RIPARTIZIONE 32 FORESTE BOLZANO

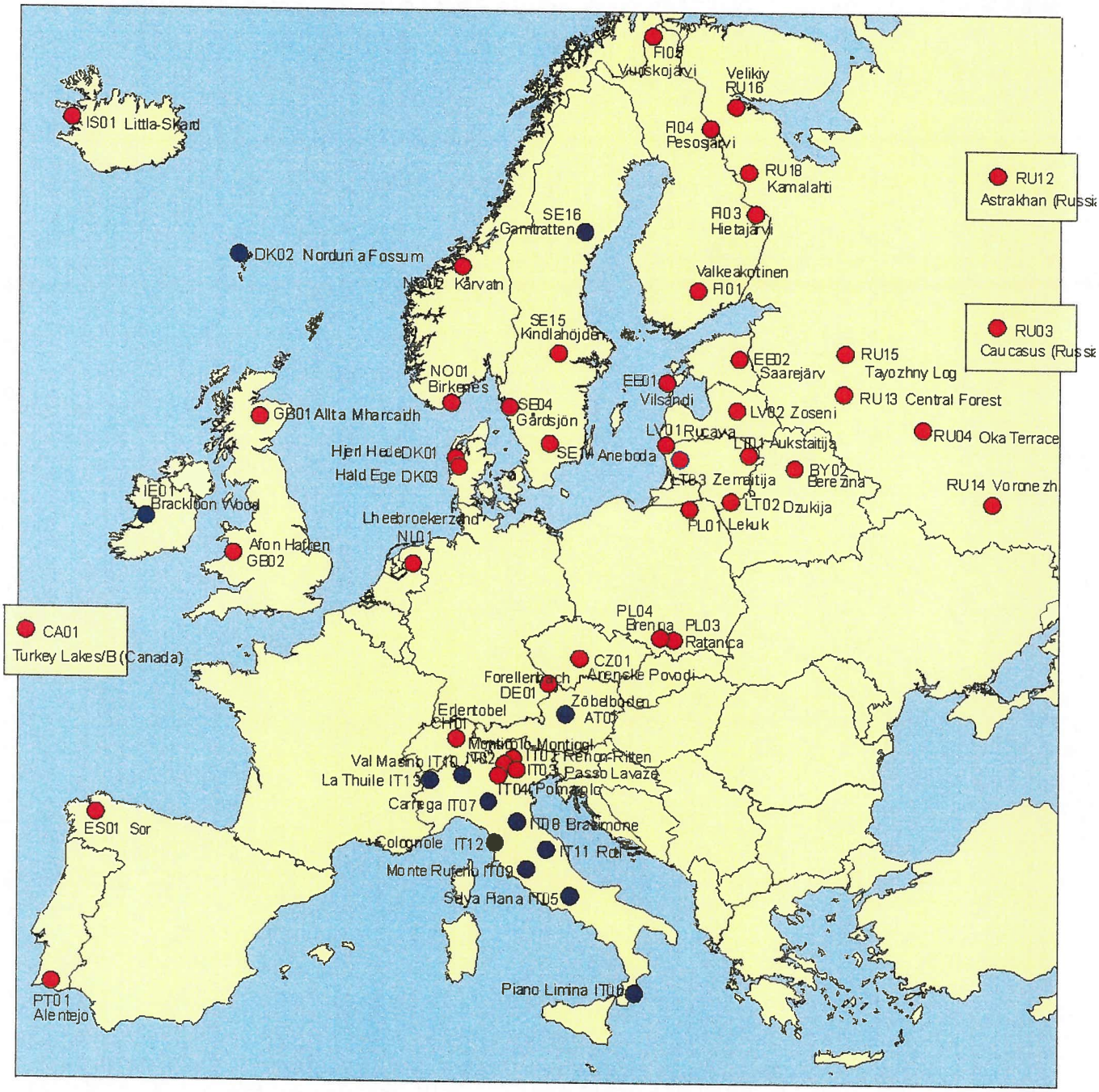
ABTEILUNG 32 FORSTWIRTSCHAFT BOZEN

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE

AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL

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

Erhebungsjahr 2001

Univ. Prof. Dr. F. SCHINNER - Univ.-Prof. Dr. R. MARGESIN – P. Thurnbichler

Institut für Mikrobiologie – Universität Innsbruck

1. Teilbericht

UNTERSUCHUNGEN ZUM STREUABBAU AUF DEN DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN IT01 RITTEN UND IT02 MONTIGGL

Im Auftrag der Autonomen Provinz Bozen
Abteilung Forstwirtschaft

Projektleitung

Univ.-Prof. Dr. Franz Schinner

c/o Institut für Mikrobiologie (N.F.)

