

Projekt-Titel: Langfristige Streuabbauexperimente auf LWF-Flächen – Daten zur Validierung von Bodenkohlenstoffmodellierungen im Schweizer Wald

Schlussbericht

Verfasser: Beat Frey (Gruppe Rhizosphären-Prozesse, FE Bodenwissenschaften)

Adresse: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstr. 111, 8903 Birmensdorf

1. Zusammenfassung

In einem vom BAFU finanzierten Projekt zusammen mit der WSL, wird die zeitliche Veränderung des Bodenkohlestoffs im Schweizer Wald mit Yasso07 modelliert. Ziel dieses Projekts war es Daten zur Verfügung zu stellen, welche für die Validierung der Bodenkohlenstoff-Modellierung mit Yasso07 verwendet werden können. Innerhalb des Projektes wurden Daten zum Streuabbau mit der *litterbag*-Methode auf fünf LWF-Flächen und zwei Höhentransekten erhoben. Es liegen nun die Informationen über den langfristigen Streuabbau (> 5 Jahre) auf 5 LWF-Flächen und zwei Höhentransekten vor, welche dem Yasso als Inputparameter dienen. Im Bericht sind detaillierte Angaben über die chemische Zusammensetzung (C, N, wasserlösliche Substanzen, Zellulose, Lignin), klimatische Bedingungen, Bodentemperatur und Bodenfeuchte vorhanden. Die zeitliche Änderung der chemischen Zusammensetzung zersetzender Streu wurde in Abhängigkeit der klimatischen und standortstypischen Bedingungen vorgenommen. Nach dem dritten Versuchsjahr kam es zu einer Verlangsamung des Abbaus gegenüber den Vorjahren, und der Abbauprozess hat damit die Phase erreicht, die weit weniger gut beschrieben und verstanden ist. Unsere 5-Jahres-Litterbag Daten zeigen eine exponentielle Abbauphase des Streumaterials. Die Daten zeigen auch, dass der Einfluss der Streuqualität stärker ist als klimatische Einflüsse waren. Die Ergebnisse aus diesem Versuch sind plausibel, der beobachtete Zusammenhang des Abbaus mit dem Lignin/N Verhältnis der Streu sind bereits in der Literatur beschrieben. Der zunächst überraschende langsame Abbau der Buchenstreu lässt sich bei Kenntnis dieser Zusammenhänge mit ihrem hohen Lignin/N-Verhältnis erklären.

2. Einleitung und Fragestellung

Im Rahmen des LWF wird auf 16 Dauerbeobachtungsflächen untersucht, wie sich anthropogene und natürliche Einflussfaktoren langfristig auf den Wald auswirken und welche Risiken für den Menschen damit verbunden sind. Ein Schwergewicht der LWF-Untersuchungen liegt in der Erfassung von Stoffkreisläufen. Die Streuzersetzung ist ein zentraler Prozess in diesem Kreislauf, weil dadurch das in der Streu gespeicherte C und N freigesetzt wird. Daher sind Zersetzungsraten von oberirdischer und unterirdischer Streu zusammen mit klimatischen Parametern wichtige Messgrößen für die Beurteilung von Stoffumsetzungen in Waldökosystemen. Daneben sind die Zersetzungsprozesse von Streu wichtig für die Modellierung der Kohlenstoffflüsse in Waldökosystemen. Zersetzungsraten von Feinwurzeln und von Nadel- und Laubstreu sind hierbei sensitive Eingangsparameter. Quantitative Abschätzungen dieser Parameter fehlen in Zentraleuropa und im Alpenraum weitgehend, für Feinwurzeln fehlen sie gänzlich. Vorhandene Daten aus borealen Wäldern Skandinaviens (Berg 1984, Berg et al. 1998) und Nordamerikas (Moore et al. 1999, Trofymow et al. 1995) lassen sich nur sehr begrenzt auf mitteleuropäische Verhältnisse übertragen. Zum

einen liegen hier andere klimatische Voraussetzungen vor, zum anderen ist das Spektrum an Standortbedingungen in Mitteleuropa aufgrund der geologischen Vielfalt weit grösser. Das Ziel des Projektes war daher die Erfassung von Parametern des Streuabbaus auf einigen Flächen der Langfristigen Waldökosystemforschung (LWF) der Schweiz, um für die Modellierung des C-Kreislaufes mit Yasso (Liski et al. 2005; Palosuo et al. 2005) fehlende Daten bereitstellen zu können. Es sollte ermittelt werden, welche Faktoren einen Einfluss auf den Streuabbau haben und wie gross dieser Einfluss ist. Durch Verwendung von **lokaler Streu** und **Einheitsstreu** für die Abbauxperimente sollten klimatische Einflussfaktoren vom Faktor Streuqualität getrennt werden können. Des Weiteren wurden an zwei Standorten zusätzlich **Höhentransekte** angelegt, an denen der Klimaeinfluss auf die Abbauprozesse untersucht werden sollte.

3. Durchgeführte Arbeiten

3.1. Versuchsflächen

Die Arbeiten wurden auf fünf Flächen der Langfristigen Waldökosystemforschung (LWF) durchgeführt. Charakteristika der Flächen sind in Tabelle 1 und Figur 1 dargestellt. Des Weiteren wurden an zwei Standorten zusätzlich **Höhentransekte** angelegt, an denen der Klimaeinfluss auf die Abbauprozesse untersucht wurden (Tabelle 2). Auf den Höhentransekten wurden Streuabbauversuche mit der **lokalen Streu** des jeweiligen Standortes durchgeführt und gleichzeitig wurde die Bodentemperatur erfasst.

