

Loseblatt # 3

AUSWIRKUNGEN VON AGRARHOLZ- STRUKTUREN AUF DIE WINDGE- SCHWINDIGKEIT IN AGRARRÄUMEN

Christian Böhm, Michael Kanzler, Thomas Domin



Auswirkungen von Agrarholzstrukturen auf die Windgeschwindigkeit in Agrarräumen

Autoren

Christian Böhm, Michael Kanzler, Thomas Domin

Anschriften und Kontaktdaten

Dr. Christian Böhm, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
e-mail: boehmc@b-tu.de

Michael Kanzler, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
e-mail: kanzlmic@b-tu.de

Thomas Domin, Landwirtschaftsbetrieb Domin, Feldstraße 20, 01945 Senftenberg OT Peickwitz
e-mail: info@landwirt-domin.de

Forschungsprojekt

"Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie"

Projektlaufzeit: 01.11.2014 bis 31.07.2019

URL: <http://agroforst-info.de/>

Förderung und Förderkennzeichen:

Die Förderung des Projektes erfolgte durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenprogramms Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)

Förderkennzeichen: 033L129

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Loseblattes liegt bei den Autoren.

Cottbus, den 10.08.2020

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	4
Zusammenfassung	5
1 Einleitung	6
2 Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung	7
3 Untersuchungsstandorte	7
3.1 Lage der Untersuchungsstandorte	7
3.2 Agroforstfläche Neu Sacro	8
3.2.1 Beschreibung der Versuchsfläche	8
3.2.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum	9
3.3 Agroforstfläche Peickwitz	10
3.3.1 Beschreibung der Versuchsfläche	10
3.3.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum	11
3.4 Grünlandfläche Peickwitz	11
3.4.1 Beschreibung der Versuchsfläche	11
3.4.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum	12
3.5 Biehlen	13
3.5.1 Beschreibung der Versuchsfläche	13
3.5.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum	14
3.6 Lichtena	14
3.6.1 Beschreibung der Versuchsfläche	14
3.6.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum	15
4 Ergebnisse und Diskussion	16
4.1 Agroforstfläche Neu Sacro	16
4.2 Agroforstfläche Peickwitz	19
4.3 Grünlandfläche Peickwitz	23
4.4 Biehlen	26
4.5 Lichtena	29
5 Schlussfolgerungen	33
Literatur	33

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Wingschwindigkeitssensor (links) und Windgeschwindigkeitssensor mit Windrichtungssensor (rechts) „First-Class advanced“ der Firma Adolf Thies GmbH & Co. KG	7
Abbildung 2: Lage der Untersuchungsflächen in Südbrandenburg (Quelle der Brandenburg-Karte: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Karte_Metropolregion_Berlin-Brandenburg.svg ; Quelle des Kartenausschnittes: Google Maps).....	8
Abbildung 3: Agroforstfläche Neu Sacro (Bild:Freese 2014)	9
Abbildung 4: Lage der Windsensoren auf der Agroforstfläche Neu Sacro (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1 = Windgeschwindigkeitssensor in Mitte eines 96 m breiten Ackerkulturstreifens; 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 = Windgeschwindigkeitssensoren auf einem 48 m breiten Ackerkulturstreifen in 3 m, 9 m und 15 m Abstand vom westlich gelegenen Gehölzstreifen, in der Mitte des Ackerstreifens sowie in 15 m, 9 m und 3 m Abstand des östlich gelegenen Gehölzstreifens; Quelle des Luftbildes: Google Earth) .	9
Abbildung 5: Agroforstfläche Peickwitz	10
Abbildung 6: Lage der Windsensoren auf der Agroforstfläche Peickwitz (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1, 2, 3 und 4 = Windgeschwindigkeitssensoren auf einem 60 m breiten Ackerkulturstreifen in 6 m, 12 m, 24 m und 48 m Abstand vom westlich gelegenen Gehölzstreifen; Quelle des Luftbildes: Google Earth)	11
Abbildung 7: Grünlandfläche Peickwitz kurz nach Etablierung der Agroforstgehölzstreifen	12
Abbildung 8: Positionen der Windsensoren auf der Grünlandfläche Peickwitz (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1 = Anemometer auf einer 60 m breiten Grünlandfläche zwischen zwei Agroforstgehölzstreifen; 2, 3 und 4 = Windgeschwindigkeitssensoren östlich einer an einem Weg befindlichen Hecke im Abstand von 12 m, 24 m und 48 m zu dieser; Quelle des Luftbildes: Google Earth)	12
Abbildung 9: Hecke am Standort Biehlen (Ostseite)	13
Abbildung 10: Lage der Windsensoren am Standort Biehlen (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1, 2 und 3 = Anemometer im Windschutzbereich einer naturschutzfachlich hochwertigen Hecke im Abstand von 12 m, 24 m und 48 m zu dieser; Quelle des Luftbildes: Google Earth)	14
Abbildung 11: Hecke am Standort Lichtena (Ostseite)	15
Abbildung 12: Lage der Windsensoren am Standort Lichtena (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1, 2, 3 und 4 = Anemometer im Windschutzbereich einer Pappelwindschutzhecke im Abstand von 12 m, 24 m, 48 m und 96 m zu dieser; Quelle des Luftbildes: Google Earth).....	15
Abbildung 13: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers im Agroforstsystem bei Betrachtung a) aller erhobenen Werte, b) einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und c) einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; Messung auf 48 m breitem Ackerfruchtstreifen: 3W, 9W, 15W = Abstand in m zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite), 3O, 9O, 15O = Abstand in m zum östlich gelegenen Gehölzstreifen (Luv-Seite), 24 (M) = Mitte des 48 m breiten Ackerfruchtstreifens; 48 (M) = Mitte des 96 m breiten Ackerfruchtstreifens; Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018, für Dezember 2017 liegen für die Positionen 15W und 15O keine Daten vor)	17
Abbildung 14: Reduktion der Windgeschwindigkeit auf einem 48 m breiten Ackerfruchtstreifen (Mittelwerte aus allen Anemometerpositionen) in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit	

des Monats (Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018, für Dezember 2017 liegen aufgrund technischer Probleme z.T. größere Datenlücken vor) 18

Abbildung 15: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 20. April 2017 bis 20. März 2018 (für Dezember 2017 liegen aufgrund technischer Probleme z.T. größere Datenlücken vor) 19

Abbildung 16: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers im Agroforstsystem bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 6 m, 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Agroforstgehölze; Messzeitraum = 01. August 2018 bis 15. April 2019 2018; Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder) 21

Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 01. August 2018 bis 15. April 2019 2018..... 22

Abbildung 18: Reduktion der Windgeschwindigkeit in der Mitte eines 60 m breiten Grünlandstreifens in Bezug zur Freifläche (Referenz) und in Abhängigkeit der Höhe der Freiflächenwindgeschwindigkeit sowie des Monats (Messzeitraum jeweils = 08. August 2017 bis 05. Oktober 2017; Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder) 23

Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 08. August 2017 bis 05. Oktober 2017..... 24

Abbildung 20: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers im Agroforstsystem bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 6 m, 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarte Grünlandfläche ohne Agroforstgehölze; Messzeitraum jeweils = 13. September 2017 bis 05. Oktober 2017; Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder) 25

Abbildung 21: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarte Ackerfläche ohne Gehölze; Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016; vom 02. bis 13. Oktober liegen keine Daten vor, vom 02. Oktober bis 13. November liegen zudem keine Daten für das Anemometer in 12 m Entfernung vor) 27

Abbildung 22: Reduktion der Windgeschwindigkeit auf der Lee-Seite einer Hecke (Mittelwerte aus allen Anemometerpositionen) in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats (Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016; vom 02. bis 13. Oktober liegen keine Daten vor, vom 02. Oktober bis 13. November liegen zudem keine Daten für das Anemometer in 12 m Entfernung vor) 28

Abbildung 23: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 21. August 2015 bis 24. Februar 2016..... 29

Abbildung 24: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer

Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 12 m, 24 m, 48 m und 96 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarte Ackerfläche ohne Gehölze; Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018) 31

Abbildung 25: Windgeschwindigkeitsreduktion auf der Lee-Seite einer Hecke (Mittelwerte aus allen Anemometerpositionen) in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats (Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018) 32

Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018 32

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers im Agroforstsystem (Messung auf 48 m breiten Ackerfruchtstreifen: 3W, 9W, 15W = Abstand in m zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite), 3O, 9O, 15O = Abstand in m zum östlich gelegenen Gehölzstreifen (Luv-Seite), 24 (M) = Mitte des 48 m breiten Ackerfruchtstreifens; 48 (M) = Mitte des 96 m breiten Ackerfruchtstreifens; Referenz = benachbarter, gehölzfreier Ackerschlag; Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018) 16

Tabelle 2: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz genutzten, gehölzfreien Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018) 16

Tabelle 3: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers im Agroforstsystem (6 m, 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Agroforstgehölze; Messzeitraum = 01. August 2018 bis 15. April 2019) 19

Tabelle 4: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz* genutzten Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 01. August 2018 bis 15. April 2019) 20

Tabelle 5: Linke Seite: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen (30 (M) = Mitte des 60 m breiten Grünlandstreifens zwischen zwei Nordwest-Südost-ausgerichteten Gehölzstreifen; Referenz = benachbarte Grünlandfläche ohne Agroforstgehölze); Rechte Seite: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz* genutzten Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum für beide Darstellungen = 08. August 2017 bis 05. Oktober 2017) 23

Tabelle 6: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke (12 m, 24 m und 48 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Gehölze; Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016) 26

Tabelle 7: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz genutzten, gehölzfreien Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016) 26

Tabelle 8: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke (12 m, 24 m, 48 m und 96 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Gehölze; Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018) 29

Tabelle 9: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz genutzten, gehölzfreien Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018) 30

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Reduktion der Windgeschwindigkeit auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist sowohl aus ökologischer (z.B. Verringerung von Bodenabtrag) als auch aus ökonomischer Sicht (z.B. Verringerung der Verdunstung und somit Erhöhung der Ertragsstabilität) anstrebenswert. Gehölzstrukturen können sehr effektiv zu einer Minderung der Windgeschwindigkeit in Agrarlandschaften beitragen. Dabei hat die Lage und Ausgestaltung von Gehölzstrukturen einen großen Einfluss auf deren Windschutzwirkung. Besonders ausgeprägt ist die Windschutzwirkung bei hintereinander gestaffelten Gehölzstreifen, wie es in Agroforstsystemen mit streifenförmig angeordneten Gehölzflächen der Fall ist. Das Wissen über die windbremsende Wirkung von Agroforstgehölzen ist ein wichtiger Aspekt mit Blick auf die Akzeptanz und Umsetzung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis. Im Zuge des Forschungsprojektes AUFWERTEN wurde sich beispielhaft daher ebenfalls mit der Messung von Windgeschwindigkeiten befasst. In diesem Loseblatt werden ausgewählte Messreihen dieser Erhebungen vorgestellt und bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass lineare Gehölzstrukturen in der Agrarlandschaft die Windgeschwindigkeit effektiv reduzieren können, wobei insbesondere hohe Windgeschwindigkeiten (> 4 m/s) erheblich (bis über 70 % der Freiflächenwindgeschwindigkeit) gemindert werden. Hierbei wird ebenfalls deutlich, dass Agroforstsysteme mit Kurzumtriebswirtschaft, selbst bei vergleichsweise geringen Baumhöhen, als sehr effiziente Windschutzmaßnahme angesehen werden können. Im Gegensatz zu einzelnen bzw. weit voneinander entfernten Hecken kann mit Agroforstsystemen aufgrund der dicht aufeinanderfolgenden Gehölzstreifen ein großflächig wirkender Windschutz realisiert werden. Die Anlage von Agroforstflächen ist jedoch keinesfalls als Alternative zu bestehenden Hecken anzusehen, sondern kann deren Schutzwirkung in Agrarräumen ergänzen bzw. – gerade bei einer geringen Anzahl von Hecken – die Windreduktion und somit die Erosionsschutzwirkung in Agrarlandschaften signifikant erhöhen.

1 EINLEITUNG

Der Wind hat für die pflanzenbauliche Produktion auf landwirtschaftlich genutzten Standorten eine sehr große Bedeutung, was vielen Akteuren im Landnutzungsbereich häufig nicht bewusst ist. Insbesondere auf sandigen Standorten kann Wind einerseits einen enormen Bodenabtrag verursachen und damit die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig negativ beeinflussen (u.a. Böhm und Tsonkova 2018). Ferner führen zunehmende Windgeschwindigkeiten zu einer Erhöhung der Verdunstung (u.a. Kanzler et al. 2019). Dies gilt sowohl für die Transpiration der Pflanzen, vor allem aber auch für die Evaporation, also die Bodenverdunstung (Brandle et al. 2004). Die windbedingte Austrocknung des Bodens kann gerade während länger anhaltender Trockenphasen zu einer Verringerung der Ertragsstabilität bzw. zu geringeren Feldfruchterträgen führen. Überdies können die Ackerkulturen bei höheren Windgeschwindigkeiten zudem auch durch direkte Windschäden (z.B. durch Sandkörner) beeinträchtigt werden (Cleugh et al. 1998).

Eine Reduktion der Windgeschwindigkeit auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist daher sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht vorteilhaft. Gehölzstrukturen können sehr effektiv zu einer Minderung der Windgeschwindigkeit in Agrarlandschaften beitragen. Die Windschutzfunktion von Hecken ist zwar allgemein seit alters her bekannt, jedoch wurden in der jüngeren Vergangenheit zahlreiche Gehölzstrukturen vor dem Hintergrund des Ausbaus einer auf Großflächigkeit bedachten Landwirtschaft beseitigt. Durch nachträgliche Anlagen von Windschutzstreifen konnten die Negativwirkungen des Windes großflächig nur bedingt gemindert werden. Gerade in den vergangenen Jahren, die allgemein durch eine Zunahme stärkerer Windereignisse sowie ausgeprägter Trockenperioden gekennzeichnet waren, hat sich ein geringer Windschutz vielerorts als nachteilig für die Feldfruchtproduktion erwiesen.

Die Lage und Ausgestaltung von Gehölzstrukturen hat auf deren Windschutzwirkung großen Einfluss. Wichtige Faktoren sind neben der Höhe und Breite einer Gehölzfläche vor allem deren Durchlässigkeit und räumliche Ausrichtung sowie das Vorhandensein größerer Lücken (Böhm und Tsonkova 2018). Besonders ausgeprägt ist die Windschutzwirkung bei hintereinander gestaffelten Gehölzstreifen (Kurz et al. 2001), wie es in Agroforstsystemen mit streifenförmig angeordneten Gehölzflächen der Fall ist. Hier wird der Wind über die Gehölzstrukturen geleitet und gelangt nicht mehr mit voller Kraft in die Nähe des Bodens. So ist beispielsweise die Windreduktion auf einer Fläche mit einer Länge von 1.500 m bei mehreren kleinen und schmalen Hecken, die 100 m voneinander entfernt sind, deutlich wirkungsvoller als bei zwei großen Windschutzhecken im Abstand von 500 m (Kurz et al. 2001). Bei noch geringeren Abständen, wie sie bei der agroforstlichen Nutzung üblich sind, ist der Windschutzeffekt noch ausgeprägter. Sträucher oder im Kurzumtrieb bewirtschaftete Bäume weisen auch in Bodennähe eine geringe Winddurchlässigkeit auf, weshalb Agroforstflächen mit einem hohen Anteil solcher Gehölze mit Blick auf den Windschutz als besonders effektiv anzusehen sind. Als Beispiel sei die Studie von Böhm et al. (2014a) angeführt, wo in Südbrandenburg die in einem Meter über dem Boden auftretenden Windgeschwindigkeiten eines gehölzfreien Ackerschlages mit jenen in einem Agroforstsystem mit 50 m voneinander entfernten Kurzumtriebsgehölzstreifen aus Pappel verglichen wurden. Demnach konnten starke, erosionsrelevante Winde durch die Agroforstgehölze im Mittel um 94 % reduziert werden. In weiteren Untersuchungen konnte zudem gezeigt werden, dass diese Windreduktion in direktem Zusammenhang mit einer geringeren potentiellen Verdunstung und folglich einer höheren Wasserverfügbarkeit für die Ackerkulturen steht (Kanzler et al. 2019).

