

Bachelorarbeit

Hydrologische Zustandsbewertung ausgewählter Moore im Naturpark Karwendel – Eine Erfolgskontrolle durchgeführter Managementmaßnahmen

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des „Bachelor of Engineering“ im Studiengang
Landschaftsarchitektur an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Studienschwerpunkt Landschaftsplanung

Fakultät Landschaftsarchitektur

Eingereicht von:	Magdalena Strötz magdalena.stroetz@gmx.net
Betreuer:	Prof. Dr. Matthias Drösler Sebastian Friedrich Hermann Sonntag
Abgabetermin:	05.07.2023

Eidesstattliche Erklärung



Eidesstattliche Erklärung

Magdalena Strötz

Name des Studenten/der Studentin

Prof. Dr. Matthias Drösler; Sebastian Friedrich; Hermann Sonntag

Name des Betreuers/der Betreuerin

Hydrologische Zustandsbewertung ausgewählter Moore im Naturpark Karwendel –
Eine Erfolgskontrolle durchgeführter Managementmaßnahmen

Thema der Bachelorarbeit

Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Bachelorarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Freising, 05.07.2023

Ort, Datum

Unterschrift Student/in

Abstract

High-altitude peatlands depict scarce and small-scale habitats. They provide relevant ecosystem services for the alpine region. However, they are strongly affected by the effects of climate change and land use. Their protection can result in positive effects on nature, humans, and climate in equal measure. Thus, there are efforts to restore degraded peatlands back to their semi-natural state. The key factor for maintenance and development of peatlands is the water level.

For this study, the hydrological status of two alpine bogs in the Nature Park Karwendel (Brettersberg-Mittelleger-Moor and Halslkopf-Moor) was investigated. Already since 2005, management measures have been implemented and controlled in these peatlands. In the year 2021, new observation wells were placed in the bogs. The aim of the study is to assess the hydrology of the peatlands. The previous monitoring will be continued with the new observation wells. At the same time, a reference to the measurements of previous years should be drawn. Water level data from 2019-2022 of the new and old automatic water level gauges was analysed for the study. Furthermore, climate data was assessed and put in relation to the hydrological assessment. Additionally, a vegetation structure type mapping was executed. Therefore, water levels derived from the vegetation structure types could be compared to the measured gauge values.

The results reveal high water levels in both bogs. They are close to or within the range of the climatic rated range of 10 cm below ground level. Differences are explicable by the location of observation wells in the drier dwarf pine (*Pinus mugo*) area or by topography. Alarming depressions were observed during the summer months. Statements concerning the hydrological development are difficult to make. The monitoring since the beginning of the rewetting measures seems to be defective because of the usage of pipes that are too long and their blockage. The data of the new water level gauges, beginning in the end of 2021, is reliable. The assumed water levels of the vegetation structure types confirm, except for small differences, to the measured values. Additionally, the vegetation points to negative impacts, especially in the boundary area. Therefore, the punctual water level measurements can be supplemented by the results of vegetation structure type mapping.

Zusammenfassung

Gebirgsmoore stellen seltene und kleinflächige Lebensräume dar. Sie erbringen relevante Ökosystemleistungen für den Alpenraum. Jedoch sind sie stark durch Einflüsse wie den Klimawandel oder die Landnutzung betroffen. Ihr Schutz kann sich gleichermaßen positiv auf Natur, Mensch und Klima auswirken. Deshalb gibt es Bemühungen, degradierte Moorflächen wieder in einen naturnahen Zustand zurückzuführen. Der Schlüsselfaktor zum Erhalt und der Entwicklung von Mooren ist dabei der Wasserstand.

In dieser Arbeit werden zwei alpine Hochmoore im Naturpark Karwendel (Brettersberg-Mittelleger-Moor und Halskopf-Moor) auf ihren hydrologischen Zustand untersucht. Bereits seit 2005 werden in den Mooren Managementmaßnahmen umgesetzt und kontrolliert. Im Jahr 2021 erfolgte eine Platzierung neuer Pegelrohre in den Untersuchungsflächen. Ziel der Arbeit ist die hydrologische Zustandsbewertung der Moore. Das bisherige Monitoring soll mit den Daten der neuen Pegelrohre fortgesetzt werden. Gleichzeitig wird ein Bezug zu den Messungen früherer Jahre hergestellt. Für die Arbeit wurden die Wasserstanddaten der alten und neuen Automatikpegel der Jahre 2019-2022 analysiert. Daneben erfolgte eine Auswertung klimatischer Daten. Diese wurde in Bezug zur hydrologischen Auswertung gesetzt. Zusätzlich wurde eine Vegetationsstrukturtypenkartierung durchgeführt. Aus den Vegetationsstrukturtypen abgeleitete Wasserstände wurden mit den tatsächlich gemessenen Pegelwerten abgeglichen.

Die Ergebnisse zeigen in beiden Mooren hohe Wasserstände. Sie befinden sich nahe oder im klimatischen Optimalbereich von 10 cm unter Flur. Abweichungen sind durch die Lage der Pegelrohre im trockeneren Latschenbereich oder durch die Topografie erklärbar. Besorgniserregende Absenkungen sind in den Sommermonaten zu verzeichnen. Aussagen zur hydrologischen Entwicklung seit Beginn der Wiedervernässungsmaßnahmen können nur bedingt getroffen werden. Das Monitoring in den alten Pegelrohren scheint wegen der Installation von zu langen Rohren und einer vorliegenden Verstopfung der Schlitze der Rohre fehlerbehaftet. Die Daten ab Ende des Jahres 2021 der neuen Pegelmessdatensammler sind allerdings verlässlich. Die angenommenen Wasserstände der Vegetationsstrukturtypen decken sich bis auf kleine Abweichungen mit den tatsächlich gemessenen Werten. Zusätzlich deutet die Vegetation auf Kultureinflüsse, insbesondere in den Randbereichen hin. Die punktuellen Wasserstandmessungen mittels Automatikpegel können mit Hilfe der hydrologischen Einschätzung über die Vegetation ergänzt werden.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Abstract.....	III
Zusammenfassung	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung	12
1.1. Bedeutung und Schutzstatus alpiner Moore	12
1.2. Moore im Naturpark Karwendel.....	13
1.3. Ziele der Arbeit	14
2. Theoretische Grundlagen	16
2.1. Moore: Definition und Funktionsweise	16
2.2. Moortypologie - Gebirgsregenmoore	17
2.3. Entwässerung und Degradierung	18
3. Untersuchungsgebiet	20
3.1. Allgemeine Charakteristik	21
3.1.1. Lage im Naturpark Karwendel	21
3.1.2. Geologie	21
3.1.3. Klima	22
3.1.4. Nutzungs- und Renaturierungsgeschichte	25
3.2. Charakteristik der untersuchten Moorflächen.....	27
3.2.1. Brettersberg-Ml-Moor	27
3.2.2. Halskopf-Moor	30
4. Methodik	32
4.1. Hydrologisches Monitoring	32
4.1.1. Pegelrohre	32
4.1.2. Messungen in den alten Pegelrohren	34
4.1.3. Messungen in den neuen Pegelrohren	35
4.1.4. Vorbereitende Arbeiten	36
4.1.5. Analyse der Daten	37
4.2. Vegetationsstrukturtypenkartierung.....	39

5.	Ergebnisse	40
5.1.	Klimatische Daten.....	40
5.2.	Wasserstandmessungen Brettersberg-Ml-Moor	44
5.2.1.	Wasserganglinien der Pegel.....	45
5.2.2.	Dauerlinien und weitere Kenngrößen.....	52
5.3.	Wasserstandmessungen Halskopf-Moor	57
5.3.1.	Wasserganglinien der Pegel.....	58
5.3.2.	Dauerlinien und weitere Kenngrößen.....	66
5.4.	Vegetationsstrukturtypenkartierung.....	71
5.4.1.	Brettersberg-Ml-Moor	71
5.4.2.	Halskopf-Moor	73
6.	Diskussion	75
6.1.	Hydrologischer Zustand der Moore (1. Forschungsfrage).....	76
6.2.	Hydrologische Entwicklung (2. Forschungsfrage)	79
6.3.	Vegetation als Indikator für den Wasserstand (3. Forschungsfrage).....	83
7.	Empfehlungen	85
7.1.	Empfehlungen für das zukünftige hydrologische Monitoring.....	85
7.2.	Maßnahmenempfehlungen.....	86
8.	Fazit und Ausblick	87
9.	Danksagung.....	89
	Quellenverzeichnis	90
	Anhang	94
	Anhang A: Felddokument.....	94
	Anhang B: Manuelle Messergebnisse.....	95
	Anhang C: Vegetationsstrukturtypen, unveröffentlichter Auszug (Drösler & Kraut, 2023).....	96

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Überblick über Quellen und Moore im Naturpark Karwendel mit Moorhäufung im Gebiet Achenwald-Bächental (Quelle: Sonntag, 2009).....	13
Abb. 2: Schemaschnitt eines Hochmoores (Quelle: in Anlehnung an G Steiner, 2005a)	17
Abb. 3: Schematische Darstellung der Relationen der Spurengasflüsse in Abhängigkeit des Moorwasserstandes (Quelle: in Anlehnung an Drösler et al., 2008).....	18
Abb. 4: Übersichtskarte zur Lage der Moore in Tirol und im Detailausschnitt (Eigene Darstellung, Kartengrundlage: OpenStreetMap contributors, 2023 und Land Tirol, 2019).....	20
Abb. 5: Mittlere jährliche Niederschlagssummen mit einem Schwerpunkt am Alpennordrand (Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik [ZAMG], 2015)	22
Abb. 6: Mittlere klimatische Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag und Verdunstung der Klimaperiode 1991-2020 mit roter Umgrenzung des Untersuchungsgebietes (Quelle: GeoSphere Austria, 2021).....	23
Abb. 7: Klimadiagramm Achenkirch (Quelle: Tirol Atlas, 2013)	24
Abb. 8: Luftbild vom Halskopf-Moor, links: 1952, rechts: 1971, mit Hervorhebung der Gräben (Quelle: in Anlehnung an Haselwanter, 2008).....	25
Abb. 9: Fertiggestellte Dämme im Halskopf-Moor (Quelle: G. Haselwanter)	26
Abb. 10: Lage der zwei ausgewählten Untersuchungsflächen im Detailausschnitt (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	27
Abb. 11: Luftbild des Brettersberg-MI-Moores (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	27
Abb. 12: Zentrale Schlenke (oben), Bergkiefer-HM-Gesellschaft (unten) (Quelle: Eigene Aufnahme)	27
Abb. 13: Ehemalige Karstgasse sowie der angrenzende Damm aus dem Jahr 2019 (Quelle: Eigene Aufnahme).....	29
Abb. 14: Luftbild des Halskopf-Moores (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)	30
Abb. 15: Hochmoorweite (oben), Randgehänge mit Damm (unten) (Quelle: Eigene Aufnahme)	30
Abb. 16: Neuester Damm, Bau im Okt. ´21 (Quelle: Eigene Aufnahme).....	31
Abb. 17: Brettersberg-MI-Moor mit Positionen der neuen und alten Pegelrohre sowie der alten Pegelrohre, bei denen die Daten unverwertbar sind (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	32
Abb. 18: Halskopf-Moor mit Positionen der neuen und alten Pegelrohre sowie der alten Pegelrohre, bei denen die Daten unverwertbar sind (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)	33
Abb. 19: Resultierende Wasserganglinien aus der Simulation zweier Bezugspunkt-Annahmen unter Angabe der Berechnungsschritte (Quelle: Eigene Darstellung).....	37
Abb. 20: Typische Dauerlinien des Grundwasserspiegels (Quelle: in Anlehnung an Grosvernier & Staubli, 2009)	38
Abb. 21: Jahressumme des Niederschlages von 2019-2022 sowie als Mittel von 2008-2018 (Quelle: Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023).....	41
Abb. 22: Vergleich der Dauer der kürzesten, längsten sowie der durchschnittlichen Trockenperioden (TP) mit Angabe der Standardabweichung der Jahre 2019-2022 (Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023).....	42
Abb. 23: Jahresdurchschnittstemperatur der Jahre 2019-2022 sowie als Mittel von 2008-2018 (Quelle: Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023).....	42

Abb. 24: Pegelstandorte im Brettersberg-Ml-Moor mit Differenzierung der alten und neuen Pegelrohre, kurzer Lagebeschreibung sowie Positionen eingesetzter Dämme zur Wiedervernässung (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	44
Abb. 25: Wasserganglinien am Pegelstandort 01 des neuen und des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung).....	45
Abb. 26: Herausnahme und Untersuchung eines alten Pegelrohres, erstes Bild: gesamtes Pegelrohr, zweites Bild: geschlitztes Pegelrohr nach Abziehen des Filterstrumpfes, drittes Bild: Pegelrohr von Innen (Quelle: Eigene Aufnahme)	46
Abb. 27: Wasserganglinien am Pegelstandort 02 des neuen und des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung).....	47
Abb. 28: Wasserganglinien am Pegelstandort 03 des neuen und des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung).....	49
Abb. 29: Die Wasserganglinien des Jahres 2022 der neuen Pegel der drei Pegelstandorte im Brettersberg-Ml-Moor im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag (Quelle: Eigene Darstellung).....	51
Abb. 30: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 01 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	52
Abb. 31: Jahresmittel mit Standardabweichung, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 01 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung).....	53
Abb. 32: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 02 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	53
Abb. 33: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 02 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	54
Abb. 34: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 03 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	54
Abb. 35: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 03 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	55
Abb. 36: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 01, 02 und 03 der neuen Pegel am Brettersberg-Ml-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	56
Abb. 37: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 01, 02 und 03 der neuen Pegel am Brettersberg-Ml-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung).....	56
Abb. 38: Pegelstandorte im Halskopf-Moor mit Differenzierung der alten und neuen Pegelrohre, kurzer Lagebeschreibung sowie Positionen eingesetzter Dämme zur Wiedervernässung (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	57
Abb. 39: Wasserganglinien am Pegelstandort 01 des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2019-2020 (Quelle: Eigene Darstellung).....	58
Abb. 40: Wasserganglinien am Pegelstandort 02 des neuen Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2021-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)	60

Abb. 41 Wasserganglinien am Pegelstandort 03 des alten und neuen Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)	62
Abb. 42: Wasserganglinien am Pegelstandort 04 des alten und neuen Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)	64
Abb. 43: Die Wasserganglinien des Jahres 2022 der neuen Pegel der Pegelstandorte 02, 03 und 04 im Halskopf-Moor im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag (Quelle: Eigene Darstellung).....	65
Abb. 44: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 01 des alten Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2019 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung).....	66
Abb. 45: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 01 des alten Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2019 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	66
Abb. 46: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 02 des neuen Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung).....	67
Abb. 47: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 02 des neuen Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	67
Abb. 48: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 03 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 und 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	68
Abb. 49: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 03 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 und 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung).....	68
Abb. 50: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 04 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 bis 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	69
Abb. 51: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 04 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 bis 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung).....	69
Abb. 52: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 02, 03 und 04 der neuen Pegel am Halskopf-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	70
Abb. 53: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) an den Pegelstandort 02, 03 und 04 der neuen Pegel am Halskopf-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)	70
Abb. 54: Vegetationsstrukturtypen im Brettersberg-Ml-Moor mit Code, zugehöriger Bezeichnung und Angabe der mittleren Jahreswasserstände in cm in weißer Schrift sowie Darstellung der Pegelstandorte unter Angabe des Jahresmittelwasserstandes in cm des Jahres 2022 des jeweiligen neuen Pegels in schwarzer Schrift (Quelle: Eigene Darstellung, nach Drösler & Kraut, 2023, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	72
Abb. 55: Vegetationsstrukturtypen im Halskopf-Moor mit Code, zugehöriger Bezeichnung und Angabe der mittleren Jahreswasserstände in cm in weißer Schrift sowie Darstellung der Pegelstandorte unter Angabe des Jahresmittelwasserstandes in cm des Jahres 2022 des jeweiligen neuen Pegels in schwarzer Schrift (Quelle: Eigene Darstellung, nach Drösler & Kraut, 2023, Kartengrundlage: Esri et al., 2023).....	74

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht über Verwendungszweck und technische Daten der alten Messinstrumente in den alten Pegelrohren (Quelle: Eigene Darstellung, nach Van Essen Instruments, 2004)	34
Tab. 2: Messsensortiefen der alten Datensammler, bei welchen verwertbare Daten vorliegen sowie die entsprechenden Rohrüberstände (Quelle: Eigene Darstellung).....	34
Tab. 3: Übersicht über Verwendungszweck und technische Daten der neuen Messinstrumente in den neuen Pegelrohren (Quelle: Eigene Darstellung, nach SEBA Hydrometrie, 2013).....	35
Tab. 4: Messsensortiefen der neuen Datensammler, bei welchen verwertbare Daten vorliegen sowie die entsprechenden Rohrüberstände (Quelle: Eigene Darstellung).....	35
Tab. 5: Monatsniederschlagssummen der Jahre 2019-2022 sowie im Mittel der Jahre 2008-2018 (Quelle: Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023).....	40
Tab. 6: Mittlerer Jahresniederschlag der Vegetationsperiode, Verdunstung und resultierende mittlere klimatische Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag und Verdunstung (Quelle: Eigene Darstellung).....	43
Tab. 7: Verifizierte Daten der Pegelstandorte am Brettersberg-Ml- sowie am Halskopf-Moor (Quelle: Eigene Darstellung).....	75
Tab. 8: Vergleich der Pegelrohrlängen der alten und neuen Pegelrohre in beiden Mooren sowie Angabe der Torfmächtigkeit an den Pegelrohrstandorten (Quelle: Eigene Darstellung, nach Haselwanter, 2008)	79

Abkürzungsverzeichnis

Brettersberg-Ml-Moor	Brettersberg-Mittelleger-Moor
FFH	Flora Fauna Habitat
HM	Hochmoor
HSWT	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
ÖBf	Österreichische Bundesforste AG
PR	Pegelrohr
TP	Trockenperiode
u. Flur	Unter Flur
Veg. periode	Vegetationsperiode
WS	Wassersäule
WST	Wasserstand

1. Einleitung

Die Klima- und die Biodiversitätskrise stellen uns vor allgegenwärtige Herausforderungen. Von deren Folgen wird im kommenden Jahrzehnt die größte, unsere Gesellschaft betreffend, ausgehende Gefahr prognostiziert (Foro Económico Mundial et al., 2023). Der Temperaturanstieg in den Alpenregionen verläuft im Vergleich zum globalen Trend doppelt so stark (OcCC, 2008). Gleichzeitig ist ein Ausweichen von Arten in höhere Gebirgslagen meist kaum mehr möglich. Es werden die höchsten Verluste in Flora und Fauna beobachtet (Pirc et al., 2009). Der Schutz von Alpenmooren kann ein Baustein sein, diesem Trend entgegenzuwirken und eine Synergie von Natur- und Klimaschutz schaffen. Thema dieser Bachelorarbeit ist die hydrologische Zustandsbewertung ausgewählter Moore des Naturpark Karwendel in Tirol, in Österreich. Der Wasserhaushalt spielt die Schlüsselrolle in der Entwicklung und dem Schutz der Moore. Mit der vorliegenden Betrachtung des hydrologischen Zustandes ausgewählter Karwendelmoore können Aussagen über die Vitalität und Entwicklung der wiedervernässten Moorkomplexe getroffen werden.

1.1. Bedeutung und Schutzstatus alpinen Moore

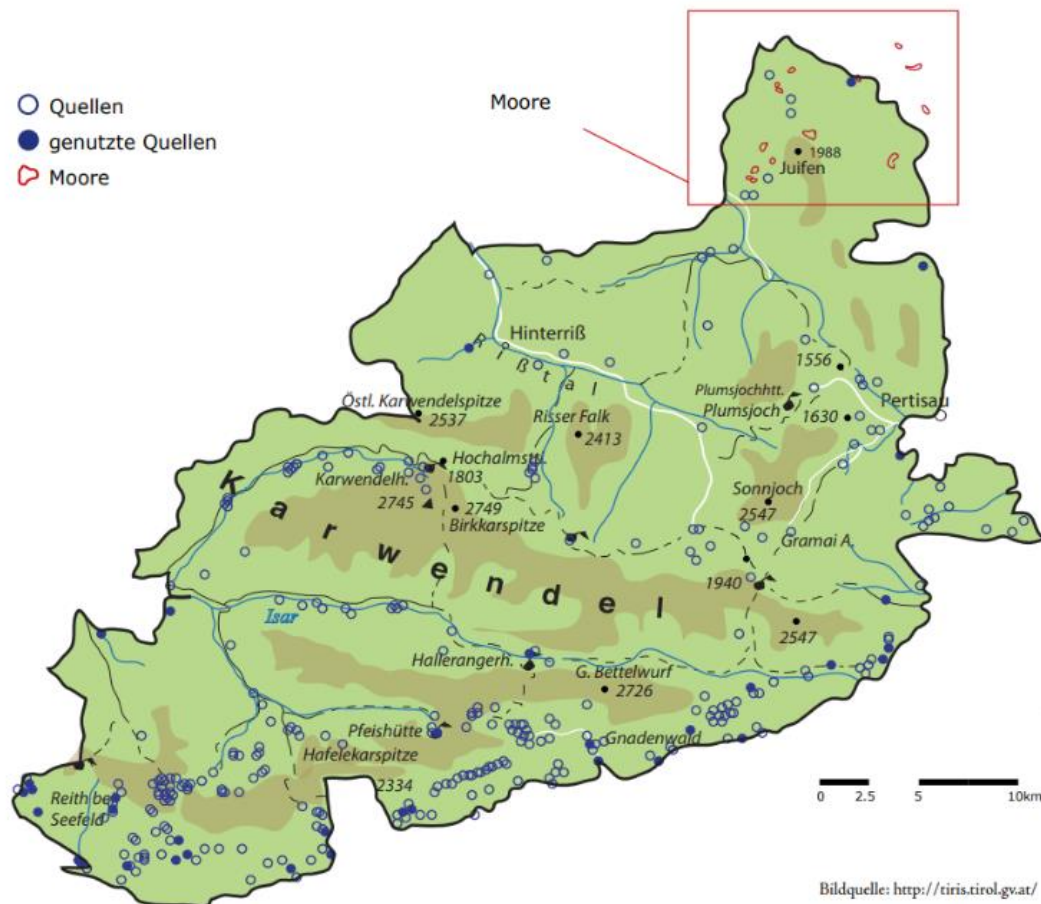
Moore in gutem ökologischem Zustand erbringen wichtige Serviceleistungen (Drösler et al., 2013). Sie wirken als Puffer des regionalen Klimas und tragen zum Wasserrückhalt bei. Zudem stellen sie einen relevanten Lebensraum für spezialisierte Arten dar und sind als Archiv für Klima-, Vegetations-, und Menschheitsgeschichte bedeutend. Darüber hinaus können sie Nährstoffe immobilisieren. Innerhalb naturnaher Ökosysteme nehmen sie eine einzigartige Stellung ein, da sie dauerhaft Kohlenstoff aufnehmen können (Drösler et al., 2013). Mit einem Flächenanteil von weltweit nur 3-4 % sind in Mooren bis zu einem Drittel des globalen Bodenkohlenstoffs gebunden (UNEP, 2022).

Moore der Hochlagen sind meist kleiner als in tieferen Lagen (Succow & Jeschke, 1990). Dennoch sind die oben angebrachten Leistungen der Moore für den Alpenraum relevant. Allerdings sind diese Serviceleistungen durch menschliche Eingriffe in das natürliche Ökosystem gestört und bedürfen meist einer Wiederherstellung. Die Erhaltungszustände der unterschiedlichen FFH-Moortypen Österreichs sind auf Grundlage des österreichischen Artikel 17-Berichts von 2019 überwiegend als ungünstig bis schlecht einzustufen (Ellmauer et al., 2020). Die Datengrundlage zu Mooren im Alpenraum variiert stark. Sie macht somit eine allgemeingültige Aussage zur Funktionserfüllung von Alpenmooren unmöglich. In Österreich gibt es noch Wissenslücken bezüglich des Vorkommens, der Ausdehnung und dem Zustand von Moorflächen. Es wird davon ausgegangen, dass die Fläche der naturnahen Moore in Österreich etwa 30.000 ha entspricht (Schröck et al., 2022).

Vor dem Hintergrund nationaler sowie internationaler Klima- und Nachhaltigkeitsziele ist der Schutz der Moore essenziell. Internationale und europäische Vereinbarungen machen die Notwendigkeit und Pflicht zum Schutz der alpinen Moore auf nationaler Ebene deutlich. Beispiele hierfür sind die FFH-Richtlinie und die Alpenkonvention (Artikel 9 des Bodenschutzprotokolls). Österreich geht mit der im Jahr 2022 herausgegeben Moorschutzstrategie 2030+ (Schröck et al., 2022) einen notwendigen Schritt in Richtung Moorschutz und der Schließung vorhandener Wissenslücken.

1.2. Moore im Naturpark Karwendel

Im Nordosten des Naturpark Karwendel in Tirol ist im Gebiet zwischen Bächental und Achenal das Vorkommen mehrerer Moorkomplexe zu verzeichnen (s. Abb. 1). Diese liegen nahe der Grenze zu Bayern. Die insgesamt 14 Moore im Naturpark nehmen lediglich 1,2 km² ein (Haselwanter, 2019). Dabei umfassen die Hochmoore sogar nur eine Fläche von 0,2 km² (Haselwanter, 2019). Obwohl dieser Lebensraum damit lediglich 0,0003% der Naturparkfläche ausmacht, ist der Schutz dieser sensiblen Ökosysteme auf Grund der oben angeführten Ökosystemleistungen für die Naturpark-Verwaltung von besonderer Relevanz.



Bildquelle: <http://tiris.tirol.gv.at/>

Abb. 1: Überblick über Quellen und Moore im Naturpark Karwendel mit Moorkhäufung im Gebiet Achenwald-Bächental (Quelle: Sonntag, 2009)

Erste Erhebungen der Moorflächen im Karwendel wurden von Steiner (1982) für den „Österreichischen Moorschutzkatalog“ durchgeführt. Vegetationskartierungen durch Steiner (1992) folgten dann im Jahre 1988. Hier wurden zwölf Moore erhoben. Bei einer Inventarisierung des Naturschutzgebietes Karwendel vollzog Stöhr et al. (1995) eine weitere, konkretere Beschreibung der Moore. Stöhr et al. (1995) erfasste die Moore wie bereits Steiner (1992) bezüglich Schutzwürdigkeit und Gefährdungsgrad. Zusätzlich wurden Maßnahmenvorschläge zum Erhalt der Karwendelmoore getroffen.

Haselwanter (2008) wählte im Rahmen seiner Dissertation fünf der erfassten Moore für detaillierte Untersuchungen aus: Brettersberg-Mittelleger-, Halskopf-, Pitzkopf-, Raberskopf- und Roskopf-Moor. Kriterien für die Auswahl der Moore waren ein hohes Regenerationspotential, ein hoher ökologischer Wert sowie der dringliche Bedarf an Maßnahmen (Haselwanter, 2008). Für diese fünf Moore erstellte Haselwanter (2008) ein Schutz- und Managementkonzept. Im Rahmen und in Folge dessen wurden die Moore wiedervernässt, Weidefreistellungen verhandelt und Langzeitbeobachtungen eingerichtet (Sonntag, 2009). Von 2007 bis 2018 wurden die Moore durch Haselwanter (2019) hydrologisch betreut. Wegen Ausfällen der in die Jahre gekommenen Messinstrumente sind ab 2019 lediglich noch hydrologische Messdaten des Brettersberg-MI-Moores und des Halskopf-Moores verfügbar. Im Jahr 2021 wurden schließlich die alten Pegelmessgeräte in diesen beiden Mooren durch neue ergänzt. Damit wurde der Fokus des zukünftigen hydrologischen Monitorings auf die Beobachtung dieser beiden Moorflächen gesetzt. Die Auswertung des hydrologischen Zustandes hätte ab 2019 durch die Österreichischen Bundesforste (ÖBf) erfolgen sollen. Die Daten der alten und neuen Pegel wurden ausgelesen. Jedoch wurden Messeinstellungen unzureichend dokumentiert und die Rohdaten falsch in Bezug gesetzt. Damit liegt ab 2019 keine Auswertung des hydrologischen Zustandes mehr vor.

1.3. Ziele der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist die Untersuchung des derzeitigen hydrologischen Zustandes von zwei ausgewählten Mooren im Naturpark Karwendel. Hierfür liegen Daten bereits ausgelesener Wasserstände von Automatikpegeln vor. Diese sollen aufbereitet, durch händische Messungen in Bezug gesetzt und auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Zudem wird die Vegetation als Indikator für die Funktionsbewertung des Wasserhaushaltes der Moore eingesetzt. Im Rahmen der Bachelorarbeit sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- *Wie ist der momentane hydrologische Zustand von zwei ausgewählten Karwendelmooren auf Basis von Pegelmessdaten der Jahre 2019-2022 zu bewerten?*
- *Wie ist die hydrologische Entwicklung der Moore in Bezug auf die Jahre 2007-2018 einzuschätzen?*
- *Kann die hydrologische Bewertung der Moore auf Basis von Pegelmessdaten auch aus der Vegetation abgeleitet werden?*

Die seit 2007 laufende moorhydrologische Betreuung der beiden Moorflächen wird mit dieser Arbeit fortgeführt. Frühere Ergebnisse sind in den Abschlussberichten „Moormanagement im Alpenpark Karwendel 2007-2012“ (Haselwanter, 2012) und „Hydrologisches Management ausgewählter Karwendel Moore 2008-18“ (Haselwanter, 2019) nachzulesen. Durch die Auswertung der hydrologischen Daten kann in Kombination mit anderen Methoden ein wichtiger Teilbereich des Monitorings der Moorkomplexe abgedeckt werden. Damit wird die Grundlage für einen neuen Managementplan der Karwendelmoore gelegt und ein Modell für viele andere Alpenmoore bereitgestellt.

Die Arbeit stützt sich auf Pegelmessungen, welche im Rahmen eines hydrologischen Monitorings durchgeführt wurden. Die ausgelesenen Rohdaten der alten und neuen Pegelrohre sollen durch Messungen vor Ort überprüft und verglichen werden. Es gilt, diese für die Jahre 2019 bis Ende 2022 auszuwerten. Es werden Wasserganglinien erstellt, welche den zeitlichen Verlauf des Wasserstandes aufzeigen. Zusätzlich soll eine Ausarbeitung von Dauerlinien erfolgen. Diese stellen die Summenhäufigkeit der Tage dar, an denen der Grundwasserstand einen definierten Wert überschreitet. Diese Graphen werden durch Auswertungen von Minima, Maxima und Mittelwerten inklusive Schwankungsbreite des Wasserstandes ergänzt. Klimatische Daten werden der hydrologischen Auswertung zur Interpretation in Bezug gesetzt. Zudem soll eine Vegetationsstrukturtypenkartierung beider Moore durchgeführt werden. Den Strukturtypen sind mittlere Jahreswasserstände zugeordnet. Dies ermöglicht einen Abgleich der Pegelmessungen mit der durch die Vegetation als Bioindikator dargestellten hydrologischen Situation vor Ort.

2. Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel soll das Funktionsprinzip von Mooren nachvollziehbar gemacht werden. Damit wird das für das Verständnis der hydrologischen Auswertung erforderliche Hintergrundwissen dargelegt.

2.1. Moore: Definition und Funktionsweise

Es existieren verschiedene Definitionen von Mooren. Geologisch betrachtet, kann man ab einer 30 cm mächtigen Torfschicht in entwässertem Zustand, sowie einem Mindestgehalt an 30% organischer Substanz in der Trockenmasse, von einem Moor ausgehen (Kaule & Göttlich, 1976). Aus ökologischer Sicht handelt es sich bei Mooren um Pflanzengesellschaften mit einer für die Wassersättigung kennzeichnenden Artenzusammensetzung (Steiner, 1982). Nach internationalen Definitionen werden Moore durch organische Böden definiert (IPCC, 2006). Diese sind vordergründig durch die Dicke des organischen Horizontes und den Anteil an organischem Kohlenstoff charakterisiert (IPCC, 2006). Diese Vielfalt der Definitionen zeigt die Wichtigkeit auf, eine gesamtheitliche Betrachtung anzustreben und verschiedene Definitionen miteinzubeziehen.

Das Grundprinzip hinter der Moorentstehung liegt in der Torfakkumulation, welche aus einer positiven Stoffbilanz resultiert (Joosten & Succow, 2012; Succow & Jeschke, 1990). Das sedentär, also vor Ort aufgewachsene Pflanzenmaterial, wird in Form von Torf gespeichert (Joosten & Succow, 2012). Im Akrotelm, der oberen periodisch wassergesättigten Moorbodenschicht, findet die Torfbildung statt (Stegmann et al., 2012). Dafür ist der Wasserüberschuss eines Standortes grundlegend (Joosten & Succow, 2012). Durch die Wassersättigung sind die mikrobiellen Abbauprozesse erschwert bis gestoppt, und es wird mehr organische Substanz produziert als zersetzt werden kann (Grosse-Brauckmann, 1976). Der Torf wird in der unteren und immer wassergesättigten Moorbodenschicht, dem Katotelm, konserviert und gespeichert (Stegmann et al., 2012). In Mitteleuropa kann man von einem jährlichen Torfzuwachs von durchschnittlich 1 mm ausgehen (Succow & Jeschke, 1990). Das Wachstum der Moore begann mit dem Ende der letzten Eiszeit und erstreckt sich seitdem über Jahrtausende.

2.2. Moortypologie - Gebirgsregenmoore

Neben der Unterscheidung von Hochmooren bzw. Regenmooren (regenwassergespeist bzw. ombrotroph) und Niedermooren bzw. Grundwassermooren (grundwassergespeist bzw. minerotroph) können aufgrund der Vielfalt der Moore weitere Moortypen unterschieden werden. Für Österreich kann hierfür die Gliederung von Steiner (2005a) herangezogen werden. Diese ist besonders an die alpinen Verhältnisse angepasst. Neben dieser Klassifikation kann man Moore auch nach ökologischen Moortypen differenzieren. Dafür sind Trophie und pH-Wert relevant (Succow, 2012).

Im Gebiet der nördlichen Kalkalpen sind Gebirgsregenmoore und Hangmoore aufzufinden, wobei letztere in ihrer Anzahl überwiegen (Steiner, 1982). Die Moortypen kommen teilweise in Kombination vor und lösen sich gegenseitig ab (Steiner, 1982). Im Rahmen der Arbeit werden Gebirgsregenmoore untersucht. Hochmoore zeichnen sich durch eine Aufwölbung über die Geländeoberfläche aus, wodurch sie ein autonomes Wasserregime aufweisen (Kaule & Göttlich, 1976). Damit sind sie an die Speisung durch Niederschlagswasser und somit eine positive klimatische Wasserbilanz gebunden. Bei ombrotrophen Bedingungen liegen durch die Nährstoffarmut des Wassers meist oligotroph-saure Moore vor (Succow, 2012). Der typische Aufbau eines Hochmoors ist in Abbildung 2 repräsentiert. Relevant ist dabei die Unterteilung in Hochmoorweite, Randgehänge und Randlagg. Der zentrale Bereich, die Hochmoorweite, ist durch kleinförmige Erhebungen (Bulte) und nasse Bereiche (Schlenken) charakterisiert (Steiner, 2005a).

