
56	4,0 ± 0,5	4,3 ± 0,6	-0,3	0,7	-0,2	0,3
57	3,9 ± 0,3	4,0 ± 0,3	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4
60	4,1 ± 0,4	4,2 ± 0,3	0,1	0,4	0,0	0,4

Ba - 133						
$x_{pt} = 4,10 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,25 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,03 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
62	4,1 ± 0,5	4,3 ± 0,5	0,1	0,7	0,1	0,4
63	4,0 ± 0,2	4,2 ± 0,2	-0,4	0,4	-0,4	0,4
64	4,1 ± 0,3	4,3 ± 0,3	0,2	0,7	0,1	0,5
65	3,5 ± 0,3	4,0 ± 0,4	-2,3	-0,4	-1,8	-0,3
66	4,3 ± 0,4	4,3 ± 0,4	0,6	0,7	0,4	0,4
67	4,5 ± 0,3	4,5 ± 0,2	1,6	1,8	1,1	2,8
68	4,1 ± 0,3	4,3 ± 0,3	0,0	0,6	0,0	0,6
68	4,0 ± 0,3	4,2 ± 0,3	-0,4	0,4	-0,3	0,3
69	4,3 ± 0,2	4,2 ± 0,2	0,8	0,4	1,0	0,5
70	4,1 ± 0,5	3,7 ± 0,4	0,1	-1,4	0,0	-0,9
71	4,5 ± 0,5	4,5 ± 0,5	1,7	1,7	0,8	0,9

Tabelle A.5: Messwerte und Bewertungen Ba - 133

Cs - 134						
$x_{pt} = 5,40 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,21 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,02 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	5,3 ± 0,1	5,4 ± 0,1	-0,4	-0,2	-0,6	-0,2
2	5,7 ± 0,2	5,6 ± 0,2	1,5	1,1	1,7	1,2
3	5,6 ± 0,6	5,2 ± 0,5	0,9	-1,0	0,3	-0,4
4	5,3 ± 0,2	5,3 ± 0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,9
5	5,4 ± 0,3	5,5 ± 0,3	-0,1	0,4	-0,1	0,3
6	5,3 ± 0,2	4,9 ± 0,2	-0,7	-2,2	-0,7	-2,3
7	4,9 ± 0,5	4,8 ± 0,5	-2,4	-2,9	-1,0	-1,2
8	5,3 ± 0,2	5,3 ± 0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5
9	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,1	-2,0	-1,9	-4,7	-4,4
10	5,3 ± 0,5	5,4 ± 0,5	-0,6	0,2	-0,2	0,1
11	5,5 ± 0,1	5,5 ± 0,2	0,3	0,3	0,5	0,4
12	5,2 ± 0,4	5,4 ± 0,4	-1,0	-0,0	-0,5	-0,0
13	5,5 ± 0,4	5,3 ± 0,4	0,5	-0,3	0,2	-0,2
14	5,4 ± 0,2	5,4 ± 0,3	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0
15	5,4 ± 0,1	5,3 ± 0,1	-0,0	-0,5	-0,0	-1,0
16	5,5 ± 0,2	5,7 ± 0,2	0,5	1,4	0,4	1,2
17	5,4 ± 0,2	6,1 ± 0,3	0,2	3,4	0,2	2,3
17	5,0 ± 0,3	5,1 ± 0,3	-2,0	-1,6	-1,6	-1,3
18	5,4 ± 0,6	5,4 ± 0,6	0,1	0,1	0,0	0,0
19	5,0 ± 0,5	5,1 ± 0,5	-1,7	-1,4	-0,7	-0,6
20	5,6 ± 0,5	5,5 ± 0,5	1,1	0,5	0,5	0,2
21	5,5 ± 0,2	5,4 ± 0,2	0,5	0,1	0,5	0,1
22	5,4 ± 0,2	5,4 ± 0,3	-0,0	0,2	-0,0	0,1
23	533,2 ± 127,4	464,5 ± 103,6	2493,9	2169,3	4,1	4,4
24	5,3 ± 0,1	5,3 ± 0,1	-0,4	-0,3	-0,8	-0,6
25	5,6 ± 0,5	5,6 ± 0,6	1,0	0,9	0,4	0,3