Tabelle 1: Ausgewählte Standortseigenschaften der fünf Versuchsstandorte

<i>Standortsbeschreibung</i>	Beatenberg	Bettlachstock	Novaggio	Schänis	Vordemwald
Geogr. Länge (E)	07° 45' 48"	07° 25' 03"	08° 50' 08"	09° 04' 05"	07° 53' 16"
Geogr. Breite (N)	46° 42' 59"	47° 13' 35"	46° 01' 26"	47° 09' 59"	47° 16' 32"
Höhe (m)	1500	1150	950	720	480
Geographische Region	Nördliche Voralpen	Jura	Südalpen	Nördliche Voralpen	Mittelland
Bodentyp nach FAO	Podzol	Rendzic Leptosol	Podzol	Eutric Cambisol	Dystric Planosol
Boden pH-Wert ^a	2.8	6.8	3.5	5.7	3.3
Boden C/N-Verhältnis ^b	22	18	18	13	18
<i>Vegetation</i>					
Waldtyp	Reiner Nadelwald	Laub-mischwald	Laub-mischwald	Laub-mischwald	Nadel-mischwald
Untersuchte Baumart	<i>Picea abies</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Castanea sativa</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Picea abies</i>
Maximalalter (a)	180-220	170	80	120-140	100-150

a: in CaCl₂ gemessen, 0-5 cm Tiefe; b: 0-5 cm Tiefe

Abb. 1: Jährliche Mittelwerte von Bodentemperaturen (- 5cm Tiefe) und Niederschlägen der fünf Standorte

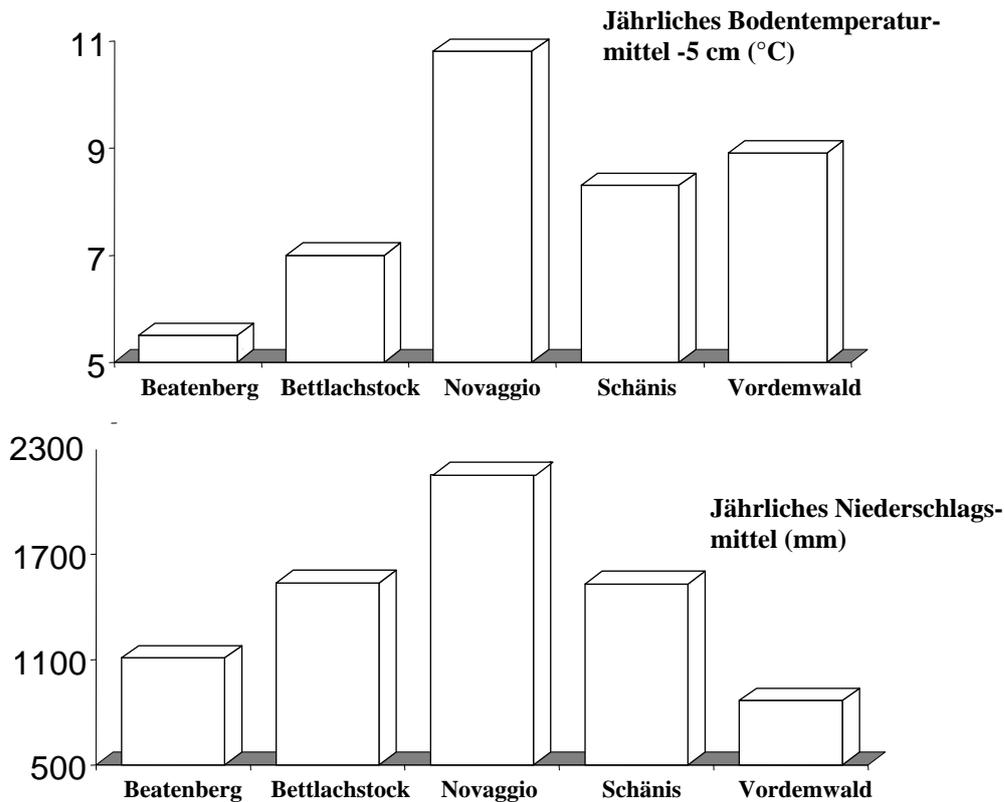


Tabelle 2: Lage der Höhen transekte und Übersicht über die dort durchgeführten Arbeiten

Transektfläche	Höhe (m ü M)	JMT (°C, in 5cm Bodentiefe)	Durchgeführte Arbeiten
Beatenberg H1	1800 m	3.9	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Beatenberg H2	1640 m	4.5	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Beatenberg LWF	1520 m	5.5	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Beatenberg H3	1430 m	5.4	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Beatenberg H4	1200 m	6.4	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)

Transektfläche	Höhe (m ü M)	JMT (°C, in 5cm Bodentiefe)	Durchgeführte Arbeiten
Schänis H1	1150 m	6.9	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Schänis H2	970 m	7.6	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Schänis H3	800 m	8.2	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Schänis LWF	720 m	8.3	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)
Schänis H4	540 m	9.0	Streuabbau 2000 - 2010; Bodentemperatur (2001-2010)

3.2. Überblick über den Projektverlauf

3.2.1. Experimentelle Arbeiten

2000

Ausbringen der Streu

-Wurzeln, Blatt- (Buche) und Fichtenstreu

-Einheitsstreu von Schänis LWF) und lokaler Streu

2001

2 Probenahmen* der Litterbags (nach 6 Monaten und 12 Monaten) und Analysen

2002

2 Probenahmen (nach 18 Monaten und 24 Monaten)und Analysen

2003

1 Probenahme (nach 36 Monaten)und Analysen

2005

1 Probenahme (nach 60 Monaten)und Analysen

2009/2010

1 Probenahme (nach 110 Monaten)und Analysen

* pro Probenahme wurden jeweils 20 Litterbags pro Streutyp eingesammelt

Tabelle 3: Schematische Darstellung der ausgebrachten Streu im Jahr 2000

Beatenberg	Bettlachstock	Novaggio	Schänis	Vordemwald
Experiment mit lokaler Streu				
Blatt lokal Wurzel	Blatt lokal Wurzel	Blatt lokal Wurzel	Blatt lokal Wurzel	Blatt lokal Wurzel
Experiment mit Einheitsstreu				
Einheitsstreu Blatt Einheitsstreu Wurzel	Einheitsstreu Blatt Einheitsstreu Wurzel	Einheitsstreu Blatt Einheitsstreu Wurzel		Einheitsstreu Blatt Einheitsstreu Wurzel

3.3. Methoden

3.3.1. Analysen des Pflanzenmaterials (Ausgangsmaterial und beprobte Litterbags)

C, N: CN-Analyser NA2500, Carlo Erba

Restfeuchte: trocknen bei 105°C

Aschegehalt: Veraschen im Muffelofen bei 550°C während 4 Stunden

Elementgehalte: Mikrowellenaufschluss (UltraClav, Microwave Laboratory Systems) mit 40 % HNO₃/conc. HF bei 240°C und 120 bar) und Analyse am ICP-AES (Optima 3000, Perkin Elmer).

