

- *Interrill erosion – Crusting – Sediment properties – Soil organic matter erosion*

Nikolaus J. Kuhn

Rainfall Simulation Experiments on Crusting and Interrill Sediment Organic Matter Content on a Silt Loam from Devon

Regensimulationsexperimente an einem schluffigen Lehm aus Devon: Auswirkungen auf Verkrustung und auf den Gehalt an organischer Substanz in Interrill-Sedimenten

With 4 Figures and 5 Tables

The role of soil erosion in the global carbon cycle is subject of a controversial debate. A key issue is the fate of soil organic matter after erosion. So far, most studies on the climate effect of soil erosion have focused on a catchment-scale analysis of soil and soil organic matter erosion, including models based on inventories of colluvial sediment deposits. Processes relevant on a smaller scale, such as crusting and interrill erosion, have not been included in those studies. However, several studies have shown that most interrill sediment is enriched in organic matter and that crusting potentially generates a pool of 0.6 to 1.3 Pg of C annually at the soil-atmosphere interface. While the fate of this organic matter is unknown, preliminary results of respiration tests indicate that aggregate breakdown due to crusting can significantly increase soil respiration. The size of the organic matter pool in interrill sediment and the increased respiration illustrate the need to study interrill erosion of organic matter, in particular the enrichment of organic matter in interrill sediment, its subsequent fate, either in crusts or sediment deposits, and the spatial relevance of those processes to assess the role for soil-atmosphere exchange of greenhouse gases. This study focuses on the preferential erosion of soil organic matter on a crusting silt loam from Devon. A series of rainfall simulation experiments was conducted to improve our understanding of the mechanisms which link crust formation and properties to interrill sediment organic matter content. The results of the experiments show a significant increase of organic matter in crust forming aggregates, as well as splash and wash sediment. While preliminary and only applying to well-aggregated soils, they confirm the potential relevance of interrill processes for the global C cycle and illustrate the need for further research, both on C erosion processes as well as their spatial relevance.

Summary: Rainfall Simulation Experiments on Crusting and Interrill Sediment Organic Matter Content on a Silt Loam from Devon

The role of soil erosion in the global carbon cycle is subject of a controversial debate. A key issue is the fate of soil organic matter after erosion. So far, most

studies on the climate effect of soil erosion have focused on a catchment-scale analysis of soil and soil organic matter erosion, including models based on inventories of colluvial sediment deposits. Processes relevant on a smaller scale, such as crusting and interrill erosion, have not been included in those studies. However, several studies have shown that most interrill sedi-

ment is enriched in organic matter and that crusting potentially generates a pool of 0.6 to 1.3 Pg of C annually at the soil-atmosphere interface. While the fate of this organic matter is unknown, preliminary results of respiration tests indicate that aggregate breakdown due to crusting can significantly increase soil respiration. The size of the organic matter pool in interrill sediment and the increased respiration illustrate the need to study interrill erosion of organic matter, in particular the enrichment of organic matter in interrill sediment, its subsequent fate, either in crusts or sediment deposits, and the spatial relevance of those processes to assess the role for soil-atmosphere exchange of greenhouse gases. This study focuses on the preferential erosion of soil organic matter on a crusting silt loam from Devon. A series of rainfall simulation experiments was conducted to improve our understanding of the mechanisms which link crust formation and properties to interrill sediment organic matter content. The design of the experiments aimed at generating sufficient wash and splash sediment for comparing crust, surface aggregate and sediment properties. Based on the sampled sediment, the relevance of crust formation on a silt loam from Devon for OM erosion by interrill processes was assessed. Three replicate plots of 1.5 m length and 0.75 m width, set at a slope of 5 %, were used in the test. The simulator produced rainfall intensities between 40 and 50 mm per hour and experiments lasted 120 minutes. Soil crust and sediment were analysed for organic matter, texture and aggregation. The results of the soil crust and sediment analysis show a significant increase of organic matter in stable aggregates which formed during the crusting process at the soil surface, as well as splash and wash sediment. Most soil was eroded in aggregated form and not individual mineral soil particles. While preliminary and only applying to well-aggregated soils, the tests confirm the potential relevance of interrill processes for the global C cycle and illustrate the need for further research, both on C erosion processes as well as their spatial relevance. The key questions that should be addressed therefore concern the bioavailability of eroded soil organic matter, the amount of soil organic matter affected by interrill processes and an estimate of the combined effect of erosion and increased respiration on the global carbon cycle.

