

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN DEPARTEMENT
LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT INSTITUT FÜR UMWELT UND
NATÜRLICHE RESSOURCEN



Einfluss von polarisiertem Licht auf Insekten und ihr Eiablageverhalten in der Landwirtschaft

Bachelorarbeit

von

Severin Scheurer

Bachelorstudiengang Umweltingenieurwesen 2016

Korrektoren:

Patrik Wiedemeier

Tiefmoosstrasse 7, 8499 Sternenber

Jürg Schlegel

ZHAW Schloss, 8820 Wädenswil

Zusammenfassung

Linear polarisiertes Licht ist eine entscheidende visuelle Information für wassersuchende Insekten. Normalerweise wird die Sonneneinstrahlung an einer Wasseroberfläche polarisiert reflektiert und das Wasser wird damit als solches erkannt. Heute sind jedoch immer mehr künstliche Flächen anthropogenen Ursprungs zu finden, welche diese Eigenschaften beim Reflektieren aufweisen. Dies kann bei Insekten zu einer tödlichen Fehlentscheidung führen. In der Landwirtschaft werden zum Beispiel Bändchengewebe aus Polypropylen verwendet, welche entsprechende Eigenschaften aufweisen. Ein Kürbisfeld in Bütschwil im Berner Seeland, sowie eines in Steffisburg bei Thun mit entsprechender Bewirtschaftung, dienten als Untersuchungsflächen für Feldbeobachtungen. Mit dem Fokus auf Libellen (*Odonata*) wurden über die Saison 2019 mehrere Begehungen gemacht und das Verhalten der Libellen sowie deren Artzugehörigkeit aufgenommen. Weiter wird ein theoretischer Hintergrund zu den gefundenen Libellenarten sowie der Polarisierung von Licht gegeben. Zusätzlich wurden Messungen zu verschiedenen Bändchengewebeprodukten bezüglich ihrer Polarisierungseigenschaften durchgeführt und weitere mögliche Quellen für linear polarisiertes Licht recherchiert. Auf beiden Untersuchungsflächen konnten diverse Libellen mit artspezifischem Verhalten beobachtet werden, wie sie es typischerweise an deren Fortpflanzungsgewässern zeigen. Messungen an den Bändchengeweben, welche auf den Feldern eingesetzt wurden, ergaben sehr ähnliche Reflexionseigenschaften wie jene an Wasseroberflächen und einzig ein weisses Fabrikat wies nur eine sehr geringe polarisierende Wirkung auf. Zudem zeigten Recherchen viele weitere mögliche Quellen polarisierten Lichts auf, wovon einige vorgestellt und mögliche Lösungsansätze diskutiert werden. Es werden weitere Untersuchungsansätze empfohlen und ein Vorschlag zum Einbringen des Themas in das Studium für Umweltingenieurwesen an der ZHAW unterbreitet.

Abstract

Linearly polarized light provides crucial visual information to water-seeking insects. Normally, the light reflected off water surfaces is polarized and can therefore be used to recognise the surface as water. At present more and more man-made artificial surfaces with similar reflective properties can be found, which can lead to fatal decisions by insects. In agriculture, for example, woven polypropylene mulch is used, which has corresponding properties. In a pumpkin field in Bütschwil, in the Bernese Seeland, as well as another in Steffisburg near Thun, this mulch is used in the cultivation process. As such, these fields were able to serve as location for field observations. With a focus on dragonflies (*Odonata*), several field surveys were carried out during the 2019 season and the behaviour of the dragonflies and their species was recorded. Furthermore, a theoretical background for these dragonfly species and the polarization of light is provided. In addition, measurements of different woven polypropylene products with respect to their polarization properties were performed and further possible sources for linearly polarized light were investigated. In both study areas, various dragonflies with species-specific behaviour could be observed, which is typically seen in their reproductive waters. These measurements on the aforementioned ribbon fabrics showed very similar reflective properties to those on water surfaces and only one white fabric had a limited polarizing effect. In addition, research revealed many other possible sources of polarized light, some of which are presented, and possible solutions are discussed. Further study approaches are recommended and a proposal for the introduction of the topic into the study of environmental engineering at the ZHAW is made.

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Methodik und Theorie.....	6
2.1	Untersuchungsgebiet	6
2.2	Feldarbeit	10
2.3	Polarisation.....	12
2.3.1	Polarisation als ökologische Falle	16
3	Ergebnisse.....	19
3.1	Libellenbeobachtungen	19
3.2	Andere Insekten	24
3.3	Libellen Artinformationen	24
3.4	Messungen der Polarisierungseigenschaften von Bändchengeweben.....	25
4	Diskussion.....	28
4.1	Feldbeobachtungen.....	28
4.2	Bändchengewebe	31
4.3	Photovoltaik	32
4.4	Glasfassaden.....	33
5	Fazit/Schlusswort	33
6	Dank.....	34
7	Literaturverzeichnis.....	34

1 Einleitung

Während das menschliche Auge das Licht nur mit den zwei Aspekten Helligkeit und Farbe wahrnimmt, liefert bei vielen Tiergruppen die Polarisation des Lichts, als dritter Aspekt, oft eine weitere nützliche Information (Horváth & Varjú, 2004b). So kann die Honigbiene (*Apis mellifera*) anhand der Polarisierung des einfallenden Lichts eine bestimmte Himmelsrichtung erkennen und den anderen Arbeiterinnen im Stock mit Hilfe eines «Tanzes» diese mitteilen (Von Frisch, 1965). Und bei vielen mit Wasser assoziierten Insekten dient das, auf der Wasseroberfläche reflektierte, polarisierte Licht dem Erkennen des Wassers. Wenn Wasser durch diese Eigenschaft als solches erkannt wird, können Aspekte wie Farbe und Intensität weitgehend vernachlässigt werden, denn manchmal können Reflexionen auf einem spiegelglatten Gewässer, allein anhand von Farbe und Intensität, kaum von der Umgebung unterschieden werden. Die Polarisation der Spiegelung liefert jedoch einem polarisationssensitiven Auge eine eindeutige Information (Horváth & Varjú, 2004b). Diese Fähigkeit, Polarisationsmuster zu erkennen und diese zu nutzen, konnte bisher nur bei wirbellosen Tieren nachgewiesen werden (Horváth, 2014).

Libellen (*Odonata*), als eine Insektenordnung mit obligater Bindung an Wasserlebensräume im Larvenstadium und an Landlebensräume als Imagines, nutzen diese Eigenschaften des polarisierten Lichts ebenfalls, um ein stehendes Gewässer zu erkennen (Dettner et al., 2010; Horváth, 2014). Erste fossile Libellen mit weitgehend gleichem Körperbau wie die rezenten Arten, sind ca. 300 Mio. Jahre alt (Bechly et al., 2001). Weiter sind Facettenaugen bei vielen Arthropoden vorhanden und scheinen bei diesen ein homologes Merkmal zu sein. Diese Arthropoden sind in der Lage, mit diesen Augen polarisiertes Licht zu erkennen (Oakley, 2003; Rossel, 1989).

Die somit evolutiv sehr erfolgreiche Fähigkeit, die Polarisation von Licht zu erkennen, könnte mit dem Anthropozän und seinen weltweit greifenden Veränderungen der Landschaften zu fatalen Fehlinterpretationen führen (Steffen et al., 2007). So sind diese horizontal polarisierten Reflexionen auf natürliche Weise nur bei glatten Wasseroberflächen häufig zu finden. Sogar eine Fata Morgana kann von Wasser suchenden Insekten, aufgrund der Reflexionseigenschaften, effektiv als Gewässer ausgeschlossen werden (Horváth et al., 1997). Aufgrund anthropogener Gestaltung der Umwelt finden sich jedoch immer mehr künstliche Oberflächen mit genau diesen Eigenschaften. So können Asphaltflächen oder Glasfassaden Licht horizontal polarisiert reflektieren (Horváth et al., 1998; Malik et al., 2008).

Mit der Entwicklung von Bändchengeweben aus Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) werden Materialien mit entsprechender Fähigkeit zur Polarisation auch in der Landwirtschaft grossflächig immer häufiger angewendet (Steinmetz et al., 2016). Die Verwendung von Plastikfolien im Gemüsebau hat wahrscheinlich seinen Anfang mit der Entwicklung erster, grossflächig verwendbarer

Folien im Jahr 1924 (Warp, 1974, gelesen in Kasirajan & Ngouajio, 2012). Ab 1938 wurden erste PE/PP Folien produziert und eingesetzt (Masey, 1972, gelesen in Kasirajan & Ngouajio, 2012). Diese Methode ist mittlerweile auf der ganzen Welt im Einsatz und ist seit mehreren Jahrzehnten immer weiter verbreitet, wobei China mit ca. 30% Flächenzunahme pro Jahr den grössten Zuwachs aufweist (Steinmetz et al., 2016).

Landwirtschaft, als grundsätzliche menschliche Lebensgrundlage, und die Natur, mit ihrer gesamten Diversität, standen und stehen mit dem Bevölkerungswachstum des Menschen vor einem schwer zu lösenden Konflikt um den verfügbaren Raum dieser Erde. Mit der „Grünen Revolution“ galten unter anderem Pestizide als das neue Wundermittel für mehr Ernte auf der gleichen Fläche bei weniger Arbeit. Mittlerweile werden die Schäden bewusst, welche durch den Einsatz synthetischer Bekämpfungsmittel an Kulturböden und Biodiversität entstanden sind und die Agrarforschung befasst sich immer mehr mit Lösungsansätzen im Rahmen biologischer Landwirtschaft (Callan, 2018). Zu diesen Methoden gehört auch der Einsatz von Bändchengewebe aus PE/PP, welche in der Schweiz sowohl im biologischen, als auch im biodynamischen Gemüsebau zugelassen sind (Speiser et al., 2019; Verein für biologisch-dynamische Landwirtschaft, 2019). Mit ihrer Verwendung wird Unkraut effizient und ohne Einsatz jeglicher chemischen Mittel unterdrückt.

Der Einfluss dieser Gemüsebaumethode auf wassersuchende Insekten, insbesondere auf Libellen, wird mit eigenen Beobachtungen und Literaturrecherchen untersucht. Inwiefern stellen diese Anbaumethoden eine ökologische Falle für die Tiere dar und welche Gegenmassnahmen und Alternativen können diesbezüglich für die biologische Landwirtschaft in Frage kommen?

2 Methodik und Theorie

2.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsflächen wurden bei zwei Ackerbauflächen mit ähnlicher Bewirtschaftungstechnik festgelegt. Die Flächen werden biologisch (Bütschwil, Abbildung 3; Abbildung 4) oder biologisch-dynamisch (Steffisburg, Abbildung 1; Abbildung 2) bewirtschaftet und es wird bei beiden das schwarze Bändchengewebe «Aquatex schwarz» der Firma Hortima zur Unkrautunterdrückung verwendet (Tabelle 1). Die Entfernung der beiden Standorte beträgt ungefähr 34.5km (Abbildung 5). Die Bewirtschaftungsfläche in Bütschwil ist wesentlich grösser als jene in Steffisburg, weswegen nur ein etwa gleich grosser Teil als Untersuchungsfläche ausgeschieden wurde (Abbildung 3).

Tabella 1: Vergleich der beiden Untersuchungsflächen

	Bütschwil	Steffisburg
Höhe	590m	610m
Gesamtfläche mit gleicher Bewirtschaftung	2.50ha	0.06ha
Kultur	diverse Kürbissorten	diverse Kürbissorten & Zucchetti



Abbildung 1: Die Untersuchungsfläche in Steffisburg ist rot hinterlegt (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)



Abbildung 2: Anbaufläche in Steffisburg am 1. Juni 2019



Abbildung 3: Das bewirtschaftete Kürbisfeld in Bütschwil ist die beige Fläche auf dem Foto: der gewählte Perimeter mit einer Untersuchungsfläche von 600m² ist rot hinterlegt (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)



Abbildung 4: Landwirtschaftsfläche in Bütschwil im oberen, flachen Teil am 2. Juni 2019. Links verläuft das Feld immer stärker geneigt bis zur Strasse

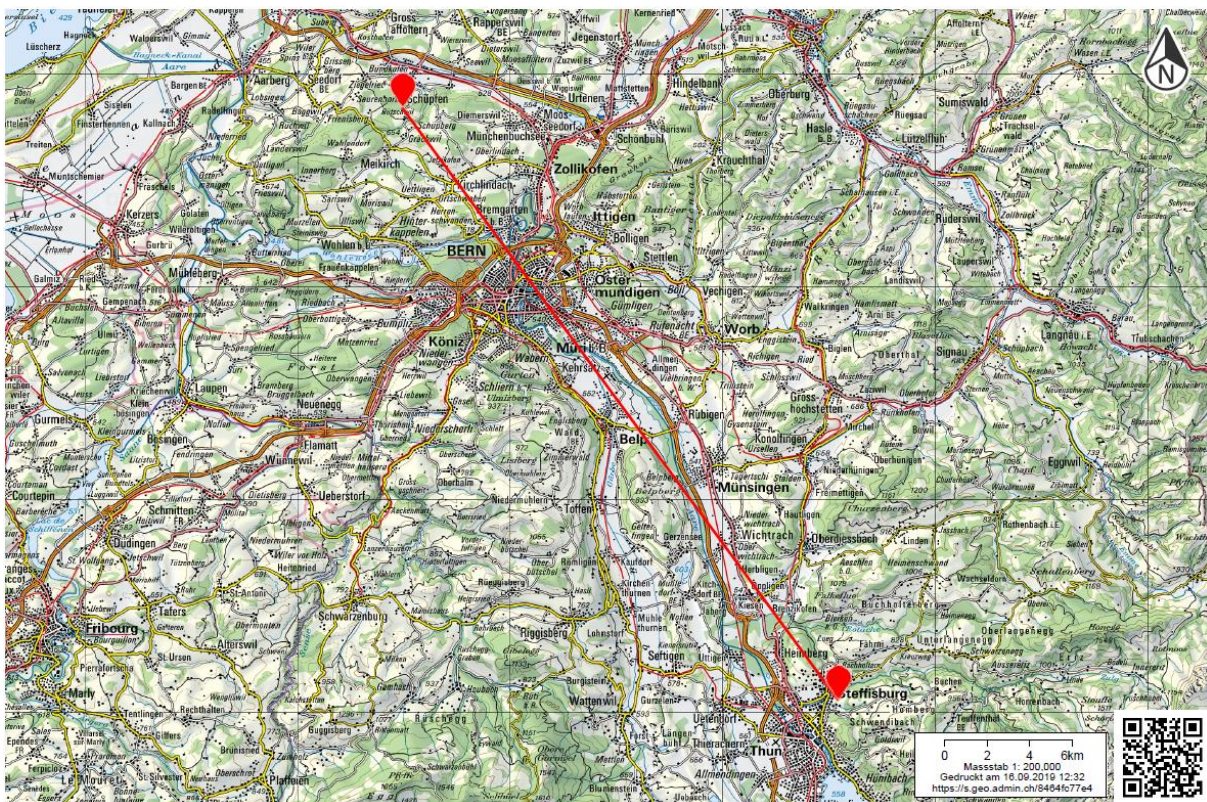


Abbildung 5: Übersichtskarte der beiden Untersuchungsstandorte mit 34.5km Luftlinie dazwischen (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)

