

### Terrestrial pathways

Deposition, Interception, retention

Absorption,

Weathering half-life

### Transport in Soil

Sorption

Resuspension

Mass transport and bioturbation

Leaching

### Plant uptake and distribution

Foliar absorption

Root uptake

Translocation

Soil – plant transfer

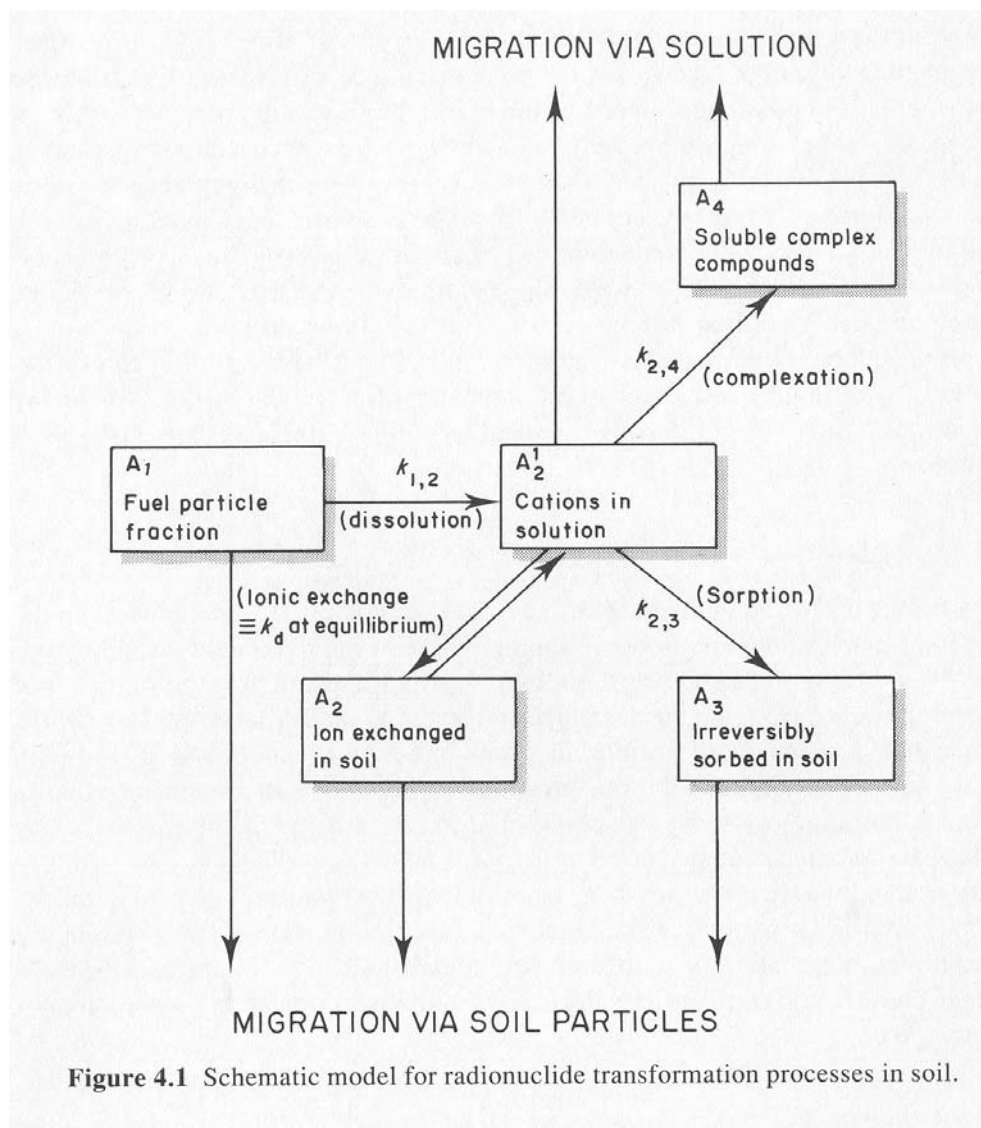
Physical, ecological and effective half life

### Transfer and metabolism in animals

Plant – animal transfer

Biological half life

Fallstudien: Alpiner Raum – höhenabhängiger Transfer, effektive HWZ



**Table 4.1** Rate constants ( $d^{-1}$ ) for dissolution of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  from fuel particles in the 30 km zone surrounding Chernobyl

Site	Soil type	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
Chernobyl	Soddy-podzolic loamy sand	$1.5 \times 10^{-3}$	$0.87 \times 10^{-3}$
Benyouka	Alluvial soddy acid	$1.4 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-3}$
Kopachi	Slightly podzolic loamy sand	$4.0 \times 10^{-4}$	—
Korogod	Arable soddy-podzolic loamy sand	$3.6 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$

From Konoplyov and Bulgakov, 1991.

**Table 3.4.1:** shows estimates of  $K_d$  values for Cs, Sr and Pu in four generic soil types, as published by Sheppard and Thibault (1990).

		Generic Soil Type			
		Sand	Loam	Clay	Organic
<b>Cs</b>	lower	1.8 x 10E0	3.3 x 10E2	7.4 x 10E1	2.0 x 10E-1
	expected	2.7 x 10E2	4.4 x 10E3	1.8 x 10E3	2.7 x 10E2
	upper	4.0 x 10E4	6.0 x 10E4	4.4 x 10E4	3.6 x 10E5
<b>Sr</b>	lower	5.5 x 10E-1	6.7 x 10E-1	2.0 x 10E0	4.1 x 10E0
	expected	1.3 x 10E1	2.0 x 10E1	1.1 x 10E2	1.5 x 10E2
	upper	3.3 x 10E2	6.0 x 10E2	6.0 x 10E3	5.4 x 10E3
<b>Pu</b>	lower	1.8 x 10E1	1.1 x 10E2	7.4 x 10E1	1.0 x 10E1
	expected	5.4 x 10E2	1.2 x 10E3	4.9 x 10E3	1.8 x 10E3
	upper	1.6 x 10E4	1.3 x 10E4	3.3 x 10E5	3.3 x 10E5

**Table 3.4.2:** TF values obtained for Cs, Sr and Pu from the UIR database for four generic crop types growing on four generic soil types.

	Soil Type	Crop Type			
		Grass	Cereals	Green Vegetables	Root Vegetables
<b>Cs</b>	sand	2.4 x 10E-1	2.6 x 10E-2	4.6 x 10E-1	9.1 x 10E-2
	clay	1.1 x 10E-1	1.0 x 10E-2	1.8 x 10E-1	5.5 x 10E-2
	peat	5.3 x 10E-1	8.3 x 10E-2	2.6 x 10E-1	2.7 x 10E-1 *
<b>Sr</b>	sand	1.7 x 10E0	2.1 x 10E-1	3.0 x 10E0	2.6 x 10E-1
	clay	1.1 x 10E0	1.2 x 10E-1	2.7 x 10E0	1.5 x 10E-1
	peat	3.4 x 10E-1	2.0 x 10E-2	2.6 x 10E-1	2.0 x 10E-2 &
<b>Pu</b>	not Specified	3.4 x 10E-4	8.6 x 10E-6	5.7 x 10E-5 §	9.1 x 10E-4 #

\* roots and potato tubers; & potato tubers only; § cabbage and mixed green veg; # 'mixed roots'

