



Doctoral Thesis

## Plants and mycorrhizal fungi in wind erosion control

**Author(s):**

Burri, Katrin

**Publication Date:**

2011

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006570793> →

**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. 19599

**PLANTS AND MYCORRHIZAL FUNGI  
IN WIND EROSION CONTROL**

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
KATRIN BURRI  
Dipl. Umwelt-Natw. ETH  
born November 27, 1980  
citizen of Malters LU

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Ottmar Holdenrieder, examiner  
Prof. Dr. Christine Alewell, co-examiner  
Dr. Frank Graf, co-examiner  
Dr. Christof Gromke, co-examiner

2011

---

## SUMMARY

---

Soil erosion by wind is a natural process which has been enhanced in recent years by anthropogenic activities such as the destruction of native vegetation and inadequate agricultural practices, particularly in arid and semi-arid regions. Increased wind erosion often results in land degradation, with adverse effects on soil resources, agricultural productivity, air quality, human health and climate. A common strategy to restore degraded soils is to re-establish a vegetation cover, because plants are able to protect the soil from wind erosion in various ways, e.g. by sheltering the soil from the erosive force of the wind and by stabilizing the soil with their roots. Most plants form symbiotic associations with mycorrhizal fungi which have the potential to improve both plant growth and soil aggregation. Mycorrhizal fungi are therefore expected to be of key importance for wind erosion control. However, their effect on wind erosion has never been quantified and the mechanisms involved in the interactions between vegetated surfaces and wind are still poorly understood.

The present thesis experimentally addresses selected aspects of using plants and mycorrhizal fungi in wind erosion control, with emphasis on alpine plant species. The overall aim of the thesis is to improve the understanding of the mechanisms by which plants and mycorrhizal fungi influence wind erosion. The thesis contains three wind tunnel studies and a plant growth experiment.

The focus of the first study (chapter 2) is on the above-ground processes by which vegetation protects the soil against wind erosion. The test section of a laboratory wind tunnel was furnished with 8 m of plant trays to perform experiments with a bare sand surface and three canopy densities of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne*). The use of live plants allowed mimicking the behavior of a naturally grown vegetation canopy more accurately than any previous wind tunnel study, since vegetation canopies have traditionally been simulated by plant imitations. The aim of this study was to compare the total sediment mass flux  $Q$ , the vertical distribution of sediment mass flux and the PM<sub>10</sub> concentration in the air stream in the different plant configurations. The results suggest that both total sediment mass flux  $Q$  and PM<sub>10</sub> concentration in the air

decreased exponentially with increasing canopy density. In the large-density canopy (frontal area index  $\lambda = 0.58$ ),  $Q$  and  $PM_{10}$  concentration were reduced to 0.01% and 0.4% compared to the unplanted configuration. In the medium-density canopy ( $\lambda = 0.16$ ),  $Q$  and  $PM_{10}$  concentration were reduced to 6.6% and 48.5%. In the small-density canopy ( $\lambda = 0.03$ ), however,  $Q$  and  $PM_{10}$  concentration were increased to 117.5% and 145.6%. This is attributed (i) to elevated shear stress on the sand bed, caused by flow acceleration around the tussocks and vortical structures in their lee, and (ii) to oscillating movements of the grass blades at the ground surface. The vertical profiles of sediment mass flux in the medium- and large-density canopy strongly deviated from the exponential decay curve of the unplanted configuration, showing a local maximum at approximately twice the canopy height.

The second study (chapter 3) refers to the same wind tunnel experiments as the first study, but presents observations on spatial patterns of sediment deposition within the small-, medium- and large-density grass canopy. Colored quartz sand was used to identify and locate areas experiencing net deposition. In the small- and medium-density canopy, the wake areas downstream of the tussocks were the main locations of sediment deposition. In the medium-density canopy, these wedge-shaped wake deposits overlapped with the adjacent downstream tussocks, while in the small-density canopy they did not, indicating a wake-interference flow and an isolated roughness flow, respectively. In the large-density canopy, only few sand grains were entrained by the wind and they were deposited mainly within reach of the grass tussocks. The deposited sand grains were evenly distributed around the tussocks, without pronounced accumulations on their upstream, downstream or lateral sides, suggesting a skimming flow regime. The fraction of the sand surface which was potentially exposed to erosion ( $EP_{nc}$ ) was substantially smaller than the area which was not covered by grasses. It accounted for 67-78% of the non-covered surface in the small-density canopy, and for 44-77% in the medium-density canopy. This finding indicates that wind erosion models overestimate the sediment source area if they approximate the erodible area with the surface not covered by roughness elements.