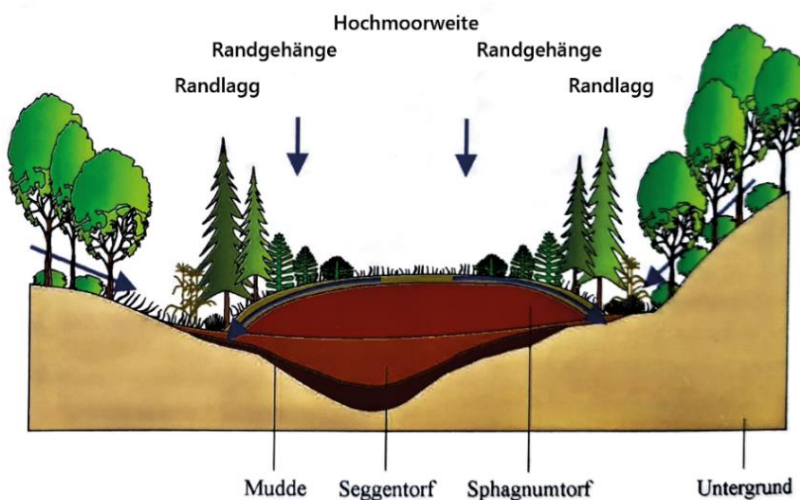


Abb. 2: Schemaschnitt eines Hochmoores (Quelle: in Anlehnung an G Steiner, 2005a)

2.3. Entwässerung und Degradierung

Alpine Moore sind primär häufig durch Einflüsse wie Beweidung, Entwässerung, Aufforstung und Torfabbau betroffen (Steiner, 2005b). Vordergründig führen die meisten primären Effekte zur Wasserabsenkung im Akrotelm (Steiner, 2005b). Dadurch kommt es zur Mineralisation und folglich zum oxidativen Verlust organischer Substanz (Stegmann & Zeitz, 2012). Neben diesem Torfschwund und der damit verbundenen Spurengasfreisetzung tritt eine standortabhängige Sackung des Torfkörpers und somit ein Höhenverlust von ungefähr 1 cm pro Jahr ein (Hartje et al., 2015).

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, werden durch die Mineralisierung die klimarelevanten Spurengase Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Lachgas (N_2O) freigesetzt (Drösler et al., 2008). Der entscheidende Parameter zur Steuerung der Treibhausgasbilanz in Mooren ist dabei der Wasserstand (Drösler et al., 2013). Bei hohen Moorwasserständen sind neben der CO_2 -Bindung Methan (CH_4) - Emissionen zu beachten. Diese treten bei anaeroben Verhältnissen auf (Augustin, 2012).

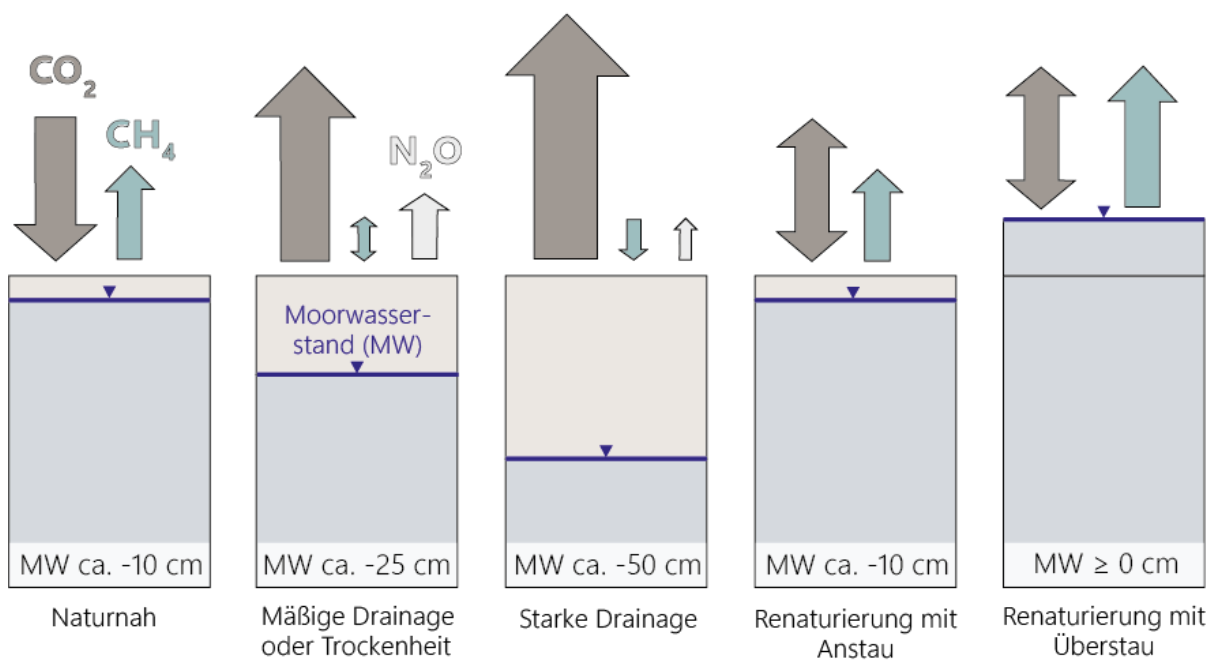


Abb. 3: Schematische Darstellung der Relationen der Spurengasflüsse in Abhängigkeit des Moorwasserstandes (Quelle: in Anlehnung an Drösler et al., 2008)

Die Betrachtung und Bilanzierung dieser drei klimarelevanten Spurengase (Kohlendioxid, Methan und Lachgas) mit ihrem jeweiligen Erwärmungspotenzial ist notwendig, um die Klimarelevanz von Moorstandorten zu bewerten (Drösler, 2005). Drösler et al. (2013) machen deutlich, dass Hochmoore in nasser Situation weitgehend klimaneutral sind, während sie in trockenem Zustand und bei extensiver Grünlandnutzung Emissionen von ca. 20 t CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr aufzeigen.

Moordegradierungen haben nicht nur klimatisch betrachtet negative Einflüsse. Die Entwässerung und Degradierung von Mooren führt auch zu einem Lebensraum- und damit Biodiversitätsverlust. Nur wenige spezialisierte Arten können unter den nährstoffarmen sowie sauren Bedingungen der Hochmoore vorkommen (Steiner, 2005a). Geringfügige Eingriffe, wie der Nährstoffeintrag durch Beweidung oder eine randliche Entwässerung, können daher den Verlust seltener Arten bewirken. Eine mittlere Wasserstandsänderung von wenigen Zentimetern bedeutet bereits einen Wechsel der Vegetation (Edom, 2012). Auch die weiteren Funktionen von Mooren (s. 1.1), die uns Menschen als Ökosystemleistungen zur Verfügung stehen, können beeinträchtigt werden.

3. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Karwendelgebirge, im Nordosten des Naturpark Karwendel (s. Abb. 4). Die Gebirgsgruppe ist Teil der Nördlichen Kalkalpen. Gegenstand der Untersuchung sind zwei alpine Moore. Diese befinden sich in der Gemeinde Achenkirch im Bezirk Schwaz in Tirol in Österreich. Sie liegen nahe der deutschen Grenze. Zugänglich sind die Moore aus dem Osten, von Achenwald oder von Norden über das Bächental kommend. Die Moore liegen westlich des Halslkopfes (1.406 m) auf einer Höhe von 1.312 m NN am Brettersberg-ML-Moor und 1.371 m NN am Halslkopf-Moor.

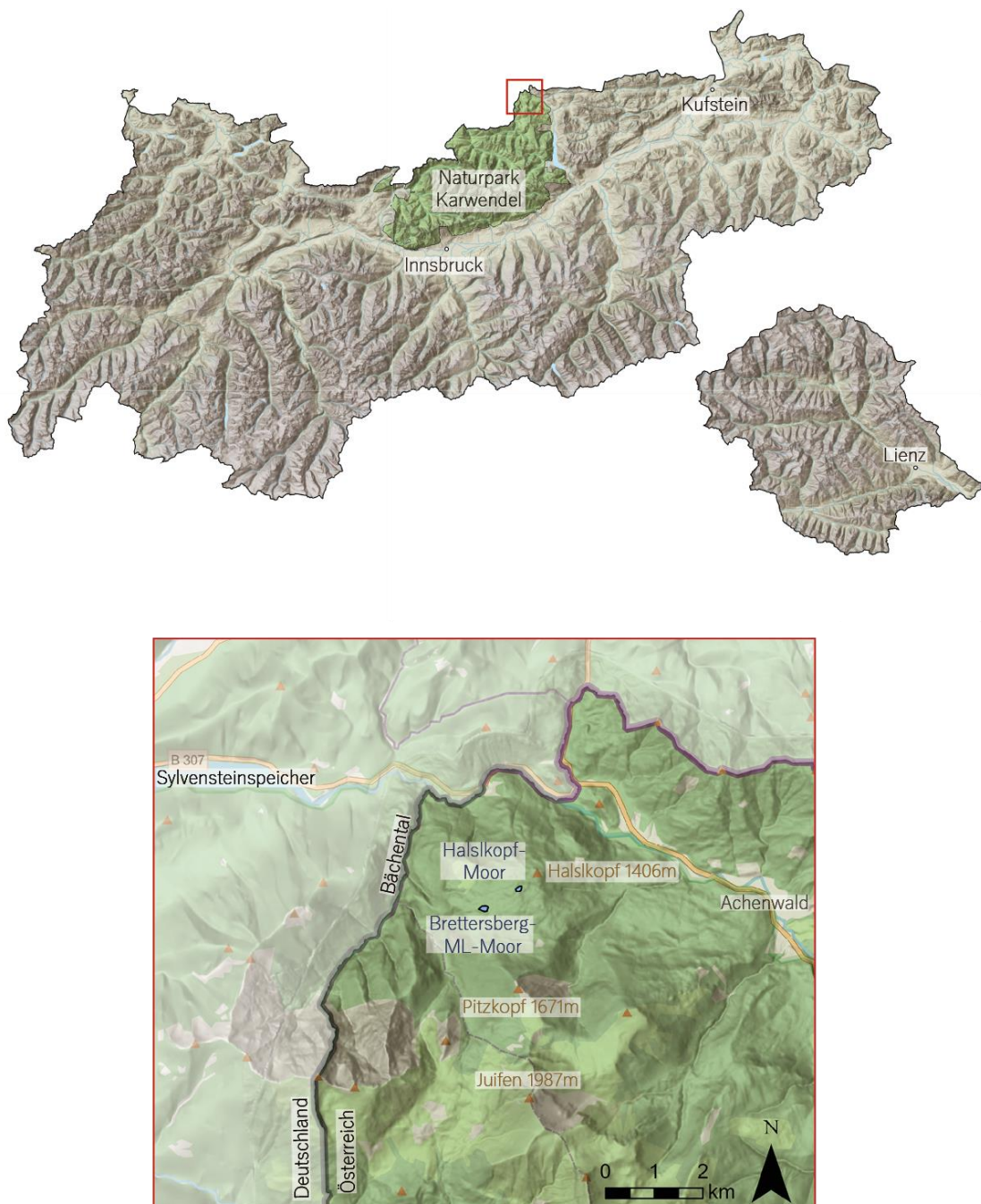


Abb. 4: Übersichtskarte zur Lage der Moore in Tirol und im Detailausschnitt (Eigene Darstellung, Kartengrundlage: OpenStreetMap contributors, 2023 und Land Tirol, 2019)

3.1. Allgemeine Charakteristik

Im Folgenden werden relevante allgemeine Charakteristika des Untersuchungsgebietes aufgezeigt, woraufhin eine Beschreibung der Einzelmoore erfolgt.

3.1.1. Lage im Naturpark Karwendel

Der Naturpark Karwendel deckt flächenmäßig annähernd das gesamte Karwendelgebirge ab. Mit einer Fläche von 739 km² ist er der größte Naturpark Österreichs und gleichzeitig das größte Tiroler Schutzgebiet. Inkludiert man das im Norden angrenzende bayerische Naturschutzgebiet „Karwendel und Karwendelvorgebirge“, so beträgt die geschützte Fläche insgesamt 920 km². Der Naturpark umfasst 12 Schutzgebiete, darunter vier Naturschutzgebiete, sechs Landschaftsschutzgebiete und zwei Ruhegebiete. Das Karwendel ist außerdem als Natura 2000 Gebiet ausgewiesen. Der Fokus des Naturparks liegt in den Arbeitsfeldern Naturschutz, Erholung und Tourismus, Umweltbildung sowie Wissen und Forschung. (Naturpark Karwendel, 2020)

Die Untersuchungsflächen liegen im Naturschutzgebiet sowie gleichzeitig im Natura 2000-Gebiet Karwendel. Dort befinden sie sich in der montanen Höhenstufe, wo im Naturraum Fichten-Tannen-Buchen-Mischwälder dominieren (Stöhr et al., 1995). Am Plateau südlich des Halslkopfes ist ein Fichtenbestand vorherrschend. Das Gebiet wird deutlich von der Almwirtschaft geprägt, welche im Naturpark eine große Rolle spielt.

3.1.2. Geologie

Die Alpen sind ein sich von Nizza nach Wien erstreckendes Hochgebirge. Deren Gebirgsentstehung, auch genannt Orogenese, ist auf das Aufeinanderdriften der afrikanischen und eurasischen Kontinentalplatte zurückzuführen. Sie gliedern sich in Westalpen, Zentralalpen und Ostalpen. In den Ostalpen befinden sich die Nördlichen Kalkalpen (Pfiffner, 2015). Der Baustil der nördlichen Kalkalpen kann tektonisch als Schuppen- und Deckenbau definiert werden (Boegel & Schmidt, 1976). Es handelt sich um einen Komplex aus ostalpinen Decken, die aus mesozoischen Sedimenten aufgebaut sind (Pfiffner, 2015). Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des Tirolisch-Norischen Deckensystems, das an der Stelle von der Inntal-Decke vertreten ist (Gruber, Ortner et al., 2022). Im Karwendel dominiert im Bereich des Untersuchungsgebietes der Hauptdolomit. Der Untergrund der zwei Moorflächen wird jedoch durch Plattenkalk gebildet (Gruber, Lotter et al., 2022). Nach Draxler et al. (2022) ist die regional große Anzahl an Mooren im Gebiet auf eine Kombination mehrerer Faktoren zurückzuführen: das dort vorherrschende Klima (s. 3.1.3) und das Vorkommen wasserstauender Sedimente der Moränenbedeckungen sowie der Mergellagen des Plattenkalks, der Kössener Formationen und der Schrambach-Formation.

Karsthohlformen und Reliefverebnungen bilden passende geomorphologische Bedingungen für die Moorbildung (Steiner, 1982). Die Moränenbedeckungen stellen Relikte der Vergletscherung dar. Gletscher formten die Alpen während des Eiszeitalters durch Erosion, Transport und Sedimentation maßgeblich (Grotzinger & Jordan, 2017). Die Moorentwicklung begann schließlich meist nach dem Ende der letzten Eiszeit vor ungefähr 12.000 Jahren (Steiner, 1982).

3.1.3. Klima

Das Vorkommen von Mooren ist an von Wasserüberschuss geprägte Standorte gebunden. Das Klima im Untersuchungsgebiet wird stark von der alpinen Lage und damit der Topografie geprägt. In den Alpen kann man durchschnittlich von einer vertikalen Temperaturabnahme von $0,56^{\circ}\text{C}$ je 100 m Höhendifferenz ausgehen (Chromov, 1940). Die höchsten Niederschläge der Alpen sind am Gebirgsrand zu verzeichnen. Dort liegt auch das Untersuchungsgebiet. Bei westlicher bis nördlicher Anströmung erhalten die Nördlichen Kalkalpen hohe Niederschläge, analog zu den Südalpen bei südlicher Anströmung (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik [ZAMG], 2015). Dieses, als Nordstau bezeichnete Phänomen, wird in der nachfolgenden Abbildung verdeutlicht:

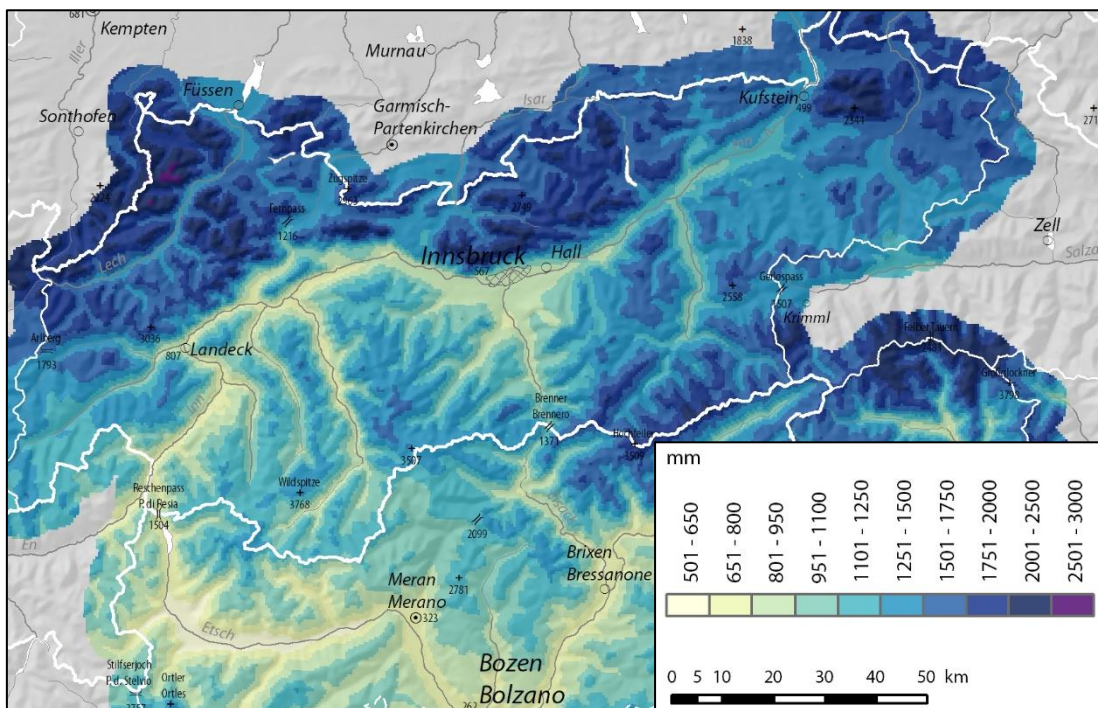


Abb. 5: Mittlere jährliche Niederschlagssummen mit einem Schwerpunkt am Alpennordrand
(Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik [ZAMG], 2015)

Für das Moorwachstum muss neben dem Niederschlag auch die Verdunstung betrachtet werden. Die Differenz der beiden Parameter wird durch die klimatische Wasserbilanz beschrieben. Diese gibt Auskunft über das Wasserangebot an einem Standort. Über die Bilanz können Aussagen zum möglichen Torfwachstum getroffen werden. Wie in Abb. 6 gezeigt, liegt im Untersuchungsgebiet eine für das Hochmoorwachstum relevante positive klimatische Wasserbilanz vor.

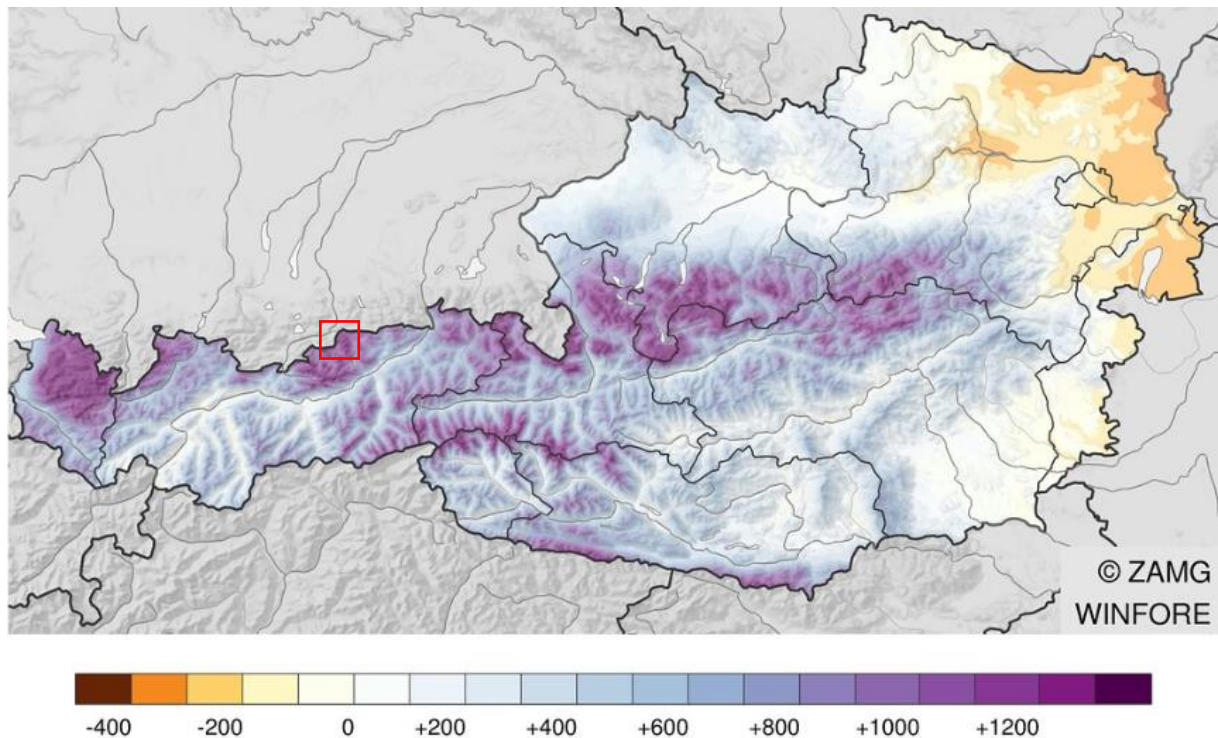


Abb. 6: Mittlere klimatische Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag und Verdunstung der Klimaperiode 1991-2020 mit roter Umgrenzung des Untersuchungsgebietes (Quelle: GeoSphere Austria, 2021)

Nach Harlfinger und Knees (1999) kann man das Untersuchungsgebiet dem Klimaraum „Nordalpiner Bereich“ zuordnen. Es sind extreme Klimabedingungen vorzufinden, die im reliefbedingten Höhegradienten begründet sind. Der Klimaraum ist durch Staueffekte und einen ozeanischen Klimaeinfluss geprägt (Harlfinger & Knees, 1999). So wird das Gebiet einerseits von dem warmen Südföhn beeinflusst, andererseits herrschen häufig starke Nordwinde durch die Rendlage (Fliri, 1962). Generell kann man von einer Niederschlagszunahme mit der Höhe ausgehen, jedoch ist diese je nach Exposition sehr variabel (Fliri, 1975). Analog zu Haselwanter (2008) wurde daher von einer Extrapolation der Daten auf die entsprechende Seehöhe der zu untersuchenden Moore abgesehen.

Zur Veranschaulichung der klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet, werden die klimatischen Messdaten aus dem naheliegendem Ort Achenkirch herangezogen. Das Klimadiagramm (s. Abb. 7) zeigt, dass durch die oft auftretende Staulage ganzjährig hohe Niederschläge zu verzeichnen sind. Die Temperaturen sind kühl, ausgeglichen und durch häufige Bewölkung geprägt (Stöhr et al., 1995). Gemäß Abbildung 7 sind die niederschlagsreichsten Monate die Sommermonate Juni, Juli und August. Die Wintermonate sind vergleichsweise niederschlagsarm.

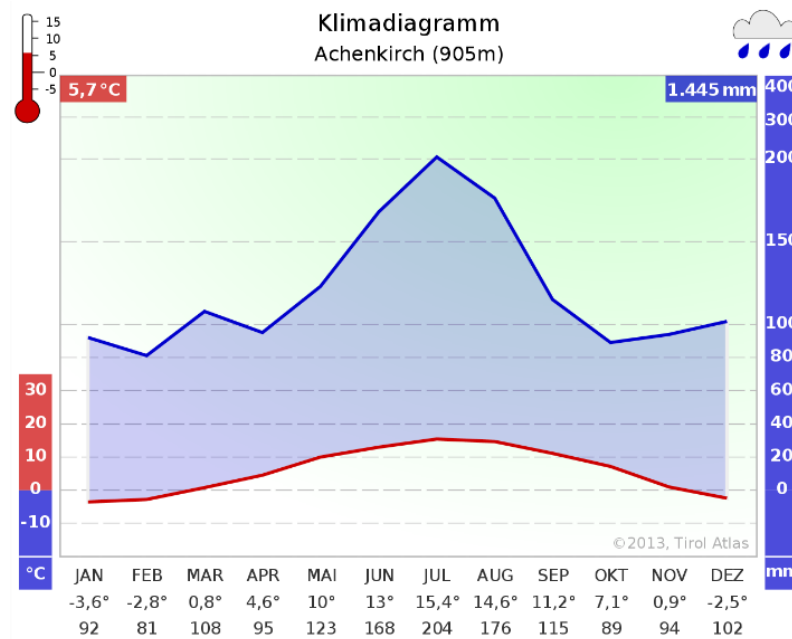


Abb. 7: Klimadiagramm Achenkirch (Quelle: Tirol Atlas, 2013)

3.1.4. Nutzungs- und Renaturierungsgeschichte

Haselwanter (2008) geht von einer ersten almwirtschaftlichen Nutzung des Untersuchungsgebietes nach dem 6. Jahrhundert n. Chr. aus. In den Alpentälern war nur wenig Weidefläche verfügbar. Sie war durch bestehende Waldflächen und Feuchtgebiete limitiert. Daher wurden schließlich höhere Alpenlagen als Weideflächen genutzt. Eine Entwässerung der Karwendelmoore kann überwiegend auf die 70er Jahre datiert werden (Sonntag, 2008). Eine Trockenlegung und teilweise Aufforstung sowie Beweidung führte zur Überprägung der natürlichen Lebensräume (Sonntag, 2008).

Eine Luftbildinterpretation der Karwendelmoore durch Haselwanter (2008) ermöglicht die zeitliche Einordnung von Meliorationsmaßnahmen. Beim Halslkopf-Moor kann von einer frühen Entwässerung durch Drainage vor dem Jahre 1952 sowie einer jahrzehntelangen Beweidung ausgegangen werden (s. Abb. 8) (Haselwanter, 2008). Luftbilder des Brettersberg-Ml-Moores deuten auf eine zunehmende Einweidung und den Ausbau eines Forstweges, unmittelbar östlich angrenzend, um 1971 hin (Haselwanter, 2008).

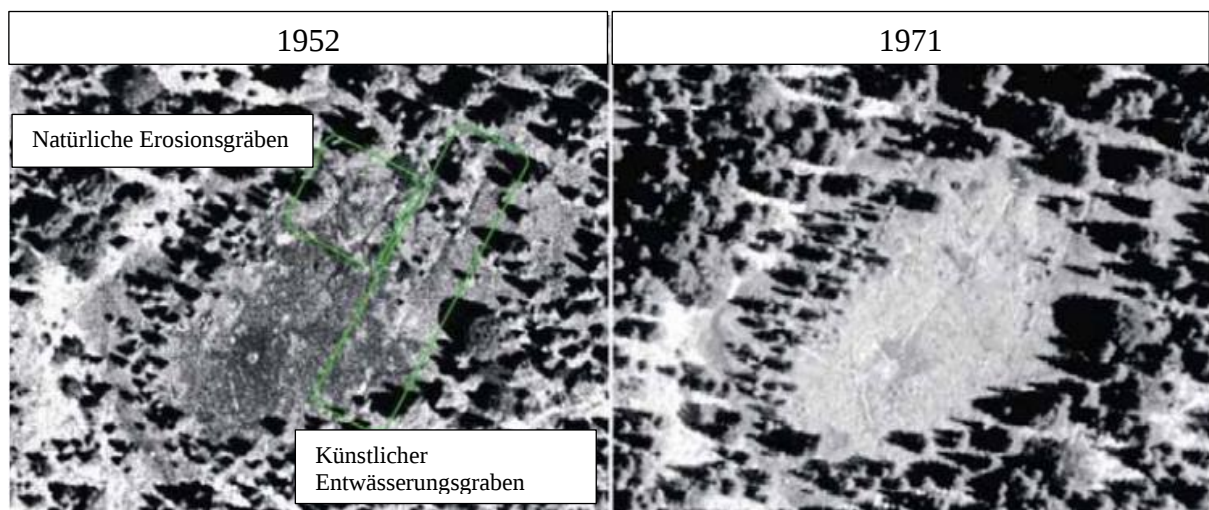


Abb. 8: Luftbild vom Halslkopf-Moor, links: 1952, rechts: 1971, mit Hervorhebung der Gräben (Quelle: in Anlehnung an Haselwanter, 2008)

Im Rahmen der Initiative „Aktiv für Moore“ wurde in Österreich im Jahr 2000 ein nationales Programm zur Rettung und Wiederherstellung von Mooren ins Leben gerufen. Die Einleitung von Maßnahmen im Naturpark Karwendel waren Teil dieses Programms. Im Jahr 2005 gelang es dem Naturpark, gemeinsam mit den ÖBf, der Abteilung Umweltschutz des Landes Tirol und der Universität Wien, Maßnahmen zur Wiederherstellung in fünf Karwendelmooren umzusetzen. Dabei arbeitete der Naturpark Karwendel gemeinsam mit dem Naturraummanagement der Bundesforste in engem Austausch mit den Weideberechtigten zusammen. In folgender Abbildung ist am Beispiel des Halslkopf-Moores die Dokumentation fertiggestellter Dämme dargestellt. (Sonntag, 2008).



Abb. 9: Fertiggestellte Dämme im Halslkopf-Moor (Quelle: G. Haselwanter)

3.2. Charakteristik der untersuchten Moorflächen

Im Folgenden werden die Untersuchungsflächen charakterisiert. Ihre Lage ist in der folgenden Übersichtskarte ersichtlich:



Abb. 10: Lage der zwei ausgewählten Untersuchungsflächen im Detailausschnitt (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

3.2.1. Brettersberg-MI-Moor

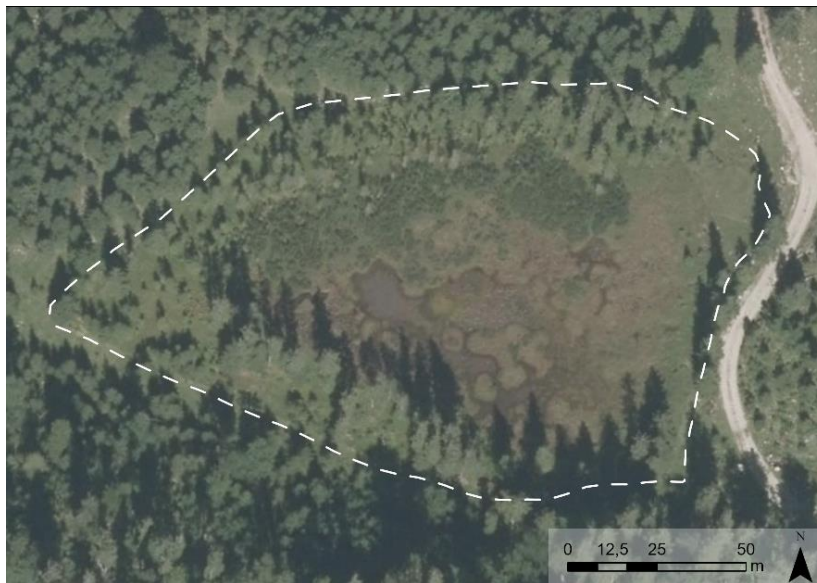


Abb. 11: Luftbild des Brettersberg-MI-Moores (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)



Abb. 12: Zentrale Schlenke (oben), Bergkiefer-HM-Gesellschaft (unten) (Quelle: Eigene Aufnahme)

Standort: 47,566881 / 11,617264

Seehöhe: 1.312 m

Flächengröße: 0,7 ha

Moortyp: Sauer-oligotrophes Regenmoor (Steiner, 1992)

Lage

Südwestlich des Halslkopfes (1406 m) in einer sich zwischen Pitzkopf (1670 m) und Halslkopf befindlichen Verebnung liegt das Brettersberg-Ml-Moor (s. Abb. 11). Innerhalb eines Moorkomplexes stellt es neben Nieder- und Zwischenmooren das einzige Hochmoor in der direkten Umgebung dar (Stöhr et al., 1995). Ungefähr 500 m Luftlinie nördlich liegt die Brettersbergalm. Zu dieser führt auch ein Forstweg, der direkt östlich an die Untersuchungsfläche angrenzt. Topographisch liegt das Moor in einer Karsthohlform (Draxler et al., 2022). Haselwanter (2008) geht von einer Entstehung als Verlandungsmoor aus.

Bestandsbeschreibung

Das Moor weist eine für Hochmoore typische aufgewölbte zentrale Fläche mit Bulten und Schlenken auf. Der Zustand ist als teilweise naturnah bis leicht kulturgeprägt einzustufen. Richtung Norden ist ein Übergang in eine Latschen-Hochmoorgesellschaft erkennbar (s. Abb. 12). Ein Torfmoos-Fichtenwald umschließt das Moor bis auf den östlichen Bereich fast vollständig, woraufhin dann eine Randlagg als Abschluss folgt. Das Randgehänge ist meist kurz und steil. Dokumentiert ist eine durchschnittliche Moormächtigkeit von 3,5 m, sowie eine maximale Moormächtigkeit von 5,5 m. (Haselwanter, 2008).

Hydrologischer Zustand vor der Renaturierung

Aus hydrologischer Sicht stellt das Brettersberg-Ml-Moor im Managementkonzept des Naturpark Karwendel das Referenz-Moor dar (Haselwanter, 2019). Bei den Untersuchungen von Haselwanter (2008) wurden Störungen, ausgehend von einer Beweidung in den Randbereichen, sowie einer Entwässerung durch Schlepperspuren (s. Abb. 13) am südlichen Moorrand nachgewiesen.

Renaturierungsmaßnahmen

Im Rahmen des Managementkonzeptes wurde das Brettersberg-Ml-Moor im Jahr 2002 eingezäunt und damit weidefrei gestellt. Um die Randbereiche des Moores auch zukünftig zu schonen, wurden außerdem Absprachen mit der Forstwirtschaft getroffen. Im Jahr 2006 erfolgte die Installierung einer Dammeinrichtung, um die oben erwähnte Drainagewirkung einer Schleppspur zu verhindern. (Haselwanter, 2008).