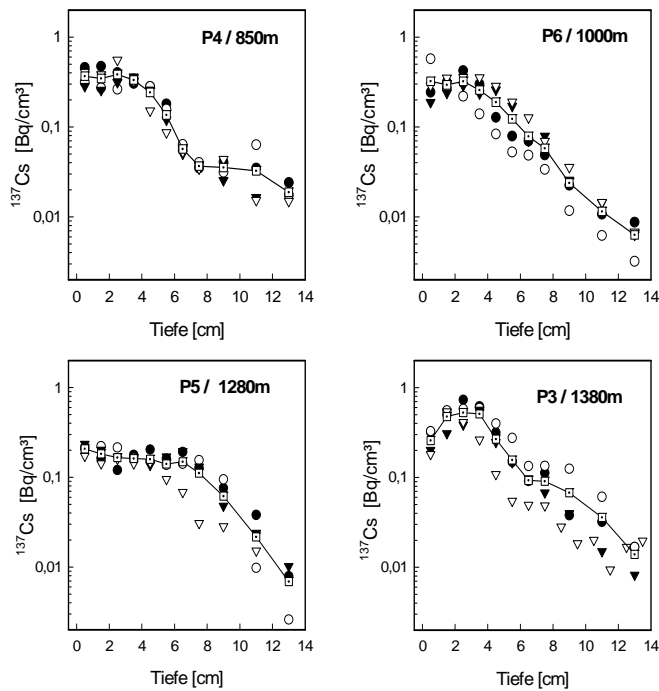


Abb 5.1/2: Streuung der  $^{137}\text{Cs}$  Tiefenverteilung in den einzelnen Probenpunkten im Gasteinertal. Durchgezogene Linien sind Mittelwerte.

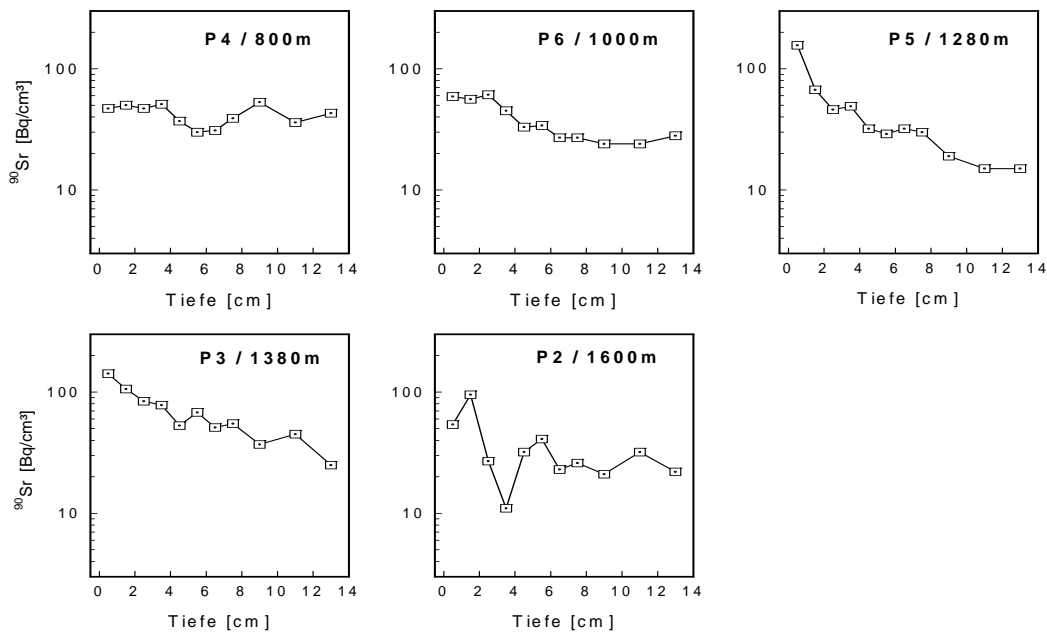
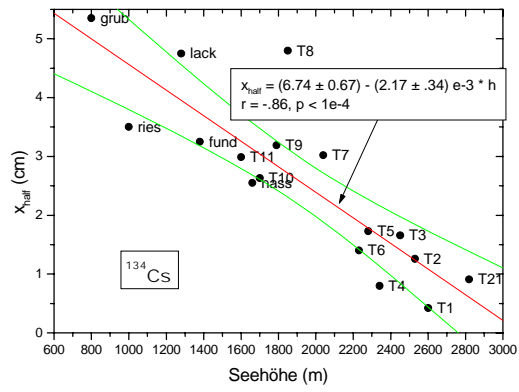
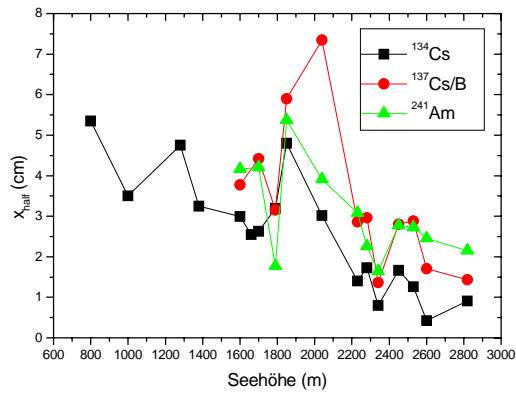
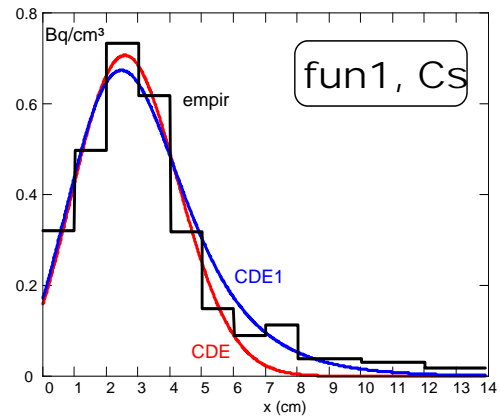
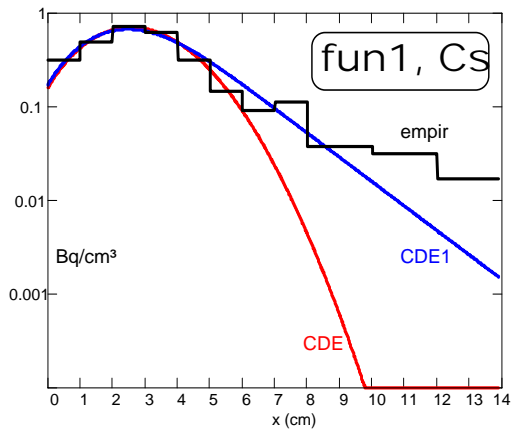


Abb. 5.1/5:  $^{90}\text{Sr}$  Tiefenverteilung in Bodenproben aus dem Gasteinertal und der Naßfeldalm. Entnahme und Bezugsdatum: September 1999



