

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	EROWIN
Langtitel:	Wind erosion in the Pannonian region: A major threat to arable soils under current and future climate conditions?
Zitiervorschlag:	Michel, K., Scheper, S., Gartner, K., Starlinger, F., Lackóova, L., Kitzler, B., Cornelis, W., Strauss, P., Weninger, T. (2022): Wind erosion in the Pannonian region: A major threat to arable soils under current and future climate conditions? Final report of the ACRP11 project EROWIN (2019-2022).
Programm inkl. Jahr:	ACRP 11 th call (2018)
Dauer:	01.07.2019 bis 30.06.2022
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Doz. Dr. Kerstin Michel
Kontaktperson Name:	Doz. Dr. Kerstin Michel
Kontaktperson Adresse:	Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien
Kontaktperson Telefon:	0043-1-87838-1421
Kontaktperson E-Mail:	kerstin.michel@bfw.gv.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Bundesamt für Wasserwirtschaft (BAW), Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen Niederösterreich NÖ Agrarbezirksbehörde, Niederösterreich Universität Ghent (UGent), Belgien Slowakische Landwirtschaftliche Universität Nitra (SUA) , Slowakei
Schlagwörter:	Feldmessung, Modellierung, Vegetationserhebung, Winderosion, Windtunnelexperiment, Windschutzhecken
Projektgesamtkosten:	322.046,54 €
Fördersumme:	249.998,00 €
Klimafonds-Nr:	KR18AC0K14642
Erstellt am:	16.09.2022

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Erosion durch Wind und Wasser ist eine der Hauptbedrohungen der Böden Europas. Während in Europa der Bodenabtrag durch Wasser bereits häufig untersucht wurde, ist das derzeitige Wissen über die räumliche Verteilung und das Ausmaß von Bodenverlusten durch Wind sehr begrenzt. Dies gilt insbesondere auch für Österreich, wo bisher keine dokumentierten direkten Messungen durchgeführt wurden, aber die Gefährdung der Böden durch Winderosion bereits seit langem bekannt ist. So wurden bereits im 18. Jahrhundert Windschutzanlagen angelegt. Gemäß den Klimaprognosen sind Veränderungen in der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlags, höhere Temperaturen und erhöhte Evapotranspirationsraten und somit eine Abnahme des verfügbaren Bodenwassers zu erwarten. Es ist sehr wahrscheinlich, dass all diese Faktoren Auswirkungen auf das potentielle Winderosionsrisiko haben werden und es daher erforderlich werden könnte, vorhandene Windschutzanlagen zu modifizieren.

Die Ziele des Projekts waren (i) die räumliche Verteilung und das Ausmaß potentieller Bodenverluste durch Winderosion im Zielgebiet "Pannonisches Tief- und Hügelland" zu ermitteln und die Ergebnisse durch direkte Messungen zu validieren; (ii) Lage, Struktur und Zustand vorhandener Windschutzanlagen festzustellen und ihre Schutzwirkung zu bewerten; (iii) Verschiebungen in der räumlichen Verteilung und Änderungen des Ausmaßes potentieller Bodenverluste im Zielgebiet aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen für die Jahre 2050 und 2100 abzuschätzen und (iv) Empfehlungen für die Anlage, d.h. die Lage und Struktur, von Windschutzanlagen im Zielgebiet zu erarbeiten.

Um Lage, Struktur und Zustand der vorhandenen Windschutzanlagen zu erfassen, wurden vegetationskundliche Untersuchungen an 49 ausgewählten Standorten im Zielgebiet durchgeführt [Arbeitspaket (AP) 2]. Diese ergaben, dass die Windschutzanlagen einen sehr ähnlichen Aufbau aufweisen: Sträucher auf der Luvseite gefolgt von Bäumen, wobei in der Regel eine Baumart dominiert. Die am häufigsten vorgefundenen Baumarten waren Robinie (*Robinia pseudoacacia*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Esche (*Fraxinus excelsior*). Der Anteil an toten Individuen schwankte in Abhängigkeit von der Baumart zwischen 0 und 42 %. Der Vergleich der klimatischen Nische ausgewählter Baumarten mit den prognostizierten zukünftigen Temperatur- und Niederschlagsbedingungen für West- und Zentraleuropa zeigte, dass die größte Bedrohung der vorhergesagte Anstieg der Temperatur in den Sommermonaten ist. Baumarten wie die Zerreiche (*Quercus cerris*), die an wärmere und trockenere Bedingungen angepasst sind, könnten geeignete Alternativen für zukünftige Windschutzanlagen sein.

Die direkte Messung des Bodenabtrags an zwei Standorten im Marchfeld (AP3) ergab, dass die Gefährdung durch Winderosion geringer ist als ursprünglich angenommen. Die maximale

Bodenmenge, die im Laufe der zweijährigen Messungen in einer Sedimentfalle aufgefangen wurde, belief sich auf 157 mg am Standort Rutzendorf (RU, 8 cm Höhe), an dem eine ortsübliche Fruchtfolge angebaut wurde, und 3066 mg am Standort Groß-Enzersdorf (GE, 100 cm Höhe). Letzterer wurde während der gesamten Versuchsdauer vegetationsfrei gehalten. Hochrechnungen ergaben einen Bodengesamtabtrag von $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ (RU) bzw. 16 t ha^{-1} (GE) innerhalb von zwei Jahren. Die Feldmessungen zeigten des Weiteren, dass die vorhandenen Windschutzanlagen die Windgeschwindigkeit aus der Hauptwindrichtung Nordwest effektiv reduzieren und dass in der Nähe der Windschutzanlagen ausgeglichene Bodenfeuchteverhältnisse herrschen als in weiter entfernten Bereichen.

In Windtunnelexperimenten (AP4), die an der Universität Ghent durchgeführt wurden, wurden höhere Bodenabtragsraten bei höheren Wassergehalten festgestellt. Dies war wahrscheinlich auf eine Destabilisierung von Bodenaggregaten infolge von Wiederbefeuchtung der luftgetrockneten Bodenproben zurückzuführen, wodurch ein höherer Anteil an Partikeln, die durch Wind mobilisiert werden können, generiert wurde.

Die Ergebnisse der Modellierung auf Basis der Deutschen Industrienorm (DIN) 19706 und unter Verwendung der Revised Wind Erosion Equation (RWEQ; AP5) lieferten ähnliche Ergebnisse und stützten die Befunde der Feldmessungen, dass das Zielgebiet keiner übermäßig hohen Gefährdung durch Winderosion unterliegt. Der mittels RWEQ abgeschätzte mittlere Bodenverlust für die Bezirke Gänserndorf und Bruck an der Leitha (Studienregion) beläuft sich auf $3,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Übereinstimmend hiermit sind gemäß DIN 19706 80 % der Felder in der Studienregion nicht durch Winderosion gefährdet. Die Modellierung der räumlichen Verteilung wies drei Bereiche im Zentrum und im östlichen Teil der Studienregion als stärker gefährdet aus. Die auf Basis dreier Szenarien (SSP1-2.6, SSP2-4.5 und SSP5-8.5) prognostizierten Änderungen in Temperatur und Niederschlag werden gemäß Modellierung mittels RWEQ zu einer Abnahme des Bodenverlustes durch Wind führen. Dies lässt sich im Wesentlichen durch geringere oberflächennahe Windgeschwindigkeiten erklären, die in allen drei berücksichtigten Szenarien und Zeiträumen (2021-2040, 2041-2060, 2081-2100) ersichtlich sind. Mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes neu entwickelten GIS-Tools (TASOW, Tool for the Automated Selection Of potential Windbreaks), welches unter anderem durch Winderosion gefährdete Felder, die Feldlänge und bereits vorhandene Windschutzanlagen berücksichtigt, konnten potentielle Standorte für neu anzulegende Windschutzanlagen identifiziert werden.

Die Projektergebnisse zeigen, dass die derzeit in den Windschutzanlagen vorhandenen Baumarten insbesondere durch die prognostizierten hohen Temperaturen in den Sommermonaten gefährdet sind und geeignete Alternativen für die Pflanzung neuer Windschutzanlagen gefunden werden müssen. Für Felder mit Fruchtfolge ergaben die erstmals gemessenen Bodenabtragsraten durch Wind, dass diese sich im tolerierbaren Bereich bewegen. Die Ergebnisse der beiden Modellierungsansätze DIN 19706 und RWEQ bestätigten die Befunde der Feldmessungen und stimmten gut überein. Nächste Schritte könnten die Absicherung der Ergebnisse durch Anwendung eines weiteren Modells wie EPIC, durch weitere Feldmessungen und die Einbeziehung von Winderosionsereignissen sein.

2 Executive Summary

One of the major threats to European soils is their degradation due to soil erosion by wind and water. While data on soil erosion by water are more frequently available within Europe, the current knowledge about the spatial distribution and the severity of wind erosion is limited. This is especially true for Austrian conditions where no real measurements on the extent of wind erosion have been reported so far. According to climatic forecasts changes in the seasonal distribution of rainfall, higher temperatures and higher evapotranspiration rates and thus less amounts of available soil water has to be expected. It is very likely that all of these factors will influence the potential for wind erosion risk. As a consequence, constructing additional and modifying existing wind shelters may be required.