2.2 Feldarbeit

Für die Feldarbeiten wurden Aufnahmezeiten von 3 Wochen festgelegt und somit enger beieinander definiert, als bei gängigen Libellenmonitorings (Wildermuth & Küry, 2009) (Tabelle 2). Die Artenzahl lag bei dieser Aufnahme nicht im Fokus, sondern das Verhalten und die schiefe Anwesenheit von Libellen. Der Beginn der Aufnahmeperioden wurde auf den 10. Mai gesetzt, in Koordination mit der Ausbringung der Bändchengewebe auf den beiden Feldern. Das Ende der Aufnahmen war zwangsläufig mit der kompletten Überwachung der Bändchengewebe durch die Kürbiskulturen gesetzt, womit Begehungen ohne Kulturschaden nicht mehr möglich waren und im Folgenden auch keine Libellen mehr auf den Feldern waren. Pro Aufnahme wurde jeweils eine Stunde beobachtet. Bereits bei der fünften Begehung musste deswegen die festgelegte Untersuchungsfläche in Bütschwil in einen anderen Teil der bewirtschafteten Fläche verschoben werden (Abbildung 6; Abbildung 7). Die sechste Begehung konnte in beiden Gebieten, aufgrund des Deckungsgrades der Pflanzungen, nicht mehr durchgeführt werden und die Aufnahmeperiode wurde somit beendet.

Tabelle 2: Aufnahmezeiten und Bearbeitungsdaten

Begehung	Zeitfenster	Bütschwil	Steffisburg
1	10.05-31.05.	13.05.2019	15.05.2019
2	01.06.-14.06.	02.06.2019	01.06.2019
3	15.06.-05.07.	17.06.2019	13.06.2019
4	06.07.-17.07.	30.06.2019	29.06.2019
5	18.07.-07.08.	16.07.2019	17.07.2019
6	08.08.-29.08.	-	-



Abbildung 6: Untersuchungsfeld in Bütschwil am 16. Juli 2019



Abbildung 7: Untersuchte Fläche in Bütschwil bei der fünften Begehung am 16.07.2019: Der Perimeter wurde in den flachen, an die Strasse grenzenden Teil verlegt, wo die Kürbiskultur noch nicht flächendeckend zugewachsen war (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)

2.3 Polarisation

Polarisation von Licht

Licht, als elektromagnetische Strahlung, besteht aus elektrischen und magnetischen Feldern, welche jeweils senkrecht zueinander ausgerichtet sind (Giancoli & Koch, 2011) (Abbildung 8). Die Ausrichtung der Felder einzelner Lichtstrahlen im Raum ist bei natürlichem Licht, und auch den meisten künstlichen Lichtquellen, im Normalfall zufällig verteilt und das Licht somit unpolarisiert. Im Spezialfall, dass alle Felder gleich ausgerichtet sind, ist das Licht linear polarisiert (Tipler et al., 2012).

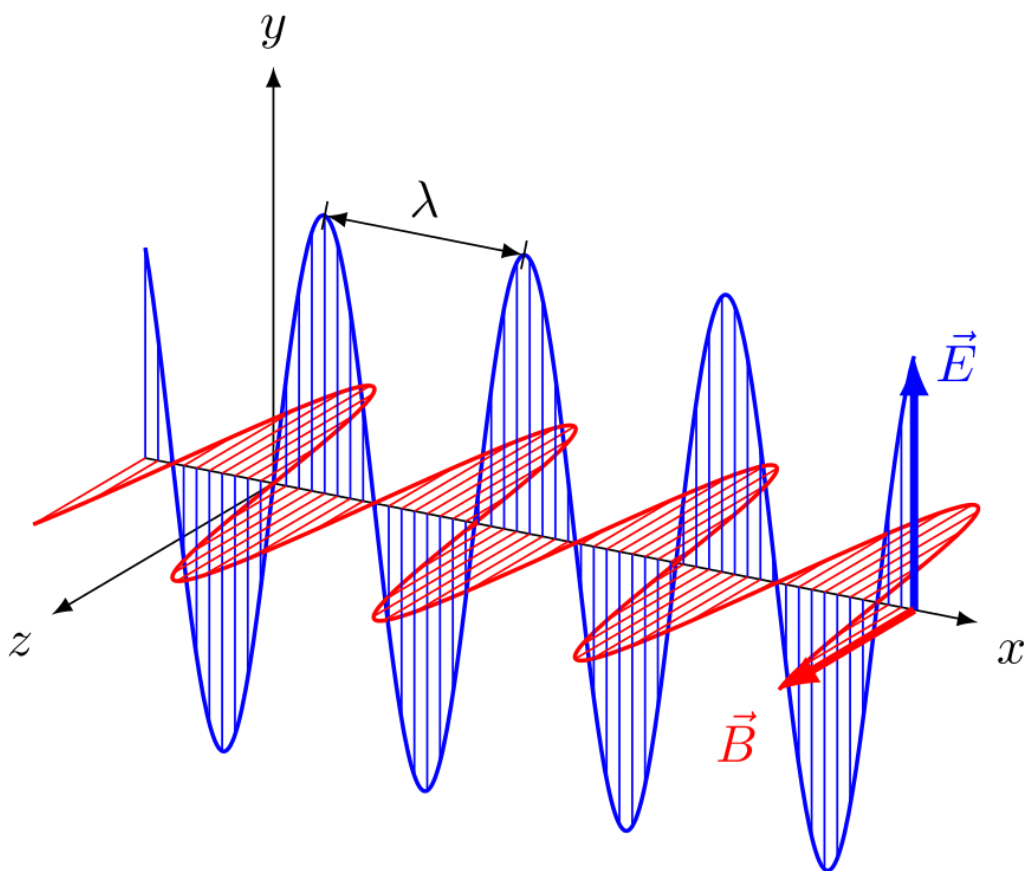


Abbildung 8: Licht als elektromagnetische Welle besteht aus einem elektrischen Feld (Vektor E) und einem magnetischen Feld (Vektor B): Diese beiden Vektoren sind immer senkrecht zueinander angeordnet (Darstellung: And1mu, 2017)

Polarisationsfilter und polarisierte Reflexion

Ein Polarisationsfilter ist ein optischer Filter, welcher aus parallelen, langkettigen Molekülen besteht. Lichtstrahlen, welche in die gleiche Richtung wie die Molekülausrichtung polarisiert sind, versetzen die Moleküle in Schwingung und werden absorbiert. Senkrecht zur Molekülausrichtung polarisiertes Licht kann diese jedoch problemlos passieren. Somit wird der Lichtstrahl linear polarisiert und verliert durch die Absorption der gegensätzlich polarisierten Strahlen an Intensität (Abbildung 9). Werden

nun zwei Filter entgegengesetzt ihrer Molekülausrichtung übereinandergelegt, kann kein Lichtstrahl diese Anordnung passieren (Abbildung 10).

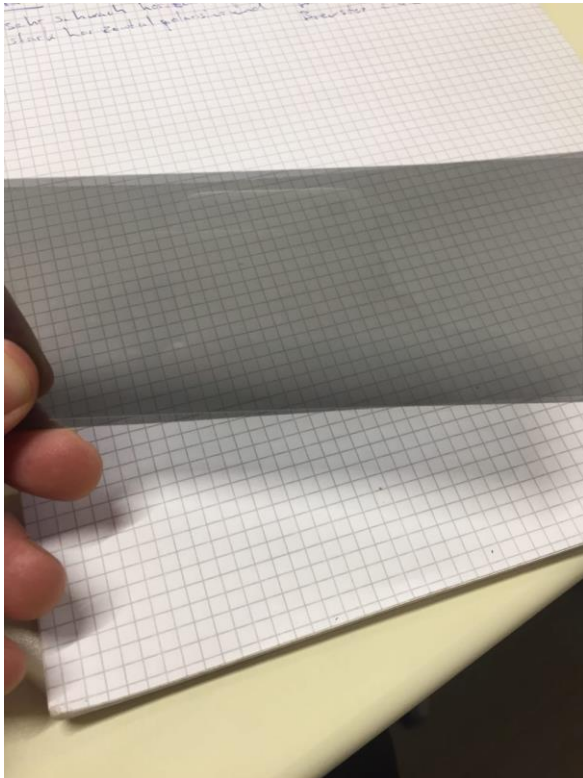


Abbildung 9: Zwei lineare Polarisationsfilter mit gleicher Ausrichtung übereinandergelegt: Einzig die Intensität des Durchlichts wird sichtlich vermindert

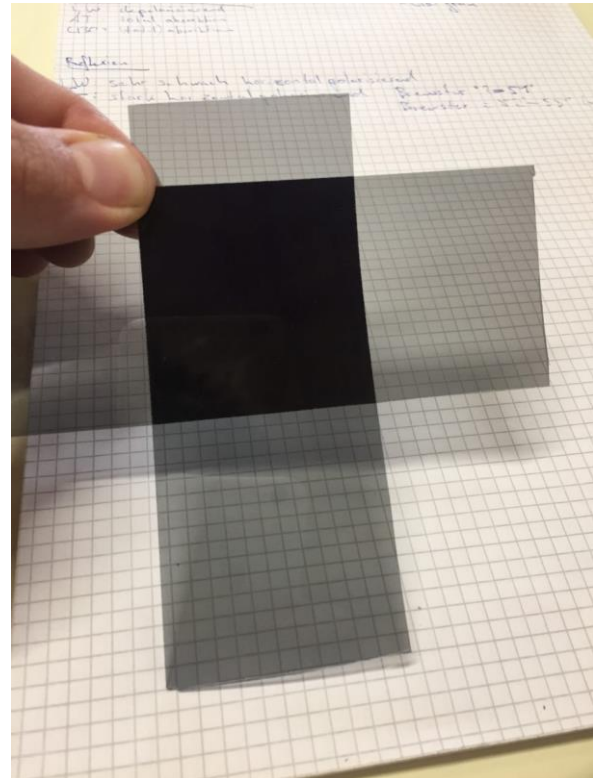


Abbildung 10: Zwei lineare Polarisationsfilter entgegengesetzt ihrer Ausrichtung übereinandergelegt: Die Transmission des Lichts wird vollständig verhindert

Wenn Licht an einer Oberfläche reflektiert wird, so ist das reflektierte Licht teilweise polarisiert. Die elektrische Feldstärke (Vektor E , Abbildung 8) ist bei der Reflexion senkrecht zur Einfallsebene ausgerichtet und es wird von einer senkrechten Polarisation gesprochen (**s-Polarisierung**). Bei dem, im spezifischen Brechungswinkel in das Medium eindringenden Teil des Lichts, wird der E -Vektor parallel zur Einfallsebene ausgerichtet und wir haben eine parallele Polarisation des Lichts (**p-Polarisierung**) (Abbildung 13) (Tipler et al., 2012).

Ellipsometrie

Die Ellipsometrie beschreibt ein Messverfahren, nach welchem es möglich ist, Änderungen des Polarisationszustandes eines reflektierten, polarisierten Lichtstrahls zu messen und zu interpretieren (Ohring, 2002). Ein Ellipsometer besteht aus einer Lichtquelle und einem Detektor, welche gleichwinklig auf einen verstellbaren Proben Tisch gerichtet sind. Der Lichtquelle und dem Detektor sind jeweils Polarisationsfilter (Polarisator und Analysator) mit bekannten optischen Eigenschaften vorgelagert (Abbildung 11).

Das Ellipsometer der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) kann quantitative Messungen nur für sehr glatte, regelmässige Probematerialien vornehmen (E. Hack, persönliche Mitteilung, 8. Oktober 2019) (Abbildung 12). Die Untersuchung der Bändchengewebe muss sich somit auf die qualitative Beschreibung von Brewster-Winkel, sowie Polarisierungs- und Depolarisierungseigenschaften bei der Reflexion des Lichts, begrenzen.