Halbwertstiefe in Abhängigkeit von der Seehöhe



Reales Bodenprofil und Anpassung mit Convection – Diffusion Equation

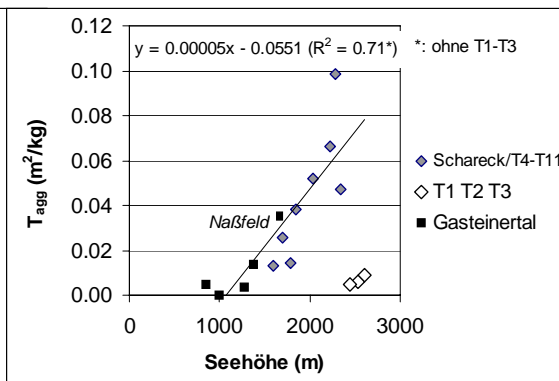
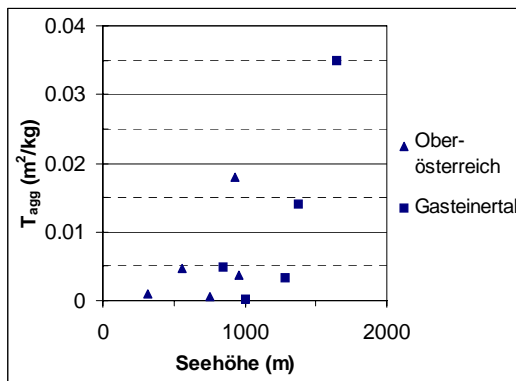


Abb. 5.2/1: Zusammenhang zwischen Seehöhe und Höhe des <sup>137</sup>Cs – Boden-Pflanze-Transfers in Wiesenstandorten aus Oberösterreich und dem Gasteinertal

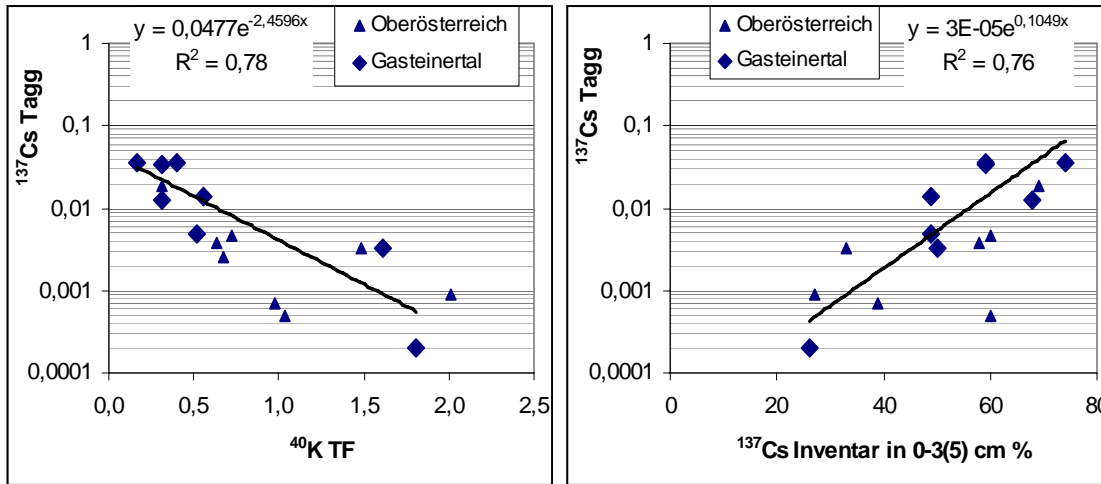


Abb. 5.2/2: Beziehung zwischen  $^{137}\text{Cs}$  Boden-Pflanze-Transfer ( $T_{\text{agg}}$ ) und  $^{40}\text{K}$ -Transferfaktoren bzw. Tiefenverteilung des  $^{137}\text{Cs}$ -Inventars im Bodenprofil (Werte Transferfaktoren; Bezugsdatum Sep. 1999 (Boden und Vegetation 1999) und Sep. 2000 (Vegetation 2000)).

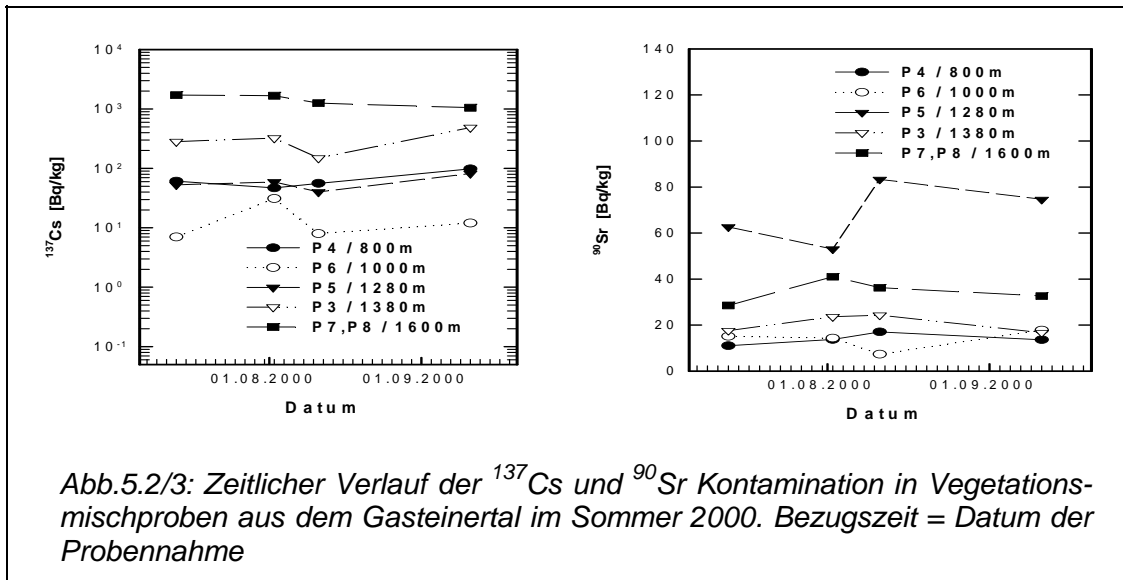


Abb.5.2/3: Zeitlicher Verlauf der  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$  Kontamination in Vegetationsmischproben aus dem Gasteinertal im Sommer 2000. Bezugszeit = Datum der Probenahme

### Cs und Sr in der Milch

Tab.5.3/1:  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$  in Milchproben (Frischgewicht) aus dem Gasteinertal und den Naßfeldalmen. (Aktivitäten sind auf das Datum der Probenahme bezogen)

	$^{137}\text{[Bq/kg]}$				$^{90}\text{Sr [Bq/kg]}$	
	1999	2000			1999	2000
	25.08.99	9.-19.6.	28.-29.6.	18.10.	25.8	27.06
850 m / P4	2	6,2	5,5	9,0	0,1	0,18
1000m / P6	5	2,6	2,5	9,3	0,19	0,39
1280 m / P5	2	1,3	2,3		0,6	0,52
1380m / P3	3	25,3	29,3		0,56	0,65
1600 m / Vordere Naßfeldalm	95		56,1		? 1,1	0,58
1600 m/ Hintere Naßfeldalm	242	74,5	153,2		0,64	