The objectives of this project were: (i) to identify the spatial distribution and severity of potential soil loss due to wind erosion for the target region “Pannonisches Tief- und Hügelland” and to validate the results by direct measurements; (ii) to determine the location, structure and condition of existing wind shelters and to evaluate their protective effect; (iii) to assess shifts in the spatial distribution and changes in the severity of potential soil loss due to wind erosion in the target region for climate change conditions in the year of 2050 and 2100 and (iv) to elaborate recommendations for the construction, i.e. location and structure of wind shelters in the target region.

Data on plant species composition, cover and condition (height, age, vitality, and damage) were collected on 49 sites [workpackage (WP) 2]. The construction of the wind shelters appeared to be very similar consisting of shrubs on the windward side and followed by trees (usually one dominant species). The most common tree species found were robinia (*Robinia pseudoacacia*), sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) and ash (*Fraxinus excelsior*). Classifying 26 tree species according to their vitality showed that the proportion of dead trees for one species ranged between 0 and 42 %. The comparison of the climate niche of selected tree species with projected future climate conditions showed that the greatest threat is the projected increase in summer temperatures. Tree species adapted to warmer and drier climate conditions such as Turkey oak (*Quercus cerris*) may be suitable alternatives.

Field measurements to determine soil loss by wind at two sites in the Marchfeld (WP3), a potential high-risk area for wind erosion, showed that the target region is less prone to wind erosion than originally assumed. The maximum amount of soil found in one trap amounted to 157 mg (RU, 8 cm height) and 3066 mg (GE, 100 cm height), respectively. During the entire measurement period, about 1,300 kg soil ha⁻¹ (RU, crop rotation) and 16,000 kg soil ha⁻¹ (GE, continuously bare soil) were eroded by wind.

In the wind tunnel experiments (WP4), which were performed at Ghent University, higher soil loss rates were recorded at higher water contents. This may be explained by the destabilization of dried aggregates during rewetting resulting in a higher proportion of particles susceptible to wind erosion.

The modelling results (WP5) obtained by German (DIN) Standard 19706 and Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) were comparable and supported the finding of the field measurements that the target region is less prone to wind erosion than originally assumed. The mean annual soil loss estimation by RWEQ is $3.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. According to DIN 19706, 80 % of the fields in the study region are not endangered by wind erosion. Areas with elevated wind erosion susceptibility were identified in the centre and in the upper and lower eastern area. Projected changes in temperature and precipitation under three high-priority SSP scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5) will result in a decrease in soil loss in the study region according to RWEQ results. This could mainly be explained by a decline in surface wind speeds which is obvious in all periods and scenarios. A GIS-based tool (TASOW, Tool for the Automated Selection Of potential Windbreaks), which was developed in the framework of the model and which considers, amongst other things, fields susceptible to wind erosion, field length, and wind shelters already present, were used to identify potential locations for the planting of new wind shelters.

The project results show that the greatest threat to the tree species currently present in wind shelters in the target region is the projected increase in summer temperatures, so that suitable alternatives are needed for successful future wind shelter plantings. For fields with crop rotation, first measured baseline rates for soil loss due to wind erosion were found to be around estimated thresholds for tolerable soil erosion. The results of the DIN 19706 and RWEQ on regional scale which were in good agreement supported the findings of the field measurements that the overall wind erosion susceptibility is low. Further steps may be the solidification of the results using another model (e.g. EPIC), by further measurements, and by including measurements of event-based soil wind erosion.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Erosion durch Wind und Wasser ist eine der Hauptbedrohungen der Böden Europas. Während in Europa der Bodenabtrag durch Wasser bereits häufig untersucht wurde, ist das derzeitige Wissen über die räumliche Verteilung und das Ausmaß von Bodenverlusten durch Wind sehr begrenzt. Die gilt insbesondere auch für Österreich, wo bisher keine dokumentierten direkten Messungen durchgeführt wurden, aber die Gefährdung der Böden durch Winderosion bereits seit langem bekannt ist. So wurden bereits im 18. Jahrhundert Windschutzanlagen angelegt. Gemäß den Klimaprognosen sind Veränderungen in der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlags, höhere Temperaturen und erhöhte Evapotranspirationsraten und somit eine Abnahme des verfügbaren Bodenwassers zu erwarten. Es ist sehr wahrscheinlich, dass all diese Faktoren Auswirkungen auf das potentielle Winderosionsrisiko haben werden und es daher erforderlich werden könnte, vorhandene Windschutzanlagen zu modifizieren.

In Österreich sind mehrere Regionen aufgrund der naturräumlichen Ausstattung stark durch Winderosion gefährdet. Hierzu zählen Bereiche, die zu den landwirtschaftlich produktivsten Regionen Österreichs gehören, wie Teile des Pannonischen Tief- und Hügellands. Es ist drin-

gend erforderlich, den Kenntnisstand bezüglich des derzeitigen Ausmaßes der Winderosion in Österreich zu verbessern sowie mögliche Veränderungen durch den Klimawandel abzuschätzen, da nur so effektiv Bodenschutzmaßnahmen, beispielsweise die Anlage zusätzlicher Windschutzgürtel, ergriffen werden können. Da Windschutzanlagen als Wald gelten (§ 2 Abs. 3 ForstG) und somit unter das Forstgesetz fallen, sind entsprechende Informationen über tatsächlich und potentiell gefährdete Gebiete für die forstliche Raumplanung unerlässlich. Ebenfalls ist es sehr wichtig, vorhandene Windschutzgürtel hinsichtlich ihrer Eignung, ob sie ihre Schutzwirkung gemäß § 6 Abs. 2b ForstG unter den derzeitigen und auch unter veränderten klimatischen Bedingungen entfalten können, zu bewerten. Nur so kann verhindert werden, dass Baumarten bei der Einrichtung von Windschutzanlagen zum Einsatz kommen, die nicht an die zukünftigen Klimaverhältnisse angepaßt sind und beispielsweise aufgrund mangelnder Trockenheitstoleranz an Vitalität und somit Schutzwirkung verlieren.

Die Ziele des Projekts waren es (i) die räumliche Verteilung und das Ausmaß potentieller Bodenverluste durch Winderosion im Zielgebiet "Pannonisches Tief- und Hügelland" zu ermitteln und die Ergebnisse durch direkte Messungen zu validieren; (ii) Lage, Struktur und Zustand vorhandener Windschutzanlagen festzustellen und ihre Schutzwirkung zu bewerten; (iii) Verschiebungen in der räumlichen Verteilung und Änderungen des Ausmaßes potentieller Bodenverluste im Zielgebiet aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen für die Jahre 2050 und 2100 abzuschätzen und (iv) Empfehlungen für die Anlage, d.h. die Lage und Struktur, von Windschutzanlagen im Zielgebiet zu erarbeiten.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

Vegetationskundliche Erhebungen (AP2)

Aktueller Zustand der Windschutzanlagen im Zielgebiet

Die vegetationskundlichen Untersuchungen an 49 ausgewählten Standorten im Zielgebiet ergaben, dass die Windschutzanlagen einen sehr ähnlichen Aufbau aufweisen: Sträucher auf der Luvseite gefolgt von Bäumen, wobei in der Regel eine Baumart dominiert. Die am häufigsten vorgefundenen Baumarten waren Robinie (*Robinia pseudoacacia*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Esche (*Fraxinus excelsior*). Hinsichtlich der Vitalität, die in drei Klassen erhoben wurde, gab es deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten. Abbildung 1 zeigt beispielhaft Eschen und Robinien von unterschiedlicher Vitalität. Der Anteil an toten Individuen schwankte zwischen 0 und 42 %. Beispielsweise wies der Bergahorn, der natürlicherweise in Bergwäldern vorkommt, einen höheren Anteil an toten Individuen (12 %) und Exemplaren mit geringer Vitalität auf als die Tieflandart Feldahorn (*Acer campestre*). Für diese wurden lediglich 2 % tote Individuen registriert.



Abbildung 1 (a) Windschutzanlage, die von Eschen (*Fraxinus excelsior*) unterschiedlicher Vitalität gebildet wird: rechts tote Bäume, links vitale Bäume; (b) Robinien (*Robinia pseudoacacia*) unterschiedlicher Vitalität

Die Auswertung von Standortcharakteristika zeigte, dass der Bergahorn vor allem auf feuchteren Standorten mit hoher nutzbarer Feldkapazität und schwereren Böden einen guten Zustand aufweist. Ähnliche Tendenzen ergaben sich auch für die Esche und den Eschenahorn (*Acer negundo*). Die Vitalität der Esche ist jedoch schwierig einzuschätzen, da viele Bäume in den letzten Jahren infolge des Eschentriebsterbens abgestorben sind und üblicherweise so rasch wie möglich entfernt wurden.

Für 39 der 49 untersuchten Standorte existiert bei der Niederösterreichischen Agrarbezirksbehörde eine Dokumentation der ursprünglichen Bepflanzung. Hieraus ergab sich, dass Pappelarten (*Populus*) in 22 der 39 dokumentierten Windschutzanlagen häufig in hoher Zahl gepflanzt worden waren. Im Jahre 2020 waren Pappeln aber nur noch an vier Standorten zu finden. Offensichtlich ist ein Großteil der Pappeln aus den Windschutzstreifen entfernt worden, wahrscheinlich aufgrund geringer Vitalität. Im Gegensatz hierzu wurden der Feldahorn und der Spitzahorn (*Acer platanooides*) 2020 auf 12 bzw. neun Standorten gefunden, obwohl nur für acht bzw. vier Standorte eine Pflanzung dokumentiert ist.

