Einfluss einer Hecke auf das angrenzende Mikroklima und die Ertragswirksamkeit bei Sommergerste im ökologischen Landbau im Marchfeld der Vegetationsperiode 2016

Masterarbeit zur Erlangung des DI
an der Universität für Bodenkultur

Eingereicht von:
Michael Stahr, BSc

SS 2017

Betreuer: Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Josef Eitzinger
Univ.Ass. Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Gabriele Gollner

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich beim Verfassen meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Als erstes möchte ich mich bei meinen Betreuern Josef Eitzinger und Gabriele Gollner bedanken. Sie haben meine Begeisterung für dieses komplexe Thema während der langen Ausarbeitung aufrechterhalten und mit Ihrer Fachkenntnis viele offene Fragen beseitigt.

Weiter gilt ein Dank dem Team der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf, besonders Dana Fritzsche, für die Unterstützung bei den Probennahmen und Feldbesuchen.

Außerdem danke ich Thomas Strutz für die anfängliche Hilfestellung bei Excel-Problemen und Tobias Indermühle bei der Unterstützung der graphischen Ausführung der Versuchsanordnungen.

Als letztes noch ein wesentlicher Dank an meine Eltern, die mich während meiner gesamten Studienzeit finanziell und moralisch sehr unterstützt haben.

Zusammenfassung

Windschutzhecken wird ein positiver Effekt in der Senkung der Verdunstung und eine Ertragssteigerung von Feldfrüchten zugesprochen. Besonders in trockenen Regionen, in denen Wasser eine limitierende Ressource in der Landwirtschaft darstellt, kann diese Auswirkung eine besondere Rolle spielen. Im Rahmen der Masterarbeit wurde dazu ein Feldversuch auf den Versuchsflächen der BOKU in Raasdorf im Marchfeld durchgeführt. Untersucht wurde der Leebereich einer ca. 5m hohen Hecke in Ost-West-Exposition. Für die Erhebungen wurden in regelmäßig aufgereihten Abständen zur Hecke Messpunkte aufgebaut. Die Abstände sind folgend in Bezug auf die Höhe der Hecke angegeben (5m=1H). Hier wurden mikroklimatische Parameter, wie Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchte, Blattnässe, sowie Windstärke und Windrichtung erhoben. Die Messungen fanden von März bis Juli, sowie im September 2016 statt und wurden mit HOBO-Klimastationen sowie Ultraschall-Windmessern aufgenommen. Am Versuchsstandort wurde in diesem Jahr Sommergerste, ab August eine Zwischenfruchtmischung aus Ramtillkraut, Phacelia und Buchweizen angebaut. Die Pflanzen wurden regelmäßig in ihrer Entwicklung und Pflanzenhöhe begutachtet und die Ernte an den Messpunkten auf Trockengewicht, Bestandsdichte, Korngewicht, Strohgewicht und 1000-Kornmasse untersucht.

Im September wurde eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten bis zu einem Abstand von 4H der Hecke gemessen. Weiter konnte eine erhöhte Temperatur, sowie eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit in diesem geschützten Bereich nachgewiesen werden. Diese Effekte verstärkten sich erheblich an Tagen mit Windrichtung aus Nordwesten bis Norden. Das Pflanzenwachstum war sowohl bei der Sommergerste als auch bei der Zwischenfruchtmischung bis 2H erheblich gesteigert. Auch waren die gemessenen Trockenmassen der Ernte bis 4H gesteigert, mit Ausnahme eines Konkurrenzbereiches in Heckennähe bis 1H. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit vorangegangenen Untersuchungen auf einem benachbarten Standort im Rahmen des BOKU-Langzeitprojektes MUBIL.

Durch die Studie wird der Vorteil von Windschutzhecken durch verändertes Mikroklima und daraus folgendem gesteigerten Ertrag deutlich. Im Hinblick auf eine Klimaerwärmung und eine weitere Wasserlimitierung im Marchfeld in den nächsten Jahrzehnten könnten Neupflanzungen und geeignete Pflegemaßnahmen langfristig von entscheidender Bedeutung für die Landwirtschaft in dieser Region sein.

Abstract

Windbreaks are attributed with a positive effect on microclimate like a decrease of transpiration and an increase of yield in crop production. Especially in dry regions, where water is a limited resource for agriculture, these implications have a high relevance. In the framework of this master's thesis a field study on the test areas of the BOKU university in Raasdorf, at Marchfeld region has been carried out. The lee side of a hedgerow with around 5m high in east-west exposition has been examined. Both microclimate and agronomic measurement has been conducted. A transect of measurement points in increasing distances to the windbreak were arranged. The investigations took place from March to July and in September 2016. Microclimate parameter like air temperature, relative humidity, soil moisture, leaf wetness, as well as wind speed and wind direction has been measured with HOBO climate stations and ultrasonic anemometers. At the study area spring barley and a following intercrop mix of Ramtilla, Phacelia and Buckwheat has been cultivated in 2016. The plants have been surveyed regularly for their development and growth height through their vegetation. Further the harvest on the measurement points has been examined for dry mass, stand density, grain weight, straw weight and thousand seed weight.

A wind speed reduction until an area 4H away from the windbreak has been measured in September. Further an increased air temperature, as well as an increased relative humidity has been detected in the sheltered zone. These effects intensified considerable, when the wind came from a sector from Northwest to North. The plant growth was raised in an area till 2H, for spring barley as well as for the intercrop mixture. Also the measured dry masses of the harvest have been increased until 4H, with exception of a competition zone near the hedgerow until 1H distance. These results are comparable with former studies at a location directly nearby in the frame of the BOKU long term project MUBIL.

In this study the benefit of windbreaks through an altered microclimate and a following increased crop yield is pointed out. In consideration of a prospective temperature increase and a further water limitation in the Marchfeld region new plantings and appropriate tending strategies could be of vital importance for agriculture in the long term.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **VII**

Tabellenverzeichnis ..... **VIII**

Abkürzungs- und Einheitenverzeichnis ..... **IX**

1. Einleitung und Problemstellung **1**

1.1. Problemstellung 2

1.2. Zielsetzung der Arbeit und Forschungsfragen 2

2. Literaturanalyse **3**

2.1. Effekt von Hecken auf Windbewegungen 3

2.2. Effekt von Hecken auf weitere mikroklimatische Parameter 4

2.3. Einfluss auf die Ertragswirksamkeit 5

2.4. MUBIL 8

3. Material und Methoden **9**

3.1. Standortbeschreibung 9

3.1.1. Klima am Versuchsstandort 9

3.1.1.1. Wetterstation der ZAMG in Groß-Enzersdorf 9

3.1.1.2. BOKU-Wetterstation in Raasdorf 10

3.1.1.3. Klima im Versuchsjahr 2016 11

3.1.2. Versuchsfeld und angrenzende Hecken 13

3.2. Versuchsaufbau 14

3.2.1. Klimaerhebungen vom 08.03.-06.07.2016 15

3.2.2. Wind- und Klimaerhebungen vom 24.08.-25.09.2016 16

3.3. Ernteerhebungen 17

3.4. Datenanalyse 17

4. Resultate **19**

4.1. Effekt auf Windgeschwindigkeit 19

4.2. Effekt auf Lufttemperatur 21

4.3. Effekt auf Boden- und Luftfeuchtigkeit 23

4.4. Auswirkung auf Ertragsparameter 27

5. Diskussion 32

6. Conclusio 36

7. Literaturverzeichnis 37

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Windrichtung im vieljährigen Mittel der ZAMG von 1971-2000 10

Abb.2: Vergleich von Niederschlags- und Temperaturverlauf in Raasdorf 2016 mit dem ZAMG-Mittel.....12

Abb.3: Vergleich der Windstärken in Groß-Enzersdorf von 1981-2010 mit dem Jahr 2016 in Raasdorf.....13

Abb.4: Luftbild der Versuchsflächen in Raasdorf mit vorherrschenden Windrichtungen 2016 gemessen in Groß-Enzersdorf, die Windschutzhecke an der Nordseite und der untersuchte Feldabschnitt im Schlag 2 sind orange markiert (Quelle: bing maps mit eigener Bearbeitung) 14

Abb.5: Versuchsanordnung vom 08.03.-06.07.2016.....15

Abb.6: Versuchsanordnung vom 24.08.-25.09.2016.....16

Abb.7: Gemessene Ø Windgeschwindigkeiten vom 24.08.-25.09.2016 gesamt und an Tagen mit einer Windrichtung über 280°.....19

Abb.8: Gemessene Ø maximale Windgeschwindigkeiten vom 24.08.-25.09.2016 gesamt und an Tagen mit einer Windrichtung über 280°.....20

Abb. 9: Tagesverlauf vom 24.08.2016-25.09.2016 der gemessenen Ø Windgeschwindigkeiten und Ø Windrichtung.....20

Abb.10: Mittlere max. Tagestemperaturen vom 08.03.-06.07.2016 21

Abb.11: Ø Max. Temperaturen vom 24.08.-25.09.2016 in 1H und 8H Abstand, jeweils 30cm und 180cm über dem Boden; insgesamter Durchschnitt und an Tagen mit einer Windrichtung über 280° 22

Abb.12: Tagesverlauf vom 24.08.-25.09.2016 der Ø Tagestemperaturen in 30cm und 180cm Höhe mit Ø Windrichtung 23

Abb.13: Vergleich der Ø relativen Luftfeuchtigkeit (rH) in Volumenprozent vom 30.04.-06.07.2016 24

Abb.14: Relative Luftfeuchtigkeit (rH) vom 24.08.-25.09.2016 in 1H und 8H Abstand, jeweils in 30cm und 180cm Höhe über dem Boden.....24

Abb.15: Vergleich der mittleren Bodenfeuchtigkeit vom 30.04.-06.07.2016 25

Abb.16: Bodenwassergehalt und frei verfügbarer Stickstoff Nmin in den Bodenproben vom 31.05.2016 26

Abb.17: Ø Pflanzenhöhe bei Sommergerste im Laufe der Entwicklung im Juni 2016 27

Abb.18: Trockengewicht und Bestandsdichte je m² der Feldproben der Ernte vom 10.07.2016 28

Abb.19: Trockenmasse der Gerstenkörner, sowie des Gerstenstrohs je m² der Ernte vom 10.07.2016 28

Abb.20: Korn/Strohverhältnis und 1000-Korngewicht der Feldproben vom 10.07.2016 29

Abb.21: Proteingehalt der Gerstenkörner in % der Feldproben vom 10.07.2016 29

Abb.22: Ø Pflanzenhöhe und Trockenmasse je m² der Zwischenfruchtproben vom 25.10.2016 30

Abb.23: Farbübergang mit klaren Kanten bei 3H vom Ramtillkraut (hellgrün) zu Phacelia (dunkelgrün) und bei 10H zu Buchweizen (braun); Foto vom 25.10.2016 31

Abb.24: Lagerneigung der Gerstenpflanzen am 22.06.2016 zwischen 2H und 4H Abstand zur Hecke 34

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich der Wetterdaten aus Raasdorf 2016 und den vieljährigen Mitteln der ZAMG 11

Abkürzungs- und Einheitenverzeichnis

%..... *Prozent*

°C..... *Grad Celsius*

Abb.....*Abbildung*

ANOVA ..... *analysis of variance*

bzw..... *beziehungsweise*

ca. .....*circa*

cm .....*Zentimeter*

h..... *Stunde*

H .....*Heckenhöhe*

ha..... *Hektar*

KG..... *KommanditGesellschaft*

km/h .....*Kilometer je Stunde*

kWh.....*Kilowattstunden*

m..... *Meter*

m²..... *Quadratmeter*

mm..... *Millimeter*

MUBIL .....*Monitoring der Umstellung auf Biologischen Landbau*

NN.....*Normalnull*

ÖPUL ..... *Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft*

rH ..... relative Humidity / relative Luftfeuchtigkeit

z.B. ..... *zum Beispiel*

ZAMG.....*Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik*

1. Einleitung und Problemstellung

Der Klimawandel ist allgegenwärtig und weltweit messbar. Den Folgen muss mit zwei komplementären Ansätzen begegnet werden: Minderung und Anpassung. Da trotz ausgeweiteter Klimaschutzmaßnahmen, wie dem Versuch der Reduzierung der anthropogenen Emissionen, ein gewisser Teil der Klimaänderungen unvermeidbar und irreversibel ist, rücken Anpassungsmaßnahmen immer mehr in den Blickwinkel der politischen Entscheidungsträger und damit in den Fokus der Forschung (IPCC 2015).

Auch in Österreich wird für die folgenden 30 Jahre mit einer deutlichen Erhöhung der Temperaturen bei gleichbleibenden bis nur leicht steigenden Niederschlagsmengen gerechnet. Diese Szenarien könnten auch zu einem Rückgang der landwirtschaftlichen Produktivität wichtiger Kulturarten führen (Strauss et al. 2012). Vor allem im Marchfeld, im heute ohnehin schon trockenen Osten des Landes, wird Wasser immer mehr zum limitierenden Faktor, was die Pflanzenproduktion fortlaufend schwieriger gestalten wird (StartClim_Bericht 2009).

Der ökologische Landbau kann diesen Entwicklungen durch verschiedene Herangehensweisen entgegenwirken. Natürliche Ressourcen zu schonen ist ein wesentlicher Bestandteil in der biologischen Wirtschaftsweise. Die Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse durch eine heterogene Kulturlandschaftsgestaltung wird hier als bedeutender Aspekt angesehen. Hecken haben durch ihre Funktion als Windschutz und Schattenspender entscheidendes Potenzial, die Wasserverdunstung zu verringern und damit Wasser effizienter nutzbar zu machen (Eitzinger et al. 2010). Diese Eigenschaften sprechen für die Vorteile von Heckenpflanzungen, neben dem deutlichen Nutzen für die Stabilisierung der Ökosysteme durch eine Erhöhung der Artenvielfalt, sowie der Verbesserung der Landschaftsästhetik und des Erholungswertes. Deshalb ist die Förderung und Erhaltung dieser Landschaftsstrukturen auch ein wichtiger Punkt in Agrarumweltprogrammen, sowohl auf europäischer, in der EU-Verordnung 1257 (Europäischer Rat 1999), als auch auf nationaler Ebene. Im Österreichischen Programm für umweltgerechte Landwirtschaft, kurz ÖPUL, wird die Vergabe von Fördermitteln an Bauern für Leistungen zugunsten der Umwelt geregelt (ÖPUL 2015).

1.1. Problemstellung

Durch die Erforschung des Einflusses von Hecken auf die angrenzenden Felder und den hier wachsenden Kulturpflanzen können unmittelbare ökonomische Folgen bestimmt werden und dadurch ein optimales Landmanagement ermöglicht werden. Um genaue Empfehlungen für die Pflanzung und Pflegemaßnahmen geben zu können, sind vielfältige Untersuchungen zu den komplexen Auswirkungen der Hecken nötig. Artenzusammensetzung, Höhe, Breite, Winddurchlässigkeit und Exposition in der Landschaft sind entscheidende Variablen für das Ausmaß der Beeinflussung auf das Mikroklima (Heisler & Dewalle 1988). Weiters sind aufgrund der stark unterschiedlichen jährlichen Witterungen im pannonischen Raum, sowie ungleicher Folgen auf verschiedene Kulturpflanzen mehrere Erhebungen in verschiedenen Jahren notwendig.

1.2. Zielsetzung der Arbeit und Forschungsfragen

In dieser Arbeit sollen die mikroklimatischen Parameter im Leebereich einer Hecke beschrieben werden. Durch Messungen der Temperatur, relativen Luftfeuchte, Bodenfeuchte, Blattnässe und Windgeschwindigkeit an graduell aufgereihten Abständen zur Hecke soll das Ausmaß und die Reichweite des Einflusses auf das angrenzende Feld analysiert werden. Weiter war es Teil der Untersuchungen, durch Gegenüberstellen der Klimaerhebungen zu agronomischen Messungen den Einfluss auf den Nutzpflanzenbestand zu ermitteln. Hierzu wurde in der Vegetationsperiode 2016 sowohl Sommergerste, als auch die angebaute Zwischenfrucht geerntet und beurteilt.

Es wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

- In welchem Ausmaß und bis zu welcher Entfernung haben die Windschutzhecken einen mikroklimatischen Einfluss auf angrenzende Felder?
- Welchen Einfluss haben Windschutzhecken auf die Entwicklung und den Ertrag von Kulturpflanzen im biologischen Landbau?

2. Literaturanalyse

Um einen repräsentativen Überblick über den Stand der Forschungen zum vorliegenden Thema zu schaffen, wurde eine Literaturrecherche mit Hilfe der wissenschaftlichen Datenbanken *Scopus* und *Science direct* durchgeführt. Mit unterschiedlichen Kombinationen der englischen Suchbegriffe *hedgerow, windbreak, crop yield* und *microclimate* wurde nach einschlägigen Artikeln gesucht und nach der Anzahl der Zitierungen, sowie dem Zeitpunkt der Veröffentlichung sortiert und ausgewählt.