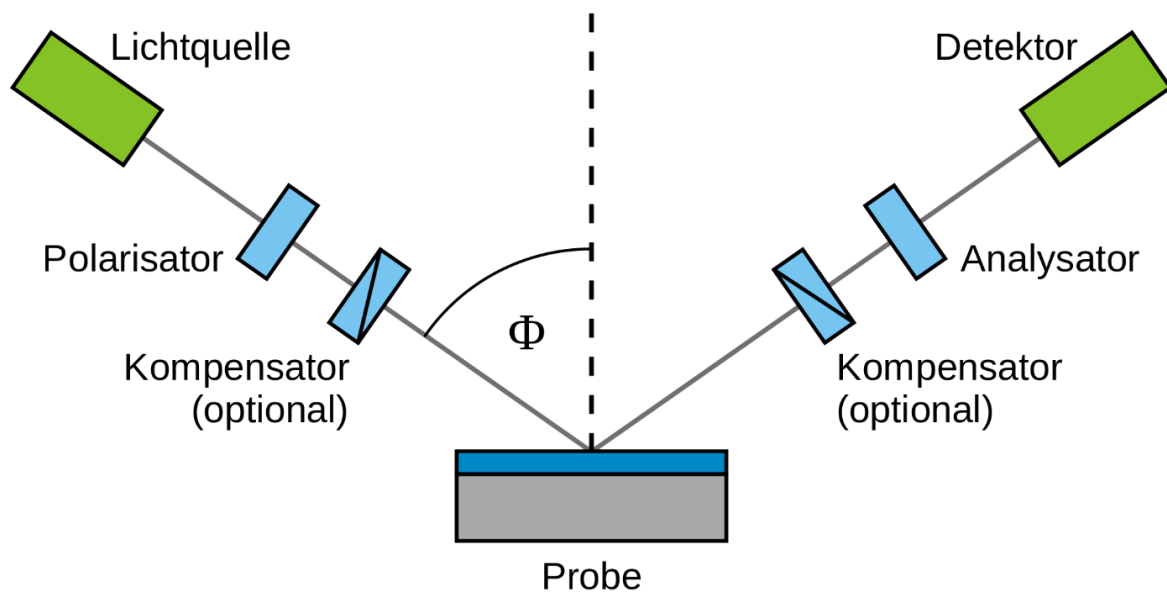


Abbildung 11: Schematischer Aufbau eines Ellipsometers (Darstellung: User:Stannered, 2008)

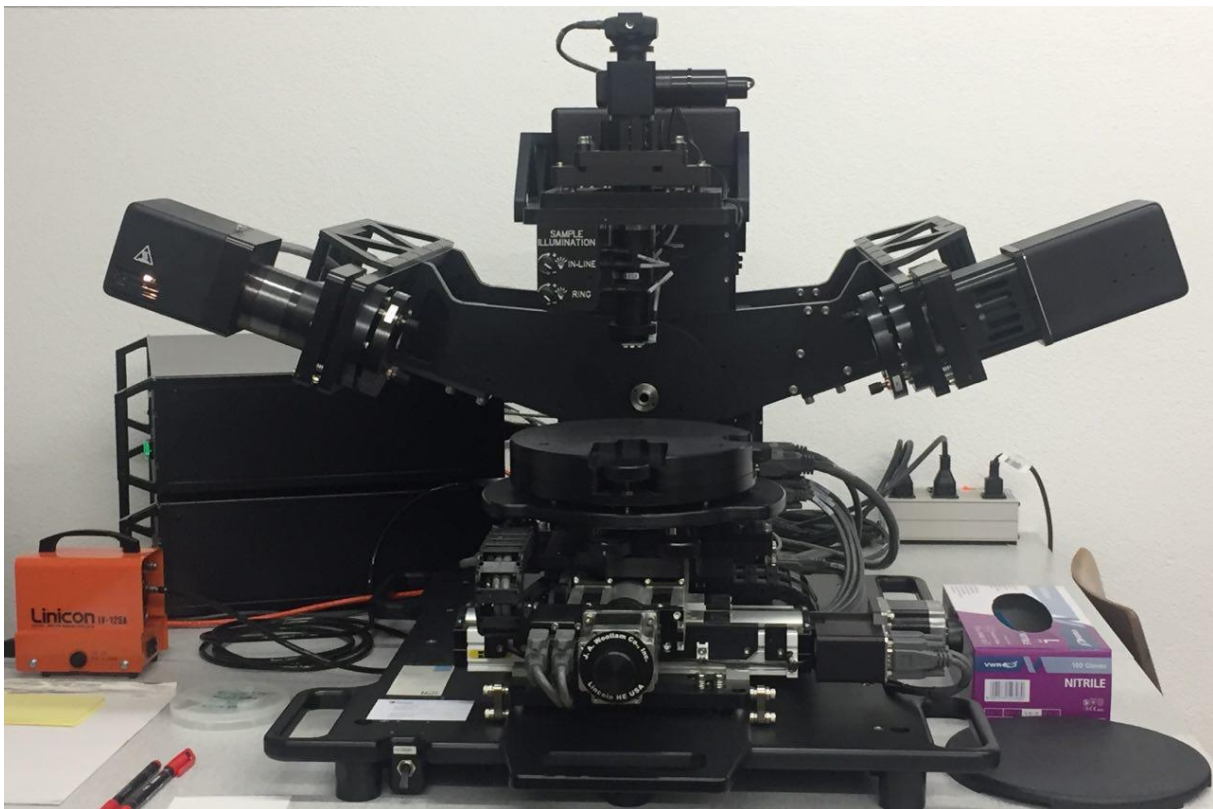


Abbildung 12: Ellipsometer der EMPA mit Lichtquelle (links) und Analysator (rechts), welche an zwei Winkelverstellbaren Armen befestigt sind

Brewster-Winkel

Wenn bei einem bestimmten Einfallswinkel der reflektierte Strahl auf einem Substrat und der einfallende Strahl in das Substrat senkrecht aufeinander stehen, ist die Reflexion maximal polarisiert und der vorliegende Einfallswinkel beschreibt den sogenannten Brewster-Winkel (Tipler et al., 2012) (Abbildung 13). Jedes reflektierende glatte Material hat, abhängig von den jeweiligen Brechungsindizes, einen Brewster-Winkel, bei welchem die Reflexion den maximalen Polarisationsgrad beschreibt (Abbildung 14). Dieser spezielle Winkel hängt demnach, bei einer Reflexion in der Natur, vom Sonnenstand und dem Brechungsindex des bestrahlten Mediums ab und beträgt an der Wasser- Luftgrenze etwa 53° (Bernath, 2004; Horváth, 2014).

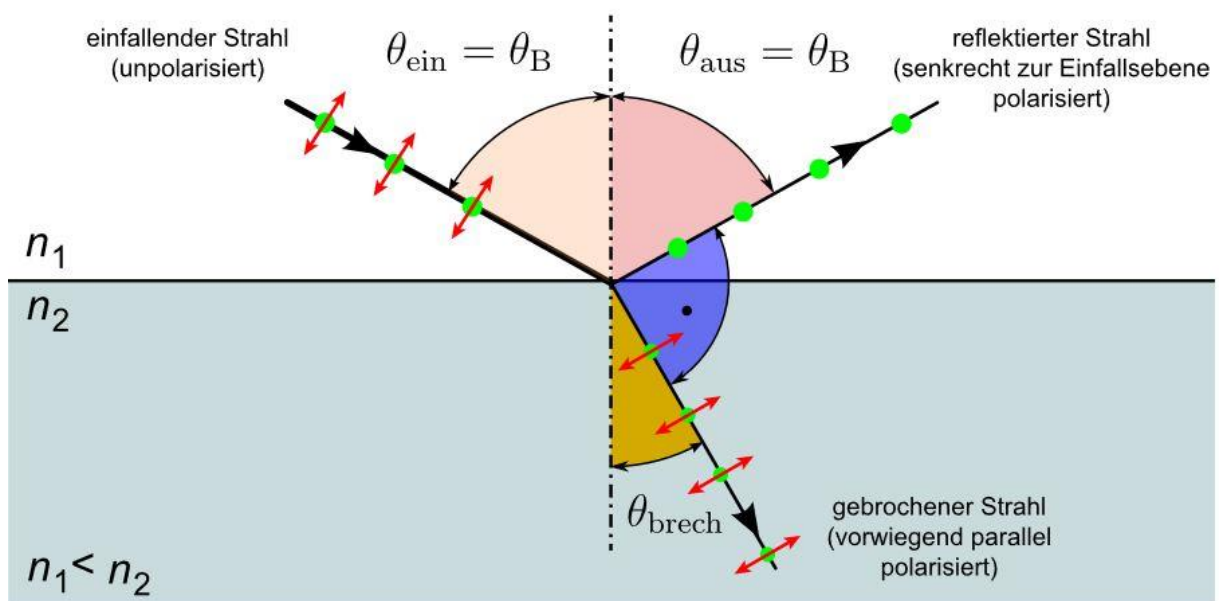


Abbildung 13: Der Brewster-Winkel (θ_B) entsteht, wenn Einfallsebene und Ausfallsebene eines Lichtstrahls an einem Substrat in einem rechten Winkel aufeinander stehen: im Idealfall ist der reflektierte Strahl vollständig linear s-polarisiert und der eindringende Strahl grösstenteils p-polarisiert (Darstellung: LEI/Physik, o. J.)

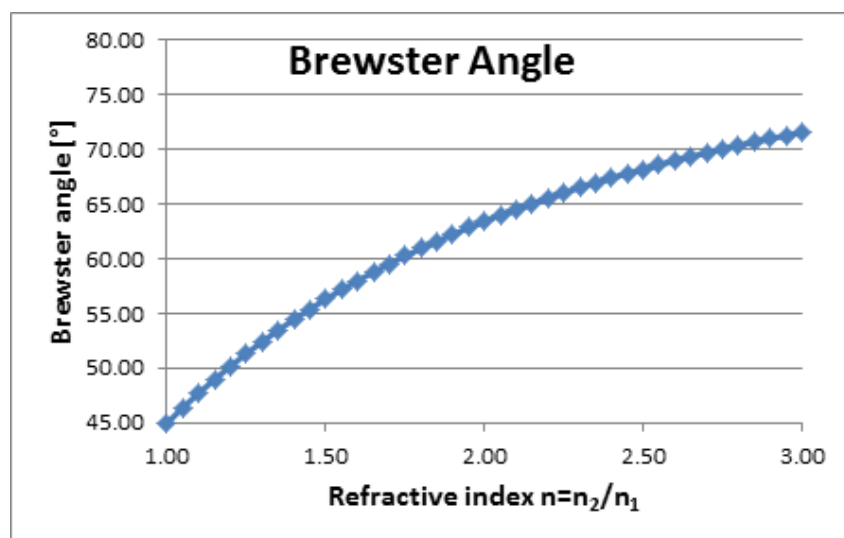


Abbildung 14: Änderung des Brewster-Winkels im Bezug zum Brechungsindex des Materials: Wasser mit einem Brechungsindex von 1,33 hat einen Brewster-Winkel von 53° (Darstellung: Erwin Hack)

Der Brewster-Winkel eines Materials kann qualitativ mit dem Ellipsometer der EMPA ermittelt werden, indem die Lichtquelle in einem definierten Einfallswinkel, durch einen senkrecht orientierten Polarisationsfilter, auf das Material trifft. Der am Material reflektierte Strahl wird wiederum durch einen horizontal orientierten Polarisationsfilter betrachtet. Somit kann beobachtet werden, ob ein komplett p-polarisierter Lichtstrahl seine Polarisations-eigenschaften ändert und bei der Reflexion gegebenenfalls s-polarisiertes Licht festgestellt werden kann. Durch kontinuierliche Änderung des Einfallswinkels kann das Maximum der s-Polarisierung qualitativ ermittelt werden. Der Einfallswinkel bei diesem Maximum beschreibt ungefähr den Brewster-Winkel des untersuchten Materials.

2.3.1 Polarisation als ökologische Falle

Neben den Bändchengewebe, bei welchen das Verhalten der Libellen untersucht wird, gibt es weitere anthropogene Elemente, welche das Licht grossflächig s-polarisiert reflektieren und damit eine anziehende Wirkung auf gewisse Insektenarten haben (**Polarotaxis**). Eine Sammlung möglicher Ursprünge solcher Reflexionen wird hier gegeben.

Asphalt

Bei einer gewissen Sonneneinstrahlung ist das reflektierte Licht auf Asphaltstrassen stark linear s-polarisiert (Horváth et al., 2014). Dies führt dazu, dass solche asphaltierten Flächen einen negativen Einfluss auf wasserassoziierte Insekten haben. So wurde beobachtet, dass sich Eintagsfliegen in grosser Anzahl auf Strassen in Gewässernähe einfinden können (Horváth et al., 1998). Je dunkler der Asphalt ist, desto grösser ist seine polarisierende Eigenschaft. Der polarisierende Effekt wird noch erhöht, wenn die Fläche benetzt, und je glatter sie ist (Horváth et al., 2014) (Abbildung 15).

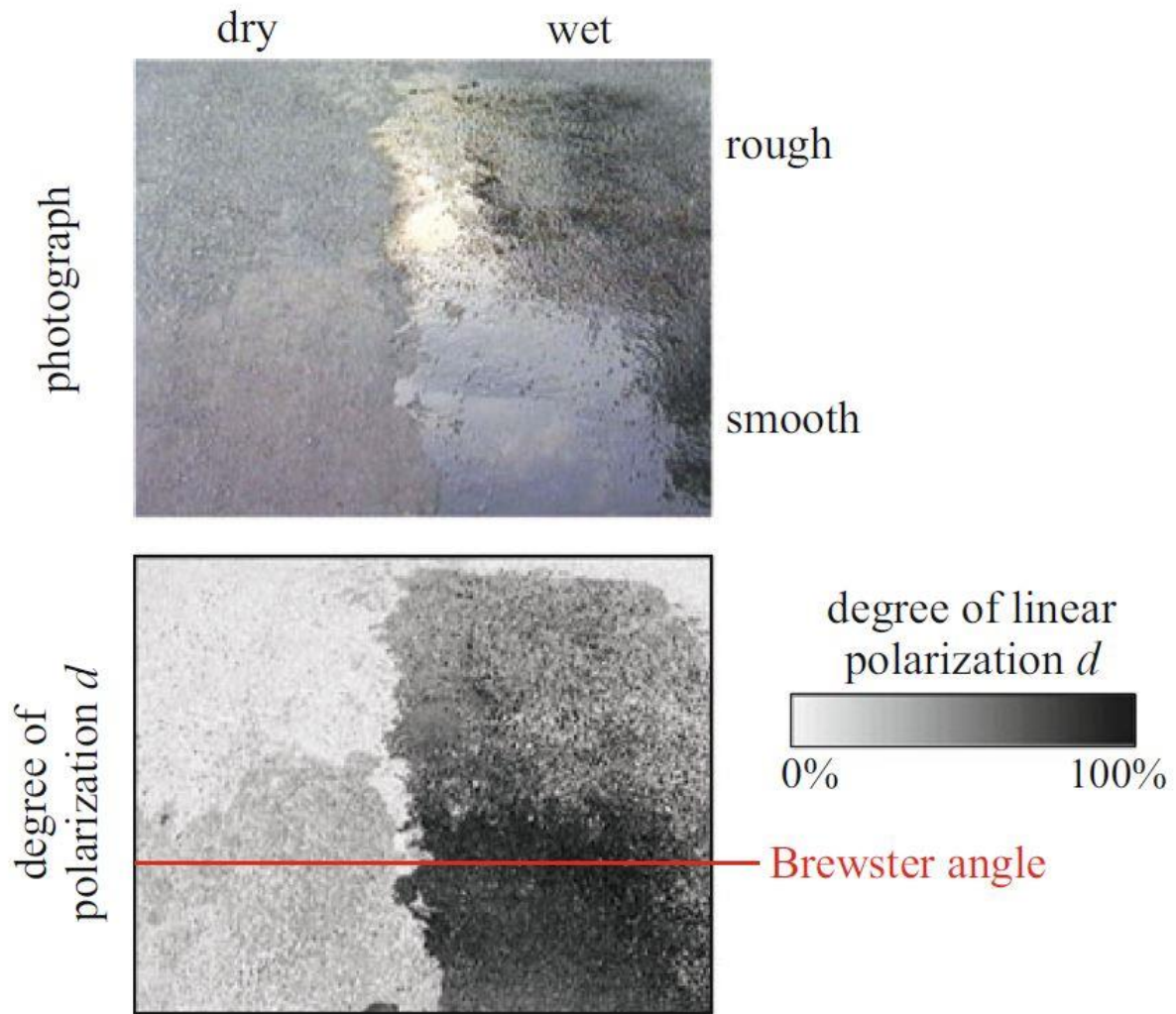


Abbildung 15: Polarisierende Eigenschaften einer Asphaltfläche: die Reflexion am feuchten, glatten Asphalt polarisiert beinahe 100% des Lichts linear («degree of linear polarisation d ») (Darstellung: Horváth et al., 2014)

Photovoltaikanlagen (PV)

PV-Anlagen können dieselbe spezifische Reflexion wie die einer Wasseroberfläche erzeugen und eine entsprechende Wirkung auf wassersuchende Insekten haben (Blahó et al., 2012; Horváth et al., 2010, 2014). Eine entsprechende Beobachtung wurde in diesem Jahr bei einer PV-Anlage auf dem Flachdach vom Hallenbad Heuried in Zürich gemacht (Abbildung 16). Viele Libellen sind über den Solarpanels fliegend beobachtet worden (J. J. van Gogh, persönliche Mitteilung, 14. Oktober 2019).