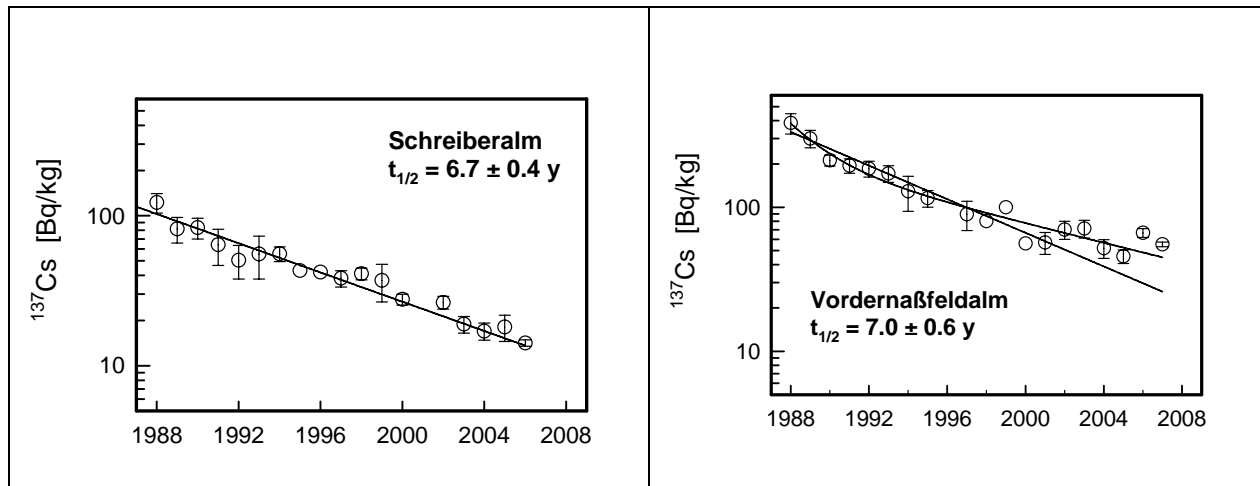


Abb.5.3/1: Zeitlicher Verlauf der  $^{137}\text{Cs}$ -Kontamination in Milchproben aus den Naßfelder Almen

Tab 5.3/2  $^{137}\text{Cs}$  in Frischmilch [Bq/l] aus verschiedenen Einzugsgebieten in Österreich, Meßergebnisse von 1998. (BALUF 1999).

Einzugsgebiet der Milchsammeltour	Politischer Bezirk	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/l Frischmilch)
Elixhausen-Seekirchen	Salzburg-Umgebung	0,7
Flachau-Wagrain	St. Johann/Pongau	3,5
Mittersill	Zell am See	7,0
Burgenland	Min – Max (n = 2)	0,1 – 0,2
Kärnten	Min – Max (n = 4)	0,2 – 1,3
Niederösterreich	Min – Max (n = 5)	< 0,1 – 1,4
Oberösterreich	Min – Max (= 11)	0,2 – 2,0
Steiermark	Min – Max (= 13)	0,3 – 7,1 (Deutschlandsberg)
Tirol	n = 1 (Kufstein)	0,5
Vorarlberg	n = 2	0,3 – 0,6

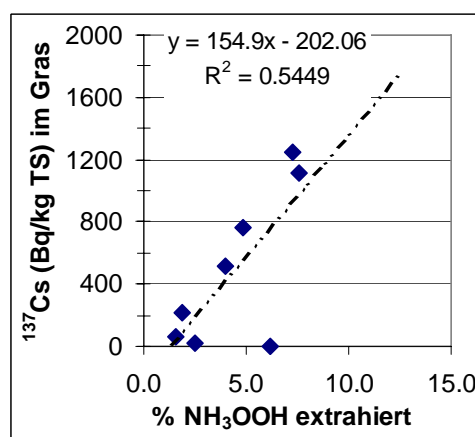


Abb. 6.2/2: Korrelation des  $^{137}\text{Cs}$ -Gehaltes in Wiesenvegetation und dem Ammonium-Acetat-extrahierbaren Anteil von  $^{137}\text{Cs}$  in Böden

Kationenaustausch

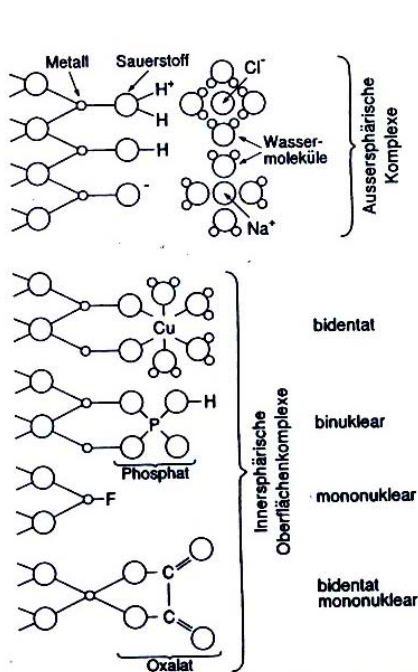


Abb. 4.1-7 Schematische Darstellung der Sorption von Kationen und Anionen an einer Oxid- oder Tonmineraloberfläche mit variabler Ladung (nach SIGG & STUMM, modifiziert).

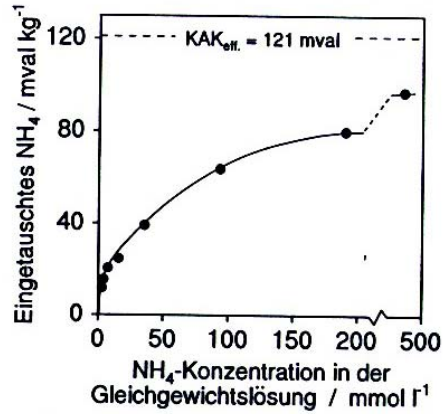


Abb. 4.1-8 NH<sub>4</sub>-Eintausch in Abhängigkeit von der NH<sub>4</sub>-Konzentration in der Gleichgewichtslösung bei einem Ap-Horizont einer Löß-Parabraunerde mit einer KAK<sub>eff</sub> von 121 mval kg<sup>-1</sup>, bestehend aus 115 mval Ca, 3,0 mval Mg, 2,5 mval K und 0,9 mval Na.

Tabelle 4.1-1 Absolute und relative (%) Zusammensetzung der Gleichgewichtsbodenlösung (mval l<sup>-1</sup>) und des Kationenbelages (mval kg<sup>-1</sup>, Extraktion mit M NH<sub>4</sub>Cl) von Ah-Horizonten einer schwach sauren (pH 6,1) Mullrendzina und einer stark sauren (pH 3,2) Braunerde (ULRICH).

	Al	Ca	Mg	Na	K	H	Summe
<b>Mullrendzina (pH = 6,1)</b>							
Bodenlösung							
absolut (mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup> )	0	2,86	0,16	0,17	0,04	0	3,23
relativ (%)	0	89	5	5	1	0	100
Kationenbelag							
absolut (mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup> )	0	429	17	1	6	0	453
relativ (%)	0	95	3,5	0,2	1,3	0	100
<b>Braunerde (pH = 3,2)</b>							
Bodenlösung							
absolut (mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup> )	0,18	0,94	0,22	0,30	0,33	2,24	4,21
relativ (%)	4	22	5	7	8	54	100
Kationenbelag							
absolut (mmol <sub>c</sub> l <sup>-1</sup> )	102	22	3	1	4	11	143
relativ (%)	72	15	2	1	3	7	100



Kationenaustausch

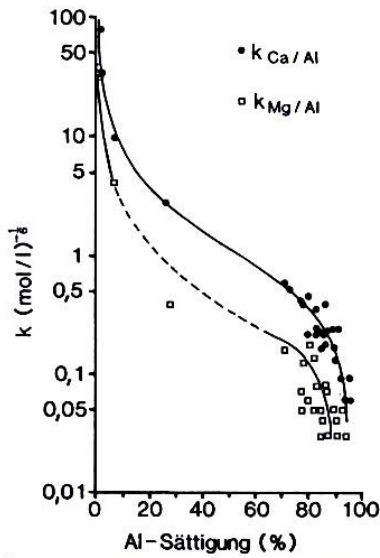


Abb. 4.1–9 Abhängigkeit der Gapon-Koeffizienten für die Kationenpaare Ca–Al und Mg–Al in stark sauren, podsolierten Braunerden unter Wald (SÜSSER & SCHWERTMANN).