Hecken werden weltweit umfangreich als Windschutz in der Landwirtschaft genutzt. Dementsprechend hoch ist die Zahl der Studien zu deren Wirkungen auf mikroklimatische Parameter und den Feldertrag. Besonders in Gegenden mit leicht erodierbaren Böden, die zugleich landwirtschaftlich intensiv genutzt werden, gab es zahlreiche Untersuchungen. So z.B. im mittleren Westen der USA (Brandle et al. 2004), Nordchina (Zhao et al. 2006; Bao et al. 2012; Zheng et al. 2016) und Australien (Cleugh et al. 2002; Sudmeyer & Speijers 2007). In Europa gab es Veröffentlichungen zum Thema u.a. aus dem mediterranen Raum (Campi et al. 2009), aus Dänemark (Foereid et al. 2002), der Ukraine (Miloserdov 1989) und Deutschland (Bruckhaus & Buchner 1995; Böhm et al. 2014). In Österreich wurden im Rahmen des BOKU-Langzeitprojektes MUBIL (Monitoring der Umstellung auf Biologischen Landbau) Erhebungen zum mikroklimatischen Einfluss von Hecken durchgeführt. Diese Untersuchungen wurden auf dem unmittelbar benachbarten, ebenfalls ökologisch bewirtschafteten Betrieb durchgeführt und können direkt mit der vorliegenden Arbeit verglichen werden. Daher soll im Kapitel 2.3 gesondert näher auf diese Ergebnisse eingegangen werden.

2.1. Effekt von Hecken auf Windbewegungen

Die physikalischen Vorgänge in der Luftbewegung im Luv- und Leebereich von Hecken sind umfangreich untersucht und erklärt worden (Heisler & Dewalle 1988; McNaughton 1988). Eine effektive Windschutzwirkung wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen und in verschiedenen Literaturübersichten zusammengefasst (Kort 1988; Nuberg 1998; Brandle et al. 2004). Es ist bekannt, dass der Einflussbereich der Hecke auf die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren stark schwankt. Der horizontale Bereich des Windschutzes wird meistens proportional zur Höhe angenommen. Im Leebereich wurden windreduzierende Effekte in Entfernungen von 50x der Höhe von Hecken und darüber gemessen. In Entfernungen von 25x der Höhe können Verminderungen um 20% der Windgeschwindigkeit auftreten. Die größte Wirkung erzielen offenbar möglichst aufrechte

Schutzreihen (Heisler & Dewalle 1988). Die Länge von Hecken sollte mindestens das 10 fache ihrer Höhe messen, um Windbewegungen um die Enden des Schutzes zu vermeiden. Zusammen bestimmen Länge und Höhe der Hecke die gesamte geschützte Fläche (Brandle et al. 2004). Daneben ist die Exposition der Hecken in der Landschaft entscheidend. Bei einer Ausrichtung parallel oder entgegen der Windrichtung kann sich der schützende Effekt auf das Feld um 75% und mehr verringern (Burke 1998; Sudmeyer & Speijers 2007).

Bei langgestreckten Hecken ist ihre Durchlässigkeit das wichtigste Strukturmerkmal. In verschiedenen Untersuchungen wurde eine maximale Windreduzierung bei einer Porosität von 20-35% gemessen (Grant & Nickling 1998; Cornelis & Gabriels 2005). Dichte, undurchlässige Barrieren führen zu verstärkten vertikalen Windbewegungen und zu Verwirbelungen im Leebereich in Entfernungen von ca. dem 8-10 fachen der Höhe (Heisler & Dewalle 1988).

2.2. Effekt von Hecken auf weitere mikroklimatische Parameter

Hecken haben abhängig von ihrer Höhe und der Jahres- sowie Tageszeit einen beschattenden Effekt, was einen Einfluss auf die Strahlungswerte im unmittelbar angrenzenden Bereich hat (McNaughton 1988).

Effekte auf weitere mikroklimatische Parameter, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit hängen indirekt mit dem Einfluss auf die Windbewegungen zusammen (Heisler & Dewalle 1988). Die Veränderung des Mikroklimas in einem geschützten Bereich ist neben den Eigenschaften des Windschutzes stark abhängig von Wetterbedingungen, Tageszeit und der Höhe der Messungen über dem Boden.

Durch einen verminderten Wärmefluss vom Boden kommt es etwa in einem horizontalen Bereich 8x der Höhe (8H) senkrecht zum Windschutz, zu höheren Tagestemperaturen und niedrigeren Nachttemperaturen im Vergleich zum ungeschützten Bereich. Direkt über dem Boden überwiegen die erhöhten Temperaturen und können in der Bilanz eine leichte Temperaturerhöhung von 1° bis 3°C ausmachen (Nuberg 1998). Im Kontrast dazu tendieren die Werte 2m über dem Boden zu eher etwas kühleren Temperaturen als im ungeschützten Bereich (Brandle et al. 2004).

Eine Verringerung des Windflusses hat ebenfalls einen Einfluss auf die Luftfeuchtigkeit. Durch den verminderten Abzug von Wasserdampf vom Boden ist der relative Gehalt in der Luft größer über der geschützten Fläche, sowohl in der Nacht als auch am Tag (McNaughton 1988). Dieser Effekt führt zu einer reduzierten Verdunstung am Boden und kann so auch längerfristig den Bodenwassergehalt beeinflussen. Kombiniert mit niedrigen

Nachttemperaturen kann dies auch zu einer erhöhten Taubildung führen (Brandle et al. 2004). Der Einfluss eines Windschutzes auf den Regenfall scheint gering zu sein. Nur im unmittelbaren Nahbereich kann es zu einer Regen abschattenden Wirkung kommen. Im Gegensatz dazu können immer wieder auftretende Schneeanhäufungen im Leebereich zu einer deutlichen Anreicherung des Bodenwassers führen (Nuberg 1998).

2.3. Einfluss auf die Ertragswirksamkeit

Die Auswirkungen von Hecken auf den Ertrag von angrenzenden Feldern unterliegen einem sehr komplexen Zusammenspiel von vielfältigen Faktoren. Neben den physischen Eigenschaften und der Artenzusammensetzung von Windschutzhecken sind die unterschiedlichen Jahreswitterungen und die Art und Reaktion der angebauten Nutzpflanze darauf bestimmend für den schwankenden Einfluss einer Hecke auf die Ernteausbeute. Große Probleme im Vergleich von Untersuchungsergebnissen zum Thema bilden außerdem weitere Unterschiede, wie uneinheitliche Studiendesigns und Berechnungsmethoden, schwankende, teilweise auf kleinem Raum sehr heterogene Bodeneigenschaften, sowie verschiedene Bewirtschaftungsformen (Nuberg 1998).

Ein genereller positiver Einfluss von Windschutzanlagen auf den Ertrag von Feldfrüchten konnte vielfältig beobachtet werden, z.B. in neuerlichen Untersuchungen bei Campi et al. 2009; Bao et al. 2012 und Zheng et al. 2016. Kort 1988 konnte in einer Zusammenfassung von 50 Forschungsarbeiten von 1932-1985 und insgesamt 682 Ernten eine Ertragssteigerung bei verschiedenen Nutzpflanzen zwischen 6 und 44% dokumentieren. Auch in einer Übersicht von Nuberg 1998 über Untersuchungen im Zeitraum von 1986-1996 wurden sehr unterschiedliche Ergebnisse zusammengetragen. Die Effekte auf den Ertrag reichten von einer unbedeutenden Verbesserung bis zu einer Ertragssteigerung von bis zu 50%. Der Einflussbereich auf die Ernteausbeute wird überwiegend mit dem 10 bis 15 fachen der Heckenhöhe, mit einer maximalen Steigerung bei dem ca. 5 fachen der Heckenhöhe angegeben (Pretzschel et al. 1991; Campi et al. 2009; Bao et al. 2012). In vereinzelten Fällen wurde sogar ein Einfluss bis zu dem 25 fachen der Heckenhöhe beobachtet (Mertia et al. 1988; Sun & Dickinson 1994).

Diese Steigerungen können auf ein verbessertes Mikroklima, reduzierte Winderosion und geringere Schäden durch starke direkte Windeinwirkung zurückgeführt werden. Vor allem in nördlichen Breiten spielen außerdem die zurückgehaltenen Schneemengen im Heckenbereich eine entscheidende Rolle (Miloserdov 1989). Die Ergebnisse schwanken jedoch stark und immer wieder auftretende negative oder unterschiedslose Resultate zeigen die komplexen

Beziehungen zwischen Pflanze, Klima und Hecken (Bruckhaus & Buchner 1995; Cleugh et al. 2002; Rivest & Vézina 2015).

Der deutlichste Vorteil von Windschutzanlagen ist sicherlich die Reduzierung der Winderosion (Cleugh et al. 2002). Winderosion betrifft vor allem feine Bodenpartikel, welche besonders mit organischer Substanz im Boden verknüpft sind (Gomes et al. 2003). Ein hoher Gehalt an organischer Substanz im Boden wird wiederum mit einem verbesserten Wasserhaltevermögen und einer verbesserten Nährstoffverfügbarkeit assoziiert. Leicht erodierbare, feine Bodenpartikel enthalten überproportional mehr Pflanzennährstoffe, wie Stickstoff oder Kohlenstoff. Dieser Verlust kann langfristig die Bodenfruchtbarkeit gravierend senken (Leys & McTainsh 1994).

Weiter steht außer Frage, dass die Verdunstung im Leebereich reduziert wird. Dadurch wird der Wasserstress für Pflanzen verringert und die Bodenfeuchtigkeit positiv beeinflusst (Grace 1988). Erhöhte Erträge wurden vor allem unter trockenen Bedingungen beobachtet, wo bei ausreichender Stickstoffversorgung, Wasser die limitierende Ressource darstellt (Kort 1988; Miloserdov 1989; Cutforth & McConkey 1997; Foereid et al. 2002). Eine günstige Reaktion auf den Windschutz konnte besonders bei Pflanzen mit höherem Wasserbedarf, wie Raps (Marxen-Drewes, H. 1988) oder Zuckerrüben (Bruckhaus & Buchner 1995) festgestellt werden. Getreide reagierte ebenfalls positiv im Ertrag unter trockenen Bedingungen. In Jahren mit ausreichender Wasserversorgung wurden nicht signifikante Unterschiede und auch Ertragseinbußen beobachtet (Marxen-Drewes, H. 1988; Bruckhaus & Buchner 1995).

In zahlreichen Studien wurde ein verstärktes vegetatives Wachstum im windgeschützten Bereich festgestellt. Pflanzen im Leebereich von Hecken scheinen generell schneller und größer zu wachsen und eher in die Reife zu gehen (Kort 1988; Baldwin 1988; Cleugh et al. 2002; Brandle et al. 2004). Dieser Einfluss auf die Pflanzenphänologie und -physiologie kann auf die, wenn auch teilweise geringen Temperaturerhöhungen zurückgeführt werden (Kelleher 1984). Dieser Effekt unterliegt, wie andere Komponenten der Schutzwirkung ebenfalls, starken saisonalen Unterschieden. Die Auswirkungen scheinen in gemäßigten Zonen besonders stark in der frühen Vegetationsperiode zu sein, in der die durchschnittlichen Temperaturen niedriger sind als gewöhnlich (Barker et al. 1985; Brandle et al. 2004). Diese Faktoren können verschiedene Vorteile für die Landwirtschaft bedeuten. Durch die frühe Entwicklung können vor allem im Getreideanbau kritische Punkte in der Wachstumsphase früher in der Saison überwunden werden, wenn Wasserstress weniger häufig auftritt. Das könnte auch die teilweise höhere Resonanz auf Windschutzhecken bei Winterweizen im Vergleich zu Sommerweizen erklären (Nuberg 1998). Die verlängerte Wachstumsperiode ermöglicht außerdem eine größere Flexibilität in der Sortenwahl (Brandle et al. 2004). Neben dem verstärkten vegetativen

Wachstum kann es aber auch zu einer verkürzten Reifephase kommen, was einen negativen Einfluss auf die Fruchtentwicklung haben kann. Dies konnte z.B. bei Hirse (Brenner et al. 1995), Kuhbohnen (Leihner et al. 1993) und Gerste (Thue-Hansen & Skjelvaag 1987) beobachtet werden.

Trotz dieser überwiegend günstigen Ergebnisse sind viele Bauern abgeneigt, Hecken zu pflanzen. Ein Hauptgrund dafür ist sicherlich der direkte Verlust von kultivierbarem Land den Landschaftsstrukturen einnehmen, sowie eventuelle Erschwerungen bei der Zugänglichkeit bzw. Bewirtschaftung der Felder. Nur wenige Ertragsabschätzungen der vorliegenden Untersuchungen (z.B. Sun & Dickinson 1994; Cutforth & McConkey 1997) lassen diese Faktoren in ihre Berechnungsmodelle einfließen (Nuberg 1998).

Ein weiterer negativer Einfluss auf die angebauten Kulturpflanzen ergibt sich durch die Konkurrenz der Strauch- oder Baumarten um Licht, Nährstoffe und Wasser, sowie allelopathische, also wachstumshemmende Effekte auf umliegende Pflanzen, z.B. durch Laub (Kort 1988). Das Ausmaß der Einbußen durch Konkurrenz ist wiederum stark abhängig von Boden- und Klimabedingungen sowie Abmessungen und Ausrichtung der Hecke. Eine besondere Rolle spielt hier außerdem die Artenzusammensetzung der Hecke und die Interaktion mit der jeweils angebauten Nutzpflanze (Sudmeyer & Speijers 2007). Die Reichweite der Konkurrenzwirkungen wird größtenteils mit dem 1 bis 1,25 fachen der Heckenhöhe angegeben (Kort 1988; Nuberg 1998; Bao et al. 2012; Rivest & Vézina 2015).

Teilweise wurden jedoch auch negative Einflüsse bis zu einem Bereich des 3 bis 5 fachen der Heckenhöhe festgestellt (Sudmeyer et al. 2002). Auf lichtbedürftigere Pflanzen wie z.B. Getreide hat eine Sonnenabschattung sicherlich größere Auswirkungen. Es wurde jedoch gezeigt, dass unter feuchtigkeitslimitierten Bedingungen die Konkurrenz um Wasser im Boden von weitaus größerer Bedeutung ist (Brenner et al. 1995).

Hinzuzufügen ist noch, dass durch die vermehrte Taubildung in Heckennähe ein erhöhtes Risiko für Frost- oder Pilzbefall besteht (Nuberg 1998).

Zu beachten ist allerdings auch, dass es generell an Begrenzungen von Feldern zu Ertragseinbußen durch Randeffekte, wie höheren Schädlings- und Krankheitsbefall kommen kann (Sparkes et al. 1998).

2.4. MUBIL

Seit 2003 werden im Rahmen des interdisziplinären Langzeitprojektes MUBIL (Monitoring der Umstellung auf Biologischen Landbau) auf Versuchsflächen der BOKU in Rutzendorf im Marchfeld Untersuchungen zum Ausmaß des Heckeneinflusses auf Mikroklima, Bodenparameter und Pflanzenertrag in die angrenzenden Ackerflächen geführt (Surböck et al. 2012).

Allgemein wurden auch hier, wie für das pannonische Klima typisch, sehr unterschiedliche jährliche Witterungsverhältnisse seit Projektbeginn festgestellt. Im Zeitraum von 2003 – 2005 wurden verschiedene temporäre Erhebungen ausgewählter mikroklimatischer Parameter an einer Hecke in Nord-Süd-Exposition durchgeführt. Dabei wurden im Sommer 2003 nur sehr geringe Unterschiede bei den Niederschlagsummen auf der Luv- sowie auf der Leeseite gemessen. Jedoch wurde im März 2005 eine deutlich höhere Schneeablagerung im Lee, ostseitig der Hecke beobachtet. Das konnte auf die nachgewiesene Verminderung der Windgeschwindigkeiten zurückgeführt werden. Weiters wurden im Leebereich der Hecke im Juli 2004 deutlich geringere Verdunstungssummen in 20m Abstand als in 80m Abstand gemessen. Je nach betrachtetem Parameter wurde hier der gesamte Heckeneinfluss auf das Mikroklima, also luv- und leeseitig auf etwa das 15 fache der Höhe ermittelt (Eitzinger et al. 2011). Bei Ertragsmessungen in den Jahren 2004 – 2009 konnte eine Zunahme der Trockenmasse mit zunehmender Nähe zur Hecke bei Luzerne, Winterweizen und Sonnenblumen festgestellt werden. Der Einflussbereich ins Feld wurde hier als das ca. 4,5-fache der Heckenhöhe bei Winterweizen und dem ca. 10-fachen der Heckenhöhe bei Luzerne und Sonnenblumen ermittelt. Bei der Ernte von Winterroggen in den Jahren 2007 und 2009 konnte dagegen kein Einfluss des Windschutzes festgestellt werden, was auf die optimale Nutzung der Winterfeuchtigkeit durch eine gute Verwurzelung zurückgeführt wurde. Diese Ergebnisse unterstreichen nochmals die Komplexität der Faktoren aus angebauter Kultur und Jahreswitterung auf die Ertragswirksamkeit (Surböck et al. 2012).

