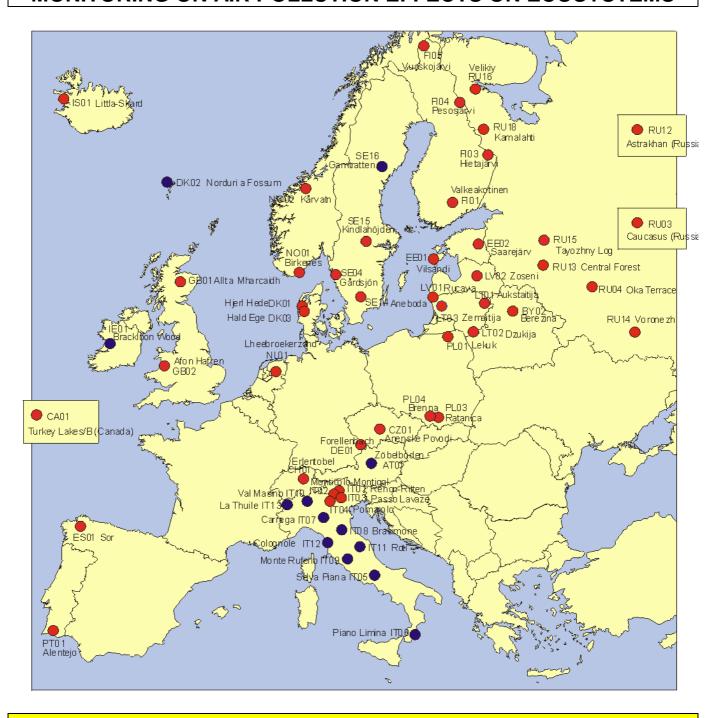
#### UN-ECE CONVENTION ON LONG-RANGE TRANSBOUNDARY OF AIR POLLUTION

# INTERNATIONAL COOPERATIVE PROGRAMME ON INTEGRATED MONITORING ON AIR POLLUTION EFFECTS ON ECOSYSTEMS



Untersuchungen zum Streuabbau auf den Dauerbeobachtungsflächen IT01 Ritten - IT02 Montiggl - IT03 Lavazè - IT04 Pomarolo

2003

Univ. Prof. Dr. F. SCHINNER - Univ.-Prof. Mag. Dr. R. MARGESIN Institut für Mikrobiologie – Universität Innsbruck

# **Endbericht**

Untersuchungen zum Streuabbau auf den Dauerbeobachtungsflächen IT01 (Ritten), IT02 (Montiggl), IT03 (Lavazè) und IT04 (Pomarolo)

# Im Auftrag der Autonomen Provinz Bozen (Abteilung Forstwirtschaft) und der Autonomen Provinz Trient (Servizio Foreste)

### Projektleitung

Univ.-Prof. Dr. Franz Schinner c/o Institut für Mikrobiologie (N.F.) Universität Innsbruck

Wissenschaftliche Bearbeitung
ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Rosa Margesin

# **INHALTSVERZEICHNIS**

1	Einleitung	3
2	Material und Methoden	3
2.1	Versuchsflächen	3
2.2	Abbau von Kiefernnadeln im Freiland	4
2.3	Abbau von Cellulose im Freiland	5
2.4	Abbau von Cellulose im Laborversuch	6
2.5	Statistische Auswertung der Ergebnisse	7
3	Ergebnisse und Diskussion	8
3.1	Generelle Tendenzen des Streuabbaus im Freiland	13
3.2	Einfluss des Standortes auf den Streuabbau im Freiland	19
3.2.1	Abbau von Kiefernnadeln	19
3.2.2	Abbau von Cellulose	19
3.3	Abbau von Cellulose im Laborversuch	21
3.4	Einfluss der Expositionsdauer auf den Streuabbau im Freiland	24
3.5	Einfluss der Expositionsart und des Streutyps auf den Streuabbau	26
3.5.1	Einfluss der Expositionsart von Cellulose	26
3.5.2	Einfluss des Streutyps auf den Streuabbau	26
4	Zusammenfassung	29

#### 1 EINLEITUNG

Die Mineralisation der Streu ist Voraussetzung für den Kreislauf von Nähr- und Spurenstoffen in der Natur. Würde dieser Abbau, bei dem als Nettoprodukt CO<sub>2</sub> entsteht, nicht erfolgen, wäre der CO<sub>2</sub>-Vorrat der Atmosphäre in wenigen Jahrzehnten erschöpft und pflanzliches Wachstum würde erliegen. Der vorwiegend durch Mikroorganismen und Bodenenzyme katalysierte Abbau pflanzlicher und tierischer Streu garantiert die Nährstoffversorgung von Bodenorganismen und Pflanzen. Die Mineralisation wird durch feuchte und warme Klimabedingungen gefördert, durch trockene und kühle Bedingungen gehemmt. Der Eintrag von Nährstoffen, vor allem von Stickstoff, bewirkt eine Beschleunigung des Streuabbaues, Biozide hemmen diesen Prozess. Nicht vollständig abgebaute Streu verbleibt je nach Klimaund Substratbedingungen als mehr oder weniger leicht verfügbares Nährstoffreservoir im Boden. Streuabbauuntersuchungen stellen eine einfache Methode zur Beurteilung von Abbauprozessen im und am Boden dar. Die erhaltenen Ergebnisse erlauben zwar nicht die Aufklärung ursächlicher Zusammenhänge, spiegeln jedoch das Ausmaß einer Gesamtaktivität des Bodens wider.

Zur Bestimmung des Streuabbaus im Freiland in jeweils zwei unterschiedlichen Waldstandorten der Provinzen Bozen (Dauerbeobachtungsflächen IT01 Ritten, IT02 Montiggl) und Trient (Dauerbeobachtungsflächen IT03 Lavazè, IT04 Pomarolo) wurden im Herbst 2000 Kiefernnadeln in Taschen aus feinem Nylonnetz (Maschenweite 1 mm) auf der Bodenoberfläche exponiert. Als zweiter Streutyp wurde gleichzeitig Cellulose auf der Bodenoberfläche und in ca. 2 cm Bodentiefe ausgelegt. Je Standort und Streutyp wurden 1 0 Auslegestellen (= Parallelen) ausgewählt. Jeder Streutyp wurde dreifach ausgelegt, um im Herbst 2001, 2002 und 2003 jeweils eine der drei Proben zu entnehmen und den Streuabbau nach 1, 2 und 3 Jahren Exposition zu bestimmen.

#### 2 MATERIAL UND METHODEN

# 2.1 Versuchsflächen

Die Fläche IT01 (Ritten) befindet sich unterhalb des Rittner Horns, in der Nähe der dortigen Luftmessstation über Porphyr in einer Seehöhe von 1720 m. Der Bodentyp ist ein einfacher Podzol. Die Pflanzengesellschaft entspricht einem subalpinen Fichtenwald (*Piceetum subal-*

pinum). Im Unterwuchs dominieren Preiselbeere, Heidelbeere, Habichtskraut, Wald-Wachtelweizen, Arnika und Wald-Erdbeere.

Die Fläche IT02 (Montiggl) befindet sich oberhalb eines Fichtenwaldgürtels am Kleinen Montiggler See im Bereich einer felsdurchsetzten Kuppe über Porphyr in 543 m Seehöhe. Der Bodentyp ist eine Parabraunerde. Die Pflanzengesellschaft entspricht einem Flaumeichen-Mannaeschen-Buchenwald (*Quercetum pubescentis*). Im Unterwuchs dominieren Schneeheide, Schnee-Hainsimse, Habichtskraut und Salomonsiegel.

Die Fläche IT03 (Lavazè) befindet sich in unmittelbarer Nähe des Lavazè Jochs an der Grenze zu Südtirol in einer Seehöhe von 1790 m. Der Bodentyp ist ein einfacher Podzol. Die Pflanzengesellschft entspricht einem subalpinen Fichtenwald (*Piceetum subalpinum*). Es dominiert die Fichte (*Picea abies*), die Zirbelkiefer hate einen Anteil von 2-5%. Im Unterwuchs dominieren Heidelbeere, verschiedene Gräser und Moospflanzen.

Die Fläche IT04 (Pomarolo) ist ein Hangstandort (Neigung ca. 40%) über porphyr- und karbonatreichem Ausgangsgestein und befindet sich in der Gegend von Savignano in 685 m Seehöhe. Der Bodentyp ist eine alkalische Braunerde. Die Pflanzengesellschaft besteht hauptsächlich aus Stieleiche, Hainbuche, Mannaesche und Haselnuss. Im Unterwuchs dominieren Anemonen, Veilchen, Mandelblättrige Wolfsmilch, Strauchige Kronwicke und Kreuzblume.

### 2.2 Abbau von Kiefernnadeln im Freiland

#### Prinzip

Das Streumaterial (Kiefernnadeln) wurde in Taschen aus feinem Nylonnetz (Maschenweite 1 mm) auf der Bodenoberfläche im Freiland exponiert (ICP-IM Manual August 1998). Der Streuabbau nach 1, 2 und 3 Jahren wurde nach Differenzwägung berechnet.

#### Ausführung der Bestimmung

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde ein einheitlicher Streutyp (Kiefernnadeln) verwendet. Das Material wurde im August 2000 gesammelt und luftgetrocknet. Je 1 g Kiefernnadeln wurde in Nylonnetztaschen (10 cm x 10 cm; Maschenweite 1 mm) eingefüllt, die zusätzlich ein Nummernschild beinhalteten. Die Taschen wurden mit Nylonfaden zugenäht, das Gewicht vor dem Auslegen wurde bestimmt und notiert. Jede Netztasche wurde mit einer Schnur und einem Etikett zur späteren Identifizierung versehen.

Die Auslegung der Netztaschen erfolgte an jedem Standort (IT01 Ritten, IT03 Lavazè: 12. September 2000; IT02 Montiggl, IT04 Pomarolo: 23. Oktober 2000) entlang zweier

Gradienten. Innerhalb jedes Gradienten wurden je fünf Taschen (mit jeweils drei Parallelen) in einem Abstand von ca. 5 m auf der Bodenoberfläche ausgelegt und mit Standortstreu bedeckt (insgesamt je Standort 10 Auslegestellen mit je drei Parallelen). Ein enger Bodenkontakt (keine Lufträume durch Bewuchs) musste gewährleistet sein.

Nach 1, 2 und 3 Jahren Exposition wurde von den 10 Auslegestellen je Standort jeweils eine Streutasche entnommen.