Universität Innsbruck

Wissenschaftliche Bearbeitung

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

Technische Bearbeitung

Petra Thurnbichler

Dezember 2001

INHALTSVERZEICHNIS

1	**Einleitung**	**1**
2	**Material und Methoden**	**1**
2.1	Versuchsflächen	1
2.2	Abbau von Kiefernadeln im Freiland	2
2.3	Abbau von Cellulose im Freiland	3
2.4	Abbau von Cellulose im Labor	4
2.5	Statistische Auswertung der Ergebnisse	4
3	**Ergebnisse und Diskussion**	**6**
3.1	Streuabbau (Kiefernadeln und Cellulose) im Freiland	6
3.1.1	Abbau von Kiefernadeln	9
3.1.2	Abbau von Cellulose	10
3.1.3	Einfluss der Exposition von Cellulose auf den Streuabbau	12
3.1.4	Einfluss des Streutyps auf den Streuabbau	13
3.2	Abbau von Cellulose im Laborversuch	14
4	**Zusammenfassung**	**17**

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_2 entsteht, nicht erfolgen, wäre der CO_2-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 Klima- und 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 zwei unterschiedlichen Waldstandorten Südtirols (Dauerbeobachtungsflächen IT01 Ritten, IT02 Montiggl) wurden Kiefernadeln in Taschen aus feinem Nylonnetz auf der Bodenoberfläche exponiert. Als zweiter Streutyp wurde Cellulose auf der Bodenoberfläche und in ca. 2 cm Bodentiefe ausgelegt. Nach 1, 2 und 3 Jahren soll der Streuabbau bestimmt werden. Zusätzlich wurde der Einfluss der Temperatur auf den Abbau von Cellulose im Laborversuch getestet.

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 subalpinum*). 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.

2.2 Abbau von Kiefernadeln im Freiland

Prinzip

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

Ausführung der Bestimmung

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde ein einheitlicher Streutyp (Kiefernadeln) verwendet. Das Material wurde im August 2000 gesammelt und luftgetrocknet. Je 1 g Kiefernadeln 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 (Ritten: 12. September 2000, Montiggl: 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 (Abb. 1).

Nach einjähriger Exposition (am 28. September 2001) wurde jeweils eine Tasche (eine der drei Parallelen) entnommen (Abb. 2). 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 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 wird 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: 12. September 2000, IT02 Montiggl: 23. Oktober 2000) entlang zweier Gradienten. 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 (Abb. 1). 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 einjähriger Exposition (am 28. September 2001) wurde jeweils eine oberflächlich aufliegende und eine eingegrabene Tasche (eine der drei Parallelen) entnommen (Abb. 2). 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 Raum-

temperatur 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.

Abb. 1: Ausbringung der Streutaschen.

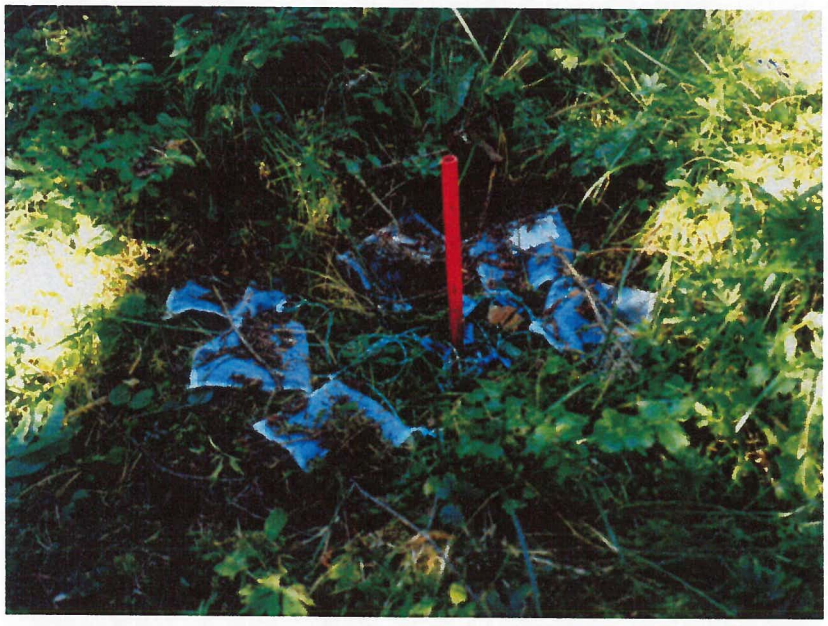


Abb. 2: Streutaschen nach einjähriger Exposition.

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 (Edition 1999) durchgeführt. Zunächst wurden die Daten mittels des Kolmogorov-Smirnov-Testes auf ihre Verteilung geprüft. Da sämtliche Daten normalverteilt waren, wurden sie einer Varianzanalyse (ANOVA; 95% Signifikanzniveau) zur Untersuchung des Einflusses der standortspezifischen Eigenschaften auf den Streuabbau unterzogen. Ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Streutypen (Abbau von Kiefernadeln 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. Die graphische Darstellung der statistischen Untersuchungen erfolgte mittels Box-Whisker-Plots.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Streuabbau (Kiefernadeln und Cellulose) im Freiland

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 einer Maschenweite von z.B. 1 mm werde 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 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 sind in den Tab. 1-2 zusammengefasst. Der Abbau von Kiefernadeln (31-46% Abbau in einem Jahr) war wesentlich niedriger als der von Cellulose auf der Bodenoberfläche (35% in IT3, 61-68% in den restlichen Standorten) oder im Boden (53% in IT03, 76-83% in den restlichen Standorten). Die Messergebnisse zeigen auch, dass der Abbau von Kiefernadeln auf der Bodenoberfläche mit einer wesentlich geringeren Fehlerrate (Variationskoeffizient (VK) 12-14%, 22% in IT01) behaftet war als der Abbau von Cellulose in 2 cm Bodentiefe (VK 32-41%, 18% in IT02) oder auf der Bodenoberfläche (VK 41-53%). Die hohen Fehlerraten bei Streuabbauuntersuchungen auf der Bodenoberfläche und im Boden sind auf die für Waldstandorte typisch hohen Inhomogenitäten im Aufbau der Böden und auf den kleinräumig wechselnden Pflanzenbestand zurückzuführen. Die unterschiedliche Mächtigkeit des belebten Bodens, der Streuauflage, die Durchsetzung mit Steinen und Baumwurzeln, die unterschiedliche Streuqualität von Nadel-, Laubgehölzen und Unterwuchs und das kleinräumig wechselnde Mikroklima sind wesentliche Standortfaktoren.