Abbildung 16: Photovoltaikanlage, bei welcher mehrere Libellen beobachtet wurden (Foto: Jascha J. van Gogh, 24.09.2019)

Glasfassaden

Nahe eines Gewässers können auch vertikale Glasfassaden für polarisationssensitive Insekten zur Falle werden, obwohl die Insekten eigentlich nur an horizontalen Flächen reflektiertes und somit s-polarisiertes Licht attraktiv finden (Malik et al., 2008). Dieses Phänomen wurde unter anderem bei Köcherfliegen beobachtet, welche sich kurz nach der Mittagszeit ab 14:00 bis 21:00 während ihrer Schlupfperiode (April/Mai) täglich und in Massen an einer Glasfassade nahe des Entwicklungsgewässers sammelten (Kriská et al., 2008; Malik et al., 2008). Dies kann einerseits trotz der vertikalen Reflexionsfläche mit der Polarotaxis erklärt werden, andererseits durch Phototaxis aufgrund der Beleuchtung innerhalb der Glasfassade bei Dunkelheit (Malik et al., 2008) (Abbildung 17; Abbildung 18).

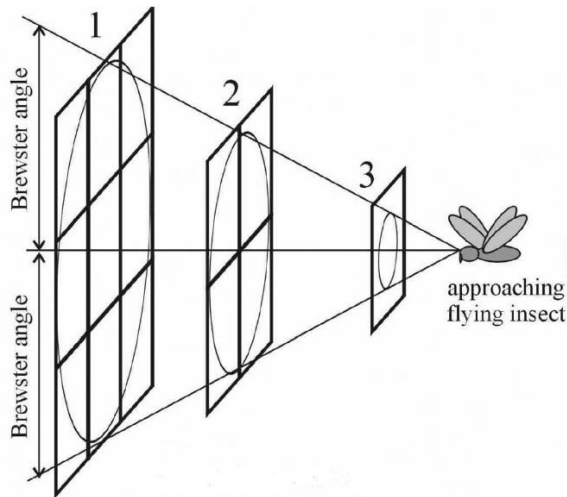


Abbildung 17: Auch bei einer vertikalen Glasfläche gibt es je nach Sonnenstand einen Brewster-Winkel mit maximaler s-Polarisierung. Theoretisch gibt es einen oberen und einen unteren möglichen horizontalen Brewster-Winkel, abhängig der Richtung des einstrahlenden Lichts. Bei einer grossen Glasfassade ist auch die Wahrscheinlichkeit grösser, dass einer dieser Winkel im Sichtfeld des betreffenden Insekts liegt. Die Nummern 1, 2 und 3 sind die vom Insekt sichtbare Glasfläche bei unterschiedlicher Entfernung. Die Kreise stellen jeweils den Ort des Brewster-Winkels aus dem Sichtfeld des Insekts dar (Darstellung: Malik et al., 2008).

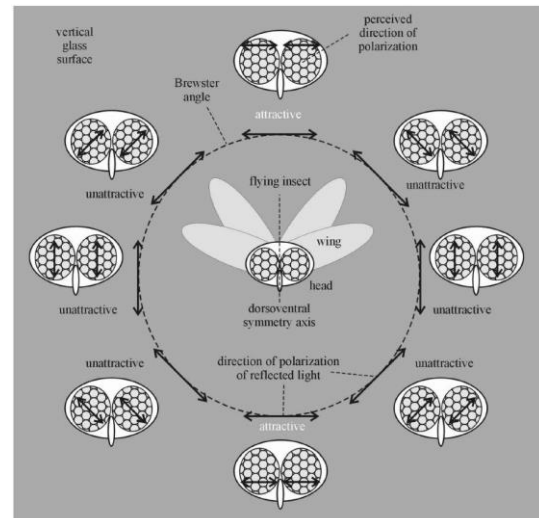


Abbildung 18: Der Brewster-Winkel ist für ein polarotaktisches Insekt nur bei s-Polarisierung attraktiv. Dies ist bei einer linearen Polarisation an einer vertikalen Glasfläche nur im oberen und im unteren Sichtfeld des Insekts der Fall (Darstellung: Malik et al., 2008).

3 Ergebnisse

3.1 Libellenbeobachtungen

Insgesamt wurden sieben Libellenarten auf den Untersuchungsflächen beobachtet. Fünf Arten wurden auf dem Feld in Bütschwil gefunden (*Anax imperator*, *Coenagrion puella*, *Libellula cf. depressa*, *Libellula cf. quadrimaculata*, *Calopteryx virgo*) und ebenfalls fünf auf der Fläche in Steffisburg (*Anax imperator*, *Coenagrion puella*, *Cordulia aenea*, *Libellula quadrimaculata*, *Ischnura elegans*) (Tabelle 3).

Bei der Beobachtungszeit von jeweils einer Stunde pro Untersuchungsfläche und Zeitfenster, konnten auf der Fläche in Bütschwil insgesamt acht, allesamt männliche, Individuen beobachtet werden. Zweimal (Begehung 3 und 5) wurde jeweils ein Männchen von *Anax imperator* beobachtet, welches während der gesamten Beobachtungszeit über dem Kürbisfeld patrouillierte. Weiter wurden drei Tiere der Art *Coenagrion puella* beobachtet (Begehung 4 und 5). Sie wurden oft auf der Kürbispflanze sitzend aufgescheucht und sassen kurze Zeit später wieder auf dieser ab. Am 30.06.2019 und am 16.07.2019 überflog jeweils eine *Libellula sp.* das beobachtete Feld. Die beiden Tiere wurden nur für einen kurzen Zeitpunkt, und einmalig, gesichtet und konnten nicht mit abschliessender Sicherheit bestimmt werden. Jedoch wird vermutet, dass es sich bei dem zuerst

beobachteten Individuum um *L. quadrimaculata* und bei der zweiten Libelle um *L. depressa* handelte. Bei der fünften Begehung konnte ein Männchen von *Calopteryx virgo*, auf einer Kürbispflanze sitzend, beobachtet werden (Abbildung 19).



Abbildung 19: *Calopteryx virgo* auf einem Kürbisblatt (Mitte des Bildes) in Bütschwil sitzend: Dies ist das einzige beobachtete Individuum einer an Fließgewässer gebundenen Libellenart während allen Begehungen (16.07.2019)

Auf der Fläche in Steffisburg wurden mehr als 40 Individuen gezählt, davon, mit mehr als 30 Stück, mehr männliche Individuen, gegenüber 12 weiblichen Tieren (7 davon in Kopula oder Tandem). Bereits bei der zweiten Begehung konnte ein Männchen von *Anax imperator* durchgehend über dem Feld patrouillierend beobachtet werden. Diese Art wurde, abgesehen von Begehung 1 und 5, immer beobachtet. So konnten bei der 3. Begehung insgesamt fünf Männchen, durchgehend über dem Feld fliegend, gesehen werden (Abbildung 20). Weiter wurden bei der 4. Begehung, nebst vier Männchen, auch vier Weibchen gesehen, von denen zwei in Kopula waren und eines bei einem mutmasslichen Eiablageversuch auf der Folie beobachtet wurde (Abbildung 21). Das Tier setzte kurze Zeit auf der Folie ab und krümmte sein Abdomen, als wollte es ein Ei ablegen. Jedoch konnte auch bei sofortiger Nachsuche an der Stelle kein Ei gefunden werden. Dreimal flog bei der 3. Begehung eine *Libellula quadrimaculata* über das Kürbisfeld und es wurde ein Männchen von *Cordulia aenea* mit eindeutigen Revierverhalten, immer im selben Teil des Feldes, gesehen, welches mehrmals in die Nähe fliegende Männchen von *Anax imperator* attackierte. In den folgenden Begehungen 4 und 5 war *Coenagrion puella* sehr häufig vertreten und war oft auf Sitzwarten zu finden (Abbildung 22). So waren mehr als 10 männliche Individuen und mehrere Weibchen bei der 4. Begehung auf dem Feld,

wobei drei Tandems und eine Kopula zu sehen waren (Abbildung 23). Eine Kopula konnte nebst acht Männchen auch an der 5. Begehung beobachtet werden. Als letzte Art wurde *Ischnura elegans* mit zwei Männchen bei der 4. Begehung und weiteren vier Männchen und einem Weibchen bei der 5. Begehung gefunden (Abbildung 24).



Abbildung 20: Eine über dem Bändchengewebe patrouillierende *Anax imperator* (13.06.2019)



Abbildung 21: Eine Paarung von *Anax imperator* einige Meter neben dem Feld in Steffisburg: vor dem kurzzeitigen absetzen (roter Kreis) hat sich das Paar über der Folie gefunden



Abbildung 22: *Coenagrion puella* nutzt ein Kürbisblatt als Sitzwarte in Steffisburg (16.07.2019)



Abbildung 23: Paarung von *Coenagrion puella* in Steffisburg (29.06.2019)



Abbildung 24: *Ischnura elegans* auf einem Kürbisblattstengel in Steffisburg sitzend (17.17.2019)

3.2 Andere Insekten

Nebst den Libellen, auf welchen das Hauptaugenmerk lag, konnten regelmässig Pferdebremsen (*Tabanus sudeticus*) und Regenbremsen (*Haematopoda pluvialis*) beobachtet werden (Abbildung 25).



Abbildung 25: Pferdebremse (*Tabanus sudeticus*) auf dem Bändchengewebe in Steffisburg (29.06.2019)

3.3 Libellen Artinformationen

Zu den gefundenen Libellenarten wurden die wesentlichen bekannten ökologischen Daten zusammengefasst (Tabelle 3).

Tabelle 3: Kurzbeschriebe der beobachteten Libellenarten

Grosse Königlibelle (<i>Anax imperator</i>)	Von den Grosslibellen der Schweiz ist <i>Anax imperator</i> wahrscheinlich die häufigste und am weitesten verbreitete Art. Ihre Populationen sind stabil, individuenreich und meist ungefährdet. Die Flugzeit der Tiere kann sich über den Zeitraum von Ende April bis September erstrecken. Als natürliches Habitat gelten stehende Gewässer der offenen Landschaft verschiedener Grösse und aller Sukzessionsstadien (Baumann et al., 2019a; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005).
Vierfleck (<i>Libellula quadrimaculata</i>)	Diese Libellenart ist in tieferen Lagen der ganzen Schweiz häufig und verbreitet, sowie nicht gefährdet. <i>Libellula quadrimaculata</i> fliegt, je nach Witterung, von Ende April bis Mitte September. Sie nimmt ein breites Habitatspektrum mit stehenden oder sehr langsam fliessenden, pflanzenreichen Gewässern an (Baumann et al., 2019g; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005)
Plattbauch (<i>Libellula depressa</i>)	Der Plattbauch ist eine Pionierart und in der Schweiz in tiefen Lagen weit verbreitet und häufig. Die Art kann ab Mitte April bis Anfang September auftreten und nimmt als Pionierart ein weites Spektrum an Stillgewässern an. Bevorzugt werden jedoch sonnenexponierte Gewässer ohne oder mit gering

	auftretendem Pflanzenwuchs (Baumann et al., 2019f; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005). Von dieser Libellenart ist bekannt, dass sie glänzende Flächen wie Glas oder Plastik mit Gewässern verwechselt (Wildermuth & Horváth, 2005).
Falkenlibelle (<i>Cordulia aenea</i>)	<i>Cordulia aenea</i> ist vor allem auf der Alpennordseite weit verbreitet und ungefährdet. Sie kann mitunter sehr häufig in ihren Habitaten auftreten. Geeignete Fortpflanzungsgewässer haben grössere, offene Wasserflächen, sowie Verlandungsvegetation und befinden sich in der Nähe von Bäumen oder Wald. Die Art fliegt von Anfang Mai bis Ende Juli (Baumann et al., 2019d; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005).
Blaufügel- Prachtlibelle (<i>Calopteryx virgo</i>)	Diese Kleinlibelle ist auf der Nordseite der Schweiz weit verbreitet, tritt jedoch nur lokal häufiger auf. Für die Larvalentwicklung ist sie an Fließgewässer gebunden und bevorzugt hierbei kleine, kühle und schattige Bäche mit schneller Strömung und Stellen mit langsam fließendem Wasser. <i>Calopteryx virgo</i> hat eine Flugzeit von Anfang Mai bis Ende August (Baumann et al., 2019b; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005).
Hufeisen- Azurjungfer (<i>Coenagrion puella</i>)	<i>Coenagrion puella</i> gilt als die häufigste Libelle der Schweiz, ist überall sehr häufig und nicht gefährdet. Die Verbreitungsgrenze wird einzig durch die Höhenlage bestimmt (sehr selten über 2000m). Als sehr anspruchslose Art kann sie in verschiedensten Arten von Kleingewässern bestehen. Sie fliegt von Anfang Mai bis Anfang August (Baumann et al., 2019c; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005)
Grosse Pechlibelle (<i>Ischnura elegans</i>)	<i>Ischnura elegans</i> ist, abgesehen vom Gebirge, in der ganzen Schweiz verbreitet und häufig. Als Habitat werden vor allem stehende, aber auch langsam fließende, gut besonnte Gewässer akzeptiert. Die Art kann sich sowohl in jungen, wenig bewachsenen Gewässern, als auch in solchen mit bereits gut ausgebildeten Verlandungszone entwickeln. Die Flugzeit dieser Libelle erstreckt sich von Ende April bis Mitte Oktober (Baumann et al., 2019e; Dijkstra & Lewington, 2014; Wildermuth et al., 2005).