Wasserlösliche Substanzen: Extraktion von 1g gemahlener Probe mit 3 x 25 ml heissem Wasser (85 ± 5°C) und 1 x 25 ml kaltem Wasser (je 15 Minuten)

Phenolische Substanzen im Wasserextrakt: kolorimetrische Methode mit Folin-Denis Reagenz (Swain and Hillis, 1959).

Lignin: a) Klason Lignin (schwefelsäureunlöslicher Anteil) durch Hydrolyse von 0.3 g gemahlener und vorextrahierter (mit heissem Wasser und Ethanol) Probe mit 3 ml 72% H₂SO₄ (1h bei 30°C), Verdünnung mit 84 ml Wasser und Autoklavieren während 1h bei 121°C, 1.2 bar; b) lösliches Lignin durch UV-Absorptionsmessung (205 nm) des Hydrolysats; c) Gesamt-Lignin als Summe aus Klason Lignin und löslichem Lignin

Massenverlust: Gewicht zum Zeitpunkt des Ausbringens (Jahr 2000) minus das aktuelle Gewicht korrigiert nach Restfeuchte und Aschegehalt.

3.3.2. Feldmessungen

Bodentemperaturen: Auf den LWF-Flächen Aufzeichnung im Stundenrhythmus durch an die Meteostation angeschlossene Temperaturfühler (-5 cm, -10 cm und -20 cm Bodentiefe). Auf den Transektflächen Aufzeichnung im 2-Stundenrhythmus durch vergrabene Temperaturlogger.

Niederschläge, Bodenfeuchte: Diese Messungen werden durch das LWF koordiniert und sind erhältlich für die Modellierung.

4. Ergebnisse

4.1. Verwendetes Ausgangsmaterial

Die chemische Zusammensetzung der verwendeten Streutypen ist in den Tabellen 4a und 4b dargestellt.

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung der zehn verwendeten Streuarten (nach Heim und Frey 2004)

a) Elementgehalte

		N	C	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P
		%	%	mg/kg						
Beatenberg	Nadeln	1.4	49.8	154	8851	79	4002	676	1007	1228
Beatenberg	Wurzeln	0.9	49.3	53	4707	121	3277	721	353	797
Bettlachstock	Blätter	1.1	49.7	165	17686	130	2625	1111	211	271
Bettlachstock	Wurzeln	0.9	49.0	1517	8979	1093	2064	644	90	353
Novaggio	Blätter	1.3	50.5	349	4800	321	2432	1317	863	239
Novaggio	Wurzeln	0.9	48.4	1448	4371	261	2073	561	297	323
Schänis	Blätter	0.9	49.5	244	17905	171	2020	1784	756	244
Schänis	Wurzeln	1.1	49.4	1441	4649	1075	1851	747	218	519
Vordemwald	Nadeln	1.7	49.0	172	7516	74	5406	834	1066	1433
Vordemwald	Wurzeln	1.1	48.4	216	4987	123	2587	895	580	757

b) Ergebnisse der Stoffgruppenanalysen

		Wasser- löslich	Wasser- lösliche Phenole	Schwefelsäure- löslich	Schwefelsäure- unlöslich	lösliches Lignin	Gesamt Lignin	Asche
		%	mmol/g	Cellulose, Hemicellulose	Klason Lignin	%	%	%
				%	%			
Beatenberg	Nadeln	30.4	0.76	40.2	24.4	1.9	26.3	4.3
Beatenberg	Wurzeln	29.4	0.94	46.4	23.1	1.2	24.3	2.4
Bettlachstock	Blätter	10.8	0.31	48.0	35.0	2.2	37.3	5.6
Bettlachstock	Wurzeln	18.2	0.68	41.5	38.6	1.3	39.9	3.5
Novaggio	Blätter	27.3	1.25	41.7	25.1	3.4	28.5	2.4
Novaggio	Wurzeln	29.5	1.56	38.2	29.3	2.5	31.8	1.9
Schänis	Blätter	15.5	0.40	48.3	31.2	2.1	33.3	6.3
Schänis	Wurzeln	13.7	0.46	45.1	38.6	1.5	40.2	3.8
Vordemwald	Nadeln	28.3	0.61	41.1	23.4	2.5	25.9	4.9
Vordemwald	Wurzeln	26.6	0.69	43.4	26.2	1.3	27.6	2.4

4.2. Streuabbau

4.2.1. Allgemeines

Auf allen Standorten war tendenziell ein schnellerer Abbau der oberirdischen Streu zu beobachten. Nach fünf Jahren waren noch zwischen 11 und 25% der anfänglichen Masse des oberirdischen Streumaterials in den Streusäckchen vorhanden (Tabelle 5; Abb. 2a). Bei den

Wurzeln waren noch zwischen 18 und 32% der anfänglichen Masse vorhanden (Abb. 2b). Im gleichen Rahmen (8 bis 41%) bewegten sich auch die verbleibenden C-Mengen (Tabelle 5).

Die zurückgebliebene Masse der abbauenden Streu folgt einer exponentiellen Kurve, was vor allem an den Standorten Vordemwald und Novaggio gut sichtbar ist (Abb. 3). Den geringsten Abbau wies die Wurzelstreu von Bettlachstock auf. Die Abbaugeschwindigkeiten der einzelnen Streutypen lassen sich wie folgt einordnen:

Oberirdische Streu: Fichte (Beatenberg) \geq Kastanie (Novaggio) \geq Fichte (Vordemwald) > Buche (Schänis) > Buche (Bettlachstock)

Wurzelstreu: Fichte (Vordemwald) > Kastanie (Novaggio) \geq Fichte (Beatenberg) \geq Buche (Schänis) > Buche (Bettlachstock)

Auffallend ist dabei, dass die Buchenwurzeln in Bettlachstock einen verzögerten Abbau aufweist. Dies kann teilweise durch das Klima bedingt sein (zweithöchstgelegener Standort), andererseits wird sowohl die Wurzel- als auch die oberirdische Streu der Fichte am rund 1,5 Grad kühleren Standort Beatenberg schneller abgebaut. Dies widerspricht den Feldbeobachtungen, dass in Beatenberg eine mächtige Rohhumusaufgabe vorhanden ist, welche auf einen langsamen und unvollständigen Streuabbau hinweist, während in Bettlachstock ein Mull als Humusform vorliegt, und keine Reste von teilzersetzer Streu erkennbar sind.

