

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Uploaddatum: 15.03.2025

Uploadzeit: 11:42

Dies ist ein von FlexNow automatisch beim Upload generiertes Deckblatt. Es dient dazu, die Arbeit automatisiert der Prüfungsakte zuordnen zu können.

**This is a machine generated frontpage added by FlexNow.
Its purpose is to link your upload to your examination file.**

Matrikelnummer: 18613936



Bachelorarbeit im wissenschaftlichen Studiengang
Agrarwissenschaften an der Georg-August Universität Göttingen,
Fakultät für Agrarwissenschaften

Der Einfluss von Photovoltaikmodulen auf Biodiversität, Qualität und Quantität des Grünlandaufwuchses

Angefertigt im Department für Grasslandwissenschaften

Erstprüferin: Dr. Dina Hamidi
Zweitprüfer: Dr. Manfred Kayser

Vorgelegt von: Pauline Richter
Matrikelnummer: 18613936
Schwerpunkt: Ressourcenmanagement
Abgabetermin: 15.03.2025

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit untersucht den Einfluss von Freiflächen-Photovoltaik (FFPV)-Anlagen auf die Biodiversität sowie die Qualität und Quantität des Grünlandaufwuchses. Ziel der Studie ist es, die Unterschiede in der Vegetationszusammensetzung und Biomasse zwischen drei Transekten innerhalb einer FFPV-Anlage zu analysieren. Diese befinden sich in einem Fenster zwischen den Photovoltaik (PV)-Modulen, unter dem PV-Modul und auf einer Freifläche.

Die Datenerhebung erfolgte im „Solarpark Klein Rheide“ in Schleswig-Holstein. Dort wurden Vegetationsaufnahmen und Biomasseprobe durchgeführt. Zur Bewertung der Biodiversität wurden der Shannon-Weaver-Index und der Evenness-Index berechnet. Zudem wurden die Futterqualität der Biomasse mittels Nahinfrarot-Reflektions-Spektroskopie (NIRS)-Analyse untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Vegetationsstruktur je nach Lage innerhalb der FFPV-Anlage variiert. Unter den PV-Modulen wurde eine reduzierte Biodiversität festgestellt, während in den Transekten mit erhöhter Lichtverfügbarkeit und gleichmäßigerer Niederschlagsverteilung eine höhere Biodiversität nachgewiesen wurde. Die Pflanzenbiomasse war auf der Freifläche am höchsten, gefolgt von dem Transekt Fenster und dem Transekt unter dem Modul. Auch die Futterqualität variierte, wobei sich signifikante Unterschiede im Rohproteingehalt und Rohzuckeranteil zwischen den Transekten zeigten.

Die Studie verdeutlicht, dass eine biodiversitätsfreundliche Gestaltung von FFPV-Anlagen ökologische Vorteile bringen kann. FFPV-Anlagen können sowohl eine nachhaltige Energiegewinnung als auch eine Förderung der Biodiversität miteinander vereinbaren.

Abstract

This bachelor's thesis examines the impact of Free-Field-Photovoltaic (FFPV)-systems on biodiversity as well as the quality and quantity of grassland growth. The aim of the study was to analyse differences in vegetation composition and biomass between three transects within an FFPV-system. These transects were located in an open space between the modules, directly under the modules, and on an open area.

Data collection was conducted at the "Solarpark Klein Rheide" in Schleswig-Holstein. There, vegetation surveys and biomass samples were taken in the three transects. The Shannon-Weaver Index and the Evenness Index were calculated to assess biodiversity. Additionally, the feed quality of the biomass was analysed using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS).

The results indicate that vegetation structure varies depending on the location within the FFPV-system. Reduced biodiversity was found under the PV-modules, whereas higher biodiversity was recorded in transects with increased light availability and more evenly distributed precipitation. Plant biomass was highest in the open area, followed by the transect between the modules and the transect under the modules. Feed quality also varied, with significant differences in crude protein and sugar content between the transects.

The study shows that a biodiversity-friendly design of FFPV systems can bring ecological benefits. FFPV systems can reconcile sustainable energy production with the promotion of biodiversity.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	II
Abstract	III
Abkürzungsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Einordnung in den Kontext.....	1
1.1 Grünland und Diversität	2
1.3 Photovoltaikanlagen.....	5
1.4 Photovoltaik-Freiflächenanalgen.....	6
1.5 Zielsetzung der Bachelorarbeit	9
2 Material und Methoden.....	10
2.1 Solarpark Klein Rheide	10
2.2 Versuchsaufbau und Durchführung	12
2.3 Analyse	15
2.3.1 Analyse der Futterqualität.....	15
2.3.2 Vegetationsbestimmung	16
2.4 Statistische Datenanalyse.....	17
3. Ergebnisse	18
3.1 Vergleich der drei Transekte bezüglich der Hauptvegetationsbildner	18
3.2 Vergleich der drei Transekte bezüglich der Artenanzahl.....	19
3.3 Vergleich der drei Transekte bezüglich des Shannon-Weaver-Indexes	22
3.4 Vergleich der drei Transekte bezüglich des Evenness-Index	25
3.5 Vergleich der drei Transekte bezüglich des Vorkommens der Pflanzenarten	28
3.6 Vergleich der drei Transekte bezüglich der funktionellen Gruppen und Biomasse	29
3.7 Vergleich der drei Transekte bezüglich der Futterqualität	32
4. Diskussion.....	35
4.1 Biodiversität	35
4.2 Quantität	37
4.3 Qualität.....	40
5. Fazit	41
Literaturverzeichnis.....	IX

Anhang	XII
Danksagung	XXII
Eidesstaatliche Erklärung	XXIII
Erklärung zur Nutzung von ChatGPT und vergleichbaren Werkzeugen im Rahmen von Prüfungen.....	XXIV

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ADF	Acid Detergent Faser
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FFPV	Freiflächen Photovoltaik
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GLÖZ	Standards für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen
NIRS	Nahinfrarot-Reflektions-Spektroskopie
PV	Photovoltaik
spec.	Species
°C	Grad Celsius

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Vegetationsaufnahme­punkte mit zugehörigen Probennummern in den drei Transekten	12
Abbildung 2: Probenentnahme am Mikroklimasensor	14
Abbildung 3: Artenanzahl der Vegetationsaufnahme­punkte.....	21
Abbildung 4: Shannon-Weaver-Index der Vegetationsaufnahme­punkte	24
Abbildung 5: Evenness-Index der Vegetationsaufnahme­punkte	27
Abbildung 6: Vorkommen der Pflanzenarten in den Transekten	28
Abbildung 7: Frischgewichte der drei Transekte	29
Abbildung 8: Trockengewichte der drei Transekte	29
Abbildung 9: Frischgewichte der funktionellen Gruppen	30
Abbildung 10: Trockengewichte der funktionellen Gruppen	31
Abbildung 11: Transekt Fenster.....	XII
Abbildung 12: Rahmen.....	XII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messdaten 2024 Wetterstation Klein Rheide	11
Tabelle 2: Position der Vegetationsaufnahmepunkte zu den PV-Modulen in den drei Transekten	13
Tabelle 3: Anzahl der Arten	20
Tabelle 4: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Artenanzahl .	20
Tabelle 5: Shannon-Weaver-Index.....	23
Tabelle 6: Mittelwert des Shannon-Weaver-Index.....	24
Tabelle 7: Evenness-Index	26
Tabelle 8: Mittelwert des Evenness-Index.....	27
Tabelle 9: NIRS-Analyse	34
Tabelle 10: Mittelwerte der NIRS-Analyse.....	34
Tabelle 11: Hauptvegetationsbildner des Transekts Fenster.....	XIII
Tabelle 12: Hauptvegetationsbildner des Transekts Modul	XIV
Tabelle 13: Hauptvegetationsbildner des Transekts Freifläche.....	XV
Tabelle 14: Frischgewichte (in Gramm) des Transekts Fenster	XVI
Tabelle 15: Frischgewichte (in Gramm) des Transekts Modul.....	XVII
Tabelle 16: Frischgewichte (in Gramm) des Transekts Freifläche	XVIII
Tabelle 17: Trockengewichte (in Gramm) des Transekts Fenster	XIX
Tabelle 18: Trockengewichte (in Gramm) des Transekts Modul.....	XX
Tabelle 19: Trockengewichte (in Gramm) des Transekts Freifläche	XXI

1 Einleitung

1.1 Einordnung in den Kontext

Der Verlust der Biodiversität zählt zu den drängendsten ökologischen Herausforderungen der Gegenwart (Anton et al. 2018). Laut einem 2019 veröffentlichten Bericht der Vereinten Nationen sind weltweit rund eine Million Pflanzen- und Tierarten vom Aussterben bedroht (United Nations 2019). In Deutschland hat der „Faktencheck Artenvielfalt“ 96 Lebensraumtypen hinsichtlich ihrer biologischen Vielfalt untersucht und festgestellt, dass sich 60 % dieser Lebensraumtypen in einem unzureichenden oder schlechten Zustand befinden. Besonders betroffen ist das Grünland, welches sich in einem schlechten Zustand befindet (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung 2024). Artenreiche Ökosysteme wie das Dauergrünland geraten durch die Intensivierung der Landwirtschaft und der Flächenumwandlung zunehmend unter Druck (Anton et al. 2018).

Gemäß dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist es das Ziel, die Stromversorgung zukünftig vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken. Vorgesehen ist, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf mindestens 80 % zu erhöhen, um den Klima- und Umweltschutz zu fördern (EEG 2023). Zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern soll der Ausbau von PV-Anlagen verstärkt werden. In diesem Kontext rücken Freiflächen verstärkt in den Fokus des Ausbaus von PV-Anlagen (Wirth 2025).

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Fragestellung an Bedeutung, inwiefern FFPV-Anlagen nicht nur zur Energiewende beitragen, sondern auch ökologische Funktionen übernehmen können. Während der Ausbau solcher Anlagen oft mit negativen Umweltauswirkungen assoziiert wird, zeigen neuere Studien, dass eine biodiversitätsfördernde Gestaltung von FFPV-Anlagen einen positiven Beitrag zum Naturschutz leisten kann (Umweltbundesamt 2025).

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkung einer FFPV-Anlage auf die Vegetationszusammensetzung und die Phytodiversität. Dabei wird betrachtet, inwiefern sich die Vegetation unter und zwischen den Modulen von einer Freifläche unterscheidet. Zudem wird analysiert, ob FFPV-Anlagen einen ökologischen Mehrwert bieten können und somit nicht nur eine Rolle in der Energiegewinnung, sondern auch im Artenschutz spielen.

1.1 Grünland und Diversität

Laut der Convention on Biological Diversity ist die Biodiversität die Vielfalt der Gene, Arten und Ökosysteme. Diese drei Organisationsebenen sind nicht klar voneinander zu unterscheiden und miteinander verknüpft. Die genetische Diversität bezeichnet die Vielfalt der Gene innerhalb einer Art. Eine hohe genetische Vielfalt ermöglicht eine Anpassung an die Umwelt. Die Artendiversität umfasst die Anzahl und Vielfalt von Arten in einem bestimmten Gebiet und beschreibt dessen Beziehung. Die Ökosystemdiversität beinhaltet die Vielfalt der Lebensräume und die dort stattfindenden ökologischen Prozesse (Härdtle 2024).

Die von Robert Whittaker beschriebenen Konzepte der Alpha-, Beta- und Gamma Diversität bieten eine grundlegende Struktur der Biodiversität (Wittig und Niekisch 2014). Diese Konzepte erläutern die Vielfalt einzelner Lebensräume und dessen Unterschiede. Die Alpha-Diversität beschreibt die Artenvielfalt innerhalb eines Lebensraums oder einer definierten Fläche (Härdtle 2024) und steht somit in Zusammenhang mit der genetischen Vielfalt innerhalb einer Art (Beierkuhnlein 2003). Die Beta-Diversität erfasst die Unterschiede in der Artenzusammensetzung zwischen verschiedenen Habitaten oder Lebensgemeinschaften (Härdtle 2024) und stellt einen Bezug zu der Arten- und Ökosystemvielfalt her (Beierkuhnlein 2003). Die Gamma-Diversität erfasst die Gesamtartenvielfalt innerhalb einer größeren Region, welche sich aus verschiedenen Habitaten und deren Artenzusammensetzung ergibt (Härdtle 2024) und beschreibt somit die ökologische Vielfalt eines großen Raums (Beierkuhnlein 2003). Whittakers Konzepte der Diversität stehen somit in wechselseitiger Abhängigkeit, da die genetische Vielfalt innerhalb von Arten (Alpha-Diversität) die regionale Artenzusammensetzung (Beta-Diversität) beeinflusst und die Ökosystemvielfalt (Gamma-Diversität) wiederum auch Einfluss auf die Artenvielfalt beeinflusst (Beierkuhnlein 2003).

Phytodiversität bezeichnet die biologische Vielfalt innerhalb der Pflanzenwelt und umfasst die Vielzahl pflanzlicher Organismen. Ähnlich wie die allgemeine Biodiversität erstreckt die Phytodiversität sich über die drei Ebenen der genetischen Diversität, Arten- und Ökosystemdiversität (Pfadenhauer und Klötzli 2014).

Die Biodiversität ist elementar für die Stabilität und Funktionalität von Ökosystemen. Sie trägt zur Regulierung von Klimaprozessen, Wasser- und Nährstoffkreisläufen sowie zur Bereitstellung von Ressourcen wie Nahrung, Medizin und Rohstoffen bei. Zudem

beeinflusst sie die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen gegenüber Störungen wie Krankheiten oder Klimawandel (Wittig und Niekisch 2014), jedoch sind sich viele Menschen der Relevanz der Biodiversität für ihr eigenes Leben nicht hinreichend bewusst (Mayer 2003). Die Wertschätzung für „Umweltgüter“, wie beispielsweise das Klima oder die Wasserqualität, finden Beachtung in der Gesellschaft. Allerdings wird „Naturgütern“, wozu die Artenvielfalt gezählt wird, in der Regel nur ein „ideeller Wert“ zugeschrieben und kein Drang zum Handeln für den Schutz dieser ausgelöst (Mayer 2003).

Seit dem Ende der Kreidezeit vor 66 Millionen Jahren verlief der Verlust der Biodiversität nie so schnell wie heute – verursacht durch den Menschen, der die Natur übermäßig beansprucht. Um den Biodiversitätsverlust zu unterbinden, ist ein Wandel von Technologie, Politik, Kultur, Wirtschaft und Gesellschaft nötig. Insbesondere ein Handeln in der Landwirtschaft ist erforderlich, da sie die größte Bedrohung für die Biodiversität der Erde darstellt (Science Academies of the Group of Seven (G7) 2021). Die Ursachen für den Rückgang der Biodiversität liegt in der Änderung der Landnutzung, wie der Umbruch von Grünland und die erhöhte Nutzung von Grünland mit zunehmendem Einsatz von Düngemitteln. Weitere Ursachen sind dominierende Fruchtfolgen im Ackerbau, der geringere Einsatz von robusten Sorten, chemische Pflanzenschutzmittel anstatt biologischer Schädlingsbekämpfung, Überdüngung, das Verschwinden von Strukturvielfalt und die geringe Vernetzungsmöglichkeiten von Agrarlandschaften (Anton et al. 2018). Die steigende Nutzung für den Silomaisanbau ist ebenfalls ein bedeutender Faktor für den Verlust von Grünland. Intensiv wirtschaftende Milchviehbetriebe ersetzen Grünland zunehmend durch Silomais, um den steigenden Energie- und Proteinbedarf der Milchkühe zu decken. Gleichzeitig wurde der Maisanbau für die Biogasproduktion erheblich ausgeweitet. Besonders drastisch zeigt sich dieser Wandel in den Küstenregionen Schleswig-Holsteins und Niedersachsens sowie im Voralpengebiet (Pabst et al. 2017).

Etwa ein Drittel der landwirtschaftlichen Fläche ist Dauergrünland (Gerowitt et al. 2013). Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) definiert in § 7 Dauergrünland als Flächen, auf denen seit mindestens fünf Jahren Gras oder andere Grünfütterpflanzen angebaut werden und die nicht in die Fruchtfolge einbezogen sind. Auch andere Pflanzen wie Bäume oder Sträucher können auf dem Dauergrünland wachsen, jedoch dürfen diese nicht vorherrschen (GAP 2022). Seit 2005 versucht die GAP den Erhalt von Grünland zu sichern (Möckel 2016), da der Flächenanteil seit den 1990er Jahren massiv abgenommen hat (Umweltbundesamt 2025). 1991 betrug der Flächenanteil des Dauergrünlands

5,3 Millionen Hektar beziehungsweise 31,1 % der landwirtschaftlichen Fläche. 2024 betrug der Anteil des Dauergrünlands nur noch 4,7 Millionen Hektar, also 28,5 % der landwirtschaftlichen Fläche (Umweltbundesamt 2025).