3.4 Messungen der Polarisierungseigenschaften von Bändchengeweben

An mehreren Bändchengeweben wurden Messungen zu den Polarisierungs- und Depolarisierungseigenschaften durchgeführt (Abbildung 26; Abbildung 27). Einerseits wurde das, auf den betrachteten Agrarflächen verwendete, schwarze Material «Aquatex schwarz» und zwei weitere von der Firma Hortima vertriebenen Bändchengewebe «Lumilys weiss» und «C130 grün» untersucht (Abbildung 30). Alle drei untersuchten Bändchengewebearten sind auf der Basis von Polypropylen fabriziert worden (L. Basler, Persönliche Mitteilung, 14. Oktober 2019).

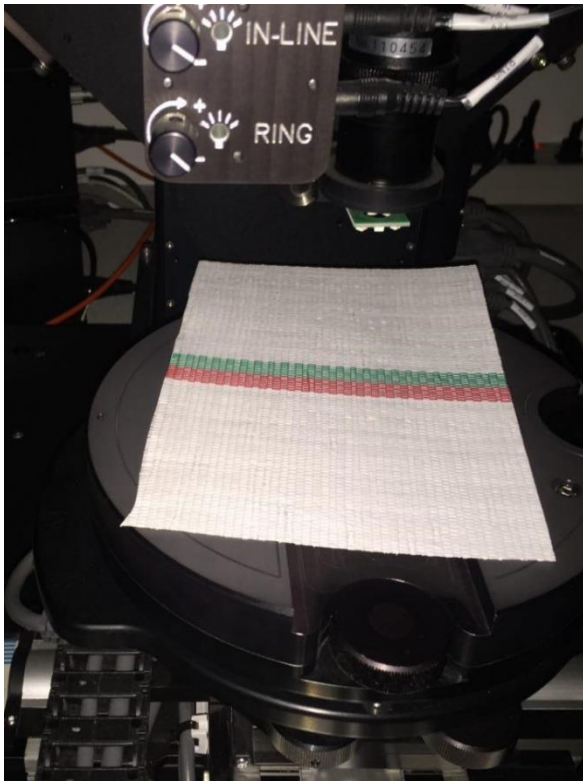


Abbildung 26: «Lumilys weiss» auf dem Probetisch des Ellipsometers während angeschalteter Raumbeleuchtung; der Messstrahl ist kaum zu sehen

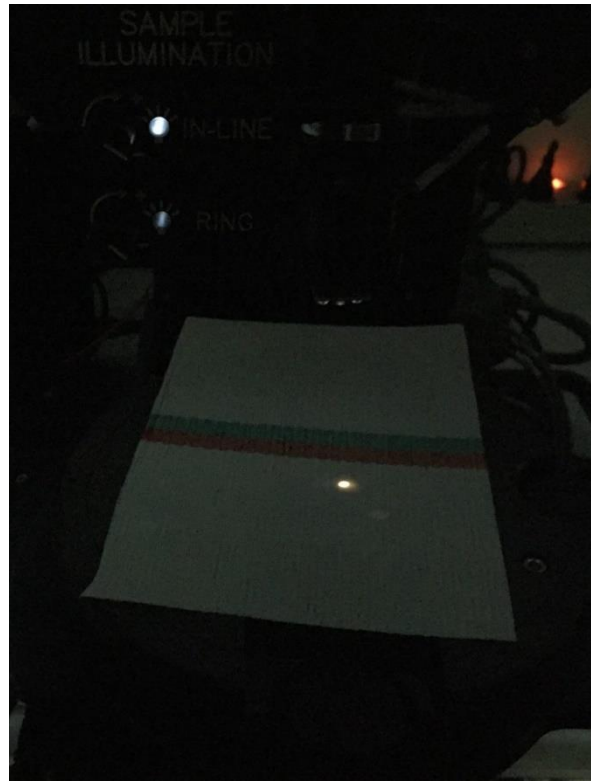


Abbildung 27: «Lumilys weiss» auf dem Probetisch des Ellipsometers: der sichtbare weiße Punkt ist die Stelle, an welcher der Lichtstrahl zum Detektor hin reflektiert wird.



Abbildung 28: Betrachtung der Reflexion auf «Aquatex schwarz» durch einen horizontal ausgerichteten Polarisationsfilter bei einem Einfallswinkel von 45°



Abbildung 29: Betrachtung des reflektierten Lichtstrahls auf «Aquatex schwarz» durch einen horizontal ausgerichteten Polarisationsfilter nahe des Brewster-Winkels (51°): die Lichtintensität des s-polarisierten Lichts ist bei diesem Winkel am grössten

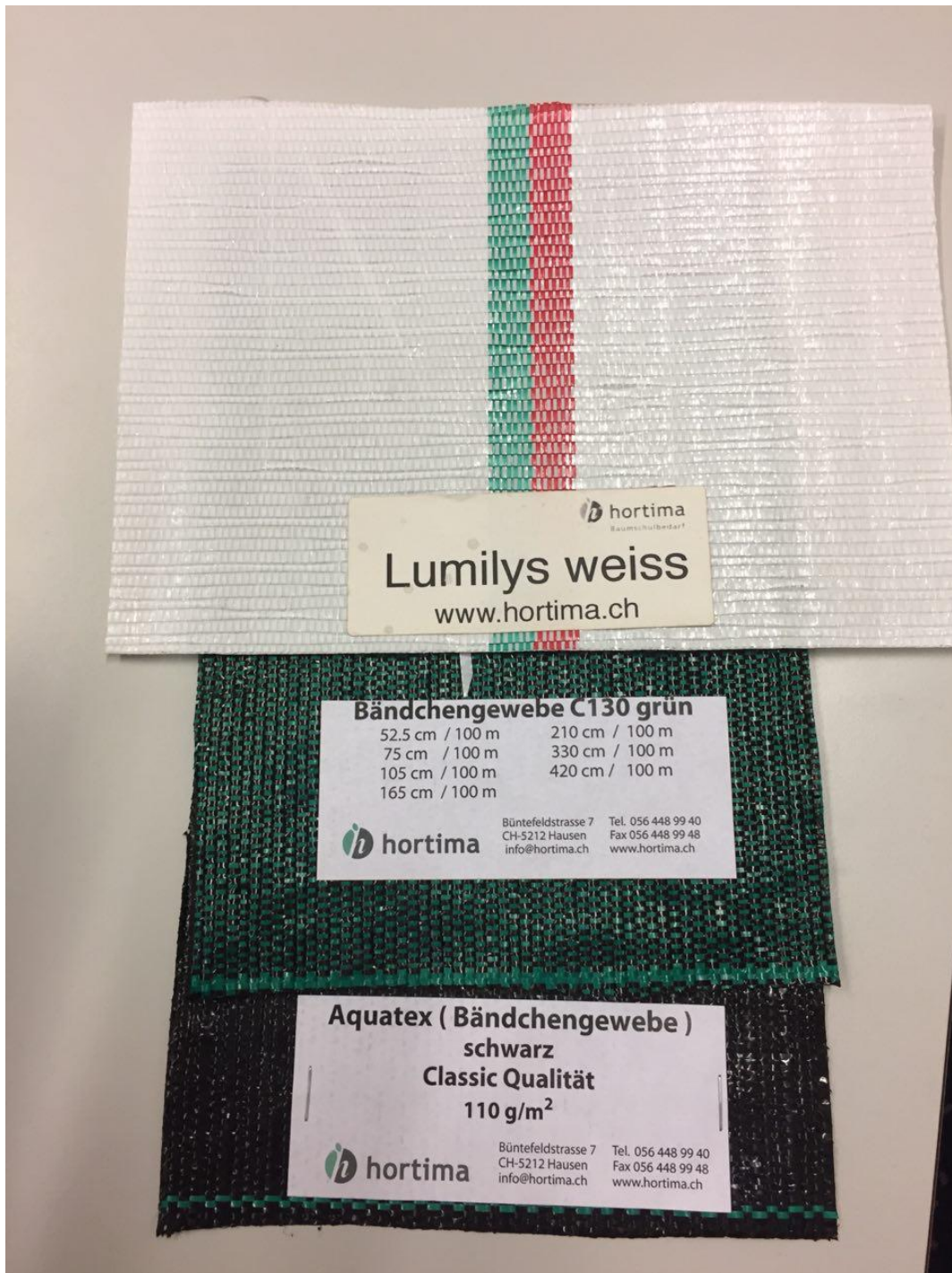


Abbildung 30: Die drei verschiedenen Bändchengewebe, welche qualitativ auf ihre polarisierenden Eigenschaften untersucht wurden: «Lumilys weiss», «C130 grün» und das auf den Untersuchungsflächen verwendete «Aquatex schwarz»

Bändchengewebe «Aquatex schwarz»

Der einfallende p-polarisierte Lichtstrahl wurde bei einem Winkel von 51° maximal s-polarisiert an der Materialoberfläche reflektiert. Bei diesem determinierten Brewster-Winkel konnte fast die ganze Reflexion den, horizontal orientierten, Polarisationsfilter bei gleichbleibender Intensität passieren (Abbildung 28 & Abbildung 29). Dieses Bändchengewebe hat somit eine sehr stark horizontal polarisierende Wirkung auf einfallendes Licht, welches anders oder gar nicht polarisiert ist.

Bändchengewebe «C130 Grün»

Für dieses Bändchengewebe konnte auch eine stark horizontal polarisierende Wirkung beobachtet werden. Die grösste beobachtete Intensität der s-polarisierten Reflexion lag bei einem Einfallswinkel zwischen 52°-55° worin sich auch der, dem Material entsprechende, Brewster-Winkel befinden muss.

Bändchengewebe «Lumilys weiss»

Für «Lumilys weiss» konnte nur eine sehr schwache horizontale Polarisierung der Reflexion beobachtet werden. Der einfallende p-polarisierte Lichtstrahl wurde bei jedem untersuchten Einfallswinkel wieder zu einem gewissen Teil p-polarisiert und zum anderen depolarisiert reflektiert und ein Brewster-Winkel konnte demnach nicht ermittelt werden (Abbildung 31; Abbildung 32).



Abbildung 31: Die Reflexion eines p-polarisierten Lichts an «Lumilys weiss» durch einen vertikal ausgerichteten Polarisationsfilter (p-polarisierend): es ist eine etwas blendende Reflexion durch den Filter zu beobachten



Abbildung 32: Dieselbe Reflexion auf «Lumilys weiss» durch einen horizontal ausgerichteten Polarisationsfilter (s-polarisierend): es ist kaum eine blendende Reflexion zu sehen

4 Diskussion

4.1 Feldbeobachtungen

Wie erwartet, konnten auf beiden Untersuchungsflächen Libellen beobachtet werden. Das Verhalten beinahe aller beobachteten Individuen kann weitgehend mit demjenigen in natürlichen Lebensräumen verglichen werden. So ist bekannt, dass die Männchen von *Cordulia aenea* Reviere besetzen und diese gegen Rivalen und auch andere Grosslibellen verteidigen (Fliedner-Kalies et al., 2011; Wildermuth et al., 2005). Über das Gewässer streifende männliche *Anax imperator* sind ein

gängiges Verhaltensmuster und auch die beiden beobachteten Paarungen, mit darauffolgendem Abflug von der Gewässeroberfläche weg, entspricht dem bekannten Verhalten dieser Libellenart (Baumann et al., 2019a; Fliedner-Kalies et al., 2011).

Die eine, bzw. zwei Einzelbeobachtungen von *Libellula depressa* und *Libellula quadrimaculata* müssen nicht direkt auf die Untersuchungsfelder zurückzuführen sein. So ist beiden Arten eigen, dass sie auf der Suche nach neuen Gewässern weit umherstreifen und somit eine zufällige Beobachtung dieser häufigen Arten gut möglich ist (Fliedner-Kalies et al., 2011; Wildermuth et al., 2005). Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Tiere die Fläche fälschlicherweise als mögliches Habitat interpretierten. So zeigen Männchen von *L. depressa* ein Revierverhalten erst, nachdem sie sich mit einem Weibchen in der Nähe gepaart haben. Andernfalls streifen sie wieder, auf der Suche nach einem neuen Habitat, durch die Landschaft (Fliedner-Kalies et al., 2011). Auch *L. quadrimaculata*, als weit fliegende Art, könnte die Folien als potentielles Habitat gehalten und von weither angefliegen haben.

Coenagrion puella, als eine der häufigsten Kleinlibellen der Schweiz, wird oft im Tandem, nach geeigneten Eiablageplätzen suchend, beobachtet (Wildermuth et al., 2005). Dass diese Libelle häufig und auch mehrere Male im Tandem auf der Untersuchungsfläche in Steffisburg erfasst werden konnte, geht einher mit dem bekannten Verhalten dieser Art. Und auch die beobachteten *Ischnura elegans* als Ubiquisten, nehmen viele verschiedene Gewässer als Habitat an. Die Weibchen sind nach der Paarung allein unterwegs, womit das einzelne beobachtete Weibchen in Steffisburg erklärt werden kann (Fliedner-Kalies et al., 2011; Wildermuth et al., 2005).