Tabelle 5: Verbleibende aschefreie Masse und C in % des Ausgangsgehaltes der lokalen Streu nach 5 Jahren Versuchsdauer

	Restmasse (%)	Rest C (%)
Blatt / Nadel		
Beatenberg	11	11
Bettlachstock	18	22
Novaggio	12	8
Schänis	25	12
Vordemwald	13	9
Wurzel		
Beatenberg	28	27
Bettlachstock	32	41
Novaggio	20	25
Schänis	29	23
Vordemwald	18	12

Abb. 2a: Verbleibende Restmasse von Blatt / Nadeln (lokale Streu) während der 5 Jahren des Streuabbaues

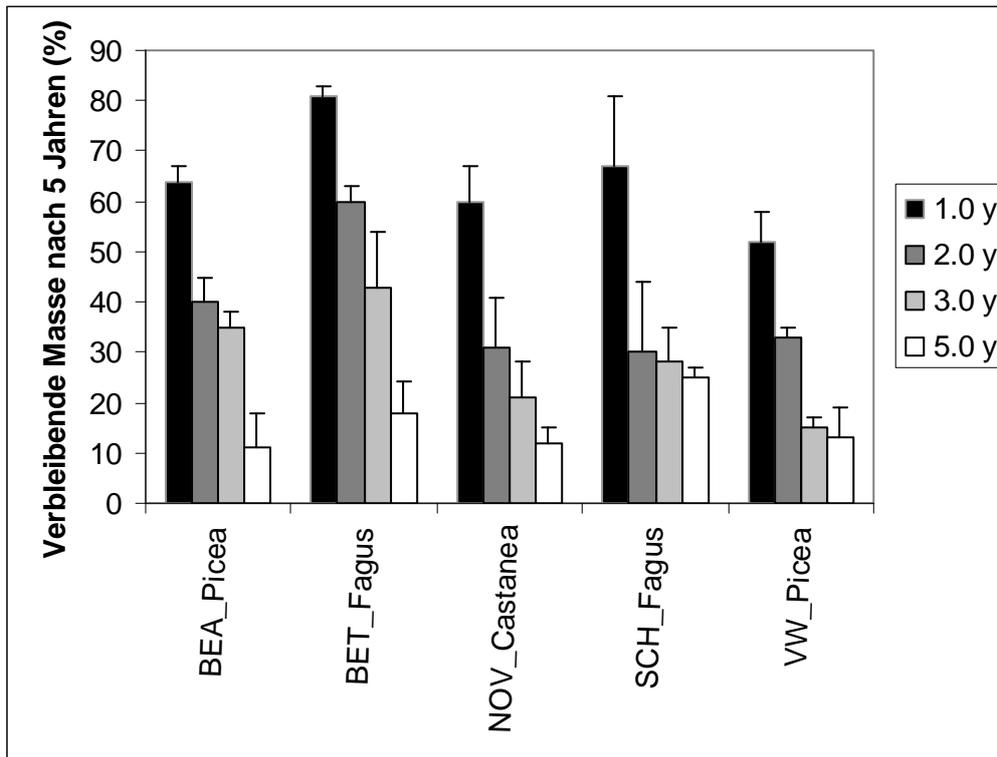


Abb. 2b: Verbleibende Restmasse von Wurzeln (lokale Streu) während der 5 Jahren des Streuabbaues

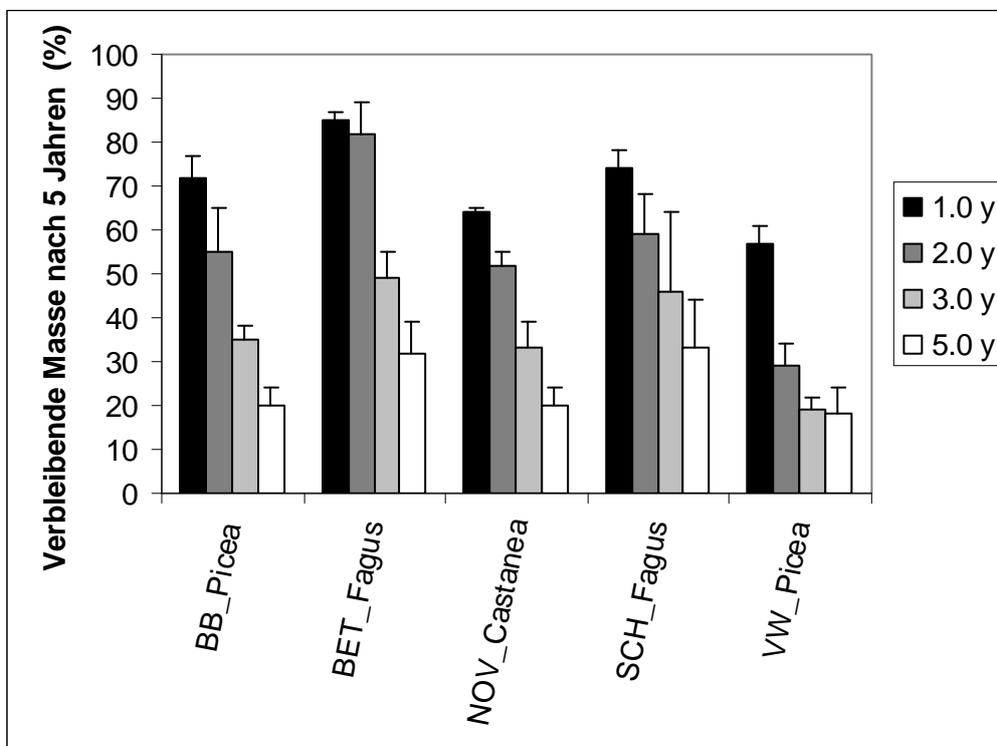
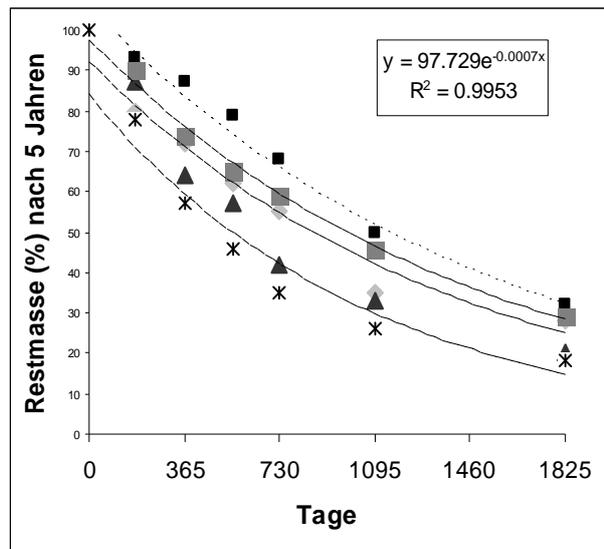


