




Monitoring von Holzbrennstoff in Österreich auf künstliche Radionuklide

VIKTORIA GRILL

10.11.2021

Im Auftrag von

 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Inhalt

1	Verwendete Unterlagen	4
2	Sachverhalt.....	7
3	Projektüberblick	11
3.1	Probenanzahl	13
3.2	Probenherkunft.....	14
4	Regelungen in Europa und Japan	18
5	Künstliche Radionuklide in den Holzbrennstoffen	20
5.1	Holzpellets.....	21
5.1.1	Holzpellets – Literaturwerte	23
5.2	Hackschnitzel.....	24
5.2.1	Hackschnitzel – Literaturwerte	25
5.3	Holzsplitter	26
5.3.1	Holzsplitter – Literaturwerte	26
5.4	Holzpellets	27
5.4.1	Holzpellets – Literaturwerte.....	27
6	Künstliche Radionuklide in den Aschen	28
6.1	Holzpellets-Asche.....	28
6.1.1	Holzpellet-Asche – Literaturwerte.....	29
6.2	Hackschnitzel-Asche.....	30
6.2.1	Hackschnitzel-Asche – Literaturwerte	32
6.3	Holzsplitter-Asche.....	33
6.3.1	Holzsplitter-Asche – Literaturwerte	33
6.4	Holzpellet-Asche.....	34
6.4.1	Holzpellet-Asche – Literaturwerte	34
7	Anreicherung der Radionuklide in den Aschen.....	35
7.1	Faktoren für Holzpellets.....	36

7.1.1	Faktoren für Holzpellets angewendet auf die gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in den Holzpellet-Proben	38
7.1.2	Faktor für Holzpellets – Literaturwerte.....	39
7.2	Faktoren für Hackschnitzel.....	40
7.2.1	Faktor für Hackschnitzel – Literaturwerte.....	41
7.3	Faktor für Holzscheite.....	42
7.3.1	Faktor für Holzscheite - Literaturwerte	42
7.4	Faktoren für Holzbriketts	42
7.4.1	Faktor für Holzbriketts - Literaturwerte.....	43
8	Entsorgung der Holzaschen in Österreich.....	44
8.1	Sinngemäße Anwendung des StrSchG 2020 auf die Entsorgung von Pflanzenaschen	48
9	Dosisabschätzung	52
9.1	Dosisabschätzung - Literaturwerte	55
9.2	Relevanz für den Baustoffindex.....	56
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	57
10.1	Zusammenfassung - Holzbrennstoffe.....	57
10.2	Zusammenfassung - Verbrennungsrückstände (Aschen)	58
10.3	Zusammenfassung – Anreicherung der Radionuklide ^{137}Cs und ^{90}Sr in den Verbrennungsrückständen (Aschen)	59
10.4	Zusammenfassung - Dosisabschätzung.....	60
10.5	Ausblick.....	61
Anhang	63
	Rohdaten.....	63
	Berechnungen mit ermittelten Faktoren	71

1 Verwendete Unterlagen

- StrSchG 2020 - Strahlenschutzgesetz BGBl. I Nr. 50/2020 idgF.
- AllgStrSchV 2020 - Allgemeine Strahlenschutzverordnung BGBl. II Nr. 339/2020 idgF.
- AWG 2002 - Abfallwirtschaftsgesetz BGBl. I Nr. 102/2002 idgF.
- Kompostverordnung BGBl. II Nr. 292/2001 idgF.
- StSV – Strahlenschutzverordnung AS 2017 4261 idgF. (Schweiz)
- Official Journal of the European Communities, COUNCILDIRECTIVE96/29/EURATOM, 13.05.1996
- EU Amtsblatt 2013, Durchführungsbeschluss der Kommission vom 26. März 2013 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Industrieemissionen in Bezug auf die Herstellung von Zement, Kalk und Magnesiumoxid. Aktenzeichen C(2013) 1728 (2013/163/EU)
- Europäische Union, Euratom-Vertrag Konsolidierte Fassung, Belgien, 2010
- AGES, Vorhabensbeschreibung: Monitoring von Holzbrennstoff in Österreich auf künstliche Radionuklide (Leistungsverzeichnis, Punkt 2.1.5.5 lit. f), 26.11.2020
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Entsorgung von Abfällen in Zementwerken - Richtlinie, Schweiz, 2005
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Biomasseheizungen in Österreich – Marktinformation Teil 5, Wien, Juni 2017
- Umweltbundesamt, Wechselwirkungen zwischen Radiocäsium-Bodenkontamination und Hydrosphäre (Endbericht), Wien, Dezember 1998
- Umweltbundesamt, Biomasse-Ascheströme in Österreich, Wien, 2016
- Bundesamt für Strahlenschutz, Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge berg-baubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau), Deutschland, März 2010
- Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung, Dosiskoeffizienten bei äußerer und innerer Strahlenexposition - Teil II - Dosiskoeffizienten bei innerer Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung, Deutschland, August 2001
- Bundesministerium für Gesundheit, Radioaktivität und Strahlung in Österreich 2011 und 2012 - Daten und Bewertung, 2013.
- IAEA, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Wien, 2010
- Titelbild, Couleur auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Pellets, Mrdidg auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Briketts, moses auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Hackschnitzel, Wolfgang Eckert auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Scheite, Manfred Richter auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Garten, Irina_kukuts auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Abfall, Filmbetrachter auf Pixabay, 20.04.2021
- Bild Deponie, Pexels auf Pixabay, 20.04.2021

- proPellets Austria, <https://www.propellets.at/grafiken>, 27.10.2020
- Abfall Service, Asche, <https://app.offenerhaushalt.at/salzburg/abfall/abfall-abc/7>, 21.04.2021
- Abfallwirtschaftsverband Weiz, Abfalltrennung, https://www.awv.steiermark.at/cms/dokumente/12627308_836870/bcd3a8ab/abfalltrennblatt_17_awv.pdf, 21.04.2021
- Abfallwirtschaftsverband Westkärnten, „Abfall-Trenn ABC: Buchstabe H“, <http://www.awvwestkaernten.at/h>, 21.04.2021
- Baltic News, 15.09.2020, It is hoped to prevent the import of radioactive wood into Latvia with stricter regulations, <https://baltics.news/2020/09/15/it-is-hoped-to-prevent-the-import-of-radioactive-wood-into-latvia-with-stricter-regulations/>, 28.10.2020
- Besser Müll Vermeiden, „Mülltrenn ABC“, <https://www.bmv.at/service/muelltrenn-abc.html>, 21.04.2021
- Energie-umwelt.ch, Saison-Tipps - Nicht jede Asche lässt sich im Garten verwenden, <https://www.energie-umwelt.ch/saison-tipps/1423-nicht-jede-asche-laesst-sich-im-garten-verwenden>, 29.04.2021
- European Parliament, 17.09.2009, Parliamentary questions E-4063/2009, <https://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2009-4063&language=EN>, 14.04.2021
- Euroradio, 07.08.2017, How radioactive wood from Belarus is sold across the world, <https://euroradio.fm/en/how-radioactive-wood-belarus-sold-across-world>, 09.12.2020
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Holzhackschnitzel, <https://heizen.fnr.de/brennstoffe/holzbrennstoffe/holzhackschnitzel>, 27.04.2021
- FANK, 25.10.2019, Stellungnahme der FANK zu Brennholz, das radioaktive Stoffe enthält, <https://fank.fgov.be/de/news/stellungnahme-der-fank-zu-brennholz-das-radioaktive-stoffe-enthaelt>, 26.04.2021
- Holz Kahrs, Gewicht von Holz, <https://holz-kahrs.de/lexikon/gewicht-von-holz/>, 27.04.2021
- Latvia, 28.09.2020, Requirements for protection against ionising radiation caused by radionuclide caesium-137 content in wood imported into Latvia from another country, European Commission, <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search/?trisaction=search.detail&year=2020&num=592>, 27.04.2021
- MIGROL, Asche-Entsorgung von Holzpellets, <https://www.migrol.ch/de/energie-waerme/service-wartung/ofenasche-entsorgung/>, 29.04.2021
- Land Tirol, Abfallwirtschaft in Tirol, http://www.sauberes-tirol.at/uploads/broschuere_abfallwirtschaft_in_tirol_2019.pdf, 21.04.2021
- Niederösterreichischer Zivilschutzverband, Auswirkungen auf die Landwirtschaft, <https://www.noezsv.at/noe/pages/startseite/zivilschutz-themen-a---z/kkw-unfall/auswirkungen-landwirtschaft.php>, 30.04.2021
- Stadtgemeinde Purkersdorf, Biotonne, https://www.purkersdorf.at/Unser_Purkersdorf/Abfall/Umwelt/Energie/Abfallwirtschaft/Biotonne, 21.04.2021

- Stadt Wien, Das Trenn-ABC – Müll richtig entsorgen, <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/mistabc.html>, 21.04.2021
- Stiftung Warentest, 16.06.2009, Radioaktive Holzpellets - Entwarnung für Deutschland, <https://www.test.de/Radioaktive-Holzpellets-Entwarnung-fuer-Deutschland-1785628-0/>, 30.10.2020
- STUKlex, 01.02.2011, The radioactivity of building materials and ash, 17.12.2010, <https://www.stuklex.fi/en/ohje/ST12-2>, 28.04.2021
- umweltanalysen.com, Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>, 09.12.2020
- Umweltprofis, Trenna is a Hit! Trennanleitung!, https://www.umweltprofis.at/fileadmin/user_upload/redakteure/_alle_bezirke/_Service_fuer/Trennanleitung.pdf, 21.04.2021
- Umweltverband Vorarlberger Gemeindehaus, Abfallhandbuch Vorarlberg, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigh4yX24zwAhVChv0HHSjSC3QQFjAAeqQIAXAD&url=https%3A%2F%2Fwww.lustenau.at%2Fmedia%2F29255%2Fdownload%2F2018-abfallhandbuch-web.pdf%3Fv%3D1&usq=AOvVaw3APuIietjroEbqaGoUell9>, 21.04.2021
- Christian Lange Fogh U und Kasper Grann Andersson, Dynamic behaviour of 137 Cs contamination in trees of the Briansk region, Russia, *The Science of the Total Environment* 269 (2001): 105–15
- Donatella Desideri u. a., Analytical methods for the determination of in Italy Sr in ash of fuel pellets used, *Microchemical Journal* 103 (2012): 131–34
- Gerold Thek und Ingwald Obernberger, *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets*, London, Earthscan, 2010
- Massimo Calabrese u. a., Quality Characteristics and Radioactive Contamination of Wood Pellet Imported in Italy, *Nr. May* (2015): 183–90
- Rima Ladygiené u. a., Radiological investigation of wood used for combustion, *EKOLOGIJA* 56, Nr. 3 (2010): 87–93
- S Stoulos u. a., Post-Chernobyl 137 Cs in the atmosphere of Thessaloniki: a consequence of the financial crisis in Greece, *Journal of Environmental Radioactivity* 128 (2014): 68–74

2 Sachverhalt

Im folgenden Dokument werden unter Holzbrennstoffen Holzpellets, Hackschnitzel, Holzscheite und Holzbriketts verstanden. Für den jeweiligen Brennstoff gibt es eigens konzipierte Verbrennungsanlagen, die optimal an das verwendete Produkt angepasst sind. Es gibt bundesweit mehr Pelletkesseln als andere Biomassekesseln (Abbildung 1).¹ In Österreich werden nur Nebenprodukte der Sägeindustrie und keine Rinde für die Pelletproduktion verwendet und zudem werden mehr Pellets produziert als verbraucht. Österreichweit gibt es 42 Standorte zur Pelletproduktion (Abbildung 2), die sehr gleichmäßig verteilt sind.² Das Heizen mit Holzpellets wird vom Bund, den Ländern und den Gemeinden gefördert und in den letzten Jahren heizen immer mehr Haushalte mit Pelletkesseln. Holzpellets können als Sackware im Super- sowie Baumarkt erworben werden, größere Mengen werden mittels LKW direkt angeliefert.

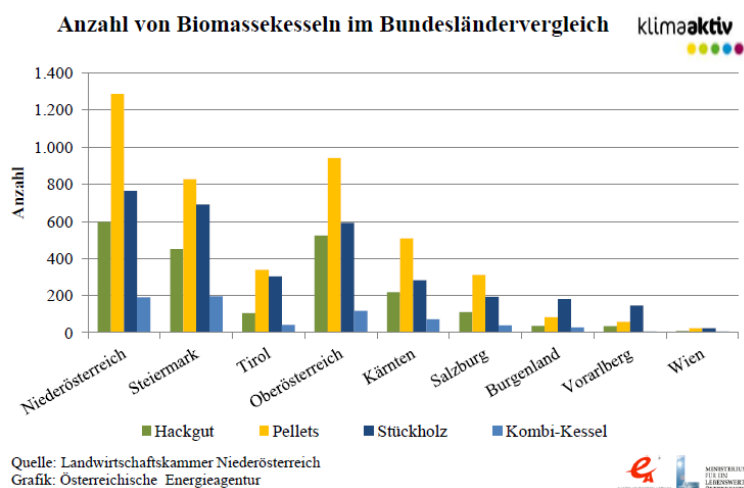


Abbildung 1 „Anzahl von Biomassekesseln im Bundesländervergleich im Jahr 2016“³

¹ Umwelt und Wasserwirtschaft Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, „Biomasseheizungen in Österreich – Marktinformation Teil 5“ (Wien, 2017).

² proPellets Austria, „Grafiken Zu Produktion, Verbrauch, Import & Export von Pellets,“ accessed October 27, 2020, <https://www.propellets.at/grafiken>.

³ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, „Biomasseheizungen in Österreich – Marktinformation Teil 5.“

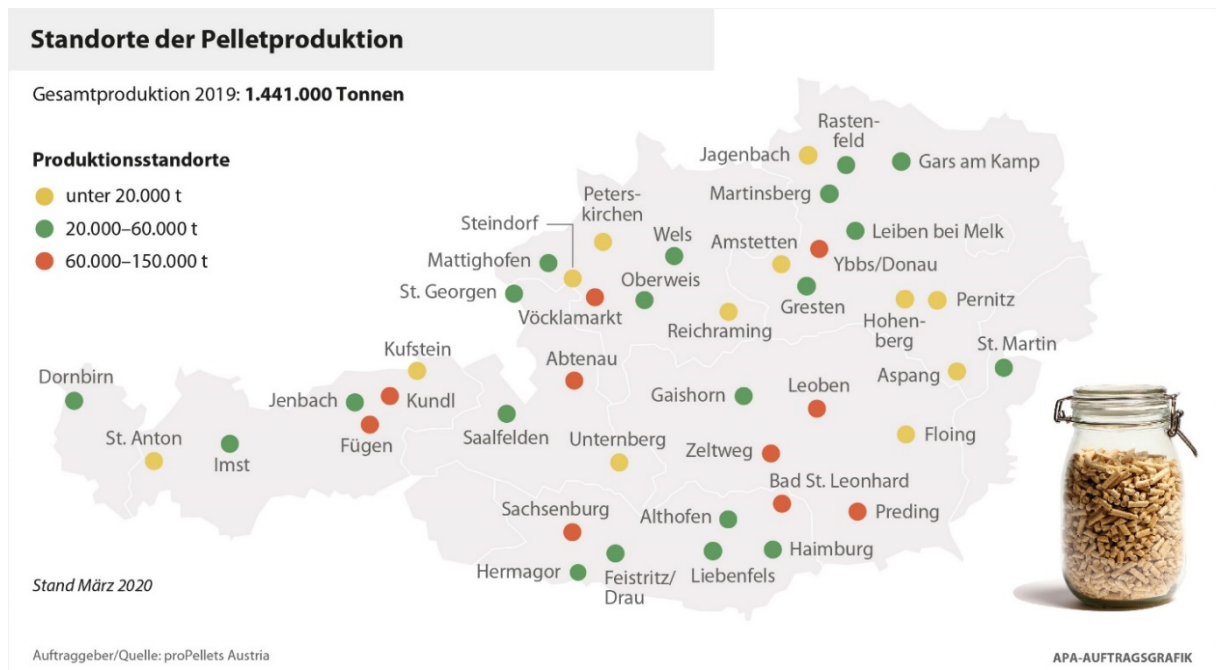


Abbildung 2 Pelletproduktionsstätten in Österreich⁴

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff und gilt als ein umweltfreundlicher, CO₂-neutraler Brennstoff. Durch den Verbrennungsvorgang fällt nur Asche als Abfallprodukt an. In den Aschen reichern sich die nicht brennbaren Mineralstoffe, Salze, Schwermetalle und auch Radionuklide an.

Unter anderem durch den Tschernobyl-Reaktorunfall (1986) kam es zu ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁸⁹Sr und ⁹⁰Sr Kontaminationen in verschiedenen europäischen Ländern. Diese Radionuklide werden von der Vegetation in den kontaminierten Gebieten absorbiert.⁵ Bedingt durch die Halbwertszeit von circa 30 Jahren sind vor allem noch ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr in Pflanzen sowie Wildtieren nachweisbar. Da der Rohstoff Holz aus den betroffenen Regionen auch exportiert wird und unter anderem zu Holzpellets weiterverarbeitet werden kann, kann es in den Verbrennungsrückständen (Aschen) zur Anreicherung der Radionuklide ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr kommen.

Das Thema der Anreicherung von Radionukliden wie ¹³⁷Cs in den Aschen erlangte 2009 Bedeutung in den Medien, als in Italien 10.000 Tonnen an importierten Holzpellets aus Litauen beschlagnahmt wurden, da ein Verdacht auf Kontamination mit ¹³⁷Cs vorlag.⁶ Nach einigen Monaten wurde das litauische Produkt bis auf die Holzpellets in der Region Valle d'Aosta wieder freigegeben. Seit damals hat das öffentliche Interesse an einer

⁴ proPellets Austria, "Grafiken Zu Produktion, Verbrauch, Import & Export von Pellets."

⁵ European Parliament, "Parliamentary Questions E-4063/2009," accessed April 14, 2021, <https://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2009-4063&language=EN>.

⁶ Stiftung Warentest, "Radioaktive Holzpellets - Entwarnung Für Deutschland," accessed October 30, 2020, <https://www.test.de/Radioaktive-Holzpellets-Entwarnung-fuer-Deutschland-1785628-0/>.

möglichen Anreicherung von ^{137}Cs in Holzaschen zugenommen (deutlicher Anstieg an einschlägigen Suchergebnissen im Internet).

Beim Expertentreffen der EURATOM Artikel 35/36 – Gruppe (Artikel 35 befasst sich mit der Überwachung der Luft, des Wassers und des Bodens und der Einhaltung von Grundnormen bezogen auf Radioaktivität. Artikel 36 legt die regelmäßige Übermittlungspflicht an die EU-Kommission fest.⁷) im Oktober 2020 wurde das Thema wieder aufgegriffen und die Notwendigkeit eines harmonisierten Vorgehens zur Regelung diskutiert. Lettland hat kürzlich einen Vorschriftsentwurf zur Regelung für importiertes Holz, welches als Holzbrennstoff verwendet wird, bei der Europäischen Kommission eingereicht.⁸ Darin sind Anforderungen an den Schutz vor ionisierender Strahlung im Zusammenhang mit dem Gehalt des Radionuklids ^{137}Cs gestellt. Dadurch soll auch die entstehende Asche in lettischen Verbrennungsanlagen reguliert werden. Die Regelung soll Anfang 2021 in Kraft treten (bei der Fertigstellung dieses Berichtes noch nicht in Kraft getreten).⁹ ¹⁰ Neben Lettland haben auch schon andere Länder wie Italien und Schweden ähnliche Einzelregelungen veröffentlicht.¹¹

Die Aktivitätskonzentrationen im Holz selbst weisen kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung auf und sind aus strahlenschutztechnischer Sicht unbedenklich. Die Anreicherung von Radionukliden in den erzeugten Holzaschen variiert aber stark. Abhängig von ^{137}Cs sowie ^{90}Sr Gehalten im Holz und des Anreicherungsgrades bei der Verbrennung können die Radionuklidwerte in den Aschen strahlenschutztechnisch relevant werden. Da für Österreich wenig aktuelle Daten vorliegen, wurde dieses Monitoringprojekt gemäß § 125 StrSchG 2020 durchgeführt.

Schon 1998 hat das österreichische Umweltbundesamt unter anderem in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Lebensmitteluntersuchung (später AGES)

⁷ Europäische Union, *Euratom-Vertrag Konsolidierte Fassung* (Belgien, 2010).

