



Doctoral Thesis

Spatiotemporal variability of carbon and nitrogen in floodplain soils of a perialpine river

Author(s):

Shrestha, A. B.

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007112383> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20074

**Spatiotemporal variability of carbon and nitrogen in
floodplain soils of a perialpine river**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Juna Shrestha

Master of Science, UNESCO-IHE Institute for Water Education

born 24th June 1979

citizen of Nepal

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Emmanuel Frossard, examiner

Dr. Jörg Luster, co-examiner

Dr. Pascal A. Niklaus, co-examiner

Prof. Dr. Klement Tockner, co-examiner

2011

Summary

Floodplains are characterized by high spatiotemporal variability and they are considered as biogeochemical reactors that temporarily store and process organic and inorganic matter. They represent an ideal ecosystem to study the effects of environmental heterogeneity on biogeochemical cycling. The overall aim of this study was to explore the spatial and temporal variability in soil carbon and nitrogen dynamics in restored and channelized sections of a temperate floodplain with short inundation periods and to assess the factors that lead to this variability. The objectives of the study were: (i) to assess the spatiotemporal variability of carbon pools and fluxes, and relate them to soil physicochemical properties and soil environmental conditions, (ii) to relate the spatiotemporal variability of nitrogen pools, transformations and flux to soil properties and hydrological processes and (iii) to assess the spatial variability in the temporal patterns of nitrogen transformations, and to explore these differences in terms of temporal change in environmental condition and substrate availability.

The study was carried out in a restored and channelized section of the Thur River, Northeast Switzerland. The study area is the main study site of the interdisciplinary project RECORD (Restored Corridor Dynamics). For the study, the study site was subdivided into six functional process zones (FPZs) based on vegetation, distance from river and topography: GRAVEL, GRASS, WILLOW BUSH, MIXED FOREST, WILLOW FOREST and PASTURE. The first three FPZs are frequently flooded dynamic FPZs in the restored section, the forest FPZs are stable alluvial forests and the last FPZ represents a homogeneous dam foreland in the adjacent channelized section.

To achieve the first objective of the study, we quantified soil organic carbon pools (microbial carbon and water extractable organic carbon) and fluxes (soil respiration and net methane production) for each FPZ on a seasonal basis. The results showed that soil environmental factors related to seasonality and flooding (temperature, water content and organic matter input) affected soil carbon dynamics more than soil properties. The coarse-textured soils in the gravel bars were characterized by a lower organic carbon pools, but frequent flood disturbance led to high heterogeneity with temporary and local increase in carbon pools and soil respiration. In contrast, fine-textured soils of stable riparian forests with a higher organic carbon pool exhibited lower spatial heterogeneity, but exhibited temporal variability in carbon pools and soil respiration resulting from major floods and seasonal temperature change. Soil properties and base level of organic carbon in the dam foreland of the channelized section were similar to that of the gravel bars, whereas the spatial heterogeneity and temporal variability were similar to

that of the forests. Irrespective of FPZ, the input of non-structured allochthonous material and destruction of local aggregates during flood pulses appear to be the cause of the transient increase of microbial activity.

For the second objective, selected soil nitrogen pools (ammonium and nitrate), nitrogen transformations (gross mineralization, gross and potential nitrification and potential denitrification) and gaseous nitrogen flux (nitrous oxide) were measured on a seasonal basis in all FPZs. Results showed that the nitrogen dynamics in floodplain soils are dependent on soil physicochemical properties and flood disturbances. Soil moisture and carbon availability were identified as the main factors controlling soil nitrogen transformations. Furthermore, our results revealed a considerably higher nitrogen turnover and nitrogen removal in the restored section, particularly in the frequently flooded dynamic gravel bar, covered by herbaceous macrophyte, and in the old low-lying alluvial forest. Particularly high denitrification in these two FPZs was attributed to coupled nitrification-denitrification. In contrast, lower nitrogen turnover rates were found in the channelized section possibly due to the lower hydrological connectivity and extensive use for fodder production.