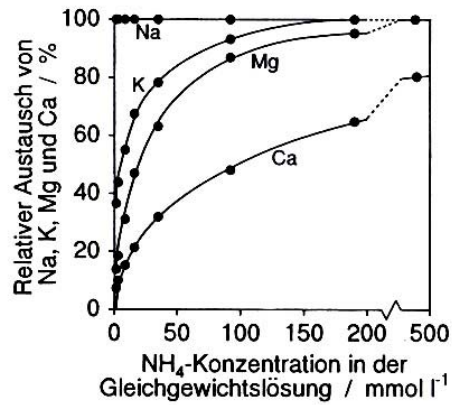


Abb. 4.1–10 Relativer Austausch von Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> und Ca<sup>2+</sup> gegen NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in % der gesamten austauschbaren Menge des jeweiligen Kations in Abhängigkeit von der NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Konzentration der Gleichgewichtslösung bei einem Ap-Horizont einer Löß-Parabraunerde (Bodendaten wie in Abb. 4.1–8).

Tabelle 4.1–2 Größe und Hydratationsenergie von Kationen M und ihr relativer Sorption durch NH<sub>4</sub>-Smectit bei einem M/NH<sub>4</sub> in der Gleichgewichtslösung von 1 (SCHACHTSCHABEL UND JENNY).

	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	La <sup>3+</sup>	Th <sup>4+</sup>
Ionenradius (nm)	0,076	0,102	0,138	0,152	0,167	0,072	0,100	0,118	0,135	0,054	0,103	0,094
Hydratationsenergie (kJ Mol <sup>-1</sup> )	503	419	356	335	314	1802	1571	1425	1341	4647	3268	–
Relativer Eintauch	24	26	41	74	78	72	74	74	75	85	86	98

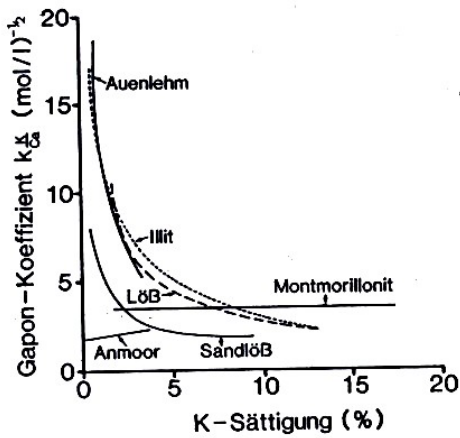


Abb.4.1–11 Gapon-Koeffizient für das Kationenpaar K–Ca ( $k_{K/Ca}$ ) in Abhängigkeit von der K-Sättigung ( $K + Ca = 100$ ) bei verschiedenen Tonmineralen und Böden.

Tab.8/1: Vergleich der  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$  Kontamination in Milch aus dem Gebiet der Naßfelder Almen (Vnf = Vordernaßfeldalm, Hnf = Hinternaßfeldalm) mit Österreichischen Durchschnittswerten (AM Österr.) von 1996-2000 (Unsicherheit: 1 sigma).

Jahr	$^{137}\text{Cs}$ [Bq/kg]			$^{90}\text{Sr}$ [Bq/kg]	
	AM Österr. <sup>(1)</sup>	Vnf-Alm	Hnf-Alm	AM Österr. <sup>(1)</sup>	Vnf-Alm
1996/97	1,7 ± 2,4	89	203	0,08	0,62 <sup>(2)</sup>
1998	1,4 ± 1,6	80	185	0,07	-
1999	-	100	255	-	1,1
2000	-	56	113	-	0,58

Tab.8/2: Grenzwerte der  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$ -Kontamination in Nahrungsmitteln nach den derzeit gültigen EU-Normen Euratom 2218/89 (CEC) und den alten nationalen österreichischen Grenzwerten (Öst.), die nach den Reaktorunglück in Chernobyl festgelegt wurden.

	Nahrungsmittel für Säuglinge		Milcherzeugnisse		Andere Nahrungsmittel außer Nahrungsmittel von geringer Bedeutung		Flüssige Nahrungsmittel	
	CEC	Öst.	CEC	Öst.	CEC	Öst.	CEC	Öst.
$^{90}\text{Sr}$	75	–	125	–	750		125	
$^{137}\text{Cs}$	400	11	1000	185	1250	variabel	1000	??

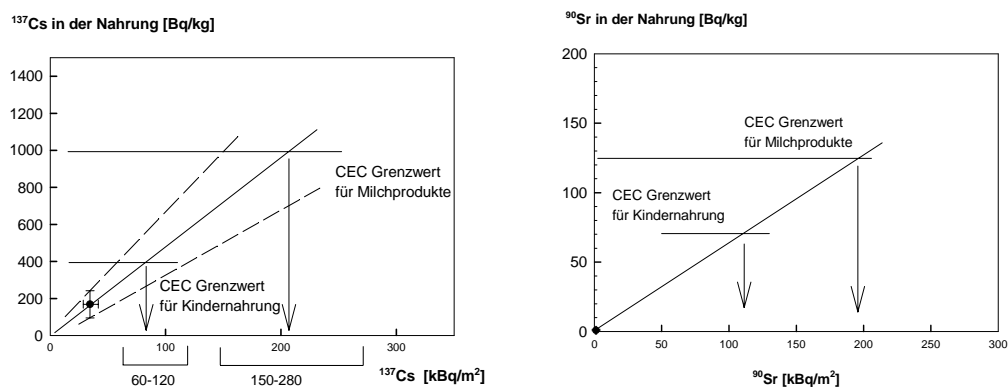


Abb. 8/1: Schematische Darstellung des Zusammenhangs der Bodenkontamination und der Kontamination der Nahrungsmittel mit  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$  abgeleitet aus Messungen in den Naßfelder Almen. Der Zusammenhang ist nur für diese Bedingungen gültig.

Tab.8/2: Mittlere  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$  Aktivitätskonzentration in Boden, Vegetationsproben und in Milchproben (1999)

Standort	$^{137}\text{Cs}$				$^{90}\text{Sr}$			
	Boden [kBq/m <sup>2</sup> ]	Vegetation [Bq/kg.TS]	Milch [Bq/kg]	Quotient: Milch / Vegetation	Boden [Bq/m <sup>2</sup> ]	Vegetation [Bq/kg.TS]	Milch [Bq/kg]	Quotient: Milch / Vegetation
P1, Hintere Naßfeldalm 2	41,7 ± 20,8	1428,8 ± 549,0	242	0,169	850-1660*	41 ± 8,3* 34,9 ± 17,5	0,63 ± 0,15* 0,64; 1,10	0,015 ± 0,003 0,025
Naßfeld P8 (Hinternfa.)	33,3 ± 6,7							
Naßfeld P7 (Vordernfa.)	28,6 ± 1,0	1635,0 ± 629,3	95	0,058				
P4 / 850m	20,6 ± 2,7	39,6 ± 29,3	2	0,051	596	11,5 ± 2,7	0,10	0,009
P6 / 1000m	17,3 ± 2,9	8,3 ± 3,8	5	0,625	494	14,5 ± 1,04	0,19	0,013
P5 / 1280m	14,5 ± 2,8	17,8 ± 5,9	2	0,111	539	45,6 ± 6,2	0,60	0,013
P4 / 1380m	25,8 ± 7,5	975,0 ± 917,5	3	0,003	852	77,7 ± 13,1	0,56	0,007