⁸ Latvia, „Requirements for protection against ionising radiation caused by radionuclide caesium-137 content in wood imported into Latvia from another country“, European Commission, zugegriffen 27. April 2021, <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search/?trisaction=search.detail&year=2020&num=592>.

⁹ Baltic News, „It Is Hoped to Prevent the Import of Radioactive Wood into Latvia with Stricter Regulations,“ accessed October 28, 2020, <https://baltics.news/2020/09/15/it-is-hoped-to-prevent-the-import-of-radioactive-wood-into-latvia-with-stricter-regulations/>.

¹⁰ Latvia, „Requirements for Protection against Ionising Radiation Caused by Radionuclide Caesium-137 Content in Wood Imported into Latvia from Another Country.“

¹¹ European Parliament, „Parliamentary questions E-4063/2009“, zugegriffen 14. April 2021, <https://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2009-4063&language=EN>.

von Untersuchungen des ^{137}Cs Gehalts in Holzaschen (z.B. von Hackschnitzel) in Österreich berichtet (siehe Kapitel 6.2.1).¹²

¹² Umweltbundesamt, "Wechselwirkungen Zwischen Radiocäsium-Bodenkontamination Und Hydrosphäre (Endbericht)" (Wien, 1998).

3 Projektüberblick

Es wurden im Handel erhältliche Holzpellets sowie Hackschnitzel, Holzscheite und Holzbriketts insbesondere auf ^{137}Cs untersucht. Eine Auswahl der Proben wurde des Weiteren auf die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr analysiert. Aus den untersuchten Ascheproben wurden Anreicherungsfaktoren ermittelt und mit Literaturwerten verglichen.

Das Projekt gliedert sich in folgende Arbeitspakete:

1 Planung und Durchführung der Probenahme von Holzbrennstoffen

- Im Zuge des Projekts wurde als erster Schritt Sackware verschiedener Marken in Geschäften erworben.
- Da man nicht alle Holzpelletsorten als Sackware kaufen kann, wurde in einem zweiten Schritt Kontakt zur Holzforschung Austria und zum Institut für Bioenergie aufgenommen, um zusätzliche Proben zu erhalten. Diese stehen im engen Austausch zu den einzelnen Produktionsstätten in Österreich.

2 Messung und Auswertung

- Die Holzpelletproben wurden zerstörungsfrei gemessen. Dies war die Hauptvoraussetzung für eine Kooperation mit der Holzforschung Austria und dem Institut für Bioenergie, da die Proben zur Qualitätssicherung mindestens ein halbes Jahr aufgehoben werden müssen. Mittels Gammaskopimetrie wurde die Aktivitätskonzentration von ^{134}Cs und ^{137}Cs bestimmt.
- Für ausgewählte Ascheproben wurde zusätzlich die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr mittels Flüssigszintillation bestimmt. Bedingt durch das Messverfahren kann ^{90}Sr nur in der Asche bestimmt werden.

3 Radionuklide in der Asche

- Der Anreicherungsfaktor von ^{137}Cs in der Asche variiert stark. Aus diesem Grund ist es notwendig, Asche sowie die verwendeten Holzproben aus Pelletkesseln/Öfen gammaskopimetrisch zu analysieren. Da das genaue Verhalten von den Radionukliden in den verschiedenen Ofentypen nicht bekannt ist, wurde auf eine Erzeugung von Asche im Labor verzichtet. Die erlangten Ergebnisse durch Verbrennung der Holzbrennstoffe im Labor wären nicht ausreichend aussagekräftig gewesen (aufgrund der stark variierenden Wirkungsweisen der Ofentypen).
- Die meisten Ascheproben wurden aus Einfamilienhäusern bezogen, doch die verwendeten Mengen an Holzbrennstoff und dadurch die produzierte Asche sind in einem industriellen Betrieb weitaus höher. Aus diesem Grund wurde nach

ersten Erkenntnissen auch die Kontaktaufnahme zu Betrieben in der Industrie angestrebt, um weitere Ascheproben beziehen zu können. Es konnte eine Probe von Hackschnitzel-Asche aus einer industriellen Verbrennungsanlage gezogen werden.

4 Regelungen in EU

- Mittels Literaturrecherche wurden verschiedene Regelungen in der EU verglichen. So haben sich mit dem Thema der Anreicherung von Radionukliden in der Asche unter anderem schon die Länder Italien, Lettland und Schweden beschäftigt. Aus bereits gewonnenen Daten und bestehenden Einzelregelungen wurde versucht, weitere Erkenntnisse für Österreich zu ziehen.

5 Dosisabschätzung und Empfehlung

- Bei der Dosisabschätzung sind das Einsatzgebiet (z.B. Haushalt, Industrie) und das Ofensystem (u.a. Funktionsweise) wichtige Faktoren neben der Aufenthaltszeit, dem Alter und dem Geschlecht der betroffenen Personen. Für Arbeitskräfte in industriellen Betrieben gibt es andere Dosisgrenzwerte (gemäß StrSchG 2020 Kategorie A sechs bis 20 mSv pro Kalenderjahr, Kategorie B eins bis sechs Sv pro Kalenderjahr) als für die allgemeine Bevölkerung (gemäß StrSchG 2020 1 mSv pro Kalenderjahr). Es wurden Dosisberechnungen für verschiedene Fälle durchgeführt.
- Des Weiteren sind die verschiedenen Entsorgungs- und Weiterverwendungswege der Aschen zu berücksichtigen. Wird die Asche zum Beispiel als Düngemittel weiterverwendet, könnten Cäsium- und Strontium-Radionuklide in Nahrungsmittel oder durch Auswaschen ins Grundwasser gelangen. Die Aschen können auch Bestandteil in Baustoffen werden und eine Berücksichtigung der Radionuklide im Baustoffindex wurde behandelt.
- Es wurde eine allgemeine Empfehlung für Österreich ausgearbeitet, wie die Entsorgung der Asche für Einfamilienhäuser sowie industrielle Betriebe zu handhaben ist.

3.1 Probenanzahl

Insgesamt wurden 86 Proben gemessen. In der Vorhabensbeschreibung ist die Probenstückzahl mit maximal 50 Holzbrennstoffproben und mit maximal 20 Ascheproben beschränkt. Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber wurden mehr als die geplanten 70 Proben gezogen. Insgesamt wurden 64 Holzbrennstoffproben und 22 Ascheproben analysiert.

Das Hauptaugenmerk lag auf den Holzpellet-Proben, weil der Aschegehalt mit circa 0,5 % verglichen mit den Aschegehalten der anderen Holzbrennstoffe am geringsten ist. Dadurch ist die Anreicherung der Radionuklide in der Asche auch höher als bei anderen Holzbrennstoffen.

Insgesamt wurden 56 Holzpellet-Proben, sechs Hackschnitzel-Proben, eine Holzscheit-Probe und eine Holzbrikett-Probe analysiert (Abbildung 3). 25 Holzpellet-Proben wurden vom Institut für Bioenergie und neun Holzpellet-Proben von der Holzforschung Austria bereitgestellt. Acht Holzpellet-Proben wurden im Handel erworben.

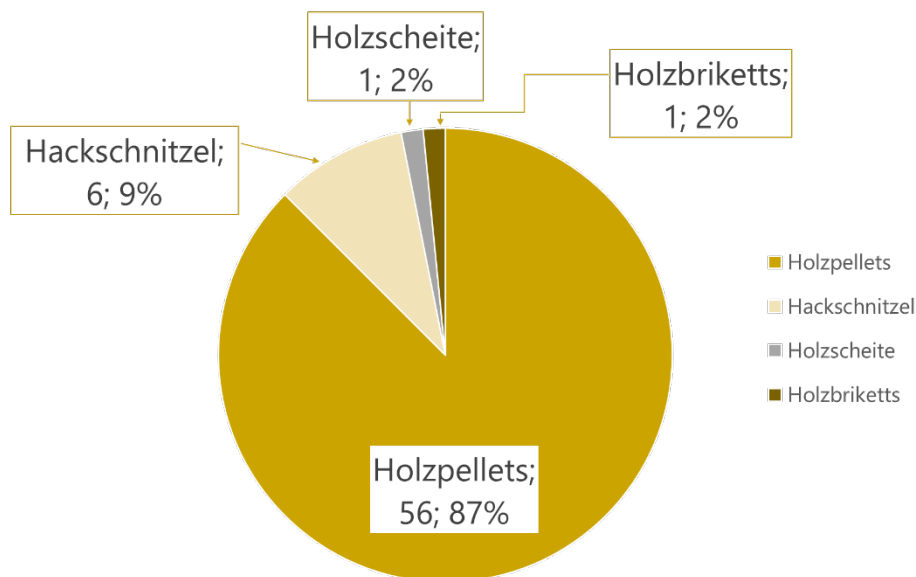


Abbildung 3 Insgesamt wurden 64 Holzbrennstoffproben analysiert.

Es haben 21 private Haushalte und eine Hackschnitzelverbrennungsanlage an dem Projekt teilgenommen. Zu den 22 Ascheproben gibt es auch jeweils die passende Rohstoffprobe. Insgesamt wurden 14 Holzpellet-Ascheproben, sechs Hackschnitzel-Ascheproben, eine Holzpellets-Ascheprobe und eine Holzbrikett-Ascheprobe analysiert (Abbildung 4). Bei einer Holzpellet-Ascheprobe handelt es sich um verkohlte Holzpellets aus einem Smoker, der für die Räucherung von Fleisch verwendet wird.

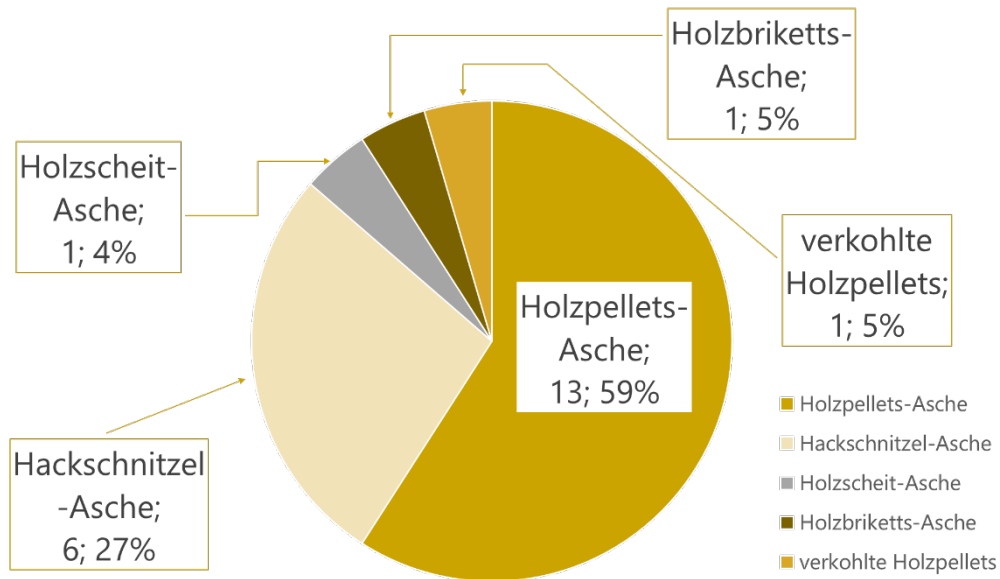


Abbildung 4 Insgesamt wurden 22 Ascheproben analysiert.

3.2 Probenherkunft

Die genaue Herkunft des Holzes kann in den meisten Fällen nicht eruiert werden. So stehen auf den Holzpelletsäcken verschiedene Produktionsorte, meistens verschiedene Sägewerke. Holz wird auch aus anderen Ländern zugekauft und stammt nicht nur aus den Regionen um die Produktionsorte. Teilweise haben inländische Firmen neben ihren österreichischen Sägewerken auch Sägewerke im Ausland.

Alle 64 Holzbrennstoffproben können in Österreich gekauft bzw. von Österreich aus bestellt werden. Die Produktionsstätten der analysierten Proben liegen in den USA, Tschechien, Serbien, Rumänien, Lettland und der Ukraine.

Die 56 Holzpellet-Proben kommen zum größten Teil aus Österreich (Abbildung 5). Die Probe für den Smoker, der für die Räucherung von Fleisch verwendet wird, stammt aus den USA. Es wurden auch Holzpellet-Proben aus Tschechien, Serbien, Rumänien und Lettland untersucht (Abbildung 6). Es konnten Proben aus allen österreichischen Bundesländern genommen werden. Die Holzpellet-Produktionsstätten in Österreich sind in Abbildung 2 zu sehen.

Die sechs Hackschnitzel-Proben stammen alle aus Österreich (Abbildung 7). Fünf Hackschnitzel-Proben wurden für den Eigenbedarf aus österreichischem Holz aus Privatwäldern produziert. Eine Hackschnitzel-Probe stammt aus einer Fichtenmonokultur.

Die Holzsplit-Probe wurde in Niederösterreich eingekauft, doch das Holz kommt aus der Ukraine.

Die Holzblock-Probe stammt aus Österreich und ist aus reinem Fichtenholz.

Die 22 Ascheproben stammen aus den Bundesländern Niederösterreich, Oberösterreich, Kärnten, Wien und der Steiermark (Abbildung 8). Fast jeder Haushalt hat einen anderen Ofen bzw. Heizkessel in Verwendung.

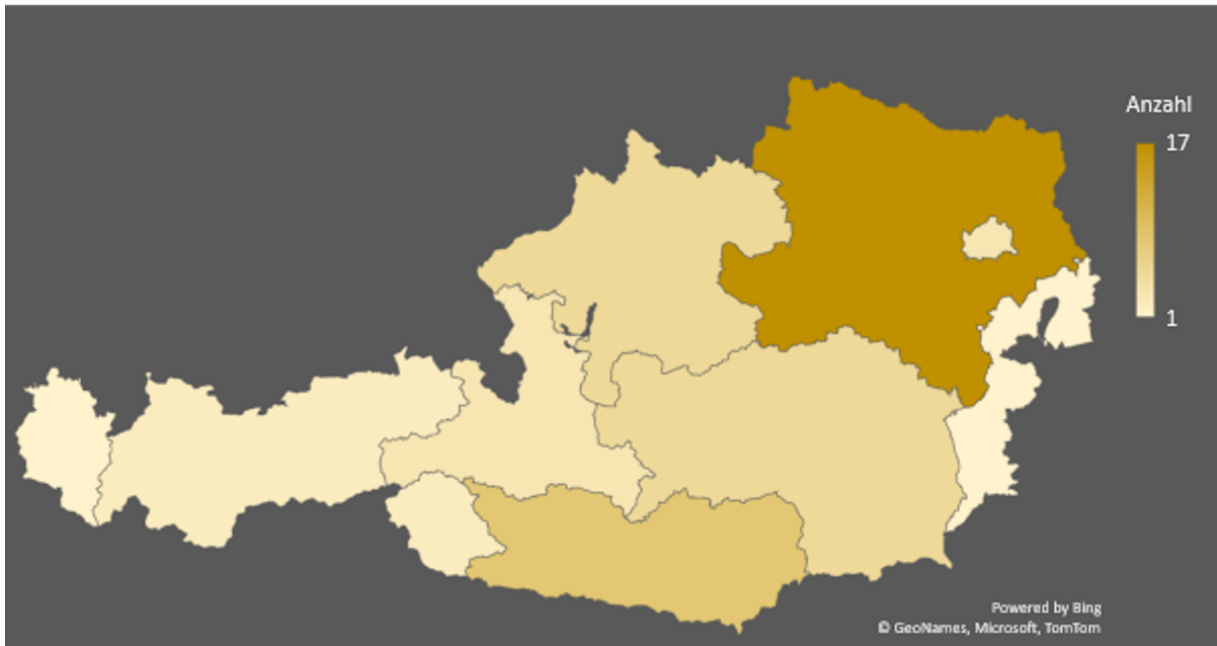


Abbildung 5 Produktionsstätten der Holzpellet-Proben in Österreich.



Abbildung 6 Produktionsstätten der Holzpellet-Proben in Europa.

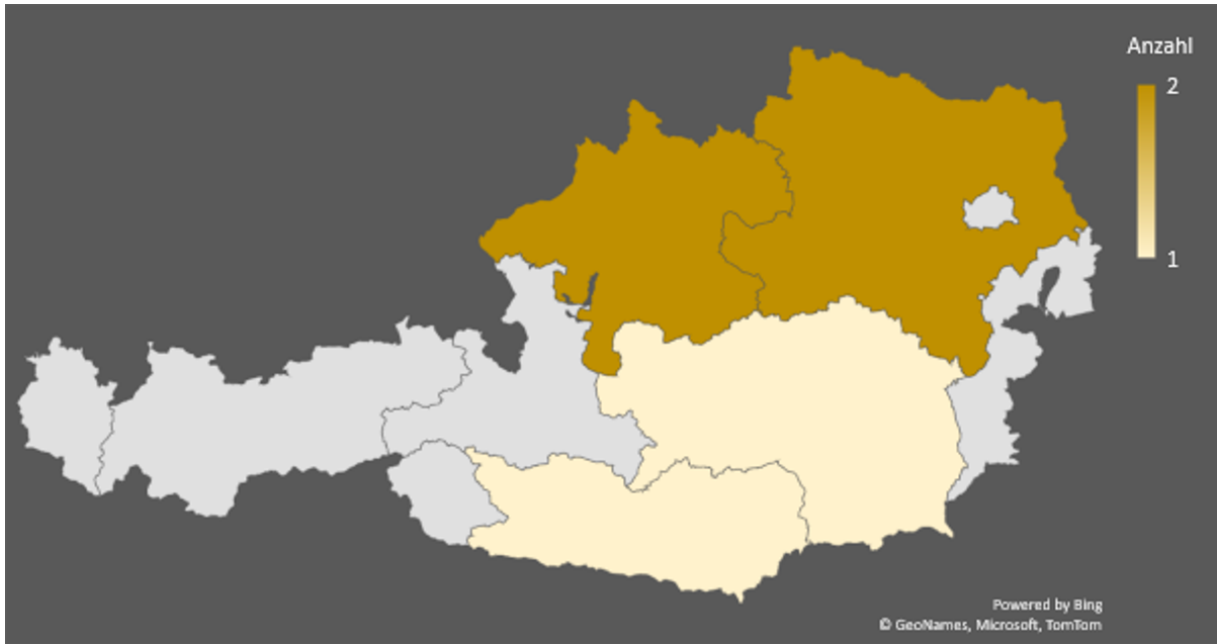


Abbildung 7 Produktionsstätten der Hackschnitzel-Proben in Österreich.

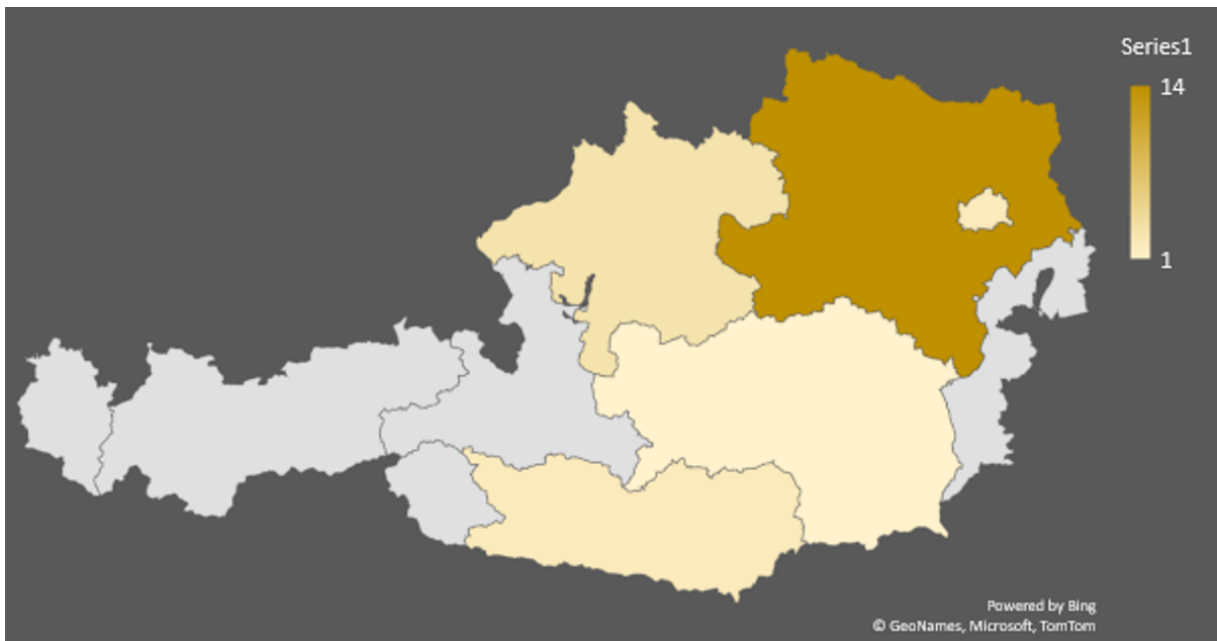


Abbildung 8 Lage der 21 private Haushalte und der Hackschnitzelverbrennungsanlage, die Ascheproben bereitgestellt haben.