Das Wissen über die windbremsende Wirkung von Agroforstgehölzen ist ein wichtiger Aspekt mit Blick auf die Akzeptanz und Umsetzung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis. Im Zuge des Forschungsprojektes AUFWERTEN wurde sich daher ebenfalls mit der Messung von Windgeschwindigkeiten befasst. Die Untersuchungen hatten jedoch vordergründig Beispielcharakter und dienten dazu, die Verringerung der Windgeschwindigkeit durch im Kurzumtrieb bewirtschaftete Agroforstgehölze mit jener anderer Gehölzstrukturen in der Untersuchungsregion zu

vergleichen. In diesem Loseblatt werden ausgewählte Messreihen dieser Erhebungen vorgestellt und bewertet. Aufgrund der begrenzten Anzahl verfügbarer Anemometer konnten die verschiedenen Standorte allerdings nicht parallel untersucht werden, wodurch die Aussagefähigkeit zur Schutzwirkung bei bestimmten Windereignissen geschmälert wird.

2 MESSUNG VON WINDGESCHWINDIGKEIT UND WINDRICHTUNG

Die Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung erfolgte mittels Windgeber und Windrichtungssensor „First-Class advanced“ der Firma Adolf Thies GmbH & Co. KG (Abb. 1). Lediglich auf dem Standort „Agroforstfläche Neu Sacro“ wurden Anemometer „A100R“ sowie ein Windrichtungssensor „W200P“ der Firma Vector Instruments verwendet. Die Windrichtung wurde jeweils nur auf dem als Referenzfläche genutzten Areal ermittelt.



Abbildung 1: Windgeschwindigkeitssensor (links) und Windgeschwindigkeitssensor mit Windrichtungssensor (rechts) „First-Class advanced“ der Firma Adolf Thies GmbH & Co. KG

Das Messintervall betrug 10 min, wobei die Windgeschwindigkeit kontinuierlich erhoben und aller 10 min ein Mittelwert aufgezeichnet wurde. Die Datenspeicherung erfolgte mittels Datenlogger „GP1“ der Firma Delta-T Devices Ltd. Auf allen Flächen erfolgten die Messungen 1 m über der Geländeoberfläche, wobei darauf geachtet wurde, dass die Messungen nicht durch in der Nähe befindliche, höhere Ackerkulturen beeinflusst wurden.

3 UNTERSUCHUNGSSTANDORTE

3.1 Lage der Untersuchungsstandorte

Insgesamt wurden an fünf Standorten Windmessungen durchgeführt. Diese befinden sich allesamt in der Untersuchungsregion Südbrandenburg (Abb. 2). Bei den Standorten Neu Sacro und Peickwitz handelt sich um Agroforstflächen mit Kurzumtriebswirtschaft. Bei den anderen Standorten lagen unterschiedlich gestaltete Hecken im Fokus der Untersuchungen. An allen Standorten wurde versucht, eine benachbarte Fläche als Freiflächenreferenz zu nutzen. Am Standort Peickwitz war dies jedoch aufgrund der Nähe zu verschiedenen Waldsäumen nicht in optimaler Weise möglich.

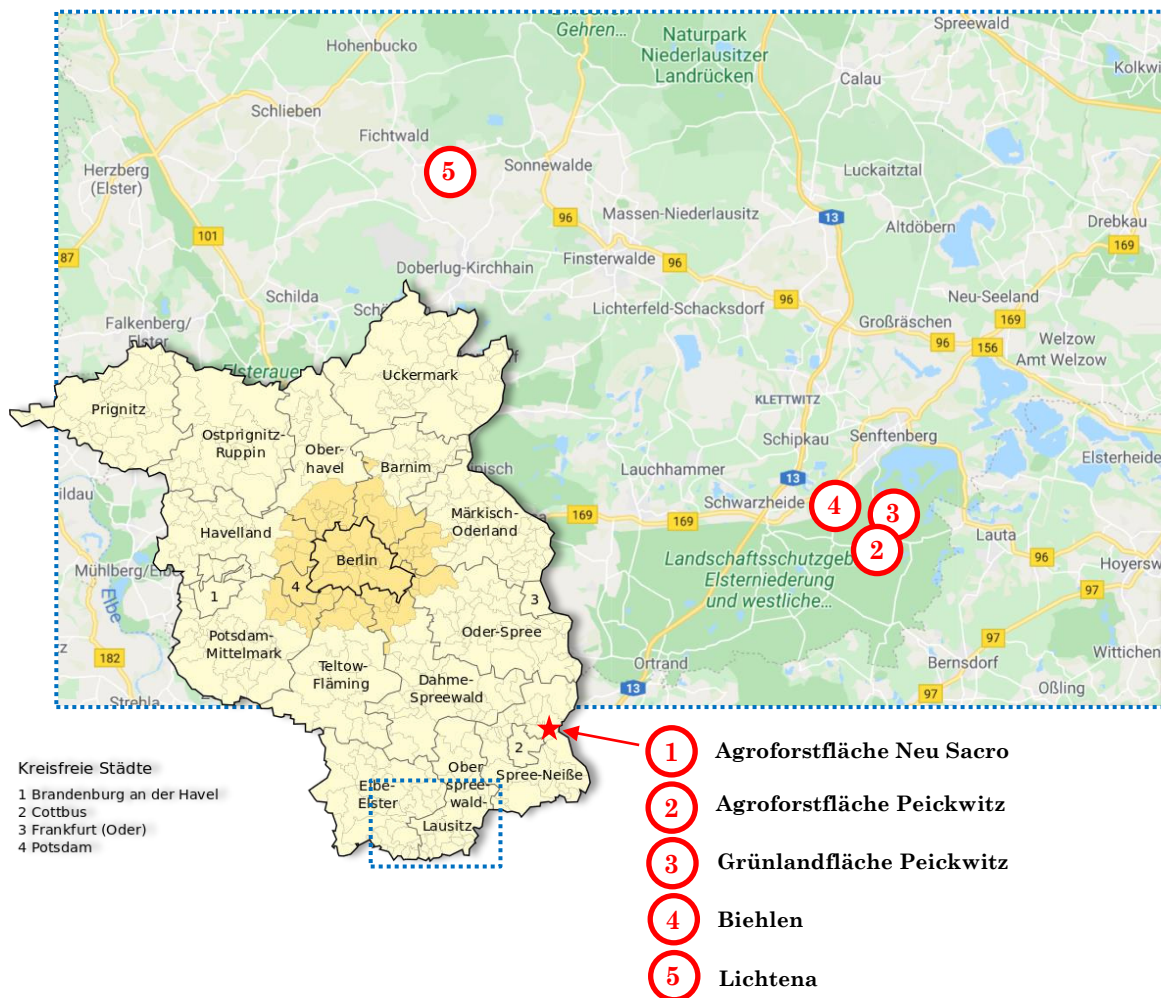


Abbildung 2: Lage der Untersuchungsflächen in Südbrandenburg (Quelle der Brandenburg-Karte: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Karte_Metropolregion_Berlin-Brandenburg.svg; Quelle des Kartenausschnittes: Google Maps)

3.2 Agroforstfläche Neu Sacro

3.2.1 Beschreibung der Versuchsfläche

Das Agroforstsystem bei Neu Sacro (ca. 25 km östlich von Cottbus) wurde 2010 auf einer ca. 40 ha großen, konventionell ackerbaulich genutzten Fläche etabliert und wird durch die Agrargenossenschaft Forst e.G. bewirtschaftet. Die Gehölzstreifen sind Nord-Süd ausgerichtet, haben eine Länge von jeweils ca. 650 m und bestehen aus vier etwa 160 m langen Abschnitten aus Pappel und Robinie, wobei die Bereiche der letzteren Baumart für die hier vorgestellten Untersuchungen nicht relevant waren. Die Gehölzstreifen setzen sich jeweils aus vier Doppelreihen zusammen und weisen eine Gesamtbreite von etwa 10 m auf (einschließlich eines ca. 1,20 m breiten Pufferstreifens an jeder Seite des Gehölzstreifens). Der Abstand zwischen den Doppelreihen beträgt 1,80 m, innerhalb der Doppelreihe 0,75 m und zwischen zwei Bäumen innerhalb einer Baumreihe 0,90 m. Die Pappeln werden im Mittel aller vier Jahre geerntet und erreichen in dieser Zeit eine mittlere Höhe von ca. 7 m. Die Abstände zwischen den Gehölzstreifen variieren zwischen 24 m, 48 m und 96 m. Für diese Studie waren jedoch lediglich die Abstände 96 m und vor allem 48 m relevant. Als Freiflächenreferenz wurde ein benachbarter, identisch bewirtschafteter, aber gehölzfreier Acker Schlag genutzt. Die Abbildung 3 zeigt mehrere Gehölz- und mit Winterweizen bestellte Ackerstreifen der Agroforstfläche im Jahr 2014.



Abbildung 3: Agroforstfläche Neu Sacro (Bild:Freese 2014)

3.2.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum



Abbildung 4: Lage der Windsensoren auf der Agroforstfläche Neu Sacro (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1 = Windgeschwindigkeitssensor in Mitte eines 96 m breiten Ackerkulturstreifens; 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 = Windgeschwindigkeitssensoren auf einem 48 m breiten Ackerkulturstreifen in 3 m, 9 m und 15 m Abstand vom westlich gelegenen Gehölzstreifen, in der Mitte des Ackerstreifens sowie in 15 m, 9 m und 3 m Abstand des östlich gelegenen Gehölzstreifens; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

Auf der Agroforstfläche Neu Sacro wurden insgesamt 9 Windgeschwindigkeitssensoren (einschließlich der Referenzfläche) und ein Windrichtungssensor installiert (Abb. 4). Letzterer befindet sich

auf dem Referenzstandort (R). Eine hohe räumliche Messreihenaufösung wurde auf einem 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems realisiert. Hier erfolgte der Aufbau von Anemometern in 3 m, 9 m und 15 m Entfernung zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite), in der Mitte des Ackerfruchtstreifens sowie in analoger Weise in 15 m, 9 m und 3 m Entfernung zum östlich gelegenen Gehölzstreifen (Luv-Seite). Zusätzlich wurde ein Windgeschwindigkeitssensor in der Mitte eines 96 m breiten Ackerfruchtstreifens installiert (Abb. 4). Auf den Gehölzstreifen im Bereich der im Agroforstsystem befindlichen Anemometer wachsen Pappeln, die im Winter 2014/2015 erstmalig beerntet wurden.

Die in dieser Studie vorgestellten Daten umfassen den Zeitraum Mitte April 2017 bis Mitte März 2018. In dieser Zeit hatten die Bäume eine mittlere Höhe von ca. 6 m.

3.3 Agroforstfläche Peickwitz

3.3.1 Beschreibung der Versuchsfläche

Das Agroforstsystem in Peickwitz (nahe Senftenberg, Südbrandenburg) wurde 2015 auf einer ca. 20 ha großen, konventionell ackerbaulich genutzten Fläche etabliert. Die Gehölzstreifen bestehen aus Pappel oder Robinie, sind Nord-Süd ausgerichtet und haben eine Länge von jeweils ca. 250 m. Die Breite der Gehölzstreifen (einschließlich eines beidseitigen Pufferstreifens von ca. 1,20 m) variiert von reichlich 12 m bis 24 m (5 bis 10 Einzelreihen). Der Abstand zwischen den Einzelreihen beträgt 2,70 m. Innerhalb einer Reihe variiert der Abstand zwischen zwei Bäumen je nach ange-dachter Umtriebszeit zwischen 0,50 m und 1,00 m. Die Umtriebszeit schwankt zwischen 4 und mehr als 10 Jahren. Nach 4 Jahren erreichen die Gehölze eine mittlere Höhe von etwa 5 m. Die Abstände zwischen den Gehölzstreifen (und damit die Ackerbreiten) variieren zwischen 60 m und 200 m. Für die hier vorgestellten Resultate waren lediglich die kleineren Abstände relevant, da vorhergehende Studien gezeigt haben, dass bei den vergleichsweise niedrigen Kurzumtriebsgehölzen die windbremsende Wirkung bei Abständen größer 100 m deutlich nachlässt. Als Freiflächenreferenz wurde ein benachbarter, gehölzfreier Ackerschlag genutzt, wengleich dieser aufgrund der Nähe zum angrenzenden Wald als Referenz nicht als optimal einzuschätzen ist. Andere, potentiell besser geeignete Nachbarflächen konnten jedoch wegen anderer Flächeneigentümer nicht für die Messungen genutzt werden. Die Abbildung 5 gibt einen Eindruck der Agroforstfläche wieder.



Abbildung 5: Agroforstfläche Peickwitz

3.3.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum

Auf der Agroforstfläche Peickwitz wurden insgesamt 5 Windgeschwindigkeitssensoren (einschließlich der Referenzfläche) und ein Windrichtungssensor installiert (Abb. 6). Letzterer befindet sich auf dem Referenzstandort (R). Auf dem 100 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems erfolgte der Aufbau der anderen 4 Anemometer mit einem Abstand von 6 m, 12 m, 24 m und 48 m zum westlich gelegenen Gehölzstreifen. Letzterer repräsentiert folglich annähernd die Mitte des Ackerfruchtstreifens, während die anderen Windgeschwindigkeitsmesser auf der Lee-Seite stehen. Auf dem westlich gelegenen Gehölzstreifen (5-reihig) wurden Robinien und auf dem östlichen (9-reihig) Pappeln angebaut. Beide Gehölzstreifen wurden im Winter 2018/2019 erstmalig teilweise (Entnahme von ca. 60 % der Baumreihen) beerntet. Hierdurch konnte auch während des Erntejahres ein Windschutz gewährleistet werden.

Die in dieser Studie vorgestellten Daten umfassen den Zeitraum August 2018 bis Mitte April 2019. In dieser Zeit hatten die (nicht geernteten) Bäume eine mittlere Höhe von ca. 5 m.