- Probenahme nach 1 Jahr Exposition an allen vier Standorten: 28. September 2001
- Probenahme nach 2 Jahren Exposition an allen vier Standorten: 6. September 2002
- Probenahme nach 3 Jahren Exposition: 22. August 2003 (Ritten IT01, Lavazè IT03) und
   September 2003 (Montiggl IT02, Pomarolo IT04).

Die Taschen wurden sofort ins Labor transportiert, dort mit einer Bürste von der Erde und ev. anhaftenden Wurzeln sowie der Schnur befreit, und bis zur Gewichtskonstanz bei Raumtemperatur getrocknet. Danach wurden die Taschen vorsichtig geöffnet und jegliches Fremdmaterial entfernt. Die Tasche samt den verbliebenen Nadeln wurde gewogen. Anschließend wurden die Nadeln aus der Tasche entfernt und das Gewicht der gereinigten Tasche (Tara) bestimmt.

Berechnung der Ergebnisse

100 - 
$$\frac{(B-T) \cdot 100}{(A-T)} = \% \text{ Streuabbau pro Zeit}$$

- A Trockengewicht der Streu mit Tasche vor dem Ausbringen
- B Trockengewicht der Streu mit Tasche nach der Exposition
- T Trockengewicht der entleerten Tasche nach der Exposition

# 2.3 Abbau von Cellulose im Freiland

# Prinzip

Cellulose wurde in Taschen aus feinem Nylonnetz (Maschenweite 1 mm) auf der Bodenoberfläche und in ca. 2 cm Bodentiefe im Freiland exponiert (ICP-IM Manual August 1998). Der Celluloseabbau nach 1, 2 und 3 Jahren wurde nach Differenzwägung berechnet.

#### Ausführung der Bestimmung

Als Material wurde alpha-Cellulose (Schleicher und Schüll, Qualität 2668, 1 mm dick) verwendet. Je 4 getrocknete Cellulosestreifen (30 mm x 50 mm) wurden in Nylonnetztaschen (10 cm x 10 cm; Maschenweite 1 mm) eingefüllt, die zusätzlich ein Nummernschild beinhalteten.

Die Taschen wurden mit Nylonfaden zugenäht, das Gewicht vor Auslegung wurde bestimmt und notiert. Jede Netztasche wurde mit einer Schnur und einem Etikett zur späteren Identifizierung versehen.

Die Auslegung der Netztaschen erfolgte an jedem Standort (IT01 Ritten, IT03 Lavazè: 12. September 2000; IT02 Montiggl, IT04 Pomarolo: 23. Oktober 2000) entlang zweier Gradienten (siehe2.2). Innerhalb jedes Gradienten wurden je fünf Taschen (jeweils drei Parallelen) in einem Abstand von ca. 5 m auf der Bodenoberfläche ausgelegt und mit Standortstreu bedeckt (insgesamt je Standort 10 oberirdische Auslegestellen mit je drei Parallelen). Ein enger Bodenkontakt (keine Lufträume durch Bewuchs) musste gewährleistet sein. Zusätzlich wurden je drei Parallelen ca. 2 cm unter der Bodenoberfläche durch Einstich mit einem Spaten im 15° Winkel zur Oberfläche exponiert (insgesamt je Standort 10 unterirdische Auslegestellen mit je drei Parallelen). Diese Maßnahme sollte zudem verhindern, dass die Taschen durch Tiere vertragen oder durch Wind weggeblasen werden.

Nach 1, 2 und 3 Jahren Exposition wurde von den 10 Auslegestellen je Standort jeweils eine jeweils eine oberflächlich aufliegende und eine eingegrabene Streutasche entnommen.

- Probenahme nach 1 Jahr Exposition an allen vier Standorten: 28. September 2001
- Probenahme nach 2 Jahren Exposition an allen vier Standorten: 6. September 2002
- Probenahme nach 3 Jahren Exposition: 22. August 2003 (Ritten IT01, Lavazè IT03) und
   September 2003 (Montiggl IT02, Pomarolo IT04).

Die Taschen wurden sofort ins Labor transportiert, dort mit einer Bürste von der Erde und ev. anhaftenden Wurzeln sowie der Schnur befreit, und bis zur Gewichtskonstanz bei Raumtemperatur getrocknet. Danach wurden die Taschen vorsichtig geöffnet und jegliches Fremdmaterial entfernt. Die Tasche samt verbliebener Cellulose wurde gewogen. Anschließend wurde die Cellulose aus der Tasche entfernt und das Gewicht der gereinigten Tasche (Tara) bestimmt. Die Berechnung der Ergebnisse erfolgte analog zu 2.2.

# 2.4 Abbau von Cellulose im Laborversuch

Prinzip

Cellulose wurde auf der Bodenoberfläche im Labor exponiert. Der Celluloseabbau nach 1, 2, 4 und 6 Monaten bei 10°C und bei 20°C wurde nach Differenzwägung berechnet.

Ausführung der Bestimmung

Aus den im Herbst 2000 entnommenen Bodenproben wurde je Standort (IT01, IT02, IT03, IT04) eine Mischprobe hergestellt. Der Wassergehalt wurde auf ca. 50% der maximalen Wasserhaltekapazität der Mischprobe eingestellt. Je Mischprobe wurden 35-40 g Bodenmaterial in 16 Glaspetrischalen eingewogen. Auf jede Bodenoberfläche wurde ein getrockneter Cellulosestreifen (30 mm x 50 mm, 1 mm Dicke), dessen Gewicht zuvor bestimmt worden war, aufgelegt. Die Petrischalen wurden mit einem Glasdeckel verschlossen. Je acht Petrischalen wurden bei 10°C und bei 20°C inkubiert. Der Wasserverlust durch Verdunstung wurde wöchentlich durch Zusatz von dest. Wasser ausgeglichen. Nach 1, 2, 4 und 6 Monaten Inkubation wurden je zwei Petrischalen pro Mischprobe und Inkubationstemperatur entnommen. Die Cellulosestreifen wurden entnommen, von eventuellen Bodenresten befreit und bis zur Gewichtskonstanz bei 80°C getrocknet. Anschließend wurde das Gewicht des getrockneten Cellulosstreifens bestimmt. Anhand des Gewichtsverlustes konnte auf den Celluloseabbau geschlossen werden.

# 2.5 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Programm Statistica durchgeführt. Zunächst wurden die Daten mittels des Kolmogorov-Smirnov-Testes auf ihre Verteilung geprüft und anschließend einer Varianzanalyse (ANOVA; 95% Signifikanzniveau) zur Untersuchung des Einflusses der standortspezifischen Eigenschaften auf den Streuabbau unterzogen. Gleichzeitig wurde der Streuabbau nach 3 Jahren Exposition mit jenem nach 1 und 2 Jahren Exposition verglichen. Ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Streutypen (Abbau von Kiefernnadeln und Cellulose auf der Bodenoberfläche) bzw. zwischen dem Abbau von Cellulose auf der Bodenoberfläche und im Boden vorlag, wurde mittels des t-Testes für gepaarte Stichproben bestimmt.

#### 3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Streuabbauuntersuchungen stellen eine einfache Methode zur Beurteilung von Abbauprozessen im und am Boden dar. Die Anwendung von Streutaschen aus Nylonnetz mit definierter Maschenweite ist jedoch eine Reihe von Problemen behaftet. Bei der verwendeten Maschenweite der Nylonnetztaschen (1 mm) werden größere Bodentiere vom Abbauprozess ausgeschlossen, Bioturbation von Bodentieren (> 1 mm) wird verhindert, in der Streutasche bildet sich ein etwas anderes Mikroklima als in der natürlichen Streuauflage aus, und zudem besteht häufig ein schlechter Bodenkontakt des Streumaterials, bedingt durch die Ummantelung der Streu mit einem relativ steifen Material. Dieser letzte Punkt ist neben der hohen Inhomogenität von Waldböden ein wichtiger Faktor für die hohen Standardabweichungen von Messergebnissen zum Streuabbau im Freiland. Die Verwendung von Netztaschen mit einer Maschenweite von 1 mm (wie in vorliegender Untersuchung vorgeschrieben) führt zu unkontrollierten Verlusten von stark zersetzten Inhalten der Streutaschen während der Exposition am Standort, sowie bei der Entnahme, beim Transport und der Bearbeitung der Streutaschen im Labor.

Im folgenden werden die in allen vier Standorten (Dauerbeobachtungsflächen IT01 Ritten, IT02 Montiggl, IT03 Lavazè, IT04 Pomarolo) erzielten Ergebnisse dargestellt, da u.a. auch ein Vergleich der Standorte gewünscht war. Die detaillierten Daten zum Streuabbau im Freiland im Beobachtungszeitraum 2000-2003 sind in den Tab. 1A, 1B und 2 zusammengefasst. Die detaillierte Interpretation der Daten nach 1 und 2 Jahren Exposition sind in den ersten zwei Teilberichten enthalten und werden hier nur in komprimierter Form wiedergegeben.

Tab. 1A: Streuabbau in den vier Standorten im ersten, zweiten und dritten Jahr der Exposition (Beobachtungszeitraum 2000-2003).

