



Screening von Biomasseheizwerken und Biomasse-KWK-Anlagen in Österreich auf künstliche und natürliche Radionuklide

Viktoria Herzner

03.06.2026

Inhalt

Kurzfassung.....	4
Abstract	5
1 Sachverhalt.....	6
2 Projektüberblick.....	9
2.1 Details zu den Proben	9
2.1.1 Herkunft der Proben.....	9
2.1.2 Brennstoffarten der Proben.....	10
2.1.3 Aschearten der Proben.....	11
2.1.4 Beprobte Anlagentypen.....	13
2.1.5 Ofenausmauerungen der beprobten Anlagen.....	15
2.1.6 Entsorgungs- und Verwertungswege der beprobten Aschechargen.....	15
3 Gesetzlicher Rahmen.....	17
3.1 Bestehende Expositionssituationen.....	17
3.2 Geplante Expositionssituation.....	18
4 Künstliche und natürliche Radionuklide in den Holzaschen.....	19
4.1 Bewertung der Aktivitätskonzentrationen.....	20
4.1.1 Bewertung der künstlichen Radionuklide.....	20
4.1.2 Bewertung der natürlichen Radionuklide.....	21
4.2 Bewertung einer Weiterverwendungsoption von Biomasseasche	22
5 Dosisabschätzung	23
5.1 Dosisabschätzung für Arbeitskräfte	23
5.2 Dosisabschätzung für die Bevölkerung	27
6 Zusammenfassung.....	31
Anhang	34

Verwendete Unterlagen..... 34
Rohdaten..... 37

Kurzfassung

Österreichweit gibt es etwa 2.500 Biomasseheizwerke und etwa 170 größere Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen-Anlagen (Stand 2022/2023) (Österreichischer Biomasse-Verband 2023). Diese Anlagen erzeugen Wärme und teilweise auch Strom aus Holz oder anderen pflanzlichen Materialien. Dabei entsteht Asche. 2013 sind in Österreich etwa 133.000 Tonnen Biomasseasche angefallen (Umweltbundesamt 2016). Je mehr Biomasse für die Energiegewinnung genutzt wird, desto mehr Asche entsteht. Die große Menge an Asche stellt neue Herausforderungen dar. Gleichzeitig bietet sie Chancen für eine umweltfreundliche Weiterverwendung, zum Beispiel in der Herstellung von Baustoffen.

Ziel dieses Projekts war es, zu untersuchen, ob Menschen, die mit dieser Asche arbeiten oder in der Nähe solcher Anlagen leben, einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt sein könnten.

Dazu wurden 51 Ascheproben aus fünf Betrieben in verschiedenen Bundesländern analysiert. Im Labor der AGES wurden die Proben auf bestimmte radioaktive Stoffe untersucht: Kalium-40, Radium-226, Thorium-232, Cäsium-137 und Strontium-90. Mit den Messergebnissen wurden Abschätzungen zur Strahlenbelastung (Dosisabschätzung) durchgeführt.

Die Dosisabschätzung für Arbeitskräfte in Biomasseheizwerken und Biomasse-KWK-Anlagen, die mit Biomasseasche umgehen, ergab eine effektive Jahresdosis von unter 0,02 Millisievert. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Referenzwert von 1 Millisievert pro Jahr gemäß § 12 Ziffer 2 der Interventionsverordnung 2020 – IntV 2020.

Für Einzelpersonen der Bevölkerung, die sich in der Abluftfahne von Biomasseheizkraftwerken oder Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen-Anlagen befinden, wurde ebenfalls eine Dosisabschätzung durchgeführt. Dabei ging man konservativ von sehr niedrigen Schornsteinen (0 bis 5 Meter Höhe) und einem Abstand von 100 Metern zum Schornstein aus. In der Realität sind die Schornsteine jedoch höher, was die Dosis verringert. Für Einzelpersonen der Bevölkerung ergab sich eine effektive Jahresdosis durch Einatmen unter 0,1 Millisievert. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Referenzwert von 1 Millisievert pro Jahr gemäß § 12 Ziffer 2 der Interventionsverordnung 2020 – IntV 2020.

Auf Basis der Ergebnisse der Dosisabschätzungen sind zurzeit keine Strahlenschutzmaßnahmen notwendig. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass technische Weiterentwicklungen von Verbrennungs-, Vergasungs- und Abscheidesystemen künftig zu einer weiteren Aufkonzentrierung von Radionukliden in bestimmten Aschefractionen führen können. Bei geänderten technischen Rahmenbedingungen oder erhöhten Anreicherungsfaktoren ist zukünftig eine Neubewertung erforderlich.

Abstract

There are around 2,500 biomass heating plants and around 170 larger biomass combined heat and power plants in Austria (as of 2022/2023) (Österreichischer Biomasse-Verband 2023). These plants generate heat and sometimes also electricity from wood or other plant-based materials. This process produces ash. In 2013, around 133,000 tonnes of biomass ash were produced in Austria (Umweltbundesamt 2016). The more biomass is used for energy production, the more ash is produced. The large amount of ash poses new challenges. At the same time, it offers opportunities for environmentally friendly reuse, for example in the production of building materials.

The aim of this project was to investigate whether people, who work with this ash or live near such plants, could be exposed to increased radiation.

For this purpose, 51 ash samples from five plants in different federal states were analysed. The samples were tested for certain radioactive substances in the AGES laboratory: potassium-40, radium-226, thorium-232, cesium-137 and strontium-90. The measurement results were used to estimate the radiation exposure (dose assessment).

The dose assessment for workers in biomass heating plants and biomass CHP plants who handle biomass ash resulted in an effective annual dose of less than 0.02 millisieverts. This value is significantly below the reference value of 1 millisievert per year in accordance with Section 12 (2) of the Intervention Ordinance 2020 – IntV 2020.

A dose assessment was also carried out for individuals of the public who were located in the exhaust air plume of biomass heating plants or biomass CHP plants at that time. A conservative assumption was made of very low chimneys (0 to 5 metres high) and a distance of 100 metres from the chimney. In reality, however, the chimneys are higher, which reduces the dose. For individuals in the public, the effective annual dose from inhalation was less than 0.1 millisievert. This value is well below the reference value of 1 millisievert per year in accordance with Section 12 (2) of the Intervention Ordinance 2020 – IntV 2020.

Based on the results of the dose assessments, no radiation protection measures are currently necessary. However, it should be noted that technical developments in combustion, gasification and separation systems may lead to further concentration of radionuclides in certain ash fractions in the future. In the event of changes in the technical framework or increased enrichment factors, a reassessment will be necessary in the future.

1 Sachverhalt

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff und gilt als ein umweltfreundlicher, CO₂-neutraler Brennstoff. Aus dem Verbrennungsvorgang entsteht Asche als Abfallprodukt. In der Asche selbst reichern sich nicht brennbare Mineralstoffe, Salze, Restorganik und auch Radionuklide an.

In dem Vorgängerprojekt „Monitoring von Holzbrennstoffen in Österreich auf künstliche Radionuklide“ (Grill 2021; siehe auch Herzner et al. 2025b) wurde gezeigt, dass ein Düngen mit Holzpelletsasche nicht anzuraten ist. Holzpellets werden vor allem in Einfamilienhäusern verwendet. Doch durch aktuelle österreichische Initiativen wie „Raus aus Öl und Gas“ oder „Sauber Heizen für Alle“ sollen in Zukunft neben Privathaushalten auch öffentliche Gebäude (z. B. Ämter, Schulen, Bürogebäude) vermehrt mit Pellets geheizt werden.

Kommerzielle Biomasseheizwerke und Biomasse-KWK-Anlagen (KWK steht für Kraft-Wärme-Kopplung.) in Österreich werden zurzeit primär mit Hackschnitzeln, Sägenebenprodukten und Rinde betrieben. Die Anlagen sind für diesen Brennstoff konzipiert und optimal an das verwendete Produkt angepasst. Österreichweit gibt es etwa 2.500 Biomasseheizwerke und 170 Biomasse-KWK-Anlagen (Stand 2022/2023) (Österreichischer Biomasse-Verband 2023). Biomasseheizwerke erzeugen nur Wärme, wohingegen KWK-Anlagen Wärme sowie Strom erzeugen. In Österreich werden Biomasse-KWK-Anlagen auf Basis der Holzvergasung teilweise auch mit Pellets betrieben. Der homogene Brennstoff ermöglicht die Erzeugung eines besonders sauberen Gases, was einen störungsfreien Betrieb mit Anlagenverfügbarkeiten von nahezu 100 % sicherstellt. In großen Feuerungsanlagen werden z. B. Industriepellets vor der Verbrennung wieder in Späne zerlegt, die anschließend direkt eingeblasen werden.

Die im Holz gemessenen Aktivitätskonzentrationen stellen aus Sicht des Strahlenschutzes kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung dar und gelten als unbedenklich (siehe Projektbericht „Monitoring von Holzbrennstoffen in Österreich auf künstliche Radionuklide“ (Grill 2021) und (Herzner et al. 2025a)). Die Anreicherung von Radionukliden in den erzeugten Holzaschen variiert jedoch stark. Im Projekt „Monitoring von Holzbrennstoffen in Österreich auf künstliche Radionuklide“ wurden sechs Hackschnitzel-Proben mit dazugehöriger Asche analysiert. Davon stammte ein Probenpaar (Holz und Asche) aus einem Heizwerk. Dieses erste Hackschnitzel-Probenpaar, das aus einem Heizwerk stammt, weist unbedenkliche Aktivitätskonzentrationen des künstlichen Radionuklids Cäsium-137 (¹³⁷Cs) auf: $0,75 \pm 0,15$ Bq/kg im Holzbrennstoff und $18,4 \pm 1,3$ Bq/kg in der daraus resultierenden Holzasche. Natürliche Radionuklide wurden im Rahmen des Vorgängerprojekts nicht

betrachtet. Um eine allgemein gültige Aussage zur Radioaktivität von Holzaschen aus industriellen Anlagen in Österreich treffen zu können, waren weitere Proben notwendig.

Laut AGES-Recherchen werden ein Großteil der Biomasseaschen von Heizwerken auf Deponien entsorgt (z. B. Baurestmassendeponien oder Massenabfalldeponien). Es können abhängig von den natürlichen (Kalium-40 (^{40}K), Radium-226 (^{226}Ra), Thorium-232 (^{232}Th)) und künstlichen (^{137}Cs , Strontium-90 (^{90}Sr)) Radionukliden im Holz sowie dem Anreicherungsgrad bei der Verbrennung strahlenschutzrechtlich relevante Konzentrationen in den Biomasseaschen auftreten und folglich als kontaminierte Waren gelten. Gemäß § 12 Ziffer 2 der Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über Interventionen in Notfallexpositionssituationen und in bestehenden Expositionssituationen nach einem radiologischen Notfall oder aufgrund von kontaminierten Waren oder aufgrund von radioaktiven Altlasten (Interventionsverordnung 2020 – IntV 2020) beträgt der Referenzwert für die Exposition von Personen in einer bestehenden Expositionssituation aufgrund von kontaminierten Waren ein Millisievert (mSv) effektive Dosis pro Jahr.

Grundsätzlich ist auch für Holzaschen eine Kreislaufwirtschaft anzustreben. Holzasche kann beispielsweise als Zuschlagstoff in der Baustoffproduktion oder zur Kompostierung eingesetzt werden. Wird Holzasche als Zuschlagstoff weiterverwendet, ist der Einfluss sowohl natürlicher als auch künstlicher Radionuklide zu bewerten.

Gemäß § 123 Absatz 1 der Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz und der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über allgemeine Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 – AllgStrSchV 2020) beträgt der Referenzwert für die externe Exposition in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten ein mSv effektive Dosis pro Jahr. Wird die Asche für die Erzeugung von Bauprodukten weiterverwendet, ist der Einfluss sowohl natürlicher als auch künstlicher Radionuklide zu bewerten. Der Baustoffindex gemäß ONR CEN/TS 17216 (Austrian Standards International 2019) dient der vereinfachten Bewertung von Bauprodukten hinsichtlich der äußeren Exposition durch Gammastrahlung, die von den natürlichen Radionukliden ^{40}K , ^{226}Ra und ^{232}Th stammt und aus den Bauprodukten austritt. Künstliche Radionuklide werden im Baustoffindex nicht berücksichtigt.

Neben der Asche selbst, ist für eine umfassende Bewertung auch die Beschaffenheit der Feuerungsanlagen zu berücksichtigen. In den Heizwerken kommen häufig Öfen mit feuerfesten Auskleidungen zum Einsatz, die aus Materialien wie Schamott oder anderen

feuerfesten Steinen bestehen. Diese Ofenausmauerungen können im Laufe der Betriebszeit Radionuklide aus dem Brennstoff oder den Verbrennungsrückständen aufnehmen und anreichern.

Bei Wartungsarbeiten, insbesondere beim Ausbau oder der Instandhaltung solcher hitzebeständigen Verkleidungen, kann es zu einer Freisetzung dieser Radionuklide kommen, was zu einem relevanten Dosisbeitrag für das Wartungspersonal führen kann. Auch Reinigungstätigkeiten, sowie der Um- und Abbau von Rohrleitungen, Pumpen, Ventilen, Filteranlagen oder Rauchgaswäschern sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen.

Gemäß § 11 der AllgStrSchV 2020 und wie in Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 aufgelistet, zählen solche Arbeiten zu den Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM), bei denen eine potenzielle Exposition durch Rückstände auftreten kann. Diese Tätigkeiten unterliegen daher den strahlenschutzrechtlichen Anforderungen hinsichtlich Dosisabschätzung, Dokumentation und gegebenenfalls Meldepflichten.