Langfristig bestehendes Grünland spielt eine zentrale Rolle für den Artenreichtum und erbringt vielfältige Ökosystemleistungen (Möckel 2016). Es bietet einen wertvollen Lebensraum für Flora und Fauna, da über die Hälfte der in Deutschland vorkommenden Pflanzen- und Tierarten auf Grünlandstandorten anzutreffen sind. 40 % der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen kommen im Grünland vor (Umweltbundesamt 2025). Artenreiche Wiesen und Weiden, die bis in die 1950er Jahre weit verbreitet waren, sind zunehmend verarmt. Blütenreiche Glatt- und Goldhaferwiesen wichen ertragreichen, aber homogenen Grasbeständen, welches nur geringfügig ein Habitat für Flora und Fauna bietet (Pabst et al. 2017). Neben seiner hohen biodiversitätsfördernden Funktion trägt Grünland wesentlich zur Kohlenstoffbindung bei und hilft, die Bodenqualität zu erhalten, indem es Erosion verhindert. Darüber hinaus ist es von großer wirtschaftlicher Bedeutung, da es sowohl zur Produktion von Lebens- und Futtermitteln als auch zur Biomassegewinnung für die Energieerzeugung genutzt wird (Umweltbundesamt 2025).

Eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft, insbesondere in dem Bereich des Grünlands, ist entscheidend um den Verlust der Artenvielfalt zu stoppen. Nährstoffarme Böden im extensiven Grünland schaffen wertvolle Lebensräume für seltene Pflanzenarten und gefährdete Tierarten. Die Artengemeinschaft wird dabei durch den Standort und der Nutzungsweise beeinflusst (BMEL 2025), dabei sind möglichst abwechslungsreiche Arten des Grünlands für die Biodiversität sehr wertvoll (Gerowitt et al. 2013).

1.3 Photovoltaikanlagen

Neben der Windenergie gewinnt PV zunehmend an Bedeutung. Ein deutlicher Ausbau der PV-Anlagen ist notwendig, um den gesamten Energiebedarf aus Erneuerbaren Energien zu gewinnen (Wirth 2025) und das Ziel des EEGs mit 80 % erneuerbare Energien bis 2030 erreichen zu können (EEG 2023).

PV-Anlagen nutzen vor allem monokristalline und polykristalline Solarzellen. Diese bestehen aus Halbleitermaterial, welches durch Sonneneinstrahlung Elektronen freisetzt und so elektrische Energie erzeugt. Der entstehende Gleichstrom wird anschließend mithilfe eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt (Umweltbundesamt 2024).

Die Kosten für die Stromerzeugung variieren erheblich zwischen Dach- und FFPV-Anlagen. FFPV-Anlagen sind pro Kilowatt Leistung bis zu zwei Drittel günstiger als Dachanlagen. Während Dachanlagen aufgrund ihrer kleineren Dimensionierung höhere Kosten verursachen, benötigen sie keine zusätzliche Fläche, da sie auf bereits bestehenden Gebäuden installiert werden und somit keine neue Versiegelung von Flächen erfordern (Umweltbundesamt 2024). Somit können FFPV-Anlagen aufgrund der größeren Menge bezüglich Module, Kabel et cetera zu geringeren Kosten gebaut werden (BMWK 2023).

Die größten Umweltbelastungen einer PV-Anlage entstehen während ihrer Produktion und beim späteren Recycling. Im laufenden Betrieb gibt es hingegen kaum negative Umweltauswirkungen. Je länger eine Anlage genutzt wird, desto geringer fallen die Umweltbelastungen pro erzeugter Kilowattstunde PV-Strom aus. In der Regel beträgt die Lebensdauer eines PV-Moduls 25 bis 30 Jahre (Umweltbundesamt 2024). Insgesamt überwiegen die Vorteile von PV, da durch die schnelle Errichtung, geringe Kosten und die gute Rückbaubarkeit eine umweltfreundliche Alternative für die Energiegewinnung geboten wird (Seht 2023).

1.4 Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Das Erneuerbaren Energien Gesetz legt in § 3 Absatz 22 fest, dass „jede Solaranlage, die nicht auf, an oder in einem Gebäude oder einer sonstigen baulichen Anlage angebracht ist, die vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie errichtet worden ist“ als FFPV-Anlage definiert ist (EEG 2023).

In Deutschland war bis zum 31.12.2023 eine Gesamtleistung von 81,9 Gigawatt PV installiert, wobei 29 % auf FFPV-Anlagen entfielen (Dünzen et al. 2024). Das Erneuerbaren Energien Gesetz 2023 legt fest, dass PV in Zukunft zu 50 % als Dachanlage und zu 50 % als FFPV-Anlage angelegt wird (EEG 2023). Die Ausbaurate der Solarenergie soll auf 22 Gigawatt pro Jahr gesteigert werden, das entspricht einer installierten Leistung von 215 Gigawatt im Jahr 2030 (Günnewig et al. 2022). In der Gesellschaft ist Solarkraft die beliebteste Erneuerbare Energien Technologie (Dünzen et al. 2024).

FFPV-Anlagen stellen bauliche Strukturen dar, die sowohl die Nutzung als auch die Gestalt einer Grundfläche verändern und potenziell erhebliche Auswirkungen auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild haben können. Der Bau, die Errichtung und der Betrieb solcher Anlagen gehen mit Umweltveränderungen einher, die sich regional durch die Errichtung weiterer Anlagen summieren können. Diese Auswirkungen werden im Rahmen der Umweltprüfung innerhalb des jeweiligen Bebauungsplans bewertet und berücksichtigt (Günnewig et al. 2022).

FFPV-Anlagen können eine eigenständige ökologische Funktion erfüllen, insbesondere in Bezug auf die Entwicklung artenreicher Graslandschaften. Die Anlagenplanung kann von Beginn an so konzipiert werden, dass ein positiver Beitrag zur Biodiversität geleistet wird, sowohl durch spezifische Ausgleichsmaßnahmen als auch durch weitergehende naturschutzbezogene Konzepte. Insbesondere in stark degradierten Agrarlandschaften bieten sich hierdurch Möglichkeiten zur Ökologisierung und Aufwertung der Flächen an (Günnewig et al. 2022). Auf den Flächen von PV-Anlagen fallen in der Regel Düngung und Pestizideinsatz weg. Eine extensive Bewirtschaftung beeinflusst die Boden- und Wasserqualität nicht so massiv wie eine intensive Bewirtschaftung. Es können Habitate für Flora und Fauna entstehen und erhalten bleiben (Dünzen et al. 2024).

Die verstärkte Nutzung landwirtschaftlicher Standorte hat zur Entwicklung von Agri-PV-Konzepten geführt, die eine kombinierte Nutzung für landwirtschaftliche Produktion und PV ermöglichen. In Abhängigkeit vom technischen Design der Anlage werden

unterschiedlich große Flächenbereiche von PV-Modulen überdeckt. Dennoch verbleiben in der Regel extensiv genutzte teilverschattete Grünflächen, die weiterhin wichtige Funktionen für den Naturhaushalt erfüllen können. Abhängig von der Ausgangssituation vor Errichtung der Anlage, kann es sogar zu einer Verbesserung der ökologischen Bedingungen kommen, insbesondere in intensiv genutzten Agrarlandschaften, in denen die Biodiversität zuvor stark beeinträchtigt war (Günnewig et al. 2022).

Naturverträgliche FFPV-Anlagen verfolgen das Ziel einer „Doppelnutzung“, bei der neben der Energieerzeugung auch positive Effekte für den Naturschutz und die Biodiversität erzielt werden. Das Kompetenzzentrum für Naturschutz und Energiewende setzt sich für die Entwicklung solcher Konzepte ein. Anlagen, die explizit auf die Schaffung eines ökologischen Mehrwerts ausgerichtet sind, werden als „Biotop-Solarparks“ oder „Biodiversitäts-PV“ bezeichnet (Günnewig et al. 2022).

Ein zentrales Konzept zur Erhöhung der ökologischen Wertigkeit von FFPV-Anlagen ist die Vergrößerung der Reihenabstände zwischen den Modulen. Eine solche Gestaltung reduziert die durch die Module überdeckte Fläche, erhöht die Sonneneinstrahlung auf den Boden und verbessert den Wasserhaushalt. Hierdurch können Blühwiesen oder Magerrasen gezielt gefördert werden, die als wertvolle Habitate für zahlreiche Arten dienen (Günnewig et al. 2022). Eine Studie im Auftrag des Bundesverbandes Neue Energiewirtschaft belegt (Peschel et al. 2019), dass breitere Reihenabstände zwischen den Modulen eine positive Wirkung auf Artenvielfalt und Individuenzahl haben. So steigern sonnenbedeckte Streifen zwischen den Modulen mit einer Breite von mindestens drei Metern die Diversität von Insekten erheblich (Peschel et al. 2019).

Weitere biodiversitätsfördernde Maßnahmen umfassen die Integration von Hecken, Steinhaufen, Rohbodenstellen, Totholz oder Kleingewässern (Dünzen et al. 2024). Streuobstwiesen können ebenfalls in das Anlagenkonzept eingebunden werden (Günnewig et al. 2022).

Um die nachhaltige Etablierung und Entwicklung spezifischer Zielarten zu unterstützen, ist ein angepasstes Mahdkonzept erforderlich. Das Mahdgut sollte in ausgehagerten Flächen entfernt werden, und die Mahdzyklen müssen an die ökologischen Bedürfnisse der Zielarten angepasst sein. Auch eine extensive Beweidung durch Schafe ist möglich (Günnewig et al. 2022).

Seit 2024 sind Landwirt:innen laut der Gemeinsamen Agrarpolitik dazu angehalten, vier Prozent ihrer Gesamtfläche als „nicht produktive Fläche“ zu erhalten. Derzeit wird diskutiert, dass diese vier Prozent als Fläche für FFPV-Anlagen dienen können. In Kombination mit biodiversitätsfördernden Maßnahmen kann das eine gute Möglichkeit sein, den Anteil erneuerbarer Energien in Deutschland voranzutreiben und den Landwirt:innen die Erfüllung des achten Standards für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen (GLÖZ) bezüglich der vier Prozent nichtproduktiver Flächen zu ermöglichen. Jedoch müssten die Flächen dafür den landwirtschaftlichen Status behalten (Dünzen et al. 2024). Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz diskutiert mit den entsprechenden Ressorts wie die Modalitäten dazu aussehen sollen (BMWK 2023).

Insgesamt können FFPV-Anlagen, abhängig von Planung und Pflege, einen bedeutenden Beitrag zum Artenschutz leisten. Der Umfang dieses Beitrags ist jedoch stark von der Ausgangssituation, der spezifischen Anlagengestaltung und dem Pflegekonzept abhängig. Bislang existieren keine verbindlichen Definitionen für Begriffe wie „naturverträgliche Solar-Freiflächenanlage“, „Biodiversitäts-PV“ oder „Biotop-Solarpark“. Dies erschwert die Beurteilung, inwieweit eine Anlage tatsächlich einen ökologischen Mehrwert liefert oder ob es sich lediglich um „Greenwashing“ handelt. Besonders in intensiv genutzten Agrarlandschaften bieten biodiversitätsfreundliche PV-Anlagen eine wertvolle Möglichkeit zur Verbesserung des Natur- und Artenschutzes und zur Aufwertung der Landschaft (Günnewig et al. 2022). Landwirtschaftliche Flächen werden durch PV-Anlagen vor Hitze, Frost, Hagel und intensiver Sonneneinstrahlung geschützt. Eine dreifache Nutzung in Form extensive Landwirtschaft, Stärkung der Biodiversität und Klimaschutz durch erneuerbare Energien kann somit sehr wertvoll sein (Dünzen et al. 2024).

1.5 Zielsetzung der Bachelorarbeit

Diese Arbeit hat das Ziel, die Auswirkungen von FFPV-Anlagen auf die Vegetationsstruktur und Artenvielfalt systematisch zu erfassen und zu bewerten. Es wird angenommen, dass sich der Grünlandaufwuchs innerhalb einer FFPV-Anlage unterscheidet. Dazu werden drei Transekte untersucht. Diese befinden sich in einem Fenster zwischen den PV-Modulen, unter dem PV-Modul und auf einer Freifläche.

Untersucht wird, wie die Verteilung der Pflanzenarten und -anzahl in den Transekten ist. Aufgrund der PV-Module wirken abiotische Faktoren wie Beschattung und Niederschlag auf den Flächen einer FFPV-Anlage unterschiedlich (Schlegel 2021). Es wird die Hypothese aufgestellt, dass dies die Biodiversität des Grünlandaufwuchses beeinflusst.

Zudem soll analysiert werden, wie hoch die Biomasse der Vegetation in den verschiedenen Transekten ist und welche Futterqualität vorliegt. Aufgrund der unterschiedlichen Wachstumsbedingungen in einer FFPV-Anlage, insbesondere in Bezug auf Licht und Wasser (Armstrong et al. 2016), wird eine signifikante Variation der Biomasse angenommen. Des Weiteren wird vermutet, dass sich die chemische Zusammensetzung der Pflanzen, insbesondere der Gehalt an Rohzucker, Rohprotein und Acid Detergent Fiber (ADF) unterscheidet.

2 Material und Methoden

2.1 Solarpark Klein Rheide

Der „Solarpark Klein Rheide“ liegt in Schleswig-Holstein. Die Flächen befinden sich südlich des Ortskerns an der Verbindungsstrecke nach Kropp. Die FFPV-Anlage wurde zwischen 2015 und 2019 in drei Bauabschnitten auf einer 27 Hektar großen Fläche errichtet (Wattmanufactur 2025).

2012 begann dort der Kiesabbau, heute ist der Boden sandig und trocken. Abgebaute Kiesflächen zählen zu den Konversionsflächen, welche von dem Erneuerbaren Energien Gesetz als vorbelastete Flächen gefördert werden (Wattmanufactur 2025).

Die installierte Leistung des „Solarparks Klein Rheide“ beträgt 23 Megawatt Peak und die jährliche Stromerzeugung liegt bei rund 22,4 Millionen Kilowattstunden. Insgesamt sind 81.484 PV-Module verbaut, wodurch die Anlage etwa 7.200 Haushalte mit erneuerbarer Energie versorgen kann (Wattmanufactur 2025).

Der „Solarpark Klein Rheide“ wurde unter den folgenden technischen Besonderheiten errichtet. Die PV-Modulreihen besitzen einen Abstand von knapp vier Metern, wodurch die Verschattung reduziert und eine maximale Sonneneinstrahlung gewährleistet wird. Dies ermöglicht eine landwirtschaftliche Nutzung der Flächen, schafft ein schattig-kühles Mikroklima unter den PV-Modulen und begünstigt lichte, warme Bedingungen zwischen den Reihen. Ein zwei Zentimeter Abstand zwischen den PV-Modulen sorgt für eine bessere Abtrocknung der Module und Modulkanten. Zudem verteilt sich der Niederschlag gleichmäßiger auf den Boden, sodass die Vegetation eine ausgewogene Wasserversorgung erhält. Ohne Betonfundamente für Zäune, Gestelle und Wege bleibt die Fläche mit einem Versiegelungsgrad von maximal 1 % nahezu unversiegelt. Die Wege sind wasserdurchlässig, sodass Niederschlag ungehindert versickern kann. Nach der Nutzung wird die gesamte PV-Anlage restlos entfernt, sodass die Fläche vollständig in ihren ursprünglichen Zustand zurückkehrt. Die FFPV-Anlage ist so konzipiert, dass alle Bauteile und Komponenten für eine Betriebsdauer von 30 Jahren ausgelegt sind. Einzige Ausnahme sind die Wechselrichter, die nach etwa 15 Jahren ausgetauscht werden müssen. Das Unternehmen „Osterhof Ökologisches Flächenmanagement GmbH & Co. KG“ bewirtschaftet die Flächen (Wattmanufactur 2025).

Der „Solarpark Klein Rheide“ soll durch biodiversitätsfördernde Maßnahmen vielen Pflanzen- und Tierarten ein Habitat bieten. Maßnahmen sind unter anderem kein Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel, ausgedehnte Abstände zwischen den PV-Modulreihen, Blühstreifen mit regionalem Saatgut, eine späte Mahd mit Doppelmesser-Mähtechnik und vieles mehr (Wattmanufactur 2025).