		10 %	% Streuabbau Im 1. Janr (2000-2001)		200	(2001-2002)		2	(2002-2003)	
Standort	Parallele	Kiefernadeln (Boden- oberfläche)	Cellulose (Boden- oberfläche)	Cellulose (2 cm Boden- tiefe)	Kiefernadeln (Boden- oberfläche)	Cellulose (Boden- oberfläche)	Cellulose (2 cm Boden- tiefe)	Kiefernadeln (Boden- oberfläche)	Cellulose (Boden- oberfläche)	Cellulose (2 cm Boden- tiefe)
TO1 R		30.2	46.7	97.6	31.3	37.8	2.2	-2,8	-7,2	9'0-
T01 B		32.4	23.7	31.3	51,6	75.7	54.8	-21,9	-12,4	13,4
	1 65	47.0	683	83.6	-7.7	27.9	6.9	2.6	3,6	0.6
	> 4	503	87.5	86.2	16.8	11.7	12.7	8.7	0.7	7.0
LOI .	† W	2,00	2, 00	2,00	78.7	, c		4.4	3	0.3
	C	D. 10	0,00	5 6	1,02	2 5	2 0	- 0	2,0	, ,
	ع	41,2	62,1	0,00	40,0	4,70	0,82	0,01-	7 7	7,0
	7	34,4	53,5	85,3	13,8	40,3	14,4	-,'-	7 1	5 0
	60	27,4	40,9	98,8	22,2	30,6	0,4	7.6-	0,6	0,4
	σ	33,7	28,8	39,5	28,6	55,9	45,5	2,4	-15,9	13,4
IT01 R	10	28,0	94,3	69,3	29,5	4,2	28,6	-26,0	0,2	2,0
ITO2 M	5	42.2	60	69.2	19.7	-7.4	30.2	32.1	17,5	-2,7
T02 11	- c	44.4	9,00	0.00	46.2	3.7	80	. 60	2.5	1,3
	7	+ 0	0,70	0,00	4.0	7. 10	7.00	24.3	20 2	12.2
1102 M	7	30,2	4,0	0 0	0,0	1,42	1,02	0,44	107	2,7
	4	32,4	90,4	6,78	33,8	4,	-	0,01	- 0.0	2,0-
	S	43,9	38,4	98,3	22,4	59,9	0,2	-6,4	5.0	6,0
	9	33,8	47,3	75,4	50,9	10,2	20,7	-13,/	41,2	ν'.
	7	44,7	25,6	93,1	13,8	68,7	4,5	10,6	4,5	-1,4
	ω	42,2	61,4	84,8	19,3	37,5	14,1	0,9-	0,0	-13,6
	o	37,7	8,76	60,5	24,5	-55,4	36,1	7,4	56,4	0.0
IT02 M	10	50,5	97,4	98,4	8, 80	2,5	2,0	29,8	-0,3	-1,2
	,	3 3 5	2 2	78.5	140	28.0	000	-5.2	-0.2	4.5
	- (	0,00	0, to	70,7	2 00	2 4 6	28,00	15.5	1 8-	0.6
	7	6,02	0,00	10,1	0 0	2, 20, 00	20,0	5,5		0,0
	77	30,0	0,0	0,74	0,5	7	n o cu	2,11	22.2	, 0
	4	29,3	23,9	1.04	1,2,1	0,00	0,00	20,0	5,77	5 6
	ın	28,5	4/,/	51,2	10,8	7,07	0,02	10,7	2,02	8,12
	9	31,7	18,9	9,68	17,2	8,6/	-1,3	9,6-	1,12-	c'/1
	7	27,8	12,8	35,5	23,5	76,2	4,1	20,5	-4,9	40,9
	00	30,4	48,8	41,8	19,5	37,2	27,5	8,0	12,0	30,3
	6	34.0	13.8	34.9	20.4	71.7	28,3	16,2	-8,5	23,6
IT03 L	10	38,7	52,1	1,09	12,8	15,7	30,8	0,4	29,7	3,0
	+	43.9	98.4	63.6	15,1	1,4	4,5	16,4	7.4-	1,3
IT04 P		58.0	97.5	98.0	31,4	2.2	6'0	0.6	0,1	-1.6
	1 00	37.1	34.0	8 69	32.8	65.4	22.7	7.5	-1.1	7,4
	> <		8,50	20,5	20.0	32.9	78.3	7.0	6.0	1.0
TO4- P	+ 4	0,40	27.8	0.03	21.5	47.3	7.4	7.4	12.5	2.4
	0	7,04	0,170	0000	5,14	0,73	C 1/2	25.7	.2.1	0.0
1104 P	0 1	7,04		1,40	0,4	5 0	) 1 - 4	2000	1 1 1	4.0
	1	47,6	82,4	84,1	4,0	0,0	7,4	7'07	0,1	) t
IT04 P	∞	45,8	0,09	95,8	32,7	39,6	2,5	8,1	١,0	C, C
	o	37,7	6,96	80,7	26,4	2,2	14,5	16,/	4,0	8,2
										-

Tab. 1B: Streuabbau in den vier Standorten nach 1, 2 und 3 Jahren Exposition (Beobachtungszeitraum 2000-2003).

			(2000-2001)	9		(2000-2002)			(2000-2003)	
Standort	Parallele	Kiefernadeln (Boden- oberfläche)	Cellulose (Boden- oberfläche)	Cellulose (2 cm Boden- tiefe)	Kiefernadeln (Boden- oberfläche)	Cellulose (Boden- oberfläche)	Cellulose (2 cm Boden- tiefe)	Kiefernadeln (Boden- oberfläche)	Cellulose (Boden- oberfläche)	Cellulose (2 cm Boden- tiefe)
TO1 B	+	30.2	46.7	97.6	61.5	84.4	99.7	58.7	77,2	99,2
T01		32.4	23.7	31.3	83.9	966	86,1	62,1	87,1	99,5
	ı m	47.0	68.3	83,6	39,4	96,2	90,5	41,9	8,66	99,5
	4	50,3	87,5	86,2	67,1	99,2	98,8	75,8	6,66	99,5
	22	37,9	66,3	6,76	9,99	8,06	98'2	71,0	94,7	8,66
	9	41,2	62,1	66,5	82,0	99,5	96,4	64,0	6,66	99,1
	7	34,4	53,5	85,3	48,3	8'66	7,66	47,1	95,0	6,66
	00	27,4	40,9	8,86	49,6	71,6	99,2	40,0	9,97	9'66
	თ	33,7	28,8	39,5	62,3	84,7	85,0	64,8	68,7	98,4
IT01 R	10	28,0	94,3	69,3	57,4	98,5	0.86	31,4	8,88	6'66
T02 M	•	42.2	88.8	69,2	61,8	81,4	99,4	6.56	8,86	7,96
T02 M	2	41.4	92,6	0.08	87,6	86,3	0,86	95,9	6,86	99,2
	es	36,2	45,4	64,4	44,3	70,1	85,2	9,89	99,2	97,3
	4	32,4	90,4	97,5	66,2	8,66	98,6	82,6	99,1	98,4
IT02 M	5	43,9	38,4	98,3	66,3	98,2	98,5	59,9	99,1	99,4
IT02 M	9	33,8	47,3	75,4	84,7	57,5	96,2	71,0	98,7	94,3
	7	44,7	25,6	93,1	58,5	94,3	9,76	69,2	6,86	2'96
	80	42,2	61,4	84,8	61,5	98,9	98,9	55,5	6,86	85,3
	6	37,7	8,76	60,5	62,2	42,4	96,6	9,69	98,8	9,96
	10	50,5	97,4	98,4	59,4	6,66	99,1	89,2	99,5	97,9
T03 L	-	35,5	64,3	76,5	50,5	92,3	95,3	45,2	92,2	6'66
	2	26,9	35,6	70,7	35,5	92,4	66	51,0	83,7	8,66
T03 L	6	30,6	8,7	47,3	39,6	43,2	99,2	28,4	91,8	2.66
IT03 L	4	29,3	23,9	43,7	41,4	77,1	9,76	62,0	99,5	99,5
	5	28,5	47,7	51,2	39,4	6,79	77,0	50,1	88,0	8,88
IT03 L	9	31,7	18,9	9,68	48,9	94,7	82,3	43,3	73,1	7,66
	7	27,8	12,8	35,5	51,3	0.68	39,6	71,8	84,1	80,5
	00	30,4	48,8	41,8	49,9	85,9	69,3	20,7	6,76	9'66
	o	34,0	13,8	34,9	54,4	85,6	63,2	9'02	77,1	86,8
	10	38,7	52,1	60,1	51,5	67,8	6,06	51,9	97,5	6,56
T04 P	-	43,9	98,4	63.6	29,0	8,66	98,4	75,4	95,2	7,66
	2	58,0	97,5	98,0	89,3	8,66	6'86	98,3	6,66	97,3
	m	37,1	34,0	8,69	6,69	99,5	92,5	77,5	98,4	6'66
	4	54.6	62,8	20,5	83,6	95,6	98,8	90'06	96,5	8,66
1	- CJ	46.2	27.8	89,9	67,8	75,1	97,2	75,1	87,6	9.66
	9	46.2	31,1	34.7	58,7	6,86	98,9	94,4	6,96	1.66
	_	47.6	82,4	84,1	53,0	88,5	98,86	78,3	6,66	8,66
IT04 P	00	45,8	0'09	92,8	78,5	9,66	98,3	76,7	7,66	2'66
	o	37.7	6'96	7,08	64,0	99,1	95,3	80,8	99,5	98,2
								-		

Tab. 2: Deskriptive Statistik zum Streuabbau in den vier Standorten (Beobachtungszeitraum 2000-2003). ( 📝 🕧 🖰 🕫 🔊