Abb. 3: Verbleibende Restmasse (%) von Wurzeln (lokale Streu) während der 5 Jahren des Streuabbaus einer exponentiellen Kurve folgend



4.2.2. Einflussfaktoren

Die jährliche Bodentemperatur und Niederschläge an den Standorten haben keinen Einfluss auf die Abbaurate der lokalen Streu (Abb. 4). Einzig bei der Einheitsstreu sehen wir einen schwachen Einfluss der Bodentemperatur und dem Streuabbau (Abb. 5). Dafür spielen Inhaltsstoffe der Ausgangsstreu eine grössere Rolle. Zu Beginn des Streuabbauprozesses war vor allem der Gehalt an wasserlöslichen Substanzen eine wichtige Steuergrösse, denn der Massenverlust der Streu erfolgte im ersten Winter praktisch nur durch das Herauslösen löslicher Inhaltsstoffe (Abb.6).

Im weiteren Verlauf des Zersetzungsprozesses bestimmte das Lignin/N –Verhältnis in der Streu die Abbaurate und dieser Parameter kann daher in einem Vorhersagemodell eingesetzt werden (Abb. 7).

Abb. 4. Abhängigkeit der jährlichen Bodentemperatur- und dem Niederschlagsmittel auf den Massenverlust der lokalen Streu (oberirdische und unterirdische Streu).

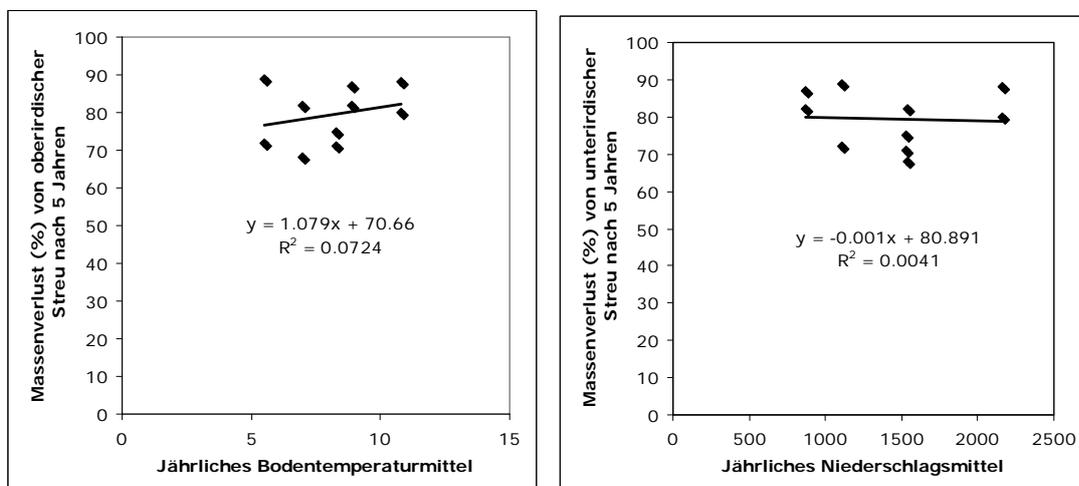


Abb. 5. Abhängigkeit der jährlichen Bodentemperatur- und dem Niederschlagsmittel auf den Massenverlust der **Einheitsstreu** (oberirdische und unterirdische Streu).

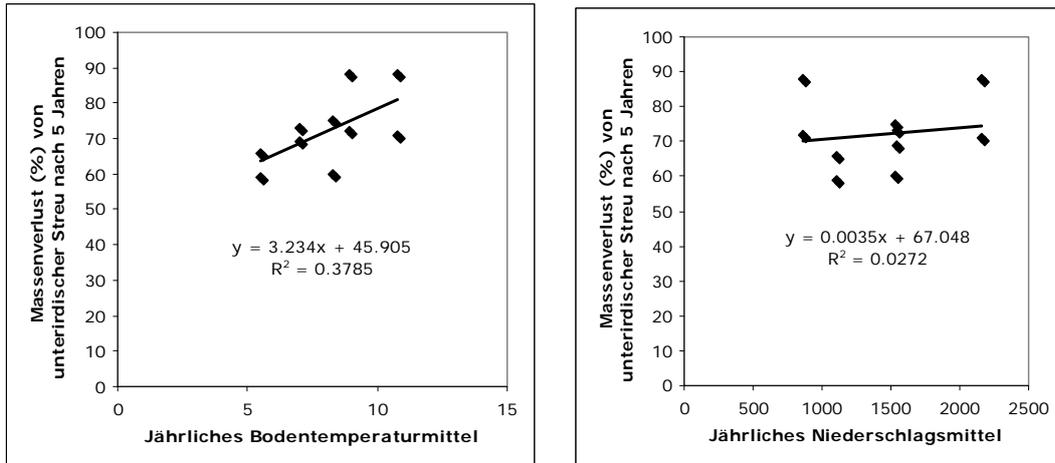


Abb.6: Abhängigkeit des Massenverlustes während des ersten Winters vom Ausgangsgehalt an wasserlöslichen Substanzen