Abbildung 6: Lage der Windsensoren auf der Agroforstfläche Peickwitz (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1, 2, 3 und 4 = Windgeschwindigkeitssensoren auf einem 60 m breiten Ackerkulturstreifen in 6 m, 12 m, 24 m und 48 m Abstand vom westlich gelegenen Gehölzstreifen; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

3.4 Grünlandfläche Peickwitz

3.4.1 Beschreibung der Versuchsfläche

Auf einer knapp 10 ha großen Grünlandfläche in Peickwitz (nahe Senftenberg, Südbrandenburg) wurden im Frühjahr 2016 zwei ca. 160 m lange Agroforstgehölzstreifen, die sich blockweise aus Schwarzerle, Pappel und Weide zusammensetzen, etabliert (Abb. 7). Die Gehölzstreifen sind Nordwest-Südost ausgerichtet, bestehen aus 8 Einzelreihen und haben eine Breite von etwa 21 m (einschließlich eines beidseitigen Pufferstreifens von ca. 1,20 m). Der Abstand zwischen den Einzelreihen beträgt 2,70 m und innerhalb einer Reihe zwischen zwei Bäumen 1,00 m. Als Umtriebszeit sind etwa 6 bis 10 Jahre angedacht. Der Grünlandbereich zwischen den Gehölzstreifen hat eine Breite von knapp 60 m. Im nördlicheren Gehölzstreifen wurden u.a. Pappel- und Weidenruten gesetzt, die jedoch vergleichsweise schlecht angewachsen sind, weshalb die Windschutzwirkung in diesem Bereich eingeschränkt ist. Östlich der Agroforstgehölzstreifen befindet sich eine an

einen Weg grenzende, lückige Baum-Strauchhecke, die ebenfalls zu den Windgeschwindigkeitsuntersuchungen herangezogen wurde. Die Bäume haben hier eine Höhe von bis zu 15 m, weisen aber keinen geschlossenen Kronenschlussgrad auf. Auch die Strauchschicht ist nicht durchgängig vorhanden. Als Freiflächenreferenz wurde der gehölzfreie Teil des Grünlandschlages genutzt.



Abbildung 7: Grünlandfläche Peickwitz kurz nach Etablierung der Agroforstgehölzstreifen

3.4.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum



Abbildung 8: Positionen der Windsensoren auf der Grünlandfläche Peickwitz (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1 = Anemometer auf einer 60 m breiten Grünlandfläche zwischen zwei Agroforstgehölzstreifen; 2, 3 und 4 = Windgeschwindigkeitssensoren östlich einer an einem Weg befindlichen Hecke im Abstand von 12 m, 24 m und 48 m zu dieser; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

Auf der Grünlandfläche Peickwitz wurden für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum insgesamt 5 Windgeschwindigkeitssensoren (einschließlich der Referenzfläche) und ein Windrichtungssensor installiert (Abb. 8). Letzterer befindet sich auf dem Referenzstandort (R). In der Mitte des 60 m breiten, zwischen den Gehölzstreifen befindlichen Grünlandbereichs erfolgte der Aufbau eines weiteren Anemometers. Die anderen drei Anemometer wurden östlich (Lee-Seite) der am Weg befindlichen Heckenstruktur mit einem Abstand von 12 m, 24 m und 48 m zu den Gehölzen aufgebaut (Abb. 8).

Die in dieser Studie vorgestellten Daten umfassen den Zeitraum Anfang August bis Anfang Oktober 2017, wobei die Windmessungen östlich der Hecke (Anemometer 2 bis 4) aus bewirtschaftungsbedingten Gründen nur von Mitte September bis Anfang Oktober 2017 erfolgen konnten.

3.5 Biehlen

3.5.1 Beschreibung der Versuchsfläche

In der Nähe der Ortschaft Biehlen (nahe Senftenberg, Südbrandenburg) wurde im Rahmen dieser Studie die Windschutzwirkung einer naturschutzfachlich als sehr hochwertig eingestuften Hecke (mdl. Mitt. NABU Brandenburg, Regionalverband Senftenberg), die zum Zeitpunkt der Untersuchungen ca. 20 Jahre alt war, beleuchtet (Abb. 9). In dieser sehr dicht gewachsenen, ca. 20 m breiten und Nord-Süd ausgerichteten Hecke befinden sich viele Baum- und Straucharten, wobei Letztere hauptsächlich in den Randbereichen gepflanzt wurden. Somit besitzt die Hecke einen stufenförmigen Aufbau, so dass deren Höhe auf beiden Seiten bis zur Mitte hin (ca. 8 m) zunimmt. Die Hecke befindet sich innerhalb einer großflächigen Agrarlandschaft und stellt hier ein wichtiges Struktur- bzw. Biotopverbundelement dar (Abb. 10).



Abbildung 9: Hecke am Standort Biehlen (Ostseite)

3.5.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum

Die Windmesser wurden östlich, also auf der windabgewandten Seite der Hecke, in 12 m, 24 m und 48 m Abstand installiert (Anemometer 1 bis 3; Abb. 10). Als Referenz (R) diente ein Anemometer, welches ca. 120 m westlich der Hecke errichtet wurde (Abb. 10). Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Mitte August 2015 bis Ende Februar 2016.



Abbildung 10: Lage der Windsensoren am Standort Biehlen (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1, 2 und 3 = Anemometer im Windschutzbereich einer naturschutzfachlich hochwertigen Hecke im Abstand von 12 m, 24 m und 48 m zu dieser; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

3.6 Lichtena

3.6.1 Beschreibung der Versuchsfläche

In der Nähe der Ortschaft Lichtena (Gemeinde Sonnewalde, Landkreis Elbe-Elster, Südbrandenburg) erfolgte die Untersuchung der Windschutzwirkung einer ca. 40 Jahre alten, weitestgehend einreihigen Pappelhecke. Diese Hecken wurden zumeist im Rahmen von Windschutzstreifenprogrammen der DDR angelegt und sind daher heute vor allem in den östlichen Bundesländern zahlreich vorzufinden. Mittlerweile sind viele dieser Hecken jedoch überaltert und weisen – wie auch die in dieser Studie untersuchte Baumhecke (Abb. 11) – größere Lücken auf. Bei Anlage mehrerer Hecken betrug die Entfernung zueinander in der Regel mehrere Hundert Meter und ist damit deutlich größer als es in Agroforstsystemen üblich ist. Auch die hier betrachtete Baumhecke ist von großen landwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben (Abb. 12). Sie erstreckt sich von Süd nach Nord, hat eine Breite von ca. 10 m und weist eine nicht flächig vorhandene Strauchschicht auf. Die Höhe der Pappeln beträgt etwa 25 m.



Abbildung 11: Hecke am Standort Lichtena (Ostseite)

3.6.2 Versuchsdesign und Untersuchungszeitraum



Abbildung 12: Lage der Windsensoren am Standort Lichtena (R = Freiflächenreferenz für Windgeschwindigkeit sowie Position des Windrichtungssensors; 1, 2, 3 und 4 = Anemometer im Windschutzbereich einer Pappelwindschutzhecke im Abstand von 12 m, 24 m, 48 m und 96 m zu dieser; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

Die Windmesser wurden östlich, also auf der windabgewandten Seite der Hecke, in 12 m, 24 m, 48 m und 96 m Abstand installiert (Anemometer 1 bis 4; Abb. 12). Als Referenz (R) diente ein Anemometer, welches ca. 200 m westlich der Hecke, ohne weitere Hindernisse in unmittelbarer

Umgebung, errichtet wurde (Abb. 12). Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Anfang Oktober 2017 bis Mitte April 2018.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1 Agroforstfläche Neu Sacro

Die Ergebnisse zeigen, dass die Agroforstgehölze sowohl bei einem Abstand der Gehölzstreifen von 48 m als auch bei 96 m die Windgeschwindigkeit effektiv reduziert haben. Während des einjährigen Untersuchungszeitraumes traten Windgeschwindigkeiten von > 8 m/s ausschließlich auf der Referenzfläche auf. Auch Windgeschwindigkeiten zwischen 6 und 8 m/s konnten durch das Agroforstsystem nahezu vollständig unterbunden werden (Tab. 1).

Tabelle 1: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers im Agroforstsystem (Messung auf 48 m breiten Ackerfruchtstreifen: 3W, 9W, 15W = Abstand in m zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite), 3O, 9O, 15O = Abstand in m zum östlich gelegenen Gehölzstreifen (Luv-Seite), 24 (M) = Mitte des 48 m breiten Ackerfruchtstreifens; 48 (M) = Mitte des 96 m breiten Ackerfruchtstreifens; Referenz = benachbarter, gehölzfreier Ackerschlag; Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018)

Windgeschwindigkeit (m/s)	48 m breiter Streifen							96 m breiter Streifen	Referenz
	3W	9W	15W*	24 (M)	15O*	9O	3O	48 (M)	
≤ 2	43940	43727	40537	44019	39514	41987	42011	42087	29867
$> 2 \leq 4$	3642	3831	2878	3542	3797	5509	5547	5313	13088
$> 4 \leq 6$	179	199	169	203	274	268	205	360	3727
$> 6 \leq 8$	4	8	5	1	4	1	2	5	913
> 8	0	0	0	0	0	0	0	0	170

*für Dezember 2017 liegen keine Messdaten vor

Die Windgeschwindigkeit (Referenzfläche) in Abhängigkeit der betrachteten Monate lässt erkennen, dass hohe und damit auch erosionsrelevante Windgeschwindigkeiten von > 4 m/s vornehmlich von September bis Januar auftraten, also größtenteils außerhalb der Vegetationsperiode (Tab. 2).

Tabelle 2: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz genutzten, gehölzfreien Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018)

Windgeschwindigkeit (m/s)	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März
≤ 2	876	3796	3224	3424	3209	2992	1910	2405	1699	1951	3002	1379
$> 2 \leq 4$	481	658	1059	1028	1168	969	1417	1476	1434	1487	852	1059
$> 4 \leq 6$	153	10	37	12	85	316	875	387	785	593	80	394
$> 6 \leq 8$	1	0	0	0	2	41	185	52	242	358	0	32
> 8	0	0	0	0	0	2	77	0	16	75	0	0

*für Dezember 2017 liegen z.T. größere Datenlücken vor

Die Abbildung 13 zeigt jedoch, dass die windbremsende Wirkung auch während des laubfreien Zustandes der Gehölzstreifen hoch war. Bei Betrachtung aller erhobenen Werte ist erkennbar, dass lediglich im Dezember die Windgeschwindigkeit an zwei Messstellen innerhalb des Agroforstsystems im monatlichen Mittel höher war als auf der Freifläche (Abb. 13a). Hierbei handelte es sich jedoch um niedrige Windgeschwindigkeiten (zumeist < 1 m/s), die auf der Agroforstfläche geringfügig überschritten wurden. Dies wird auch bei Betrachtung der Reduktion höherer Windgeschwindigkeiten deutlich (Abb. 13b, c). Oberhalb 2 m/s wurde die Windgeschwindigkeit auf dem 48 m breiten Ackerstreifen während des gesamten Untersuchungszeitraumes um mehr als 40 % vermindert, bei Windgeschwindigkeiten oberhalb 4 m/s betrug die Windreduktion sogar zumeist 50 %. Auf die Tatsache, dass die Windreduktion mit ansteigender Windgeschwindigkeit zunimmt, verwiesen bereits Böhm und Tsonkova (2018) auf der Basis ihrer Messungen.

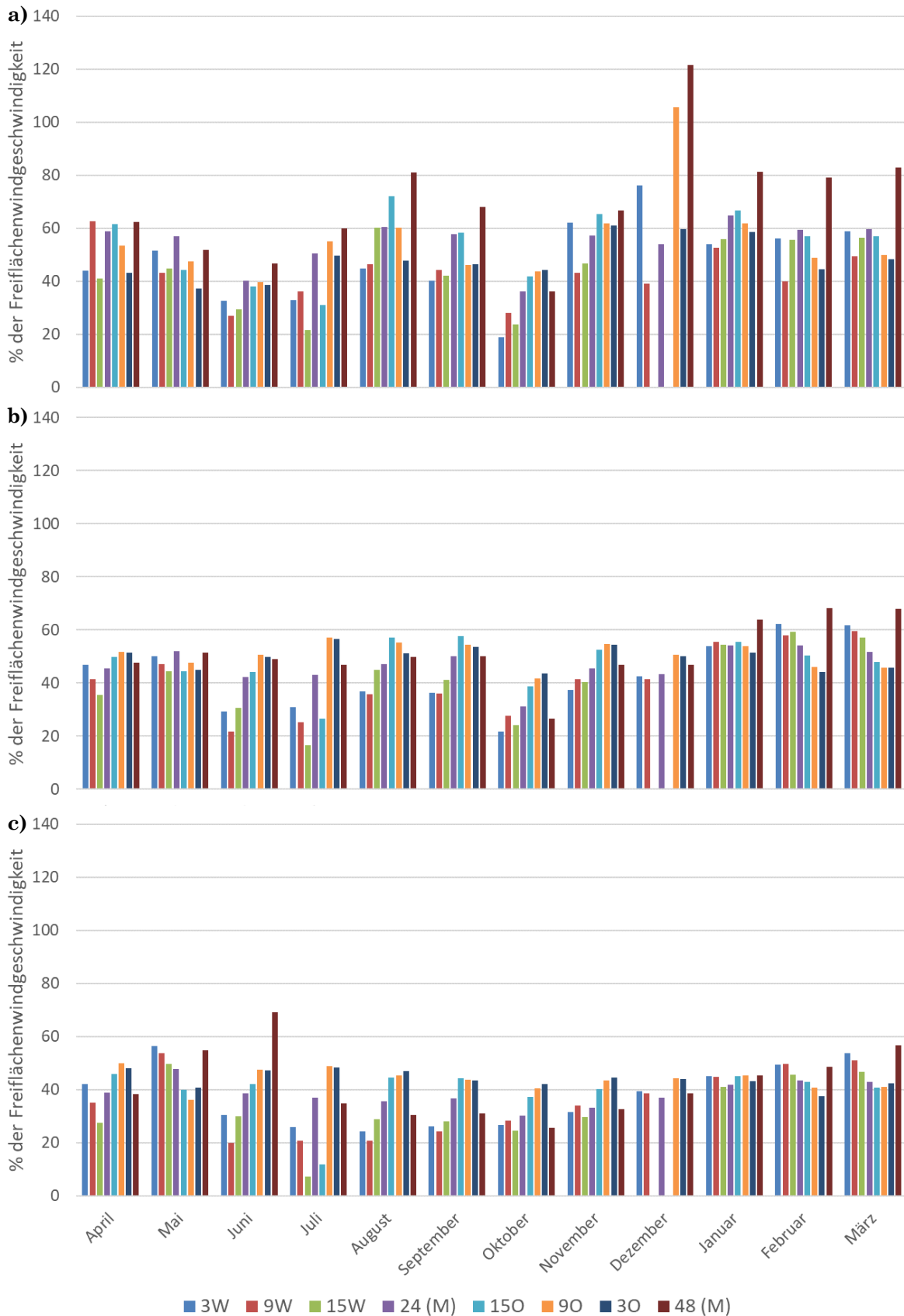


Abbildung 13: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers im Agroforstsystem bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; Messung auf 48 m breitem Ackerfruchtstreifen: 3W, 9W, 15W = Abstand in m zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite), 3O, 9O, 15O = Abstand in m zum östlich gelegenen Gehölzstreifen (Luv-Seite), 24 (M) = Mitte des 48 m breiten Ackerfruchtstreifens; 48 (M) = Mitte des 96 m breiten Ackerfruchtstreifens; Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018, für Dezember 2017 liegen für die Positionen 15W und 15O keine Daten vor)

Der Aspekt, dass durch im Kurzumtrieb bewirtschaftete Agroforstgehölzstreifen eine effektive Windschutzwirkung sowohl während der Vegetationsperiode als auch in den Wintermonaten gegeben ist, konnte bereits von Böhm et al. (2014a) deutlich gemacht werden. Die windbremsende Wirkung während der Herbst- und Wintermonate ist ausgesprochen wichtig, da gerade in dieser Zeit hohe Windgeschwindigkeiten auftreten und die Ackerkulturflächen zum Teil nicht oder nur spärlich mit Vegetation bedeckt sind. Zumindest für die an die Gehölzstreifen angrenzenden Ackerstreifen kann somit auch in den Wintermonaten ein effektiver Winderosionsschutz aufrechterhalten werden.