									Streuabbau (%)	au (%)			
		i				100	Media	Minimim	Maximim	Standard-	Standard-	Variations-	Quartils-
Streutyp	Exposition	Standort	די	Expos.	z	MITTEIW.	Median	шршшиш	MAXIMUM	1	aD.w.	NOCHIET CHE	200
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT01	œ	00-01	10	36,26	34,07	27,45	50,28	2,468	7,803	21,52	11,030
Cellulose	Bodenoberfläche	1T01	ĸ	00-01	10	60,50	27,77	23,74	99,28	8,447	26,712	44,15	46,599
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT01	œ	00-01	10	75,60	84,46	31,33	98,80	7,580	23,971	31,71	31,023
Vioforogolo	Dodonohorfilloha	IT02	W	00-01	10	40.50	41.78	32.39	50.51	1,742	5,508	13,60	7,709
Colluinea	Rodenoberfläche	IT02	2	00-01	10	68,50	75.06	25,61	77,78	8,786	27,785	40,56	47,285
Cellulose	2 cm Bodentiefe	1702	×	00-01	10	83,18	87,40	60,53	98,45	4,635	14,657	17,62	28,304
								9			101 0	000	9
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT03	_	00-01	10	31,36	30,53	26,95	38,75	2,031	3,721	11,00	0,400
Cellulose	Bodenoberfläche	IT03	_	00-01	10	32,66	29,74	8,69	64,31	6,205	19,621	10,00	24.40
Cellulose	2 cm Bodentiefe	1703	-	00-01	10	55,14	49,25	34,91	86,58	9,859	18,528	33,60	70,030
Viotography	Dodonohorflicho	ITOA	۵	00.01	10	46.38	46 22	37.13	57.97	2.031	6,422	13,85	3,674
Cellulose	Rodenoberfläche	IT04	. Δ	00-01	10	68.46	72,60	27,81	98,44	9,260	29,284	42,78	62,898
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT04	۵.	00-01	10	75,86	86,97	20,55	98,03	8,514	26,923	35,49	24,070
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT01	œ	00-02	10	61,82	61,94	39,36	83,94	4,479	14,164	22,91	17,467
Cellulose	Bodenoberfläche	IT01	œ	00-05	10	92,41	97,36	71,56	99,75	3,004	9,500	10,28	14,795
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT01	œ	00-02	10	95,29	98,39	85,02	99,73	1,844	5,830	6,12	9,010
										0		7007	1000
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT02	Σ	00-02	10	65,25	62,02	44,30	87,58	3,990	12,010	18,04	0,93
Cellulose	Bodenoberfläche	1102	Σ	00-05	10	83,87	95,32	15,27	00,00	0,010	000,02		20,03
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT02	Σ	00-02	10	96,80	98,21	71,68	n n n n	455,1	4,220	00'+	707'7
Kioforoadola	Bodonoharflächa	IT03		00-02	10	46.24	49.41	35,55	54,39	2,073	6,556		11,668
Colluloso	Dodooborffacho	IT03	-	00-02	10	79.60	85 75	43.20	94.74	5,084	16,076	20,20	24,453
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT03	ب ر	00-05	10	81,37	86,59	39,60	99,26	6,172	19,518		28,252
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	1T04	۵	00-02	10	68,88	66,30	53,05	89,33	3,685	11,652		19,557
Cellulose	Bodenoberfläche	IT04	۵.	00-02	10	95,52	99,17	75,08	99,84	2,528	7,994		3,979
Cellulose	2 cm Bodentiefe	1104	۵	00-05	10	97,29	98,34	92,50	68,89	0,674	2,132	2,19	2,933
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT01	œ	00-03	10	55,68	60'33	31,39	75,82	4,643	14,682		22,821
Cellulose	Bodenoberfläche	1101	œ	00-03	10	89,77	94,86	68,73	99,94	3,681	11,640	•	22,554
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT01	œ	00-03	10	99,44	99,50	98,41	66'66	0,141	0,445	0,45	866,0
Kiofornadoln	Bodenoharfläche	IT02	N	00-03	10	75.54	70.29	55.54	95,91	4,446	14,061	18,61	20,618
Callulose	Rodenoherfläche	IT02	Σ	00-03	10	98,99	98,88	98,70	99,52	0,080	0,254		0,318
Cellulose	2 cm Bodentiefe	1T02	Σ	00-03	10	96,14	97,01	85,32	99,38	1,293	4,088	4,25	2,142
				6		i.	0	000	71 90	7 114	13 008	24.78	16.764
Kiefernadeln	Bodenoberflache	1103	۷.	00-03	0,0	05,26	00,00	20,30	00,17	7,5	8,000		13.830
Cellulose	Bodenoberflache	1103	ـ بـ	00-03	2 0	000,400	28,80	80.46	98 55	2,030	6.844		5.811
Cellulose	2 cm Bodentiere	1103		00-03	2	70,08	2	01.00		2			
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT04	۵.	00-03	10	82,88	79,53	75,11	98,31	2,669	8,441	<i>*</i>	13,857
Cellulose	Bodenoberfläche	IT04	Д	00-03	10	97,27	98,77	87,56	99,92	1,196	3,782		3,197
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT04	Д	00-03	10	99,24	69.66	97,30	68,66	0,279	0,882	68'0	1,087
												1	

Fortsetzung Tab. 2

									Streuabbau (%)	(%)			
										Standard-	Standard-	Variations-	Quartils-
Streutyp	Exposition	Standort	lort	Expos.	z	Mittelw.	Median	Minimum	Maximum	fehler	abw.	koeffizient	abstand
Kiefernadeln	Rodenoherfläche	IT01	œ	01-02	10	25.56	28.66	-7,66	51,56	5,061	16,004	62,61	14,507
Callulosa	Bodenoberfläche	IT01	: œ	01-02	10	31,91	34,03	-8,48	75,71	7,881	24,923	78,12	34,609
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT01	. œ	01-02	10	19,69	13,52	0,41	54,78	6,081	19,230	97,65	27,678
Kiefernadeln	Rodenoherfläche	1T02	Σ	01-02	10	24.75	21.01	8,07	50,93	4,639	14,671	59,28	19,945
Cellulose	Bodenoberfläche	T07	Σ	01-02	10	15,38	9,82	-55,40	68,72	11,204	35,429	230,38	35,069
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT02	Σ	01-02	10	13,63	11,03	0,20	36,09	4,083	12,911	94,75	19,617
Kiefernadeln	Rodenoberfläche	IT03	_	01-02	10	14.88	13,85	8,60	23,49	1,612	5,099	34,27	8,678
Cellulose	Rodenoherfläche	IT03	-	01-02	10	46,93	45,22	15,73	76,18	7,260	22,957	48,92	43,742
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT03	_	01-02	10	26,23	27,90	-7,31	53,84	5,892	18,632	71,03	11,955
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	1T04	۵	01-02	10	22,50	23,95	5,44	32,80	3,003	9,495		16,304
Cellulose	Bodenoberfläche	IT04	Δ.	01-02	10	27,06	19,45	1,40	67,87	8,519	26,939		45,061
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT04	۵	01-02	10	21,44	10,95	0,86	78,27	8,625	27,275	127,23	18,168
Kioformadola	Rodenoherfläche	IT04	2	02-03	10	-6.14	-1.97	-26.03	8,73	3,822	12,086	-196,68	20,611
Collinboo	Bodenoberfläche	IT01	. œ	02-03	10	-2.64	0.34	-15,93	5,02	2,273	7,189	0.E0	10,790
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT01	<u> </u>	02-03	9	4,15	1,33	-0,50	13,39	1,762	5,572		8,707
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT02	Σ	02-03	10	10.29	9,49	-13,73	32,13	4,970	15,716		30,234
Cellulose	Bodenoberfläche	IT02	Σ	02-03	10	15,12	3,53	-0,70	56,42	6,481	20,494		29,173
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT02	Σ	02-03	10	99'0-	-0,74	-13,58	12,17	1,957	6,189	-937,76	2,751
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT03	_	02-03	10	6,26	5,74	-11,23	20,58	3,737	11,816		21,495
Cellulose	Bodenoberfläche	IT03		02-03	10	8,89	5,92	-21,66	48,61	6,786	21,460		30,776
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT03	_	02-03	10	14,46	10,99	0,44	40,86	4,559	14,418	99,72	21,630
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT04	۵	02-03	10	14,01	12,67	-1,84	35,72	3,385	10,704		9,658
Cellulose	Bodenoberfläche	IT04	Д	02-03	10	1,75	0,11	-4,65	12,48	1,777	5,620		1,946
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT04	۵	02-03	10	1,94	1,36	-1,59	7,39	0,729	2,305	118,73	1,831

Expos. 00-01 = 1. Jahr der Exposition (von 2000-2001) Expos. 00-02 = 2 Jahre Exposition (von 2000-2002) Expos. 00-03 = 3 Jahre Exposition (von 2000-2003) Expos. 01-02 = 2. Jahr der Exposition (von 2001-2002) Expos. 02-03 = 3. Jahr der Exposition (von 2002-2003)

# 3.1 Generelle Tendenzen des Streuabbaus im Freiland

Analog zu den Ergebnissen nach 1 und 2 Jahren Exposition war auch nach insgesamt 3 Jahren der Abbau von Kiefernnadeln (31-46%, 46-69%, 53-83% Abbau nach 1, 2 und 3 Jahren) wesentlich niedriger als der von Cellulose auf der Bodenoberfläche (33-69%, 80-96%, 89-99% Abbau nach 1,2 und 3 Jahren) oder im Boden (55-83%, 81-97%, 96-99% Abbau nach 1, 2 und 3 Jahren) (Tab. 3, Abb. 1-5). Während Cellulose innerhalb von 3 Jahren vollständig mineralisiert wurde, wurde ein beträchtlicher Teil der ausgelegten Kiefernnadeln nicht verwertet. Der Grund für die langsamere Mineralisation der Kiefernnadeln liegt in deren hohen Gehalten an schwer abbaubaren Inhaltsstoffen wie Lignin, Wachsen, Harzen und Gerbstoffen, sowie in deren zellulärem Aufbau.

Berücksichtigt man nur den Streuabbau im 1., 2. bzw. 3. Jahr (Differenzbildung der Abbauraten in den Jahren 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003), so war für alle Streuvarianten im 2. Jahr bereits eine wesentlich geringere Abbauaktivität als im 1. Jahr festzustellen; im 3. Jahr nahm die Abbaurate weiterhin ab. Kiefer und Cellulose auf der Bodenoberfläche wurden im 3. Jahr im Ausmaß von 0-14% (Kiefer) bzw. 0-15% (Cellulose) abgebaut, Cellulose im Boden im Ausmaß von 0-15% (Tab. 3, Abb. 1-2). Die Ursache hierfür ist darauf zurückzuführen, dass der überwiegende Anteil der leicht mineralisierbaren Anteile bereits während des 1. Jahres der Exposition im Freiland abgebaut wurde; mit zunehmender Expositionszeit nahm die Verfügbarkeit des mineralisierbaren Materials kontinuierlich ab. Die unterschiedliche Abbaugeschwindigkeit bei auf der Bodenoberfläche und im Boden exponierter Cellulose ist auf mikroklimatische Unterschiede und einen innigeren Kontakt mit abbauaktiven Mikroorganismen und Kleintieren im Boden zurückzuführen. Weiters kommt es an der Oberfläche während des Jahres häufig zu abbauhemmender Austrocknung, auch wirkt Frost deutlich früher hemmend als im Boden selbst.

Während nach 1 Jahr vergleichsweise hohe Standardabweichungen (bis zu 60% des Mittelwertes) beobachtet wurden, waren diese nach insgesamt 2 bzw. 3 Jahren deutlich niedriger (Tab. 2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass einerseits Cellulose nahezu vollständig abgebaut wurde, und andererseits die Streuabbauaktivität im 2. und 3. Jahr sukzessive deutlich abgenommen hatte. Berücksichtigt man jedoch nur den Abbau im 2. bzw. 3. Jahr, traten sehr hohe Standardabweichungen auf, die auf die hohe Abweichung zwischen den 10 Auslegestellen (= Parallelen) zurückzuführen sind. Die Ursache hierfür liegt in den starken Inhomogenitäten von Waldböden. Kleinräumig unterschiedliche Mächtigkeiten der Böden, Durchsetzung mit Steinen und Baumwurzeln, unterschiedlicher Bedeckungsgrad durch Pflanzen,

wechselnde Pflanzenarten und Streutyp, unterschiedliche Beschattung sowie das kleinräumig wechselnde Mikroklima sind wesentliche Standortfaktoren.

Tab. 3: Streuabbau in den vier Standorten (Mittelwerte und Standardabweichung der 10 Auslegestellen je Standort) im Beobachtungszeitraum 2000-2003.