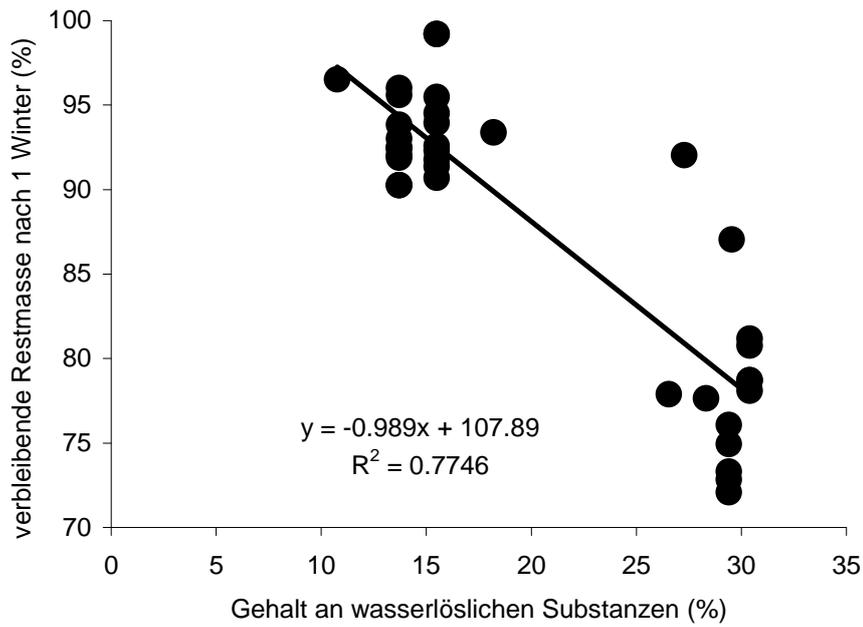
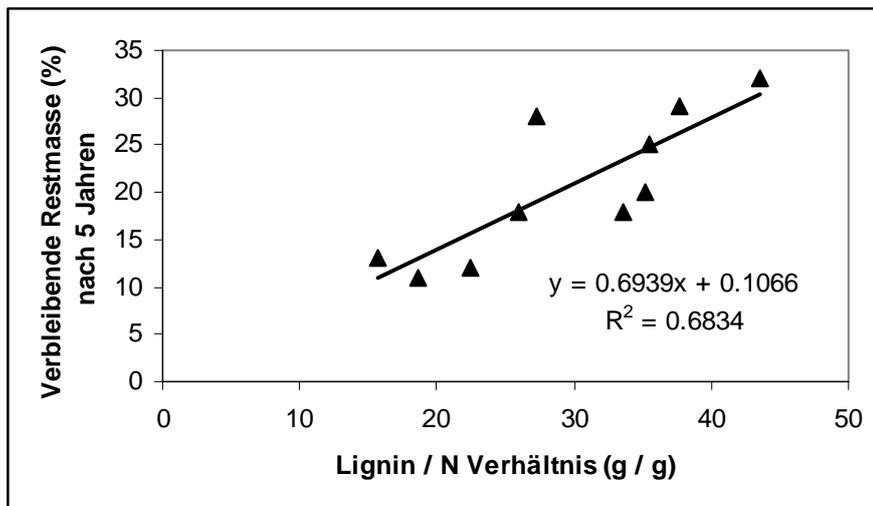


Abb.7: Abhängigkeit des Massenverlustes (Restmasse) vom Lignin und N im Ausgangsmaterial (lokaler Streu)



Da die Streuqualitätsparameter die Abbauraten bestimmen, bestand zwischen einzelnen Klimaparametern und dem Streuabbau keine enge Korrelation (Abb. 4 und 5). Jedoch eigneten sich die klimatischen Parameter gut als zusätzliche erklärende Variablen neben einer der beiden Streuqualitätsvariablen (Lignin/N). Hierfür eigneten sich sowohl Niederschlags- als auch Bodentemperaturdaten oder eine Kombination aus beiden.

4.2.3 Streuabbau auf zwei Höhentransekten

Die Bodentemperatur (JMT) entlang des Höhentransekts in Beatenberg und Schänis nahm von der kältesten zur wärmsten Fläche zu (Tabelle 6). Die Temperaturdifferenzen lagen zwischen 1.5 und 2.5 °C. Mit einem durchschnittlichen Temperaturanstieg in dieser Größenordnung ist im Laufe dieses Jahrhunderts zu rechnen. Verschiedene Klimamodelle sagen für das Ende des 21. Jahrhunderts eine globale Klimaerwärmung von +1.4 bis +5.8 °C voraus (IPCC, 2001). Heimann und Sept (2000) erwarten für den Alpenraum eine Zunahme der Sommertemperaturen um 3 bis 5 Grad.

Nach fünf Jahren waren noch zwischen 29 und 37% der anfänglichen Masse der Wurzelstreu in den Streusäckchen von Schänis vorhanden (Tabelle 7; Abb. 8a). In Beatenberg waren bei der Wurzelstreu noch zwischen 19 und 27% der anfänglichen Masse vorhanden (Abb. 8b).

Die zurückgebliebene Masse der abbauenden Streu folgt einer exponentiellen Kurve (Abb. 8 a und b). Auf allen Standorten war tendenziell ein schnellerer Abbau der oberirdischen Streu zu beobachten. Ein Vergleich zwischen den Abbaukonstanten von der kältesten zur wärmsten Fläche sind nicht signifikant für Schänis ($P > 0.05$) aber für Beatenberg ($P < 0.05$)

Tabelle 6: Temperaturdifferenz zwischen tiefstem und höchst gelegenen Standort entlang der beiden Höhengradienten für die beobachtete Zeitperiode (2001 - 2006)

	Schänis	Beatenberg
2001	2.2 °C	2.4 °C
2002	2.1 °C	2.5 °C
2003	1.8 °C	1.8 °C
2004	2.4 °C	1.5 °C
2005	1.7 °C	1.7 °C
2006	2.0 °C	1.8 °C

Tabelle 7: Verbleibende Restmasse (%) und berechnete Abbaukonstanten der Wurzelstreu entlang der beiden Höhengradienten während der ersten 5 Jahre bei Annahme exponentiellen Abbaus.

