

12 RADIOAKTIVE STOFFE IN ABWASSER, KLÄRSCHLAMM UND ABFÄLLEN

P. Hofmann, K. Schmidt, C. Wittwer

Bundesamt für Strahlenschutz

Leitstelle für Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Abfälle und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen (Leitstelle H)

Radioaktive Stoffe in Abfällen

Abfälle fallen bei vielen häuslichen, kommunalen und gewerblichen einschließlich industriellen Tätigkeiten an. Bevor ein Teil dieser Abfälle auf einer Deponie gelagert werden kann, muss aus abfallrechtlicher Sicht geprüft werden, ob eine vorherige Behandlung (z. B. thermische Verwertung von Hausmüll, Kompostierung organischer Abfälle) oder eine Rückführung der Stoffe (z. B. Bauschutt, Glas, Metallschrott) oder einzelner Bestandteile in den Stoffkreislauf möglich ist. Demnach schließt in diesem Kontext der Begriff „Abfälle“ sowohl die Abfälle zur Beseitigung als auch die wiederzuverwertenden Reststoffe gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz mit ein. Bei der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder (§ 162 StrlSchG) werden nur solche Abfälle berücksichtigt, die von radioökologischer Bedeutung sein können. In diesem Zusammenhang werden entsprechend des Routinemessprogramms (der AVV IMIS) in Deutschland Proben folgender Medien untersucht:

- Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien,
- Asche, Schlacke, feste und flüssige Rückstände aus Rauchgasreinigungen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie
- in den Handel gelangender Kompost aus Kompostierungsanlagen.

Im Wesentlichen werden an diesen Medien gammaspektrometrische Untersuchungen vorgenommen und hierbei z. B. die Aktivitätskonzentration bzw. spezifische Aktivität von ^{137}Cs , ^{131}I , ^{40}K bestimmt. Im Sickerwasser und in oberflächennahem Grundwasser von Deponien wird darüber hinaus auch die Aktivitätskonzentration Tritium (^3H) gemessen.

Tabellen mit Messwerten von ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{131}I und Tritium in den überwachten Medien sind exemplarisch für das Jahr 2020 im Jahresbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV [23] enthalten.

Tritium im Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien stammt vor-

wiegend aus Altlasten der Uhren- und Gerätefertigung. Die Aktivitätskonzentrationen von Tritium in den untersuchten Proben lagen in den Jahren 2020 bis 2022 zwischen 1,2 Bq/l und 210 Bq/l; die Mediane bei 14 Bq/l bis 17 Bq/l. In 33 % der untersuchten Proben von Hausmülldeponien wurden in den Berichtsjahren 2020 bis 2022 ^{137}Cs nachgewiesen. Die Aktivitätskonzentrationen lagen zwischen 0,003 Bq/l und 0,22 Bq/l; die Größenordnung der berechneten Mediane blieb mit <0,042 Bq/l (2020), 0,04 Bq/l (2021) und <0,04 Bq/l (2022) relativ unverändert.

In einem Teil der Abfall- und Reststoffproben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid ^{131}I , vereinzelt auch ^{177}Lu , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{75}Se und ^{111}In nachgewiesen werden. Für ^{131}I reichen die Messwerte beispielsweise für das Medium Flugasche/Filterstaub von 0,2 Bq/kg TM bis 170 Bq/kg TM in den Jahren 2020 bis 2022. Die dazugehörigen Mediane sind jedoch vergleichbar niedrig und stabil mit <0,74 Bq/kg TM bis <1,0 Bq/kg TM. Für die spezifischen Aktivitäten des natürlich vorkommenden Nuklids ^{40}K wurden in diesem Zeitraum für Flugasche/Filterstaub Messwerte im Bereich von 290 Bq/kg TM bis 5200 Bq/kg TM berichtet.

Messwerte für ^{60}Co wurden ausschließlich für das Berichtsjahr 2020 von zwei Proben der Verbrennungsanlage Ingolstadt mit 0,97 Bq/kg TM und 2,6 Bq/kg TM übermittelt. Alle weiteren Untersuchungen ergaben das Ergebnis „kleiner Nachweisgrenze“. Im Routinemessprogramm ist eine Nachweisgrenze von 5 Bq/kg TM bezogen auf ^{60}Co gefordert.