Cs - 134						
$x_{pt} = 5,40 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,21 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,02 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
26	5,7 ± 0,2	5,5 ± 0,1	1,6	0,5	2,1	0,7
27	5,4 ± 0,3	5,0 ± 0,3	0,1	-1,7	0,1	-1,3
28	5,8 ± 0,3	5,7 ± 0,3	1,9	1,4	1,3	1,0
28	5,8 ± 0,3	5,6 ± 0,3	1,9	0,9	1,3	0,7
29	5,4 ± 0,3	5,4 ± 0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,0
30	5,4 ± 0,5	5,3 ± 0,5	0,1	-0,7	0,1	-0,3
30	5,4 ± 0,6	5,7 ± 0,6	0,1	1,5	0,0	0,6
31	5,5 ± 0,2	5,3 ± 0,2	0,2	-0,5	0,2	-0,4
32	5,5 ± 0,2	5,5 ± 0,2	0,5	0,5	0,5	0,5
33	5,3 ± 0,2	5,5 ± 0,2	-0,3	0,5	-0,4	0,5
34	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,2	-2,0	-2,1	-2,8	-1,8
35	5,1 ± 0,2	5,3 ± 0,3	-1,6	-0,5	-1,4	-0,3
36	5,1 ± 0,2	5,3 ± 0,2	-1,5	-0,6	-2,0	-0,6
37	5,2 ± 0,2	5,3 ± 0,3	-0,9	-0,7	-1,1	-0,4
38	5,5 ± 0,4	5,5 ± 0,4	0,6	0,6	0,3	0,4
39	5,8 ± 0,2	5,4 ± 0,2	2,0	0,1	2,5	0,1
40	5,4 ± 0,3	5,5 ± 0,3	-0,0	0,5	-0,0	0,3
41	5,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5	0,5	0,5	0,2	0,2
41	5,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	0,5	0,9	0,2	0,4
42	5,4 ± 0,2	5,5 ± 0,2	-0,0	0,5	-0,0	0,5
43	5,5 ± 0,1	5,5 ± 0,1	0,5	0,5	1,5	1,5
44	5,5 ± 0,3	5,6 ± 0,3	0,4	0,8	0,3	0,6
45	6,0 ± 0,3	5,5 ± 0,3	2,8	0,3	2,0	0,2
46	5,6 ± 0,3	5,5 ± 0,3	0,9	0,7	0,6	0,5
47	4,9 ± 0,1	4,9 ± 0,9	-2,2	-2,3	-4,5	-0,5
48	5,5 ± 0,1	5,7 ± 0,2	0,4	1,3	0,6	1,7
49	5,6 ± 0,2	5,3 ± 0,3	0,7	-0,3	0,9	-0,2
50	5,5 ± 0,3	5,4 ± 0,3	0,5	0,1	0,3	0,1
51	5,3 ± 0,2	5,1 ± 0,2	-0,5	-1,6	-0,6	-1,8
52	5,2 ± 0,3	5,2 ± 0,3	-0,7	-0,9	-0,6	-0,7
53	5,5 ± 0,2	5,4 ± 0,2	0,3	0,0	0,3	0,0
53	5,5 ± 0,2	5,7 ± 0,2	0,5	1,5	0,5	1,3
54	5,1 ± 0,2	5,2 ± 0,2	-1,3	-1,0	-1,2	-0,9
55	5,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	0,3	0,7	0,1	0,3
56	5,4 ± 0,6	5,4 ± 0,7	0,2	-0,2	0,1	-0,0
57	5,5 ± 0,2	5,1 ± 0,2	0,4	-1,5	0,5	-1,9
59	4,7 ± 0,1	4,9 ± 0,2	-3,3	-2,4	-6,9	-2,5
60	5,2 ± 0,2	5,0 ± 0,2	-0,8	-1,7	-0,7	-1,8
61	5,2 ± 0,4	5,3 ± 0,4	-1,0	-0,4	-0,6	-0,2
62	5,2 ± 0,6	5,2 ± 0,6	-0,9	-1,2	-0,3	-0,4
63	5,6 ± 0,3	5,7 ± 0,3	0,9	1,4	0,7	1,0
64	5,4 ± 0,3	5,5 ± 0,3	-0,2	0,4	-0,1	0,2
65	5,5 ± 0,4	5,1 ± 0,2	0,5	-1,4	0,2	-1,8
66	5,8 ± 0,3	5,7 ± 0,3	1,7	1,6	1,1	1,1

Cs - 134						
$x_{pt} = 5,40 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,21 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,02 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
67	5,5 ± 0,2	5,5 ± 0,1	0,3	0,5	0,2	0,8
68	5,4 ± 0,3	5,7 ± 0,3	0,2	1,4	0,1	1,0
68	5,6 ± 0,3	5,2 ± 0,3	0,9	-0,9	0,7	-0,6
69	5,7 ± 0,2	5,6 ± 0,2	1,2	1,1	1,2	1,3
70	5,3 ± 0,6	5,4 ± 0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1
71	5,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	0,5	0,7	0,2	0,3