Windschutzanlagen unter zukünftigen Klimabedingungen

Gemäß den CMIP6-Modellprojektionen werden die Mediane der Wintertemperaturen für West- und Zentraleuropa im Zeitraum 2021-2040 sich zwischen $-0,6\text{ °C}$ (SSP1-2.6) und $-0,3\text{ °C}$ (SSP5-8.5) bewegen. Für die späteren berücksichtigten Zeiträume 2041-2060 und 2081-2100 werden zum Teil deutlich höhere Wintertemperaturen mit Werten (Median) bis zu $0,7$ bzw. $3,4\text{ °C}$ vorhergesagt. Ein ähnlicher Trend zeigt sich für die Sommertemperaturprojektionen (Juni bis August), die von $20,3\text{ °C}$ (2021-2040, SSP1-2.6 und SSP2-4.5) bis $25,5\text{ °C}$ (2081-2100, SSP5-8.5) reichen. Der Sommerniederschlag (Median, Juni bis August) wird gemäß der Vorhersagen abnehmen, beispielsweise für das Szenario SSP5-8.5 von $174,8\text{ mm}$ (2021-2040) auf 138 mm (2081-2100).

In Hinblick auf Wachstum und Gesundheitszustand von Bäumen sind negative Auswirkungen zu erwarten, wenn die baumartenspezifischen klimatischen Schwellenwerte über- bzw. unterschritten werden. Beispielsweise die am häufigsten in den Windschutzanlagen vorgefundene Baumart, die Robinie (*Robinia pseudoacacia*), kommt überwiegend in Regionen, die durch Sommertemperaturen zwischen 17,5 und 20 °C und Sommerniederschlägen zwischen 175 und 230 mm gekennzeichnet sind, vor. Generell wird davon ausgegangen, dass die Robinie durch die zu erwartenden klimatischen Veränderungen gefördert werden wird. In Übereinstimmung mit dieser Annahme liegen die projizierten Sommertemperaturen und -niederschläge für die Szenarien SSP1-2.6 und SSP2-4.5 für den Zeitraum 2021-2040 innerhalb der klimatischen Grenzen der Robinie. Die Sommertemperaturprojektionen für das Szenario SSP5-8.5 überschreiten den oberen Schwellenwert allerdings bereits um fast 1 °C. Die Projektionen für die fernere Zukunft (2081-2100) liegen praktisch für alle berücksichtigten Szenarien außerhalb der klimatischen Grenzen der Robinie. Die derzeitigen klimatischen Bedingungen sind optimal für die in den Windschutzanlagen zweithäufigste Baumart, den Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), der an eher kühle, niederschlagsreiche Sommer angepasst ist. Typische Sommertemperaturen belaufen sich auf etwa 17 °C, so dass bereits die für die nahe Zukunft (2021-2040) prognostizierten Zunahmen der Sommertemperaturen negative Auswirkungen auf diese Baumart haben könnten. Erschwerend kommt hinzu, dass der Bergahorn in dürregefährdeten Regionen nicht überleben kann. Eine Baumart, die als geeignet angesehen wird, in der Zielregion unter den prognostizierten klimatischen Bedingungen zu wachsen, ist die Zerreiche (*Quercus cerris*). Die Zerreiche weist eine große klimatische Nische auf, sie ist tolerant gegenüber Dürre und hohen Sommertemperaturen, kann aber auch bei niedrigen Wintertemperaturen (- 7 °C und darunter) überleben. Die prognostizierten Temperatur- und Niederschlagsveränderungen würden mit Ausnahme der Mediansommertemperatur für SSP5-8.5 (ferne Zukunft) die klimatischen Schwellenwerte der Zerreiche nicht überschreiten. Dies zeigt, dass Baumarten, die an wärmere und trockenere Klimabedingungen angepasst sind, geeignete Alternativen für die Neuanlage von Windschutzanlagen in der Zielregion sein könnten.

Als klimaanaloge Region wurde im Rahmen des Projektes Südosteuropa (Rumänien, Bulgarien) identifiziert. Baumarten, die in diesen Ländern bereits in Windschutzanlagen Verwendung finden und somit in der Zielregion gepflanzt werden könnten, wären neben der Zerreiche beispielsweise die Amerikanische Gleditschie (*Gleditsia triacanthos*) oder (ausschließlich auf karbonatfreien Böden) die Roteiche (*Quercus rubra*). Tabelle 1 zeigt eine Bewertung der Eignung ausgewählter Baumarten für die Verwendung in Windschutzanlagen im Zielgebiet unter aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen, wobei neben dem Wasserhaushalt auch der Basenstatus des Bodens berücksichtigt wurde.

Tabelle 1 Eignung ausgewählter Baumarten zur Anlage von Windschutzanlagen im Zielgebiet unter aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen bei Berücksichtigung von Basenstatus und Wasserhaushalt

Species name	base supply	water balance	present climate	future climate	comments
Acer campestre	green	yellow	green	green	
Acer negundo	green	yellow	green	green	only suitable to a limited extent on dry sites
Acer platanoides	green	yellow	green	yellow	only suitable to a limited extent on dry sites
Acer pseudoplatanus	green	yellow	yellow	red	not suitable on dry sites
Acer tataricum	green	yellow	green	green	
Carpinus betulus	green	yellow	green	yellow	
Celtis australis	green	yellow	yellow	green	
Celtis occidentalis	green	yellow	green	green	
Elaeagnus angustifolia	green	yellow	green	green	
Fraxinus excelsior	green	yellow	green	yellow	only suitable to a limited extent on dry sites
Gleditsia triacanthos	green	yellow	green	green	
Juglans regia	green	yellow	green	green	
Populus balsamifera	green	yellow	yellow	red	not suitable on dry sites
Populus x canadensis	green	yellow	yellow	yellow	only suitable to a limited extent on dry sites
Populus nigra	green	yellow	yellow	yellow	only suitable to a limited extent on dry sites
Populus simonii	green	yellow	green	green	
Prunus avium	green	yellow	green	green	
Prunus domestica	green	yellow	green	green	
Prunus mahaleb	green	yellow	green	green	
Prunus padus	green	yellow	yellow	red	not suitable on dry sites
Quercus cerris	green	yellow	green	green	
Quercus frainetto	green	yellow	green	green	
Quercus petraea	green	yellow	green	yellow	
Quercus robur	green	yellow	green	green	
Quercus rubra	yellow	yellow	green	green	not suitable on carbonatic soils; only suitable to a limited extent on dry sites
Robinia pseudacacia	green	yellow	green	yellow	only suitable to a limited extent on dry sites
Tilia cordata	green	yellow	green	yellow	
Ulmus pumila	green	yellow	green	yellow	
Ulmus minor	green	yellow	green	yellow	

grün, geeignet; gelb, bedingt geeignet; rot, nicht geeignet

Feldmessungen (AP3)

Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Während des zweijährigen Messzeitraums dominierten Winde aus nordwestlicher Richtung. Die von Februar 2020 bis Februar 2022 durchgeführten Transektmessungen an zwei Standorten zeigten zudem, dass die Windgeschwindigkeiten im Leebereich der Windschutzanlagen in einem Meter Höhe im Nahbereich der Hecken (2 x H) deutlich niedriger waren als in größerer Entfernung [6 x H, H = effektive Höhe der Hecken: 8 m (RU) bzw. 7,5 m (GE); [Weninger et al. 2022].

Bodeneigenschaften

An beiden Standorten variierte die Textur kleinräumig. So nahm beispielsweise am Standort RU der Tongehalt von der Luvseite zum sich leeseitig am weitesten von der Windschutzanlage entfernt befindlichen Probenahmepunkt hin tendenziell ab. Am Standort GE wurde ein ähnlicher Trend beobachtet, wobei der höchste Tongehalt leeseitig am der Hecke am nächstgelegenen Punkt gemessen wurde. Da die Textur durch die Bewirtschaftung üblicherweise praktisch nicht verändert wird, können Korngrößeneffekte den Einfluss von Windschutzanlagen überdecken. Nichtsdestotrotz war beispielsweise die Perkolationsstabilität, die ein Maß für die Stabilität der Bodenstruktur darstellt, am Standort RU in beiden beprobten Bodentiefen leeseitig am der Hecke am nächstgelegenen Punkt am höchsten. Auch am Standort GE waren Perkolations- und Aggregatstabilität im durch die Windschutzanlage

geschützten Bereich überwiegend höher als auf der Luvseite, die Lagerungsdichte wies zumeist geringere Werte auf. Die Ergebnisse für beide Standorte weisen insgesamt darauf hin, dass die Bodenbedingungen in der Umgebung von Hecken ausgeglichener sind als in unbeeinflussten Bereichen.