3. Material und Methoden

3.1. Standortbeschreibung

Die experimentellen Untersuchungen wurden auf den Versuchsflächen der BOKU in Raasdorf (48°14‘N/16°35'O; 156m über NN Seehöhe), an der östlichen Stadtgrenze von Wien durchgeführt. Die Grundstücke des Instituts für ökologischen Landbau in Raasdorf werden seit 1998 biologisch bewirtschaftet. Der Ort ist Teil des Marchfeldes. Mit 900 km² umfassender Fläche stellt es eine der größten Ebenen Österreichs dar. Das Gebiet ist eine der landwirtschaftlich produktivsten Regionen des Landes und fungiert traditionell als „Kornkammer Österreichs“ und wichtiger Gemüselieferant für die Stadt Wien.

3.1.1. Klima am Versuchsstandort

In Raasdorf herrschen, wie für das gesamte Marchfeld typische, pannonische Klimabedingungen vor. Dieses gemäßigte, kontinentale Klima zeichnet sich durch hohe Jahresamplituden aus. Es kommt zu heißen trockenen Sommern mit wenig Tau und kalten Wintern. Die hohe Sonnenscheindauer bis zu 2.000 h/Jahr sowie eine Temperatursumme bis über 3.000 °C im Jahr sind besondere Vorteile in der Pflanzenproduktion, besonders im Getreideanbau. Mit durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmengen unter 550mm ist das Marchfeld jedoch auch eine der trockensten Gegenden Österreichs. Um dem sinkenden Grundwasserspiegel entgegen zu wirken, wurde ab 1984 das Marchfeldkanalsystem errichtet, das Wasser aus der Donau in die Region leitet (Marchfeldkanal.at 2016). Außerdem ist als Folge der flachen Topographie ein hohes Windaufkommen zu beobachten.

3.1.1.1. Wetterstation der ZAMG in Groß-Enzersdorf

In der seit 1903 bestehenden Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik auf der BOKU-Versuchswirtschaft in Groß-Enzersdorf wird das örtliche Klima durch langjährige Aufzeichnungen erfasst. Die Station befindet sich ca. 4,4km vom Versuchsfeld entfernt (48°20’N/16°55’O). Durch eine Auswertung dieser Daten konnten vieljährige Mittel errechnet werden. Für diese Arbeit wurde, sofern vollständige Daten vorhanden, das 30-jährige Mittel von 1981-2010 verwendet und mit dem Versuchsjahr 2016 verglichen (Tab.1). Die Durchschnittswerte zeigen einen mittleren jährlichen Niederschlag von 516mm und eine mittlere jährliche Temperatur von 10,3°C. Fast 60% des Niederschlags fällt in den Monaten von Mai bis September. Die mittleren monatlichen Temperaturen, gemessen

in 2m Höhe schwanken zwischen -0,2°C im Januar bis 20,9°C im Juli. Im Zeitraum von 1971-2000 wurde eine durchschnittliche Globalstrahlung von 1227,78 kWh/m² im Jahr gemessen. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit übers Jahr, gemessen in 10m Höhe, betrug 12,03 km/h. Besonders von Dezember bis März treten gehäuft starke Winde auf. In Abb.1 sind die Windrichtungen im Mittel von 1971-2000 in einer Windrose dargestellt, wobei 0° Norden ist. Dominierend war hier Wind aus Nordwest und Südost. 51,2% der Winde kamen aus einem Sektor zwischen 270° und 360° und 33,5% aus einer gegenüberliegenden Richtung zwischen 90° und 180° (ZAMG 2016).

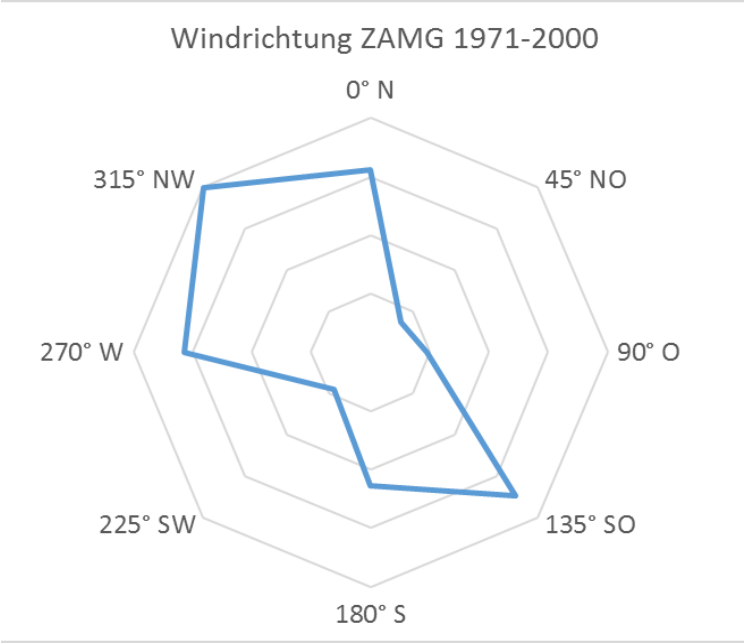

Abb.1: Windrichtung im vieljährigen Mittel der ZAMG von 1971-2000

3.1.1.2. BOKU-Wetterstation in Raasdorf

Die Wetterstation (Typ Adcon A733) der Niederösterreichischen Landwirtschaftskammer und der Versuchsanstalt Groß-Enzersdorf ist in der KG Pysdorf installiert. Sie liegt somit ca. 500m westlich und damit in unmittelbarer Nähe des Versuchsfeldes. 15-Minuten-Mittelwerte für Temperatur in 2m Höhe, rel. Luftfeuchtigkeit in 2m Höhe, Blattnässe in 2m Höhe, Bodentemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Globalstrahlung und Niederschlagsmengen sind ab 1998 abrufbar.

Mit Hilfe dieses meteorologischen Datensatzes konnte die Witterung ohne Beeinflussung durch die Hecke während des Versuchszeitraums bestimmt werden und mit dem vieljährigen

Mittel der ZAMG verglichen werden (Abb.2; Tab.1). Durch den Vergleich der Daten der verschiedenen Stationen, sowie mit den eigenen Erhebungen konnte auch die Richtigkeit der Datensätze überprüft werden. Da die gemessenen Windrichtungen bei der Station in Raasdorf von eigenen Messungen sowie vom vieljährigen Mittel des ZAMG erheblich abwichen, wurde in weiterer Folge die Messwerte für die Windrichtung von der Station in Groß-Enzersdorf verwendet.

3.1.1.3. Klima im Versuchsjahr 2016

Tab. 1: Vergleich der Wetterdaten aus Raasdorf 2016 und den vieljährigen Mitteln der ZAMG

	Raasdorf 2016	Vieljähriges Mittel der ZAMG 1981-2010
Regen; mm	616	516
Rel. Luftfeuchtigkeit 7 Uhr; %	77,1	82,2
Rel. Luftfeuchtigkeit 14 Uhr; %	58,1	60,7
Ø Windgeschwindigkeit; km/h	9,56 (in 2m Höhe)	12,03 (in 10m Höhe)
Ø Temperatur; °C	10,95	10,3
Ø max. Temperatur; °C	15,52	14,96
Ø min. Temperatur; °C	6,27	6,27
Globalstrahlung; kWh/m²	1061,86	1227,78 (1971-2000)

In Tabelle 1 sind Durchschnitts- bzw. Gesamtwerte von verschiedenen Klimaparametern aus dem Versuchsjahr in Raasdorf mit dem vieljährigen Mittel der ZAMG der Jahre 1981-2010 aus Groß-Enzersdorf verglichen. Herausstechend ist, dass 2016 ein extrem nasses Jahr war. Mit 616mm fiel deutlich mehr Niederschlag als gewöhnlich. Auch die Verteilung der Regenereignisse war sehr unregelmäßig. Wie im Jahresverlauf in Abb.2 zu sehen, fiel im Januar, Februar, April, Mai und Juli ca. doppelt so viel Niederschlag wie im Durchschnitt. Im März, August, September und Dezember fiel dagegen sichtlich weniger Regen. Im Jahr 2016 wurde am Versuchsstandort kein Schneeaufkommen beobachtet. Bei dem durchschnittlich etwas höheren Temperaturverlauf als im Mittel, sind die besonders warmen Monate Februar und September hervorzuheben.

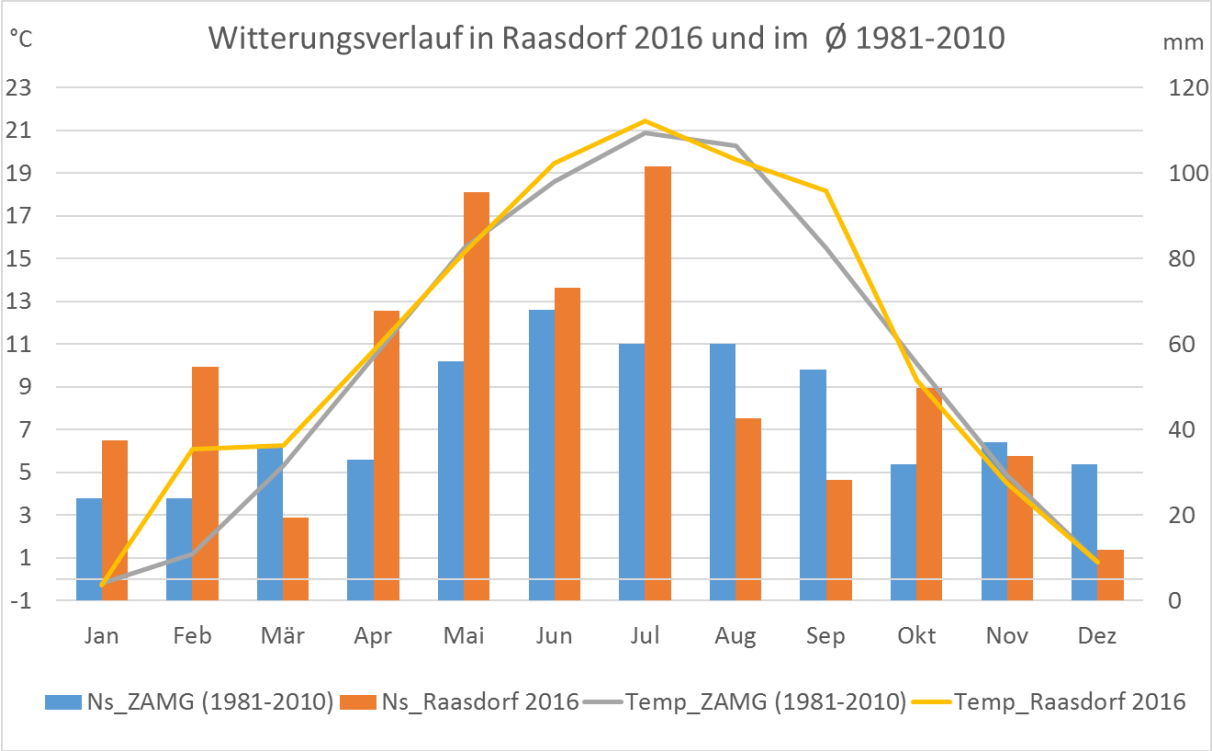

Abb.2: Vergleich von Niederschlags- und Temperaturverlauf in Raasdorf 2016 mit dem ZAMG-Mittel von 1981-2010

In der Klimastation in Raasdorf wurde 2016 auf 2m Höhe ein durchschnittliches Windaufkommen von 9,56 km/h gemessen. Um die Werte mit dem vieljährigen Mittel in Groß-Enzersdorf vergleichen zu können muss man die unterschiedlichen Höhen der Messungen beachten, da die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Nähe zum Boden immer weiter abnimmt. Mit folgender Gleichung kann man die Werte direkt gegenüberstellen:

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^g$$

Hierbei sind v_1 und v_2 die Windgeschwindigkeiten und h_1 bzw. h_2 die unterschiedlichen Höhen. Mit einem Richtwertkoeffizienten g = 0,16 für offenes Gelände bzw. Ackerland erhält man ungefähre Werte (Kleemann & Meliß 2013). Mit Hilfe dieser Formel ergeben sich für 2016 vergleichbar hohe mittlere Windgeschwindigkeiten wie im Durchschnitt von 1981-2010. Der genaue Jahresverlauf, dargestellt in Abb.3, zeigt ein besonders starkes Windaufkommen in den Wintermonaten und ein unterdurchschnittlich schwaches Windaufkommen im untersuchten Zeitraum im September.

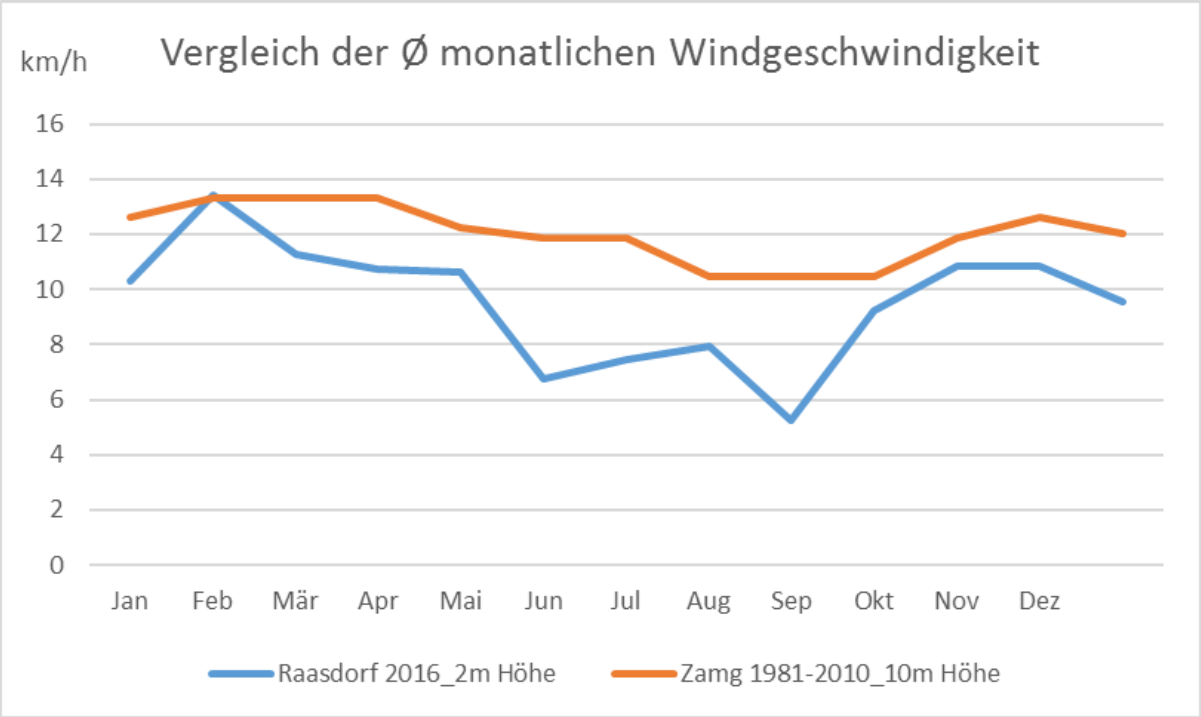

Abb.3: Vergleich der Windstärken in Groß-Enzersdorf von 1981-2010 mit dem Jahr 2016 in Raasdorf

Die dominierenden Windrichtungen im Jahr 2016, gemessen in der Klimastation in Groß-Enzersdorf waren Westnordwest und Südost, dargestellt auf einem Luftbild der Versuchsflächen in Raasdorf in Abb.4.

3.1.2. Versuchsfeld und angrenzende Hecken

Auf den Versuchsflächen des Instituts für Ökologischen Landbau der BOKU wurden in den Jahren 1998-2000 nördlich und westlich begrenzende Hecken gepflanzt (Abb.4). Der Windschutz an der Nordseite der Flächen, in Ost-West-Ausrichtung, ist insgesamt ca. 570m lang und wurde als 12m bzw. 9m breite, 3-reihige Hecke ausgeführt, wobei eine mittige Baumreihe beidseitig von Strauchreihen umgeben ist. Im Rahmen der Pflanzungen wurden insgesamt 30 verschiedene Arten verwendet (Grohmann 2013). Der unmittelbar an das untersuchte Transekt angrenzende Windschutz am nördlichen Rand des Schlages 2 in Raasdorf besteht überwiegend aus 4-6m hohen Sträuchern der Arten *Viburnum lantana, Crataegus monogyna, Cornus sanguinea, Lonicera xylosteum und Prunus spinosa.* Die Porosität kann als undurchlässig bezeichnet werden. Die Entfernungen zur Hecke werden in der Folge als ein Vielfaches der Heckenhöhe angeben, ausgehend von einer mittleren Höhe von 1H = 5m.

Der Boden, der fast vollkommen flachen Versuchsfläche gehört zu den Tschernosemen, die aus kalkig-silikatischem Löss entstanden sind. Hierbei handelt es sich um eine hochwertige Bodenform, die sich durch eine hohe Wasserspeicherkapazität bei mittlerer Durchlässigkeit auszeichnet. Die Bodenstruktur besteht aus schluffigem Lehm mit 2,2% organischem Kohlenstoff in der Krume (Rinnofner et al. 2008). Aus der österreichischen Bodenkartierung, sowie aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass die Tiefgründigkeit auf den untersuchten Feldern kleinflächig sehr heterogen sein kann (Rauchberger 2014). Die Bodenprofile waren jedoch, zumindest anhand der am 31.05.2016 an den Messpunkten genommenen Proben einheitlich ca. 1m tief.