Tabelle A.6: Messwerte und Bewertungen Cs - 134

Cs - 137						
$x_{pt} = 7,54 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,28 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,03 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
1	7,6 ± 0,2	7,5 ± 0,2	0,4	0,0	0,4	0,0
2	7,7 ± 0,3	7,7 ± 0,3	0,6	0,6	0,7	0,6
3	7,3 ± 0,7	7,3 ± 0,7	-0,9	-0,9	-0,3	-0,3
4	7,4 ± 0,2	7,4 ± 0,3	-0,6	-0,6	-0,7	-0,5
5	7,7 ± 0,4	7,7 ± 0,4	0,6	0,4	0,4	0,3
6	7,6 ± 0,3	7,3 ± 0,3	0,4	-0,7	0,3	-0,6
7	7,4 ± 0,7	7,6 ± 0,8	-0,5	0,2	-0,2	0,1
8	7,7 ± 0,5	7,4 ± 0,5	0,4	-0,6	0,2	-0,3
9	7,6 ± 0,2	7,4 ± 0,1	0,2	-0,4	0,3	-0,7
10	7,2 ± 0,7	7,4 ± 0,7	-1,2	-0,5	-0,5	-0,2
11	7,8 ± 0,5	7,7 ± 0,5	0,8	0,6	0,5	0,3
12	7,4 ± 0,7	7,5 ± 0,7	-0,5	-0,1	-0,2	-0,1
13	7,5 ± 0,6	7,5 ± 0,6	0,0	-0,2	0,0	-0,1
14	7,5 ± 0,4	7,4 ± 0,4	-0,1	-0,5	-0,1	-0,3
15	7,3 ± 0,1	7,3 ± 0,1	-0,9	-0,9	-2,3	-2,3
16	7,7 ± 0,5	7,7 ± 0,5	0,6	0,6	0,3	0,3
17	7,6 ± 0,3	7,5 ± 0,3	0,4	0,0	0,3	0,0
17	7,5 ± 0,3	8,1 ± 0,3	-0,2	2,2	-0,2	1,9
18	7,5 ± 0,8	7,6 ± 0,8	-0,2	0,1	-0,1	0,0
19	7,8 ± 0,8	7,9 ± 0,8	0,9	1,2	0,3	0,4
20	7,7 ± 0,5	7,6 ± 0,5	0,7	0,4	0,4	0,2
21	7,4 ± 0,3	7,4 ± 0,3	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6
22	7,4 ± 0,5	7,7 ± 0,5	-0,5	0,6	-0,3	0,3
23	3,6 ± 0,7	2,7 ± 0,5	-14,3	-17,6	-5,6	-9,7
24	7,5 ± 0,1	7,5 ± 0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4
25	7,7 ± 0,7	7,9 ± 0,8	0,4	1,3	0,2	0,5
26	7,7 ± 0,2	7,7 ± 0,2	0,7	0,5	0,9	0,6
27	6,9 ± 0,4	7,3 ± 0,4	-2,3	-0,7	-1,5	-0,5
28	7,4 ± 0,4	7,7 ± 0,4	-0,5	0,6	-0,3	0,4
28	7,5 ± 0,4	7,6 ± 0,4	-0,1	0,2	-0,1	0,2
29	7,3 ± 0,4	7,3 ± 0,4	-0,8	-0,8	-0,5	-0,5