Der Gehalt von ^{137}Cs in Reststoffen und Abfällen stammt weiterhin im Wesentlichen aus dem Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im Jahr 1986. Dies kommt, wie auch bei Klärschlamm, durch höhere Werte östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell – Eichstätt – Regensburg – Zwiesel im Vergleich zur übrigen Bundesrepublik Deutschland zum Ausdruck. Da eine regionale Abhängigkeit aufgrund der geringen Menge an Datenpunkten im südlichen Raum jedoch nicht valide zu stützen ist, werden in der Auswertung nur die Daten des gesamten Bundesgebietes betrachtet. Die Mediane der spezifischen Aktivität

für Flugasche/Filterstaub aus Verbrennungsanlagen lagen in den Jahren 2020, 2021 und 2022 bei 16 Bq/kg TM, 16 Bq/kg TM und 15 Bq/kg TM.

Die Untersuchung des Kompostes ergab für ^{137}Cs spezifische Aktivitäten zwischen 1,0 Bq/kg TM und 40 Bq/kg TM in den zu betrachtenden Berichtszeitraum. Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Inwiefern dieser zusätzlich aufgebrauchte Kompost zu einer signifikanten Erhöhung der ^{137}Cs -Aktivität führt, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) hat im Vergleich zur vorherig gültigen Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung den Transferfaktor Boden/Pflanze für Cäsium von 0,05 auf 0,01 abgesenkt. Vorausgesetzt, eine Pflanze würde auf einem Boden nur bestehend aus dem maximal mit ^{137}Cs angereicherten Kompost von 40 Bq/kg TM angepflanzt werden, so würde das nach den Vorgaben der AVV Tätigkeiten zu einer Aktivitätskonzentration in der Pflanze von bis zu 0,4 Bq/kg FM führen. Berechnet man die Dosis anhand der maximal aufgenommenen Aktivitätskonzentration von 0,4 Bq/kg FM in der Pflanze (Annahme: Wurzelgemüse, Kartoffel, Säfte, mittlere Verzehrsmengen) für die Altersgruppe <1 a und den Erwachsenen (>17 a) würde man Werte von 0,76 $\mu\text{Sv/a}$ und 0,86 $\mu\text{Sv/a}$ erhalten, welche deutlich unterhalb des Dosisgrenzwertes von 1 mSv/a liegen. Somit würde die Nutzung des Kompostes bzw. der Verzehr des angebauten Produktes keine gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung darstellen.

Radioaktive Stoffe in Abwasser und Klärschlamm

Im Rahmen der Überwachung der Umweltradioaktivität nach dem StrlSchG werden gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die bei der biologischen Abwasserreinigung in Kläranlagen anfallende Klärschlämme untersucht. Die Messwerte für Klärschlämme beziehen sich dabei vorzugsweise auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen bzw. in die Klärschlammverbrennung gegeben werden, z. B. auf teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme. Abwässer und Klärschlämme sind

radioökologisch von besonderer Bedeutung, da sich in der Umwelt befindliche künstliche und natürliche Radionuklide dort sehr stark anreichern können. Das Routinemessprogramm der AVV IMIS sieht die Überwachung von etwa 90 Abwasserreinigungsanlagen in Deutschland vor. Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen, bei denen z.B. Aktivitäten der Nuklide ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{40}K , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ identifiziert werden können. Darüber hinaus werden über radiochemische Verfahren die Aktivitäten von ^{90}Sr sowie Plutonium- und Uranisotopen bestimmt.