Tab. 1: Streuabbau in den vier Standorten nach einjähriger Exposition.

Standort		Parallele	%Streuabbau		
			Kiefernadeln (Bodenoberfl.)	Cellulose (Bodenoberfl.)	Cellulose (2 cm Bodentiefe)
IT01	R	1	30,2	46,7	97,6
IT01	R	2	32,4	23,7	31,3
IT01	R	3	47,0	68,3	83,6
IT01	R	4	50,3	87,5	86,2
IT01	R	5	37,9	99,3	97,9
IT01	R	6	41,2	62,1	66,5
IT01	R	7	34,4	53,5	85,3
IT01	R	8	27,4	40,9	98,8
IT01	R	9	33,7	28,8	39,5
IT01	R	10	28,0	94,3	69,3
IT02	M	1	42,2	88,8	69,2
IT02	M	2	41,4	92,6	90,0
IT02	M	3	36,2	45,4	64,4
IT02	M	4	32,4	90,4	97,5
IT02	M	5	43,9	38,4	98,3
IT02	M	6	33,8	47,3	75,4
IT02	M	7	44,7	25,6	93,1
IT02	M	8	42,2	61,4	84,8
IT02	M	9	37,7	97,8	60,5
IT02	M	10	50,5	97,4	98,4
IT03	L	1	35,5	64,3	76,5
IT03	L	2	26,9	35,6	70,7
IT03	L	3	30,6	8,7	47,3
IT03	L	4	29,3	23,9	43,7
IT03	L	5	28,5	47,7	51,2
IT03	L	6	31,7	18,9	89,6
IT03	L	7	27,8	12,8	35,5
IT03	L	8	30,4	48,8	41,8
IT03	L	9	34,0	34,9	13,8
IT03	L	10	38,7	52,1	60,1
IT04	P	1	43,9	98,4	93,9
IT04	P	2	58,0	97,5	98,0
IT04	P	3	37,1	34,0	69,8
IT04	P	4	54,6	62,8	20,5
IT04	P	5	46,2	27,8	89,9
IT04	P	6	46,2	31,1	34,7
IT04	P	7	47,6	82,4	84,1
IT04	P	8	45,8	60,0	95,8
IT04	P	9	37,7	96,9	80,7
IT04	P	10	46,6	93,5	91,1

Tab. 2: Deskriptive Statistik zum Streuabbau in den vier Standorten (Beobachtungszeitraum: 2000-2001).

					Streuabbau (%)							
Streutyp	Exposition	Standort		N	Mittelw.	Median	Minimum	Maximum	Standard-fehler	Standard-abw.	Variations-koeffizient	Quartils-abstand
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT01	R	10	36,26	34,07	27,45	50,28	2,468	7,803	21,52	11,030
Cellulose	Bodenoberfläche	IT01	R	10	60,50	57,77	23,74	99,28	8,447	26,712	44,15	46,599
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT01	R	10	75,60	84,46	31,33	98,80	7,580	23,971	31,71	31,023
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT02	M	10	40,50	41,78	32,39	50,51	1,742	5,508	13,60	7,709
Cellulose	Bodenoberfläche	IT02	M	10	68,50	75,06	25,61	97,77	8,786	27,785	40,56	47,285
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT02	M	10	83,18	87,40	60,53	98,45	4,635	14,657	17,62	28,304
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT03	L	10	31,36	30,53	26,95	38,75	2,031	3,727	11,88	5,468
Cellulose	Bodenoberfläche	IT03	L	10	34,77	35,27	8,69	64,31	9,260	18,472	53,12	29,863
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT03	L	10	53,03	49,25	13,83	89,58	8,514	21,964	41,42	28,890
Kiefernadeln	Bodenoberfläche	IT04	P	10	46,38	46,22	37,13	57,97	2,031	6,422	13,85	3,674
Cellulose	Bodenoberfläche	IT04	P	10	68,46	72,60	27,81	98,44	9,260	29,284	42,78	62,898
Cellulose	2 cm Bodentiefe	IT04	P	10	75,86	86,97	20,55	98,03	8,514	26,923	35,49	24,070

3.1.1 Abbau von Kiefernadeln

Es konnte ein hochsignifikanter Einfluss der Standorte auf den Abbau von Kiefernadeln beobachtet werden (P<0.001). Der Abbau von Kiefernadeln auf der Bodenoberfläche war am Standort IT03 (Lavazè) mit 31,4±3,7 % am geringsten und am Standort IT04 (Pomarolo) mit 46,4±6,4 % am höchsten. Der Abbau an den beiden Standorten IT01 (Ritten; 36,3±7,8 %) und IT02 (Montiggl; 40,5±5,5 %) lag dazwischen (Abb. 3).