To assess the spatial differences in temporal patterns of soil nitrogen turnover, nitrogen pools and transformations were monitored at higher temporal resolution in GRASS, WILLOW BUSH and MIXED FOREST. The results showed a decreasing temporal variability with decreasing hydrological connectivity and / or disturbance. Differences in duration and frequency of inundation, and sediment deposition were the main factors behind the difference in temporal patterns of nitrogen pools and transformations among the FPZs. In our floodplain soils, mineralization was driven by soil moisture, sediment deposition and mobilization of organic matter, nitrification by ammonium availability and aeration, and denitrification by soil moisture, organic carbon availability and nitrification rate. Overall, our results indicate that the floodplain zones characterized by strong flood disturbances are “hot spots” and flood events are “hot moments” of nitrogen soil transformations in a floodplain system.

In conclusion, the restored section exhibited a higher heterogeneity of soil carbon and nitrogen dynamics than the channelized section. Flood related disturbance is the main reason for the spatial and temporal variability of carbon and nitrogen turnover. Positive aspects of river restoration, in context of our study, are improved carbon and nitrogen retention capacity and increased turnover rate. By contrast, increased emissions of nitrous oxide, a potent greenhouse gas, and hot spots of nitrification and subsequent nitrate accumulation in the soil, which might get leached into the groundwater during flood events, could be a matter of concern.

Zusammenfassung

Schwemmebenen sind durch eine hohe räumlich-zeitliche Variabilität gekennzeichnet und sind u.a. anderem „biogeochemische Reaktoren“, welche organische und anorganische Stoffe speichern und transformieren, bevor sie diese wieder freigeben. Sie stellen daher ideale Untersuchungsgebiete dar, um die Auswirkungen von veränderten Umweltfaktoren auf biogeochemische Kreisläufe zu prüfen. Hauptziel dieser Arbeit war es, die räumliche und zeitliche Variabilität der Kohlen- und Stickstoffdynamik in einem renaturierten und kanalisierten Flussabschnitt mit kurzer Überflutungsdauer zu erfassen und deren Ursachen zu erklären. Die Themenschwerpunkte waren: (i) die räumlich-zeitliche Variabilität des Kohlenstoffgehalts im Boden und der Kohlenstoffflüsse zu bestimmen und diese durch physikochemische Eigenschaften des Bodens und Umweltbedingungen zu erklären, ii) die räumlich-zeitliche Variabilität des Bodenstickstoffgehalts, der Stickstoffflüsse und Stickstofftransformationen zu verstehen, insbesondere in Bezug auf unterschiedliche Bodeneigenschaften und auf Störungen durch Überflutungen, und iii) die räumliche Variabilität von zeitlichen Mustern der Stickstofftransformationen zu erfassen und diese mit Hilfe von unterschiedlichen Umweltbedingungen und Substratverfügbarkeiten zu erklären.

Die Studie wurde in einem renaturierten und kanalisierten Abschnitt der Thur, in der Nordostschweiz durchgeführt. Es ist das Hauptuntersuchungsgebiet des interdisziplinären RECORD Projektes (Restored Corridor Dynamics) des ETH Bereichs. Für diese Studie wurde das Testgelände aufgrund der Vegetation, Distanz zum Fluss und Topographie, in sechs so genannte „functional process zones“ (FPZs) unterteilt. GRAVEL (Kies), GRASS (Gras), WILLOW BUSH (Weidenbusch), MIXED FOREST (Mischwald), WILLOW FOREST (Weidenwald), PASTURE (Grasland). Die ersten drei FPZs befinden sich im häufig überfluteten renaturierten Flussabschnitt und werden auch als dynamische FPZs klassifiziert. Die stabilen FPZs bilden die angrenzenden Auenwäldern und das homogene Dammvorland im kanalisierten Abschnitt.

Zur Erreichung des ersten Ziels haben wir den organischen Kohlenstoff im Boden (mikrobielle Biomasse und extrahierbarer organischer Kohlenstoff) sowie die Kohlenstoff Flüsse (Bodenatmung und Methanproduktion) für jede FPZ ganzjährig quantifiziert. Unsere Resultate zeigten, dass die Umweltfaktoren (Temperatur, Wassergehalt und Eintrag von organischem Material) die Dynamik des Bodenkohlenstoffs mehr beeinflussten als die Bodeneigenschaften. Grobkörnig texturierte Böden in den Kiesbänken zeigten einen geringen Gehalt an organischem Kohlenstoff, während häufige Störungen durch Überflutungen zu einer hohen Heterogenität mit

einer lokalen und temporären Zunahme des Kohlenstoffgehalts und der Bodenatmung führten. Im Gegensatz dazu hatten die feinkörnigen Böden in den Auenwäldern einen höheren Kohlenstoffgehalt, zeigten aber aufgrund von Temperaturunterschieden und Überflutungsereignissen eine erhöhte zeitliche Variabilität. Bodeneigenschaften und Kohlenstoffgehalt im Dammvorland des kanalisierten Flussabschnittes waren ähnlich wie in den Kiesbänken, während die räumliche Heterogenität und Variabilität derjenigen der Auenwälder entsprach. Unabhängig von den FPZs scheint der Eintrag von nicht-strukturiertem allochthonem Material und die Zerstörung von lokalen Bodenaggregaten während der Überflutungen die Hauptursache für eine vorübergehende Zunahme der mikrobiellen Aktivität zu sein.