	Verbleibende Restmasse (%) nach 5 Jahren	Abbaukonstante k (a ⁻¹)	Signifikanz
Schänis			
H1	37	0.278	H1 vs. H5
H5	29	0.324	P > 0.05
Beatenberg			
H1	27	0.305	H1 vs. H5
H5	19	0.381	P < 0.05

Abb. 8a: Verbleibende Restmasse von Wurzeln (lokale Streu) während der 5 Jahren des Streuabbaues auf dem Höhen transekt Schänis

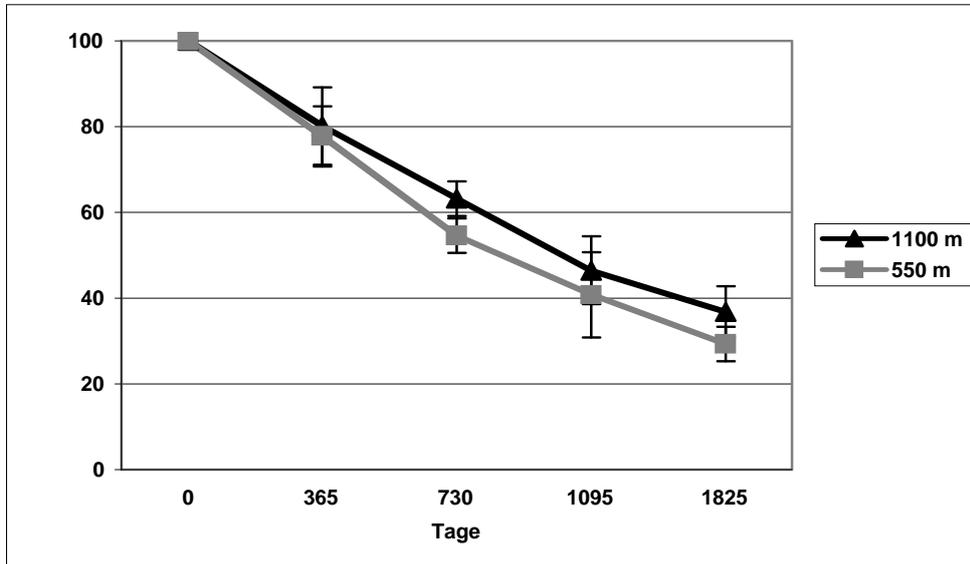
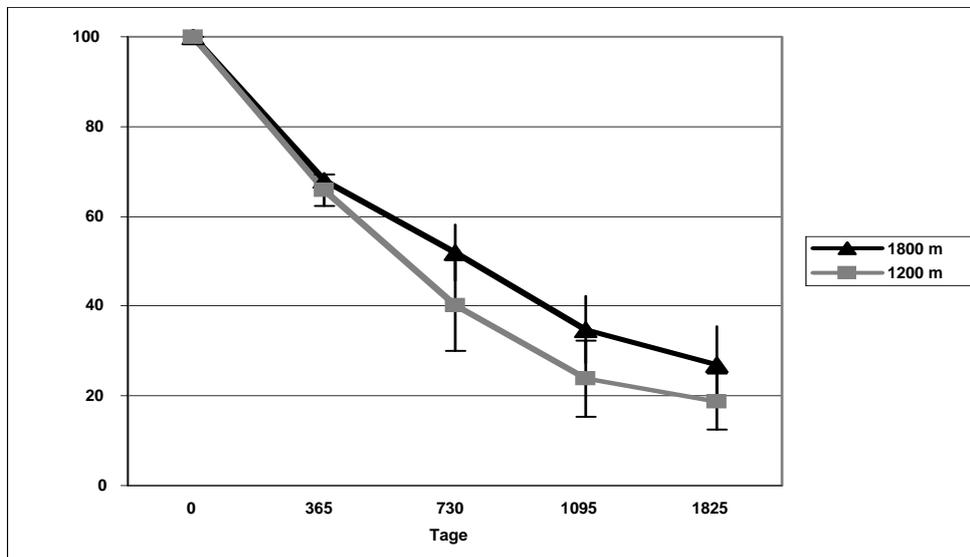


Abb. 8b: Verbleibende Restmasse von Wurzeln (lokale Streu) während der 5 Jahren des Streuabbaues auf dem Höhen transekt Beatenberg



4.3.4. Modellierung

Mit der Kenntnis der oben erwähnten Einflussfaktoren lässt sich ein einfaches Modell des Streuabbaus erstellen. Dies dient primär dazu, die generellen Steuergrößen zu verifizieren und mit deren Hilfe den Streuabbau während des Versuchszeitraums mathematisch zu beschreiben.

Ein Modell ermöglicht eine Vorhersage zukünftiger Prozesse, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die dem Modell zugrunde liegenden Voraussetzungen weiterhin erfüllt sind. Im Falle des Streuabbaus ist eine Extrapolation der beobachteten Abbauraten in die Zukunft nicht ohne weiteres möglich, da diverse Arbeiten darauf hindeuten, dass nach einer ersten Phase exponentiellen Abbaus, eine Verlangsamung bis hin zu einem (scheinbaren) Stillstand des Abbaus eintreten kann (Aber et al. 1990, Berg et al. 1996).

Die Modellierung kann jedoch dazu verwendet werden, Zusammenhänge während des Abbauprozesses zu beschreiben. Wird an die Daten eine exponentielle Funktion $y = \exp(-k \cdot t)$ angepasst, so ergibt sich die beste Vorhersage, wenn die Abbaukonstante wie folgt als Funktion einer Streuqualitäts- und zweier Klimavariablen beschrieben wird:

$$k = c_1 + c_2 (\text{lignin}/N) + c_3 (\bar{T}_{\text{soil}}) + c_4 (P_{\text{TF}}) \quad (\text{Gl.1})$$

mit T_{soil} = mittlere jährliche Bodentemperatur in 5 cm Tiefe ($^{\circ}\text{C}$) und P_{TF} = jährlicher Bestandesniederschlag (mm). Die beste Anpassung wurde mit folgenden Koeffizienten erreicht (Standardabweichung in Klammern):

$$c_1 = 0.547 (0.115) \text{ a}^{-1},$$

$$c_2 = -0.0106 (0.0027) \text{ a}^{-1},$$

$$c_3 = 0.0600 (0.0139) \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ a}^{-1},$$

