

Zwischenbericht 2011

Projekt-Titel: Turnover and stabilization of soil organic matter: effect of land-use change in alpine regions

Kredit-Nr.: A2111.0107

Vertrags-Nr.: 06.0091.PZ / H273-0857

Verfasser: Stephan Zimmermann und David Hiltbrunner (FE
Bodenwissenschaften)

Adresse: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf

1 Arbeiten

Nachdem im Jahr 2010 zwei weitere Transekte angelegt und beprobt wurden (vgl. Zwischenbericht 2010) um die Zahl der Replikate zu erhöhen und die Ergebnisse statistisch besser abzusichern, fanden im Jahr 2011 keine weiteren Feldaufnahmen mehr statt (ausser einzelnen Nachbeprobungen v.a. in den Aufforstungen zur Datenabsicherung / -verifikation).

Das Schwergewicht der Arbeiten lag in Laboranalysen und Auswertungen der gewonnenen Daten. Dies betraf vor allem weitere C- und N-Messungen (inkl. der stabilen Isotope ^{13}C und ^{15}N , weiteren PLFA- und Ergosterolmessungen sowie ersten Versuchen der mikrobiellen Zuckerbestimmungen. Die Extraktionen der mikrobiellen Zucker boten einige Schwierigkeiten und es gelang bisher noch nicht, die Methode bei uns zu etablieren und brauchbare Resultate zu erzielen. Alternativ wurde Kontakt mit einer Gruppe in Deutschland aufgenommen, um die Zuckerbestimmungen in einer Zusammenarbeit durchzuführen.

Der Doktorand (David Hiltbrunner) hat begonnen, seine Resultate in papern nieder zu schreiben. Ein erstes paper über die Ergebnisse der Untersuchungen der Viehtritte wurde bei Geoderma eingereicht und letzten Monat nach minor revisions erneut eingereicht. Wir sind sehr zuversichtlich, dass dieses Manuskript angenommen wird. Es bildet in der Form wie es erneut eingereicht wurde (mit Kommentaren zu den Einwänden der reviewer) einen Teil dieses Zwischenberichtes und ist als separates File dem Bericht angehängt.

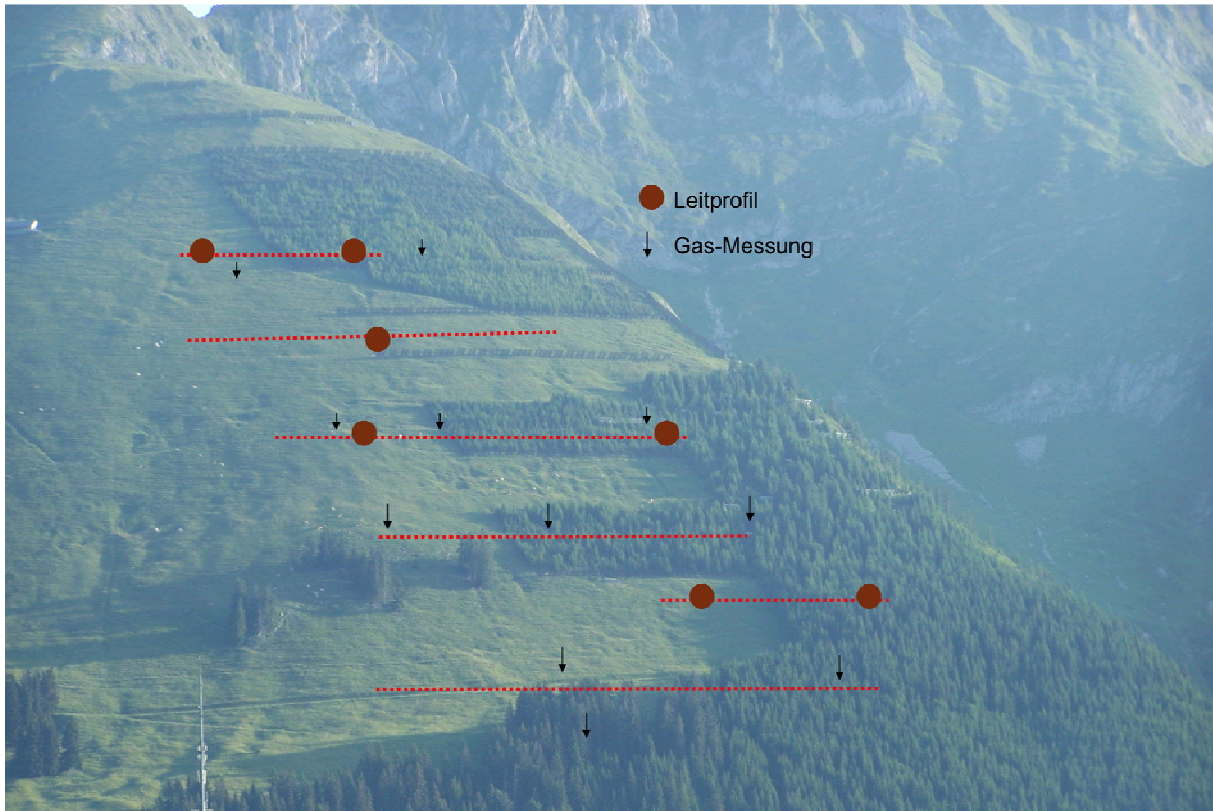
Zur Zeit arbeitet David Hiltbrunner am zweiten paper über die Ergebnisse der Spurengasmessungen. Es liegt ein erster Entwurf der Diskussion vor, welcher zusammen mit den Koautoren diskutiert und optimiert wurde. Ziel ist es, dieses paper anfangs nächsten Jahres bei Global Change Biology einzureichen.

Als drittes paper ist die Publikation der Ergebnisse der Biomarker vorgesehen. Dieses wird in Angriff genommen, sobald das zweite paper eingereicht ist.