Cs - 137						
$x_{pt} = 7,54 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,28 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,03 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
30	7,5 ± 0,7	7,6 ± 0,6	-0,1	0,4	-0,1	0,2
30	7,8 ± 0,7	7,8 ± 0,7	1,0	0,8	0,4	0,3
31	7,4 ± 0,4	7,2 ± 0,5	-0,5	-1,0	-0,3	-0,6
32	7,8 ± 0,2	7,8 ± 0,2	1,0	1,0	1,3	1,3
33	7,4 ± 0,2	7,6 ± 0,3	-0,6	0,3	-0,7	0,3
34	7,5 ± 0,2	7,6 ± 0,3	-0,0	0,1	-0,0	0,1
35	6,9 ± 0,3	7,6 ± 0,4	-2,2	0,2	-1,7	0,2
36	7,3 ± 0,2	7,3 ± 0,3	-0,9	-0,9	-1,1	-0,8
37	7,5 ± 0,3	7,1 ± 0,5	-0,0	-1,5	-0,0	-0,8
38	7,8 ± 0,5	7,5 ± 0,5	0,8	-0,1	0,4	-0,1
39	8,1 ± 0,5	8,2 ± 0,5	2,1	2,3	1,2	1,2
40	7,4 ± 0,5	7,5 ± 0,5	-0,5	-0,1	-0,3	-0,1
41	7,9 ± 0,7	7,8 ± 0,7	1,3	1,0	0,5	0,4
41	7,9 ± 0,7	7,9 ± 0,7	1,3	1,3	0,5	0,5
42	7,4 ± 0,3	7,5 ± 0,2	-0,5	-0,1	-0,5	-0,2
43	7,5 ± 0,1	7,6 ± 0,1	-0,2	0,1	-0,4	0,2
44	7,2 ± 0,4	7,9 ± 0,4	-1,2	1,2	-0,9	0,8
45	8,1 ± 0,5	7,0 ± 0,4	2,2	-1,8	1,3	-1,2
46	7,7 ± 0,6	7,6 ± 0,6	0,5	0,4	0,2	0,2
47	7,8 ± 0,3	7,8 ± 0,3	1,1	0,8	1,1	0,8
48	7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,2	0,3	0,5	0,4	0,6
49	7,5 ± 0,2	7,5 ± 0,4	-0,0	-0,2	-0,0	-0,2
50	7,5 ± 0,6	7,7 ± 0,6	-0,1	0,6	-0,1	0,3
51	7,5 ± 0,3	7,5 ± 0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2
52	7,0 ± 0,4	7,0 ± 0,4	-1,9	-2,0	-1,3	-1,4
53	7,7 ± 0,3	7,5 ± 0,3	0,5	0,0	0,5	0,0
53	7,2 ± 0,3	7,7 ± 0,4	-1,4	0,5	-1,2	0,3
54	7,2 ± 0,3	7,1 ± 0,3	-1,1	-1,6	-0,9	-1,3
55	7,7 ± 0,5	7,5 ± 0,5	0,6	-0,2	0,3	-0,1
56	7,4 ± 0,6	7,6 ± 0,5	-0,5	0,1	-0,2	0,1
57	7,3 ± 0,4	7,0 ± 0,4	-0,8	-2,0	-0,5	-1,3
59	7,3 ± 0,3	7,2 ± 0,3	-0,9	-1,2	-0,8	-1,1
60	7,7 ± 0,3	7,9 ± 0,3	0,6	1,2	0,6	1,2
61	8,1 ± 0,6	7,9 ± 0,6	2,0	1,3	0,9	0,6
62	7,5 ± 0,8	7,6 ± 0,8	0,0	0,2	0,0	0,1
63	7,9 ± 0,4	8,0 ± 0,4	1,3	1,7	0,9	1,2
64	7,0 ± 0,4	7,0 ± 0,4	-1,8	-1,9	-1,1	-1,2
65	7,4 ± 0,5	7,8 ± 0,4	-0,5	1,0	-0,3	0,7
66	7,7 ± 0,5	7,7 ± 0,5	0,6	0,5	0,3	0,2
67	7,2 ± 0,2	7,0 ± 0,1	-1,0	-2,0	-1,2	-4,7
68	7,4 ± 0,4	7,4 ± 0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,3
68	7,6 ± 0,5	7,7 ± 0,5	0,2	0,6	0,1	0,3
69	7,9 ± 0,5	7,9 ± 0,3	1,4	1,5	0,8	1,2
70	7,4 ± 0,8	7,7 ± 0,8	-0,4	0,6	-0,1	0,2

Cs - 137						
$x_{pt} = 7,54 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,28 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,03 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M ₁ [Bq/l]	M ₂ [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ-score ₁	ζ-score ₂
71	6,8 ± 0,6	6,9 ± 0,6	-2,5	-2,2	-1,2	-1,0