In Tabelle 1 sind die meteorologischen Daten für den Zeitraum Januar bis Oktober 2024 der Wetterstation des Solarparks Klein Rheide dargestellt. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge betrug 2,79 mm. Der höchste Wert wurde im April mit 7,20 mm gemessen, der niedrigste im März mit 0,86 mm. Die mittlere Lufttemperatur lag bei 10,87 °C. Der wärmste Monat war der August mit einer Durchschnittstemperatur von 17,75 °C, die niedrigste Durchschnittstemperatur wurde im Januar mit 2,04 °C gemessen. Der durchschnittliche Taupunkt betrug 8,33 °C. Der höchste Wert wurde im August mit 13,85 °C gemessen, der niedrigste im Januar mit 0,27 °C (Tabelle 1).

Tabelle 1: Messdaten 2024 Wetterstation Klein Rheide

Zeitraum	Niederschlag Mittelwert in mm	Temperatur Mittelwert in °C	Taupunkt Mittelwert in °C
Januar	2,49	2,04	0,27
Februar	3,12	5,45	4,22
März	0,86	5,88	4,19
April	7,20	8,18	5,46
Mai	2,70	14,23	10,35
Juni	3,08	14,86	11,24
Juli	3,01	16,85	13,23
August	1,48	17,75	13,85
September	2,12	12,88	12,06
Oktober	1,80	10,63	8,43
Januar bis Oktober	2,79	10,87	8,33

2.2 Versuchsaufbau und Durchführung

Am 8. Oktober 2024 wurde im „Solarpark Klein Rheide“ ein Versuch zur Untersuchung der Vegetation durchgeführt. In Abbildung 1 ist die Verteilung der Vegetationsaufnahmepunkte mit den zugehörigen Probennummern sowie den Mikroklimasensoren dargestellt. Es wurden insgesamt 24 Vegetationsaufnahmepunkte eingerichtet, die sich jeweils in direkter Nähe zu einem Mikroklimasensor befanden. Die Vegetationserhebungen erfolgten entlang von drei Transekten, mit jeweils acht Vegetationsaufnahmepunkte je Transekt. Das erste Transekt, als „Fenster“ bezeichnet, befand sich in einem Bereich, in dem innerhalb einer Modulreihe keine PV-Module installiert waren. In Abbildung 11 wird das Fenster zwischen den Modulen gezeigt (Abbildung 11, S. XII). Das Transekt „Modul“ befand sich unter den PV-Modulen. Ein weiteres Transekt, das als „Freifläche“ bezeichnet wird, befand sich auf einer offenen Fläche angrenzend an die PV-Module und war Teil der FFPV-Anlage. Die Nummerierung erfolgte in allen Transekten aufsteigend in Richtung Süden (Abbildung 1).

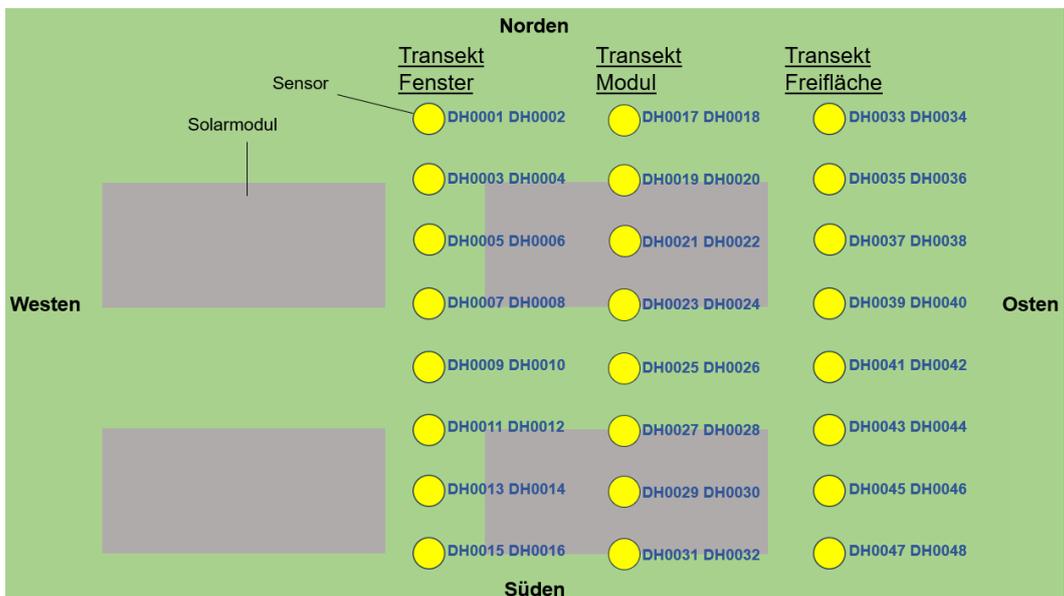


Abbildung 1: Darstellung der Vegetationsaufnahmepunkte mit zugehörigen Probennummern in den drei Transekten

In Tabelle 2 sind die genauen Positionen der Vegetationsaufnahmeplätze mit den zugehörigen Probennummern ersichtlich. Die Spalten eins und zwei enthalten die Daten zu dem Transekt Fenster, die Spalten drei und vier beschreiben das Transekt Modul und die Spalten fünf und sechs erfassen das Transekt Freifläche. Die Positionen der Vegetationsaufnahmeplätze befanden sich mittig unter dem Modul, an der unteren Kante des Moduls, an der hohen Kante des Moduls oder in der Mitte zwischen zwei Modulen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Position der Vegetationsaufnahmeplätze zu den PV-Modulen in den drei Transekten

Transekt Fenster	Position	Transekt Modul	Position	Transekt Freifläche	Position
DH0001 DH0002	mitte_gap	DH0017 DH0018	mitte_gap	DH0033 DH0034	mitte_gap
DH0003 DH0004	kante_hoch	DH0019 DH0020	kante_hoch	DH0035 DH0036	kante_hoch
DH0005 DH0006	mitte_modul	DH0021 DH0022	mitte_modul	DH0037 DH0038	mitte_modul
DH0007 DH0008	kante_tief	DH0023 DH0024	kante_tief	DH0039 DH0040	kante_tief
DH0009 DH0010	mitte_gap	DH0025 DH0026	mitte_gap	DH0041 DH0042	mitte_gap
DH0011 DH0012	kante_hoch	DH0027 DH0028	kante_hoch	DH0043 DH0044	kante_hoch
DH0013 DH0014	mitte_modul	DH0029 DH0030	mitte_modul	DH0045 DH0046	mitte_modul
DH0015 DH0016	kante_tief	DH0031 DH0032	kante_tief	DH0047 DH0048	kante_tief

Neben dem Sensor wurde ein 50 cm × 50 cm großer Rahmen positioniert, dessen Mittelpunkt 40 cm östlich von dem Sensor lag, wie es in Abbildung 2 veranschaulicht wird. In Abbildung 12 ist der Rahmen zu erkennen (Abbildung 12, S. XII). Zunächst erfolgte die Bestimmung der drei dominanten Vegetationsarten innerhalb des Rahmens. Dies wurde von zwei Personen nach visueller Einschätzung der Bedeckungsanteile der unterschiedlichen Arten im Rahmen durchgeführt. Anschließend wurde der Rahmen längs in zwei gleich große Hälften geteilt. In beiden Hälften wurde die Vegetation separat auf etwa 4 cm Höhe abgeschnitten. Die abgeschnittene Vegetation wurde gewogen und in Probenbeutel überführt. Die Vegetationsproben in Sensornähe wurden zur späteren Analyse der Futterqualität getrocknet (ungerade Probennummern: DH0001, DH003 ... DH00047), während die östlichen Proben zur späteren Artenbestimmung eingefroren wurden (gerade Probennummern: DH0002, DH0004 ... DH0048). Insgesamt erfolgte die Erfassung von 48 Proben.

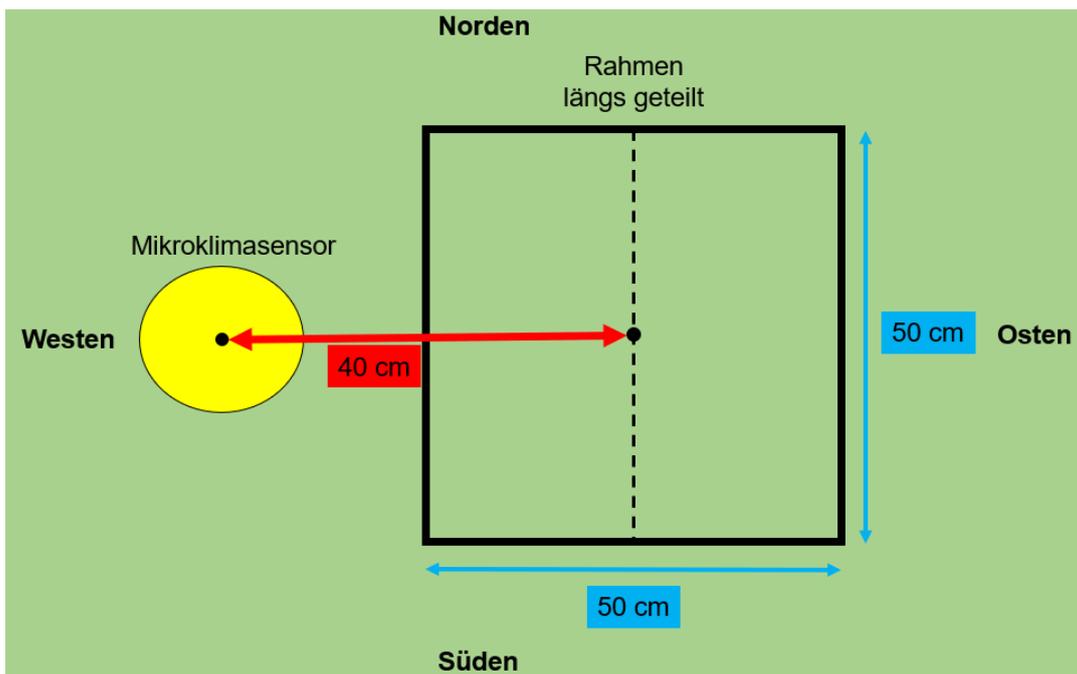


Abbildung 2: Probenentnahme am Mikroklimasensor

Der Versuch ist Teil eines umfassenderen Projekts, in dessen Rahmen auch Wärmebilder aufgenommen, eine Soil Plant Analysis Development (SPAD) durchgeführt und die Grashöhen gemessen wurden. Diese Untersuchungen fallen jedoch nicht in den Fokus dieser Bachelorarbeit.

2.3 Analyse

2.3.1 Analyse der Futterqualität

Die NIRS-Analyse ist eine physikalische Methode, die auf der Interaktion von Nahinfrarotlicht mit Materie beruht. Hierbei wird Licht mit Wellenlängen zwischen 800 und 2.500 Newtonmeter auf die Probe gerichtet. Wenn Licht auf ein Medium trifft, kann es von den enthaltenen Stoffen absorbiert, reflektiert oder durchgelassen werden. Da unterschiedliche Inhaltsstoffe bei spezifischen Wellenlängen Schwingungen anregen und dabei Energie aus dem Licht aufnehmen, lässt sich ihre Konzentration bestimmen. Dies erfolgt entweder durch Messung der reflektierten Wellenlängen, bei der das Medium von oben betrachtet wird, oder durch Analyse des durchgelassenen Lichts, bei der das Medium durchleuchtet wird. Durch die Analyse dieses Spektrums können Rückschlüsse auf die Zusammensetzung, wie zum Beispiel Proteingehalt oder Rohfaseranteil, der Probe gezogen werden (Lichti et al. 2018) .

An den getrockneten Proben wurde die NIRS-Analyse als schnelle und zerstörungsfreie Methode zur Bestimmung von Qualitätsparametern in Nutzpflanzen angewendet. Die Proben wurden in einem zweistufigen Mahlprozess aufbereitet. Zunächst erfolgte eine grobe Zerkleinerung und Homogenisierung bei 1.500 revolutions per minute mithilfe einer Schlagmühle (Retsch, Modell SM 3.000). Anschließend wurden etwa vier Esslöffel der Gesamtprobe entnommen. Die entnommene Probe wurde dann in einer Zentrifugalmühle (Retsch, Modell ZM 200) vermahlen. Dabei erfolgte die Feinvermahlung durch ein 1 Millimeter Sieb. Um Kontaminationen zu vermeiden, erfolgte nach jeder Probe eine Reinigung beider Mühlen mit Druckluft.

Für die NIRS-Analyse wurden die Proben in zuvor gereinigte Küvetten gefüllt. Diese Küvetten besaßen eine Glasseite, während die gegenüberliegende Seite mit einer weißen Pappe verschlossen wurde. Zur Sicherstellung einer präzisen Analyse wurden für jede Probe zwei identische Küvetten vorbereitet. Nach der Durchführung der NIRS-Messungen wurden die erhobenen Daten an das Labor der LUFA Nord-West weitergeleitet, wo die Bestimmung der Inhaltsstoffe erfolgte.

2.3.2 Vegetationsbestimmung

Die eingefrorenen Proben lagerten zunächst in einer Kühltruhe. Die Analyse der gefrorenen Proben erstreckte sich über mehrere Tage. Zuerst wurden die Vegetationsprobe aus der Kühltruhe entnommen und etwa zehn Minuten angetaut an. Anschließend wurden die Proben aus den Probenbeuteln genommen und die enthaltenen Pflanzenarten bestimmt. Die Bestimmung der Pflanzenart erfolgte anhand verschiedener Merkmale wie Blüte und Blattform. Dabei wurde die Pflanzenbestimmungs-App „Flora Incognita“ unterstützend eingesetzt. Nicht eindeutig bestimmbare Pflanzenanteile, meist stark vergilbte Pflanzen oder kleine, nicht mehr zuordenbare Fragmente, wurden als „Rest“ definiert. Die sortierten Arten kamen in Aluschalen und wurden erneut gewogen, um das Frischgewicht zu erfassen. Danach trockneten die Proben 24 Stunden lang bei 60 °C in einem Trocknungsschrank. Abschließend wurde das Trockengewicht der einzelnen Arten bestimmt.

2.4 Statistische Datenanalyse

Zur besseren Analyse der Artenvielfalt der Transekte werden der Shannon-Weaver-Index und die Evenness herangezogen. Dies ermöglicht es, die Ergebnisse der Proben besser miteinander zu vergleichen.

Der Shannon-Weaver-Index ist ein zentrales Maß zur Bestimmung der Biodiversität, welches sowohl die Artenzahl als auch deren relative Häufigkeit einbezieht. Somit werden auch weniger dominante Arten berücksichtigt. Der Index nimmt zu, wenn die Anzahl der Arten steigt und ihre Abundanz gleichmäßiger verteilt ist (Härdtle 2024).

In R kann der Shannon-Weaver-Index mit der Funktion „`diversity()`“ aus dem Paket „`vegan`“ berechnet werden. Die Excel-Datei mit den Gewichten der verschiedenen Pflanzendaten wird dabei mithilfe des Pakets „`readxl`“ in R importiert. Nach dem Einlesen der Daten werden die Häufigkeitswerte extrahiert und als Vektor gespeichert. Anschließend erfolgt die Berechnung des Shannon-Weaver-Index, welcher die Artenvielfalt anhand der relativen Häufigkeit der Arten innerhalb der Gemeinschaft quantifiziert. Das Ergebnis gibt Aufschluss über die Diversität der untersuchten Pflanzengemeinschaft.

Die Evenness beschreibt die Gleichverteilung von Arten in einer Lebensgemeinschaft – sei es hinsichtlich der Abundanz oder der Biomasse. Sie ermöglicht den Vergleich von Gemeinschaften mit unterschiedlicher Artenvielfalt. Der Wert reicht von Null, wenn eine Art dominiert, bis Eins, wenn alle Arten gleich häufig sind (Härdtle 2024).

Der Evenness-Index kann in R ermittelt werden, indem zunächst die relativen Häufigkeiten oder Biomassen der Arten berechnet werden. Anschließend erfolgt die Bestimmung des Shannon-Weaver-Indexes, der die Diversität innerhalb der Probe quantifiziert. Zur Berechnung des Evenness-Wertes ist zudem die Anzahl der vorhandenen Arten erforderlich. Der Evenness-Index ergibt sich letztlich aus dem Verhältnis des Shannon-Indexes zum natürlichen Logarithmus der Artenanzahl und ermöglicht eine Bewertung der Gleichverteilung innerhalb einer Gemeinschaft.