2 Resultate

1. Landnutzungsänderung

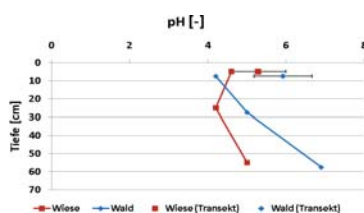
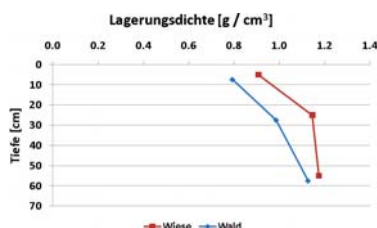
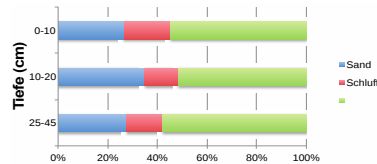
1.1 Untersuchungsgebiet



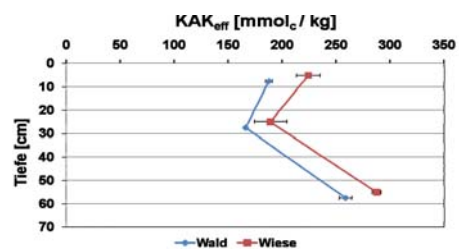
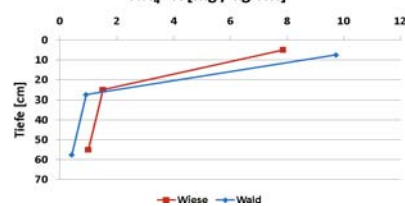
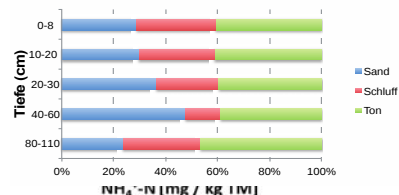
Entlang der Transekte (gestrichelte Linien) wurden ca. 120 kleine Profile ausgehoben und in 6 Tiefenstufen (0-5cm, 5-10cm, 10-20cm, 20-40cm, 40-60cm und >60cm) beprobt. Von allen Proben wurden die C und N-Gehalte und ca. bei der Hälfte der Proben die natürlichen Abundanzen der stabilen C und N Isotopen gemessen. Zur Berechnung der Vorräte wurden ausserdem bei der Hälfte der Profile in 0-10cm und 20-30cm Dichteproben entnommen. In sieben zusätzlichen Leitprofilen (braune Punkte) wurde eine ausführliche Bodenansprache durchgeführt und zusätzliche Parameter wie die Textur bestimmt. Die schwarzen Pfeile zeigen die Plots, in welchen die Treibhausgasflüsse (CO_2 , CH_4 , N_2O) in den verschiedenen Aufforstungen im Spätsommer/Frühherbst 2010 gemessen wurden.

1.2. Physiko-chemische Parameter (Leitprofile Transekt 2)

Textur Wiese



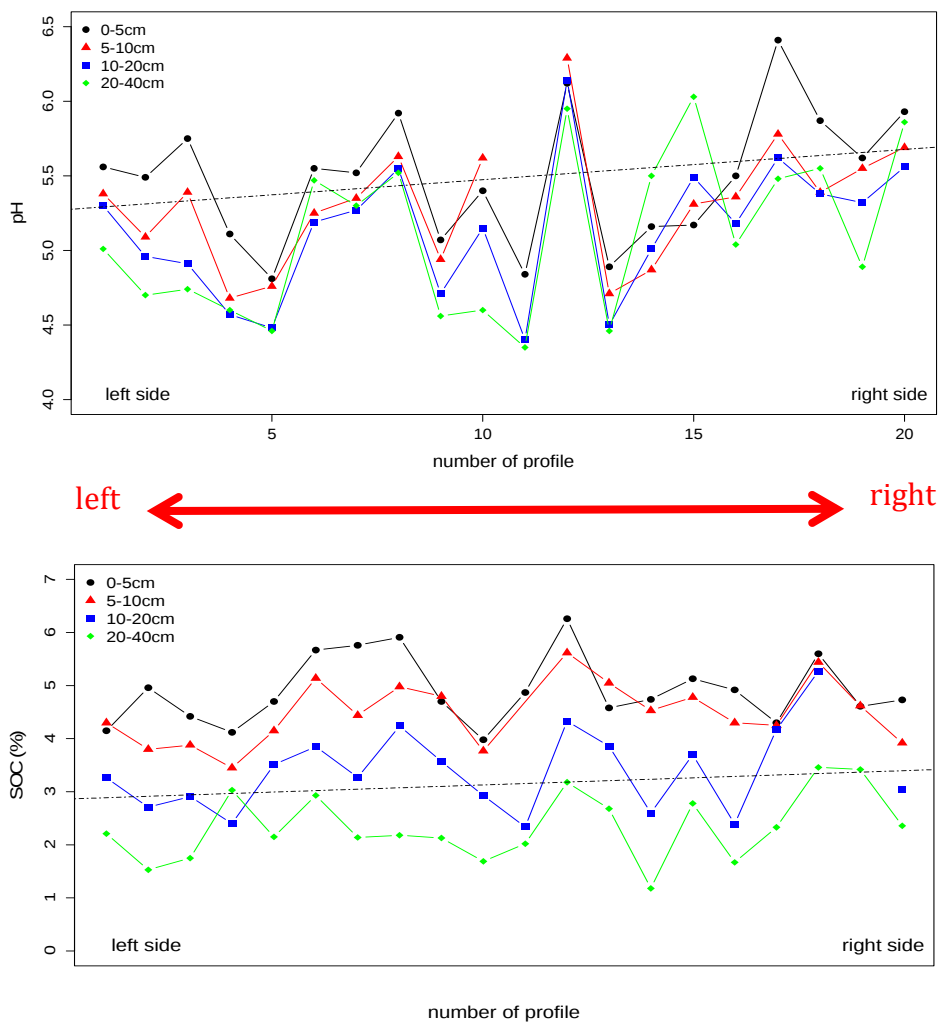
Textur Wald (40J.)