Hydrologische Veränderungen bis 2019 und Folgemaßnahmen

Hydrologische Untersuchungen im Zeitraum von 2008-2018 zeigten einen stabilen Zustand im Brettersberg-Ml-Moor. Die Möglichkeit der Torfakkumulation scheint gegeben. Jedoch deuteten die Pegelmessungen auf eine hydrologische Störung im Randbereich hin. Als mögliche Ursache wird auf die Beweidung im Randlagg und die entwässernde Wirkung der südlich gelegenen Karstgasse verwiesen (s. Abb. 13). Als Reaktion auf die untersuchten Beeinträchtigungen, wurde entsprechend den Empfehlungen von Haselwanter eine erweiterte Weidefreistellung im Moor, sowie die Errichtung eines zweiten Dammes südlich des bereits Vorhandenen, im Herbst 2019 erwirkt. (Haselwanter, 2019).



Abb. 13: Ehemalige Karstgasse sowie der angrenzende Damm aus dem Jahr 2019 (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.2.2. Halslkopf-Moor



Abb. 14: Luftbild des Halslkopf-Moores (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)



Abb. 15: Hochmoorweite (oben), Randgehänge mit Damm (unten) (Quelle: Eigene Aufnahme)

Standort: 47,569337 / 11,623529

Seehöhe: 1.371m

Flächengröße: 0,4 ha

Moortyp: Sauer-mesotrophes Regenmoor (Haselwanter, 2008)

Lage

Das Halslkopf-Moor liegt circa 350 m südwestlich des Halslkopfes (1406 m) in einer Karsthohlform (Draxler et al., 2022). Bei dem von Steiner (1992) im österreichischen Moorschutzkatalog kartierten Halslkopf-Moor, handelt es sich um eine andere, etwa 300 m weiter nördlich gelegene Fläche. Die Bezeichnung dieser Fläche als Halslkopf-Moor wurde hingegen von Stöhr et al. (1995) übernommen. Das Hochmoor ist leicht nach Nord-Osten geneigt und entwässert daher auch in diese Richtung. Es liegt in einer von Bergwald umgebenen Ebene (s. Abb. 14). Böhm (2011) stellte eine Muddeschicht fest, welche auf eine Entstehung aus einem Verlandungsmoor schließen lässt.

Bestandsbeschreibung

Das Halslkopf-Moor ist hochmoortypisch aufgewölbt. Dies ist am Randgehänge, welches in Abbildung 15 dargestellt ist, erkennbar. Die Fläche ist durch einen Fichten-Morrandwald umgeben. Durch die Neigung nach Nordosten folgt, zumindest im nördlichen Teil, eine Randlagg. Im westlichen Bereich der zentralen Hochmoorfläche befindet sich eine, durch Haselwanter (2008) beschriebene Hirschsuhle mit einer Ausdehnung von etwa 75 m². Die mächtigsten Torflagen (4,6 m) wurden in der Hochmoorweite, im Bereich der Hirschsuhle gemessen (Haselwanter, 2008). Daneben sind im Moor Bulte, Schlenken und viele weidebeeinflusste Bereiche ersichtlich.

Deutlich erkennbar ist die wasserstauende Wirkung randlich erbauter Dämme. Teilweise haben sich kleine, offene Wasserflächen vor den Dämmen gebildet. Diese werden zusehends von Torfmoosen zugewachsen.

Hydrologischer Zustand vor der Renaturierung

Haselwanter stuft die Hydrologie des Halslkopf-Moores als gestört und das Moor als stark kulturgeprägt und instabil ein. Beeinträchtigungen stellen historische Entwässerungsgräben, Erosionsrinnen, Moorsackungen sowie nackte und erodierte Torfbereiche dar. (Haselwanter, 2008).

Renaturierungsmaßnahmen

Das Halslkopf-Moor wurde im Jahr 2002 weidefrei gestellt. Im Jahr 2006 wurden insgesamt 15 Dämme in den Drainagegräben errichtet. (Haselwanter, 2008).

Hydrologische Veränderungen bis 2019 und Folgemaßnahmen

Durch die Dammbauten wurde ein Anstieg der Wasserstände verzeichnet. Dennoch waren diese für eine nachhaltige Moorentwicklung noch zu tief. Es wurde vermutet, dass die wasserstauende Wirkung von drei Dämmen zu gering war. Entsprechend den Empfehlungen von Haselwanter wurde darauffolgend im Oktober 2021 ein weiterer Damm im Nordosten errichtet (s. Abb. 16) und eine Verdichtung der undichten Dämme mit Sägemehl vorgenommen. (Haselwanter, 2019).



Abb. 16: Neuester Damm, Bau im Okt. '21 (Quelle: Eigene Aufnahme)

4. Methodik

Dieses Kapitel beschreibt die Schritte des hydrologischen Monitorings. Zudem wird das Vorgehen bei der Vegetationsstrukturtypenkartierung erläutert.

4.1. Hydrologisches Monitoring

Zur Erfolgskontrolle der eingeleiteten Wiedervernässungsmaßnahmen hat Haselwanter (2008) ein hydrologisches Monitoring mit Autopegeln eingeführt. Um eine Vergleichbarkeit zu den daraus resultierenden Auswertungen der Jahre 2008-2018 herzustellen, orientiert sich diese Methodik am Konzept von Haselwanter (2008).

4.1.1. Pegelrohre

Im Brettersberg-Ml-Moor und im Halskopf-Moor wurden durch Haselwanter (2008) erste Pegelrohre positioniert, um eine automatische Pegelmessreihe zu beginnen. Die Positionen der Pegelrohre wurden so festgelegt, dass eine hydrologische Evaluation des Moorzentrums und gleichzeitig das Monitoring der realisierten Maßnahmen möglich war (Haselwanter, 2008). Im Jahr 2021 wurden in beiden Hochmooren jeweils drei neue Pegelrohre durch Martina Marschnig der ÖBf installiert. Diese wurden direkt neben den alten platziert. Damit sollte ermöglicht werden, etwaige konstante Fehler der alten Datensammler herausrechnen zu können. Abbildung 17 zeigt die platzierten Rohre im Brettersberg-Ml-Moor. Die Pegelrohre im Halskopf-Moor sind in Abbildung 18 dargestellt. Bei den alten, unverwertbaren Pegelrohren lagen entweder keine Daten im Untersuchungszeitraum vor, oder der Datensammler war defekt und damit die Daten unbrauchbar. Bis auf Pegelstandort 01 und 02 im Halskopf-Moor sind somit Daten aus altem und neuen Pegelrohr am gleichen Standort verfügbar.

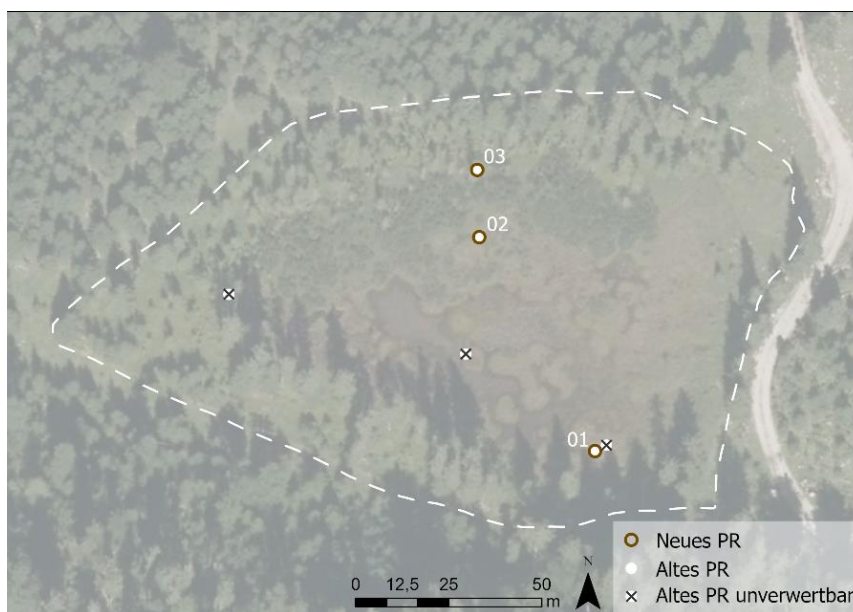


Abb. 17: Brettersberg-Ml-Moor mit Positionen der neuen und alten Pegelrohre sowie der alten Pegelrohre, bei denen die Daten unverwertbar sind (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

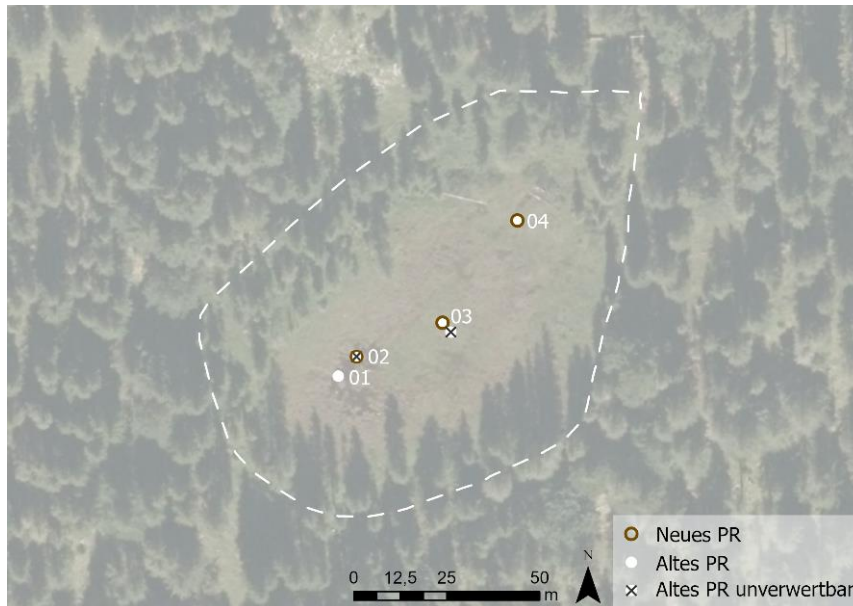


Abb. 18: Halskopf-Moor mit Positionen der neuen und alten Pegelrohre sowie der alten Pegelrohre, bei denen die Daten unverwertbar sind (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

Die Installation sowie der Messvorgang bei den neuen Pegelrohren erfolgten analog der alten, durch Haselwanter (2008) beschriebenen, Herangehensweise: Der Torf sollte im Bereich der Pegelrohre mindestens 100 cm mächtig sein. In vorgebohrte Löcher wurden die Rohre mit Endspitze versenkt. Im unteren Teil wurden Filterrohre mit horizontalen Schlitzen, und über das Moorniveau herausstehend, ein Vollrohr eingesetzt. In letzteres wurde bis 10 cm unter Grund Löcher gebohrt, um damit das Volllaufen mit Oberflächen- und Niederschlagswasser zu verhindern. Zudem wurden Filterstrümpfe zum Schutz vor Verschlammung der Öffnungen eingesetzt. Schließlich wurden die Datenlogger mit dehnungsfreien Stahlseilen und Klemmen an der Verschlusskappe befestigt. Als Referenzpunkte der Wasserstände sind die Torfmoosköpfchen, oder andernfalls die Bodenoberfläche, unter einer Streuschicht festgelegt. Um eine Kontrolle der erhobenen Daten sicherzustellen, werden neben den Datenauslesungen zugleich Handmessungen mit einer Tauchglocke in den Pegelrohren durchgeführt. (Haselwanter, 2008).

4.1.2. Messungen in den alten Pegelrohren

Als alte Messgeräte werden Peilrohr-Data-Logger der Firma Eijelkamp verwendet. Die technischen Daten dazu werden in der folgenden Tabelle spezifiziert:

Tab. 1: Übersicht über Verwendungszweck und technische Daten der alten Messinstrumente in den alten Pegelrohren
(Quelle: Eigene Darstellung, nach Van Essen Instruments, 2004)

Messgerät	Verwendung	Technische Details
Peilrohr-Datenlogger Diver	Messung Luftdruck, Wasserdruck und damit Grundwasserstände sowie Temperatur	Speicherkapazität 2 x 24.000 Messungen, Durchmesser 22 mm, Länge 125 mm, Messbereich 5 m/ -20 bis +80 °C, Genauigkeit 0,1%/ 5 m + 0,01 °C, Ablesung 0,1 cm und 0,01 °C, Temperaturkompensation
Peilrohr-Datenlogger Baro-Diver	Erhebung Luftdruck zur Kompensation von Luftdruckschwankungen	Bereich 150 cm Wassersäule (WS), Genauigkeit 0,1 %/ 500 cm WS

Der Baro-Diver dient der Kompensation der Luftdruckschwankungen, die im Anschluss an die Datenauslese erfolgen muss. Für die Diver ist eine Messperiode von zwei Stunden programmiert (Haselwanter, 2019). Als Startzeit ist dabei immer eine volle Stunde festgelegt. Die Winterzeit ist als Systemzeit eingestellt (Haselwanter, 2019). Die Tiefen der angebrachten Messsensoren, sowie die Längen der Pegelrohre, wurden von Haselwanter (2019) übernommen und sind in Tabelle 2 dargestellt. Außerdem sind in dieser nachfolgenden Tabelle auch die Pegelrohrüberstände dokumentiert. Es erfolgte eine Messung vor Ort.

Tab. 2: Messsensortiefen der alten Datensammler, bei welchen verwertbare Daten vorliegen sowie die entsprechenden Rohrüberstände (Quelle: Eigene Darstellung)

Standort	Standort Pegelrohr	Länge Pegelrohr [cm] (Haselwanter, 2019)	Tiefe Messsensor [cm] (Haselwanter, 2019)	Rohrüberstand [cm]
Brettersberg-Ml-Moor	01	322	146,3	15
	02	235	128,6	15
	03	197,5	127,5	17
Halskopf-Moor	01	250	87,6	22
	03	186	138,6	10
	04	330,2	203	16

4.1.3. Messungen in den neuen Pegelrohren

Es werden Datenlogger der Marke SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG mit folgenden technischen Details eingesetzt:

Tab. 3: Übersicht über Verwendungszweck und technische Daten der neuen Messinstrumente in den neuen Pegelrohren (Quelle: Eigene Darstellung, nach SEBA Hydrometrie, 2013)

Messgerät	Verwendung	Technische Details
Peilrohr-Datenlogger Dipper-PT	Messung Grundwasserstände und Temperatur	Speicherkapazität 4 MB Flash-Speicher (ca. 320.000 Messwerte), Durchmesser 22 mm, Länge 300 mm, Messbereich 0-2/10/20/40/100/200 m Wassersäule; -5 bis +50 °C, Genauigkeit 0,05% FS/ 0,3 °C Standard, 0,1 °C Option, Ablesung cm und °C

Die Messungen werden stündlich aufgezeichnet. Analog zu den alten Datenloggern ist die Startzeit auf eine volle Stunde festgelegt und die Winterzeit als Systemzeit eingestellt (N. Werner, Persönliche Mitteilung, 19. April 2023). Die neuen Datenlogger führen im Gegensatz zu den alten bereits eine automatische Kompensation der Luftdruckschwankungen durch. Daher benötigt es keinen separaten Datenlogger zur Messung des Luftdrucks. In Tabelle 4 sind die eingebrachten Tiefen der Messsensoren, sowie die Pegelohrlängen dargestellt. Diese wurden von N. Werner (Persönliche Mitteilung, 19. April 2023) übermittelt. Zudem sind die vor Ort gemessenen Rohrüberstände der einzelnen Pegelrohre aufgezeichnet.

Tab. 4: Messsensortiefen der neuen Datensammler, bei welchen verwertbare Daten vorliegen sowie die entsprechenden Rohrüberstände (Quelle: Eigene Darstellung)

Standort	Standort Pegelrohr	Länge Pegelrohr [cm] (N. Werner, Persönliche Mitteilung, 19. April 2023)	Tiefe Messsensor [cm] (N. Werner, Persönliche Mitteilung, 19. April 2023)	Rohr-überstand [cm]
Brettersberg-Ml-Moor	01	200	190	58
	02	160	130	55
	03	160	130	62
Halskopf-Moor	02	160	130	52
	03	160	130	53
	04	160	130	52

4.1.4. Vorbereitende Arbeiten

In diesem Unterkapitel wird das Vorgehen bei der Datenaufbereitung erläutert. Aufgrund der Verwendung von Messgeräten von zwei verschiedenen Produkthanbietern, unterscheiden sich die Schritte bei den alten und neuen Datensammlern.

Daten der alten Datensammler

Die Rohdaten der alten Datensammler sind als DAT-Dateien, bis zum letzten Auslesedatum am 14.11.2022, gespeichert. Diese Daten wurden mit dem Programm „Diver-Office“ von Van Essen Instruments (2022) geöffnet und luftdruckkompensiert. Die Luftdruckkompensation erfolgte im Programm unter Angabe des zugehörigen Barodivers mit der Variante „Water level with respect to top of casing“. Die Position des Divers wurde durch die Angabe der Kabellänge definiert. Die kompensierten Daten wurden anschließend in CSV-Dateien exportiert. Sie stellen den Abstich, also den Abstand von der Rohroberkante zur Wasseroberfläche, dar. Um den Wasserstand unter Flur zu erhalten, wurde von den Werten der zugehörige Pegelrohrüberstand (s. Tab. 2) abgezogen.

Daten der neuen Datensammler

Daten der neuen Pegel liegen vom 04.10.2021 bis zum 14.11.2022 vor. Die Daten wurden von den ÖBf ausgelesen. Sie wurden zunächst auf ihre Richtigkeit überprüft. Bei den vorliegenden Werten handelt es sich um die aufgenommenen Parameter Temperatur und Batteriespannung. Um Zugang zu den Wasserstandsdaten zu erhalten, wurden die bei der Auslesung erstellten Originaldateien (Typ: BIN-Datei) umgewandelt. Dies erfolgte durch die von der Firma SEBA erhaltene Software „SEBAFileConverter“ von SEBA Information Service GmbH (2006). Die Rohdaten wurden damit in auslesbare Datensätze (Format: Excel (*.xls) und ASCII (*.txt)) umgewandelt.

Die Messeinstellungen der Datensammler der Firma SEBA wurden seitens den ÖBf in dem Programm „SEBAConfig“ (SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG, 2022) festgelegt. Diese Einstellungen sind jedoch weder dokumentiert noch einsehbar. Somit war nicht klar, welche Werte die Wasserstandsdaten repräsentierten. Eine Validierung durch einen Vergleich mit den Ganglinien der alten Pegelrohre war nicht möglich. Bei der ersten Begehung wurde eine mögliche Verstopfung der Rohre festgestellt und somit unplausible Messwerte vermutet. Die Daten wurden daraufhin in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2021) analysiert. Damit sollte der Bezugspunkt der Daten ermittelt werden. Unter Angabe der gemessenen Rohrohrüberstände und der dokumentierten Sensortiefen (s. Tab. 4) wurden zwei Annahmen simuliert: Erstens, die Betrachtung der Daten als dargestellte Wasserstände über dem Messdatensammler (Annahme 1). Zweitens, die Variante, dass die Daten einen Abstich von der Rohroberkante zum Wasserstand repräsentieren (Annahme 2).

In Abbildung 19 sind die aus den jeweiligen Annahmen resultierenden Wasserganglinien eines beispielhaften Pegels, sowie der zugehörige Berechnungsschritt ersichtlich. Die Graphen machen deutlich, dass die Spiegelung des Graphen an der x-Achse durch Annahme 1 einen nachvollziehbaren Kurvenverlauf ergibt. Bei der Ortsbegehung am 27.04.2022 wurden manuelle Messungen im neuen Pegelrohr durchgeführt, welche einen Wasserstand von -9 cm aufzeigten. Da dieser Wert mit den Daten der Annahme 1 übereinstimmt, bestärkte es die Aussagekraft dieser Variante.

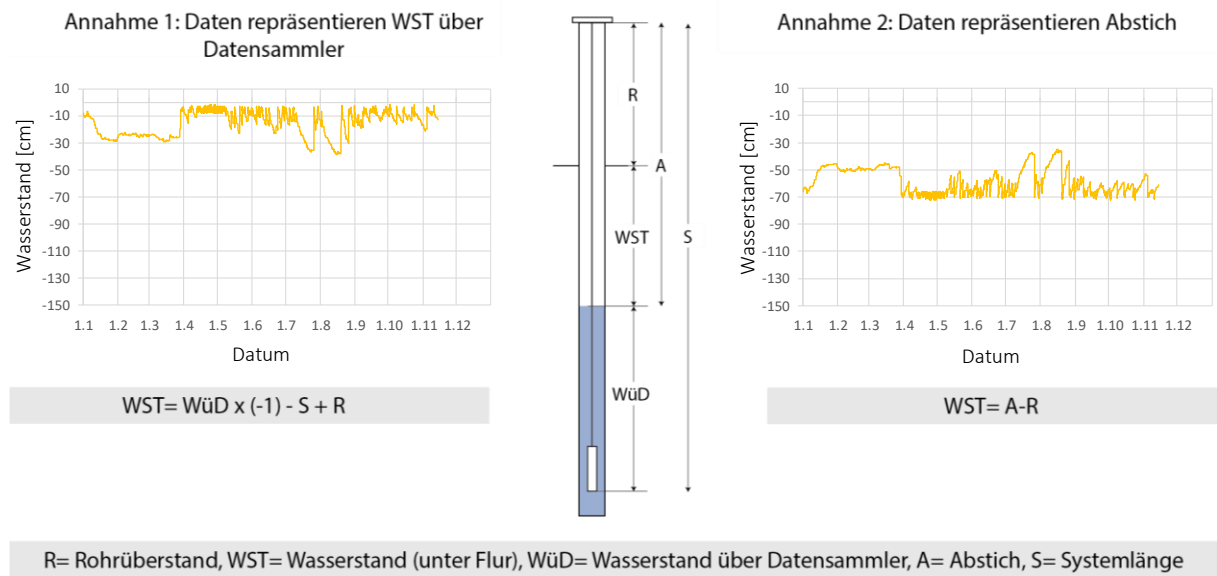


Abb. 19: Resultierende Wasserganglinien aus der Simulation zweier Bezugspunkt-Annahmen unter Angabe der Berechnungsschritte (Quelle: Eigene Darstellung)

Manuelle Messungen wurden in Feldarbeit in allen alten, sowie neuen Pegelrohren erhoben. Daraufhin wurden die beiden Annahmen für jeden Pegelstandort getestet und die resultierenden Werte mit der händischen Messung verglichen. Als Resultat wird die Annahme 1 als Grundlage für die weitere Arbeit verwendet.

4.1.5. Analyse der Daten

In dieser Arbeit werden die Wasserganglinien der Pegel der alten und neuen Messdatensammler vergleichend dargestellt. Daneben erfolgt eine Analyse klimatischer Daten. Diese wurden von der Messstation Achenkirch Campingplatz über GeoSphere Austria (2023) bezogen. Grundlage für die Analyse sind Monatslufttemperatur sowie Monatsniederschläge der Jahre 2019-2022. Die klimatischen Daten werden zu den hydrologischen Daten in Bezug gesetzt.

Des Weiteren werden zur besseren Interpretierbarkeit der Wasserstandsmessungen auch Dauerlinien dargestellt. Deren Auswertung wurde auf die Vegetationsperiode (15.05.-15.10. jeden Jahres) beschränkt (Haselwanter, 2019). Hiermit können die für die Vegetationsentwicklung relevanten Unterschiede besser herausgearbeitet werden.

Dauerlinien werden als Funktion der Summenhäufigkeit der Tage berechnet, an denen der Grundwasserstand einen definierten Wert überschritten hat. Die Punkte auf der Abszisse geben an, an wie vielen Tagen ein zugehöriger Wert auf der Ordinate erreicht wird. Grosvernier und Staubli (2009) unterscheiden konvexe, konkave und schräge Dauerlinien (s. Abb. 20). Die konvexe Form zeigt eine Kontinuität von hohen Grundwasserständen. Sie spiegelt den Zielzustand von Hochmooren wider. Die konkave Kurve hingegen ist tendenziell eine Abbildung niedriger Wasserstände und Störungen. Der schräge Verlauf stellt Änderungen, und somit keine Kontinuität, eines Wasserspiegels dar. (Grosvernier & Staubli, 2009).

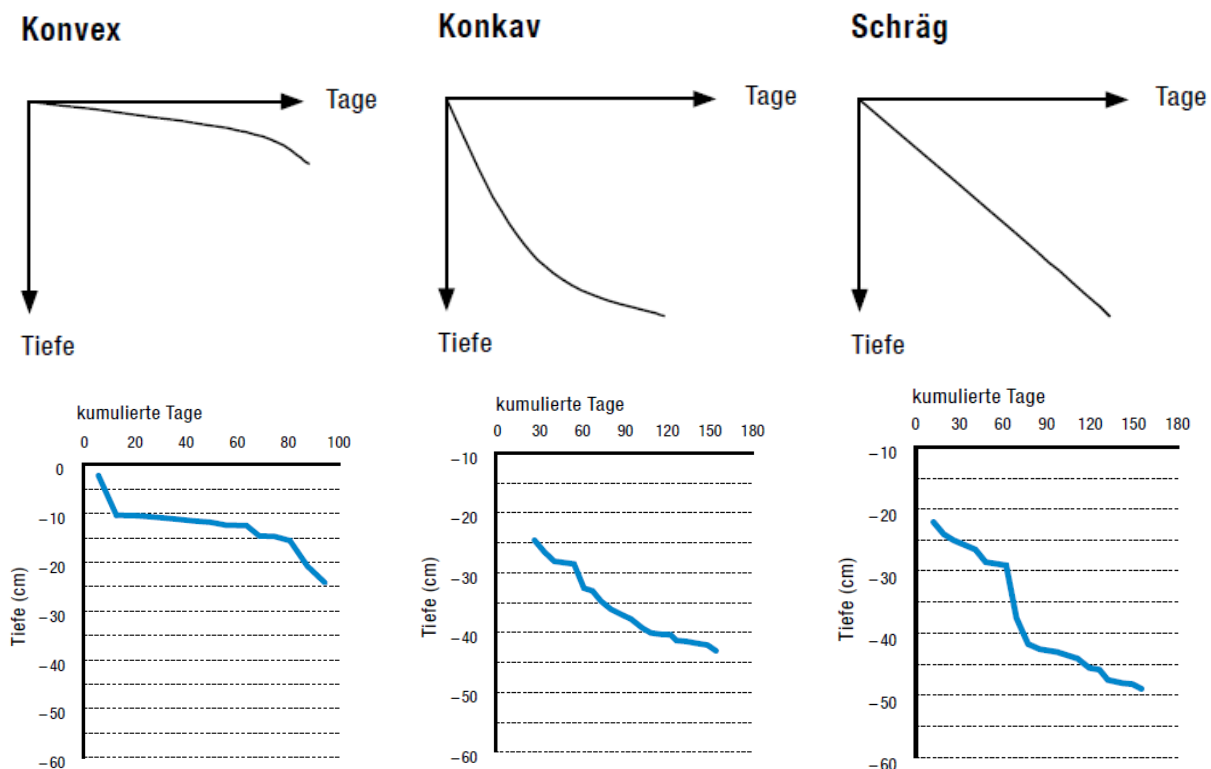


Abb. 20: Typische Dauerlinien des Grundwasserspiegels (Quelle: in Anlehnung an Grosvernier & Staubli, 2009)

Mit Hilfe von Excel (Microsoft Corporation, 2021) wurden zudem Minimum, Maximum und Mittelwert der auf die Vegetationsperiode beschränkten Dauerlinien berechnet. Außerdem wurden die Standardabweichungen der Mittelwerte ermittelt. Damit kann die durchschnittliche Abweichung vom Jahresmittel dargestellt werden. Im Zeitraum der Vegetationsperiode kann somit der Tiefstwasserstand (Maximum), der Höchstwasserstand (Minimum) sowie der mittlere Wasserstand inklusive durchschnittlicher Schwankung abgebildet werden.

4.2. Vegetationsstrukturtypenkartierung

Die Vegetation steht in enger Beziehung mit dem Wasserstand. In dieser Arbeit wird sie daher als Indikator für den hydrologischen Zustand genutzt. Damit soll ein Bezug zu den, in den Pegelrohren gemessenen, Wasserständen hergestellt werden.

Im Rahmen der Arbeit erfolgte eine flächendeckende Vegetationsstrukturtypenaufnahme in den Untersuchungsflächen. Diese wurde auf Grundlage einer durch Drösler und Kraut (2023) entwickelten Tabelle der „Moor-Vegetationsstrukturtypen von Bayern und deren Wasserstände im Jahresmittel“ durchgeführt. Die Tabelle ist zum Zeitpunkt der Erstellung der Bachelorarbeit noch nicht finalisiert. Daher entstammen die Wasserstände, der in den Untersuchungsflächen vorkommenden Strukturtypen, einem Auszug von M. Kraut (Persönliche Mitteilung, 15. Juni 2023).

Die Strukturtypen sind für Bayern ausgelegt. Da die untersuchten Moorflächen nahe der bayerischen Grenze liegen, finden diese auch hier noch Anwendung. Die Zuordnung der Vegetationsstrukturtypen erfolgte zunächst über Luftbilder. Im Juni wurden dann vor Ort dominierende und relevante Pflanzenarten sowie Strukturen kartiert. Es erfolgte keine Vegetationsaufnahme. Die Typenzuordnung basiert auf den Beschreibungen der Idealausprägungen der Vegetationsstrukturtypen (s. Anhang C).

Für die Strukturtypen wurde eine Mindestgröße von 100 m², also 10 mal 10 m, festgelegt. Die Festlegung dieses Wertes erfolgte in Orientierung an der, in der Kartieranleitung der Biotopkartierung Bayern (LfU, 2022) angegebenen, Mindest Erfassungsgröße. Der Wert wurde wegen der Kleinflächigkeit von Mooren, insbesondere von Gebirgsregenmooren, angenommen.

5. Ergebnisse

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse dargestellt. Es werden Auswertungen der klimatischen Daten und der Pegeldata gezeigt. Zusätzlich werden die Resultate der Vegetationsstrukturtypenkartierung präsentiert.

5.1. Klimatische Daten

Klimatische Daten für das Untersuchungsgebiet wurden von der Messstation Achenkirch Campingplatz bezogen (931 m ü. NN). Diese Station der GeoSphere Austria, vormals Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), liegt ungefähr 10 km Luftlinie vom Untersuchungsgebiet entfernt. Durch diese Entfernung, sowie durch einen höhenbedingten Unterschied von ca. 400 m muss mit einer Diskrepanz zu den vor Ort tatsächlichen Bedingungen ausgegangen werden. Ein Trend ist dennoch abbildbar. Mit der Verwendung dieser Daten kann eine Vergleichbarkeit zur Datenauswertung der Vorjahre hergestellt werden.

Niederschlag

Betrachtet wird zunächst der Jahresverlauf des Niederschlages. Tabelle 5 macht deutlich, dass der Niederschlag in den letzten Jahren im Laufe des Frühjahrs ansteigt und hohe Werte zwischen Mai und August aufweist. Juli und August sind die im Durchschnitt niederschlagsreichsten Monate. Im September bis Dezember gehen die Niederschläge deutlich zurück, wobei im Januar und Februar häufig ein sekundäres Maximum erkennbar ist. Der Niederschlag fällt hier dann meist in der Form von Schnee.

Tab. 5: Monatsniederschlagssummen der Jahre 2019-2022 sowie im Mittel der Jahre 2008-2018
(Quelle: Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023)

	Niederschlagssumme [mm]				
Monat	Mittel 2008-2018	2019	2020	2021	2022
1	122	251	44	100	60
2	64	59	178	26	108
3	89	120	76	111	7
4	81	67	45	74	75
5	162	239	84	136	144
6	188	38	211	158	146
7	197	174	173	233	135
8	193	180	203	236	101
9	126	103	143	102	141
10	106	131	123	54	139
11	61	104	23	131	85
12	102	95	77	69	58
Jahressumme	1491	1561	1380	1430	1199

In Abbildung 21 werden die Niederschlagssummen der Betrachtungsjahre, sowie das Jahresmittel des Niederschlages vom vorhergehenden Jahrzehnt dargestellt. Der Graph zeigt, dass nur im Jahr 2019 (Niederschlagssumme 1561 mm) höhere Niederschläge als beim Mittel von 2008-2018 (Niederschlagssumme 1491 mm) zu erkennen sind. Im Jahr 2022 fallen lediglich 1199 mm Niederschlag und somit weniger als in den Vorjahren. In der Abbildung wird zudem der Niederschlag in der Vegetationsperiode, zwischen Mai und Oktober betrachtet. Auch in der Vegetationsperiode ist im Jahr 2022 am wenigsten Niederschlag zu verzeichnen. Im regenreichen Jahr 2019 fiel nur etwas mehr als die Hälfte des Niederschlags während der Vegetationsperiode.

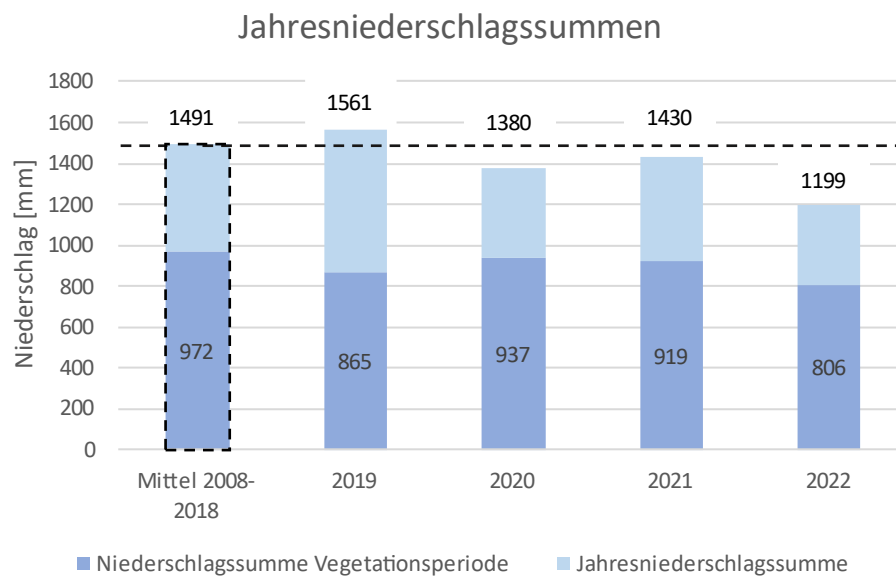


Abb. 21: Jahressumme des Niederschlages von 2019-2022 sowie als Mittel von 2008-2018
(Quelle: Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023)

Nachfolgende Abbildung stellt eine Auswertung der Trockenperioden der Untersuchungsjahre dar. Es wird die Anzahl und Dauer regenfreier Tage betrachtet. Die Abbildung zeigt, dass die längste Trockenperiode im Jahr 2022 mit 16 Tage zu verzeichnen ist. Die Dauer der durchschnittlichen Trockenperiode, sowie deren mittlere Abweichung ist in den Jahren 2020 und 2022 am höchsten. Sie liegt im Mittel bei etwa fünf Tagen.