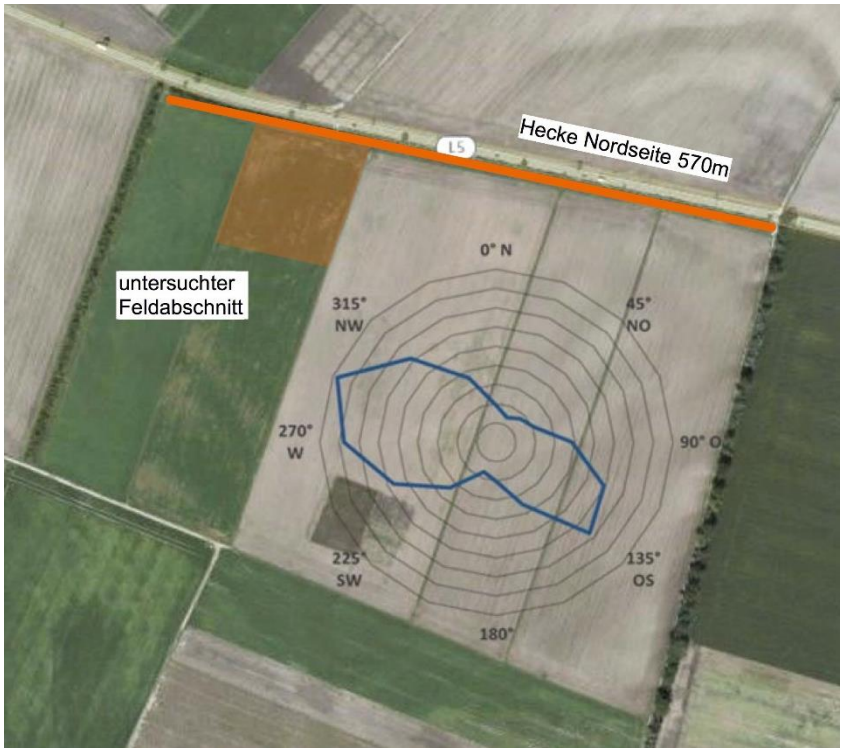

Abb.4: Luftbild der Versuchsflächen in Raasdorf mit vorherrschenden Windrichtungen 2016 gemessen in Groß-Enzersdorf, die Windschutzhecke an der Nordseite und der untersuchte Feldabschnitt im Schlag 2 sind orange markiert (Quelle: bing maps mit eigener Bearbeitung)

3.2. Versuchsaufbau

Die Klimamessungen des Feldversuchs wurden in zwei Abschnitte geteilt. Im ersten Teil wurden von März bis Anfang Juli 2016 Daten erhoben. Ab Ende August bis Ende September 2016 wurden weitere Wind- und Klimaparameter gemessen.

3.2.1. Klimaerhebungen vom 08.03.-06.07.2016

Über die gesamte Wachstumsperiode der Sommergerste hinweg wurden mittig im Feld, in stufenweisen Abständen (0H, 1H, 2H, 4H und 8H) senkrecht zur Hecke insgesamt 5 Messstationen errichtet (Abb.5). Die Klimastationen befanden sich während des Messzeitraums vom 08.03.-06.07.2016 in 30 cm Höhe. Die verwendeten Datenlogger des Typs Onset HOBO U12-U13 zeichneten automatisch 10-Minuten-Mittelwerte der Parameter Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit und des Bodenwassergehalts auf. Die gesammelten Daten wurden in regelmäßigen Abständen durch den integrierten USB-Ausgang mit Hilfe der zugehörigen Software HOBO-Ware abgelesen und gespeichert.

Durch technische Probleme entstanden Datenlücken bei den Stationen mit 0H, 1H, 2H, 4H Abstand in den Zeiträumen vom 16.03.-22.03.; 09.05.-17.05. und 04.06.-09.06. sowie bei der Station mit 8H Abstand vom 08.03.-29.04. und 09.05.-17.05.. Dadurch konnte der Messpunkt bei 8H nur in dem Zeitraum ab dem 30.04.-06.07. in die Vergleiche einbezogen werden.

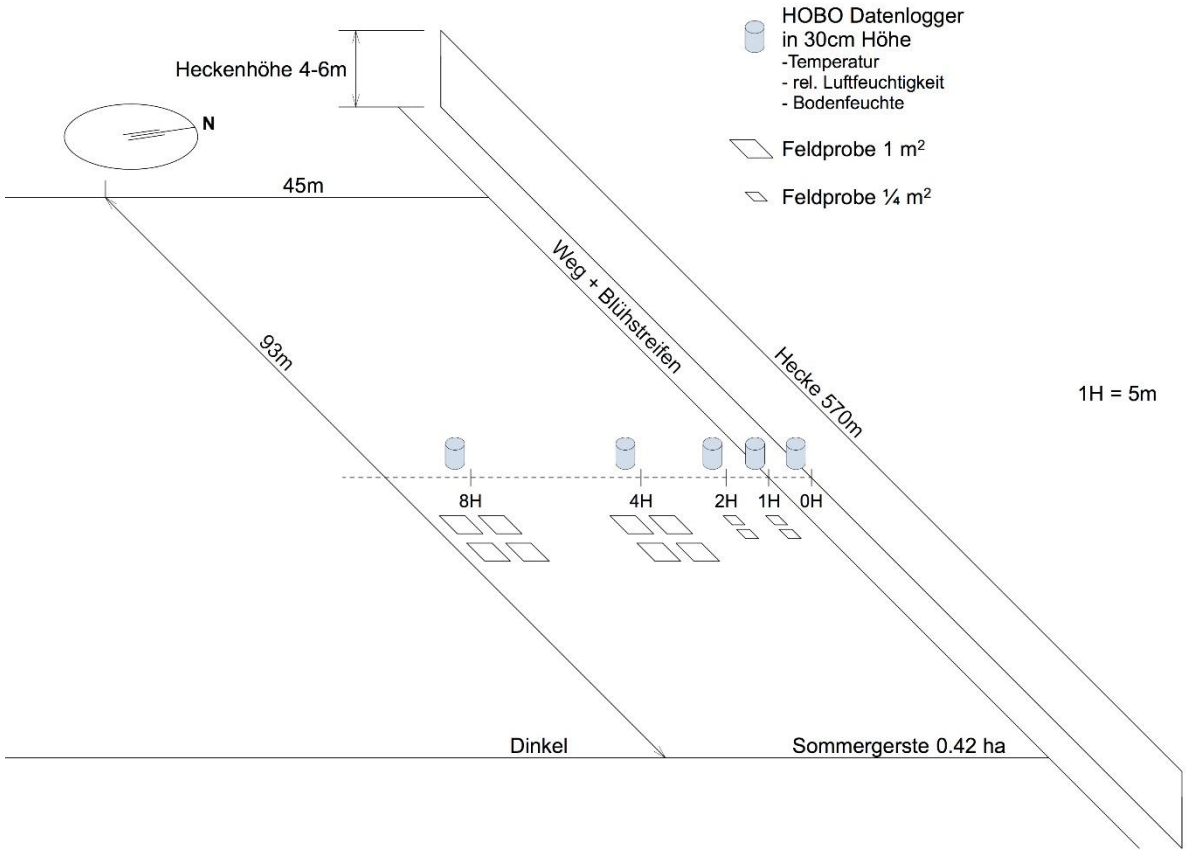

Abb.5: Versuchsanordnung vom 08.03.-06.07.2016

3.2.2. Wind- und Klimaerhebungen vom 24.08.-25.09.2016

In demselben Transekt wie in der vorangegangenen Versuchsanordnung wurden im Zeitraum von 24.08.-25.09.2016 insgesamt fünf Windmesser des Typs Decagon Devices DS-2 Sonic Anemometer errichtet (Abb.6). Die Abstände der Stationen betrugen bei diesen Erhebungen 1H, 2H, 4H, 8H und 16H. Diese Ultraschall-Sensoren befanden sich im Messzeitraum in 2m Höhe. Die Datenlogger zeichneten 10-Minuten-Mittelwerte der Parameter Windgeschwindigkeit und Windrichtung auf SD-Karten auf, die nach dem Versuch ausgelesen werden konnten. Zusätzlich befanden sich insgesamt vier HOBO-Klimastationen, in 1H und 8H Abstand zur Hecke, jeweils in 30cm und 180cm Höhe. Die Datenlogger zeichneten 10-Minuten-Mittelwerte der Temperatur und der rel. Luftfeuchtigkeit auf. Die unteren Stationen maßen zusätzlich noch den Bodenwassergehalt. Die Werte wurden wieder mit Hilfe der HOBO-Ware ausgelesen und abgespeichert. Außerdem befanden sich in 1H und 16H Abstand zur Hecke dielektrische Blattnässedetektoren des Typs Decagon devices Model LWS.

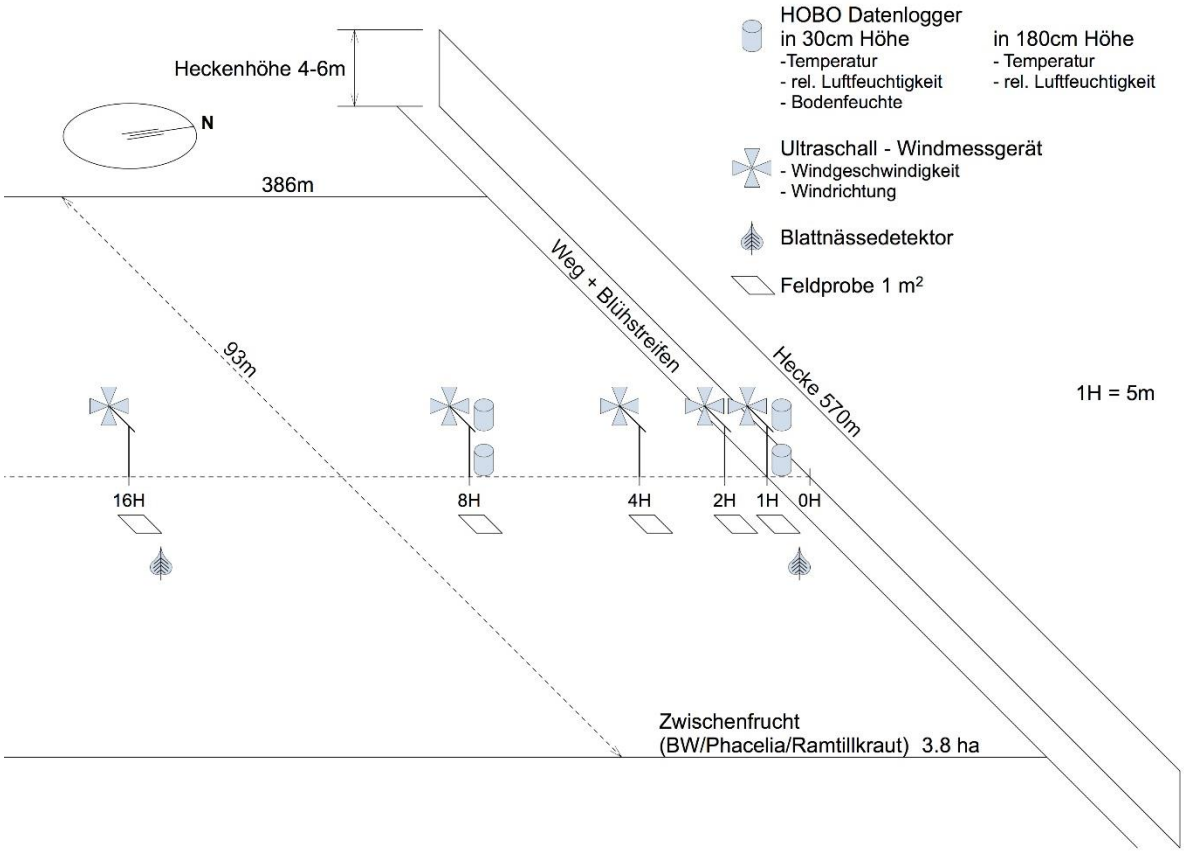

Abb.6: Versuchsanordnung vom 24.08.-25.09.2016

3.3. Ernteerhebungen

Auf dem Versuchsfeld wurde am 29.03.2016 auf einer Fläche von ca. 0,42 ha Sommergerste der Sorte Vienna gesät (Saatstärke 320 Körnern/m²) und unter ökologischen Bedingungen angebaut. Vorfrüchte waren 2012/13 Luzerne und 2014/15 Winterweizen. Als Nachfrucht ist 2017 Soja geplant. Um den Einfluss der Hecke auf die Feldfrucht zu bestimmen, wurde die Entwicklung der Sommergerste in 2-Wochenabständen beobachtet und die Pflanzenhöhe gemessen. Am 10.07.2016 wurde um die Messpunkte der vorrangegangen Klimaerhebungen Feldproben entnommen. In 1H und 2H Abständen zu der Hecke wurden je 2*1/4m² geerntet, sowie in 4H und 8H Abstand zur Hecke je 4*1m². Von diesen Proben wurde Trockengewicht, Korn/Strohverhältnis, Tausendkorngewicht, Bestandesdichte (Ähren pro m²) und der Stickstoffgehalt der Körner bestimmt. Um den Proteingehalt der Gerstenkörnern zu erhalten wurde der Stickstoffgehalt mit dem Faktor 5,83 multipliziert (Merrill & Watt 1973).

Am 11.08.2016 wurde als Zwischenfrucht auf dem gesamten Schlag mit einer Fläche von 3,8ha eine Eigenmischung der Versuchsanstalt Groß-Enzersdorf aus Buchweizen, Phacelia und Ramtillkraut/Mungo angebaut. Bei einer Saatstärke von 35 kg/ha wurde ein Verhältnis von 20kg Buchweizen, 10kg, Phacelia und 5 kg Ramtillkraut je ha ausgesät. Am 25.10.2016 wurde an den Messpunkten der Wind- bzw. Klimaerhebungen vom 24.08.-25.09.2016 (1H, 2H, 4H, 8H und 16H Abstand zur Hecke) die Pflanzenhöhe gemessen und je 1m² geerntet. Von diesen Proben wurde das Trockengewicht bestimmt.

Um eine Abhängigkeit der Ertragsparameter von der Bodenvariabilität auszuschließen, wurden an den Messpunkten am 31.05.2016 Bodenproben bis 1m Tiefe entnommen, sensorisch bewertet und im Labor auf frei verfügbaren Stickstoff und Wassergehalt analysiert.

3.4. Datenanalyse

Die aus den HOBO-Stationen gespeicherten meteorologischen Datensätze wurden aus der HOBO-Ware in einem .xls-Format exportiert und mit Microsoft Excel 2016 analysiert und graphisch dargestellt. Mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms konnten Tagesverläufe dargestellt werden und die einzelnen Messpunkte miteinander verglichen werden.

Mit Hilfe der Aufzeichnungen der Klimastationen in Raasdorf bzw. Groß-Enzersdorf war es außerdem möglich, besondere Tage z.B. mit einer durchschnittlichen Windrichtung zwischen 280° und 360°, Tage mit Windstärken über 15 km/h oder Stunden mit besonders warmen Temperaturen herauszufiltern und gesondert zu vergleichen.

Auch die erhobenen agronomischen Werte aus der Sommergerstenernte und Zwischenfruchternte wurden im Microsoft Excel 2016 ausgewertet und verglichen.

Um die Abhängigkeit der Messwerte von dem Abstand zur Hecke zu analysieren wurden die Daten mit Hilfe des Programms IBM SPSS Statistics 24 mit einer Einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) untersucht. Um die Unterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten zu beurteilen, wurden zusätzliche Post-hoc-Tests durchgeführt. Hier wurden nach Empfehlungen von (Field 2013) für paarweise Mittelwertvergleiche bei unterschiedlichen Fallzahlen, wie z.B. bei den Parametern der Sommergerstenernte, der Gabriel-Test und bei gleichen Fallzahlen, wie z.B. bei der Pflanzenhöhe, der Q-Test nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch angewendet. Das Signifikanzniveau wurde mit 5% festgesetzt. Durch die geringe Stichprobengröße bei den Ernteerhebungen ist die Aussagekraft dieser Tests jedoch begrenzt. Es ist also möglich, dass der Test ein nicht signifikantes Ergebnis liefert, obwohl in Wirklichkeit Unterschiede bestehen.

4. Resultate

4.1. Effekt auf Windgeschwindigkeit

Die Erhebungen der Windrichtung am Messpunkt 16H von der Hecke entfernt im September, bestätigten die Hauptwindrichtungen des vieljährigen Mittels aus Nordwest und Südost, jedoch mit etwas unterschiedlicher Verteilung. Nur 34,75% der Winde kamen aus einer nordwestlichen Richtung zwischen 280° und 360°. 40,10% der Winde kamen aus dem gegenüberliegenden Sektor zwischen 90° und 180°.