Die Böden des Untersuchungsgebietes sind stark tonig (40-60%) und die Textur unterscheidet sich nicht erheblich zwischen den verschiedenen Profilen, auch wenn die Böden teilweise unterschiedlich mächtig sind. Auch die Lagerungsdichten unterscheiden sich nicht stark zwischen den verschiedenen Landnutzungen, d.h. die Beweidung führt nicht zu einer messbaren Bodenverdichtung (genauere Details zur Beweidung weiter unten). Die pH-Tiefenprofile zeigen unterschiedliche Muster; während der pH im Wald kontinuierlich mit der Tiefe zunimmt, ist in den Wiesenböden der pH auch im Oberboden leicht erhöht. Dieses Muster könnte mit dem Eintrag von Urin und Fäkalien der Kühe erklärt werden (basischer pH) und ist durchgehend über die gesamte Weide zu beobachten. Die Konzentrationen des extrahierbaren Ammoniums sind in den Wiesen und Waldböden ähnlich (kein messbarer Effekt durch Beweidung) und die Kationenaustauschkapazitäten liegen im Bereich vergleichbarer Böden (Zimmermann et al., 2006).

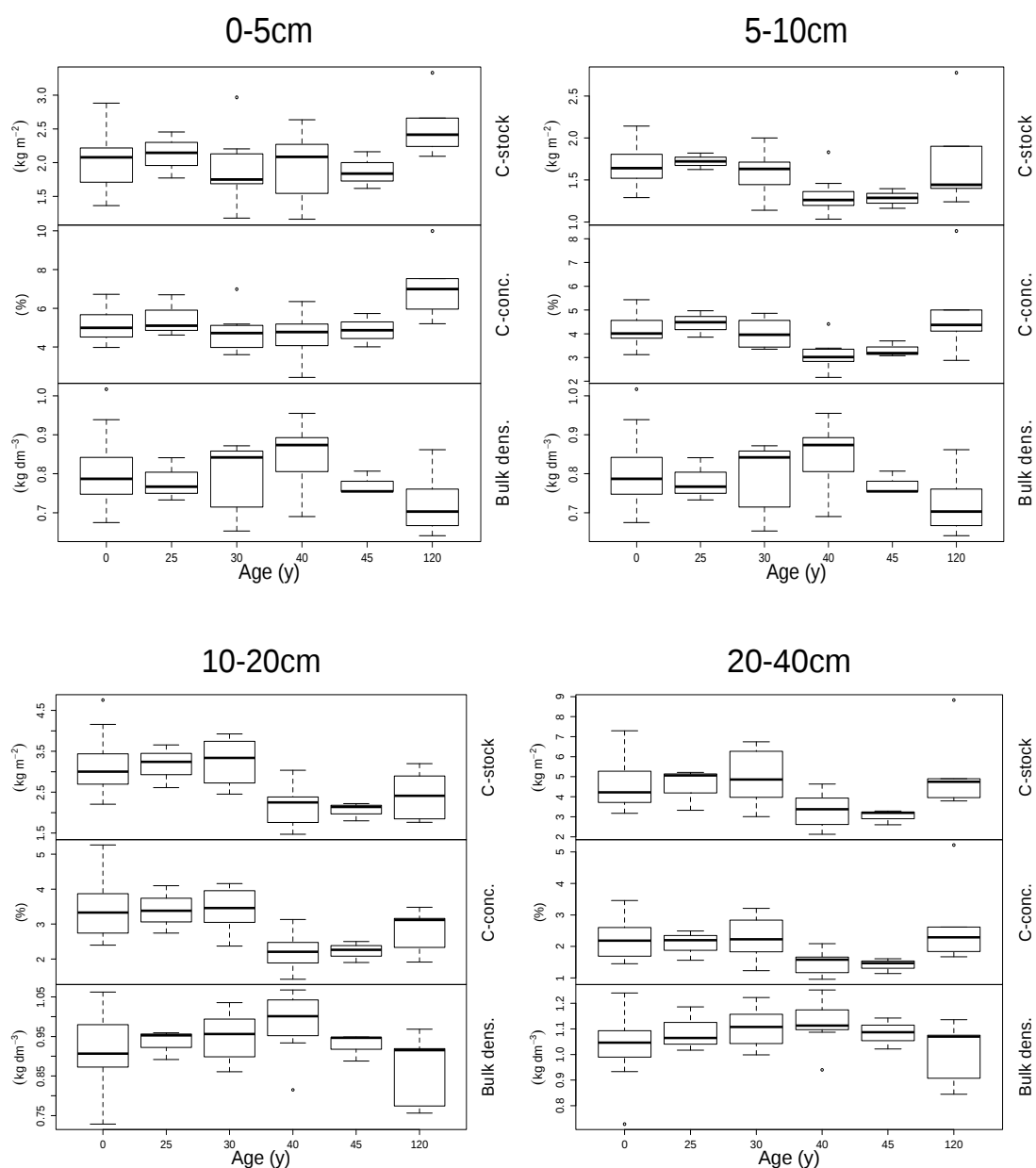
1.3. Homogenität der Untersuchungsfläche

Im zweitobersten Transekt wurde die Homogenität des Hanges untersucht, indem 20 Profile nur in der Wiese gegraben wurden (siehe Abbildung Kapitel 1). Wir wollten systematisch prüfen, ob der Hang homogen ist oder ob er allenfalls einen horizontalen Gradienten aufweist. Es zeigt sich ein leichter (nicht signifikanter) Trend hin zu höheren pH Werten auf der rechten Hangseite, aber die kleinräumige Variabilität ist erheblich grösser. Bei den C-Konzentrationen ist praktisch kein Trend ersichtlich. Unterschiedliche C und N Konzentrationen in den verschiedenen Plots können daher hauptsächlich auf den Vegetationswechsel zurückgeführt werden.