In Tabelle 12.1 sind die Daten der amtlichen Messstellen der Bundesrepublik Deutschland für die Berichtsjahre 2020 bis 2022 zusammengestellt (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{131}I , ^{90}Sr sowie ^{234}U , ^{235}U und ^{238}U). Angegeben werden jeweils die Gesamtanzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit dem Ergebnis kleiner Nachweisgrenze (NWG) sowie der kleinste und größte bestimmte tatsächliche Messwert. Um einen besseren Überblick über die Entwicklung der Datenlage zu erhalten, ist zusätzlich der für jedes Berichtsjahr berechnete nuklidspezifische Median in der Tabelle dokumentiert. Für dessen Kalkulation wird das Ergebnis kleiner Nachweisgrenze gleichrangig mit dem Zahlenwert der erreichten Nachweisgrenze wie ein tatsächlicher Messwert berücksichtigt. Für die Daten aus dem Jahr 2020 wird zusätzlich auf den bereits veröffentlichten Jahresbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV [23] verwiesen.

Die Radionuklide ^{40}K , ^{234}U , ^{235}U und ^{238}U sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die jeweilige Aktivitätskonzentration bzw. spezifische Aktivität in Abwasser und Klärschlamm variiert in Abhängigkeit von regionalen geologischen Gegebenheiten. Die Ergebnisse für ^{40}K , ^{234}U , ^{235}U und ^{238}U aus den Jahren 2020 bis 2022 sind miteinander vergleichbar und stimmen auch mit den Ergebnissen der vorangegangenen Jahre gut überein.

In einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben wurde das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte ^{131}I bestimmt, in Einzelfällen auch $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{75}Se , $^{177\text{m}}\text{Lu}$ und ^{177}Lu . Die Messwerte für ^{131}I im Klärschlamm lagen im Berichtszeitraum zwischen 0,26 Bq/kg TM und 2300 Bq/kg TM; die jeweiligen Mediane sind miteinander vergleichbar. Für vereinzelte Klärschlammproben der Anlagen Hamburg-Köhlbrandhöft, Arnsberg, Meerbusch, München I und Saarbrücken wurden im Berichtszeitraum 2020 bis 2022 auch Messwerte für die Plutoniumisotope ^{238}Pu und $^{239}/$

^{240}Pu übermittelt. Der höchste Plutoniummesswert im zu betrachtenden Berichtszeitraum wurde in einer Klärschlammprobe der Anlage Saarbrücken mit 2,3 Bq/kg TM (Nachweisgrenze 3,2 Bq/kg TM) für ^{238}Pu bestimmt.

Von den während der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1980 und des Kernkraftwerkunfalls in Tschornobyl 1986 mit dem Fallout in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten sind in den Abwässern und Klärschlämmen nur noch die langlebigen Leuklide ^{137}Cs und ^{90}Sr nachweisbar.