Die Windschutzwirkung war erwartungsgemäß bei kleinerem Gehölzstreifenabstand höher. Jedoch konnten auch bei knapp 100 m Abstand noch deutliche Reduktionseffekte nachgewiesen werden (Abb. 13). Innerhalb des 48 m breiten Ackerfruchtstreifens war die Reduktionswirkung mehrheitlich auf der Lee-Seite (also nahe des westlich gelegenen Gehölzstreifens) höher. Hier konnten Winde von > 4 m/s zum Teil um 90 % verringert werden. Auffallend ist dabei, dass die Windgeschwindigkeit in 9 und 15 m Entfernung zum westlich gelegenen Gehölzstreifen häufig – besonders in den Sommermonaten – stärker als in 3 m Entfernung gemindert werden konnte.

Bei Bildung des Mittelwertes aller im 48 m breiten Ackerfruchtstreifen erhobenen Winddaten, ergibt sich das in Abbildung 14 dargestellte Bild. Auch hier ist gut erkennbar, dass die Windschutzwirkung der im Kurzumtrieb bewirtschafteten Agroforstgehölzstreifen insbesondere bei hohen Windgeschwindigkeiten sehr stark ist. Treten beispielsweise erosionsrelevante Windereignisse von 5 m/s auf, so werden diese im Mittel um 55 % bis über 70 % reduziert. Die Windgeschwindigkeit innerhalb des Agroforstsystems würde folglich – je nach Jahreszeit – lediglich zwischen 2,2 und 1,8 m/s betragen und hätte für diesen Standort keine erosionsrelevante Wirkung mehr (vgl. auch Böhm et al. 2014b). Durch die Anlage eines Agroforstsystems wie auf der Untersuchungsfläche bei Neu Sacro ist es somit möglich, das Gefährdungspotential für Winderosion nahezu vollständig einzudämmen. Dieser Aspekt ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht von ausgesprochen großer Relevanz (z.B. Pimentel et al. 1995; Panagos et al. 2018).

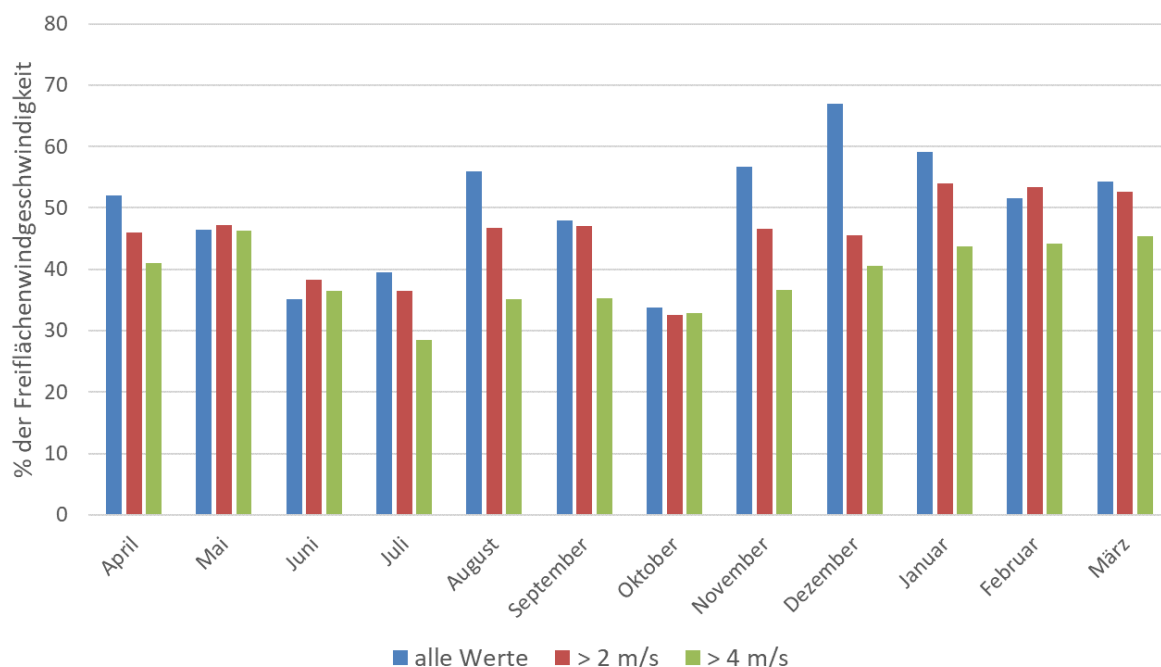


Abbildung 14: Reduktion der Windgeschwindigkeit auf einem 48 m breiten Ackerfruchtstreifen (Mittelwerte aus allen Anemometerpositionen) in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats (Messzeitraum = 20. April 2017 bis 20. März 2018, für Dezember 2017 liegen aufgrund technischer Probleme z.T. größere Datenlücken vor)

Einen großen Einfluss auf die Windreduktion hat ebenfalls die Windrichtung. Wie Abbildung 15 zeigt, wurden hauptsächlich Winde aus Südwest (insbesondere im Herbst und Winter) und Nordost

(vor allem im Frühjahr und Sommer) festgestellt. Die Nord-Süd-Ausrichtung der Agroforstgehölzstreifen kann daher als sehr effizient eingeschätzt werden.

Ein Vergleich der Abbildung 15 mit Tabelle 2 zeigt ferner, dass der Wind von Oktober bis Januar, wo gehäuft besonders hohe Windgeschwindigkeiten auftraten, schwerpunktmäßig aus West und vor allem Südwest wehte. Auch dies macht nochmals die Wichtigkeit der Ausrichtung der Agroforstgehölzstreifen entgegen der Hauptwindrichtung deutlich. Nord- und Südwinde, die in einem so ausgerichteten Agroforstsystem gegebenenfalls durch sogenannte Tunneleffekte zu höheren Windgeschwindigkeiten führen könnten, traten vornehmlich im Sommer auf und waren mehrheitlich von geringer Stärke (vgl. Tab. 2).

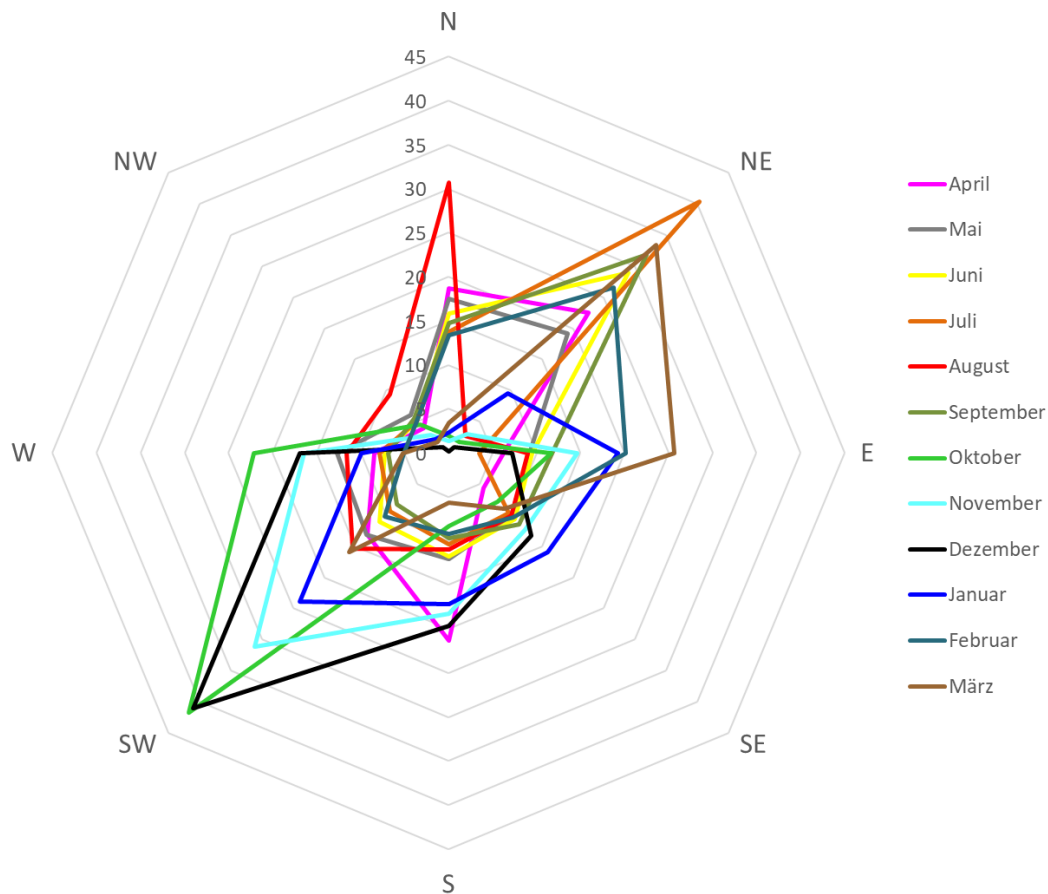


Abbildung 15: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 20. April 2017 bis 20. März 2018 (für Dezember 2017 liegen aufgrund technischer Probleme z.T. größere Datenlücken vor)

4.2 Agroforstfläche Peickwitz

Tabelle 3: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers im Agroforstsystem (6 m, 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Agroforstgehölze; Messzeitraum = 01. August 2018 bis 15. April 2019)

Windgeschwindigkeit (m/s)	Entfernung zum westlich gelegenen Gehölzstreifen				Referenz*
	6 m	12 m	24 m	48 m	
≤ 2	25009	25249	25233	22534	18408
> 2 ≤ 4	6188	6023	6033	8056	10443
> 4 ≤ 6	681	613	621	1184	2425
> 6 ≤ 8	80	80	78	176	602
> 8	16	9	9	24	96

*Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder

Auch auf der Agroforstfläche Peickwitz bewirkten die Agroforstgehölzstreifen eine deutliche Reduzierung der Windgeschwindigkeit. Tabelle 3 zeigt, dass zwischen zwei 100 m voneinander entfernten Gehölzstreifen deutlich weniger Windereignisse mit Geschwindigkeiten von > 2 m/s als auf der Referenzfläche auftraten.

Interessant ist hierbei, dass auf der Lee-Seite (also nahe des westlich gelegenen Gehölzstreifens) bis zu einer Entfernung von 24 m an den Anemometern eine sehr ähnliche den Wind bremsende Wirkung beobachtet werden konnte. Besonders ausgeprägt war dies bei Windgeschwindigkeiten oberhalb 4 m/s. In weiterer Entfernung, also ungefähr in der Mitte des Ackerfruchtstreifens (48 m), wurde der Wind in deutlich geringerem Maße reduziert. Dies zeigt, dass auf dieser Fläche geringere Abstände zwischen den Gehölzstreifen angeraten wären.

Besonders windreich waren die Monate Januar und März, wo 45 % der Windereignisse mit Geschwindigkeiten > 4 m/s auftraten (Tab. 4). Eher ungewöhnlich sind die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten im Herbstmonat November.

Tabelle 4: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz* genutzten Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 01. August 2018 bis 15. April 2019)

Windgeschwindigkeit (m/s)	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April
≤ 2	2606	2288	2205	2545	2088	1915	1675	1860	1226
$> 2 \leq 4$	908	987	1132	1004	1815	1648	820	1486	643
$> 4 \leq 6$	89	176	364	139	349	471	201	577	59
$> 6 \leq 8$	6	46	97	27	69	113	45	196	3
> 8	2	3	13	2	6	14	3	53	0

* Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder

In Analogie zur Agroforstfläche Neu Sacro (Abschnitt 4.1) zeigt Abbildung 15, dass die Reduktion der Windgeschwindigkeit mit zunehmender Windstärke relativ zunimmt. So betrug die Verringerung der Windgeschwindigkeit im Abstand bis zu 24 m im Mittel des Untersuchungszeitraumes knapp 30 %, 40 % und 53 % bei Berücksichtigung aller Geschwindigkeiten, > 2 m/s und > 4 m/s. Die Windreduktion in 48 m Entfernung war deutlich geringer und betrug analog dazu lediglich 16 %, 27 % und 41 %. Dieser Unterschied war am Ende des Untersuchungszeitraumes weniger deutlich ausgeprägt und teilweise sogar umgekehrt mit höheren Windgeschwindigkeiten in Gehölzstreifennähe.

Ab März nahm die Windschutzwirkung erkennbar ab. Die Ursache hierfür ist weniger auf die noch fehlende Belaubung, sondern vielmehr auf die Mitte Februar erfolgte Ernte eines Teiles der Gehölzstreifen zurückzuführen. So wurden auf dem westlich gelegenen Robinienstreifen drei der fünf Baumreihen, darunter beide Randreihen, geerntet. Auf dem östlichen Pappelstreifen erfolgte die Ernte der westlichen fünf von insgesamt neun Baumreihen. Auf der Lee-Seite führte die Ernte zum Teil sogar zu einer geringeren Windreduktion als in 48 m Entfernung zum Gehölzstreifen. Dennoch ist auch hier eine deutliche Reduktion der Windgeschwindigkeiten von > 2 m/s und insbesondere von > 4 m/s erkennbar. Ungünstig wirkte sich aus, dass der März 2019 ein ausgesprochen windreicher Monat war. Diese im Vorfeld nicht bekannte Größe kann bei der Erntepflege nicht berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, immer nur Teilernten durchzuführen. Eine vollständige Entnahme der Gehölzstreifen hätte für mehrere Monate zum Wegfall der Windschutzwirkung geführt. Um auch während der Erntephase von im Kurzumtrieb bewirtschafteten Agroforstgehölzstreifen eine möglichst hohe Windschutzwirkung aufrechtzuerhalten, sollten immer nur maximal 50 % der Baumreihen entnommen werden, wobei auch eine Randreihe, die im Allgemeinen eine stärkere Verastung bis in Bodennähe aufweist, stehen bleiben sollte. Hilfreich sind auch Randreihen aus niedrigen Bäumen und Sträuchern, die dauerhaft stehen bleiben.