Tabelle A.7: Messwerte und Bewertungen Cs - 137

Sr - 89						
$x_{pt} = 15,87 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 1,72 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,25 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M ₁ [Bq/l]	M ₂ [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ-score ₁	ζ-score ₂
8	14,7 ± 1,3	14,9 ± 1,0	-0,7	-0,6	-0,9	-1,0
10	13,2 ± 0,7	13,8 ± 0,7	-1,6	-1,2	-3,7	-2,8
11	22,6 ± 1,6	19,1 ± 1,3	3,9	1,9	4,2	2,4
11	17,8 ± 1,3	14,3 ± 1,0	1,1	-0,9	1,5	-1,5
12	18,8 ± 1,1	18,4 ± 1,1	1,7	1,5	2,6	2,3
13	15,6 ± 3,1	16,2 ± 3,2	-0,2	0,2	-0,1	0,1
13	15,6 ± 3,1	16,1 ± 3,2	-0,2	0,1	-0,1	0,1
14	15,4 ± 2,0	15,8 ± 2,0	-0,3	-0,0	-0,2	-0,0
16	13,1 ± 1,9	15,3 ± 2,3	-1,6	-0,3	-1,4	-0,3
22	15,8 ± 0,1	15,5 ± 0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-1,5
25	15,4 ± 0,8	15,3 ± 0,8	-0,3	-0,3	-0,5	-0,7
27	15,4 ± 3,1	16,7 ± 3,5	-0,3	0,5	-0,2	0,2
29	17,4 ± 1,3	17,6 ± 1,3	0,9	1,0	1,2	1,4
32	16,4 ± 1,3	16,8 ± 1,4	0,3	0,5	0,4	0,7
37	15,7 ± 0,9	15,3 ± 0,9	-0,1	-0,3	-0,2	-0,6
40	13,8 ± 1,4	13,2 ± 1,4	-1,2	-1,6	-1,5	-1,9
42	18,7 ± 1,1	17,8 ± 1,0	1,6	1,1	2,5	1,9
43	17,7 ± 1,8	17,7 ± 1,8	1,1	1,1	1,0	1,0
45	15,9 ± 1,7	15,9 ± 1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
46	16,6 ± 1,5	16,7 ± 1,6	0,4	0,5	0,5	0,5
46	16,4 ± 1,5	14,6 ± 1,5	0,3	-0,7	0,3	-0,8
47	14,2 ± 1,4	14,6 ± 1,5	-1,0	-0,7	-1,1	-0,8
48	16,3 ± 0,6	18,8 ± 0,9	0,2	1,7	0,6	3,1
49	14,3 ± 0,9	14,3 ± 0,9	-0,9	-0,9	-1,7	-1,7
50	15,9 ± 0,9	15,9 ± 1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
51	16,0 ± 1,9	18,9 ± 2,4	0,1	1,8	0,1	1,3
52	18,9 ± 2,1	17,1 ± 1,9	1,8	0,7	1,5	0,6
53	16,2 ± 0,9	16,6 ± 0,9	0,2	0,4	0,4	0,8
53	16,8 ± 0,9	16,7 ± 0,9	0,5	0,5	0,9	0,8
54	14,3 ± 1,8	14,6 ± 1,8	-0,9	-0,7	-0,9	-0,7
57	15,1 ± 1,2	15,2 ± 1,2	-0,5	-0,4	-0,6	-0,5
57	14,3 ± 1,1	15,1 ± 1,2	-0,9	-0,5	-1,3	-0,6
58	14,3 ± 1,4	13,7 ± 1,4	-0,9	-1,3	-1,1	-1,5
60	15,9 ± 2,5	14,6 ± 1,5	0,0	-0,7	0,0	-0,8
63	15,0 ± 1,5	-	-0,5	-	-0,6	-
64	13,2 ± 1,2	13,7 ± 1,3	-1,6	-1,3	-2,2	-1,6

Sr - 89						
$x_{pt} = 15,87 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 1,72 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,25 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
66	17,9 ± 0,8	17,6 ± 0,8	1,2	1,0	2,5	2,1
67	17,8 ± 1,4	15,5 ± 1,2	1,1	-0,2	1,4	-0,3