Bei der letzten Begehung in Bütschwil wurde ein Männchen von *Calopteryx virgo* beobachtet. Es ist das einzige beobachtete Individuum einer Art, welche sich obligat an Fließgewässern fortpflanzt (Wildermuth et al., 2005). Dass auch Insekten polarisationssensitiv sind, welche an Flüsse und Bäche gebunden sind, ist bekannt (Horváth & Varjú, 2004b; Rossel, 1989). Jedoch unterliegen Reflexionen bewegter Gewässer einer ständigen Richtungsänderung und haben aufgrund dessen, im Gegensatz zu stehenden Gewässern, auch ganz andere, sich bewegende Polarisationsmuster. Inwiefern dieses Tier die Bändchengewebe als Wasser interpretiert hat, ist schwer zu erörtern. Jedoch fließt in etwa 50m Entfernung ein kleines Bächlein, bei welchem, auf Nachsuche, weitere Individuen von *Calopteryx virgo* gesichtet wurden. Es wird vermutet, dass dieses Männchen aus dem nahegelegenen Habitat stammt und nur zufällig beim Kürbisfeld eingefunden hat.

Dass während der Begehungen immer wieder Pferde- und Regenbremsen beobachtet wurden, ist auch mit deren Polarotaxis zu erklären. Für die bei der Pferde und Viehhaltung lästig werdenden Bremsen wurden bereits diverse Fallen mit s-polarisierenden Eigenschaften entwickelt (Blahó et al., 2012; Egri et al., 2013; Kniepert, 1979).

Alles beobachtete Verhalten kann mit einer Verwechslung des, mit Bändchengewebe bedeckten, Kürbisfeldes als potentielles Habitat erklärt werden. Es bestätigt sich somit wiederholt der gravierende Einfluss von linear s-polarisiertem Licht auf Insekten (Horváth, 1995; Rudolf Schwind, 1991). Zudem wurden ähnliche Beobachtungen auch 2006 auf einem Erdbeerfeld mit schwarzer Plastikbedeckung bei Pfäffikon ZH gemacht (Hansruedi Wildermuth, 2007). Dort wurden *Libellula quadrimaculata* und *Coenagrion puella* zahlreich und mit natürlichem Verhalten beobachtet. Wildermuth (2007) stellte fest, dass, abgesehen von *Libellula quadrimaculata*, nur ganz vereinzelt Grosslibellen über dem Erdbeerfeld waren und dieses nur überflogen und nicht weiter beachtet wurde. Dies geht einher mit den Beobachtungen der drei *Libellula sp.* -Individuen, trifft jedoch nicht auf die anwesenden *Anax imperator* zu. Im Jahr darauf (2007) konnte Wildermuth nur noch wenige Libellen auf besagtem Erdbeerfeld beobachten und vermutet bei dem zahlreichen Libellenaufkommen im 2006 unter anderem eine hohe Jahrespopulationsdichte der beiden häufigen Arten. Weiter wird in Wildermuth (2007) angenommen, dass dieses Phänomen eine Ausnahme darstellen könnte, da, trotz Aufruf in der Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen, keine Beobachtungen diesbezüglich gemeldet wurden.

Auch in der vorliegenden Arbeit könnten lokale Gegebenheiten dazu geführt haben, dass die Untersuchungsfläche in Steffisburg deutlich mehr mit Libellen besetzt, und somit attraktiver für diese war, als die Fläche in Bütschwil. Es sind jedoch auch Unterschiede in der Untersuchungsfläche selbst, welche diese Differenz, zu einem Teil, erklären können. So ist die Fläche in Bütschwil um ein Vielfaches grösser und da der gewählte Untersuchungsperimeter auf dem Feld der Grösse jenem in Steffisburg entsprach, kann es sein, dass die auf dem Feld anwesenden Individuen sich verteilt haben und somit nicht ganzheitlich erfasst wurden. Etwa die Hälfte des Feldes in Bütschwil befindet sich am Hang, womit sich ein anderes Gesamtbild mit einem anderen Polarisationsmuster ergibt. Zumindest aus der Ferne würden die s-polarisierten Reflexionen wohl eher eine riesige Flussschwelle imitieren, als eine stehende Wasserfläche. Weiter ist möglich, dass die Libellenpopulationen im umgebenden Mittelland, wie bei vielen Insekten dieser Landesregion, nicht sehr gross sind und deswegen nur eine geringe Anzahl Individuen von ihren Entwicklungsgewässern her abfliegen können (Fischer & Forum Biodiversität Schweiz, 2015).

Die Abwanderung aufgrund einer hohen Populationsdichte könnte auch eine Erklärung dafür sein, dass grundsätzlich nur häufige und weit verbreitete Arten erfasst werden konnten (Essl & Rabitsch, 2013; Zwölfer, 2010). So sind, mit Ausnahme des Männchens von *Calopteryx virgo*, alle beobachteten Individuen Angehörige von ausgesprochenen Ubiquisten und Pionierarten. Dies lässt mitunter nicht ausschliessen, dass auch seltenere und mehr spezialisierte Arten von dieser Fehlinterpretation des Habitats betroffen sein könnten.

Die Ergebnisse, zumindest jene aus Steffisburg, zeigen sehr stark die wirkende Anziehung dieser Flächen auf diverse Libellenarten. Und egal, ob die Tiere zu einem späteren Zeitpunkt das «Fortpflanzungsgewässer» als ungeeignet erachten und weiterziehen, bedeutet die dort verbrachte Zeit einen Energieverlust, und bei allfälliger Eiablage, auch einen Fitnessverlust. Diese Felder stellen somit eine ökologische und evolutive Falle dar (Robertson & Hutto, 2006; Robertson et al., 2013).

4.2 Bändchengewebe

Erwartungsgemäss haben die, auf den Feldern verwendeten, «Aquatex schwarz» eine starke s-polarisierende Wirkung. Der Brewster-Winkel liegt mit 51° sehr nahe an jenem von Wasser (53°) und dieses Gewebe hat bezüglich linearer Polarisation sehr ähnliche Eigenschaften wie jene des Wassers. «C130» hat, mit einem Brewster-Winkel zwischen 52° und 55° und ebenfalls starker s-polarisierung, sehr ähnliche Eigenschaften wie «Aquatex schwarz» gezeigt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass dieses Material im Feld eine ähnliche Wirkung auf polarotaktische Insekten zeigen könnte.

Das weisse Bändchengewebe «Lumilys weiss» zeigte im Labor wesentliche Unterschiede gegenüber den beiden dunklen Fabrikaten. Womöglich ist dies damit zu erklären, dass die weissen Gewebe darauf ausgelegt sind, möglichst viel Licht zu reflektieren, wobei allenfalls eine Annäherung an eine Totalreflexion zu erwarten ist (Hortima.ch, o. J.). Somit sinkt auch der Anteil an s-polarisiertem Licht der Gesamtreflexion und die Attraktivität dieses Produkts auf polarotaktische Insekten ist im Feld vermutlich sehr gering (R. Schwind, 1995; Rudolf Schwind, 1991). Im Gegensatz zu «Aquatex schwarz» und «C130», welche die ganze Saison oder ganzjährig ausgebracht sind, wird «Lumilys weiss» nur für zwei bis drei Wochen bei der Apfelernte im Herbst eingesetzt um die Reifung zu beschleunigen (Hortima.ch, o. J.). Dadurch wäre der allfällige, ökologisch negative Einfluss im Feld bereits sehr gering.

Neben der Polarisationsverschmutzung können Plastikmulchmethoden längerfristig auch negative Folgen für die Bodenqualität haben. So sind Verschiebungen des Edaphons, hin zu mykotoxischen Pilzen, und eine höhere Wasserabweisung des Bodens beobachtet worden. Weiter führten die veränderten Lebensgemeinschaften zu einer erhöhten Freisetzung von klimaschädlichen Gasen (Hüffer et al., 2019; Steinmetz et al., 2016).

Eine denkbare Möglichkeit wäre biologisch abbaubarer Plastik, welcher immer mehr verwendet wird. Es ist auch möglich, PP, durch Zusätze bei der Produktion, biologisch besser abbaubar zu machen, ohne die physikalischen Eigenschaften des Materials wesentlich zu verändern („Biodegradable Additives for PP“, o. J.; Rosa et al., 2009). Die Eigenschaft, dass sich die Gewebe im Kontakt mit einer biologisch aktiven Umwelt schneller zersetzen, ist für die Landwirtschaft und die Umwelt zwiespältig. So ist es einerseits für die Produktion wichtig, dass entsprechende Produkte robust und langlebig

sind, andererseits ist biologisch abbaubarer Plastik, welcher mehrere Jahre Zerfallszeit braucht, allenfalls auch ein Problem der Mikroplastikverschmutzung im Boden (Hüffer et al., 2019).

Ökologisch sinnvoller ist die Suche nach alternativen, auf organischem Material basierenden, Mulchmethoden. Darunter fallen unter anderem «Lebendmulch», wobei eine bodendeckende Pflanzenart eingesät wird, ausserdem Kompostmulch, oder Mulch aus totem organischem Material wie Baumrinde oder Stroh (Bucki & Siwek, 2019; Hartwig & Ammon, 2002). Diese Methoden haben erwiesenermassen einen positiven Effekt auf Ernteerträge und Bodenqualität und können mit der Zusammensetzung des Mulchs auch auf die angebaute Kultur angepasst werden (Bucki & Siwek, 2019; Hartwig & Ammon, 2002). So wurden auch schon bessere Ernten bei Tomaten mit organischem Mulch, als mit Plastikmulch erfasst (Schonbeck & Evanylo, 1998; Zinati, 2014).

Kann dennoch nicht auf Bändchengewebe verzichtet werden, sollte angestrengt werden, den negativen Einfluss auf Insekten so weit wie möglich zu verringern. Auf den schwarzen, stark s-polarisierenden Produkten könnte geprüft werden, ob ein weisses, eingeflochtenes Gitternetz eine ähnliche Wirkung zeigt, wie beim Experiment mit auf Solarzellen angebrachtem Gitternetz aus weissem, nicht polarisierendem Klebstreifen. Hierbei wurde die polarotaktische Wirkung wesentlich verringert (Horváth et al., 2010).

4.3 Photovoltaik

Sonnenenergie gilt als eine erneuerbare Energiequelle und es werden riesige Solaranlagen geplant und viele sind bereits umgesetzt, wobei der Solarzellenmarkt kontinuierlich wächst (Pvps, 2018). Dies resultiert unweigerlich in einer erweiterten weltweiten Polarisationsverschmutzung. Eine Lösungsorientierte Diskussion dieses Problems ist unbedingt nötig. Gerade in ariden Gebieten, wo grosse Anlagen mit kleinem Verlust an landwirtschaftlich wertvoller Fläche geplant werden können, drohen diese Anlagen zu ähnlichen ökologischen Fallen zu werden, wie die Ölseen in Kuwait. Diese Ölseen entstanden 1991 nach Sprengungen von Pipelines während des Golfkriegs und haben durch ihre stark s-polarisierende Eigenschaft zu horrenden Verlusten bei polarotaktischen Insektenarten geführt, welche in diesen Seen verendeten (Horváth & Zeil, 1996). Hunderte dieser Seen sind bis heute nicht verschwunden und werden alljährlich zum fatalen Verhängnis zahlloser Wanderlibellen (Horváth & Varjú, 2004a; Welle (www.dw.com), 2010). Solarzellen sind auch hierzulande immer weiterverbreitet und somit Teil des Problems.

Die polarotaktische Reaktion der Insekten auf die Solarzellen konnte in einem Feldexperiment signifikant (10-27fach weniger Anflüge) verringert werden. Hierbei wurde die homogene Fläche der Solarzellen mit nicht polarisierendem, weissem Klebeband in kleinere Felder unterteilt, wobei der Verlust der effektiven Fläche zur Stromgewinnung bei ungefähr 2% lag (Horváth et al., 2010). Zwei

Prozent Stromverlust mögen nicht viel sein, aber wären wahrscheinlich, aus stromwirtschaftlichen Gründen, unmöglich durchsetzbar.

Die Forschung in effizientere Solarzellen könnte möglicherweise die Lösung dieses Problems im Selbstlauf bieten. Da das Ziel der Solarzelle darin liegt, möglichst effizient Strom aus der Sonneneinstrahlung zu produzieren, wird eine möglichst hohe Lichtabsorption angestrebt. Relativ neue Techniken mit Beschichtung der Panels mit sogenannten «moth eye surfaces» zeigen eine sehr effiziente Absorption und verringern die Reflexion auf ein Minimum (Dewan et al., 2012; Qarony et al., 2018). Es ist anzunehmen, dass mit solchen beschichteten Solarzellen auch die Polarisationsverschmutzung minimiert, oder sogar verhindert würde. Da eine solche Beschichtung die Stromerzeugung in den, bisher vielversprechenden, neuen Perowskit-Solarzellen um bis zu 15% und in den, momentan am meisten verwendeten, Silizium-Solarzellen bis zu 25% steigern kann, ist es nur eine Frage der industriellen Produktionsmöglichkeit und der marktwirtschaftlichen Interessen, ob diese Technik bald schon eingesetzt werden kann (Qarony et al., 2018; Speicher, 2018, 2019).

4.4 Glasfassaden

Glasfassaden sind dann ein Problem bezüglich Polarisation, wenn ein polarotaktisches Insekt so nahe an der vertikalen Glasfläche ist, dass der Brewster-Winkel im oberen und/oder im unteren Sichtfeld liegt. Dies stellt vor allem ein grosses Problem dar, wenn ein entsprechendes Gebäude in unmittelbarer Nähe zu einem Gewässer steht. In dem Fall kann die s-polarisierte Reflexion der Sonne von frisch geschlüpften Wasserinsekten direkt wahrgenommen werden (Kriska et al., 2008). Die Möglichkeit, diffuses Glas zu verwenden, wäre bei Glasgewächshäusern eine mögliche Lösung. Es wurden sogar positive Effekte auf den Ernteertrag von Tomaten und der Produktion von Rosen unter diffusem Glas beobachtet (Dueck et al., 2012; García Victoria et al., 2012). Bei Büro- und eventuell auch Industriegebäuden wird hingegen von der Glasfläche eine Durchsicht auf die Aussenwelt erwartet und diffuses Glas stellt dadurch keine gute Lösung dar (SECO, 2012). Es besteht jedoch die Möglichkeit, das Glas punktiert zu bedrucken und immer noch einen guten Kontrast bei der Sicht durch das Glas zu haben (Meile, 2009). Wenn diese Bedruckung aus unpolarisierendem Material besteht, könnte erreicht werden, dass der Anteil der polarisierten Reflexion verringert wird. Die Attraktivität der Fassade auf polarotaktische Insekten würde damit verringert, oder ist im besten Fall nicht mehr vorhanden.