Die Standortfaktoren (Bodentyp, Pflanzenbewuchs und Klima) trugen wesentlich zu den unterschiedlichen Abbauraten der Kieferstreu an den vier untersuchten Standorten bei. Die bessere Nähstoffverfügbarkeit und milderen Klimabedingungen an den Standorten Montiggl (IT02) und Pomarolo (IT04) begünstigten die mikrobielle Aktivitäten für Stoffumsetzungen, die zur Transformationen und zur Mineralisation der Streu führten. Im Gegensatz dazu wiesen die subalpinen Sandorte Ritten (IT01) und Lavazè (IT03) mit teils sauren Rohhumusböden und kalten Klimaten ungünstigere Voraussetzungen für Abbauaktivitäten auf.

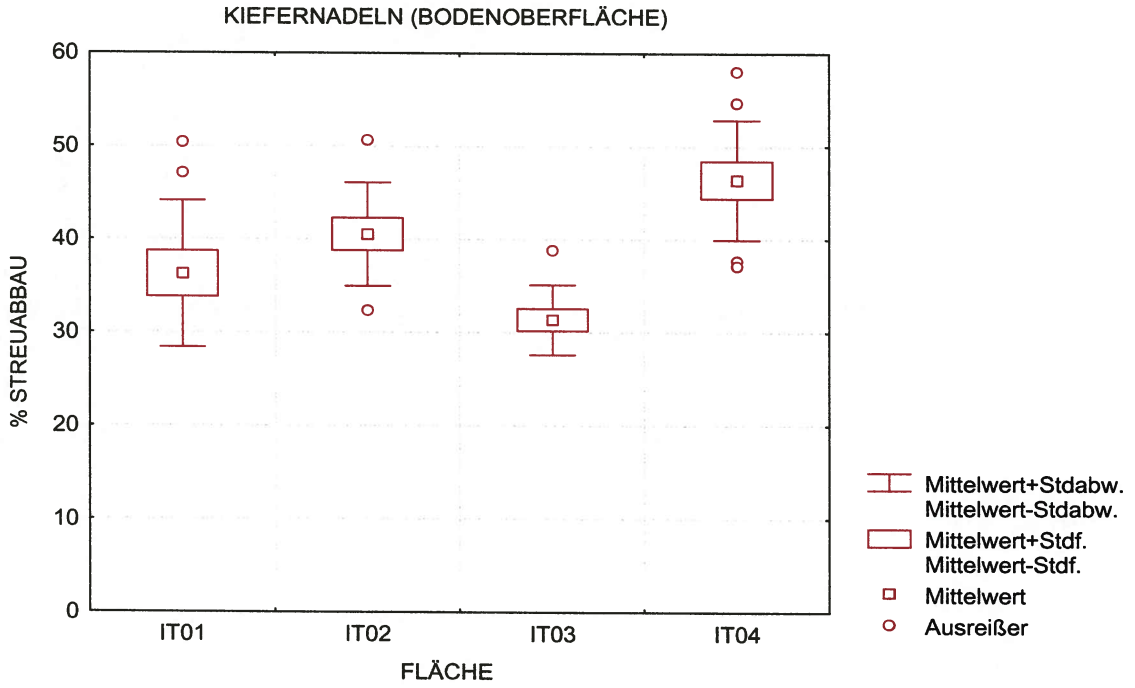


Abb. 3: Abbau von Kiefernadeln (auf der Bodenoberfläche exponiert) an den vier Standorten nach einjähriger Exposition.

3.1.2 Abbau von Cellulose

Ebenso konnte ein signifikanter Einfluss der Standorte auf den Abbau von Cellulose beobachtet werden, und zwar unabhängig davon, ob die Cellulose auf der Bodenoberfläche ($P<0.05$) exponiert war oder in den Boden eingegraben war ($P<0,05$).

Der Abbau von auf der Bodenoberfläche ausgelegter Cellulose war am Standort IT03 (Lavazè) mit 34,8±18,5 % signifikant geringer als an den anderen drei Standorten, an denen der Celluloseabbau 60,5-68,5% betrug und nicht signifikant unterschiedlich war (Abb. 4).

Der Abbau von in den Boden eingegrabener Cellulose war ebenfalls am Standort IT03 mit 53,0±22,0 % signifikant geringer als an den anderen drei Standorten, an denen ein Celluloseabbau von 75,6-83,2% gemessen wurde (Abb. 5).

Die Bodenqualität und die Jahresdurchschnittstemperatur an den untersuchten Standorten zeigten analog zum Abbau von Kiefernadeln auch beim Abbau von Cellulose den starken Einfluss von Klima und Substratfaktoren auf den Streuabbau auf. 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.