Stand	lort	N			% Streu	abbau		
		P.	2000-2001	(1. Jahr)	2001-2002	(2. Jahr)	2002-2003	(3. Jahr)
			Mittelwert	STD	Mittelwert	STD	Mittelwert	STD
					Kiefernadeln (Bo			
ITO1	R	10	36,3	7,8	25,6	16,0	O*	12,1
IT02	M	10	40,5	5,5	24,8	14,7	10,3	15,7
IT03	L	10	31,4	3,7	14,9	5,1	6,3	11,8
IT04	Р	10	46,4	6,4	22,5	9,5	14,0	10,7
					Cellulose (Bode	enoberfläche		1967.70
ITO1	R	10	60,5	26,7	31,9	24,9	0*	7,2
IT02	М	10	68,5	27,8	15,4	35,4	15,1	20,5
IT03	L	10	32,7	19,6	46,9	22,9	8,9	21,5
IT04	Р	10	68,5	29,3	27,1	26,9	1,8	5,6
					Cellulose (2 cm	n Bodentiefe	)	
ITO1	R	10	75,6	23,9	19,7	19,2	4,2	5,6
IT02	М	10	83,2	14,7	13,6	12,9	0*	6,2
IT03	L	10	55,1	18,5	26,2	18,6	14,5	14,4
IT04	P	10	75,9	26,9	21,4	27,3	1,9	2,3

Star	ndort	N			Kiefernadeln (Bo % Streu		ne)	
			2000-2001	(1 Jahr)	2000-2002	(2 Jahre)	2000-2003	(3 Jahre)
			Mittelwert	STD	Mittelwert	STD	Mittelwert	STD
ITO1	R	10	36,3	7,8	61,8	14,2	55,7	14,7
IT02	M	10	40,5	5,5	65,3	12,6	75,5	14,1
IT03	L I	10	31,4	3,7	46,2	6,6	52,5	13,0
IT04	P	10	46,4	6,4	68,9	11,7	82,9	8,4
					Cellulose (Bode	enoberfläche	)	9 N RS
ITO1	R	10	60,5	26,7	92,4	9,5	89,8	11,6
IT02	М	10	68,5	27,8	83,9	20,6	99,0	0,3
IT03	L	10	32,7	19,6	79,6	17,1	88,5	9,0
IT04	Р	10	68,5	29,3	95,5	8,0	97,3	3,8
					Cellulose (2 cn	n Bodentiefe	)	(8062
IT01	R	10	75,6	23,9	95,3	5,8	99,4	0,4
IT02	М	10	83,2	14,7	96,8	4,2	96,1	4,1
IT03	L	10	55,1	18,5	81,4	19,5	95,8	6,8
IT04	P	10	75,9	26,9	97,3	2,1	99,2	0,9

<sup>\*</sup> Ein rechnerisch ermittelter negativer Abbau wurde mit einem Abbau von 0% gleichgesetzt (3. Jahr; Kiefernnadeln und Cellulose auf der Bodenoberfläche in IT01, Cellulose in 2 cm Bodentiefe in IT02).

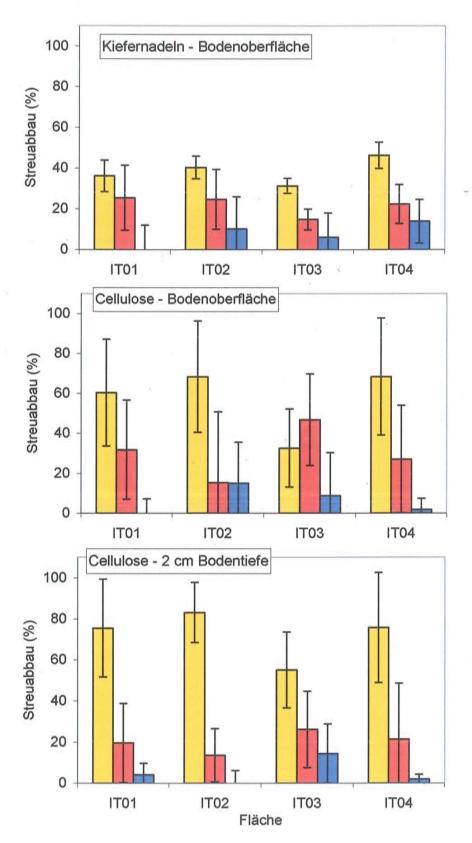


Abb. 1: Abbau von Kiefernnadeln (auf der Bodenoberfläche exponiert; *oben*) und Cellulose (auf der Bodenoberfläche *(Mitte)* und in 2 cm Bodentiefe exponiert *(unten)*) an den vier Standorten im 1. Jahr (*gelb*; 2000-2001), 2. Jahr (*rot*; 2001-2003) und 3. Jahr (*blau*, 2002-2003) der Exposition. IT01 = Ritten, IT02 = Montiggl, IT03 = Lavazè, IT04 = Pomarolo.

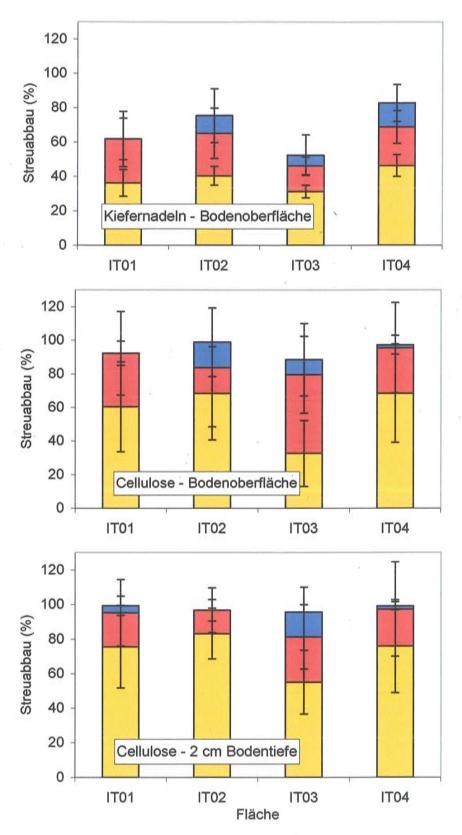


Abb. 2: Kumulativer Abbau von Kiefernnadeln (*oben*) und Cellulose (auf der Bodenoberfläche (*Mitte*) und in 2 cm Bodentiefe exponiert (*unten*)) an den vier Standorten im 1. Jahr (*gelb*; 2000-2001), 2. Jahr (*rot*; 2001-2003) und 3. Jahr (*blau*, 2002-2003) der Exposition. IT01 = Ritten, IT02 = Montiggl, IT03 = Lavazè, IT04 = Pomarolo.

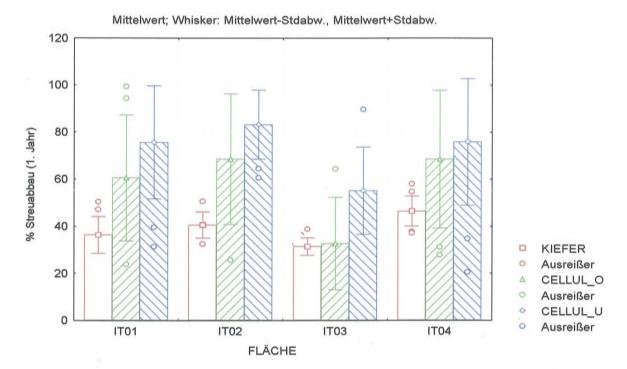


Abb. 3: Abbau von Kiefernnadeln (auf der Bodenoberfläche exponiert; *rot*) und Cellulose auf der Bodenoberfläche *(grün)* und in 2 cm Bodentiefe exponiert *(blau)* an den vier Standorten nach 1 Jahr Exposition (2000-2001). IT01 = Ritten, IT02 = Montiggl, IT03 = Lavazè, IT04 = Pomarolo.

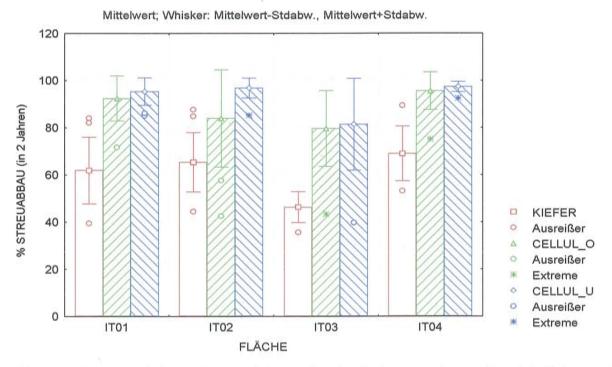


Abb. 4: Abbau von Kiefernnadeln (auf der Bodenoberfläche exponiert; *rot*) und Cellulose auf der Bodenoberfläche (*grün*) und in 2 cm Bodentiefe exponiert (*blau*) an den vier Standorten nach 2 Jahren Exposition (2000-2002).

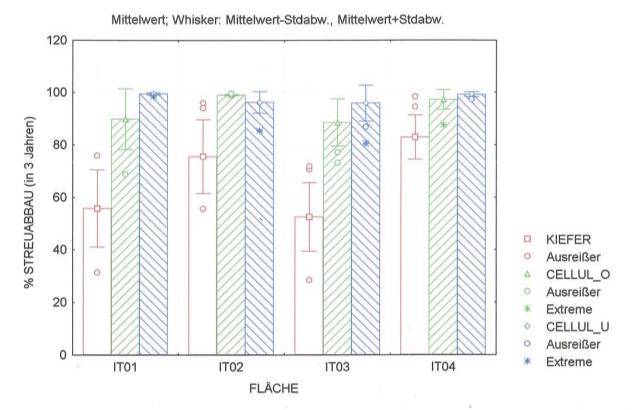


Abb. 5: Abbau von Kiefernnadeln (auf der Bodenoberfläche exponiert; *rot*) und Cellulose auf der Bodenoberfläche (*grün*) und in 2 cm Bodentiefe exponiert (*blau*) an den vier Standorten nach 3 Jahren Exposition (2000-2003).

#### 3.2 Einfluss des Standortes auf den Streuabbau im Freiland

#### 3.2.1 Abbau von Kiefernnadeln

Innerhalb von 3 Jahren hatte ein Abbau von Kiefernnadeln im Ausmaß von 56-83% stattgefunden. Analog zu den Ergebnissen nach 1 und 2 Jahren Exposition konnte auch nach 3 Jahren (Tab. 3, Abb. 3-5) ein hochsignifikanter Einfluss der Standorte auf den Abbau von Kiefernnadeln beobachtet werden (P<0,001). Der Abbau von Kiefernnadeln auf der Bodenoberfläche war auch nach 3 Jahren am Standort IT03 (Lavazè, 53%) niedriger als an den anderei drei Standorten IT01 (Ritten, 56%), IT02 (Montiggl, 76%) und IT04 (Pomarolo, 83%). Ein signifikanter Unterschied (P<0,005) war nur zu den Standorten IT02 und IT04 gegeben.