1.4. Kohlenstoffvorräte

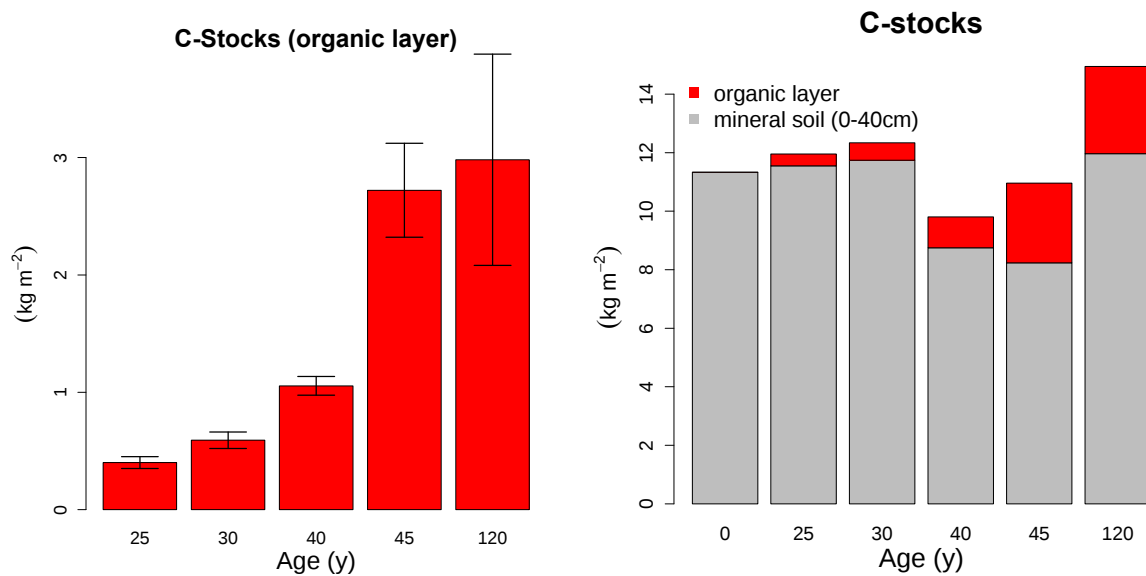
Das Ergebnis der Berechnung der Kohlenstoffvorräte in den Böden des Untersuchungsgebietes wird durch zwei Faktoren beeinflusst; durch die Dichte und durch die Kohlenstoffkonzentration. In 0-5cm Tiefe ist praktisch kein Unterschied der C-Vorräte zwischen Wiese und Wald und innerhalb der verschiedenen Aufforstungen zu beobachten. Einzig im alten Wald (>120 J.) sind die Vorräte leicht erhöht aufgrund der höheren C Konzentrationen in diesen Böden. In 5-10 cm Tiefe nimmt der Vorrat zwischenzeitlich (40-45 J.) nach der Aufforstung ab, wiederum gesteuert durch die tieferen C-Konzentrationen. Nach 120 Jahren erreicht der Vorrat im Wald hingegen wieder ungefähr dasselbe Level wie vor der Aufforstung (Wiese), allerdings sind die C-Konzentrationen im Wald eher höher und die Dichten tiefer als in der Wiese. Ein ähnliches Muster ist auch in 10-20cm und 20-40cm zu beobachten.



In der obersten Bodenschicht könnte der Eintrag von dissolved organic carbon (DOC) aus der sich bildenden Streuschicht den Abbau des grasbürtigen C kompensiert haben.

In grösserer Tiefe scheint der Eintrag von neuem, fichtenbürtigem C den Abbau von grasbürtigem C zwischenzeitlich nicht kompensieren zu können, was zu geringeren Vorräten in den 40-45 jährigen Beständen führt. Im alten Wald hat sich dann ein neues Gleichgewicht eingestellt, welches sich nicht messbar von demjenigen der Wiese unterscheidet.

Ein zwischenzeitlicher Verlust von Kohlenstoff aus Böden ist in einigen Studien gezeigt worden (Poeplau et al., 2011). Warum dieser Verlust in dieser Studie hingegen erst nach 40 Jahren messbar ist, kann bis anhin nicht beantwortet werden.

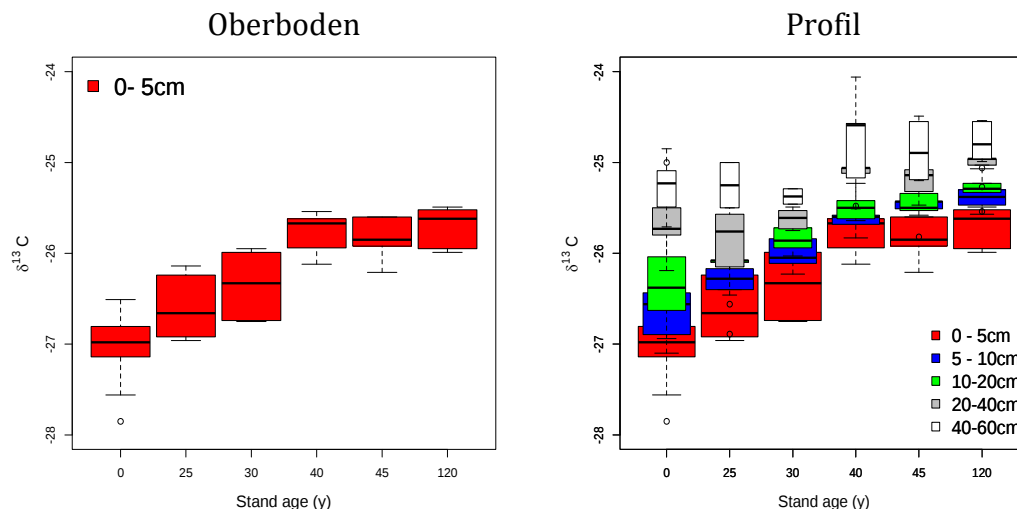


Wird die organische Auflage in die Vorratsberechnung mit einbezogen, führt die Aufforstung hingegen zu einer Zunahme von 3 kg C m⁻² nach 120 Jahren.

Im Moment sind diese Vorräte noch ohne Einbezug des Skelettgehaltes (im Untersuchungsgebiet sehr tief im Vergleich zu anderen alpinen Böden) gerechnet, was einen Einfluss auf die absoluten Werte aber nicht auf die Muster hat.