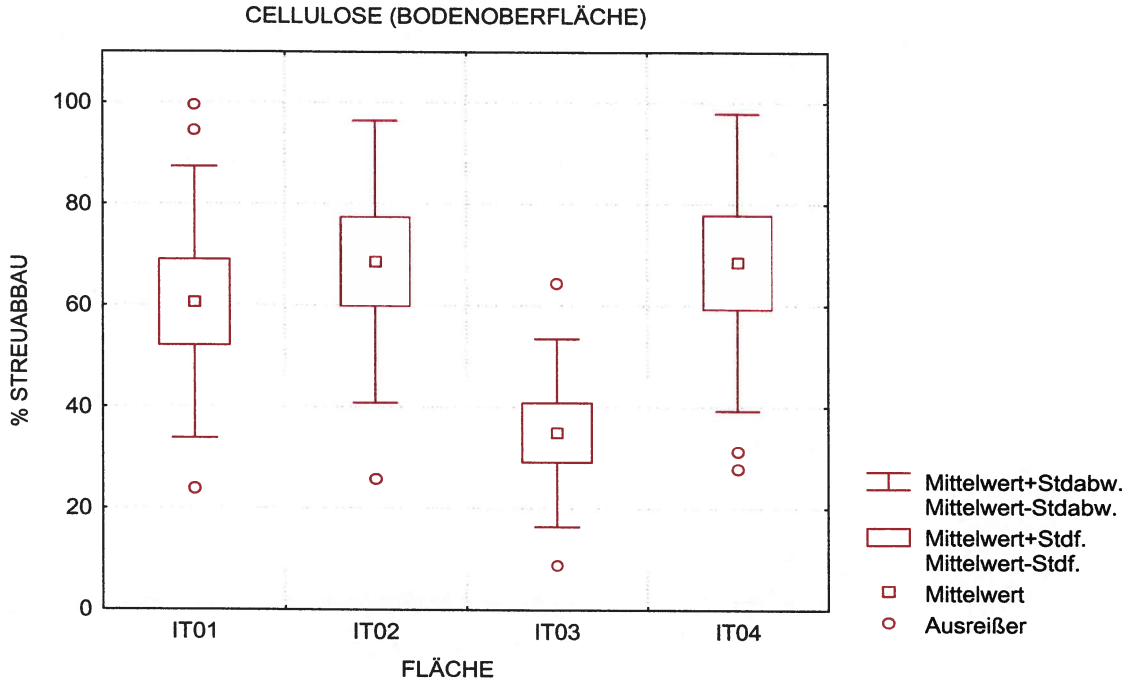


Abb. 4: Abbau von Cellulose (auf der Bodenoberfläche exponiert) an den vier Standorten nach einjähriger Exposition.

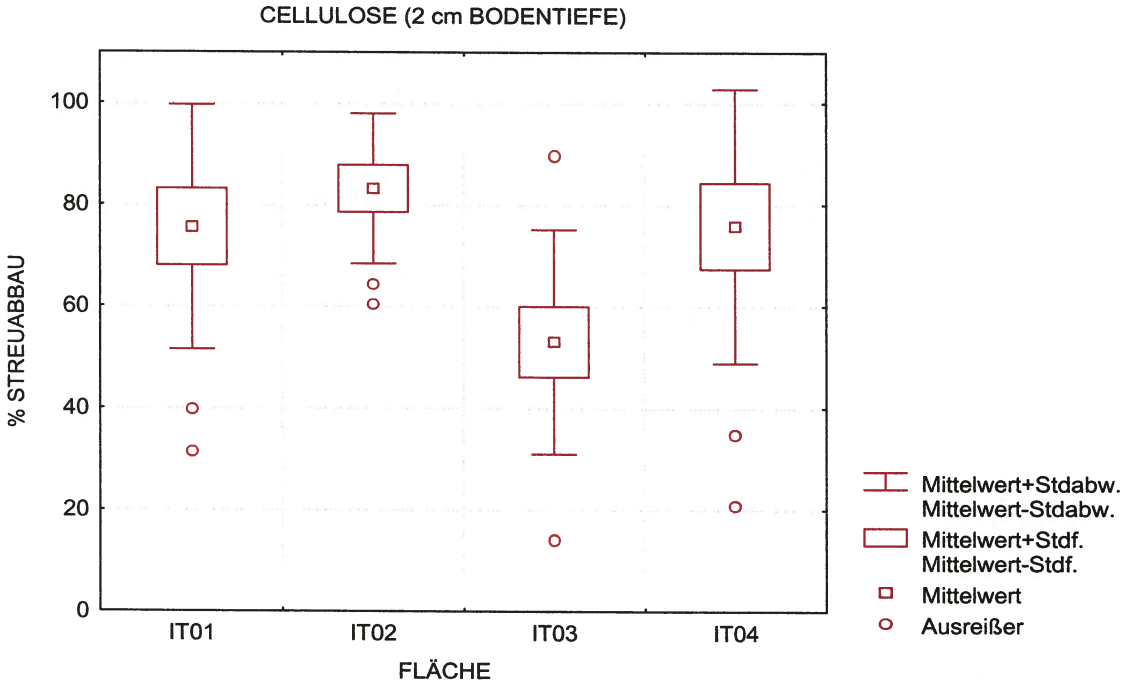


Abb. 4: Abbau von Cellulose (in 2 cm Bodentiefe) an den vier Standorten nach einjähriger Exposition.