5 Fazit/Schlusswort

Das Problem der Polarisationsverschmutzung reiht sich in das Feld von evolutiven Fallen mit anthropogener Ursache ein (Robertson et al., 2013). Es zeigt sich auch in den verschiedenen Themengebieten der ZHAW, und überschneidende Elemente sind in allen Vertiefungen des Studiums

für Umweltingenieurwesen zu finden („ZHAW Studienplaner—ZHAW Studienkompass“, 2019). Da die Problematiken und der theoretische Hintergrund mit den Monografien über polarisiertes Licht bei Tieren von Horváth (2014; 2004b) fundiert aufgearbeitet ist, könnte das Thema auch schon im Grundstudium aufgegriffen werden.

In weiteren Studien sollten Untersuchungen und Messungen für die diskutierten Probleme und Lösungsansätze bei Bändchengeweben, Glasfassaden und Photovoltaikanlagen gemacht werden.

6 Dank

Für den uneingeschränkten Zugang zu den Untersuchungsflächen danke ich vielmals Thomas Bucher, Quentin Repond, Fritz Scheurer und Cecilia Suter. Einen besonderen Dank richte ich an Dr. Erwin Hack für den Zugang zu den Laboren der EMPA und seine Unterstützung bei den Messungen der Polarisationsseigenschaften der Bändchengewebe.

7 Literaturverzeichnis

And1mu, user. (2017). *English: Plane EM-Wave*. Abgerufen von

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave_noGIF.svg

Basler, L. (2019, Oktober 14). *Herstellung Bändchengewebe Hortima*.

Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019a). *Anax imperator – Grosse Königslibelle*.

Abgerufen 5. Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website:

<https://libellenschutz.ch/arten/item/anax-imperator>

Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019b). *Calopteryx virgo virgo – Blauflügel-*

Prachtlibelle. Abgerufen 6. Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website:

https://libellenschutz.ch/arten/item/calopteryx-virgo?category_id=5

Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019c). *Coenagrion puella – Hufeisen-Azurjungfer*.

Abgerufen 6. Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website:

<https://libellenschutz.ch/arten/item/coenagrion-puella>

Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019d). *Cordulia aenea – Falkenlibelle*. Abgerufen 5.

Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website: https://libellenschutz.ch/arten/item/cordulia-aenea?category_id=9

- Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019e). *Ischnura elegans* – Grosse Pechlibelle. Abgerufen 6. Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website: <https://libellenschutz.ch/arten/item/ischnura-elegans>
- Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019f). *Libellula depressa* – Plattbauch. Abgerufen 6. Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website: <https://libellenschutz.ch/arten/item/libellula-depressa>
- Baumann, A., Koller, C., Abegg, D., & Keller, D. (2019g). *Libellula quadrimaculata* – Vierfleck. Abgerufen 6. Oktober 2019, von Libellenschutz.ch website: <https://libellenschutz.ch/arten/item/libellula-quadrimaculata>
- Bechly, G., Brauckmann, C., Zessin, W., & Groning, E. (2001). New results concerning the morphology of the most ancient dragonflies (Insecta: Odonatoptera) from the Namurian of Hagen-Vorhalle (Germany). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 39(4), 209–226. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0469.2001.00165.x>
- Bernath, B. (2004). Why is it worth flying at dusk for aquatic insects? Polarotactic water detection is easiest at low solar elevations. *Journal of Experimental Biology*, 207(5), 755–765. <https://doi.org/10.1242/jeb.00810>
- Biodegradable Additives for PP. (o. J.). Abgerufen 19. Oktober 2019, von <http://www.biosphereplastic.com>
- Blahó, M., Egri, Á., Barta, A., Antoni, G., Kriska, G., & Horváth, G. (2012). How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology*, 189(2–4), 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.04.016>
- Bucki, P., & Siwek, P. (2019). Organic and non-organic mulches – impact on environmental conditions, yield, and quality of Cucurbitaceae. *Folia Horticulturae*, 31(1), 129–145. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0009>

- Callan, H. (Hrsg.). (2018). *The International Encyclopedia of Anthropology* (1. Aufl.).
<https://doi.org/10.1002/9781118924396>
- Dettner, K., Peters, W., & Bauer, T. (Hrsg.). (2010). *Lehrbuch der Entomologie* (2. Aufl., unveränd. Nachdr). Heidelberg, Neckar: Spektrum.
- Dewan, R., Fischer, S., Benno Meyer-Rochow, V., Özdemir, Y., Hamraz, S., & Knipp, D. (2012). Studying nanostructured nipple arrays of moth eye facets helps to design better thin film solar cells. *Bioinspiration & Biomimetics*, 7(1), 016003. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/7/1/016003>
- Dijkstra, K.-D. B., & Lewington, R. (Hrsg.), Niehaus, M., & Wink, C. (Übers.). (2014). *Libellen Europas: Der Bestimmungsführer*. Bern: Haupt.
- Dueck, T., Janse, J., Li, T., Kempkes, F., & Eveleens, B. (2012). INFLUENCE OF DIFFUSE GLASS ON THE GROWTH AND PRODUCTION OF TOMATO. *Acta Horticulturae*, (956), 75–82.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.6>
- Egri, Á., Blahó, M., Száz, D., Barta, A., Kriska, G., Antoni, G., & Horváth, G. (2013). A new tabanid trap applying a modified concept of the old flypaper: Linearly polarising sticky black surfaces as an effective tool to catch polarotactic horseflies. *International Journal for Parasitology*, 43(7), 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2013.02.002>
- Essl, F., & Rabitsch, W. (Hrsg.). (2013). *Biodiversität und Klimawandel*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29692-5>
- Fischer, M., & Forum Biodiversität Schweiz. (2015). *Zustand der Biodiversität in der Schweiz 2014: [Die Analyse der Wissenschaft]*. Bern: Forum Biodiversität Schweiz.
- Fliedner-Kalies, T., Fliedner, H., Kuchler, H., Kuchler, M., & Schwyzerische Naturforschende Gesellschaft. (2011). *Libellen im Kanton Schwyz*.
- García Victoria, N., Kempkes, F. L. K., Van Weel, P., Stanghellini, C., Dueck, T. A., & Bruins, M. (2012). EFFECT OF A DIFFUSE GLASS GREENHOUSE COVER ON ROSE PRODUCTION AND QUALITY. *Acta Horticulturae*, (952), 241–248. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.952.29>

- Giancoli, D. C., & Koch, C. (2011). *Physik: Gymnasiale Oberstufe* (Schulbuchausg., gymnasiale Oberstufe). München: Pearson Deutschland.
- Hack, E. (2019, Oktober 8). *Einführung zur Nutzung des Ellipsometers der EMPA*.
- Hansruedi Wildermuth. (2007). Polarotaktische Reaktionen von *Coenagrion puella* und *Libellula quadrimaculata* auf Erdbeerkulturen als ökologische Falle (Odonata: Coenagrionidae, Libellulidae). *Libellula*, (26 (3/4)), 143–150.
- Hartwig, N. L., & Ammon, H. U. (2002). Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50(6), 688–699. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0688:AIACCA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0688:AIACCA]2.0.CO;2)
- Hortima.ch. (o. J.). Lumilys weiss 260 cm / 100 m | Hortima AG. Abgerufen 19. Oktober 2019, von <https://www.hortima.ch/de/shop/artikel/cat/13-125-865/art/lumilys-weiss-260-cm-100-m/>
- Horváth, G. (1995). Reflection-polarization patterns at flat water surfaces and their relevance for insect polarization vision. *Journal of Theoretical Biology*, 175(1), 27–37. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1995.0118>
- Horváth, G. (Hrsg.). (2014). *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54718-8>
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Kriska, G., Seres, I., & Robertson, B. (2010). Reducing the Maladaptive Attractiveness of Solar Panels to Polarotactic Insects: Polarized Light Pollution from Solar Panels. *Conservation Biology*, 24(6), 1644–1653. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x>
- Horváth, G., Gál, J., & Wehner, R. (1997). Why Are Water-Seeking Insects Not Attracted by Mirages? The Polarization Pattern of Mirages. *Naturwissenschaften*, 84(7), 300–303. <https://doi.org/10.1007/s001140050398>
- Horváth, G., Gyorgy, K., & Sándor, A. (1998). Why do mayflies lay their eggs on dry asphalt roads? Water imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. *Journal of Experimental Biology*, 201, 2273–2286. https://doi.org/10.1007/978-3-662-09387-0_22

- Horváth, G., Kriska, G., & Robertson, B. (2014). Anthropogenic Polarization and Polarized Light Pollution Inducing Polarized Ecological Traps. In G. Horváth (Hrsg.), *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences* (S. 443–513). https://doi.org/10.1007/978-3-642-54718-8_20
- Horváth, G., & Varjú, D. (2004a). Oil Reservoirs and Plastic Sheets as Polarizing Insect Traps. In G. Horváth & D. Varjú, *Polarized Light in Animal Vision* (S. 215–228). https://doi.org/10.1007/978-3-662-09387-0_21
- Horváth, G., & Varjú, D. (2004b). *Polarized light in animal vision: Polarization patterns in nature*. Berlin ; New York: Springer.
- Horváth, G., & Zeil, J. (1996). Kuwait oil lakes as insect traps. *Nature*, 379(6563), 303–304. <https://doi.org/10.1038/379303a0>
- Hüffer, T., Metzelder, F., Sigmund, G., Slawek, S., Schmidt, T., & Hofmann, T. (2019). Polyethylene microplastics influence the transport of organic contaminants in soil. *Science of The Total Environment*, 657, 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.047>
- Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 501–529. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3>
- Kniepert, F.-W. (1979). Eine leistungsfähige Methode zum Fang männlicher Bremsen (Diptera, Tabanidae). *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 88(1–5), 88–90. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1979.tb02481.x>
- Kriska, G., Malik, P., Szivák, I., & Horváth, G. (2008). Glass buildings on river banks as “polarized light traps” for mass-swarmed polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften*, 95(5), 461–467. <https://doi.org/10.1007/s00114-008-0345-4>
- LEIFiPhysik. (o. J.). BREWSTER-Winkel | LEIFiPhysik. Abgerufen 20. Oktober 2019, von <https://www.leifiphysik.de/optik/polarisation/grundwissen/brewster-winkel>

- Malik, P., Hegedüs, R., Kriska, G., & Horváth, G. (2008). Imaging polarimetry of glass buildings: Why do vertical glass surfaces attract polarotactic insects? *Applied Optics*, 47(24), 4361.
<https://doi.org/10.1364/AO.47.004361>
- Meile, A. (2009). *Beurteilung sichtbehindernder Fassaden*. Staatssekretariat für Wirtschaft SECO.
- Oakley, T. H. (2003). On Homology of Arthropod Compound Eyes. *Integrative and Comparative Biology*, 43(4), 522–530. <https://doi.org/10.1093/icb/43.4.522>
- Ohring, M. (2002). *Materials science of thin films: Deposition and structure* (2nd ed). San Diego, CA: Academic Press.
- Pvps, I. (2018). *2018 SNAPSHOT OF GLOBAL PHOTOVOLTAIC MARKETS*.
- Qarony, W., Hossain, M. I., Dewan, R., Fischer, S., Meyer-Rochow, V. B., Salleo, A., ... Tsang, Y. H. (2018). Approaching Perfect Light Incoupling in Perovskite and Silicon Thin Film Solar Cells by Moth Eye Surface Textures. *Advanced Theory and Simulations*, 1(8), 1800030.
<https://doi.org/10.1002/adts.201800030>
- Robertson, B. A., & Hutto, R. L. (2006). A FRAMEWORK FOR UNDERSTANDING ECOLOGICAL TRAPS AND AN EVALUATION OF EXISTING EVIDENCE. *Ecology*, 87(5), 1075–1085.
[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1075:AFFUET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1075:AFFUET]2.0.CO;2)
- Robertson, B. A., Rehage, J. S., & Sih, A. (2013). Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(9), 552–560.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.004>
- Rosa, D. S., Grillo, D., Bardi, M. A. G., Calil, M. R., Guedes, C. G. F., Ramires, E. C., & Frollini, E. (2009). Mechanical, thermal and morphological characterization of polypropylene/biodegradable polyester blends with additives. *Polymer Testing*, 28(8), 836–842.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2009.07.006>
- Rossel, S. (1989). Polarization Sensitivity in Compound Eyes. In D. G. Stavenga & R. C. Hardie (Hrsg.), *Facets of Vision* (S. 298–316). https://doi.org/10.1007/978-3-642-74082-4_15

- Schonbeck, M. W., & Evanylo, G. K. (1998). Effects of Mulches on Soil Properties and Tomato Production I. Soil Temperature, Soil Moisture and Marketable Yield. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13(1), 55–81. https://doi.org/10.1300/J064v13n01_06
- Schwind, R. (1995). Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light. *Journal of Comparative Physiology A*, 177(4). <https://doi.org/10.1007/BF00187480>
- Schwind, Rudolf. (1991). Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A*, 169(5). <https://doi.org/10.1007/BF00193544>
- SECO, S. für W. (2012). Arbeit und Gesundheit—Licht, Beleuchtung, Raumklima, Raumluftqualität. Abgerufen 20. Oktober 2019, von https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Publikationen_Dienstleistungen/Publikationen_und_Formulare/Arbeit/Arbeitsbedingungen/Broschuren/arbeit-und-gesundheit---licht--beleuchtung--raumklima--raumluftq.html
- Speicher, C. (2018, Februar 8). Im Doppelpack machen Solarzellen mehr aus dem Sonnenlicht | NZZ. *Neue Zürcher Zeitung*. Abgerufen von <https://www.nzz.ch/wissenschaft/solarzelle-ld.1352530>
- Speicher, C. (2019, Juni 19). Perowskit-Solarzellen: Test unter realitätsnahen Bedingungen. *Neue Zürcher Zeitung*. Abgerufen von <https://www.nzz.ch/wissenschaft/perowskit-solarzellen-test-unter-realitaetsnahen-bedingungen-ld.1489555>
- Speiser, B., Tamm, L., Roggli, M., Bögli, S., Bickel, R., Maurer, V., ... Chevillat, V. (2019). *Betriebsmittelliste 2019 für den biologischen Landbau*. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL.
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614–621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2)
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., ... Schaumann, G. E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term