1.5. Kohlenstoffumsatz

Der Vegetationswechsel von Gras zu Fichten führte zu einer Verschiebung des $\delta^{13}\text{C}$ Signals im Boden von -27 ‰ unter Gras zu -25.5 ‰ unter den 120 jährigen Fichten (0-5cm) was auf die unterschiedliche Zusammensetzung des eingetragenen Pflanzenmaterials zurückgeführt werden kann. Trotz des geringen Unterschiedes von total 1.5 ‰ (0-5cm) ist die Varianz innerhalb der verschiedenen Aufforstungen sehr klein und die Verschiebung des $\delta^{13}\text{C}$ Signals mit zunehmendem Bestandesalter sehr konsistent. 25 Jahre nach der Aufforstung verschiebt sich das $\delta^{13}\text{C}$ Signal im Boden (~-26.7) weg vom Signal der Weideböden hin zum Signal im Boden unter 120 jährigen Wald. Nach 30 Jahren hat sich dieser Trend fortgesetzt (~-26.3) und nach 40- und 45 Jahren ist das Signal identisch mit dem 120 jährigem Wald. Daraus kann man schliessen, dass der grasbürtige Kohlenstoff 30 bis 40 Jahre nach der Aufforstung umgesetzt wurde (laut Graphik eher nach 40 als nach 30 Jahren).



Im Tiefenprofil kann man eine Zunahme des $\delta^{13}\text{C}$ Signals mit zunehmender Bodentiefe erkennen, zurückzuführen auf die Anreicherung des schwereren ^{13}C im Boden beim Abbau des organischen Materials. In anderen Worten nimmt mit zunehmender Bodentiefe das Alter des organischen Materials und damit das $\delta^{13}\text{C}$ Signal zu.

Mit dem Vegetationswechsel sind in 5-10 cm und 10-20 cm Tiefe ähnliche Muster in der Verschiebung $\delta^{13}\text{C}$ Signal wie in 0-5cm erkennbar. Der einzige Unterschied ist, dass nach 40 Jahren immer noch ein gewisser Anteil an grasbürtigem Kohlenstoff im Boden verblieben ist, was auf längere Umsatzzeiten hindeutet.

In grösserer Tiefe (>20cm) scheint sich zwischen 30 und 40 Jahren der grösste Teil des grasbürtigen C durch fichtenbürtigen C ersetzt worden zu sein. Da sich in dieser Tiefe die $\delta^{13}\text{C}$ Signale von Wald und Wiese aber nur sehr geringfügig unterscheiden, ist bei der Interpretation dieser Daten Vorsicht geboten. Um hier verlässliche Abschätzungen zu machen, muss zudem auch die Probenzahl vergrössert werden.

1.6. Treibhausgasflüsse

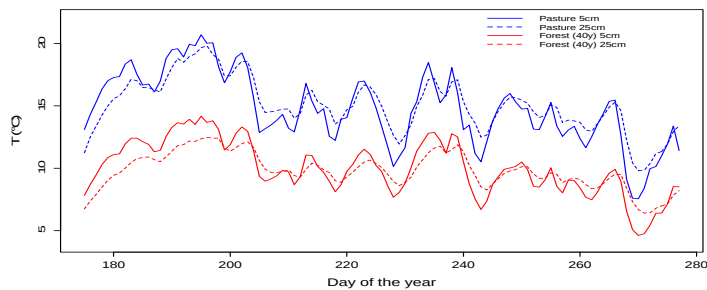
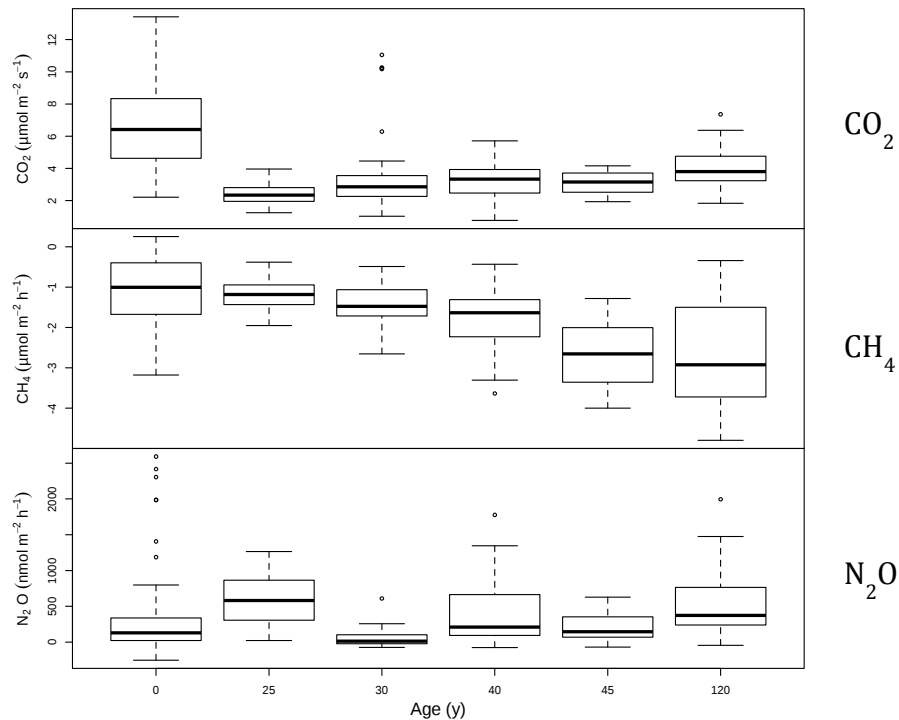
Durch die Aufforstung veränderten sich die Treibhausgasflüsse im Untersuchungsgebiet merklich. Die Bodenatmung in den 25 jährigen Aufforstungen verminderte sich um ca. 60% verglichen mit der Wiese. Mit zunehmendem Waldalter ist aber wieder eine Zunahme des respirierten CO_2 zu beobachten.

Die verminderte Respiration nach dem Vegetationswechsel ist wahrscheinlich einerseits auf die geringere Wurzeldichte in den Waldböden zurückzuführen (autotrophe Respiration) und andererseits auf die tieferen Bodentemperaturen im Wald.