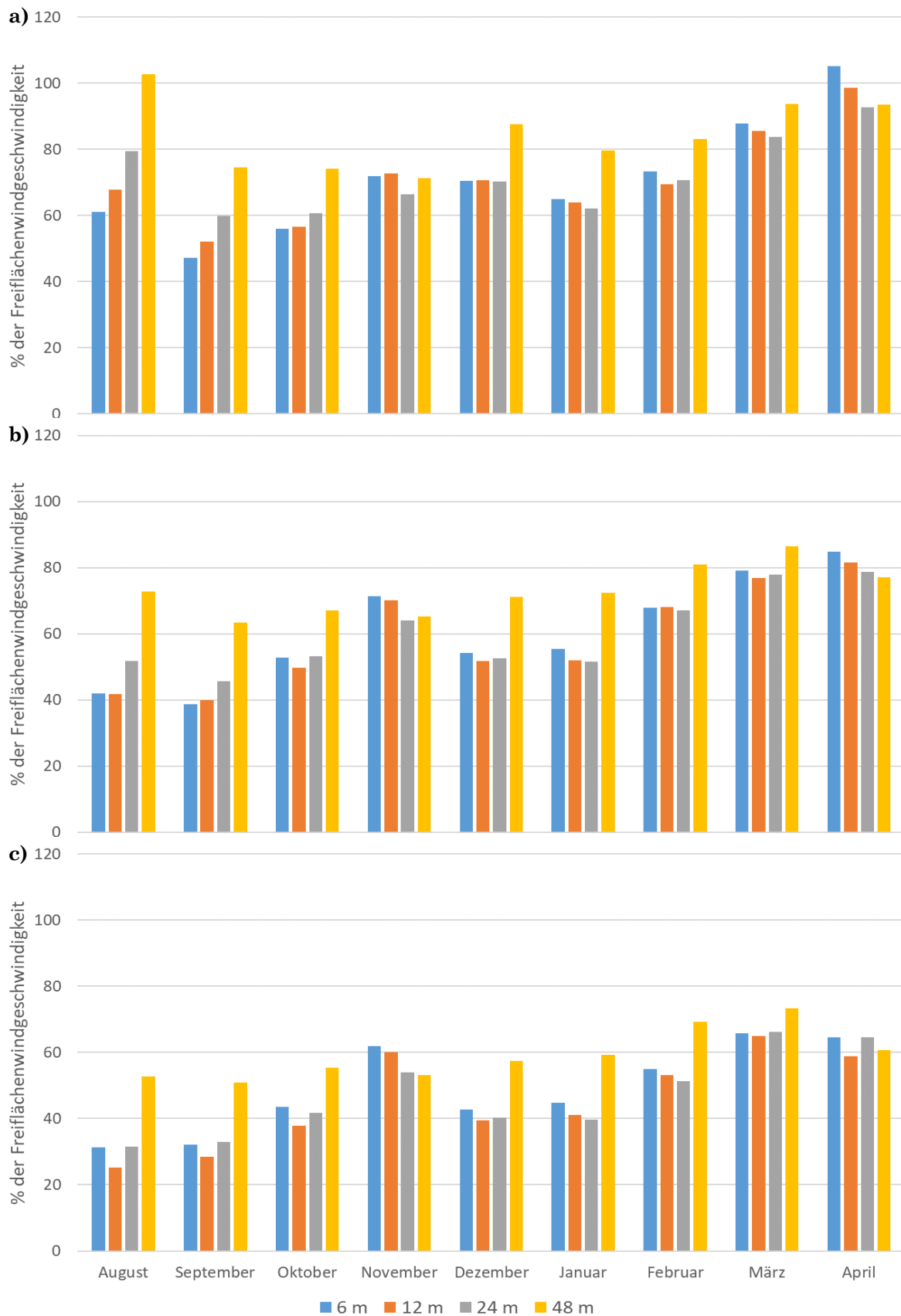


Abbildung 16: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers im Agroforstsystem bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 6 m, 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zum westlich gelegenen Gehölzstreifen (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Agroforstgehölze; Messzeitraum = 01. August 2018 bis 15. April 2019 2018; Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder)

Eine andere Möglichkeit, die bezüglich der Windschutzwirkung als sehr effektiv eingeschätzt werden kann, ist die Entnahme jedes zweiten, kompletten Gehölzstreifens bei höherer Gehölzstreifendichte. In diesem Fall können die Gehölzstreifen aus nur wenigen Reihen bestehen, sollten aber nicht weiter als 50 m voneinander entfernt sein.

In der Praxis muss der Landwirtschaftsbetrieb bei der Anlage und Bewirtschaftung eines Agroforstsystems jedoch auch auf Eigentumsgrenzen, Maschinenauslastung, Erntemengen sowie andere ökonomische und ökologische Belange achten. Daher kann es sein, dass eine durchgehend hohe Windschutzwirkung nicht in jedem Falle während der Erntephasen aufrechterhalten werden kann.

Die Abbildung 17 zeigt, dass auch auf der Agroforstfläche Peickwitz Winde aus West und Südwest vorherrschten. Darüber hinaus gab es im April vornehmlich Nordost- und im November Ostwinde. Durch die Nord-Süd-Ausrichtung der Agroforstgehölzstreifen konnte folglich auch hier der Wind besonders effektiv gebremst werden.

Ein Vergleich der Abbildungen 16 und 17 zeigt ferner, dass bei Ost- und Nordostwinden (insbesondere April und November) die Windgeschwindigkeit in der Nähe des westlich gelegenen Gehölzstreifens (6 m) weniger stark als im Bereich der Ackermitte reduziert wurde. Die Breite des Ackerfruchtbereiches von 100 m bewirkte also, dass die Windschutzwirkung in Richtung des westlichen Gehölzstreifens wieder abnahm. Ähnliches kann bei West- und Südwestwinden ebenso für die Luv-Seite des Ackerfruchtstreifens vermutet werden. Auch dies weist darauf hin, dass mit Blick auf einen großflächigen, effektiven Windschutz geringere Abstände zwischen den Gehölzstreifen anstrebenswert sind.

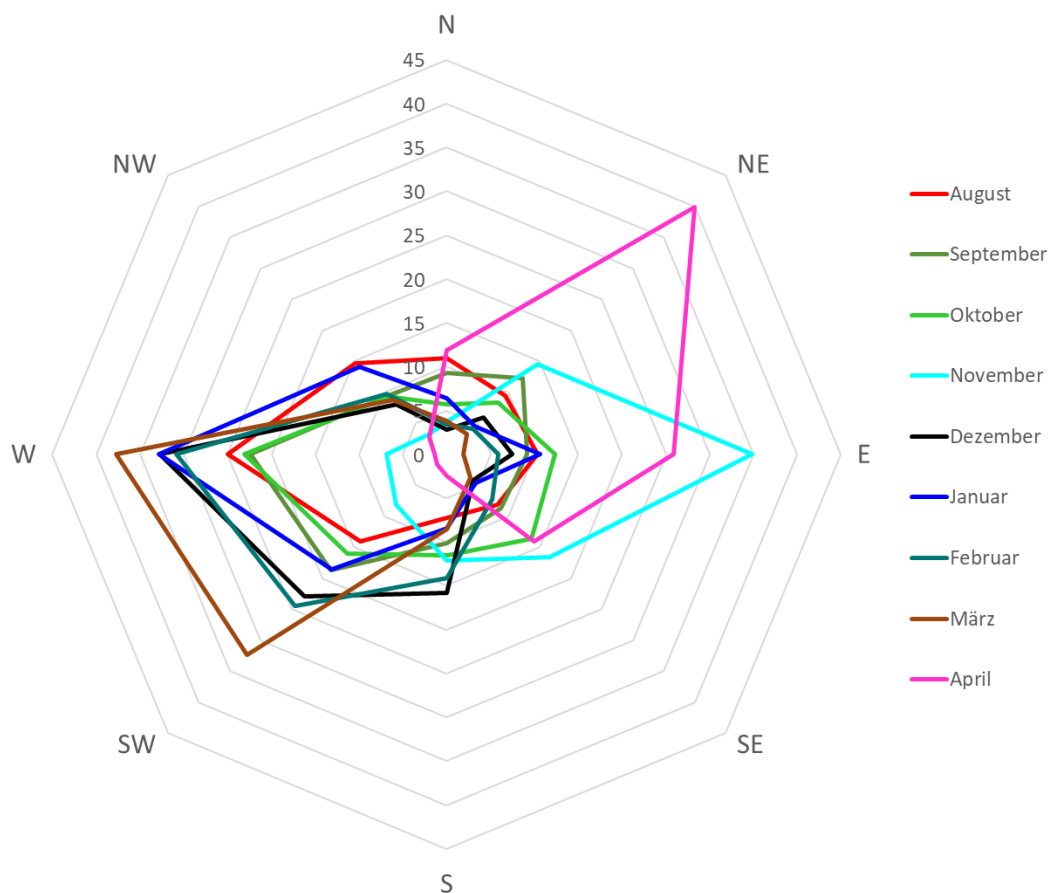


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 01. August 2018 bis 15. April 2019 2018

4.3 Grünlandfläche Peickwitz

Auf der Grünlandfläche Peickwitz soll zunächst die Windreduktion bei Nordwest-Südost-ausgerichteten Agroforstgehölzstreifen betrachtet werden. Obwohl diese nicht vollständig entgegen der Hauptwindrichtungen verlaufen, ist eine deutliche Windreduktion erkennbar (Tab. 5). Diese ist allerdings nicht so stark wie bei einer Nord-Süd-Ausrichtung der Gehölzstreifen ausgeprägt (vgl. Tab. 3 und 5), was auch durch Böhm et al. (2014a) beobachtet wurde. So stellten die Autoren bei einer Agroforstfläche mit unterschiedlich ausgerichteten Robinienstreifen im direkten Vergleich über einen Zeitraum von einem Jahr eine mittlere Verringerung der Windgeschwindigkeit von 45 % bei Nord-Süd-Ausrichtung und 26 % bei Ost-West-Verlauf fest. Auf der Grünlandfläche Peickwitz betrug die mittlere Windreduktion in etwa 18 % und war damit etwas niedriger als in der genannten Studie.

Tabelle 5: Linke Seite: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen (30 (M) = Mitte des 60 m breiten Grünlandstreifens zwischen zwei Nordwest-Südost-ausgerichteten Gehölzstreifen; Referenz = benachbarte Grünlandfläche ohne Agroforstgehölze); Rechte Seite: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz* genutzten Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum für beide Darstellungen = 08. August 2017 bis 05. Oktober 2017)

Windgeschwindigkeit (m/s)	30 (M)	Referenz*	August	September	Oktober
≤ 2	5729	5153	2192	2594	367
> 2 ≤ 4	825	1324	496	638	190
> 4 ≤ 6	54	118	26	80	12
> 6 ≤ 8	8	13	2	11	0
> 8	1	9	0	9	0

*Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder

Innerhalb des reichlich zwei Monate währenden Untersuchungszeitraumes traten die höchsten Windgeschwindigkeiten im Monat September auf (Tab. 5). Windgeschwindigkeiten von > 4 m/s wurden in diesem Monat weniger stark abgebremst als im August und Oktober (Abb. 18). Dennoch konnte auch hier mit ansteigender Windgeschwindigkeit eine zunehmende Windreduktion beobachtet werden.

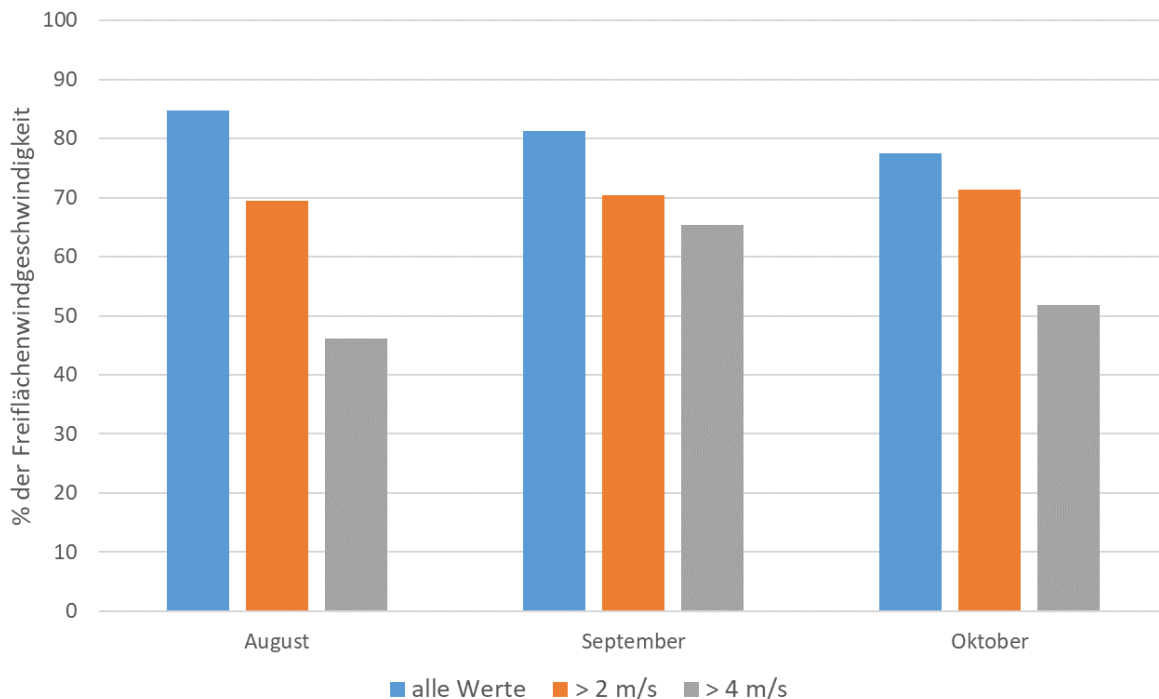


Abbildung 18: Reduktion der Windgeschwindigkeit in der Mitte eines 60 m breiten Grünlandstreifens in Bezug zur Freifläche (Referenz) und in Abhängigkeit der Höhe der Freiflächenwindgeschwindigkeit sowie des Monats (Messzeitraum jeweils = 08. August 2017 bis 05. Oktober 2017; Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder)

Bei Betrachtung der Windrichtung fällt auf, dass im September, aber auch im August die Westwinde weniger stark dominierten als im Oktober (Abb. 19). Bei häufigeren Winden aus West und vor allem auch aus Nordwest und Südost, wäre die Windreduktion im September möglicherweise noch geringer ausgefallen. Andererseits konnte im Oktober – bei hohem Anteil von Westwinden – ebenfalls eine deutliche Verringerung der Windgeschwindigkeit verzeichnet werden. Dies ist vermutlich auf die Nordwest-Südost-Ausrichtung zurückzuführen, durch die insbesondere auch die Winde aus südwestlicher Richtung effektiv abgemildert werden konnten. Prinzipiell ist jedoch auch bei einer reinen Ost-West-Ausrichtung mit einer Windreduktion zu rechnen (vgl. angeführte Studie von Böhm et al. 2014a), allerdings sollte bei Agroforstflächen, bei denen dem Windschutz eine zentrale Bedeutung beigemessen wird, versucht werden, die Agroforstgehölzstreifen möglichst in Nord-Süd-Richtung verlaufen zu lassen.