\* Daten von 1996, aus Gastberger et al, 2000

## Fallstudien / Alpiner Raum / Zusammenhang Transfer und Pflanzenspezies

(Altitude dependent  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in different plant species in alpine agricultural areas H. Lettner et al, Journal of Environmental Radioactivity, Vol 86/1, 2006)

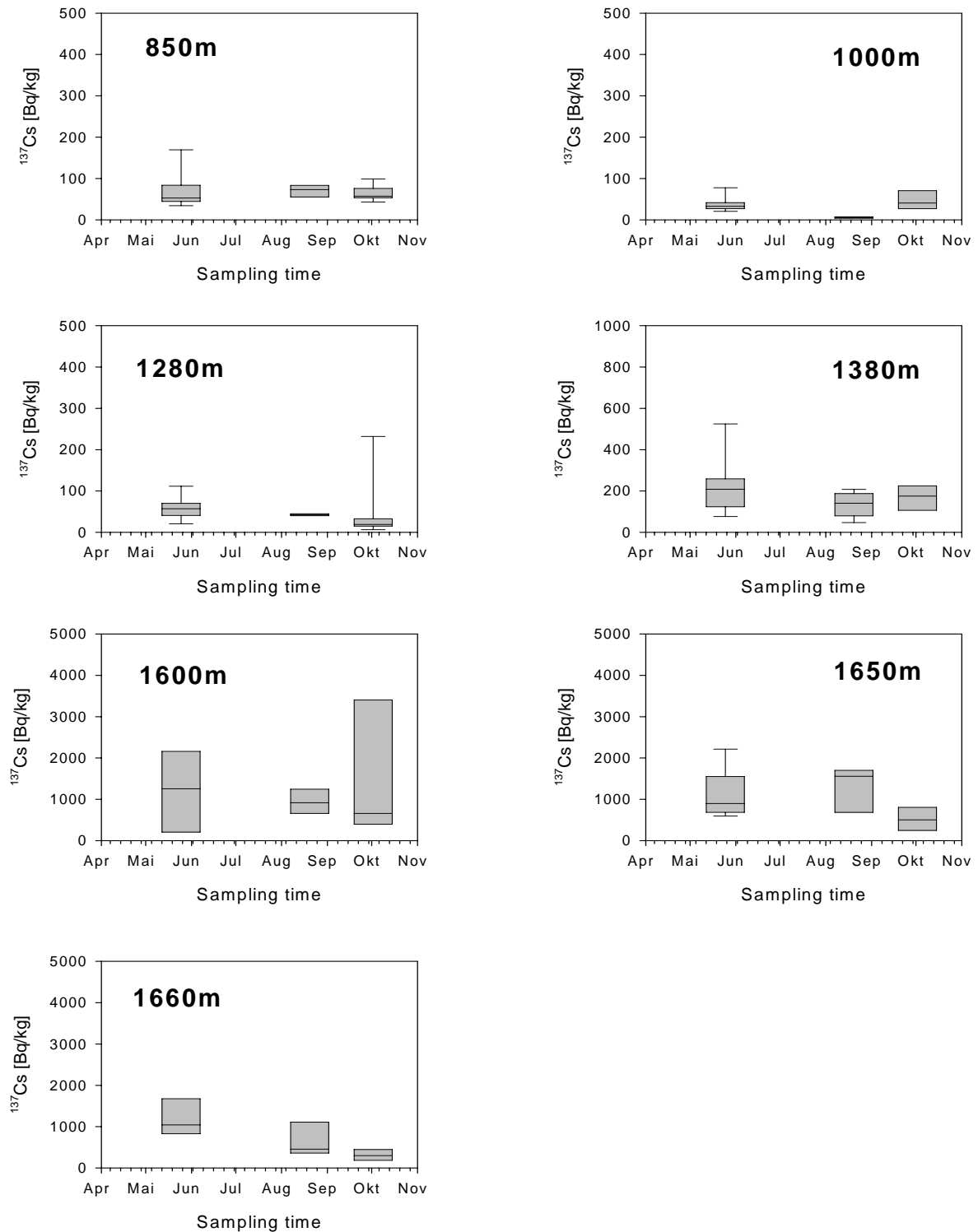


Figure 1:  $^{137}\text{Cs}$  concentration range in plants from the sampling locations vs. time of sampling (For data sets with less than 9 data points 5<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentile are not shown).

Figure 3: Regression line and 95% confidence levels obtained from fitting the logarithms; above appr. 1200m a.s.l.  $C_{ag}$  follows a positive exponential function.

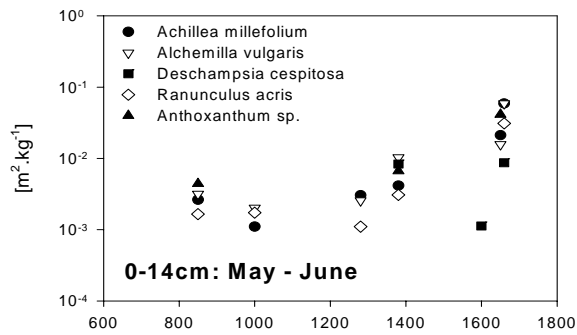
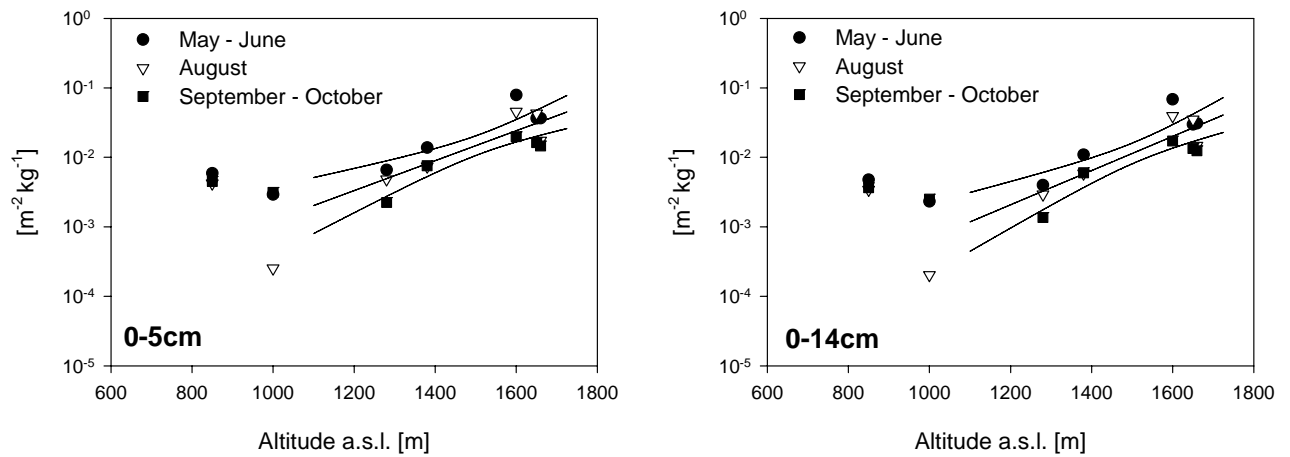


Figure 4: Aggregated transfer coefficients  $C_{ag}$  [ $m^2/kg$ ] for ubiquitous species considering total inventory in the soil layer from 0-14cm.