4 Regelungen in Europa und Japan

Es gibt keine einheitliche Regelung innerhalb der EU für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Holz und in seinen Verbrennungsrückständen. Allgemein gilt in der EU ein Reportingwert für ^{134}Cs und ^{137}Cs von 10.000 Bq/kg.¹³

Die belgische Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) gibt einen gesetzlichen Grenzwert von ^{137}Cs in Holz mit 1.000 Bq/kg an.¹⁴

Italien hat nach dem Vorfall 2009 (siehe Kapitel 2) einen niedrigeren Grenzwert als die EU für ^{134}Cs und ^{137}Cs in Holz mit 1.000 Bq/kg festgelegt.¹⁵

In Schweden müssen Verbrennungsanlagen, die mehr als 30 Tonnen Asche pro Jahr produzieren, die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche bestimmen. Hat die Asche eine Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs über 500 Bq/kg, wird sie als kontaminiert bewertet und unterliegt speziellen Regelungen. Liegt die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche zwischen 500 und 10.000 Bq/kg, darf sie in Waldgebieten, aber nicht auf landwirtschaftlich genutztem Boden, ausgestreut werden. Es gibt eine Empfehlung des Schwedischen Strahlenschutz Instituts, dass Aschen mit einer Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs über 5.000 Bq/kg nicht in Waldgebieten wiederverwertet werden sollten. Asche mit einer Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs über 10.000 Bq/kg muss auf speziellen Deponien entsorgt werden. Außerdem darf Asche mit einer Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs über 500 Bq/kg nicht in der Nähe von Gewässern weiterverwendet werden, weil die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs 1,0 Bq pro Liter Oberflächenwasser nicht überschreiten darf.¹⁶

Lettland arbeitet derzeit an einer Vorschrift für Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in importiertem Holz (bei der Fertigstellung dieses Berichtes noch nicht in Kraft getreten). Für den Fall, dass importiertes Holz als Biomassebrennstoff in Lettland verwendet werden soll, gibt die Vorschrift den Grenzwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in trockenem Holz mit 10 Bq/kg an. Holzaschen dürfen mit einer Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs von bis zu 1.000 Bq/kg (Trockengewicht) in der Land- und Forstwirtschaft

¹³ Official Journal of the European Communities, "COUNCILDIRECTIVE96/29/EURATOM," 1996.

¹⁴ FANK, "Stellungnahme Der FANK Zu Brennholz, Das Radioaktive Stoffe Enthält," accessed April 26, 2021, <https://fank.fgov.be/de/news/stellungnahme-der-fank-zu-brennholz-das-radioaktive-stoffe-enthaelt>.

¹⁵ European Parliament, „Parliamentary questions E-4063/2009“, zugegriffen 14. April 2021, <https://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2009-4063&language=EN>.

¹⁶ Gerold Thek and Ingwald Obernberger, *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets* (London: Earthscan, 2010).

unter Berücksichtigung der geltenden Rechtsvorschriften weiterverwendet werden. Aschen, die eine Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs zwischen 1.000 Bq/kg und 10.000 Bq/kg (Trockengewicht) haben, dürfen in Deponien für Siedlungsabfälle entsorgt werden. Aschen mit einer höheren Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs als 10.000 Bq/kg (Trockengewicht) gelten als radioaktiver Abfall.¹⁷

Die Schweiz legt in ihrer Strahlenschutzverordnung die Befreiungsgrenze (vergleichbar mit den Freigrenzen in der AllgStrSchV 2020) für ^{134}Cs und ^{137}Cs bei 100 Bq/kg fest. Unterhalb dieser Befreiungsgrenze ist der Umgang mit solchem Material nicht bewilligungspflichtig und unterliegt keiner Aufsicht.

In Russland gibt es für Holz und Waldprodukte Grenzwerte für die Kontamination mit ^{137}Cs . Diese temporären Grenzwerte sind seit 1997 zum Beispiel für Feuerholz 1.400 Bq/kg, für Bauholz 370 Bq/kg und für ungesägtes Holz ohne Rind 3.100 Bq/kg.¹⁸ Russland hat für ^{90}Sr einen Grenzwert von 370 Bq/kg und die Ukraine von 60 Bq/kg.¹⁹ In Belarus ist der Grenzwert für ^{137}Cs in Feuerholz 30 Bq/kg.²⁰

In Japan gilt für ^{137}Cs zum Beispiel in Feuerholz zum Kochen der Grenzwert von 40 Bq/kg (Trockengewicht).²¹

¹⁷ Latvia, „Requirements for protection against ionising radiation caused by radionuclide caesium-137 content in wood imported into Latvia from another country“, European Commission, zugegriffen 27. April 2021, <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search/?trisaction=search.detail&year=2020&num=592>.

¹⁸ IAEA, „Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience“ (Wien, 2006).

¹⁹ Euroradio, „How Radioactive Wood from Belarus Is Sold across the World,“ accessed December 9, 2020, <https://euroradio.fm/en/how-radioactive-wood-belarus-sold-across-world>.

²⁰ Euroradio.

²¹ Shinta Ohashi et al., „Temporal Trends in ^{137}Cs Concentrations in the Bark, Sapwood, Heartwood, and Whole Wood of Four Tree Species in Japanese Forests from 2011 to 2016,“ *Journal of Environmental Radioactivity* 178–179 (2017): 335–42.

5 Künstliche Radionuklide in den Holzbrennstoffen

Alle 64 Holzbrennstoffproben wurden gammaspektrometrisch auf ^{134}Cs und ^{137}Cs analysiert. Die Aktivitätskonzentration von ^{134}Cs lag immer unter der Nachweisgrenze. Auf sie wird in den folgenden Unterkapiteln nicht näher eingegangen. Die Rohdaten können im Anhang in Tabelle 5 und die Minimal- und Maximalwerte der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Zusammenfassung in Kapitel 10.1 in Tabelle 2 nachgeschlagen werden.

Die Aufnahme von ^{137}Cs in das Stammholz ist abhängig von der Baumart. Der Transferfaktor vom Boden in das Stammholz ist zusätzlich abhängig vom Bodentyp und der Bodenfeuchtigkeit. Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs variiert innerhalb eines Baumes. So reichern sich in der Rinde einerseits vor allem Radionuklide durch Depositionen an, doch andererseits wird die Rinde durch Regenwasser und durch Entrindung wieder dekontaminiert.²² Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs ist in der Rinde höher als im Kernholz.²³ Die Rinde ist auch verantwortlich für die Bioakkumulation von Mineralsalzen und Schwermetallen.²⁴ Aus diesem Grund sollte die Rinde für die Pelletproduktion nicht verwendet werden. In Österreich werden nur Pellets, bei deren Herstellung keine Rinde verwendet wurde, verkauft.

^{137}Cs ist innerhalb eines Baumes mobil und reichert sich vor allem in den wachsenden Baumteilen wie den Blättern, den Nadeln, den Ästen und den äußeren Schichten an.^{25 26} Das künstliche Radionuklid ^{137}Cs folgt qualitativ, aber nicht quantitativ dem Stoffwechselweg des natürlichen Radionuklids ^{40}K . Im Kernholz ist die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im allgemeinen niedriger als in den Wachstumszonen.^{27 28}

²² Shinta Ohashi u. a., „Temporal trends in ^{137}Cs concentrations in the bark, sapwood, heartwood, and whole wood of four tree species in Japanese forests from 2011 to 2016“, *Journal of Environmental Radioactivity* 178–179 (2017): 335–42.

²³ Rima Ladygienė et al., „Radiological Investigation of Wood Used for Combustion,“ *EKOLOGIJA* 56, no. 3 (2010): 87–93.

²⁴ Massimo Calabrese et al., „Quality Characteristics and Radioactive Contamination of Wood Pellet Imported in Italy,“ no. May (2015): 183–90.

²⁵ Christian Lange Fogh U and Kasper Grann Andersson, „Dynamic Behaviour of ^{137}Cs Contamination in Trees of the Briansk Region, Russia,“ *The Science of the Total Environment* 269 (2001): 105–15.

²⁶ umweltanalysen.com, „Holz Und Pellets → Radioaktive Strahlenbelastung Und Cäsium ^{137}Cs Messwerte,“ accessed December 9, 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>.

²⁷ S Stoulos et al., „Post-Chernobyl ^{137}Cs in the Atmosphere of Thessaloniki: A Consequence of the Financial Crisis in Greece,“ *Journal of Environmental Radioactivity* 128 (2014): 68–74.

²⁸ Umweltbundesamt, *Wechselwirkung Zwischen Radiocäsium-Bodenkontamination Und Hydrosphäre (Endbericht)* (Wien, 1998).

5.1 Holzpellets

Es wurden 56 Holzpellet-Proben auf ^{137}Cs untersucht. Von diesen 56 Proben wurden 14 Verbrennungsrückstände analysiert. Die Daten sind in Abbildung 9 graphisch dargestellt.

Die Holzpellet-Probe 20142688-018 stammt aus den USA und wurde für die Räucherung von Fleisch in einem Smoker verwendet. Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs liegt unter der Nachweisgrenze vor. Aus diesem Grund wurde diese Probe nicht für die Mittelwertbildung von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{Cs}}$ (Formel 3) verwendet.

Die Holzpellet-Probe 20142688-014 stammt aus Tschechien und hat die niedrigste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $A_{Cs}(\text{Min})$ (Formel 1).

Die Holzpellet-Proben 20142688-048, -049, -050 und -051 stammen aus demselben Land (Das Herkunftsland ist bekannt. Es wurde jedoch nach Vereinbarung mit dem externen Probenehmer anonymisiert.). Die Holzpellet-Probe 20142688-048 hat von allen Holzpellet-Proben die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $A_{Cs}(\text{Max})$ (Formel 2).

Der Mittelwert der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{Cs}}$ (Formel 3) wurde aus 55 Holzpellet-Proben berechnet.

$$A_{Cs}(\text{Min}) = 0,46 \pm 0,18 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (1)$$

$$A_{Cs}(\text{Max}) = 8,36 \pm 0,78 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (2)$$

$$\overline{A_{Cs}} = 2,155 \pm 0,049 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (3)$$

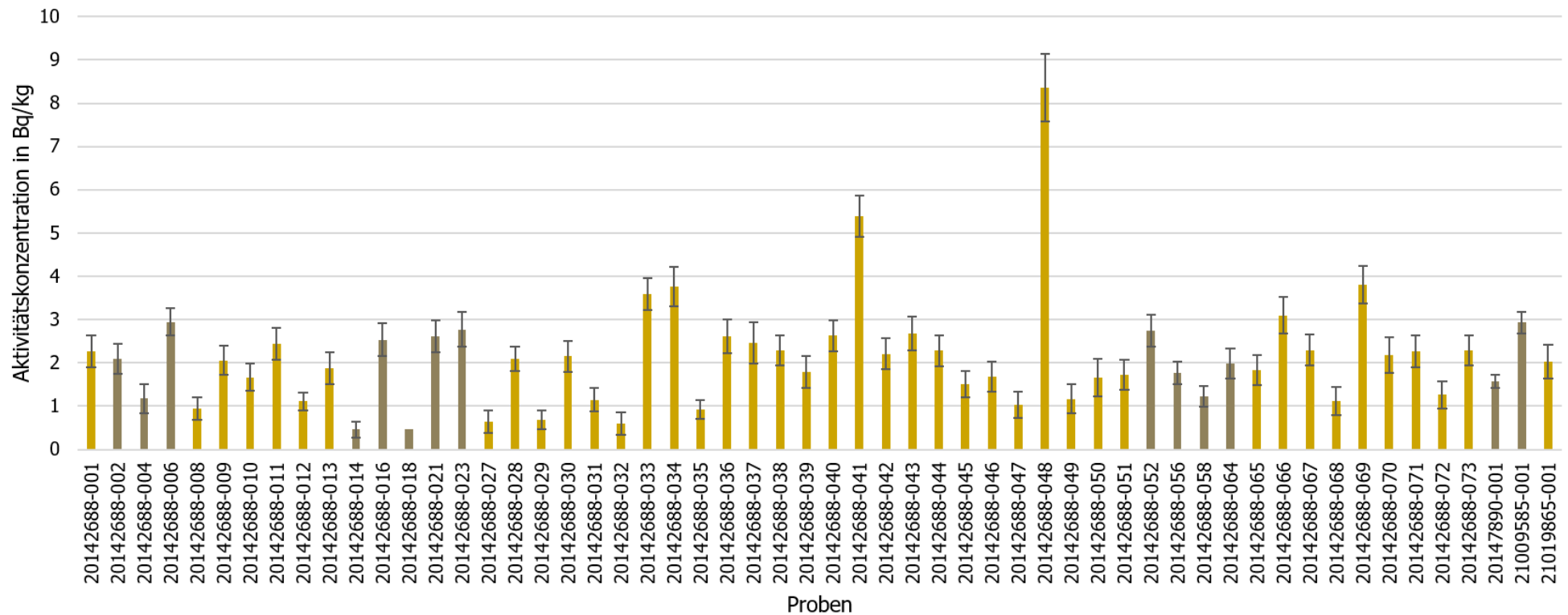


Abbildung 9 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg für die Holzpellet-Proben.

Hinweis: Zu den dunkelbraunen Daten wurden die dazugehörigen Verbrennungsrückstände (= 21 Ascheproben und 1 eine verkohlte Holzpellet-Probe) ebenfalls analysiert.

Hinweis: Bei der Probe 20142688-018 war die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs unterhalb der Nachweisgrenze und die Aktivitätskonzentration wird deshalb ohne Unsicherheit angegeben.

5.1.1 Holzpellets – Literaturwerte

Nach dem Vorfall 2009 in Italien (siehe Kapitel 2) wurden „10 Proben von Holzpellets auf Radioaktivität untersucht. Laut Stiftung Warentest wurden dabei 7 Bq/kg als Maximalwert ermittelt [Anmerkung: Die Herkunft der Probe ist nicht angegeben.]. In Österreich durchgeführte Analysen ergaben 2009 den Höchstwert von 4,6 Bq/kg [Anmerkung: Analysierte Holzpellets aus österreichischer, tschechischer und deutscher Produktion.].“²⁹

In Italien gibt es eine Studie aus dem Jahr 2015 bei der von August 2010 bis März 2012 65 Holzpellet-Proben gezogen und analysiert wurden. Drei Proben aus der Ukraine haben eine Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs über 100 Bq/kg. Über alle Proben gemittelt ist die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs 13,2 Bq/kg. Die Aktivitätskonzentration von ¹³⁴Cs in Holzpellets liegt unterhalb der Nachweisgrenze.³⁰

Eine italienischen Studie aus dem Jahr 2012 führt an, dass die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs in ihren beprobten Holzpellets einen Mittelwert von 2,93 Bq/kg und die Aktivitätskonzentration von ⁹⁰Sr einen Mittelwert von 4,170 Bq/kg haben.³¹

Einer Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in litauischen Holzpellets als inländischen Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs 14 ± 1 Bq/kg. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs in der Rinde höher ist. Nach Litauen werden auch dunkle Pellets, bei deren Herstellung Rinde verwendet wird, aus der Ukraine importiert. Den Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs 156 ± 9 Bq/kg lieferte eine Holzpellet-Probe aus der Ukraine.³²

²⁹ umweltanalysen.com, „Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, zugegriffen 9. Dezember 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>.

³⁰ Massimo Calabrese u. a., „Quality Characteristics and Radioactive Contamination of Wood Pellet Imported in Italy“, Nr. May (2015): 183–90.

³¹ Donatella Desideri et al., „Analytical Methods for the Determination of in Italy Sr in Ash of Fuel Pellets Used,“ *Microchemical Journal* 103 (2012): 131–34.

³² Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, *EKOLOGIJA* 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

5.2 Hackschnitzel

Es wurden sechs Hackschnitzelproben auf ^{137}Cs untersucht. Von diesen sechs Proben wurden sechs Verbrennungsrückstände analysiert. Die Daten sind in Abbildung 10 graphisch dargestellt.

Fünf Hackschnitzel-Proben stammen aus privaten Wäldern:

- 20142688-060 und -062 stammen aus Niederösterreich.
- 20142688-054 stammt aus Kärnten
- 20147890-003 stammt aus Oberösterreich.
- 21009585-003 stammt aus einem Fichtenwald in der Steiermark.

Die Hackschnitzel werden für den jeweiligen Eigenbedarf produziert. Im Rohstoff (20142688-060) war die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs unterhalb der Nachweisgrenze von kleiner $0,19 \text{ Bq/kg}$ und aus diesem Grund wurde diese Probe nicht für die Mittelwertbildung von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{Cs}}$ (Formel 6) verwendet.

Die Hackschnitzel-Probe 20142688-062 hat die niedrigste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $A_{Cs}(\text{Min})$ (Formel 4).

Die Hackschnitzel-Probe 20147890-003 hat von allen Hackschnitzel-Proben die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $A_{Cs}(\text{Max})$ (Formel 5).

Der Mittelwert der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{Cs}}$ (Formel 6) wurde aus fünf Hackschnitzel-Proben berechnet.

$$A_{Cs}(\text{Min}) = 0,37 \pm 0,14 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (4)$$

$$A_{Cs}(\text{Max}) = 5,22 \pm 0,40 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (5)$$

$$\overline{A_{Cs}} = 1,86 \pm 0,11 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (6)$$

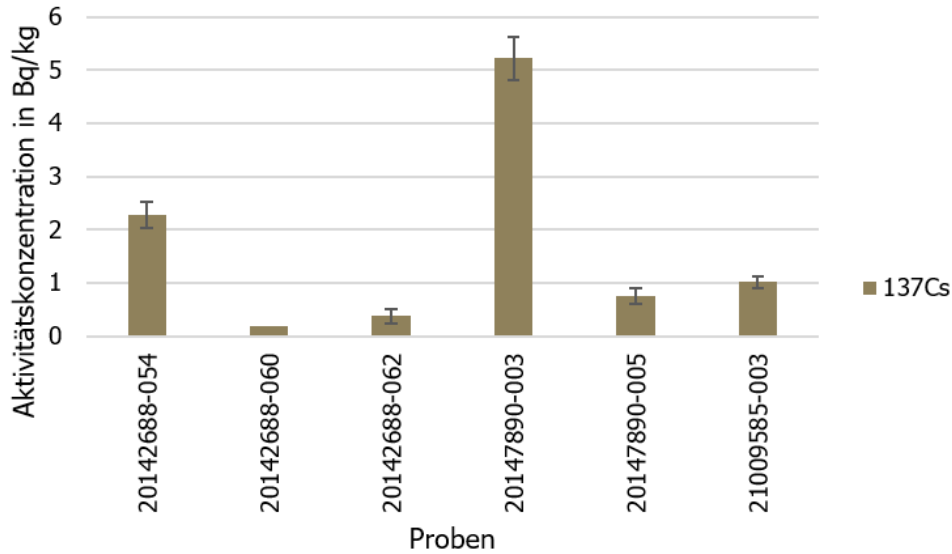


Abbildung 10 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg für die Hackschnitzel-Proben.

Hinweis: Bei der Probe 20142688-060 war die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs unterhalb der Nachweisgrenze und die Aktivitätskonzentration wird deshalb ohne Unsicherheit angegeben.

5.2.1 Hackschnitzel – Literaturwerte

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in litauischen Hackschnitzeln als inländischen Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs 28 ± 7 Bq/kg. Den Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs 32 ± 2 Bq/kg lieferte eine Hackschnitzel-Probe aus Belarus.³³

³³ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

5.3 Holzscheite

Es wurde eine Holzscheit-Probe auf ^{137}Cs untersucht (Formel 7). Von dieser Probe wurde auch der Verbrennungsrückstand analysiert. Die Daten sind in Abbildung 11 graphisch dargestellt.