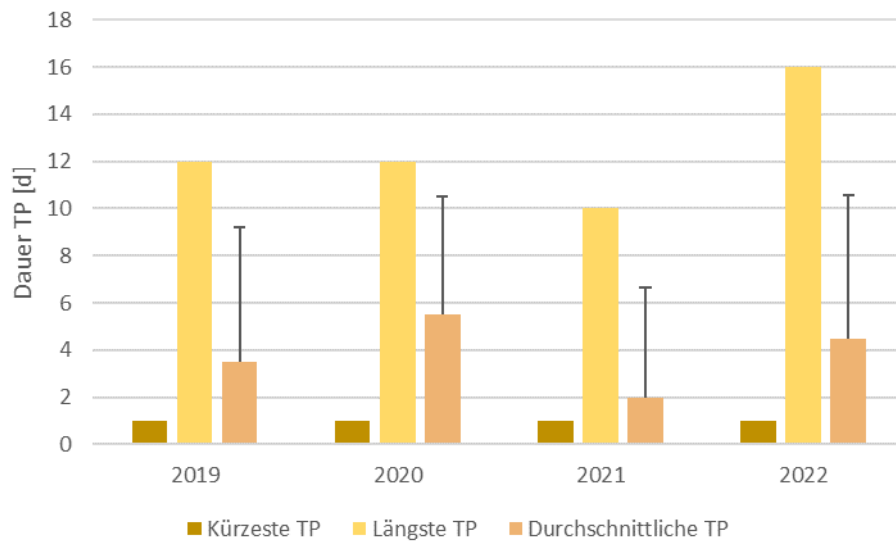


Abb. 22: Vergleich der Dauer der kürzesten, längsten sowie der durchschnittlichen Trockenperioden (TP) mit Angabe der Standardabweichung der Jahre 2019-2022 (Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023)

Temperatur

Die Jahresdurchschnittstemperaturen der Untersuchungsjahre sind in Abbildung 23 im Vergleich zum Mittel des vorausgehenden Jahrzehnts dargestellt. Lediglich das Jahr 2021 lag mit 6,1°C etwas unter dem langjährigen Mittel von 6,4°C. Das Jahr 2022 war mit 7,5°C Jahresdurchschnittstemperatur das wärmste, knapp gefolgt vom Jahr 2019 und 2020.

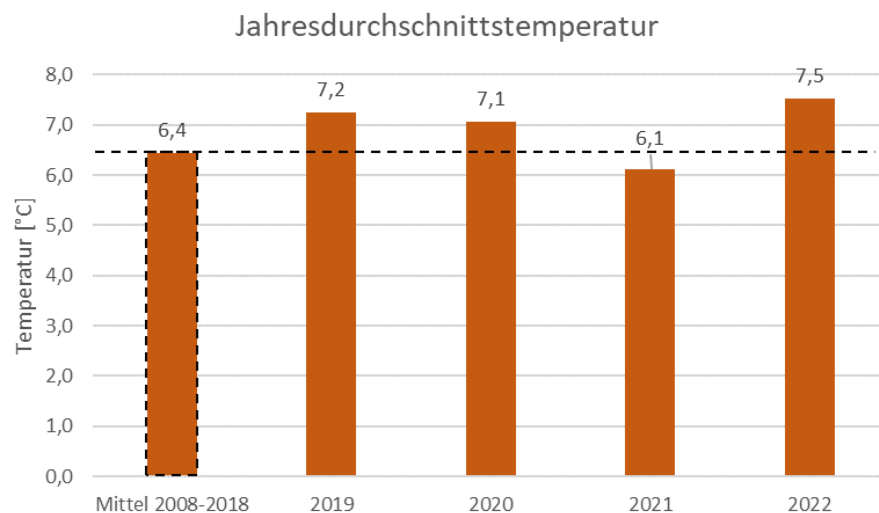


Abb. 23: Jahresdurchschnittstemperatur der Jahre 2019-2022 sowie als Mittel von 2008-2018 (Quelle: Eigene Darstellung, nach GeoSphere Austria, 2023)

Klimatische Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz wird als Differenz des Niederschlages und der Verdunstung berechnet. Haselwanter (2008) geht im Untersuchungsgebiet von einer Verdunstung von circa 40% des Jahresniederschlages während der Vegetationsperiode aus. Tabelle 6 zeigt die daraus berechnete mittlere klimatische Wasserbilanz der Untersuchungsjahre 2019-2022. Das Ergebnis deutet auf einen Wasserüberschuss von circa 529 mm am Standort hin.

Tab. 6: Mittlerer Jahresniederschlag der Vegetationsperiode, Verdunstung und resultierende mittlere klimatische Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag und Verdunstung (Quelle: Eigene Darstellung)

Mittlerer Jahresniederschlag der Vegetationsperiode (2019-2022) [mm]	Verdunstung [%] (Haselwanter, 2008)	Verdunstung [mm]	Mittlere klimatische Wasserbilanz [mm]
881,75	40	352,7	529,05

5.2. Wasserstandmessungen Brettersberg-MI-Moor

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen am Brettersberg-MI-Moor dargestellt. Abbildung 24 zeigt die Standorte der Pegel eins bis drei, die zur Auswertung herangezogen wurden.



Abb. 24: Pegelstandorte im Brettersberg-MI-Moor mit Differenzierung der alten und neuen Pegelrohre, kurzer Lagebeschreibung sowie Positionen eingesetzter Dämme zur Wiedervernässung (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

5.2.1. Wasserganglinien der Pegel

Pegel 01

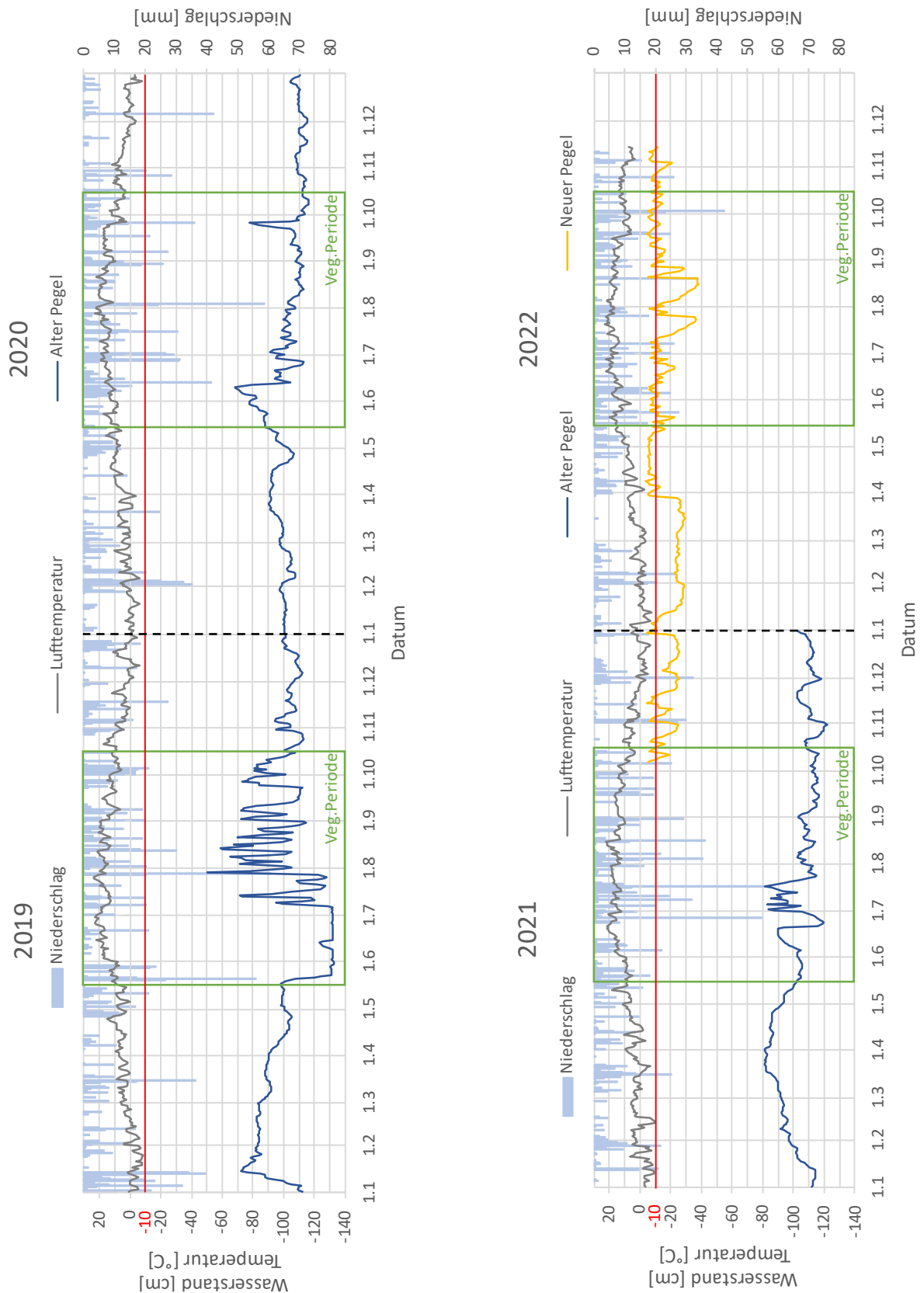


Abb. 25: Wasserganglinien am Pegelstandort 01 des neuen und des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Wasserganglinien am Pegelstandort 01 (s. Abb. 25) zeigen beim Vergleich von altem und neuem Pegelrohr einen Wasserstandsunterschied von ca. einem Meter auf. Im alten Pegelrohr wurde am 07.05.2023 mittels Tauchglocke ein Wasserstand von 110 cm unter Flur gemessen (s. Anhang B). Direkt angrenzend, im neuen Pegelrohr, wurde hingegen ein Wasserstand von 9 cm unter Flur verzeichnet. Bei den Rohren ist nur ein geringer Abstand von ca. 30 cm sowie dieselbe standörtliche Situation vorliegend (s. Abb. 24). Bei der Ortsbegehung war ein hoher Wasserstand im Bereich der Pegelrohre fühlbar. Die Handmessung am 07.05.2023 im neuen Pegelrohr lag im selben Höhenbereich wie die Ergebnisse der automatischen Messungen am selben Datum des Vorjahres. Die Untersuchung der alten Pegelrohre zeigte daraufhin eine Verstopfung der Schlitze (s. Abb. 26).



Abb. 26: Herausnahme und Untersuchung eines alten Pegelrohres, erstes Bild: gesamtes Pegelrohr, zweites Bild: geschlitztes Pegelrohr nach Abziehen des Filterstrumpfes, drittes Bild: Pegelrohr von Innen (Quelle: Eigene Aufnahme)

Die Wasserganglinie des alten Pegels unterliegt starken Schwankungen, vor allem während der Vegetationsperiode. Der Wasserstand befindet sich bei circa einem Meter unter Flur. Für die Daten des neuen Pegelrohres liegt seit Installation im Oktober 2021 eine Zeitreihe von einem Jahr vor. Die Wasserstände pendeln entlang des Optimums von 10 cm unter Flur. Dabei sind kurzzeitig starke Senkungen des Wasserstandes im Juli und August 2022 zu verzeichnen. Hier werden fast 40 cm unter Flur erreicht. Gleichzeitig sind während dieser Spitzen auch geringe Niederschläge ablesbar. Auffällig ist außerdem ein niedriger Wasserstand in den Wintermonaten Dezember 2021 bis März 2022. Der Wasserstand beträgt hier fast konstant 30 cm unter Flur.

Pegel 02

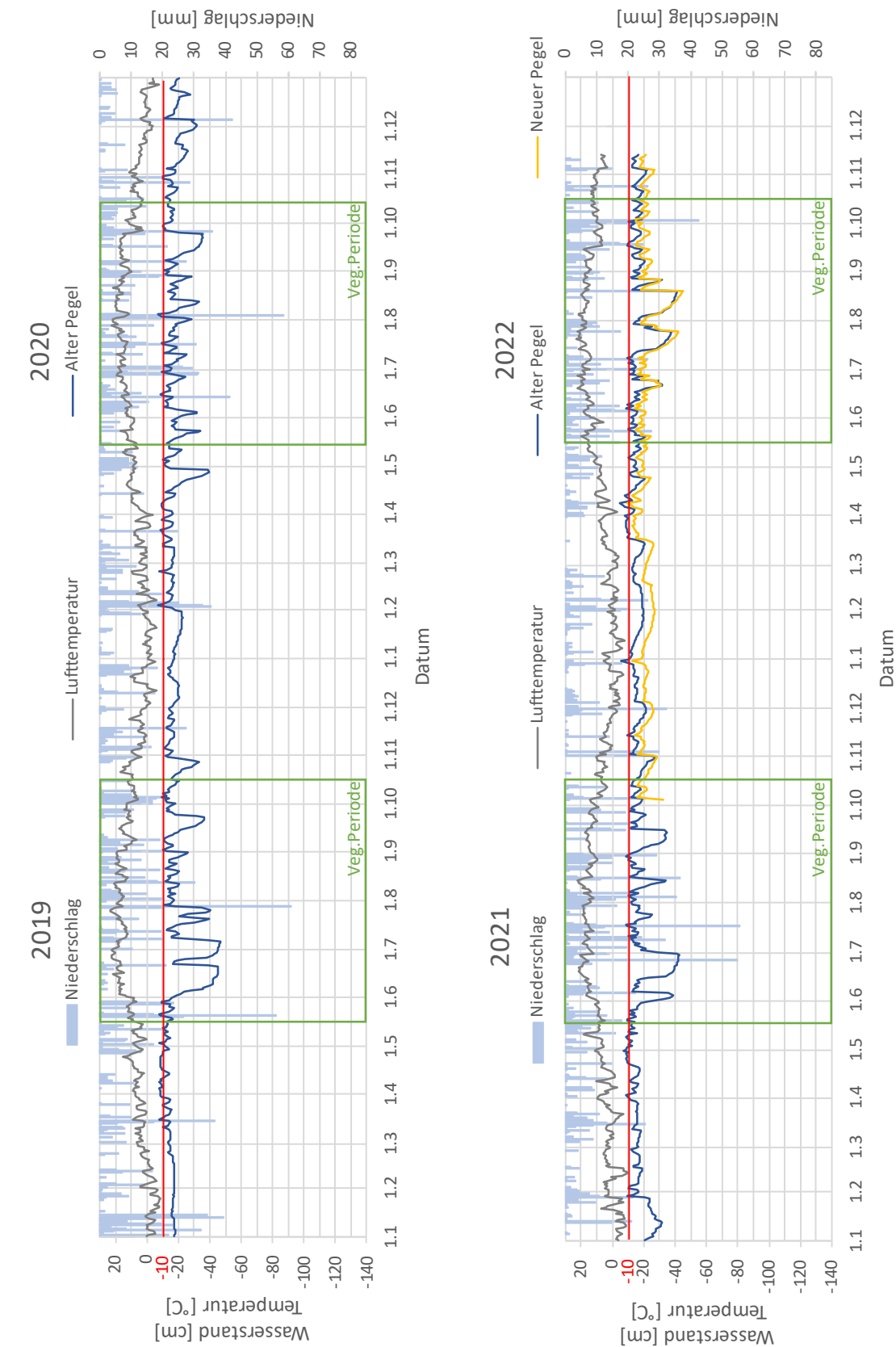


Abb. 27: Wasserganglinien am Pegelstandort 02 des neuen und des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Wasserganglinien am Pegelstandort 02 sind in Abbildung 27 dargestellt. Das Pegelrohr befindet sich im Bereich des Latschen-Hochmoores. Manuelle Messungen im alten und neuen Pegelrohr am 07.05.2023 zeigen ein den Ganglinien vergleichbares Wasserstandsniveau (s. Anhang B).

Vergleicht man die Zeiträume der Wasserganglinien, in denen Daten beider Rohre vorhanden sind, so fällt ein kongruenter Verlauf der Kurven auf. Die Wasserstände des neuen Pegels liegen jedoch wenige Zentimeter tiefer als die des alten Pegels. Das zeigen auch die Handmessungen. Die Wasserganglinien verlaufen jedes Jahr ähnlich. Der optimale Wasserstand von 10 cm unter Flur wird bei Niederschlagsreichtum erreicht. Kurzzeitige Spitzen gehen auch über dieses Level hinaus. Jedoch erreicht das Wasser nie die Geländeoberkante. Immer wieder gibt es Schwankungen in untere Wasserstandsbereiche. Diese führen vermehrt in den Sommermonaten zu kurzzeitig tiefen Wasserständen. Hierbei werden Minima von bis zu 40 cm unter Flur erreicht.

Pegel 03

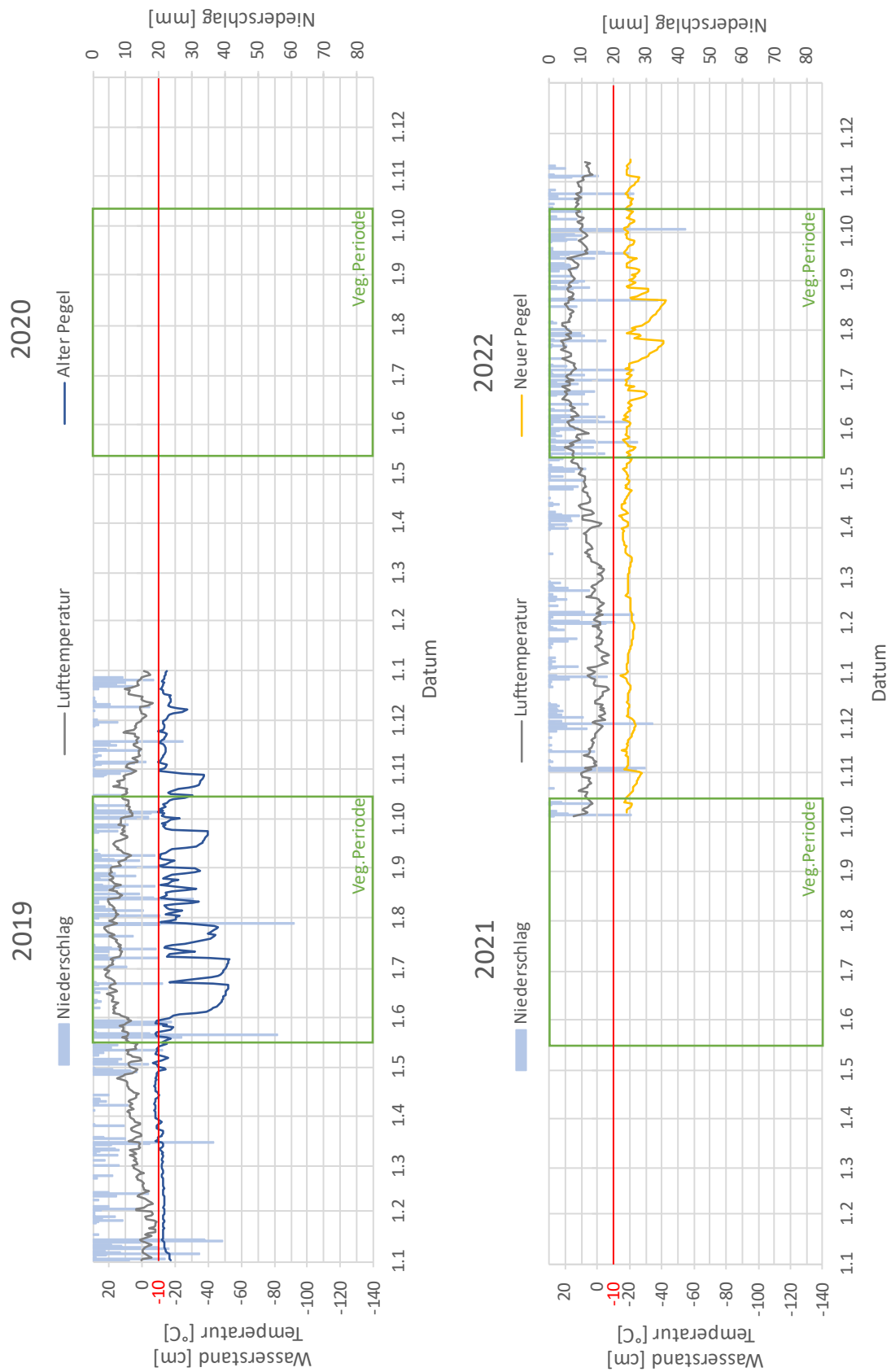


Abb. 28: Wasserganglinien am Pegelstandort 03 des neuen und des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)

Der Pegelstandort 03 befindet sich am nördlichen Moorrand. Die zugehörigen Wasserganglinien sind in Abbildung 28 dargestellt. Vom alten Pegelrohr sind nur Daten des Jahres 2019 vorhanden. Das Pegelrohr wurde gebrochen vorgefunden (s. Anhang B).

Die Wasserstände liegen im neuen Pegelrohr etwas niedriger als im Alten. Zumindest, wenn man die Daten der unterschiedlichen Jahre miteinander vergleicht. Das Wasserlevel Ende 2021 und im Jahr 2022 liegt im neuen Pegelrohr etwa bei 20 cm unter Flur. Es ist niederschlagsbedingten Schwankungen ausgesetzt. Bis auf starke Absenkungen des Wasserstandes im Juli und August auf ca. 40 cm unter Flur, sind keine drastischen Abweichungen ablesbar. Schwankungen im alten Pegelrohr hingegen sind stärker ausgeprägt.

Pegelstandorte 01, 02 und 03 im Vergleich

Nachfolgende Abbildung stellt die Wasserganglinien der drei neuen Pegel des Jahres 2022 vergleichend dar:

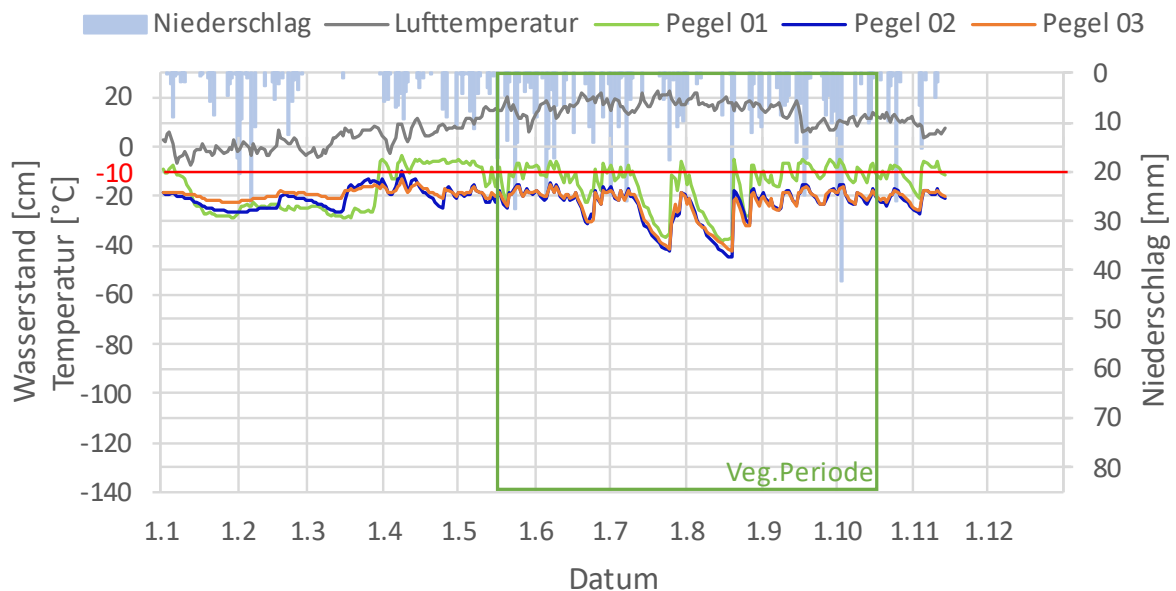


Abb. 29: Die Wasserganglinien des Jahres 2022 der neuen Pegel der drei Pegelstandorte im Brettersberg-MI-Moor im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegel 01 weist im überwiegenden Teil des Jahres den höchsten Wasserstand auf. Lediglich in den Wintermonaten Januar bis März zeigt dieser einen vergleichbaren und sogar teilweise geringeren Wasserstand als die Pegel 02 und 03. Der Verlauf der Wasserganglinien der Pegel 02 und 03 ist nahezu identisch. Sie befinden sich beide im nördlichen Moorbereich. Nur in den Wintermonaten weist Pegel 03 einen etwas höheren Wasserstand als Pegel 02 auf.

Der Verlauf aller drei Wasserganglinien ist sehr ähnlich. Die Schwankungen sind gleichermaßen zu beobachten. Die Wasserstände aller Pegel sinken in den Monaten Juli und August stark ab. Zu dieser Zeit ist im Graphen auch ein Mangel an Niederschlag sowie hohe Temperaturen ablesbar.

5.2.2. Dauerlinien und weitere Kenngrößen

Die Dauerlinien und Kenngrößen beziehen sich auf die Vegetationsperiode (15.05.-15.10). Es werden nur die Auswertungen der Jahre dargestellt, in denen vollständige Datenreihen während der Vegetationsperiode eines Jahres vorhanden sind.

Pegel 01

Abbildung 30 zeigt die Dauerlinien des alten und des neuen Pegels 01 im Vergleich. Die Dauerlinien des alten Pegels der Jahre 2019-2022 verlaufen konkav. Der Verlauf der Dauerlinie des neuen Pegels im Jahr 2022 ist hingegen konvex. Man erkennt, dass sich das Wasserlevel des neuen Pegels circa während der Hälfte der Vegetationsperiode im Bereich des Wasserstandsoptimums befindet.

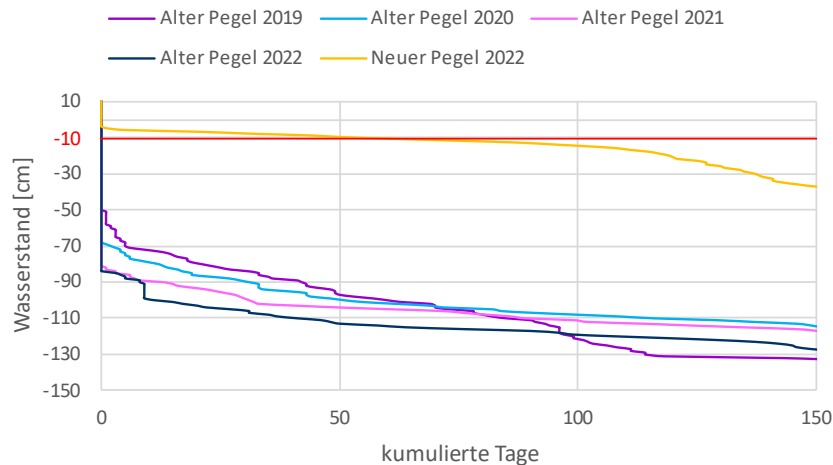


Abb. 30: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 01 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-Ml-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Folgende Abbildung 31 untersucht Minima, Maxima und Jahresmittel von Pegel 01. Die Auswertung zeigt die Abweichung des neuen Pegels im Vergleich zum alten Pegel. Die Jahresmittel der Wasserstände des alten Pegels liegen tiefer als 1 m. Der mittlere Jahreswasserstand beim neuen Pegel ist bei ca. 15 cm unter Flur einzuordnen. Das Maximum des neuen Pegels liegt knapp unter der Geländeoberfläche. Ein Minimum von fast 40 cm unter Flur ist ablesbar. Die mittlere Schwankung um das Jahresmittel beträgt ca. 9 cm.

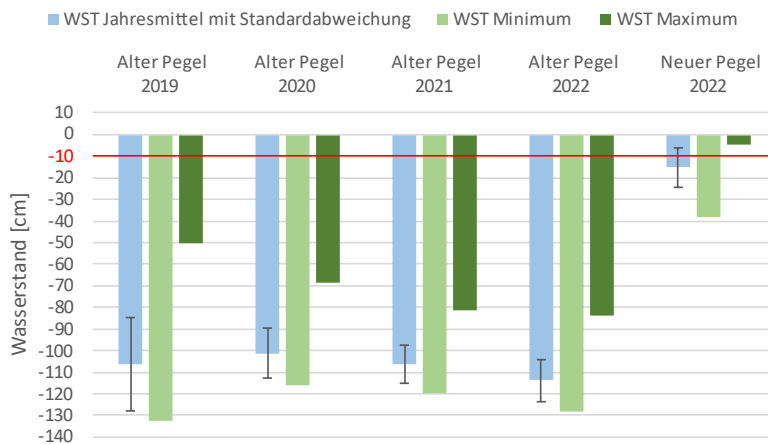


Abb. 31: Jahresmittel mit Standardabweichung, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 01 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegel 02:

Die Dauerlinien am Pegelstandort 02 zeigen in den Untersuchungsjahren einen sehr ähnlichen Verlauf auf (s. Abb. 32). Sie verlaufen alle konvex. Die Kurve des neuen Pegels zeigt im Großteil des Jahres etwas niedrigere Wasserstände als die Kurven der alten Pegel auf.

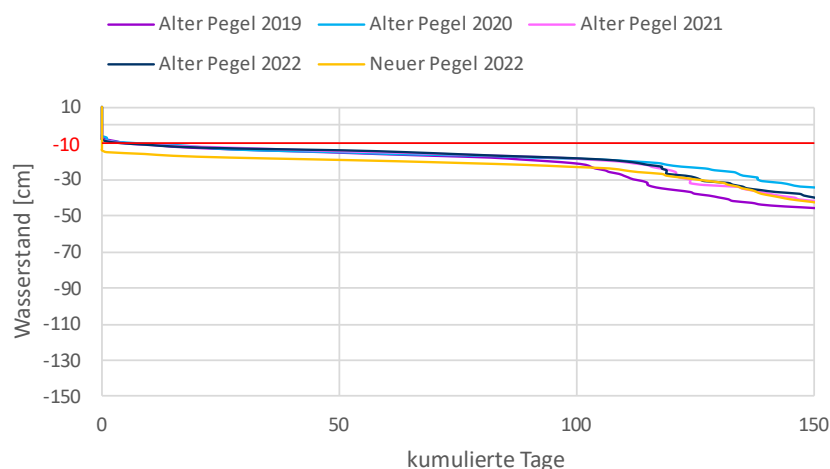


Abb. 32: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 02 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Nachfolgende Abbildung 33 untersucht die Kenngrößen am zweiten Pegelstandort. Das Jahresmittel beim alten Pegel liegt in den untersuchten Jahren kontinuierlich bei etwa 20 cm unter Flur. Im Jahr 2019 ist der Wasserstand am tiefsten und die mittlere Abweichung vom Mittelwert ist am größten. Das Jahr 2020 weist den höchsten mittleren Jahreswasserstand und die geringsten Schwankungen auf. Beim neuen Pegel liegt der mittlere Jahreswasserstand wenige Zentimeter tiefer als in den Vorjahren beim alten Pegel. Das Wasserstandsminimum liegt im Jahr 2022 beim neuen Pegel bei etwa 45 cm unter Flur. Das Maximum erreicht hier jedoch nicht die markierten 10 cm unter Flur. Die Schwankungen sind gering.

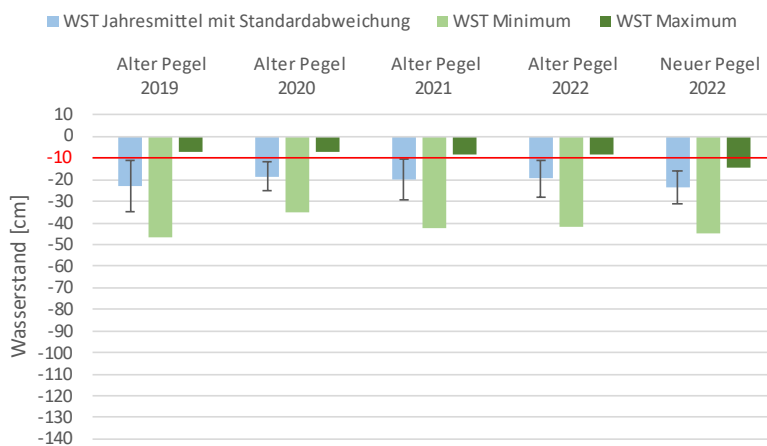


Abb. 33: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 02 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegel 03:

Die beiden in Abbildung 34 dargestellten Dauerlinien von Pegel 03 weisen einen konvexen Verlauf auf. Beim neuen Pegel befindet sich der Wasserstand an ca. 100 Tagen auf ca. 20 cm unter Flur. Die Dauerlinie des alten Pegels fällt hingegen etwas früher ab.

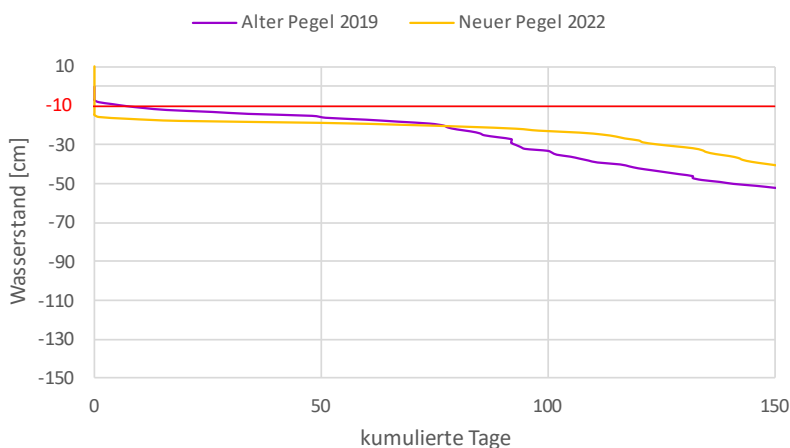


Abb. 34: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 03 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Wasserstandsjahresmittel liegt beim neuen Pegel wenige Zentimeter höher als das Jahresmittel 2019 beim alten Pegel (s. Abb. 35). Beim neuen Pegel ist ein mittlerer Jahreswasserstand von etwa 24 cm unter Flur abzulesen. Das Wasserstandsmaximum ist beim alten Pegel höher. Im Jahr 2022 wird nicht der Wasserstand von 10 cm unter Flur erreicht. Jedoch ist beim alten Pegel eine höhere Standardabweichung zu verzeichnen.