Die geringsten durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten traten im gemessenen Zeitraum an dem am nächsten an der Hecke liegenden Messpunkt in 1H Entfernung auf. Die Windgeschwindigkeit war um 37% gegenüber den Messwerten in 8H Abstand reduziert. Der windschützende Effekt erhöhte sich um ein Vielfaches an Tagen mit einer Windrichtung über 280°. Hier kam es zu einer Verminderung der Windgeschwindigkeit um 65% in Heckennähe (1H) gegenüber 8H Abstand. In größerer Entfernung (16H) konnte diese starke Abschwächung nicht mehr beobachtet werden (Abb.7). Bei den mittleren maximalen Windgeschwindigkeiten wurde der Windschutz ebenso sehr deutlich. Auch hier verstärkte sich der Effekt, wenn der Wind aus nördlicher Richtung kam. An diesen Tagen kam es zu einer Verminderung der maximalen Windstärken um bis zu 50% (Abb.8).

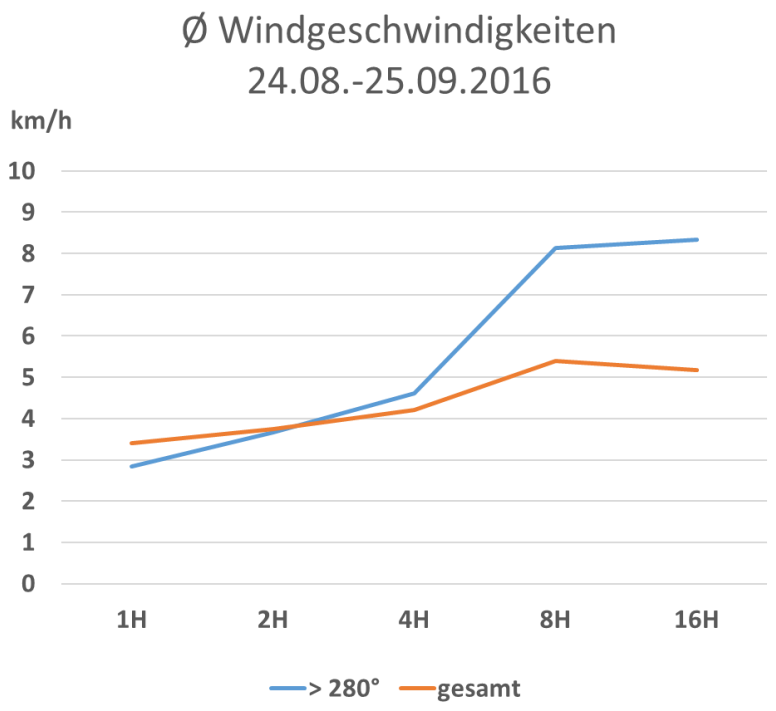

Abb.7: Gemessene Ø Windgeschwindigkeiten vom 24.08.-25.09.2016 gesamt und an Tagen mit einer Windrichtung über 280°

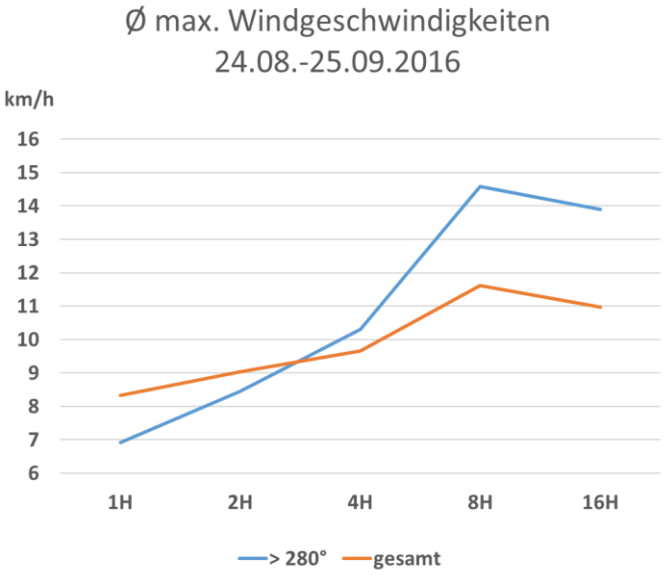

Abb.8: Gemessene Ø maximale Windgeschwindigkeiten vom 24.08.-25.09.2016 gesamt und an Tagen mit einer Windrichtung über 280°

Der Tagesverlauf der gemessenen Windstärken in (Abb. 9) zeigt noch einmal die deutliche Abhängigkeit des Windschutzeffektes von der Windrichtung. An Tagen mit Wind aus Norden, wie z.B. am 30.Aug., 06.Sep.,19.Sep. oder am 20.Sep. wurden besonders hohe Unterschiede gemessen.

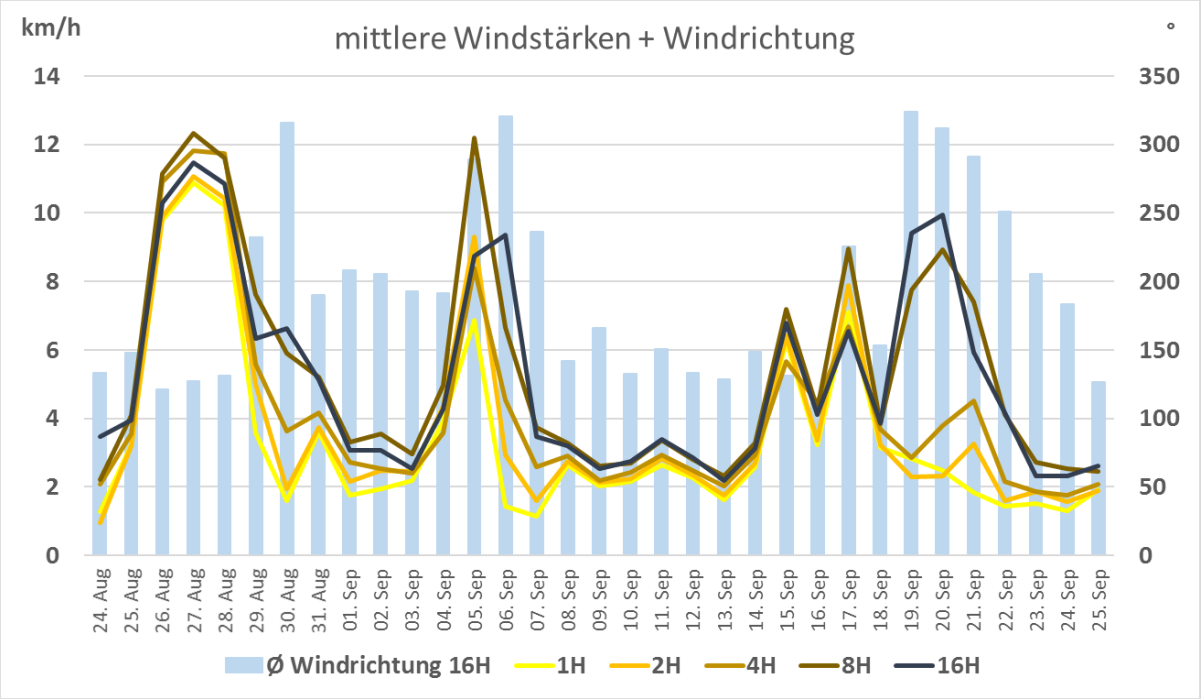

Abb. 9: Tagesverlauf vom 24.08.2016-25.09.2016 der gemessenen Ø Windgeschwindigkeiten und Ø Windrichtung

4.2. Effekt auf Lufttemperatur

In der Vegetationsperiode wurde auch der Temperaturverlauf gemessen. Vom 30.04.2016 bis zum 06.07.2016 war es am Feldrand (1H) durchschnittlich 1,3°C wärmer als in 8H Abstand zur Hecke, was einen Unterschied von 7,2% ausmacht. Besonders stark waren die Differenzen bei den maximalen Tagestemperaturen zu sehen. Vom 08.03.-06.07.2016 waren die Höchstwerte in dem unmittelbar an die Hecke angrenzenden Bereich (0H) hier im Mittel 3°C wärmer als am Messpunkt in 4H, was einen Unterschied von 12% bedeutet (Abb.10).

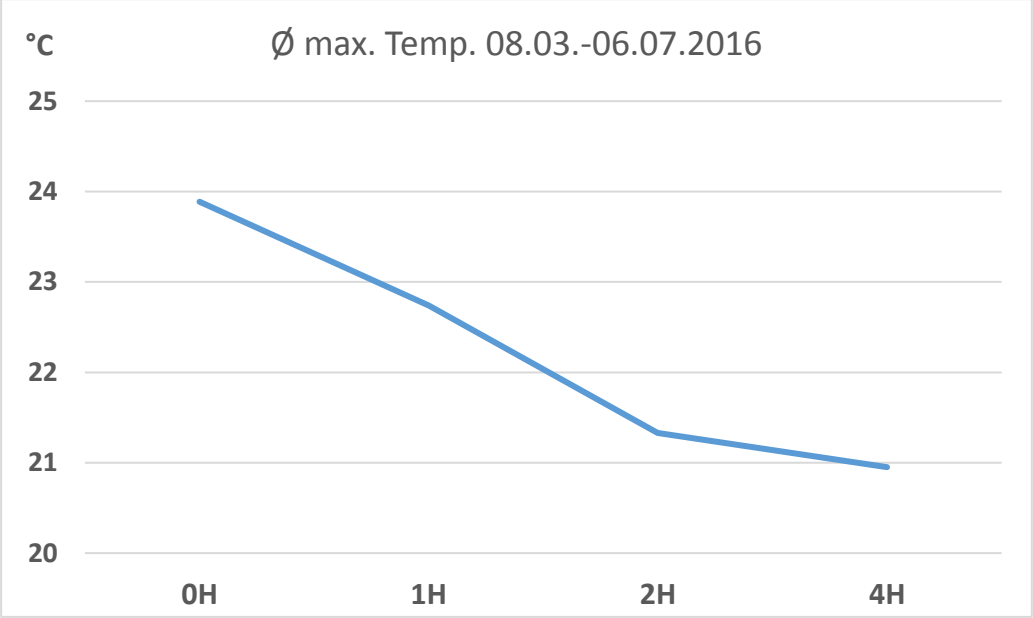

Abb.10: Mittlere max. Tagestemperaturen vom 08.03.-06.07.2016

Bei den Erhebungen im September wurden in Heckennähe (1H) etwas niedrigere mittlere Temperaturen als in 8H gemessen, sowohl direkt über dem Boden (0,15°C Differenz), als auch in 180cm Höhe (0,45°C Differenz). Es wurden sowohl höhere Tagestemperaturen, als auch niedrigere Nachttemperaturen ermittelt. Die U1nterschiede können durch einen verminderten Wärmefluss durch verringerte Windbewegungen erklärt werden (McNaughton 1988). Diese Theorie bestätigt, dass sich die beobachteten Tendenzen verstärkten, als nur Tage mit einer durchschnittlichen Windrichtung über 280° in die Vergleiche einflossen (Abb.11).

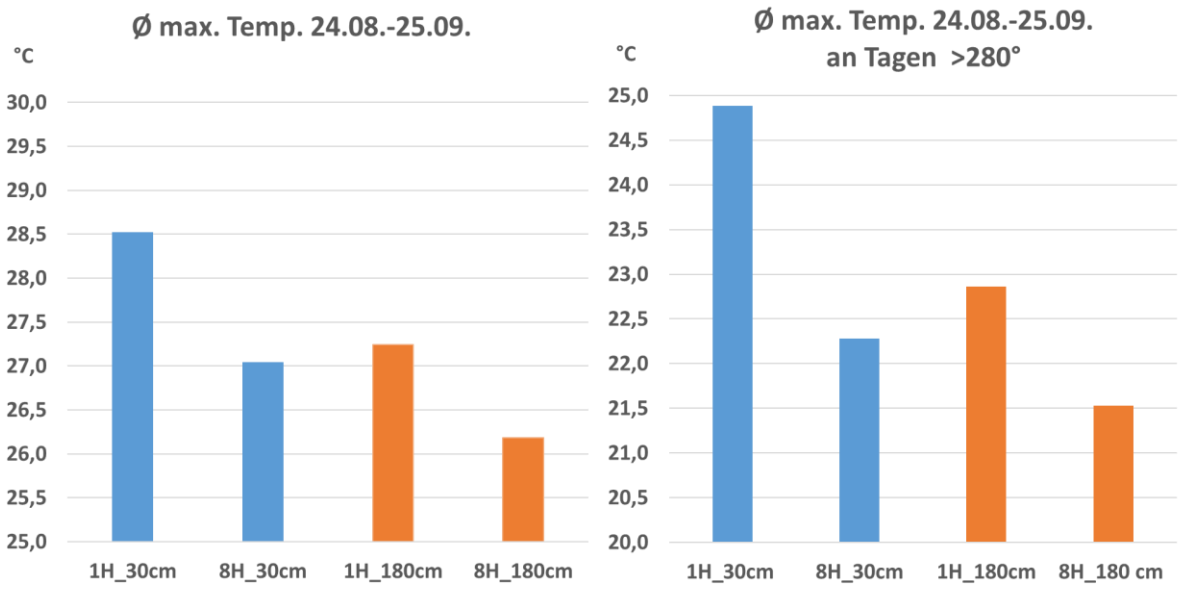

Abb.11: Ø Max. Temperaturen vom 24.08.-25.09.2016 in 1H und 8H Abstand, jeweils 30cm und 180cm über dem Boden; insgesamter Durchschnitt und an Tagen mit einer Windrichtung über 280°

Dass in der Bilanz direkt über dem Boden etwas niedrigere Werte beobachtet wurden, steht entgegen den Messungen von März bis Juli und anderen Untersuchungen (Nuberg 1998). Dieser Effekt könnte darauf zurückzuführen sein, dass es an Tagen mit einer nordwestlichen Windrichtung, also an Tagen an denen es zu einer stärkeren Windschutzwirkung kam, durchschnittlich kälter war als im gesamten Messzeitraum und dadurch die verstärkt verminderten Nachtemperaturen einen größeren Einfluss auf die gesamte Bilanz hatten. An Tagen mit einer Windrichtung über 280° (30.08./05.09/06.09./19.09./20.09./21.09.) war es insgesamt durchschnittlich 2,5°C kälter als im gesamten Messzeitraum. Direkt über dem Boden war es an diesen 6 Tagen auch in 1H um 0,5°C kälter als in 8H Entfernung zur Hecke (Abb.12).

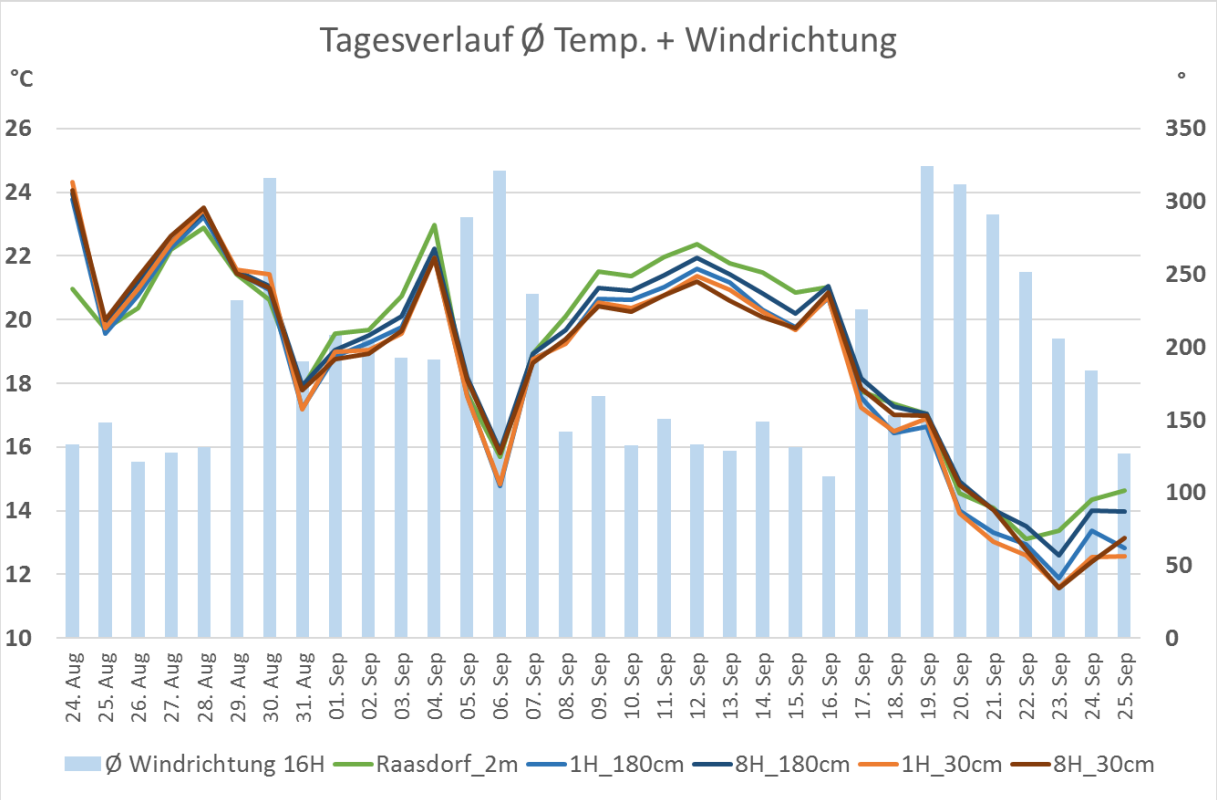

Abb.12: Tagesverlauf vom 24.08.-25.09.2016 der Ø Tagestemperaturen in 30cm und 180cm Höhe mit Ø Windrichtung

4.3. Effekt auf Boden- und Luftfeuchtigkeit

Ebenfalls wurden Unterschiede bei der relativen Luftfeuchtigkeit gemessen. Vom 30.04.-06.07.2016 waren die Gehalte in einem Abstand von 4H zum Windschutz um 18% niedriger als direkt an der Hecke. Dieser Effekt verringerte sich im Abstand von 8H, machte aber auch hier noch einen Unterschied von 11% aus. Besonders in der Nacht war die relative Luftfeuchtigkeit in Heckennähe stark erhöht, wohingegen die Tageswerte hier sogar durch die höheren Temperaturen niedriger waren (Abb.13).