Berücksichtigt man jedoch nur den Streuabbau im 1., 2. bzw. 3. Jahr (Tab. 3, Abb. 1-2), sieht man, dass der Abbau von Kiefernnadeln mit zunehmender Expositionszeit deutlich abnahm. Der höchste Abbau erfolgte an allen vier Standorten im 1. Jahr (31-46%), bereits im 2. Jahr war an allen vier Standorten der Abbau wesentlich geringer (15-26%). Im 3. Jahr hatte am Standort IT01 (Ritten) kein Abbau von Kiefernnadeln stattgefunden, an den anderen drei Standorten war ein noch geringerer Abbau als im 2. Jahr nachweisbar (6-14%). Die relativ geringen Abbauraten der Nadelstreu in den Folgejahren sind darauf zurückzuführen, dass nach der anfänglichen Mineralisation leicht abbaubarer Streukomponenten (Proteine, Polysaccharide, Cellulose, Pektine) der Anteil schwer abbaubarer Komponenten (Lignine, Wachse, Harze, Huminsäuren) zunahm und somit die Mineralisationsraten geringer wurden. Daneben spielen auch die verschiedenen Bodentypen der vier Standorte sowie der Pflanzenbewuchs und Klimafaktoren eine entscheidende Rolle. Bei der Beurteilung der Abbauraten an den einzelnen Standorten ist die oberflächliche Exposition der Nadelstreu und damit die stärkere Ausgesetztheit gegenüber Trockenheit und Temperatur zu berücksichtigen. Der Standort IT03 (Lavazè) ist besonders durch einen niedrigen pH-Wert des Bodens, einen hohen Anteil an schwer abbaubarer und Säure bildender Koniferenstreu, einem höheren Rohhumusanteil und kaltes, schattiges Klima ausgezeichnet.

#### 3.2.2 Abbau von Cellulose

Die Verwendung von alpha-Cellulose als Standardstreu ist für vergleichende Untersuchungen sinnvoll, da diese Cellulose rein und chemisch definiert ist. Sie ist zudem das mengenmäßig wichtigste Kohlenstoffpolymer von Holz und mengenmäßiger Hauptbestandteil der Pflanzen.

Ein Nachteil liegt jedoch darin, dass alpha-Cellulose durch das chemisch physikalische Herstellungsverfahren nur noch bedingt als natürliches Substrat angesehen werden darf.

Innerhalb von 3 Jahren hatte ein Abbau von auf der Bodenoberfläche exponierter Cellulose im Ausmaß von 89-97% stattgefunden, Cellulose in 2 cm Bodentiefe wurde zu 96-99% abgebaut. Nach 1 und 2 Jahren Exposition (Tab. 3, Abb. 1-4) war der Abbau von auf der Bodenoberfläche ausgelegter Cellulose am Standort IT03 (Lavazè) geringer als an den anderen drei Standorten. Relativ gesehen war jedoch der Celluloseabbau an diesem Standort im 2. Jahr höher als im 1. Jahr. Nach 3 Jahren war der Abbau an den Standorten IT03 (88%) und IT01 (Ritten, 90%) signifikant (P<0.05) geringer als an den Standorten IT02 (Montiggl, 99%) und IT04 (Pomarolo, 97%), wobei zu berücksichtigen ist, dass die Unterschiede zwischen den vier Standorten nur 11% betrugen.

Der Abbau von in den Boden eingegrabener Cellulose war nach 1 und 2 Jahren ebenfalls am Standort IT03 signifikant geringer als an den anderen drei Standorten. Nach 3 Jahren war die Cellulose vollständig mineralisiert, dementsprechend konnte auch kein signifikanter Unterschied zwischen dem Abbau an den vier untersuchten Standorten (96-99%) festgestellt werden.

Berücksichtig man nur den Streuabbau im 1., 2. bzw. 3. Jahr (Tab. 3, Abb. 1-2), sieht man, dass der Abbau von Cellulose analog zum Abbau von Kiefernnadeln mit zunehmender Expositionszeit deutlich abnahm, da nur mehr geringe Cellulosemengen aus dem Vorjahr vorhanden waren. Eine Ausnahme bildete der Standort IT03 (Lavazè), an dem der Celluloseabbau im 2. Jahr (47%) höher war als im 1. Jahr (33%). Der höchste Abbau von Cellulose auf der Bodenoberfläche an den anderen drei Standorten erfolgte jedoch im 1. Jahr (61-69%), im 2. Jahr war der Abbau bereits wesentlich geringer (15-32%). Im 3. Jahr hatte am Standort IT01 (Ritten) kein Abbau mehr stattgefunden, an den anderen drei Standorten war ein noch geringerer Abbau als im 2. Jahr nachweisbar (2-15%). Derselbe Trend galt für Cellulose in 2 cm Bodentiefe, wobei der Standort IT03 keine Ausnahme bildete. Während im 1. Jahr 55-85% der Cellulose abgebaut wurde, waren es im 2. Jahr nur mehr 14-26% und im 3. Jahr lediglich 0-15%.

Generell wurde für den Abbau von Cellulose folgende Tendenz beobachtet: Innerhalb von 3 Jahren hatte ein nahezu vollständiger Abbbau von auf der Bodenoberfläche bzw. in den Boden eingegrabener Cellulose stattgefunden. Die überwiegende Menge der leicht abbaubaren organischen Substanz wurde bereits im 1. Jahr mineralisiert, mit Huminsäuren imprägnierte Restmengen von Cellulose wurden im 2. Jahr verwertet, die verbliebene Restsubstanz wurde im 3. Jahr mineralisiert. Eine Ausnahme bildete der Abbau von Cellulose auf der

Bodenoberfläche in IT03 (Lavazè), der im 2. Jahr größer war als im 1. Jahr; dies ist darauf zurückzuführen, dass wegen des geringen Abbaus im 1. Jahr eine größere Menge leicht verfügbarer Streukomponenten im 2. Jahr vorlag.

#### 3.3 Abbau von Cellulose im Laborversuch

Eine Zusatzuntersuchung befasste sich mit dem Einfluss der Temperatur und Inkubationszeit auf den Abbau von Cellulose auf der Bodenoberfläche im Labor. Wurden die Untersuchungen bei 10°C durchgeführt, zeigte sich, dass innerhalb der ersten 8 Wochen nur ein Abbau von 2,4-2,9% zu verzeichnen war. Nach 16 Wochen war der Celluloseabbau auf der Bodenoberfläche einer Mischprobe des Standortes IT02 (Montiggl) auf 6,9% angestiegen, nach 24 Wochen (ca. 6 Monaten) war mit 25,9% Abbau sogar ein exponentieller Anstieg des Celluloseabbaus zu beobachten. Auf den Böden der restlichen Standorte (IT01, IT03, IT04) war auch nach 24 Wochen nur ein Abbau von 2-3% messbar (Abb. 6).

Wurde als Inkubationstemperatur 20°C gewählt, war ein signifikant höherer Celluloseabbau als bei 10°C zu verzeichnen. Der höchste Abbau (83,9% nach 24 Wochen) trat auch bei dieser Temperatur auf der Bodenoberfläche einer Mischprobe des Standortes IT02 (Montiggl) auf, gefolgt von einer Mischprobe des Standortes IT03 (Lavazè) mit 72,6% Abbau. Auf beiden Bodenproben nahm der Celluloseabbau nach 16 Wochen exponentiell zu. Wesentlich geringer war der Celluloseabbau auf Mischproben der Standorte IT04 (23,9%) und IT01 (14,2%) (Abb. 7). Abb. 8 zeigt den Zustand der Cellulose nach 5 Monaten Inkubation bei 10°C und 20°C. Enzymatischen Grundgesetzen zufolge soll ein Temperaturanstieg von 10°C ca. eine Verdoppelung der Reaktionsrate bewirken (Q<sub>10</sub> = 2). Berechnet man die Q<sub>10</sub>-Werte für den Celluloseabbau nach 2 4 W ochen, erhält man einen Wert von 3,24 für den Abbau auf der B odenstiecherste des Standortes IT03. Der Abbau auf Böden der Standorte IT01 und IT04 war mit

mischprobe des Standortes IT02. Der Abbau auf Böden der Standorte IT01 und IT04 war mit 7,12-7,16 ca. doppelt so hoch. Der höchste Q<sub>10</sub>-Wert (30) wurde auf einer Bodenmischprobe des Standortes IT03 erreicht, demnach herrscht an diesem Standort eine Bodenmikroflora vor, die hinsichtlich des Streuabbaus besonders empfindlich auf niedrige Temperaturen reagiert oder eine wesentlich längere Anlaufzeit benötigt. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Streuabbau nach Abbau der leicht verwertbaren Komponenten sehr langsam, jedenfalls aber niemals linear verläuft. Zudem umfassten die Laboruntersuchungen (ca. 6 Monate) im Vergleich zu den Freilanduntersuchungen (1 Jahr) nur einen begrenzten Zeitraum.

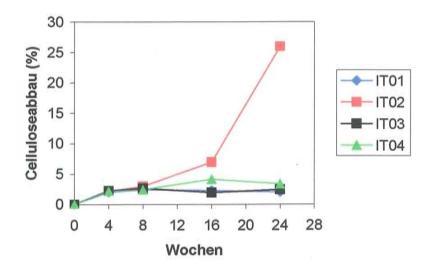


Abb. 6: Celluloseabbau bei 10°C im Laborversuch.

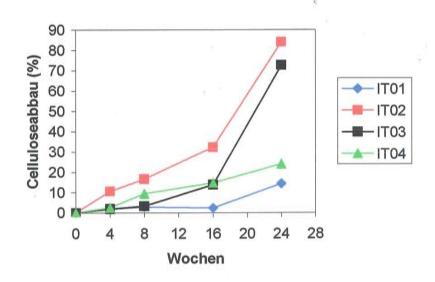


Abb. 7: Celluloseabbau bei 20°C im Laborversuch.

Die ergänzenden Laboruntersuchungen zum Streu(Cellulose)abbau bei 10°C und 20°C unter kontrollierten Temperatur- und Feuchtebedingungen zeigen, dass die Temperatur eine wesentliche steuernde Größe für den Streuabbau darstellt. Die Böden der vier Standorte reagieren demnach durchaus verschieden auf niedrige und moderate Temperaturen. Bemerkenswert ist, dass der alpine Boden aus Montiggl (IT02) bereits bei 10°C nach 24 Wochen deutliche Streuabbau-Aktivität zeigte, währen die beiden Böden aus den subalpinen Standorten IT01 (Ritten) und IT03 (Lavazè) dies nicht taten. Dies verwundert, da man gerade in diesen Böden an niedrige Temperaturen angepasste Bodenmikroorganismen vermuten würde.