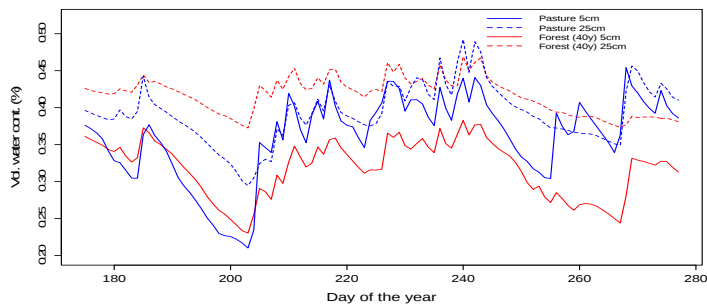
Die sich bildende Streuschicht in den älteren Aufforstungen ist voraussichtlich der Hauptgrund für die Zunahme der Bodenatmung in den älteren Aufforstungen. Eine grobe Abschätzung ergab, dass die Basalatmung aus der organischen Auflage ungefähr der Hälfte der Basalatmung aus den obersten 10 cm des Mineralbodens entspricht. Ein weiterer Grund könnte in der höheren Wurzelatmung der älteren Bestände liegen.

Die Methanoxidation nimmt kontinuierlich mit dem Waldalter zu. Die Resultate zeigen eine zu erwartende Entwicklung, da der N-Input im Wald abnimmt (hauptsächlich Ammonium beeinträchtigt die Methanoxidation) und die Böden trockener sind (verbesserte Diffusion). Da aber bisher in sehr wenigen Studien die Methanoxidation in Chronosequenzen untersucht wurde, konnte diese Entwicklung in Situ noch nicht oft nachgewiesen werden.

Die Lachgasflüsse sind sehr variabel und es konnte kein regelmässiges Muster gefunden werden, was auch an der geringen zeitlichen Auflösung liegen könnte.



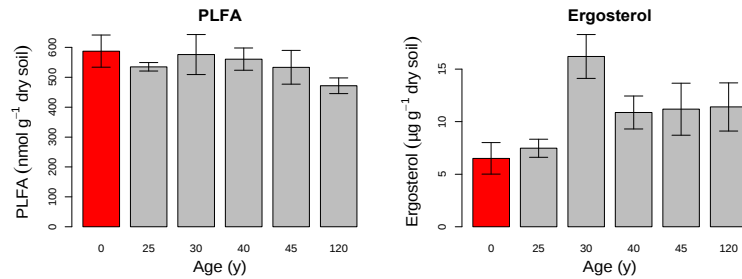
Temperatur 0-5cm



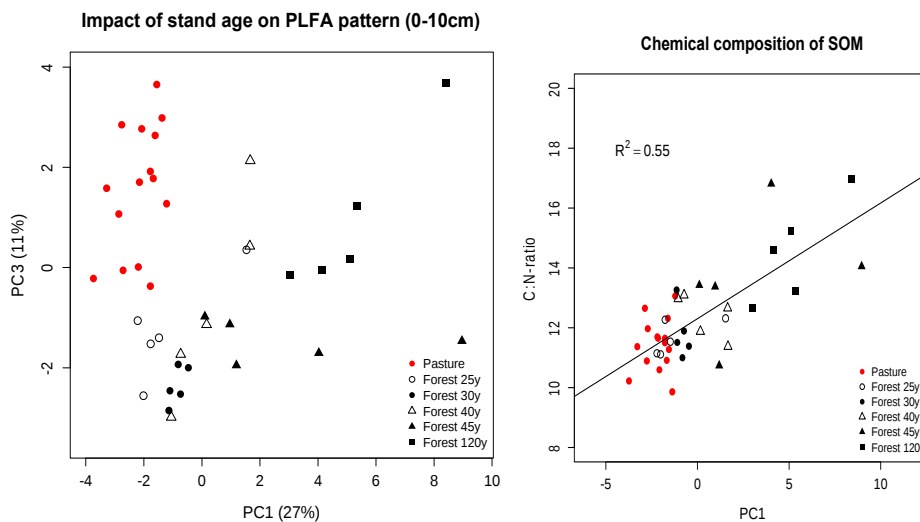
Wassergehalt 0-5cm

1.7. Mikroorganismen

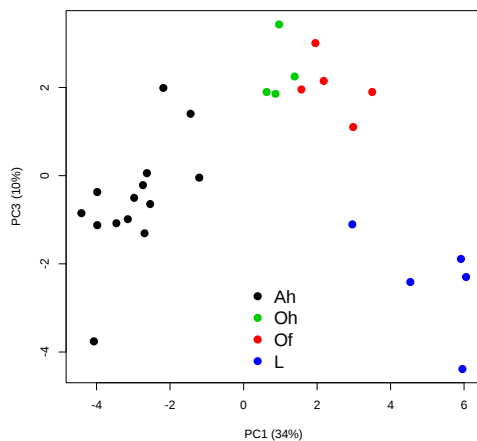
Im Mineralboden (0-10cm) konnte keine Veränderung der mikrobiellen Biomasse mittels Phospholipid-Fettsäuren (PLFA) festgestellt werden. Der Pilzbiomarker Ergosterol nahm nach der Aufforstung geringfügig zu, aber diese Zunahme war erstaunlich klein.



Im Gegensatz zur Menge wurde die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften durch den Vegetationswechsel merklich beeinflusst. Die Hauptkomponentenanalyse zeigt eine Verschiebung der Gemeinschaften entlang der ersten und der dritten Hauptkomponente (PC1 und PC3). PC1 ist stark mit dem C:N-Verhältnis des Bodens korreliert, welches mit zunehmendem Alter der Aufforstungen weiter wird.