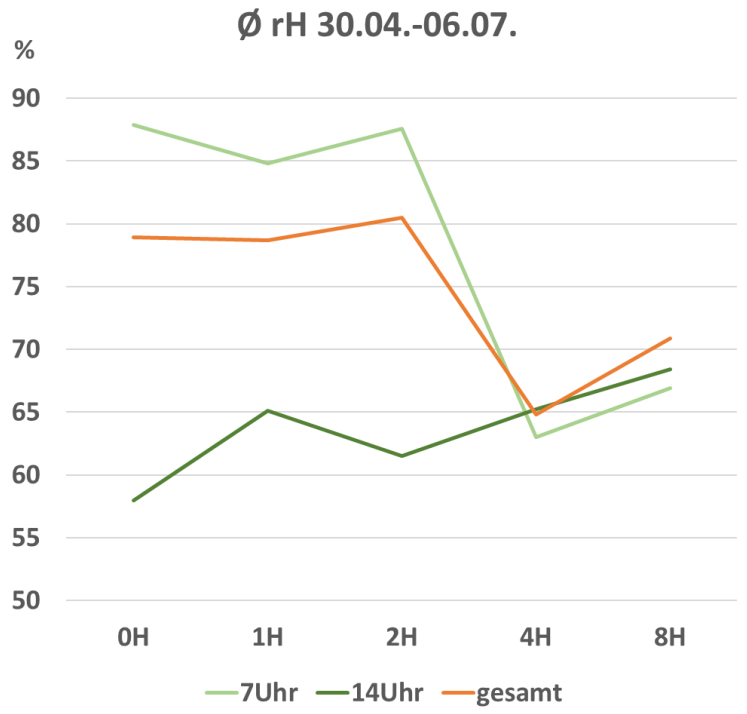

Abb.13: Vergleich der Ø relativen Luftfeuchtigkeit (rH) in Volumenprozent vom 30.04.-06.07.2016

Auch bei den Messungen im September waren die Werte in 8H Abstand sowohl direkt über dem Boden als auch in 180cm Höhe vermindert. Der Unterschied war jedoch in 30cm über dem Boden mit 14% deutlich höher gegenüber 2% bei den höheren Sensoren (Abb.14).

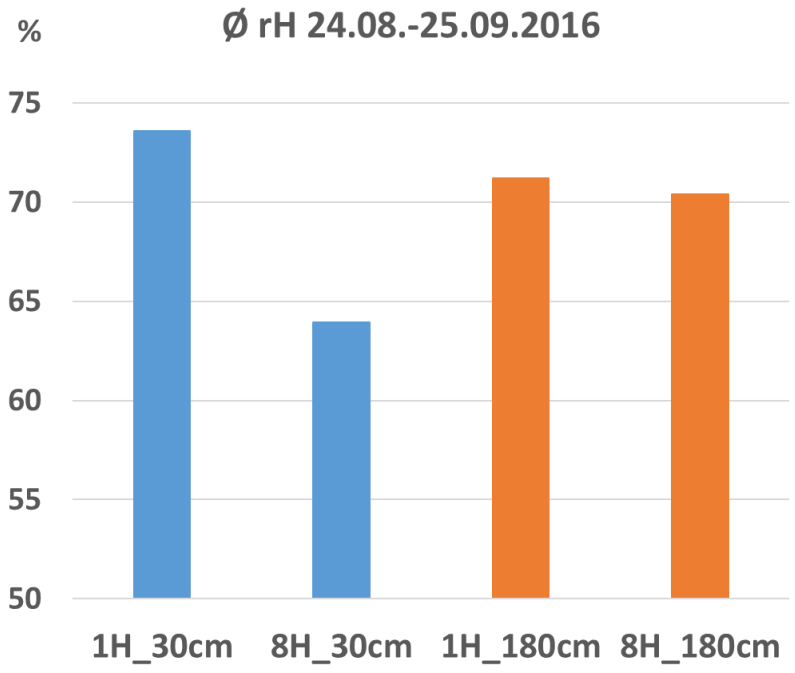

Abb.14: Relative Luftfeuchtigkeit (rH) vom 24.08.-25.09.2016 in 1H und 8H Abstand, jeweils in 30cm und 180cm Höhe über dem Boden

Durch die abnehmenden Luftbewegungen in Heckennähe wird weniger Wasserdampf von der Bodenoberfläche bewegt, wodurch ein höherer Gehalt an Luftfeuchtigkeit entsteht. Durch eine erhöhte Sättigung der Luft mit Wasserdampf wird wiederum das Defizit gegenüber Blatt- und Bodenoberfläche verringert, was eine Abnahme der Verdunstung zur Folge hat. Sowohl Transpiration der Blätter, als auch Evaporation von der Pflanzen- und Bodenoberfläche werden infolgedessen reduziert (McNaughton 1988). Das sollte zu einem erhöhten Bodenwassergehalt führen, der der Pflanze zu einem späteren Zeitpunkt zum Wachstum zur Verfügung steht. Auch bei den Erhebungen während der Vegetationsperiode der Sommergerste konnte ein Einfluss auf die Bodenfeuchtigkeit gemessen werden. In Nähe des Windschutzes (1H) war der Wassergehalt im Boden um 11% höher als 8H im Feld. Angrenzend an die Heckenpflanzen (0H) war der Bodenwassergehalt wiederum geringer, was durch eine stärkere Transpiration der Sträucher gegenüber der Sommergerste erklärt werden kann (Abb.15).

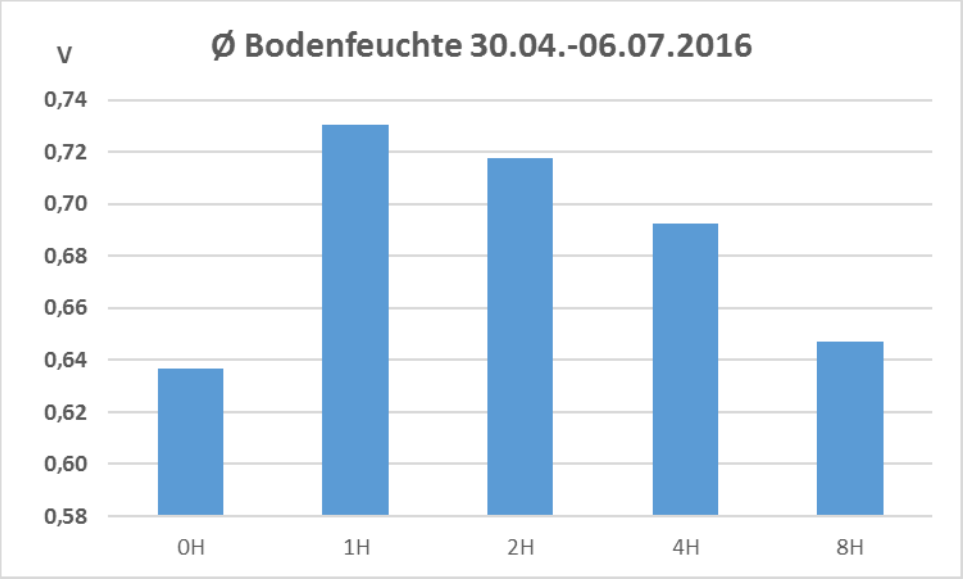

Abb.15: Vergleich der mittleren Bodenfeuchtigkeit vom 30.04.-06.07.2016

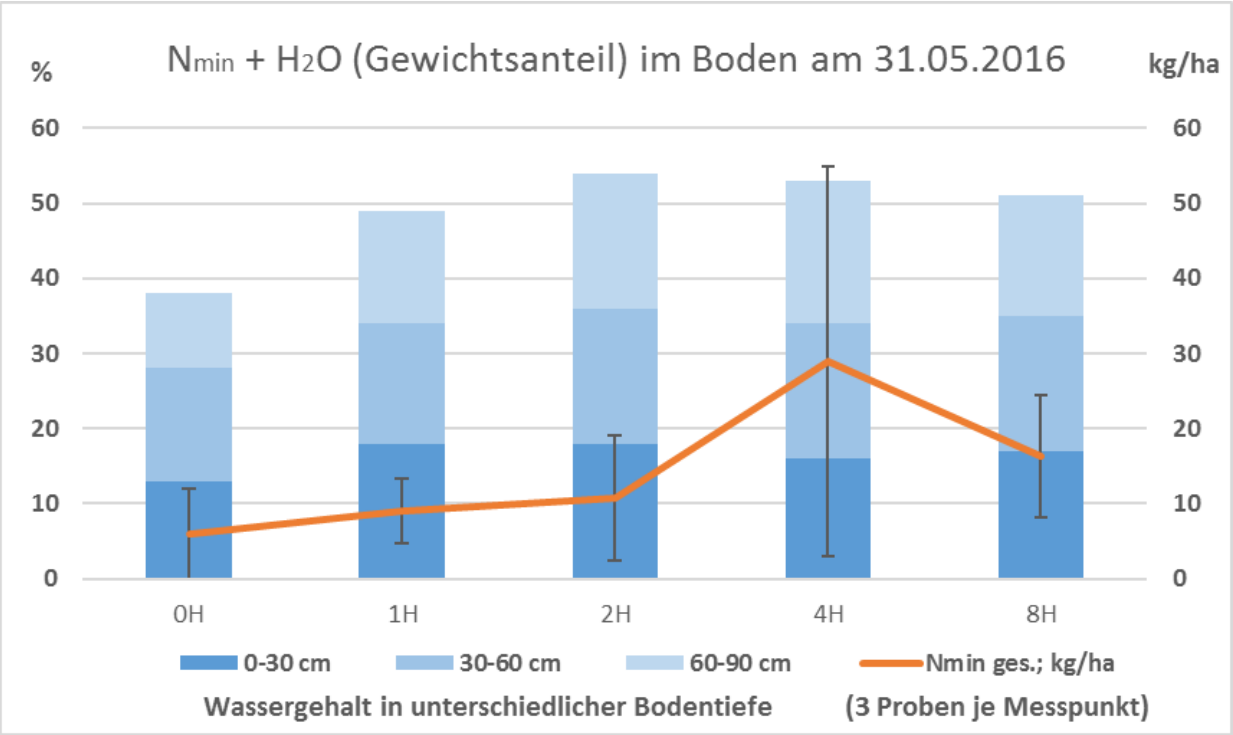

Abb.16: Bodenwassergehalt und frei verfügbarer Stickstoff Nmin in den Bodenproben vom 31.05.2016

Ebenso deuten die Werte bei den Bodenproben vom 31.05.2016 bis 90cm Tiefe auf einen langfristigen Einfluss der Hecke auf den Bodenwassergehalt hin. Auch hier zeigt das erniedrigte Bodenwasser bis 1H die Konkurrenz im Wurzelbereich zwischen Heckenpflanzen und Feldpflanzen in diesem Bereich. Die Bodenanalyse auf frei verfügbaren Stickstoff (3 Proben je Messpunkt) ergab zwar einen erhöhten Wert bei 4H Abstand, konnte jedoch aufgrund eines stark erhöhten Einzelwertes an diesem Punkt kein eindeutig interpretierbares Ergebnis liefern (Abb.16).

4.4. Auswirkung auf Ertragsparameter

Die Gerstenpflanzen, die näher an der Hecke wuchsen, entwickelten sich schneller und erreichten schneller ihre maximale Wuchshöhe (Abb.17). Diese Beobachtung deckt sich mit der Theorie, dass eine Erhöhung der durchschnittlichen Lufttemperatur um 1°C - 2°C, wie in der Vegetationsperiode der Gerste im Versuch beobachtet, einen Einfluss auf die vegetative Entwicklung von Feldfrüchten hat und höhere Tagestemperaturen zu einer verbesserten Photosyntheseleistung und verstärktem Wachstum führen (Kelleher 1984).

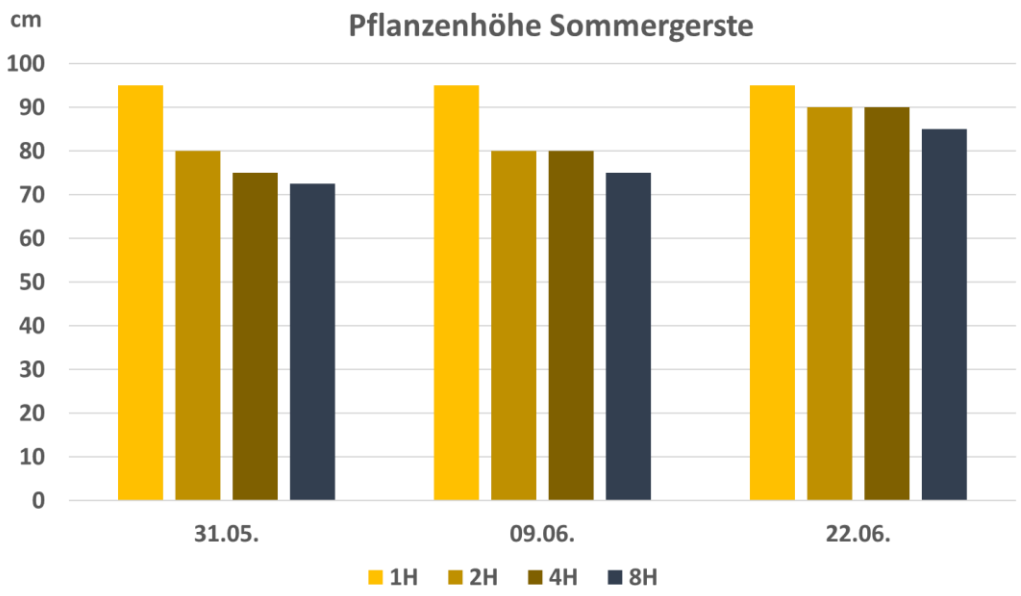

Abb.17: Ø Pflanzenhöhe bei Sommergerste im Laufe der Entwicklung im Juni 2016

Das höchste geerntete Trockengewicht pro m² wurde in einer Entfernung zwischen 2H und 4H zur Hecke festgestellt. Gegenüber diesem Bereich war die Biomasse pro m² am Feldrand (1H) um 22% und in 8H Entfernung um 12% reduziert (Abb.18). Die geringere Ausbeute in der Zone direkt neben dem Windschutz (1H) kann auf einen Konkurrenzeffekt zwischen den Heckenpflanzen und der Sommergerste zurückgeführt werden (Kort 1988; Nuberg 1998). Der Ertrag in weiterer Entfernung (8H) könnte aufgrund einer geringeren positiven Beeinflussung der mikroklimatischen Parameter durch den Windschutz vermindert gewesen sein. Die statistische Auswertung mit einem Post-hoc-Test nach Gabriel ergab nur zwischen 1H und 4H Entfernung einen signifikanten Unterschied bei den Trockenmassen.

Ebenfalls im Bereich zwischen 2H und 4H wurden am meisten Ähren pro m² ausgebildet (Abb.18). Es wurden also mehr Gerstenkörner in diesem Abstand zur Hecke gebildet, was auch in einem höheren Trockengewicht des Korns gemessen wurde (Abb.19).