Die Holzscheit-Probe 20142688-075 wurde in Niederösterreich eingekauft, doch das Holz stammt aus der Ukraine.

$$A_{\text{Cs}} = 0,327 \pm 0,077 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (7)$$

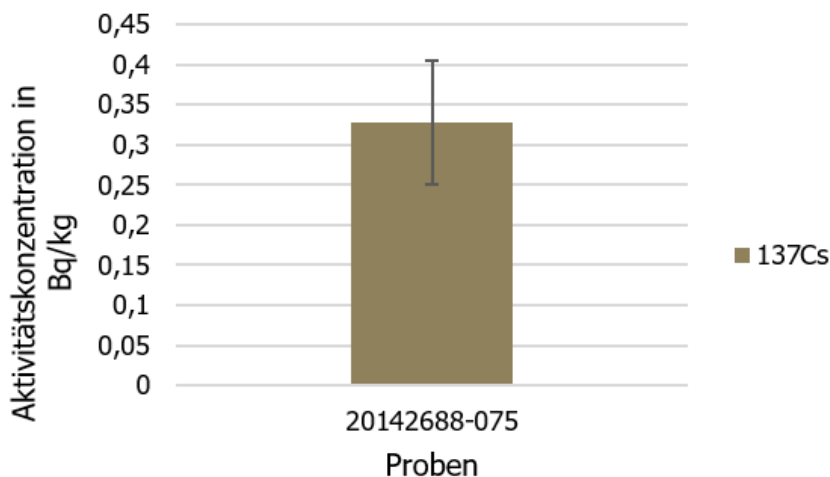


Abbildung 11 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg für die Holzscheit-Probe.

5.3.1 Holzscheite – Literaturwerte

Eine griechische Studie aus dem Jahr 2014 fand in Eichenholz eine Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs bis zu 1,3 Bq/kg, in Buchenholz bis 11,0 Bq/kg und in der Probe vom Berg-Ahornholz 8,2 Bq/kg.³⁴ Diese Werte zeigen die Relevanz von der Baumart in Bezug auf die Aktivitätskonzentrationen.

³⁴ S Stoulos u. a., „Post-Chernobyl ^{137}Cs in the atmosphere of Thessaloniki : a consequence of the financial crisis in Greece“, Journal of Environmental Radioactivity 128 (2014): 68–74.

5.4 Holzbriketts

Es wurde eine Holzbrikett-Probe auf ^{137}Cs untersucht (Formel 8). Von dieser Probe wurde der Verbrennungsrückstand auch analysiert. Die Daten sind in Abbildung 12 graphisch dargestellt.

Die Holzbrikett-Probe 20142688-025 wurde in Niederösterreich eingekauft und es handelt sich um Fichtenholz. Als Produktionsstätte ist Österreich angeführt, doch dies lässt nicht auf den Herkunftsort des Holzes schließen.

$$A_{Cs} = 3,03 \pm 0,38 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (8)$$

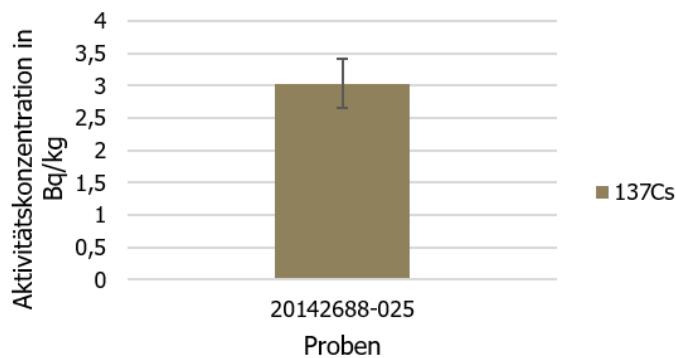


Abbildung 12 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg für die Holzbrikett-Probe.

5.4.1 Holzbriketts – Literaturwerte

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in litauischen Holzbriketts als Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $1,4 \pm 0,4 \text{ Bq/kg}$.³⁵

³⁵ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

6 Künstliche Radionuklide in den Aschen

Alle 22 Ascheproben wurden gammaspektrometrisch auf ^{134}Cs und ^{137}Cs analysiert. Die Aktivitätskonzentration von ^{134}Cs lag immer unter der Nachweisgrenze und auf sie wird in den folgenden Unterkapiteln nicht näher eingegangen. Die Rohdaten können im Anhang in Tabelle 5 nachgeschlagen werden. Tabelle 3 in der Zusammenfassung in Kapitel 10.2 zeigt die minimalen und maximalen Aktivitätskonzentration in den Ascheproben.

In zehn ausgewählte Ascheproben wurde mittels Flüssigszintillation die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr bestimmt.

Bedingt durch ihre kurze Halbwertszeit sind ^{134}Cs und ^{89}Sr nicht mehr nachweisbar. ^{134}Cs hat eine Halbwertszeit von circa zwei Jahren und ^{89}Sr von circa 50 Tagen.

6.1 Holzpellets-Asche

Es wurden 13 Holzpellet-Ascheproben und eine verkohlte Holzpellet-Probe auf ^{137}Cs untersucht. Von diesen 14 Verbrennungsrückständen wurden acht Proben auf ^{90}Sr analysiert. Die Daten sind in Abbildung 13 graphisch dargestellt.

Die Holzpellet-Probe 20142688-018 stammt aus den USA und wurde für die Räucherung von Fleisch in einem Smoker verwendet. Der Verbrennungsvorgang verbrennt die Holzpellets dabei nicht vollständig, sondern verkohlt sie nur. Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs liegt für diesen Verbrennungsrückstand (20142688-019) unter der Nachweisgrenze von kleiner 0,80 Bq/kg. Aus diesem Grund wurde diese Probe nicht für die Mittelwertbildung von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{\text{Cs}}^*}$ (Formel 11) in den Holzpellet-Ascheproben verwendet.

Die Holzpellet-Ascheprobe 20142688-059 hat die niedrigste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $A_{\text{Cs}}^*(\text{Min})$ (Formel 9) und ist der Verbrennungsrückstand der Holzpellet-Probe 20142688-058 aus Niederösterreich.

Die Holzpellet-Ascheprobe 20142688-024 hat die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $A_{\text{Cs}}^*(\text{Max})$ (Formel 10) und ist der Verbrennungsrückstand der Holzpellet-Probe 20142688-023 aus Kärnten.

Der Mittelwert der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{Cs}^*}$ (Formel 11) wurde aus 13 Holzpellet-Ascheproben berechnet.

$$A_{Cs}^* (Min) = 195 \pm 16 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (9)$$

$$A_{Cs}^* (Max) = 867 \pm 68 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (10)$$

$$\overline{A_{Cs}^*} = 407,8 \pm 9,8 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (11)$$

Die Holzpellet-Ascheprobe 20142688-005 hat die niedrigste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr $A_{Sr}^* (Min)$ (Formel 12) und ist der Verbrennungsrückstand der Holzpellet-Probe 20142688-004 aus Niederösterreich.

Die Holzpellet-Ascheprobe 20142688-020 hat die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr $A_{Sr}^* (Max)$ (Formel 13) und ist der Verbrennungsrückstand der Holzpellet-Probe 20142688-064 aus der Steiermark.

Der Mittelwert der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr $\overline{A_{Sr}^*}$ (Formel 14) wurde aus acht Holzpellet-Ascheproben berechnet.

$$A_{Sr}^* (Min) = 465 \pm 67 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (12)$$

$$A_{Sr}^* (Max) = 810 \pm 120 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (13)$$

$$\overline{A_{Sr}^*} = 627 \pm 33 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (14)$$

6.1.1 Holzpellet-Asche – Literaturwerte

In Italien gibt es eine Studie aus dem Jahr 2012 bei der 22 Holzpellet-Ascheproben auf ^{137}Cs und ^{90}Sr analysiert wurden. Die Aktivitätskonzentration von ^{134}Cs in den Holzpellet-Ascheproben liegt unter der Nachweisgrenze. Der Mittelwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs liegt bei 571 Bq/kg und von ^{90}Sr bei 685 Bq/kg.

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in Aschen von litauischen Holzpellets als inländischen Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $2.630 \pm 121 \text{ Bq/kg}$ und für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr $469 \pm 73 \text{ Bq/kg}$. Den Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $9.800 \pm 700 \text{ Bq/kg}$ und für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr $715 \pm 107 \text{ Bq/kg}$ lieferte eine Asche von einer Holzpellet-Probe aus der Ukraine.³⁶

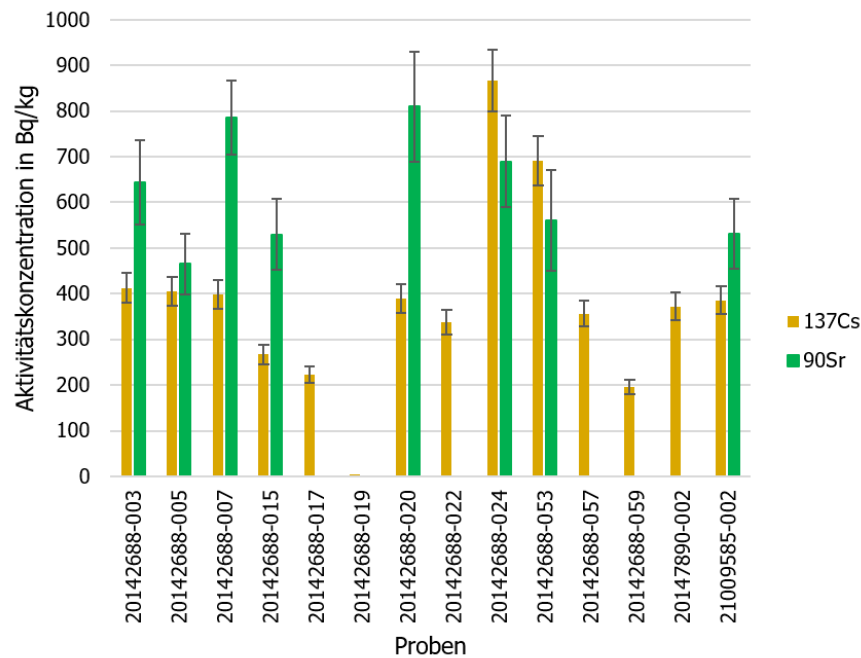


Abbildung 13 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Bq/kg für die Holzpellet-Ascheproben.

Hinweis: Bei der Probe 20142688-019 war die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs unterhalb der Nachweisgrenze und die Aktivitätskonzentration wird deshalb ohne Unsicherheit angegeben.

6.2 Hackschnitzel-Asche

Es wurden sechs Hackschnitzel-Ascheproben auf ^{137}Cs untersucht. Eine Probe wurde zusätzlich noch auf ^{90}Sr analysiert. Die Daten sind in Abbildung 14 graphisch dargestellt.

³⁶ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

Die Hackschnitzel-Ascheprobe 20142688-061 hat die niedrigste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs A_{Cs}^* (*Min*) (Formel 15) und ist der Verbrennungsrückstand der niederösterreichischen Hackschnitzel-Probe 20142688-062, welche die niedrigste nachgewiesene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs hat.

Die Hackschnitzel-Ascheprobe 20147890-004 hat von allen Hackschnitzel-Ascheproben die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs A_{Cs}^* (*Max*) (Formel 16) und ist der Verbrennungsrückstand der Hackschnitzel-Probe 20147890-003 aus dem Fichtenwald in Oberösterreich, welche die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs hat.

Der Mittelwert der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs $\overline{A_{\text{Cs}}^*}$ (Formel 17) wurde aus sechs Hackschnitzel-Ascheproben berechnet.

$$A_{\text{Cs}}^* (\text{Min}) = 11,80 \pm 0,87 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (15)$$

$$A_{\text{Cs}}^* (\text{Max}) = 219 \pm 15 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (16)$$

$$\overline{A_{\text{Cs}}^*} = 89,3 \pm 3,4 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (17)$$

Die Hackschnitzel-Ascheprobe 20147890-004 hat von allen Hackschnitzel-Ascheproben die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs A_{Cs}^* (*Max*) (Formel 16). Sie wurde zusätzlich auf die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr A_{Sr}^* (Formel 18) analysiert. Diese Probe ist der Verbrennungsrückstand der Hackschnitzel-Probe 20147890-003 aus dem Fichtenwald in Oberösterreich, welche die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs hat.

$$A_{\text{Sr}}^* = 531 \pm 77 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (18)$$

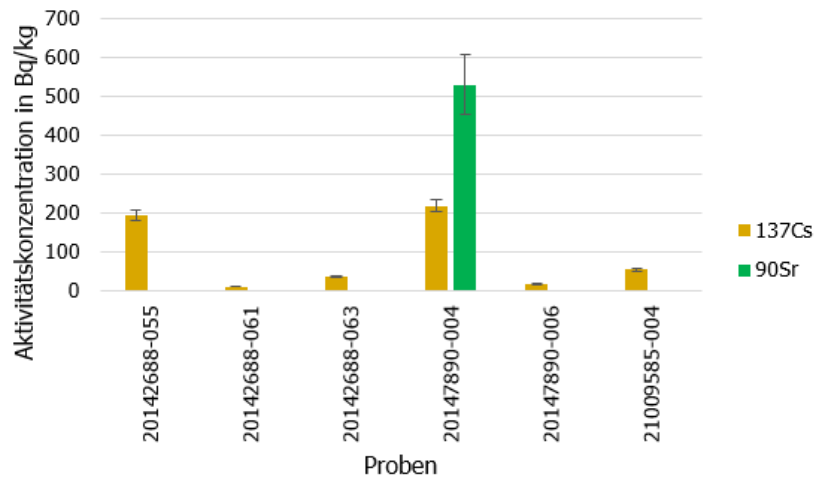


Abbildung 14 Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr in Bq/kg für die Hackschnitzel-Ascheproben.

6.2.1 Hackschnitzel-Asche – Literaturwerte

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in Aschen von litauischen Hackschnitzeln als inländischen Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs 7.201 ± 567 Bq/kg und für die Aktivitätskonzentration von ⁹⁰Sr 1.508 ± 230 Bq/kg. Den ausländischen Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs 2.626 ± 118 Bq/kg und für die Aktivitätskonzentration von ⁹⁰Sr 634 ± 98 Bq/kg lieferte eine Asche von einer Hackschnitzelt-Probe aus Belarus.³⁷

1996 wurden im Auftrag der oberösterreichischen Landesregierung Aschen von Hackgutheisanlagen untersucht. Die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs in den Aschen lag zwischen 1.100 und 3.500 Bq/kg.³⁸

³⁷ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

³⁸ Umweltbundesamt, „Wechselwirkungen zwischen Radiocäsium-Bodenkontamination und Hydrosphäre (Endbericht)“ (Wien, 1998).

6.3 Holzscheit-Asche

Es wurde eine Holzscheit-Ascheprobe auf ^{137}Cs (Formel 19) untersucht. Es wurde keine Holzscheit-Ascheprobe auf ^{90}Sr analysiert. Die Daten sind in Abbildung 15 graphisch dargestellt.

$$A_{Cs}^* = 113,7 \pm 9,0 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (19)$$

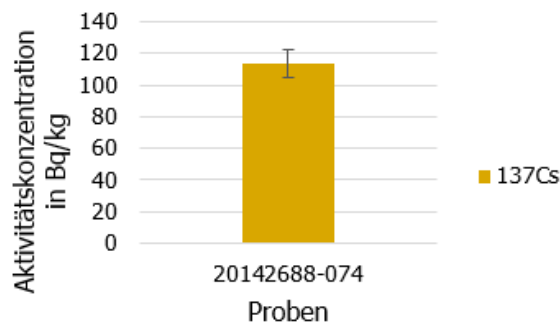


Abbildung 15 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg für die Holzscheit-Ascheprobe.

6.3.1 Holzscheit-Asche – Literaturwerte

1996 wurden im Auftrag der oberösterreichischen Landesregierung Aschen von Baumstämmen von 18 Standorten in Oberösterreich untersucht. Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs war in den äußeren Jahresringen höher als im Kernholz. Dies hängt mit der besseren Nährstoffversorgung in den Wachstumszonen zusammen. Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in den unterschiedlichen Bäumen variiert stark.³⁹ Diese Variation weist wieder auf die standortspezifischen und artspezifischen Zusammenhänge beim Transfer von ^{137}Cs in Holz hin.

Eine griechische Studie aus dem Jahr 2014 fand in Aschen aus bulgarischem und rumänischem Holz eine Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs von 31 bis 64 Bq/kg. In Aschen aus griechischem Holz schwankt die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs von 25 bis 499 Bq/kg.⁴⁰

³⁹ Umweltbundesamt, „Wechselwirkungen zwischen Radiocäsium-Bodenkontamination und Hydrosphäre (Endbericht)“ (Wien, 1998).

⁴⁰ S Stoulos u. a., „Post-Chernobyl ^{137}Cs in the atmosphere of Thessaloniki : a consequence of the financial crisis in Greece“, *Journal of Environmental Radioactivity* 128 (2014): 68–74.

6.4 Holzbrikett-Asche

Es wurde eine Holzbrikett-Ascheprobe auf ^{137}Cs (Formel 20) und ^{90}Sr (Formel 21) untersucht. Die Daten sind in Abbildung 16 graphisch dargestellt.

$$A_{\text{Cs}}^* = 704 \pm 55 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (20)$$

$$A_{\text{Sr}}^* = 1200 \pm 180 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \quad (21)$$

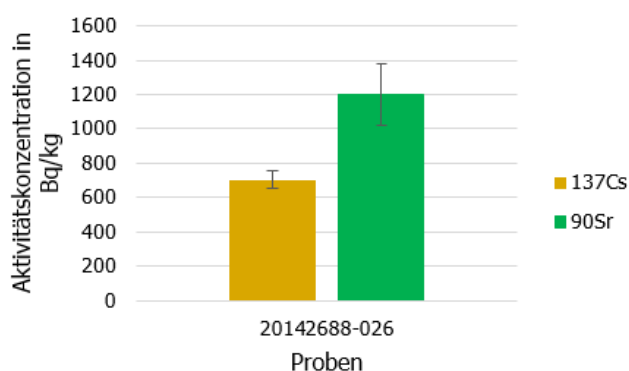


Abbildung 16 Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Bq/kg für die Holzbrikett-Ascheprobe

6.4.1 Holzbrikett-Asche – Literaturwerte

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in Aschen von litauischen Holzbriketts als inländischen Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs 1.489 ± 95 Bq/kg und für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr 712 ± 106 Bq/kg. Den Maximalwert für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs 5.754 ± 485 Bq/kg und für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr 410 ± 63 Bq/kg lieferte eine Asche von einer Holzbrikett-Probe aus der Ukraine.⁴¹

⁴¹ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

7 Anreicherung der Radionuklide in den Aschen

In den Aschen reichern sich die nicht brennbaren Mineralstoffe, Salze, Schwermetalle und auch Radionuklide an. Unter anderem durch den Tschernobyl-Reaktorunfall (1986) kam es zu ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{89}Sr und ^{90}Sr Kontaminationen in verschiedenen europäischen Ländern. Diese Radionuklide werden von der Vegetation in den kontaminierten Gebieten absorbiert.⁴² Bedingt durch die Halbwertszeit von circa 30 Jahren sind vor allem noch ^{137}Cs und ^{90}Sr in Pflanzen sowie Wildtieren nachweisbar. Es kommt in den Verbrennungsrückständen (Aschen) zur Anreicherung der Radionuklide ^{137}Cs und ^{90}Sr .

Für die Anreicherung von ^{137}Cs in der Asche kann ein Faktor berechnet werden. Der Faktor f_{Cs} (Formel 22) bezieht sich auf das Radionuklid ^{137}Cs . Er ist das Verhältnis von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche A_{Cs}^* zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Rohstoff (Holzpellets, Hackschnitzel, Holzscheite oder Holzbriketts) A_{Cs} . Für jeden Rohstoff wurde ein eigener Faktor berechnet.

$$f_{\text{Cs}} = \frac{A_{\text{Cs}}^*}{A_{\text{Cs}}} \quad (22)$$

Aus den 10 Ascheproben, bei denen auch das Radionuklid ^{90}Sr bestimmt wurde, ist das Verhältnis f_{Sr} (Formel 23) von der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche A_{Sr}^* zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche A_{Cs}^* berechnet worden.

$$f_{\text{Sr}} = \frac{A_{\text{Sr}}^*}{A_{\text{Cs}}^*} \quad (23)$$

Durch die Faktoren wurde eine Abschätzung getroffen, welche Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs und ^{90}Sr in den nicht vorhandenen Aschen der gemessenen Rohstoffproben vorliegen würden. Zuerst wurde die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche A_{Cs}^* extrapoliert (Formel 24).

$$A_{\text{Cs}} \times f_{\text{Cs}} = A_{\text{Cs}} \times \frac{A_{\text{Cs}}^*}{A_{\text{Cs}}} = A_{\text{Cs}}^* \quad (24)$$

⁴² European Parliament, „Parliamentary questions E-4063/2009“, zugegriffen 14. April 2021, <https://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2009-4063&language=EN>.