2 Projektüberblick

In den Holzaschen reichern sich sowohl natürliche als auch künstliche Radionuklide an. Da für Österreich wenig aktuelle Daten bezüglich künstlicher und natürlicher Aktivitätskonzentrationen in Biomasseaschen aus Heizwerken und KWK-Anlagen vorlagen, wurde dieses Screeningprojekt durchgeführt (siehe auch § 125 des Bundesgesetzes über Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzgesetz 2020 – StrSchG 2020)):

- Planung und Durchführung der Probenahme:
 - Kontaktaufnahme zu Biomasseheizwerken und Biomasse-KWK-Anlagen
 - Durchführung der Probenahmen
 - Eruierung der derzeitigen Abfallströme
 - Spezifikation der Ofenausmauerung
- Messung und Auswertung:
 - Bestimmung der Aktivitätskonzentration von ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th und ^{137}Cs in den Ascheproben mittels Gammaskopie
 - Zusätzliche Bestimmung der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr für ausgewählte Ascheproben mittels Flüssigszintillation
 - Bewertung der Proben
- Dosisabschätzung:
 - Dosisabschätzung für Arbeitskräfte
 - Dosisabschätzung für die Bevölkerung
- Veröffentlichung der Ergebnisse in einem internationalen, peer-reviewten Journal (Herzner et al. 2026)

2.1 Details zu den Proben

Insgesamt wurden 51 Proben gezogen und analysiert.

2.1.1 Herkunft der Proben

Die Proben stammten aus sieben österreichischen Bundesländern (Abbildung 1). Die meisten Proben wurden in Niederösterreich gezogen, nämlich 21 Proben. An zweiter Stelle lag die

Steiermark mit 18 Proben. Aus Kärnten wurden sechs Proben gezogen. Aus Oberösterreich und Tirol wurden jeweils zwei Proben gezogen. Aus dem Burgenland und aus Wien wurde jeweils eine Probe gezogen. In Salzburg und in Vorarlberg wurden keine Anlagen beprobt.

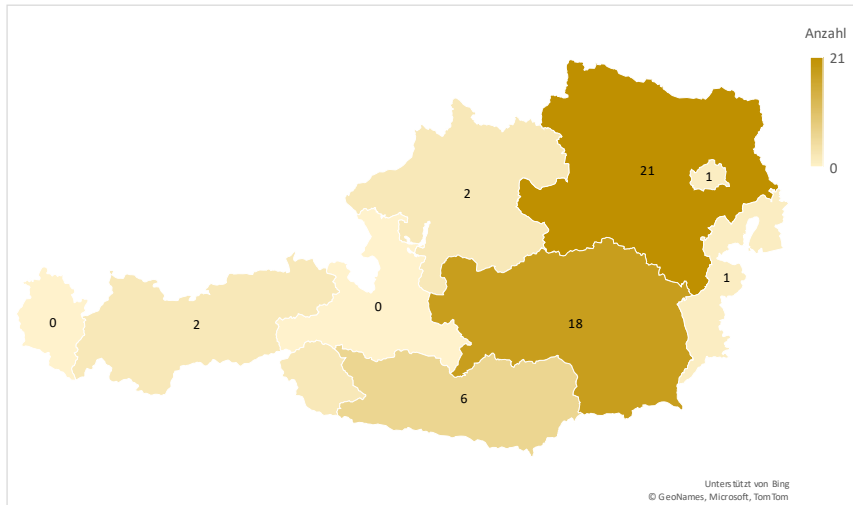


Abbildung 1: Herkunft der Proben

Fünf verschiedene Firmen stellten Proben bereit (Abbildung 2). Die meisten Proben stammten von Firma B mit 26 Proben. An zweiter Stelle lag Firma E mit 14 Proben. Firma A stellte sechs Proben bereit. Firma D lieferte drei Proben und Firma C zwei Proben. Die Standorte der Firmen waren über ganz Österreich verteilt.

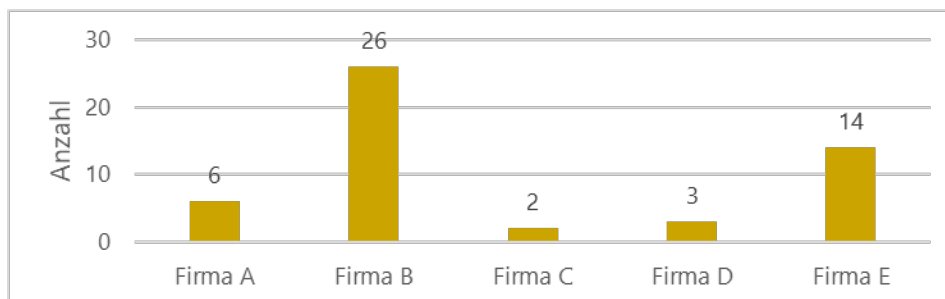


Abbildung 2: Probenanzahl aufgeteilt auf die Firmen (A–E)

2.1.2 Brennstoffarten der Proben

Bei den beprobten Brennstoffaschearten entfiel der größte Anteil auf Hackschnitzelasche mit 44 Proben. Die Asche von Holzpellets wurde in drei Proben untersucht, jene von Hackgut in zwei Proben. Jeweils eine Probe wurde von der Asche von Miscanthus (einer Schilffart) sowie von einer Mischung aus Hackschnitzeln und Rinde gezogen. In allen Fällen wurde die Asche des jeweiligen Brennstoffs beprobt (Abbildung 3).

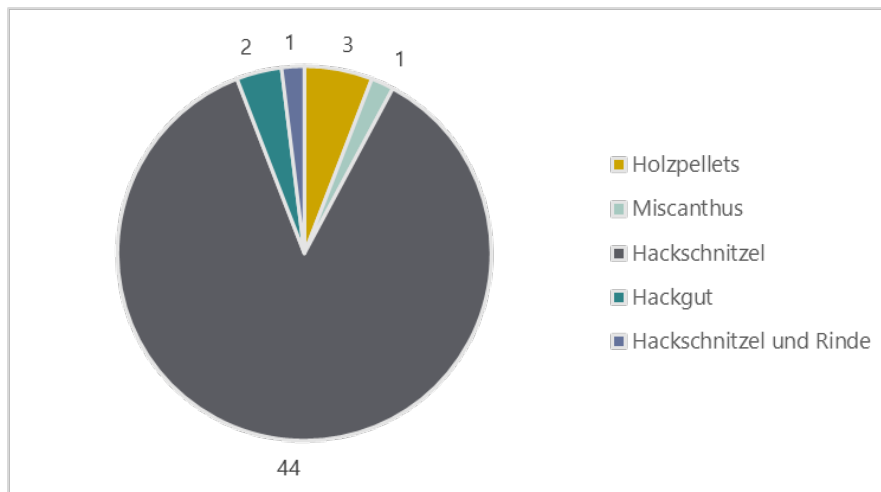


Abbildung 3: Beprobte Asche von diversen Brennstoffarten mit der jeweiligen Probenanzahl (Bei Miscanthus handelt es sich um eine Schilfart.)

2.1.3 Aschearten der Proben

Bei der Analyse der beprobten Aschearten (Abbildung 4) zeigte sich, dass Mischasche mit 26 Proben den größten Anteil ausmacht, gefolgt von Rostasche mit 18 Proben. Wesentlich seltener wurden Elektrofilterasche und Holzvergaserückstände beprobt, jeweils mit drei Proben, während Zyklonasche nur in einer einzigen Probe vertreten war. Die Dominanz von Mischasche und Rostasche in der Probenverteilung lässt sich dadurch erklären, dass bei der thermischen Verwertung von Holzbrennstoffen in der Praxis größere Mengen dieser Aschearten anfallen. Mischasche entsteht häufig durch die Zusammenführung verschiedener Aschefractionen, während Rostasche direkt im Feuerraum anfällt und mengenmäßig meist besonders relevant ist.

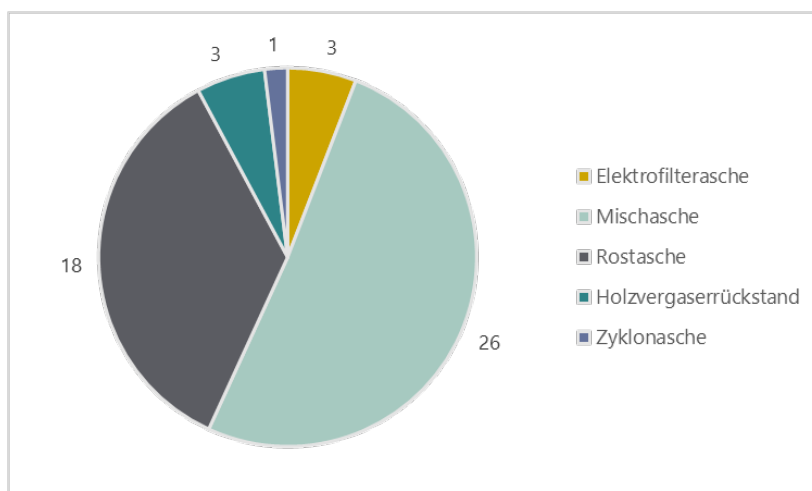


Abbildung 4: Beprobte Aschearten mit der jeweiligen Probenanzahl

In einer Rostbefeuerung mit Hackgut fallen 60–90 % Rostasche, 10–30 % Zyklonfilterasche und 2–10 % Elektrofilterasche an (Kaltschmitt et al. 2016). Bei der Wirbelschichtverbrennung kann der gleichzeitige Austrag von Bettmaterial zu einem Aschegehalt führen, der ein- bis dreimal höher ist als jener Gehalt, der sich aus dem Aschegehalt des Brennstoffs allein ergibt (Gaderer (1996), zitiert aus (Kaltschmitt et al. 2016; Obernberger 1997)).

2.1.3.1 Elektrofilterasche

Feste und flüssige Partikel (z. B. Staub, Ruß oder Aerosole) werden in einem Elektrofilter durch elektrische Ladung voneinander getrennt. Die Teilchen werden elektrostatisch aufgeladen und bewegen sich aufgrund der Coulombkraft im elektrischen Feld zur entgegengesetzt geladenen Niederschlagselektrode (in der Regel erfolgt die Bewegung der negativ geladenen Teilchen zu positiv geladenen Elektroden). Dort werden sie abgeschieden und sammeln sich als sehr feine Ascheteilchen, die üblicherweise eine Partikelgröße von unter 10 µm aufweisen. (Kaltschmitt et al. 2016)

2.1.3.2 Mischasche

Es handelt sich hierbei um eine Mischung von Aschen, die aus verschiedenen Quellen einer Anlage stammen. Grobe Mischasche umfasst die gröberen Rückstände, die nach der Verbrennung übrigbleiben. Diese Asche besteht aus größeren, sichtbaren Partikeln und enthält häufig mineralische Bestandteile, die nicht vollständig verbrannt sind. Sie entsteht vor allem in Bereichen wie dem Rost oder in den Rückständen von festen Biomassebestandteilen. Feine Mischasche besteht aus kleineren, feineren Aschepartikeln, die häufig in den Abgasströmen oder nach dem Wärmetauscher abgelagert werden. Diese Asche enthält meist feinere Mineralien und andere mikroskopisch kleine Rückstände, die während der Verbrennung entstehen. Sie ist häufig weniger sichtbar und wird oft durch spezielle Filtertechnik, wie Elektrofilter, abgeschieden.

2.1.3.3 Rostasche

Es handelt sich um den Rückstand, der direkt bei der Verbrennung (meist auf dem Rost) entsteht. Er enthält in der Regel die nicht flüchtigen Schwermetalle (wie Blei, Cadmium, Kupfer), sowie mineralische Bestandteile der Biomasse (z. B. Silizium, Kalzium, Magnesium),

die nicht vollständig verbrannt werden (Kaltschmitt et al. 2016). Rostasche kann zusätzlich auch Kesselasche beinhalten, diese stammt aus verschiedenen Bereichen des Kessels. Darin enthalten sind neben der Rostasche auch Aschepartikel, die weiter oben im Kessel oder erst nach der Verbrennung abgesetzt werden.

2.1.3.4 Holzvergaserrückstand

Es handelt sich um Pflanzenkohle, auch Koks genannt. Sie besteht vorwiegend aus reinem Kohlenstoff.

2.1.3.5 Zyklonfilterasche

Feste, überwiegend anorganische Teilchen, üblicherweise mit einer Partikelgröße von über 1 μm , werden in einem nachgeschalteten Fliehkraftabscheider (Zyklonabscheider) gesammelt. (Kaltschmitt et al. 2016)

2.1.4 Beprobte Anlagentypen

Zum besseren Verständnis der Arbeitsabläufe und der Materialströme wurden ein Heizwerk (Werk C von Firma C) und zwei KWK-Anlagen (Werk A von Firma A und Werk B von Firma B) besucht.

Die beprobten Anlagen verteilten sich auf unterschiedliche Anlagentypen und Bundesländer (Tabelle 1). Den größten Anteil machten Biomasseheizwerke aus, die in insgesamt sieben Bundesländern vertreten waren, mit Schwerpunkt in der Steiermark (15 Anlagen) und Niederösterreich (14 Anlagen). Weitere Standorte befanden sich in Kärnten (fünf Anlagen), Tirol (zwei Anlagen) sowie jeweils eine Anlage in Burgenland, Oberösterreich und Wien. Biomasse-KWK-Anlagen wurden in Kärnten (eine Anlage), Niederösterreich (fünf Anlagen) und der Steiermark (drei Anlagen) beprobt. Darüber hinaus wurden auch kombinierte Anlagen beprobt. Ein Biomasseheizwerk mit Holzvergasertechnologie in Niederösterreich sowie zwei Biomasse-KWK-Anlagen mit Holzvergasertechnologie, jeweils eine in Niederösterreich und Oberösterreich.