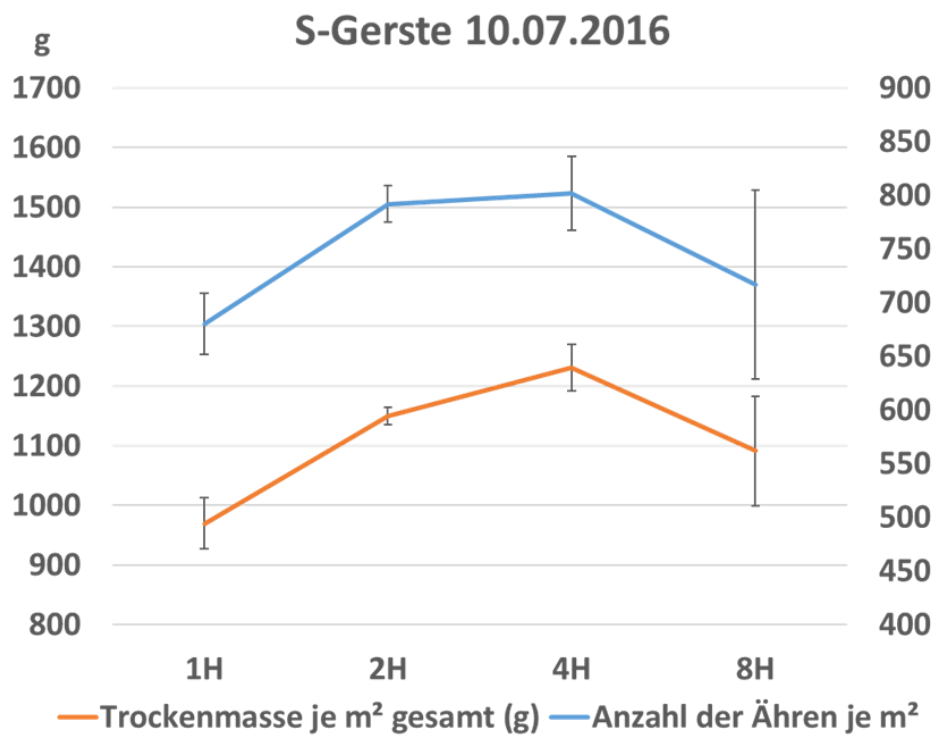

Abb.18: Trockengewicht und Bestandsdichte je m² der Feldproben der Ernte vom 10.07.2016

Interessant ist, dass am Messpunkt in 4H Abstand zur Hecke bei langsameren Wachstum signifikant mehr vegetative Masse gegenüber 1H gebildet wurde. Das ist erkennbar an der erhöhten Trockenmasse des Gerstenstrohs an diesem Punkt in Abb.19.

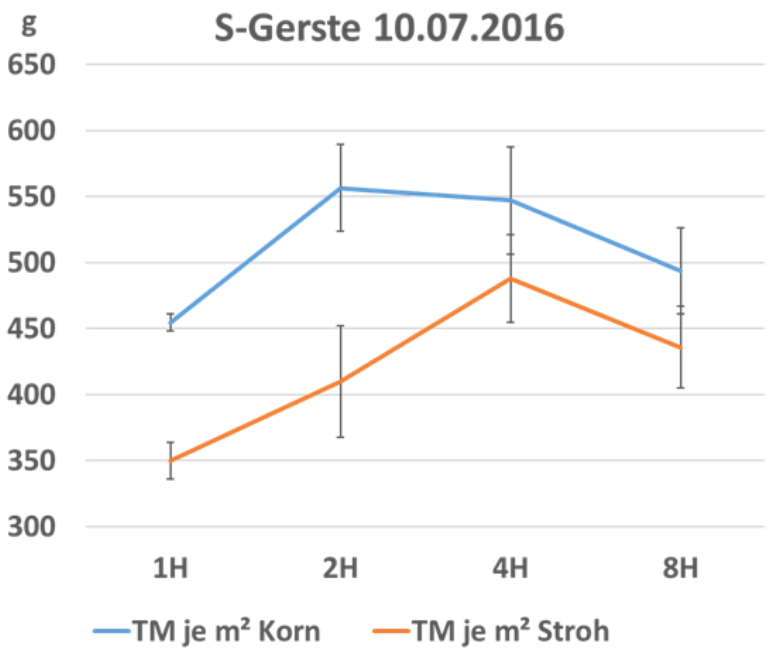

Abb.19: Trockenmasse der Gerstenkörner, sowie des Gerstenstrohs je m² der Ernte vom 10.07.2016

Durch die längere Wachstumsphase konnten sich die Pflanzen offenbar besser entwickeln. Eine daraus folgende negative Auswirkung auf die Kornausbildung konnte nicht beobachtet werden. Ein erhöhtes Korn/Strohverhältnis im Bereich bis 2H, sowie ein höheres 1000-Korngewicht bei 2H deuten auf eine längere Reifephase hin. Ein statistisch eindeutiger Unterschied konnte aber nicht festgestellt werden (Abb.20). Auch beim Proteingehalt der Gerstenkörner konnte kein eindeutiger Zusammenhang hergestellt werden (Abb.21).

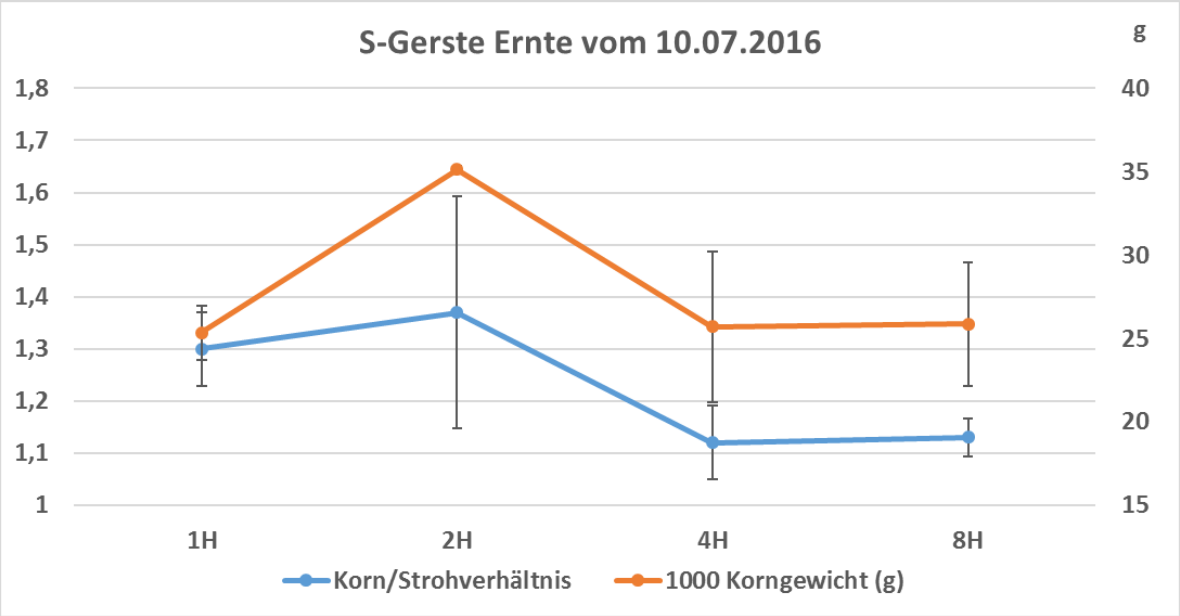

Abb.20: Korn/Strohverhältnis und 1000-Korngewicht der Feldproben vom 10.07.2016

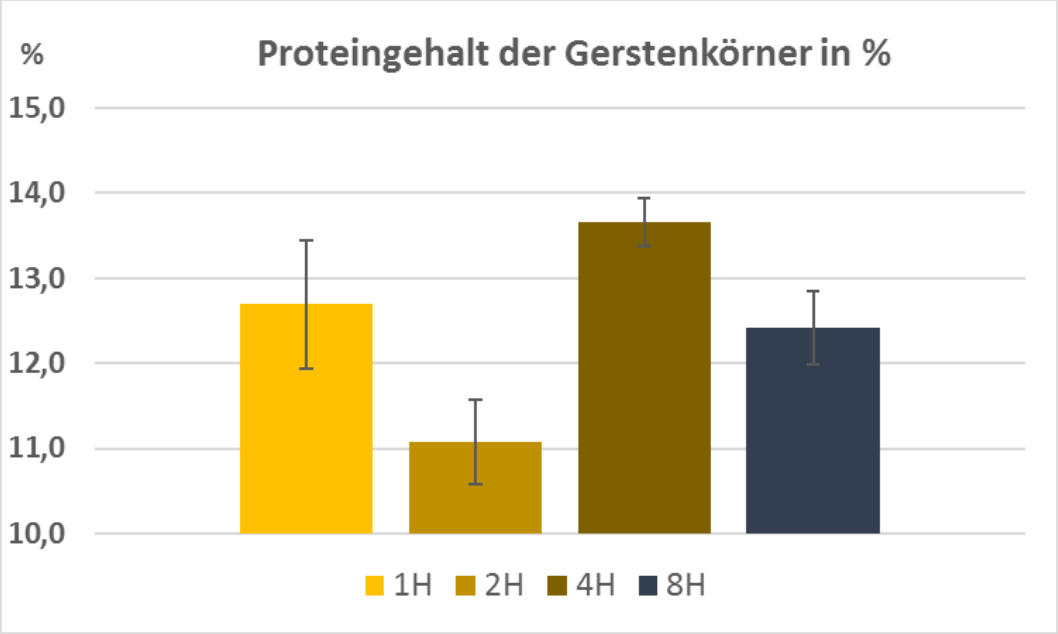

Abb.21: Proteingehalt der Gerstenkörner in % der Feldproben vom 10.07.2016

Ein signifikanter Unterschied konnte bei der Pflanzenhöhe der Zwischenfrucht vom 25.10.2016 festgestellt werden. In einem Bereich bis 2H ins Feld wuchsen die Pflanzen 35% höher als am Messpunkt in 16H Entfernung. Die maximale Trockenmasse wurde bei 2H gemessen, welche mit steigender Entfernung zur Hecke immer weiter abnahm und bei 16H um 14% reduziert war. Auch hier wurde am Feldrand (1H) eine konkurrenzbedingte Verminderung der getrockneten Biomasse je m² um 14% festgestellt (Abb.22).

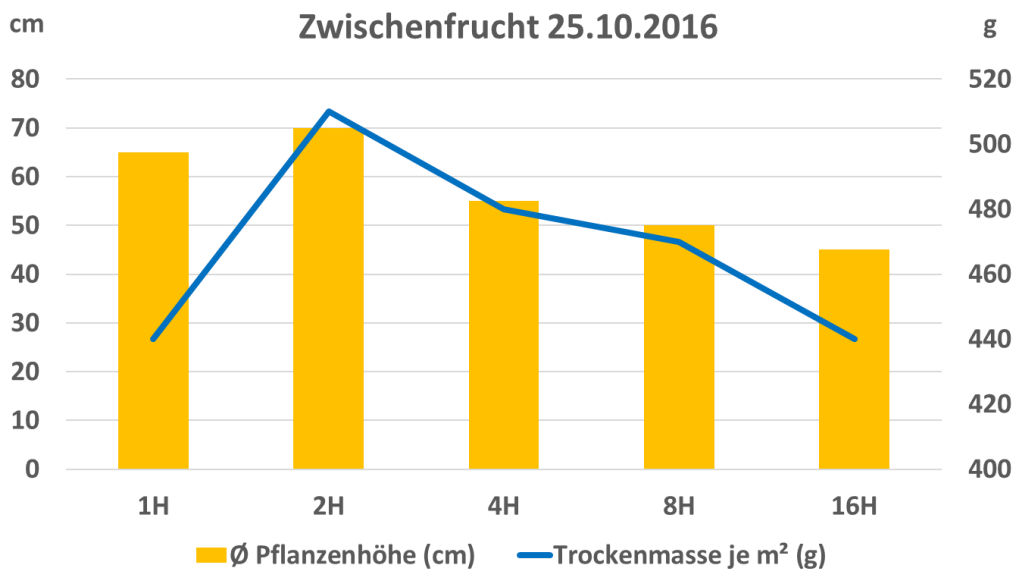

Abb.22: Ø Pflanzenhöhe und Trockenmasse je m² der Zwischenfruchtproben vom 25.10.2016

Zu beachten ist hier, dass die Zwischenfruchtmischung aus mehreren Komponenten bestand. Die Pflanzenarten reagierten verschieden in den unterschiedlichen Abständen zum Windschutz. Ramtillkraut, auch Mungo genannt, wuchs besonders ausgeprägt in einem Bereich zwischen 1,5H und 3H und stagnierte dahinter fast vollständig. Bei 10H Entfernung zur Hecke nahm die Pflanzenhöhe der Phacelia stark ab und wurde vom Buchweizen überragt. Diese Grenzen waren im Feld auch an einer sich deutlich ändernden Farbgebung zu sehen. Bei 3H gab es einen harten Farbübergang vom hellgrünen, höherwachsenden Ramtillkraut, zum dunkelgrünen Phacelia und bei 10H weiter zum braunen Buchweizen (Abb.23).

Abb.23: Farbübergang mit klaren Kanten bei 3H vom Ramtillkraut (hellgrün) zu Phacelia (dunkelgrün) und bei 10H zu Buchweizen (braun); Foto vom 25.10.2016

5. Diskussion

Während den Messungen im September konnte eine eindeutige Verminderung der Windgeschwindigkeiten bis zu einem Abstand äquivalent zu 4H der Hecke nachgewiesen werden. Dieser Effekt verstärkte sich bedeutend, wenn der Wind aus einem Bereich von Norden bis Nordwesten (270°-360°) kam. Die Windrichtung war im Versuchsjahr 2016 vorwiegend parallel zur Windschutzhecke (Abb.4), wohingegen der Wind im vieljährigen Mittel von 1971-2000 weit häufiger aus dem nordwestlichen bzw. aus dem südöstlichen Sektor kam (Abb.1). Dadurch könnte sich der Windschutzeffekt der untersuchten Hecke über einen längeren Zeitraum betrachtet gegenüber dem Untersuchungszeitraum noch erheblich ausweiten. Sowohl in Simulationen in Windkanälen (Heisler & Dewalle 1988; Yusaiyin & Tanaka 2009), als auch in aktuellen Feldmessungen (He et al. 2017; Řeháček et al. 2017) wurde noch bei 7H eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit um 30 % oder mehr gemessen.

Dennoch wurde bei den Untersuchungen eine Beeinflussung des Mikroklimas bis zu einer Entfernung von 8H gemessen. Die Temperaturen waren von März bis Juli in Heckennähe durchschnittlich um 1,3°C erhöht. Dieser Effekt wurde sowohl theoretisch (Heisler & Dewalle 1988; McNaughton 1988) als auch in zahlreichen Messungen beobachtet (Nuberg 1998; Sudmeyer et al. 2002; Brandle et al. 2004). Das Ausmaß der Steigerung und der Weite des Einflussbereiches schwankt jedoch in den verschiedenen Erhebungen. Besonders deutlich wurde die Temperaturerhöhung bei den Untersuchungen an der Hecke in Raasdorf, wenn nur die durchschnittlichen maximalen Tagestemperaturen betrachtet wurden. Daraus folgend kann das schnellere Wachstum der Gerste in zunehmender Heckennähe (1H) erklärt werden (Kelleher 1984). Diese Beobachtungen wurden so auch in diversen vorrangegangenen Studien beobachtet und erklärt (Baldwin 1988; Foereid et al. 2002).

Auffallend hoch war die Auswirkung auf die relative Luftfeuchtigkeit. Wohingegen bei vergleichbaren Studiendesigns nur eine marginale Erhöhung von 3% in Heckennähe gegenüber 12H Abstand beschrieben wird (Marshall 1967; Campi et al. 2009), konnte bei den eigenen Messungen sowohl von März bis Juli, als auch im September ein Anstieg von 11% bzw. 14% in 1H gegenüber 8H Abstand nachgewiesen werden. Bei den Erhebungen vom 30.04.-06.07.2016 wird auch hier die stärkste Beeinflussung in einem Bereich bis 4H deutlich.

Zusammenfassend kann ein starker Einfluss des Windschutzes auf mikroklimatische Faktoren bis 4H Abstand umrissen werden. Das Ausmaß der Beeinflussung nahm bis 8H deutlich ab. Weitere Messpunkte in größerer Entfernung, wie bei den Windmessungen im September in 16H hätten den geschützten Bereich noch genauer beschreiben können.

Die Ergebnisse der Ernteauswertung sind vergleichbar mit einschlägigen Studien und Zusammenfassungen (Kort 1988; Nuberg 1998; Campi et al. 2009; Bao et al. 2012). Der Einflussbereich kann hier in 3 Zonen aufgeteilt werden. Während es in einem Bereich bis 1H zu einer abgeschwächten Schutzwirkung durch Konkurrenz kommt, wurde der maximale Ertrag zwischen 2H und 4H gemessen. In 8H Abstand reduzierte sich die Ausbeute wieder (Abb.18). Statistisch signifikante Ergebnisse wurden aber nur bei der Trockenmasse der Gerstenernte und des Gerstenstrohs zwischen den Messpunkten bei 1H und 4H, sowie bei der Pflanzenhöhe der Zwischenfruchternte erhoben. Auch hier hätten weitere Messpunkte in größerer Entfernung den Einfluss noch genauer definieren können. Weiter wäre es optimal gewesen, weitere analoge Transekte parallel zu errichten, um horizontale Einflüsse auszuschließen und eine bessere statistische Auswertung der Ernteergebnisse zu ermöglichen. Die Ergebnisse zeigen nichts desto trotz einen Zusammenhang zwischen der Windschutzwirkung, dem Einfluss auf das Mikroklima und dem Ertrag.