Tabelle A.8: Messwerte und Bewertungen Sr - 89

Sr - 90						
$x_{pt} = 4,30 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,59 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,08 \text{ Bq/l}$						
Labor-code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
7	3,2 ± 0,7	3,6 ± 0,7	-1,9	-1,2	-1,6	-1,0
8	3,5 ± 0,5	3,6 ± 0,5	-1,3	-1,2	-1,5	-1,4
9	3,3 ± 0,5	3,4 ± 0,5	-1,7	-1,6	-2,1	-1,9
10	4,8 ± 0,2	4,9 ± 0,2	0,9	1,1	1,9	2,5
11	4,9 ± 0,4	3,9 ± 0,3	1,0	-0,7	1,5	-1,3
12	4,1 ± 0,2	4,3 ± 0,2	-0,4	-0,1	-0,9	-0,2
13	4,4 ± 8,8	4,4 ± 8,8	0,2	0,2	0,0	0,0
13	3,9 ± 1,2	4,5 ± 1,4	-0,6	0,4	-0,3	0,2
13	4,8 ± 1,4	4,1 ± 1,2	0,9	-0,4	0,4	-0,2
14	4,1 ± 0,5	3,9 ± 0,5	-0,3	-0,7	-0,4	-0,8
16	4,1 ± 0,6	4,2 ± 0,6	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1
17	6,2 ± 0,1	6,4 ± 0,1	3,2	3,5	19,2	21,0
18	3,9 ± 0,3	3,8 ± 0,3	-0,6	-0,8	-1,3	-1,7
19	5,0 ± 0,4	4,7 ± 0,4	1,3	0,6	1,8	0,9
22	4,5 ± 0,0	4,6 ± 0,0	0,3	0,4	2,5	3,2
24	4,3 ± 0,3	4,0 ± 0,3	-0,0	-0,6	-0,0	-1,2
25	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8
27	3,6 ± 1,0	4,5 ± 1,5	-1,2	0,3	-0,7	0,1
29	4,3 ± 0,4	3,7 ± 0,3	0,0	-1,0	0,0	-1,7
32	3,8 ± 0,3	3,5 ± 0,3	-0,9	-1,3	-1,7	-2,5
33	4,2 ± 0,3	4,6 ± 0,4	-0,2	0,6	-0,3	0,9
37	5,1 ± 0,9	5,2 ± 1,3	1,4	1,5	0,9	0,7
40	4,2 ± 0,7	4,0 ± 0,7	-0,1	-0,5	-0,1	-0,4
42	4,7 ± 0,6	4,7 ± 0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
43	3,6 ± 0,7	4,3 ± 0,9	-1,2	0,0	-1,0	0,0
45	4,3 ± 0,6	4,1 ± 0,6	0,1	-0,3	0,1	-0,3
46	4,6 ± 0,5	4,4 ± 0,6	0,5	0,1	0,7	0,1
46	4,3 ± 0,6	5,3 ± 0,9	0,0	1,6	0,0	1,1
47	4,7 ± 0,5	4,2 ± 0,4	0,6	-0,1	0,8	-0,1
48	4,3 ± 0,8	4,1 ± 0,4	0,0	-0,3	0,0	-0,5
49	4,4 ± 0,4	3,6 ± 0,3	0,1	-1,1	0,2	-2,0
50	4,6 ± 0,6	4,3 ± 0,8	0,5	-0,0	0,5	-0,0
51	3,6 ± 0,6	3,7 ± 0,6	-1,1	-0,9	-1,1	-1,0
52	4,2 ± 0,4	5,2 ± 0,6	-0,3	1,6	-0,3	1,6
53	4,2 ± 0,5	4,2 ± 0,5	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3

Sr - 90						
$x_{pt} = 4,30 \text{ Bq/l}, \sigma_{pt} = 0,59 \text{ Bq/l}, u(x_{pt}) = 0,08 \text{ Bq/l}$						
Labor- code	M_1 [Bq/l]	M_2 [Bq/l]	z-score ₁	z-score ₂	ζ -score ₁	ζ -score ₂
53	4,5 ± 0,5	4,6 ± 0,5	0,4	0,6	0,5	0,6
54	3,9 ± 0,7	-	-0,7	-	-0,5	-
57	4,3 ± 0,4	4,7 ± 0,4	-0,0	0,6	-0,1	0,9
57	5,2 ± 0,5	5,3 ± 0,5	1,4	1,7	1,8	2,1
58	4,0 ± 0,6	5,1 ± 0,8	-0,5	1,3	-0,5	1,0
60	4,7 ± 0,7	5,0 ± 0,5	0,7	1,2	0,6	1,4
62	4,2 ± 0,7	4,5 ± 0,7	-0,1	0,3	-0,1	0,2
63	4,8 ± 0,5	-	0,9	-	1,0	-
64	5,2 ± 0,4	5,8 ± 0,5	1,6	2,5	2,1	2,9
66	3,6 ± 0,3	3,9 ± 0,3	-1,2	-0,7	-2,2	-1,2
67	3,4 ± 0,1	3,4 ± 0,1	-1,6	-1,5	-6,0	-5,5

Tabelle A.9: Messwerte und Bewertungen Sr - 90

A.3. Zertifikate der verwendeten Standards

Amersham plc
The Grove Centre

BB 226



Certificate of calibration of absolutely standardised cobalt-60 solution

PM 16797

ISSUED BY: Amersham plc
Radiation & Radioactivity
Calibration Laboratory
The Grove Centre
White Lion Road
Amersham
Buckinghamshire
HP7 9LL

ISSUED FOR: AEA Technology QSA GmbH
Isotrak
Gieselweg 1
D-38110 Braunschweig
Germany

Description Principal radionuclide: Cobalt-60

Product code: CKZ44

Solution number: S5/1/110

Measurement Reference time:

1200 GMT on 1 January 2005

Radioactive concentration of cobalt-60: 50.38 kilobecquerels per gram of solution

which is equivalent to: 1.362 microcuries per gram of solution

Mass of solution: 5.0498 grams

Total activity of cobalt-60: 254.4 kilobecquerels

which is equivalent to: 6.88 microcuries

Method of measurement used:

4 π coincidence and anticoincidence counting using a gas flow proportional counter.