3. Ergebnisse

3.1 Vergleich der drei Transekte bezüglich der Hauptvegetationsbildner

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Bestimmung der Hauptvegetationsbildner aufgeführt. Die Ergebnisse des Transekts Fenster sind in Tabelle 11 im Anhang detailliert dargestellt (Tabelle 11, S. XIII). In dem Transekt Fenster dominiert *Agrostis spec.* (spec.) als Hauptvegetationsbildner. Diese Art ist auf drei Vegetationsaufnahme­flächen die dominierende Art. Darüber hinaus wurden *Achillea millefolium* und *Festuca rubra* jeweils zweimal sowie *Bryophyta* einmal als Hauptvegetationsbildner identifiziert. *Achillea millefolium*, *Festuca rubra* und *Agrostis spec.* wurden zudem häufig als zweit- oder drittdominante Arten vermerkt. Vereinzelt wurden in dem Transekt Fenster auch *Plantago lanceolata*, *Cerastium holosteoides* und *Trifolium repens* als zweit- oder drittdominante Vegetationsbildner bestimmt (Tabelle 11, S. XIII)

Die Ergebnisse des Transekts Modul sind in Tabelle 12 im Anhang detailliert dargestellt (Tabelle 12, S. XIV). Auf drei Vegetationsaufnahme­flächen in dem Transekt Modul dominiert *Festuca rubra* als Hauptvegetationsbildner. Zudem wurden *Agrostis spec.* zweimal sowie *Achillea millefolium* und *Urtica dioica* jeweils einmal als Hauptvegetationsbildner identifiziert. *Urtica dioica* tritt auf keiner anderen Vegetationsaufnahme­fläche als dominante Art auf. *Achillea millefolium* und *Festuca rubra* sind zudem häufig als zweit- oder drittdominante Arten vertreten. *Agrostis spec.* wurde nur zweimal als dominante Art erfasst und erscheint sonst nicht als zweit- oder drittdominante Art. Vereinzelt wurden *Dactylis glomerata*, *Dryopteris filix-mas*, *Rumex acetosa* und *Taraxacum spec.* als eine der drei Hauptvegetationsbildner festgestellt (Tabelle 12, S. XIV).

Die Ergebnisse des Transekts Freifläche sind in Tabelle 13 detailliert dargestellt (Tabelle 13, S. XV). In dem Transekt Freifläche ist *Agrostis spec.* auf sechs Vegetationsaufnahme­flächen der Hauptvegetationsbildner. Zudem wurden *Achillea millefolium* und *Plantago lanceolata* jeweils einmal als Hauptvegetationsbildner erfasst und treten häufig als zweit- oder drittdominante Arten auf. Vereinzelt gehören auch *Plantago subulata*, *Trifolium repens* und *Festuca rubra* zu den dominierenden Arten (Tabelle 13, S. XV).

3.2 Vergleich der drei Transekte bezüglich der Artenanzahl

Die Artenanzahl der Transekte ist in Tabelle 3 dargestellt. Insgesamt wurden zwischen zwei und neun Arten erfasst (Tabelle 3, S. 20). In Tabelle 4 sind der Mittelwert aller Vegetationsaufnahmeplätze mit 6,26, die Standardabweichung mit 1,83 und der Variationskoeffizient mit 29,2 % angegeben (Tabelle 4, S. 20). Abbildung 3 veranschaulicht die Ergebnisse in Form eines Liniendiagramms. Zudem sind darin die einzelnen Positionen der Vegetationsaufnahmeplätze ersichtlich (Abbildung 3, S. 21).

In dem Transekt Fenster wurden zwischen fünf und acht Arten erfasst (Tabelle 3, S. 20), mit einem Mittelwert von 6,25, einer Standardabweichung von 1,3 und einem Variationskoeffizienten von 20,8 % (Tabelle 4, S. 20). Die höchsten Artenzahlen wurden an den Standorten DH0004 und DH0016 mit jeweils acht Arten registriert (Tabelle 3, S. 20), DH0004 befindet sich an der hohen Kante des Moduls, während DH0016 an der tiefen Kante liegt (Abbildung 3, S. 21). An den übrigen Vegetationsaufnahmeflächen wurden zwischen zwei und sieben Arten nachgewiesen (Tabelle 3, S. 20).

In dem Transekt Modul variierten die erfassten Artenzahlen zwischen zwei und sechs Arten (Tabelle 3, S. 20), mit einem Mittelwert von 4,75, einer Standardabweichung von 1,48 und einem Variationskoeffizienten von 31,1 % (Tabelle 4, S. 20). Besonders auffällig ist der Standort DH0030, an dem mit nur zwei Arten die geringste Artenzahl der gesamten Untersuchung verzeichnet wurde (Tabelle 3, S. 20). Dieser Standort befindet sich mittig unter dem Modul (Abbildung 3, S. 21). An den übrigen Vegetationsaufnahmeflächen wurden zwischen drei und sechs Arten festgestellt (Tabelle 3, S. 20)

In dem Transekt Freifläche wurden zwischen sechs und neun Arten gezählt (Tabelle 3, S. 20), mit einem Mittelwert von 7,63, einer Standardabweichung von 0,99 und einem Variationskoeffizienten von 13 % (Tabelle 4, S. 20). Die höchsten Werte wurden an den Standorten DH0044, der sich an der hohen Kante des Moduls befindet, und DH0048, der an der tiefen Kante liegt (Abbildung 3, S. 21), mit jeweils neun Arten erfasst (Tabelle 3, S. 20). An den weiteren Vegetationsaufnahmeflächen wurden zwischen sechs und acht Arten festgestellt (Tabelle 3, S. 20).

Tabelle 3: Anzahl der Arten

Transekt Fenster	Anzahl Arten
DH0002	5
DH0004	8
DH0006	5
DH0008	7
DH0010	5
DH0012	5
DH0014	7
DH0016	8
Transekt Modul	Anzahl Arten
DH0018	4
DH0020	3
DH0022	6
DH0024	5
DH0026	6
DH0028	6
DH0030	2
DH0032	6
Transekt Freifläche	Anzahl Arten
DH0034	8
DH0036	6
DH0038	7
DH0040	7
DH0042	7
DH0044	9
DH0046	8
DH0048	9

Tabelle 4: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Artenanzahl

Vegetations- aufnahme- fläche	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient
Gesamt	6,26	1,83	29,2 %
Transekt Fenster	6,25	1,30	20,8 %
Transekt Modul	4,75	1,48	31,1 %
Transekt Freifläche	7,63	0,99	13 %

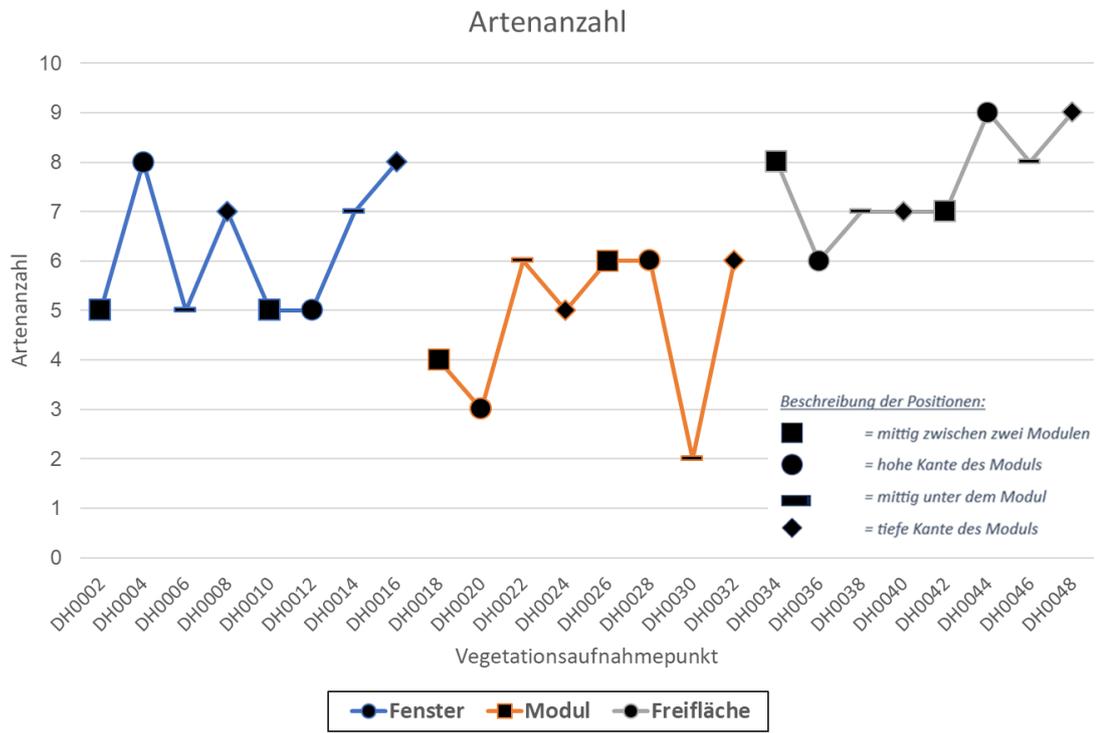


Abbildung 3: Artenanzahl der Vegetationsaufnahme-punkte

3.3 Vergleich der drei Transekte bezüglich des Shannon-Weaver-Indexes

Der Shannon-Weaver-Index wurde auf Basis der Trockengewichte der sortierten Vegetationsproben berechnet, ohne den als Rest definierten Probenanteil einzubeziehen. Die Shannon-Weaver-Werte der einzelnen Vegetationsaufnahmeplätze sind in Tabelle 5 dargestellt und liegen zwischen 1,70 und 0,12 (Tabelle 5, S. 23). Die Mittelwerte der Transekte sind in Tabelle 6 dargestellt. Der Gesamtmittelwert des Shannon-Weaver-Index beträgt 1,09. In dem Transekt Fenster liegt der Mittelwert bei 1,16, in dem Transekt Modul bei 0,90 und in dem Transekt Freifläche bei 1,22 (Tabelle 6, S. 24). Abbildung 4 veranschaulicht die Ergebnisse in Form eines Liniendiagramms. Zudem sind darin die einzelnen Positionen der Vegetationsaufnahmeplätze ersichtlich (Abbildung 4, S. 24).

In dem Transekt Fenster variiert der Shannon-Weaver-Index zwischen 0,78 und 1,70 (Tabelle 5, S. 23). Der höchste Wert wurde mit 1,70 an Standort DH0004 gemessen (Tabelle 5, S. 23), der sich an der hohen Kante des Moduls befindet (Abbildung 4, S. 24). Weitere Standorte mit hohen Werten sind DH0006 mit 1,43 (Tabelle 5, S. 23), der mittig unter dem Modul liegt (Abbildung 4, S. 24), sowie DH0002 mit 1,31 (Tabelle 5, S. 23), der sich mittig zwischen zwei Modulen befindet (Abbildung 4, S. 24). Die niedrigsten Werte wurden an den Standorten DH0012 mit 0,78 (Tabelle 5, S. 23) an der hohen Kante des Moduls (Abbildung 4, S. 24) und DH0016 mit 0,83 (Tabelle 5, S. 23) an der tiefen Kante des Moduls registriert (Abbildung 4, S. 24).

Das Transekt Modul weist Werte zwischen 0,12 und 1,43 auf (Tabelle 5, S. 23). Der niedrigste Wert wurde mit 0,12 an DH0030 gemessen (Tabelle 5, S. 23), der sich mittig unter dem Modul befindet (Abbildung 4, S. 24). Der höchste Wert innerhalb dieses Transekts wurde mit 1,43 an DH0022 registriert (Tabelle 5, S. 23), der ebenfalls mittig unter dem Modul liegt (Abbildung 4, S. 24). Weitere hohe Werte wurden an DH0032 mit 1,28 (Tabelle 5, S. 23) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 4, S. 24) sowie an DH0026 mit 1,14 (Tabelle 5, S. 23), mittig zwischen zwei Modulen (Abbildung 4, S. 24), erfasst. Die Vegetationsaufnahmeplätze DH0020 mit 0,43 (Tabelle 5, S. 23) an der hohen Kante des Moduls (Abbildung 4, S. 24) und DH0024 mit 0,87 (Tabelle 5, S. 23) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 4, S. 24) zeigen vergleichsweise niedrige Werte.

In dem Transekt Freifläche liegen die Werte zwischen 1,06 und 1,38 (Tabelle 5, S. 23). Die höchsten Werte wurden an den Standorten DH0038 mit 1,38 (Tabelle 5, S. 23), der sich

mittig unter dem Modul befindet (Abbildung 4, S. 24), sowie DH0034 mit 1,33 (Tabelle 5, S. 23), der mittig zwischen zwei Modulen liegt (Abbildung 4, S. 24), gemessen. Die niedrigsten Werte treten an DH0048 mit 1,06 (Tabelle 5, S. 23) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 4, S. 24) sowie an DH0042 mit 1,07 (Tabelle 5, S. 23), der mittig zwischen zwei Modulen liegt (Abbildung 4, S. 24), auf.

Tabelle 5: Shannon-Weaver-Index

Transekt Fenster	Shannon-Weaver-Index
DH0002	1,31
DH0004	1,70
DH0006	1,43
DH0008	1,28
DH0010	0,91
DH0012	0,78
DH0014	1,02
DH0016	0,83
Transekt Modul	Shannon-Weaver-Index
DH0018	1,04
DH0020	0,43
DH0022	1,43
DH0024	0,87
DH0026	1,14
DH0028	0,90
DH0030	0,12
DH0032	1,28
Transekt Freifläche	Shannon-Weaver-Index
DH0034	1,33
DH0036	1,25
DH0038	1,38
DH0040	1,28
DH0042	1,07
DH0044	1,24
DH0046	1,16
DH0048	1,06

Tabelle 6: Mittelwert des Shannon-Weaver-Index

Vegetationsaufnahme­fläche	Mittelwert Shannon-Weaver-Index
Gesamt	1,09
Transekt Fenster	1,16
Transekt Modul	0,90
Transekt Freifläche	1,22

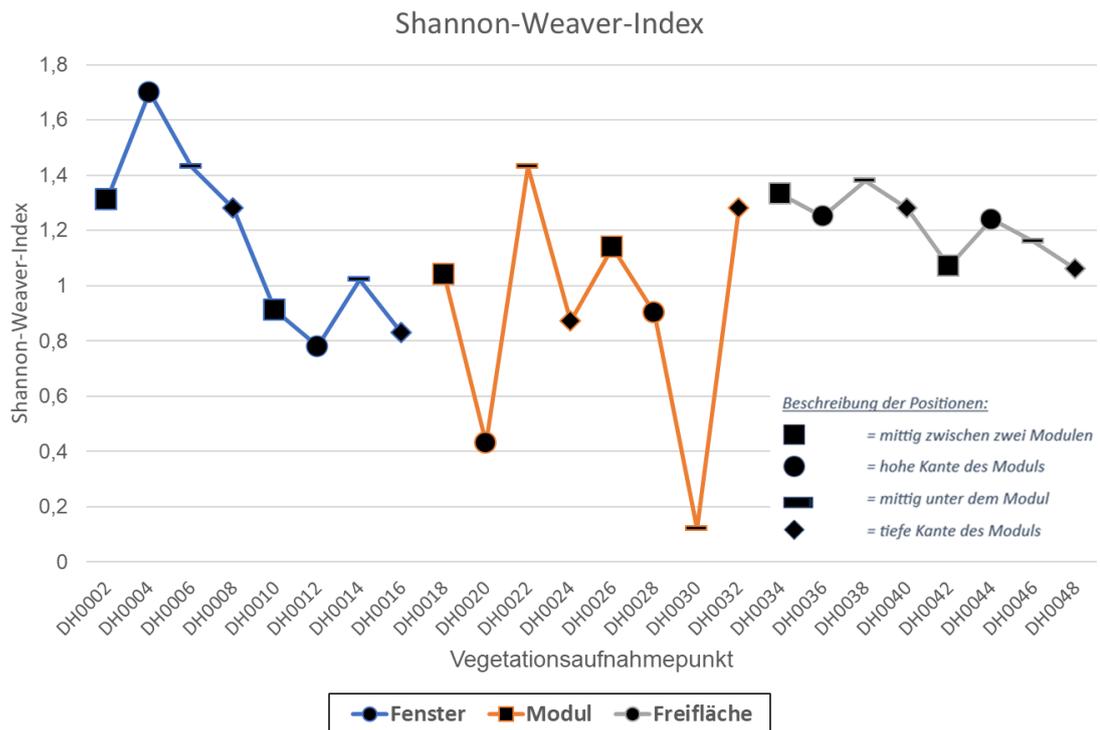


Abbildung 4: Shannon-Weaver-Index der Vegetationsaufnahme­punkte

3.4 Vergleich der drei Transekte bezüglich des Evenness-Index

Der Evenness-Index wurde auf Basis der Trockengewichte der sortierten Vegetationsproben berechnet, ohne den als Rest definierten Probenanteil einzubeziehen. Die Evenness-Werte der einzelnen Vegetationsaufnahmeplätze sind in Tabelle 7 dargestellt und liegen zwischen 0,17 und 0,89 (Tabelle 7, S. 26). Die Mittelwerte der Transekte sind in Tabelle 8 dargestellt. Der Gesamtmittelwert des Evenness-Index beträgt 0,6. In dem Transekt Fenster liegt der Mittelwert bei 0,64, in dem Transekt Modul bei 0,56 und in dem Transekt Freifläche bei 0,61 (Tabelle 8, S. 27). Abbildung 5 veranschaulicht die Ergebnisse in Form eines Liniendiagramms. Zudem sind darin die einzelnen Positionen der Vegetationsaufnahmeplätze ersichtlich (Abbildung 5, S. 27).