Tabelle 1: Verteilung der Anlagentypen

Anlagentyp	Bundesland (Anzahl)
Biomasseheizwerk	Burgenland (1), Kärnten (5), Niederösterreich (14), Oberösterreich (1), Steiermark (15), Tirol (2), Wien (1)
Biomasse-KWK-Anlage	Kärnten (1), Niederösterreich (5), Steiermark (3)
Biomasseheizwerk/Holzvergaser	Niederösterreich (1)
Biomasse-KWK-Anlage/Holzvergaser	Niederösterreich (1), Oberösterreich (1)

2.1.4.1 Biomasseheizwerk

Das Holz wird in einem einstufigen Prozess unter ausreichender Sauerstoffzufuhr vollständig verbrannt. Die dabei entstehende Wärme wird für Heizzwecke genutzt. Als Nebenprodukt entsteht Asche, die aus den mineralischen, nicht brennbaren Bestandteilen des Holzes besteht.

2.1.4.2 Biomasse-KWK-Anlage

KWK steht für Kraft-Wärme-Kopplung. Diese Anlage erzeugt gleichzeitig Strom und nutzbare Wärme aus Biomasse. Die Prozesse (z. B. Verbrennung mit Dampfturbinen, Vergasung mit Gasmotoren, Pyrolyse mit nachgeschalteten Prozessen, thermochemische Konversion) der Wärme- und Stromerzeugung variieren je nach Anlagentyp und eingesetzter Technologie.

2.1.4.3 Holzvergaser

Es handelt sich um eine zweistufige Umwandlung. Das Holz wird zuerst bei geringem Sauerstoffangebot (Pyrolysephase) in Holzgas, flüssige Produkte (z. B. Pyrolyseöl) und feste Produkte (Holzvergaserückstand/Koks) umgewandelt. Während der Vergasung wird Wärme erzeugt. Das Holzgas wird anschließend in einem Gasmotor zur Stromerzeugung verwendet. Der Koks, auch Pflanzenkohle genannt, kann in einigen Anlagen gezielt abgetrennt und zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft genutzt werden.

2.1.5 Ofenausmauerungen der beprobten Anlagen

Neben der Asche selbst ist für eine umfassende Bewertung auch die Beschaffenheit der Feuerungsanlagen zu berücksichtigen. In den Heizwerken kommen häufig Öfen mit feuerfesten Auskleidungen zum Einsatz, die aus Materialien wie Schamott oder anderen feuerfesten Steinen bestehen. Diese Ofenausmauerungen können im Laufe der Betriebszeit ebenfalls Radionuklide anreichern, die beim Abbau oder der Wartung zu einem relevanten Dosisbeitrag führen können. Die Ofenausmauerung der beprobten Biomasseheizwerke und KWK-Anlagen bestand bei 27 Proben aus Feuerfeststeinen, bei 22 Proben aus Schamott und bei zwei Proben aus Metall (Abbildung 5).

Im Rahmen des Projektes wurden keine Ortsdosisleistungsmessungen an der Ofenausmauerung durchgeführt bzw. Proben von der Ofenausmauerung entnommen, da die Anlagen in Betrieb waren und kein Austausch der Ofenausmauerung im Zeitraum des Screeningprojekts geplant war.

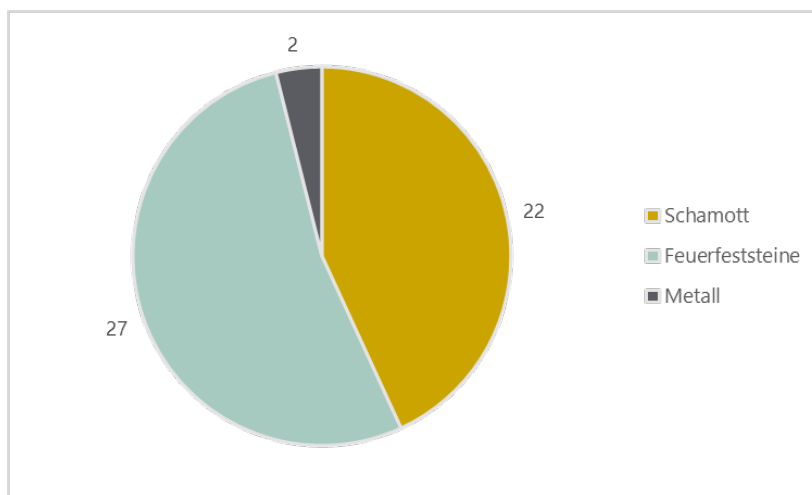


Abbildung 5: Spezifikation der Ofenausmauerung der beprobten Aschechargen mit der jeweiligen Probenanzahl

2.1.6 Entsorgungs- und Verwertungswege der beprobten Aschechargen

Die Auswertung der Entsorgungs- und Verwertungswege zeigte, dass der überwiegende Teil der beprobten Aschechargen nicht weiterverwertet, sondern auf Deponien entsorgt wurde (Abbildung 6). Konkret betraf dies 40 Proben, was einem Anteil von fast 80 % entsprach. Wesentlich geringer war die Asche, die über andere Wege entsorgt wurde. Als Restmüll

wurden Aschechargen von fünf Proben entsorgt. Für Aschechargen von drei Proben waren Entsorgungsfirmen verantwortlich. Kompostbetreiber nahmen lediglich Aschechargen von zwei Proben auf, und die Verwendung als Pflanzkohle wurde nur in einem Fall dokumentiert.

Dies deutet auf ungenutztes Potenzial in der Kreislaufwirtschaft hin, da Holzasche beispielsweise als Zuschlagstoff in der Kompostierung oder bei der Herstellung von Bauprodukten verwendet werden könnte. In diesen Fällen müssten allerdings die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden und die Schwermetallgehalte in der jeweiligen Aschecharge bestimmt werden, was möglicherweise hohe Analysekosten nach sich ziehen kann. Von nur vier Werken ist der jährliche Ascheanfall bekannt, der zwischen 7 und 1.900 Tonnen lag. Die übrigen beprobten Anlagen haben bislang keine Angaben zum Anfall ihrer Asche gemacht bzw. machen können.

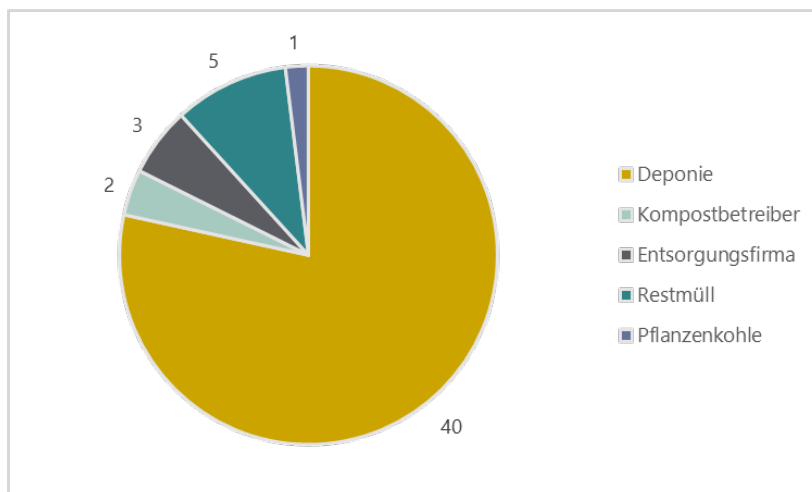


Abbildung 6: Entsorgungs- und Verwertungswege der beprobten Aschechargen mit der jeweiligen Probenanzahl

3 Gesetzlicher Rahmen

3.1 Bestehende Expositionssituationen

Gemäß § 3 Ziffer 11 des StrSchG 2020 ist eine bestehende Expositionssituation eine Expositionssituation, die bereits besteht, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss, und die Sofortmaßnahmen nicht oder nicht mehr erfordert. Sofortmaßnahmen sind jene Schutzmaßnahmen, die aus Gründen der Effektivität sofort nach Eintritt einer Notfallexpositionssituation durchgeführt werden müssen (§ 3 Ziffer 65 des StrSchG 2020). Eine Notfallexpositionssituation ist eine Expositionssituation infolge eines radiologischen Notfalls (§ 3 Ziffer 44 des StrSchG 2020). Die Spätphase ist gemäß § 3 Ziffer 66 des StrSchG 2020 eine bestehende Expositionssituation nach einem radiologischen Notfall.

In bestehenden Expositionssituationen können durch Nutzung oder Verarbeitung von Materialien kontaminierte Waren entstehen. Kontaminierte Waren sind Produkte und Erzeugnisse, die ohne gezielte oder explizite Absicht Radionuklide enthalten können und die weder Lebensmittel noch sonstige dem Bundesgesetz über Sicherheitsanforderungen und weitere Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände und kosmetische Mittel zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher (Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz - LMSVG) unterliegende Waren noch dem Bundesgesetz über die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, Vormischungen und Zusatzstoffen (Futtermittelgesetz 1999 – FMG 1999) unterliegende Produkte sind. Für kontaminierte Waren, ausgenommen Lebensmittel und Futtermittel, beträgt der Referenzwert für die Exposition von Personen ein mSv effektive Dosis pro Jahr (§ 12 Ziffer 2 der IntV 2020).

Für kontaminierte Waren ist ein angemessenes Radioaktivitätsüberwachungsprogramm gemäß § 125 des StrSchG 2020 durchzuführen. Die Handhabung von kontaminierten Waren (Maßnahmenkatalog, Verantwortlichkeit, behördliches Verfahren) ist in § 106 bis § 108 des StrSchG 2020 geregelt.

3.2 Geplante Expositionssituation

Der Umgang mit Pflanzenaschen stellt grundsätzlich keine geplante Expositionssituation dar und fällt daher nicht unter die in Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 angeführten Tätigkeiten, sondern ist im Rahmen bestehender Expositionssituationen gemäß IntV 2020 zu beurteilen.

Gemäß § 11 der AllgStrSchV 2020 sind die betroffenen Tätigkeitsbereiche mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM) in Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 gelistet. Darunter fallen Tätigkeiten, bei denen Expositionen durch Rückstände auftreten, wie beispielsweise Wartungsarbeiten, insbesondere Instandhaltung und Ausbau von hitzebeständigen Verkleidungen aus zirkonhaltigem Material, Reinigung oder Um- und Abbau von Rohrleitungen und technischen Anlagen wie Pumpen und Ventilen, Instandhaltung sowie Um- und Abbau von Filteranlagen sowie Rauchgaswäschern. Diese Tätigkeiten unterliegen daher den strahlenschutzrechtlichen Anforderungen hinsichtlich Dosisabschätzung, Dokumentation und gegebenenfalls Meldepflichten.

Eine Tätigkeit ist eine menschliche Betätigung, die die Exposition von Personen gegenüber Strahlung aus einer Strahlenquelle erhöhen kann und als geplante Expositionssituation behandelt wird (§ 3 Ziffer 73 des StrSchG 2020). Eine geplante Expositionssituation ist eine Expositionssituation, die durch den geplanten Betrieb einer Strahlenquelle oder durch menschliche Betätigungen, die Expositionspfade verändern, entsteht, so dass eine Exposition oder potenzielle Exposition von Mensch oder Umwelt verursacht wird (§ 3 Ziffer 28 des StrSchG 2020).

Für Bauprodukte beträgt der Referenzwert für die externe Exposition in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten ein mSv effektive Dosis pro Jahr (§ 123 Absatz 1 der AllgStrSchV 2020). Der Nachweis der Einhaltung des Referenzwertes gemäß Abs. 1 hat durch Stellen zu erfolgen, die über eine einschlägige Akkreditierung als Konformitätsbewertungsstelle im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 765/2008 verfügen (§ 123 Absatz 2 der AllgStrSchV 2020).

4 Künstliche und natürliche Radionuklide in den Holzaschen

Alle 51 Proben wurden gammaspektrometrisch auf ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th und ^{137}Cs analysiert (Messzeit 80.000 Sekunden). Basierend auf den Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs wurde bei sieben ausgewählten Proben mittels Flüssigszintillation die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr bestimmt.

Da Asche potenziell als Zuschlagstoff in der Herstellung von Bauprodukten wie Zement verwendet werden kann, ist eine radiologische Charakterisierung gemäß den geltenden Normen unerlässlich. Ziel der Normen ist die Bewertung der natürlichen Radionuklide (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th), um mögliche Strahlenexpositionen bei der Weiterverwendung zu beurteilen.

Die Probenvorbereitung erfolgte gemäß der ONR CEN/TS 17216 (Austrian Standards International 2019), die für die radiologische Bewertung von Bauprodukten entwickelt wurde. Das Material wurde in eine geeignete Probengeometrie gebracht, in eine radondichte Folie verpackt und vakuumiert. Die Proben wurden mindestens 3 Wochen gelagert, da sich Radon-222 (^{222}Rn) nach dieser Zeit zu etwa 98 % im säkularen Gleichgewicht mit dem Mutternuklid ^{226}Ra befindet. Nach fünf Halbwertszeiten von ^{222}Rn (Halbwertszeit von $^{222}\text{Rn} \sim 4$ Tage) ist dieses Gleichgewicht erreicht.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Minima und Maxima der gemessenen Aktivitätskonzentrationen für die einzelnen Aschearten. Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen der Ascheproben sind im Anhang in Tabelle 10 angeführt und im Anhang in Abbildung 7 bis Abbildung 10 dargestellt.