Bodenverlust

Am vegetationsfrei gehaltenem Standort GE wurde an insgesamt 30 Terminen in den Sedimentfallen Boden in wägbarer Menge vorgefunden, am Standort RU lediglich an 16. Insgesamt wurden im Laufe der Feldmessungen 419 Sedimentproben (RU: 153, GE: 266) gewonnen. Die Maximalmenge, die in einer Falle vorhanden war, belief sich auf 157 mg (RU) bzw. 3066 mg (GE).

Aufgrund der weitgehend ganzjährigen Bodenbedeckung waren die am Standort RU gemessenen Sedimentmengen sowohl im Mittel als auch in der Summe deutlich geringer als am Standort GE. Bei Berücksichtigung aller Sedimentproben wurden am Standort RU 4,5 g Boden in den Fallen aufgefangen, am Standort GE hingegen 8,5g. Bei der Ermittlung dieser Summen wurden vermutete Ausreißer eliminiert, deren Berücksichtigung die Fracht in GE auf 12,5 erhöht hätten. Nichtsdestotrotz sind diese Werte interessant, da sie in einer Periode (29.10. – 19.11.2021) und in den höchsten Messgefäßen der flexiblen Sedimentfallen auftraten. In dieser Periode herrschten auch starke Windgeschwindigkeiten, eine mögliche Erklärung wäre demnach, dass eine große Menge von Sediment von anderen Feldern eingetragen wurde.

Am Standort RU wurde im zweiten Versuchsjahr mehr Sediment aufgefangen (Abbildung 2). Hier dürfte die Fruchtfolge, die in der ersten Vegetationsperiode Winterweizen und Zwischenfrucht umfasste, im zweiten jedoch Mais und Schwarzbrache, die Ursache dafür sein.

Bodenmaterial wurde an beiden Standorten in allen Höhen, d.h. zwischen acht und 100 cm, aufgefangen. In Bezug auf die Höhenverteilung waren einige Trends erkennbar: Am Standort RU nahmen beispielsweise die mittleren und Gesamtsedimentmengen in 20 und 80 cm Höhe von Segment 1 zu Segment 3 hin und damit mit zunehmender Entfernung von der Windschutzanlage zu. In 40 cm Höhe zeigte sich das Maximum hingegen bereits in Segment 2. Aufgrund der kurzen Messdauer lässt sich keine Aussage treffen, ob diese Muster systematisch sind. Für die weiteren Hochrechnungen auf Flächenaussagen wurde ein stufenweises Integrationsmodell angewandt, das die Messungen der einzelnen Höhenstufen auf einen repräsentativen Höhenbereich bezieht (d.h. die Punktmessung bei 8 cm gilt für 0 – 12 cm usw.) und zu einem Wert für den Punkt in der Fläche integriert.

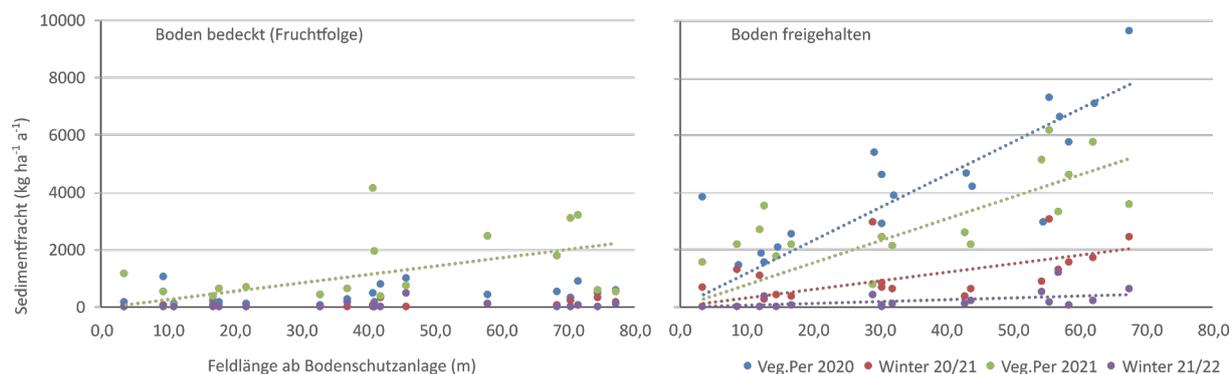


Abbildung 2 An den Standorten Rutzendorf (Boden bedeckt, links) und Groß-Enzersdorf (Boden freigehalten, rechts) zwischen Februar 2020 und Februar 2022 gemessene Sedimentfrachten (hochgerechnet für die Einzelstandorte/Sedimentsammler auf kg ha^{-1}) dargestellt in Abhängigkeit von der Entfernung zur jeweiligen Windschutzanlage. Die hohen Sedimentmengen im November 2021 wurden in die Hochrechnung nicht mitebezogen.

Tabelle 2 Hochgerechnete Bodenverluste am Versuchsfeld in kg ha^{-1} in den Vegetationsphasen bzw. den Wintermonaten basierend auf den Sedimentmengen, die auf den Versuchsfeldern Rutzendorf (RU) und Groß-Enzersdorf zwischen Februar 2020 und Februar 2022 gemessen wurden.

Standort		Vegetationsphase 2020	Winter 2020/21	Vegetationsphase 2021	Winter 2021/22
RU	bedeckter Boden ^{a)}	560	155	530	88
GE	unbedeckter Boden	9679	2446	3578	600

^{a)} Fruchtfolge: Winterweizen – Zwischenfrucht – Mais – Schwarzbrache

In der Summe wurden durchwegs ansteigende Sedimentmengen mit zunehmender Entfernung von der Windschutzanlage beobachtet. Während der zweijährigen Messperiode wurden am Standort GE schätzungsweise $16 \text{ t Boden ha}^{-1}$ abgetragen, am Standort RU hingegen nur $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ (Tab. 2). Die Unterschiede in den Mustern der Ergebnisse in Abbildung 2 und Tabelle 2, vor allem in den Vegetationsperioden in GE, lassen sich durch die verschiedenen Intentionen der Hochrechnung erklären. In Abbildung 2 wurden Messwerte auf eine repräsentative Fläche der einzelnen Messstellen umgelegt. Da die Windgeschwindigkeit in zunehmender Entfernung verschieden stark beeinflusst wird, können die einzelnen ausgewiesenen Werte als Richtwerte für einen Zustand verstanden werden, wenn der gesamte Hektar, auf den das Ergebnis bezogen wird (vgl. Einheit t ha^{-1}) dieselbe Windgeschwindigkeit hätte wie am Messpunkt. In Tabelle 2 hingegen ist die Aussagefläche das Beobachtungsfeld wie in der Natur vorliegend. Bei der Ermittlung wurde davon ausgegangen, dass nur die Differenz zwischen den Messungen in zwei verschiedenen Entfernungen von der Windschutzanlage effektiv im Bereich zwischen den beiden Messpunkten mobilisiert worden sein konnte. In der Summation dieser Differenzen entstehen zwangsläufig Summenwerte, die deutlich niedriger sind, als die Maximalwerte in Abbildung 2.

Windtunnelmessungen (AP4)

Die Windtunnelmessungen zeigten einen unerwarteten Effekt: Mit steigendem Wassergehalt wurden höhere Bodenverluste gemessen. Auch die Reibungsgeschwindigkeit nahm zu. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass die Wiederbefeuchtung des Bodensmaterials eine Destabilisierung der luftgetrockneten Bodenaggregate bewirkt hat, wodurch ein größerer Anteil an Partikeln anfällig gegenüber Winderosion war. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist, waren bei höherem Wassergehalt weniger Aggregate erkennbar als bei niedrigerem.

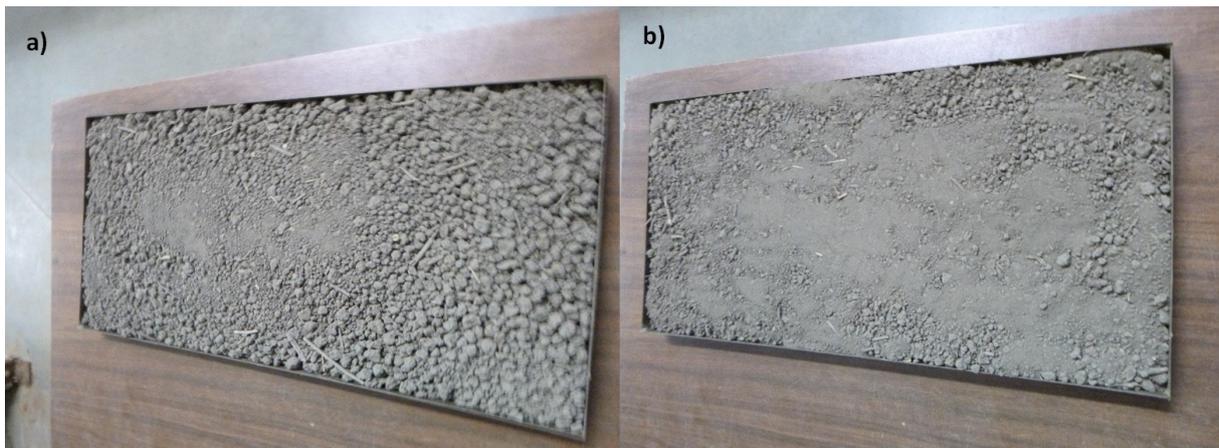


Abbildung 3 Bodenproben präpariert für Windtunnelmessungen mit (a) niedrigem und (b) höherem Wassergehalt

Modellierung (AP5)

Erodierbarkeit und Bodenverlust

Für die Erodierbarkeit, die von der Bodentextur und von den Bodeneigenschaften abhängig ist, ergaben sich nach dem DIN 19706-Ansatz und bei Verwendung der Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) vergleichbare räumliche Muster für die Studienregion (Bezirke Gänserndorf und Bruck an der Leitha): Bereiche, die durch eine erhöhte Erodierbarkeit gekennzeichnet sind, wurden im Zentrum und im östlichen Teil ausgewiesen (Abbildung 4; Scheper et al. 2021).