Durch die Ost-West Ausrichtung der Hecke und der nach Süden ausgerichteten Messreihe kann ein negativer Einfluss durch Sonnenabschattung vernachlässigt werden. Einen bedeutenden Anteil hatte somit offenbar eine Konkurrenz im Wurzelbereich um Nährstoffe und Wasser. Außerdem könnten die erhöhten Temperaturen in diesem Bereich die Verdunstung gesteigert und damit die Wassernutzungseffizienz der Pflanzen verringert haben (Brenner et al. 1995), obwohl sie durch höhere Tagestemperaturen näher am Optimum für die Photosynthese waren. Weiter bestand unter Umständen durch das schnellere Wachstum auch ein höherer Wasserbedarf der Pflanzen in 1H Abstand, was wiederum einen Einfluss auf das Bodenwasser hat. Der überdurchschnittlich hohe Niederschlag im Jahr 2016 in den Vegetationsmonaten und davor hatte sicherlich ebenfalls einen Einfluss auf das Ausmaß der Schutzwirkung auf die Gerste (Abb.2). Besonders bei Getreide kann der positive Effekt einer Hecke auf die Wassernutzungseffizienz und den Ertrag in trockenen Jahren noch höher ausfallen. In anderen Untersuchungen wurden keine Unterschiede und Ertragseinbußen bei Getreide in Jahren mit ausreichender Wasserversorgung festgestellt (Marxen-Drewes, H. 1988; Bruckhaus & Buchner 1995). Durch das pannonische Klima im Marchfeld mit sehr verschiedenen Jahreswitterungen könnte es am Versuchsstandort in anderen Jahren zu einem erheblich größeren Effekt kommen.

Abb.24: Lagerneigung der Gerstenpflanzen am 22.06.2016 zwischen 2H und 4H Abstand zur Hecke

Auf dem Gerstenfeld kam es im Juni 2016 zu Lagerneigung bei den Pflanzen, die besonders zwischen 2H und 4H ausgedehnt war (Abb.24). Das am Boden liegende Getreide lässt sich schwerer ernten und ist einem höheren Risiko für Pilzbefall ausgesetzt. Der sehr dichte Bewuchs in diesem Bereich mit über 800 Ähren pro m² war hier sicherlich ein Hauptfaktor. Starke Regenereignisse können ein Auslöser für Lagerungen sein. Solche wurde aber im Juni 2016 in keinem hohen Ausmaß beobachtet. An der vollständig windundurchlässigen Hecke könnte es zu vertikalen Windbewegungen kommen, die im Leebereich wieder aufs Feld treffen und so die Gefahr für umgeknicktes Getreide deutlich erhöhen (Heisler & Dewalle 1988). Wie aus der analysierten Literatur hervorgeht, könnten Pflegemaßnahmen, die die Durchlässigkeit der untersuchten Hecke erhöhen, solche Windverwirbelungen vermeiden und so den Schutzeffekt noch erhöhen.

Unübersehbar war auch die Auswirkung der Windbarriere auf die Arten der Zwischenfruchtmischung. Die unterschiedlichen Pflanzenentwicklungen zeichneten die oben beschriebenen horizontalen Grenzen der Einflussbereiche nach, sowohl in der Pflanzenhöhe, als auch in der geernteten Trockenmasse (Abb.22). Trotz der insgesamt etwas niedrigeren Temperaturen die im September in Heckennähe im Vergleich zum ungeschützten Bereich gemessen wurden, haben offensichtlich die höheren Tagestemperaturen das Wachstum des aus Afrika stammenden Ramtillkrauts stark gefördert. Diese Komponente der Zwischenfruchtzusammensetzung erhöhte die geerntete Biomasse in einem Abstand bis ca.

3,5H im Feld und überragte diese besonders auffällig in diesem Bereich in der Höhe. Einen Großteil der insgesamten Trockenmasse wurde vom Phacelia gebildet, welches nach ca. 10H bedeutend in Höhe und Gewicht stagnierte. Das veränderte Mikroklima und die damit erhöhte Wasserverfügbarkeit begünstigte augenscheinlich diese Pflanze stark. Die relativ trockenen Verhältnisse im August und September könnten diesen Effekt noch erheblich verstärkt haben.

Bei den Ernteerhebungen im Rahmen des MUBIL-Projektes auf den benachbarten Feldern in Rutzendorf von 2003 bis 2009 wurde der Einfluss einer 8m hohen Hecke mit Baumreihe in Nord-Süd Ausrichtung untersucht. Diese Exposition sollte im Hinblick auf die langjährig vorherrschenden Hauptwindrichtungen insgesamt einen größeren Windschutz bieten, als die in dieser Arbeit untersuchte von Ost nach West verlaufende Hecke. Die Ergebnisse der Ernteanalyse sind vergleichbar mit den eigenen Erhebungen. Bei Luzerne und Winterweizen kam es zu einer Steigerung der Trockenmasse von ca. 9,5%, bei Sonnenblumen sogar um 23,7% gegenüber der Ernte im ungeschützten Bereich. Die höchsten Werte wurden hier jeweils direkt in Heckennähe (1H) gemessen. Der vertikale Einflussbereich wurde bei Luzerne und Sonnenblumen bis 10H ermittelt und war damit ausgeprägter als bei der Sommergerste 2016. Bei Winterweizen konnte ein positiver Effekt bis 4,5H beobachtet werden. Die Ergebnisse sind hier also ähnlich mit den eigenen Erhebungen, sowohl in Ausmaß als auch in Weite des Heckeneinflusses.

Wenn man von den erhobenen Ergebnissen ausgeht, wurde bei ca. 10% Mehrertrag in einem Bereich von 1,5H - 6,5H zumindest ein Drittel des Minderertrages der durch den Flächenbesatz und die Konkurrenz der Heckenpflanzen entstanden ist, kompensiert. Hierbei sind aber nicht die Verluste, die bei allen Feldrändern durch Wege und Randeffekte beachtet. Bei anderen angebauten Feldfrüchten, sowie einer trockeneren Jahreswitterung könnte sich der Minderertrag der durch den Flächenbedarf der Hecken entsteht, noch deutlich verringern. Im Hinblick auf weitere, für die Landwirtschaft nachhaltigen Effekte, wie der Schutz vor Bodenerosion (Chendev et al. 2015; Řeháček et al. 2017), sollten Neuerrichtungen und Pflegemaßnahmen von Hecken als Anreiz für Bauern staatlich gefördert werden. Der Aufbau von Windschutzanlagen sollte außerdem im Detail geplant werden. Artenzusammensetzung, Durchlässigkeit, Breite und Höhe der Anlagen sind entscheidend für eine bestmögliche Windschutzwirkung. Die Kombination mit Straßen, Wasserkanälen oder anderer landwirtschaftlicher Infrastruktur kann die Effektivität in der Ertragswirksamkeit noch steigern und sollte in den Aufbau dieser Landschaftsstrukturen mit einfließen (Zheng et al. 2016).

6. Conclusio

Insgesamt ist die Aussagekraft der Erhebungen begrenzt, da die Auswirkungen von Windschutzhecken stark von Jahreswitterungen, Bodenbedingungen und angebauter Kultur beeinflusst sind. Dennoch wurde bei den Messungen ein Einfluss auf mikroklimatische Parameter im Leebereich bis mindestens 4H Abstand zur Hecke nachgewiesen. Auch wurden die Sommergerste, sowie die Arten der Zwischenfruchtmischung in ihrer Entwicklung in diesem Bereich beeinflusst, was einen Zusammenhang zwischen Windschutz und Ertrag kennzeichnet.

Die unterschiedlichen Reaktionen der Komponenten bei der Zwischenfrucht heben die komplexen Beziehungen zwischen Pflanze und Klima hervor. Hier wird außerdem noch einmal die Notwendigkeit von weiteren Untersuchungen an verschiedenen Kulturen und in verschiedenen Jahren am selbigen Standort deutlich, um eindeutige Aussagen zur Auswirkung von Hecken auf den Ertrag von Feldfrüchten im Marchfeld treffen zu können. Der Vergleich mit vorangegangen Arbeiten im Rahmen des MUBIL zeigt jedoch eine klare Tendenz zu einem positiven Effekt auf die Ausbeute bei Feldfrüchten, welche den Mehraufwand an Pflegemaßnahmen und Platzbedarf auf Dauer kompensieren könnten.

Im Hinblick auf prognostizierte Klimaveränderungen und einer damit einhergehenden steigenden Ertragsvariabilität werden Anpassungsmaßnahmen immer notwendiger (Gröbmaier 2009). Heckenpflanzungen können in Wasser limitierten Gebieten, wie dem Marchfeld in Zukunft eine entscheidende Rolle für Landwirte spielen um das Produktionsrisiko langfristig gesehen zu senken.

7. Literaturverzeichnis

Baldwin CS. 1988. 10. The influence of field windbreaks on vegetable and specialty crops. Agric Ecosyst Environ. 22–23:191–203.

Bao Y, Li H, Zhao H, others. 2012. Effect of shelterbelts on winter wheat yields in sanded farmland of north-western Shandong province, China

Barker GL, Hatfield JL, Wanjura DF. 1985. Cotton phenology parameters affected by wind. Field Crops Res. 12:33–47.

Böhm C, Kanzler M, Freese D. 2014. Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. Agrofor Syst. 88:579–591.

Brandle JR, Hodges L, Zhou XH. 2004. Windbreaks in North American agricultural systems. Agrofor Syst. 61:65–78.

Brenner AJ, Jarvis PG, Beldt VD, J R. 1995. Windbreak-crop interactions in the Sahel

Bruckhaus A, Buchner W. 1995. Hecken in der Agrarlandschaft: Auswirkungen auf Feldfruchtertrag und oekologischen Kenngroessen. Mitteilungen Ges Fuer Pflanzenbauwissenschaften

Burke S. 1998. Windbreaks Gulf Professional Publishing

Campi P, Palumbo AD, Mastrorilli M. 2009. Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. Eur J Agron. 30:220–227.

Chendev YG, Sauer TJ, Ramirez GH, Burras CL. 2015. History of east european chernozem soil degradation; protection and restoration by tree windbreaks in the Russian steppe. Sustainability. 7:705–724.

Cleugh H.A., Nuberg,I.K. Prinsley, R., Bird,R.P., Brooks, S.J., Carberry, P.S., Crawford, M.C., Meinke, H., Mylius, S.J., Wright, A.J., Sudmeyer, R.A. 2002. The Australian National Windbreaks Program: Overview and summary of results. Aust J Exp Agric.:649–664.

Cornelis WM, Gabriels D. 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. J Arid Environ. 61:315–332.

Cutforth HW, McConkey BG. 1997. Stubble height effects on microclimate, yield and water use efficiency of spring wheat grown in a semiarid climate on the Canadian prairies. Can J Plant Sci. 77:359–366.

Eitzinger, J., Bahrs, E., Brandenburg, Chr., Gerersdorfer, T. 2010. Der Beitrag von Landschaftsstrukturen (z.B. Windschutzhecken) zur Ertragssituation im Ackerbau in Ostösterreich, Freiburg

Eitzinger, J., Gerersdorfer, T., Laube, W. 2011. Mikroklima im Bereich von Hecken und die Bedeutung für die Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion.

Europäischer Rat. 1999. EU-Verordnung 1257/99.

Field A. 2013. Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics, London

Foereid B, Bro R, Mogensen VO, Porter JR. 2002. Effects of windbreak strips of willow coppice—modelling and field experiment on barley in Denmark. Agric Ecosyst Environ. 93:25–32.

Gomes L, Arrúe JL, López MV, Sterk G, Richard D, Gracia R, Sabre M, Gaudichet A, Frangi JP. 2003. Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project. CATENA. 52:235–256.

Grace J. 1988. 3. Plant response to wind. Agric Ecosyst Environ. 22–23:71–88.

Grant PF, Nickling WG. 1998. Direct field measurement of wind drag on vegetation for application to windbreak design and modelling. Land Degrad Dev. 9:57–66.

Grohmann, J. 2013. Windschutzhecke Raasdorf.

He Y, Jones PJ, Rayment M. 2017. A simple parameterisation of windbreak effects on wind speed reduction and resulting thermal benefits to sheep. Agric For Meteorol. 239:96–107.

Heisler GM, Dewalle DR. 1988. 2. Effects of windbreak structure on wind flow. Agric Ecosyst Environ. 22:41–69.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 151 pp., Geneva, Switzerland

Kelleher FM. 1984. Climate and crop distribution. Principles of Field Crop Production. Sydney, Sydney University Press.

Kleemann M, Meliß M. 2013. Regenerative Energiequellen, Springer-Verlag

Kort J. 1988. 9. Benefits of windbreaks to field and forage crops. Agric Ecosyst Environ. 22–23:165–190.

Leihner DE, Buerkert A, Banzhaf J, Serafini PG. 1993. Soil Tillage and Windbreak Effects on Millet and Cowpea: II. Dry Matter and Grain Yield. Agron J. 85:400–405.

Leys J (New SWC and LM, McTainsh G (Griffith U. 1994. Soil loss and nutrient decline by wind erosion - cause for concern [Mallee, New South Wales]. Aust J Soil Water Conserv Aust

Marchfeldkanal.at. 2016, http://www.marchfeldkanal.at/home.htm, abgerufen am 31.11.2016

Marxen-Drewes, H. 1988. Zur Bedeutung der Wallhecken in einem Agrarökosystem Schleswig-Holsteins (The importance of hedges in an agroecosystem of Schleswig-Holstein). Z Für Kult Flurberein.:312–320.

McNaughton KG. 1988. 1. Effects of windbreaks on turbulent transport and microclimate. Agric Ecosyst Environ. 22:17–39.

Merrill AL, Watt BK. 1973. Energy Value of Foods—Basis and Derivation. US Dept. of Agrie, Agrie Handb. No. 74, 105 pp. SI Rev.

Mertia RS, Muthana KD, Singh M. 1988. Impact of shelterbelts on pearl millet crop. Ann Arid Zone. 27:305–307.

Miloserdov NM. 1989. Shelterbelts and the yield of winter barley. Lesn Khozyaistvo. 7:39–41.

Nuberg IK. 1998. Effect of shelter on temperate crops: a review to define research for Australian conditions. Agrofor Syst. 41:3–34.

ÖPUL, 2015, BundesMinisteriumFürLebenswertesÖstereich, Wien

Pretzschel M, Bohme G, Krause H. 1991. Effects of shelterbelts on crop yield. Feldwirtschaft. 32:229–231.

Rauchberger E. 2014. Auswirkungen langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf ausgewählte Bodenkennzahlen, Wachstumsverlauf und Qualitätsparameter bei Zuckerrüben unter pannonischen Produktionsbedingungen. wien: BOKU.

Řeháček D, Khel T, Kučera J, Vopravil J, Petera M. 2017. Effect of windbreaks on wind speed reduction and soil protection against wind erosion. Soil Water Res. 12:128–135.

Rinnofner T, Friedel JK, De Kruijff R, Pietsch G, Freyer B. 2008. Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. Agron Sustain Dev. 28:551–558.

Rivest D, Vézina A. 2015. Maize yield patterns on the leeward side of tree windbreaks are site-specific and depend on rainfall conditions in eastern Canada. Agrofor Syst. 89:237–246.

Sparkes DL, Jaggard KW, Ramsden SJ, Scott RK. 1998. The effect of field margins on the yield of sugar beet and cereal crops. Ann Appl Biol. 132:129–142.

StartClim, Endbericht Juni 2009, Anpassung an den Klimawandel in Österreich, Umweltbundesamt, Wien

Strauss F, Schmid E, Moltchanova E, Formayer H, Wang X. 2012. Modeling climate change and biophysical impacts of crop production in the Austrian Marchfeld Region. Clim Change. 111:641–664.

Sudmeyer RA, Adams MA, Eastham J, Scott PR, Hawkins W, Rowland IC. 2002. Broadacre crop yield in the lee of windbreaks in the medium and low rainfall areas of south-western Australia. Aust J Exp Agric. 42:739.

Sudmeyer RA, Speijers J. 2007. Influence of windbreak orientation, shade and rainfall interception on wheat and lupin growth in the absence of below-ground competition. Agrofor Syst. 71:201–214.

Sun D, Dickinson GR. 1994. A case study of shelterbelt effect on potato (Solanum tuberosum) yield on the Atherton Tablelands in tropical north Australia. Agrofor Syst. 25:141–151.

Surböck, A., Friedel, J. K., Freyer, B., Heinzinger, H. 2012. Einfluss einer Hecke auf den Nutzpflanzenertrag in der angrenzenden biologischen Ackerfläche.

Thue-Hansen V (Norges L, Skjelvaag AO (nlvf. 1987. The effects of shelter on climate and barley yield. Nor Agric Res

Yusaiyin M, Tanaka N. 2009. Effects of windbreak width in wind direction on wind velocity reduction. J For Res. 20:199–204.

ZAMG. klimarückblick http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/, abgerufen am 04.01.2017

Zhao H-L, Zhou R-L, Zhang T-H, Zhao X-Y. 2006. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, north China. Soil Tillage Res. 87:175–185.

Zheng X, Zhu J, Xing Z. 2016. Assessment of the effects of shelterbelts on crop yields at the regional scale in Northeast China. Agric Syst. 143:49–60