Die Ergebnisse der Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr dieses Screeningprojekts sind mit den Daten des Vorgängerprojekts „Monitoring von Holzbrennstoffen in Österreich auf künstliche Radionuklide“ (Grill 2021) vergleichbar. In diesem wurden Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs im Bereich von 0,8 Bq/kg bis 867 Bq/kg festgestellt, wobei die höchste Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs mit 867 ± 68 Bq/kg in Holzpelletsasche gemessen wurde (Grill 2021; Herzner et al. 2025a). Die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr lag im Bereich von 363 Bq/kg bis 1200 Bq/kg, wobei die höchste Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr mit 1200 ± 180 Bq/kg in Holzbrikettasche gemessen wurde (Grill 2021; Herzner et al. 2025a).

Tabelle 2: Übersicht über die Aktivitätskonzentration von ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs und ^{90}Sr in den Ascheproben (Abkürzungen: Minimum – Min, Maximum – Max)

Ascheart (Brennstoff)	Anzahl (^{90}Sr)	Min–Max Aktivitätskon- zentration von ^{40}K in Bq/kg	Min–Max Aktivitätskon- zentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Min–Max Aktivitätskon- zentration von ^{232}Th in Bq/kg	Min–Max Aktivitätskon- zentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Min–Max Aktivitätskon- zentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Elektrofilterasche (Hackgut, Hackschnitzel)	3 (2)	2470–3580	70–147	18,2–61,6	350–771	104–159
Mischasche (Hackschnitzel und Rinde, Hackschnitzel)	26 (1)	985–3900	49,5–208	30–71,1	31,5–611	225 ± 33
Rostasche (Hackgut)	14 (1)	1070–3820	15,9–421	10,2–72,6	6,19–357	364 ± 53
Rostasche (Pellets)	3 (1)	1000–3930	174–311	62,8–181	27,5–602	640 ± 93
Rostasche (Miscanthus)	1 (0)	3610 ± 370	21,3 ± 3,4	19,8 ± 4,4	5,8 ± 1,1	Nicht bestimmt
Holzvergaserückstand (Hackschnitzel)	3 (1)	222–1420	11,7–64,7	6,1–24,9	75,8–235	65,6 ± 9,5
Zyklonfilterasche (Hackschnitzel)	1 (1)	2860 ± 290	340 ± 46	61 ± 13	637 ± 63	402 ± 58

4.1 Bewertung der Aktivitätskonzentrationen

Der Umgang mit Pflanzenaschen stellt grundsätzlich keine geplante Expositionssituation dar und fällt daher nicht unter die in Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 angeführten Tätigkeiten, sondern ist im Rahmen bestehender Expositionssituationen gemäß der IntV 2020 zu beurteilen. Zur Beurteilung der radiologischen Relevanz erfolgt ein sinngemäßer Vergleich der Aktivitätskonzentrationen mit den in Anlage 1 der AllgStrSchV 2020 festgelegten Freigrenzen, um festzustellen, ob prinzipiell eine nicht vernachlässigbare Exposition vorliegt. Im Folgenden werden die Freigrenzen der AllgStrSchV 2020 als Vergleichswerte herangezogen.

4.1.1 Bewertung der künstlichen Radionuklide

Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 1 der AllgStrSchV 2020 legt Freigrenzen für Aktivitätskonzentrationen von künstlichen Radionukliden (z. B. ^{137}Cs , ^{90}Sr) fest, unter denen eine effektive Dosis von 10 Mikrosievert (μSv) pro Jahr für eine Einzelperson der allgemeinen Bevölkerung in Österreich bei der Beseitigung, Wiederverwertung oder Wiederverwendung von aus einer bewilligten oder gemeldeten Tätigkeit stammenden radioaktiven Materialien nicht überschritten wird.

Der jährliche Ascheanfall von Biomasseheizwerken und Biomasse-KWK-Anlagen beträgt im Allgemeinen mehrere Tonnen. Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs ist in 31 Fällen höher als die Freigrenze für die ^{137}Cs Aktivitätskonzentration von 100 Bq/kg für Materialmengen > 1 Tonne pro Jahr (Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 1 Spalte 4 der AllgStrSchV 2020) (siehe Anhang Abbildung 10). Aus diesem Grund wird eine Dosisabschätzung für Arbeitskräfte (siehe Kapitel 5.1) und eine Dosisabschätzung für die Bevölkerung (siehe Kapitel 5.2) durchgeführt.

4.1.2 Bewertung der natürlichen Radionuklide

Tätigkeiten, bei denen Expositionen durch Rückstände auftreten, wie beispielsweise Wartungsarbeiten, insbesondere Instandhaltung und Ausbau von hitzebeständigen Verkleidungen aus zirkonhaltigem Material, Reinigung oder Um- und Abbau von Rohrleitungen und technischen Anlagen wie Pumpen und Ventilen, Instandhaltung, sowie Um- und Abbau von Filteranlagen, als auch Rauchgaswäschern, zählen gemäß § 11 der AllgStrSchV 2020 und Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 zu Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien. Diese Tätigkeiten unterliegen daher den strahlenschutzrechtlichen Anforderungen hinsichtlich Dosisabschätzung, Dokumentation und gegebenenfalls Meldepflichten.

Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 3 der AllgStrSchV 2020 legt Freigrenzen für Aktivitätskonzentrationen von natürlichen Radionukliden (z. B. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) fest, unter denen eine effektive Dosis von 0,3 mSv pro Jahr für eine Einzelperson der allgemeinen Bevölkerung in Österreich durch Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien nicht überschritten wird.

Die Quotientensumme ist in allen 51 Fällen kleiner als eins. Somit ist die Freigrenze für die Aktivitätskonzentration von ^{40}K von 10.000 Bq/kg (Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 3 Spalte 2 der AllgStrSchV 2020) (siehe Anhang Abbildung 7), die Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für natürliche Radionuklide der U-238-Reihe von 1.000 Bq/kg (Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 3 Spalte 2 der AllgStrSchV 2020) (siehe Anhang Abbildung 8) und die Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für natürliche Radionuklide der Th-232-Reihe von 1.000 Bq/kg (Anlage 1 Abschnitt D Tabelle 3 Spalte 2 der AllgStrSchV 2020) (siehe Anhang Abbildung 9) eingehalten.

Der Wert der effektiven Dosis, bei dessen Überschreitung von einer erheblich erhöhten Exposition durch eine Tätigkeit mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (siehe § 27 des StrSchG 2020) auszugehen ist, beträgt gemäß § 18 der AllgStrSchV 2020

0,3 Millisievert im Kalenderjahr. Aus den 51 analysierten Rückstandsproben lässt sich keine erheblich erhöhte Exposition durch eine Tätigkeit mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien ableiten.

4.2 Bewertung einer Weiterverwendungsoption von Biomasseasche

In der Vergangenheit wurde vor allem Kohleasche als Zuschlagstoff bei der Erzeugung von Bauprodukten verwendet. In Kohleaschen sind im Allgemeinen keine künstlichen Radionuklide vorhanden. Durch den Ausstieg aus der Kohlenutzung zur Energieerzeugung in Europa kann in Zukunft Biomasseasche als Zuschlagstoff vermehrt verwendet werden. Die künstlichen Radionuklide in der Biomasseasche wie ^{137}Cs und ^{90}Sr stammen aus den atmosphärischen Kernwaffentests der 1950er- und 1960er-Jahre sowie dem Unfall im Kernkraftwerk Tschornobyl von 1986. Gemäß § 123 Absatz 1 der AllgStrSchV 2020 beträgt der Referenzwert für die externe Exposition in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten 1 mSv effektive Dosis pro Jahr. Dabei ist der Einfluss sowohl natürlicher als auch künstlicher Radionuklide zu bewerten. Der Baustoffindex gemäß ONR CEN/TS 17216 (Austrian Standards International 2019) dient der vereinfachten Bewertung von Bauprodukten hinsichtlich der äußeren Exposition durch Gammastrahlung, die von den natürlichen Radionukliden ^{40}K , ^{226}Ra und ^{232}Th stammt und aus den Bauprodukten austritt. Künstliche Radionuklide werden im Baustoffindex nicht berücksichtigt.

Biomasseaschen können als kontaminierte Waren gelten, wenn strahlenschutzrechtlich relevante Konzentrationen von künstlichen und natürlichen Radionukliden in den Aschen auftreten. Gemäß § 12 Ziffer 2 der IntV 2020 beträgt der Referenzwert für die Exposition von Personen in einer bestehenden Expositionssituation aufgrund von kontaminierten Waren 1 mSv effektive Dosis pro Jahr. Wird Biomasseasche als Zuschlagstoff bei der Erzeugung von Bauprodukten verwendet, ist gemäß § 123 Absatz 1 der AllgStrSchV 2020 zusätzlich der Referenzwert für die externe Exposition in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten von 1 mSv effektive Dosis pro Jahr einzuhalten.

5 Dosisabschätzung

Dosisabschätzungen dienen dazu, die zu erwartende Exposition z. B. einer Person realistisch und nachvollziehbar zu beurteilen, um mögliche Risiken frühzeitig zu identifizieren und falls erforderlich geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten.

5.1 Dosisabschätzung für Arbeitskräfte

Für eine Dosisabschätzung für Arbeitskräfte wurden ein Heizwerk (Werk C) und zwei KWK-Anlagen (Werk A und B) besucht. Tabelle 3 fasst technische Details und Ortsdosisleistungsmesswerte (Messgerät: AUTOMESS 6150 AD6/E S/N 157137 mit Sonde AUTOMESS 6150 AD-B/E S/N 156957) in Nanosievert pro Stunde (nSv/h) für Werk A–C zusammen.

Tabelle 3: Details zu den drei besuchten Anlagen

	Werk A	Werk B	Werk C
Firma	Firma A	Firma B	Firma C
Anlagentyp	Biomasse-KWK-Anlage	Biomasse-KWK-Anlage	Heizwerk
Ofenausmauerung	Schamott	Feuerfeststeine	Schamott
Ort	Niederösterreich	Steiermark	Kärnten
Datum	30.01.2024	20.12.2023	20.12.2023
Holzbrennstoffarten	Hackgut	Hackschnitzel	Hackschnitzel
Ascheart	Elektrofilter- bzw. Rostasche	Mischasche (MA)	MA (grob) bzw. MA (fein)
Probe	FA-01 bzw. RA-01	MA-01	MA-02 bzw. MA-03
Leerwert (außen) in 1 m Höhe in nSv/h	Min: 140 ± 42 Max: 220 ± 66	< 100 nSv/h	< 100 nSv/h
Innen in 1 m Höhe in nSv/h	Nicht bestimmt	< 100 nSv/h	120 ± 36
Aschecontainer (Kontakt) in nSv/h	(172 ± 52) bzw. (150 ± 45)	Min: 115 ± 35 Max: 159 ± 48	Min: 110 ± 33 Max: 160 ± 48
Aschecontainer Asche (Kontakt) in nSv/h	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt	Min: 169 ± 51 Max: 200 ± 60
Aschecontainer (in 1 m Entfernung)	wie Leerwert	wie Leerwert	wie Leerwert
Zyklotron (Kontakt) in nSv/h	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt	100 ± 30
Aschebeförderung in Bodennähe (Kontakt) in nSv/h	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt	124 ± 37
Asche pro Jahr in t	1440–1500	1900	7,5–8
Entsorgung	Deponie	Deponie	Abfall-Kompostbetreiber

Für die Dosisabschätzung wurde die zwei Expositionspfade der äußeren Strahlenexposition und Strahlenexposition durch Inhalation von Staub berücksichtigt. Somit ergibt sich die jährliche Gesamtdosis für die Referenzperson „Arbeiter:in“ E_w als Summe der effektiven Jahresdosis durch Gammastrahlung $E_{A,w}$ und der Dosis durch Inhalation $E_{Inh,w}$. Tabelle 4 erläutert die einzelnen Variablen der Dosisabschätzung.

$$E_w = E_{A,w} + E_{Inh,w}$$

$$E_{A,w} = f_w \cdot H^*(10) \cdot t_{Exp,w}$$

$$E_{Inh,w} = \dot{V}_w \cdot S \cdot \sum_r C_{Inh,Asche,r} \cdot e_{Inh,r,w} \cdot t_{Exp,w}$$

Die Expositionspfade der innere Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel und der Strahlenexposition durch Aufnahme von Boden (Direktingestion) wurden nicht berücksichtigt, weil diese drei Pfade für reguläre Arbeitsbedingungen vernachlässigbar sind.