Calibration date(s): 16 December 2004 to 17 December 2004

The calibration date is provided for added information only, and must not be confused with the reference date. It is the reference date that must be used in all calculations relating to the values of activity.

Uncertainty Expanded uncertainty in the radioactive concentration quoted above: $\pm 0.77\%$

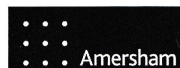
Combined Type A uncertainty: $\pm 0.03\%$

Combined Type B uncertainty: $\pm 0.39\%$

Approved Signatory

Date of issue

11th April 2007



B D D Singleton

Page 1 of 2 pages

This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Certificate of calibration of absolutely standardised cobalt-60 solution

PM 16797

UKAS ACCREDITED CALIBRATION LABORATORY No. 0146

Radionuclidic Purity The estimated activities of any radioactive impurities found by high-resolution gamma ray spectrometry, or in any other examination of the solution, are listed below expressed as percentages of the activity of the principal radionuclide at the reference time.

Nickel-63	0.010(1) %	Other radionuclides	0.0003(2) %
-----------	------------	---------------------	-------------

Chemical Composition 0.1M HCl containing 100 micrograms of cobalt per ml.

Physical Data Recommended half life: 5.267 ± 0.001 years (1 year = 365.25 days)
100% beta particle emission followed by prompt 1.17 MeV and 1.33 MeV gamma transitions in cascade.

Remarks This product meets the quality assurance requirements for achieving traceability to NIST as defined in ANSI N42.22-1995.

Nuclear data quoted on this certificate are taken from the Joint European File, Version 2.2.

The uncertainty associated with the mass of the solution is ± 0.002 % and is included in the expanded uncertainty.

Expression of Uncertainties The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2.00$, which for a t -distribution with $\nu_{\text{eff}} = \infty$ effective degrees of freedom corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.

Unless indicated, all other uncertainties are expressed at the confidence level associated with one standard uncertainty.

The format used for the uncertainties in the values of radionuclidic purity is illustrated in the following examples;

6.5(21)	=	6.5 ± 2.1
6.54(21)	=	6.54 ± 0.21
6.543(21)	=	6.543 ± 0.021

Page 2 of 2 pages

Abbildung A.1: Co - 60 Zertifikat

3335

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 infoisotrak@ezag.com

Seriennr. / Serial No. **BC-5523**



Kalibrierzeichen
Calibration mark

36728
D-K-15203-01-00
2021-09

Gegenstand <i>Object</i>	Referenz-Lösung
Hersteller <i>Manufacturer</i>	Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH Gieselweg 1 38110 Braunschweig
Typ <i>Type</i>	IBYB2495-OCE
Seriennr. <i>Serial No.</i>	BC-5523
Auftraggeber <i>Customer</i>	Max Rubner-Institut (MRI) Hermann-Weigmann-Straße 1 24103 Kiel Deutschland
Auftragsnummer <i>Order No.</i>	CO-0183718
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines <i>Number of pages of the certificate</i>	2
Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration</i>	19. September 2021

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die metrologische Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).
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.
Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.
*This calibration certificate documents the metrological traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
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.
The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.*

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

16. September 2021 Eric Schüler

Seite 2
Page

36728
D-K- 15203-01-00
2021-09

Referenz-Lösung

Serien-Nr.	BC-5523
Zeichnung	VZ-1725-001
Form	offen
Volumen der Lösung	circa 2 ml
Nuklid	Iod-131
Aktivität	10,0 MBq
Relative Messunsicherheit*	3 %
Referenzdatum	19. September 2021 um 12:00 UTC
Radioaktive Verunreinigungen	keine
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	15. Februar 2021
Ihre Bestellung	991-03730-19
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

Amersham plc
The Grove Centre

B13283



Certificate of calibration of absolutely standardised caesium-134 solution

PM 16911

ISSUED BY: Amersham plc
Radiation & Radioactivity
Calibration Laboratory
The Grove Centre
White Lion Road
Amersham
Buckinghamshire
HP7 9LL

ISSUED FOR: AEA Technology QSA GmbH
Isotrak
Gieselweg 1
D-38110 Braunschweig
Germany

Description Principal radionuclide: Caesium-134

Product code: CCZ72

Solution number: S7/12/28

Measurement Reference time:

1200 GMT on 1 July 2007

Radioactive concentration of caesium-134: 4.578 megabecquerels per gram of solution
which is equivalent to: 123.7 microcuries per gram of solution

Mass of solution: 1.0072 grams

Total activity of caesium-134: 4.611 megabecquerels

which is equivalent to: 124.6 microcuries

Method of measurement used:
4 π coincidence and anticoincidence counting using a liquid scintillation counter.