In dem Transekt Fenster variieren die Werte zwischen 0,40 und 0,89 (Tabelle 7, S. 26). Die höchsten Werte wurden an den Standorten DH0006 mit 0,89 (Tabelle 7, S. 26), der sich mittig unter dem Modul befindet (Abbildung 5, S. 27), sowie an DH0002 und DH0004 mit jeweils 0,82 (Tabelle 7, S. 26), die sich mittig zwischen zwei Modulen beziehungsweise an der hohen Kante des Moduls befinden (Abbildung 5, S. 27), gemessen. Die niedrigsten Werte traten an DH0016 mit 0,40 (Tabelle 7, S. 26) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) sowie an DH0012 mit 0,48 (Tabelle 7, S. 26) an der hohen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) auf. Weitere niedrige Werte wurden für DH0014 mit 0,52 (Tabelle 7, S. 26), mittig unter dem Modul (Abbildung 5, S. 27), und DH0010 mit 0,56 (Tabelle 7, S. 26), mittig zwischen zwei Modulen (Abbildung 5, S. 27), berechnet.

Die Evenness-Werte in dem Transekt Modul liegen zwischen 0,17 und 0,80 (Tabelle 7, S. 26). Der niedrigste Wert wurde mit 0,17 an DH0030 gemessen (Tabelle 7, S. 26), der sich mittig unter dem Modul befindet (Abbildung 5, S. 27). Der höchste Wert wurde an DH0022 mit 0,80 registriert (Tabelle 7, S. 26), ebenfalls mittig unter dem Modul (Abbildung 5, S. 27). Weitere hohe Werte wurden für DH0018 mit 0,75 (Tabelle 7, S. 26), mittig zwischen zwei Modulen (Abbildung 5, S. 27), und DH0032 mit 0,72 (Tabelle 7, S. 26) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) erfasst. Niedrigere Werte wurden für DH0020 mit 0,39 (Tabelle 7, S. 26) an der hohen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27), DH0028 mit 0,50 (Tabelle 7, S. 26) an der hohen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) und DH0024 mit 0,54 (Tabelle 7, S. 26) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) berechnet.

In dem Transekt Freifläche bewegen sich die Werte zwischen 0,48 und 0,71 (Tabelle 7, S. 26). Die höchsten Werte wurden an den Standorten DH0038 mit 0,71 (Tabelle 7, S. 26),

mittig unter dem Modul (Abbildung 5, S. 27), sowie DH0036 mit 0,70 (Tabelle 7, S. 26) an der hohen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) registriert. Die niedrigsten Werte wurden an DH0048 mit 0,48 (Tabelle 7, S. 26) an der tiefen Kante des Moduls (Abbildung 5, S. 27) sowie DH0042 mit 0,55 (Tabelle 7, S. 26), mittig zwischen zwei Modulen (Abbildung 5, S. 27), gemessen.

Tabelle 7: Evenness-Index

Transekt Fenster	Evenness-Index
DH0002	0,82
DH0004	0,82
DH0006	0,89
DH0008	0,66
DH0010	0,56
DH0012	0,48
DH0014	0,52
DH0016	0,40
Transekt Modul	Evenness-Index
DH0018	0,75
DH0020	0,39
DH0022	0,80
DH0024	0,54
DH0026	0,64
DH0028	0,50
DH0030	0,17
DH0032	0,72
Transekt Freifläche	Evenness-Index
DH0034	0,64
DH0036	0,70
DH0038	0,71
DH0040	0,66
DH0042	0,55
DH0044	0,56
DH0046	0,56
DH0048	0,48

Tabelle 8: Mittelwert des Evenness-Index

Vegetationsaufnahme­fläche	Mittelwert Evenness-Index
Gesamt	0,6
Transekt Fenster	0,64
Transekt Modul	0,56
Transekt Freifläche	0,61

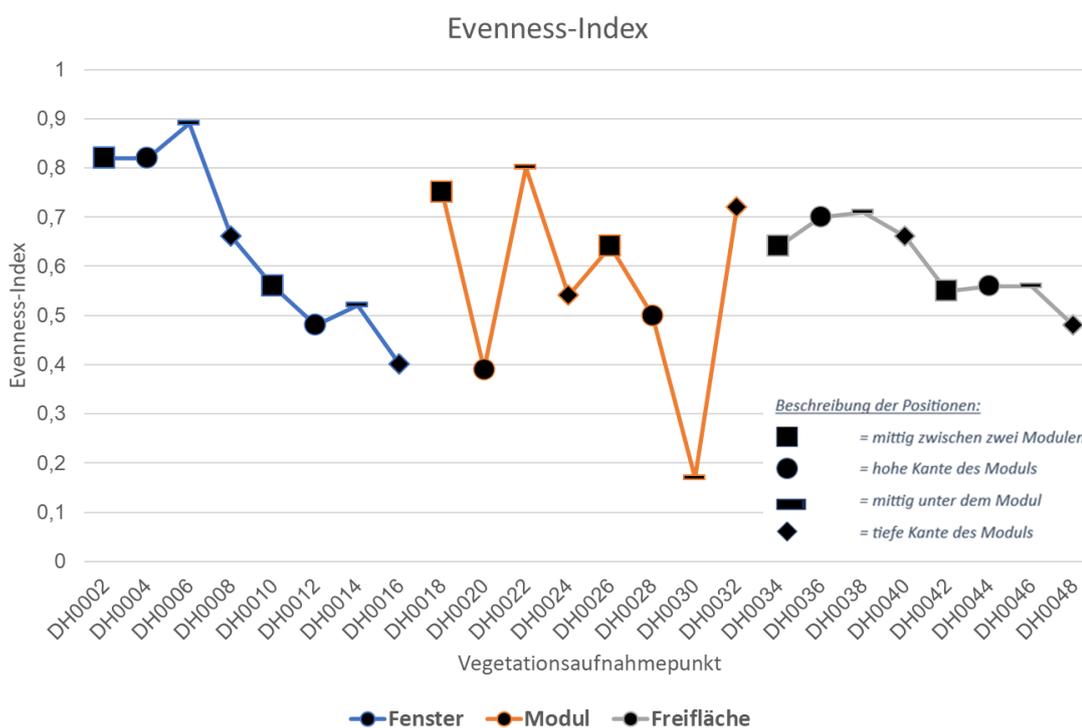


Abbildung 5: Evenness-Index der Vegetationsaufnahme­punkte

3.5 Vergleich der drei Transekte bezüglich des Vorkommens der Pflanzenarten

Das Vorkommen der Pflanzenarten in den drei Transekten ist in Abbildung 6 dargestellt. In allen drei Transekten wurden die Arten *Achillea millefolium*, *Agrostis spec.*, *Bromus hordeaceus*, *Bryophyta*, *Cerastium holosteoides*, *Elymus repens*, *Festuca rubra*, *Plantago lanceolata*, *Poa pratensis* und *Rumex acetosa* nachgewiesen (Abbildung 6, S. 28).

Einige Arten traten ausschließlich in einzelnen Transekten auf. So wurden *Cirsium spec.*, *Festuca pratensis* und *Taraxacum spec.* nur in dem Transekt Fenster gefunden, während in dem Transekt Modul ausschließlich *Dryopteris filix-mas*, *Prunella vulgaris* und *Urtica dioica* identifiziert wurden. In dem Transekt Freifläche traten *Crepis capillaris* und *Dactylis glomerata* als einzige standortspezifische Arten auf (Abbildung 6, S. 28)

Bestimmte Arten waren in zwei der drei Transekten vorhanden. *Hypericum perforatum*, *Hypochaeris radicata* und *Trifolium repens* wurden sowohl im Transekt Fenster als auch auf der Freifläche nachgewiesen. *Epilobium tetragonum*, *Poa trivialis* und *Silene vulgaris* traten in dem Transekt Fenster und in dem Transekt Modul auf. Es wurden keine Arten gefunden, die ausschließlich in den Transekten Freifläche und Modul vorkamen (Abbildung 6, S. 28)

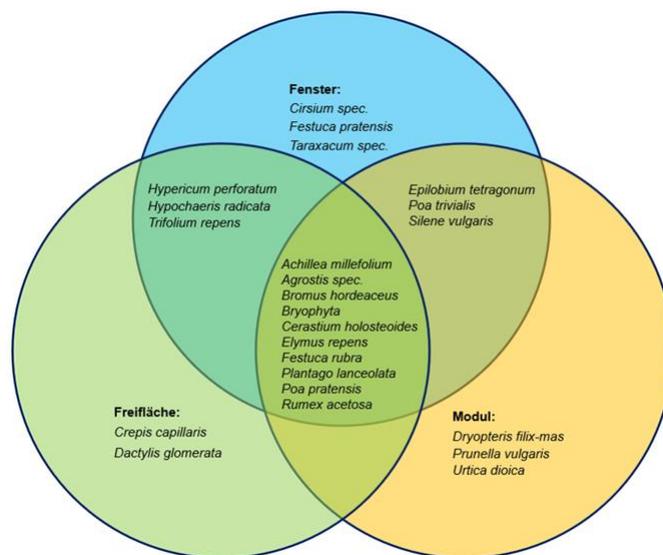
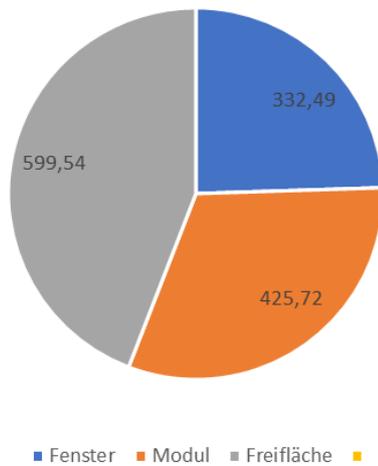


Abbildung 6: Vorkommen der Pflanzenarten in den Transekten

3.6 Vergleich der drei Transekte bezüglich der funktionellen Gruppen und Biomasse

Die Analyse der Frisch- und Trockengewichte zwischen den drei Transekten Fenster, Modul und Freifläche ist in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

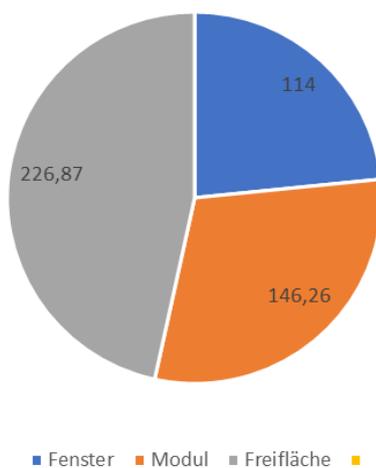
Frischgewichte in Gramm je Transekt



In dem Transekt Freifläche wurde mit 599,54 g das höchste Frischgewicht gemessen, gefolgt von dem Transekt Modul mit 425,72 g. Das niedrigste Frischgewicht wurde in dem Transekt Fenster mit 332,49 g erfasst (Abbildung 7, S. 29).

Abbildung 7: Frischgewichte der drei Transekte

Trockengewichte in Gramm je Transekt



In dem Transekt Freifläche wurde ein Trockengewicht von 226,87 g gemessen. In dem Transekt Modul wurde ein Trockengewicht von 146,26 g ermittelt, während im Transekt Fenster mit 114 g der niedrigste Wert festgestellt wurde (Abbildung 8, S. 29).

Abbildung 8: Trockengewichte der drei Transekte

Die Analyse der Frisch- und Trockengewichte der funktionellen Gruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen sowie Sonstige wie Moose und Farne zwischen den Transekten Fenster, Modul und Freifläche ist in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

Beim Vergleich der Frischgewichte ist festzustellen, dass die höchsten Gesamtwerte im Transekt Freifläche gemessen wurden, gefolgt von den Transekten Modul und Fenster. Die funktionelle Gruppe der Gräser weist im Transekt Modul mit 341,74 g das höchste Frischgewicht auf, während in den Transekten Fenster und Freifläche mit 212,37 g bzw. 210,54 g vergleichbare Werte erreicht wurden. Die Kräuter zeigen das höchste Frischgewicht mit 375,08 g im Transekt Freifläche, während im Transekt Fenster mit 116,26 g und im Transekt Modul mit 68,23 g deutlich geringere Werte festgestellt wurden. Die Gruppe der Leguminosen wurde nur in den Transekten Fenster und Freifläche mit 0,88 g bzw. 2,65 g nachgewiesen, während sie in dem Transekt Modul nicht vorkamen. Moose und Farne sind mit 15,75 g in dem Transekt Modul am stärksten vertreten, während in den Transekten Freifläche und Fenster mit 11,27 g bzw. 2,98 g niedrigere Werte gemessen wurden (Abbildung 9).

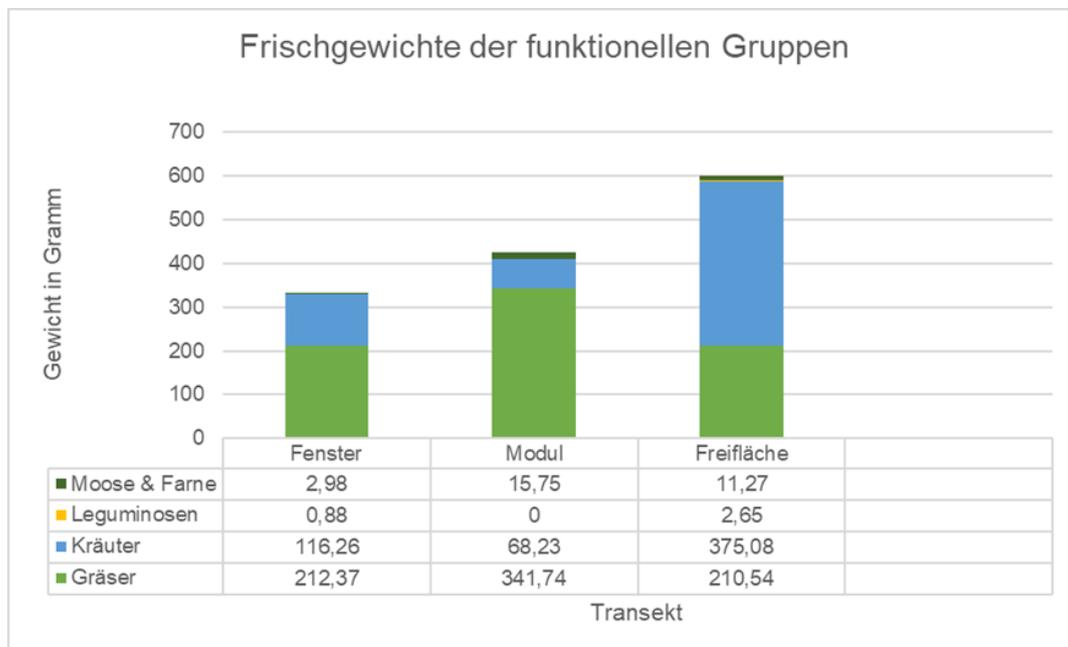


Abbildung 9: Frischgewichte der funktionellen Gruppen

Bezüglich der Trockengewichte weist das Transekt Freifläche insgesamt die höchsten Werte auf. Die Gräser haben mit 127,23 g in dem Transekt Modul das höchste Trockengewicht, während die Werte in den Transekten Freifläche und Fenster mit 110,65 g bzw. 84,64 g niedriger ausfallen. Die höchste Trockenmasse der Kräuter wurde mit 113,57 g ebenfalls im Transekt Freifläche gemessen. In den Transekten Fenster und Modul lagen die Werte mit 28,16 g bzw. 14,59 g deutlich darunter. Die Leguminosen wurden in den Transekten Fenster und Freifläche mit 0,27 g und 0,73 g festgestellt. Moose und Farne erreichten mit 4,44 g in dem Transekt Modul das höchste Trockengewicht, während die Werte in den Transekten Freifläche und Fenster mit 1,92 g bzw. 0,93 g geringer ausfielen (Abbildung 10).