Mit diesem berechneten Wert wurde dann die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche A_{Sr}^* bestimmt (Formel 25). Dabei wurde jeweils einmal mit dem höchsten ermittelten Faktor des Radionuklids (Maximalwert) multipliziert und einmal mit dem Mittelwert der ermittelten Faktoren des Radionuklids gerechnet.

$$A_{\text{Cs}}^* \times f_{\text{Sr}} = A_{\text{Cs}}^* \times \frac{A_{\text{Sr}}^*}{A_{\text{Cs}}^*} = A_{\text{Sr}}^* \quad (25)$$

Die Unsicherheit wurde mittels Fehlerfortpflanzung bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs kann im Allgemeinen nicht als Indikator für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr genommen werden. Der Faktor für ^{90}Sr (Formel 23) ist eine Annahme auf Basis von einer Extrapolation. Das Verhältnis von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Holz ist von verschiedenen Faktoren abhängig. So sind im Allgemeinen genauere Informationen über die Herkunft, das Alter und die Art des Holzes notwendig, um einen aussagekräftigen Nuklidvektor aufstellen zu können. Auch innerhalb eines Baumes ist das Radionuklid ^{137}Cs nicht homogen verteilt. So reichert sich zum Beispiel ^{137}Cs vor allem in den wachsenden Baumteilen wie den Blättern, den Nadeln, den Ästen und den äußeren Schichten an.⁴³

Tabelle 4 in der Zusammenfassung in Kapitel 10.3 zeigt die berechneten Faktoren für die einzelnen Holzbrennstoffe.

7.1 Faktoren für Holzpellets

Es wurden 13 Holzpellet-Proben und die dazugehörigen Aschen auf ^{137}Cs untersucht. Acht Holzpellet-Ascheproben wurden auf ^{90}Sr untersucht.

Die Holzpellet-Probe 20142688-018 aus den USA wurde für die Räucherung von Fleisch in einem Smoker verwendet und der Verbrennungsrückstand sind verkohlte Holzpellets (20142688-019). Für beide Proben liegt ^{137}Cs unter der Nachweisgrenze. Aus diesem Grund wurde der errechnete Faktor f_{Cs} von 1,7 nicht für die Mittelwertbildung $\overline{f_{\text{Cs}}}$ (Formel 28) verwendet. Dieser geringe Faktor im Vergleich zu den anderen berechneten Faktoren bestätigt die Annahme einer Ortsabhängigkeit.

⁴³ umweltanalysen.com, „Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, zugegriffen 9. Dezember 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>

Für die Mittelwertbildung von $\overline{f_{Sr}}$ (Formel 31) wurden acht Faktoren verwendet. Für die Berechnung der Faktoren wurden acht Holzpellet-Ascheproben und deren dazugehörige Holzpellet-Proben verwendet. Von diesen acht Holzpellet-Ascheproben wurde die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr bestimmt.

$$f_{Cs}(\text{Min}) = 88 \pm 16 \quad (26)$$

$$f_{Cs}(\text{Max}) = 580 \pm 240 \quad (27)$$

$$\overline{f_{Cs}} = 228 \pm 22 \quad (28)$$

$$f_{Sr}(\text{Min}) = 0,80 \pm 0,14 \quad (29)$$

$$f_{Sr}(\text{Max}) = 2,08 \pm 0,35 \quad (30)$$

$$\overline{f_{Sr}} = 1,466 \pm 0,089 \quad (31)$$

Der minimale Faktor für ^{137}Cs $f_{Cs}(\text{Min})$ (Formel 26) wurde aus den Proben 20142688-016 und 20142688-017 bestimmt. Die Holzpellets stammen aus Niederösterreich und die Asche wurde in einem Einfamilienhaus in Niederösterreich produziert.

Der maximale Faktor für ^{137}Cs $f_{Cs}(\text{Max})$ (Formel 27) wurde aus den Proben 20142688-014 und 20142688-015 bestimmt. Die Holzpellets stammen aus Tschechien und die Asche wurde in einem Einfamilienhaus in Niederösterreich produziert. Die Unsicherheit von $f_{Cs}(\text{Max})$ (Formel 27) liegt bei 41 %, weil die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Holzpellet-Probe 20142688-014 nur knapp über der Nachweisgrenze liegt.

Der minimale Faktor für ^{90}Sr $f_{Sr}(\text{Min})$ (Formel 29) wurde aus den Proben 20142688-023 und 20142688-024 bestimmt. Die Holzpellets stammen aus Kärnten und die Asche wurde in einem Einfamilienhaus in Niederösterreich produziert.

Der maximale Faktor für ^{90}Sr $f_{Sr}(\text{Max})$ (Formel 30) wurde aus den Proben 20142688-064 und 20142688-020 bestimmt. Die Holzpellets stammen aus der Steiermark und die Asche wurde in einem Einfamilienhaus in Kärnten produziert.

In Abbildung 17 sind die Faktoren graphisch dargestellt. Die linke Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} und die rechte Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} . $f_{Sr} \cdot f_{Cs}$ ist das Verhältnis von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Rohstoff. f_{Sr} ist das Verhältnis der

Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche.

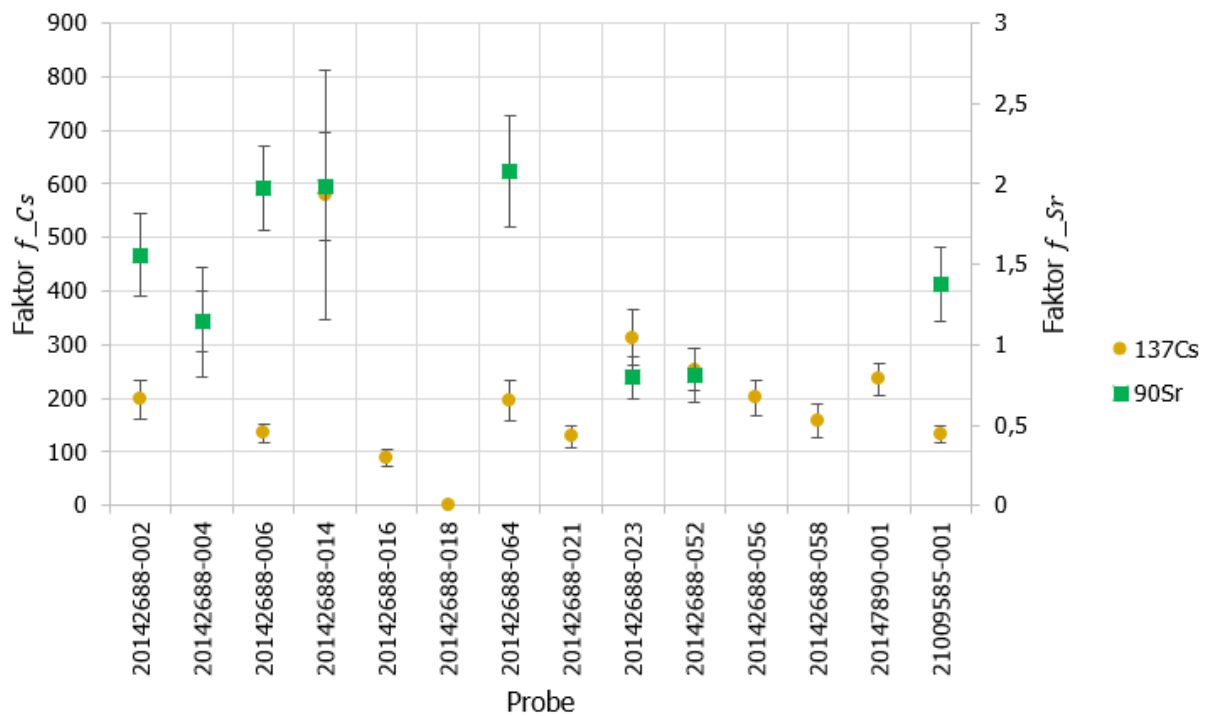


Abbildung 17 Errechnete Faktoren für Holzpellets.

Hinweis: Die linke Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} und die rechte Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} .

7.1.1 Faktoren für Holzpellets angewendet auf die gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in den Holzpellet-Proben

Einmal wurden die Aktivitätskonzentrationen in den Aschen mit den Maximalwerten berechnet. Die berechneten Aktivitätskonzentrationen sind im Anhang in Abbildung 23 graphisch dargestellt.

Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in den Holzpellets wurde einmal mit $f_{\text{Cs}}(\text{Max})$ (Formel 27) multipliziert, um die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in den Holzpellet-Aschen A_{Cs}^* (Formel 24) zu berechnen. Dieses Ergebnis wurde zudem mit $f_{\text{Sr}}(\text{Max})$ (Formel 30) multipliziert, um die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in den Holzpellet-Aschen A_{Sr}^* (Formel 25) zu berechnen. Die Unsicherheit von $f_{\text{Cs}}(\text{Max})$ (Formel 27) liegt bei 41 %, weil die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Holzpellet-Probe 20142688-014 nur knapp über der Nachweisgrenze liegt. Dadurch liegen die Unsicherheiten der

berechneten Aktivitätskonzentrationen zwischen 39 und 61 %. Im Mittel liegt die Unsicherheit bei 45 % für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs und bei 48 % für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr .

Das andere Mal wurden die Aktivitätskonzentrationen in den Aschen mit den Mittelwerten berechnet. Die berechneten Aktivitätskonzentrationen sind im Anhang in Abbildung 24 graphisch dargestellt.

Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in den Holzpellets wurde einmal mit $\overline{f_{Cs}}$ (Formel 28) multipliziert, um die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in den Holzpellet-Aschen A_{Cs}^* (Formel 24) zu berechnen. Dieses Ergebnis wurde zudem mit $\overline{f_{Sr}}$ (Formel 31) multipliziert, um die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in den Holzpellet-Aschen A_{Sr}^* (Formel 25) zu berechnen. Die Unsicherheiten der berechneten Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 8 und 39 %. Im Mittel liegt die Unsicherheit bei 19 % für die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs und bei 20 % für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr .

Es ist zu berücksichtigen, dass die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Allgemeinen nicht als Indikator für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr genommen werden darf. Der Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} (Formel 23) ist eine Annahme auf Basis einer Extrapolation. Die errechneten Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr werden für die Fallbeispiele der Dosisabschätzung benötigt (siehe Kapitel 9).

7.1.2 Faktor für Holzpellets – Literaturwerte

In der Asche kann eine Anreicherung um das Hundertfache höher sein als in dem Rohstoff Holz.⁴⁴

Eine italienische Studie aus dem Jahr 2012, bei der 22 Holzpellet-Ascheproben auf ^{137}Cs und ^{90}Sr analysiert wurden, zeigt, dass der Mittelwert für den Faktor f_{Cs} bei 222,8 liegt. Das Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in den Ascheproben f_{Sr} variiert von 0,22 bis 40,79. Die Aktivitätskonzentration

⁴⁴ umweltanalysen.com, „Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, zugegriffen 9. Dezember 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>

von ^{137}Cs können demnach nicht als Indikator für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr genommen werden.⁴⁵

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in litauischen Holzpellets einen Faktor f_{Sr} (= Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche) von circa 3. In Holzpellets aus Belarus und der Ukraine variiert der Faktor f_{Sr} von circa 0,1 bis 0,25.⁴⁶

7.2 Faktoren für Hackschnitzel

Es wurde sechs Hackschnitzel-Proben und die dazugehörigen Aschen auf ^{137}Cs untersucht. Die Probe 20147890-004 mit der höchsten Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs wurde auf ^{90}Sr untersucht. Dadurch gibt es nur einen Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} (Formel 35) in Hackschnitzel.

Für die Mittelwertbildung von $\overline{f_{\text{Cs}}}$ (Formel 34) wurden sechs Faktoren verwendet. Für die Berechnung der Faktoren wurden sechs Hackschnitzel-Ascheproben und deren dazugehörige Hackschnitzel-Proben verwendet. Von diesen sechs Hackschnitzel-Ascheproben wurde die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs bestimmt.

$$f_{\text{Cs}}(\text{Min}) = 21,5 \pm 5,3 \quad (32)$$

$$f_{\text{Cs}}(\text{Max}) = 99 \pm 39 \quad (33)$$

$$\overline{f_{\text{Cs}}} = 61,4 \pm 6,9 \quad (34)$$

$$f_{\text{Sr}} = 2,42 \pm 0,39 \quad (35)$$

Der minimale Faktor für ^{137}Cs $f_{\text{Cs}}(\text{Min})$ (Formel 32) wurde aus den Proben 20147890-005 und 20147890-005 bestimmt. Die Proben stammen aus einer oberösterreichischen Hackschnitzelverbrennungsanlage.

⁴⁵ Donatella Desideri u. a., „Analytical methods for the determination of in Italy Sr in ash of fuel pellets used“, Microchemical Journal 103 (2012): 131–34.

⁴⁶ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

Der maximale Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} (*Max*) (Formel 33) wurde aus den Proben 20142688-062 und 20142688-063 bestimmt. Die Hackschnitzel stammen aus einem privatem Wald in Niederösterreich und werden für den Eigenbedarf produziert. Die Asche wurde in einem Einfamilienhaus in Niederösterreich produziert.

In Abbildung 18 sind die Faktoren graphisch dargestellt. Die linke Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} und die rechte Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} . f_{Cs} ist das Verhältnis von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Rohstoff. f_{Sr} ist das Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche.

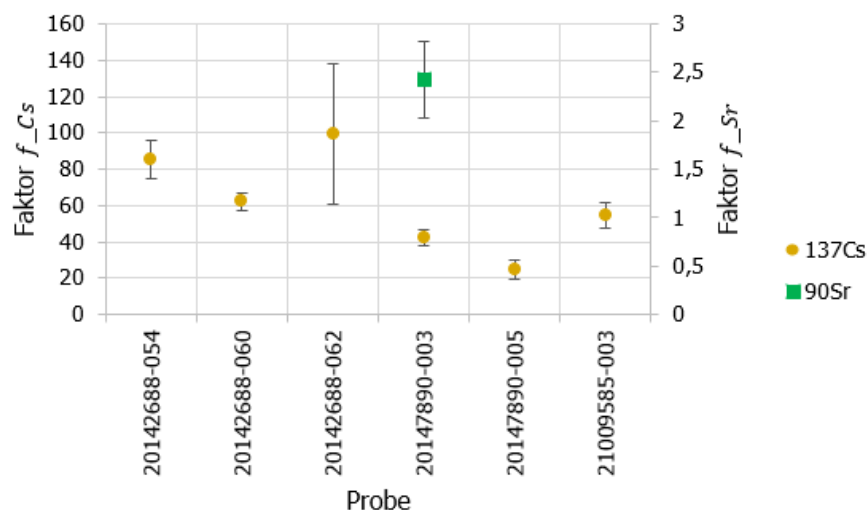


Abbildung 18 Errechnete Faktoren für Hackschnitzel.

Hinweis: Die linke Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} und die rechte Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} .

7.2.1 Faktor für Hackschnitzel – Literaturwerte

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in litauischen Hackschnitzeln einen Faktor f_{Sr} (= Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche zu der

Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche) von 0,2. In Hackschnitzeln aus Belarus ist der Faktor f_{Sr} 0,25.⁴⁷

7.3 Faktor für Holzscheite

Es wurde nur eine Holzscheit-Probe und dazugehöriger Asche auf ^{137}Cs untersucht. Aus diesem Grund ergibt sich nur ein Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} (Formel 36) in Holzscheiten. In Abbildung 19 ist der Faktor graphisch dargestellt.

$$f_{\text{Cs}} = 348 \pm 87 \quad (36)$$

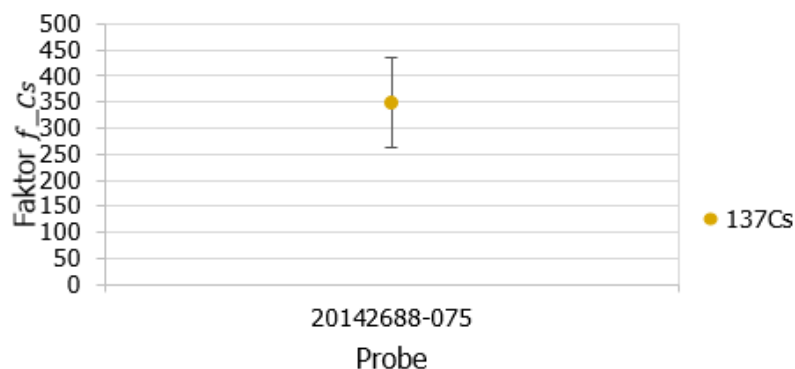


Abbildung 19 Errechneter Faktor für Holzscheite.

7.3.1 Faktor für Holzscheite - Literaturwerte

Es wurden keine Literaturwerte gefunden.

7.4 Faktoren für Holzbriketts

Es wurde nur eine Holzbrikett-Probe und dazugehöriger Asche auf ^{137}Cs und ^{90}Sr untersucht.

⁴⁷ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

$$f_{Cs} = 232 \pm 35 \quad (37)$$

$$f_{Sr} = 1,70 \pm 0,29 \quad (38)$$

In Abbildung 20 sind die Faktoren f_{Cs} (Formel 37) und f_{Sr} (Formel 38) graphisch dargestellt. Die linke Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} und die rechte Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} . f_{Cs} ist das Verhältnis von der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Rohstoff. f_{Sr} ist das Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche.

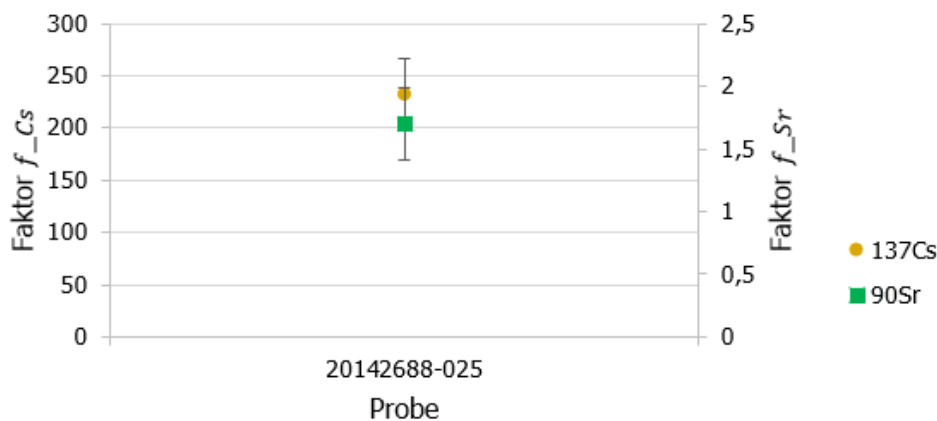


Abbildung 20 Errechnete Faktoren für Holzbriketts.

Hinweis: Die linke Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{137}Cs f_{Cs} und die rechte Y-Achse bezieht sich auf den Faktor für ^{90}Sr f_{Sr} .

7.4.1 Faktor für Holzbriketts - Literaturwerte

Eine Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 fand in litauischen Holzbriketts einen Faktor f_{Sr} (= Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche) von 0,5. In Holzbriketts aus der Ukraine ist der Faktor f_{Sr} circa 0,1.⁴⁸

⁴⁸ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

8 Entsorgung der Holzaschen in Österreich

Holzaschen, die aus unbehandeltem Holz und nicht aus Holzabfällen aus Bau- und Abbruchabfällen entstanden sind, gehören zur Kategorie der Biomasse-Aschen.⁴⁹ Im § 17 des Abfallwirtschaftsgesetz 2002 ist die Aufzeichnungspflicht für Abfallbesitzer geregelt. Private Haushalte sowie nicht buchführungspflichtige land- und forstwirtschaftliche Betriebe sind von dieser Pflicht entbunden. Land- oder Forstwirt*innen müssen für eigene verwendete Biomasse-Aschen keine Bilanzmeldung durchführen.⁵⁰

Bei der kommerziellen Betreibung von Feuerungsanlagen und Heizkraftwerken wird die Asche in verschiedene Teile separiert. So wird zwischen Pflanzenasche, Grob- oder Rostasche, Kesselasche, Zyklonflugasche und Feinstflugasche unterschieden.⁵¹ „Die entstehenden Aschetypen und deren Mengenverhältnisse sind stark von der Verbrennungstechnik, vom Anlagenbetrieb und von den Brennstoffeigenschaften – insbesondere der Korngröße und Dichte des Brennstoffs – abhängig.“⁵² Die Staubentwicklung in Heizkraftwerken kann durch nasse Ascheaustragssysteme minimiert werden und dadurch ist die Asche auch wirtschaftlich interessanter für Zement- und Kompostwerke.⁵³

Zementwerke verwenden Biomasse-Asche als Rohmehlersatzstoff (Synonym: Silikatregler) und die Anforderungen für diesen Abfalleinsatz sind im EU Amtsblatt 2013 geregelt. Auch die Richtlinie *Entsorgung von Abfällen in Zementwerken* aus der Schweiz wird in Österreich für Bescheide und behördliche Auflagen herangezogen.