Tabelle 4: Erläuterung der verwendeten Variablen zur Dosisabschätzung

Variable (Einheit)	Beschreibung
E_w (Sv)	Jährliche Gesamtdosis für die Referenzperson „Arbeiter:in“ w
$E_{A,w}$ (Sv)	Effektive Jahresdosis für die Referenzperson „Arbeiter:in“ w durch Gammastrahlung
$E_{Inh,w}$ (Sv)	Effektive Jahresdosis für die Referenzperson „Arbeiter:in“ w durch Einatmen von Staub
f_w	Dimensionslose Umrechnungsfaktor von der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung zur effektiven Dosisleistung für den/die Arbeiter:in: Gemäß den „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)“ des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz ist dieser gleich 0,6 (BfS 2011).
$H^*(10)$ (Sv/h)	Umgebungs-Äquivalentdosisleistung an dem Ort innerhalb des Biomasseheizkraftwerks oder der KWK-Anlage, an dem die höchste Dosis aufgezeichnet wurde
$t_{Exp,w}$ (h)	Jährliche Aufenthaltszeit der Arbeitskraft am Expositionsort
\dot{V}_w (m ³ /h)	Atemfrequenz für die Arbeitskraft: Gemäß den „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)“ des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz ist diese gleich 1,2 (BfS 2011).
S (kg/m ³)	Referenzwert für die Schwebstaubkonzentration: Dieser wurde gemäß den österreichischen Vorschriften auf $2 \cdot 10^{-6}$ kg/m ³ festgelegt. Der Wert dafür entspricht der Technischen Richtkonzentration (TRK) für Holzstaub gemäß der Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Wirtschaft über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über gefährliche Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2024 – GKV), die als konservativ angesehen wird. Holzasche ist nicht völlig biologisch inert, sie enthält verschiedene Mineral- und Nährstoffe wie Kalzium, Magnesium, Kalium und Phosphor.

Variable (Einheit)	Beschreibung
$C_{Inh,Asche,r}$ (Bq/kg)	Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im Staub, von der angenommen wird, dass sie gleich der Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der Ascheprobe ist
$e_{Ing,r,w}$ (Sv/Bq)	<p>Koeffizient der Inhalationsdosis für das Radionuklid r für den/die Arbeiter:in w basiert auf der ICRP-Veröffentlichung 119 (ICRP 2012):</p> <p>In Ermangelung genauer Daten zur chemischen Zusammensetzung der in den Ascheproben enthaltenen Radionuklide wurde für die Inhalation der Materialtyp F, M oder S mit dem höchsten Dosiskoeffizienten verwendet. Wie in der ICRP-Publikation 119 (ICRP 2012) dargelegt, sind diese Typen ein Hinweis auf unterschiedliche Löslichkeitsgrade in den Atemwegen: Bei Typ F handelt es sich um eine schnelle Absorptionsrate in das Blut, während Typ M eine moderate und Typ S eine langsame Absorptionsrate hat.</p> <p>Zur Berechnung der Dosiskoeffizienten für Arbeitskräfte $e_{Ing,r,w}$ wurde angenommen, dass sowohl für die ^{238}U- als auch für die ^{232}Th-Zerfallsreihe ein säkulares Gleichgewicht erreicht wurde. Dementsprechend wurde die Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Verbindung mit dem Dosiskoeffizienten für ^{238}U im säkularen Gleichgewicht ($^{238}\text{U}++$) verwendet, der die Summe der individuellen Dosiskoeffizienten aller radiologisch relevanten Nachkommen in der Zerfallskette ^{238}U, ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{210}Bi und ^{210}Po berücksichtigt. In ähnlicher Weise wurde die Aktivitätskonzentration von ^{232}Th mit dem Dosiskoeffizienten für ^{232}Th im säkularen Gleichgewicht ($^{232}\text{Th}++$) kombiniert, der die Beiträge von ^{232}Th, ^{228}Ra, ^{228}Ac, ^{228}Th und ^{224}Ra enthält.</p>

Basierend auf den Messergebnissen der realen Proben aus den einzelnen Containern wurden Dosisabschätzungen durchgeführt (siehe Tabelle 5):

- Für den realistischen Fall, in dem angenommen wird, dass die Arbeitskraft im Jahr eine Arbeitszeit von 62,5 Stunden (15 Minuten pro Arbeitstag) an dem Ort mit der höchsten Ortsdosisleistung verbringt, und
- Für den konservativen Fall, in dem angenommen wird, dass die Arbeitskraft ihre gesamte jährliche Arbeitszeit von 2000 Stunden an dem Ort mit der höchsten Ortsdosisleistung verbringt.

Der Ort mit der höchsten Ortsdosisleistung ist für alle Anlagen direkt neben dem Ascheaufbewahrungscontainer.

Tabelle 5: Dosisabschätzung für Arbeitskräfte der besuchten Werke A–C basierend auf den Messergebnissen realer Proben aus dem jeweiligen Container.

	Werk A	Werk B	Werk C
Max. Umgebungsäquivalentdosisleistung in nSv/h	172 ± 52	159 ± 48	200 ± 60
Jährliche Aufenthaltszeit in h	2000	2000	2000
Probe	FA-01	MA-01	MA-03
^{137}Cs in Bq/kg	350 ± 35	162 ± 16	32,3 ± 3,3
^{90}Sr in Bq/kg	159 ± 23	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt
$^{238}\text{U}++$ in Bq/kg	99 ± 14	79 ± 11	98 ± 14
$^{232}\text{Th}++$ in Bq/kg	47,2 ± 9,8	35,4 ± 6,9	53,1 ± 7,5

	Werk A	Werk B	Werk C
⁴⁰ K in Bq/kg	2470 ± 250	1220 ± 130	3050 ± 310
Staubkonzentration in kg/m ³	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)
Realistische effektive Jahresdosis in mSv (62,5 h jährliche Aufenthaltszeit)	0,0075 ± 0,0019	0,0068 ± 0,0018	0,0086 ± 0,0023
Konservative effektive Jahresdosis in mSv (2000 h jährliche Aufenthaltszeit)	0,242 ± 0,062	0,218 ± 0,057	0,276 ± 0,072

Tabelle 6 zeigt die Dosisabschätzungen für Arbeitskräfte auf Grundlage der jeweils höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr. Zusätzlich wurde eine fiktive Probe berücksichtigt, in der alle Maximalwerte dieser Radionuklide kombiniert wurden, um ein konservatives Szenario mit potenziell maximaler Exposition darzustellen.

Tabelle 6: Dosisabschätzungen für Arbeitskräfte basierend auf Proben mit den jeweils höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr, sowie einer fiktiven Probe mit allen Maximalwerten kombiniert.

	FA-02	RA-13	RA-02	RA-14	Fiktiv
Maximalwerte	Cs	Sr und K	U	Th	alle
Brennstoff	Hackschnitzel	Holzpellets	Hackschnitzel	Holzpellets	fiktiv
Firma	B	E	D	E	fiktiv
Max. Umgebungs-äquivalentdosisleistung in nSv/h	159 ± 48	200 ± 60	200 ± 60	200 ± 60	200 ± 60
¹³⁷ Cs in Bq/kg	771 ± 76	293 ± 29	357 ± 35	27,5 ± 2,9	771 ± 76
⁹⁰ Sr in Bq/kg	104 ± 16	640 ± 93	364 ± 53	Nicht bestimmt	640 ± 93
²³⁸ U++ in Bq/kg	70 ± 11	174 ± 24	421 ± 56	311 ± 42	421 ± 56
²³² Th++ in Bq/kg	18,2 ± 4,5	103 ± 14	72,6 ± 9,9	181 ± 25	181 ± 25
⁴⁰ K in Bq/kg	3580 ± 360	3930 ± 390	2510 ± 250	1000 ± 110	3930 ± 390
Staubkonzentration in kg/m ³	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)	2 · 10 ⁻⁶ (GKV)
Realistische effektive Jahresdosis in mSv (62,5 h jährliche Aufenthaltszeit)	0,0066 ± 0,0018	0,0096 ± 0,0023	0,0110 ± 0,0023	0,0112 ± 0,0023	0,0120 ± 0,0023
Konservative effektive Jahresdosis in mSv (2000 h jährliche Aufenthaltszeit)	0,211 ± 0,057	0,307 ± 0,072	0,353 ± 0,073	0,359 ± 0,073	0,384 ± 0,073

Die maximale effektive Jahresdosis ergibt sich aus der fiktiven Probe. Die somit abgeschätzte effektive Jahresdosis E_w für die Referenzperson „Arbeiter:in“ w liegt an dem Ort mit der höchsten Ortsdosisleistung in Biomasseheizkraftwerken oder KWK-Anlagen für eine realistische jährliche Aufenthaltszeit von 62,5 Stunden im Jahr maximal bei $0,0120 \pm 0,0023$ mSv pro Jahr und für eine konservative jährliche Aufenthaltszeit von

2000 Stunden im Jahr maximal bei $0,384 \pm 0,073$ mSv pro Jahr. Sowohl der realistisch als auch der konservativ berechnete Wert unterschreiten den in § 12 Ziffer 2 der IntV 2020 festgelegten Referenzwert für kontaminierte Waren, ausgenommen Lebensmittel und Futtermittel, von 1 mSv effektive Dosis pro Jahr für die Exposition von Personen.

Bei der durchgeführten Dosisabschätzung für Arbeitskräfte wurden Tätigkeiten, bei denen Expositionen durch Rückstände auftreten, wie beispielsweise Wartungsarbeiten, insbesondere Instandhaltung und Ausbau von hitzebeständigen Verkleidungen aus zirkonhaltigem Material, Reinigung oder Um- und Abbau von Rohrleitungen und technischen Anlagen, wie Pumpen und Ventilen, Instandhaltung, sowie Um- und Abbau von Filteranlagen, als auch Rauchgaswäschern nicht berücksichtigt. Gemäß § 11 der AllgStrSchV 2020 und Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 zählen diese Tätigkeiten zu jenen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM). Diese Tätigkeiten unterliegen daher den strahlenschutzrechtlichen Anforderungen hinsichtlich Dosisabschätzung, Dokumentation und gegebenenfalls Meldepflichten.

5.2 Dosisabschätzung für die Bevölkerung

Da der Umgang mit Pflanzenaschen grundsätzlich keine geplante Expositionssituation darstellt und daher nicht unter die in Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 angeführten Tätigkeiten fällt, sondern im Rahmen bestehender Expositionssituationen gemäß IntV 2020 zu beurteilen ist und ihre Anwendung aufgrund der anlagenspezifischen Rahmenbedingungen zudem technisch nicht sachgerecht wäre, wurde die Ausbreitung der Abluftfahne einer näheren Betrachtung unterzogen.

Im Vorgängerprojekt „Monitoring von Holzbrennstoffen in Österreich auf künstliche Radionuklide“ (Grill 2021) wurde eine konservative Dosisabschätzung für das Expositionsszenario „Düngung des eigenen Gemüsebeetes mit Holzasche“ durchgeführt (siehe auch Herzner et al. 2025b). Für eine repräsentative Person der Bevölkerung, die älter als 17 Jahre ist, unter Berücksichtigung der künstlichen Radionuklide ^{137}Cs und ^{90}Sr ergibt sich eine jährliche Dosis von 0,2 mSv. Dieses Expositionsszenario wurde in diesem Projekt kein weiteres Mal betrachtet.

Für das hier betrachtete Expositionsszenario „Aufenthalt in der Abluftfahne“ sind die eingesetzten Filtersysteme in den Biomasseheizwerken bzw. Biomasse-KWW-Anlagen für die genaue Betrachtung relevant. Je nach eingesetztem Filtersystem (oft werden Kombinationen wie Zyklonabscheider und Elektrofilter verwendet) können bis zu 99 % der Aschepartikel aus dem Abluftstrom abgeschieden werden. Die Verordnung der Bundesministerin für

Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über die Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus Feuerungsanlagen in die Luft (Feuerungsanlagen-Verordnung 2019 – FAV 2019) legt für Biomasseanlagen mit einer Leistung zwischen 2 MW und 50 MW einen maximalen Staubemissionsgrenzwert von 30 mg/Nm^3 fest.

Unter der konservativen Annahme, dass die Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im Staub derjenigen in der Ascheprobe ($C_{Asche,r}$) entspricht, ergibt sich die Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der Abluft ($C_{Abluft,r}$ in Bq/Nm^3), indem die Aktivitätskonzentration in der Asche mit dem Staubemissionsgrenzwert multipliziert wird:

$$C_{Abluft,r} = C_{Asche,r} \frac{\text{Bq}}{10^3 \text{g}} \cdot 30 \frac{10^{-3} \text{g}}{\text{Nm}^3}$$

Gemäß ÖNORM S 5252:2011 (Austrian Standards International 2011) kann hierfür der Diffusionsansatz nach Gauß herangezogen werden, der die Verdünnung der emittierten Stoffe durch die Umgebungsluft berücksichtigt. Die Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der Abluft gemäß dem Diffusionsansatz nach Gauß $C_{Gau\beta,r}$ berechnet sich aus dem Gauß'schen Diffusionsfaktor der Abluftfahne F , dem Fortluftstrom V und der Windgeschwindigkeit u :

$$C_{Gau\beta,r} \frac{\text{Bq}}{\text{Nm}^3} = \frac{F \cdot V \cdot C_{Abluft,r} \frac{\text{Bq}}{\text{Nm}^3}}{u} = \frac{\frac{3 \cdot 10^{-3}}{\text{m}^2} \cdot 100.000 \frac{\text{m}^3}{3600 \text{s}} \cdot \left(C_{Asche,r} \frac{\text{Bq}}{10^3 \text{g}} \cdot 30 \frac{10^{-3} \text{g}}{\text{Nm}^3} \right)}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Die geringste Verdünnung von $\frac{3 \cdot 10^{-3}}{\text{m}^2}$ tritt bei einer Schornsteinhöhe von 0–5 Metern in einer horizontalen Entfernung von 100 Metern zum Emissionspunkt auf (Tabelle 7). Üblicherweise sind Schornsteine von Biomasseheizkraftwerken oder KWK-Anlagen höher als 0–5 Meter. Für einen Literaturvergleich wurde zusätzlich mit dem Gauß'schen Diffusionsfaktor von $\frac{1 \cdot 10^{-3}}{\text{m}^2}$ bei einer Schornsteinhöhe größer als 80 m in einer horizontalen Entfernung von 100 Metern zum Emissionspunkt gerechnet. Der Fortluftstrom wurde mit $100.000 \text{ m}^3/\text{h}$ und die Windgeschwindigkeit mit 4 m/s angenommen. Für ein Szenario maximaler Exposition wurde eine fiktive Probe angenommen, in der die jeweils höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs und ^{90}Sr kombiniert wurden.