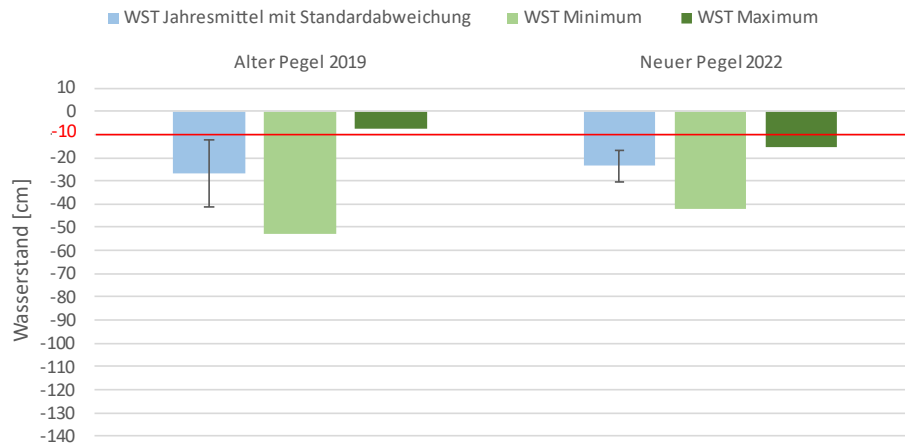


Abb. 35: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 03 des neuen und des alten Pegels am Brettersberg-MI-Moor der Jahre 2019-2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Neue Pegel des Jahres 2022 im Vergleich

Die in Abbildung 36 dargestellten Dauerlinien der neuen Pegel zeigen einen konvexen Verlauf auf. Die Dauerlinien an den Pegelstandorten 02 und 03 sind nahezu identisch. Der Pegel 01 hebt sich durch etwas höhere Wasserstände ab. Ungefähr während der Hälfte der Vegetationsperiode befindet sich der Wasserstand des Pegel 01 nahe dem Optimum von -10 cm.

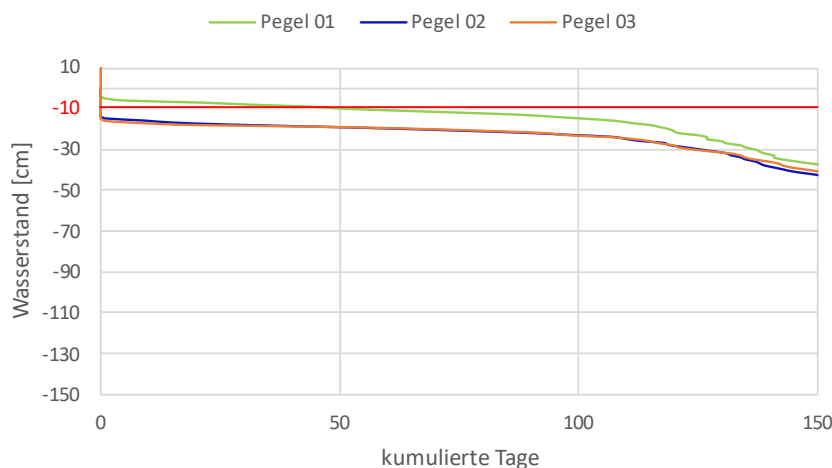


Abb. 36: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 01, 02 und 03 der neuen Pegel am Brettersberg-MI-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

In der nachfolgenden Abbildung 37 erkennt man, dass der Pegel 01 den höchsten Jahresmittelwasserstand aufzeigt. Gleichzeitig ist die durchschnittliche Abweichung vom mittleren Wasserstand hier am größten. Das Jahres-Minimum am Standort 01 erreicht fast 40 cm unter Flur. Das Minimum am zweiten und dritten Pegelstandort liegt wenige Zentimeter darunter. Der mittlere Wasserstand am Pegel 02 und 03 ist fast identisch. Er liegt bei ca. 24 cm unter Flur. Minima und Maxima unterscheiden sich ebenso nur geringfügig.

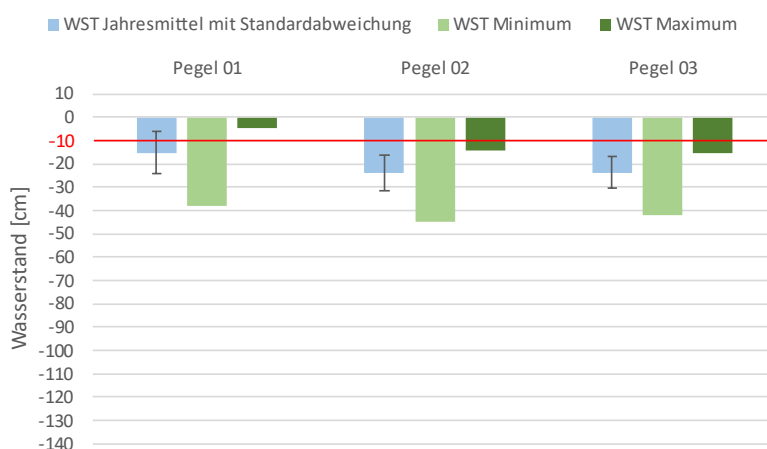


Abb. 37: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 01, 02 und 03 der neuen Pegel am Brettersberg-MI-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

5.3. Wasserstandmessungen Halslkopf-Moor

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen am Halslkopf-Moor dargestellt. Abbildung 38 zeigt die Standorte der Pegel eins bis vier. Zudem sind die zur Wiedervernässung installierten Dämme skizziert.

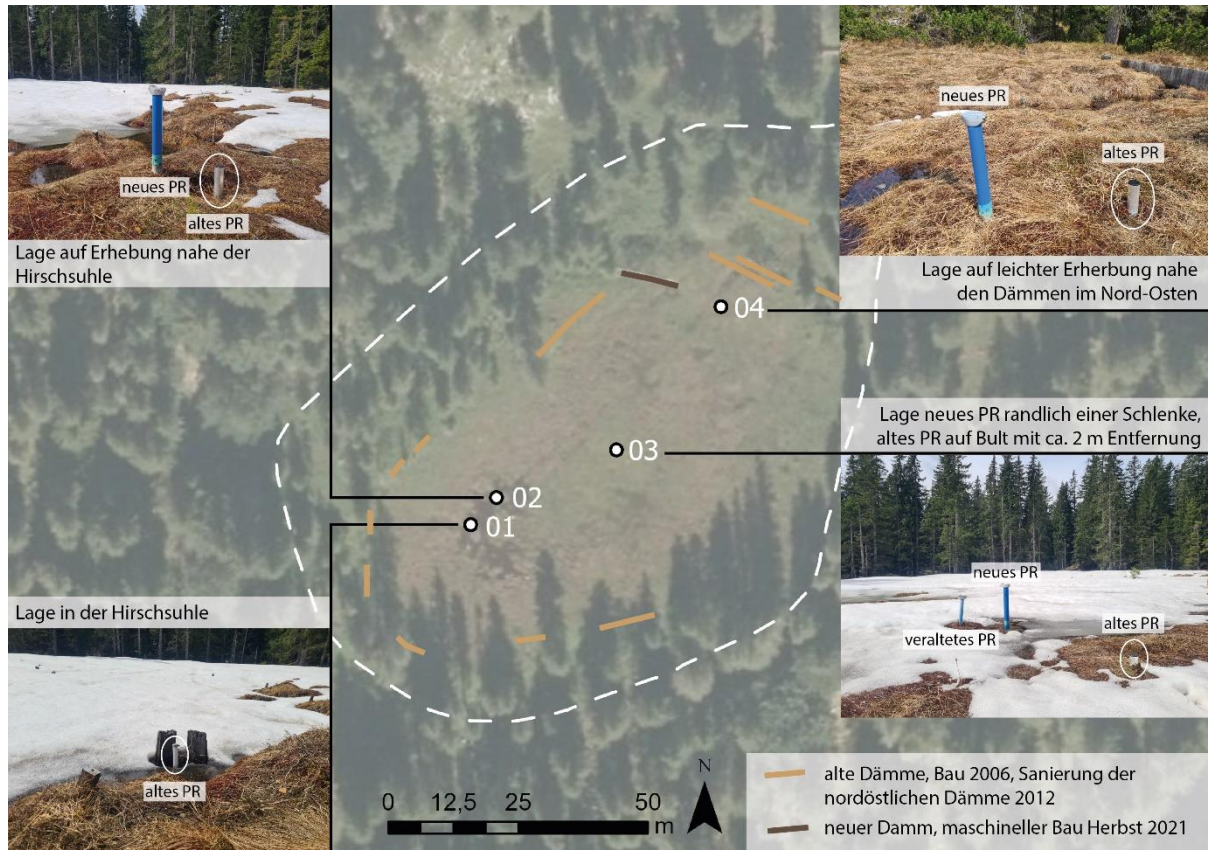


Abb. 38: Pegelstandorte im Halslkopf-Moor mit Differenzierung der alten und neuen Pegelrohre, kurzer Lagebeschreibung sowie Positionen eingesetzter Dämme zur Wiedervernässung (Quelle: Eigene Darstellung, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

5.3.1. Wasserganglinien der Pegel

Pegel 01

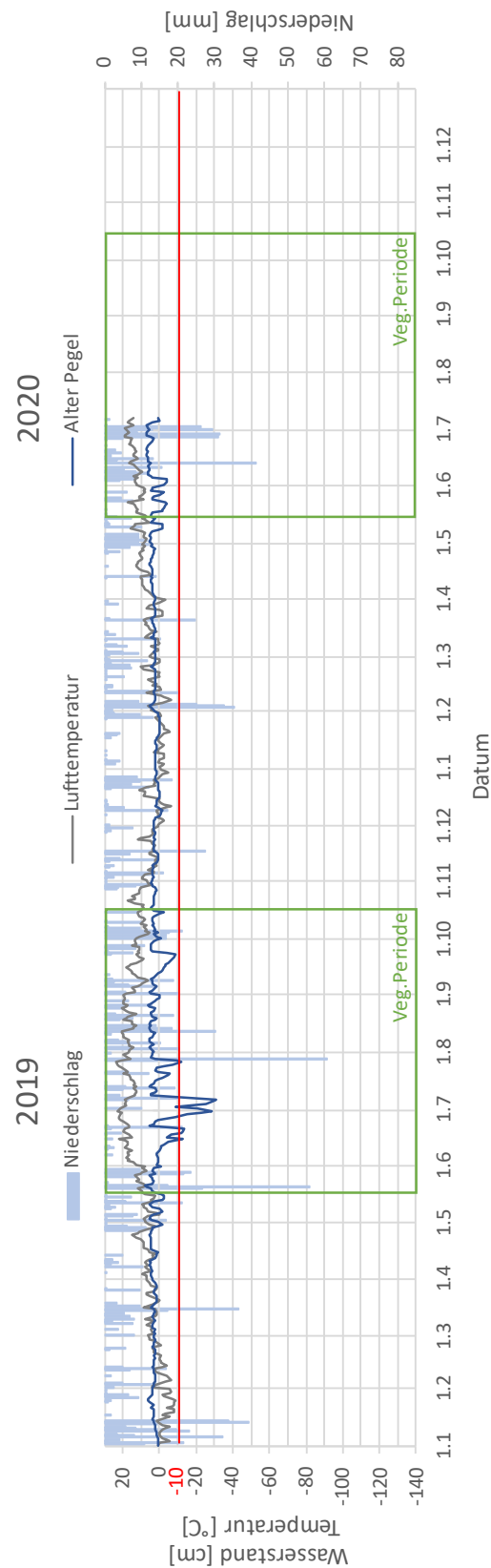


Abb. 39: Wasserganglinien am Pegelstandort 01 des alten Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2019-2020 (Quelle: Eigene Darstellung)

Am Pegelstandort 01 ist lediglich ein altes Pegelrohr installiert. Die zugehörige Wasserganglinie ist in Abbildung 39 dargestellt. Die Daten dazu reichen bis Mitte des Jahres 2020. Derzeit befindet sich kein Datensammler mehr im Pegelrohr. Bei der Begehung am 07.05.2023 konnte festgestellt werden, dass der Wasserstand im Pegelrohr dem umgebenden Wasserstand entspricht (s. Anhang B). Durch die Lage des Rohres in der Hirschsuhle, befand sich dort zum Begehungszeitpunkt eine offene Wasserfläche.

Der Wasserstand liegt im überwiegenden Teil des Jahres wenige Zentimeter über Flur. Lediglich in Zeiträumen mit kaum Niederschlägen und hohen Temperaturen, wie im Juli 2019, fällt der Wasserstand unter die Geländeoberkante ab.

Pegel 02

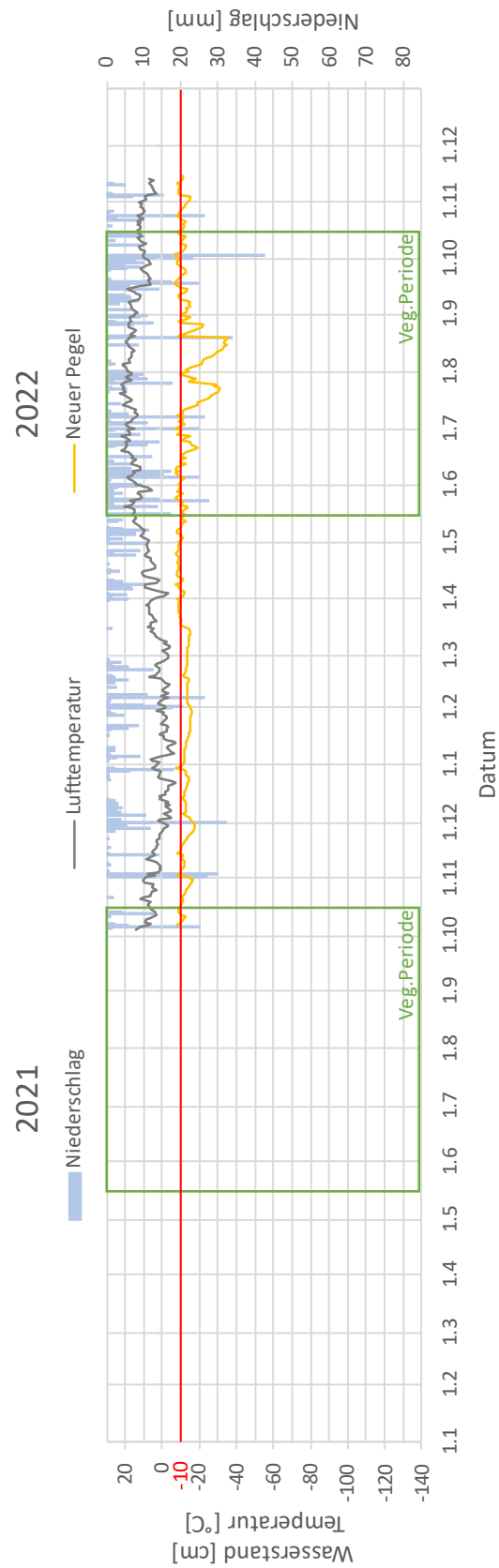


Abb. 40: Wasserganglinien am Pegelstandort 02 des neuen Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2021-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)

Am Pegelstandort 02 wurde im Jahr 2019 ein Defekt des alten Datensammlers festgestellt. Daher sind lediglich die Daten des neuen Pegelrohrs abrufbar. Deren Auswertung in Form einer Wasserganglinie ist in Abbildung 40 skizziert.

Der Standort liegt nahe der Hirschsuhle, wobei die Rohre auf einer Erhebung nördlich davon platziert sind (s. Abb. 38). Der aufgezeichnete Wasserstand schwankt entlang des Optimums von 10 cm unter Flur. Eine händische Messung zeigt einen vergleichbaren Wasserstand (s. Anhang B). Starke Abweichungen sind lediglich in den Sommermonaten Juli und August 2022 erkennbar. Hier sinkt der Wasserstand um ca. 20-30 cm ab. Daneben erfährt das Wasserlevel nur geringfügige Schwankungen, sogar in niederschlagsarmen Abschnitten.

Pegel 03

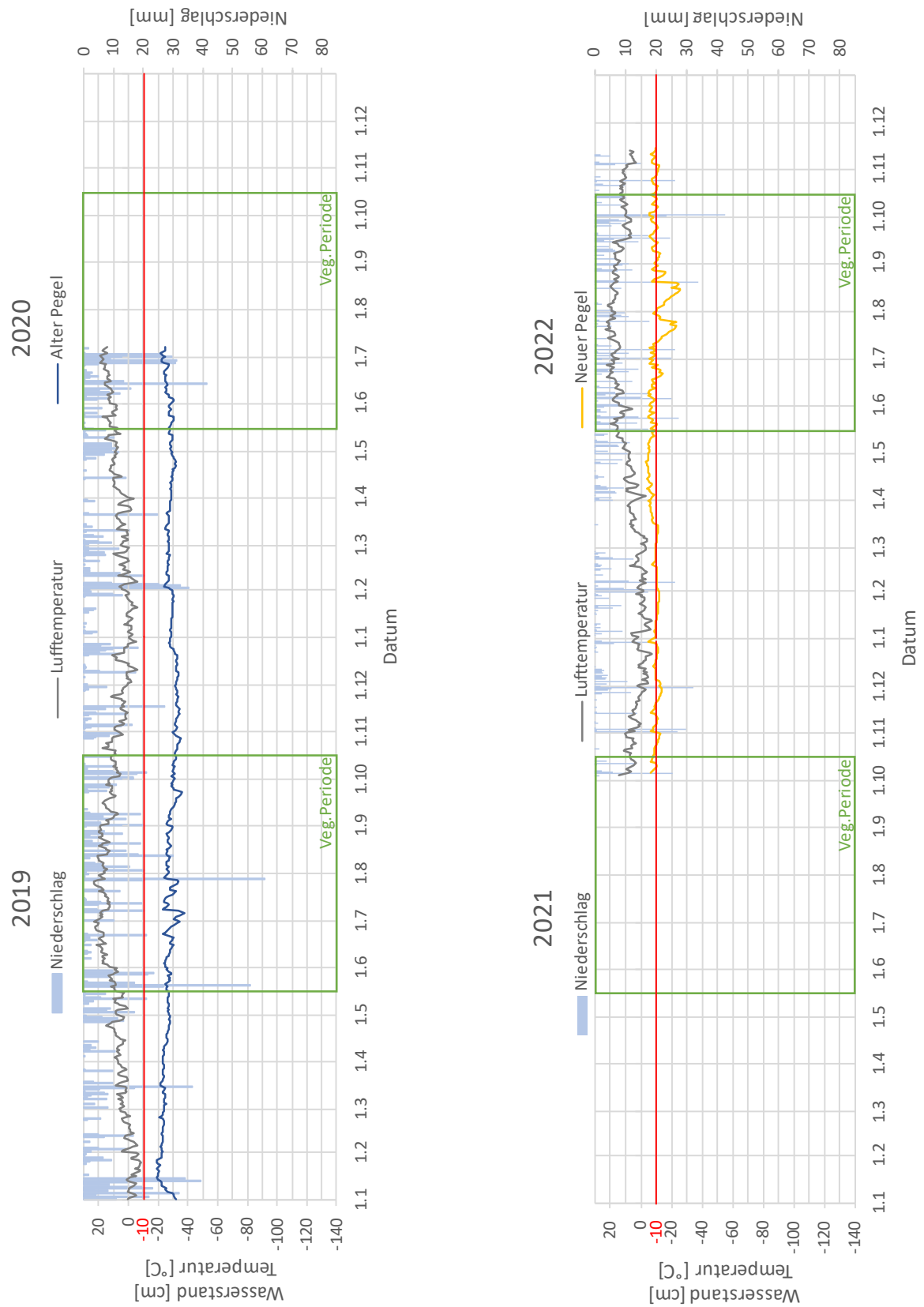


Abb. 41 Wasserganglinien am Pegelstandort 03 des alten und neuen Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)

Am Pegelstandort 03 sind Daten des neuen sowie alten Pegelrohres vorhanden (s. Abb. 41). Manuelle Messergebnisse vom 07.05.2023 zeigen einen Wasserstand von 33 cm unter Flur im alten Pegelrohr (s. Anhang B). Die Höhe des Wassers direkt neben dem Rohr entsprach ca. 10 cm unter Flur. Im neuen Pegelrohr wurde händisch ein Wasserstand von -2 cm festgestellt.

Die Wasserganglinien zeigen einen sehr konstanten Wasserstand im alten Pegelrohr. Schwankungen sind kaum ablesbar. Das Wasserlevel liegt bei circa 20 cm unter Flur. Die Messwerte des neuen Pegels sind hoch und pendeln im Bereich des optimalen Wasserstandes. Das Wasserlevel liegt im Großteil des Jahres auf etwa 10 cm unter Flur. Auffällig ist ein starkes Absinken der Kurve im Juli und August. Der Wasserstand fällt in den beiden Monaten um ca. 15 cm ab.

Pegel 04

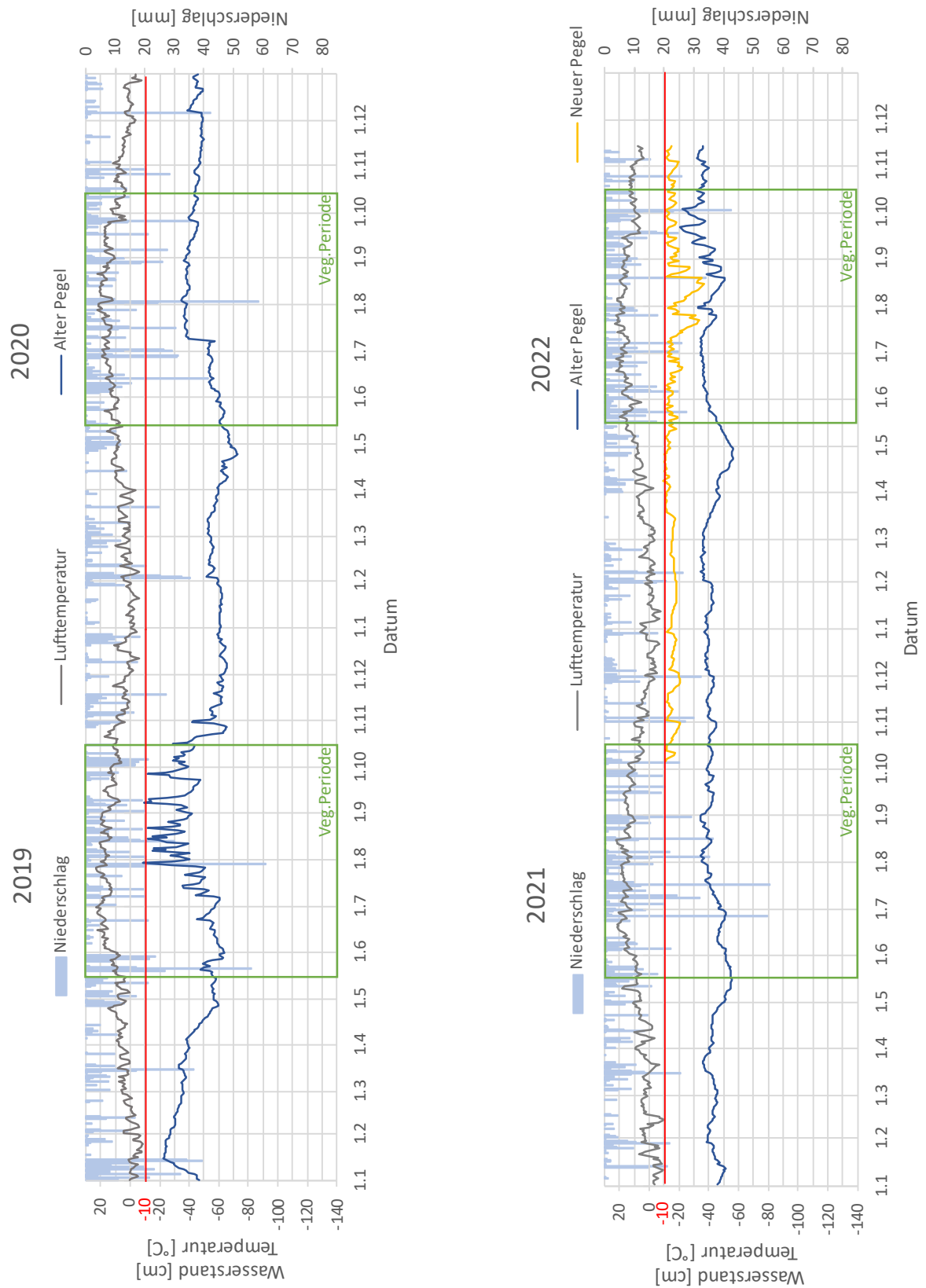


Abb. 42: Wasserganglinien am Pegelstandort 04 des alten und neuen Pegels mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag am Halskopf-Moor der Jahre 2019-2022 (Quelle: Eigene Darstellung)

Der Pegelstandort 04 befindet sich im Nordosten des Moores. Er liegt in der Nähe zweier, im Jahr 2012 sanierten Dämmen. Wenige Meter weiter nördlich liegt zudem der im Herbst 2021 errichtete Damm. Bei der Begehung am 07.05.2023 wurde im alten Pegelrohr ein Wasserstand von 59 cm unter Flur gemessen (s. Anhang B). Direkt außerhalb des Rohres war ein hoher Wasserstand von ca. 10 cm unter Flur ersichtlich. Die Wasserganglinie des alten Pegels zeigt starke Schwankungen auf (s. Abb. 42). Der Wasserstand pendelt ungefähr zwischen 10 und 70 cm unter Flur. Die Wasserganglinie des neuen Pegelrohrs stimmt von der Niveauhöhe mit der Handmessung überein. Der Wasserstand des neuen Pegels liegt zwischen 10 und 40 cm unter Flur. Im Juli und August ist jeweils ein deutliches Absinken des Wasserlevels erkennbar.

Aktuelle Daten der Pegelstandorte 02, 03, 04 im Vergleich

Die nachfolgende Abbildung 43 zeigt die Wasserganglinien der neuen Pegel vergleichend auf. Der Verlauf der Kurven ist sehr ähnlich. Die Ganglinien weisen die gleichen Schwankungen auf. Pegelstandort 03 bildet den höchsten Wasserstand ab. Wenige Zentimeter niedriger liegt das Wasserlevel bei Pegel 02 und 04. Auffällig ist ein kontinuierlicher Verlauf der Ganglinien in den Wintermonaten Januar bis März. Ab April setzen vermehrt Schwankungen ein. Im Juli und August fällt der Wasserstand jeweils stark ab. Gleichzeitig ist ein Mangel an Niederschlag und hohe Temperaturen erkennbar.

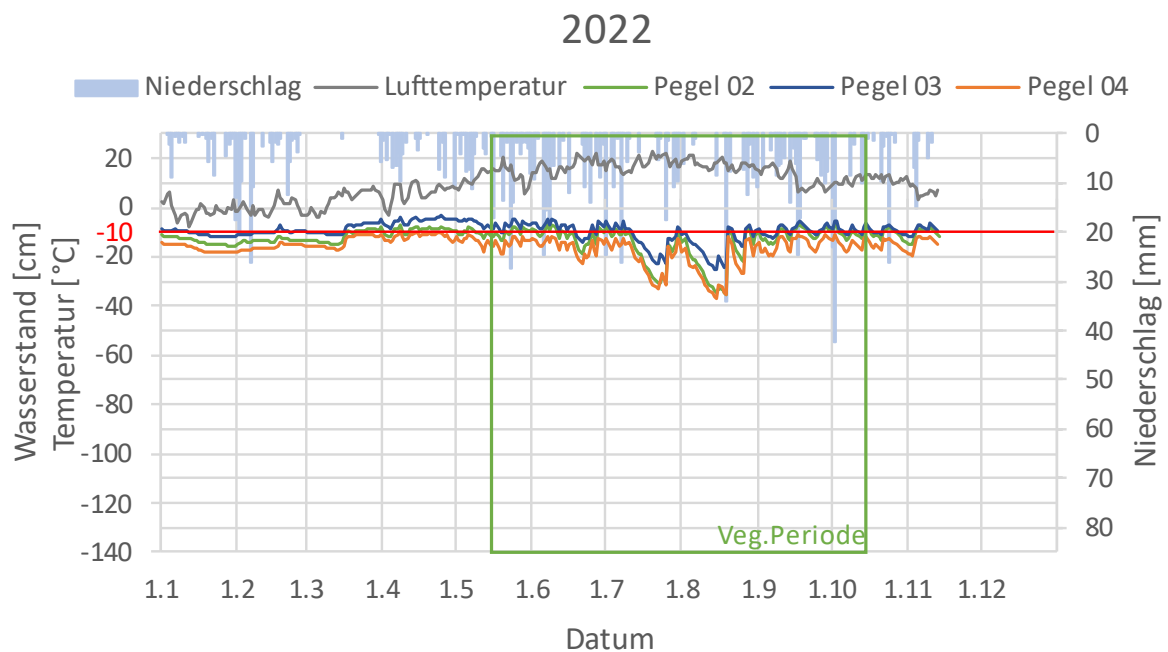


Abb. 43: Die Wasserganglinien des Jahres 2022 der neuen Pegel der Pegelstandorte 02, 03 und 04 im Halskopf-Moor im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur sowie Lufttemperatur und Niederschlag (Quelle: Eigene Darstellung)

5.3.2. Dauerlinien und weitere Kenngrößen

Die Dauerlinien sowie die Kenngrößen beziehen sich auf die Vegetationsperiode (15.05.-15.10). Es werden Auswertungen der Jahre dargestellt, in denen vollständige Datenreihen während der Vegetationsperiode eines Jahres vorhanden sind.

Pegel 01

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass sich der Wasserstand bei Pegel 01 circa Zweidrittel der Vegetationsperiode oberhalb der Geländeoberkante befindet.

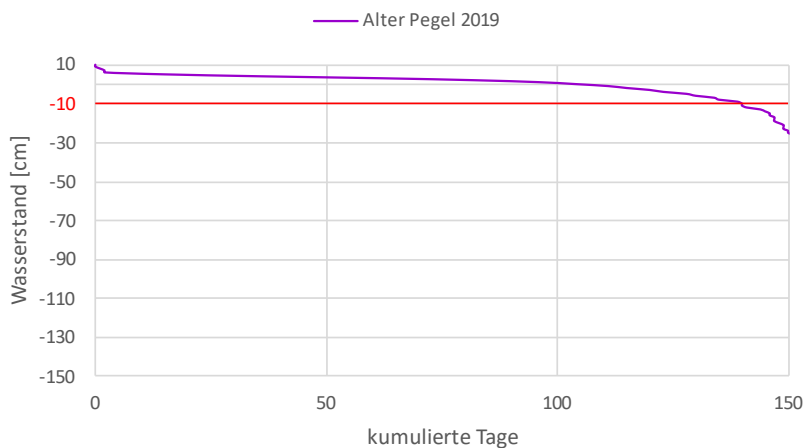


Abb. 44: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 01 des alten Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2019 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Aus Abbildung 45 ist ebenso der hohe mittlere Jahreswasserstand am Pegelstandort ablesbar. Dieser befindet sich in etwa auf Höhe der Geländeoberkante. Die durchschnittlichen Schwankungen um dieses Mittel liegen ungefähr zwischen 10 cm unter sowie ober Flur. Es wird ein Minimum von 30 cm unter Flur erreicht.

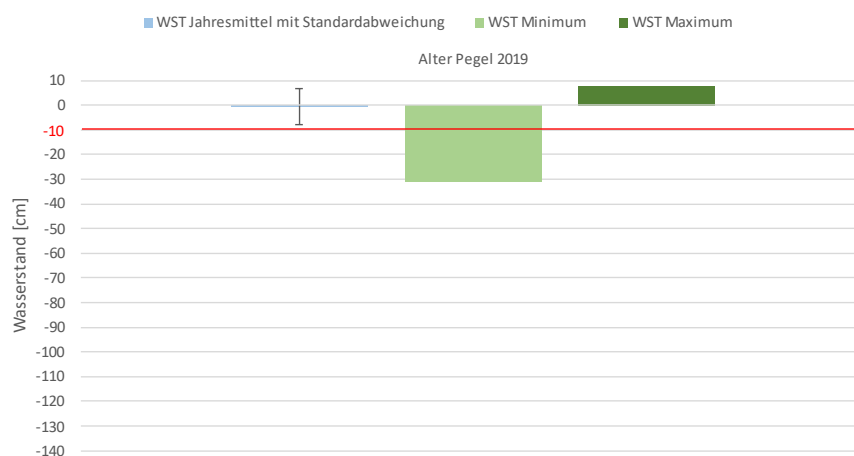


Abb. 45: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 01 des alten Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2019 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegel 02:

Die Dauerlinie von Pegel 02 in Abbildung 46 weist eine konvexe Form auf. Fast Zweidrittel der Vegetationsperiode hält sich der Wasserstand annähernd auf dem Optimumlevel von 10 cm unter Flur.

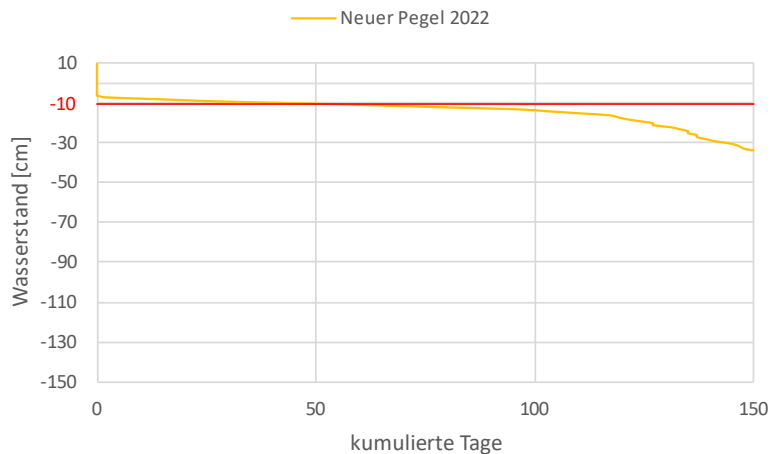


Abb. 46: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 02 des neuen Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 47 zeigt auf, dass der Jahresmittelwasserstand bei Pegel 02 knapp unter -10 cm liegt. Der Mittelwert schwankt durchschnittlich im Bereich von ca. 20 bis 8 cm unter Flur. Es werden ein absolutes Minimum von 35 cm unter Flur sowie ein Maximum von 7 cm unter Flur erreicht.

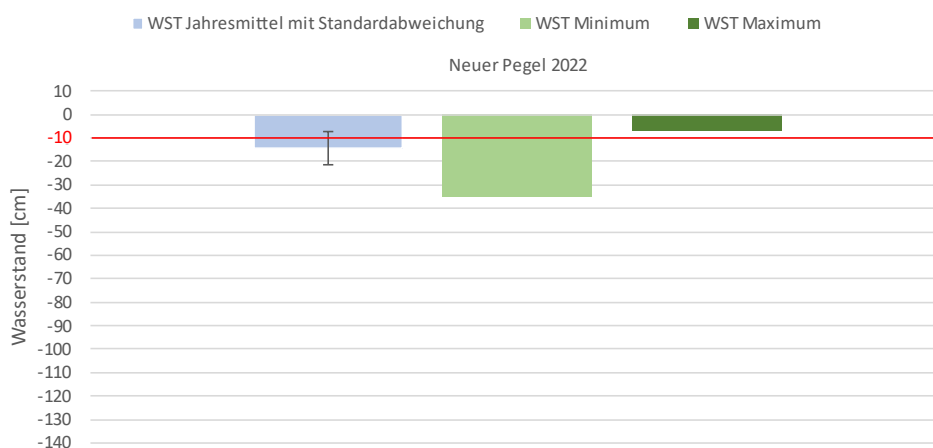


Abb. 47: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 02 des neuen Pegels am Halskopf-Moor des Jahres 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegel 03:

Die Dauerlinien der Pegels 03 in Abbildung 48 weisen eine leicht konvexe Form sowie ein langes Verharren im oberen Bereich auf. Der Wasserstand beim alten Pegel liegt fast konstant bei 30 cm unter Flur. Beim neuen Pegel liegt der Wasserstand an ca. 100 Tagen der Vegetationsperiode bei mindestens 10 cm unter Flur.