The focus of the third study (chapter 4) is on the below-ground processes by which mycorrhizal fungi and plant roots protect the soil against wind erosion. It addresses the question of whether mycorrhizal fungi can decrease the soil susceptibility to wind

erosion and thereby increase the protective effect of newly seeded plants. Wind tunnel experiments were conducted with mycorrhizal and non-mycorrhizal root balls of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) and Kidney Vetch (*Anthyllis vulneraria ssp. alpestris*). The entire root balls were exposed to an erosive wind event, and then analyzed for their total root length and the percentage of root length colonized by mycorrhizal fungi. For both plant species, the wind-induced soil loss was found to decrease significantly with increasing percentage of root colonization by mycorrhizal fungi. The mean soil loss of non-mycorrhizal control samples was more than twice as high as the one of mycorrhizal samples for *A. vulneraria*, while no significant difference was observed for *L. perenne*. These results are all the more remarkable because there was no mycorrhiza-induced plant growth enhancement. On the contrary, mycorrhizal plants had significantly smaller root systems than non-mycorrhizal plants in both species. Above-ground biomass was significantly smaller in mycorrhizal plants than in non-mycorrhizal plants for *L. perenne*, but only slightly smaller for *A. vulneraria*. This study demonstrates that mycorrhizal fungi are able to help newly seeded plants to decrease the wind erodibility of soil, even in cases when they do not increase plant growth.

The fourth study (chapter 5) focuses on the question of whether mycorrhizal fungi are able to improve plant establishment under adverse soil conditions. In a laboratory plant growth experiment, seedlings of four alpine grass species were subjected to extreme nutrient and water stress. The grasses were grown on four types of nutrient-depleted mineral sand, inoculated with a mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) and additionally subjected to a drought treatment. After a growth period of three months, plant survival, above-ground biomass and mycorrhizal colonization were assessed. The proportion of inoculated grass tussocks that established a symbiosis was significantly lower under drought-conditions (23-58%) than under non-drought conditions (33-100%). The proportion of surviving tussocks was also significantly lower under drought conditions than under non-drought conditions. It decreased from 86% to 38% in the inoculated tussocks, and from 72% to 32% in the non-inoculated tussocks. Inoculation of *G. intraradices* had no significant effect on either plant survival or above-ground biomass. However, there was a trend towards higher survival and biomass in inoculated tussocks compared to non-inoculated tussocks.

The present four studies demonstrated in several ways that plants and mycorrhizal fungi have the potential to substantially reduce wind erosion. However, they also revealed limitations of using plants and mycorrhizal fungi in wind erosion control, e.g. the enhancement of wind erosion below a critical canopy density, the negative impact of drought conditions on mycorrhiza formation and the dependence of the mycorrhizal effect on the host plant species.

---

# ZUSAMMENFASSUNG

---

Winderosion ist ein natürlicher Prozess, der in den letzten Jahren in vielen ariden und semi-ariden Gebieten durch anthropogene Aktivitäten verstärkt wurde, z.B. durch die Zerstörung der natürlichen Vegetation und landwirtschaftliche Übernutzung. Starke Winderosion führt oft zu Bodendegradation und hat somit negative Folgen für die Bodenressourcen, die landwirtschaftliche Produktivität, die Luftqualität, die menschliche Gesundheit und das Klima. Eine weit verbreitete Strategie für die Aufwertung degradierter Böden besteht in der Wiederherstellung einer schützenden Vegetationsdecke. Pflanzen sind in der Lage, den Boden auf verschiedene Weise vor Winderosion zu schützen, z.B. indem sie ihn vor dem Wind abschirmen und ihn mit ihren Wurzeln stabilisieren. Die meisten Pflanzen gehen natürlicherweise symbiotische Verbindungen mit Mykorrhizapilzen ein. Diese Pilze haben das Potential, sowohl das Pflanzenwachstum als auch die Boden-Aggregation zu verbessern und es wird deshalb angenommen, dass sie bei der Verhinderung von Winderosion eine wichtige Rolle spielen. Allerdings wurde noch nie quantitativ aufgezeigt, dass Mykorrhizapilze tatsächlich eine Reduktion der Winderosion bewirken und das Wissen über die Interaktionen zwischen vegetationsbedeckten Oberflächen und dem Wind ist noch sehr lückenhaft.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit ausgewählten Aspekten zur Wirkung von Pflanzen und Mykorrhizapilzen beim Schutz gegen Winderosion, mit Schwerpunkt auf alpinen Pflanzenarten. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die Mechanismen besser zu verstehen, mit denen Pflanzen und Mykorrhizapilze Winderosions-Prozesse beeinflussen. Die Arbeit umfasst drei Windkanal-Studien und ein Wachstumsexperiment mit Pflanzen.