$$c_4 = -0.000213 (0.000061) \text{ mm}^{-1} \text{ a}^{-1}.$$

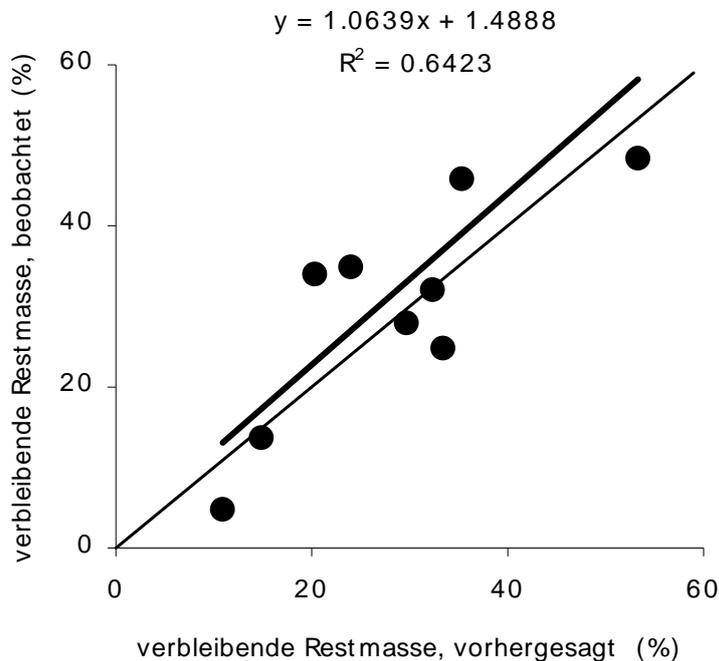
Mit Hilfe dieser Funktion lassen sich für alle Streutypen Abbaukonstanten errechnen, welche das Abbauverhalten in den ersten fünf Jahren beschreiben. Obwohl das Modell insgesamt eine gute Übereinstimmung von gemessenen und vorhergesagten Werten aufweist, ist eine Extrapolation dieser Daten auf einen längeren Zeitraum aus den oben genannten Gründen nicht ohne weiteres möglich.

Da das Modell nur auf den Abbaudaten der lokalen Streu an den einzelnen Standorten basiert, können die Abbaudaten der Einheitsstreu und der Höhentransekte als unabhängiger Datensatz verwendet werden, an dem das Modell getestet werden kann.

Es zeigt sich beim Vergleich der vom Modell vorhergesagten mit den im Feld gemessenen Werten, dass das Modell erwartungstreu ist: da die Steigung sehr nahe an 1 liegt und der Achsenabschnitt nahe 0, weist das Modell keine systematische Über- oder Unterschätzung auf. Das Bestimmtheitsmass der Vorhersage liegt bei 0.7 – in Einzelfällen können daher relativ grosse Abweichungen zwischen Messung und Vorhersage auftreten. Dies kann jedoch teilweise damit zusammenhängen, dass entlang der Höhentransekte keine Niederschlagsdaten vorliegen, so dass in diesen Fällen für die Vorhersage für alle Höhenstufen eines Standorts der gleiche Wert angenommen wurde.

Unter Verwendung der Klimadaten aus allen fünf Jahren lässt sich auch der Streuabbau im fünften Versuchsjahr relativ gut vorhersagen (Abb. 9). Für einzelne Streutypen ist jedoch eine tendenzielle Überschätzung des Abbaus erkennbar. Es tritt hier also bereits eine Verlangsamung des Streuabbaus gegenüber der in den ersten beiden Jahren beobachteten Rate ein. Dieses Phänomen wurde auch in anderen Experimenten beschrieben (z.B. Berg et al. 1996) und ist auf schwerer abbaubare oder bereits teilweise humifizierte Streubestandteile zurückzuführen.

Abb.9: Vergleich von Vorhersage und gemessenem Streuabbau. Zur Vorhersage wurden das exponentielle Abbaumodell und die Klimadaten verwendet.



5. Verdankungen

Ich bedanke mich bei Maria da Costa Lafaiett Frey für das sorgfältige Ausortieren der Litterbags und bei Dr. Alexander Heim für die Unterstützung während der Startphase des Projektes. Ebenfalls danke ich Dr. Nele Rogiers vom BAFU (Abteilung Wald), die dieses Projekt mit der Vertragsnummer 04.1140.PJ / I461-2228 finanziell unterstützt hat.

6. Literatur

Aber, J.D., Melillo, J.M., McLaugherty, C.A. 1990. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems. *Can. J. Bot.* 68: 2201-2208.

Berg, B. 1984. Decomposition of root litter and some factors regulating the process: long-term root litter decomposition in a Scots pine forest. *Soil Biol. Biochem.* 16:609-617.

Berg, B., Ekbohm, G., Johansson, M.B., McLaugherty, C., Rutigliano, F., Virzo De Santo, A. 1996. Maximum decomposition limits of forest litter types: a synthesis. *Can. J. Bot.* 74(5): 659-672.

Berg B., Johansson M.B., Meentemeyer V. and Kratz W. 1998. Decomposition of tree root litter in a climatic transect of coniferous forests in northern Europe: A synthesis. *Scand. J. For. Res.* 13: 402-412.

Heim A., Frey B. 2004. Early stage litter decomposition rates for Swiss forests. *Biogeochem* 70: 299-313.

Heimann, D., Sept, V. 2000. Climate change estimates of summer temperature and precipitation in the alpine region. *Theor. Appl. Climatol.* 66, 1-12

IPCC 2001. *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge UK.

Moore, T.R., Trofymow, J.A., Taylor, B., Prescott, C., Camiré, C., Duschene, L., Fyles, J., Kozak, L., Kranabetter, M., Morrison, I., Siltanen, M., Smith, S., Titus, B., Visser, S., Wein, R., Zoltai, S. 1999. Litter decomposition rates in Canadian forests. *Glob. Change Biol.* 5: 75-82.

Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M., Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecol. Model.* 189: 168–182.

Palosuo T., Liski J., Trofymow JA., Titus BD. 2005. Litter decomposition affected by climate and litter quality - Testing the Yasso model with litterbag data from the Canadian intersite decomposition experiment. *Ecol. Model.* 189: 183-198.

Trofymow, J.A., Preston, C.M., Prescott, C.E. 1995. Litter quality and its potential effect on decay rates of materials from Canadian forests. *Water Air Soil Poll.* 82: 215-226.