3.1.3 Einfluss der Exposition von Cellulose auf den Streuabbau

Vergleicht man die Werte für den Abbau von auf der Bodenoberfläche ausgelegter Cellulose mit denen für den Abbau von Cellulose in 2 cm Bodentiefe, sieht man, dass insgesamt (alle vier Standorte zusammengenommen) ein signifikant höherer Abbau erfolgte, wenn die Cellulose im Boden eingegraben war. Betrachtet man jedoch den Abbau an den einzelnen Standorten, so ist kein signifikanter Unterschied mehr festzustellen. Dies ist vor allem auf die hohe Standardabweichung der oberirdisch ausgelegten Proben zurückzuführen. Eine Ausnahme bildet der Standort IT03, an dem der Unterschied gerade nicht mehr signifikant erfassbar ist (Tab. 3).

Der raschere Abbau von Streu (in diesem Fall Cellulose), die in den Boden eingebracht wurde, im Vergleich zu oberflächlich aufliegender Streu kann damit erklärt werden, dass im Boden ein ausgewogeneres Mikroklima mit geringerer Austrocknung und geringerer Abkühlung bei Frosteinwirkung herrscht. Der engere Kontakt der Streu mit nährstoffhaltigem Boden und der Bodenmikroflora wirken zusätzlich abbaufördernd.

Tab. 3: Einfluss der Exposition auf den Abbau von Cellulose an den vier Standorten.

Standort	Cellulose Exposition	Streuabbau (%) Mittelwert	Standardabw.	N	Signifikanzniveau (p-Wert)	
alle 4 Standorte	Bodenoberfläche	58,06	28,56			
	2 cm Bodentiefe	71,91	24,34	40	**0,0030**	signifikant (**)
IT01 Ritten	Bodenoberfläche	60,50	26,71			
	2 cm Bodentiefe	75,60	23,97	10	0,0910	nicht signifikant
IT02 Montiggl	Bodenoberfläche	68,50	27,78			
	2 cm Bodentiefe	83,18	14,66	10	0,1874	nicht signifikant
IT03 Lavaze	Bodenoberfläche	34,77	18,47			
	2 cm Bodentiefe	53,03	21,96	10	0,0524	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Bodenoberfläche	68,46	29,28			
	2 cm Bodentiefe	75,86	26,92	10	0,45149	nicht signifikant

3.1.4 Einfluss des Streutyps auf den Streuabbau

Ein Vergleich des Abbaus der beiden unterschiedlichen Streutypen Kiefernadeln und Cellulose auf der Bodenoberfläche zeigt einen hochsignifikanten (P<0.001) Einfluss des Streutyps. Demnach wurde signifikant mehr Cellulose (58.1±28,6 %) als Kiefernadeln (38.6±8,1 %) abgebaut. Diese Signifikanz konnte auch in den einzelnen Standorten IT01, IT02 und IT04 nachgewiesen werden, war jedoch in IT03 statistisch gerade nicht mehr erfassbar (Tab. 4).
Die höheren Abbauraten von Cellulose sind auf die leichtere Zersetzbarkeit dieses Substrates zurückzuführen. Cellulose ist leichter abbaubar als Kiefernadeln, da die in natürlichem Holz und Nadeln vorhandenen schwer abbaubaren Begleitsubstanzen wie Lignine und Harze nicht gegenwärtig sind.

Tab. 4: Einfluss des Streutyps auf den Streuababbau an den vier Standorten.

Standort	Streutyp (Bodenoberfläche)	Streuabbau (%) Mittelwert	Standardabw.	N	Signifikanzniveau (p-Wert)	
alle 4 Standorte	Kiefernadeln	38,63	8,07			
	Cellulose	58,06	28,56	40	**0,0000**	signifikant (***)
IT01 Ritten	Kiefernadeln	36,26	7,80			
	Cellulose	60,50	26,71	10	**0,0126**	signifikant (*)
IT02 Montiggl	Kiefernadeln	40,50	5,51			
	Cellulose	68,50	27,78	10	**0,0119**	signifikant (*)
IT03 Lavaze	Kiefernadeln	31,36	3,73			
	Cellulose	34,77	18,47	10	0,5397	nicht signifikant
IT04 Pomarolo	Kiefernadeln	46,38	6,42			
	Cellulose	68,46	29,28	10	**0,0380**	signifikant (*)

3.2 Abbau von Cellulose im Labor

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. 5).

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. 6). Abb. 7 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 ($Q_{10} = 2$). Berechnet man die Q_{10}-Werte für den Celluloseabbau nach 24 Wochen, erhält man einen Wert von 3,24 für den Abbau auf der Bodenmischprobe 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_{10}-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.

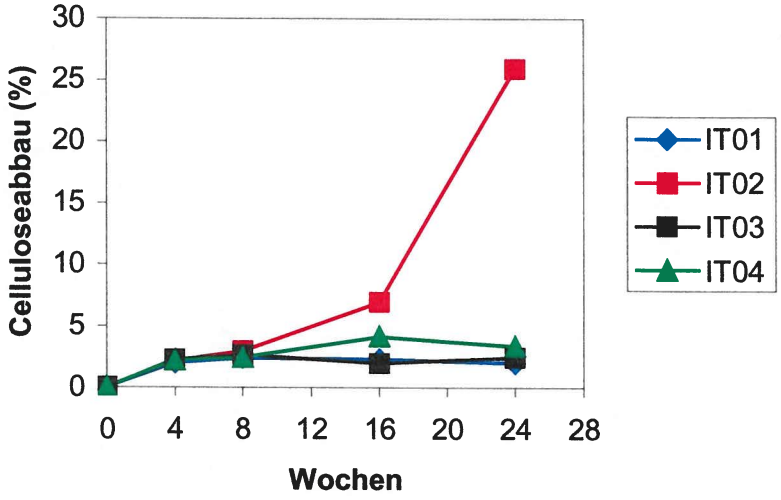


Abb.5: Celluloseabbau bei 10°C im Laborversuch.