Für das zweite Ziel wurde der Bodenstickstoffgehalt (Ammonium und Nitrat), stellvertretend für Stickstofftransformationsraten (Mineralisation, Nitrifikation und Denitrifikation) und der Ausstoss von Lachgas saisonal und in allen FPZs gemessen. Es konnte gezeigt werden, dass die Stickstoffdynamik in den Auenböden sowohl von den physikochemischen Eigenschaften des Bodens als auch von Störungen, verursacht durch Überflutungen, abhängig ist. Bodenfeuchtigkeit und verfügbarer organischer Kohlenstoff wurden als Hauptfaktoren ermittelt, welche die Stickstofftransformationen kontrollieren. Zudem wurde ein höherer Stickstoffumsatz im renaturierten Flussabschnitt gemessen. Insbesondere in den oft gefluteten dynamischen Kiesbänken, welche von krautigen Makrophyten überwachsen sind, und im tieferliegenden Auenwald. In diesen beiden FPZs wurden aufgrund gekoppelter Nitrifikation und Denitrifikation hohe Denitrifikationsraten gemessen. Im Gegensatz dazu wurde im kanalisierten Flussabschnitt ein tieferer Stickstoffumsatz gefunden, wahrscheinlich wegen der tieferen hydrologischen Konnektivität und der extensiven Nutzung (Weide und Streu-Produktion).

Um die räumliche Variabilität von zeitlichen Mustern der Stickstoffdynamik zu prüfen, wurden der Stickstoffgehalt und die Stickstofftransformationsraten in GRASS, WILLOW BUSH und FOREST in höherer zeitlicher Auflösung untersucht. Es konnte eine Abnahme der zeitlichen Variabilität mit abnehmender hydrologischer Konnektivität und/oder Frequenz von flutverursachten Störungen gezeigt werden. Unterschiede in Flutdauer, -frequenz und Sedimenteintrag waren die Hauptgründe für Unterschiede im zeitlichen Muster des Stickstoffgehalts und -transformationen zwischen den FPZs. In unseren Auenböden war die Mineralisation durch die Bodenfeuchtigkeit und den Sedimenteintrag gesteuert, die Nitrifikation durch die Verfügbarkeit von Ammonium und die Bodendurchlüftung, und die Denitrifikation durch die Bodenfeuchtigkeit, den verfügbaren organischen Kohlenstoff und die Nitrifikationsrate. Neben den aktuellen Bedingungen, wurden die Stickstofftransformationen, vor allem nach Hochwasserereignissen, auch durch die vorhergehenden Umweltbedingungen im

Boden und die Substratverfügbarkeit, sowie durch die Entwicklung dieser beiden Faktoren mit der Zeit beeinflusst. All diese Transformationsraten wurden durch die von Fluten hervorgerufenen Störungen beeinflusst. Jedoch wurden signifikante Unterschiede zwischen den Transformationsraten in der Grössenordnung und der Zeitdauer der Auswirkung gefunden.

Zusammengefasst, zeigte der renaturierte Flussabschnitt eine höhere Heterogenität des Bodenkohlenstoffes und der Stickstoffdynamik als der kanalisierte Abschnitt. Flutverursachte Störungen sind der Hauptgrund für die räumlich-zeitliche Variabilität des Kohlenstoffes und des Stickstoffumsatzes. Positive Aspekte von Flussrenaturierungen in diesem Kontext sind die verbesserte Kohlenstoff- und Stickstoffspeicherkapazität und erhöhte funktionelle Diversität. Weniger wünschenswerte Nebeneffekte sind erhöhte Emissionen von Lachgas, ein starkes Treibhausgas, und „Hot spots“ von Nitrifikation und die mögliche Auswaschung von im Boden akkumuliertem Nitrat ins Grundwasser.