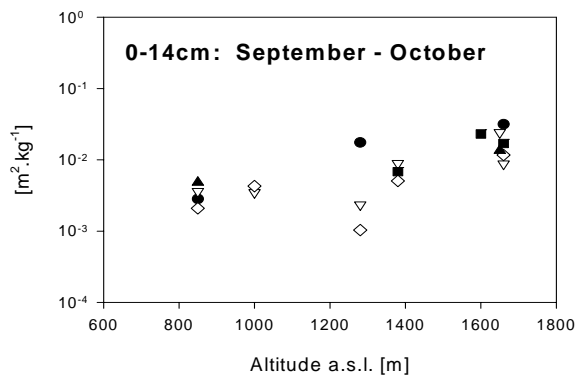
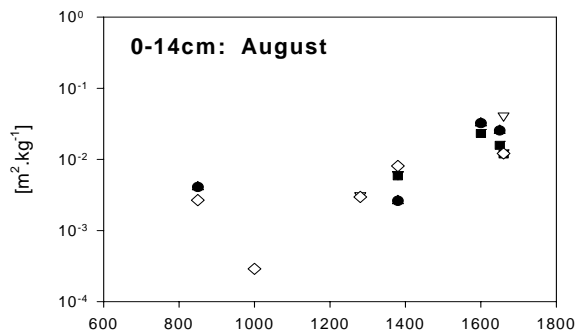
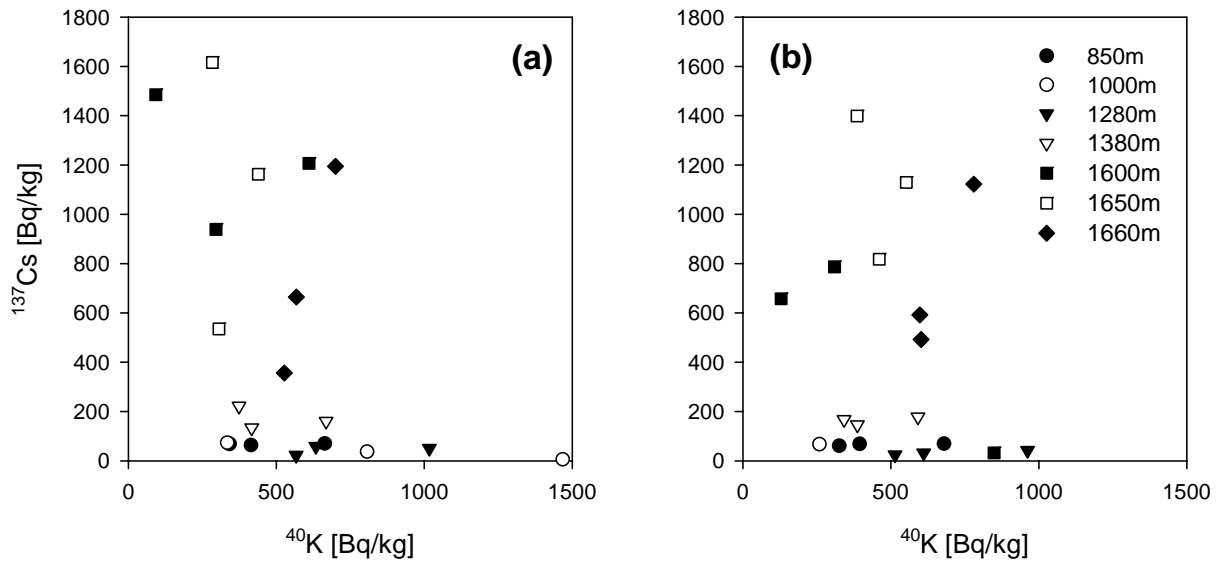


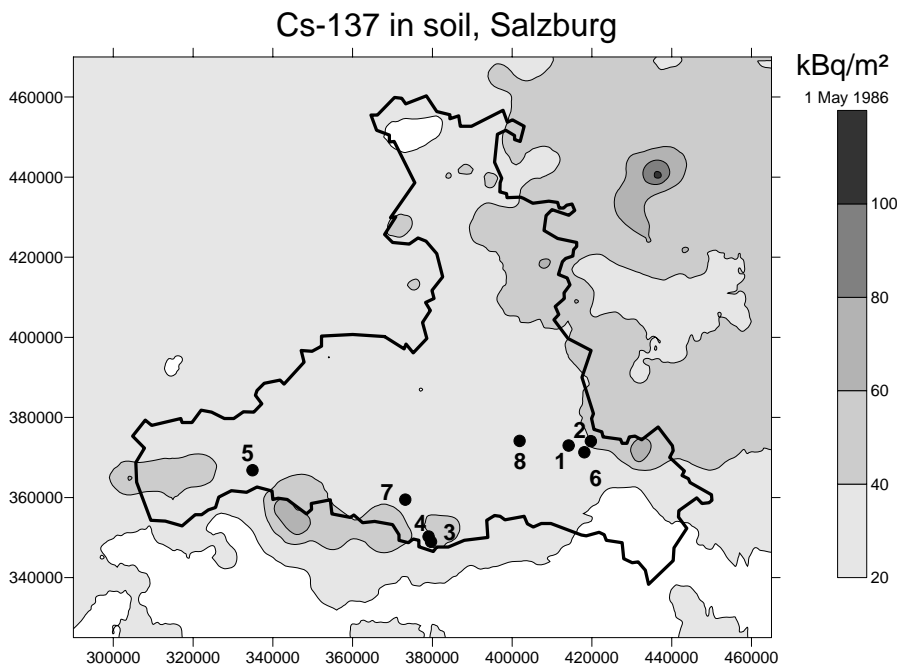
Figure 5: Mean activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$  vs.  $^{40}\text{K}$  in plant species for all altitudes. (a) Mean value for all species, (b) for ubiquitous species.



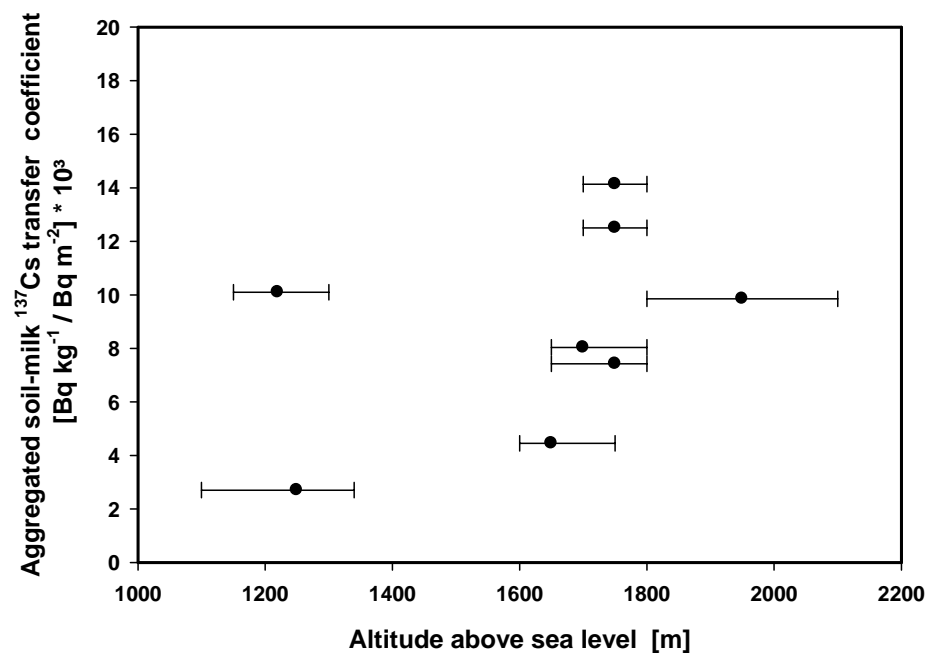
Fallstudien / Alpiner Raum / Zusammenhang Effektive HWZ und Höhenlage