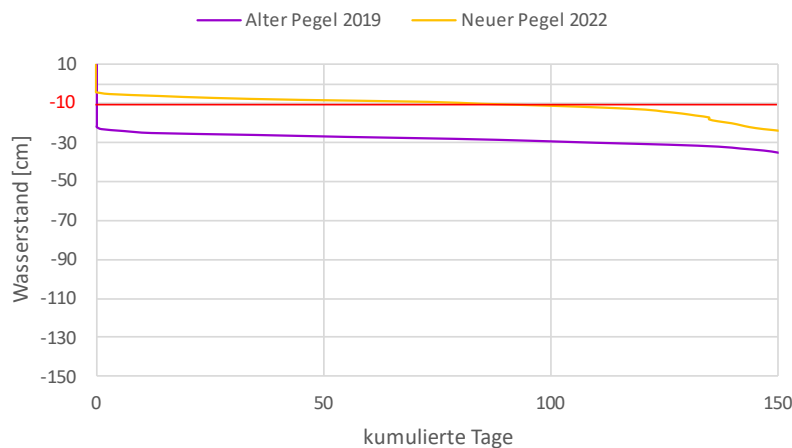


Abb. 48: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 03 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 und 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Die folgende Abbildung 49 zeigt den Wasserstandsunterschied bei Vergleich von altem und neuem Pegel auf. Der mittlere Jahreswasserstand des neuen Pegels liegt auf Höhe des Optimalwasserstandes von 10 cm unter Flur. Der Wasserstand des alten Pegels liegt circa 20 cm tiefer. Nur geringfügige mittlere Schwankungen um diesen Wert sind ersichtlich. Als absolutes Maximum stieg das Wasser 2022 beim neuen Pegel bis knapp unter die Geländeoberkante.

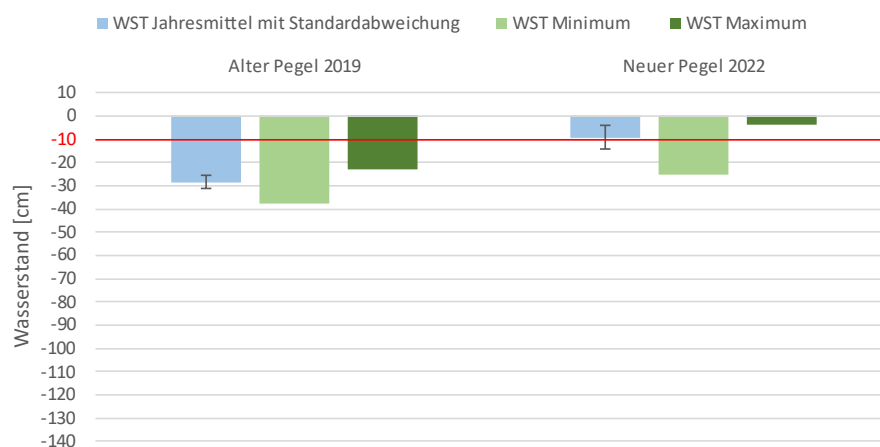


Abb. 49: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 03 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 und 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegel 04

Die Dauerlinien von Pegel 04 sind in Abbildung 50 dargestellt. Die Dauerlinie des neuen Pegels weist eine konvexe Form auf. Die Wasserstände halten sich lange knapp unterhalb des optimalen Wasserstandes von 10 cm unter Flur. Die Graphen des alten Pegels verlaufen tendenziell konkav und weichen somit von der Kurve des neuen Pegels ab.

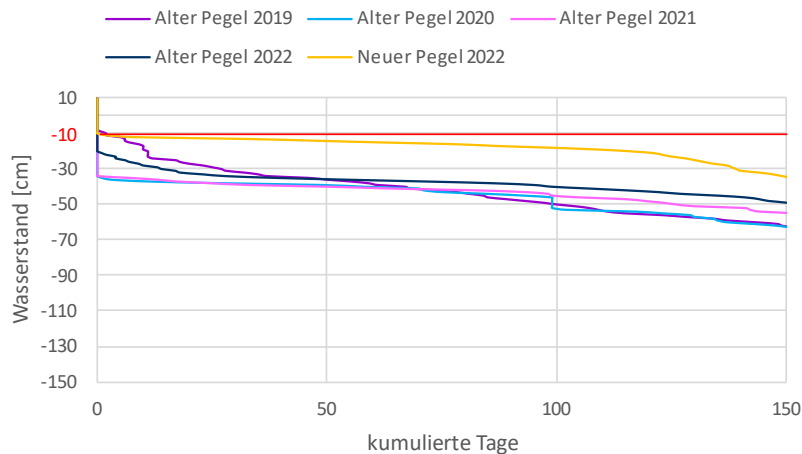


Abb. 50: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 04 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 bis 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

In der folgenden Abbildung sind die Kenngrößen des alten und neuen Pegels 04 dargestellt. Beim alten Pegel ist in den vier Jahren ein mittlerer Jahreswasserstand von circa 40 cm unter Flur abzulesen. Im Jahr 2019 liegt eine hohe Standardabweichung vor. Der neue Pegel zeigt ein Wasserstandsjahresmittel von 16 cm unter Flur. Die durchschnittliche Schwankung von diesem Mittelwert beträgt 6 cm. Das absolute Wasserstandsminium liegt bei 37 cm unter Flur, während das Maximum bei ca. 10 cm unter Flur erreicht wird.

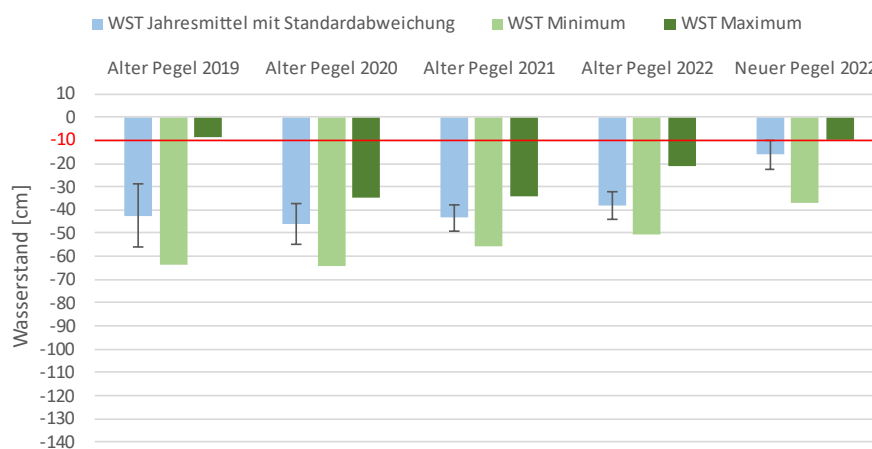


Abb. 51: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) am Pegelstandort 04 des alten sowie neuen Pegels am Halskopf-Moor der Jahre 2019 bis 2022 mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

Aktuelle Daten der Pegel 02, 03, 04 im Vergleich

Die in der Abbildung 52 dargestellten Dauerlinien der neuen Pegel verlaufen nahezu identisch. Lediglich die Wasserstandshöhe unterscheidet sich um wenige Zentimeter. Alle Pegel zeigen eine konvexe Form der Dauerlinien.

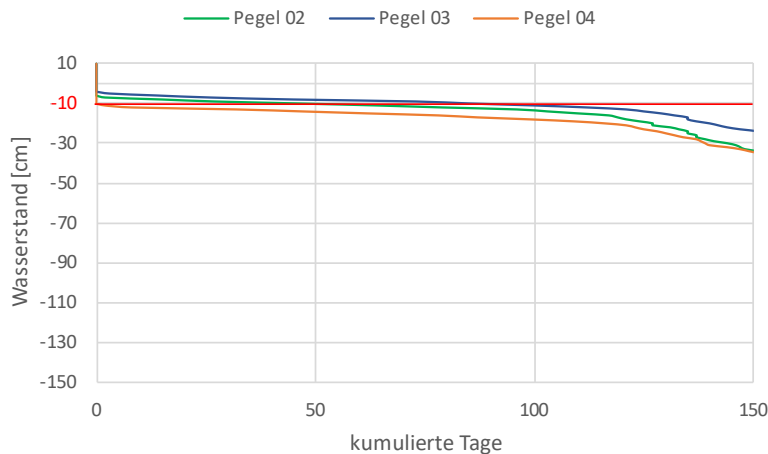


Abb. 52: Dauerlinien der Vegetationsperiode (15.05.-15.10) am Pegelstandort 02, 03 und 04 der neuen Pegel am Halskopf-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

In der nachfolgenden Abbildung werden die Kenngrößen der einzelnen Pegelstandorte verglichen. Pegel 03 weist das höchste Jahresmittel mit 10 cm unter Flur auf. Zudem ist hier die durchschnittliche Schwankung um diesen Mittelwert am geringsten. Die Tiefe des Jahresmittelwasserstandes sowie die Schwankung nimmt dann mit Pegel 02 und daraufhin mit 04 zu.

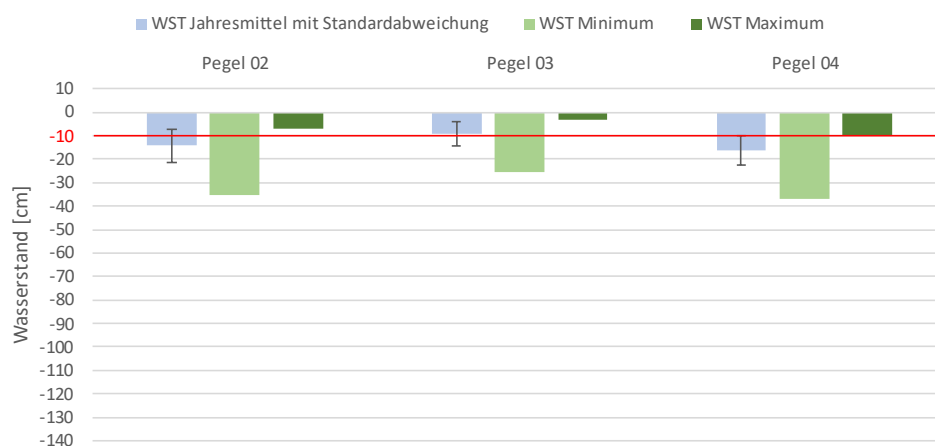


Abb. 53: Jahresmittel, Minima und Maxima der Wasserstände der Vegetationsperiode (15.05.-15.10.) an den Pegelstandort 02, 03 und 04 der neuen Pegel am Halskopf-Moor des Jahres 2022 im Vergleich mit Markierung des WST-Optimums von 10 cm u. Flur (Quelle: Eigene Darstellung)

5.4. Vegetationsstrukturtypenkartierung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Vegetationsstrukturtypenkartierung der beiden Untersuchungsflächen dargestellt.

5.4.1. Brettersberg-Ml-Moor

Im Brettersberg-Ml-Moor können vier Vegetationsstrukturtypen nach Drösler und Kraut (2023) differenziert werden. Deren Code inklusive Bezeichnung sowie ihre Ausprägungen im Untersuchungsgebiet werden nachfolgend beschrieben:

111: Hochmoor Bult-Schlenken-Komplex

Der zentrale Hochmoorbereich besteht aus einem Bult-Schlenken-Komplex. Die Bulte werden von roten/rotgrünen Torfmoosen (*Sphagnum spec.*) gebildet. Dazwischen findet man wassergefüllte oder ausgetrocknete Schlenken. Diese sind von Seggen (*Carex spec.*) dominiert oder mit grünen Torfmoosen bewachsen. Die Blumenbinse (*Scheuchzeria palustris*) kommt gehäuft in den Schlenken vor.

115: Moordegenerationsstadium - Grasdominiert

Randbereiche des Moores sind von einem grasdominierten Moordegenerationsstadium geprägt. Hier wurde eine hohe Abundanz des Moor-Pfeifengrases (*Molinia caerulea*) nachgewiesen. Gräser dominieren und Torfmoose sind nicht mehr flächendeckend beobachtbar. Daneben sind, vor allem in der westlichen Teilfläche, Stellen mit offenem Torfboden vorzufinden.

120: Spirken/Latschen Moorwald (naturnah)

Im nördlichen Bereich, an den Fichten Moorrandwald anschließend, befindet sich ein naturnaher Latschen Moorwald. Dieser zeichnet sich unter anderem durch das Vorkommen der Latsche (*Pinus mugo*), des Scheidigen Wollgrases (*Eriophorum vaginatum*) sowie von Arten der Gattung Heidelbeeren (*Vaccinium spec.*) aus.

124: Fichten Moorwald (naturnah)

Das Brettersberg-Ml-Moor wird bis auf den östlichen Bereich von einem naturnahen Fichten Moorwald umgeben. Es liegt ein natürliches Vorkommen im Randgehänge vor. Als typische Moorarten wurde im Unterwuchs der Fichten das häufig flächendeckende Vorkommen von Torfmoosen (*Sphagnum spec.*) sowie von Arten der Gattung Heidelbeeren (*Vaccinium spec.*) nachgewiesen.

Die soeben dargelegten Typen sind in folgender Abbildung unter Angabe ihres charakteristischen mittleren Jahreswasserstandes nach Drösler und Kraut (2023) skizziert:

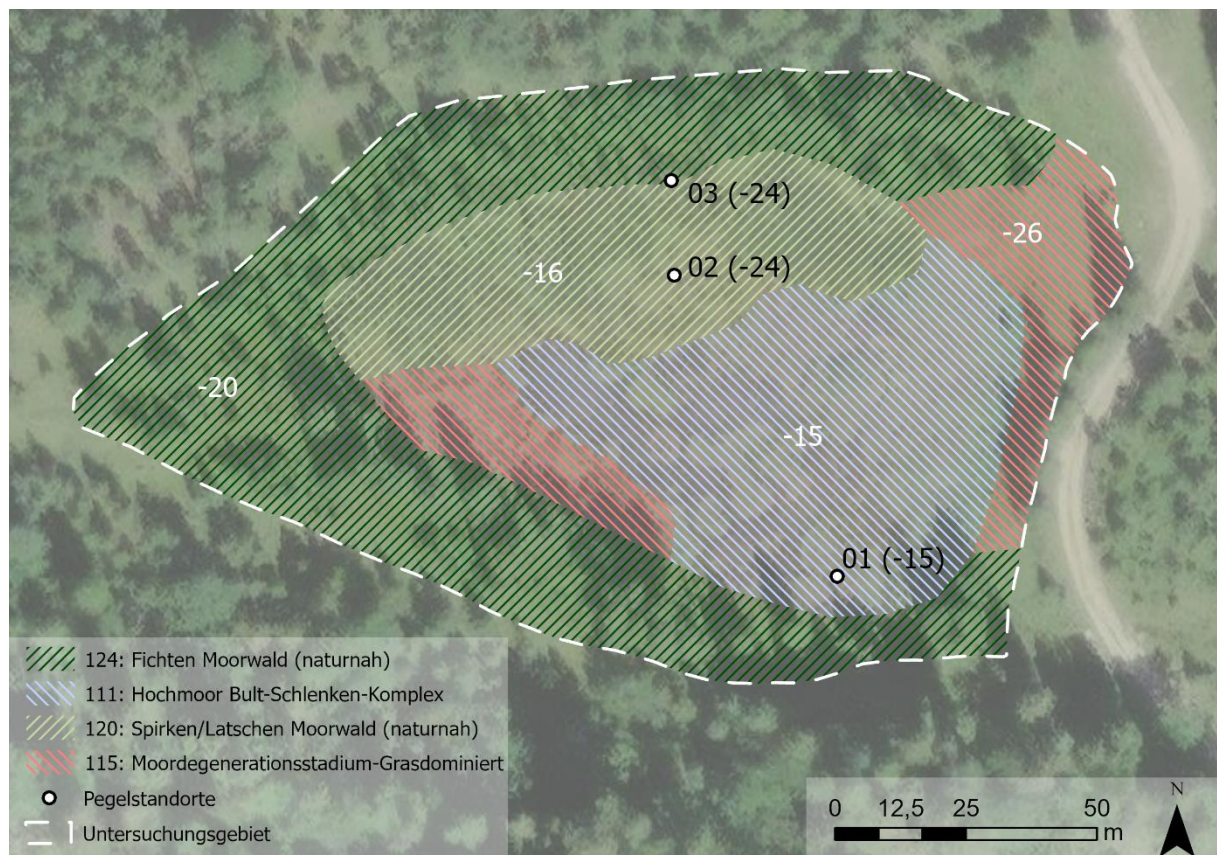


Abb. 54: Vegetationsstrukturtypen im Brettersberg-MI-Moor mit Code, zugehöriger Bezeichnung und Angabe der mittleren Jahreswasserstände in cm in weißer Schrift sowie Darstellung der Pegelstandorte unter Angabe des Jahresmittelwasserstandes in cm des Jahres 2022 des jeweiligen neuen Pegels in schwarzer Schrift (Quelle: Eigene Darstellung, nach Drösler & Kraut, 2023, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

Die gemessenen mittleren Jahreswasserstände der Pegel 02 und 03 liegen etwas tiefer, als bei der vorliegenden Vegetationsausprägung zu erwarten wäre. Der Wasserstand am Pegel 01 ist hingegen mit dem Indikator-Wert der Vegetation identisch. Pegel 01 befindet sich im Hochmoor-Bult-Schlenken-Komplex.

5.4.2. Halskopf-Moor

Auch im Halskopf-Moor können vier Vegetationsstrukturtypen nach Drösler und Kraut (2023) differenziert werden. Diese werden nachfolgend beschrieben:

111: Hochmoor Bult-Schlenken-Komplex

Im zentralen, nassen Bereich wechseln sich Bulte und Schlenken ab. Auf den Bulten konnten hochmoorspezifische und trockenheitsresistentere Arten wie die Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*) nachgewiesen werden. Die Schlenken sind teilweise wassergefüllt, mit grünen Torfmoosen bewachsen oder durch Seggen dominiert. Das Vorkommen des Moor-Pfeifengrases (*Molinia caerulea*) als Störungszeiger, ist in der gesamten Hochmoorweite mit einer geringen Deckung nachweisbar.

115: Moordegenerationsstadium - Grasdominiert

Am Randbereich der Hochmoorweite und vor allem Richtung Westen wurde ein grasdominiertes Moordegenerationsstadium kartiert. Neben einer hohen Deckung des Moor-Pfeifengrases (*Molinia caerulea*) waren viele offene Torfflächen vorzufinden. Im Norden konnte an einigen Stellen das Vorkommen von Becherflechten (*Cladonia spec.*) festgestellt werden.

124: Fichten Moorwald (naturnah)

Das Moor ist im Randgehänge von einem naturnahen Fichten Moorwald umrandet. Im östlichen, etwas höher gelegenen Teil fehlt dieser. Im Unterwuchs der Fichten wurde die Bedeckung mit Torfmoosen (*Sphagnum spec.*) sowie das häufig flächendeckende Vorkommen von Arten der Gattung Heidelbeeren (*Vaccinium spec.*) nachgewiesen.

214: Kalk-Kleinseggenriede (entwässert)

Im Nordosten befindet sich ein topographisch höher gelegener Bereich, der einige hochmooruntypische Arten enthält. Es wurde unter anderem das Vorkommen der Mehl-Primel (*Primula farinosa*) und der Rasenbinse (*Trichophorum cespitosum*) nachgewiesen. Die Dominanz der Trollblume (*Trollius europaeus*) lässt auf eine nährstoffreiche Ausprägung schließen. Die Fläche steht im Übergang zu einer alpinen Hochstaudenflur.

In folgender Abbildung sind die im Halslkopf-Moor vorkommenden Vegetationsstrukturtypen inklusive Angabe ihres typischen mittleren Jahreswasserstandes nach Drösler und Kraut (2023) skizziert:

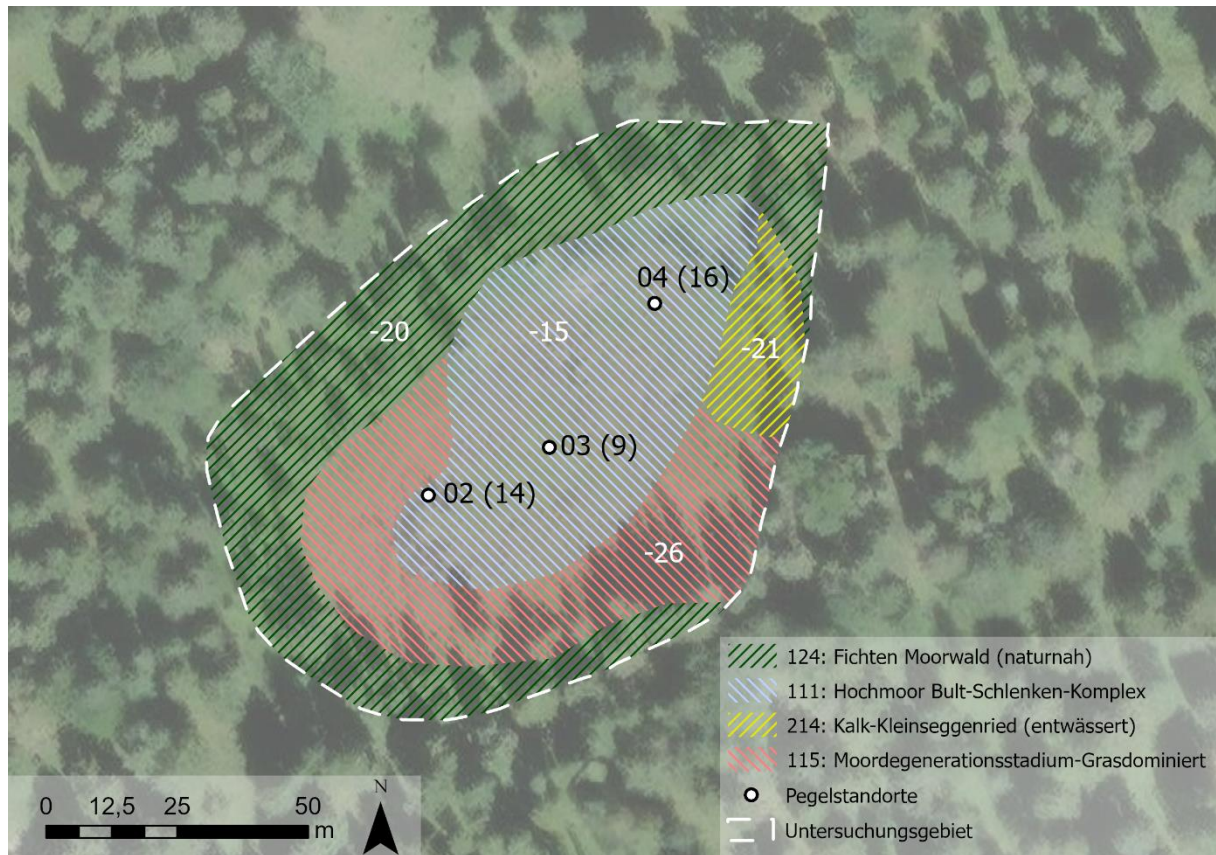


Abb. 55: Vegetationsstrukturtypen im Halslkopf-Moor mit Code, zugehöriger Bezeichnung und Angabe der mittleren Jahreswasserstände in cm in weißer Schrift sowie Darstellung der Pegelstandorte unter Angabe des Jahresmittelwasserstandes in cm des Jahres 2022 des jeweiligen neuen Pegels in schwarzer Schrift (Quelle: Eigene Darstellung, nach Drösler & Kraut, 2023, Kartengrundlage: Esri et al., 2023)

Abbildung 55 macht deutlich, dass sich alle Pegelstandorte im Bult-Schlenken-Komplex befinden. Pegelstandort 03 im Zentrum des Komplexes zeigt mit -9 cm einen etwas höheren Wasserstand, als durch die Vegetation zu erwarten wäre. Die beiden anderen Pegelstandorte zeigen hingegen einen sehr ähnlichen Wasserstand zum Indikatorwert der Vegetation.

6. Diskussion

Das Ziel der Bachelorarbeit ist die Untersuchung des derzeitigen hydrologischen Zustandes zweier Hochmoore im Naturpark Karwendel. Dafür sollen in diesem Kapitel, die zu Beginn der Arbeit vorgestellten Forschungsfragen aufgegriffen und beurteilt werden:

1. *Wie ist der momentane hydrologische Zustand von zwei ausgewählten Karwendelmooren auf Basis von Pegelmessdaten der Jahre 2019-2022 zu bewerten?*
2. *Wie ist die hydrologische Entwicklung der Moore in Bezug auf die Jahre 2007-2018 einzuschätzen?*
3. *Kann die hydrologische Bewertung der Moore auf Basis von Pegelmessdaten auch aus der Vegetation abgeleitet werden?*

Zusammenfassend zeigen die Forschungsergebnisse, dass die Daten der alten und neuen Pegelrohre an den meisten Pegelstandorten nicht übereinstimmen. Die neuen Pegel deuten auf hohe Wasserstände in den Mooren hin. Im Sommer sind starke Absenkungen des Wasserstandes zu verzeichnen. Das Wasserlevel der neuen Pegel ist mit durchgeführten manuellen Messungen vergleichbar. Bei den alten Pegeldaten stimmt lediglich Pegel 02 am Brettersberg-Ml-Moor vom Niveau und Verlauf der Wasserganglinien sicher mit den neuen Pegeldaten und damit auch den Handmessungen überein. Bei den restlichen alten Pegeldaten können Unsicherheiten nicht ausgeschlossen werden. Es liegen meist tiefere Wasserstände und auch größere Schwankungen vor. Folglich werden im Rahmen dieser Arbeit folgende Daten als reliabel betrachtet:

Tab. 7: Verifizierte Daten der Pegelstandorte am Brettersberg-Ml- sowie am Halskopf-Moor (Quelle: Eigene Darstellung)

Pegelstandort	01	02	03	04
Brettersberg-Ml-Moor	Neuer Pegel (04.10.2021- 15.11.2022)	Alter und neuer Pegel (01.01.2019- 15.11.2022)	Neuer Pegel (04.10.2021- 15.11.2022)	-
Halskopf-moor	-	Neuer Pegel (04.10.2021- 15.11.2022)	Neuer Pegel (04.10.2021- 15.11.2022)	Neuer Pegel (04.10.2021- 15.11.2022)

6.1. Hydrologischer Zustand der Moore (1. Forschungsfrage)

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen der validen Daten (s. Tab. 7) interpretiert. Deutlich erkennbar ist die Reaktion der Grundwasserstände auf Niederschläge. Spitzen sowie Absenkungen des Wasserlevels lassen sich anhand des Niederschlages und zusätzlich auch der Temperatur erklären. Dabei wirkt sich die Erhöhung der Niederschlagssumme in den vorliegenden Mooren mit einer sehr leichten Zeitverzögerung auf den Anstieg des Wasserstandes aus. Die Poren des Moorbodens füllen sich mit Wasser, dann sinken die Wasserstände kurz nach einer Niederschlagsspitze wieder ab. Im Juli und August kommt es in den Mooren zu einer drastischen Absenkung des Wasserstandes. Gleichzeitig sind Trockenperioden mit hohen Temperaturen ablesbar. Es wird deutlich, dass zum Wiederanstieg des Grundwassers auch moderate bis hohe Niederschläge ausreichen.

Die Porengröße und die hydraulische Leitfähigkeit nehmen mit der Torftiefe ab, wenn keine oberflächliche Degradation vorliegt. Dieselbe Menge Niederschlag resultiert daher bei geringem Grundwasserstand, wie im Juli und August 2022, in einer größeren Änderung des Wasserstandes. Hierfür ist auch die Restfeuchte des Torfes als Einflussfaktor heranzuziehen. Eine hohe Bodenfeuchte in der ungesättigten Zone führt zu einem schnelleren Anstieg des Wasserstandes. Bei starkem Regen wird der Anstieg durch eine kontrollierte Verstärkung der seitlichen Drainage limitiert. Der durch hohen Niederschlag gestiegene Wasserstand fällt kurz darauf wieder ab. Das Wasser kann in Richtung Moorrand abfließen. Gleichzeitig kann es aber auch zu einer Umverteilung im Moor, zu Versickerung oder Verdunstung kommen. (Steiner, 2005b).

Außerdem ist denkbar, dass es zu einer seitlichen Infiltration von Niederschlag und Oberflächenwasser in die Pegelrohre kommt. Die Pegelrohre sind bis 10 cm unter Flur nicht geschlitzt. Das soll genau diesen Wassereinstrom verhindern. Jedoch ist bei Vorliegen eines niedrigen Wasserstandes eine Versickerung und darauffolgende Einströmung von Wasser seitlich in die Rohre möglich. Das Wasser entweicht daraufhin wieder aus den Pegelrohren. Das könnte die Absenkungen des Wasserstandes nach Niederschlagsspitzen erklären.

Es fällt auf, dass diese temperatur- und niederschlagsbedingten Wasserstandsschwankungen in den Wintermonaten von ca. Dezember bis März kaum ablesbar sind. Das liegt daran, dass die Verdunstung im Winter geringer, oder bei Schneebedeckung sogar völlig, vernachlässigbar ist. Im Halskopf-Moor ist an den Wasserganglinien gut sichtbar, dass sich der Wasserstand im Winter in etwa auf Höhe des mittleren Wasserstandes der Vegetationsperiode einpendelt. Beim Brettersberg-MI-Moor stabilisiert sich dieser im Winter auf einem etwas niedrigeren Niveau als im Sommerhalbjahr. Besonders ausgeprägt ist das bei Pegel 01 erkennbar. Dort liegt der Wasserstand im Winter ca. 30 cm tiefer als im Jahresmittel der Vegetationsperiode.

Dieses Phänomen des Absinkens des Wasserstandes über den Winter, ist noch deutlicher im St. Lorenzer Hochmoor im Auertal beobachtbar. Hier wird von einem Ausrinnen des Moores über den Winter gesprochen (Karre, 2010). Karre (2010) vergleicht die Wasserstände des St. Lorenzer Hochmoores mit denen des Rotmooses bei Weichselboden. Beim Rotmoos sinkt der Wasserstand, im Gegensatz zum St. Lorenzer Hochmoor, nicht über den Winter ab. Die Schwankungen des Wasserstandes über den Winter reduzieren sich aber in beiden Mooren deutlich (Karre, 2010). Somit verläuft der Wasserstand des Rotmooses im Winter ähnlich dem des Halskopf-Moores, sowie dem am Standort 02 und 03 im Brettersberg-Ml-Moor. Der Pegelstandort 01 des Brettersberg-Ml-Moores zeigt hingegen eine ähnliche Reaktion wie das St. Lorenzer Hochmoor. Karre und Steiner (2005) begründen das Ausrinnen des St. Lorenzer Hochmoores mit dem Gefrieren der Bodenoberfläche und der Hangneigung. Wenn der Boden noch vor dem ersten Schneefall gefriert, kommt es zu verminderter Wassernachlieferung (Karre & Steiner, 2005). Durch die Lage des Pegels 01 am südlichen Moorrand in Dammnähe scheint es, dass das Wasser natürlicherweise in Richtung Moorrand abfließt. Grundwasserströmungen in der Torfschicht treten als Folge von Differenzen des hydraulischen Potenzials auf. Gleichzeitig scheinen Wassernachlieferungen durch Schneefall, wie im Februar 2022, keine Wirkung zu zeigen. Dies könnte, analog zum St. Lorenzer Hochmoor, mit Frost-Prozessen erklärbar sein.

Damit sind die Gründe für den Verlauf der Wasserganglinien erläutert. Wichtig ist aber nun die Frage, wie der hydrologische Zustand der Moore einzuschätzen ist. Grundsätzlich sind ökologisch intakte Hochmoore bis nahe der Geländeoberfläche vernässt. Ausgenommen jahreszeitlicher Schwankungen, stellt ein Wasserstand von 10 cm unter Flur unter klimatischer Betrachtung den Optimalzustand dar (Drösler et al., 2013). Nach Karre und Steiner (2005) sind punktuelle Grundwassertiefstände von bis zu 30 cm unter Flur noch akzeptabel, während längere Tiefstände in diesem Bereich problematisch sind. Dies wird mit Blick auf die Vegetation damit begründet, dass sich bei tief liegenden Wasserständen unter anderem Pfeifengras und Birken ausbreiten können, welche die typische Hochmoorvegetation verdrängen (Karre & Steiner, 2005).

Aus klimatischer Sicht ist zur Bewertung des Zustandes der Moore die Betrachtung der Netto-Treibhausgasbilanz relevant. Bei sinkendem Wasserstand von 0 bis 50 cm unter Flur ist mit einer annähernd linearen Zunahme der CO₂-Emissionen zu rechnen (Tiemeyer et al., 2016). Drösler (2005) stellt an einem renaturierten Torfmoosrasen eines Regenmoores am Alpenrand im Frühling überwiegend eine CO₂-Aufnahme, ab Mitte des Jahres jedoch einen dominierenden CO₂-Verlust, fest. Dies geht mit temporären Absenkungen des Wasserstandes auf bis zu 30 cm einher. Insgesamt, unter Betrachtung aller relevanten Spurengase, ist bei diesem Beispiel eine positive Treibhausgasbilanz zu verzeichnen. Der Einfluss der Spurengase Methan und Lachgas auf die Klimarelevanz wurde an diesem Standort als nachrangig beobachtet (Drösler, 2005).

Kürzere Trockenperioden sind somit aus klimatischer Sicht dann problematisch, wenn die Netto-Treibhausgasbilanz über das Jahr gesehen, oder vielleicht auch über mehrere Jahre betrachtet, positiv ausfällt.

Brettersberg-Ml-Moor

Im Brettersberg-Ml-Moor liegt der Pegel 01 den Großteil des Jahres im Bereich des Optimalwasserstandes. Lediglich der Abfluss im Winter scheint problematisch, aber kaum zu verhindern zu sein. Pegel 02 und 03 liegen im Mittel etwas tiefer, bei ca. 23 cm unter Flur. Diese befinden sich im nördlicheren latschenbestockten Bereich. Manche Vergleichswerke zeigen in Moorbereichen mit Gehölzaufwuchs der Latsche (*Pinus mugo*) einen hohen Wasserstand von beispielsweise 8,4 cm unter Flur (Drösler, 2005). Andere aber auch tiefere Wasserstände um 15 bis 20 cm unter Flur (Neuhäusl, 1975). Untersuchungen im Wörschacher Moos im Ennstal in der Steiermark ergeben in einem als vital eingestuften Latschenhochmoorbereich mittlere Wasserstände von 9 bis 21 cm unter Flur (Hofstädter, 2011). Der Wasserstand im Brettersberg-Ml-Moor ist also im Latschenbereich im Vergleich zur Literatur tendenziell etwas niedrig. Jedoch sind die installierten Pegelrohre topographisch hoch gelegen. Außerdem ist die Deckung mit Torfmoosen stark ausgeprägt. Durch die Positionierung der Pegel scheint der Wasserstand dieses Standortes etwas tiefer dargestellt zu werden als bei vergleichbaren Situationen.