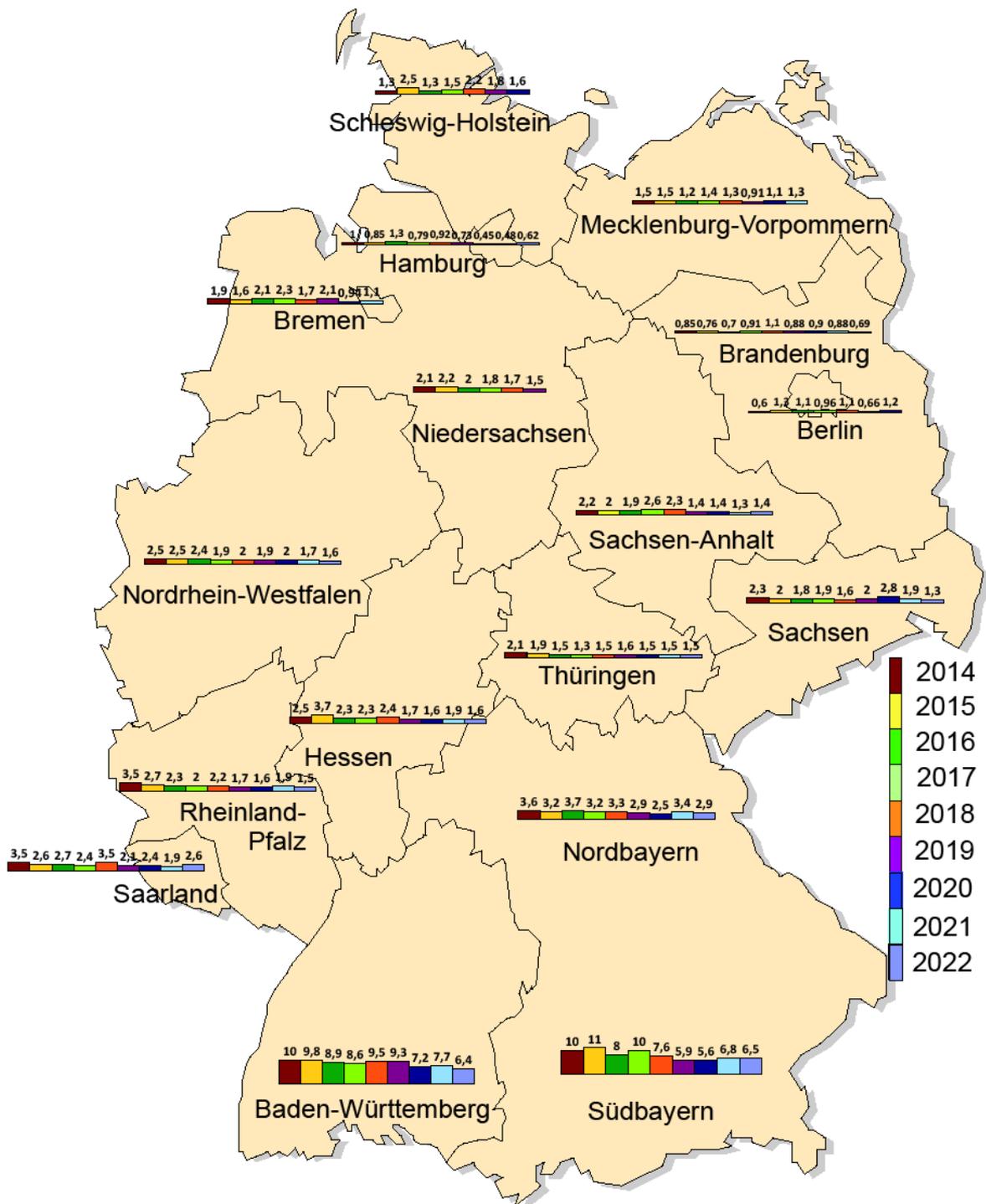
Im Berichtszeitraum 2020 bis 2022 wurden als Ergebnis für ^{137}Cs im Abwasser zu 99 % „kleiner Nachweisgrenze“ angegeben. Die jeweils erreichten Nachweisgrenzen lagen dabei deutlich unterhalb der im Routinemessprogramm geforderten Nachweisgrenze von 0,1 Bq/l (bezogen auf ^{60}Co). Die wenigen für ^{137}Cs ermittelten Messwerte lagen in den zu betrachtenden Berichtsjahren zwischen 0,023 Bq/l und 0,16 Bq/l. In ca. 50 % der Abwasserproben wurde ^{90}Sr nachgewiesen. Mit einer Ausnahme liegen aber alle übermittelten Aktivitätskonzentrationen unter der geforderten Nachweisgrenze für die ^{90}Sr -Bestimmung von 0,1 Bq/l des Routinemessprogramms. In einer Probe aus der Anlage Saarbrücken wurde im Berichtsjahr 2020 ein Messwert mit 0,18 Bq/l angegeben, wobei die bei der Messung erreichte Nachweisgrenze 0,36 Bq/l betrug.

In den untersuchten Klärschlämmen variiert die Höhe der ^{137}Cs -Kontamination auf Grund des regional unterschiedlichen Eintrags deutlich. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell – Eichstätt – Regensburg – Zwiesel treten in diesen Gebieten auch heute die höchsten spezifischen Aktivitäten auf. Gemäß dieser Trennlinie sind die Werte in der Tabelle 12.1 für die nördliche und die südliche Bundesrepublik zusätzlich aufgeschlüsselt. Die Maximalwerte der spezifischen Aktivitäten (Jahresmittelwerte) zeigten 2020 bis 2022 – wie in den Vorjahren – die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 20 Bq/kg TM, 22 Bq/kg TM und

20 Bq/kg TM, wobei es festzuhalten gilt, dass im Jahr 2000 der Jahresmittelwert für ^{137}Cs in dieser Kläranlage noch 140 Bq/kg TM betrug.