Zusammenfassung: Regensimulationsexperimente an einem schluffigen Lehm aus Devon: Auswirkungen auf Verkrustung und auf den Gehalt an organischer Substanz in Interrill-Sedimenten

Die Bedeutung der Bodenerosion für den globalen Kohlenstoffkreislauf und den Klimawandel ist Gegenstand einer kontroversen Debatte. Ein wichtiger offener Fragenkomplex umfasst die Menge und den folgenden Abbau der erodierten organischen Bodensubstanz. Bisherige Untersuchungen zu den Auswirkungen von Bodenerosion auf das Klima basieren auf globalen Erosionsmodellen, die mit einer geringen Anzahl von Inventaren aus kolluvialen Sedimenten kalibriert wurden. Dieses Vorgehen ignoriert die Bedeutung kleinräumiger Prozesse, beispielsweise Bodenverkrustung oder Interrill-Erosion. Verschiedene Studien haben jedoch gezeigt, dass der Gehalt an organischer Substanz in Sedimenten, die aus Interrill-Erosionsprozessen stammen, meist erhöht ist. Zusätzlich zur Abspülung sind jährlich potenziell bereits 0.6 bis 1.3 Pg Kohlenstoff von Verkrustung des Oberbodens betroffen. Die Bedeutung dieses Pools an organischer Substanz für den globalen Kohlenstoffkreislauf ist derzeit nicht klar. Untersuchungen zur Bodenatmung von Krusten und Interrill-Sediment zeigen jedoch, dass die Zerstörung der Bodenaggregate durch Verkrustung die Bodenatmung signifikant erhöhen kann. Die erhöhte Bodenatmung sowie die Größe des Pools an organischem Material in Krusten und Interrill-Sedimenten zeigen daher die Notwendigkeit für eine weitere Erforschung der Bedeutung von Interrill-Erosionsprozessen im globalen Kohlenstoffkreislauf. Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit der Erosion organischer Bodensubstanz auf einem krustenbildenden schluffigen Lehm aus Devon, England. Ziel der Versuche war ein besseres Verständnis der Prozesse, welche die Bildung und Eigenschaften der Bodenkruste und den Gehalt an organischer Substanz in Interrill-Sedimenten bestimmen. Dazu wurden Regensimulationsversuche an Testflächen von 1,5 m Länge und 0,75 m Breite im Labor der University of Exeter durchgeführt. Die Simulationen wurden so angelegt, dass genügend Sediment aus Splash- und Washprozessen generiert wurde, um Verkrustung, Aggregat- und Sedimenteigenschaften zu vergleichen. Die berechneten Testflächen hatten eine Neigung von 5 % und wurden für 120 Minuten mit einer Intensität von durchschnittlich 45 mm Niederschlag pro Stunde berechnet. Die Bodenkruste und das Sedi-

ment wurden vor, während und nach den Tests beprobt und auf den Gehalt an organischer Substanz, auf Bodentextur und Aggregatstabilität untersucht. Die Resultate der Versuche zeigen eine signifikante Erhöhung (ca. 50 %) der organischen Substanz in stabilen Aggregaten, welche sich während der Krustenbildung wie auch infolge von Splash- und Bodenauswaschungsprozessen an der Oberfläche des Bodens bildeten. Das erodierte Bodenmaterial zeigt ebenfalls einen erhöhten Anteil organischer Substanz. Der größte Teil des Sediments bestand nicht aus einzelnen mineralischen Partikeln, sondern aus Bodenaggregaten. Dies zeigt die Bedeutung der Bodenstruktur und der Stabilität von Bodenaggregaten für die Erosion organischer Bodensubstanz an. Obwohl es sich bei den Versuchen nur um vorbereitende Experimente handelt und die Versuche nur auf gut aggregierten Böden stattgefunden haben, bestätigen die Resultate dennoch die Bedeutung von Interrill-Erosionsprozessen für den globalen Kohlenstoffkreislauf. Dementsprechend zeigen sie die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zur Erosion von Kohlenstoff durch Interrillprozesse. Außerdem ist eine Abschätzung der Auswirkungen von Interrill-Prozessen auf die Bioverfügbarkeit von organischer Bodensubstanz und Treibhausgasemissionen aus Krusten und Interrillsediment besonders wichtig.