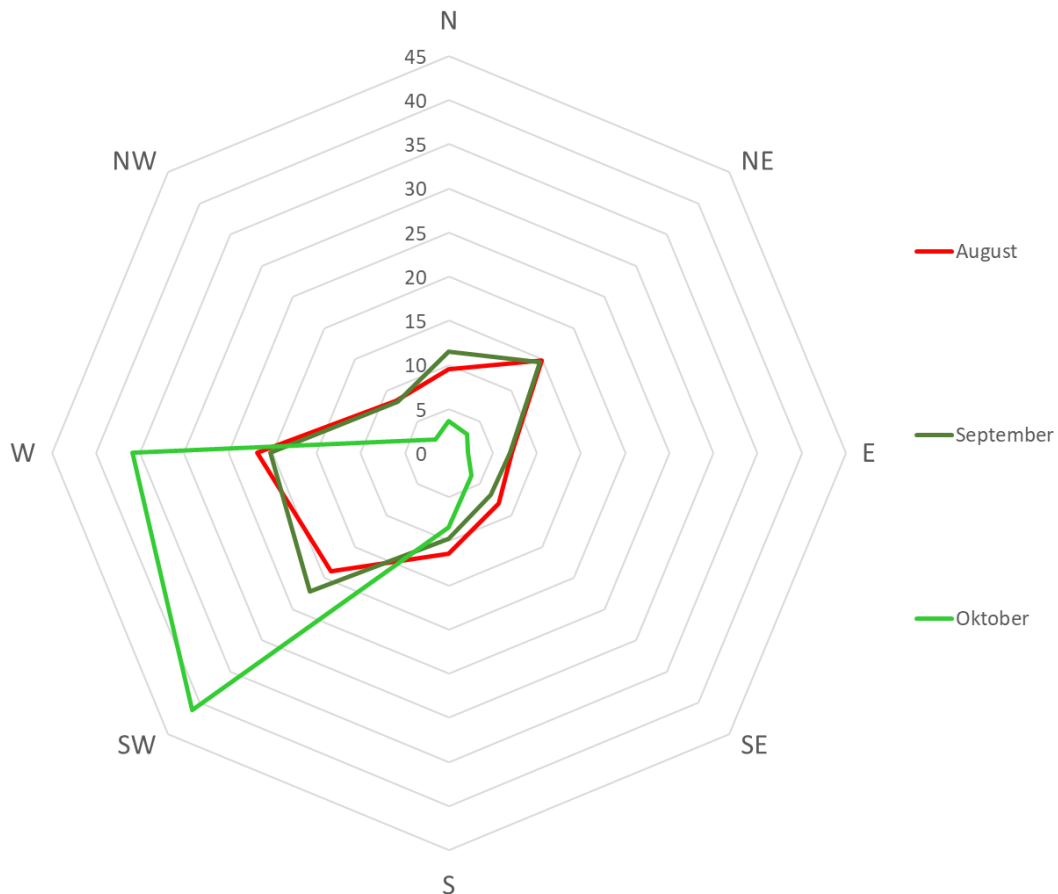


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 08. August 2017 bis 05. Oktober 2017

Am dem Grünland angrenzenden Heckenstreifen konnte auf der Lee-Seite ebenfalls eine Windreduktion festgestellt werden. Hier nahm die windbremsende Wirkung tendenziell mit wachsender Entfernung (12 m bis 48 m) zur Hecke zu (Abb. 20). Dieses Phänomen kann mit dem Aufbau der Hecke in Verbindung gebracht werden. So ist die Hecke – im Gegensatz zu den Kurzumtriebsstreifen der betrachteten Agroforstflächen – deutlich höher, dafür aber in Bodennähe lückiger und somit stärker durchlässig. Durch die größere Heckenhöhe ist die Reichweite der Windschutzwirkung allgemein höher (Böhm und Tsonkova 2018). Nahe der Hecke ist die Windschutzwirkung jedoch zu meist geringer, wobei in der Nähe von größeren Lücken Windgeschwindigkeiten auch verstärkt werden können.

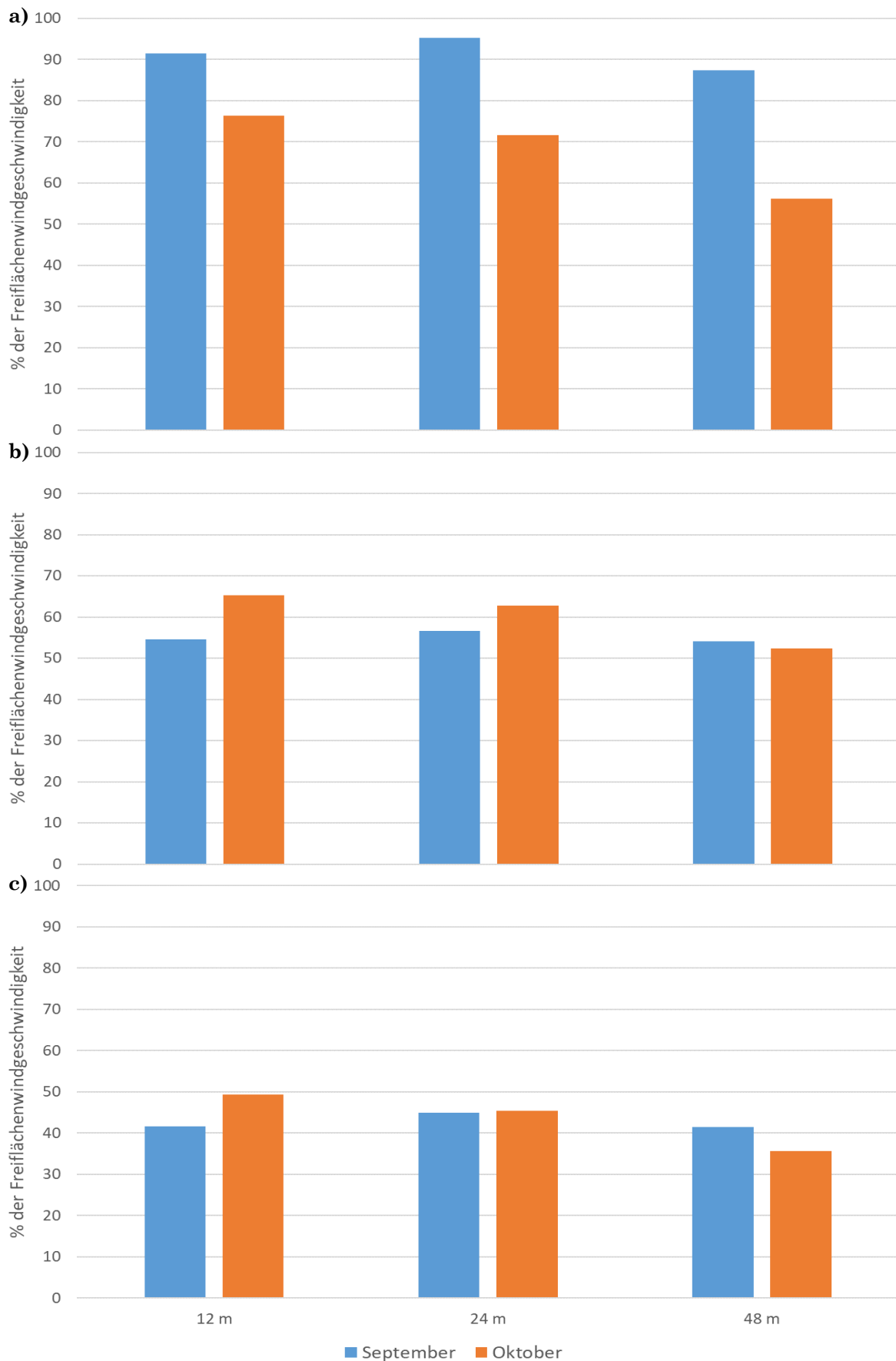


Abbildung 20: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers im Agroforstsystem bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 6 m, 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarte Grünlandfläche ohne Agroforstgehölze; Messzeitraum jeweils = 13. September 2017 bis 05. Oktober 2017; Lage der Referenzstation war nicht optimal und gibt nicht vollständig die Freiflächenwindgeschwindigkeit wieder)

Die Windreduktion durch diese in Nord-Süd-Richtung verlaufende Hecke war insgesamt größer als im Bereich des zuvor betrachteten Grünlandstreifens (vgl. Abb. 20 und 18), aber – bezogen auf die Monate September und Oktober – tendenziell schwächer als innerhalb des ebenfalls Nord-Süd-ausgerichteten Agroforstsystems (vgl. Abb. 20 und 16). Ein direkter Vergleich ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Messzeiträume nur bedingt möglich. So war beispielsweise die Windgeschwindigkeit im September und Oktober 2018 (Messung im Agroforstsystem Peickwitz) insgesamt höher als im Jahr zuvor (Messung an Hecke der Grünlandfläche Peickwitz). Zudem erfolgten die Windmessungen an der Hecke nur über einen vergleichsweise sehr kurzen Zeitraum.

4.4 Biehlen

Die artenreiche Windschutzhecke nahe der Ortschaft Biehlen bewirkte eine starke Reduktion der Windgeschwindigkeit. Windereignisse von > 6 m/s konnten auf der Lee-Seite fast vollständig verhindert werden. Aber auch Windgeschwindigkeiten von $> 4 \leq 6$ m/s traten bis in eine Entfernung von 48 m nur noch in einem erheblich geringeren Umfang auf (Tab. 6).

Tabelle 6: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke (12 m, 24 m und 48 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Gehölze; Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016)

Windgeschwindigkeit (m/s)	Entfernung zur westlich gelegenen Hecke			Referenz
	12 m**	24 m*	48 m*	
≤ 2	18606	23059	21923	15497
$> 2 \leq 4$	2079	2044	3080	6564
$> 4 \leq 6$	142	169	261	2244
$> 6 \leq 8$	10	16	22	799
> 8	1	0	2	184

*vom 02. bis 13. Oktober liegen keine Daten vor

**vom 02. Oktober bis 13. November liegen keine Daten vor

Bei Betrachtung der einzelnen untersuchten Monate fällt auf, dass hohe Windgeschwindigkeiten (Referenzfläche) vor allem im November und Februar, aber auch im Dezember und Januar zu verzeichnen waren (Tab. 7).

Tabelle 7: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz genutzten, gehölzfreien Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016)

Windgeschwindigkeit (m/s)	August	September	Oktober*	November	Dezember	Januar	Februar
≤ 2	1225	3350	2233	2007	2438	2809	1435
$> 2 \leq 4$	228	799	570	1262	1423	1125	1157
$> 4 \leq 6$	31	139	43	687	430	414	500
$> 6 \leq 8$	9	29	1	280	147	104	229
> 8	2	2	0	84	26	12	58

*vom 02. bis 13. Oktober liegen keine Daten vor

In diesen Monaten konnte eine starke Reduktion, insbesondere von hohen Windgeschwindigkeiten, festgestellt werden (Abb. 21). Dies ist ein deutliches Indiz dafür, dass die betrachtete Hecke, die sich bis in Bodennähe infolge einer ausgeprägten Strauchschicht durch eine hohe Vegetationsdichte auszeichnet und ein zur Heckenmitte hin ansteigendes, den Luftstrom ableitendes Höhenprofil aufweist, einen sehr effizienten Windschutz darstellt. Dies gilt – analog zu den Agroforstsystemen – auch für die Herbst- und Wintermonate, in denen die Hecke aufgrund des fehlenden Laubes allgemein winddurchlässiger ist.

Die Windschutzwirkung war bei Westwinden, die vor allem in den Herbst- und Wintermonaten dominierten (Abb. 23), am deutlichsten ausgeprägt. Windgeschwindigkeiten von > 2 m/s wurden in dieser Zeit zwischen 60 % und 70 % reduziert, wobei in 48 m Entfernung die Windschutzwirkung allgemein etwas geringer war (Abb. 21b). Oberhalb von 4 m/s betrug die Windminderung im Vergleich zur Freifläche größtenteils über 70 %.

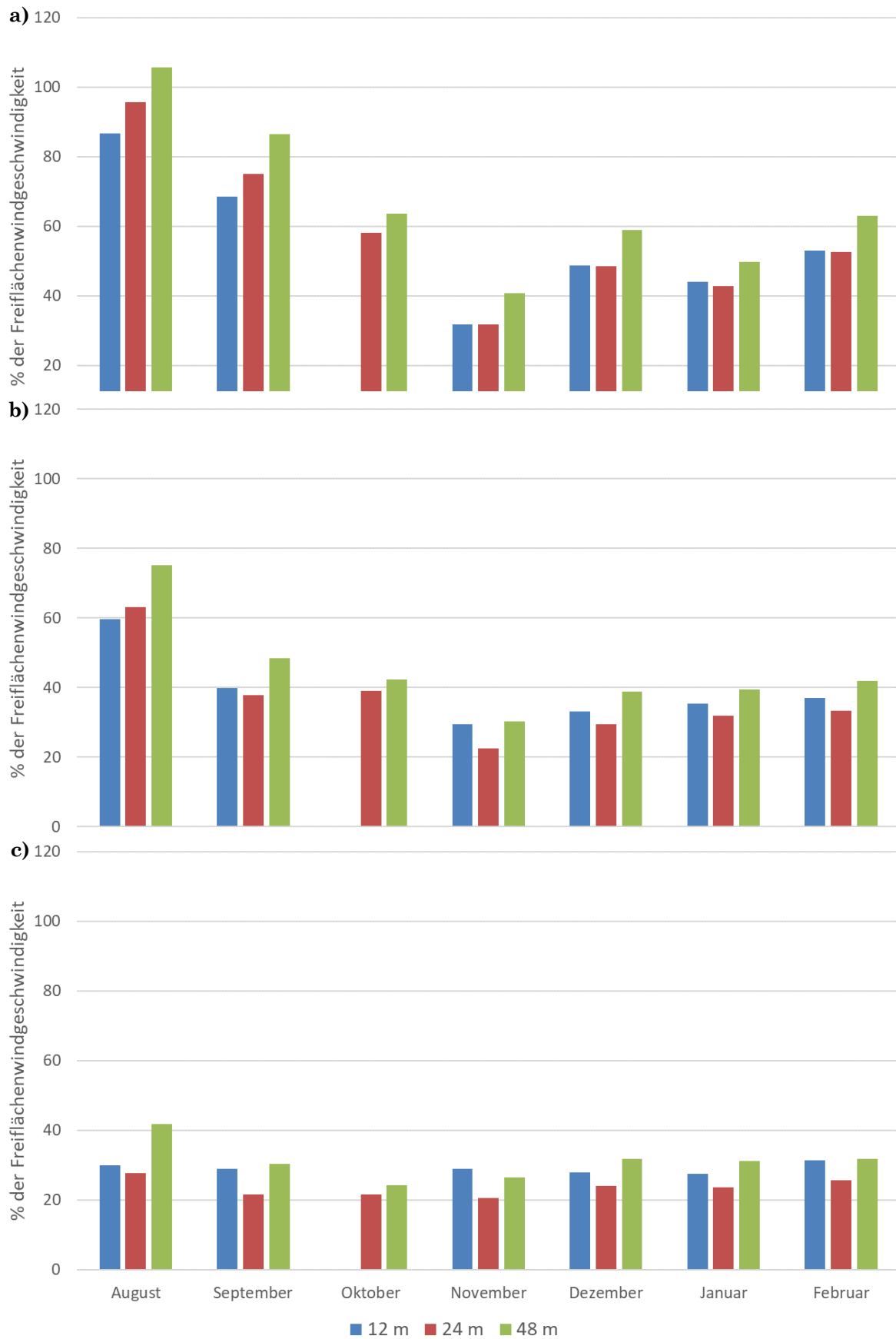


Abbildung 21: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 12 m, 24 m und 48 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarte Ackerfläche ohne Gehölze; Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016; vom 02. bis 13. Oktober liegen keine Daten vor, vom 02. Oktober bis 13. November liegen zudem keine Daten für das Anemometer in 12 m Entfernung vor)

Besonders stark wurden die hohen Windgeschwindigkeiten in einer Entfernung von 24 m verringert (Abb. 21c), also im Bereich des Dreifachen der Heckenhöhe. Nach Illner und Gandert (1956) ist auf der Lee-Seite im Bereich des Zweifachen der Gehölzhöhe mit der stärksten Windabschwächung zu rechnen. Bei stärker durchlässigen Gehölzstreifen tritt hingegen nach Nuberg (1998) der stärkste Windschutzeffekt auf der windabgewandten Seite zwischen dem Vier- und Zwölffachen der Heckenhöhe auf. Im vorliegenden Fall scheint die stärkste Windschutzwirkung bei weniger als 40 m vorzuliegen, wobei auch noch bei 48 m ein nennenswerter Windschutz erkennbar war. Ab welcher Entfernung die Windschutzwirkung wieder deutlich abnahm und inwieweit die Windschutzwirkung auch auf der Luv-Seite bestand, kann anhand der vorliegenden Daten nicht spezifiziert werden. Illner und Gandert (1956) stellten im Luv-Bereich eine deutlich geringere (20 %) Windreduktion als auf der Lee-Seite (80 %) fest.