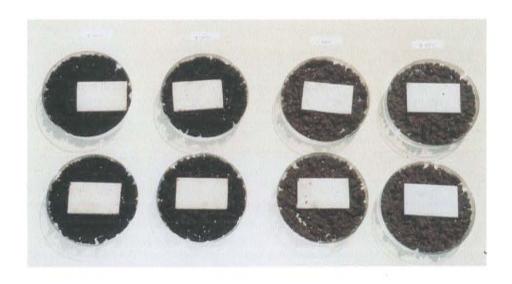




Abb. 8: Celluloseabbau nach 5 Monaten Inkubation bei 10°C (oben) und 20°C (unten) auf Bodenmischproben der vier untersuchten Standorte.

Von links nach rechts: IT03 (Lavazè), IT01 (Ritten), IT02 (Montiggl), IT04 (Pomarolo); die beiden Reihen stellen jeweils zwei Parallelen dar.

Die Abbaustudie bei 20°C lässt ein gutes Streuabbaupotential der Böden an den Standorten IT02 (Montiggl) und IT03 (Lavazè) erkennen. Der Standort IT03 scheint hinsichtlich der Streuabbaurate vorwiegend durch die niedrige Standorttemperatur benachteiligt zu sein. Die mindere Bodenqualität (Rohhumus) dürfte also nur von untergeordneter Bedeutung sein. In den Freilanduntersuchungen hatte dieser Boden stets eine signifikant geringere Streuabbauleistung als die Böden der anderen drei Standorte aufgewiesen. Böden des Standortes IT02 scheinen von guter Qualität für mikrobielle Abbauleistungen zu sein, bei 10°C und 20°C zeigten sie einen respektablen Abbau der Cellulose im Laborversuch. Die im Laborversuch eher geringe Abbauleistung der Böden aus Pomarolo (IT04) im Vergleich zu den guten Abbauleistungen im Freiland lassen sich mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht eindeutig interpretieren. Möglicherweise sind am Originalstandort die Abbauleistungen auf die obersten Bodenschichten konzentriert, während für den Versuch im Labor inaktiveres Bodenmaterial aus tieferen Bodenschichten Anwendung fand.

# 3.4 Einfluss der Expositionsdauer auf den Streuabbau im Freiland

Vergleicht man den Streuabbau von Kiefernnadeln und Cellulose im-1. Jahr mit der Abbauaktivität im 2. und 3. Jahr der Exposition an den vier Standorten, zeigte sich deutlich, dass
aller drei Streuvarianten (Kiefernnadeln und Cellulose auf der Bodenoberfläche, Cellulose im
Boden eingegraben) im 1. Jahr hochsignifikant (P<0,001) schneller abgebaut wurden als im 2.
Jahr der Exposition, ebenso war der Abbau im 2. Jahr signifikant höher als im 3. Jahr (Tab. 4,
Abb. 6). Dies kann im Fall von Cellulose damit erklärt werden, dass ein Großteil des ausgebrachten M aterials b ereits i m 1. Jahr m ineralisiert worden war und somit nur mehr relativ
geringe Cellulosemengen für den den Abbau zur Verfügung standen. Bei den Kiefernnadeln
wurden im ersten Jahr vorwiegend Proteine, Cellulose, Xylane und Pektine abgebaut,
während Lignine, Wachse, Harze und Gerbstoffe, wenn auch in quantitativ geringerer Menge,
übrig blieben und – im Unterschied zu Cellulose - auch innerhalb von 3 Jahren nicht vollständig mineralisiert werden konnten.

Tab. 4: Streuabbau in den vier Standorten im 1.,2. und 3. Jahr der Exposition unter Einbeziehung der 10 Parallelen (=Auslegestellen) aller vier Standorte.

Streutyp	Exposition	N	% Streus	abbau
			Mittelwert	STD
			2000-2001	(1. Jahr)
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	40	38,6	8,1
Cellulose	Bodenoberfläche	40	57,5	29,2
Cellulose	2 cm Bodentiefe	40	72,4	23,3
			2001-2002	(2. Jahr)
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	40		1
Cellulose	Bodenoberfläche	40	21,9	12,4
Cellulose	2 cm Bodentiefe	40	30,3	29,2
			20,2	19,9
			2002-2003	(3. Jahr
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	40	6,1	14,4
Cellulose	Bodenoberfläche	40	5,8	16,4
Cellulose	2 cm Bodentiefe	40	5,0	9,9

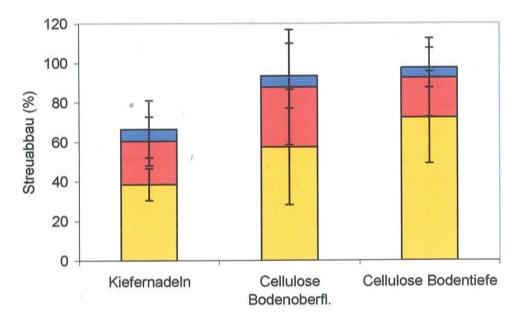


Abb. 6: Kumulativer Abbau von Kiefernnadeln und Cellulose (auf der Bodenoberfläche und in 2 cm Bodentiefe exponiert) im 1. Jahr (*gelb*; 2000-2001), 2. Jahr (*rot*; 2001-2003) und 3. Jahr (*blau*, 2002-2003) der Exposition unter Einbeziehung der 10 Parallelen aller vier Standorte (N=40).

# 3.5 Einfluss der Expositionsart und des Streutyps auf den Streuabbau

# 3.5.1 Einfluss der Expositionsart von Cellulose

Vergleicht man den Abbau von auf der Bodenoberfläche ausgelegter Cellulose mit jenem von Cellulose in 2 cm Bodentiefe im Laufe der Exposition, sieht man, dass weder im 1. noch im 2. oder 3. Jahr der Exposition ein statistisch erfassbarer Unterschied an den einzelnen vier Standorten festzustellen war (Tab. 5), was jedoch u.a. auch auf die hohe Standardabweichung zurückzuführen war. Im 1. Jahr der Exposition konnte ein insgesamt (d.h. ohne Unterscheidung der Standorte) signifikanter Trend beobachtet werden, wonach der Celluloseabbau in 2 cm Bodentiefe schneller abgebaut wurde als auf der Bodenoberfläche. Dieser Trend war auch an den vier einzelnen Standorten zu beobachten, wenn auch statistisch nicht erfassbar. Das ausgeglichenere Mikroklima (Feuchte und Temperatur) der im Boden eingebrachten Cellulose führte zu höheren Abbauraten und einem rascheren Verbrauch des Streuexponates. Allerdings war im 2. Jahr der Exposition der Abbau von Cellulose höher, wenn diese auf der Bodenoberfläche auflag (durchschnittlichlicher Abbau an den vier Standorten 30%) als wenn sie in den Boden eingegraben war (durchschnittlicher Abbau an den vier Standorten 20%). Dieser Trend setzte sich auch im 3. Jahr fort (durchschnittlicher Abbau an den vier Standorten 6% (Bodenoberfläche) bzw. 5% (2 cm Bodentiefe)). Dies erklärt sich damit, dass in den an der Bodenoberfläche exponierten Streuproben durch die ungünstigeren mikroklimatischen Verhältnisse und den geringeren Kontakt mit den Bodenmikroorganismen im 2. Jahr noch ein größerer Celluloseanteil aus dem Vorjahr vorhanden war. Im 3. Jahr war die zur Verfügung stehende Cellulosemenge ohnehin nur mehr sehr gering.

# 3.5.2 Einfluss des Streutyps auf den Streuabbau

Ein Vergleich des Abbaus der beiden auf der Bodenoberfläche ausgelegten unterschiedlichen Streutypen Kiefernnadeln und Cellulose zeigte nach insgesamt 1, 2 und 3 Jahren einen hochsignifikanten (P<0.001) Einfluss des Streutyps. Demnach wurde signifikant mehr Cellulose (nach 3 Jahren 94%) als Kiefernnadeln (67%) abgebaut. Diese Signifikanz konnte auch in den einzelnen vier Standorten nachgewiesen werden. Wie bereits oben erwähnt ist der langsamere Abbau der Kiefernnadeln auf den Gehalt an Ligninen, Wachsen, Harzen und Gerbstoffen zurückzuführen.

Tab. 5: Einfluss der Exposition auf den Abbau von Cellulose an den vier Standorten.

Standort	Cellulose Exposition	Streuab Mittelwert	bau (%) STD	N	Signifika	anzniveau (p-Wert)
		1. Jahr (2	000-2001)			
alle 4 Standorte	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	58,1 71,9	28,6 24,3	40	0,0030	signifikant (**)
IT01 Ritten	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	60,5 75,6	26,7 24,0	10	0,0910	nicht signifikant
T02 MontiggI	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	68,5 83,2	27,8 14,7	10	0,1874	nicht signifikant
IT03 Lavaze	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	34,8 53,0	18,5 22,0	10	0,0524	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	68,5 75,9	29,3 26,9	10	0,45149	nicht signifikant
		2. Jahr (2	001-2002)			
alle 4 Standorte	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	30,3 20,2	29,2 19,9	40	0,0588	nicht signifikant
IT01 Ritten	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	31,9 19,7	24,9 19,2	10	0,0800	nicht signifikant
IT02 MontiggI	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	15,4 13,6	35,4 12,9	10	0,9047	nicht signifikant
IT03 Lavaze	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	46,9 26,2	23,0 18,6	10	0,0970	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	27,1 21,4	26,9 27,3	10	0,05341	nicht signifikant
		3. Jahr (2	002-2003)			
alle 4 Standorte	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	5,8 5,0	16,4 9,9	40	0,0588	nicht signifikant
IT01 Ritten	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	-2,6 4,2	7,2 5,6	10	0,0800	nicht signifikant
IT02 MontiggI	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	15,1 -0,7	20,5 6,2	10	0,9047	nicht signifikant
IT03 Lavaze	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	21,5 14,4	21,5 14,4	10	0,0970	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Bodenoberfläche 2 cm Bodentiefe	5,6 2,3	5,6 2,3	10	0,05341	nicht signifikant

Tab. 6: Einfluss des Streutyps auf den Streuababbau an den vier Standorten.