Tabelle 7: Aktivitätskonzentrationen einer fiktiven Probe, in der die jeweils höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs und ^{90}Sr kombiniert wurden, in der Abluft gemäß dem Gauß'schen Diffusionsfaktor in der ÖNORM S 5252:2011 (Austrian Standards International 2011).

Radionuklid	Maximales C_{Asche} in Bq/kg	C_{Abluft} in Bq/Nm ³	$C_{\text{Gauß}}$ in Bq/Nm ³
^{137}Cs	771 ± 76	0,0231 ± 0,0023	0,00048
^{90}Sr	640 ± 93	0,0192 ± 0,0028	0,00040
$^{238}\text{U}++$	421 ± 56	0,0126 ± 0,0017	0,00026
$^{232}\text{Th}++$	181 ± 25	0,0054 ± 0,0008	0,00011
^{40}K	3930 ± 390	0,118 ± 0,012	0,0025

Die Inhalationsdosis für die Bevölkerung $E_{\text{Inh},B}$ berechnet sich wie folgt (Tabelle 8 erläutert die einzelnen Variablen.):

$$E_{\text{Inh},B} = \dot{V}_B \sum_r C_{\text{Gauß},r} \cdot e_{\text{Inh},r,B} \cdot t_{\text{Exp}}$$

Tabelle 8: Erläuterung der verwendeten Variablen zur Dosisabschätzung für die Bevölkerung

Variable (Einheit)	Beschreibung
$E_{\text{Inh},B}$ (Sv)	Effektive Jahresdosis für die Referenzperson der Bevölkerung durch Einatmen von der Abluftfahne
(m ³ /h)	Atemfrequenz für die Referenzperson der Bevölkerung: Gemäß den „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)“ des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz angewandt (BfS 2011)
$e_{\text{Inh},r,B}$ (Sv/Bq)	Koeffizient der Inhalationsdosis für das Radionuklid r für die Referenzperson der Bevölkerung basiert auf der ICRP-Veröffentlichung 119 (ICRP 2012): In Ermangelung genauer Daten zur chemischen Zusammensetzung der in den Ascheproben enthaltenen Radionuklide wurde für die Inhalation der Materialtyp F, M oder S mit dem höchsten Dosiskoeffizienten verwendet. Die Dosiskoeffizienten für $^{238}\text{U}++$ und $^{232}\text{Th}++$ wurden, wie in Tabelle 4 beschrieben, berechnet.

Aufgrund der in Tabelle 9 dargestellten, sehr niedrigen abgeschätzten Inhalationsdosis wurde auf eine weiterführende Analyse unter Berücksichtigung anderer Expositionspfade wie die Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne, die Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne und die Exposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe verzichtet, da keine relevante Exposition für eine Referenzperson aus der Bevölkerung zu erwarten ist.

Tabelle 9: Berechnete effektive Inhalationsjahresdosis für eine Referenzperson aus der Bevölkerung mit einer fiktiven Probe, in der die jeweils höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs und ^{90}Sr kombiniert wurden.

Alter der Bevölkerung in Jahren	Effektive Jahresdosis $E_{Inh,B}$ in mSv für Schornsteinhöhen von 0–5 m	Effektive Jahresdosis $E_{Inh,B}$ in mSv für Schornsteinhöhen >80 m
≤ 1	0,018	0,00006
1–2	0,029	0,00010
2–7	0,033	0,00011
7–12	0,042	0,00014
12–17	0,051	0,00017

Gemäß AllgStrSchV 2020 § 77 Absatz 1 dürfen bei einer geplanten Expositionssituation radioaktive Stoffe unter normalen Bedingungen mit der Abluft nur abgeleitet werden, wenn die jährliche Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung aufgrund der Ableitungen eine effektive Dosis von 0,3 mSv nicht überschreitet. Für kontaminierte Waren, ausgenommen Lebensmittel und Futtermittel, beträgt der Referenzwert für die Exposition von Personen 1 Millisievert (mSv) effektive Dosis pro Jahr (§ 12 Ziffer 2 der IntV 2020). Die berechnete effektive Inhalationsjahresdosis $E_{Inh,B}$ für Referenzpersonen der Bevölkerung B liegt in der Abluftfahne von Biomasseheizkraftwerken oder KWK-Anlagen unterhalb von 0,1 mSv pro Jahr.

Für eine Schornsteinhöhe größer als 80 m und eine horizontale Entfernung von 100 Metern zum Emissionspunkt ergibt sich eine effektive Inhalationsjahresdosis $E_{Inh,B}$ für Referenzpersonen der Bevölkerung B unterhalb von 0,001 mSv pro Jahr. Dieser Wert stimmt mit den Ergebnissen von Hedvall et al. (1996) überein, wo die effektive Inhalationsdosis basierend auf den Empfehlungen der ICRP 56 (1990) und ICRP 61 (1991) berechnet wurde. Dabei wurde angenommen, dass eine Person die kontaminierte Luft mit einer normalen Atemfrequenz von 20 Litern pro Minute (ICRP 1975) über einen Zeitraum von 24 Stunden inhaliert (Hedvall et al. 1996). Unter der Annahme, dass die Gesamtemission des Schornsteins 1 kg pro Stunde beträgt und diese Emission ganzjährig erfolgt, ergibt sich bei einem 90 Meter hohen Schornstein eine effektive Inhalationsdosis von 0,002 mSv pro Jahr für eine Person, die sich rund um die Uhr an einem Ort mit maximaler Bodenluftkonzentration aufhält (Hedvall et al. 1996). Bei niedrigeren Schornsteinhöhen würde die Dosis entsprechend höher ausfallen (Hedvall et al. 1996). Die resultierende Dosis ist vernachlässigbar im Vergleich zur durchschnittlichen effektiven Dosis durch natürliche Quellen in Schweden, die etwa 4 mSv pro Jahr beträgt (Hedvall et al. 1996).

6 Zusammenfassung

Die zunehmende Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung führt zur Entstehung großer Mengen an Asche (jährlich mehrere hunderttausend Tonnen) und bringt damit neue Herausforderungen, sowie Chancen für eine nachhaltige Verwertung mit sich. Das Ziel dieses Projekts bestand darin, die potenzielle Exposition von Arbeitskräften beim Umgang mit Biomasseaschen in österreichischen Industrieanlagen und der Bevölkerung im Umkreis einer solchen Anlage zu bewerten.

Es wurden insgesamt 51 Ascheproben bestehend aus Verbrennungaschen und Vergasungsrückständen von fünf österreichischen Unternehmen untersucht. Die Proben stammten aus verschiedenen Bundesländern. Zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K und ^{137}Cs wurden Gammaskpektrometer mit hochreinen Germaniumdetektoren eingesetzt. Zusätzlich wurde ^{90}Sr in sieben ausgewählten Proben mithilfe von Flüssigszintillationszählern nach chemischer Separation gemessen.

Der Umgang mit Pflanzenaschen stellt grundsätzlich keine geplante Expositionssituation dar und fällt daher nicht unter die in Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 angeführten Tätigkeiten. Biomasseasche kann gemäß § 3 Ziffer 55 des StrSchG 2020 als radioaktiver Stoff gelten, wenn sie ein oder mehrere Radionuklide enthält, deren Aktivität oder Aktivitätskonzentration im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz nicht außer Acht gelassen werden kann. Da ^{137}Cs und ^{90}Sr infolge des Reaktorunfalls von Tschornobyl sowie früherer Kernwaffentests in die Umwelt und damit auch in das Holz gelangt sind, liegt eine bestehende Expositionssituation vor und somit erfolgt eine Beurteilung gemäß IntV 2020. Es können abhängig von den natürlichen (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) und künstlichen (^{137}Cs , ^{90}Sr) Radionukliden im Holz sowie dem Anreicherungsgrad bei der Verbrennung strahlenschutzrechtlich relevante Konzentrationen in den Biomasseaschen auftreten und folglich als kontaminierte Waren gelten. Für kontaminierte Waren, ausgenommen Lebensmittel und Futtermittel, beträgt der Referenzwert für die Exposition von Personen 1 Millisievert (mSv) effektive Dosis pro Jahr (§ 12 Ziffer 2 der IntV 2020).

Eine Dosisabschätzung für Arbeitskräfte, die mit Biomasseasche umgehen, ergab für eine realistische jährliche Aufenthaltszeit von 62,5 Stunden im Jahr eine effektive Jahresdosis von $0,0120 \pm 0,0023$ mSv pro Jahr. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Referenzwert von 1 mSv pro Jahr für die Exposition von Personen gemäß § 12 Ziffer 2 der IntV 2020.

Bei der durchgeführten Dosisabschätzung für Arbeitskräfte wurden Tätigkeiten, bei denen Expositionen durch Rückstände auftreten, wie beispielsweise Wartungsarbeiten, insbesondere

Instandhaltung und Ausbau von hitzebeständigen Verkleidungen aus zirkonhaltigem Material, Reinigung oder Um- und Abbau von Rohrleitungen und technischen Anlagen wie Pumpen und Ventilen, Instandhaltung, sowie Um- und Abbau von Filteranlagen, als auch Rauchgaswäschern nicht berücksichtigt. Gemäß § 11 der AllgStrSchV 2020 und Anlage 3 der AllgStrSchV 2020 zählen solche Arbeiten zu den Tätigkeiten mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM). Diese Tätigkeiten unterliegen daher den strahlenschutzrechtlichen Anforderungen hinsichtlich Dosisabschätzung, Dokumentation und gegebenenfalls Meldepflichten.

Eine Dosisabschätzung für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Abluftfahne von Biomasseheizkraftwerken oder KWK-Anlagen mit einer Schornsteinhöhe von 0–5 Metern in einer horizontalen Entfernung von 100 Metern zum Emissionspunkt ergab eine effektive Inhalationsjahresdosis von unter 0,1 mSv. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Referenzwert von 1 mSv pro Jahr für die Exposition von Personen gemäß § 12 Ziffer 2 der IntV 2020. Anzumerken ist, dass die Schornsteine im Realfall höher sind, wodurch sich die effektive Inhalationsjahresdosis verringert.

Grundsätzlich ist für Holzaschen eine Kreislaufwirtschaft anzustreben. Holzasche kann beispielsweise als Zuschlagstoff in der Baustoffproduktion oder zur Kompostierung eingesetzt werden. Wird Holzasche als Zuschlagstoff weiterverwendet, ist der Einfluss sowohl natürlicher als auch künstlicher Radionuklide zu bewerten. Gemäß § 123 Absatz 1 der AllgStrSchV 2020 beträgt der Referenzwert für die externe Exposition in Aufenthaltsräumen durch Gammastrahlung aus Bauprodukten ein mSv effektive Dosis pro Jahr. Der Baustoffindex gemäß ONR CEN/TS 17216 (Austrian Standards International 2019) dient der vereinfachten Bewertung von Baustoffen hinsichtlich der äußeren Exposition durch Gammastrahlung, die von den natürlichen Radionukliden ^{40}K , ^{226}Ra und ^{232}Th stammt und aus den Baustoffen austritt. Künstliche Radionuklide werden im Baustoffindex nicht berücksichtigt, sind aber beim Zuschlag von Holzasche in die Bewertung miteinzubeziehen.

Ein zentrales Ergebnis aus dem Vorgängerprojekt „Monitoring von Holzbrennstoffen in Österreich auf künstliche Radionuklide“ (Grill 2021, siehe auch Herzner et al 2025a; Herzner et al. 2025b) ist, dass bei der Verwendung von Holzpellets in Verbrennungsanlagen der im Vergleich zu Hackschnitzeln deutlich höhere Anreicherungsfaktor von Radionukliden in den Aschen berücksichtigt werden muss. Im Kontext des aktuellen Screeningprojekts gewinnt diese Erkenntnis zusätzliche Relevanz, da sich gezeigt hat, dass die Anreicherungsfaktoren nicht nur vom eingesetzten Brennstoff, sondern auch wesentlich von der Ascheart abhängen. Insbesondere Elektrofilterasche und Zyklonfilterasche weisen deutlich höhere Radionuklidkonzentrationen als Rostasche auf. Dies unterstreicht die Bedeutung des Brennstoffs, der Ascheart und der anfallenden Aschemenge als zentrale Parameter für den Strahlenschutz.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass technische Weiterentwicklungen von Verbrennungs-, Vergasungs- und Abscheidesystemen, künftig zu einer weiteren Aufkonzentrierung von Radionukliden in bestimmten Aschefraktionen führen können. Bei geänderten technischen Rahmenbedingungen oder erhöhten Anreicherungs-faktoren ist zukünftig eine Neubewertung der Expositionssituation erforderlich. Eine fortlaufende Beobachtung der technischen Entwicklung sowie der Radionuklidkonzentrationen in Biomasseaschen erscheint daher aus Sicht des Strahlenschutzes sinnvoll.