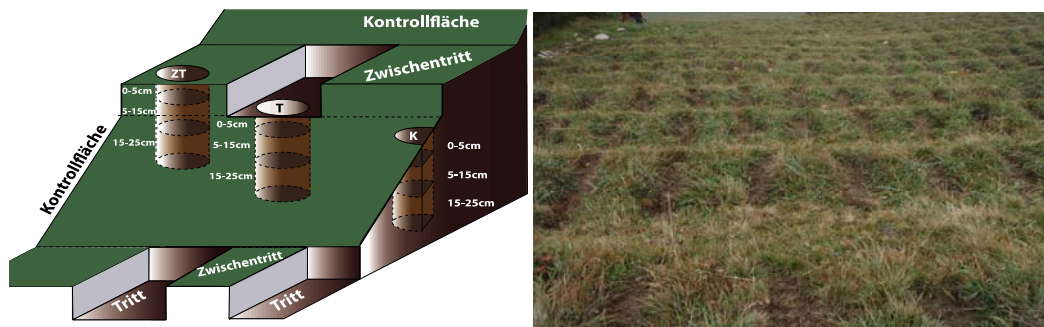


Vergleicht man hingegen die mikrobiellen Gemeinschaften der organischen Auflagehorizonte mit denen der Mineralböden, sind die Unterschiede deutlich ausgeprägter. Einerseits nimmt die Pilzbiomasse vom L über den Of und Oh in den Ah kontinuierlich ab. Zudem zeigt die Hauptkomponentenanalyse, dass sich die Gemeinschaften in den unterschiedlichen Auflagehorizonten und im Ah stark unterscheiden.



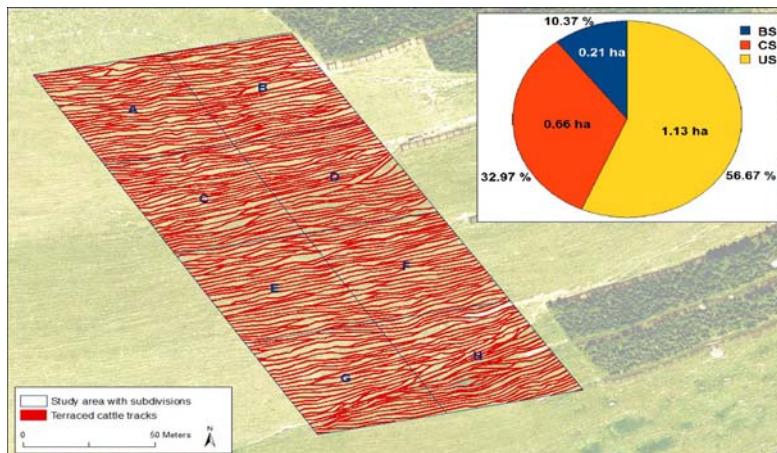
2. Viehtrittspuren in der Weide

Durch die jahrhundertelange Beweidung entstand in den Tritten ein sehr regelmässiges Muster von vegetationsfreien Trittspuren und dazwischenliegenden bewachsenen Zwischentritten. Wir wollten die Entstehungsprozesse der Tritte (Erosion vs. Verdichtung) untersuchen und den Einfluss der Tritte auf den Kohlenstoffvorrat und die Treibhausgasemissionen der Wiese abschätzen.



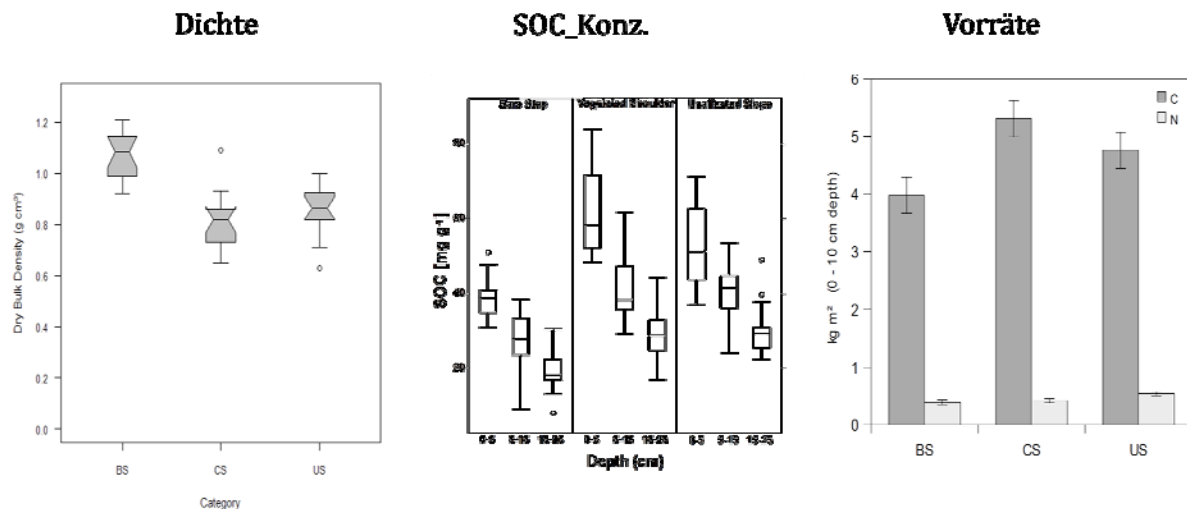
2.1 Flächenanteile

Gute 40% der Weide sind von Hangterrassen bedeckt und ca. 10% der Oberfläche wird durch die Tritte eingenommen.



2.2 Physiko-chemische Eigenschaften der Tritte

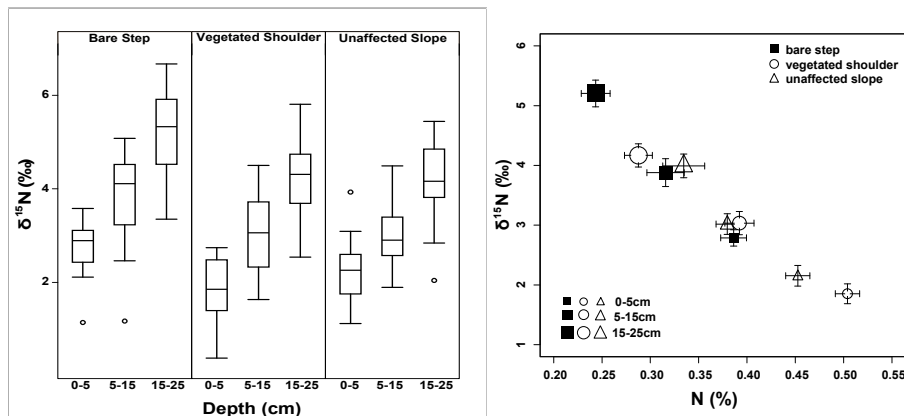
Die Viehtritte (bare steps BS) sind leicht verdichtet im Gegensatz zu den Zwischentritten (covered steps CS) und den ungestörten Hangflächen (unaffected slope US). Die Trittböden sind an C angereichert verglichen mit den bewachsenen Flächen, was auf eine gewisse Erosion hinweist. Die C-Vorräte wurden neu für die ganzen 25cm berechnet und können der Tabelle 1 im angehängten Manuskript entnommen werden.