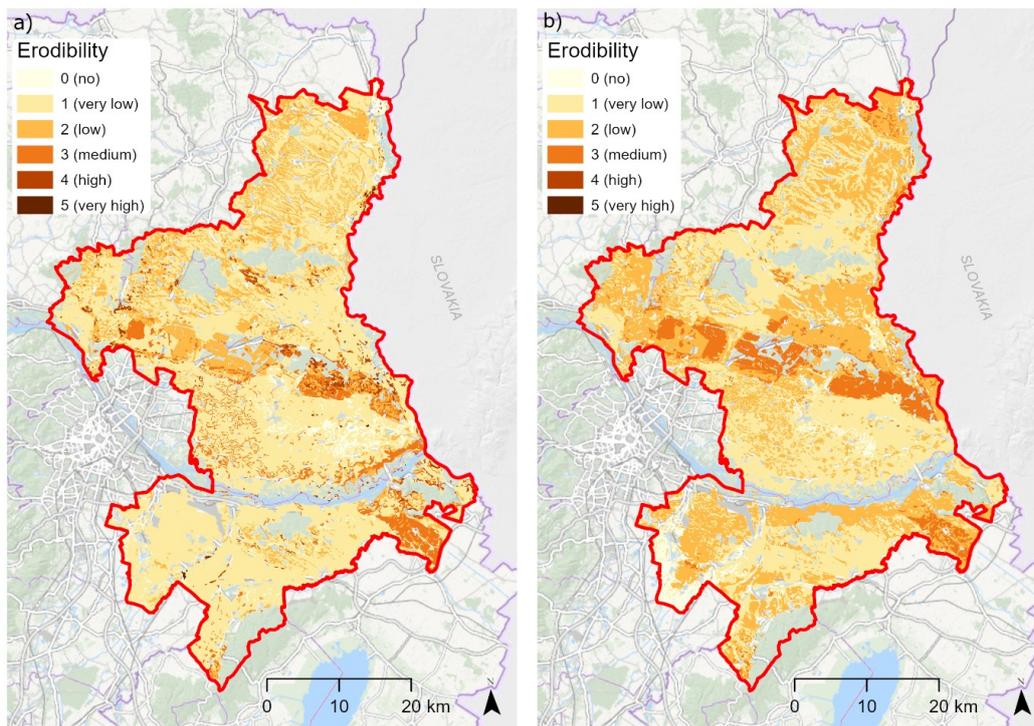


Abbildung 4 Erodierbarkeitskarten basierend auf dem (a) DIN 19706-Ansatz und (b) der Revised Wind Erosion Equation. Die Erodierbarkeit nach der RWEQ wurde auf Basis von sechs Klassen ermittelt.

Beide Ansätze zeigen, dass die Erodierbarkeit in der Studienregion gering ist. Der mittlere Bodenverlust wurde mittels RWEQ auf $3,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ geschätzt, etwa die Hälfte der Felder fielen in die niedrigste Winderosionsklasse ($0\text{-}2,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Gemäß DIN 19706 sind 80 % der Felder in der Studienregion nicht durch Winderosion gefährdet. Nichtsdestotrotz wurden drei Bereiche identifiziert, die ein erhöhtes Winderosionsrisiko aufweisen (schwarze Rechtecke in Abbildung 5).

Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenverluste durch Winderosion

Die zu erwartenden Klimaänderungen haben praktisch keinen Effekt auf die Ergebnisse gemäß DIN 19706.

Die Parameter, die berücksichtigt werden, um die zu erwartenden Klimaänderungen abzubilden, sind für das gesamte West- und Zentraleuropa räumlich statisch. Es wurde daher keine räumlichen Veränderungen in die RWEQ eingebracht. Die räumliche Verteilung der Winderosion in der Studienregion unter den prognostizierten Klimabedingungen entspricht daher der der Basismodellierung, die im Wesentlichen durch die Bodeneigenschaften bestimmt wurde.

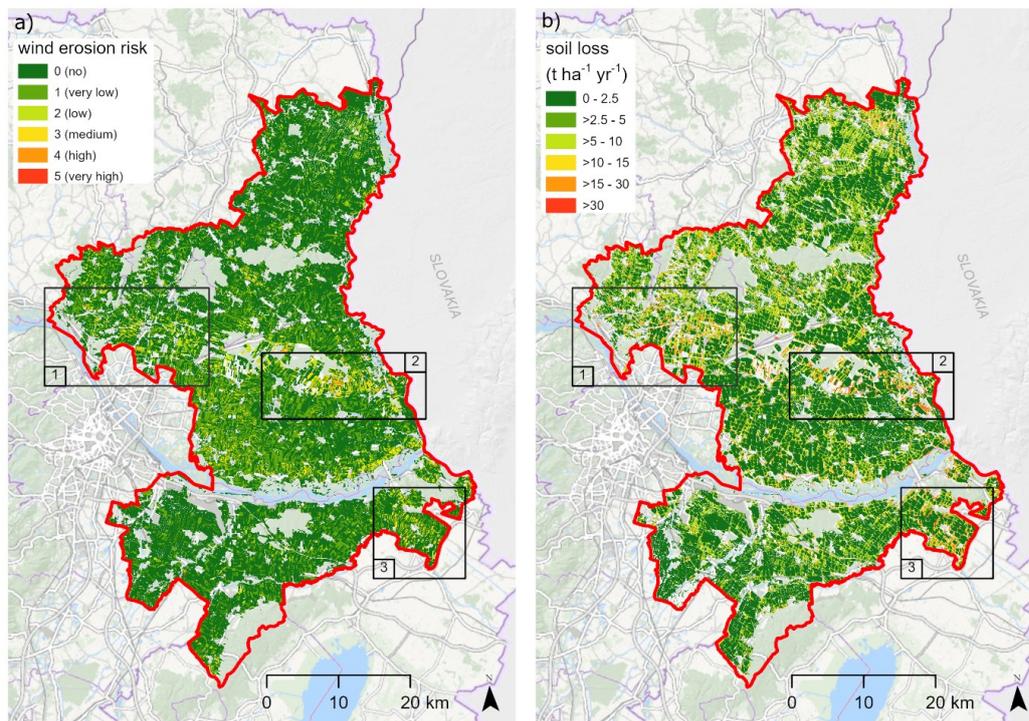


Abbildung 5 (a) Winderosionsrisiko für das Jahr 2020 basierend auf dem DIN 19706-Ansatz und (b) mehrjähriger mittlerer Bodenverlust modelliert mit der Revised Wind Erosion Equation.

Die RWEQ-Modellierung zeigt bei Berücksichtigung der zu erwartenden klimatischen Veränderungen einen positiven Trend für die Winderosion. Die vorhergesagten Bodenverluste nehmen von SSP1-2.6 zu SSP5-8.5 und von der nahen zur fernen Zukunft hin ab. Diese Beobachtungen können in erster Linie durch eine Abnahme der oberflächennahen Windgeschwindigkeiten erklärt werden, die in allen Zeiträumen und Szenarien erkennbar ist. Zudem nehmen die zu erwartenden Niederschläge in den erosiven Phasen im Frühling und im Frühsommer in allen drei berücksichtigten Zeiträumen zu.

Standorte für neue Windschutzanlagen

Mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes entwickelten automatisierten GIS-Tools (Scheper et al. 2022) konnten – basierend auf der RWEQ-Modellierung – Felder, die durch Winderosion stark gefährdet sind, identifiziert und daraus resultierend potentielle Standorte für neu anzulegende Windschutzanlagen in der Studienregion abgeleitet werden. Diese sind in Abbildung 6 gezeigt.