Résumé: Simulation de précipitations sur un sol limoneux de Devon: Effets sur l'encroûtement et la quantité de matière organique dans les sédiments issus de l'érosion en nappe

La contribution de l'érosion des sols au cycle global du carbone fait l'objet de débats controversés. La question clé est le sort de la matière organique du sol après érosion. Jusqu'à présent, la majorité des études concernant l'effet de l'érosion des sols sur le climat, s'est concentrée sur l'analyse du sol et de l'érosion de la matière organique, grâce aux modèles basés sur l'inventaire des dépôts de sédiments colluvionnaires. Les processus s'appliquant à une échelle réduite, comme l'encroûtement des sols et l'érosion en nappe, ne sont pas inclus dans ces recherches. Cependant, plusieurs études ont montré qu'une grande partie des sédiments de l'érosion par ruissellement dispersé est enrichie de matière organique, et que l'encroûtement peut générer 0.6 à 1.3 Pg du C annuel à l'interface sol-atmosphère. La contribution de ce pool de matière organique au cycle global du carbone est encore inconnue. Alors que le sort de la matière organique est inconnu, les résultats préliminaires des tests de respiration indiquent que la destruction des agrégats du sol causée par l'encroûtement peut significativement augmenter

la respiration du sol. L'importante quantité de matière organique dans les sédiments qui dérive de l'érosion en nappe et l'augmentation de la respiration du sol associée démontrent la nécessité d'études complémentaires. Afin d'estimer la pertinence spatiale de ces processus pour l'échange des gaz à effet de serre entre sol et atmosphère, il faut évaluer l'accroissement de la matière organique et son devenir, non seulement dans les sédiments qui dérivent de l'érosion par ruissellement dispersé, mais également dans les croûtes ou dans les dépôts de sédiments. Cette étude se concentre sur l'érosion préférentielle de la matière organique d'un limon encroûté de Devon, Angleterre. Une série d'expériences simulant des pluies a été conduite, afin d'améliorer notre compréhension des mécanismes qui lient la formation des croûtes et leurs propriétés, au contenu organique des sédiments issus de l'érosion en nappe. Trois sites comparables de 1.5 m de long et 0.75 m de largeur, inclinés à 5 %, ont été utilisés pour l'expérience. Une précipitation d'intensité moyenne de 45 mm/h a été simulée durant 120 minutes. Le but de ces expériences était de produire suffisamment de sédiments engendrés par effet splash et par ruissellement, afin de comparer l'encroûtement, l'agrégation en surface, et les propriétés des sédiments. A partir des échantillons de sédiments, nous avons étudié l'encroûtement sur un sol limoneux de Devon causé par l'érosion de la matière organique par ruissellement dispersé. Nous avons analysé la matière organique, la texture, et l'agrégation des sédiments et de la croûte des sols. Les résultats de l'analyse du sol encroûté et des sédiments montrent une augmentation significative (environ 50 %) de la matière organique dans les agrégats stables, formés lors du processus d'encroûtement à la surface du sol et les sédiments dus à l'effet splash et aux ruissellements. La majorité du sol n'a pas été érodée en particules minérales individuelles, mais sous forme d'agrégats. Bien qu'il s'agisse de tests préliminaires, et seulement appliqués sur un sol bien agrégé, les résultats confirment l'importance de l'érosion en nappe dans le cycle global du carbone. En outre, les tests montrent la nécessité de poursuivre les recherches non seulement sur les processus de l'érosion du carbone mais également sur leur pertinence spatiale. Les principales questions devant être étudiées concernent la disponibilité biologique de la matière organique érodée, la quantité de matière organique affectée par l'érosion en nappe et l'estimation des effets combinés de l'érosion et de l'augmentation de la respiration sur le cycle global du carbone.

Prof. Dr. Nikolaus J. Kuhn, Geographisches Institut, Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel, Klingelbergstr. 27, 4056 Basel, Switzerland, nikolaus.kuhn@unibas.ch