Grundsätzlich sind die C-Vorräte in den Tritten ca. 20% tiefer. Dieser Verlust beträgt aber unter Einbezug der geringen Flächenanteile der Tritte nur ca. 2% des C-Vorrates m⁻² in den obersten 25 cm.

2.3 Entstehung der Tritte

Der Vergleich der natürlichen $\delta^{15}\text{N}$ Abundanzen in den verschiedenen Trittkategorien weist auf Erosion als Hauptentstehungsprozess der vertieften Trittsuren hin. Generell ist eine Anreicherung des schwereren ¹⁵N Isotopes mit zunehmender Bodentiefe in allen Kategorien zu beobachten (Erklärung siehe Kapitel 1.5). Das Signal der Trittböden ist hingegen um eine Tiefenstufe verschoben im Vergleich zu den bewachsenen Flächen.



Das heisst, dass das $\delta^{15}\text{N}$ Signal in 0-5cm in den Tritten demjenigen der CS und US Böden in 5-15cm entspricht. Folglich muss das frischere, weniger abgebaute organische Material (das ein negativeres $\delta^{15}\text{N}$ Signal hätte) aus den Tritten wegerodiert worden sein. Die beobachtete Verdichtung der Trittböden könnte deshalb auch daher rühren, dass die Trittoberflächen tiefer im Bodenprofil liegen was normalerweise mit grösseren Dichten einhergeht.

2.4 Treibhausgasflüsse

Die Bodenatmungsraten der Trittböden sind geringer als in den bewachsenen Flächen, was einerseits auf den tieferen C-Gehalt (weniger Mikroorganismen) und andererseits auf die fehlende autotrophe Respiration zurückzuführen ist. Auch die Methanoxidation

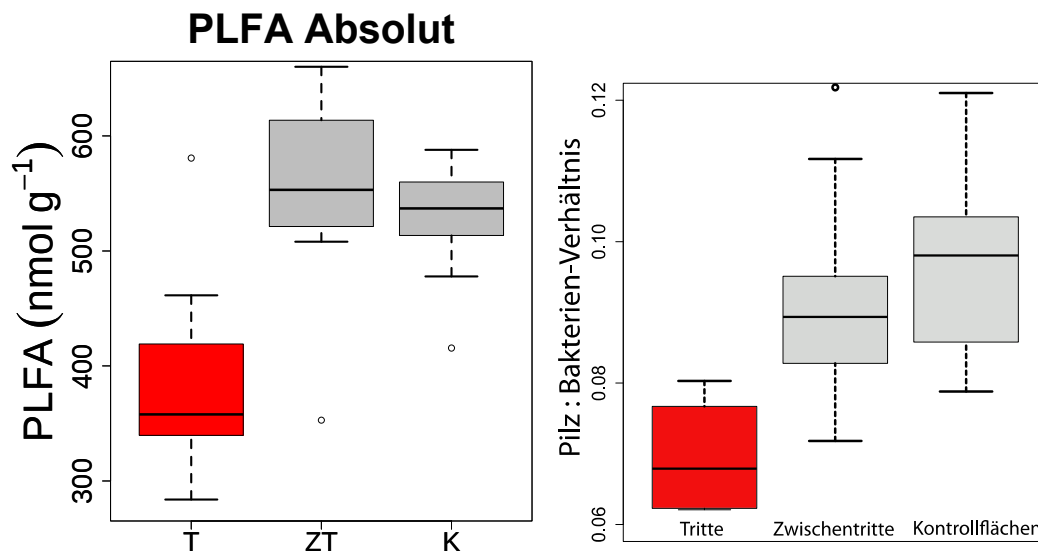
ist in den Tritten vermindert, was einerseits mit der geringeren Porosität und damit einhergehenden rascheren Wassersättigung der Poren (Water filled pore space WFPS) zu erklären ist. Dadurch wird die Diffusion in die Böden erschwert. Andererseits ist die Methanaufnahme in den Tritten auch unter trockenen Bedingungen tiefer als in den CS und US Böden, was auf zusätzliche Faktoren hindeutet. Unterschiede in den Methanotrophen-Gemeinschaften wären eine mögliche Erklärung, für eine Verifikation dieser Hypothese fehlen uns aber die Daten.

Die Lachgasflüsse wiesen wiederum eine sehr starke Variabilität auf und es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kategorien erkennbar.

2.5 Mikroorganismen

Die mikrobielle Biomasse ist in den Tritten rund 30% kleiner als in den bewachsenen Flächen, wahrscheinlich bedingt durch den geringeren C-Gehalt der vegetationslosen

Tritte. Von den mikrobiellen Gruppen nahmen die Pilze am stärksten ab (rund 50%), was zu einem tieferen Pilz/Bakterien-Verhältnis in den Tritten führte. Diese überproportionale Abnahme kann einerseits mit der mechanischen Belastung durch die Hufe erklärt werden, wobei die Pilz-Hyphen stärker beeinträchtigt werden als die viel kleineren Bakterien. Ausserdem haben die Trittböden ein engeres C:N-Verhältnis, was wiederum eher Bakterien begünstigt. Drittens wird auch die fehlende Vegetation eine Rolle gespielt haben, da sich in den Tritten mangels Pflanzenwurzeln weniger Mykorrhizen etablieren können.



Da Pilze einen wichtigen Einfluss auf die Aggregatbildung des Bodens haben, kann deren überproportionale Abnahme die Bodenstabilität der Tritte vermindern und damit weitere Erosion begünstigen.

ZIMMERMANN, S., LUSTER, J., BLASER, P., WALTHERT, L., LÜSCHER, P. 2006. Waldböden der Schweiz. Band 3. Regionen Mittelland und Voralpen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17(7), 2415-2427.