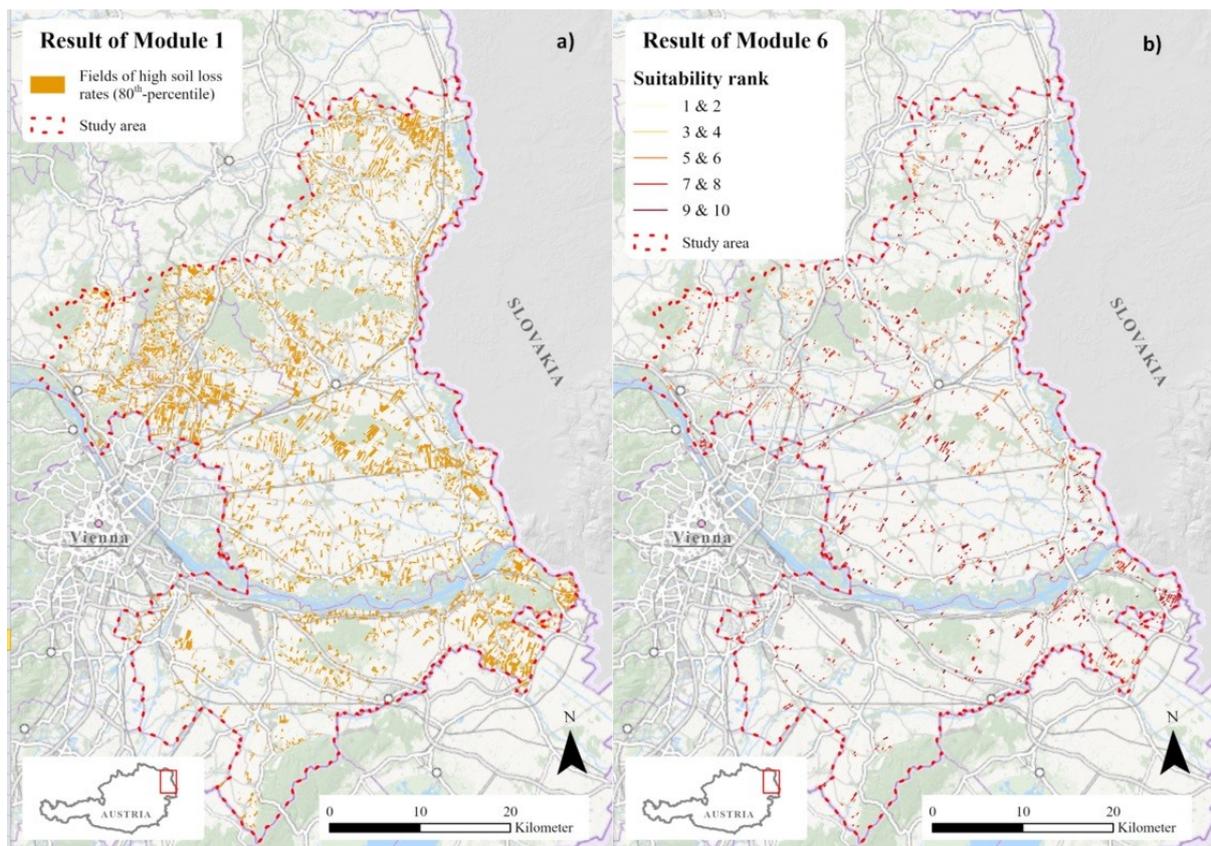


Abbildung 6 (a) Durch Winderosion stark gefährdete Felder in der Studienregion (der mittlere jährliche Bodenverlust wurde mittels der Revised Wind Erosion Equation berechnet) und (b) potentielle Standorte für neu anzulegende Windschutzanlagen.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die vegetationskundliche Aufnahme hat Einblicke in den Aufbau, die Zusammensetzung und den Zustand vorhandener Windschutzanlagen gewährt und gezeigt, dass der Anteil an abgestorbenen Individuen in Abhängigkeit von der Baumart zwischen 0 und 42 % variiert. Nichtsdestotrotz wiesen mehr als die Hälfte der Bäume in den Windschutzanlagen eine hohe und beinahe ein Drittel eine mittlere Vitalität auf. Der Vergleich der klimatischen Ansprüche ausgewählter Baumarten mit den zukünftig zu erwartenden Temperaturen und Niederschlagsmengen in der Zielregion ergab jedoch, dass die tolerierbaren Grenzen für alle Baumarten überschritten werden. Die größte Bedrohung stellt hierbei der vorhergesagte Anstieg der Sommertemperaturen dar. Die ebenfalls prognostizierte Abnahme der Sommerniederschläge würde die Situation beispielsweise für die Robinie, die am häufigsten in den Windschutzanlagen vorgefundene Baumart, zusätzlich verschärfen. Geeignete Alternativen für zukünftige Windschutzheckenpflanzungen könnten daher Baumarten sein, die an wärmere und trockenere Klimabedingungen angepasst sind, zum Beispiel die Zerreiche.

Feldmessungen an zwei Standorten im Marchfeld haben ergeben, dass die dort vorhandenen Windschutzanlagen Winde aus nordwestlicher Richtung effizient reduzieren. Die Bodenbedingungen in der Umgebung der Hecken erwiesen sich als ausgeglichener als in weiter entfernten Bereichen. Dies zeigte sich beispielsweise an einer höheren Perkolationsstabilität,

aber auch an den Bodenfeuchtwerten, die kontinuierlich zwei Jahre lang in 5 und 20 cm Tiefe aufgezeichnet wurden.

Am Standort GE, der vegetationsfrei gehalten wurde, wurde während der zweijährigen Messkampagne bis zu viermal mehr Bodenmaterial in den Fallen gefunden als am Standort RU, der im Rahmen einer ortsüblichen Fruchtfolge bestellt wurde. Insgesamt wurden schätzungsweise 16 t Boden ha⁻¹ am Standort GE erodiert, am Standort RU hingegen nur 1,3 t ha⁻¹. Generell ergaben die Feldmessungen, dass die Zielregion weniger anfällig gegenüber Winderosion ist als ursprünglich angenommen. Dieser Befund wurde durch die Ergebnisse der Modellierung gestützt. Der mittlere Bodenverlust für die Bezirke Gänserndorf und Bruck an der Leitha (Studienregion) wurde mittels RWEQ auf 3,7 t ha⁻¹ a⁻¹ geschätzt, etwa die Hälfte der Felder fielen in die niedrigste Winderosionsklasse (0-2,5 t ha⁻¹ a⁻¹). Gemäß DIN 19706 sind 80 % der Felder in der Studienregion nicht durch Winderosion gefährdet. Die Modellierung zeigte zudem, dass ein erhöhtes Winderosionsrisiko nur für wenige Bereiche innerhalb der Studienregion existiert.

Unter den für West- und Zentraleuropa vorhergesagten Klimaänderungen wird das Winderosionsrisiko in der Zielregion weiter abnehmen. Diese Vorhersagen können in erster Linie durch eine Abnahme der oberflächennahen Windgeschwindigkeiten erklärt werden, die in allen berücksichtigten Zeiträumen (2021-2040, 2041-206 und 2081-2100) und Szenarien (SSP1-2.6, SSP2-4.5 und SSP5-8.5) erkennbar ist. Zudem sollten die zu erwartenden Niederschläge in den erosiven Phasen im Frühling und im Frühsommer in allen drei in die Modellierung einbezogenen Zeiträume zunehmen.

Mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes entwickelten automatisierten GIS-Tools konnten – basierend auf der RWEQ-Modellierung – Felder, die durch Winderosion stark gefährdet sind, identifiziert werden. Auf dieser Grundlage wurden in einem weiteren Schritt potentielle Standorte für neu anzulegende Windschutzanlagen in der Studienregion abgeleitet, die über die gesamte Studienregion verteilt sind.

C) Projektdetails

6 Methodik

Um die Projektziele zu erreichen, wurden Freilanduntersuchungen mit Experimenten unter kontrollierten Bedingungen und Modellierungsansätzen kombiniert. Die Zielregion war das österreichische forstliche Wuchsgebiet „Pannonisches Tief- und Hügelland“, welches dem landwirtschaftlichen Produktionsgebiet „Nordöstliches Flach- und Hügelland“ entspricht.

Windschutzanlagen

Aktuelle Situation

Um die Struktur und den Zustand vorhandener Windschutzanlagen zu erfassen, wurden detaillierte Vegetationsaufnahmen an 49 Standorten durchgeführt. Neben der Artenzusammensetzung wurden Deckungsgrad, Höhe, Alter, Vitalität und Schäden pro Art ermittelt. Hierzu wurden an jedem Standort zwei 25 m-Abschnitte der Windschutzanlage untersucht. Es wurden anhand des Gesamtzustands und insbesondere auf Basis von Kronenverlichtungen drei Vitalitätsklassen unterschieden (hoch, mittel und gering). Sträucher wurden ebenfalls erfasst.

Ökologische Bewertung für zukünftige Klimabedingungen

Um Informationen über die ökologischen Ansprüche ausgewählter Baumarten, die in den Windschutzanlagen vorhanden sind, zu sammeln, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Ebenfalls mit einbezogen wurden Baumarten, die auf Basis des Konzepts der Klimaanalogen unter veränderten Klimabedingungen zur Anlage neuer Windschutzstreifen geeignet sein könnten.

Die vom CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase)-Projekt errechneten Veränderungen in Temperatur und Niederschlag (Mediane) für West- und Zentraleuropa wurden mit den ökologischen Ansprüchen ausgewählter Baumarten verglichen. Einbezogen wurden die drei am häufigsten vorkommenden Baumarten in den Windschutzanlagen (*Robinia pseudoacacia*, *Acer pseudoplatanus* und *Fraxinus excelsior*), *Acer campestre*, der eine höhere Vitalität als die dominierenden Baumarten zeigte, zwei Baumarten, die ein gewisses Maß an Trockenheitsresistenz aufweisen (*Acer platanoides* und *Prunus avium*) und *Quercus cerris* als ein Beispiel für eine Baumart, die gemäß dem Konzept für Klimaanalogen eine relativ gute Anpassung an die prognostizierten Klimabedingungen aufweisen sollte. Es wurden jeweils Temperatur- und Niederschlagsänderungen auf Basis von drei SSP (Shared Socio-economic Pathway)-Szenarien (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) für drei Zeiträume (2021-2040, 2041-2060, 2081-2100) relativ zur Basislinie 1981-2010 berücksichtigt. Die benötigten Daten wurden vom IPCC WGI Interactive Atlas (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>) heruntergeladen.