Anhang

Verwendete Unterlagen

- Austrian Standards International, 2011: ÖNORM S 5252 Abschätzung der effektiven Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide bei der Ableitung und Deponierung von Rückständen.
- Austrian Standards International, 2019: ONR CEN/TS 17216 Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Messung der spezifischen Aktivität von Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 in Bauprodukten mittels Halbleiter-Gammaspektrometrie (TS 17216:2018).
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), 2010: Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau). Reportnummer BfS-SW-07/10.
- Bundesgesetz über die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, Vormischungen und Zusatzstoffen (Futtermittelgesetz 1999 – FMG 1999). 1999, BGBl. I Nr. 139/1999.
- Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzgesetz 2020 – StrSchG 2020). 2020, BGBl. I Nr. 50/2020.
- Bundesgesetz über Sicherheitsanforderungen und weitere Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände und kosmetische Mittel zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher (Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz - LMSVG). 2006, BGBl. I Nr. 13/2006.
- H. Schrammel, S. Metz & L. Strimitzer, 2018: Biomasse-Nahwärme in Österreich – Wie steht es um die Nachhaltigkeit?. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2012: ICRP Publication 119 Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60.
- I. Obernberger, 1997: Aschen aus Biomassefeuerungen – Zusammensetzung und Verwertung. VDI-Berichte 1319: 199–222 in: Thermische Biomassenutzung: Technik und Realisierung. ISBN 3-18-0913 19-3, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.

- M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer, 2016: Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85095-3>
- Österreichischer Biomasse-Verband, 2023: Basisdaten 2023 Bioenergie.
- R. Hedvall, B. Erlandsson & S. Mattsson, 1996: Cs-137 in fuels and ash products from biofuel power plants in Sweden. Journal of environmental radioactivity 31(1): 103–117. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)00028-9](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)00028-9)
- Umweltbundesamt, 2016: Biomasse-Ascheströme in Österreich. Wien.
- Verordnung der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über die Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus Feuerungsanlagen in die Luft (Feuerungsanlagen-Verordnung 2019 – FAV 2019). 2019, BGBl. II Nr. 293/2019.
- Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz und der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über allgemeine Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 – AllgStrSchV 2020). 2020, BGBl. II Nr. 339/2020.
- Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über Interventionen in Notfallexpositionssituationen und in bestehenden Expositionssituationen nach einem radiologischen Notfall oder aufgrund von kontaminierten Waren oder aufgrund von radioaktiven Altlasten (Interventionsverordnung 2020 – IntV 2020). 2020, BGBl. II Nr. 343/2020.
- Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Wirtschaft über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über gefährliche Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2024 – GKV). 2024, BGBl. II Nr. 253/2001.
- V. Grill, 2021: Monitoring von Holzbrennstoff in Österreich auf künstliche Radionuklide. AGES.
- V. Herzner, C. Katzlberger, C. Pfeifer, F.J. Maringer & M. Weigl-Kuska, 2025a: Determination of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in wood fuels and their ashes available in Austria. Radiation Protection Dosimetry 201(13–14): 948–959. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncf036>

V. Herzner, C. Katzlberger, C. Pfeifer & M. Weigl-Kuska, 2025b: Dose Assessment for Wood Fuels and Their Ashes Available in Austria. *Health Physics* 129(5): 388–398.
<https://doi.org/10.1097/HP.0000000000002018>

V. Herzner, C. Katzlberger, M. Weigl-Kuska & C. Pfeifer, 2026: Radiological evaluation of industrial biomass ash: Activity concentration indices and dose assessment to ensure safety in Austria's circular economy. *Science of The Total Environment* 1028:181692.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2026.181692>

Rohdaten

Tabelle 10: Aktivitätskonzentrationen der Ascheproben

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasse-KWK-Anlage	Elektrofilterasche	FA-01	2470 ± 250	99 ± 14	47,2 ± 9,8	350 ± 35	159 ± 23
Biomasseheizwerk	Elektrofilterasche	FA-02	3580 ± 360	70 ± 11	18,2 ± 4,5	771 ± 76	104 ± 16
Biomasse-KWK-Anlage	Elektrofilterasche	FA-03	3130 ± 320	147 ± 20	61,6 ± 9,4	440 ± 44	Nicht bestimmt
Biomasse-KWK-Anlage	Mischasche	MA-01	1220 ± 130	79 ± 11	35,4 ± 6,9	162 ± 16	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-02	2780 ± 280	80 ± 11	44,1 ± 6,7	31,5 ± 3,3	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-03	3050 ± 310	98 ± 14	$53,1 \pm 7,5$	$32,3 \pm 3,3$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-04	2320 ± 240	99 ± 14	$58,5 \pm 8,1$	$57,2 \pm 5,7$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-05	985 ± 99	90 ± 12	$35,8 \pm 5,2$	123 ± 13	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-06	1320 ± 140	135 ± 18	$46,7 \pm 6,6$	248 ± 25	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-07	2640 ± 270	101 ± 14	$37,7 \pm 5,7$	552 ± 55	225 ± 33
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-08	1030 ± 110	90 ± 13	$32,5 \pm 7,2$	136 ± 14	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasse-KWK-Anlage	Mischasche	MA-09	2100 ± 210	133 ± 18	$56,9 \pm 7,9$	118 ± 12	Nicht bestimmt
Biomasse-KWK-Anlage	Mischasche	MA-10	1810 ± 190	128 ± 17	$49,1 \pm 6,9$	216 ± 22	Nicht bestimmt
Biomasse-KWK-Anlage	Mischasche	MA-11	2200 ± 230	81 ± 11	$51,1 \pm 9,7$	$42,0 \pm 4,3$	Nicht bestimmt
Biomasse-heizwerk	Mischasche	MA-12	2090 ± 210	105 ± 14	$59,6 \pm 8,2$	$45,8 \pm 4,6$	Nicht bestimmt
Biomasse-heizwerk	Mischasche	MA-13	3070 ± 310	91 ± 13	69 ± 13	$55,0 \pm 5,5$	Nicht bestimmt
Biomasse-heizwerk	Mischasche	MA-14	2540 ± 260	132 ± 18	51 ± 11	251 ± 25	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-15	2130 ± 220	98 ± 14	65 ± 13	330 ± 33	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-16	1750 ± 180	$49,5 \pm 6,7$	$41,4 \pm 5,9$	$35,5 \pm 3,6$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-17	1480 ± 150	$70,0 \pm 9,4$	$39,4 \pm 7,6$	132 ± 13	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-18	3000 ± 300	148 ± 20	$56,6 \pm 8,4$	611 ± 60	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-19	3900 ± 390	149 ± 20	65 ± 13	522 ± 52	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-20	1820 ± 190	148 ± 20	$30,0 \pm 7,3$	178 ± 18	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-21	1620 ± 170	198 ± 27	$35,5 \pm 5,3$	248 ± 25	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-22	1720 ± 180	74 ± 10	$50,1 \pm 7,1$	140 ± 14	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-23	1430 ± 150	91 ± 13	$49,7 \pm 7,0$	102 ± 11	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-24	1900 ± 200	208 ± 28	$71,1 \pm 9,6$	131 ± 13	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-25	1310 ± 140	$62,2 \pm 8,5$	$32,2 \pm 5,2$	$48,0 \pm 4,9$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Mischasche	MA-26	1700 ± 170	$66,9 \pm 9,1$	$46,9 \pm 6,7$	139 ± 14	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasse-KWK-Anlage	Rostasche (Hackgut)	RA-01	1070 ± 110	$49,7 \pm 6,7$	$46,1 \pm 6,4$	$47,9 \pm 4,8$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-02	2510 ± 250	421 ± 56	$72,6 \pm 9,9$	357 ± 35	364 ± 53
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-03	1820 ± 190	80 ± 11	$25,1 \pm 5,1$	$94,2 \pm 9,4$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-04	2500 ± 250	$44,0 \pm 6,0$	$33,5 \pm 6,5$	$35,4 \pm 3,6$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-05	2760 ± 280	$68,2 \pm 9,2$	$44,6 \pm 6,3$	$32,2 \pm 3,3$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-06	2540 ± 260	$39,8 \pm 5,5$	$15,9 \pm 3,7$	$84,3 \pm 8,4$	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-07	3820 ± 390	$60,3 \pm 8,3$	$13,5 \pm 3,7$	162 ± 16	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-08	3160 ± 320	106 ± 15	$46,0 \pm 6,5$	127 ± 13	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk bzw. Holzvergaser	Rostasche (Hackgut)	RA-09	2330 ± 240	199 ± 27	$15,4 \pm 2,8$	121 ± 12	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-10	2630 ± 270	$37,2 \pm 5,1$	$30,1 \pm 4,4$	$6,19 \pm 0,85$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-11	2980 ± 300	$34,5 \pm 4,7$	$20,1 \pm 3,3$	$27,5 \pm 2,8$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-12	3020 ± 310	$15,9 \pm 3,4$	$10,2 \pm 2,8$	$9,7 \pm 1,2$	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasseheizwerk	Rostasche (Hackgut)	RA-16	2370 ± 240	81 ± 11	$42,9 \pm 8,6$	$12,0 \pm 1,4$	Nicht bestimmt
Biomasse-KWK-Anlage	Rostasche (Hackgut)	RA-18	2070 ± 210	144 ± 20	$68,3 \pm 9,4$	204 ± 21	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Pellets)	RA-13	3930 ± 390	174 ± 24	103 ± 14	293 ± 29	640 ± 93
Biomasseheizwerk	Rostasche (Pellets)	RA-14	1000 ± 110	311 ± 42	181 ± 25	$27,5 \pm 2,9$	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Pellets)	RA-17	3910 ± 390	199 ± 27	$62,8 \pm 8,8$	602 ± 60	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Rostasche (Miscanthus)	RA-15	3610 ± 370	$21,3 \pm 3,4$	$19,8 \pm 4,4$	$5,8 \pm 1,1$	Nicht bestimmt

Heizwerktyp	Ascheart	Probenbezeichnung	Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg	Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg
Biomasse-KWK-Anlage	Holzvergaserückstand	VG-01	566 ± 60	$60,2 \pm 8,4$	$7,3 \pm 3,1$	211 ± 21	$65,6 \pm 9,5$
Biomasse-KWK-Anlage bzw. Holzvergaser	Holzvergaserückstand	VG-02	222 ± 28	$11,7 \pm 2,7$	$6,1 \pm 3,4$	$75,8 \pm 7,7$	Nicht bestimmt
Biomasse-KWK-Anlage bzw. Holzvergaser	Holzvergaserückstand	VG-03	1420 ± 150	$64,7 \pm 8,8$	$24,9 \pm 5,2$	235 ± 24	Nicht bestimmt
Biomasseheizwerk	Zyklonfilterasche	ZA-01	2860 ± 290	340 ± 46	61 ± 13	637 ± 63	402 ± 58

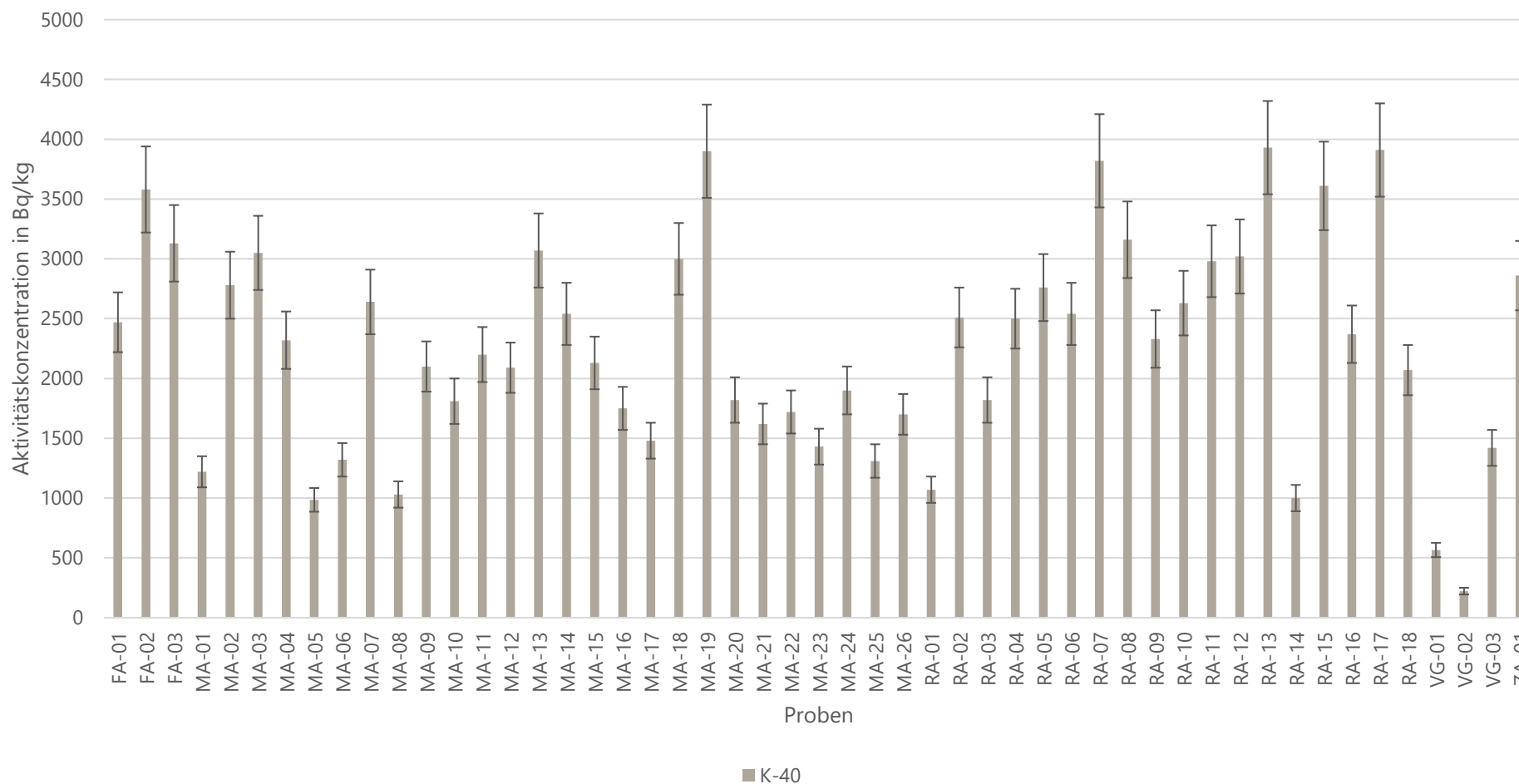


Abbildung 7: Aktivitätskonzentration von ^{40}K in Bq/kg für die Proben der Elektrofilterasche (FA), Mischasche (MA), Rostasche (RA), Holzvergaserückstand (VG) und Zyklonfilterasche (ZA)