Bei Mittelwertbildung der unterschiedlichen Entfernungen von der Hecke ist erkennbar, dass Windgeschwindigkeiten von > 2 m/s bzw. > 4 m/s bis zu einer Entfernung von 48 m im Mittel um 60 % bzw. 72 % reduziert wurden (Abb. 22). Dies ist etwas höher als im 48 m breiten Ackerfruchtstreifen der Agroforstfläche Neu Sacro, wo unter Einbeziehung aller hier befindlichen Anemometer die mittlere Windreduktion 55 % bzw. 61 % betrug und deren Gehölze etwas niedriger als die Hecke in Biehlen waren (vgl. Abb. 22 und 14). Die Begrenzung des Vergleichs auf die in Biehlen betrachteten Monate August bis Februar führt bei der Agroforstfläche Neu Sacro dabei nur zu marginalen Änderungen. Auf der Agroforstfläche Peickwitz ergab sich von August bis Januar (vor der partiellen Holzernte im Februar) für die benannten Windgeschwindigkeitsgrenzen ebenfalls eine geringere Windreduktion von durchschnittlich 43 % bzw. 66 % (das Anemometer in 6 m Entfernung wurde bei der Mittelwertbildung nicht einbezogen). Anhand der Messwerte ist auf der Lee-Seite der durch höhere Bäume gekennzeichneten Hecke in Biehlen somit eine etwas höhere Windschutzwirkung ableitbar. Allerdings ist bei den Agroforstflächen aufgrund der regelmäßig aufeinanderfolgenden Gehölzstreifen von einem auf die gesamte Agrarfläche bezogenen wirksameren Windschutz auszugehen. An dieser Stelle sei nochmals darauf verwiesen, dass ein direkter Datenvergleich aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsjahre nur unter entsprechendem Vorbehalt erfolgen sollte.

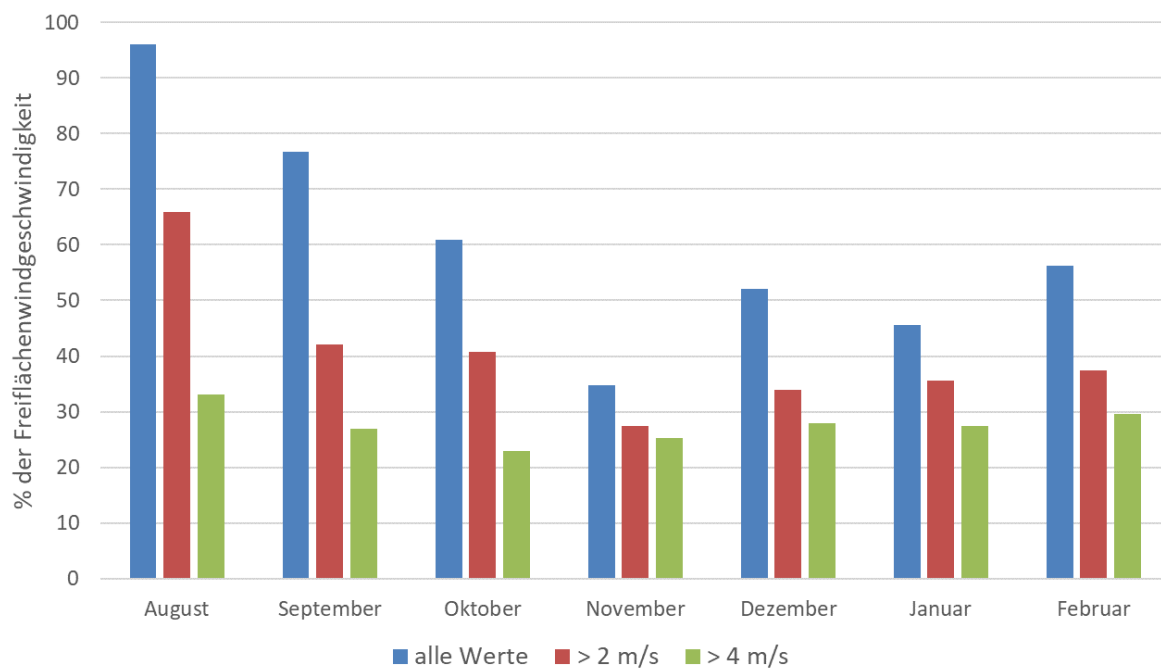


Abbildung 22: Reduktion der Windgeschwindigkeit auf der Lee-Seite einer Hecke (Mittelwerte aus allen Anemometerpositionen) in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats (Messzeitraum = 21. August 2015 bis 24. Februar 2016; vom 02. bis 13. Oktober liegen keine Daten vor, vom 02. Oktober bis 13. November liegen zudem keine Daten für das Anemometer in 12 m Entfernung vor)

Die vorherrschende Windrichtung war West. Weitere häufig auftretende Windrichtungen waren Südwest, Ost und Nordost. Letztere trat vornehmlich während August auf (Abb. 23). In dieser Zeit ist die Windreduktion schwächer ausgeprägt (Abb. 22). Aufgrund der sich sowohl luv- als auch leeseitig der Hecke anschließenden großräumigen, gehölzfreien Ackerflächen ist anzunehmen, dass in Jahren mit häufigeren Nord- und Südwinden die Windschutzwirkung stark beeinträchtigt wird. Auch diesbezüglich ist ein höherer Heckenanteil in der Agrarlandschaft als positiv anzusehen.

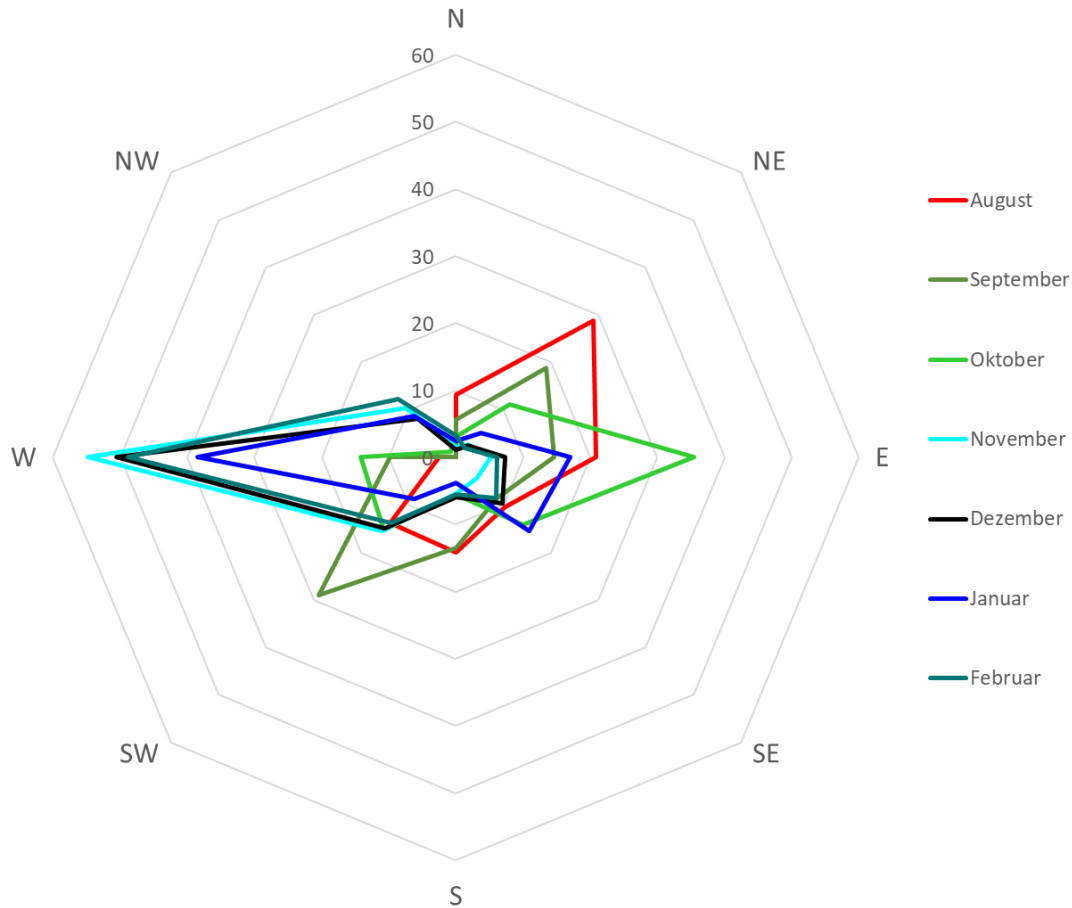


Abbildung 23: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 21. August 2015 bis 24. Februar 2016

4.5 Lichtena

Die bereits ältere Pappelwindschutzhecke nahe der Ortschaft Lichtena bewirkte auf der Lee-Seite ebenfalls eine deutliche Windreduktion. Im Vergleich zur Hecke in Biehlen (Abschnitt 4.4.) war die Schutzwirkung jedoch etwas weniger stark ausgeprägt (vgl. Tab. 8 und 6). Auch der Entfernungsgradient (abnehmender Windschutz von 12 m zu 96 m) ist in Lichtena deutlicher sichtbar als in Biehlen, wo für die Entfernung von 96 m kein Anemometer zur Verfügung stand.

Tabelle 8: Anzahl von Windereignissen in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke (12 m, 24 m, 48 m und 96 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarter Ackerschlag ohne Gehölze; Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018)

Windgeschwindigkeit (m/s)	Entfernung zur westlich gelegenen Hecke				Referenz
	12 m**	24 m	48 m	96 m	
≤ 2	22282	21642	20446	18481	14601
> 2 ≤ 4	4820	5282	6335	7748	8852
> 4 ≤ 6	790	940	1044	1500	3302
> 6 ≤ 8	166	187	219	291	1064
> 8	17	24	31	55	256

Hohe Windgeschwindigkeiten (Referenzfläche) traten auf dieser Fläche vor allem im Oktober, Dezember und Januar auf (Tab. 9). Insbesondere der Monat März war hingegen durch sehr geringe Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet.

Tabelle 9: Anzahl von Windereignissen auf dem als Referenz genutzten, gehölzfreien Ackerschlag in Abhängigkeit unterschiedlicher Windgeschwindigkeitsklassen und des Monats (Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018)

Windgeschwindigkeit (m/s)	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April
≤ 2	1714	2183	1758	2014	3004	2330	1598
> 2 ≤ 4	1250	1568	1576	1432	869	1461	696
> 4 ≤ 6	521	467	769	641	143	533	228
> 6 ≤ 8	195	92	310	259	15	127	66
> 8	64	9	51	116	0	12	4

In Abbildung 24 ist zu erkennen, dass die Windreduktion auch auf dieser Fläche mit steigender Windgeschwindigkeit allgemein zunimmt. In allen Monaten des Untersuchungszeitraumes ist ein klarer Trend sichtbar, dass die Windschutzwirkung mit zunehmender Entfernung zur Hecke abnimmt. Während dies bis 48 m nur schwach ausgeprägt ist, sinkt der Windschutz bis in 96 m Entfernung deutlich. Ein diesbezüglicher Vergleich mit der Biehlerer Fläche ist zwar nicht möglich, jedoch stärken diese Ergebnisse die Vermutung, dass ab einer Entfernung von 48 m auch in Biehlen die Windschutzwirkung stärker nachlässt. Bemerkenswert ist, dass die in Abschnitt 4.4. erwähnten Literaturangaben bezüglich des Zusammenhangs von Heckenhöhe und Windschutzwirkung hier nicht zuzutreffen scheinen. Demnach wäre die stärkste Windreduktion im Bereich des Drei- bis Vierfachen der Heckenhöhe zu erwarten. Dies wäre mit Bezug auf die ca. 25 m hohen Pappeln bei einer Entfernung von 75 m bis 100 m der Fall, also dort, wo die Messdaten eine Abnahme der Windschutzwirkung erkennen lassen. Ursächlich zusammenhängen könnte dies mit der im Messbereich vorhandenen Strauchschicht, die ähnlich wie die Kurzumtriebsstreifen der Agroforstsysteme bzw. die Hecke in Biehlen bis in Bodennähe für eine geringe Winddurchlässigkeit sorgt. Die großen Pappeln scheinen hingegen nur wenig Einfluss auf die Windschutzwirkung zu haben. Dies zeigt, dass sich insbesondere eine geschlossene Strauchschicht positiv auf die Verringerung der Windgeschwindigkeit auswirkt. Windschutzhecken mit großen, mehrere Meter voneinander entfernt stehenden Bäumen ohne Strauchschicht bewirken auf dem angrenzenden Ackerfruchtareal eine vergleichbar geringe Windreduktion. Gleiches dürfte für Agroforstsysteme gelten, bei denen zwischen einzelnen Bäumen (z.B. zur Wertholzproduktion) keine Sträucher oder kleinere Bäume gepflanzt werden. Allerdings ist hier im Regelfall die Gehölzstreifendichte deutlich höher als bei klassischen Windschutzstreifen.

Die Abbildung 24 zeigt ferner, dass die Windschutzwirkung – ungeachtet des Windgeschwindigkeitsniveaus – im Messzeitraum von Oktober bis März abnimmt. Ein Zusammenhang mit der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten oberhalb einer bestimmten Grenze (vgl. Tab. 8) lässt sich dabei nicht ableiten. Ebenso ist keine eindeutige Abhängigkeit von der Windrichtung erkennbar (Abb. 26). Zwar traten im Januar und besonders im März vermehrt Ostwinde auf, die im eigentlich windgeschützten Bereich aufgrund des fehlenden Schutzes einer weiteren Hecke zu höheren Windgeschwindigkeiten führten. In anderen Monaten, wie z.B. Februar, mit ebenfalls vergleichsweise geringer Windreduktion wurden jedoch kaum Ostwinde gemessen. Es ist daher anzunehmen, dass am Standort Lichtena die Windschutzwirkung hauptsächlich bei einem hohen Anteil starker Westwinde sehr hoch ist. Da Westwinde nach den Messdaten zu urteilen den höchsten Anteil haben (vgl. Abb. 26), besitzt auch diese Hecke ein nennenswertes Windschutzpotential. Dieses wird allerdings – ähnlich wie in Biehlen – durch die Tatsache geschmälert, dass in der Nähe keine weiteren Hecken existieren und somit nur ein geringer Windschutz bei Winden aus östlicher Richtung existiert. Deutlich wird dies auch in Abbildung 25c, wo die Windschutzwirkung im März bei Windgeschwindigkeiten von > 4 m/s, über den gesamten Meßtransekt gemittelt vergleichsweise gering war und die Windreduktion gerade einmal 20 % betrug.