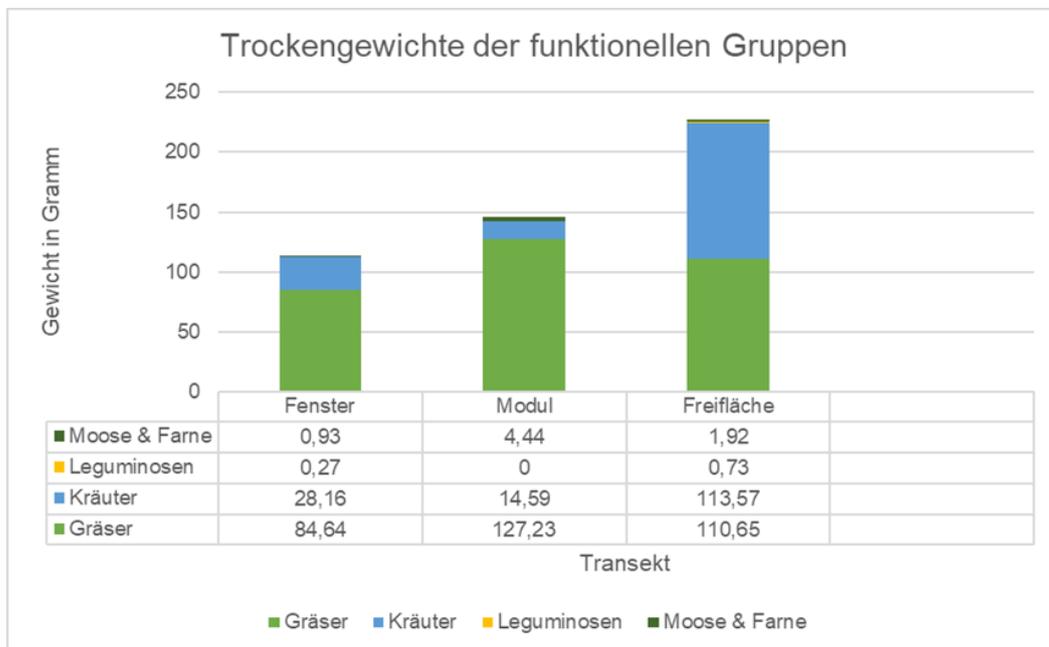


Abbildung 10: Trockengewichte der funktionellen Gruppen

3.7 Vergleich der drei Transekte bezüglich der Futterqualität

Die Ergebnisse für Trockenmasse, Rohproteingehalt, Rohzucker und ADF zwischen den Transekten Fenster, Modul und Freifläche sowie zwischen den einzelnen Vegetationsaufnahme Punkten sind in Tabelle 9 und die Mittelwerte in Tabelle 10 dargestellt.

Der Gesamtmittelwert der Trockenmasse liegt bei 90,78 %. Das Transekt Modul weist mit 91,41 % den höchsten Mittelwert auf, gefolgt von dem Transekt Fenster mit 91,80 %. Der niedrigste Mittelwert wurde in dem Transekt Freifläche mit 89,12 % gemessen (Tabelle 10, S. 34). Der höchste Trockenmassegehalt wurde in dem Transekt Modul am Standort DH0021, der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), mit 96,46 % ermittelt (Tabelle 9, S. 34), während der niedrigste Wert in der Freifläche am Standort DH0039 an der tiefen Kante des Moduls (Tabelle 2, S. 13) mit 87,13 % auftrat (Tabelle 9, S. 34). In dem Transekt Fenster betrug der höchste Wert 92,95 % an DH0003 (Tabelle 9, S. 34) an der hohen Kante des Moduls (Tabelle 2, S. 13), während der niedrigste Wert mit 89,97 % an DH0013 (Tabelle 9, S. 34), der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), gemessen wurde.

Der Gesamtmittelwert des Rohproteingehalts beträgt 10,43 %, wobei die höchsten Werte in dem Transekt Modul mit 11,76 % gemessen wurden. In dem Transekt Fenster liegt der durchschnittliche Rohproteingehalt bei 10,02 %, während in dem Transekt Freifläche mit 9,51 % die niedrigsten Werte festgestellt wurden (Tabelle 10, S. 34). Besonders hohe Werte wurden in dem Transekt Modul erfasst, wobei der höchste Rohproteingehalt mit 17,72 % am Standort DH0029 (Tabelle 9, S. 34), der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), gemessen wurde. Im Gegensatz dazu weist der Standort DH0003 an der hohen Kante des Moduls (Tabelle 2, S. 13) in dem Transekt Fenster mit 7,60 % (Tabelle 9, S. 34) den niedrigsten Rohproteingehalt auf. Auch in dem Transekt Freifläche wurden Unterschiede festgestellt. Der höchste Rohproteingehalt wurde mit 10,83 % am Standort DH0043 (Tabelle 9, S. 34) an der hohen Kante des Moduls gemessen (Tabelle 2, S. 13), während der niedrigste Wert mit 8,20 % an DH0045 (Tabelle 9, S. 34), der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), erfasst wurde.

Der Gesamtmittelwert des Rohzuckergehalts beträgt 7,30 %. Die höchsten Werte wurden in dem Transekt Fenster mit einem Mittelwert von 8,09 % ermittelt, gefolgt von dem

Transekt Freifläche mit 6,97 %. Der niedrigste Mittelwert wurde in dem Transekt Modul mit 6,82 % gemessen (Tabelle 10, S. 34). Besonders hohe Einzelwerte wurden in dem Transekt Fenster am Standort DH0009, der sich mittig zwischen zwei Modulen befindet (Tabelle 2, S. 13), mit 12,45 % erfasst (Tabelle 9, S. 34). Der niedrigste Rohzuckergehalt wurde in dem Transekt Modul am Standort DH0029, der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), mit 3,84 % gemessen (Tabelle 9, S. 34). In dem Transekt Freifläche wurde der höchste Wert mit 9,98 % am Standort DH0045 (Tabelle 9, S. 34), der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), festgestellt, während der niedrigste Wert mit 4,10 % an DH0041 (Tabelle 9, S. 34), der sich mittig zwischen zwei Modulen befindet (Tabelle 2, S. 13), erfasst wurde.

Der Gesamtmittelwert der ADF-Werte beträgt 37,91 %. Der höchste Mittelwert wurde in dem Transekt Freifläche mit 38,50 % gemessen, gefolgt von dem Transekt Modul mit 38,00 %. Der niedrigste Wert wurde in dem Transekt Fenster mit 37,24 % ermittelt (Tabelle 10, S. 34). Der höchste ADF-Wert wurde in dem Transekt Modul an DH0027, der sich an der hohen Kante des Moduls befindet (Tabelle 2, S. 13), mit 43,00 % gemessen (Tabelle 9, S. 34). Der niedrigste Wert wurde ebenfalls in dem Transekt Modul an DH0021, der sich mittig unter dem Modul befindet (Tabelle 2, S. 13), mit 32,59 % festgestellt (Tabelle 9, S. 34).

Tabelle 9: NIRS-Analyse

	Trocken- masse in %	Rohprotein in %	Rohzucker in %	ADF in %
Transekt Fenster				
DH0001	92,85	10,46	8,58	35,71
DH0003	92,95	7,60	4,63	42,98
DH0005	92,61	9,69	5,60	34,02
DH0007	91,09	11,12	4,47	39,44
DH0009	91,41	10,58	12,45	33,89
DH0011	91,68	8,26	10,21	39,78
DH0013	89,97	10,54	8,54	36,62
DH0015	91,86	11,89	10,27	35,49
Transekt Modul				
DH0017	91,56	8,34	10,64	37,50
DH0019	91,77	9,80	7,70	38,41
DH0021	96,46	15,57	4,32	32,59
DH0023	88,90	12,59	5,91	37,93
DH0025	90,68	8,99	10,15	38,88
DH0027	89,31	9,16	5,44	43,00
DH0029	91,81	17,72	3,84	32,78
DH0031	90,79	11,95	6,59	42,89
Transekt Freifläche				
DH0033	89,31	9,14	6,62	37,17
DH0035	89,38	9,11	7,42	40,53
DH0037	89,20	9,65	4,54	37,65
DH0039	87,13	9,86	6,90	38,23
DH0041	88,51	10,09	4,10	39,32
DH0043	89,63	10,83	8,43	38,60
DH0045	90,94	8,20	9,98	37,07
DH0047	88,89	9,21	7,81	39,41

Tabelle 10: Mittelwerte der NIRS-Analyse

Vegetations- aufnahme- fläche	Mittelwert Trocken- masse in %	Mittelwert Rohprotein in %	Mittelwert Fruktose in %	Mittelwert ADF %
Gesamt	90,78	10,43	7,30	37,91
Transekt Fenster	91,80	10,02	8,09	37,24
Transekt Modul	91,41	11,76	6,82	38,00
Transekt Freifläche	89,12	9,51	6,97	38,50

4. Diskussion

4.1 Biodiversität

In dem Transekt Modul wurde die durchschnittlich geringste Artenanzahl erfasst. Gleichzeitig weist dieses Transekt den höchsten Variationskoeffizienten auf, was auf eine hohe Variabilität der Artenverteilung hinweist (Tabelle 4, S. 20). Die Evenness ist sehr niedrig, was bedeutet, dass die Arten innerhalb des Transekts ungleich verteilt sind (Tabelle 7, S. 26). Dies könnte auf unterschiedliche Standortbedingungen unter dem Modul zurückzuführen werden (Herden et al. 2021). Auch der Shannon-Weaver-Index ist in diesem Transekt am niedrigsten, sodass sowohl die Artenanzahl als auch die Abundanz im Vergleich zu den anderen Transekten geringer ausfallen (Tabelle 5, S. 23).

Auffällig ist zudem, dass *Urtica dioica* ausschließlich unter dem Modul als Hauptvegetationsbildner vorkommt (Abbildung 6, S. 28). Obwohl die Artenvielfalt in diesem Transekt insgesamt geringer ist, treten hier einige Arten auf, die weder in der Freifläche noch in dem Transekt Fenster vorkommen. Dies deutet darauf hin, dass das Transekt Modul spezifische ökologische Nischen schafft, welche für schattentolerante Pflanzen vorteilhaft sein können (Demuth et al. 2019). Diese Arten würden auf der Freifläche vermutlich schlechter wachsen. Dadurch kann das Modul trotz der insgesamt geringeren Biodiversität ökologisch wertvoll sein, da es einen Lebensraum für weitere Pflanzenarten bietet.

Die Freifläche in dem „Solarpark Klein Rheide“ weist die höchste Artenvielfalt auf. Der Variationskoeffizient ist ebenfalls sehr niedrig, was auf eine konstante Artenanzahl hindeutet (Tabelle 4, S. 20). Die Evenness liegt im oberen Bereich, was auf eine gleichmäßige Verteilung der Arten schließen lässt (Tabelle 7, S. 26). Der Shannon-Weaver-Index bestätigt, dass die Freifläche den stabilsten und artenreichsten Bereich innerhalb der FFPV-Anlage darstellt (Tabelle 5, S. 23).

Das Transekt Fenster liegt hinsichtlich der Artenanzahl zwischen der Freifläche und dem Modul und weist eine moderate Variabilität der Artenzusammensetzung auf (Tabelle 4, S. 20). Die Evenness ist in diesem Transekt am höchsten, was auf eine gleichmäßigste Verteilung der Arten hindeutet (Tabelle 7, S. 26). Der Shannon-Weaver-Index liegt

zwischen den Werten der anderen beiden Transekten und deutet auf eine mittlere Artenvielfalt hin (Tabelle 5, S. 23).

Die Hauptvegetationsbildner des Transekts Fenster ähneln weitgehend denen der Freifläche, jedoch sind die dominierenden Arten in diesem Bereich heterogener verteilt. Insgesamt enthält dieses Transekt zahlreiche Arten, die auch in den anderen Transekten vorkommen, was auf eine Übergangszone zwischen den beiden Standorten hindeutet. Auffällig ist, dass es keine Arten gibt, die ausschließlich sowohl in der Freifläche als auch in dem Transekt Modul vorkommen, jedoch nicht in dem Transekt Fenster (Abbildung 6, S. 28).

Bestimmte Arten weisen eine spezifische Standortpräferenz auf. *Hypericum perforatum*, *Hypochaeris radicata* und *Trifolium repens* wurden sowohl in dem Transekt Fenster als auch in der Freifläche nachgewiesen, was darauf hindeutet, dass diese Arten offene bis halboffene Standorte bevorzugen. *Epilobium tetragonum*, *Poa trivialis* und *Silene vulgaris* traten in dem Transekt Fenster sowie in dem Transekt Modul auf, was auf eine gewisse Toleranz gegenüber Beschattung und unregelmäßiger Niederschlagsverteilung schließen lässt (Herden et al. 2021) (Abbildung 6, S. 28).

Die Hypothese, dass PV-Module die Biodiversität des Grünlandaufwuchses beeinflussen, kann auf Grundlage der Ergebnisse bestätigt werden. Das Transekt unter dem Modul weist eine geringere Artenvielfalt auf als die Freifläche. Hauptursache hierfür ist die Beschattung durch das Modul sowie die veränderte Niederschlagsmenge aufgrund der Abschirmung durch die Modulstruktur (Herden et al. 2021). Das Grünland in einer FFPV-Anlage kann als Habitat für verschiedene Pflanzenarten dienen und somit eine Nahrungsquelle für Insekten und Kleinsäuger darstellen (Herden et al. 2021). Da die Fläche des „Solarparks Klein Rheide“ zuvor vermutlich eine geringere Biodiversität aufwies, insbesondere aufgrund des vorherigen Kiesabbaus, stellt die FFPV-Anlage mit dem extensiven Grünland eine ökologisch wertvolle Fläche für Flora und Fauna dar (Demuth et al. 2019). Ein Vergleich der Transekte als eigenständige Habitate zeigt, dass die Beta-Diversität als hoch einzustufen ist, da sich die Artenzusammensetzung der einzelnen Transekte deutlich unterscheidet. Die Alpha-Diversität ist auf der Freifläche am höchsten und unter dem Modul am geringsten.

4.2 Quantität

Die Vermutung, dass sich die Quantität zwischen den drei Transekten unterscheidet, bestätigt sich in den Ergebnissen. Die Pflanzenbiomasse ist auf der Freifläche signifikant höher als in den Transekten Fenster und unter dem Modul. Das Trockengewicht auf der Freifläche ist etwa doppelt so hoch wie in dem Transekt Fenster und deutlich über dem Wert unter dem Modul (Abbildung 8, S. 29).

Die reduzierte Biomasse unter PV-Modulen wurde bereits in früheren Studien beobachtet. Armstrong et al. stellten fest, dass die Pflanzenbiomasse unter den Modulen viermal geringer war als auf den Lücken- und Kontrollflächen (Armstrong et al. 2016). Veränderungen der Umweltbedingungen durch die PV-Module können somit einen Einfluss auf die Biomasse haben (Zinken et al. 2024). Auf einer Freifläche und bedingt in dem Bereich des Fensters wirken abiotische Faktoren wie Licht und Niederschlag weitgehend ungefiltert. Aufgrund der Beschattung unter den Modulen ist die Photosynthetically Active Radiation bis zu 92 % reduziert, welches das benötigte Sonnenlicht für die Photosynthese darstellt (Armstrong et al. 2016). Dies führt zu einer eingeschränkten Photosynthese und damit zu einem verminderten Wachstum lichtliebender Pflanzen, was die Biomasseunterschiede zwischen den Transekten erklären kann.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist der verringerte Niederschlag aufgrund der Abschirmung durch die PV-Module, welcher ebenfalls das Pflanzenwachstum und die resultierende Biomasse beeinflusst (Herden et al. 2021). Des Weiteren untersuchten Armstrong et al. die absolute Luftfeuchtigkeit unter den Modulen und beobachteten, dass diese dort geringer ist als auf Kontrollflächen. Dies kann auf eine reduzierte Transpirationsrate zurückzuführen sein und eine verminderte Pflanzenbiomasse unter den Modulen erklären (Armstrong et al. 2016).