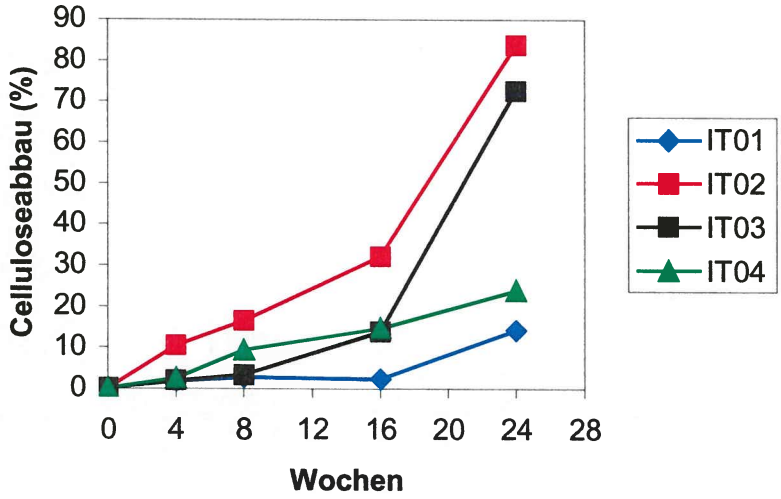
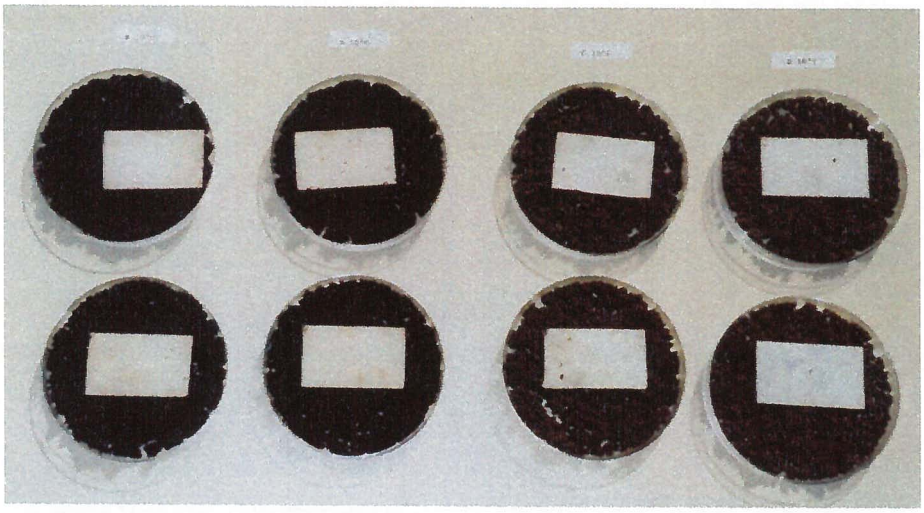


Abb. 6: Celluloseabbau bei 20°C im Laborversuch.

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.



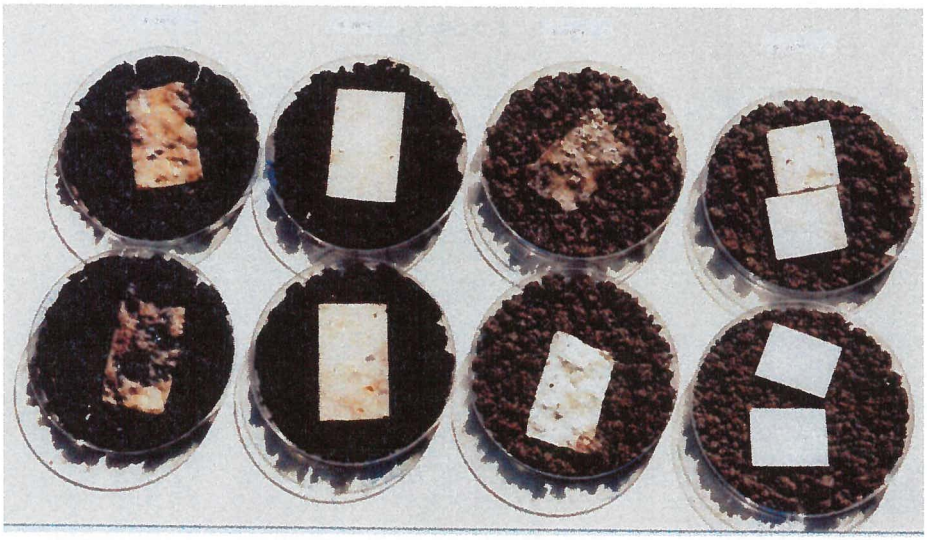


Abb. 7: Celluloseabbau nach 5 Monaten Inkubation bei 10°C (oben) und 20°C (unten) auf Bodenmischproben der vier untersuchten Standorte.

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.