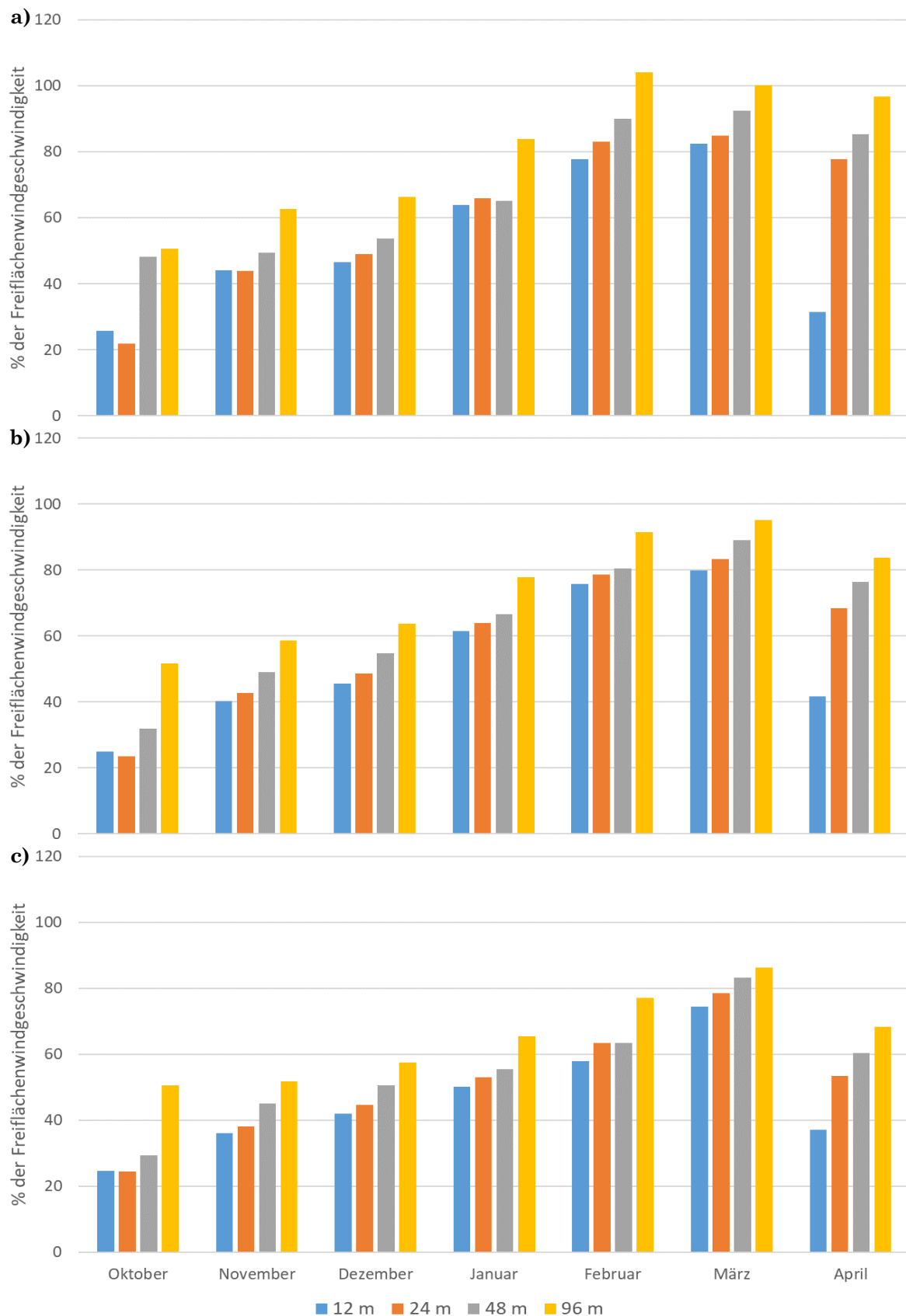


Abbildung 24: Reduktion der Windgeschwindigkeit in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats sowie der Position des Anemometers in Bezug zur Hecke bei Betrachtung **a)** aller erhobenen Werte, **b)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 2 m/s und **c)** einer Freiflächenwindgeschwindigkeit von > 4 m/s (Monatsmittelwerte; 12 m, 24 m, 48 m und 96 m = Abstand zur westlich gelegenen Hecke (Lee-Seite); Referenz = benachbarte Ackerfläche ohne Gehölze; Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018)

Ein Vergleich der Abbildungen 25 und 22 zeigt ferner, dass die Hecke in Biehlen einen effizienteren Windschutz bietet als die Hecke in Lichtena. Bezogen auf eine Entfernung von bis zu 48 m konnten

die Windgeschwindigkeiten von > 2 m/s bzw. > 4 m/s während der Untersuchungszeit in Biehlen um 60 % bzw. 72 % und in Lichtena (96 m nicht berücksichtigt) nur um 42 % bzw. 49 % verringert werden. Jedoch sei auch hier darauf hingewiesen, dass ein direkter Vergleich der unterschiedlichen Messzeiträume nicht uneingeschränkt möglich ist.

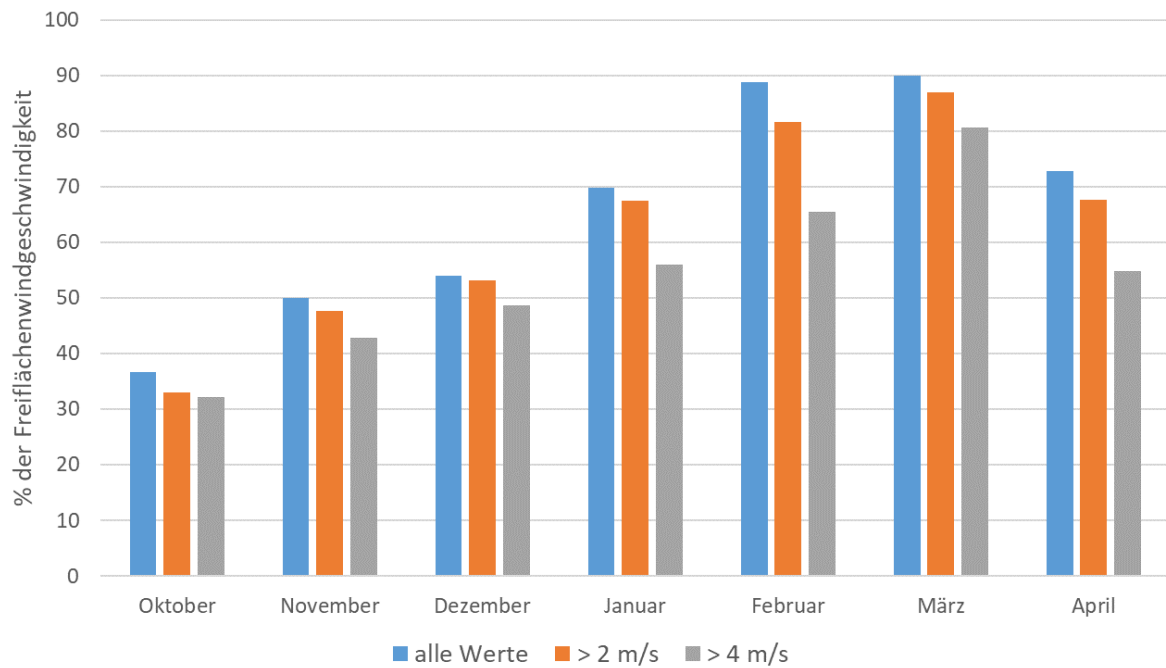


Abbildung 25: Windgeschwindigkeitsreduktion auf der Lee-Seite einer Hecke (Mittelwerte aus allen Anemometerpositionen) in Bezug zur Freifläche (Referenz) in Abhängigkeit des Monats (Messzeitraum = 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018)

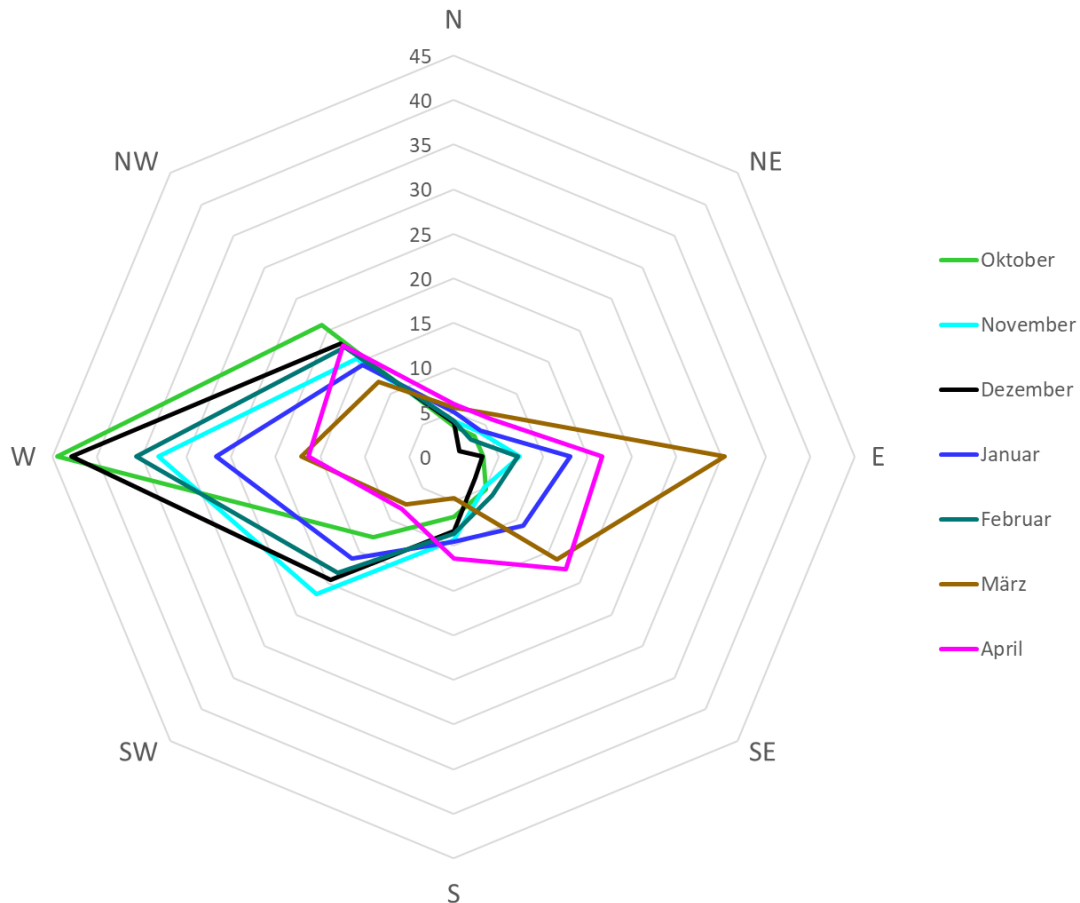


Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der Windrichtung in Abhängigkeit der Monate des Untersuchungszeitraumes 06. Oktober 2017 bis 18. April 2018

Wie bereits erwähnt, dominierten am Standort Lichtena Winde aus westlicher und östlicher Richtung. Von Oktober bis Dezember traten zudem häufiger Winde aus Nordwest und Südwest und im März und April aus Südost auf.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass lineare Gehölzstrukturen in der Agrarlandschaft die Windgeschwindigkeit effektiv reduzieren und insbesondere hohe Windgeschwindigkeiten erheblich gemindert werden können. Folglich leisten Hecken und Agroforstgehölze einen wesentlichen Beitrag für den Schutz des Bodens vor Winderosion und damit u.a. für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und führen gleichzeitig zu einer Verringerung der Austrocknung und somit zu einer Reduzierung der potentiellen Verdunstung, was mit Blick auf die Schaffung klimaresilienter Agrarräume von zentraler Bedeutung ist.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass Agroforstsysteme mit Kurzumtriebswirtschaft, selbst bei vergleichsweise geringen Baumhöhen, als sehr effiziente Windschutzmaßnahme angesehen werden können. Im Gegensatz zu vereinzelt auftretenden oder in großem Abstand zueinander stehenden Hecken kann mit Agroforstsystemen aufgrund der dicht aufeinanderfolgenden Gehölzstreifen ein großflächig wirkender Windschutz realisiert werden. Sowohl bei Hecken als auch bei Agroforstsystemen sollte für einen effektiven Windschutz auf eine vollständig ausgebildete Strauchschicht geachtet werden. Eine wichtige Rolle spielt zudem die Ausrichtung der Hecken und Agroforstgehölzstreifen. In dieser Studie waren diese allesamt Nord-Süd- oder Nordwest-Südostausgerichtet. Bei Ost-West-Ausrichtung ist allgemein von einer Abnahme der Windschutzwirkung auszugehen. Zudem ist der Einfluss der Gehölze auf die angrenzenden Ackerkulturen durch Beschattung, insbesondere auf der Nordseite der Gehölzstreifen, deutlich höher.

Die Anlage von Agroforstflächen ist keinesfalls als Alternative zu bestehenden Hecken zu betrachten, sondern kann vielmehr deren Schutzwirkung in Agrarräumen ergänzen bzw. – gerade bei geringen Heckendichten – die Windreduktion in der Agrarlandschaft signifikant verbessern.

LITERATUR

- Böhm C., Kanzler M., Freese D. (2014a): Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry Systems* 88, 579-591
- Böhm C., Kanzler M., Freese D. (2014b): Auswirkungen agroforstlicher Kurzumtriebswirtschaft auf das Bodenerosionspotential und den Kohlenstoffhaushalt südbrandenburgischer Ackerstandorte. In: Pekrun C., Wachendorf M., Francke-Weltmann L. (Hrsg.): *Technik der Pflanzenproduktion. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Tagungsband) 26*, 180-181
- Böhm C., Tsonkova P. (2018): Effekte des Agrarholzanbaus auf mikroklimatische Kenngrößen. In: Veste, M., Böhm, C. (Hrsg.): *Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft – Biologie, Ökologie, Management*. Springer, Berlin, Heidelberg, 335-389
- Brandle J.R., Hodges L., Zhou X.H. (2004): Windbreaks in north America agricultural systems. *Agroforestry Systems* 61, 65-78
- Cleugh H.A., Miller J.M., Böhm M. (1998) Direct mechanical effects of wind on crops. *Agroforestry Systems* 41 85-112
- Illner K., Gandert, K.-D. (1956): *Windschutzhecken. Anlage, Pflege, Nutzung*. Berlin. 148 S.

- Kanzler M., Böhm C., Mirck J., Schmitt D., Veste M. (2019): Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems* 93, 1821-1841
- Kurz P., Machatschek M., Iglhauser B. (2001): Hecken. Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung. Graz, Stuttgart. 440 S.
- Nuberg I.K. (1998): Effect of shelter on temperate crops: a review to define research for Australian conditions. *Agroforestry Systems* 41, 3-34
- Panagos P., Standardi G., Borrelli P., Lugato E., Montanarella L., Bosello F. (2018): Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation and Development* 29, 471-484
- Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo, P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R., Blair R. (1995): Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 117-1123