Kompostwerke dürfen maximal 2 % Asche beimengen (Kompostverordnung). Die Betreiber lehnen teilweise die Zugabe von Biomasse-Asche wegen möglicher Staubentwicklung und Qualitätsverlust ab.⁵⁴ Es wird jedoch in Zukunft eine Anhebung des zulässigen Ascheanteils sowie des Schwermetallgehaltes angestrebt.⁵⁵

Von den untersuchten Holzbrennstoffen (Holzpellets, Hackschnitzel, Holzscheite und Holzbriketts) werden die Hackschnitzel und die Holzscheite in Heizkraftwerken

⁴⁹ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

⁵⁰ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

⁵¹ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

⁵² Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

⁵³ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

⁵⁴ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

⁵⁵ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

verwendet. Oft ist es den Anlagenbetreibern zu aufwendig eine Ausbringung der Aschen, sofern es sich nicht um eigene Böden handelt, durchzuführen.

Von den 22 analysierten Verbrennungsrückständen ist der Entsorgungsort (durch eine Umfrage erhoben) bekannt:

- Die verkohlten Holzpellets (Rückstände vom Smoker) werden im Restmüll entsorgt und nicht für die folgende Betrachtung herangezogen, da keine signifikante Anreicherung gemessen werden konnte. Die Aktivitätskonzentrationen für ^{134}Cs und ^{137}Cs sind für diese speziellen Holzpellets sowie die verkohlten Holzpellets unter der Nachweisgrenze.
- Sechs der Holzpellet-Aschen werden im Garten verstreut und sechs werden im Restmüll entsorgt.
- Die Hackschnitzel-Asche aus der Hackschnitzelverbrennungsanlage wird auf einer Deponie entsorgt. Eine Hackschnitzel-Asche wird im Garten verstreut oder im Restmüll entsorgt. Die restlichen vier Hackschnitzel-Aschen werden im Garten oder auf Feldern verstreut.
- Die Holzsplit-Asche wird auf einem Feld verstreut.
- Die Holzbrikett-Asche wird im Garten verstreut oder im Restmüll entsorgt.

Abbildung 21 fasst die Entsorgungsorte grafisch zusammen. Wird mit einem Verbrennungsrückstand auf zwei unterschiedliche Arten verfahren, sind beide Arten (Umwelt, Restmüll, Deponie) extra angeführt. Unter dem Begriff „Umwelt“ ist hier die Verstreuerung im Garten, die Ausbringung auf Felder oder die Entsorgung am Komposthaufen zu verstehen.

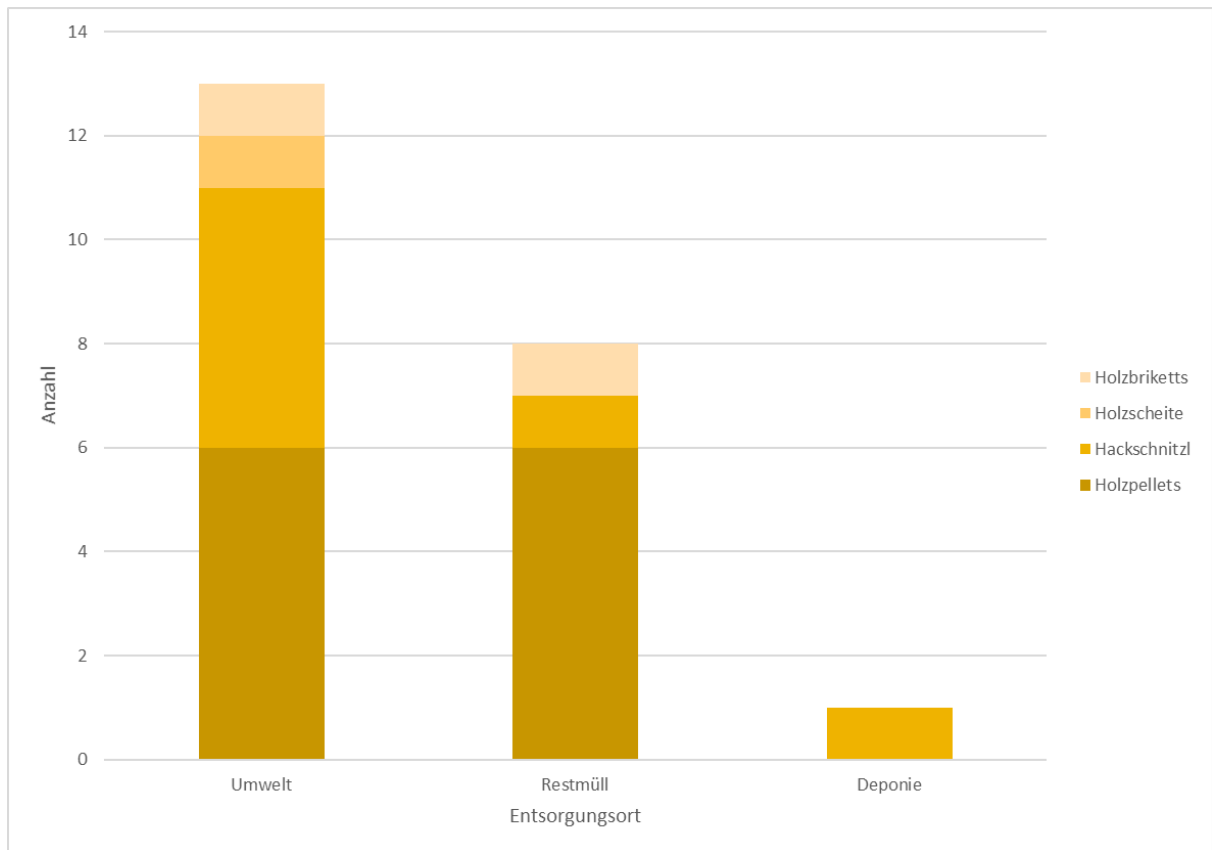


Abbildung 21 Ermittelte Entsorgungsorte der Aschen.

Die Entsorgung der Aschen im privaten Haushalt ist unterschiedlich geregelt. In Wien⁵⁶, Oberösterreich⁵⁷, Salzburg⁵⁸, Tirol⁵⁹, Vorarlberg⁶⁰ und der Steiermark⁶¹ wird die Holzasche im Restmüll entsorgt, in Niederösterreich⁶² mit dem Biomüll, im Burgenland⁶³ kann sie entweder in den Restmüll oder auf dem Komposthaufen entsorgt werden und in Kärnten⁶⁴ sind alle drei Möglichkeiten (Restmüll, Biomüll, Komposthaufen) zulässig. Innerhalb eines Bundeslandes kann es noch regionale Unterschiede in der Entsorgung geben und die angeführten Entsorgungswege dienen einem groben Überblick über die jetzige Situation.

Für die Verwendung und Entsorgung von Biomasse-Aschen gelten im weiteren Sinne das Abfallwirtschaftsgesetz, die Kompostverordnung, die Abfallverzeichnisverordnung, die Abfallbilanzverordnung, das Altlastensanierungsgesetz, das Düngemittelgesetz, das Forstgesetz und das Wasserrechtsgesetz. „Auf Bundesebene gibt es für Aschen jedoch weder auf der Basis des Düngemittelrechts noch auf der Basis des Abfallrechts definitive Rechtsvorschriften für das Inverkehrbringen oder die Anwendung.“⁶⁵ „In keinem der österreichischen Bundesländer gibt es besondere bundeslandspezifische Strategien bzw. Richtlinien oder Leitfäden zur Beseitigung bzw. Verwertung von Biomasse-Aschen nach dem Abfallrecht.“⁶⁶ Einen guten Überblick gibt die *Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten*

⁵⁶ Stadt Wien, „Das Trenn-ABC – Müll Richtig Entsorgen,“ accessed April 21, 2021, <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/beratung/muelltrennung/mistabc.html>.

⁵⁷ Umweltprofis, „Trenna Is a Hit! Trennanleitung!“, accessed April 21, 2021, https://www.umweltprofis.at/fileadmin/user_upload/redakteure/_alle_bezirke_/Service_fuer/Trennanleitung.pdf.

⁵⁸ Abfall Service, „Asche,“ accessed April 21, 2021, <https://app.offenerhaushalt.at/salzburg/abfall/abfall-abc/7>.

⁵⁹ Land Tirol, „Abfallwirtschaft in Tirol,“ accessed April 21, 2021, http://www.sauberes-tirol.at/uploads/broschuere_abfallwirtschaft_in_tirol_2019.pdf.

⁶⁰ Umweltverband Vorarlberger Gemeindehaus, „Abfallhandbuch Vorarlberg,“ accessed April 21, 2021, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigh4yX24zwAhVChv0HHSjSC3QQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.lustenau.at%2Fmedia%2F29255%2Fdownload%2F2018-abfallhandbuch-web.pdf%3Fv%3D1&usg=AOvVaw3APuIietjroEbqaGoU>.

⁶¹ Abfallwirtschaftsverband Weiz, „Abfalltrennung,“ accessed April 21, 2021, https://www.awv.steiermark.at/cms/dokumente/12627308_836870/bcd3a8ab/abfalltrennblatt_17_awv.pdf.

⁶² Stadtgemeinde Purkersdorf, „Biotonne,“ accessed April 21, 2021, https://www.purkersdorf.at/Unser_Purkersdorf/Abfall/Umwelt/Energie/Abfallwirtschaft/Biotonne.

⁶³ Besser Müll Vermeiden, „Mülltrenn ABC,“ accessed April 21, 2021, <https://www.bmv.at/service/muelltrenn-abc.html>.

⁶⁴ Abfallwirtschaftsverband Westkärnten, „Abfall-Trenn ABC: Buchstabe H“, zugegriffen 21. April 2021, <http://www.awvwestkaernten.at/h>.

⁶⁵ Umwelt und Wasserwirtschaft Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, „Richtlinie Für Den Sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen Zur Verwertung Auf Land- Und Forstwirtschaftlich Genutzten Flächen“ (Wien, 2011).

⁶⁶ Umweltbundesamt, „Biomasse-Ascheströme in Österreich“ (Wien, 2016).

Flächen von dem Umwelt und Wasserwirtschaft Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft aus dem Jahr 2011.

Die Webseite von *Umweltanalysen.com* empfiehlt für Gebiete mit erhöhter Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Böden (z.B. Teile in Süddeutschland) Asche von dortigem Holz nicht in den Garten zu streuen, um eine Kontamination mit ^{137}Cs von Gartenprodukten zu verhindern.⁶⁷

8.1 Sinngemäße Anwendung des StrSchG 2020 auf die Entsorgung von Pflanzenaschen

Tätigkeitsbereiche mit Pflanzenaschen fallen derzeit nicht in das Regime des StrSchG 2020. Im Folgenden werden die Freigrenzen bzw. Freigabewerte der AllgStrSchV 2020 als Referenzwerte herangezogen.

Die Anlage 1 der AllgStrSchV 2020 legt Freigrenzen für Aktivitätskonzentrationen fest, unter denen eine effektive Dosis von $10\ \mu\text{Sv/a}$ für eine Einzelperson der allgemeinen Bevölkerung in Österreich bei der Entsorgung nicht überschritten wird.

Der Grenzwert der effektiven Dosis ist laut § 6 Abs. 2 der AllgStrSchV 2020 mit $1\ \text{mSv}$ pro Kalenderjahr festgelegt.

Die Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen $\leq 1.000\ \text{kg}$ pro Jahr liegt für ^{137}Cs bei $10\ \text{kBq/kg}$ und für ^{90}Sr bei $100\ \text{kBq/kg}$ (Anlage 1 Tabelle 1 Spalte 3 der AllgStrSchV 2020).

Aus den ermittelten Heizmengen der Einfamilienhäuser geht hervor, dass weniger als $1.000\ \text{kg}$ Asche pro Jahr an Verbrennungsrückständen anfallen. Der Aschegehalt von Holzpellets liegt im Normalfall unter $0,5\ \%$. Ein Einfamilienhaus, das über das ganze Jahr mit einer Pelletheizung heizt und diese auch für die Warmwasserproduktion benutzt, benötigt circa $50\ \text{t}$ pro Jahr. So fallen circa $250\ \text{kg}$ Asche pro Jahr an. Wird die Pelletheizung nur für die Heizperiode verwendet werden im Schnitt $4\ \text{t}$ im Jahr verheizt und dies entspricht circa $20\ \text{kg}$ Asche pro Jahr.

⁶⁷ umweltanalysen.com, „Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, zugegriffen 9. Dezember 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>

Die verheizte Menge an Hackschnitzeln wird in Kubikmeter angegeben. Die Dichte von Holz hängt von der Holzart ab. So hat zum Beispiel ein Kubikmeter Fichtenholz 470 kg.⁶⁸ Ein Einfamilienhaus, das seine Hackschnitzelheizung das ganze Jahr über in Betrieb hat, verbraucht 80 m³ pro Jahr. In diesem speziellen Fall ist bekannt, dass es sich um Fichtenholz handelt. Also benötigt das Einfamilienhaus 37.600 kg Hackschnitzel. Wird der Aschegehalt von Hackschnitzel mit 1 % angenommen⁶⁹, entstehen circa 376 kg Asche.

Die Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen > 1.000 kg pro Jahr und die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe liegt für ¹³⁷Cs bei 100 Bq/kg und für ⁹⁰Sr bei 1.000 Bq/kg (Anlage 1 Tabelle 1 Spalte 4 der AllgStrSchV 2020).

Die beprobte Hackschnitzelverbrennungsanlage verbraucht circa 2.500 m³ pro Jahr. Wird diese Menge für Fichtenholz umgerechnet, ergibt das 1.175 t Hackschnitzel pro Jahr. Mit dem Aschegehalt von 1 % sind das circa 11,75 t Asche im Jahr. Die Hackschnitzelverbrennungsanlage entsorgt ihre Verbrennungsrückstände auf einer Deponie.

Die Freigabewerte für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung liegt für ¹³⁷Cs bei 10 kBq/kg und für ⁹⁰Sr bei 2 kBq/kg (Anlage 1 Tabelle 1 Spalte 6 der AllgStrSchV 2020).

Für die 22 Ascheproben wurden aus den gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ¹³⁷Cs und - wenn vorhanden - von ⁹⁰Sr die Quotientensummen berechnet. Ist nur die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs bekannt, wurde diese mit der Freigrenze bzw. dem Freigabewert verglichen. Beim Vergleich der Messergebnisse mit den Werten der Spalte 3 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen ≤ 1.000 kg pro Jahr) oder der Spalte 6 (Freigabewerte für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung) der AllgStrSchV 2020 ergeben sich keine Quotientensummen größer 1 bzw. Überschreitungen der Vergleichswerte.

Wurde mit den Werten der Spalte 4 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen > 1.000 kg pro Jahr und die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe) der AllgStrSchV 2020 verglichen, liegen für die Ascheproben mit gemessener Aktivitätskonzentrationen von ⁹⁰Sr alle Quotientensummen über 1. Mit den Werten der Spalte 4 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen > 1.000 kg pro

⁶⁸ Holz Kahrs, "Gewicht von Holz," accessed April 27, 2021, <https://holz-kahrs.de/lexikon/gewicht-von-holz/>.

⁶⁹ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., "Holzhackschnitzel," accessed April 27, 2021, <https://heizen.fnr.de/brennstoffe/holzbrennstoffe/holzhackschnitzel>.

Jahr und die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe) der AllgStrSchV 2020 liegen von den 22 Ascheproben die Quotientensummen unter 1 bzw. die Vergleichswerte werden unterschritten für vier der sechs Hackschnitzel-Ascheproben (inklusive der Ascheprobe aus der Hackschnitzelverbrennungsanlage) und die verkohlten Pellets aus einem Smoker, der für die Räucherung von Fleisch verwendet wird.

Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr in Aschen von den gemessenen Holzpellets wurden mit den Faktoren aus Kapitel 7.1, wie in Kapitel 7.1.1 beschrieben, berechnet. Die Ergebnisse wurden mit den Freigrenzen bzw. Freigabewerten in der AllgStrSchV 2020 verglichen. Tätigkeitsbereiche mit Pflanzenaschen fallen derzeit nicht in das Regime des StrSchG 2020.

- Berechnung mit Maximalwerten (verwendete Daten graphisch dargestellt im Anhang in Abbildung 23):
 - Werden die berechneten Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr mit den Werten aus Spalte 3 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen ≤ 1.000 kg pro Jahr) der AllgStrSchV 2020 verglichen, liegen alle Quotientensummen über 1.
 - Werden die berechneten Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr mit den Werten aus Spalte 4 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen > 1.000 kg pro Jahr und die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe) der AllgStrSchV 2020 verglichen, liegen fast alle Quotientensummen über 1. Die Holzpellets aus Tschechien, den USA und Serbien sowie 2 Holzpellet-Proben mit österreichischen Produktionsstätten haben eine Quotientensummen unter 1.
 - Werden die berechneten Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr mit den Werten aus Spalte 6 (Freigabewerte für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung) der AllgStrSchV 2020 verglichen, liegen mehr als 70 % der Quotientensummen über 1.
- Berechnung mit Mittelwerten (verwendete Daten graphisch dargestellt im Anhang in Abbildung 24):
 - Werden die berechneten Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr mit den Werten aus Spalte 3 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen ≤ 1.000 kg pro Jahr) der AllgStrSchV 2020 verglichen, liegen alle Quotientensummen unter 1.
 - Werden die berechneten Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr mit den Werten aus Spalte 4 (Freigrenze für die Aktivitätskonzentration für Materialmengen > 1.000 kg pro Jahr und die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe) der AllgStrSchV 2020 verglichen, liegen alle Quotientensummen über 1.
 - Werden die berechneten Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und von ^{90}Sr mit den Werten aus Spalte 6 (Freigabewerte für die eingeschränkte Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder Verbrennung) der AllgStrSchV

2020 verglichen, liegen nur zwei Quotientensummen über 1. Es handelt sich um die beiden Proben mit der höchsten Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs .

Es ist bei diesen Berechnungen zu berücksichtigen, dass diese Freigrenzen für Aktivitätskonzentrationen aus der Anlage 1 der AllgStrSchV 2020 so festgelegt sind, dass eine effektive Dosis von $10\ \mu\text{Sv/a}$ für eine Einzelperson der allgemeinen Bevölkerung in Österreich nicht überschritten wird. Der Grenzwert der effektiven Dosis ist laut § 6 Abs. 2 der AllgStrSchV 2020 mit $1\ \text{mSv}$ pro Kalenderjahr festgelegt.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Allgemeinen nicht als Indikator für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr genommen werden darf. Das Verhältnis von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Holz ist von verschiedenen Faktoren abhängig. So sind im Allgemeinen genauere Informationen über die Herkunft, das Alter und die Art des Holzes notwendig, um einen aussagekräftigen Nuklidvektor aufstellen zu können. Auch innerhalb eines Baumes ist das Radionuklid ^{137}Cs nicht homogen verteilt. So reichert sich zum Beispiel ^{137}Cs vor allem in den wachsenden Baumteilen wie den Blättern, den Nadeln, den Ästen und den äußeren Schichten an.⁷⁰

⁷⁰ umweltanalysen.com, „Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, zugegriffen 9. Dezember 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>

9 Dosisabschätzung

Die Dosisabschätzung wurde nach den *Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)* des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz aus dem Jahr 2010 durchgeführt. Die Dosiskoeffizienten wurden in *Dosiskoeffizienten bei äußerer und innerer Strahlenexposition - Teil II - Dosiskoeffizienten bei innerer Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung* verfasst von dem deutschen Bundesamte für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung nachgeschlagen. Die verwendeten nuklidspezifischen Transferfaktoren sind ein Mittelwert aus den Transferfaktoren für Blattgemüse, kein Blattgemüse, Hülsenfrüchte, Hackfrüchte, Knollen und Kräuter aus dem *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments* von der IAEA aus dem Jahr 2010.