- soil degradation? *Science of The Total Environment*, 550, 690–705.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153>
- Tipler, P. A., Mosca, G., & Basler, M. (2012). *Physik: Für Wissenschaftler und Ingenieure ; [der Begleiter bis zum Bachelor]* (6. dt. Aufl., korr. Nachdr). Berlin: Springer Spektrum.
- User:Stannered, en>User:Buntgarn, traced by. (2008). *English: Diagram of the experimental setup for an ellipsometry experiment*. Abgerufen von
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ellipsometry_setup.svg
- van Gogh, J. J. (2019, Oktober 14). *Libellenbeobachtungen über einer Photovoltaikanlage auf einem Flachdach*.
- Verein für biologisch-dynamische Landwirtschaft. (2019). *Demeter Anbaurichtlinien*.
- Von Frisch, K. (1965). *Tanzsprache und Orientierung der Bienen*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-94916-6>
- Welle (www.dw.com), D. (2010, August 2). Vor 20 Jahren: Der Irak besetzt Kuwait | DW | 02.08.2010.
 Abgerufen 18. Oktober 2019, von DW.COM website: <https://www.dw.com/de/vor-20-jahren-der-irak-besetzt-kuwait/a-5857757>
- Wildermuth, H., Gonseth, Y., & Maibach, A. (Hrsg.). (2005). *Odonata: Die Libellen der Schweiz*. Neuchâtel: Centre suisse de Cartographie de la faune, Schweizerische Entomologische Gesellschaft.
- Wildermuth, H., & Horváth, G. (2005). Visual deception of a male *Libellula depressa* by the shiny surface of a parked car (Odonata: Libellulidae). *International Journal of Odonatology*, 8(1), 97–105. <https://doi.org/10.1080/13887890.2005.9748246>
- Wildermuth, H., & Kury, D. (2009). *Libellen schützen, Libellen fördern. Leitfaden für die Naturschutzpraxis*.
- ZHAW Studienplaner—ZHAW Studienkompass. (2019). Abgerufen 20. Oktober 2019, von
<https://studienplaner.lsfm.zhaw.ch/>
- Zinati, G. (2014). *Organic Mulch as an Alternative to Black Plastic Mulch*.

Zwölfer, H. (2010). Regulation der Populationsdichte. In K. Dettner & W. Peters (Hrsg.), *Lehrbuch der Entomologie* (S. 701–719). https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2618-5_22

Abbildungsverzeichnis

Titelbild: patrouillierende *Anax imperator* auf dem Untersuchungsfeld in Steffisburg am 13. Juni 2019 (Severin Scheurer)

Eigene Darstellungen sind die Abbildungen: Titelbild, 2, 4, 6, 9-10, 12, 19-32

Abbildung 1: Die Untersuchungsfläche in Steffisburg ist rot hinterlegt (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)	7
Abbildung 2: Anbaufläche in Steffisburg am 1. Juni 2019	8
Abbildung 3: Das bewirtschaftete Kürbisfeld in Bütschwil ist die beige Fläche auf dem Foto: der gewählte Perimeter mit einer Untersuchungsfläche von 600m ² ist rot hinterlegt (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)	8
Abbildung 4: Landwirtschaftsfläche in Bütschwil im oberen, flachen Teil am 2. Juni 2019. Links verläuft das Feld immer stärker geneigt bis zur Strasse	9
Abbildung 5: Übersichtskarte der beiden Untersuchungsstandorte mit 34.5km Luftlinie dazwischen (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)	9
Abbildung 6: Untersuchungsfeld in Bütschwil am 16. Juli 2019	11
Abbildung 7: Untersuchte Fläche in Bütschwil bei der fünften Begehung am 16.07.2019: Der Perimeter wurde in den flachen, an die Strasse grenzenden Teil verlegt, wo die Kürbiskultur noch nicht flächendeckend war (Orthophoto: Bundesamt für Landestopografie swisstopo)	11
Abbildung 8: Licht als Elektromagnetische Welle besteht aus einem elektrischen Feld (Vektor E) und einem magnetischen Feld (Vektor B): Diese beiden Vektoren sind immer senkrecht zu einander angeordnet (Darstellung: And1mu, 2017)	12
Abbildung 9: Zwei lineare Polarisationsfilter mit gleicher Ausrichtung übereinandergelegt: Einzig die Intensität des Durchlichts wird sichtlich vermindert	13
Abbildung 10: Zwei lineare Polarisationsfilter entgegen- gesetzt ihrer Ausrichtung übereinandergelegt: Die Transmission des Lichts wird vollständig verhindert	13
Abbildung 11: Schematischer Aufbau eines Ellipsometers (Darstellung: User:Stannered, 2008)	14
Abbildung 12: Ellipsometer der EMPA mit Lichtquelle (links) und Analysator (rechts), welche an zwei Winkelverstellbaren Armen befestigt sind	14
Abbildung 13: Der Brewster-Winkel (θ_B) entsteht, wenn Einfallsebene und Ausfallsebene eines Lichtstrahls an einem Substrat in einem rechten Winkel aufeinander stehen: im Idealfall ist der reflektierte Strahl vollständig linear s-polarisiert und der eindringende Strahl grösstenteils p-polarisiert (Darstellung: LEIFlphysik, o. J.)	15
Abbildung 14: Änderung des Brewster-Winkels im Bezug zum Brechungsindex des Materials: Wasser mit einem Brechungsindex von 1,33 hat einen Brewster-Winkel von 53° (Darstellung: Erwin Hack)	15
Abbildung 15: Polarisierende Eigenschaften einer Asphaltfläche: die Reflexion am feuchten, glatten Asphalt polarisiert beinahe 100% des Lichts linear («degree of linear polarisation d ») (Darstellung: Horváth et al., 2014)	17
Abbildung 16: Photovoltaikanlage, bei welcher mehrere Libellen beobachtet wurden (Foto: Jascha J. van Gogh, 24.09.2019)	18

Abbildung 17: Auch bei einer vertikalen Glasfläche gibt es je nach Sonnenstand einen Brewster-Winkel mit maximaler s-Polarisierung. Theoretisch gibt es einen oberen und einen unteren möglichen horizontalen Brewster-Winkel, abhängig der Richtung des einstrahlenden Lichts. Bei einer grossen Glasfassade ist auch die Wahrscheinlichkeit grösser, dass einer dieser Winkel im Sichtfeld des betreffenden Insekts liegt. Die Nummern 1, 2 und 3 sind die vom Insekt sichtbare Glasfläche bei unterschiedlicher Entfernung. Die Kreise stellen jeweils den Ort des Brewster-Winkels aus dem Sichtfeld des Insekts dar (Darstellung: Malik et al., 2008).	19
Abbildung 18: Der Brewster-Winkel ist für ein polarotaktisches Insekt nur bei s-Polarisierung attraktiv. Dies ist bei einer linearen Polarisierung an einer vertikalen Glasfläche nur im oberen und im unteren Sichtfeld des Insekts der Fall (Darstellung: Malik et al., 2008).	19
Abbildung 19: <i>Calopteryx virgo</i> auf einem Kürbisblatt (Mitte des Bildes) in Bütschwil sitzend: Dies ist das einzige beobachtete Individuum einer an Fliessgewässer gebundenen Libellenart während allen Begehungen (16.07.2019)	20
Abbildung 20: Eine über dem Bändchengewebe patrouillierende <i>Anax imperator</i> (13.06.2019)	21
Abbildung 21: Eine Paarung von <i>Anax imperator</i> einige Meter neben dem Feld in Steffisburg: vor dem kurzzeitigen absetzen (roter Kreis) hat sich das Paar über der Folie gefunden	22
Abbildung 22: <i>Coenagrion puella</i> nutzt ein Kürbisblatt als Sitzwarte in Steffisburg (16.07.2019)	22
Abbildung 23: Paarung von <i>Coenagrion puella</i> in Steffisburg (29.06.2019)	23
Abbildung 24: <i>Ischnura elegans</i> auf einem Kürbisblattstengel in Steffisburg sitzend (17.17.2019)	23
Abbildung 25: Pferdebremse (<i>Tabanus sudeticus</i>) auf dem Bandchengewebe in Steffisburg (29.06.2019)	24
Abbildung 26: «Lumilys weiss» auf dem Probetisch des Ellipsometers während angeschalteter Raumbeleuchtung: der Messstrahl ist kaum zu sehen	26
Abbildung 27: «Lumilys weiss» auf dem Probetisch des Ellipsometers: der sichtbare weisse Punkt ist die Stelle, an welcher der Lichtstrahl zum Detektor hin reflektiert wird.	26
Abbildung 28: Betrachtung der Reflexion auf «Aquatex schwarz» durch einen horizontal ausgerichteten Polarisationsfilter bei einem Einfallswinkel von 45°	26
Abbildung 29: Betrachtung des reflektierten Lichtstrahls auf «Aquatex schwarz» durch einen horizontal ausgerichteten Polarisationsfilter nahe des Brewster-Winkels (51°): die Lichtintensität des s-polarisierten Lichts ist bei diesem Winkel am grössten	26
Abbildung 30: Die drei verschiedenen Bändchengewebe, welche qualitativ auf ihre polarisierenden Eigenschaften untersucht wurden: «Lumilys weiss», «C130 grün» und das auf den Untersuchungsflächen verwendete «Aquatex schwarz»	27
Abbildung 31: Die Reflexion eines p-polarisierten Lichts an «Lumilys weiss» durch einen vertikal ausgerichteten Polarisationsfilter (p-polarisierend): es ist eine etwas blendende Reflexion durch den Filter zu beobachten	28
Abbildung 32: Dieselbe Reflexion auf «Lumilys weiss» durch einen horizontal ausgerichteten Polarisationsfilter (s-polarisierend): es ist kaum eine blendende Reflexion zu sehen	28

Anhang

Bachelorstudiengang Umweltingenieurwesen:

Tabelle 4: Aufnahmeprotokoll Kürbisfeld Bütschwil

2.6.2019 Bütschwil 13:25		
Species	Anzahl	Bemerkungen/Beobachtungen
		Bei der ersten Begehung konnte keine Libelle beobachtet werden
17.6.2019 Bütschwil 14:45		
<i>Anax imperator</i>	1(m)	Die Libelle patrouillierte während der ganzen Begehung über dem Feld
30.6.2019 Bütschwil 13:10		
<i>Coenagrion puella</i>	1(m)	
<i>Libellula cf. quadrimaculata</i>	1	Das Tier überflog während der Aufnahme einmal das Feld und konnte nicht mit abschliessender Sicherheit bestimmt werden.
16.7.2019 Bütschwil 11:45		
<i>Anax imperator</i>	1(m)	während der ganzen Begehung patrouillierend
<i>Coenagrion puella</i>	2(m)	
<i>Libellula cf. depressa</i>	1	Das Tier überflog während der Aufnahme einmal das Feld und konnte nicht mit abschliessender Sicherheit bestimmt werden.
<i>Calopteryx virgo</i>	1(m)	in unmittelbarer Nähe fliesst ein Bächlein, wo <i>C. virgo</i> vorkommt. Es besteht also die Wahrscheinlichkeit, dass sich diese auf Fließgewässer angewiesene Art nur auf das Feld verirrt hat.
		<i>Sowohl auf dem Feld in Steffisburg als auch in Bütschwil konnten andere Polarotaxische Insekten beobachtet werden. Auffällig waren insbesondere die Pferde- und Regenbremse (Tabanus sudeticus/Haematopota pluvialis; Tabanidae)</i>

Tabelle 5: Aufnahmeprotokoll Kürbisfeld Erlen (Steffisburg)

01.06.2019 Erlen 15:30		
Species	Anzahl	Bemerkungen/Beobachtungen
<i>Anax imperator</i>	1 (m)	während der ganzen Beobachtungszeit über dem Feld am patrouillieren
13.06.2019 Erlen 11:30		
<i>Anax imperator</i>	5 (m)	die Tiere flogen durchgehend über die Folien und verliessen das Feld höchstens für kurze Jagdmanöver
<i>Libellula quadrimaculata</i>	3	die drei Tiere wurden überflogen jeweils das Feld und konnten nicht weiter beobachtet werden. Es ist nicht auszuschliessen, dass es immer dasselbe Individuum war.
<i>Cordulia aenea</i>	1	in der zweiten Hälfte der Beobachtungszeit hat eine <i>C. aenea</i> einen Teil des Feldes besetzt und zeigte eindeutiges Revierverhalten (Verteidigung gegen jegliche anfliegende Libelle)

29.06.2019 Erlen 13:10		
<i>Anax imperator</i>	4 (m) 2(f) 2(copula)	Die Tiere patroullierten meist über dem Feld. Bei einem (f) konnte eine versuchte Eibablage auf das Bändchengewebe beobachtet werden. Eier konnten jedoch nicht gefunden werden. Weiter waren zwei Paarungen zu beobachten.
<i>Coenagrion puella</i>	>5(m) 2(f) 3 (tandem) 1 (copula)	C. puella war häufig vertreten
<i>Ischnura elegans</i>	2(m)	
17.7.2019 Erlen 11:15		
<i>Coenagrion puella</i>	8(m) 1(copula)	
<i>Ischnura elegans</i>	4(m) 1(f)	
		<i>Sowohl auf dem Feld in Steffisburg als auch in Bütschwil konnten andere Polarotaxische Insekten beobachten. Auffällig waren insbesondere die Pferde- und Regenbremse (Tabanus sudeticus/Haematopota pluvialis; Tabanidae)</i>

Erklärung betreffend das selbstständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmassnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Unterschrift:

Wädenswil, 5.11.2019