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte für die spezifische ^{137}Cs -Aktivität der Klärschlämme der einzelnen Bundesländer (Jahresmittelwerte) seit 2015 ist in Abbildung 12.1 dargestellt. Die bisherige Tendenz zur Abnahme der Kontamination der Klärschlämme ist nur noch schwach ausgeprägt. Diese Entwicklung ist auch in den höher kontaminierten Gebieten wie z. B. im südlichen Bayern zu erkennen. Lag im Jahr 1988 der ^{137}Cs -Jahresmittelwert noch bei 970 Bq/kg TM, so schwanken die mittleren spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm in dieser Region seit 2018 zwischen 5,6 Bq/kg TM und 6,8 Bq/kg TM. Auf Grund dieses inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveaus der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen hauptsächlich durch die messtechnisch bedingten Unsicherheiten und die natürliche Heterogenität der Proben erklärbar.

Zur Einordnung und Bewertung der ermittelten Klärschlammkontamination kann die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme betrachtet werden. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 22 Bq/kg TM (höchster Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim in den zu betrachtenden Berichtsjahren 2020 bis 2022) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (Werte gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von etwa 4 Bq/m^2 ^{137}Cs . Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet entsprechenden Kläranlage typischerweise vorhandenen Flächenkontamination von ca. 15000 Bq/m^2 ^{137}Cs eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,05 %. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche Aufstockung des ^{137}Cs -Inventars durch den radioaktiven Zerfall des bereits im Boden befindlichen Inventars in der Höhe von 2,3 % pro Jahr um ein Vielfaches kompensiert wird.



Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz

Abbildung 12.1
 Der zeitliche Verlauf der Kontamination von Klärschlamm mit ¹³⁷Cs in Bq/kg Trockenmasse
 (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)

Tabelle 12.1
Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm 2020 - 2022

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Median ¹			
		gesamt	<NWG			2020	2021	2022	
		2020 - 2022				2020	2021	2022	
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)									
	⁴⁰ K	1085	464	0,1	15	0,96	<0,91	0,92	
	⁶⁰ Co	1085	1085	-	-	<0,034	<0,034	<0,039	
	¹³¹ I	1035	736	0,0081	3,2	<0,1	<0,097	<0,095	
	¹³⁷ Cs	1085	1081	0,023	0,16	<0,033	<0,036	<0,041	
	⁹⁰ Sr	203	100	0,0007	0,18	<0,0078	<0,006	0,0073	
	²³⁴ U	214	67	5,7E-05	0,074	0,0028	0,0043	0,0031	
	²³⁵ U	214	185	1,0E-05	0,0029	<0,00093	<0,00082	<0,00088	
	²³⁸ U	214	72	5,7E-05	0,04	<0,0019	0,0031	0,0025	
Klärschlamm (Bq/kg TM)									
	⁴⁰ K	1154	6	30	1300	120	120	120	
	⁶⁰ Co	1154	1153	-	0,12	<0,65	<0,64	<0,68	
	¹³¹ I	1061	130	0,26	2300	26	22	23	
	¹³⁷ Cs	1154	327	0,22	35	1,5	1,6	<1,7	
	⁹⁰ Sr	178	20	0,13	17	1,5	<1,4	1,3	
	²³⁴ U	189	0	3,8	240	38	33	35	
	²³⁵ U	228	51	0,18	9,9	1,7	2,1	<1,6	
	²³⁸ U	218	0	3,6	220	34	33	30	
Deutschland (Nord ²)	⁶⁰ Co	1051	1050	-	0,12	<0,6	<0,61	<0,63	
		1051	325	0,22	31	1,4	1,5	1,5	
		170	20	0,13	17	1,5	<1,3	1,3	
Deutschland (Süd ³)	⁶⁰ Co	103	103	-	-	<0,75	<0,86	<0,83	
		103	2	1,4	35	6,9	6,1	6,7	
		8	0	0,38	4,0	0,55	1,9	1,8	