Calibration date(s): 5 June 2007

The calibration date is provided for added information only, and must not be confused with the reference date. It is the reference date that must be used in all calculations relating to the values of activity.

Uncertainty Expanded uncertainty in the radioactive concentration quoted above: $\pm 0.68\%$

Combined Type A uncertainty: $\pm 0.06\%$

Combined Type B uncertainty: $\pm 0.34\%$

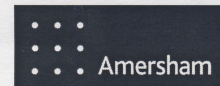
Approved Signatory

Date of issue

15th June 2007

B D D Singleton

Page 1 of 2 pages



This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

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

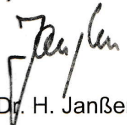
Anzahl der Seiten: 3
Number of pages:

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
By order


Dr. H. Janßen

Braunschweig, 10.10.2001

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 4π-Ionisa- tionskammer bestimmt. Die 4π-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>

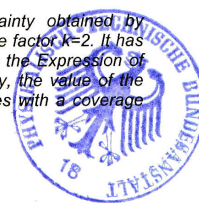


Abbildung A.5: Cs - 137 Zertifikat



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut



Kalibrierschein Calibration Certificate

Gegenstand: Aktivitätsnormal
Object: Activity standard

Hersteller: Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Manufacturer: Fachbereich 6.1

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

Kennnummer: 2020-1067
Serial No.:

Auftraggeber: Max Rubner-Institut
Customer: Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel
Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch
Hermann-Weigmann-Str. 1
24103 Kiel

Anzahl der Seiten: 4
Number of pages:

Geschäftszeichen: PTB-6.11-297/21.2020
Reference No.:

Kalibrierzeichen: PTB-6.11-2020-1067
Calibration mark:

Ort der Kalibrierung: PTB Braunschweig
Location of calibration:

Datum der Kalibrierung: 06.04.2020
Date of calibration:

Im Auftrag
On behalf of PTB

Dr. O. Nähle

Braunschweig, 28.04.2020

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: 2020-1067
Serial No.:

Radionuklid: Strontium-89
Radionuclide: Strontium-89

Chemische Zusammensetzung der wässrigen Lösung: HCl 0,1 mol/L
Chemical composition of the aqueous solution: SrCl₂ 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 Flüssigszintillations-Spektrometern nach der CIEMAT/NIST- und der Triple-to-Double Coincidence Ratio (TDCR) Methode bestimmt. Die Messverfahren wurden 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 liquid scintillation spectrometers by the CIEMAT/NIST- and the Triple-to-Double Coincidence Ratio (TDCR) method. The measurement procedures were 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 solutions were determined by weighing.

Lösungsmasse: $m = (2,0052 \pm 0,0017) \text{ g}$
Mass of solution:

Spezifische Aktivität: $a = (2,06 \pm 0,03) \text{ MBq/g}$
Specific activity:

Bezugszeitpunkt: 15. April 2020, 00:00 Uhr MEZ
Reference date: 00:00 CET on 15 April 2020



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.

Radioaktive Verunreinigungen:
Radioactive impurities:

Mit Hilfe der Flüssigszintillations-Spektrometrie wurde eine Obergrenze für eine mögliche Sr-90 Verunreinigung von

$$A(\text{Sr-90})/A(\text{Sr-89}) < 6 \cdot 10^{-4}$$

am Bezugszeitpunkt bestimmt.

Die oben angegebene spezifische Aktivität bezieht sich allein auf Sr-89.

By means of liquid scintillation spectrometry an upper limit for a potential radioactive impurity of Sr-90 of

$$A(\text{Sr-90})/A(\text{Sr-89}) < 6 \cdot 10^{-4}$$

was determined on the reference date.

The specific activity stated above refers to Sr-89 only.

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:

Es wird empfohlen, für Umrechnungen der Aktivität auf einen anderen Bezugszeitpunkt die Halbwertszeit $T_{1/2}(\text{Sr-89}) = (50,57 \pm 0,06)$ Tage zu verwenden. Diese wurde in *M.-M. Bé et al., Table of radionuclides, Monographie BIPM-5, vol. 1, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres, France, 2004, ISBN 92-822-2206-3* veröffentlicht.

*For calculating the activity at a different reference date it is recommended to use the half-life $T_{1/2}(\text{Sr-89}) = (50.57 \pm 0.06)$ days. It was published in *M.-M. Bé et al., Table of radionuclides, Monographie BIPM-5, vol. 1, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres, France, 2004, ISBN 92-822-2206-3.**



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.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
On behalf of PTB



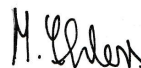
Dr. K. Kossert

Braunschweig, 19.08.2014

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
Bundforschungsinstitut 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