Die erste Studie (Kapitel 2) fokussiert auf die oberirdischen Prozesse, mit denen Pflanzen den Boden vor Winderosion schützen. Die 8 m lange Teststrecke eines Labor-Windkanals wurde mit bepflanzbaren Kisten beladen um Experimente mit drei verschiedenen dichten Bepflanzungen aus Englischem Raygras (*Lolium perenne*) sowie mit

unbepflanzten Sandoberflächen durchzuführen. Im Gegensatz zu früheren Windkanal-Untersuchungen, in denen üblicherweise Pflanzen-Imitate verwendet wurden, kamen in der vorliegenden Studie lebende Pflanzen zum Einsatz, mit denen das Verhalten einer natürlichen Pflanzendecke besser simuliert werden konnte. Das Ziel der Experimente bestand darin, den totalen Sediment-Massenfluss  $Q$ , die vertikale Verteilung des Sediment-Massenflusses sowie die  $PM_{10}$ -Konzentration in der Luft in den verschiedenen Pflanzen-Konfigurationen zu vergleichen. Die Resultate deuten darauf hin, dass sowohl  $Q$  als auch die  $PM_{10}$ -Konzentration in der Luft mit zunehmender Pflanzendichte exponentiell abnehmen. In der stark bepflanzten Konfiguration wurde  $Q$  auf 0.01% reduziert und die  $PM_{10}$  Konzentration auf 0.4% im Vergleich zur unbepflanzten Konfiguration. In der mittelstark bepflanzten Konfiguration wurde  $Q$  auf 6.6% reduziert und die  $PM_{10}$ -Konzentration auf 48.5%. In der schwach bepflanzten Konfiguration hingegen wurde sowohl  $Q$  als auch die  $PM_{10}$ -Konzentration auf 117.5% bzw. 145.6% erhöht. Dies kann damit erklärt werden, dass auf der Sandoberfläche lokal erhöhte Scherspannungen auftraten als Folge von erhöhten Windgeschwindigkeiten seitlich der Grasbüschel und Turbulenzen in deren Windschatten. Ausserdem wurde beobachtet, wie die Grashalme durch vibrierende Bewegungen auf der Sandoberfläche Erosion verursachten. Die Vertikalprofile des Sediment-Massenflusses in der stark und mittelstark bepflanzten Konfiguration zeigten ein lokales Maximum auf doppelter Pflanzhöhe und wichen damit deutlich ab vom Profil der unbepflanzten Konfiguration, bei dem der Massenfluss mit zunehmender Höhe exponentiell abnahm.

Die zweite Studie (Kapitel 3) bezieht sich auf die gleichen Windkanal-Experimente wie die erste Studie, fokussiert jedoch auf die räumlichen Verteilungsmuster der Sandablagerungen innerhalb der schwach, mittelstark und stark bepflanzten Konfiguration. Mit Hilfe von gefärbtem Quarzsand konnten Zonen identifiziert werden, in denen Netto-Deposition auftrat. In der schwach und mittelstark bepflanzten Konfiguration lagerte sich der Sand vor allem im Windschatten der Grasbüschel ab. In der mittelstark bepflanzten Konfiguration überlagerten diese trichterförmigen Depositions-Zonen die windabwärts benachbarten Grasbüschel, während sie in der schwach bepflanzten Konfiguration nicht bis zu den benachbarten Grasbüscheln reichten. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass in den beiden Konfigurationen verschiedene Strömungs-Regimes herrschten, und zwar ein sogenannter *wake-*



*interference flow* in ersterer und ein *isolated roughness flow* in letzterer. In der stark bepflanzten Konfiguration wurden nur vereinzelt Sandkörner vom Wind transportiert. Sie wurden vor allem in Reichweite der Grashalme abgelagert und waren rund um die Grasbüschel gleichmässig verteilt, ohne dass sich Anhäufungen im Luv, Lee oder seitlich der Pflanzen ausprägten. Dies lässt darauf schliessen, dass bei dieser Konfiguration ein *skimming flow* Regime herrschte. Der Anteil der Bodenoberfläche, auf der effektiv Erosion auftrat ( $EP_{nc}$ ) war deutlich kleiner als die Oberfläche, die nicht mit Pflanzen bedeckt war. Er betrug 67-78% der unbedeckten Bodenoberfläche in der schwach bepflanzten Konfiguration und 44-77% in der mittelstark bepflanzten Konfiguration. Aufgrund dieser Resultate kann angenommen werden, dass Winderosions-Modelle den Bodenabtrag überschätzen, wenn sie davon ausgehen, dass die gesamte unbedeckte Bodenoberfläche potentiell erodierbar ist.