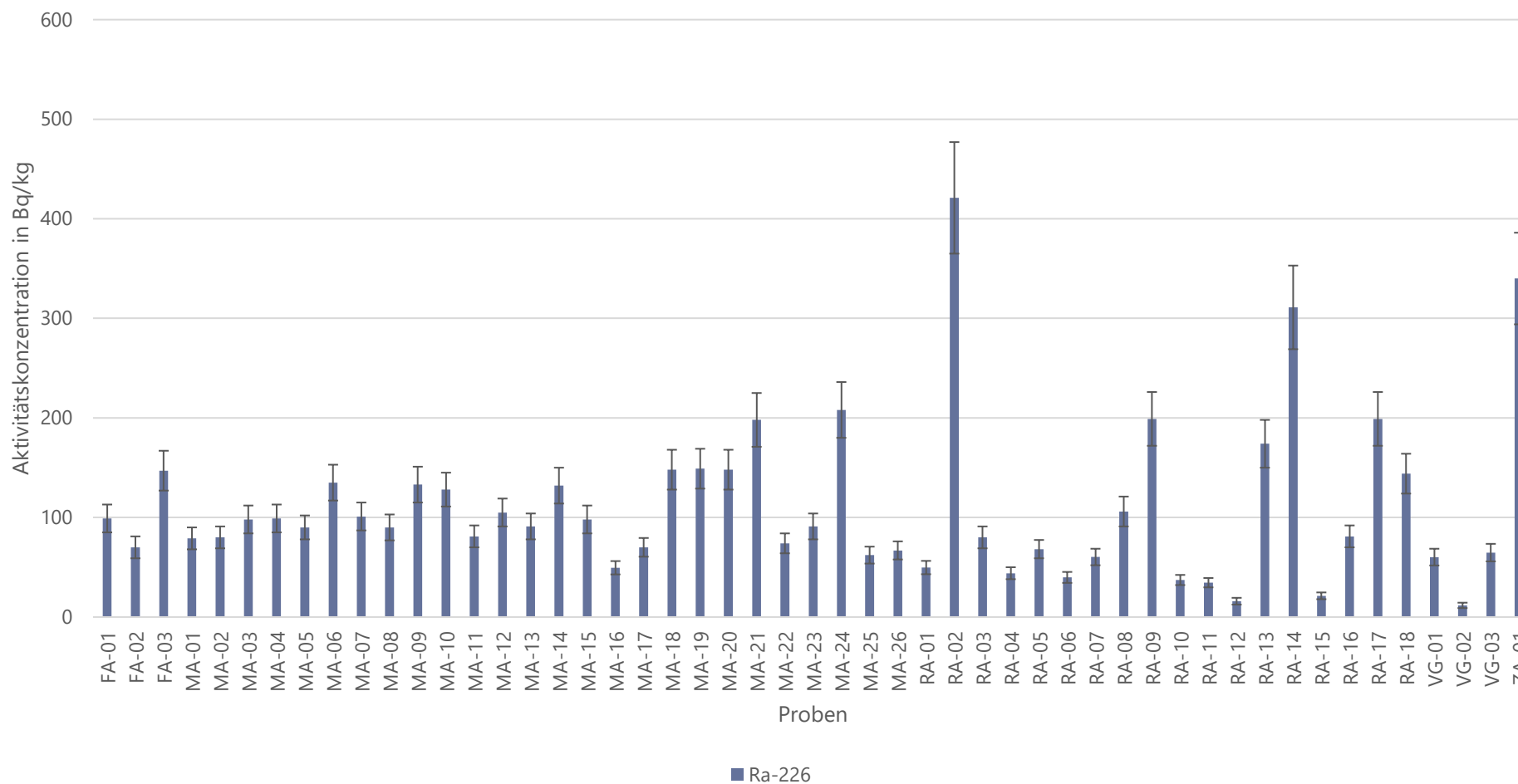


Abbildung 8: Aktivitätskonzentration von ²²⁶Ra in Bq/kg für die Proben der Elektrofilterasche (FA), Mischasche (MA), Rostasche (RA), Holzvergaserückstand (VG) und Zyklonfilterasche (ZA)

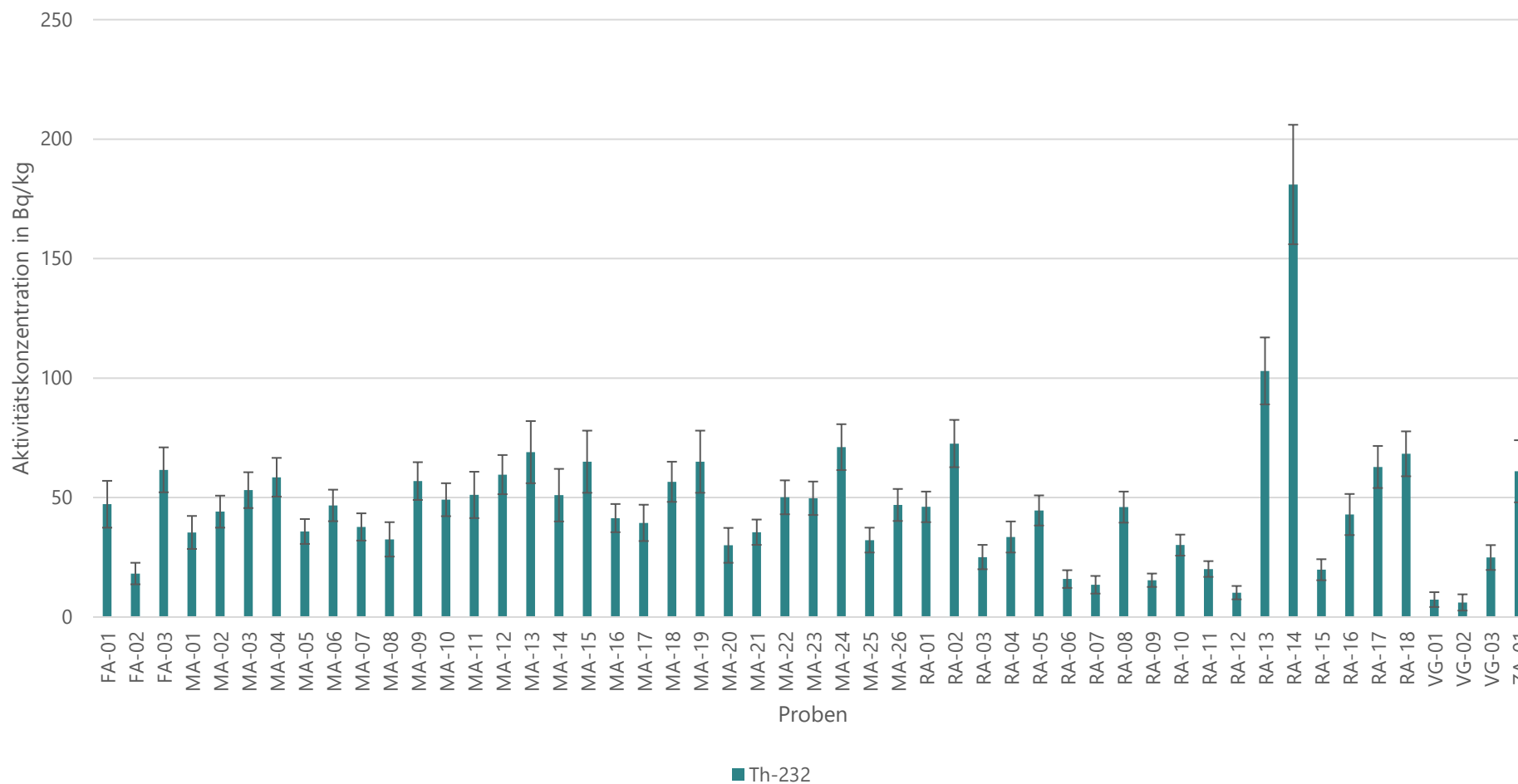


Abbildung 9: Aktivitätskonzentration von ^{232}Th in Bq/kg für die Proben der Elektrofilterasche (FA), Mischasche (MA), Rostasche (RA), Holzvergaserückstand (VG) und Zyklonfilterasche (ZA)

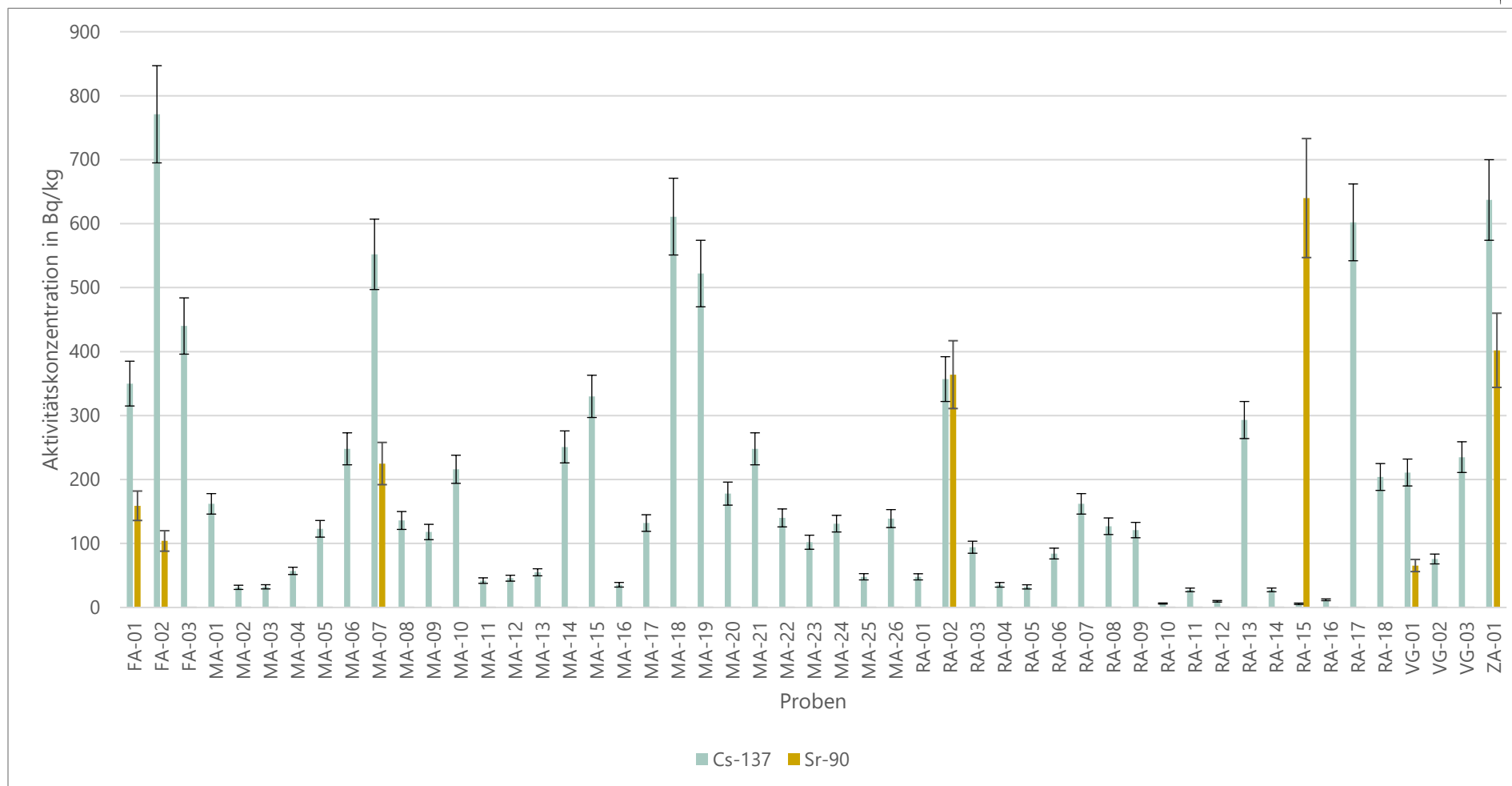


Abbildung 10: Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg und Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in Bq/kg für die Proben der Elektrofilterasche (FA), Mischasche (MA), Rostasche (RA), Holzvergaserückstand (VG) und Zyklonfilterasche (ZA)



GESUNDHEIT FÜR MENSCH, TIER & PFLANZE

www.ages.at

Eigentümer, Verleger und Herausgeber: AGES – Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Spargelfeldstraße 191 | 1220 Wien | FN 223056z © AGES, Juni 2026