Die mittleren Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Bodenproben stammen aus den KKW Bodenproben, die die AGES seit 2015 zur Umweltüberwachung nimmt und analysiert:

- Die mittleren Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs wurde aus 69 Bodenproben bestimmt und liegt bei $25,79 \pm 0,40$ Bq/kg.
- Die mittleren Aktivitätskonzentrationen von ^{90}Sr wurde aus 151 Bodenproben bestimmt und liegt bei $1,301 \pm 0,021$ Bq/kg.

Für die Dosisberechnung wurden nicht berücksichtigt:

- Die äußere Strahlenexposition durch Aufenthalt im Freien und in Gebäuden (Ortsdosisleistung), weil keine Dosisleistung der Aschen ermittelt werden konnte. Mit dem geeichten und kalibrierten Dosisleistungsmessgerät (6150 AD-b/E, Seriennummer: 156957) war die Ortsdosisleistung $<0,1$ $\mu\text{Sv/h}$ (Messbereich $0,1 - 100$ $\mu\text{Sv/h}$). Der natürliche Hintergrund in Österreich liegt bei circa $0,09$ $\mu\text{Sv/h}$.⁷¹
- Die innere Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, weil dieser Anteil ortsabhängig ist und der Hauptteil nicht im Zusammenhang mit der Asche steht.

Für die Dosisberechnung wurden berücksichtigt:

- Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden

⁷¹ Bundesministerium für Gesundheit, "Radioaktivität Und Strahlung in Österreich 2011 Und 2012 - Daten Und Bewertung," 2013.

- Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel
- Strahlenexposition durch Aufnahme von Boden (Direktingestion)

Die Dosisberechnung wurde für eine Person aus der allgemeinen Bevölkerung, die älter als 17 Jahre alt ist, berechnet, da davon ausgegangen werden kann, dass Kleinkinder nicht mit Asche hantieren und die Annahme somit die konservativste ist. Die Aufenthaltszeit bezieht sich auf Gartenflächen und Gebäude.

Es wurde unterschieden zwischen der Annahme, dass im Garten mit einer 5 mm Ascheschicht (Fall 1), mit einer 1 cm Ascheschicht (Fall 2) oder mit einer 5 cm Ascheschicht (Fall 3) gedüngt wird. Diese Werte beziehen sich auf den Ascheanteil in einer Bodenprobe mit 30 cm Tiefe und auf ein ganzes Jahr. In Fall 1 sind die 5 mm Asche 1/60 des Bodenprobenvolumens. In Fall 2 sind die 1 cm Asche 1/30 des Bodenprobenvolumens. In Fall 3 sind die 5 cm Asche 1/6 des Bodenprobenvolumens.

Die Dosisberechnung wurde durchgeführt für:

- Die höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen in Ascheproben (Fall a).

Die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs A_{Cs}^* (Max) (Formel 10) hatte die Holzpellet-Ascheprobe 20142688-024 mit 867 ± 68 Bq/kg. Die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr A_{Sr}^* (Max) (Formel 13) hatte die Holzbrikett-Ascheprobe 20142688-026 mit 1200 ± 180 Bq/kg.

- Die berechneten Aktivitätskonzentrationen aus Mittelwerten der Faktoren für Holzpellets: Es wurde die Holzpellet-Probe mit der höchsten gemessenen Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs verwendet. (Fall b)

Die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs A_{Cs} (Max) (Formel 2) hatte die Holzpellet-Probe 20142688-048 mit $8,36 \pm 0,78$ Bq/kg. Mit dem Mittelwerten $\overline{f_{Cs}}$ (Formel 28) und $\overline{f_{Sr}}$ (Formel 31) für die Holzpellets ergibt sich eine berechnete Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche von 2160 ± 260 Bq/kg und berechnete Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche von 3160 ± 420 Bq/kg.

- Die berechneten Aktivitätskonzentrationen aus Mittelwerten der Faktoren für Holzpellets: Es wurde der Mittelwert der gemessenen Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs für Holzpellets verwendet. (Fall c)

Der Mittelwert der gemessenen Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Holzpellets $\overline{A_{Cs}}$ (Formel 3) ist $2,155 \pm 0,049$ Bq/kg. Mit dem Mittelwerten $\overline{f_{Cs}}$ (Formel 28) und $\overline{f_{Sr}}$ (Formel 31) für die Holzpellets ergibt sich eine berechnete

Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in der Asche von 554 ± 47 Bq/kg und berechnete Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr in der Asche von 813 ± 85 Bq/kg.

Die Ergebnisse der Dosisabschätzung sind in Tabelle 1 dargestellt. Im Fall a mit den realen Messwerten liegt die Dosis in den Fällen 1 und 2 unter 1 mSv pro Jahr. Der Fall 3 mit einer 5 cm Ascheschicht liegt bei $0,95 \pm 0,14$ mSv/a. Die Annahme von einer 1 cm Ascheschicht im Jahr scheint hinreichend konservativ, da Konsumenten von übermäßiger Nutzung von Holzasche als Dünger aus mehreren Gründen abgeraten wird. Somit ist die Annahme von einer 5 cm Ascheschicht im Jahr als nicht realistisch anzusehen.

Tabelle 1: Dosisberechnungen für unterschiedliche Fälle.

Fall	a in mSv/a	b in mSv/a	c in mSv/a
1 (5 mm)	$0,099 \pm 0,015$	$0,259 \pm 0,033$	$0,0667 \pm 0,0066$
2 (1 cm)	$0,193 \pm 0,028$	$0,507 \pm 0,065$	$0,130 \pm 0,014$
3 (5 cm)	$0,95 \pm 0,14$	$2,49 \pm 0,33$	$0,640 \pm 0,066$

Der höchste Beitrag zur Dosis ist die Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel, welcher auf den beschriebenen Annahmen (verwendete Ascheschicht beim Düngen, Extrapolationen der Anreicherungsfaktoren) beruht. Im Zuge des Projekts wurden keine realen Lebensmittelproben, die mit Asche gedüngt wurden, gemessen. Es ist zu berücksichtigen, dass die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs im Allgemeinen nicht als Indikator für die Aktivitätskonzentration von ^{90}Sr genommen werden darf. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse von Fall b und c der Dosisabschätzung grobe Abschätzungen.

Abbildung 22 veranschaulicht, dass der Beitrag von ^{90}Sr zur Dosis deutlich größer ist als der Beitrag von ^{137}Cs . In den Beitrag von ^{90}Sr geht die konservative Annahme von den Höhen der Ascheschichten in einer Bodenprobe ein. Die Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden ist der kleinste Beitrag und aus diesem Grund in Abbildung 22 nicht ersichtlich (unter 1 %).

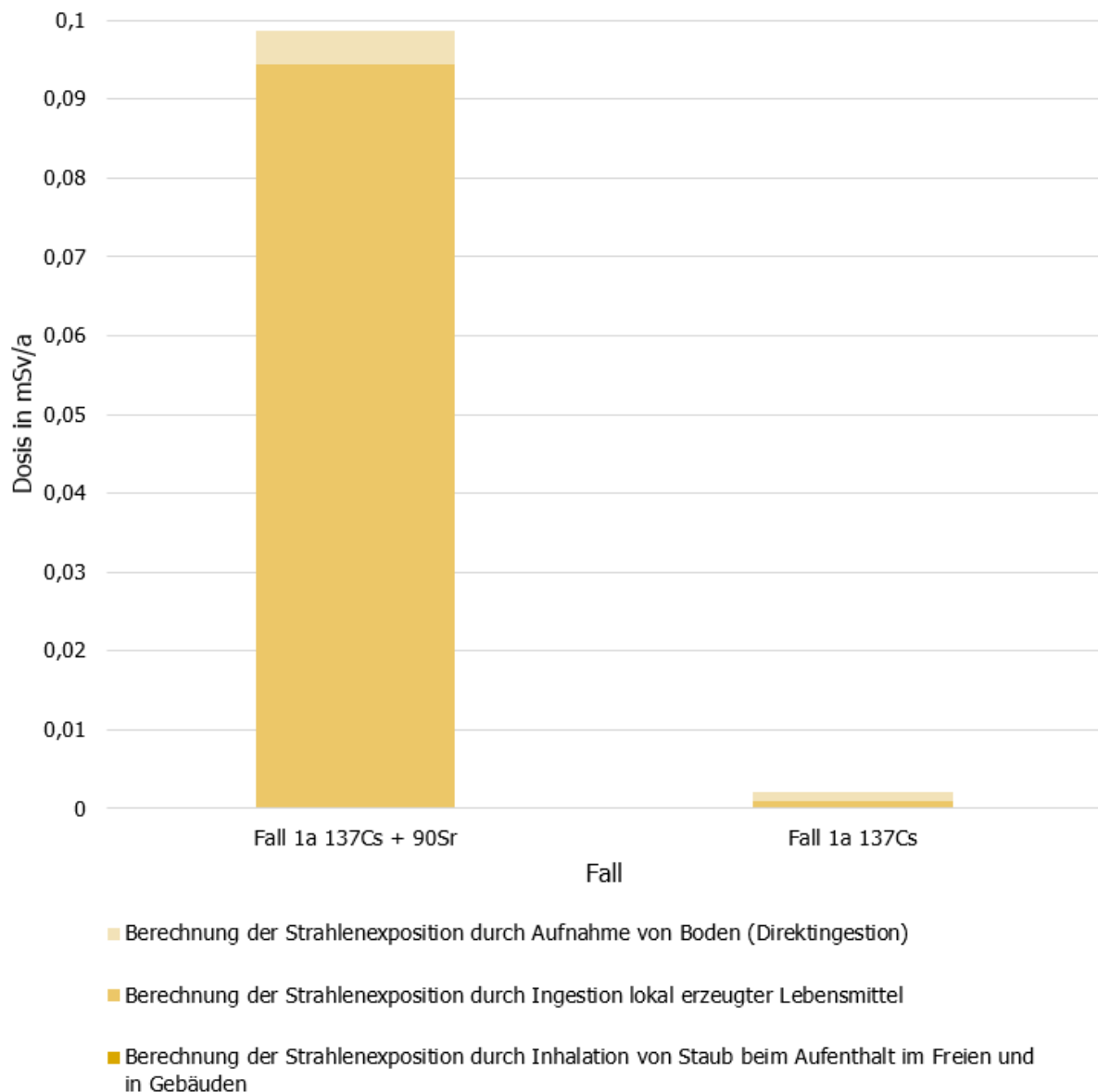


Abbildung 22 Berechnete Dosis für die höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen in Ascheproben (Fall a) mit einer 5 mm Ascheschicht (Fall 1). Einmal wurde der Beitrag von ^{90}Sr für die Dosisberechnung berücksichtigt und das andere Mal nicht.

9.1 Dosisabschätzung - Literaturwerte

In einer italienischen Studie aus dem Jahr 2015 wurde berechnet, dass in den Holzpellets eine Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs um die 1.200 Bq/kg vorliegen müsste, um eine Strahlenexposition durch Inhalation von 10 μSv pro Jahr zu bekommen.⁷²

Die Dosisberechnung einer Studie aus Litauen aus dem Jahr 2010 mit ihren höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs (9.800 Bq/kg) und ^{90}Sr (1.508 Bq/kg) ergab, dass die Bevölkerung in der Nähe eines Heizkraftwerkes keine höhere Dosis als 10 μSv pro Jahr abbekommt. Berücksichtigt wurden die Immersion und die Inhalation.⁷³

9.2 Relevanz für den Baustoffindex

Für die Berechnung des Baustoffindex werden die natürlichen Radionuklide ^{226}Ra , ^{232}Th und ^{40}K berücksichtigt. Die Berechnung bezieht sich auf den fertigen Baustoff. In der Baustoffproduktion werden Aschen nur in sehr geringen Prozentanteilen verwendet. Der Baustoffindex ist nicht eins zu eins auf die Aschen anwendbar. Je geringer der Aschegehalt von Holzbrennstoffen ist, desto höher ist die mögliche Anreicherung von Radionukliden in den Aschen. Größeres Augenmerk sollte auf die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr in den Pflanzenaschen gelegt werden, wenn sie für die Produktion von Baustoffen verwendet werden.

Im Ratgeber *The radioactivity of building materials and ash* der finnischen Radiation and Nuclear Safety Authority wird eine Berechnung eines Baustoffindexes unter Berücksichtigung des Radionuklids ^{137}Cs angeführt. Werden zum Beispiel dem Beton 120 kg/m^3 Asche beigemischt, ist eine Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs kleiner als 1.000 Bq/kg zulässig, damit eine Dosis von 0,1 mSv pro Jahr bedingt durch den Baustoff nicht überschritten wird.⁷⁴

⁷² Massimo Calabrese u. a., „Quality Characteristics and Radioactive Contamination of Wood Pellet Imported in Italy“, Nr. May (2015): 183–90.

⁷³ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, *EKOLOGIJA* 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

⁷⁴ STUKlex, „The Radioactivity of Building Materials and Ash, 17.12.2010,“ ST 12.2, accessed April 28, 2021, <https://www.stuklex.fi/en/ohje/ST12-2>.

10 Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung - Holzbrennstoffe

Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in den Holzbrennstoffproben liegen für zwei von 64 Proben unter der Nachweisgrenze (20142688-018: Holzpellet-Probe aus den USA für den Smoker, der für die Räucherung von Fleisch verwendet wird; 20142688-060: Hackschnitzel-Probe aus einem privatem Wald in Niederösterreich). Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in den restlichen 62 Holzbrennstoffproben variieren zwischen 0,33 und 8,36 Bq/kg. Die Messwerte für die verschiedenen Holzbrennstoffarten sind in derselben Größenordnung (Tabelle 2). Es wurden jeweils nur eine Holzscheit- und Holzbrikett-Probe gezogen und analysiert.

Tabelle 2: Minimal- und Maximalwerte der Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in Bq/kg für Holzbrennstoff-Proben.

	Min	Max
Holzpellets	0,46 ± 0,18	8,36 ± 0,78
Hackschnitzel	0,37 ± 0,14	5,22 ± 0,40
Holzscheite	0,327 ± 0,077	0,327 ± 0,077
Holzbriketts	3,03 ± 0,38	3,03 ± 0,38

Die Aktivitätskonzentrationen im Holz selbst weisen kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung auf und sind aus strahlenschutztechnischer Sicht unbedenklich.

Die Messwerte sind mit den gefundenen Literaturwerten vergleichbar. Erwähnenswert hierbei ist, dass Holz aus den kontaminierten Gebieten bedingt durch den Tschernobyl-Reaktorunfall (1986) (zum Beispiel Gebiete in Belarus und Lettland) eine höhere Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs aufweist, als die in diesem Projekt analysierten Holzbrennstoff-Proben.⁷⁵

⁷⁵ Rima Ladygienė u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, EKOLOGIJA 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

10.2 Zusammenfassung - Verbrennungsrückstände (Aschen)

Die Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs in dem Verbrennungsrückstand der Holzpellet-Probe aus den USA (20142688-018), welche für die Räucherung von Fleisch in einem Smoker verwendet wird, liegt unter der Nachweisgrenze (20142688-019: verkohlte Holzpellets). Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in den restlichen 21 Ascheproben variieren von 11 bis 867 Bq/kg. Die sechs Hackschnitzel-Ascheproben weisen Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs zwischen 11 und 219 Bq/kg auf. Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in den 13 Holzpellet-Ascheproben variieren von 195 bis 867 Bq/kg. Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in der Holzscheit-Ascheprobe liegt in dem Bereich der Hackschnitzel-Ascheproben. Die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs in der Holzbrikett-Ascheprobe liegt in dem Bereich der Holzpellet-Ascheproben. Holzbriketts sind vereinfacht ausgedrückt große, nicht gut gepresste, Holzpellets. Die Aktivitätskonzentrationen von ^{90}Sr variieren von 465 bis 1.200 Bq/kg. In Tabelle 3 sind die Bereiche der Aktivitätskonzentrationen aufgelistet. Wurde nur eine Ascheprobe für einen Rohstoff (Holzscheite, Holzbriketts) gezogen, gibt es nur einen Wert für die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs . Wurde nur eine (Hackschnitzel, Holzbriketts) bzw. keine (Holzscheite) Ascheprobe für einen Rohstoff auf die Aktivitätskonzentrationen von ^{90}Sr analysiert, wurde nur ein bzw. kein Wert angegeben.

Die gefundenen Literaturwerte sind in den meisten Fällen deutlich höher, da es sich vermehrt um Holz aus stärker kontaminierten Gebieten bedingt durch den Tschernobyl-Reaktorunfall (1986) (zum Beispiel Gebiete in Belarus und Lettland) handelt. Die Studie von Desideri u. a. (2012)⁷⁶ liefert vergleichbare Aktivitätskonzentrationen.

Tabelle 3: Minimal- und Maximalwerte der Aktivitätskonzentrationen in Bq/kg für Holzbrennstoff-Ascheproben.

	^{137}Cs Min	^{137}Cs Max	^{90}Sr Min	^{90}Sr Max
Holzpellet-Asche	195 ± 16	867 ± 68	465 ± 67	810 ± 120
Hackschnitzel-Asche	11,80 ± 0,87	219 ± 15	531 ± 77	531 ± 77
Holzscheit-Asche	113,7 ± 9,0	113,7 ± 9,0	/	/

⁷⁶ Donatella Desideri u. a., „Analytical methods for the determination of in Italy Sr in ash of fuel pellets used“, Microchemical Journal 103 (2012): 131–34.

	¹³⁷ Cs Min	¹³⁷ Cs Max	⁹⁰ Sr Min	⁹⁰ Sr Max
Holzbrikett-Asche	704 ± 55	704 ± 55	1200 ± 180	1200 ± 180

10.3 Zusammenfassung – Anreicherung der Radionuklide ¹³⁷Cs und ⁹⁰Sr in den Verbrennungsrückständen (Aschen)

Das Verhältnis von der Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs im Rohstoff (Holzpellets, Hackschnitzel, Holzscheite und Holzbriketts) f_{Cs} ist abhängig vom Holzbrennstoff (Tabelle 4).

Es wurde auch das Verhältnis der Aktivitätskonzentration von ⁹⁰Sr in der Asche zu der Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs in der Asche f_{Sr} bestimmt. Die Aktivitätskonzentration von ¹³⁷Cs kann im Allgemeinen nicht als Indikator für die Aktivitätskonzentration von ⁹⁰Sr herangezogen werden. Die Radionuklide können einen unterschiedlichen Ursprung (globaler Fallout für ⁹⁰Sr, Tschernobyl für ¹³⁷Cs) haben. Auch die Aufnahmen von Cäsium und Strontium in Pflanzen unterscheiden sich. So ist Strontium im Boden leicht pflanzenverfügbar, doch die Aufnahme von Cäsium wird durch Kalium im Boden gehemmt.⁷⁷

In Tabelle 4 sind die Minimal- und Maximalwerte der Faktoren ersichtlich. Wurde nur eine bzw. keine Ascheprobe für einen Rohstoff analysiert, wurde nur ein bzw. kein Wert angegeben.

Tabelle 4: Minimal- und Maximalwerte für die berechneten Faktoren

	$f_{Cs} (Min)$	$f_{Cs} (Max)$	$f_{Sr} (Min)$	$f_{Sr} (Max)$
Holzpellets	88 ± 16	580 ± 240	0,80 ± 0,14	2,08 ± 0,35
Hackschnitzel	21,5 ± 5,3	99 ± 39	2,42 ± 0,39	2,42 ± 0,39
Holzscheite	348 ± 87	348 ± 87	/	/

⁷⁷ Niederösterreichischer Zivilschutzverband, "Auswirkungen Auf Die Landwirtschaft," accessed April 30, 2021, <https://www.noezsv.at/noe/pages/startseite/zivilschutz-themen-a---z/kkw-unfall/auswirkungen-landwirtschaft.php>.

	$f_{Cs} (Min)$	$f_{Cs} (Max)$	$f_{Sr} (Min)$	$f_{Sr} (Max)$
Holzbrikett	232 ± 35	232 ± 35	1,70 ± 0,29	1,70 ± 0,29

Der Faktor f_{Sr} wurde für die Dosisberechnungen verwendet, doch das Verhältnis von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Holz ist um einiges komplexer. So sind im Allgemeinen genauere Informationen über die Herkunft, das Alter und die Art des Holzes notwendig, um einen aussagekräftigen Nuklidvektor bilden zu können. Auch innerhalb eines Baumes ist das Radionuklid ^{137}Cs nicht homogen verteilt. So reichert sich zum Beispiel ^{137}Cs vor allem in den wachsenden Baumteilen wie den Blättern, den Nadeln, den Ästen und den äußeren Schichten an.⁷⁸ Die gefundenen Verhältnisse in der Literatur variieren auch stark.