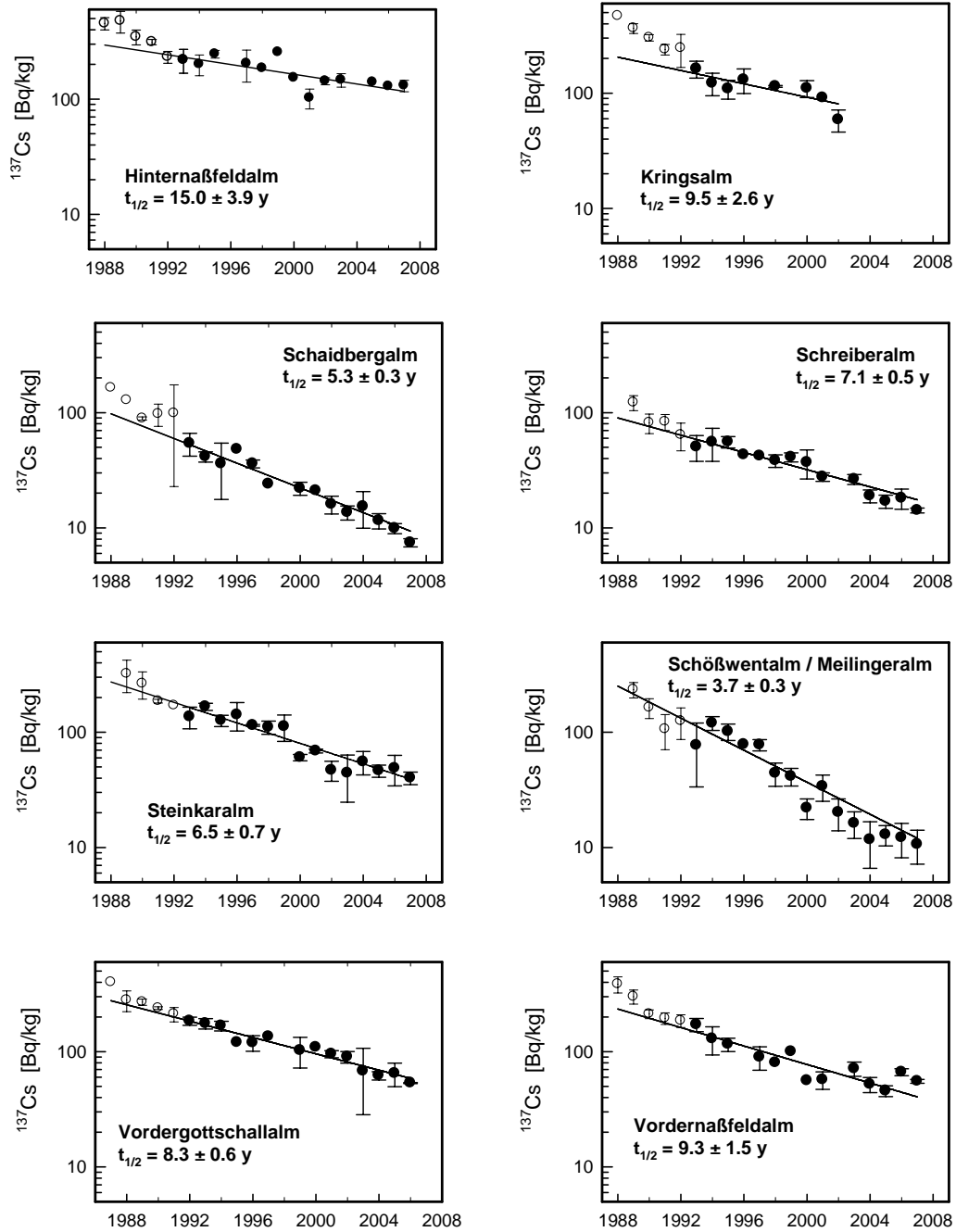
(Effective and ecological half-lives of  $^{137}\text{Cs}$  in milk in alpine agriculture. H. Lettner et al (2009). *Radiat Environ Biophys* (2009) 48:47–56)

**Fig 1** Surface deposition levels of  $^{137}\text{Cs}$  and location of sampling sites; reference time: 1<sup>st</sup> May 1986. (1: Vorder-Gottschallalm; 2: Kringsalm; 3: Hinter-Nassfeldalm; 4: Vorder-Nassfeldalm; 5: Meilinger/Schösswentalm; 6: Schaidbergalm; 7: Schreiberalm; 8: Steinkaralm).



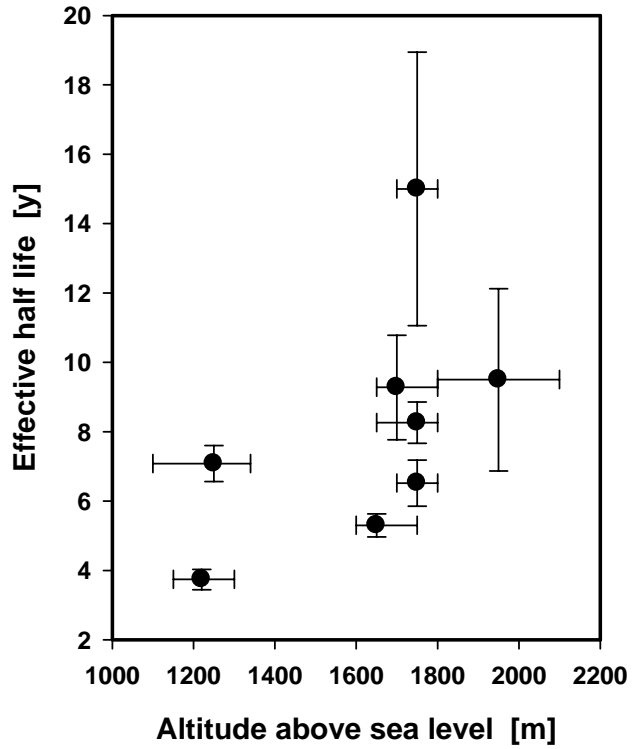
**Fig 2** Aggregated  $^{137}\text{Cs}$  transfer factor from soil to milk in summer 1989. Bars on the x-axis indicate the altitude range of the graze pastures used by the milking cows; estimated uncertainty of the y-axis values are 20 – 40% (not shown).



**Fig.4:** Time trends of  $^{137}\text{Cs}$  in milk from alp sites and effective half lives for single exponential decrease in the reduced period from 1993 – 2007.



**Fig 5** Effective half-life of  $^{137}\text{Cs}$  in milk vs. altitude. Horizontal bars denote altitude range of graze pastures, vertical bars one sigma uncertainty of effective half-life obtained for the reduced period from 1993-2007; for details see text



**Fig 6** Dependence of the  $^{137}\text{Cs}$  half-value depth,  $z_{1/2}$ , on altitude a.s.l. in soil samples collected in summer 1999, reference date: 1<sup>st</sup> Sept. 1999 [15]. Depth distribution of bomb fallout for comparison