Halskopf-Moor

Beim Halskopf-Moor ist beim Pegelstandort 03 mit einem Jahresmittel von 10 cm unter Flur von einem optimalen Moorwasserstand auszugehen. Die Wasserstände der Pegel 02 und 04 liegen etwas darunter, befinden sich aber noch im Normbereich eines Hochmoores. Hier muss auch einbezogen werden, dass die Pegelrohre 02 und 04 etwas erhoben auf einem Bult liegen. Pegel 03 ist hingegen randlich einer Schlenke platziert. Dass die topographische Lage der Pegelrohre ein entscheidender Faktor für den Wasserstand ist, wurde im Rahmen dieser Arbeit mehrfach beobachtet. Diese Erkenntnis wurde ebenso bei Wasserstandmessungen in Mooseurach durch Förster (2016) skizziert.

Zusammenfassung und Limitationen

Die Wasserstände im Halskopf-Moor sind im gesamten Jahresverlauf sehr ähnlich denen im annähernd naturnahen Brettersberg-Ml-Moor. Letzteres ist das Referenzmoor unter den Karwendelmooren. Der Wasserstand liegt bei beiden Mooren im Mittel, nahe des oder sogar im Optimum von 10 cm unter Flur. Abweichungen sind durch die Vegetationsausprägung und die Topografie erklärbar. Im nassen Zustand der Moore sind nur geringe Schwankungen erkennbar. Die Hochmoore scheinen damit auf kurzfristige Klimaänderungen reagieren zu können. Die zugrunde liegende Forschungsfrage kann also damit beantwortet werden, dass von einem stabilen Zustand beider Moore auszugehen ist.

Die Wiedervernässungsmaßnahmen zeigen einen sichtbaren Erfolg. Eine Torfakkumulation und somit das Wachstum der Moore scheinen auf Basis des hydrologischen Zustandes möglich zu sein. Etwas besorgniserregend sind die starken Absenkungen des Wasserstandes im Juli und August in beiden Mooren. Das Jahr 2022 zeigt im Vergleich zu den Vorjahren geringere Niederschläge in den Sommermonaten, und hohe Temperaturen auf. Eine Auswertung des Wasserstandes in den Folgejahren mit Bezug zur klimatischen Situation ist daher entscheidend. Zur Bewertung des hydrologischen Zustandes konnten, entgegen der Anfangserwartung, nicht die Zeitreihen von 2019-2022 analysiert werden. Die Interpretation erfolgt daher überwiegend auf Basis des Wissens über den Wasserstand eines vollständigen Jahres. Um jahresspezifische Einflussfaktoren zu erkennen, ist daher in den nächsten Jahren eine Reevaluierung der Daten aus den Datensammlern der neuen Pegelrohre nötig. Begrenzungen ergaben sich außerdem bei der Darstellung des, auf Zentimeter genauen, Moorwasserstandes. Die hydrologische Auswertung war in den letzten Jahren durch unterschiedliche personelle Zuständigkeiten geprägt. Deswegen liegen unter anderem unterschiedliche Aufzeichnungen zum Rohrüberstand der Pegelrohre vor. Ungenauigkeiten von wenigen Zentimetern sind daher nicht ausschließbar.

6.2. Hydrologische Entwicklung (2. Forschungsfrage)

Der frühe Startpunkt des hydrologischen Monitorings durch Haselwanter (2008) lässt Aussagen über die hydrologische Entwicklung der Moore über eine Zeitreihe von ca. 15 Jahren zu. Im Rahmen dieser Arbeit wurde jedoch eine Verstopfung der alten Pegelrohre festgestellt (s. Abb. 26). Wie lange diese bereits vorliegt, und die Daten somit verfälscht sind, ist unklar. Zudem ist es möglich, dass bei der Installation der alten Pegelrohre der Stauhorizont durchbrochen wurde. Wie in Tabelle 8 ersichtlich, sind die alten Pegelrohre deutlich länger als die neuen. Betrachtet man außerdem die Torfmächtigkeit an den Pegelrohrstandorten, so ist erkennbar, dass die alten Rohre in ihrer Länge die Torfmächtigkeit überschreiten. Sie wurden teilweise auf das Muttergestein gesetzt (Haselwanter, 2008).

Tab. 8: Vergleich der Pegelrohrlängen der alten und neuen Pegelrohre in beiden Mooren sowie Angabe der Torfmächtigkeit an den Pegelrohrstandorten (Quelle: Eigene Darstellung, nach Haselwanter, 2008)

Standort	Nummer PR	Torfmächtigkeit	Länge altes PR	Länge neues PR
Bettersberg-Ml-Moor	01	302	322	200
	02	>215	235	160
	03	>177,5	197,5	160
Halskopfmoor	01	>230	250	
	02	310		160
	03	166	186	160
	04	310	330,2	160

Bei beiden Mooren ist als stauende Schicht eine Mudde dokumentiert (Böhm, 2011; Haselwanter, 2008). Nun ist es möglich, dass die alten Pegelrohre eben diese stauende Basis durchbrochen haben. Dadurch ist das Eintreten eines hydraulischen Kurzschlusses denkbar. Es kann zu einer Verbindung des tieferen Grundwasserkörpers (piezometrische Druckhöhe) mit dem freien Grundwasser (phreatischer Wasserstand) gekommen sein (Tiemeyer et al., 2017). Das resultiert, durch hydraulische Verbindung, in einem „Mischsignal“ (Tiemeyer et al., 2017). Der Wasserstand des „Mischsignals“ kann geringer ausfallen als der in dem Fall zu untersuchende phreatischer Wasserstand. In Kombination mit der Verstopfung der Rohre werden somit für 2022 zu niedrige Wasserstände in einigen alten Pegelrohren nachgewiesen.

Brettersberg-Ml-Moor

Im hydrologischen Managementbericht (Haselwanter, 2019) werden die Wasserstände im Pegelrohr 01 als sehr tief dargestellt. Es wird ein Tiefstand von 125 cm unter Flur im feuchtesten Jahr 2017 erreicht. Zudem werden starke Pendelbewegungen beobachtet (Haselwanter, 2019). Die Aufnahmen der Datensammler dieser alten Rohre wurden für den Betrachtungszeitraum (2019-2022) dieser Arbeit als unverwertbar betrachtet. Die Wasserganglinien von 2019 des alten Pegels zeigen einen vergleichbaren Verlauf zu den Ganglinien im Jahr 2018 auf. Letztere sind im Managementbericht von Haselwanter (2019) dargestellt. Es ist daher anzunehmen, dass diese Daten bei der damaligen Auswertung fälschlicherweise als plausibel angenommen wurden. Es lassen sich somit kaum Rückschlüsse über die gesamte hydrologische Entwicklung der Pegelstandorte seit 2007 ziehen. Es ist unklar, wie lange das alte Rohr bereits verstopft ist und keine reliablen Daten mehr liefert. Zudem ist, aufgrund der Möglichkeit des hydraulischen Kurzschlusses, nicht sicher, ob die Daten der ersten Jahre des Monitorings als stimmig betrachtet werden können. Während der ersten Messjahre liegen bei Pegel 01 starke Schwankungen von ca. 10 bis 120 cm unter Flur innerhalb eines Jahres vor. Diese sind auf einen gestörten Randbereich zurückzuführen (Haselwanter, 2019). Die aktuellen Daten des neuen Pegels würden also auf eine deutliche Verbesserung des hydrologischen Zustandes an diesem Standort hinweisen. Dies könnte auf die Errichtung des Dammes im Herbst 2019 und die Erweiterung der Weidefreistellung zurückzuführen sein.

Für den Pegel 02 im Brettersberg-Ml-Moor liegen annehmbare Wasserstanddaten seit dem Jahr 2007 vor. Der Pegelstandort 02 ist damit der einzige Standort mit nachvollziehbaren Werten über die gesamte Zeitreihe von ca. 15 Jahren. Der Wasserstand sowie dessen Schwankungen verlaufen seitdem sehr ähnlich. Somit kann von einer stabilen Situation an diesem Pegelstandort ausgegangen werden. Die hydrologischen Verhältnisse haben sich also im Latschenbereich kaum geändert. Wiedervernässungsmaßnahmen wurden nur punktuell am südlichen Moorrand umgesetzt. Der latschenbestockte Bereich ist zudem von Beweidung weitestgehend verschont geblieben. Es ist ein gutes Zeichen, dass der gute hydrologische Zustand in diesem nördlichen Teil seit über 15 Jahren stabil ist.

Der Messdatensammler des neuen Pegels zeigt etwas tiefere Wasserstände. Das liegt wahrscheinlich an der etwas höheren Lage des Pegelrohres und ist somit nicht negativ zu werten.

Beim Pegelstandort 03 liegen Daten des alten Datensammlers von 2007-2019 vor. Es liegt kein Überlappungsbereich mit den Messdaten des neuen Pegels vor. Daher konnten die Messdaten in dieser Arbeit nicht endgültig verifiziert werden. Der Verlauf der Wasserganglinien des neuen Pegels ist ähnlich dem des alten Pegels. Der Wasserstand des neuen Pegels liegt lediglich wenige Zentimeter tiefer. Dies könnte durch die höhere Lage des Pegelrohres erklärbar sein. Die Wasserganglinien des alten Pegels weisen größere Schwankungen auf. Dass die Schwankungen beim neuen Pegel geringer sind, muss aber nicht auf eine Verbesserung des hydrologischen Zustandes hinweisen. Wahrscheinlich liegt die Ursache eher in fehlerbehafteten Wasserstandsdaten der Vorjahre. Insgesamt weist das Wasserlevel am Pegelstandort auf einen stabilen Trend hin. Der Wasserstand bleibt, abgesehen der Schwankungen, kontinuierlich auf einem ähnlichen Niveau.

Zusammenfassend zeigen die aktuellen Messdaten im Vergleich zu den alten Auswertungen eine gleichbleibende Situation an den Pegelstandorten 02 und 03 sowie sogar eine deutliche Verbesserung am Pegelstandort 01. Die Errichtung eines weiteren Dammes und die erweiterte Weidefreistellung sind mögliche Ursachen für die Wirkung im südlichen Bereich.

Halskopf-Moor

Nach dem Managementbericht von Haselwanter (2019) sind die Daten des alten Pegels 01 sowie 02 im Halskopf-Moor nicht verlässlich. Deswegen werden diese Daten auch in dieser Arbeit nicht zu einem Vergleich herangezogen. Am Pegelstandort 03 sind hydrologische Auswertungen, beginnend mit dem Jahr 2006, verfügbar. Der Wasserstand schwankt in den Anfangsjahren im überwiegenden Teil des Jahres im Bereich zwischen 20 und 40 cm unter Flur (Haselwanter, 2019). Der Managementbericht beschreibt eine steigende Tendenz des Wasserstandes bis 2018. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Daten der alten Pegelrohre als nicht valide betrachtet. Es ist allerdings nicht sicher, wie lange die Daten bereits falsch dargestellt sind. Die Untersuchungen der neuen Pegel zeigen einen idealen Wasserstand auf. Ein Vergleich mit den alten Messungen würde somit auf einen deutlichen Anstieg des Wasserstandes deuten. Dies könnte eine positive Reaktion auf den Dammbau im Oktober 2021 darstellen.

Auswertungen der alten Daten des Pegelstandortes 04 liegen seit 2007 vor. Dieser weist seit Beginn große und tiefe Wasserstands-Schwankungen auf (Haselwanter, 2019). Im Jahr 2007 ist ein Jahresmittel von 35 cm, im Jahr 2011 von 23 cm unter Flur abzulesen. Der Trend zeigt steigende Wasserstände, aber auch deutliche Abweichungen zwischen den Jahren (Haselwanter, 2019). Eine Verlässlichkeit der Daten des alten Pegels ist nicht gegeben. Der neue Pegel zeigt ein Jahresmittel von 16 cm unter Flur auf. Die Schwankungen liegen im Rahmen aller neuen Pegel und sind auch vergleichbar zu denen im Referenzmoor Brettersberg-MI-Moor. Damit scheint es auch hier zu einer deutlichen Verbesserung der hydrologischen Situation gekommen zu sein. Dies könnte ebenso den Erfolg des Dammbaus im Jahr 2021 widerspiegeln.

Zusammenfassung und Limitationen

Stützt man sich also, gemäß der Forschungsfrage, auf die alten Auswertungen der Jahre 2007-2018, so kann man von einer deutlichen Verbesserung des hydrologischen Zustandes in beiden Mooren ausgehen. Problematisch bei der Bewertung der Entwicklung beider Moore ist, wie bereits erwähnt, das Unwissen über den Zeitpunkt der Rohrverstopfungen. Zudem ist nicht klar, ob die Wasserstände durch einen etwaigen hydraulischen Kurzschluss beeinflusst sind. Verbesserungen durch Managementmaßnahmen können nur gemutmaßt und vor allem nicht datiert werden. Im Rahmen des hydrologischen Monitorings wurden jedes Jahr manuelle Messungen zur Überprüfung der Daten der Autopegel vorgenommen. Allerdings wurden die händischen Messungen immer mittels Tauchglocke in den Rohren durchgeführt. Der umliegende Zustand wurde nicht hinterfragend dokumentiert. Damit basiert der Vergleich auf der Annahme, dass die Messungen in der Anfangszeit des Monitorings noch verlässlich sind. Dies kann allerdings nicht sichergestellt werden.

6.3. Vegetation als Indikator für den Wasserstand (3. Forschungsfrage)

Mit Hilfe der Vegetationsstrukturtypen und deren mittleren Jahreswasserständen können Aussagen zur Hydrologie der gesamten Moorflächen getroffen werden. Vergleichswerte anderer Moore fließen in den Jahresmittelwasserstandswert der Vegetation ein. Die Ergebnisse aus der Vegetationsstrukturtypenkartierung werden nachfolgend diskutiert.

Brettersberg-MI-Moor

Die Ergebnisse zeigen, dass sich der aus der Vegetation abgeleitete Wasserstand im Brettersberg-MI-Moor im Bult-Schlenken-Komplex mit dem tatsächlich gemessenen Wert deckt. Der Wasserstand liegt dort bei 15 cm unter Flur. Die gemessenen Wasserstände im Latschenhochmoorbereich sind jedoch etwas tiefer, als von der Vegetationsausprägung anzunehmen wäre. Dies ist höchstwahrscheinlich damit erklärbar, dass die Pegelrohre 02 und 03 topographisch leicht erhöht liegen und somit eher trockene Verhältnisse aufzeigen. Zudem liegt die Latschenfläche im Randbereich des Moores und könnte daher eine trockene Ausprägung darstellen. Aus der Strukturtypenkartierung können zusätzlich hydrologisch gestörte Randbereiche im Brettersberg-MI-Moor abgeleitet werden. Darauf deutet die Ausbildung grasdominierter Degenerationsstadien hin. Diese weisen auf einen mittleren Jahreswasserstand von 26 cm unter Flur hin. Das ist deutlich niedriger als der klimatische Optimalwasserstand von 10 cm unter Flur. Ursache für die Ausbildung des Degenerationsstadiums ist wahrscheinlich die jahrzehntelange Beweidung. Der Torf ist an vielen Stellen verdichtet und teilweise vegetationsfrei. Auch Haidegger (2023) stellt das Vorkommen von Weidezeigern, vor allem randlich, fest. Insgesamt enthält das Moor jedoch charakteristische Hochmoorarten. Die von Haidegger (2023) betrachteten Dauerflächen enthalten keine größere Anzahl an Störungszeigern. Somit kann die aufgezeigte hydrologische Bewertung und Entwicklung im Brettersberg-MI-Moor auch aus der Vegetation abgeleitet werden. Unterschiedliche Aussagen zum Wasserstand im Latschenhochmoor könnten mit der Lage der Pegelrohre erklärbar sein. Mit Hilfe der Vegetation können sogar zusätzliche Aussagen zum flächendeckenden Moorwasserstand getroffen werden.

Halskopf-Moor

Im Halskopf-Moor sind alle Pegelrohre innerhalb des Bult-Schlenken-Komplexes platziert. Sie zeigen gemessene Wasserstände zwischen 9 und 16 cm unter Flur. Ein ebenso hohes Wasserlevel wird durch den Vegetationsstrukturtyp angenommen. Die Vegetation zeigt allerdings auch hydrologisch gestörte Randbereiche. Ein grasdominiertes Moordegenerationsstadium lässt auf Wasserstände im Mittel von 26 cm unter Flur schließen. Dies ist stark im westlichen Randbereich ausgeprägt. Grund hierfür ist wahrscheinlich, dass das Moor in Richtung Nord-Osten entwässert. Ein Kalk-Kleinseggenried im Übergang zu einer alpinen Hochstaudenflur, lässt auch auf niedrige Wasserstände im topographisch höher gelegenen südöstlichen Bereich schließen.

Somit ist die hydrologische Bewertung auch im Halskopf-Moor über die Pegelmessdaten, mittels den Vegetationsstrukturtypen und deren mittleren Jahreswasserständen, verifizierbar. Allerdings deckt die Kartierung auf, dass die Pegelmessdaten lediglich den zentralen, hydrologisch intakten Bereich charakterisieren. In den Randbereichen zeigen sich Störungen. Diese Störungen sind im Halskopf-Moor ausgeprägter als im Brettersberg-Ml-Moor. Einzelne Störungszeiger, wie das Moor-Pfeifengras (*Molinia caerulea*), wandern auch in den zentralen Bereich ein.

Zusammenfassung und Limitationen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich ein guter hydrologischer Zustand aus der Vegetation und den Pegelmessdaten, zumindest im zentralen Moorbereich, ableiten lässt. Während also die punktuellen Wasserstandsmessungen eine positive Entwicklung in beiden Mooren aussagen, zeigt die Vegetation durchaus kulturgeprägte Einflüsse. Hier ist zu erwähnen, dass die Entwicklung der Vegetation seit der Wiedervernässung noch im Gange ist, und sich noch kein Gleichgewicht eingestellt hat (Küchler et al., 2022). Fraglich ist, ob sich diese gestörten Bereiche in den nächsten Jahren selbstständig regenerieren können. Einflüsse wie die Beweidung des Laggs oder der Forstweg im Osten des Brettersberg-Ml-Moores, könnten die Hochmoore noch negativ beeinflussen. Es wird deutlich, dass das Monitoring über Pegelmessdaten zwar ein entscheidender Faktor ist, aber nicht isoliert betrachtet werden darf. Vor allem stellt sich heraus, dass die Platzierung der Pegelrohre aus eben einer solchen Strukturkartierung hätte abgeleitet werden müssen. Die derzeitigen Pegelstandorte spiegeln nicht den Zustand der gesamten Moorflächen wider.

Die Beschreibung des hydrologischen Zustandes über die Vegetationsstrukturtypen hat sich in dieser Arbeit als zielführend gezeigt. Die aus der Vegetation abgeleiteten Wasserstände stellen jedoch nur einen Jahresmittelwert dar und sollen das Monitoring über Pegelmessdaten keinesfalls ersetzen. Die Wasserstände sind auf Grundlage von Werten von Vergleichsmooren entwickelt. Sie müssen also nicht die realen Verhältnisse vor Ort widerspiegeln. Es können daher keine exakten hydrologischen Verhältnisse abgeleitet werden, jedoch ist zumindest ein Trend ersichtlich. Zudem benötigt es eine Vegetationsaufnahme, wie sie bereits im Brettersberg-Ml-Moor durchgeführt wurde, um vor allem Aussagen auf Einzelartenebene zu Störungszeigern und der Entwicklung der Moore treffen zu können.

7. Empfehlungen

In diesem Kapitel werden Empfehlungen für das hydrologische Monitoring der Folgejahre gegeben. Zusätzlich werden weitere Managementmaßnahmen vorgeschlagen, welche aus den Ergebnissen dieser Arbeit entwickelt wurden.

7.1. Empfehlungen für das zukünftige hydrologische Monitoring

Das seit Jahren bestehende hydrologische Monitoring in den untersuchten Karwendelmooren soll unbedingt fortgeführt werden. Die Wechsel der Zuständigkeiten für das Monitoring haben in den letzten Jahren zu einigen Unstimmigkeiten geführt. Von nun an ist eine einheitliche jährliche Zustandsbewertung auf Basis der Darstellungen dieser Arbeit anzustreben.

Alle alten Pegelrohre sind aus den Mooren zu entfernen. Fortan wird das Monitoring mit den neuen Pegeln durchgeführt. Es ist eine regelmäßige Kontrolle der neuen Datensammler bezüglich Datenspeicher, Akku und Datenqualität nötig. Datenauslesungen dieser Datensammler sollen im Herbst jedes Jahres mit Hilfe der Software SebaConfig (SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG, 2022) durchgeführt werden. Gleichzeitig sollen am Auslesetag, sowie bestenfalls dreimal in der Hauptvegetationszeit, auch manuelle Wasserstandsmessungen erfolgen. Dafür kann der Kartierbogen (s. Anhang A) verwendet werden. Alle drei Jahre soll eine hydrologische Auswertung in Form eines Berichtes erstellt werden. Dieser soll Zustand und Entwicklung der Moorflächen beschreiben. Die Datenanalyse kann mit Hilfe, der im Rahmen der Arbeit erstellten Excel-Auswertungsdateien erfolgen. Diese sind im Archiv des Naturpark Karwendel gespeichert.

Analog zu dieser Arbeit sollen Wasserganglinien und Dauerlinien erstellt werden. Diese sollen durch Kennwerte, wie Jahresmittel inklusive Standardabweichung, Minima und Maxima ergänzt werden. Außerdem ist eine kombinierte Betrachtung von Pegeldaten und Vegetation anzustreben. Im Hinblick auf ein langfristiges Monitoring könnte überlegt werden, noch weitere Pegelrohre in den Mooren zu installieren. Beim Halslkopf- und beim Brettersberg-MI-Moor würde sich hier noch eine Untersuchung der randlichen Degenerationsstadien durch jeweils ein Pegelrohr anbieten.

7.2. Maßnahmenempfehlungen

Zum Schutz der Untersuchungsflächen ist die Weidefreistellung sowie die Unterlassung weiterer Störungen zentral. Um den Zustand der Moore zu erhalten und weiter zu verbessern, ist eine regelmäßige Kontrolle der Dämme zu empfehlen. Neben der Kontrolle von bestehenden Maßnahmen sind weitere Untersuchungen durchzuführen. Im Halskopf-Moor wäre es wichtig, Vegetationsaufnahmen umzusetzen. Im Brettersberg-Ml-Moor liegen aktuelle Kartierungen von Haidegger (2023) vor. Bei beiden Mooren soll zukünftig über die Vegetation die Entwicklung seit der Wiedervernässung beschrieben werden. Dies soll sich mit der hydrologischen Auswertung gegenseitig ergänzen. Zielführend wäre es, die Arbeit von Haidegger (2023) zu erweitern, indem die Faktoren Wasserstand und Beweidung in die statistische Auswertung der Vegetationsentwicklung einbezogen werden. Zusätzlich könnten faunistische Studien durchgeführt werden, um die Schutzwürdigkeit der Standorte weiter zu untermauern. Auf Grundlage von Kontrollen und Untersuchungen sind nachbessernde oder aufbauende Managementmaßnahmen einzuleiten.

Zudem sind Maßnahmen zur Verbesserung der randlichen Degenerationsstadien umzusetzen. Diese weisen eine starke Degradation, insbesondere durch den langen Weideeinfluss auf. Sehr vorsichtig zu begutachten ist die Möglichkeit der Auflockerung der verdichteten Bereiche, um wieder einen hydraulischen Kontakt herzustellen. Es soll geprüft werden, ob die Etablierung von Seggen die Entwicklung beschleunigen könnte. In den nächsten Jahren ist eine erweiterte Weidefreistellung beider Moore zu versieren. Die bisher noch mögliche Beweidung des Laggs soll auf langfristige Sicht ausgeschlossen werden.

8. Fazit und Ausblick

Der Wasserhaushalt spielt die Schlüsselrolle im Moorschutz. Auf Grundlage der Betrachtung des hydrologischen Zustandes erfolgte in dieser Arbeit eine Einschätzung der Vitalität und Entwicklung von zwei alpinen Hochmooren im Naturpark Karwendel.

Zur Bewertung des hydrologischen Zustandes wurden klimatische Daten und automatische Pegelmessdaten ausgewertet. Daten neuer und alter Pegelrohre wurden vergleichend dargestellt. Daraufhin folgte die Kartierung von Vegetationsstrukturtypen. Diesen sind mittlere Jahreswasserstände zugewiesen. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Aufnahmen und Auswertungen sind, dass die Daten der alten Pegelrohre zum Großteil unstimmig sind. Die Resultate der bisherigen Auswertungen sind vor dem Hintergrund der Messdaten der neuen Pegelrohre in Frage zu stellen. Die aufgezeichneten Wasserstände in den neuen Pegelrohren sind valide. Sie deuten auf einen hohen Wasserstand hin. Dieser befindet sich an den Pegelstandorten in den zentralen, intakten Moorbereichen annähernd auf Höhe des klimatischen Optimalwasserstandes von 10 cm unter Flur. Niedrigere Wasserstände an zwei Pegelstandorten im Brettersberg-Ml-Moor sind mit der Lage der Pegel im Latschen-Hochmoorbereich erklärbar.

Des Weiteren konnte bei der Auswertung der Pegelmessdaten ein großer Einfluss der topographischen Lage der Pegelrohre festgestellt werden. Hiermit ist beispielsweise die Lage auf einem Bult oder in einer Schlenke gemeint. Dies kann Unterschiede im Wasserstand von mehreren Zentimetern bewirken. Beobachtet wurde außerdem eine deutliche Reaktion des Wasserstandes auf Temperatur und Niederschlag. Die klimatischen Ausgangsbedingungen im Untersuchungsgebiet sind ideal. Dennoch zeigt sich in den Wasserganglinien eine deutliche Beeinflussung durch Trockenperioden. Das ist im Hochsommer ablesbar, wenn gleichzeitig hohe Temperaturen vorliegen. Die Wasserstände sinken deshalb in beiden Mooren in den Monaten Juli und August im Jahr 2022 rapide ab.

Anhand der Auswertung klimatischer Daten und Pegelmessdaten konnten die ersten beiden zugrunde liegenden Forschungsfragen zum hydrologischen Zustand und der Entwicklung der Moore beantwortet werden. In beiden Mooren kann von einem stabilen hydrologischen Zustand ausgegangen werden. Eine Reaktion auf kurzzeitige Klimaänderungen scheint möglich. Jedoch sind die Absenkungen der Wasserstände im Sommer besorgniserregend und müssen in den nächsten Jahren weiter beobachtet werden. In dieser Arbeit konnten nur sehr kurze Datenreihen validiert werden und lediglich die Daten der neuen Datensammler sind gänzlich stimmig. Auf deren Basis ist noch keine aussagekräftige Prognose möglich.

Die Entwicklung beider Moorflächen scheint positiv zu sein. Es ist ein Anstieg des Wasserstandes seit Aufzeichnungsbeginn nach den Wiedervernässungsmaßnahmen ablesbar. Jedoch sind die Ergebnisse des bisherigen hydrologischen Monitorings zu hinterfragen. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass ein Vergleich mit den Vorjahren fehlerbehaftet ist. Eine Kombination aus einer Verstopfung der Rohre und einer Installation zu langer Pegelrohre für den Torfkörper führen zu Unsicherheiten. Ergebnisse der Erfolgskontrolle in den Folgejahren sind somit entscheidend, um solide Aussagen zur Entwicklung der Hochmoore treffen zu können.

Die dritte Forschungsfrage dieser Ausarbeitung untersucht, ob die hydrologische Bewertung und Entwicklung der Moore auch aus der Vegetation ableitbar sind. Dies kann in dieser Arbeit bestätigt werden. Die gemessenen Wasserstände decken sich überwiegend mit denen aus den Vegetationsstrukturtypen abgeleiteten Wasserständen. Lediglich leichte Abweichungen liegen vor. Es stellt sich heraus, dass aus der Vegetation zusätzlich hydrologisch degenerierte Randbereiche ablesbar sind. Diese werden durch die punktuellen Pegelmessungen nicht erfasst. Randliche Einflüsse auf die Moore, wie die Beweidung der Lagg-Bereiche außerhalb der Zäunung oder auch der Forstweg westlich des Brettersberg-MI-Moor, könnten negative Auswirkungen haben. Die Strukturtypenkartierung zeigt also auf, dass Aussagen zum hydrologischen Gesamtzustand über die Pegelmessdaten nur begrenzt getroffen werden sollten. In Zukunft könnte eine Platzierung von Pegelrohren auf Basis einer solchen Strukturtypenkartierung abgeleitet werden. Damit würde man sicherstellen, mit den Messungen den Gesamtzustand des Moores zu erfassen.

Um eine positive Entwicklung der Moore auch in Zukunft zu gewährleisten, sollte eine einheitliche Erfolgskontrolle sowie weitere Untersuchungen versiert werden. Es ist ein langfristiges Monitoring mit einer kombinierten Auswertung der Pegelmessdaten und der Vegetation anzustreben. Zusätzlich sollte im Halskopf-Moor erstmalig eine Vegetationsaufnahme durchgeführt werden.

9. Danksagung

Zum Abschluss möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. Zunächst geht ein großes Dankeschön an meine drei Betreuer. An Prof. Dr. Matthias Drösler, der es mir ermöglicht hat, diese Bachelorarbeit durchzuführen und mich schon in frühen Semestern von seiner Leidenschaft, den Moorökosystemen, begeistern konnte. Einen herzlichen Dank an Sebastian Friedrich, der mir als Hydrologe und Mitarbeiter des Peatland Science Centers immer beratend und helfend zur Seite stand. Ein Dankeschön an Hermann Sonntag, den ehemaligen Geschäftsführer des Naturparks Karwendel. Er hat mich zu diesem Thema gebracht und durch seine lokale Expertise und konstruktiven Anregungen unterstützt.

Mein Dank gilt auch dem Geschäftsführer des Naturparks Karwendel, Anton Heufelder, für die logistische Unterstützung bei der Feldarbeit und die Flexibilität bei der Bearbeitung meiner Bachelorarbeit neben meiner Arbeit im Naturpark.

Danke an Elisa Köchl für die Zeit und das Interesse, meine Arbeit Korrektur zu lesen. Zuletzt noch ein Dankeschön an Familie, Freunde und Studienkolleg*innen, die mich auf diesem Weg zum Abschluss meines Bachelors begleitet und unterstützt haben.

Quellenverzeichnis

- Augustin, J. (2012). Emission, Aufnahme und Klimarelevanz von Spurengasen. In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 28–36). Schweizerbart Science Publishers.
- Boegel, H. & Schmidt, K. (1976). *Kleine Geologie der Ostalpen: Allgemein verständliche Einführung in den Bau der Ostalpen unter Berücksichtigung der angrenzenden Südalpen*. Ott Verlag.
- Böhm, S. (2011). *Holozäne Vegetationsgeschichte des Halslkopfmoores (Karwendel, Österreich)*. Universität Augsburg.
- Chromov, S. P. (1940). *Einführung in die synoptische Wetteranalyse*. Springer-Verlag.
- Draxler, I., Lotter, M. & Gruber, A. (2022). Moore. In A. Gruber, M. Lotter, R. Brandner & G. Bieber (Hrsg.), *Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50 000: Erläuterungen zu Blatt 88 Achenkirch* (S. 188–201). Geologische Bundesanstalt.
- Drösler, M. (2005). *Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany* [Dissertation]. Technische Universität München, Weihenstephan.
- Drösler, M., Adelmann, W., Augustin, J., Bergman, L., Beyer, C., Chojnicki, B., Görlitz, S., Höper, H., Kantelhardt, J., Liebersbach, H., Hahn-Schöfl, M., Minke, M., Petschow, U., Pfadenhauer, J., Schaller, L., Schägner, P., Sommer, M., Thuille, A. & Wehrhan, M. (2013). *Klimaschutz durch Moorschutz: Schlussbericht des BMBF-Vorhabens: Klimaschutz - Moornutzungsstrategien 2006-2010*. vTI-Arbeitsberichte (4).
- Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T. & Friborg, T. (2008). Observations and Status of Peatland Greenhouse Gas Emissions in Europe. In A. J. Dolman (Hrsg.), *Ecological studies: Bd. 203. The continental-scale greenhouse gas balance of Europe* (S. 243–262). Springer.
- Drösler, M. & Kraut, M. (2023). *Moor-Vegetationsstrukturtypen von Bayern und deren Wasserstände im Jahresmittel*. unveröffentlicht.
- Edom, F. (2012). Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht (chorische Betrachtung). In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 185–228). Schweizerbart Science Publishers.
- Ellmauer, T., Viktoria, V., Kudrnovsky, H., Moser, D. & Paternoster, D. (2020). *Erhebung und Bewertung von Lebensraumtypen und Arten von gemeinschaftlicher Bedeutung in Österreich, Berichtszeitraum 2013-2018. Endbericht -Kurzfassung*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18874.21447>
- Fliri, F. (1962). *Wetterlagenkunde von Tirol: Grundzüge der dynamischen Klimatologie eines alpinen Querprofiles*. Tiroler Wirtschaftsstudien: Bd. 13. Wagner.
- Fliri, F. (1975). *Das Klima der Alpen im Raum von Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols: Folge 1*. Wagner.
- Foro Económico Mundial, Marsh & McLennan, SK Group & Zurich Insurance Group. (2023). *The Global Risks Report 2023: Insight Report*.
- Förster, C. (2016). *Influence of management and restoration on greenhouse gas fluxes of a prealpine bog* [Dissertation]. TU München.
- GeoSphere Austria. (2023). *Stationsdaten*. Abgerufen 15.01.2023 von <https://data.hub.zamg.ac.at/group/stationsdaten>
- Grosse-Brauckmann, G. (1976). Ablagerungen der Moore. In K. Göttlich (Hrsg.), *Moor- und Torfkunde* (S. 91–133). Schweizerbart.
- Grosvernier, P. & Staubli, P. (2009). *Regeneration von Hochmooren: Grundlagen und technische Massnahmen* (Umwelt-Vollzug Nr. 0918). Bundesamt für Umwelt, Bern. 96 S.