Messung des Bodenabtrags durch Winderosion

Standorte

Im Marchfeld, einem potentiellen Hochrisikogebiet für Winderosion, wurde Anfang 2020 in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur [BOKU, Institut für Ökologischen Landbau (IfÖL) und Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf (VWG)] und der Bundesversuchswirtschaft Königshof zwei Feldversuche eingerichtet, um den Bodenabtrag durch Wind direkt zu erfassen. Meteorologische Parameter, Veränderungen der Bodenfeuchte und Bodenabtrag wurden von Februar 2020 bis Februar 2022 gemessen.

Der Standort Rutzendorf (RU) liegt im Bezirk Gänserndorf (Niederösterreich). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8 °C, der mittlere jährliche Niederschlag 520 mm. Der Boden ist ein Calcaric Chernozem (gemäß World Reference Base for Soil Resources, WRB) mit Schluff als dominanter Korngrößenfraktion. Die effektive Höhe (H) der Hecke, die in den 1980ern gepflanzt worden ist, etwa 20 m breit ist und einen Blühstreifen von 6 m einschließt, beläuft sich auf 8 m. Am Standort RU wurde während des Versuchs eine ortsübliche Fruchtfolge bestehend aus Winterweizen, Zwischenkultur, Mais und Schwarzbrache angebaut. Der zweite Standort, Groß-Enzersdorf (GE), ist durch eine Jahresmitteltemperatur von ebenfalls 9,8 °C und einem mittleren jährlichen Niederschlag von 545 mm charakterisiert. Der Boden mit schluffig-lehmiger Textur ist ebenfalls als Calcaric Chernozem (WRB) zu klassifizieren. Die vorhandene Windschutzanlage weist eine effektive Höhe von 7,5 m auf. Während des gesamten Versuchszeitraums wurde der Boden frei von Vegetation gehalten.

Um den Einfluss der Windschutzanlagen auf den Boden abschätzen zu können, wurden auf beiden Standorten jeweils entlang dreier Transekte (Abbildung 7) in zwei Tiefen (5-10 cm und 20-25 cm) gestörte und ungestörte Bodenproben entnommen und folgende Parameter bestimmt: Korngrößenverteilung, Gehalt an organischem Kohlenstoff und Karbonat, Aggregat- und Perkulationsstabilität, Lagerungsdichte, Porosität und nutzbare Feldkapazität.



Abbildung 7 Probenahmedesign am Standort Rutzendorf. Die blauen Punkte kennzeichnen die in drei Transekten angeordneten Probenahmepunkte luv- und leeseitig von der Windschutzanlage (Koordinaten: BMN M34; Quelle des Luftbilds: <https://www.basemap.at/>).

Versuchsaufbau

Der Aufbau der Sedimentfallen und Messgeräte erfolgte innerhalb des durch die Windschutzanlage geschützten Bereichs, der etwa 80 x 50 m, was in etwa dem Zehnfachen der Heckenhöhe entspricht, umfasste. Am Standort RU befand sich die Referenzfläche im Luvbereich der Windschutzanlage (Abbildung 8). Dies war am Standort GE nicht möglich, weshalb die Referenzmessungen in einer Entfernung von etwa 400 m von der Hecke erfolgten (Abbildung 9).



Abbildung 8 Versuchsaufbau am Standort Rutzendorf. Die gelben Punkte zeigen drehbare, die roten feststehende Sedimentsammler an. Die Punkte sind mit der Sammlernummer versehen. Die Referenzmessungen fanden luvseitig von der Hecke statt.

Die Versuchsfläche wurde jeweils in drei Segmente unterteilt, die jeweils mit sechs feststehenden gegen die Hauptwindrichtung ausgerichteten Sedimentsammler und einem drehbaren, der sich Änderungen in der Windrichtung anpaßt (Abbildung 10), ausgestattet wurden. Die drehbaren Sammler wurden entlang der zentralen Achse aufgestellt (Abbildungen 8 und 9). Für die Referenzmessungen wurden pro Standort zwei feststehende und ein drehbarer Sedimentsammler eingesetzt. An den feststehenden Sammlern waren Sedimentfallen (Zyklon-Technologie) in 8, 20, 40 und 80 cm Höhe montiert, an den drehbaren zusätzlich noch in 60 und 100 cm Höhe (d.h. 30 Fallen pro Segment und 14 je Referenzbereich). Die Fallen wurden im Abstand von drei Wochen geleert und die aufgefangene Menge mittels Wägen bestimmt. Zusätzlich zum Bodenabtrag wurden Bodenfeuchte, Bodentemperatur und ausgewählte meteorologische Parameter wie Windrichtung und -geschwindigkeit kontinuierlich gemessen.



Abbildung 9 Versuchsaufbau am Standort Groß-Enzersdorf. Die Referenzmessungen erfolgten in einem von der Hecke unbeeinflusstem Bereich. Für weitere Erklärungen s. Abbildung ??.



Abbildung 10 Feststehende (ganz links und rechts) und drehbarer Sedimentsammler (Mitte) sowie Bodenfeuchtheitsmessung (links)

Windtunnelmessungen

Luftgetrockneter Boden von den beiden Versuchsstandorten (Tiefe: 0-5 cm, auf < 1 cm gesiebt) wurde verwendet, um Erosionsraten bei vier verschiedenen Wassergehalten (lufttrocken, lufttrocken + 1 %, lufttrocken + 2,5 %, lufttrocken + 5 % des gravimetrischen Wassergehaltes) und vier Windgeschwindigkeiten (7, 9, 11 und 14 m s⁻¹) im Windtunnel der UGent zu messen. Der Arbeitsbereich des Windtunnels ist 12 m lang, 1,2 m breit und 3,2 m hoch. Wind wird mittels einer großen Turbine generiert und durch im Querschnitt eingebaute Rohre soweit wie möglich in einen laminaren Fluss umgewandelt. Die Referenzwindgeschwindigkeit wird am Anfang des Arbeitsbereichs in einer Höhe von 860 mm gemessen, zudem ein Windprofil (4 cm, 10 cm, 20 cm, 35 cm und 60 cm Höhe).

Die Bodenproben wurden in Schalen vorsichtig verdichtet, bis die für den jeweiligen Standort bestimmte Lagerungsdichte erreicht und eine ebene Oberfläche entstanden war. Zur Erhöhung des Wassergehalts erfolgte die Wasserzugabe 48 Stunden vor Befüllung der Schalen. Es wurden jeweils 20 kg angefeuchtet. Der tatsächliche gravimetrische Wassergehalt der Proben wurde vor Beginn der Messungen ermittelt. Jede Schale wurde dem Wind drei Minuten lang ausgesetzt und anschließend gewogen, um den Bodenmasseverlust zu bestimmen. Insgesamt wurden 64 Durchgänge durchgeführt. Die Reibungsgeschwindigkeit wurde anhand der Prandtl-von Kármán-Gleichung ermittelt.

Modellierung

Aktueller und zukünftig zu erwartender Bodenverlust

Da es nicht möglich war, für das gesamte Zielgebiet Winderosionsmodellierungen durchzuführen, unter anderem aufgrund fehlender oder unvollständiger Datensätze für bestimmte Bereiche wie das Burgenland im Süden, wurden zwei ausgewählte, aneinandergrenzende Bezirke (Gänserndorf und Bruck an der Leitha, im folgenden „Studienregion“) modelliert.

Der derzeitige Bodenverlust in der Studienregion wurde anhand der Deutschen Industrienorm (DIN) 19706 (Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind) qualitativ und unter Verwendung der Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) auch quantitativ abgeschätzt. Die verwendeten Daten einschließlich Auflösung und Quelle sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Beide Ansätze wurden zudem verwendet, um die Auswirkungen prognostizierter Klimaveränderungen auf winderosionsbedingte Bodenverluste zu simulieren. Hierzu wurden dieselben SSP-Szenarien und Zeiträume wie für die Baumartenbewertung verwendet. Die monatlichen Mittelwerte und Mediane sowie die 5. und 95. Perzentile der vorhergesagten Temperaturen und Niederschläge wurden ebenfalls vom IPCC WGI Interactive Atlas heruntergeladen. Abbildung 11 zeigt beispielhaft die zu erwartenden Veränderungen des oberflächennahen Winds gemäß SSP5-8.5 für West- und Zentraleuropa.

Im DIN-Ansatz ist die Windgeschwindigkeit die einzige klimatische Variable, die Veränderungen in winderosionsbedingten Bodenverlusten bewirkt. In der RWEQ werden zusätzlich Veränderungen im Gesamtniederschlag, der mittleren Temperatur und des Schneefalls berücksichtigt.