Standort	Cellulose Exposition	Streuab Mittelwert	bau (%) STD	Ν	Signifika	anzniveau (p-Wert)
		1. Jahr (2	000-2001)			
alle 4 Standorte	Kiefernadeln Cellulose	38,6 58,1	8,1 28,6	40	0,0000	signifikant (***)
IT01 Ritten	Kiefernadeln Cellulose	36,3 60,5	7,8 26,7	- 10	0,0126	signifikant (*)
IT02 MontiggI	Kiefernadeln Cellulose	40,5 68,5	5,5 27,8	10	0,0119	signifikant (*)
IT03 Lavaze	Kiefernadeln Cellulose	31,4 34,8	3,7 18,5	10	0,5397	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Kiefernadeln Cellulose	46,4 68,5	6,4 29,3	10	0,0380	signifikant (*)
		2. Jahr (2	001-2002)			
alle 4 Standorte	Kiefernadeln Cellulose	21,9 31,3	12,4 29,2	40	0,1051	nicht signifikant
IT01 Ritten	Kiefernadeln Cellulose	25,6 31,9	16,0 24,9	10	0,4344	nicht signifikant
IT02 MontiggI	Kiefernadeln Cellulose	24,8 15,4	14,7 35,4	10	0,4915	nicht signifikant
IT03 Lavaze	Kiefernadeln Cellulose	14,9 46,9	5,1 23,0	10	0,0008	signifikant (***)
IT04 Pomarolo	Kiefernadeln Cellulose	22,5 27,1	9,5 26,9	10	0,6025	nicht signifikant
		3. Jahr (2	002-2003)			7
alle 4 Standorte	Kiefernadeln Cellulose	6,1 5,8	14,4 16,4	40	0,9251	nicht signifikant
IT01 Ritten	Kiefernadeln Cellulose	-6,1 -2,6	12,1 7,2	10	0,4338	nicht signifikant
IT02 MontiggI	Kiefernadeln Cellulose	10,3 15,1	15,7 20,5	10	0,5921	nicht signifikant
IT03 Lavaze	Kiefernadeln Cellulose	6,3 8,9	11,8 21,5	10	0,7684	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Kiefernadeln Cellulose	14,0 1,8	1,7 5,6	10	0,0112	signifikant (*)

Berücksichtigt man jedoch nur die Abbauraten an den vier Standorten im 1., 2. bzw. 3. Jahr, so war lediglich im 1. Jahr, aber nicht mehr im 2. und 3. Jahr ein signifikanter Unterschied zwischen Kiefernnadeln- und Celluloseabbau zu verzeichnen (Tab. 6). Diese Tendenz war auch an den einzelnen Standorten festzustellen. War im 1. Jahr noch an drei von vier Standorten der Abbau von Cellulose signifikant höher als der von Kiefernnadeln, so konnte im 2. Jahr lediglich am Standort IT03 (Lavazé) und im 3. Jahr am Standort IT04 (Pomarolo) ein signifikant höherer Abbau von Cellulose als von Kiefer nachgewiesen werden (Tab. 6). Verantwortlich dafür mögen die jeweiligen Standortbedingungen (Boden, Klima) sein.

# 4. Zusammenfassung

Zur Beurteilung des Streuabbaus im Freiland in unterschiedlichen Waldstandorten der Provinzen Bozen (Dauerbeobachtungsflächen IT01 Ritten, IT02 Montiggl) und Trient (Dauerbeobachtungsflächen IT03 Lavazè, IT04 Pomarolo) wurden im Zeitraum 2000-2003 Kiefernnadeln in Taschen aus feinem Nylonnetz (Maschenweite 1 mm) auf der Bodenoberfläche exponiert. Als zweiter Streutyp wurde Cellulose auf der Bodenoberfläche und in 2 cm Bodentiefe ausgelegt. Je Streutyp und Standort wurden 10 Auslegestellen verwendet (N = 10). Nach 1, 2 und 3 Jahren Exposition wurde der Streuabbau durch Differenzwägung bestimmt. Anhand statistischer Analysen wurde der Einfluss des Standortes, der Expositionsdauer und des Streutyps auf den Streuabbau im Freiland ermittelt. Die Ergebnisse zeigten, dass der Versuchsansatz (exponierte Streutypen, Expositionsart und -dauer) für die Beantwortung der Fragestellung geeignet war.

Der Standort beeinflusste den Streuabbau im Freiland hochsignifikant (P<0,001). Kiefernnadeln wurden nach 1, 2 und 3 Jahren am Standort IT03 (Lavazè) stets im einem geringeren Ausmaß mineralisiert als an den anderei drei Standorten. Auch der Abbau von auf der Bodenoberfläche ausgelegter und in den Boden eingegrabener Cellulose war nach 1 und 2 Jahren Exposition am Standort IT03 geringer als an den anderen drei Standorten. Relativ gesehen war jedoch der Celluloseabbau an diesem Standort im 2. Jahr höher als im 1. Jahr. Nach 3 Jahren war der Abbau von Cellulose auf der Bodenoberfläche in IT03 sowie am Standort IT01 (Ritten) immer noch signifikant geringer als an den Standorten IT02 (Montiggl) und IT04 (Pomarolo). Verantwortlich dafür sind die am Standort IT03 ungünstigen bodenkundlichen (niedriger pH-Wert des Bodens, hoher Anteil an schwer abbaubarer und Säure bildender

Koniferenstreu, hoher Rohhumusanteil) und klimatischen Verhältnisse (kaltes, schattiges Klima).

Insgesamt wurde das exponierte Streumaterial an den klimatisch und bodenkundlich günstigen Standorten IT02 (Montiggl) und IT04 (Pomarolo) rascher abgebaut als an den subalpinen Standorten IT01 (Ritten) und IT03 (Lavazè). An den beiden subalpinen Standorten war der Streuabbau an dem nach Süden geneigten Hang am Ritten (IT01) gegenüber dem nach Norden geneigten Hang am Lavazèjoch (IT03) deutlich bevorzugt. Der für den Standort IT03 charakteristische saure Rohhumusboden ist ein Beleg für die langfristig ungünstigen Klimabedingungen.

Die Mineralisationsrate nahm unabhängig vom Streutyp mit zunehmender **Expositionsdauer** an allen vier Standorten kontinuierlich ab. Im 2. Jahr der Exposition war bereits generell eine hochsignifikant (P<0,001) geringere Abbauaktivität als im 1. Jahr festzustellen; im 3. Jahr nahm der Abbau weiterhin signifikant ab. Der Abbau von Kiefernnadeln im 1., 2. und 3. Jahr betrug jeweils 31-46%, 15-26% und 0-14%. Cellulose im Boden wurde jeweils im Ausmaß von 55-83%, 14-26% und 0-15% abgebaut. Cellulose auf der Bodenoberfläche wurde an den drei Standorten IT01, IT02 und IT04 ebenfalls im 1. Jahr (61-69%) stärker als im 2. Jahr (31-47%) verwertet. Eine Ausnahme bildete der Standort IT03 (Lavazè), an dem der Abbau im 2. Jahr (47%) höher war als im 1. Jahr (33%). Im 3. Jahr hatte am Standort IT01 (Ritten) kein Abbau mehr stattgefunden, an den anderen drei Standorten war ein noch geringerer Abbau als im 2. Jahr nachweisbar (2-15%). Ursache für die Abnahme der Mineralisationsrate mit zunehmender Expositionsdauer war die kontinuierlich geringer werdende Menge an verfügbarem abbaubarem Material.

Ebenso an allen vier Standorten war ein hochsignifikanter Einfluss (P<0,001) des **Streutyps** (Kiefernnadeln versus Cellulose) auf den Streuabbau festzustellen. Der Abbau von Kiefernnadeln (31-46%, 46-69%, 53-83% Abbau nach 1, 2 und 3 Jahren) war wesentlich geringer als der von Cellulose auf der Bodenoberfläche (33-69%, 80-96%, 89-99% Abbau nach 1, 2 und 3 Jahren) oder im Boden (55-83%, 81-97%, 96-99% Abbau nach 1, 2 und 3 Jahren). Berücksichtigt man jedoch nur die Abbauraten an den vier Standorten im 1., 2. bzw. 3. Jahr, so war lediglich im 1. Jahr, aber nicht mehr in den Folgejahren ein signifikant höherer Abbau von Kiefernnadeln als von Cellulose zu verzeichnen. Cellulose wurde innerhalb von 3 Jahren zumeist vollständig mineralisiert, während ein beträchtlicher Teil der ausgelegten Kiefernnadeln nicht verwertet wurde. Der Grund für die langsamere Mineralisation der Nadelstreu

liegt in deren hohen Gehalt an schwer abbaubaren Inhaltsstoffen (Lignin, Wachse, Harze und Gerbstoffe) sowie im komplizierten zellulären Aufbau.

Im 1. Jahr der Exposition wurde Cellulose an allen vier Standorten schneller abgebaut, wenn sie in den Boden eingegraben war als wenn sie auf der Bodenoberfläche exponiert war, dies wurde auf mikroklimatische Unterschiede (günstige Feuchtigkeitsbedingungen im Boden) und einen engen Kontakt mit abbauaktiven Mikroorganismen und Kleintieren im Boden zurückgeführt. Im 2. Jahr der Exposition dagegen war der Abbau von Cellulose höher, wenn diese auf der Bodenoberfläche auflag als wenn sie in den Boden eingegraben war, da in den an der Bodenoberfläche exponierten Streuproben im 2. Jahr noch ein größerer Celluloseanteil aus dem Vorjahr vorhanden war. Im 3. Jahr war die zur Verfügung stehende Cellulosemenge ohnehin nur mehr sehr gering.

Ergänzende Laboruntersuchungen zum Abbau von auf der Bodenoberfläche exponierter Cellulose bei 10°C und 20°C zeigten, dass die **Temperatur** eine wesentliche steuernde Größe für den Streuabbau darstellt. Nach 24 Wochen bei 10°C war die höchste Aktivität (26% Abbau) in einer Bodenmischprobe des Standortes IT02 (Montiggl) messbar, während auf den Böden der restlichen Standorte nur ein Abbau von 2-3% zu verzeichnen war. Bei einer Inkubationstemperatur von 20°C war der Celluloseabbau auf den Böden aller vier Standorte signifikant höher als bei 10°C. Der höchste Abbau (84% nach 24 Wochen) erfolgte auch bei dieser Temperatur auf einer Mischprobe des Standortes IT02, gefolgt von einer Mischprobe des Standortes IT03 (Lavazè) mit 73% Abbau. Wesentlich geringer war der Celluloseabbau auf Mischproben der Standorte IT04 (24%) und IT01 (14%).