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 Kiefernadeln 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 (n = 10). Nach einem Jahr Exposition wurde der Streuabbau durch Differenzwägung bestimmt.
Es konnte ein signifikanter Einfluss der Standorte auf den Abbau beider Streutypen nachgewiesen werden (Abb. 8). Der Abbau von Kiefernadeln war am Standort IT03 (Lavazè) mit durchschnittlich 31,4±3,7 % am geringsten und am Standort IT04 (Pomarolo) mit 46,4±6,4 % am höchsten. Der Abbau von auf der Bodenoberfläche ausgelegter Cellulose war am Standort IT03 (Lavazè) mit 34,8±18,5 % signifikant geringer als an den anderen drei Standorten, an denen der Celluloseabbau 60,5-68,5% betrug und nicht signifikant unterschiedlich war. Auch der Abbau von in den Boden eingegrabener Cellulose war am Standort IT03 mit 53,0±22,0 % signifikant geringer als an den anderen drei Standorten, an denen ein Celluloseabbau von 75,6-83,2% gemessen wurde. Insgesamt war ein höherer Celluloseabbau zu beobachten, wenn die Cellulose in den Boden eingegraben war.

Neben den standorttypischen Eigenschaften beeinflusste auch der Streutyp den Streuabbau signifikant. Auf der Bodenoberfläche war der Abbau von Kiefernadeln (durchschnittlich 38.6±8,1 %) signifikant geringer als der von Cellulose (durchschnittlich 58.1±28,6 %). Der Abbau von Kiefernadeln war mit einer wesentlich geringeren Fehlerrate behaftet als der Abbau von Cellulose im Boden oder auf der Bodenoberfläche.

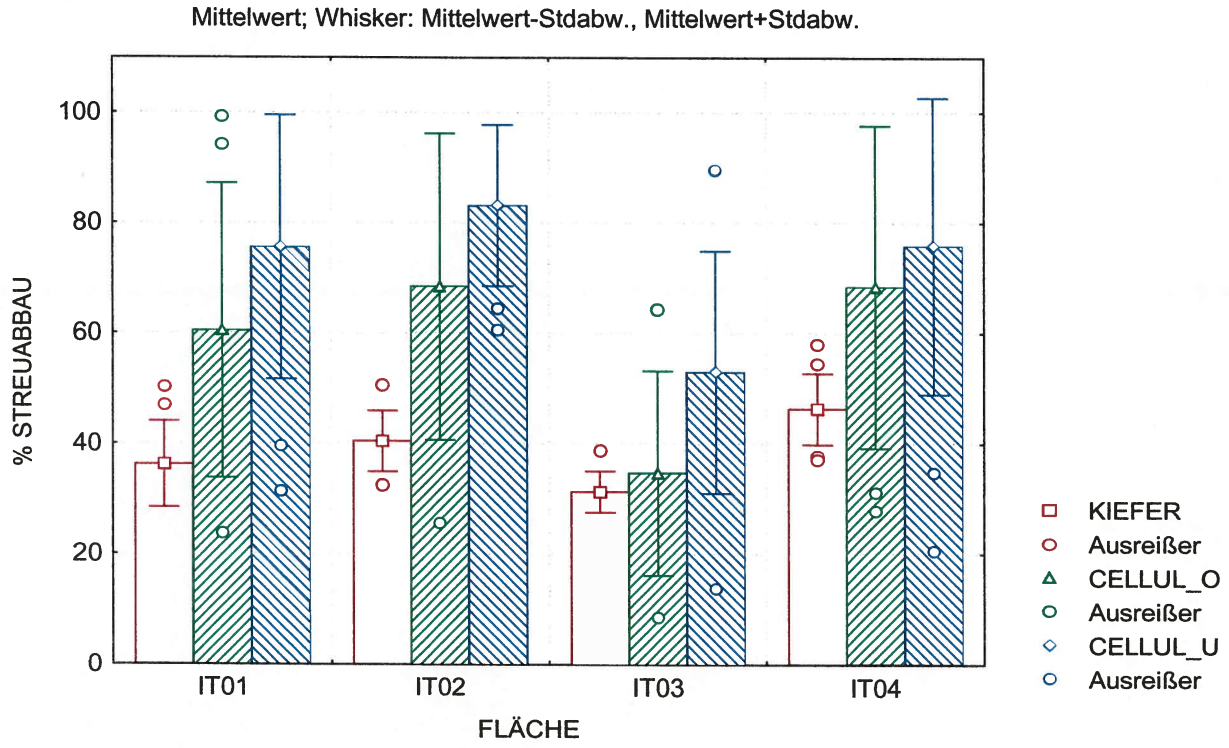


Abb. 8: Abbau von Kiefernadeln (auf der Bodenoberfläche exponiert; *rot*) und Cellulose (auf der Bodenoberfläche *(grün)* und in 2 cm Bodentiefe exponiert *(blau)*) an den vier Standorten nach einjähriger Exposition.

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 (25,9% 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 (83,9% nach 24 Wochen) erfolgte auch bei dieser Temperatur auf einer Mischprobe des Standortes IT02, gefolgt von einer Mischprobe des Standortes IT03 (Lavazè) mit 72,6% Abbau. Wesentlich geringer war der Celluloseabbau auf Mischproben der Standorte IT04 (23,9%) und IT01 (14,2%).