Tabelle 3 Datensätze einschließlich Auflösung und Quelle, die für die Modellierung des Bodenabtrags durch Winderosion im Zielgebiet „Pannonisches Tief- und Hügelland“ verwendet wurden.

Data	Description	Data type and resolution	Source
Meteorological measurements	Measurements at 22 stations; parameters: wind speed, wind direction, temperature, precipitation, relative humidity, pressure, snow height	Point data, daily, 2010-2017	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)
Mean annual wind speeds	Wind raster of Austria, 50m height above ground level	Rasterized, 100m x 100m	Austrian wind atlas
eBod – digital soil map	Digital soil map of Austria with parameters as soil type, soil texture, organic content, carbonates	Vectorized, 1:25000, based on soil profile, once	Austrian Centre for Forest Research (BFW)
Parcels	Parcel maps 2015-2020, aggregated to field blocks with cultivation data	Vectorized, once, 1:2500	Agrarmarkt Austria
Sentinel-2 Level 2A	Multispectral satellite imagery	Rasterized, 10m x 10m, 2018-2020	European Space Agency (ESA)
Windbreaks	Mapped windbreaks in Lower Austria	Vectorized, continuous mapping, various years	Internal data from Lower Austrian Authority for Land Reform (ABB), processed by the Federal Agency for Water (BAE) Management
Orthophoto	Orthophoto of Austria	Rasterized, >0.15m x 0.15m, 2020	geoland.at
Digital surface model	Digital surface model based on laser scanning	Rasterized, 1m x 1m	geoland.at
Background information	Basemap, administrative borders	Rasterized, vectorized	Federal Office of Metrology and Surveying (BEV) geoland.at

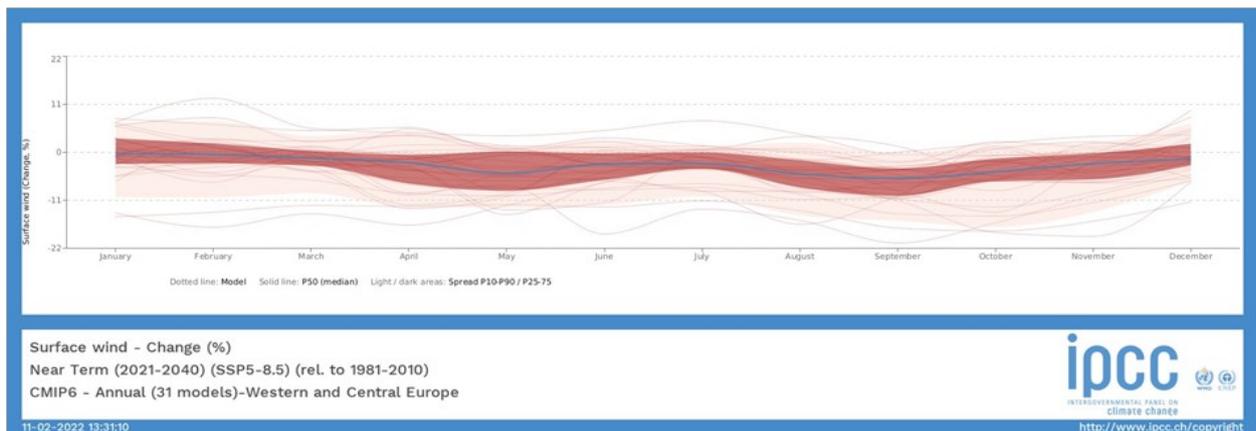


Abbildung 11 Vorhergesagte Veränderungen des oberflächennahen Winds für den Zeitraum 2021-2040 gemäß dem Szenario SSP5-8.5 relativ zur Basislinie 1981-2010 für West- und Zentraleuropa als Beispiel für die Ausgabe monatlicher Variationen durch den IPCC WGI Interactive Atlas.

Standorte für neu anzulegende Windschutzanlagen

Im Rahmen des Projekts wurde ein automatisiertes Tool zur Ermittlung potentieller Standorte für neu anzulegende Windschutzanlagen entwickelt (Tool for the Automated Selection Of potential Windbreaks – TASOW; Scheper et al. 2022). Das Tool wurde in ESRI ArcGIS 2.9 entwickelt und besteht aus sieben Modulen, die unter anderem zur Identifizierung gefährdeter Felder und der Berechnung der Feldlänge dienen. Die folgenden Datensätze wurden verwendet: Winderosionskarte basierend auf RWEQ-Berechnungen, Katasterkarte aller Felder in der Studienregion, Informationen über die Ausdehnungen der Studienregion (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen), vorhandene Windschutzanlagen (per Hand anhand von Orthofotos digitalisiert), Straßen (OpenStreetMap), Landnutzung (OpenStreetMap) und vorherrschende Windrichtung.

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Workshop

Im Rahmen der 28. Conference of the Working Group Sustainability / Soil Protection of the Working Community of the Danube Regions, die am 15. und 16. September 2021 in Tulln, Niederösterreich, stattfand, wurde ein Stakeholder-Workshop abgehalten, bei dem Ergebnisse aus dem Projekt von Thomas Weninger (BAW), Lenka Lackóová (SUA) und Franz Starlinger (BFW) vorgestellt und diskutiert wurden. Videomitschnitte der Konferenz sind online verfügbar (EROWIN: Nr. 25; <http://www.unserboden.at/1329-0-Filme+DLT2021.htm?&goback=51>).

Präsentationen (Vorträge und Poster)

- 16. Oktober 2019: Posterpräsentation, Jahrestagung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Innsbruck, Österreich (Postertitel: Wind erosion in the Pannonian region: A major threat to arable soils under current and future climate conditions?)
- 4. bis 8. Mai 2020: EGU2020: Sharing Geoscience Online (Vortragstitel: Linking regional modelling with field measurements to evaluate effectiveness of living wind shelters as measures against wind erosion)
- 12./13. April 2021: 21. Österreichischer Klimatag online (Postertitel: Winderosion im pannonischen Raum – Risikobewertung und Evaluierung von Gegenmaßnahmen; ACRP poster session: EROWIN – Wind erosion in the Pannonian region: A major threat to arable soils under current and future climate conditions?)
- 19. bis 30. April 2021: vEGU2021: Gather Online (Vortragstitel: Spatio-temporal effects of vegetated windbreaks on wind erosion and microclimate as basis for model development; <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-9182.html>)
- 4. Mai 2021: Bodenforum Frühjahrstreffen, Online Webinar (ProjectSpeedDating: EROWIN – Winderosion im Pannonischen Raum; <https://www.bodeninfo.net/termine-und-initiativen/bodenforum-oesterreich/>)
- 20. bis 22 April 2022: 22. Österreichischer Klimatag, Wien (Postertitel: Der Einfluss von Windschutzanlagen auf die agrometeorologischen Bedingungen in ihrem Umfeld; P24; P5 in Annex B)
- 30./31 Mai 2022: ALVA-Jahrestagung, Wieselburg, Österreich; (Vortragstitel: Winderosion im Marchfeld – Erkenntnisse aus kontinuierlichen Messungen von Verfrachtungsraten; ALVA-Tagungsband 2022, 131-135)
- 20. bis 22. Juni 2022: EU Soil Observatory Soil Erosion Workshop 2022, online (Vortragstitel: Automated planning tool for potential windbreak plantings to reduce wind erosion)
- 3. bis 10. September 2022 (ursprünglich geplant für 5. bis 9. September 2021): Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Trier, Deutschland (Postertitel: Räumliche und zeitliche Effekte von Windschutzgürteln auf Winderosion und Mikroklima in Nordostösterreich – Feldmessungen und Modellierung)

Publikationen

Scheper, S., Kitzler, B., Weninger, T., Strauss, P. & Michel, K. (2022): TASOW – A tool for the automated selection of potential windbreaks. *MethodsX* (accepted on August 16, 2022). <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101826>

Weninger, T., Gartner, K., Riedel, S., Scheper, S. & Michel, K. (2022): Der Windschutzeffekt von Bodenschutzanlagen am Beispiel Marchfeld. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 74, 251-257. <https://doi.org/10.1007/s00506-022-00851-y>

Scheper, S., Weninger, T., Kitzler, B., Lackóová, L., Cornelis, W., Strauss, P. & Michel, K. (2021): Comparison of the Spatial Wind Erosion Patterns of Erosion Risk Mapping and Quantitative Modeling in Eastern Austria. *Land* 10, 974-997; <https://doi.org/10.3390/land10090974>

Weninger, T., Scheper, S., Lackóová, L., Kitzler, B., Gartner, K., King, N.W., Cornelis, W., Strauss, P. & Michel, K. (2021): Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes – a systematic review. *Environmental Research Letters* 16, 103002; <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1d0d>

Berichte

- De Standaard “Het stuift op de Vlaamse akkers” (13. Mai 20202; Erwähnung des Projektes)
- Lichtung (Das Magazin des Bundesforschungszentrums für Wald) 4/2019: „Verlust von Boden stoppen“
- Lichtung 5/2020: „Vom Wind verweht“
- *Datum* 11, 64-68: „Kostbarer Dreck“ (u.a. Interview mit Kerstin Michel zum Thema Winderosion in Österreich)

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwendungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.