Die dritte Studie (Kapitel 4) widmet sich den unterirdischen Prozessen, mit denen Mykorrhizapilze und Pflanzenwurzeln den Boden vor Erosion schützen. Im Zentrum dieser Studie stand die Frage, ob Mykorrhizapilze die Erodierbarkeit des Bodens reduzieren und dadurch den Schutzeffekt von neu angesäten Pflanzen verstärken können. Es wurden Windkanal-Experimente durchgeführt mit mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Wurzelballen von Englischem Raygras (*Lolium perenne*) und Alpen-Wundklee (*Anthyllis vulneraria ssp. alpestris*). Die Wurzelballen wurden im Windkanal einem starken Wind ausgesetzt und danach wurde gemessen, wieviel Gewicht sie verloren, wie viele Wurzeln sie enthielten und wie stark die Wurzeln von Mykorrhizapilzen besiedelt waren. Der durch den Wind verursachte Gewichtsverlust nahm in beiden Pflanzenarten signifikant ab je stärker die Pflanzen mit Mykorrhizapilzen besiedelt waren. Bei *A. vulneraria* war der gemittelte Gewichtsverlust der nicht-mykorrhizierten Wurzelballen mehr als doppelt so gross wie derjenige der mykorrhizierten Wurzelballen. Bei *L. perenne* hingegen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Diese Resultate sind um so erstaunlicher, weil der Effekt nicht durch ein verbessertes Pflanzenwachstum erklärt werden konnte. Bei beiden Pflanzenarten hatten die mykorrhizierten Pflanzen sogar signifikant kleinere Wurzelwerke als die nicht-mykorrhizierten Pflanzen. Die oberirdische Biomasse war signifikant kleiner bei den mykorrhizierten Pflanzen von *L. perenne*, aber nur wenig kleiner bei *A. vulneraria*. Diese Experimente zeigten somit, dass neu angesäte Pflanzen

durch Bildung einer Symbiose mit Mykorrhizapilzen in der Lage sind, die Resistenz des Bodens gegen Winderosion zu erhöhen, sogar in Fällen wo sich dadurch das Pflanzenwachstum nicht verbessert.

Die vierte Studie (Kapitel 5) befasst sich mit der Frage, ob Mykorrhizapilze das Pflanzenwachstum unter ungünstigen Bodenbedingungen verbessern können. Es wurde ein Labor-Wachstumsexperiment mit vier alpinen Grasarten durchgeführt. Die Gräser wurden auf vier nährstoffarmen Sand-Sorten angesät, mit einem Mykorrhizapilz (*Glomus intraradices*) inokuliert und einer Trockenstress-Behandlung ausgesetzt. Nach einer Wachstumszeit von drei Monaten wurde die Überlebensrate, die oberirdische Biomasse und die Besiedlung der Wurzeln mit Mykorrhizapilzen erfasst. Der Anteil inokulierter Pflanzen, die tatsächlich eine Symbiose bildeten, war signifikant kleiner unter Trockenstress (23-58%) als ohne Trockenstress (33-100%). Der Anteil überlebender Pflanzen war ebenfalls signifikant tiefer unter Trockenstress als ohne. Er sank von 86% auf 38% bei den inokulierten Pflanzen und von 72% auf 32% in den nicht-inokulierten Pflanzen. Die Inokulierung mit *G. intraradices* hatte keinen signifikanten Effekt, weder auf die Überlebenswahrscheinlichkeit, noch auf die oberirdische Biomasse der Pflanzen. Es wurde jedoch ein Trend festgestellt in Richtung höherer Überlebenswahrscheinlichkeit und Biomasse bei den inokulierten Pflanzen im Vergleich zu den nicht-inokulierten Pflanzen.

Die vier Studien zeigten auf verschiedene Weisen auf, dass Pflanzen und Mykorrhizapilze ein grosses Potential haben, zum Schutz vor Winderosion beizutragen. Sie machten jedoch auch deutlich, dass dabei gewisse Limitierungen beachtet werden müssen, so z.B. das Phänomen der Erosions-Verstärkung in wenig dichten Bepflanzungen, der negative Einfluss von Trockenstress auf die Mykorrhiza-Bildung und die Abhängigkeit des Mykorrhiza-Effekts von der Pflanzenart.