Die funktionellen Gruppen der Gräser und Kräuter zeigen in den untersuchten Transekten eine unterschiedliche Verteilung. Unter den Modulen dominieren Gräser und auf der Freifläche überwiegt der Kräuteranteil (Abbildung 10, S. 31). Es ist anzunehmen, dass die verschiedenen Standortbedingungen der drei Transekte Kräuter und Gräser unterschiedlich beeinflussen. Die Fläche unter dem Modul ist schattig und der Niederschlag ist reduziert (Herden et al. 2021). *Festuca rubra*, welches die Gräser unter dem Modul dominiert, stellt nur geringe Ansprüche an Boden und Licht (Bayerische

Landesanstalt für Landwirtschaft 2025) und kann somit gut unter dem Modul wachsen. Viele Kräuter sind lichtliebend und haben demnach bessere Wachstumsbedingungen auf einer Freifläche und bedingt in dem Transekt des Fensters. Armstrong et al. stellte ebenfalls fest, dass Lücken- und Kontrollflächen im Gegensatz zur Modulfläche von Kräutern dominiert werden (Armstrong et al. 2016). *Plantago lanceolata* dominiert den Kräuteranteil auf der Freifläche und das Transekt Fenster und kommt gut mit lichten und halbschattigen Bedingungen zurecht (Ökologie-Seite 2025).

Die einzige signifikant messbare Leguminose, die in den drei Transekten vorkam, war *Trifolium repens* (Abbildung 10, S. 31). Diese Art repräsentiert die funktionelle Gruppe der Leguminosen. *Trifolium repens* bevorzugt sonnige und halbschattige Standorte und wächst optimal auf feuchten Böden, während es Trockenheit und Staunässe meidet (Lenuweit und Gharadjedaghi 2002). Feuchte Böden und lichte Verhältnisse sind insbesondere auf der Freifläche gegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der Leguminosen dort am höchsten ist. Unter dem Modul konnte kein messbarer Anteil an Leguminosen identifiziert werden und demnach kann die Fläche unter dem Modul vermutlich keine geeigneten Standortbedingungen für *Plantago lanceolata* bieten.

Unter dem Modul ist die Photosynthetically Active Radiation im Vergleich zur Freifläche signifikant geringer (Armstrong et al. 2016) und die veränderten Lichtverhältnisse unter dem Modul fördern keine lichtliebenden Pflanzen wie *Trifolium repens* (Demuth et al. 2019). Die Böden auf der Freifläche sind tendenziell feuchter als unter dem Modul, da keine Abschirmung in Form eines PV-Moduls vorhanden ist. *Trifolium repens* meidet trockene Böden (Lenuweit und Gharadjedaghi 2002), was sich in den Ergebnissen widerspiegelt, da unter dem Modul kein messbarer Anteil an *Trifolium repens* identifiziert wurde.

In dem Transekt des Fensters sind die Lichtverhältnisse weniger stark eingeschränkt als unter dem Modul, und auch der Niederschlag erreicht den Boden, wenn auch in geringerem Umfang als auf der Freifläche. Demnach ist es nachvollziehbar, dass der Leguminosenanteil im Transekt des Fensters zwischen den Werten der Freifläche und des Bereichs unter dem Modul liegt, was auf die abiotischen Faktoren zurückzuführen ist.

Der nicht signifikant höhere Leguminosenanteil auf der Freifläche im Vergleich zu anderen funktionellen Gruppen könnte durch die Konkurrenz von *Trifolium repens* mit

hochwachsenden Gräsern und lichtliebenden Kräutern bedingt sein (Lenuweit und Gharadjedaghi 2002).

Zusätzlich zu den funktionellen Gruppen der Gräser, Farne und Leguminosen wurden im „Solarpark Klein Rheide“ auch Moose und Farne identifiziert. Die höchste Biomasse dieser Gruppen wurde unter den Modulen festgestellt (Abbildung 10, S. 31). Bei den Farnen handelt es sich um *Dryopteris filix-mas*, welcher ausschließlich unter den Modulen vorkam. Dies lässt sich dadurch erklären, dass *Dryopteris filix-mas* schattige Standorte bevorzugt, da direkte Sonneneinstrahlung seine Blätter schädigen kann (Sundin 2023). Die Fläche unter den Modulen bietet daher günstige Wachstumsbedingungen. Moose (*Bryophyta*) sind äußerst widerstandsfähig und können auch unter ungünstigen Licht- und Bodenverhältnissen überleben (NABU 2025). Dennoch bevorzugen sie schattige Standorte, wie sie unter den Modulen vorhanden sind (NABU 2025). Insgesamt gedeihen Moose und Farne unter schattigen Bedingungen besonders gut, was die höchste Biomasse in diesem Transekt erklärt.

4.3 Qualität

Die Analyse der Qualitätsparameter zeigt deutliche Unterschiede zwischen den drei Transekten. Der Rohproteingehalt ist unter dem Modul am höchsten und auf der Freifläche am niedrigsten (Tabelle 9, S 34). Der Rohzuckeranteil ist in dem Transekt Fenster am höchsten, während dieser unter dem Modul am niedrigsten ist (Tabelle 9, S. 34). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Untersuchungen von Zinken et al. (2024), die ebenfalls einen erhöhten Rohproteingehalt unter dem Modul sowie den geringsten Rohzuckeranteil in ähnlichen Bereichen nachweisen konnten (Zinken et al. 2024). Es bestätigt sich die Hypothese, dass die Module durch veränderte Licht-, Niederschlags- und Bodenbedingungen (Armstrong et al. 2016) die Qualität des Grünlandaufwuchses beeinflusst. Aufgrund der verminderten Photosynthese unter den Modulen, kann ein geringerer Rohzuckeranteil in den Pflanzen die Folge sein (Armstrong et al. 2016), was sich in den Ergebnissen widerspiegelt. Der ADF-Gehalt variiert nur minimal zwischen den Transekten und es sind keine deutlichen Unterschiede erkennbar (Tabelle 9, S. 34).

5. Fazit

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass FFPV-Anlagen einen Einfluss auf die Biodiversität sowie auf die Qualität und Quantität des Grünlandaufwuchses haben. Die Untersuchung in dem „Solarpark Klein Rheide“ ergab signifikante Unterschiede zwischen den drei untersuchten Transekten, welche in einem Fenster zwischen den Modulen, unter den Modulen und auf einer Freifläche lagen.

Die Analyse der Vegetationsstruktur verdeutlicht, dass die Biodiversität unter den PV-Modulen aufgrund reduzierter Lichtverhältnisse und veränderter Niederschlagsmenge geringer ist, während sie in dem Transekt Freifläche höher ausfällt (Herden et al. 2021). Jedoch bieten die Flächen unter dem Modul ein Habitat für schattentolerante Pflanzen, welche auf der Freifläche nicht wachsen würden (Demuth et al. 2019). Somit kann die gesamte Biodiversität der FFPV-Anlage begünstigt werden.

Auch die Biomasseproduktion variiert, wobei die höchste Menge auf der Freifläche und die geringste unter den Modulen gemessen wurde. Zudem zeigten sich Unterschiede in der Futterqualität, insbesondere beim Rohproteingehalt und Rohzuckeranteil. Dies kann ebenfalls auf die veränderten abiotischen Faktoren zurückgeführt werden (Zinken et al. 2024).

Diese Ergebnisse belegen, dass FFPV-Anlagen nicht nur zur Energiegewinnung genutzt werden können, sondern auch Potenzial zur Förderung der Biodiversität bieten, insbesondere wenn sie gezielt biodiversitätsfreundlich gestaltet werden. Maßnahmen wie eine angepasste Bewirtschaftung, eine standortgerechte Begrünung und der Verzicht auf Düngemittel können dazu beitragen, die ökologischen Vorteile dieser Flächen zu maximieren (Dünzen et al. 2024). Das Transekt Fenster bietet dabei eine Übergangszone zwischen der Freifläche und unter dem Modul und fördert einen heterogenen Grünlandaufwuchs einer FFPV-Anlage.

Um weitere Erkenntnisse gewinnen zu können, wäre es sinnvoll die Grünlandvegetation über einen längeren Zeitraum zu untersuchen und Vegetationsaufnahmen zu verschiedenen Jahreszeiten durchzuführen. Dadurch können die langfristigen Auswirkungen von PV-Modulen auf die Grünlandvegetation besser verstanden und Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität optimiert werden.

Literaturverzeichnis

- Anton, Christian; Mupepele, Anne-Christine; Steinicke, Henning (Hg.) (2018): Artenrückgang in der Agrarlandschaft. Was wissen wir und was können wir tun? : Stellungnahme. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften; Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. 1. Auflage. Halle (Saale), Mainz, München: Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V; Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V; acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V (Stellungnahme / Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:3:2-98297>.
- Armstrong, Alona; Ostle, Nicholas J.; Whitaker, Jeanette (2016): Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. In: *Environ. Res. Lett.* 11 (7), S. 74016. DOI: 10.1088/1748-9326/11/7/074016.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2025): Rotschwingel-Festuca rubra. Online verfügbar unter <https://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/022473/index.php>, zuletzt geprüft am 06.03.2025.
- Beierkuhnlein, Carl (2003): Der Begriff Biodiversität. In: G. Hempel, G. Röbbelen, A. Otte und C. Wissel (Hg.): Biodiversität und Landschaftsnutzung in Mitteleuropa: Nova Acta Leopoldina (87 (328)), S. 51–72.
- BMWK (2023): Photovoltaikstrategie-Strategie. Handlungsfelder und Maßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Photovoltaik. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- Demuth, Bernd; Maack, Alexander; Schumacher, Jochen (2019): Klima- und Naturschutz. Hand in Hand ; ein Handbuch für Kommunen, Regionen, Klimaschutzbeauftragte, Energie-, Stadt- und Landschaftsplanungsbüros. Unter Mitarbeit von Darja Süßbier. Berlin 2019 (Bearbeitungsstand: Juni 2018). Leipzig: Bundesamt für Naturschutz.
- Dünzen, Kaya; Krieger, Susanne; Ritter, David (2024): Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland. Ein Überblick zu Flächenkulissen, Potenzialen, Finanzierung, Nachhaltigkeit und Produktionskapazitäten (Stand Januar 2024). Hg. v. Öko-Institut e.V.
- EEG 2023: Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Februar 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 52) geändert worden ist.
- GAP 2022: GAP-Direktzahlungen-Verordnung vom 24. Januar 2022 (BGBl. I S. 139, 2287), die zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 396) geändert worden ist.
- Gerowitt, Bärbel; Schröder, Stefan; Dempfle, Leo; Engels, Eve-Marie; Engels, Johannes; Feindt, Peter H. et al. (2013): Biodiversität im Grünland – unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMELV. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

- Günnewig; Bosch; Kelm; Metzger; Wegner; Moog; Kamm (2022): Umweltverträgliche Standortsteuerung von Solar-Freiflächenanlagen. Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt.
- Härdtle, Werner (2024): Biodiversität, Ökosystemfunktionen und Naturschutz. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/978-3-662-68235-7>.
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (2024): Faktencheck Artenvielfalt zeigt erstmals, wie es um die biologische Vielfalt in Deutschland steht. Online verfügbar unter https://www.ufz.de/index.php?de=36336&webc_pm=35/2024, zuletzt geprüft am 26.02.2025.
- Herden, Christoph; Gharadjedaghi, Bahram; Rasmus, Jörg (2021): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Endbericht. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten (1.1998 - 630.2022), 247).
- Lenuweit, Urte; Gharadjedaghi, Bahram (2002): Biologische Basisdaten zu *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca pratensis* und *Trifolium repens*. Unter Mitarbeit von Michael Süßer, Katrin Schöps, Jan Blew und Silvia Ridder. Hg. v. Umweltbundesamt. GFN – Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung (UBA-Texte 08/02).
- Lichti; Thurner; Henkelmann; Döring; Alkofer; Dercks (2018): Was kann NIRS in der Landwirtschaft leisten? Optische Messtechnik zur Bestimmung von Trockensubstanz und Inhaltsstoffen. Hg. v. Biogas Forum Bayern.
- Mayer, Jürgen (2003): Biodiversitätsforschung als Zukunftsdisziplin : Ein Beitrag der Biologiedidaktik. 19-41 Seiten / Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen, Bd. 5 (1996). DOI: 10.4119/zdb-1729.
- Möckel, Stefan (2016): Schutz von Dauergrünland vor Umwandlung, Umbruch oder Intensivierung – Teil 1: Förderrecht. In: *NuR* 38 (11), S. 741–748. DOI: 10.1007/s10357-016-3090-z.
- NABU (Hg.) (2025): Moose – die „Amphibien“ des Pflanzenreichs. Viele Moose mögen es feucht. Online verfügbar unter <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/pflanzen/moose/index.html>, zuletzt geprüft am 06.03.2025.
- Ökologie-Seite (2025): Arten-Portraits von Pflanzen oder Flechten. Online verfügbar unter <https://www.oekologie-seite.de/index.php?id=24&pid=1868>, zuletzt geprüft am 06.03.2025.
- Pabst, H.; Schramek, J.; Nitsch, H.; Truckenmüller, A. (2017): Rettet die Wiesen. Kurzstudie zur Situation des Grünlands in Deutschland. Institut für ländliche Strukturforchung, Frankfurt am Main.
- Peschel, Rolf; Peschel, Tim; Marchand, Martine; Hauke, Jörg (2019): Solarparks-Gewinne für die Biodiversität. Hg. v. Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. Online verfügbar unter https://www.bne-online.de/wp-content/uploads/20191119_bne_Studie_Solarparks_Gewinne_fuer_die_Biodiversitaet_online.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2025.
- Pfadenhauer, Jörg; Klötzli, Frank (2014): Vegetation der Erde. Grundlagen, Ökologie, Verbreitung. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. Online verfügbar unter <http://www.lehmanns.de/midvox/bib/9783642419492>.

- Schlegel, Jürg (2021): Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt : Literaturstudie.
- Science Academies of the Group of Seven (G7) (2021): Reversing biodiversity loss – the case for urgent action. Online verfügbar unter https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2021_S7_Statement_Biodiversit y.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2025.
- Seht, Hauke von (2023): Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik. Unterstützungs- und Steuerungsmöglichkeiten der Bundesraumordnung und Landesplanung. In: *RuR* 81 (2), S. 188–202. DOI: 10.14512/rur.804.
- Sundin, Anton (2023): Farne. Vielfalt und Geschichte einer der ältesten Pflanzengruppen. Unter Mitarbeit von Elisabeth Svalin Gunnarsson und Uffe Jernelo. 1. Auflage. Bern: Haupt Verlag (Haupt Natur).
- Umweltbundesamt (2024): Photovoltaik. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/photovoltaik#Schadstoffe>, zuletzt geprüft am 27.01.2025.
- Umweltbundesamt (2025): Grünlandumbruch. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/gruenlandumbruch#gefahrdung-des-grunlands>, zuletzt geprüft am 25.01.2025.
- United Nations (2019): World is "on notice" as major UN report shows one million species face extinction. Online verfügbar unter <https://news.un.org/en/story/2019/05/1037941>, zuletzt geprüft am 26.02.2025.
- Wattmanufactur (2025). Online verfügbar unter <https://wattmanufactur.de/>, zuletzt geprüft am 30.01.2025.
- Wirth (2025): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Hg. v. Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter [file:///C:/Users/pauli/Downloads/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/pauli/Downloads/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland%20(2).pdf).
- Wittig, Rüdiger; Niekisch, Manfred (2014): Biodiversität. Grundlagen, Gefährdung, Schutz. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. Online verfügbar unter http://cm1.abccatalog.net/center/cm/cm_cm.php?v3156=1609422811&v8312=lehmanns.de&flash=1&v7376=9783642546938.
- Zinken, L.; Hamidi, D.; Tegtmeier, P.; Kayser, M.; Isselstein, J. (2024): Microclimate, grass growth and herbage quality of peat grassland under free field photovoltaic modules. "Why grassland". General Meeting of the European Grassland Federation. Netherlands, 09.06.2024.