- Grotzinger, J. & Jordan, T. (2017). Gletscher: Die Tätigkeit des Eises. In J. Grotzinger & T. Jordan (Hrsg.), *Press/Siever Allgemeine Geologie* (S. 593–620). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48342-8_21
- Gruber, A., Lotter, M., Brandner, R. & Bieber, G. (2022). *Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50 000* [Karte]. Geologische Bundesanstalt. Wien.
- Gruber, A., Ortner, H., Brandner, R. & Sausgruber, T. (2022). Geologischer Bau und tektonische Einheiten. In A. Gruber, M. Lotter, R. Brandner & G. Bieber (Hrsg.), *Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50 000: Erläuterungen zu Blatt 88 Achenkirch*. Geologische Bundesanstalt.
- Haidegger, M. (2023). *Vegetationsentwicklung und Auswirkung von Renaturierungs-Maßnahmen in zwei Mooren im Naturpark Karwendel* [Masterarbeit]. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.
- Harlfinger, O. & Knees, G. (1999). *Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft: Bd. 58*. Wagner.
- Hartje, V., Wüstemann, H. & Bonn, A. (Hrsg.). (2015). *Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte*.
- Haselwanter, G. (2008). *Schutz- und Managementkonzept für ausgewählte Moore im Alpenpark Karwendel* [Dissertation]. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.
- Haselwanter, G. (2012). *Moormanagement im Alpenpark Karwendel 2007-2012: Abschlussbericht 2012*.
- Haselwanter, G. (2019). *Hydrologisches Management ausgewählter Karwendel Moore 2008-18: Abschlussbericht 2019*.
- Hofstädter, C. (2011). *Grundlagen für ein Managementkonzept und Monitoring im Wörschacher Moos im Ennstal, Steiermark* [Diplomarbeit]. Universität Wien.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use* (Chapter 3, Annex 3A.5). IGES, Japan.
- Joosten, H. & Succow, M. (2012). Zum Begriff "Moor" und vom Wesen der Moore. In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 2). Schweizerbart Science Publishers.
- Karre, B. (2010). *Vom Torfstechen zum partizipativen Naturschutz: Regenerationsmaßnahmen am Autertaler Hochmoor - Ein Managementplan im Fokus* (neue Ausg.). Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.
- Karre, B. & Steiner, G. M. (2005). Managementkonzept für das Hochmoor Auertal. In G. M. Steiner (Hrsg.), *Kataloge der Oberösterreichischen Landesmuseen: Bd. 85. Moore von Sibirien bis Feuerland* (S. 453–484). Oberösterreichisches Landesmuseum Linz.
- Kaule, G. & Göttlich, K. (1976). Begriffsbestimmungen anhand der Moortypen Mitteleuropas. In K. Göttlich (Hrsg.), *Moor- und Torfkunde* (S. 1–21). Schweizerbart.
- Küchler, M., Küchler, H., Bergamini, A., Bedolla, A., Ecker, K., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U. & Holderegger, R. (2022). *Moore der Schweiz: Zustand, Entwicklung, Regeneration* (1. Aufl.). Bristol-Schriftenreihe: Bd. 55. Haupt Verlag.
- LfU (2022). Kartieranleitung Biotopkartierung Bayern (inkl. Kartierung der Offenland-Lebensraumtypen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie): Teil 1: Arbeitsmethodik.
- Microsoft Corporation. (2021). *Microsoft Excel* (Version 2304) [Computer software].
- Naturpark Karwendel. (2020). *Naturpark Karwendel: Steckbrief (Langversion)*.
- Neuhäusl, R. (1975). *Hochmoore am Teich Velké Dárko* (1. Aufl.). *Vegetace ČSSR Reihe A: A9*. Academia.
- OcCC. (2008). *Das Klima ändert - was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz*. Bern. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques.
- Pfiffner, O. A. (2015). *Geologie der Alpen* (3. Aufl.). *Geologie: Bd. 8416*. Haupt Verlag.

- Pirc, M., Gaube, V. & Pfefferkorn, W. (2009). *Naturschutz im Klimawandel: Ein Hintergrundbericht der CIPRA* (compact nr. 03/2009).
- Schröck, C., Glatzel, S., Lorenz, J. & Machold, C. (2022). *Moorstrategie Österreich 2030+*. Wien.
- SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG. (2022). *SEBAConfig* (Version 1.37.0000) [Computer software].
- SEBA Information Service GmbH. (2006). *SEBAFileConverter* (Version 1.06.0005) [Computer software].
- Sonntag, H. (2008). *Karwendelmoore wieder zum Leben erweckt! Österreichische Bundesforste und Alpenpark Karwendel präsentieren erfolgreiche Moorrenaturierungen im Karwendel* [Pressemitteilung]. Eben am Achensee.
- Sonntag, H. (2009). Reichtum Karwendel WASSERreich. *Alpenpark Karwendel Magazin*(09), 7–8.
- Stegmann, H., Edom, F. & Koska, I. (2012). Bodenbildende Prozesse wachsender Moore. In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 42–46). Schweizerbart Science Publishers.
- Stegmann, H. & Zeitz, G. (2012). Bodenbildende Prozesse entwässerter Moore. In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 47–57). Schweizerbart Science Publishers.
- Steiner, G. M. (1982). *Österreichischer Moorschutzkatalog: Grüne Reihe des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz* (2. Aufl.).
- Steiner, G. M. (1992). *Österreichischer Moorschutzkatalog* (4. Aufl.). *Grüne Reihe des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie: Bd. 1*. Styria-Medienservice.
- Steiner, G. M. (2005a). Moortypen/Hydrogenetic classification of peatlands. In G. M. Steiner (Hrsg.), *Kataloge der Oberösterreichischen Landesmuseen: Bd. 85. Moore von Sibirien bis Feuerland* (S. 5–26). Oberösterreichisches Landesmuseum Linz.
- Steiner, G. M. (2005b). Zum Verständnis der Ökohydrologie von Hochmooren. In G. M. Steiner (Hrsg.), *Kataloge der Oberösterreichischen Landesmuseen: Bd. 85. Moore von Sibirien bis Feuerland* (S. 27–40). Oberösterreichisches Landesmuseum Linz.
- Stöhr, D., Aschaber, R., Noichl, R., Haselwanter, G., Flaschberger, H., Plettenbacher, T. & Arzl, N. (1995). *Biotopinventar / Naturpflegeplan Naturschutzgebiet Karwendel*. unveröffentlicht. Innsbruck.
- Succow, M. (2012). Ökologisch (-phytozoenologische) Moortypen. In M. Succow & H. Joosten (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl., S. 223–234). Schweizerbart Science Publishers.
- Succow, M. & Jeschke, L. (1990). *Moore in der Landschaft: Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore* (2. Aufl., Lizenzausg.). Urania.
- Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., . . . Zeitz, J. (2016). High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global change biology*, 22(12), 4134–4149. <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>
- Tiemeyer, B., Bechtold, M., Belting, S., Freibauer, A., Förster, C., Schubert, E., Dettmann, U., Frank, S., Fuchs, D., Gelbrecht, J., Jeuther, B., Laggner, A., Rosinski, E., Leiber-Sauheitl, K., Sachteleben, J., Zak, D. & Drösler, M. (2017). *Moorschutz in Deutschland: Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen ; Bewertungsinstrumente und Erhebung von Indikatoren. BfN-Skripten: Bd. 462*. Bundesamt für Naturschutz.

- UNEP. (2022). *Global Peatlands Assessment – The State of the World’s Peatlands: Evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands: Main Report*. Nairobi. United Nations Environment Programme.
- Van Essen Instruments. (2022). *Diver-Office* (Version 12.0.2.0) [Computer software].
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Hrsg.). (2015). *Das Klima von Tirol - Südtirol - Belluno*. Fotolito Varesco - Auer.

Anhang

Anhang A: Felddokument

Messdatum:

	Nr.	Lage	System- länge	PR – Überstand [cm]	Händische Messung [cm]*	Uhrzeit	Einschätzung des Wasserstandes z.B. sehr nass	Anmerkungen z.B. Vegetation
Brettersberg-MI-Moor	01	Südlicher Rand	190	58				
	02	Latschenbereich	130	55				
	03	Im Norden	130	62				
Halskopf-Moor	02	Nahe Hirschuhle	130	52				
	03	Moorzentrum	130	53				
	04	Östlicher Rand	130	52				

*die Messung erfolgt als Abstich von der Rohroberkante (Datensammler-Befestigung) zur Wasseroberfläche

Anhang B: Manuelle Messergebnisse

Messdatum: 07.05.2023

	Alte Pegelrohre			Neue Pegelrohre			Pegelstandort		
	Nr.	PR – Überstand [cm]	Händische Messung [cm]*	Nr.	PR – Überstand [cm]	Händische Messung [cm]*	Uhrzeit	Einschätzung des Wasserstandes z.B. sehr nass	Anmerkungen
Brettersberg-MI-Moor	01	15	125	01	58	67	08:30	Sehr nass	Bultfläche vor neuem Damm
	02	15	31	02	55	72	09:00	Trockenere Situation, aber WST nahe Oberfläche	
	03	17	-	03	62	78	09:15	Trockenere Situation, aber WST nahe Oberfläche	Altes Rohr gebrochen, neues schief
Halskopf-Moor	01	22	20	-	-	-	13:00	Offene Wasserfläche	
	-	-		02	52	60	13:30	WST nahe Oberfläche	
	03	10	43	03	53	51	13:45	Sehr nass	Randlich einer Schlenke
	04	16	75	04	52	60	14:00	Hohe WST, geschätzt bei -10 cm	

*die Messung erfolgt als Abstich von der Rohroberkante (Datensammler-Befestigung) zur Wasseroberfläche

Anhang C: Vegetationsstrukturtypen, unveröffentlichter Auszug (Drösler & Kraut, 2023)

Kategorie	CodeNEU	VegStrTyp kurz	Vegetationsstrukturtyp (vereinfacht bzw. analog zu "Vegetationsformen" nach Schlüter, in Succow 1988 und 2002)	Pflanzensoziologische Zuordnung (möglichst auf Assoziations- bzw. Subassoziationsebene, häufigste Einheiten in Bayern) (nach Oberdorfer 1977-1992, Succow&Joosten 2001, Ssymank et al 1998, Pfadenhauer 1997, Walentowski 2004)
	100		Hoch- und Übergangsmoore	
Offenland	110	Hochmoor-Torfmoosrasen	Hochmoor-Torfmoosrasen oder Bunte Torfmoosrasen (nicht entwässert): Domianz von roten/rotgrünen Torfmoosen wie z.B. Sphagnum magellanicum, Sph. capillifolium. Sph. Rubellum. Spirke/Latsche (oft nur auf Bulten bis Rottenstruktur Deckung < 10 %)	Sphagnetum magellanicum (medii); Eriophoro-Trichophoretum cespitosi
	111	Hochmoor Bult-Schlenken-Komplex	Erhöhte Kuppen aus Torf und Torfmoosen (Bulte) bilden zusammen mit nassen, teils wassergefüllten Vertiefungen (Schlenken) ein kennzeichnendes Mikorelief. vereinzelt Spirke/Latsche < 10 %	Eriophorum vaginatum
	112	Mosaik aus Torfmoosrasen und Schlenken	Mosaik aus Torfmoosrasen und Schlenken. Vor allem im hochmontanen bis subalpinen Bereich. Geprägt durch stark reliefierten Untergrund. Beide Bereiche sollten innerhalb von 4x4 m vorkommen	s.o.
	113	Feuchte Hochmoorheiden (primär & sekundär)	Feuchte Hochmoorheiden (primär: weitgehend flächig Torfmoose vorhanden, darüber Besenheide Calluna vulgaris. sekundär nach Renaturierung: weitgehend flächig hohe Besenheide Calluna vulgaris, darunter Entwicklung der Torfmoose)	Sphagnetum magellanicum (medii), Ausb. mit Calluna
	114	Moordegenerationsstadium - Zwergstrauchdominiert	Moordegenerationsstadium (mäßig trockene Hochmoorheiden) mit Dominanz von Besenheide Calluna vulgaris, vereinzelt noch Torfmoose, mit/ohne Pfeifengras. Gehölze: <10% Deckung	Sphagnetum magellanicum (medii), Ausb. mit Calluna, sowie Ausb. mit Calluna und Molinia
	115	Moordegenerationsstadium - Grasdominiert	Moordegenerationsstadium (mäßig trockene Hochmoorheiden) mit Pfeifengras (Dominanz von Gräsern; tw. sogar offener Torfboden mit Becherflechten, Gattung Cladonia) Gehölze: <10% Deckung	Sphagnetum magellanicum (medii), Ausb. mit Calluna und Cladonia
	116	Moordegenerationsstadium - mit Gehölzen (10 - 40 % Deckung)	Moordegenerationsstadium mit mäßig dichter Birken-, Waldkiefernbestockung (bis 10 m Höhe) und / oder Fichtenjungwuchs, weitgehend ohne Torfmoose. Mit/ohne Pfeifengras. Natürlich im Randgehänge, oder nach Entwässerung.	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung

Wald	120	Spirken/Latschen Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	natürliche Bestände von Bergkiefern (im Randgehänge) über flächigen Torfmoosdecken, durch Besonderen Anpassung an Nässegrenze ein Bestockungsanteil ≥ 10 %, etwas Moorbeeren-Arten und Arten der Wollgrasgruppe,	Vaccinio uliginosae-Pinetum rotundatae
	121	Spirken/Latschen Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40%	entwässerten Bestand von Bergkiefern (im Randgehänge) mit vereinzelt Torfmoosen, ein Bestockungsanteil ≥ 10 %, Ausbreitung von Heidelbeeren und moorfremden Arten in der Bodenvegetation	Vaccinio uliginosae-Pinetum rotundatae
	122	Waldkiefer Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze: > 40 %	Bestockungsanteil ≥ 50 %, Waldkiefernbestand, beerstrauchreich oder mit Pfeifengras, mit Torfmoosen. Fichte und Moorbirke als Nebenbaumart	Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris
	123	Waldkiefer Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	entwässerten Bestand, weitgehend ohne Torfmoose, Kiefer und Fichte wüchsiger. Ausbreitung von Heidelbeeren und moorfremden Arten in der Bodenvegetation	Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris
	124	Fichten Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	Bestockungsanteil ≥ 70 %, Natürliche Primärvorkommen im unteren Randgehänge, Vorkommen moorspezifischer Arten in der Bodenvegetation, wandern in anderen Wald-Typen ein	Vaccinio-Piceetalia;
	125	Fichten Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	Bestockungsanteil ≥ 70 %; z.B. Folgegesellschaft von Spirkenmoorwald (halbnatürlich), auch sekundär als ehemaliger Forst, wenn keine aktuelle Nutzung erkennbar	Vaccinio-Piceetalia; keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung auf stärker differenzierender Ebene möglich
	126	Birken Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	natürliche Bestände von Moor-Birken mit Bestockungsanteil ≥ 50 % mit moorspezifischen Arten in der Krautschicht und unter 10 % moorfremden Arten. Nur klassifizieren bei relativ beständigen Waldgesellschaften, da Birken oft Initialart Pionier und Störstadien sind.	Betuletum pubescentis
	127	Birken Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	s. o. aber höhere Deckungen anderer Baumarten wie Fichte und Sandbirke, sowie moorfremder Arten in der Bodenvegetation	Betuletum pubescentis
	128	Moorwald Mischtyp (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	Restflächen von Moorwäldern (Mischbereiche), die nicht nach Subtypen klassifiziert werden können	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung auf stärker differenzierender Ebene möglich
	129	Moorwald Mischtyp (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	Restflächen von Moorwäldern (Mischbereiche), - entwässert, sichtbar durch Zeigerpflanzen wie Heidekraut oder Pfeifengras.	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung auf stärker differenzierender Ebene möglich

Sukzession	130	Offener Hochmoortorf mit geringem Wasserstand (stabil)	nach Torfabbau, nach Maßnahme (negativ)	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
	131	Frühe Sukzessionsstadien auf offenem Hochmoortorf	Durch Nutzungsaufgabe und Wiedervernässung beginnende Sukzession mit primär Gräsern mit weiterhin offenem Torf.	verschoben: z.B. <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Juncus effusus</i> , <i>Drosera intermedia</i> Bestände auf offenen Torfmoor-Standorten
	132	Späte Sukzessionsstadien nach Renaturierung oder Torfabbau	späte Sukzessionsstadien nach Renaturierung oder Torfabbau. Häufig grasige Arten, <i>Rhynchospora</i> , <i>Molinia</i> und Torfmoose	
	133	Sukzessionsstadien mit starker Verbuschung (feucht) unter 6 m und > 40 % Deckung	Gebüsch auf Moorböden mit heimischen Strauch-(Bäumen). zB. Birken (<i>Betula pubescens</i>), Faulbaum (<i>Frangula alnus</i>) Kiefer (<i>Pinus mugo</i>) sowie Unterwuchs: beerenstrauchreich mit Nässezeigern (Torfmoose, Hochmoorarten (zb.Blaues Pfeifengras (<i>Molinia caerulea</i>)))	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
	134	Sukzessionsstadien mit starker Verbuschung (trocken) unter 6 m und > 40 % Deckung	Gebüsch auf Moorböden mit heimischen Strauch-(Bäumen). zB. Birken (<i>Betula pubescens</i>), Faulbaum (<i>Frangula alnus</i>) Kiefer (<i>Pinus mugo</i>) sowie Unterwuchs mit Trockenzeigern (zb. Besenheide (<i>Calluna vulgaris</i>), Preiselbeere (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>), Etagenmoos (<i>Hylocomium splendens</i>))	
	135	Langjährige Kahlhiebfläche, beerenstrauchreich, vorher Fichtenforst (trocken)	Kahlhiebfläche, dominierend Moose bodensaurer Nadelwälder und Beersträucher, nach (kalamitätsbegründeter) Räumung von Fichtenforst/-bestand, langjährig weitgehend statisches Stadium	<i>Vaccinio-Piceetalia</i> ; keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung auf stärker differenzierender Ebene möglich
Gewässer	140	Moorgewässer / dystrophe Gewässer, Kolke (natürlich u. dauerhaft)	durch Huminsäure orange bis (rot-) braungefärbte Stillgewässer, meist direkt auf Torfsubstrat.	
	141	Moorgewässer / dystrophe Gewässer (nach Renaturierung o. Abbau)	künstlich entstandene Stillgewässer in den Bereichen des Torfstichs oder durch Renaturierung. Je nach Entwicklungsstadium als naturnah angesehen mit vollständiger floristischer Entwicklung	

Übergangsmoor	150	Offene Moorschlenken	offene Moorschlenken, ganzjährig wasserführend, dazwischen offener Torf mit/ohne Weißen Schnabelbinse (<i>Rhynchospora alba</i>)	<i>Rhynchosporium albae</i>
	151	Grüne Torfmooschlenken, Schwingrasen	grüne Torfmooschlenken (natürliche Standorte oder Torfstichaufwuchs mit <i>Sphagnum cuspidatum</i> , <i>Sphagnum fallax</i> , <i>Sphagnum majus</i>), auch mit Beimischung von <i>Eriophorum angustifolium</i> + <i>vaginatum</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i>	<i>Sphagnum cuspidatum</i> - <i>Eriophorum angustifolium</i> -Ges.; <i>Caricetum limosae</i>
	152	Torfmoosdecken (Übergangsmoor)	Torfmoosdecken aus (schwach) minerotraphenten orangen oder grünen Torfmoosen auf natürlichen Standorten oder in Torfstichen (z.B. <i>Sphagnum papillosum</i> , <i>Sph. fallax</i> , <i>Sph. angustifolium</i>)	<i>Sphagnetum papillosum</i> , <i>Sphagnum cuspidatum</i> - <i>Eriophorum angustifolium</i> -Ges., <i>Sphagnum fallax</i> - <i>Eriophorum angustifolium</i> -Ges.
	160	Sehr nasse oligo- bis mesotrophe Seggenriede (Übergangsmoor)	sehr nasse oligo- bis mesotrophe Seggenriede, wie z.B. Fadenseggenriede(sauer), Schnabelseggenriede(basisch), mit oder ohne grüne Torfmoose (z.B. <i>Sphagnum fallax</i>)	<i>Caricetum lasiocarpae</i> , <i>Caricetum rostratae</i> , <i>Caricetum limosae</i>
	161	Feucht bis nasse mesotrophe Seggenriede (Übergangsmoor)	nasse mesotrophe Seggenriede, z.B. mit Steifsegge, Schwarzschofsegge, Wundersegge, Blasensegge	<i>Scorpidio</i> - <i>Caricetum elatae</i> , <i>Caricetum appropinquatae</i> , <i>Caricetum diandrae</i> , <i>Caricetum vesicariae</i>
	200	Nieder- und Anmoore (Nur Erhaltungs- und Pflegenutzung)		
Offenland	210	Bodensaure Kleinseggenriede (naturnah)	naturnahe Bestände mit kalkfreiem/-armen Wasser; geringe Torfmächtigkeit	<i>Caricetum fuscae</i>
	211	Bodensaure Kleinseggenriede (entwässert)	entwässerte Bestände mit kalkfreiem/-armen Wasser; überwiegend an die hydrologische Veränderung angepasste Vegetation; Dauerhafte Schädigung?	
	212	Borstgrasrasen	artenreiche Bestände; sekundäre, teils verbrachte, verarmte Bestände mit hoher Dominanz an <i>Nardus stricta</i>	<i>Nardo-Callunetea</i>
	213	Kalk-Kleinseggenriede (naturnah)	naturnahe, kalkreiche Bestände; basenreich bis mäßig basenarm; geprägt durch verschiedene Kleinseggen; ungenutzte, sowie gemähte Primär- und Sekundärstandorte	<i>Caricetum davallianae</i> , <i>Primulo-Schoenetum ferruginei</i> , <i>Caricetum fuscae</i> , <i>Trichophoretum alpini</i> , <i>Urticularietea</i>
	214	Kalk-Kleinseggenriede (entwässert)	entwässerte, kalkreiche Bestände; überwiegend an die hydrologische Veränderung angepasste Vegetation; Einwanderung von nitrophytischen Stauden; Dauerhafte Schädigung?	
	215	Artenreiche Pfeifengraswiesen	artenreiche Bestände, auch mit Braunmoosen; Vorkommen auf (wechsel)feuchten, basenreichen, nährstoffarmen und ungedüngten Standorten, unregelmäßig bis einmalige Mahd, viele Magerkeitszeiger	<i>Gentiano asclepiadeo</i> - <i>Molinietum caeruleae</i> , <i>Junco-Molinietum caeruleae</i> ,

	216	Artenarme Pfeifengraswiesen (entwässert) und Brachestadien	artenarme Bestände mit gestörtem Wasserhaushalt, sowie Brachestadien; hier auch als Sekundärgesellschaft entwässerter HM/ÜG oder ehemaligen Torfstichen (Moorarten ausfallend)	Verband: Molinion, dabei Teile auch Verband Filipendulion, verbuschte Bereiche nicht zuordenbar
	220	Schneidried-Sümpfe	kalkreiche Sümpfe mit Dominanz an <i>Cladium mariscus</i> ; innerhalb und außerhalb der Verlandungszone; Übergangsbereich zu naturnahen Kalk-Kleinseggenriede	Cladietum marisci
	221	Grosseggenriede der Verlandungsbereiche	Artenarme Bestände, amphibisch, in stehendem oder fließendem Gewässer; meist eine dominierende Art, z. B. <i>Carex rostrata</i> , <i>C. acuta</i> , <i>C. acutiformis</i>	Magnocaricion
	222	Grosseggenriede ausserhalb der Verlandungsbereiche (nass)	Artenarme Bestände; meist Sekundärstandort nach Nutzung; dominiert durch <i>Carex</i> und <i>Juncus</i> Arten z. B. <i>Carex acuta</i> , <i>C. acutiformis</i> , <i>Scirpus sylvaticus</i> ; auch mit Nässe zeigenden Braunmoosen	
	223	Grosseggenriede ausserhalb der Verlandungsbereiche (trocken)	Dominiert durch <i>Carex</i> und <i>Juncus</i> Arten, keine Nässe zeigenden Moose im Unterwuchs, meist rasiger Bestand, aber auch mit starken Bulten durch Zersetzungsprozesse	
	230	Kleinröhrichte	niedrigwüchsige Bestände, amphibisch, überwiegend aus <i>Juncus</i> -Arten, z. B. <i>Eleocharis palustris</i>	
	231	Flutterbinsenbestände	Nasse Bestände mit Dominanz an <i>Juncus effusus</i> ; Sekundärstandort, meist nach Störung (Bsp. Verdichtung, Torfabbau, unwirksame Renaturierung)	
	240	Grossröhrichte der Verlandungsbereiche	Feuchte bis nasse Bestände, amphibisch mit z.B. <i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Glyceria maxima</i> , <i>Typha</i> spp.	<i>Phragmitetum australis</i> , <i>Caricetum paniculatae</i> , <i>Phalaridetum arundinaceae</i> , <i>Typhaetum angustioliae</i> , <i>Thyphaetum latifoliae</i>
	241	Grossröhrichte ausserhalb der Verlandungsbereiche (nass)	Nasse Landröhrichtbestände mit z.B. <i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i>	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
	242	Grossröhrichte ausserhalb der Verlandungsbereiche (trocken)	Trockene Landröhrichtbestände mit z.B. <i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i>	

Wald	250	Waldkiefer Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	Bestockungsanteil $\geq$ 50 % Waldkiefer; Vorkommen moorspezifischer Arten in der Bodenvegetation	
	251	Waldkiefer Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	Im entwässerten Zustand Kiefer und Fichte wüchsiger. Ausbreitung von Heidelbeeren und moorfremden Arten in der Bodenvegetation	
	252	Fichten Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	der Mittelgebirge; Bestockungsanteil $\geq$ 70 % Fichte; Vorkommen moorspezifischer Arten in der Bodenvegetation	Sphagno girgensohnii-Piceetum
	253	Fichten Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	Im entwässerten Zustand Fichte wüchsiger. Ausbreitung von Heidelbeeren und moorfremden Arten in der Bodenvegetation	
	254	Birken Moorwald (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	Bestockungsanteil $\geq$ 50 % Birke; Vorkommen moorspezifischer Arten in der Bodenvegetation	
	255	Birken Moorwald (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	Im entwässerten Zustand Birke wüchsiger. Ausbreitung von Heidelbeeren und moorfremden Arten in der Bodenvegetation	
	256	Moorwald Mischtyp (naturnah) Deckung Gehölze > 40 %	Mischbereiche von Moorwäldern mit moorspezifischer Bodenvegetation; Klassifizierung nach Subtypen nicht möglich	
	257	Moorwald Mischtyp (entwässert) Deckung Gehölze > 40 %	Mischbereiche von Moorwäldern, im Entwässerten Zustand Ausbreitung moorfremder Arten in der Bodenvegetation; Klassifizierung nach Subtypen nicht möglich	
	258	Bruchwälder (naturnah)	Bestände mit Schwarz-, Grauerle, Moorbirke; Meist dominieren verschiedene Seggen und Röhricht Arten in der Bodenvegetation z. B. Carex elongata	Alnetea, Filipendulion?, Calthion?
	259	Bruchwälder (entwässert)	Im entwässerten Zustand Moorbirke wüchsiger; vermehrtes Aufkommen von Sambucus nigra, tw. Eschenverjüngung; Ausbreitung bruchwaldfremder Arten in der Bodenvegetation	

Sukzession	260	Sukzessionsstadien mit grasartiger Vegetation (nährstoffarm)	nährstoffarme Sukzessionsstadien mit grasartiger/krautiger Vegetation, Vermehrtes Vorkommen von Magerkeitszeigern	
	261	Sukzessionsstadien mit grasartiger Vegetation (nährstoffreich)	nährstoffreiche Sukzessionsstadien mit grasartiger/krautiger Vegetation, z.B. nach Grünland; Vorkommen von Grünlandarten und z. T. mit Juncus effusus und Moosen	
	262	Moorgebüsch primar/sekundär (naturnah)	nasse gebüschartige Stadien ohne durchwachsende Baumindividuen; z. B. Moorbirke, Faulbaum, verschied. Weidenarten; Bodenvegetation mit Nässezeigern	
	263	Moorgebüsch primar/sekundär (entwässert)	entwässerte gebüschartige Stadien ohne durchwachsende Baumindividuen; mit raschwüchsigen Straucharten, z. B. Sambucus nigra; Bodenvegetation meist mit Nitrophyten z. B. Urtica dioica	
Gewässer	270	Gewässer anthropogenen Ursprungs	künstlich entstandene Stillgewässer in Bereichen des Torfstichs oder durch Renaturierung. Je nach Entwicklungsstadium als naturnah angesehen mit vollständiger floristischer Entwicklung	
	300		Land- und forstwirtschaftliche Nutzung auf Moorstandorten und Brachen	
Paludikultur	310	Paludikultur (Sphagnen)	Nasskultur auf Hochmooren "Sphagnenfarming"	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
	311	Paludikultur (Wasserwälder)	Nasskultur auf Niedermooren, z.B. Alnus glutinosa, Salix ssp.	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
	312	Paludikultur (Wasserriede)	Nasskultur auf Niedermooren, z. B. Phragmites australis, Typha angustifolia/latifolia, Schoenoplectus lacustris, Magnocarices	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
	313	Paludikultur (Wasserwiesen)	Nasskultur auf Niedermooren, z. B. Glyceria maxima, Phalaris arundinacea	keine sinnvolle pflanzensoz. Zuordnung
Grünland	320	Extensive Grünländer, Weiden und Brachen (nass)	artenreiches, nasses Extensivgrünland (1-schurig) ohne Düngung; Beweidung; Brachestadien (Hochstaudenfluren sekundäres Sukzessionsstadium); mit Feuchte- und Nässezeiger, ohne Pfeifengras	
	321	Extensive Grünländer, Weiden und Brachen (frisch - feucht)	artenreiches, frisch - feuchtes Extensivgrünland (1-schurig) ohne Düngung; Beweidung; Brachestadien mit Magerkeitszeigern; vorw. Feuchte- und Nässezeiger	
	322	Extensive Grünländer, Weiden und Brachen (trocken)	artenreiches, trockenes Extensivgrünland (1-schurig) ohne Düngung; Beweidung; Brachestadien; entwässert ohne moortypische Arten und Feuchtezeigern	

	323	Mäßig extensive Grünländer, Weiden und temporäre Brachen (nass)	nasses Grünland mittlerer Intensität (2- bis 3-schürig); Beweidung inkl. Nachbeweidung; temporäre Brachen; mit Feuchte- und Nässezeiger	
	324	Mäßig extensive Grünländer, Weiden und temporäre Brachen (frisch - feucht)	frisch - feuchtes Grünland mittlerer Intensität (2- bis 3-schürig); Beweidung inkl. Nachbeweidung; temporäre Brachen; vorw. Feuchte- und Nässezeiger	
	325	Mäßig extensive Grünländer, Weiden und temporäre Brachen (trocken)	trockenes Grünland mittlerer Intensität (2- bis 3-schürig); Beweidung inkl. Nachbeweidung; temporäre Brachen; entwässert mit kaum Feuchtezeiger	
	330	Intensive Grünländer, Weiden und temporäre Brachen (nass)	nasses Intensivgrünland (ab 4-schürig) mit Düngung, Intensivweiden auf auf Hoch-, Übergangs- und Niedermoorstandorten; temporäre Brachen; vorw. Arten des Wirtschaftsgrünlands; Differenzierung 330HM und 330NM?	
	331	Intensive Grünländer, Weiden und temporäre Brachen (frisch - feucht)	frisch - feuchtes Intensivgrünland (ab 4-schürig) mit Düngung; Umtriebsweide auf Moor- und Anmoorstandorten, temporäre Brachen; vorw. Arten des Wirtschaftsgrünlands	
	332	Intensive Grünländer, Weiden und temporäre Brachen (trocken)	trockenes Intensivgrünland (ab 4-schürig) mit Düngung; Umtriebsweide auf Moor- und Anmoorstandorten; temporäre Brachen; stark entwässert mit vorw. Arten des Wirtschaftsgrünlands	artenarmes Einsaatgrünland, pflanzensoziologisch nicht sinnvoll einordenbar, lokal Fazies von Staunässe über Drainagen möglich bzw. Austrocknungszeiger an Grabenkanten
Acker	340	Ackerbauliche Nutzung	landwirtschaftliche Anbauflächen auf Moorboden, oft mit (starker) Entwässerung der Fläche; diverse Ackerfrüchte, keine spezifische Anpassung an Feuchte	
Forst	350	Laub(misch)Wald und Forst (entwässert)	angepflanzte, meist monotone und ähnlichalte Laubholzbestände zur forstwirtschaftlichen Nutzung mit > 50 % Laubbäumen und artenarmen Unterwuchs bzw. Kraut-/Moosschicht	
	351	Nadel(misch)Wald und Forst (entwässert)	angepflanzte, meist monotone und ähnlichalte Nadelholzbestände zur forstwirtschaftlichen Nutzung mit > 50 % Nadelbäumen und artenarmen Unterwuchs bzw. Kraut-/Moosschicht	
Graben	360	Graben (wasserführend)	künstlich geschaffene Gewässerrinnen mit Bewässerungs oder Entwässerungsfunktion. Typisch: gerader Verlauf mit trapezförmigem Querprofil. Sowohl naturfern durch Grabenbereinigung als auch naturnahe durch ungestörte Sukzession	

	400		Sonderstandorte	
	410	Flutrasen	Episodisch vernässte primär an natürlichen stickstoffreichen, eutrophen Standorten in tonig-lehmigen Vertiefungen und Flutmulden mit angepassten Pflanzenarten wie zb. Seggen, Hochstauden oder Weißes Straußgras	
	420	Stromtalwiesen	extensiv genutzte Aulawiesen mit Brachen, wechselfeuchte bis nasse Magerstadien mit Brenndolden-Gesellschaften (mit zb. <i>Cnidium dubium</i> , <i>Scutellaria hastifolia</i> , <i>Selinum dubium</i> , <i>Veronica longifolia</i> agg.)	

Quellen:

- Braun, W. & Siuda, C. (2003): Auswirkungen des Gewässer-Anstaus in einem verheidetem Hochmoor nach acht Jahren. Laufener Seminarbeitr. 1/03, 171-186. Bayer. Akad. f. Naturschutz u. Landschaftspflege, Laufen/Salzach.
- Succow, M. (1988): Landschaftsökologische Moorkunde. Jena. 340 S.
- Succow, M. & Joosten, H. (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. Stuttgart. 622 S.
- Siuda, C. (1997 bis 2011): stratigrafische Sondierungen im Rahmen von diversen ökologischen Gutachten zur Moorrenaturierung; dabei z.B. 120 Bohrungen im Freisinger/Erdinger Moos in ökologischen Ausgleichsflächen der FMG; ca. 100 Bohrungen im Rahmen von Projekten im Gebiet der Eggstätt-Hemhofer / Seeoner Verbundachse, Lkrs. RO und TS, ca. 50 Bohrungen in Mooren im Umgriff der Wieskirche
- Ssymank, A. et al (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN. Bonn.
- Pfadenhauer, J. 1997: Vegetationsökologie. 2. Aufl. Eching.
- Oberdorfer, E. 1977-1992: Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil I - IV. Stuttgart, New York.
- Walentowski, H. & al (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayern. Freising.