10.4 Zusammenfassung - Dosisabschätzung

Die Dosisabschätzungen auf Basis der höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr waren für die konservativ gewählten Düngemaßnahmen unter 1 mSv/a für die Allgemeinbevölkerung. Für den Fall, dass mit 1 cm Asche gedüngt wird, ergibt sich mit den höchsten gemessenen Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr eine Dosis von $0,193 \pm 0,028$ mSv/a. Für berechnete Aktivitätskonzentration von ^{137}Cs und ^{90}Sr beruht die Dosisabschätzung auf einigen Annahmen (verwendete Ascheschicht beim Düngen, Extrapolationen der Anreicherungsfaktoren) und ist bis auf die Rechnung mit den maximalen Faktoren (= Verhältnissen) sowie einer 5 cm Ascheschicht im Boden ebenfalls unter 1 mSv/a. Die Annahme von einer 1 cm Ascheschicht im Jahr scheint hinreichend konservativ, da Konsumenten von übermäßiger Nutzung von Holzasche als Dünger aus mehreren Gründen abgeraten wird. Somit ist die Annahme von einer 5 cm Ascheschicht im Jahr als nicht realistisch anzusehen.

Die gefundenen Dosisabschätzungen in der Literatur berücksichtigen nicht die Strahlenexposition durch Ingestion und sind aus diesem Grund nur bedingt vergleichbar mit den durchgeführten Dosisabschätzungen dieses Projekts.

⁷⁸ umweltanalysen.com, „Holz und Pellets → radioaktive Strahlenbelastung und Cäsium 137 Messwerte“, zugegriffen 9. Dezember 2020, <https://www.umweltanalysen.com/radioaktivitaet/holz-pellets-asche/>

10.5 Ausblick

Um eine genauere Einschätzung der Relevanz von den Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr für den Baustoffindex zu bekommen, sind weiterführende Studien notwendig. Aus derzeitiger Sicht sind die Aktivitätskonzentrationen von ^{137}Cs und ^{90}Sr in Baustoffen bedingt durch die Beimengung von Pflanzenaschen während der Produktion im Vergleich zu den natürlichen Aktivitätskonzentrationen von zum Beispiel ^{40}K vernachlässigbar. Im Bedarfsfall kann der Ratgeber *The radioactivity of building materials and ash* der finnischen Radiation and Nuclear Safety Authority herangezogen werden.

Sollten in Zukunft Holzpellets auch für Verbrennungsanlagen eingesetzt werden, muss der höhere Anreicherungsfaktor in den Aschen im Vergleich zu Hackschnitzeln bedacht werden. Es fällt zwar mengenmäßig weniger Asche bei der Verbrennung von Holzpellets an, doch im Allgemeinen ist die Konzentration der Radionuklide ^{137}Cs und ^{90}Sr höher (Erkenntnisse aus den 22 beprobten Verbrennungsrückständen im Zuge dieses Projekts, Studie von Ladygiené u. a. (2010)⁷⁹). In diesem Fall ist zu evaluieren, ob Tätigkeitsbereiche mit Pflanzenaschen in das Regime des StrSchG 2020 aufzunehmen sind.

Gemäß Auskunft von Holzexperten wird den Holzpellet-Konsumenten schon zurzeit davon abgeraten, die Holzpellet-Asche in den Garten oder sogar auf ein Beet zu streuen.^{80 81} In den Aschen reichern sich neben den Radionukliden die nicht brennbaren Mineralstoffe, Salze sowie Schwermetalle an.

Die Information zur Entsorgung von Holzpellet-Aschen soll für die österreichischen Holzpellet-Konsumenten präsen-ter im Internet abrufbar sein. Dies wird mit den Kontaktpersonen des Instituts für Bioenergie sowie der Holzforschung Austria besprochen und eine Umsetzung wird angestrebt.

Die Aktivitätskonzentrationen, der im Rahmen dieses Projekts analysierten Proben, variieren zwischen 0,33 und 8,36 Bq/kg im Rohstoff Holz und zwischen 11 und 1200 Bq/kg in den Verbrennungsrückständen (Aschen).

⁷⁹ Rima Ladygiené u. a., „Radiological investigation of wood used for combustion“, *EKOLOGIJA* 56, Nr. 3 (2010): 87–93.

⁸⁰ Energie-umwelt.ch, „Saison-Tipps - Nicht jede Asche lässt sich im Garten verwenden“, zugegriffen 29. April 2021, <https://www.energie-umwelt.ch/saison-tipps/1423-nicht-jede-asche-laesst-sich-im-garten-verwenden>.

⁸¹ MIGROL, „Asche-Entsorgung von Holzpellets,“ accessed April 29, 2021, <https://www.migrol.ch/de/energie-wärme/service-wartung/ofenasche-entsorgung/>.

In der österreichischen Bevölkerung kam es im Jahr 2020 durch die Waldbrände in der Ukraine zu einem erhöhten Bewusstsein zur Radioaktivität in Holz. Dies zeichnete sich auch durch erhöhte Anfragen diesbezüglich in der AGES ab.

Um einen umfangreicheren Überblick über die Aktivitätskonzentrationen in Holzbrennstoffen in Österreich zu bekommen, wird vorgeschlagen ein weiterführendes Screening-Projekt durchzuführen. Über die Jahre können so umfassende Daten über die Biomasse-Aschen in privaten Haushalten und der Industrie erlangt werden. Die Aschen können neben den künstlichen Radionukliden ^{137}Cs und ^{90}Sr auch auf natürliche Radionuklide analysiert werden. So hat zum Beispiel Kalium (messbar ist das Radionuklid ^{40}K) fördernde Wirkung auf die Pflanze und wird in Pflanzendüngern verwendet.

Anhang

Rohdaten

Tabelle 5: Rohdaten

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-001	30.11.2020	Holzpellets		<0,48	2,26 ± 0,37	
20142688-002	04.12.2020	Holzpellets		<0,50	2,09 ± 0,35	
20142688-003	04.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-002 Pellets	<2,7	413 ± 33	644 ± 93
20142688-004	03.12.2020	Holzpellets		<0,57	1,18 ± 0,34	
20142688-005	03.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-004 Pellets	<2,5	405 ± 32	465 ± 67
20142688-006	08.12.2020	Holzpellets		<0,41	2,95 ± 0,32	
20142688-007	08.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-006 Pellets	<2,4	398 ± 32	785 ± 81
20142688-008	10.12.2020	Holzpellets		<0,43	0,94 ± 0,26	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-009	10.12.2020	Holzpellets		<0,57	2,06 ± 0,34	
20142688-010	10.12.2020	Holzpellets		<0,50	1,67 ± 0,31	
20142688-011	10.12.2020	Holzpellets		<0,51	2,44 ± 0,37	
20142688-012	10.12.2020	Holzpellets		<0,38	1,11 ± 0,21	
20142688-013	10.12.2020	Holzpellets		<0,54	1,88 ± 0,37	
20142688-014	10.12.2020	Holzpellets		<0,35	0,46 ± 0,18	
20142688-015	10.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-014 Pellets	<6,1	267 ± 22	530 ± 77
20142688-016	13.12.2020	Holzpellets		<0,54	2,53 ± 0,38	
20142688-017	13.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-016 Pellets	<3,0	223 ± 18	
20142688-018	15.12.2020	Holzpellets		<0,47	<0,47	
20142688-019	15.12.2020	verkohlte Holzpellets	20142688-018 Pellets	<0,78	<0,80	
20142688-020	15.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-064 Pellets	<1,9	390 ± 31	810 ± 120
20142688-021	30.12.2020	Holzpellets		<0,50	2,62 ± 0,37	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-022	30.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-021 Pellets	<2,4	338 ± 27	
20142688-023	29.12.2020	Holzpellets		<0,48	2,77 ± 0,40	
20142688-024	29.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-023 Pellets	<1,8	867 ± 68	690 ± 100
20142688-025	02.02.2021	Holzbriketts		<0,42	3,03 ± 0,38	
20142688-026	02.02.2021	Holzbriketts- Asche	20142688-025 Briketts	<3,9	704 ± 55	1200 ± 180
20142688-027	12.01.2021	Holzpellets		<0,48	0,65 ± 0,26	
20142688-028	12.01.2021	Holzpellets		<0,41	2,10 ± 0,28	
20142688-029	12.01.2021	Holzpellets		<0,39	0,69 ± 0,21	
20142688-030	12.01.2021	Holzpellets		<0,61	2,15 ± 0,36	
20142688-031	12.01.2021	Holzpellets		<0,48	1,15 ± 0,27	
20142688-032	12.01.2021	Holzpellets		<0,46	0,60 ± 0,25	
20142688-033	12.01.2021	Holzpellets		<0,38	3,59 ± 0,37	
20142688-034	12.01.2021	Holzpellets		<0,50	3,76 ± 0,46	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-035	12.01.2021	Holzpellets		<0,39	0,92 ± 0,22	
20142688-036	12.01.2021	Holzpellets		<0,51	2,61 ± 0,39	
20142688-037	12.01.2021	Holzpellets		<0,60	2,47 ± 0,48	
20142688-038	12.01.2021	Holzpellets		<0,49	2,29 ± 0,35	
20142688-039	12.01.2021	Holzpellets		<0,53	1,79 ± 0,36	
20142688-040	12.01.2021	Holzpellets		<0,45	2,63 ± 0,36	
20142688-041	12.01.2021	Holzpellets		<0,40	5,39 ± 0,47	
20142688-042	12.01.2021	Holzpellets		<0,63	2,21 ± 0,36	
20142688-043	12.01.2021	Holzpellets		<0,51	2,68 ± 0,39	
20142688-044	12.01.2021	Holzpellets		<0,53	2,28 ± 0,36	
20142688-045	12.01.2021	Holzpellets		<0,47	1,51 ± 0,31	
20142688-046	12.01.2021	Holzpellets		<0,53	1,68 ± 0,34	
20142688-047	12.01.2021	Holzpellets		<0,54	1,04 ± 0,30	
20142688-048	12.01.2021	Holzpellets		<0,52	8,36 ± 0,78	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-049	12.01.2021	Holzpellets		<0,53	1,17 ± 0,33	
20142688-050	12.01.2021	Holzpellets		<0,51	1,66 ± 0,43	
20142688-051	12.01.2021	Holzpellets		<0,55	1,72 ± 0,35	
20142688-052	20.12.2020	Holzpellets		<0,48	2,74 ± 0,37	
20142688-053	20.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-052 Pellets	<2,1	692 ± 54	560 ± 110
20142688-054	20.12.2020	Hackschnitzel		<0,25	2,27 ± 0,24	
20142688-055	20.12.2020	Hackschnitzel- Asche	20142688-054 Hackschnitzel	<1,3	194 ± 13	
20142688-056	22.01.2021	Holzpellets		<0,38	1,77 ± 0,25	
20142688-057	22.01.2021	Holzpellets-Asche	20142688-056 Pellets	<3,0	356 ± 28	
20142688-058	29.12.2020	Holzpellets		<0,41	1,23 ± 0,23	
20142688-059	29.12.2020	Holzpellets-Asche	20142688-058 Pellets	<1,7	195 ± 16	
20142688-060	25.01.2021	Hackschnitzel		<0,20	<0,19	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-061	25.01.2021	Hackschnitzel- Asche	20142688-060 Hackschnitzel	<1,2	11,80 ± 0,87	
20142688-062	26.01.2021	Hackschnitzel		<0,24	0,37 ± 0,14	
20142688-063	26.01.2021	Hackschnitzel- Asche	20142688-062 Hackschnitzel	<1,5	36,8 ± 3,0	
20142688-064	08.02.2021	Holzpellets		<0,54	1,99 ± 0,34	
20142688-065	12.02.2021	Holzpellets		<0,50	1,83 ± 0,35	
20142688-066	12.02.2021	Holzpellets		<0,52	3,10 ± 0,42	
20142688-067	12.02.2021	Holzpellets		<0,52	2,30 ± 0,35	
20142688-068	12.02.2021	Holzpellets		<0,56	1,12 ± 0,33	
20142688-069	12.02.2021	Holzpellets		<0,48	3,81 ± 0,44	
20142688-070	12.02.2021	Holzpellets		<0,64	2,19 ± 0,41	
20142688-071	12.02.2021	Holzpellets		<0,54	2,27 ± 0,37	
20142688-072	12.02.2021	Holzpellets		<0,57	1,26 ± 0,32	
20142688-073	12.02.2021	Holzpellets		<0,51	2,29 ± 0,35	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
20142688-074	01.04.2021	Holzscheid-Asche	20142688-075 Holzscheite	<2,3	113,7 ± 9,0	
20142688-075	01.04.2021	Holzscheite		<0,14	0,327 ± 0,077	
20147890-001	10.12.2020	Holzpellets		<0,16	1,58 ± 0,15	
20147890-002	10.12.2020	Holzpellets-Asche	20147890-001 Pellets	<1,1	372 ± 30	
20147890-003	18.12.2020	Hackschnitzel		<0,23	5,22 ± 0,40	
20147890-004	18.12.2020	Hackschnitzel- Asche	20147890-003 Hackschnitzel	<0,38	219 ± 15	531 ± 77
20147890-005	05.02.2021	Hackschnitzel		<0,19	0,75 ± 0,15	
20147890-006	05.02.2021	Hackschnitzel- Asche	20147890-005 Hackschnitzel	<0,37	18,4 ± 1,3	
21009585-001	29.01.2021	Holzpellets		<0,10	2,93 ± 0,25	
21009585-002	29.01.2021	Holzpellets-Asche		<1,6	386 ± 31	532 ± 77
21009585-003	29.01.2021	Hackschnitzel		<0,16	1,02 ± 0,11	
21009585-004	29.01.2021	Hackschnitzel- Asche		<0,82	56,0 ± 3,9	

Proben- Nummer	Probenahme- datum	Beschreibung	Verknüpfungen	¹³⁴ Cs in Bq/kg	¹³⁷ Cs in Bq/kg	⁹⁰ Sr in Bq/kg
21019865-001	19.02.2021	Holzpellets		<0,56	2,03 ± 0,38	

Berechnungen mit ermittelten Faktoren

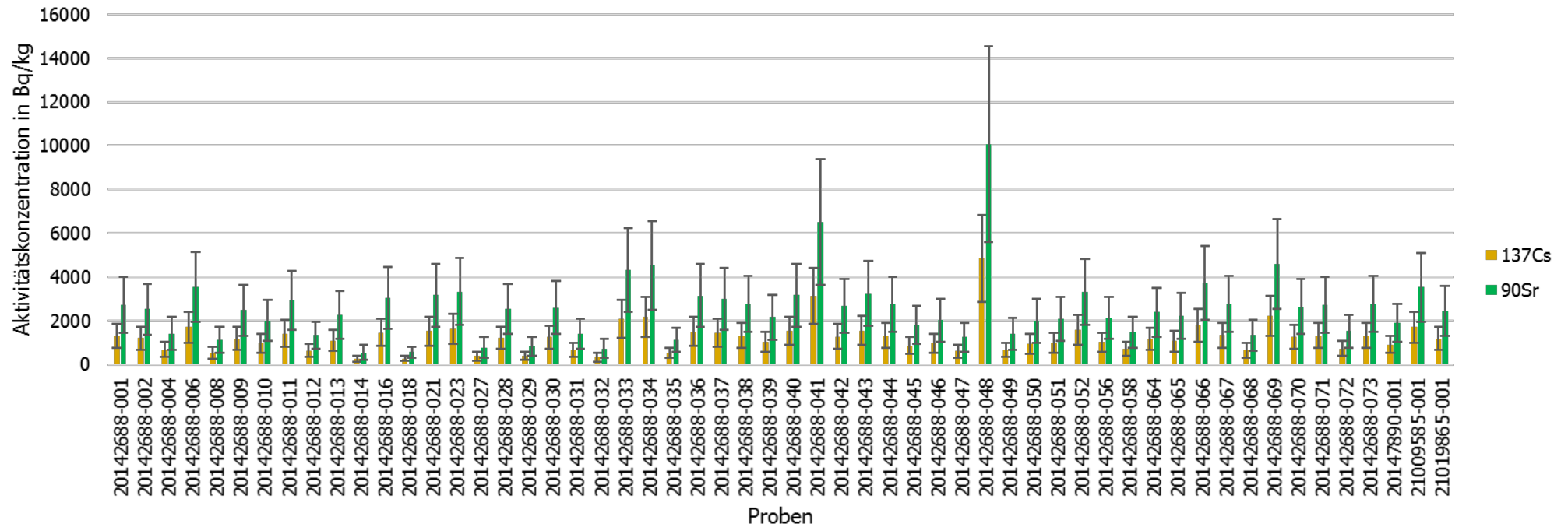


Abbildung 23 Aktivitätskonzentrationen in den Holzpellet-Aschen mit den Maximalwerten berechnet.

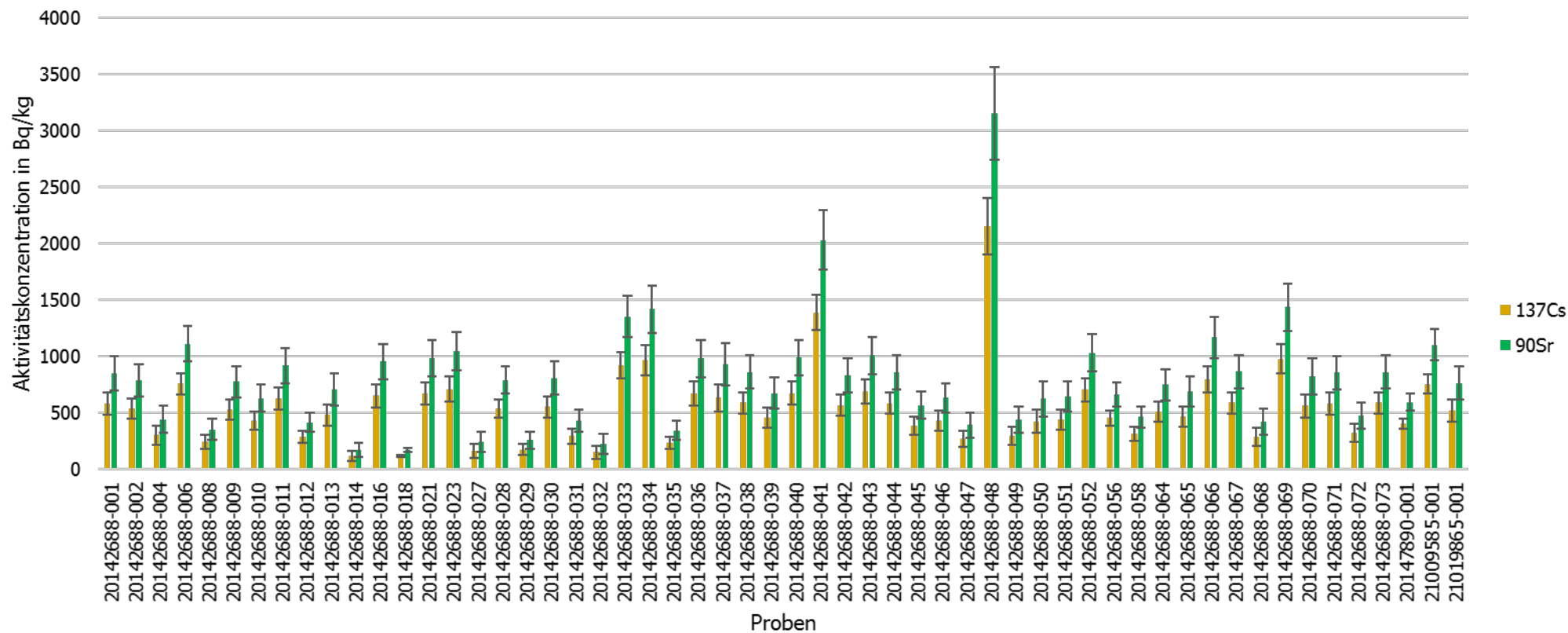


Abbildung 24 Aktivitätskonzentrationen in den Holzpellet-Aschen mit den Mittelwerten berechnet.



GESUNDHEIT FÜR MENSCH, TIER & PFLANZE

www.ages.at