Anhang

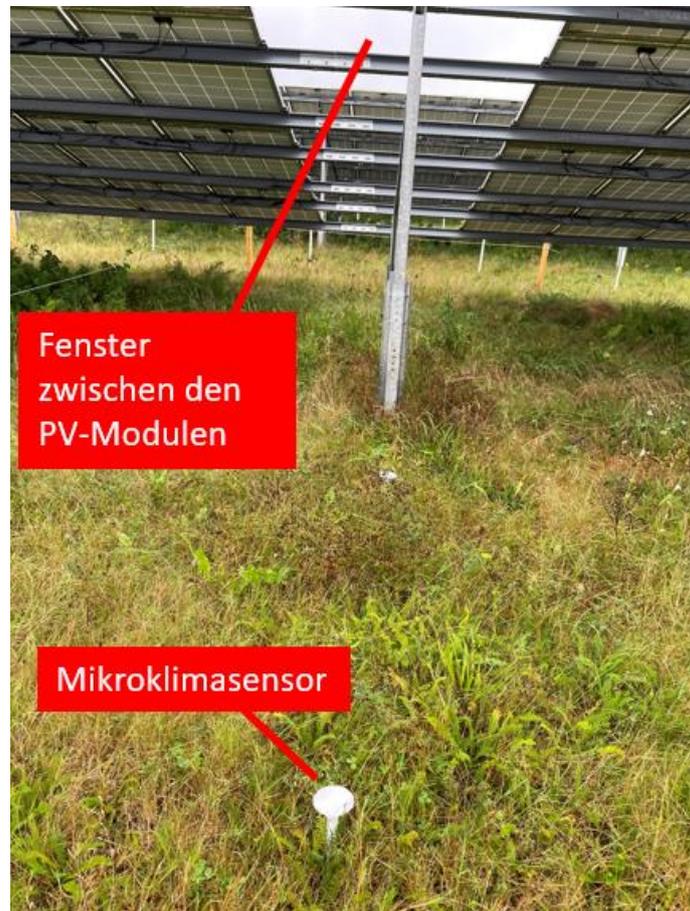


Abbildung 11: Transekt Fenster



Abbildung 12: Rahmen

Tabelle 11: Hauptvegetationsbildner des Transekts Fenster

	DH 0001	DH 0003	DH 0005	DH 0007	DH 0008	DH 0011	DH 0013	DH 0015
<i>Achillea millefolium</i>	1		1	2	3		3	3
<i>Agrostis spec.</i>	2	3			1	1	2	1
<i>Arrhenaterum elatius</i>								
<i>Bryophyta</i>				1				
<i>Cerastium holosteoides</i>						3		
<i>Dactylis glomerata</i>								
<i>Dryopteris filix-mas</i>								
<i>Elymus spec.</i>								
<i>Festuca rubra</i>		1	2			2	1	2
<i>Hypericum perforatum</i>		2						
<i>Plantago lanceolata</i>			3		2			
<i>Plantago subulata</i>								
<i>Rumex acetosa</i>								
<i>Taraxacum spec.</i>								
<i>Trifolium repens</i>	3							
<i>Urtica dioica</i>								

Die Zahl eins kennzeichnet den dominierenden Vegetationsbildner in der Probe. Zudem sind auch die zweit- und drittstärksten Vegetationsbildner erfasst.

Tabelle 12: Hauptvegetationsbildner des Transekts Modul

	DH 0017	DH 0019	DH 0021	DH 0023	DH 0025	DH 00027	DH 0029	DH 00031
<i>Achillea millefolium</i>				3	2			1
<i>Agrostis spec.</i>	1			1				
<i>Arrhenaterum elatius</i>						3		
<i>Bryophyta</i>								
<i>Cerastium holosteoides</i>								
<i>Dactylis glomerata</i>		2						
<i>Dryopteris filix-mas</i>							2	
<i>Elymus spec.</i>						2		
<i>Festuca rubra</i>	2	1	3	2	1	1		2
<i>Hypericum perforatum</i>		3						
<i>Plantago lanceolata</i>	3							
<i>Plantago subulata</i>								
<i>Rumex acetosa</i>								3
<i>Taraxacum spec.</i>			2		3		3	
<i>Trifolium repens</i>								
<i>Urtica dioica</i>							1	

Die Zahl eins kennzeichnet den dominierenden Vegetationsbildner in der Probe. Zudem sind auch die zweit- und drittstärksten Vegetationsbildner erfasst.

Tabelle 13: Hauptvegetationsbildner des Transekts Freifläche

	DH 0033	DH 0035	DH 0037	DH 0039	DH 0041	DH 0043	DH 0045	DH 0047
<i>Achillea millefolium</i>	3		1	3	2	2	3	3
<i>Agrostis spec.</i>	1	1	2	1		1	1	1
<i>Arrhenaterum elatius</i>								
<i>Bryophyta</i>								
<i>Cerastium holosteoides</i>								
<i>Dactylis glomerata</i>								
<i>Dryopteris filix-mas</i>								
<i>Elymus spec.</i>								
<i>Festuca rubra</i>		3			3			
<i>Hypericum perforatum</i>								
<i>Plantago lanceolata</i>		2	3	2	1		2	2
<i>Plantago subulata</i>	2							
<i>Rumex acetosa</i>								
<i>Taraxacum spec.</i>								
<i>Trifolium repens</i>						3		
<i>Urtica dioica</i>								

Die Zahl eins kennzeichnet den dominierenden Vegetationsbildner in der Probe. Zudem sind auch die zweit- und drittstärksten Vegetationsbildner erfasst.

Tabelle 14: Frischgewichte (in Gramm) des Transekts Fenster

	DH 0002	DH 0004	DH 0006	DH 0008	DH 0010	DH 0012	DH 0014	DH 0016
<i>Achillea millefolium</i>	10,36		30,22	11,7	1,25		6,04	2,14
<i>Agrostis spec.</i>	5,21	5,82	3,19	0,81	37,84	22,62	26,36	42,99
<i>Arrhenaterum elatius</i>								
<i>Bromus hordeaceus</i>		0,43						
<i>Bryophyta</i>					0,06	0,79	1,47	0,66
<i>Cerastium holosteoides</i>						0,06		
<i>Cirsium spec.</i>		8,27						
<i>Crepis capillaris</i>								
<i>Dactylis glomerata</i>								
<i>Dryopteris filix-mas</i>								
<i>Elymus repens</i>		1,64						
<i>Epilobium tetragonum</i>							1,18	0,18
<i>Festuca pratensis</i>								0,19
<i>Festuca rubra</i>	1,75	8,82	12,97	3,73	7,14	13,38	6,19	8,58
<i>Hypericum perforatum</i>	2,27	8						
<i>Hypochaeris radicata</i>				0,64				
<i>Plantago lanceolata</i>		2,9	13,49	0,26	13,97	0,19		1,75
<i>Poa pratensis</i>							0,67	
<i>Poa trivialis</i>			1,95					0,09
<i>Prunella vulgaris</i>								
<i>Rumex acetosa</i>							0,65	
<i>Silene vulgaris</i>				0,35				
<i>Taraxacum spec.</i>		0,39						
<i>Trifolium repens</i>	0,17			0,71				
<i>Urtica dioica</i>								
<i>Rest</i>	2,79	3,47	1,31	2,07	5,56	26,02	2,03	28,94

Tabelle 15: Frischgewichte (in Gramm) des Transekts Modul

	DH 0018	DH 0020	DH 0022	DH 0024	DH 0026	DH 0028	DH 0030	DH 0032
<i>Achillea millefolium</i>				1,88		0,07		
<i>Agrostis spec.</i>	53,67	2,55		6,36	13,65	10,53		15,56
<i>Arrhenaterum elatius</i>			0,65					
<i>Bromus hordeaceus</i>								1,88
<i>Bryophyta</i>			0,28		0,2	2,02		0,74
<i>Cerastium holosteoides</i>						5,69		
<i>Cirsium spec.</i>								
<i>Crepis capillaris</i>								
<i>Dactylis glomerata</i>								
<i>Dryopteris filix-mas</i>			1,66				10,85	
<i>Elymus repens</i>		5,37		5,2	3,09			0,93
<i>Epilobium tetragonum</i>			0,93					
<i>Festuca pratensis</i>								
<i>Festuca rubra</i>	18,56	88,39		43,97	23,75	39,43		6,46
<i>Hypericum perforatum</i>								
<i>Hypochaeris radicata</i>								
<i>Plantago lanceolata</i>	49,15			0,18	0,74			
<i>Poa pratensis</i>					0,78			
<i>Poa trivialis</i>	0,96							
<i>Prunella vulgaris</i>			4,14					
<i>Rumex acetosa</i>								4,8
<i>Silene vulgaris</i>			0,35			0,08		
<i>Taraxacum spec.</i>								
<i>Trifolium repens</i>								
<i>Urtica dioica</i>							0,22	
<i>Rest</i>	11,64	2,46	2,25	7,24	4,49	10,39	0,54	40,68

Tabelle 16: Frischgewichte (in Gramm) des Transekts Freifläche

	DH 0034	DH 0036	DH 0038	DH 0040	DH 0042	DH 0044	DH 0046	DH 0048
<i>Achillea millefolium</i>	17,09	2,4	26,36	8,27	13,54	48,41	0,19	0,53
<i>Agrostis spec.</i>	22,21	19,5	14,02	29,3	3,14	20,24	29,6	28,84
<i>Arrhenaterum elatius</i>								
<i>Bromus hordeaceus</i>	0,72				0,16		0,32	
<i>Bryophyta</i>	0,45	0,07	0,29	0,03		0,74	2,08	0,09
<i>Cerastium holosteoides</i>					0,19			0,64
<i>Cirsium spec.</i>								
<i>Crepis capillaris</i>							0,75	
<i>Dactylis glomerata</i>	0,34							
<i>Dryopteris filix-mas</i>								
<i>Elymus repens</i>	0,22	1,77	0,29	0,75		0,62	1,76	1,56
<i>Epilobium tetragonum</i>								
<i>Festuca pratensis</i>								
<i>Festuca rubra</i>	2,63	8,06	1,34	8,32	7,62	2,93	1,24	2,64
<i>Hypericum perforatum</i>			2,14					
<i>Hypochaeris radicata</i>					0,78	0,49		
<i>Plantago lanceolata</i>	30,45	33,87	20,36	32,03	54,61	7,6	19,38	54,83
<i>Poa pratensis</i>						0,4		
<i>Poa trivialis</i>								
<i>Prunella vulgaris</i>								
<i>Rumex acetosa</i>								0,17
<i>Silene vulgaris</i>								
<i>Taraxacum spec.</i>								
<i>Trifolium repens</i>				0,17		1,94		0,54
<i>Urtica dioica</i>								
<i>Rest</i>	10,02	11,92	5,12	12,82	7,52	17,66	19,88	15,11

Tabelle 17: Trockengewichte (in Gramm) des Transekts Fenster

	DH 0002	DH 0004	DH 0006	DH 0008	DH 0010	DH 0012	DH 0014	DH 0016
<i>Achillea millefolium</i>	2,24		6,27	3,09	0,34		1,43	0,58
<i>Agrostis spec.</i>	1,95	2,82	1,79	0,46	13,35	8,41	12,34	15,62
<i>Arrhenaterum elatius</i>								
<i>Bromus hordeaceus</i>		0,19						
<i>Bryophyta</i>					0,05	0,24	0,42	0,22
<i>Cerastium holosteoides</i>						0,04		
<i>Cirsium spec</i>		1,6						
<i>Crepis capillaris</i>								
<i>Dactylis glomerata</i>								
<i>Dryopteris filix-mas</i>								
<i>Epilobium tetragonum</i>							0,4	0,15
<i>Elymus repens</i>		0,78						
<i>Festuca pratensis</i>								0,12
<i>Festuca rubra</i>	0,75	3,37	5,59	1,96	3,09	4,88	2,59	3,25
<i>Hypericum perforatum</i>	0,76	3,28						
<i>Hypochaeris radicata</i>				0,15				
<i>Plantago lanceolata</i>		0,55	3,57	0,15	2,63	0,06		0,6
<i>Poa pratensis</i>			0,89				0,4	
<i>Poa trivialis</i>								0,04
<i>Prunella vulgaris</i>								
<i>Rumex acetosa</i>							0,08	
<i>Silene vulgaris</i>				0,13				
<i>Taraxacum spec</i>		0,06						
<i>Trifolium repens</i>	0,06			0,21				
<i>Urtica dioica</i>								
<i>Rest</i>	1,15	1,62	0,94	0,84	2,53	9,11	1,25	9,62

Tabelle 18: Trockengewichte (in Gramm) des Transekts Modul

	DH 0018	DH 0020	DH 0022	DH 0024	DH 0026	DH 0028	DH 0030	DH 0032
<i>Achillea millefolium</i>				0,94		0,03		
<i>Agrostis spec.</i>	18,77	1,18		2,93	5,77	4,73		6,16
<i>Arrhenaterum elatius</i>			0,37					
<i>Bromus hordeaceus</i>								0,75
<i>Bryophyta</i>			0,19		0,12	0,8		0,52
<i>Cerastium holosteoides</i>						1,15		
<i>Cirsium spec</i>								
<i>Crepis capillaris</i>								
<i>Dactylis glomerata</i>								
<i>Dryopteris filix-mas</i>			0,44				2,37	
<i>Epilobium tetragonum</i>			0,36					
<i>Elymus repens</i>		2,51		2,87	1,33			0,52
<i>Festuca pratensis</i>								
<i>Festuca rubra</i>	5,93	28,66		18,35	8,14	14,71		2,76
<i>Hypericum perforatum</i>								
<i>Hypochaeris radicata</i>								
<i>Plantago lanceolata</i>	9,37			0,07	0,39			
<i>Poa pratensis</i>					0,41			
<i>Poa trivialis</i>	0,38							
<i>Prunella vulgaris</i>			1,51					
<i>Rumex acetosa</i>								0,53
<i>Silene vulgaris</i>			0,09			0,09		
<i>Taraxacum spec</i>								
<i>Trifolium repens</i>								
<i>Urtica dioica</i>							0,06	
<i>Rest</i>	4,3	1,5	1,37	2,25	2,14	4,9	0,24	21,54

Tabelle 19: Trockengewichte (in Gramm) des Transekts Freifläche

	DH 0034	DH 0036	DH 0038	DH 0040	DH 0042	DH 0044	DH 0046	DH 0048
<i>Achillea millefolium</i>	5,03	0,61	7,95	2,4	3,7	15,14	0,04	0,2
<i>Agrostis capillaris</i>	10,99	10,16	7,36	12,96	1,73	16,38	13,8	15,17
<i>Arrhenaterum elatius</i>								
<i>Bromus hordeaceus</i>					0,11		0,25	
<i>Bryophyta</i>	0,22	0,08	0,1	0,05		0,33	1,08	0,06
<i>Cerastium holosteoides</i>	0,22				0,01			0,25
<i>Cirsium spec</i>								
<i>Crepis capillaris</i>							0,24	
<i>Dactylis glomerata</i>	0,14							
<i>Dryopteris filix-mas</i>								
<i>Epilobium tetragonum</i>								
<i>Elymus repens</i>	0,13	1,16	0,29	0,45		0,38	1,03	0,88
<i>Festuca pratensis</i>								
<i>Festuca rubra</i>	1,39	3,72	0,72	3,89	3,76	1,57	0,78	1,28
<i>Hypericum perforatum</i>			0,74					
<i>Hypochaeris radicata</i>					0,3	0,28		
<i>Plantago lanceolata</i>	8,38	11,13	6,03	10,22	17,92	2,26	5,99	14,5
<i>Poa pratensis</i>						0,17		
<i>Poa trivialis</i>								
<i>Prunella vulgaris</i>								
<i>Rumex acetosa</i>								0,03
<i>Silene vulgaris</i>								
<i>Taraxacum spec</i>								
<i>Trifolium repens</i>				0,06		0,48		0,19
<i>Urtica dioica</i>								
Rest	4,83	6,36	2,27	6,05	3,61	5,87	9,05	7,05

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Dr. Dina Hamidi und Dr. Manfred Kayser, die mich während meiner Bachelorarbeit betreut haben und mir mit Fragen und Feedback zur Seite standen.

Ebenso möchte ich mich bei Franziska Kunz und Dr. Dina Hamidi für die Unterstützung bei der Sortierung der Pflanzenarten bedanken. Mein Dank gilt auch Dr. Karen Baumann, die mich bei der Versuchsdurchführung in Klein Rheide begleitet und wertvolle Anregungen für meine Arbeit gegeben hat. Ein weiteres Dankeschön geht an Carolien Siede für die gemeinsame Durchführung der NIRS-Analyse sowie an Dag Frerichs, der mich mit Wetterinformationen für Klein Rheide unterstützt hat.

Eidesstaatliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht. Die Richtlinien zur Sicherung der guten wissenschaftlichen Praxis an der Universität Göttingen wurden von mir beachtet.

Aurich, den 12.03.2025

P. Riester

Erklärung zur Nutzung von ChatGPT und vergleichbaren Werkzeugen im Rahmen von Prüfungen

In der hier vorliegenden Arbeit habe ich ChatGPT oder eine andere KI wie folgt genutzt:

gar nicht

bei der Ideenfindung

bei der Erstellung der Gliederung

zum Erstellen einzelner Passagen, insgesamt im Umfang von ...% am gesamten Text

zur Entwicklung von Software-Quelltexten

zur Optimierung oder Umstrukturierung von Software-Quelltexten

zum Korrekturlesen oder Optimieren

Weiteres, nämlich: ...

Ich versichere, alle Nutzungen vollständig angegeben zu haben. Fehlende oder fehlerhafte Angaben werden als Täuschungsversuch gewertet.

Aurich, den 12.03.2025

P. Richter